

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05560

研究課題名(和文) 全球雲システム解像気候モデルによる極端降水強度の将来変化予測

研究課題名(英文) Future projection of extreme precipitation intensity using a global cloud-system resolving model

研究代表者

横井 覚 (YOKOI, Satoru)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(大気海洋相互作用研究プログラム)・主任研究員

研究者番号：40431902

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化に伴って極端降水の強度がどのように変化するのか、全球雲システム解像気候モデルNICAMによる現在気候再現実験と将来気候予測実験の出力データを解析して検討した。特に、科学的な解釈が容易な熱帯海洋上での降水を対象にし、対象とする時間・空間スケールや極端さの度合いが異なると予測される極端降水強度増加率がどのように異なるのかに着目した。その結果、時間スケールが4-6時間よりも長いと、時間スケールと共に増加率が低下すること、極端さの度合いが高いほど増加率が大きいことなどが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化に伴い極端降水(集中豪雨)の強さがどのように変化するのか、という問題は防災施策上からも重要な問題である。特に、短い時間スケールほど増加率が大きく予測された点は注目に値する。既往研究の多くは日降水量に焦点を当てて予測を行ってきたが、その予測を例えばゲリラ豪雨のような数時間程度の極端降水の強度について適用すると、温暖化の影響を過小評価してしまう可能性を示唆している。また、降水量を計算する際の時空間スケールの大きさにより極端降水強度の変化率がどのように異なるかを明らかにした点は、科学的にも意義深いといえる。

研究成果の概要(英文)：This study examined how intensity of extreme precipitation would change due to the anthropogenic global warming, via analysis of present climate and future climate simulations performed with a global cloud-system resolving climate model, NICAM. In particular, we focus on precipitation over tropical oceanic area to examine how projected increase rates of the extreme precipitation intensity depends on spatial and temporal scales of interest and the degree of extremeness. We found that the increase rates would decrease with increasing temporal scale for temporal scales longer than 4-6 hours, and it would increase with increasing the degree of extremeness.

研究分野：気象学

キーワード：熱帯気象 極端降水 将来変化 NICAM

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 5 次評価報告書 (AR5) が結論づけたように地球温暖化がほぼ確実視されているいま、それが平均気温以外にどのような影響を及ぼすか、特に、人々の安全を脅かす極端気象の頻度や強度がどのように変化するのか、という問題は社会的な関心が高い。そのため、極端気象は世界気候研究計画 (WCRP) のグランドチャレンジ課題のひとつに設定され、世界中で精力的に研究がなされている。

我が国に直接関係のある極端気象の代表格は極端降水 (集中豪雨) であるといえる。極端降水は洪水や土砂災害などの致命的な災害を引き起こすため、その強度が将来どのように変化するのは防災施策上からも重要な問題である。

これまでの多くの地球温暖化予測とその影響評価研究は、第 3 次、第 5 次結合モデル比較計画 (CMIP3、CMIP5) のもとで行われた全球気候モデルによる現在気候再現実験、将来気候予測実験の出力データ (CMIP3/5 実験データ) を解析することでなされてきた。CMIP3/5 実験データを用いた極端降水強度の将来予測研究も数多くなされており (Emori and Brown 2005; O'Gorman 2012 など)、中緯度や熱帯の湿潤な地方を含む多くの地域で極端降水強度が増大すると予測されてきた。

しかし、これらの既往研究には、特に定量的には大きな不確実性が存在すると考えられる。その理由は、CMIP3/5 で用いられている全球気候モデルの空間解像度は、計算資源の制約から、極端降水をもたらす雲システムを直接表現できるほどには細くないため、雲システムは積雲パラメタリゼーション等を用いて陰的にしか表現されていないからである。こういった表現方法は、降水の平均的な特徴を再現できるように調整されているため、平均とはかけ離れた極端降水について適切に表現できるとは考えにくい。定量的な極端降水の将来変化予測のためには、雲システムを直接表現 (解像) する気候モデルを用いる必要があるといえるが、そのようなモデルによる現在気候再現実験、将来気候予測実験には膨大な計算機資源が必要なため、これまでは非現実的であった。

そのような状況において、我が国において全球雲システム解像気候モデル NICAM (Tomita and Satoh 2004) の開発グループが、理化学研究所計算科学研究機構 (当時) が有するスーパーコンピュータ「京」を用い、水平格子間隔 14km の NICAM による現在気候再現実験と将来気候予測実験 (それぞれ 30 年分) を実施し、その出力がアーカイブされた (NICAM-AMIP 実験、Kodama et al. 2015)。この実験は観測された海面水温や温室効果ガス濃度とそれらの将来予測値を境界条件として与える点で、CMIP3/5 の全球気候モデル実験よりも簡略化されたものではあるが、雲システムを直接表現していることから、従来よりも科学的に尤もらしく不確実性の小さい極端降水強度の将来予測が得られると期待される。

2. 研究の目的

上記の背景のもと、本研究では、NICAM-AMIP 実験出力データを用いて極端降水強度の将来変化予測を行い、変化の原因を議論する。その際、降水量が時空間変動のとても大きな物理量であるという性質を考慮し、考えている降水量の時空間スケールによる極端降水強度変化率の違いに着目する。特に、科学的な検討が比較的容易な熱帯 (北緯南緯 30 度の間) 海洋上での降水について対象とする。

3. 研究の方法

NICAM-AMIP 実験は、それぞれ 30 年分の現在気候再現実験と将来気候予測実験からなる。モデルの水平格子間隔は 14km、降水量の出力データは 1 時間値である。

本研究では、それぞれの実験での極端降水強度を比較することで、将来変化予測を行う。極端降水強度は、降水量データを大きい順に並べ直し、例えば上位 1% の降水量 (これを、99 パーセンタイル値と呼ぶ) で定義する。本研究では、90 パーセンタイル値から 99.95 パーセンタイル値まで変えてそれぞれ将来変化を調べ、極端さの度合いによる違いを明らかにする。なお、この定義では、十分なデータ数を確保することが必要になる。そこで、降水量の年平均値が同程度の場所では将来変化も似るとする仮定のもと、解析対象のグリッドを降水量年平均値の大きい順に並べ直し、年平均値が同程度のグリッド同士をグループ化した。グループ数は 40 (グループ番号が大きいほど降水量が多い) であり、各グループのグリッド数は等しくなるようにした。

降水量の時空間スケールに対する極端降水強度変化率の依存性を調べるため、時間スケールについては 1 時間平均値から 10 日平均値、空間スケールについては 60km 格子、120km 格子、240km 格子、480km 格子の平均値についてそれぞれ変化率を調べる。なお、変化率は、既往研究の多くで用いられているように、平均地上気温昇温量で規格化した (従って、単位は [%/K] である)。

なお、NICAM の降水再現性能評価を行うため、全球緯度経度 1 度格子の日平均降水量データセットである GPCP-1DD (Huffman et al. 2007) を比較検証用データとして用いた。

4. 研究成果

将来変化予測に先立ち、現在気候再現実験と GPCP-1DD データとを比較したところ、平均降水量には大きなバイアスが見られなかったものの、概して NICAM-AMIP は降水量の多い地域で降水量がより多く、中庸な地域でより少ないというバイアスが見られた (図 1a)。極端降水強度につ

いては、概して降水量の多い地域で過大評価となるバイアスが存在した（図 1b）。なお、GPCP-1DD データの極端降水強度は現実を過小評価しているという報告もあるため、真のバイアスは図に示されているよりもやや小さいと考えられる。

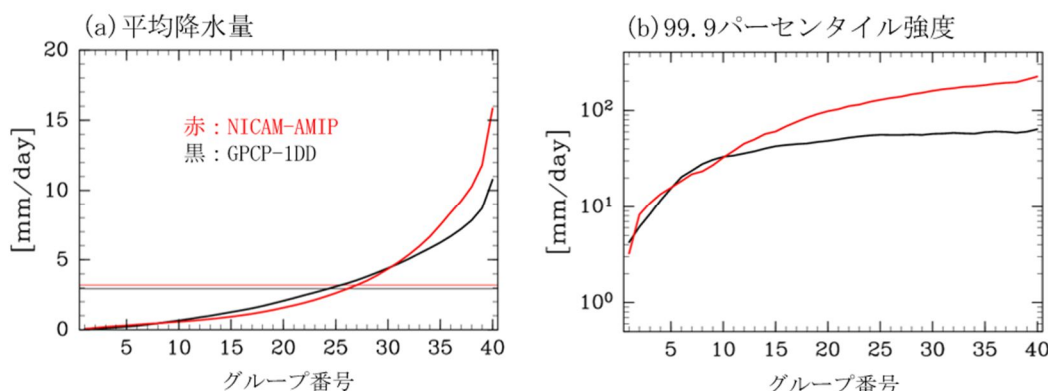


図 1 NICAM-AMIP 現在気候再現実験（赤）と GPCP-1DD（黒）との比較。(a)グループ毎の平均降水量（直線はグループ間の平均降水量）、(b)グループ毎の 99.9 パーセントイル極端降水強度。

次に、120km 格子における、各グループの平均降水量と 99.9 パーセントイル極端降水強度の将来変化率を調べた。平均降水量は降水量の多い地域で将来増加、少ない地域で減少という、多くの気候モデルと同傾向の予測が得られた。極端降水強度の将来変化率は平均降水量の上位 1/4 の地域（グループ番号 31-40）ではほぼ一定で、1 時間降水量では約 8%/K、1 日降水量では約 6%/K の増加が予測された。一方で、平均降水量の下位 1/4 の地域では減少が予測されていたことがわかった。

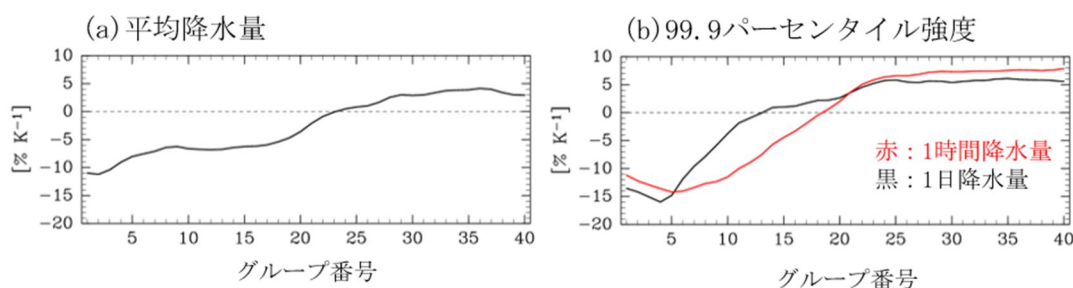


図 2 120km 格子における、グループ毎の(a)平均降水量将来変化率と、(b)1 時間降水量（赤）及び 1 日降水量（黒）の 99.9 パーセントイル極端降水強度の将来変化率。

平均降水量の上位 1/4 の地域では極端降水強度の将来変化率がほぼ一定であることから、これらをひとまとめにして、変化率の時空間スケールや極端さの度合いに対する依存性を調べた（図 3）。その結果、時間スケール 6 時間を境に特徴が異なることがわかった。120km 格子の結果では、時間スケール 6 時間以上では時間スケールと共に増加率が徐々に減少する一方、6 時間以下では増加率はほぼ一定だった。また、時間スケール 6 時間以下では、極端さの度合いが高い（すなわち、より極端な降水）ほど増加率が増加していた。240km 格子の結果も、境となる時間スケールが若干短い（4 時間）が、定性的に同じ傾向を示した。空間スケールに関しては、60km 格子から 480km 格子までの範囲内では、120km 格子で増加率が最大となる非線型的な依存性があることがわかった。

時間スケール依存性が見られた原因について議論するため、平均降水量の上位 1/4 の地域で、4 時間降水量で 99.9 パーセントイル以上の降水が発生した全事例について、その前後の降水量の変化を調べた。その結果、わずかではあるが、将来気候の方が現在と比べて降水継続時間が短くなっていることが判明した。つまり、将来気候では降水がより短時間に集中する傾向になるために、時間スケール 6 時間以上では時間スケールと共に増加率が減少すると予測されたと考えられる。一方で、極端降水強度の変化率は鉛直積算水蒸気量（可降水量）の変化である程度説明できるという観点から、同じく平均降水量の上位 1/4 の地域で、1 時間降水量から 10 日降水量までそれぞれ 99.9 パーセントイル以上の降水が発生したときの可降水量の平均値について将来気候と現在気候を比較した。その結果、時間スケール 1 日以下ではわずかながら時間スケールが長い方が可降水量増加率が低い傾向にあり、極端降水強度変化率の傾向と整合的であった。

ただし、降水継続時間も可降水量も定性的には極端降水強度変化率の傾向と整合的ではあるものの、それらの変化の時間スケール依存性は極端降水強度に比べて小さく、定量的に説明可能なほどではない点には注意が必要である。

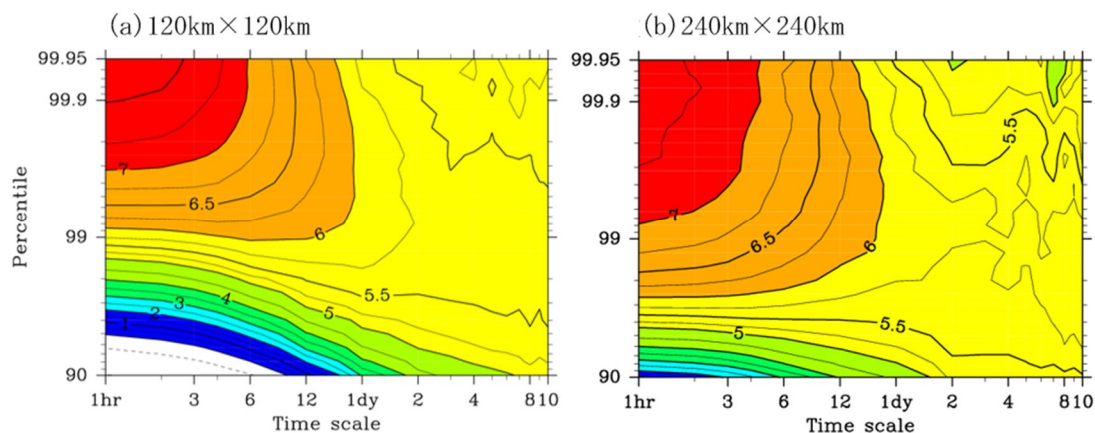


図3 平均降水量が上位 1/4 の地域における極端降水強度将来変化率 [%/K] の、時間スケール (横軸: 1 時間降水量から 10 日降水量まで) 及び極端さの度合い (縦軸: 90 パーセントイルから 99.95 パーセントイルまで) に対する依存性。(a)120km 格子、(b)240km 格子。

<引用文献>

- Emori, S., and S. J. Brown, 2005: Dynamic and thermodynamic changes in mean and extreme precipitation under changed climate. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L17706.
- Huffman, G. J., and co-authors, 2001: Global precipitation at one-degree resolution from multisatellite observations. *J. Hydrometeor.*, **2**, 36-50.
- Kodama, C., and co-authors, 2015: A 20-year climatology of a NICAM AMIP-type simulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 393-424.
- O'Gorman, P. A., 2012: Sensitivity of tropical precipitation extremes to climate change. *Nature Geoscience*, **5**, 697-700.
- Tomita, H., and M. Satoh, 2004: A new dynamical framework of nonhydrostatic global model using the icosahedral grid. *Fluid Dyn. Res.*, **34**, 357-400.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yasunaga Kazuaki, Yokoi Satoru, Inoue Kuniaki, Mapes Brian E.	4. 巻 32
2. 論文標題 Space-Time Spectral Analysis of the Moist Static Energy Budget Equation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 501-529
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JCLI-D-18-0334.1	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 Yokoi Satoru, Mori Shuichi, Katsumata Masaki, Geng Biao, Yasunaga Kazuaki, Syamsudin Fadli, Nurhayati, Yoneyama Kunio	4. 巻 145
2. 論文標題 Diurnal Cycle of Precipitation Observed in the Western Coastal Area of Sumatra Island: Offshore Preconditioning by Gravity Waves	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 3745 ~ 3761
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/MWR-D-16-0468.1	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 Yokoi Satoru, Mori Shuichi, Syamsudin Fadli, Haryoko Urip, Geng Biao	4. 巻 147
2. 論文標題 Environmental Conditions for Nighttime Offshore Migration of Precipitation Area as Revealed by In Situ Observation off Sumatra Island	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 3391 ~ 3407
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/MWR-D-18-0412.1	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 Takasuka Daisuke, Satoh Masaki, Yokoi Satoru	4. 巻 46
2. 論文標題 Observational Evidence of Mixed Rossby Gravity Waves as a Driving Force for the MJO Convective Initiation and Propagation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 5546 ~ 5555
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2019GL083108	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 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 Satoru Yokoi, Shuichi Mori, Masaki Katsumata, Biao Geng, Fadli Syamsudin, Nurhayati, Urip Haryoko, Kunio Yoneyama
2. 発表標題 Diurnal cycle of precipitation in the western coastal area of Sumatra Island observed in Pre-YMC and YMC-Sumatra 2017 field campaigns
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoru Yokoi, Shuichi Mori, Masaki Katsumata, Biao Geng, Kazuaki Yasunaga, Fadli Syamsudin, Nurhayati, Kunio Yoneyama
2. 発表標題 Diurnal cycle of precipitation around western coast of Sumatra Island observed during Pre-YMC and YMC-Sumatra2017 field campaigns
3. 学会等名 33rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横井 覚、勝俣 昌己、耿 驍
2. 発表標題 YMC2017-Sumatra 集中観測期間中に見られた降水日変化
3. 学会等名 日本気象学会2018年度春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoru Yokoi
2. 発表標題 Toward comprehensive understanding of diurnal cycle of precipitation in tropical Asia
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoru Yokoi, Shuichi Mori, Masaki Katsumata, Biao Geng, Fadli Syamsudin, Nurhayati, Urip Haryoko, Kunio Yoneyama
2. 発表標題 Observational study of diurnal cycle of precipitation over tropical coastal waters
3. 学会等名 The 1st International Conference on Tropical Meteorology and Atmospheric Sciences (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横井 寛、森 修一、勝俣 昌己、耿 驃、Fadli Syamsudin、Nurhayati、Urip Haryoko、米山 邦夫
2. 発表標題 Pre-YMC及びYMC-Sumatra 2017集中観測で見られた降水日変化の比較
3. 学会等名 集中観測で見られた降水日変化の比較
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoru Yokoi, Shuichi Mori, Fadli Syamsudin, Urip Haryoko, Nurhayati, Biao Geng, Masaki Katsumata, Kunio Yoneyama
2. 発表標題 Comparison of precipitation diurnal cycle observed in the coastal waters of Sumatra Island during two field campaigns in austral summer: Pre-YMC 2015 and YMC-Sumatra 2017
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoru Yokoi, Shuichi Mori, Masaki Katsumata, Biao Geng, Kazuaki Yasunaga, Fadli Syamsudin, Nurhayati, Kunio Yoneyama
2. 発表標題 Diurnal cycle of precipitation observed in the western coastal area of Sumatra Island, Indonesia: Offshore preconditioning by gravity waves
3. 学会等名 EGU General Assembly 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Satoru Yokoi, Shuichi Mori, Masaki Katsumata, Biao Geng, Kazuaki Yasunaga, Fadli Syamsudin, Nurhayati, Kunio Yoneyama
2 . 発表標題 Observational study of diurnal offshore migration of precipitation area over the Indonesian Maritime Continent
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Satoru Yokoi, Shuichi Mori, Masaki Katsumata, Biao Geng, Kazuaki Yasunaga, Fadli Syamsudin, Nurhayati, Kunio Yoneyama
2 . 発表標題 Diurnal offshore migration of precipitation area over western coastal waters of Sumatra Island observed during Pre-YMC field campaign
3 . 学会等名 AOGS 14th Annual Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Yokoi
2 . 発表標題 Diurnal cycle of precipitation in western coastal area of Sumatra Island observed during Pre-YMC field campaign
3 . 学会等名 Workshop on global precipitation systems 2016 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 S. Yokoi, S. Mori, M. Katsumata, and K. Yoneyama
2 . 発表標題 Modulation of diurnal cycle by Madden-Julian Oscillation observed during Pre-YMC2015 field campaign
3 . 学会等名 Workshop on Intraseasonal Processes and Prediction in the Maritime Continent (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Yokoi, S. Mori, M. Katsumata, K. Yasunaga, and K. Yoneyama
2. 発表標題 Diurnal cycle and its modulation by Madden-Julian oscillation observed around western coast of Sumatra Island: preconditioning for offshore convection by gravity waves
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Yokoi
2. 発表標題 Future change of extreme precipitation over tropical ocean projected by NICAM AMIP-type experiment
3. 学会等名 The 2nd International Workshop on "Climate Change and Precipitation in the East Asia" (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Yokoi
2. 発表標題 Precipitation variability and associated atmospheric boundary layer processes observed during Pre-YMC 2015 and YMC-Sumatra 2017 field campaigns off the west coast of Sumatra Island
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横井 覚、城岡 竜一、米山 邦夫、F. D. Hilario、E. O. Cayan
2. 発表標題 北進季節内変動に伴うフィリピン西岸域の降水変動：YMC-Laoag 2018集中観測
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Yokoi, S. Mori, F. Syamsudin, U. Haryoko, B. Geng, K. Yoneyama
2. 発表標題 Observational study on key environmental conditions for the occurrence of nighttime offshore-ward migration of precipitation area off the west coast of Sumatra Island
3. 学会等名 Joint Australian Meteorological and Oceanographic Society Annual Meeting 2019 and the International Conference for Tropical Meteorology and Oceanography (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横井 寛
2. 発表標題 スマトラ島西岸沖における海上気象要素変動の観測的研究
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Satoru Yokoi webpage http://www.jamstec.go.jp/res/ress/yokoi/index-j.html

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