

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14388

研究課題名(和文) 惑星規模のモンスーン長期変動機構の理解と予測

研究課題名(英文) Mechanisms and projection of long-term variation in global monsoon

研究代表者

釜江 陽一 (KAMAE, Youichi)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号：80714162

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：海水温同化実験により、世界的なモンスーンの挙動が、大西洋を発端とした海盆間相互作用によって密接に結びついていることを見出した。また、過去1000年間の地球軌道要素の微細な変動に伴う太陽入射量の緯度・季節配分の変動が、アジアモンスーンの季節進行のタイミングを左右することを明らかにした。

熱帯太平洋とインド洋の海盆間相互作用を通じた大気循環の変動パターンが、細長く発達する水蒸気輸送帯の活動の強弱を通して、日本の豪雨災害リスクを左右することを明らかにした。地球温暖化時には、水蒸気輸送帯の活動に着目することで、日本を襲う極端現象の頻度が増加する可能性を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

グローバルモンスーンの長期変動は、世界的な農業生産量など、人々の生活に対して極めて大きな影響力を持つ。20世紀後半以降のグローバルモンスーンの変動が、大西洋を発端としていた可能性を指摘し、その将来変化を予測する上で鍵となる物理機構を明らかにした。これらの成果は、グローバルモンスーンの地球システム学的役割を明らかにすることに貢献したとともに、大陸規模の水循環の変動を通じた、世界的な社会経済活動の今後数十年から数十年先の変動を予測する上で、重要な視座を提供することに貢献した。

研究成果の概要(英文)：Using model outputs of ocean temperature assimilation runs, the robust connection between ocean basins triggered by the Atlantic multidecadal variability was identified. I also found that the tiny perturbations in the seasonal-latitude distribution of incoming solar radiation through the Earth's orbital forcing can modulate the seasonal transition of the Asian monsoon.

Through this research project, it was identified that the tropical Pacific-Indian Ocean trans-basin interaction and the resultant atmospheric circulation pattern influences the natural disaster risk over Japan through the variation in activity of water vapor transport bands. In response to the global warming, the water vapor transport band plays an important role in the future increase in natural disaster risk over Japan.

研究分野：気象学

キーワード：モンスーン 大気海洋相互作用 気候変化 古気候

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界の熱帯・亜熱帯の大陸上および周囲の海洋上には、大気循環と雨季・乾季が季節によって交代するモンスーンが発達する。アジア、南北アメリカ、アフリカ、オーストラリア大陸で発達するモンスーンを総称してグローバルモンスーンと呼ぶ。グローバルモンスーンは、従来、異なる地域ごとに変動機構の調査が進められてきた。一方で、古気候記録や将来の気候変化予測の結果からは、モンスーンは全球スケールで共変動する可能性が指摘されている。加えて、人工衛星による全球的な水循環観測が可能となった 1970 年代以降、グローバルモンスーンは顕著な強化傾向にあることが指摘されている。近年、グローバルモンスーンの共変動はその世界的影響の重要性から、国際社会において注目されている。気候変動に関する政府間パネル第 6 次報告書に向けたモデル相互比較プロジェクトでは、グローバルモンスーンに関するモデル間相互比較プロジェクトが提案されるなど、その長期的変動機構の解明が求められている。

2. 研究の目的

以下の三点の課題に取り組むことにより、グローバルモンスーンの変動機構を明らかにする。(1) 観測されている 20 世紀後半以降のグローバルモンスーンの変動が、どの外部強制因子、あるいは気候の自然変動モードによって説明できるのか。(2) 地球軌道要素の変動による百年以上のスケールの長期グローバルモンスーン変動機構。(3) 数十年から百年の規模で進行する地球温暖化による、グローバルモンスーンの力学的循環および熱力学的な降水量の変化機構。

3. 研究の方法

(1) 大気海洋結合モデルを用いて、海盆スケールでの海水温同化実験を行い、20 世紀後半以降の各海盆での気候変動モードの役割を評価した。(2) 過去を対象とした世界共同の気候モデル実験データセットを使用し、独自の気候モデル感度実験の結果を併用することにより、地球軌道要素それぞれが変動することによる太陽入射量の季節・緯度配分が、北半球・南半球のモンスーンの季節性および強度を変え様子明らかに

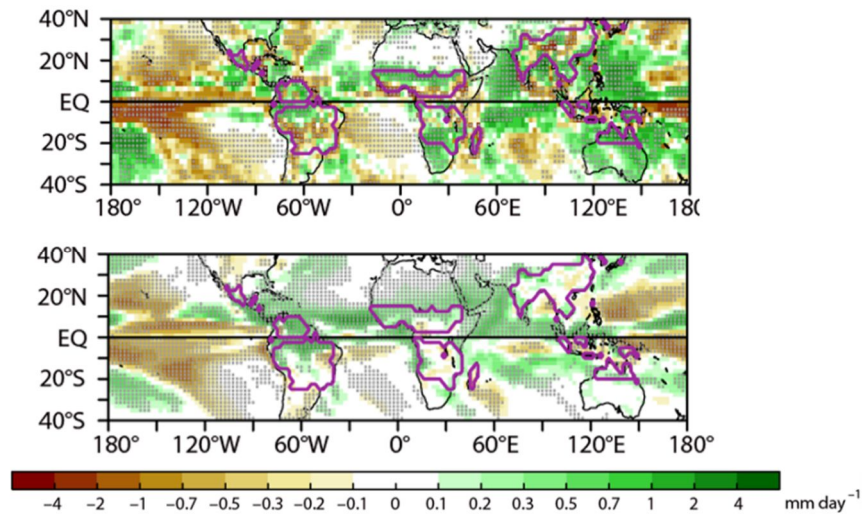


図 1 (上)衛星観測をもとにした北半球、南半球それぞれの夏季における降水量の 34 年間当たりの変化傾向。(下) 大気海洋結合モデルに大西
洋の水温の変化傾向を緩和した実験の結果。Kamae et al. (2017a)より。

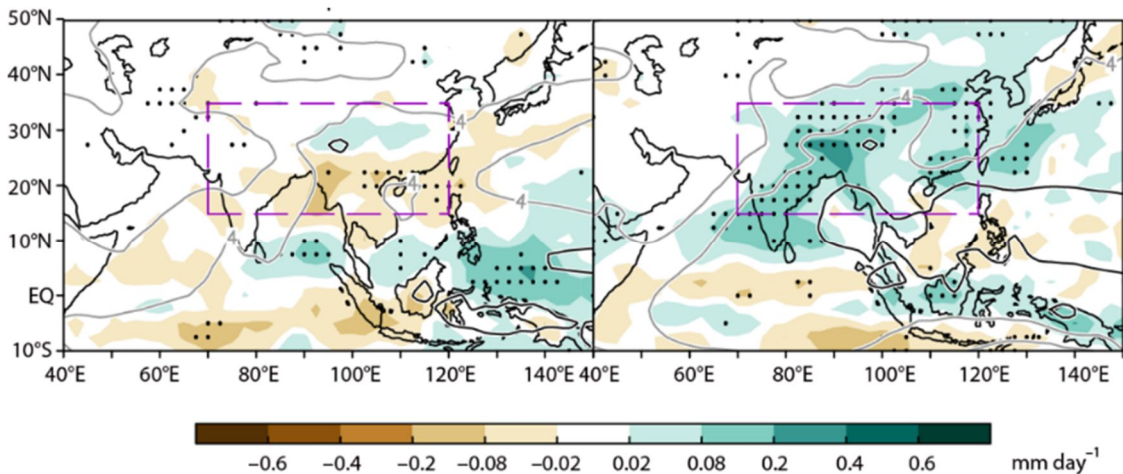


図 2 (左)古気候モデリング相互比較プロジェクト PMIP2 に参加した 10 モデルの結果を平均した、中世温暖期と小氷期の 4~6 月降水量の差と、(右) 8~10 月降水量の差。Kamae et al. (2017b)より。

した。(3) 将来を対象とした世界共同の気候モデル実験データセットを使用し、人為的な強制および海面水温の上昇を通じたグローバルモンスーンの将来変化を予測した。

4. 研究成果

(1) 米国、中国との共同研究を通して実施した海水温同化実験を解析し、世界的なモンスーンの挙動を調査した。太平洋、大西洋、インド洋それぞれの1979年以降の変化傾向を大気海洋結合モデルの海洋混合層に緩和した実験を調査すると、大西洋の水温の変化傾向を緩和した実験で、北半球を中心としたグローバルモンスーンの強化傾向が再現された(図1)。特に十年規模に注目した場合には、大西洋を発端とした海盆間相互作用によって密接に結びついていることを見出した。

(2) 過去1000年間を対象としたマルチモデル実験データ、および独自に行った感度実験の解析を通して、過去1000年間のアジアモンスーンの季節進行の変化傾向を調査した。その結果、地球軌道要素の微細な変動に伴う太陽入射量の緯度・季節配分の変動が、アジアモンスーンの季節進行のタイミングを左右するだけの影響力を持つ(図2)ことを明らかにした(Kamae et al. 2017b)。

(3) 観測データと高解像度大気大循環モデルによるアンサンブル実験の結果を用いて、日本をはじめとするアジアモンスーン域の極端現象の発現可能性を左右する大気海洋相互作用システムを特定した(Kamae et al. 2017c)。熱帯太平洋とインド洋の海盆間相互作用を通して生成される亜熱帯高気圧偏差は、日本に豪雨災害をもたらす台風や、長く筋状に発達する水蒸気輸送帯が通過しやすい地域を変えることで、日本の災害リスクと太平洋・インド洋の変動パターンとの間に新たな関連性があることを見出した(図3、Kamae et al. 2017d、Naoi et al. 2020)。

長期的な変動として、地球温暖化が進行することによる災害リスクの変化についても、前述のアンサンブル実験を通して、日本を襲う極端現象の頻度が増加する可能性を見出した(Kamae et al. 2019)。

参考文献

- Kamae, Y., X. Li, S.-P. Xie, and H. Ueda, 2017a: Atlantic effects on recent decadal trends in global monsoon. *Clim. Dyn.*, 49, 3443-3455.
- Kamae, Y., T. Kawana, M. Oshiro, and H. Ueda, 2017b: Seasonal modulation of the Asian summer monsoon between the Medieval Warm Period and Little Ice Age: a multi model study. *Prog. Earth Planet. Sci.*, 4, 22.
- Kamae, Y., W. Mei, S.-P. Xie, M. Naoi, and H. Ueda, 2017c: Atmospheric rivers over the Northwestern Pacific: Climatology and interannual variability. *J. Climate*, 30, 5605-5619.

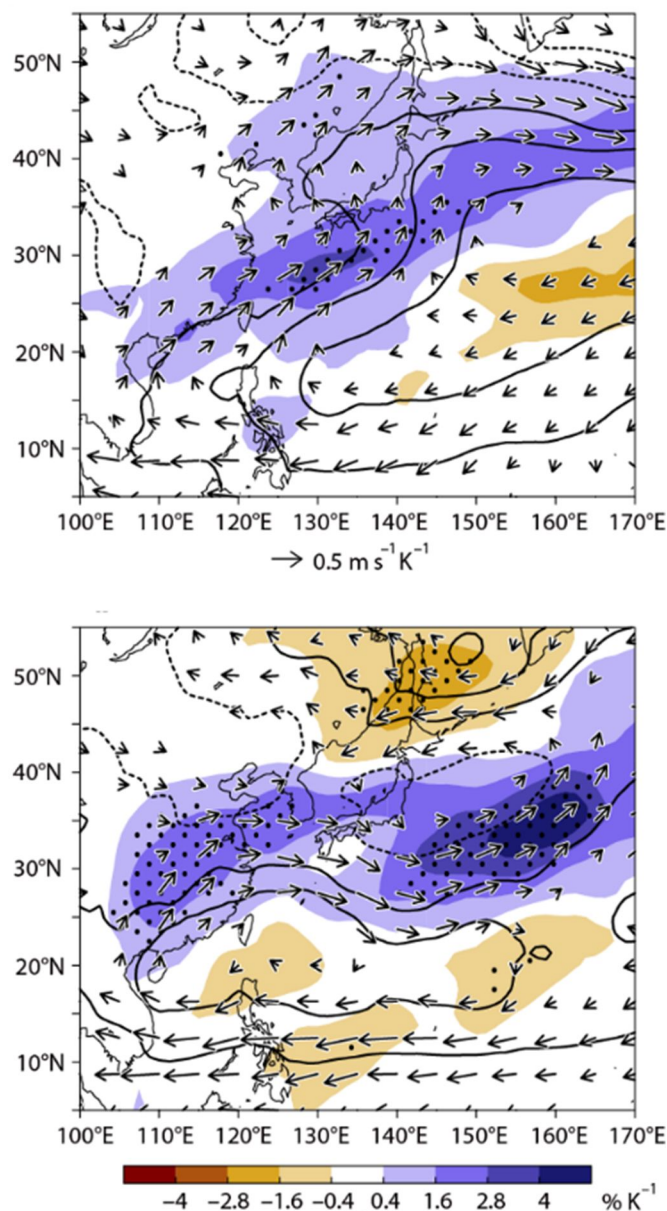


図3 (上) 先行する冬季にエルニーニョが発達していた4~6月の海面更正気圧(等値線) 850hPa風(矢印)および水蒸気輸送帯の通過頻度(陰影)の偏差。黒点は統計的有意性を示す。(右)7~9月。Kamae et al. (2017d)より。

Kamae, Y., W. Mei, and S.-P. Xie, 2017d: Climatological relationship between warm season atmospheric rivers and heavy rainfall over East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, 95, 411-431.

Kamae, Y., W. Mei, and S.-P. Xie, 2019: Ocean warming pattern effects on future changes in East Asian atmospheric rivers. *Env. Res. Lett.*, 14, 054019.

Naoi, M., Y. Kamae, H. Ueda, and W. Mei, 2020: Impacts of seasonal transitions of ENSO on atmospheric river activity over East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, doi:10.2151/jmsj.2020-027.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Takahashi, C., H. Shiogama, Y. Imada, Y. Kosaka, M. Mori, M. Arai, Y. Kamae, M. Watanabe	4. 巻 100
2. 論文標題 The effects of natural variability and climate change to the record low sunshine over Japan during August 2017	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bull. Amer. Meteor. Soc.	6. 最初と最後の頁 S67-S71
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/BAMS-D-18-0107.1	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 -
1. 著者名 Kamae, Y., W. Mei, S.-P. Xie	4. 巻 14
2. 論文標題 Ocean warming pattern effects on future changes in East Asian atmospheric rivers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Env. Res. Lett.	6. 最初と最後の頁 1-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1748-9326/ab128a	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 Kamae, Y., R. Chadwick, D. Ackerley, M. Ringer, T. Ogura	4. 巻 53
2. 論文標題 Seasonally variant low cloud adjustment over cool oceans	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Clim. Dyn.	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00382-018-4478-7	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 該当する
1. 著者名 Watanabe, M., Y. Kamae, H. Shiogama, A. M. DeAngelis, K. Suzuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Low clouds link equilibrium climate sensitivity to hydrological sensitivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Climate Change	6. 最初と最後の頁 901-906
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41558-018-0272-0	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 該当する

1. 著者名 Ueda, H., K. Miwa, Y. Kamae	4. 巻 96
2. 論文標題 Seasonal modulation of tropical cyclone occurrence associated with coherent Indo-Pacific variability during decaying phase of El Nino	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Meteor. Soc. Japan	6. 最初と最後の頁 381-390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2018-044	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 Xie, S.-P., Q. Peng, Y. Kamae, X. Zheng, H. Tokinaga, D. Wang	4. 巻 31
2. 論文標題 Eastern Pacific ITCZ dipole and ENSO diversity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Climate	6. 最初と最後の頁 4449-4462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-17-0905.1	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 該当する

1. 著者名 Imada, Y., H. Shiogama, C. Takahashi, M. Watanabe, M. Mori, Y. Kamae, S. Maeda	4. 巻 99
2. 論文標題 Climate change increased the likelihood of the 2016 heat extremes in Asia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bull. Amer. Meteor. Soc.	6. 最初と最後の頁 S97-S101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/BAMS-D-17-0109.1	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 -

1. 著者名 Kamae Youichi, Kawana Toshi, Oshiro Megumi, Ueda Hiroaki	4. 巻 4
2. 論文標題 Seasonal modulation of the Asian summer monsoon between the Medieval Warm Period and Little Ice Age: a multi model study	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Prog. Earth Planet. Sci.	6. 最初と最後の頁 1~13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-017-0136-7	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 Kamae Youichi, Li Xichen, Xie Shang-Ping, Ueda Hiroaki	4. 巻 49
2. 論文標題 Atlantic effects on recent decadal trends in global monsoon	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Clim. Dyn.	6. 最初と最後の頁 3443 ~ 3455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00382-017-3522-3	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 該当する

1. 著者名 Kamae Youichi, Mei Wei, Xie Shang-Ping, Naoi Moeka, Ueda Hiroaki	4. 巻 30
2. 論文標題 Atmospheric rivers over the Northwestern Pacific: Climatology and interannual variability	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Climate	6. 最初と最後の頁 5605 ~ 5619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-16-0875.1	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 該当する

1. 著者名 Kamae Youichi, Mei Wei, Xie Shang-Ping	4. 巻 95
2. 論文標題 Climatological Relationship between Warm Season Atmospheric Rivers and Heavy Rainfall over East Asia	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Meteor. Soc. Japan	6. 最初と最後の頁 411 ~ 431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2017-027	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 NAOI Moeka, KAMAE Youichi, UEDA Hiroaki, MEI Wei	4. 巻 98
2. 論文標題 Impacts of Seasonal Transitions of ENSO on Atmospheric River Activity over East Asia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2020-027	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 Peng Qihua, Xie Shang-Ping, Wang Dongxiao, Kamae Youichi, Zhang Hong, Hu Shineng, Zheng Xiao-Tong, Wang Weiqiang	4. 巻 33
2. 論文標題 Eastern Pacific Wind Effect on the Evolution of El Niño: Implications for ENSO Diversity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 3197 ~ 3212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-19-0435.1	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 該当する

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 釜江陽一, W. Mei, S.-P. Xie
2. 発表標題 複数の海面水温上昇分布を仮定したatmospheric river発生頻度の将来変化予測
3. 学会等名 日本気象学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kamae, Y., W. Mei, S.-P. Xie, M. Naoi, H. Ueda
2. 発表標題 Indian Ocean warming and East Asian atmospheric rivers in post El Niño summer
3. 学会等名 AOGS 15th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kamae, Y.
2. 発表標題 Indian Ocean warming and East Asian atmospheric river activity in post El Niño summer
3. 学会等名 JpGU Meeting 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kamae, Y., X. Li, S.-P. Xie, H. Ueda
2. 発表標題 Tropical Atlantic warming as a possible trigger for the recent decadal trend in global monsoon
3. 学会等名 JpGU Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 釜江陽一, W. Mei, S.-P. Xie
2. 発表標題 東アジアatmospheric riverに伴う豪雨の気候学的特徴
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 釜江陽一, 川名冬士, 大城萌美, 植田宏昭
2. 発表標題 PMIP3マルチモデルが示す中世温暖期におけるアジアモンスーン開始期の遅れ
3. 学会等名 JPGU-AGU joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kamae, Y., X. Li, S.-P. Xie, and H. Ueda
2. 発表標題 Atlantic-induced trans-basin teleconnection as a driving factor for the recent enhancement of global monsoon
3. 学会等名 JPGU-AGU joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 釜江陽一, X. Li, S.-P. Xie, 植田宏昭
2. 発表標題 大西洋を発端とした近年のグローバルモンスーン強化傾向
3. 学会等名 日本気象学会2017年度春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 釜江陽一, W. Mei, S.-P. Xie, 直井萌香, 植田宏昭
2. 発表標題 北太平洋atmospheric rivers発生頻度の気候学的分布とその変動
3. 学会等名 日本気象学会2017年度春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kamae, Y., W. Mei, S.-P. Xie, M. Naoi, and H. Ueda
2. 発表標題 Preceding Winter's ENSO Control on Summertime Atmospheric River Activity over the North Pacific.
3. 学会等名 2017 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 直井萌香, 釜江陽一, 植田宏昭
2. 発表標題 北太平洋Atmospheric Riversの発生に対するENSOの同時・時間差影響
3. 学会等名 日本気象学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Youichi Kamae, Wei Mei
2. 発表標題 Sea surface temperature perturbations and atmospheric rivers over the western North Pacific
3. 学会等名 2020 Ocean Sciences Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chuxuan Li, Wei Mei, Youichi Kamae
2. 発表標題 A cluster analysis of the tracks of North Atlantic wintertime atmospheric rivers and links to extreme precipitation and winds
3. 学会等名 2020 Ocean Sciences Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 釜江陽一, 直井萌香, 植田宏昭
2. 発表標題 東アジア域の大気の川通過頻度に対するENSOの季節進行の影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 松岡 憲知、田中 博、杉田 倫明、八反地 剛、松井 圭介、呉羽 正昭、加藤 弘亮	4. 発行年 2019年
2. 出版社 古今書院	5. 総ページ数 122
3. 書名 改訂版 地球環境学	

1. 著者名 筆保 弘徳、山崎 哲、中村 哲、安成 哲平、吉田 龍二、釜江 陽一、下瀬 健一、大橋 唯太、堀田 大介	4. 発行年 2019年
2. 出版社 ベレ出版	5. 総ページ数 276
3. 書名 ニュース・天気予報がよくわかる気象キーワード事典	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----