

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：10106

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K14802

研究課題名(和文) 気象災害を防止する極域観測網の構築

研究課題名(英文) Construction of polar observation network for preventing disasters of severe weather events

研究代表者

佐藤 和敏 (Sato, Kazutoshi)

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号：60771946

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、大気予報モデルとデータ同化システムや世界中の現業予報機関が提供している予報データを使用し、極域の気象観測データと大気現象の予報精度の関係性について明らかにする解析を行った。本研究課題における主な成果は、以下の3つである。(1) 北・南極での特別高層気象観測が各半球の中緯度で気象災害をもたらす気象現象の予報精度に与える影響の評価、(2) 極域の気象観測が予報精度を向上させることが可能な気象現象の特定、(3) 中緯度の気象現象の予報精度を向上させる両極の観測領域の調査。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気象災害による被害を軽減させるため、天気予報の精度向上は重要である。世界中で取得された気象観測データは天気予報に使用されるが、南・北極などの高緯度での観測データ不足は、我々の住む中緯度の気象現象の予報精度にまで悪影響を及ぼしている。本研究では、両極の気象観測データが気象災害をもたらす気象現象の予報精度に与える影響を調査した。気象現象の予報精度を向上させる高緯度領域を特定することで、天気予報の精度向上に貢献する。

研究成果の概要(英文)：The purposes of this study are (1) to assess the impact of radiosonde observations over the high-latitudes on forecast skills of severe events over the mid-latitudes in both Hemispheres, (2) to identify improved mid-latitude severe weather events by Polar regions observations, and (3) to investigate observation impacts over each region in Polar Regions.

研究分野：気象学

キーワード：北極 南極 データ同化 天気予報 ラジオゾンデ

## 1. 研究開始当初の背景

近年、世界中で気象災害が多発しており、天気予報の精度向上がより一層求められている。予報精度を向上させる方法の1つとして、数値モデルに融合（同化）する観測データの増加が挙げられる。広範囲を観測できる衛星の開発により、同化される観測データが年々増加し、ここ数年で予報精度は向上している。しかし、北極や南極では、衛星の軌道外（極点付近）に観測データの空白域が存在することや大陸の観測所が少ないことから、同化される観測データ数が他の領域に比べて圧倒的に少ない。そのため、予報の計算初期時刻に用いる大気の状態（初期値）は極域で不確定性が大きく、予報期間が長くなると広範囲に伝播し、中緯度の予報精度が悪くなる。

これまでの研究では、観測データが少ない中緯度や熱帯の海洋上で観測を増加させることが、中緯度の予報精度の向上に有効であると指摘されてきた。特に、台風やハリケーンの予報精度への影響に着目した研究がほとんどである。しかし、北極海や周辺の観測所で、センサーをバルーンに取り付けて気温や風などの気象要素の鉛直分布を観測するラジオゾンデによる特別高層気象観測（特別観測）も中緯度で発生する大気現象の予報精度向上に重要であることがわかってきた。特に、冬の北極海の海氷上や北極海周辺の観測所で特別観測を実施することで、日本やアメリカなどの中緯度で発生する冬の寒波が正確に予報できていた。また、南極海で実施した特別観測は、オーストラリアに接近する低気圧の予報精度を向上させていた。一方、夏の北極海での特別観測は、日本やアメリカに接近する台風やハリケーンの予報精度に影響しているが、予報精度の向上に貢献しているか明らかになっていない。

これまでの研究成果から、極域での特別観測は、初期値の不確実性を小さくし、両半球で気象災害をもたらす大気現象の予報精度に影響することがわかった。しかし、これまでの先行研究では、極域の観測データが一部の気象現象の予報精度に与える影響を示したにすぎず、極域の観測データがどの気象災害の予防に有効であるかわかっていない。極域の観測領域毎で予報精度向上への貢献度は異なるため、最も予報精度を向上させている極域観測領域を特定する必要がある。また、特別観測については、費用など多くの課題が残っており、低コストかつ予報精度向上を持続できる極域観測網の構築が求められている。この研究課題の学術的な「問い」は、極域での観測が我々の生活する中緯度のどの現象の予報精度の向上に有効であるのか、予報精度を向上させるために極域でどのような観測体制を構築すれば良いのか、である。これらの問題を解き明かすことで、大気現象の予報精度向上に必要な極域観測網を低コストで構築し、予報精度を永続的に向上させて気象災害の予防に貢献することが期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、北極や南極で実施された特別観測が各半球の予報精度に与える影響を明らかにし、予報精度を向上させるために最適な極域の観測領域を特定することである。これらの研究を遂行するため、海洋研究開発機構が開発した大気予報モデルとデータ同化システムや世界の現業予報機関が提供している予報データを使用した解析を実施する。本研究課題では、以前より解像度の良い大気予報モデルを使用しており、モデルの解像度の違いが大気現象の予報精度に与える影響が小さくなっていることも新しい点である。

本研究課題では、観測データが少ない空白域の存在する極域に着目している点や複数の大気現象に着目して極域の特別観測が予報精度へ影響する現象を特定する点は、これまでの研究にない独自の研究である。この研究は、最も予報精度を向上させる極域の観測領域を特定することで、低コストで中緯度の予報精度の向上を継続させる極域観測網の構築を目指しており、前例がなく創造性が高い。

## 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため、極域の特別観測が予報精度に影響する中緯度の現象、天気予報の精度を向上させるのに最適な極域観測領域、を明らかにする。特別観測の影響を調べるため、特別観測データを同化・非同化した初期値を作成し、それぞれで予報実験を行い、特別観測による影響を示している予報精度の差を調べる。また、現業の予報機関が提供している予報データも組み合わせ、特別観測により予報精度に差が生じる現象の特定を行う。

両極の特別観測が大気現象の予報精度への影響を調べるため、それぞれの半球の極域での特別観測と災害をもたらす大気現象の関係に着目する。北半球については、北極海上で取得された特別観測データに着目し、中緯度で災害をもたらす大気現象の予報精度への影響を確認する。

さらに、同時期に発生する同じような現象の予報精度へ与える影響を調べ、予報精度に影響する・しない北半球の大気現象を明らかにする。南半球については、南極大陸や南大洋で取得された特別観測データを用いて、オーストラリアなどの中緯度に災害をもたらす低気圧や高緯度で船舶の運行を妨げる低気圧の予報精度へ与える影響を調べる。また、予報精度を向上させる極域の観測領域を特定するため、極域の領域毎の観測データの影響を明らかにする。

#### 4. 研究成果

本研究の課題において、主要な成果は以下の2つが挙げられる。

(1) 北極海での特別観測によるハリケーン予報精度への影響 (Sato et al. 2020, atmosphere)

北半球の北大西洋上を通過するハリケーンは、大雨や強風により北米やカリブ海の島国で人的被害や産業界への大打撃をもたらすことから、気象災害を引き起こす大気現象の一つである。先行研究では、海洋研究開発機構が開発した大気予報モデルを用いて、ハリケーンなどの予報精度を調査してきたが、特定のハリケーンに着目した事例解析であることや、独自に開発された数値予報モデルを使用していることから、他のハリケーンや数値予報モデルでも同じ傾向にあるのか調査する必要があった。

そこで、4つの現業予報機関（欧州中期予報センター：ECMWF、気象庁：JMA、アメリカ環境予測センター：NCEP、イギリス気象庁：UKMO）が提供している予報データを使用し、2007年から2019年に北大西洋上を北上して北米に上陸、または接近した29個のハリケーンの進路予報の精度を調査した。そのうち21個のハリケーンは、2017年8月の「ゲルト」のようにハリケーン西側に位置していた気圧の谷（トラフ）周辺の強風域の影響を受けて北上していた（図1左上）。トラフの影響を受けるハリケーンの中心位置の予報誤差は、時間経過とともに大きくなり、先行研究で指摘されているようにトラフの予報精度が低下する予報4日目以降で顕著で、予報4.5日目に約730kmになっていた（図1右実線）。一方、残りの8個のハリケーンは、2017年8月のハリケーン「ハーヴィー」のようにトラフの影響をほとんど受けていなかった（図1左下）。ハリケーンの中心位置の予報誤差は時間とともに大きくなっているが、トラフがないため上空の大気循環の予報誤差が小さいことから予報4日目以降でも進路予報精度の低下は緩やかで、予報4.5日後には約350kmだった（図1右破線）。現業の予報センターで使用している予報モデルでも、海洋研究開発機構が開発した大気予報モデルと同様に、北大西洋のハリケーンの進路方向にトラフがない場合よりもトラフがある場合の方がハリケーンの進路予報の誤差が大きくなることがわかった。

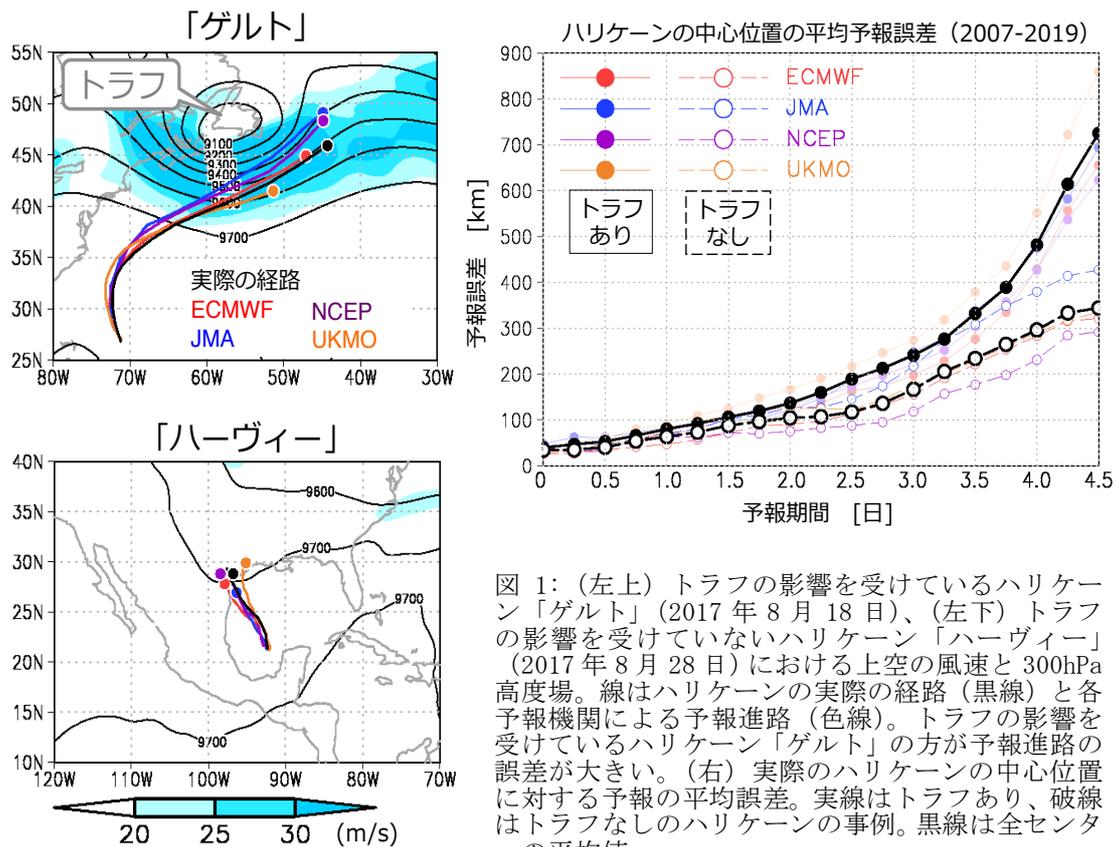


図 1: (左上) トラフの影響を受けているハリケーン「ゲルト」(2017年8月18日)、(左下) トラフの影響を受けていないハリケーン「ハーヴィー」(2017年8月28日)における上空の風速と300hPa高度場。線はハリケーンの実際の経路(黒線)と各予報機関による予報進路(色線)。トラフの影響を受けているハリケーン「ゲルト」の方が予報進路の誤差が大きい。(右) 実際のハリケーンの中心位置に対する予報の平均誤差。実線はトラフあり、破線はトラフなしのハリケーンの実例。黒線は全センターの平均値。

これまでの研究では、極域の特別観測がハリケーンの予報精度の向上に貢献しているか明らかになっていない。そこで本研究では、2017年9月に上空のトラフの影響を受けて北米に上陸したハリケーン「イルマ」に着目し（図2左）、2017年9月に北極域で日本の海洋地球研究船「みらい」により1日4回実施されたラジオゾンデ観測と、大西洋上でハリケーンの近傍で航空機により実施されたドロップゾンデ観測による高層気象観測が予報精度へ与える影響を調べた。これらの「特別観測あり」の場合、トラフの位置が比較的正確に予報でき、双方の「特別観測なし」よりも実際の位置に近い予報結果になり、「特別観測あり」の場合にハリケーンの予報中心位置が改善されていた（図1右）。これらのハリケーンの進路予報精度の違いを引き起こす「特別観測あり」と「特別観測なし」の不確実性の差（特別観測の影響）は、初期時刻に特別観測が実施された北極海で生じ、時間と共に増幅しながら偏西風の影響を受けて風下側に伝播していた。そのため、「大西洋域の特別観測なし」の場合、観測地点がハリケーンの中心に近い場合、この特別観測の影響はすぐにハリケーン付近へ到達して24時間以降の進路予報に差が生じていた（図1右）。一方、「北極域の特別観測なし」の場合、観測初期にハリケーンの中心から遠方の北極海に位置していた不確実性の差が時刻とともに風下側に伝播し、予報4日目以降に北米へ到達してハリケーンの進路予報に影響していた。これらの結果から、北極域での観測はトラフの予報精度向上を通じて4日目以降のハリケーン中心位置の誤差を減少させることから防災の初動を検討する上で重要となり得ること、大西洋域の特別観測は初期時刻のハリケーンの中心位置のばらつきを小さくすることで24時間程度の予報での中心位置を改善させることからより短期での具体的な対策を講じる上で重要となり得ることが示された。同様の傾向は、太平洋で発生して日本に上陸・接近する台風でも確認された。

これらの研究成果から、高層気象観測の影響が偏西風により東へ伝播するため、北極海太平洋側の高層気象観測は欧米などで発生する大気現象、北極海大西洋側の高層気象観測は日本などのアジア領域の天気予報の精度の向上に有効である可能性があることがわかった。また、極域の特別高層気象観測は、上空のトラフの影響を受けない現象よりもトラフの影響を受ける現象に大きく影響していることが示された。

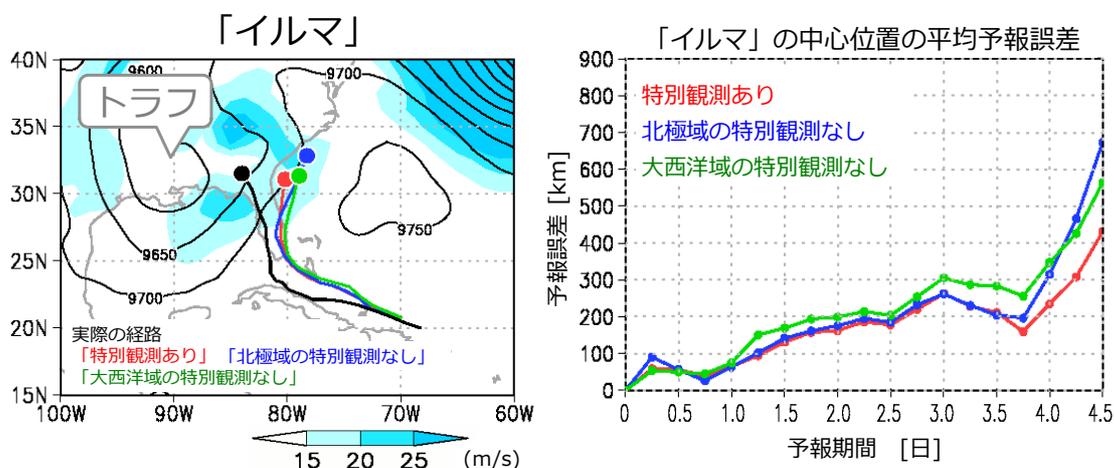


図2: (左) トラフの影響を受けているハリケーン「イルマ」(2017年9月12日)における上空の風速と300hPa高度場。線はハリケーンの実際の経路(黒線)と各予報による予報進路のアンサンブル平均(色線)。特別観測ありの予報の方が実施の位置に近い。(右) 実際のハリケーンの中心位置に対する予報の平均誤差。「北極域の特別観測あり」に対し、「北極域の特別観測なし」の予報は予報4日目以降に誤差が大きくなるが、「大西洋域の特別観測なし」の予報は予報1日目から既に誤差が生じている。

## (2) 南半球高緯度での特別観測による低気圧予報精度への影響 (Sato et al. 2020, AAS)

南半球では、南大洋上で発達する低気圧に伴う大雨により、オーストラリアやニュージーランドなどの中緯度で人的被害や産業界に大打撃をもたらしている。さらに、南極大陸への物資を輸送する船舶や南極大陸上での活動にも影響を及ぼす。この研究では、南大洋で日本の南極観測船「しらせ」や南極大陸の「ドームふじ」基地で1日2回実施したラジオゾンデによる高層気象観測が、南大洋上で発達しながら南極大陸の日本の「昭和基地」に接近する低気圧の予報精度に与える影響を調べた。海洋研究開発機構が開発した大気予報モデルとデータ同化システムを用いた解析では、これらの「特別観測あり」の場合には低気圧の発達が予報でき、「特別観測なし」よりも実際の中心気圧に近い結果になった。さらに、これらの特別観測データが同化

された現業予報機関（ECMWF）と同化されていない現業予報機関（JMA）の予報結果を比較したところ、現業予報機関でも同じように「特別観測あり」の方が実際の中心気圧に近い結果となっており（図3左）、現業予報機関でも観測データの有無が南大洋の低気圧の予報精度に影響することがわかった。これらの低気圧の進路予報精度の違いを引き起こす「特別観測あり」と「特別観測なし」の不確実性の差は、初期時刻に特別観測が実施された「ドームふじ」で生じ、時間と共に増幅しながら風下側に伝播していた（図3右）。

これらの研究成果から、高層気象観測の影響が偏西風により東へ伝播するため、日本の昭和基地や「しらせ」が運行されている南大洋のインド洋側で実施される特別気象観測により、オーストラリアやニュージーランドに接近する低気圧の予報精度の向上することがわかった。一方、「ドームふじ」など南極大陸内陸部で実施された観測の影響は、内陸の比較的弱い風により遠方に伝播せず、南極大陸周辺の大気現象の予報精度に影響することがわかった。

この研究では、ラジオゾンデ観測以外にも昭和基地に設置されているレーダーにより観測された風速データを同化することで、オーストラリアに異常高温をもたらした低気圧の予報精度を向上させることがわかった。ラジオゾンデより観測項目が少ないことから同化されるデータが少なくなるため、予報精度を向上させるために1時間毎の観測データを同化する必要がある。しかし、ラジオゾンデ観測より低コストかつ永続的に予報精度を向上させることができる可能性があり、それらの成果をまとめ現在国際論文への投稿準備を行っている。

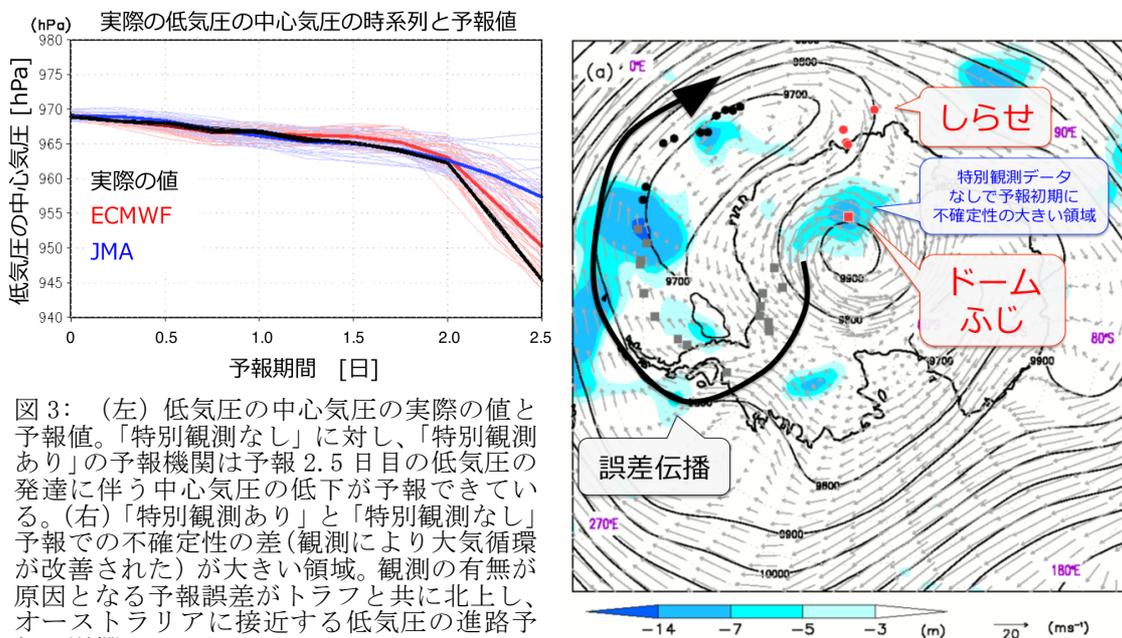


図3: (左) 低気圧の中心気圧の実際の値と予報値。「特別観測なし」に対し、「特別観測あり」の予報機関は予報2.5日目の低気圧の発達に伴う中心気圧の低下が予報できている。(右)「特別観測あり」と「特別観測なし」予報での不確実性の差(観測により大気循環が改善された)が大きい領域。観測の有無が原因となる予報誤差がトラフと共に北上し、オーストラリアに接近する低気圧の進路予報に影響していた。

#### 参考：情報発信

上記の研究成果1については、プレスリリースを行い、その成果を情報配信した。

2020年9月27日：ハリケーンや台風の進路予報の精度向上に北極海での気象観測強化が有効

#### 主要論文リスト（代表者：下線）

- 1) Sato, K., J. Inoue and A. Yamazaki: Performance of Forecasts of Hurricanes with and without Upper-Level Troughs over the Mid-Latitudes, *atmosphere*, 11(7), 702. 2020.
- 2) Sato, K., J. Inoue, A. Yamazaki, N. Hirasawa, K. Sugiura and K. Yamada: Antarctic radiosonde observations reduce uncertainties and errors in reanalyses and forecasts over the Southern Ocean: an extreme cyclone case. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37, 431-440. 2020.

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 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Sato Kazutoshi, Inoue Jun, Simmonds Ian, Rudeva Irina	4. 巻 12
2. 論文標題 Antarctic Peninsula warm winters influenced by Tasman Sea temperatures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-021-21773-5	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 Sato Kazutoshi, Inoue Jun, Yamazaki Akira	4. 巻 11
2. 論文標題 Performance of Forecasts of Hurricanes with and without Upper-Level Troughs over the Mid-Latitudes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 702 ~ 702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atmos11070702	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 Sato Kazutoshi, Inoue Jun, Yamazaki Akira, Hirasawa Naohiko, Sugiura Konosuke, Yamada Kyohei	4. 巻 37
2. 論文標題 Antarctic Radiosonde Observations Reduce Uncertainties and Errors in Reanalyses and Forecasts over the Southern Ocean: An Extreme Cyclone Case	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in Atmospheric Sciences	6. 最初と最後の頁 431 ~ 440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00376-019-8231-x	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 平沢 尚彦, 栗田 直幸, 佐藤 和敏, 林 政彦	4. 巻 67
2. 論文標題 2019年春季「極域・寒冷域研究連絡会」の報告 南極の広域をより高い精度で観測する	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 天気	6. 最初と最後の頁 195 ~ 199
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5件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 佐藤和敏
2. 発表標題 北極での気象観測が中緯度の天気予報の精度に与える影響
3. 学会等名 北極環境研究コンソーシアム（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazutoshi Sato, Jun Inoue, Akira Yamazaki, Yoshihiro Tomikawa
2. 発表標題 The impact of assimilation of PANSY radar observation at Syowa station on atmospheric circulation reproduction in reanalysis data
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤和敏, 猪上淳
2. 発表標題 CPSゾンデが捉えた寒気流入時における北極の雲特性変化
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 佐藤和敏
2. 発表標題 YOPP-SHへの貢献 より高精度の総観規模循環の把握に向けて
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazutoshi Sato, Jun Inoue, Akira Yamazaki, Naohiko Hirasawa, Konosuke Sugiura and Kyohei Yamada
2. 発表標題 Antarctic Radiosonde Observations Reduce Uncertainties and Errors in Reanalyses and Forecasts Over the Southern Ocean: An Extreme Cyclone Case
3. 学会等名 The 14th Workshop on Antarctic Meteorology and Climate (国際学会)
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

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		
オーストラリア	The University of Melbourne	Australian Bureau of Meteorology	