

平成 30 年 3 月 21 日

海外特別研究員最終報告書

独立行政法人 日本学術振興会 理事長 殿

採用年度 平成 29 年度

受付番号 491

氏 名 佐藤 和敏

(氏名は必ず自署すること)

海外特別研究員としての派遣期間を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。

なお、下記及び別紙記載の内容については相違ありません。

記

1. 用務地（派遣先国名）用務地： ホバート （国名： オーストラリア ）

2. 研究課題名（和文）※研究課題名は申請時のものと違わないように記載すること。

南極海の大気海洋海氷相互作用の解明と予報モデルの改善

3. 派遣期間：平成 29 年 12 月 1 日 ～ 平成 30 年 2 月 22 日

4. 受入機関名及び部局名

南極気候生態学共同研究センター

5. 所期の目的の遂行状況及び成果…書式任意 **書式任意（A4 判相当 3 ページ以上、英語で記入**

も可）

（研究・調査実施状況及びその成果の発表・関係学会への参加状況等）

（注）「6. 研究発表」以降については様式 10－別紙 1～4 に記入の上、併せて提出すること。

1. 当研究の背景と目的

南極圏の一部で顕著な気温上昇は、中・低緯度など他の領域より進行しており、大気循環の変動を通じて他領域にまで影響していると指摘されている。しかし、南極大陸の面積の問題や周囲が海洋で囲まれていることから、観測所の設置が限られてしまい、十分な観測データが取得できず、未だに解明されていない現象が多く存在する。特に、南極海で発生する雲や大気の放射特性は、再解析データの再現性に限界があり、各研究機関のモデルの性能に依存することからデータ毎で再現性が異なる。高解像度の衛星データにより高頻度でデータが取得されているが、海洋の飛沫などの影響で地表付近にノイズを含んでおり、大気海洋間の相互作用を議論するには十分でない。また、観測データを同化することで品質が向上する再解析データや数値予報モデルは、観測データの少ない南極圏で不確定性が大きく、北半球に比べ南半球の大気現象の再現性や予報の精度が良くない。そこで本研究は、夏の南極海で取得された観測データを用いて、未解明現象の解明や再解析データの品質調査、観測データが天気予報の精度に与える影響を明らかにすることを目的とする。

2. 研究の方法

南極海での雲や放射特性を直接観測するため、2017年10月から2018年3月にかけて国際共同プロジェクト MARCUS が計画された。MARCUS では、オーストラリアの砕氷船オーロラ・オーストラリスを用いた南極航海を4回実施（V1~V4）し、申請者はV2航海（2017年12月~2018年1月）に参加して雲底高度を観測するシーロメータや大気の鉛直構造を取得するラジオゾンデなどを用いた高層気象観測に従事した。このMARCUS期間中には、オーストラリアの別の砕氷船「Investigator」によるラジオゾンデ観測や航空機を用いたドロップゾンデ観測も実施されている。これらの観測データが数値予報モデルの予報精度に与える影響を調べるため、海洋研究開発機構（JAMSTEC）のデータ同化システムや大気循環モデルを使用した。本研究では、既にデータが公開されているV1航海（2017年10月~12月）の観測データを用いて解析を行った。

3. 研究成果

(1) 南極海の水温フロントと発生する雲の関係

図1は、V1航海中に発生していた雲の雲底高度と水温を緯度毎に示した。雲底高度は、南緯63°付近で急激に変化している（図1上）。この領域は、船や衛星データから海水密度が急激に変化していることが確認できており、海水縁であることがわかった。海水上（南緯63°以南）では、海水が海洋からの熱や雲を形成する水蒸気の放出を抑制しており、安定した層が形成されることで霧などの下層雲が卓越していた。一方、海洋上（南緯63°以北）では、海水上の冷たい空気が流入すると海洋から大気へ熱や水蒸気の供給が増加し、大気の混合が活発になることで、雲底高度が高く雲量の少ない雲が形成されやすくなっていた。そのため、海水上と海洋上の気温や水蒸気量差が異なる雲を形成させており、観測データでも先行研究で指摘されていた傾向を捉えることができた。

一方、南緯50°付近でも雲底高度が急激に変化している（図1上）。この緯度付近では、表面水温が急激に変化しており、強い水温勾配をもつポーラーフロントが存在していることを示唆している（図1下）。衛星データから、同緯度帯でポーラーフロントが存在していることがわかった。ポーラーフロントの南側（南緯50°以南）では、低い海水温度の影響で大気は比較的安定しており、海水上と同様で霧のような下

層雲が卓越している。ポーラーフロントの北側（南緯 50° 以北）では、南側の冷たい海域で形成された冷たい空気の流入で海洋から熱の供給が増加し、対流が活発になることで雲底高度の高い雲が形成されている。これまでの研究では、海氷縁付近での雲の違いは議論されてきたが、ポーラーフロント付近での雲の違いはほとんど議論されていない。これは衛星データで表面付近の雲が十分に再現できていないからであり、ポーラーフロントの位置が発生する雲の種類に影響していることを観測データから明らかにした初めての研究であると言える。

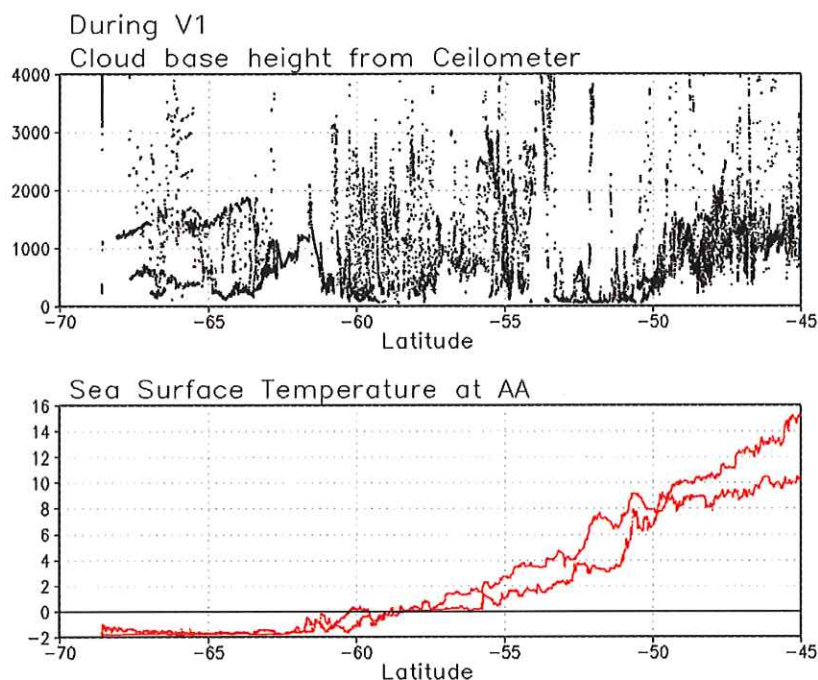


図 1: V1 航海の各緯度でシーロメータにより観測された雲の雲底高度（上）と船舶で取得された表面水温（下）。

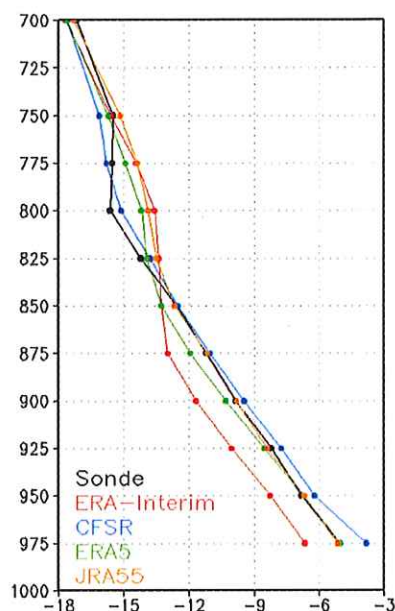


図 2: 海氷上での平均気温鉛直プロファイル（黒：ラジオゾンデ、赤：ERA-Interim、青：CFSR、緑：ERA5、橙：JRA55）。再解析データは観測点から最も近い grid 上の気温データ。

(2) 南極海での再解析データの誤差

MARCUS で取得された観測データは、各研究機関が公開している再解析データには同化されておらず、再解析データの気象現象の再現性に誤差を含んでいることが考えられる。そこで再解析データによる南極海上の気象現象の再現性を調べるため、ラジオゾンデ観測データと再解析データによる気温の鉛直プロファイルと比較した（図 2）。再解析データは、再現性の良いと言われているヨーロッパ中期予報センターの ERA-Interim と ERA5、米国国立環境研究センター（NCEP）の CFSR、日本気象庁の JRA55 を使用した。観測データと再解析データの比較から、CFSR が最も再現性が良く、ERA-I や ERA5、JRA55 は誤差を含んでいることがわかった。特に、これまで先行研究で最も再現性の良いと言われていた ERA-I は、900hPa 以下で最大で約 3°C の低温誤差を持っていることがわかった。一方、中層付近では高温誤差があり、ERA-I のデータ内で観測より多く形成された雲が影響していた。同センターにより提供されている最新の再解析データ ERA5 は、ERA-I より誤差が小さいものの、下層（800hPa）付近で低温（高温）誤差を持っていた。気象庁の JRA55 は、地表付近での誤差は小さいが、中層（800hPa）付近で高温誤差を持っており、雲が実際より過剰に形成されることで気温誤差を引き起こしている可能性がある。雲や気温の誤差は、長波放射や短波放射の再現性に大きく影響しており、地表の熱収支に影響する。特に、海氷縁付近では、海氷形成の再現性にも影響する。以上のことから、各研究所の再解析データの誤差要因を明らかにすることで、モデルの改善を促進し、南極海上での現象の再現性向上に貢献することが期待できる。

(3) 南極海での観測データが再解析データの再現性や天気予報の精度に与える影響

南極海でのラジオゾンデ観測が再解析データの再現性にどのような影響を与えるのか調べるため、JAMSTEC のデータ同化システムや大気循環モデルを用いて観測データを同化・非同化した再解析データ（以下、CTL と OSE）を 63 メンバー作成した。図 3b は、ラジオゾンデ観測点での CTL と OSE の気温差の時間高度断面図を示している。観測データを同化していない再解析データは、船が低気圧に接近し（図 3d）、対流圏界面高度（200~300hPa 付近）の気温変化が不明瞭な期間（図 3b: 2017 年 11 月 9 日前後と 22, 24 日前後）で大きな高温誤差を持っている。図 3c は、データの不確定性を調べるための指標として用いられるジオポテンシャル高度（Z）のスプレッド差（各メンバーの平均値からのバラツキ度）を示しており、差が大きい領域は観測データがないとデータの不確定性が大きいことを示している。Z のスプレッド差は、300hPa より上空で大きく、ラジオゾンデ観測が対流圏上層から成層圏下層（300~100 hPa）で不確定性を小さくしていることがわかる。この不確定性は、観測点だけでなく、観測点周辺にも拡大する。図 4 は、これまでの先行研究で低気圧の進路予報の精度に大きく影響するとされている 300hPa 面での Z のスプレッド差（ ΔZ_{300} ）の月平均を示している。船による観測が実施された海域で極大域があり、西風により大きな ΔZ_{300} 領域が下流（観測点より西側）に拡大している。通常は他の観測点の観測によりスプレッド差は減少するが、南極海上は観測点が少なく、大きい ΔZ_{300} が維持されたまま西側へ流れたと考えられる。

ラジオゾンデ観測データが予報精度に与える影響を調べるため、それぞれの再解析データ（CTL と OSE）を初期値とした予報実験（以下、CTLf と OSEf）を行った。予報精度を調べる現象として、12 月 2~3 日にオーストラリアに接近して強い降水をもたらした低気圧に着目し、5 日予報を実施した。観測データを同化した CTLf では、概ね低気圧の位置を予報できており、各メンバーのばらつきも非常に小さかった。一方、観測データを同化していない OSEf は、多くのメンバーが低気圧の位置を予報できておらず、各メンバーのばらつきも大きかった。これらの予報結果から、南極海で実施したラジオゾンデ観測は、数値予報で初期値として用いられる再解析データの南極海での不確定性を小さくし、南極海での現象だけでなく、南半球で発生する現象の予報精度を向上させることを明らかにした。

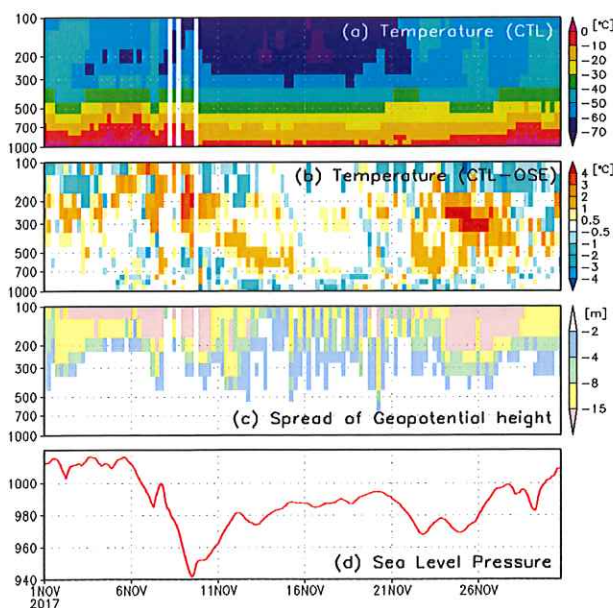


図 3: ラジオゾンデ観測が実施された点での CTL の気温 (a)、気温差 (CTL-OSE: b)、ジオポテンシャル高度のスプレッド差 (c) の時間高度断面と表面気圧の時系列 (d)。

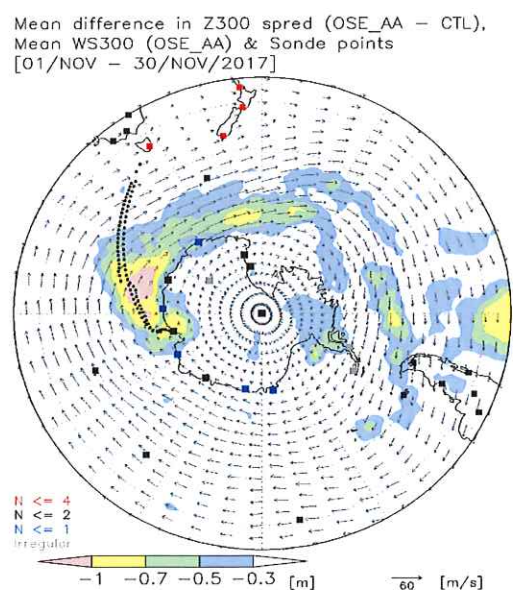


図 4: 300hPa 高度でのジオポテンシャル高度のスプレッド差の月平均図(11/1-11/30)。矢印は CTL の 300hPa での月平均風速。四角点は、大陸上の観測点。色は、1 日の観測数 (青: 1 回、黒: 2 回、赤: 4 回、灰色: 不定期)。黒点は、オーロラオーストラリスの観測点。

4. 今後の展望

本研究では、各研究所で作成されている再解析データは南極海で発生する大気現象の再現性に誤差を含んでおり、南極海上で観測を実施することで再解析データの誤差や南半球の現象の予報精度を向上させることを示した。観測点の少ない南極海では、観測データの恩恵が観測点の下流領域まで拡大していることもわかった。しかし、本研究では1航海分の観測データのみ着目しており、他期間での観測が同じような傾向があるのか調べる必要がある。MARCUSでは、2017年～2018年の夏季に実施された4回南極航海全てでラジオゾンデ観測を実施している。また、オーストラリアの Investigator やドイツの Polarstern、アメリカの航空機を用いたラジオゾンデ観測も実施されており、他の月や観測データの影響も明らかにすることが可能である。さらに、同時期に赤道近くで JAMSTEC の海洋地球研究船「みらい」を用いた集中観測も行われており、南半球の高緯度と低緯度それぞれの影響を定量的に議論することができる。今後は、これらのデータ同化実験を実施して、南半球での現象の再現性や予報精度を向上させるために最適な観測体制（観測場所や1日の観測回数）を提唱することを目指す。