

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25550022

研究課題名(和文)南極内陸域への水蒸気輸送メカニズムの解明

研究課題名(英文)A study of the mechanism of marine air intrusion toward the East Antarctica

研究代表者

栗田 直幸 (Kurita, Naoyuki)

名古屋大学・環境学研究科・特任准教授

研究者番号：60371738

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)：東南極域では、数十年に一度の降雪といわれる降雪が頻出するようになり、その原因解明が課題となっている。本研究では、砕氷船「しらせ」を使って豪州～南極昭和基地間の水蒸気同位体の連続観測を実施し、大雪を引き起こす水蒸気が南極大陸へ輸送されるメカニズムの解析を行った。大雪は、北風によって海洋域から湿った水蒸気が大陸内部に流れ込み発生する。本研究では、海洋性気団の流入を水蒸気同位体データから検出できることを指摘し、昭和基地周辺が海洋性気団に覆われる際には大規模循環場によって北風が強化されていることを明らかにした。近年観測される大雪は、南半球の大気循環場の変化を反映していると解釈できる。

研究成果の概要(英文)：Recently, unusually high snowfall events, unprecedented for the past 60 years, have been observed in East Antarctica. Here we use shipboard observations of water vapor isotopologues along a ship track between Australia and Syowa on the East Antarctic coast, along with reanalysis data (ERA-Interim) to elucidate the mechanism by which large-scale circulations influences the marine air intrusions.

Generally, marine air intrusions play an important role in delivering heavy snowfall in Antarctica. Isotopic variations while the ship was near Syowa reflect the contribution of marine moisture to the total moisture in the air. In the case when maritime air masses were dominant corresponded to a period when poleward moisture flow was enhanced by large-scale circulation. This result indicates that large-scale flows push marine air mass toward the inland across the Antarctic coast. Recent unusual snowfall events may therefore reflect the large-scale circulation changes over the Southern Hemisphere.

研究分野：環境学(環境動態解析)

キーワード：南極 水循環 水蒸気同位体

1. 研究開始当初の背景

東南極では地球温暖化による影響が顕在化していないが、「数十年に一度」というレベルの大雪が2009年および2011年に観測されている。そして、この地域における降雪量の増加は氷床融解に伴う海水面の上昇の緩和に寄与する。将来の海面水位の変化予測を高精度化するために、この地域において大雪が発生するメカニズムの解明が期待されている。

2. 研究の目的

大雪イベントは湿潤な海洋性気団が南極大陸に流入して発生する。そこで、東南極沿岸に海洋性気団が流入するメカニズムを解明する。具体的には以下の研究課題に取り組む。

- ① 昭和基地周辺に流入する海洋性気団の起源を推定する。
- ② 昭和期周辺に流入する海洋性気団の検出方法を確立する。
- ③ 海洋性気団流入に影響を及ぼす大気循環場の特徴を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、近年、極域での水循環解析に応用されはじめた水蒸気同位体トレーサー(HDO, $H_2^{18}O$)を用いて上記した2課題に取り組んだ。第55次～第57次南極地域観測(JARE55-JARE57)に参加し、砕氷艦「しらせ」に分光装置を設置して、豪州-昭和基地間の航路上(昭和基地沖に停泊中も継続)における地表付近の水蒸気、およびその同位体比の連続観測を行った。船上で取得したデータは「しらせ」が日本に到着後に回収し、申請者が開発したプロトコル(Kurita et al., 2012, Atm. Meas. Tech.)に従って校正作業を行った。

また、観測期間中の大気循環場の特徴を調べるために、客観解析データ(ERA-Interim)を用いて以下の解析を行った。

- ① Hodges氏によって開発されたTRACK-1.4.3アルゴリズムを利用したストームトラック解析
- ② NOAA-HYSPLITモデルを利用した後方流跡線解析

流跡線解析は、昭和基地周辺に流入する気団の分類に用いた。観測地点に到達するまでの過去4日間の軌跡が主に海洋上である場合は「海洋性気団」。逆に氷床上である場合は「氷床性気団」とみなした。

4. 研究成果

JARE57(2015年12月～2016年3月)は、データ校正が未完了なため、JARE55(2013年12月～2014年3月)およびJARE56(2014年12月～2015年3月)から取得されたデータの結果を報告する。

図1にJARE55およびJARE56の航路図に同期間中における擾乱発生密度(ストームトラック密度)を重ねて示す。南極周辺は、Antarctic Circumpolar Trough (ACT)と呼ば

れる擾乱が高頻度で通過する地域に囲まれている。それゆえ観測領域は、大気循環場の違いから、① Extra-polar ocean (ACTの外側)、② Ice-free ocean (ACT領域)、③ Ice-covered ocean (ACTの内側)という3地域に分類して解析を行った。

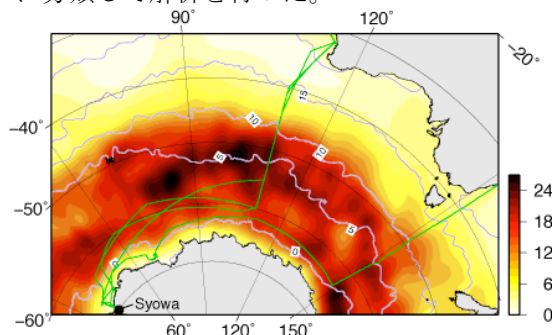


図1: JARE 観測航路図(緑線)、観測期間中の表層海水温度(コンター線)、および夏期(12月～2月)におけるストームトラック密度(赤色になるにつれてストームの通過頻度が高くなる)。

観測データを H_2O -HDO 分布図にプロットし、南極沿岸に流入する水蒸気起源および水蒸気輸送プロセスを明らかにした。図2には、観測データに加えて水蒸気同位体蒸発モデル(Merlivat and Jouzel, 1979, J. Geophys. Res)を使って推定した蒸発水曲線(実線)、および洋上から蒸発した水蒸気と氷床由来の水蒸気が混合した際の混合曲線(破線)が重ねて示してある。図を見ると、ACT領域の外側では観測データが蒸発曲線上に分布するのに対し、それ以外の領域ではACT域(海水温度 $0^{\circ}C \sim 10^{\circ}C$)から蒸発した水蒸気と氷床由来水蒸気の混合曲線内に分布している。この結果から極域では、ACT領域で蒸発した高い同位体比を含む海洋性気団が低気圧の前面における北風によって南極大陸に輸送されていることが明らかとなった。

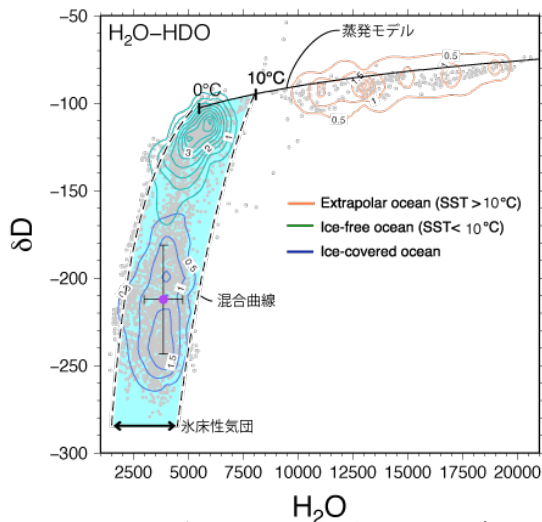


図2: JARE 観測によって得られたデータの H_2O -HDO 分布図。領域毎に同時確立分布(0.5%以上)を示す。

この結果は、流跡線を使った解析から裏づけることができた。昭和基地に海洋性気団が流入した事例では、同位体比が -250‰ ～ -120‰ まで大きくばらついていたが、平均値よりも有為な(1 σ 以上)高い同位体比データは、ほぼすべてが海洋性気団に分類された(図3の赤丸)。他方、氷床性気団に覆われた際には、平均値よりも有為な低い同位体比が数多く含まれていた(図3の青丸)。この結果から、昭和基地周辺における水蒸気同位体比の変動は、海洋性気団の流入量変化の指標となることを指摘した。

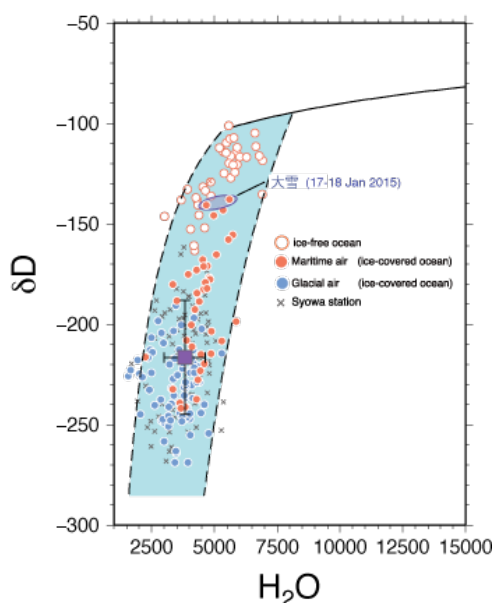


図 3: Ice-free ocean(ACT)領域および Ice-covered ocean 域における H₂O-HDO 分布図。流跡線解析が行われた(00 UTC および 12UTC)事例のみプロットしてある。昭和付近で観測されたデータの平均値は四角(紫)で示してある。

次に、大規模循環場と海洋性気団の流入量の関係を明らかにした。「しらせ」が昭和基地周辺の海水域に滞在した期間における同位体比と高度 500hPa のジオポテンシャル高度の同時相関を計算し、東西波数 3 の偏差パターンと高い同時相関があることを突き止めた。この大気構造は、低気圧の東隣にある高気圧リッジによって、低気圧の前面(東側)における北風を強化する。よって、この同時相関関係は、大気循環場による北風の強化が海洋性気団の流入量増加に寄与していることを示している。さらに、同位体比の最大値が観測された時期には記録的な積雪が昭和基地にて観測された。この結果から、東西波数 3 の構造をもつ大気循環パターンが東南極における大雪の鍵因子であると結論づけることができた。

本研究成果を踏まえ、「温暖化が進行し南半球において東西波数 3 の構造をもつ大気パターンが頻出するようになる場合、東南極において積雪量が増大する」という仮説を提

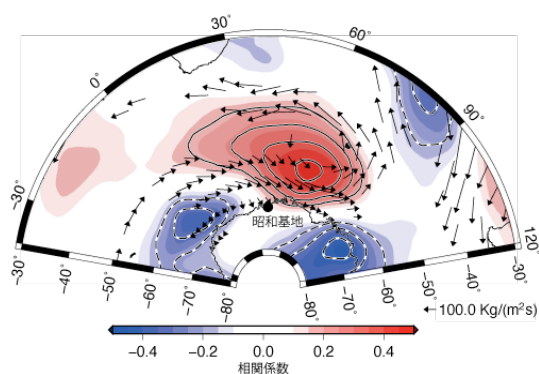


図 4: 昭和周辺で観測された HDO 時系列データと 500hPa ジオポテンシャル高度場および水蒸気フラックスとの同時相関。相関が有為($p<0.005$)な領域のみ記す。

唱することが出来る。今後、数値モデルを使ってこの仮説を定量的に検証することは、東南極における質量収支の正確な理解に繋がり、さらに将来起こりうる海面水位の上昇を見積もる上で非常に重要な知見となる。

また、本研究を通じて南極域における水循環解明に水蒸気同位体トレーサーが有用であることを明らかにしたことは、気象研究者から評価され、引き続き南極地域観測事業(一般研究観測)の一環として水蒸気同位体観測が実施されることに発展した。今後、長期の同位体時系列データを取得することにより、この地域の水循環をより詳細に理解できるようになると期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Good, S.P., D. Noone, N. Kurita, M. Benetti, and G. Bowen, D/H isotope ratios in the global hydrological cycle, *Geophysical Research Letters*, 査読有, 42, 2015, 5042-5050
- ② Munksgaard, N.C., C. Zwart, N. Kurita, A. Bass, J. Nott, and M.I. Bird, Stable isotope anatomy of tropical cyclone Ita, north-eastern Australia, April 2014, *Plos one*, 査読有, 10(3), 2015. doi:10.1371/journal.pone.0119728
- ③ Kurita, N., Y. Fujiyoshi, T. Nakayama, Y. Matsumi, and H. Kitagawa, East Asian monsoon controls on the inter-annual variability in precipitation isotope ratio in Japan, *Climate of the Past*, 査読有, 11, 2015, 339-353

- ④ Nakamura, K., S. Aoki, K. Yoshimura, and N. Kurita, Distribution of Oxygen isotope ratio of precipitation in the Atlantic-Indian sectors of the Southern Ocean, *Sola*, 査読有, 10, 2014, 154-157

[学会発表] (計 1 件)

栗田 直幸 (他 4 名), 昭和基地に高温をもたらす気団の特徴、極域科学シンポジウム、2015. 11. 15、国立極地研究所(東京都)

[図書] (計 3 件)

- ① 平沢 尚彦、朝倉書店、気候変動と影響・利用に関する辞典(担当:分担執筆、南極大陸の温暖化の特徴と氷床変動)、(印刷中)
- ② 平沢 尚彦、朝倉書店、低温と環境の科学辞典(担当:分担執筆、ブリザード、ダイヤモンドダスト)、(印刷中)
- ③ 平沢 尚彦、丸善出版、南極と北極のふしぎ Q&A、南極から地球環境を考える 2、2014、47(18-27)

[その他]

ホームページ等

<http://scidbase.nipr.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗田 直幸 (KURITA, Naoyuki)

名古屋大学・大学院環境学研究科・特任准教授

研究者番号：60371738

(2) 研究分担者

藤吉 康志 (FUJIYOSHI, Yasushi)

北海道大学・低温科学研究所・特任教授
研究者番号：40142749

(3) 研究分担者

平沢 尚彦 (HIRASAWA, Naohiko)

情報・システム研究機構・国立極地研究所・研究教育系・助教
研究者番号：10270422