南極圏における各季節の水蒸気量の長期変動とその影響

Long-term variation of water vapor content in each season in the Antarctic Circle and its effects

吉田 悠嗣[1]，佐藤 和敏[1]，舘山 一孝[1,]
Yuji Yoshida[1], Kazutoshi Sato[1], Kazutaka Tateyama[1,]
Corresponding author. m3225200362@std.kitami-it.ac.jp (Y. Yoshida)

南極大陸で大雪を引き起こす極端気象現象である Atmospheric River（AR）の各季節の長期変動やその原因と影響を調べるため，ヨーロッパ中期予報センターの再解析データ ERA5 を使用して解析を実施した．AR の指標となる鉛直積算水蒸気量の長期変動は，南極半島や東南極沿岸域で増加傾向にあり，AR の頻度の増加や強化を示唆している．鉛直積算水蒸気量の増加域では，降雪量が増加しており，AR の増加や強化で表面水収支にも影響を及ぼすことがわかった．さらに，鉛直積算水雲量と短波放射収支の長期変動の関係から，AR の変動が表面熱収支にも影響することが示された．

１．研究背景と目的

近年，世界的に地球温暖化の進行が問題視されている．地球温暖化は，南極氷床を融解することで海面上昇を引き起こすといわれていることから，南極氷床に与える影響についても関心が高まってきている．しかし，実際の南極大陸の気候は，領域や期間で異なる傾向であることが多くの研究で指摘されている．西南極は，どの期間の気温傾向も非常に強い温暖化の傾向がみえており，急速に温暖化が進行して表面質量収支が減少している領域である．一方，東南極は 1957-2006 年の 50 年間にはわずかな温暖化の傾向がみられるが，1969-2000 年の 32 年間では寒冷化の傾向がみられる．そのため，東南極はあまり温暖化が進行しておらず，質量収支が増加している．

南極大陸を東西でわけてみると，異なる気温変動の傾向が見られており，南極は温暖化と寒冷化が同時に起こっている地域である [1)]．

南極大陸の氷は，温暖化で減少傾向にあると言われているが，その一方で氷床増加を引き起こすイベントも発生している．これまでの研究では，ダイヤモンドダストのような局所的な現象が南極の氷床増加に寄与しているといわれてきた [2)]．

しかし，近年の研究では，中緯度から高緯度に大量の水蒸気を流入させる Atmospheric River（以下 AR）のような遠隔的な現象が，南極大陸に大雪をもたらすと報告されている [3)]．中緯度から極へ大量に輸送された水蒸気は，局地的大雪を降らせる原因となる [3,4)]．

南極の AR について，これまでの多く研究が実施されているが，そのほとんどが事例解析であり [3)]，長期傾向についてはほとんど議論されていない．また，特定の季節についてはほとんど議論されておらず，AR の長期変動が与える影響も明らかになっていない．そこで本研究では，南極圏での季節毎の水蒸気量の長期変動とその影響を明らかにする．

２．使用データ

南極圏における大気変数の長期変動を調べるため，ヨーロッパ中期予報センターの再解析データ ERA5 [5)]を使用した．本研究では，鉛直積算水蒸気量 (Total Water Vapor in the atmosphere: TWV)，降雪量 (Snow Fall: SF)，降水量（Total Precipitation: TP），海面気圧 (Surface Level Pressure: SLP) の変数を使用した．この研究では，４季節を定義（春：9-11 月，夏：12-2 月，秋：3-5 月，冬：6-8 月）し，各季節の長期変動（1950 年から 2019 年の 70 年間）に着目した．また，南極大陸における各地域を図 1 で示すように定義した．

３．結果

３．１　鉛直積算水蒸気量の長期変動

南極圏における各季節の AR の長期変動傾向を調査するため，AR の指標となる TWV の長期

[1] 北見工業大学　Kitami Institute of Technology

Copyright©2022 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice

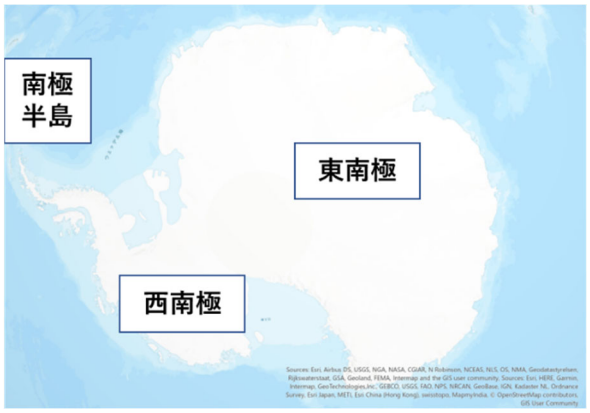

図１　南極大陸における地域分類

変動を示した．南極半島付近では，どの季節も TWV は増加傾向が見られる．また，東南極の東部と西部では，増加傾向が見られている領域があり，特に夏に増加傾向が比較的強いことがわかった．この地点では，中緯度から南極大陸に向けて水蒸気が流入する傾向が見られていることから，AR の頻度の増加や強化が示唆された．どの季節も増加傾向にあるが，特に夏と冬の長期変動に顕著な傾向の違いが見られる（図２b,d）．夏の TWV は，他の季節より絶対量が多くなることから南極大陸周辺で比較的大きな増加傾向にあり，西風とともに強まる傾向にあることがわかった．さらに，南極半島や東南極西・東部の一部で中緯度から南極大陸へ流入が増加傾向にあり，これらの領域で水蒸気量が多くなっていることがわかる（図２b）．一方，冬の TWV は，東南極沿岸域で中緯度から南極大陸への流入が増加傾向にあるが，夏と異なり東風とともに増傾向であった（図２d）．また，東南極西部では，中緯度からの流入が弱い傾向にあり，この領域における水蒸気量の長期変動も弱い増加傾向にある（図２d）．そのため，これらの領域では，AR の変動やその影響は小さいことが示唆される．

３．２　水蒸気流入量増加の影響

南極大陸への水蒸気流入量の増加による影響を調べるため，SF と TP の長期変動を示した（図２i-p）．夏の SF と TP は，水蒸気の流入が増加傾向にある領域で増加傾向にあった（図２j）．そのため，AR に伴う水蒸気流入増加により，降水・降雪量の増加が生じていると考えられる．冬の SF と TP は，夏と増加領域が異なるが，水蒸気流入量増加領域（南極半島，東南極沿岸域）で増加傾向にあることがわかった（図２l）．春や秋の SF や TP についても同じような傾向が見られた（図２i,k）．以上のことから，全季節で AR が強化または頻度が増加することで，中緯度からの水蒸気輸送量が増加し，降雪量の増加に影響していることがわかった．

３．３　ＡＲの増加原因の推定

AR の増加原因を調べるため，南極圏における SLP の長期変動を示した（図２e-h）．夏の SLP の長期変動は，中緯度で高圧傾向，高緯度で低圧傾向となる Southern Annular Mode（以下 SAM）の正偏差のようなダイポールパターンが見られた．インド洋で気圧の上昇傾向が特に大きく，東南極西部で気圧の下降傾向が特に大きくなっている（図２f）．南極大陸周辺では，低圧傾向の極大域があり，南極大陸周辺で低気圧活動が活発になっていることを示唆している．この海面気圧の長期変動は，東南極の西側と東側で中緯度から極向きの輸送を増加させる気圧配置であり，水蒸気輸送の多い地点と一致していることから，TWV 増加傾向に寄与していることを示唆している．

一方，冬の SLP の長期変動は，中緯度付近でも気圧の低下傾向が見られ，正の SAM のようなダイポールパターンが崩れる傾向にある（図２h）．この SLP の長期変動は，南極を中心とした極渦が崩れる傾向にあることを示しており，周辺を吹くジェット気流も弱まる傾向にあることを示している（図２h）．南極大陸周辺のジェット気流が弱まることで，南極大陸へ侵入する低気圧が増加することを示唆しており，中緯度からの水蒸気流入量が容易になるため，水蒸気の流入する地点が沿岸域に広範囲に広がっている（図２d）．

４．まとめと考察

本研究では，南極圏の鉛直積算水蒸気量の長期変動，その原因や影響についての解析を行った．夏の南極半島や東南極沿岸の一部では，中緯度から高緯度への水蒸気流入量が増加傾向にあり，TWV の増加が見られた．流入する水蒸気が増加することで，降雪量や降水量の増加傾向にあり，表面質量収支にも影響していることが示唆された．夏の大気循環場は，正の SAM のようなダイポールパターンが強化される傾向があり，中緯度から極域への水蒸気量を増加させる傾向にあった．一方，冬の大気循環場は，極渦が崩れる傾向

Copyright©2022 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice

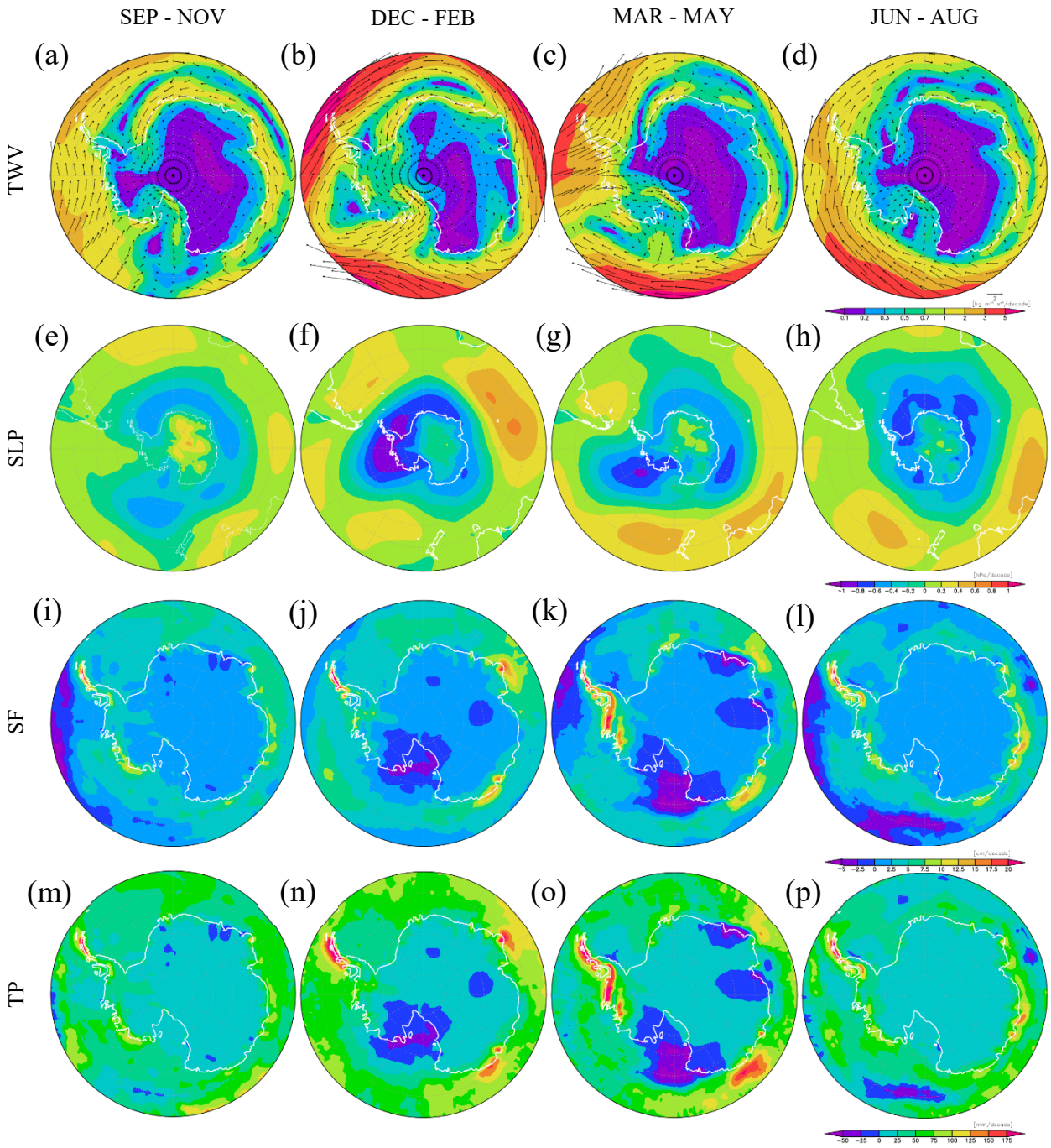

図２　各季節（春：９ - 11 月，夏：12 - ２月，秋：３ - ５月，冬：６ - ８月）の鉛直積算水蒸気量（TWV）(a-d)，降雪量（SF）(e-h)，降水量(TP)（i-l)，海面気圧（SLP）(m-p)．

にあり，極域へ侵入する低気圧が増加することで中緯度から極域への水蒸気流入量を増加させていることを示唆していた．そのため，東南極沿岸の広範囲で TWV が増加傾向にある，降雪量の増加に影響していることがわかった．本研究では，再解析データ ERA5 を使用したが，今後は他のデータセットや観測データを使用して同様な傾向があるのか検証を行う必要がある．

【参考文献】

1) Steig et al., (2009) :Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year, *Nature*, **457**, 459-462.
2) Kuhn et al., (1975) :The climate of Plateau Station. *Climate of the Antarctic.*

Copyright©2022 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice

3) Gorodeskaya et al., (2014) :The role of atmospheric rivers in anomalous snow accumulation in East Antarctica, *Geophys,Ras.Lett.*,**41**,6199-6206.
4) 平沢尚彦・山内恭，2017 : 南極氷床と大気物質循環・気候，研究気象ノート，**233**，1-14.
5) Hersbach et al., (2020): The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc*. **146**, 1999–2049.

Copyright©2022 公益社団法人日本雪氷学会
The Japanese Society of Snow and Ice