

平成 30 年 12 月 6 日

北海道大学 北極域研究センター長 殿

氏 名 石田 悠貴

終了報告書

- ・派遣支援先 機関名： Max-Planck Institute for Meteorology (国名：ドイツ)
- ・受入研究者 Elisa Manzini 博士

- ・研究課題名 (和文・英文)
 - (和文) 冬季北半球における対流圏界面高度の経年変動及びトレンドの解釈

 - (英文) Towards better understanding of international variability and trends in the NH wintertime tropopause height

- ・派遣支援期間：平成 30 年 10 月 15 日 ~ 平成 30 年 11 月 30 日

1. 派遣支援期間中の研究実施状況及びその成果

・実施状況概要

本研究では冬季北半球における対流圏界面高度の経年変動と長期トレンドについて、その要因を明らかにすることを目的とした。本派遣期間中には特に北極域における対流圏界面高度について調べ、その実態と変動メカニズムを明らかにすることを計画した。具体的には [i] Highwood et al. (2000); Zängl and Hoinka (2001) 以降、近年の状況が調べられていない北極域の対流圏界面の変動・変化傾向を評価する [ii] 変動・長期変化に関して、成層圏の極渦、海面水温変動、海氷変動、熱帯の海面水温変動 (El Niño・Southern Oscillation; ENSO) などとの関係を調べ、そのメカニズムを明らかにする [iii] 子午面循環の変調を介した熱帯域対流圏界面と北極域対流圏界面の結合の可能性について議論する計画を立てた。また対流圏界面高度と関係する力学的・熱力学的な変化の構造の理解のために渦度・安定度についても解析することを考えた。

派遣先である Max-Planck Institute for Meteorology (以下 MPI-M) に到着後すぐ、受入研究者である Elisa Manzini 博士、及び Daniela Matei 博士に対して研究動機と初期解析の結果を紹介し、滞在期間も考慮したうえで上記研究計画のうち特に i, ii について重点的に取り組むこととなった。

・背景

対流圏と成層圏の境界である対流圏界面は、両層間の物質混合や力学的結合を考えるうえでその動態が重要であることが示されてきた [Holton et al., 1995 など]。また対流圏界面には気候変動の指標となるという側面があり、全球平均した対流圏界面高度（以下、 Z_{trop} ）の近年における上昇傾向は温暖化の傾向と一致することが報告されている [Santer et al., 2003]。一方で北極域は他の領域に比べて温暖化が速く進行していることが良く知られており、大きな関心が寄せられている。Highwood et al. (2000) は北極域に着目し、1965年～1990年の期間では冬季において対流圏界面気圧の有意な減少トレンドがみられること（ Z_{trop} の上昇トレンドを意味する）を示した。しかしながらより直近のデータを含む長期間の変化傾向や経年変動の特徴とそのメカニズム、そして急速に進む温暖化との関係についてはこれまで明らかにされていない。本研究では近年の北極域における Z_{trop} の変動および長期変化を把握すること、またそのメカニズムと温暖化による影響を明らかにすることを目的とした。

・使用データ

大気データとして the Japanese 55-year Reanalysis (JRA-55) [Kobayashi et al., 2015] を、海面水温データとして Centennial in-situ Observation-Based Estimates of the variability of sea surface temperatures (COBE-SST) [Ishii et al., 2005] を用いた。解析期間は1979年から2017年とし、月平均データを用いた。

・結果

i 近年の変動、変化傾向の特徴

先行研究 [Highwood et al., 2000] で顕著なトレンドがみられた冬季（12～2月）について着目した。図1には60N以北で領域平均した冬季平均 Z_{trop} と850hPaにおける気温の時系列を示す。Santer et al. (2003) では全球平均した Z_{trop} の上昇トレンドに関して、対流圏の温暖化との関係が述べられたが、本研究の北極域に関しては、1990年代以降、気温に顕著な温暖化トレンドがみられるのに対し、 Z_{trop} には有意なトレンドがみられない。さらにトレンドの空間分布（図2）について着目すると、Chukchi海においては逆に下降トレンドが存在していることがわかった。このことから (1) 北極域の中でも Chukchi海において局所的な変動メカニズムが存在する、(2) 北極域の Z_{trop} には温暖化の影響を上回る内部変動、あるいは温暖化による局所的・力学的な変化 (Dynamical Change) が存在しているという仮説を立てた。

これらの事を確認するために、まず温暖化による熱的な変化

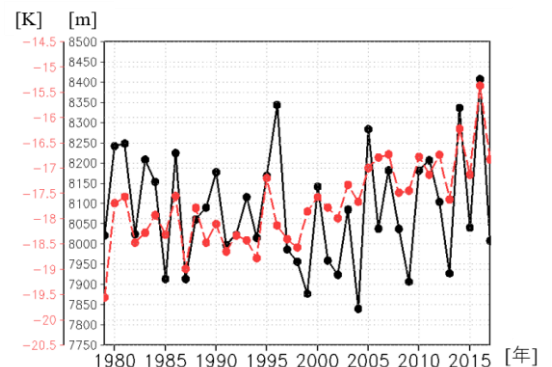


図1 北極域平均した冬季平均 Z_{trop} (黒)
850hPa 気温 (赤)

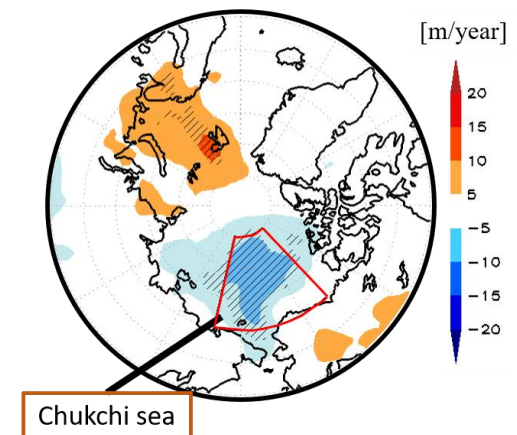


図2 冬季平均 Z_{trop} の線形トレンド
(斜線は95%有意な領域を示す)

(Thermal Change) の影響の除去 [Trenberth and Shea, 2006] を試みた。まず各年に対して全球平均 Z_{trop} (GMZ_{trop}) を計算する。これはグローバルな変化傾向を意味し、温暖化による上昇の傾向を示す。次に各地点の各年における Z_{trop} から対応する年の GMZ_{trop} を引き、これを期間内で繰り返すことで温暖化による Thermal Change の影響を取り除いた Z_{trop} の変動を計算した。その後改めて (A) 北極域 (60N-90N)、(B) Chukchi 海 (図 2 の扇形で示す領域) で領域平均を計算し、標準化した時系列をそれぞれ (a) Arctic index (b) Chukchi index とした (図 3)。

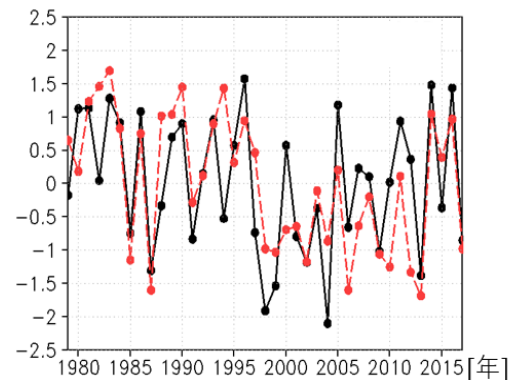


図 3 Arctic index (黒), Chukchi index (赤)

ii 変動・長期変化のメカニズム

(1) Chukchi 海における変動メカニズム

[1-1] 極渦との関係

まずは Highwood et al. (2000) でも言及のあった成層圏の極渦との関係を調べた。50hPa 高度と Arctic index, Chukchi index の関係をみると、両領域ともに Z_{trop} 上昇には極渦の強化が関係している。しかしながら Chukchi index に対しての回帰図は Arctic index のものに比べ東西に非対称な構造を持っており、また Chukchi 海上空における負偏差は弱くなっている。このことから Chukchi 海上の Z_{trop} は極渦のより局地的な変化と関連して変動していることが示唆される。

[1-2] 大西洋数十年規模振動との関係

Chukchi index は Thermal Change の影響を取り除いても下降傾向を示し、1997-1998 年における正から負への変化、2013-2014 年における負から正への変化が Arctic index に比べより明確に表れているという特徴を持つ。また Arctic index と Chukchi index それぞれに対して年平均海面水温 (Sea Surface Temperature; SST) との関係を見ると Chukchi index に対して北大西洋域に有意な関係性がみられた。これらの特徴から大西洋数十年規模振動 (Atlantic Multidecadal Oscillation; AMO) との関係に着目した。

AMO は大西洋における SST が 10~20 年周期で変動する現象であり、米国や欧州を中心に広範囲の気象・気候に関係することから多くの研究がなされている [Knight et al., 2006 等]。本研究では COBE-SST の月平均 SST データを年平均し、温暖化の影響を除去するため全球平均 SST からの偏差を計算したのち、大西洋域 (0-60N, 80W-0E) で領域平均したものを AMO index とした。AMO index に冬季平均 Z_{trop} (Thermal Change は除去) を線形回帰 (図 4) すると、Chukchi 海においてのみ有意な関係がみられ、また Chukchi index と AMO index には -0.51 の有意な相関があった。一方で Arctic index と AMO index の間に有意な相関はみられなかった。このことから Chukchi 海における Z_{trop} は他の領域に比べ AMO の影響をより強く受けていること、あるいは限定的に影響を受けていることが考えられる。 また解析期間中に AMO は負位相から正位相へと変化しており、Chukchi 海の Z_{trop} の下降トレンドと対応すると考えられる。

(2) 北極域 Z_{trop} の経年変動と温暖化による変化

前述のように北極域では近年急速な対流圏の温暖化がみられるにも関わらず、 Z_{trop} の上昇傾向はみられない (図 1,2)。温暖化による Thermal Change, Dynamical Change 及び内部変動の影響をそれぞれ切り分けるために、MPI-M Grand Ensemble (MPI-GE) [Stevens, 2015; Bittner et al., 2016] のデータを使用した。本研究では温室効果気体などに観測された年々変動を与え、1850 年から 2005 年まで積分が行われた historical run の 100 のアンサンブルシミュレーションの結果を用いた。各シミュレーションには異なる初期値が与えられており異なる年々変動を示すが、それぞれ温暖化による長期的な傾向を示すことが考えられる。アンサンブル平均 (100 のシミュレーション間の平均) をとることで内部変動を除去し、温暖化による変化のみを抽出した。さらに上述の様に全球平均からの残差を各グリッドで計算することで 温暖化による Thermal Change の影響を除去し、Dynamical Change による変化を抽出した。

アンサンブル平均した北極域 Z_{trop} は 1900 年代後半からの上昇傾向を示し、温暖化の影響によって Z_{trop} が上昇している様子がみられた。一方で Thermal Change を除去した場合には若干の下降傾向がみられ、Dynamical Change によるより局地的な変化は北極域 Z_{trop} の下降と関係すると考えられる。以上の点と、再解析データによる近年の北極域 Z_{trop} には有意なトレンドがみられないという結果から、内部変動は北極域 Z_{trop} の下降と関係していると考えられるが詳細についてはさらなる解析が必要である。

・今後の方針

本派遣において i 近年の北極域における Z_{trop} の変動・変化傾向の特徴を把握し、ii Chukchi 海 Z_{trop} が局地的な変動メカニズムを持っている可能性、またその要因の解釈に向け、極渦、AMV との関係を見出すことができた。しかしながらそれらが関係する過程・メカニズムを解明するには至らず、今後さらなる調査が必要であると感じている。当初計画していたものの実施できなかった渦度・安定度に別けた解析を通じて、力学的・熱力学的な構造の変化についてさらに整理すること、海氷変動など他の現象との関係を調査することを考えている。加えて MPI-GE の計算結果も積極的に利用し、再解析・モデル両方の面から着手していくことを考えている。

iii 熱帯域と北極域における Z_{trop} の遠隔応答に関しては今回積極的に議論することができなかったが、Thermal Change を除いた後の熱帯域 Z_{trop} と北極域 Z_{trop} には有意な負相関が存在しており、今後より発展的な課題として議論していく予定である。これらの課題に対しては来年度博士後期課程に進学後、博士論文として取り組んでいく。本派遣の受入研究者であった Manzini 博士とは今後も連絡をとりあい、共同研究として進めていく計画である。

・本派遣を通じて

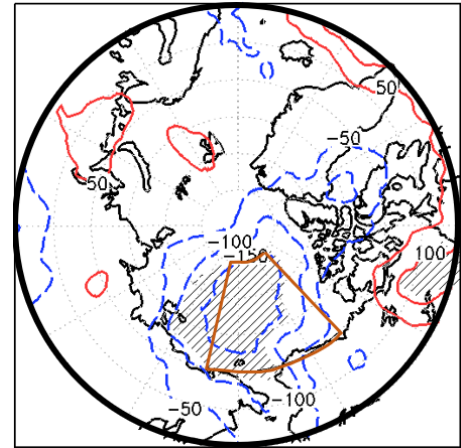


図 4 AMV index に Z_{trop} を線形回帰 (線は回帰係数 [m]、斜線は 95% 有意な領域を示す)

本派遣では来年度進学する博士後期課程での研究課題に関して、具体的なアプローチを数多く議論できたと感じている。派遣期間中には受入研究者である Elisa Manzini 博士だけでなく、海洋パートの Daniela Matei 博士をはじめとし、多くの大気・海洋の研究者と議論することができた。これらの交流と経験は、将来の意見交換や共同研究などを含め、今後の申請者の研究生活において非常に有益なものになると感じている。

・謝辞

本派遣を通じて数多くの貴重な経験をすることができました。Manzini 博士をはじめお世話になりました MPI-M の皆様、そして ArCS 若手研究者海外派遣事業の多大なるご支援に深く感謝申し上げます。

2. 派遣支援期間中の研究発表概要

特になし

3. 派遣支援期間中の受賞歴

特になし

4. 派遣支援期間中のアウトリーチ活動

特になし