

特定共同研究課題： 全球雲解像モデルの開発及びデータ解析
分担課題： 全球雲解像モデルを用いた北極圏のプロセス研究
研究課題名：北極低気圧の3次元構造とラグランジュ運動の解析

共同研究者

田中博	筑波大学計算科学研究センター教授
松枝未遠	筑波大学計算科学研究センター助教
小柴厚	筑波大学生命環境科学研究科 D3
佐々木剛史	筑波大学生命環境科学研究科 M2
栗花卓弥	筑波大学生命環境科学研究科 M1

1. 研究目的

東京大学大気海洋研究センター (AORI) と理化学研究所複合系気候科学研究チームでは、次世代大気大循環モデルと期待されている非静力正 20 面体大気モデル NICAM (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model) を開発してきた。NICAM は超並列計算機対応で開発されており、筑波大学の超並列計算機 COMA (PACS-IX 1PF) の CPU を用いて Glevel-10 までの解像度で実行可能である。既存の大気大循環モデルでは、静力学を前提とした積雲パラメタリゼーションを用いており、雲の不確実性が問題となっていた。NICAM では高解像度を目標とするために非静力学格子系を採用し、雲微物理過程を実装しているため、全球雲解像モデルとして、温暖化に対する雲応答について、より信頼に足る結果が得られると期待されている。特に北極圏の海氷上の雲形成過程には多くの問題があり、先端研究として NICAM の応用が望まれている。

しかし、NICAM の物理過程は開発途上のため、モデルの欠点を把握し改善するための基礎的なデータ解析が必要である。本研究では NICAM の出力を解析し、観測や他の全球予報モデルと比較することで、現時点でのモデルの精度を評価することが目的である。

2017 年度は松枝と栗花の参加により、NICAM を用いた 4 次元同化の研究にテーマを変更する予定であったが、諸事情により昨年と同じ全球雲解像モデルを用いた北極圏のプロセス研究のテーマに沿った報告とする。

2. 研究方法

<使用モデル>

佐藤 (AORI) が開発したリアルタイム予報バージョンの NICAM Glevel=5 (224km) から Glevel=10 (7km) までの解像度モデル

<使用データ>

気象庁JRA-55（等圧面再解析値）

3. 結果

3.1 北極低気圧の平均構造

北極低気圧（Arctic cyclone）とは、北極海上を長期にわたり迷走する地上の低気圧のことである。一様な北極気団の中で低気圧性循環の渦を巻く北極低気圧は、温帯低気圧のような明瞭な前線を伴わず、むしろ熱帯低気圧の渦に近いスパイラル形状を持つことが多い。ただし、台風のような暖気核はなく、中心付近は対流圏で寒気核になっている。一方で、250 hPa 付近を中心とした圏界面の上部に一貫した暖気核が見られる。相対渦度に注目すると、地上の正の渦度が鉛直方向に延びて 250 hPa まで一様に存在することが確かめられる。低気圧中心から半径 300 km の範囲で平均した相対渦度を、低気圧の移動に沿って追跡すると、低気圧性渦度が対流圏内で盛衰を繰り返しながらも約ひと月間持続するケースが見られた。湿度場には雲のスパイラル構造で湿った領域もあるが、低気圧中心は乾燥している。また、鉛直流を見ると対流圏内は上昇流であり、下部成層圏には一貫した下降流がある。以上のような事例と同様の特徴が、北極低気圧には共通してみられ、温帯低気圧とは異なる低気圧であることが分かる (Tanaka et al. 2012; Aizawa and Tanaka 2016)。

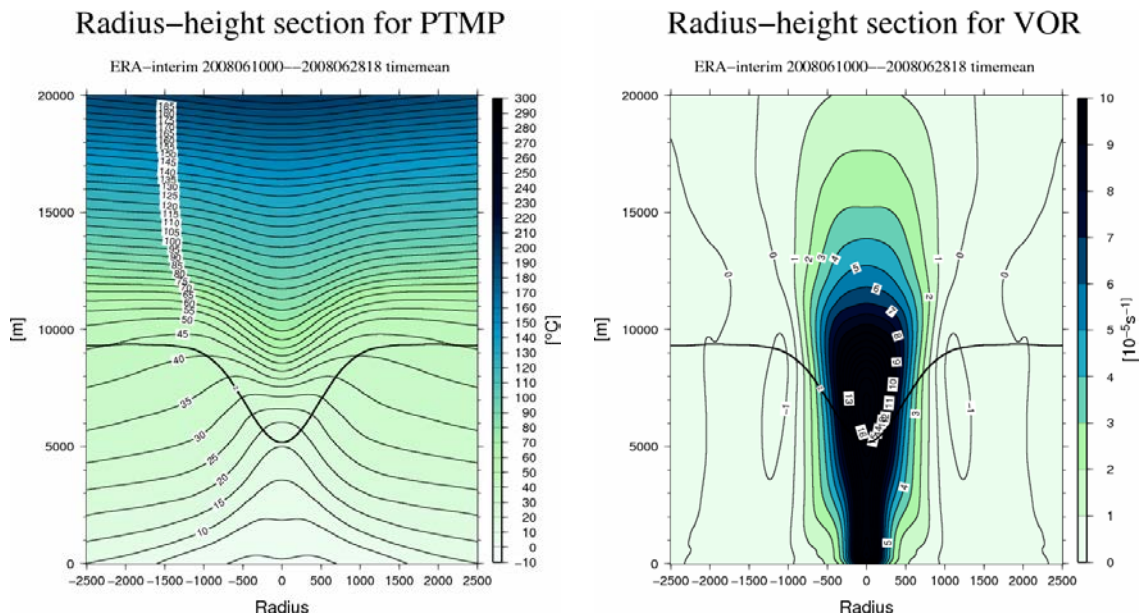


図1 北極低気圧の鉛直構造。左は温位差、右は相対渦度、太実線は対流圏界面を示す。

図1は、2008年6月10日から26日の期間でSLPから判別した低気圧中心を追跡し、その原点の周りで軸対称平均をしたデータから作図した温位差(左)と相対渦度(右)の構造である。図中の太線はPVから推定した対流圏界面で、中心付近での垂れ下がりが明瞭である。温位の分布から低気圧中心の対流圏には寒気核があり、成層圏では暖気核になっている。相対渦度は地表から下部成層圏まで一貫して低気圧性の渦になっていて、圏界面付近で最も渦が強い。相対渦度が対流圏と成層圏とで結合し、順圧的構造を持つ事が北極低気圧の特徴である(佐々木 2017)。

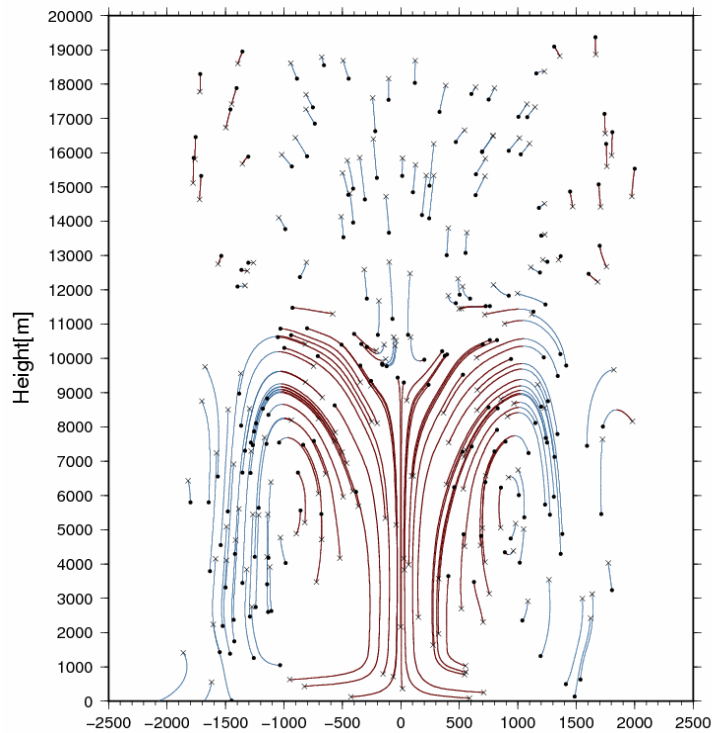


図2 北極低気圧の鉛直循環をラグランジュ的に追跡した流跡線図。赤は上昇流域、青は下降流域を示す。

3.2 北極低気圧の鉛直循環

図2は軸対称平均した北極低気圧に伴う鉛直運動をラグランジュ的に追跡した流跡線の分布である。赤線は上昇流、青線は下降流を示し、流跡線の始点にクロス、終点にドットが打ってある。平均流に対する流跡線なので、同一の質量の空気塊の流跡線とは異なる量である。期間平均した循環は、大気下層に収束があり、低気圧中心に上昇流が存在し、高度10000mで上空からの下降流と合流して発散場となり、上昇流は頭打ちとなって下降流に転じている。鉛直循環の水平半径は1000km以内で上昇流、その外側で下降流となっている。成層圏の暖気核の領域で下降流があり、断熱圧縮が生じている一方で、対流圏の寒気核の領域で上昇気流があり、断熱膨張が生じている。強い安定成層に打ち勝って鉛直循環を維持する力学的な駆動力の説明が必要である。

3.3 北極低気圧の形成過程

図3は鉛直循環の発達初期に見られる構造の急変を示す2016年8月の事例である。左図の発達初期では鉛直循環の上昇流が下部成層圏にまで侵入しているが、この時点では温帯低気圧の構造に似て中心に暖気核があり、下部成層圏の暖気核の領域で上昇気流が発生している。この温帯低気圧的な構造が北極低気圧の構造に急変する際に、右図のように下部成層圏で下降流となり、その下降流が北極低気圧の半径1500 km付近での下降流域に繋がっている。下部成層圏での上昇流が一気に下降流となり、断熱圧縮により下部成層圏の暖気核が形成される。この急変は、南から北上してきた温帯低気圧が北極低気圧化する際に発生している。

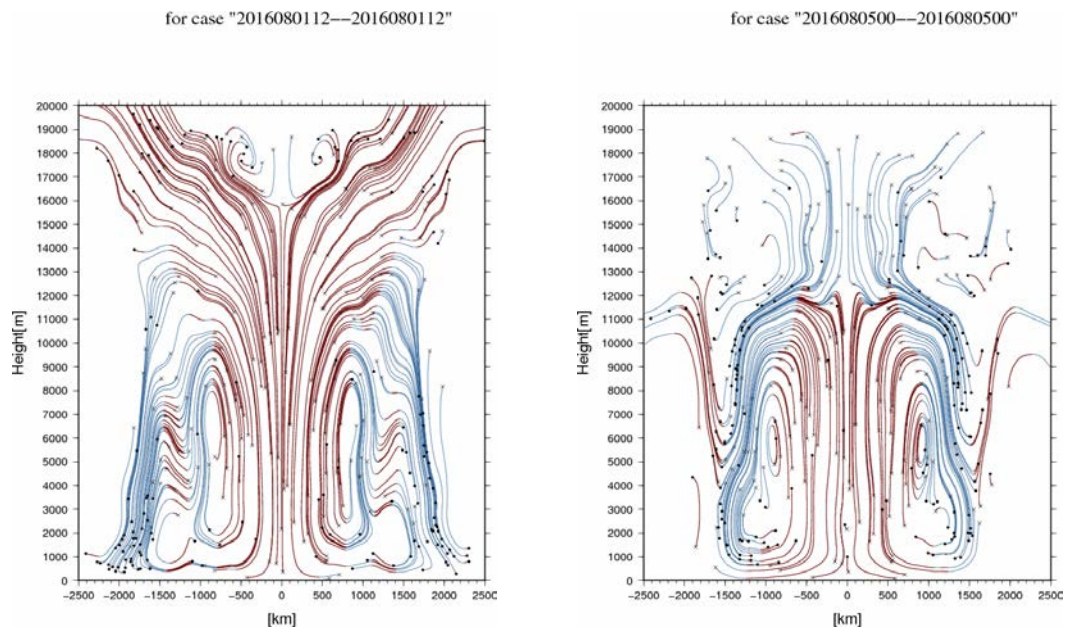


図3 北極低気圧の鉛直循環の変化。左は2016年8月1日、右は8月5日の循環で、温帯低気圧が北極低気圧化する際の変化を示す。

4. まとめと今後の課題

Yamagami et al (2017)では、北極低気圧に温帯低気圧が次々と合体することで、北極低気圧の渦が長期間維持されることが示された。ふたつの渦の合体により順圧構造の渦が強化され、下層でのエクマン収束が低気圧中心の上昇気流をもたらして、それが対流圏の寒気核を形成している。したがって、渦の合体による順圧渦度の供給が、北極低気圧の形成と維持の重要なプロセスになっている。今後はこの渦の合体に注目して、事例解析をさらに行うことが研究課題である。