

東シナ海 SST 解像度が寒気吹き出し構造に及ぼす影響

山本勝（九大応力研） 栗山佳恵（九大総理工）

はじめに

東シナ海黒潮域は、寒気吹き出しによる気団変質が非常に大きい場所で知られている。AMTEX74-75 (Air Mass Transformation Experiment 1974 and 1975)では、逆転層下端高度の空間的不均質構造が観測されており (Ninomiya and Akiyama 1976), 寒気吹き出し時における大気循環や境界層のメソスケール構造の存在が示唆される。しかし、これらのメソスケール構造が、大気内部の力学によるものなのか、海洋の微細構造によるものなのか、未解明である。

Ninomiya (1977)によると、東シナ海黒潮域の寒気吹き出しは、「吹き出し開始時から下層から上層まで北風が卓越し、その後も厚い北風層が維持されるもの（本研究では N 型）」と「吹き出し開始時では、下層で北風、上層で南風となり、その後下層の北風層が徐々に発達するもの（S 型）」に分類される。この 2 種の異なる吹き出し構造では、熱・水蒸気収支も異なるので、東シナ海の気団変質を議論する上で重要であるが、その経年変化や典型的な気圧配置はわかっていない。栗山(2008)は、N 型と S 型の頻度の経年変化が NINO 3 と関係していることを明らかにし、N 型と S 型の典型的な気圧配置を調べた。この総観スケール解析によると吹き出し開始時に 500 hPa 面における日本の南の太平洋高気圧が張り出すか（S 型）否か（N 型）で、N 型と S 型の構造が決まる。この高気圧の張り出しに伴い、寒気の吹き出しと関連した地上低気圧の位置は S 型の方が北よりになることが多いようである。これらの寒気吹き出しのメソスケール構造に関する研究は少なく、N 型と S 型に着目した寒気吹き出しメソ気象シミュレーションは未だない。

東アジア縁辺海域 SST の微細構造が大気に与えるインパクトは、日本周辺域の気象にとって重要であることが明らかになりつつある。Chen et al. (2001)は、高解像度 SST を用いた日本海の気象シミュレーションを行ったが、赤外観測のデータ欠損やそれに伴う内挿などが無視できず、海洋中規模渦が気象に与える影響については未解明であった。最近、OGCM による衛星データ (SSH と SST) 同化プロダクト(Hirose et al. 2007)を用いた大気シミュレーション (Yamamoto and Hirose 2007, 2008)で、SST フロントや沿岸域の海洋中規模擾乱が、日本海およびその沿岸の気象に大きな影響を与えることが明らかになった。他方、東シナ海・黄海に関する研究では、黒潮 SST フロントが台湾低気圧の発達に与える影響が調べられているが(Xie et al. 2002), SST 微細構造が寒気吹き出しのメソスケール構造に与える影響は調べられていない。

本研究では、SST 微細構造が寒気吹き出し構造に及ぼす影響を、N 型と S 型の事例について調べた。

モデル

PSU/NCAR MM5V3 (Grell et al. 1995)を用いて、数値実験をおこなった。日本周辺域 mother domain（解像度 36 km）の東シナ海域に、12 km 解像度の 2-way nested domain を設定した。本研究では、mother domain だけに、水平風、温度、水蒸気混合比に対して 3D grid nudging をかけた。初期値と境界条件は JMA RANAL data を用いた。mother domain の SST は NOAA OISST(1×1°, Reynolds and Smith, 1994)を用いた。東シナ

海域 domain に関しては、低解像度実験(Exp. L)では NOAA OISST を用い、高解像度実験(Exp. H)では NGSST($0.05 \times 0.05^\circ$, Guan and Kawamura 2004)を用いた。N 型事例は 2005 年 1 月 28 日から 2 月 5 日、S 型事例は 2005 年 2 月 16 日から 2 月 23 日について数値実験をおこなった。

結果

那覇における N 型と S 型の気象要素の時間－高度断面について見てみると、N 型では、寒気吹き出し開始時から厚い北風層が形成維持される。S 型では、南風の中を北風層が徐々に発達していく。こうした特徴は実際的那覇の高層観測でも見られ、Ninomiya (1977)の事例(Period I が S 型, Period II, III が N 型に対応)で見られる特徴とも似ている。温位と水蒸気混合比を見ると、N 型の混合層は寒気吹き出し初期から 900hPa を超える高さをもち、寒気吹き出しの最盛期には混合層上端は水蒸気混合比 0.002 以下の乾燥域となる。S 型では徐々に北風層が発達するにつれて、混合層もそれに合わせて徐々に発達する。N 型と比較して、混合層の上の水蒸気混合比は高い。N 型の雲水混合比は、おおむね 900hPa より上の高度で高い値を示し、寒気吹き出し最盛期には、混合層のすぐ上で層雲を形成する。それに対して、S 型では、寒気吹き出し初期は、雲底が低く背の高い雲が見られるが、最盛期には N 型同様に混合層のすぐ上で層雲を形成する。本研究では、那覇の 1000hPa 高度で 4 m s^{-1} 以上を超えた期間を「寒気吹き出し」とした。

数値実験で用いた 2 つの解像度の SST 分布を比較すると、高解像度 SST(Exp. H)では「33N, 125E 付近の Warm tongue の北西への進入」や「沿岸域の微細 SST 構造」が見られるのに対して、低解像度 SST(Exp. L)ではこれらの特徴は見られず、平滑化された分布となる。N 型の実例では、寒気吹き出し期間にわたり時間平均した地表面熱フラックスは対馬海峡で高いが、渤海、黄海西岸、台湾海峡では小さい。他方、S 型の実例では、対馬海峡と台湾の北東沿岸で熱フラックスが高く、その二つを結ぶように黒潮流域にそって高い値を示す。

以下では、SST 解像度の違いが N 型や S 型の寒気吹き出しにどのような影響を与えるかを調べるために、低解像度 SST 実験と高解像度 SST 実験を比較する (Exp. H–Exp.L)。N 型では、高解像度 SST は杭州湾、黄海、台湾北東沖で高い値を示し、朝鮮半島沖や台湾海峡で低い値をもつ。Exp.H の摩擦速度は、Exp.L と比較して、杭州湾では 10%以上大きく、黄海では 3 %程大きい、朝鮮半島西岸や渤海湾西岸で 3 %以上小さい。地表面熱フラックスは $\pm 20 \text{ W m}^{-2}$ 程度の違いが見られるが、杭州湾から黄海で Exp. H の方が大きな値を示す。特に、杭州湾では 100 W m^{-2} を超えるほど大きい。惑星境界層高度(PBLH)も、杭州湾から黄海で Exp. H の方が高く、杭州湾では 250 m ほど高い。これらの物理量の差 (Exp. H–Exp.L) は、おおむね SST 解像度の違いに対応している。

N 型の可降水量と鉛直積分雲水量の差 (Exp. H–Exp.L) について見てみると、可降水量の差は東シナ海で大きく、大陸沖で南北に伸びる帯と黄海から九州にわたる帯で Exp. H の方が高い値をもつ。逆に、台湾海峡と南西諸島の南では Exp. H の方が低くなる。鉛直積分雲水量の差 (Exp. H–Exp.L) は、台湾の北東では正、台湾海峡と南西諸島の南では負となる。北風が卓越する状況では、鉛直積分雲水量の差が大きい領域は、可降水量の差が大きい領域の寒気吹き出し下流側に位置する。

那覇における N 型の寒気吹き出しの鉛直構造を見てみると、水平風に関しては 700 hPa より下層で 1 m s^{-1} 程度の違いが見られる。 1 cm s^{-1} を超える鉛直流の違いは対流圏中部にまで達するので、SST 解像度の違いは鉛直流を介して、上層にも影響を与えることが示唆される。相当温位は、寒気吹き出し時に 750 hPa より下層で、1 K 程度の差が見られる。

S 型の SST 解像度依存性も、上記の N 型と同じ特徴が見られる。熱フラックスや PBLH の差は、N 型と同様に杭州湾で大きい。摩擦速度の杭州湾での差は N 型ほど大きくない。那覇における相当温位の時間-高度断面では、寒気吹き出し時に 2K 以上の差が見られる。これは温位と水蒸気混合比の違いから生じる。

まとめ

N 型と S 型の寒気吹き出し事例について数値実験を行い、SST 解像度がこれらの寒気吹き出し構造に及ぼす影響を調べた。SST 依存性に関しては、N 型と S 型の間で多くの共通の特徴が見られた。SST 解像度の違いは、渤海、黄海、杭州湾で顕著に見られる。海面熱フラックスや PBLH の違い(Exp. H-Exp.L)は、SST 解像度の違いに対応した分布となる。これらの物理量に関しては、黒潮流域よりも寒気吹き出し上流側で SST 解像度依存性が顕著に見られる。今回の N 型事例では、摩擦速度の差が、特に、杭州湾で 10%を超えるので、SST 解像度が沿岸域の風成海洋循環に与えるインパクトを無視できないかもしれない。可降水量の違いは東シナ海で見られ、雲水量の違いは台湾から南西諸島の南で見られる。可降水量の SST 解像度依存性は黒潮流域よりも寒気吹き出し上流側で見られるが、雲水量の SST 依存性は下流側で見られる。東シナ海の寒気吹き出しの大気海洋相互作用では、黒潮流域が注目されがちだが、その上流域の渤海、黄海、杭州湾の SST 微細構造も重要であることが示唆される。

那覇の時間-高度分布に関しては、N 型と S 型の共通の特徴として、SST 解像度の違いに伴い、水平風は 1 m s^{-1} ほどの差が見られた。鉛直風では、 1 cm s^{-1} を超える違いが 500 hPa 高度にまで見られ、SST 解像度の影響が鉛直風を介して対流圏中部にまで及ぶことが示唆される。相当温位は、S 型の寒気吹き出し最盛期の 2 日間にわたって 2-3 K 程度の差が表れる。この大きな相当温位の違いは、SST 解像度の違いで生じる温位と水蒸気混合比の差を反映している。

今後は、熱・水蒸気解析に基づいて、SST 解像度が気団変質に及ぼす影響を解明する必要がある。さらに、黒潮フロントの海洋中規模渦が気象に与えるインパクトについても調べていく必要がある。

参考文献

- Chen, S. S., W. Zhao, J. E. Tenerelli, R. H. Evans, and V. Halliwell (2001), Impact of the AVHRR sea surface temperature on atmospheric forcing in the Japan/East Sea, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 4539-4542.
- Grell, G. A., J. Dudhia and D. R. Stauffer (1995), A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5), *NCAR technical note*, **NCAR/TN-398+STR**, 122pp.
- Guan, L. and H. Kawamura (2004), Merging satellite infrared and microwave SSTs: methodology and evaluation of the new SST, *J. Oceanogr.*, **60**, 905-912.
- Hirose, N., H. Kawanura, H. J. Lee, and J-H Yoon (2007), Sequential forecasting of the surface and subsurface conditions in the Japan Sea, *J. Oceanogr.*, **63**, 467-481.
- 栗山(2008), 那覇における寒気吹き出し構造とモンスーンの経年変化, 九州大学総合理工学府大気海洋環境システム学専攻修士論文.
- Ninomiya K and Akiyama T. (1976), Structure and heat energy budget of mixed layer capped by inversion during the period of polar outbreak over Kuroshio region, *J. Meteor. Soc. Japan*, **54**, 160-174.
- Ninomiya K. (1977), Heat energy budget of the polar air-mass transformed over Kuroshio region under the situation

of strong subsidence, *J. Meteor. Soc. Japan*, **55**, 431-441.

Reynolds, R. W. and T. M. Smith (1994), Improved global sea surface temperature analyses. *J. Climate*, **7**, 929-948.

Yamamoto, M. and N. Hirose (2007), Impact of SST reanalyzed using OGCM on weather simulation: A case of a developing cyclone in the Japan-Sea area, *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L05808, doi:10.1029/2006GL028386.

Yamamoto, M. and N. Hirose (2008), Influence of assimilated SST on regional atmospheric simulation: A case of a cold-air outbreak over the Japan Sea, *Atmos. Sci. Lett.*, **9**, 13-17.

Xie, S.-P., J. Hafner, Y. Tanimoto, W. T. Liu, H. Tokinaga, and H. Xu (2002), Bathymetric effect on the winter sea surface temperature and climate of the Yellow and East China Seas, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, doi 10.1029/2002GL015884.