

冬季黒潮流域における SST 前線と温帯低気圧の発達について

塩田美奈子・川村隆一（富山大院・理工）

初鹿宏壮（富山県環境科学センター）・飯塚聡（防災科研）

1. はじめに

日本近海の黒潮流域周辺では、明瞭なストームトラックが形成されている。日本付近の温帯低気圧活動と冬季モンスーンに着目した Yoshiike and Kawamura(2009) は、冬季モンスーン変動が爆弾低気圧活動の集中化や散在化をもたらすことを示している。一方で、海洋からの影響を示す先行研究として、東シナ海域に着目した Xie et al. (2002) は、東シナ海は大陸から吹き出す季節風によって冷却された浅海域と、黒潮暖流域との間に海面水温勾配（以下、SST 前線）が形成されること、また台湾低気圧の再現実験により、SST 前線が台湾低気圧の発達に寄与していることを述べている。また、Shiota et al. (2011) はモンスーン強弱に分けて行ったコンポジット解析の結果から、2月に顕著になる SST 前線と寒気の吹き出しによって形成される下層傾圧帯の変動が、東シナ海低気圧の発生・発達に重要であることを示唆した。しかしながら、SST 前線と温帯低気圧活動についての関連性は未だ十分に明らかにされていない。

本研究では、黒潮流域周辺の低気圧の発生時における SST 前線、冬季モンスーンの複合効果を示し、より詳細な大気海洋相互作用を明らかにすることを目的とする。今回は、①SST の冬季全体の低気圧活動（爆弾低気圧）への影響、②東シナ海に形成される SST 前線の低気圧活動への影響、それぞれについて調べた結果を示す。

2. 実験概要

本研究では、18 冬季間の長期実験と事例解析として 2011 年 2 月の実験の 2 つの実験を行った。

長期実験に関しては、領域気象モデル WRF Version 3.3 を用いて 1993/94 年から 2010/11 年の 18 冬季（11 月 21 日 00UTC～3 月 1 日 00UTC）間の数値実験を行い、大気の初期・境界データには JRA-25 再解析データ及び JCDAS データを用いた。黒潮・黒潮続流域などの SST 前線の影響を評価するため、SST データの一つは 0.25° の水平解像度の NOAA の OISST daily データを用いた実験（Original SST run : OS ラン）、もう一つは平滑化した OISST データを用いた実験（Smoothed SST run : SS ラン）の 2 種類の実験を行った（図 1）。水平解像度は 20km、鉛直層は 28 層で、計算領域はランベルト正角円錐座標で東経 137° 、北緯 37° を中心とした日本を含む東西、南北格子数 181 の範囲である。

また、2011 年 2 月の実験については、WRF/ARW V3.2.1 を使用し、2011 年 1 月 29 日 00UTC から 3 月 3 日 00UTC 間の数値実験を行った。水平解像度は 20km、鉛直層は 35 層、計算領域は東シナ海に着目するため、ランベルト正角円錐座標で東経 130° 、北緯 35° を中心とした日本を含む東西格子数 220、南北格子数 200 の範囲とした。大気の初期・境界データには NCEP 全球客観解析データ（NCEP-FNL, $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ ）を用いた。この実験では SST データの一つ目

として NCEP-FNL データを用いた実験 (FNL ラン), より細かな SST 分布が表現されている NOAA の OISST (0.25° × 0.25°) を境界条件として与えた実験 (OISST ラン) を行い, 両者を比較することで SST 勾配の明瞭・不明瞭が低気圧の発生・発達や経路はどのように影響するのかを調べた. また, 東シナ海域に広がる SST 前線の影響を調べるため, OISST データに極端な SST 勾配を与えた実験 (SSTG ラン) も行った (図 2).

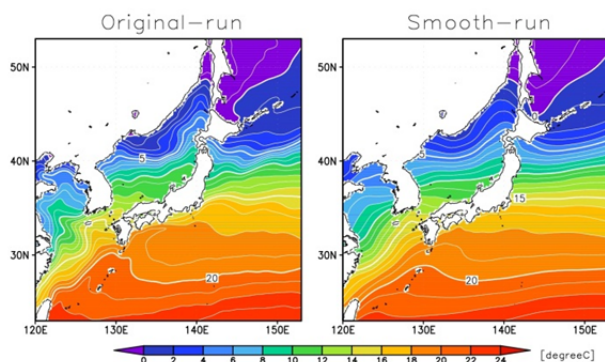


図 1. (左) OISST, (右) 平滑化した OISST の 18 冬季 (12 月, 1 月, 2 月) 平均値.

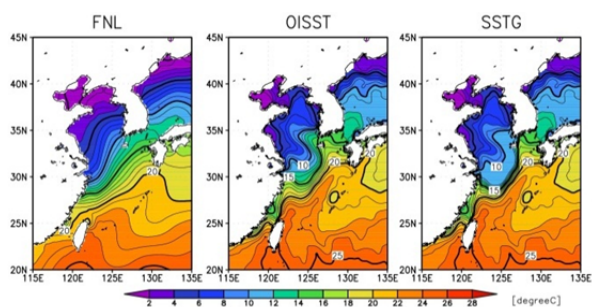


図 2. 2011 年 2 月の SST 月平均値.
(左: NCEP-FNL, 中央: OISST, 右: SST 勾配を与えた OISST)

長期実験計算結果に基づいて爆弾低気圧の抽出を行い, 本研究では Yoshida and Asuma(2004)の定義を参考に, 以下の式で求められる発達率 (ε) が一度でも 1bergeron [hPa/h] 超え, 範囲内で 24 時間以上持続

したものと定義している.

$$\varepsilon = \frac{P(t+6) - P(t-6)}{12} \times \frac{\sin 60^\circ}{\sin \phi}$$

(P:中心気圧, t:時刻 [h], ϕ :低気圧中心の緯度)

また, 冬季東アジアモンスーンの強弱を決める指標として Watanabe(1990)によって定義された MO 指数 (MOI) を用いた. JRA-25 再解析データ及び JCDAS データを使用しているため, ロシアのイルクーツクの近傍地点 (北緯 52.50°, 東経 105.00°) と北海道根室の近傍地点 (北緯 43.75°, 東経 145.00°) の海面更正気圧差で求めた.

また, 2011 年 2 月の実験結果においても低気圧を抽出したが, 低気圧の確認には気象庁天気図を用いている.

3. 18 冬季長期実験における爆弾低気圧活動

まず, 2 種類の SST 実験において冬季に発生する爆弾低気圧にどのような影響が見られるのかを調べるため, 18 冬季間に発生した全爆弾低気圧を調査した. 全発生数は, OS ランでは 225 個, SS ランでは 206 個である. 最大発達率の平均は, OS ランでは 1.77, SS ランでは 1.79 とそれほど差はないことがわかった. しかし, 爆弾低気圧の発生位置を比較すると, 東シナ海から日本の南岸にかけて発生する爆弾低気圧は, SS ランに比べて OS ランでは黒潮流軸上に集中する傾向が示された (図 3). 発生位置の集中に伴い, その後の経路も集中する傾向が見られる. OS ランで SST データは黒潮に伴う SST 分布が詳細に示されており, 黒潮が爆弾低気圧の発生位置及び経路に寄与することが明らかになった.

次に, それぞれのランについてモンスーン

強弱に分けて爆弾低気圧活動の比較を行った。MOIの月平均値を月毎に気候値からの偏差をとり、標準偏差によって規格化した。規格化したMOIが、 $+1.0\sigma$ を上回る月を強モンスーン事例、 -1.0σ を下回る月を弱モンスーン事例として、解析期間内では各々10事例、9事例抽出された。強モンスーン時、弱モンスーン時に発生した爆弾低気圧活動を図4(左、中央)に示す。まず、モンスーンの強弱で比較したところ、どちらのランにおいても弱モンスーン時は発生位置が散らばっており、日本の東海上で最大発達率に達

する爆弾低気圧が多いのに対し、強モンスーン時は日本近海に集中して発生・最大発達率に達する低気圧が多いことがわかった。これはYoshiike and Kawamura(2009)の結果と矛盾していない。

また、弱モンスーン時、強モンスーン時のそれぞれについて両ランの比較をすると、弱モンスーン時ではOSランとSSランであまり差がないのに対し、強モンスーン時はOSランにおいてより日本近海に集中して発生・発達することがわかった。つまり、冬季モンスーンが弱いときはSST勾配の変化の影響は見られないのに対し、モンスーンが強いときは、日本近海のSST前線が爆弾低気圧の発生・発達に寄与することが示された。OSランとSSランのSST差は黒潮・黒潮続流域や大陸付近の浅海域などで見られるが、特に暖流上はOSランのほうで高温となっており、寒気の吹き出し時にはSSランと比較してその領域で海面熱フラックス量の増加が考えられる。傾圧性の強化及び低気圧の発達への寄与が考えられる海面熱フラックス量について、強モンスーン時、弱モンスーン時それぞれでOSランとSSランの差を調べたところ、SST差に対応するフラックス量の差が生じていること、そして強モンスーン時はより明瞭に見られることがわかった。OSランでは暖流上のフラックス量が多い領域に爆弾低気圧の発達の集中が見られることから、モンスーンが強いときは暖流上の海面熱フラックス量が増加して爆弾低気圧活動が活発になり、より日本付近で発達しやすいと考えられる。今後下層の傾圧性も含めた大気場の調査を行い、低気圧活動との関係をより詳細に調べる必要がある。

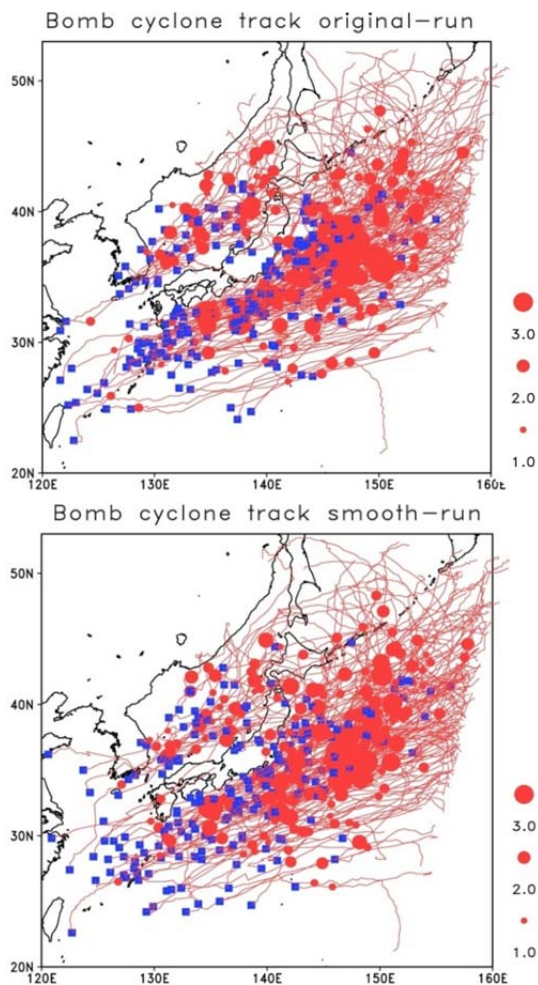


図3. (上) OSラン (下) SSランの18冬季間に発生した爆弾低気圧経路図。
(赤線：経路，■：発生位置，●：最大発達率に達した位置及びその大きさ)

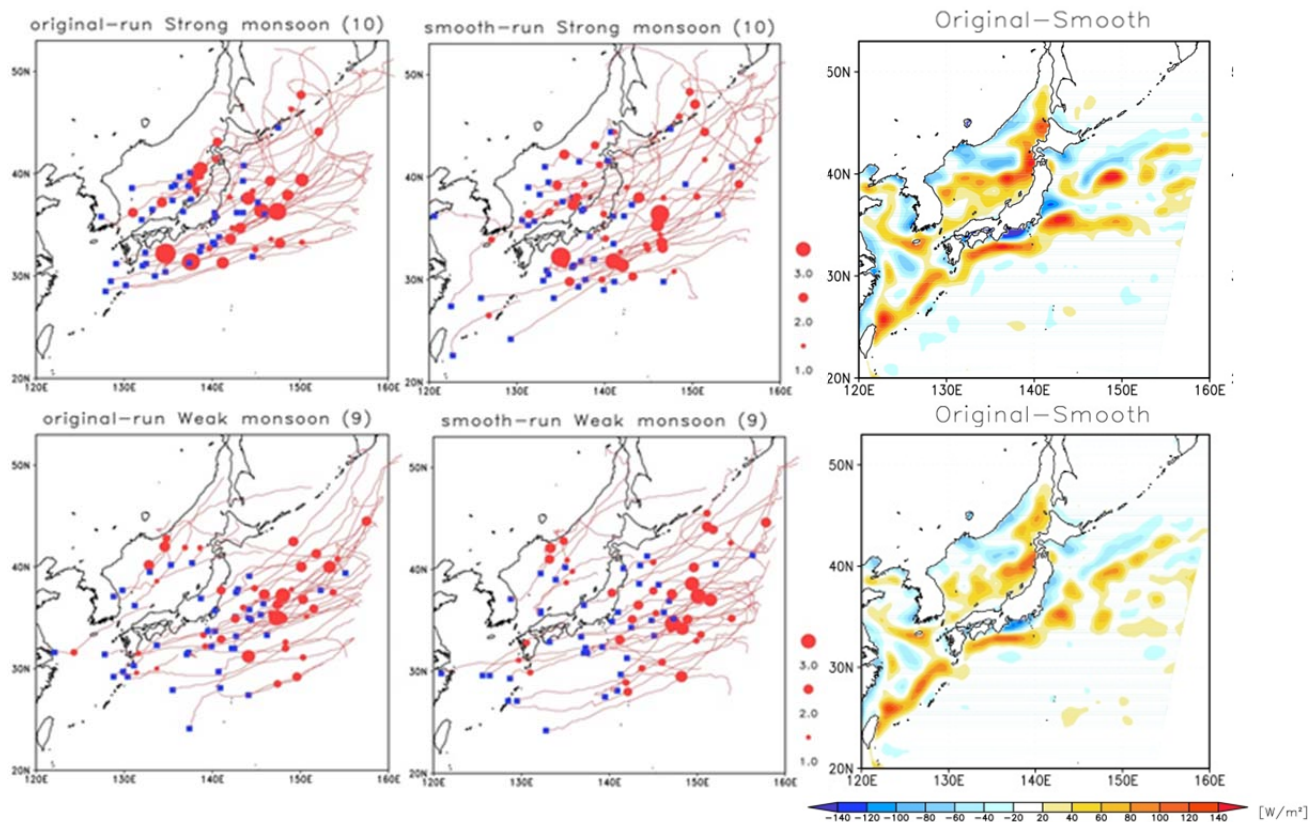


図 4. (左) OS ラン, (中央) SS ランの強モンスーン時 (上) 及び弱モンスーン時 (下) の爆弾低気圧経路図。(赤線: 経路, ■: 発生位置, ●: 最大発達率に達した位置及びその大きさ) (右) 海面熱フラックス量の (OS ラン-SS ラン) 差 [W/m^2].

4. 2011 年 2 月事例解析

次に東シナ海に形成される SST 前線に着目して事例解析を行った. 東シナ海付近で発生した低気圧の抽出を行ったところ, 2011 年 2 月は 3 つの低気圧事例が抽出された. 1 つ目は 10 日 12UTC に九州の南で発生した事例, 2 つ目は 14 日 00UTC に九州の南で発生した事例, 3 つ目は 16 日 12UTC に東シナ海で発生した事例である. このうち, 1 つ目の 10 日 12UTC の事例では FNL ラン, OISST ラン, SSTG ランの 3 種類の実験で発生位置や発達の差が見られた. 他の 2 事例は必ずしも明瞭な差は見られなかったため, 今回は 10 日 12UTC の事例について調査結果を述べる.

まず事例 1 の発生時刻・位置を比較すると,

FNL ランでは 10 日 9UTC に沖縄本島付近で発生, OISST ランでは 9 日 21UTC に台湾北方で発生, SSTG ランでは 9 日 18UTC に台湾北方で発生する結果となった. 高解像度の SST の実験である OISST ランと SSTG ランのほうが FNL ランよりも早く西側で発生することがわかった (図 5 上). 次に低気圧の中心気圧の時間変化について調査した. FNL ランよりも OISST ラン及び SSTG ランは値が低く, また 11 日から 12 日にかけては, SSTG ランは OISST ランよりもさらに低く, 低気圧が日本の南岸から東海上に移動する際に非常に発達することがわかった. (図 5 下).

東シナ海を通り過ぎた後の低気圧の発達になぜ違いが生じるのかを明らかにするた

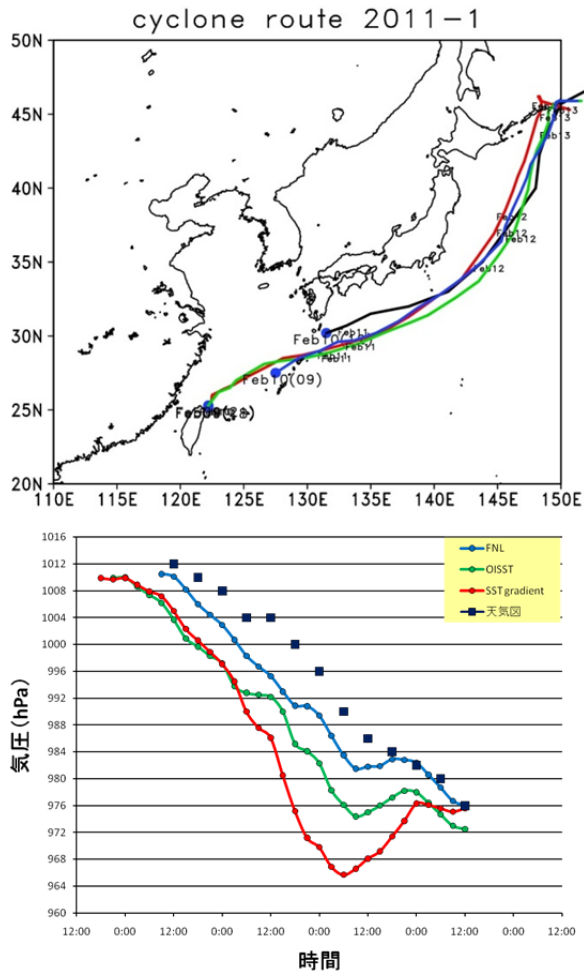


図 5. 2 月 10 日に発生した低気圧の (上) 経路図 (青点: 発生地点, 青線: FNL ラン, 緑線: OISST ラン, 赤線: SSTG ラン, 黒線: 地上天気図), (下) 中心気圧の時間変化.

めに, 低気圧の発達の一つの要因となる潜熱フラックス量と低気圧の経路について調査した. 低気圧の経路は, OISST ランと SSTG ランは発生から東シナ海を通り過ぎる段階ではほぼ同じであるが, 発達に差が見られた 11 日から 12 日にかけて日本の南岸を北東進する段階では SSTG ランのほうが北寄りの経路となり, 潜熱フラックス量が比較的多い領域を通過していることがわかった. しかし, 大気場についての調査が不十分であるため, 現段階では十分な議論ができない. この事例解析についても大気場の解析結果を踏まえて議論する必要がある.

5. まとめと今後の課題

長期実験の結果では, SS ランに比べて OS ランで, 爆弾低気圧の発生位置及び経路がより黒潮・黒潮続流域に集中していたことから, 暖流に伴う SST 勾配が低気圧の発生位置・経路に寄与していることが見出された.

各ランでモンスーンの強弱の比較をすると, 弱モンスーン時は発生位置の散在化が見られ, 日本の東海上で最大発達率に達する爆弾低気圧が多いのに対し, 強モンスーン時は日本近海で集中して発生し, 最大発達率に達する低気圧が多いことがわかった. これらの特徴は Yoshiike and Kawamura(2009)での結果と矛盾せず, 爆弾低気圧活動に対するモンスーンの効果といえる.

一方, 弱モンスーン時, 強モンスーン時それぞれを 2 つのランで比較すると, 弱モンスーン時は爆弾低気圧活動に差が見られないのに対し, 強モンスーン時は SS ランよりも OS ランでは発生・発達位置が暖流上に集中していた. 強モンスーン時は暖流上の海面熱フラックス量の差が明瞭になっていることから, 強い寒気の吹き出しにより黒潮・黒潮続流上の熱・水蒸気供給が活発になり, 下層の傾圧性の強化とも関連して低気圧の発生・発達に影響していると考えられる. 今後, 大気循環場をより詳細に調査してモンスーンと黒潮・黒潮続流の複合効果を明らかにしていく予定である.

また, 2011 年 2 月の事例解析では, 東シナ海付近で発生する低気圧 1 事例に関して 3 つのランで発達に大きな差が見られた. OISST ラン, SSTG ランでは FNL ランよりも早く, より西側で発生した. SST 勾配の強弱 (解像度の違い) により発生段階に差が生じることでその後の発達にも差が見られた. また, OISST ランと SSTG ランの比較

から、SST 勾配を強めても発生段階に差はないが、発達段階の差は南岸を通過する際の経路上の潜熱フラックス量の差が寄与していると考えられる。発達の要因は大気循環場の調査を含めて今後明らかにしていきたい。

謝辞

今回の研究集会で発表の機会を頂くことができたことに対し、大変感謝致します。また、発表の際に貴重なご意見を頂きましたこととお礼申し上げます。

参考文献

- Chen, S.-J., Y. -H. Kuo, P. -Z. Zhang, and Q. -F. Bai, 1991: Synoptic climatology of cyclogenesis over East Asia, 1958-1987. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1407-1418.
- Iizuka, S. 2010: Simulations of wintertime precipitation in the vicinity of Japan: Sensitivity to fine-scale distributions of sea surface temperature. *J. Geophys. Res.*, **115**, D10107, doi:10.1029/2009JD012576.
- Shiota, M., R. Kawamura, H. Hatsushika, S. Iizuka, 2011: Influence of the East Asian winter monsoon variability on the surface cyclogenesis over the East China Sea in late winter. *SOLA*, **7**, 29-132.
- Watanabe, T., 1990: Study on formation processes of SST anomalies in the Western North Pacific: Role of the East Asian winter monsoon. Doctoral Thesis, Tohoku University, 121pp.
- Xie S.-P., J. Hanfner, Y. Tanimoto, W. T. Liu, H. Tokinaga, H. Xu, 2002: Bathymetric effect on the winter sea surface temperature and climate of the Yellow and East China Seas. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 2228, doi:10.1029/2002GL015884.
- Yoshiike, S., and R. Kawamura, 2009: Influence of wintertime large-scale circulation on the explosively developing cyclones over the western North Pacific and their downstream effects. *J. Geophys. Res.*, **114**, D13110, doi:10.1029/2009JD011820.
- Yoshida, A., and Y. Asuma, 2004: Structures and Environment of Explosively Developing Extratropical Cyclones in the Northwestern Pacific Region. *Mon. wea. rev.*, **132**, 1121-1142.