

日本近海の爆弾低気圧活動と大規模循環場との相互作用

吉池 聡樹 (富山大院・理工)、川村 隆一 (富山大院・理工)

1. はじめに

冬季日本の天候は温帯低気圧などによる総観規模擾乱活動によって大きな影響を受ける。中でも短時間に急激に発達する爆弾低気圧 (Sanders and Gyakum, 1980) は日本近海で発達する為、大雨・大雪被害や、突風・強風などの被害をもたらす、時には竜巻などのシビアストームの発生に直接あるいは間接的に寄与している。

過去の研究において、Chen et al. (1992) では爆弾低気圧が日本海や黒潮続流周辺で頻繁に発生・発達し、発達率の高い爆弾低気圧程、黒潮流軸・続流域で最大発達している事例が多い事を示していた。Yoshida and Asuma (2004) では 1994 年から 1999 年の (NDJFM) での爆弾低気圧に関する統計解析を行っており、北西太平洋上で発生・発達した爆弾低気圧が最も発達率が高い事が示されており、その際、発達率の変化には潜熱解放が大きく寄与していた事を示唆している。このように爆弾低気圧は海洋からの熱・水蒸気供給の影響を大きく受けている事が示唆される。

一方、Nakamura and Sampe (2002) によると、北西太平洋域においてジェットの高い真冬では移動性擾乱の活動が強く抑制されて顕著な振幅の極小が現れる一方で、ジェットが比較的弱い冬ではむしろ擾乱振幅が高い傾向である事を示している。また、対流圏上層に関しては二階堂(1986)において、南下してきた対流圏上層の高渦位の東側で地上低気圧が急激に発達する事から、対流圏上層の渦位とのカップリングについて、観測事実に基づいて述べられている。

このように爆弾低気圧は大気循環場の影響

や海洋からの熱・水蒸気供給など、様々な要素が複雑に複合して発達している事が考えられるが、明確な結論に至っていない。また、爆弾低気圧は夏季よりも冬季の発生数が圧倒的に多く、冬季日本の気候に大きな影響を与える冬季東アジアモンスーンとの関係も示唆されるが、冬季東アジアモンスーン強度がどのように爆弾低気圧活動を規定するのかよくわかっていない。川村・小笠原(2007)は平成 18 年豪雪時に 12 月としては過去 50 年間で最大のモンスーン強度であった事が豪雪発生の主要因であると述べており、一方、川村ほか (2007) は豪雪時の 12 月に爆弾低気圧が日本近海で最大発達した事例が例年より多いことで間欠的な北西季節風の強化が生じていると述べられている。冬季東アジアモンスーンと爆弾低気圧活動との関係を明らかにする事は、冬季日本の気候を予測する上でも重要である。

個々の爆弾低気圧は台風と類似して対流圏上層で強い発散場を伴っているため、爆弾低気圧自体が定在ロスビー波の励起源となり得る可能性がある。個々の爆弾低気圧による惑星スケールの大気循環への影響を明らかにする事も重要である。

そこで本研究では①冬季東アジアモンスーンの強弱によって爆弾低気圧活動がどのように影響を受けるのか、②爆弾低気圧活動がテレコネクションを介して遠隔地域の大気循環に影響を与え得るのか、この 2 点を明らかにする事を目的とした。

2. 使用データ・解析手法

気象庁提供の JRA-25 長期再解析データ及び JCDAS の 6 hourly の海面更正気圧(1.25° ×

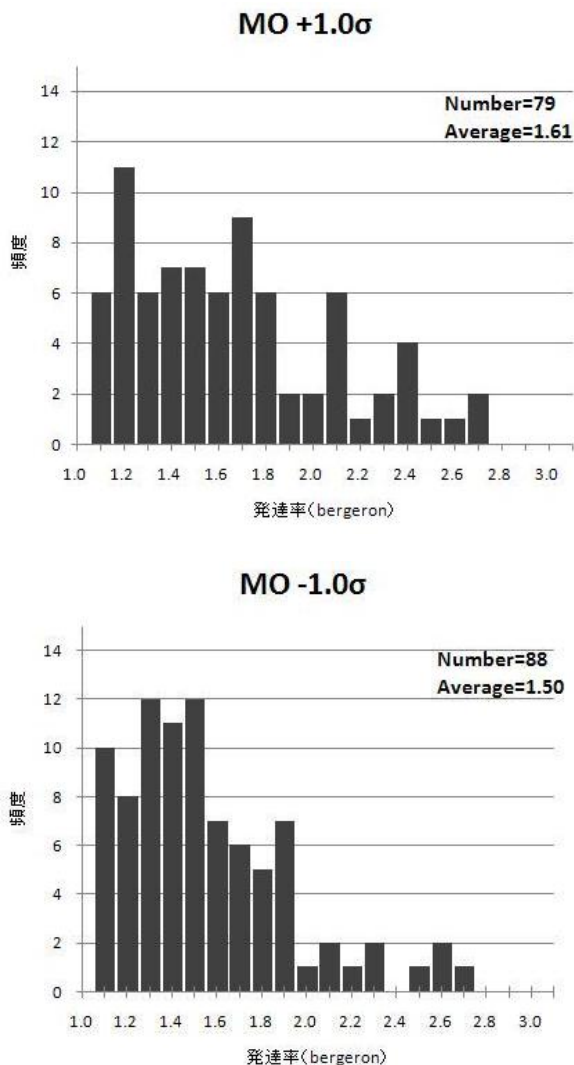


図1. 強モンスーン時(上段)・弱モンスーン時(下段)に発生した爆弾低気圧の最大発達率頻度分布

1.25°)を用いて爆弾低気圧の抽出、冬季東アジアモンスーン(MO)指数(Watanabe,1990)の抽出を行い、20° - 60° N、110° -170° Eの領域で1979年-2007年の冬季(DJF)を解析した。また、その他の各種物理量や、NOAAのOLR、HadISSTの海面温度、J-OFURO2(Kubota and Tomota, 2007)の各種フラックス量を用いた。

爆弾低気圧は海面更正気圧の空間分布図において、1hPaで閉じられた地点を低気圧とみなし、Yoshida and Asuma(2004)の定義を参考に([1.1]式)、発達率の式において1hPa/h(ber-

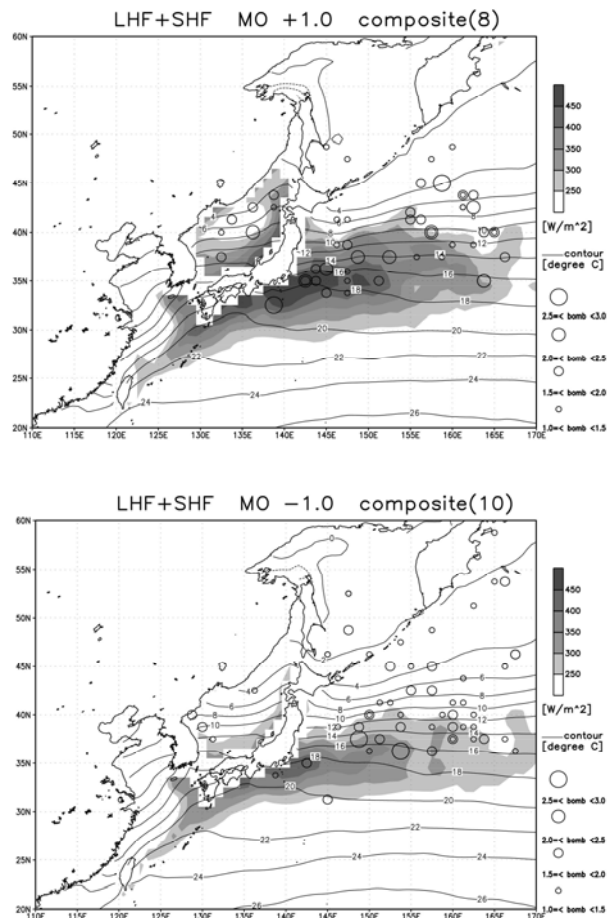


図2. 強モンスーン時(左図)・弱モンスーン時(右図)における潜熱フラックスと顕熱フラックスとの和 [W/m²] (陰影)、海面水温(実線)、爆弾低気圧最大発達位置(青丸;但し3.0bergeron以上を最大円とし、以下0.5bergeron間隔)

geron)を超えるものを爆弾低気圧とし、抽出を行った。

$$\frac{P(t-6) - P(t+6)}{12} * \frac{\sin 60^\circ}{\sin \phi} \quad [1.1]$$

t,φはそれぞれ最大発達時の時刻、緯度を示している。

また、Watanabe (1990)の定義を基に冬季東アジアモンスーンの強弱を示すMO指数を算出した。地点はロシアのイルクーツクの近傍の北緯52.5° 東経103.75° から北海道釧路の近傍の北緯42.5° 東経145.0の海面更正気圧の差で求めた。

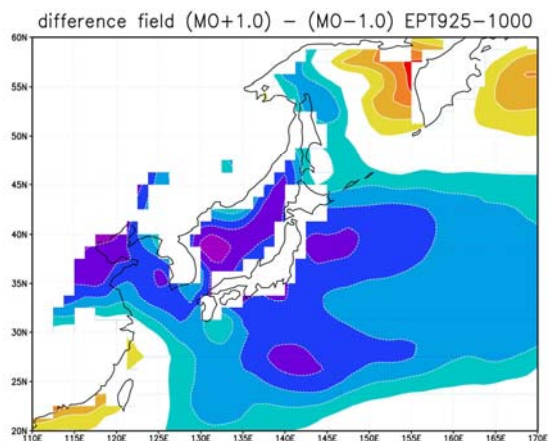


図3. 925hPa-1000hPa間の相当温位差の強モンスーン時と弱モンスーン時との差

3. 冬季東アジアモンスーンの強弱と爆弾低気圧活動との関係

モンスーンの強弱を調べ、比較を行うことで爆弾低気圧との関係を考察する。まず、MOIの月平均値より月毎の気候値から偏差をとり、標準偏差によって規格化した。各々+1.0 σ 、-1.0 σ を越えた月を抽出した結果、強モンスーン時(MO+)が14事例、弱モンスーン時(MO-)が14事例抽出された。強モンスーン時に比べ、弱モンスーン時は発生数が多かったが(図1)、発達率が1.50bergeronと低く、弱モンスーン時には爆弾低気圧の発達が抑えられる傾向にある事がわかる。図2は海面の顕熱・潜熱フラックスを示しているが、共通の特徴として、SSTフロントの南側にあたる、黒潮流軸・続流域で増加している。またその地域で最大発達している爆弾低気圧が強モンスーン時に多くなっているのも特徴的である。図3では強モンスーン時と弱モンスーン時との下層大気安定度の差を見ているが、全体的に強モンスーン時に大気境界層内で不安定な傾向になっている事が明確である。つまり、潜熱・顕熱フラックスの増加に伴い爆弾低気圧への熱・水蒸気供給が活発化する一方、下層安定度にも変化を与える。

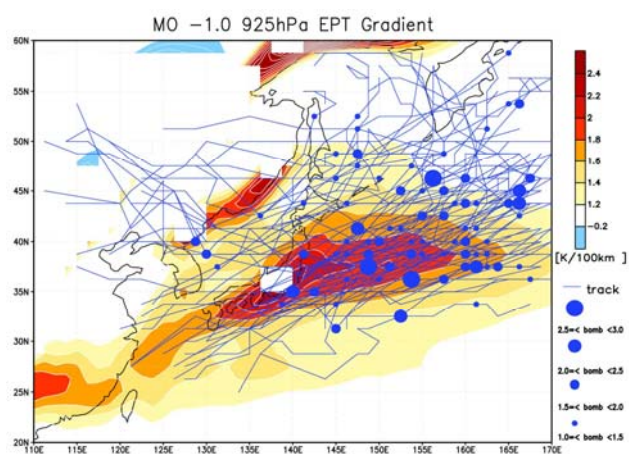
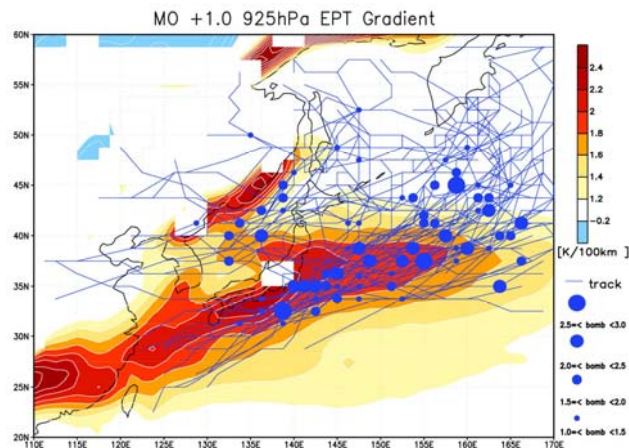


図4. 強モンスーン時(上段)・弱モンスーン時(下段)の925hPa相当温位勾配 [K/100km] (陰影)、爆弾低気圧経路(実線)、爆弾低気圧最大発達位置(青丸;但し3.0bergeron以上を最大円とし、以下0.5bergeron間隔)

図4に爆弾低気圧の最大発達位置・経路と925hPaにおけるの相当温位の水平勾配を示す。強モンスーン時に日本海や黒潮流軸・続流域で爆弾低気圧が頻繁に発達しており、一方、弱モンスーン時は日本から離れた東方海上で発達しているのが多い。また、相当温位勾配は強モンスーン時に東シナ海から九州西岸、アジア大陸東岸で強くなっており、弱モンスーン時には下層傾圧帯が弱く、爆弾低気圧の最大発達位置が散在している事から、下層の傾圧帯は爆弾低気圧の発達位置や経路において、集中化・散在化に寄与している事が示唆される。

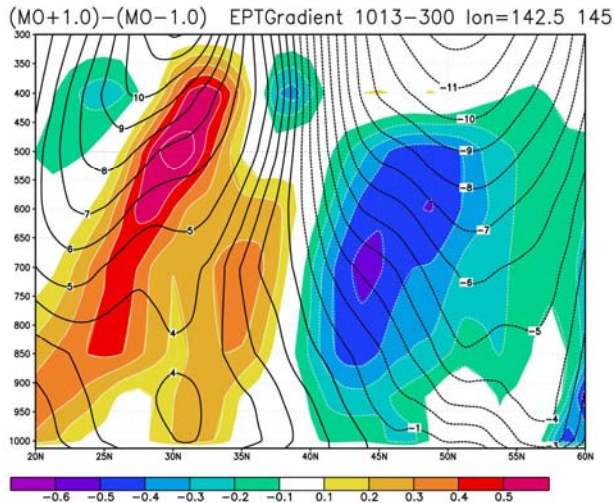


図5. 142.5° -145°E 平均の相当温位勾配[K/100km (陰影)と東西風[m/s] (実線)の緯度-高度断面図(強モンスーン時と弱モンスーン時との差)

さらに、強モンスーン時の黒潮続流域で頻繁に最大発達している地域の鉛直方向に着目すると(図5)、亜熱帯ジェット以南の南偏に伴い、対応する傾圧帯が北緯 25° -北緯 30° の間で見られるが、北緯 30° -北緯 35° の間で別の傾圧帯の強化が見られ、850-700hPa 層に極値が存在する。

上層では強モンスーン時に日本東岸で黒潮続流域に沿って渦位が高い領域が広がっている(図6)。これは爆弾低気圧最大発達の重心位置との差に対応しており、上層の渦位アノマリーとの関係も当然ながら無視できないと考えられる。

4. 個々の爆弾低気圧の遠隔影響

爆弾低気圧活動の影響を考察する為、1979-2007年(DJF)の全爆弾低気圧の最大発達位置の重心をとり、緯度・経度方向に20°四方の領域で短周期変動成分の海面更正気圧(SLP)領域平均値を指数とした。(以後この指数をMaximum Deepening index (MDI)と呼ぶ)この指数において標準偏差-2.0σ以下のピーク日を抽出した結果64事例抽出された。図7はその

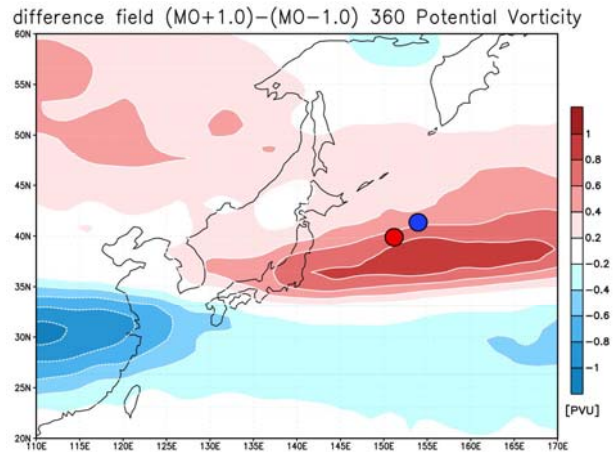


図6. 360K等温位面渦位 [PVU]の強モンスーン時と弱モンスーン時との差. 併せて最大発達重心位置(強モンスーン時(赤丸)、弱モンスーン時(青丸))も示す

の64事例の海面更正気圧のコンポジット解析結果を示しているが、重心位置の北東側に気圧の最小値が存在し、爆弾低気圧も最小値周辺に高頻度で存在している。さらに、抽出事例のうちピーク日の解析領域に爆弾低気圧が存在したものは全体の87%あり、以上を踏まえても爆弾低気圧をうまく捉えている。

360K等温位面渦位に着目すると(図8a)北日本上空に正の渦位アノマリーが存在し、その東側で気圧が最小値になっている。また200hPa速度ポテンシャルでは(図8b)、日本の東側とハワイ付近において、発散場が広がっており、その北側でOLRが負になっている事から、強い対流活動が示唆される。(図8c)に注目すると、対流圏上層の東西風は、日本の南側を軸に強風域が東西方向に帯状に広がっており、同じ対流圏上層の流線関数では日本上空から南東方向への波列が見られる。

図8dではこの流線関数と波活動度フラックス(Takaya and Nakamura, 2001)を表しているが、この図においても、南東方向へテレコネクションが生じている事は明らかである。

次にピーク日前後2日間を含めたラグコンポジット解析結果を行った。図9では、ピー

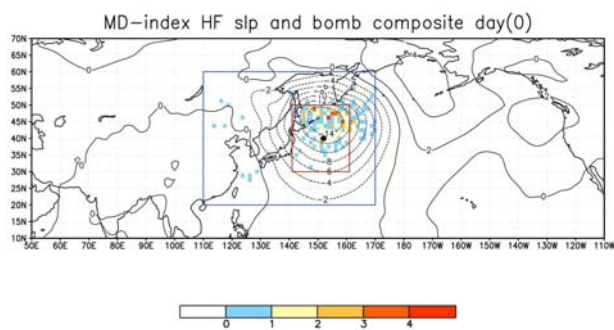


図7. MDI ピーク日の海面更正気圧[hPa] (実線) と爆弾低気圧経路頻度分布 (陰影)、全爆弾低気圧最大発達重心位置 (黒丸)、解析範囲 (青四角)、領域平均範囲 (赤四角)

ク日2日前に亜熱帯ジェットに沿うテレコネクションが見られ、日本の低気圧偏差を強めており、ピーク日以降は日本の低気圧偏差の下流 (南東) 方向へのテレコネクションが見られる。これは事例毎に確認すると北米に伝播する事例も存在した。

360K 等温位面渦位では (図10)、アジアジェットのテレコネクションで、重心に近い所で正の渦位アノマリーが存在し、正の渦位アノマリーが Day(0)においてハワイ周辺でピークを迎え、Day(+2)まで持続している。

以上の事から、爆弾低気圧の発達には亜熱帯ジェットに沿うテレコネクションと強く関係している。その後、発達した爆弾低気圧は自らが励起源となり、下流方向へのテレコネクションが生じ、それに伴い正の渦位アノマリーが強まり、実際にハワイでOLR負偏差をもたらしている (図省略)。

5. ハワイ周辺で OLR が負偏差になった典型事例

実際に、ハワイ周辺で OLR の負偏差がもたらされていた典型事例を基に、再度考察を行う事にした。典型事例として用いたのは、2007年1月8日の事例で、このピーク日中に存在

MDI-2.0 composite(64) day(0)

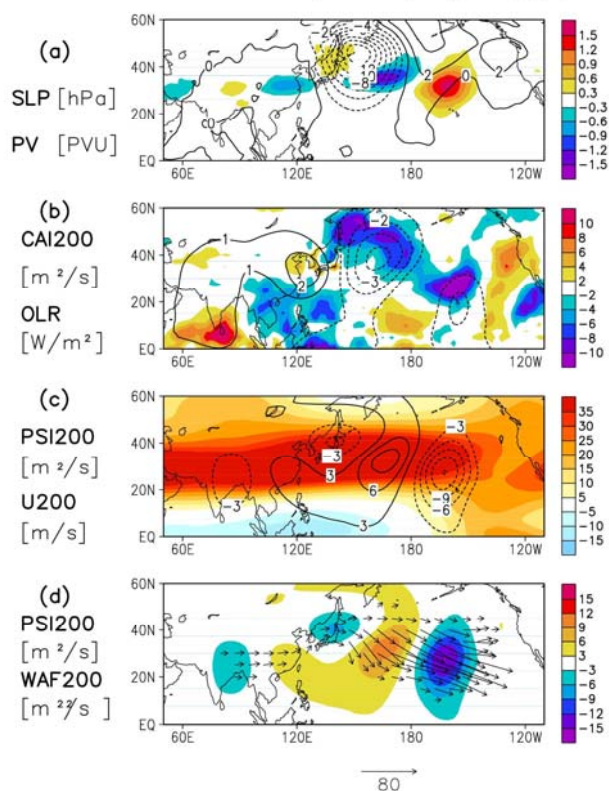


図8. MDI ピーク日の(a) 海面更正気圧[hPa] (実線)、等温位面 360K 渦位[PVU] (陰影)、(b) 200hPa 速度ポテンシャル[m²/s] (実線) と OLR[W/m²] (陰影)、(c) 200hPa 流線関数[m²/s] (実線) と 200hPa 東西風[m/s] (陰影)、(d) 波活動度フラックス[m²/s²] (ベクトル) と 200hPa 流線関数[m²/s] (陰影)

した爆弾低気圧は、日本東岸で最大発達したもので(3.08bergeron)、日本海側では大雪、太平洋側では強風による海難事故を起こした低気圧である。図11では日本上空とアリューシャン付近の高気圧偏差からのテレコネクションがみられ、ハワイ周辺で低気圧偏差になっている。また対流圏上層の速度ポテンシャルより日本の東側とハワイ周辺で偏差として活発な対流活動がある (図12)。これを等温位面 360Kでの渦位で見ると(図13)、時間と共に4PVU上の高渦位がハワイ諸島西側に南下し、その東側で対流活動が活発化している。爆弾低気圧の強制によって下流方向に定在ロスビ

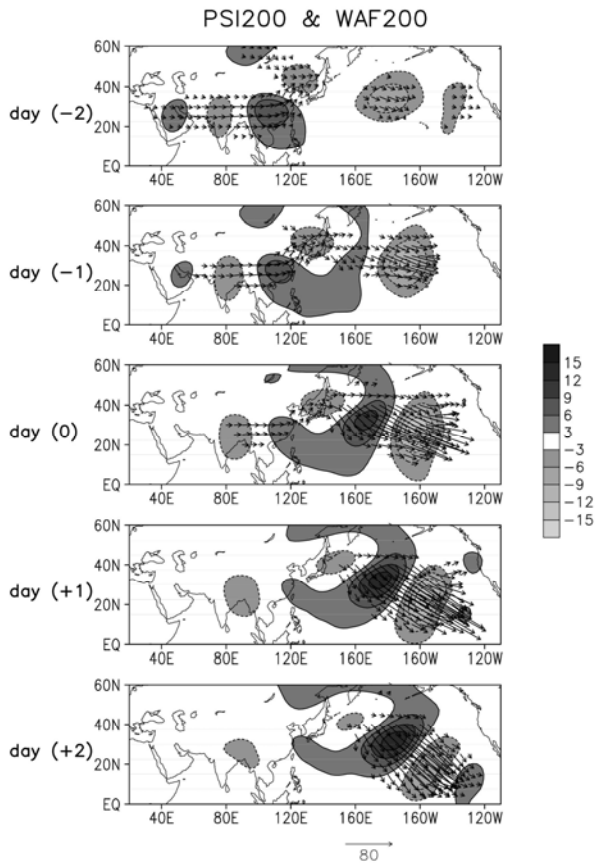


図9. MDI ピーク日前後2日間の200hPa 流線関数[m²/s] (陰影) および波活動度フラックス[m²/s²] (ベクトル)

一波が伝播し、それに伴って高渦位が南下しており、これが強い対流活動の原因となった。ハワイでは、Kona storm と呼ばれる擾乱が存在し大雨や雹などを降らせており、抽出事例の中で、この kona storm をもたらした事例も存在した。

6. まとめ

冬季東アジアモンスーンの強化により、黒潮・黒潮続流域の海面熱フラックスが増大する。それに伴い、爆弾低気圧への熱・水蒸気供給が活発化する一方、下層傾圧帯も変化する。対流圏上層では、強モンスーン時に黒潮続流域に沿って高渦位の領域が拡がっており、爆弾低気圧と上層の渦位との有意な関係を示唆している。図には示していないが、ストー

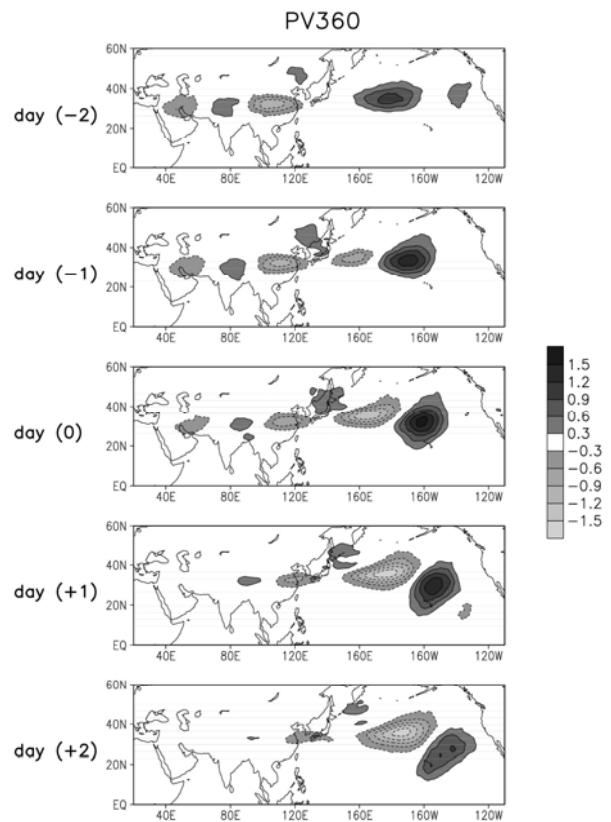


図10. MDI ピーク日前後2日間の360K 等温位面渦位 [PVU]

ムトラックについては強モンスーン時と弱モンスーン時との差はあまり明瞭ではなかった。

sub-monthly scale で個々の爆弾低気圧の振る舞いを調べた結果、ピーク前に、アジアジェットに沿うロスビー波列が見られ、この波列に伴い、北日本上空で正の渦位アノマリーが強化され、上層の渦位とのカップリングを通して爆弾低気圧が発達したと考えられる。ピーク後、爆弾低気圧の南東方向に新たなロスビー波列が発達し、ハワイ周辺に高渦位のアノマリーが南下することで、対流活動が活発化している。

以上の事より日本近海の爆弾低気圧がハワイや北米大陸の天候に大きな影響を与えている事が見出され、天気予報の精度向上の為に、爆弾低気圧活動に関する更なる研究が必要であると思われる。

謝辞

この第6回「異常気象と長期変動」研究集会において、発表する機会を頂いた事を感謝します。また、発表の際に貴重な意見を頂いた事を重ねてお礼申し上げます。

参考文献

- Chen, S. -J., and Y. -H. Kuo, P.-Z. Zhang, and Q.-F. Bai, 1992 : Climatology of explosive cyclones off the east Asian coastal cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 3029-3035.
- Chang, E.K.M., 2004 : The Impact of Wave Packets Propagating across Asia on Pacific Cyclone Development. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 1998-2015.
- 川村隆一・小笠原拓也 (2007) : 平成18年豪雪をもたらしたラージスケールの大気循環場の特異性—過去の豪雪年との比較—. *雪氷*, **69**, 21-29.
- 川村隆一・小笠原拓也・吉池聡樹 (2007) : 平成18年豪雪と冬季東アジアモンスーン変動. *気象研究ノート*, **216**, 95-107.
- Nakamura, H., and T. Sampe, 2002: Trapping of synoptic scale midwinter. *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1761, doi: 10.1029/2002GL015535
- 二階堂 1986a : Q-map (等温位面上で解析された渦位分布図) -その1 Q-mapの原理-. *天気*, **33**, 289-299
- 二階堂 1986b : Q-map (等温位面上で解析された渦位分布図) -その2 Q-mapの実際-. *天気*, **33**, 300-331
- Roebber, P.J., 1984: Statistical and Updated Climatology of Explosive Cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1577-1589.
- Sanders, F., and J. R. Gyakum, 1980: Synoptic-dynamic climatology of the "bomb". *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1589-1606
- 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*, **121**

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.

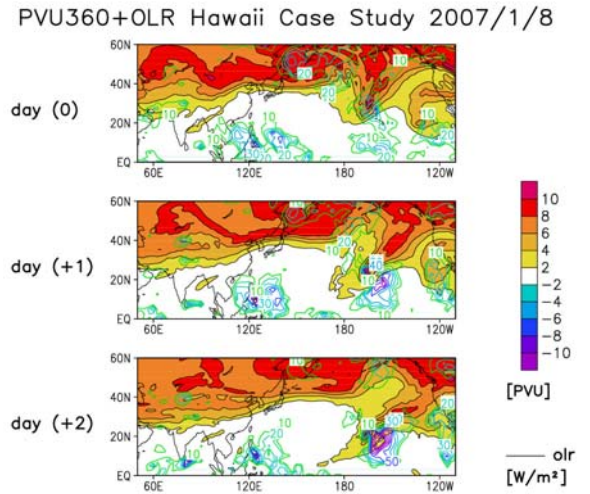
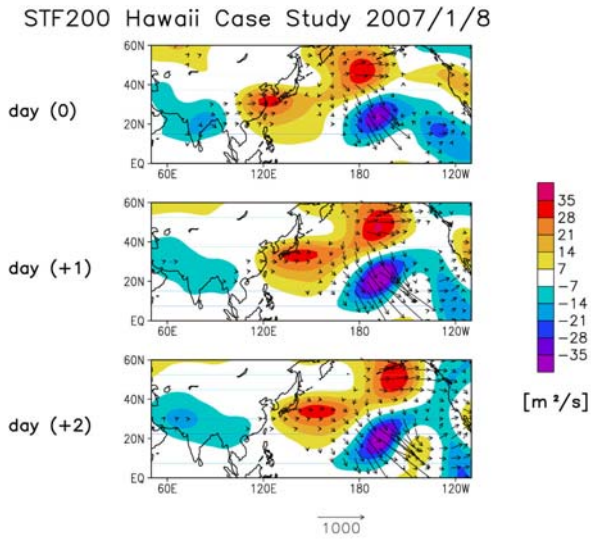


図 11. MDI ピーク日より 2 日後までの 200hPa 流線関数 [m²/s] (陰影)、波活動度フラックス[m²/s²] (ベクトル)

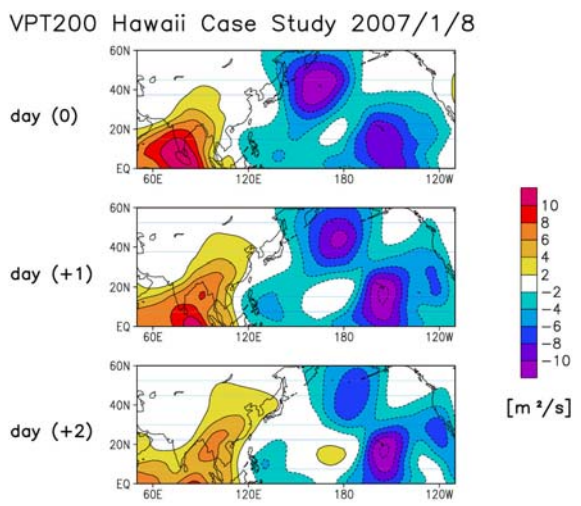


図 12. MDI ピーク日より 2 日後までの 200hPa 速度ポテンシャル[m²/s]

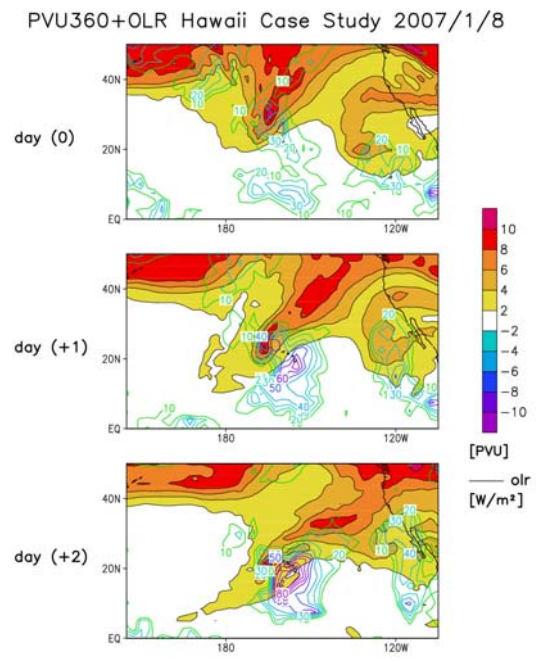


図 13. MDI ピーク日より 2 日後までの 360K 等温位面渦位置[PVU] (陰影) と OLR[W/m²] (カラー実線) (上段)、同様にハワイ周辺拡大図 (下段)