

冬季北太平洋域で発達する爆弾低気圧の構造

Structures of Explosively Developing Extratropical Cyclones in the Winter North Pacific Region

吉田 聡, 遊馬 芳雄(北大院・理)

1. はじめに

北太平洋域、特に日本付近では冬季にしばしば急激に発達する低気圧(爆弾低気圧)が発生する。この低気圧は強風、豪雪などの被害を我々にもたらすが、海上で急激に発達するためにその予測は難しい。また、冬季中高緯度における水エネルギー輸送にも大きな影響を与えていると考えられている。しかしながら、北大西洋での爆弾低気圧に比べ日本付近での爆弾低気圧に関する研究は少なく、その構造や発達メカニズムは必ずしも明らかになっていない。

これまで我々は5冬季間に日本付近で発達した爆弾低気圧について統計的解析を行い、爆弾低気圧が発生位置と最大発達率の位置によって3つのタイプに分類できることを示した。すなわち、中国大陸上で発生し日本海またはオホーツク海で発達する Okhotsk-Japan Sea (OJ)タイプ、中国大陸上で発生し太平洋上で発達する Pacific Ocean-Land (PO-L)タイプ、太平洋上で発生発達する Pacific Ocean-Ocean (PO-O)タイプの3タイプである(図1)。さらにこれらの低気圧は表1のような特徴を示し、環境場のコンポジット解析から低気圧の移動経路の季節変化は大陸の寒気の季節変動に伴うものであることが明らかになった。そこで今回は低気圧の構造に注目したコンポジット解析と渦度傾向方程式による診断解析から爆弾低気圧の構造と発達要因について報告する。

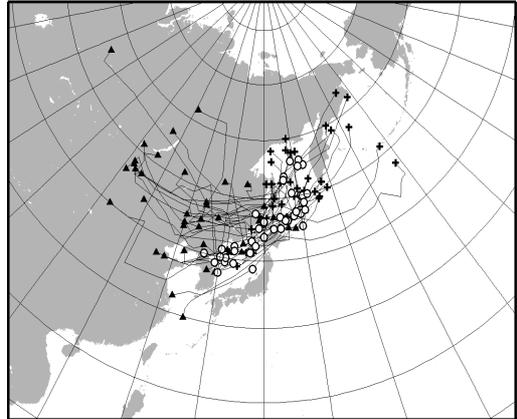
表1. 爆弾低気圧3タイプの統計的特徴

	最大発達率	最多発生時期
OJ	弱	晩秋(11月)
PO-L	中	初冬・晩冬(12月・2月)
PO-O	強	真冬(1月)

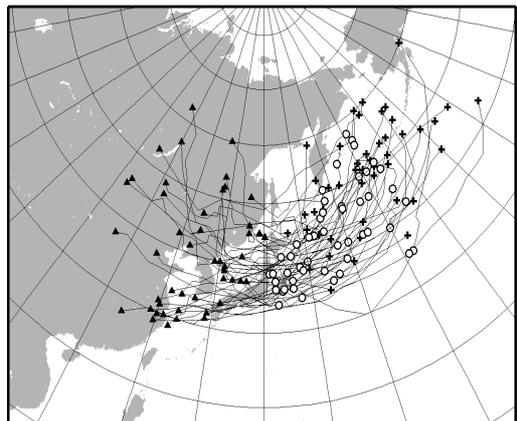
2. 使用データと解析手法

使用したデータは、気象庁提供の全球客観解析データ(GANAL)である。解析期間は1994年10月1日から1999年3月31日までの5冬季間、解析領域は北緯20度から65度、東経100度から180度である。低気圧の発達

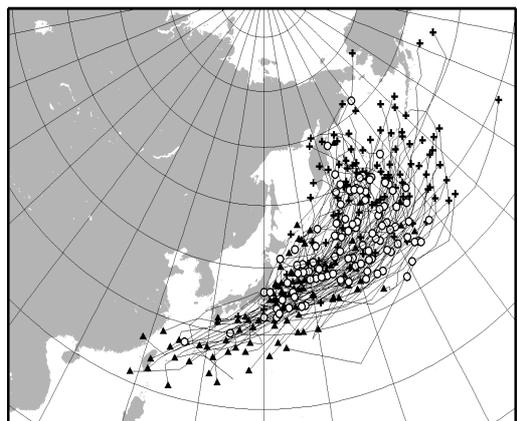
(a) OKHOTSK - JAPAN SEA TYPE



(b) PACIFIC OCEAN - LAND TYPE



(c) PACIFIC OCEAN - OCEAN TYPE



▲ : FORMATION
○ : MAXIMUM DEEPENING
+ : MINIMUM CENTER SLP
— : CYCLONE TRACK

図1. 爆弾低気圧の3つのタイプ((a) Okhotsk - Japan Sea (OJ), (b) Pacific Ocean - Land (PO-L), (c) Pacific Ocean - Ocean (PO-O))タイプの発生(▲), 最大発達率(○), 最低気圧位置(+)と経路。

率の指標として以下の式で定義される Bergeron を用いた。

$$\text{Bergeron} = \left\{ \frac{p_{t-6} - p_{t+6}}{12} \right\} \cdot \frac{\sin 60^\circ}{\sin \frac{\phi_{t-6} + \phi_{t+6}}{2}} \quad (1)$$

但し、 t は解析時刻、 p は中心海面気圧、 ϕ は低気圧中心の緯度である。発達率が 1 Bergeron を超え、24 時間以上持続した低気圧を爆弾低気圧として抽出した。

爆弾低気圧の発達要因を診断するために、Lupo et al. (1992) によって簡単化された Zwack and Okossi(1986)の発達方程式を用いた。この方程式は、式(2)のように表せられる。但し、 p_l は下層境界の気圧(1000 hPa)、 p_t は上層境界の気圧(50 hPa)、 ζ_a は絶対渦度、 f はコリオリパラメータ、 R は乾燥空気気体定数、 V は水平風、 Q は非断熱加熱率、 c_p は低圧比熱、 S は静的安定度、 θ は p 座標系の鉛直風、 $P_d = 1/(p_l - p_t)$ である。右辺第 1

項(VADV)は下層境界での地衡風相対渦度傾向に対する渦度移流の効果、TADV は温度移流、LATH は非断熱加熱、ADIA は断熱冷却の効果を表す。低気圧の構造と発達要因を明らかにするため、最大発達時において低気圧中心を一致させたコンポジット解析を行い(2)式の各項を見積もった。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta_{gl}}{\partial t} &= P_d \int_{p_t}^{p_l} (-V \cdot \nabla \zeta_a) dp - P_d \int_{p_t}^{p_l} \left\{ \frac{R}{f} \int_p^{p_l} \nabla^2 (-V \cdot \nabla T) \frac{dp}{p} \right. \\ &\quad \left. - P_d \int_{p_t}^{p_l} \left\{ \frac{R}{f} \int_p^{p_l} \nabla^2 \left(\frac{Q}{c_p} \right) \frac{dp}{p} \right\} dp - P_d \int_{p_t}^{p_l} \left\{ \frac{R}{f} \int_p^{p_l} \nabla^2 (S\omega) \frac{dp}{p} \right\} dp \right. \\ &= P_d \int_{p_t}^{p_l} (\text{VADV} + \text{TADV} + \text{LATH} + \text{ADIA}) dp, \end{aligned} \quad (2)$$

3. 結果

期間中、224 例の爆弾低気圧が発生し、そのうち OJ タイプが 42 例、PO-L タイプが 50

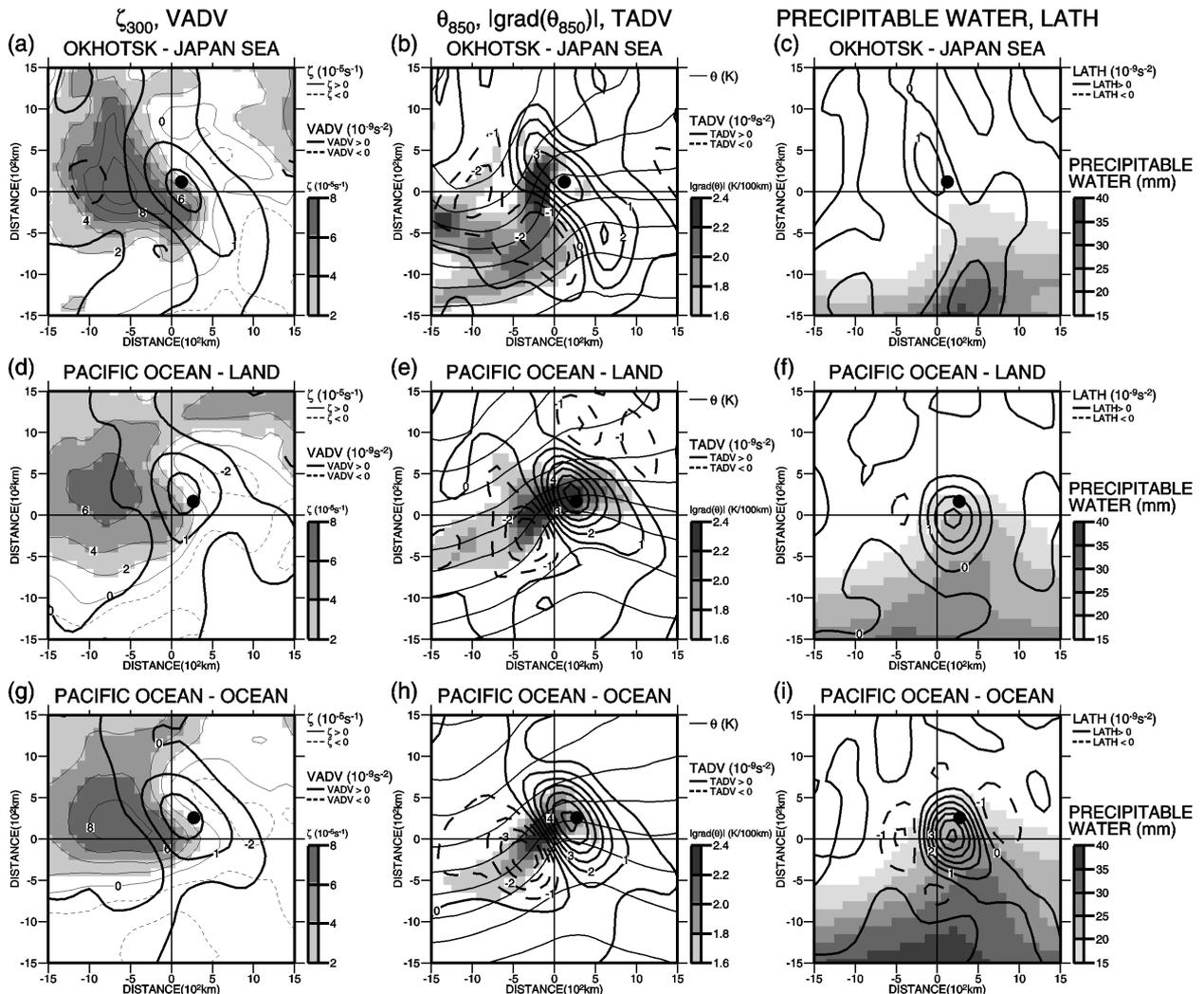


図 2. 最大発達率時での低気圧中心を描いた OJ(上段), PO-L(中段), PO-0(下段)タイプのコンポジット図。左列が 300 hPa の相対渦度(陰影と細実線(正), 細破線(負))と鉛直積分した渦度移流項(太実線(正), 太破線(負)), 中央列が 850 hPa の温位(細実線), 水平温位勾配(陰影)と鉛直積分した温度移流項(太実線(正), 太破線(負)), 右列が可降水量(陰影)と鉛直積分した潜熱放出項(太実線, 太破線)。 \bullet は 6 時間後の平均低気圧中心位置。

例、PO-O タイプが 110 例であった。図 2 にタイプ毎のコンポジット解析の結果を示す。OJ タイプは、北西から接近する上層トラフに伴う渦度移流と下層で低気圧の西側を南北に伸びる傾圧帯に伴う温度移流が低気圧の北東側で大きく、6 時間後の低気圧中心とほぼ一致している。水蒸気量は全体に少なく潜熱放出項も小さい。一方 PO-L タイプでは下層で傾圧帯が東西に伸び、低気圧北東での温度移流項が大きい低気圧西にある上層の正渦度は小さい。潜熱放出は低気圧の東側で極大

で 6 時間後の低気圧中心は温度移流項の極大とほぼ一致している。風の場のコンポジット解析から、PO-L タイプは対流圏全層に渡って西風が強い場であり、これが温度移流の強さと関係していた。PO-O タイプは中心付近での潜熱放出項が他のタイプに比べて非常に大きく、温度移流項と渦度移流項も同じ領域で極大を示している。これは豊富な水蒸気量と低気圧中心付近での強い上昇流が原因となっている。

図 3 に 6 時間後の低気圧中心の周囲 1000

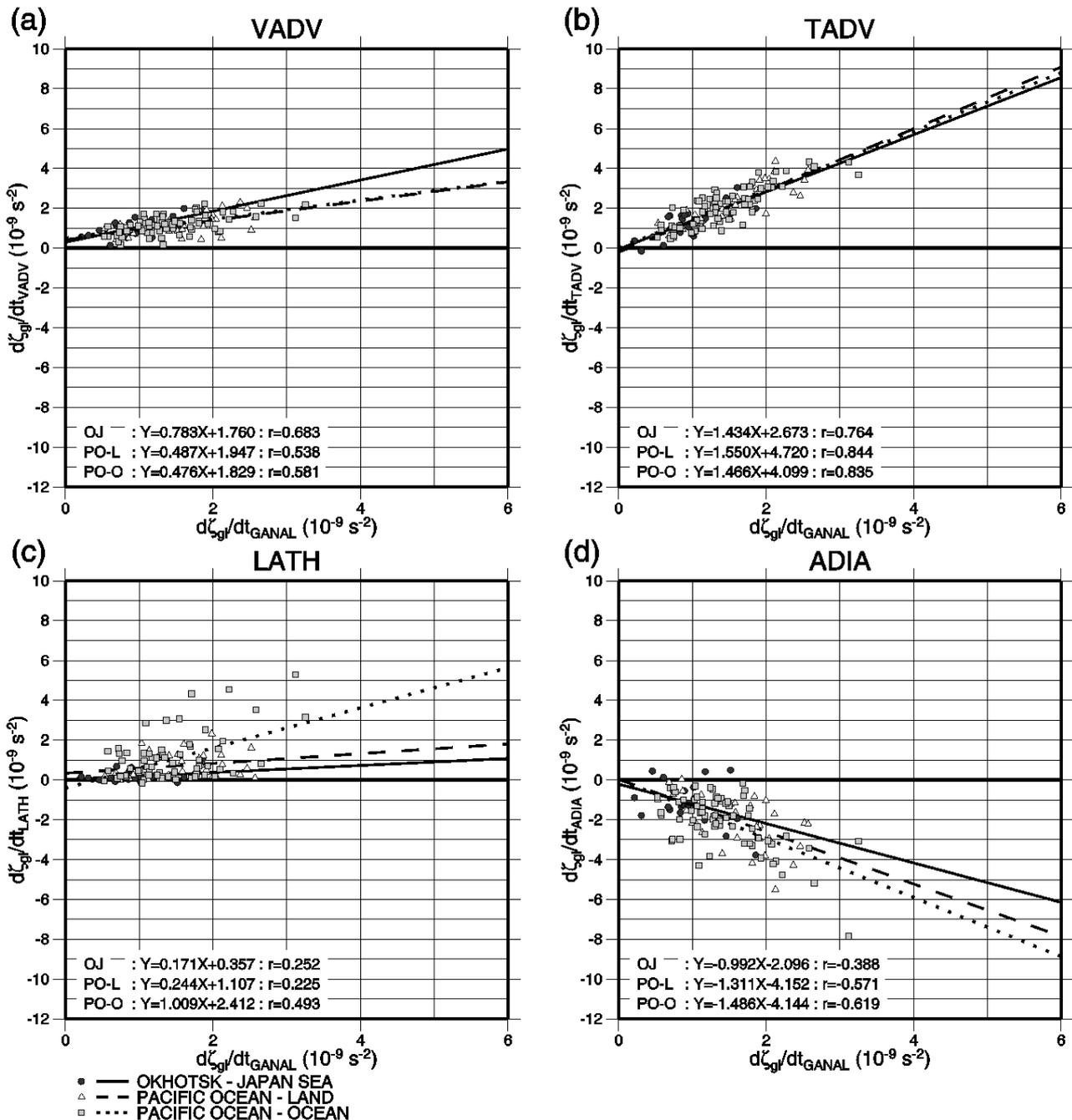


図 3 . 6 時間後の低気圧中心周囲 1000km 四方平均の 12 時間中心差分による 1000 hPa 地衡風相対渦度傾向(横軸)と Z-O 方程式の各項((a)渦度移流項, (b)温度移流項, (c)潜熱放出項, (d)断熱冷却項), (縦軸)との相関図。実線は OJ タイプ, 破線は PO-L タイプ, 点線は PO-O タイプの回帰直線を示す。

km 四方で平均した前後 6 時間の中心差分から求めた渦度傾向と各項との相関関係を示す。全体として温度移流項はどのタイプでも他の項よりも相関が大きく断熱冷却項は負の相関を持つ。タイプ別に見ると、OJ タイプは他のタイプよりも渦度移流項との正相関が大きいが潜熱放出項との相関は小さい。一方、PO-L タイプは温度移流項との相関が最も強く、PO-O タイプは潜熱放出項との正相関が非常に強い。このことから、統計解析に見られた PO-O タイプの最大発達率が他のタイプより大きいという特徴は潜熱放出の大きさが要因であることを示唆している。

4. まとめと結論

5 冬季間に北太平洋域で発達した爆弾低気圧の構造と発達要因について低気圧の中心を揃えたコンポジット解析と渦度傾向方程式を用いて解析した。その結果とこれまでの環境場のコンポジット解析の結果から、日本付近で発達する爆弾低気圧の模式図を図 4 に示した。OJ タイプはシベリアから中国北東部に延びる上層トラフの前方で、日本海・オホーツク海と大陸上の寒気との境界に形成される下層傾圧帯上で発達していた。しかしながら水蒸気量が少ないため低気圧発達に対する潜熱放出の寄与は少ない。PO-L タイプはオホーツク海上層に位置する長波トラフに伴って全層に渡って強い西風の環境となり、温度移流による発達が主因となっていた。PO-O タイプは上層の短波トラフに伴う強いジェットストリークの前方で強い上昇域が形成され、そこに大量の水蒸気が流入することで大きな潜熱放出が発生し、他のタイプよりも急激な発達を起こしていた。

このように、日本付近の爆弾低気圧は大陸寒気の季節変動と共に経路が変動し、環境場を反映した構造および発達要因の変化が最大発達率の違いとして現れることが明らかとなった。

参考文献

Lupo, A. R., P. J. Smith and P. Zwack, 1992: A diagnosis of the explosive development of two extratropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.* **120**, 1490-1523.

Zwack, P. and B. Okossi, 1986: A new

method for solving the quasigeostrophic omega equation by incorporating surface pressure tendency data. *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 655-666.

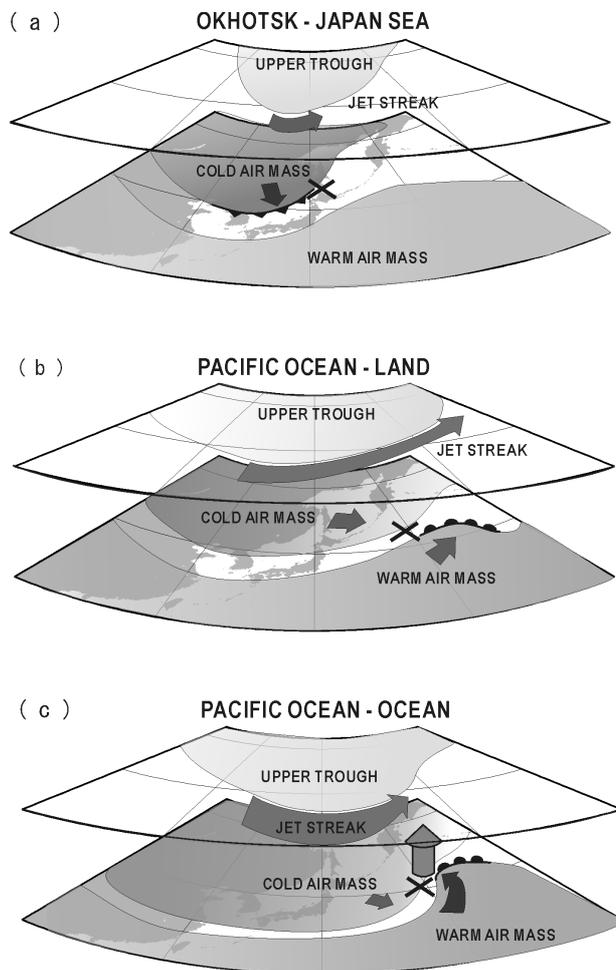


図 4 . 爆弾低気圧の構造的特徴の概念図 . (a)OJ タイプ , (b)PO-L タイプ , (c)PO-O タイプ .