# アンサンブル同化データを用いた爆弾低気圧の予測精度研究 吉田 聡(JAMSTEC・地球シミュレータセンター)・榎本 剛(京大・防災研)

#### 1. はじめに

爆弾低気圧は寒候期に発生する気象災害 の要因の一つであり、防災上、その正確な予 測が求められている。しかしながら、これま で、爆弾低気圧の予測精度に関する研究は事 例解析的なものが多く、統計的な研究はあま りなされていない。

一方、爆弾低気圧の発達メカニズムについ てはいくつかの研究がなされている。

Yoshida and Asuma (2004)では日本付近で発 達する爆弾低気圧を日本海上で発達する OJ タイプと太平洋上で発達する PO タイプに分 類し、急激な発達をもたらす要因が、OJ タ イプでは上層の渦度移流、PO タイプでは低 気圧中心付近での凝結加熱であることを示 した。また、この違いは爆弾低気圧が発達す る環境場に依存していることを示した。この ことは、爆弾低気圧を予測するに当たり、発 達環境に伴う発達メカニズムの違いを考慮 する必要を示唆している。

最近では、アンサンブル同化手法を用いた 再解析データ(ALERA, Miyoshi et al. 2007) やTHORPEX のTIGGE データベースなど、 日々のアンサンブル予報・解析データを研究 に利用できるようになっている。これらのデ ータからはモデルバイアスや初期値の不確 定性など予報誤差情報を抽出することが可 能であり、予測可能性研究を進める貴重なデ ータとなっている。

本研究では、ALERA を用いて、日本付近 で発達した爆弾低気圧の予測誤差を低気圧 タイプに対して解析し、発達メカニズムとの 対応を調査した。

# 2. データと解析手法

用いたデータは海洋研究開発機構、気象庁、 千葉科学大の共同研究で作成された実験的 アンサンブル大気再解析データ(ALERA) である。このデータは解像度T159L48の大 気大循環モデルAFESの40メンバーアンサ ンブルとLETKFを用いた再解析データで、 2005年5月1日から2007年1月10日まで、 解析値と第一推定値それぞれのアンサンブ ル平均とアンサンブルスプレッド(40メン バーの標準偏差)が6時間毎、40メンバー それぞれの解析値が1日毎に保存されてい る。出力変数は海面気圧、気温、風速、ジオ ポテンシャル高度、湿数である。

本研究ではモデルの予報バイアスの指標 としてインクリメント(解析値と第一推定値 の差)、初期値の不確定性の指標として解 析・第一推定値スプレッドを用いる。スプレ ッドは観測密度の影響を除去し、現象に伴っ た誤差を抽出するため、各格子点での2005 年6月1日から2006年5月31日の1年間で 算出した標準偏差で規格化した値を用いる。 図1は2007年1月7日00UTCの海面気圧第 一推定値スプレッドと規格化したスプレッ ドである。規格化すると観測密度が多い陸上



図 1. 2007 年 1 月 7 日 00UTC の海面気圧解析値 (hPa, コンター)と第一推定値スプレッド(hPa、 色). (左) 規格化前, (右) 規格化後.

でのスプレッドが大きくなり、現象に伴う誤 差が現れている。

低気圧の抽出には解析アンサンブル平均 の海面気圧を用いた。11月から3月の寒候 期に日本付近において、6時間毎の海面気圧 極小値を低気圧として nearest-neighbor 法で 追跡した。爆弾低気圧はそのうち発達率

# (CDR)

Cyclone deepening rate (CDR)

$$= \left[\frac{p(t-6) - p(t)}{6}\right] \left[\frac{\sin 60^{\circ}}{\sin \frac{\phi(t-6) + \phi(t)}{2}}\right]$$

が1以上になったものと定義した。ここで、 *p*は中心気圧 (hPa)、*q*は中心緯度(°)、*t*は時 刻(時間)である。爆弾低気圧は Yoshida and Asuma (2004) に習い、最大発達率が日本海、 またはオホーツク海上だった低気圧を OJ タイ プ、太平洋上だった低気圧を PO タイプに分類 し、急発達時の低気圧中心に相対的なコンポジ ット解析を行った。

予測精度と発達メカニズムとの関係を解析 するため Zwack-Okossi (Z-O)発達方程式を用 いた(Zwack and Okossi 1986; Lupo et al. 1992)。 この方程式を用いて、925hPaの地衡風渦度の 時間変化率に対する渦度移流項、温度移流項、 潜熱加熱項、断熱加熱項それぞれの寄与率を診 断した。

#### 3. 結果

本稿では OJ タイプで CDR が 1.0 以上、PO タイプで CDR が 1.4 以上の爆弾低気圧につい ての解析結果を示す。図 2 は OJ タイプと PO タイプの急発達時における海面気圧とそのイ ンクリメントおよび解析スプレッドの合成図 である。OJ タイプは低気圧の北側でインクリ メントが正、南側で負になっている。これはモ デルが低気圧を北よりに予測する傾向がある

#### ことを示している。上層のジオポテンシャル高



図 2. 海面気圧解析アンサンブル平均 (hPa, 細 コンター), インクリメント (hPa, 上段カラー), 第一推定値規格化スプレッド (hPa, 下段カラ ー)の急発達時コンポジット. (a) (c) 0J タイ プ, (b) (d) P0 タイプ. 太実線, 太破線は他の カテゴリに対して 95%, 90%有意な差の領域. 度についても同様の解析を行い、この傾向は上 層トラフをより深く予測する傾向と対応して

いた。また、海面気圧のスプレッドは低気圧の 南西象限で大きく、上層の正渦度付近と下層の 寒冷前線付近でも大きい傾向が見られた。一方、 POタイプでは、低気圧の中心から南側でイン クリメントが負になり、低気圧位置の予測精度 はよいが、その発達強度を過小評価する傾向を 示している。さらに通常の低気圧のインクリメ ントとスプレッド分布を比較したところ、これ ら OJ タイプ、PO タイプそれぞれに特徴的な 誤差分布は通常の低気圧でも同様に現れる一 方で、通常の低気圧の予測誤差の大きさは爆弾 低気圧に比べて大幅に小さく、急発達する低気 圧の方が予測誤差が大きいことがわかった。

この OJ タイプと PO タイプの予測精度の違 いの原因を明らかにするため、Z-O 方程式各項 のインクリメントとアンサンブルスプレッド

を算出した。図3、図4はOJタイプ、POタ イプそれぞれが急発達した時の各項とそのイ ンクリメントの合成図である。OJ タイプでは 上空の渦度移流と断熱加熱による渦度強化が 低気圧の北側で過大になる傾向を示し、予測し た低気圧が観測よりも北側に位置し、上空のト ラフが深すぎるという結果と整合的であった。 一方、PO タイプでは、上層の渦度移流に目立 ったインクリメントは見られなかったが、降水 形成に伴う潜熱加熱のインクリメントが低気 圧中心付近で大きい一方、断熱加熱のインクリ メントはそれと逆符号の結果を示している。こ れらは、潜熱加熱の過小評価が低気圧発達の過 小評価につながっていることを示している。こ れは過去の統計的研究で示されている、OJ タ イプは上層の渦度移流が主な発達要因であり、 PO タイプは中心付近での潜熱加熱が重要な発 達要因であるという結果と整合的であった。つ まり、低気圧を急発達させる主要因の予測精度 が低気圧発達の予測精度につながっているこ とが示唆している。

さらに、アンサンブルスプレッドに関して各 項を実際の渦度発達率のアンサンブルスプレ ッドで規格化し、各項の相対的な不確定性を解 析した(図5、6)。この解析は実際に低気圧 予測精度の改善を図る際にどの過程を精緻化 するべきかという指標を得られる。この結果、 OJ タイプ、PO タイプともに上層の渦度移流の 不確定性は他の項に比べて非常に小さいこと をわかった。これはモデルバイアスを改善すれ ば、現状の観測網でも予測精度が向上すること を意味している。一方、OJ タイプでは低気圧 南西方向に位置する断熱加熱、太平洋型では低 気圧中心および南象限での潜熱加熱と断熱加 熱の不確定性が相対的に大きかった。これは、 これらの過程が初期値の誤差に敏感であり、よ り正確な初期値を得ること、つまり、急発達直 前の低気圧南西域や中心付近での密な観測が 予測精度の向上に必要であることを示唆して いる。

# 4. まとめ

アンサンブル再解析データを用いて、日本付 近で発達した爆弾低気圧の予測精度を解析し



図3.0JタイプのZ-0方程式解析値(細コンタ ー)とインクリメント(カラー).(a) 渦度移流 項,(b) 温度移流項,(c) 潜熱加熱項,(d) 断 熱加熱項.太実線,太破線は図2と同様.



図4. P0 タイプで図3と同様.

た。インクリメントとスプレッドの解析により、 低気圧の発達環境によって、予測可能性を左右 するメカニズムが異なること、より急激な発達 をする低気圧ほど予測誤差も大きくなること が明らかになり、今後の爆弾低気圧の予測精度 向上に必要なモデルおよび観測の改良に必要 な指標となると考えられる。



図 5.0Jタイプの Z-0 方程式解析値(細コンタ ー)とスプレッド(カラー).(a) 渦度移流項, (b) 温度移流項,(c) 潜熱加熱項,(d) 断熱加 熱項.太実線,太破線は図2と同様.



図6. P0タイプで図5と同様.

# 謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金若手(B) 21740348の助成を受けた。

# 参考文献

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

Miyoshi, T., S. Yamane, and T. Enomoto, 2007: The AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis: ALERA. *SOLA*, **3**, 45–48.

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.

Zwack, P. and B. Okossi, 1986: A new method for solving the quasi-geostrophic omega equation by incorporating surface pressure tendency data. *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 655–666.