

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性を示唆している。

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きている。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

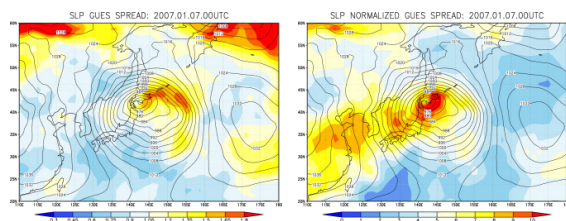


図 1. 2007 年 1 月 7 日 00UTC の海面気圧解析値 (hPa, コンター) と第一推定値スプレッド (hPa, 色). (左) 規格化前, (右) 規格化後.

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)、 ϕ 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

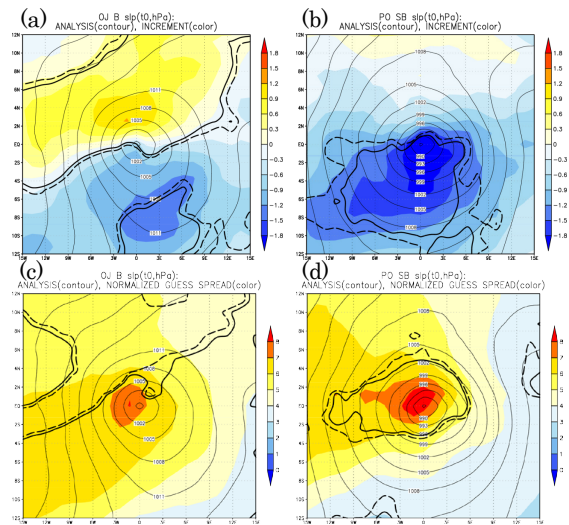


図2. 海面気圧解析アンサンブル平均 (hPa, 細コンター), インクリメント (hPa, 上段カラー), 第一推定値規格化スプレッド (hPa, 下段カラー) の急発達時コンポジット. (a) (c) OJ タイプ, (b) (d) PO タイプ. 太実線, 太破線は他のカテゴリに対して 95%, 90%有意な差の領域.

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

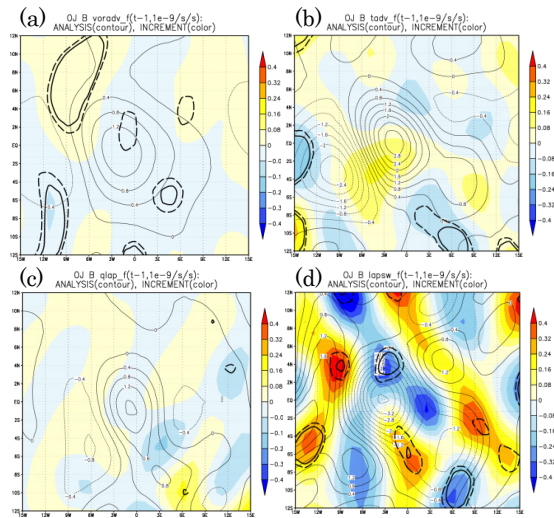


図3. OJタイプのZ-0方程式解析値(細コンター)とインクリメント(カラー). (a) 渦度移流項, (b) 温度移流項, (c) 潜熱加熱項, (d) 断熱加熱項. 太実線, 太破線は図2と同様.

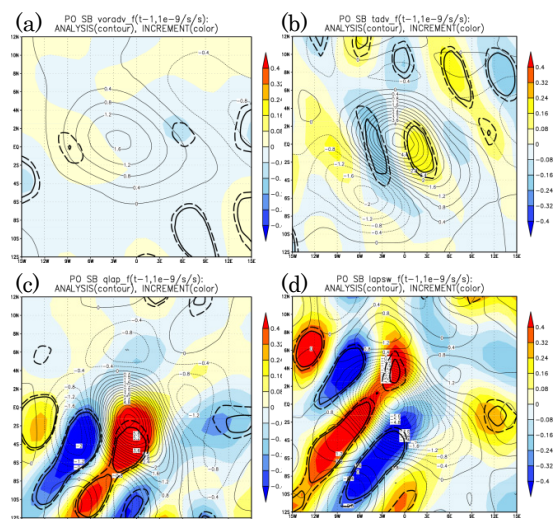


図4. POタイプで図3と同様.

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。

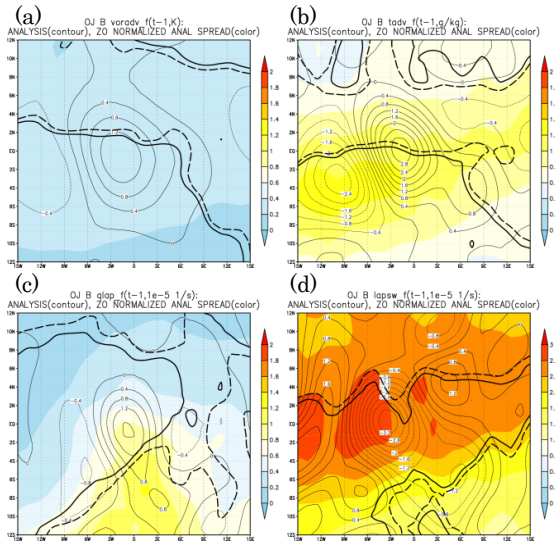


図5. OJタイプのZ-0方程式解析値（細コンター）とスプレッド（カラー）。(a) 渦度移流項、(b) 温度移流項、(c) 潜熱加熱項、(d) 断熱加熱項。太実線、太破線は図2と同様。

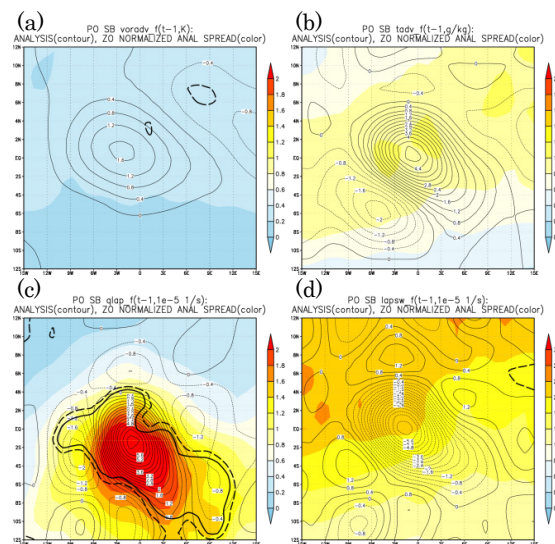


図6. POタイプで図5と同様。

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.