

複数の低気圧から形成される爆弾低気圧の統計的解析

Statistical analysis of explosive cyclones formed by a number of extratropical cyclones

北海道大学大学院工学院 ○学生員 北野慈和 (Yoshikazu Kitano)
北海道大学大学院工学研究院 正員 山田朋人 (Tomohito J. Yamada)

1. はじめに

2014年12月16日から18日にかけて形成、発達した爆弾低気圧は、16日午後8時頃から24時間以上根室沖に停滞し、道東地方に高潮による浸水及び暴風雪等の被害をもたらした。根室市の高潮浸水による被害総額は20億円を超え、床上浸水87棟、床下浸水10棟となり、暴風雪による国道の通行止めは16日から19日にかけて、25路線39区間に及んだ¹⁾。この事例を踏まえ、2015年5月に水防法(昭和24年法律第193号)が一部改正され、都道府県が最大規模の高潮により浸水が想定される区域を高潮浸水想定区域として指定し、それに基づいて市町村が地域防災計画やハザードマップを作成・活用することが義務付けられた。この想定しうる最大規模の高潮について、北海道、東北地方、北陸地方に関して低気圧についても考慮するとしており、”想定する低気圧の中心気圧については、1996年以降で北海道・東北地方・北陸地方において我が国既往最大規模の低気圧である2014年12月に根室で高潮を発生させた低気圧(946hPa)を基本とし、経路については、当該低気圧を並行移動することにより、各海岸で潮位偏差が最大となるよう複数の経路を設定する。”とある²⁾。

同事例の気象概況を図-1に示す。図-1(a)は16日午前3時から6日正午にかけての爆弾低気圧の経路を示す⁴⁾。図-1(b)は同期間の爆弾低気圧の緯度、経度、中心気圧(SLP)の時系列である。16日午前3時の時点では、九州南岸および日本海に二つの温帯低気圧が位置する。爆弾低気圧の一般的な定義⁵⁾は、中心気圧が24時間のうちに24hPa以上低下する温帯低気圧であるが、同事例の低気圧の中心気圧は16日午前3時から24時間で、それぞれ、55hPa(九州南岸から太平洋沿岸を通過する低気圧: 1012hPa → 957hPa)、38hPa(日本海を北東へ移動する低気圧: 1010hPa → 972hPa)低下した。両爆弾低気圧は北東へ移動するとともに接近し、17日には北海道を東西に挟み込む位置で停滞した。17日午前0時から午前6時にかけて、太平洋沿岸を移動した爆弾低気圧の中心気圧は、24hPa(973hPa → 949hPa)と他の時刻に比べ著しく減少した。17日午後、950hPa程度の強い中心気圧を有していた爆弾低気圧(太平洋南岸を移動)が周囲の場の気圧を下げることで、980hPa程度の相対的に高い中心気圧を有していた爆弾低気圧(日本海を北東へ移動)の中心は観測できなくなった。

上記のように、2014年12月中旬の爆弾低気圧の事例では、二つの爆弾低気圧が接近し、あたかも”融合”するような振る舞いを示すとともに、片方の爆弾低気圧は中心気圧を急激に低下させた。本研究では、過去40年の

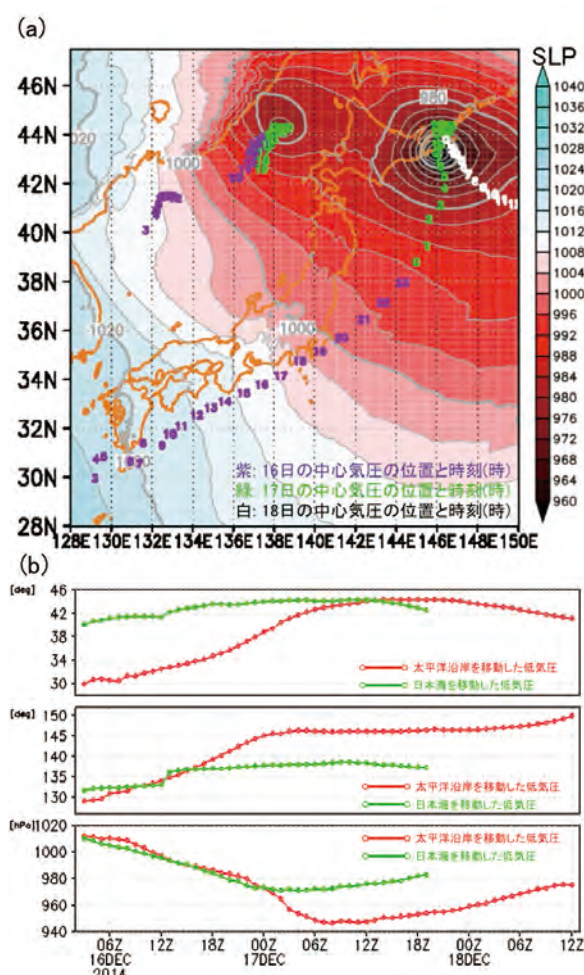


図-1 (a)2014年12月中旬に道東地方に高潮浸水及び暴風雪等の被害をもたらした爆弾低気圧の経路。同年12月16、17、18日の爆弾低気圧の経路と時刻(時)を、紫、緑、白の数字で示す。背景は最低中心気圧を記録した17日午前8時の海面更正気圧(SLP)[hPa]。著者らの論文⁴⁾より転載。(b)16日午前3時から18日正午までの爆弾低気圧の緯度[°](上)、経度[°](中)、中心気圧(SLP)[hPa](下)。赤線は太平洋沿岸を、緑線は日本海を進行した爆弾低気圧の場合を示す。気象庁のメソ数値予報モデルGPV(MSM)のデータ³⁾を使用し算出。

爆弾低気圧を解析し、複数の爆弾低気圧が融合するような振る舞いを見せる前後で、統計的に中心気圧がどのように変化するかを解析した。2章では本研究で使用したデータと手法を示し、3章で解析結果を示す。4章でまとめを行う。

2. データと手法

(1) 使用したデータ

ヨーロッパ中期予報センター(European Centre for Medium-range Weather Forecasts, ECMWF)の40年再解析データ(ECMWF ERA-40, 以下ERA-40)⁶⁾を用いて、1960年1月-1999年12月までの40年間の爆弾低気圧の抽出を行った。6時間毎の緯度 1.125°×経度 1.125°メッシュの海面更正気圧(以下、SLP)を用いた。

(2) 爆弾低気圧のトラッキング手法

爆弾低気圧情報データベース⁷⁾、および Yoshida and Asuma⁸⁾を参考に、日本周辺における爆弾低気圧の抽出を以下の手順で行った。

- 日本およびその周辺である北緯 20°-60°、東経 110°-180°を対象領域とする。対象領域内の各グリッドの SLP が、南北各 2.25°(計 4.5°)×東西各 3.375°(計 6.75°)のボックスの中で最低であるかどうかを検査し、該当した場合、低圧部として検出する。低圧部の検出を全ての時刻において行う。
- 時刻 T における低圧部の座標から南北各 5.625°(計 11.25°)×東西 9.0°(計 18.0°)のボックス内で、時刻 T+1(時刻 T の 6 時間後の時刻)において低圧部がある場合、両低圧部は同一のものとみなす。時刻 T+1 に、ボックス内で複数の低圧部が検出された場合は、最も近いものとする。
- 全ての時刻で行い、低圧部のトラッキングを行う。24 時間以上トラッキングが継続した場合、これを温帯低気圧とみなす。また、低圧部を低気圧中心とし、その気圧を中心気圧とする。
- 以下の閾値を満たす急激な中心気圧の低下がある温帯低気圧を爆弾低気圧と定義する。

$$I < \varepsilon = \left[\frac{P(T-1) - P(T+1)}{12} \right] \left[\frac{\sin 45^\circ}{\sin \varphi(T)} \right] \quad (1)$$

ここで、 ε は低気圧の発達率を、 P は中心気圧[hPa]を、 $\varphi(T)$ は低気圧中心の緯度を示す。使用したデータのタイムステップは 6 時間であり、発達率 ε は時刻 T の前後 6 時間(計 12 時間)の気圧の低下を、緯度で規格化したものである。一般的な爆弾低気圧の定義⁴⁾では式(1)中の北緯 60°で規格化を行うが、本研究の対象地域が日本であることから、文献^{7), 8)}を参考に、発達率 ε の規格化には $\sin 45^\circ$ を用いた。なお、緯度で規格化を行う理由は、異なる緯度の、中心に向かい同じ気圧傾度を有する温帯低気圧を比較した場合、高緯度ほどコリオリ力が大きいため、相対的に地衡風が弱まるためである。

以上の手順を用い、1960 年 1 月-1999 年 12 月までの 40 年間に発生した爆弾低気圧を抽出した。上記手法は、b) に示す通り最も近い低圧部をトラッキングするため、別々の低気圧が途中で融合することを許容するが、ひとつの低気圧が分裂し、複数の低気圧が生じるような過程は考慮しない。

3. 結果

表-1 に、1960 年 1 月から 1999 年 12 月までの 14610

表-1 1960 年 1 月から 1999 年 12 月に発生した爆弾低気圧の融合回数と事例数(ERA-40 を用いて爆弾低気圧を抽出)。

融合回数	0	1	2	3	4	5
事例数	945	452	211	87	52	13
融合回数	6	7	8	9	10≤	合計
事例数	7	6	1	1	0	1775

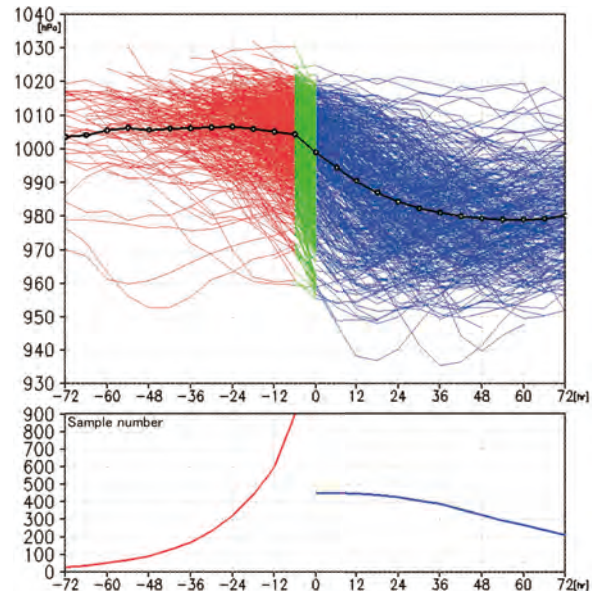


図-2 1960 年 1 月から 1999 年 12 月に発生した爆弾低気圧のうち、融合回数 1 回の事例(全 452 事例)の、融合した時刻を 0 時とした場合の前後 72 時間の中心気圧(上)とサンプル数(下)。上の図では、細い赤-緑-青線は各事例を、黒い実線は全事例の平均を示す。二つの爆弾低気圧は緑色の線で示した-6 時から 0 時にかけて融合する。下の図では、爆弾低気圧の個数をサンプル数として示す。融合時には 452 個、融合直前には 904 個の爆弾低気圧があり、その前後では、発生前、消失後の爆弾低気圧があるためサンプル数は増加、減少する。

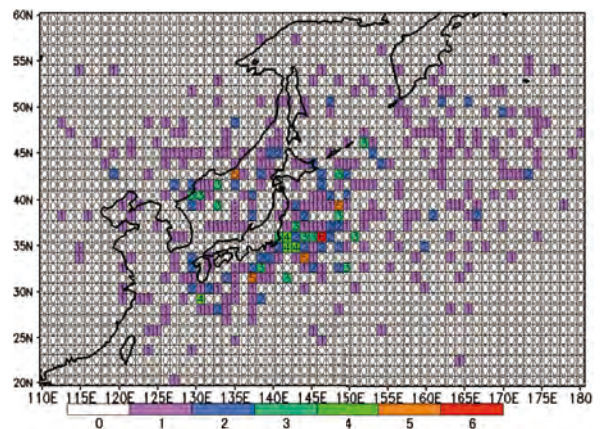


図-3 1960 年 1 月から 1999 年 12 月に発生した爆弾低気圧のうち、融合回数 1 回の全 452 事例の融合箇所の分布。図中の数値は、解析期間中にその座標で融合した回数を示す。

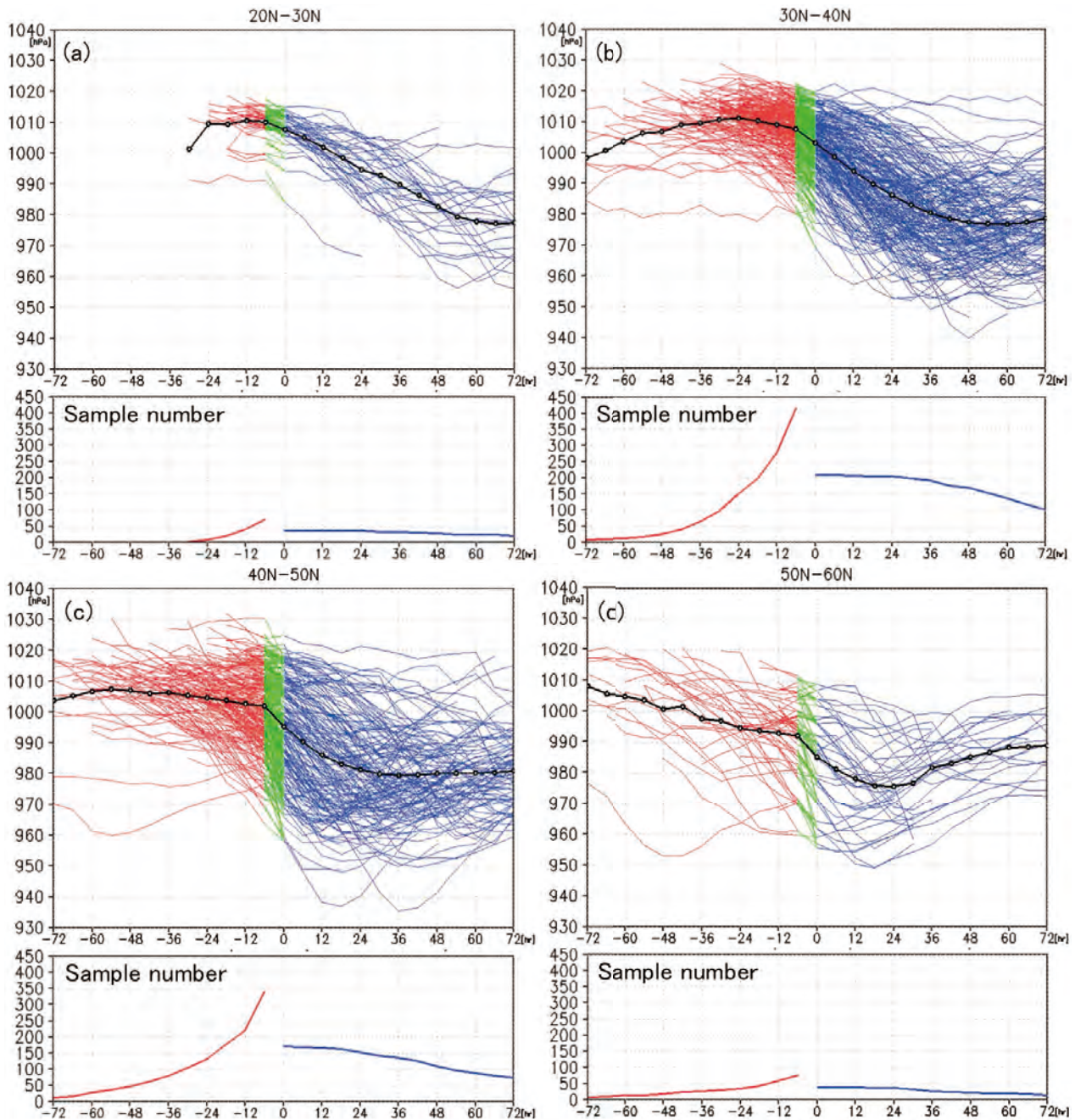


図-4 緯度別に示した、融合回数 1 回の事例(全 452 事例)の融合前後の中心気圧(上)とサンプル数(下)。線の意味は図-3 と同様。(a)北緯 20°-30°、(b)北緯 30°-40°、(c)北緯 40°-50°、(d)北緯 50°-60°で二つの爆弾低気圧が融合した場合。融合時には、(a)36 個、(b)208 個、(c)170 個、(d)38 個の爆弾低気圧が存在する。

日間で抽出された爆弾低気圧の事例数を融合回数ごとに示す。ここで、融合回数とは、爆弾低気圧のトラッキングの過程で、複数の爆弾低気圧の経路が途中から同じ経路になった回数である。同時刻に 3 つ以上の爆弾低気圧が融合した場合は、その個数で融合回数をカウントする。複数の爆弾低気圧が融合する場合は、融合回数にかかわらず 1 事例とカウントした。合計 1775 事例の爆弾低気圧が抽出されたが、そのうち半分以上の 945 事例では、トラッキングの過程で他の低気圧との融合がない。融合回数は 1~9 回のばらつきを持っており、10 回以上融合する事例は存在しなかった。

図-2 の上図は、融合回数 1 回の全 452 事例について、融合の前後の中心気圧の変遷を示す。融合した時刻を 0 時とし、その前後 3 日間についてプロットした。赤-緑-青の細い線は、融合前-融合時-融合後の各事例の中心気圧を示し、太い黒の実線は全事例の平均値を示す。下図はサンプル数を示す。融合の前後でサンプル数は半減するが、これは二つの低気圧が一つになるためである。融合時を境に中心気圧が低下することが見て取れ、平均(黒の実線)では 6 時間当たり 5.38hPa 低下する。

図-3 は融合回数 1 回の全 452 事例の融合箇所と回数を示す。日本海付近及び太平洋沿岸付近で融合しやすく、

緯度帯では、北緯 30°-40°付近での頻度が高い。

図-4 は、融合回数 1 回の事例に関し、緯度別に、(a) 北緯 20°-30°、(b)北緯 30°-40°、(c)北緯 40°-50°、(d)北緯 50°-60°で分類した融合前後の中心気圧の変遷を示す。図中の線の意味は図-2 と同様である。融合の前後で、黒の実線で示す全事例の平均では、北緯 20°-30°では 2.47hPa、北緯 30°-40°では 4.61hPa、北緯 40°-50°では 6.59hPa、北緯 50°-60°では 6.89hPa 低下し、高緯度ほど融合の前後での中心気圧の低下が激しい。

図-5 は、融合回数 1 回の事例を対象とし、融合の前後(図-2 における時刻-6 時と 0 時の間)で、中心気圧がどれだけ低下したか 2hPa 刻みで示す。融合の前に存在する二つの低気圧のうち、融合の 6 時間前の中心気圧が他方に対して低いものの減少を青線で、高いものの減少を赤線で、これらの総和を黒線で示す。中心気圧の減少のピークは-2hPa(-1hPa~-3hPa)にあり、平均値は青線、赤線、黒線の順に、6 時間当たり 4.72hPa、6.03hPa、5.38hPa の低下である。

4. まとめ

本研究では、2015 年水防法一部改正の起因となった、北海道東部に暴風、高潮災害を引き起こした 2014 年 12 月中旬に発生した爆弾低気圧が、二つの低気圧が融合した前後で中心気圧を著しく低下させたことを踏まえ、過去 40 年間に日本及び北太平洋付近で発生した全爆弾低気圧を抽出し、低気圧の融合の前後での中心気圧の変化を解析した。以下に本研究の成果を箇条書きにする。

- ・爆弾低気圧は過去 40 年間で、全 1775 事例存在するが、945 事例では発達過程で低気圧の融合は見られない。融合する事例は 830 事例存在し、融合する個数は 1-9 個のばらつきを有す。融合するものの中では、融合回数 1 回が最も多い。
- ・融合前後の中心気圧の低下を議論するため、融合回数が 1 回の事例を対象とし、中心気圧の変化の時系列についてまとめた。事例ごとにばらつきを有するが、平均では、融合の前では中心気圧の値は横ばいであり、融合と同時に中心気圧の低下が始まる。全事例の平均で、融合の前後で 6 時間当たり 5.38hPa 中心気圧は低下する。
- ・融合が発生しやすい座標は、日本海及び太平洋沿岸域である。特に、北緯 30°-40°帯での発生が多く、関東沿岸に集中している。
- ・高緯度ほど融合前後での中心気圧の低下は大きい、融合の時刻を境に気圧の低下が始まる傾向にある点は、緯度によらず共通である。
- ・上記の議論は、融合前の二つの低気圧について平等に評価している。これらを、融合 6 時間前の中心気圧が低いものと高いものに分けて考えると、前者は融合回数 1 回の事例の平均で、中心気圧が 6 時間当たり 4.72hPa、後者は 6.03hPa 融合とともに低下する。1.31hPa 程度の差異はあるが、融合前の中心気圧の大小に関わらず、融合の前後で気圧の低下が見られることがわかる。また、最大で、融合時の中心気圧の低下は 32hPa 程度であった。

以上より、日本周辺及び北太平洋地域に発生する爆弾

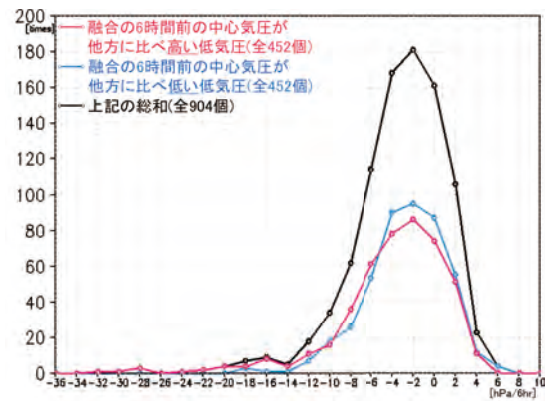


図-5 1960 年 1 月から 1999 年 12 月に発生した融合回数 1 回の事例の融合時の中心気圧の減少の大きさ [hPa/6hr] とその事例数。融合前には二つの低気圧が存在するが、このうち中心気圧が他方と比べて低いものの融合時の中心気圧の減少を青線で、高いものの場合を赤線で、その総和を黒線で示す。

低気圧は、発達過程で低気圧の融合が生じると、中心気圧を下げる傾向にあることを統計的に説明した。同地域の爆弾低気圧の中には発達過程に融合が生じていない事例も存在するが、融合がある事例に関しては、融合が中心気圧の急激な低下に寄与していると考えられる。本研究では海面更正気圧をもとに低気圧の融合を加味したが、上空における渦の構造がどのように変遷したかについては、今後の課題としたい。

謝辞 本研究は MEXT/SICAT、MEXT/SOUSEI (theme C-i-C)、JSPS 科研費 26.1522、JSPS 科研費 15K18118 の成果の一部である。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局: 今冬の暴風雪・高潮への対応について、平成 27 年 2 月 18 日 局長記者会見配布資料, 2015. (<http://www.hkd.mlit.go.jp/kyokutyuu/h26/0218/kyokutyuu.html#1> 2015 年 12 月 11 日現在)
- 2) 農林水産庁, 国土交通省: 高潮浸水想定区域図作成の手引き Ver. 1. 00, 2015.
- 3) メソ数値予報モデル GPV (MSM): (<http://www.jmbssc.or.jp/hp/online/f-online0c.html>), (2015 年 12 月 11 日現在)
- 4) 北野慈和, 山田朋人: 北日本を通過する爆弾低気圧と太平洋ブロッキングとの関係, 土木学会論文集 B1(水工学), 72(4), 投稿中.
- 5) Sanders, F. and J. R. Gyakum: Synoptic-dynamic climate of the "bomb", Mon. Rev., 108, 1589-1606, 1980.
- 6) Uppala, Dakari M., et al.: "The ERA-40 re-analysis.", Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 131, 2961-3012, 2005.
- 7) 九州大学川村研究室: 爆弾低気圧情報データベース (http://fujin.geo.kyushu-u.ac.jp/meteorol_bomb/algorithm/) (2015 年 12 月 11 日現在).
- 8) Yoshida, Akira, and Yoshio Asuma: Structures and environment of explosively developing extratropical cyclones in the northwestern Pacific region. Monthly weather Review, 132, 1121-1142, 2004.