TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

北半球における温帯低気圧の気候学的特徴に関する 研究

メタデータ	言語: jpn
	出版者:
	公開日: 2022-08-12
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 金本, 泰明, カネモト, ヤスアキ
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2516

修士学位論文

北半球における温帯低気圧の

気候学的特徴に関する研究

2021 年度 (2022 年 3 月)

東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科 海運ロジスティクス専攻

金本泰明

修士学位論文

北半球における温帯低気圧の

気候学的特徴に関する研究

2021 年度 (2022 年 3 月)

東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科 海運ロジスティクス専攻

金本泰明

目次

1.	はじめに1
2.	使用データ3
	2.1 JRA55
	2.2 ETOPO
	2.3 J-OFURO3
3.	温帯低気圧の抽出及び追跡手法6
	3.1 海面気圧高周波成分の抽出7
	3.2 低圧部の抽出7
	3.3 低気圧の追跡
	3.4 对象低気圧9
4.	結果10
	4.1 発生個数10
	4.2 寿命11
	4.3 要素別位置分布12
	4.4 最大発達率16
	4.4.1 緯度別分布
	4.4.2 緯度別季節分布16
	4.4.3 海面水温との関係17

	4.5	年々変動	19
5.	まとる	Ø	20
謝辞			24
参考	文献		25
図表			26

日本を含む東アジア地域は気象・海象災害をもたらす総観規模の低気圧が多くみられる地 域である。この理由の一つとしてヒマラヤ山脈やチベット高原をもつ世界最大のユーラシア 大陸と、黒潮という世界最強の暖流が流れる北太平洋に面していることが挙げられる。中で も近年爆弾低気圧と呼ばれる急速に発達する温帯低気圧による暴風や大雪の被害をメディア を通して耳にする機会が増えてきたように思う。過去にも雪氷災害、高波被害、船舶の転 覆・座礁、竜巻被害など多くの爆弾低気圧起源の災害が発生している。一般的に中心気圧が 24 時間で 24hPa 以上低下するものを爆弾低気圧と呼んでいるが、あくまでも一つの目安であ り研究者によっては多少異なる定義を用いている場合がある。本研究での定義は後述する。

九州大学の「爆弾低気圧情報データベース」や森ほか(2017)では日本周辺の海面気圧分布 の時系列データから爆弾低気圧を追跡し、経路や発生個数、経年変化の特徴を調べ、日本周 辺の爆弾低気圧の代表経路の特定やその発生個数の年々変化を指摘した。Kuwano-Yoshida et al. (2017)では数値シミュレーションを行い、爆弾低気圧の冬の北太平洋に与える影響を調べ ることで、爆弾低気圧の通過が海洋混合層内の水平発散と深くまで及ぶ上昇流を誘発し、そ の上昇流が海洋表層の冷却を生じることを突き止めた。Kuwano-Yoshida and Minobe (2017) では大気大循環モデル (AGCM) による北西太平洋地域の海面水温前線に対する爆弾低気圧 のストームトラックとの関連を調べた。黒潮と黒潮続流上の海面潜熱フラックスは、爆弾低 気圧を強化し、その影響は広範な大気応答を引き起こすことを明らかにし、爆発性低気圧と 海面水温前線の結合が気候状態や変動,数値気象予報にとって重要であることを示した。こ のように現在、北西太平洋や日本周辺を対象とした温帯低気圧の特徴についてはすでに多く の研究が行われている。しかし、実際の大気海洋の動きを観測することは難しいため、範囲 を限定した事例解析やモデルを使ったシミュレーションが多くを占めている。そのため北半 球全域を対象とした過去の解析データによる温帯低気圧の統計的な特徴を調べた研究は少な い。

そこで本研究では、北半球全域を対象に 11 年間の大気再解析データに基づく統計解析によって、温帯低気圧の気候学特徴を調べ、温帯低気圧における爆弾低気圧の特徴を明らかにする。

本論文の構成は以下の通りである。第1章では研究の背景を述べる。第2章では使用デー タについて、第3章では低気圧追跡手法について説明する。第4章では結果として温帯低気 圧と爆弾低気圧の特徴を述べる。最後に5章では本論文全体をまとめる。 2. 使用データ

2.1 JRA-55

本研究では、北半球全域の温帯低気圧の気候学的特徴を把握するために、気象庁が作成し た長期再解析データ JRA-55 を使用した。これは、1958 年から現在に至るまでの観測データ を数値解析予報システムを用いて解析しなおしたもので、高品質で可能な限り均質な大気再 解析データセットである(Kobayashi et al. 2015)。このデータセットでは、全球の気圧、海面 更正気圧、気温、温位、湿数、比湿、東西風、南北風などのデータが地表面および等圧面毎 に利用できる。水平格子間隔は 1.25 度、鉛直は 37 層ある。本研究では 2008 年 1 月から 2018年12月の期間の海面更正気圧の解析値を用いた。時間間隔は6時間ごと(00、06、12、 18UTC)である。北半球全域の温帯低気圧の影響を見るため、解析対象範囲は北半球とした。 気候研究を行うにあたり、過去と現在の気候を定量的に評価することが求められるため、長 期間にわたって高品質で均質なデータセットが不可欠である。しかし、過去の現業数値解析 予報システムによって作成された解析データと、現在作成されている解析データの品質は大 きく異なっており長期間での品質は均質とは言えない。そこで JRA-55 では、長期間にわたっ て高品質で均質な気候データセットの作成を目的として、最新の数値解析予報システムを用 いて過去の現業で使用された観測データの再解析を行い、均質で高品質な気候データセット を作成している。

2.2 ETOPO

NOAA (アメリカ海洋大気庁)の NGDC (米国地球物理データセンター)が提供している 極域を含む全球の標高・水深の格子を使用した。水平格子間隔が 5 分のデータを使用した。 本研究では海面更正気圧のデータを格子間隔 1.25 度で解析しているため、まず 5 分間隔の地 形高度のデータを 1.25 度間隔に平滑化する作業を行った。各 1.25 度格子点から半径 100 km の範囲にある地形高度のデータを単純平均し、その格子点の高度とした。 2.3 J-OFURO3

J-OFURO(Japanese Ocean Flux Data Sets with Use of Remote Sensing Observations) は 複数の人工衛星観測から計算された全球域での熱・運動量・淡水フラックスのデータセット であり、北海道大学を中心とした研究プロジェクトによって作成されている。今回使用した ものはプロジェクトの第三世代目のデータセットである J-OFURO3 である。本研究は、1988 年から 2017 年までの海面水温の月別気候値を J-OFURO3 から入手し利用した。水平格子間 隔は 0.25 度である。

3. 温帯低気圧の抽出及び追跡手法

本研究では、北半球全域の温帯低気圧を特定し気候学特徴を調べるために、低気圧の位置 を6時間毎の海面更正気圧(以下、海面気圧と記す)のデータから特定し、個々の低気圧の 位置経路、中心気圧の時間変化を調べた。次に、急速に発達する爆弾低気圧を低気圧から抽 出してその特徴を調べた。爆弾低気圧は、世界気象機関では中心気圧が24時間で24hPa以 上の低下を示す温帯低気圧と定義されており、今回は九州大学の「爆弾低気圧情報データベ ース」と同様に、発達率を12時間で海面更正気圧がどの程度急速に低下したのかで評価し、 12時間で12hPaを超えた場合を爆弾低気圧と定義した。その際利用した発達率の式を以下に 示す。

発達率(t) =
$$\left[\frac{p(t-6)-p(t+6)}{12}\right]\frac{\sin 45^{\circ}}{\sin \theta}$$
 (hPa/hour)

ここで p は海面気圧、 t は時刻、θ は低気圧中心の緯度とし、発達率を緯度 45 度で規格化して表した。

九州大学の「爆弾低気圧情報データベース」における低気圧の抽出手法を簡単に説明する。

- 海面気圧のデータを使用して半径 300km の領域で最小気圧の位置を探し、周囲よりも
 0.5hPa以上低ければ、低圧部として抽出する。
- ② 発生から 6 時間後の位置を東西に各 9.0°、南北に各 6.0°の範囲で次の低圧部の位置を 探索する。
- ③ 同様に低圧部が移動すると仮定した位置から、東西に各 9.0°、南北に各 6.0°の範囲で

次の低圧部を探して追跡していき、24時間以上持続したものを対象とする。

本研究ではこのアルゴリズムに倣い変更を加えたものを採用した。概要は次の通りである。

3.1 海面気圧高周波成分の抽出

始めに JRA-55 から対象時刻・対象領域内のデータを読み込んだ各格子点上における海面気 圧の情報を高周波成分として取り出す。海面気圧の時系列には、季節変動などによる低周波 の海面気圧変化の成分が含まれている。これらの成分と温帯低気圧の通過のような短期間の 現象に伴う海面気圧変化を区別するために、高周波成分を抽出した。まず海面気圧の時系列 各格子点に 11 日間の移動平均をかけて平滑化し、低周波成分を計算した。この低周波成分を 海面気圧時系列から差し引くことで高周波成分を求めた。このフィルターにより、およそ 22 日周期よりも高周波な信号を抽出することができるため、本研究の対象とする数日程度の温 帯低気圧に伴う信号を取り出すことができる。

3.2 低圧部の抽出

海面気圧の高周波成分データを用いて、各格子の海面気圧が周囲よりも気圧の低い地点を 低圧部として抜き出す。ある格子点Pが低圧部であるかどうかは、次の方法で判断した。

(a) Pを中心とする半径 300 kmの範囲内で格子点の気圧と比較して最小であるかを調べる。
 図 1a に模式図を示した。格子点間の距離 d は、2 地点の経度と緯度をそれぞれ地点 A(x₁, y₁)、

地点 B(x₂, y₂)とすると、

$d = r \cos^{-1}(\sin y_1 \sin y_2 + \cos y_1 \cos y_2 \cos \Delta x)$

ただし、赤道半径 r = 6378.137 km、 $\Delta x = x_2 - x_1$ とする。

(b) P に隣接する 8 格子の平均海面気圧より 0.5 hPa 以上 P 点の気圧が低いかを調べる。図 1b に模式図を示した。

ある程度の水平スケールを持った温帯低気圧を対象とするため、(a)(b)両方を満たす場 合の低圧部として P を抽出した。ここで、標高 500m 以上の場所で抽出した低圧部は、海面 気圧が高度の高いところでは正確な値を示さない場合もあることを考慮して解析から除外し た。この処理を北半球の全格子点で 2008 年から 2018 年の期間で行った。標高 500m 以上を 除いた地形図を図 2 に示す。

3.3 低気圧の追跡

特定した低圧部の6時間後の位置は、低圧部の半径650kmの範囲で低圧部を探索して決定 した。ここで複数次点候補があった場合は海面気圧の比較を行い最低気圧を示す地点を6時 間後の低気圧の位置とした(図 3a と図 3b)。九州大学のデータベースでは東西方向に各9 度、南北方向に各6度の範囲を取り次の低圧部を探索していたが、緯度変化に対する範囲の 大きさに違いが出てくることを考慮し、本研究では距離を基準に範囲を決めた。半径650km の範囲内に次の低圧部がない場合、追跡終了とした。

8

3.4 対象低気圧

各時刻の各低圧部すべてに対して追跡を行ったために同じ低気圧の軌跡を複数回抽出する ことが起こる。これは発生位置がすべての格子点上にあることを示しており、一つの低気圧 に対して複数の重複する軌跡が得られたことを示している。同じ低気圧に対して複数の軌跡 が得られるとき、最も長い期間追跡できた場合を、その低気圧の軌跡とした。また今回温帯 低気圧を対象とするため、北緯 20 度以南に発生位置を持つものは、熱帯低気圧と仮定して 除いた。さらに 24 時間以上追跡できたものを本研究の対象温帯低気圧とした。 4. 結果

4.1 発生個数

11 年間のデータから抽出した温帯低気圧と爆弾低気圧の総個数を 1 年あたりの個数に換算 し、温帯低気圧と爆弾低気圧の個数の比較を行った(図 4)。北太平洋セクターを東経 120 度 から西経 120 度の範囲、北大西洋セクターを本初子午線から西経 100 度と定義した。季節は 12 月から 2 月を冬季、3 月から 5 月を春季、6 月から 8 月を夏季、9 月から 11 月を秋季とし た。温帯低気圧は、北半球全域ではやや冬季・春季に多く、太洋別で比較すると、すべての 季節で北太平洋の方が多いことがわかる。爆弾低気圧は季節変化が明瞭で冬季に最多で、夏 季にはほとんど観測されなかった。温帯低気圧に対する爆弾低気圧の数の割合を大洋別に求 めると 1 年当たり北太平洋では 10.8%、北大西洋では 10.5%とほぼ差はなく、大洋による違 いは見られない。 次に大洋別に温帯低気圧全体と爆弾低気圧の寿命を比較した(図 5)。寿命は低気圧の追跡 開始時刻から終了時刻までとした。個数は1年当たりに換算した。各大洋ともに、温帯低気 圧は1日から2日、爆弾低気圧は3日から4日の寿命を持つものが多く太洋別の違いは明確 にはなかった。また、温帯低気圧の中でも爆弾低気圧は6日までの頻度が高く、寿命が長い ことがわかる。 4.3 要素別位置分布

爆弾低気圧の気候学的特徴をより明確にするために、ここからは爆弾低気圧を除く温帯低 気圧(以下、単に温帯低気圧と記す)と爆弾低気圧の比較を行った。温帯低気圧と爆弾低気 圧それぞれの通過位置、発生位置、消滅位置、最大発達率を示す位置、最低気圧を示す位置 を北緯 20 度以北の範囲で頻度分布として表した。水平格子間隔 5 度ずつの領域で個数をカウ ントした。発生位置は追跡開始位置、消滅位置は追跡終了位置とした。

温帯低気圧は、関東から北海道の東方沖の海上(北緯 35 度から北緯 45 度、東経 145 度か ら東経 150 度付近)やオホーツク海で通過頻度がやや高くなっている。全体的には地中海や 北太平洋、北大西洋に 1 年で 20 回以上の頻度で観測されるのがわかる(図 6)。爆弾低気圧 は北太平洋と北大西洋の 2 か所のより限定的な地域に通過が見られ、北太平洋は頻度分布が 西から東に向かって伸び、北大西洋は南西から北東にかけて伸びている(図 7)。特に、北太 平洋では関東地方の東方海上から千島近海にかけ南北に高頻度域が広がり、またそこから経 度 180 度付近までやや高い頻度が東に延びている。北大西洋ではニューヨークの北東沖から 北アメリカ大陸東岸海上を北上し、グリーンランドの南の海上まで高い頻度が見られる。九 州大学の爆弾低気圧情報データベースと比較するとおおよそ一致しているが、本研究の方が 北太平洋において追跡期間が長い。これは爆弾低気圧情報データベースが災害情報の観点か ら、東経 160°以東で最大発達率を示した爆弾低気圧は日本への影響がほとんどないとして、 データベースから除外していることに起因している。 温帯低気圧の発生位置は北緯 30 度から北緯 40 度の緯度帯に多く、特に朝鮮半島の北東沖 (北緯 40 度、東経 130 度付近)、日本の関東地方沿岸や北緯 40 度から北緯 50 度の西経 100 度付近に集中している(図 8)。爆弾低気圧は温帯低気圧と比較してまとまった位置に分布し ている(図 9)。北太平洋では関東沖を中心に北緯 30 度から北緯 40 度の緯度帯に高い頻度が 広がり、北大西洋ではフロリダ沖からハッテラス岬にかけた北緯 30 度から北緯 40 度の緯度 帯に高い頻度が見られる。

温帯低気圧の消滅位置は北緯 40 度以北に見られ、北アメリカ大陸の西岸沖を流れるアラス カ海流付近に高頻度域が見られる(図10)。爆弾低気圧の消滅位置は温帯低気圧よりも高緯度 な北緯 50 度以北に高頻度域がみられ、特に北太平洋ではアラスカ半島とアラスカ湾(北緯 50 度から北緯 60 度、西経 130 度から西経 150 度付近)に広がっている(図 11)。北大西洋 ではラブラドル半島の東の海上からグリーンランドの南の海上に渡って広がっている。

温帯低気圧の最大発達率は日本の東方沖の海上では比較的まとまって見られたがそれ以外 は北緯 30 度から北緯 60 度の間に散らばっている(図 12)。爆弾低気圧の最大発達率は両大 洋とも海盆の西側に顕著にみられ、特に北太平洋では関東沖から北海道の東沖合に南西から 北東にかけて高頻度域が広がり、北大西洋ではハッテラス岬付近の北緯 30 度から北緯 40 度 の緯度帯沖とグリーンランドの南海上沖に集中して広がっている(図 13)。

温帯低気圧の最低気圧を示す位置は最大発達率を示す位置よりも高頻度域が北に位置し、 特にアラスカの南海上に集中している(図14)。爆弾低気圧の最低中心気圧を示す位置も同様

13

に最大発達率を示す緯度よりも高緯度に見られ、特に北太平洋では千島近海に、北大西洋で はラブラドル海(北緯 65 度、西経 60 度付近)に高頻度域が見られる(図 15)。

これらを踏まえ、通過位置における各要素(発生位置、消滅位置、最大発達率を示す位置、 最低中心気圧を示す位置)との関係を温帯低気圧と爆弾低気圧に分け以下にまとめる。

温帯低気圧は地中海や北太平洋、北大西洋などの広い範囲に通過が見られる。そのうち発 生位置は通過位置の南側である北緯 30 度から北緯 40 度の緯度帯に見られる。消滅位置は通 過位置の北側である北緯 40 度以北に集中して見られる。特にアラスカ海流付近に高頻度域が 見られる。最大発達率を示す位置は通過位置の西側部分にやや多い。最低中心気圧を示す位 置は消滅位置と同様に通過位置の北側に集まり、その中でも北緯 50 度付近に高頻度域が見ら れる。

爆弾低気圧は北太平洋と北大西洋のより限定的な地域に通過が見られる。特に、北太平洋 では関東地方の東方海上から千島近海にかけ南北に高頻度域が広がり、またそこから経度 180度付近までやや高い頻度が東に延びている。北大西洋ではニューヨークの北東沖から北 アメリカ大陸東岸海上を北上し、グリーンランドの南の海上まで高い頻度が見られる。その うち発生位置は通過位置の西南西の位置に集中している。一方、消滅位置は通過位置の東北 東に位置しており、爆弾低気圧は統計的にみると西南西から東北東へ移動していることが分 かる。最大発達率は通過位置の西側に集中している。また、通過頻度の高い地域と最大発達 率を示す位置がほぼ一致している。最低中心気圧を示す位置は通過位置の北側部分である北 緯40度以北に集中している。

4.4 最大発達率

4.4.1 緯度別分布

爆弾低気圧の寿命は図4にあるように温帯低気圧と比べると比較的長いため、本研究では2 日以上追跡できたものを対象に最大発達率の解析を行った。まず始めに、各大洋セクターご とに11年の間に最大発達率を示した緯度をカウントし、緯度別個数を1年単位に換算し表示 した(図16)。灰色が温帯低気圧、赤色が爆弾低気圧を表している。温帯低気圧は北太平洋で は北緯40度に最多で、北大西洋では北緯40度から北緯60度の緯度帯に同頻度で見られる。 ここで、北太平洋では北緯70度以北にビークがあるように見えるが、これは低気圧追跡の際 の低圧部を決定する段階で標高500m以上の地点を取り除いたことによって北緯60度から北 緯70度の間に低圧部が抽出されなかったことが原因であると考えられる(図2)。爆弾低気 圧は北太平洋では北緯40度から北緯50度の緯度帯に多く、北大西では北緯35度から北緯

4.4.2 緯度別季節分布

ここでは 4.4.1 で 1 年当たりに換算した緯度分布を各季節ごとに分けて季節変化を調べた (図 17)。温帯低気圧は北太平洋では明瞭な季節変化がみられないが、北大西洋では夏季に多 く、冬季に最も少ない。特に夏季は北緯 40 度から北緯 60 度の緯度帯で顕著な高い頻度が見 られたがそれ以外の緯度では他の季節との変化が少ない。爆弾低気圧は北太平洋では冬季に 多く、特に北緯 40 度付近に3個以上の突出した高頻度域が見られる。春季、秋季は冬季に比 ベ南側の個数が減ったためピークの位置が北に移動したように見える。北大西洋でも冬季に 多く特に北緯 40 度付近に多く見られる。

4.4.3 海面水温との関係

次に爆弾低気圧の最大発達率と海面水温との関係を調べた。まず 1988 年から 2017 年の海 面水温の気候値を季節ごとに北緯 20 度以北の範囲で表した(図 18a~図 18d)。海面水温は1 度ごとに等値線を描いており、夏季に高温域が北に広がり冬季にかけて緩んでいく。また冬 季や春季の日本の東の海上や北アメリカ大陸の東の海上では等値線が混んだ前線がある。そ こで前線を可視化するため海面水温の水平勾配強度を計算した。爆弾低気圧発生数が最も多 い冬季を例として図 19 に表示した。日本の東方沖やフロリダ沖からカナダ東方沖までのメキ ショ湾流に近い場所で強い勾配強度が存在しており、これは図 13 に示した爆弾低気圧の最大 発達率を示す高頻度域と対応しているように見える。そこで、強い水温前線が見られる東経 140 度から東経 160 度、西経 40 度から西経 80 度の 2 つの範囲で東西平均を計算し、緯度ご との強度を求め爆弾低気圧の最大発達率との関係を調べた。図 20a は冬季の北太平洋で比較 したものである。海面水温水平勾配強度が最大となる前線部分の北緯 40 度付近で爆弾低気圧 の最大発達率が観測されていることが分かる。次に春季と秋季について見てみると、海面水 温の前線は季節による変化はあまり見られないことが分かる(図 20b、図 20c)。また、冬季と

17

同様に海面水温の前線と爆弾低気圧の最大発達率の位置はほぼ一致しているが、冬季に比べ 海面水温前線の北側の方に最大発達率の位置がみられる。冬季の北大西洋についても北太平 洋と同様に海面水温勾配が最大となった緯度帯で爆弾低気圧が最大発達率を示している(図 21a)。春季、秋季も冬季と同じ結果となった(図 21b、図 21c)。

北太平洋、北大西洋どちらも季節によらず海面水温の前線と爆弾低気圧の最大発達率を示 す緯度が一致した。これは、Kuwano-Yoshida and Minobe (2017)と同様に海面水温前線が海 面上の大気に南北の大きな温度差を生み、大気の傾圧性を強化することにより、温帯低気圧 を急速に発達させていると推察される。 2008 年から 2018 年の各年に抽出された温帯低気圧と爆弾低気圧の発生個数偏差を調べた。 期間平均の個数からの偏差として各大洋セクターで比較した(図 22、図 23)。灰色が温帯低 気圧、赤色が爆弾低気圧を表している。北太平洋セクターでは 2015 年に温帯低気圧と爆弾低 気圧の差が顕著でありそれ以降も逆位相のように見える。しかし 2014 年までは増減の様子が ある程度等しくなっているため相関係数は-0.25 とやや弱い負の相関関係を示す。北大西洋セ クターでは全体的にみると温帯低気圧が増加(減少)すると爆弾低気圧が減少(増加)して いるように見える。相関係数は-0.58 であり、かなり負の相関関係があると考えられる。

次に、温帯低気圧と爆弾低気圧に分け、大洋間での関連を調べた(図 24、図 25)。赤色が 北太平洋、青色が北大西洋を表している。温帯低気圧は北太平洋では 2008 年から 2015 年 にかけて減少し、2016 年から 2017 年にかけて急増し期間平均より 50 個以上多く抽出されて いる。北大西洋では 2008 年から 2016 年にかけて減少し、北太平洋と同様に 2017 年に急増 している。相関係数は 0.31 とやや弱い正の相関関係を示す。爆弾低気圧は北太平洋では 2008 年から 2014 年にかけてやや減少し、2015 年で急増し期間平均より 10 個も多く抽出されてい る。北大西洋では 2009 年から 2010 年にかけて急激に減少したがそこから 2018 年にかけて 徐々に増加している。相関係数は-0.09 で大洋間での相関関係はない。温帯低気圧は各大洋に よる年々変化はほとんど見られないが、爆弾低気圧は期間全体で減少傾向がある北太平洋域、 増加傾向がある北大西洋域といった年々変化に大きな違いが見られる。 本研究では、北半球全域の温帯低気圧を特定し気候学特徴を調べるために、JRA-55 の 6 時 間毎の海面気圧のデータを用いて、北半球全域における温帯低気圧を特定し、個々の低気圧 の位置経路、中心気圧の時間変化を調べた。次に、急速に発達する爆弾低気圧を低気圧から 抽出してその特徴を調べた。解析対象は 2008 年から 2018 年の北半球全域とした。追跡方法 は先行研究である九州大学の「爆弾低気圧情報データベース」のアルゴリズムを採用し、高 周波成分による低圧部抽出、距離計算による追跡を加えて処理した。

まず、温帯低気圧全体と温帯低気圧における爆弾低気圧の特徴を見つけるために、発生個 数と寿命について調べた。温帯低気圧全体では、北半球全域でやや冬季・春季に多く、太洋 別で比較すると、すべての季節で北大西洋より北太平洋の方が多いことが分かった。爆弾低 気圧は季節変化が明瞭で冬季に最多で、夏季にはほとんど観測されなかった。また、温帯低 気圧全体は1日から2日、爆弾低気圧は3日から4日の寿命を持つものが多く太洋別の違い は明確にはなかった。

次に、爆弾低気圧の気候学的特徴をより明確にするために、抽出された温帯低気圧全体か ら爆弾低気圧を除いた温帯低気圧(以下、単に温帯低気圧と記す)と爆弾低気圧に分けて比 較を行った。それぞれの通過位置、発生位置、消滅位置、最大発達率を示す位置、最低気圧 を示す位置を北緯 20 度以北の範囲で調べた。

温帯低気圧は地中海や北太平洋、北大西洋などの広い範囲に通過が見られる。発生位置は

20

通過位置の南側である北緯 30 度から北緯 40 度の緯度帯に見られる。消滅位置は通過位置の 北側である北緯 40 度以北に集中して見られる。最大発達率は通過位置の西側部分にやや多く 位置している。最低中心気圧を示す位置は最大発達率を示す位置より高緯度である北緯 50 度 付近に見られ、消滅位置と同様に通過位置の北側に多い。

爆弾低気圧は温帯低気圧に比べてより限定的な地域に通過が見られる。特に、北太平洋で は関東地方の東方海上から千島近海にかけ南北に高頻度域が広がり、またそこから経度 180 度付近までやや高い頻度が東に延びている。北大西洋ではニューヨークの北東沖から北アメ リカ大陸東岸海上を北上し、グリーンランドの南の海上まで高い頻度が見られる。発生位置 と消滅位置は温帯低気圧の特徴と同様にそれぞれ通過域の西南西域と東北東域に見られ、爆 弾低気圧は統計的には西南西一東北東へ移動していることが分かる。最大発達率を示す位置 は両大洋とも海盆の西側に顕著にみられ、通過位置の西側に集中している。特に北太平洋で は関東沖から北海道の東沖合に南西一北東の走行で高頻度域が広がり、北大西洋ではハッテ ラス岬付近の北緯 30 度から北緯 40 度の緯度帯沖とグリーンランドの南海上沖に集中して広 がる。また、通過頻度の高い地域と最大発達率を示す位置がほぼ一致している。

最低中心気圧を示す位置は温帯低気圧の特徴と同様に最大発達率を示す緯度よりも高緯度 に見られ、通過位置の北側部分である北緯 40 度以北に集中している。特に北太平洋では千島 近海に、北大西洋ではラブラドル海(北緯 65 度、西経 60 度付近)といった場所に温帯低気 圧の時よりも明瞭な高頻度域が見られる。

21

爆弾低気圧が 2 日以上の寿命を持つものが多いことや北太平洋と北大西洋の 2 つの地域に 限定的であることを踏まえ、2 日以上追跡できた温帯低気圧と爆弾低気圧の最大発達率を各大 洋セクターごとに比較した。温帯低気圧は北太平洋では北緯 40 度に最多で、北大西洋では北 緯 40 度から北緯 60 度の緯度帯に高頻度で見られる。また季節変化を調べると温帯低気圧は 北太平洋では明瞭な季節変化が見られないが、北大西洋では夏季に多く、冬季に最も少ない。 夏季は海面気圧の水平勾配が中緯度で小さく、そのため実際は小さい低気圧だとしても抽出 され、数が増えたと考えられる。冬季は海面気圧の水平勾配が大きいため、小さい低気圧は 気圧の谷となり抽出されにくかったと考えられる。爆弾低気圧は北太平洋では冬季に多く、

次に各大洋セクターごとに海面水温と温帯低気圧の発達の関係を調べる。冬季北太平洋で は海面水温水平勾配強度が最大となる前線部分の北緯 40 度付近で爆弾低気圧の最大発達率が 観測された。これは各季節、各大洋でも同様であり、温帯低気圧の発達には海面水温前線が 関係することを示唆している。特に海面水温の前線帯では海洋と大気の間の熱交換によって 南北の大気の温度差が大きくなり、傾圧不安定な状態を強化させたと考えられる。

最後に、温帯低気圧と爆弾低気圧の年々変動を調べた。北太平洋セクターの温帯低気圧と 爆弾低気圧の発生個数に相関関係はほとんどないが、北大西洋セクターでは温帯低気圧が増 加すると、爆弾低気圧が減少し、温帯低気圧が減少すると爆弾低気圧が増加するという負の 相関関係がある。また、温帯低気圧は各大洋による発生個数の年々変動は明確にはないが、 爆弾低気圧は北太平洋セクターでは減少傾向になり、北大西洋セクターでは増加傾向になっ ている。

本研究では、北半球全域を対象とした11年間の統計的解析で導かれた温帯低気圧の気候学 的特徴と爆弾低気圧の気候学的特徴をまとめた。今回は北極周辺についてあまり正確な追跡 が行えておらず、各緯度セクターごとに条件を変化させて精度を高めた追跡手法の確立を行 う必要がある。またその手法で得たデータを用いて地球全域のさらなる気候学的特徴を調べ ることが今後の課題である。 この度、研究を行うにあたり、岩坂直人教授、小橋史明教授には大変お忙しい中でも多く の助言と熱心な指導をいただけたことに、厚く御礼申し上げます。また、環境科学研究室の 皆様、観測船「白鳳丸」でご一緒させていただいた皆様にも厚く御礼申し上げます。ありが とうございました。 Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. J. Meteor. Soc. Japan, 93, 5-48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.

九州大学.「爆弾低気圧情報データベース」.

http://fujin.geo.kyushu-u.ac.jp/meteorol_bomb/

森信人, 千綿蒔, 二宮順一, 間瀬肇. JRA-55 を用いた日本周辺の冬季低気圧の長期変動特性について. 土木学会論文集 B2(海岸工学). 2007, vol.73, no2, p487-492.

Kuwano-Yoshida, A., Sasaki, H., & Sasai, Y.. Impact of explosive cyclones on the deep ocean in the North Pacific using a eddy-resolving ocean general circulation model. Geophysical Research Letters. 2017, vol.44, p. 320-329, doi: 10.1002/2016GL07136.

Kuwano-Yoshida, A., Minobe, S.. Storm-track response to SST Fronts in Northwestern Pacific Region in an AGCM. Journal of Climate. 2017, vol30, p. 1081-1102, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0331.1.





図 1a 地点 P が半径 300 km圏内で最小値であるかを調べる。



図 1b 地点 P を囲む周囲 8 格子点の高周波成分の平均より 0.5hPa 以上低圧であるかを調べ

る。



図 2 標高 500m以下の陸を北緯 20 度以北の範囲で示した図。赤枠は北太平洋セクターの範囲。黒枠は北緯 60 度から北 70 度の範囲を表している。海上は濃灰色で表した。



図 3a 低圧部として抽出された P 点から半径 650 kmの範囲で次の低圧部候補をいくつか探す。 その中で、最小の海面更正気圧を示すものを 6 時間後の低圧部として抽出。



図 3b 図 2.a で抽出された 6 時間後の低圧部から同様に次点候補を探し、最小海面更正気圧 を示すものを次点としこれを繰り返す。範囲内に時点候補がない場合追跡修了とする。



図4 温帯低気圧と爆弾低気圧の1年当たりに抽出された個数の季節分布。灰色は温帯低気圧 の個数、赤色は爆弾低気圧の個数。



図5 温帯低気圧と爆弾低気圧の寿命を各大洋セクターごとに示す。個数は1年当たりに換算 し、上左図が北太平洋セクターの温帯低気圧、上右図が北太平洋セクターの爆弾低気圧、下 左図が北大西洋セクターの温帯低気圧、下右図が北大西洋セクターの爆弾低気圧を表示した。



図 6 温帯低気圧の通過位置頻度分布。11 年間のデータから 5 度格子ごとに頻度を計算し、1 年当たりに換算した値を北緯 20 度以北の範囲で表示した。



図7 爆弾低気圧の通過位置頻度分布。11 年間のデータから5 度格子ごとに頻度を計算し、1 年当たりに換算した値を北緯20 度以北の範囲で表示した。



図8 温帯低気圧の発生位置頻度分布。11年間のデータから5度格子ごとに頻度を計算し、1 年当たりに換算した値を北緯20度以北の範囲で表示した。



図9 爆弾低気圧の発生位置頻度分布。11 年間のデータから5 度格子ごとに頻度を計算し、1 年当たりに換算した値を北緯20 度以北の範囲で表示した。



図 10 温帯低気圧の消滅位置頻度分布。11 年間のデータから 5 度格子ごとに頻度を計算し、 1 年当たりに換算した値を北緯 20 度以北の範囲で表示した。



図 11 爆弾低気圧の消滅位置頻度分布。11 年間のデータから 5 度格子ごとに頻度を計算し、 1 年当たりに換算した値を北緯 20 度以北の範囲で表示した。



図 12 温帯低気圧の最大発達率を示す位置の頻度分布。11 年間のデータから 5 度格子ごとに 頻度を計算し、1 年当たりに換算した値を北緯 20 度以北の範囲で表示した。



図 13 爆弾低気圧の最大発達率を示す位置の頻度分布。11 年間のデータから 5 度格子ごとに 頻度を計算し、1 年当たりに換算した値を北緯 20 度以北の範囲で表示した。



図 14 温帯低気圧の最低中心気圧を示す位置の頻度分布。11 年間のデータから 5 度格子ごと に頻度を計算し、1 年当たりに換算した値を北緯 20 度以北の範囲で表示した。



図 15 爆弾低気圧の最低中心気圧を示す位置の頻度分布。11 年間のデータから 5 度格子ごと に頻度を計算し、1 年当たりに換算した値を北緯 20 度以北の範囲で表示した。



図 16 温帯低気圧と爆弾低気圧が最大発達率を示す緯度分布。1 年当たりに換算し各大洋セ クターごとに表示した。灰色が温帯低気圧、赤色が爆弾低気圧。



図 17 図 15 を各季節ごとに表示。左上図が北太平洋セクターの温帯低気圧、右上図が北太 平洋セクターの爆弾低気圧、左下図が北大西洋セクターの温帯低気圧、右下図が北大西洋セ クターの爆弾低気圧。赤色が冬季(12月、1月、2月)、青色が春季(3月、4月、5月)、緑 色が夏季(6月、7月、8月)、黒色が(10月、11月、12月)。



図 18a 1988 年から 2017 年の気候値による冬季海面水温分布。北緯 20 度以北の範囲で表示。



図 18b 1988 年から 2017 年の気候値による春季海面水温分布。北緯 20 度以北の範囲で表示。



図 18c 1988 年から 2017 年の気候値による夏季海面水温分布。北緯 20 度以北の範囲で表示。



図 18d 1988 年から 2017 年の気候値による秋季海面水温分布。北緯 20 度以北の範囲で表示。



図 19 図 18a から求めた冬季海面水温勾配強度。北緯 20 度以北の範囲で表示。



図 20a 冬季北太平洋セクターにおける、爆弾低気圧の最大発達を示す緯度と海面水温勾配強度(東経 140 度から東経 160 度の範囲で東西平均)との関係。赤線が海面水温勾配強度、青棒グラフが最大発達率を示す緯度を1年当たりに換算したもの。



図 20b 春季北太平洋セクターにおける、爆弾低気圧の最大発達を示す緯度と海面水温勾配 強度(東経 140 度から東経 160 度の範囲で東西平均)との関係。赤線が海面水温勾配強度、 青棒グラフが最大発達率を示す緯度を1年当たりに換算したもの。



図 20c 秋季北太平洋セクターにおける、爆弾低気圧の最大発達を示す緯度と海面水温勾配強度(東経 140 度から東経 160 度の範囲で東西平均)との関係。赤線が海面水温勾配強度、青棒グラフが最大発達率を示す緯度を1年当たりに換算したもの。



図 21a 冬季北大西洋セクターにおける、爆弾低気圧の最大発達を示す緯度と海面水温勾配強度(西経 40 度から西経 80 度の範囲で東西平均)の関係。赤線が海面水温勾配強度、青棒グラフが最大発達率を示す緯度を1年当たりに換算したもの。



図 21b 春季北大西洋セクターにおける、爆弾低気圧の最大発達を示す緯度と海面水温勾配 強度(西経 40 度から西経 80 度の範囲で東西平均)との関係。赤線が海面水温勾配強度、青 棒グラフが最大発達率を示す緯度を1年当たりに換算したもの。



図 21c 秋季北大西洋セクターにおける、爆弾低気圧の最大発達を示す緯度と海面水温勾配強度(西経 40 度から西経 80 度の範囲で東西平均)との関係。赤線が海面水温勾配強度、青棒 グラフが最大発達率を示す緯度を1年当たりに換算したもの。



図 22 2008 年から 2018 年に北太平洋で抽出した各年の発生個数偏差。期間平均の個数から の偏差として表した。灰色が温帯低気圧、赤色が爆弾低気圧。左目盛りに温帯低気圧の偏差、 右目盛りに爆弾低気圧の偏差。



図 23 2008 年から 2018 年に北大西洋で抽出した各年の発生個数偏差。期間平均の個数から の偏差として表した。灰色が温帯低気圧、赤色が爆弾低気圧。左目盛りに温帯低気圧の偏差、 右目盛りに爆弾低気圧の偏差。



図 24 2008 年から 2018 年に抽出した各年の温帯低気圧の発生個数偏差。期間平均の個数か らの偏差として表した。赤色が北太平洋、青色が北大西洋。



図 25 2008 年から 2018 年に抽出した各年の爆弾低気圧の発生個数偏差。期間平均の個数か らの偏差として表した。赤色が北太平洋、青色が北大西洋。