# 2012年8月初旬~2015年9月中旬における本邦およびその近傍の 温帯低気圧の位置・経路追跡のためのデータベース構築

中川清隆\*·宗村広大\*\*·渡来靖\*

キーワード:データベース、追跡、温帯低気圧、位置・経路

#### I. はじめに

立正大学地球環境科学部環境システム学科環境気象学 分野では、2012年8月1日~2015年9月18日の間、上信 越山岳域における気圧、気温、相対湿度の高密度10分間 隔連続観測プロジェクトを実施した。三国峠を挟む利根 川-魚野側谷筋および碓氷峠を挟む碓氷川-千曲川谷筋 の24地点において、貴重なデータが取得された。

現在、取得データの品質チェック作業が進められると ともに、種々の気象を対象として解析作業が着手されて いる(例えば、重田ほか,2013;中川ほか,2015;渡来 ほか,2015)。本プロジェクトのように独自に取得された データを有効に活用するためには、同期して観測されて いる気象庁等の既存のルーチン観測データや天気図や衛 星画像、高層気象データ等のバックグランドデータを取 得して総合的に解析することが重要である。

本稿は、立正大学上信越山岳域高密度気象観測プロジェ クトのバックグランドデータ収集の一環として、同プロ ジェクト期間(2012年8月初旬~2015年9月中旬)にお ける極東アジアにおける温帯低気圧の位置および経路追 跡のためのデータベース構築を目的とする。

#### Ⅱ. 低気圧経路の解析方法

低気圧の挙動解析の際には、サイクロジェネシス cyclogenesis とサイクロリシス cyclolysis、更にはサイクロン トラック cyclone track の把握が重要である。邦語では、 サイクロジェネシスは低気圧の発生・発達、サイクロリ シスは低気圧の衰退・消滅、サイクロントラックは低気 圧経路と表記されることもある。いずれの解析も、伝統 的には、天気図解析結果に基づいて実施されてきた。

本邦およびその近傍において伝統的方法を本格的に実 践した研究は荒川(1943)および増田・今井(1984)に

\*\* 立正大学生

限られる。荒川(1943)は、気象要覧の資料に基づいて、 1933年~1940年の8年間における本邦近海における温帯 低気圧の発生数、通過数および移動速度を統計した。増 田・今井(1984)は、気象庁印刷天気図に基づいて、1968 年~1978年の10年間におけるアジア太平洋地域における すべての温帯低気圧の緯度、経度、中心示度気圧を読取 り、当該低気圧の12時間前の緯度、経度、中心示度気圧 と一緒に記録したデータセットを作成した。増田・今井 (1984)は、そのデータセットを用いて、温帯低気圧の発 生数、通過数および移動速度を、緯度2°×経度2°メッ シュ統計して、12時間当たりの平均と最大の移動方向と 移動速度の分布を明らかにした。ただし、移動速度は緯 度1°間の経線長に対する比で表現されている。

Chen *et al.* (1991) はサイクロジェネシスを5hPa間隔 での等圧線解析により最低1本の閉じた閉曲等圧線が最 初に解析された地点と定義し、北京気象局が毎日2回公 刊している地上天気図に基づいて極東域における1957年 ~1987年の30年間におけるサイクロジェネシス頻度分布 を解析した。Chen et al. (1991) によると、極東域でサ イクロジェネシスが集中する地域は2箇所ある:一つは 北緯40~55°×東経95~125°領域であり、もう一つは北緯 27.5~40°×東経115~145°領域である。ともにサイクロ ジェネシスの最大頻度軸は北東~南西方向に伸びている。 前者はバイカル湖の東から祁連(Qilian)山脈の東に掛 けた一帯で風下サイクロジェネシスに関係づけられ、後 者は日本海から東シナ海に掛けた一帯で沿岸サイクロジェ ネシスの結果とされている。Chen et al. (1991)の結果 は、1958年単年の統計に基づく Chung et al. (1976) と整 合的である。

Serreze (1995) による海面気圧格子点データからの低 気圧自動検出および自動追跡アルゴリズムの開発以降、 低気圧の位置および経路の自動追跡が盛んに実施されて いる。この方法が適用される場合、独自に実施した数値

<sup>\*</sup> 立正大学・地球環境科学部

計算結果に基づく場合を除いて、既存のデータセットに 基づく場合には、12時間ないしは6時間間隔の低分解能 格子点データに基づいて海面更正気圧 *p* のラプラシアン ∇<sup>2</sup>*p* の極大を示す場所を追跡することが多い。

例えば、我が国では、Yoshida and Asuma (2004) が、 気象庁による全球客観解析データ GANL 海面更正気圧格 子点データを用いた1994年10月~1999年3月の5寒候季 の低気圧自動追跡を実施している。解析期間途中の1996 年の春以降、同データの空間分解能は1.875°間隔(約 200km 間隔)から1.25°間隔(約150km 間隔)に、時間分 解能は12時間間隔から6時間間隔に変更されている。隣 接する全格子点より1hPa 以上海面気圧が低い場合を温 帯低気圧中心とみなし、1日以上の寿命を持ち12時間の 気圧低下率が12hPaを上回る著しく発達した温帯低気圧 のみを5寒候季に224個検出している。彼らは、5寒候季 に検出された224個の著しく発達した温帯低気圧の移動経 路は、そのサイクロジェネシス地点と最大発達地点の組 み合わせにより、①オホーツク海-日本海型(42事例)、 ②太平洋-大陸起源型(50事例)、③太平洋-海洋起源型 (110事例)、④その他(22事例)に区分できるとし、特に 著しく発達するのは、③太平洋 – 海洋起源型(31事例中 20事例)であることを明らかにした(図1参照)。

最近では、山下ほか(2012)が、気象庁・気象研究所 全球大気モデル(解像度 TL959L60)のタイムスライス 実験結果(Kitoh et al., 2009)の1.25°間隔(約150km 間 隔)の海面更正気圧格子点データを用いた6時間間隔爆 弾低気圧自動追跡を実施した。彼らは、大雪発生日にお ける爆弾低気圧の発生から消滅までの移動経路を折線で 示すとともに、最大の気圧降下率が出現した地点に〇印 を付した図を作成し、大雪発生日には、いわゆる南岸低 気圧が本邦の東方海上において急激に発達する爆弾低気 圧が集中して分布していることを示した。しかし、Yoshida and Asuma(2004)や山下ほか(2012)のような自動追 跡による低気圧経路図には不自然な直線経路やクランク 状の経路の存在が目立つ。格子点データの粗い空間分解 能(150km 間隔)と時間分解能(6時間間隔)がその原 因と推測される。

早崎ほか(2014)は、隣接する全格子点より0.5hPa以 上海面気圧が低い場合を温帯低気圧中心とみなして、格 子間隔125kmの海面更正気圧格子点データに基づいて本 邦周辺における1981年~2005年の2月の温帯低気圧の自 動追跡を実施した結果をメッシュ統計して平均温帯低気 圧型経路図と称する図を作成し、温帯低気圧の検出およ び追跡結果のデータセット依存性の有無を調査した。デー タセットとして、(a)気象庁2次長期再解析 (JRA-55;
Kobayashi et al. 2015)、(b)全球気候モデル MIROC5
(Watanabe et al., 2010)、(c)コミュニティ気候モデル新バージョン CCSM4 (Gent et al., 2011)) および(d)気象研究所全球大気・海洋結合モデル MRI-CGCM3 (Yukimoto et al., 2012)を用いた同様の作業を行ない、結果の比較を行った。(a)は実測値であり、(b)~(d)は第5次気候モデル相互比較プロジェクトにおける高解像度モデルによる再現計算結果である。得られた平均温帯低気圧型経路図の比較から、いわゆる南岸低気圧型や日本海低気圧型の検出精度にデータセット依存性が存在することが明らか



図1 極東域における1995年~1999年寒候季の著しく発 達した温帯低気圧224個の移動経路。(a)オホーツク 海-日本海型(42事例)、(b)太平洋-大陸起源型 (50事例)、(c)太平洋-海洋起源型(110事例) (Yoshida and Asuma, 2004より)

にされた。早崎ほか(2014)は、Yoshida and Asuma (2004)や山下ほか(2012)のように個々の温帯低気圧経 路を線で表示する方法をとってはいないため、異常な直 線的経路の有無の判断は困難であるが、両者と比べて時 間・空間分解能に大きな差異はないので、同様の状況で ある可能性が大きい。

本邦付近における温帯低気圧が発生してから消滅する までの経路に関する近年の調査は、冬季に偏って実施さ れている傾向にあり、荒川(1943)および増田・今井 (1984)が志向した全期間のあらゆる温帯低気圧を対象と した気候学的統計調査は継続されていない。また、近年 はコンピュータによる自動追跡による調査が主流となっ ているため、海面気圧格子点データの低時空間分解能の 影響を受けて、温帯低気圧経路の詳細な把握は困難な状 況にある。

そこで本稿は、海面気圧格子点データの空間分解能の 不充分さによる悪影響を抑える目的で、海面気圧格子点 データを用いる自動温帯低気圧追跡ではなく、ルーチン 予報業務において3時間間隔で毎日7回作成されている 実況天気図上で解析された温帯低気圧の中心を追跡して 温帯低気圧データセットを作成する方法を採用すること とした。天気図解析は現業担当者が実施しており、温帯 低気圧の中心の位置と中心示度気圧の解析の時間・空間 分解能は山下ほか(2012)や早崎ほか(2014)に比べる と著しく高い。

#### □. 温帯低気圧の位置情報の収集

気象庁がルーチン業務として3時間間隔で作成している実況天気図は、日界を除く1日7回分がpng形式画像で気象庁 HP に公表されている(http://www.jma.go.jp/

jp/g3/)。しかし、気象庁のサーバー機内部には、最近5 日間分のみしかアーカイブされていないので、それ以前 の実況天気図を入手して作業を行う必要がある場合には、 気象業務支援センターから実況天気図を収納したデジタ ル媒体を購入するか、気象庁 HP より長期に渡ってアー カイブしているサイトからのダウンロードを実施するほ か、術がない。

北海道放送株式会社 HP の専門天気図 速報天気図(略 号 SPAS) バックナンバーのサイト http://www.hbc. co.jp/tecweather/archive/spas\_archive.html において過 去一年間の実況天気図がアーカーブされ公開されている ため、調査・研究目的で利用されることが多い。また、 近年、一般財団法人日本気象協会が過去の天気図 http:// www.tenki.jp/guide/chart/past.html において2012年8 月3日以降の jpeg 形式の実況天気図の公開を実施してい るのが注目される。

図2は、北海道放送株式会社 HP(左)と一般財団法人 日本気象協会 HP(右)から取得した2015年11月1日12時 の天気図の比較である。気象庁 HPの実況天気図は横600 ピクセル×縦581ラインからなる png 形式画像であるが、 北海道放送株式会社 HPの実況天気図は横495ピクセル、 縦480ピクセルからなる jpeg 形式画像に変換されている。 一方、一般財団法人日本気象協会 HPの速報天気図は、 横600ピクセル×縦450ラインからなる jpeg 形式画像であ る。ともに東経140°の子午線が鉛直線として描画され、 経線は放射状、緯線は同心円状に描画されているが、緯 度線・経度線の描画間隔は、気象庁天気図では10°間隔で あるのに対して、日本気象協会天気図は5°間隔となって おり、日本気象協会天気図の方が気象庁天気図より緯度・ 経度の読取は容易と思われる。東経140°線上では、気象 庁天気図では、北緯15°付近~北緯60°付近が示されてい



図 2 北海道放送株式会社 HP(左)と一般財団法人日本気象協会 HP(右)から 取得した2015年11月1日12時の天気図の比較

るのに対して、日本気象協会天気図では、北緯15°付近~ 北緯55°付近が示されており、北緯55°以北に関しては、 気象庁天気図の方が日本気象協会天気図より解析範囲が 広い。北緯35°線上では、気象庁天気図では東経105°付近 ~165°付近が示されているのに対して、日本気象協会天 気図では東経100°付近~165°付近が示されており、東経 110°以西に関しては日本気象協会天気図の方が気象庁天 気図より解析範囲が広い。

以上のことから、気象庁天気図と日本気象協会天気図 の解析範囲には大きな差異は無いものの、立正大学上信 越山岳域高密度連続気象観測プロジェクト期間における 日本海低気圧および南岸低気圧の挙動を解析できるデー タベース構築を目指す本稿においては、緯度線・経度線 間隔が細かくて偏西風上側である西方の解析領域の広さ に勝り、立正大学上信越山岳域高密度連続気象観測プロ ジェクト期間とアーカイブ期間がほぼ重なる日本気象協 会天気図を用いて作業を進めることとした。一般財団法 人日本気象協会がアーカイブを開始した2012年8月3日 以降2015年9月19日までの全天気図を、Visual Basic の Microsoft Internet Transfer Control 6.0を用いてバイナ リーモードでダウンロードし、天気図の年月日時を名前 とする jpg 形式のファイルとして保存した。収集された 天気図の総枚数は8,006に達する。

日本気象協会天気図には1000hPaを含む4hPa間隔の 等圧線が示されるとともに、台風には個、熱帯低気圧に は鬱、温帯低気圧には低の記号と中心示度気圧が示され ている。本稿は、ダウンロードされた日本気象協会天気 図をピクチャーボックスに年月日時順に読み出し、前進・ 後退自由に画像観察が出来る Visual Basic ビューワーソ フトを自作し、同ソフトを用いて最低1本の閉じた等圧 線が解析され、更に、個の記号と中心示度気圧が示され ている温帯低気圧を個々に追跡した。いわば最近傍探索 nearest neighbor search を作業者の目視により主観的に 実施する形となるため、閉じた等圧線が解析されていて も個の記号が付されていない温帯低気圧は追跡対象外と し、同一温帯低気圧識別の際の個人差に伴う人為的誤差 の混入を防ぐ目的で追跡作業担当者は本稿第2筆者に限 定した。追跡対象とする温帯低気圧にシリアル番号を付 け、同一温帯低気圧の中心にマウスカーソルを合わせた 上でマウスボタンをクリックし、MouseDown イベント・ プロシージャを利用して温帯低気圧中心のピクセル・ラ イン番号を読取り、その都度、温帯低気圧番号、年月日 時、温帯低気圧中心のピクセル・ライン番号と中心示度 気圧の一覧をシーケンシャル・ファイルに保存した。



2012年8月3日3時以降2015年9月19日12時までの間 に、日本気象協会天気図上に個と記された温帯低気圧は、 総数964個出現し、伸べ追跡回数は13,361回に達した。図 3は、温帯低気圧が天気図上に初めて出現してから消滅 するまでの温帯低気圧存続期間(温帯低気圧寿命)のヒ ストグラムである。期間中、温帯低気圧存続期間の最大 値は255時間で、これは温帯低気圧寿命10.63日に相当し、 期間中該当する温帯低気圧は1個出現した。温帯低気圧 存続期間の最小値は3時間で、これは温帯低気圧寿命3 時間に相当し、期間中該当する温帯低気圧は12個出現し た。最多の温帯低気圧存続期間は9時間と21時間で、こ れは温帯低気圧寿命0.38日と0.88日に相当し、期間中該当 する温帯低気圧はそれぞれ56個出現した。温帯低気圧存 続期間、即ち、温帯低気圧寿命が1日(=24時間)以内 の低気圧は285個出現し、これは出現した全温帯低気圧 964個の29.6%に相当する。平均の温帯低気圧存続期間は 43.23時間で、これは温帯低気圧寿命1.80日に相当する。

#### Ⅳ. 温帯低気圧中心の緯度・経度の決定法

前節の作業によって得られる個々の温帯低気圧中心の ピクセル・ライン値は当該画像上のみで意味のあるロー カル座標なので、これをグローバル座標である緯度・経 度値に変換する必要がある。天気図は基本的には地図上 に海面更正気圧の分布を示したものであるので、地図学 で用いられている何らかの地図投影法に従っている可能 性が大きい。図2で概観したように、気象庁天気図も日 本気象協会天気図も、経線は放射状の直線群、緯線は同 心円群として描画されている。このような特徴は地軸を 正軸とする円錐(またはポーラーステレオ)投影法に認 められる特徴である。これらの投影法においては、当然 のことながら、全ての経度線は北極点で交わる放射状の



図 4 日本気象協会天気図における経線と緯線の推定。全 ての経線の交点(北極点)の座標は(352, -307)で あり、全ての緯線は同心円でありその中心(北極点) の座標は(352, -360)であると仮定されている。

直線群をなし、全ての緯度線は北極点を中心とする同心 円群をなしていなければならない。

図4は、この観点から、日本気象協会天気図における 北極点の位置を推測したものである。日本気象協会天気 図画像のピクセル方向をx軸方向としピクセル値をx座 標、ライン方向をy軸方向としライン値をy座標とする。 東経140°線上の地点のピクセル値はすべて352となるの で、先ず、東経140°線はx=352と判断される。

次に、x=352線上の経度線の収束点(352, d)を見出す 作業を行った。一般に、地表面に接する円錐を扇形に展 開した際の中心角と4直角との比の値をkとする座標原 点を極点にとり、標準子午線の方向をx軸とする正角円 錐図法においては、

 $x=r(\varphi)\cos k\lambda$ 

 $y=r(\varphi)\mathrm{sin}k\lambda$ 

$$r(\varphi) = \frac{R\cos\varphi_1}{k} e^{\left[\frac{k}{2}\left(\ln\left(\frac{1+\sin\varphi_1}{1-\sin\varphi_1}\right) - \ln\left(\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\right)\right)\right]}$$

と表されることが知られている(河瀬, 2014)。ここで、  $\varphi$ :緯度、 $\varphi_1$ :基準緯度、 $\lambda$ :基準子午線からの経度差、 R:地球半径(=6378km)、 $r(\varphi)$ :写像された円錐上にお ける極点から緯度 $\varphi$ までの母線長であり、 $\frac{1}{2}\ln\left(\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\right)$ は緯度 $\varphi$ における等長緯度と呼ばれる量である。そこで、  $d \ge k$ の値を試行錯誤的に変更しながら、x=352線(東経 140°線)上の点(352, d)から東経140°線とのなす角  $k\Theta$ の線分を日本気象協会天気図に重ねて描画し、天気図上 の経度線との一致度が高い $d \ge k$ の値の組み合わせを探 すこととした。図4に、d=-307、k=1.025とした場合 の、東経140°線とのなす角の点(352, -307)からの放 射状の直線群を示す。東経150°より東側の領域の低緯度 側で若干経度が過小となっているが、総じて良く一致し ている。

以上の試行錯誤的な作業の結果、日本気象協会天気図 上のピクセルx、ラインyの地点の東経λは

$$\lambda = \frac{1}{1.025} \tan^{-1} \left( \frac{x - 352}{y + 307} \right) + 140$$

と表せることが明らかとなった。

円錐図法やポーラーステレオ図法ならば、経度線が一 点に収束する点(352, -307)が北極点となっていなくて はならないので、点(352, -307)を中心とする同心円群 を描いてみたところ(図省略)、日本気象協会天気図の緯 度線と平行になる同心円は存在せず、点(352, -307)を 中心とする同心円の方が緯度線より曲率半径が小さいこ とが明白となった。この事実は、日本気象協会天気図の 緯度円中心は点(352, -307)より更に高緯度側に変位し ていることを示唆する。

そこで、*d* < - 307の領域において*d*の値を試行錯誤的 に変更しながら、*x*=352線(東経140°線)上の点(352, *d*)から様々な半径の同心円を日本気象協会天気図に重 ねて描画し、天気図上の緯度線との一致度が高い*d*の値 を探した。図4に、*d* = - 360とした場合の点(352, -360)を中心とする様々な半径の同心円群を示す。日本気 象協会天気図の全域に於いて、同心円と日本気象協会天 気図の緯線の曲率は総じて良く一致している。この事実 を根拠として、本稿は、日本気象協会天気図の緯度円群 は点(352, -360)を北極点として描かれていると判断し た。

河瀬 (2014) によると、地球を真球と仮定した場合の 円錐投影法地図上における北緯 φ 地点の北極点からの距 離 r (φ) は、

$$\ln (r (\varphi)) = A + B \ln \left(\frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi}\right)$$

の関係を満たす。日本気象協会天気図は、経度線の収束 点と緯度円の中心が一致しないので正確な円錐投影法で はないが、東経140°線上の北緯15°~55°の点の y 座標に 360を加えた値を天気図上の北極点からの距離 r (φ) と みなして、上式の係数 A および B を最小自乗法により決 定したところ、

 $\ln (r (\varphi)) = 6.920 - 0.4379 \ln \left(\frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi}\right)$ 

が得られ、決定係数は  $R^2$ =0.9998に及ぶ。上式を  $r(\varphi)$  について解くと、

$$r\left(\varphi\right) = 1012 \left(\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}\right)^{0.4375}$$

が得られる。

図4上の点(352,-360)を中心とする様々な半径の同 心円は、それぞれ、北緯15°~55°の緯線を示す。北緯20° ~北緯50°の範囲内では、同心円と日本気象協会天気図の 緯線の一致度は良好であるが、それより高緯度および低 緯度では、若干、北極点からの距離が過小気味である。

以上のことから、日本気象協会天気図上のピクセルx、 ラインyの地点の北緯 $\varphi$ は、

$$X = \left(\frac{\sqrt{(x-352)^2 + (y+360)^2}}{1012}\right)^{\frac{1}{0.4379}}$$

を用いて、

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{1-X}{2\sqrt{X}}\right)$$

として割り出すことができる。

前節で得られた2012年8月5日以降2015年9月19日ま での間に日本気象協会天気図上に働と記された総数964個 すべての温帯低気圧の中心のピクセル・ライン値13,361 組を、本節で開発された上記の方法で緯度・経度値に変 換した上で、同一温帯低気圧の直近の1対のデータの出 現時刻、出現地点緯度・経度および温帯低気圧番号で1 行を形成する csv ファイル形式のデータベースとして保 管し直した。これは、増田・今井(1984)とほぼ同様の 仕様であるが、出現時刻もパラメータとして収録してい る点が異なる。天気図は日界を除いて3時間間隔で公開 されているので、通常は3時間間隔のデータがペアをな しており、直近の2枚の天気図が日界を挟んでいる場合 には6時間間隔のデータがペアをなしている。

## V.2012年8月初旬~2015年9月中旬の本邦および その近傍における温帯低気圧の追跡

前節で作成したデータベースを用いて、2012年8月3 日以降2015年9月19日の間の本邦およびその近傍におけ る温帯低気圧の追跡を実施した。

図5は、全期間に出現した全温帯低気圧の中心の位置 をプロットしたものである。大陸上の中国華中・華南地 域、および北緯25°以南の太平洋上において温帯低気圧の 出現が少ないことが注目される。北緯25°以北の海域には 温帯低気圧の出現が多いが、日本列島や朝鮮半島、ロシ ア沿海州、およびカムチャツカ半島といった陸域には、 温帯低気圧の出現が少ないことも注目される。本邦近傍





の温帯低気圧は、日本列島の南を通る場合には南岸低気 圧、日本海を通過する場合には日本海低気圧と区分して 呼ばれることが多いが、本図はその区分の妥当性を如実 に示す形となっている。南岸低気圧の大部分は日本列島 と北緯30°緯線の間に出現している。日本海低気圧は、朝 鮮半島沿岸や中国地方や北陸地方沿岸の日本海南西部に 出現するものは少なく、ロシア沿海州南岸および東北地 方や北海道沿岸の日本海北部・東部に多数出現している。

図6は、緯度・経度5°ごとの格子中に出現する温帯低 気圧の数を計測し、10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>当たりの個数に換算したうえ で等値線解析を行ったものである。図5に認められる特 徴をよく反映した等値線分布となっている。

図7は、個々の温帯低気圧の経路を実線で結んだもの である。Yoshida and Asuma (2004) や山下ほか (2012) のような自動追跡結果に見られる一直線状の長い経路や クランク状の経路は一切認められず、極めて細かい振動 を伴った複雑な経路が示されている。これは、Yoshida and Asuma (2004) や山下ほか (2012) が時間分解能6 時間、空間分解能緯度・経度1.25°と粗いデータに基づい ているのに対して、本稿の時間分解能・空間分解能が比 較的細かいことに起因していると判断される。

温帯低気圧の経路が、中国大陸東北部、日本海北部、 日本南岸に集中していることが明白である。ほぼすべて の温帯低気圧が東進しており、本邦近傍を通過する温帯 低気圧の多くは中国大陸東部華北・華中で存在が顕著と なり北東進する傾向が顕著であり、一部、南東進するも のもあることが明らかである。中国大陸東部沿岸~黄海 にかけて、温帯低気圧の経路は既に南北に二分される傾 向にある。黄海北部を通過した温帯低気圧は朝鮮半島北 部を通過してロシア沿海州南岸の日本海北部を通過して 日本列島の東北・北海道地方に接近する経路を取る。南 岸低気圧は日本列島のすぐ沖合いを通過するものが多い。



図 6 全解析対象期間における温帯低気圧の出現密度の 分布。単位:10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>当たりの出現個数。



黄海南部を通過した温帯低気圧は九州南部を通過して本 州南岸沿岸に沿って日本列島東方海上に抜ける経路を取 る。

図7の特徴を定量的に把握するため、2012年8月3日 ~2015年9月19日の間に東経125°、135°、145°、155°線 を横切った温帯低気圧の個数と平均の移動方向と移動速 度を緯度別に集計した結果を表1に示す。本稿で構築さ れたデータベースが連続する2枚の天気図に出現する同 一の温帯低気圧の年月日時 t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>、中心経度 λ<sub>1</sub>, λ<sub>2</sub>、中心緯 度 ø」、 ø<sub>2</sub>の組合せと温帯低気圧番号から構成されている ため、ターゲットの経度 λ と前後2つの温帯低気圧中心 の経度の差の積  $(\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2)$  の符号を求めれば、前 後の時間の間にターゲットの経度を温帯低気圧が横切っ たか否か直ちに判断できる。積  $(\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2)$  が非正 の値をとり当該の温帯低気圧がターゲットの経度んを横 切ったと判断される場合には、前後2つの温帯低気圧中 心の経度λ<sub>1</sub>,λ<sub>2</sub>をターゲット経度λが内分する比率(λ- $\lambda_1$ ):( $\lambda_2 - \lambda$ ) で、前後2つの時間  $t_1, t_2$ および緯度  $\varphi_1, \varphi_2$ を内分することにより、当該温帯低気圧がターゲット経 度λを横切った時間 *t*および緯度 φ が求まる。

当該温帯低気圧の移動方向 $\psi$ は経度 $\lambda_1$ 緯度 $\varphi_1$ の地点からみた経度 $\lambda_2$ 緯度 $\varphi_2$ の地点の方向 $\psi$ に等しい。即ち、

$$\psi = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\cos \varphi_1 \tan \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \right\}$$

である。ただし、方位ψは北を0°(=360°)として東回 りに測り、南が±180°、西が-90°、東が90°である。

当該温帯低気圧は時間差 $t_2 - t_1$ の間に経度 $\lambda_1$ 緯度 $\varphi_1$ の 地点から経度 $\lambda_2$ 緯度 $\varphi_2$ の地点に移動しているので、この 間の移動距離を所要時間で除すことにより、移動速度vを求めることができる。即ち、

$$v = \frac{R\cos^{-1}\{\cos\varphi_2\cos\varphi_1\cos(\lambda_2 - \lambda_1) + \sin\varphi_2\sin\varphi_1\}}{t_2 - t_1}$$

である。ここで、*R*:地球の半径(=6378km)である。 表1に示される通り、2012年8月5日~2015年9月19 日の間に日本気象協会実況天気図上において解析された 964個の温帯低気圧のうち、東経125°線を通過する温帯低 気圧は311個、東経135°線を通過する温帯低気圧は342個、 東経145°線を通過する温帯低気圧は338個、東経155°線を 通過する温帯低気圧は240個であった。東経125°線は日本 列島西方に位置し、東経145°線および155°線は日本列島 東方に位置し、日本標準子午線である東経135°線のみが 日本列島を横断する。温帯低気圧が東経135°線を横切る 緯度帯には高緯度側から、北緯48°と北緯42°および北緯 33°の明瞭な3つのピークが存在しており、これらはそれ ぞれ、大陸山岳風下低気圧、日本海低気圧、南岸低気圧 に相当している。この結果は、Yoshida and Asuma(2004) の提唱する寒候季に著しく発達する温帯低気圧の3通り の経路とは整合的ではない。東経135°線上では日本海は 北緯43.5°~35.5°に広がり、室戸岬と潮岬の緯度が、それ ぞれ、北緯33.3°と北緯33.5°なので、日本海低気圧は日本 海北方のロシア沿海州沿岸、南岸低気圧は本州南岸沿岸 の極近傍に偏って通過していることが明らかである。東 経135°線を横切る温帯低気圧の平均の移動方向は73.5° (東北東)の方向で、平均移動速度は60.6km/hである。 日本列島風上側の東経125°線上の東シナ海では明瞭な2 つのピークは認められず、日本列島風下側の東経145°線 上の北太平洋では北緯45°と北緯35°~37°に2つのピーク が認められるものの、更に風下の東経155°線上では北緯 45°付近の1つの緩やかなピークとなっているので、日本 海低気圧および南岸低気圧の移動経路の偏りが、日本列 島の存在によりもたらされているのは明らかである。

本邦近傍を東進する温帯低気圧の経路が、北緯30°~ 50°の領域に集中するのは、この領域が熱帯を起源とする 暖気と極域を起源とする冷気が接触する寒帯前線帯に沿

緯度	東経125°			東経135°			東経145°			東経155°		
	個数	方向	時速	個数	方向	時速	個数	方向	時速	個数	方向	時速
60												
59												
58												
57												
56				1	81.3	54.6						
55				1	67.5	66.1	4	84.8	41.7			
54	13	68.2	35.7	3	138.0	86.1	5	23.4	55.4			
53	29	51.2	45.1	11	70.1	52.9	8	84.8	36.5	2	72.9	58.4
52	15	92.5	48.7	19	58.1	62.9	11	69.6	30.8	8	111.4	62.0
51	10	101.2	75.5	5	103.6	94.6	9	16.8	31.6	11	59.0	63.4
50	12	42.1	59.1	16	63.8	52.9	7	78.2	47.2	7	78.9	70.8
49	16	68.6	36.9	14	69.2	50.9	16	69.3	58.6	7	66.2	37.8
48	14	34.1	37.9	22	75.5	54.1	10	63.2	56.6	5	53.1	51.1
47	27	64.8	44.5	12	29.6	69.7	18	41.2	49.8	9	47.2	61.9
46	22	72.3	45.4	4	40.3	76.9	13	68.2	53.1	16	72.7	56.4
45	23	53.0	53.1	7	127.5	81.5	25	35.0	53.4	11	66.0	51.4
44	17	59.4	54.8	11	75.4	63.2	11	48.6	48.2	10	65.0	57.1
43	14	81.7	57.5	17	73.8	48.1	16	67.4	53.0	18	53.6	48.4
42	2	56.3	48.0	25	67.0	61.3	18	73.7	53.9	13	77.3	62.4
41	2	78.7	91.4	22	75.3	59.6	7	89.9	74.4	18	64.2	50.7
40	6	65.6	70.2	15	71.3	53.6	16	55.7	66.1	15	100.7	61.6
39	14	70.9	64.7	21	79.9	67.7	14	54.2	59.7	13	79.6	77.5
38	8	84.1	50.6	15	88.0	55.6	14	57.8	54.4	12	97.6	58.5
37	9	102.5	47.2	8	60.2	62.2	32	68.9	56.4	15	64.8	53.5
36	5	66.8	38.4	3	76.7	41.8	16	79.5	56.6	10	72.8	67.7
35	9	79.0	42.0	3	50.2	41.1	28	70.4	58.4	8	60.2	84.2
34	8	61.9	38.9	11	68.2	76.8	13	68.5	53.2	9	71.8	62.6
33	7	77.7	49.7	27	77.0	53.7	5	40.8	54.8	5	72.2	72.2
32	7	80.4	49.8	19	85.4	64.0	8	76.5	67.0	5	87.0	35.5
31	7	84.7	66.4	9	68.7	68.5	9	74.2	51.8	5	28.9	43.9
30	5	61.1	68.2	10	82.0	64.3	2	36.8	45.3	2	13.4	12.4
29	4	55.3	49.1	4	86.6	49.2	2	70.3	92.4	2	68.0	99.3
28	2	78.1	39.2	3	85.7	67.6	1	82.2	45.6	2	72.5	60.2
27	2	51.0	63.1	1	76.9	75.2				1	43.6	47.7
26	1	79.6	29.4	2	55.9	84.0						
25				1	81.0	72.3				1	-78.3	37.6
24	1	30.8	70.2									
23												
22												
21												
20												
計/平均	311	67.4	50.0	342	73.5	606	338	621	54.1	240	701	58.6

#### 表1 東経125°、135°、145°、155°線を通過する温帯低気圧の緯度別個数、移動方向および移動速度の一覧

緯度帯は、最小緯度値を表示している。

移動方向は北から東回りの360°方位角単位であり、移動速度は km/h 単位である。

う地域で、南北の温度傾度が著しいためであると推測さ れる。その寒帯前線帯の中にありながら、日本列島や中 国・北朝鮮国境山岳域やロシア沿海州山岳域を通過する 温帯低気圧の経路が少ないのは、地形的影響を受けたも のと推測される。温帯低気圧の移動は温帯低気圧の中心 からみて近い将来の渦度時間増加率が最大の方向に起こ るので、日本列島や中国・北朝鮮国境山岳域やロシア沿 海州山岳域の南方では渦度方程式を構成する移流項、収 束項、立ち上り項、傾圧項の時間増加率のいずれかが他 の地域に比べて大きくなる傾向にあることが示唆される。 山岳域の南方という地形的要因で他の地域より渦度の時 間増加率が大きくなる可能性としては、温帯低気圧前面 の南風が海上から山岳域に流入する際の地表面粗度の急 増に伴う収束の強化が示唆される。

### VI. おわりに

立正大学上信越山岳域高密度連続気象観測プロジェク

トのバックグランドデータの一つとして、2012年8月初 旬~2015年9月中旬における本邦近傍の温帯低気圧の位 置・経路追跡のためのデータベースを構築した。近年主 流となっている海面気圧格子点データを用いた自動追跡 法ではなく、時間的にも空間的にも相対的に高分解能な 実況天気図を一枚一枚観察しながら同天気図上に解析さ れた個々の温帯低気圧の中心を一つ一つ追跡する手法を 用いたため、比較的詳細な温帯低気圧の位置や経路を把 握することができた。使用した天気図に用いられている 地図投影法が良く知られている円錐図法やポーラーステ レオ図法とは異なり、全ての経線が交わる点(北極点) と全ての緯線の同心円の中心(北極点)がずれているこ とが明白になったため、画像上のローカル座標であるピ クセル・ライン値をグローバル座標である緯度・経度に 変換する際に独自の工夫を施した。

本稿で取得された上記期間中に出現した964個の温帯低 気圧の位置や経路を解析したところ、本邦近傍の温帯低 気圧は日本列島付近の経度に最も多く、かつ、北緯55°~ 25°に集中して出現して平均速度60.6km/h で73.5°(東北 東)の方向に移動するが、その経路は北緯48°付近の大陸 内陸を東進するコースと、北緯42°付近の日本海北部、ロ シア沿海州南岸沖を東進するコースと、北緯33°付近の本 州南岸沖を東進するコースに大きく3分されることが明 確になった。海上の温帯低気圧の移動経路がロシア沿海 州南岸や本州南岸に近寄る原因として、この領域での温 帯低気圧前面の南風の収束が強化されるため渦度の時間 増加率が大きくなる可能性が示唆された。

本稿のデータベース構築により、ターゲットエリアを 通過する温帯低気圧の数や通過時刻の特定や、ターゲッ ト時刻に存在する温帯低気圧の位置や移動方向、移動速 度、中心示度気圧等を容易に特定出来る環境が整備され た。温帯低気圧追跡作業の際に一つ一つ手入力された中 心示度気圧は、誤入力を伴う危険性が高いため、充分な 品質チェックを行ったうえで実用に供することが必要で ある。中心示度気圧入力の品質保証が終了すれば、それ を用いて、Yoshida and Asuma (2004) や山下ほか (2012) と同様に、低気圧発達速度の把握も可能になる。今後、 上信越山岳域高密度連続気象観測プロジェクトで観測さ れた様々な特徴的な気象の解析への利用が期待される。 さらに、低気圧追跡作業は、本稿が扱った温帯低気圧だ けでなく、台風を含む熱帯低気圧についても実施されて いるので、将来的には、温帯低気圧と熱帯低気圧を統合 したデータベースが構築されることが望ましい。

#### 謝 辞

本稿で構築された温帯低気圧データベースは一般財団法人 日本気象協会 HP 過去の天気図 http://www.tenki.jp/guide/ chart/past.html に公開されている実況天気図における温帯低 気圧の位置読取により作成された。また、匿名査読者からは 原稿改良に大変有益なレフェリー・コメントを賜った。記し て深謝の意を表します。

本稿は、第2筆者が第1筆者の指導と第3筆者の支援のも とに作成した平成27年度立正大学地球環境科学部環境システ ム学科卒業論文の一部を整理し直したものである。

#### 文 献

荒川秀俊(1943):天気分析,上卷.地人書館,487p.

- Chen, S.-J., Y.-H. Kuo, P.-Z. Zhang, and Q.-F. Bai (1991): Synoptic climatology of cyclogenesis over East Asia, 1958-1987. Mon. Wea. Rev., 119, 1407-1418.
- Chung, Y.-S., K. D. Hage, and E. R. Reinelt (1976) :On lee cyclogenesis and airflow in the Canadian Rockey mountains and the East Asia mountains. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 879-891.
- Gent, P. R., G. Danabasoglu, L. J. Donner, M. M. Holland, E. C. Hunke, S. R. Jayne, D. M. Lawrence, R. B. Neale, P. J. Rasch, M. Vertenstein, P. H. Worley, Z.-L. Yang, and M. Zhang (2011) : The Community Climate System Model Version 4. J. Climate, 24, 4973-4991.
- 早崎将光・野木友里香・植田宏昭(2014):日本海低気圧・南 岸低気圧の将来変化. 急発達する低気圧の実態・予測・災 害軽減に関する研究集会要旨集, 115-118.
- 河瀬和重(2014): Lambert 正角円錐図法及びその極限としての平射図法の座標換算式に係る包括的導出に関する研究.
   平成25年度調査研究年報,国土地理院技術資料,A4-No.12,80-83.
- Kitoh, A., T. Ose, K. Kurihara, S. Kusunoki, M. Sugi and KAKUSHIN Team-3 Modeling Group (2009): Projection of changes in future weather extremes using super-high-resolution global and regional atmospheric models in the KAKUSHIN Program: Results of preliminary experiments. *Hydrological Research Letters*, **3**, 49-53.
- 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.
- 増田善信・今井博子(1984):日本付近の低気圧の統計.気象 研究所技術報告, 10, 1-23.
- 中川清隆・重田祥範・渡来 靖(2015):上信越山岳域におけ る晴天日の気温・気圧日変化曲線の抽出.地球環境研究, 17,1-15.

Serreze, M. C. (1995) : Climatological aspects of cyclone

development and decay in the Arctic. *Atmosphere-Ocean*, **33**, 1-23.

- 重田祥範・渡来 靖・中川清隆 (2013):関東平野北西部で発 生する猛暑の形成機構解明を目指した広域気象観測網の構 築. 中川清隆 (2013):関東平野北西部猛暑の発生メカニズ ム. *E-journal GEO*, **8**, 165-173, 166.
- Watanabe, M., T. Suzuki, R. O'ishi, Y. Komuro, S. Watanabe, S. Emori, T. Takemuara, M. Chikira, T. Ogura, M. Sekiguchi, K. Takata, D. Yamazaki, T. Yokohata, T. Nozawa, H. Hasumi, H. Tatebe, and M. Kimoto (2010) : Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. J. Climate, 23, 6312-6335.
- 渡来 靖・重田祥範・中川清隆 (2015):冬季山越え気流吹送 時の山地斜面に沿った温位分布の特徴.地球環境研究, 17, 131-137.

- 山下 吉隆,川村 隆一,水田 亮,楠 昌司 (2012):冬季日本 の降水イベントと爆弾低気圧活動の将来変化.京都大学防 災研究所研究集会 (23K-09)「異常気象と低周波変動,気候 変動の実態とメカニズム」, 8,123-127.
- 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.
- Yukimoto, S., Y. Adachi, M. Hosaka, T. Sakami, H. Yoshimura, M. Hirabara, T. Y. Tanaka, E. Shindo, H. Tsujino, M. Deushi, R. Mizuta, S.Yabu, A. Obata, H. Nakano, T. Koshiro, T. Ose, and A. Kitoh (2012): A new global climate model of the Meteorological Research Institute : MRI-CGCM3 – Model description and basic performance – . J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 23-64.

# Development of a Database for Tracking the Positions and Paths of Extratropical Low Pressures in and Near Japanese Islands During Early August 2012 to Mid-September 2015

NAKAGAWA Kiyotaka\*, MUNEMURA Koudai\*\* and WATARAI Yasushi\*

\* Department of Earth-environment Systems \*\* Student, Rissho University

### Abstract:

A database was developed for tracking the positions and paths of extratropical low pressures in and near Japanese islands during early August 2012 to mid-September 2015 as a part of background data for the temporally and spatially high density meteorological observation project by Rissho University over the Joshin, etsu mountainous region, Central Japan. The data source is the 3-hourly surface weather map available via the web site of Japan Weather Association (JWA), which is the JPEG image with 600 x 450 pixels. First, a software in Visual Basic was developed to view the surface weather maps downloaded from JWA site forward and backward freely and to record the position and central pressure of each target cyclone. The total numbers of cyclones detected over the above weather map and recorded data of the time, position and center atmospheric pressure each time during the present project were 964 and 13,361, respectively. Next, pixel and line values of every cyclone center, x and y, were converted into decimal longitude and latitude,  $\lambda$  and  $\varphi$ , as follows:

$$\lambda = \frac{1}{1.025} \tan^{-1} \left( \frac{x - 352}{y + 307} \right) + 140$$
$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{1 - X}{2\sqrt{X}} \right),$$

where

$$X = \left(\frac{\sqrt{(x - 352)^2 + (y + 360)^2}}{1012}\right)^{\frac{1}{0.4379}}.$$

Last, the date and time of occurrence, decimal longitude and latitude of a pair of nearest neighbor cyclones and their cyclone's serial number were recorded as one line data of the database.

Based upon the above database, the present study tried to track the position and paths of extratropical low pressures in and near Japanese islands during early August 2012 to mid-September 2015. As a result, it is clear that there are 3 main cyclone courses in and near Japanese islands; continental inland, northern Japan Sea and southern off shore of Japanese mainland.

Key words: database, tracking, extratropical low pressure, position and path