

## 2021年台風第14号で発生した Pressure Dip

森 川 浩 司\*

### 1. はじめに

2021年9月6日21時(日本時間、以降、日時はすべて日本時間)にフィリピンの東で発生した台風第14号(以降、T2114)は14日から16日にかけて東シナ海で停滞し、17日19時前に福岡県福津市付近に上陸した。その後東へ進み、愛媛県松山市付近・和歌山県有田市付近に再上陸し、18日15時に東海道沖で温帯低気圧に変わった。この間、九州北部・中国・四国・近畿・北陸・東海地方で、台風中心とは異なる場所での1~6hPa程度の小規模な気圧の急低下が観測された。これは Fujita (1952) によって Pressure Dip (以降、PD) として報告された現象であると考えられる。

PDのメカニズムについては、事例から内部重力波によるものと分析しているもの(Matsumoto and Okamura 1985)がある一方、Fudeyasu *et al.*(2007)は数値シミュレーションから、対流圏上層の乾燥気塊の下層への沈降により下層に形成された高温位偏差による静水圧的要因で発生すると説明している。森川・寺内(2022)は2018年台風第24号で発生したPDについて、ラジオゾンデ高層観測(以降、ゾンデ観測)やウインドプロファイラ高層観測(以降、WPR観測)などの観測結果からは内部重力波よりもFudeyasu *et al.*(2007)の方が支持されると報告した。

Fudeyasu *et al.*(2007)によれば、静水圧的要因でPDが発生するのは、下降流が強く下層前線の寒気側となる、台風中心の西側に限られる。今回のT2114では、PDが台風中心の西側で観測された地点よりも台風中心の東側で観測された地点の方が多い。PDが台風中心の東側で観測された事例はほかにもある

(Fujita 1952; 中島ほか 1980; 林・武次 2019)が、台風中心の西側で観測された事例と比べると少ない。そこで今後のPDの研究に資するよう、T2114で発生したPDについて報告する。

### 2. 2種類の Pressure Dip

PDを定義したFujita(1952)は、北上する台風の西側だけではなく東側でもPDが観測されたと報告しており、Fujita(1992)は「アメリカのハリケーンと日本の台風を分析した結果、PDには2種類ある:(a)台風の北西象限でレインバンド通過後に形成される寒域のPD、(b)寒気の流入とは無関係に台風の任意の暖域で形成されるPD」としている。以降、(a)のPDをCold-sector PDとしCPDと、また(b)のPDをWarm-sector PDとしWPDとそれぞれ略記する。また、気圧観測地点で台風中心の最接近により気圧が最も低下したときの気圧をmain depression(以降、MD)と呼ぶことにする(なお、気圧値としてはPDの方がMDよりも低くなる場合がある)。台風は一般に日本付近では転向して温帯低気圧化しながら北東に進むため、気圧観測地点では、台風中心の西側で発生するCPDはMDより後または同時に、台風中心の東側で発生するWPDはMDより前に観測されることになる。

Fudeyasu *et al.*(2007)はCPDを説明したものであり、その発生メカニズムでは台風の暖域においては顕著な高温位偏差とならないためWPDは発生しないとしている。筆保・林(2001)は、WPDは局所的な擾乱の発達か地形の影響が考えられるとしている。

林・武次(2019)は2016年台風第16号で発生したPDについて、洲本でMDの後だけではなく前にもPDを観測したと報告している。台風の中心位置と台風の循環場から前者がCPD、後者がWPDと考えられる。

\* Kohji MOLIKAWA, 仙台管区気象台。  
pressuredip@gmail.com

© 2022 日本気象学会

林・武次 (2019) は, WPD はスパイラルバンドの付け根付近で発生しており, 気象庁の局地モデル初期値やメソ解析からスパイラルバンドの上昇流域での潜熱放出による昇温と下層のおろし風による沈降断熱昇温とが重なって気圧が低くなり PD が発生したと分析している (洲本での WPD 観測時は CPD 観測時のような風向の急変が見られていない)。

中島ほか (1980) は1979年台風第16号で発生した PD について, 洲本・和歌山・奈良で MD の後だけでなく前にも PD を観測したと報告している。この場合も台風を中心位置と台風の循環場から前者が CPD, 後者が WPD と考えられる。中島ほか (1980) は WPD 観測時も CPD 観測時と同様に風向の急変があったと報告している。

### 3. 観測データとその検討

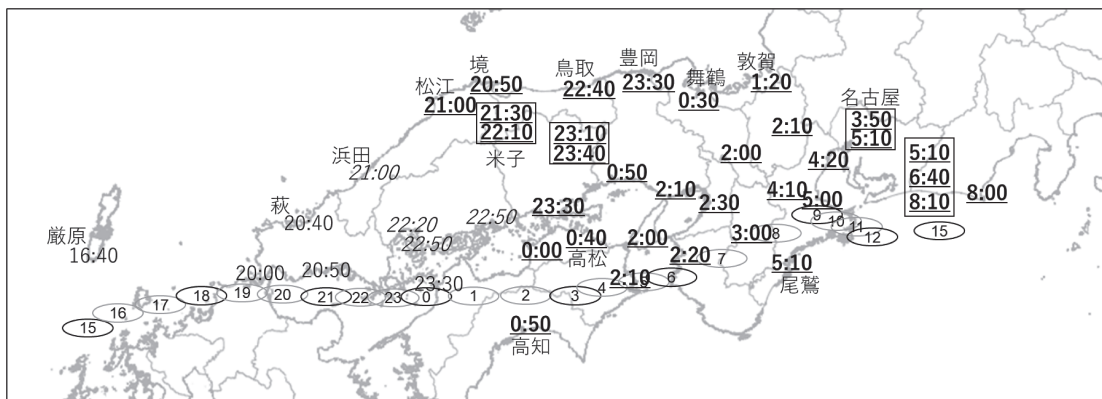
第1図は9月17日15時から18日15時にかけての, T2114のPDによる気圧極小を観測した時刻をその観測地点に記したもので, 下線が引いてある太字の時刻は, MD よりも前に PD を観測したと思われる地点での観測時刻である (PD の観測が MD よりも前か後か判別が難しい地点の時刻は斜体で示した)。なお, 各観測地点での MD 観測時刻は第1図の台風中心位置通過時刻だけではなく, 各観測地点の現地気圧 (以降, 気圧) の時系列データとあわせて判断している。9月17日21時頃を境にしてそれ以前は MD よりも後に PD を

観測しているが, 21時以後は MD よりも前に PD を観測している。したがって, 21時より前に観測された PD は CPD, 21時より後に観測された PD は WPD と考えられる。そこで今回は CPD から WPD へと変化したと考えられる日本海側のデータについて検討する。

第1図に観測地点名を記した日本海側の各地点の気圧観測データを第2図に示す。第2図では各地点でグラフの中心が MD となり両端の気圧値が同程度になるように表示しており, このグラフからは, T2114が東に進むにつれ21時頃を境に PD が台風中心を追い越しているように見える。ただし MD より後に PD を観測している厳原と萩では PD は1個であるが, MD より前に PD を観測している米子では PD が2個見られるという違いがある。

第3図では, 厳原と浜田と鳥取における WPR 観測の鉛直速度と水平風を示す。PD を観測した日時は, 厳原が17日16時40分頃, 浜田が21時頃, 鳥取が22時40分頃である。いずれの地点でも, PD 観測時刻頃を境にして高度6,000m以上で風向シアが見られ, 風のデータの空白域が時間の経過とともにより上層に広がっていることから, 上層からの乾燥気塊の貫入・沈降が考えられる。

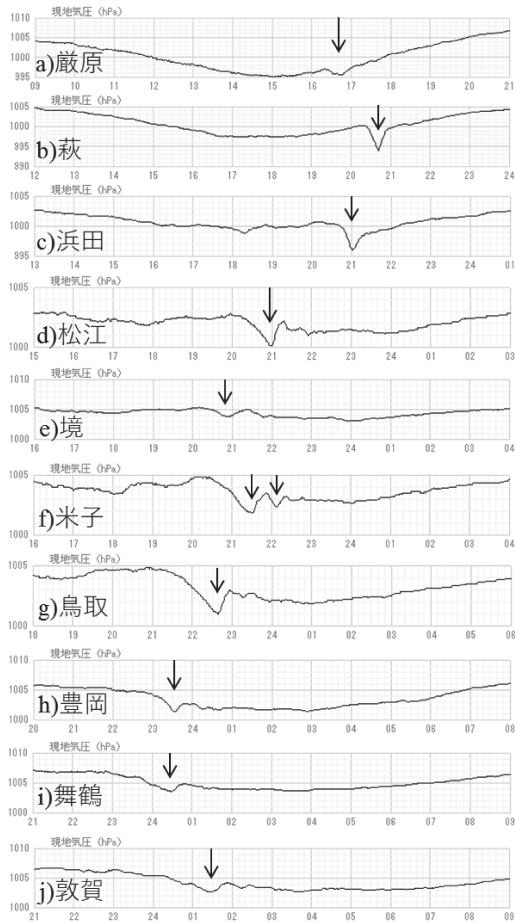
また, 各観測地点での水平風の風向変化を見ると, 高度4,000m以下での渦の中心が各観測地点を通過する時刻 (鳥取では18日3時過ぎ) に対して, 高度4,000m以上での渦の中心が各観測地点を通過する時



第1図 地図<sup>\*</sup>上の黒色楕円で囲った数字は, 気象庁 (2021) に記載の台風の中心位置にその日時 (ただし9月17日15時から18日15時まで) の時を記したものである。灰色楕円で囲った数字は, 黒色楕円の位置・時から内挿した1時間ごとの位置にその時を記したものである。24時間表示の時刻は, PD を観測した地点での, PD による気圧極小を観測した時刻。そのうち, PD を MD よりも前に観測したのものについては下線を引いた太字で, PD が MD よりも前か後か判別が難しいものは斜体で示した。複数の PD を観測した地点にはそれぞれの PD 観測時刻をまとめて四角で囲った。また本文中で言及する観測地点にその地点名を記した。<sup>\*</sup>地図の出典: 国土地理院「地理院地図」白地図。なお, 線の色を灰色にして利用。

刻は、厳原→浜田→鳥取と東に進むにつれより早くなっている。したがって T2114は東に進むにつれ、風の回転軸は台風中心の北東方向により傾いていったと考えられる。このことと PD 発生との関係は後ほど検討する。

第 4 図に福岡での17日 9 時と21時のゾンデ観測データを示す。21時のゾンデ観測データは550hPa 付近で、



第 2 図 現地気圧時系列データ。地点ごとに時間帯と縦軸の値が異なるが、太実線間隔は縦軸が 5 hPa、横軸が 1 時間。矢印は 1 hPa 以上の PD の気圧極小点を指す。時間帯は以下のとおり。a) 厳原：9 月 17 日 9 時～21 時、b) 萩：17 日 12 時～24 時、c) 浜田：17 日 13 時～18 日 1 時、d) 松江：17 日 15 時～18 日 3 時、e) 境：17 日 16 時～18 日 4 時、f) 米子：17 日 16 時～18 日 4 時、g) 鳥取：17 日 18 時～18 日 6 時、h) 豊岡：17 日 20 時～18 日 8 時、i) 舞鶴：17 日 21 時～18 日 9 時、j) 敦賀：17 日 21 時～18 日 9 時。

観測された温位と相当温位が急に接近し、550hPa より上では乾燥した状態になっている。550hPa 付近で温位は急激に上昇していないものの、相当温位の変化は沈降性逆転層に典型的にみられるようなプロファイルであり、550hPa より上の乾燥気塊の沈降を示唆している。この21時のゾンデ観測データは T2114が福岡付近を通過してから 1～2 時間経過した状況捉えており、9 時の観測データと比較すると、寒気移流場になって 800hPa 以下の下層はやや温位の低下がみられる一方、450～650hPa では温位が上昇しており、Fudeyasu *et al.* (2007) を支持する結果となっている。したがって、厳原や萩など MD の後に観測された PD は Fudeyasu *et al.* (2007) のメカニズムで発生していると考えられる。

WPR 観測結果から、T2114は東に進むにつれ風の回転軸は台風中心の北東方向により傾いていった。したがって17日21時以降に PD を観測した観測地点では、MD が観測されるよりも前に上層では既に寒気が流入していたと考えられる。第 2 図 g 鳥取の気圧データには19時30分あたりから PD が観測されるまで気圧の一時的な上昇が見られる。後の第 5 図で示すようにこの時間帯の降水強度は弱いことからこの一時的な気圧の上昇が上層での寒気流入の反映と考えると、PD 観測時の上層での風向シアとそれに続く乾燥気塊の貫入からその後 Fudeyasu *et al.* (2007) のメカニズムのように上中層に高温位偏差ができて PD が発生したと解釈することができる。第 4 図の福岡のゾンデ観測データから気圧偏差を推定するために、Fudeyasu *et al.* (2007) のように静水圧平衡を仮定し温位偏差による気圧偏差を見積もってみる。高度  $z_1$  における気圧が  $p_1$ 、それより上の高度  $z_2$  での気圧が  $p_2$  であるとして、その間の大気は静水圧平衡にあると仮定しその平均絶対温度を  $T$ 、大気の気体定数を  $R$ 、重力加速度を  $g$  とすると、静水圧平衡の式から

$$z_2 - z_1 = (RT/g) \ln (p_1/p_2)$$

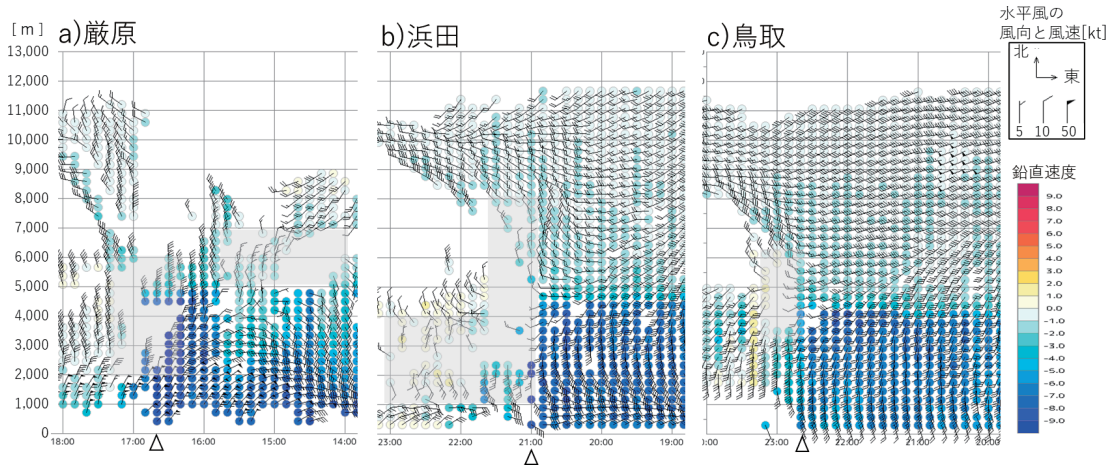
である。この  $z_1$  と  $z_2$  との間の温度が  $\Delta T$  上昇して  $z_1$  の気圧が  $p_1 - \Delta p$  になったとすると、

$$T \ln (p_1/p_2) = (T + \Delta T) \ln \{ (p_1 - \Delta p)/p_2 \}$$

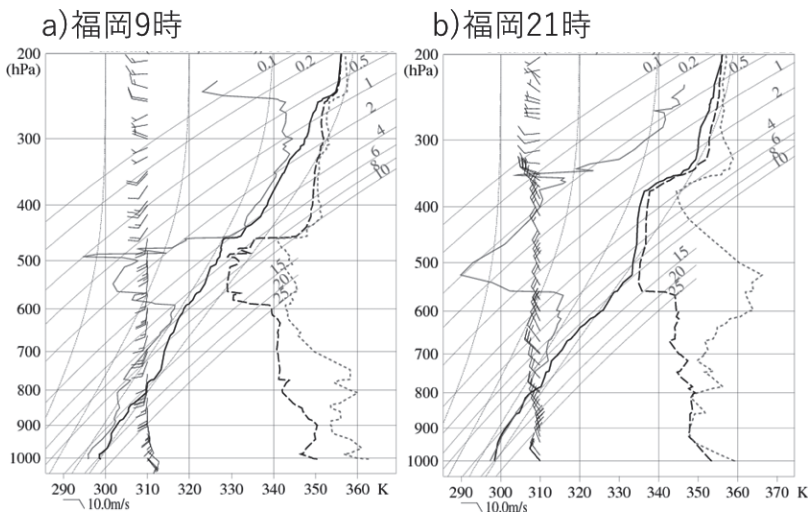
という関係式が得られる。したがって気圧偏差  $\Delta p$  は

$$\Delta p = p_1 \{ 1 - (p_2/p_1)^{\Delta T/(T+\Delta T)} \}$$

と計算できる。第 4 図 a から  $p_1 = 600\text{hPa}$  と  $p_2 = 450\text{hPa}$  との間の平均温位を  $T = 325\text{K}$  とし、同 b からここに温位偏差 +10K が発生したとすると、気圧偏差  $\Delta p$  は約 5 hPa と期待される。第 2 図 g 鳥取の PD 気圧偏差



第3図 ウィンドプロファイル高層観測の鉛直速度・風向風速データ。a) 殿原：17日14時～18時，b) 浜田：19時～23時，c) 鳥取：20時～24時。縦軸は高度，横軸は10分毎観測時刻（時間は右から左へ進む）。矢羽は風向（北が上）と風速 [kt]（1 kt≒0.51m/s）を，色は寒色が下降，暖色が上昇の鉛直速度 [m/s] を表す。風のデータは欠測しているが受信強度は0ではない部分を灰色で網掛けした。時間軸の△はPDで気圧極小となった時刻を示す。



第4図 福岡のラジオゾンデ高層観測データ。a) 9月17日9時，b) 同21時。折れ線は図の右から順に，飽和相当温位 [K]（灰色短破線），相当温位 [K]（黒色長破線），観測された温位 [K]（黒色実線），露点温度から求めた温位 [K]（灰色実線）。横軸は温位 [K]，縦軸は気圧 [hPa]，200hPaまでの表示としている。矢羽は風向（上が北）と風速 [m/s] を表す。

は約3 hPaだがPDによる気圧低下が今回最大の同b萩でのPD気圧偏差は約6 hPaなのでこの見積もりは第2図の日本海側のPDと矛盾しないと言える。PD観測前の気圧の一時的な上昇は松江以東の各地点で見られることから，21時以降にMDよりも前に観測された

日本海側のPDはCPDと考えられる。

ところで第3図で示した3地点ともPD観測時に，灰色網掛けで示したように受信強度は0ではないが水平風のデータが欠測になっている領域がある。WPR観測データでは，受信強度が十分あっても品質管理過程で不良判定されて風のデータが欠測になる場合がある。その例としては，(a)対流性降水の始まりや終わりの時に，降水粒子の分布が不均一になって風の場の均質性チェックで不良判定される，(b)強い降水や融解層で，ドップラー速度を求めるためのガウス分布フィッティングでエラーとなって風

の速度が求まらない，(c)強い重力波や風下山岳波など数十分以下の時間スケールの現象の場合に，ドップラー速度のランダム誤差が大きいとして不良判定される（坂井ほか1995，加藤ほか2003，観測部観測課観測システム運用室2009）などがある。

第5図に鳥取の地上観測データを示す。PD観測時は降水強度10mm/h未満の弱い降水が、多少の強弱の変化はあるものの持続しており(a)や(b)には該当しない。したがって(c)の重力波などの短い時間スケールの急激な気塊の変動があったことを示唆している。

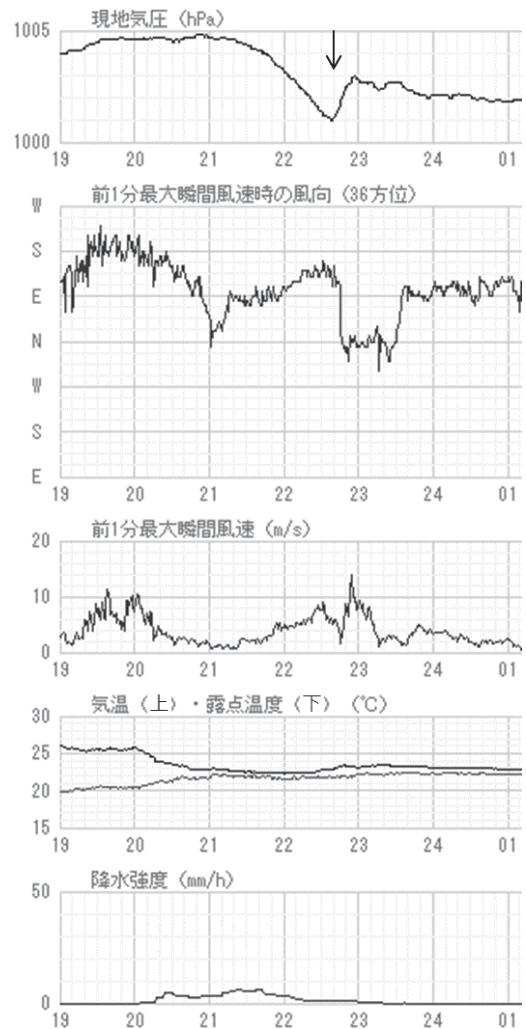
この変動はFudeyasu *et al.*(2007)のメカニズムで発生したPDによるものと考えられることができるが、重力波のみの可能性について考えてみる。筆保・林(2001)によれば、広域でのPDの発生が重力波の伝搬によるものだとすると、大気鉛直構造は、重力波が伝搬する下層の安定層の上に、重力波を閉じ込める条件付き不安定層があるとしている。第4図bのゾンデ観測データの相当温位の鉛直プロファイルは(PD発生から1~2時間後ではあるが)、地上から550hPaくらいまで対流不安定ないしはほぼ中立となっており、筆保・林(2001)のような安定層の上に条件付き不安定層がある鉛直プロファイルにはなっていない。一方、Fudeyasu *et al.*(2007)は、上層の乾燥気塊の下層への沈降によって重力波が発生するがその重力波による気圧変動は顕著なPDを引き起こすほど大きくはないと報告している。したがってPD観測時刻あたりに重力波が発生していたとしてもこの重力波がPDを発生させながら伝搬していったのではなく、Fudeyasu *et al.*(2007)のメカニズムでPDが発生した時に付随的に発生したものと考えられる。

以上から、日本海側で観測されたPDはすべてFudeyasu *et al.*(2007)のメカニズムで発生したCPDであると考えられる。

日本海側よりも台風中心に近い観測地点で、PDが観測されWPR観測も行われている地点として高知・高松・尾鷲・名古屋がある。図は省略するが、どの地点も日本海側の観測データ同様、東に行くほど渦の回転軸が北東方向により傾いている。PD発生時は上層に風向シアが見られる。PD発生時刻以降に乾燥気塊の上層からの貫入・沈降が見られるといった特徴が挙げられる。したがって、地上気象観測・WPR観測からはT2114で観測されたPDはどの観測地点もFudeyasu *et al.*(2007)のメカニズムで発生したCPDであると考えられる。ただし、約1hPaの気圧低下のPDが2個観測された名古屋では、2個目の5時10分頃に観測されたPDはCPDの特徴を有しているが、1個目の3時50分頃に観測されたPDは暖気移流場で発生しておりCPDの特徴はない。また、PD観測前後は南東

風が続いており、後者のPDが地形の影響によるものとは考えられない。

さらに、これまでのPDに関する文献では、ある観測地点でWPDとCPDとが1個ずつ合わせて2個観測された事例は確認できるが、第2図f米子のようにCPDが2個以上観測された事例は確認できていない。今回PDが2個以上観測された観測地点ではどのようなメカニズムで2個以上観測されることになったのか



第5図 鳥取における地上観測1分値データ(9月17日19時~18日1時)。上から、現地気圧[hPa]、前1分最大瞬間風速の風向、前1分最大瞬間風速[m/s]、気温(上)・露点温度(下)[°C]、降水強度[mm/h]。横軸は観測時刻(時間は左から右に進む)を表す。

はこれまでの観測データからは不明である。

#### 4. まとめ

T2114のPDが西日本から東日本の広い領域で、東進したT2114の経路の主に北側で観測された。PDははじめT2114最接近によるMDの後に観測されていたが、17日21時頃を境にその後はMDよりも前に観測された。

MDの後に観測されたPDはFujita (1952)のCPDに該当すると考えられ、CPDを説明したと考えられるFudeyasu *et al.*(2007)のPD発生メカニズムは、MDの後に観測されたPDのWPR観測データや近傍のゾンデ観測のデータと矛盾しない。

MDの前に観測されたPDについては、WPR観測データからは下層は暖気移流場でFujita (1952)のWPDに該当すると考えることができそうであるが、T2114は東に進むほど渦の回転軸が北東により傾いており、上層では下層よりも先に寒気が流入して、上層からの乾燥気塊の貫入・沈降というFudeyasu *et al.*(2007)のPD発生メカニズムでCPDが発生したと考えられる。またそう考えると、T2114は東に進むほど渦の回転軸が北東により傾いていることと第1図のPD観測時刻の分布は整合的である。

ただし、米子のPDのように2個観測されたPDについては、これまでの観測データからはそのメカニズムは不明である。また名古屋の最初のPDのように上記のCPDでの説明に当てはまらないPDもある。名古屋の最初のPDは、暖気移流場で発生しているのでWPDの可能性も考えられる。CPDがFudeyasu *et al.*(2007)のPD発生メカニズムによるPDとして定義できるとして、WPDはどのようなメカニズムで発生し、観測データとしてはどのような特徴を有するものと定義できるのかについても今後の検討課題である。

#### 参考文献

- 筆保弘徳, 林 泰一, 2001: 台風内で発生する Pressure Dipの一般的な性質について. 京都大学防災研究所年報, (44B-1), 159-169.
- Fudeyasu, H., S. Iizuka and T. Hayashi, 2007: Meso- $\beta$ -scale pressure dips associated with typhoons. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 1225-1250.
- Fujita, T., 1952: Study on pressure dips within typhoon Della. *Bull. Kyushu Inst. Tech.*, **2**, 52-61.
- Fujita, T. T., 1992: Memoirs of an Effort to Unlock the Mystery of Severe Storms: During the 50 Years, 1942-1992. *Wind Res. Lab.*, 298pp.
- 林 高宏, 武次良孝, 2019: 台風1616号で観測された Pressure Dipについて. 福岡管区気象研究会誌, **79**, 103-110.
- 観測部観測課観測システム運用室, 2009: 局地的気象監視システム(WINDAS)の運用状況について. 測候時報, **76**, 115-18.
- 加藤美雄, 阿保敏広, 小林健二, 泉川安志, 石原正仁, 2003: 気象庁におけるウインドプロファイラ観測業務. *天気*, **50**, 891-907.
- 気象庁, 2021: 台風位置表「令和3年台風第14号(台風2114号)」  
<https://www.data.jma.go.jp/yoho/data/typhoon/T2114.pdf> (2022.3.11閲覧).
- Matsumoto, S. and H. Okamura, 1985: The internal gravity wave observed in the Typhoon T8124 (Gay). *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 37-51.
- 森川浩司, 寺内俊平, 2022: 2018年台風第24号で発生した Pressure Dip. *天気*, **69**, 221-226.
- 中島暢太郎, 光田 寧, 後町幸雄, 田中正昭, 藤井 健, 文字信貴, 1980: 台風7916号について. 京都大学防災研究所年報, (23B-2), 87-107.
- 坂井武久, 小林隆久, 葦澤 浩, 永井智広, 1995: ウィンドプロファイラーによる観測結果. 気象研究所技術報告, **35**, 61-80.