

台風9810号で観測された顕著な Pressure Dip

筆 保 弘 徳*・塚 本 修**

要 旨

台風9810号において、進行方向の西側約150 km までの九州南部から中国地方の地域で1.0~7.5 hPa の Pressure Dip が観測された。特に台風経路に近い地域では Pressure Dip が起こる直前に気圧の急上昇(気圧の鼻)がみられ、それと同時に気温・露点温度の急低下、突風、一時的強雨が起っていた。気圧の鼻や Pressure Dip の起こった時刻で等時線を引いてみると、レーダー合成図でみられたレインバンドと気圧の鼻が良く一致し、高層解析から高度2 km 付近でリチャードソン数の小さい層が確認された。これらの解析より、気圧の鼻はレインバンドの通過に伴う現象、Pressure Dip はそのレインバンドに対応した内部重力波と考えられる。

1. はじめに

著者らは、岡山県北部にある那岐山山頂で気圧を測定していたところ、台風9810号が通過し、「Pressure Dip (以後 PD と記す)」と呼ばれる気圧の急低下を観測した。PD とは、気圧がくぼみ状に急低下することであり、日本では、台風通過時に観測された台風の最接近で記録される最低気圧とは異なる一時的な急低下の現象として報告されている(米国では、Koch and O'Handley (1997) などに見られるように熱帯低気圧とは関係しない独立した PD の報告も多い)。この PD はすべての台風で観測される現象ではなく、一部の台風のみ観測されている。

過去に台風とともに観測された PD について解析した例としては、1949年の台風 Della (Fujita, 1952) に始まり、台風7818号(光田ほか, 1979)、台風7916号(中島ほか, 1980)、台風9119号(藤井ほか, 1992; 前田, 1994) などがある。その現象は全て同一のものではなく、例えば台風9119号の PD は台風中心から見て進行

方向後方に存在していたが、台風9117号では進行方向に対し右前方に出現しており、台風中心からの PD の位置は様々であると報告されている(前田, 1994)。しかし、ほとんどの PD にはレインバンドが存在しており、PD 時の強風と PD 域前面での水平発散、後面での水平収束という気流の収束発散の分布は共通点である。また、台風9119号(藤井ほか, 1992) と台風8124号(Matsumoto and Okamura, 1985) で PD 域付近の上空に安定成層が見られたという報告も注目すべき点である。これらの報告を受けて、PD 構造の解明を試みた論文もある。Matsumoto and Okamura (1985) は台風8124号で観測された PD が、簡単な2層モデルとの比較から内部重力波であることを示唆しており、それについてさらに辻村(1993)は内部重力波ソリトンが台風システムと相互作用を続けたものと述べている。

この台風9810号で、岡山県では予想外の大規模な豪雨災害が起こっており、PD が引き起こした災害とも考えられる。そこで、台風経路付近の広域にわたる気象官署のデータを収集して、この現象が時間的・空間的にどのような現象だったか解析し、さらに PD の維持構造を台風システムとの相互作用も含めて考察した。

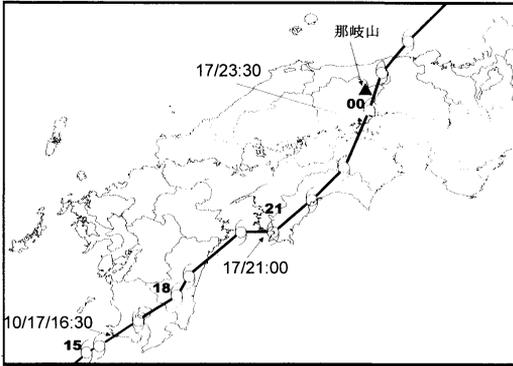
* 岡山大学理学部 (現: 京都大学防災研究所)。

fude@rcde.dpri.kyoto-u.ac.jp

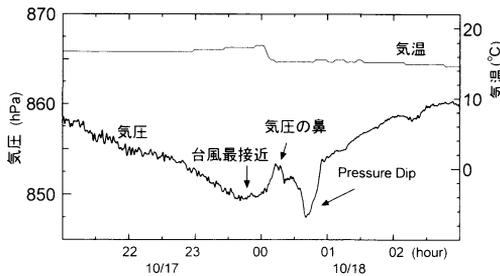
** 岡山大学理学部。

—1999年4月26日受領—

—2000年3月2日受理—



第1図 気象庁発表の台風9810号経路図。



第2図 1998年10月17日～18日の岡山県那岐山の気圧と気温。

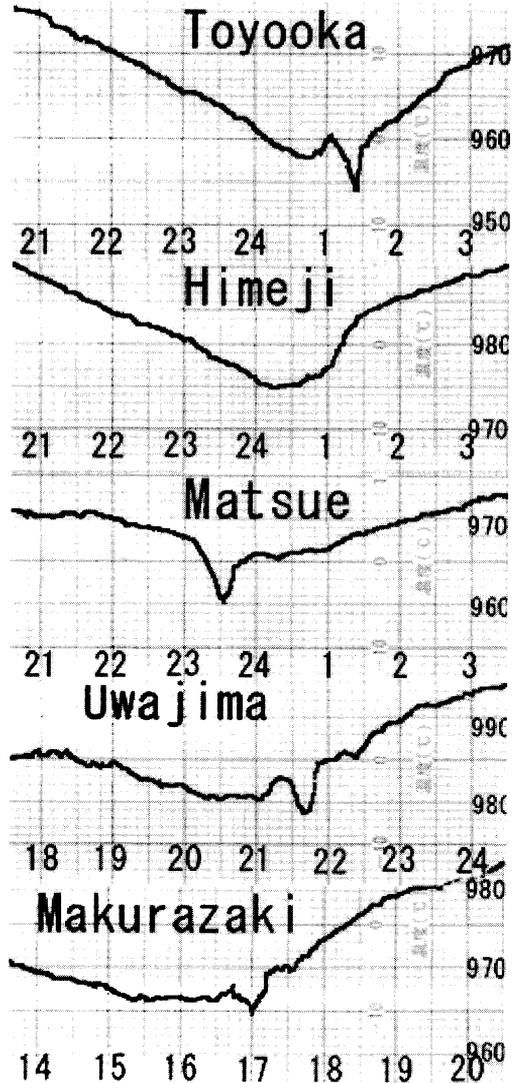
2. 台風9810号と観測された Pressure Dip

2.1 台風の経路

第1図は気象庁発表の台風経路を表す。本研究では、3時間間隔の台風位置確定値(ベストトラックデータ)ではなく、より時間分解能の高い1時間毎に得られており、しかも同時刻の位置も確定値とさほど変わらない「災害時気象速報」(岡山県・岡山地方気象台, 1998)からの暫定値を利用している。1998年10月7日16時頃鹿児島県枕崎市付近に上陸した台風は、中心気圧は975 hPa、中心付近の最大風速25 m/s の中型で並の強さであった。台風は勢力を維持したまま九州南部を通過し、四国・中国地方を横断して18日1時過ぎには日本海に抜けた。台風の通過時を中心に短時間強雨を伴う大雨となった地域が多く、特に岡山県の吉井川や旭川流域では河川の氾濫や土砂災害で被害総額630億円と報じられている。

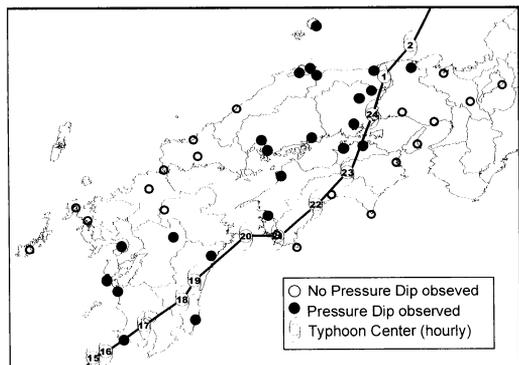
2.2 那岐山山頂の気圧データ

第2図は著者らが那岐山山頂(第1図▲: 標高1240 m)に設置した気圧計(VAISALA 社製静電容量型気圧計 PTB100)のデータと、サーミスター温度計によ



第3図 枕崎・宇和島・松江・姫路・豊岡の気圧自記紙。

る気温のデータである。那岐山は台風経路から西側約10 km に位置する。台風の接近・通過に伴う大きな気圧変化とは別に気圧の急上昇とその後の急下降が確認できる。本論文の中では気圧の急上昇を「気圧の鼻」、気圧の下降を「Pressure Dip (PD)」と呼ぶ。また、ここでは台風の接近・通過に伴う大きな気圧変化を「トレンド」、台風が最接近した時の最低気圧を「Main Depression (今後 MD と記す)」と呼ぶ。第2図によると、MD から24分後に8分間で3 hPa までの気圧上昇、また8分かけて気圧が下がってトレンドにもどり、さらに8分後に12分かけて4.4 hPa の急激な減少がみ



第4図 Pressure Dip が観測された地点 (●) と観測されなかった地点 (○).

られる。そのときの気圧は MD より1.8 hPa も下回っている。その後14分かけてもとのトレンドまで回復している。気温の方も台風が接近するにつれ少しずつ上昇を続けているが、気圧の鼻が始まる気圧上昇時に2.4°Cも急低下している。過去に観測されたPDに比べて特徴的なのは、PDが起こる直前に気圧の鼻や気温の低下がみられることと、PDの位置が台風中心に非常に近いことである。気圧の鼻とPDがどう関わっているかが研究の焦点である。

2.3 各気象官署のデータ収集

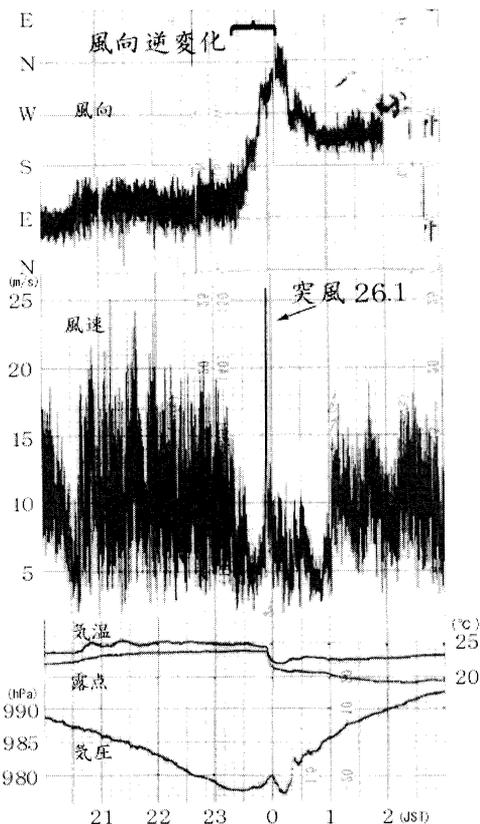
台風が通過した地域のデータを、53か所の気象官署から収集した。PDや気圧の鼻は5分から50分程度の時間スケールの現象であるため、自記紙からのデータ解析を行った。第3図は、PDを観測している鹿児島県枕崎・愛媛県宇和島・島根県松江・兵庫県豊岡と、PDが観測されなかった兵庫県姫路の自記紙による気圧のデータである。これより那岐山山頂のみで起こった現象ではなく、広範囲に台風とともに移動した現象だったことと、姫路のように台風経路付近でもPDが観測されない場所があることが確認できる。

3. Pressure Dip の解析

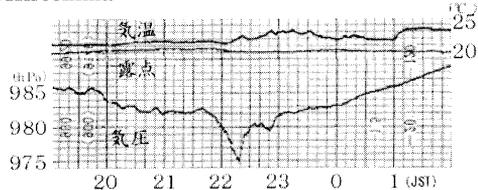
3.1 Pressure Dip 観測地域の分布

第4図は、台風経路と収集したデータの観測地点の分布を示しており、そのうちPDが顕著に現れた観測地点を●で表している。台風経路の西側を中心に約150 km 離れた所までPDが現れているが、経路の東側に位置している豊岡（兵庫県）や油津（宮崎県）にも現れている。台風経路にごく近い宿毛（高知県）や高知の気圧は、わずかに似た現象は起きているが、顕著で

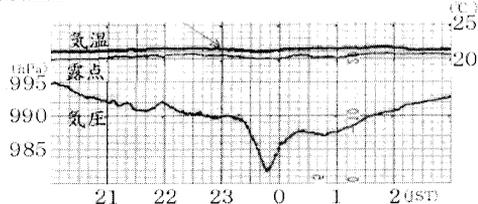
(a) Okayama



(b) Hiroshima



(c) Sakai

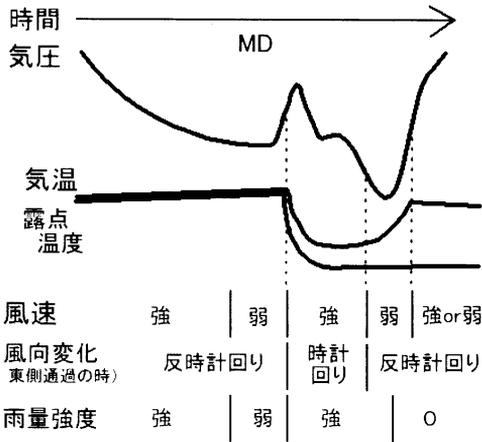


第5図 岡山 (a)、広島 (b)、境 (c) における自記紙による気象要素の変化。

はないためPDが観測されていないものとして分類した。

3.2 気圧以外の気象要素

各観測地点で、気圧の鼻やPDが現れた時刻に気圧

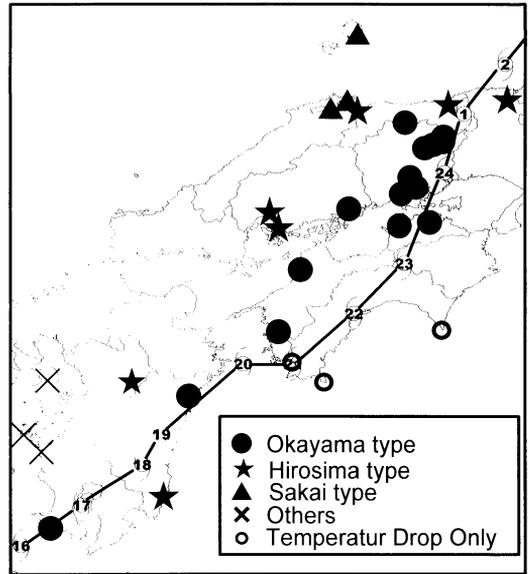


第6図 岡山型にみられる気象要素の変化の特徴.

以外の気象要素にも急な変動が観測された。特徴的なものとして、気圧の鼻の始まる時に気温と露点温度が1.5~3°Cほど急激に低下することである。しかし全ての観測地点でこの現象が見られたわけではなく、ある地域だけに当てはまる。他の気象要素にも急激な変動は確認できるが、この急激な気温低下と気圧の鼻の有無を基に大きく3パターンに分類してみた。

〈岡山型〉…気圧の鼻アリ・気温低下アリ

第5図aは、10月17日から18日の岡山地方気象台での自記紙の記録である。23時30分のMD後、23時55分に急激な気圧上昇（気圧の鼻）が確認できる。そして0時00分に1hPaの気圧の鼻の頂部に達したあと、Dipに向かう急激な気圧下降を始めた。0時15分に3.5hPaの大きさのDipの底に達し、0時20分までに急な気圧上昇をみせながらトレンドに戻っている。気温と露点温度は、気圧の鼻が始まる気圧上昇時にどちらも2.5°Cの急低下がみえる。風速は、23時頃まで台風による強風が吹いているが、MD付近では弱まっている。そして注目すべきことに、気温・露点温度の下降と同時に26.1m/s（西風）の突風が吹いている。その後のDip時には風も弱まっている。風向変動を見ると、突風が吹く約10分前から観測点の東側を台風が通過する時の風向変化（反時計回り）とは逆（時計回り）の変化が数十分間続いている。雨量強度は図には表していないが、風速と同じで台風の接近まで強く降っているが、MD付近では少し弱まっている。しかし、気圧の鼻でまた強く降りだし、鼻先で最大を見せた後弱まり、Dipの底（雨量強度0）で止んでいる。



第7図 Pressure Dip の分類別でみた各地の様子.

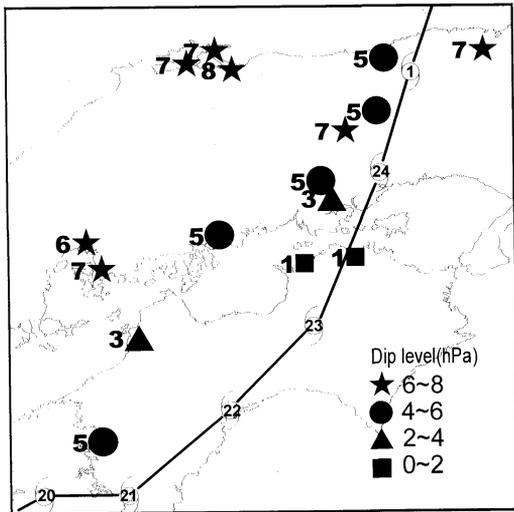
これらをふまえて、現象のモデル化をしたものが第6図である。岡山の様な気象要素の変動をみせたのは、宇和島や福山など多くの地点である。

〈広島型〉…気圧の鼻アリ・気温低下ナシ

第5図bは広島地方気象台の気温・露点温度と気圧の自記紙の記録である。気圧は大きなトレンドをみせながら気圧の鼻とPDが見える。台風の最接近時刻は、台風経路より17日22時頃になっているため、ちょうどその時刻とPD発生時刻が重なったと思われる。気圧の鼻やPDが観測された時刻に気温や露点の急な変化がないのが岡山型と比べて特徴的である。風速・風向変化・雨量強度は岡山型と類似している。広島以外に、呉、米子、鳥取、豊岡などでもこの現象が現れている。

〈境型〉…気圧の鼻ナシ・気温低下ナシ

第5図cは境測候所の気温・露点温度・気圧についての自記紙の記録である。気圧は台風によるトレンドとは別に大規模のPDが顕著にみられる。MD時刻は0:40頃で、PDは23:20に始まっている。MDは気象台発表の経路から考えられる最接近時刻と対応し、PDはMDより前にその値を大きく下まわって起こっている。今回確認されたPDの約半分はそのときの最低気圧の方が台風のMDの最低気圧よりも大きく下まわっているが、特に境や松江など日本海に面している地域ほど下まわり方が大きい。さらに境のデータには気圧の鼻が見られず、Dipの寿命時間も60分と長い。気



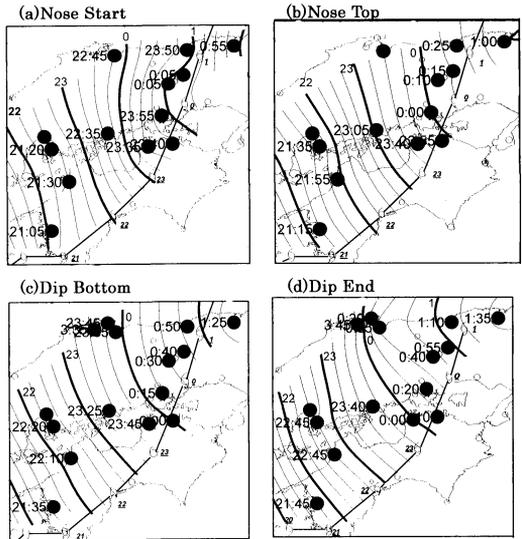
第8図 地域毎の Dip の大きさ.

温や露点温度の急な下降もみられず、あまり変動をしていない。風速は Dip が始まってから強くなりだし、Dip の底にきて弱まっている。風向の変化は、台風の経路と境との位置関係より反時計回りに変化するはずであるが、時計回りの変化が Dip の底を過ぎてから始まり、トレンドにもどってから反時計回りに戻っている。雨量強度も PD が起こる前は強かったが、Dip とともに弱まり、トレンドに戻るとまた強まった。

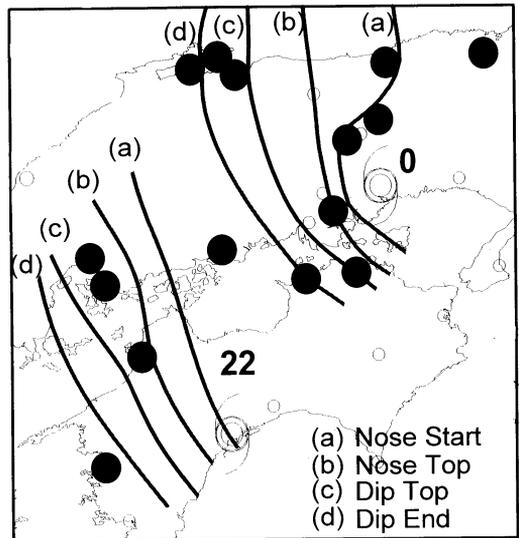
第7図は上記のパターンで分けた各地の様子である。●は岡山型を表し、★は広島型、▲は境型を表している。×はその他であるが PD は観測されており、○は急激な気温低下が見られたものの PD は起こっていない観測地点である。この図から鳥取や豊岡を除くと、岡山で見られるような急な気温低下は台風経路から距離にして東西約70 km までの距離で起こっている。それより台風経路から離れると、急な気温低下は起こらずに気圧の鼻と PD だけが起こり、さらに離れると PD だけが起こっているようである。

3.3 Dip の様子

第8図は中国・四国で観測された Dip の大きさを表したものである。Dip の大きさは、Dip 時の気圧の低下量ではなく、台風による大きなトレンドからの減少量として考えた。確認された Dip の中で最大なのは米子で7.5 hPa であり、広島・松江・米子のラインや津山や豊岡など日本海側で大きくなっている。Dip が始まって底に達するまでの分単位の所要時間も Dip の大きさに比例しており、所要時間が最長なのは呉で45分間



第9図 (a) 気圧の鼻の始まり, (b) 気圧の鼻の頂部, (c) Dip の底, (d) Dip の終わりの起きた時刻の等時線.

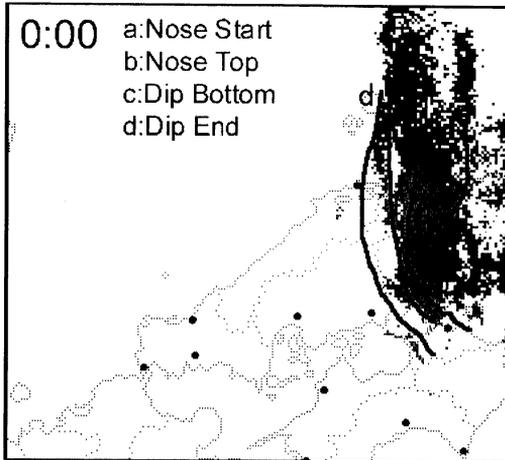


第10図 22時・0時におけるそれぞれの等時線.

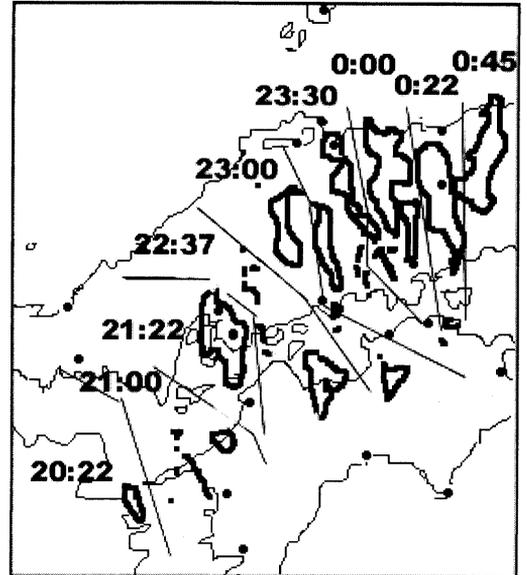
であった。平均して10分間で 2 hPa 程度の気圧変化になっている。

3.4 気圧の鼻・Pressure Dip の時間経過

第9図は (a) 観測地点での気圧の鼻の始まりの時刻, (b) 気圧の鼻頂部の時刻, (c) PD の底の時刻, (d) PD が元のトレンドまで戻った時刻を自記紙より読み



第11図 広島・松江・福岡・大阪のレーダー合成画像と第10図の0時におけるそれぞれの等時線との対応。



第12図 広島・松江・福岡・大阪のレーダー合成画像から得た降雨強度が16 mm/hr以上の地域の時間毎の分布。

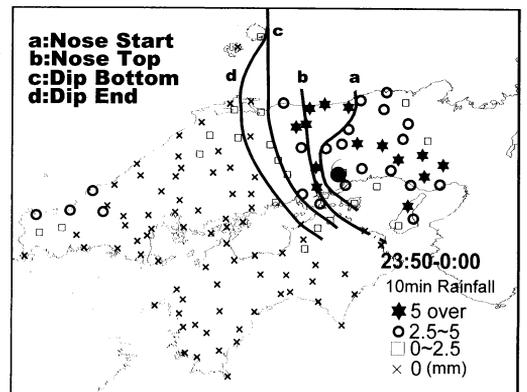
とり、それぞれの起時の等時線を引いたものである。

全体として台風の進行速度(約60 km)とほぼ同じで北東に進行しているのがわかる。気圧の鼻の始まる時刻を表した(a)を見ると、等時線は台風経路と垂直より少し前方に傾いている。22時、23時の等時線と同時刻の台風の位置は重なっており、それに比べ0時の等時線は台風の位置より遅れていることが分かる。さらに鳥取では、南に位置する津山よりも早く気圧の鼻の現象が始まっていることが特徴的である。台風が通過した近辺は台風の通過直後か通過後、台風経路から離れた地域ではその場所で台風が最接近するよりも前に、気圧の鼻の現象が始まっていたことになる。

第10図は第9図をまとめた22時と0時のそれぞれの等時線である。同時刻の等時線が全て同じ空間的な幅で存在するのではなく、鼻の頂部からPDの底に達するまでの所要時間、つまり(b)と(c)の間隔は台風経路から約100 km離れた地域で大きく、第8図で表したDipの大きい地域に対応している。

3.5 レーダー解析

第11図は、18日0時の広島・松江・福岡・大阪のレーダー合成画像と第10図で示した0時の等時線を描いたものである。0時の気圧の鼻が始まる線(a)は、南北に伸びる濃い雲域、レインバンドの東側と一致しており、気圧の鼻の頂部を表す線(b)はそのレインバンドの西側縁に一致しているようにみえる。Dipの底を表す線(c)はその西側の薄い雲域の切れ目に、線(d)はさらに西側の台風による雲域の切れ目に良く一致し



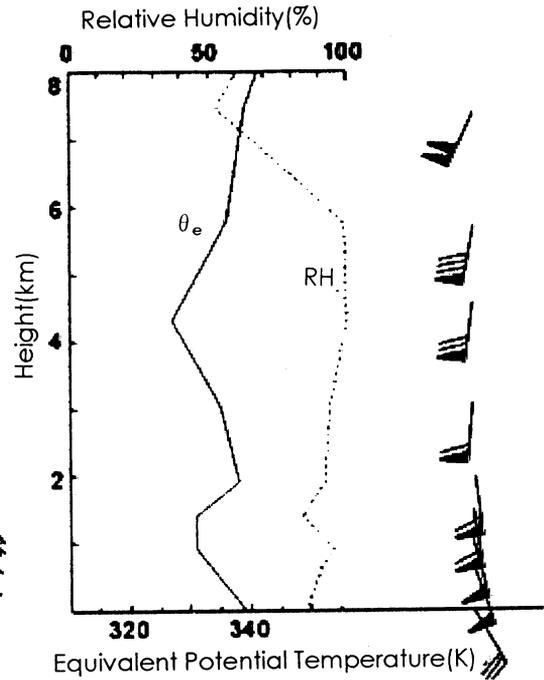
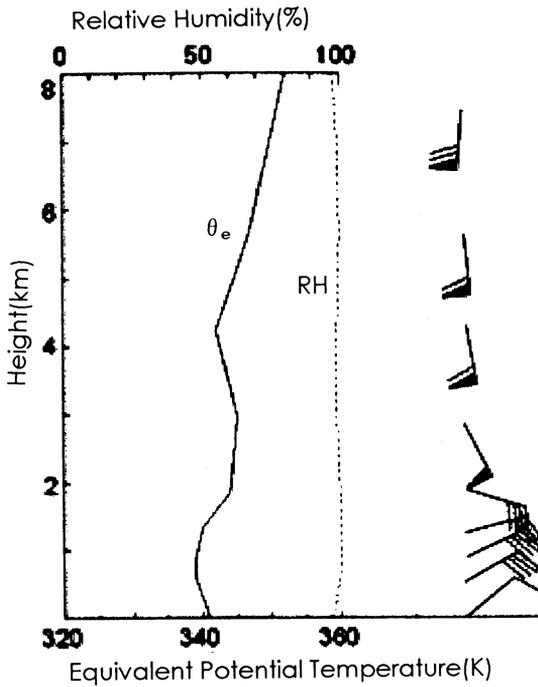
第13図 中国・四国のアメダスデータによる23:50~0:00の10分間の降水量と第10図の0時におけるそれぞれの等時線との対応。

ているのが確認できる。また、(c)に沿って細長い隙間があり、南北に並んだ東向きの波列構造が考えられる。

このようにレーダー合成図から、気圧の鼻とレインバンドはよく対応していることがわかる。第12図はレーダーによる降雨強度が16 mm/hr以上の領域、レインバンドを時間毎に追ったものである。20時22分に大分市付近に細長く存在したレインバンドは21時00分

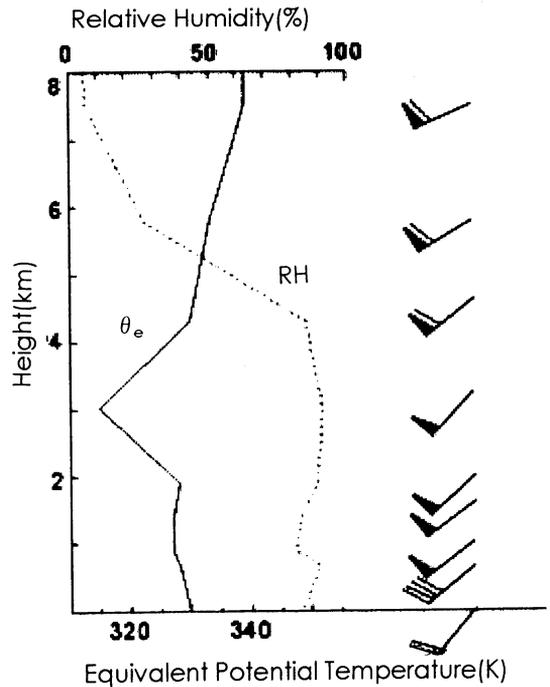
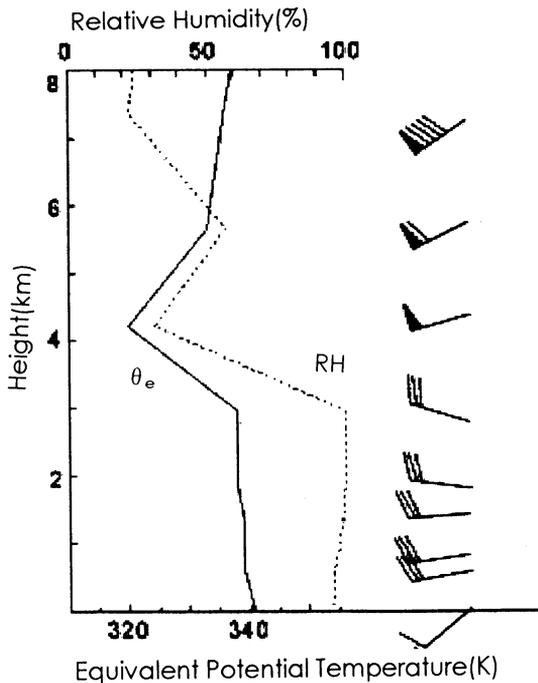
(a) 2100JST, 10/17 Yonago

(b) 2100JST, 10/17 Shionomisaki



(c) 0300JST, 10/18 Yonago

(d) 0300JST, 10/18 Shionomisaki



第14図 (a) 米子17日21時, (b) 潮岬17日21時, (c) 米子18日3時, (d) 潮岬18日3時の高層観測から得た相当温位 (θ_e) と湿度 (RH) と風の高度分布.

には宇和島付近まで東に移動した後、消滅してしまう。しかし21時15分頃から広島市に広範囲なレインバンドを形成し始め、21時22分には大きなまとまりを作る。広島ではこの時刻から気圧の鼻が始まっている。そして形成されたレインバンドは南北へ伸びながら東北東へ移動している。気圧の鼻が存在しなかった境型の松江や西郷はこのレインバンド域を外れた北側にあるのが確認できた。

3.6 アメダス解析

第13図はアメダスによる23時50分から0時00分の10分間の総降水量と、第10図で示されたそれぞれの0時の等時線を合成させたものである。台風の進行方向に向かって右前は非常に強い雨が降っているが、左前から左後ろにかけても強く降っている。その場所はちょうど線 (a) と線 (b) の間になっており気圧の鼻が始まってから鼻頂部に達するまで強い雨が降っていたことになる。線 (b) から線 (d) にかけて雨は弱まり、線 (d) から西、つまり PD が終わった後は雨は止んでいるのが確認できる。

3.7 高層解析

第14図は台風の最接近前後の、17日21時と18日03時の米子と潮岬の高層気象観測の記録から求めた相当温位・湿度・風の鉛直分布を表している。潮岬は台風経路から東側約200 km、米子は西側約100 km に位置している。第14図は PD が観測されている時の高層データではないが、米子の17日21時が時間・位置的に PD 域に近い(第14図 a)。相当温位はほぼ同パターンとなっているが、第14図 a の高度2 km 付近で弱い安定となっている。PD 域付近の上空に安定層が存在するのは、台風9119号や8124号にも見られている。湿度は台風通過前の全層湿潤から、通過後の上空に乾気の流入が顕著にみられる。風はこの日の高層天気図からも確認できる南西の一般風が卓越しており、対流圏下層の北東風という台風の循環場との対応もあって、台風通過前西側の米子では高度2 km 付近で大きな鉛直シアとなっている。そのため温位勾配と鉛直シアの比であるリチャードソン数 Ri は米子の高度2~3 km の層で0.5と小さい。一般的に $Ri < 0.25$ という大気の状態は、その大気中に含む波動を外へと分散せずに維持できるための必要条件と考えられ、この高層解析の結果から、PD が地上で観測されている時間に $Ri < 0.25$ となる層がその上空に存在した可能性は十分に考えられる。

4. 考察

4.1 今回の Pressure Dip のメカニズム

レーダー合成図の解析より、台風システムの中のレインバンドと地上で観測した気圧の鼻はよく一致しており、PD も含めた一連の現象と考えられる。一般に強いレインバンドが通過する時は気圧の鼻(上昇)が形成されるだけだが、高層解析から考えられる対流圏中層(2~3 km)のリチャードソン数を小さくする層、つまり内部重力波を維持・組織化できる層が存在するため、レインバンドによる気圧の鼻や他の平面波的不安定波がその層に捕捉され、位相を揃えた結果が PD として地上で観測されたと考えられる。つまり PD は内部重力波(特に孤立波ソリトン)と考えられる。PD が内部重力波と考えた場合に、その寿命が長く維持された理由についての考察が必要であるが、筆者らは次のように考える。まず、PD である内部重力波が進行することで、その前面の上昇流の場でレインバンドが維持・強化される。すると逆に、そのレインバンドの対流活動が大気中に発生させた波動により PD が強化される。これは、PD とレインバンド間での正のフィードバックを伴う自励運動を意味し、結果として PD が長時間維持され得る。

4.2 Pressure Dip が西側にのみ観測された理由

PD を内部重力波と考えると説明がつく。内部重力波を維持できる層は、上空における総観場の南西風と下層における台風循環場の北東風がつくる大きな鉛直シアとなる位置であり、台風の進行方向に向かって左手に存在することになる。これは、PD が地上で観測された位置と一致する。前田(1994)は、過去の解析から台風に対する PD の位置関係は様々であると報告していたが、台風7916号と8124号の PD の時も、その日の一般風と台風の循環場で起こる鉛直シアが大きな場所に PD が存在したことが確認でき、この理由の裏付けとなった。

4.3 今回の台風 Pressure Dip が観測された理由

台風にはレインバンドが付き物であるが、全ての台風で PD が観測されず、今回の台風には PD が観測された理由を考える。上記のようにこの台風の対流圏中層では、内部重力波の遠方伝搬に必要な条件が揃った層が高度2~3 km に存在する。しかしその層の空間的な位置は、台風と総観場との幾何学的な位置関係で決まり、それぞれの台風によって異なる。今回の台風によるその層は、波源から地上までの鉛直方向への波の減衰が比較的少ない2~3 km の高度に存在し、一方、

水平分布としてレインバンドと対応した位置に存在したところだが、PDが観測された大きな理由と考えられる。

4.4 気温の急低下の原因

台風経路付近で気温の急低下が起こっているが、これは冷気外出流として説明できる。数十個のセルで形成されるレインバンドは強い下降気流を起こしており、雨滴の蒸発効果などの冷却効果を受けた冷気が、その下降気流により地上に吹き出し、気圧の鼻とともに気温急低下が起こったと考えられる。その時に各地で観測された突風のような強風も説明がつく。

5. おわりに

今回解析したPDは、台風とともに動く台風の中の特殊な現象として見えたが、実際はいろいろな条件(多くの条件が台風システムによる)が重なって長時間維持された内部重力波の伝搬であるという結論に至った。今後は過去のPDの起きた台風との比較を行っていきたい。

最後に、本研究の遂行にあたり、多くの資料と助言をいただいた京都大学名誉教授故光田 寧博士、京都産業大学藤井 健教授、気象庁岡村博文氏、気象大学校辻村 豊講師、岡山大学佐橋 謙名誉教授、京都大学佐藤 薫助手、防衛大学校板野稔久助手、岡山大学岩田 徹助手、並びに気象観測資料の収集と提供に御協力いただいた岡山地方気象台をはじめ諸機関の方々に対して、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 藤井 健, 1992: 1991年台風19号による強風災害の研究 (研究代表者光田 寧), 突発災害調査研究報告, 37-44.
- 藤井 健, 林 泰一, 光田 寧, 1992: 台風9119号の解析と強風の分布について, 京都大学防災研究所年報, (35) B-1, 183-191.
- 藤井 健, 1992: 台風9119号による強風の気象学的特性について, 日本風工学会誌, (53), 27-35.
- Fujita, T., 1952: Study on pressure dip within typhoon Della, Kyushu Institute of Technology, 2, 52-61.
- Fujita, T., 1992: Mystery of Severe Storms, Section 5.4 Japanese Typhoons, Chicago Univ., 144-150.
- 気象庁, 1998: 災害時気象速報, 1-17.
- Koch, S. E. and C. O'Handley, 1997: Operational forecasting and detection of mesoscale gravity waves, Wea. Forecast, 12, 253-281.
- 前田 宏, 1994: 台風9119号の Pressure dip, 研究時報, 46, 25-38.
- Matsumoto, S. and H. Okamura, 1985: The internal gravity wave observed in the typhoon T8124 (Gay), J. Meteor. Soc. Japan, 63, 37-51.
- 光田 寧, 藤井 健, 末延龍雄, 1979: 北九州を襲った台風18号 (7818) の気象学的特性について, 京都大学防災研究所年報, (22) B-1, 407-418.
- 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, (23) B-2, 87-111.
- 岡山県, 岡山地方気象台, 1998: 岡山県農業気象災害速報, 1-21.
- 辻村 豊, 1993: 気象とソリトン・モドン—気象現象中の孤立波 (上), 気象研究ノート, (187), 3-99.

Pressure Dip Observed in the Typhoon 9810

Hironori Fudeyasu* and Osamu Tsukamoto**

* (Corresponding author) Department of Earth Sciences, Okayama University
(Present affiliation : Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto
661-0011, Japan.) E-mail : fude@rcde.dpri.kyoto-u.ac.jp

** Department of Earth Sciences, Okayama University.

(Received 26 April 1999 ; Accepted 2 March 2000)