平成18年8月29日に沖縄本島地方で観測された内部重力波と推定される気圧低下現象の特徴とJMANHMを用いた再現実験

栽　吉信、出原幸志郎、照屋　学（沖縄気象台）

１はじめに

2006年8月29日10時頃から14時頃にかけて、奄美地方から沖縄本島地方で顕著な気圧低下が観測された。第1図に各観測所の海面気圧の時系列を示す。外間他（2006）は、この現象について調査した結果、気圧低下は内部重力波の通過に伴うものとし、各観測所を通過した気圧波の時間差等から、内部重力波の進行方向は南西、位相速度は約50km/h、波長は65kmと報告している。また内部重力波である根拠として、気圧低下に伴い風向と風速の急変が見られたが（第2図参照）、気温や露点の顕著な変化は見られなかったこと（図略）、高度約6km付近での臨界高度の存在を挙げている。これらの特徴は、内部重力波の一般的な特徴としてよく知られているものであり、内部重力波が長い距離を伝播するための重要な条件である臨界高度に着目したことは注目に値する。

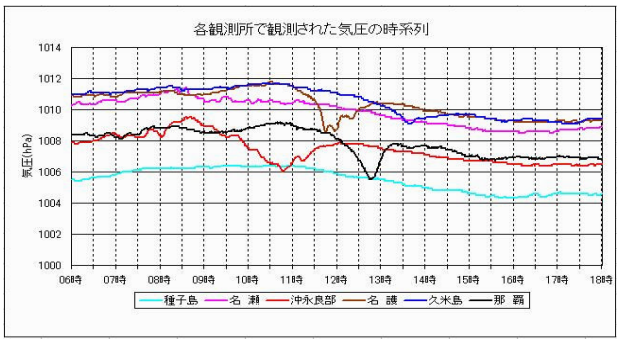
外間他（2006）の報告は、気圧低下が内部重力波の通過に伴う現象であることを示した点では評価できるが、その発生に繋がる環境場の解析や発生メカニズムについての解析は十分ではなかった。

今回の気圧低下に伴い観測された風向の急変と約6m/sの風速の急変は、特に航空機の運航にとって重要な意味をもつ。このことから、本調査では、内部重力波の予測技術に資することを目的とし、環境場の特徴を再度詳細に検討した。また気象庁非静力学モデル（以下　JMANHM）を用いて、内部重力波の再現が可能であるか試みた。

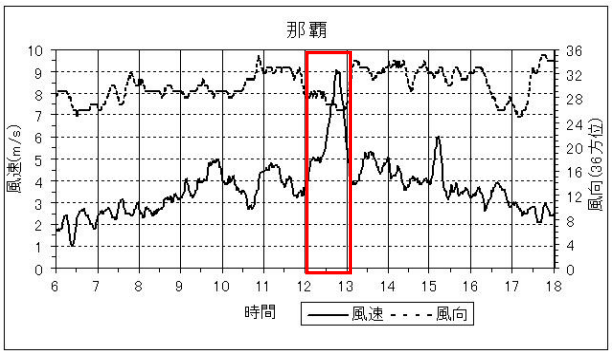
２　調査の着目点

外間他（2006）は、内部重力波の波源を奄美付近のCbクラスターとし、対流により励起された内部重力波が高度3kmから6kmの安定層にトラップされ伝播したと推定している。しかし、①当時の成層状態は内部重力波が励起されやすい条件やトラップされる条件を備えていたのであろうか。②条件を備えていたならば、どのような過程でそのような場が形成されたのか。③内部重力波は南西に伝播したが、なぜ北の方には伝播しなかったのか。④内部重力波は孤立波の特徴を備えているが、それはなぜか、の4つの疑問が残る。

本調査はこの4点に着目して解析を行った。



第1図　各観測所の海面気圧の時系列



第2図　那覇の風速・風向の時系列

３　調査方法と結果の解釈

（１）内部重力波発生時の成層の特徴

第4図に28日09時の那覇と名瀬の温位・気温・露点のプロファイルを示す。重力波は大気の安定度に比例するブラント・ヴァイサラ振動数で振動する。大気の安定度は、温位をθ、高度をZとすると$\partial\theta/\partial Z$で表され、波動はその平方根に比例する周波数で振動する。しかし、どのような波動が励起されるかは、「ブラント・ヴァイサラ振動数÷風速」や「風速の鉛直分布」などを用いて定義されるスコラー数と呼ばれる量に依存する。

内部重力波は、上方及び鉛直方向に振動しながら水平方向に進む波であり、そのエネルギーは上方に伝播する。では、内部重力波とスコラー数の関係はどう理解すればよいのであろうか。

■　**共鳴条件**：この関係は数値実験により調べられており、スコラー数が高度によらない場合、波面は上空に傾きながら伝播するが、下層でスコラー数が大きく、その上空で小さい場合は、第4図のイメージのように下層から上空まで波面の傾きがない波が伝播する。この要因として、数々の数値実験により、上空の小さなスコラー数の層で

は、上方に伝播してきた波がその上の層には伝播できず地表面に向かって反射され、下方から伝播する波と共鳴することが分かっている。

■　**波面の傾きの解析**：では、当時の成層状態はどうであったのか。その前に、スコラー数はブラント・ヴァイサラ振動数に比例し、各高度の一般流の波の伝播方向の成分に反比例する。

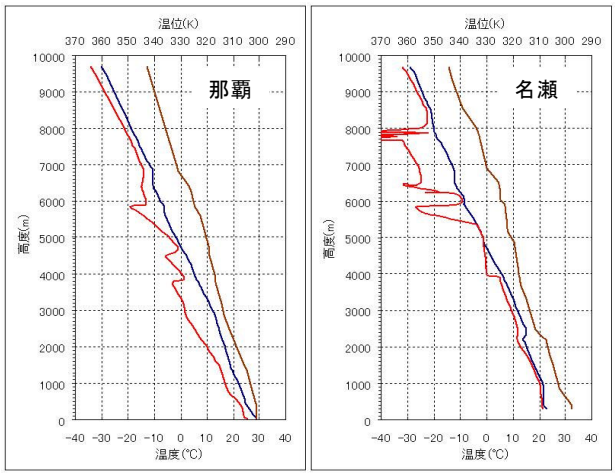
第 3 図の那覇の温位の鉛直分布から、高度約 0.5km から約 2km（下層）と約 2km から約 6km（中層）付近を比較すると、安定度 $\partial\theta/\partial Z$ は明らかに下層が大きい。また第 5 図の風のプロファイルより、下層では北西風であることから、波動の伝播方向（南西）の成分は上層と比べて小さい。これは、第 4 図で示した波面の傾きのない内部重力波の伝播条件を満たしている。

■　**マイクロ波放射計で捉えた内部重力波**：波面の傾きがない波動であるならば、下層から上空に向かって、内部重力波の山・谷に対応して上昇流･下降流の位相も揃っていることが推定される。

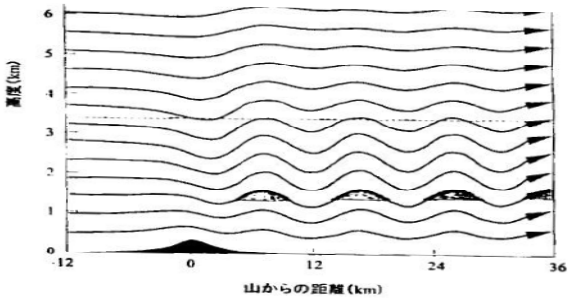
第 6 図は、マイクロ波放射計による高度毎の湿度とその時系列を示す。12 時 47 分頃を見ると、湿度の谷（乾燥域）が下層から上層まで位相を揃えており、この時間に那覇では最低気圧を観測している。これは外間他(2006)が推定したとおり、内部重力波の下降流による断熱下降による昇温で地上気圧の低下したものであると考える。

■　**NICT 沖縄 WPR で捉えた内部重力波**：この下降流は､第 5 図の NICT 沖縄 WPR でも捉えられている。29 日 10 時 40 分か 11 時 40 分にかけて、高度 2km から 5km 間で下降流が観測されており、最大は約 7m/s に達していた。この時間､弱い降水域が衰弱しながら観測所付近を通過しているが(図略)､この下降流の強さは雨粒としては値が大きすぎること、11 時 30 分頃から観測所の南西方向にある名護でも気圧低下が現れ始めたことを考慮すると､内部重力波を捉えたものと解釈すべきである。

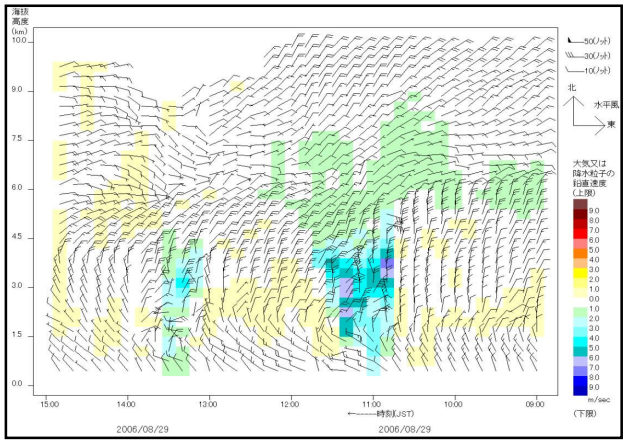
■　**波動はどの空間を伝播したのか**：内部重力波はどの空間にトラップされ伝播したのであろうか。Indzen and Tung(1976)によれば、上方に伝播する波が下方に反射される高度の条件として、①安定層の上に中立あるいは不安定層の存在、②臨海高度（波の伝播速度と同じ風速を持つ高度）のリチャードソン数が 0.25 以下であることが必要だとしている。この点から第 3 図をみると、高度 4.5km から 5km 付近には、ほぼ中立の層がある。またこの高度の風速は第 5 図からみると、北東の風 25 ノット（時速約 50km）となり、内部重力波の位相速度とほぼ一致する。即ち臨界高度を示している。また、この高度でのリチャードソン数は 0.15 と小さい。



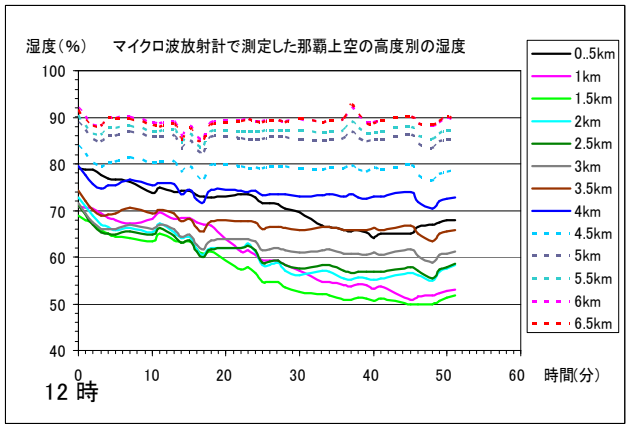
第 3 図　8 月 29 日の那覇と名瀬のプロファイル
温位（茶）、気温（黒）、露点（赤）



第 4 図　風下波の理想的な計算例（Durran（1986）に雲を加筆、大野（2005）より）



第 5 図　NICT 沖縄 WPR の時系列（風、鉛直速度）



第 6 図　那覇上空の湿度の時系列

以上を総合的に判断すると、内部重力波は、高度約 0.5km と約 5km 間にトラップされ伝播したと推定する。第 6 図をみると 5km より上空では、振幅も小さくなっており、この推定が妥当であること示している。

■　**なぜ、北東方向に伝播しなかったのか**：名瀬や種子島で気圧低下が見られなかった理由について考察する。第 3 図をみると、名瀬では高度 2km 付近に逆転層がある。この逆転層ではリチャードソン数は 2.4 と大きいことから、内部重力波のエネルギーはこの逆転層により吸収され上方に伝播できなかったと推定する。

■　**なぜ、孤立波の特徴を備えていたのか**：第 4 図の山越え気流では、内部重力波は波列となっているが、今回観測された内部重力波は孤立波の様相を呈している。その要因については、非線形効果を考える必要があると思うが、山越え気流とことなり、今回は波源が Cb クラスターであり、その違いも関わっていると考えている。今後更に検討したい。

（２）内部重力波発生時の総観場の特徴

以上の解析により、内部重力波がエネルギーを維持しながら長い距離を伝播できる成層条件が整っていたことが分かった。このような条件をもつ総観場の特徴を挙げる。

■　**波源の奄美付近の Cb クラスター**:第 7 図は、29 日 10 時頃の水蒸気画像と数値予測資料から、500hPa 面の湿数と風を重ねたものである。沖縄本島の北には北東から南西にのびる暗域に対応して湿数 15 以上の乾いた空気が流入しており、これは高渦位の気塊の下降に対応していた(図略)。また、奄美付近の下層には、華中付近から高気圧の北を回り込むように、345K 以上の高相当温位の気塊が流入していた（図略)。波源となる奄美付近の Cb クラスターは、500hPa 面乾燥域の南縁で発生していた（図略)。

■　**沖縄本島付近の特徴**:沖縄本島地方は台湾付近に中心を持つ高気圧の範囲内にあった（図略)。

■　**上空寒冷渦（UCL）の影響**：南大東島付近にはUCLが見られるが、このUCLの影響については、沖縄本島上空での北東風の強化と、高渦位気塊の北東から南西方向への移流に関して、間接的な影響を与えたと考えている。

（３）JMANHM で内部重力波は再現できるか

内部重力波は静力学平衡と地衡風近似が崩れて発生する。波長約 65km の内部重力波について、JMANHM での再現を試みた。第 8 図左に海面気圧と湿数、右に左図の A から B に沿った相当温位、風、鉛直 P 速度のプロファイルを示す。左図の赤円は低圧部に対応し（降水域ではない)、奄美付近から時速約 60km 程度で南西に進んできた。また右図の矩形はこの低圧部に対応する各種物理量の鉛直プロファイルであるが、下降流場に対応し、高度 1.5km から 3km 間に乾燥した低相当温位気塊がみられる。このような特徴は、これまで述べた観測資料から得られた特徴とよく類似している。ただし定量的な一致はみられない。更に調査を行う必要はあるが、JMANHM で内部重力波が再現できた可能性はあると考えている。

４　まとめと考察

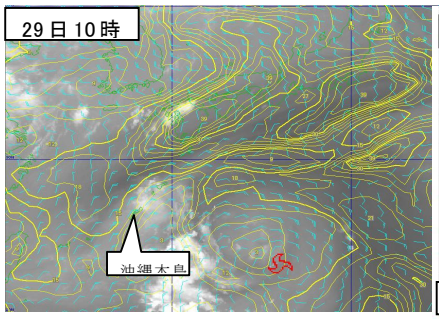
外間他（2006）に引き続き再調査を行ったが、新たな知見が得られた。また JMANHM でも再現できる可能性を得た。しかしなぜ孤立波として伝播したのか、どの高度で波が励起されたのか、逆転層で内部重力波が吸収されたとするならば、環境場に何らかの影響はなかったのか等、課題は多い。今後は、総観場の詳細な再解析とこれらの課題について調査し、外間他（2006）の調査と合わせてとりまとめ、沖縄技術ノートに投稿する。

【謝辞】

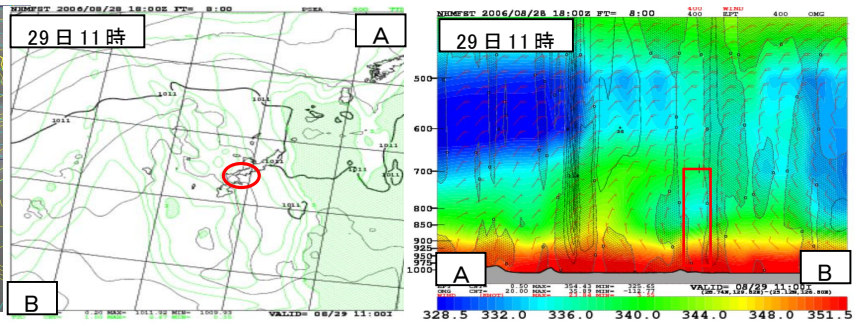
（独）沖縄亜熱帯計測技術センターのウィンドプロファイラーの利用をさせていただいたことに感謝申しあげます。

参考文献

・　外間宏信・平野裕・栽吉信　2006：平成 18 年度沖縄管内気象研究会誌、13-15
・　大野久雄　2005：雷雨とメソ気象　69-75
・　小倉義光　2004：メソ気象の基礎理論　19-54



第 7 図　水蒸気画像と 500hPa 面の湿数風を重ねたもの



第 8 図　JMANHM(5km)の再現結果(初期値　28 日 18Z)
左図:海面気圧・T-TD、右図:相当温位・風・鉛直 P 速度
パラメータはデフォルト設定値　赤印は低圧部の位置を示す。