

台風7916号 (OWEN) の成熟期の構造*

村松 照 男**

要 旨

典型的な秋台風7916 (OWEN) の成熟期の三次元構造を GMS・レーダ・飛行機・高層等の既存のデータを用い解析した。成熟期の構造は、中心気圧極少期、気圧上昇・変動期、安定(最盛)期、温帯低気圧への遷移期に分けられた。成熟期の構造としては、i) 軸対称性と中心集中性、傾度風平衡などハリケーン Daisy (1958) や Hild (1964) などの構造とよい一致を示した。ii) 中心気圧極少期から3日遅れて安定・最盛期で運動エネルギーが極大となった。iii) 最盛期ですでに周辺の温度・湿度湯から温低化への遷移が始まり非対称化した。iv) 気圧上昇・変動期では中心構造に数時間と12時間変動が解析された。v) 気圧変動期では、TBB の東西断面とエコー分布・眼構造との間の対応関係は悪い。vi) TBB の分布には大きな日変化成分が観測された。

1. はじめに

北西太平洋で発生・発達する台風の多くは8~20°N 付近の熱帯海洋上で発生し、15~30°N 付近で成熟期を迎え、大陸上で消滅するか、あるいは偏西風帯領域で温帯低気圧化し再発達・衰弱などの過程をへて、その一生を終る。

ハリケーンの詳細な研究は1950年代にカリブ海で展開された特別観測とそれに基づく解析により詳しく報告されている (Hawkins, 1968, a, b, c; Colón, 1961; Riehl and Malkus, 1961; Gently *et al.*, 1970)。北西太平洋で発生・発達する台風はハリケーンと同じ熱帯低気圧であるが詳細な三次元構造を解析したものはほとんどない。

今回の研究は、南西諸島沿いに950 mb 前後とほぼ同じ勢力を保ちながら北上した台風7916号 (OWEN) の成熟期の構造を既存の観測網から得られたデータ、1) GMS の赤外・可視画像、2) 高層ゾンデ、3) レーダエコー、4) 飛行機観測 (Guam, JTWC)、5) 天気図、等を合成して解析した。ハリケーン Hild, 1964 (Hawkins, 1968, a, b, c); Daisy (Colón, 1961; Riehl

and Malkus, 1961) や Gladly (Gently *et al.*, 1970) などの構造的特徴と比較した。

台風7916については中島他 (1980) が西日本地方における詳細な構造と防災面からの検討を主眼に調査がなされており、島田 (1980) が TBB (等価黒体温度分布) データを用いて台風7916の中心の決定を議論している。

2. データ

2.1. GMS データ

GMS データは可視および赤外画像 (10.5~12.5 μ , 赤外の窓領域) を用い、赤外の相当黒体温度 (TBB) を 0.1度メッシュで内挿し分布を求めた。観測は通常時間間隔で台風が日本付近に近づくとき毎時観測となる。

2.2. Guam (JTWC) の飛行機観測データ

台風内の貫通飛行すなわち中心付近の700 mb 精査と台風の中心位置データ、中心でのドロップゾンデデータなど全て、移動している台風中心の座標に変換し、観測正時の前後3時間内のデータを毎正時観測と見なして合成した。データは緯度・経度、700 mb 高度・温度・露点差・風向風速であり、26日 00Z の観測としては、25日 2200Z、26日 0033Z、0222Zのドロップゾンデ投下を含む36観測点でのデータが報告され、26日 00Z の観測値として合成した。23~30日の間に31回のドロップゾンデ観測が行なわれている。データ名は RECON

* The structure of typhoon 7916 (OWEN) in the mature stage.

** Teruo Muramatsu, 気象研究所台風研究部。

——1982年5月20日受領——

——1982年8月9日受理——

とする。

2.3. 高層ゾンデ観測

通常 00Z と 12Z であるが台風臨時観測として 06

Z, 18Z のゾンデ観測が加えられ, 台風7916号の場合は26~30日まで6時間間隔となった。ゾンデの位置補正を行なった。

2.4. レーダエコー

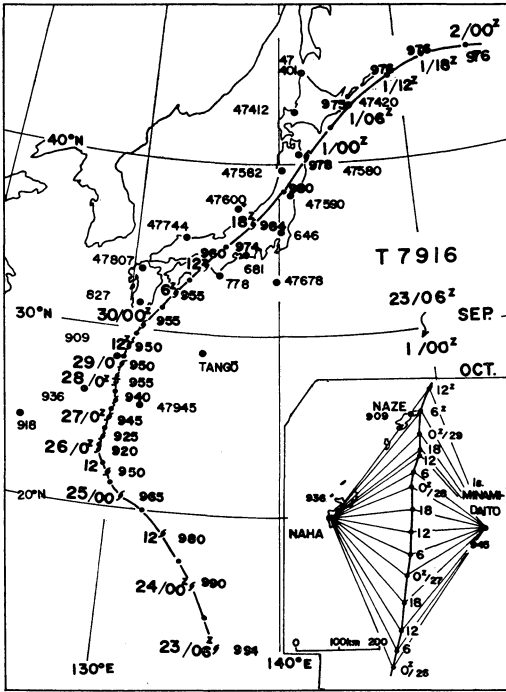
台風経路に沿った那覇・名瀬の両レーダで連続的に追跡した, 5 cm 波の気象レーダで Fax 用スケッチ図を用いた。

地上・ship・高層は必要に応じて台風の中心座標へ展開した。

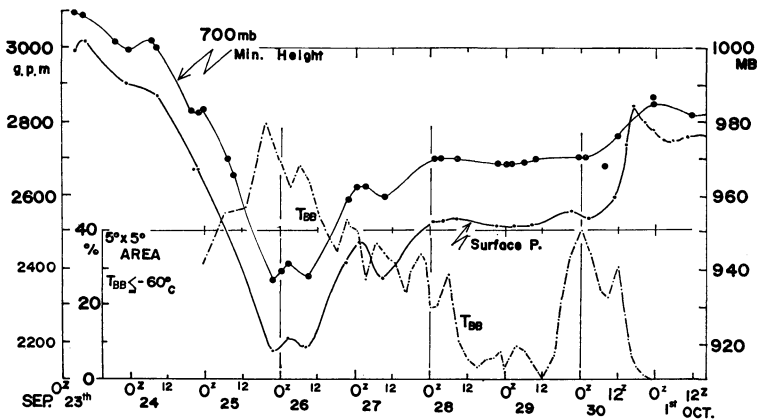
3 中心気圧極少期の構造

台風7916号 (OWEN) は第1図に示した様に, 1979年9月23日 06Z, 13.2°N, 136.7°E で台風となり, 北西進しながら25日 00Z には965 mb, その後, 急激に発達, 25日 2200Z には918 mb の中心気圧の最低を記録, 26日 03Z まで920 mb 前後を保った。台風の発生期から消滅までの中心気圧と700 mb の高度を飛行機観測データを主に記録したのが第2図である。

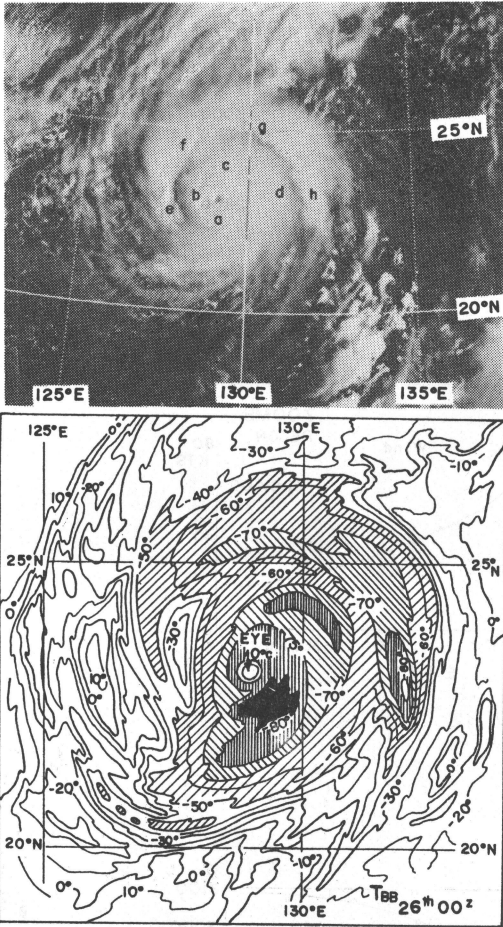
第3図は台風が最低気圧918 mb を示した25日 2200Z に近い26日 00Z の GMS “ひまわり” の可視画像と台風中心を中心とした緯・経度10度に囲まれた領域内の TBB (相当黒体温度) 分布である。可視画像において明瞭な台風眼とそれを取り巻くリング状の白い輝度の濃密な雲域—眼の壁雲に対応—が顕著であり, さらにその CDO (central dense overcast) を取り巻くように延びるスパイラルバンドも, a-b-c-d, e-f-g-h のように円形度の強い曲率を示し, 非常に発達した形状を呈している。台風の雲分布の特徴的な形状から台風強度を推定する Dvorak の手法 (Dvorak, 1975) の強度示数である



第1図 台風7916号 (OWEN) の軌跡と高層観測点の分布。右下図は名瀬・那覇・南大東島と台風との相対位置詳図, 小文字は中心気圧 mb。



第2図 台風7916号の中心気圧, 700 mb の高度及び 5°×5° 短形内の TBB ≤ -60°C の占有率の時間変化。



第3図 中心気圧極少期の可視画像と TBB 分布 (相当黒体温度, $10.5 \sim 12.5 \mu$ 赤外の窓領域), 9月26日 00Z.

T数も7.0になり, 推定中心気圧915 mb という発達した台風となっている。

TBB の分布で見ても台風眼内は 0°C と高温で, 眼の壁雲の雲頂温度の -75°C に比べ, 著しく高温で明瞭な円形状の眼が海面近くまで続いていることがわかる。このとき, 台風中心の貫通飛行機観測の報告でも直径 $8 \sim 10 \text{ km}$ の眼があり, 明瞭でかつ厚い壁雲が閉じており, 海上における中心域が目視されると報告されている。2131Z のドロップゾンデでは 700 mb で 2375 gpm (ジオポテンシャル m), 海面気圧 918 mb であった。また眼を取り囲む CDO の TBB は -75°C 以下で, 一部は -80°C 以下となり閉じた領域となっている。TBB は射

出率(一般に対流雲の雲頂付近ではほぼ1に近い)を1とすれば雲頂温度を表わし, この値は圏界面の温度とほぼ一致し, 活発な眼の壁雲の雲頂が圏界面(高度, 約16 km)まで到達していることを示し, 可視画像の白い輝度すなわち濃密な雲域に対応し, 活発な対流雲をもつ中心構造が明らかである。

一方, 第2図の中に, 台風中心より 2.5×2.5 度の5度矩形内での $T_{\text{BB}} \leq -60^\circ\text{C}$ の量の変化を示してあるが, 25日 18Z に鋭い極大があり, 中心付近の活発な対流雲の低温域の拡がり極大に達していることを示している。この時刻は気圧の極少期とよい一致を示している(25日 10Z から 2200Z まで飛行機観測は行なわれなかった)。

次に Guam の飛行機観測データ (RECON) で, この気圧極少期を調べよう。気圧極少期での観測は25日 2000Z から26日 0353Z まで約8時間の観測が行なわれ, この間, 中心位置決定の貫通飛行は 2131Z, 0033Z, 0222Z の3回行なわれた。Guam の JTWC (Joint Typhoon Warning Center) からの RECON 報は主に700 mb 面である。これらのデータを観測時刻における台風の位置と報せられた観測点の位置から相対位置に直し, 台風中心座標に展開した。700 mb の高度・風速・温度の東・西象限に分けた分布を第4図に示す。

第4図から明らかな観測結果は次のとおりである。

i) 各要素とも軸対称性がきわめてよく, 観測値のばらつきも少ない。

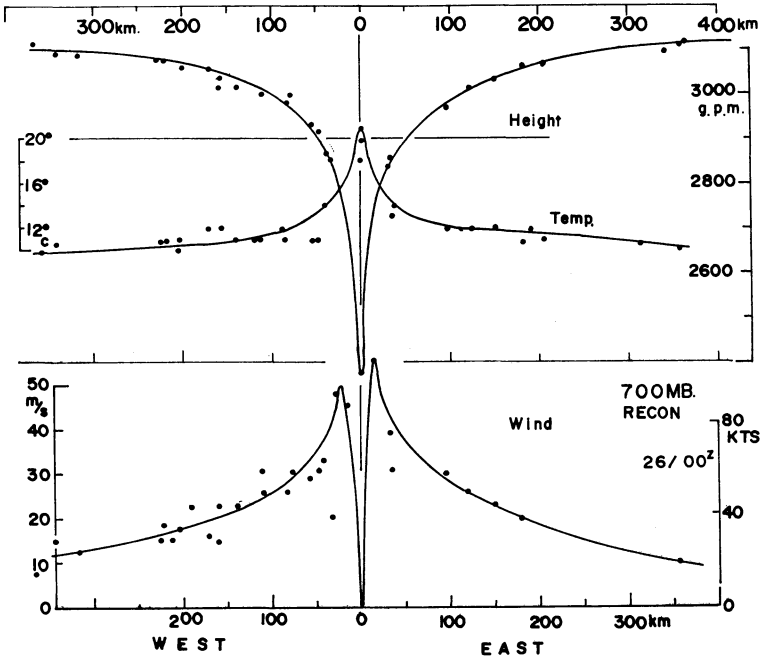
ii) 高度については, 図の外ではあるが十分遠方で台風じょう乱の影響外と見られる中心より 600 km 遠方の高度 3,120 gpm (ジオポテンシャル m) から, 緩やかに中心に向って減少し, 中心付近で急激に減少, 25日 2131Z のドロップゾンデでは 2,375 gpm と -745 gpm の偏差の極少値を記録, 高度場 ϕ_λ と風速場 v_λ との関係

$$\left(f + \frac{v_\lambda}{r}\right)v_\lambda = \frac{\partial \phi_r}{\partial r}$$

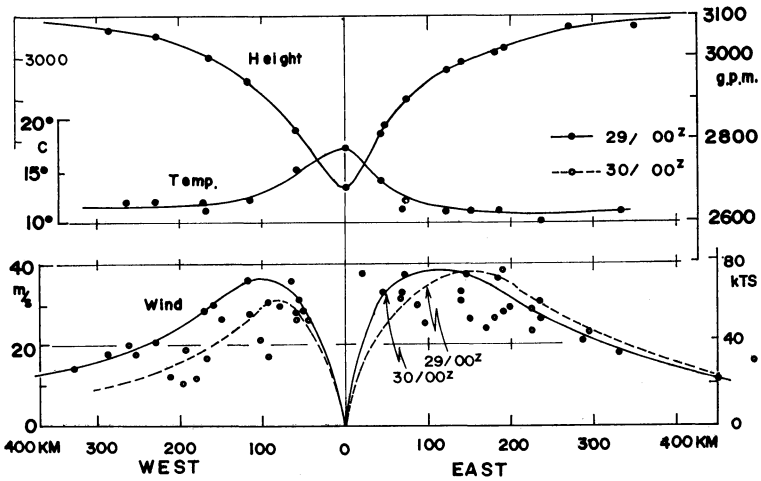
iii) 温度場についても, 眼の中で 21.2°C と十分遠方から見て約 12°C の正偏差となり, 850 mb では 24.4°C (図略) と約 5°C の正偏差を伴いハリケーン Hilda (Hawkins and Rubsam, 1968 b) と同様に下層でも暖気核構造が明瞭である。

iv) 眼内の湿度は眼の壁雲あるいは, すぐ外側の領域の飽和状態に比べ, 露点差で約 7°C (2131Z) と比較的乾燥している。

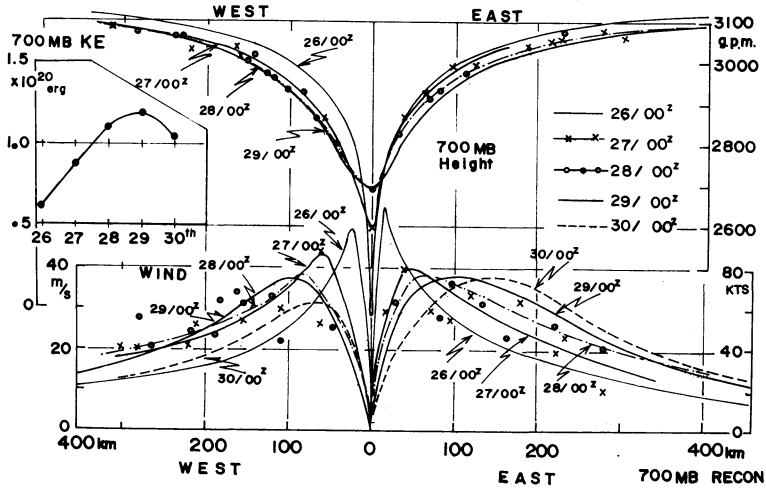
v) 風速場については, 高度場の漏斗状のプロファイ



第4図 26日 00Z, 700 mb (RECON) の高度, 風速, 温度の東・西象限の分布.



第5図 第4図と同様. 29日 00Z の700 mb 高度・風速・温度と30日 00Z の風速の東・西象限の分布.



第6図 700 mb の高度・風速の東・西象限分布の変化. 26日 00Z ~ 30日 00Z (30日 00Z は風のみ), 左上図は 400 km 以内, 700 mb 面 (厚さ 1 m) の運動エネルギーの変化.

ルに対応して, 台風中心より 13~18km 付近に極大があった. 極大風速は東象限で 56 m/s に達した. この極大風速の位置は 06Z 沖縄レーダの観測で得られた明瞭な台風眼(直径約 20 km) および GMS の明瞭な眼から見て, 眼の壁雲に数 km 入ったところにある. 風速は一般に東象限が強い.

これらの諸特徴は成熟期のハリケーン Hilda 1964, ハリケーン Daisy, 1958, ハリケーン Gladys, 1968 など大西洋・カリブ海での特別観測で得られたハリケーンの構造とよく一致している.

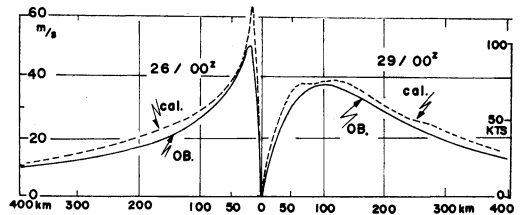
4. 成熟期の高度・風速場の変化

台風7916号は25日 2131Z, 918 mb の極少値を出したあと 27日 00Z には 945 mb となり, そのあと 950 mb 前後のほぼ一定な中心気圧でゆっくり北上した.

GMS 画像から見て最も水平方向に勢力が拡大していると見られる29日 00Z と転向後, 加速中の30日 00Z の 700 mb・RECON 報を第4図と同様に台風中心座標系へ展開し, 東西象限に分けたのが第5図である.

26日 00Z を中心とした気圧極少期(第4図)に比べ,

i) 高度場において, 中心で 2682 gpm と 307 m 埋まり, 中心気圧は 918 mb から 952 mb (28日 2147Z) まで浅くなった. 同時に眼付近での漏斗状のプロファイルも浅くなり, 中心から約 50 km 以遠では逆に高度が低下



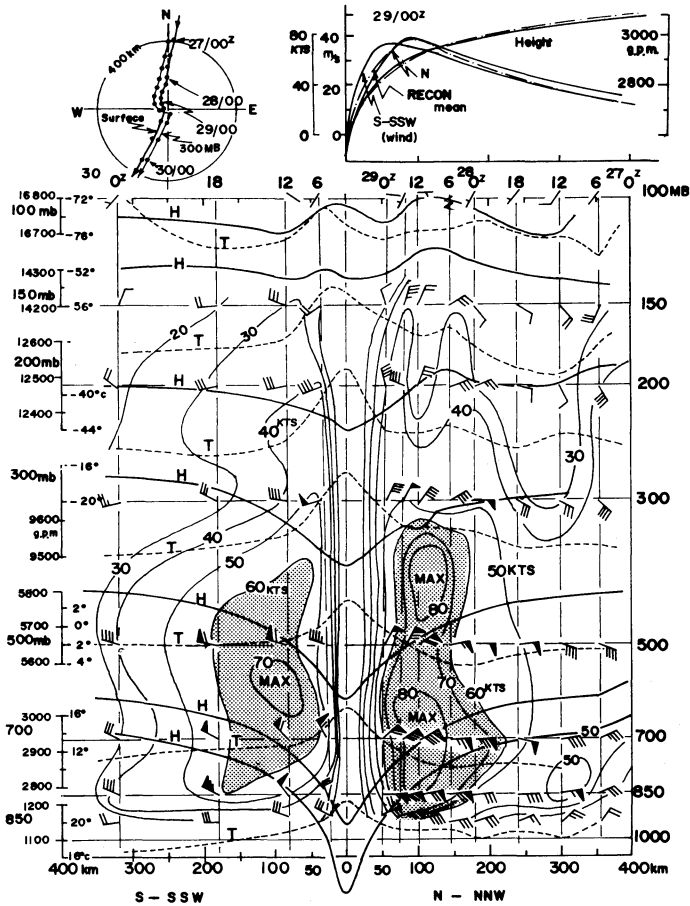
第7図 26日 00Z 及び29日 00Z の実測風(実線, 東西平均)と高度場から計算された傾度風分布(破線).

し, 水平方向の勾配を増大させている.

ii) 中心温度は 17°C (29日 00Z) と約 4°C 下降し, 温度集中性も弱まった.

iii) 風速場は水平方向へ, 強風域が拡大し, 約 50 km 以遠では風速が増大した. 29日 00Z に比べ, 30日 00Z では偏西風帯領域内で南西流成分の加(減)速の効果から東象限で風速は増大, 極大風速の位置も東へ移り, 西象限では逆に風速は減少, 極大風速の位置が再び中心方向へ移動, 偏西風場と台風循環場との合成されたベクトルの特徴が出ている; 等の特徴が認められる.

27~28日 00Z についても同様に展開し, 26日から30日まで合成したものを第6図に示す. 気圧極少期から安定期をへて偏西風帯へ侵入しつつある30日 00Z までの風速・高度場の変化は上述の i), ii), iii) と同様に次の通りである.



第8図 成熟期の台風の南北断面. 名瀬(47909)の高層データ(27日00Z~30日00Z)を時空間変換したもの. 左上図はゾンデの軌跡, 右上図は700mb(第5図)との比較.

iv) 26日00Zの高度場の漏斗状の高度プロファイルは27日00Zには中心で約2,600 gpm, 28日2,700 gpmと急激に高度上昇があり埋った. 一方, これとは逆に中心から50 kmより外側では高度が下降し, 高度の水平方向の勾配が増大した.

v) 中心付近の温度は26日00Zの21.2°Cの極大から29日には17°Cと4°C下降し, かつ中心付近の温度勾配が緩んだ.

vi) 風速分布については, イ) 第7図に示された様に, 傾度風平衡がよく成り立っている. 26日から30日の時間経過に従い, ロ) 極大風速の値が減少, ハ) 極大の位置が中心から離れる方向へ移動, ニ) 全体として29日00Zまで風速は増大し, ホ) 29日00Zに比べ30日00

Zは偏西風場の影響で(iii)で述べた東象限の増大, 西象限の減少という非対称化が進行した.

すなわち, 極大風速の減少にもかかわらず, 第6図に載せたごとく, 700 mb面での運動エネルギー(便宜上, 厚さ1 mとして計算してある)は29日00Zに極大を示し, 中心の最低気圧の極少期から約3日遅れている点が興味深い. ハリケーン Hilda, 1964の場合も詳しく見ると最低気圧942 mbの観測時刻に近い飛行機観測によるD値(700高度偏差値)の東西断面の分布に比べ, 1日後の中心気圧947 mbの場合のほうが高度は中心付近を除き全般的に低く, 傾度風平衡から見て, 風速の極大の位置が外側へ移動し, 風速そのものも増大している. 台風7916号の変化と同じ傾向の変化を呈している.

5. 最盛期の構造

第2図の経路から明らかなとおり、台風は南西諸島の高層観測網を約200 km/日のゆっくりした速度で通過、かつ6時間間隔のゾンデ資料が得られ、沖縄・名瀬レーダの300 kmの探知内での明瞭な台風眼が持続的に追跡され中心位置を正確に得ることができた。さらに名瀬には25 kmと最接近したため、好条件下での高層の南北断面図を得た。

5.1. 南北断面

第8図は名瀬(地点番号47909)の高層観測点を通過した台風を時空間変換して、北～中心～南南西の断面図としたもので、地上からほぼ圏界面に対応する100 mbまでの構造を示す。台風中心に対するゾンデの相対位置を左上図に示したが気球が風に流されながら上昇するので、同一観測点から飛揚されても時には地上～300 mbで数10 kmも偏位する。特に台風中心に近い時の飛揚では図で明らかなようにより大きくずれる。

この南北断面は29日03Zを中心としているので、この時刻に最も近いRECONデータと比較したのが右上図である。RECONによる700 mb面の高度・風速は第5図のものと同じものである。台風が名瀬の南から接近(台風の北象限の断面)した場合には高度場・風速場ともよい一致をしている。通過後は風速が数 ms^{-1} 弱くなっているのを除いてよく一致し、第8図は成熟期の台風の構造を代表しているといえよう。

この南北断面から見た台風の構造の特徴は次のとおりである。

i) 大気中・下層では北側の断面のほうが風速で約15%強く、RECONデータでの東象限が強い点と合わせると進行前面と右象限の風速が強いことを示している。一方70ノット(36 m/s)以上の強風領域は中心から50 kmから150 kmまで拡がり、鉛直方向にも350 mb(高度約9 km)まで伸び、80ノット(41 m/s)の最強風核も同様に、極大風速の地点は高度の増加とともに、多少外向きに傾いている。極大風速の出現位置は中心から約100 kmに位置し、第11図の29日00Zのレーダエコー分布から見て、眼の壁雲より外側のスパイラルバンド領域に位置しており、26日00Zの場合の中心より15 kmという眼の壁雲内とは異なった構造となってきた。

ii) 29日00Z、06Zともに台風の内核内で飛揚され、00Zでは中心より48 km、06Zでは25 km地点で飛揚された。これらを含み150 km内でのデータは6回

あった。大気下層から125 mb(約15 km)まで明瞭な低気圧性循環が形成され、200 mbで中心より150 km離れたところで30ノット(15 m/s)の傾度風成分をもっている。

iii) 高度場では200 mbまで低気性循環が高度場に観測されるが、150～100 mbの対流圏上部では高度の低い領域は北側にずれ、中心付近では逆に高くなっている。

iv) 温度場では暖気核が明瞭で、中心から100 km以内で温度の周辺からの偏差は大きく、200～300 mbで9～10°Cの正の偏差の極大をもっている。一方、中心付近において、対流圏上部では高温の中心は南側にずれているが顕著な寒気核は認められない。

5.2. 中心から200 km付近の南北断面

台風が沖縄と南大東島のほぼ中間点を北上したので、第8図と同様に台風の東および西約800 kmの南北の断面が得られ第9図に示した。図を見易くするため、南北の基線を30度傾け、楕円の中心は両観測点の間を通過した28日15Zの位置とした。風向は全て楕円に対し接線方向が台風の円形循環の接線風向に一致するように描かれている。風の場合と湿度場を見るため250 mb高度まで図示されている。

台風と観測点との相対位置は第1図右下に図示してある。この南北断面での特徴点は次のとおりである。

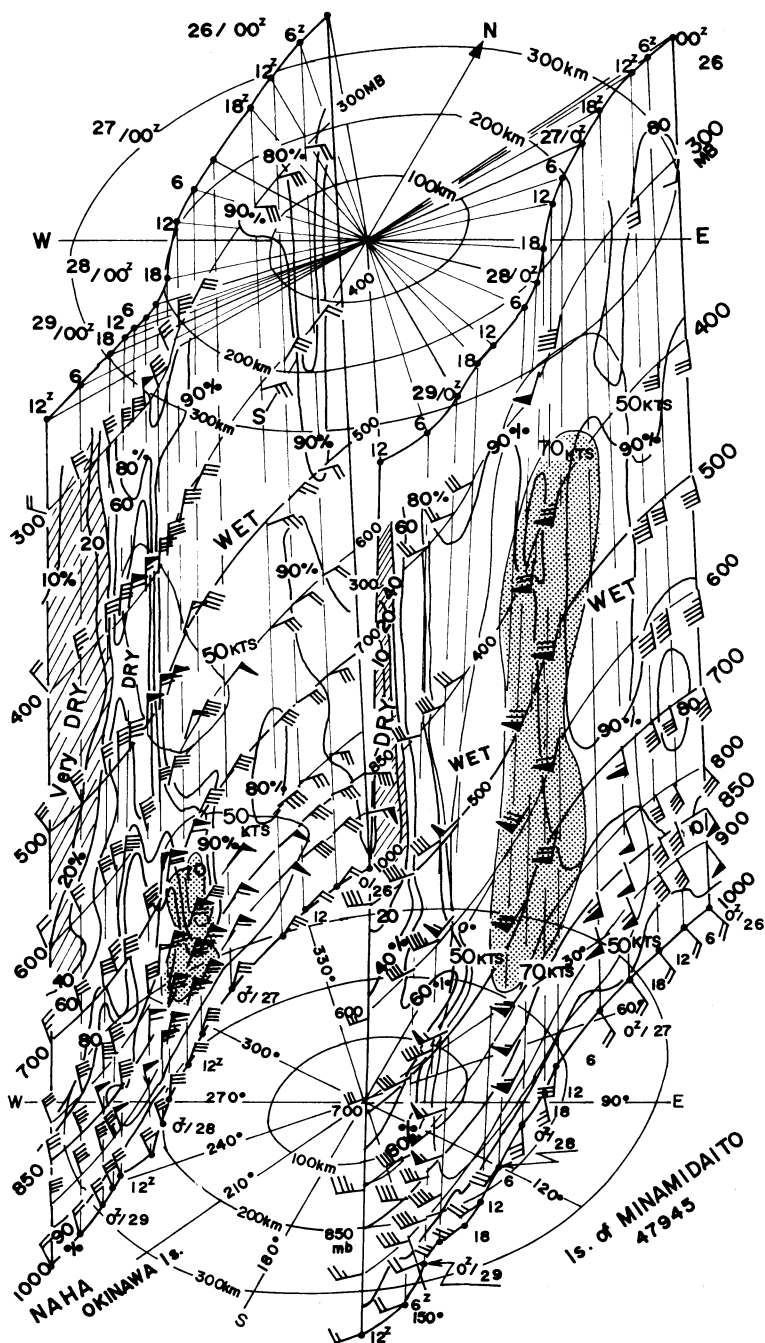
v) 900～850 mbより海上までの境界層内では風向が接線方向より内向き、すなわち動径成分があるが、それより上ではほぼ接線方向のみである。

vi) 70ノット(36 m/s)以上の強風域は東象限において中心より190～220 km、高さ800～400 mb、西象限では高さ850～700 mb(1.3～2.7 km)、中心より190～200 km付近に存在し、左右非対称な構造となっている。

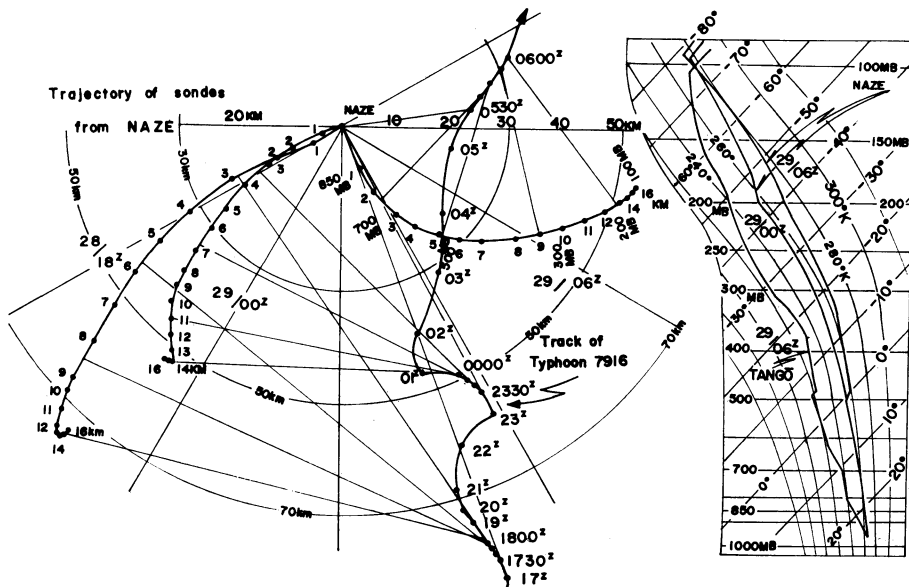
vii) 400 mb付近まで風速の鉛直シアーは小さい。以上の点は第8図と主要な点で共通している。この他、

viii) 湿度場では東象限で全域湿潤であるのに比べ、西象限では200～250 kmより外域で急激に乾燥域が拡大、特に大気中層では10%以下の非常に乾燥した領域が侵入してきている特徴を示している。

以上、高層観測のデータの時間空間変換で得られた台風の構造はハリケーンHilda(1964)、ハリケーンDaisy(1958)、Gladys(1968)などの成熟期の構造とよい一致を示している。しかしながら、南北断面の特徴である中心付近の低気圧性循環の構造(ii)、温度場の位相ずれ(iii)、さらに湿度場(viii)などが新たに詳細に解析さ



第9図 台風中心から東西約200 km 地点の南北断面 (那覇, 936: 西側, 南大東島: 東側), 26日 00Z ~ 29日 12Z.



第10図 名瀬飛揚のゾンデの軌跡と台風の軌跡。右図は29日 00Z, 06Z の名瀬, 29日 00Z の TANGO (定点: 28.9°N, 135.3°E) の状態曲線。

れた。

5.3. ゾンデの軌跡から見た台風の中心構造。

高層ゾンデは観測気球が上昇しながら風の場に流され観測点の緯度・経度が時々刻々変わる。一方、台風循環は移動しており相対位置は刻々変わる厳密な議論をする場合は大きな誤差原因となる。第10図は名瀬(本茶峠観測点)で飛揚されたゾンデの軌跡と台風中心の軌跡を合成したものである。中心位置は同観測点のレーダ観測による明瞭な眼に基づいて決めた。

ゾンデは普通観測正時(00Z, 06Z)の30分前に飛揚され、飛揚開始時刻が遅れた場合はそのむね記載される。29日 0530Z 飛揚の場合の時刻(位置)と高度対、台風中心との相対位置が決められ、両点を線で結んである。飛揚後20分で500mb(5.7km)、40分で200mb(12.6km)となり、飛揚開始地点より52kmも離れた。台風中心と観測点(ゾンデ)は相対的な角度で260度から150度へと低気圧性に回転している。風速が強いほど偏れるので、上層に行くほど大きな補正が必要である。28日 2330Z の場合は約50km、1730Z では約75kmも偏れいる。

一方、この第10図で台風中心とゾンデの相対距離を調べてみると、

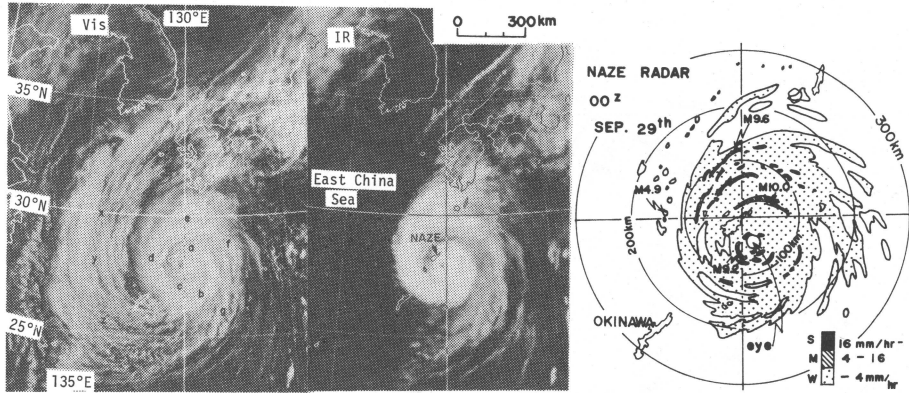
- i) 海上~約850mbまでは台風中心への動径成分す

なわち inflow (吹き込み) を示し、

ii) 境界層より上の層では高度14kmまで、接線方向へ低気圧性に回転しており、1730Z, 2330Zの2軌跡とも共通してゾンデとの相対距離がほとんど変わらない。すなわち動径成分がなく、傾度風平衡が成り立っていると見られる。観測された風速はほぼ接線部分のみと見なせる。

iii) しかし、中心より22kmの距離のレーダで見た眼の壁雲内で飛揚された29日 0530Z のゾンデの軌跡は吹き込み (inflow) を示す境界層内とは異なり、700mbより高いところでは高度とともに台風の中心との距離は大きくなり、数 ms^{-1} の外向きの動径成分 (outflow) を持っていることを示している。眼の壁雲の外での28日 2330Z (29日 00Z 正時のもの) は、このような吹き出し成分はほとんどなく、29日 1130Z, 28日 1730Z の場合も同様である。この一例だけでは十分ではないが、観測事実として、壁雲中で700mbという低い高度から、大気上層にかけて毎秒数メートルの outflow (吹き出し) 成分の存在を示唆している。

第10図右半分には、さらに眼の壁雲中(29日 06Z) および眼の壁雲の外縁のスパイラルバンドとの境界付近の状態曲線と中心から十分離れている東約500kmでの定点観測船 TANGO (28.9°N, 135.3°E) の29日 00Z



第11図 最盛期(29日 00Z)の台風7916の可視・赤外画像及び名瀬レーダエコー図。

の状態曲線を合成した。台風中心のごく近傍の温度は台風中心から十分離れた(TANGO)に比して、境界層のすぐ上で、すでに $3\sim 5^\circ$ 高温であり、250 mb 高度では約 10°C の高温となり、圏界面直下まで正の偏差が続いていた。また29日 06Z ではほぼ上層まで湿潤断熱線 $\theta=261\sim 263^\circ\text{K}$ に沿った変化をしており、最盛期の台風の中心構造の状態を表わしている。

5.4. GMS 画像・エコーから見た最盛期の形状

最盛期である29日 00Z の台風の GMS の可視・赤外画像および名瀬レーダエコー図を第11図に示す。

i) 可視・赤外画像とも、眼の構造が明瞭である。レーダでは直径 23 km の円形の眼と、それを取り囲むエコー頂 9.2 km を含む活発な対流雲が眼の壁雲を形成している。これらは、可視・赤外両画像上において台風眼のまわりに高輝度のリング状の CDO すなわち濃密かつ活発な対流雲塊とその雲頂から吹き出す絹雲の天蓋(canopy)に対応しており、発達した形状を呈している。

ii) 眼の壁雲の外縁に起源を発するスパイラルバンドが顕著で、可視画像上の a-b, c-d-e-f-g などおのおの半周、1周以上 CDO を取り巻いている。レーダエコーでは幅 $5\sim 10$ km でスパイラル状を呈し、エコー頂は 10 km 前後と眼の壁雲と差がないほど活発である。ただ赤外画像上では中心付近の眼の壁雲の雲頂温度のほうが低温であり、活発であることがわかる。いずれも典型的な台風構造を示している。

iii) 一方、可視・赤外画像を比較して最も大きな違いが現われているのが台風の西象限の X-Y-Z で表わした東シナ海上の雲域である。可視で見ると低気圧性曲率を

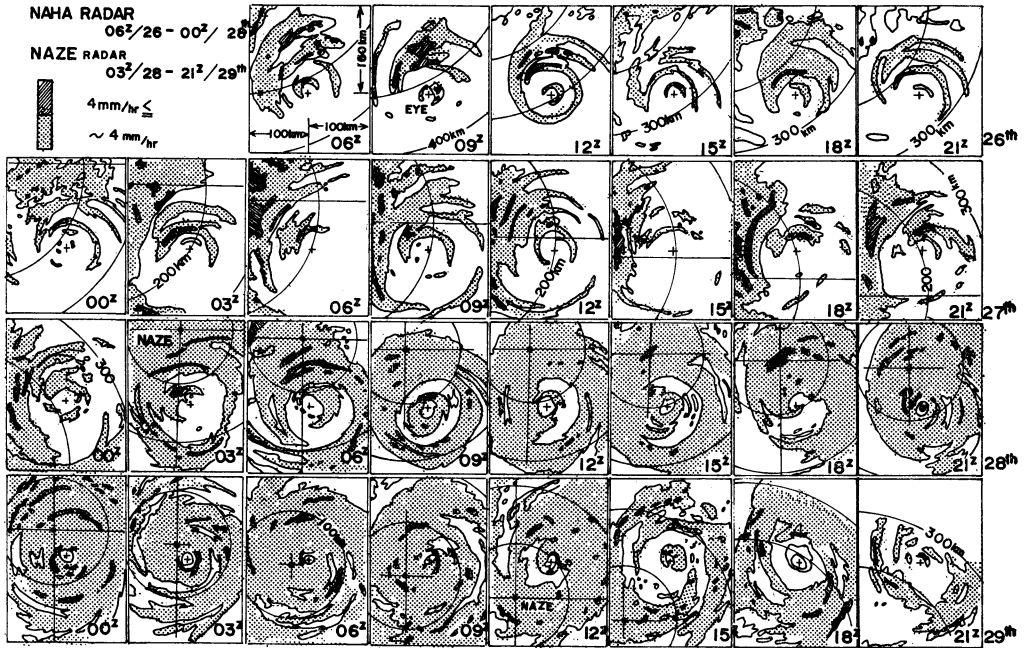
もった層積雲系の比較的密な雲域として観測されているのに比べ、赤外画像では黒灰色で高い温度を示している。スパイラルバンドや眼の壁雲の雲頂温度 $-70^\circ\sim -75^\circ\text{C}$ に比べて、 T_{BB} は $10^\circ\sim 15^\circ$ で状態曲線と対照すると、高さ 2 km 付近の逆転層下で発生している背の低い雲域であることがわかる。個々の小雲塊の移動を GMS 画像の動画から追跡し計算してみると、約 $10\sim 15$ m/s の 800 mb 面付近の風の場で流され、低気圧性曲率をもちながら移動していた。レーダエコーでも西象限で半径 130 km より外側では活発なエコーはなく、極大でも 4.9 km という小流雲セルが1つだけ観測され、東象限の活発な Cu-Cb ラインの存在とは全く非対称な分布をしている。

最盛期にある台風ですら、すでに第9図で得られた湿度場における乾燥域の侵入とこの寒気移流を示唆する Sc-Cu の雲域の侵入拡大が始まって来ており、偏西風帯領域に入りつつある台風が、傾圧場で変形、特に周辺場から急速に変質を受け始めていることを示している。

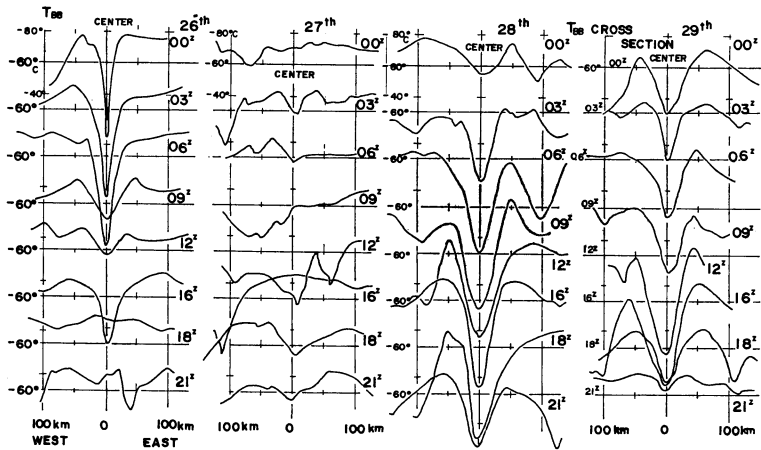
6. 中心構造の変化

前章までは時間分解能が6時間、空間分解能は 50 km 前後で議論し、中心気圧極少期から最盛期までの構造の変化を求めた。ここでは、さらに GMS, レーダの毎時データから中心付近 100 km 内の微細構造の変化を議論する。

第3図に示したごとく、26日 00Z には台風は明瞭な円形眼を持ち、 T_{BB} 分布においても中心で 0°C 、眼の壁雲の雲頂で -80°C に近い温度分布を示した。 T_{BB} の東西断面をとると明瞭な漏斗状の温度プロファイルが得



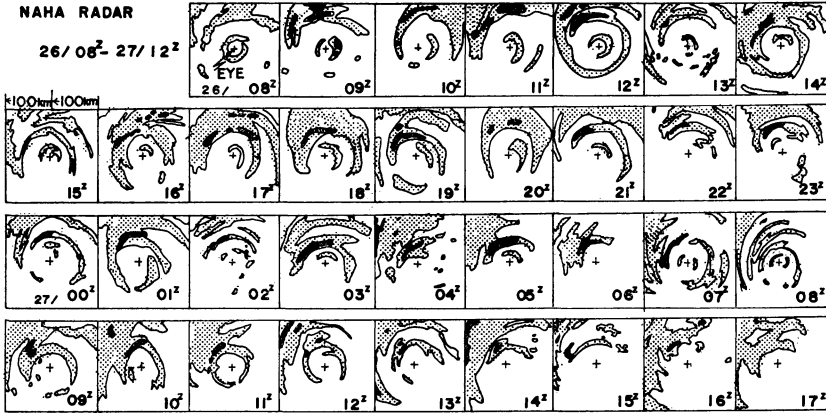
第12図 台風を中心付近のエコーの変化. 26日 06Z~28日 00Z, 那覇レーダ, 28日 03Z~29日 21Z, 名瀬レーダ, 台風中心より東西 100 km の範囲.



第13図 台風中心を通る TBB の東西断面 (各々 100 km), 26日 00Z~29日 21Z.

られる. このあと沖縄・那覇レーダでこの台風中心を明瞭に捕え始めた. 26日 15Z から偏西風帯領域内で転向, 加速しつつある29日 21Z までのエコーの変化を (28日 03Z からは名瀬レーダ) 追跡したのを第12図に示す. 図は台風中心から東西 100 km の範囲, 3時間間隔のエ

コー分布を示している. 一方, この期間中の GMS の赤外データを台風中心を通る TBB の東西断面の分布として, 3時間間隔で表わしたのが第13図である. TBB は先に述べたとおり, 射出率を1とすれば雲頂温度を表わし, 状態曲線との対応で高度へ変換できる.



第14図 変動期における台風中心構造の毎時エコー分布の変化，26日 08Z～27日 17Z，那覇レーダ。

中心気圧極少期の26日 00Z 頃から偏西風場で非対称化し温低化する間の5日間の成熟期の構造を第13～14図から見ると、さらに、

- i) 9月25日 21Z～26日 06Z の中心気圧極少期
- ii) 26日 09Z～27日 21Z の気圧上昇期・変動期
- iii) 28日 00Z～29日 18Z の安定期・最盛期
- iv) 29日 21Z～10月1日 00Z の温帯低気圧への遷移期

とに分けられる。

i) 気圧極少期では、第3章で述べたごとく、中心集中性が著しく、沖縄レーダでは直径20～25 km の眼を取り巻く内側のリングの壁雲が明瞭である。GMS の T_BB の東西断面においても26日 00～06Z は、眼内では海面近くの温度を示す漏斗状の T_BB の窪みを示すプロファイルが特徴で、明瞭な、小さな台風眼が維持されている。

ii) 気圧上昇期・変動期

イ) 26日 0830Z の飛行機観測によれば、眼の壁雲は0222Z に比べ少し拡大し、リング状に閉じていたが、海面での中心は26日 0033Z で目視されたのが見えなくなり、眼の上空を薄い網雲が覆い始めたと報告されている。GMS の T_BB 分布で 09Z は、台風眼内での温度が0°C から -50°C へと急激に上昇した。圏界面付近の薄い網雲は一般には射出率が0.1～0.5と1よりかなり小さい、そのため眼の上空での網雲の増加は T_BB 温度の見かけの上昇の原因となる。T_BB の分布では、28日 00Z に明瞭化し始めるまで持続的な T_BB の漏斗状高温（眼内）プロファイルが見られない。

ロ) レーダエコーは25日 12Z のエコー分布で最も組織的で、二重眼構造の外側のリング状の直径の80 km 雲壁が明瞭化し、一方、T_BB の東西断面においては、眼と壁雲を示す窪みは見られなかった。ハ) この期間を通してみると、中心構造の組織化は26日 12Z、27日 00Z 前後、11～12Z、28日 00Z と約12時間週期で変動している。

ニ) この期間をさらに1時間毎のエコー（第14図）の変化で見ると、中心から50 km 内の眼の壁雲のリングが明瞭な時期(26日 08Z、12Z、17Z、27日 02Z、07～08Z)と外側の直径60～90 km のリング状の壁雲が明瞭となる時期(26日 12Z、14Z、16Z、19Z、27日 01Z、07Z、10Z)の繰り返しと、全く中心構造が不明になる期間(26日 20～22Z、27日 04～06Z、14～17Z)とに複雑に変動している。前二者は、外側リング強化→内側へ縮少→内側リング強化→内側リングの非組織化という組織的な変動が見られる。

ホ) T_BB の東西断面では、27日 09～12Z の期間、高温の部分が眼の外側にもある。いわゆるスパイラル状(banding タイプ型)に眼の壁雲へ巻き込む形状を示すやや組織化した期間が見られる程度である。

iii) 安定期・最盛期

28日 00Z から29日 18Z までは、中心気圧は950～955 mb と一定であり、700 mb の運動エネルギーも29日 00Z を極大に高原状に変化し、安定期を示している。イ) レーダエコーで見れば、直径20～30 km の眼と二重リング構造が29日 18Z まで大きな変動なしに持続している。ロ) T_BB の東西断面では28日 00Z から急

激に組織化し、以後台風眼を示す漏斗状のプロファイルを示し、18Zまで持続した。

iv) 温帯低気圧への遷移期。

TBB 分布で見れば、iii) の安定期で持続した明瞭な眼が不明瞭化、レーダエコーでは眼径の拡大、不明瞭化が進み、1日06Zには温帯低気圧になった。温帯化の構造変化は村松(1982)で詳しく述べられている。

この成熟期を通し、イ) 台風の中心構造は複雑に変化しており、ロ) TBBの分布(すなわち、赤外面像)とレーダエコーとの対応は、変動期において対応関係は悪い、ハ) TBBの分布において、深夜から早朝にかけての台風眼でのTBBの上昇、眼の不明瞭化、眼径の縮小、午後から夜にかけての期間のTBBの見かけ上の下降、眼の明瞭化、眼径の拡大、という日変化現象が見られる。

いずれにしても、時系列的に台風強度示数をGMSの画像、TBB分布、レーダエコー分布などの特徴的な形状で求める場合、この様な数時間、12時間、日変化などの周期変動成分の見積りを十分考慮しなければ、重大な誤差要因となるので注意深く扱われなければならない。

7. まとめ

成熟期の台風7916の構造をGMSデータ、飛行機観測データ、高層データ、エコーデータなどの既存の観測網で解析した。

成熟期の台風の構造の特徴としては次のとおりである。

i) 軸対称性とその中心集中性が明確で、中心域の暖気核は700mbで+12°Cの正偏差となった。眼の壁雲付近のゾンデ観測では250mb付近に正の温度偏差の極大があり、圏界面の直下まで正の温度偏差であった。

ii) 境界層より上では傾度風平衡がよく成り立っている。

iii) 進行方向の北および東象限で風速の極大域があり、約2割の増大が認められた。

iv) 最低気圧の極少(918mb)の起時(25日22Z)と700mb面での風速分布の増大、400km以内での運動エネルギーの極大の時期(29日00Z)に約3日の遅れがあった。

v) 中心気圧の極少期に対応し、700mbでは眼径が15~20kmと縮小し、風速も56m/sと極大となった。台風の北上とともに極大風速の値は減少しながら、極大の位置が26日15km前後から外向きへ移動し、運動エネルギーが極大となった29日00Zには中心から

80kmの位置まで移動した。偏西風帯内である30日00Zには風速は東象限で増大、西象限で急激に減少し著しく非対称化した。

vi) 最盛期に達した時点で既に周辺場から温帯低気圧化が始まった。

vii) 成熟期の26日から偏西風帯での温帯化への遷移期を中心構造で詳しく見ると、気圧極少期(25日21Z~26日06Z)、気圧上昇期・変動期(26日09Z~27日21Z)、安定期・最盛期(28日00Z~29日18Z)、温帯低気圧への遷移期(29日21Z~10月1日00Z)に分けられる。特に変動期ではエコーは12時間周期で組織的な変動をし、さらに数時間オーダーでの二重眼の内側リングと外側リングの組織化の繰返し変動が見られた。GMSデータのTBBの東西断面では、眼およびその周辺でエコーとの対応関係は悪い。

viii) TBBの東西断面には、日変化成分が観測された。

ix) 安定期はエコー分布では二重眼すなわち壁雲の二重リング構造が明瞭に続き、TBBの東西断面での眼の特徴である高温部の漏斗状プロファイルが持続した。

以上、全体を通じ、大西洋・カリブ海でのハリケーンの特徴的な構造とよい一致を示し、さらに、その成熟期の構造に数時間、半日周期、1日周期などの変動が重なっていること、および、偏西風帯領域で非対称化しつつある台風の構造をも解析した。

8. あとがき

この論文を書くにあたって、終始指導して頂きました気象庁予報課 山下主任予報官、ならびに気象研究所台風研究部 山岬第1研究室長に謝意を表わすと共に、レーダエコー図を心よく提供して頂きました沖縄气象台、名瀬観測候所、台風資料を頂きました気象庁予報課などの関係官の方々に謝意を表します。

文 献

- Colón, J.A. and Staff, 1961: On the structure of hurricane Daisy (1958), National Hurricane Research Project, U.S. Weather Bureau, Report No. 48, 102 pp.
- Dvorak, V.F., 1975: Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery, Mon. Wea. Rev., 105, 1119-1135.
- Gentry, R.C., T.T. Fujita, and R.C. Sheets, 1970: Aircraft, spacecraft, satellite and radar observations of hurricane Gladys 1968, J. Appl.

- Met., 19, 837-850.
 Hawkins, H.F. and D.T. Rubsam, 1968a : Hurricane Hilda 1964 ; I. genesis, as revealed by satellite photographs, conventional and aircraft data, Mon. Wea. Rev., 96, 428-452.
 ———, 1968b : Hurricane Hilda, 1964 ; II. Structure and budgets of the hurricane on October 1, 1964, Mon. Wea. Rev., 96, 617-636.
 ———, 1968c : Hurricane Hilda, 1964 ; III. degradation of the hurricane, Mon. Wea. Rev., 96, 701-707.

- 村松照男, 1982 : 成熟した台風の温帯低気圧化について, (「天気」投稿中).
 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, 第23号, 87-111.
 Riehl, H. and J. Malkus, 1961 : Some aspects of hurricane Daisy, 1958, Tellus, 13, 181-213.
 Sheets, R.C., 1969 : Some mean hurricane soundings, J. Appl. Met., 8, 134-146.
 島田健司, 1980 : 等価黒体温度データが示す台風中心付近の特徴 (台風7916の場合), 天気, 27, 75-77.



Steven R. Hanna, Gary A. Briggs, Rayford P. Hosker, Jr. 著

Handbook on Atmospheric Diffusion

Technical Information Center, U.S. Dept. of Energy, 1982, A 4判, 102頁, \$ 10.75

大気境界層や大気汚染現象を研究している者でHanna S.R. の論文を知らない者はいないだろうし又, Mr. Plume Rise と言われる Briggs の論文に目を通さない者もないだろう。彼等2人と Hosker (建物近傍の拡散問題では著名である) が書いたのがこの本である。

Handbook とは言っても本文は90頁程度でしかないので非常にハンディーである。しかしながら内容はかなり広い範囲にわたって取りあげている。本書の構成は13章になっているが、大別すると最新の知見を加えた基礎編と近年の大気拡散での問題を取りあげた応用編とに分かれる。第1章は Meteorology で極めて基礎的な内容が述べられている。少々簡単すぎて乱流の構造などの記述が少ないのはものたりない点であるが。第2章では plume Rise について述べ、良くまとめられている。第3章では Source Effects, これは煙突および建物の拡散におよぼす影響について述べている。第4章 Gaussian Plume Model for Continuous Sources. 何故 Gaussian Model を使うかと言った記述がおもしろいし, Gaussian Model の適用限界についても注意深く書かれている。第5章 Statistical Models of Diffusion from Continuous-point Sources, 第6章 Puff Diffusion. 第7章 Similarity Models of Diffusion, 第8章 Gradient Transport

(K) Models は色々な基礎的な拡散モデルについての記述であるが、データなどには最近の論文(70年後半以後)を多く使ってわかりやすく書かれている。第9章からは応用編で、第9章 Urban Diffusion Models では、今まで色々な研究所で開発された都市域での拡散モデルについて述べている。第10章では Removal Mechanisms について述べている。第11章では Cooling Tower Plumes and Drift Deposition について述べているが、我が国でもこの種の問題は今後地熱発電などがふえればすぐに問題になると見られる。第12章は Air-Pollution Meteorology in Complex Terrain でアメリカで最近数多くの野外実験が行われている。いわゆる“hot”な問題である。ただ残念ながらそれらの結果をふまえるまでには到らず問題点の指摘程度になっている。第13章では Long-Range Transport ed Diffusion で北米, ヨーロッパなどで問題となっている酸性雨に伴う移流, 拡散問題が取りあげられている。

以上の様にこの Handbook では広範囲な内容が90頁たらずの中に網羅されている。又、記述は理論の詳細な紹介よりも最新の公式と単純な現象の記述にとどめ、技術者やコンサルタント、気象にたずさわりかつ大気拡散問題を考えなくてはならない人々を対象としている。さらにこの本は実際に大学、大学院のテキストとしても使われているようである。そのために問題集が各章の終わりについており理解を深めるのに役立つ。

Handbook としての役割から頁数を極力少なくして、詳しい index によって簡単に使える様に考えてあるが、記述が簡単過ぎて物足りない面もある。これについては reference が完備しているのでそれを参考にすれば良いだろう。up to date な大気拡散ハンド・ブックとしてぜひ一読をおすすめする。

(小川 靖)