

急激に発達した台風(T8305)の 人工衛星赤外面像に現われた特徴について

柿 本 均・光 田 寧

ANALYSIS OF IR IMAGES OF DEVELOPED TYPHOON 8305, ABBY

By *Hitoshi KAKIMOTO and Yasushi MITSUTA*

Synopsis

Infrared images of the Geostationary Meteorological Satellite II (GMS II) of Typhoon 8305, Abby, which developed lower than 900 mb, are analyzed with special interest on development of the typhoon eye. This typhoon first appeared at 9°N, 144°E on Aug. 4, 1983. It developed to 895 mb at 17°N, 132°E. Clear eye was seen from Aug. 7 to Aug. 15 just before landing on the central Japan. The formation of eye in the center of the typhoon coincides with rapid development of its central pressure. The lowering speed of the cloud top of the eye center is about 0.4 m/sec. After the cloudless eye is formed, the time changes of the central pressure is almost proportional to the time change rate of the area of cloudless eye area. The central dense overcast (CDO) has spiral structure connecting to the spiral rain band outside. However, the angle of the spiral decreases with radius in CDO.

1. は し が き

先の台風 8013¹⁾に引続いて、急激に、しかも中心気圧が900 mb 以下にまで発達した台風8305号 (Abby) について人工衛星ひまわり (GMS-II) による赤外面像の解析を行った。台風8305号は1983年8月4日グアム島南方 (9°N, 144°E 付近) に発生し、ゆっくりと西に進みながら発達し、8月5日15時 (JST) には9°N, 140°E 付近で台風 (T. S.) となった。その後、北西に進路を転じ、8月7日3時には Typhoon intensity に達し、8月9日には17°N, 132°E で中心気圧895 mb にまで達した。その後、8月10日頃に20°N, 131°E 付近で中心気圧930 mb ぐらいの時に転向し、8月17日7時頃渥美半島に上陸した。上陸時の中心気圧は974 mb ぐらいまで上昇しており、関東地方に大雨を降らせたが大きな被害は少なかった。

この台風8305号の概略の経路と、毎日9時の中心気圧の変化の様子を示したものが Fig. 1 である。この図からも明らかとなおり、中心気圧が最低895 mb と900 mb 以下にまで発達したことから、中心気圧が970 mb 以下であった期間が約10日間も長く続いたということがこの台風の特徴であった。この間、静止人工衛星からの赤外面像において、台風の中心付近の雲塊 (Central Dense Overcast) とその中心の眼がはっきりと長期間にわたって観測されたので、この台風について中心付近の現象に重点をおいて調べることとした。

2. 人口衛星赤外面像より見た台風8305号のライフサイクル

後に台風まで発達したと見られる雲系を人工衛星の赤外面像上で逆に追って行くと1983年8月2日頃にまで逆上ることができる。この cloud cluster は8月3日9時 (JST) 頃には比較的はっきりとした形を示し、8°N, 145°E 付近にあり、その直径は300 km ぐらいであった。この部分は ITCZ の北辺の東風域と西風域

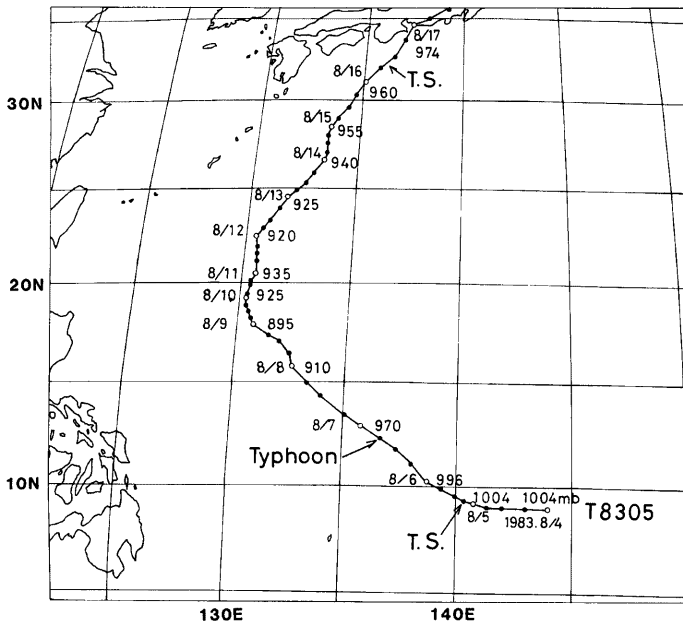


Fig. 1 Track and the central pressure at 09 JST of each day shown by the circle for Typhoon 8305, Abby. The dot indicates the six hourly position.

の境界領域にあたるものと思われる。雲域が渦巻き状を示すのは8月5日午前からであるが、天気図解析からは8月4日9時に tropical depression、5日15時には tropical storm になっている。中心部に高く濃い雲域、即ち、いわゆる CDO が生じてくるのは8月6日になってである。気象庁気象衛星センターの作成²⁾による台風中心付近の毎日9時(JST)の赤外面像を示したものが Fig. 2 である。

台風の CDO は、8月7日12時には直径450 km ぐらいになっており、この時の中心気圧は既に970 mb 程度に発達していたが、この時初めて眼の中心部に直径約40 km、温度差11℃程度の眼に対応する高温部、即ち雲のへこみが見られた (Fig. 3 参照)。即ち、この頃に台風の渦が one-cell 型から two-cell 型に移行したようで、この時期と CDO がはっきりした時期との差は1日以内であり、中心気圧の低下もこの時期から急速に進行したことなど対比して興味深い。このような台風の渦の one-cell 型から two-cell 型への移行が台風の急速な発達と対応していることは先の台風8013号の場合¹⁾にも見られたことであり、台風の発達を考える上で重要なポイントである。

もっとも、この台風の場合、航空機による中心貫通飛行観測によると8月6日20時30分に既に直径48 kmの眼が存在したと報告されている。従って、two-cell 型への移行は雲頂で見られるより早く CDO がはっきりとするようになった6日午後には既に生じていたのかも知れない。その場合には、その移行が低い高度に生じて高い方にゆっくりと伝播して行ったのか、あるいは中心の上空にあった巻雲のために雲頂の低下が確認できなかったのか、いずれかであると考えられる。しかし、中心気圧の低下が最も著しかったのは、7日15時から8日0時の間で、この間に約40 mbの中心気圧低下が見られる。この時間の初めは雲頂にくぼみが見られた時期とほぼ一致しており、12時頃が two-cell への移行が完了した時期で、それから急速

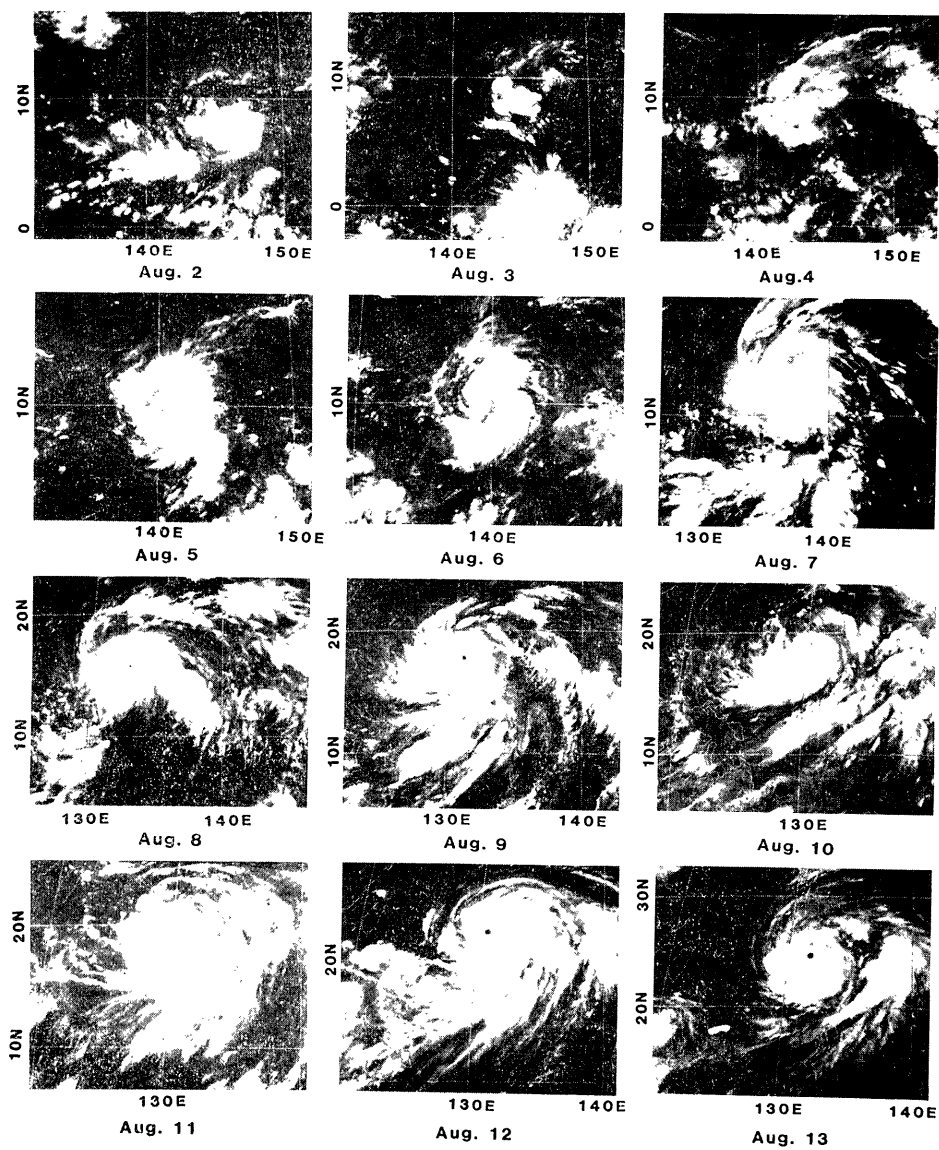


Fig. 2 (a)

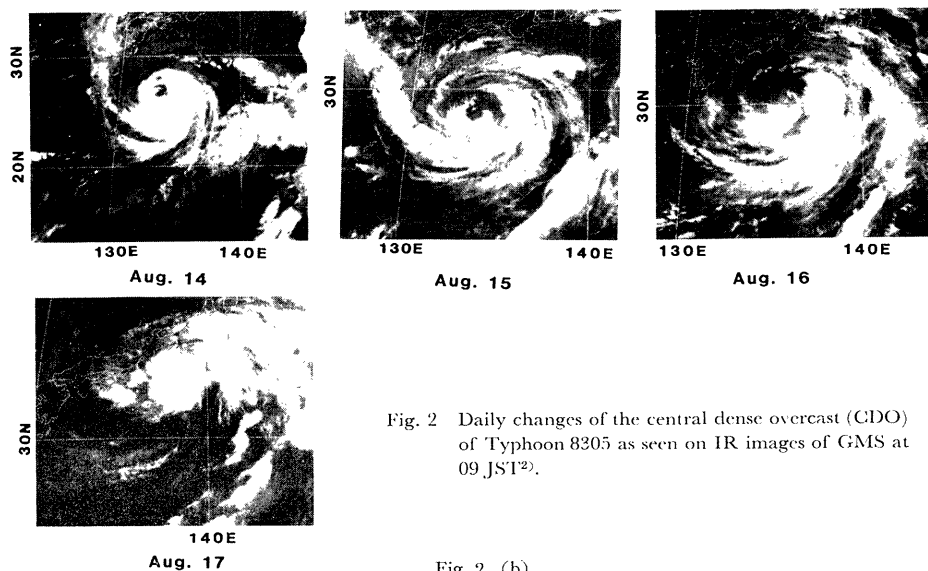


Fig. 2 Daily changes of the central dense overcast (CDO) of Typhoon 8305 as seen on IR images of GMS at 09 JST²⁾.

Fig. 2 (b)



Fig. 3 IR image of Typhoon 8305 at 12 JST of Aug. 7, 1983. The thresholds are 80° , 70° , 60° , -50° , -40° and -30° C.

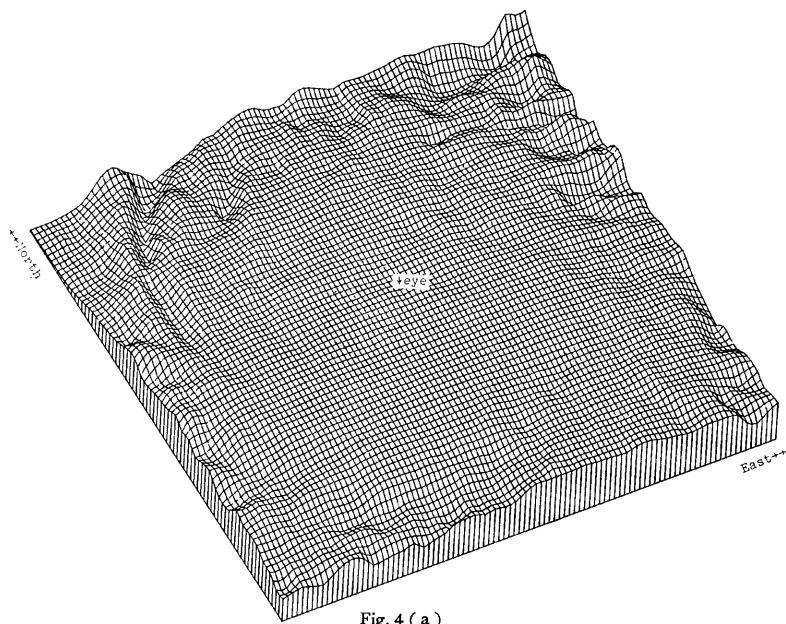


Fig. 4 (a)

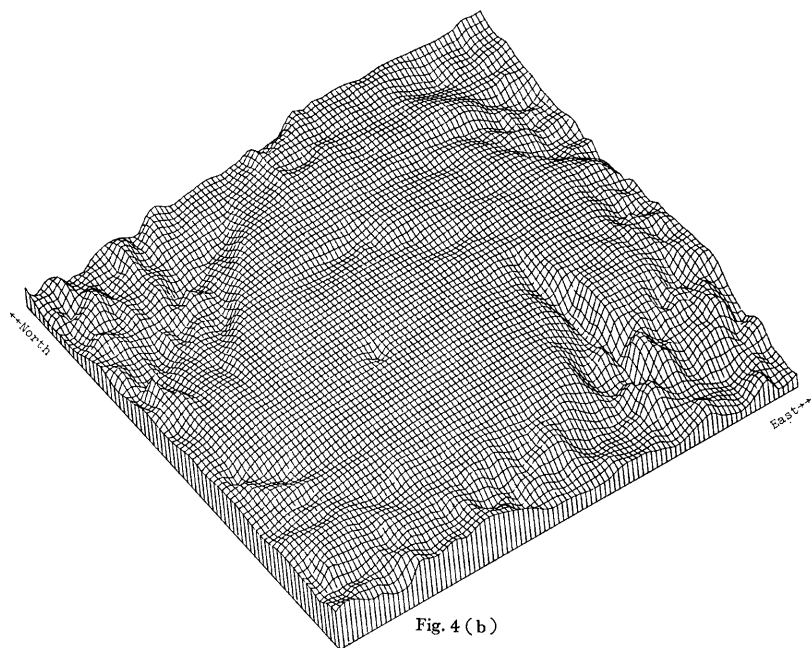


Fig. 4 (b)

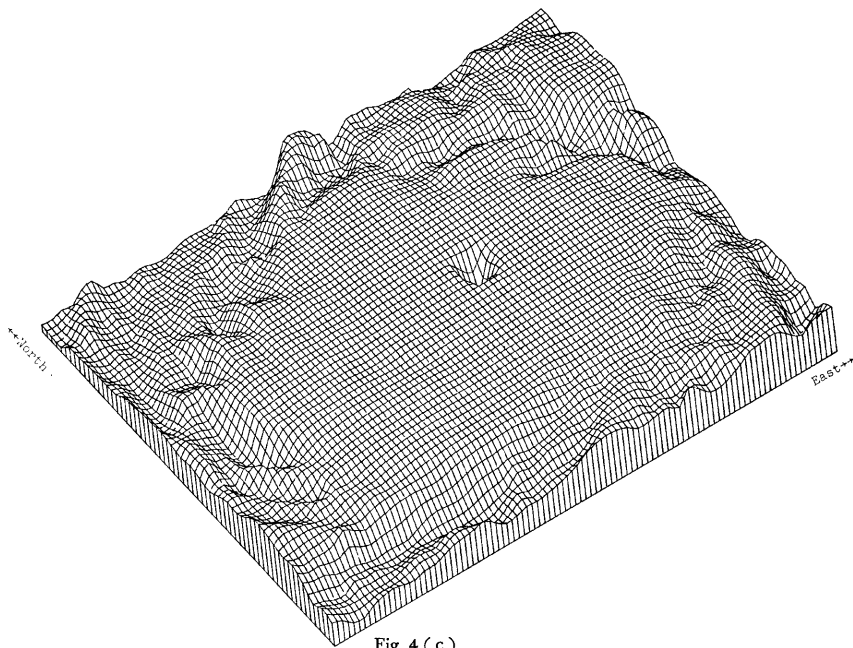


Fig. 4 (c)

Fig. 4 Bird-eye view of the central dense overcast (CDO) of Typhoon 8305. The vertical scale is scaled for cloud top radiance temperature decrement. a) 15 JST, Aug. 7, b) 01 JST, Aug. 8 and c) 01 JST, Aug. 9. The dimension of the area is about 500 km.

に台風が発達したと考えても良いのではないであろうか。

8月7日15時, 8日1時, 及び9日1時の台風中心部の雲の形の鳥瞰図を, 相当放射温度で高さを代表させて作ったものが Fig. 4 である。7日15時の時点では, まだ眼はそれほど顕著には見られないが, 8日1時にははっきりと見られる。台風中心付近の CDO の部分の雲頂は比較的平らで, 眼の部分だけが急激な勾配を持つくぼみとなっている。

9日1時頃には, 台風の中心気圧は 900 mb 以下になっており, 眼の中心部の放射温度は 284.5 K (11.3°C) にまで上昇し, 0°C 以上の領域の直径は約 20 km で, 等温線は真円に近い。そしてなお眼の内部では温度のばらつきがほとんどなく, 下層雲が散在していることを示す証拠はない。眼の周囲の CDO の雲域は直径 750 km ぐらいで, 域内に雲の切れ目は無く, 雲頂も平坦であるように見える。

台風は10日頃には西進を止め, 転向点に近づいたことを示すが, 中心気圧も上昇し始めた。東経 130 度線に沿って北上し, 12日朝には北緯23度付近に達し, 次第に進路を北東に転じ始めるが, 眼の直径が大きくなり始めると共に輪郭をはっきりしなくなり, 眼の中に下層雲が見られるようになる。13日には南大東島付近を通過するが, この時の中心気圧は 930 mb ぐらいであった。16日0時頃には, 眼の中心の円形の高温部はもはや認められなくなったが, その時の中心気圧は 960 mb ぐらいであった。その後この台風は17日朝渥美半島に上陸したが, その時の中心気圧は 974 mb と減衰しており, 東海, 関東に大雨を降らせたが大きな被

害は無かった。日本付近に近づいてから、16日以降ぐらいは CDO ははっきりせず、人工衛星の画像から台風を追跡することは困難である。

3. 台風眼の形成とその形状について

先にも述べたとおり、8月7日12時頃から眼の部分に高温部が生じ始めた。初めは放射温度差で11℃程度、従って高度にして1 km 程度のわずかなものであるが、これと台風の急速な発達との間には明らかな関係がある。高温部は同心円状をしており、時間と共に等温線の半径がどのように変化して行ったかを赤外線画像から読取ったものが Fig. 5 である。成層圏内にまで発達した雲については雲頂の放射温度は雲頂高度と直線的な関係にあり、その比例定数は $9.1^{\circ}\text{K}/\text{km}$ であることが知られている¹⁾。この場合のように、高温の領域まで放射温度と高度が直線関係にあると考えるのは問題があるかも知れないが、眼の中の雲頂については断熱的な変化が支配的と考えても良いであろう。しかし極端に低い高度では諸種の補正が問題となってくるかも知れない。

眼の中心の高温域は先にも述べたとおり、8月7日12時に認められたが、7日18時まではまだ -70°C 以下で最低温度域と 10°C ぐらいの差しかない。しかし7日21時から急速に中心の温度が上昇し始め、8日3時には $+4^{\circ}\text{C}$ にまで達している。この間、6時間の温度上昇は 67°C にもなり、前に示した方法で換算すれば 7.5 km の高度差に相当する。即ち、眼の中心は $0.4\text{ m}/\text{sec}$

Table 1 Eye diameter of T8305 as observed by aircraft reconnaissance

Date	Time JST	Central Pressure mb	Eye Diameter km
Aug. 6	20:30	985	48.0
Aug. 7	08:14	973	32.0
	17:45	960	32.0
	20:41	946	27.2
Aug. 8	08:29	908	20.8
	20:12	901	32.0
Aug. 9	05:49	888	24.0
	08:42	893	28.8

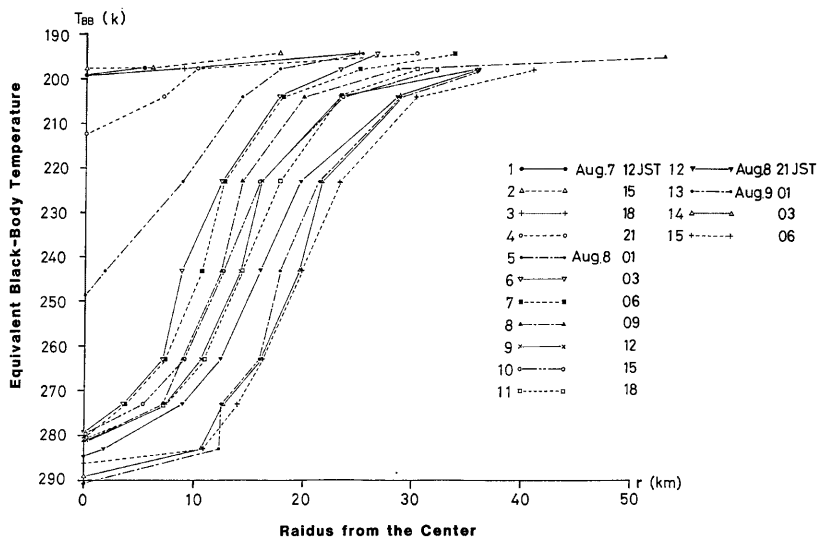


Fig. 5 Cloud top distribution in the Typhoon eye.

ぐらゐの速度で降下して行つたことになる。8日3時から後は眼の中心の最高温度はそれほど急速に上がることなく、中心気圧が最低の895 mbを示した9日3時の少し前、9日2時の約18℃の最高までゆっくりと上昇して行つた。この間には最高温度が上昇するよりは高温域が広がって行くことが特徴的であり、0℃の等温線の直径は8日3時の約7 km から9日6時の約28 km まで広がっている。

ここで注意すべきなのは、眼の周囲の温度勾配が眼が拡大して行く過程において比較的一定していることである。これは図において8日6時から9日6時までの間の-40℃から-10℃までぐらゐの範囲において、眼の周囲の勾配を示す線がいずれもほぼ平行で7 km/30℃ぐらゐの勾配、即ち $\partial r / \partial z$ が2ぐらゐの値を示

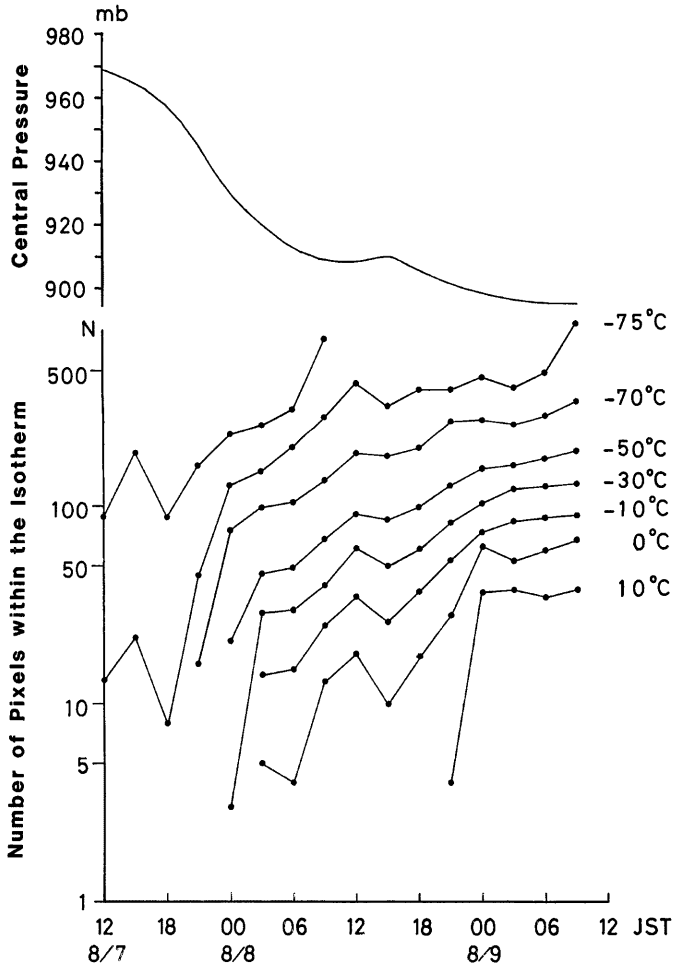


Fig. 6 Time changes of the typhoon central pressure and numbers of pixels within the isotherms in the eye.

していることから解る。この値は人工衛星で上からのぞき込んで見た値であるから、あまり極端な値が出るとは考えられないが、比較的急なものである。

一方、航空機による貫通飛行によって決定されたこの台風の眼の直径は、**Table 1** に示すような値であり、直径は 21 km から 32 km ぐらいであるが、特に時間と共に大きくなって行くという傾向は見られない。この点、時間と共に大きくなって行く赤外画像上の眼の直径とは少し傾向が異なってくる。これは、航空機観測による眼の決定方法と赤外画像上に見られる雲域の境界とは異なっていることを示しており、今後他の場合についての解析結果の集積を待った上で論じられるべきものである。

先に述べたような関係をもう少し詳細に論じるために、高温域のある等温線の中に含まれる面積をその中

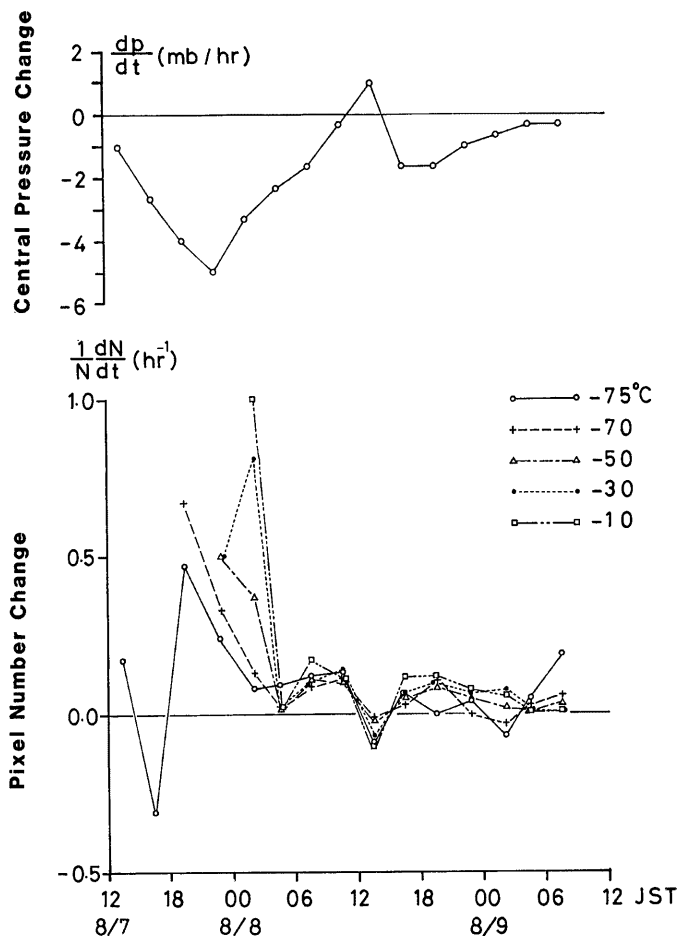


Fig. 7 Daily variation of the central pressure time change rate and the pixel number time change rate.

に含まれるピクセルの数として読取り、その時間変化と台風の中心気圧との関係を図示したものが **Fig. 6** である。この図は放射温度はば 10° 毎にその等温線内に含まれる赤外線走査のピクセル数の対数の時間変化が示してある。この図から見るとピクセル数の増加の割合が大きい時と台風の発達が急速な時とは良く対応している。

そこで、このピクセル数 N の増加率 (A) を次のように定義し、

$$A = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} \text{ (hr}^{-1}\text{)}$$

いくつかの温度毎にその値を計算し、台風の中心気圧の時間変化率と一緒に図に示したものが **Fig. 7** である。この図では -75° 、 -70 、 -50 、 -30 及び -10° の等温線で囲まれる範囲のピクセル数の増加率を示してあるが、眼の雲のない領域が地表近く、 0° 以上に達した 8 日未明から以後はこの変化率は温度にかかわらず同じ値を示して変化している。即ち、眼の雲のない領域の側壁の形はそのまま、全体に同じ割合で面積が大きくなっていることを示している。そして、その期間の中心気圧の時間変化率と眼の面積の変化率とは比較的良好な対応を示している。8 日正午頃、一度中心気圧が上昇に転じる時がわずかながら存在するが、その時の眼の面積の増加率も負になっている。即ち、眼の中心の温度が上昇している間、即ち眼の中心の雲が低くなっている間は中心気圧はどんどん発達する。そして中心部の雲が非常に低くなってその降下速度が減じ始める頃に中心気圧の発達は最高となり、それ以後台風の最盛期、即ち中心気圧の最低となる時期までの間は眼の中の雲の無い領域の面積の増加率が大きい時に台風の中心気圧の降下率も大きい。

4. 台風のスパイラルバンド

台風の中心部 CDO の外に螺旋状の雲のバンド、即ちスパイラルバンドが存在することは良く知られている。しかし、そのバンドの内側はどこで終っているかという点についてははっきりしない点が多い。Senn and Hiser³³⁾ は、スパイラルバンドは眼の周辺で生じ、外側に向かって伝播して行くのだということを述べており、眼の周囲の雲の壁の振動がそのエネルギー源ではないかと述べている。Tatehira⁴⁾ は、このような考えを支持する観測結果を示して、外側への伝播速度がほぼ 4 m/sec であると述べている。このレインバンドは台風の強風の中にもかかわらず、台風に対して一定の位置にあるように見られ、流れの中での擾乱の相対速度という点では色々と問題があることは Anthes⁵⁾ が論じているとおりである。これらの研究の多くは、レーダエコーの解析で調べられたものである。

一方、非常に発達した台風では中心部に濃い雲の塊 CDO が現われ、その雲頂は非常に低温で、かつ滑らかであると言われている。Shimizu⁶⁾ は、強い台風の CDO の雲頂面は弱いものより平滑であることを雲頂の放射温度の標準偏差を比較することによって示している。この台風についても先に示したように CDO の雲頂面に大きな起伏は見られない。しかし、これを更に温度の分解能を上げるとスパイラル状のパターンが見えてくる。

8 月 8 日 9 時における CDO 部分の放射温度の分布を 1 レベル (温度にしてはば 2°C) ずつ低温側から打ち出した結果は **Fig. 8** のようなものである。一見平坦で滑らかに見える雲頂面にも、バンド状の構造が見られる。 189.82 K の領域を見ると北側から巻き込んでくるスパイラル状のバンドの存在が明らかである。その両側は明らかに 2 レベル、 4.1 K ぐらいの高温域があり、スパイラルの中央部は周囲よりも 400 m ぐらい高く、その巾は 40 km ぐらいのものである。このことは、低高度で見られるスパイラルバンドの雲頂は高く、CDO の頂部においても判断できるものであることを示している。そして、CDO の構造そのものがこのようなスパイラルバンドによって支配されているのではないと思われる。

このようなスパイラルバンドの構造は、眼の周辺の eye wall 付近の風速の大きなことを考えると、風に流されているならば 1 時間程度の周期で中心の周りを回転していることになるが、3 時間毎の画像上においてもその位置が大きく変化しない。従って、高速で風向逆方向に伝播する擾乱であると考えざるを得ない。

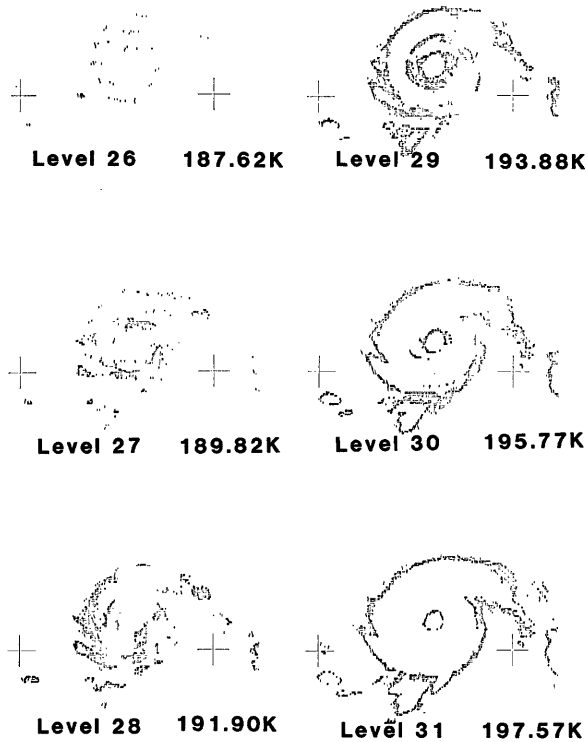


Fig. 8 Maps of cloud top equivalent black body temperature of various levels of Typhoon 8305 for 09 JST, Aug. 8, 1983.

これは熱帯の赤道域の cloud street が台風中に巻き込まれ、中心部付近では非常に引き延ばされた形になっているのだという考えの方が適当かも知れない。しかし、画像が3時間毎にしか得られていないので、詳細なバンドの動きやバンド中の cell の動きなどを論じることはできない。

このスパイラルの接線方向からの偏角を調べてみた結果は Fig. 9 に示したようになる。この図は8月8日6時と9時の場合が示してある。CDO の内部（黒丸）と外側とはその偏角が少し異なっており、外側では一般に言われるように等角螺旋線をなしており、その角は 20° ぐらいであるが、CDO の内部ではその大きさは少しずつ小さくなっている。この形はむしろ Senn *et al.*⁷⁾ の提案している modified logarithmic spiral, 即ち

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_\infty} = 1 - \frac{r_0}{r}$$

で示すことが適当であろう。但しここで、 α は偏角、 α_∞ は台風の外側での偏角、 r は中心からの距離で、 r_0 は眼の wall cloud の内半径である。この式に従っているとして書いた線が図に示してある。

このようにレーダーエコーの研究から求められた Senn *et al.*⁷⁾ のスパイラルの形が人工衛星から見た雲頂の赤外面像上に見られるスパイラルと一致したことは、このようなバンド構造が台風の構造を考える上で重

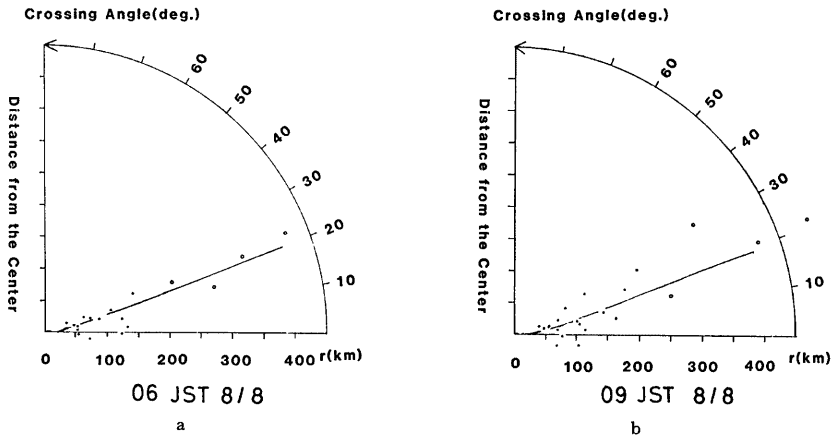


Fig. 9 Crossing angle of the typhoon rain band, a) 06JST, Aug. 8 b) 09JST, Aug. 8. The dot indicates band within CDO and circle that outside. The curve shows the modified logarithmic spiral for $\alpha_{\infty}=20^{\circ}$ and $r_0=20$ km.

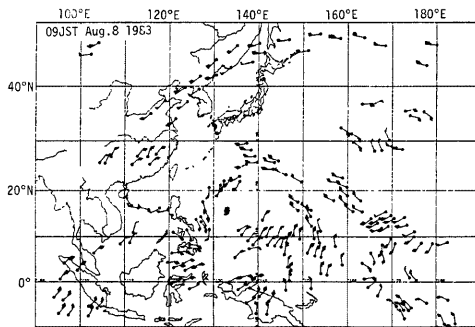


Fig. 10 Cloud-tracked high level wind vector map²⁾ for 09 JST Aug. 8.

要なものであることを示している。

気象衛星センターでは、時々30分毎の観測を行い、その間の雲の動きから風を求めることを行っている。8月8日9時の雲の動きから求めた上層風の分布²⁾は Fig. 10 に示すようなもので、CDO の外側で台風からの吹き出しが時計回りに吹いている様子が見られる。CDO 内での測定がないのははっきりとはわからないが、眼の壁の外側からこのような吹き出しが生じていると考えるべきであろう。そうすると、スパイラルバンドを構成する雲の頂部では中下層とは逆向きの風が吹いていることになる。従って、スパイラル状に巻き込んでいる曲面内での循環、即ち下層で中心向き、眼の壁の部分で上昇して上層で外向きの対流を考えるべきであるかも知れない。

5. 結 語

先の台風 8013 号に引き続いて、台風 8305 号の人工衛星ひまわりの赤外面像の解析を行った。この台風は南方洋上で中心気圧 900 mb 以下にまで発達した顕著なもので、その台風眼もはっきりと認められたので、発達期の台風の中心部の濃い雲の部分、即ち CDO の部分の詳細な解析に重点をおいた。その結果、次のような結果が得られた。即ち、台風の渦が one-cell 型から two-cell 型に移行する時が台風の急激な発達の開始の時期と一致する。このことは CDO の中心にわずかな雲のへこみ、この場合は直径 40 km、深さ 1 km 程度のものが見られたことによって確認でき、先の台風 8013 号の場合についても同じことが言える。また台風の眼の中心の雲の高さは、台風の急激な発達と平行して低下して行くが、その速度は 0.4 m/sec に達する。中心に眼が完成し、海面近くまで雲の無い状態ができると、台風の急激な発達は終り、その後も更に台風の中心気圧はゆっくりと低下するが、その時、眼の周囲の eye-wall の勾配は保存したままで眼の直径が大きくなって行く。眼の高温域の面積（眼の高温域の赤外走査ピクセルの数で代表される）の時間増加率は、台風の中心気圧の時間変化率と良い相関を持つ。また、眼の周囲の濃い雲の部分（CDO）においてもその雲頂を詳しく見るとスパイラルバンド状になっており、巾 40 km、高さ 0.5 km ぐらいの雲のバンドが中心に巻き込まれる形になっている。その中心線の接線方向からの角度は台風の外侧では 20° ぐらいであるが、台風の CDO の中では中心に行くに従って減少して行く傾向があり、その形は modified logarithmic spiral で近似できそうである。そしてこのようなスパイラルは、台風の下層から上層まで同じ形をしているようであり、中心に対して相対にあまり激しく動いているようには見えない。これらの結果については、将来更に多くの台風の解析例を蓄積して行かないと、はっきりとした台風の性質であると判定することはできない。

なおこの研究の一部は、文部省科学研究費、自然災害特別研究 59025030 の補助によって行われた。

参 考 文 献

- 1) 柿本 均・光田 寧：気象衛星ひまわりの赤外輝度データでみた台風8013のライフサイクル，京都大学防災研究所年報，第27号 B-1，1984，pp. 273-284.
- 2) 気象衛星センター：台風第8305号と東日本の大雨に関する気象衛星資料集，気象衛星センター技術報告，別冊，1984，150 pp.
- 3) Senn, H.V. and H.W. Hiser: On the origin of hurricane spiral rain bands, J. Meteor., Vol. 16, 1959, pp. 419-426.
- 4) Tatehira, R.: A mesosynoptic and radar analysis of typhoon rain band, case study of typhoon "Helen", Proc. Second Tech. Cont. Hurricanes, Maiami, Amer. Meteor. Soc., 1961, p. 196.
- 5) Anthes, R.A.: Tropical cyclones, their evolution, structure and effects, Meteor. Monograph, Vol. 19, No. 41, 1982, 208 pp.
- 6) Shimizu, N.: Cloud activity and center pressure of a typhoon, Geophysical Magazine, Vol. 39, 1981, pp. 267-276.
- 7) Senn, H.V., H.W. Hiser and R.C. Bourret: Studies of hurricane spiral bands and as observed on radar, Nat. Hur. Res. Proj. Rep., No. 12, 1957, 13 pp.