

台風9018号と台風9019号の発達過程について

邊田有理江・光田 寧

THE PROCESS OF TYPHOON DEVELOPMENT FOR TYPHOON 9018 AND TYPHOON 9019

By Yurie HETA and Yasushi MITSUTA

Synopsis

The process of the eye formation was analyzed using the hourly infrared radiometer measurement from the GMS satellite for two typhoons in September, 1990. T 9019, Flo showed typical development with the formation of a clear eye. While T 9018, Ed did not have a clear eye but finally had a banding-type eye. T 9018 weakened a little in the middle of development because of the effect of the Philippine Islands.

For both typhoons, the eye first appeared not at the central part but at the edge of a convective cloud, as the deep convective cloud cyclonically circumscribed the warm region. This eye did not continue to be observed from the IR data, but alternatively appeared and disappeared. This is thought to be caused by the cirrus cloud.

1. は じ め に

以前の解析で得られたように^{1),2)}, 西太平洋に発生する多くの台風は, その発生以前に, 発散場, 渦度で確認できるような雲を伴った擾乱として, 150 W 付近から西進してくる。そうした擾乱が, 140 E 付近の大規模な上昇流域へくると発達を始める。中心気圧が下がり始め, 強風を伴うようになっていくが, 最も顕著な変化は雲域が, one-cell 型のクラウドクラスターから眼をもつ two cell 型の渦構造に発達することである。こうした遷移は自然界の, いろいろなスケールの現象でみられることが知られているが³⁾, そのうち台風が最も大きなスケールをもつ。眼がなぜどのようにしてできるのか確定した理解は得られていないが, 眼ができることで, 台風が急速に強まることが知られている。

眼の形成過程の解析例としては, 柿本・光田 (1984, 1985)^{4),5)} が3時間毎の GMS の IR データを用いて2つの台風のケーススタディを行っている。それによると, 眼は Central Dense Overcast (CDO) のほぼ平坦な雲頂の中心部が沈降していってできることが示唆された。しかし, T 8305 号について中心部にへこみのできる15時間前にはすでに直径 48 km の眼の存在が 700 hPa 面での貫通飛行で確認されており, 眼の形成過程はもう少し複雑であることがうかがえる。1987年以降貫通飛行は行われていないが⁶⁾, 1990年の台風については SPECTRUM という特別観測⁷⁾ が行われており, 中心気圧のデータ等を, 手に入れることができる。そこで, この研究では1990年の18号と19号の二つの台風について1時間毎の IR データを用い, 発達期の台風について衛星画像でみた雲域の変化の解析を行った (但し 14 Z と 15 Z は食のため観測がない)。

2. 台風9018号と9019号

台風9019号は1990年9月12日、10.8°N、148.7°Eで弱い熱帯低気圧として天気図上に現れた。Fig. 1に経路図を示すが、これは台風9018号の南東側約1000 kmにあたる。T9019号は北西進して17日頃転向し、北東に進んで19日には和歌山県に上陸した。一方T9018号は20°Nよりやや南を発達しながら西進した。Fig. 2に台風9018号と9019号の発達期の中心気圧の変化を示す。台風9018号はゆるやかな発達を続け14日06Zには typhoon 強度まで発達するが、その後フィリピンに接近する付近で中心気圧の低下が止まりやがて上昇する。東シナ海にはいつて再び発達し、16日0Zには965 hPaまで中心気圧がさがる。その後それ以上の発達は見られずに上陸して消滅する。一方9019号は北西進しながら発達するが特に15日12Z以降急速

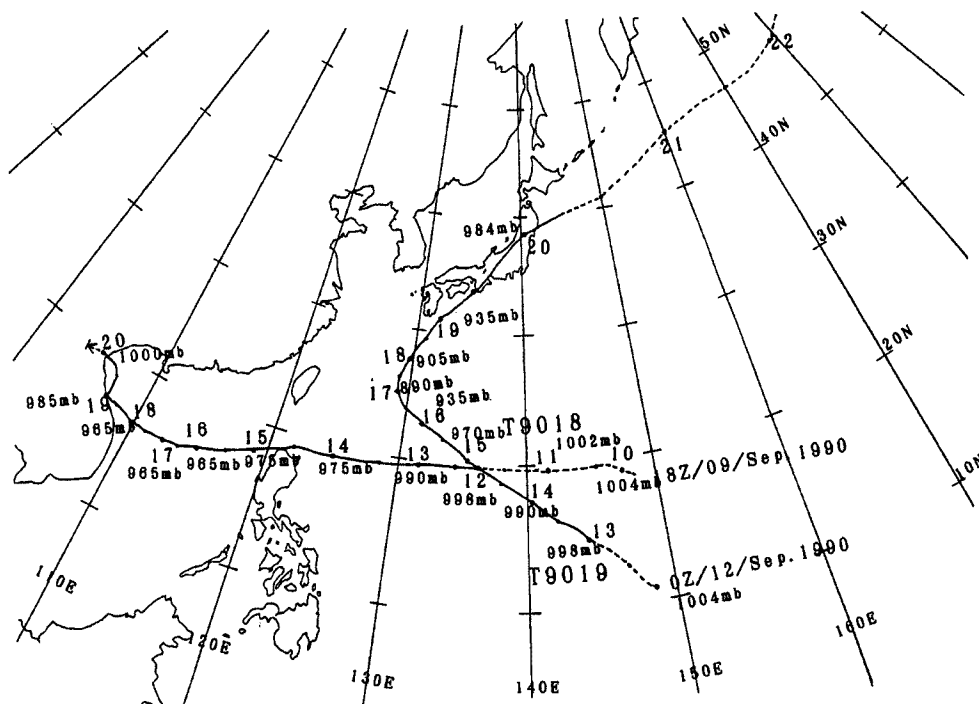


Fig. 1. The tracks and central pressure at 0Z of each day shown by large closed circle with numerals for Typhoon 9018 Ed and Typhoon 9019 Flo.

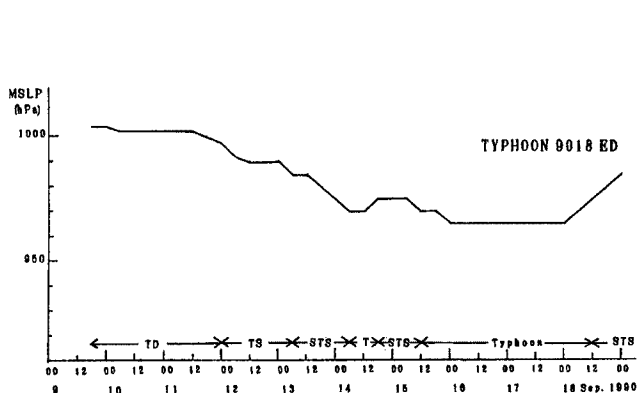
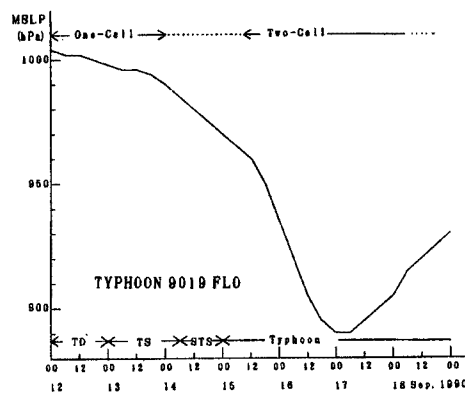


Fig. 2(a). Temporal change of central pressure for Typhoon 9018.



(b) As in (a), except for Typhoon 9019.

に中心気圧が下がり17日 0 Z には 890 hPa を示した。こうした2つの台風について、9月13日から15日を中心に IR データの解析を行った。

3. 雲の形態の変化

3.1 T 9019 号の眼の形成過程

台風19号は1990年9月13日 0 Z に台風強度に発達、台風18号もまた台風強度であった。13日 01 Z の2つの台風の雲域の様子を Fig. 3 に示す。台風19号は中心付近の小さなクラウドクラスターとその南北のバンド状の雲からなる雲域を伴う。台風18号は中心部の小さな雲域とその東の大きなクラスター、そしてまわりに散在する雲からなっており、どちらの雲もまだあまり組織化していない。赤外輝度データから TBB が -30°C のコンターと -60°C 以下の低温部が黒く塗られている。圏界面まで貫入したような背の高い雲については、TBB と雲頂高度の間には直線型の関係が知られており、TBB が低いほど雲頂高度が高いと考えられる。この時刻から後の中心付近の雲の変化を T 9019 号について示したのが、Fig. 4 である。

Fig. 3 に示された2本のバンド状の雲間の小さなクラスターは次第に大きくなり 07 Z 頃には東西にのびるが 08 Z 頃からいくつかに分かれる。10 Z には中心部に 2~30 km の小さなクラスターが現れそれが急速に大きくなっていく。17 Z 頃にはコンマ型の CDO が見られるが、雲頂温度が低く、円形の雲 (head) とそれからのびる tail の雲からなる。その後も背の高い雲域は大きくなるが、14日 01 Z 頃から再び head の部分がはっきり区別できるようになり、その形がかくばっていきつなものとなり雲域が小さくなってくる。14日 08 Z 頃から背の高い雲域の東の縁の暖域を雲が反時計まわりに巻き込むようにして眼が形成される。Fig. 5 にこの間の拡大図を示す。いびつな背の高い雲が TBB の高い雲のない領域をとりまいて、14日 16 Z には閉じた眼ができる。一度眼ができた後を眼と思われる暖域は CDO 内でその位置を変える。眼は14日 20 Z

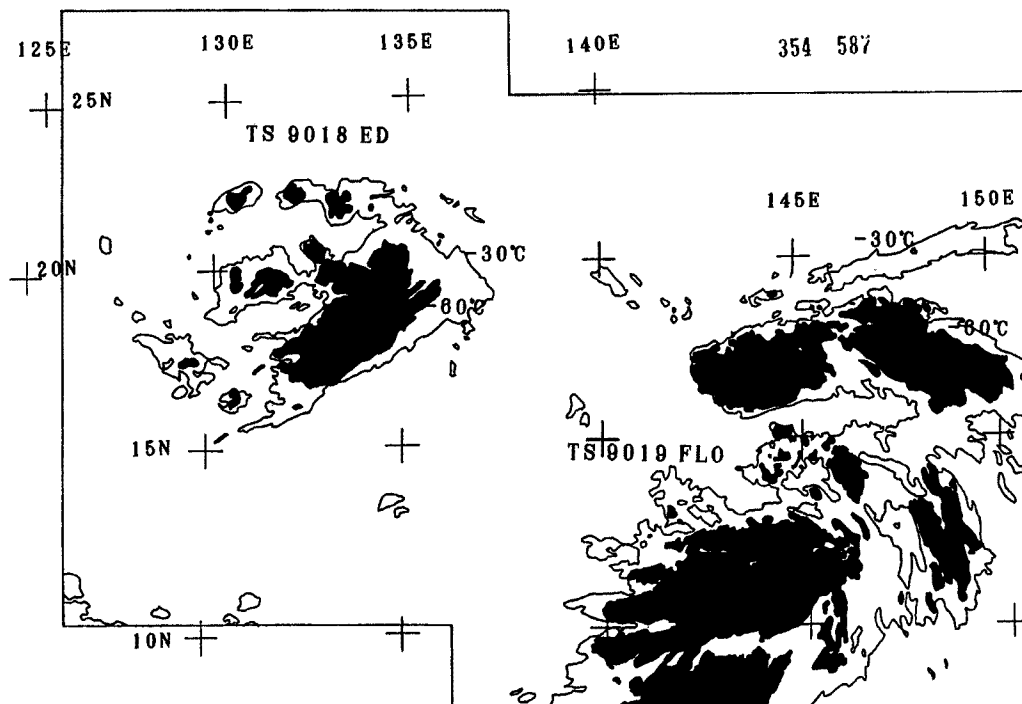


Fig. 3. Cloud feature of Typhoon 9018 and Typhoon 9019 at 0Z on the 13th of September, 1990. The isotherms of -30°C are drawn and the regions cooler than -60°C are colored by black.

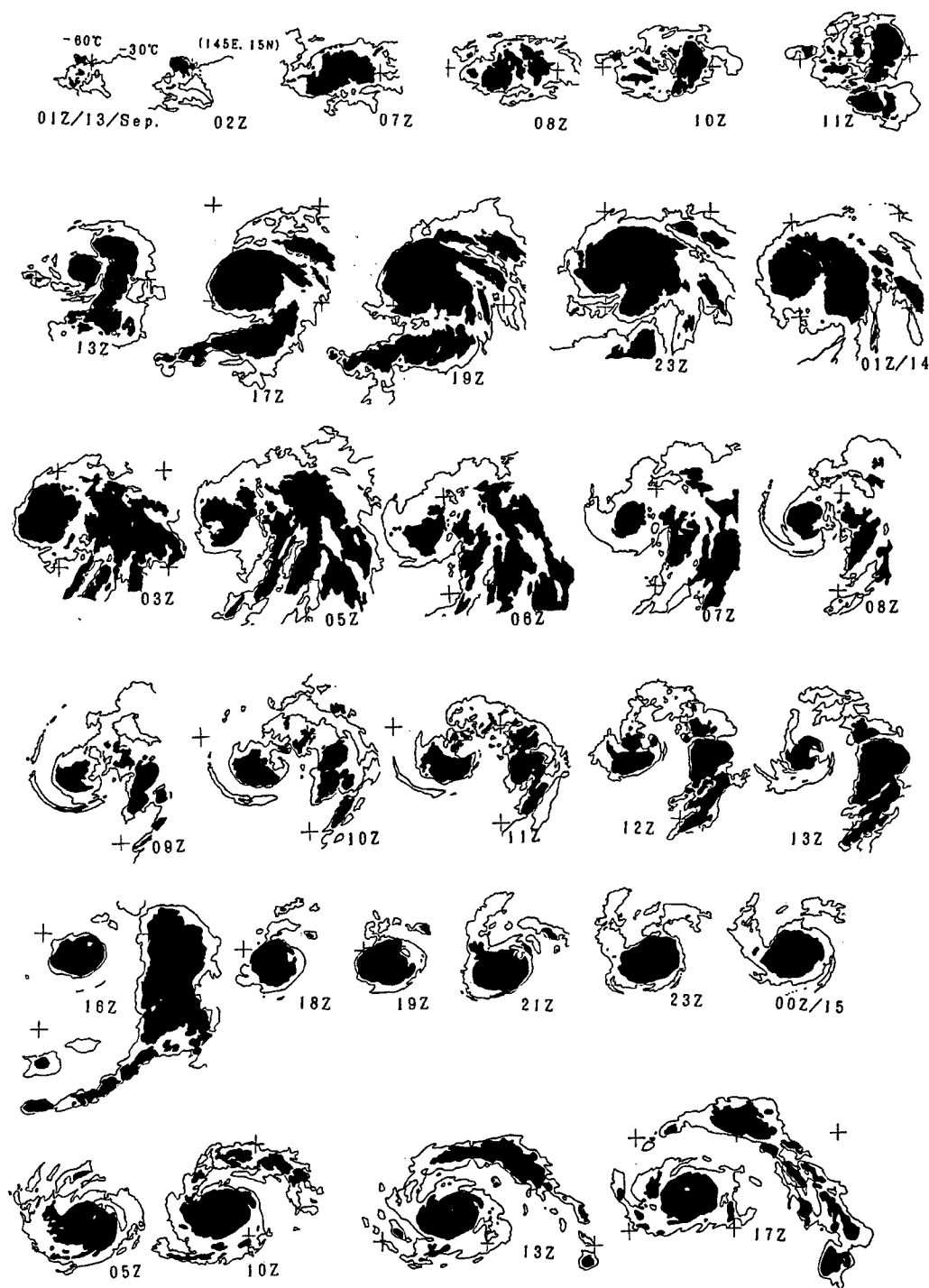


Fig. 4. The time sequence of cloud features of Typhoon 9019 between 01Z on the 13th and 17Z on the 15th of September, 1990.

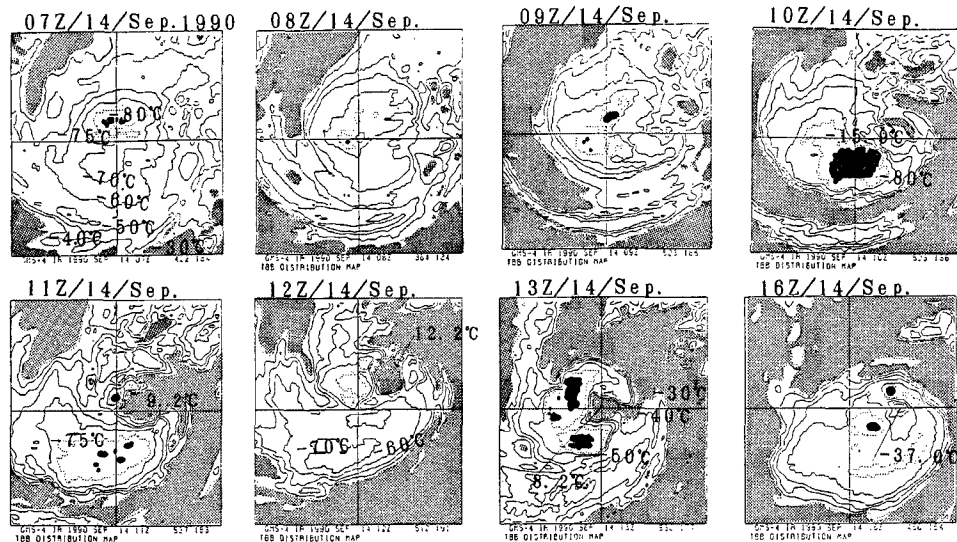


Fig. 5. Magnified maps of cloud of the central part during the period of eye appearance of T9019. Black areas and shaded areas demarcate the infrared pixels whose cloud tops are colder than -80°C and warmer than -30°C , respectively. Isotherms of -40 , -50 , -60 and -70°C are drawn by solid lines and those of -75°C are drawn by broken lines.

頃には背の高い雲域の東の縁に位置し、23Z頃からはっきりしなくなる。

平坦と思われた CDO の雲も詳しくみると TBB の低い部分と高い部分に分けられる。TBB の低い塊状の雲とその周辺のやや温度の高いスパイラル状の構造がしばしば解析された。そうした部分が閉じている時、形がいびつになったり2つ以上解析されたりと眼と断言しにくい (Fig. 6)。15日 10Z 頃からスパイラル状の暖域の中心付近がしだいに TBB が高くなり、17Z 頃には TBB が -11.3°C とほぼ海面付近まで雲のないはっきりした眼が認められた。暖域の TBB の変化をみると、はじめに眼ができる時には雲域のない領域を取り囲み、TBB はかなり高いが、その後眼の部分の温度はかなり冷たくなる (Fig. 5)。15日 10Z 頃から再び温度が上昇しはじめ、雲域の中心部にはっきりした眼が認められる (Fig. 6)。その頃には two cell 型の構造をもっていたものと思われる。

3.2 台風9018号の雲域の変化

台風18号は9月13日には中心部の小さなクラウドクラスターとその南東のやや大きなクラスター、そのまわりにあるいくつかのクラスターからなっていた (Fig. 3)。その後の中心部の雲域変化を Fig. 7 に示す。中心部の背の高い小さなクラスターは拡大を続けるが、13日 10Z 頃から13Z までコンマ状の形態がみえる。その後 16Z 頃には中心部と tail の部分にわかれるが、その中心部の TBB の低い雲の北西の縁に周囲にくらべ温度の高い部分ができる。背の高い雲と雲のない領域が互いにスパイラル状に反時計まわりにまきこむようにして14日 0Z には -48°C の暖域が中心付近にみえる。その後この暖域はあまりはっきりしなくなるが、07Z 頃から再び背の高い雲の南西にみられ、14日 09Z には -28.4°C の眼が認められる。その前から雲域の面積が次第に減少し、15日 0Z には中心部には背の高い雲がほとんどみられない。しかし眼とみられる 28.3°C の暖域が中心部に認められる。その後中心付近のクラスターがやや大きくなってくが、その中心で眼が深まるのではなく、小さなクラスターを取り巻いて band 状に雲のない領域が認められるようになる。

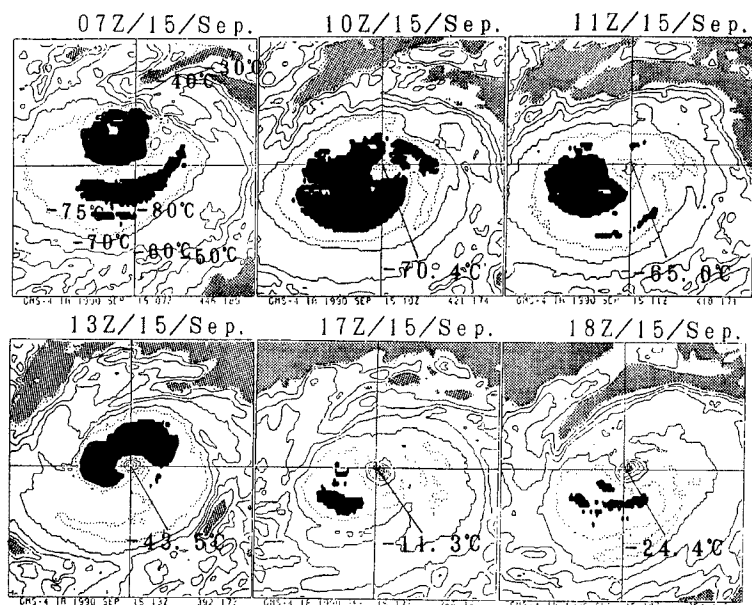


Fig. 6. As in Fig. 5 but the period from 07Z on the 15th to 18Z on the 15th.

4. 発達期の台風の雲の変化

前章で台風発達期の雲形の変化を主にみたが、ここでは雲の面積の変化を解析した。まず、発達期 (1990年9月13日 01Z から15日 18Z) について、台風の中心と対応するピクセルを選び、それを中心とする大きさの異なる4種類の矩形 (720ピクセル×240ライン, 540ピクセル×180ライン, 360ピクセル×120ライン, 180ピクセル×60ライン) を設定しその内部での雲の面積の変化を調べた。台風の北上につれ、これら矩形の占める面積はやや増加するが、この期間中 T9019 号についてもその影響は8%未満である。中心は、眼が存在する時はその中心を最も TBB の高いピクセルとし、また眼が無い時は循環の中心と思われる付近に定めた。特に発達初期の中心がはっきりしないときは前後の雲形の変化から判断したため、やや任意性が残る。この影響は特に最も小さな矩形に大きく現れる。

Fig. 8 に T9019 号の、Fig. 9 に T9018 号についてそれら矩形に占める、閾値 -70°C と -30°C 以下の雲域の面積の時間変化を示す。やや閾値を変化させても全体の傾向はあまり変わらず、値やピークの位置がやや変化するだけである。ここでは、背の高い雲域として -70°C 以下を、ある程度低いものも含めた -30°C を図に示す。まず、台風9019号の -70°C 以下の雲域の面積変化をみると、13日の16Z頃最も面積が大きくなっており、これは、CDO がきれいな円形の head をもつコマ状の雲として解析されたころにあたる。最も小さい矩形では80%を超えている。その後、この割合は減少して14日 8Z には20%以下となる。その頃から暖域を囲むようにして眼ができてはじめる。1時間毎の小さな振動は、中心の不確かさによる誤差と思われる。閉じた眼が初めて完成した14日 16Z には -70°C 以下の雲の占める割合はあまり大きくない。その後最も小さな矩形については雲域の占める割合が再び増加する。

一方、Fig. 8(b) には -30°C 以下とやや背の低い雲もあわせた面積変化を示す。最も小さい矩形内にはこの期間中ほとんどが雲域である。しかし、14日 16Z 頃、60%を下回っており Fig. 8(a) でみた -70°C 以下と同じような傾向を示す。しかしピークの位置は6時間以上遅れている。大きな矩形については今みたような特徴ははっきりせず、全体的に時間経過につれ、雲域 (-30°C 以下) の割合が減少していく傾向が認められた。最も大きな矩形 (約 $1200\text{ km} \times 1300\text{ km}$) についてはその割合がこの60時間で、60%から30%程度と、約半分に減少しており、これは矩形のピクセルの面積増加による影響より、ずっと大きい。Fig. 3

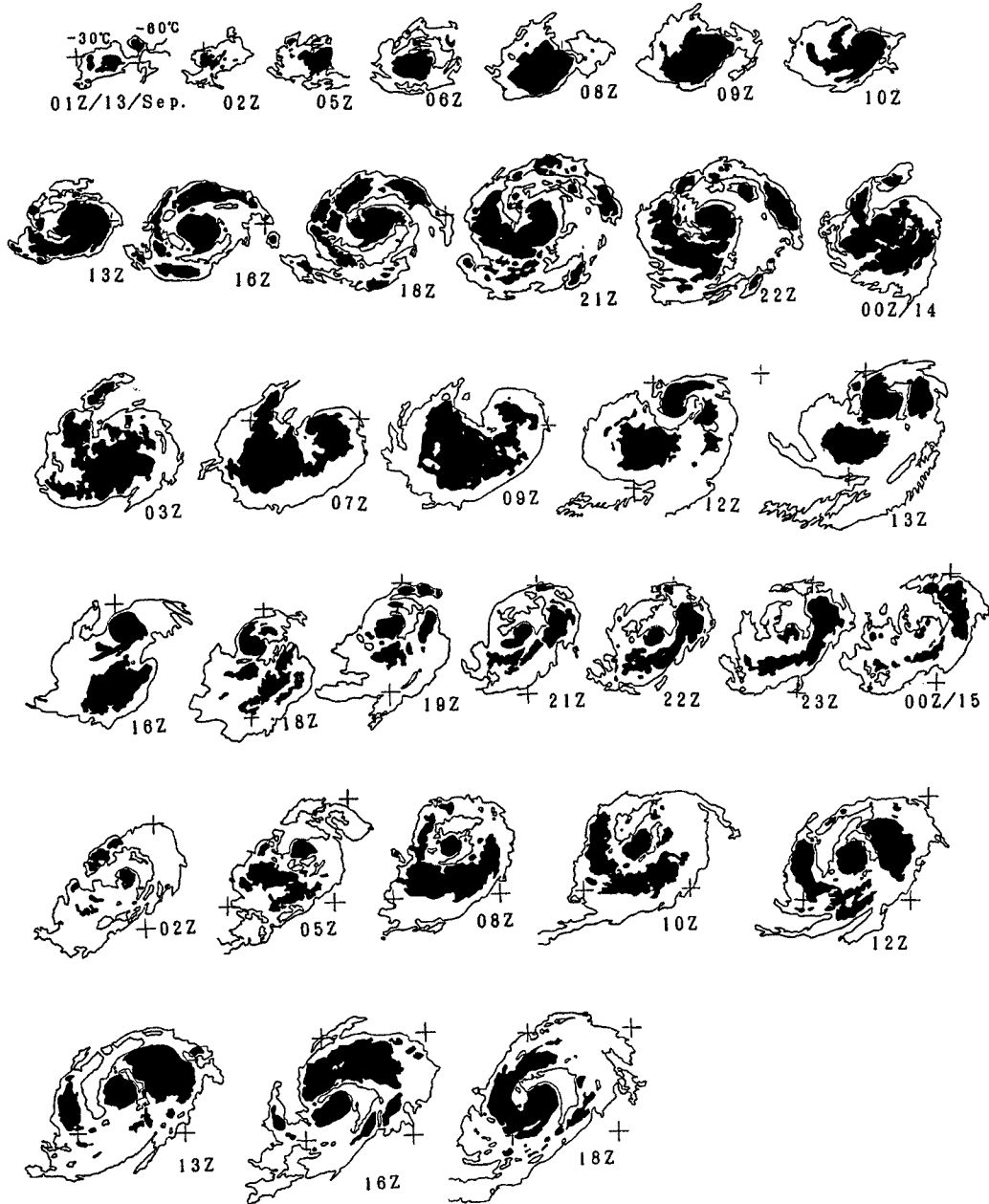


Fig. 7. As in Fig. 4 but for Typhoon 9018.

に示されたように、13日 01 Z には台風とは直接関係しないような雲塊がいくつも認められたが、15日 18 Z には台風の組織化された雲（眼のまわりの eye wall とそれを取り巻く rain band）のみが矩形内にみられた。これは、台風の発達が、周辺の他の雲の生成を抑えたことを示唆するものと思われる。

一方台風9018号については19号に較べ、変化が小さい。−70°C 以下の背の高い雲域は最も大きい時、最も小さな矩形でも40%に満たない。12日の 0 Z にはすでに台風強度に達していたこともこの違いに影響を与えているのかもしれない。15日の 0 Z には −70°C 以下の領域がほとんどなくなるが、これはフィリピンへの接近の影響と思われる。Fig. 1 をみると最接近のやや後にこうした変化がみられる。また、−30°C 以下の雲域については、13日の段階ですでに雲域の割合は小さいが、13日 13 Z、14日 21 Z 頃に極小値を示し15

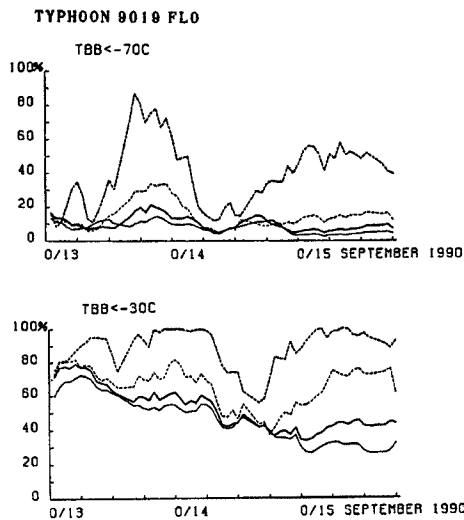


Fig. 8. Temporal changes of percentage coverage of (a) the regions of the tall cloud ($TBB < -70^{\circ}\text{C}$) and the regions of cloud ($TBB < -30^{\circ}\text{C}$), within the four kind of rectangulars for Typhoon 9019 from 01Z on the 13th to 18Z on the 15th of September, 1990.

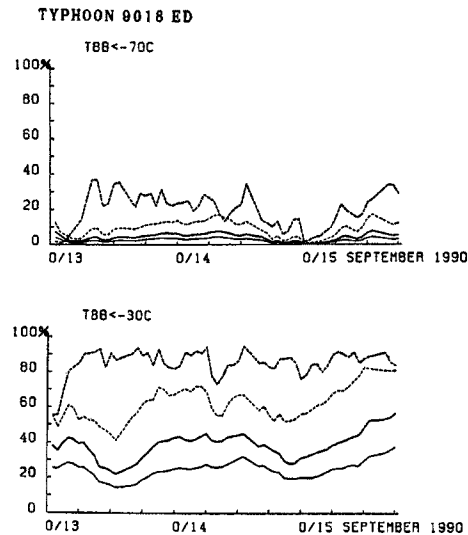


Fig. 9. An in Fig. 8 except for Typhoon 9018.

日以降はむしろ増加している。13日の雲域の面積が小さな時期はコンマ型の雲が認められた頃である。15日以降の面積増加は、東シナ海に入り再び水蒸気の供給が増し、雲域が増加したことによるものと考えられる。

5. 考 察

前章までで、発達過程の1時間毎の雲域の変化を見てきたが、眼のできる過程は単純なものではない。台風9019号の15日 10Z以降を考えれば、それは以前柿本らの台風8305号で解析された過程^{4),5)}と一致しており、雲頂のへこみが深まって眼ができたと解釈することもできる。しかし台風9019号についてはその18時間前の14日 16Zには眼とみられる構造が解析された。その眼は背の高い雲の縁の雲のない領域を、背の高い雲が反時計まわりに取り囲むようにしてできる。この眼の領域の温度は Fig. 5 にも示すように閉じた眼ができた14日 16Zにはかなり低くなる。そしてその暖域は背の高い雲域の縁に移動したり、見えなくなったりする。こうした TBB でみた変化は雲の種類によって2通りに解釈することができる。

TBB の値は上から雲域の温度をはかっているものなので、うすい絹雲をみれば、下の暖かい海面の温度、厚い絹雲をみれば冷たい雲頂温度と雲の厚さにより TBB が変化する。このことから、一度できた眼は周囲の積乱雲から広がった絹雲に上層を覆われ、はっきりと TBB で識別できなくなるが、15日 10Z 頃から、その絹雲が薄くなり又、はっきりと認められるようになると考えられる。眼の中での下降流が強まり絹雲が消えるとも推察される。下降流を伴う two cell 型の渦が完成されて台風は急速に発達する。

一方、Adler ら⁸⁾によると圏界面まで達するような積雲については TBB と雲頂高度には linear な関係があるといわれている。いったんできた眼は積乱雲などにより埋まって消失してしまう。CDO はいくつかの雲の塊からなり、その間のスパイラル状のすきまが時折眼のようにみえる。15日 10Z 以降、積乱雲の雲頂にへこみが生じ、それが深まってははっきりとした眼が形成される。14日に見られた眼のような暖域は雲のな

い領域にすぎないが、15日には下降流を伴う眼がみられる。

積乱雲と考えるか、絹雲と考えるかは、結局対流圏下層の雲や対流の違いであり、上空から見た IR データだけでは判断できない。貫通飛行や、マイクロ波を用いたセンサーのデータを併用しなければ決められない。柿本ら⁵⁾の T8305 号の解析では貫通飛行データも得られているが、へこみのできはじめる半日以上前に 700 hPa 面で 48 km の眼の存在が示唆されている。その時、IR データでみた上層は平坦で眼の徴候は認められていない。これは下層の眼の上層が絹雲に覆われていたと考えると説明できる。また Weatherford and Gray⁶⁾の貫通飛行データを用いた台風の強さと眼の関係をみると、発達段階では中心気圧が 980 hPa で 6 割、970 hPa で 8 割の台風が眼を持っている。台風9019号もその中心気圧から考えると眼を持っていた可能性が高い。また Carrier⁹⁾の見積もりでは眼のできるのにかかる時間は20分のオーダーであり IR データでみた雲域の変化よりかなり時間スケールが小さい。こうしたことから絹雲により眼が覆われたという説のほうが有力だが本当のところは今後の解析結果を待たねばならない。

眼のできる過程の1つの説明として Carrier の説を考えると、眼は中心部の積雲が弱まり、遠心力の作用で渦が外側に戻る時、渦の中心部上層で空気が吸い込まれ断熱圧縮により昇温することでできる。本解析で、台風9019号は積雲活動が急速に強まった後、雲域の面積が小さくなり約15時間後に眼が見え始める。また台風9018号についても眼らしき暖域が中心部にみえるのは中心部の雲域の面積が減り、雲頂高度も弱まった時である。台風9019号について雲域の中心でなく縁にできることは渦の中心のまわりに非一様に雲が分布していると考えることができる。

台風眼を衛星から観察したとき、成熟期の台風についてはかなり大きな日変化があることが知られている^{10), 11)}。しかし台風の発達期には日変化は小さく、発達に伴う組織化や、島に接近する影響の方が大きい。台風9018号は眼が見え始めた頃からフィリピンに近付き雲域の面積が小さくなり、雲頂の TBB が上昇する。東シナ海に入って再び発達をはじめるが、中心のクラウドクラスターのまわりに band 状の雲のない領域がみられる。その後も band 状の眼のような構造を示すが、大陸に近付いて弱まる。band 状の眼とはっきりした円形の眼にどのような違いがあるのかについては眼よりも小さなメッシュでの温度場を含めた解析をまっ必要がある。

ところで、台風9019号の、眼のできかたは背の高い雲が反時計まわりに雲のない領域を取り巻くというものであった。Wei と Wang¹²⁾は室内実験により、ある程度以上近接した複数の積雲タワーが、互いのまわりをまわるようにして1つの台風が形成され、その中心の始めに雲のない領域が1つの warm center として眼となることを示している。彼らのこの結果は、台風9019号の眼のできかたと対応するものと考えられる。

6. ま と め

1 時間毎の GMS 赤外データを用いて2つの台風の眼の形成過程を解析した。台風9019号と9018号の眼の形成過程は CDO の中心付近にできるのではなく背の高い雲の縁のない領域を背の高い雲がまきこむようにしてできる。しかしいったん眼らしき構造がえられた後に、TBB でみるとその領域の温度はさがり、CDO 内の位置も変化し、時にはみえなくなる。こうした TBB でみた眼の変化は、一度できた眼の雲のない領域が後に雲におおわれることを意味する。TBB のみからはその雲が上層のみの絹雲であるのか下層まで根をもつ積雲であるのかは断定できないが、絹雲である可能性が高い。この点については今後の下層の雲域の様子もわかるような解析をまたねばならない。

参 考 文 献

- 1) Heta, Y.: An analysis of tropical wind fields in relation to typhoon formation over the western Pacific, J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 68, 1990, pp. 65-77.

- 2) Heta, Y.: The origin of tropical disturbances over the equatorial Pacific, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 69, 1991, pp. 337-351.
- 3) Mitsuta, Y., N. Monji and H. Ishikawa: On the multiple structure of atmospheric vortices, *J. Geophys. Research*, Vol. 92, 1987, pp. 14827-14831.
- 4) 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 (ORCHID) のライフサイクル, 京大防災研年報, 第27号B-1, 1984, pp. 273-284.
- 5) 柿本 均・光田 寧: 急激に発達した台風 (T 8305) の人工衛星赤外画像に現れた特徴について, 京大防災研年報, 第18号B-1, 1985, pp. 449-461.
- 6) Weatherford, C. and W. M. Gray: Typhoon structure as revealed by aircraft reconnaissance, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 116, 1988, pp. 1032-1056.
- 7) 大西晴夫: 熱帯低気圧に関する国際協力の現状と台風特別実験について, *天気* Vol. 38, No. 12, 1991, pp. 739-746.
- 8) Adler, R. F., J. Markus, D. D. Fenn, G. Szejwach and W. E. Shenk: Thunderstorm top structure observed by aircraft overflights with an infrared radiometer, *J. Climate Appl. Meteor.*, Vol. 22, 1983, pp. 579-593.
- 9) Carrier, G. F.: The intensification of hurricanes, *J. Fluid Mech.*, Vol. 49, 1971, pp. 145-158.
- 10) Muramatsu, T.: Diurnal variation of satellite-measured TBB areal distribution and eye diameter of mature typhoons, *J. Met. Soc. Japan*, Vol. 61, 1983, pp. 77-90.
- 11) Browner, S. P., W. L. Woodly and C. G. Griffith: Diurnal oscillation of the area of cloudiness associated with tropical storms, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 105, 1977, pp. 856-864.
- 12) Wei, D. and Y. Wang: Some basic problems in the formation of the tropical cyclone — A research with hydrodynamic model, *Collected Ocean Works*, Vol. 5, 1982, pp. 23-40.