

GMS によって測定された等価黒体温度 (T_{BB}) を 利用した台風の強さの予測 (I)

Prediction of Tropical Cyclone Intensity Using Equivalent Blackbody Temperatures (T_{BB}) Measured by GMS. (Part I)

島田健司*・内田雅夫*

Kenji Shimada* and Masao Uchida*

Abstract

A relationship between central pressure of tropical cyclone and equivalent blackbody temperature measured by GMS near the storm center was investigated for thirty storms in the western North Pacific in 1979-1981 seasons.

The results showed not only a significant correlation but also a high lag relationship between central surface pressures and equivalent blackbody temperatures.

As long as developing tropical cyclones are concerned, both the mean equivalent blackbody temperature in the area within 1° lat. from the center and that in the ring of 1° to 2° apart from the center showed the best correlation to the central surface pressure 24 hours after the observation time of GMS.

1. まえがき

台風の発達維持に必要なエネルギーの大半が、台風域内における積雲対流により、湿潤な熱帯の大気から放出される熱であることはすでに広く明らかにされている。気象衛星の雲写真をみると、通常、台風の中心付近は、発達した積乱雲や積雲によって占められているが、このことは、上記の事実を裏づけている。

積雲が、気象衛星の赤外放射計の瞬時視野をおおうのに十分な大きさをもっているならば、観測される雲の等価黒体温度（以下 T_{BB} であらわす）は、その積雲の雲頂温度にはほぼ等しい。台風の中心付近に発達する積乱雲や積雲は、GMS の瞬時視野（衛星直下点で 5 km 四方）より大きいものが圧倒的に多いと考えられるから、台風中心付近の T_{BB} の分布は、そのまま、雲頂高度の分布、すなわち台風の発達維持に必要なエネルギーの生産の動向を示す積雲対流の活動の状況を示すものとなる

う。

熱帯低気圧の中心部に向かって流入する湿った熱帯大気の大気対流活動が、どのような過程によって、台風の生成、発達、維持に寄与するかについては、これまでも多くの研究者によって説明がなされている。たとえば、Gray (1981) の概念的な説明はつぎの通りである。

まず、流入する熱帯大気の激しい対流活動による潜熱の放出の結果、熱帯低気圧の中心付近で対流圏の温度が上昇し、気圧が下降する。その結果、周辺部との気圧傾度が増し、風速が強まる。風速の増大は、境界層における摩擦の効果によって、中心部への流入量の増大となり、中心部での対流をいっそう活発にし、気圧の下降を促進させる。熱帯低気圧は、このような過程をくりかえすことによって発達していく。

この説明に従えば、熱帯低気圧の中心付近での対流活動と、その結果生じる中心気圧や最大風速の変動との間には、ある程度の時間差を伴った相関関係のあることが予想される。

実際、これまで多くの研究者が、数値実験によってこのことを証明してみせている。たとえば、Rosenthal (1978) は、“湿った台風”の場合、900 mb 層で上昇流

* 気象衛星センター解析課, Meteorological Satellite Center

** 気象衛星センター管制課, Meteorological Satellite Center

の速度が最大に達してから約36時間後に、中心気圧が最低になることを示した。

Rodgers と Adler (1981) は、Nimbus-5 の ESMAR (Electronically Scanning Microwave Radiometer) の資料を使って、熱帯低気圧内での潜熱の放出量を計算し、放出量が最大に達してから1日ないし2日後に熱帯低気圧の最大風速が極大に達することを示した。

Gentry その他 (1980) は、台風の中心を原点にとり、その原点から緯度 12° 以内の領域を、緯度 1° 間隔の同心円で作った12個のリングそれぞれの T_{BB} 中のの平均値と観測時刻から24時間後の中心気圧との相関係数を、太平洋の台風について調べた。その結果では、中心から緯度 3° 以内の T_{BB} の平均値が、24時間後の中心気圧と高い相関を示している。

著者らの今回の調査は、基本的には Gentry らの調査に沿ったものである。Gentry らが作ったものと同じリングを用い、GMS によって測定された T_{BB} の各リングにおける平均値と、観測時およびその後の台風の中心気圧との相関の程度を調べ、 T_{BB} を使っての台風の中心気圧の予報の可能性をさぐるのが目的である。

2. 使用した資料とその処理方法

2.1 資料

調査の対象として、1979年～1981年の3年間に発生したすべての台風のうち、中心気圧が 960 mb 以下に達したものを選んだ。個数は、1979年9個、1980年11個、1981年10個、計30個である。それぞれの台風についての調査の期間は、台風が、気象庁予報部の解析によって、弱い熱帯低気圧として認められてから、発達期、最盛期を経過し、衰弱して弱い熱帯低気圧になるか、温帯低気圧に変わるまでとした。この期間の毎日、00Z, 06Z, 12Z, 18Z の4回、台風の中心位置から緯度 12° 以内の T_{BB} を GMS の観測データから求め、基本資料とした。ただし、台風の急速な発達衰弱の際に生じる T_{BB} の時間的变化を詳細に把握するために、台風 7901, 7911, 7916, 8003, 8019, 8021 については、3時間ごとの T_{BB} も用意した。

2.2 データの処理方法

台風域内のどの部分での対流の強化が、台風の発達衰弱に寄与しているかをみるために、Fig. 1 のような、12個のリングを作り、原点を台風の中心で一致させて、各リング内の T_{BB} を求めた。この値を、中心に近い方のリングからそれぞれ、 $\overline{T_{BB1}}$, $\overline{T_{BB2}}$, \dots , $\overline{T_{BBn}}$, \dots

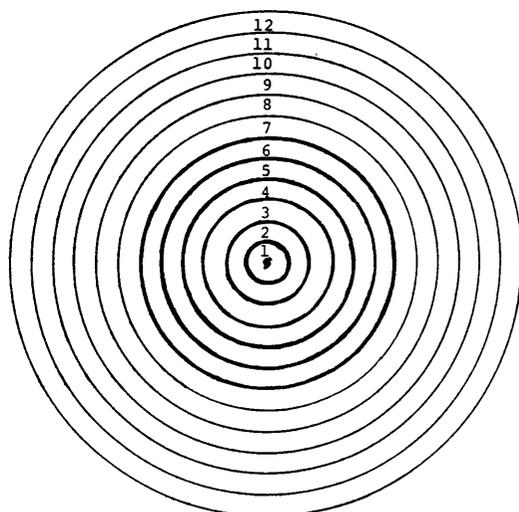


Fig. 1 Rings used in analyzing the $\overline{T_{BBn}}$. The rings are spaced 1° lat (111 km) apart. The center of the circles coincides with the center of the tropical cyclone. The rings indicated by heavy solid lines are used only for the analysis at the developing stage. The symbol of tropical cyclone stands for the center.

$\overline{T_{BB12}}$ とする。

3. 台風8003の発達期および衰弱期にみられた $\overline{T_{BBn}}$ の変化

台風の発達時期、衰弱時期における $\overline{T_{BBn}}$ の変化の特徴を知るために、台風 7902, 7911, 7916, 8003, 8019, 8021 の6個の台風を選んで調査をした。変化の特徴は、6個とも大きな差がないので、代表的な例として、8003を取りあげ、以下に記述する。

Fig. 2 は、台風8003の発達前の弱い熱帯低気圧の時期 (5月13日00Z)、急速な発達をしている時期 (5月15日00Z)、最盛期 (5月16日00Z)、衰弱期 (5月21日00Z) における $\overline{T_{BBn}}$ の分布を対比したものであり、Fig. 3 は期間を通し、00Zにおける $\overline{T_{BBn}}$ の毎日の分布を、シリーズにしたものである。

Fig. 2 と Fig. 3 からつぎのことがわかる。中心気圧が 1004 mb の弱い熱帯低気圧であった5月13日00Zの $\overline{T_{BBn}}$ の分布をみると、 $\overline{T_{BB1}}$ は -52°C で、外側のリングにむかってゆるやかに上昇し、 $\overline{T_{BB8}} \sim \overline{T_{BB12}}$ では -10°C 内外になっている。

5月13日00Zから15 00Zにかけて、 $\overline{T_{BB1}}$ と $\overline{T_{BB2}}$ が急速に下降し、 $\overline{T_{BB4}} \sim \overline{T_{BB9}}$ では若干上昇した。15

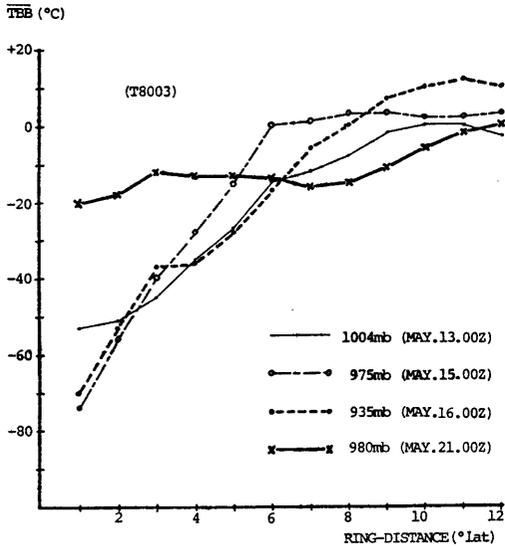


Fig. 2 Changes in $\overline{T_{BBn}}$ distribution for T8003 in accordance with its stages. Ordinate and abscissa represent $\overline{T_{BBn}}$ in $^{\circ}\text{C}$ and ring distance from the center in $^{\circ}\text{lat.}$, respectively.

日00Zを13日00Zと比較すると、 $\overline{T_{BB1}}$ での 24°C の下降と $\overline{T_{BB6}}$ の 20°C の上昇が顕著である。

16日の00Zにおける $\overline{T_{BB1}}$ と $\overline{T_{BB2}}$ は、それぞれ -68°C と -53°C であり、24時間に 8°C および 10°C 上昇した。 $\overline{T_{BB3}}$ と $\overline{T_{BB4}}$ とはほとんど変化がないが、 $\overline{T_{BB5}}\sim\overline{T_{BB8}}$ では下降しており、とくに $\overline{T_{BB5}}$ と $\overline{T_{BB6}}$ の変化量は -15°C に達している。

いっぽう中心気圧は、1日単位でみると、14日00Zから15日00Zの間に992 mbから975 mbへ下降し、15日00Zから16日00Zにかけては、975 mbから935 mbと40 mb下降している。935 mbは、台風8003が記録した最低気圧であった。

すなわち、台風8003は、急速に発達して、中心気圧が最低を記録するほぼ24時間前に $\overline{T_{BB1}}$ と $\overline{T_{BB2}}$ が急速に下降して、最低温度を記録し、逆に $\overline{T_{BB4}}\sim\overline{T_{BB9}}$ では昇温しているようである。

顕著な発達が始まったと考えられる14日00Zから15日00Zの間の $\overline{T_{BBn}}$ の変化と中心気圧の変化を、3時間毎の図でさらに詳細に示したのがFig. 4Aである。Fig. 4Aからつぎのことがわかる。

$\overline{T_{BBn}}$ の変化では、14日00Zから06Zにかけての $\overline{T_{BB1}}$ 、06Zから12Zにかけての $\overline{T_{BB1}}$ と $\overline{T_{BB2}}$ 、12Zから15Zにかけての $\overline{T_{BB1}}$ 、 $\overline{T_{BB2}}$ 、 $\overline{T_{BB3}}$ 、15Zから18Zにかけての $\overline{T_{BB2}}$ と $\overline{T_{BB3}}$ の降温が顕著である。

しかし、中心気圧は、18Zまでは992 mbで変化して

いない。急激な下降は、18Zと21Zの間に始まっている。以上の現象をまとめるとつぎのようになる。

台風8003が弱い熱帯低気圧から強い台風に急速に発達した際、急速な発達がはじまるほぼ18時間前に、中心から緯度 1° 以内の領域で $\overline{T_{BB}}$ が急速に下降(対流活動が急速に強化)し、中心気圧が最低になるほぼ24時間前に最低温度に達した。低温の領域(対流の強い領域)は、その間、リング1から、リング2、リング3へと外側にひろがっていった。

3.2 衰弱期

Fig. 3をみると、台風8003の中心気圧は、17日00Zから19日00Zまでは、わずか10 mbの上昇であるが、19日00Zと20日00Zの24時間では、945 mbから970 mbへ25 mbの上昇を示している。台風の段階からみると、19日00Zまでが最盛期で19日00Z以降が衰弱期と考えられる。

19日00Zから20日00Zの間の $\overline{T_{BBn}}$ の変化の中では、 $\overline{T_{BB1}}$ の 65°C 、 $\overline{T_{BB2}}$ の 34°C の上昇が著しい。このように1日単位でみた場合、中心気圧の上昇と $\overline{T_{BB1}}$ 、 $\overline{T_{BB2}}$ の昇温は同時現象のように見えるが、3時間ごとの図(Fig. 4B)をみると、両者の時間的差がはっきりする。

Fig. 4Bによると、16日09Zから18Zにかけて、台風8003の衰弱はもっとも速く進行し、中心気圧の上昇率は5 mb/3 hrである。いっぽう $\overline{T_{BBn}}$ では、19日06Zから12Zにかけて、 $\overline{T_{BB1}}$ が 5°C 、 $\overline{T_{BB2}}$ が 13°C 上昇したのと、09Zから12Zにかけて $\overline{T_{BB2}}$ が 12°C 、 $\overline{T_{BB3}}$ が 14°C 上昇したのが顕著な変化である。

すなわち、1日間隔では、同時現象のようにみえた、 $\overline{T_{BB1}}$ 、 $\overline{T_{BB2}}$ の昇温と台風の中心気圧の上昇も、3時間間隔では、台風の中心付近の $\overline{T_{BB}}$ の昇温が若干中心気圧の上昇に先行して起こっている。時間差は、6時間程度と考えられるが、発達期ほど明瞭ではない。

4. 台風の発達期における、現域の $\overline{T_{BBn}}$ 分布と現在および将来の中心気圧との相関

3で述べたように、台風8003の場合、中心気圧の急速な下降に18時間程度先行して、 $\overline{T_{BB1}}$ と $\overline{T_{BB2}}$ が急速に下降した。このような変化が、一般的特徴であるかどうかを検証するため、1979年、1980年、1981年に発生した台風から、中心気圧の最低が960 mb以下に達したものの30個を選び出し調査した。1個の台風についての調

(T8003)

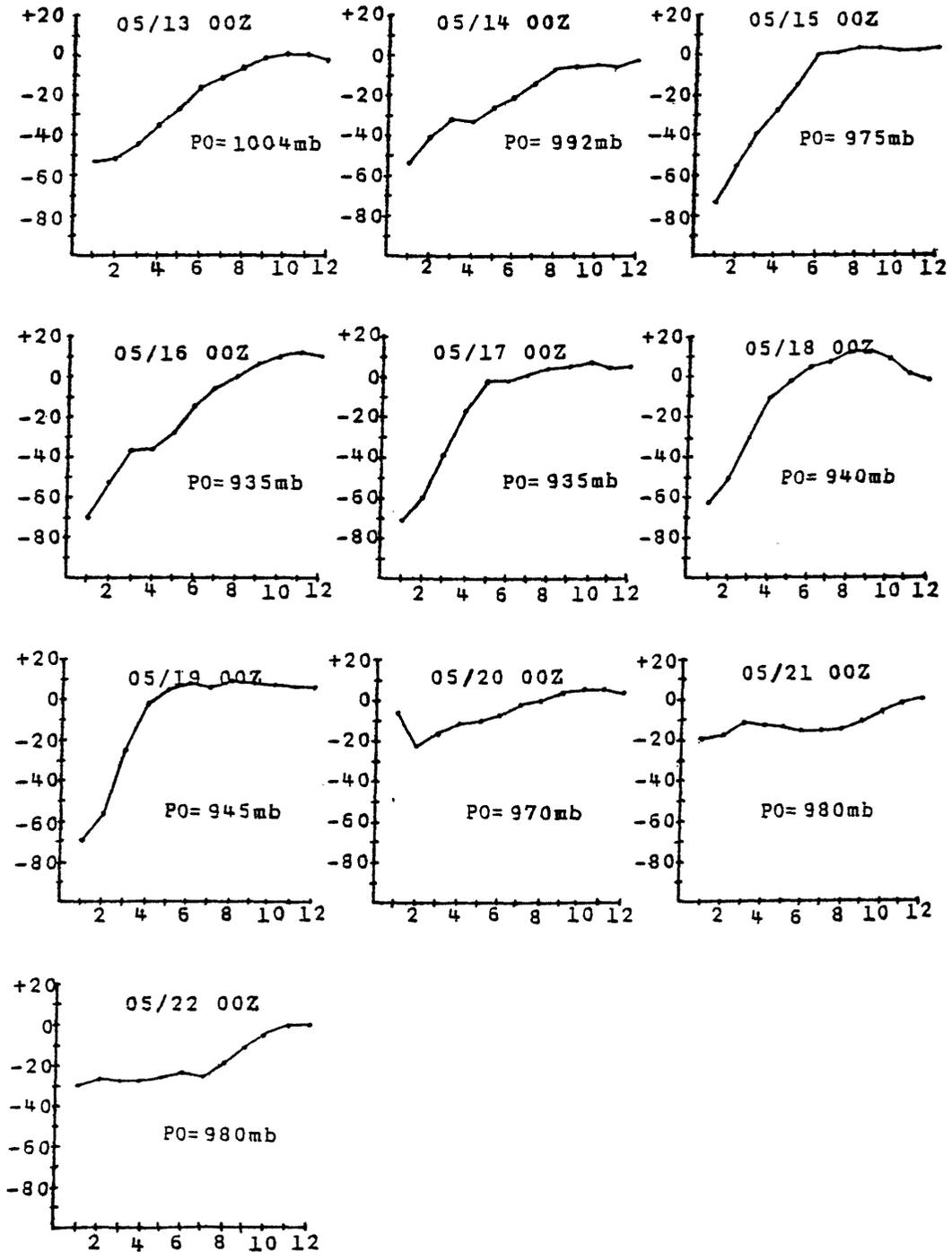


Fig. 3 A series of $\overline{T_{BBn}}$ distribution for T8003 during the period from its birth to death. Ordinate and abscissa are same as Fig. 2. P_0 is central surface pressure at the GMS observation time.

(T8003)

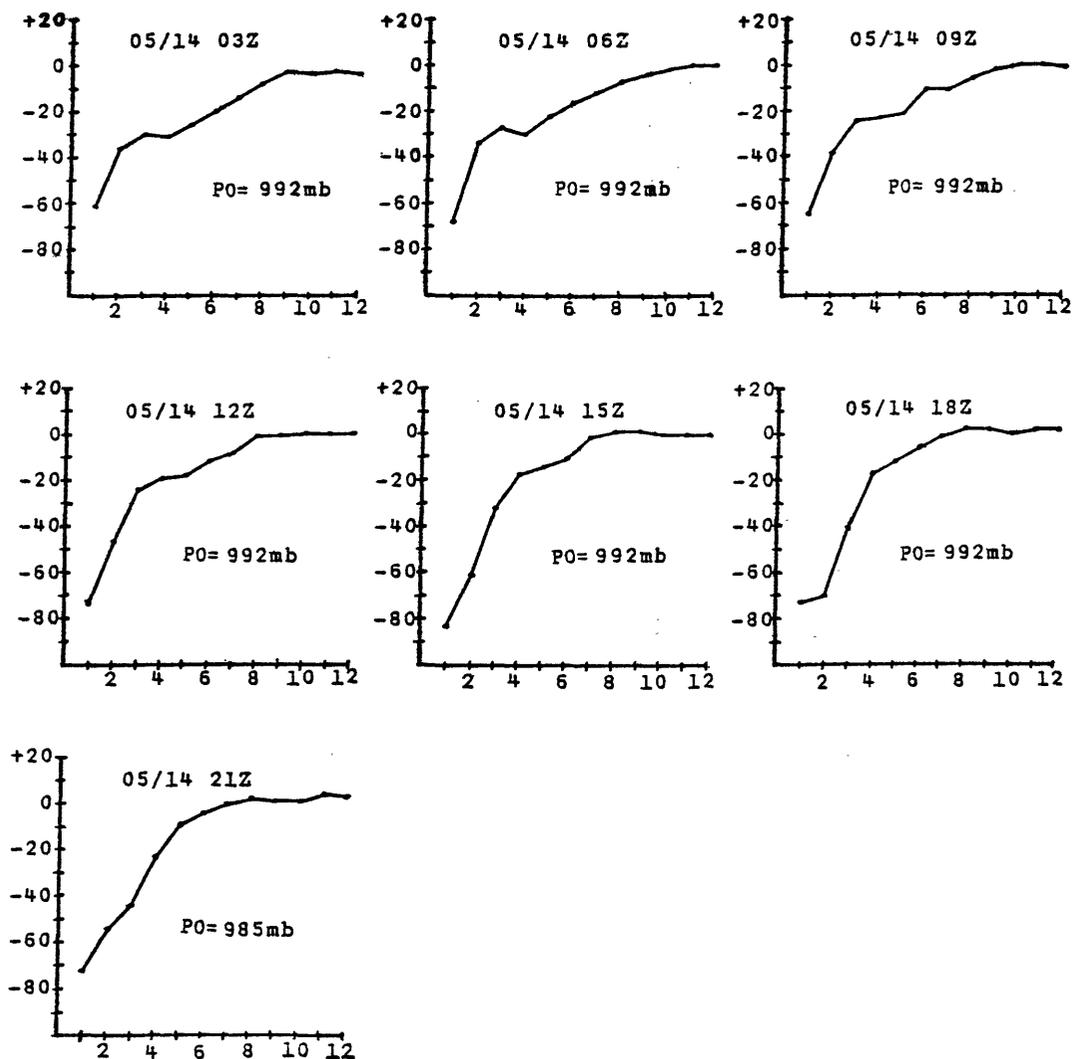


Fig. 4A Same as Fig. 3 except that the time interval is 3 hours and stage is developing one.

査の期間は、台風の発生時から中心気圧が最低を記録する時までとし、現在の $\overline{T_{BBn}}$ と現在、12時間後、24時間後、36時間後、48時間後の中心気圧（それぞれ、 P_0 、 P_{12} 、 P_{24} 、 P_{36} 、 P_{48} で表わす）との相関係数を計算した。なお、前記台風8003の場合から、発達期にあつては、 $\overline{T_{BB7}} \sim \overline{T_{BB12}}$ の変化は比較的小さいので、対象領域を中心から緯度 6° 以内にした。また海面温度の混入を防ぐために $T_{BB} \geq 20^\circ\text{C}$ のデータは除いて $\overline{T_{BBn}}$ を計算した。

台風になったかどうかの判定基準は、最大風速が34ノ

ットに達したかどうかであるが、本調査では、台風の強さを中心気圧で表現する方法をとっているので、一定の中心気圧に達したかどうかで決めることにした。台風と認定するために基準となる中心気圧を定めるために、Atkinson and Holliday (1977) の式 (1) を参考にした。

$$V_{\max} = 6.7 \times (1010 - P_c)^{0.644} \quad (1)$$

(T8003)

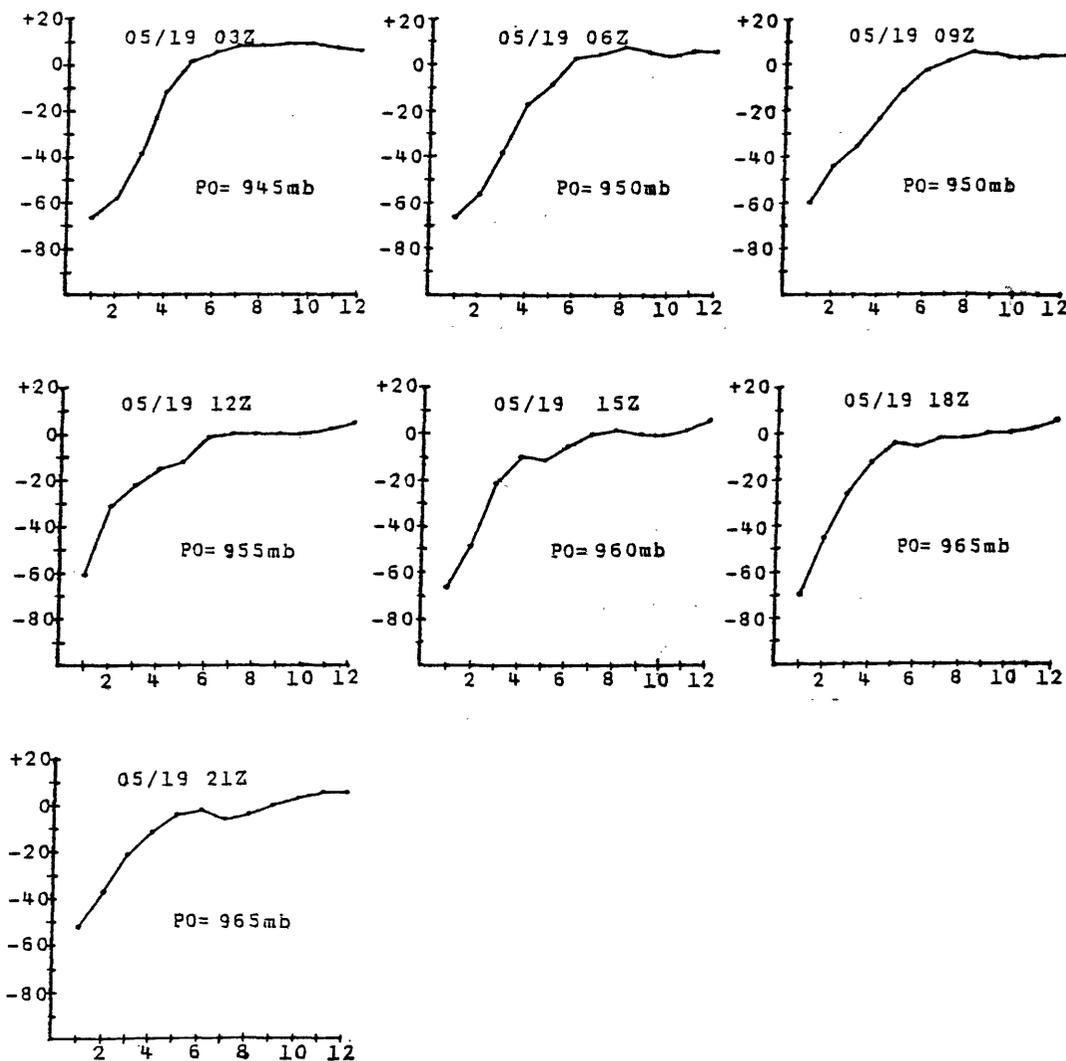


Fig. 4B Same as Fig. 4A except at the decaying stage.

ここで V_{max} は台風の最大風速 (ノット), P_c は中心気圧 (mb) である。(1) を用いて, $V_{max}=34$ ノットに対応する P_c を求めると 998 mb になる。この結果を用い, 台風発生基準としての中心気圧を 998 mb と定め, $P_c > 998$ mb の場合は, たとえ, 天気図上で台風となっていてはすべて除外した。

Fig. 5A は1979, 1980, 1981の3ヶ年のすべての資料を使った結果であり, Fig. 5B, Fig. 5C, Fig. 5D は, それぞれ, 1979年, 1980年, 1981年の結果を示す。

Fig. 5A からはつぎのことがわかる。

- (1) 相関係数の最大は, $\overline{T_{BB2}}$ と P_{24} との間の0.56で, $\overline{T_{BB2}}$ と P_{12} , $\overline{T_{BB1}}$ と P_{24} との間の0.54がこれについて高い。さらに $\overline{T_{BB1}}$ と P_{12} との間の0.52, $\overline{T_{BB1}}$ と P_{36} との間の0.51がつづく。
 - (2) P_0 との間の相関係数では, $\overline{T_{BB2}}$ が最も高いが0.50どまりである。
 - (3) $\overline{T_{BB4}} \sim \overline{T_{BB6}}$ の $P_0 \sim P_{48}$ に対する相関は0.3未満と低い。
- (1), (2) は $\overline{T_{BB1}}$ が, 現在の台風の中心気圧より12~36時間さきの中心気圧に関係が深く, $\overline{T_{BB2}}$ もまた現

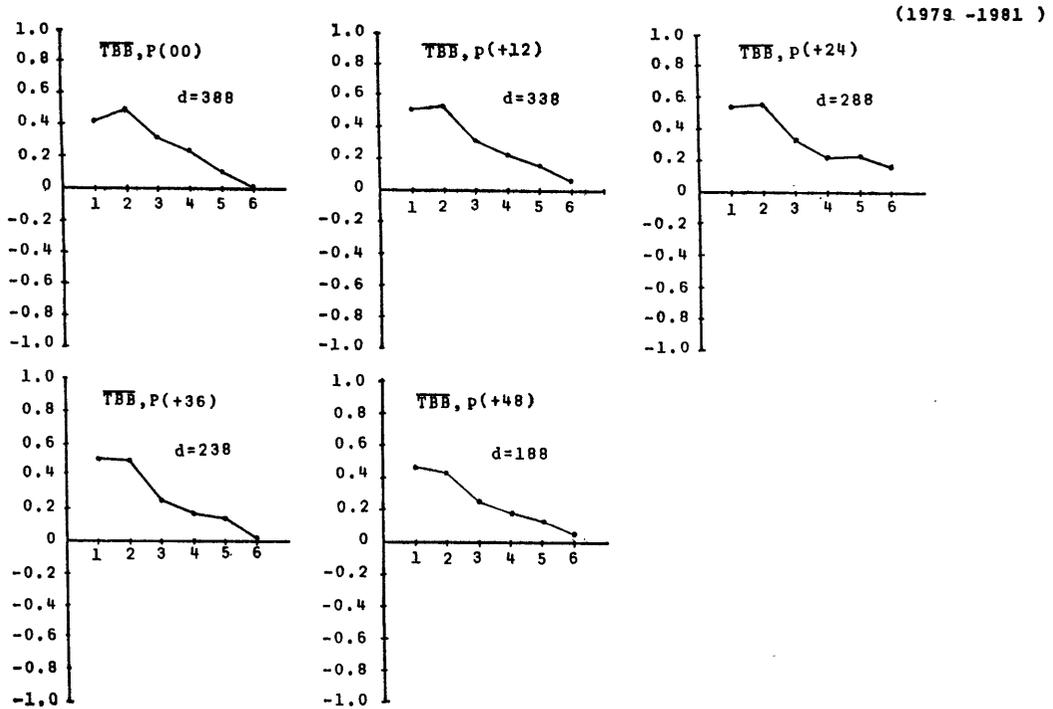


Fig. 5A Correlation coefficients between \overline{TBB}_n and central surface pressures at the developing stage for the total cases. $P_0, P_{12}, P_{24}, P_{36}$ and P_{48} represent the central surface pressures at GMS observation time and the ones 12, 24, 36 and 48 hours after that, respectively.

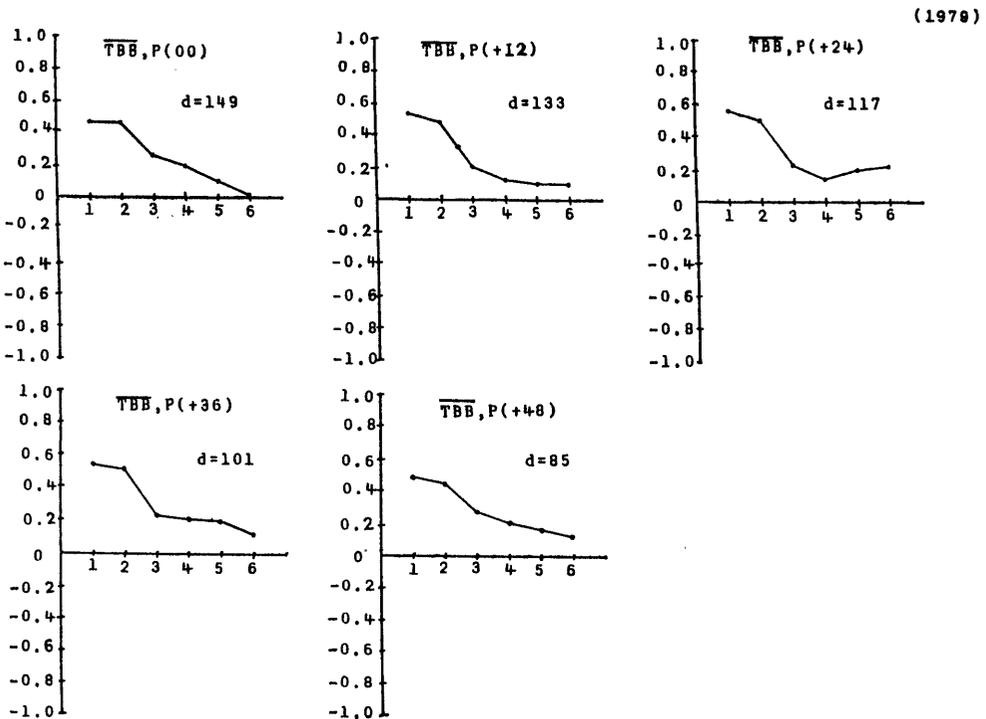


Fig. 5B Same as Fig. 5A except for 1979 cases.

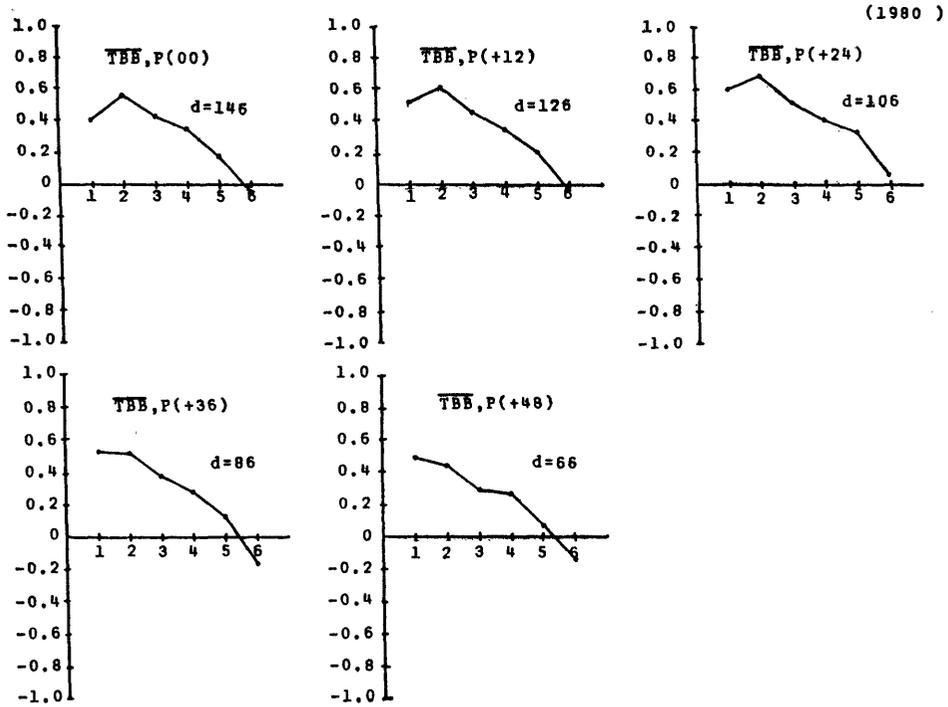


Fig. 5C Same as Fig. 5A except for 1980 cases.

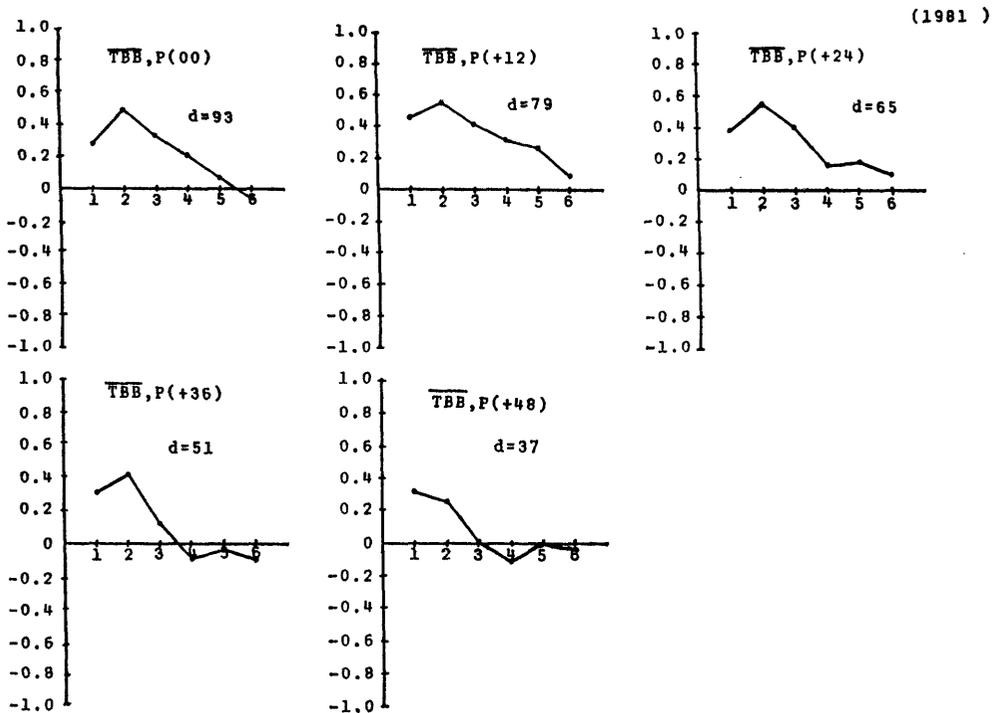


Fig. 5D Same as Fig. 5A except for 1981 cases.

在の中心気圧よりも12~24時間さきの中心気圧に高い相関があることを示している。さらに、標本数100の場合、危険率の0.1%有意水準は0.3211と計算されているので、 $P_0, P_{12}, P_{24}, P_{36}, P_{48}$ と $\overline{T_{BBn}}$ との相関係数計算の標本の数がそれぞれ、388, 338, 288, 238, 188であることを考えると、0.50以上の相関係数は極めて高い有意性をもつものといえる。

Fig. 5B, Fig. 5C, Fig. 5D は、1979年, 1980年, 1981年のそれぞれの年の結果である。Fig. 5A との違いは、1979年の $P_0 \sim P_{48}$ に対する相関で、 $\overline{T_{BB1}}$ が、 $\overline{T_{BB2}}$ より高い係数を示しているだけで、全体として、前述の結果を否定するものはない。

5. Gentry らの調査との比較

Gentry らは、予測対象として24時間後の最大風速 V_{24} をとり、弱い台風 ($V_{max} \leq 65$ ノット) と、強い台風 ($V_{max} > 65$ ノット) の場合に分けて、 $\overline{T_{BBn}}$ との間の相関係数を算出している。彼等の調査の結果では、弱い台風についてはリング2と3の T_{BB} の平均 $\overline{T_{BB2,3}}$ (以下同様な表現を用いる) と V_{24} との相関係数が最高で、0.547 であった。この値は本調査の $\overline{T_{BB2}}$ P_{24} に対する相関係数 0.56 よりわずかに低い。

また強い台風の場合は、 $\overline{T_{BB1,2,3}}$ と V_{24} との相関係数が 0.781 で最高である。この値は、本調査の P_{24} と $\overline{T_{BB1}}, \overline{T_{BB2}}, \overline{T_{BB3}}$ とのいずれの相関係数よりもかなり高い。台風の強さを示す量として、最大風速と中心気圧を使用した違いはあるが、両者の結果の差はかなり大きい。その原因はつぎのように考えられる。

(1) Gentry らは、台風の段階に関係なく、 V_{24} と $\overline{T_{BB}}$ との相関係数を求めたのに対し、本調査では発達期のみをとりあつかった。

すでに3で示したように、台風は発達期、最盛期、衰弱期によって、 $\overline{T_{BBn}}$ が将来の中心気圧にどう関係するかは、いく分異っている。発達期には、中心気圧の急激な下降以前にまず $\overline{T_{BB1}}$ ないし $\overline{T_{BB2}}$ が下降する。しかし、最盛期では、 $\overline{T_{BB1}}$ はいくぶん上昇し、 $\overline{T_{BB3}}$ ないし $\overline{T_{BB4}}$ が下降する。すなわちこの段階では、 $\overline{T_{BB1}}$ と $\overline{T_{BB2}}$ だけでなく、 $\overline{T_{BB3}}$ や $\overline{T_{BB4}}$ が将来の中心気圧に強く関係してくる。Gentry らの調査でいう強い台風は、台風がどの段階にあるかは関係なく、 $V_{max} \geq 65$ ノットだけで規定されているから、この中には、発達期だけでなく、 $\overline{T_{BB3}}$ や $\overline{T_{BB4}}$ と関係が強まる最盛期の台風が多く含まれている。Gentry らの調査で $\overline{T_{BB1}}$,

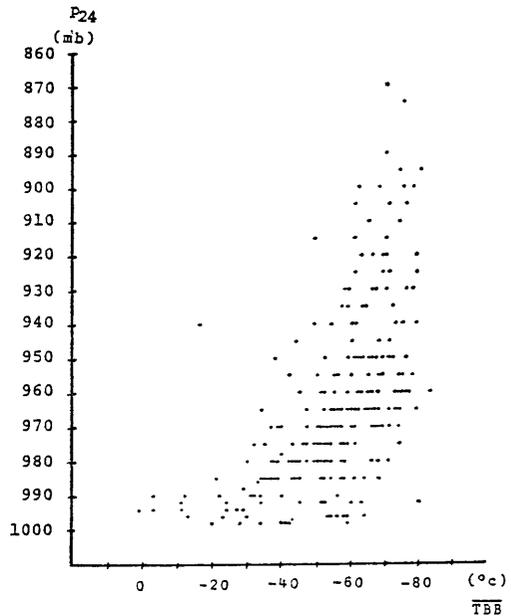


Fig. 6 A scatter diagram of a relationship between $\overline{T_{BB1,2}}$ and P_{24} .

$\overline{T_{BB2}}$ あるいは $\overline{T_{BB1,2}}$ でなく $\overline{T_{BB1,2,3}}$ が V_{24} とともに高い相関を示したのはこのためと考えられる。

(2) 発達期における $\overline{T_{BBn}}$ と P_{24} との関係は線形ではない。Fig. 6 は $\overline{T_{BB1,2}}$ と P_{24} との関係を示す散布図であるが、回帰式としては、一次式よりむしろ二次式又は指数式の方が適しているようにみえる。Gentry らの“強い台風”の範囲は $V_{max} \geq 65$ ノットであるが、Atkinson and Holliday の式で換算すると $P_c < 976$ mb である。Fig. 6 からわかるように、 P_{24} が 920~980 mb では、直線回帰式が最適であろう。すなわち、“強い台風”は $\overline{T_{BBn}}$ と P_{24} との最も直線相関の強い範囲を取りあついていることになる。本調査でも、 P_0 の範囲を 980 mb 以下に限定すれば、 $\overline{T_{BB1}}$ 又は $\overline{T_{BB2}}$ と P_{24} との相関係数は4で得られた値よりかなり高くなると考えられる。

6. おわりに

GMS で観測された台風中心付近の T_{BB} と台風の中心気圧の時間的変化との関係について調べた結果、 T_{BB} の変化が中心気圧の変化に先行することがわかった。台風の各段階によって、将来の中心気圧にもっとも強い関係をもつ T_{BB} の位置が異なり、また先行時間の長さにも違いのあることが明きななになった。

発達期においては、 P_{12} , P_{24} に対する $\overline{T_{BB1}}$ と $\overline{T_{BB2}}$ の相関係数が、それぞれ 0.52, 0.54 と 0.54, 0.56 に達し、 P_0 に対する相関係数よりも高いという結果が得られた。このことは、 $\overline{T_{BB1}}$, $\overline{T_{BB2}}$ または $\overline{T_{BB1.3}}$ を使って、台風の中心気圧の12時間ないし時間予報を行なうことが、ある程度可能であることを示している。

最後に、本調査に際し、VISSR 観測資料の準備に協力され、また多くの有益な意見を寄せられた管制課の方々に感謝の意を表する。

References

- Atkinson, D.G. and C.R. Holliday, 1977: Tropical cyclone minimum sea level pressure/maximum sustained wind relationship for the western North Pacific, *Mon. Wea. Rev.*, 105, 421-427.
- Gentry, R.C., E. Rodgers, J. Steranka and W. Shenk, 1980: Predicting tropical cyclone intensity using satellite-measured equivalent blackbody temperatures of cloud tops, *Mon. Wea. Rev.*, 108, 445-455.
- Gray, W.M., 1981: Recent advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis, WMO programme on research in tropical meteorology, WMO, pp 407.
- Rodgers, E.B. and R.F. Adler, 1981: Tropical cyclone rainfall characteristics as determined from a passive microwave radiometer, *Mon. Wea. Rev.*, 109, 506-521.
- Rosenthal, L., 1978: Numerical simulation of tropical cyclone development with latent heat release by the resolvable scales, I: Model description and preliminary results, *J. Atmos. Sci.*, 35, 258-271.