

短 報

発生期の台風にみられる雲頂高度の高い雲域の特徴

野中 信英*

Characteristics of cloud areas with high cloud top heights
seen in typhoons during the forming period

NONAKA Nobuhide

要 旨

台風の発生段階においてドボラック法の強度推定には発達期や最盛期に比べて精度が劣るなどの問題点がある。発生段階における強度推定の精度を向上するために、発達する熱帯擾乱周辺の雲頂高度の高い雲域の面積の変化を調べた。その結果、例外もあるが擾乱の中心付近の狭い領域では、台風発生の約 24 時間前に雲頂高度の高い雲域が急に拡大するという特徴があることが分かった。

1. はじめに

気象庁は、世界気象機関 (WMO) の指名に基づき地域気象特別センター (RSMC-Tokyo) として北西太平洋に存在する台風に関する情報の発信を履行している。台風の発生を確認した場合には、その台風に命名をし、その発生を発表しなければならない。

発生した熱帯低気圧が発達し、その域内の最大風速がおおよそ 17 m/s (34 ノット, 風力階級 8) に達すると台風の発生となるが、気象庁の予報現業において、台風の発生を判断する材料は主に次の 3 つとなっている。

① 観測所, 船舶やブイ, ドロップゾンデなどの観測で概ね 34 ノット以上の風速を観測した場合

② 海上風が観測できる極軌道衛星 (例えば Metop 衛星) が監視の対象としている熱帯低気圧の域内で概ね 34 ノット以上の風速を観測した場合。

③ ドボラック法による熱帯低気圧の強度推定が概ね T 数 = 2.0 以上となった場合。

これらのうち②の極軌道衛星は同じ衛星は 1 日 2 回しか同じ海域を観測できない。③については、台風の発生段階において熱帯擾乱の持つ雲システムの形状は安定せず、ドボラック法による強度推定も発達期や最盛期に比べて精度がよくないなどの問題点がある。

第 1 表に 2021 年に発生した台風について予報現業で発生を発表した日時とベストトラックで発生とした日時を比較した結果を示した。

* 気象庁 大気海洋部 予報課 気象監視・警報センター
(2022 年 11 月 22 日受領, 2024 年 3 月 5 日受理)

多くの台風で、その差は 6 時間以内と予報現業での台風発生の判断はおおむね妥当であったと言えるものの、なかには T2111 のようにその差が 24 時間以上ある事例もあった。T2111 のような不適切な事例を可能な限り排除し、台風発生の判断がより適切に行えるような新たな材料がないかを検討するため、この調査を行った。

第 1 表 台風の発生日時に関する予報現業とベストトラックの比較 (2021 年)。

台風番号	台風発生日時 (UTC)		時間差 (時間)
	予報現業	ベストトラック	
T2101	02/18_06	02/18_00	-6
T2102	04/13_18	04/13_18	0
T2103	05/31_00	05/30_18	-6
T2104	06/12_06	06/11_18	-12
T2105	06/23_00	06/23_00	0
T2106	07/17_18	07/17_12	-6
T2107	07/19_00	07/18_18	-6
T2108	07/23_12	07/23_12	0
T2109	08/04_00	08/04_00	0
T2110	08/05_06	08/05_06	0
T2111	08/05_06	08/04_00	-30
T2112	08/20_12	08/20_12	0
T2113	09/06_06	09/06_00	-6
T2114	09/07_00	09/06_12	-12
T2115	09/23_06	09/23_06	0
T2116	09/23_12	09/23_12	0
T2117	10/07_18	10/07_18	0
T2118	10/08_06	10/08_00	-6
T2119	10/10_00	10/10_00	0
T2120	10/25_00	10/24_18	-6
T2121	11/30_00	11/30_00	0
T2122	12/13_06	12/13_06	0

2. 調査の方法

日本気象学会 (2013) によれば、台風の発生過程には、台風発生の数日～10 日前に組織化ステージと呼ばれる段階があり、このステージでは組織化された積乱雲の集団内を中心として起こる温暖核の形成と渦の強化が台風を発生させるとしている。

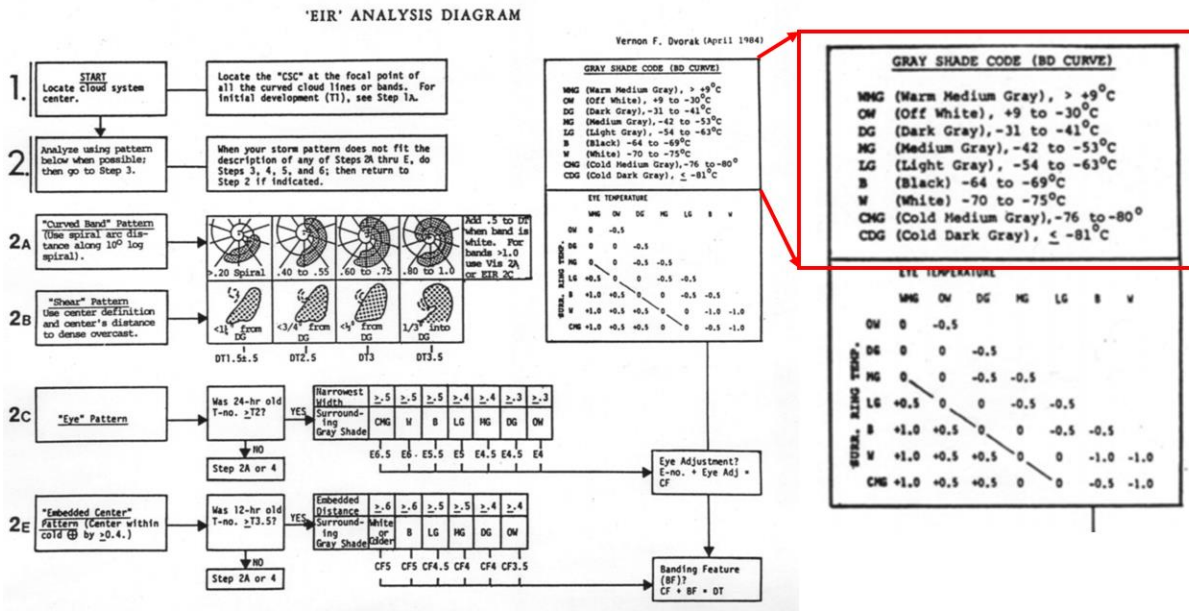
同書によれば、この組織化ステージの段階において起きる渦強化メカニズムとして、トップダウンとボトムアップの 2 つの仮説が紹介されている。トップダウン仮説では、水平スケール数十～数百

km の複数の MCV (Mesoscale Convective Vortex) が、ボトムアップ仮説では水平スケール 10～30 km の複数の VHT (Vertical Hot Tower) が併合することにより、台風の発生に欠かせない対流圏下層をピークとする強い渦の形成に貢献しているとしている。

MCV も VHT も強い対流を伴うので、これらの渦が中心付近で併合していくにつれ、強い対流の存在を示唆する雲頂高度の高い雲域が、対象となる熱帯擾乱を含めた広い領域では縮小し、擾乱中心付近の狭い領域では拡大していくのではないかと、そして、この違いに着目すれば、台風発生の時点をより適切に判断できるような材料が得られるのではないかと考えた。

ドボラック法では、台風の強度推定のため、台風の眼を取り巻く壁雲や台風の中心付近に形成される円形度の高い濃密な雲域の赤外 1 画像 (10.4 μm) における雲頂温度を測定する。その際に第 1 図に示したような温度帯別の階層 (ドボラック法ではこれを「階調 (Gray Shade)」と呼んでいる) を設定し、これを台風等の発達した指標として使用している。

同法における最も冷たい階調は CDG (Coldest Dark Gray: モノクローム画像での色の分類で概ね赤外放射輝度温度が-81 °C以下の領域) であるが、CDG の雲域が出現する頻度は多くはない。第 2 図に猛烈な台風まで発達した 5 つの台風 (T2122, T2116, T2114, T2102, T2022) について、それが TD として発生した時点から最盛期 (台風期間内の最大風速に達した時刻) に達するまでの期間に中心から半径 4°の円内に現れた 3 時間毎の CDG の雲域の総ピクセル数を示した。赤外 1 画像における半径 4°の円内の総ピクセル数はおおむね 126,000 個となる。限定された領域内で特定の温度帯におけるピクセル数をカウントすることは、その特定した温度帯を雲頂温度とする雲域の面積を測定することと等しくなる。第 2 図からは T2122 および T2102 の後半の期間を除いたその他の台風では CDG の領域はほとんど出現していないことが分かる。このため、この調査では、CDG より一段階暖かい CMG (Coldest Medium Gray: モ



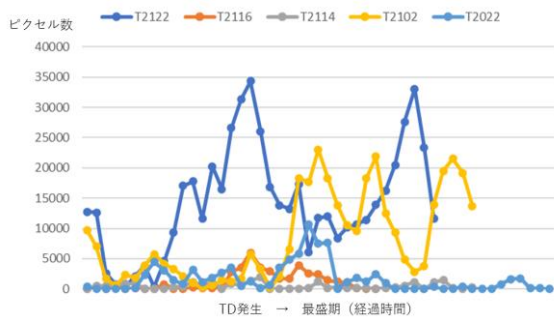
第 1 図 ドボラック法による赤外面像の階調. Vernon Dvorak (1984) の XI. APPENDIX の Figure 1. を引用.

ノクローム画像での色の分類で概ね赤外放射輝度温度が $-76^{\circ}\text{C} \sim -80^{\circ}\text{C}$ の領域) までを含めた -76°C より冷たい雲域を強い対流を伴う雲頂高度の高い雲域として取り扱うこととした.

今回の調査では 2021 年に発生した 22 個の台風を対象としている. 気象庁ではベストトラックを作成するために北西太平洋全域の衛星画像から台風が存在した周辺の領域に限定した画像の抽出を行っている. 本調査ではこの抽出画像を使用した. これらの画像からは対象熱帯擾乱の中心から緯度にして 4° の地点まで CMG より冷たい雲域のピクセル数をカウントすることができた. このため, 中心から半径 4° の円を熱帯擾乱周辺の最も広い領域と設定し, さらに, 使用したアプリケ

ーションソフトの測定限界である半径 1° の円を最も狭い領域とした. また, これらの中間範囲の領域として半径 2° の円内についても同様な調査を行った.

今回の調査の目的は, 衛星画像から台風発生の特徴を見つけることにある. このためには台風発生以前の熱帯擾乱の状況を可能な限り長く観察する必要がある. 第 2 表に対象とした台風毎にこの調査のために入手できた前述の最も早い抽出画像の時刻を示した. この表から T2108 (抽出画像の最早時刻から台風発生までは 42 時間), T2113 (同 42 時間), T2114 (同 54 時間), T2118 (同 48 時間), T2119 (同 48 時間) を除く台風ではその発生から 60 時間前までさかのぼって追跡できることがわかる. このためこの 60 時間を調査対象期間とした.



第 2 図 猛烈な台風に現れた CDG 階調 (中心から半径 4° の円内)

今回の調査では赤外 1 画像における対象とした台風中心から 4° , 2° , 1° の各半径の円内の CMG より冷たい雲域のピクセル数を 3 時間毎にカウントすることにより各時刻における強い対流に伴う雲頂高度の高い雲域面積を表す標本としている. 対象擾乱の位置は気象庁発表のベストトラックによったが, 同資料の個々の台風の記録は, それが発熱帯低気圧 (TD) として天気図上に現れた時点からとなっていて, それ以前の熱帯擾乱の段階で

の記録の記載はない。そこで、この調査では TD 以前の段階での中心位置はそれが最初に TD となった位置を固定して使用している。また、ベストトラックは台風等の 6 時間毎の位置しか記載していないため、これに記載されていない時刻の位置はその前後 6 時間毎の位置を内挿して充てている。

第 2 表 対象とした台風の発生日時と最も早い抽出画像の取得時刻

台風番号	①画像が取得できた最も早い時刻	②台風発生日時刻	経過時間 (②-①)
T2101	02/12_00	02/18_00	144
T2102	04/10_00	04/13_18	90
T2103	05/26_06	05/30_18	108
T2104	06/09_06	06/11_18	60
T2105	06/18_00	06/23_00	120
T2106	07/13_06	07/17_12	102
T2107	07/16_00	07/18_18	66
T2108	07/21_18	07/23_12	42
T2109	07/31_18	08/04_00	78
T2110	08/01_18	08/05_06	84
T2111	08/01_12	08/04_00	60
T2112	08/15_18	08/20_12	114
T2113	09/04_06	09/06_00	42
T2114	09/04_06	09/06_12	54
T2115	09/20_18	09/23_06	60
T2116	09/20_18	09/23_12	66
T2117	10/01_06	10/07_18	156
T2118	10/06_00	10/08_00	48
T2119	10/08_00	10/10_00	48
T2120	10/22_00	10/24_18	66
T2122	11/27_00	11/30_00	72
T2123	12/10_00	12/13_06	78

3. 調査の結果

(1) 地方時による雲頂高度の高い雲域の変化

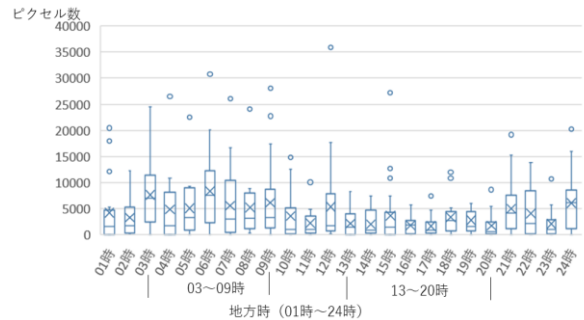
調査の対象とした台風に発達する熱帯擾乱が各時刻において占めていた位置の地方時をその経度に基づいて第 3 表に従って計算した。

一方、各時刻において対象擾乱の中心から半径 4°の円内においてカウントした CMG より冷たい

第 3 表 地方時の算出方法

熱帯擾乱の位置 (経度)	地方時
112.5° E < Lat <= 127.5° E	UTC+8 時間
127.5° E < Lat <= 142.5° E	UTC+9 時間
142.5° E < Lat <= 157.5° E	UTC+10 時間
157.5° E < Lat <= 172.5° E	UTC+11 時間
172.5° E < Lat <= 180° E	UTC+12 時間

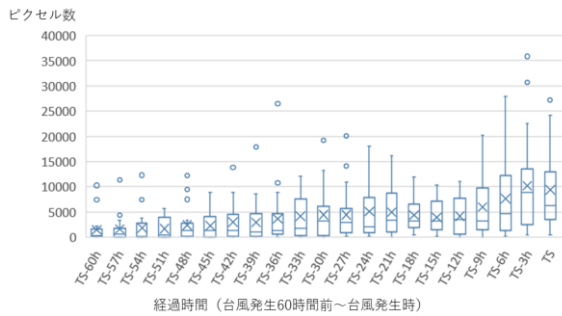
階調の雲域のピクセル数を前述のように計算した 1~24 時までの地方特別に集計しなおし、第 3 図のとおり箱ひげ図にまとめた。第 3 図によれば、第三四分位の値は対象の擾乱が地方時の早朝に当たる 6 時に最大となり、夕方の 17 時に最小となっている。この図を全体的に見渡してみると早朝 3 時から朝 9 時にかけては熱帯擾乱に伴う CMG より冷たい雲の領域は大きく、逆に午後 13 時から夜のはじめの 20 時にかけては小さくなっている。気象衛星センター (2004) には最盛期の台風である 2002 年 7 月 16 日から 19 日にかけての台風第 9 号の中心付近の円形度の大きな濃密な雲域が 20UTC 頃に大きくなり、05UTC 頃に小さくなるという日変化が示されているが、このような日変化は発生期の台風の周辺領域においても現れていることがわかった。



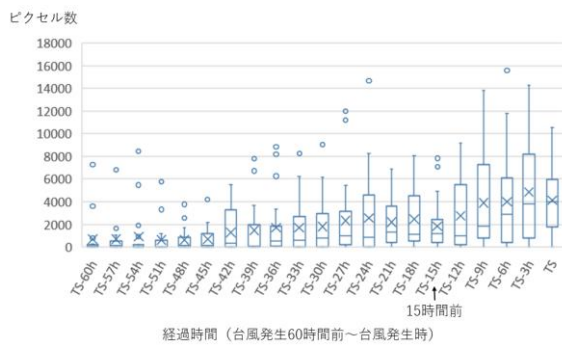
第 3 図 地方特別の CMG より冷たい雲域のピクセル数の箱ひげ図 (中心から半径 4°の円内)

(2) 台風発生に向かって発達する熱帯擾乱の CMG より冷たい雲域のピクセル数の変化について

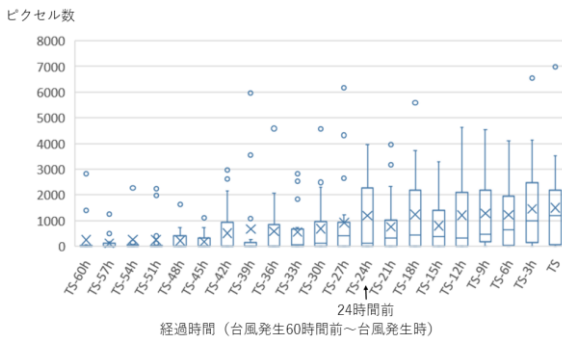
調査対象の台風 22 個について、第 4-1 図~第 4-3 図に台風発生 60 時間前 (画像の取得が 60 時間に足りない台風については、画像が取得できた最も早い時刻から) から 3 時間毎に擾乱を含む広域 (擾乱中心から半径 4°の円内: 第 4-1 図), 擾乱の中心付近の狭域 (半径 1°の円内: 第 4-3 図), 及びその中間の領域 (半径 2°の円内: 第 4-2 図) 別に現れた CMG より冷たい階調の雲域のピクセル数が時刻別にどのような分布をしていたかを箱ひげ図にして示した。



第 4-1 図 台風発生までの CMG より冷たい雲域のピクセル数の箱ひげ図 (中心から半径 4°の円内)



第 4-2 図 台風発生までの CMG より冷たい雲域のピクセル数の箱ひげ図 (中心から半径 2°の円内)



第 4-3 図 台風発生までの CMG より冷たい雲域のピクセル数の箱ひげ図 (中心から半径 1°の円内)

この図に示したピクセル数の第一四分位から第三四分位の範囲をみると、広域(半径 4°の円内)では、CMG より冷たい階調の雲域のピクセル数の増加の割合は、台風発生 9 時間前頃からそれ以前の時刻に比べてやや増しているように見えるが、総体的には台風発生に向けて概ね単調な割合

で増加している。中間の領域(半径 2°の円内)についても 15 時間前のピクセル数がその前後の時間に比べてやや小さくなっているが全体的に見渡すと広域と同様な傾向を示している。

一方、擾乱中心の狭い領域(半径 1°の円)内の CMG より冷たい雲域のピクセル数は、台風発生 24 時間前までは小さな数で推移しているが、これを境にして、それ以後のピクセル数は不連続に大きくなっているように見える。擾乱中心付近の狭域における台風発生 24 時間前を境界としたこのような不連続な変化は本当にあるのか、もし、これが本物ならば、台風の発生を予測するための有効な手段になりえるものと思える。

そこで、台風発生 24 時間前までの期間(発生晩期)とそれ以前 51 時間前(発生初期)までの二つの期間における擾乱中心の狭い領域における CMG より冷たい雲域のピクセル数の平均を比べてみることにした。第 4 表に、この 2 つの期間における狭領域内の当該ピクセル数の平均値と分散値及びデータ数を示した。第 4 表によれば発生晩期のピクセル数の平均値は発生初期のその約 2 倍の大きさになっている。この平均値の差は統計として有意なのか検定してみた。晩期、初期共にデータ数は約 200 個と大きいので、それぞれの期の標本平均、標本分散をともに母平均、母分散とみなした。そのうえで次の仮説を立てて検定を行った。なお、本題の場合、晩期の平均値が初期のそれより大きければ問題ないので片側検定とした。

帰無仮説：発生晩期の母平均値 = 発生初期の母平均 (晩期の母平均と初期の母平均は等しい)

対立仮説：発生晩期の母平均値 ≠ 発生初期の母平均 (晩期の母平均は初期の母平均より大きい)

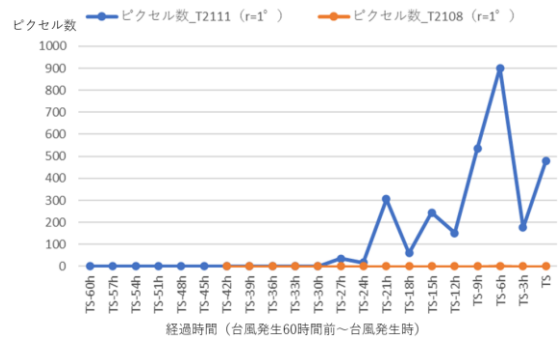
第 4 表 発生初期と晩期別の CMG より冷たい雲域のピクセル数の平均値他

	晩期	初期
平均	1184.85	519.3
分散	2275,876	1123968
サンプル数	198	191

この仮説を検定するために必要な検定統計量 Z は、 $Z = 5.05$ となる。

有意水準は $\alpha = 0.05$ (5%) とし、この検定統計量 Z を使って P 値を計算すると、 $P = 2.23 \times 10^{-7}$ となり、この算出された P 値は有意水準より小さく棄却域に入った。これにより帰無仮説は棄却でき、それぞれの期の母平均は等しくないと言えた。つまり、台風発生 24 時間前を境として、擾乱中心付近の狭い領域では、それ以前と以後では CMG より冷たい雲域の面積は不連続に異なって（大きくなって）いるということがわかった。

多くの台風の発生過程を平均的にみた場合、擾乱中心付近の狭い領域では、発生 24 時間前に CMG より冷たい雲域の面積が急に拡大している。この現象は個々の台風の発生時期を判断するのに応用可能だろうか。現業作業での台風発生判断がベストトラックによる台風発生より 30 時間遅れた T2111 の中心付近狭域の CMG より冷たい雲域の時間変化を第 5 図(青色のマーカー付折れ線)に示した。第 5 図によると、T2111 では台風発生 21 時間前からそれまで中心付近にはほとんど存在していなかった CMG より冷たい雲域がこれを境として急に拡大している。さらに、同じ第 5 図に T2108 の発生過程を併記してみた(オレンジ色のマーカー付折れ線)。T2108 の場合は、台風発生までのすべての期間にわたり擾乱の中心付近の狭領域では、ほぼ CMG より冷たい雲域は発生していなかったことがわかる。このように発達する熱帯擾乱の台風発生過程を個別に検討してみると、全ての台風で前述した特徴が現れる訳ではない。第 4 表に示した発生晩期と発生初期のそれぞれの期の分散を比べると発生晩期のそれは発生初期のその約 2 倍となっていて、個々の発達する熱帯擾乱の発生晩期の CMG より冷たい雲域のピクセル数は、発生初期のそれとくらべると大きくバラついていて、発生晩期に現れる中心付近狭域の CMG より冷たい雲域の面積は台風毎に大きく異なっていることを示している。このことから、前述した発生晩期に現れる特徴は、個々の発達する熱帯擾乱の台風発生時期の特定には必ずしも応用できないということになる。



第 5 図 T2111 と T2108 の CMG より冷たい雲域のピクセル数の時間変化 (狭域)

4. まとめ

発生期の台風強度に有効な指標に向けて、台風の発生過程晩期(台風発生 24 時間前から台風発生までの期間)の中心付近狭域(中心から半径 1° の円内)においては CMG より冷たい雲域がそれ以前の時刻と比べて急に拡大する特徴を確かめた。しかし、この特徴は全ての台風について例外なく現れるわけではないことも分かった。発生段階における強度推定の精度をさらに向上するために、今後は、この特徴が表れない台風に注目し、どのような状況下で発生するのかなどについて調査を継続する。

参考文献

- 気象衛星センター (2004) : 気象衛星画像の解析と利用-熱帯低気圧編-, 初版, 気象衛星センター, 17-21.
- 日本気象学会 (2013) : 台風研究の最前線 (上) (気象研究ノート第 226 号), 27-53.
- Vernon Dvorak (1984) : TROPICAL CYCLONE INTENSITY ANALYSIS USING SATELLITE DATA, NOAA Technical Report NESDIS, 11, 27.