

衛星画像による雲特徴パラメータと台風発生期の最大風速との関連(II)

The Relationship between Satellite-derived Cloud Parameters and Measured Maximum Wind Speed in the Typhoon Genesis Stage(II)

阿部世史之*

Yoshiyuki Abe

Abstract

Satellite-derived cloud parameters of tropical cyclones in the western North-Pacific at the genesis stage are compared with aircraft-measured maximum mean wind speeds (called "MWS") to describe their relationship, and to establish a method which can suggest the possibility of typhoon genesis at least roughly 12 or 24 hours before.

Cloud parameters which express following features were developed from 766 geostationary satellite observations of 45 tropical cyclones (they are called "original parameter").

1) Regional Cb feature

Cumulonimbus activity in the vicinity of a tropical cyclone

2) Band/DO feature

Figure and temperature of curved cloud band or dense cloud overcast

Time operated parameters were produced from original parameters considering certain "time lag" from 0 to 24 hours to MWS observation time, and "time variation" of parameter values in certain time interval from 0 to 24 hours or "time mean" of parameter values in certain time period from 0 to 24 hours (they are called "operational parameter").

The values of operational parameters were categorized into tropical depression and tropical storm intensity category, and into Band pattern and DO pattern category, then investigated the relationship with MWS's using regression and multiple regression analysis.

In the regional Cb feature, time variation values in the circumferential area of the cloud system center with certain time lags have close correlation with MWS's for tropical depressions ($MWS < 35$ knots), and time mean values in the central area with certain time lags have close correlation with MWS's for tropical storms ($MWS \geq 35$ knots). In the Band/DO feature, time variation values with certain time lags have close correlation with MWS's for both tropical depressions and tropical storms.

Using effective operational parameters, four trial "typhoon genesis equations" are detected for two intensity and two pattern categories. Correlation coefficients between calculated values by the equations and MWS's in 12 or 18 hours later are 0.604 as the minimum and 0.802 as the maximum.

In future work, another parameters which express upper level divergence and vorticity calculated by using cirrus drifting motion will be introduced. Then, final typhoon genesis equations will be established.

1. はじめに

北西太平洋に存在する熱帯低気圧のうち、最大風速が風力階級 8 (34 ノット = 17.2 m/s 以上) に達したものが「台風」(Tropical Storm, Severe Tropical Storm, Typhoon) と定義されている。気象庁における台風予報作業では、以下の確認を行って台風の発生を判定している。

- (1) 船舶・海上観測ブイや陸上の観測で熱帯低気圧に伴う風速が 34 ノット以上あることが確認された時。
- (2) ドボラック法(衛星画像解析によって熱帯低気圧の強度に関する指数を得る手法で、気象衛星センターで通常業務として実施)で T 数(強度に関する指数)が 2.5 以上と解析された時。または、T 数が 2.5 未満であるが、衛星画像や船舶等の観測で最大風速が 34 ノット以上に達していると推定された時。

しかし、低緯度域の海洋上で発生しつつある台風の周辺で、陸上や船舶の観測から常に十分な密度と頻度で風速値が得られるとは限らない。グアム島米軍の統合台風警報センターによる飛行機観測も、1987 年途中で廃止されている。またドボラック法では、発達期の CI 数(発達期は T 数と同じ)は 3.0 以下で ± 0.5 程度のバラつきがある(気象庁、1990)ため、T 数だけで台風の発生を判定することは危険が多い。

一方、24 時間以内の台風発生予想も、海上警報への反映等から台風予報作業で重要な要素であるが、同様の理由で発生判定と同じく、あるいはそれ以上に困難な場合が多い。

この問題点に対処するため、予報部予報課と気象衛星センターデータ処理部では共同して、低緯度域の雲の状態を均一に常時監視できる静止気象衛星ひまわり(以下「GMS」という)による画像の特性を生かし、画像データによる客観的な台風発生判定技術の開発に向けて調査を進めている。

衛星画像に見られる台風に伴う雲域の形状や分

布は一見複雑であるが、台風の発達段階に応じた特徴を示しており(Dvorak, 1984)、また規模に応じた特徴も持っている(気象衛星センター、1988)。この調査の目標は、衛星画像で特有な形を示す台風発生期における雲域の特徴を複数のパラメータ値で表し、これらを統計的に得られた式に代入して、ある時刻または近い将来に推定される最大風速を得る手法を開発することである。

この技術開発について、これまで幾つかの基礎的調査が行われてきた。阿部他(1992)は過去の台風について、GMS 画像のスチール写真から抽出した雲特徴のパラメータ値と飛行機観測による最大風速との関係を統計的に調査し、最大風速を観測した時刻との間に時間差を考慮した複数のパラメータ値を組み合わせることによって、台風発生期の最大風速を推定・予想することが可能との見解を示している。

現在はこれまでの関連調査の結果を踏まえ、衛星画像データを使用した客観的な判定技術を開発しているところである。その中で、台風発生期における雲域の特徴と最大風速の間に興味ある関係が見出されたので、以下に報告する。

2. 調査の進め方

Fig.1 に本調査全体の流れの概念を示し、各ステップについて以下に説明する。なお、図中の破線で囲まれたプロセスは、現在進行中の作業であることを示す。

2. 1 調査対象台風の選択と最大風速

データセットの作成(第 1 ステップ)

気象衛星センターで過去に整備された飛行機観測データセット(グアム島米軍の統合台風警報センターによる観測・通報値)から、1981 年 3 月から 1986 年 12 月までの間に北西太平洋で発生した台風のうち、弱い熱帯低気圧(以下「TD」という)の時期を中心に 35 ノット以下の最大風速値が少なくとも 1 回観測され、台風となってから 48 時間

以内には陸地の影響を受けなかった台風を、計45例選択した。これらの台風には、結果的に南シナ海で発生したものは含まれなかった。

各台風につき、調査対象期間は次の通りとした。

- ・ 開始時刻＝最初の飛行機観測時刻から48時間前の時刻
- ・ 終了時刻＝ベストトラック(気象庁予報部が最終的に決定した解析値)で台風となった時刻から48時間以内の最後の飛行機観測時刻

本調査での統計処理(第4ステップ以降)の目的変数として、各台風の対象期間に飛行機で観測された最大風速のデータセットを作成した。資料数は290個となった。

この他に、選択台風の経路図と各台風の対象期間内のベストトラックデータを整備し、本調査の基礎資料とした。

2.2 調査用画像データセットの作成 (第2ステップ)

GMSのVISSR画像データ保存磁気テープから、各台風の調査対象期間の画像データセットを以下の通り作成した。なお、画像データは全て赤外である。

- (1) 統計画像データセット
 - ・ メルカトル投影画像
 - ・ 256ピクセル×256ライン(1画素約5km四方、全体で約1,200km四方の領域)
 - ・ 画像領域の中心は対象台風の各時刻における雲システムの中心
 - ・ 45台風の6時間毎766時刻分(欠測やデータ値異常の時刻分を除く)
- (2) 風ベクトル算出用画像データセット
 - ・ 全球画像
 - ・ 通常の風ベクトル算出処理における30分間隔のB画像とC画像(A画像の保存なし)
 - ・ 42台風の12時間毎354時刻分(00UTC

と12UTC。3台風分で衛星不調により風観測が欠測)

2.3 調査対象期間での

雲特徴パラメータの測定(第3ステップ)

GMSの連続した雲画像を見ると、熱帯低気圧が低圧部の段階からTD・台風へと発達していく過程で、雲域には以下の現象が認められる。

- ・ Cbクラスターの増加
低圧部の段階では、伴う雲システムの中心(以下「CSC」と言う)からやや離れた場所にCbクラスターが散在している程度であるが、それが次第に領域を増しながらCSC付近に集まって孤立化してくるとTDとして認識できる。さらにそれが雲バンド(明瞭な低気圧性曲率を持ってCSCに巻き込む活発な対流雲のバンド)やDO(CSC付近で明瞭・活発なほぼ円形を成す対流雲の天蓋=Dence Overcast)の様相を呈してくると、台風へと発達する。
- ・ スパイラルバンドの鮮明化
下層循環が一層明瞭となるに従って、活発な対流雲のラインの低気圧性曲率が増大し、Cbクラスターの増加と相まって螺旋状にCSCに巻き込む雲バンドが鮮明となってくる。
- ・ 回転の明瞭化
上層発散と下層循環が強化されるに従って、上層雲(Ci)の高気圧性吹き出しと下層雲(Cu)の低気圧性巻き込みが明瞭となってくる。さらに上層発散と下層循環の中心が接近してくる。
本調査では、調査用画像データセットを使用して、上記の雲特徴を表す「オリジナルパラメータ」を以下の通り測定する。
なお、CSCは
 - ・ 低気圧性に湾曲した下層雲列の弧で示される共有円の中心
 - ・ 高気圧性に吹き出す上層雲ストリークの弧で示される共有円の中心

- ・ コンマ状に巻き込む活発な対流雲バンドの頭部内側の縁に見られる変曲点
- ・ 下層雲渦の中心
- ・ 眼の中心

などによって決定される。

(1) 領域別Cb特徴(統計画像データセットを使用)

Zehr(1988)は1983～84年に北西太平洋で発生した台風について、CSCから緯度6°半径の領域内におけるCbクラスターの面積を赤外等価黒体温度(以下「T_{BB}」という)が-65°C以下の画素(10km×10km)の数で表し、低圧部からTD・台風に至る期間の画素数の時間変化を調べた。これによると、TDとなる以前に明瞭な画素数の極大が現れ、台風最盛期の画素数にも匹敵している。

このような特定領域での特定T_{BB}値以下の画素数変化と熱帯低気圧の発達と比較した調査結果は幾つか報告されているが、領域についてはCSCを中心とする円やリング・正方形などとしている他、T_{BB}のしきい値についても様々で、調査方法は固定されていない。また、領域についてCSCからの方向を考慮した調査例は少ないが、阿部他(1992)は、特定方向の領域におけるCbクラスターの状態が最大風速と関係が深いと報告している。

これらの報告結果を考慮し、本調査では、CSCから半径500 km以内で複数の同心円と2本(北西-南東、北東-南西)の放射状線で分割された領域毎に、各領域の総画素数に占める-60°C以下および-70°C以下のT_{BB}を持つ画素数の割合(百分率)を数値化する。Fig. 2に、その測定方法と内容を示す。同心円の半径は、250 kmと500 kmの組、および166.7 km、333.3 kmと500 kmの組の、計2組とする。CSCを含む領域のみ円形で、他の領域は扇形の形状である。こ

のパラメータは、熱帯低気圧周辺の深い対流の特徴を表す。

(2) バンド/DO特徴(統計画像データセットを使用)

Dvorak(1984)は、静止気象衛星で観測される熱帯低気圧に伴う雲システムについて、その形状や温度の特徴をいくつかの雲パターンに層別化して数値化し、強度(最大風速)を表す指数を求める手法を確立した。台風発生期においても、阿部他(1992)は、雲パターンで層別化した雲システムの特徴が最大風速と関係が深いと報告している。

台風の発生段階で代表的に現れる雲システムのパターンは、上層寒冷渦近傍で発生する特殊な例を除いて

- ・ バンドパターン(明瞭な低気圧性曲率を持ってCSCに巻き込む活発な対流雲のバンドを持つ)
- ・ DOパターン(CSC付近で明瞭・活発なほぼ円形を成す対流雲の天蓋=Dence Overcastを持つ)がほとんどである。

本調査では、台風発生期の雲システムのパターンをこれら2つに層別化し、バンドやDOの形状と温度の特徴を数値化する。Fig. 3.1とFig. 3.2に、その測定方法と内容を示す。このパラメータは、循環の強さや対流雲の集中の特徴を表す。

(3) 上層特徴(風ベクトル算出用画像データセットを使用)

本特徴の数値化については調査対象の全台風について未だ完了していないため、第5章「今後の課題」で記述する。

2. 4 パラメータ値と最大風速との関係の統計的調査(第4ステップ)

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

熱帯低気圧の生成／発達／衰弱に寄与するかについて、Gray(1981)はその概念を次のように説明している。

まず、流入する熱帯大気の激しい対流活動による潜熱放出の結果、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て風速が強まる。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繰り返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。

両者の時間差を伴った相関関係については、過去いくつかの調査結果が報告されている。Gentry他(1980)は、熱帯低気圧のCSCを中心として緯度半径 12° 以内の領域を緯度半径 1° 間隔の同心円で作られる12個のリング状領域に分割し、各領域内の T_{BB} の平均値を6時間毎に求めて、将来の最大風速との相関関係を調査した。弱い熱帯低気圧では、リング2(半径 $1^\circ \sim 2^\circ$)とリング3(半径 $2^\circ \sim 3^\circ$)を合わせた T_{BB} 平均値と24時間後の最大風速との相関が良く(相関係数の最高は0.547)、強い熱帯低気圧では、リング1(半径 1° の円)・リング2・リング3を合わせた T_{BB} 平均値と24時間後の最大風速との相関が良い(相関係数の最高は0.781)と報告している。また島田他(1982)は、Gentry他の調査手順に準じた方法で、将来の中心気圧との相関関係を調査した。発達段階の台風では、リング1とリング2のそれぞれの T_{BB} 平均値と12～24時間後の中心気圧との相関が良い(相関係数の最高は0.560)との結果を得ている。一方Steranka他(1986)は、大西洋の熱帯低気圧について衛星による T_{BB} とベストトラックによる最大風速の相関関係を調査し、深い対流が9時間または

それ以上持続し、熱帯低気圧中心部の面積平均 T_{BB} (6時間平均)が238Kまたはそれ以下であった場合に71%の割合で24時間後の最大風速が5m/sまたはそれ以上増大したと報告している。

このような調査結果を受けて、本調査では2.3節で示した3つの特徴を表すオリジナルパラメータを使用して、最大風速観測時刻との「時間差」やパラメータ値の「時間変化量」と「時間平均値」の操作を施した「操作パラメータ」を作成し、これらを説明変数として最大風速との関係を統計的に調査する。ここで、時間差および時間変化量と時間平均値を以下のように定義する。具体的には、Table 1に示す通りである。

- ・ 時間差＝飛行機観測による最大風速の観測時刻(最も近い6時間毎の時刻に見なす)と、比較するパラメータの時刻(衛星観測時刻)との時間的なずれ
- ・ 時間変化量＝特定の時間間隔でのパラメータ値の差
- ・ 時間平均値＝特定の時間幅内でのパラメータ値の平均

このような時間操作を施した操作パラメータについて、最大風速については

- ・ 最大風速が35ノット未満の場合
- ・ 最大風速が35ノット以上の場合
- ・ 最大風速のしきい値を設定しない場合

に、また発生期の雲パターンについては

- ・ バンドパターンで発生した台風の場合
- ・ DOパターンで発生した台風の場合
- ・ パターンを区別しない場合(バンド/DO特徴は除く)

に層別化して最大風速値と比較し、両者間の統計的関係を調べる。この層別化は、TD期と台風期では、また異なる雲パターンでは、雲域の特徴も異なることが予想されるために行うものである。

なお、飛行機観測による最大風速値は5ノット単位のため、本調査でのしきい値は台風発生やしきい値である34ノットではなく、35ノットとし

ている。

2. 5 「判定パラメータ」の確定(第5ステップ)

領域別Cb特徴、バンド/DO特徴、上層特徴それぞれに最大風速との間の相関関係が比較的高い操作パラメータを選択して3~4個ずつ組み合わせ、最大風速との間の相関関係を調べる。この結果に基づいて、最大風速との相関関係が最も高い組み合わせを特定し、「判定パラメータ」とする。判定パラメータは3通りの特徴毎に、バンドとDOの2通りの発生パターン、および35ノット未満と以上の2通りの最大風速グループに対し、合計12組(3×2×2)確定する。

2. 6 「台風発生判定式」の確定(第6ステップ)

前ステップで確定された3通りの特徴を表す判定パラメータを組み合わせ、最大風速との間の相関関係を調査する。この結果に基づいて、現在または近い将来の最大風速を推定する「台風発生判定式」を、バンドとDOの2通りの発生パターン、および35ノット未満と以上の2通りの最大風速グループに対し、合計4通り確定する。

3. 調査の結果

上層特徴を表すオリジナルパラメータは調査対象の全台風について未だ完了していないため、本章では領域別Cb特徴およびバンド/DO特徴と最大風速との関係について記述する。

3. 1 領域別Cb特徴の操作パラメータと最大風速との統計的關係

領域別Cb特徴の操作パラメータについて、最大風速との統計的關係を各領域毎に調査した。

Fig. 2 で示したように、領域別Cb特徴のオリジナルパラメータは、167 km 半径9領域と250 km 半径5領域の計14領域毎に、

- ・ (各領域内の $T_{BB} - 60^{\circ}\text{C}$ 以下の画素数/その領域内の総画素数) $\times 100$

- ・ (各領域内の $T_{BB} - 70^{\circ}\text{C}$ 以下の画素数/その領域内の総画素数) $\times 100$

で表す「Cb占有率」で数値化された。

これらのオリジナルパラメータに

- ・ 時間変化量(25操作)
- ・ 時間平均値(20操作)

の操作を施して、領域別Cb特徴の操作パラメータを得た(時間操作はTable 1を参照)。1観測時刻における操作パラメータの数は、

- ・ 167km半径領域の時間変化量：
2温度帯(-60°C 以下, -70°C 以下) \times
9領域 \times 25操作=450個
- ・ 167km半径領域の時間平均値：
2温度帯(-60°C 以下, -70°C 以下) \times
9領域 \times 20操作=360個
- ・ 250km半径領域の時間変化量：
2温度帯(-60°C 以下, -70°C 以下) \times
5領域 \times 25操作=250個
- ・ 250km半径領域の時間平均値：
2温度帯(-60°C 以下, -70°C 以下) \times
5領域 \times 20操作=200個

(合計1,260個)

である。

これらの操作パラメータの値を、発生パターンについては

- ・ バンドパターンで発生した台風の場合
- ・ DOパターンで発生した台風の場合
- ・ パターンを区別しない場合

の3通り、また最大風速については

- ・ 最大風速が35ノット未満の場合
- ・ 最大風速が35ノット以上の場合
- ・ 最大風速のしきい値を設定しない場合

の3通り、計9通りに層別化して最大風速値と比較し、両者間の統計的關係を調べた。一定の相関係数を越えた操作パラメータの個数を、Table 2.1~2.3に示す。

領域別Cb特徴で認められる操作パラメータと最大風速との間の主な関係は、以下の通りである。

(1) 35ノット未満の最大風速との関係

- ・ 領域別Cb特徴の操作パラメータ 1,260個のうち、絶対値0.30以上の相関係数を持つ操作パラメータの個数は、パターンを区別しない場合は僅か4個(最大で - 0.311)であるが、バンドパターンに限った場合で 101個(最大で - 0.439)、DOパターンに限った場合で 46個(最大で - 0.537)見出された。パターンを区別しない場合に比べ、パターン個別の方が高い相関関係を持つ操作パラメータの個数が圧倒的に多く、相関係数の値も高い。これは、バンドパターンとDOパターンで発生する台風では、TD期でCSC周辺に現れる対流雲の分布状況と時間的盛衰が異なることを示す。
- ・ パターンを分けた場合、相対的に高い相関関係を持つのは時間変化量に属す操作パラメータである。これは、TD期では、CSC周辺のある領域での対流雲の時間的増減が最大風速の変化と深く関連していることを示す。
- ・ 時間平均値では、ほとんどが負の相関関係となっている。これは、TD期ではある領域で対流雲の少ない状態が持続すると最大風速が強まる、または多い状態が持続すると最大風速が弱まることを示す。
- ・ 周辺部 (Fig.2 の領域4以外) における操作パラメータが、高い相関関係を持つ。これは、TD期では2.4節で示した「弱い熱帯低気圧ではリング2と3の T_{BB} 平均と24時間後の最大風速との相関が良い」とのGentry他の報告結果を支持している。
- ・ 相関係数の絶対値が最大となる操作パラメータは、正負それぞれに以下の通りである。

(バンドパターン)

167 km半径領域(5)での - 70°C以下のCb占有率の12時間前の前24時間変化量

(単相関係数 = + 0.395)

250km半径領域(3)での - 60°C以下のCb占有率の12時間前の前6時間変化量

(単相関係数 = - 0.439)

(DOパターン)

250 km半径領域(1)での - 60°C以下のCb占有率の当時刻の前6時間変化量

(単相関係数 = + 0.400)

167 km半径領域(6)での - 60°C以下のCb占有率の6時間前の前6時間変化量

(単相関係数 = - 0.537)

(2) 35ノット以上の最大風速および全最大風速との関係

- ・ パターンを区別しない場合と比べ、パターン個別の方が高い相関関係を持つ個数がやや増加するが、相関係数の値については特に大きな差異はない。これは、台風が発達してからは、バンドパターンとDOパターンでCSC周辺の対流雲分布状況の時間的動向に大きな差異がないことを示す。
- ・ 絶対値 0.40 以上の相関係数を持つ個数が多いのは、時間平均値に属す操作パラメータである。相関係数の値も相対的に高い。これは、台風が発達してからは、CSC周辺の対流雲の時間的持続が最大風速の変化と深く関連していることを示す。
- ・ 時間平均値で、167km半径領域の方が250km半径領域より相関関係がやや高い。
- ・ 時間変化量、時間平均値とも、相関係数が - 0.40 以下の負の相関関係を持つ操作パラメータは全くない。これは、台風が発達した後は、例えばCSC付近の対流雲量が減少すると最大風速が強まるといった負の相関関係が、あまりないことを示す。
- ・ 中心部 (Fig. 2 の領域(1)) における操作パラメータが、高い相関関係を持つ。これも2.4節で示したGentry他の報告結果を支持している。

- ・ 最も高い相関関係を持つ操作パラメータは、以下の通りである。

(バンドパターン)

167 km半径領域(1)での - 70°C以下のCb占有率の当時刻の前5時刻平均量

(単相関係数=+0.538)

(DOパターン)

167 km半径領域(1)での - 70°C以下のCb占有率の18時間前の前5時刻平均量

(単相関係数=+0.523)

なお、最大風速のしきい値を35ノットとしたのは、TDと台風では最大風速と関係する雲特徴が異なるであろうとの発想による。試みにしきい値を40ノットとすると、40ノット未満の最大風速と相関関係が高い操作パラメータの個数は、35ノット未満の時と比べて極端に少なくなった。

3.2 バンド特徴の操作パラメータと最大風速との統計的關係

バンドパターンで発達した台風に関し、バンド特徴の操作パラメータについて、最大風速との統計的關係を調査した。

Fig.3.1で示したように、バンド特徴のオリジナルパラメータは、バンドの形状に関する情報グループ(19個)とバンドの温度に関する情報グループ(14個)、および両情報の組み合わせグループ(266個)の、計299個が数値化された。

これらのオリジナルパラメータに

- ・ 時間変化量(25操作)
- ・ 時間平均値(20操作)

の操作を施して操作パラメータを得た。1観測時刻における操作パラメータの数は、

- ・ 時間変化量：299パラメータ×25操作
=7,475個
 - ・ 時間平均値：299パラメータ×20操作
=5,980個
- (合計 13,455個)

である。

2.3節で述べたように、衛星画像では、熱帯低気圧の下層循環が強まるとCbクラスターで構成された雲バンドの頭部が次第にCSCに接近し、最終的にこれを取り込む現象が良く見られる。従って、(a) = 「CSCからバンド頭部までの距離」が例え同じ値であっても、CSCがバンド内にある場合とバンド外にある場合とでは値の重みを変える方が良い。そこで、(c) = 「CSCのバンドに対する位置」を考慮することにする。またコリオリ因子も、Gray (1975) が示すように台風が発生する段階で気流の循環を力学的に強める重要な要素である。従って、オリジナルパラメータのうち形状に関する情報グループ (Fig.3.1中の(1)、両情報の組み合わせグループ(3)も含む)のパラメータ値について

- ・ パラメータ値をそのまま使用した場合
- ・ (c) = 「CSCのバンドに対する位置」がバンド頭部の「内側または縁」であれば、パラメータ値に2を乗じる場合
- ・ パラメータ値をCSCの緯度によるコリオリ因子(×104)で除す場合
- ・ (c) とコリオリ因子の双方を組み込んだ場合

の4通りに層別化した。

さらに、最大風速のしきい値について

- ・ 最大風速が35ノット未満の場合
- ・ 最大風速が35ノット以上の場合

の2通りに層別化して最大風速値と比較し、両者間の統計的關係を調べた。

バンド特徴で認められる操作パラメータと最大風速との間の主な関係は、以下の通りである(結果の表は省略する)。

(1) 35ノット未満の最大風速との関係

- ・ コリオリ因子を組み込むと相関関係が高くなる。これは、TD期の最大風速の増大にコリオリ因子が重要な関係を持つことを示す。
- ・ (c) = 「CSCのバンドに対する位置」の

効果はない。これは、領域別Cbパラメータの場合で、35ノット未満の最大風速と相関関係が高いのが周辺部の状態であったことと同様の要因と思われる。すなわち、TD期にはバンドを構成するCbクラスターはCSCと離れていることがほとんどであるため、「CSCのバンドに対する位置」が作用しないのであろう。

- ・ 時間変化量は高い相関関係を持つ操作パラメータが多く見出される。相関係数が+0.40以上の正の相関関係を持つ時間操作は、V15(Table 1 参照) = 「12時間前の前12時間変化量」とV18 = 「18時間前の前12時間変化量」である。一方、相関係数が-0.40以下の負の相関関係を持つ時間操作は、V07 = 「6時間前の前6時間変化量」とV24 = 「24時間前の前18時間変化量」である。

- ・ コリオリ因子を組み込んだ場合、時間変化量で相関係数が+0.50を越えたのは、

ORGB(8,0) = (e)による

ORGB(9,0) = (e)と(a)の組み合わせによる

ORGB(11,0) = (e)と(1)の組み合わせによる

ORGB(8,5) = (e)と(k)の組み合わせによる

ORGB(8,9) = (e)と(j), (k)の組み合わせによる

ORGB(9,5) = (e)と(a), (k)の組み合わせによる

ORGB(9,9) = (e)と(a), (j), (k)の組み合わせによる

ORGB(11,5) = (e)と(k), (1)の組み合わせによる

ORGB(11,9) = (e)と(j), (k), (1)の組み合わせによる

である。(e) = 「適合した対数螺旋の焦点位置に対するバンドの周回数」が最も効い

ている。

- ・ 時間変化量で、温度に関する情報グループでは、(j) = 「バンド内の T_{BB} 平均」と(k) = 「バンド内の T_{BB} 標準偏差」が有効である。
- ・ 時間平均値で、相関係数の絶対値が0.40以上の操作パラメータはORGB(8,5)に(c) = 「CSCのバンドに対する位置」とコリオリ因子を組み込んだ値の24時間前の前6時間平均値(単相関係数 = -0.402)の1個のみである。

- ・ 相関係数の絶対値が最大となる操作パラメータは、正負それぞれに以下の通りである。

ORGB(9,0)にコリオリ因子を組み込んだ値の12時間前の前12時間変化量

(単相関係数 = +0.531)

ORGB(8,9)にコリオリ因子を組み込んだ値の6時間前の前6時間変化量と

ORGB(9,9)にコリオリ因子を組み込んだ値の6時間前の前6時間変化量

(同値, 単相関係数 = -0.489)

(2) 35ノット以上の最大風速との関係

- ・ (c) = 「CSCのバンドに対する位置」は効果がある。これは、領域別Cb特徴の場合で、35ノット以上の最大風速と相関関係が高いのが中心部の状態であったことと同様の要因と思われる。すなわち、台風となってからは、バンドを構成するCbクラスターはCSCに接近または内包しているために、「CSCのバンドに対する位置」が作用するのであろう。

- ・ コリオリ因子の効果はない。
- ・ 時間変化量は高い相関関係を持つ操作パラメータが多く見出される。相関係数が+0.50以上の正の相関関係を持つ時間操作は、V01 = 「当時刻の値」、V11 = 「12時間前の値」、V16 = 「18時間前の値」、V21 = 「24時間前の値」がほとんどで、いずれも

時間変化を取らない値である。一方、相関係数が - 0.50 以下の負の相関関係をもつ操作パラメータは全くない。

- ・ 時間変化量で、相関係数が + 0.50 を越えた操作パラメータの上位7つは、

ORGB(14, 0) = (f)と(d),(e)の組み合わせによる

ORGB(16, 0) = (f)と(a),(d),(e)の組み合わせによる

ORGB(17, 0) = (f)と(d),(e),(l)の組み合わせによる

ORGB(19, 0) = (f)と(a),(d),(e),(l)の組み合わせによる

ORGB(2, 1) = (f)と(g)の組み合わせによる

ORGB(2, 2) = (f)と(h)の組み合わせによる

ORGB(2, 10) = (f)と(g),(i)の組み合わせによる

である。(f) = 「バンド軸に適合した対数螺旋の交角」が最も効いている。

- ・ 温度に関する情報グループでは、(g) = 「バンドを構成する総画素数」と(h) = 「バンド内の - 60°C以下の画素数」が有効である。
- ・ 時間平均値で、相関係数の絶対値が0.50以上の操作パラメータは全くない。
- ・ 最も高い相関関係を持つ操作パラメータは、以下の通りである。

ORGB(2, 1)に(c) = 「CSCのバンドに対する位置」を組み込んだ値の24時間前の値
(単相関係数 = + 0.557)

3. 3 DO特徴の操作パラメータと最大風速との統計的關係

DOパターンで発達した台風に限り、DO特徴の操作パラメータについて、最大風速との統計的關係を調査した。

Fig.3.2 で示したように、DO特徴のオリジナルパラメータは、DOの形状に関する情報グループ(6個)とDOの温度に関する情報グループ(14個)、および両情報の組み合わせグループ(84個)の、計104個が数値化された。

これらのオリジナルパラメータに

- ・ 時間変化量(25操作)
- ・ 時間平均値(20操作)

の操作を施して操作パラメータを得た。1観測時刻における操作パラメータの数は、

- ・ 時間変化量：104パラメータ×25操作 = 2,600個
 - ・ 時間平均値：104パラメータ×20操作 = 2,080個
- (合計 4,680個)

である。

バンド特徴と同様の理由で、(c) = 「CSCのDOに対する位置」とコリオリ因子を考慮する。従って、オリジナルパラメータのうち形状に関する情報グループ(Fig.3.2中の(1)、両情報の組み合わせグループ(3)も含む)のパラメータ値について

- ・ パラメータ値をそのまま使用した場合
- ・ (c) = 「CSCのDOに対する位置」がDOの「内側または縁」であれば、パラメータ値に2を乗じる場合
- ・ パラメータ値をCSCの緯度によるコリオリ因子(×104)で除す場合
- ・ (c)とコリオリ因子の双方を組み込んだ場合

の4通りに層別化した。

さらに、最大風速のしきい値について

- ・ 最大風速が35ノット未満の場合
- ・ 最大風速が35ノット以上の場合

の2通りに層別化して最大風速値と比較し、両者間の統計的關係を調べた。

DO特徴で認められる操作パラメータと最大風速との間の主な関係は、以下の通りである(結果の表は省略する)。

(1) 35ノット未満の最大風速との関係

・ バンド特徴の操作パラメータと同様に、コリオリ因子を組み込むと相関関係が高くなる。

・ (c) = 「CSCのDOに対する位置」の効果はあまりない。バンド特徴の操作パラメータと同様の理由によると思われる。唯一、
 $ORGD(1,0) = (a)$ による
 に対してのみ効果がある。

・ バンド特徴の操作パラメータと同様に、時間変化量の方が高い相関関係を持つ操作パラメータの個数が圧倒的に多く、相関係数の値も高い。

・ 時間平均値で、高い相関関係を持つ操作パラメータは極く少ない。絶対値が0.30以上の相関係数を持つ時間操作は、M02 = 「当時刻の前2時刻平均値」とM07 = 「6時間前の前2時刻平均値」のみである。

・ 形状に関する情報グループの時間変化量で、相関係数の絶対値が0.30以上であるのは、最大風速観測時刻との時間差がない場合である。ほとんどが正の相関関係であるが、相関係数は+0.40以下である。

・ 温度に関する情報グループの時間変化量には、最大風速と高い相関関係を持つものが多い。(g), (h), (i), (j)の組み合わせによるパラメータであり、中でも

$$ORGD(0,7) = (g), (i) \text{の組み合わせによる}$$

が最も相関関係が高い。また、正の相関関係で有効な時間操作は、V21 = 「24時間前の値」とV22 = 「24時間前の前6時間変化量」であり、負の相関関係ではV13 = 「12時間前の前12時間変化量」である。

・ 両情報の組み合わせグループの時間変化量で、相関係数の絶対値が0.40以上である操作パラメータは、

$$ORGD(3,7) = (a) \text{と} (g), (i) \text{の組み合わせによる}$$

わせによる

$$ORGD(3,13) = (a) \text{と} (g), (i), (j) \text{の組み合わせによる}$$

$$ORGD(3,14) = (a) \text{と} (h), (i), (j) \text{の組み合わせによる}$$

にコリオリ因子を組み込んだもので、いずれもV13 = 「12時間前の前12時間変化量」である。

・ 相関係数の絶対値が最大となる操作パラメータは、正負それぞれに以下の通りである。

$$ORGD(1,2) \text{に} (c) = \text{「CSCのDOに対する位置」を組み込んだ値の当時刻の値} \\ \text{(単相関係数} = +0.393 \text{)}$$

$$ORGD(0,7) \text{の} 12 \text{時間前の前} 12 \text{時間変化量} \\ \text{(単相関係数} = -0.519 \text{)}$$

(2) 35ノット以上の最大風速との関係

・ バンド特徴の操作パラメータと同様に、(c) = 「CSCのDOに対する位置」を組み込むと相関関係が高くなる。

・ 同じく、コリオリ因子の効果はない。

・ 時間変化量の方が、高い相関関係を持つ操作パラメータの個数がやや多く、相関係数もやや高い。

・ 時間変化量、時間平均値とも、相関係数 - 0.40以下の負の相関関係を持つ操作パラメータは全くない。これは、台風に発達した後は、例えばDOの径が小さくなると最大風速が強まるといった負の相関関係が、あまりないことを示す。

・ 形状に関する情報グループの時間変化量で、相関係数が+0.40を越えたのは

$$ORGD(6,0) = (a) \text{と} (d), (e), (f) \text{の組み合わせによる}$$

である。時間操作はV16 = 「18時間前の値」である。

・ 温度に関する情報グループの時間変化量で、相関係数が+0.40を越えたのは、(h),

(i), (k) の組み合わせによる操作パラメータである。中でも

ORGD(0,5) = (k)による

ORGD(0,9) = (j)と(k)の組み合わせによる

が最も相関関係が高い。時間操作はともに V06 = 「6時間前の値」である。

- ・ 両情報の組み合わせグループの時間変化量で、相関係数が + 0.40 を越えた操作パラメータの上位5つは、

ORGD(1,5) = (a) と (k) の組み合わせによる

ORGD(1,9) = (a) と (j), (k) の組み合わせによる

ORGD(6,4) = (a), (d), (e), (f) および (j) の組み合わせによる

ORGD(6,6) = (a), (d), (e), (f) および (g), (h) の組み合わせによる

ORGD(6,12) = (a), (d), (e), (f) および (g), (h), (j) の組み合わせによる

に(c) = 「CSCのDOに対する位置」を組み込んだものである。前の2つはV06 = 「6時間前の値」、後の3つはV16 = 「18時間前の値」で、ともに時間変化を取らない値である。

- ・ 時間平均値で、高い相関関係を持つ操作パラメータは少ない。+ 0.40以上の相関関係を持つ時間操作は、M03 = 「当時刻の前3時刻平均値」とM19 = 「18時間前の前4時刻平均値」がほとんどである。

- ・ 最も高い相関関係を持つ操作パラメータは、以下の通りである。

ORGD(1,9)に(c) = 「CSCのDOに対する位置」を組み込んだ値の6時間前の値 (単相関係数 = + 0.448)

3. 4 パターン別の判定パラメータの試作

領域別Cb特徴とバンド/D O特徴の各操作パラメータのうち、それぞれに35ノット未満および35ノット以上の最大風速との相関関係が比較的高いものを3~4個ずつ選択して組み合わせ、重回帰分析によって最大風速との統計的な関係を調べた。

最終的に確定する台風発生判定式は、TDが台風に発達する可能性を事前に示唆できる内容としたい。このため、操作パラメータの選択にあたっては、比較した最大風速の観測時刻との時間差が12時間以上あるものを対象とし、12時間未満のものはたとえ相関関係が高くても使用しないことにした。

以下、領域別Cb特徴の判定パラメータ(バンドパターン用、D Oパターン用)とバンド/D O特徴の判定パラメータについて記述する。

3. 4. 1 領域別Cb特徴の判定パラメータ

次の組み合わせが最大風速との相関関係が最も高く、これをそれぞれのパターンの領域別Cb特徴を表す判定パラメータとして抽出した。

(1) バンドパターン

- ① 35ノット未満の最大風速との関係を表す判定パラメータ

PPRX(1) = 167 km半径領域(5)での-70℃以下のCb占有率の12時間前の前24時間変化量 (12時間前の値 - 36時間前の値) (単相関係数: + 0.395)

PPRX(2) = 250 km半径領域(3)での-60℃以下のCb占有率の12時間前の前6時間変化量 (12時間前の値 - 18時間前の値) (単相関係数: - 0.439)

PPRX(3) = 250 km半径領域(5)での

− 60℃以下のCb占有率の
24時間前の前6時間変化量
(24時間前の値 − 30時間前の値)
(単相関係数：+0.372)

PPRX(4) = 250 km 半径領域(4)での
− 60℃以下のCb占有率の
12時間前の前2時刻平均値
(12・18時間前の値の平均)
(単相関係数：−0.410)

- ・ これらの組み合わせによる35ノット未満の最大風速との重相関係数：+0.677
- ② 35ノット以上の最大風速との関係を表す判定パラメータ

PPRX(5) = 167 km 半径領域(1)での
− 70℃以下のCb占有率の
18時間前の値
(18時間前の値そのまま)
(単相関係数：+0.445)

PPRX(6) = 167 km 半径領域(1)での
− 70℃以下のCb占有率の
18時間前の前5時刻平均値
(18・24・30・36・42時間前の値の平均)
(単相関係数：+0.531)

PPRX(7) = 250 km 半径領域(1)での
− 60℃以下のCb占有率の
18時間前の前5時刻平均値
(18・24・30・36・42時間前の値の平均)
(単相関係数：+0.452)

- ・ これらの組み合わせによる35ノット以上の最大風速との重相関係数：+0.571
- (2) DOパターン

- ① 35ノット未満の最大風速との関係を表す判定パラメータ
- PPRX(8) = 167 km 半径領域(6)での
− 60℃以下のCb占有率の
12時間前の前24時間変化量
(12時間前の値 − 36時間前の値)
(単相関係数：+0.390)

PPRX(9) = 167 km 半径領域(2)での
− 70℃以下のCb占有率の
24時間前の前24時間変化量
(24時間前の値 − 48時間前の値)
(単相関係数：−0.457)

PPRX(10) = 167 km 半径領域(4)での
− 70℃以下のCb占有率の
24時間前の前24時間変化量
(24時間前の値 − 48時間前の値)
(単相関係数：+0.350)

PPRX(11) = 167 km 半径領域(7)での
− 70℃以下のCb占有率の
12時間前の前4時刻平均値
(12・18・24・30時間前の値の平均)
(単相関係数：−0.322)

- ・ これらの組み合わせによる35ノット未満の最大風速との重相関係数：+0.563
- ② 35ノット以上の最大風速との関係を表す判定パラメータ

PPRX(12) = 167 km 半径領域(1)での
− 60℃以下のCb占有率の
18時間前の値
(18時間前の値そのまま)
(単相関係数：+0.413)

PPRX(13) = 167 km 半径領域(1)での
− 70℃以下のCb占有率の
18時間前の前5時刻平均値
(18・24・30・36・42時間前の値の平均)
(単相関係数：+0.523)

PPRX(14) = 250 km 半径領域(1)での
− 70℃以下のCb占有率の
18時間前の前4時刻平均値
(18・24・30・36時間前の値の平均)
(単相関係数：+0.471)

- ・ これらの組み合わせによる35ノット以上の最大風速との重相関係数：+0.535

3. 4. 2 バンド/D O特徴の判定パラメータ

次の組み合わせが最大風速との相関関係が最も高く、これをバンド/D O特徴を表す判定パラメータとして抽出した。

なお、以下の判定パラメータの説明では、次の略号を使用している。

- ・ CSCP: バンド特徴の(c) = 「C S Cのバンドに対する位置」またはD O特徴の(c) = 「C S CのD Oに対する位置」がバンド頭部またはD Oの「内部または縁」であればパラメータ値に2を乗じること(「外部」であれば値はそのまま)
- ・ CORI: C S C緯度によるコリオリ因子(10^4 倍)

(1) バンド特徴

以下のORGB(X,Y)はバンド特徴のオリジナルパラメータである(Fig.3.1を参照)。

- ① 35ノット未満の最大風速との関係を表す判定パラメータ

PPRY(1)=ORGB(9,0)をCORIで除した値の12時間前の前12時間変化量

(12時間前の値-24時間前の値)
(単相関係数: +0.531)

PPRY(2)=ORGB(11,0)をCORIで除した値の12時間前の前12時間変化量

(12時間前の値-24時間前の値)
(単相関係数: +0.526)

PPRY(3)=ORGB(5,5)をCORIで除した値の18時間前の前12時間変化量

(18時間前の値-30時間前の値)
(単相関係数: +0.475)

PPRY(4)=ORGB(13,9)にCSCPを乗じ

てCORIで除した値の24時間前の前18時間変化量

(24時間前の値-42時間前の値)
(単相関係数: -0.432)

- ・ これらの組み合わせによる35ノット未満の最大風速との重相関係数: +0.622

- ② 35ノット以上の最大風速との関係を表す判定パラメータ

PPRY(5)=ORGB(2,1)にCSCPを乗じた値の24時間前の値

(24時間前の値そのまま)
(単相関係数: +0.557)

PPRY(6)=ORGB(2,2)にCSCPを乗じた値の24時間前の値

(24時間前の値そのまま)
(単相関係数: +0.555)

PPRY(7)=ORGB(5,5)にCSCPを乗じた値の12時間前の値

(12時間前の値そのまま)
(単相関係数: +0.543)

PPRY(8)=ORGB(10,9)にCSCPを乗じた値の18時間前の値

(18時間前の値そのまま)
(単相関係数: +0.542)

- ・ これらの組み合わせによる35ノット以上の最大風速との重相関係数: +0.649

(1) D O特徴

以下のORGD(X,Y)はD O特徴のオリジナルパラメータである(Fig.3.2を参照)。

- ① 35ノット未満の最大風速との関係を表す判定パラメータ

PPRY(9)=ORGD(0,7)の12時間前の前12時間変化量

(12時間前の値-24時間前の値)
(単相関係数: -0.519)

PPRY(10)=ORGD(0,7)の24時間前の前6時間変化量

(24時間前の値-30時間前の値)

(単相関係数: +0.370)

PPRY(11)=ORGD(0, 14) の 12 時間前の
前 24 時間変化量

(12 時間前の値 - 36 時間前の値)

(単相関係数: -0.463)

PPRY(12)=ORGD(5, 8) を CORI で除し
た値の 12 時間前の前 24 時
間変化量

(12 時間前の値 - 36 時間前の値)

(単相関係数: -0.323)

・ これらの組み合わせによる 35 ノット
未満の最大風速との重相関係数: +0.649

② 35 ノット以上の最大風速との関係を表
す判定パラメータ

PPRY(13)=ORGD(6, 0) の 18 時間前の
前 5 時刻平均値

(18・24・30・36・42 時間前の値の平均)

(単相関係数: +0.409)

PPRY(14)=ORGD(1, 4) に CSCP を乗じ
た値の 24 時間前の値

(24 時間前の値そのまま)

(単相関係数: +0.409)

PPRY(15)=ORGD(6, 6) の 18 時間前の値
(18 時間前の値そのまま)

(単相関係数: +0.441)

PPRY(16)=ORGD(6, 6) に CSCP を乗じ
た値の 18 時間前の前 5 時刻
平均値

(18・24・30・36・42 時間前の値の平均)

(単相関係数: +0.408)

・ これらの組み合わせによる 35 ノット
以上の最大風速との重相関係数: +0.603

3. 5 台風発生判定式の試作

前節で得られたパターン別と最大風速別の判
定パラメータを全て組み合わせ、最大風速との
間で重回帰分析を行った。得られた重回帰係数
等を使用して、以下に示す 4 通りの台風発生判

定式を試作した。

バンドパターン用と DO パターン用の台風発
生判定式は、以下の通りである。なお、得られ
た重回帰式に判定パラメータの値を代入して得
られる値を、「判定値」と呼ぶ。

(1) バンドパターン

① 35 ノット未満の最大風速との関係を表
す台風発生判定式

・ 判定値 = 27.095

$$+ 4.732 \times 10^{-2} \times \text{PPRX} (1)$$

$$- 6.593 \times 10^{-2} \times \text{PPRX} (2)$$

$$+ 1.957 \times 10^{-2} \times \text{PPRX} (3)$$

$$- 1.596 \times 10^{-1} \times \text{PPRX} (4)$$

$$+ 7.037 \times 10^{-1} \times \text{PPRY} (1)$$

$$- 6.895 \times 10^{-1} \times \text{PPRY} (2)$$

$$+ 1.965 \times 10^{-4} \times \text{PPRY} (3)$$

$$+ 5.865 \times 10^{-8} \times \text{PPRY} (4)$$

・ 重相関係数 = +0.802、

標準偏差 = 4.046、

最大風速資料数 = 42

・ 最大風速観測時刻との最小時間差

= 12 時間

・ 【台風発生判定式】

最大風速 = 1.555 × 判定値 - 13.684 …… (1) - 1

この式に使用した判定パラメータと最大風速
の観測時刻間の最小時間差は 12 時間であるた
め、ある時刻の衛星画像から測定した判定パラ
メータを (2) - 1 式に代入すると、得られる最大
風速は 12 時間後の推定値を表す。

判定値と 35 ノット未満の最大風速との対応を
示す散布図を、Fig.4.1.1 に示す。なお、この関係
は従属資料によるものである (以下同様)。

② 35 ノット以上の最大風速との関係を表
す台風発生判定式

・ 判定値 = 41.966

$$+ 1.596 \times 10^{-2} \times \text{PPRX} (5)$$

$$+ 5.803 \times 10^{-1} \times \text{PPRX} (6)$$

$$- 4.092 \times 10^{-1} \times \text{PPRX} (7)$$

$$+ 5.557 \times 10^{-3} \times \text{PPRY} \quad (5)$$

$$- 5.046 \times 10^{-3} \times \text{PPRY} \quad (6)$$

$$+ 3.525 \times 10^{-4} \times \text{PPRY} \quad (7)$$

$$+ 2.638 \times 10^{-4} \times \text{PPRY} \quad (8)$$

- ・ 重相関係数 = +0.670、
標準偏差 = 11.009、
最大風速資料数 = 108
- ・ 最大風速観測時刻との最小時間差
= 12時間

・ 【台風発生判定式】

$$\text{最大風速} = 2.227 \times \text{判定値} - 67.806 \dots (2) - 2$$

最大風速の観測時刻との最小時間差は12時間であるため、(2) - 2式から得られる最大風速は12時間後の推定値を表す。

判定値と35ノット以上の最大風速との対応を示す散布図を、Fig.4.1.2に示す。

(2) DOパターン

① 35ノット未満の最大風速との関係を表す台風発生判定式

- ・ 判定値 = 27.713
 - $9.141 \times 10^{-3} \times \text{PPRX} \quad (8)$
 - $4.198 \times 10^{-3} \times \text{PPRX} \quad (9)$
 - + $5.799 \times 10^{-2} \times \text{PPRX} \quad (10)$
 - $2.402 \times 10^{-1} \times \text{PPRX} \quad (11)$
 - $2.345 \times \text{PPRY} \quad (9)$
 - + $7.950 \times \text{PPRY} \quad (10)$
 - $8.995 \times 10^{-2} \times \text{PPRY} \quad (11)$
 - $2.514 \times 10^{-3} \times \text{PPRY} \quad (12)$

- ・ 重相関係数 = +0.731、
標準偏差 = 3.644、
最大風速資料数 = 26
- ・ 最大風速観測時刻との最小時間差
= 12時間

・ 【台風発生判定式】

$$\text{最大風速} = 1.873 \times \text{判定値} - 21.472 \dots (2) - 1$$

この式に使用した判定パラメータと最大風速の観測時刻間の最小時間差は12時間であるため、ある時刻の衛星画像から測定した判定パラ

メータを(2) - 1式に代入すると、得られる最大風速は12時間後の推定値を表す。

判定値と35ノット未満の最大風速との対応を示す散布図を、Fig.4.2.1に示す。

② 35ノット以上の最大風速との関係を表す台風発生判定式

- ・ 判定値 = 21.077
 - $1.154 \times 10^{-2} \times \text{PPRX} \quad (12)$
 - + $1.268 \times 10^{-1} \times \text{PPRX} \quad (13)$
 - $1.169 \times 10^{-1} \times \text{PPRX} \quad (14)$
 - + $1.344 \times 10^{-1} \times \text{PPRY} \quad (13)$
 - + $7.333 \times 10^{-2} \times \text{PPRY} \quad (14)$
 - + $4.432 \times 10^{-2} \times \text{PPRY} \quad (15)$
 - $5.924 \times 10^{-3} \times \text{PPRY} \quad (16)$

- ・ 重相関係数 = +0.604、
標準偏差 = 10.413、
最大風速資料数 = 108
- ・ 最大風速観測時刻との最小時間差
= 18時間

・ 【台風発生判定式】

$$\text{最大風速} = 2.740 \times \text{判定値} - 95.682 \dots (2) - 2$$

最大風速の観測時刻との最小時間差は18時間であるため、(2) - 2式から得られる最大風速は18時間後の推定値を表す。

判定値と35ノット以上の最大風速との対応を示す散布図を、Fig.4.2.2に示す。

4. まとめ

静止気象衛星のデータを使用して、台風の発生前後における近い将来の最大風速を推定し、最大風速が34ノットを越えて台風となるか否かを判定する技術を開発するため、

- ・ 領域別Cb特徴 (特定領域別の対流雲分布の特徴)
- ・ バンド/DO特徴 (バンドまたはDOの形状と温度の特徴)

を表す雲特徴パラメータを用いて、飛行機による最大風速の観測時刻との時間差および雲特徴

パラメータの時間変化量や時間平均値の操作を施し、最大風速との関係を統計的に調査した。

その結果、時間操作を施した雲特徴パラメータと最大風速との間には、主に以下の相関関係が認められた。

[領域別Cb特徴]

(1) 35ノット未満の最大風速との関係(TD期)

- ・ バンドパターンとDOパターンを呈するTDでは、最大風速の変化に対応するCSC周辺の対流雲の分布状況と時間的動向が異なる。
- ・ 最大風速の変化は、周辺部における対流雲の時間的増減と深く関連している。

(2) 35ノット以上の最大風速との関係(台風期)

- ・ バンドパターンとDOパターンを呈する台風では、最大風速の変化に対応するCSC周辺の対流雲の分布状況と時間的動向に大きな差異はない。
- ・ 最大風速の変化は、中心部における対流雲の時間的持続と深く関連している。

[バンド/DO特徴]

(1) 35ノット未満の最大風速との関係(TD期)

- ・ コリオリ因子は最大風速の増大に重要な働きをする。
- ・ 最大風速の変化は、バンド/DO特徴の時間的増減と深く関連している。
- ・ バンド特徴では、適合した対数螺旋の焦点位置に対するバンドの周回度、バンド内の T_{BB} 平均と T_{BB} 標準偏差に関するパラメータが有効である。
- ・ DO特徴では、DOを構成する総画素数と -70°C 以下の画素数に関するパラメータが有効である。

(2) 35ノット以上の最大風速との関係(台風期)

- ・ コリオリ因子は最大風速の増大に関連しない。
- ・ 最大風速の変化は、バンド/DO特徴の時間的増減と深く関連している。
- ・ バンド特徴では、バンド軸に適合した対数螺旋の交角、バンドを構成する総画素数と -60°C 以下の画素数に関するパラメータが有効である。
- ・ DO特徴では、CSCからDO幾何学的中心までの距離、DOの長径/短径/平均径、DO内の T_{BB} 平均と T_{BB} 標準偏差に関するパラメータが有効である。

最も有効なパラメータを組み合わせることによって、12時間から18時間後の最大風速を推定する台風発生判定式を、

(1) バンドパターン用

- ・ 35ノット未満の最大風速との関係を表す台風発生判定式
(重相関係数： $+0.802$)
- ・ 35ノット以上の最大風速との関係を表す台風発生判定式
(重相関係数： $+0.670$)

(2) DOパターン用

- ・ 35ノット未満の最大風速との関係を表す台風発生判定式
(重相関係数： $+0.731$)
- ・ 35ノット以上の最大風速との関係を表す台風発生判定式
(重相関係数： $+0.604$)

の4通り試作することができた。

判定の対象としているTDが、ある時刻から12時間から18時間後に最大風速が34ノットを越えるか否か、すなわち台風強度にまで発達するか否かを、客観的に判断する手法が可能との見通しを立てることができた。

5. 今後の課題

Weaver他(1984)は、1979年にメキシコ西海上で発生したハリケーンCarlosの形成過程を、欧州中期予報センターの客観解析データを基にして、Gray(1979)の示した熱帯低気圧の発生パラメータ

$$GP1 = f \times \Delta \zeta \times e^{-S/5}$$

(f : コリオリ因子)

($\Delta \zeta$: 850 hPa - 200 hPaの渦度偏差)

(S : 200 hPa - 850 hPaの風速シア)

等を使用して衛星画像と併せて解析した。Carlosは弱いSと正の $\Delta \zeta$ (上層の強い高気圧性発散による)の領域で発生しており、これらを組み込んだGP1の変化と衛星画像を監視することによってハリケーン発生の予想が可能であると報告している。

また、Motoki他(1986)は、1982年～1983年の台風業務実験(TOPEX)期間に発生した台風から6例を選び、30分間隔3枚の衛星画像から上層雲(Ci)の移動を追跡して約200 hPa面の風ベクトルを与えて、台風発生に至る上層気流系の特徴を調べた。上層の発散中心は、台風発生36時間前は地上の気圧中心から東に経度で約6°離れていたが、台風の形成に対応して1日2°の割合で気圧中心に近づき、台風発生時には気圧中心の約2°東に位置したと報告している。

このような調査結果を受けて、2.3節で記述したように、本調査でも台風の発生に対応して下層や上層の循環が明瞭になる特徴を衛星画像から数値化し、最大風速の変化との関係を明らかにして台風発生判定式に組み込もうとしている。このため、上層気流系の高気圧性回転を示す上層雲(Ci)の移動ベクトルをCSCを中心とする緯度経度20°四方の領域内で算出して、ほぼ200 hPaに相当する高度の発散と渦度の場合を求め、これらから上層の気流状態の特徴を表すオリジナルパラメータを得ようとしている。Table 3に、

その測定方法と内容を示す。下層気流系の低気圧性回転を示す下層雲の移動による循環の特徴については、下層雲が赤外画像では識別し難いのでパラメータ化の対象としない。

また、上層特徴のパラメータを組み込んだ最終的な台風発生判定式を得た段階では、時々刻々の雲特徴パラメータによって推定される最大風速値の扱い方、すなわちバンドパターンとDOパターンとも

- ・ 35ノット未満の最大風速との関係を表す台風発生判定式
- ・ 35ノット以上の最大風速との関係を表す台風発生判定式

によって推定される2種類の最大風速値をどのように評価するかを検討する必要がある。今後は、従属資料(回帰分析に使用した台風の雲特徴パラメータ)と独立資料(別台風の発生期における雲特徴パラメータ)を台風発生判定式に適用して、総合的に評価する。

従って、本調査の今後の課題は、

- ・ 調査対象の全台風における上層特徴のオリジナルパラメータの作成
- ・ 上層特徴を表す判定パラメータの抽出
- ・ 最終的な台風発生判定式の確立(領域別Cb特徴とバンド/DO特徴の判定パラメータの見直しも含む)
- ・ 従属資料と独立資料の適用による台風発生判定式の評価

である。最終的には、衛星画像による雲特徴パラメータを利用した台風発生判定技術の実用化を目指す。

謝 辞

本調査の遂行にあたり、気象庁予報部予報課太平洋台風センターの大西晴夫所長には、予報課と気象衛星センターデータ処理部との定期打合せ会等を通じて、激励と適切な助言を頂戴した。

本報告の草稿校閲についてデータ処理部データ処理課の中村和信課長にお願いし、本調査の趣旨にまで関わる貴重なコメントを頂戴した。

また、気象庁予報部予報課太平洋台風センターの黒岩宏司予報官には、本調査の内容をRSMC技術指導書(第1巻)に投稿するにあたって、適切な助言を頂戴した。

さらに本調査でのオリジナルパラメータ作成等について、気象衛星センター解析課「台風解析技術開発ワーキンググループ」の上野忠良(現:宇都宮地方气象台)、長谷川洋平、石原隆史、小林廣高の各氏の協力を受けた。

併せて感謝の意を表します。

参考文献

阿部 世史之, 牧野 義久, 中鉢 幸悦, 上野忠良, 1992: 衛星画像による雲特徴パラメータと台風発生期の最大風速との関連, 気象衛星センター技術報告, 第25号, 15-43.

Dvorak,V.F. 1984: Tropical cyclone intensity analysis using satellite data. NOAA Tech.Rep. NESDIS 11, pp 47.

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., 1975: Tropical cyclone genesis. Pap. No.234. Dept.Atmos.Sci., Colorado State

University, Fort Collins, 1-121.

———, 1979: Hurricanes: Their formation, structure, and likely role in the tropical circulation. Meteorology Over the Tropical Oceans (P.B.Shaw, ed), Roy.Meteor.Soc., London, 155-218.

———, 1981: Recent advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis. WMO programme on research in tropical meteorology, WMO, pp 407.

気象衛星センター, 1988: 台風気象衛星資料集 (第3集) 一台風の大きさ一, pp 124.

気象庁予報部, 1990: 予報作業指針一台風予報一, pp 150.

Motoki,T. and K.Shimada, 1986: Variations in the transition process from the tropical depression to the tropical storm observed by the GMS. Geophys.Mag., 42, 19-38.

島田 健司, 内田 雅夫, 1982: 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), 気象衛星センター技術報告, 第6号, 1-10.

Steranka,J., R.B.Rodgers and R.C.Gentry, 1986: The relationship between satellite measured convective bursts and tropical cyclone intensification. Mon.Wea.Rev., 114, 1539-1546.

Weaver,S.P. and S.Q.Kidder, 1984: On the use of wind shear and vorticity difference in forecasting Eastern Pacific tropical cyclone formation.15th Conf. on hurricanes and tropical meteorology, Miami, Amer.Meteor.Soc., 276-280.

Zehr,R.M., 1988: Satellite diagnosis of tropical cyclones. 3rd Conf. on Satellite Meteorology and Oceanography, Anaheim, Amer. Meteor. Soc., 241-246.

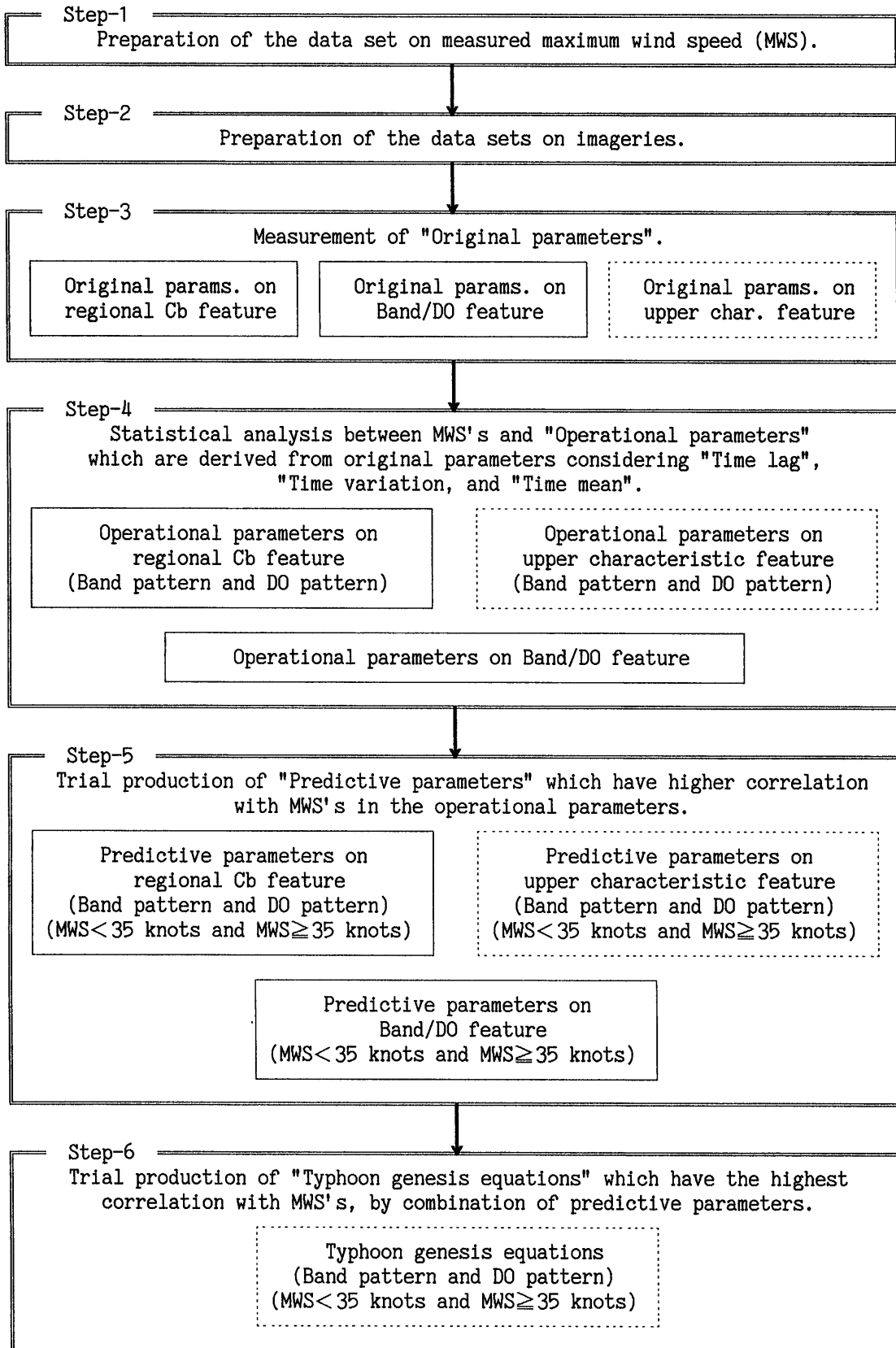


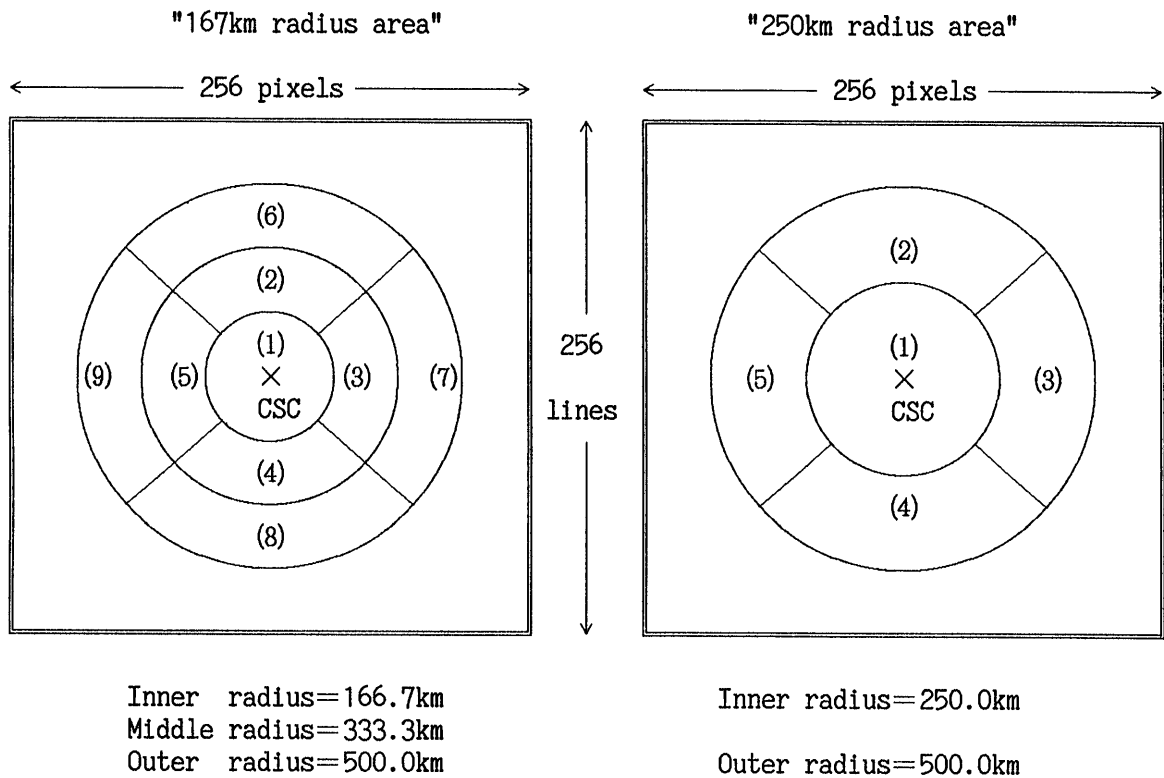
Fig.1 General processing flow. Dotted line boxes show ongoing processes.

1. Imageries ; Data set within 256 pixels×256 lines (one grid size is about 5km) in Mercator projection, and in 6 hourly time interval.
2. Elements ; Characteristics on deep convection in the vicinity of a tropical cyclone.

Following "Cb occupation rate" for each 14 regions
 (9 regions in 167km radius area)
 (5 regions in 250km radius area)

- (1) (Grid count with $T_{BB} \leq -60^{\circ}\text{C}$ / Total grid count) × 100
- (2) (Grid count with $T_{BB} \leq -70^{\circ}\text{C}$ / Total grid count) × 100

⇒ "Original parameters" on regional Cb feature

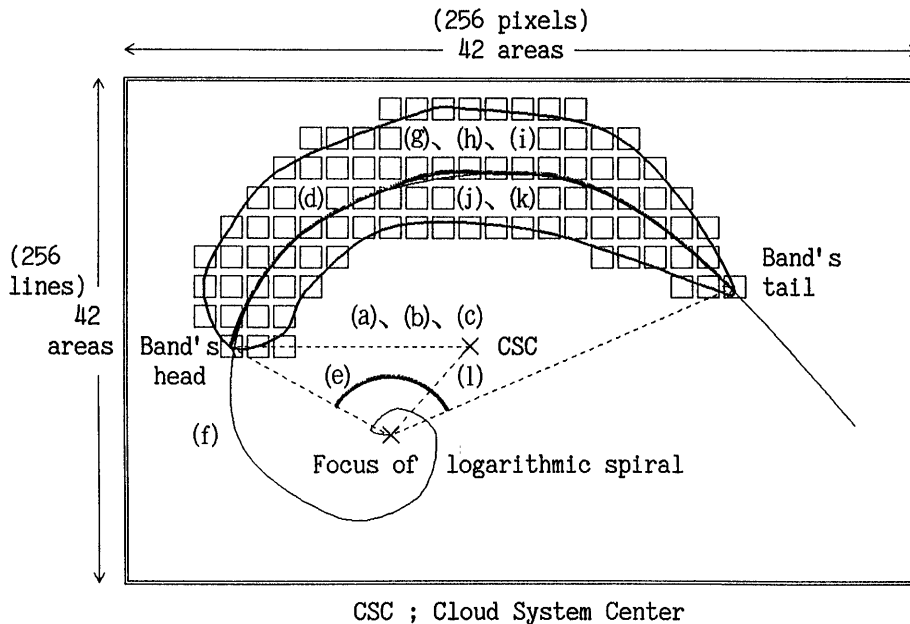


CSC ; Cloud System Center

Fig.2 Original parameters on regional Cb feature (Step-3).

1. Imageries ; Data set within 256 pixels×256 lines (one grid size is about 5km) in Mercator projection, and in 6 hourly time interval.
2. Elements ; Characteristics on deep convection and circulation intensity in the vicinity of a tropical cyclone.
 - (a) ; Distance from CSC position to Band's head position (km)
 - (b) ; Direction from CSC position to Band's head position (degree)
 - (c) ; CSC location against Band area ("In/Edge" or "Out")
 - (d) ; Length of Band's fitted logarithmic spiral arc (km)
 - (e) ; Circumference degree of Band's fitted logarithmic spiral arc against the spiral focus position (degree)
 - (f) ; Crossing angle of Band's fitted logarithmic spiral (Use prepared 5 spirals whose crossing angle are 10, 15, 20, 25, and 30 degree)
 - (g) ; Total grid count in Band area (**)
 - (h) ; Grid count with $T_{BB} \leq -60^{\circ}\text{C}$ in Band area
 - (i) ; Grid count with $T_{BB} \leq -70^{\circ}\text{C}$ in Band area
 - (j) ; Mean of T_{BB} in Band area
(Absolute value of minus degree ; $0^{\circ}\text{C}=0, -100^{\circ}\text{C}=100$)
 - (k) ; Standard deviation of T_{BB} in Band area ($^{\circ}\text{C}$)
 - (l) ; Distance from CSC position to Band's fitted logarithmic spiral center position (km)

(**) Band area is defined as cyclonic curved cloud band, filled up by continuous "Cb-area"s shown as follow (□-mark).
 Cb-area is defined if there are 6 grids or more with $T_{BB} \leq -60^{\circ}\text{C}$ in 6 pixels × 6 lines (36 grids) square.
 Surrounding 2 grids $[(256-6 \times 42)/2]$ is not objective.



Measured values from (a) to (l) are converted into following values.

Fig.3.1 Original parameters on Band feature (Step-3).
 (to be continued)

- (1) Figure group : using from (a) to (f) and (l)
- ORGB(1, 0)=1-(a)/600
 Note ; (a) is measured as a value from 0 to 600. Because, size of used imagery data set is about 1,280km square. And CSC locates at the center of imagery.
 [example ; (a)= 0 ⇒ ORGB(1, 0)=1.0]
 (a)=600 ⇒ ORGB(1, 0)=0.0]
- ORGB(2, 0)=1-((f)-5)/30
 Note ; (f) is a value from 10 to 30 in terms of 5 degrees
 [example ; (f)= 10 ⇒ ORGB(2, 0)≒0.83]
 (f)= 30 ⇒ ORGB(2, 0)≒0.17]
- ORGB(3, 0)=1-(l)/600
 Note ; (l) is measured as a value from 0 to 600 because of the same reason as (a).
 [example ; (l)= 0 ⇒ ORGB(3, 0)=1.0]
 (l)=600 ⇒ ORGB(3, 0)=0.0]
- ORGB(4, 0)=(d)
 ORGB(5, 0)=ORGB(1, 0)×ORGB(4, 0)
 ORGB(6, 0)=ORGB(2, 0)×ORGB(4, 0)
 ORGB(7, 0)=ORGB(3, 0)×ORGB(4, 0)
 ORGB(8, 0)=(e)/36
 Note ; (e) is divided by 36 to change into smaller value.
 ORGB(9, 0)=ORGB(1, 0)×ORGB(8, 0)
 ORGB(10, 0)=ORGB(2, 0)×ORGB(8, 0)
 ORGB(11, 0)=ORGB(3, 0)×ORGB(8, 0)
 ORGB(12, 0)=ORGB(4, 0)×ORGB(8, 0)
 ORGB(13, 0)=ORGB(1, 0)×ORGB(4, 0)×ORGB(8, 0)
 ORGB(14, 0)=ORGB(2, 0)×ORGB(4, 0)×ORGB(8, 0)
 ORGB(15, 0)=ORGB(3, 0)×ORGB(4, 0)×ORGB(8, 0)
 ORGB(16, 0)=ORGB(1, 0)×ORGB(2, 0)×ORGB(4, 0)×ORGB(8, 0)
 ORGB(17, 0)=ORGB(2, 0)×ORGB(3, 0)×ORGB(4, 0)×ORGB(8, 0)
 ORGB(18, 0)=ORGB(3, 0)×ORGB(1, 0)×ORGB(4, 0)×ORGB(8, 0)
 ORGB(19, 0)=ORGB(1, 0)×ORGB(2, 0)×ORGB(3, 0)×ORGB(4, 0)×ORGB(8, 0)
- (2) Temperature group : using from (g) to (k)
- ORGB(0, 1)=(g)
 ORGB(0, 2)=(h)
 ORGB(0, 3)=(i)
 ORGB(0, 4)=(j)
 ORGB(0, 5)=100/(k)
 Note ; Smaller value of (k) denotes smoother surface of a Band. Smoother surface must be concerned with stronger MWS. (k) can't be 0.
 [example ; (k)= 5 ⇒ ORGB(0, 5)=20]
 (k)= 20 ⇒ ORGB(0, 5)= 5]
- ORGB(0, 6)=ORGB(0, 2)/ORGB(0, 1)
 ORGB(0, 7)=ORGB(0, 3)/ORGB(0, 1)
 ORGB(0, 8)=ORGB(0, 3)/ORGB(0, 2)
 ORGB(0, 9)=ORGB(0, 4)×ORGB(0, 5)
 ORGB(0,10)=ORGB(0, 1)×ORGB(0, 4)
 ORGB(0,11)=ORGB(0, 1)×ORGB(0, 5)
 ORGB(0,12)=ORGB(0, 4)×ORGB(0, 2)/ORGB(0, 1)
 ORGB(0,13)=ORGB(0, 4)×ORGB(0, 3)/ORGB(0, 1)
 ORGB(0,14)=ORGB(0, 4)×ORGB(0, 3)/ORGB(0, 2)
- (3) Combined group
- ORGB(1, 1)=ORGB(1, 0)×ORGB(0, 1)
 ⋮
 ORGB(1,14)=ORGB(1, 0)×ORGB(0,14)

 ORGB(19, 1)=ORGB(19, 0)×ORGB(0, 1)
 ⋮
 ORGB(19,14)=ORGB(19, 0)×ORGB(0,14)

⇒ "Original parameters" on Band feature

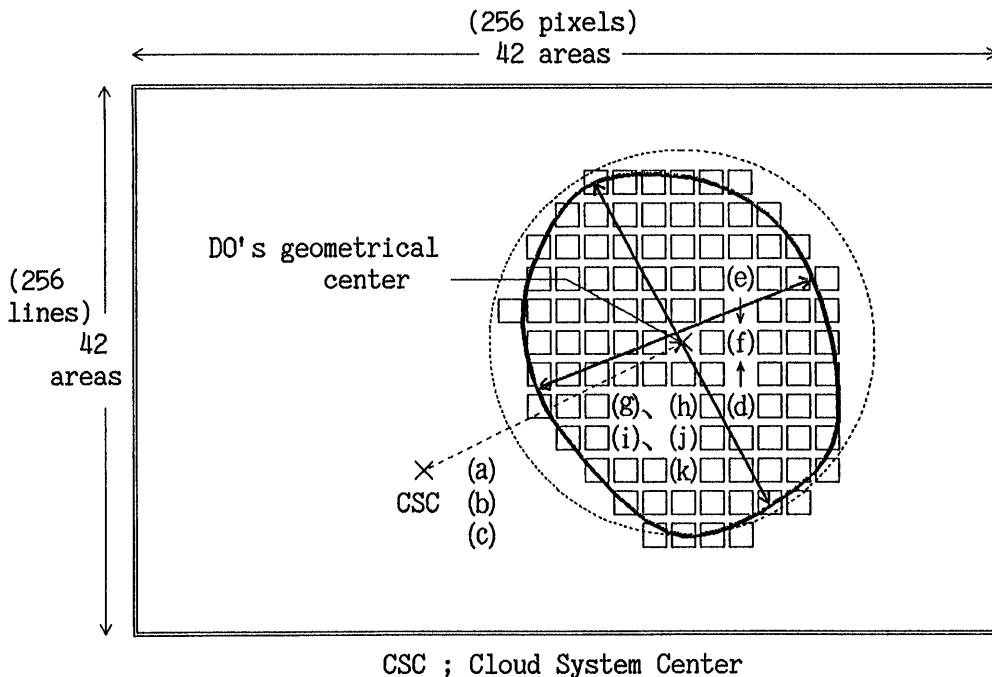
Fig.3.1 Original parameters on Band feature (Step-3).

1. Imageries ; Data set within 256 pixels×256 lines (one grid size is about 5km) in Mercator projection, and in 6 hourly time interval.

2. Elements ; Characteristics on deep convection and Cb concentration in the vicinity of a tropical cyclone.

- (a) ; Distance from CSC position to DO's geometrical center position (km)
- (b) ; Direction from CSC position to DO's geometrical center position (km)
- (c) ; CSC location against DO area ("In/Edge" or "Out")
- (d) ; Major diameter of DO (km)
- (e) ; Minor diameter of DO (km)
- (f) ; Mean of (d) and (e)
- (g) ; Total grid count in DO area (**)
- (h) ; Grid count with $T_{BB} \leq -60^{\circ}\text{C}$ in DO area
- (i) ; Grid count with $T_{BB} \leq -70^{\circ}\text{C}$ in DO area
- (j) ; Mean of T_{BB} in DO area
(Absolute value of minus degree ; $0^{\circ}\text{C}=0, -100^{\circ}\text{C}=100$)
- (k) ; Standard deviation of T_{BB} in DO area ($^{\circ}\text{C}$)

(**) DO area is defined as dense circular cloud area, filled up by continuous "Cb-area"s shown as follow (□-mark).
 Cb-area is defined if there are 6 grids or more with $T_{BB} \leq -60^{\circ}\text{C}$ in 6 pixels ×6 lines (36 grids) square.
 Surrounding 2 grids $[(256-6 \times 42) / 2]$ is not objective.



Measured values from (a) to (k) are converted into following values.

Fig.3.2 Original parameters on DO feature (Step-3).
(to be continued)

(1) Figure group : using from (a) to (f)

$$\text{ORGD}(1, 0) = 1 - (a) / 600$$

Note ; (a) is measured as a value from 0 to 600. Because, size of used imagery data set is about 1,280km square. And CSC locates at the center of imagery.

$$\left[\begin{array}{l} \text{example ; } (a) = 0 \Rightarrow \text{ORGD}(1, 0) = 1.0 \\ (a) = 600 \Rightarrow \text{ORGD}(1, 0) = 0.0 \end{array} \right]$$

$$\text{ORGD}(2, 0) = (d)$$

$$\text{ORGD}(3, 0) = (e)$$

$$\text{ORGD}(4, 0) = (f)$$

$$\text{ORGD}(5, 0) = \text{ORGD}(4, 0) \times \text{ORGD}(3, 0) / \text{ORGD}(2, 0)$$

$$\text{ORGD}(6, 0) = \text{ORGD}(4, 0) \times \text{ORGD}(3, 0) / \text{ORGD}(2, 0) \times \text{ORGD}(1, 0)$$

(2) Temperature group : using from (g) to (k), the same as Band feature

$$\text{ORGD}(0, 1) = (g)$$

$$\text{ORGD}(0, 2) = (h)$$

$$\text{ORGD}(0, 3) = (i)$$

$$\text{ORGD}(0, 4) = (j)$$

$$\text{ORGD}(0, 5) = 100 / (k)$$

Note ; Smaller value of (k) denotes smoother surface of a DO. Smoother surface must be concerned with stronger MWS. (k) can't be 0.

$$\left[\begin{array}{l} \text{example ; } (k) = 5 \Rightarrow \text{ORGD}(0, 5) = 20 \\ (k) = 20 \Rightarrow \text{ORGD}(0, 5) = 5 \end{array} \right]$$

$$\text{ORGD}(0, 6) = \text{ORGD}(0, 2) / \text{ORGD}(0, 1)$$

$$\text{ORGD}(0, 7) = \text{ORGD}(0, 3) / \text{ORGD}(0, 1)$$

$$\text{ORGD}(0, 8) = \text{ORGD}(0, 3) / \text{ORGD}(0, 2)$$

$$\text{ORGD}(0, 9) = \text{ORGD}(0, 4) \times \text{ORGD}(0, 5)$$

$$\text{ORGD}(0, 10) = \text{ORGD}(0, 1) \times \text{ORGD}(0, 4)$$

$$\text{ORGD}(0, 11) = \text{ORGD}(0, 1) \times \text{ORGD}(0, 5)$$

$$\text{ORGD}(0, 12) = \text{ORGD}(0, 4) \times \text{ORGD}(0, 2) / \text{ORGD}(0, 1)$$

$$\text{ORGD}(0, 13) = \text{ORGD}(0, 4) \times \text{ORGD}(0, 3) / \text{ORGD}(0, 1)$$

$$\text{ORGD}(0, 14) = \text{ORGD}(0, 4) \times \text{ORGD}(0, 3) / \text{ORGD}(0, 2)$$

(3) Combined group

$$\text{ORGD}(1, 1) = \text{ORGD}(1, 0) \times \text{ORGD}(0, 1)$$

⋮

$$\text{ORGD}(1, 14) = \text{ORGD}(1, 0) \times \text{ORGD}(0, 14)$$

.....

$$\text{ORGD}(6, 1) = \text{ORGD}(6, 0) \times \text{ORGD}(0, 1)$$

⋮

$$\text{ORGD}(6, 14) = \text{ORGD}(6, 0) \times \text{ORGD}(0, 14)$$

⇒

"Original parameters" on DO feature

Fig.3.2 Original parameters on DO feature (Step-3).

Table 1 Summary of time operation against measured maximum wind speed.

"Operational parameters" compared statistically with measured maximum wind speed (MWS) are developed by using next time operations ;

- Time lag ; parameter's time lag against MWS's observed time
- Time variation ; difference of parameter values in certain interval
- Time mean ; mean of parameter values in certain period

< P(-TT) expresses operational parameter's value at "TT" hours before, against MWS's observed time (TT=0) >

[Time variation]

Time lag	no interval	06h interval※	12h interval	18h interval※	24h interval
00 hour	P(00) ⇒ V01	P(00)–P(-06) ⇒ V02	P(00)–P(-12) ⇒ V03	P(00)–P(-18) ⇒ V04	P(00)–P(-24) ⇒ V05
-06 hour	P(-06) ⇒ V06	P(-06)–P(-12) ⇒ V07	P(-06)–P(-18) ⇒ V08	P(-06)–P(-24) ⇒ V09	P(-06)–P(-30) ⇒ V10
-12 hour	P(-12) ⇒ V11	P(-12)–P(-18) ⇒ V12	P(-12)–P(-24) ⇒ V13	P(-12)–P(-30) ⇒ V14	P(-12)–P(-36) ⇒ V15
-18 hour	P(-18) ⇒ V16	P(-18)–P(-24) ⇒ V17	P(-18)–P(-30) ⇒ V18	P(-18)–P(-36) ⇒ V19	P(-18)–P(-42) ⇒ V20
-24 hour	P(-24) ⇒ V21	P(-24)–P(-30) ⇒ V22	P(-24)–P(-36) ⇒ V23	P(-24)–P(-42) ⇒ V24	P(-24)–P(-48) ⇒ V25

[Time mean]

Time lag	no period	06h period ※	12h period	18h period ※	24h period
00 hour	No operation because of the same values as time variation	mean of P(00), P(-06) ⇒ M02	mean of P(00), P(-06), P(-12) ⇒ M03	mean of P(00), P(-06), P(-12), P(-18) ⇒ M04	mean of P(00), P(-06), P(-12), P(-18), P(-24) ⇒ M05
-06 hour		mean of P(-06), P(-12) ⇒ M07	mean of P(-06), P(-12), P(-18) ⇒ M08	mean of P(-06), P(-12), P(-18), P(-24) ⇒ M09	mean of P(-06), P(-12), P(-18), P(-24), P(-30) ⇒ M10
-12 hour		mean of P(-12), P(-18) ⇒ M12	mean of P(-12), P(-18), P(-24) ⇒ M13	mean of P(-12), P(-18), P(-24), P(-30) ⇒ M14	mean of P(-12), P(-18), P(-24), P(-30), P(-36) ⇒ M15
-18 hour		mean of P(-18), P(-24) ⇒ M17	mean of P(-18), P(-24), P(-30) ⇒ M18	mean of P(-18), P(-24), P(-30), P(-36) ⇒ M19	mean of P(-18), P(-24), P(-30), P(-36), P(-42) ⇒ M20
-24 hour		mean of P(-24), P(-30) ⇒ M22	mean of P(-24), P(-30), P(-36) ⇒ M23	mean of P(-24), P(-30), P(-36), P(-42) ⇒ M24	mean of P(-24), P(-30), P(-36), P(-42), P(-48) ⇒ M25

REMARKS ; Original parameters on "upper characteristic feature" are measured in 12 hourly time interval. Therefore, ※-marked time operations and absent P(-TT) in another operations are not objective for development of the operational parameters.

Table 2.2 The same as Table 2.1 except for in the case of only Band pattern.

(Abbreviations)

The same as Table 3.1.

	MWS < 35knot (ABSCOR ≥ 0.3)	MWS ≥ 35knot (ABSCOR ≥ 0.4)	All WMS (ABSCOR ≥ 0.4)
Time variation in 167 km radius area ----- 2 rates × 25 operations × 9 regions	(+) 8 MAX 0.395 (T70, V15, R5) (-) 20 MIN -0.398 (T70, V06, R6)	(+) 5 MAX 0.471 (T60, V01, R1) (-) 0	(+) 10 MAX 0.555 (T60, V16, R1) (-) 0
Time mean in 167 km radius area ----- 2 rates × 20 operations × 9 regions	(+) 4 MAX 0.319 (T60, M13, R5) (-) 28 MIN -0.402 (T60, M12, R8)	(+) 19 MAX 0.538 (T70, M05, R1) (-) 0	(+) 38 MAX 0.648 (T70, M15, R1) (-) 0
Time variation in 250 km radius area ----- 2 rates × 25 operations × 5 regions	(+) 5 MAX 0.386 (T70, V10, R5) (-) 12 MIN -0.439 (T60, V12, R3)	(+) 0 (-) 0	(+) 6 MAX 0.458 (T60, V01, R1) (-) 0
Time mean in 250 km radius area ----- 2 rates × 20 operations × 5 regions	(+) 0 (-) 24 MIN -0.410 (T60, M12, R4)	(+) 17 MAX 0.452 (T60, M20, R1) (-) 0	(+) 38 MAX 0.569 (T60, M25, R1) (-) 0
Total number	(+) 17 (-) 84	(+) 41 (-) 0	(+) 92 (-) 0

Table 2.3 The same as Table 2.1 except for in the case of only D0 pattern.

(Abbreviations)

The same as Table 3.1.

	MWS < 35knot (ABSCOR ≥ 0.3)	MWS ≥ 35knot (ABSCOR ≥ 0.4)	All WMS (ABSCOR ≥ 0.4)
Time variation in 167 km radius area 2 rates × 25 operations × 9 regions	(+) 7 MAX 0.390 (T60, V15, R6) (-) 14 MIN -0.537 (T60, V07, R6)	(+) 2 MAX 0.413 (T60, V16, R1) (-) 0	(+) 0 (-) 0
Time mean in 167 km radius area 2 rates × 20 operations × 9 regions	(+) 0 (-) 6 MIN -0.333 (T60, M10, R7)	(+) 12 MAX 0.523 (T70, M20, R1) (-) 0	(+) 10 MAX 0.524 (T70, M20, R1) (-) 0
Time variation in 250 km radius area 2 rates × 25 operations × 5 regions	(+) 4 MAX 0.400 (T60, V02, R1) (-) 6 MIN -0.464 (T60, V07, R2)	(+) 1 MAX 0.421 (T60, V16, R1) (-) 0	(+) 0 (-) 0
Time mean in 250 km radius area 2 rates × 20 operations × 5 regions	(+) 0 (-) 9 MIN -0.330 (T60, M08, R3)	(+) 18 MAX 0.471 (T70, M19, R1) (-) 0	(+) 16 MAX 0.467 (T70, M19, R1) (-) 0
Total number	(+) 11 (-) 35	(+) 33 (-) 0	(+) 26 (-) 0

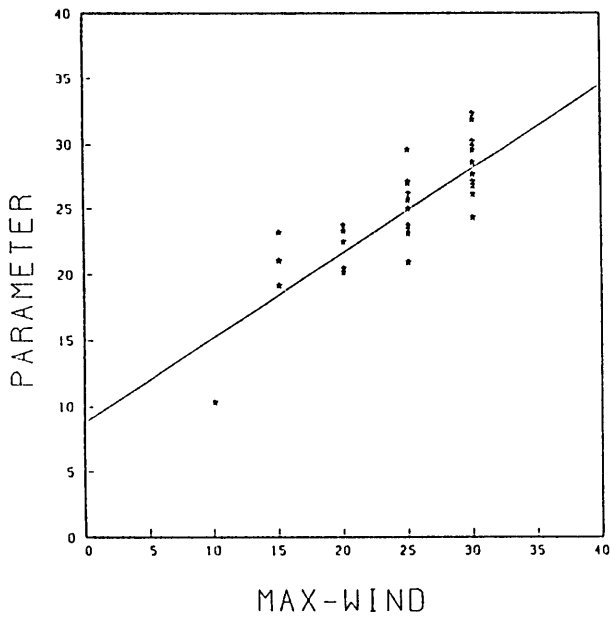


Fig.4.1.1 Scatter diagram between equation values and MWS's (< 35knots) for Band pattern.

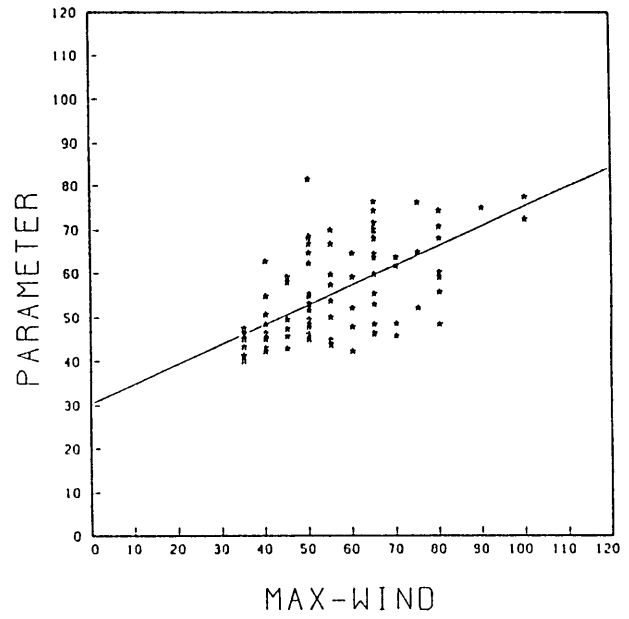


Fig.4.1.2 Scatter diagram between equation values and MWS's (≥ 35 knots) for Band pattern.

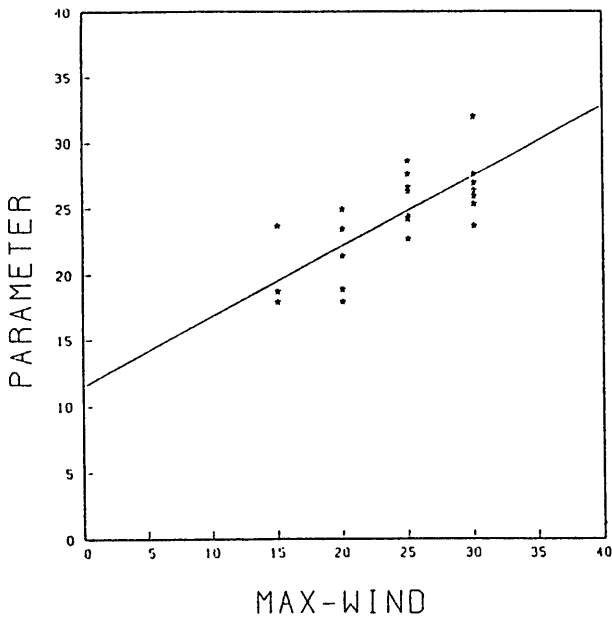


Fig.4.2.1 Scatter diagram between equation values and MWS's (< 35knots) for D0 pattern.

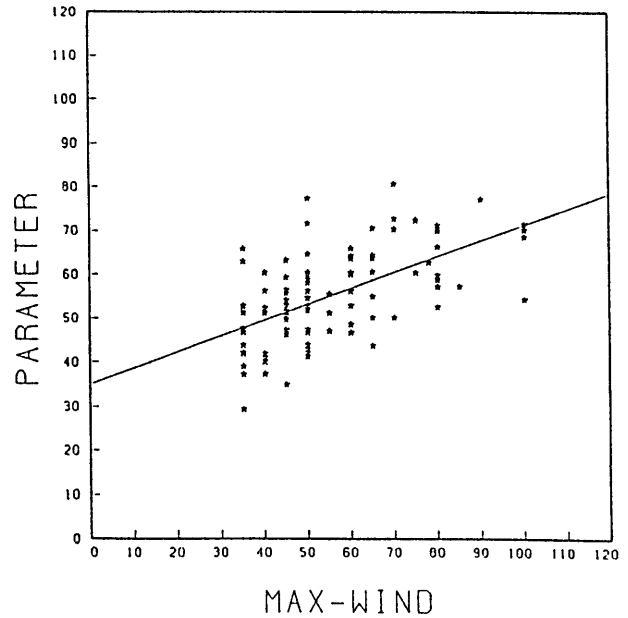


Fig.4.2.2 Scatter diagram between equation values and MWS's (≥ 35 knots) for D0 pattern.

Table 3 Original parameters on upper characteristic feature (Step-3)

1. Imageries ; Data set with full disk imageries in 12 hourly time interval.
2. Elements ; Characteristics on divergence and vorticity at the upper layer.

[Processes]

- (1) Automatical calculation of high level (about 200hPa level) cloud motion winds in the 20°Lat.×20°Lon. region of a tropical cyclone at 1° intervals.
- (2) Quality control of cloud motion winds by man-machine interactive operation. (Exclusion of bad winds, and addition of satisfying winds)
- (3) Interpolation of all grid winds (21×21 grids at 1° intervals) using controlled cloud motion winds. Grid region's center is the cloud system center (CSC) of a tropical cyclone. following weight function is used.

$$1000 \times e^{-R/100} / R$$

<"R" is a distance (km) from a grid point to
 controlled cloud motion wind's position, $R \leq 222\text{km}$ (2.0°)>
- (4) Calculation of divergence and vorticity using interpolated grid winds

[High Level Divergence.1 ; in the whole region]

- ORGU(1) ; Maximum value in the region (10⁻⁶/sec)
 ORGU(2) ; Distance from CSC to ORGU(1)'s grid point (km)
 ORGU(3) ; Direction from CSC to ORGU(1)'s grid point (degree)
 ORGU(4) ; Mean value in the region (10⁻⁶/sec)

[High Level Divergence.2 ; in a circular region

(center is the CSC, and radius is 250km)]

- ORGU(5) ; Maximum value in the region (10⁻⁶/sec)
 ORGU(6) ; Distance from CSC to ORGU(5)'s grid point (km)
 ORGU(7) ; Direction from CSC to ORGU(5)'s grid point (degree)
 ORGU(8) ; Mean value in the region (10⁻⁶/sec)

[High Level Divergence.3 ; in a circular region

(center is the CSC, and radius is 500km)]

- ORGU(9) ; Maximum value in the region (10⁻⁶/sec)
 ORGU(10) ; Distance from CSC to ORGU(9)'s grid point (km)
 ORGU(11) ; Direction from CSC to ORGU(9)'s grid point (degree)
 ORGU(12) ; Mean value in the region (10⁻⁶/sec)

[High Level Vorticity.1 ; in the whole region]

- ORGU(13) ; Minimum value in the region (10⁻⁶/sec)
 ORGU(14) ; Distance from CSC to ORGU(13)'s grid point (km)
 ORGU(15) ; Direction from CSC to ORGU(13)'s grid point (degree)
 ORGU(16) ; Mean value in the region (10⁻⁶/sec)

[High Level Vorticity.2 ; in a circular region

(center is the CSC, and radius is 250km)]

- ORGU(17) ; Minimum value in the region (10⁻⁶/sec)
 ORGU(18) ; Distance from CSC to ORGU(17)'s grid point (km)
 ORGU(19) ; Direction from CSC to ORGU(17)'s grid point (degree)
 ORGU(20) ; Mean value in the region (10⁻⁶/sec)

[High Level Vorticity.3 ; in a circular region

(center is the CSC, and radius is 500km)]

- ORGU(21) ; Minimum value in the region (10⁻⁶/sec)
 ORGU(22) ; Distance from CSC to ORGU(21)'s grid point (km)
 ORGU(23) ; Direction from CSC to ORGU(21)'s grid point (degree)
 ORGU(24) ; Mean value in the region (10⁻⁶/sec)

⇒

"Original parameters" on upper characteristic feature