

第2章 Dvorak 法による台風の強度推定*

2.1 Dvorak 法の解説

衛星資料による熱帯低気圧の強度推定は、有用で簡便ではあるが観測者の主観が入り込みやすいと言われている衛星画像による Dvorak 法と、マイクロ波データなどを利用した客観的な方法がある。気象衛星センターではGMSの画像を使って前者の Dvorak 法により強度推定を行っている。

Dvorak法には可視画像を使ったVIS法と赤外強調画像^{*1}を使ったEIR法がある。気象衛星センターではVIS法よりも客観的なEIR法で強度推定を行っているので、この節ではEIR法について説明する。Dvorak法の基本的内容は、Dvorak(1984, 1992)や日本語によるこの論文の紹介(木場、1984等)及びその他(藤田ほか、2000)に書かれている。この章ではEIR法の基礎と気象衛星センターがEIR法を行う上で注意している点について、できるだけ事例を示して具体的に解説する。

Dvorak(1984)は、雲パターンの発達モデル(図2-1-1)と熱帯低気圧の強度(最大風速^{*2}・最低海面気圧)を統計的に関連付け、雲パターンにより強度を推定する方法を確立した。この図の上段は湾曲したバンド(Curved Band)パターン、中段はCDO(Central Dense Overcast: 中心を取り巻くほぼ円形の濃密な雲域)パターン、下段はシヤー(Shear: 下層雲列によって決定される熱帯低気圧の中心が濃密な雲域とズレている)パターンの典

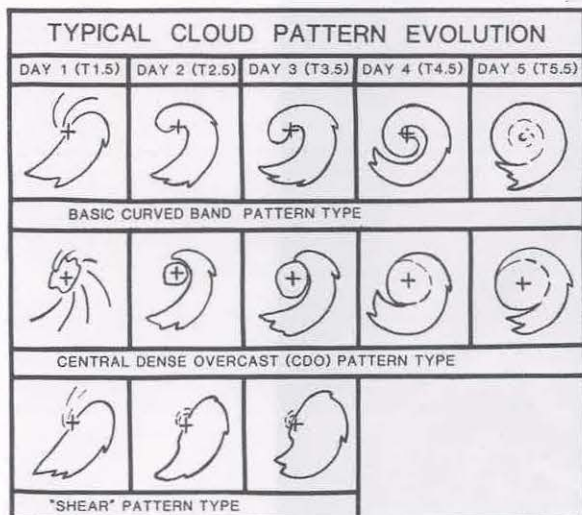


図2-1-1 典型的な雲パターンの発達モデル(Dvorak, 1992)

型的な発達モデルである。各パターンとも右に行くほど時間の経過とともに発達し、強度も増す。最上段には経過日数と括弧内に各雲パターンに対応したT数が書かれている。このT数は Dvorak 法の最も基本となる概念である。T数は衛星画像の解析から得られた熱帯低気圧の強度を表す指数として定義され、T1.0からT8.0まで0.5きざみ15階級に分けられている。T1.0はTS以上に達する約1.5日目の最も弱いT数であり、T8.0は観測され得る最強のT数である。Dvorak(1975)によると北西太平洋、北西大西洋とも全熱帯低気圧の70%は1.0T/dayの割合で発達・衰弱した。これにより Dvorak 法では標準的なT数の1日の変化量は1.0、急な場合は1.5、ゆっくりした場合は0.5とした。

図2-1-2は湾曲したバンドパターンの典型的な発達例で、縦軸はT数とこれに対応する熱帯低気圧の強度(但し、北大西洋における最低海面気圧と1分間平均の最大風速^{*2})、横軸は日数である。図中の赤線はT数の標準的な発達率(1.0T/day)で、この直線に重なっている曲線は実際の雲画像から解析したT数の変化を示す。このように雲パターンには短周期の変動(例えば対流雲の日変化)があり、特に発達初期(図左下PRE STORMの期間)はこの変動が顕著である。前述したように Dvorak 法ではT数の1日の変化量を最大1.5にすることによって、雲パターンの短周期変化によるT数の急変を抑えている。

T数は雲パターンを計測することによって得られ、これをDT数(Data T数)という。例えば湾曲したバンドパターンの場合(図2-1-2)、T数の増加とともに雲バンドの長さも伸び(図中の上段画像の破線)、T数4.5では中心の周りを1周以上している。この長さを測りT数を決定できる(但し右端のT5.5の画像は眼パターンに変わっているので、雲バンドの長さは測らない)。その他の雲パターンでは、雲頂温度や雲域の大きさを測るなどしてT数を得る。しかし、雲パターンがいつも明瞭で計測できるとは限らないので、24時間前の画像や図2-1-1のような雲パターンのモデル図と比較してT数を得る方法もある。これらはそれぞれMET数(Model Expected T数)・PT数(Pattern

* 菊池 明弘

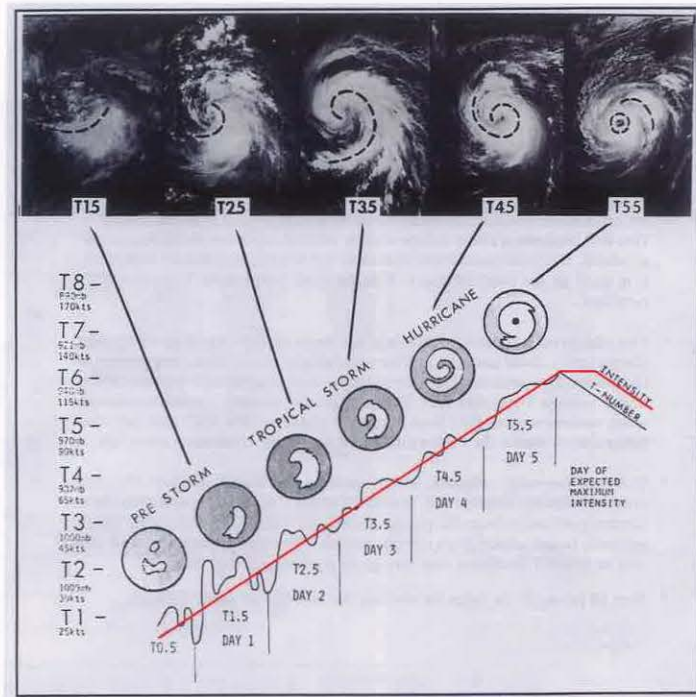


図 2-1-2 湾曲したバンドパターンの典型的な発達例
(Dvorak, 1992 に一部加筆)

T数と呼ぶ。

T数は調整されて CI 数 (Current Intensity Number) となる。例えば熱帯低気圧が衰弱するとき雲パターンは強度に先行して衰弱するので、T数の減少よりも強度の低下を遅らせなければならない。そのため発達期はT数とCI数は等しいが、衰弱期は通常T数が減少し始めて12時間後にCI数

が減少する。このCI数が実際の強度(最大風速、最低海面気圧)と対応する(表 2-1-1)。表の左半分は大西洋におけるCI数と1分間平均最大風速・最低海面気圧、右半分は北西太平洋におけるCI数と10分間平均最大風速・最低海面気圧の対応を示す。CI数と実測値を比較した例では、2003年の台風第14号がある。この台風は強い勢力を維持しながら中心が宮古島を通過し、9月10日1914UTCに最低海面気圧912.0hPaを記録した。このときの10日18UTCのCI数は7.0で表2-1-1を参照すると最低海面気圧は914hPaとなり、観測された最低海面気圧と良い対応を示した。

表 2-1-1 CI数と最大風速・最低海面気圧の関係。大西洋(左半分)はDvorak(1975)、北西太平洋(右半分)は木場ほか(1990)による。

CI数	大 西 洋		北 西 太 平 洋	
	最大風速	最低海面気圧	最大風速	最低海面気圧
1.0	25 Knot	1015 hPa	22 Knot	1005 hPa
1.5	26	1012	29	1002
2.0	30	1009	36	998
2.5	35	1005	43	993
3.0	45	1000	50	987
3.5	55	994	57	981
4.0	65	987	64	973
4.5	77	979	71	965
5.0	90	970	78	956
5.5	102	960	85	947
6.0	115	948	93	937
6.5	127	935	100	926
7.0	140	921	107	914
7.5	155	906	115	901
8.0	170	890	122	888

Dvorak法にはステップが10段階ある(図2-1-3a、b)。ステップ1は中心(CSC: Cloud System Center)推定であり次章で詳しく述べる。また気象衛星センターではCCCパターンの判別が困難なためこれを採用していないので、ステップ3の説明は省く。さらに強度の予報を実施していないのでステップ10も省く。

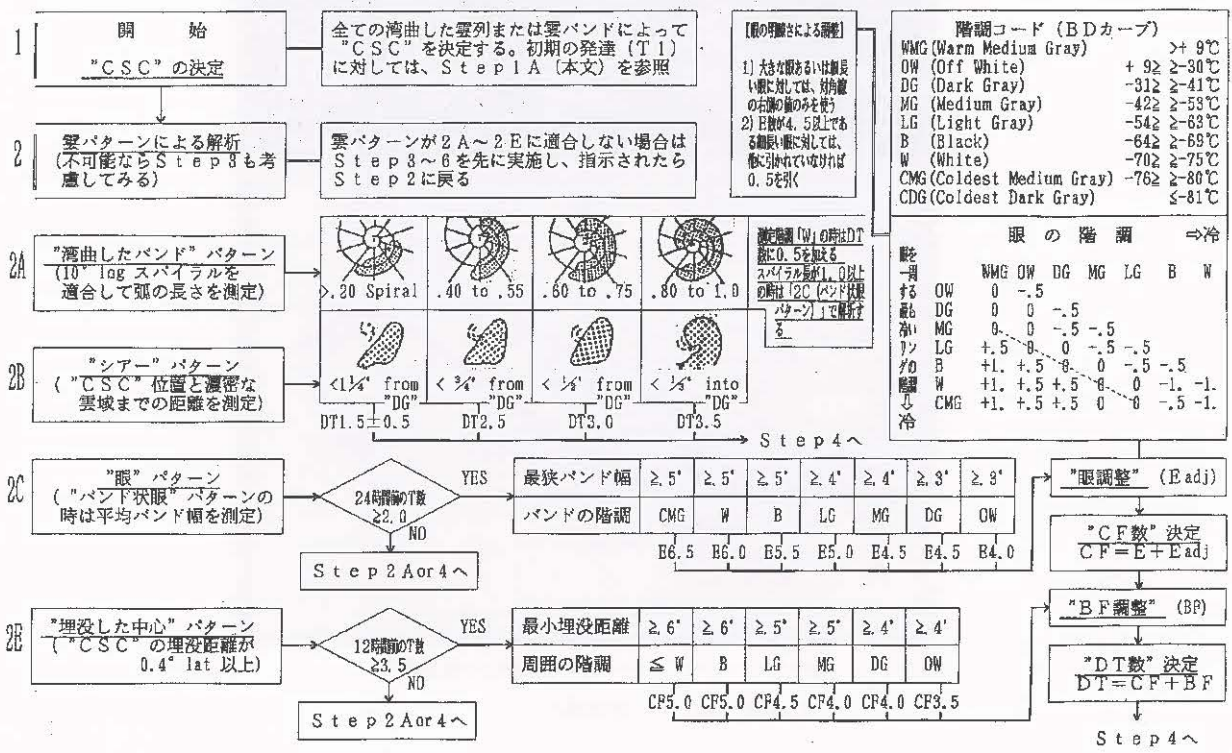


図 2-1-3a Dvorak 法 (EIR 法) のダイアグラム (Dvorak, 1984 を改訂)

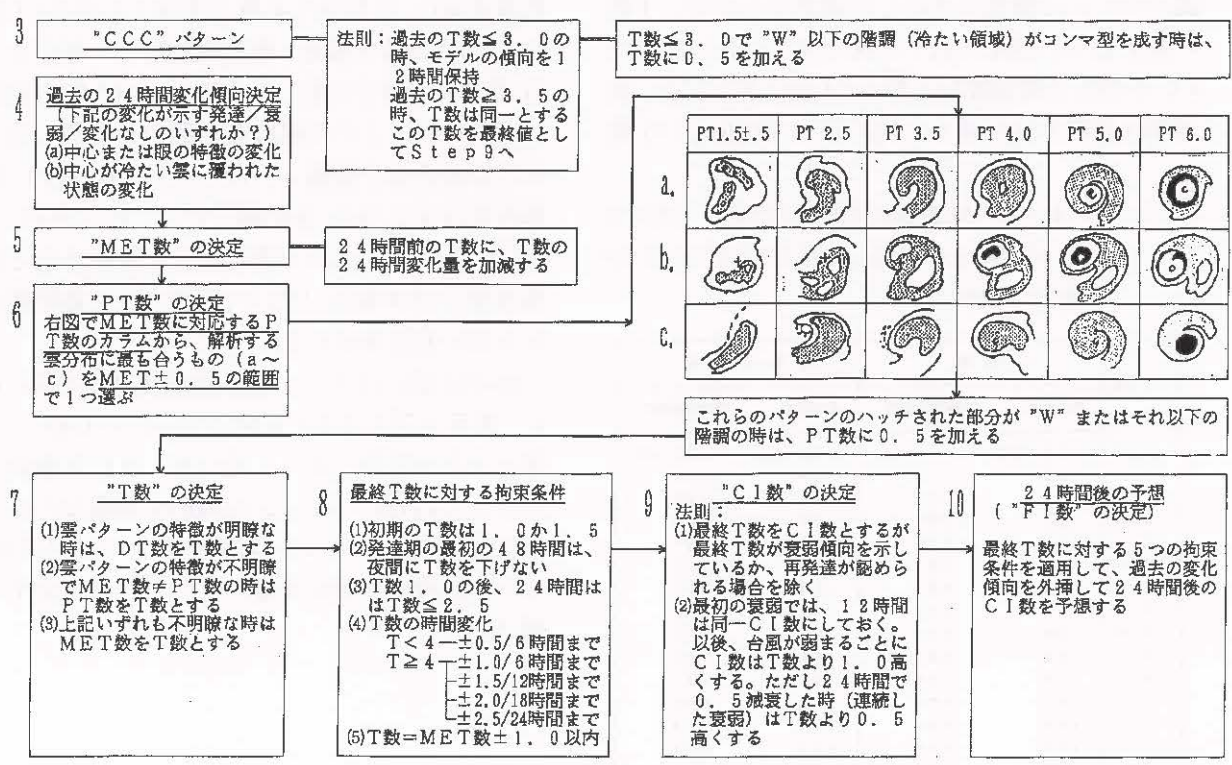


図 2-1-3b Dvorak 法 (EIR 法) のダイアグラム (Dvorak, 1984 を改訂)

表 2-1-2 熱帯低気圧の雲パターンとその特徴

ステージ	雲パターン	細分化した雲パターン	雲パターンの特徴	雲パターン (中心決定)	雲パターン (強度推定)
発生期	Cb クラスター	Unorganized CB Cluster	中心 (CSC) 付近に Cb クラスターが散在している。	Unorganized CB Cluster	Curved Band
		Organized CB Cluster	Cb が組織化して、curved band への移行期。	Organized CB Cluster	
発達期	下層雲渦	LCV	下層雲のみによる渦。(Low level Cloud Vortex)	Shear or LCV	Shear
		Shear	下層雲列により決定される中心 (CSC) と濃密な雲域がずれている。鉛直シアアが大きい時現れる。		
	バンド	Curved Band	中心を示唆するような曲率を持つバンドがある。	Curved Band	Curved Band
	CDO	Distinct CDO	中心を取り巻くほぼ円形の濃密雲域で少なくとも一端が明瞭な縁を持つ。	Distinct CDO	Embedded
		Indistinct CDO	CDO の境界が RAGGED か、一様なキメをしていない。	Indistinct CDO	
		CCC	Curved band が消滅する時、中心付近に見られるほぼ円形の濃密な雲域。(Central Cold Cover)	Indistinct CDO	CCC
最盛期	眼	Distinct Small Eye	直径が 40km 以内の大きさの眼 (中心決定の場合)。直径が 0.75 度以内の大きさの眼 (強度推定の場合)。	Distinct Small Eye	Eye
		Distinct Large Eye	直径が 40km 以上の大きさの眼 (中心決定の場合)。直径が 0.75 度以上の大きさの眼 (強度推定の場合)。	Distinct Large Eye	
		Ragged Eye	眼を形成している雲の壁が不規則な形状をしていたり、中に別な雲を含んでいる。	Ragged Eye	
	バンド状眼	Banding Eye	眼を一周以上するバンドがある。	Banding Eye	Banding Eye
衰弱期	下層雲渦	Shear	下層雲列により決定される中心 (CSC) と濃密な雲域がずれている。鉛直シアアが大きい時現れる。	Shear or LCV	Shear
		LCV	下層雲のみによる渦。(Low level cloud vortex)		
		EXL	温帯低気圧に移行しつつある。(Extra-tropical Low)		

ステップ 2

ステップ 2 では雲パターン別に雲域の形状・温度を計測して客観的に DT 数を求める。この強度推定のパターン分類は中心推定と若干違うので解説する(表 2-1-2)。表に示すように中心の決定における 3 種類の眼パターンは強度推定では眼パターンに、2 種類の CDO パターンは Embedded Center (埋没した中心。以下 EMBED と略す) パターンに、Curved Band パターンと 2 種類の Cb クラスターパターンは Curved Band (以下バンドと略す)

パターンに、Shear と LCV (Low level Cloud Vortex: 下層雲渦) パターンはシヤーパターンにまとめられる。

2 A. バンドパターン

バンドパターンは強度推定で最も基本的なパターンであり、他のいずれのパターンにも該当しない時は必ずこのパターンで解析を試みる。また特に発生・発達期における重要なパターンである。この DT 数は熱帯低気圧の厚い雲域からなる雲バンドにスパイラルの定規 (10° log spiral) を当て

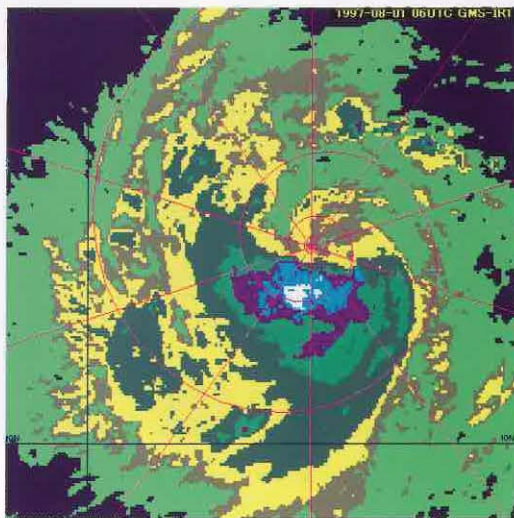


図 2-1-4a EIR 画像によるバンドパターンの DT 数の計測

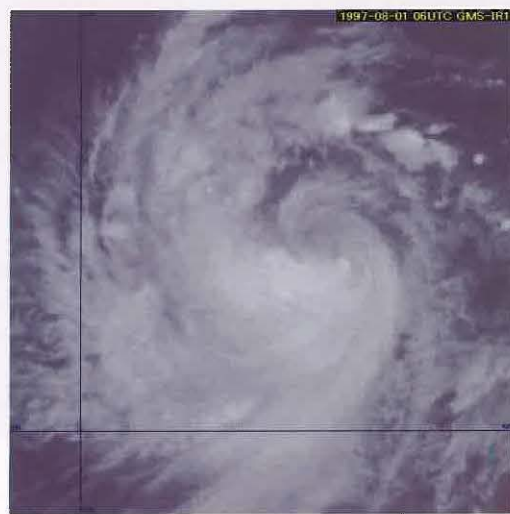


図 2-1-4b 図 2-1-4a の赤外画像

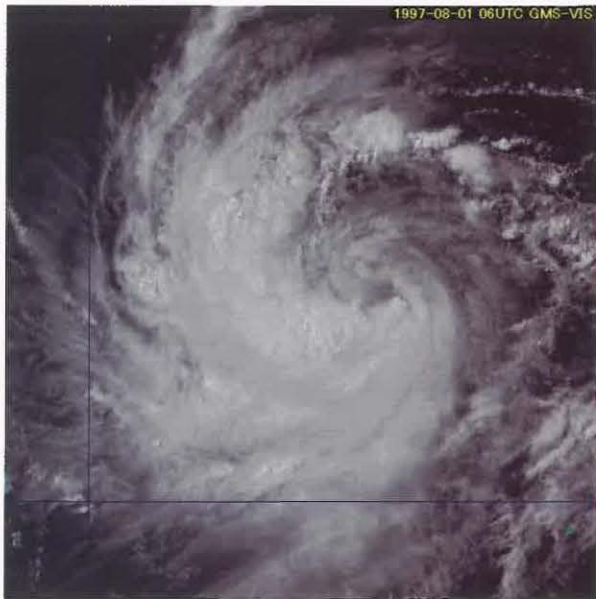


図 2-1-4c 図 2-1-4a の可視画像

て一周を 1.0 としてその長さを測り、ダイアグラム(図 2-1-3a)の 2A の欄と見比べて決める(図 2-1-4a)。雲バンド長を測るために、まずバンド軸を次のようにひく。

- 雲バンドの内側の縁に平行になるように最も冷たい階調に沿ってひく。
- いくつかバンドがある場合は一番曲率の大きい(タイトな)バンドに沿ってひく。

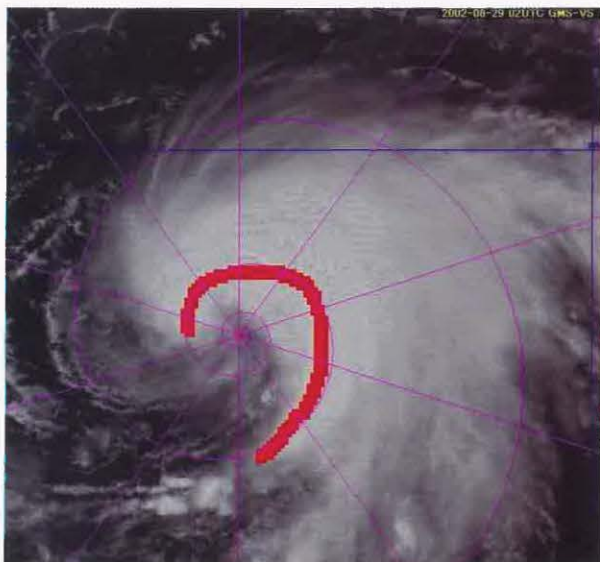


図 2-1-5a 可視画像によるバンドパターンバンド長

○Ci しかないのに赤外面像で厚い雲域のように見える部分はバンドと認知せず、昼間は可視画像も参考にして厚い雲域にひく。

バンド長はこのバンド軸が DG 階調(黄土色)^{*1}か W 階調(紫色)^{*1}に一致する部分を測る。W の場合は DT 数に 0.5 を加える。スパイラルはその中心が CSC と一致している必要はなく、バンド軸にスパイラルが合うように移動しても良い。気象衛星センターではバンド長が 1.0 を超えたならば VIS 法を援用して、1.05~1.30 は DT 数 4.0、1.35~1.70 は DT 数 4.5 としているが、この場合は積極的に Banding Eye(以下バンド状眼と略す)パターンを採用するようにしている。

事例(図 2-1-5a、b)

- ・バンド軸は可視画像を参考にして厚い雲域の部分にひいた(赤線)。夜間は赤外面像の動画で厚い雲域を判別する。バンド長の測定階調は DG で約 0.75、DT 数は 3.0 になる(図 2-1-3a の 2A 欄)。
- ・可視画像(図 2-1-5a)で下層渦が見られシヤーパーンとすることもできるが、湾曲する雲バンドが明瞭な場合はバンドパターンで解析する(図 2-1-7b と比較)。発達期にこのような事例がしばしば見られる。

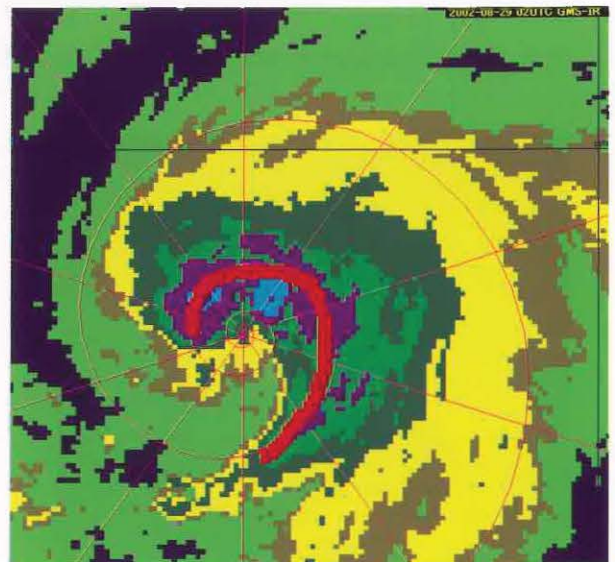


図 2-1-5b バンドパターンバンド長(EIR 画像)

2 B. シャーパターン

シャーパーターンは特に熱帯低気圧が偏西風帯まで北上し、風の鉛直シャアの影響を受け衰弱すると出現しやすいパターンである。DT 数は CSC から厚い雲域 (DG 階調で緯度に換算して直径 1.5° 以上) までの最短距離を測り (図 2-1-6a の赤矢印)、ダイアグラム (図 2-1-3a) の 2B の欄と見比べて決める。日中は可視画像も参考にして厚い雲域を判別し、Ci だけで厚い雲域のように見える部分は無視する。最短距離が $\geq 1.5^\circ$ の場合はバンドパターンで解析する。さらに最短距離が $\geq 2.5^\circ$ の場

合は LCV とし、DT 数は解析しない。逆に CSC が厚い雲域に 0.4° 以上入り込んでいるときは他のパターンで解析する (例えば EMBED パターン)。またダイアグラムでは規定していないが、気象衛星センターでは $1.5^\circ >$ 最短距離 $\geq 1.25^\circ$ の時は DT 数 = 1.0、 $1.25^\circ >$ 最短距離 $\geq 1.0^\circ$ の時は DT 数 = 1.5、 $1.0^\circ >$ 最短距離 $\geq 0.75^\circ$ の時は DT 数 = 2.0 として細分している。

事例 (図 2-1-7a, b)

- ・ CSC から厚い雲域までの最短距離は 0.83° なので (赤矢印) DT 数は 2.0 となる。

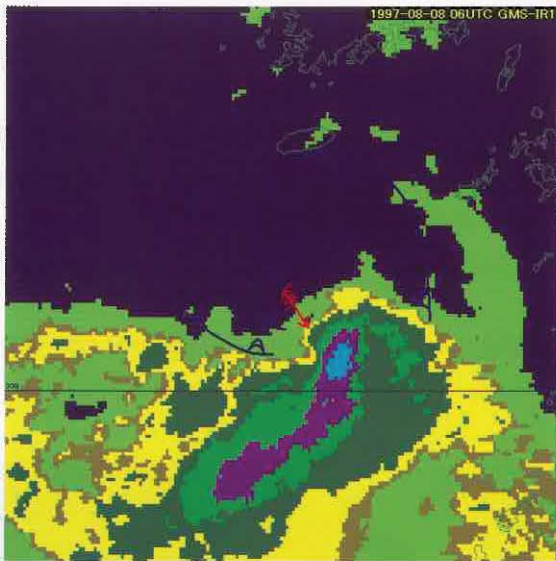


図 2-1-6a シャーパーターンの DT 数 (EIR 画像)
青線は Cu ライン、 \otimes は CSC (以下同様)

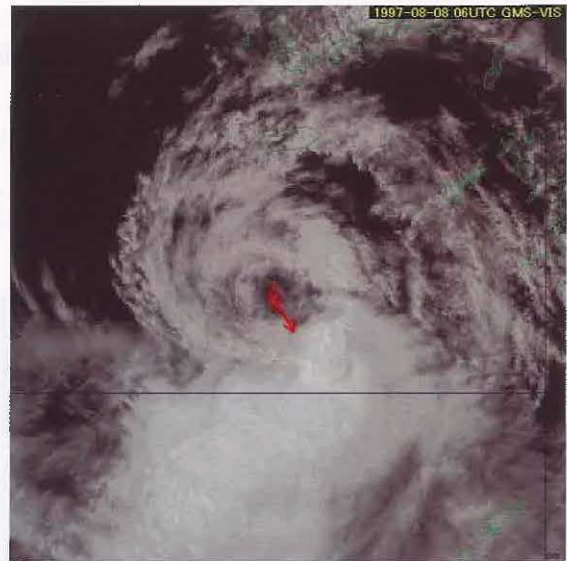


図 2-1-6b 図 2-1-6a の可視画像

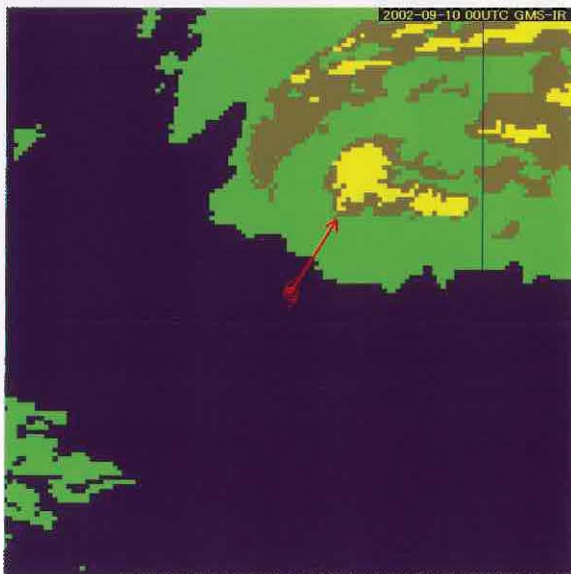


図 2-1-7a シャーパーターンの DT 数 (EIR 画像)

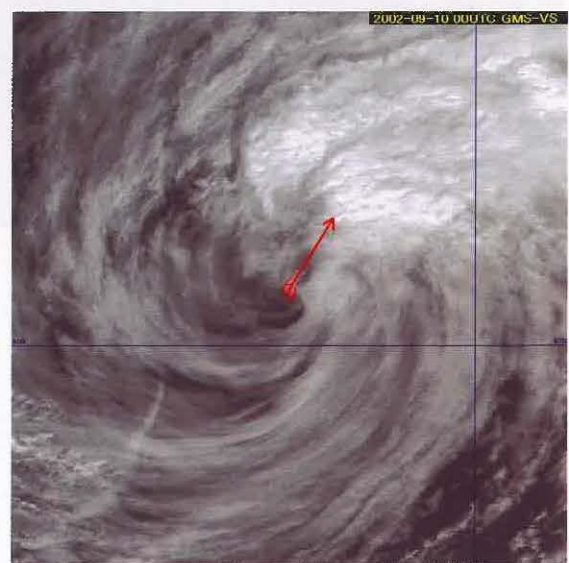


図 2-1-7b 図 2-1-7a の可視画像

2 C. 眼パターン

眼パターンの DT 数を決定する手順は複雑である。まず眼を一周する CDO の階調(ドーナツの形をしている)の最狭幅(緯度に換算する)とダイアグラム(図 2-1-3a)の 2C の欄と比べて、一番冷たい階調に対応する E (Eye) 数を得る。例えば図 2-1-8 で階調 W (紫色) のドーナツ部分の最狭幅が 0.25° (黒矢印) である。このとき 2C 欄の「バンドの階調」W の上段を見ると「最狭バンド幅」 $\geq 0.5^\circ$ となっているので 0.25° はこの条件を満たさない。そこでドーナツ部分の階調を B (緑色) にすることにより最狭幅を広げ 0.51° (赤矢印) にすると、2C 欄の「バンドの階調」B の「最狭バンド幅」 $\geq 0.5^\circ$ を満たす。よって「バンドの階調」B の下を見ると E5.5 なので E 数は 5.5 になる。次に眼の階調と形状及び眼を一周する一番冷たい階調から眼調整を決め(図 2-1-3a 右上)、CF (Central Feature) 数 = E 数 + 眼調整とする。さ

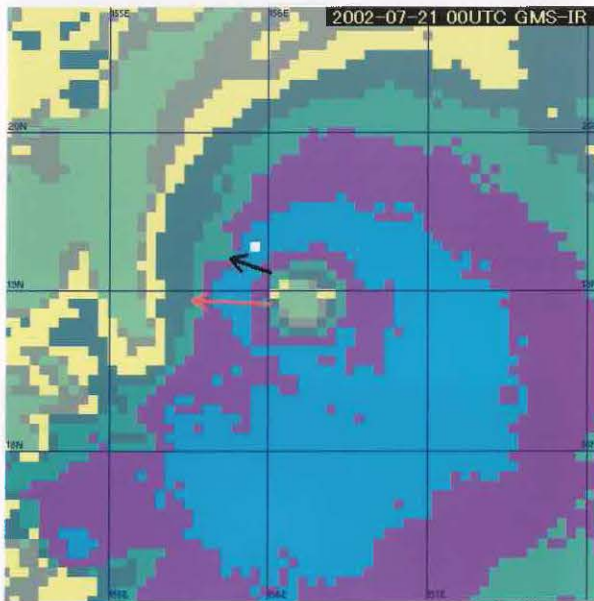


図 2-1-8 眼パターンにおける CDO の最狭幅の測定



図 2-1-9 BF 数の図。MG より冷たい階調がコンマ型を示し、DG 階調より暖かい部分がこれらと同じように台風へ南から入り込んでいたならば 0.5 か 1.0 を CF 数に付加する。(Dvorak, 1982)

らに雲パターンが図 2-1-9 のようにコンマ型するとき雲システムへの暖域の入り込み方により BF (Banding Feature) 数を決め、DT 数 = CF 数 + BF 数となる(図 2-1-3a 右下)。これらの指数を測定する際の注意点を列挙する。

- 最狭幅はドーナツ部分の縁の小さな凹凸をならして測る。また小さなひび割れも無視する。(図 2-1-10 赤矢印)
- 眼階調は眼の 1/4 以上を占める一番暖かな階調にする。
- 雲域のコンマ型が見せかけの場合は BF 数を採らない。これについては 2.2(1) で詳述する。

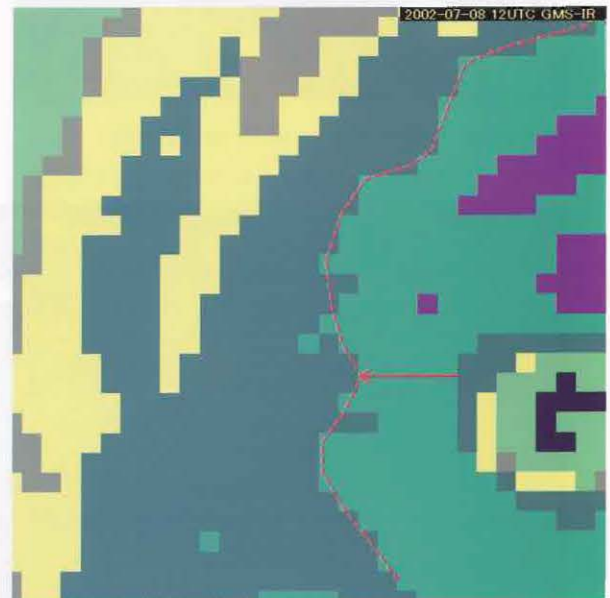


図 2-1-10 CDO の凹凸をならして(赤破線) 最狭幅を測る(赤矢印)

事例(図 2-1-11a、b、c)

- CDO(ドーナツ形状)の最狭幅(赤矢印)はB階調(緑色)の時0.73となる。一方、ダイアグラム(図 2-1-3a)の2Cの欄を見るとBの時最狭バンド幅 $\geq 0.5^\circ$ となっているので、この最狭幅は条件を満たしE数は5.5となる。
- 眼の直径は $\leq 0.75^\circ$ で扁平率は $\leq 2/3$ なので大きな眼でも細長い眼でもない。このためダイアグラムの眼調整用の表(図 2-1-3a 右上)を全て適応できる。眼を1周し閉じている最冷階調はB、眼階調はWMG(黒色)より眼調整は+1.0となる。
- CF数=E数+眼調整=5.5+1.0=6.5
- 台風の東側で南に伸びる尻尾はCiなので(図 2-1-11b)、見かけ上、MG階調(黄色)より冷たい領域がコンマ型になっているだけである(図 2-1-11c)。このため図 2-1-9 のいずれのモデルもあてはまらないのでBF数は0.0とする。
- DT数=CF数+BF数=6.5+0.0=6.5

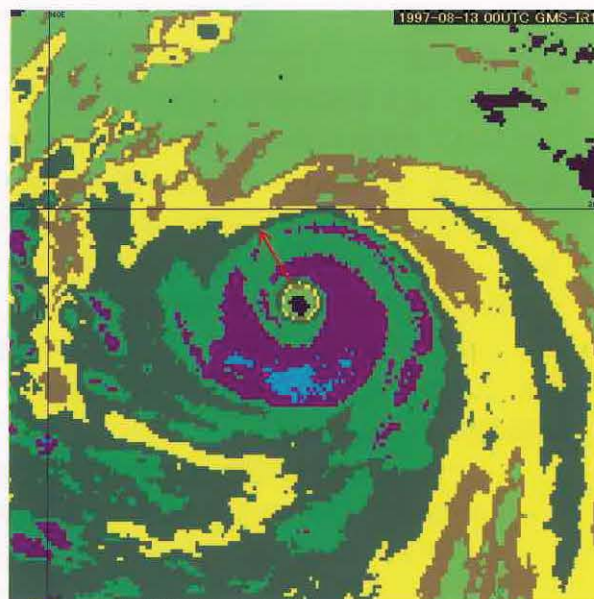


図 2-1-11a 眼パターンのDT数(EIR画像)



図 2-1-11b 眼パターンのDT数(可視画像)

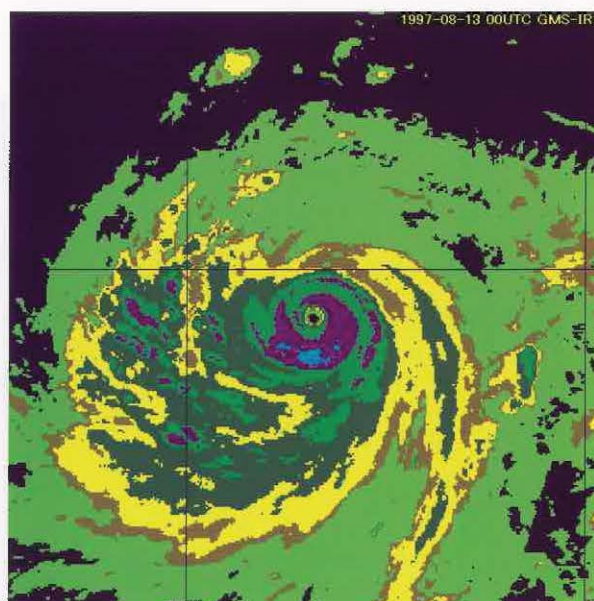


図 2-1-11c 眼パターンのBF数

バンド状眼パターンは眼の壁雲のように雲バンドに円く囲まれ閉じていなくてもよい。つまり雲域が蚊取り線香のようなイメージでもバンド状眼パターンで解析できる。また可視画像(図 2-1-12a)と比べると赤外画像(図 2-1-12b)では雲バンドが不明瞭に見える場合があるが、可視画像を優先して雲バンドを決めバンドの平均幅を測る(図 2-1-12c の赤矢印)。このことにより夜間、赤外画像で雲バンドが多少不連続に見えても積極的にバンド状眼パターンを採用する。事例(図 2-1-12a、b、c)

- バンドの平均幅は可視画像を参考に LG(深緑色)で測ると 0.8° となる(図 2-1-12c の赤矢印)。ダイアグラム(図 2-1-3a)の 2C の欄を見ると LG の時最狭バンド幅 $\geq 0.4^\circ$ となっているので、この最狭幅は条件を満たし E 数は 5.0 となる。
- 眼の直径は $\leq 0.75^\circ$ 、扁平率は $\leq 2/3$ で大きな眼でも細長い眼でもないためダイアグラムの眼調整用の表(図 2-1-3a 右上)を全て適応できる。眼を 1 周する最冷階調は B、眼階調も B なので眼調整は -0.5 となる。
- CF 数 = E 数 + 眼調整 = $5.0 - 0.5 = 4.5$

- 図 2-1-9 のような南から暖域(DG より暖かい階調)の入り込みはないので、BF 数は 0.0。
- DT 数 = CF 数 + BF 数 = $4.5 + 0.0 = 4.5$

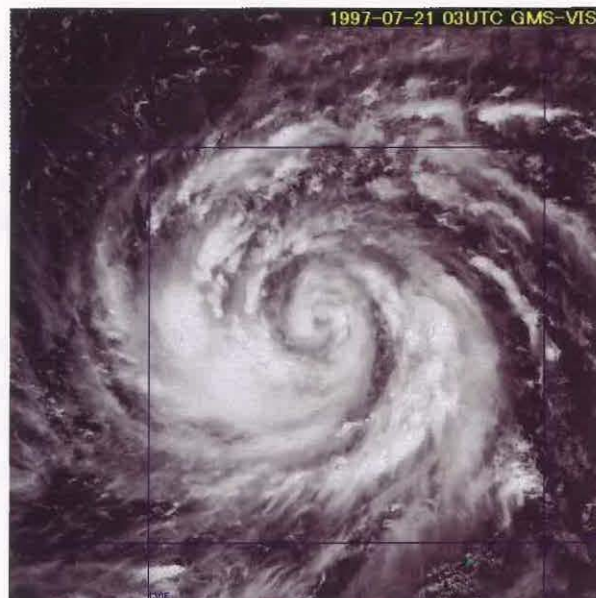


図 2-1-12a バンド状眼パターンの DT 数(可視画像)

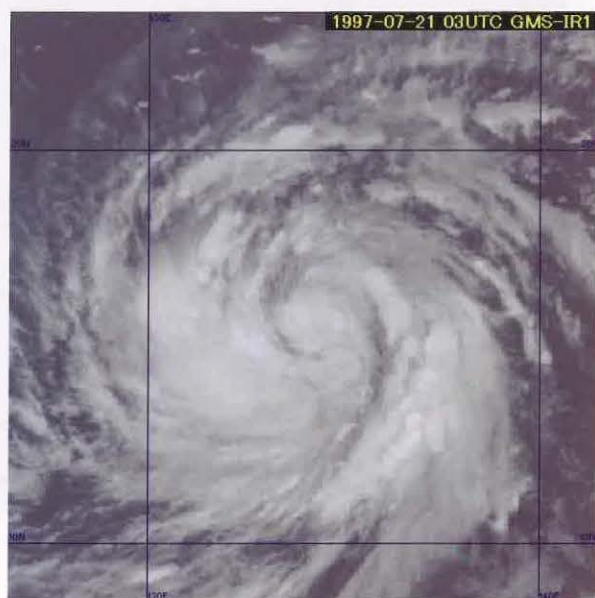


図 2-1-12b バンド状眼パターンの DT 数(赤外画像)

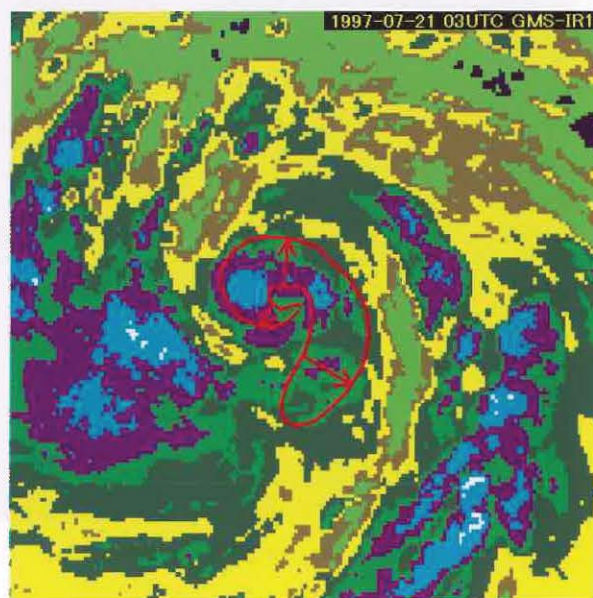


図 2-1-12c バンド状眼パターンの DT 数(EIR 画像)

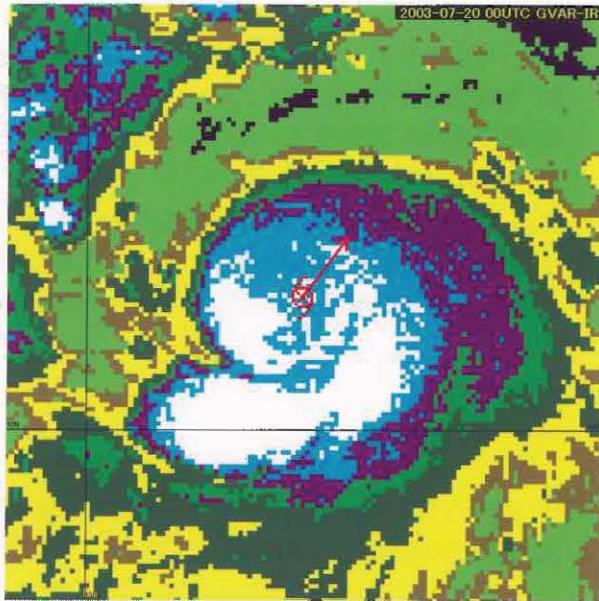


図 2-1-13a EMBED パターンの DT 数(EIR 画像)

2 E. EMBED パターン

EMBED パターンは眼パターンと同様に CDO の最狭幅を測って DT 数を求める(但し CSC からの最狭幅(最小埋没距離)。図 2-1-3a の 2E の欄を参照)。また BF 数も同様に決める。ここで EMBED パターンは眼がないので、CSC 付近の円い雲域が CDO かどうかを判断するのが難しい場合がある。円くて厚い雲域を CDO とする判定規準は、その雲域が Cb のアンビルが広がったものでなく数時間継続しており、赤外面像で CDO 内部にスパイラル構造がしばしば見られ、その外縁の少なくとも一部は滑らかな円周になっていることである(図 2-1-13b)。CDO と判断しない場合はバンドパターンで強度を解析するので、DT 数が EMBED パターンよりかなり小さく推定されることになる。

事例(図 2-1-13a、b)

- CDO の最小埋没距離は、CMG (水色)の小さな凹凸をならして測ると 1.02(図 2-1-13a の赤矢印)。ダイアグラム(図 2-1-3a)の 2E の欄を見ると、Wより冷たい階調の時、最小埋没距離 $\geq 0.6^\circ$ となっている。よってこの最小埋没距離は条件を満たすので CF 数は 5.0 となる。
- 図 2-1-9 のように台風に入り込む暖域(DG より暖かい階調)はないので、BF 数は 0.0。
- DT 数=CF 数+BF 数=5.0+0.0=5.0



図 2-1-13b EMBED パターンの DT 数(赤外面像)

ステップ 4、5

MET 数は現在の画像を 24 時間前の画像と見比べて発達・衰弱を判断し、標準的な発達(衰弱)では 24 時間前の T 数に 1.0 を加え(減じ)、発達(衰弱)が速い場合は 1.5、遅い場合は 0.5 を加え(減じ)て求める。この判断の基準を表 2-1-3 に示す。雲頂高度や雲域の増減は発達・衰弱の判断基準となるが、パターンの変化を優先して考える。基本的にパターンが 1 段階発達(例えば EMBED→眼)するだけで 1.0 加える。逆も同様である。さらに雲

表 2-1-3 熱帯低気圧の発達の特徴
衰弱はこの逆になる

パターン	発達の特徴
バンド	湾曲したバンドが長くなった 湾曲したバンドの温度が冷たくなった
シヤール	湾曲した下層雲列による CSC が明瞭になった CSC が濃密な雲域に近づいた
眼	眼が現れた 眼が CDO の幾何学的中心に近づいた 眼の温度が暖かくなった 眼が円く明瞭になった 眼が小さくなった CDO の温度が冷たくなった CDO が大きくなった CDO の上面が滑らかになった CDO の外縁が円く滑らかになった BF 数の特徴が増した
EMBED	CSC が CDO の幾何学的中心に近づいた CDO の温度が冷たくなった CDO が大きくなった CDO の上面が滑らかになった CDO の外縁が円く滑らかになった BF 数の特徴が増した

頂高度と雲域が減じてもパターンが EMBED から眼に変われば発達と見る。なぜなら雲頂高度や雲域の増減は日変化やさらに短周期の変化があり(図 2-1-2 の T 数の曲線参照)、短時間では熱帯低気圧が衰弱したように見えることがあるが、パターンは短周期の変化があまりないからである。逆にたまたま発達したように見える場合もある。最新画像 1 枚だけで強度変化を考えずに、長時間動画を見て長期の発達・衰弱傾向を把握しなければならない。また強度推定開始当初は 24 時間前の T 数がないので MET 数は解析できないが、気象衛星センターでは 18 時間以内の T 数があれば変化量を内分して 24 時間の変化量に換算し MET 数を求めている。

ステップ 6

PT 数は MET 数を調整して得る。つまり解析中の熱帯低気圧の雲パターンを、PT 図(図 2-1-3b の右上)の MET 数に対応する列(MET 数が 4.0 ならば図の最上段で PT4.0 の列)のモデルパターンと比較して、明らかに強い弱い場合に MET 数を ±0.5 の範囲で調整して決める。さらに PT 図のハッチ部分が EIR 画像の W またはそれより冷たい階調に一致していたら、PT 数に 0.5 を加える。また PT 図の a 欄、b 欄、c 欄はそれぞれバンドパターン、EMBED パターン、シヤーパーターンの発達モデルに該当するが、DT 数で採用した雲パターンと必ずしも一致しなくてよい。但しシヤーパーターンは一致させる。

ステップ 7、8

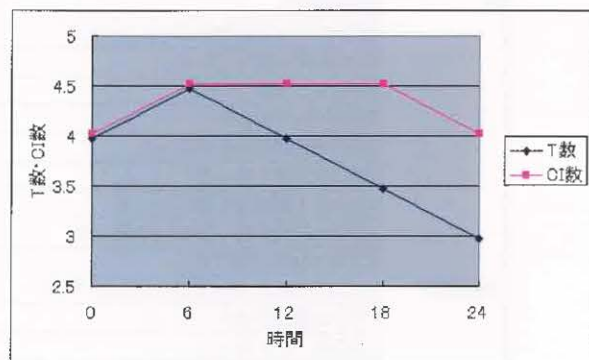
T 数に DT 数、PT 数、MET 数の中から一つを採用する。選択の優先順位はこの順番である。DT 数は

雲の測定要素が明瞭な場合採用するので、雲パターンがはっきりしている眼パターンは基本的に DT 数を採用する。PT 数は雲パターンが不明瞭で DT 数決定時の計測精度が悪い時、MET 数はステップ 6 で雲パターンと PT 図のパターンとの対応がよくない時採用する。また雲域の急激な変化による T 数の短周期変化を抑えるために、T 数の時間変化量に制限を加えている(図 2-1-3b のステップ 8)。

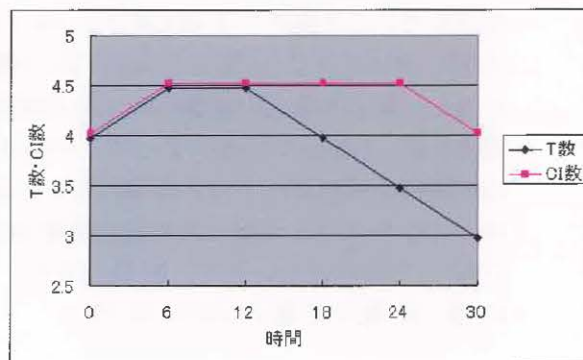
ステップ 9

ここで T 数を CI 数に変換する。台風の発達中は CI 数 = T 数だが、衰弱期は雲域の衰弱が強度(最大風速、最低海面気圧)の低下に先行するので T 数にタイムラグ(12 時間)をつけて CI 数を決める(図 2-1-14)。再発達の場合は T 数が CI 数と同じ大きさになるまで CI 数は変化せず、再び T 数が減少したら CI 数は 12 時間のタイムラグを待って減少する。一方上陸時には強度(CI 数)がタイムラグなしで T 数と一緒に低下することが多いが、オリジナルの Dvorak 法はこのことを考慮していなかった。このため木場ほか(1989)はフィリピンに上陸した 13 個の熱帯低気圧の強度を解析し、次のような条件を付加した。

- 1) 上陸によって初めて T 数が下がった場合、CI 数決定規則の 12 時間のタイムラグを適用せず CI 数 = T 数とする。
- 2) T 数が下がり始めてから 12 時間以内に上陸して、更に T 数が減少するときは、T 数の減少量と同じだけ CI 数を下げる。
- 3) 再び海上に出ても、明らかに再発達の兆候が見えるまで上記の関係を維持する。



(a)



(b)

図 2-1-14 衰弱期の T 数と CI 数の関係

上陸時と再発達のT数と CI 数の関係を整理すると次のようになる(図 2-1-15)。

①上陸の場合

A. T_{max} 直後(6時間以内)に上陸し(赤線) T数が減少し始めた場合は、CI 数も T数といっしょに減少する。

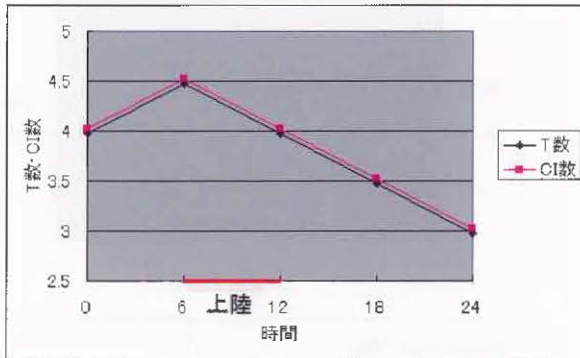


図 2-1-15 ①A

C. T_{max} から 12 時間以後に上陸した場合は (赤線)、CI 数は 12 時間のタイムラグを適用してから減少する。

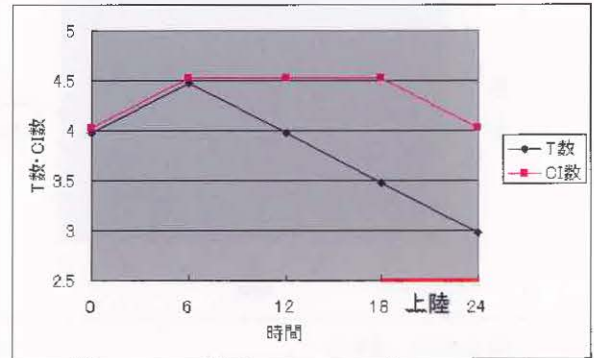


図 2-1-15 ①C

B. T_{max} から 6～12 時間後に上陸した場合は(赤線)、その時の CI 数と T数の差を維持しながら(但し差が 1.0 より大きい場合は1になるように)CI 数も減少する。

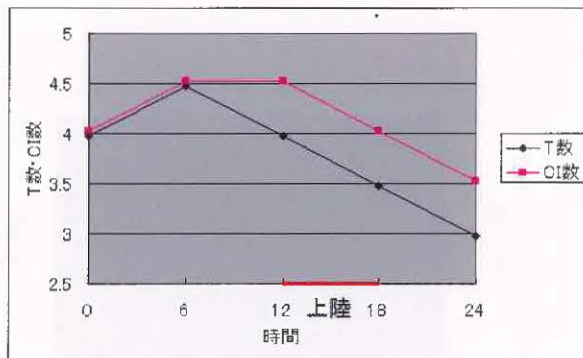


図 2-1-15 ①B

②再発達とする(CI 数が12時間のタイムラグをとる)場合

A-1. 初め $T=CI$ で両者が減少し(①Aの T_{max} 直後上陸した場合)、T数が増加した後再び減少し始めると CI 数は 12 時間のタイムラグをとってから減少する。

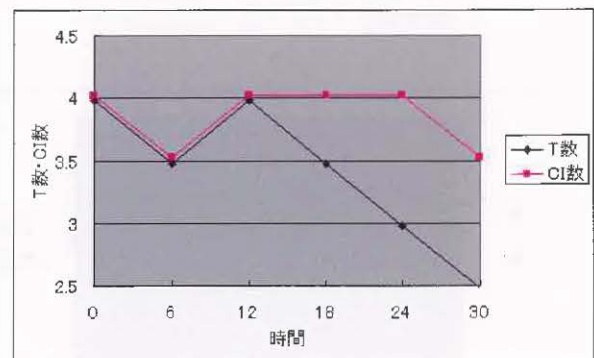


図 2-1-15 ②A-1

A-2. 初め $T=CI$ で両者が減少し(①Aの T_{max} 直後上陸した場合)、T数が12時間以上同じ値をとるとCI数は12時間のタイムラグをとってから減少する。

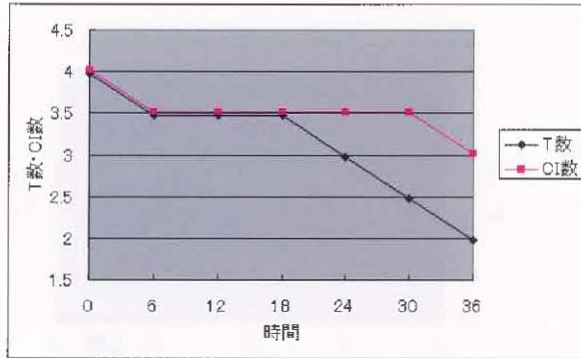


図 2-1-15 ②A-2

③再発達としない(タイムラグをとらない場合)

A. 初め $T=CI$ で両者が減少し(①Aの T_{max} 直後上陸した場合)、T数が6時間同じ値でも再発達としない(②A-2と比較)。

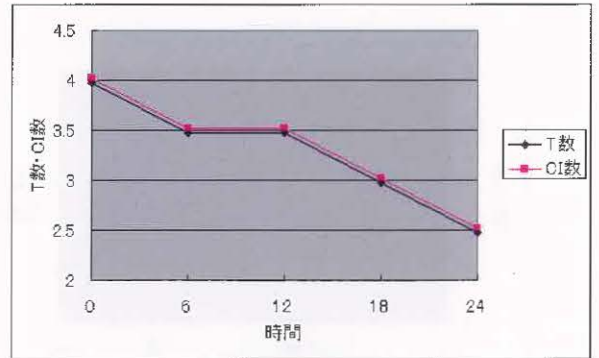


図 2-1-15 ③A

B. 初め $T < CI$ で両者が減少し、T数が増加してCI数と一致した後減少したらCI数は12時間のタイムラグをとってから減少する。

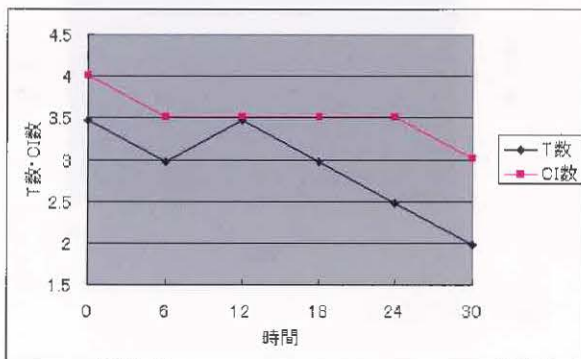


図 2-1-15 ②B

B. 初め $T < CI$ で両者が減少し、T数が増加してCI数に一致しなければ再発達としない(②Bと比較)。

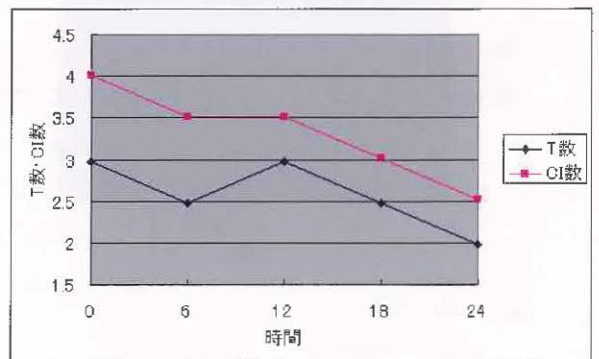


図 2-1-15 ③B

*1 赤外強調画像：赤外強調(EIR : Enhanced InfraRed)画像の階調(カラースケール)と TBB 温度の対応を示す(図 2-1-16)。詳細は第 1 章 1.2.2 参照。

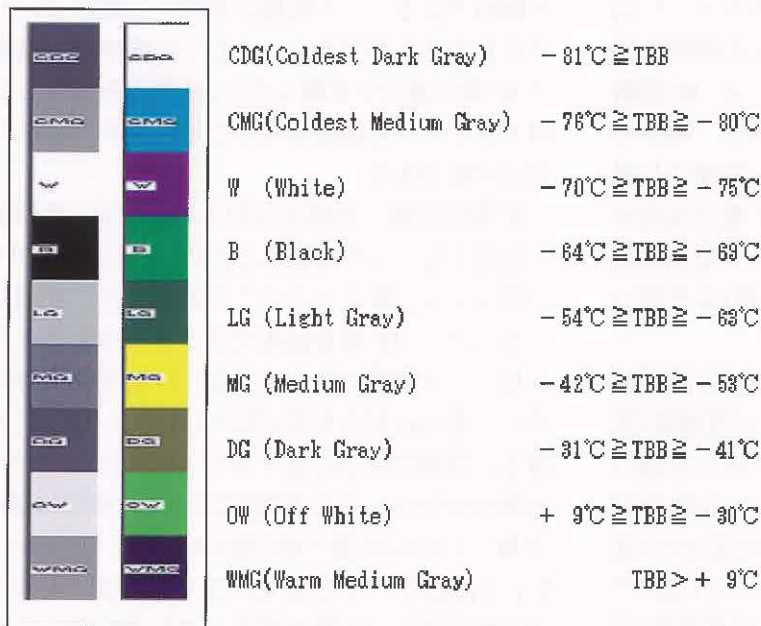


図 2-1-16 赤外強調画像の階調

*2 最大風速 : Dvorak 法では CI 数と最大風速の統計をとる際、1 分間平均最大風速を使用した。しかし日本では 10 分間平均最大風速を使用しているため、木場ほか(1990)は北西太平洋における CI 数と 10 分間平均最大風速の統計をやり直した。現在、気象衛星センターではこの調査結果(表 2-1-1 右側)を使用している。一方、気象庁で使用している 10 分間平均風速と 1 分間平均風速の換算表を表 2-1-4 に示す。国際的には 10 分間平均最大風速を使用することになっている。

表 2-1-4 10 分間平均風速と 1 分間平均風速の換算表(気象庁予報部、1990) 単位 kt

1 分間 平均風速	0 ~ 65	75	80	90	95	105	110	120	125	130	140	150	155	165	170	180	185	195	200
10 分間 平均風速	0 ~ 65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155

0~65kt : 1 分間平均風速=10 分間平均風速

65<10 分間平均風速≤155kt : 1 分間平均風速=10 分間平均風速×1.495-31.6

2.2 解析が難しい事例

(1) BF 数

前節で述べたように、BF 数を決めるとき雲パターンが見かけ上コンマ型になっているかどうか判別しなければならない。そこで幾つかの事例を挙げて判断の基準を示す。図 2-1-9 のように MG 階調より冷たい階調の領域がコンマ型を示し、南から台風の雲システムに入り込む暖域(DG 階調より暖かいくさび状の領域の長さ)により BF 数を採用するか判断する。くさび状の長さがコンマ型の尻尾の長さの 1/2(図 2-1-9 の左端の図参照)より短いときは BF 数=0.0 にする。

図 2-2-1a(DG より暖かい階調は黒色。以下同様の BF 数は、コンマ型の尻尾の部分を見視画像(図 2-2-1b)で見ると対流雲があり、図 2-1-9 の右端の図と比べると BF 数=0.5 となる。しかし同様な暖域の入り込みをしている図 2-2-2a の尻尾は Ci(図 2-2-2b)で、見かけ上コンマ型になっているので BF 数=0.0 である。図 2-2-3a の尻尾は見視画像(図 2-2-3b)で見るとこの台風の雲システムと繋がっ

ていて、図 2-1-9 の真中の図と比べると BF 数=0.5 である。しかし図 2-2-4a の尻尾は雲システムから離れている(図 2-2-4b)ので BF 数=0.0 となる。また動画で見るとこの尻尾が台風から離れていく様子を見ることができる。これらの事例は見視画像で BF 数の適否を判断したが、夜間赤外画像しか利用できなくても動画を見ることにより、以上の判断は可能である。

BF 数は台風への暖気の侵入の程度が、その強度に寄与することから導入された。実際、BF 数が 0.5 の図 2-2-1、図 2-2-3 はこの直後さらに発達している。しかし BF 数を採用できる事例はあまりない。一見バンド状眼パターンでは BF 数が採用されやすいと思われがちだが、図 2-2-5 のように DG より暖かい階調が南から雲システムに入り込んでいる台風は少ない。また BF 数には細かい規則があり、CF 数<4.0 か CF 数>MET 数の時は雲パターンが図 2-1-9 に似ていても BF 数=0.0 となる。そのため DT 数決定時に BF 数を採用しても MET 数を決めた時点で BF 数=0.0 になることがある。

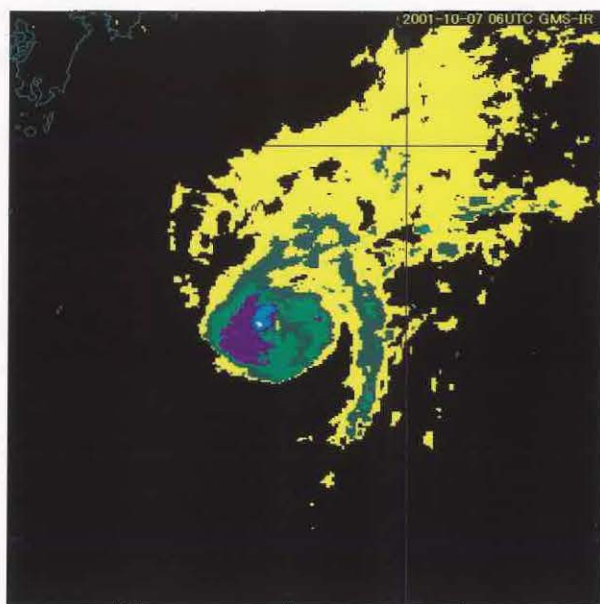


図 2-2-1a 眼パターン(EIR 画像) BF 数=0.5

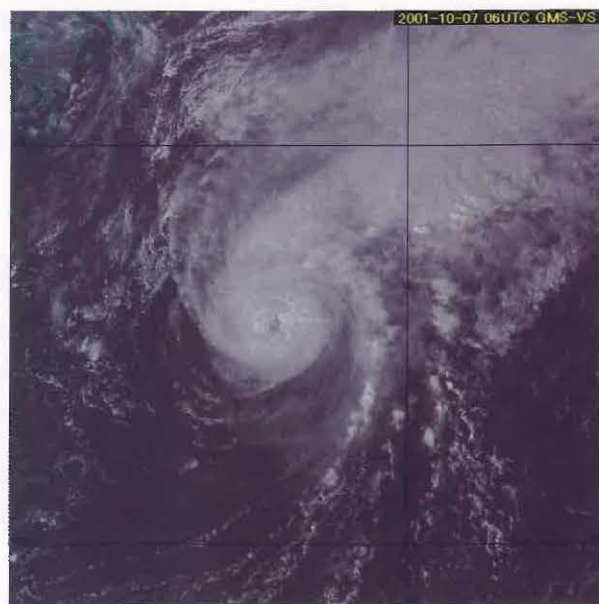


図 2-2-1b 図 2-2-1a と同時刻の見視画像

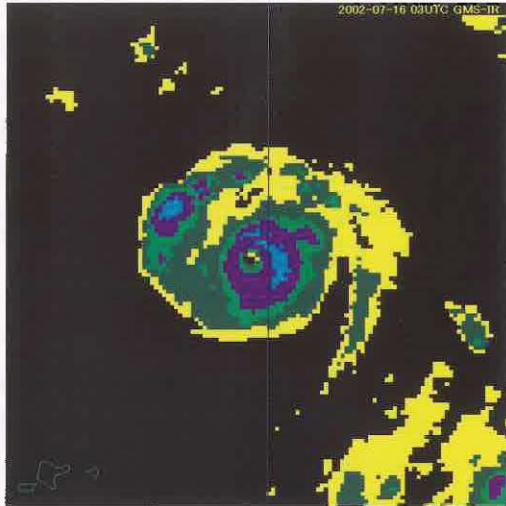


図 2-2-2a 眼パターン(EIR 画像) BF 数=0.0

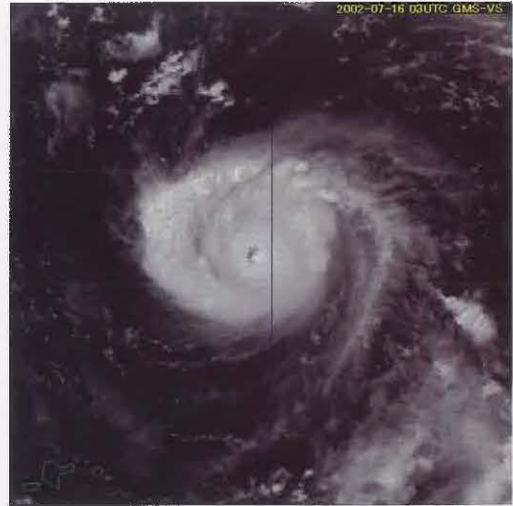


図 2-2-2b 図 2-2-2a と同時刻の可視画像



図 2-2-3a 眼パターン(EIR 画像) BF 数=0.5

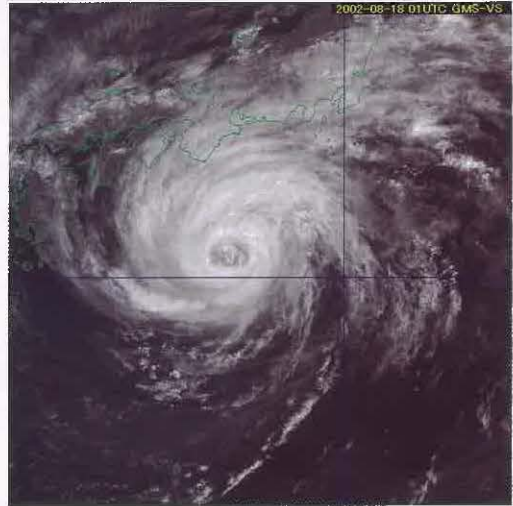


図 2-2-3b 図 2-2-3a と同時刻の可視画像



図 2-2-4a 眼パターン(EIR 画像) BF 数=0.0

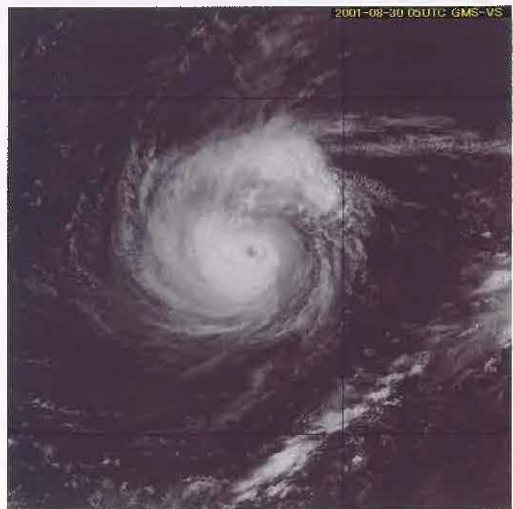


図 2-2-4b 図 2-2-4a と同時刻の可視画像

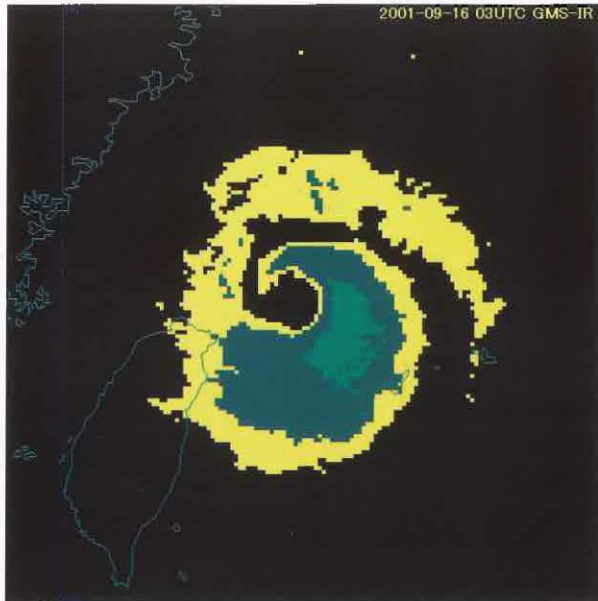


図 2-2-5 バンド状眼パターン(EIR 画像) BF 数=1.0

(2) 二重眼

日本付近まで北上した台風は成熟期を過ぎて衰弱し眼パターンから EMBED、バンドパターンなどに変わるが、眼パターンが崩れる時眼パターンの変種になることがある。図 2-2-6b は台風第 13 号の 2002 年 8 月 16 日 19UTC の EIR 画像である。この台風を中心に眼はあるが厚い雲域が二重に取り巻いており、CDO をどれにするか迷う所である。この DT 数を測ってみると次のようになる。

- ・パターン：内側の眼の壁雲が眼を完全に囲んでいるので眼パターンとする。
- ・E 数：CDO の最狭幅は階調 DG(黄土色)を採用できない(赤矢印)ので OW(黄緑色)となり E 数=4.0
- ・CF 数：眼階調 OW で眼を一周する最冷階調は MG(黄色)のため眼調整=0.0。大きな眼・細長い眼ではない。よって CF 数=E 数+眼調整=4.0
- ・DT 数=CF 数+BF 数=4.0

前の事例に似ているが内側の眼の壁雲が切れた同日 21UTC の事例(図 2-2-6c)を取り上げる。

- ・パターン：EIR 画像では内側・外側とも眼の壁雲が切れているのでバンド状眼パターンとする。

- ・E 数=4.0：眼を取り巻く最もタイトな曲率のバンドの最狭幅を DG(黄土色)では採用できない(赤矢印)ので OW(黄緑色)とする。
- ・CF 数：眼階調 OW(黄緑色)で眼を一周する最冷階調は DG(黄土色)のため眼調整=0.0。ぎりぎり細長い眼ではないとした。よって CF 数=E 数+眼調整=4.0
- ・DT 数=CF 数+BF 数=4.0

同様に同日 23UTC(図 2-2-6d)は

- ・パターン：眼パターンだが EIR 画像では内側の眼の壁雲が切れているので外側を眼の壁雲とする。
- ・E 数：CDO の最狭幅は階調 DG(黄土色)を採用できない(赤矢印)ので OW(黄緑色)で測り E 数=4.0
- ・CF 数：眼階調 OW(黄緑色)で眼を一周する最冷階調は MG(黄色)のため眼調整=0.0。大きな眼とする。よって CF 数=E 数+眼調整=4.0
- ・DT 数=CF 数+BF 数=4.0

この後この二重眼は内側の眼の壁雲が衰弱して消失し、外側の眼の壁雲が発達した(図 2-2-6e、17 日 07UTC)。Willoughby *et al.* (1982)によると、眼の壁雲の外側に新しい眼の壁雲が形成されると、内側の古い眼の壁雲が衰える場合もある。これに応じて台風自身もいったん発達を止め衰弱したり、外側の眼の壁雲の収縮によって再発達することもある。この事例でも DT 数で見ると 16 日 00UTC(図 2-2-6a)は眼パターンで 6.0 だったが 16 日 19UTC(図 2-2-6b)は 4.0 となり 17 日 07UTC(図 2-2-6e、最狭幅の階調は LG(深緑色))は 5.0 となった。

二重眼は南西諸島付近から関東の南の黒潮付近で、最近では 1~2 年に 1 回見られた(1997 年台風第 13 号、2000 年台風第 3 号、2002 年台風第 13 号、2003 年台風第 14 号)。このパターンの風速極大は内側と外側の眼の壁雲と大体同じ位置にあるようだ(Willoughby *et al.*, 1982)。外側の眼の壁雲のすぐ内側に風速極大があるという日本付近の観測もある(高嶺ほか、1998)。

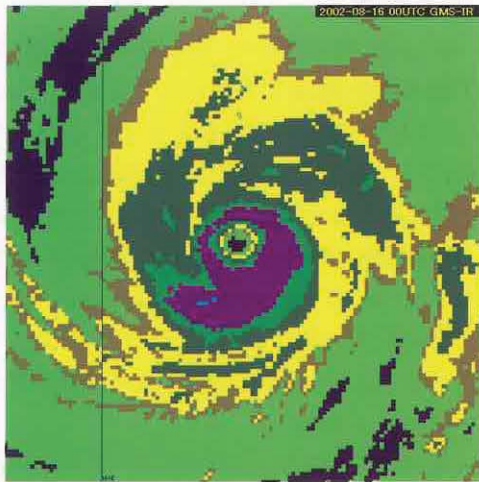


図 2-2-6a 眼パターン(EIR 画像)
DT 数=6.0、2002 年 8 月 16 日 00UTC

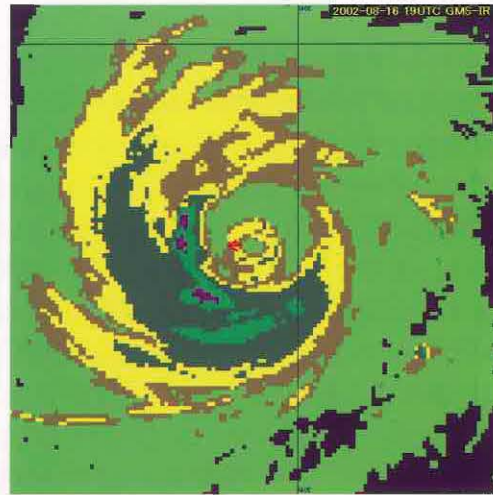


図 2-2-6b 二重眼の眼パターン(EIR 画像)
DT 数=4.0、2002 年 8 月 16 日 19UTC

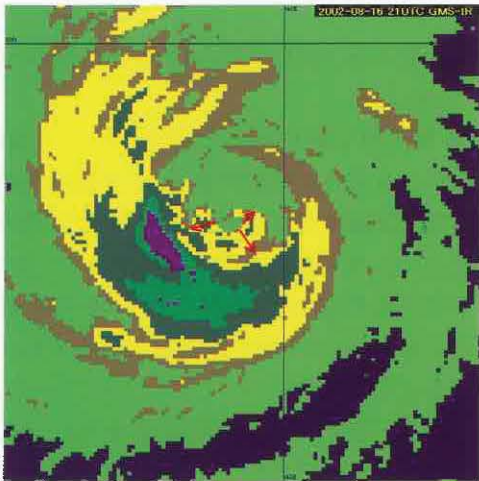


図 2-2-6c 二重眼のバンド状眼パターン(EIR 画像)
DT 数=4.0、2002 年 8 月 16 日 21UTC

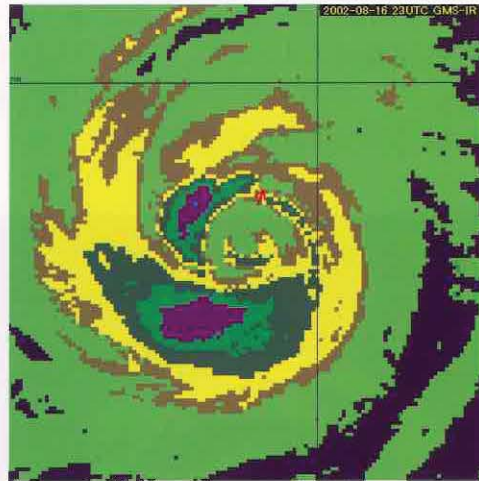


図 2-2-6d 眼パターン(EIR 画像)
DT 数=4.0、2002 年 8 月 16 日 23UTC

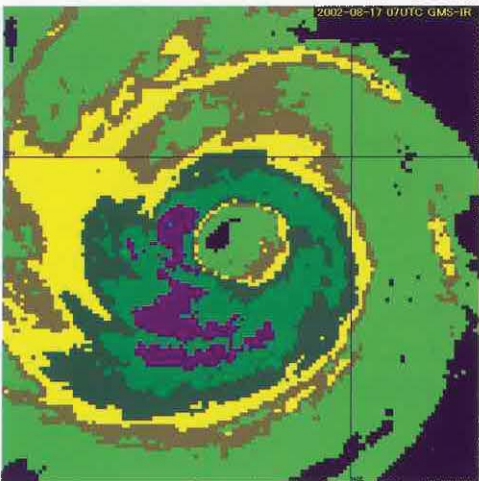


図 2-2-6e 眼パターン(EIR 画像)
DT 数=5.0、2002 年 8 月 17 日 07UTC

(3) 大きな眼

眼パターンで眼の直径が 0.75° 以上だと Dvorak 法ではプラスの眼調整は適用されないが、さらに直径が 1.5° 以上になると眼パターンは採用できずバンドパターンとなる。このような大きな眼は二重眼と同じように、黒潮付近で見られることがある。図 2-2-7 は 2000 年 8 月 7 日 12UTC の台風第 8 号の画像で、この後沖縄本島がすっぽりと入るくらいの大きな眼である。眼の直径は 1.5° 以上あり、これを眼パターンで解析することはできないが、仮に眼パターンで解析すると小さな割れ目を無視して DG 階調(黄土色)で最狭幅を測ることができ(赤矢印)、E 数=4.5 となる。そこでバンドパターンで解析すると、雲バンドの長さは 0.65(上層雲の部分は除外し DG 階調で測った。赤線)で DT 数は 3.0 となる。このように大きな眼の場合、パターンの採り方で DT 数が 1.5 も変わることがあるので注意が必要である。

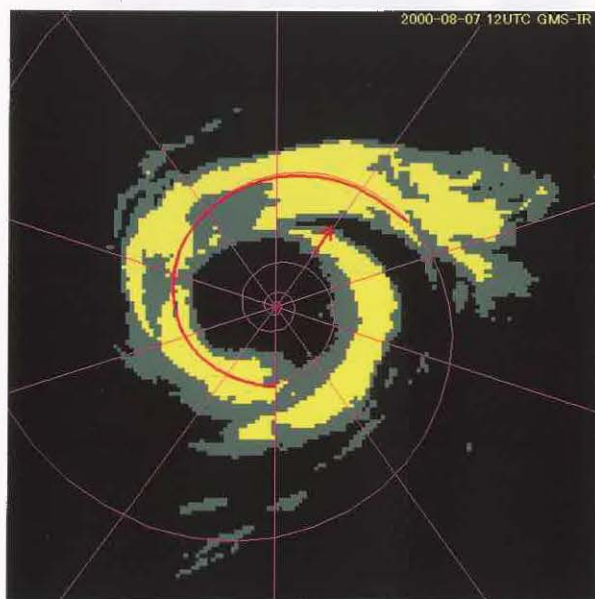


図 2-2-7 大きな眼の DT 数(EIR 画像)

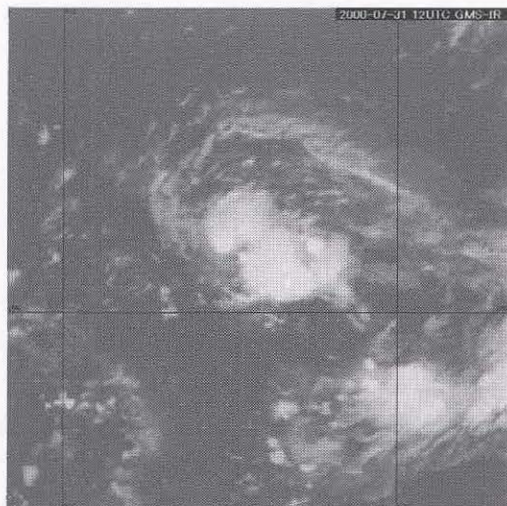
(4) 急発達

Dvorak 法において急発達する熱帯低気圧でも T 数の変化量は 1 日最大 2.5 を超えてはならないが(T 数が増加した結果 $T \geq 4.0$ になる場合)、実際には 3.0 以上の急激な発達を示す熱帯低気圧がある。図 2-2-8 は 2000 年の台風第 8 号の赤外画像(6 時間毎)である。以下に各画像の DT 数を示す。

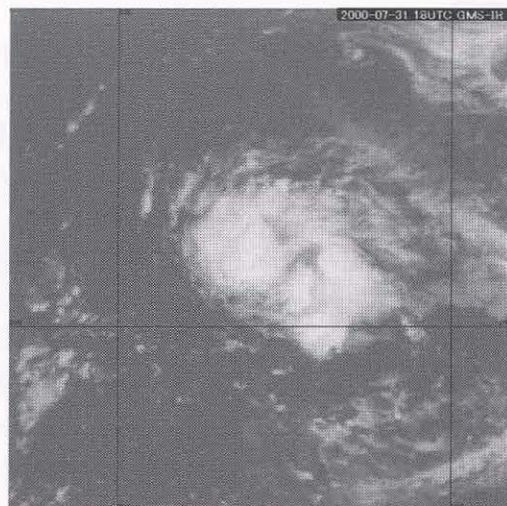
- ・ 7 月 31 日 12UTC(図 a)はバンドパターンで DT 数=1.0 未満。
- ・ 7 月 31 日 18UTC(図 b)はバンドパターンで DT 数=1.0 未満。
- ・ 8 月 1 日 00UTC(図 c)はバンドパターンで DT 数=3.0。
- ・ 8 月 1 日 06UTC(図 d)は EMBED パターンで DT 数=5.0。
- ・ 8 月 1 日 12UTC(図 e)は EMBED パターンで DT 数=5.0。
- ・ 8 月 1 日 18UTC(図 f)は眼パターンで DT 数=6.0。しかし 8 月 1 日 00UTC 以後の DT 数は急増しているので、DVORAK 法の規則のため T 数に採用できない。そこで、まず過去の T 数が妥当かどうか再解析をする。それでも急発达到に追いつかない場合は、規則に合うよう PT 数や MET 数を調整して T 数に採用することになる。

さらに雲パターンの規則もある。1 日 06UTC は EMBED パターンだが 12 時間前の T 数が 1.0 未満のため EMBED パターンは採用できず(図 2-1-3a の 2E 欄)、バンドパターンで解析することになる。また 1 日 18UTC も 24 時間前の T 数が 1.0 未満のため眼パターンを採用できず(図 2-1-3a の 2C 欄)、バンドパターンで解析する。

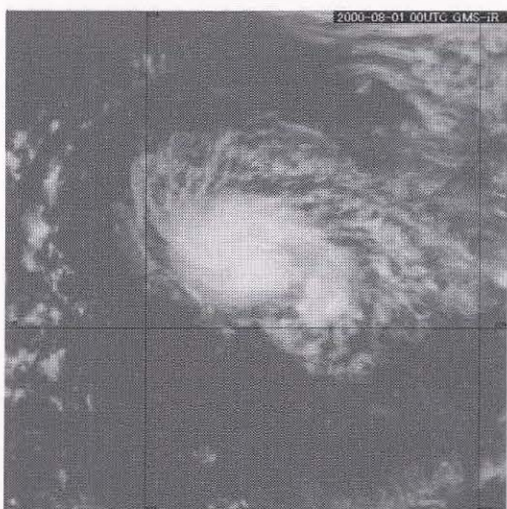
この事例では T 数が 1 日で 1.0 未満から 6.0 まで増加しており、ここまで極端ではないにしても、T 数が 1 日 3.0 以上増加する熱帯低気圧は年に数個ある。これらは雲域が小さく活発な熱帯低気圧が多く、その雲域がすぐに小さな CDO を形成し眼パターンとなる。少なくとも 1000km に及ぶような雲域を持つ熱帯低気圧が急発達をした例はない。



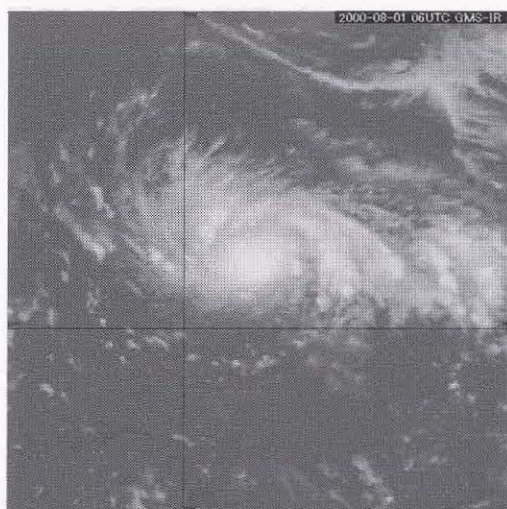
(a) 7月31日12UTC, バンドパターン DT<1.0



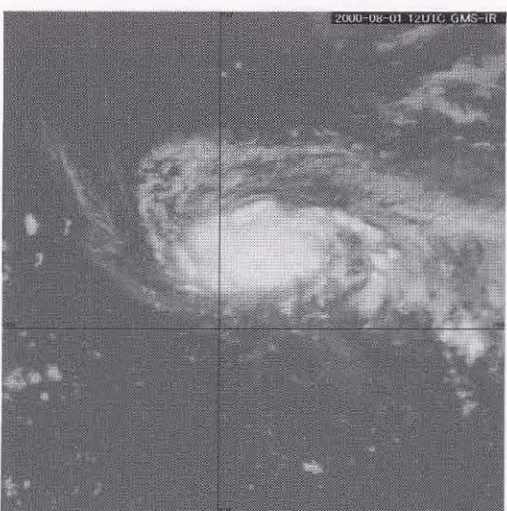
(b) 7月31日18UTC, バンドパターン DT<1.0



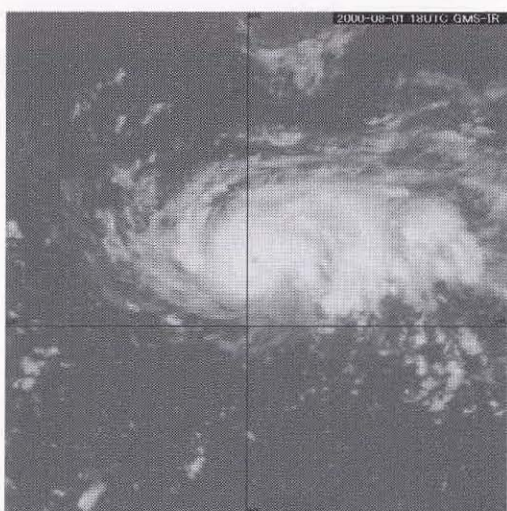
(c) 8月1日00UTC, バンドパターン DT=3.0



(d) 8月1日06UTC, EMBEDパターン DT=5.0



(e) 8月1日12UTC, EMBEDパターン DT=5.0



(f) 8月1日18UTC, 眼パターン DT=6.0

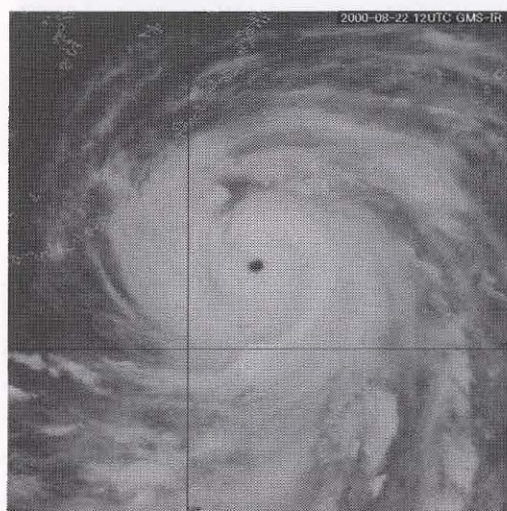
図2-2-8 急発達(赤外画像)

(5) 急衰弱

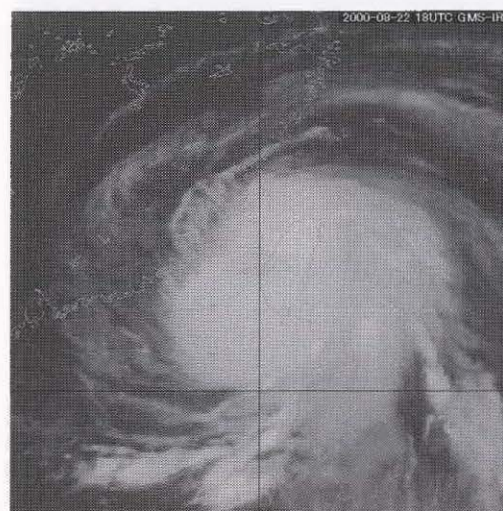
急発達と同様に急衰弱する場合も Dvorak 法は T 数の変化量に制限をかけており、1 日最大 2.5 を超えられない (T 数 ≥ 4.0 の場合)。しかし熱帯低気圧が西進して台湾やフィリピンのルソン島などを横断すると急速に衰え、T 数が 1 日 3.0 以上減少することがある。図 2-2-9 は 2000 年の台風第 10 号の赤外面像 (6 時間毎) である。この台風は 8 月 22 日 12UTC (a) に台湾の東にあり、この時の DT 数は 6.5 であった。同日 18UTC (b)、台風は西北西進し台湾の西岸に抜け眼が消滅して CDO も形がゆがんでしまった。23 日 00UTC (c) は CDO もなくなり、06UTC (d) には中国大陸に上陸してバンドパターンで DT 数 3.0 (バンド長 0.6) となり中心気圧も急上

昇した。この DT 数は T 数として採用できないので、PT 数を許容される範囲内最小に決めて T 数に採用した。

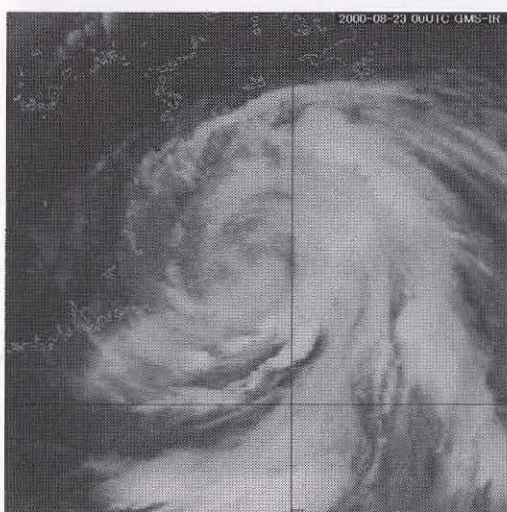
台風は台湾・フィリピンの東で成熟期を迎え眼パターンになることが多い。これらの島には標高 3000m 前後の山々があり、台風はここに上陸すると急速に衰弱し眼パターンからいきなりバンドパターンになる場合が多い。この時、Dvorak 法の規則のため T 数は急衰弱に追いつかなくなるので、まず過去の T 数が妥当かどうか再解析をする。それでも急衰弱に追いつかない場合は MET 数を急衰弱 (T 数 24 時間減少量 = 1.5) で計算し、T 数ができるだけ小さくなるように調節した PT 数を T 数とする。



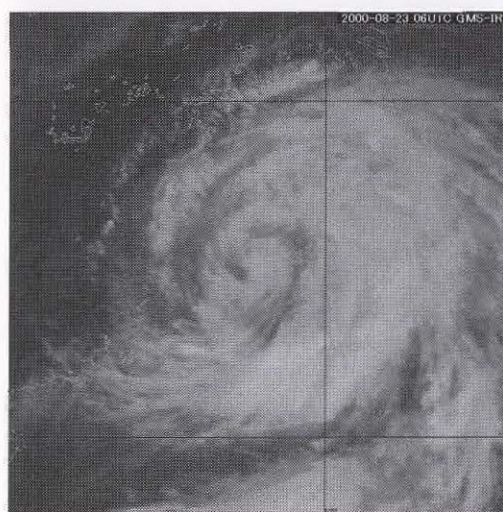
(a) 22 日 12UTC 920hPa



(b) 22 日 18UTC 950hPa



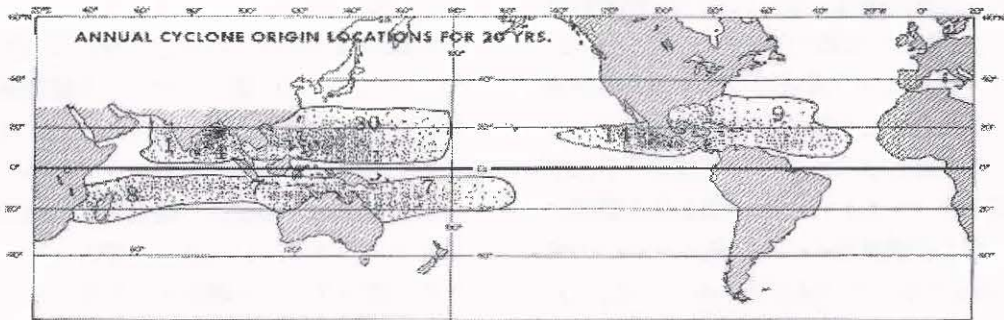
(c) 23 日 00UTC 970hPa



(d) 23 日 06UTC 985hPa

図 2-2-9 急衰弱の赤外面像と中心気圧

熱帯低気圧の発生領域



図C-4-1 熱帯低気圧の発生分布図(Gray, 1975)

図C-4-1は熱帯低気圧(TS以上の強さ)の発生分布である。同じ熱帯域でも、発生しやすい場所もあれば全く発生しない場所もある。北西太平洋は特に熱帯低気圧が発生しやすく、年間26.7個(気象庁の平年値)にのぼる。この発生領域はITCZ(熱帯収束帯)と一致しており、衛星画像で見ると、赤道付近のCbが次々沸き立つ帯状の広い領域から熱帯低気圧が生まれてくる様子が分かる。一方、南に目を転ずると、太平洋南西部(オーストラリアの東)にも熱帯低気圧の発生領域がある。ここはSPCZ(南太平洋収束帯)と対応しており、やはり対流雲が活発に発生するところである。ここでは発生数こそ少ない(年間7個)が複数個の熱帯低気圧が同時期に発生する特徴がある。それも大きなものが近接して発生するようである。図C-4-2は1999年1月22日00UTCの可視画像である。太平洋南西部に大きな熱帯低気圧が3個発生しており、東からDANI、OLINDA、PETEと名付けられた。南半球なのでその循環は北半球と逆の時計回りで、お互いの雲域が触れ合うばかりに近接して窮屈そうな様子が分かる。



図C-4-2 1999年1月22日00UTCの可視画像

「熱帯低気圧4個観測」の図C-1-1・図C-1-2と比べれば一目瞭然であるが、北西太平洋は同時期に複数個発生する熱帯低気圧が経度約20度間隔で並んでいるのに対して、太平洋南西部では約10度間隔でしかも個々の熱帯低気圧が大きい。これは太平洋南西部の発生領域が北西太平洋に比べ狭いことも関係があるかもしれない。それにしても熱帯低気圧がこんなに近接すると、お互いに潰し合い発達しないと思うのだが。

(菊池 明弘)