

台風強度比較解析によるデジタル化写真データの品質評価  
Evaluation of Quality of Digitized Satellite Photographic Data  
on the basis of Comparative Analysis of Tropical Cyclone Intensity

酒井 誠\*                      須藤 幸男\*\*  
SAKAI Makoto                SUDOU Sachio

**Abstract**

We conducted a study on the quality of cloud image data digitized from photographs of earth imagery captured by the Geostationary Meteorological Satellite (GMS). In our study, we estimated the intensities of tropical cyclones using the Dvorak method to analyze the digitized image data. We then compared these intensities with the outcomes from the original observation data archived at Wisconsin University.

This comparison revealed that errors with regard to the DT number, a key parameter in the Dvorak method, are within approximately one rank (i.e. within  $\pm 0.5$ ) and that the maximum DT number error is  $\pm 1.0$ . Large errors were observed for some tropical cyclones with particular cloud patterns for which the DT number depends greatly on the brightness temperature of the cloud tops. Based on the results of our study, we concluded that, except for the accuracy of retrieved brightness temperatures, the quality of the digitized image data is generally good.

**要 旨**

静止気象衛星が観測を開始した当初の地球画像の写真原画フィルムを大型スキャナーで読み取りデジタル化し、得られた画像データの品質の調査を行った。

この調査では、台風強度解析（ドボラック法）を例に取り、デジタル化し得られた画像データから求めた台風強度解析結果と米国 Wisconsin 大学に保管されていた観測オリジナルの画像データから求めた台風強度解析結果を比較することにより評価した。

比較の結果、ドボラック法で算出される重要なパラメータであるDT数の誤差は、概ね1階級（ $\pm 0.5$ ）以内に収まっており、概ね良好な結果が得られた。しかし、DT数の解析パターンが赤外画像の輝度温度に大きく依存するEyeパターン時には、DT数の誤差が最大で $\pm 1.0$ となるなど、利用上留意する点があることもわかった。

---

\* 気象衛星センターデータ処理部解析課（現 気象庁予報部予報課）

\*\* 大気環境観測所

（2010年8月23日受領、2011年3月15日受理）

## 1. はじめに

気象衛星センターでは、1978年4月1日から1981年3月1日（可視画像は1978年4月1日から1987年3月1日）までの間に静止気象衛星で撮像され写真フィルム（以下、「写真原画フィルム」と呼ぶ）に記録された地球画像を、大型スキャナーで読み取り、デジタル化した。このデジタル化した地球画像は、画像の濃淡を輝度温度（赤外画像）もしくは反射率（可視画像）に対応付けることにより、観測オリジナルデータに近い画像データ（以下、「デジタル化写真データ」と呼ぶ）として使用できる。これにより、デジタル形式での保存のなかった上期間についても、過去の地球画像が、計算機で扱いやすいデジタルデータとして使用できるようになった。

しかしながら、写真原画フィルムには現像時の濃度ムラや経年劣化による退色がありその程度はフィルム毎に異なること、デジタル化写真データには輝度温度にして4K程度の標準誤差があることが、黛ら（2009）により報告されており、利用する際には注意が必要であることも分かっている。

そこで、デジタル化写真データの品質を赤外画像の輝度温度に着目したドボラック法<sup>※1</sup>（Dvorak（1975,1984）、木場ら（1990））による台風強度解析を例にとり調査した。

※1 ドボラック法：衛星画像で観測された雲パターンの発達モデルと熱帯低気圧の強度（最大風速・最低海面気圧）を統計的に関連付け、雲パターンにより熱帯低気圧の強度を推定する手法

## 2. 比較データと解析条件

比較は、デジタル化写真データから求めた台風強度と観測オリジナルの画像データ<sup>※2</sup>（以下、「観測オリジナルデータ」と呼ぶ）から求めた台風強度との間で行い、評価した。

台風強度解析の対象は、観測オリジナルデータの存在する期間に発生した台風のうち気象庁ベストトラックデータで中心気圧が960hPa以下まで下がった11個の台風とした（表1）。

台風強度解析（以下、ドボラック法と呼ぶ）作業では、SATAID<sup>※3</sup>のうちドボラック法による強度解析が可能なバージョンであるGMSLPTを、解析ツールとして用いた。

ドボラック法には、可視画像を使ったVIS法と赤外強調画像を使ったEIR（EIR：Enhanced InfraRed imagery）法があるが、現在、気象庁ではEIR法を採用していること、今回の調査目的がデジタル化写真データの輝度温度の品質確認にあることから、EIR法により解析を行った。なお、中心位置や雲パターンの決定などの際には可視画像も参考にした。解析は熟練した解析者2名で行い、両者の雲パターンの明瞭・不明瞭の判断や最終T数にDT数を採用するか否かの判断など解析結果が異なる場合には2名で合議、解析値を決定し、解析値の客観性を高めた。

今回の調査は赤外画像の輝度温度を使用した際にどの程度の誤差が生じるのかを調査対象としているので、ドボラック法の3つのT数（Tropical number）<sup>※4</sup>のうち、主観が入り易いMET数、PT数の比較は行わずに、DT数（Data T数）の比較のみを行なった。

※2 観測オリジナルデータ：気象衛星「ひまわり」の観測画像データ「VISSR画像データ」である。米国のWisconsin大学に保管されていた過去データ（1978年12月1日～1979年12月1日）を気象衛星センターが入手したもの。

※3 SATAID（Satellite Animation and Interactive Diagnoses）：気象衛星画像の動画や輝度温度等の測定、各種気象資料の重ね合わせなどがパソコン上で行える衛星画像解析用ソフトウェアのことである（気象衛星センター（1999）、Kumabe（2000）、隈部（2001））。

※<sup>4</sup> T数：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。解析者は以下の3つのT数を計測し、最も確からしいものを最終T数として採用する。

- ・DT数(Data T数)－雲パターン別に雲域の形状、輝度温度を計測することにより得られるT数
- ・MET数(Model Expected T数)－24時間前の画像と比較することにより得られるT数
- ・PT数(Pattern T数)－雲パターンのモデル図と比較することにより得られるT数

最終T数から台風の衰弱過程を考慮したCI数が決定される。このCI(Current Intensity)数と台風強度(最大風速(10分間平均値)、最低海面気圧)との関係は統計的かつ一義的に対応づけられている(表2)。

### 3. デジタル化写真データと観測オリジナルデータの輝度温度の差異

黛ら(2009)は、赤外画像の写真原画フィルムを

大型スキャナーで読み取り、デジタル化した地球画像(以下、「デジタル化写真原画」と呼ぶ)の輝度レベルから変換した輝度温度と観測オリジナルデータの輝度温度との関係を調べた結果、前者は後者に比べ7K程の正のバイアスを持つことから、利用に際しては輝度温度を補正する必要があるとしている。このため、今回の調査では、輝度温度を補正したデジタル化写真データを使用した。

また、黛ら(2009)により、このデジタル化写真データには輝度温度にして4K程度の標準誤差(ばらつき)があることが報告されており、利用する際には注意が必要であることが指摘されている。

以下、(1)(2)に実際の台風の画像を示す。

#### (1) デジタル化写真データと観測オリジナルデータの輝度温度の差異が小さい事例

図1は1979年8月1日06UTCの台風第9号(T7909)のEIR画像で、左からデジタル化写真データ、観測オリジナルデータである。また、表3はEIRの階調表でEIR画像の階調(カラースケール)と輝度温度の対応を示している。

表1 比較対象台風

台風番号(台風名)	最低中心気圧(hPa)	台風期間
T7920 (TIP)	870	1979-10-04 06UTC～1979-10-22 06UTC
T7909 (HOPE)	900	1979-07-25 12UTC～1979-08-04 12UTC
T7911 (JUDY)	910	1979-08-16 00UTC～1979-08-26 18UTC
T7921 (VERA)	915	1979-11-01 12UTC～1979-11-08 06UTC
T7916 (OWEN)	920	1979-09-21 12UTC～1979-10-03 06UTC
T7901 (ALICE)	930	1978-12-31 12UTC～1979-01-15 00UTC
T7919 (SARAH)	930	1979-10-01 00UTC～1979-10-17 06UTC
T7913 (LOLA)	950	1979-09-01 00UTC～1979-09-10 06UTC
T7902 (BESS)	955	1979-03-19 00UTC～1979-03-25 06UTC
T7910 (IRVING)	955	1979-08-07 00UTC～1979-08-20 12UTC
T7906 (ELLIS)	955	1979-06-28 00UTC～1979-07-07 00UTC

表 2 CI 数と最大風速・最低海面気圧の関係

CI 数	北西太平洋	
	最大風速 (Knot)	最低海面気圧(hPa)
1.0	22	1005
1.5	29	1002
2.0	36	998
2.5	43	993
3.0	50	987
3.5	57	981
4.0	64	973
4.5	71	965
5.0	78	956
5.5	85	947
6.0	93	937
6.5	100	926
7.0	107	914
7.5	115	901
8.0	122	888

デジタル化写真データと観測オリジナルデータを比較すると、デジタル化写真データは低輝度温度の領域を中心にピクセル毎の輝度温度がばらついている領域が見られるものの、B（黄緑色）階調より暖かい階調の輝度温度分布は観測オリジナルデータに近い輝度温度分布になっている。

## (2) デジタル化写真データと観測オリジナルデータの輝度温度の差異が大きい事例

デジタル化写真データと観測オリジナルデータとで輝度温度の差異が大きくなってしまった例を示す。図 2-a は 1979 年 3 月 23 日 00UTC の台風第 2 号 (T7902) である。

デジタル化写真データと観測オリジナルデータの輝度温度分布を比較すると、デジタル化写真データは CDG（白色）～W（紫色）階調などの低輝度温度領域の広がり方が観測オリジナルデータに比べて

大きくなっており、観測オリジナルデータとの差異が大きくなっている。

表 3 の EIR の階調表を見てみると、B（黄緑色）階調より低輝度温度の階調幅は輝度温度 5K 以下で、LG（緑色）階調より高輝度温度の階調幅より輝度温度幅の設定が狭くなっているのがわかる。

すなわち、B（黄緑色）階調より低輝度温度の領域では、階調の輝度温度幅の狭さから、わずかな輝度温度の差でも階調の違いとして現れやすいため、観測オリジナルデータとの差異が大きくなってしまったと考えられる。

図 2-b は 1979 年 10 月 11 日 06UTC の台風第 20 号 (T7920) である。この事例では CDG（白色）～W（紫色）階調などの低輝度温度領域の広がり方が観測オリジナルデータに比べて大きくなっているほか、台風の眼の階調がデジタル化写真データの方が 1 階級冷たい階調に表現されてしまっている。

眼の階調がデジタル化写真データの方が冷たい階調になってしまった原因の特定は難しいが、その1つとして、写真原画フィルムの経年劣化による退色が原因の可能性がある。ネガフィルムである写真原画フィルムでは眼は晴天域と同様に白色の濃度として表現されるため、経年劣化による退色が起こりやすく、その結果デジタル化写真データの眼の階調が冷たい階調になってしまったと推定される。

デジタル化写真データは、B（黄緑色）階調やLG（緑色）階調より暖かい階調の表現は良いが、

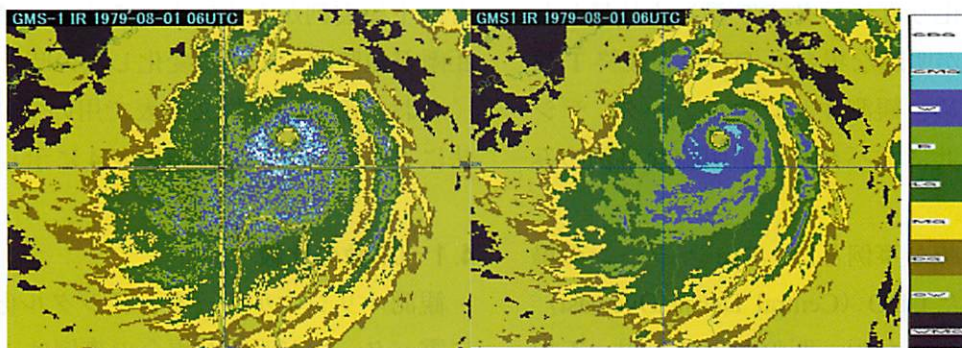
中には冷たい輝度温度領域で観測オリジナルデータとの輝度温度の差が大きくなってしまった事例もある。

また、経年劣化の状態はフィルム間で異なるものの、経年劣化による退色が大きい一部の写真原画フィルムから作成したデジタル化写真データは、暖かい輝度温度領域でも観測オリジナルデータとの輝度温度に差が生じてしまった事例もある。

では、赤外面像の輝度温度をもとに解析するドボラック法での誤差はどれ位あるのだろうか。次節に精度調査結果を示す。

表3 赤外強調画像（EIR）の階調表

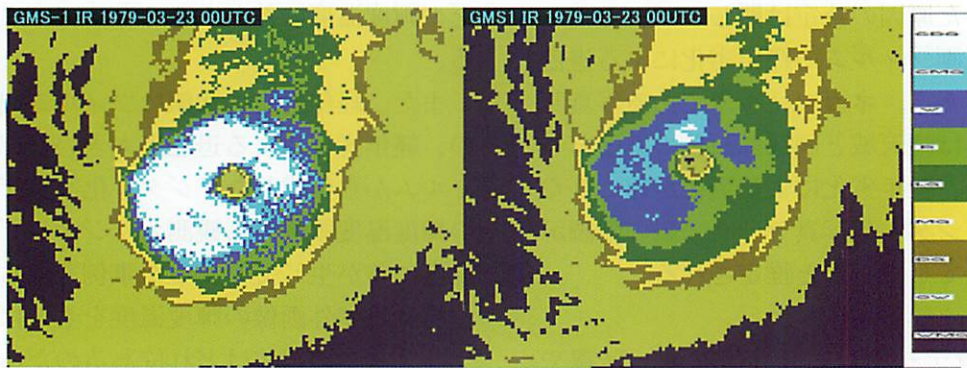
	CDG	CDG(Coldest Dark Gray)	$-81^{\circ}\text{C} \geq \text{TBB}$
	CMG	CMG(Coldest Medium Gray)	$-76^{\circ}\text{C} \geq \text{TBB} \geq -80^{\circ}\text{C}$
	W	W (White)	$-70^{\circ}\text{C} \geq \text{TBB} \geq -75^{\circ}\text{C}$
	B	B (Black)	$-64^{\circ}\text{C} \geq \text{TBB} \geq -69^{\circ}\text{C}$
	LG	LG (Light Gray)	$-54^{\circ}\text{C} \geq \text{TBB} \geq -63^{\circ}\text{C}$
	MG	MG (Medium Gray)	$-42^{\circ}\text{C} \geq \text{TBB} \geq -53^{\circ}\text{C}$
	DG	DG (Dark Gray)	$-31^{\circ}\text{C} \geq \text{TBB} \geq -41^{\circ}\text{C}$
	OW	OW (Off White)	$+ 9^{\circ}\text{C} \geq \text{TBB} \geq -30^{\circ}\text{C}$
	WMG	WMG(Warm Medium Gray)	$\text{TBB} > + 9^{\circ}\text{C}$



デジタル化写真データ

観測オリジナルデータ

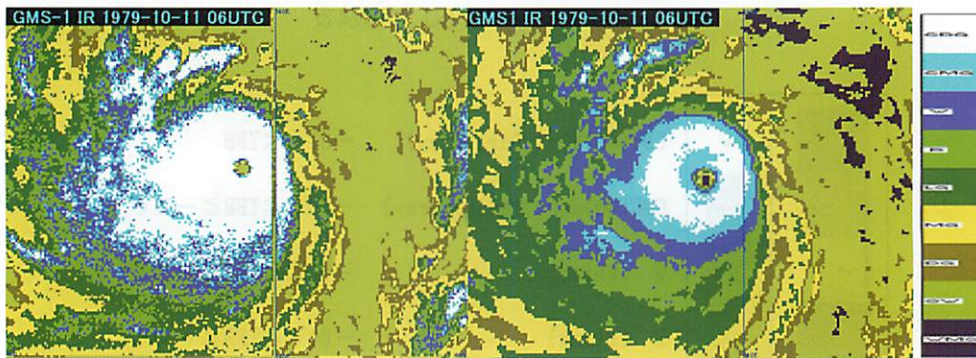
図1 1979年8月1日06UTCの台風第9号（T7909）のEIR画像



デジタル化写真データ

観測オリジナルデータ

図 2-a 1979 年 3 月 23 日 00UTC の台風第 2 号 (T7902) の EIR 画像



デジタル化写真データ

観測オリジナルデータ

図 2-b 1979 年 10 月 11 日 06UTC の台風第 20 号 (T7920) の EIR 画像

#### 4. 台風強度の解析結果

この節では、観測オリジナルデータから算出した DT 数（以下、観測オリジナルデータ DT 数）を真値とし、デジタル化写真データから算出した DT 数（以下、デジタル化写真データ DT 数）を比較した。通常、雲パターンが明瞭な場合は DT 数を最終 T 数として採用するため、観測オリジナルデータ、デジタル化写真データ共に雲パターンが明瞭な事例のみを比較対象とした。

雲パターンが明瞭な事例とは、Eye パターンの場合は円形度も持った CDO (Central Dense Overcast) の中に眼（明瞭な小さな眼、明瞭な大きな眼、不規則な眼）が形成されている時、Banding Eye パターンの場合は眼を一周以上する雲バンドがある時、Embedded パターンの場合は円形度を持った CDO が形成・持続している時、Curved Band パターンの場合は中心付近の循環を示唆する曲率を持った明瞭な雲バンドが形成されている時、Shear パターンの場合は下層雲列から決定される中心と濃密な雲域との距離が短時間で大きく変化しない時とした。

なお、節中の解説文や表で用いているドボラック法による雲パターン分類を表 4 に示した。

##### 4.1 DT 数の比較

観測オリジナルデータ、デジタル化写真データ共に雲パターンが明瞭な場合の事例は 145 事例あった。この 145 事例について、デジタル化写真データ DT

数の雲パターン別の平均誤差と RMSE (Root Mean Square error) を表 5-a に示す。

145 事例のうち、140 事例は観測オリジナルデータで解析した雲パターンとデジタル化写真データで解析した雲パターンは一致していたが、5 事例はデジタル化写真データと観測オリジナルデータとは雲パターンが異なっていた。この 5 事例は、観測オリジナルデータでは眼があるため、Eye パターンで解析したが、デジタル化写真データでは眼が不明瞭なため Embedded パターンでの解析となった。このため、デジタル化写真データで Embedded パターンの場合は、観測オリジナルデータが Embedded パターンと Eye パターンの 2 通りに分けて比較し、表 5-b に示した。なお、この 5 事例はいずれも、写真原画フィルムの経年劣化による退色等が原因でデジタル化写真データでは眼が不明瞭になってしまったと考えられる事例である。

表 5-a によると、全体での平均誤差は 0.1、RMSE は 0.3 となり、DT 数の誤差は概ね 1 階級 ( $\pm 0.5$ ) 以内に収まっていた。

雲パターン別では Eye パターンの時が DT 数の RMSE は 0.4 となり、一番誤差が大きくなった。Embedded パターンについては、デジタル化写真データと観測オリジナルデータの雲パターンの相違の有無によって状況が異なる。表 5-b をみると、雲パターンが異なる場合は、DT 数の RMSE は 0.5 と誤差が大きくなった。また DT 数の平均誤差は -0.2 となり、デジタル化写真データ DT 数が小さく算出されていた。

一方、Shear パターンの時は RMSE、平均誤差ともに 0 で、観測オリジナルデータ DT 数とデジタル化写真データ DT 数は一致していた。

表 4 熱帯低気圧の雲パターンとその特徴 (ドボラック法による強度解析の場合の雲パターンは一番右)

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。鉛直シアーが大きい時現れる。		
	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)	CCC	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。鉛直シアーが大きい時現れる。	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)		

表 5-a デジタル化写真データ DT 数の精度 (平均誤差、RMSE)

デジタル化写真データの雲パターン	事例数	DT 数の平均誤差	DT 数の RMSE
Eye パターン	57	0.1	0.4
Banding Eye パターン	18	0.2	0.3
Embedded パターン	30	0.1	0.3
Curved Band パターン	29	0.1	0.3
Shear パターン	11	0	0
全体	145	0.1	0.3

表 5-b デジタル化写真データで Embedded パターンだった時の DT 数の精度

観測オリジナルデータの雲パターン	事例数	DT 数の平均誤差	DT 数の RMSE
Embedded パターン	25	0.1	0.2
Eye パターン	5	-0.2	0.5

## 4.2 DT 数の誤差の分布

4.1 節と同様に 145 事例について、「デジタル化写真データ DT 数の誤差分布」を表 6-a に、「デジタル化写真データで Embedded パターンだった時の DT 数の誤差分布」を表 6-b に示す。

表 6-a によると、デジタル化写真データ DT 数と観測オリジナルデータ DT 数の一致率は、全体的には約 69%である。雲パターン別では Eye パターンの時に DT 数の一致率が一番低く約 60%であった。一方、DT 数の一致率が最も高いのは Shear パターンで 100%であった。Embedded パターンの時は一致率 70%だが、表 6-b をみるとデジタル化画像データでは Embedded パターンだったが、観測オリジナルデータで Eye パターンとなった 5 事例では雲パターンの相違という事もあり、DT 数の一致率は 20%と低くなった。

また、表 6-a では DT 数の最大誤差は、全体では  $\pm 1.0$  となっており、その内訳はすべて Eye パターン

であった。デジタル化写真データ DT 数と観測オリジナルデータ DT 数が一致しなかった場合について見てみると、デジタル化写真データ DT 数にプラスの誤差を生じた場合が 33 事例と多かったが、マイナスの誤差を生じた場合も 12 事例あった。

表 6-a について雲パターン別に詳細をみると、デジタル化写真データ DT 数にマイナスの誤差が生じた事例は Eye パターンと Embedded パターンの時のみであることがわかる。表 6-b を見ると Embedded パターンの時は、観測オリジナルデータとデジタル化写真データの雲パターンが異なった 3 事例のみ、デジタル化写真データ DT 数にマイナスの誤差が生じていた。

一方、Banding Eye パターンと Curved Band パターンで DT 数が一致しなかった事例は、すべてデジタル化写真データ DT 数にプラスの誤差が生じていた。



表 6-a デジタル化写真データ DT 数の誤差分布

デジタル化写真データ DT 数の誤差 デジタル化写真データの雲パターン	-1.0 の事例数	-0.5 の事例数	0 (DT 数が一致) の事例数。 ( ) 内は事例数計に占める割合	+0.5 の事例数	+1.0 の事例数	事例数計
Eye パターン	1	8	34(60.0%)	11	3	57
Banding Eye パターン	0	0	12(66.7%)	6	0	18
Embedded	0	3	21(70.0%)	6	0	30
Curved Band パターン	0	0	22(75.9%)	7	0	29
Shear パターン	0	0	11(100%)	0	0	11
全体	1	11	100(69.0%)	30	3	145

表 6-b デジタル化写真データで Embedded パターンだった時の DT 数の誤差分布

デジタル化写真データ DT 数の誤差 観測オリジナルデータの雲パターン	-1.0 の事例数	-0.5 の事例数	0 (DT 数が一致) の事例数。 ( ) 内は事例数計に占める割合	+0.5 の事例数	+1.0 の事例数	事例数計
Embedded パターン	0	0	20(80.0%)	5	0	25
Eye パターン	0	3	1(20.0%)	1	0	5

### 4.3 雲パターン別の比較

ここでは、雲パターン別に解析で得られた DT 数を比較する。なお、ドボラック法を用いた DT 数の解析手法については付録 (A) を参照されたい。

#### 4.3.1 Eye パターン

表 7 に「デジタル化写真データ DT 数 (Eye パターン) の誤差詳細」を示す。

表 7 によると、デジタル化写真データ DT 数にプラスの誤差が生じた事例は、すべての事例で E (Eye) 数がデジタル化写真データの方が大きくなっていた。

「眼を一周する最狭バンド幅の条件を満たす一番冷たい階調」が冷たい階調になるほど、E 数は大き

な値をとる (表 A-1 に E 数換算表)。すなわち、プラスの誤差が生じた原因は「眼を一周する最狭バンド幅の条件を満たす一番冷たい階調」が観測オリジナルデータより冷たい階調となったためである。

デジタル化写真データ DT 数にマイナスの誤差が生じた事例としては、E 数がデジタル化写真データの方が小さくなった 1 事例を除いては、眼調整がデジタル化写真データの方が小さくなった事例 (8 事例) であった。この 8 事例の眼調整を決定したパラメータの一覧を表 8 に示す。表 8 によると、8 事例すべてで、デジタル化写真データの眼の階調が 1 階級か 2 階級ほど冷たい階調となったため、眼調整の値が小さくなった (表 A-2 に眼調整換算表)。すなわち、マイナスの誤差が生じたのは、眼の階調が観

測オリジナルデータより冷たくなることが原因だ  
と言える。

た事例と誤差が生じた事例を付録 (B) に示すので  
参照されたい。

なお、Eye パターンで DT 数に誤差が生じなかつ

表 7 デジタル化写真データ DT 数 (Eye パターン) の誤差詳細

デジタル化写真データ DT 数の誤差	詳細	事例数
-1.0	眼調整はデジタル化写真データが 1.0 小さい	1
-0.5	E 数はデジタル化写真データが 0.5 小さい	1
	眼調整はデジタル化写真データが 0.5 小さい	7
0 (DT 数は一致)	E 数、眼調整とも一致	28
	E 数はデジタル化写真データの方が 0.5 大きく、 眼調整はデジタル化写真データの方が 0.5 小さい	6
+0.5	E 数はデジタル化写真データが 0.5 大きい	11
+1.0	E 数はデジタル化写真データが 1.0 大きい	3

表 8 デジタル化写真データ DT 数 (Eye パターン) が小さくなった 8 事例の眼調整に関わるパラメータ詳細

台風番号	年月日時	観測オリジナルデータ				デジタル化写真データ			
		眼を一周する最も冷たい雲域の階調	眼階調	眼の特性	眼調整	眼を一周する最も冷たい雲域の階調	眼階調	眼の特性	眼調整
T7920	1979.10.11.06	CDG	WMG	NORMAL	1	CDG	OW	NORMAL	0.5
T7920	1979.10.12.00	CMG	WMG	NORMAL	1	CDG	OW	NORMAL	0.5
T7911	1979.08.19.12	CMG	OW	NORMAL	0.5	CDG	MG	NORMAL	0
T7919	1979.10.10.06	CMG	WMG	NORMAL	1	CDG	OW	NORMAL	0.5
T7909	1979.07.31.18	W	WMG	NORMAL	1	W	OW	NORMAL	0.5
T7909	1979.08.01.12	W	DG	NORMAL	0.5	W	MG	NORMAL	0
T7911	1979.08.19.18	CMG	MG	NORMAL	0	CDG	B	NORMAL	-0.5
T7909	1979.08.02.00	W	LG	NORMAL	0	W	B	NORMAL	-1

#### 4.3.2 Banding Eye パターン

Banding Eye パターンの場合は、DT 数が一致して

いなかった 6 事例すべてがデジタル化写真データ

DT 数にプラスの誤差が生じていた。表 9 に「デジタ

ル化写真データ DT 数 (Banding Eye パターン) の誤差詳細」を示す。

この 6 事例のうち、E 数が大きくなった事例が 4 事例、眼調整が大きくなった事例が 2 事例あった。

E 数が大きくなった 4 事例は「眼を一周する最狭バンド幅の条件を満たす一番冷たい階調」が観測オリジナルデータより冷たい階調となったため、E 数が 0.5 大きくなった (E 数換算表は表 A-1 参照)。

一方、眼調整が大きくなった 2 事例は眼の階調は一致していたが、「眼を一周する最も冷たい雲域の階調」が観測オリジナルデータより冷たい階調になっていたため眼調整の値が異なった結果となった (眼調整換算表は表 A-2 参照)。

いずれも、「眼を取り巻く雲バンドの階調」がデジタル化写真データの方がより冷たい階調になった事が原因だと言える。

#### 4.3.3 Embedded パターン

Embedded パターンの場合は「(1)デジタル化写真データ、観測オリジナルデータ共 Embedded パターン」だった場合と「(2)デジタル化写真データは Embedded パターンだが、観測オリジナルデータは Eye パターン」だった場合の 2 通りに分けて見ていく。

##### (1) 「デジタル化写真データ、観測オリジナルデータ共 Embedded パターン」だった場合

表 10 に「デジタル化写真データ DT 数 (両者とも Embedded パターン) の誤差詳細」を示す。

表 10 によると、デジタル化写真データ DT 数にプラスの誤差が生じた 5 事例は、観測オリジナルデータより「CDO の最狭幅 (最小埋没距離) の条件を満たす階調」が冷たい階調であった (表 A-4 に CF 数換算表)。その結果、DT 数にプラスの誤差が生じた。

##### (2) 「デジタル化写真データは Embedded パターンだが、観測オリジナルデータは Eye パターン」だった場合

表 11 に「デジタル化写真データ DT 数 (デジタル化写真データのみ Embedded パターン) の誤差詳

細」を示す。

(1) とは異なり雲パターンの相違のため、デジタル化写真データ DT 数の方が小さくなる事例が 3 事例現れる。

#### 4.3.4 Curved Band パターン

Curved Band パターン 29 事例のうち DT 数に誤差が生じた事例は 7 事例あった。この 7 事例すべてでデジタル化写真データ DT 数にプラスの誤差が生じた。詳細を調べると 7 事例は観測オリジナルデータで雲バンドの階調が「DG (黄土色)」だったものが、デジタル化写真データでは、より冷たい「W (紫色)」階調になったため DT 数が 0.5 大きく算出された。

#### 4.4 雲パターン別の解析結果の特徴

デジタル化写真データと観測オリジナルデータの DT 数が一致しなかった 45 事例について雲パターン別に解析した結果をデジタル化写真データの特徴別にまとめると、次のようになる。

- (1) 輝度温度が低い雲に対応する一番冷たい階調がより低温となったことで、デジタル化写真データは観測オリジナルデータよりも DT 数が大きい事例が 32 事例で一番多かった。一方、眼調整を行う雲パターンについては、眼の階調が観測オリジナルデータより低温になることにより、DT 数が小さく解析される事例も 8 事例あった (表 12)。
- (2) 残りの 5 事例は、デジタル化写真データが Eye パターンではなく、Embedded パターンで解析された場合 (雲パターンの相違) の 4 事例と輝度温度が低い雲に対応する一番冷たい階調がデジタル化写真データの方が高温になったため、観測オリジナルデータよりも DT 数が小さい事例が 1 事例であった。

表 9 デジタル化写真データ DT 数 (Banding Eye パターン) の誤差詳細

	詳細	事例数
デジタル化写真データ が 0.5 大きい	E 数はデジタル化写真データの方が 0.5 大きい	4
	眼調整はデジタル化写真データの方が 0.5 大きい	2

表 10 デジタル化写真データ DT 数 (両者とも Embedded パターン) の誤差詳細

	詳細		事例数
	「観測オリジナルデータの CDO の最狭幅 (最小埋没距離)」の階調 (かっこ内は CF 数)	「デジタル化写真データの CDO の最狭幅 (最小埋没距離)」の階調 (かっこ内は CF 数)	
Embedded パターンで DT 数が異なる事例	LG (4.5)	B(5.0)	3
	LG (4.5)	W(5.0)	1
	MG (4.0)	LG(4.5)	1

表 11 デジタル化写真データ DT 数 (デジタル化写真データのみ Embedded パターン) の誤差詳細

詳細	事例数
DT 数はデジタル化写真データの方が 0.5 小さい	3
DT 数はデジタル化写真データの方が 0.5 大きい	1
DT 数は同じ	1

表 12 雲パターン別の解析結果の特徴

デジタル化写真データの特徴	事例数	詳細 (事例数)
輝度温度が低い雲に対応する一番冷たい階調がより低温	32	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eye パターン 14</li> <li>• Banding Eye パターン 6</li> <li>• Embedded パターン (デジタル化写真データ、観測オリジナルデータ共 Embedded パターン) 5</li> <li>• Curved Band パターン 7</li> </ul>
眼の階調が観測オリジナルデータより低温	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eye パターン 8</li> </ul>

## 5. 考察

(1) デジタル化写真データの低輝度温度領域で輝度温度の表現が悪く、より冷たい階調として表現されてしまうのは、B（黄緑色）階調より低輝度温度の領域では、階調の輝度温度幅の狭さから、わずかな輝度温度の誤差でも階調の違いとして現れやすいためと考えられる。

また、一部のデジタル化写真データで眼などの暖かい階調表現が悪いのは、写真原画フィルムの経年劣化による退色などが一因であると考えられる。

(2) 雲パターン別で Eye パターン時に DT 数の RMSE が一番大きくなり、最大で $\pm 1.0$ の誤差が生じている。これは、Eye パターン時の DT 数算出のパラメータが眼を取り巻く対流雲域（E 数に反映）や眼の輝度温度（眼調整の値に反映）など、赤外面像の輝度温度に大きく依存する解析パターンであるからと考えられる。

今回の調査では検出されなかったが、Eye パターンと DT 数を算出する際の手順が殆ど同じ Banding Eye パターン時にも Eye パターンと同様に、デジタル化写真データ DT 数にマイナスの誤差が生じたり、DT 数の最大誤差が $\pm 1.0$ 程度になる可能性はあると考えられる。

(3) Shear パターン時の DT 数が観測オリジナルデータとデジタル化写真データとで一致するのは、デジタル化写真データで DT 数測定の対象となる DG（黄土色）階調の表現が良いためと考えられる。

## 6. まとめ

ドブラック法を使用した台風強度解析を例に取り、デジタル化写真データの品質を調査した。

デジタル化写真データから求めた台風強度解析結果と米国 Wisconsin 大学に保管されていた観測オリジナルの画像データから求めた台風強度解析結果を

比較した結果、以下のことがわかった。

(1) デジタル化写真データを利用した解析画像の特徴と解析結果

デジタル化写真データから作成した解析画像の特徴としては、低輝度温度領域で輝度温度データの表現が悪く、より冷たい階調として表現されてしまうことが挙げられる。また、事例数は少ないが一部では、眼などの暖かい階調表現が悪いデータもあった。

このような特徴のある画像データを用いての解析であったが、結果、DT 数の誤差は概ね 1 階級（ $\pm 0.5$ ）以内に収まっており、概ね良好な結果が得られたと考えられる。しかし、赤外面像の輝度温度に大きく依存する解析パターンである Eye パターン時には誤差が最大で $\pm 1.0$ となるなど、輝度温度データを使用する際には注意が必要なこともわかった。

なお、Shear パターンの時は平均誤差、RMSE とも 0 となり、両者の DT 数は一致していた。

(2) 具体的な雲パターンごとの利用上の留意点

① 雲パターンが Eye パターンの時のように、赤外面像の輝度温度に大きく依存する解析パターンの時は、DT 数の誤差が大きくなる可能性があるため注意が必要である。また、DT 数の解析手順が Eye パターンの手順とほぼ同じ Banding Eye パターンの場合にも DT 数の誤差が大きくなる可能性がある。

② Embedded パターンの場合は CDO（Central Dense Overcast）が実際より冷たい階調になることがあり、DT 数が 0.5 程度大きめに算出される事がある。また、実際には眼がある場合でもデジタル化写真データでは不明瞭に見えてしまう場合もある。この場合は実際の DT 数より小さめに算出される可能性がある。

③ Curved Band パターンの場合は雲バンドが実際より冷たい階調になることがあり、DT 数が 0.5 程度大きめに算出される事がある。

- ④ Shear パターンの場合は、デジタル化写真データで DT 数測定の対象となる DG 階調の表現が良いため、DT 数の誤差が生じにくい。

黛ら (2009) による補正式は、デジタル化写真データと観測オリジナルデータの輝度温度の関係式を統計的手法により求めたものである。このため、個々の写真原画フィルムが持つ現像時の濃度ムラや経年劣化による退色等の違いには対応できない。今回の台風強度の比較でも、デジタル化写真データの輝度温度はオリジナルデータと概ね一致しているものの、低めに算出される例も多く、DT 数に誤差を生じていた。これらは、雲の分布状況の把握など画像の白黒濃淡を相対的に読み取る場合には大きな問題とならないが、輝度温度に変換し絶対値として利用する場合には問題となる。既に黛ら (2009) の報告にも述べられているが、デジタル化写真データを利用する際は、画像から読み取った輝度温度には写真原画フィルムからの変換誤差が含まれていること、それらは画像毎に異なることに留意してデータを取り扱う必要がある。

隈部良司、2001：日本気象学会 2000 年秋季大会シンポジウム「人工衛星から大気観測—その歴史的展開—」の報告、26-30.

木場博之、萩原武士、小佐野慎悟、明石秀平、1990：台風の CI 数と中心気圧および最大風速の関係、研究時報、42(2)、59-67.

黛美紀雄、木村裕之、中西達郎、神代秀一、2009：写真原画フィルムから作成したデジタル化写真原画、気象衛星センター技術報告第 53 号、43-57.

## 参考文献

Dvorak, V. F., 1975: Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery, Mon. Wea. Rev., 103, 420-430.

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

Kumabe, R., 2000: CAL development in Meteorological Satellite Center, Geophysical Magazine, 3, 109-121.

気象衛星センター、1999：気象衛星センターにおける CAL 開発、測候時報、66.2、43-50.

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—、気象衛星センター、50-63、72-87.

## 付録(A) ドボラック法による雲パターン別 DT 数算出方法

ここでは簡単にドボラック法による DT 数算出方法を雲パターン別に解説する。詳細は気象衛星センター(2004)を参照されたい。

### (1) Eye パターン

Eye パターンの DT 数は、以下の①から③の手順によって決定する。

- ①「眼のまわりを一周する CDO (Central Dense Overcast) の階調の最狭幅(緯度に換算する)」とダイアグラム(表 A-1)を比べて E (Eye) 数を得る。
- ②次に「眼の階調と形状」及び「眼を一周する一番冷たい雲域の階調」から眼調整(表 A-2 に眼調整換算表)の値を決め、CF (Central Feature) 数=E 数+眼調整とする。
- ③更に雲パターンが表 A-3 のようにコンマ型の形状を持っている場合、雲システムへの暖域の入り込みの状態により BF (Banding Feature) 数を決め、DT 数=CF 数+BF 数となる。

### (2) Banding Eye パターン

Banding Eye パターンの DT 数を決定する手順は Eye パターン時とほぼ同じである。

Banding Eye パターンの DT 数は、以下の①から③の手順によって決定する。

- ①「眼を一周する雲バンドの階調の平均バンド幅の階調の最狭幅(緯度に換算する)」とダイアグラム(表 A-1)を比べて E 数を得る。
- ②次に「眼の階調と形状」及び「眼を一周する一

番冷たい雲域の階調」から眼調整(表 A-2 に眼調整換算表)の値を決め、CF (Central Feature) 数=E 数+眼調整とする。

- ③更に雲パターンが表 A-3 のようにコンマ型の形状を持っている場合、雲システムへの暖域の入り込みの状態により BF (Banding Feature) 数を決め、DT 数=CF 数+BF 数となる。

### (3) Embedded パターン

Embedded パターンの DT 数は以下のような手順で決定する。

- ①Eye パターンと同様に CDO の最狭幅を測って CF 数を求める(CF 数換算表を表 A-4 に示す)。
- ②BF 数も求め、DT 数=CF 数+BF 数となる。

### (4) Curved Band パターン

Curved Band パターンの 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)をあてて一周を 1.0 としてその長さを測りダイアグラム(表 A-5)と比べて決める。バンド長は、バンド軸が DG (黄土色) 階調か W (紫色) 階調に一致する部分を測り、W 階調の場合は DT 数に 0.5 を加える。

### (5) Shear パターン

Shear パターンの DT 数は CSC (Cloud System Center) 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ダイアグラム(表 A-6)と見比べて決定する。

表 A-1 Eye パターンの E 数換算表 (JMA ドボラック表より引用 (一部修正))

最狭バンド幅	≥0.5°	≥0.5°	≥0.5°	≥0.4°	≥0.4°	≥0.3°	≥0.3°
バンド階調	~CMG	W	B	LG	MG	DG	OW
E 数	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0

表 A-2 Eye パターンの眼調整換算表 (JMA ドボラック表より引用)

**【眼調整】**  
 右図により「眼階調」と「眼を一周する最も冷たいリングの階調」の交点の数値で調整する。さらに、  
 (1) 大きな眼 ( $\geq 0.75^\circ$ ) あるいは細長い眼 (扁平率  $\geq 1.5$  以上) に対しては、対角線の右側の値のみを使う。( + 補正はしない)  
 (2) E 数が 4.5 以上の細長い眼 (扁平率  $\geq 1.5$  以上) に対しては、他に引かれていなければ 0.5 を引く。

眼を一周する最も冷たいリングの階調

← 暖

→ 冷

	WMG	OW	DG	MG	LG	B	W
OW	0.0	-0.5	/	/	/	/	/
DG	0.0	0.0	-0.5	/	/	/	/
MG	0.0	0.0	-0.5	-0.5	/	/	/
LG	+0.5	0.0	0.0	-0.5	-0.5	/	/
B	+1.0	+0.5	0.0	0.0	-0.5	-0.5	/
W	+1.0	+0.5	+0.5	0.0	0.0	-1.0	-1.0
CMG	+1.0	+0.5	+0.5	0.0	0.0	-0.5	-1.0

表 A-3 BF 数 (JMA ドボラック表より引用)

Eye パターン及び Enbeded パターンで「DT 数  $\leq$  MET 数」の時に適用。MG より冷たい階調の領域 (ハッチ部) がコンマ形状を示し、DG より暖かい階調の領域が「くさび状」に入り込み、入り込む領域が、雲域の直径の 1/2 の場合は BF=0.5、それ以上の場合には BF=1.0 とする。

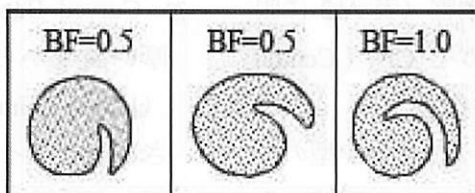


表 A-4 Embedded パターン時の CF 数換算表 (JMA ドボラック表より引用 (一部修正))

最小埋没距離	$\geq 0.6^\circ$	$\geq 0.6^\circ$	$\geq 0.5^\circ$	$\geq 0.5^\circ$	$\geq 0.4^\circ$	$\geq 0.4^\circ$
CDO の階調	W	B	LG	MG	DG	OW
CF 数	5.0	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5

表 A-5 Curved Band パターン時のダイアグラム (JMA ドボラック表より引用)

バンド長を測定する階調は「DG」とする。「W」階調の場合は DT 数に 0.5 を加え、() 内の数値を DT 数とする。

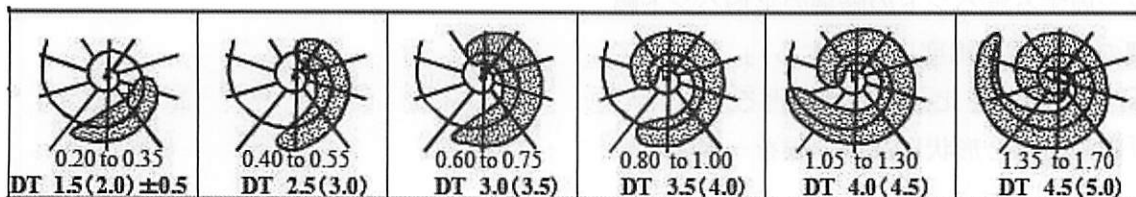
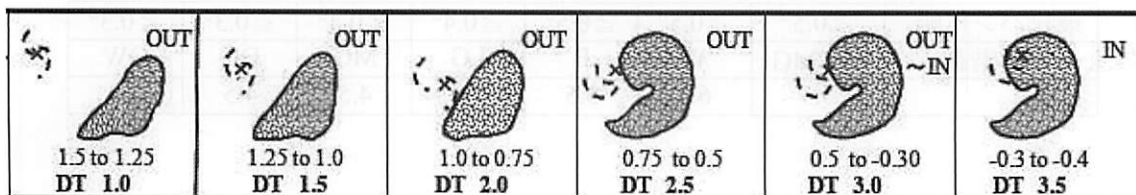


表 A-6 Shear パターン時のダイアグラム (JMA ドボラック表より引用)

厚い雲域 (ハッチ部分) は「DG」階調とする。





付録(B) DT 数に誤差が生じなかった事例と誤差が生じた事例

(1) Eye パターンで DT 数に誤差が生じなかった事例 (図 B-1 参照)

観測オリジナルデータ及びデジタル化写真データから算出した DT 数のパラメーター一覧を表 B-1 に示す。

両者を比較すると、「眼を一周する最狭バンド幅の条件を満たす一番冷たい階調」は共に LG (緑色) で、E 数は同じ 5.0 となる。

一方、眼階調、眼の形状や「眼を一周する最も冷たい雲域の階調」も両者で一致しており、眼調整の値は共に -0.5 となる。従って、観測オリジナルデータとデジタル化写真データの DT 数は一致する。

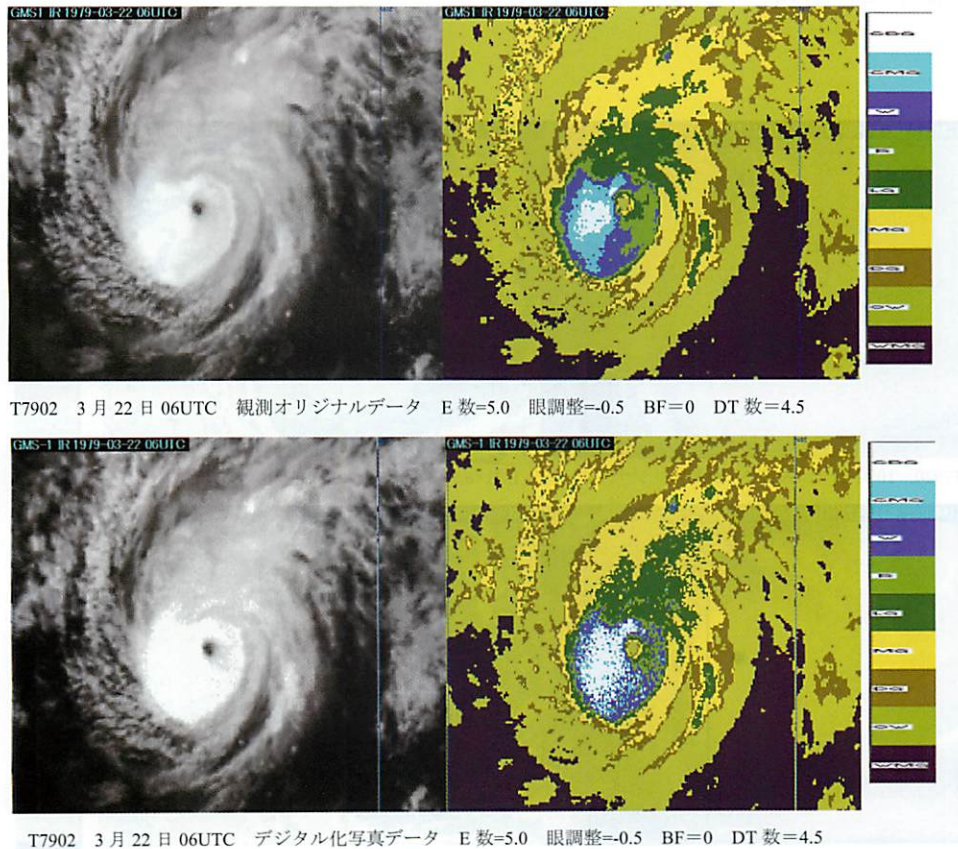


図 B-1 3月22日06UTCの観測オリジナルデータの画像(赤外面像とEIR画像)とデジタル化写真データの画像(赤外面像とEIR画像)

表 B-1 観測オリジナルデータとデジタル化写真データから算出した DT 数のパラメーター一覧

	眼を一周する最狭バンド幅の条件を満たす一番冷たい階調	E 数	眼を一周する最も冷たい雲域の階調	眼階調、 眼の形状	眼調整	CF 数 = E 数+眼調整	BF 数	DT 数 = CF 数+BF 数
観測オリジナルデータ	LG (注 1)	5.0	B	OW	-0.5	5.0-0.5=4.5	0.0	4.5+0.0=4.5
				LONG (注 2)				
デジタル化写真データ	LG (注 1)	5.0	B	OW	-0.5	5.0-0.5=4.5	0.0	4.5+0.0=4.5
				LONG (注 2)				

(注 1) : B 階調では最狭バンド幅の条件を満たさない

(注 2) : E 数が 4.5 以上である細長い眼 (LONG) に対しては他に引かれていなければ眼調整で 0.5 を引く

(2) Eye パターンで DT 数に誤差が生じた事例

① デジタル化写真データ DT 数にマイナスの誤差が生じた事例 (眼階調がデジタル化写真データの方が冷たい事例 (図 B-2 参照))

観測オリジナルデータ及びデジタル化写真データから算出した DT 数のパラメーター一覧を表 B-2 に示す。

両者を比較すると、「眼を一周する最狭バンド幅の条件を満たす一番冷たい階調」がデジタル化写真

データの方が 1 階級冷たい階調になっているが、CMG (水色) より冷たい階調は CMG として扱われるため、E 数は同じになる。

一方、眼階調はデジタル化写真データの方が 1 階級冷たい階調になっているため、眼調整の値はデジタル化写真データの方が 0.5 小さくなる。従って、DT 数もデジタル化写真データの方が 0.5 小さくなる。

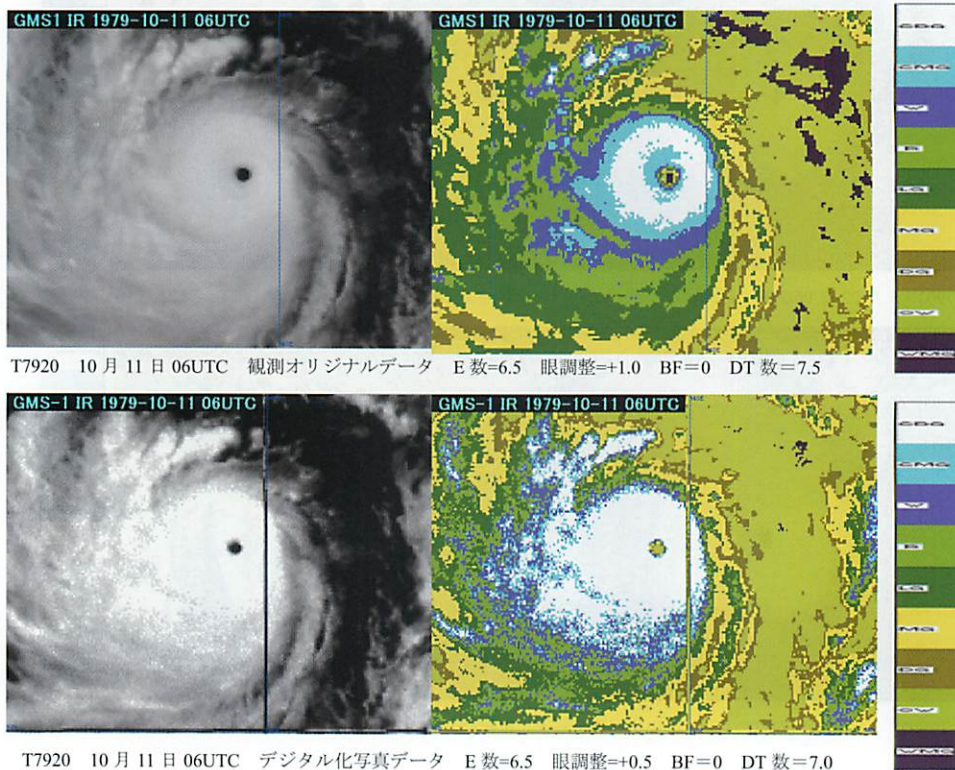


図 B-2 10月11日06UTCの観測オリジナルデータの画像(赤外画像とEIR画像)とデジタル化写真データの画像(赤外画像とEIR画像)

表 B-2 観測オリジナルデータとデジタル化写真データから算出した DT 数のパラメーター一覧

	眼を一周する最狭バンド幅の条件を満たす一番冷たい階調	E 数	眼を一周する最も冷たい雲域の階調	眼階調、 眼の形状	眼調整	CF 数= E 数+眼調整	BF 数	DT 数= CF 数+BF 数
観測オリジナルデータ	CMG	6.5	CDG	WMG NORMAL	+1.0	6.5+1.0=7.5	0.0	7.5+0.0=7.5
デジタル化写真データ	CDG	6.5	CDG	OW NORMAL	+0.5	6.5+0.5=7.0	0.0	7.0+0.0=7.0

②デジタル化写真データ DT 数にプラスの誤差が生じた事例（「眼を一周する最狭バンド幅の条件を満たさず一番冷たい階調」がデジタル化写真データの方が冷たい事例（図 B-3 参照））

観測オリジナルデータ及びデジタル化写真データから算出した DT 数のパラメーター一覧を表 B-3 に示す。

両者を比較すると、「眼を一周する最狭バンド幅の条件を満たさず一番冷たい階調」が観測オリジナルデータでは LG なのに対し、デジタル化写真データ

の方は W で 2 階級冷たい階調になっている。このため、E 数はデジタル化写真データの方が 1.0 大きくなる。

一方、眼階調は共に OW、眼の形状も LONG で同じであり、眼調整の値は観測オリジナルデータとデジタル化写真データは同じになる。従って、E 数が大きい分、DT 数もデジタル化写真データの方が 1.0 大きくなる。

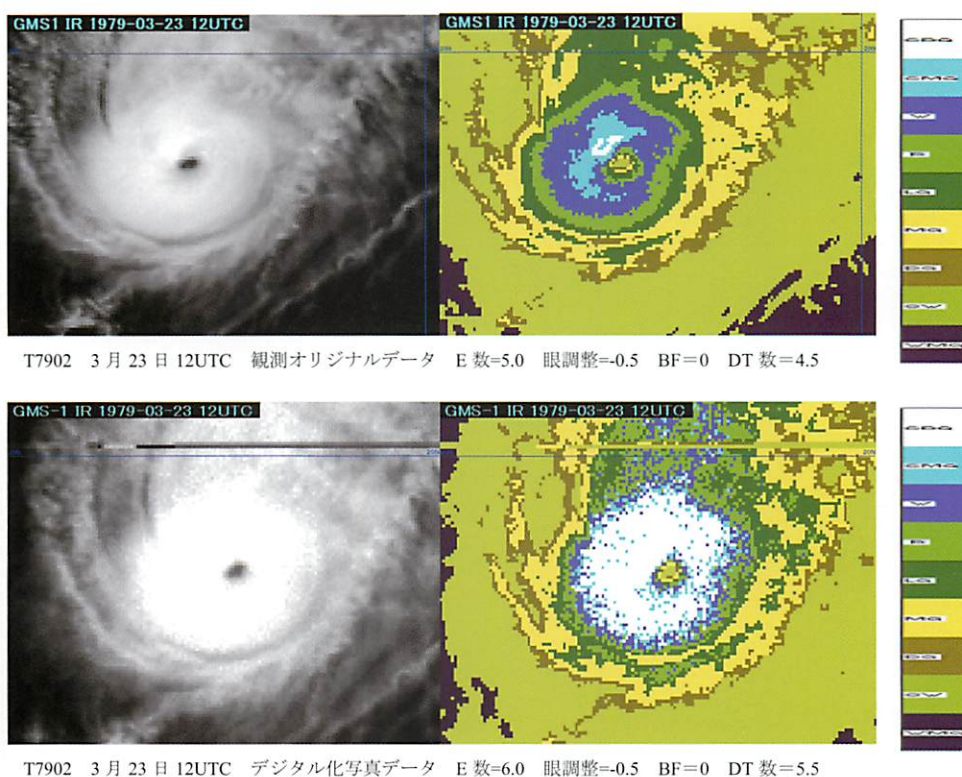


図 B-3 3 月 23 日 12UTC の観測オリジナルデータの画像（赤外画像と EIR 画像）とデジタル化写真データの画像（赤外画像と EIR 画像）

表 B-3 観測オリジナルデータとデジタル化写真データから算出した DT 数のパラメーター一覧

	眼を一周する最狭バンド幅の条件を満たさず一番冷たい階調	E 数	眼を一周する最も冷たい雲域の階調	眼階調、眼の形状	眼調整	CF 数 = E 数 + 眼調整	BF 数	DT 数 = CF 数 + BF 数
観測オリジナルデータ	LG (注 1)	5.0	W	OW	-0.5	5.0 - 0.5 = <u>4.5</u>	0.0	4.5 + 0.0 = <u>4.5</u>
				LONG (注 2)				
デジタル化写真データ	W	6.0	CDG	OW	-0.5	6.0 - 0.5 = <u>5.5</u>	0.0	5.5 + 0.0 = <u>5.5</u>
				LONG (注 2)				

(注 1) : W や B 階調では最狭バンド幅の条件を満たさない

(注 2) : E 数が 4.5 以上である細長い眼 (LONG) に対しては他に引かれていなければ眼調整で 0.5 を引く