

「台風へと発達する雲システムの早期判別法」の精度検証と

雲システムが台風に発達するまでの経過時間

寺坂義幸*、中西達郎*、西村修司*

The accuracy verification of "Discriminating method of cloud systems which develop into tropical cyclone in the early stage" and the elapsed time of develop into tropical cyclone.

TERASAKA Yoshiyuki, NAKANISHI Tatsuro, NISHIMURA Syuuji

Abstract

The Meteorological Satellite Center (MSC) has been discriminating if the tropical cloud systems develop into a tropical cyclone (TC) in its early stage. It is called "Discriminating method of the cloud systems which develops into tropical cyclone in the early stage", hereafter we call this discriminating method "The early discriminating method". The early discriminating method is based on the intensity analysis of the cloud system by Dvorak's Technique in its early stage of development and statistical analysis of its intensity history of the cloud system.

We examined the accuracy of the early discrimination method using the data for 6 years from 2000 to 2005. As the result of the survey, it showed that 67% of the cloud systems satisfied with the decision conditions of the early discriminating method could develop into TC. The decision condition of the early discriminating method is the cloud systems develop into Tropical number (T-number) 1.0 within 24 hours after started the early discriminating method. In addition, T-number 1.0 is the intensity of the weakest tropical depression (TD).

Furthermore, we examined the time elapsing of cloud systems between the time of after started their early discriminating method and the time of developed into TC. Consequently, it showed that there was a peak rate about 2 days after started their early discriminating method, and there was also a peak rate about 1 day after the cloud systems satisfied with T-number 1.0. (The mean value of the time elapsing of cloud systems between the time of after started their early discriminating method and the time of developed into TC was 2.5 days. It was 1.6 days after the cloud systems satisfied with T-number 1.0)

要 旨

気象衛星センターでは、衛星画像を用いて熱帯で発生した雲システムが台風へと発達するかどうかの早期判別（以下、早期判別法と言う）を行っている。この早期判別法は、熱帯低気圧の発生初期に

* 気象衛星センターデータ処理部解析課

2006年9月29日受領、2007年1月26日受理

おける雲システムの強度を解析するドボラック法とその強度解析結果の統計的な関係に基づいている。

この早期判別法による判別の精度を、2000～2005年までの6年間の資料により調べた。その結果、雲システムの強度の指標であるT数1.0の判定結果が重要な意味を持ち、早期判別法の判定条件（早期判別法の解析開始から24時間以内に雲システムのT数が1.0に達する）を満たした雲システムは、その67%が台風にまで発達することがわかった。なお、T数1.0とは、最も弱い熱帯低気圧に伴う雲システムの強度である。

さらに台風となった事例について、早期判別法による解析を開始してから台風になるまでの経過時間を調査した。その結果、台風になるまでの経過時間は、早期判定法の解析を開始してから約2日後を最大とする事例数の分布を示し、また雲システムのT数が初めて1.0に達してからの経過時間は、約1日後を最大とする事例数の分布を持つことがわかった。なお、経過時間の平均では、解析開始から台風になるまでが2.5日、雲システムのT数が初めて1.0に達してからは1.6日であった。

1. はじめに

Dvorak(1984)は、台風が発達する可能性がある雲システムには、台風になる約1～1.5日前に「活発な対流雲からなる低気圧性に湾曲した雲列や雲バンド」が形成されるとして、この特徴を持つ雲システムの強度をT数1.0と定義した。表1左にはDvorakが定義したT数1.0の雲システムが持つべき具体的な特徴(3条件)を示した。

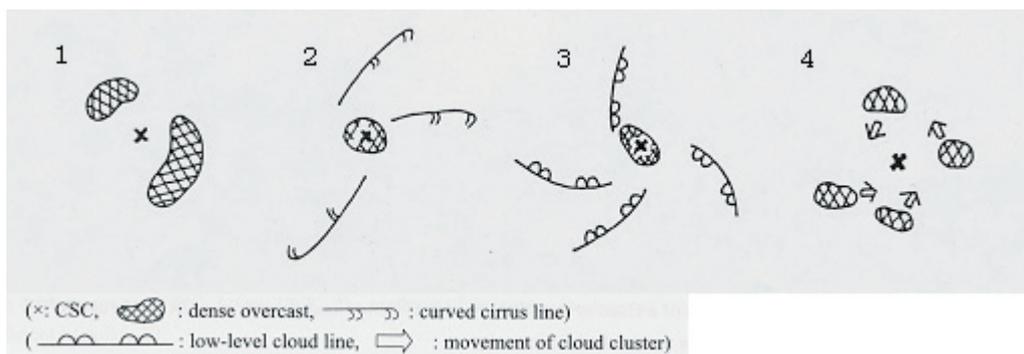
気象衛星センターでは、Dvorakが定義したT数1.0の判定基準を利用して、熱帯で発生した雲システムが台風へと発達するかどうかの早期判別法の開発を行ってきた。

土屋他(2000)は、解析対象となる雲システムに回転中心(CSC:Cloud System Center)が確認された時点から、早期判別法による解析を開始するとして、Dvorakが定義したT数1.0の3条件を細分し、5条件によるT数1.0の判定法を提案した(表1右)。さらに、台風が発達する雲システムの早期判別の条件として、「雲システムの中心を決定でき始めてからの時間が24時間以上の雲システムのうち、解析開始から24時間以内に一時的でもT数が1.0を満たした経歴があるか」を挙げている。気象衛星センターでは、2000年6月以降、土屋他が提案した5条件によるT

表1 T数1.0の強度をもつ雲システムの特徴

特徴	Dvorak(1984)	特徴	土屋他(2000)
1	12時間以上持続している	1	同左
2	直径2.5度の円内(中心位置推定精度)にCSCを決定でき、そのCSCは現在まで6時間以上継続して見られる	2	現在のCSCの中心位置推定精度は直径2.5度以内である
		3	CSCは現在まで6時間以上継続している
3	CSCから2.0度以内の位置に、直径1.5度より大きい濃密な雲域をもつこの濃密な雲域はCSC周辺の湾曲したCbラインでも見ることができる	4	-31℃以下の濃密な雲域はCSCからおおむね2.0度以内に存在する
		5	この濃密な雲域の大きさはおおむね直径1.5度より大きい

表中の直径などは緯度換算の値、また温度は赤外画像の雲頂温度を示す



1	相対的に暖かいところ(赤外画像で見て雲頂温度の高い、雲のない領域)の周囲を、少なくとも1/5周している低気圧性に湾曲した濃密な雲バンドにより決定する
2	高気圧性に湾曲した巻雲列(Ciストリーク)により決定する
3	低気圧性に湾曲した下層雲列により決定する
4	動画を用いて雲の動きから決定する(低気圧性に湾曲した下層雲列や雲バンド、巻雲列は明瞭ではないが、中心付近の濃密な雲の動きから決定できる場合)

図1 熱帯低気圧発生初期における雲システムの回転中心(CSC)の決定法
土屋他(2000)、A.TSUCHIYA et al.(2001)から引用

数1.0の判定法とその強度解析の統計的関係を用いて、熱帯で発生した雲システムが将来台風へ発達するかどうかの判別を行っている。

上野(2002)は2000～2001年にかけての判別結果をまとめ、「台風へと発達する雲システムの早期判別法」の判別条件を満たした雲システムの内、台風にまで発達した雲システムは2000年が53%(18事例)、2001年が69%(24事例)であったと報告している。

この早期判別法による解析は、2000年6月からの業務開始以来6年が経過しており、その精度を改めて調査することにした。今回は、早期判別法による解析で得られた解析対象雲システムのT数1.0の判定結果と、気象庁地上天気図から抽出した熱帯擾乱の強度とをそれぞれカテゴリー化して、カテゴリー別に対応関係を追跡調査した。さらに、雲システムが台風にまで発達した事例について、早期判別法による解析を開始してから台風へ発達するまでの経過時間と、解析対象の雲システムが初めてT数1.0になってから台風へ発達するまでの経過時間についても調査した。

2. 早期判別法の解析対象と開始・終了

早期判別法は、北半球の東経100度～西経170度までの海上の雲システムを解析対象としている。また解析時刻は、6時間ごとのマップタイム(00、06、12、18UTC)である。なお、特定TD(24時間以内に台風になると気象庁予報課が予想した熱帯低気圧)や台風へ発達した熱帯擾乱の雲システムについては、通常の台風解析業務(ドボラック法)で取扱うため、早期判別法による解析の対象とはならない。また雲システムの中心付近に濃密な雲域が見られない下層の雲渦のみの場合も対象外である。

早期判別法による解析の開始は、解析対象の雲システムに回転中心(CSC)が初めて決定できた段階である。CSCの決定方法については、土屋他(2000)、A.TSUCHIYA et al.(2001)から引用して図1に示した。図1には異なる4つの方法が示されており、CSCはこれらのいずれか1つ以上の方法で決定する。

一方早期判別法の終了は、雲システムが発達して台風(特定TDを含む)になるか、あるいは雲システム

表 2 T 数の時間変化による雲システムの発達程度のカテゴリ

雲システムの発達程度	雲システムの T 数の時間変化
【1】 T 数 1.0(＊)	解析開始から 24 時間以内に、一度以上 T 数 1.0 に達した雲システム
【2】 T 数 1.0	解析期間中、一度以上 T 数 1.0 に達した雲システム(ただし、【1】を除く)
【3】 T 数 1.0 未満	解析期間中、一度も T 数 1.0 に達しなかった雲システム

表 3 気象庁地上天気図による熱帯擾乱のカテゴリ

熱帯擾乱の発達程度	熱帯擾乱としての最盛期の状態
【a】 台風	台風が発達した熱帯擾乱(特定 TD を含む)
【b】 TD	発達最盛期に TD に発達したが、台風までには発達しなかった熱帯擾乱
【c】 TD 未満	TD にも発達しなかった雲システム

が衰弱して、その CSC が決定できなくなった時点である。

3. 早期判別法の精度評価の方法

早期判別法が現業務として開始された 2000 年 6 月から 2005 年 12 月までの約 6 年間において、解析対象雲システムの T 数 1.0 判定の結果から、雲システムの T 数の時間変化を 3 つのタイプに分類した。また、これと対比させるものとして、気象庁地上天気図の熱帯擾乱の解析結果から、熱帯擾乱を 3 つのカテゴリに分類(後述)して、T 数の時間変化から分類した雲システムタイプと、熱帯擾乱の強度との関係を統計的に調査した。

3.1 T 数の時間変化による雲システムの分類

早期判別法による解析対象雲システムの T 数 1.0 の判定結果を用いて、T 数の時間変化から雲システムの発達程度を 3 つのタイプに分類した(表 2)。

【1】の雲システムは、雲域が順調に発達していった場合である。雲システムが 24 時間以上持続し、その CSC が 24 時間以上決定でき、しかも早期判別法の解析を開始してから 24 時間以内に、雲システムの T

数が少なくても一度は 1.0 に達した場合である。【2】の雲システムは、解析期間中一度以上 T 数が 1.0 に判定されたものの、解析開始から 24 時間以内には、T 数が 1.0 に達しなかった場合である。【3】の雲システムは、一度も T 数が 1.0 に達しなかった場合である。

3.2 気象庁地上天気図による熱帯擾乱のカテゴリ

早期判別法で解析対象となった雲システムが、どの程度の強度を持つ熱帯擾乱として解析されたかを、気象庁地上天気図から調査した。熱帯擾乱としての発達の程度は、発生から発達、衰弱に至る一連のライフサイクルの中で最盛期の状態を抽出して、3 つのカテゴリに分類した(表 3)。

【a】は最盛期の状態が台風が発達した場合(特定 TD を含む)である。【b】は最盛期に TD に発達したが、台風までには発達しなかった場合、【c】は最盛期に TD にも発達しなかった雲システムの場合である。

3.3 分類した事例の集計

早期判別法による T 数の時間変化による雲システムの 3 つのタイプ(【1】、【2】、【3】)と、気象庁地上天気図から抽出した熱帯擾乱の強度(【a】、【b】、【c】)

表4 早期判別法の解析結果と気象庁地上天気図による熱帯擾乱との対応

2000年 (解析対象事例数 237)			
T数\熱帯擾乱の強度	【a】 台風	【b】 TD	【c】 TD未満
【1】 T数 1.0(*)	17 (7.2%)	9 (3.8%)	11 (4.6%)
【2】 T数 1.0	4 (1.7%)	4 (1.7%)	10 (4.2%)
【3】 T数 1.0未満	0	6 (2.5%)	176 (74.3%)

2001年 (解析対象事例数 168)			
T数\熱帯擾乱の強度	【a】 台風	【b】 TD	【c】 TD未満
【1】 T数 1.0(*)	25 (14.9%)	10 (6.0%)	10 (6.0%)
【2】 T数 1.0	2 (1.2%)	1 (0.6%)	4 (2.4%)
【3】 T数 1.0未満	0	1 (0.6%)	115 (68.5%)

2002年 (解析対象事例数 95)			
T数\熱帯擾乱の強度	【a】 台風	【b】 TD	【c】 TD未満
【1】 T数 1.0(*)	19 (20.0%)	6 (6.3%)	0
【2】 T数 1.0	6 (6.3%)	2 (2.1%)	0
【3】 T数 1.0未満	1 (1.1%)	5 (5.3%)	56 (58.9%)

2003年 (解析対象事例数 84)			
T数\熱帯擾乱の強度	【a】 台風	【b】 TD	【c】 TD未満
【1】 T数 1.0(*)	17 (20.2%)	7 (8.3%)	2 (2.4%)
【2】 T数 1.0	3 (3.6%)	2 (2.4%)	1 (1.2%)
【3】 T数 1.0未満	1 (1.2%)	15 (17.9%)	36 (42.9%)

2004年 (解析対象事例数 102)			
T数\熱帯擾乱の強度	【a】 台風	【b】 TD	【c】 TD未満
【1】 T数 1.0(*)	24 (23.5%)	10 (9.8%)	2 (2.0%)
【2】 T数 1.0	5 (4.9%)	2 (2.0%)	0
【3】 T数 1.0未満	0	8 (7.8%)	51 (50.0%)

2005年 (解析対象事例数 92)			
T数\熱帯擾乱の強度	【a】 台風	【b】 TD	【c】 TD未満
【1】 T数 1.0(*)	14 (15.2%)	7 (7.6%)	2 (2.2%)
【2】 T数 1.0	8 (8.7%)	3 (3.3%)	1 (1.1%)
【3】 T数 1.0未満	1 (1.1%)	1 (1.1%)	55 (59.8%)

とを、それぞれカテゴリー別に集計した。表4にはこの結果を示した。表中の数値は、それぞれのカテゴリーに対応する事例数である。なお、カッコ中の数値は、全解析事例数に対する割合を示している。

4. 早期判別法の精度調査の結果と検討

4.1 解析対象雲システムの規模(スケール)の違い

図2には、表4の集計結果から、雲システムのカテゴリーが【1】で、その後の経過が【a】であった事例数と、雲システムのカテゴリーが【3】で、その後の経過が【c】であった事例数とをグラフで示した。

これを見ると、雲システムのカテゴリーが【1】で、その後の経過が【a】であった場合の事例数(●)は、14~25と比較的変化が少ない。一方、雲システム

が【3】で、その後の経過が【c】であった場合の事例数(■)は、2000年~2001年にかけての前半の期間と、2002年~2005年にかけての後半の期間で

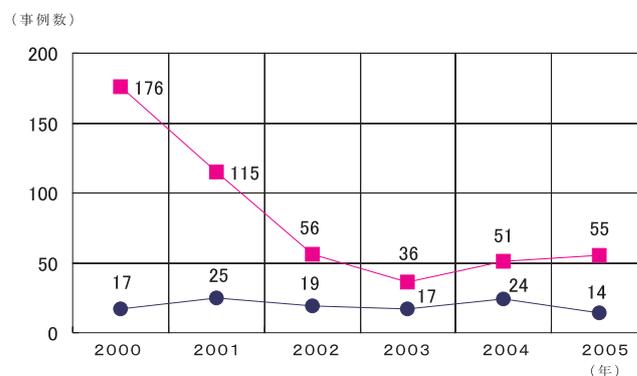


図2 【1】 T数 1.0(*)で【a】 台風であった場合の事例数(●)と、【3】 T数 1.0未満で【c】 TD未満であった場合の事例数(■)の時系列

は、事例数に大きな差があることがわかる。前半の期間では 100 事例以上の解析があるのに対して、後半の期間では 50 事例前後となっている。

これは、2001 年以前の前半の期間では、寿命の比較的短い小さな雲システムまでも解析の対象としていたため、雲システムが【3】で、その後の経過が【c】であった場合の事例数が多くなったと考えられる。このことは、年毎の気象特性の違いによる影響も考えられるが、早期判別法を始めた当初(2000～2001年)の経験により、解析者の熟練が進み、比較的寿命が長く、継続した解析ができる雲システムを、解析対象とするようになったことが大きいと考えられる。

2001 年以前の期間と、2002 年以降の期間との間には、解析対象としている雲システムに規模(寿命)の違いがあるため、以下ではこの点に注意して議論することとする。

4.2 各年に共通する全般的な特徴

表 4 から各年に共通する全般的な特徴をまとめると、以下のとおりである。

一番事例数の多かったケースは、解析対象の雲システムが【3】で、その後の経過が【c】であった場合である。この場合は、各年共に全解析事例数の 40～60%を占めている(ただし 2000～2001 年については、全体の 70%前後となっており、この原因については(1)項で検討した)。

次に多い事例としては、雲システムのカテゴリーが【1】で、その後の経過が【a】の場合で、全解析事例数の約 20%である。ただし、2000～2001 年については 7～15%とやや低い割合となっているが、事例数で見ると 2000～2005 年まで、ほぼ同程度の 20 事例前後となっている。

一方、雲システムのカテゴリーが【1】または【2】でありながら、その後の経過が【c】であった場合と、雲システムのカテゴリーが【3】であるにもかかわらず、その後の経過が【a】あるいは【b】となった事例は、全事例数から見ると共に少なくなっている。

4.3 早期判別法による雲システムの判定結果とその後の経過

早期判別法で判別された雲システムが、その後どのような経過をたどったかについて、T 数の時間変化による雲システムの分類毎に調査した。

図 3 は、雲システムが【1】のカテゴリーの事例について、その後の経過を円グラフで示したものである。この場合、60～70%が【a】となり、残りの 20～30%が【b】、【c】であったのは 10%以下であった。ただし 2000、2001 年は、【c】が 20～30%と他の年に比べて多い分布となっているが、(1)項の考察より 2000～2001 年は除外して考えた方が合理的であろう。

図 4 は、雲システムが【2】のカテゴリーの事例について、その後の経過を示した。各年の事例数は 2000 年を除いて 10 例前後となっている。またその後の経過は、2002～2005 年が比較的同様な傾向を示しており、その後【a】となった場合は 50～70%となっている。

さらに、図 5 には雲システムが【3】のカテゴリーの事例についての経過を示した。この場合は、【a】となった事例が 2002 年、2003 年、及び 2005 年にそれぞれ 1 事例(2%)ずつあるものの、大多数(全体の 70～90%)の事例は、【c】のみで終わっている。

なお図 6 には、(1)項での考察の結果から、2002～2005 年までの事例を累積し、全体としての分布を示した。図 6 上段は、【1】のカテゴリーについて、その後の経過分布を示したもので、全事例 373 例中の 110 事例(全体の 29%)がこのカテゴリーに該当した。その後の経過は、【a】となったのが 67%、【b】となったのが 27%、【c】となったのは 6%であった。また図 6 中段には、【2】のカテゴリーについて、【1】と同様にその後の経過分布を示した。このカテゴリーに該当した事例は、33 事例(全体の 9%)と少なく、その分布は【1】のカテゴリーの場合(上段)と同様な結果となった。さらに図 6 下段には、【3】のカテゴリーについて、【1】、【2】と同様に示した。このカテゴリーに該当した事例は 230 事例(全体の 62%)

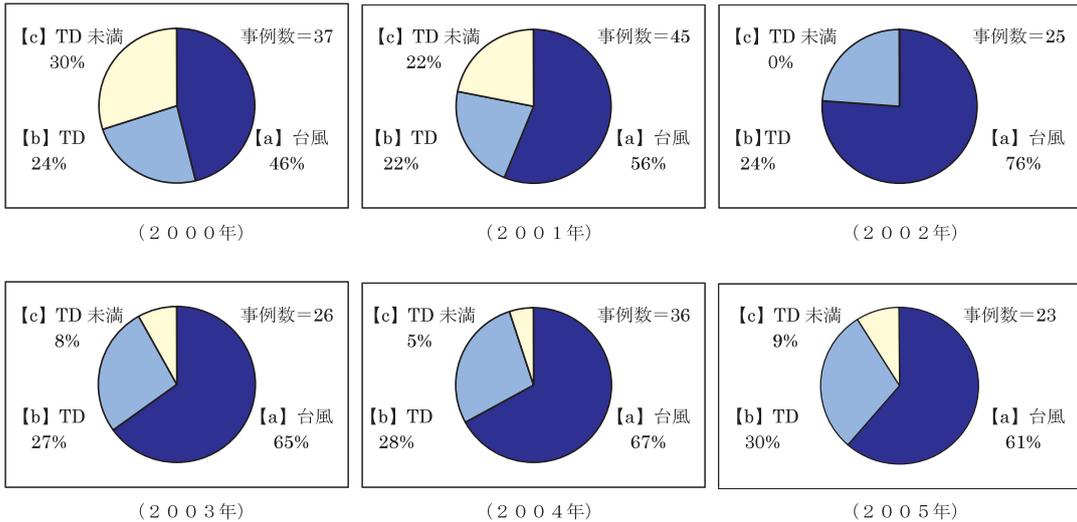


図3 【1】 T数1.0 (*)であった場合の経過

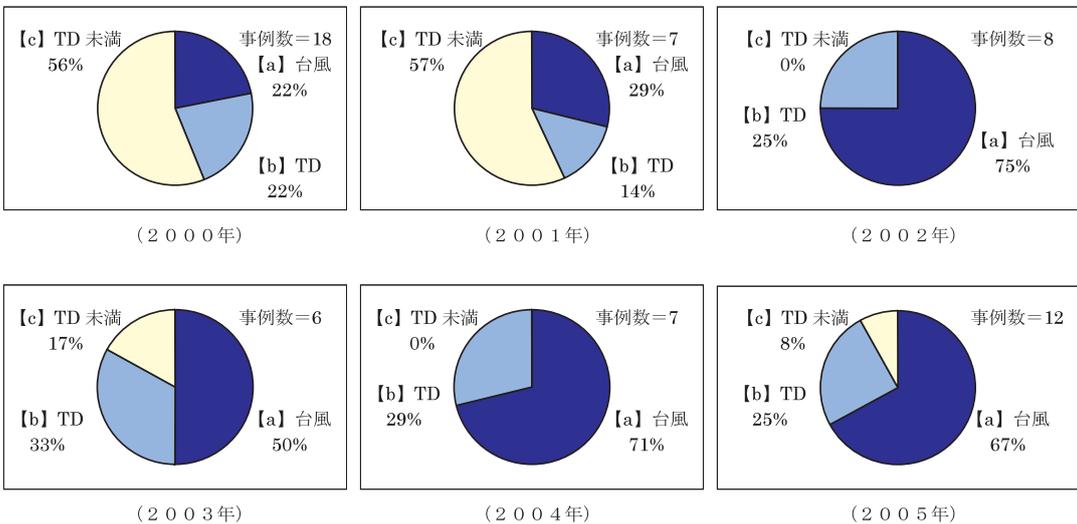


図4 【2】 T数1.0であった場合の経過

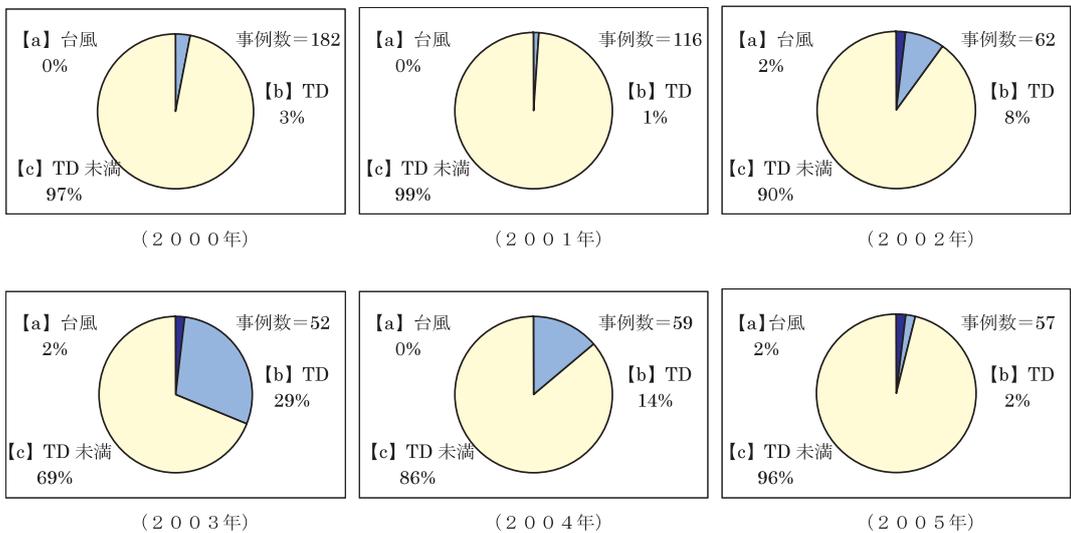


図5 【3】 T数1.0未満であった場合の経過

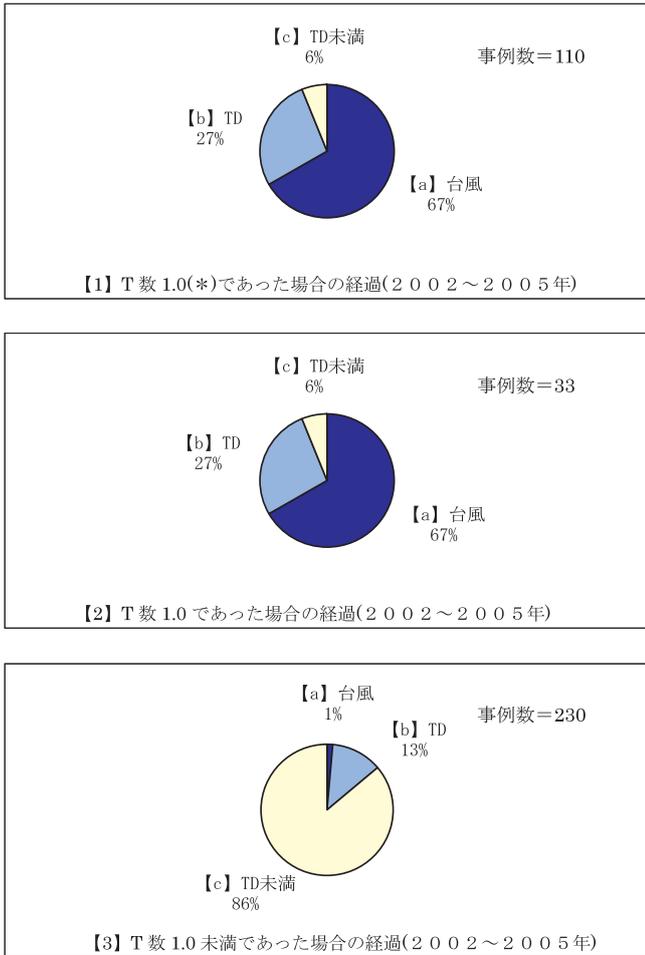


図6 T数のカテゴリー別雲システムの経過(2002~2005年)

と、3つのカテゴリーの中では一番多く、その後の経過分布は【c】となった事例が86%となり、その大半を占めた。

ところでこの図6からは、以下のことが考えられる。【2】に該当した事例数は33事例(全体の9%)と僅かであるが、【2】の経過分布は【1】の場合(上段)と同様な分布を示したことから、【2】の事例の中には、【1】に該当した事例と同様な形態を示す事例(【1】に該当すべき事例)が存在していると考えられる。従って、雲システム【1】のカテゴリー分けを行った基準(24時間)を見直し微調整することにより、【2】に該当した事例をより適正に振り分けられ、早期判別法の精度向上の可能性が期待できる。

4.4 台風となった事例についての調査

台風となった事例(【a】に該当)について、雲システムの早期判別法による判定結果はどうであったか、時間を遡って調査した。図7にはこの結果を示す。これを見るといずれの年も、雲システムは【1】であった場合が一番多く、全体の70~90%を占めている(2005年に関しては61%)ことがわかる。また【2】は、全体の10~20%前後であった(ただし2001年は7%)。さらに【3】については、2002年、2003年、及び2005年で台風にまで発達した事例がそれぞれ1

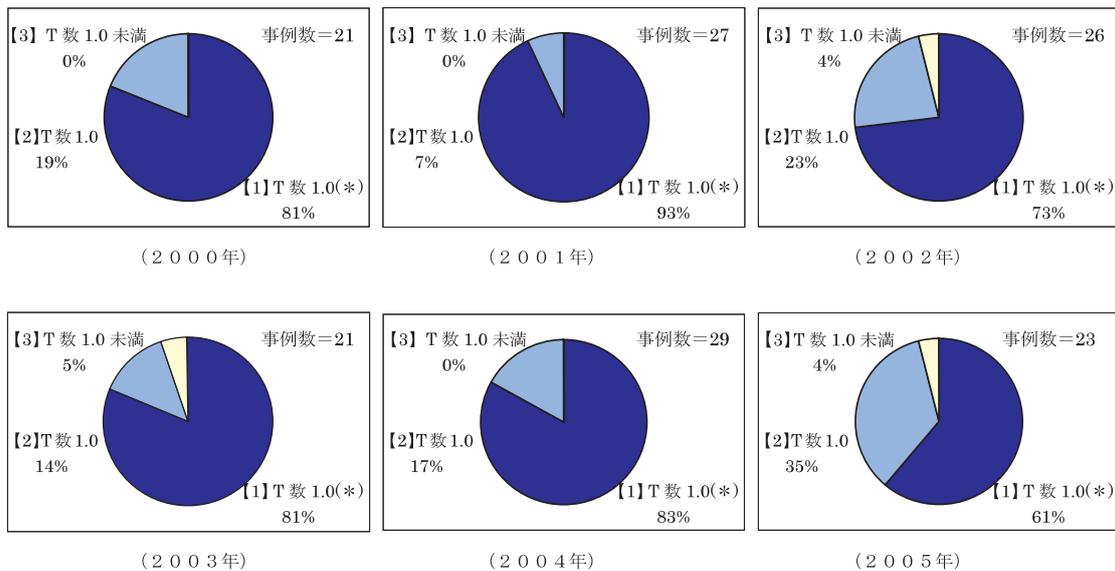


図7 【a】台風となった事例の内訳

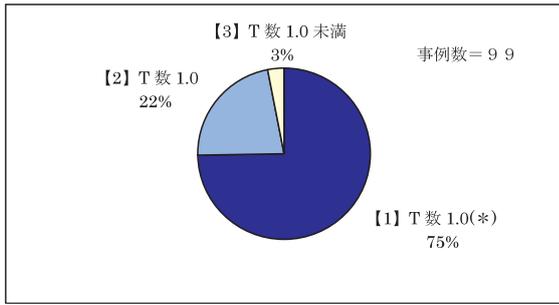


図8 [a] 台風となった事例の内訳 (2002~2005年)

事例 (約5%) があるものの、その他の年はゼロとなっている。なお図8には、2002~2005年 ((1) 項の考察より、2000~2001年は除外) までの事例をカテゴリ一別に集計し、全体としての分布を示した。これを見ると、台風となった事例の内の75%が、解析開始から24時間以内に、雲システムのT数が1.0に達していたことがわかる。これは、24時間以内に雲システムのT数が1.0に達した事例の67%に相当する。

4.5 精度調査のまとめ

早期判別法を開始してから24時間以内にT数が1.0となった雲システム (【1】に該当) は、その後67%が台風にまで発達したことがわかった。一方、雲システムのT数が1.0未満のカテゴリに属する場合 (【3】に該当) には、その86%はTDにも発達しない雲システムのままで終ることもわかった。

また【2】に該当する事例は、33事例 (全体の9%)

と僅かであるが、その後の経過が【1】と同様な分布を示したことから、雲システム【1】のカテゴリ分けを行った基準 (24時間) を見直し微調整することにより、早期判別法の精度向上への可能性が見出せた。

5. 台風になるまでの経過時間

雲システムの解析において、解析対象となる発達中の雲域が、今後どのくらいの経過時間の後に、台風となるかは重要である。そこで台風となった事例について、早期判別法を開始してから台風になるまで (気象庁地上天気図で最初に台風を解析するまで) の経過時間を調べることにした。なお調査は、解析対象とした雲システムの規模の違いを考慮して、後半期間の2002~2005年までの台風となった全事例 (99事例) について行った。

図9には、早期判別法による解析を開始してから、台風になるまでの経過時間の分布を示した。縦軸は台風になった事例数で、横軸は解析を開始してから台風になるまでの経過時間 (日数) である。この図9には、早期判別法による解析を開始してから約2.0日 (48時間) 後に、台風となった事例数の分布のピークが見られる。

また図10には、早期判別法において解析対象となった雲システムのT数が初めて1.0に達した時点から、台風になるまでの経過時間の分布を、図9と同じ期

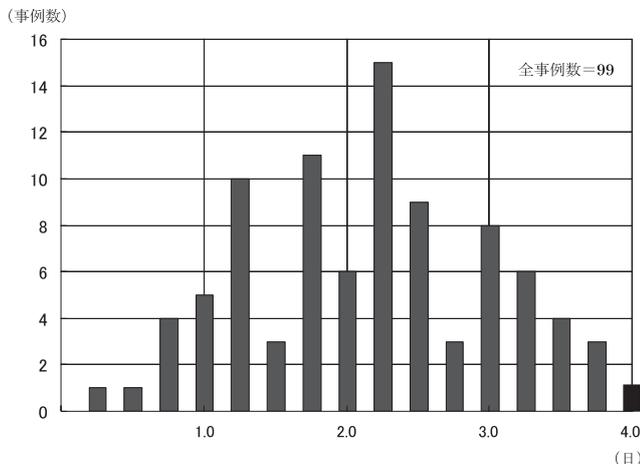


図9 早期判別法を開始してから台風になるまでの経過時間 (日数)

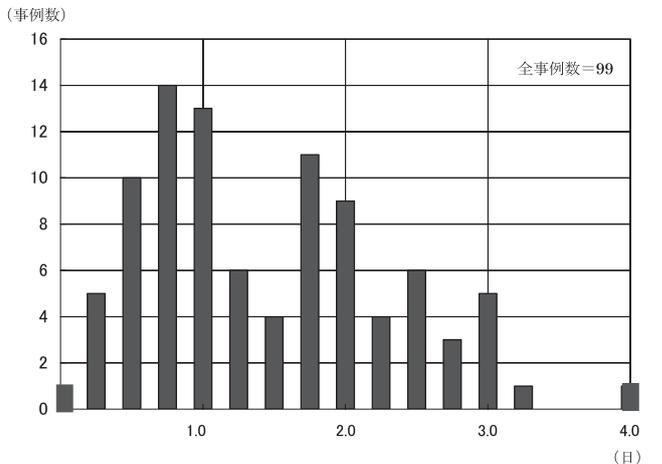


図10 雲システムのT数が初めて1.0になってから台風になるまでの経過時間 (日数)

間について調べて示した。この結果では約 1.0 日 (24 時間) 後に、台風となった事例数の分布にピークが見られる。

なお、経過時間の平均では、早期判別法を開始してから台風になるまでが 2.5 日 (58.8 時間)、雲システムの T 数が初めて 1.0 に達してからは 1.6 日 (38.4 時間) であった。

ところで、図 10 を見ると、経過時間 1.25 日後と 1.50 日後の事例数が前後に比べて少なくなっており、0.75 日後と 1.75 日後との 2ヶ所の経過時間に事例数の極大があるようにも見られる。そこで、経過時間 1.25 日後と 1.50 日後の事例数が少なくなった原因について、集計データを遡って調べた。その結果、算出された経過時間には、観測された時間帯によって、出現頻度の高い経過時間と出現頻度の低い経過時間とがあることがわかった。これは台風となった時刻には 00UTC が一番多く、18UTC に台風となるケースが少なかった天気図解析の結果とも関係があるようにも思われる (図 9 において、経過時間 1.50、2.00、2.75 日後の事例数が、その前後の時間の事例数に比べて少ないのも、同様な原因によるものではないかと考えられる)。また上記の原因以外に、雲システムの日変化の寄与があることも考えられるが、今回はその調査まではできなかった。

6. おわりに

今回の調査では、熱帯で発生した雲システムがその後台風にまで発達するかどうかの判定に、この早期判別法の解析手法が有効であることが確認できた。その精度については、解析開始から 24 時間以内に T 数が 1.0 に達した雲システムは、その 67% が台風にまで発達することがわかった。

また、台風にまで発達した事例においては、早期判別法の解析開始から台風になるまでの経過時間では約 2 日後、解析対象雲システムの T 数が初めて 1.0 に達してからは約 1 日後に、事例数の分布にピークが見られた。

さらに、2002～2005 年までの全体としての集計

結果 (図 6) からは、早期判別法の精度向上につながる可能性が見出せた。

今後はこれらの調査をさらに進め、その結果を報告すると共に、早期判別法の一層の精度向上を図っていききたい。

参考文献

- Akio TSUCHIYA, Tetsuya MIKAWA, Akihiro KIKUCHI (2001): Method of Distinguishing between Early Stage Cloud Systems that Develop into Tropical Storms and Ones that Do Not, The Geophysical Magazine Series 2, Vol.4, Nos.1-4, 49-59.
- Dvorak, V. F. (1984): Tropical cyclone intensity analysis using satellite data, NOAA Technical Report NESDIS 11, 47pp.
- Dvorak & Smigielski (1992): Tropical clouds and cloud systems observed in satellite imagery, Vol.1, U.S. Department of Commerce.
- Dvorak, V. F. (1992): Tropical clouds and cloud systems observed in satellite imagery, Vol.2, U.S. Department of Commerce.
- 上野忠良 (2002): 台風へと発達する雲システムの早期判別結果 (2000,2001 年) と南シナ海で台風へ発達した雲システムの周辺場にみられる特徴、気象衛星センター技術報告、第 41 号、1-14.
- 土屋昭夫、三河哲也、菊池明弘 (2000): 台風へと発達する雲システムの早期判別法について、気象衛星センター技術報告、第 38 号、13-19.