

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境学研究系自然環境学専攻
地球環境モデリング学分野

2009 年度
修士論文

温帯低気圧化の過程で再発達する台風の
環境場に関する研究

A study about the condition of typhoon which
re-develops during the process of extratropical
transition

2010 年 1 月 29 日

2009 年度 3 月 修了

指導教員 高橋正明 教授

086618 久保田貴久

目次

1.序論	4
1-1.温帯低気圧化について	4
1-1-1.温帯低気圧化	4
1-1-2.再発達	5
1-2.温帯低気圧化に関する予報の現状	5
1-2-1.技術的制約	5
1-2-2.行政的制約	6
1-2-3.我が国における予報の現状	6
1-3.温帯低気圧化に関する研究の現状	8
1-3-1.温帯低気圧化	8
1-3-2.再発達	9
1-4.研究の意義と目的	10
1-4-1.意義	10
1-4-2.目的	10
2.研究方法	11
2-1.使用する資料と研究対象領域	11
2-2.解析方法	11
2-2-1.物理量を描画した図の判読	11
2-2-2.物理量の時間変化についての解析	12
3.温帯低気圧化の気候学的特徴	14
3-1.はじめに	14
3-2.台風が温帯低気圧に変化する割合と、その季節変化	14
3-3.台風が温帯低気圧化や消滅をする位置の季節変化	15
3-4.台風周辺的环境場の季節変化	17
3-5.まとめ	25
4.V 成分を用いた再発達の判定	27
4-1.はじめに	27
4-2.V 成分を用いた再発達の判定に関する指標	28
4-3.グラフを用いた再発達の判定	29
4-4.台風の中心気圧と 850hPa の $ VE + VW $ との相関関係	30

4-5.まとめ	33
5. 強風半径の増大と再発達が起こる際の環境場についての解析	34
5-1.はじめに	34
5-2.温帯低気圧化が起こる際の環境場に関する解析	36
5-3.強い再発達が起こる際の環境場に関する解析	39
5-4.再発達と強風半径の増大との関係	41
5-5.まとめ	42
6.結論	43
6-1.全体のまとめ	43
6-2.今後の課題	45
謝辞	45
参考文献	45
和文要旨	47
英文要旨	49

1.序論

1-1.温帯低気圧化について

1-1-1.温帯低気圧化

赤道以北、東経 180 度以西で、中心付近の最大風速が 17.2m/s (34 kt) 以上に達した熱帯低気圧を、台風と呼ぶ^{*1}。台風は海面水温が概ね 26.5 °C 以上の熱帯海洋上で発生し、潜熱をエネルギー源として発達する。熱帯において、相当温位の南北勾配が小さい場所での現象であるため、前線は伴わない。

一方、中緯度の傾圧帯で発生する温帯低気圧は、傾圧エネルギーを基に発達する。相当温位の南北勾配が大きい場所での現象であるため、通常は前線を伴う。傾圧帯は季節により南北移動を繰り返すが、特に春や秋は日本付近に位置するため、温帯低気圧が西から周期的に日本列島に接近するようになる。

このように、台風と温帯低気圧は全く性質の異なる現象である。しかし、台風が中緯度付近に達すると、徐々にその性質が変化して、第 1 図の例のように、温帯低気圧へと変化する現象が観測されている。この現象を温帯低気圧化 (Extratropical transition) と呼ぶ。



第 1 図：温帯低気圧化の過程にある台風 0421 号の地上天気図 (左) と、その 24 時間後の地上天気図 (右) 温帯低気圧化が完了し、表記が L に変わっている。

1-1-2.再発達

中緯度の海面水温は熱帯のそれよりも低いため、水蒸気の供給量が少ない。そのため、

*1 以下、特に断りのない限り、台風という記述には中心付近の最大風速が 17.2m/s 以下の熱帯低気圧も含まれる。

台風が中緯度付近まで北上してくると、勢力を維持するために必要なエネルギーの供給が減少し、勢力も徐々に衰えてくるのが一般的である。

しかし、中には再び勢力が強まる事例も見られる。このような再発達をする事例の中には、迷走台風が南進して、再び海面水温の高い海域に進入したり、一旦上陸した台風が再び海洋上に達したりして、水蒸気の供給量が増したと考えられるものもある（台風 0813 号など）が、そのほとんどは北進しながらも再発達を遂げた事例である。従って、台風本来の発達メカニズムとは別の作用が働いていると考えられている。

1-2. 温帯低気圧化に関する予報の現状^{*2}

1-2-1. 技術的制約

まず、台風とその温帯低気圧化を観測するにあたっての技術的な問題点として、直接観測が困難であるという点を挙げておきたい。中緯度で発生する温帯低気圧と違い、台風は熱帯の海洋上で起こる現象である。そのため、米軍による航空機観測が行われなくなった今日においては、直接観測は主に観測船や海洋ブイなどに限られている。実際に台風の強度や位置などを推定する作業は、衛星画像を基にしたドボラック法^{*3} が用いられている。しかし、特に温帯低気圧化の過程で雲の形が非対称化してくると、精度が低下するという欠点がある。

次に、台風から温帯低気圧への変化は連続的な現象である点が挙げられる。天気図上では変化の完了をもって表記が台風 (T, STS, TS, TD)^{*4} から温帯低気圧 (L) へと変化するが、実際には中緯度に接近した段階で多かれ少なかれ温帯低気圧化が始まっており、その構造も台風とは異なっていることが多い。

*2 予報の現状に関する議論については、北島ほか (2006) に詳しい解説がある

*3 台風の雲画像を基に、その形状から中心気圧と中心付近の最大風速を推定する方法。これまで米軍が行ってきた直接観測のデータと、観測したのと同じ台風の雲画像を使用し、雲画像のパターンと強度の相関関係を導き出し、米軍の観測が終了した以降もこの相関関係から強度を推定する方法をとっている。

*4 T: Typhoon 中心付近の最大風速が 64 Kt (32.7m/s) に達した熱帯低気圧

STS: Severe Tropical Storm 中心付近の最大風速が 48 kt (24.5m/s) 以上 64 kt 未満の熱帯低気圧

TS: Tropical Storm 中心付近の最大風速が 34 kt (17.2m/s) 以上 48 kt 未満の熱帯低気圧

TD: Tropical Depression 中心付近の最大風速が 34 kt 未満の熱帯低気圧 予報で「熱帯低気圧」と呼称した場合、特に断りがない限りはこれを指す

1-2-2.行政的制約

温帯低気圧化は連続的な現象であり、台風からいきなり温帯低気圧に変化するのではなく、徐々に構造が変化していくものである。従って、理想的には

台風→温帯低気圧化の開始→遷移期→温帯低気圧化の完了→温帯低気圧

というふうに発表するのが望ましいであろう。

しかし、現在のところ、世界で統一された温帯低気圧化の基準は存在しない (Jones et al. , 2003, Weather forecasting, 18, pp1052-1092. ; Evans, 2006, WMO/TD-No,1353 Rep. TMRP-72, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 305-319.)。そのうえ、一口に構造の変化といっても、各事例によって変化の仕方は異なる。また、防災の観点から見ると、発表する予報は統一した基準の下で、明確に、かつ即時に発表することが求められるので、現在のところ、温帯低気圧化の完了をもって、台風から温帯低気圧に変化したと扱われている^{*5}。

だが、各国の現業機関が、同じ台風に対し異なった予報を出すこともある。ある機関が温帯低気圧に変化したと判定しても、まだ別の機関は台風として予報していることが多々ある上に、同じ機関でも担当する予報官によって予報に差があることも見受けられる。

このように、予報に主観的な要素が含まれることが否めないなど、温帯低気圧化についての予報には課題が多い。

1-2-3.我が国における予報の現状

日本の気象庁において、台風予報は予報作業指針（1990）に基づいて行われている。ここで、温帯低気圧化は以下のように定義される

温帯低気圧化の開始：構造が非対称化し始め、周囲に前線を伴い始めた時点

温帯低気圧化の完了：前線が中心まで解析された時点、または暖気核が消失した時点

（この場合、前線は必ずしも中心まで達する必要はない）

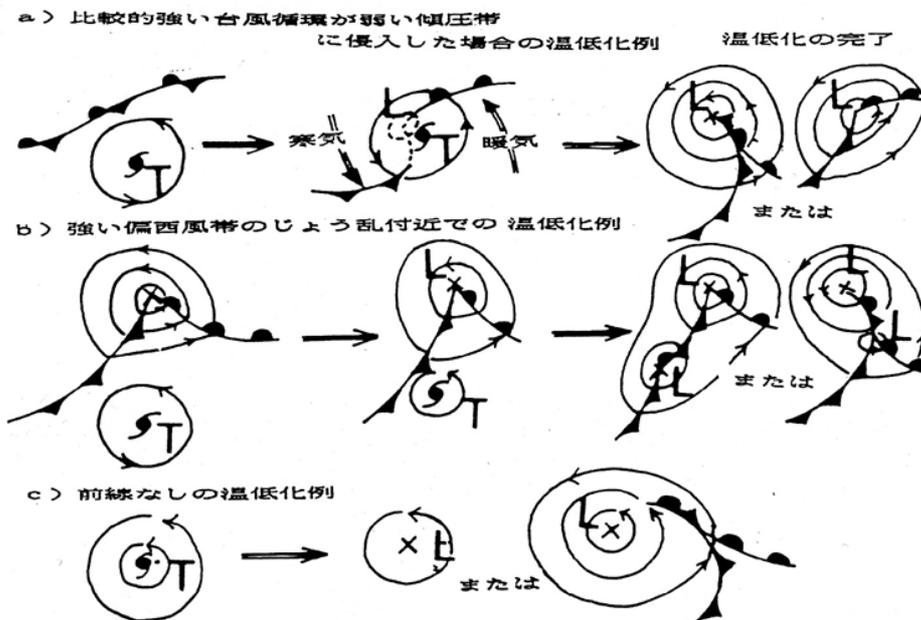
*5 これに習い、本研究において、特に断りのない限りは、温帯低気圧化の完了を、「温帯低気圧化する」「温帯低気圧に変化する」という形で表現する。

また、各事例について、以降特に断りのない限り、温帯低気圧化の開始から完了までの期間は「温帯低気圧化の過程にある台風」と表現し、温帯低気圧化の完了以降は「台風から変わった温帯低気圧」と表現する

しかし、一口に構造の非対称化といっても、用いる指標によって結果は異なってくる
ことが考えられる。また、前線や暖気核の観測においても、衛星画像を用いる以上、上層
の対流雲の消失を確認して、温帯低気圧化の完了を判断しているのが現状である。

これに加えて、第2図のような分類も行っている。A例は、強い台風循環が弱い傾圧帯
に進入するタイプ、B例は、台風循環が相対的に強い傾圧帯に進入した場合である。C例
は、台風が冷たい海面上に進んだ際に、前線が解析できるほど強い非対称性を持たない低
気圧に変化するタイプである。このタイプは通常の温帯低気圧化と異なり、台風から直接、
閉塞期の温帯低気圧化に変化したと見られる。少なくとも研究者の間では、C例を亜熱帯
低気圧化として区別する動きもあるが、気象庁の予報作業指針では同じものとして扱われ
る。日本付近では、7月から8月にかけて、傾圧帯が一年で最も北に位置しているときに、
中緯度まで北上してきた台風が海面水温の低い場所に達した場合に、このC例が観測さ
れることがあるが、A例、B例に比べるとその数はわずかである。

一方で、予報の発表に、行政上の配慮がなされることもある。例えば、日本付近に接近、
上陸する恐れのある台風の場合には、構造上すでに温帯低気圧化が完了したと考えられる
場合であっても、日本から離れて災害の脅威がなくなるまで、温帯低気圧化の完了を発表
しないことがある。これは、仮に接近、上陸前に温帯低気圧化の完了を発表すると、テレ
ビやラジオの天気予報でそれ以降「台風」ではなく「温帯低気圧」として報道されること
になるため、国民の災害に対する警戒意識を弱めることにつながるからである。



第2図：気象庁予報作業指針（1990）による温帯低気圧化の分類（北島尚子・藤部文昭・星野俊介・別所康太郎（2006）：台風の温帯低気圧化に関する理解の現状とその解析・予報の問題，測候時報，73.4-5，pp114. より抜粋）

1-3. 温帯低気圧化に関する研究の現状

1-3-1. 温帯低気圧化

温帯低気圧化の過程で見られる構造の変化に関する研究は、日本では 1950 年代から見られる。そして、気象レーダーや気象衛星の運用が本格化した 1980 年代前半ころから活発になっている。

村松 (1982) は、温帯低気圧化の過程にあった台風 7916 号について、気象衛星画像、レーダー、高層気象観測データをもとにその三次元構造を解析し、熱帯低気圧から温帯低気圧に遷移する過程の構造変化を捉えることに成功した。

村松 (1983a) は温帯化した台風の事例を集め、移動速度の変化を解析した。その結果、温帯低気圧化の完了後に再発達する事例は、温帯低気圧化の過程で移動速度が大幅に減少するという規則性を発見した。

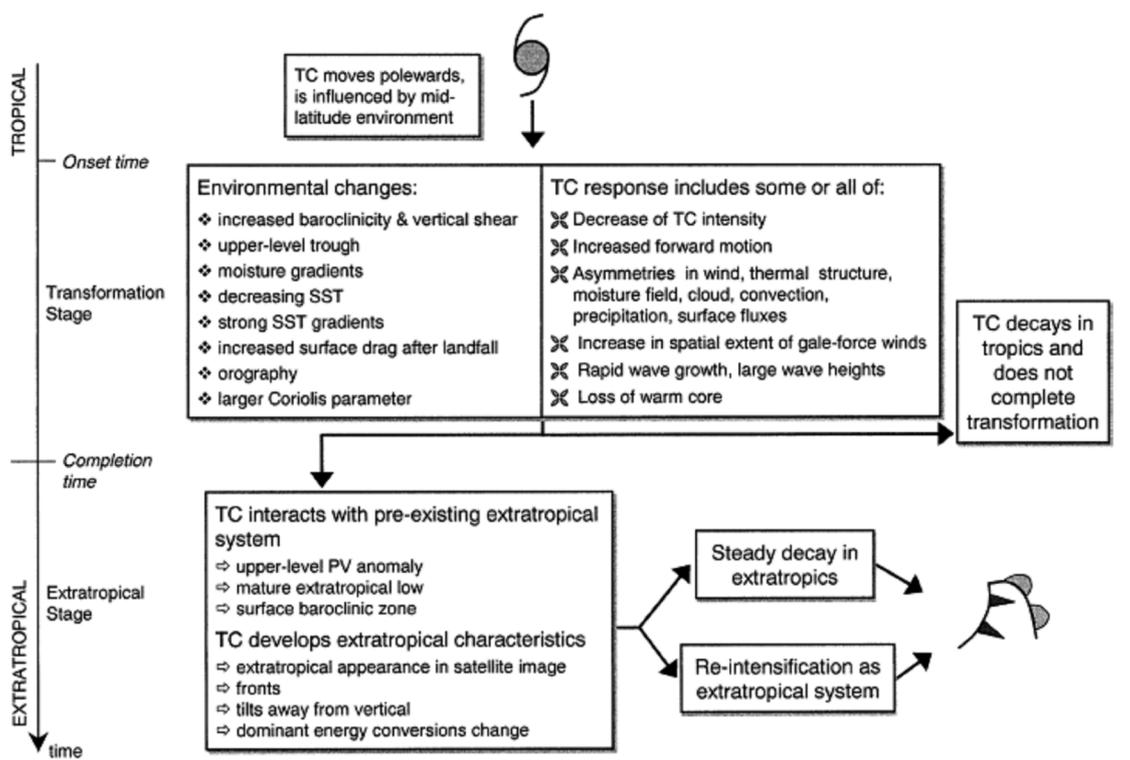
村松 (1983b) は、村松 (1983a) の内容を発展させ、北海道付近で急激な減速をした台風 5415 号を解析した。そして大気場の解析から、5415 号が中国地方をぬけて日本海に達したときから既に温帯低気圧化の過程にあり、移動速度が減少したためであると説明した。

鈴木 (2000) は温帯化の過程にある台風の雲画像を調べ、気象庁予報部の分類方法にしたがって分類した。その結果、傾圧性の強い偏西風帯で温帯化する事例のうち、温帯化後 24 時間以内に閉塞する場合には、再発達するケースが多いことを解明した。さらに「傾圧性の強い偏西風帯で閉塞する温帯化」において、従来から言われている雲画像の特徴に加えて、上層暖気核の消失により中心付近へ寒気が進入し、雲画像には寒気側から中心にかけて暗域が侵入しているように見えることを発見した。また、寒冷前線の形成に伴って中心から南へ延びる対流雲列の形成が見られると述べた。

斎藤 (2005) は、台風 0423 号が日本列島に多量の降水をもたらして大きな被害を出したことから、気象庁領域客観解析データ (RANAL) と非静力学メソ気象モデル (PSU/NCAR MM5) を用いてこの台風を解析した。その結果、日本付近で温帯化の過程にあった本台風において、北からの強い寒気の流入により台風本体の暖気核との間に強い温度前線を形成し、一連の強い降水を伴ったとしている。

藤井ほか (2006) は、台風 0423 号が日本列島を通過した際、可航半円に位置していた富山湾内で練習帆船海王丸が遭難した事例を挙げ、当時の気象解析を行った。その結果、0423 号が晩秋の上陸であったために北からの寒気移流が強く、温帯低気圧化の過程にあった台風本体の北西側で気圧傾度が大きくなり、危険半円以上の強風が発生したと結論付けた。

Jones et al. (2003) は、世界各地の温帯低気圧化に関する研究を紹介している。温帯低気圧化の過程でおこる一般的な構造変化をまとめた図(第 3 図)は、その後の温帯低気圧化に関する議論をする際に、よく引用されている。(北畠ほか, 2006)



第3図 : Jones et al. (2003) でまとめられている、温帯低気圧化の過程で起こる一般的な構造の変化

Hart (2003) は、低気圧位相空間ダイヤグラムを作成してして、暖気核-寒気核、対称-非対称といった物理量の指数から温帯化の開始と完了を客観的に評価することを試みた。この指標は、これまでの主観的な評価に代わるものとして、研究者の間で広く用いられている。

1-3-2.再発達

温帯低気圧化の過程での再発達については以下のような先行研究がある。

吉野ほか (2003) は、日本付近で急激に減衰し、その後再発達した台風 9918 号について非静力学メソ気象モデル (PSU/NCAR MM5) と Piecewise PV inversion を用いて解析を行った。その結果、台風の軸対称構造は台風の減衰期において急激に崩壊したが、再発達期には再び中心付近を取り巻くスパイラル状の雲分布へと変化したことを解明した。また、減衰した台風の直上にトラフが存在してカップリングすることで再発達を遂げたことが判明した。

Bosart and Lackmann (1995) は、Hurricane David (1979) について、客観解析データを用いて渦位場を解析した。このハリケーンの急激な再発達には、対流圏下層の暖気移流により、対流圏の層厚が増加して圏界面が上昇したため、それによって物理的に強化された上層のトラフが、下層の弱まった台風循環とカップリングしたことが原因であるとした。

Bosart et al. (2000) では、Hurricane Opal (1995) の急激な再発達について解析した。この事例では、

トラフの下流側にジェットストリークの入り口が存在し、強い発散場となっていたために、再発達を引き起こされたとした。

1-4. 研究の意義と目的

1-4-1. 意義

上記のように、世界的に見ても、温帯低気圧化に関する研究は十分とは言えない。特に再発達に関する論文は、事例解析に留まっているものがほとんどで、再発達に際して観測された特徴に一般性があるのかについては、まだ議論の余地を残している。

我が国においても、温帯低気圧化に関する論文は少なく、温帯低気圧化の過程での構造変化についての理解は不十分と言える。さらに、再発達に関する論文は数えるほどしかない。アメリカで議論されているハリケーンの温帯低気圧化と再発達のメカニズムが、日本付近で温帯低気圧化する台風にも当てはまるかについても検証する必要がある。

その一方で、我が国における防災の観点から考えると、温帯低気圧化に関する研究の必要性は非常に大きいと思われる。日本付近まで北上してきた台風は、事例により差はあるものの、その大多数は構造が非対称化しており、典型的な熱帯低気圧の理論でも、温帯低気圧の理論でも説明がつかない災害が発生する可能性がある。

その例として、藤井ほか（2006）が解析した台風 0423 号を紹介したい。この台風は 2004 年 10 月に日本列島を縦断し、各地に甚大な災害をもたらした事例であるが、特に進路の左側にあたる場所で、大きな災害が発生した。本来、典型的な熱帯低気圧の構造を持っていれば、一般的に進行方向右側で比較的強い風が吹き、大きな災害が発生しやすいはずである。しかし、この 0423 号は、強い寒気移流を受け、進行方向左側で台風の暖気核との間に局地的な前線を形成したために、その近傍で被害が大きかったとされる（藤井ほか、2006）。従って、北西太平洋域、特に日本付近における温帯低気圧化とその再発達を研究することは、防災上大変意義があると考えられる。

1-4-2. 目的

先行研究の進捗状況を踏まえて、本研究の目的は以下の通り設定した。

①北西太平洋域の温帯低気圧化について、気候的な解析を行い、温帯低気圧化の季節変化を解明する。

②温帯低気圧化および再発達についての指標を開発する。

③再発達が起こる際の環境場について解析して、再発達の条件を調べる。

まず①について、目的を設定した理由を述べる。台風は数の増減はあるものの、ほぼ一

年中発生している。従って、温帯低気圧化についても、もし台風が中緯度まで北上してくるようであれば、季節を問わずにいつでも発生しうる現象である。ところが、日本付近の気圧配置は季節によって大きく異なるため、温帯低気圧化が起こる場所や、構造の変化、周囲の環境などは、季節によって異なる特徴を持つ可能性がある。そこで、まず一般性を議論する前に、温帯低気圧化に重要な役割を果たす傾圧帯の位置や、台風が温帯低気圧化をする割合などの気候的特徴を解析する。

次に②であるが、再発達に関して一般性を議論するのであれば、事例解析と異なり、再発達を判定する基準となる指標が必要になる。そこで、Hart (2003)が開発した Cyclone Phase Diagram のように、物理量を用いた指標を開発する。最後に③として、再発達が起こる際に、低気圧の周囲がどのような環境場にあるのかを解析して、再発達の条件を導出することを最終目的としている。

2.研究方法

2-1. 使用する資料と研究対象領域

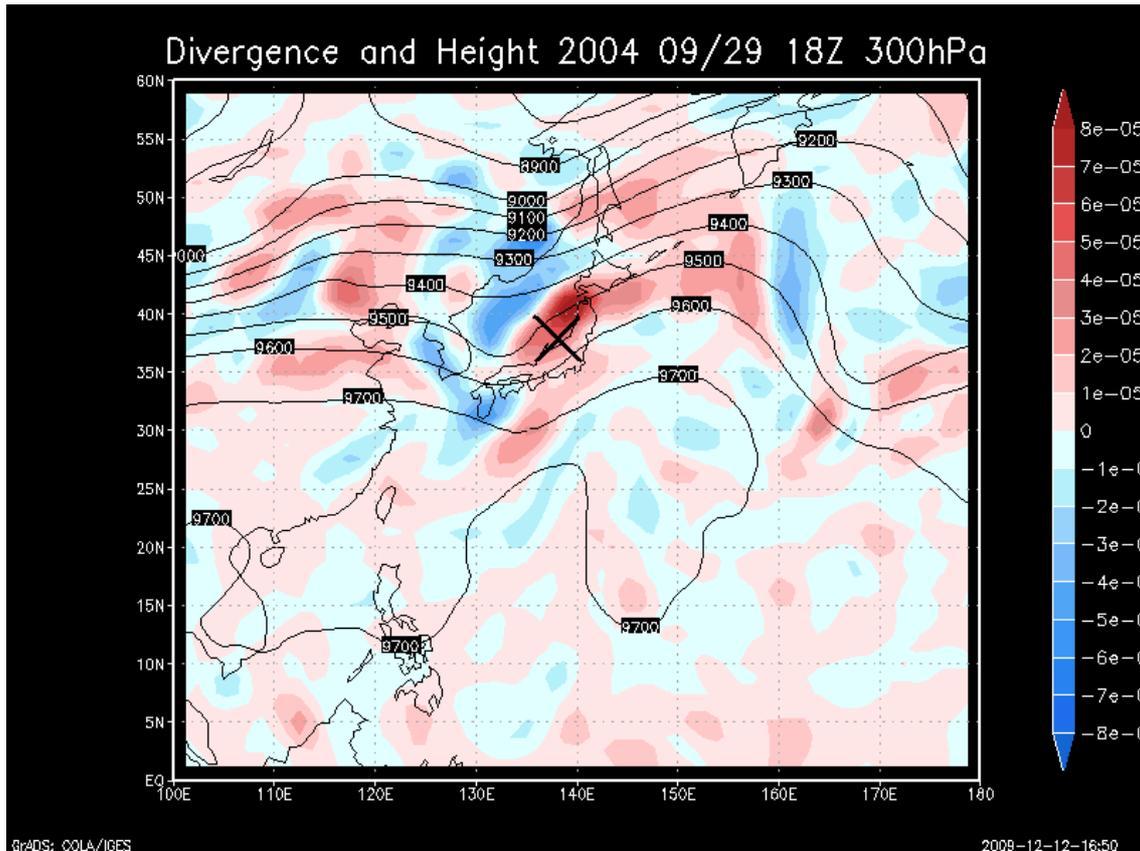
物理量の解析には、JRA25 (T106L40、モデルトップ 0.4hPa) を用いた。台風の位置、強度の特定には、気象庁のベストトラックデータを用いた。

研究対象領域は、北西太平洋域である。

2-2. 解析方法

2-2-1.物理量を描画した図の判読

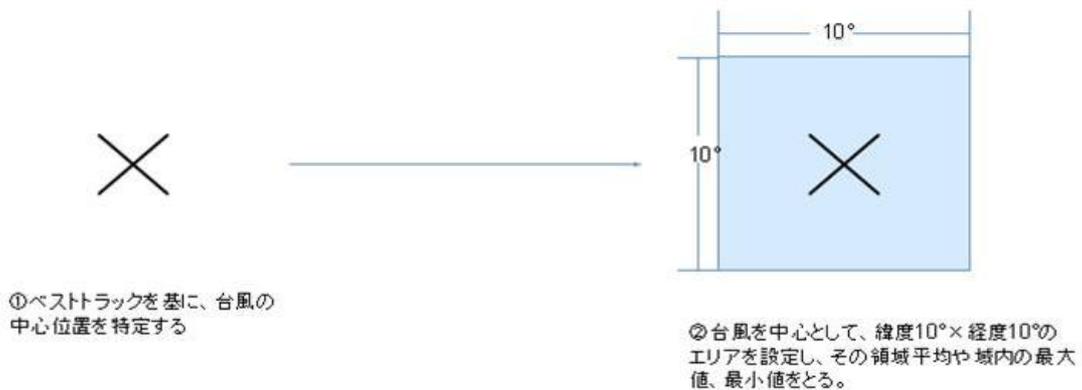
JRA25 の物理量を描画し、台風の構造および周辺の環境場を判読した。解析領域は、基本的に北緯 0 ~ 60°、東経 100 ~ 180° の領域である。描画した高度は、主に 850hPa、700hPa、500hPa、300hPa である。



第4図：描画の例 2004年9月29日18時(UTC) Shade:発散/収束 Contour:高度
×印:台風を中心

2-2-2.物理量の時間変化についての解析

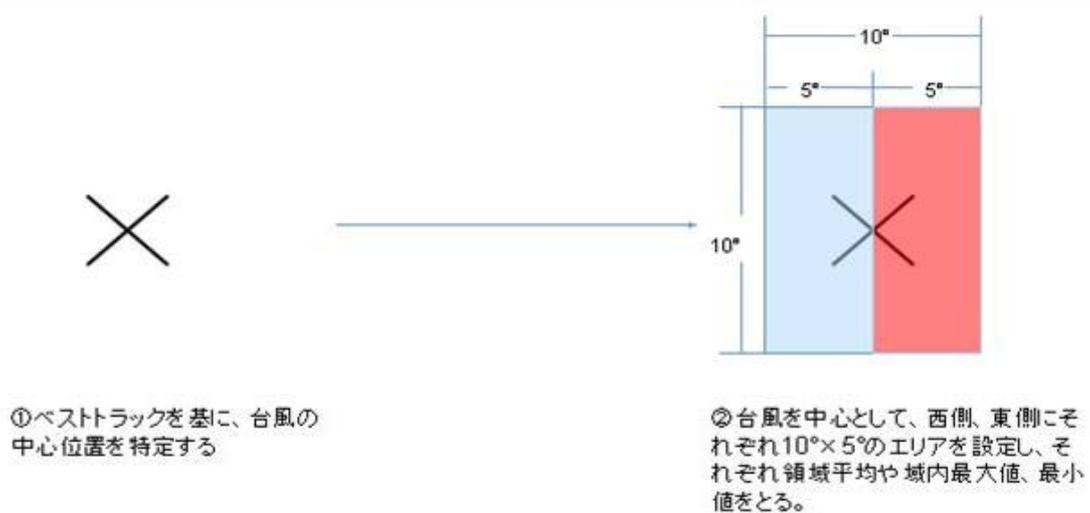
台風付近の物理量が、発生から発達期、最盛期、そして温帯低気圧化を経て消滅に至るまで、どのような変化をするのか解析した。下図のように、台風を中心とした緯度 10° × 経度 10° の領域をとり、物理量の領域平均や、この領域内の最大値、最小値を計算する。Hart (2003) の論文では、Cyclone Phase Diagram に用いる計算値を半径 500 km の領域内で計算していた。そのため、本論でもこれに習って 10° という値を設定している。



第5図：台風の物理量の時間変化について計算する方法

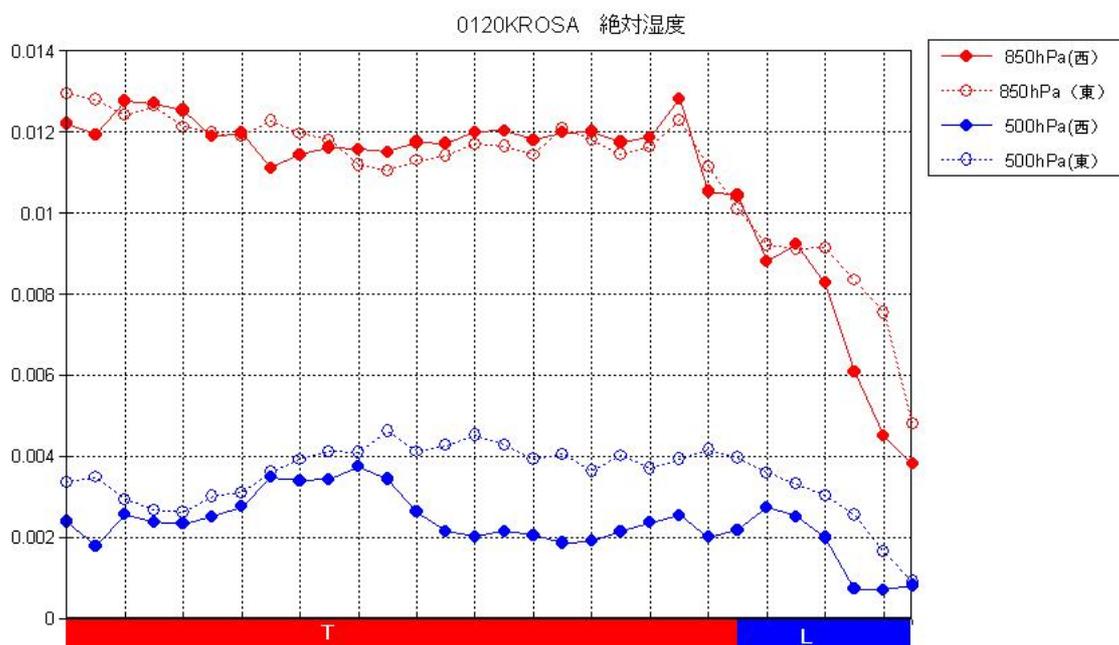
台風の構造の非対称性について計算するために、第5図で設定した領域をさらに細分化して、台風の西側と東側でそれぞれ緯度10°×経度5°についても計算した。

Hart (2003)では、台風の進行方向のデータを基に、進行方向右側、左側で区切って物理量を計算していたが、本論では進行方向に関係なく、西側、東側で区切っている。これは鈴木(2000)の雲画像解析にもあるように、温帯低気圧化の過程では、台風の西側から徐々に上層の対流雲が消滅し始めることが観測されていることが理由となっている。つまり、台風の進行方向に関係なく、西側から徐々に寒気が進入し、構造の非対称化が始まると考えられるため、第6図のような解析方法を設定したのである。



第6図：第5図に加えて、台風の構造の非対称性を計算するための、物理量の計算方法

上記の方法で 6 時間ごとに物理量を解析して、その時間変化を見ると、以下の第 7 図のようなグラフを作図することができる。



第 7 図: 台風 0120 号の絶対湿度の時間変化 y 軸は絶対湿度(kg/kg) x 軸は時間(6 時間ピッチ) T はベストトラックで台風と表示されていた期間 L は温帯低気圧として表示されていた期間

3. 温帯低気圧化の気候学的特徴

3-1.はじめに

研究の目的(1-4)でも述べたが、台風は数の増減はあるものの、一年中発生している現象である。従って、中緯度域まで台風が北上すれば、温帯低気圧化も一年を通して起こりうる現象であると言える。しかし、日本付近の気圧配置は季節ごとに異なるため、台風が温帯低気圧化に変化する緯度や、台風周囲の環境場も時期によって異なる可能性がある。

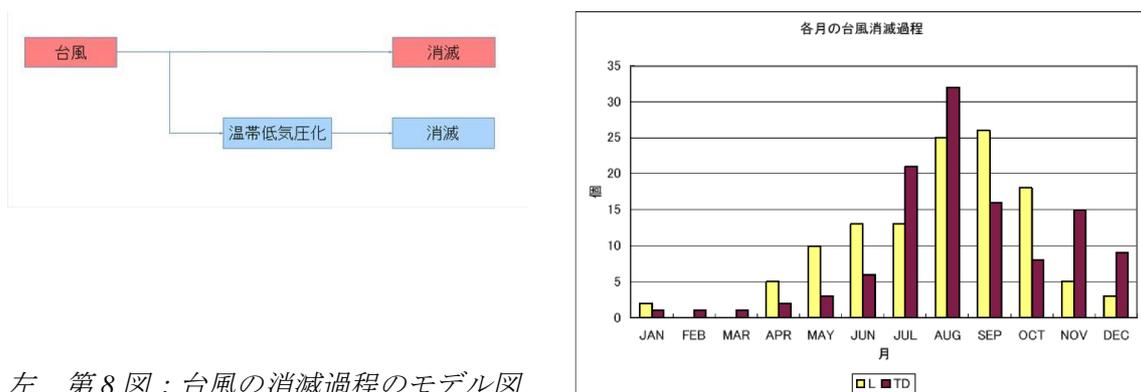
3-2.台風が温帯低気圧に変化する割合と、その季節変化

台風が消滅する過程として、2つのパターンがあると考えられる。すなわち、勢力が弱まって熱帯低気圧のまま消滅するパターンと、温帯低気圧化を経て、温帯低気圧として消滅するパターンである(第8図)。

そこで、ベストトラックデータを基に、1997年から2006年の10年間に発生した台風の消滅過程を月別に分類して、第9図を作成した。Lは温帯低気圧化した後に消滅した事例数、TDは温帯低気圧化した事例数を表している。

なお、この対象期間内においては、発生した台風が温帯低気圧化する割合はおよそ51%ということになる。北島ほか(2003)では、1991～2005年の15年間で44%という値が示されていたが、対象期間や使用するベストトラックデータの種類によって結果が多少異なってくるものとみられる。

また、月別にみた場合、4～6月と9,10月には温帯低気圧化する事例数がほかの月と比べて多いことが読み取れる。



左 第8図：台風の消滅過程のモデル図

右 第9図：台風の消滅過程を月別に分類した図 (1997/1～2006/12に発生した台風)
 $n=235, L=120, TD=115$

3-3. 台風が温帯低気圧化や消滅をする位置の季節変化

第9図より、台風が温帯低気圧に変化する割合は、季節により変化することが読み取れる。そこで、1997年～2006年の10年間に発生した台風について、ベストトラックデータに基づいて、温帯低気圧化した事例は温帯低気圧化に変わった地点、熱帯低気圧のまま消滅した事例は、消滅した地点を、地図にプロットした。第9図の特徴に基づき、4～6月に発生した台風、7,8月に発生した台風、9,10月に発生した台風、11,12月に発生した台風にそれぞれ分けて作図している。

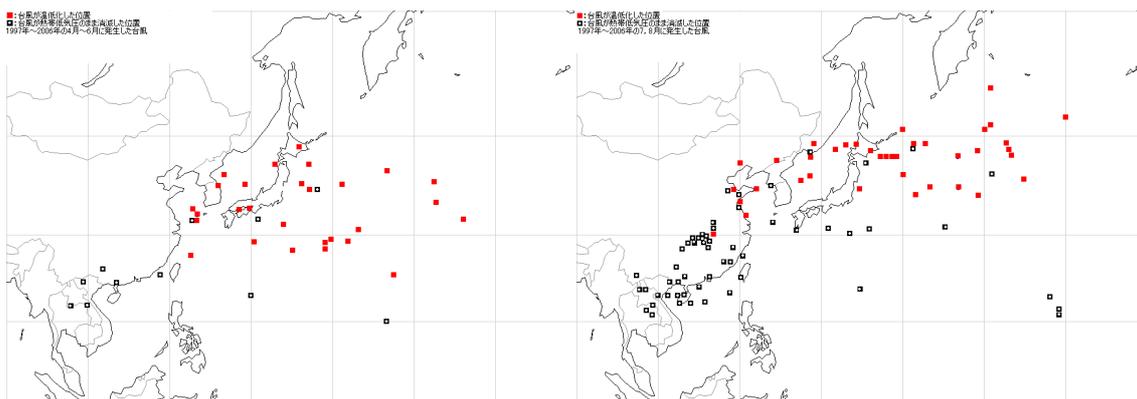
■ 4～6月

第9図によると、4月から6月にかけて発生する台風は、温帯低気圧化する割合が高いことが分かる。このことを念頭に置いて第10図を参照すると、この時期に発生する台風は、北緯 25° ～ 35° の間で温帯低気圧に変化する割合が高い。熱帯低気圧のまま消滅する事例については、消滅する場所が中国南部から東南アジアの沿岸であることが多い。また、一部は日本付近まで達して消滅するが、これは第3図で示されている、構造変化の途

中で消滅したケースであると考えられる。

■ 7, 8 月

7 月から 8 月にかけては、熱帯低気圧のまま消滅する事例が多いが、そのほとんどは中国大陸から東南アジアにかけての沿岸に集中している。一方で、温帯低気圧化する事例については、傾圧帯が一年で最も北上している時期であるので、概ね北緯 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 付近で温帯低気圧に変化することが多い。



左 第 10 図 : 1997 年～2006 年の 4～6 月に発生した台風の消滅過程

右 第 11 図 : 1997 年～2006 年の 7, 8 月に発生した台風の消滅過程

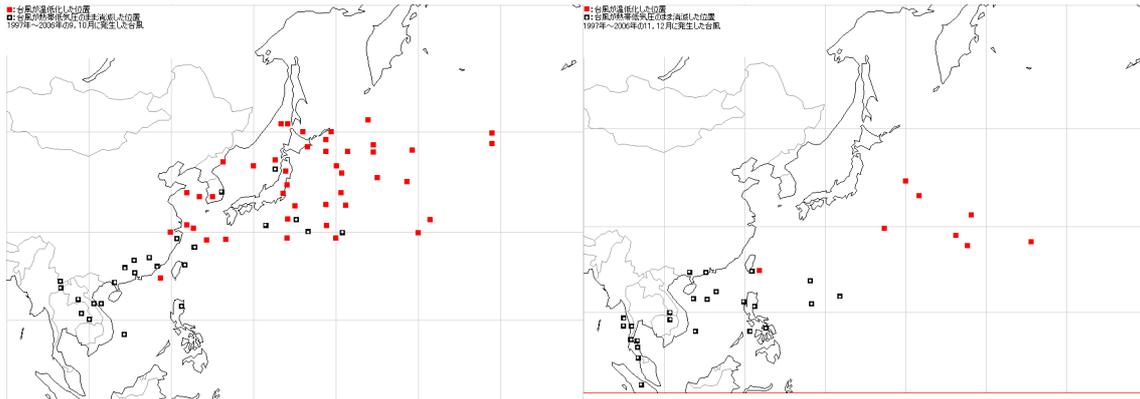
■ : 台風が温帯低気圧化した位置 ■ の ○ 抜き : 台風が熱帯低気圧のまま消滅した位置

■ 9, 10 月

9 月から 10 月にかけては、再び温帯低気圧化する事例が多くなる。これらは概ね北緯 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ で温帯低気圧に変化する。熱帯低気圧のまま消滅する事例も、4～6 月、7, 8 月の事例と同様に、中国大陸南部から東南アジアにかけての沿岸で消滅するものが多い。

■ 11, 12 月

11 月から 12 月にかけての事例数は比較的小さいため、統計的に有意であると言えないかもしれないが、32 事例のみの結果を第 12 図に示した。台風が温帯低気圧に変化する緯度は、ほかの図と比較した場合、最も南に位置している。熱帯低気圧のまま消滅する事例も、中国の海南島からインドネシアまでの沿岸域で消滅しており、やはりほかの図と比較して、消滅する場所は最も南に位置する。



左 第12図：1997年～2006年の9、10月に発生した台風の消滅過程

右 第13図：1997年～2006年の11、12月に発生した台風の消滅過程

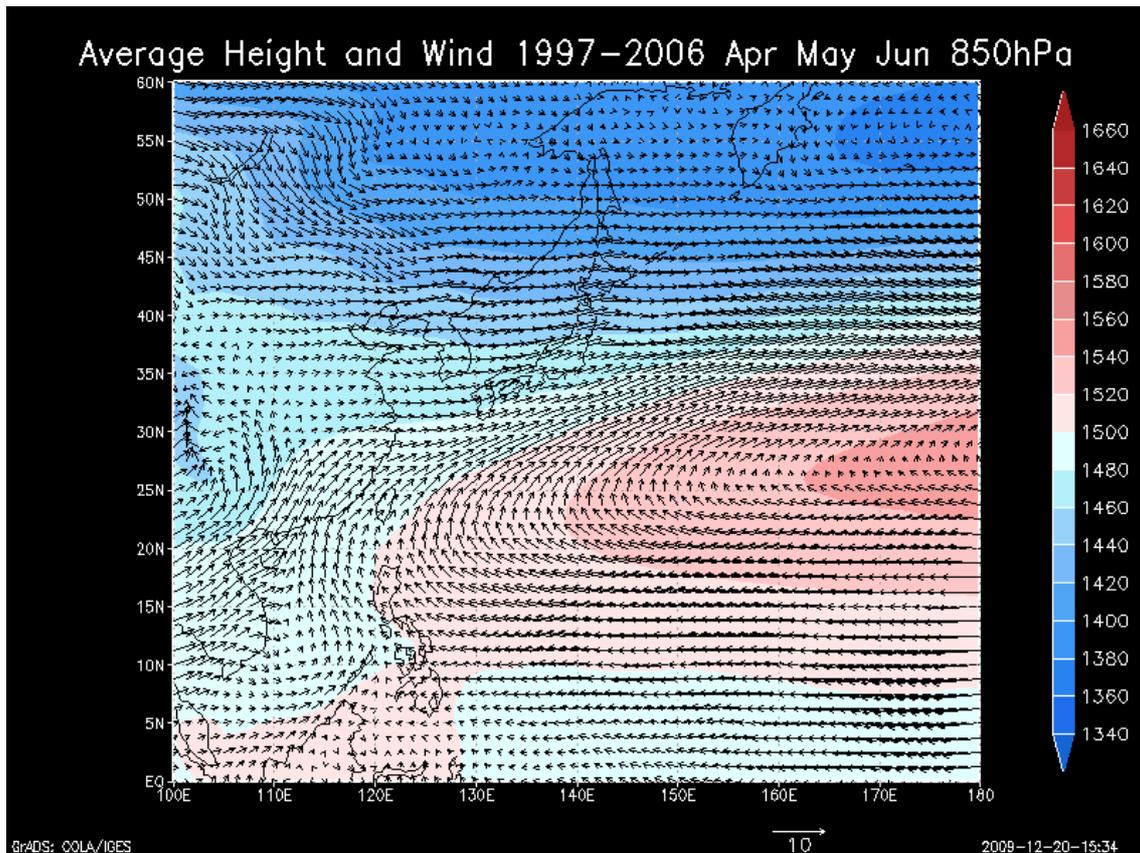
■：台風が温帯低気圧化した位置 ■の○抜き：台風が熱帯低気圧のまま消滅した位置

3-4. 台風周辺の環境場の季節変化

前項（3-3. 台風が温帯低気圧化や消滅をする位置の季節変化）では台風が温帯低気圧化を完了させる位置や、消滅をする位置に、季節変化が見られることが分かった。すなわち、温帯低気圧化する事例は、日本付近で温帯低気圧に変化することが多く、熱帯低気圧のまま消滅する事例では、中国大陸南部から東南アジアにかけての沿岸に上陸して、そのまま消滅するものが大多数を占める。しかし、発生した台風が温帯低気圧に変化する割合や、温帯低気圧化する緯度などは季節によって異なる。よって、季節ごとの環境場の変化について解析する必要がある。

そこで、第9図の特徴に従い、期間を4～6月、7、8月、9,10月、11,12月に分け、それぞれ1997年から2006年までの10年間にわたる物理量を計算した。解析した物理量は、風向・風速、高度、高度のy軸方向差分（高度傾度）である。

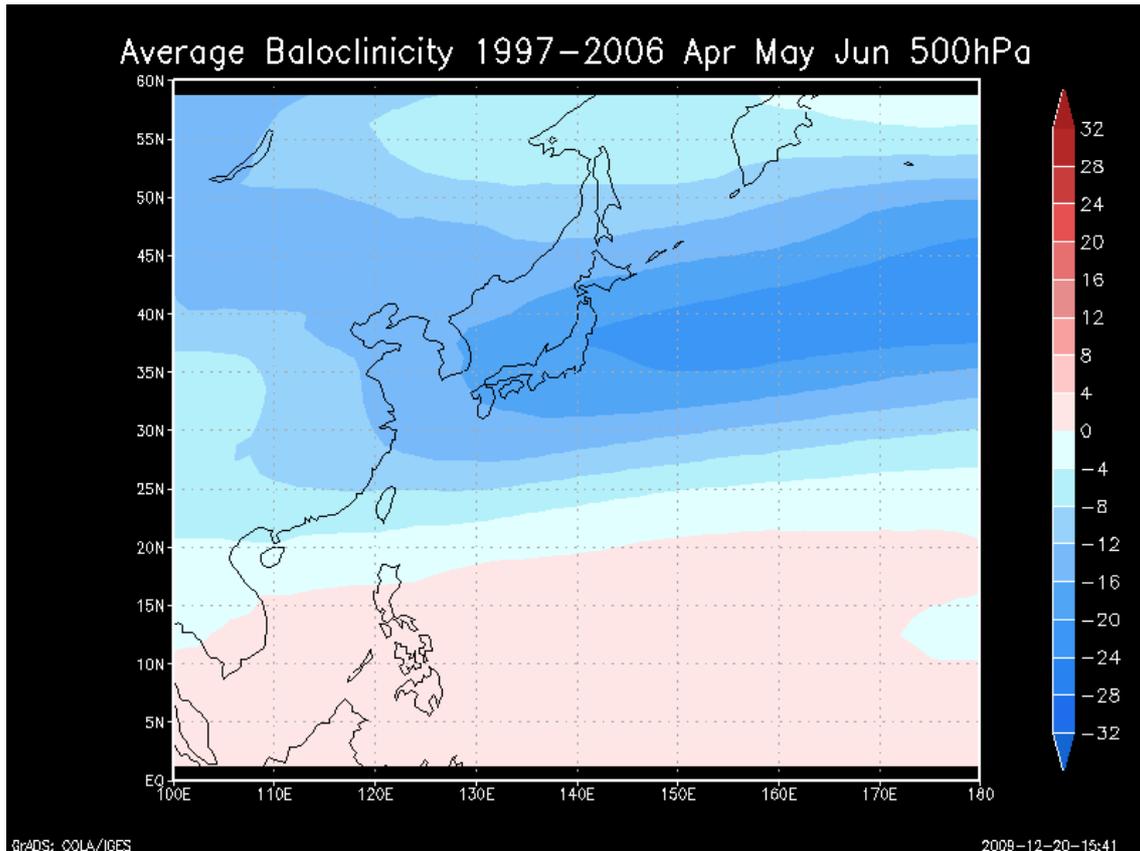
■ 4～6月



第14図：850hPa 高度場と風向・風速の平均（計算期間：1997年～2006年の4月、5月、6月）

4～6月には、北太平洋高気圧は平均すると北緯25°～30°付近に位置する。この高気圧の周囲で、時計回りの循環場が形成されているため、高気圧より南側で東風、北側で西風が卓越している。南シナ海から中国南部にかけてでは、モンスーンがこの循環に合流している。日本付近でも、シベリアからの寒気移流が、この循環に合流して、強い西風場を形成している。

この時期には中緯度まで達して温帯低気圧化する事例が多かったが、平均的に見ると、台風が中緯度まで達することのできる環境が整っていると言えるであろう。熱帯海上で発生した台風は、太平洋高気圧の縁を回るようにして中緯度まで達して、温帯低気圧に変化する事例が多いと考えられる。

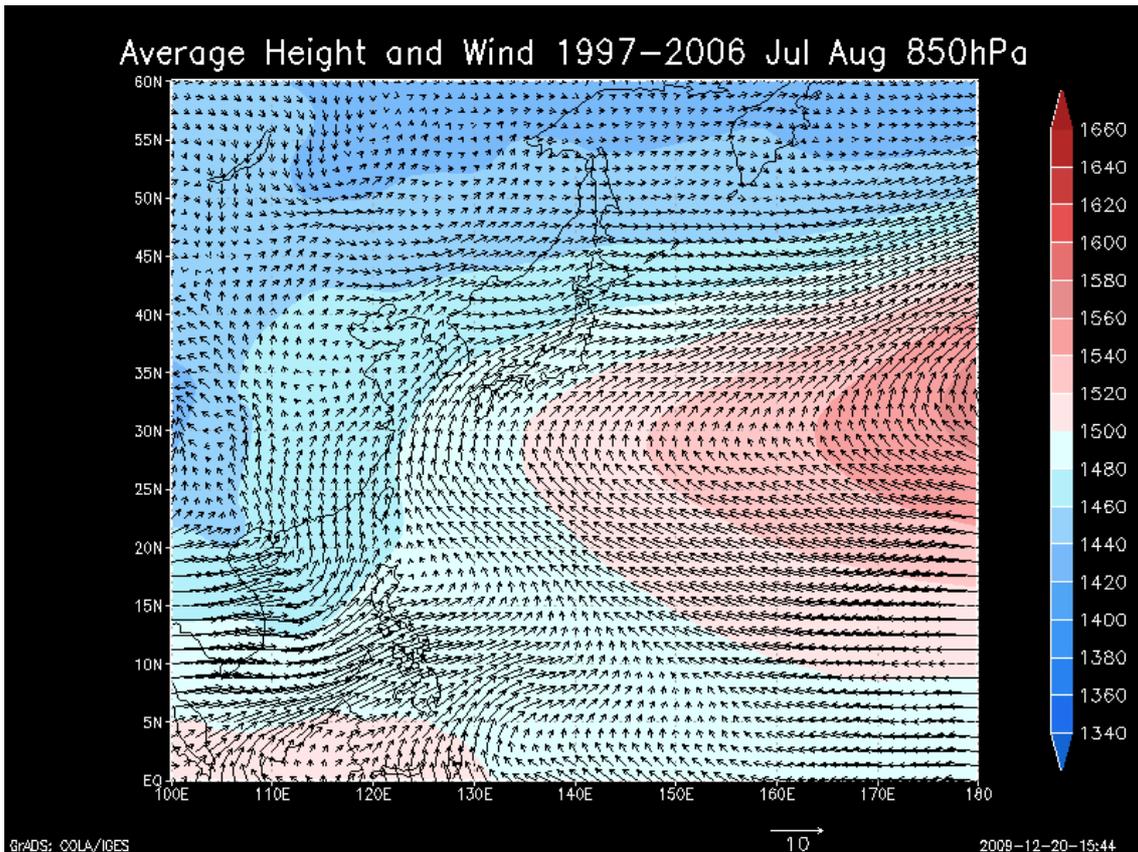


第 15 図 : 500hPa 高度の y 軸方向水平差分 (計算期間 : 1997 年～2006 年の 4 月、5 月、6 月)

第 15 図では、500hPa の高度について、y 軸方向の水平差分を計算している。つまり、寒色が濃いほど、北に向かって高度が減少する度合いが強い (高度傾度が大きい) ということである。シベリアから日本の東海上にかけての高度傾度が大きい場所は、傾圧性が強く、東西に連なる傾圧帯に対応している。

第 10 図を参照すると、台風の温帯低気圧化が完了する位置は、概ね傾圧性が大きい領域と一致することが分かる。

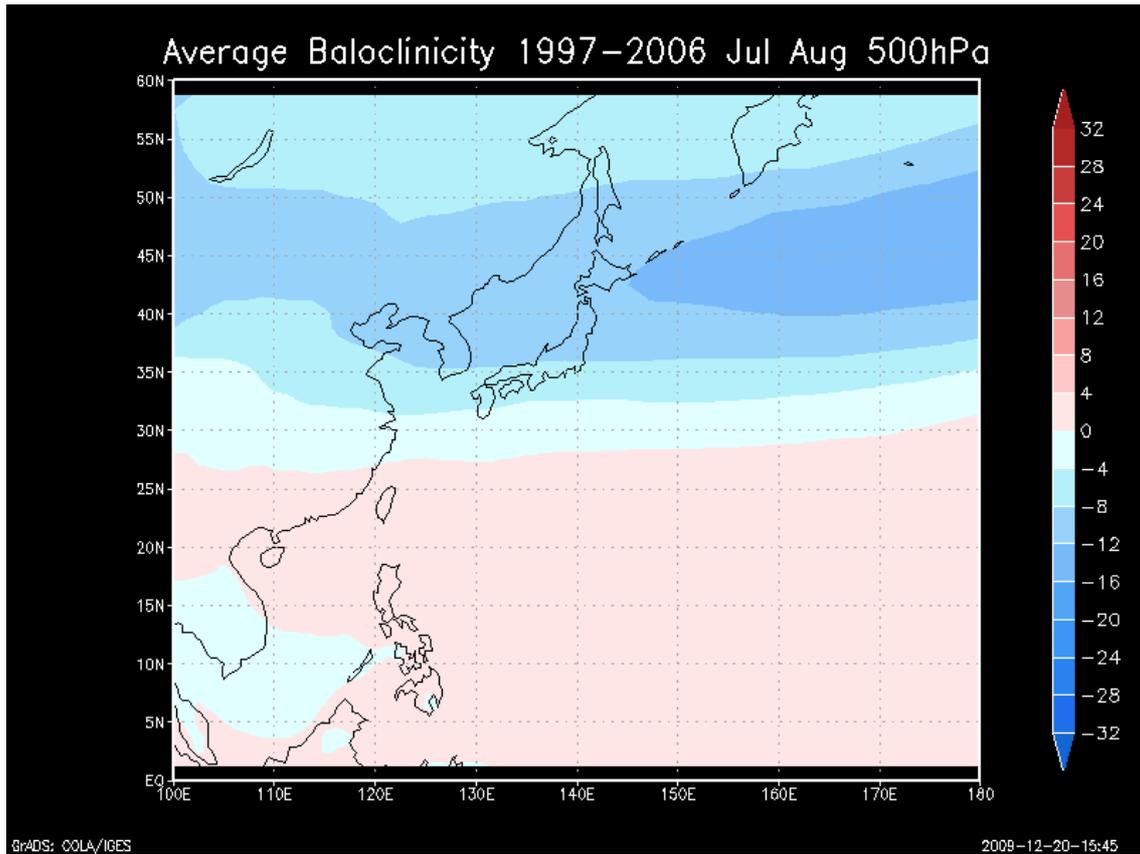
■ 7, 8月



第16図：850hPa 高度場と風向・風速の平均（計算期間：1997年～2006年の7月、8月）

7,8月の平均場では、北太平洋高気圧の位置が4～6月よりも北上し、30°から35°付近に位置する。高気圧の南の縁では、東風が卓越するが、特に日本の南では南東風が卓越する。一方で、東南アジア付近では、強い西風場となっている。この風は南シナ海付近で向きを変え、南風となって、中国大陸南東部で、高気圧の縁を回る南東風と合流する。

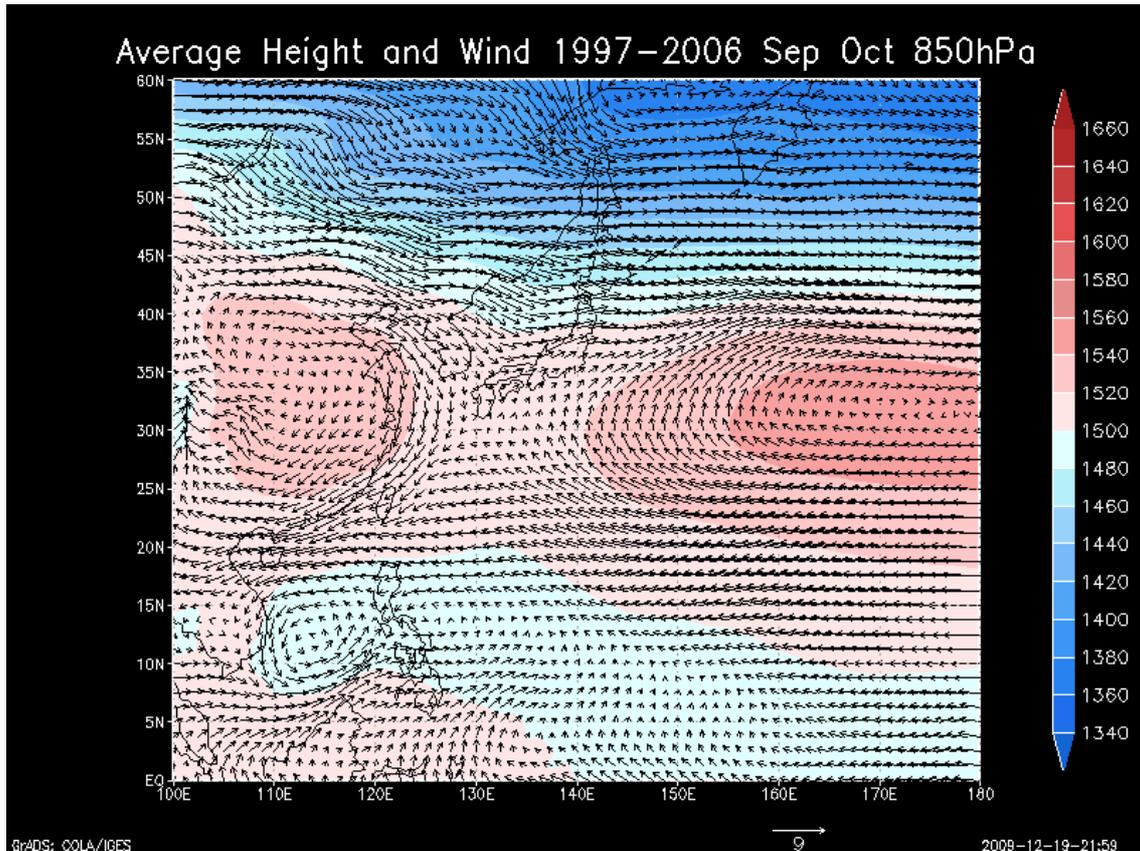
従って、熱帯海洋上で発生した台風は、中国大陸南東部に向けて移動することが多いものと考えられる。台風が陸地に達すると、水蒸気の供給が少なくなり衰弱する。こういったプロセスを経る台風が多いため、この時期の台風は、中国大陸南東部から東南アジアの陸地で消滅する事例が多いものと考えられる。



第 17 図 : 500hPa 高度の y 軸方向水平差分 (計算期間 : 1997 年～2006 年の 7 月、8 月)

7, 8 月の傾圧帯は、4～6 月よりも弱まっており、より北に位置している。この時期の台風は、一年で最も高い緯度で温帯低気圧に変化する。台風が温帯低気圧に変化する緯度も、傾圧帯の季節的な南北移動に伴って変化するものと考えられる。

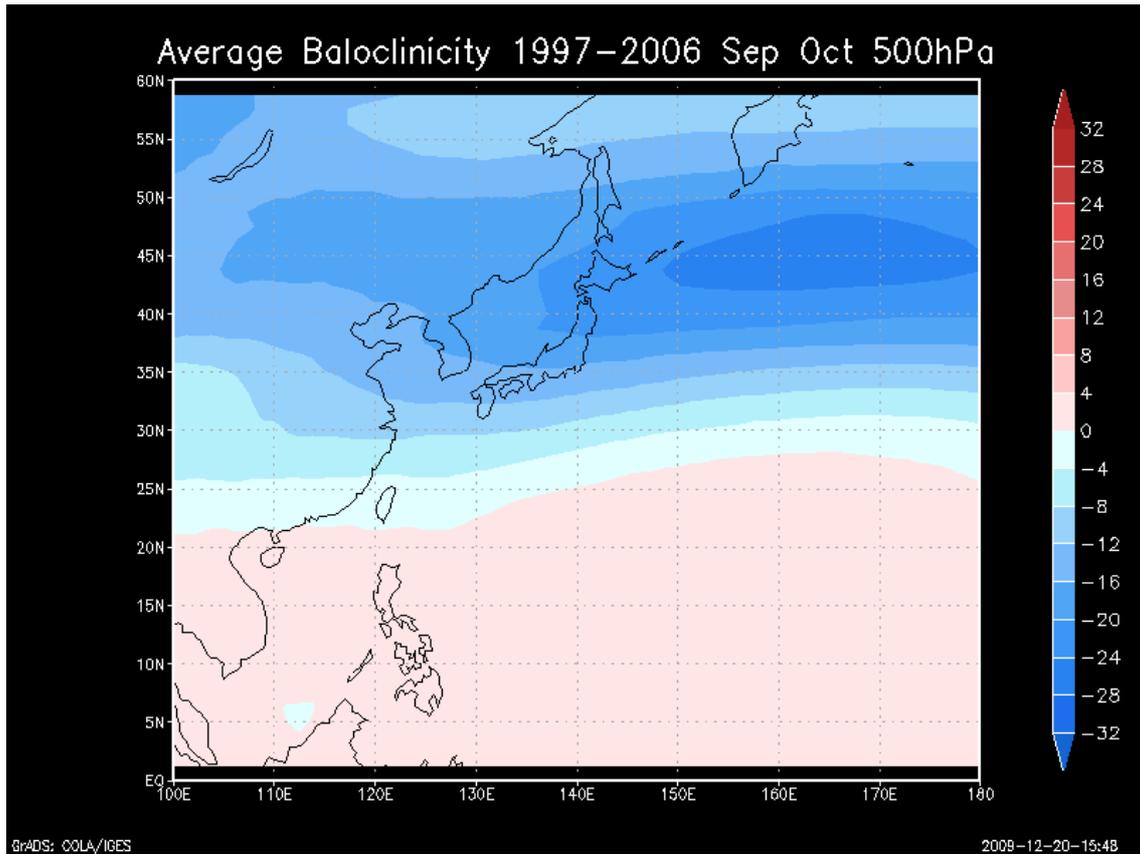
■ 9, 10 月



第18図：850hPa 高度場と風向・風速の平均（計算期間：1997年～2006年の9月、10月）

9, 10月の高度場の平均を見ると、日本の東の太平洋上に北太平洋高気圧があり、中国大陸も高圧場となっている。従って、北緯30°付近は東西に渡って高圧帯となっている。高圧帯の南側では東風が卓越し、特に中国南部ではモンスーンによる東風が強い。一方で、北側では大陸からの西風が卓越している。

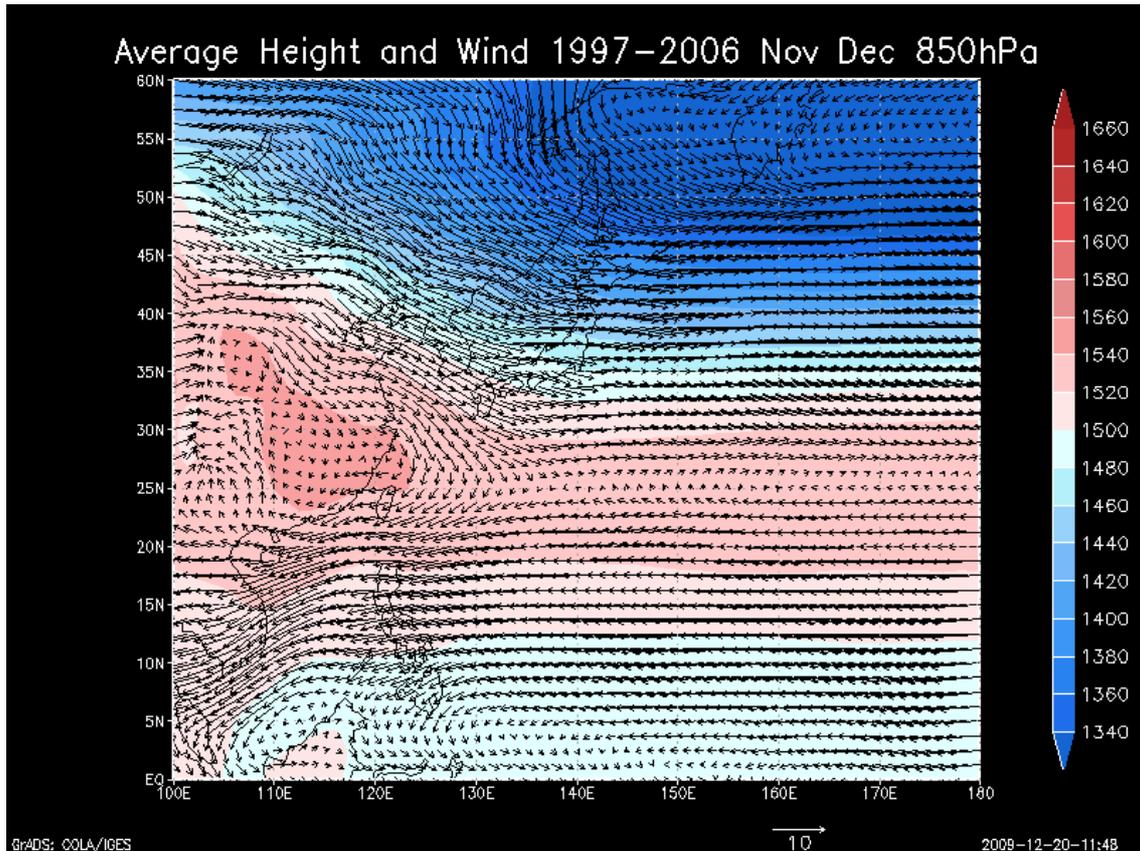
だが、この高圧帯は、日本付近では比較的高度が低く、鞍部となっている。熱帯海上で発生した台風は、この鞍部を通過して、日本付近に到達することが多いと考えられる。熱帯低気圧のまま消滅する事例も、ほかの季節と同様、中国から東南アジアにかけてに集中しているので、東風に流されてこの付近に上陸して消滅するというプロセスが考えられよう。



第19図：500hPa 高度の y 軸方向水平差分（計算期間：1997 年～2006 年の 9 月、10 月）

9, 10 月の傾圧帯は、7, 8 月よりもやや強化され、南下してくる。第 12 図を見ると、この時期に台風が温帯低気圧化する位置は、7, 8 月よりもやや南に下がるが、これは傾圧帯の南下に対応していると考えられる。

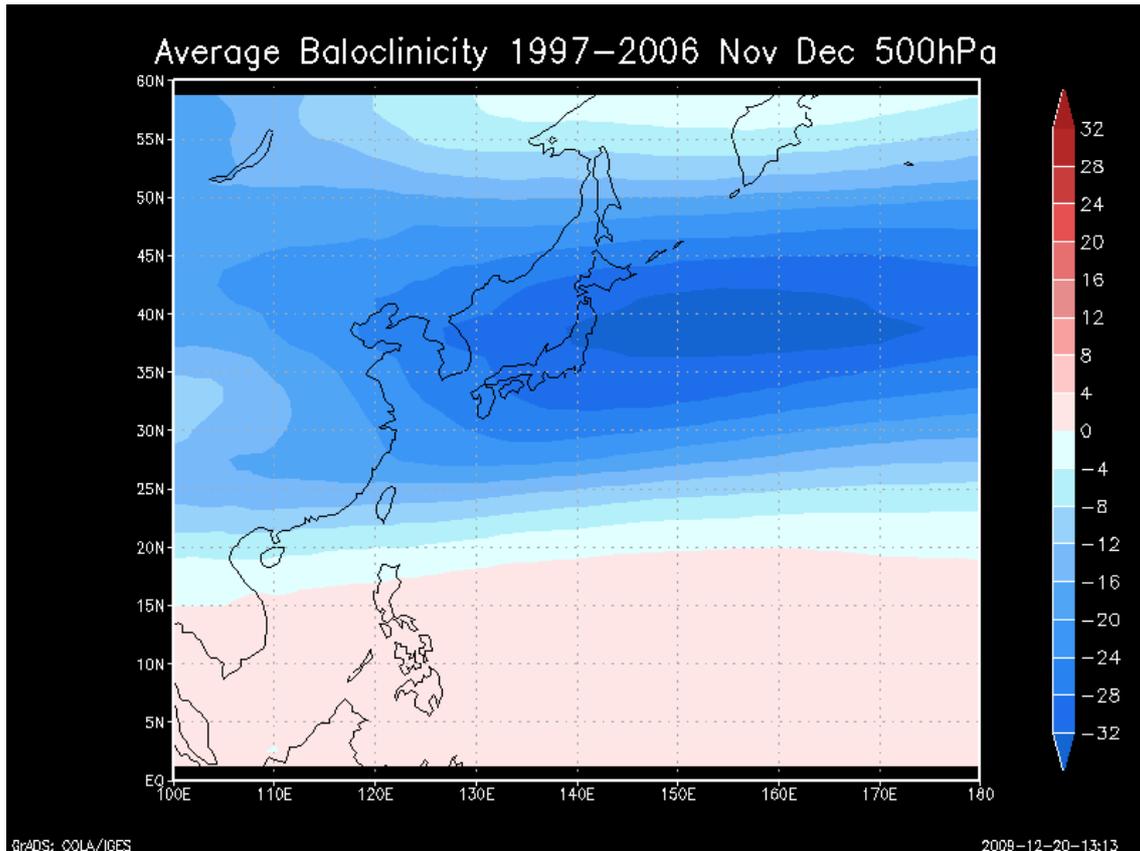
■ 11, 12 月



第20 図：850hPa 高度場と風向・風速の平均（計算期間：1997 年～2006 年の9 月、10 月）

11, 12 月の高度場の平均を見ると、9, 10 月と同様に、東西に渡って高圧帯が形成されていることが読み取れる。しかし、緯度は北緯 25° 付近にあり、太平洋上よりも中国大陸の方に強い高圧場が形成されている。この高圧場の縁を時計回りに循環する風は非常に強く、北側ではシベリア大陸から非常に強い北東風が日本列島に流れ込んでいる。また、熱帯海洋上では東風場となっているが、特にフィリピンから南シナ海にかけて、強い東風が卓越していることが分かる。

この時期に発生した台風は、高圧帯に北進を阻まれるのに加えて、熱帯海洋上から東南アジアにかけて卓越する東風に流されるため、南シナ海から東南アジアにかけての領域で消滅することが多いと考えられる。

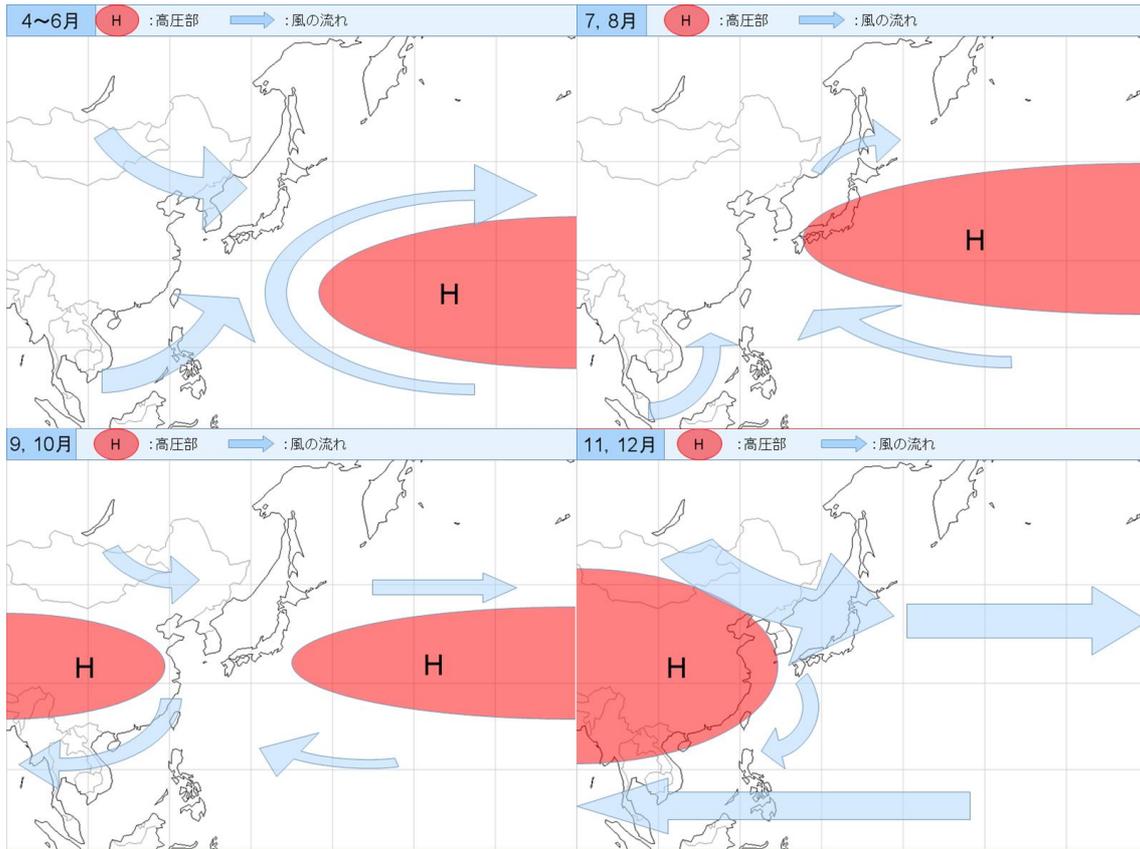


第21 図：500hPa 高度のy 軸方向水平差分（計算期間：1997 年～2006 年の11 月、12 月）

この時期の傾圧帯は他の時期と比較しても強く、低緯度に位置している。台風が温帯低気圧に変化する位置もこれに伴って北緯 30° 付近に集中している。

3-5. まとめ

解析の結果、台風の消滅過程と、台風周辺的环境場は、季節によって明瞭な差があることが分かった。4～6月、7, 8月、9, 10月、11, 12月に見られた環境場の特徴を模式図に表すと、以下のようになる。



北西太平洋の環境場を表した模式図

左上：第22図 4～6月の環境場

右上：第23図 7, 8月の環境場

左下：第24図 9, 10月の環境場

右下：第25図 11, 12月の環境場

■ 4～6月

北西太平洋では北太平洋高気圧の辺縁を時計回りに循環する風系が卓越する。これに東南アジアから南シナ海にかけて卓越する南西風と、シベリア大陸からの北西風が合流する。

台風の消滅過程としては、中緯度まで達して温帯低気圧化に変化するものと、中国大陸に達して熱帯低気圧のまま消滅するものに分かれる。

傾圧帯は北緯 $35^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 付近に極大がある。

■ 7, 8月

北西太平洋では、北太平洋高気圧の勢力が強く、4～6月よりも西まで張り出す。北太平洋高気圧の縁を時計回りに循環する風は、日本の南では南東風となる。一方、東南アジア方面で見られる西風モンスーンは、南シナ海で風向が変わり、南風となる。これと前述

の南東風が、中国大陸付近で収束する。そのため、熱帯海上で発生した台風は中国大陸南部に上陸し、熱帯低気圧のまま消滅することが多い。北太平洋高気圧の縁を進んで中緯度まで達し、温帯低気圧化するものも見られる。

傾圧帯は弱く、北緯 40° ~ 50° 付近にその極大がある。

■ 9, 10 月

北西太平洋では、北緯 30° 付近の東西にわたって高圧場が形成されている。高圧場の南側では、東風が卓越しており、特に東南アジアではモンスーン循環による東風が強い。高圧場の北側では、シベリア大陸からの西風が卓越している。日本付近はこの高圧場の鞍部となっており、熱帯海上で発生した台風は鞍部を通過して中緯度まで達し、温帯低気圧化するものが多い。一部はこの鞍部を通らずに、東風に乗って中国南部から東南アジアに達して熱帯低気圧のまま消滅する。

傾圧帯は7, 8月よりも強く、北緯 45° 付近にその極大がある。

■ 11, 12 月

中国大陸に勢力の極大を持つ高圧場が、北西太平洋上の北緯 25° 付近に広がる。高圧場の南は東風が卓越しており、熱帯海洋上で発生した台風はこの東風に流されて東南アジア付近まで達し、熱帯低気圧のまま消滅することが多い。高圧帯が台風の北上を阻むような気圧場となっているが、一部は北上して日本の南海上で温帯低気圧化に変わる。だが、日本付近ではシベリア大陸からの強い北西風が卓越しており、台風が日本列島の近くまで達する機会はそれほど多くないと思われる。

傾圧帯は北緯 35° ~ 45° 付近にその極大がある。だが他の計算期間と比べても、傾圧帯は特に強化されており、北緯 25° 付近でも傾圧性はかなり強い。台風が温帯低気圧化を完了差させる位置も、比較的低緯度に位置する。

4. V 成分を用いた再発達の判定

4-1. はじめに

前述の通り、現在のところ、世界で統一された温帯低気圧化の基準は存在しない Jones et al. , 2003, Weather forecasting, 18, pp1052-1092. ; Evans, 2006, WMO/TD-No,1353 Rep. TMRP-72, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 305-319.)。温帯低気圧化の客観的な基準を作成するために、世界各地の研究者たちが試行錯誤を重ねているが、その中でも Hart (2003) が開発した Cyclone Phase Diagram は支持を集めており、研究者の間

で幅広く用いられている。しかし、現業分野では予報の統一性と速報性の問題から、雲画像を基にした主観的な基準を用いている。

一方、温帯低気圧化後の再発達について、事例解析を行った論文として、日本では吉野ほか（2003）、海外では Bosart and Hackmann (1995)や Bosart et al. (2000)などがある。だが、これらは顕著な再発達を示した 1 事例に注目した研究であり、本論では、これらのような事例解析に留まらず、再発達の一般性について議論を試みている。

しかし、一般性を議論する上で、何を持って再発達したと判定するのか、一般的な基準が存在しないという問題点がある。先行研究では、温帯低気圧化完了後の再発達については、中心気圧の降下によって判定されることが多かった。これらの事例では、気圧の急激な下降や、風速の増大など、再び強度が強まっていることが明瞭であった。だが、一般性を議論するのであれば、再発達をした事例としなかった事例について、両者をふるい分ける明確な基準を作成する必要がある。

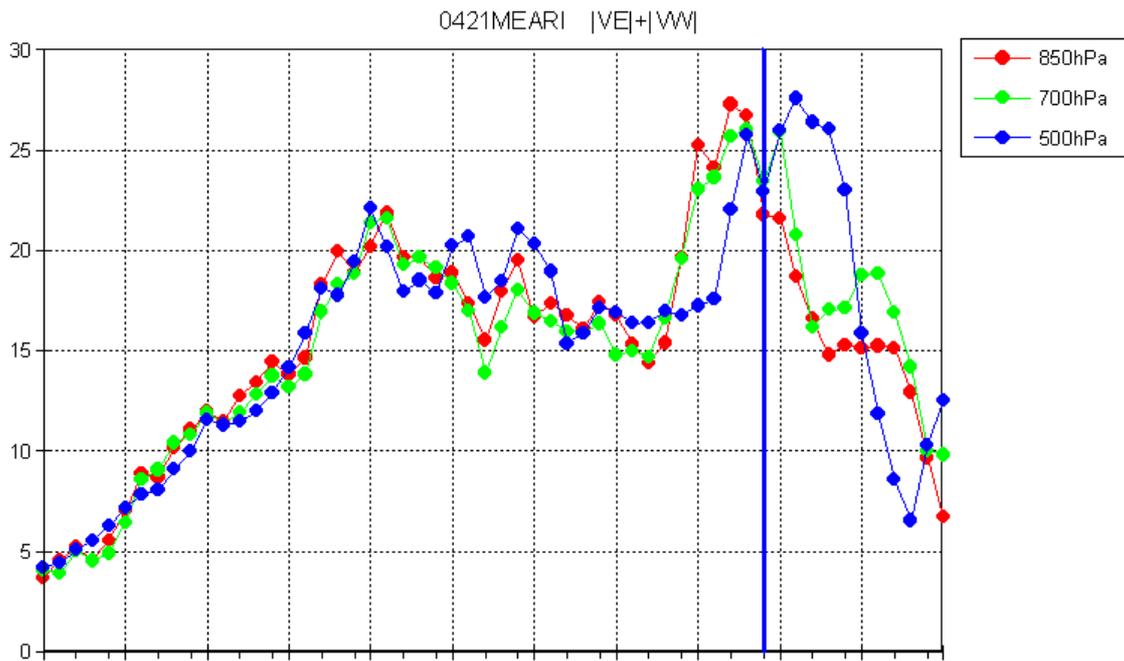
さらに、台風の成熟期において、しばしば強風半径が増大する事例が観測される。これはベストトラックの強風域半径によって判定されているが、台風が中緯度に達して、温帯低気圧化の過程にあるときに起こる現象であるので、温帯低気圧化完了後の再発達と同じプロセス（中緯度のトラフとのカップリングなど）で生じている可能性を否定できない。

そこで、これらの現象について、V 成分を用いた指標を開発することにした。この指標を用いれば、台風成熟期の強風半径の増大も、温帯低気圧化完了後の再発達も同じ基準で評価できることになる。

4-2. V 成分を用いた再発達の判定に関する指標

台風周辺の風の強さを評価する指標の計算方法は次の通りである。台風を中心として西側、東側でそれぞれ緯度 10° × 経度 5° の範囲で V 成分平均値を取り、両者の絶対値を足しあわせた。これを以後 $|VE|+|VW|$ と表記する。 $|VE|+|VW|$ は、台風周辺での V 成分の正負に関係なく、単純に強い風が吹いていれば大きな値を取る。

例として、以下に台風 0421 号の $|VE|+|VW|$ を計算した結果を掲載する。



第26図：台風0421号の $|VE|+|VW|$ の時間変化 y軸は $|VE|+|VW|$ (m/s) x軸は時間 (6時間ピッチ) 青縦線は、ベストトラック上で温帯低気圧化に変わった時刻を表す。これより左が台風として存在していた期間、右が温帯低気圧として存在していた期間

熱帯海洋上で発生した0421号は、時間と共に発達し、それに伴い $|VE|+|VW|$ も増加していく。最盛期を迎えると、風速の増大が頭打ちとなるため、 $|VE|+|VW|$ もほぼ一定の値を取る。

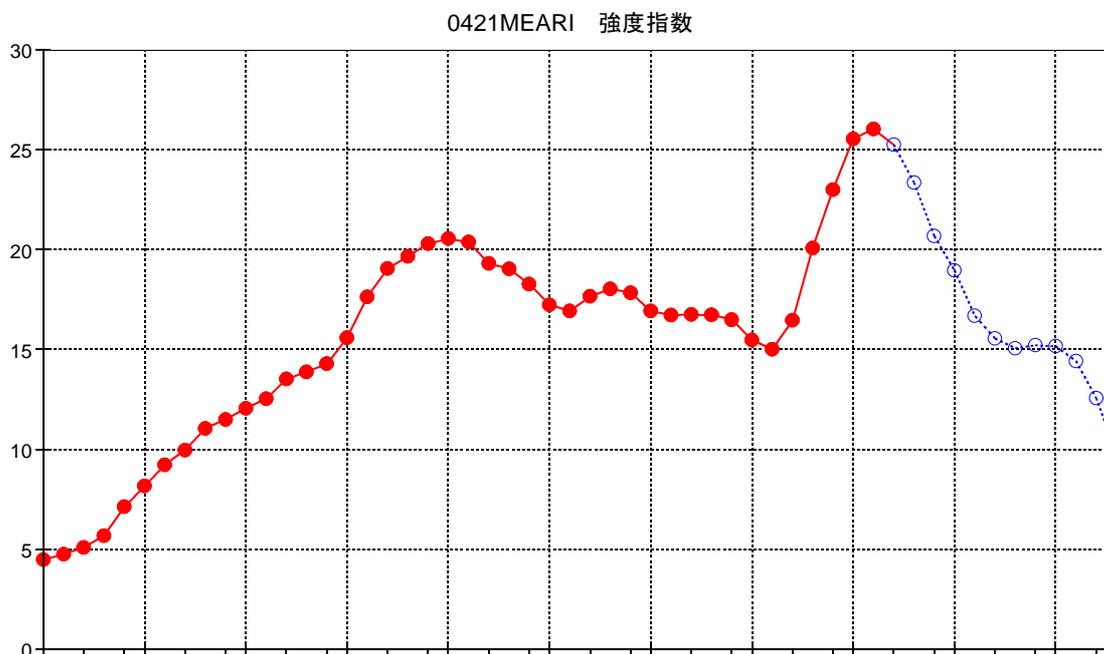
温帯低気圧化せずに熱帯低気圧のまま消滅する事例では、衰弱期に入ると中心付近で吹く風が弱まってくるため、これに従い $|VE|+|VW|$ も減少していく。だが、温帯低気圧化の完了前に強風半径が増大する事例（上図の0421号もこれに含まれる）と、温帯低気圧化の完了後に再発達する事例については、再び $|VE|+|VW|$ が増大する。特に上図の0421号では顕著であるが、中緯度に達して衰弱傾向にあるにもかかわらず、 $|VE|+|VW|$ は最盛期よりも大きな値を取ることもある。

本論では850hPaの $|VE|+|VW|$ をもって、台風の強度を判定することとした。これは、自由大気の最下層にあたる850hPaを解析した方が、地形の影響をあまり受けずに強度の判定ができる上、ベストトラックに記載されている地上の強風域半径や暴風域半径などとの対応も見ることができるという理由から選択したものである。

4-3. グラフを用いた再発達の判定

前項(4-2. V成分を用いた再発達の判定に関する指標)で定義した $|VE|+|VW|$ を用いれ

ば、温帯低気圧化の過程での強風半径増大と、温帯低気圧化後の再発達について、客観的な判定を行うことが可能になる。そこで、850hPa の $|VE|+|VW|$ を用いて、グラフを描画した。



第 27 図：台風 0421 号の再発達判定グラフ x 軸は 500hPa の $VE+VW$ y 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ

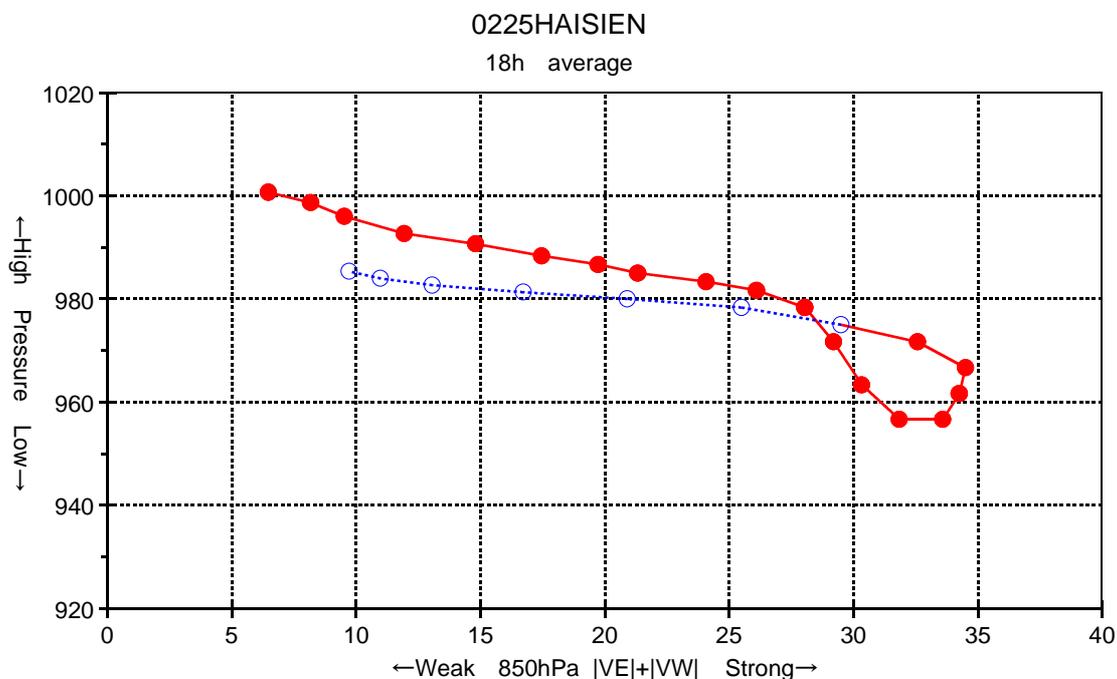
この図では、 $t, t-1, t-2$ のデータで時間平均を取り、スムージングを行っている。これは、ノイズを消去することに加え、短時間で終了する小規模な風速の増大を消去して、再発達の判定をより確実にすることも意図している。本論では、このスムージングを行った上で、減少傾向にあった 850hPa の $|VE|+|VW|$ が再び増加した場合、それを再発達があったと判定する基準の一つとする。第 27 図では、温帯低気圧化完了の直前に 850hPa の $|VE|+|VW|$ が大きく増加しており、再発達があったと判定できる。

4-4. 台風の中心気圧と 850hPa の $|VE|+|VW|$ との相関関係

理論上、台風の中心気圧が低いほど、中心付近で吹く風も強くなる。中心付近の最大風速についても、中心気圧と同様にドボラック法で推定が行われているが、一般的に中心気圧が低ければ予想される最大風速や最大瞬間風速も強くなるとされる。だが、村松 (1983b) が解析した洞爺丸台風や、藤井ほか (2006) が解析した台風 0423 号のように、中緯度に達して中心気圧が上昇傾向にあるにもかかわらず、風浪により船を沈没、走錨させるよう

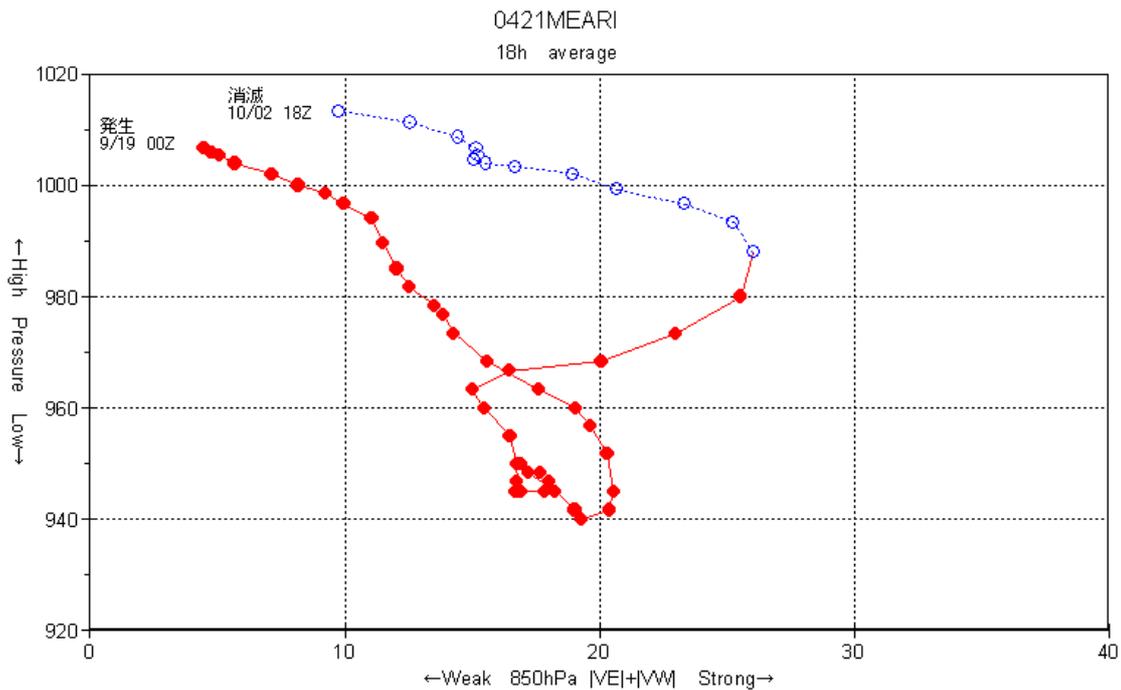
な強風を伴う事例もいくつか観測されている。

そこで、本論で作成した 850hPa の $|VE|+|VW|$ を x 軸、ベストトラックで示される中心気圧を y 軸にとってダイヤグラムを作成し、その時間変化を見た。なお、このダイヤグラムでも t, t-1, t-2 の値で時間平均を取って、スムージングを行っている。



第 28 図：台風 0225 号の気圧－強度相関ダイヤグラム x 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ y 軸はベストトラックで示されている中心気圧 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ

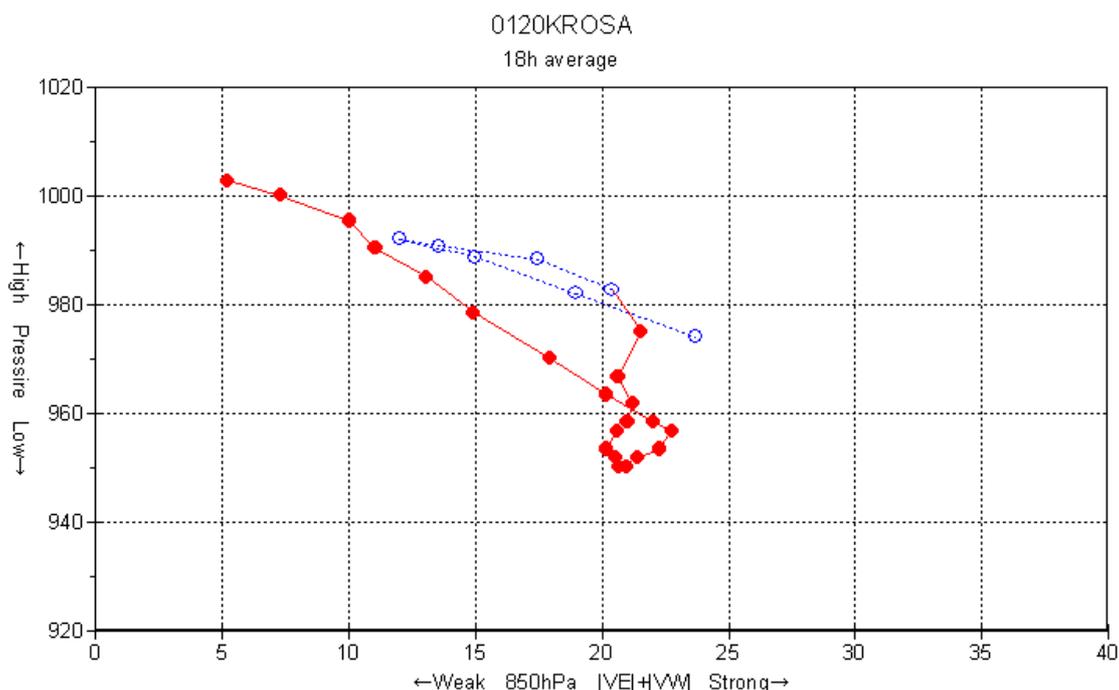
温帯低気圧化せずに、熱帯低気圧のまま消滅する事例と、温帯低気圧化の過程での強風半径増大が顕著に見られない事例（第 28 図の台風 0225 号）、温帯低気圧化の完了後に再発達せず、そのまま衰弱していく事例では、この気圧－強度相関ダイヤグラムでは、右下がりであり各値の相関係数が -1 に近いような軌跡を描く。すなわち、発達期に中心気圧が下降すればそれに伴って 850hPa の $|VE|+|VW|$ も増大し、衰弱期に中心気圧が上昇すれば、850hPa の $|VE|+|VW|$ も同様に減少するということである。



第 29 図：台風 0421 号の気圧－強度相関ダイアグラム x 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ y 軸はベストトラックで示されている中心気圧 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ

しかし、温帯低気圧化の過程で強風半径の大幅な増大が見られた台風 0421 号（第 29 図）のような事例や、これに加えて温帯低気圧化の完了後に再発達も見られた台風 0120 号（第 30 図）のような事例では、このような単調な変化が見られない。第 29 図、第 30 図のように、再び勢力が強まることにより、 $|VE|+|VW|$ が再び増加するため、各値を結んだ線が単調な右下がりにならない。

台風 0421 号の事例（第 29 図）では、温帯低気圧化が完了した時点で、850hPa の $|VE|+|VW|$ が 26 程度となっている、この台風の最盛期には 20 程度であったことを考えると、中心気圧が 990hPa 程度であるにもかかわらず、最盛期に 940hPa まで中心気圧が下がったときよりも大きな値を取っているということになる。



第 30 図：台風 0120 号の気圧－強度相関ダイアグラム x 軸は 850hPa の|VE|+|VW| y 軸はベストトラックで示されている中心気圧 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ

第 30 図の台風 0120 号の事例のように、温帯低気圧化完了後の再発達に関しては、風速の増大に伴って、ベストトラック上の中心気圧も下降傾向にある。しかし、台風 0421 号の事例（第 29 図）では、中心気圧が上昇傾向にあるにもかかわらず、風速が増大傾向にある。熱帯海上で構造が対称的な台風の場合、中心気圧と最大風速はほぼ反比例の関係にあるはずだが、温帯低気圧化の過程にある事例の場合、気圧が高くても強い風が吹く可能性がある。

このような事例が日本に上陸した場合、防災上問題があると考えられる。台風予報で、当該事例の中心気圧が上昇傾向にあれば、視聴者は台風が弱まって、これ以上大きな災害は起こらないと油断する可能性がある。しかし、実際には台風の最盛期よりも強い風が吹く可能性がある事例も見られるから、予報に何かしらの工夫が必要であろう。

4-5. まとめ

台風の温帯低気圧化の過程で見られる強風半径の増大と、温帯低気圧化後の再発達を統一的に評価するため、850hPa において、台風の西側と東側でそれぞれ緯度 $10^\circ \times$ 経度 5° の領域内で V 成分を平均し、その絶対値を足しあわせた|VE|+|VW|という指標を作成した。

そして、減少傾向にあった $|VE|+|VW|$ が再び増加に転じた場合、または中心気圧が上昇傾向にあるにもかかわらず、 $|VE|+|VW|$ が増加している場合を、再発達と定義することとした。さらに、ベストトラックに記載されている台風の中心気圧と、850hPa の $|VE|+|VW|$ の対応を見る気圧-強度相関ダイヤグラムを作成した。このダイヤグラムを参照すれば、台風の中心気圧と 850hPa の $|VE|+|VW|$ の相関を見ることができる。

5. 強風半径の増大と再発達が起こる際の環境場についての解析

5-1. はじめに

第4章で作成した指標を用いることにより、統一した基準で再発達の判定を行うことができるようになった。本章では、これらの指標を基にして、まず温帯低気圧化が進行しているときに、低気圧周辺の環境場にどのような特徴があるのかを解析した。そして、強い再発達が起きているときも同様に、低気圧周辺の環境場にどのような特徴があるのかを解析した。

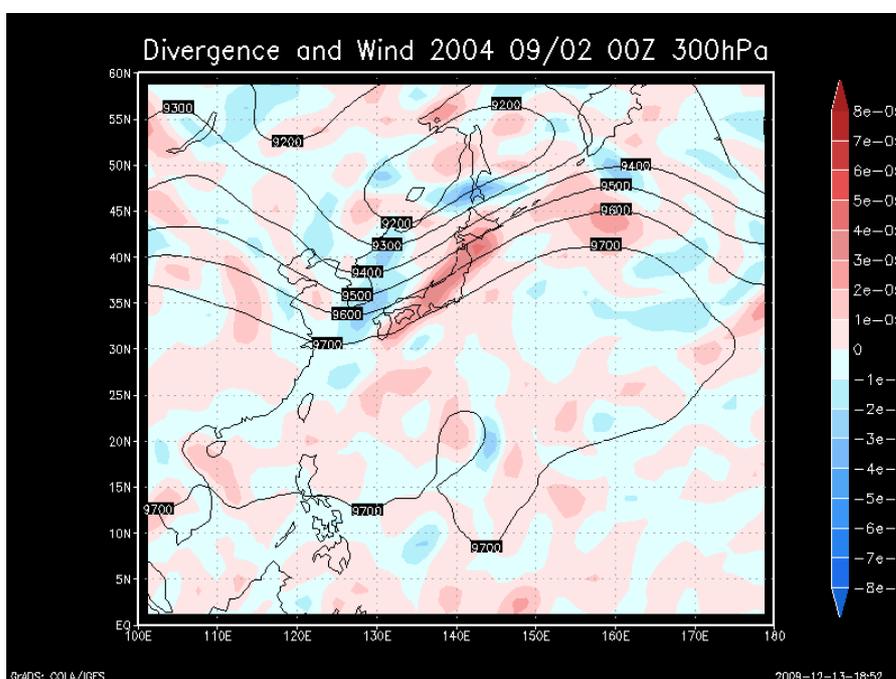
さらに、第4章で少し触れた、温帯低気圧化の完了前に強風半径増大が起きているときと、温帯低気圧化の完了後に再発達が起きているときについて、環境場の違いについても解析した。両者はこれまで異なる現象として扱われてきたが、同じ中緯度で、しかも非対称構造であるときに起こるという点で共通性を持っているため、同じプロセスで生じている可能性も否定できない。第4章では、850hPa の $|VE|+|VW|$ という指標を作成したことにより、統一した基準の下に、この2つの現象を評価できるようになった。例えば、温帯低気圧化の完了前に強風半径が急速に増大した台風 0421 号については第 35 図で、また温帯低気圧化の完了後に急激な再発達を見せた台風 0120 号は第 36 図で、同じ 850hPa の $|VE|+|VW|$ の急速な増加という同一の基準でとらえることに成功している。温帯低気圧化の完了前に強風半径が増大している事例と、温帯低気圧化の完了後に再発達した事例について、周辺の環境場がどのような相違点や共通点を持つのかも併せて解析した。

第3章では、温帯低気圧化が完了する位置と、中緯度の傾圧性が大きい領域はほぼ一致していることが解析されている。

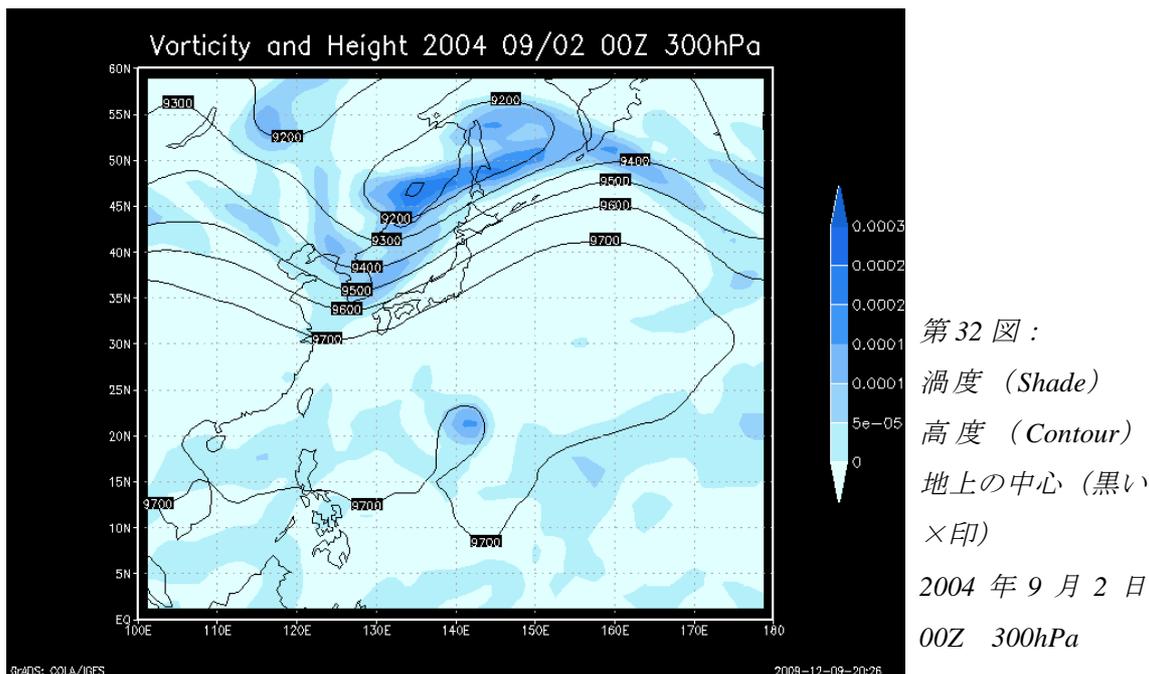
また、先行研究では再発達が起こった要因について次のように解析している。Bosart and Lackmann (1995)は、Hurricane David (1979)について、渦位場を解析して、再発達を議論している。このハリケーンの急激な再発達には、対流圏下層の暖気移流により圏界面が上昇したため、それによって強化された上層のトラフが、下層の弱まった台風循環とカップリングしたことが原

因であるとしている。また、Bosart et al. (2000)では、Hurricane Opal (1995)の急激な再発達について解析し、トラフの下流側にジェットストリークの入り口が存在し、強い発散場となっていたことが、再発達の原因であるとしている。吉野ほか (2003) は、台風 9918 号の再発達について、減衰した台風の直上にトラフが存在し、台風とカップリングしたことが再発達の原因であるとした。

以上のことを踏まえると、温帯低気圧化と再発達には、中緯度の傾圧帯やトラフが関わっていると考えられ、さらに渦度場や収束/発散場に特徴的な変化が見られると予想される。そこで、300hPa の高度、渦度、収束/発散を解析し、どのような特徴が見られるのかを解析した。作成した図は以下の 2 種類である。



第 31 図：
 収束/発散 (Shade)
 高度 (Contour)
 地上の中心 (黒
 い×印)
 2004 年 9 月 2 日
 00Z 300hPa



第31図は、300hPaの高度と収束/発散を解析したものである。Shadeは暖色が濃いほど発散が強く、寒色が濃いほど収束が強いことを表している。Contourは300hPaの高度を表しており、これによりトラフと収束/発散場を同時に参照することが可能になる。

この図では、沿海州から朝鮮半島の南にかけてトラフが存在し、その下流側で比較的強い発散が解析されている。トラフの下流側は、ジェット気流の加速場となっている。強い発散が解析されているとしても、理論上の矛盾はない。

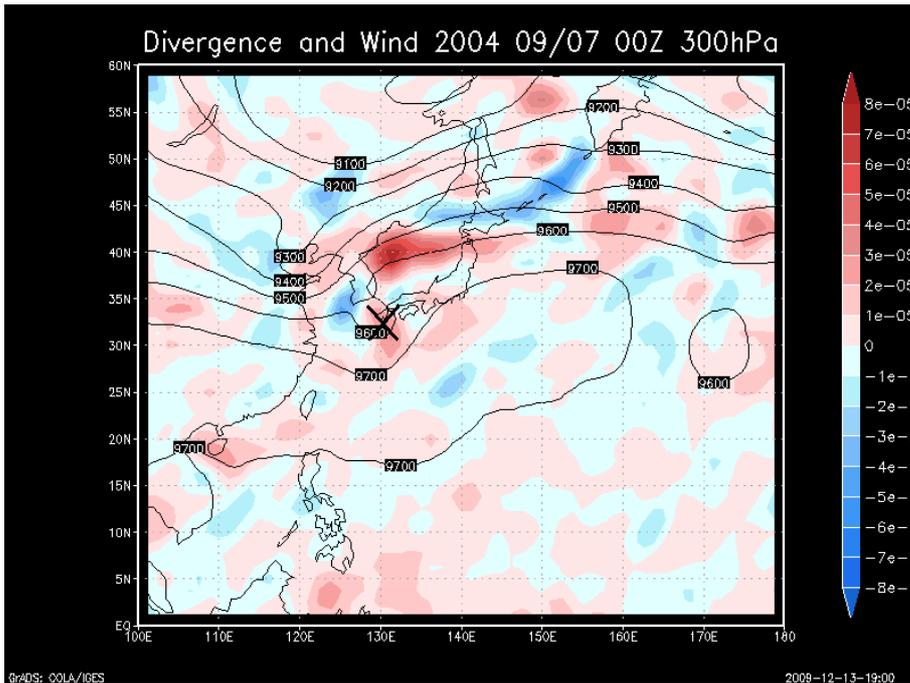
第32図は、300hPaの高度と渦度を解析したものである。Shadeは寒色が濃いほど正の渦度が強いことを示している。Contourは300hPaの高度を表しており、これによりトラフと渦度場を同時に参照することが可能になる。

この図は、第31図と同じ時刻を描画したものである。沿海州付近の低圧場では強い正の渦度が解析されており、またそこから朝鮮半島南部に向けて延びるトラフでも、比較的強い正の渦度が解析されている。

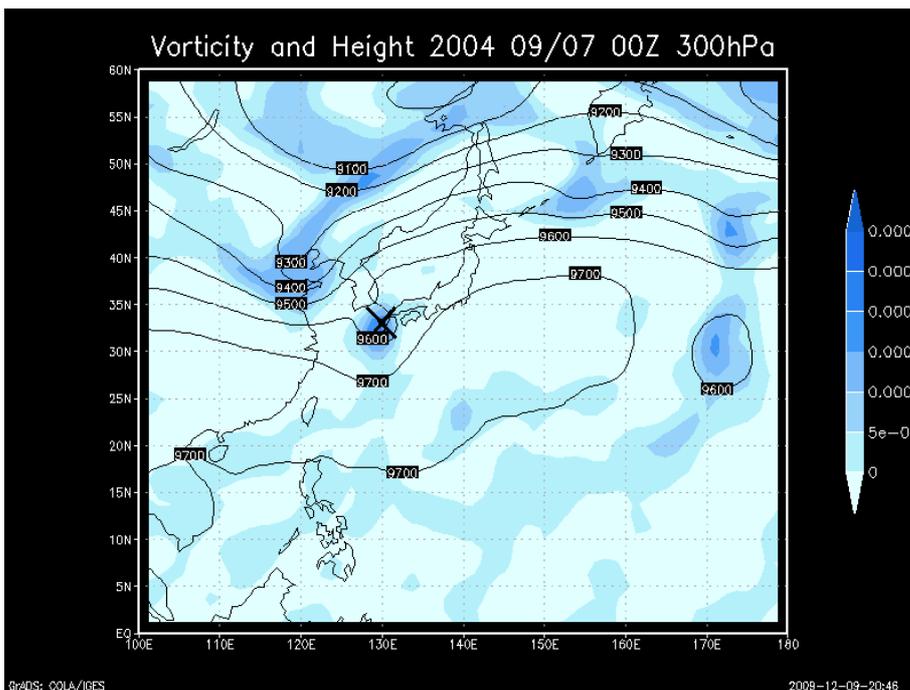
5-2. 温帯低気圧化が起こる際の環境場に関する解析

解析の結果、台風が温帯低気圧化の過程にあるとき、以下のような特徴が見られた。

- ・ 台風の中心は、中緯度のトラフのやや下流寄りに位置する。
- ・ 台風の中心付近にある正渦度の極大が、トラフにある正渦度の極大に接近する。
- ・ 台風の中心付近にある発散の極大が、トラフの下流側にある発散の極大に接近する。



第33図：
収束/発散
(Shade)
高度 (Contour)
地上の中心 (黒
い×印)
2004年9月7日
00Z 300hPa



第34図：
渦度 (Shade)
高度 (Contour)
地上の中心 (黒
い×印)
2004年9月7日
00Z 300hPa

例として、台風 0418 号が温帯低気圧化の過程にあった、2004 年 9 月 7 日 00Z の高度と収束/発散を解析した図表（第 33 図）を添付する。

上図にある黒い×印は、9 月 7 日 00Z における台風 0418 号の中心を表している。中心付近には、発散の極大が存在する。一方、台風の中心から北西方向の渤海付近にはトラフがあり、そのやや下流寄りの朝鮮半島東部には強い発散の極大が存在している。

第 34 図は、第 33 図と同じ時刻の渦度場と高度場を描画したものである。台風の中心付近に正渦度の極大が存在する。一方、渤海付近にあるトラフにも、強い正の渦度場がある。

このように、台風が北上してくると、中緯度のトラフと、それに付随する発散場と正の渦度場との接近が見られる。このとき、850hPa の $|VE|+|VW|$ が少し増加に転じることが多い。第5章（V成分を用いた再発達の判定）で定義した再発達の基準を用いると、これは小規模な再発達であると考えられる。この再発達は、熱帯海上よりも海水面温度が低い領域で、しかも非対称な構造の時に起こっていることから、台風本来の発達プロセスとは異なったメカニズムが働いていることが予想される。

先行研究では、再発達の原因について、Bosart and Lackmann (1995)と、吉野ほか (2003) は渦位場とトラフに注目していた。また、Bosart et al. (2000)は強い発散場が原因としている。このことを考えると結局のところ、トラフとそれに付随する渦度場と発散場の接近により、一旦衰弱した台風の循環が再び強化されたと考えられる。

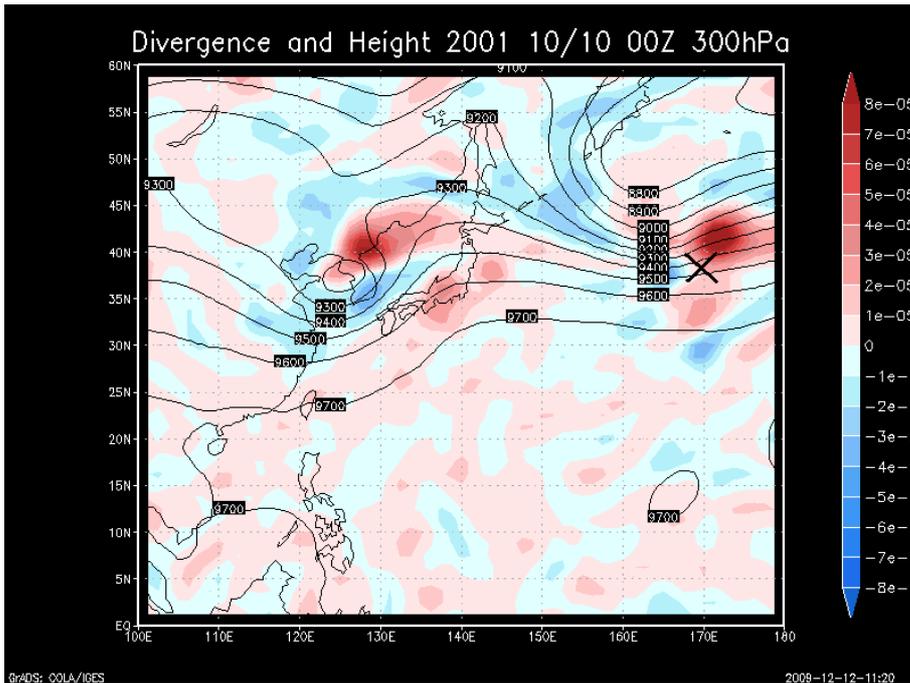
5-3. 強い再発達が起こる際の環境場に関する解析

第4章（V成分を用いた再発達の判定）で定義した再発達の基準を用いると、ほとんどの事例で、少なくとも一回の小規模な再発達が見られることになる。特に、温帯低気圧化する事例においては、温帯低気圧化の開始から完了までの間に、小規模な再発達が見られることが多い。

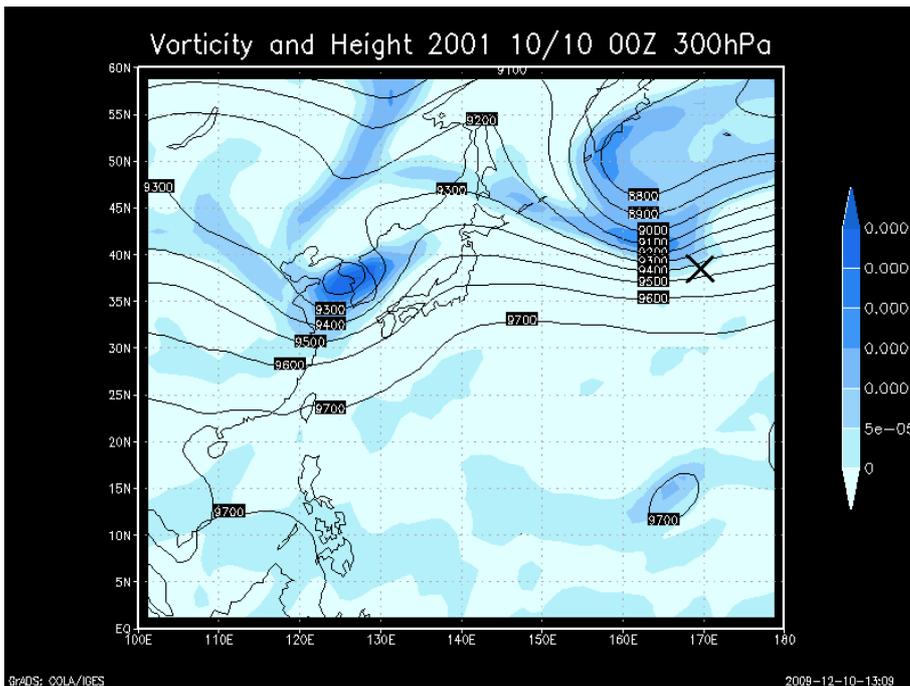
だが、中には850hPa の $|VE|+|VW|$ が連続的に10以上も増加するような、強い再発達を示す事例もある。第28図の台風0421号や、第29図の0120号がそれに該当する。小規模な再発達と、研究者の間で事例解析の対象として取り上げられるような強い再発達について、環境場の違いを明らかにする必要がある。

そこで、再発達判定ダイヤグラムを用いて、非対称的な構造をしている状態で850hPa の $|VE|+|VW|$ が連続的に大きく増加した事例について、前項（4-2. 温帯低気圧化が起こる際の環境場に関する解析）と同じ解析方法で、300hPa の高度場、渦度場、収束/発散場を解析した。

解析結果の図表は、量が多いため付録に掲載することとし、ここには例として、台風0120号の解析結果を示す。



第35図：
収束/発散
(Shade)
高度 (Contour)
地上の中心 (黒
い×印)
2001年10月10
日 00Z 300hPa



第36図：
渦度 (Shade)
高度 (Contour)
地上の中心 (黒
い×印)
2001年10月10
日 00Z 300hPa

台風 0120 号は、ベストトラック上では 2001 年の 10 月 9 日 06Z に温帯低気圧化を完了し、その後衰弱傾向にあったが、掲載した図の時刻（2001 年 10 月 10 日 00Z）から急速な再発達を始め、同日 18Z に気象庁の解析対象域外に達するまでの間、中心気圧は 24hPa も低下し、850hPa の $|VE|+|VW|$ は 22.71 の増加を記録した。

第 35 図でこの時の高度場と収束/発散場を解析すると、台風から変わった温帯低気圧の中心（黒い×印）の北西側に傾圧性の強いトラフがあり、そのやや下流側に、非常に強い発散場がある。他の事例で解析した小規模な再発達についても、温帯低気圧化の過程にあ

る台風や、台風から変わった低気圧の中心付近で同じような発散場のパターンが解析されていた。しかし、本例で解析されている発散の極大は、それらと比較してもかなり大きい値を示している。

台風 0120 号の急発達について見られたこのような特徴は、Bosart et al. (2000) が解析した Hurricane Opal (1995) のそれと、きわめて類似している。すなわち、低気圧中心の西側にトラフがあり、そのやや下流寄りがジェット気流の加速場になっているために、強い発散場となっている。Bosart et al. (2000) では、この発散場が、一旦衰弱した台風の上昇流を再び強めたために、急速な再発達があったと結論づけている。従って、台風 0120 号も、この強い発散場の影響を受けて、急速な再発達を遂げたものと考えられる。

一方、第 36 図で高度場と渦度場を見ると、台風から変化した温帯低気圧の北西側に傾圧性の強いトラフがあり、このトラフ付近で強い正の渦度が解析されている。小規模な再発達でも温帯低気圧化の過程にある台風や、台風から変わった温帯低気圧の周辺で、似たような渦度場のパターンが解析されていた。だが、大規模な再発達をする事例では、第 36 図のように深く傾圧性の強いトラフが解析されており、トラフ付近にある正の渦度の極大も比較的大きい値を示す。

吉野ほか (2003) は、台風 9918 号が急発達を遂げたとき、中心の北西側にトラフがあり、渦位場が再発達に寄与したとしている。また、Bosart and Lackmann (1995) は、Hurricane David (1979) について、このハリケーンの急激な再発達について、暖気移流により圏界面が上昇したため、それによって強化された上層のトラフが、下層の弱まった台風循環とカップリングしたことが原因であるとした。本例の解析結果はこれらの先行研究が解析した渦位場および渦度場のパターンに類似している。従って、台風 0120 号も、このトラフから、強い正の渦度移流を受けて循環が強化され、急速に再発達をしたものと思われる。

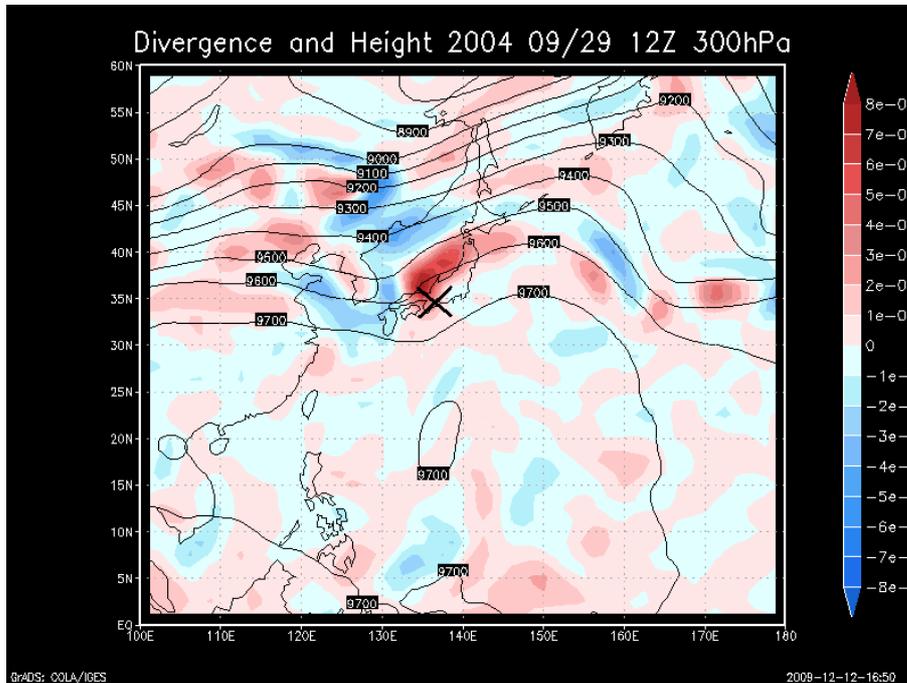
強い再発達が起こる際に見られる環境場の特徴をまとめると、以下のようになる。

- ・台風の中心は、傾圧性が強いトラフのやや下流寄りに位置する。
- ・台風の中心付近にある非常に強い正渦度の極大が、トラフにある正渦度の極大に接近する。
- ・台風の中心付近にある非常に強い発散の極大が、トラフの下流側にある発散の極大に接近する。

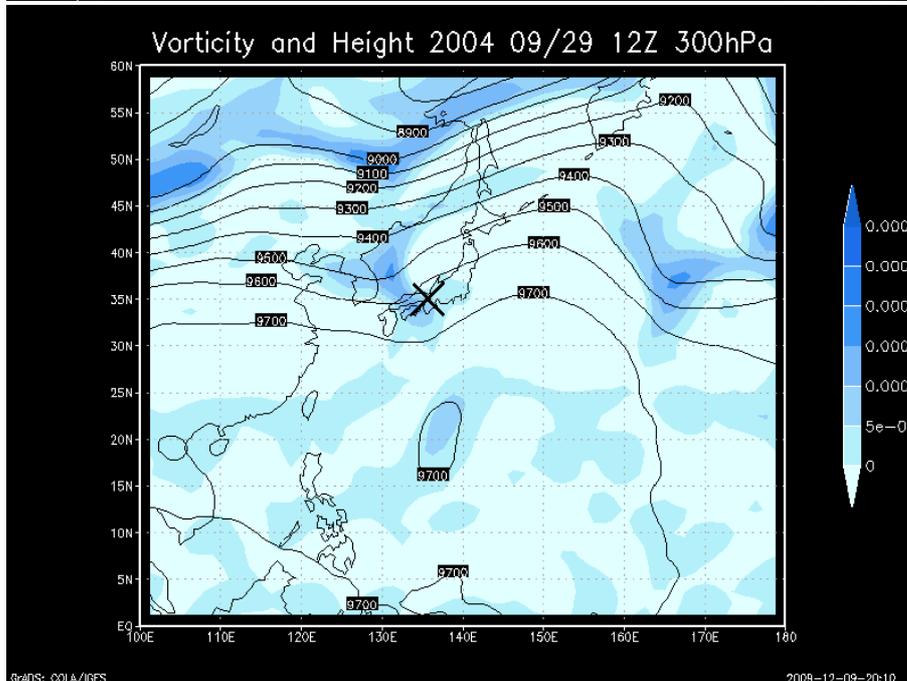
以上のことを踏まえると、先行研究ではそれぞれ違った物理量に注目していたが、結局は急速な再発達をする事例は、低気圧周辺の環境場に共通点が見られるということになる。つまり、低気圧付近の西～北西方向に強いトラフが存在し、トラフ付近は強い正の渦度場となっている。そしてそのやや下流側に、ジェット気流の加速帯があり、強い発散場を形成しているということである。

5-4. 再発達と強風半径の増大との関係

温帯低気圧化完了前に起こる強風半径の急激な増大と、温帯低気圧化完了後の急速な再発達についても、環境場の相違点や共通点について併せて解析した。その結果、どちらの現象が起こっているときも、解析される環境場には共通点があることが分かった。



第37図：
収束/発散
(Shade) 高度
(Contour) 地
上の中心(黒い
×印) 2004年9
月29日12Z
300hPa



第38図：
渦度(Shade)
高度(Contour)
地上の中心(黒
い×印) 2004年9
月29日12Z
300hPa

例として台風 0421 号が、温帯低気圧化の完了前に急速な強風半径の増大を見せた時刻の高度場と発散場について描画した図を掲載した。この台風は、日本列島に接近しながら衰弱を続けていたが、温帯低気圧化が始まった後に、暴風域の半径、強風域の半径共に急速な増加を見せた事例である。最盛期には 300 km 程度であった強風域半径が、温帯低気圧化の完了直前に初めて 500 km を超えた。そのためベストトラックには、温帯低気圧化の完了直前の 3 時間のみ、「大型の台風」と記載されている。

第 37 図は、高度と収束/発散を解析した結果である。低気圧の中心付近の高度場については、温帯低気圧化の完了後に急速な再発達を遂げた台風 0120 号の高度場（第 35 図）と多少の相違点がある。温帯低気圧化の過程にある台風の中心から北西方向にトラフがあるという点では共通しているが、トラフは第 35 図のものとは比べて浅い。しかし、そのやや下流寄りに、非常に強い発散場が存在するという点では共通している。また第 38 図は同じ時刻の高度と渦度を解析したものである。トラフにある強い正の渦度場と、台風の中心付近にある強い正の渦度場が接近している。

以上のことを踏まえると、温帯低気圧化の過程で強風半径が増大する事例と、温帯低気圧化の完了後に急激な再発達が起こる事例について、強風半径が増大している時刻と急激に再発達をしている時間の環境場には類似性が見られると結論づけることができる。つまり、どちらの事例でも中心付近の西～北西側に強いトラフと強い正の渦度場があり、そのやや下流側には強い発散場がある。従って、この 2 つの現象については、トラフとのカップリングという同一の理由で起こっている可能性がある。

5-5. まとめ

本章では、まず台風が温帯低気圧化の過程にあるとき、周囲の環境場がどのような特徴を持つのか、先行研究なども踏まえた結果、特に高度、渦度、収束/発散について解析したのであった。その結果、台風が温帯低気圧化の過程にあるときに、中緯度のトラフと、それに伴う正の渦度場、発散場に接近していることが判明した。そして、第 4 章で開発した再発達判定ダイヤグラムを用いて、850hPa の $|VE|+|VW|$ の時間変化を見ると、ほとんどの事例で、少なくとも 1 回は小規模な再発達をしていることが分かった。

次に、温帯低気圧化の完了後に強い再発達をした事例について、同様に高度、渦度、収束/発散を解析して、その原因の究明を試みた。その結果、急速な再発達をしているとき、台風の西～北西側に、傾圧性の強いトラフがあり、それに伴う正の渦度場も比較的強いという特徴が見られた。加えて、トラフのやや下流側にある、ジェット気流の加速帯に伴う発散場もきわめて強いものであった。

さらに、温帯低気圧化の完了後に急速な再発達をする事例と、温帯低気圧化の完了前に強風半径が大幅に増大する事例について、両者の相違点および共通点を解析した。これは、

どちらの事例も、中緯度で非対称的な構造を持っている時に起こるという共通点を持っているため、同じプロセスで起こっている可能性があると思定されたためである。

その結果、2つの事例で見られる環境場の特徴には、類似性が見られた。つまり、先に述べた温帯低気圧化の完了後に再発達する際と同じ環境場の特徴が、温帯低気圧化の完了前に強風半径が増大する事例にも見られたということである。

本章での解析結果を総合すると、以下のような結論が得られる。温帯低気圧化の開始から完了までの間にカップリングをすれば、ベストトラック上では強風半径の増大という形で評価されるし、温帯低気圧化の完了後にカップリングをすれば、中心気圧の下降という形で評価されるということになる。これまでは、この2つの現象が別物として扱われてきたが、結局はトラフとのカップリングという同一の原因で起こった「再発達」と考えられる。これまで、温帯低気圧化の完了後に強い再発達をした事例について、いくつかの事例解析がなされてきた。ただ、これはカップリングしたトラフの傾圧性が強く、近傍で解析される正の過度と発散もきわめて強かったことにより、急速な再発達を遂げたため、注目されたのであろう。そこまで顕著ではないにせよ、台風がトラフに接近すれば、再発達は容易に起こりうる。しかも、ほとんどの事例が温帯低気圧化の過程でトラフに接近し、少なくとも1回は小規模な再発達をしているし、温帯化の開始以降、低気圧の中心がトラフに接近するという条件さえ整えば、再発達は何度でも起こりうるのである。

6. 結論

6-1. 全体のまとめ

本研究では、以下の目標を設定して、中緯度で温帯低気圧化する台風についての解析を行った。

- ①北西太平洋域の温帯低気圧化について、気候的な解析を行い、温帯低気圧化の季節変化を解明する。
- ②温帯低気圧化および再発達についての指標を開発する。
- ③再発達が起こる際の環境場について解析して、再発達の条件を調べる。

第3章では、①に設定した課題について解析した。温帯低気圧化は、北西太平洋域以外にも、南太平洋域や、北大西洋域でも観測されている。しかし、北西太平洋域の気圧配置は、季節によって大きく異なるため、台風が温帯低気圧に変化する割合なども、これに伴って変化すると考えられる。そこで、まずベストトラックに記録されている情報を基に、

1997年～2006年の10年間に発生した台風の消滅過程を解析した。すると、4月～6月と9、10月には温帯低気圧化する割合の方が高いのに対し7、8月と11、12月には温帯低気圧化せずに熱帯低気圧のまま消滅する事例の方が多かった。このような特徴が見られたため、次に温帯低気圧化した事例については、温帯低気圧化が完了した位置を、熱帯低気圧のまま消滅した事例については、消滅した位置を地図にプロットして、消滅過程の地域性や季節変化について解析した。その結果、熱帯低気圧のまま消滅した事例は、主に中国南東部から東南アジアで消滅することが多く、温帯低気圧化する事例については、傾圧性が大きい領域で温帯低気圧に変化することが多いことが解析された。また傾圧帯は、夏季には北上して、冬季には南下するが、台風の温帯低気圧化が完了する位置も、それに合わせて移動することが分かった。

第4章では、②に設定した課題について、再発達を評価するための統一的な指標を開発した。これまで再発達については、事例解析的な研究がほとんどであった。顕著な再発達をした事例を取り上げてそれぞれの解析をしていたため、再発達を統一的に評価できる指標が無かったのである。よって、再発達をした事例とそうでない事例を区別する基準も曖昧であった。多くの事例を解析して、温帯低気圧化と再発達の一般性を議論するには、まずこれらを実験するために統一した基準を作成する必要がある。

本論では、これらの課題を解決するため、850hPaの $|VE|+|VW|$ という指標を用いて、再発達を判定するための基準を作成した。これにより、各事例毎に統一した基準で評価することが可能となった。

第5章では、③に設定した課題を解決するため、第4章で開発した基準を用いて、温帯低気圧化の過程にある台風周辺の環境場を解析した。さらに急速な再発達をする事例について、再発達をしない事例と比べて周辺の環境場がどのように異なるのかについても合わせて検証した。

その結果、全ての事例で、台風が中緯度に達して構造が変化し始めるとき、中心の西～北西側にトラフがあり、その近傍に正の渦度場と、発散場があることが分かった。さらに、850hPaの $|VE|+|VW|$ の時間変化を見ると、このときほとんどの事例で小規模な再発達をしていることが分かった。この再発達は、ベストトラック上では強風半径の増大という形で評価されている。台風を中心とカップリングするトラフの傾圧性が強い場合、また解析される正の渦度や発散が強い場合、強風半径は急速に広がる。

一方、強い再発達をしていた事例の環境場を解析したところ、中心の西～北西側に強いトラフがあり、その近傍に強い正の渦度場と発散場があることが分かった。すると、結局のところ、台風がトラフとカップリングすれば、構造が変化して温帯低気圧に変化するといえることになる。さらに、温帯低気圧化の開始から完了までの間にカップリングすれば強風半径の増大として、完了後にもう一度カップリングすると、再び勢力が増して気圧の降下という形でベストトラックに記録されるが、どちらの現象も似たような環境場で起こ

っている現象であるため、同じプロセスで進行している可能性が高い。先行研究でそれぞれ別の問題として扱われてきた強風半径の増大と再発達、単に台風がトラフとカップリングするタイミングが異なるだけで実際には同じプロセスで起こった「再発達」であると考えられる。

6-2. 今後の課題

今回、独自に開発した指標で解析した事例は、18例となっている。本論では時間の関係上、これ以上の数を解析できなかったが、一般性を議論する上では、さらに解析事例を増やすことが望ましい。今後は、気象庁予報作業指針(1990)のC例のような亜熱帯低気圧化や、他の地域での温帯低気圧化についても解析する必要があるだろう。

また本論では、中緯度のトラフとのカップリングが、台風の温帯低気圧化と再発達に寄与していると結論づけた。ただしBosart and Lackmann (1995)は、Hurricane David (1979)を解析した結果、台風からの暖気移流により圏界面が上昇し、トラフが強化されたとしている。確かに本論でも、強い再発達が観測される時、強い暖気移流が解析されている。温帯低気圧化と再発達に中緯度のトラフが関わっていることはほぼ間違いないと考えられるが、そのトラフを強化するエネルギー源は何であるのかは、まだはっきりしていない。これを明らかにするためには、モデルによる再現実験や、エネルギー収支の計算などが必要になるであろう。

謝辞

本研究を行うにあたっては、気候システム研究センターの高橋正明教授に、指導教官としてご指導をいただきました。修士課程に入学してから、度重なるトラブルに見舞われ、何度も研究活動が中断した上に、一時は学生生活の継続が困難になったこともありました。そのような環境下でも、いつも助け船を出していただき、立ち直るまで温かい目で見守ってくださった先生には、大変感謝しております。

また、秘書の北嶋さんや、高橋研究室の皆さん、さらに気候システム研究センターの先生方、先輩方にはいつも温かい励ましの言葉をかけていただきました。こうして今、論文を書き終えているわけですが、これは決して一人の力では為し得なかったことでしょう。お世話になった方々に感謝の意を表しつつ、筆を置くことにしたいと思います。

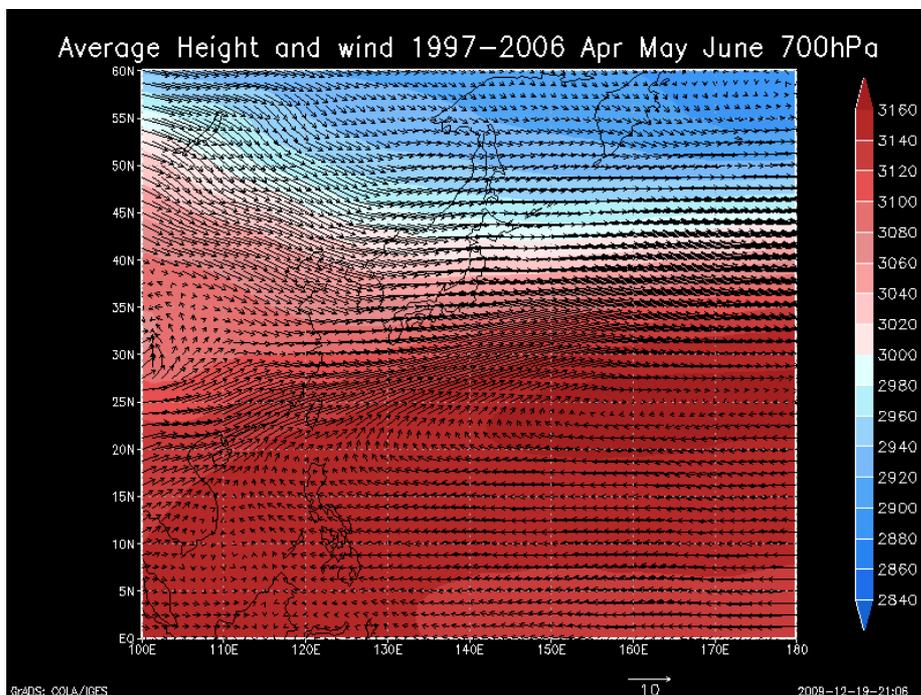
参考文献

- 北島尚子・藤部文昭・星野俊介・別所康太郎 (2006) : 台風の温帯低気圧化に関する理解の現状とその解析・予報の問題, 測候時報, 73.4-5, pp114.
- 北島尚子 (2007) : 台風の温帯低気圧化に関する理解の現状 -主に擾乱構造の多様性に関連して-, 月刊海洋, 39, pp183-187.

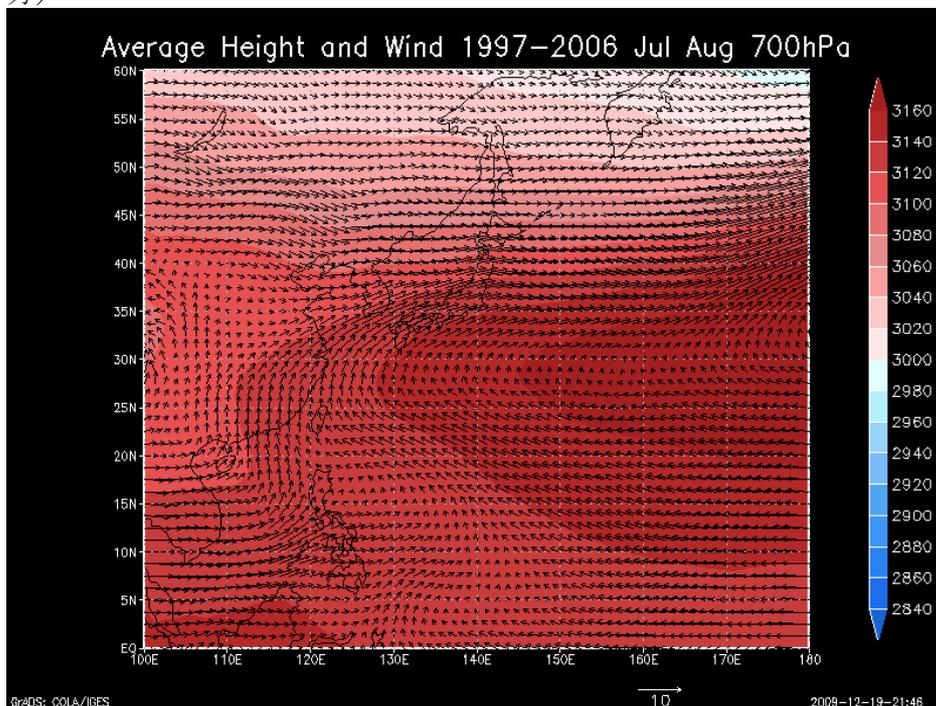
- 斎藤雄也 (2005) : 台風 0423 号の温帯低気圧化過程における構造とその降水特性の変化に関する研究, 月刊海洋/号外, 42, pp105-113.
- 鈴木和史 (2000) : 台風の温帯低気圧化における衛星画像の特徴, 気象衛星センター技術報告, 38, pp21-42.
- 藤井 勉・大澤輝夫・石田廣史 (2006) : 台風 0423 号による海王丸遭難時の気象解析, 日本航海学会論文集, 115, pp183-189.
- 村松照男 (1982) : 成熟した台風の温帯低気圧化の過程について-台風 7916 号 (OWEN), 天気, 29-12, pp35-48.
- 村松照男 (1983a) : 台風の温帯低気圧化の過程における移動速度の変化, 天気, 30-9, pp447-460, 468.
- 村松照男 (1983b) : 洞爺丸台風の温帯低気圧化について, 天気, 30-9, pp461-468.
- 山岬正紀 (1982) : 「台風-最も激しい大気じょう乱」 (東京堂出版), 206p
- 吉野 純・石川裕彦・植田洋匡 (2003) : Piecewise Potential Vorticity Inversion を用いた中緯度における台風 9918 号の衰弱・再発達過程における診断的解析, 京都大学防災研究所年報, 46-B, pp423-442.
- Bosart L. F. and Lackmann, G. M. (1995): Postlandfall tropical cyclone reintensification in a weaklyininc environment: A case study of hurricane David (September 1979). Monthly Weather Review, vol 123, pp3268-3291.
- Bosart, L.F., C.S.Velden, W.E. Bracken, J. Morinari and P.G.Brack (2000): Environmental influences on the rapid intensification of hurricane opal (1995) over the Gulf of Mexico. Monthly Weather Review, vol 128, pp322-352.
- Evans, J. L. (2006): Observing and Forecasting of Extratropical Transitions. Workshop on tropical Cyclones (IWTC-VI), WMO/TD-No,1353 Rep. TMRP-72, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 305-319.
- Jones, S. , P. A. Harr, J. Abraham, L. F. Bosart, P. J. Bowyer, J. L. Evans, D. E. Hanley, B. E. Hanstram, R. E. Hart, F. Lalaurette, M. R. Sinclair, R. K. Smith, and C. Thorncroft (2003) : The extratropical transition of tropical cyclones: forecast challenges, current understanding, and future directions. Weather forecasting, 18, pp1052-1092.
- Robert, E. H. (2003): "A Cyclone Phase Space Derived from Thermal Wind and Thermal Asymmetry" Monthly Weather Review, Vol.131, pp585-616.

付録 1

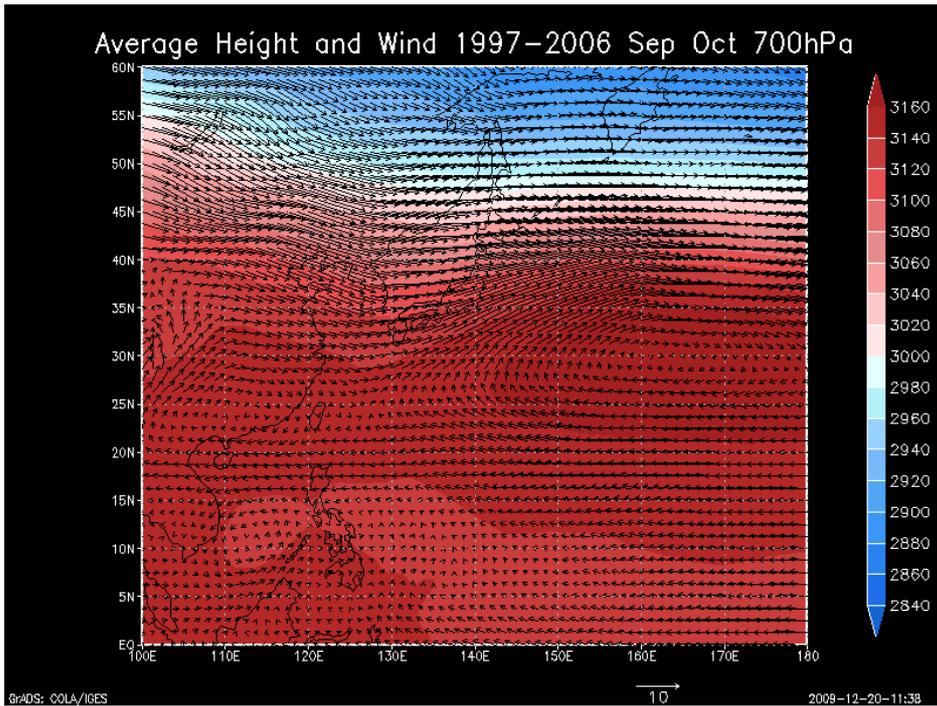
紙面の都合上、第 3 章の平均場の議論で本文に掲載できなかった図をここに添付する。



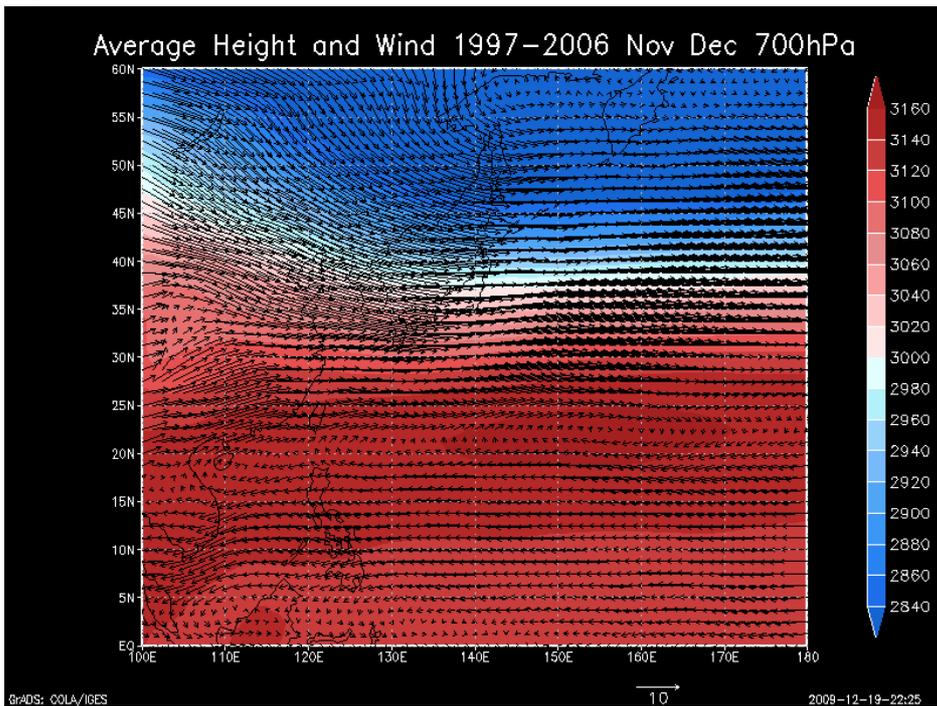
付録第 1 図：700hPa 高度場と風向・風速の平均（計算期間：1997 年～2006 年の 7 月、8 月）



付録第 2 図：700hPa 高度場と風向・風速の平均（計算期間：1997 年～2006 年の 7 月、8 月）



付録第3図：700hPa高度場と風向・風速の平均(計算期間：1997年～2006年の9月、10月)



付録第4図：700hPa高度場と風向・風速の平均(計算期間：1997年～2006年の11月、12月)

付録 2

各台風の資料および解析結果の一部を掲載する

台風 0118 号 (FRANCISCO)

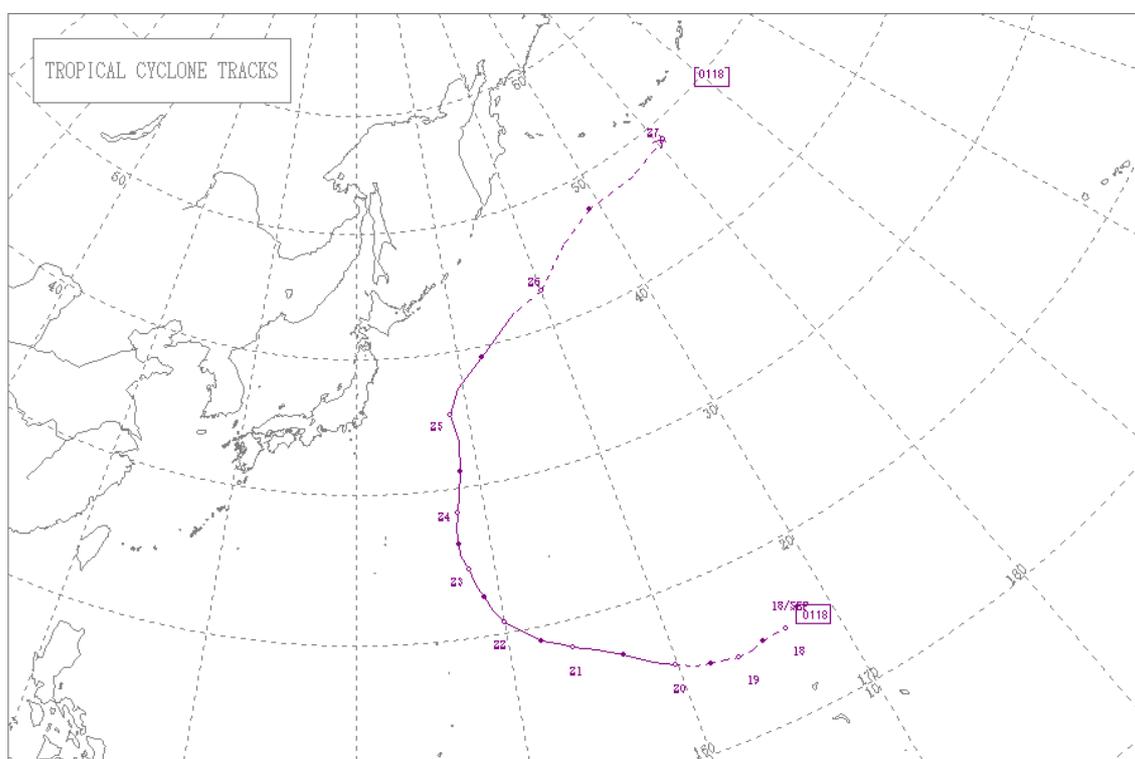
ベストトラックの要約

2001 年 9 月 18 日 00Z 発生した。

9 月 20 日 00Z 台風となった。

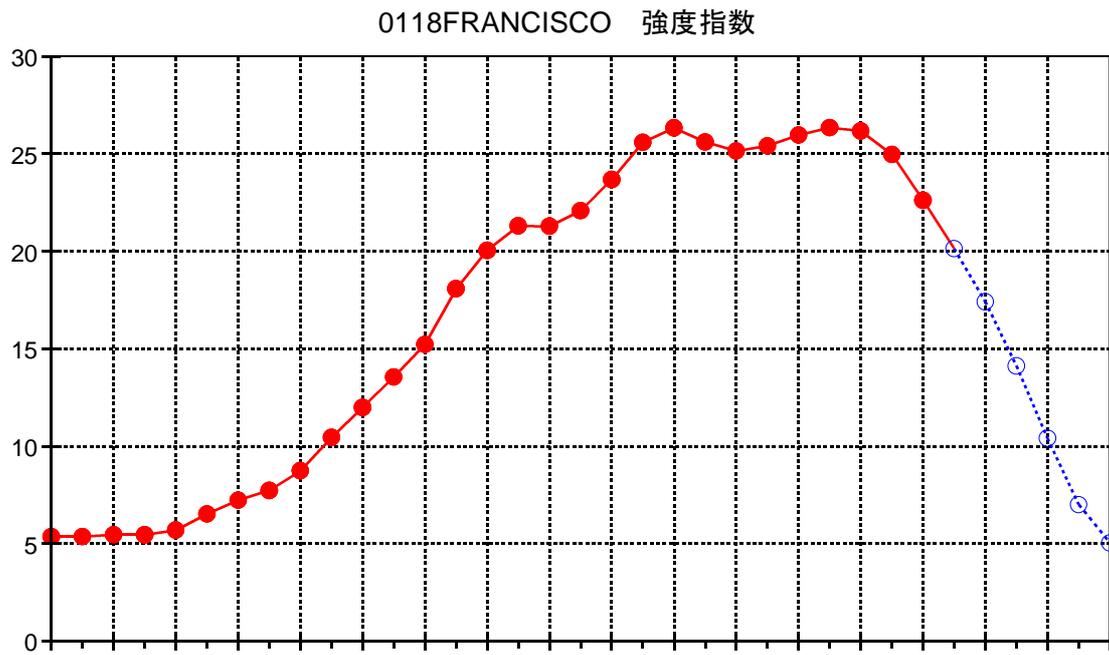
9 月 25 日 18Z 温帯低気圧となった

9 月 27 日 00Z 気象庁の監視領域外に達した

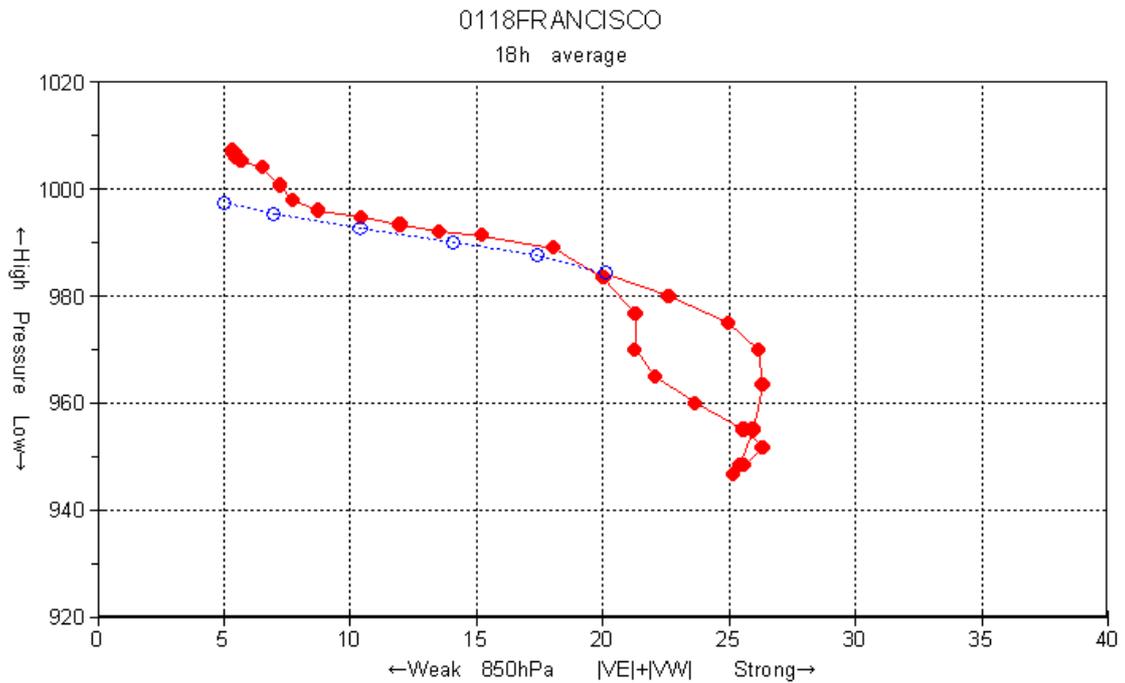


付録第 5 図：台風 0118 号の経路図（気象庁提供）

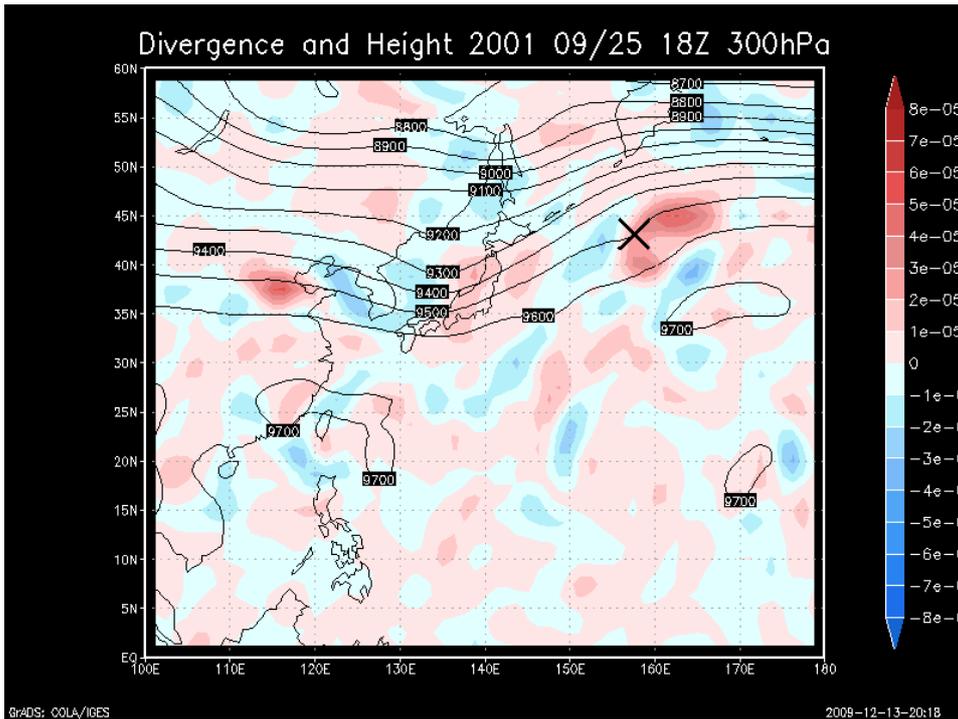
点線：熱帯低気圧または温帯低気圧であった期間 実線：台風であった期間 ○：00Z
の位置 ●：12Z の位置



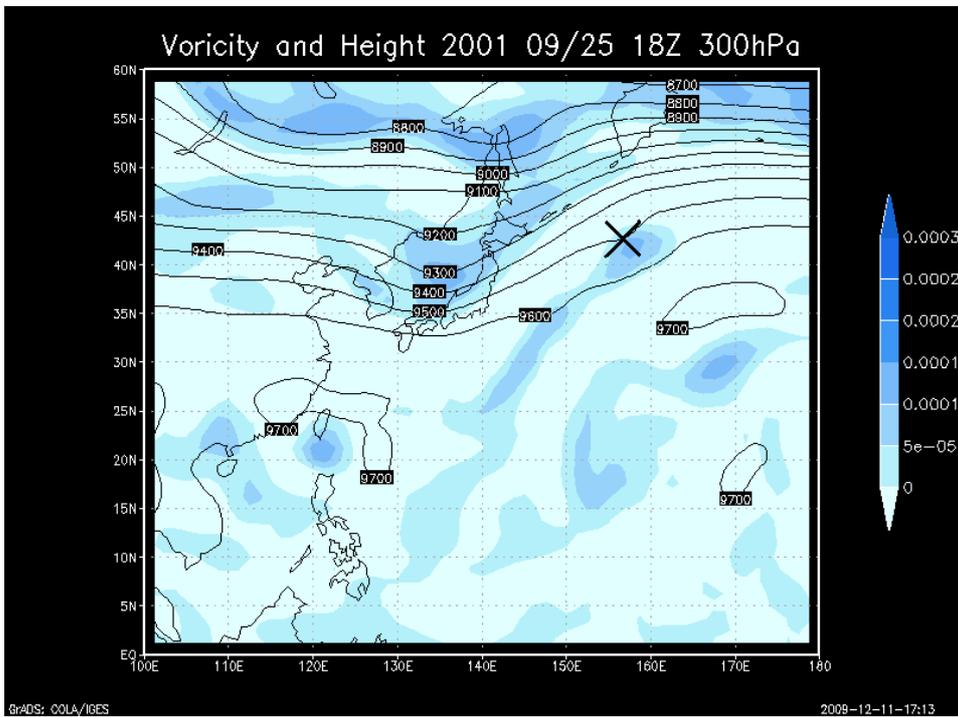
付録第 6 図：台風 0118 号の再発達判定グラフ y 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ



付録第 7 図：台風 0118 号の気圧-強度相関ダイヤグラム x 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ y 軸はベストトラックで示されている中心気圧 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ



付録第8図：収束/発散 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2001年9月25日18Z 300hPa 台風0118号がベストトラック上で温帯低気圧を完了した時刻

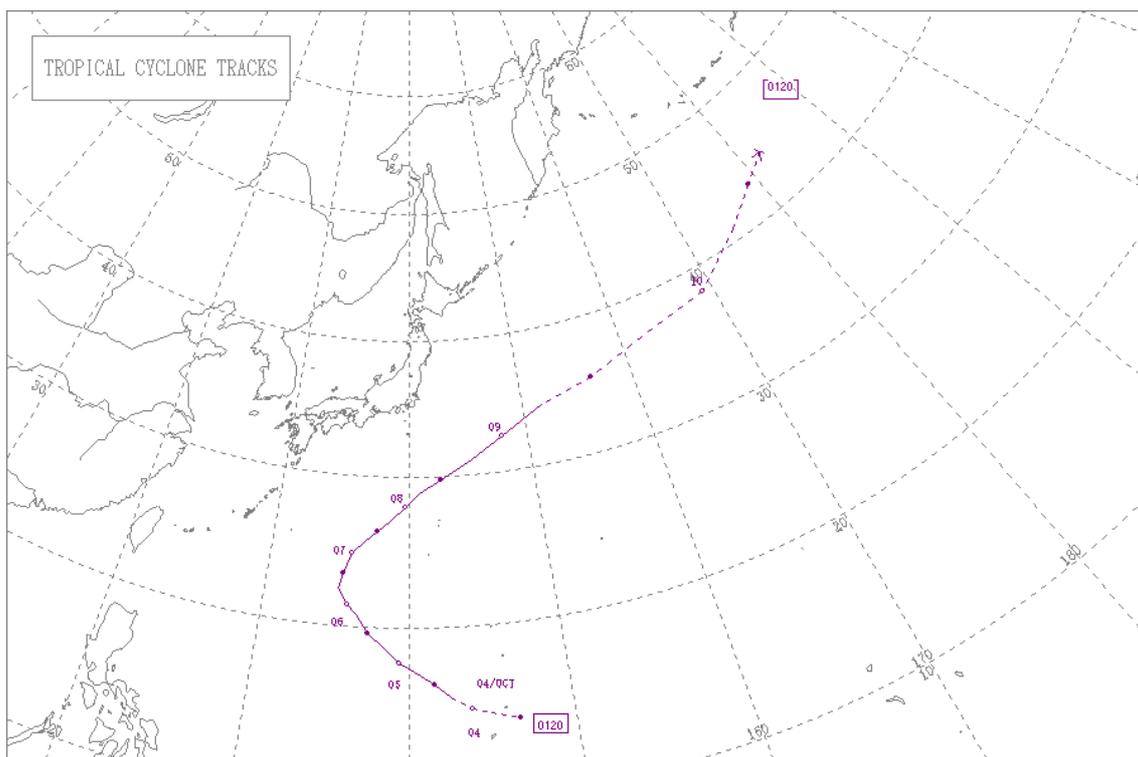


付録第9図：渦度 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2001年9月25日18Z 300hPa 台風0118号がベストトラック上で温帯低気圧を完了した時刻

台風 0120 号

ベストトラックの要約

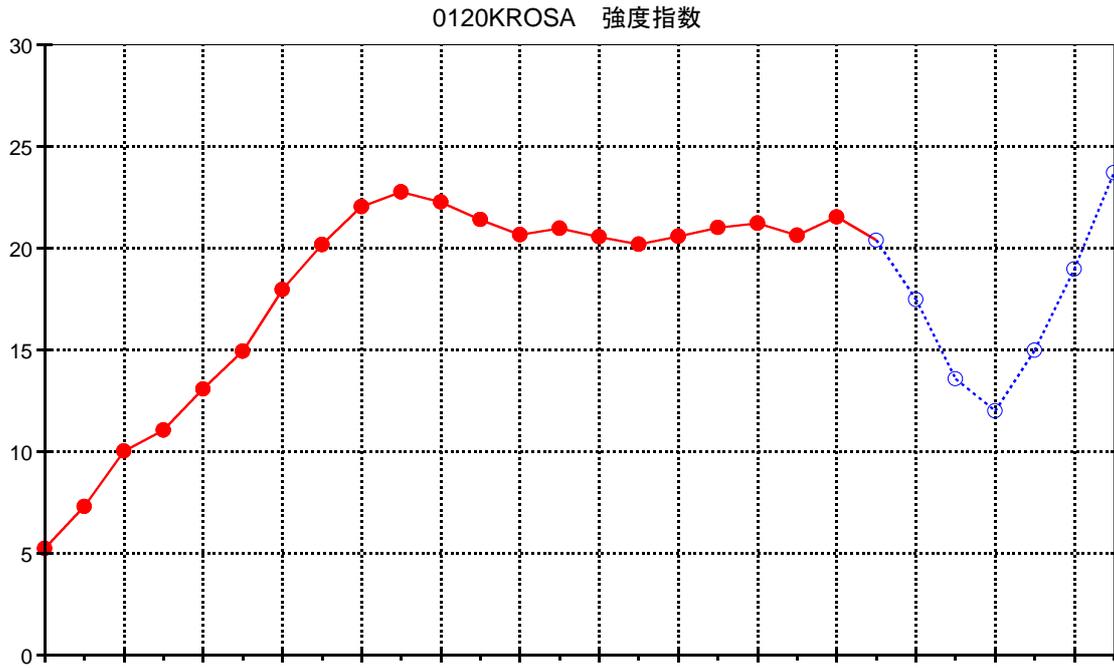
- 2001年10月3日 12Z 発生した
- 10月4日 06Z 台風となった
- 10月9日 06Z 温帯低気圧となった
- 10月10日 00Z 急速な再発達を開始した(18時間で-24hPa)
- 10月10日 18Z 気象庁の監視領域外に達した



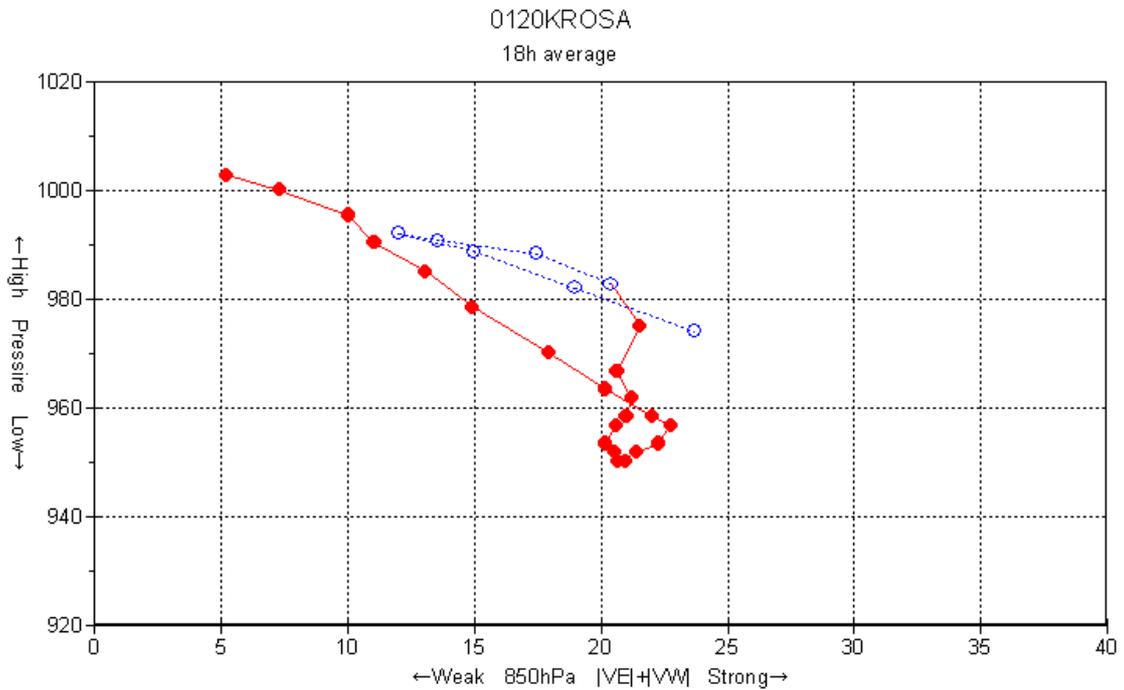
付録第 10 図：台風 0120 号の経路図（気象庁提供）

点線：熱帯低気圧または温帯低気圧であった期間
の位置 ●：12Z の位置

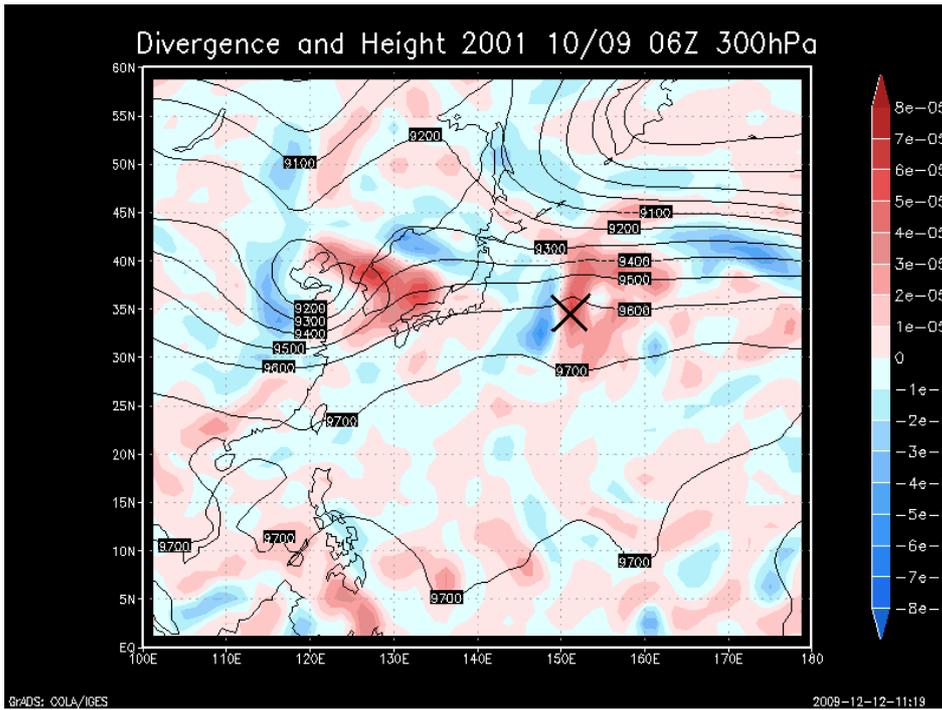
実線：台風であった期間 ○：00Z



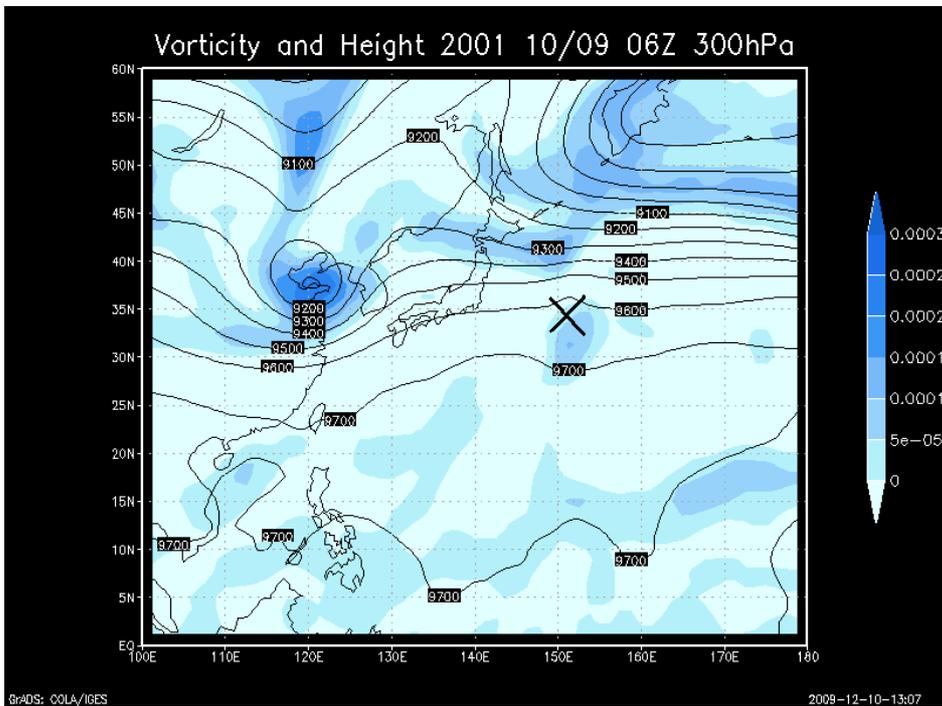
付録第 11 図：台風 0120 号の再発達判定グラフ y 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ



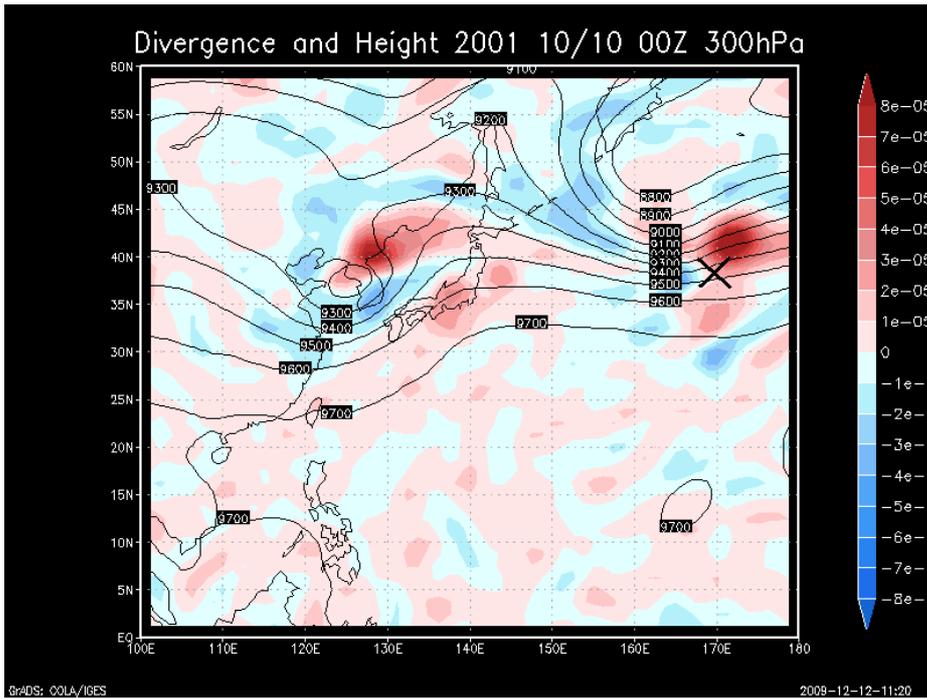
付録第 12 図：台風 0120 号の気圧-強度相関ダイアグラム x 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ y 軸はベストトラックで示されている中心気圧 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ



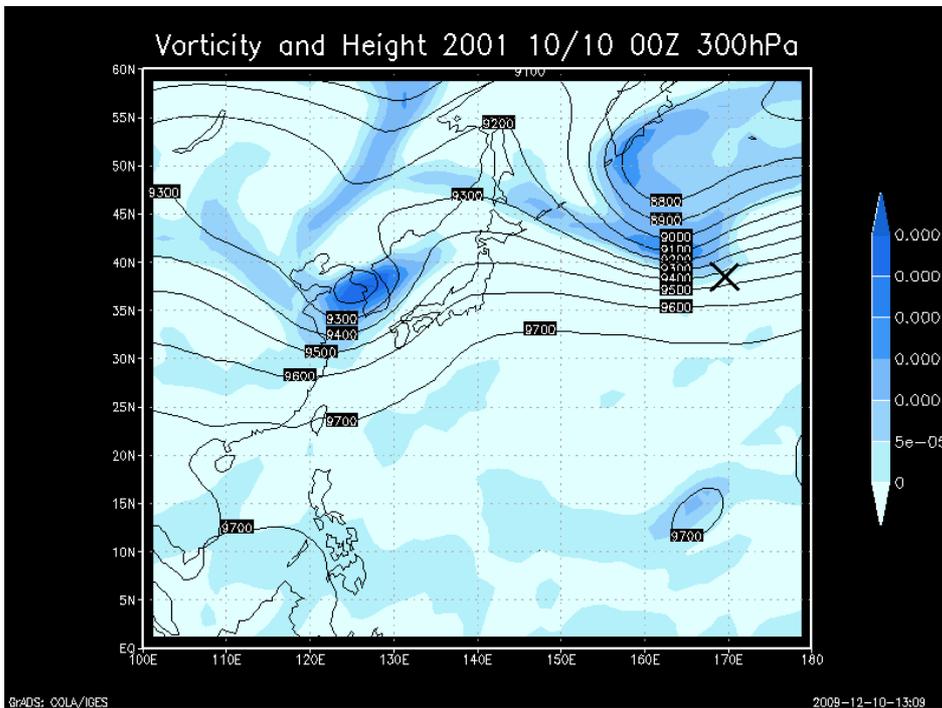
付録第13図：収束/発散 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2001年10月9日06Z 300hPa 台風0120号がベストトラック上で温帯低気圧を完了した時刻



付録第14図：渦度 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2001年10月9日06Z 300hPa 台風0120号がベストトラック上で温帯低気圧を完了した時刻



付録第15図：収束/発散 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2001年10月10日00Z 300hPa 台風0120号がベストトラック上で気圧の急速な降下を始めた時刻

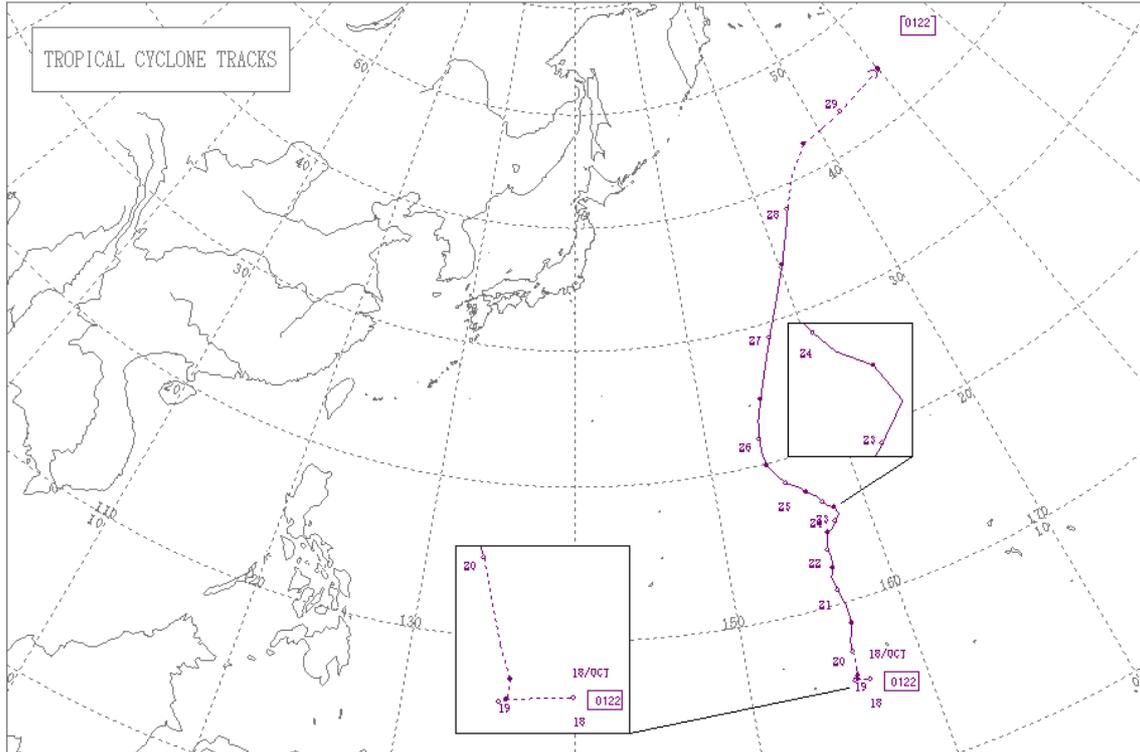


付録第16図：渦度 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2001年10月10日00Z 300hPa 台風0120号がベストトラック上で気圧の急速な降下を始めた時刻

台風 0122 号 (PODUL)

ベストトラックの要約

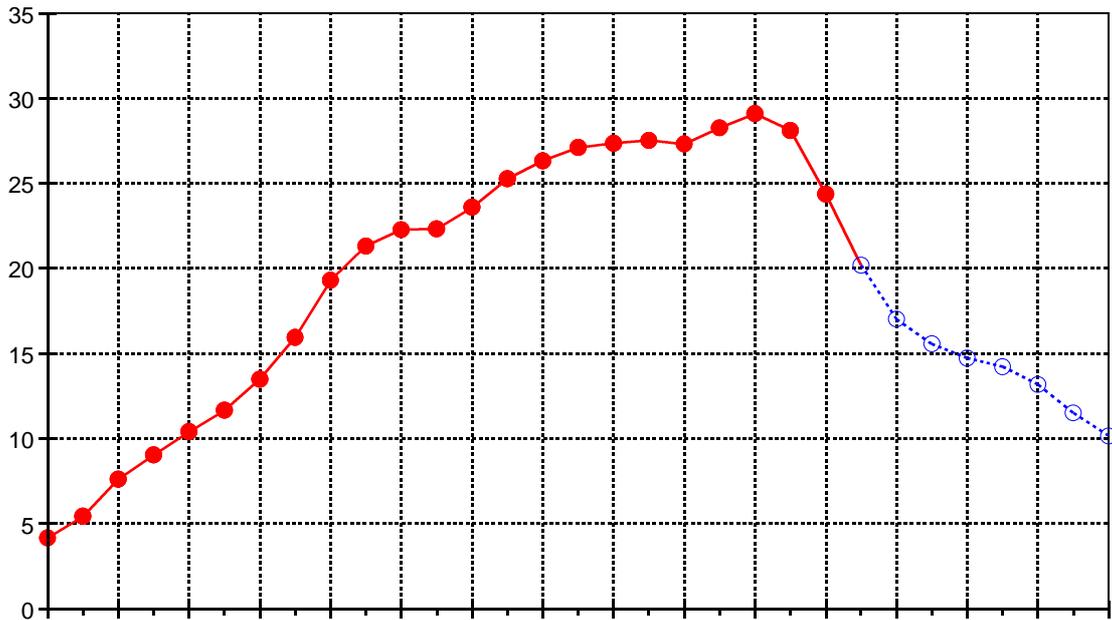
- 2001 年 10 月 18 日 00Z 発生した
- 10 月 20 日 00Z 台風となった
- 10 月 26 日 12Z 気圧の上昇と共に、強風半径の急速な増大を始めた
- 10 月 28 日 00Z 温帯低気圧となった
- 10 月 29 日 12Z 気象庁の監視領域外に達した



付録第 17 図：台風 0122 号の経路図（気象庁提供）

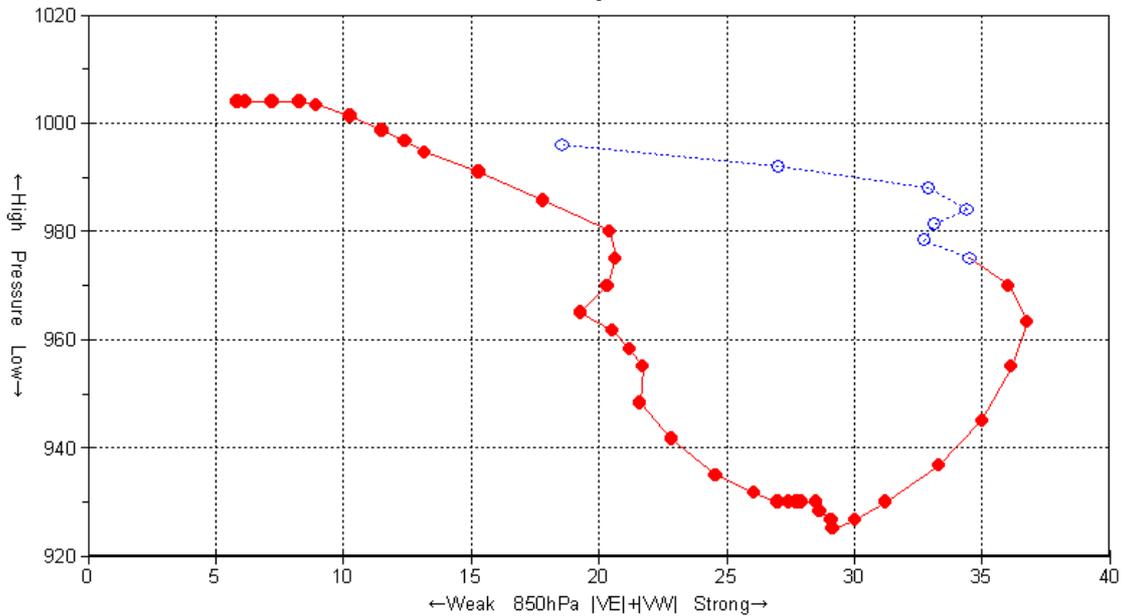
点線：熱帯低気圧または温帯低気圧であった期間
実線：台風であった期間 ○：00Z
の位置 ●：12Z の位置

発達強度 0221HIGOS

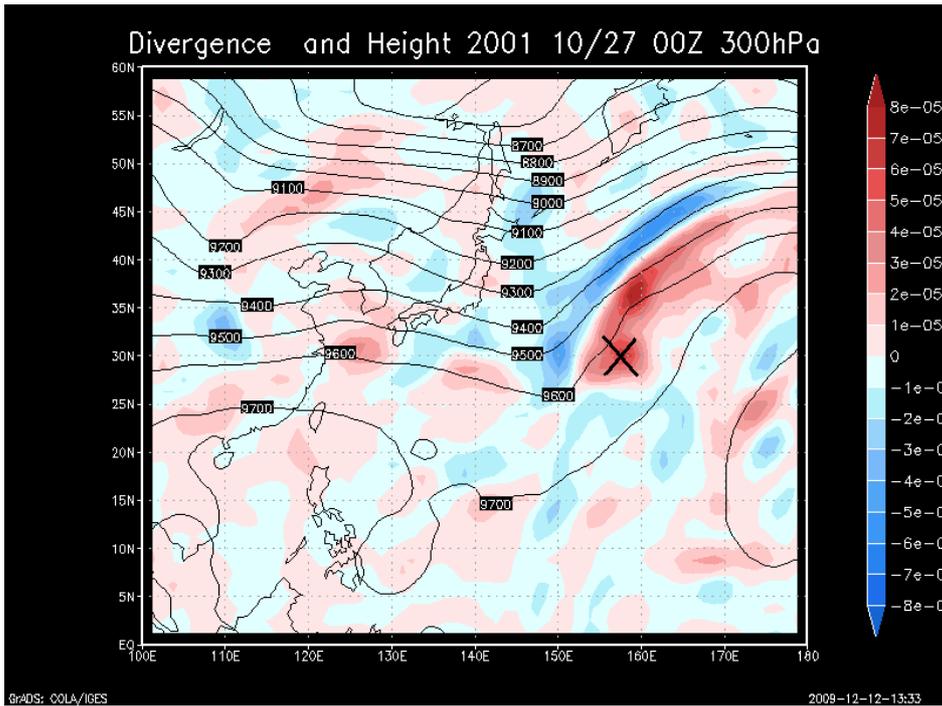


付録第 18 図：台風 0122 号の再発達判定グラフ y 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ

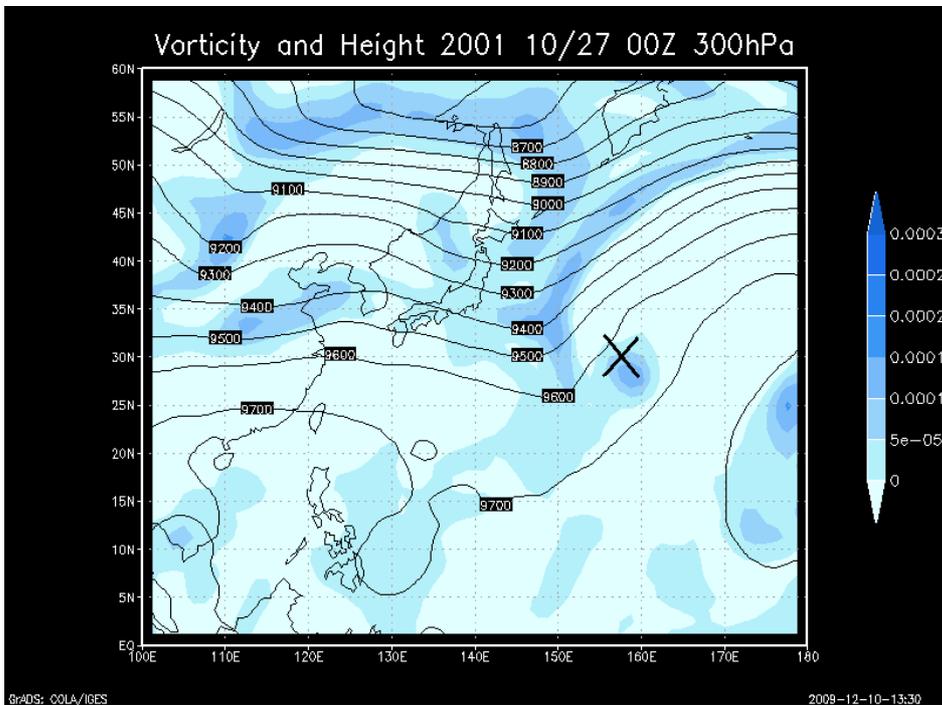
0122PODUL
18h average



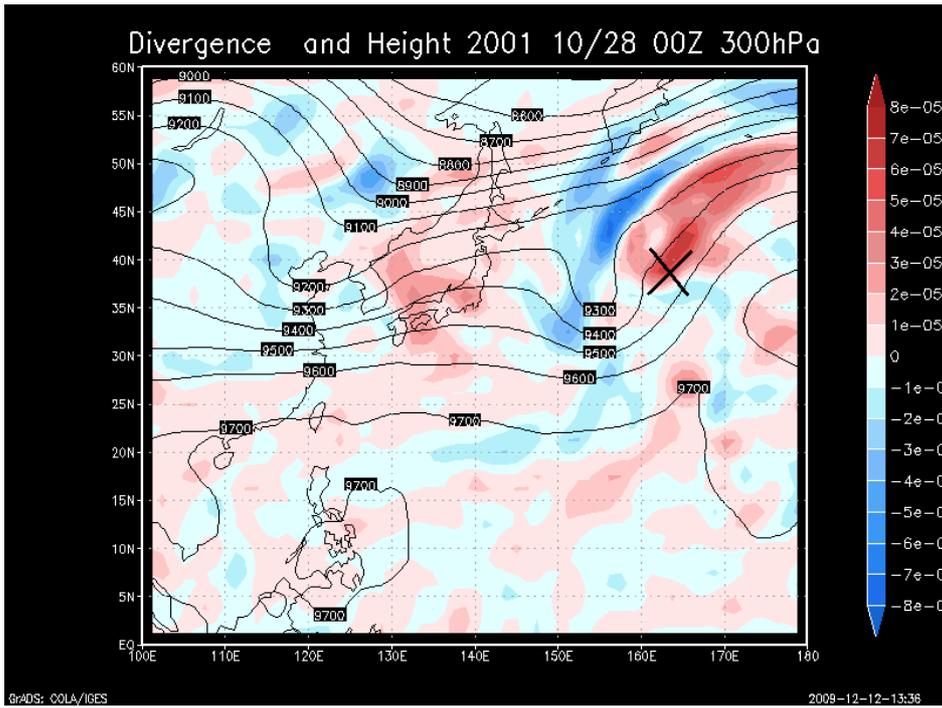
付録第 19 図：台風 0122 号の気圧-強度相関ダイヤグラム x 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ y 軸はベストトラックで示されている中心気圧 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ



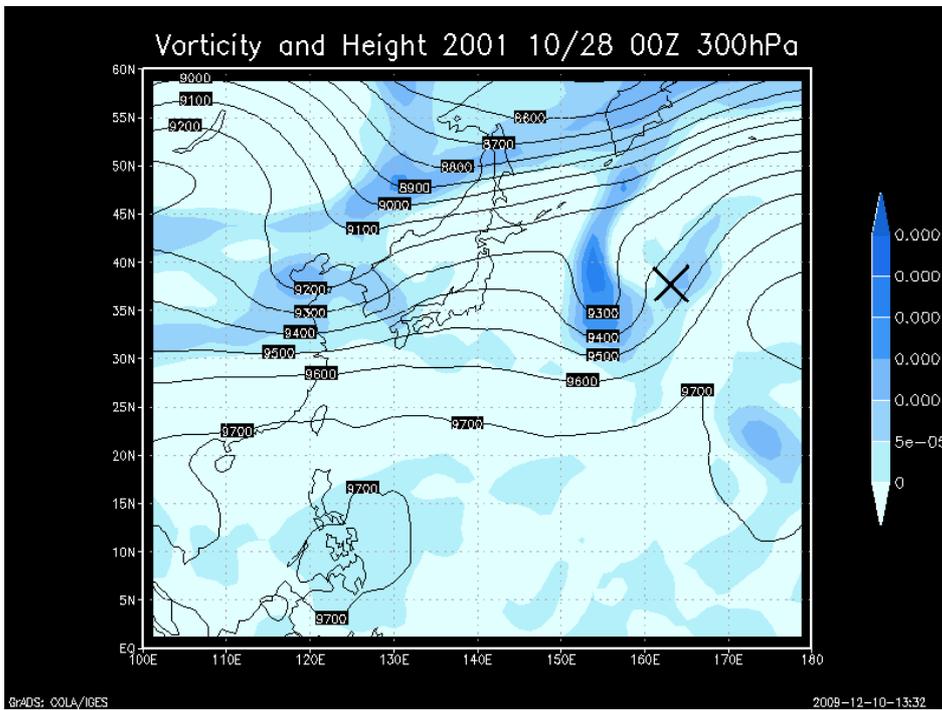
付録第20図：収束/発散 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2001年10月27日00Z 300hPa 台風0122号がベストトラック上で強風半径を急速に増大させていた時刻



付録第21図：渦度 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2001年10月27日00Z 300hPa 台風0122号がベストトラック上で強風半径を急速に増大させていた時刻



付録第22図：収束/発散 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2001年10月28日00Z 300hPa 台風0122号がベストトラック上で温帯低気圧化を完了した時刻

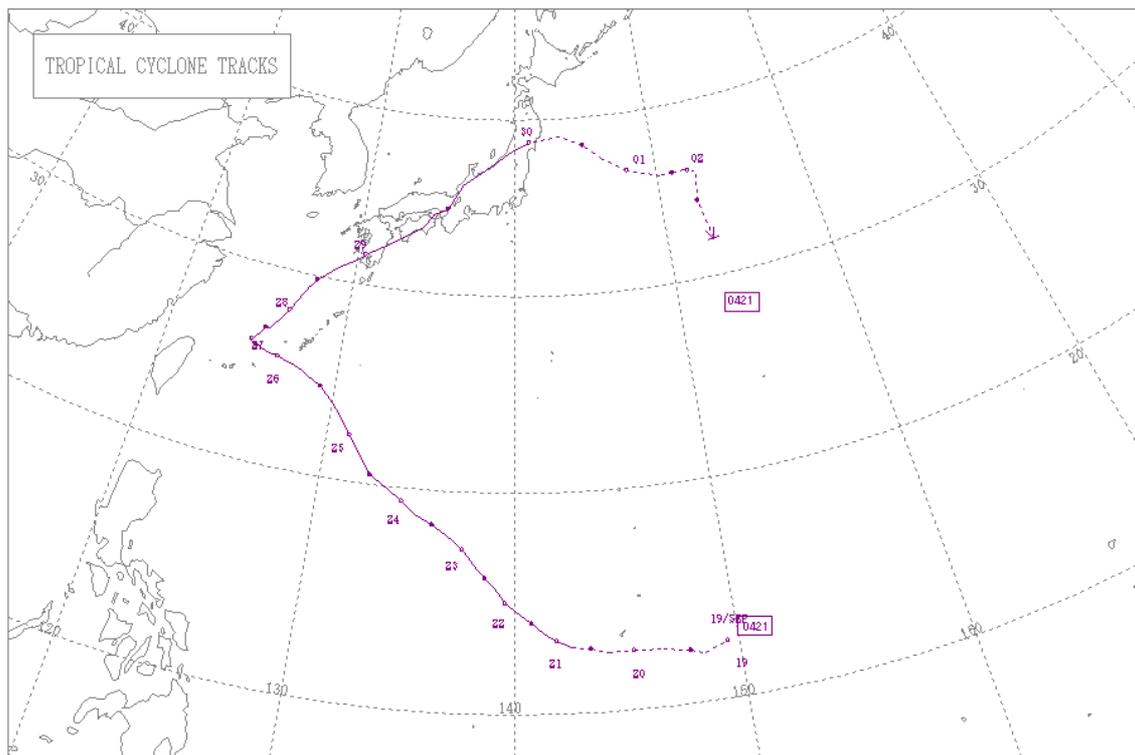


付録第23図：渦度 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2001年10月28日00Z 300hPa 台風0122号がベストトラック上で温帯低気圧化を完了した時刻

台風 0421 号 (MEARI)

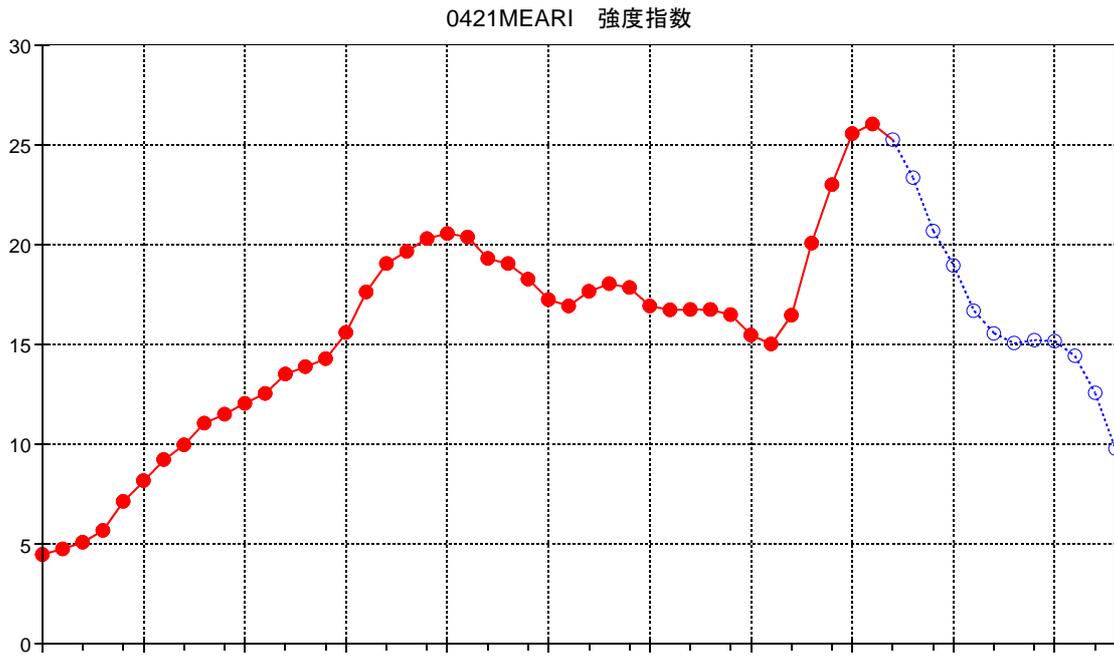
ベストトラックの要約

- 2004 年 9 月 19 日 00Z 発生した
- 9 月 20 日 18Z 台風となった
- 9 月 29 日 18Z 強風半径が増大し、大型の台風となる
- 9 月 30 日 00Z 温帯低気圧となった
- 10 月 12 日 18Z 消滅した

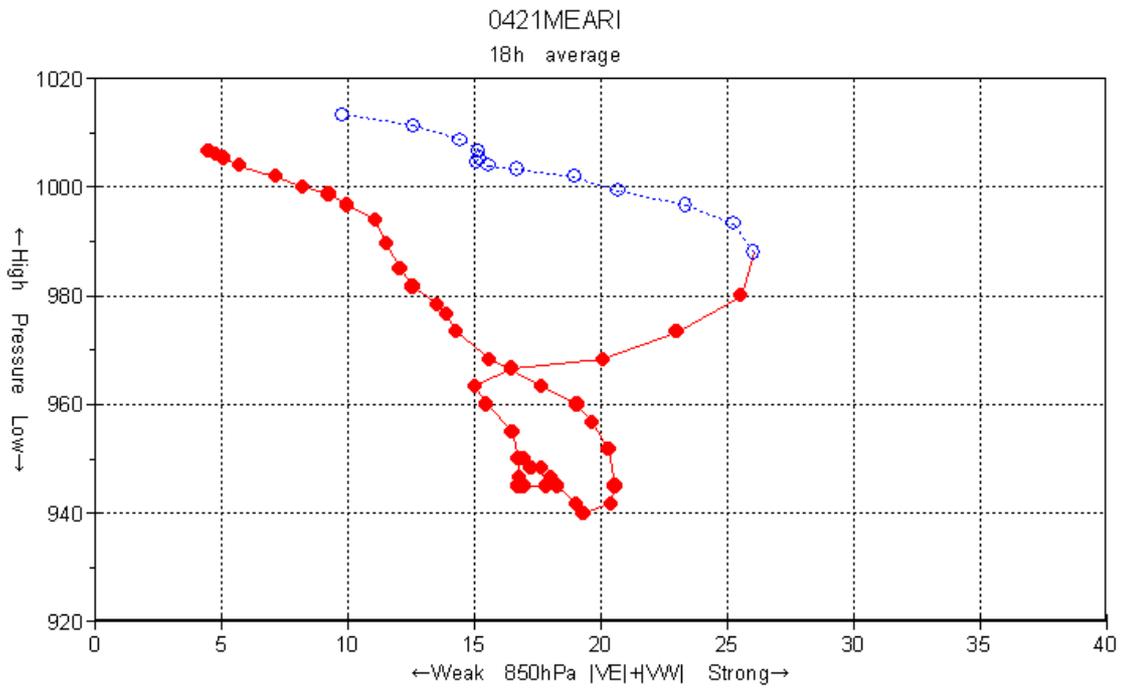


付録第 24 図：台風 0421 号の経路図（気象庁提供）

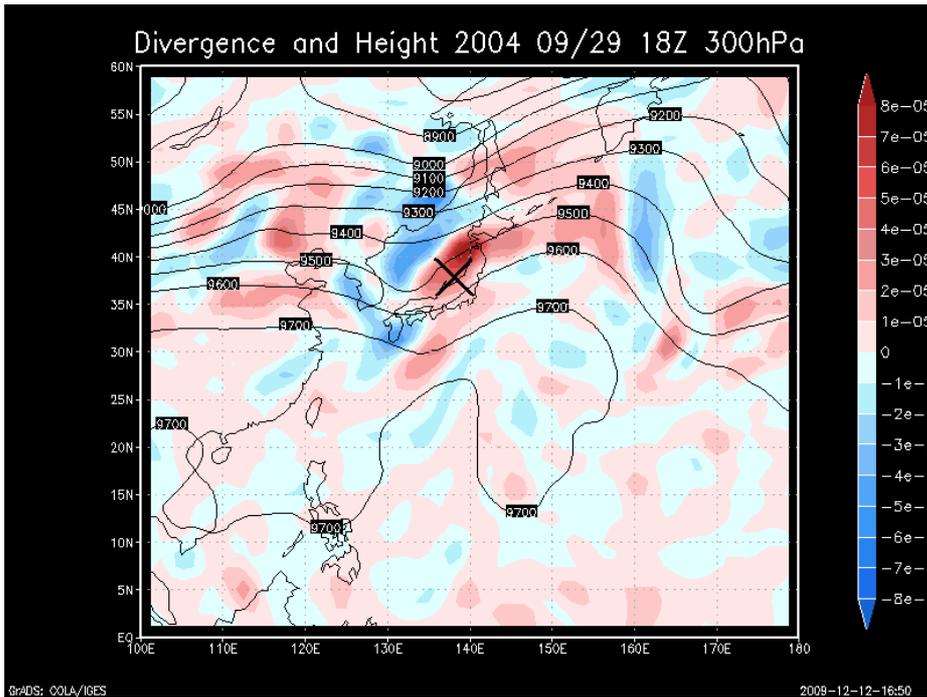
点線：熱帯低気圧または温帯低気圧であった期間
実線：台風であった期間 ○：00Z の位置 ●：12Z の位置



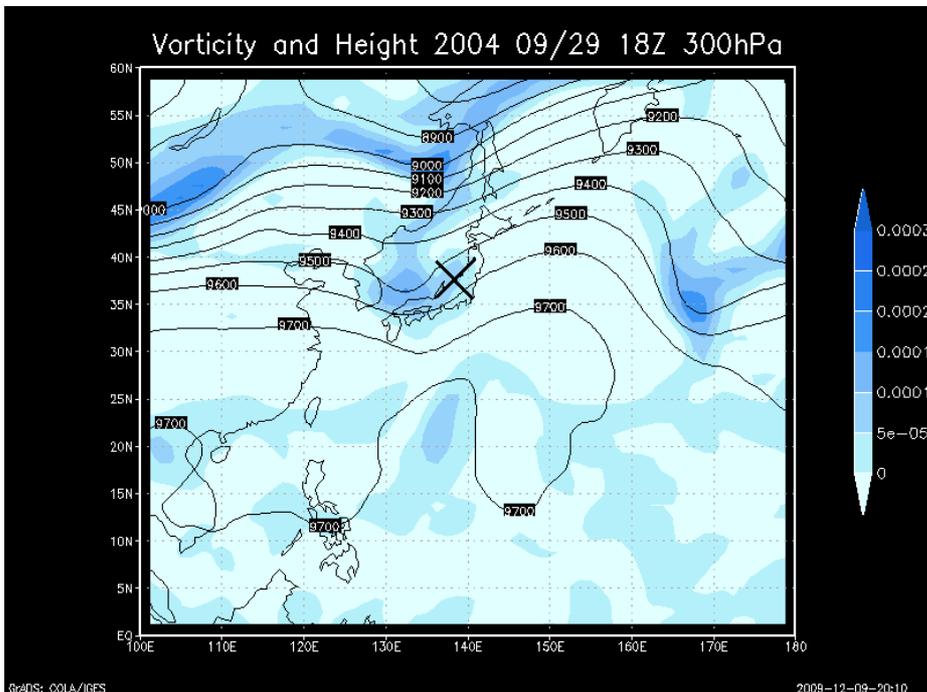
付録第 25 図：台風 0421 号の再発達判定グラフ y 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ



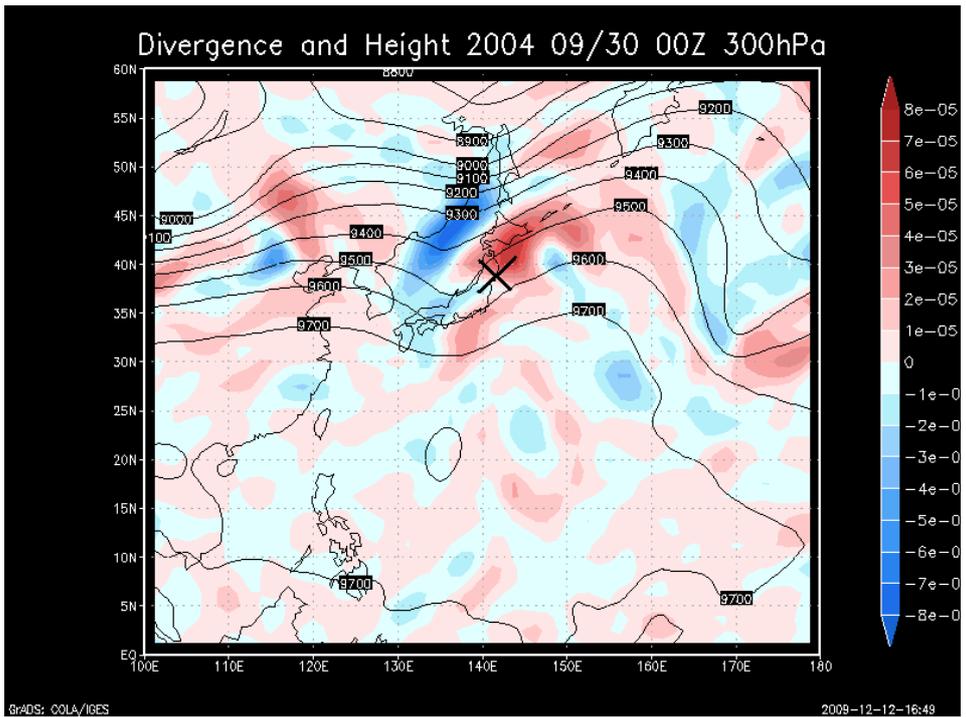
付録第 26 図：台風 0421 号の気圧－強度関連ダイアグラム x 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ y 軸はベストトラックで示されている中心気圧 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ



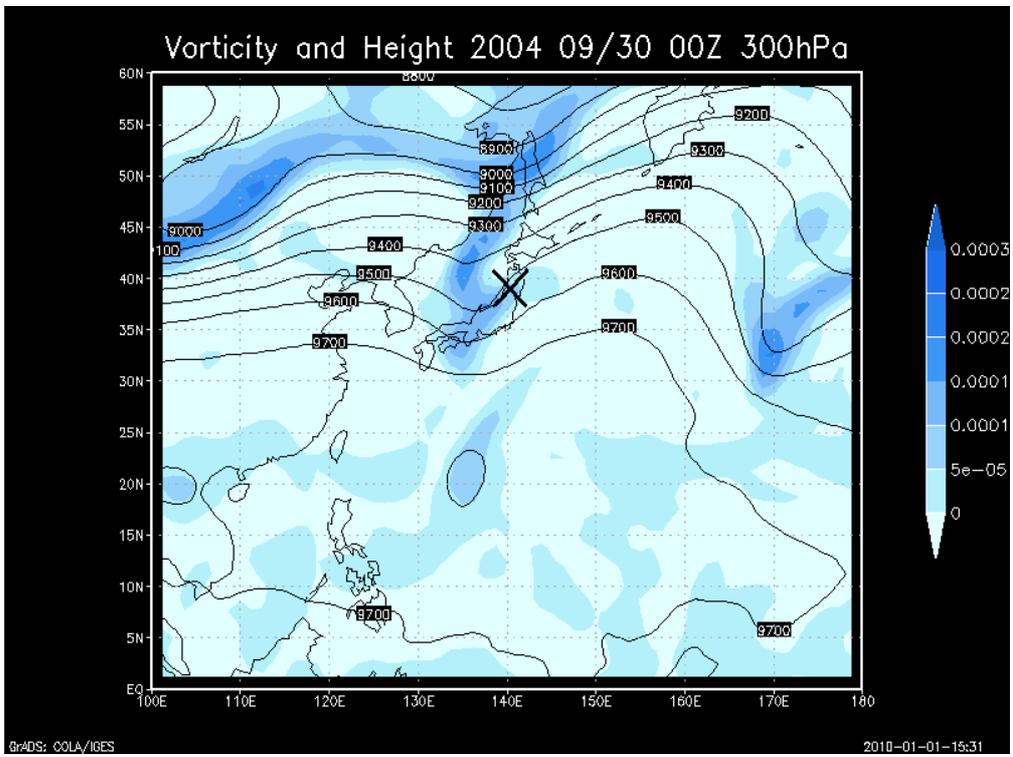
付録第 27 図 : 収束/発散 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2004 年 09 月 29 日 18Z 300hPa 台風 0421 号がベストトラック上で大型の台風となった時刻



付録第 28 図 : 渦度 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2004 年 9 月 29 日 18Z 300hPa 台風 0421 号がベストトラック上で大型の台風となった時刻



付録第 29 図 : 収束/発散 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2004 年 9 月 30 日 00Z 300hPa 台風 0421 号がベストトラック上で温帯低気圧化を完了した時刻

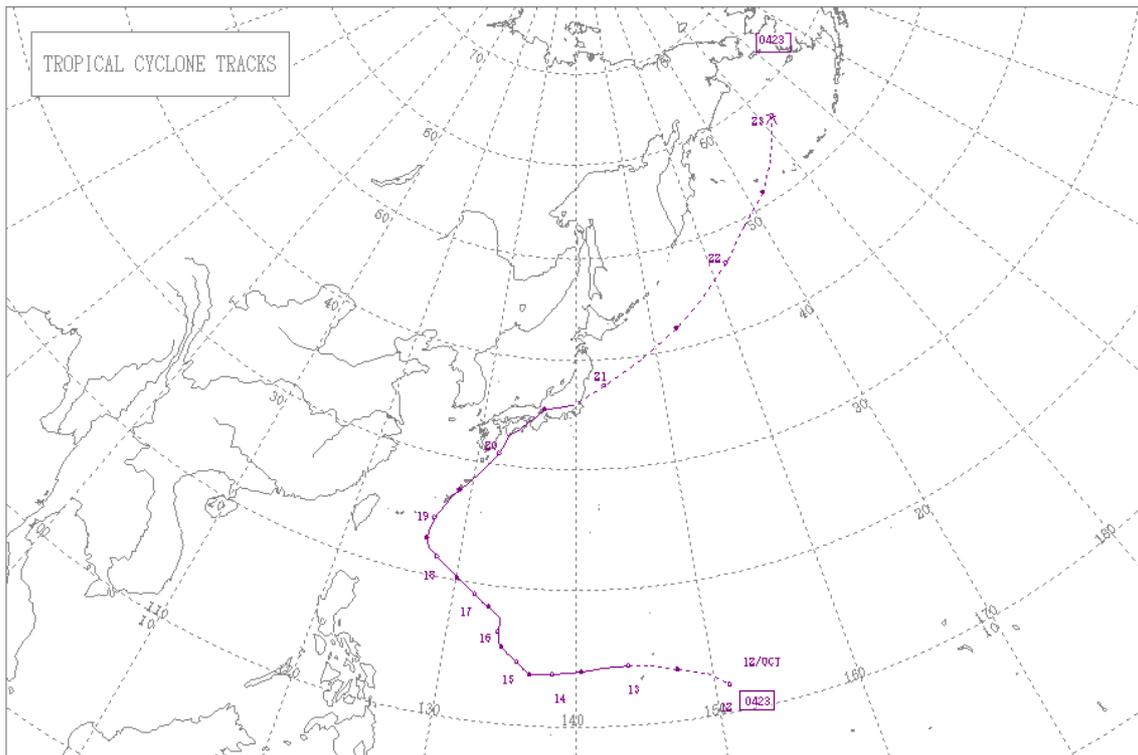


付録第 30 図 : 渦度 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2004 年 9 月 30 日 00Z 300hPa 台風 0421 号がベストトラック上で大型の台風となった時刻

台風 0423 号 (TOKAGE)

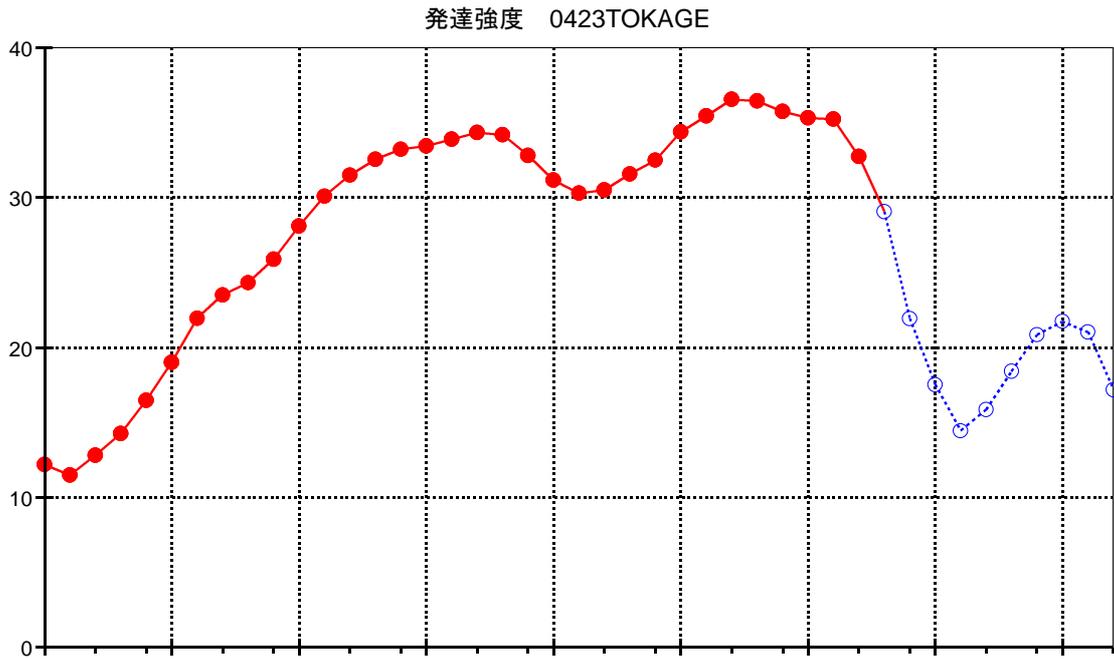
ベストトラックの要約

- 2004 年 10 月 12 日 00Z 発生した
- 10 月 13 日 00Z 台風となった
- 10 月 19 日 09Z 強風半径が急速に増大し始めた
- 10 月 20 日 18Z 温帯低気圧となった
- 10 月 21 日 18Z 再発達を開始した (36 時間で-8hPa)
- 10 月 23 日 00Z 気象庁の監視領域外に達した

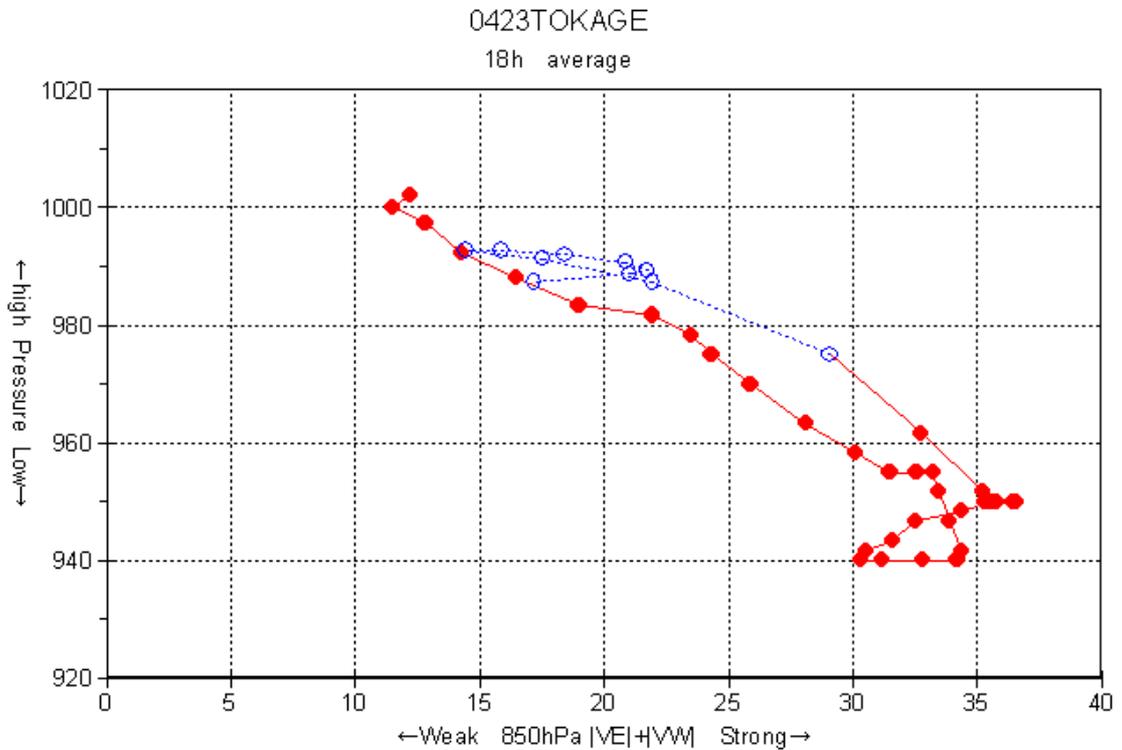


付録第 31 図：台風 0423 号の経路図（気象庁提供）

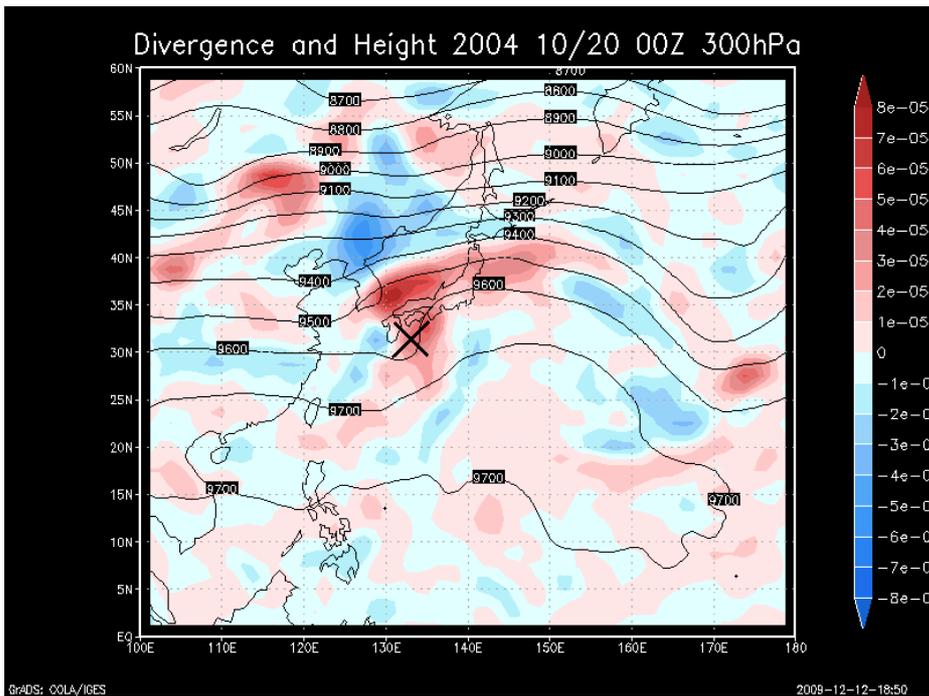
点線：熱帯低気圧または温帯低気圧であった期間 実線：台風であった期間 ○：00Z の位置 ●：12Z の位置



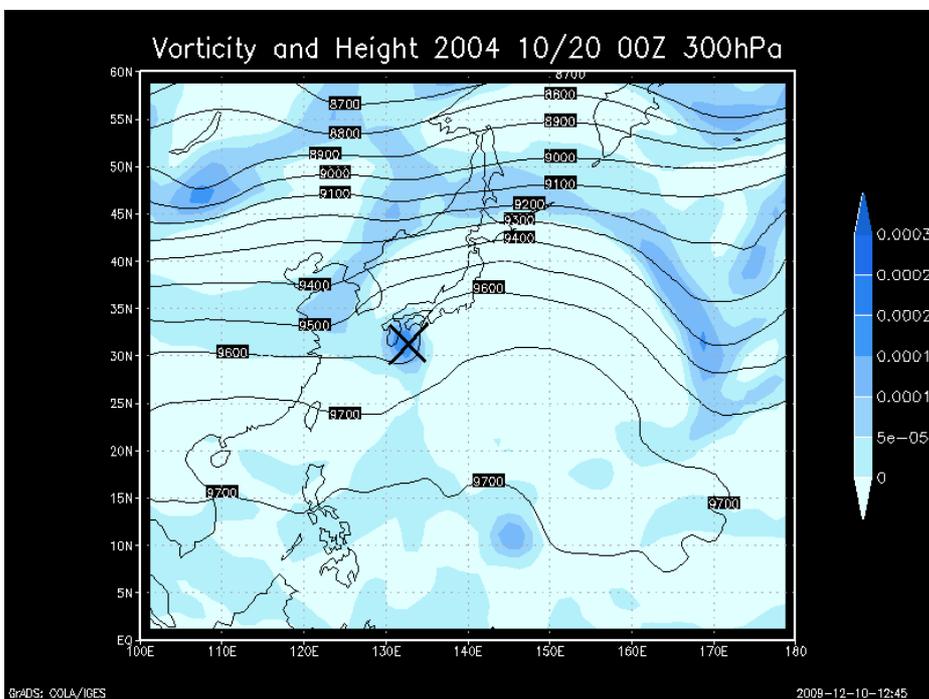
付録第 32 図：台風 0423 号の再発達判定グラフ y 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ



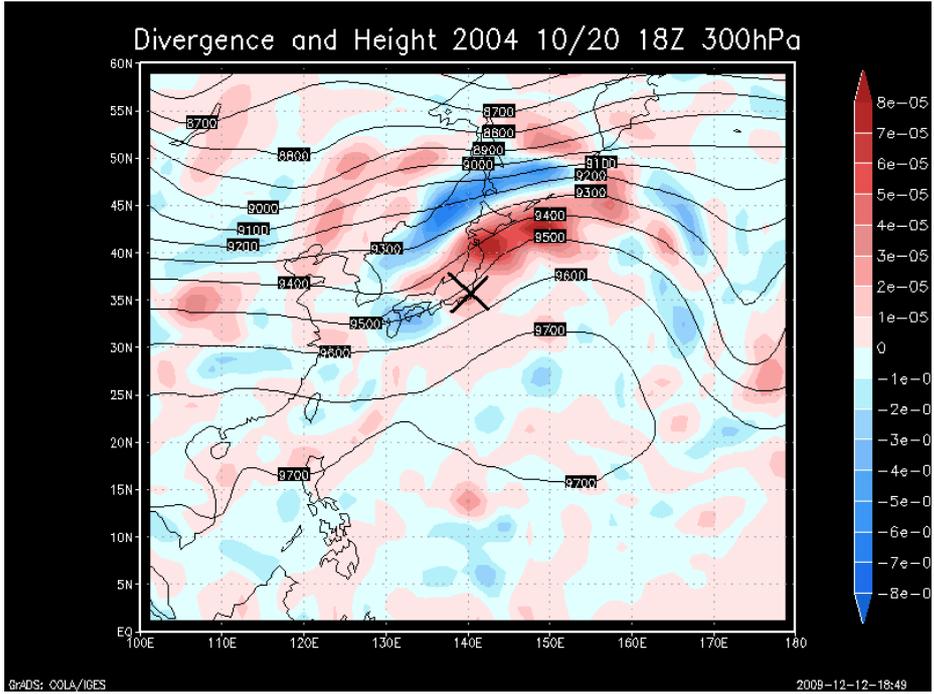
付録第 33 図：台風 0423 号の気圧-強度相関ダイアグラム x 軸は 850hPa の $|VE|+|VW|$ y 軸はベストトラックで示されている中心気圧 赤実線はベストトラック上で熱帯低気圧であった期間、青点線は温帯低気圧であった期間。点は 6 時間ピッチ



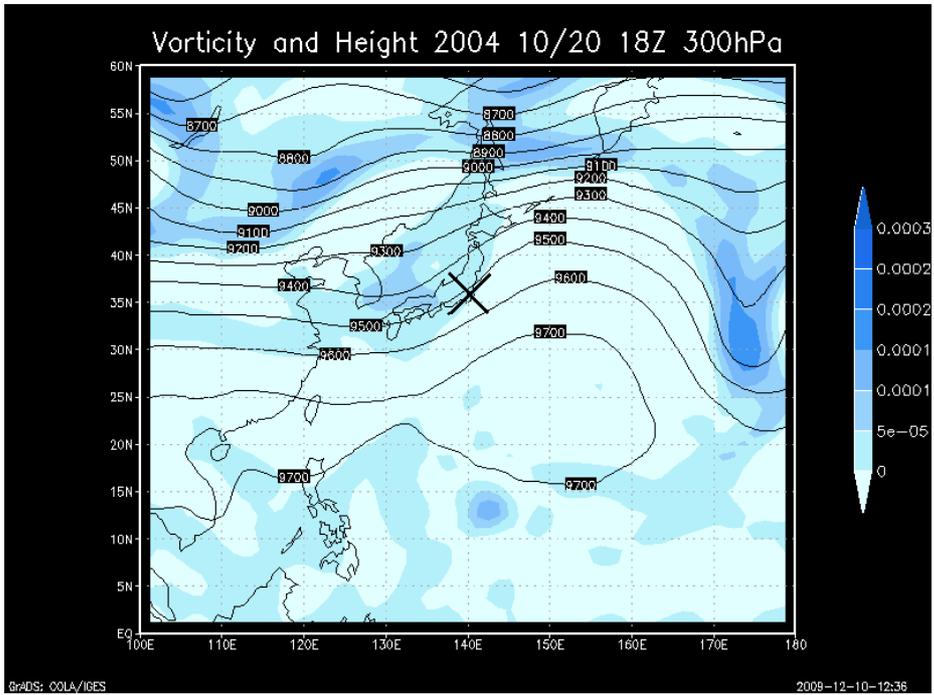
付録第34図：収束/発散 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2004年10月20日00Z 300hPa ベストトラック上で台風0423号の強風半径の急速な増大が解析されていた時刻



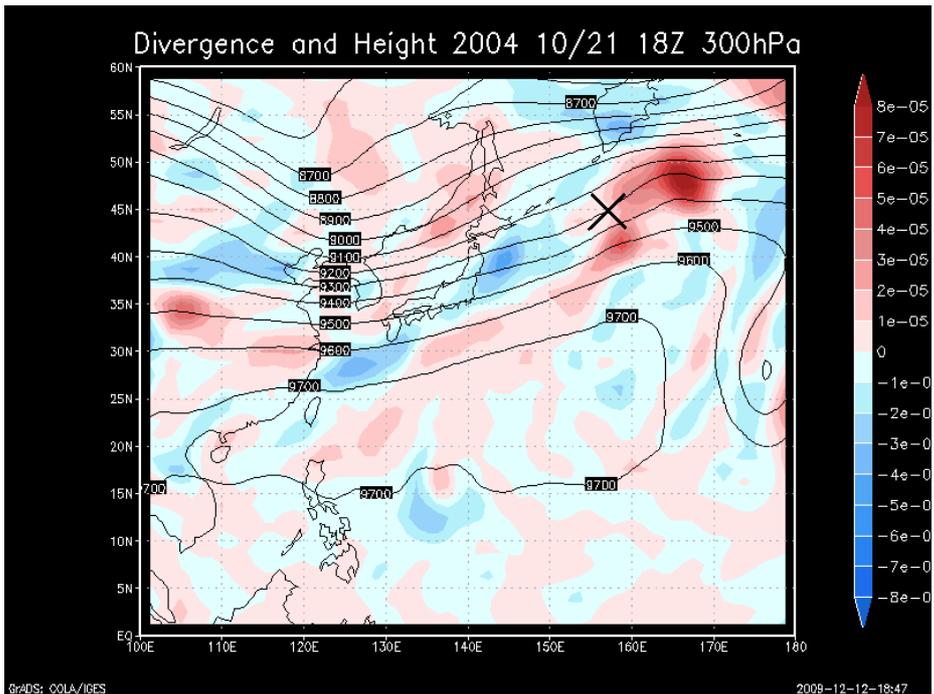
付録第35図：渦度 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2004年10月20日00Z 300hPa ベストトラック上で台風0423号の強風半径の急速な増大が解析されていた時刻



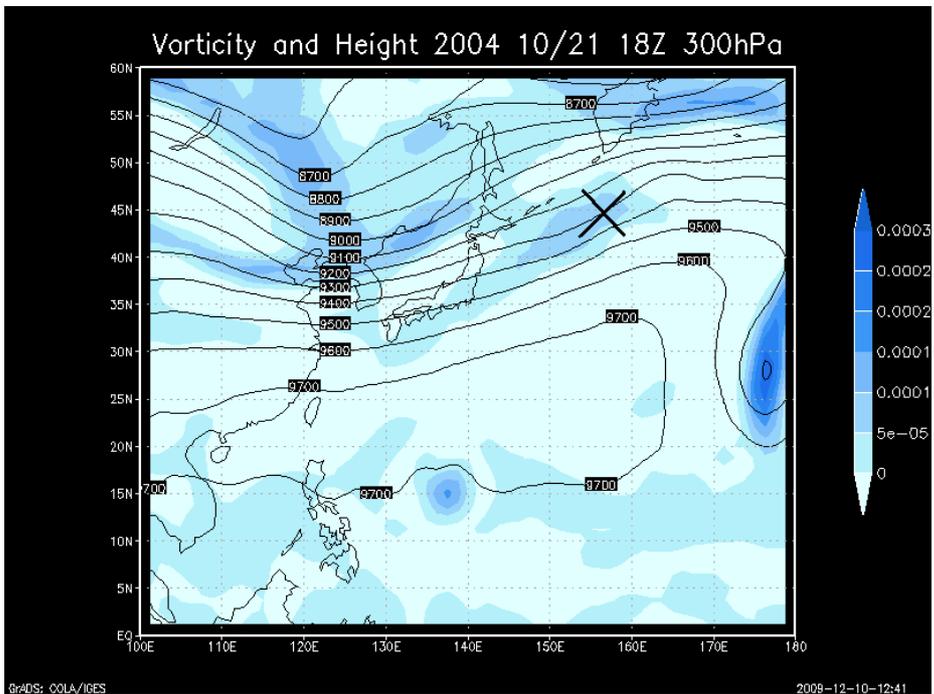
付録第36図：収束/発散 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2004年10月20日18Z 300hPa ベストトラック上で台風0423号の温帯低気圧化が完了した時刻



付録第37図：渦度 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2004年10月20日18Z 300hPa ベストトラック上で台風0423号の温帯低気圧化が完了した時刻



付録第 38 図 : 収束/発散 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2004 年 10 月 21 日 18Z 300hPa ベストトラック上で台風 0423 号の気圧の下降が始まった時刻



付録第 39 図 : 渦度 (Shade) 高度 (Contour) 地上の中心 (黒い×印) 2004 年 10 月 21 日 18Z 300hPa ベストトラック上で台風 0423 号の気圧の下降が始まった時刻