

台風の温帯低気圧化の過程における移動速度の変化*

村松 照 男**

要 旨

偏西風帯に侵入した台風の温帯低気圧化(温低化)と移動速度との関係を調べた。偏西風帯トラフの前面を北東進し、温低化とともに再発達する場合、移動速度は; 1) 偏西風帯侵入による急加速期, 2) 温低化完了直前の速度の極大期, 3) 温低化の最終段階での偏西風帯じょう乱との相互作用による急減速期, 4) 温低化完了後、閉塞低気圧として成熟する過程における速度の極小期, 5) 偏西風じょう乱(温帯低気圧)としての再移動期; という系統的な変化をすることが明らかとなった。

また、再発達しない場合の典型的な例として台風8019について解析し構造的な差異を求めた。1978~1981年の4年間について、温低化とともに再発達する場合とそうでない場合の移動速度の特徴的な変化を調べた結果、前者は加速後減速、後者は単調増加もしくは単調増加後一定という範疇に分類され、移動経路の分布上でも明確に分けられることがわかった。

1. はじめに

台風は中緯度偏西風帯へ侵入すると、台風周辺の間から温帯低気圧化が進行し、遂には台風の特性全てが失われ、温帯低気圧へ変化し、再発達もしくは衰弱し一生を終える。

台風の温帯低気圧化(以下、略して‘温低化’と記す)に関しては、Sekioka (1956, 1970), Matano・Sekioka (1971 a, b) が主に総観場との関連で議論しており、Brand *et al.* (1979) は北西太平洋で転向した台風の温低化を分類した。さらに、村松 (1982 b) は台風7916の温低化の過程をGMS・高層観測及びレーダエコー資料をもとに解析し、温低化の定義を明らかにするとともに、台風から温帯低気圧への構造の遷移過程を明確にした。

この偏西風帯での台風の温低化過程は次のようにまとめられる。1) 台風周辺の温度場・湿度場の非対称化、

2) 台風内核での組織的な対流雲域の消失、3) 降雨域・エコー域の進行方向前方への移行; という形で変化したあと、4) 大気中層・上層での台風循環の消滅、5) 下層循環中心まで下層前線帯が侵入し大気中層の乾燥域の到達; という時点で、台風の特性全てが消滅し温低化が完了する。この過程を他の例で検証し共通性を議論する。

一方、中緯度偏西風帯での台風の移動については、大河内 (1979) が数値予報モデルで理想化された台風の移動の研究を行っている。しかしながら、台風の偏西風帯での移動と温低化過程とを関連づけた研究は今まで行われていない。本論文では、中緯度偏西風帯での台風の移動に関して温低化過程と移動速度の変化を議論する。この中でGMS資料・レーダエコー分布及び高層観測データ等を用いた温低化の定義を明確化する。また、温低化とともに再発達するケースと再発達せずに衰弱過程へ進むケースの分類を行い、移動速度の変化パターン分類と台風(→温帯低気圧)の移動経路上における統計的分類から共通性を議論する。

2. 台風7916の温低化と移動速度の変化

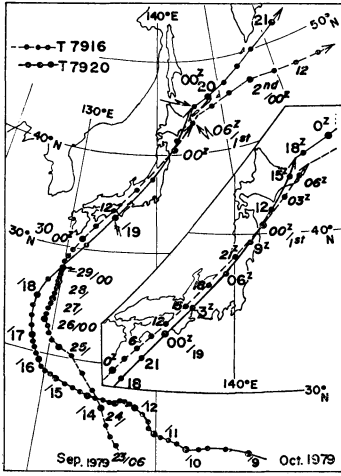
台風7916 (OWEN) の成熟期の構造は村松 (1982 a)

* The change of moving velocity on the stage of transformation from a typhoon to an extratropical cyclone.

** Teruo Muramatsu, 気象研究所台風研究部.

—1983年3月15日受領—

—1983年5月27日受理—

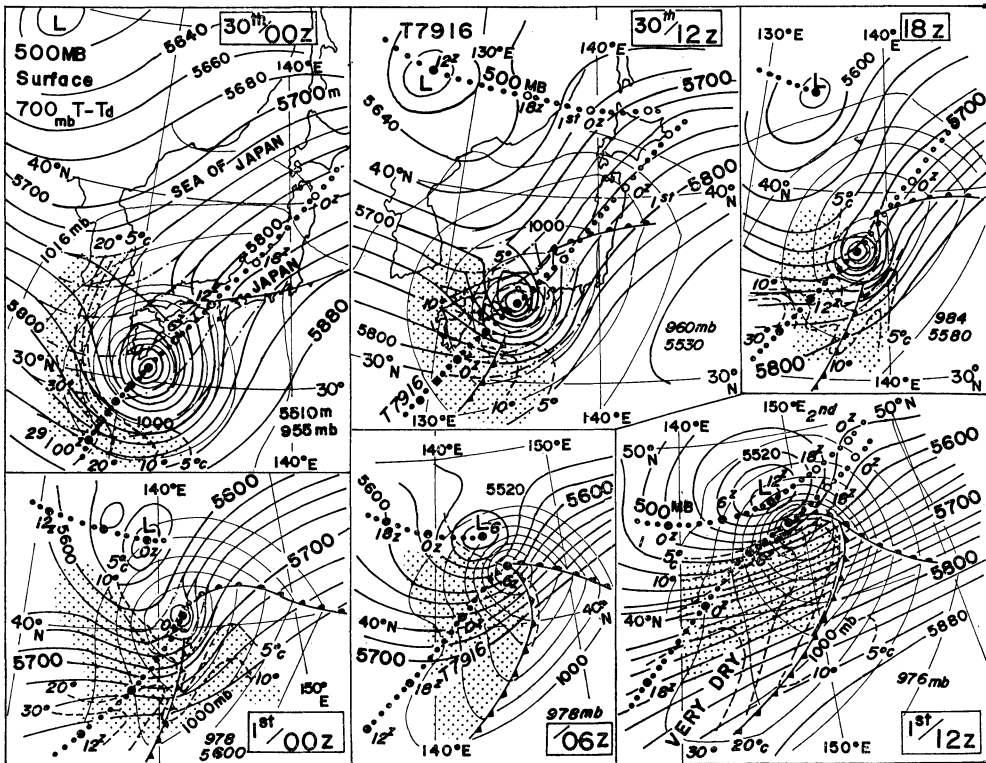


第1図 台風7916及び台風7920の経路図。

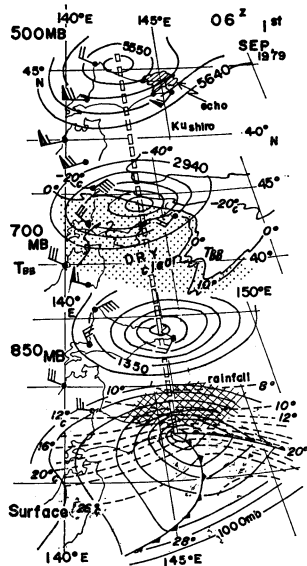
で解析され、次いでその台風の温帯低気圧への構造の変化は村松(1982b)で詳述されている。ここでは、中緯度偏西風帯での温帯化過程と移動速度の変化との関係を調べるため、前報(村松, 1982b)をもとに解析を進める。

台風は第1図で示したように9月23日グアム島西方で発生し、26日には中心気圧918mbに発達し、その後南西諸島沿いに北上し、29日に名瀬付近の28°Nで転向、偏西風帯で加速、北東進した。30日10Zに四国へ上陸し加速しながら日本列島を縦断し、10月1日06Zには根室付近で温帯低気圧となった。図中、黒丸は6時間毎の位置である。台風7916は奄美大島付近まで10km/hr以下と非常に遅かったが、偏西風帯に侵入後加速し、1日00Zには逆に減速した。

移動速度と温帯化過程との関連を研究するために、前報(村松, 1982b)をもとに、この温帯化過程について



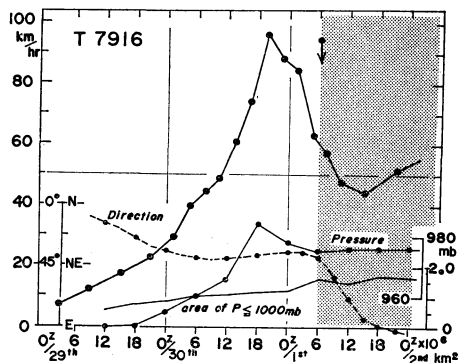
第2図 台風7916の温帯化過程；500mb高度場(太線)，700mb T-T_d(破線)，地上等圧線(細線)，ドットラインは台風→温帯低気圧の下層循環と500mb偏西風および乱の移動経路。1979年9月30日00Z—10月1日12Z。



第3図 台風7916の温低化完了時の鉛直構造（1日06Z）、500～850 mbの高度、レーダエコー分布（鉋路）及び T_{Bb}（相当黒体温度）分布。

述べよう。第2図に温低化過程の進行・完了過程について地上気圧・500mb高度及び700mb T-T_d（露点差）の分布の時間経過を示す。台風は29日06Zに偏西風帯へ侵入・転向・加速しつつ、30日00Zにはさらに加速しながら北東進した。500mbで見ると、この00Zには台風循環は明瞭で、台風特有の温度勾配・風速場を示し、地上からはほぼ鉛直な軸となっていた。30日12Zには紀伊水道付近に達し、村松（1982b）で解析されているようにレーダエコー分布・GMS画像ともまだ十分組織的な構造を維持していたが、18Zには中心構造が急激に崩壊し、エコー域（降雨域）も進行前方の北東象限へ移行した。それとともに500mbでの循環は急激に減少し、第2図で陰影を施した700mbの T-T_d ≥ 5°C の乾燥域が南西象限で中心より100km以内へ到達している。次いで、1日00Zには大気中層（500mb）の循環は直径200km以下となり衰弱し、1日06Zには図中、ドットラインで示した沿海州を東進中の偏西風じょう乱に併合され、台風循環は消滅、温帯低気圧として再発達過程となった。1日12Zには、閉塞期の温帯低気圧として成熟段階となり、渦管が北西へ傾き、なお発達しながら温帯低気圧として東進した。

この台風の温低化完了時の1日06Zの鉛直構造を第3



第4図 台風7916の温低化と移動速度の変化、中心気圧及び1000mbの閉じた等圧線の領域の変化。矢印は温低化完了時刻、陰影は温帯低気圧の期間。

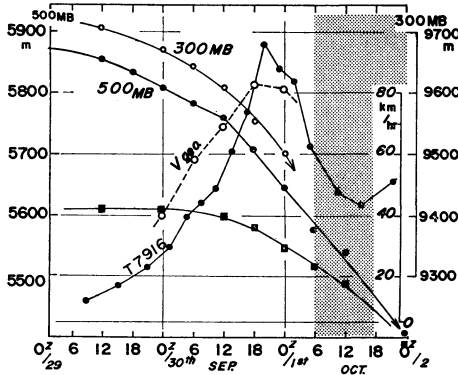
図に示す。GMSデータの T_{Bb}（相当黒体温度）分布で見ると、700mbの乾燥域に対応する T_{Bb}が0°Cの等値線が下層循環中心まで到達し、鉋路レーダのエコーで見てもエコー域外に下層循環中心がある。下層前線帯は循環中心まで侵入し、地上から500mbの循環中心軸は北西へ傾斜し、閉塞期直前の温帯低気圧の構造となっていた。

この台風7916の温低化過程における移動速度の変化を第4図に示す。転向点付近の29日06Zでは7km/hrと非常に遅かったが、偏西風帯へ侵入するにつれて速度が加速的に増加し、台風の中心構造が崩壊した直後の18～21Zの間には実に96km/hrとなり極大となった。この時を境に急激に減速した。温低化完了は1日06Zで、速度の極大は約9時間前に現れたことになる。

偏西風帯の大気中層の深いトラフの前面を北東進する台風の温低化過程と移動速度の特徴的变化は、第2図及び第4図から次のとおりである。

1) 移動速度は、イ) 偏西風帯侵入による急激な加速過程、ロ) 温低化完了直前の速度極大期、ハ) 中心核の構造の崩壊を伴う最終的な温低化過程の進行と偏西風じょう乱との併合・再発達過程における減速過程、ニ) 温低化完了後は閉塞期の温帯低気圧の構造へ成熟する段階での速度の極小期、ホ) 偏西風帯じょう乱（温帯低気圧）としての移動となり、このケースでは再加速となった。

2) 地上の中心気圧は30日18Zには984mbと最も浅くなったが、閉じた1000mbの等圧線の面積は増大傾向で、21Z以後は再発達過程になり、上記の減速過程と



第5図 台風循環を除いた偏西風場における台風中心位置における300mb及び500mbの高度変化及び地衡風速(500mb, 破線)の変化, 台風7916の移動速度の変化; 四角印は偏西風じょう乱の循環中心の高度。

一致していた。

3) 温低化が完了した1日06Zを境に下層循環中心の移動方向が、台風であった期間の北東進から急激に東北東、次いで東へと急変した。第2図の1日12Zの図中に示したように、進行方向のこの急変は、台風が一般流に流されて移動していたのが、温低化完了後、偏西風帯のじょう乱の移動へと変わったことを意味する。

上述のように、中緯度偏西風帯における台風の温低化過程と移動速度の変化は密接な関係をもち、深いトラフの前面を北東進する場合は急加速後、温低化直前から急減速となる特徴的な変化をすることが指摘できる。

台風7916の場合は温低化後再発達するケースであり、再発達しないケース(第4章)との分類は第5章で議論する。

一方、なぜ偏西風帯で移動速度が加速するかを台風7916の例で考察してみよう。台風循環を除いた偏西風帯の高度場の中における、台風の中心位置での300mb及び500mbの高度の時間変化を第5図に示した。この台風は、日本列島の高層観測網の中を移動し、6時間毎の観測データが詳しく得られたケースである。

第2図に500mb高度場(実線)と台風循環を除いた場(鎖線)を示したが、この点については村松(1982b)により詳しく解析されている。この第2図及び第5図から偏西風帯での加速について次の点が明らかになった。

まず第1点としては、台風循環中心における500mbの偏西風帯の高度場の変化は、転向点から高度が漸減し始め、台風の色度が増加するに従い29日12Zからは高度

がさらに低下し、速度の急加速が始まる30日9~12Zを境に高度の降下の傾きが増大した。300mbでも同様な傾向を示していた。このことは、500mbや300mbの偏西風帯の等高線を横切りながら台風循環が北東に移動していることを意味し、その結果として、台風の移動速度が増大していると言える。

大気中層での偏西風の流れは、極大風速軸までは極側へ行くほど風速が増大する。一般に台風循環はほぼ鉛直の渦管をもち、500~200mb付近の高度の指向流(steeering current)で流される(Miller, 1958)。第5図に示すように、台風を流す偏西風場の中で、台風の中心における高度が時間の経過とともに減少することは、偏西風のより強い流れの中への侵入を意味する。指向流で流されるという移動メカニズムで言えば、より偏西風の強い流れの場への侵入、即ち加速されるという点が定性的に理解される。

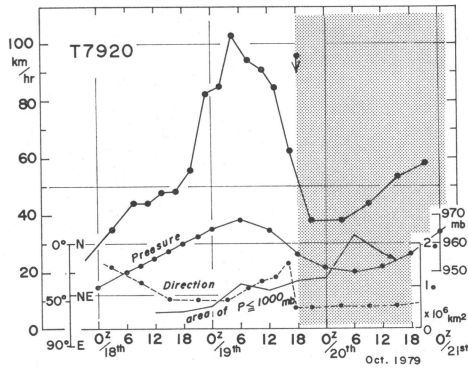
なぜ偏西風帯の等高線を横切って渦管が低圧部側へ侵入するかは十分論証されていないが、一つの考察としては南北の風速シャワーのある流れの中を反時計回りの回転をもった渦管が移動する場合、シャワーによって低圧部側への外力が加わるためと考えられよう。

第2点として、指向流レベルでの台風の中心位置における偏西風場と移動速度との関係を見るため、500mb地衡風速の時間変化を第5図に破線で示した。第4図の速度変化(第5図に合成)と比較すると、台風の移動速度は、中心構造が崩壊し温低化が急激に進行する30日18Zの直前までは地衡風速のほぼ70%で移動し、第2図からも明らかなように、方向についてもほぼ一致していることがわかる。しかし、温低化が最終段階に達し、偏西風帯じょう乱との相互作用が始まった30日18Z以降はこの関係は薄れた。温低化が完了した1日06Z以後の下層循環中心の移動は、偏西風帯じょう乱の500mbの渦の移動とともに動く動きとなり、温低化完了を境に台風の場合の指向流による移動のメカニズムから温帯低気圧のそれへと変わり、根本的な差異を示した。30日18Z~1日06Zの間がその遷移段階であった。

3. 台風7920の温低化と移動速度の変化

3.1. 移動速度の変化

前章では、台風7916の温低化過程と移動速度の特徴的な変化との密接な関連性を議論した。ここでは、第1図の経路図で明らかなようにコース・温低化過程ともによく似たケースの台風7920について同様な解析を行った。



第6図 台風7920の温帯化と移動速度の変化。図の説明は第4図と同じ。

台風7920は、10月12日04Zにはグアム島西方で中心気圧870mbまで発達した超大型の台風であった。18日00Z(945mb)には25°N付近で転向して北東進し、偏西風帯での加速が始まり、日本を縦断し後述するようにオホーツク海南部に抜けた19日18Zには温帯化した。

第4図と同様に、台風7920の転向点以後の移動速度の変化及び中心気圧、1000mbの閉じた等圧線内の面積の変化を第6図に示した。下層循環中心の移動速度の変化の特徴は台風7916(第4図)とよく一致している。移動速度について、イ) 偏西風帯内で北東進する加速期、ロ) 中心気圧が最も浅くなった時の極大期、ハ) 温帯化の急激な進行と再発達による減速期、ニ) 移動速度の極大からほぼ12時間後に温帯化は完了し、閉塞期の温帯低気圧として成熟する期間の速度極小期、ホ) 偏西風帯のじょう乱として移動した20日06Z以後の再加速期; という特徴的な変化がみられた。またトラフの前面を北東→北北東進してきた進路を、温帯化完了後には東北東へ不連続に変えた。台風7916の場合と同様に、温帯化完了後、偏西風帯じょう乱として移動したことを意味する。

3.2. 温帯化過程

次に、台風7920の温帯化過程についてGMSデータ、レーダエコー分布及び高層観測データを用い構造の変化を解析してみよう。第7図は転向点付近(18日00Z)から偏西風帯内で温帯化が完了したあと20日00Zまでの6時間毎のGMS画像である。

台風の偏西風帯侵入による加速が始まった18日00Zの可視画像では、直径1000kmを越す南西-北東の軸をもった渦状の雲システム(中心気圧935mb)が明瞭であった。次いで18日06Zには沖縄(那覇)付近、12Zには名瀬の両観測点を通過し、台風特有の暖気核、傾度風平衡

など成熟期の台風の鉛直構造が観測された。しかしながら、この強い台風構造をもった時点ですら、台風の北西~西象限で寒気移流を示唆する層積雲域が拡大して来ており、温帯化の進行が始まっていることを示している。日本列島には偏西風帯特有の前線性雲バンドがすでに停滞している。

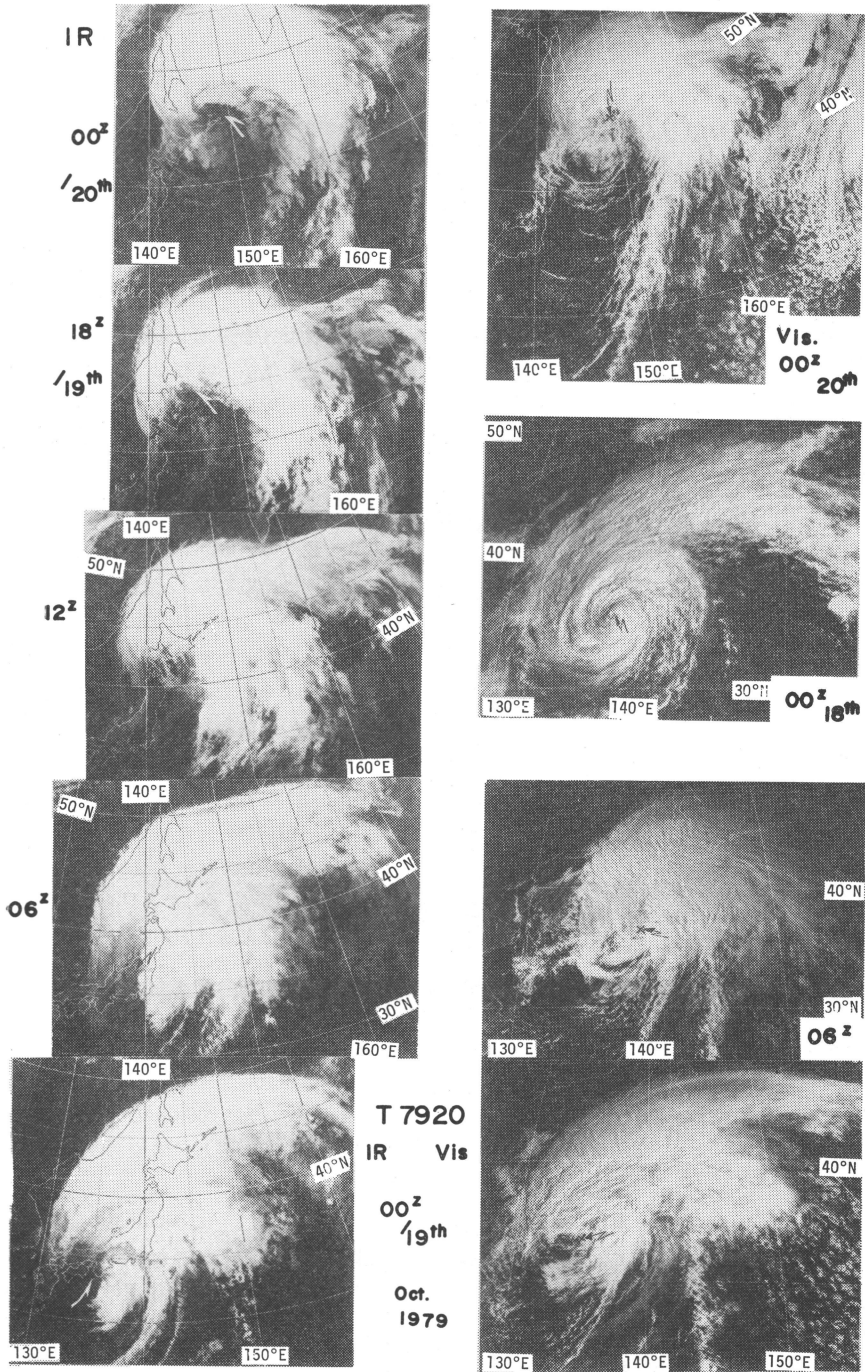
台風は加速しながら、19日00Zには潮岬の西方50kmを通過し、同観測点では00Z及び01Z(観測の復行)の観測が台風中心の近傍で行われ、周辺データを含め構造が解析された(福井, 1980)。その中でイ) 400mbを中心として暖気核が明瞭で、10月の平均状態からの偏差で14°Cも高温であった、ロ) 台風後面での高度偏差が300mbで正から負へ符号を変え、ハ) 混合比では700mbを中心として全層で減少した; と報告されており、偏西風帯へ侵入した台風循環の構造を示し、台風7916の場合とよく一致している。

このように台風特有の循環場・暖気核が明瞭な19日00Zとそれに続く06Zの赤外・可視両画像を比較してみると、台風の雲システムの構造は進行方向へ長軸をもった楕円状パターンが顕著であり、組織的な深い対流雲域は台風中心の南から北東側に観測され非対称化の進行が著しい。台風7916の場合と同様に、進行前方への降雨域の移行という温帯化の進行を示している。

しかし、19日12Zになると台風中心域の渦状パターンが不明瞭化し、18Zには台風循環を示す形状の特質は消失し、温帯化が完了したと見られる。6時間後の20日00Zの画像では前線性雲バンドを伴い、極側に高気圧性曲率をもった網雲の覆いのある閉塞期の温帯低気圧の特徴を満たした雲システムとなり、成熟過程の進行を意味している。

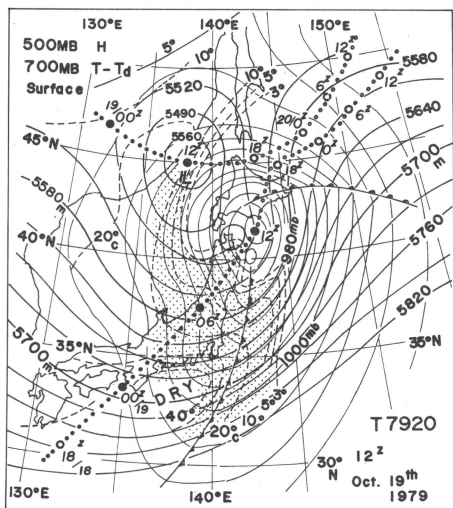
第8図に温帯化完了6時間前の19日12Zの地上等圧線と500mb高度及び700mbのT-Ta分布を示した。台風7916の温帯化の最終段階であった1日00Zの特徴と非常によく一致を示している。即ち、沿海州を東南東進して来た大気中層(主に500mb)の偏西風帯じょう乱の南東象限へ、北東進してきた台風循環が侵入し、両者の相互作用が始まった。地上循環の中心気圧の低下と1000mb領域の拡大という下層循環の再発達が進行し、第2図の1日00Z(温帯化完了6時間前)の台風7916の鉛直構造-500mbの偏西風帯じょう乱と台風循環、700mbのT-Taの乾燥域の侵入-とよく一致を見せた。

さらに、第8図の時刻の前後の変化を見るため、19日12Zを中心とした東北・北海道の高層観測点ごとの大気

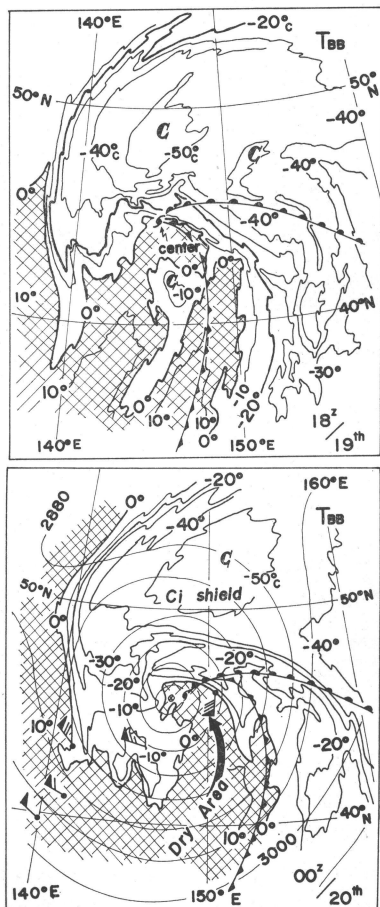


第7図 台風7920の温帯化過程(GMS画像), 19日00Z~20日00Z(赤外)と18日00, 06Z, 20日00Z及び急加速期直前の18日00Z(可視), 小矢印は下層循環中心.

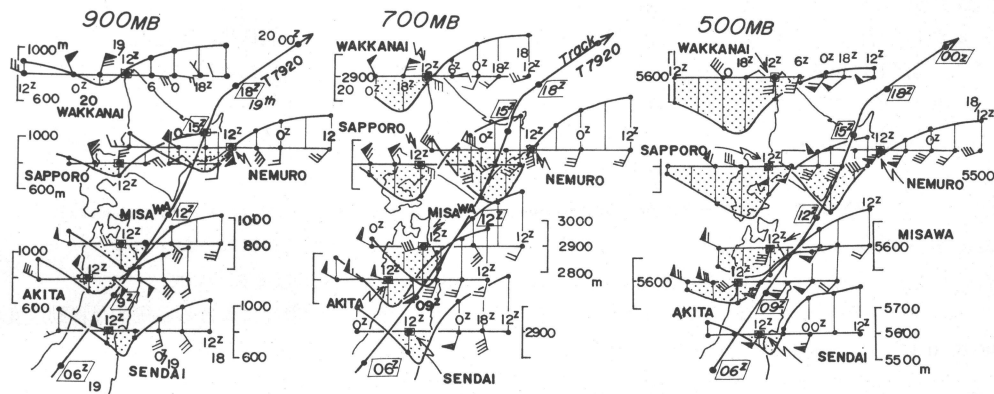
下層から中層の3レベルの高度と風の時間変化を下層循環の経路とともに第9図に示した。特徴点は次のとおりである。1) 下層(900mb)では台風循環が最も接近した時刻に高度の極少が現われ、台風中心付近ほど高度低下が顕著である(仙台の08Z)。2) 一方,500mb(中層)で見ると、仙台(38°N)付近までは台風循環が認められるのに反し、それより北では偏西風帯じょう乱の通過が45°N(稚内)をピークに認められ、根室・札幌とも偏西風帯じょう乱による極少であった。また700mbでは札幌で15Z頃に循環の東進が認められ、700mbを境



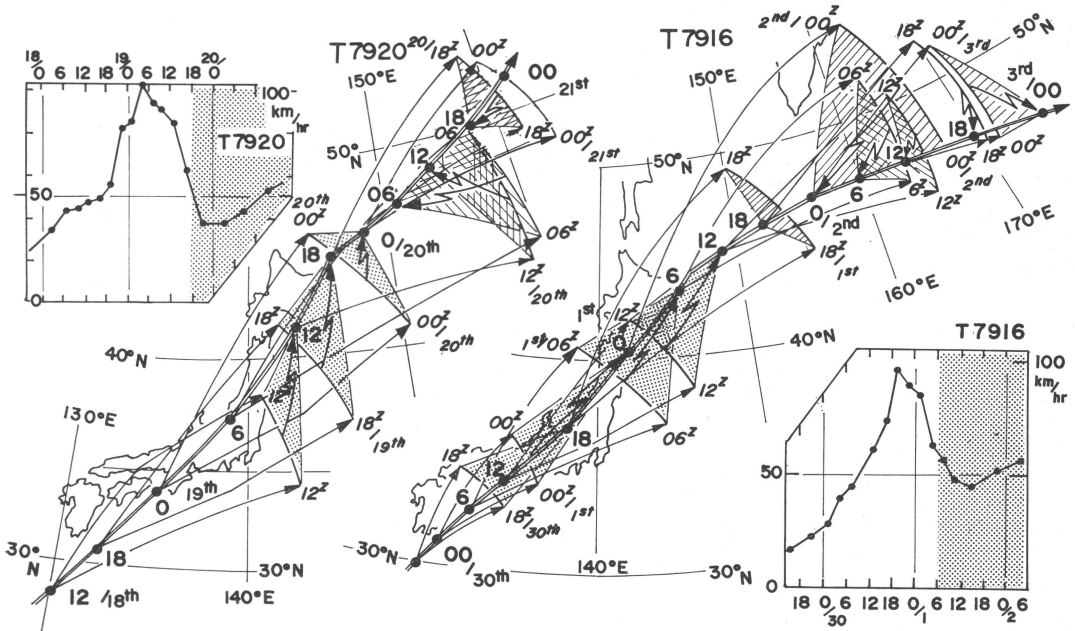
第8図 温低化直前の構造(19日12Z), 500mb 高度, 700mb T-T_d 分布(点影は乾燥域)及び地上気圧。ドットラインは台風及び500mb じょう乱の移動経路。



第10図 台風7920の温低化完了時の TBB 分布と乾燥域(斜線域), 上図は19日18Z, 下図は20日00Z(700mb 高度場を合成)。



第9図 台風経路に沿った仙台・秋田・札幌・稚内・根室の高層気象観測データの19日12Zを中心としたタイムシーケンス, 900mb(下層), 700mb, 500mb(大気中層)の高度と風の間。



第11図 台風7916及び台風7920の予報位置の誤差。点影は予報位置の遅れを示し、斜線域は予報位置の先行を意味する。

に明確に異なった変化を呈している。

第8図の500mb じょう乱と台風の移動経路と、この1), 2)の特徴を合わせ考察すると、大気中層に顕在化している偏西風帯じょう乱の東進通過と、大気下層に渦度の極大をもつ台風の北東—北北東進が認められ、最終的には19日18Zの時点で台風循環が大気中層で消滅するとともに、オホーツク海南部で下層と上層の渦管が繋がれ、温低化が完了した。この時刻はGMS画像上での解析とも一致する。さらに以下に述べるように、GMSのT_{Bb}データからも台風7916の場合と全く同様な温低化完了の定義を満足している。

第10図は19日18Z及び20日00ZのT_{Bb}の分布である。18Zには湿度の観測はないので、GMSの画像上の形状パターンから見てすでに典型的な温帯低気圧となっている20日00Zの時点での700mbのT-T_d分布と、T_{Bb}から見た乾燥域の侵入を比較してみた。第10図下段をみると、台風の下層循環中心の東100km付近の高層の観測点(32186)では、すでに大気中層に乾燥域が認められ、T_{Bb}の0°Cの等値線もすでに循環中心まで侵入している。このT_{Bb}に相当する温度はごく低い下層雲か、または雲のない海面の領域を示し、T_{Bb}の0°Cの分布は第7図の可視画像(20日00Z, 右上図)と比較しても

閉塞期の温帯低気圧の成熟期特有のdry slot(細長く巻き込まれた乾舌)の形状を呈している。この時点から逆にさかのぼると、18Zには下層循環中心まで大気中層の乾燥域が到達しているのを示すT_{Bb}の0°Cの等値線が循環中心まで侵入し、T_{Bb}分布から見た温低化の完了の条件を満たしている(村松, 1982b)。

以上の解析から、台風7920の温低化現象は台風7916とほぼ同じメカニズムで進行したことがわかる。この温低化のメカニズムと移動速度との関係は、偏西風帯への侵入での加速過程→温低化の急速な進行→温低化完了直前の速度極大→温低化最終段階と偏西風じょう乱との相互作用による再発達期の減速過程→温低化完了後の閉塞低としての温帯低気圧の成熟過程による極小期→偏西風じょう乱(温帯低気圧)としての移動という過程を経ることがわかった。台風7916の場合と温低化過程は一致していることが明らかになった。

3.3. 予報位置の誤差について

このような温低化過程における系統的な移動速度の変化が考慮されない場合は、台風の進路予報において大きな誤差を生ずる結果となる。第11図は台風7916及び7920の24時間予報扇形と24時間後の実際の中心位置とのズレ(誤差)を表したものである。台風7916の場合、偏西風

帯領域での加速期（30日18Zまで）では台風の移動速度の増大に予想速度が追いつかない、つまり予想位置が実際の位置に追いつかない。例えば、30日06Zを初期値とする24時間後の予報位置の扇形は41°N 139°Eと37°N 144°Eであったが、実際は根室付近（1日06Z）に進み、扇形中心との誤差は550kmとなり、同様に30日00Zの初期値からでは約800kmの遅れとなった。

一方、台風は温低化の最終的な進行とともに18Z~21Z以後は急減速過程へ移行し、温低化完了（1日06Z）以後は速度極少期となり、極大値（96km/hr）の半分以下の速度となった。この減速過程の中心時刻である1日00Zを初期値とする24時間後の予報位置（2日00Z）は、今度は逆に予報位置が実際の位置より先行し、2日00Zの実際の中心位置とは約800kmの誤差を生じた。30日18Z~1日00Zの移動速度80~90km/hrが、その後の急激な減速期とそれに続く極小期で速度が約半分に減速したことによる。

この偏西風帯内の加速期での予想位置の遅れと、減速期における予想位置の先行の符号の入れ替わる期間中は、誤差が相殺され、予想位置の誤差は小さかった。

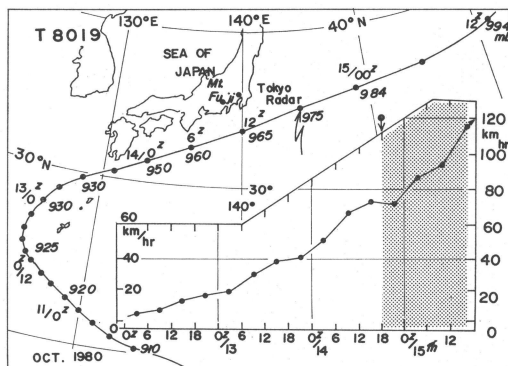
全く同様な結果が台風7920の場合にもあった。移動速度が19日03~06Zの間で103km/hrの極大となり、その後減速して極小期へと移行した。偏西風帯内侵入での北東進、急加速過程に入った18日12Z, 18Zを初期値とする24時間後の予報扇形は第11図左のごとく、400~600kmの遅れの誤差を生じた。一方、減速過程への移行では、加速中の19日06Zを初期値にした24時間後の予報位置で約650km先行し、実際の位置が遅れた。先行及び遅れの傾向は台風7916と同じであった。

また、温低化完了後、偏西風帯じょう乱として移動したため、台風7920から変わった温帯低気圧の移動は、台風としての北東→北北東進した後、温低化完了とともに、東北東へとその進路を不連続に変えた（第8図）。そのため、予報扇形の最も北側を移動するという結果となり、予報位置の誤差の増大をもたらした。台風7916の場合も同様である。

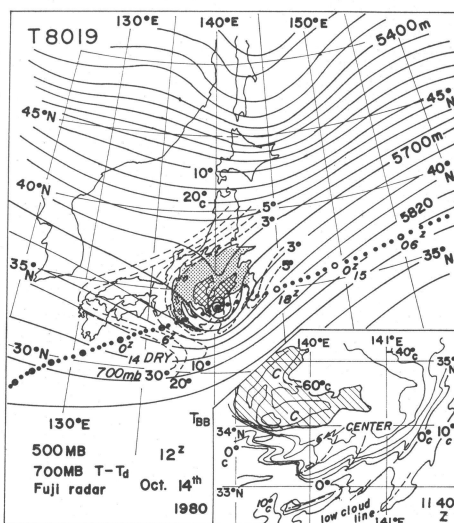
この様に、偏西風帯の深いトラフの前面を北東進し、温低化とともに温帯低気圧として再発達する場合は、進路予報上きわめて重要な要素として移動速度の変化を取り入れなければ大きな系統的な誤差を生ずる結果となる。

4. 再発達しない場合の温低化と移動速度の変化

温低化過程で再発達しない場合を台風8019の例で解



第12図 台風8019（再発達しないケース）の移動経路及び移動速度の変化、矢印は温低化完了を示す（18Z）。

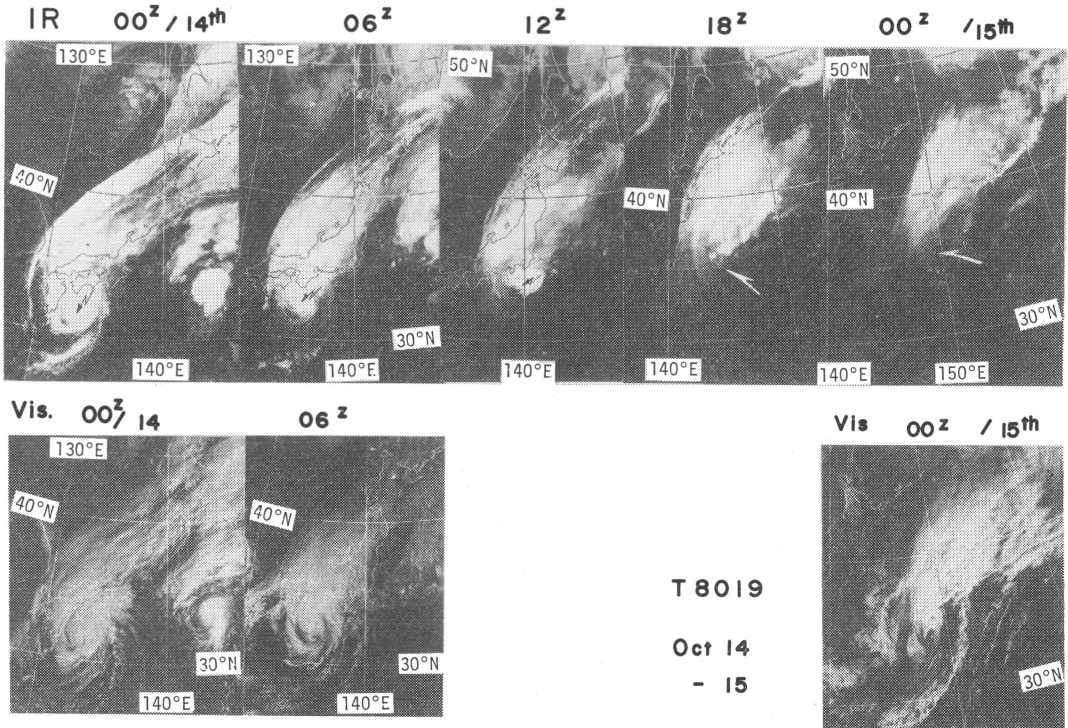


第13図 台風8019を取り巻く偏西風場（500mb）、700mb $T-T_d$ 分布と富士山レーダエコー分布（網目はエコー強度、4mm/hr以上、点彩は0~4mm/hr）、—； T_{BB} 分布（斜線域は $T_{BB} \leq -60^\circ\text{C}$ の低温域）、1980年10月14日12Z。

析する。台風は10月4日に発生し、9日には中心気圧が890mbまで発達、以後第12図に示すように13日00Zには東シナ海の25°N付近で転向し、日本の南岸沿いに東北東進し、14日18Zには温帯低気圧となった。

4.1. 移動速度の変化と偏西風場

移動速度の変化を見ると、台風は転向点から速度を漸増しながら北東進し、13日03Zには東北東へ進路を変えるとともに加速の勾配は大きくなり、衰弱・温低化完



第14図 GMS 画像上での台風 8019 の温低化過程; 14日00Z~15日00Z; 温低化完了は18Z.

了・温低化過程での移動もほぼ単調加速であった。台風 7916 などの再発達するケースでの加速後急減速とは好対照な変化である。

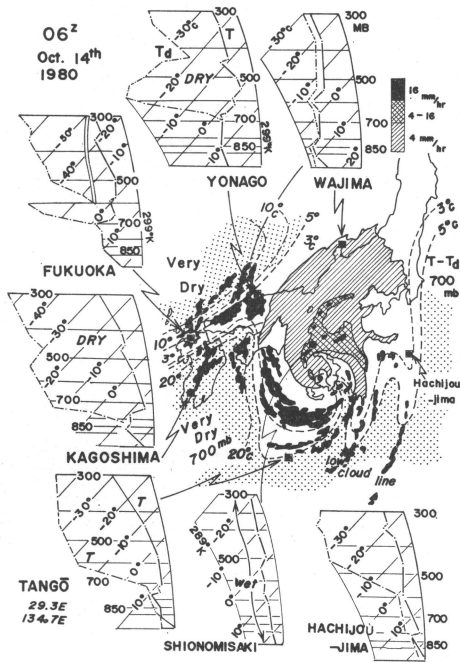
偏西風帯の場の特徴を見るため、この台風 8019 及び台風から変わった温带低気圧の移動経路と、温低化完了直前の14日12Zの500mbの高度場とを第13図に合成して示した。第2図及び第8図で示したような偏西風帯トラフ示の前面を北東進する場合と比較して、この場合は台風周辺の500mb場がゾーナル流かやや西南西-東北東走向の流れの場であり、台風と相互作用を引き起こす偏西風帯じょう乱はない。10月中旬のこの海域では、海面水温から見て台風自体の勢力を維持するだけの海面からの潜熱エネルギー補給は考えられず、偏西風帯じょう乱との相互作用なしでは衰弱過程へ移行するのみであろう。事実、台風は18Zには975mbで温低化が完了し、その後は再発達もなく、1日12Zには996mbと急激に衰弱した。

4.2. 再発達しない場合の温低化の構造の変化

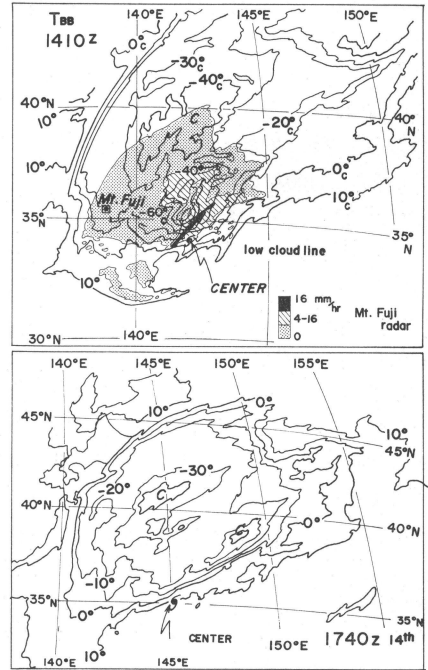
まずこの過程について GMS 画像上での変化を概観し、再発達するケースとの比較を行う。第14図は、偏

西風帯で転向・加速しながら温低化過程をへて、温低化後に衰弱するという台風 8019 の過程を GMS 画像上の6時間ごとの変化で追ったものである。

転向後、本格的に偏西風帯へ侵入した台風は、13日00Zにはまだ中心気圧 930mb と強い勢力を維持していた。その後東北東進し、移動速度が約 43km/hr となった14日00Zには 950mb となり、速度を速めながら衰弱傾向となった。第14図の14日00Zの画像では北側に前線性雲バンドが南西から北東にのび停滞しているが、台風自体としては CDO (central dense overcast) が円形状を保ち、スパイラル状の雲列も明瞭であった。06Zも同様な台風特有の形状が維持されていた。しかし12Zになると、CDO は引き続き維持されているが、06Zに較べ台風循環の中心位置が南縁へ移動し、形状的に見て組織性が悪くなった。このあと1410Z、1540Zの画像(省略)では、この CDO を形成する Ci canopy が急激な消滅過程をたどり、18Zには CDO は消滅し、同時に中心付近の組織的な深い対流雲域もなくなり、台風特有のパターンは消失した。15日00Zの可視・赤外画像上では循環中心付近はごく下層の雲域のみで、前線を弱いじょう乱が



第15図 温低化過程が進行中の台風のレーダエコー、GMS (low cloud) 及び周辺の高層観測点の状態曲線、破線は 700mb $T-T_d$ 分布; 14日06Z.



第16図 温低化完了 (18Z, 下図)と直前 (1410Z, 上図)の TBB 分布及びレーダエコー分布 (富士山, 1400Z). 矢印は台風循環中心.

移動する際に見られる、北北東—北東へ延びた Ci shield を伴った雲バンドのみで、雲システムの Ci shield が大きな曲率をもたない点が T7920 など再発達する場合の雲システムと著しく異なっていた。

この台風の最終的な温低化構造の変化を見よう。第15図は GMS で見た温低化完了の12時間前の14日06Zの構造とその周辺の場である。富士山レーダのエコー分布では、台風を中心域には直径120kmを越す eye wall が北側に偏しながらも観測され、南東から巻き込むような明瞭なスパイラルバンドが中心の北側を通り eye wall へ連なり、下層雲の Cu line の密な雲域を含め渦状パターンは直径 500km に及び、エコー域でも台風循環が明瞭であった。

この渦状パターンの北側には偏西風帯と台風との相互作用でできた対流性と層状性のエコーが混在した面状エコー域があり、その北西側は高気圧性曲率をもちながら鋭く切れ、GMS 画像上では Ci shield で覆われ濃密な雲域として観測されている。このエコー域及び雲域は台風が偏西風帯へ侵入した時の特徴的な形状である。ただし、再発達する場合はこれらが進行方向前方へ移行(村

松, 1982 b) している点異なる。

また 700mb 面での $T-T_d$ 分布に見られる乾燥域は、周辺の高層観測の状態曲線で見ると非常に乾燥した下降流領域として大気中層で台風後面へ侵入していた。GMS 画像で台風の南西象限に見られる下層雲のスパイラル状の雲列群は、その雲頂温度が約 10°C と、700mb 付近にある逆転層の下にあり、それより上は沈降性の乾燥域となっており、南西象限では eye wall のすぐ外側まで侵入しているのがわかる。0734Z の偵察飛行データで詳細に見ると、700mb 面の $T-T_d \geq 5^{\circ}\text{C}$ の slot 状の乾舌が南東象限から巻き込むように eye wall の切れた領域まで侵入し、温低化の急速な進行が認めうる。一方、台風の北 140km の潮岬では全層飽和であり、300mb で -22°C と周辺 (-30°C) と較べて明瞭な暖気核が存在している。

次いで12Zには第13図に示したごとく、富士山レーダエコーでは台風構造も明瞭で、GMS 観測の雲頂温度も TBB で -70°C 以下と活発で、台風中心も CDO 内にあり、500mb の渦循環も八丈島の12Zの観測(南70km 付近)でも明瞭に観測されている。しかし06Zに較べ

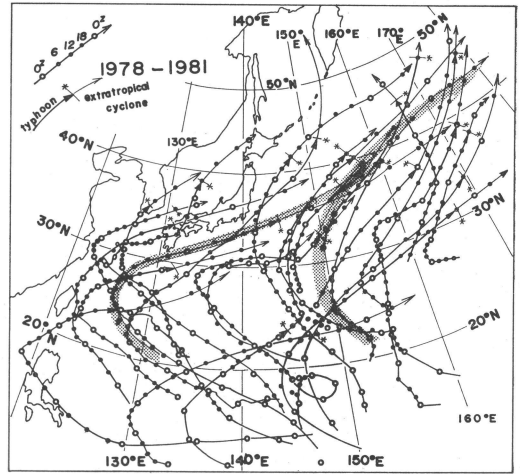
コー域は全体的に北側へ移行し、台風の中心域での渦状パターンは不明瞭化しつつある。700mbの $T-T_d$ でも、八丈島で 5°C となり大気中層の乾燥域が中心付近に到達する直前であったことを示していた。

このあとのTBB分布の変化を第16図に示す。1410ZのTBB分布に1400Zの富士山レーダエコーを合成(10分間移動させたもの)したものが第16図上段である。第15図(06Z)、第13図(12Z)に較べ明らかにeye wallが崩壊している。しかしながら台風循環を示すスパイラル状のエコーパターン及びTBBの分布が不明瞭ながらもなお見られ、下層雲・エコー域の曲率から推定した台風中心は 34°N 142°E 付近に決められる。下層循環中心はまだTBBが 0°C 、 $+10^{\circ}\text{C}$ 線の低温側にあり、雲がないかもしくはごく低い雲頂高度をもつ下層雲域が循環中心までまだ到達していないと言えよう。最終的な段階である1740Zには台風中心は 35°N 、 145°E 付近まで進み、1410Z及び1200Z(第13図)のTBB分布・エコー分布で見られた台風特有の曲率をもった雲域・エコー域とも急激に消滅し、TBBが -60°C ~ -70°C の雲頂温度をもつ雲域も消えた。循環中心はTBBが 10°C の等温線より高温側で観測され、大気中層の乾燥域を示唆する背の低い雲域か雲なしの領域が下層循環中心まで広範囲に到達した。台風7920及び7916と同様な定義に基づけば、14日18Zの時点で温低化完了の条件を満足していることがわかった。

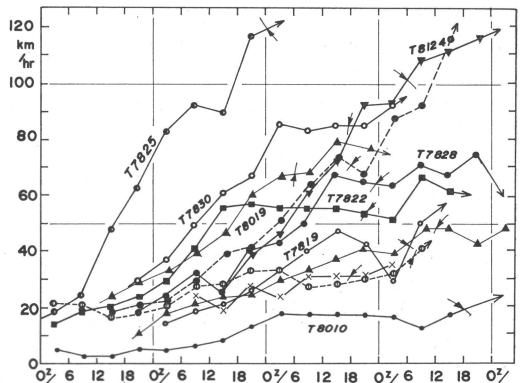
再発達する場合の構造の変化との違いは、500mbの流れが東西流に近く、組織的なエコー域が進行方向の象限ではない北側に存在しており、温低化完了の時点で中心の南側は雲がないか背の低い雲域となり、進行方向と直角に近い南北方向のコントラストが顕著であった。再発達するケースでの中心の進行方向の前面にあたる北東象限の組織的なエコー域と南西象限の背の低い積雲列という北東-南西の構造と著しい違いが認められる。移動速度の特徴的な変化でも、再発達するケースでは加速後減速であったのに比べ、再発達しないケースであるこの例では単調に増加するという明らかな差が見られる。

5. 移動速度の特徴的な変化と経路図による分類

前述のように、移動速度の変化においてが従来指摘されていなかった「偏西風帯で台風の温低化の進行・完了とともに移動する速さが加速後減速」という特筆すべきパターンが存在し、再発達との密接な関連性が解析された。ここでは、このようなケースがどのくらい起こり、



第17図 温低化後再発達しないケースの台風、温帯低気圧の経路図。点彩は主要な経路、1978~1981年。温低化完了点は経路上、細線で切った*印の地点である。



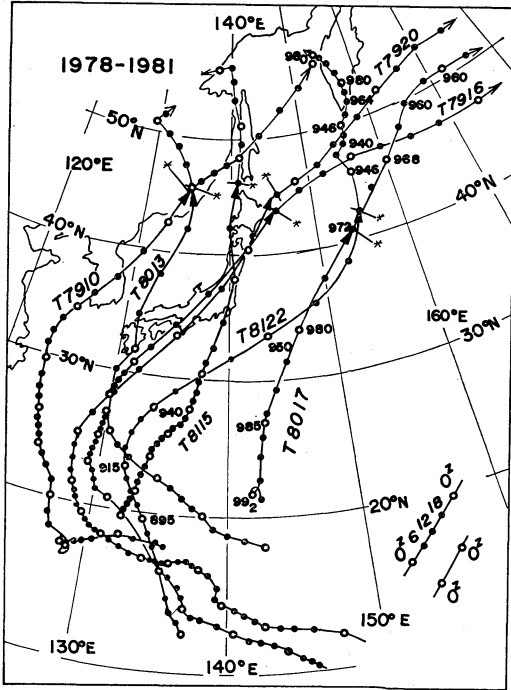
第18図 再発達しないケースの移動速度の変化(代表的な12例)、1978~1981年。折れ線上の矢印のクロスは、その時点で温低化が完了したことを示す。

共通性のある分類が可能かを議論しよう。

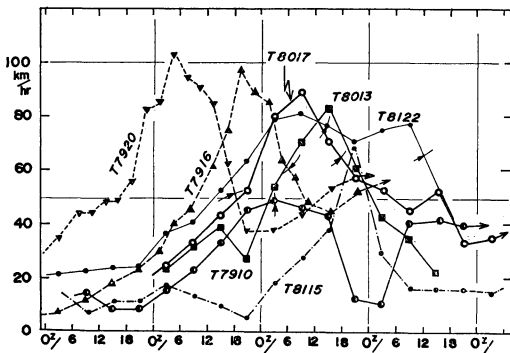
1) 台風の中心位置誤差精度の問題、2) データの粗大な海上での温低化が多い; という理由から、GMSの画像がルーチ的に使われた1978年以後1981年までの4年間の全ての台風について再検討し、大陸に上陸して消滅した台風などを除き偏西風帯で転向したケースを選択した。

5.1. 再発達しない場合の温低化の分類

まず第17図に温低化過程で減速過程を含まない台風



第19図 再発達する温帯化のケースの経路図, 1978～1981年, 説明は第17図と同じ.



第20図 再発達するケースの移動速度の変化図, 説明は第18図と同じ.

(温帯化後を含む)の経路を示し, その代表的なケースでの転向点以後の移動速度の変化を第18図に示す. 第18図で明らかなのは, この分類に属する台風は偏西風帯で速度の変化が一様加速か加速後一定かの2種類がある. いずれの場合でも, 第4章で代表例として解析した台風8019のように再発達せずに温帯化過程をとっている.

この分類の台風経路上の特徴点の一つは, 1) ゾーナ

ル流又は西南西一東北東流上を35°N以南で東北東進する場合であり, 2) 他の一つの主要な経路は日本の東海上150°E以東を北東進する場合である. この様な場合は台風の西側には台風と相互作用を起こすような偏西風帯のじょう乱は存在せず, 大気中層の500mbのトラフもなく, 台風自体が周辺から温帯化しても再発達し難いことがわかる.

5.2. 再発達する場合の温帯化の分類

次に, 台風7916(第2章)及び台風7920(第3章)と同じ加速後減速の変化パターンを示す場合の経路図を第19図に, その移動速度の変化を第20図に示す. 第19図中, 太線が台風経路で矢印までが台風, 細線の部分が温帯化後の経路である. 移動速度が偏西風帯内加速と温帯化過程の最終段階での減速という特徴的な変化を示し, 8例とも共通している.

特に, 強調したい特徴点は;

1) 第17図と比較して, 移動経路が150°Eより西側で日本付近を北東一北北東進する経路に限られ, 大気中層の深いトラフの前面(南東象限)に台風が侵入し温帯化したケースである. 2) 台風8122の場合は寒冷渦の周辺を回るケースで, 温帯化直後から再発達し, 温帯化6時間後に946mb, 24時間後には940mbと非常に発達した温帯低気圧となり, 移動速度もそれまでの80km/hrから20km/hr以下と急減速した例である. 3) 加速後, 温帯化・再発達による減速という特徴的な移動速度の変化が共通している.

この第17, 18図で分類される単調加速または単調加速後一定という変化パターンと再発達しないケースが一致し, 第19, 20図の加速後減速という変化パターンの分類に偏西風帯じょう乱との相互作用による再発達の分類が一致し, 両者とも経路図上での分類が明確である. 台風の温帯化過程と移動速度の変化が密接に関係していることがわかり, 進路予報上の重要な因子となることがわかった.

6. まとめ

1977年のGMSの打ち上げ後, 1978年には3時間間隔の画像がルーチ的に使われ, 台風の中心位置の決定精度の向上と温帯低気圧への遷移過程が詳しく議論できるようになった. 本報では偏西風帯内の南北の温度傾度をもつ傾圧帯へ侵入した成熟台風の温帯化問題と移動速度の変化との関係を調べた.

まず第1の結論としては, 偏西風帯内での成熟した台

風の温帯化過程について、台風の移動速度の変化と温帯化過程に密接な関係があることが明らかになった。偏西風帯の深いトラフの前面（南東象限）を北東進、偏西風帯じょう乱と相互作用し再発達する場合の台風の温帯化について、台風7916及び7920について解析した結果、次のような特徴点が明らかとなった。

1) 移動速度の変化は；イ) 台風の偏西風帯侵入での急加速期、ロ) 温帯化完了6~12時間前の速度極大期、ハ) 温帯化過程の最終的な段階で偏西風じょう乱との相互作用により再発達する過程での急減速期、ニ) 温帯化完了後、閉塞期の温帯低気圧として成熟する段階での速度極小期、ホ) 偏西風じょう乱の温帯低気圧としての移動；という加速後減速の特徴的な変化パターンを示した。

2) 温帯化完了後は偏西風帯じょう乱としての移動となるので、移動方向はそれまでの台風循環としての北東-北北東進から東北東-東へ移動方向の偏倚がもたらされた。

3) 温帯化完了の定義は村松(1982b)で定義したように“大気中層での台風循環が消滅し、乾燥域が下層循環中心まで到達し、台風としての特性が全て失われた時点”をとると、台風7920でも台風7916と同一な温帯化過程と温帯化の完了条件が満足された。

偏西風帯で台風が加速する原因としては、台風循環を除いた500mb偏西風場の等高線を台風が横切って進む結果であると考えられる。即ち、極側へ行く程増大する風速場内で時間の経過-北北東-とともに偏西風の強い領域へ侵入し急加速となる。温帯化完了直前まで移動速度は500mb地衡風速の約70%で移動し、完了後は一時減速し、その後は500mb偏西風帯じょう乱とともに移動する。温帯化完了の前と後では移動メカニズムに根本的な差異があることがわかった。

この移動速度の系統的な変化が台風・温帯低気圧の移動予測にあたって考慮されない場合、加速期には予報位置が実測より遅れ、逆に急減速期には予報位置が先行し、実際の位置が遅れてしまうことになり、十分注意する必要があることが明らかになった。

第2の結論としては、偏西風帯における温帯化過程で加速後減速という特徴的な変化をする種類とは別に、移動速度が単調加速か加速後一定という変化形態があり、温帯化とともに再発達しないケースがこの型に分類されることがわかった。さらに温帯化とともに再発達するかどうかで台風の経路上に差があるかを、1978~1981年の4年間の統計で分類した結果、次の点が明らかとなった。

1) 再発達する場合-偏西風帯での加速、再発達過程での減速-は、イ) 台風経路上では150°E以西の日本付近で、500mbトラフの前面を北北東-北東進する経路である。ロ) 再発達したケースの中で、台風8122のように寒冷渦のまわりを回りながら温帯化し、急減速しながら940mbまで再発達した場合もある。ハ) 頻度としては32例中7例であった。

2) 再発達しない場合は、偏西風帯での単調加速又は加速後一定という変化パターンである。ニ) 経路上では35°N以南を東北東進する場合と、150°E以东を北東進する二つの主要なコースに分けられ、1)のイ)の場合と明確な経路上の差がある。ホ) このケースは従来多く取り扱われて来たケースで4年間で32例中25例あり、約7割の頻度となっている。

以上述べた結論の一つとして、深いトラフの南東象限を北東進する台風は温帯化とともに再発達・減速する、という新しい知見が得られた。このことは、台風が日本付近を通りすぎたあとでも、オホーツク海や日本の東海上で急速に再発達し、減速するということを意味し、暴風雨域の直径が2000kmを越す場合すらある。領域の拡大(再発達)・暴風雨継続の長期化(減速)をもたらす、海上での船舶に重大な脅威を及ぼすことが予想される。この種の温帯化問題は日本から遠ざかった台風-温帯低気圧の進路や強度予想において重要であることが明らかにされた。

7. あとがき

本論文を書くにあたり、有益な助言を頂きました。気象庁予報課 山下主任予報官及び気象研究所 山嵜第1研究室長に謝意を表すとともに、台風のデータを頂きました気象庁予報課の担当者にお礼を申し上げます。

文 献

- Brand, S. and C.P. Guard, 1979: An observational study of extratropical storms evolved from tropical cyclones in the western north Pacific, *J. Met. Soc. Japan*, 57, 479-483.
- 大河内芳雄, 1979: 移動式多重格子系(MNG)を用いた台風予報, *研究時報*, 30, 173-198.
- ESSA Technical Report, NESK 51, 1974: Application of meteorological satellite data in analysis and forecasting.
- 福井敬一, 1980: 台風7920の衰弱期の鉛直構造, 1980年気象学会秋季大会予稿集, 12.
- Matano, H. and M. Sekioka, 1971 a: On the (464頁に続く)

2) 27日04時を中心とした稚内の高層観測による鉛直構造では、すでに閉塞期の温帯低気圧の構造となっていた。

3) 大気中層の乾燥域の侵入が循環の南～南東象限の中心近くまで及んでいることが26日12時の高層観測で認められた。

4) 寒冷前線は台風が日本海へ抜けた26日9時に、すでに台風の南100km付近まで到達し、その後顕著な前線が連続的に追跡できる。

以上4点からも26日15～18時の温帯化完了が推定できる。

結論としては、洞爺丸台風(T5415)は洞爺丸など連絡船の遭難事故の時点では、すでに温帯低気圧化が完了し、閉塞期の温帯低気圧として急激な再発達、それと同時現象である移動速度の急減速の過程にあったことが明らかになった。

一方、この非常に稀な台風と言われているT5415の類似台風としてT8017が解析された。経路、移動速度、温帯化過程とその各段階の緯度など、T8017とT5415は

非常によい類似性を見せた。T8017のGMS画像上で温帯化過程を解析した。

6. あとがき

この論文は、前報、「台風の温帯低気圧化過程における移動速度の変化」と密接に関連した内容のものであり、村松(1983)といっしょに解析されたものである。本論文をまとめるにあたり、気象庁予報課 山下主任予報官ならびに気象研究所台風研究部 山岬第1研究室長に謝意を表します。

文献

- 気象庁彙報, 1956: 昭和29年台風15号報告, 1~234.
 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, 天気, 29, 1199-1212.
 ———, 1983: 台風の温帯低気圧化過程における移動速度の変化(I), 30, 447~460(468).
 内海徳太郎・中沢鈴子, 1956: 5415号台風の寒冷前線について, 研究時報, 8, 1-7.

(460頁より続く)

- synoptic structure of typhoon Cora, 1969, as the compound system of tropical and extratropical cyclones, J. Met. Soc. Japan, 49, 282-295.
 ———, and ———, 1971 b: Some aspects of the extratropical transformation of a tropical cyclone, J. Met. Soc. Japan, 49, 736-743.
 Miller, B.I., 1958: The three dimensional wind structure around a tropical cyclone, National Hurricane Research Project Report, No. 15, U.S. Weather Bureau, 41 pp.
 村松照男, 1982 a: 台風7916 (owen) の成熟期の構

造, 天気, 29, 1115-1128.

- , 1982 b: 成熟した台風の温帯低気圧化の過程について, 天気, 29, 1199-1212.
 Sekioka, W., 1956: A hypothesis on complex of tropical and extratropical cyclones for typhoon in the middle latitude, I. Synoptic structure of typhoon Marie passing over the Japan Sea, J. Met. Soc. Japan, 34, 276-287.
 ———, 1970: On the behavior of cloud patterns as seen on satellite photographs in the transformation of a typhoon into an extratropical cyclone, J. Met. Soc. Japan, 48, 224-233.