

## 第4章 台風の温帯低気圧化

台風が中緯度偏西風帯に侵入すると、台風の周辺の場合はそれまでの水平方向にほぼ様な熱帯大気の場合から南北に温度傾度をもつ場に急変する。このような周辺場における台風の非対称化・温帯低気圧に遷移する過程の三次元構造の変化、そして温帯低気圧化の定義とその完了の条件などを論議した研究はほとんどない。

台風の温帯低気圧化（以下略して『温低化』とする）の研究については Sekioka (1956, 1970)、Matano and Sekioka (1971 a, b) が主に総観場との関連で議論した。Sekioka (1956) は『台風それ自体が温帯低気圧に変わるのではなく、台風域内で既存の前線上に新たに温帯低気圧が誘発され、これを台風との複合系 (complex system) が生じ、やがて、台風本体は衰弱し、温帯低気圧のみが天気図にあらわれて来て見かけ上の台風の温低化が完了する』という仮説をたて、いくつかの台風の温低化を論じた。Sekioka (1970) は ESSA の写真 (1枚/day) の雲パターンの変化を論じた。Matano and Sekioka (1971 a) はさらに pre-existing (先駆的にある) 温帯低気圧と重合して温低化する重合系 (compound system) を加えた。Matano and Sekioka (1971 b) は強い傾圧場での温低化において、前二者に加え、弱い out break のもとでの温低化を解析し分類に加えた。いずれも12時間間隔の高層観測と総観場を主とした解析である。

一方、大西洋での台風の衰弱過程については Shenk and Rodger (1978) が Nimbus 3/ATS3 のマイクロウェーブの観測で雨量強度を測定し、上陸後の埋積過程とアパラチア山脈における大雨を議論している。また、Hawkins, et al. (1968 c) は Hilda, 1964 のケースで上陸後の衰弱を解析している。最近の研究では、DiMego and Busart (1982 a, b) が tropical storm Agnes, 1972 の温帯低気圧化について、風の場合・鉛直流・運動エネルギーの収支などを詳しく論じている。また、村松 (1982 b) は台風7916の温低化過程を GMS・レーダー・高層観測データで詳しく解析している。この章では、この解析をもとに温低化を報告する。

### 4.1 地上~500mb における温帯低気圧化

図 A.5 (29日/00<sup>z</sup>) から図 A.11 (2日00<sup>z</sup>) に地上・850mb・500mb 天気図を示した。29日00<sup>z</sup> の500mb 天気図の中に300mb の強風軸を重ねてあるが、130°E で36°N まで南下して、一担、不明瞭となったが、台風が北東へ加速し始めた30日00<sup>z</sup> (図 A.7) では120°E で33°N まで南下し、120°E に深い気圧の谷が発達、台風はトラフの前面に侵入した。さらに12<sup>z</sup> (図 A.8) では、トラフの南東象限を急速に温低化しながら北東進し、1日00<sup>z</sup> では台風循環のすぐ西側、150km まで強風軸が接近している。1日12<sup>z</sup> (図 A.10) になると、すでに閉塞期の温帯低気圧となっていた。この間に温低化が完了したことになる。

#### (1) 大気下層 (地上~850mb) における構造の遷移

大気下層にあたる地上及び850mb 面についての台風の温低化を調べる。29日00<sup>z</sup> の850mb の温度場を見ると、台風循環が偏西風帯の南北に温度傾度をもつ領域に侵入し、台風の西側で寒気移流となり、温度場の非対称化が進行する。さらに30日00<sup>z</sup> (図 A.7) になると循環場は変形し始め、30日12<sup>z</sup> (図 A.8) では地上天気図において台風中心より200km 付近まで前線が形成され、850mb 面での台風の北側に西南西—東北東走向の温度集中帯が南下してきていた。さらに、1日00<sup>z</sup> (図 A.9) では前線も台風中心域近くまで解析されており、850mb の温度場・循環場とも温帯低気圧の特徴を呈している。そして、1日06<sup>z</sup> の時点になると下層循環の中心まで西南西—東北東走向の14℃の等温線を含む温度集中帯(前線)が侵入し、温帯低気圧の構造へ遷移しており、1日12<sup>z</sup> (図 A.10) には完全に閉塞期のパターンとなった。後で述べるが700mb より上の大気中層とは異なり、台風の下層循環から温帯低気圧に連続的に遷移している。

(2) 大気中層 (500mb) における構造の遷移

500mb を述べる前に、飛行機観測を含めデータが最も多く、地上~850mbの大気下層とは異なった変化をする700mbの東西断面を図4.1に示し、温低化を述べる。

高度場の変化で見ると、29日00<sup>z</sup>ではほぼ対称分布を示し、台風中心付近の勾配は急で中心集中性が顕著であり、暖気核の存在が特徴的である。30日00<sup>z</sup>から12<sup>z</sup>にかけ時間が経過するに従い偏西風帯領域に台風が入ると、上述の台風の特徴である温度集中性は緩み、西側での高度の低下傾向が続き非対称化が進行する。1日00<sup>z</sup>には偏西風帯のじょう乱に伴う低圧部に台風循環の消滅直前の低圧部が重なっているのが観測からわかる。そして、1日12<sup>z</sup> (06<sup>z</sup>は風速場のみ観測)になると台風循環は消滅し、中心の暖気核は消滅、前線に伴う温度集中帯が侵入し、循環中心付近で2℃まで低下した。12<sup>z</sup>の構造は閉塞期の温帯低気圧の

特徴を示しており、00<sup>z</sup>と12<sup>z</sup>の間で温低化が完了したことになる。

次に、500mb面(大気中層)における構造の遷移を述べよう。台風循環は大気中層で傾度風平衡がよく成り立っている。一方、中緯度偏西風帯領域では地衡風平衡が第一近似で成立しており、この領域に台風が侵入すると実際に観測された高度場・風の場合は両者の合成されたものと考えてよい。ここでは大気中層の非発散レベルである500mb面で検討する。

30日12<sup>z</sup>、台風中心の北西200kmにあたる米子(地点番号47444)では500mbの風が321度、8m/sであり、東南東80km地点(潮岬の観測を気球の移動分補正したもの)では211度、45m/sが観測され、台風循環の反時計回りの接線風速が偏西風と合成されて減(加)速されていることがわかる。500mbはほぼ非発散面であることから、このレベルでの実測風を $\mathbf{V}_{OB}$ 、高度を $\phi_{OB}$ (ジオポテン

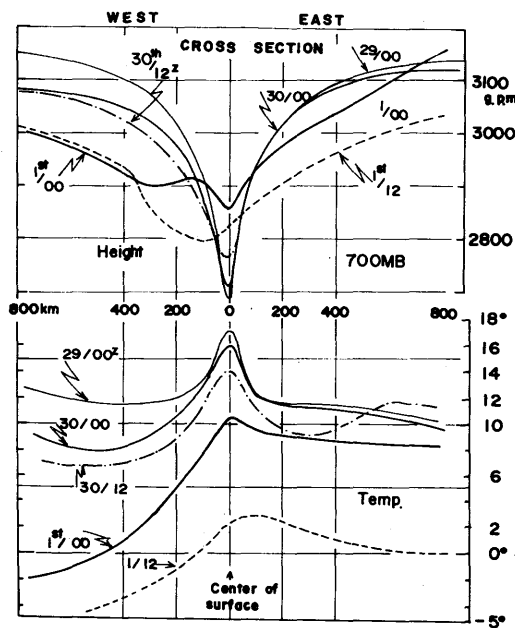


図4.1 : 700mb 高度場および温度場の東西断面の変化、29日00<sup>z</sup>~1日12<sup>z</sup>。

シャル) とすると、台風を取り巻く偏西風場即ち地衡風の式は

$$f \cdot \mathbf{V}_{geo} \times \mathbf{k} = -\nabla \phi_g$$

$\mathbf{V}_{geo}$ : 地衡風、 $\phi_g$ : 高度場;  $\mathbf{k}$ : 鉛直方向の単位ベクトル) 傾度風の式は台風中心を原点とする円筒座標系で

$$f v_\lambda + v_\lambda^2 / r = -\partial \phi_\lambda / \partial r \quad \text{となる。}$$

但し、 $r$ は台風中心からの距離、 $\partial \phi_\lambda / \partial r$ は等圧面の傾き、 $v_\lambda$ : 接線風速である。観測された高度は

$$\phi_{OB} = \phi_g + \phi_\lambda \quad \text{となる。}$$

台風を中心位置と6時間間隔で観測された高層の場を平滑化した地衡風場  $\phi_g$ 、 $\mathbf{V}_g$  が与えられれば、 $\phi_{OB}$ と  $\mathbf{V}_{OB}$  から  $v_\lambda$ 、 $\phi_\lambda$ の分布が得られることになる。図4.2は30日12<sup>z</sup>の500mbの台風循環場

とそれを取り巻く偏西風場を分離したもので、高度場及び風の世界ベクトルをそれぞれ表わしている。この時の高層の観測点は台風中心に対し解析に好適な分布をしていた。偏西風場の高度  $\phi_g$ は台風循環の及ばない領域での地衡風平衡を考慮し、6時間ごとに500mb面の天気図解析を行い外挿して用いた。

この図4.2で潮岬の場合、 $\mathbf{V}_{OB}$ は211度、45m/sであり、 $\mathbf{V}_g$ の225度、21m/sから推定された台風の  $\mathbf{V}_\lambda$ は190度、24m/sとなった。一方、台風の北西230kmの米子の場合には  $\mathbf{V}_{OB}$ は321度、8m/sであり、図のように西風の地衡風と打ち消し合うような傾度風が求められる。同様に台風を取り巻くすべての高層観測点で推算し、図4.2のベクトルが得られた。図中、実線は台風の循環

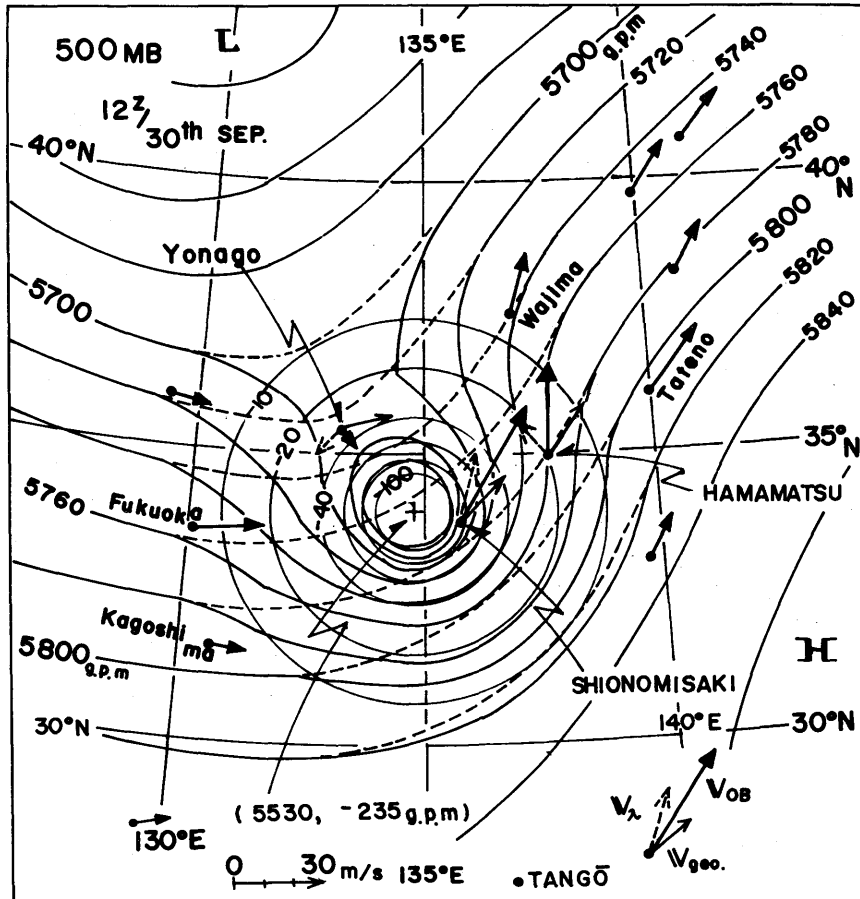


図4.2: 500mb面での台風循環場と偏西風地衡風場、30日12<sup>z</sup>、実線は観測された高度場、破線は台風循環を除いた地衡風場、 $\mathbf{V}_{OB}$ : 実測風、 $\mathbf{V}_{geo}$ : 地衡風、 $\mathbf{V}_\lambda$ : 台風循環の傾度風風速。

場  $\phi_\lambda$  と偏西風場  $\phi_g$  との和——実際に観測された場——  $\phi_{OB}$  である。台風循環がまだ強い状態での侵西風帯領域での特徴的な分布をしている。また求めた  $v_\lambda$  の分布と  $\phi_\lambda$  の分布とは矛盾しなかった。

図4.2と同様に6時間ごとの500mb面の台風循環と一般場(偏西風場)との分離を行ったのが図4.3である。30日00<sup>z</sup>では西～西南西15m/s以上の場の中へ台風循環が入り、06<sup>z</sup>、12<sup>z</sup>と循環域を

減少させながら北東進した。1日00<sup>z</sup>に40.5°N、142.0°Eの海上へ抜けた時には循環の直径は約200km以下となった。

図4.3で示された30日00<sup>z</sup>の分布で興味深い点は台風中心の北310kmの福岡での観測値である。台風の傾度風と偏西風場の地衡風がほぼ打ち消しあってしまったため、実際の風が1m/sと流れの特異点となっている点である。次の30日06<sup>z</sup>では鹿児島・福岡・米子・潮岬の4観測点に囲まれ

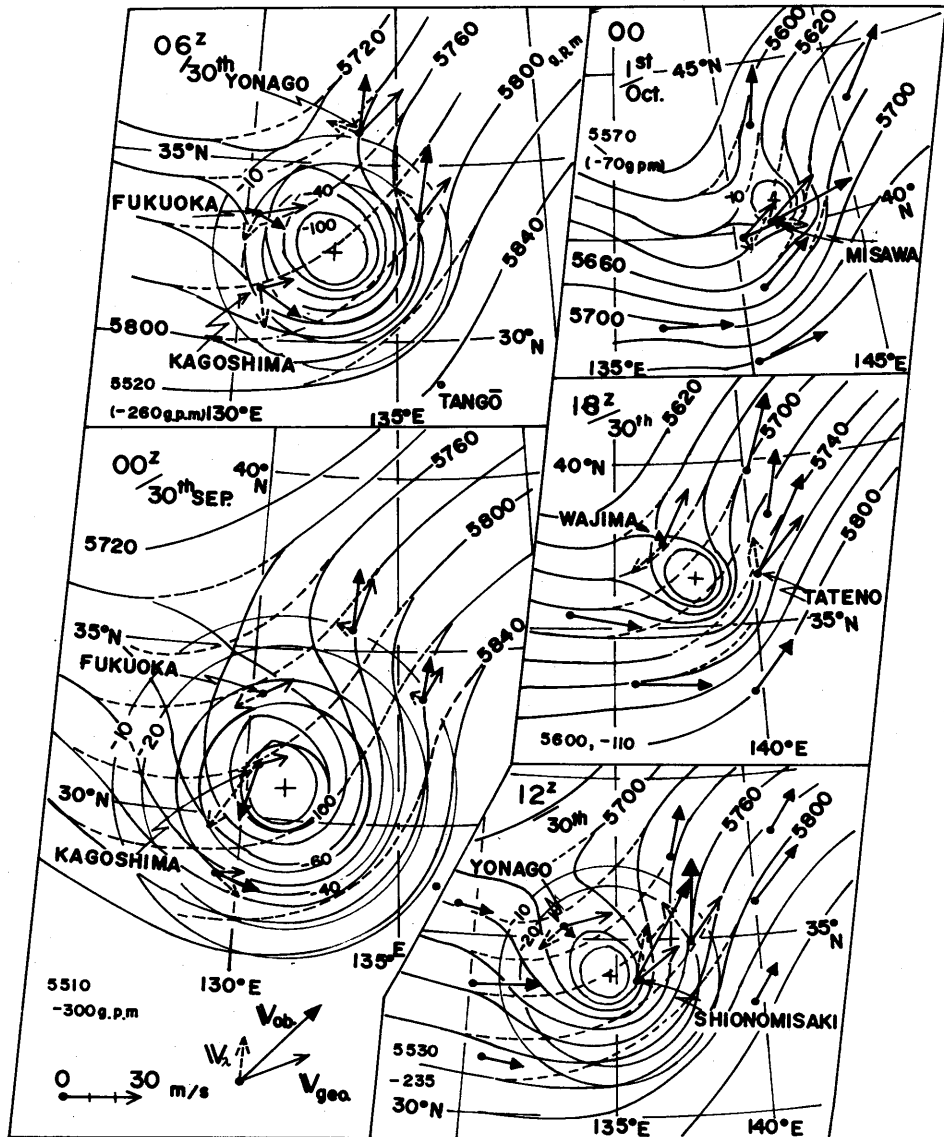


図4.3：図4.2と同様、500mb高度、風の変化、30日00<sup>z</sup>～1日00<sup>z</sup>。

るように台風が位置し、 $00^z$ とは異なった好適な分布となっていた。 $12^z$ は図4.2と同じものであり、 $18^z$ では輪島の $V_{OB}$ が $171$ 度、 $7\text{ m/s}$ となり $205$ 度、 $24\text{ m/s}$ の一般場と $40$ 度、 $17\text{ m/s}$ の傾度風との合成ベクトルとなっている。館野では $212^\circ$ 、 $41\text{ m/s}$ と両者のベクトルの和となり、台風の南東象限で一般流との合成でより強風が吹いていることがわかる。

1日 $00^z$ の場合では三沢の観測が飛揚時刻 $0045^z$ と通常より1時間15分遅れて実施されている。このため台風との相対位置補正を行なうと観測点は中心の南西 $80\text{ km}$ の位置となる。観測値、 $5603\text{ g.p.m.}$ 、 $246$ 度、 $19\text{ m/s}$ は風速場や高度場からも見ても未だ直径 $200\text{ km}$ たらずの循環場が残っていることを示している。観測の時間分解能と空間分解能を良くすれば偏西風場との分離は可能であろう。

以上の6時間間隔の観測で台風循環のみの $500\text{ mb}$ 面での高度( $\phi_\lambda$ )と風速( $V_\lambda$ )の変化を図4.4に示す。

変化の特徴点としては：i) 上陸(09<sup>z</sup>、18時)後の急激な衰弱、ii) 1日 $00^z$ でも台風循環が弱いながら解析され、iii) 変化を外挿すると1日 $06^z$ には循環はほぼ消滅する；の3点である。大気中層における台風自身の循環場は1日 $06^z$ に消滅したと考えてよいであろう。

### (3) 偏西風帯じょう乱と台風との共存

図4.5は偏西風帯に侵入しながらも、まだ十分に台風の形状を維持している時期である30日 $12^z$ の地上から $500\text{ mb}$ までの台風循環とその周辺場の構造である。この図で最も興味深い点は、(b)の

$700\text{ mb}$ 面である。紀伊水道に中心をもつ台風循環と日本海にある循環が図中A—Bで示す遷移層で明確に分離されていることである。この遷移層を境界に南側では台風に伴うエコーとそれより北東へ延びるエコー域があり、反対に極側では乾燥域となっている。

台風中心から北西 $230\text{ km}$ の米子の状態曲線と風の鉛直分布を図4.6に示したが、 $770\text{ mb}$ から $700\text{ mb}$ の層で明瞭な安定層がある。風の鉛直分布においても、この安定層より下層は台風循環による北東～北北東の風となっているのに比べ、安定層より上で西北西に急変しており、安定層が風の遷移層となっている。福岡の場合でも同様に、安定層が $700\sim 620\text{ mb}$ に存在し、これより下層では湿度が飽和しているのに比べ、上層では非常に乾燥した領域が侵入してきている。即ち、 $700\text{ mb}$ 付近にある遷移・安定層が、それより北側の偏西風帯領域のじょう乱と台風循環を明確に分けており、台風循環が下層でもぐり込むように存在している。この遷移層が相当温位の高い台風循環の領域と、より低温で乾燥している相当温位の低い偏西風帯じょう乱の領域とを明確に分け、両者の共存を可能としている。

図4.7は図4.5と同様なものであり、1日 $00^z$ の鉛直構造である。 $700\text{ mb}\sim 500\text{ mb}$ の大気中層において、台風循環は衰弱過程にあり、偏西風帯のじょう乱がより明瞭に出ており、 $700\text{ mb}$ 付近の安定・遷移層が明瞭に存在している。この状態は、あとで述べるように偏西風帯じょう乱に台風が併合・吸収されるまで続いた。

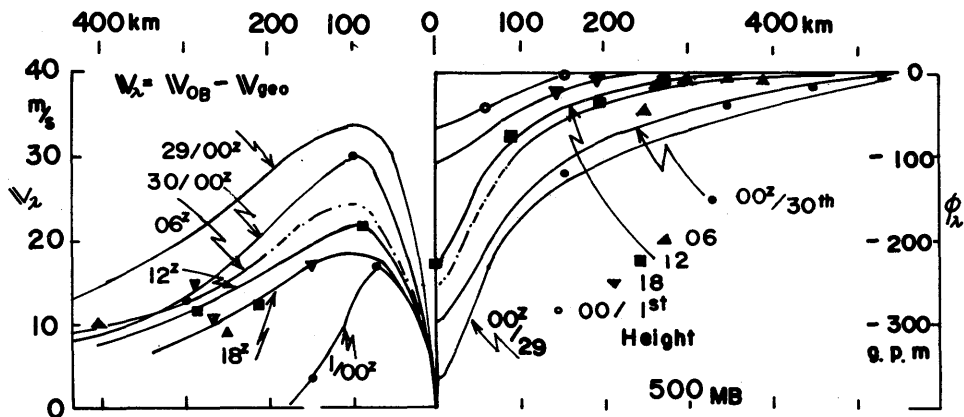


図4.4：500mb面の台風循環のみの風速と高度成分、29日 $00^z\sim 1$ 日 $00^z$ 。

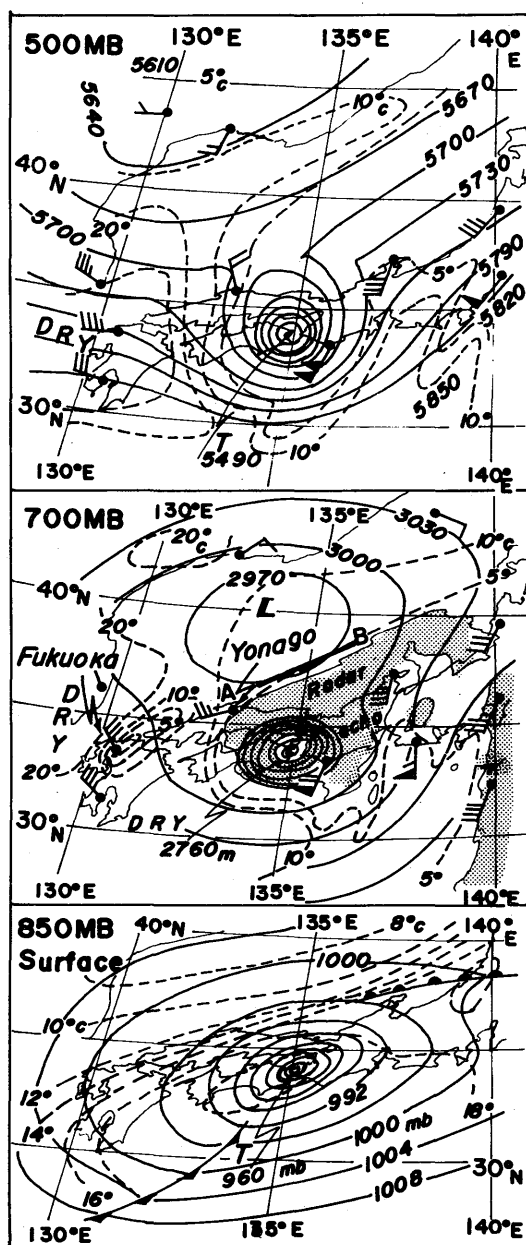


図4.5：偏西風帯侵入後、まだ十分台風の形態が維持されている期間、地上-500mbの鉛直構造、30日12<sup>z</sup>。

(a)500mb 高度、高層風、T-Td (露点差)、(b) 700mb 高度、高層風、露点差、A-B は遷移層、陰影はエコ域(富士山レーダー)。(c)地上等圧線、850mb 等温線

(4) 700mb 乾燥域における温帯低気圧の完了

地上~850mb、700~500mb のいずれの解析においても温低化完了の時刻は1日06<sup>z</sup>で一致している。ここでは大気中層の乾燥気塊の台風中心域への侵入と温低化完了との関連を調べる。この乾燥域の存在は第3章で述べたように成熟期の最も安定な時期においてすら、台風の西側で観測され、東側の湿潤域と対照的であった。

このあと、図4.5で示した30日12<sup>z</sup>において700mb より上層の乾燥域が極側から台風の西側190kmまで侵入してきており、18<sup>z</sup>ではさらに中心に近づいた。1日00<sup>z</sup>(図4.7)の乾燥域の分布を見ると、仙台では比較的乾燥(露点差10<sup>z</sup>)しているのに比べ、三沢は飽和状態であり、まだ中心域まで乾燥気塊が侵入していない。1日12<sup>z</sup>では既に下層循環中心まで乾燥気塊が侵入し、温帯低気圧として特有な形態となっている。この間、1日06<sup>z</sup>には温度・湿度・高度の観測がないので、00<sup>z</sup>と12<sup>z</sup>のT<sub>BB</sub>分布と700mbの乾燥領域との分布を比較し、乾燥域の領域を調べ、図4.8に示す。00<sup>z</sup>では、T<sub>BB</sub>の0<sup>z</sup>または10<sup>z</sup>(可視画像上で下層雲領域か、もしくは晴天域)の等値線と乾燥気塊の境界とがよい対応関係を示し、12<sup>z</sup>においても同様である。従って、この間の06<sup>z</sup>のT<sub>BB</sub>の分布を比較すると、T<sub>BB</sub>の0<sup>z</sup>の等値線がすでに下層循環中心まで侵入していることがわかる。

写真23の1日06<sup>z</sup>の可視画像において、このT<sub>BB</sub>0<sup>z</sup>の等温線は台風の中心域の晴天または背の低い雲域と絹雲に覆われた(Ci shield)の厚い雲域との境界がほぼ対応していた。下層循環中心域がCi shieldと下層雲域との境界付近に存在し、Ci shieldの極側一北西側が高気圧性曲率をもつという発達した温帯低気圧特有の形態となり、大気中層での温低化が完了したことを示している。図4.8で斜線域の部分が地雨性の降雨を観測した領域であり、下層循環中心の進行前方に拡がっており、温帯低気圧の降雨パターンとなっている。降雨・温度・湿度分布から見て、1日06<sup>z</sup>に温低化が完了したことになる。

4.2 衛星データ解析による温帯低気圧化

(1) 衛星画像上における温帯低気圧化

すでに述べたように、成熟期の台風においても

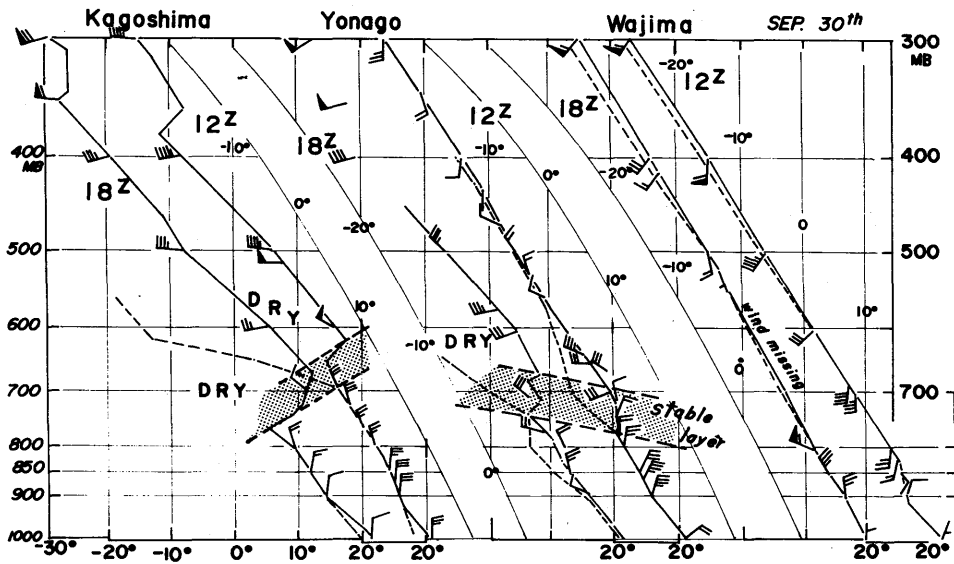


図4.6：福岡・米子・輪島の状態曲線、実線が温度、破線が露点、および高層風、陰影の部分は安定層。30日12<sup>z</sup>～18<sup>z</sup>。

西側から変質を示唆する雲域が見られ、非対称化が進行し始めている。ここでは偏西風帯における温低化過程を画像から調べる。

写真18に29日の画像を示してあるが、29日12<sup>z</sup>まで明瞭な眼が持続的に観測されていた。18<sup>z</sup>では画像上では認められなくなった ( $T_{BB}$  の東西断面では中心付近の高温域一帯のみとして観測されている)。  $T_{BB}$  分布・画像とも18<sup>z</sup>には眼が消滅した。加速し北東進している30日00<sup>z</sup> (写真19) および、四国上陸直前の30日06<sup>z</sup> (写真20) の観測では、すでに眼はないが、CDOの円形度はよく、それを取り巻くスパイラルバンドも活発で、まだ発達した形状を保っていた。そして、30日12<sup>z</sup> (写真21) の画像においては、CDOがまだ明瞭に観測され、  $T_{BB}$  分布 (図A・18) 上では  $T_{BB} \leq -70^{\circ}\text{C}$  領域が直径100km以上に広がっており、まだ組織性はよい。

しかしながら、上陸後9時間経過した18<sup>z</sup> (写真21、下段) では、すでにCDOが消滅し、北～北東象限に活発なCbが移行し、中心核構造が崩壊している。同時に、台風の北～北西側で、極側の縁が高気圧性曲率をもつCi shield (絹雲の覆い) が明瞭化してきており、温帯低気圧に伴う雲システムの特徴を有してきている。次いで10月1日00<sup>z</sup> (写真22) では矢印の先に下層の循環中心

があるが、形状から見て温暖前線に対応する東西南方向へ延びる幅広い雲バンド、総観場の700mbで代表される上昇流域に対応する北海道の上を覆う濃密な雲域の存在、その雲域の北～北西側の縁が高気圧性曲率をもち鋭く切れていることなど、発達期から閉塞期へかけての温帯低気圧の雲システムの特徴を具えている。しかしながら、下層循環中心 (40.5°N・142.0°E) の東には前線性雲バンドとは異なった走向の可視・赤外両画像上の雲域があり、台風循環を示唆する低気圧性曲率を示していた。この特徴的な雲域は04<sup>z</sup> (画像略) まで釧路の南の海上で認められるが、1日06<sup>z</sup> (写真23) にはこの循環を示唆する雲域はすでに消失し、温帯低気圧の雲システムに遷移した。GMS画像上の雲システムとしては1日06<sup>z</sup> で温低化が完了していると言えよう。12<sup>z</sup> には天気図・画像上とも閉塞期の温帯低気圧となって再発達の過程にと進んだ、2日00<sup>z</sup> の可視・赤外画像を写真24に示したが、中心付近は背の低い層積雲系の雲域で覆われ、閉塞期の発達した温帯低気圧の雲システムとなった。

(2)  $T_{BB}$  東西分布上での変化

次に、台風を構成する組織的な対流域の消長を見るため、GMSで観測された  $T_{BB}$  をもとに、台

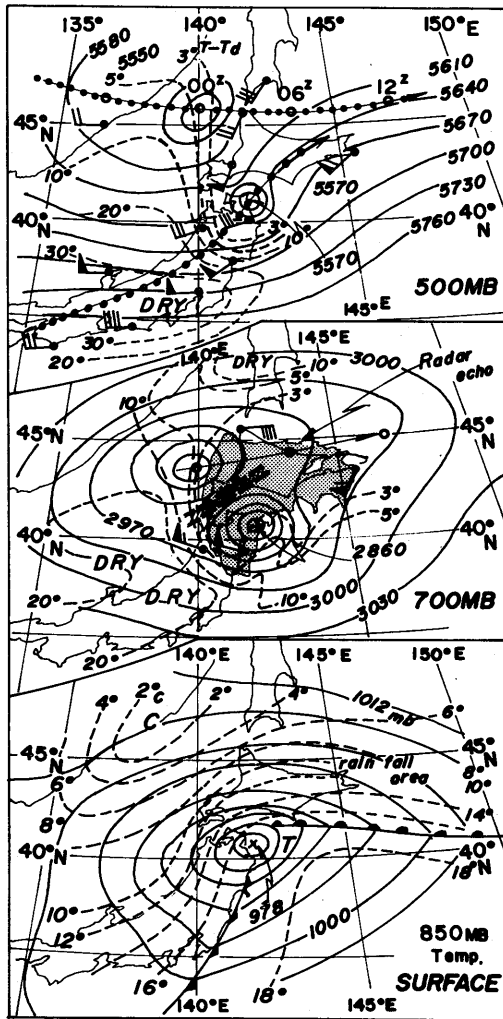


図4.7：温低化完了直前の鉛直構造、1日00<sup>z</sup>。

(a)500mb 高度、露点差、高層風、黒丸の軌跡は台風および偏西風帯じょう乱の移動経路、(b) 700mb 高度、高層風、陰影はエコー、斜線部は遷移層、(c)地上等圧線、850mb 等温線。

風中心を通る  $T_{BB}$ 、即ち雲頂温度—高度—の東西分布を求め、その変化を図4.9に示した。巻末の図A・17(30日00<sup>z</sup>)から図A・22(1日12<sup>z</sup>)に  $T_{BB}$  分布を示した。

図4.9の30日00<sup>z</sup>の  $T_{BB}$  の東西分布において、注目すべき点は中心の西側および東側100km付近

に出ている低温の極値である。図4.10に示す30日00<sup>z</sup>の種子島のレーダーエコーで見ると、この領域は台風の眼の壁雲に対応している。また、その値である  $T_{BB} = -74^{\circ}\text{C}$  は鹿児島で観測された圏界面 (15.7km・ $-74^{\circ}\text{C}$ 、120mb) に対応し、圏界面に達する雲頂高度をもつ対流雲域であることがわかる。

さらに、その内側にある低温域も興味深い。29日まで明瞭であった台風の二重眼構造において、内側の眼の壁雲に相当するもので、 $-68^{\circ}\text{C}$ の低温域の中は $-64^{\circ}\text{C}$ の相対的に高温部がある。このとき、エコーは半月形を示し、二重眼の内側の眼の壁雲が崩壊する途中の過程であった。このあと06<sup>z</sup>には台風の二重眼構造はなくなり、これらの特徴は消えた。

次いで、上陸2時間後の30日12<sup>z</sup>においては、台風中心域における  $T_{BB}$  は、まだ $-70^{\circ}\text{C}$ 以下であり $-60^{\circ}\text{C}$ 以下の領域も200km以上の幅で存在し、依然としてCDOが組織的に認められる。しかし $-40^{\circ}\text{C}$ 以下の領域で見ると西側の120km東側200kmと全体に東側へずれつつあることがわかる。また00、12<sup>z</sup>ともに台風の西側150~250kmで  $T_{BB}$  が大きく変化し、主な雲域の西側の縁が壁のように切れていることが注目される。上陸後9時間後の本州中部 (36.5°N、138.0°E) に進んだ18<sup>z</sup>の分布では、台風中心の西側で  $T_{BB}$  は急激に上昇図A・19で見られるよう、低温域は台風の北~北東側に移行し、中心付近には組織的な背の高い(深い)対流雲域が見られなくなった。

1日00<sup>z</sup>の東西分布において、台風中心から200km内の領域では  $T_{BB}$  が $-30^{\circ}\text{C}$ より高く、雲頂も10km前後と圏界面に達するような組織的な雲域はすでに消失した。06<sup>z</sup>(図A・21)ではさらに  $T_{BB}$  が上昇している。即ち、台風特有の中心付近での深い組織的な対流が30日18<sup>z</sup>以後は認められない。

この結果、 $T_{BB}$  の分布から見て台風の特徴のひとつである中心付近の深い対流雲域—CDO—に対応—が消失した18<sup>z</sup>の時点をもって温低化が完了したと言えよう。

一方、 $T_{BB}$  分布の30日00<sup>z</sup>(図A・17)から1日06<sup>z</sup>(図A・21)の雲頂温度の低温の値は $-76^{\circ}\text{C}$ (30日00<sup>z</sup>)から、 $-75^{\circ}\text{C}$ (12<sup>z</sup>)、 $-60^{\circ}\text{C}$ (18<sup>z</sup>)、 $-50^{\circ}\text{C}$ (00<sup>z</sup>)、 $-45^{\circ}\text{C}$ (06<sup>z</sup>)と逐次上昇し、低温域は時間の経過とともに、北—北東側へ移行し、



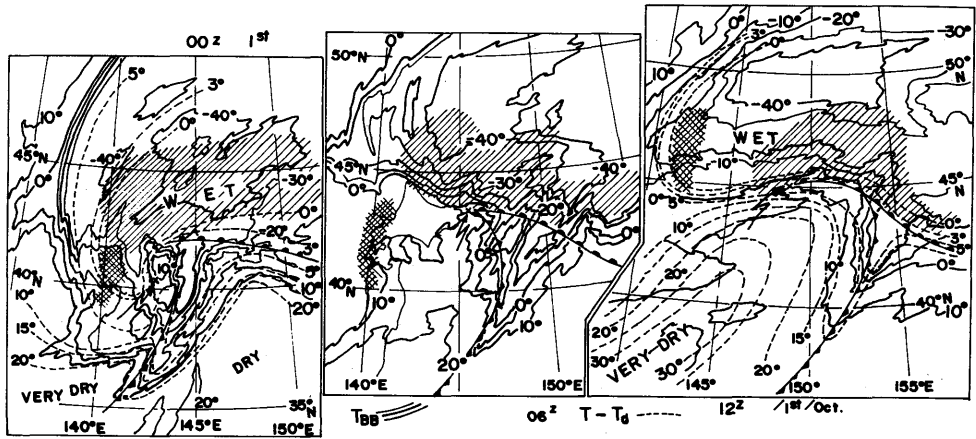


図4.8：T<sub>BB</sub>分布（実線）および700mb T-Td（破線）の分布の変化、1日00<sup>z</sup>～12<sup>z</sup>。斜線域は非対流性降雨、網目は対流性降雨域、矢印の先のX印が下層循環中心。

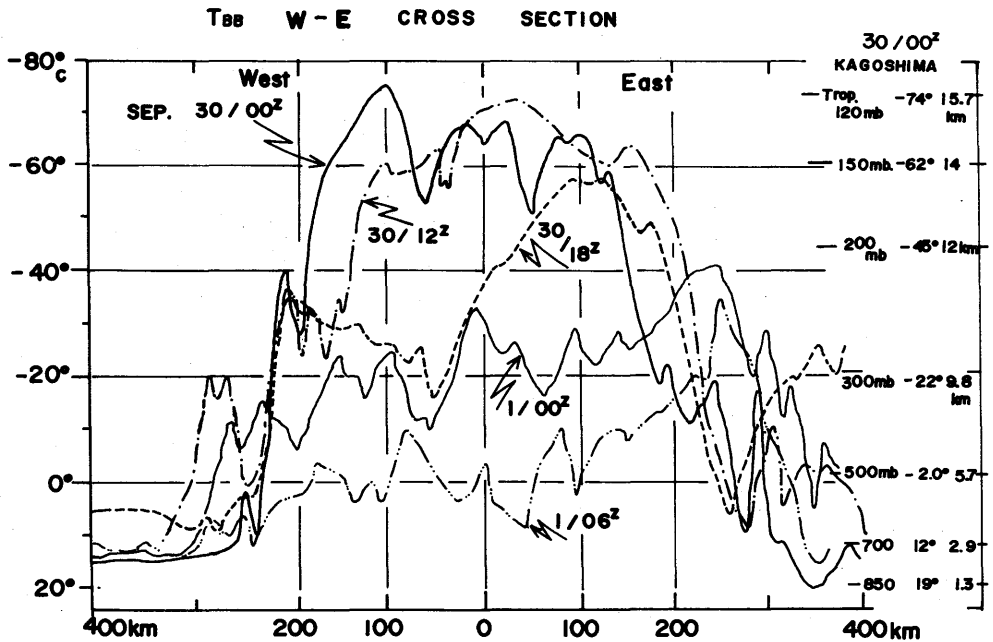


図4.9：循環中心を通るT<sub>BB</sub>の東西断面の変化、30日00<sup>z</sup>～1日06<sup>z</sup>。

温帯低気圧に構造が遷移した。

### 4.3 レーダーエコーおよび降雨量分布の変化

#### (1) レーダーエコー分布の変化

4.2ではGMSデータ、すなわち雲システムと

しての温低化を調べ、30日18<sup>z</sup>には中心核における背の高い対流雲域（CDO）の消失が解析され、運動（循環）場における温低化完了より12時間も先行していることがわかった。ここではレーダーエコーと降雨量分布という降水系から見た温低化を調べる。

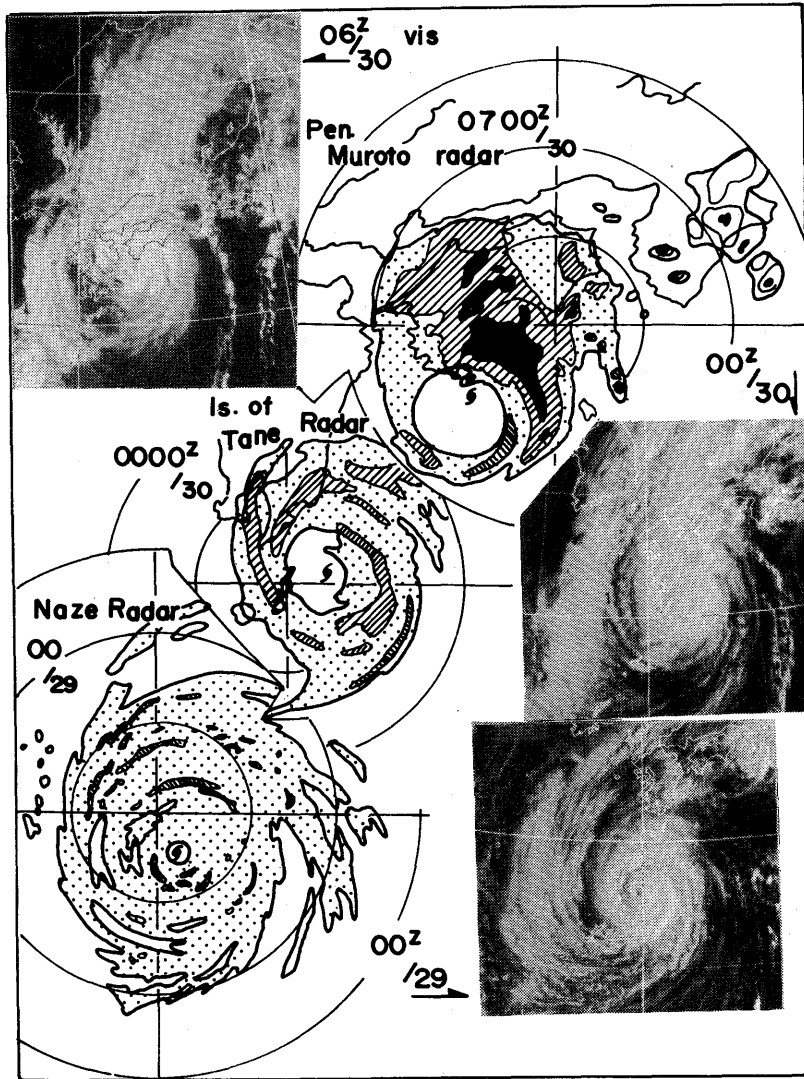


図4.10：台風眼の拡大（レーダーエコー）と可視画像上での眼の消滅（29日00<sup>z</sup>～30日06<sup>z</sup>）；レーダーは名瀬（29日00<sup>z</sup>）、種子島（30日00<sup>z</sup>）、室戸岬（30日07<sup>z</sup>）。

29日00<sup>z</sup>を中心とした成熟期をへたあと、偏西風帯に侵入した台風の中心構造の変化をレーダーエコーで追ってみよう。図4.10は台風の経路上の名瀬—種子島—室戸岬の各レーダーから見た台風眼の拡大過程を観測したものである。台風眼とそれを取り巻く眼の壁雲が明瞭な29日に比べ、18<sup>z</sup>では、壁雲の中にドーナツ状の直径25kmの眼がある二重眼構造となっていた。このあと種子島レーダーで継続して追うと、30日00<sup>z</sup>には二重眼の内

側の眼の壁雲が崩れ、東側に三日月型となって一部を残すのみであり、眼の径の拡大が進んだ。さらに室戸岬レーダーで引きつづいて追うと、図4.10の上段の07<sup>z</sup>エコー分布となった。偏西風帯領域に入った29日06<sup>z</sup>（15時）以後、加速しながら北東進する台風の眼の拡大、非組織化が明らかである。

この変化をGMSの画像シリーズで見ると、29日00<sup>z</sup>の画像から12<sup>z</sup>までは明瞭な眼が存在して

いたが、 $18^{\circ}$ の赤外画像ではすでに眼は確認出来ない。30日00 $^{\circ}$ でも同様である。しかし、この時刻の $T_{BB}$ の東西断面である図4.9で見れば中心より東側50km、西側60km付近に $-50^{\circ}\text{C}$ 前後の相対的に高温な領域があり、台風眼とそれを取り巻く内側の壁雲と外側の壁雲域とが不明瞭ながら分離している点が指摘できる、このときの $T_{BB}$ 分布を図A.17に示す。次いで30日06 $^{\circ}$ では00 $^{\circ}$ と異なり、エコー分布でも二重眼構造はなく、画像上(写真20)において、全く眼は見られなくなった。詳細に見ると、内側の眼の崩壊が先行し、衛星画像上では数時間遅れる。これらの経過はレーダー眼の拡大・不明瞭化と対応して衛星画像上での眼の消失過程を示していることがわかった。

この図4.10のあと800kmレンジをもつ広域探知の富士山レーダー(波長10cm)で追跡したのが図4.11である。30日12 $^{\circ}$ までは室戸岬レーダー(5cm波)のエコー図を合成してある。眼構造は四国上陸後3時間たった12 $^{\circ}$ でもなお組織的な眼の壁雲と眼が観測され、さらに中部山岳地方に入る直前の17 $^{\circ}$ まで眼は不明瞭ながらも確認できる。18 $^{\circ}$ では急激に眼の構造が崩壊している。この点は図4.9の $T_{BB}$ の変化とよく一致している。

図4.11に示したレーダーエコー分布の変化から台風の温帯低気圧への遷移の特徴点は次のとおりである。

i) 台風の北側の前線性雲バンドに、台風の東側からの湿潤な南成分をもった気流が合流し、台風の北～北東側で組織的なエコーが拡がり、06 $^{\circ}$ では北200km、09 $^{\circ}$ では北380kmまで拡大し、12 $^{\circ}$ では、さらにエコー域は拡大・面状となっていた。

一方、台風の南西象限では150kmより外域でエコーはなく、北～北東側と南～南西側とが著しい非対称を呈している。この点はGMS画像でも見られ、偏西風帯での台風と前線性雲バンド—偏西風トラフ—との関連の降雨構造のひとつの特徴であろう。

ii) 上陸後(09 $^{\circ}$ )は非組織化が進み、特に大阪に再上陸した13 $^{\circ}$ (22時)以後は中心を取り巻く組織的な対流雲域が減少、15 $^{\circ}$ 以後はその傾向が著しい。

iii) 眼の構造は四国上陸後約9時間たってから急激に崩壊(18 $^{\circ}$ )し、 $T_{BB}$ の変化と一致している。21 $^{\circ}$ には対流性エコーも観測されなくなり、台風としての組織的の形状の一つであるエコー分布(降水粒子の組織的な分布)が崩れ、台風としての特性を失なった。

急速に中心核が崩壊した18 $^{\circ}$ を含む、16 $^{\circ}$ —21 $^{\circ}$ の毎時雨量分布を図4.12に示す。上記i)～iii)の特徴に加え、iv) 中心核が崩壊した18 $^{\circ}$ 以前では、20mm以上の降雨域が台風の中心の北側にあり、南側では強い降雨がない。さらに、20 $^{\circ}$ (19—20 $^{\circ}$ の降雨量)以後では降雨はさらに弱まり、30日12 $^{\circ}$ 以前と比べ著しく弱い。

さらに図4.13に、このあとの函館・札幌・釧路の3レーダー合成図におけるエコーの変化、および3時間雨量を示した。

i)～iv)に加えて、次のことが明らかとなった。

v) 下層循環中心の南～南西側はエコーなし領域となっており、逆に北西象限には一部対流性を含む面状エコーがある。この西側の縁は高気圧性曲率をもち明瞭に切れ、その西側の日本海上のエ

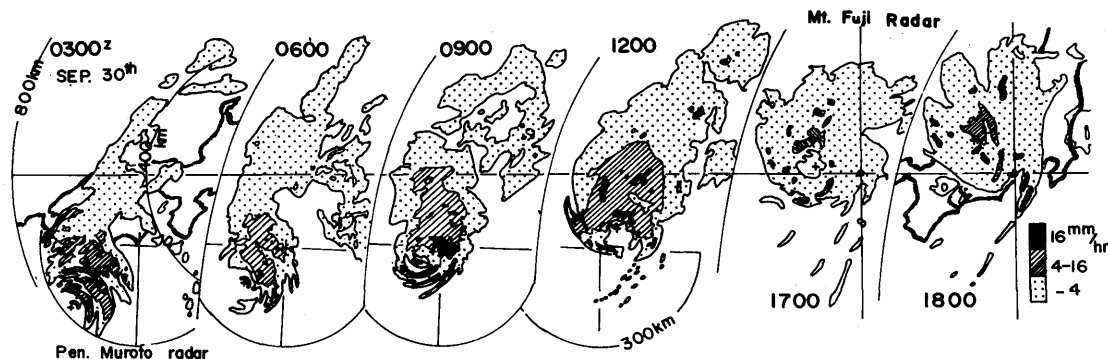


図4.11: エコー分布から見た台風の温帯化、富士山レーダー(30日03 $^{\circ}$ ～18 $^{\circ}$ )、12 $^{\circ}$ まで室戸岬レーダー合成。

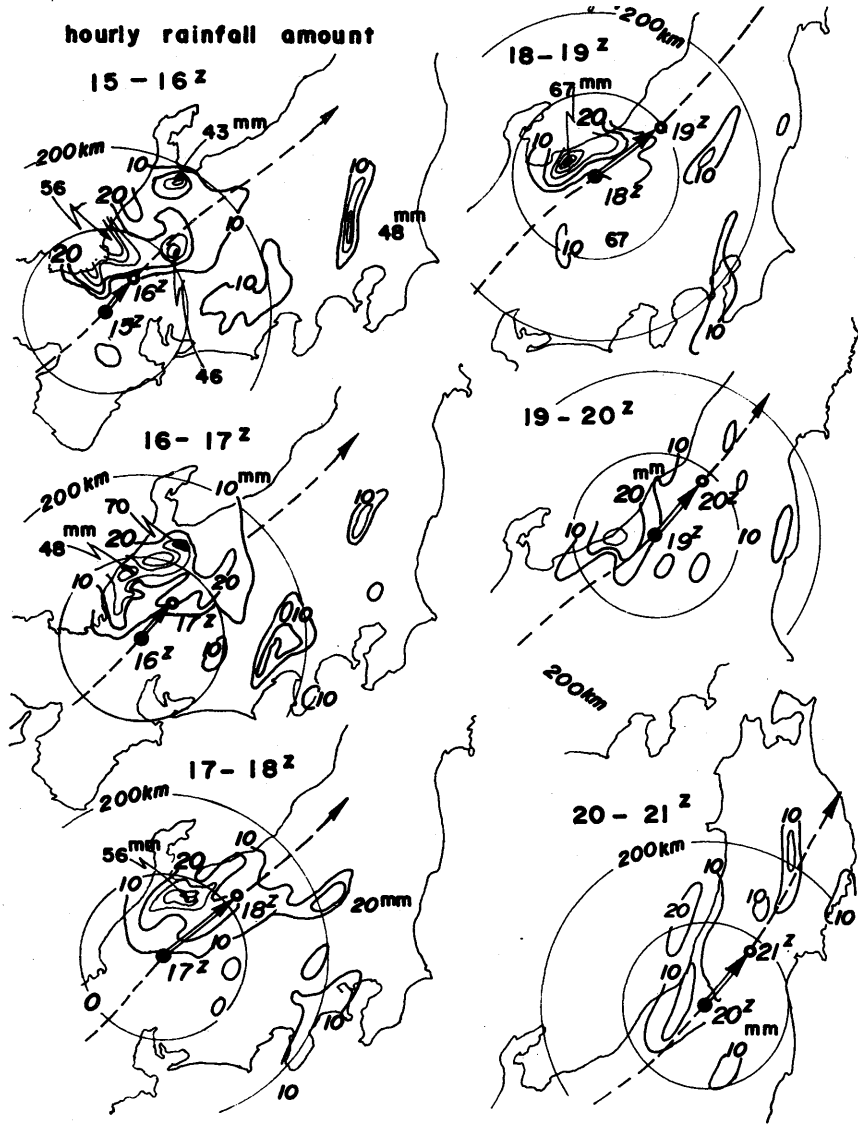


図4.12：温低化過程における時間降雨量分布。30日15<sup>z</sup>～21<sup>z</sup>。

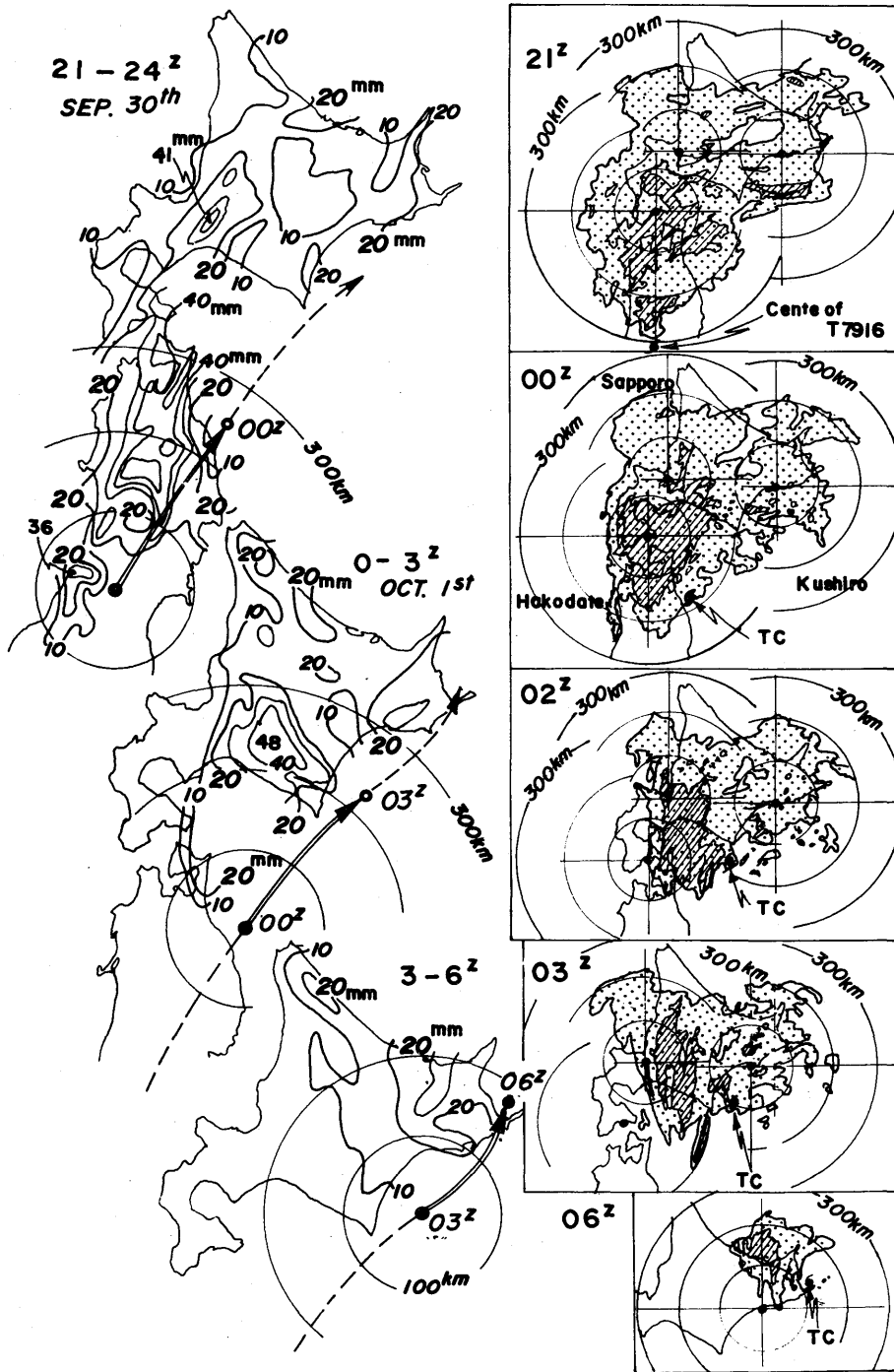


図4.13：3時間雨量分布（30日21<sup>z</sup>～1日06<sup>z</sup>）と札幌、函館、釧路レーダーの合成図。

コーなし領域（画像では晴天域）と明確に分けている。この傾向は03<sup>z</sup>、06<sup>z</sup>（15時）と同様に続き、時間の経過とともに曲率は増し、循環中心へ近づいてきている。

これらⅰ）～ⅴ）のエコー分布および降雨量分布の変化は台風構造の崩壊と、その低気圧循環が閉塞期の温帯低気圧の構造に直接遷移していることを示している。エコー分布から見て30日18<sup>z</sup>には急激に温低化し、21<sup>z</sup>にはほぼ完了し、1日00<sup>z</sup>では既に温低化が完了していると思わせる。

#### 4.4 偏西風帯じょう乱への吸収併合過程

図4.7は温低化完了直前の1日00<sup>z</sup>の鉛直構造を、また図4.5に30日12<sup>z</sup>の同様な図を示してある。1日00<sup>z</sup>までの500mb面における台風の構造の変化が図4.4に示されており、偏西風帯侵入による大気中層の台風循環の衰弱を示している。図4.7では台風循環の軸はほぼ鉛直で、下層に強い

渦度が集中している。さらに日本海北部には東～東南東進してきた偏西風帯じょう乱があり、700mb面まで対応した渦があり、渦管の軸は上層ほど北へ傾いている。下層では台風循環場に覆い隠され、渦は解析されていない。両者は各々の特性を示しながら、先に述べたように700mb付近の遷移層で明確に分離されている。

この時刻を含み、30日12<sup>z</sup>から1日12<sup>z</sup>の間の札幌・根室・稚内における高層の時間・空間断面図を解析し図4.14に示す。偏西風帯じょう乱の中心付近が通過した稚内では660mb（1日00<sup>z</sup>）の安定層上端より上で、高度場・風速場から大気中層のじょう乱が明瞭で、渦管は上空ほど西へ傾いていた。またこのトラフが45°N付近を東進し、1日00<sup>z</sup>から06<sup>z</sup>の間に稚内付近を通過した。これに対応して札幌では350～700mbで明瞭なトラフの通過が認められ、大気中層の渦の東進通過を示している。両地点とも700mb付近に存在する安定層より下層での偏西風帯じょう乱の渦の通過が認め

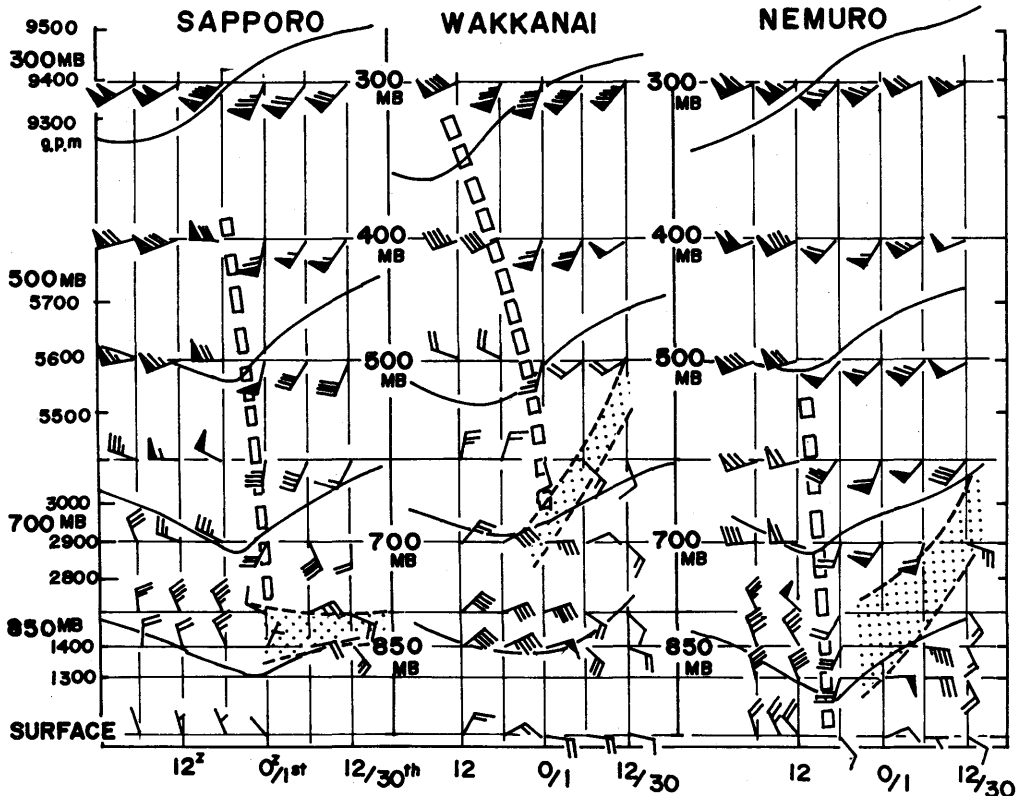


図4.14：稚内・札幌・根室の高層シーケンス、30日12<sup>z</sup>～2日00<sup>z</sup>。

られない。

3観測点とも安定層が風の場合での遷移層と一致しており、安定層より上の大気中層で偏西風じょう乱が卓越し、下層では台風の下層循環の場が卓越している。この900~700mb付近の安定層で台風循環と偏西風じょう乱場が明確に分離されており、矛盾なく両者の共存を可能としている。

1日06<sup>z</sup>の鉛直構造を図4.15に示す。この06<sup>z</sup>

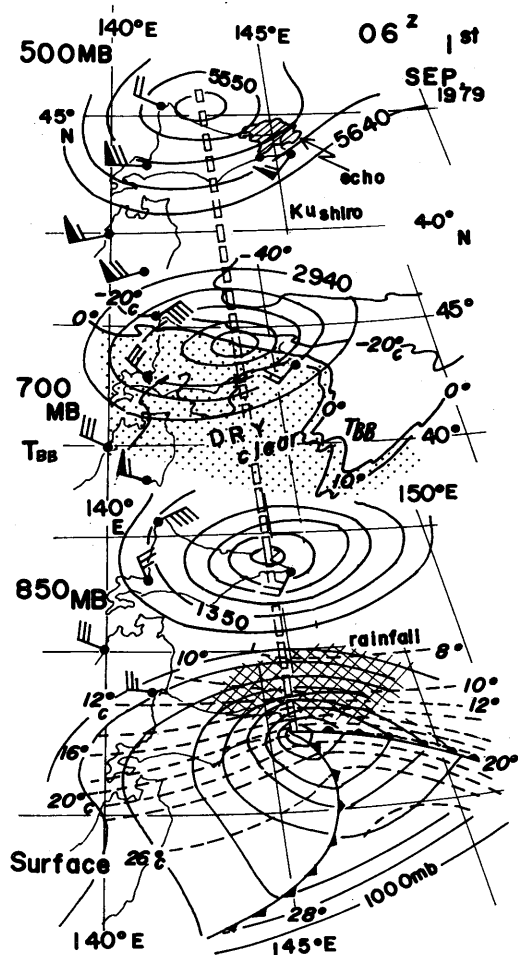


図4.15：温低化完了時の地上—300mbの鉛直構造、1日06<sup>z</sup>。

は先に述べたように、台風の温低化が全ての要素で完了した時点である。この時点で、

i) 北北東進した台風循環は大気中・上層で消滅した。

ii) 台風循環として連続的に追跡されてきた地

上~850mbの下層の渦と、東進してきた大気中層を主体とする偏西風じょう乱の渦管が結合した。軸は上へ行くほど西へ傾いており、温帯低気圧としては発達する期間である。

iii) 00<sup>z</sup>まで観測された遷移(安定)層はii)の温低化完了とともに消滅した。

以上、台風循環が偏西風帯じょう乱に併合吸収され、鉛直構造上、矛盾なく閉塞期の温帯低気圧に遷移する過程が明らかとなった。

#### 4.5 気圧の急変 (pressure dip)

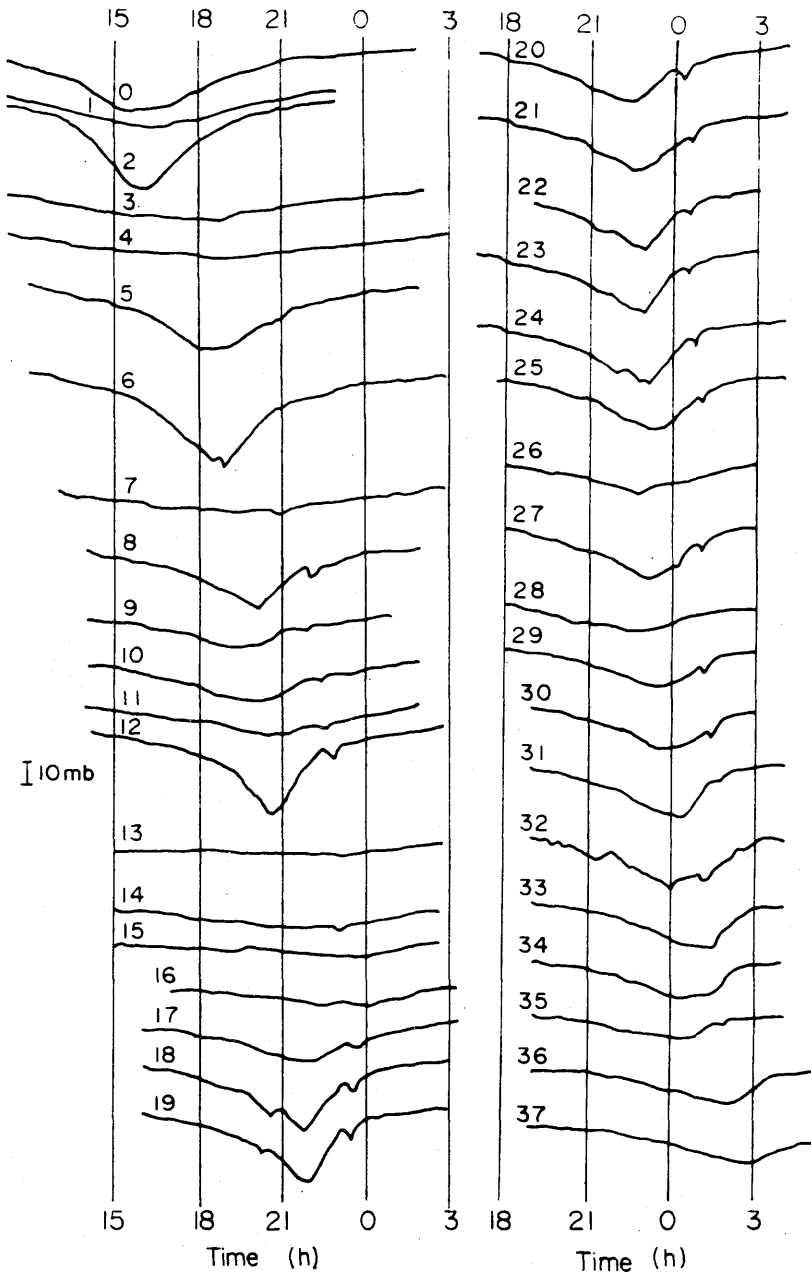
中島、ほか(1980)で報告されている点を中心に述べる。

台風16号が西日本を通過したさい、図4.16で示したように、各地の気圧自己記録に顕著な気圧の急変が台風による最低気圧の出現の前と後にみられた。徳島(図4.16の地点12)の気圧の例をとってみると、台風本体により20時40分に最低気圧961.1mbを記録した後上昇したが、22時56分に気圧のくぼみ、即ち pressure dip 域に入り、気圧偏差は約6.5mbあった。他の地点の洲本(地点18)、和歌山(19)奈良(24)など台風中心から後面だけでなく前面にも同様な dip が存在していた。pressure dip の形状としては帯状で長さ130km、幅30kmと解析され、図4.17にその移動を示した。このような pressure dip は他の台風で見られる場合もあり、最近では台風8115に関して関東平野南部で観測されている。詳細はまだ未解明の部分が多いが、いずれも、台風の温低化過程で起り、温低化の進行とともに明瞭化する700mb前後に存在する安定(遷移層)で発生する。pressure dip はこの安定層を伝播する重力波と考えられており、風・温度・降雨などの解析でも、特徴的な変化をしていることが報告されている。

#### 4.6 温帯低気圧化のまとめ

成熟した台風7916(OWEN)の偏西風帯領域での温帯低気圧への構造の変化をGMS・高層・レーダー等のデータをもとに解析した。500mb面高度・700mbでの乾燥域(湿度場)及び地上等圧線の変化で見た台風の温低化過程と偏西風じょう乱への吸収併合過程を図4.18に示す。

この台風の温低化過程をまとめると次のように



Records of pressure observed at meteorological observatories with the passage of Typhoon 7916.  
 0. Sukumo, 1. Uwajima, 2. Ashizuri, 3. Matsuyama, 4. Hiroshima, 5. Kochi, 6. Murotomisaki, 7. Fukuyama, 8. Mt. Tsurugi, 9. Tadotsu, 10. Takamatsu, 11. Okayama, 12. Tokushima, 13. Matsue, 14. Tsuyama, 15. Tottori, 16. Toyooka, 17. Himeji, 18. Sumoto, 19. Wakayama, 20. Kobe, 21. Itami, 22. Osaka, 23. Yao, 24. Nara, 25. Kyoto, 26. Maizuru, 27. Ueno, 28. Owase, 29. Tsu, 30. Yokkaichi, 31. Hikone, 32. Mt. Ibuki, 33. Gifu, 34. Nagoya, 35. Irako, 36. Takayama, 37. Matsumoto.

図4.16：台風7916の通過による気圧の記録、小さな窪みが pressure dip を表わす。(中島他、1980)。



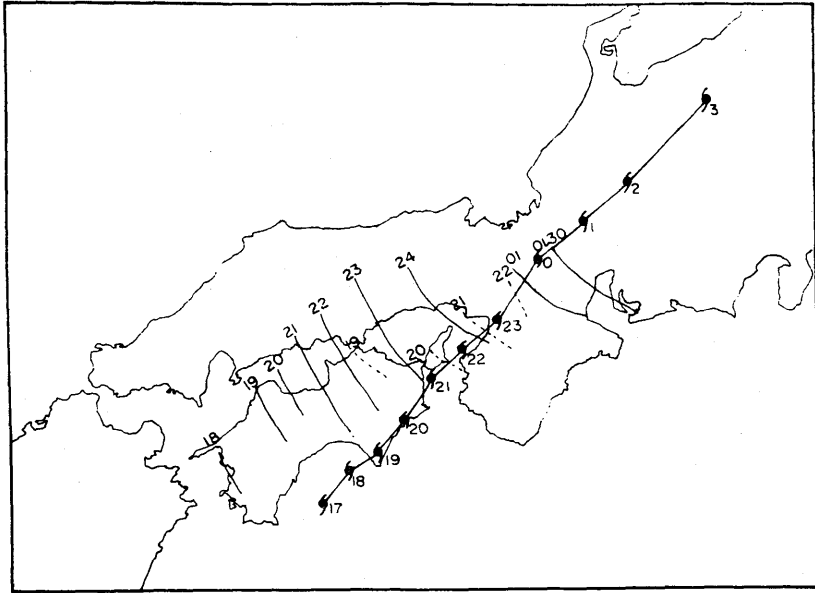


図4.17：Pressure dip の移動。

なる。台風が偏西風帯領域に侵入すると非対称化が進行する。台風の特徴である軸対称性・順圧性の変質は台風の周辺、特に西側から始まる。偏西風帯の緯度にもよるが16号の場合は29日00<sup>z</sup>を中心とした最も成熟した時点ですでに始まった。中心から150km以遠の西側象限の700mbより上で乾燥域が侵入し、その下の安定層下で層積雲系の密な雲域で示唆される変質が始まり、始めはゆるやかに進み傾圧帯に入るほど急速に進行する。

偏西風帯における台風の温帯低気圧への構造の最終段階での遷移過程は以下に示すとおりである。

- i)  $T_{BB}$  の分布の変化から、台風の中心核のあった活発で深い組織的な対流雲域が消滅(30日18<sup>z</sup>)、降雨域・エコー域の進行前方または極側への移行が進行、エコー構造からの温低化完了は1日00<sup>z</sup>であった。
- ii) 中心の暖気核構造が温低化の進行とともに崩壊し、中心方向に向う温度勾配がなくなり、下層においては前線が明瞭化し、最終的には循環中心付近まで到達する(06<sup>z</sup>)
- iii) 高度場においても非対称化が急激に進行する。
- iv) 大気中層の700—500mbの台風循環の消滅、同時に乾燥域が下層循環中心まで侵入(06<sup>z</sup>)する。

i) ~ iv) の過程をへて台風は温低化が完了した。温低化は降雨分布を反映するエコー分布や対流雲群の消長を示唆する  $T_{BB}$  の分布などの変化が先行し、台風の中心構造が崩壊(30日18<sup>z</sup>)し、エコー分布における温低化完了(1日00<sup>z</sup>)、最終的には700—500mbの大気中層で台風循環という運動場の消滅という経過をへて、台風の特性すべてが消滅した1日06<sup>z</sup>の時点で温低化が完了した。この期間を通して、大気中層では台風循環が消滅するという非連続変化に対し、大気下層の地上~850mbでは連続的な変化を経て台風循環そのものが温帯低気圧循環に変化する。この台風の場合は典型的な秋台風の進路をたどり、勢力も中心気圧950mb(転向点で)であった台風が上陸して984mbまで衰えたが、偏西風じょう乱との併合吸収過程をへて閉塞期の温帯低気圧へ変化し再発達したケースである。

データの疎な海上で温低化することが多かったため温低化の完了の条件は従来から十分明確な定義はなかった。上述の結論から、時間・空間分解能のよいGMS画像と高層データをもとにした温低化完了の条件は、大気中層の700~500mbの循環の後面から侵入してきた乾燥域が下層循環中心域まで到達した時点を取り定義できよう。GMS

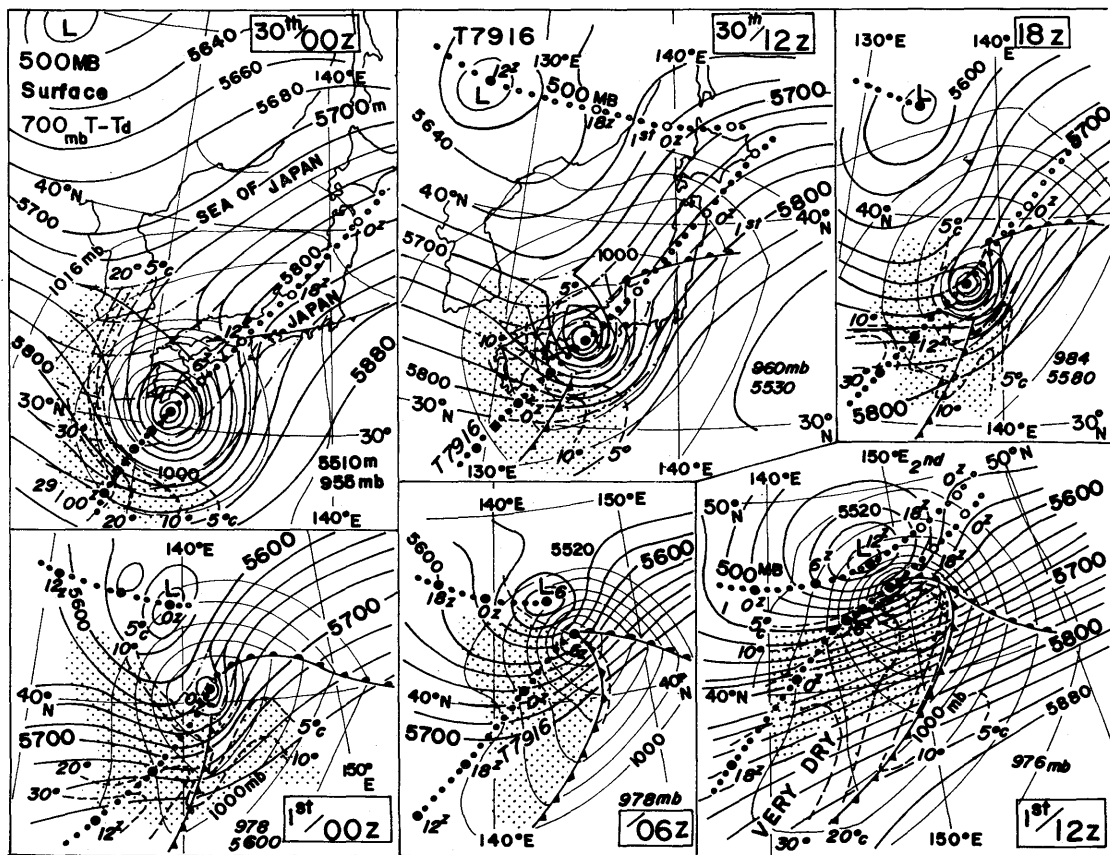


図4.18：台風7916の温低化過程；500mbの高度場（太線）、700mb T-Td（破線）、地上等圧線（細線）、ドットラインは台風→温帯低気圧の下層循環と500mb 偏西風じょう乱の移動経路。1979年9月30日00<sup>z</sup>～10月1日12<sup>z</sup>。

画像上で見れば、循環中心の後面における下降流に対応する晴天域又は下層雲域と Ci shield の境界が、また  $T_{BB}$  分布では  $0^{\circ}\text{C}$  又は  $10^{\circ}\text{C}$  の等値線が循環中心に到達した時点（両者は同時現象であろう）が温低化完了の定義とすればよいであろう。