

## 台風の温帯低気圧化における衛星画像の特徴

鈴木 和 史\*

### Characteristics of extratropical transition of tropical cyclones in Satellite Imagery

Kazufumi Suzuki

#### Abstract

Characteristics of tropical cyclones during extratropical transition were investigated. During this transition, a "dark area" in water vapor imagery intrudes into the center of tropical cyclone from the west, and a convective cloud line extended southward from near the cyclone center is organized. The former is related to the dissipation of the upper level warm core structure which is typical of tropical disturbances, and the latter corresponds to cold frontogenesis.

#### 要 旨

台風温低化における衛星画像の特徴を調べた。温低化においては、従来言われてきた中心付近での深い対流雲の消失や雲域の非対称化のほか、新たに暗域の中心付近への侵入と中心から南に伸びる対流雲列の形成が特徴的であることが分かった。暗域の侵入は熱帯擾乱に特有な上層暖気核構造の消失に、対流雲列は寒冷前線の形成に対応していた。

#### 1. はじめに

台風が中緯度傾圧帯に近づくと、熱帯低気圧としての性質を失い温帯低気圧に変化する。このことは温低化と呼ばれている。台風はこのほか弱い熱帯低気圧に変化することもあるが、ここでは台風の構造が大きく変化する温低化について、衛星画像からその特徴を探る。

台風の温低化とは、台風が持つ熱帯低気圧の特徴を失うことである。気象庁予報部(1990)は、温低化の条件として、「地上前線が台風循環の中心まで到達した場合」か「暖気核の消滅が確認された場合(この場合は必ずしも前線を中心まで描く必要はない)」を挙げている。そして衛星画像に基づいた温帯化の判定条件と

して、「暖気核の消滅により、台風循環中心付近における背の高い組織的な対流雲が消滅した時」「中心付近で背の低い対流性の雲が層状化・層積雲化して稠密さを失った時」「台風中心のCDO(Central Dense Overcast)が消滅し前線系が侵入した兆候が出た時」を目安としている。

衛星画像を用いて温低化を論じた報告は過去に多くない。Sekioka(1970)はESSA2の画像を用いて、日本付近で温低化する際の雲の状態を述べた。村松(1982)は、成熟した台風の温低化の過程をGMS・レーダ・高層観測データを用いて調査し、中心付近での深い対流雲の消失、降雨域の非対称化を経て対流圏中層での循環の消滅と乾燥域の循環中心までの侵入で

\*気象衛星センター 解析課

(1999年11月1日受領、2000年1月6日受理)

温低化が完了すると述べている。明石ほか(1986)は、温低化の過程で活発な対流雲域が中心から離れた東側に存在することを示した。

台風は観測点の少ない海上で温低化する例が多く、温低化を判断する上で衛星画像の特徴を把握することは重要である。この報告の目的は、過去の報告に述べられている温低化時の衛星画像の特徴を確認すると共に、水蒸気画像も含めた衛星画像の新たな特徴を見出すことである。

## 2. 温低化の分類

気象庁予報部(1990)は、予報作業の指針として、

温低化の過程を次の3ケースに分類し説明している(図1)。

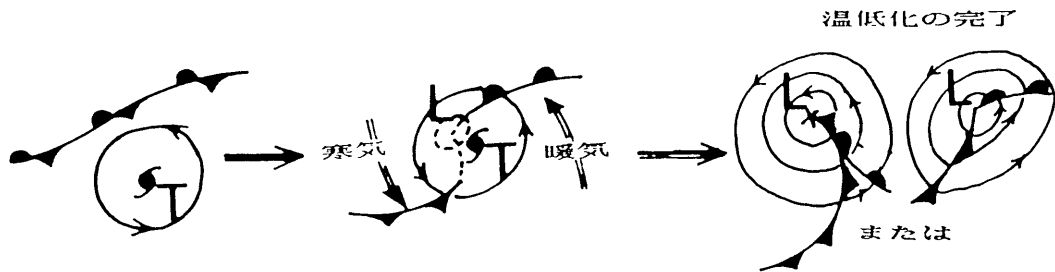
### (a) 傾圧性の強い偏西風帯へ侵入した場合

台風が比較的強い勢力を維持しながら傾圧性の強い偏西風帯に侵入した場合で、前線を台風中心まで引き込むか前線上に発生した低気圧に中心が移り温低化が完了する。温低化完了時には閉塞期特有な構造と形状を示すことが多い。

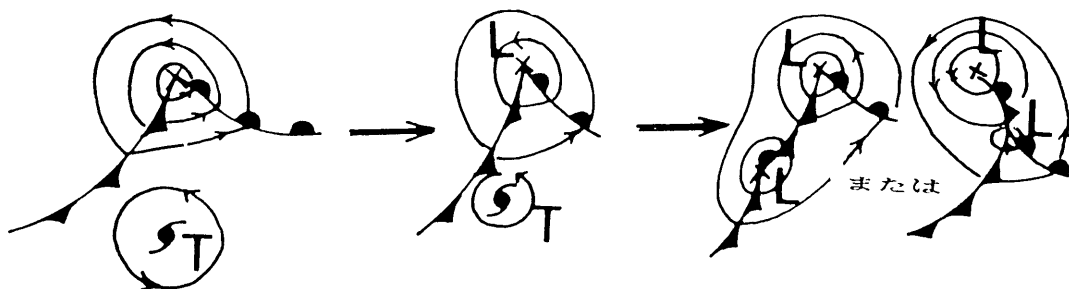
### (b) 温帯低気圧に吸収・合併される場合

偏西風帯にある低気圧の循環が強い場合に多く、台風は温低化後に消滅もしくは閉塞点低気圧や前線上の低気圧となる。

#### (a) 傾圧性が強い偏西風帯に侵入した場合



#### (b) 温帯低気圧に吸収・合併される場合



#### (c) 傾圧性が弱い寒気場に侵入した場合

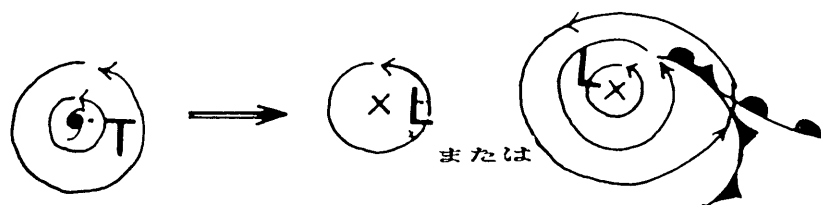


図1 温低化のモデル図(気象庁予報部1990)

(c) 傾圧性が弱い寒気場に侵入する場合

傾圧性が弱い寒気場に台風が侵入すると、次第に台風の特徴を失い温低化する。このケースは衛星や天気図から温低化を判定することが難しい場合が多く、24℃以下の海水温域に12時間以上滞在するなどを温低化の目安としている。

ここでは、温低化した台風を天気図から4タイプに分類した。基本的には(a)、(b)、(c)の3種類であるが、(a)について温低化後閉塞する場合と閉塞しないいわゆるオープンな前線を持つ低気圧のままの場合とに細分する。予報作業指針では、(a)は閉塞期特有な構造と形状を示すと説明されているが、偏西風帯へ突入した台風の温低化は必ずしも閉塞するとは限らないし閉塞構造の詳細についても解説されていない。ここでは、閉塞する場合と閉塞しない場合との違いを調べるため細分する。また後に示すように、閉塞する場合としない場合では衛星画像に表れる特徴に違いがあることにもよる。温低化と同時に24時間以内に閉塞した例は「閉塞する」例に、閉塞しないか温低化後24

時間以上経て閉塞した例は「閉塞しない」例とする。

調査したのは、1996年から1998年までの3年間で、温低化した事例は30例あった(事例の詳細はappendix参照)。温低化のパターンは気象庁地上天気図により分類した。温低化が6時間毎の気象庁天気図にない時刻に起きた場合は、前後の天気図から判断した。これらを表1にまとめる。

温帯化のパターンでは(a)が最も多く、全体の8割近い23例あった。更に(a)の中で閉塞する例は23例中13例であった。(b)と(c)は少なく、それぞれ2例と5例であった。温低化では、傾圧性の強い偏西風帯で閉塞するパターンが最も多い。

次に、温低化後24時間以内に中心気圧が深まる・維持・浅まる場合の事例を数えた。全体の2/3は温低化後中心気圧が浅まる中で、中心気圧が維持されるか再発達する比率は、(a)の閉塞する場合が最も高く13例中7例であった。傾圧性の強い偏西風帯で閉塞するタイプは、温低化後発達する可能性が高いと言える。

表1 温低化の形態別発現事例数と、温低化後の中心気圧の変化の事例数

温低化の形態		(a)傾圧性の強い偏西風帯(閉塞する)	(a)傾圧性の強い偏西風帯(閉塞せず)	(b)温帯低気圧に吸収・併合	(c)傾圧性の弱い寒気場	事例数
		事例数	事例数	事例数	事例数	
温低化後の中心気圧	深まる	4	1	0	1	6
	維持	3	1	0	0	4
	浅まる	6	8	2	4	20

3. 温低化の事例解析

前章で分類した4種類の温低化の例を取り上げ、温低化前と温低化時の衛星画像の特徴を探る。衛星画像は、赤外画像と水蒸気画像を用いる。水蒸気画像は1995年のひまわり5号から新たに搭載された6.5-7.0μmの波長帯の放射を観測するセンサーから得られる画像である。水蒸気画像における暗域は、上・中層の乾燥域を表し、トラフに対応することがあると知られており(淵田ほか、1998)、温低低気圧の構造を理解する上

で重要と考えられる。水蒸気画像では暗域の動向に着目する。衛星画像は、気象庁地上天気図や300hPa客観解析(数値予報同化解析値)と比較する。

3.1 傾圧性の強い偏西風帯で温低化(閉塞する場合)

傾圧性の強い偏西風帯で温低化し閉塞する例として、台風9720号の温低化を示す。台風9720号は、1997年9月11日マーシャル諸島近海で発生し、16日南鳥島近海で中心気圧945hPa最大風速45m/sにまで発達した後、関東の東海上を北上、19日18UTCに北海道の東海上で

温帯低気圧に変わった。

(1) 温低化12時間前 (図2)

台風9720号は関東の東海上にあり、中心気圧970hPa最大風速35m/sと大型で強い勢力を保ったまま北東へ45km/hrで移動している。北海道の東海上からアリューシャンの南にかけ前線が停滞している。

衛星画像では、台風はバンドパターンを示す。中心を取り巻く雲バンドの雲頂高度は高く活発なCbから構成され、円形の雲パターンを維持している。台風から吹き出すCiストリーク（水蒸気画像での三角印）は大きな高気圧性曲率を持ち、台風上端からのアウトフローが強いことを示している。こうした衛星画像の特徴から、台風はまだ熱帯擾乱の性質を保持していると判断できる。

一方、この時期に台風南西側で対流雲列（赤外画像での三角印）が形成された。雲列は背の低いCuから構成され（雲列の一部はCiストリークが覆っている）、まだ発達していない。水蒸気画像では台風西側の日本海に暗域（d）があり、300hPa天気図のトラフに対応している。暗域は台風の雲域にまだ入り込んでいない。

(2) 温低化時 (図3)

台風9720号は、北海道の東海上で温帯低気圧に変わった。中心気圧976hPa、移動は北東へ90km/hと台風時より加速している。

衛星画像では台風時と比べ、中心付近の対流雲が減少した。雲頂高度が高い雲域は中心から主に東側に移動し、南西側の雲頂高度の低下が著しい。こうして雲域の円形度は崩れた。このような状況は、温低化時に見られる衛星画像の特徴として従来述べられてきたことに一致する。

このほか、衛星画像から次の特徴が挙げられる。低気圧の雲域は北西側に高気圧性曲率をもって膨らみ、バルジパターンを呈している。水蒸気画像では、暗域

(d) が低気圧の西～南西象限に侵入してきた。低気圧南西側の雲域の雲頂高度が低下したのは、暗域の侵入により対流雲が抑制されたためのようにみえる。対流雲列（図中三角印）は、この時刻には幅数十キロメートル長さ千キロメートル以上にも伸び、雲列内にCgや

Cbが形成され対流活動が活発化し始めている。この時刻には寒冷前線は対流雲列の数百キロ西に解析されているが、この6時間後には対流雲列と一致した位置に解析された。

3.2 傾圧性の強い偏西風帯での温低化（閉塞しない場合）

(a) の中で閉塞しない例として、台風9807号の温低化を示す。台風9807号は、1998年9月17日ルソン島の西海上で発生し、22日日本の南海上で中心気圧960hPa最大風速40m/sの勢力に達した後、和歌山県御坊市付近に上陸、23日00UTCに北海道の東海上で温帯低気圧に変わった。

(1) 温低化12時間前 (図4)

台風9807号はやや衰えながら、中心気圧990hPa最大風速25m/sと中型・なみの強さとなり北東へ80km/hrと早い速度で移動している。この時刻の約1時間後、台風は山形県鶴岡市付近に再上陸している。停滞前線は北海道の南から千島の東に伸び、寒冷前線が本州から四国の南岸にある。

衛星画像では、台風はバンドパターンを示す。中心の南側に活発な対流雲を伴い雲域の円形度はまだ崩れていない。台風上部からのアウトフローに伴うCiストリーク（水蒸気画像での三角印）は北西側で明瞭である。対流雲列（赤外画像での三角印）は、この時刻の3時間前から形成されはじめ、背の低い対流雲から構成されている。対流雲列と寒冷前線の位置はまだ一致していない。水蒸気画像では、台風を挟んで東西に暗域が存在する。台風西側の暗域（w）は300hPa天気図のトラフに対応しており、東側の暗域（e）は太平洋高気圧の沈降に伴うものである。温低化12時間前の衛星画像の特徴は、先に述べた「傾圧性の強い偏西風帯で温低化（閉塞する場合）」と大きな違いはない。

(2) 温低化時 (図5)

台風は北海道の南東海上で温帯低気圧に変わり、中心気圧も1000hPaに浅まった。台風は停滞前線に入り込んで、閉塞していない低気圧となった。前線の位置は12時間前とほとんど変わっていない。

衛星画像では、低気圧は中心付近で対流性の雲が消

滅し、ScやStなどの層状の下層雲から構成されている。活発な対流雲は低気圧の暖域に存在する程度で、低気圧に伴う雲域の対流活動は衰えている。対流雲列（図中三角印）は太平洋沿岸で対流活動が活発になり、寒冷前線の位置と一致している。これらは閉塞する場合と同じ特徴を示しているが、次の示すことは閉塞する場合と異なる。雲域北縁は12時間前よりぼやけて不明瞭となり、高気圧性曲率を持つCiストリークも見られなくなった。水蒸気画像では、低気圧西側の暗域（w）は北上しながらその領域を狭めており、対応するトラフが浅まっていることに符合している。

### 3.3 温帯低気圧に吸収・併合される温低化

先行する低気圧から伸びる寒冷前線に吸収され温低化した例を示す。台風9724号は、1997年10月13日マールシャル諸島近海で発生し、17日マリアナ諸島近海で中心気圧905hPa最大風速55m/sと大型で猛烈な強さの勢力に達した後、23日06UTC日本のはるか東海上で温帯低気圧に変わった。

#### (1) 温低化12時間前（図6）

台風9724号は、中心気圧980hPa最大風速30m/sで中型・なみの強さである。台風の北東には前線を伴った低気圧がある。

衛星画像では、台風は下層雲渦パターンを示す。台風中心付近にCbが散在しているが、雲域は円形度を失って中心を特定するにはかなり不明瞭となっている。傾圧性の強い偏西風帯での温低化で見られた台風南側の対流雲列は形成されていない。水蒸気画像での暗域も、台風周辺に見られない。一方台風の北東にある前線を伴った低気圧の雲域はバルジを成し、300hPaトラフに対応する暗域（d）を伴い発達する様子を示している。

#### (2) 温低化時（図7）

台風9724号は、北東にあった低気圧から伸びる寒冷前線に併合し、990hPaの温帯低気圧に変わった。

衛星画像では、温低化した雲域は北東にある発達中の低気圧の雲域と併合して一体の雲域のように見える。温低化した低気圧中心付近でCbの活動が台風時より活発になった。温低化した低気圧の雲域は、やや明瞭

なバルジを示している。対流雲列（図中三角印）は6時間前から形成されたもので、寒冷前線の位置と一致している。雲列はCuから構成され対流活動は不活発である。水蒸気画像で低気圧西側の暗域は見られない。

### 3.4 傾圧性の弱い寒気場での温低化

台風が北上し海面水温が低い海域に達しそこに前もって前線が存在しないとき、傾圧性が弱い寒気場での温低化となる。ここでは、北海道の東海上で温低化した例を示す。台風9612号は、1996年8月3日南大東島の南東海上で発生し、14日九州東海上で中心気圧955hPa最大風速40m/sと大型で強い勢力を維持して熊本県に上陸した。九州・中国地方を縦断して日本海へ進み東北地方に再上陸した後、16日00UTCに北海道の東海上で温帯低気圧に変わった。

#### (1) 温低化12時間前（図8）

台風9612号は三陸沖にあり、中心気圧985hPa最大風速25m/sで中型・弱い勢力となっている。台風周辺に前線は解析されていない。

衛星画像では、台風はCbクラスターパターンを示す。中心付近では北側にCbがあるが、その他に活発な雲はない。台風の南側に対流雲列が形成されてきた（図中三角印）。水蒸気画像では、暗域が台風中心のすぐ西まで侵入してきている。しかし傾圧性の強い偏西風帯での温低化の場合と異なり、暗域は東西に長く、対応する上層のトラフは浅い。

#### (2) 温低化時（図9）

台風は閉塞パターンで温低化した。中心気圧は984hPaで12時間前の台風時とほぼ同じである。

雲画像では低気圧中心から500km程東に離れた場所（E）で雲頂高度が上昇し、ここが閉塞点に対応している。低気圧中心では主にScで構成された下層雲渦があり、中心付近での対流活動は衰えたことがわかる。対流雲列（図中三角印）の雲頂高度は低く主にCuから構成されており、対流活動は活発でない。対流雲列は寒冷前線の位置に一致している。水蒸気画像では、暗域が低気圧中心を追い越して東側まで進み閉塞点付近まで伸びている。偏西風帯での温低化で見られた低気圧雲域のバルジは、見られなかった。

### 3.5 各温低化パターンの特徴

これまでの事例解析から、温低化の特徴として衛星画像から、(1) 中心付近での対流活動の衰弱、(2) バルジの明瞭化、(3) 暗域の中心付近への侵入、(4) 中心から南西方向に伸びる対流雲列の形成、が挙げられる。それぞれの温低化タイプにおいて発現する衛星画像の特徴を表2にまとめる。

傾圧性の強い偏西風帯で閉塞する場合は、中心付近で雲頂高度が低下する(対流活動が衰える)、活発な対流雲は中心から離れ東へ移動する、台風雲域の円形度が崩れるなどの特徴を示した。こうした特徴は熱帯低気圧としての構造が消失していることを表すと考えられ、従来から提唱されている温低化時の衛星画像の特徴と一致する。このほかバルジや対流雲列が形成され、水蒸気画像で暗域が中心付近に侵入するという特徴が明瞭に表れる。これらは、傾圧不安定波としての特徴を獲得してきていることを表わし、温帯低気圧が発達するときの特徴と共通する。今回の調査事例でも、13例中7例が温低化後中心気圧が維持されるか深まっていた。

傾圧性が強い偏西風帯で閉塞しない場合は、閉塞する場合に比べ、バルジの形成が弱く暗域の侵入がやや不明瞭であることが異なる。これは発生期の温帯低気

圧の特徴に似ており、衛星画像からは低気圧が発達するとは考えにくい。実際、このパターンでは温低化後少なくとも24時間以内に中心気圧が深まることはほとんどなかった(再発達した例が1例あった(台風9624号)が、衛星画像からは閉塞の雲パターンを示していた)。閉塞しない場合は、閉塞する場合に比べ、温帯低気圧として発達する特徴が不明瞭になりながら温低化すると言える。

温帯低気圧に吸収・合併する場合は、暗域の侵入は無い・中心付近の対流活動は比較的活発・対流雲列は不活発など、他の場合とかなり異なる特徴を示す。こうした特徴から見て、まだ熱帯擾乱としての特徴を強く持ったまま温帯低気圧や前線に吸収されると考えられる。この事例は数も少なく、温低化としてはかなり特殊な例であろう。

傾圧性の弱い寒気場の場合は、バルジが形成されない。中心付近でも対流雲列内でも対流活動が不活発なのは、寒気場にあるので対流現象が励起されにくいからであろう。こうした衛星画像の特徴から、温低化後も低気圧の発達を考えにくい。このケースでも5例中4例は中心気圧は浅まった。温低化後再発達した例が1例ある(台風9714号)が、切離低気圧前面で発達したかなり特殊な例であった。

表2 温低化の形態と衛星画像での特徴

温低化の形態 画像の特徴	(a)傾圧性の強い 偏西風帯 (閉塞する)	(a)傾圧性の強い 偏西風帯 (閉塞せず)	(b)温帯低気圧に 吸収・併合	(c)傾圧性の弱い 寒気場
バルジ	明瞭	不明瞭	やや明瞭	不明瞭
中心での対流活動	衰弱	衰弱	活発	衰弱
暗域の侵入	明瞭	やや不明瞭	なし	明瞭
対流雲列の形成	あり	あり	あり	あり
対流雲列の活動	活発	活発	不活発	不活発

#### 4. 温低化における衛星画像の特徴についての考察

温低化で示された衛星画像の特徴である「暗域の侵入」と「対流雲列の形成」についてその成因や構造を考察する。考察にあたってはRSM初期値（以後初期値と呼ぶ）を用いた。初期値で示される構造は衛星画像の解釈と矛盾はないので、初期値はほぼ正しく大気構造を表していると考え話を進める。なお、考察には、傾圧性の強い偏西風帯で閉塞する温低化のパターンである台風9720号の事例を取り上げる。

##### 4.1 暗域の侵入

中心付近における上空の暖気核の消失は、台風から温帯低気圧へ構造が変化したことを示す重要な指標である。台風の上層の暖気核は、中心付近の活発な対流活動による潜熱放出で維持される。赤外面像では、台風中心付近のCbクラスターを監視することにより対流活動の盛衰を知り、間接的に暖気核の状況を推測できる。例えば、Cb・Cgの雲頂高度が低下する（雲頂温度が上昇する）こと、Cb・Cgの面積が減少すること、Cb・Cgが中心から遠ざかることは、中心付近での対流活動の弱まりを表す。赤外面像でこうした特徴が見られたら、暖気核の維持が困難な状況を表しているため、温低化が進んでいると判断できる。

水蒸気画像の暗域は、上・中層における水蒸気量の少ない乾燥領域を表している。暗域に覆われることは雲頂高度が上・中層まで達する背の高い対流雲が成長しにくい状態を表すと考えることができる。

温低化6時間前の水蒸気画像と初期値を図10aに示す。台風は中心付近にCb・Cgを伴い、雲域は円形を保っている。中心の雲域から時計回りに吹き出す高気圧性曲率を持ったCiストリークが各象限に見られる。衛星画像のこのような特徴は、中心の上空に暖気核がまだ存在していることを示唆している。初期値の300hPa気温分布からも中心付近は周囲より温度が高く、 $-21^{\circ}\text{C}$ の閉じた等温線で表される暖気核の存在を示している。X-Yに沿う断面（図10b）では、台風中心の上空ではほぼ鉛直に250hPa付近まで周りより湿潤で温度が高く、暖気核の存在が確認できる（なおこの暖気核は、台風ボーガス挿入による人為的なもので

はないかとの懸念があるが、台風ボーガスは300hPaより下層に限られる（大野木、1997）ので、少なくとも今着目している300~200hPaの暖気核には反映しないとみてよいだろう）。台風西側の暗域は、500hPa付近まで降下してきた乾燥域（ $T-T_d \geq 30^{\circ}\text{C}$ ）に対応している。特に $141^{\circ}\text{E}$ 付近では部分的に700hPaまで乾燥域が降下していて、ここでは下降流が強いことを示唆している。

温低化6時間後の水蒸気画像と初期値を、図11aに示す。300hPa初期値の気温分布では、低気圧中心から南東象限に $-24^{\circ}\text{C}$ の閉じた等温線が認められる。しかし温低化前と比べ、昇温し温度傾度もゆるんでいる。断面図（図11b）では、中心付近の上層は周囲との温度差は非常に小さく台風時より乾燥していることから、沈降昇温による暖気に代わってきたと考えられる。こうしたことから、台風に特有な上層の暖気核は消滅していると判断できる。衛星画像では中心付近に活発な対流雲は無く、Cb・Cgは中心から東へ200~300km離れた $160^{\circ}\text{E}$ 付近に遠ざかっている。これは明石ほか（1986）が示した温低化時に活発な対流雲が中心の東に離れる現象と似ている。中心付近はScやCuの下層雲からなり、下層雲渦（中心付近を図中X印で示す）がみられる。中心付近で対流雲が消滅したこのような衛星画像の特徴からも、上空の暖気核は消失したと判断できる。

水蒸気画像での暗域は、南西側から中心付近に伸びており、上・中層雲のない（下層雲だけの）範囲と一致している。断面図（図11b）でみると $T-T_d \geq 30^{\circ}\text{C}$ が700hPaまで広がっているように、この暗域はかなり厚い乾燥域で、強い沈降により形成・維持されていると考えられる。暗域は寒気を伴っていないことから、安定度を悪化させる効果は持っていない。従って暗域の侵入が対流活動を衰えさせ、その結果熱の鉛直輸送が抑制され上空での暖気核は消失に向かったもので、温低化時に中心付近に侵入する暗域は上層暖気核消失の原因の一つと考えられる。

##### 4.2 対流雲列の形成

ほとんどの温低化の場合、天気図上では前線が解析

される。一般に進行方向前面に温暖前線、後面に寒冷前線が描かれる。温低化時の衛星画像では、中心の南側に対流雲列が形成される特徴を持つ。そしてこの対流雲列を寒冷前線として解析している場合が多い。ここでは対流雲列の寒冷前線構造に関し考察する。

図12は、温低化6時間前の赤外画像と850hPa初期値である。Cuから構成される対流雲列(図中三角印)が形成されつつある。この対流雲列は、850hPaにおける18°Cの高温域・南西の強風(30-50Kt)に対応しており、寒冷前線としてより暖気内の不安定線としての性質が強い。図13は、温低化6時間後の赤外画像と850hPa初期値である。対流雲列(図中三角印)は台風時より明瞭となり、所々にCbやCgを含み活発化している。対流雲列は依然18°Cの高温域に対応しているが、12時間前より西からの寒気(例えば15°Cの等温線)が近づいて温度傾度が生じてきていることや南西風と西風との収束が明瞭になるなど、寒冷前線としての性質に近づいている。図14は対流雲列にほぼ直交した鉛直断面(図13のX-Yに沿う断面)の鉛直流とT-Tdの分布である。T-Td $\geq$ 30°Cの強い乾燥域は700-500hPaの間にあり、そこでは下降流となっている。暗域に対応する部分では下層まで沈降が広がっている。対流雲列付近で温度傾度がなかなか強まらないのは、対流雲列西側の暗域で示される領域での沈降昇温が効いているからと考えられる。一方850hPaの流れ(図13)では、対流雲列は低気圧後面から流れ込む乾燥した流れと南の太平洋高気圧の縁辺の流れとにより形成された変形場の伸長軸の近傍に位置している。水平運動による寒気移流の効果が沈降による昇温効果を次第に上回りながら、前線としての性質を徐々に獲得していく過程にあると考えられる。

温低時に衛星画像で見られる対流雲列は、当初は不安定線としての性質が強いが、最終的には寒冷前線としての性質を持つようになる。

## 5. まとめ

台風が温低化する時の特徴を気象庁予報部の分類に従って調べた。

最も多く出現したのは傾圧性の強い偏西風帯で温低化する場合で、中でも24時間以内に閉塞する場合は全体の約1/2を占め、温低化の最も出現しやすいパターンであった。最頻パターンである「傾圧性の強い偏西風帯で閉塞する温低化」は、他のパターンに比べ衛星画像で温帯低気圧発達の特徴が明瞭に表れ、再発達しやすい。

傾圧性の強い偏西風帯で温低化しても24時間以内に閉塞できない場合や寒気場内で温低化する場合は再発達の可能性は小さく、衛星画像からも再発達を示唆する特徴は見いだせなかった。

温帯低気圧に吸収・合併する場合は、他の温低化と異なり熱帯擾乱としての性質をかなり保持したまま低気圧や前線に吸収された。

温低化を判定するときの衛星画像の特徴を、最も典型的に特徴が表れる「傾圧性の強い偏西風帯で閉塞する温低化」を例にまとめる(図15)。

- ・暗域が雲域の西側から侵入し、中心付近から南側を覆う。
- ・暗域の侵入により中心付近では対流活動が抑えられ雲頂高度が低下して下層雲から構成されようになる。
- ・中心付近の活発な対流雲は弱まるか、中心から分離して東へ移動する。
- ・台風中心の東側の活発な対流雲を起点として、南～南西に伸びる対流雲列が形成される。
- ・バルジが明瞭になる。特に西縁は南北方向に立つ。

気象庁予報部(1990)では、主として衛星画像をもとにした温低化判定条件として、「循環中心付近の背の高い組織的な対流雲が消滅」「循環中心の積雲列が層状化し稠密さを失う」「CDOが消滅または分離する」などを挙げている。今回の調査では、こうした条件のほかに、「暗域が中心付近に侵入する」「中心の南側に対流雲列が形成される」という条件が、温低化の判定に利用できることが分かった。暗域の侵入は上空の暖気核の消失につながり、対流雲列は寒冷前線の形成に、それぞれ対応していた。



## 謝辞

解析課田中武夫主任技術専門官には資料の収集を手伝って頂いた。衛星画像と初期値との重ね合わせは隈部良司調査官の助けを借りた。また解析課の多くのメンバーには内容について適切なコメントを頂いた。心から感謝する。

## 参考文献

- 明石秀平, 木場博之, 櫃間道夫 (1986) : 台風の気圧中心から離れて存在する積乱雲の渦, 気象衛星センター技術報告, 13, 33-56.
- 大野木和敏 (1997) : 台風ボーガス, 数値予報課報告・別冊第43号, 52-61.
- 気象庁予報部 (1990) : 台風予報, 予報作業指針, 44-47.
- 淵田信敏, 山崎伸一, 小林廣高, 奥村栄宏 (1998) : 雲解析情報図における雲解析の方法「Ⅲ. 上層トラフ」, 気象衛星センター技術報告, 36, 48-51.
- 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 (OWEN) —, 天気, 29, 1199-1212.
- Sekioka, Mitsuru (1970) : On the Behavior of Cloud Patterns as Seen On Satellite Photographs in the Transformation of a Typhoon into an Extratropical Cyclones. J.Met.Soc.Japan, 48, 224-233.

## Appendix

1996年から1998年に温低化した台風の温低化パターンごとのリストを示す。

温低化の形態	台風	温低化日時	温低化時の中心気圧	温低化後の気圧変化
傾圧性の強い偏西風帯で閉塞する場合	9605	7月12日 06UTC	988hPa	—
	9614	9月3日 12UTC	992hPa	↓
	9706	6月14日 12UTC	990hPa	↑
	9707	6月21日 00UTC	990hPa	—
	9708	6月28日 21UTC	980hPa	↓
	9718	9月4日 18UTC	984hPa	↑
	9720	9月19日 18UTC	976hPa	↓
	9722	9月30日 12UTC	984hPa	↓
	9725	11月8日 03UTC	986hPa	↑
	9804	9月7日 00UTC	980hPa	—
	9805	9月16日 12UTC	976hPa	↑
	9809	9月30日 09UTC	990hPa	↑
9810	10月18日 00UTC	980hPa	↑	
傾圧性の強い偏西風帯で閉塞しない場合	9603	5月19日 00UTC	996hPa	↑
	9620	10月1日 12UTC	990hPa	↑
	9621	10月3日 18UTC	994hPa	↑
	9624	11月13日 12UTC	980hPa	↓
	9626	12月30日 00UTC	998hPa	↑
	9701	4月23日 18UTC	996hPa	↑
	9711	8月9日 09UTC	990hPa	↑
	9719	9月16日 21UTC	1002hPa	↑
	9807	9月23日 00UTC	1000hPa	—
9811	10月27日 12UTC	1004hPa	↑	
吸収合併	9705	6月2日 00UTC	996hPa	↑
	9724	10月24日 06UTC	990hPa	↑
寒気場内	9612	8月16日 00UTC	984hPa	↑
	9617	9月23日 12UTC	990hPa	↑
	9618	9月20日 12UTC	984hPa	↑
	9714	8月23日 06UTC	984hPa	↓
	9723	10月25日 06UTC	998hPa	↑

↑：温低化後24時間以内に中心気圧が上昇した場合

↓：温低化後24時間以内に中心気圧が下降した場合

—：温低化後24時間以内の中心気圧に変化がない場合

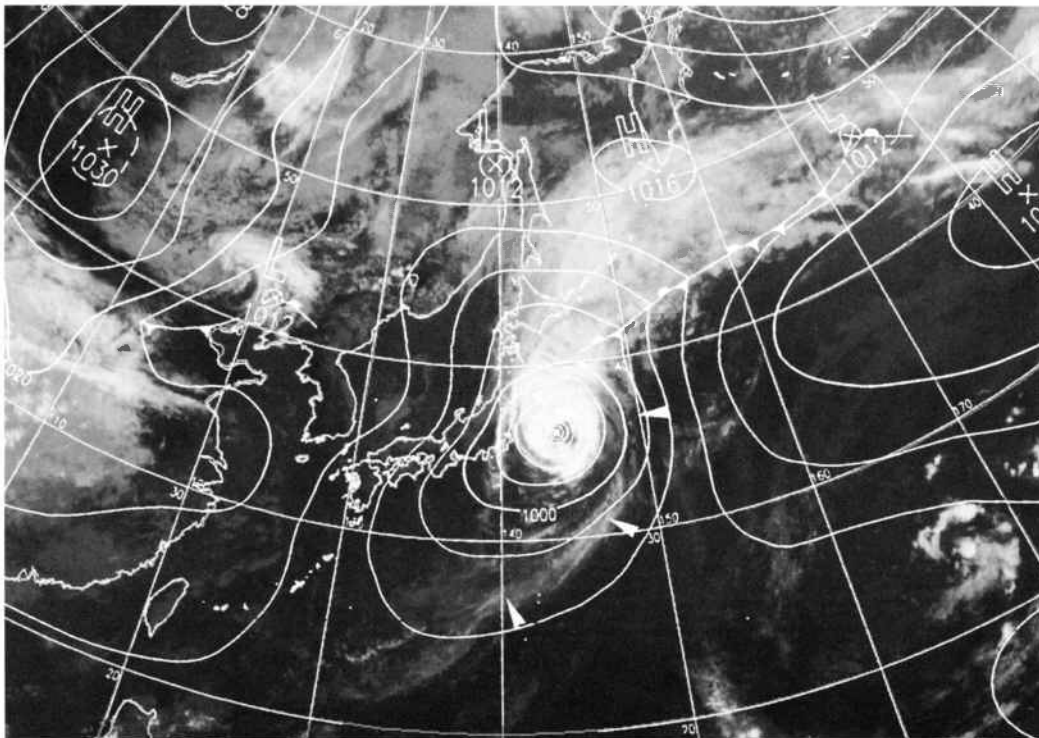
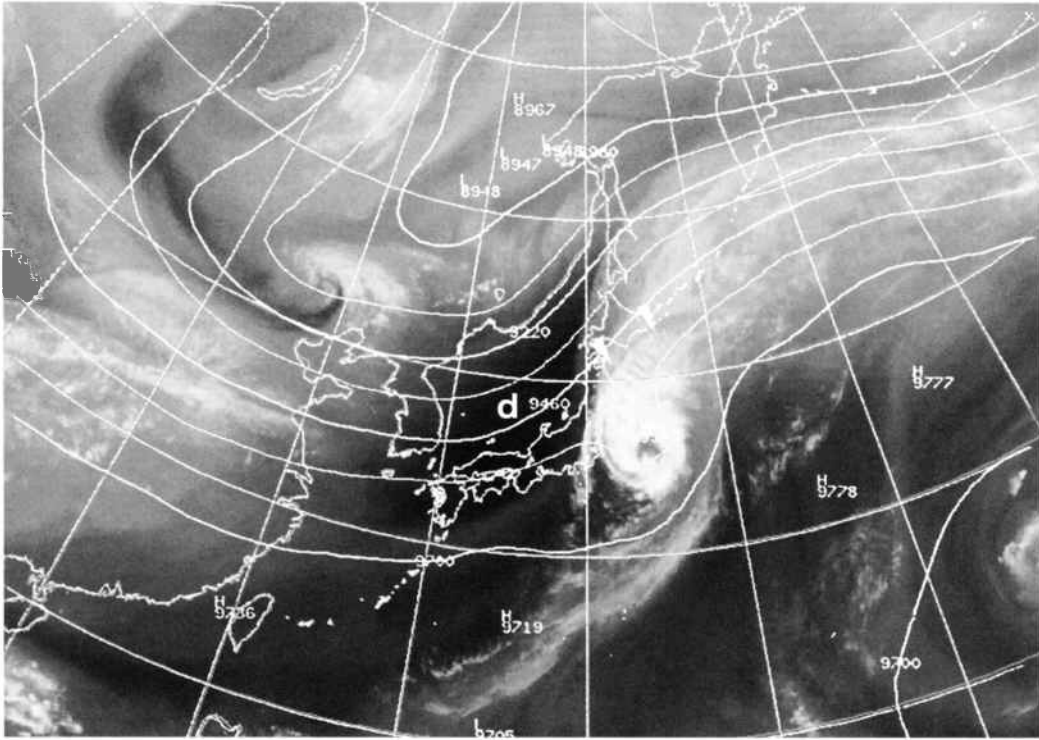


図2 傾圧性の強い偏西風帯での温低化（閉塞する場合）の12時間前（1997年9月19日06UTC）  
上：水蒸気画像と300hPa等高度線（120mごと） 下：赤外面像と地上天気図

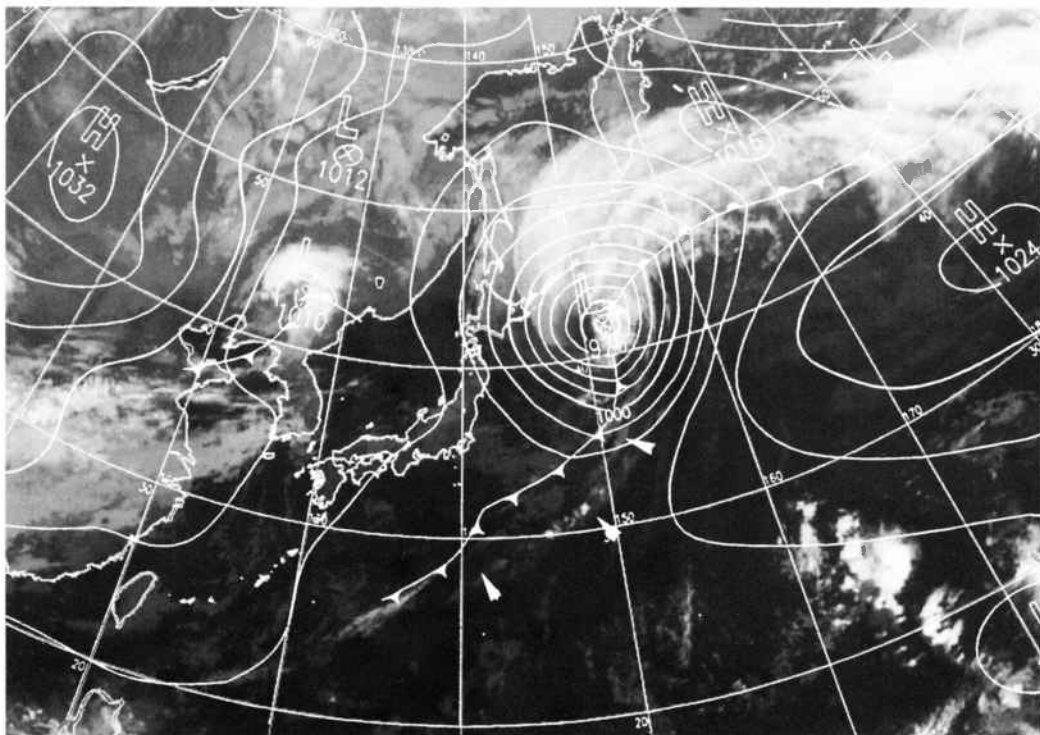
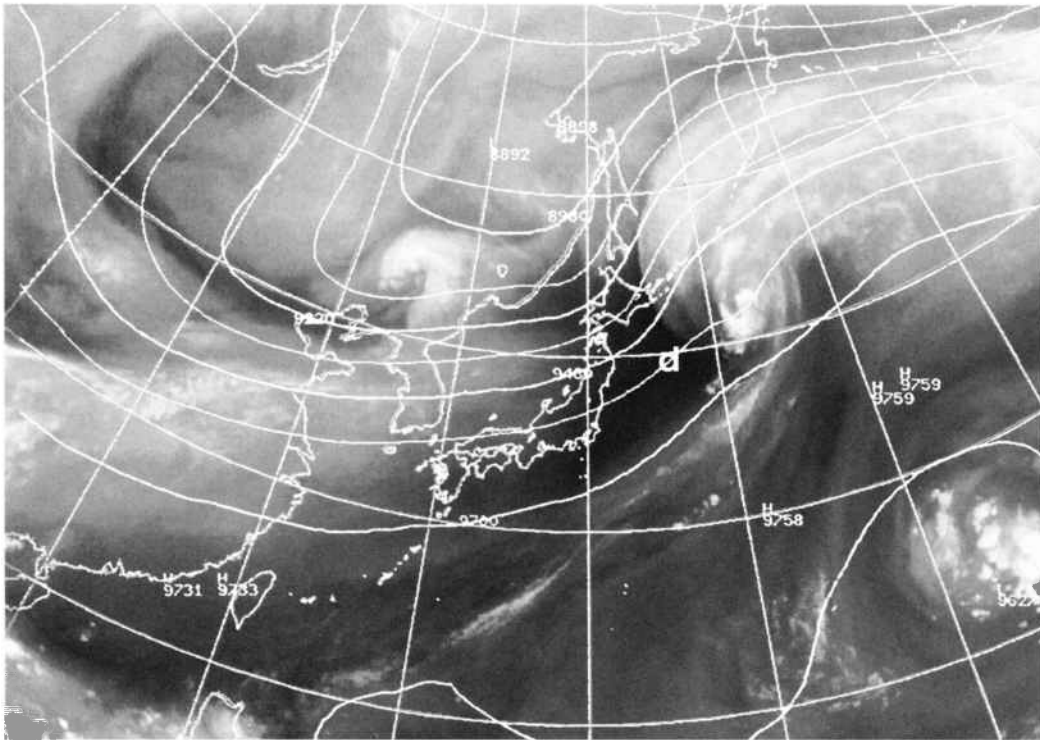


図3 傾圧性の強い偏西風帯での温低化（閉塞する場合）の完了時（1997年9月19日18UTC）、他は図2に同じ。

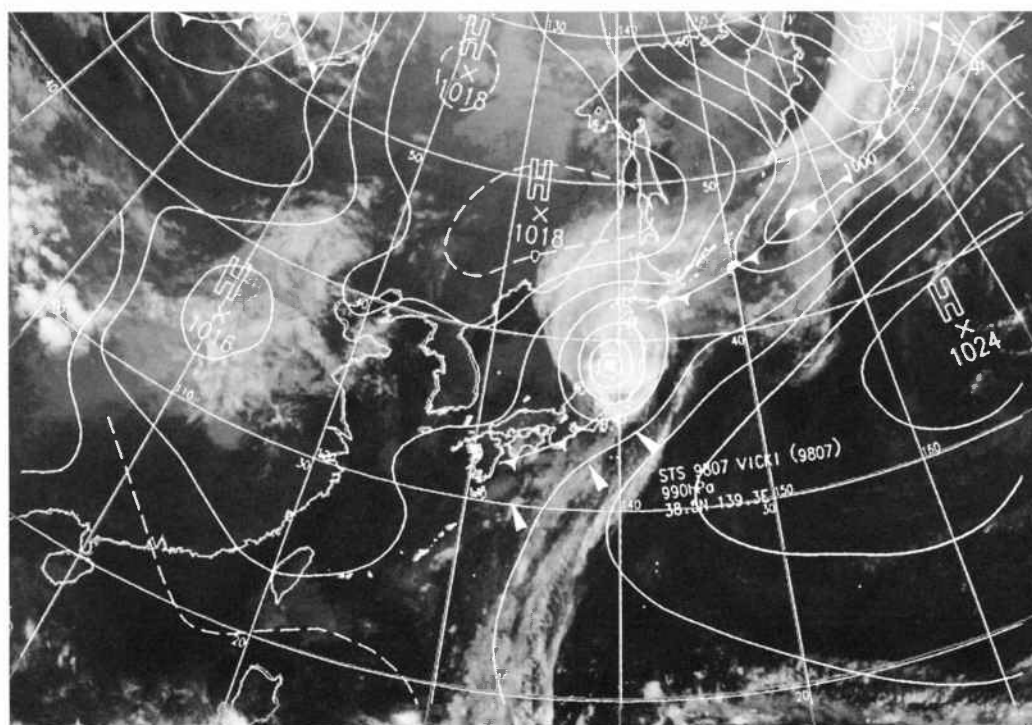
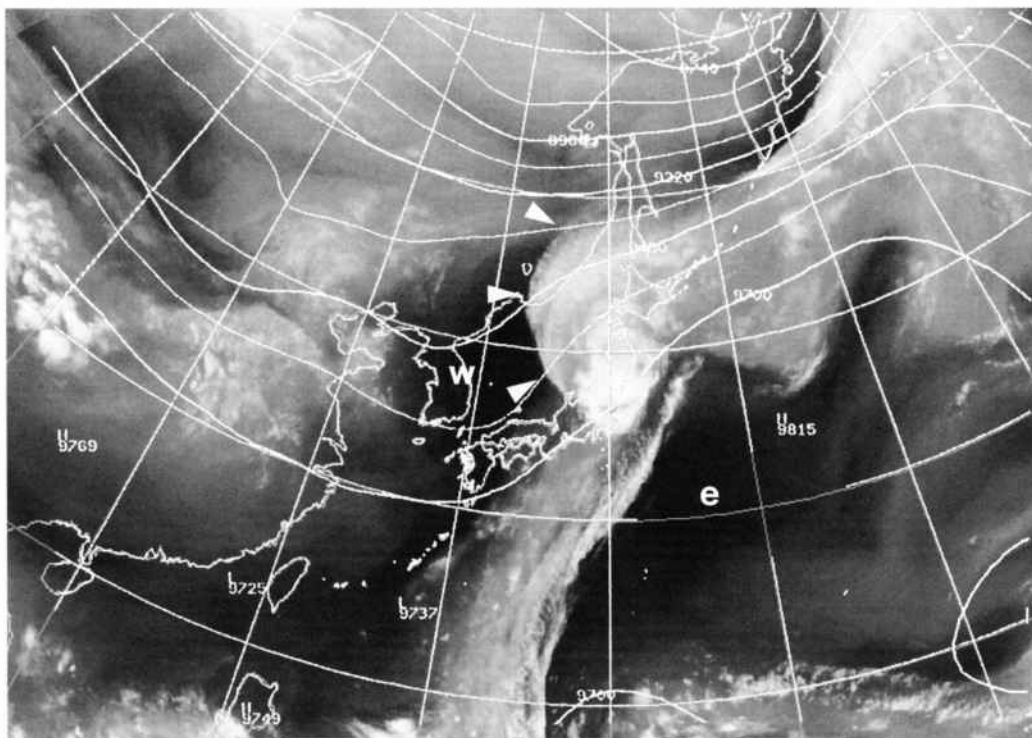


図4 傾圧性の強い偏西風帯での温低化（閉塞しない場合）の12時間前（1998年9月22日 12UTC）。他は図2に同じ。

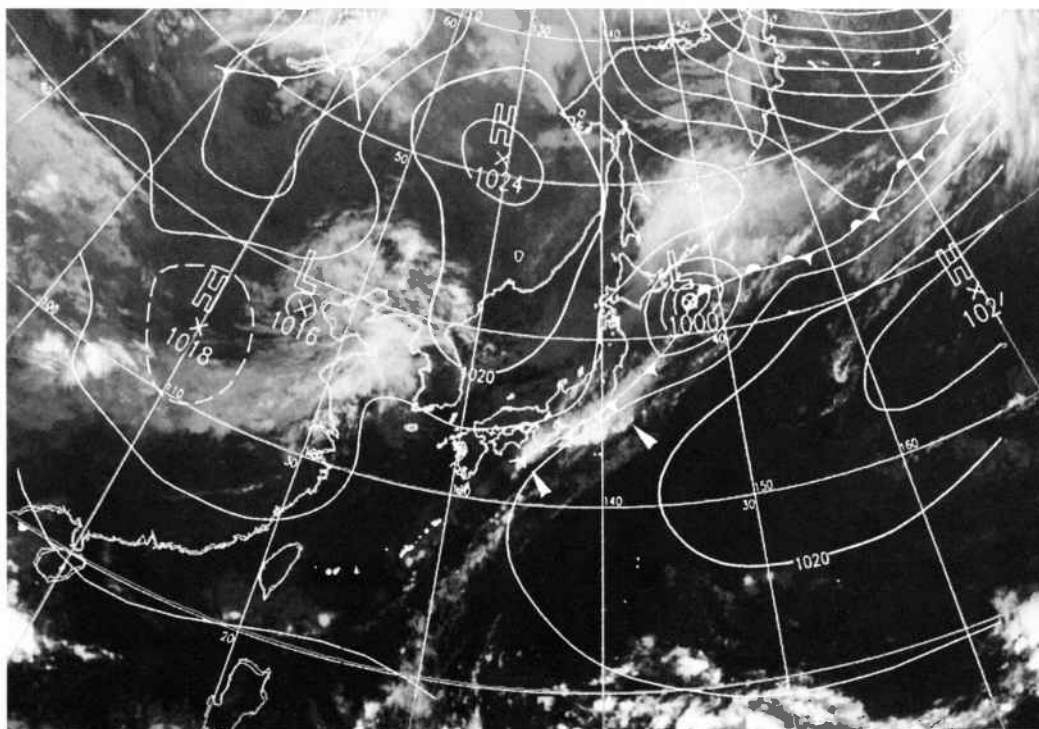
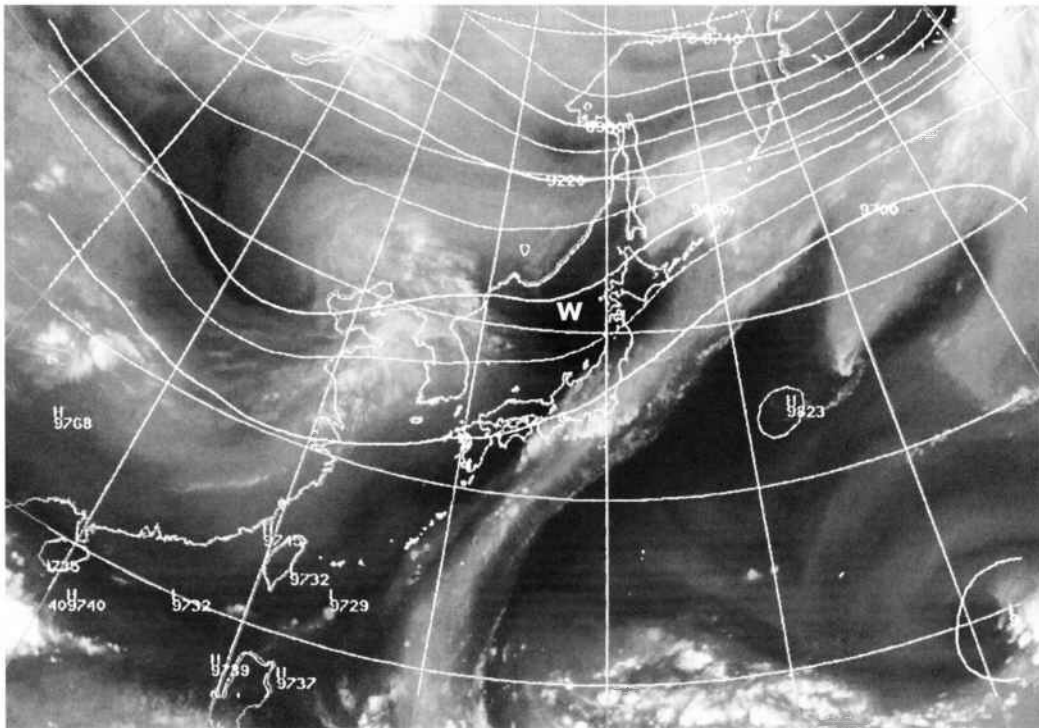


図5 傾圧性の強い偏西風帯での温低化（閉塞しない場合）の完了時（1998年9月23日00UTC）。他は図2に同じ。



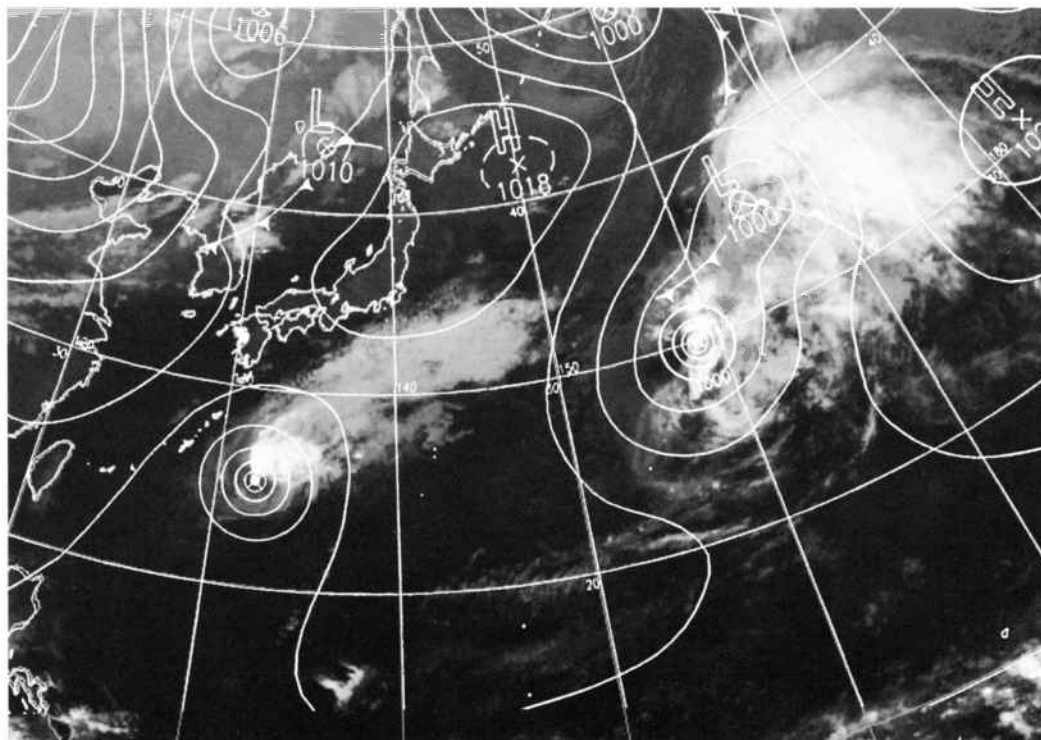
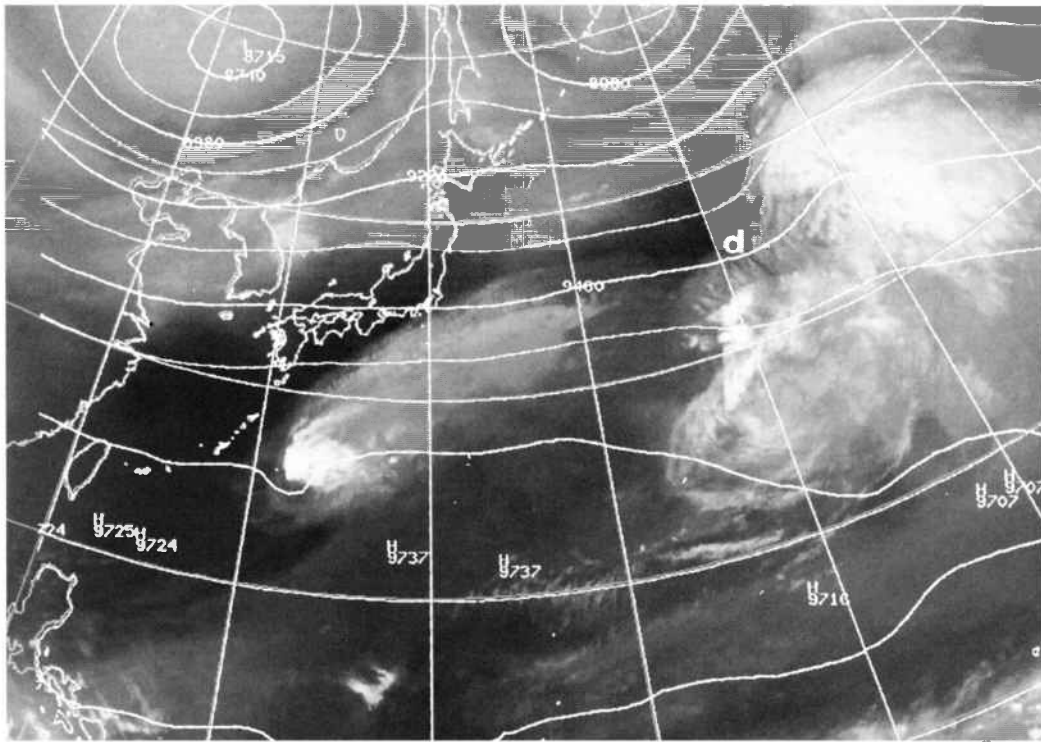


図6 温帯低気圧に吸収・併合する温低化の12時間前 (1997年10月23日18UTC)。他は図2に同じ。

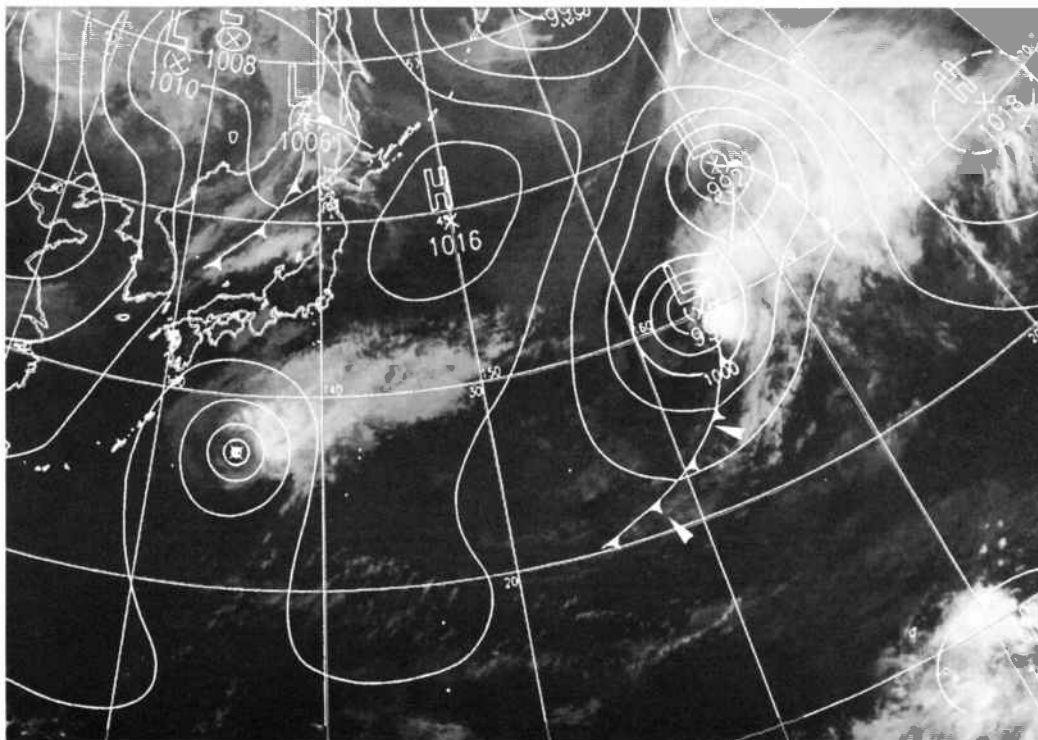
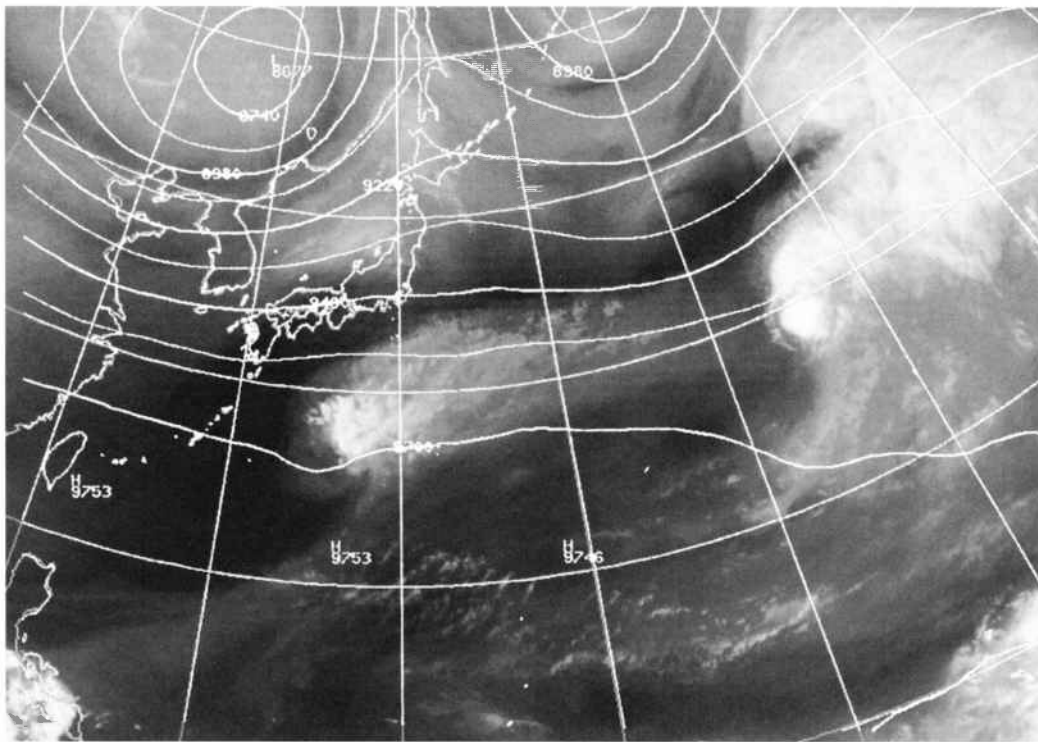


図7 温帯低気圧に吸収・併合する温低化の完了時 (1997年10月24日06UTC). 他は図2  
と同じ.



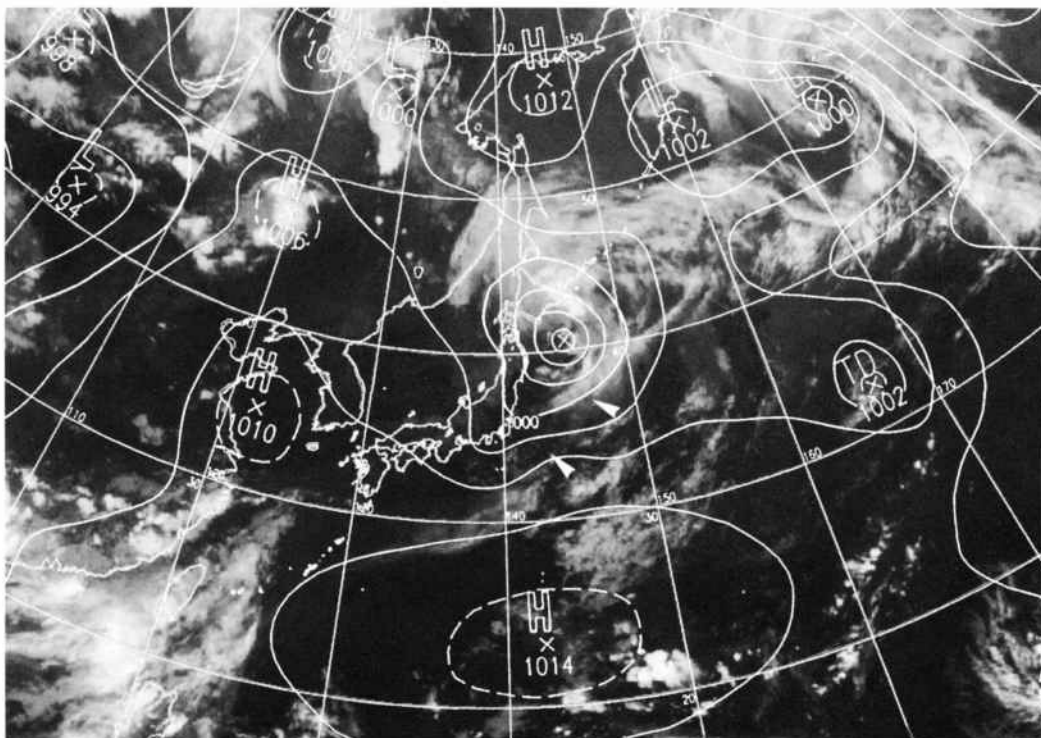
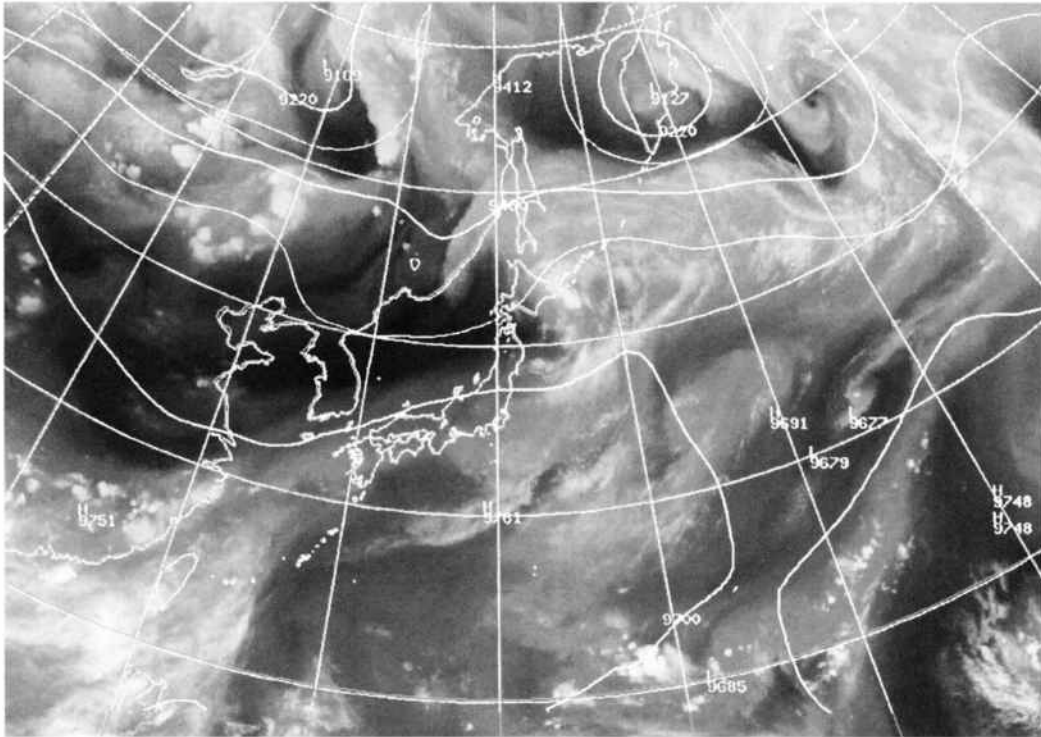


図8 傾圧性の弱い寒気場内での温低化の12時間前 (1996年8月15日12UTC)。他は図2に同じ。

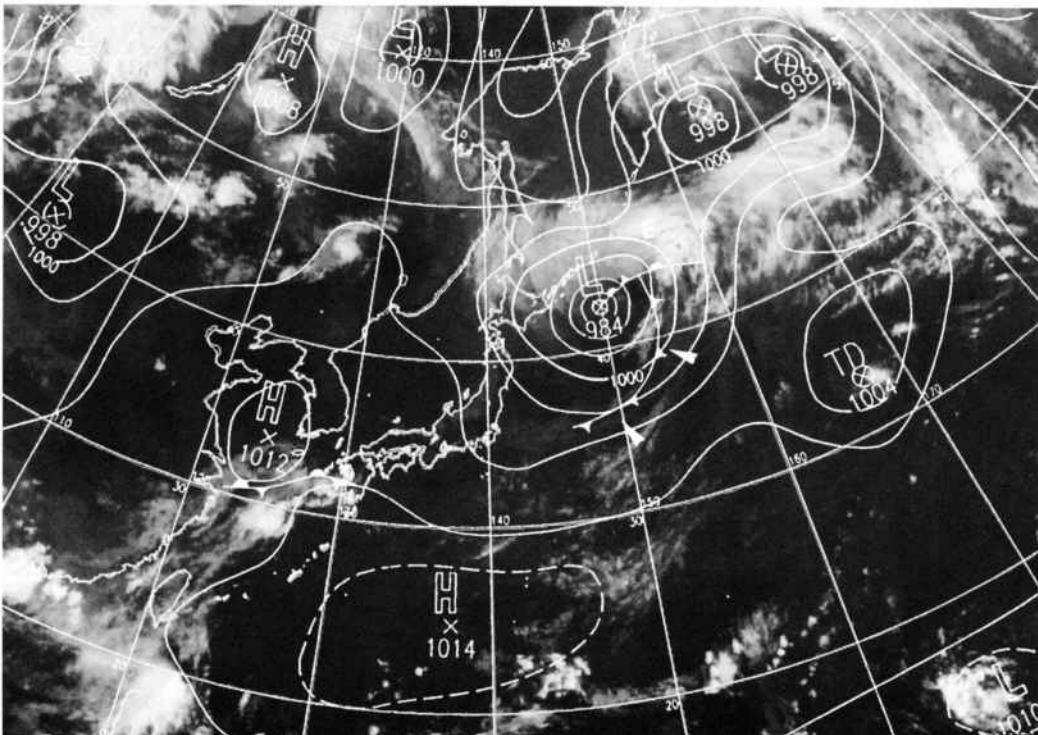
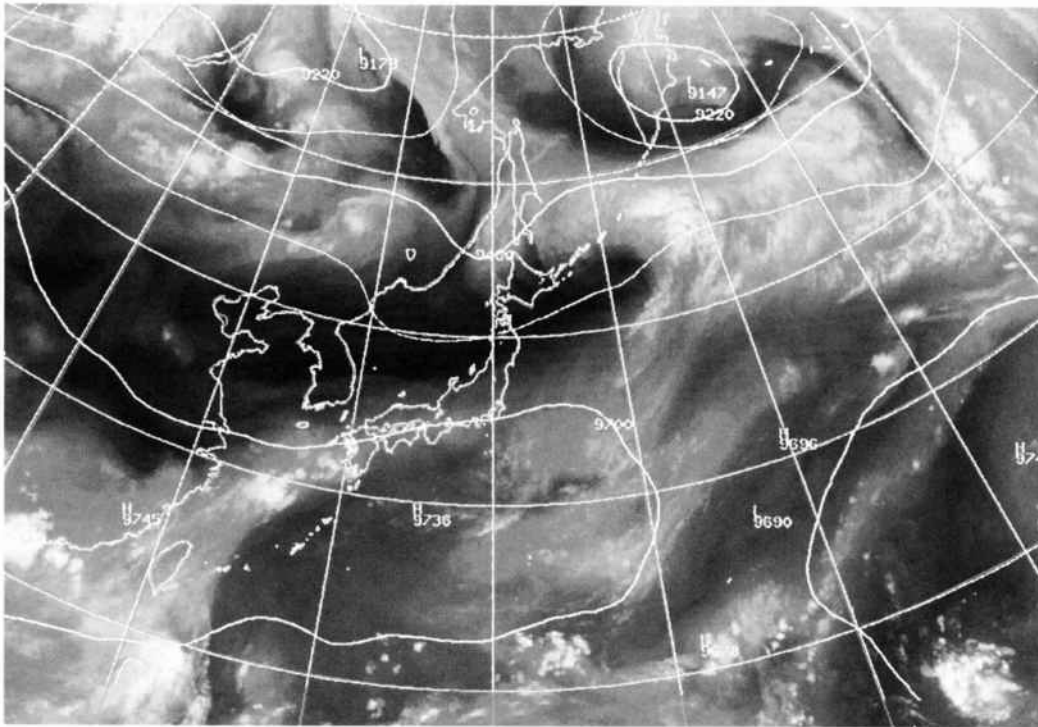


図9 傾圧性の弱い寒気場内での温低化の完了時 (1996年8月16日00UTC). 他は図2に同じ.

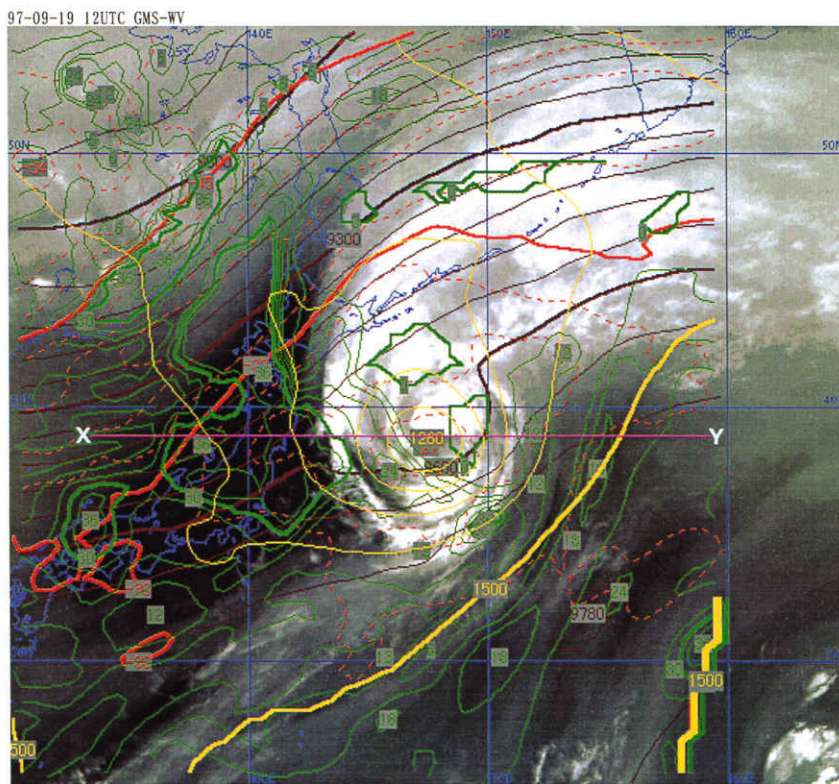


図10a 温低化前の暗域侵入の様子(1997年9月19日12UTC). 水蒸気画像とRSM初期値の重ね合わせ. 黄: 850hPa等高度線 (60mごと). 赤: 300hPa等温線(3°Cごとに破線, 15°Cごとに実線). 緑: 300hPaT-Td(6°Cごとに細実線, 30°Cが太実線) 茶: 300hPa等高度線 (60mごと).

=== 断面表示 ===

97-09-19 11:38UTC  
 地点: 38.86N 133.42E  
 観点: 38.86N 159.36E  
 hPa

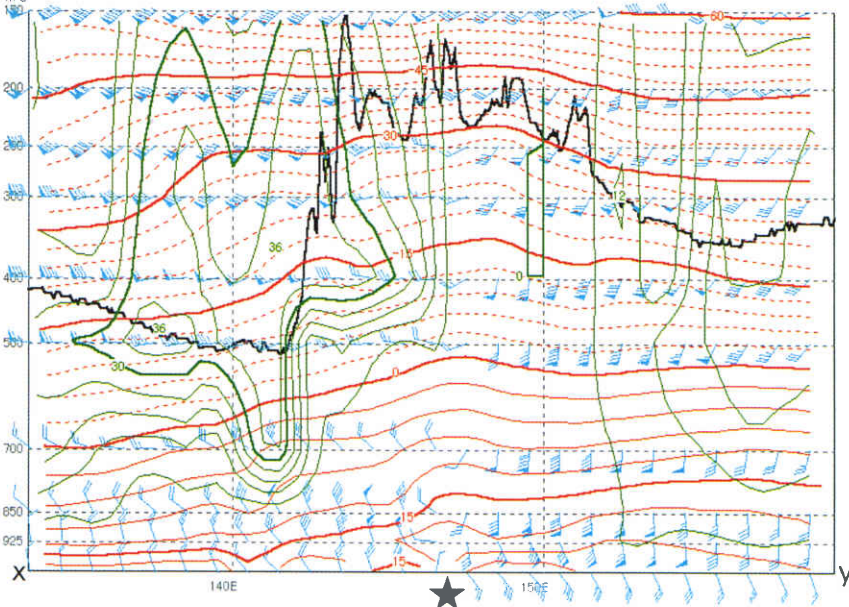


図10b 図10aのX-Yに沿う鉛直断面. 青: 各等圧面での風 赤: 等温線(3°Cごとに破線(0°C以下は破線, 0°C以上は細実線, 15°Cごとに太実線). 緑: T-Td(6°Cごとに細実線, 0°Cと30°Cが太実線). 黒太実線は水蒸気画像から得られる輝度温度でRSM初期値を参照して高度に換算している. 星印は台風的位置.



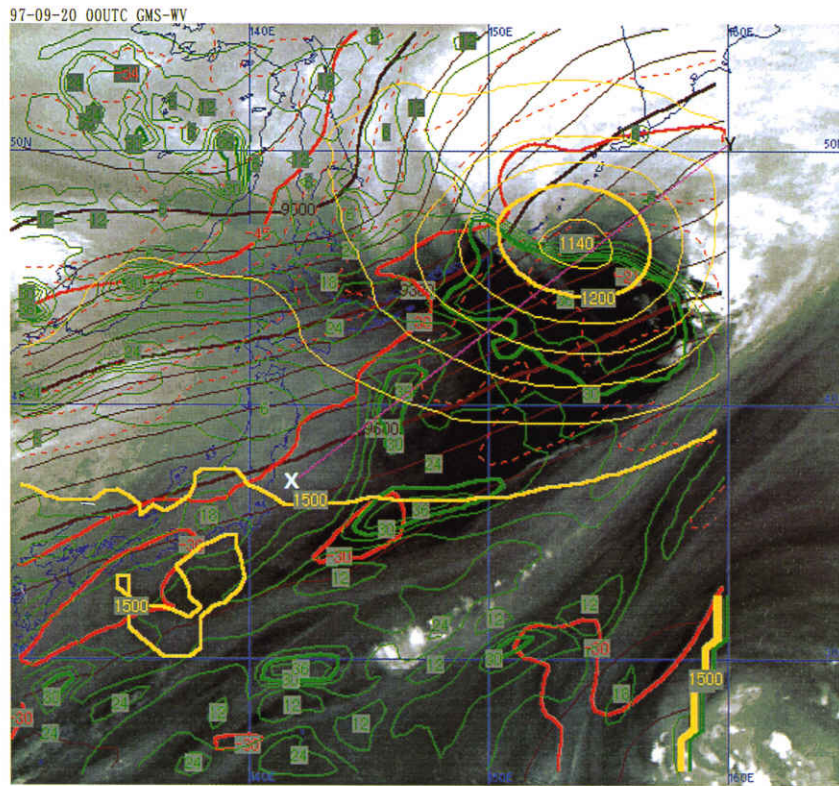


図11a 温低化後の暗域侵入の様子(1997年9月20日00UTC). 他は図10aに同じ.

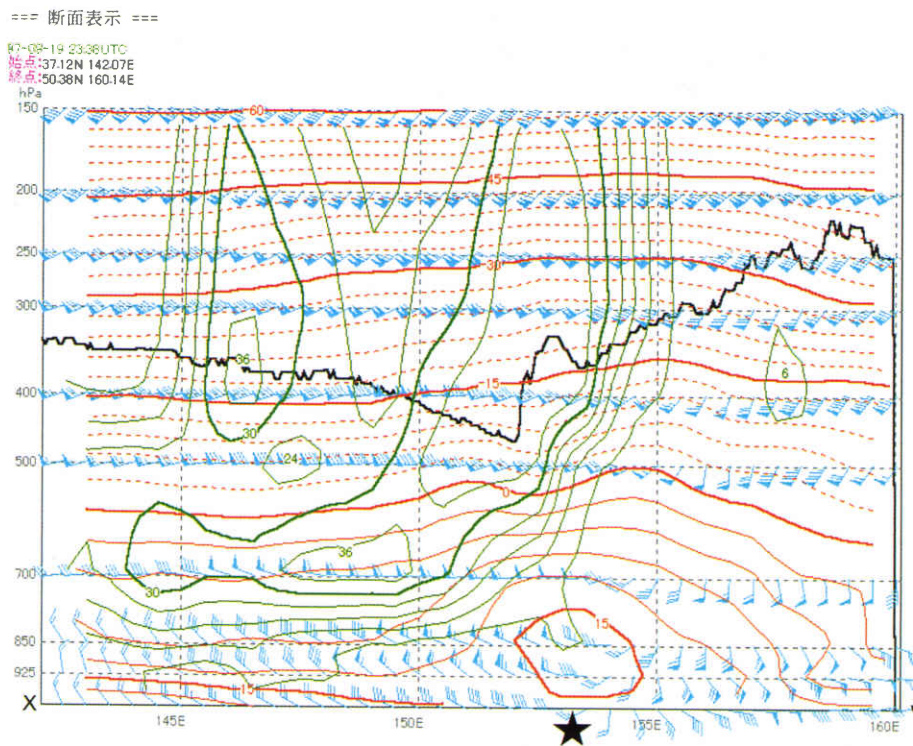


図11b 図11aのX-Yに沿う鉛直断面. 他は図10bに同じ.



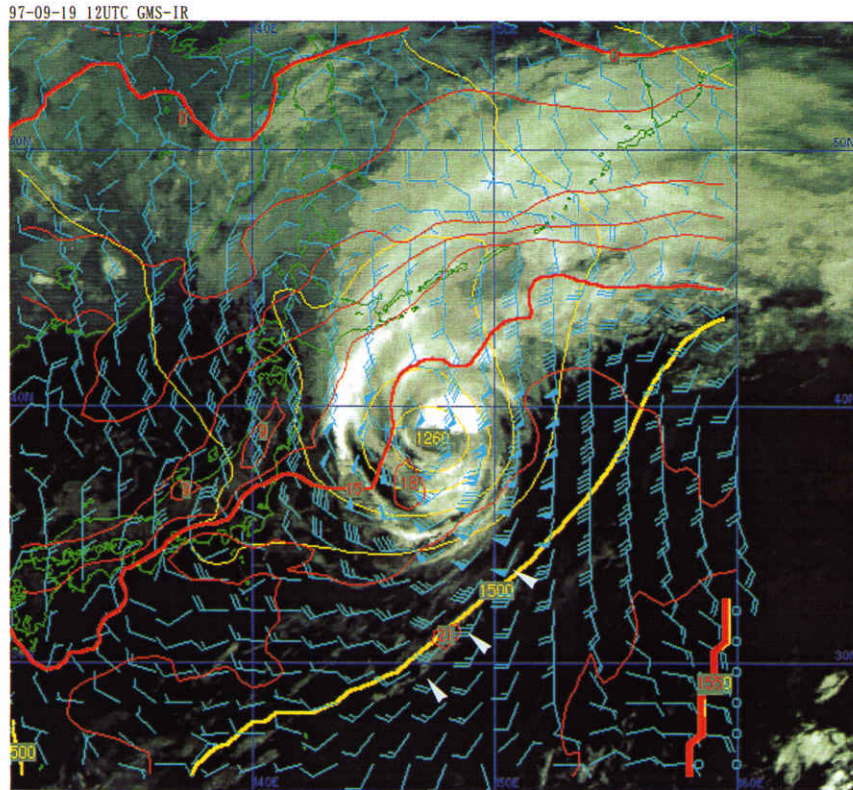


図12 温低化前の赤外画像(1997年9月19日12UTC)とRSM850hPa初期値の重ね合わせ.  
黄：等高度線 (60mごと). 赤：等温線(3℃ ごと細破線, 15℃ ごと太実線).  
青：風

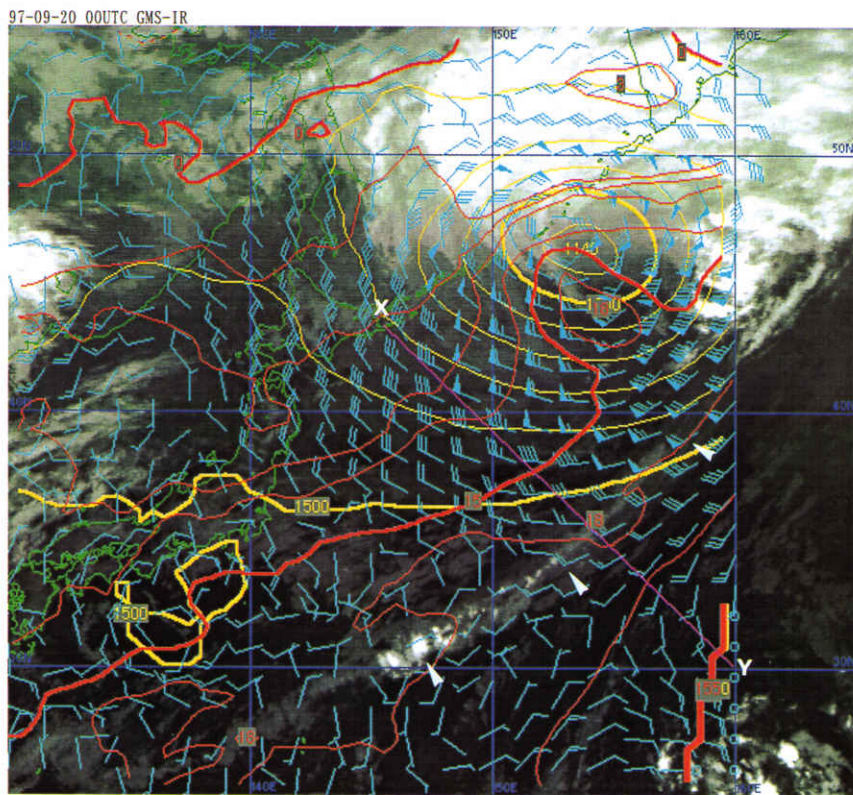


図13 温低化後の赤外画像(1997年9月20日00UTC)とRSM850hPa初期値の重ね合わせ.  
X-Yに沿う鉛直断面は図14に示す。他は図12に同じ。

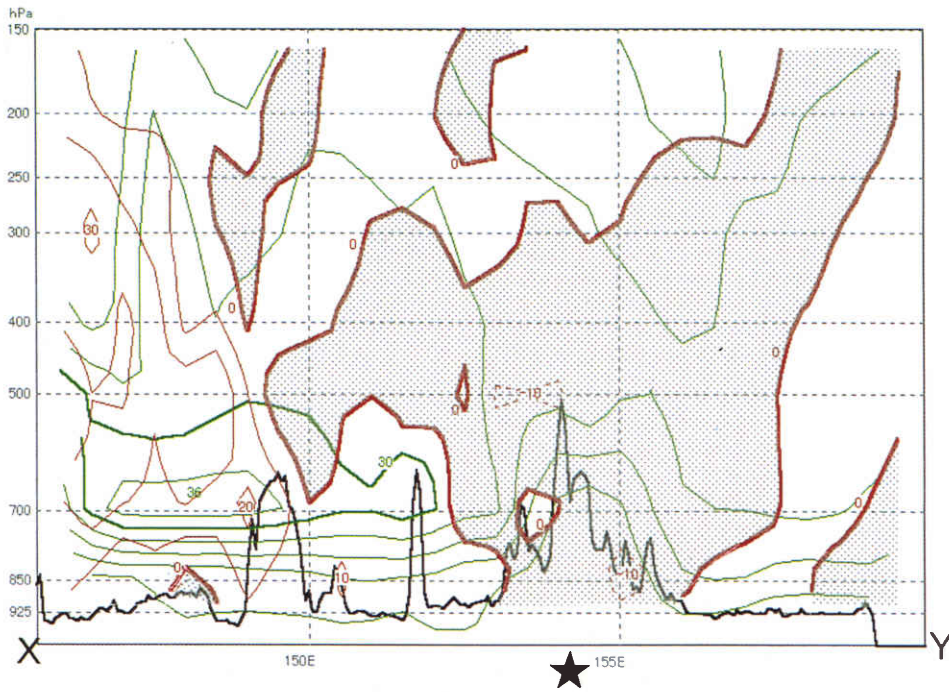


図14 対流雲列に直交する鉛直断面。緑：T-Td（6℃ごとに細実線，0℃と30℃が太実線）茶：鉛直流（10hPa/hrごと）。点彩域は上昇流。黒太実線は赤外画像から得られる輝度温度でRSM初期値を参照して高度に換算している。星印は対流雲列の位置。

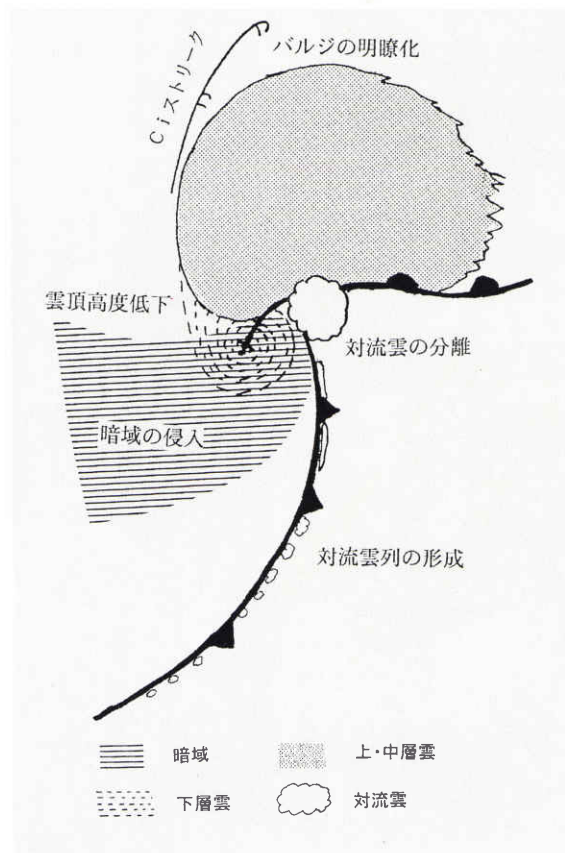


図15 温低化における衛星画像の特徴を表したモデル