



お天気の見方・楽しみ方 (13)

熱帯低気圧と秋雨前線がもたらした大雨と暴風—2006年10月6～8日

小倉 義光*・隈部 良司**・西村 修司***

1. 問題の発端

「熱帯海域で発生・発達した台風が北上していますが、次第に勢力が衰え、熱帯低気圧になりました」という気象情報をテレビできくと、なんとはなしに気象災害の可能性が少なくなったような気がして、ほっとする。

ところがいつもそうとは限らない。特に、秋雨前線に熱帯低気圧が接近するときには、大雨が降り、暴風が吹きやすいとして警戒されている。2006年10月、台風16号が弱まって出来た熱帯低気圧が日本に接近したときがそうだった。記録的な強風と大雨だった。強風被害の例としては、6日午後には、鹿島港沖合で停泊中のパナマ船籍の貨物船（約9万8600トン）が操船不能のまま強風に流され、約2km沖合いで座礁し船体が2つに折れた（第1図）。乗員中1名が死亡、9名が行方不明となった。当日千葉県銚子市の最大瞬間風速は39.0 m/s だった。また宮城県沖では大型サンマ漁船が座礁し、16名全員が消息を絶った（10月7日新聞夕刊）。さらに北海道でも、日高支庁幌泉郡えりも町では10月7日16時30分に北北東の風速38 m/s、根室市では8日06時10分に北北東の最大瞬間風速42.2 m/s という、いずれも歴代1位の記録を立てた。

関東・東北地方の太平洋岸の地域から北海道にかけての大雨もすごかった。第2図は福島県双葉郡浪江町と北海道紋別郡遠軽町におけるアメダスの風速・風向と1時間降雨量の記録である。大雨といっても1時間

雨量数十mmの雨が数時間続いて大雨となることもあるが、今回は図のように毎時10mm前後の雨が40時間余り続くという降り方だった。結局、図に示した期間の総降水量は、浪江町で約370mm、遠軽町で約300mmとなった。10月の月間雨量平年値は、前者で156.2mm、後者で72.9mmであるから、例えば遠軽町では平年の10月の月間雨量の約4.1倍がこの40時間あまりで降ったことになる。



第1図 10月6日午後、強風で胴体がちぎられた約9万8600トンの貨物船（朝日新聞10月7日夕刊，転載許可済み）。

* Yoshimitsu OGURA, 東京大学海洋研究所。

** Ryoji KUMABE, 気象庁地球環境・海洋部気候情報課。

*** Syuji NISHIMURA, 気象庁予報部予報課。

© 2007 日本気象学会

しかも、大雨のときの地上風向が両地点で北というのも不思議だ。これまで本シリーズで述べた温帯低気圧に伴う雨は、温暖コンベヤーベルトを上昇する気流

に伴う雨であるから、風向は南よりであり、雨域は低気圧中心の東側に限られていた。ところが、今回の雨は、低気圧中心の西側で北風が吹いている地域で降っているということになる。

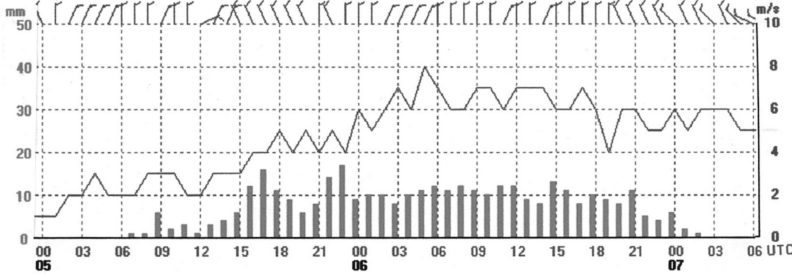
一体、衰弱した熱帯低気圧から、どうしてこのような凶暴な気象が生まれたのか。何が特異な低気圧の構造を作り出したのか。

2. ユニークな前線パターン

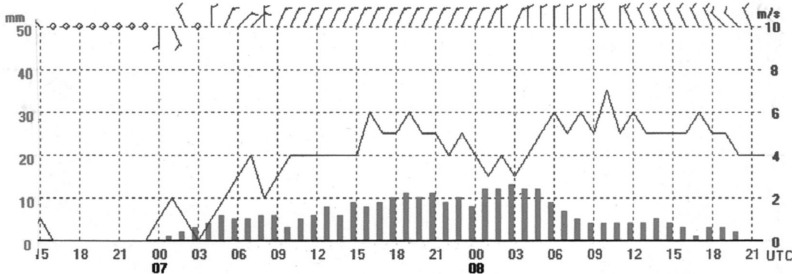
第3図は、10月6日に熱帯低気圧に格下げされた台風16号と17号および今回の温帯低気圧について、12時間毎の中心位置と中心気圧を示す。24時間の温帯低気圧中心の気圧降下量は最大でも16 hPa/24 hであるから、本シリーズで採り上げてきた爆弾低気圧に比べて、特に急に発達した低気圧ではない。

6時間毎の地上天気図によると、今回の温帯低気圧は10

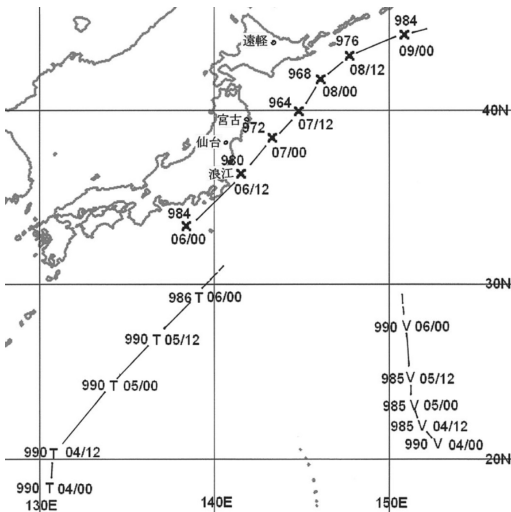
(a) 福島県浪江町 (36411)



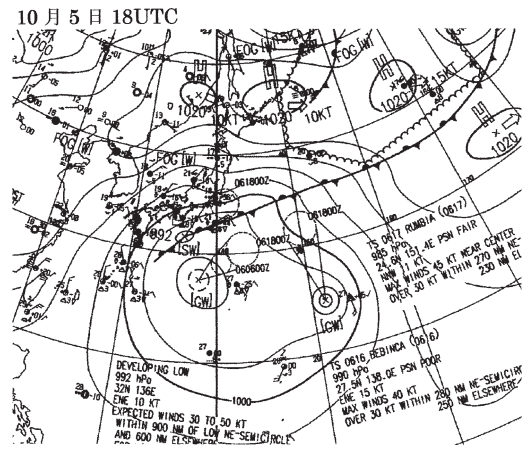
(b) 北海道紋別郡遠軽町 (17306)



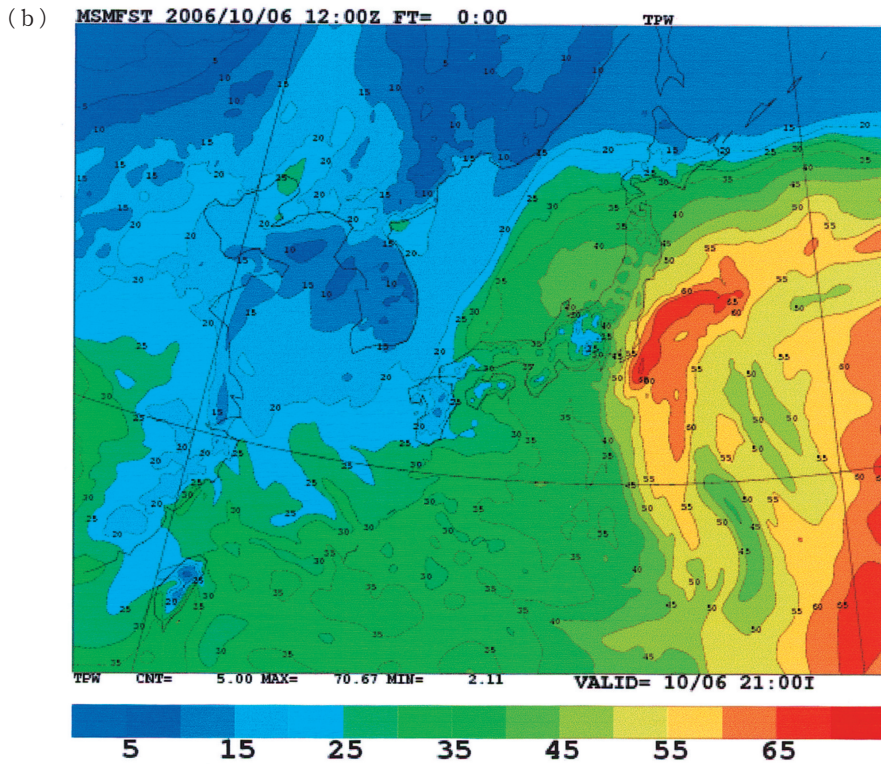
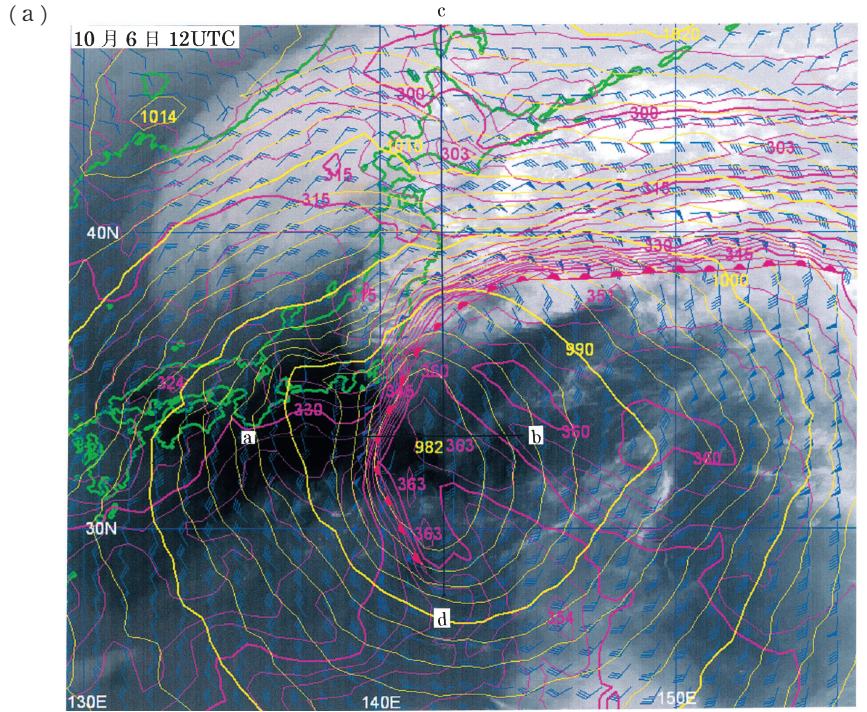
第2図 アメダスの1時間降水量、風向と風速。(a) 福島県双葉郡浪江町、(b) 北海道紋別郡遠軽町(地点は第3図参照)。



第3図 低気圧と2つの熱帯低気圧について、12時間毎の中心気圧と中心位置。×、TとVはそれぞれ低気圧、熱帯低気圧0616号、熱帯低気圧0617号を表す。



第4図 低気圧発生時の2006年10月5日18 UTCの地上天気図(気象庁)。



第5図 (a) 10月6日12 UTC, 水蒸気画像に重ねた地上気圧 (黄色, 2 hPa 毎), 925 hPa の相当温位 (ピンク色, 3 K 毎) と風 (長い矢羽が10ノット) の分布, (b) 同時刻における可降水量の分布 (mm).

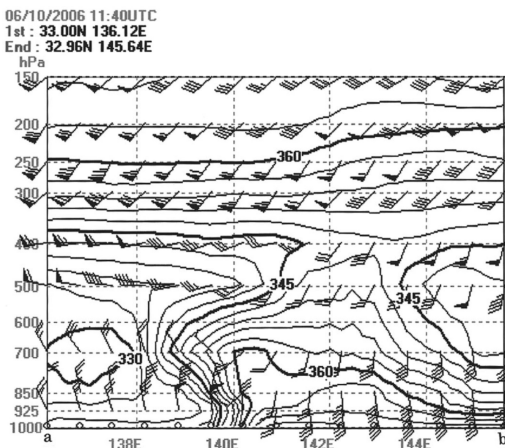
月5日18 UTCに、紀伊半島沖、停滞前線(秋雨前線)上で発生した。その時刻の地上天気図が第4図である。北東方向に進行していた熱帯低気圧0616が新低気圧の南方約260 kmの距離まで接近していることがわかる。温帯低気圧の卵と熱帯低気圧が共存しているから、厳密には、以下述べる温帯低気圧は、熱帯低気圧が温帯低気圧化(extratropical transition of tropical cyclones)したものといえないかもしれない。いずれにしても、熱帯低気圧0616と、その東方にある熱帯低気圧0617と併せて、本州の南方海域には広い低圧部があることになる。この点が、本シリーズで述べてきた狭い逆向きトラフ内の低気圧とは発生環境が違

う。
このことの重要性は第5図aで明らかとなる。この図は低気圧発生から18時間後の6日12 UTC、水蒸気画像に、地上気圧並びに925 hPaの風と相当温位の分布を重ねたものである。この時刻には、熱帯低気圧0616は既にアイデンティティを失い、温帯低気圧と一つのものとして解析されている。そして最も目につくのは広範囲の強い南風と、その北側に存在する強い東風の間、顕著な温暖前線が形成されたことである。そして温暖前線の先端は、低気圧中心をめぐる循環の一部である北風に運ばれて南方に屈曲し、文字通りの後屈温暖前線(bent back warm front)となる。この後屈した部分を寒冷前線としなかったのは、第5図aの前線に直角方向の線分a-bに沿った鉛直断面図(第6図)に見るように、寒気が楔状に暖気に侵入し

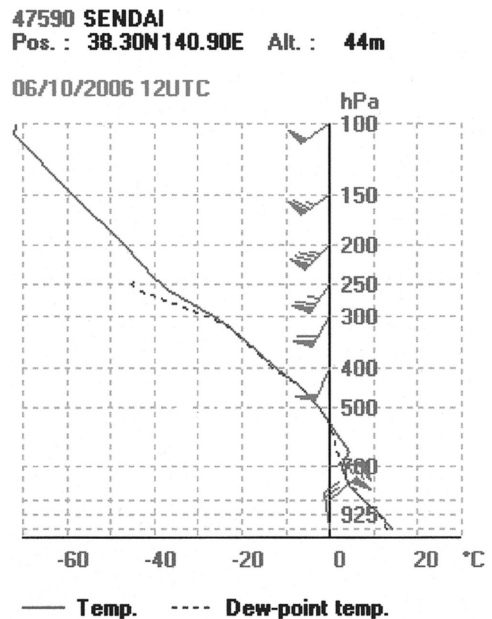
ているようには見えず、直立した前線帯としか見えないからである。

第5図aに示した前線のパターンを、よく知られたシャピロ・カイザーの低気圧/前線系モデルと比べると、後屈温暖前線があることは共通しているものの、断裂した寒冷前線がない点で、大きく違う。一方、本シリーズ(3)(小倉ほか、2006a)では、彼らのモデルとよく似ている日本付近の低気圧/前線系を解析し、その前線系の進化のプロセスを解説した。そのケースでは、低気圧は下層の逆向きトラフの根元で発生した。ということは、トラフの西側にはトラフ軸より相対的に冷たい寒気があったことになる。従って、低気圧が発生すると共に、まず低気圧の中心から寒冷前線が南に延びるようになる。そして、この寒冷前線は密度流(重力流)の性格を持って、東および低緯度に広がっていく。温暖前線が出来るのは、低気圧が発達し、中心をめぐる空気回転がある程度確立されてからである。発生環境が違うから、発達段階初期においては、低気圧/前線系のパターンが違うのは、当たり前といえば当たり前である。

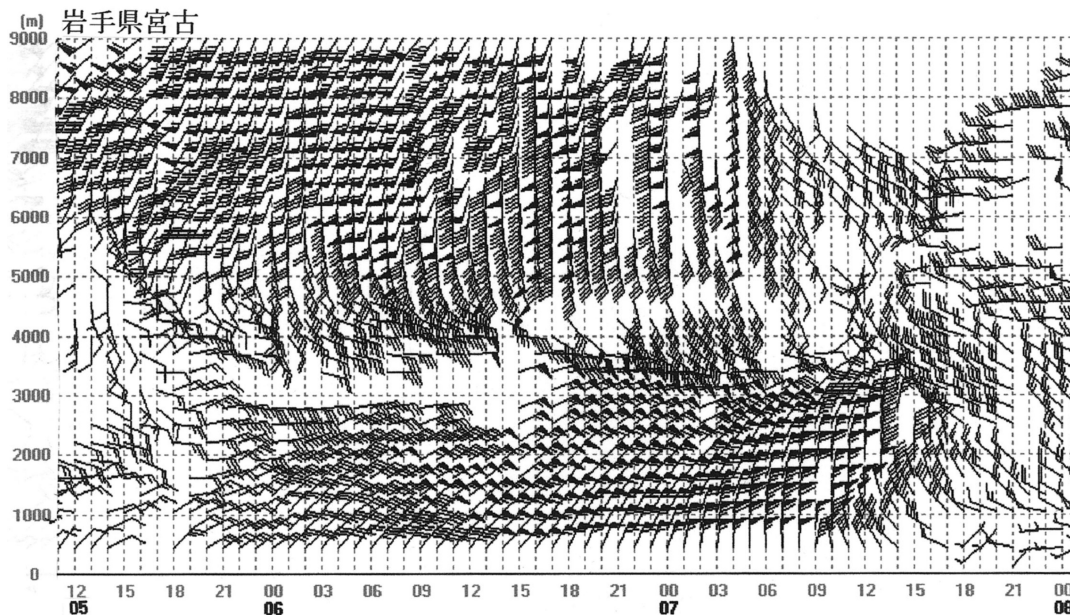
一方、第7図に示した仙台におけるゾンデ観測の結果によれば、高度約700 hPaに明瞭な移流型逆転層がある。その下層には冷たい北ないし東の風、その上層



第6図 6日12 UTC、第5図aの線分a-bに沿った鉛直断面上の相当温位(3K毎)と風の分布。



第7図 6日12 UTC、仙台におけるゾンデ観測結果。

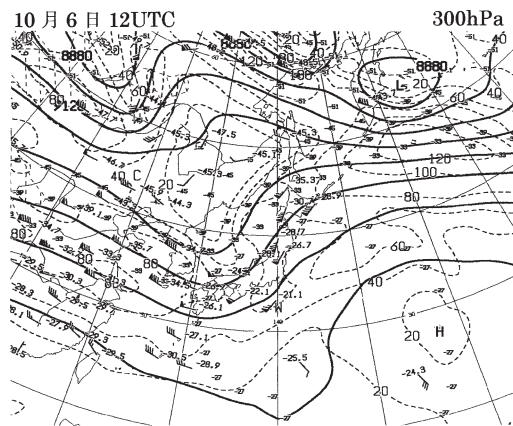


第8図 宮古におけるウィンド・プロファイラーの観測結果（地点は第3図参照）。

には暖かい南南西風が吹いていて、温暖前線面の存在は明らかである。この温暖前線面に沿って暖気が上昇し、第5図aに示したように広い雲域を作っている。

この温暖前線の存在は、第8図の宮古におけるウィンドプロファイラーの記録でも見る事が出来る。5日18 UTC ころから高度約3 km 以下の層で、東ないし北東の風が強くなったのは、前線面の下を吹く東よりの風の到着を示す。それより上の層で吹いている南風を理解するために、第9図に6日12 UTC における300 hPa の高層天気図を示す。本シリーズの(12)(小倉ほか, 2007)で述べたダイポール型の上層の流れのパターンに似て、沿海州から日本海にかけてトラフがあり、その高緯度側にはリッジがある。トラフの東側では南南西の風が強く、西側では比較的緩やかに西風に移行している。このパターンに対応して、第4図の地上天気図では、北海道から沿海州にかけて高気圧があり、低気圧の北部で等圧線が込んでいる。そして、第9図のトラフの接近に伴い、5日から6日にかけて、宮古では南風の層の厚さが時間と共に増していき、7日12 UTC ころから西ないし北西の風に変化していく。

ちなみに、第8図において下層の風に着目すると、時間と共に風向は北東→北→北西と逆転 (backing) しており、低気圧中心が宮古の東を通過したことを示

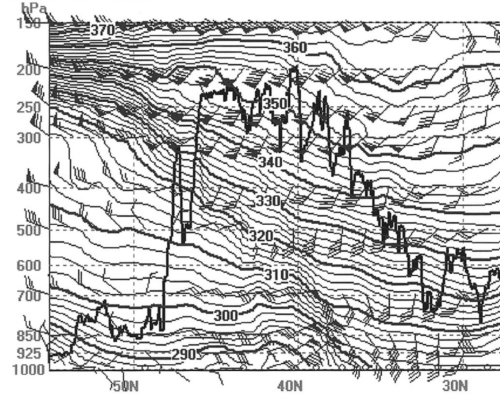


第9図 6日12 UTC における300 hPa 高層天気図 (気象庁)。

している。

この章の多くの図で示した時刻6日12 UTC というのは、冒頭で述べた貨物船やサンマ漁船の遭難事故があった強風の時間帯である。この強風について興味があるのは、強風域が主に700 hPa 以下の下層に限定されていることである。第10図は6日12 UTC に、低気圧中心近くにある850 hPa の風速の極大値を通る南北鉛直断面上 (第5図aの線分c-d) の風と等温位線を示す。この図の風の高度分布は、例えば日本海低気

== Cross section ==
 06/10/2006 11:40UTC
 1st : 55.16N 142.12E
 End : 27.52N 142.40E



第10図 6日12 UTC, 第5図aの線分c-dに沿った鉛直断面上の風と等温位線(2K毎)。太いギザギザの実線は輝度温度から推定した雲頂高度。

庄による春の嵐について、本シリーズ(4)(小倉ほか, 2006b)で述べたような、強風域の軸がほぼ対流圏全域に亘って鉛直に立つという分布とは全く違う。むしろ当然のことながら、前回本シリーズ(12)(小倉ほか, 2007)で述べたダイポール型の上層の流れの場合と定性的によく似ている。定量的には、前回の下層の風の最大値は50ノット(1ノット=0.514 m/s)程度であったが、今回は70ノット(第10図で39N, 850 hPaあたり)もある。この違いは、地上天気図で見る北方の高気圧と南の低気圧の間の気圧傾度も、第10図に見る温暖前線における水平温度傾度も、今回のほうが大きかったためと思われる。ちなみに、第10図において47Nで高度250 hPaに存在する130ノットの風は、第9図でいうと、ダイポール型に分岐した上層の流れが、再び合流したために出来たジェット気流である。

第5図aでもう1つ重要な点がある。360Kを超える高い相当温位の空気が熱帯低気圧に伴われて、本州付近にまで進出していることだ。このことは空気中に水蒸気がたっぷり含まれていることを示唆する。第5図bは6日12 UTCにおける可降水量の分布を示すが、予想通り、可降水量65 mmを超える空気がある。これほどの可降水量は通常では梅雨期だけにしか見られない。この水蒸気が第2図に示した大雨を降らせたのだ。

ちなみに、1999年7月21日東京都練馬区で1時間に

111 mm という豪雨が観測された。最近 Kawabata *et al.* (2007) は非静力学モデル(JMA-NHM)を用いて、この豪雨のシミュレーションに成功したが、その際4次元変分法によるデータ同化には、GPSデータから推定された関東平野中央部の65 mmを越す可降水量も含まれていた。

3. 水蒸気前線

一般的に、熱帯低気圧の温帯低気圧化というのは、見かけの点から言うと、一樣な海上で発生発達して、円形の等圧線を持つ熱帯低気圧が北上し、傾圧性が強い中緯度に達して、そこで前線を備えるようになることをいう。前述のように、今回の低気圧は、必ずしもこの意味での温帯化した低気圧ではないが、発生時には秋雨前線があったので、前線に注目して話を進める。

第11図は、第5図aから12時間後の7日00 UTCにおける925 hPaの相当温位と渦度の分布を、レーダーエコー図に重ねた図である。どういう前線をどの位置に解析するかは、いつも悩ましい作業であるが、今回は等相当温位線と等渦度線が密集している帯を前線帯とし、その低緯度側に前線を解析することとした。そうしたのも、第11図で見ると、今回はこの両者の前線帯が見事に一致していて、苦労がないからである。時間を遡って、第5図aでは図が込み入ってしまうので渦度の線は記入しなかったが、第11図と同じ程度で相当温位と渦度から決めた前線は一致していた。

ただし、第11図で低気圧中心から南東に伸びる前線は、寒冷前線の記号で描いてあるが、直ぐ後で述べるように、これが問題である。いずれにしても、前線は円弧を描きながら、360Kという高い相当温位を持つ広範囲の空気を包囲しようとしている。この前線系のパターンは断裂した寒冷前線を持たないので、依然としてシャピロ・カイザーモデルとは違う。

この図の時刻は第2図によると、福島県での降雨はようやく終わりに近づき、北海道では降り始めたところである。本シリーズでこれまで記述した温帯低気圧では、雨は低気圧中心付近ではなく、その東側、温暖前線の北側で降るのが普通であった。今回は低気圧中心の北東から西にかけての象限で強雨があるのが大きな特徴である。

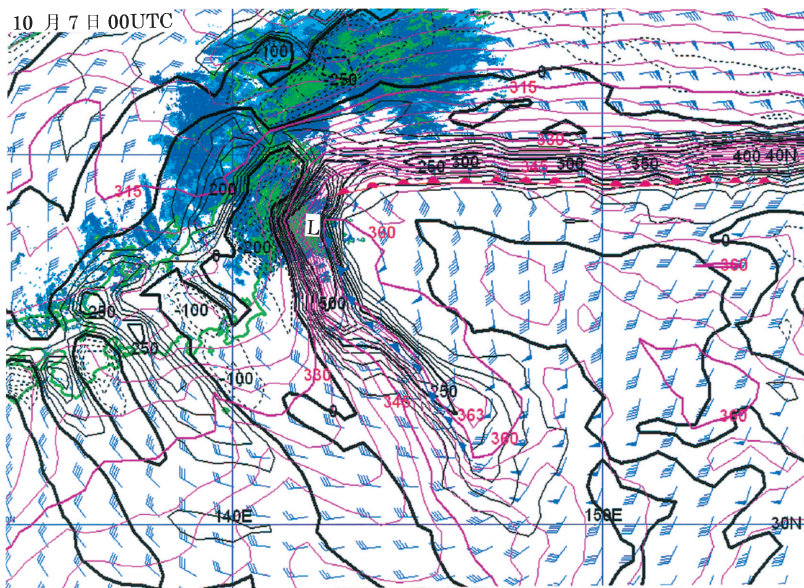
ちなみに、本題とは全く関係のないことであるが、第11図において、低気圧中心の西側で本州に沿って、

250 km くらいの波長をもって、正と負の渦度が比較的規則正しく並んでいるのが興味を引く。ここは雲のない領域であるが、どんな擾乱なのか、まだ全く調べていない。

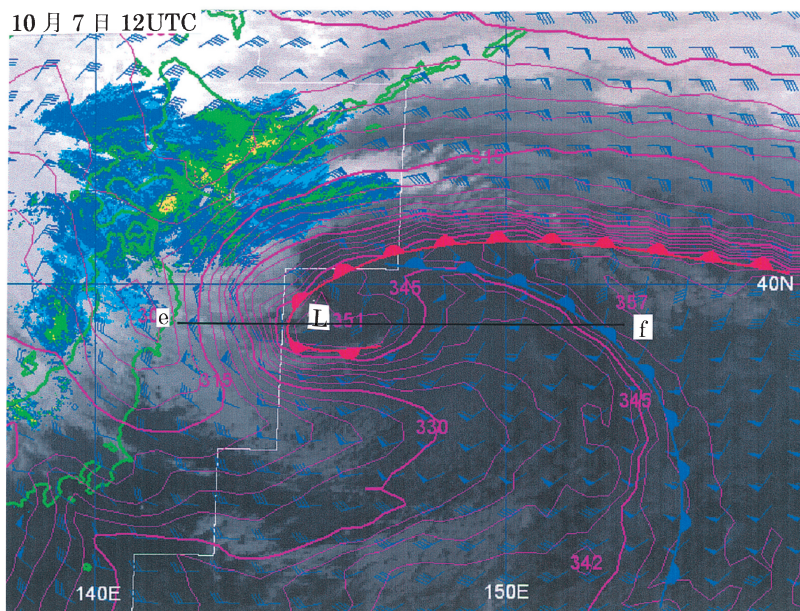
本題に戻り、第11図から12時間経った7日12 UTC、北海道が激しい降雨に襲われている最中の状況が第12図である。第5図aと同じく、衛星赤外面像にレーダーエコー図と相当温位線を重ねている。低気圧中心付近はレーダーの探知範囲外なので、なんともいえないが、低気圧中心の北東から西の象限に相変わらず強い降雨域があるし、後屈温暖前線北側の東風は強く、80ノットを超えている。このため後屈温暖前線はほぼ完全に相当温位>351Kの暖湿な空気を隔離してしまった。一方、寒冷前線は東に移動している。渦度の分布図は示さないが、相当温位で解析された前線は依然として渦度分布から解析されたものと一致している。

第12図に示した前線のパターンは、相当温位が高い空気が隔離された核があるという意味で、シャピロ・カイザーモデルの最終段階であるIV期の構造に似ているが、実は第12図で寒冷前線の記号で表した前線は、本来の温度または温位で定義された寒冷前線ではない。むしろ、以下の理由により、大気中の水蒸気量あるいは相当温位の不連続線である水蒸気前線 (moisture front) である。

まず、第13図は第12図と同時に於ける925 hPa の温位の分布を示す。寒気は北海道あたりから低気圧性

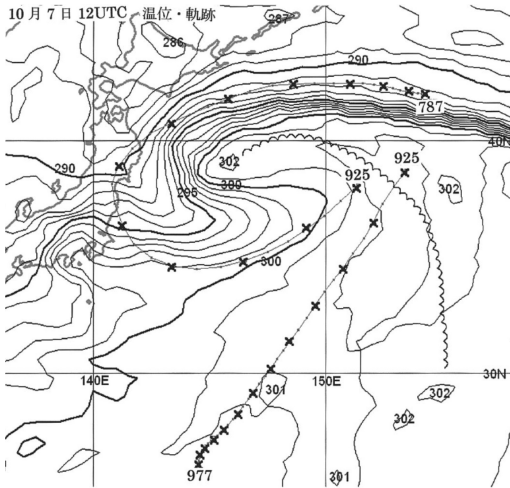


第11図 7日00 UTC, 925 hPa における相当温位 (赤色, 3 K 毎), 渦位 (黒色, 正は実線, 負は破線, $50 \times 10^{-6}/s$), 風とレーダー・エコー分布. 記号 L は地上低気圧中心の位置.



第12図 7日12 UTC, 赤外面像に重ねたレーダー・エコーと925 hPa における相当温位 (3 K 毎) と風の分布.

に回転しつつ、東北地方を通して本州東方海上に流れ出している。しかし、相当温位の前線がある地域には、ほぼ一様な302Kの温位が広がっていて、不連続

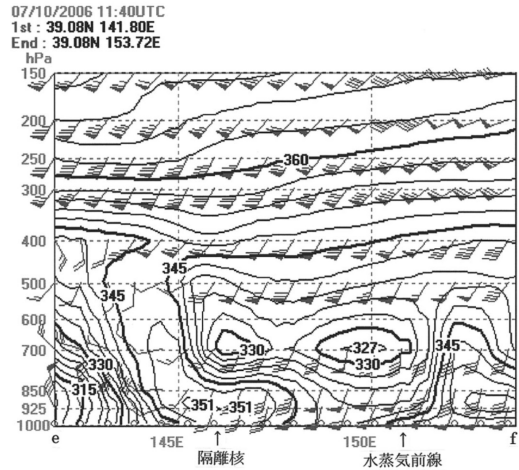


第13図 7日12 UTC, 925 hPaにおける温位 (1 K 毎) の分布。境界線記号は第12図においては寒冷前線の記号で描いた水蒸気前線。7日12 UTCにおいて水蒸気前線を挟む2点の空気塊が、過去36時間に辿った軌跡を、×を3時間毎の位置として描いている。軌跡の出発点と終着点における高度はhPa単位。

線らしいものはない。

そこで、925 hPa 面において、水蒸気前線を挟む2点の空気塊の過去36時間のトラジェクトリ(軌跡)を追った結果が第13図に記入してある。西側の空気塊は後屈温暖前線帯の直ぐ寒気側で高度787 hPa から出発し、低気圧中心の西側を回ってから、前線の西側で925 hPa の位置に到達した。すなわち、この空気塊は断熱圧縮を受けながら下降したことになるが、下降流があることは、第12図で該当する地域には雲がないことから妥当と思われる。一方、前線の東側の空気塊は、もともと高い温位をもつ26Nの高度977 hPa から出発して、僅かに上昇しながら北上した。このように、起源は全く異なる2つの空気塊が水蒸気前線付近で遭遇したとき、ほぼ同じ302Kの温位であったことは偶然か、あるいは解析の精度の範囲以内と思われる。風のほうは、2つの空気塊が遭遇したときずれがあり、水蒸気前線の位置で過度が最大となっている(図省略)。いずれにしても、相当温位で見ると、前線は閉塞したように見えるが(第12図)、温位で見ると、閉塞していないし、高温の隔離核もない。

第14図は隔離された相当温位の核を通る東西方向の線分 e-f に沿う鉛直断面上の相当温位と風の分布を



第14図 7日12 UTC, 第12図の線分 e-f に沿った鉛直断面上の相当温位 (3 K 毎) と風の分布。

描いたものである。145~147E あたりに相当温位 > 347K の隔離核がある。152E あたりでは、ほぼ同じ相当温位をもつ空気が鉛直に切り立った壁となって、相当温位前線あるいは水蒸気前線を形成している。改めて言うことではないが、気団の解析に相当温位は極めて有益な物理量である。

4. 結び

今回の事例は、「秋雨前線に熱帯低気圧が接近したため、前線の活動が活発になり、低気圧が発達して、大雨と強風をもたらしました」と、一般向けの表現で終わりにするには、もったいないほどユニークな様相を示した。秋雨前線上に低気圧の卵が発生したことには間違いないが、それ以降秋雨前線は直接何もしていない。接近してきた熱帯低気圧は多量の水蒸気を持参し、それが大雨に繋がったことは確かであるが、同時に温帯低気圧の卵を含めた熱帯低気圧は広い低圧部を作り、上層のダイポール型の流れと相俟って、強く長い後屈温暖前線を形成した。一方、寒冷前線は殆どなかった。代わりに、水蒸気前線を伴った。こうして低気圧/前線の構造は、ノルウェー学派のモデルとは違ふし、シャピロ・カイザーモデルとも違ふ。既存のモデルに捉われず、一つ一つの事例を丁寧に眺める必要性を痛感させられた事例であった。降雨域が低気圧中心の北東から西の象限に限られていること、および強風域が下層に限られていたことも、ユニークな構造で

あった。雲解像モデルを用いたシミュレーションや感度実験により、このユニークな低気圧の進化 (evolution) が、さらに詳しく究明されることを望んでいる。

最近 Ritchie and Elsberry (2007) は、仮想的な気象条件の下で数値実験を行い、北上する熱帯低気圧と中緯度の上層トラフの相互位置の違いにより、温帯低気圧化した熱帯低気圧のその後の振る舞いがどう違うかを調べている。その中の一例は本稿で述べた低気圧/前線系の構造とやや似ている。

謝 辞

本稿の作成に当たっては、著者の1人(小倉)は東京大学海洋研究所共同利用研究(採択 No.005, 2007)から便宜を受けたことを記して感謝したい。また、適切なコメントを下された担当編集委員別所康太郎氏と査読者、および第1図の写真の転載を許可して下さった朝日新聞社知的財産センターに感謝したい。

参 考 文 献

- Kawabata, T., H. Seko, K. Saito, T. Kuroda, K. Tamiya, T. Tsuyuki, Y. Honda and Y. Wakazuki, 2007: An assimilation and forecasting experiment of the Nerima heavy rainfall with a cloud-resolving nonhydrostatic 4-dimensional variational data assimilation system, *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 255-276.
- 小倉義光, 西村修司, 隈部良司, 2006a: お天気の見方・楽しみ方(3) シャピロ・カイザーの低気圧モデルと日本海低気圧, *天気*, **53**, 215-222.
- 小倉義光, 西村修司, 隈部良司, 2006b: お天気の見方・楽しみ方(4) 春の嵐を呼ぶ日本海低気圧, *天気*, **53**, 319-329.
- 小倉義光, 隈部良司, 西村修司, 2007: お天気の見方・楽しみ方(12) ダイポール型の上層の流れに伴う大雨と強風—2006年9月27日の場合, *天気*, **54**, 917-922.
- Ritchie, E. A. and R. L. Elsberry, 2007: Simulations of the extratropical transition of tropical cyclones: Phasing between the upper-level trough and tropical cyclones, *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 862-876.