

「雲解析事例集」と秋雨前線に伴う小低気圧の事例*

小倉 義光**

1. はじめに

この小文の目的は(財)気象業務支援センターが販売している「CD-ROM 版雲解析事例集」(以下「事例集」という)の紹介である。従来、気象庁気象衛星センターは一般向けの啓蒙書として「ひまわり」で見る四季の気象—雲画像の見方」(財)日本気象協会編集)などを発行してきた。それが「事例集」に代わった。毎年20前後の顕著な事例を選んでデータを集め解説をし、それを2枚のCD-ROMに収めたものである。1997年分が1999年1月に刊行され、以後毎年継続されている。

従来の印刷された刊行物との違いは、IT時代を反映して、与える情報量が圧倒的に多いことと、データを表示するプログラムの便利さである。これまでは、ある事例について衛星雲画像と天気図を並べて解説するという程度であった。今度は各指定面で高度、風、等風速線、温度、湿数(或いは相対湿度)、p-鉛直速度、渦度、相当温位(あるいは温位)、鉛直シア、シヨワルター安定度指数など、収録されたデータやソフト上で算出された要素のGPV(格子点数値)が表示できるし、レーダー、輝度温度から決めた雲頂高度、アメダス、高層ゾンデ情報なども入っている。そして、読者はどれでも見たい上記の物理量の分布を衛星雲画像に違ったカラーで重ねて見ることができる。よくテレビの気象情報などで、この雲は上層の雲で雨を降らせる雲ではありませんなどと解説しているが、これなどは雲画像とレーダーエコー図を重ねれば、一目瞭然である。風や温度や相当温位などの分布図から決めた前線の位

置を雲の分布と重ねて見ることもできる。

さらに「事例集」に使われているソフトでは、画面上の任意の2点を選んで直線で結ぶと、その線に沿った鉛直断面上で、上に述べた風、温度、相当温度、湿数、渦度などの物理量の分布図が描けるのである(例は第6図や第8図)。私の若かった頃は、当時の中央気象台に行って最敬礼をして実測データをいただき、用紙にプロットして、こうした鉛直断面図を描いただけで論文になったような気がした。少なくとも労力的にはそれだけの気がした。今はこうして、3次元の大気の流れと状態を縦横十文字、真っ向唐竹割りにして瞬時にして見ることができる。そもそも、どういう状態の空気がどのように動くから、雲画像に見る雲が発生し、アメダスやレーダー画像に見る雨が降るのかを知ることは、お天気気象学の第1歩である。その意味で、この「事例集」は総観・メソ気象の学習にたいへん役に立つ。

その有用性のデモンストレーションとして、今回は2000年度版に含まれていて、2000年10月8日「閉塞低気圧による西日本の短時間強雨」と題されている事例を取り上げてみたい。ただし、「事例集」の著者とは少し視点を変えて、秋雨前線に伴う小低気圧による短時間強雨の例として取り上げる。

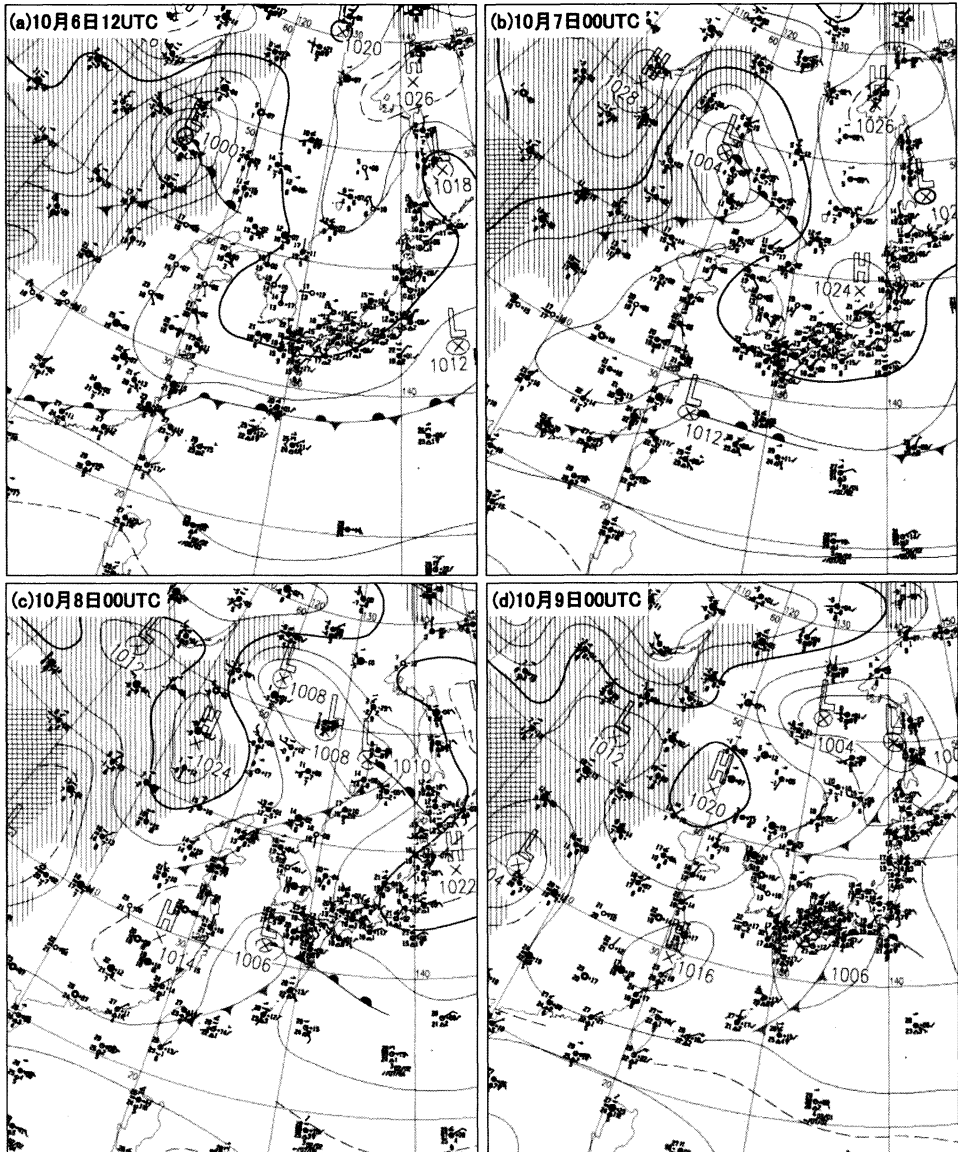
2. 小低気圧というもの

ここで小低気圧(subsynoptic-scale cyclone)とは、地上天気図で閉じた等圧線の直径が1000 km程度の低気圧の意味で使っている。ただし、冬季に中・高緯度の海上でよく出現するいわゆるポーラー・ロウはここでは除くことにする。この種の小低気圧はわが国付近では梅雨前線に沿ってよく出現し、以前から研究されてきた。しかし、その実態はまだ十分に解明されていないし、その成因についてもまだ定説はない。拙著「総

* "Case Studies of Image Analyses" and a case of sub-synoptic scale cyclone associated with the Akisame front.

** Yoshimitsu OGURA, 東京大学海洋研究所.

© 2003 日本気象学会



第1図 秋雨前線に伴う小低気圧の地上天気図。(a) 2000年10月6日12 UTC, (b) 同7日00 UTC, (c) 同8日00 UTC, (d) 同9日00 UTC (気象庁)。

観気象学入門(2000)(以下「入門」という)の7.5節に簡単な解説がある。秋雨前線に沿う小低気圧についてはこれまで記述された例はないと思う。

さて第1図(a)は2000年10月6日12 UTCの地上天気図である。本州南方洋上に今回問題とする秋雨前線が東西方向に長く延びている。その南には北太平洋高気圧があり、本州とその北方は移動性高気圧に覆われている。さらにその北方、ほぼ100°E, 48°Nには後に総

観規模の低気圧となる別の低気圧の中心がある。12時間後の10月7日00 UTC(第1図(b))には、秋雨前線上に中心気圧1012 hPaの小低気圧が発生している。一般的に、後に発達して爆弾低気圧となるような総観規模の低気圧も、生まれたてはこんな大きさのものが多(中緯度低気圧は波長数千 kmの傾圧不安定波であることをチャーニーは確信していたが、初期の低気圧の小ささには悩んでいた)。しかし今回の低気圧は総観

規模の大きさにならない。

第1図(b)から24時間後の8日00 UTCの第1図(c)では、はやくも閉塞したように前線が描かれている。どれだけのデータがあって、ノルウェー学派低気圧モデルの最終段階に相当する閉塞がここで描かれたかは私には分らない。さらに24時間後の9日00 UTCの第1図(d)では低気圧中心と前線は切り離されて描かれている(これが今回の低気圧の特徴である)。中心気圧は24時間前と同じである。この時刻の後の天気図は省略するが、その後低気圧は中心示度を深めることなく、やがて閉じた等圧線を失い、もっと北方から延びるトラフに吸収される。

梅雨前線は春から夏への季節の変わり目に、秋雨前線は夏から秋への季節の変わり目に出現する。しかし、両者には少し違いがあるようだ。第2図は一般啓蒙書で「梅雨型」といわれている地上気圧配置図であるが、梅雨前線は太平洋高気圧とオホーツク海高気圧の間に存在している。すなわち梅雨前線は気圧の谷(トラフ)でもある。一般的に、トラフでは風が収束し、渦度は極値をもつ。ところが第1図(a)に示した今回の秋雨前線ではトラフの構造は明瞭ではなく、いわば山の中腹に地形の高度線に沿って東西に延びている。それで、そこで発生した第1図(b)の小低気圧は発達するためには何かサポートがほしい。そのサポートは上空から来る。第3図(a)は第1図(b)と同時刻の7日00 UTCの300 hPa 高層天気図である。中国大陸東部上空でジェット気流が分岐し、寒気を伴った短波のトラフを形成している。このトラフは第3図(b)の500 hPa では閉じた等高度線を持つ低気圧として描かれている。すなわちここに切離低気圧がある。

この切離低気圧は、さらに下層700 hPa(第3図(c))では閉じた等高度線は持たないが、風は渦を巻いている。しかし、その渦も850 hPaの図(d)では明瞭ではない。従って第1図(b)の小低気圧は下層の擾乱として発生し、その後上空の切離低気圧に伴う上昇流による渦度の引き伸ばし効果によって発達したと思われる。しかし、下層の擾乱の発生メカニズムは直ぐには分らない。下層の限定された地域にだけ傾圧不安定場が存在していたのか(実際には第3図に見るように風速はあまり大きくないから、この可能性は小さいが)。或いは第1図(a)によれば発生地付近には降雨があったから、その凝結熱によって、或いは海面からの加熱によって、渦位が増大したのか(これは渦度の増大を意味する)。さらに全く別に、本当は上層の切離低気圧



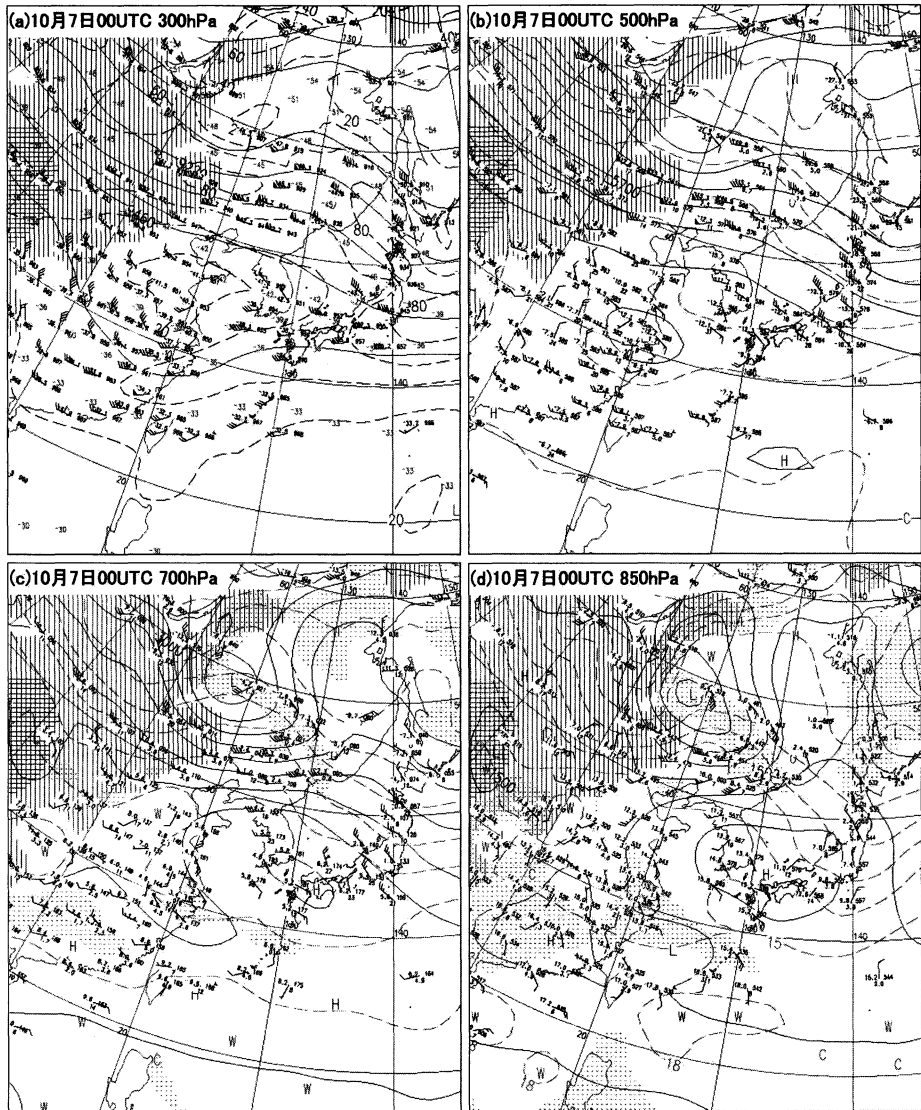
第2図 「梅雨型」の地上気圧配置(東京書籍版「気象科学辞典」より)。

が秋雨前線という下層の傾圧帯に低気圧の卵を誘発したのか。小低気圧発生の問題はもっとよく調べる必要がある。

3. 小低気圧に伴う雲の分布

この小低気圧について、興味があるのは、それに伴う雲の分布である。第4図には7日12 UTCの赤外雲画像に同時刻の925 hPaの風と相当温位の等値線を重ねている。A、Bと記した2つの雲塊がある。雲塊Aは後に北方の雲塊Cと併合して低気圧特有のバルジを形成するものの(第9図)、雲塊AとBが一つになることは最後までなかった。まず、第4図雲塊Aの直ぐ西には渦巻きの中心があるから、Aが上層の切離低気圧中心付近の雲であると想像される。一方雲塊Bは地表の温暖前線と結びついており、ここでは南から高相当温位の風が吹き込んでいる。梅雨期の湿舌のように見えるが、梅雨前線に伴う擾乱に吹き込む南よりの高温多湿な流れは、北太平洋高気圧の北西縁辺を巡る大きな流れであるのと比べると、第4図の南よりの風は主に小低気圧に伴う局地的な流れの一部のように見える。そして、第5図は同時刻の水蒸気画像にショワルター安定度指数(SSI)の分布を重ねたものである。ここで重要なのは、温暖前線に沿ってSSIが負の値を持つ狭い領域があることである。SSIが小さいと、積乱雲など深い湿潤対流が発生しやすいことは確立されており、事実第5図によると、ここで強いテーパリングクラウドが発生していることが認められる。

次に雲塊Bの内部構造を見るために、ほぼ130°Eに沿った南北鉛直断面図を描いたのが第6図である。

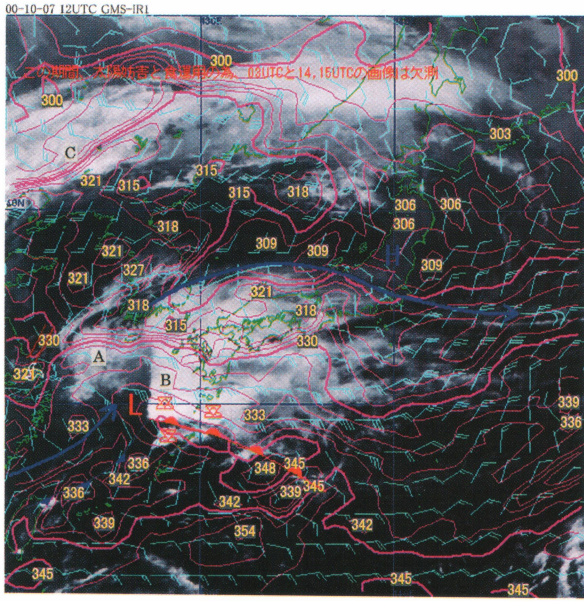


第3図 2000年10月7日00 UTCの高層天気図。(a) 300 hPa, (b) 500 hPa, (c) 700 hPa, (d) 850 hPa (気象庁)。

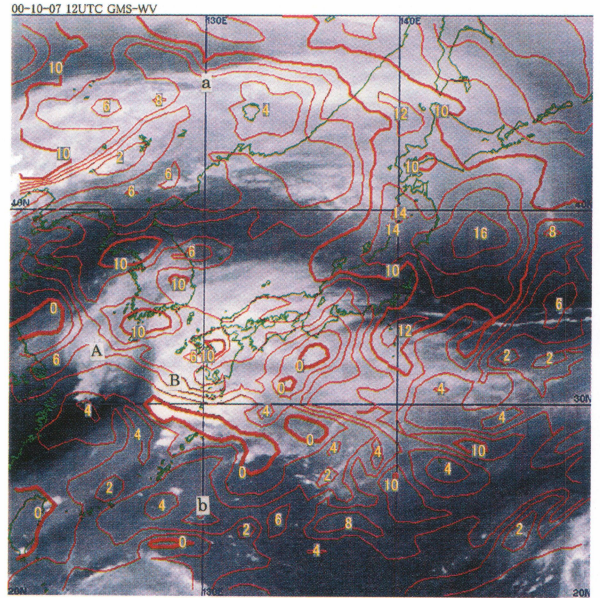
黒い太線が雲頂の赤外輝度温度から推定した雲頂高度である。相当温度と風も記入してある。まず南の方から見ていくと、ここには北太平洋高気圧に相当する熱帯気団がある。925 hPa以下の下層には、相当温度が345 Kを越す空気があり、対流圏下層は対流不安定な成層をしているのが特徴である。地上天気図から決めた温暖前線付近では上記のテーパリングクラウドの先端に相当する深い積乱雲がある。その北方には移動性高気圧内のいわば寒帯気団があり、その上を熱帯気団

が這い上がっている。その境界が温暖前線層ということになる。そして、前線層に沿って熱帯気団が上昇して作る雲と、テーパリングクラウドの延長部分が雲塊Bを形成している。

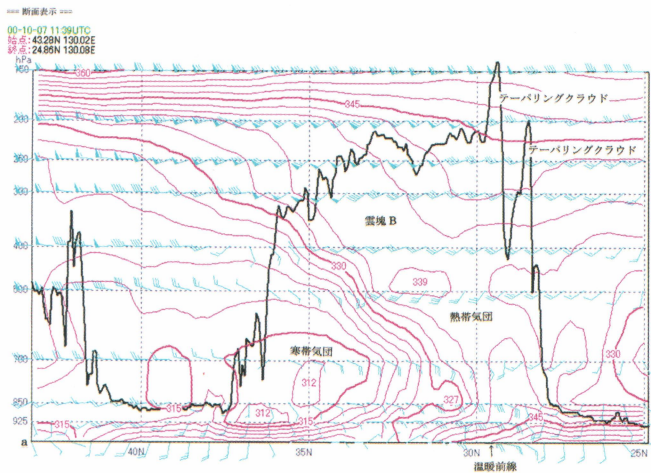
第4～6図から12時間後が第7図である。目立つのは雲塊Aが発達したことと、温暖前線の西端から後刻寒冷前線に沿う雲帯となる雲が南西方向に延び始めていることである。これらの事情は第7図に示したSSIの分布図で説明できる。まず、再び第4図を見ると、



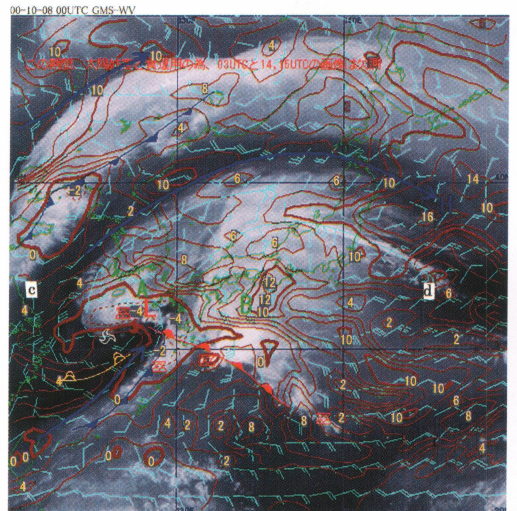
第4図 2000年10月7日12UTCにおける赤外雲画像に925 hPaの風 (kt) と相当温位線 (K) を重ねたもの。図中の記号で中抜けの白渦は水蒸気画像から解析した上層 (400~250 hPa 相当) 渦。赤色の渦は下層の渦。青の矢印は水蒸気画像から解析した強風軸。地上低気圧の中心位置 (L) と温暖前線の位置も示してある。



第5図 第4図と同時刻における水蒸気雲画像とショワルター安定度指数 (SSI) の分布図。



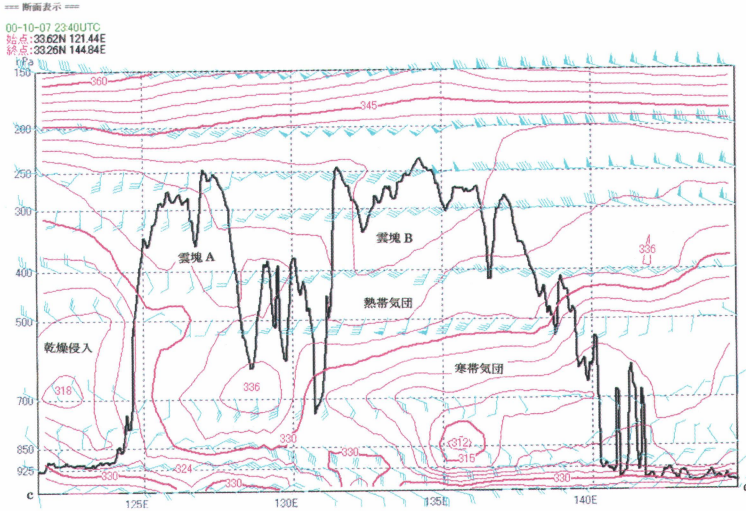
第6図 第4~5図と同時刻において、ほぼ130°E線に沿って第4図のa-bを結ぶ南北鉛直断面上の相当温位 (K), 風 (kt), 雲頂高度 (太い黒実線) の分布図。



第7図 2000年10月8日00UTCにおける水蒸気雲画像と、ショワルター安定度指数および925 hPaの風 (kt) の水平分布図。

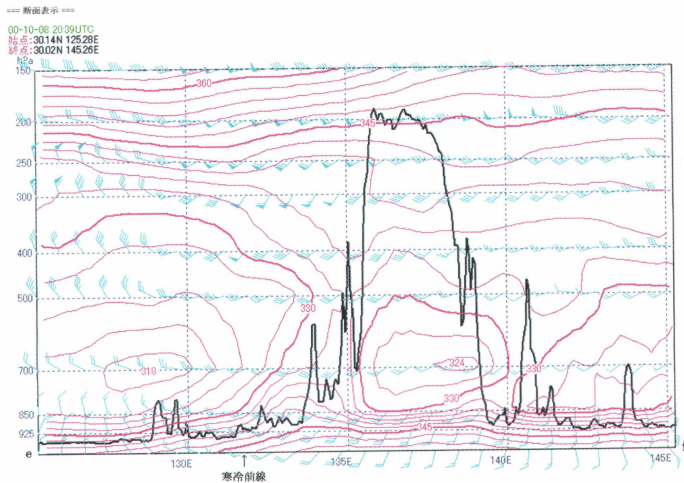
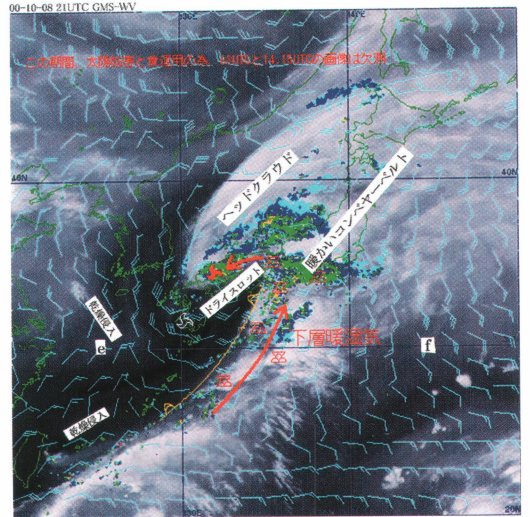
地上温暖前線の直ぐ北側に、強い東風があるのに気が付く。これはシャピロの低気圧モデル第2段階の後屈温暖前線 (bent-back warm front) を作る東風に似ているが、今回の場合は第3図 (c) で示した本州を覆う

移動性高気圧の南端にある東風である。この東風によって SSI の小さい領域が西に延びて第7図では雲塊 A 付近にまで達して、ここもテーパリングクラウド



第8図 第7図と同時刻において、第7図のc-dを結ぶ東西鉛直断面上の相当温位(K), 風(kt), 雲頂高度の分布図。

第9図 2000年10月8日21UTCにおける水蒸気雲画像に同時刻のレーダーエコー図と925 hPaの風(km)の分布図を重ねたもの。



第10図 第9図と同時刻において、第9図のe-fを結ぶ東西鉛直断面上の相当温位(K), 風(kt), 雲頂高度の分布。

発生の温床となっている。こうしたテーパリングクラウドが高知県の繁藤で1時間35 mm、和歌山県の新宮では37 mmの強雨を降らせている。

また第7図では、SSIの小さい領域が雲塊Bの南端から南西方向にも延びている。この不安定領域の成因を見るため、雲塊AとBの内部構造の違いを見るために、雲塊AとBを貫く東西方向のc-d線(第7図)に沿った鉛直断面である第8図を見る。まず、雲塊Bの内部では温暖前線層(ここではほぼ水平の断面を持つ)とその上の熱帯気団内では南よりの風が強い。その下に寒帯気団がある。一方、雲塊Aの西端では、125°Eあたりを中心として依然として風が渦を巻いているが、雲塊Aの西側(3次元的に見れば北西側)の空気は明らかに雲塊A内部のそれと違い、両者の間に不連続層が形成されている。図は示さないが、北西側の空気は乾燥していて、例えば500 hPaでは湿度は約15%しかない。一方、雲塊Aの中では殆ど飽和している。すなわち、雲塊Aの西側の空気は切離低気圧の発達に伴って水蒸気量の少ない上層の空気が下降して来たもので、いわゆる乾燥侵入(dry intrusion)の空気である。そしてこの空気は第7図では低気圧中心の南側において、南西風に乗った高相当温位の空気の上に広がり、SSIが小さい領域を作り出しているのである。

この傾向は時間と共に継続し、8日21 UTCには第9図のように北東から南西に長く延びる雲帯となる。それと共に第1図(c)あるいは(d)のように地上天気図では寒冷前線が描かれることになる。第9図には、同時刻のレーダー画像を重ねている。この時刻前後に近畿地方は低気圧中心部の深い対流雲によって、強雨に襲われている。1時間降雨量としては、例えば兵庫県の名塩では42 mm、京都府の三岳では35 mm、綾部では56 mmであった。

また、第10図には、この寒冷前線を横切った鉛直断

面が描かれているが、下層では相当温位が低い空気が暖湿な南西風の上に乗上げて、いわゆるスプリット前線(「入門」7.2節)に似た形をしている。さらに、古典的なノルウェー学派低気圧モデルが示すような寒冷前線に沿って積乱雲が細い帯を成して並ぶというのとは全く違って、寒冷前線前方の雲帯は深い積乱雲があちこちに存在するという形をとって幅が広い。

また、参考までに、第9図には教科書にでてくる雲域の頭部(cloud head)、乾燥侵入、暖かいコンベアベルト、ドライスロットなどの名を記入したが、上に述べたように、雲域の頭部は「入門」7.1節に書かれた冷たいコンベアベルトとは全く違った出来方をしているし、ドライスロットにしても、第4図や第7図にみるように、始めから存在していたように見える。

「事例集」のプログラムには今回紹介した断面解析の他にも移動解析や時系列解析、さらに個々の空気塊の移動を追跡する流跡線機能など、様々な機能が含まれている。そして上に示したように、今回の低気圧と前線の構造と進化は、教科書に書いてあるものとはかなり違う。こうした低気圧と前線の多様性に鑑みて、今後とも個々の低気圧をよく眺める必要がある。そのためにも、今回紹介した「事例集」は誠に有用な教材であるが、問題は1年分CD-ROM2枚で10,500円(税込み)という価格である。一般の個人あるいは中高学校などが、あまりストレスなしで購入できるような値段にするよう、気象業務支援センターに切望したい。

謝辞

この解説文は著者が東京大学海洋研究所の外来研究員として滞在中に執筆されたものであり、同研究所海洋物理部門海洋大気分野に感謝したい。また、査読者から適切なコメントをいただいたことを記して、謝意を表したい。