



活躍する予報官—英国気象局の事例

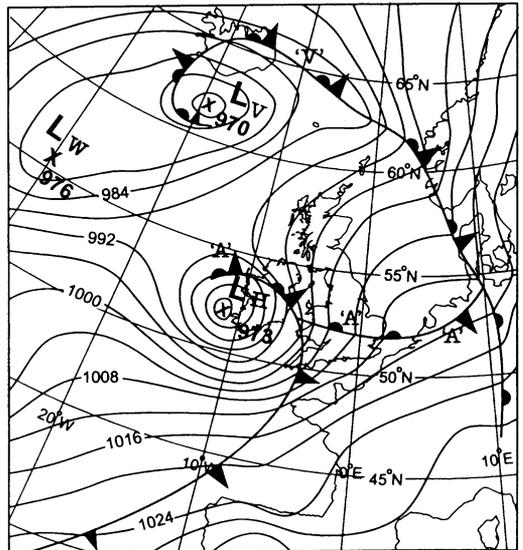
小倉 義光*

1. はじめに

一般的に、今日の数値予報モデルは3～5日先までの温帯低気圧の発達をよく予報できる。しかし普通その経路と強さの予報には僅かな誤差がある。ときとしては、その誤差がかなり大きい場合がある。そうした場合には、天気予報をだす前に、予報官が数値モデルからの出力の不備を発見し、しかるべく修正をほどこして予測天気図を描くことが必要不可欠となる。このような大きな誤差が、1997年12月24日、特に正確な予報をだしたいクリスマス・イブの日の予報について起こった。予報官がどのような理由で、どの程度数値予報モデルからの出力を修正していったか、その顛末が英国の王立気象学会の機関紙「Weather」の1999年12月号に記述されている (Young and Grahame, 1999)。私のように、天気予報の現場から遠い者には、いろいろ教えられることが多かった。わが国とはいろいろ事情が違うだろうけれど、読み物として、ここでその概要を紹介させていただきたい。

2. クリスマス・イブ・ストームの中期予報

第1図が英国気象局 (UK Meteorological Office) 作成のクリスマス・イブ当日の手書き解析 (manual analysis) の地上天気図である。アイルランドのすぐ西に中心気圧973 hPaの発達した低気圧があり、英国が強風を含むシビアなストームに襲われる状況である。そして第2図が12月20日に数値予報モデルが96時間予測として描いたクリスマス・イブの日の海面の気圧分布図である。初期値の天気図が掲載されていないので、どのような経過を辿って低気圧がここにいるか分からないが、第1図と比較すると、中心気圧が5 hPaだけ高すぎるものの、見事な数値モデルの予測である。

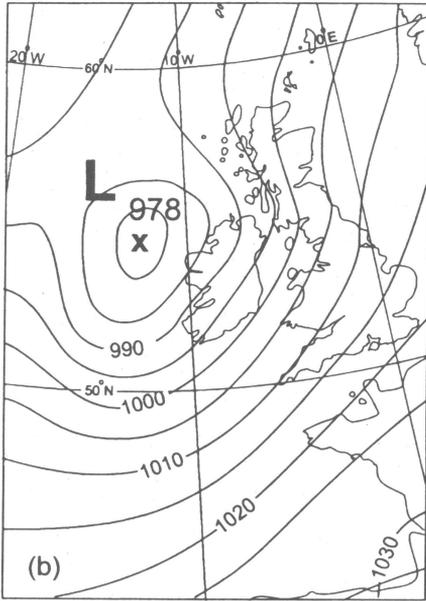


第1図 1997年12月24日1200 GMT, 英国気象局の手書き解析地上天気図。

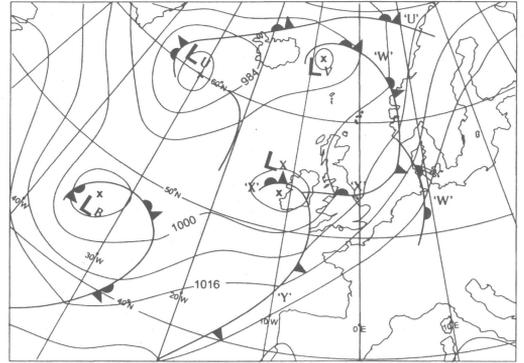
ところが不思議なことに、翌21日に数値予報モデルが72時間予測として描いた気圧分布図は、これと大きく違う(第3図)。英国近くの低気圧がなくなっている。正当な理由があれば、予報官はいつでも自由に数値予報モデルの生の出力を変えてよい。ここで予報官は第3図を完全に拒否し、現実には大西洋で強い低気圧形成(サイクロジェネシス)が進行中という道を選んだ。それはドイツの気象局も欧州中期予報センターも96時間予測では第2図とよく似た予測をしているので、第2図の予測の信頼性が高いと判断したこと、また主観的ではあるが、大西洋上の上層の流れは、過度の移流と暖気移流から見てもサイクロジェネシスが期待されると判断したからである。こうして英国気象局が72時間予測地上天気図として作成したのが第4図である。私の野次馬的感想であるが、ストームが過ぎた

* Yoshimitsu Ogura, 日本気象協会。

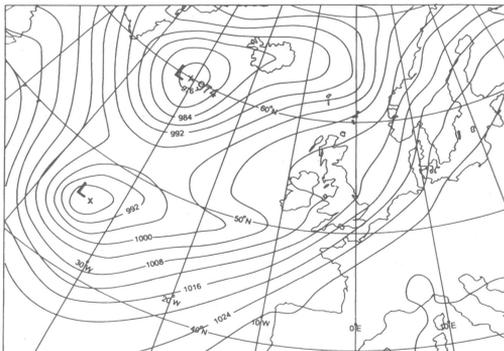
© 2000 日本気象学会



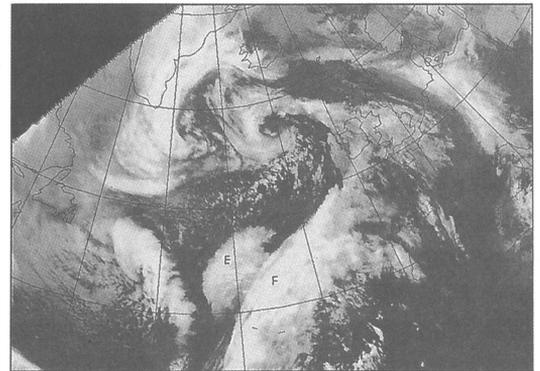
第2図 英国気象局の数値予報モデルの96時間予測による1997年12月24日1200 GMTの地上気圧分布 (hPa).



第4図 英国気象局がマン・マシンミックス法を用いて作成した72時間予測の1997年12月24日1200 GMTの地上予測天気図.



第3図 英国気象局の数値予報モデルの72時間予測による1997年12月24日1200 GMTの地上気圧分布 (hPa).

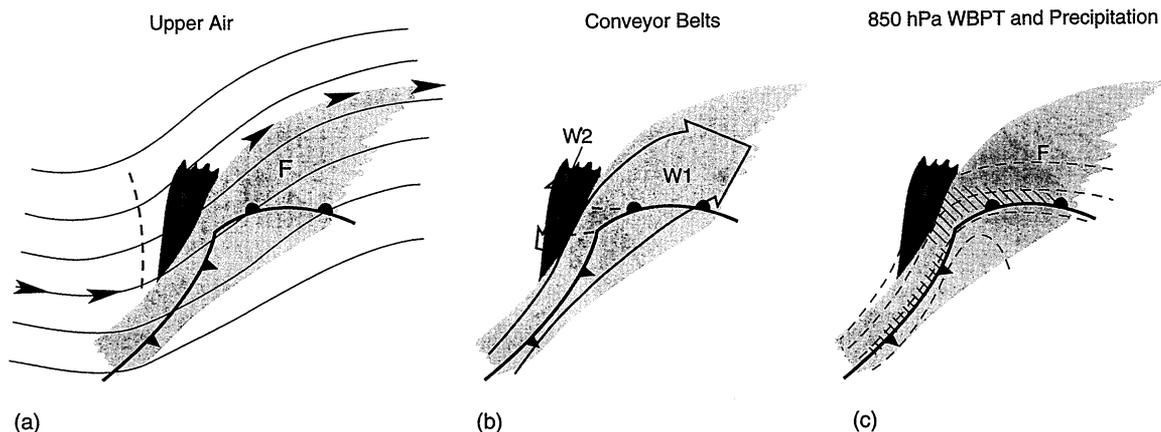


第5図 1997年12月23日1400 GMTの赤外画像. EとFについては本文参照.

後で第4図を振り返って見て、予報官は使命の達成感を味わったにちがいない。

ここで話が横にそれるが、第4図の予想天気図はマン・マシンミックス (man-machine mix) というテクニックを使って描かれている。私はこの技術に詳しくないが、文献によれば (Carroll, 1997), これには2つある。1つは、ワークステーションのスクリーン上で、低気圧と前線の位置や低気圧の中心気圧を予報官が正

しいと思うように修正して、後はワークステーション内のソフトを使って、周りの等圧線などを描く方法である。つまり、数値モデルからの予測を予報官がおかしいと思った場合、注意事項として文書で流さないで、予報官が自ら予測分布図を作る。こうすれば後で定量的に検証・評価できるし、技術の改良にもつながる。もう1つの主に使用している方法は渦位 (potential vorticity) という物理量に注目して、数値モデルが予測した渦位の分布図を予報官が修正して、修正された温度やジオポテンシャル高度などの分布を導く方法である。話が専門的になるのを避けて、ここで止めるが、渦位の極大の地域は衛星水蒸気画像で黒く見える (上層で乾燥している) ことが多いので、解析の修正にも渦位は使われている。



第6図 温帯低気圧発生時の概念モデルの1つで、雲に相対的な、いろいろの気象要素の分布を示す。(a) 上層の流れに地上の前線の位置が重ねてある。太い矢印はジェット気流の軸の位置。EとFは第5図と同じ意味の雲。(b) 雲を作る主な気流を示す図で、W1は温暖コンベアーベルト、W2は二次的温暖コンベアーベルト。(c) 850 hPaの湿球温位(破線)と降水(斜線)の分布。

3. クリスマス・イブ・ストームの短気予報

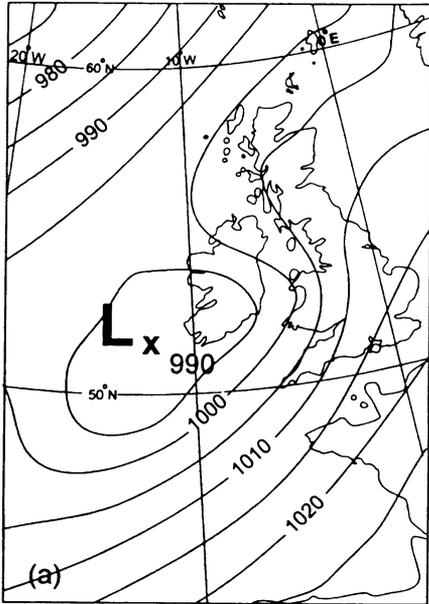
さて話を元に戻して、それから48時間に、欧州の主な予報機関の数値予報モデルからの出力は引続きまちまちであったが、共通していたのは、低気圧が北東に進行して、24日中に英国に接近するとしても、その強さは比較的弱いということであった。サイクロジェネシスなしという予報をだしたモデルもあった。

いうまでもなく、予報官の任務の1つは、時々刻々変化している気象状況を絶えずモニターして、それが数値予報モデルがだす予測と整合しているか検証することである。特に、数値予報モデルに直接繰り込まれないようなデータ(気象衛星画像や数値予報データのとりこみ時刻からはずれている船舶や海上ブイのデータなど)に注目する。こうして12月23日1200 GMTまでは、それまで予測天気図上だけの存在であった地上の低気圧が、上層の短波のトラフに伴って、実際にアゾレス諸島を過ぎて北東に進んでいることが確認された。気象衛星雲画像に、サイクロジェネシスが進行中であることを示す雲の構造が現れたのである。第5図でEと記号された雲がそれである。「雲の頭部(cloud head)」という名がついている。雲Fはふつう前線に伴うような層状の雲であり、温暖コンベアーベルトの雲として知られている。

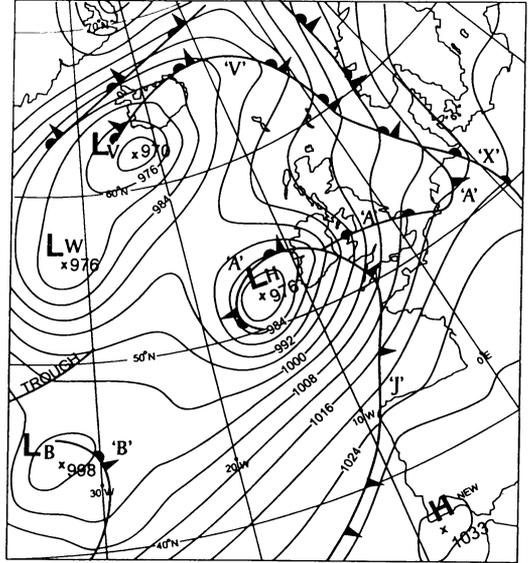
ここで話が再び横にそれるが、私は本誌3月号で、英国気象局の人が中心となって編集した「天気予報における画像：衛星とレーダーの画像を解釈するための

実戦的ガイド」という本を紹介した。この本から、第5図の段階に対応する概念モデルを探して転載したのが第6図である。この図によれば、上層のトラフの東方に発達初期の地上の低気圧があり、下層の湿球温位が高い空気が雲Fの下を通過し、雲Fの西端で上昇し、雲Eを作っている。考えてみれば、英国の西は観測データが極度に少ない広い大西洋である。頼れるのは、主に気象衛星画像である。だから英国の予報官は、サイクロジェネシスの前兆(precursor)となる雲はどれか、どういう形態の雲が低気圧の発生期・成長期・成熟期・消滅期を表すか、懸命になって衛星画像と各種解析図を重ね、事例解析を繰り返して概念モデルを作ったのであろう。そして、その集積が約500ページの大部なマニュアルとなったのであろう。

話を元に戻して、第7図が数値予報モデルによる24時間先の24日1200 GMTの海面気圧分布である。この図に対して、予報官は低気圧の発達が過少予測されているのではないかと疑った。理由が2つある。1つは気象衛星画像で、第5図の段階から時間が経つにつれて、雲Eが長大となり、雲Fとの間に中層雲も上層雲もない帯ができていた。これは水蒸気画像では暗黒に見える。乾燥くさび(dry wedge)という名がついていて、低気圧が急速に発達中の可能性が高いとされている。もう1つの理由は、上層の2つのトラフの相互位置に関係しているらしいが、説明が簡単すぎて、私にはよく理解できなかった。



第7図 英国気象局の数値予報モデルの24時間予測による1997年12月24日1200 GMTの地上気圧分布(hPa).



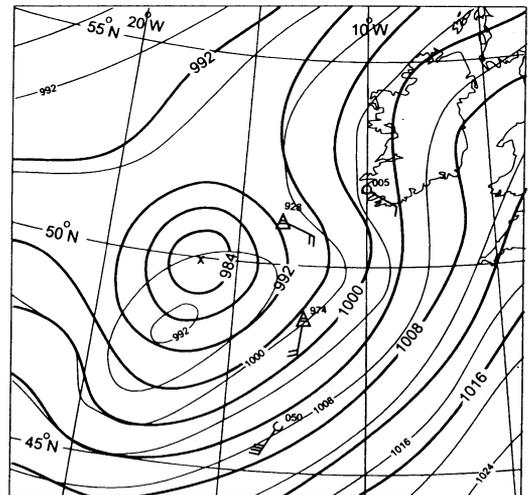
第8図 英国気象局がマン・マシンミックス法を用いて作成した24時間予測の1997年12月24日1200 GMTの地上予測天気図.

いずれにしても、こうした理由で、前に述べたマン・マシンミックス法で第7図を修正した24時間予測図が第8図である。主に修正された点は、中心気圧を990 hPaから14 hPaも下げて976 hPaとしたことと、中心付近の等圧線を横長からもっと円に近くしたことである。結果として、この24時間予測図は現況図の第1図に極めて近い。

4. ナウキャストイング

いよいよ12月24日に入り、ここからナウキャストイングとなる。第9図に英国の局地予報モデルの6時間予測による24日0600 GMTの海面気圧図と手書き解析図が比較してある。主な違いは、前述のように中心気圧を低くしたことに加えて、中心位置を北にずらしたことである。その変更には、51N, 13Wにあるブイの気圧計が1時間に5.4 hPa下がって0700 GMTに987 hPaを記録したこと、47.8N, 17.2Wの船舶が0700 GMTに60ノットの西風を記録したことが寄与している。この等圧線の変更により、英国はますます強風の危険にさらされる可能性が大きくなった。

さらに、数値予報モデルによる低気圧の中心位置を修正した根拠は、モデルからの出力が示す雲の頭部と



第9図 1997年12月24日0600 GMTの地上気圧分布(hPa)。細い実線は英国気象局の局地予報モデルによる6時間予測。太い実線は手書き解析。

ドライスロットの位置が、衛星画像のそれとずれていたからである。つまり、第5図の雲Eが大きくなるにつれて、雲Eより高緯度側の雲Fの部分が消滅し、雲Eがコンマ雲の頭部に、残りの雲Fがコンマ雲のしっぽの部分に、前述の乾燥くさびがドライスロットにと

進化 (evolution) する。それらの位置がモデルが描く分布図からは、ずれていたのである。

ここからは強風注意報・警報の発令ということになるが、すでに原稿が長くなっているのです、ここで終りとさせていただきます。

[追記]ここで述べたストームは、96時間前には数値予報でよく予報できたのに、予報時間が短くなったら予報精度が悪くなった驚くべき事例として有名になり、the 'Christmas Storm' という名も付けられた。どうしてそうなったのか。どうすれば数値予報を改善できるか。このストームを例として、早速議論が始まっている (Hello *et al.*, 2000)。

参 考 文 献

- Carroll, E. B. 1997 : A technique for consistent alteration of NWP output fields, *Meteor. Appl.* **4**, 171-178.
- Hello, G., F. Lalaurette and J.-N. Thepaut, 2000 : Combined use of sensitivity information and observations to improve meteorological forecasts : A feasibility study applied to the 'Christmas Storm' case, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, **126**, 621-647.
- Young, M. V. and N. S. Grahame, 1999 : Forecasting the Christmas Eve storm 1997, *Weather*, **54**, 382-391.



教官 (東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻) の公募

東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻では、下記の要領で地球惑星システム科学講座の教官を公募いたします。

記

1. 職種・人員 教授もしくは助教授 計2名
2. 専門分野等

教授：地球惑星システムの形成進化に関して実験的・解析的・理論的手法を用いて、総合的に研究を行っていかうとする方。

助教授：地球システム内のエネルギー輸送、物質循環と表層環境とのかかわりを様々なタイムスケールで実証的・理論的に解明するための総合的な研究を行っていかうとする方。

3. 着任時期：平成12年10月1日以降のなるべく早い時期
4. 応募方法：自薦もしくは他薦（他薦の場合は御本人が了解されていること）
5. 提出書類：1) 履歴書

- 2) これまでの研究概要 (1600字程度)
- 3) 研究業績目録 (査読論文とそれ以外に分類して下さい)
- 4) 主な原著論文別刷 (5編以内)
- 5) 自薦の場合は、今後の研究・教育の計画・抱負 (1600字程度)
他薦の場合は、推薦書
- 6) 応募者に関して御意見を頂ける方の氏名及び連絡先 (3名)

6. 応募締切：平成12年8月30日(水)(必着)までに書留にて郵送のこと

7. 書類送付先・問い合わせ先：

〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

東京大学大学院理学系研究科・

地球惑星科学専攻 浜野洋三

電話：03-5841-4293, FAX：03-5841-8791

E-mail：hamano@eps.s.u.tokyo.ac.jp

※着任後、学部教育(理学部・地球惑星物理学科もしくは地学科)を兼任していただくことになります。