

わが国における予報技術の現状と問題点

竹 永 一 雄*

昨年10月1日からの新電計の導入に伴い、わが国の予報業務はまた一つの段階を迎えたわけであるが、これを予報技術の立場から眺めた場合、その問題点と近い将来、いかに改善し展開されるべきかについて、予報現業的な感覚から次の5つの話題を提供したい。なおここに使用した資料はおもに昨年10月から本年1月までの短期間のものであり、この間、業務上の若干の修正も行われたこともあって、不完全な資料に基づいているおそれもあるから、実際の業務に反映させる場合は、改めて調査をやり直していただきたい。

1. ADP による解析と総観天気図解析

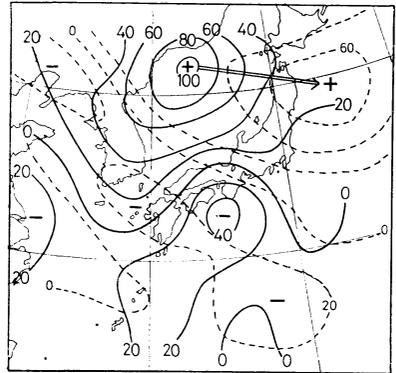
近年 FAX による高層天気図は、ADP による客観解析図に移行する過程にあるが、従来のおり実況による総観解析が併用できる予報中樞は別として、FAX だけに頼っている地方官署では、その FAX の品質の良否は予報の精度に重大な影響がある。上級の予報中樞においては、当然そのチェック作業を行う機能は持っているはずであるが、果して十分であろうか。そこで12月と1月につき、500mb と850mb の等高線について検証を行なった。その結果はおおむね満足すべきものであったが、若干の問題点も明らかとなった。

ADP の価値判定の基準として、本庁予報課の人手による最終天気図(印天原図)を採用した。人手による解析は時間的にも立体的にも、熟練した予報官が物理構造を考慮しつつ事後解析されており、主観のはいり込む欠点はあっても、今の技術の段階では一応満足すべきものと見なすことができる。この原図との比較検討の結果、次のような誤差が生ずることがわかった。

(1) スペース・エリアの問題。

ボーガスを入れる 00Z については問題は少ないが、12Z についてはズレが目立った。しかし 00Z の $T=12$ をイニシャル・ゲスとしている関係で、高度の誤差はあっても、パターンについては大きな違いはなく、日本付近の予報精度には影響は少ないと考えてよからう。

* K. Takenaga 気象庁予報部予報課(現在高知地方気象台)



第1図 500mb うず度の FAX 原図(実線は $T=100$, 破線は $T=24$) 1974年1月27日12Z.

(2) 誤通報の問題。

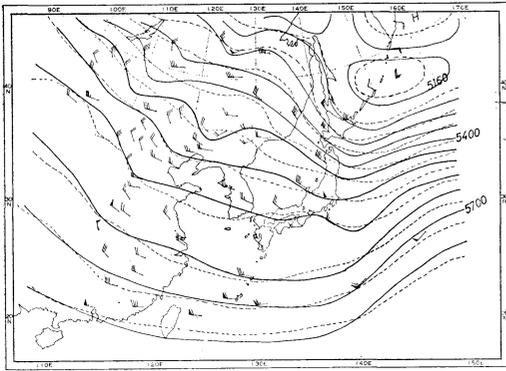
本庁では ADP によってエマグラムが作成されているが、それを見ていると、わが国の高層観測通報にも温度や露点温度の+の誤り、高度の読み違いなど案外誤通報が多い。しかし大きな誤りは計算の段階で落とされるので問題はないが、数度の温度や、数10mの高度の誤りは読み込んでしまう。第1図は潮岬の高度が約40m高かったため、本来は正うず度であるべきところが負のうず度になった例で、この種の誤差は経験的には月に1回くらいはある。しかし24時間予報になると、第1図の破線のようにその誤差はほとんど消えるのが通例である。

(3) シャープな曲率や、閉じた等高線の問題。

第2図の500mb 等高線は、調査期間中に最も問題が多いと思われた例の一つであるが、ADP による FAX 原図は中国東北区とバイカル湖南東方におけるトラフの表現が悪い。このようにシャープなトラフや台風および低気圧などの閉じた等高線の表現は、300km 格子による客観解析では止むを得ないことであるが、それが日本の近くである場合には問題がある。しかしうず度分布を併用することによって、ある程度はカバーすることができる。と考える。

(4) 系統的なエラーの問題。

有名な済州島をはじめとする朝鮮半島およびウラジ



第2図 500mb 等高度線の手描き原図(実線)とADP(破線)の比較, 1974年1月3日00Z.

オ、台湾などの高層観測資料が、測器や観測法の違いによって、系統的なエラーとして計算されているおそれがある。00Zの500mbについては、手書きの等高度線に基づいてボーガス・データを入れるとき、解析者がとくにマークしているのが修正されているが、ボーガスを入れない12Zおよび500mb以外の00Zについては、このエラーが読み込まれている。第3図は850mbうず度の月平均値であるが、朝鮮半島に大きな正域があり、その西側の華北東部と西日本に、その影響と思われる負域がある。この谷は超長波の谷の位置に相当する疑問もあるが、正うず度の値や波動の形から受ける印象はそうではない。T=12, 24によると、この波動は東に動いており、もしそうだとすれば日本に対する影響は無視できない。

2. 地上天気図の問題

理論家の間には地上天気図が主体となっている現在の予報形態に対しては批判的な見解が散見される。30年1日のごとくベルゲン派の低気圧モデルを継承している表

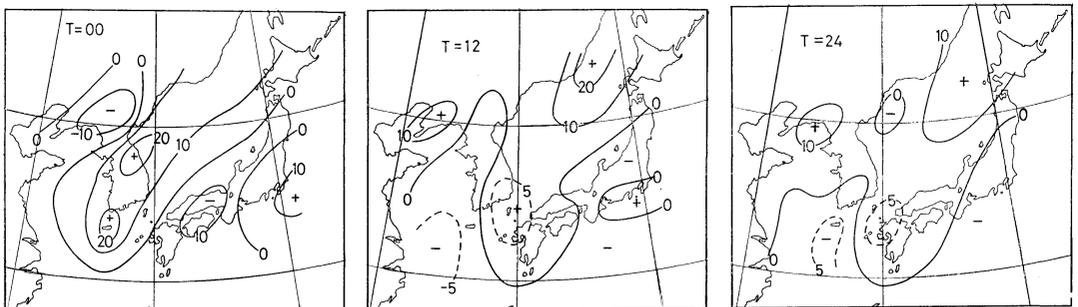
現法には、抵抗を感じるのとは当然であり、事実従来の予報法には問題が多い。しかし気圧分布と前線だけで天気・風・気温の分布はもちろん、発達衰弱まで表現し得る低気圧モデルは貴重である。また一般社会が要求している気象要素は、ほとんど地上天気図に集約されている。T=0において地上天気図に表現されている高・低気圧などの天気系と、上層大気の構造との関連性を把握し、予報の段階では上層の予報値から得られる大気構造から、逆に地上の天気系を予報するという現在の予報体系は、それに代る他の予報法が開発されないかぎり継承されるであろう。

しかし気圧と前線でもって地上天気図を表現する現在の方法は問題である。レーダーや気象衛星の写真を見ると、気圧と前線では雨や雲の分布をすべて表現することはできない。天気に対しては地上気圧は極めて鈍感であり、低気圧の発生などの予報には、気圧と前線に頼っていたのでは手遅れになる。つまり等圧線が始めて丸まるのは、低気圧が発生した結果と見た方がよいことが多い。また前線についても一応は気団の境界線と見なしながらも、できるだけ天気を表現しようと努力する結果、実際には著しい混乱がある。

予報のためにはもっと天気と密着した表現法を考案しないかぎり、予報法の進展はあり得ないように思える。

3. 手描きプログノ(FSAS)と電計Ps(T=24)の問題

手描きプログノが作成されてFAX放送され始めた理由は、数値予報の各種プログノを参考にしつつ、従来の総観予報法の結果を主体とした予報結果を、地上プログノに集約するためであった。従来数値予報のPsが直接FAXによって放送されなかったのは、その精度と表現の点で、熟練した予報官による修正が必要だったからである。



第3図 850mb うず度の月平均値とその予報値, 1973年12月

第1表 低気圧位置改悪百分比 (1970)

	6月	7月	8月	9月	平均
Ps	33	18	36	27	28
FSAS	29	32	18	22	25

(齋藤による)

第2表 低気圧の平均誤差 (×300km)(1971)

	6月	7月	8月	9月	平均
Ps	2.3	1.2	1.5	1.5	1.6
FSAS	1.7	1.1	1.2	1.3	1.4

(齋藤による)

第3表 低気圧中心位置のずれ (×111km)(1973)

月	10	11	12	平均
Ps	3.1	3.7	3.1	3.3
FSAS	3.2	3.5	2.9	3.2

(鈴木による)

第4表 中心気圧の誤差 (mb)(1973)

月	10	11	12	平均
Ps	-4.8	-7.4	-7.2	-6.5
FSAS	-2.1	-3.6	-4.6	-3.4

(鈴木による)

従来の総観予報法とは、 $T=00$ において大気構造とそれに随伴する天気構造を把握し、補外法によって予報時の大気構造を予測する方法であって、補外する段階で数値予報の結果はもちろん、経験的方則によって移動と発達衰弱を予測する方法であるから、手描きプログノは数値予報より精度が良いのは当然である。とくに以前の3層BBモデルでは、直接Fsを計算していなかったため、その精度は望めなかった。事実第1表によれば、人手によってよく修正されていることがわかる。第2表の7月だけは改悪が多いが、この月は筆者ともう1名が始めて当直についた月で、技術未熟による結果である。昨年10月以降の低気圧の予報ズレを計算したのが第3表である。これと第2表を比較した場合、誤差のとり方に個人差と季節差があるので即断はできないが、その差は僅少である。しかし第4表の中心気圧では手描きの方が良い。第5表は位置のズレに関係なく、低気圧の表現が適切であったかどうかを判定する資料である。FSASは79

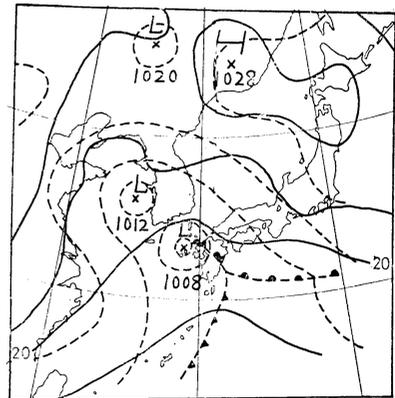
第5表 低気圧の表現の適不適回数 (188個), () 内は%, 1973年10月~12月

		表現している	表現していない	表現のしすぎ
Ps	註1	102 (54)	86 (46)	0
	註2	133 (71)	55 (29)	0
FSAS		149 (79)	39 (21)	11(6)

註1. Psで明らかに低気圧が確認できる場合。
註2. トラフとして表現されているものも適中と見なした場合

第6表 地上予想図のファイン・メッシュ内の精度の比較 (T=24)

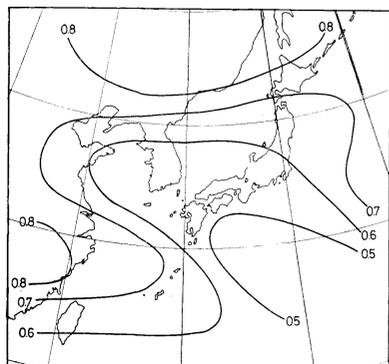
		相関係数	類似示数	平均平方差 (mb)
P	Ps	0.69	0.78	5.71
	FSAS	0.87	0.74	5.77
ΔP	Ps	0.63	0.48	5.54
	FSAS	0.57	0.45	5.56



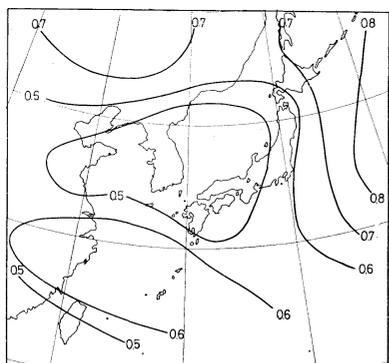
第4図 Ps (T=24) (実線) と実況 (破線の比較) 1973年10月26日12Z.

%が適切であり、Psは註1の場合は54%しか表現できておらず、トラフも適切であったとする註2の場合でも71%となり、FSASより劣っている。気圧の予報値そのものを比較すると第6表のようになり、明らかにPsの方が精度は良い結果が出る。しかしFSASの作成目的は主としてパターンの予測であって、気圧の量的予報まではできるはずはなく、当然の結果が出ているにすぎない。

第4図は第5表の註2の例であって、黄海と九州の低気圧がPsでは表現されていない。低気圧があるのとな



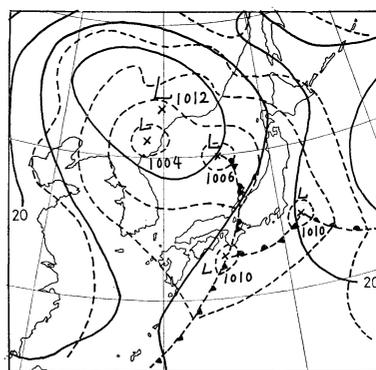
第5図 Ps の $T=24$ と実況の相関係数分布図、1973年12月16日～1974年1月15日。



第6図 FSAS の相関係数分布図、前図に同じ。

第7表 Ps ($T=24$) の低気圧中心が 3.5° 以上ずれたときの原因別回数 (1973年10月～12月)

原因	回数	実況より		実況より	
		おそい	早い	南偏	北偏
発生初期	7	5	0	1	1
発達	8	3	3	2	0
衰弱	2	0	2	0	0
速度変化	11	8	3	0	0
低緯度	3	0	0	3	0
計	31	16	8	6	1



第7図 Ps ($T=24$) (実線) と実況 (破線) の比較、1973年10月20日12Z。

いのでは、予報に与える影響は大きい。しかし上昇速度や $T-T_d$ などでは悪天域が表現できている場合が多いので、Ps にこだわることはないかもしれないが、Ps とはこういうものであると認識しておく必要はあるだろう。

次に予報精度の問題点を探するため、第5図に Ps、また第6図に FSAS の相関係数分布を示した。Ps は日本の南海上で、また FSAS は朝鮮半島で精度が良くない。Ps の南海上についてはよく言われていたことであり、原因もある程度はわかっているが、FSAS の朝鮮半島についてはよくわからない。R.M.S. 分布をとると、FSAS が南海上では月平均で約 1 mb 改良しているが、逆に中国東北区から朝鮮半島にかけては、約 1 mb 改悪している。

新モデルでは Ps が直接計算されるようになって、旧モデルと比べると、Ps に関しては若干の改良がなされたように感ずる。FSAS を作成する過程において、数値予報の優れた点は活用し、その欠点を人手によって補うことができれば理想的である。そのためには数値予報の

欠かんを調査する必要がある。例えば第7表によると、Ps の欠点と見なされる現象は、移動の遅すぎ、低気圧の発生初期が予報されず、発達衰弱の予報がまずく、低緯度がうまくないということがわかる。このほか寒気うずの南東側に発生する低気圧の予報がまずい例が多く、第7図はその一例である。以上の現象に対しては、それを人手によって客観的に修正する方法を開発し、短時間の作業で FSAS を作成することが必要である。そして人手による作業の大部分は、後述する天気分布予想図の作成に振り向けるほうが、はるかに重要である。

4. 下層の予報の問題

最近数値予報による 500mbZ の予報精度は、 $T=24$ で相関係数 0.8 以上が得られており、一応満足すべき段階まで向上している。FSAS を作成する作業でも、500 mb についてはその遅れや発達などについて、若干修正する程度であって、おおむね数値予報に準拠しているのが実状である。しかし下層の予報については必ずしも満足できる段階ではない。1973年12月15日から1月15日ま

第8表 うず度の精度 ($T=24$)

	相関係数	類似示数	平均平方差
500 ζ	0.66	0.52	1.93
850 ζ	0.41	0.31	1.46

での期間について、fine mesh 内におけるうず度の精度は、第8表のとおり 850mb であまり良くない。また上昇流についても700mb に比べて900mb の精度は目立って良くない。

この原因についてはボーガス作業がないことだけでなく、地形・非断熱効果、とくにエクマン層内における摩擦力の取り扱いに難点があるためであろう。境界層内においては多量の熱と水蒸気が補給される層だけに、そこでの収束量の多寡は直接上層の凝結量に影響することは、何も台風だけの問題ではないように思える。とくに対流現象の予報については、下層のうず度や水蒸気量の予報精度が決め手になるほか、次節で述べる天気分布予想図の精度にも、重要な影響をもたらすことになる。

5. 天気分布予想図の問題

ここ2カ年に亘って全国予報技術検討会において、天気構造の問題が取り上げられてきた。その目的とするところは、結局は天気分布予想図を作成する技術を開発することである。前にも触れたが、レーダーや気象衛星で観測される降水現象や雲の分布は、今の物理量では必ずしも適切に表現されていない。天気構造とより密着し

た要素が見つかって、悪天域の3次元解析ができなければ、天気予報精度は向上しないだろう。われわれが知り得る気象要素やそれから誘導される物理量を、効果的に組み合わせることによって、よりよく天気の表現ができないだろうか。例えば上昇速度と水蒸気量を組み合わせた量が、降水との関係はより密接だし、それに移流量や安定度などをうまくアレンジすることによって、大雨のポテンシャル予報に利用するといった方法がそれである。本庁ではすでに二次製品といわれる物理量が、ルーチンに利用されているが、今後この分野を大いに開拓し、天気分布予想図の FAX 化を実現させるべきである。幸い ITOS の導入に伴い、雲の高さや雲形がある程度推定できるようになったのを機会に、意欲的なアプローチを期待したい。

1972年、73年に東京地方の予報が大きくはずれた82回のうち、主観的な分類ではあるが、明らかにパターンのはずれによると思われるものが4割、パターンのはずれより、むしろ天気へのほん訳の誤りの方が主因になっているものが6割に達している。ほん訳の分野については、個人的な経験と勘に頼る比率が多過ぎるのが現状であり、できるかぎりの客観化と、予報中核においてシノプティック・スケールにおける天気予想図を作成して地方に提供することが、今後の課題であろう。

この報告の資料作成には、予報課の鈴木義男、市沢成介、青木孝および業務課の菊地恒之の各氏にお願いした。記して厚くお礼を申し上げる。

大気現象の時間空間スケールと Predictability

廣 田 勇*

1. まえがき

“天気予報はどこまで発展可能か?” という素朴にして重大な質問の意味はふた通りあって、“何日先まで”と“どの位キメ細かく”に大別されようが、しかしこのふたつがまたお互いに無関係ではないために多少話は複雑化してくる。過去20年間、数値予報とその拡張としての大気大循環数値実験の歴史はその大部分がまさにこの質問に対する解答を探し続けてきた道のりであったとも言

えよう。その過程においては、基礎的理論的研究からモデル実験、更には現実の観測値に基づく具体的予報例に至るまでさまざまな手法・アプローチが楽観論と悲観論にいろいろれた一連の葛藤を演じ続けてきたのは良く知られているとおりである。その間、predictability に関して書かれた数々の論文や解説は国内外を問わず枚挙にいとまがない。この問題に多少なりとも関心を寄せている人ならば既にいくつかの解説を読まれていることと思う。

このような事情のもとでは今更とめを行ってみても所詮屋上屋を重ねる愚を繰り返すのみであろう。従って

* I. Hirota 気象研究所予報研究部 (現在京都大学理学部)