

## モデル大気を覗いてみると\*

加藤 政 勝\*\*

### 1. はじめに

現在ルーチンに計算されているモデル大気(数値予報モデル)による予測精度はどのようなものだろう。筆者は3年程週間予報業務に携わり、ルーチンにいくつかのモデル大気の子測場を眺めてきた。そこで、これらモデル大気の中で国際的に最も評価の高い一つであるヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)の子測結果の一部を覗いてみよう。併せて、これらモデル大気のもつ特性のいくつかについて感想をふくめて簡単にふれてみる。なお、気象庁においても1989年11月に全球モデルの大幅な改訂が行われ、現在運用されている。

### 2. じょう乱毎における予測誤差

ヨーロッパ中期予報センター・モデル(全球モデルで水平分解能約100km、鉛直に16層、1988年末時点)の子測場(以下プログノと記す)は毎日6日先の子測まで入手可能である。

第1表はこのモデルによる予測精度を示すパラメータで偏差相関値(Anomaly Correlation; プログノと初期場との差とプログノに対応する実況場と初期場の差との間の相関係数)である。(a)は500hPa面高度(以下 $Z_5$ と記す)および(b)は850hPa面の気温(以下 $T_{85}$ と記す)についてのもので、1988年11月1日~27日の各初期値を用いて子測した結果で対象領域は第2図で示した約1/4半球である。これらによれば両者共に2~3日先の子測に関しては相関係数は1に近い値を持つが、子測が進むにつれてその値は急速に落ちこむ。しかも、その下がり方は様でない。11月17日を初期値とする $Z_5$ の子測値の相関係数の減少は他の日に比して顕著で3日子測で0.910と大きいのが6日子測では0.44130と急速に下がる。これに対し、11月24日、25日における $Z_5$

の相関係数の減少は小さく、6日子測でもそれぞれ0.92914および0.84189と大きな値を持つ。モデル大気は子測に関して、得意な場および不得意な場(初期場及びその場の推移過程の違いにより)を持っているようにみえる。

これら第1表の結果を図示したのが第1図である。表では11月のみであったが、ここでは12月まで延長して示してある。この図から認められるいくつかの特徴は前述したように $Z_5$ 及び $T_{85}$ 共に、①2日子測においては初期場がいかに変わろうと非常に大きな相関係数を持つ、②4日子測になると2日に比して全体として相関係数が小さくなり、初期場に依存するようになる、③6日子測は平均的に相関係数が下がるのはもちろんだが、初期場に大きく左右される。しかし、第1表の中で述べたように、一様に子測が下がるのではなく、例えば、 $Z_5$ でみると11月30日前後及び12月10日前後の初期値に対しては予測精度はよく、これに較べ11月19日、12月5日及び12月19日前後の予測精度は悪い。おおざっぱにいうと精度の悪くなる周期は2週間前後であるようだ。この周期は何に起因するのだろうか。通常の高気圧の周期は4~5日位であることを考えると、より大きな循環場に支配されているように思われる。

予測精度の比較的良好なときと、悪いときの具体例を示したのが第2図である。よかったケースの12月10日初期値のものは樺太付近で低気圧が発達、切離低気圧となりそれが解消していく過程のものである。6日子測場とこれに対応する12月16日の初期場を較べると、カムチャッカ付近の低気圧、バイカル湖近傍の強いリッジ共、類似度はかなりよい。これに対して、悪かったケースである11月19日を初期値としたものは初期場で西シベリア(80E, 60N付近)にみられるトラフが東南東進して日本付近で発達、切離低気圧になる過程のものであるが6日子測と実況の11月25日を比較すると、日本付近での切離低気圧の位相はほぼ一致しているが形が大きくゆがみ、そ

\* Looking into Behavior of Predicted Model Atmosphere.

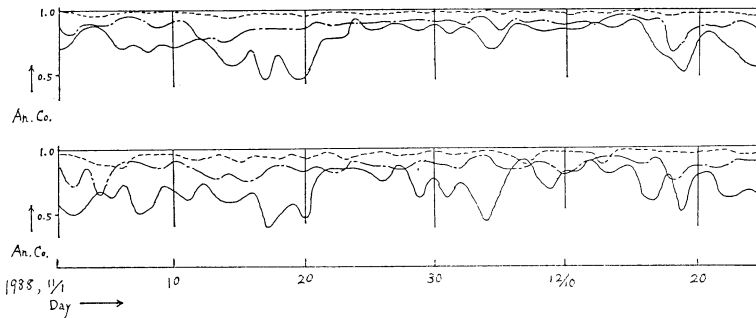
\*\* Masakatsu Kato, 東京管区気象台技術部調査課。

第1表 ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF) モデルで1988年11月1~27日の初期値を用いて1~6日先の予測を行った結果の Anomaly Correlation. 左側 (a); 500 hPa 面高度. 左側の数字は初期値の日, 最上段の数字は予測日 (1~6日), 最下段は相関係数の月平均値. 右側 (b); 左側に同じ, ただし, 850 hPa 面の気温.

ECMWF Z500							ECMWF T85						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1	0.99313	0.98895	0.98422	0.91943	0.74051	0.69269	1	0.95753	0.94296	0.92043	0.88642	0.69953	0.61689
2	0.99183	0.98876	0.98142	0.80229	0.73400	0.73219	2	0.94720	0.95075	0.91579	0.76240	0.65794	0.68914
3	0.98719	0.97040	0.91159	0.80347	0.80069	0.85252	3	0.95886	0.93045	0.89382	0.84659	0.85828	0.85221
4	0.98411	0.94462	0.94205	0.87620	0.83833	0.87073	4	0.95202	0.89562	0.91179	0.85919	0.84845	0.86876
5	0.98448	0.97388	0.93510	0.87444	0.86467	0.78276	5	0.95566	0.91684	0.90262	0.84790	0.79743	0.71436
6	0.98693	0.97979	0.96819	0.94346	0.85800	0.70457	6	0.94457	0.94628	0.94130	0.89382	0.83388	0.68572
7	0.98794	0.98488	0.97665	0.93819	0.90426	0.73446	7	0.95713	0.96952	0.94627	0.91162	0.85187	0.79440
8	0.98336	0.97930	0.97575	0.90993	0.79400	0.60956	8	0.95282	0.95725	0.94904	0.85592	0.78367	0.64116
9	0.98875	0.98855	0.94852	0.85127	0.84593	0.73818	9	0.96343	0.97133	0.93898	0.88740	0.83561	0.79846
10	0.98672	0.98022	0.93777	0.91123	0.86358	0.70404	10	0.95497	0.95432	0.92456	0.85280	0.82138	0.71547
11	0.98967	0.97550	0.92994	0.90729	0.70529	0.73869	11	0.94760	0.93544	0.87236	0.89438	0.67740	0.61833
12	0.97790	0.95341	0.89901	0.76934	0.77656	0.78537	12	0.96460	0.93683	0.92432	0.83212	0.75250	0.75028
13	0.95059	0.95725	0.89696	0.77383	0.71062	0.60442	13	0.91979	0.93244	0.90112	0.82263	0.74227	0.63820
14	0.93903	0.93497	0.85731	0.73123	0.67672	0.58395	14	0.97505	0.89819	0.89311	0.77292	0.73396	0.61666
15	0.96401	0.93249	0.84577	0.73631	0.62873	0.57101	15	0.92041	0.91105	0.83124	0.78689	0.57216	0.41149
16	0.88206	0.95870	0.92827	0.84302	0.70688	0.59377	16	0.93667	0.92230	0.89433	0.80443	0.90549	0.47646
17	0.98718	0.96328	0.91057	0.84480	0.66755	0.44130	17	0.91928	0.92362	0.89850	0.82694	0.67360	0.28017
18	0.97824	0.95616	0.91470	0.86903	0.76159	0.68489	18	0.92785	0.90615	0.83480	0.82238	0.57749	0.52295
19	0.97470	0.96767	0.89276	0.84383	0.74776	0.47317	19	0.91277	0.83528	0.87269	0.75431	0.68275	0.60344
20	0.96611	0.93734	0.86388	0.64171	0.76010	0.45533	20	0.92267	0.90507	0.81760	0.85161	0.83951	0.68339
21	0.97777	0.95886	0.91917	0.90938	0.83440	0.74127	21	0.94742	0.89933	0.87002	0.91597	0.89930	0.79742
22	0.90336	0.97840	0.94763	0.86409	0.77793	0.73263	22	0.92770	0.93869	0.92213	0.83917	0.72053	0.69115
23	0.98010	0.96829	0.92790	0.87905	0.87821	0.77352	23	0.94438	0.93610	0.89663	0.82291	0.82475	0.76126
24	0.97819	0.96103	0.85722	0.88350	0.92770	0.92914	24	0.93691	0.92537	0.85638	0.82177	0.84481	0.89147
25	0.98125	0.96181	0.92811	0.88207	0.87954	0.84189	25	0.91742	0.92079	0.85685	0.84055	0.78375	0.75889
26	0.97414	0.95407	0.92449	0.90202	0.82034	0.85072	26	0.91606	0.88199	0.86444	0.79183	0.61023	0.59730
27	0.96415	0.95888	0.94139	0.87783	0.91155	0.91094	27	0.88965	0.82683	0.88556	0.80600	0.75562	0.85364
MEAN Z500							MEAN T85						
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
	0.97864	0.96510	0.92306	0.86381	0.79883	0.71527		0.93575	0.92455	0.89488	0.83757	0.75093	0.67885

(a)

(b)

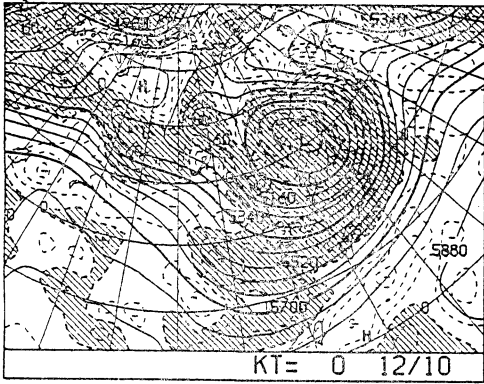


第1図 ECMWF モデルによる 500 hPa 面高度 (上段) 及び 850 hPa 面気温 (下段) の Anomaly Correlation. 1988 年11月1日~12月25日, 点線は2日予測, 一点鎖線及び実線はそれぞれ 4, 6日予測に対する結果.

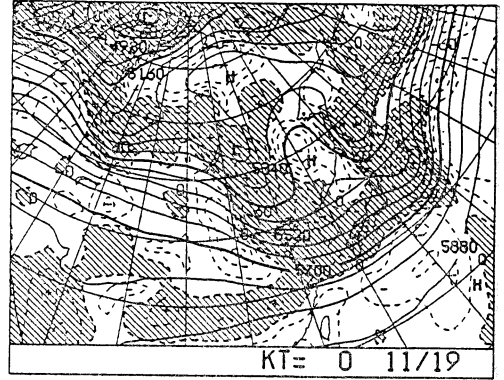
の東側にみられるリッジの位相・振幅共に大きく異なる。バイカル湖付近のリッジ及びその北西部の低圧部の形態も大きく相違している。ここであげたケースに関しては、系が発達段階から衰弱過程に向かうものに比し

て、その一つ前のステージからはじまるもの、すなわち、発生期から成熟過程に至るもの予測の方が精度が悪いということになる。

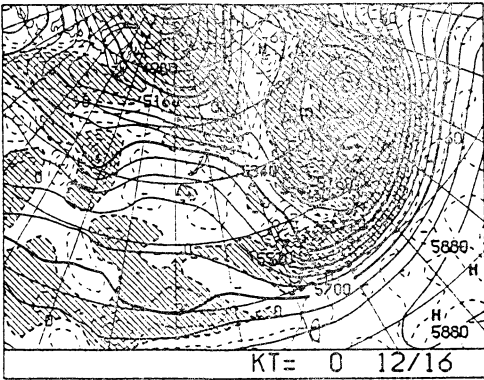
第3図は第1表で示した Z<sub>5</sub> 及び T<sub>85</sub> の11月の月平



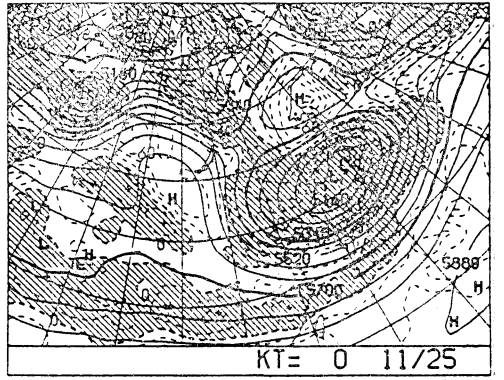
(a)



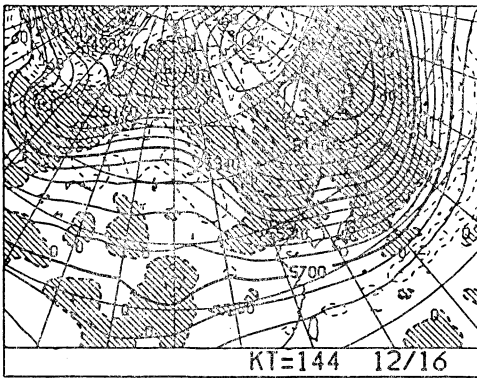
(d)



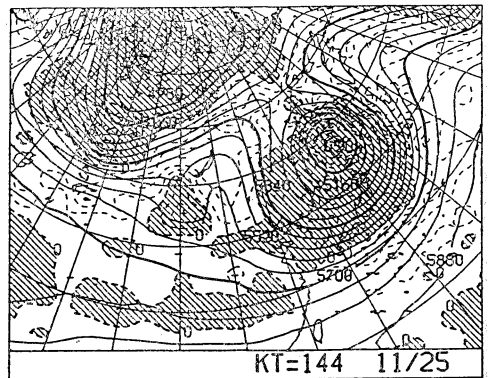
(b)



(e)

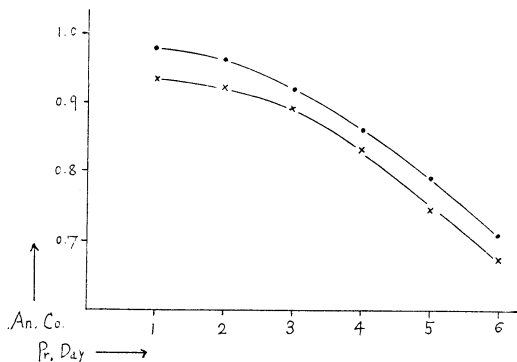


(c)

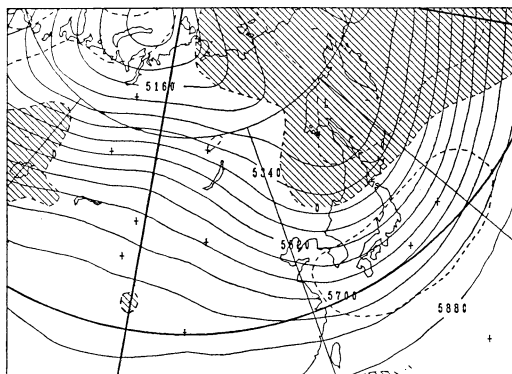


(f)

第2図 ECMWF モデルによる 500 hPa 面高度 6日予測誤差の小さいケース, (a), (b), (c), の左3枚. (a), (b)は初期値で1988年12月10, 16日のもの. (c)は12月10日を初期値とする6日予測で12月16日に対応. (d), (e), (f)の右3枚は予測誤差の大きいケースで, (d), (e)はそれぞれ1988年11月19日及び25日の初期値. (f)は11月19日を初期値とする6日予測. 图中的実線は500 hPa 面高度 (60m間隔), 点線はうず度でハッチは正のうず度域.



第3図 ECMWF モデルの月平均 500 hPa 面高度 (●印) 及び 850 hPa 面気温 (×印) の 1 ~ 6 日予測に対する Anomaly Correlation 期間は 1988 年 11 月 1 ~ 27 日。横軸は予測日 (1 ~ 6 日)。



第4図 ECMWF モデルによる予測 4, 5, 6 日の平均場の系統的誤差。

月平均 500 hPa 面高度実況値 (実線 60m 間隔)。ハッチは負の系統的誤差で 30m 間隔。対象期間は 1988 年 11 月 1 日 ~ 27 日。

均の相関係数である。一瞥して 2 つのことがみてとれる。1 つは両者共に予測日が進むにつれて精度が下がるのはともかく、それがリニアでなく 3 日予測頃から急速に精度が落ちる。もう 1 つは大気の中層を代表するパターンの方が、下層等の種々のスケールのじょう乱の反映である  $T_{85}$  より予測が精度高いということである。これらに関しては日頃プログノを利用する際、平均的ではあるが気象要素毎にその精度が若干異なることを頭に入れておく必要がある。

### 3. 系統的誤差 (Systematic Error)

2 章では毎日の個々のじょう乱に伴う予測精度 (誤差) を概観してきた。モデル大気の前測場は、この外に系統的な誤差を含んでいる。これらは予測値と実況値をそれぞれ適当な期間、時間平均したうえで両者の差をとることにより得られる。モデル大気の前測の中に含まれる系統的誤差の占める割合はかなり大きいことを多くの研究者が指摘している。事実、1988 年 9 月、WMO の呼びかけでカナダのトロントにおいて、系統的誤差に関する Workshop が開催された程である。

さて、ここで上記してきたヨーロッパ中期予報センター・モデル大気における系統的誤差の一端をみてみよう。第 4 図は  $Z_5$  における系統的誤差を示す。これらは 1988 年 11 月 1 日 ~ 27 日までの 27 日間における 4, 5, 6 日予測の月平均から対応する実況値のそれを求めその差を示したものである。このような操作をすると日々にお

ける短周期のじょう乱による誤差は相殺され、主として定常場における誤差、すなわち、海陸分布、山岳、熱源、大規模じょう乱等による forcing に伴うものが残る。この  $Z_5$  の誤差特性で目につくものをあげると、①低気圧の墓場といわれるカムチャッカ半島付近で負の誤差、すなわち、モデル大気がこの近辺で低気圧を発達させすぎることになる。②中国東部から日本の東海上にかけて高圧部になる。③バイカル湖近傍及びその北西での高気圧性誤差である。④、②の誤差特性からモデル大気は、北部日本のジェットが実況に比べ強く予想されることになる。ここでは示さなかったが、このような系統的誤差は気象要素毎、季節ごとに大きく変化する。

### 4. おわりに

ルーチンに運用されている数値予報モデルの予測精度及び系統的誤差の一端をヨーロッパ中期予報センター・モデル予測結果を通して眺めてみた。数値予報モデルは日進月歩しているわけで、種々のモデルに関する改良改善については多くの報告物が出ているので興味ある方はそれらに目を通して欲しい。

ここで示した例は主に数日予報 (週間予報) に関するもので、この他に、もう少し予測期間の短い、すなわち、小スケールを対象としたものや台風等を目的としたものも実用的に利用されている。これらのモデルは力学的・熱力学的物理法則に従って大気の状態を予測するもので、現時点においては非常に精巧化している。しかし

ながら本文の中でみてきたように実用に耐えるのは、初期場及びその場の経過に依存するものの、数日程度と思える（これは一般的に言われていること）。これは何を意味するのだろうか。現在のモデルの精密化により、幾分の子測精度の向上は期待できようが、大きな飛躍は望めそうにない。なにか越えるべき壁がたちはだかっているようで、従来とは違った観点、アイデアによる展開が必要であるように思われる。1つのアプローチとしては素朴ではあるが、たとえば第1図で示したが、日々の気象場はいつも同じ子測精度をもつものでなく、精度のよいときとそうでないときがあり、この由来の解明等を徹底する等も1つかと思われる。

現在これら大気の子測可能性も含めて延長予想に関しては、国際的に多くの人達が鎬を削っているわけだが、近い将来にブレイクスルーが起こるだろうか。それとも、全くコツコツとした積み重ねによってのみ進歩があるのだろうか。結論は依然ペンディングのままのように思われる。

### 参考文献

- Sumi A. and Kanamitsu, M.: 1984: A Study of systematic errors in a numerical weather prediction model. *J. Met. Soc. Japan* **62**, 234-251.
- 住 明正, 1985: 系統的誤差について (Systematic error), 電子計算室別冊, **31**, 8-16.
- 岩崎俊樹, 1985: 冬季シベリア高気圧についての考察, 数値予報解説資料, **18**, 21-32.
- 大関 誠, 1986: 北半球モデルの系統的誤差について, 数値予報解説資料, **19**, 36-51.
- 萬納寺信崇, 1988: 全球モデルの統計的検証, 数値予報解説資料, **21**, 20-29.
- Kato, M., The characteristics of systematic errors shown in the composited maps of 1 to 6-day predicted fields of 850 hPa temperature and 500 hPa GPH of both JMA and ECMWF models, カナダのトロントで1988年9月開催された「Workshop on Systematic Errors in Models of the Atmosphere」の事務局に投稿, 未発行.



### 土質工学会編

### 「土質工学と気象」

(株)土質工学会, 1990年刊  
A 5 版, 311頁, 4,200円

土質工学会から発行されている土質基礎工学ライブラリーの1冊として「土質工学と気象」という本が1990年6月に発行された。気象の関係者にとってちょっと見慣れない書名であるが、内容をみるとこの本は土質工学者のための気象学と、土質工学に関連した気象学の2つのテーマを1冊にまとめたものであることがわかる。

まえがきには「土質工学で扱う土は、気温の変化、降雨、雪、乾燥、風、波浪などの気象変化によってさまざまな影響を受ける。したがって、設計段階や施工段階においてもこれらの影響をできる限り正確に把握し、適切

なる対応をする必要がある。気象に関する文献は数多く出版されているが、土質工学と結びつけ系統だててまとめられている文献は数少ない。本書の内容は、気象に関する基礎的な知識を分かりやすく述べるとともに、気温、雨、雪といった個々の気象による諸現象と、これらに対応する土質工学の諸計画を体系的にまとめている・・・・」と述べられている。

目次を示すと

1. 概論, 2. 気象に関する基礎知識, 3. 土質工学と気温, 4. 土質工学と雨, 5. 土質工学と雪, 6. 土質工学と波, 7. 土質工学と風, 8. 資料編, となっている。

土に関連した気象現象を扱う場合に、土に関する基本的な知識を手軽に得ることが出来る本である。

(気象研究所・藤谷徳之助)