



天 気

1984年8月
Vol. 31, No. 8

503 (数値予報の精度)

気象庁の数値予報ルーティンモデルの精度について*

中山 嵩**

1. まえがき

気象庁における数値予報業務は、開始されてから20余年経過した。この間、数値予報モデルは、長波のみを予想対象としたフィルタードモデル(準地衡風モデル、バランスモデル)から、音波のみを除いた大気運動方程式を用いたプリミティブモデルへ発展し、予想精度は着実に向上してきた。特に、ここ数年、数値予報の技術の進歩と計算機の大型・高速化にともない、分解能の高い数値予報モデルが実用化され、予想精度は、飛躍的に向上した。

ここでは、気象庁の数値予報ルーティンモデルの簡単な発展経過とそれにもなう予想精度の変化を示し、さらに、現在の数値予報ルーティンモデルの予想特性を述べる。最後に、参考として世界各国の数値予報ルーティンモデルとの比較を示した。

現在の数値予報ルーティンモデルは、12層北半球スペクトルモデル(12L-HSM, Kanamitsu *et al.*, 1983)、12層ファインメッシュモデル(12L-FLM, Electronic Computation Center 1, 1983)と、11層微格子モデル(11L-VFM, Electronic Computation Center 2, 1983)である。

これらのモデルの予想精度の検証は、毎月実施されている。検証の対象としている予想値は、地上気圧、主な指定気圧面の高度、温度、飽差(温度と露点温度の差)、

風の東西および南北成分と降水量(12L-HSMの24時間降水量, 12L-FLMの12時間降水量, 11L-VFMの6時間降水量と12時間降水量)である。検証のための基準資料(以後、実況値とする)は、12L-HSMと12L-FLMでは、客観解析値と高層観測値, 11L-VFMでは、初期値を用い、降水量に対しては、地域気象観測システム(AMeDAS)の観測値を用いている。

検証の方法は、最も多く用いられている客観的方法、相関係数や S1-SCORE (エスワン・スコア) などの指標を統計的に評価する方法をとっている。これらの指標は、日々予想ごとに変化するもので、予想精度は、指標の平均値と標準偏差であらわされる。一般には、指標の平均値のみで予想精度を議論することが多い。

この検証方法は、モデル間の相対的評価には適しているが、モデルの予想結果がどの程度有効であるかの目安がつけにくい短所も持っている。また、個々の事例では、これらの指標は、予想時間が延びるとともに、時として予想が良くなることを示す場合もある。統計処理をすると、このような常識に反する結果は、指標の平均値から消え、予想精度は、予想時間が延びるとともに低下する。

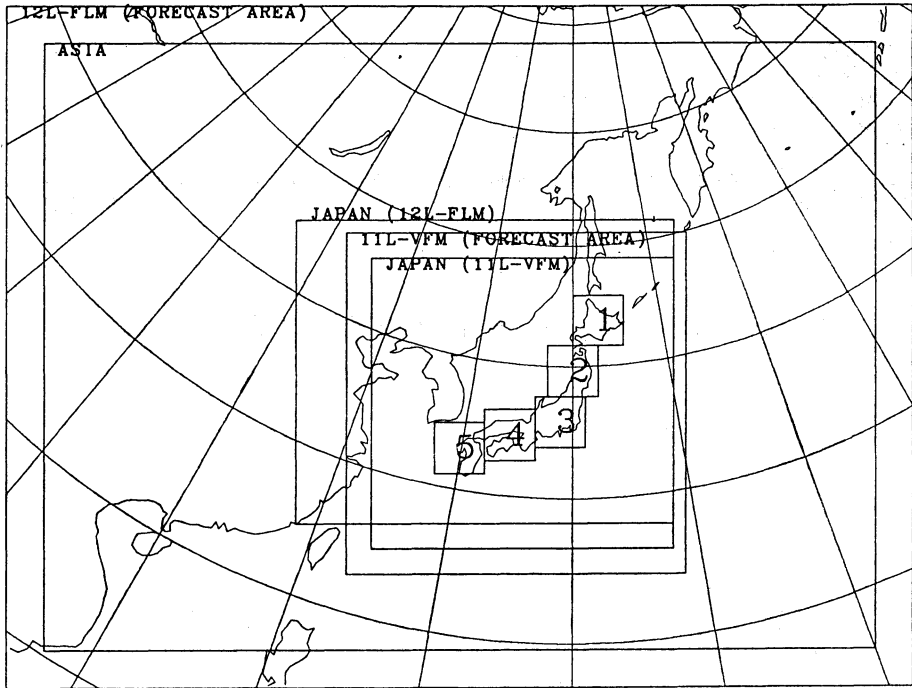
2. 検証に用いる指標

検証に用いる指標は、予想誤差、予想誤差の標準偏差、平均2乗平方根誤差、相関係数と S1-SCORE である。主な指標の定義を以下に示す。

○時間変化量の相関係数 (Tendency Correlation)

* Statistical Performance of Operational Numerical Weather Prediction Model of JMA.

** Takashi Nakayama, 気象庁予報部電子計算室.



第1図 予想領域と検証領域.

$$\text{相関係数} = \frac{\sum_{i=1}^N (\delta F_i - \delta \bar{F})(\delta A_i - \delta \bar{A})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\delta F_i - \delta \bar{F})^2 \sum_{i=1}^N (\delta A_i - \delta \bar{A})^2}} \times 100$$

予想値の初期値からの変化量 (δF_i) とそれに対応する実況値の変化量 (δA_i) の相関係数で、 $\delta \bar{F}$ と $\delta \bar{A}$ は検証領域内の変化量の平均値、 i は検証領域内の格子点番号、 N はその総数である。ここでは、通常相関係数の100倍の値を用いている。

○平均2乗平方根誤差 (Root Mean Squar Error)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - A_i)^2}$$

ここで、 F_i は予想値、 A_i はそれに対応する実況値で、 i は検証領域内の格子点番号、 N はその総数である。

○S1-SCORE (Teweles・Wobus, 1954)

$$\text{S1} = \frac{\sum_{i=1}^N \left\{ \left| \frac{\partial F}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial x} \right|_i + \left| \frac{\partial F}{\partial y} - \frac{\partial A}{\partial y} \right|_i \right\}}{\sum_{i=1}^N \left\{ \text{Max} \left(\left| \frac{\partial F}{\partial x} \right|, \left| \frac{\partial A}{\partial x} \right| \right)_i + \text{Max} \left(\left| \frac{\partial F}{\partial y} \right|, \left| \frac{\partial A}{\partial y} \right| \right)_i \right\}} \times 100$$

ここで、 F と A は予想値とそれに対応する実況値で、 i は検証領域内の格子点番号、 N はその総数である。 $\text{Max}(x, y)$ は、 x と y の値の大きい方をとることを意味している。S1-SCORE は、値が小さいほど精度が良いことを示す。Shuman (1978) は、S1-SCORE が、20前後ではほぼ完璧な予想としている。

○予想誤差の標準偏差の平均2乗平方根

(Root Mean Square of Standard Deviation)

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_i^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (E_{ij} - \bar{E}_i)^2 \right\}}$$

ここで、 i は検証領域内の格子点番号、 N はその総数で、 σ_i は格子点番号 i の予想誤差の標準偏差である。 j は予想事例の順番号、 M はその総数で、 E_{ij} は予想誤差、 \bar{E}_i は格子点番号 i の予想誤差の平均である。

この指標は、世界各国の数値予報ルーティンモデルの国際比較に用いられている。

上記の指標の値は、実況値の相違や検証領域のとり方などにより変わるので、指標の基準値として持続予報の指標値を用いることが多い。持続予報とは、予想の初期値に対応する実況値を予想値とみなしたものである。

検証領域の異なる検証結果や異なる層の検証結果などを比較するとき、モデルの指標値を持続予報の指標値で規格化した値を用いることがある。

モデルの検証領域は、北半球モデルでは20°N以北とアジア地区、ファインメッシュモデルではアジア地区と日本付近、微格子モデルでは日本付近である。第1図に12L-FLMと11L-VFMの予想領域と検証領域を示した。ファインメッシュモデルと11L-VFMの日本付近の検証領域は、若干の違いがある。降水量の検証領域は、数字で表示した1～5の区分領域を用いている。

3. 数値予報ルーティンモデルの発展経過と予想特性の変化

プリミティブモデルの運用が開始されたのは、1973年10月である。このモデルは、総観規模現象のほか中間規模現象をも予想対象にした6層ファインメッシュモデル(6L-FLM, 岡村, 1975)である。このために予想領域を狭くし、分解能を細かくしたモデルで、1982年2月まで運用された。このモデルには、ヒマラヤを含む大規模山岳が取り入れられていなかったこと、および側面境界が予想特性の異なる準地衡風モデルとつながっていたために、ヒマラヤ付近や側面境界付近の予想に悪い影響が現れていた。

一方、超長波に総観規模現象を予想対象とした最初のプリミティブモデルは、4層北半球モデル(4L-NHM,

Itoo・Isono, 1971)で、1975年1月に運用が開始された。このモデルは、分解能を粗くし、予想領域を広くとったが、計算機の制約から、北半球全域をおおうことができなかった。その後、幾度か改良が重ねられたが、このモデルの側面境界が、20°N付近にあったため、中緯度帯の予想は境界からの影響を受け易く、予想時間が延びるとともに、その影響が広い範囲に波及した。

1982年3月に大型計算機が導入され、従来のモデルは、より近似の高い数値予報モデルに更新された。北半球モデルは、予想領域を北半球全域に拡張され、境界からの中緯度帯への悪い影響を小さくし、さらに成層圏の一部を取り入れ、超長波の維持のメカニズムを多少とも考慮した8層北半球モデル(8L-NHM, 滝川, 1983)に変わった。しかし、水平分解能が粗いためにじょう乱の発達に十分に予想されなかったり、差分誤差のためにじょう乱の移動速度が遅れる傾向が残った。

ファインメッシュモデルは、予想領域をひとまわり拡大し、分解能を更に細かくした10層ファインメッシュモデル(10L-FLM, 巽, 1983)に変わった。このモデルでは、側面境界を予想特性の類似した8L-NHMになぞ、境界の悪い影響の軽減がはかられた。また、両モデルともに大気に及ぼす山岳の効果をより正確に表すために現実に近い山岳が組み込まれた。

1983年3月から、現在の数値予報ルーティンモデルの運用が開始された。北半球モデルは、格子モデルから波

第1表 各モデルの概要.

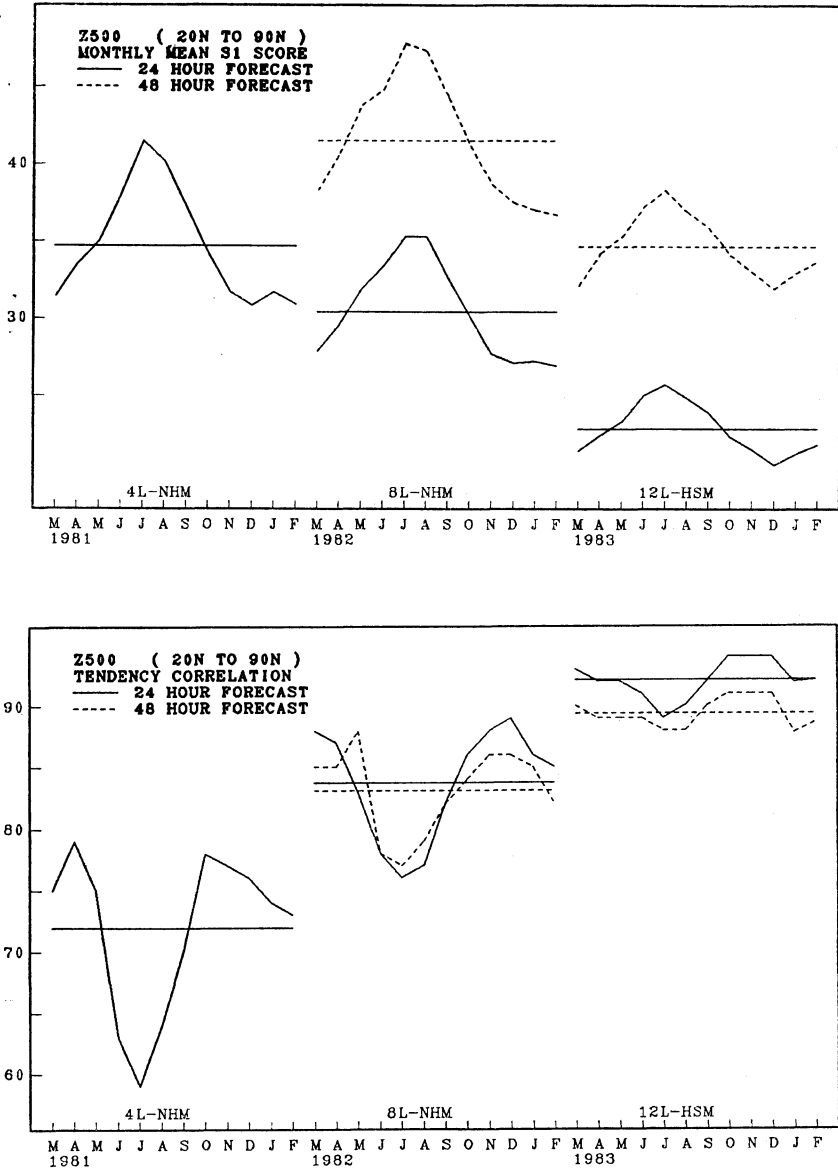
モデル名	空間構造	予想領域	格子間隔*1	予想時間	側面境界	その他
6L-FLM	P系格子法	アジア地区 (51×37×6層)	152.4 km	24時間	準地衡風モデルの予想値	—
10L-FLM	σ系-格子法	アジア地区 (73×55×10層)	127.0 km	36時間	8L-NHMの予想値	—
12L-FLM	σ系-格子法	アジア地区 (73×55×12層)	127.0 km	36時間	12L-HSMの予想値	成層圏を含む
4L-NHM	σ系-格子法	ほぼ北半球 (51×51×4層)	381.0 km	24時間*2 48時間	剛体壁	—
8L-NHM	σ系-格子法	北半球 (65×65×8層)	381.0 km	72時間 192時間*3	剛体壁	成層圏を含む
12L-HSM	σ系-スペクトル法	北半球 (T 42*4-12層)	約250 km に相当	72時間 192時間*3	剛体壁	成層圏を含む
11L-VFM	σ系-格子法	日本付近 (51×51×11層)	63.5 km	24時間	12L-FLMの予想値	—

(注) *1 ポーラーステレオ図上で60°Nの基準値.

*2 00Zは24時間予想, 12Zは48時間予想.

*3 1週間に2回運用する.

*4 3角形波数切断により最大波数42まで利用.

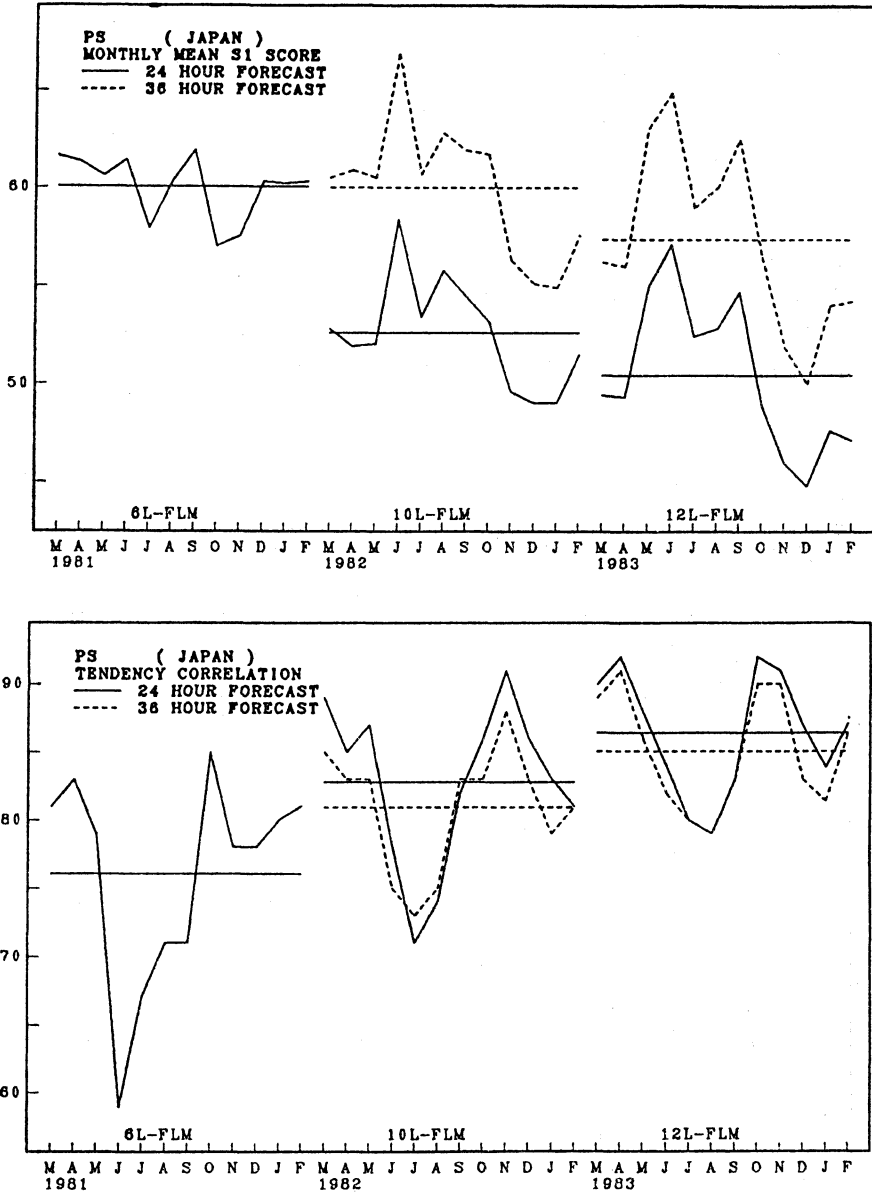


第2図 北半球モデルによる500mb高度予想の変化(月平均値)。

上段はS1-SCORE, 下段は時間変化量の相関係数(Tendency Correlation)。
 実線は24時間予想, 破線は48時間予想, 横線は年平均値。

数合成に基づく12層のスペクトルモデル(12L-HSM)に更新され, 放射過程が組み込まれた。また, 数値積分によるノイズの発生をおさえるための初期値の設定(イニシャリゼーション)には, ノーマル・モード・イニシャリゼーションが採用された。スペクトル法では差分誤差

がないためじょう乱の移動の遅れがほとんどなくなり, 分解能が細くなったためじょう乱の発達も従来よりよく表現されるようになった。一方, ファインメッシュモデルは, 側面境界を12L-HSMにつなぎ, 成層圏を含んだ12層モデル(12L-FLM)に更新された。同時に, 雨や

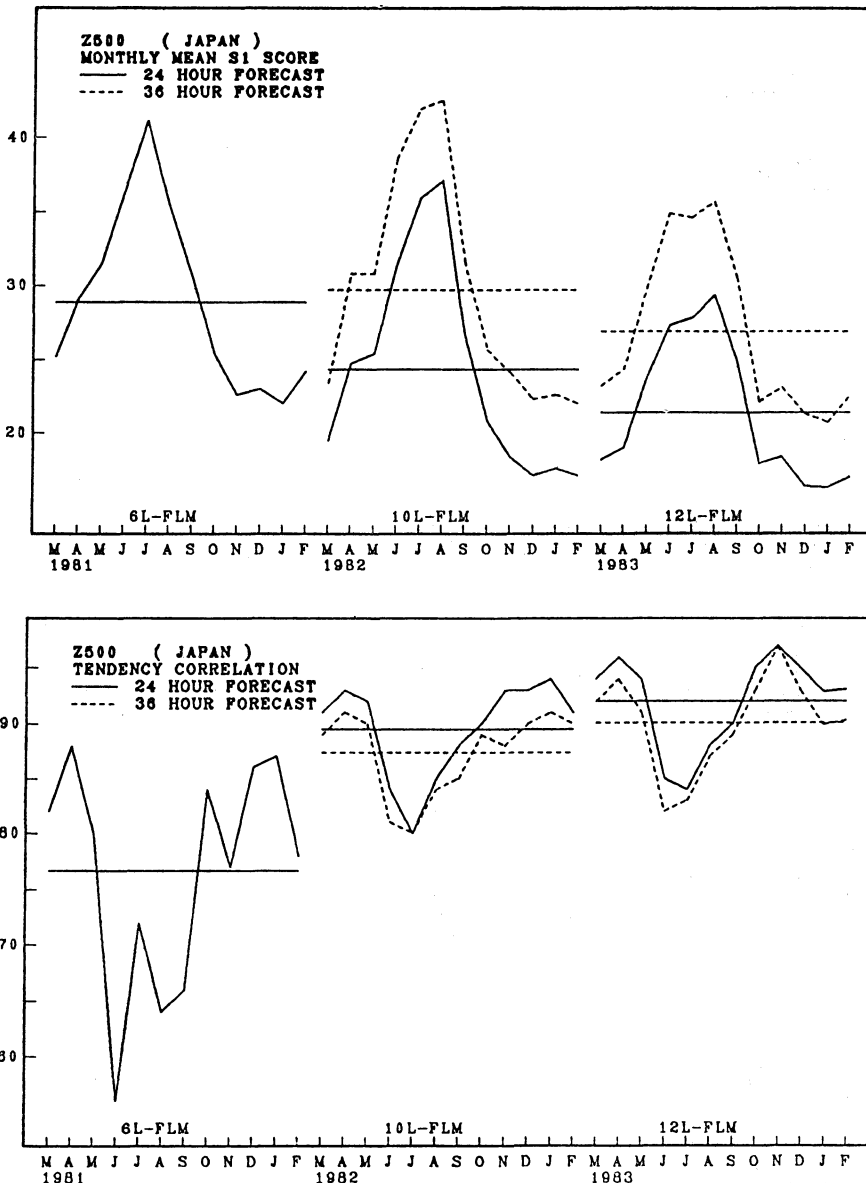


第3図 ファインメッシュモデルによる地上気圧予想の変化(月平均)。
 上段は S1-SCORE, 下段は時間変化量の相関係数 (Tendency Correlation)。
 実線は24時間予想, 破線は36時間予想, 横線は年平均値。

風のより細かい予想を目的にした11層微格子モデル(11L-VFM)の運用が開始された。このモデルは、予想領域を日本付近にせばめ、水平分解能を大幅に良くし、側面境界を12L-FLMにつないである。各モデルの概要

を第1表に示す。

次に、北半球モデルとファインメッシュモデルのそれぞれについて、モデルの変遷に伴う予想精度の変化を時間変化量の相関係数と S1-SCORE で示す。

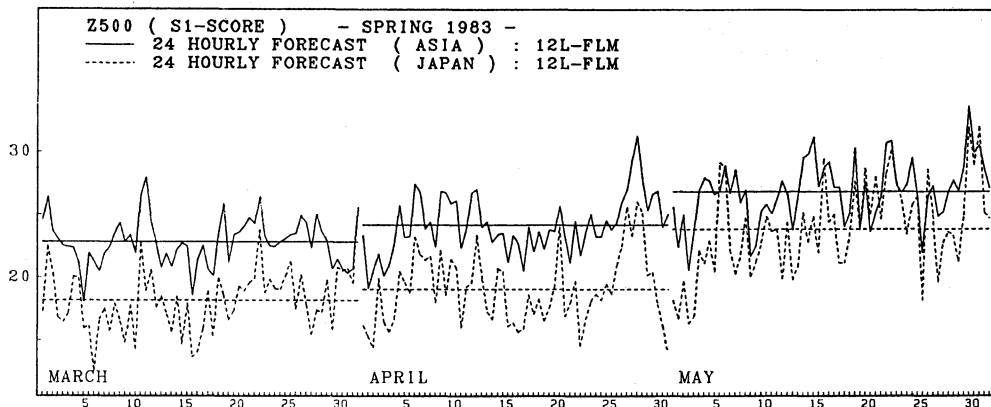


第4図 ファインメッシュモデルによる500mb高度予想の変化(月平均値)。(内容は、第3図と同じ)。

第2図は、北半球モデルによる500mb高度の各指標の月平均値の変化図である。図中の実線は24時間予想、破線は48時間予想、横線は年平均を示し、検証領域は20°N以北である。

2つの指標とともに、モデルの更新ごとに予想精度が向上していることを示している。特に、相関係数で著し

く、12L-HSMの48時間予想が8L-NHMの24時間予想より相関が高く、8L-NHMの48時間予想が4L-NHMの24時間予想より相関が高くなっている。さらに、12L-HSMの48時間予想のS1-SCOREは、4L-NHMの24時間予想のS1-SCOREとほぼ同程度になっている。12L-HSMの24時間予想では、S1-SCOREが20前後、



第5図 12層ファイブメッシュモデルによる500 mb 高度の24時間予想の S1-SCORE の日々の変化。実線はアジア地区、破線は日本付近、横線は月平均値。

第2表 12層北半球モデルの24時間予想の特性。地上気圧 (p_s) と各指定気圧面の高度の S1-SCORE と平均2乗平方根誤差 (RMSE)。および各指定気圧面の温度の平均2乗平方根誤差 (RMSE) の季節平均値。(20°N は、20°N 以北の領域を示す)

12L-HSM

(S1-SCORE)	Spring		Summer		Autumn		Winter	
	20°N	Asia	20°N	Asia	20°N	Asia	20°N	Asia
P_s	46.3	48.5	49.9	52.3	45.7	48.5	45.8	48.8
Height								
850	33.8	34.7	35.1	37.5	32.9	35.9	32.7	35.9
700	27.4	27.6	30.0	33.1	27.4	28.8	26.1	25.8
500	22.4	20.7	25.2	27.0	22.6	21.3	21.2	18.0
300	21.6	19.8	25.2	25.3	21.8	19.4	19.9	15.9
(RMSE)	Spring		Summer		Autumn		Winter	
	20°N	Asia	20°N	Asia	20°N	Asia	20°N	Asia
P_s	3.2 mb	3.3 mb	2.7 mb	3.0 mb	3.1 mb	3.1 mb	3.9 mb	4.2 mb
Height								
850	20.9m	21.4m	17.7m	17.6m	20.1m	19.0m	24.0m	23.5m
700	22.1	22.4	18.0	16.8	20.4	18.9	24.7	24.0
500	25.9	25.3	20.7	19.9	23.2	21.8	28.0	26.5
300	34.3	34.7	30.0	34.0	30.7	31.8	34.0	32.3
Temp.								
850	2.2°C	2.3°C	2.0°C	2.2°C	2.0°C	2.1°C	2.2°C	2.4°C
700	1.6	1.6	1.4	1.4	1.5	1.5	1.7	1.8
500	1.5	1.4	1.3	1.2	1.4	1.3	1.6	1.7
300	2.0	2.0	1.8	1.9	1.8	1.9	2.1	2.1

第3表 12層ファインメッシュモデルの24時間予想の特性。地上気圧 (P_s) と各指定気圧面の高度の S1-SCORE と平均2乗平方根誤差 (RMSE)。および各指定気圧面の温度の平均2乗平方根誤差 (RMSE) の季節平均値。

12L-FLM

(S1-SCORE)	Spring		Summer		Autumn		Winter	
	Asia	Japan	Asia	Japan	Asia	Japan	Asia	Japan
P_s	53.9	51.3	56.3	54.1	52.1	49.9	48.6	46.5
Height								
850	40.7	34.0	43.2	38.8	42.0	35.1	41.8	32.1
700	32.0	25.8	38.4	34.0	33.4	25.9	30.1	21.7
500	24.6	20.4	32.0	28.2	25.4	20.4	21.8	16.6
300	22.7	19.0	28.9	25.3	22.6	18.7	19.4	15.5
(RMSE)	Spring		Summer		Autumn		Winter	
	Asia	Japan	Asia	Japan	Asia	Japan	Asia	Japan
P_s	3.4 mb	3.0 mb	2.6 mb	2.2 mb	3.1 mb	2.5 mb	3.7 mb	3.1 mb
Height								
850	22.8m	20.3m	18.0m	15.7m	21.2m	18.0m	25.1m	20.6m
700	23.1	21.2	18.6	17.0	20.6	18.5	24.6	21.4
500	25.5	23.5	22.0	20.0	22.8	20.6	26.7	23.4
300	35.5	36.7	32.4	30.8	32.9	31.4	36.8	36.3
Temp.								
850	2.3°C	2.0°C	2.1°C	1.9°C	2.1°C	1.8°C	2.2°C	1.8°C
700	1.7	1.5	1.5	1.3	1.6	1.4	2.1	1.6
500	1.6	1.4	1.2	1.0	1.4	1.3	1.9	1.7
300	2.1	2.3	2.0	2.1	2.0	1.9	2.3	2.1

相関係数が90前後で、予想が非常に良くなっていることを示している。また、12L-HSM の相関係数の月平均値の変動も非常に小さくなっている。

第3図、第4図は、ファインメッシュモデルによる地上気圧および500 mb 高度の各指標の月平均値の変化図である。図中の実線は24時間予想、破線は36時間予想、横線は年平均を示し、検証領域は、日本付近である。

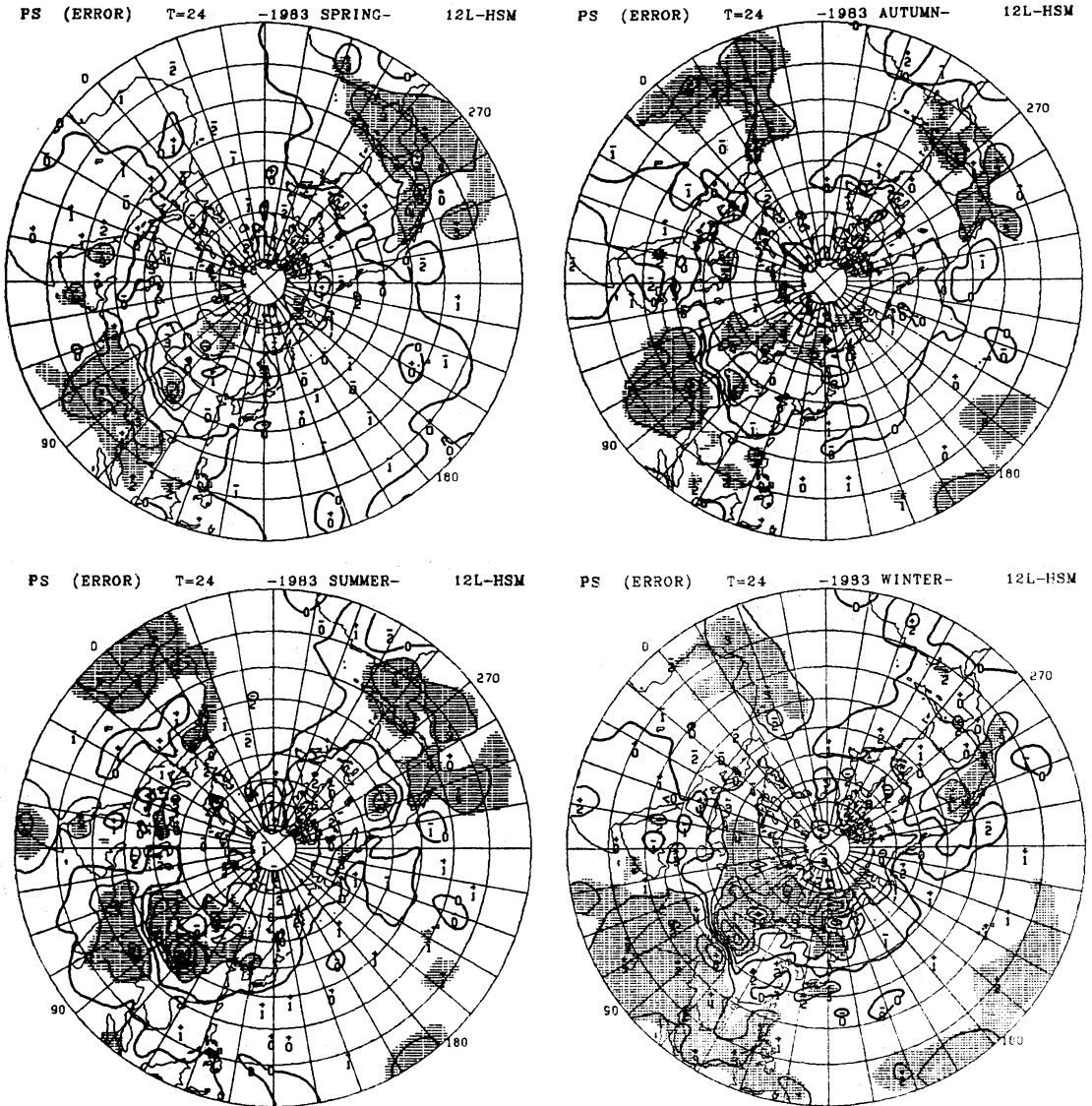
ファインメッシュモデルも、モデルの更新ごとに予想精度が向上している。特に、10L-FLM への更新時に予想精度がかなり向上した。12L-FLM の36時間予想は、地上気圧と500 mb 高度ともに、6L-FLM の24時間予想の精度を越えている。また、12L-FLM の500 mb 高度の24時間予想は、12L-HSM と同様に非常に良くなっていることを示している。

4. 24時間予想の検証

数値予報業務は、毎日2回実施されている。各モデルの予想時間は、第1表に示してあり、各モデルの24時間予想の検証結果を比較する。

毎日の24時間予想の結果を12L-FLM による500 mb 高度を例にとって S1-SCORE で示したのが第5図である。日々の予想は、かなり変動している。この変動は、さまざまな大気状態から予想が始められているためである。日本付近の S1-SCORE (破線) は、アジア地区の S1-SCORE (実線) より小さく、かつ変動幅が大きくなっている。一般に、検証領域が狭いほど指標の変動幅が大きくなる。S1-SCORE の平均値(横線)は20から30で変動幅も比較的小さいので、24時間予想の精度がかなり良いことを示している。

次に、各モデルの24時間予想の検証結果を検証領域別を示す。第2表は、12L-HSM、第3表は12L-FLM、



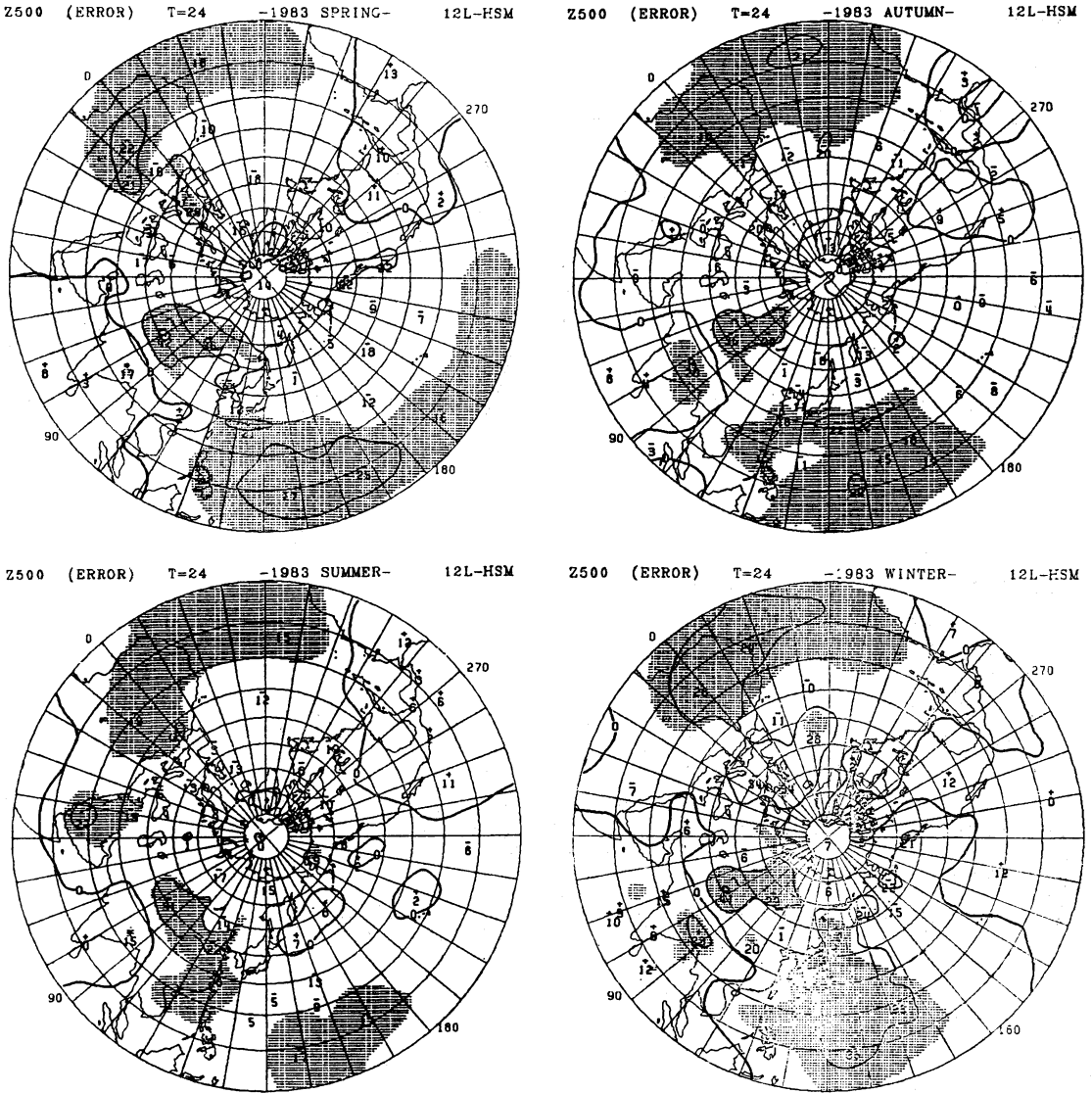
第6図 12層北半球モデルによる地上気圧の24時間予想の誤差分布。

左上段は春，左下段は夏，右上段は秋，右下段は冬，斜影域は系統的誤差のでやすい領域。

第4表は11L-VFMのS1-SCOREとRMSEの季節平均値である。第5表は、世界各国の狭領域モデルの24時間予想についての代表値(Anthes, 1983)を転載したものである。

各モデルの検証結果を比較すると、アジア地区の検証結果からは、12L-HSMが12L-FLMより精度が良く、日本付近の検証結果からは、11L-VFMが12L-FLMより

精度が良くなっている。日本付近の検証領域は、両モデルで多少異なるので、持続予報の指標値で規格化して比較しなおすと、地上気圧は11L-VFMが、その他の層は12L-FLMの方が予想精度が良くなっている(表は省略)。格子間隔が狭くなるほど予想の精度が低下していくようである。これは、格子間隔が狭くなるとスケールの小さなしょう乱が生じ、予想場を乱すためと推測され



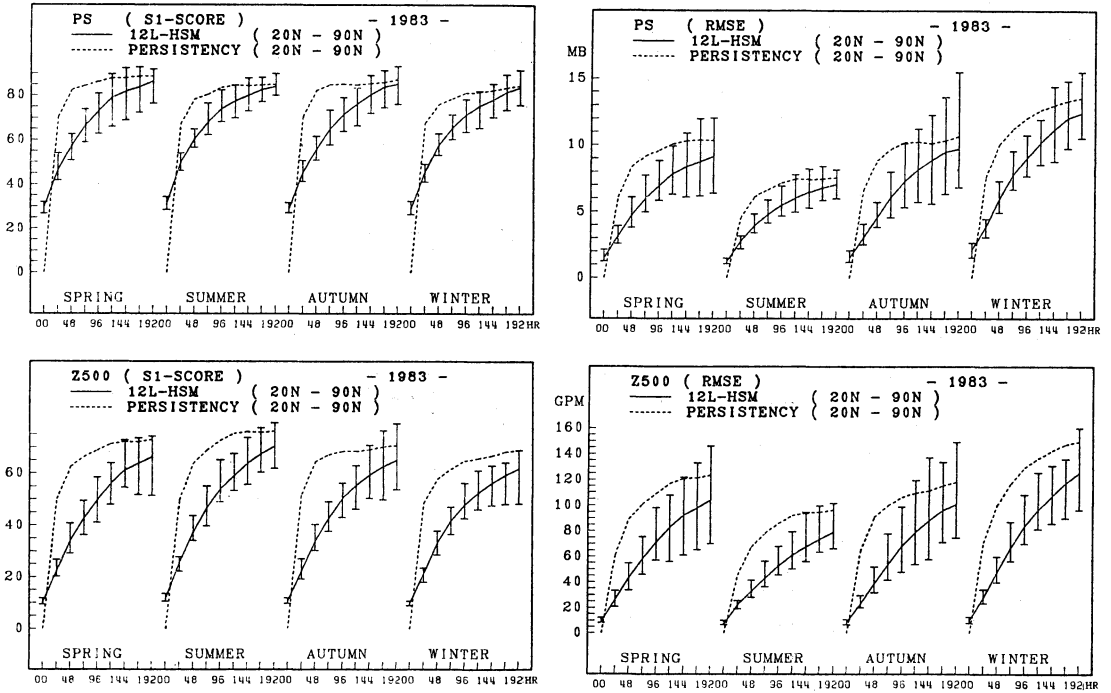
第7図 12層北半球モデルによる500 mb 高度の24時間予想の誤差分布 (内容は第6図と同じ)。

るが、中間規模じょう乱と思われるものがしばしば予想されているので、一概に予想精度が低下していくとは言いきれない。

12L-HSM について2つの検証領域の指標を比較すると、夏を除いた他の季節の S1-SCORE は、下層では、20°N 以北が、上層ではアジア地区が小さくなっている。RMSE では、ほとんどの層でアジア地区の方が小さくなっている。アジア地区の下層のパターンの予想が

相対的に悪くなっているが、その原因の一つは、ヒマラヤ山系の取り扱い方が、まだ、不十分なためと思われる。

次に、世界各国の狭領域モデルの代表値と比較する。検証方法が異なるので定量的な比較はできないが、12L-FLM の S1-SCORE は、地上気圧以外は、狭領域モデルの代表値とほぼ一致している。他のモデルについても、地上気圧の S1-SCORE は、狭領域モデルの代表値



第8図 12層北半球モデルによる192時予想のS1-SCOREと平均2乗平方根誤差(RMSE)の変化。
 上段は地上気圧、下段は500 mb 高度。実線は季節平均値および最大値と最小値の幅、破線は持続予報による変化。

より悪いようである。地上気圧のRMSEは、ごく一部に悪いところがあるが、日本付近では若干良いようである。

第6図と第7図は、12L-HSMの地上気圧と500 mb 高度の24時間予想の季節別の予想誤差の分布である。斜影域は、系統的誤差のでやすい領域を示している。地上気圧では、日本付近に誤差の大きいところは少ないが、ヒマラヤ付近では、季節にかかわらず系統的誤差がでやすく、500 mb 高度では、日本の南海上やチベット高原の北側で系統的誤差がでやすくなっている。特に、ヒマラヤ付近で生じる地上気圧の系統的誤差は大きく、海面更正の際に生じる誤差である。狭領域モデルの代表値に比べて地上気圧だけが悪いのも、海面更正による誤差が主因と思われる。

各モデルの季節平均値を比べると、RMSEは夏に小さく冬に大きくなる。逆に、S1-SCOREは、夏に大きく冬に小さくなる。この季節変化は、モデルが改良されるごとに小さくなってきている。各モデルの500 mb と300 mb のS1-SCOREは、夏以外の季節では、20前後

と非常に良い予想になっている。

24時間予想は、どのモデルとも国際水準にあり、予想の精度も良い。特に、夏を除く、対流圏上層の予想が特に良いといえよう。

5. 192時間予想

192時間予想の運用が開始されたのは、1977年4月であった。当初は、計算機の制約から96時間予想までは、4L-NHMで、それ以降は一層パロトピックモデルで運用されていた。しかし、1979年9月から時間積分法にセミインプリシット法(工藤, 1978)が採用され、4L-NHMによる192時間予想が実現された。それ以後、毎週2回、日曜日と水曜日の21時を初期値とする192時間予想が、一時的中断を除いて、北半球プリミティブモデルによって運用されてきている。

12L-HSMによる192時間予想の検証結果を次に示す。

第8図は、地上気圧と500 mb 高度のS1-SCOREとRMSEの時間変化を示した図である。実線は季節平均

第4表 11層微格子モデルの24時間予想の特性。地上気圧 (P_s) と各気圧面の高度の S1-SCORE と平均2乗平方根誤差 (RMSE) および各気圧面の温度の平均2乗平方根誤差 (RMSE) の季節平均値。

11L-VFM (Japan)

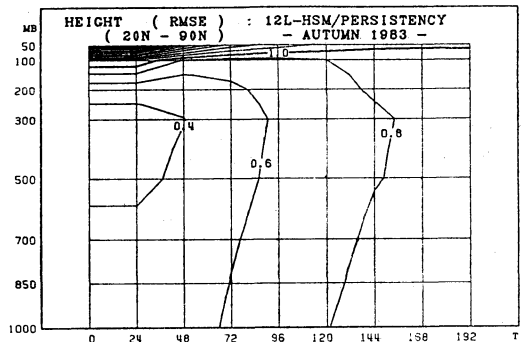
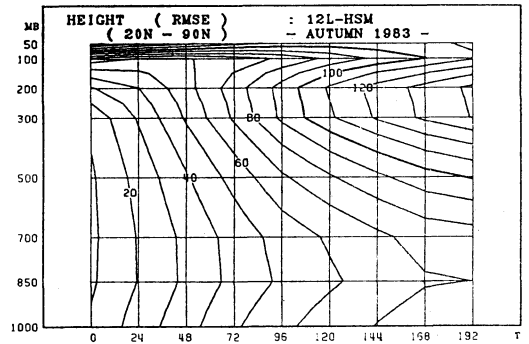
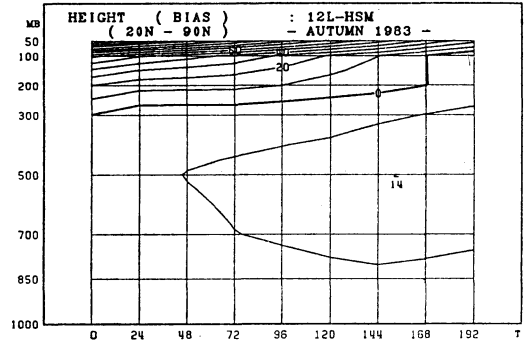
S1-SCORE	Summer	Autumn	Winter
P_s	51.7	48.7	46.2
Height			
900	42.7	39.8	37.2
800	37.0	32.1	27.9
700	33.9	26.5	22.8
500	27.3	19.9	17.3
300	27.6	19.1	16.4
(RMSE)			
P_s	2.2 mb	2.4 mb	3.0 mb
Height			
900	15.9m	18.2m	21.9m
800	15.1	18.6	22.6
700	15.2	18.2	22.4
500	16.5	19.2	23.4
300	23.6	26.0	35.3
Temp.			
900	1.8°C	1.9°C	2.3°C
800	1.2	1.4	1.8
700	1.0	1.3	1.6
500	1.1	1.4	1.8
300	1.6	1.8	2.7

第5表 世界各國の狭領域モデルの24時間予想についての S1-SCORE および平均2乗平方根誤差の代表値。(Anthes, 1983).

	S1-SCORE		RMSE	
	Height	Height	Height	Temperature
P_s	45	3 mb		
Height				
850	40	30m		4°C
700	30	35		3
500	25	40		3
300	20	45		4

値と最大、最小値、破線は持続予報の季節平均値である。

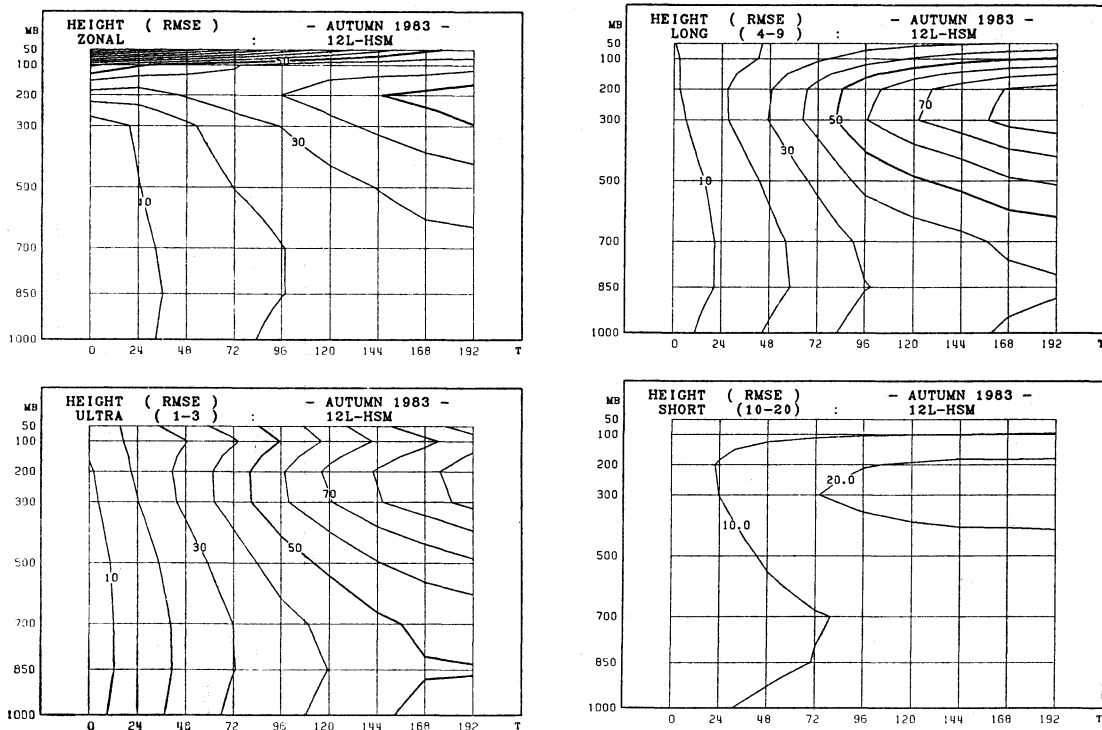
T=0 では、持続予報は、同一の解析値を比較するの



第9図 12層北半球モデルによる高度の予想特性(秋)。

上段は予想誤差、中段は平均2乗平方根誤差 (RMSE)、下段は平均2乗平方根誤差を持続予報で規格化したもの。縦軸は気圧、横軸は予想時間。

で指標は0となるが、12L-HSM では、P系の解析値をσ系に変換し、イニシャルゼイションをした後、再びP系に変換したものを検証に用いているので0にはならない。S1-SCORE では、地上気圧が30前後、500 mb 高度が10前後、RMSE では、地上気圧が1.5 mb 前後、500



第10図 12層北半球モデルによる高度の波数別の平均2乗平方根誤差(秋)。

左上段は帯状平均(波数0)、左下段は超長波(波数1~3)、右上段は長波(波数4~9)、右下段は短波(波数10~20)。

縦軸は気圧、横軸は予想時間。

mb 高度が10 gpm 前後になる。

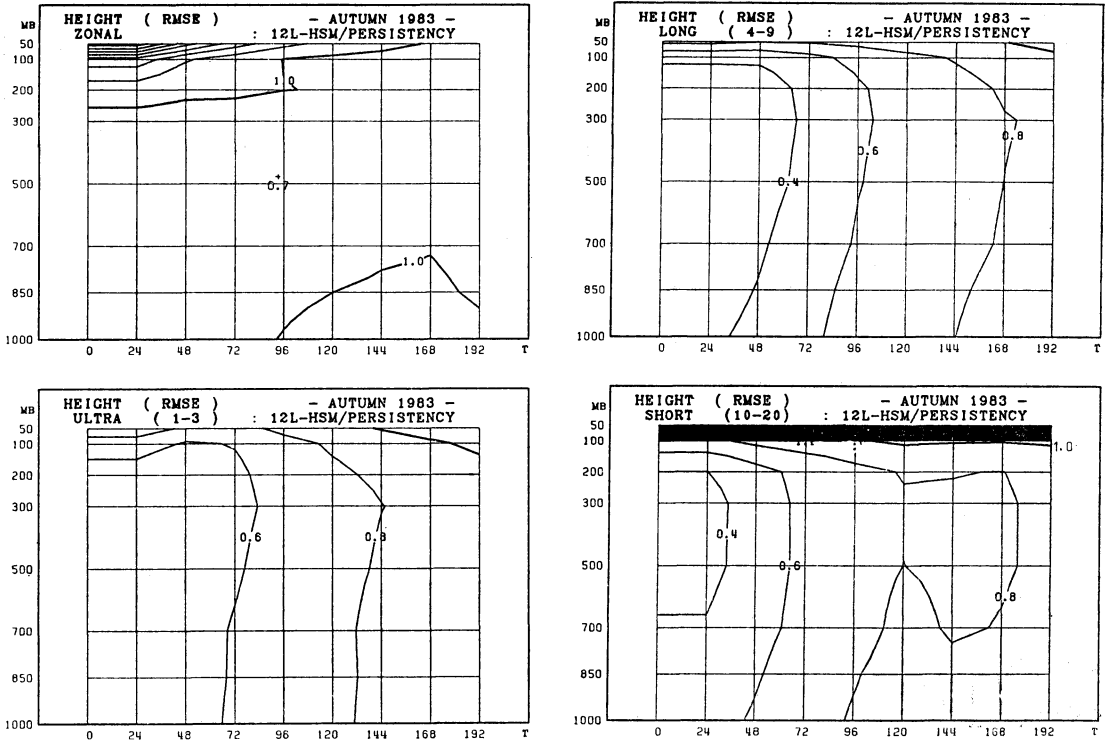
両指標ともに、予想時間が延びるとともに単調に増加し、持続予報に近づいてゆく。最も早く持続予報に近づくのは、地上気圧の S1-SCORE である。

指標の標準偏差のかわりに、指標の最大値と最小値の差を用いる。24時間予想は、両指標ともに平均値が小さく、最大値と最小値の差も小さいので、前章で触れたように予想精度は良い。最大値と最小値の差も、予想時間が延びるとともに大きくなる傾向があるが、地上気圧の春と夏の S1-SCORE や夏の RMSE、また 500 mb 高度の秋の RMSE のように、この差が途中で小さくなる場合がある。これは、その予想時間の前後で予想結果が好ましくない状態に落ちたためと推測される。S1-SCORE や RMSE が途中で急に小さくなり、予想が良くなるという常識に反する例は珍しくはない。最大値と最小値の差が小さくなる一因として、位相が一波長ずれることが考えられるが、原因は、はっきりしていない。

予想結果の有効性の限界を示す一応の目安として、最大値と最小値の差が大きくなったのち再び小さくなる時間を使うと、12L-HSM の予想の有効性の限界は、144 時間から 168 時間の間にあるといえよう。

第9図は、指定気圧面における高度の予想特性を秋を例にとって示した図である。上段は予想誤差の季節平均値、中段は RMSE、下段は RMSE を持続予報で規格化した RMSE の図である。T=0 で持続予報の RMSE は0なので、T=24 の値で置き換えてある。

予想誤差は、成層圏で大きく、予想時間が延びるとともに減少している。300 mb より下層では高度が低めに予想され(負の誤差)、予想時間が延びるとともに誤差の絶対値は、大きくなる傾向がある。RMSE は、予想時間が延びるとともに単調に増加し、極大は 200 mb、極小は 850 mb になっている。規格化した RMSE は、300 mb で極小になり、時間ともに対流圏ではほぼ一樣になる傾向がある。この様相の基本型は、各季節ともに共



第11図 12層北半球モデルによる高度の波数別の予想特性(秋)。

平均2乗平方根誤差(RMSE)を持続予報で規格化したもの。ほかは第10図と同じ。

通している。

これを波数別にみるために、帯状平均(波数0)、超長波(波数1~3)、長波(波数4~9)と短波(波数10~20)に分類した。第10図は、RMSE、第11図は、持続予報で規格化したRMSEの図である。第11図は、第9図と同様に、 $T=0$ の値を $T=24$ の値で置き換えている。

第10図をみると、成層圏の誤差の大部分が帯状平均の誤差によることがわかる。この誤差は、下から順次に積み上げて高度を求めるために生じたもので、鉛直分解能をあげると減少する。各波数のRMSEは、予想時間が延びるとともに単調に増加し、200~300mbで極大、700~850mbで極小になっている。第11図をみると、帯状平均は200mbより上層では、持続予報より悪く時間とともに予想が良くなっていく。また、下層では96時間から持続予報より悪くなっている。短波は、成層圏で著しく悪くなっている。これは、成層圏の客観解析で、ある波長以下の波を除いているためである。超長波と長

波は、対流圏ではほぼ一様で時間とともに次第に悪くなっていく。帯状平均は、季節による変化が著しいが、他の波数では、基本型は、各季節に共通している。

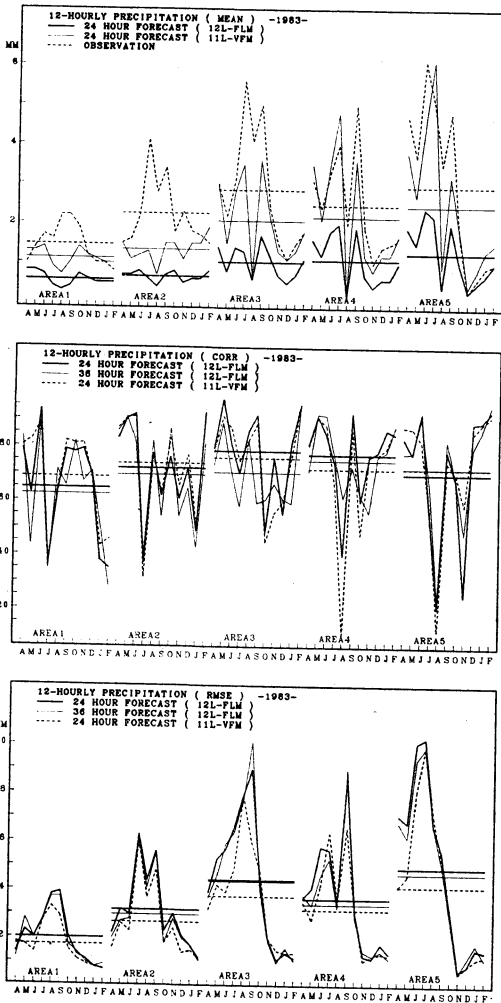
12L-HSMによる超長波と長波の予想の精度は良いが、波数0の予想精度は、他の波数に比べて悪くなっている。また、超長波と長波の予想の精度は、対流圏ではほぼ一様といえるが、上層の方が少し精度が良い。

6. 降水量予想の検証

降水現象は、天気予報の最も重要な予報対象である。数値予報モデルによる降水量の予想精度は、あまり良いとはいえない。これは、数値予報モデルが多量の降水をもたらす中間規模じょう乱や対流活動を十分に表現しえないためである。

ここでは、11L-VFMによる12時間降水量(12~24時間予想値)の検証を中心に述べる。

第12図は、11L-VFMによる12時間降水量と12L-FLMによる12時間降水量(12~24時間予想値および24~36時



第12図 12時間降水量の領域別予想特性 (1983年4月～1984年2月)。

上段は月平均値で、太実線は12層ファインメッシュモデル (12～24時間予想)、細実線は11層微格子モデル (12～24時間予想)、破線は実況値。

中段は相関係数で、太実線は12層ファインメッシュモデル (12～24時間予想)、細実線は12層ファインメッシュモデル (24～36時間予想)、破線は11層微格子モデル (12～24時間予想)。

下段は平均2乗平方根誤差 (RMSE) で、線の説明は中段と同じ。

検証領域は第1図参照。

間予想値)とを比較した図である。検証の領域は、第1図の1～5の区分領域を用いている。予想値は、11L-VFM では81格子点値、12L-FLM では25格子点値の単

純平均値で、実況値は、領域内の AMeDAS の観測値の単純平均値である。上段は、月平均値の変化図で太実線は、12L-FLM、細実線は 11L-VFM の予想値、破線は実況値である。中段は相関係数、下段は RMSE で、太実線と細実線は 12L-FLM、破線は 11L-VFM の値である。

モデルの予想降水量は、観測された降水量より少ない。特に、12L-FLM の予想値は、実況値の半分にも達していない。予想降水量の月変化や相関係数には、2つのモデルの相違はあまりみられないが、RMSE には、はっきりした差があらわれている。11L-VFM の RMSE は、12L-FLM の RMSE より、どの領域でも小さくなっている。2つのモデルの予想特性はよく似ているが、11L-VFM の方が予想降水量が多いだけ、12L-FLM より予想の精度が良いと思われる。

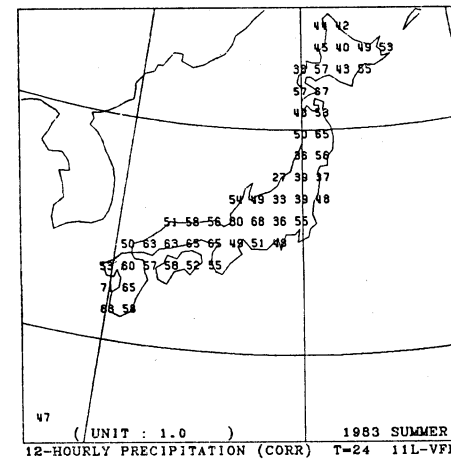
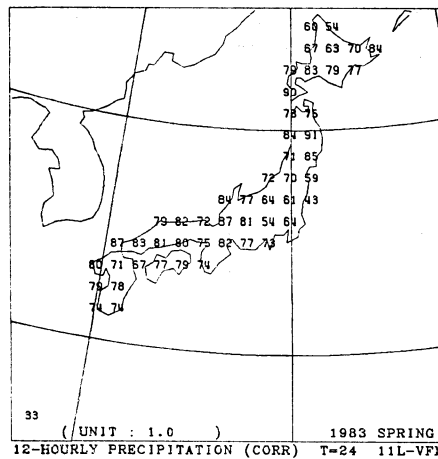
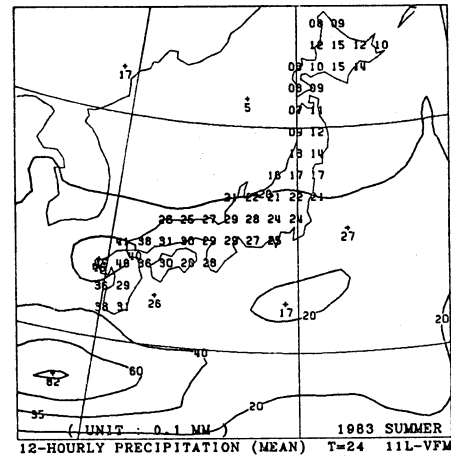
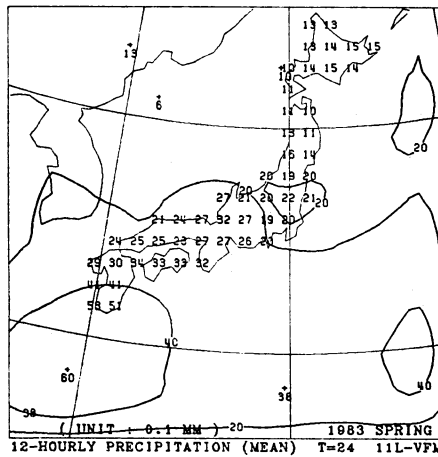
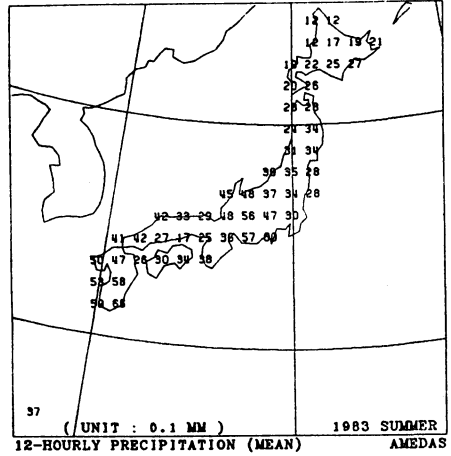
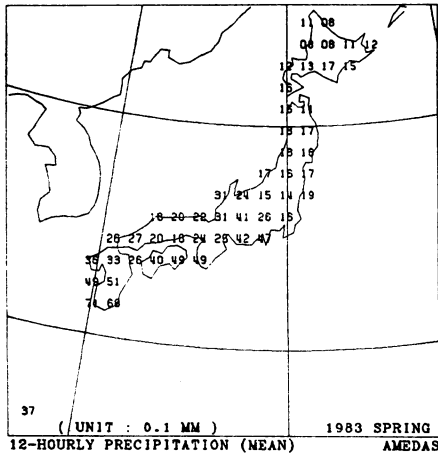
第13図から第16図は、12時間降水量の季節平均値と相関係数の分布である。検証領域は、127 km 平方の領域で、予想値は、領域内の 11L-VFM の9格子点値の重みつき平均値、実況値は、領域内の AMeDAS の観測値の単純平均値である。上段は実況値の平均値、中段は予想値の平均値、下段は予想値と実況値の相関係数である。

11L-VFM の予想降水量は、全体としては観測された降水量より少ないが、春と冬の予想降水量分布は、実況とかなり良く一致している。春は、相関の高い領域が多いが、夏は全国的に相関が低くなっている。春は、総観規模じょう乱にともなう降水が多く、夏は、中間規模じょう乱や対流活動にともなう降水が多いためと考えられる。秋は、予想降水量の多い領域で相関が高くなっているが、冬は、予想降水量の少ない太平洋岸で相関が高くなっている。予想降水量は、じょう乱の通り路に沿って多くなる傾向があり、秋の相関の高い領域は、その付近に集中している。また、冬の太平洋岸で相関の高いのは、日本の南海上を通過するじょう乱に伴う降水の予想が良かったためと考えられる。

11L-VFM による降水量の予想精度は、総観規模じょう乱や中間規模の一部のじょう乱にともなう降水については、かなり良いといえよう。同時に、予想降水量は少ないが、12L-FLM についても同様のことがいえよう。

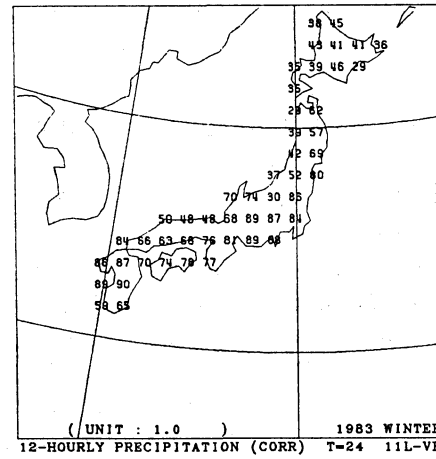
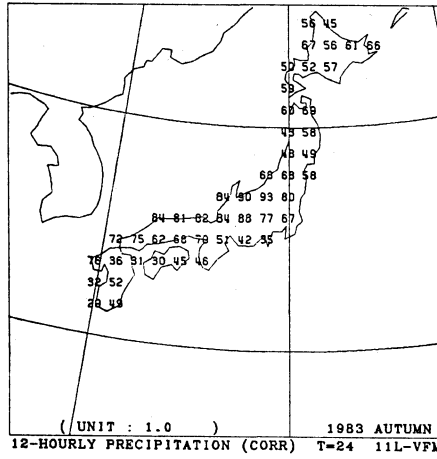
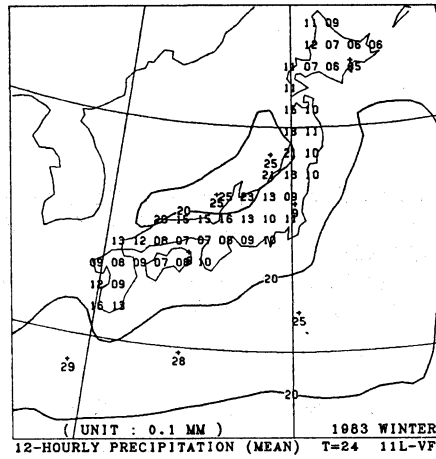
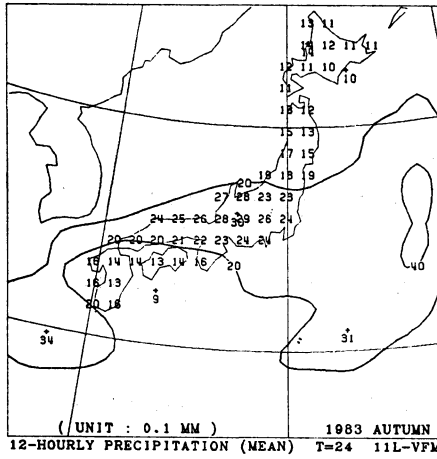
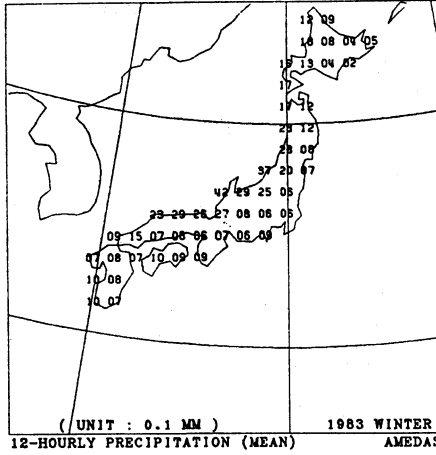
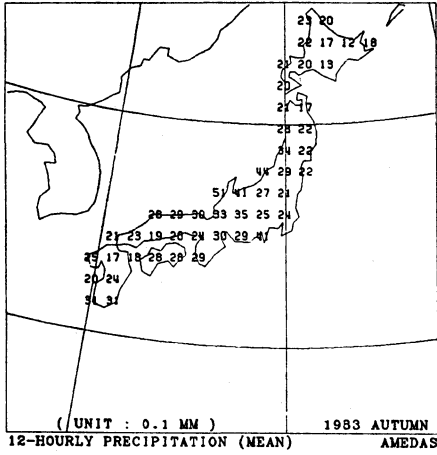
7. まとめ

数値予報モデルの予想精度は、著しく向上し、特に、総観規模場の24時間予想は、非常に良い状態に達している。これにともない、明日・明後日の天気予報作業に占める数値予報プロダクトの比重は増大している。最近で



第13図 11層微格子モデルの12時間降水量の予想特性 (4月と5月).
上段は実況値の平均値, 中段は予想値の平均値, 下段は相関係数.

第14図 11層微格子モデルの12時間降水量の予想特性 (夏) (内容は, 第13図と同じ).



第15図 11層微格子モデルの12時間降水量の予想特性(秋)(内容は、第13図と同じ)。

第16図 11層微格子モデルの12時間降水量の予想特性(冬)(内容は、第13図と同じ)。

misphere in 1981-1982, CAS Working Group on weather prediction research, WMO.

Electronic Computation Center 1, 1983: Outline of operational numerical weather prediction at Japan Meteorological Agency, Appendix to Periodic Report on Numerical Weather Prediction, 33-48.

Electronic Computation Center 2, 1983: Outline of operational numerical weather prediction at Japan Meteorological Agency, Appendix to Periodic Report on Numerical Weather Prediction, 45-58.

Ito, H. and Y., Isono, 1971: Hemispheric forecast with the primitive equation model, J. Met. Soc. Japan., 49, 613-627.

Kanamitsu, M., K. Tada, T. Kudo, N. Sato, and S. Isa, 1983: Description of the JMA operational spectral model, J. Met. Soc. Japan, 61, 813-828.

Kudoh, T., 1978: A semi-implicit formulation of prognostic equations in sigma-coordinate system, Geophysical Magazine, 38, 45-79.

Okamura, Y., 1975: Computational design of a limited area prediction model, J. Met. Soc. Japan, 53, 175-188.

Shuman, F. G., 1978: Numerical weather predictions, Bull. Amer. Met. Soc., 59, 5-17.

滝川雄壯, 1983: 北半球およびファインメッシュ予報モデル (8L-NHM および 10L-FLM) と解析システム, 電子計算室報告・別冊, 29, 31-44.

巽 保夫, 1983: 北半球およびファインメッシュ予報モデル (8L-NHM および 10L-FLM) と解析システム, 電子計算室報告・別冊, 29, 45-58.

Teweles, S. and H. Wobus, 1954: Verification of prognostic charts, Bull. Amer. Met. Soc., 35, 455-463.

日本気象学会および関連学会行事予定

行 事 名	開 催 年 月 日	主 催 団 体 等	場 所
関西支部第1回例会「長周期の気象変化」	昭和59年10月5日	日本気象学会関西支部	京都地方気象台
第21回自然災害科学総合シンポジウム	昭和59年10月8日～9日		鹿児島大学教養部
日本気象学会昭和59年秋季大会	昭和59年10月24日～26日	日本気象学会	福岡市電気ビル
第10回リモートセンシングシンポジウム	昭和59年11月5日～6日	計測自動制御学会	国立教育会館
WMO 都市気候とその応用に関する技術会議	1984年11月26日～30日	WMO ほか	メキシコシティ
第7回極域気水圏シンポジウム	昭和59年12月4日～6日	国立極地研究所	国立極地研究所
第8回風工学シンポジウム	昭和59年12月6日～7日	日本風工学会ほか	気象庁講堂
第31回風に関するシンポジウム	昭和59年12月20日	日本農業気象学会ほか	農林水産省農業環境技術研究所大会議室
First WMO Workshop on the Diagnosis and Prediction of Monthly and Seasonal Atmospheric Variations over the Globe	1985年7月29日～8月2日	WMO	メリーランド大学 (米国)