

我国の数値予報システムの現状 (3) 狭領域モデルの概要*

瀬 上 哲 秀**

1. はじめに

概論(木田, 1990), 全球モデル(佐藤, 1991)に続く数値予報の解説の第3弾として, 狭領域モデルについて述べる. 狭領域モデルとは英語で言う limited area model のことで, 全球モデルとの対比で予報領域が限定されているモデルのことを指す. 近年の数値予報による大規模場の予報は飛躍的に良くなってきている. しかし, たとえ大きな場の予報が正確にできて, それだけでは必ずしも天気予報に十分ではない. 多くの場合, 実際の天気変化をもたらすのは, 大規模場より一段小さなメソスケール現象によっているからである. さらに, 台風や集中豪雨といった災害に結びつくシビアな現象ほどスケールが小さいため, 高分解能の数値予報モデルが必要となってくる. しかし高分解能のモデルを全球で運用することは計算機の事情で無理である. このため, 予報領域を小さくした狭領域モデルという形で高分解能を実現することになる. ただし, 狭領域モデルでは実際にはない不自然な側面境界を大気を与えることになり, その分モデルが複雑になり, 全球モデルにない問題を抱えることになる(このことについては巽(1990)を参照せよ).

狭領域モデルはある特定の地域を予報領域とするので, 局地モデル(regional model)とも呼ばれる. また, 気象庁の狭領域モデルのように, 高分解能でメソスケール現象を予報対象とするモデルはメソモデルと呼ばれることもある. 格子間隔として, 10 km から数 10 km くらいであろう. 高分解能のモデルが必要であることは昔から言われていたことであるが, 実際に現業的にメソス

ケール現象に手が届くようになってきたのは約7年ほど前からである. 第5章で述べるようにメソスケール現象を予報しようとすれば, 初期値や積雲対流の扱い方など, 解決しなければならない問題点も多い. しかし, 現在気象庁で運用している2つの狭領域モデル, アジアモデル(ASM, Asia Spectral Model)と日本域モデル(JSM, Japan Spectral Model)の日々の予報結果を見ていると, メソスケールの現象はかなりよく予報されている. この解説では, これらのモデルの予測能力の一端を紹介できれば幸いである. 基本的なモデルの説明については木田(1990)で十分である. 日本域モデルの詳細な内容は, 瀬上ら(1989)を参照していただきたい. ただし, 読者の便を考えて, ごく簡単な概要だけは第2章に示すことにする.

2. 狭領域モデルの構成

ASM は1988年3月1日からルーチン的に1日2回48時間予報されている. このモデルの目的は, アジア域での総観規模・中間規模擾乱の予測をすることである. 波長でいえば, 約400 km~数千 km の擾乱が対象となる. 短期予報の基本をなすモデルであり, 各地の明後日までの天気予報の大枠を決めるのに使われている.

JSM も ASM と同様, 88年3月1日から1日2回24時間予報されている. 主たる目的は, 日本付近での波長約200 km 以上のメソ α (中間規模)擾乱や集中豪雨の予測をすることにあるが, 地上風や地上気温の予想にも利用される. さらに, 一般の天気予報や注警報の発表に利用されるだけでなく, 国内線の航空路での悪天の予想や空港の風の予想などにも使われている.

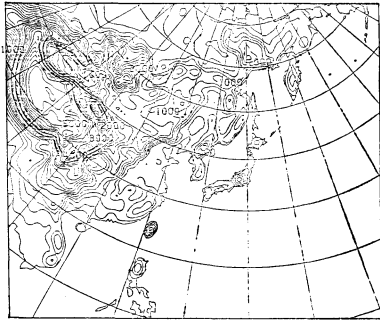
ASM と JSM は, 予報領域と分解能, そして一部の物理過程を除いて基本的に同じモデルである. それぞれのポーラーステレオ座標上の予報領域と地形を第1図に

* The current status of numerical weather prediction system in Japan (3) Outline of limited-area models.

** Akihide Segami, 気象庁数値予報課

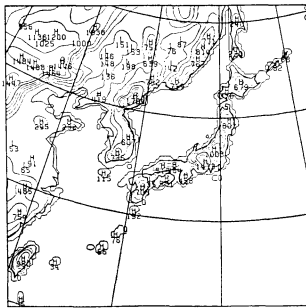
示した。北緯 60° での格子間隔は、ASM は 75 km, JSM は 40 km である。それぞれ予報領域の中心付近では、65 km と 33 km の格子間隔となっている。

力学部分の計算には ASM・JSM とともに異によって開発された局地スペクトル法を用いている。詳しい説明は異 (1990) の中で述べられているので参照されたい。ま



ASM

18	p(mb)	Δp(mb)
18	25	50
16	75	50
14	130	60
13	165	70
12	270	80
11	350	80
10	430	80
9	510	80
8	590	80
7	670	80
6	750	80
5	830	80
4	900	60
3	950	40
2	980	20
1	995	10



JSM

19	p(mb)	Δp(mb)
19	30	60
18	90	60
17	150	60
16	210	60
15	275	70
14	345	70
13	420	80
12	500	80
11	580	80
10	660	80
9	735	70
8	800	60
7	855	50
6	900	40
5	935	30
4	960	20
3	977.5	15
2	984	10
1	987.5	5

第1図 ASM (上図) と JSM (下図) の予報領域と地形。それぞれの図の右側に、地上を 1000 mb にした時の鉛直レベルの気圧と層厚を示した。

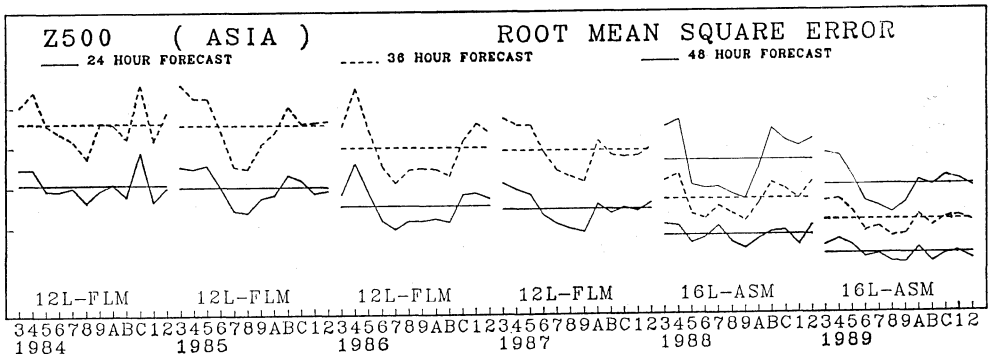
た側面境界値として、ASM に対しては全球モデルの 6 時間毎の予想値、JSM については ASM の 3 時間毎の予想値をそれぞれ用いている。

3. ASM による予測

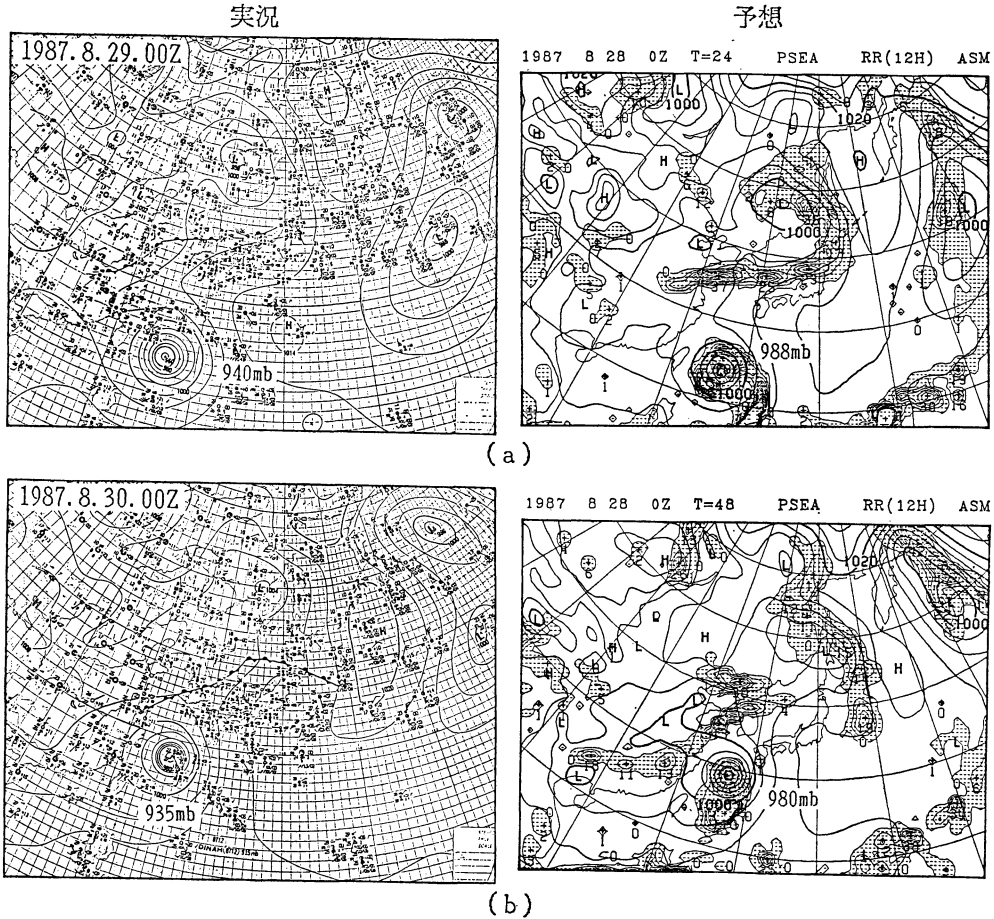
3.1 予測精度の変遷

500 mb 高度の RMSE (二乗平均平方根誤差) で、ここ数年のアジア域での数値予報モデルの予測精度の変遷をみる (第2図)。1988年2月以前は 12 層のファインメッシュモデル (12L-FLM, 格子間隔 127 km) を使っていた。この6年間だけを見ても、数値予報モデルの精度が確実に向上していることが分かる。84・85年頃の24時間予報の RMSE は 25 m ぐらいであったが、89年には 16~17m 程度になっている。そして、89年の48時間予報で 25m ぐらいであり、ASM は FLM に比べてちょうど1日分予報精度が延びたことになる。ゾンデによる 500 mb 高度の観測誤差は 10 m ぐらいだと言われている。そうすると24時間予報であと数 m ぐらい RMSE を小さくするのが限度であろう。その意味では ASM はかなりの性能を持ったモデルといえる。しかし、ユーザーの要求は常に厳しく、気圧場の予想は当って当然、これからは雨予想などをもっと精度良くしていく必要がある。

前年に比べてスコアの向上が著しい年は、86年、88年、89年である。88年は ASM が稼働した年であり、ある意味では当然であろう。86年は、その前の12月に北半球モデルの改良が行なわれている。これにより、モデルの初期値と側面境界値が良くなって精度が向上したのである。なぜ、北半球モデルの向上が FLM の初期値への向上につながるかと言えば、アジア域の客観解析の第一推定値には北半球モデルの予報値 (今は全球モデル)



第2図 アジア域の予報モデルによる 500 mb 高度の RMSE (二乗平均平方根誤差) の変遷



第3図 1987年8月28日を初期値とするASMによる台風12号の予想(右図)とそれに対する実況(左図)。上段は24時間後、下段は48時間後を示す。

が使われているためである。

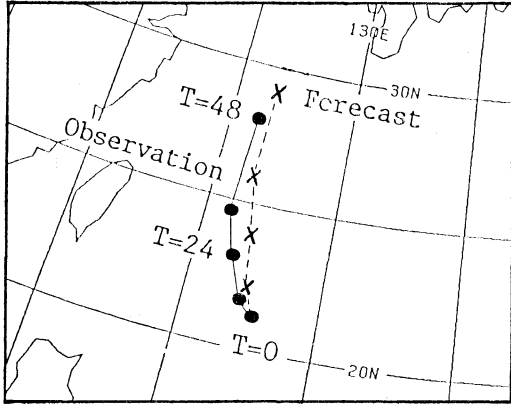
89年にスコアが良くなったのは、ASMに放射過程と重力波抵抗を導入したからである。(それぞれの物理過程の意味については、佐藤らを参考にさせていただいた。)このうち、特に放射のインパクトが大きかった。この点について少し説明したい。それまでのASMは地表面の熱収支を解く際にのみ放射を考慮し、大気を直接冷やす効果は入っていなかった。普通、放射によって対流圏の平均で1.5°C/dayぐらい冷やす。ASMにその効果が入らず、側面の境界値を与える全球モデルにそれが入っていると、モデルの内と外で系統的に加熱率がずれることになる。放射による冷却が入っていないASMでは各レベルでまわりに比べて気温が高くなり、気圧が低くなるというバイアスが生じることになる。放射過程

を入れてこのバイアスを解消したことで、スコアが大きく改善されたのである。

3.2 ASMの予報例

予報例として、台風のケースを取上げる。台風の進路予想および台風による雨の予想は、ASMの重要なターゲットとして当初から念頭においていた。FLMは台風の進路予想には全く使えなかった。しかし、台風付近の客観解析の改善、水平・鉛直の分解能の向上、力学部分にスペクトル法を採用、境界層の取扱い方の精密化、などにより、ASMでは台風が十分に維持され、その進路予想が可能となった。そして予報領域をFLMに比べて南に広げ、日本付近だけでなく南海上での台風の予報にも対応できるようにした。

1987年の12号台風について、8月28日00Z初期値の



第4図 台風12号の予想と実況の経路図。

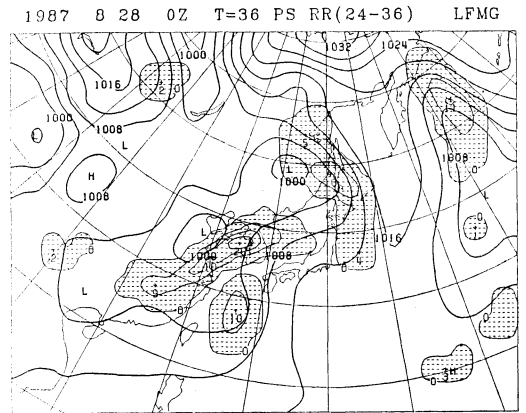
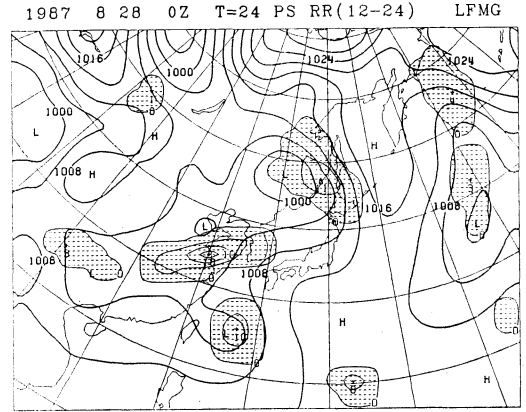
24時間および48時間予報の気圧場を第3図に示す。実況の気圧場もあわせて示している。ASM は台風のうずを良く維持している。興味深いのは、中心気圧の予想が実況に比べてかなり浅いにもかかわらず、第4図に示したように台風の進路が非常に良く当たっていることである。ややモデルの方が移動速度が速いが、48時間予報でも位置の誤差は 150 km 程度である。台風の移動を決める要因の中で、台風のごく中心付近の気圧より、その周辺の比較的大きなスケールの気圧あるいは風の場の方が重要なのであろう。中心気圧が浅いのは ASM の持つ分解能の限界である。

ASM の予報と比較するため、前のルーチンモデルである FLM (格子間隔 127 km) の 24時間、36時間予報を第5図に示す。既に24時間予報で台風がほとんど崩れており、36時間では弱い低圧部になっているに過ぎない。ASM との違いは歴然である。この違いは、先程述べたいくつかの改良の結果によると考えている。この例に限らず、ASM は台風の進路予報に対して、台風モデルとほぼ同程度の精度を持っている(側面境界付近の台風を除いて)。

4. JSM の予報例

4.1 爆弾低気圧

まず、低気圧が急発達した例について述べる。1988年3月11日(初期時刻)に黄海付近にあった 1008 mb の弱い低気圧が第6図(左図)に示すように24時間後には 24 mb も発達し、津軽海峡の西に移動する。この急発達は、外国で爆弾低気圧(Bomb)と呼ばれて恐れられているものの基準を十分満たしている。(小倉(1990)にそ

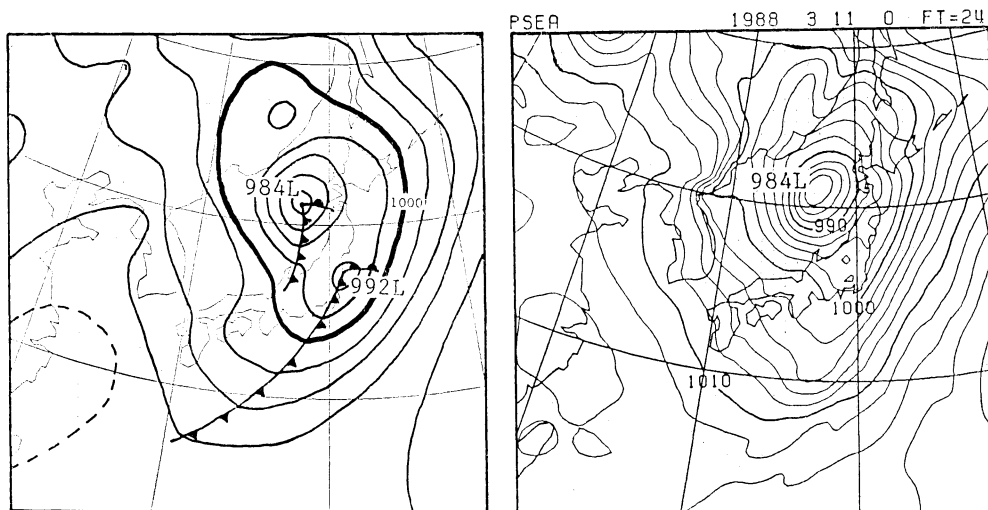


第5図 FLM (ASM の前の現業モデル) による台風予想。

上図：24時間後、下図：36時間後。

の解説がなされているので、詳しい定義はそちらのほうに譲りたい)。

1987年10月にイギリス南部を襲った爆弾低気圧を、イギリス気象局は予想出来なかったとして政府やマスコミから強い批判を受けたことは記憶に新しい。(瀬上, 1988)。カナダでは PROBE (PROCEDURE for Bomb Evaluation) というシステムを構築して、24時間以内に爆弾低気圧が発生するかしないかの情報を88年秋より現業的に提供している (McLennan *et al.*, 1989)。数値予報モデルが爆弾低気圧をあまりうまく予想できないため、数値予報とは独立の資料、例えば地上や高層、衛星、航空機などのデータや客観解析を使い、45からなる質問に予報官が応えていく一種のエキスパートシステムで爆弾低気圧の予報をしているとのことである。



第6図 JSM による地上気圧の24時間予想(右図)と対応する実況(左図)。

だいぶ話しは横道にそれてしまったが、JSM でこの爆弾低気圧をどのように予報していたか。第6図を見ればこの低気圧の位置、中心示度ともにほとんど実況通りであることがわかる。そして、関東付近に新たに発生する低気圧と、そこから南西に延びる寒冷前線も JSM で良く予報している。この例では気圧場の予想はほぼ完璧であるといっても良い。この例に限らず、日本付近で急発達する低気圧は数値予報モデルで良く予報しているようである。これはモデルの能力もさることながら、風上に当たる日本の西側が大陸であり、ゾンデなどのデータが豊富にあることが大きく寄与しているのであろう。87年10月のイギリスの例でも、後から遅れて入ったデータを取り込んで解析をやり直したら、低気圧の急発達を良く予想できたとのことである。

ASM のところでも述べたが、今や気圧場の予想が良いというだけでは不十分である。この例について雨がどのように予想されていたかを見る。第7図に11日00Zから12日00Zまでの6時間毎の雨量の実況と予報とを示す。実況ではまず九州に雨域が現れる。それが12Zまでに本州の中央部に達し、その後東北、北海道まで広がっている。また、6時間30mm以上の強雨域(黒く塗り潰した領域)は初め九州北部に現れるが、その後日本海側ではなくて太平洋側を東に移動することになる。以上述べた雨域の広がり及び雨域の移動は JSM で良く予想されている。特に、爆弾低気圧の近くよりもむしろ、太平洋側で強雨になる点をモデルはうまく再現

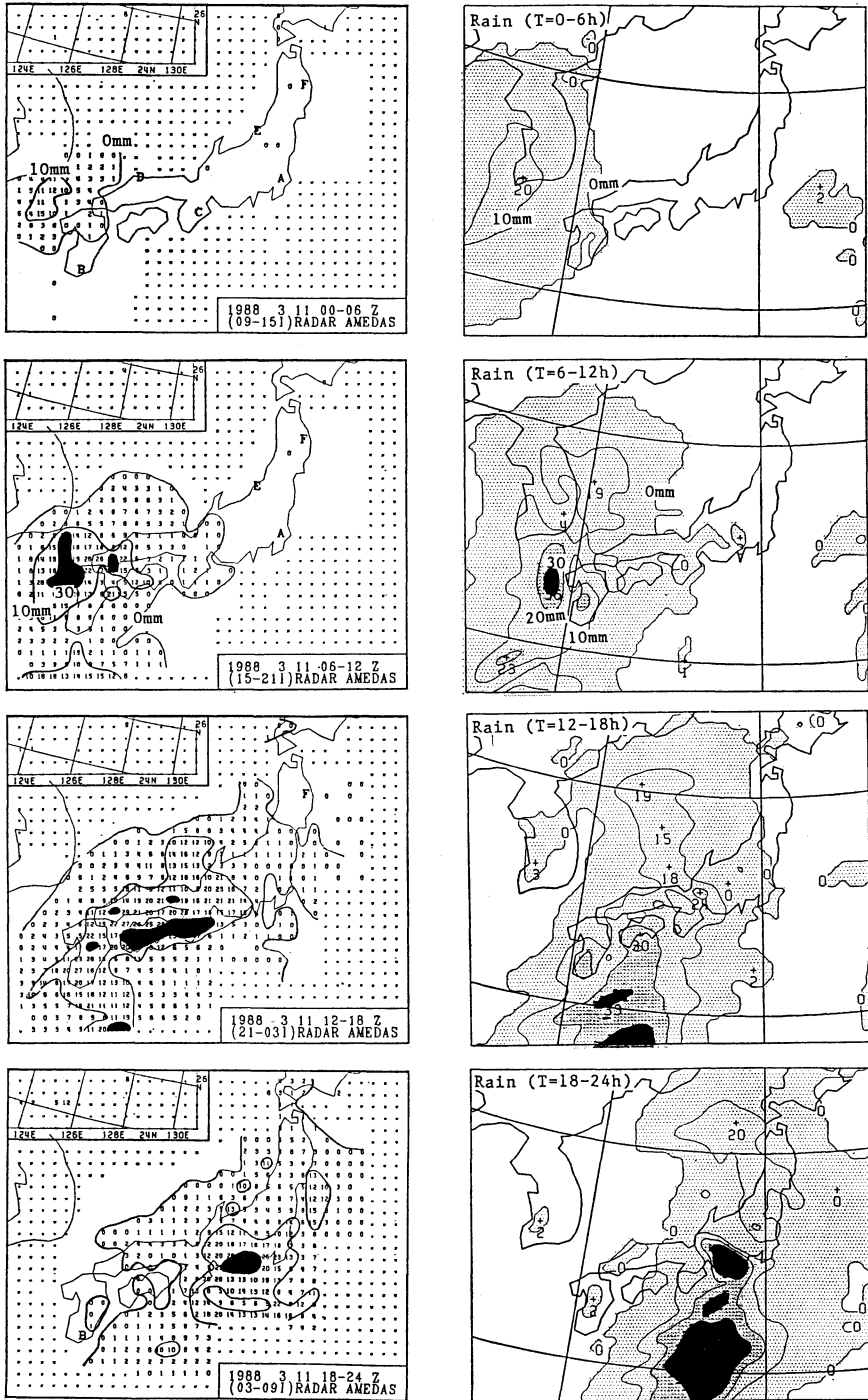
している。総観規模低気圧に伴う降水系はしばしばメソスケールの構造を持つが、JSM はそれをうまくシミュレートできた。

4.2 冬型時の収束雲の予想

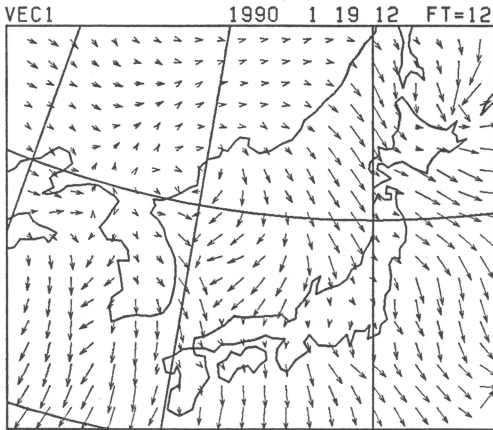
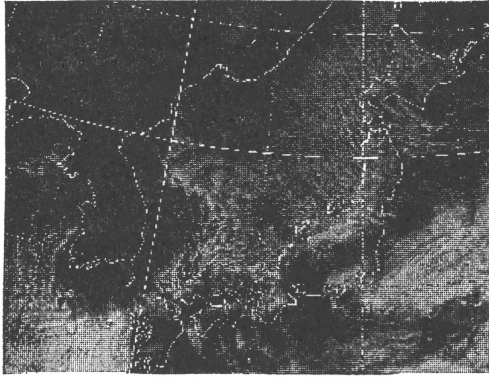
次に冬型の例について述べる。冬型の気圧配置で吹き出しの強い時には、収束雲と呼ばれる帯状の雲が朝鮮半島の付け根から日本海側に延びていることが良く見られる。この収束雲の先端の達する場所が、日によって新潟付近から北九州まで大きく異なる。このため、この収束雲の走向が予報作業上非常に重要になっている。

典型的な例として、1990年1月20日と24日を取り上げる。それぞれの正午のひまわりの可視画像を第8図、第9図の上段に示す。朝鮮半島の付け根からでた収束雲は、20日は山陰地方に延び24日は能登半島付近に達している。この両日の違いを JSM はどう予想していたか。それぞれ、前日の21時初期値の地上風の12時間予報で見る(第8、9図の下段)。地上風のシアラインの走向に注目して頂きたい。20日は山陰地方に、24日は能登半島付近に延びており、ともに収束雲の走向とたいへん良く一致している。この収束雲は朝鮮半島と日本海との熱的な差、および朝鮮半島のつけ根のベクト山の影響が大きいかといわれている(永田ら、1986)。一般風の走向とそれに対するこれらの地形効果が、モデルでうまく予想できているからであろう。

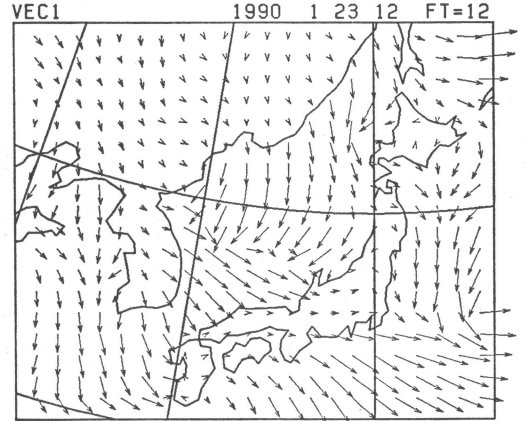
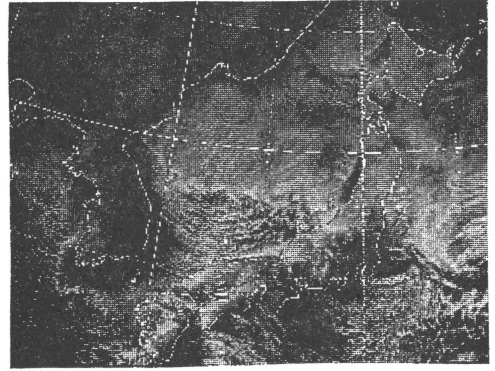
また、24日はいわゆる北海道西岸小低気圧が発生した時でもある。9時に対する地上気圧の予想では、朝鮮半



第7図 JSM による6時間毎の雨量予想(右図)とレーダーアメダスによる実況(左図).



第8図 1990年1月20日12時のひまわりの可視画像と、前日21時を初期値とするJSMの地上風の12時間予想。



第9図 前図と同じ、ただし1月24日に対応する。

島の付け根から能登半島、関東にかけての低圧部とともに、北海道の西に小低気圧が発生することも予想していた。(第10図参照)。

5. 将来の展望

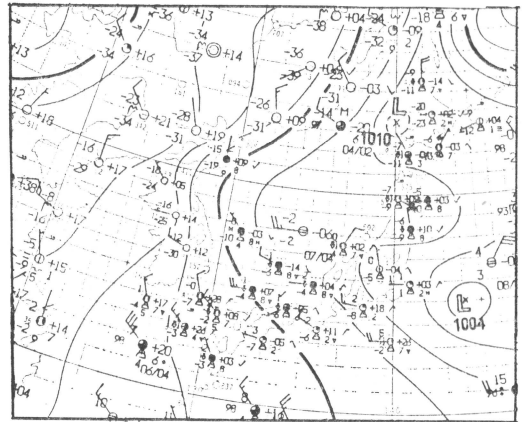
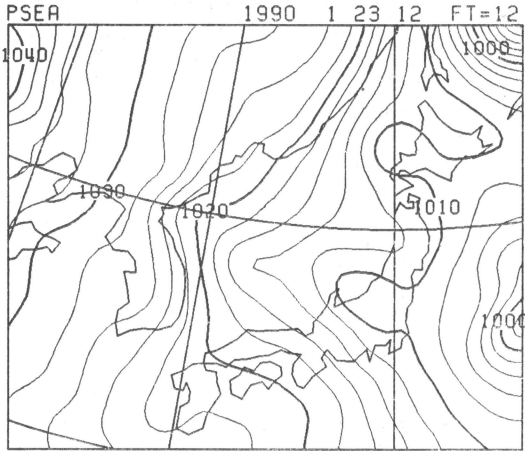
紙面の関係でわずかの例しか示せなかったが、ASM・JSMともメソ α スケールの擾乱を、気圧場だけでなく降水の予想も含めてよく予想していた。ここで紹介した例だけでなく、メソ α の擾乱に対しては現在の数値予報モデルで十分にカバーできるようになってきている。そして、これからはメソ β 現象をどう予報するかに力点が移って来ている。このメソ β 現象の予測に関して、外挿法を基本とした3時間先までの運動学的降水短時間予報がすでに業務化されている。しかし、3時間以降の予測については、数値予報モデルによる力学的短時間予報が必要である。一般的に、ある現象のライフサイクルを超

える予報は、ライフサイクル期間内の予報よりも困難である。メソ β 現象のライフサイクルは数時間から1日程度であるので、我々が当面(ここ10年ぐらい)の目標とするのは、3時間以降1日先までのメソ β 現象の力学的短時間予報システムの開発である。

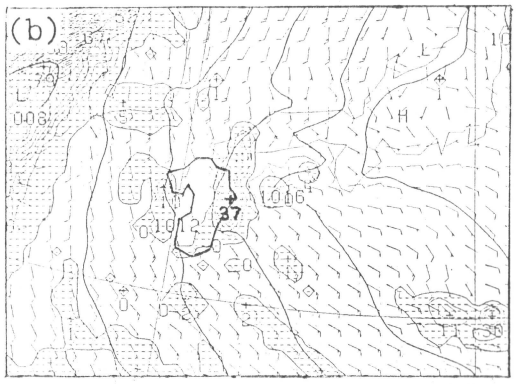
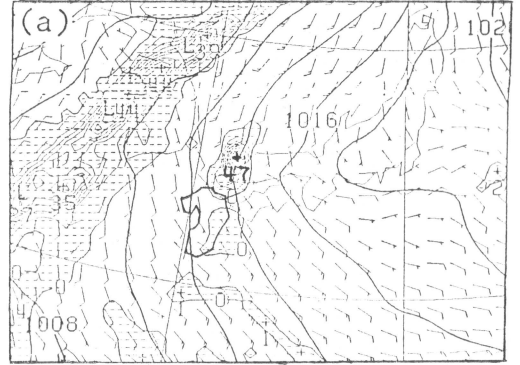
こうしたメソ現象を数値予報モデルで予報するためには、

- ①メソ現象を表現できるほど、水平・鉛直ともに高分解能であること
- ②物理過程(特に積雲対流と境界層のパラメタリゼーション)が適切であること
- ③初期場にメソ現象が解析されていること

が必要である。①はほとんど計算機の能力に依存する。計算機の能力(演算速度)は5年で10倍近い速度で進歩している。しかし、モデルの格子間隔を鉛直・水平とも半分にするれば、容量は8倍、計算速度は16倍必要となる。



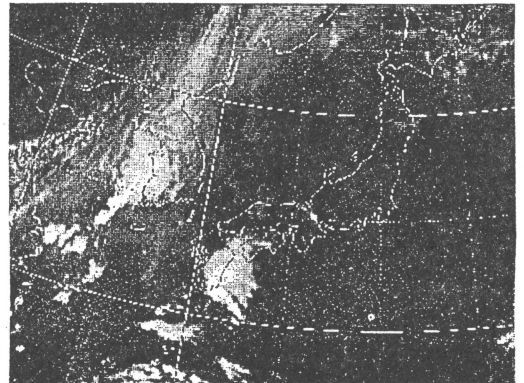
第10図 北海道西岸低気圧に対する JSM の12時間予想 (上図) と実況 (下図)。



第11図 (a) 1989年8月20日00Z 初期値のJSM (40 km モデル) による T=18~24 h までの6時間雨量, 24時間後の地上気圧と地上風も図示する。
(b) 同じ初期値からの25 km モデルによる予想。

現在、最も細かい JSM でも格子間隔は 40 km である。せいぜい 200 km 程度の現象が表現できるに過ぎない。メソβを予測するためには、とにかく計算機資源の許す限り 20 km, 10 km と分解能を上げることが必要である。もちろん、単に分解能を上げるのではなく、初期値や物理過程の問題を解決していく必要がある。しかし、地形効果が重要な役割を果たしている現象に関する限り、分解能を上げることで問題が結構解決する。しかもこのような現象はしばしば見られ、非常に重要である。

例えば1989年8月20日初期値の JSM の予報を見てみる (第11図(a))。山口県の北の日本海に6時間 40 mm 以上の雨が予想されている。しかし実際には21日9時の雲写真 (第12図) で分るように、宮崎県に大雨が発生している。JSM の地形効果が弱すぎて、実際には九州の



第12図 21日の00Zのひまわりの赤外画像。

山の南東斜面で落とされるはずの雨が、山を越えて 500 km もずれて降ってしまったのである。JSM の分解能を 25 km にし、九州の山を高くしたモデルでは、ほぼ実況に近い場所に強雨域は予測されている(第11図(b))。この2つの結果の違いは分解能ではなく、山の高さにある。九州での山のピークは、JSM (40 km のモデル) で約 700 m、25 km モデルでは 1200 m 以上になっている。九州付近は広く対流不安定の場に覆われていたが、その不安定を解消させ対流を起こすには、空気塊を自由対流高度まで持上げてやる必要がある。その時、モデルの山の高さ(或いは斜面の傾斜かもしれない)が問題になってくる。分解能を上げることにより、細かな地形が入るといえるのはもちろんであるが、斜面の傾斜が急になり山が高くなるという点がここでは重要なのである。この例のように、今のモデルではメソ α 擾乱に対してさえ地形効果が不十分な場合がある。まだまだ分解能を上げる必要があることはこれからでも分るであろう。

さて、分解能を現在より更に細かくした時、②の物理過程のパラメタリゼーションはどうすれば良いのであろうか。問題は特に積雲対流のパラメタリゼーションである。大規模場を予想するモデルでは積雲対流の集団としての効果をパラメタライズすれば良かった。また、1 km 程度の水平分解能をもつ雲モデルは、積雲対流そのものを直接予報できる。その中間に位置するメソモデルでは、もちろん積雲対流を表現するだけの分解能はないので、その効果をパラメタライズするのが最も現実的な対応である。一般的にパラメタリゼーションでは、積雲対流などの物理過程の効果はモデルのそれぞれの格子点の中で閉じているとして扱っている。ところが、格子間隔が積雲のスケールに近くなってくると、ある格子点での積雲の影響が隣の格子点に及ぶことも考慮する必要もあり、パラメタリゼーションという考えそのものが怪しくなってくる。それではどうすべきか。残念ながら、今のところ特に解決策がないのが現状である。雲モデルと同様に 10 km や 20 km のモデルでも、パラメタライズしないで積雲の効果を直接予報するやり方がある。しかしそれに対して否定的な結果を出しているものもある(たとえば Zhang *et al.*, 1988)。その可否は別として、一応はパラメタライズする方法で行けるところまで行こうと我々は考えている。しかしその一方で、雲物理過程を含んだ非静力学モデルも現在開発中である。いろんなスキームを数多くの現象に適用しながら、より良い方法を見つけていく必要がある。

③の初期値はさらに重要な問題である。ゾンデ観測は

約 300 km に一個の割合でしかなく、比較的大きめのメソ α 擾乱しか表現できない。さらに、広大な海洋上にはほとんどデータが無い。それを補うものとして、現在は気象衛星や航空機のデータを利用しているが、今後はレーダーやアメダスなどの高分解能のデータも利用していかなければならない。それとともに、解析や初期値化の手法も改善していく必要がある。特に、力学的短時間予報のためには、現在の JSM で見られる降水の立上りの問題(瀬上ら, 1989)を解決する必要がある。それには、予報解析サイクルやナッジングなどの4次元同化システムを構築していくことも重要である(これらの詳しい点については、馬場(1990)を参照していただきたい)。観測システムと予報解析システムが車の両輪になって進んで行くことで、将来のメソ現象の予報が拓けるのであろう。

これまで述べてきたように、我々数値予報課の仕事は直接的に天気予報や集中豪雨の予測につながっている。しかし、数値予報モデルの使い道は決してそれだけではない。例えば第10図に示した北海道西岸小低気圧は、分解能を細かくし、物理過程を精密にし、客観解析や初期値を良くするなど、モデルを少しでも自然界に近づけるという、ごく当たり前に地道な努力を重ねてくるうちに、予想できるようになって来た。天気予報という観点からいえばこれで十分かもしれないが、予報が出来たからと言って現象を理解したことにはならない。条件を変えた数値実験を行なうことで、なぜモデルで予想できたのか、どのようなメカニズムで現象が発生するのかなどについて調べることも可能である。そのための道具が与えられている。ASM や JSM は基本的に、予報領域や分解能を自由に変えることができる。数値予報課では、ASM や JSM はもちろん、分解能をさまざまに変えたモデルを用いて、梅雨時の大雨や北海道西岸小低気圧、ヤマセなどの現象の理解を深めようとする努力も行なっている。このような数値予報モデルを使った研究は各国の現業機関だけでなく、日本では気象研究所、アメリカでもさまざまな大学で行なわれており、今後ますます盛んになると思われる。特に、ペンシルバニア州立大学では、30 km の水平分解能を持つ数値予報モデルをリアルタイムで走らせるという、現業機関顔負けの試みまである(Warner *et al.*, 1990)。数値予報モデルが気象現象の解明に役立つのは我々の欲する所でもあるし、またこうした研究の中から、新たなモデル改良への知見が得られるものと考えている。ただし気を付ける必要があるのは、数値実験や数値シミュレーションでは、ほとんどの

場合モデルでうまく予想できた例を使うことである。当
った例をいろいろ調べるのは比較的気が楽である。しか
し、実際にモデル改良に役立つのは、予想がはずれた例
である事が多い。「狭き門より入れ」、この言葉は我々モ
デラーに常に課せられた十字架である。

謝 辞

貴重なコメントを頂いた気象庁数値予報課の重久陽亮
氏と栗原和夫氏に感謝します。

参考文献

McLennan, N., L. Neil and G. Wells, 1989:
PROBE-An operational 'Bomb' forecasting
system. WMO PSMP Report Series No. 30,
67-79.
Warner, T.T. and N.L. Seaman, 1990: A real-
time, mesoscale numerical weather-prediction
system used for research, teaching, and public
service at the Pennsylvania State University.
Bull. Amer. Meteor. Soc., 71, 792-805.
Zhang, D.-L., E.-Y. Hsie and M.W. Moncrieff,
1988: A comparison of explicit and implicit
predictions of convective and stratiform preci-

pitating weather systems with a meso- β -scale
numerical model. Q.J.R. Meteor. Soc., 114,
31-60.
小倉義光, 1990: 冬の海上の「爆弾」低気圧。気
象, 34.5, 34.6.
木田秀次, 1990: 我国の数値予報システムの現状
(1) 概要, 天気, 37, 591-602.
佐藤信夫, 1990: 我国の数値予報システムの現状
(2) 全球解析予報システムの過去・現在・未来,
天気, 38, 11-31.
瀬上哲秀, 1988: イギリス南部を襲った暴風, 天
気, 35, 513-515.
———, 栗原和夫, 中村 一, 上野 充, 高野
功, 巽 保夫, 1989: 日本域モデルによるメソ・
スケール現象の数値予報。気象集誌, 67, 907-
924.
巽 保夫, 1990: 局地スペクトルモデルの開発, 天
気, 37, 781-795.
永田 雅, 猪川元興, 吉住慎夫, 吉田泰治, 1986:
冬期日本海上の収束雲帯の形成について (数値実
験), 気象集誌64巻6号, 841-855.
馬場 厚, 1990: 4次元連続同化システム, 数値予
報課報告・別冊第36号「気象データと客観解析」,
99-108.

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	備 考
第2回地球惑星科学 関連合同大会	1991年4月2日 ～5日	地球電磁気・地球惑星圏 物理, 地震測地, 火山, 地球化学の5学会合同	共立女子大学 八王子校舎	
海洋学会	1991年4月5日 ～9日		東京水産大学	
日本農業気象学会	1991年4月6日 ～9日		大阪府立大学	
シンポジウム 「気候変動と海洋」	1991年4月9日	日本学術会議海洋科学研 究連主催, 気象学会・海洋 学会共催	学士会館分館	
第23回海洋流体力学リ ージュ国際コロキウム	1991年5月6日 ～10日		中国(北京)	
日本気象学会 平成3年度春季大会	1991年5月22日 ～24日	日本気象学会	気象庁	
第28回理工学における同 位元素研究発表会	1991年7月1日 ～3日	同運営委員会	国立教育会館	Vol. 37, No. 12
降水洗浄と大気-地表間 交換過程に関する国際会 議	1991年7月15日 ～19日	カナダ気象海洋学会・ア メリカ気象学会	リッチランド	Vol. 37, No. 8
第20回測地学・地球物理 学連合総会	1991年8月11日 ～24日	IUGG	ウィーン	Vol. 36, No. 12
『小氷期の気候』国際シ ンポジウム	1991年9月25日 ～28日	日本地理学会古気候復元 研究グループ	八王子(東京都立大学)	Vol. 37, No. 8
日本気象学会 平成3年度秋季大会	1991年10月23日 ～25日	日本気象学会	名古屋国際会議場	