

平成16年8月6日
気象庁予報部

配信資料に関する技術情報(気象編)第167号

～非静力学メソ数値予報モデルの運用開始について～

現行の静力学メソ数値予報モデル(静力学MSM)に代わる防災気象情報支援モデルとして、非静力学メソ数値予報モデル(非静力学MSM)を平成16年9月1日00UTC初期値から運用します。

1. 変更日時

平成16年9月1日00UTC初期値から

2. 変更の内容

メソ数値予報モデルを、これまでの静力学モデルから、新たに開発した非静力学モデルに代えます。

この新しい非静力学MSMは、気象研究所との共同開発によるもので、以下の2点の改善を行いました(詳細は別紙)。

- ・静力学近似を廃し、鉛直方向の運動の取り扱いを精密化した。
- ・詳細な雲物理過程を導入し、降水過程を精密化した。

また、これに伴い、モデル地形と海陸分布についても一部変更します(4(2)参照)。

なお、格子間隔(水平解像度)は10km、鉛直層数は40層で、これらはこれまでと同じです。この変更に伴うプロダクト(GPVデータ、国内航空悪天格子点資料)のファイル形式、配信時刻等の変更はありません。

3. 変更の効果

非静力学MSMは、(1)海面更正気圧や高度場などの循環場、(2)降水量とも、これまでのモデルと一般的に同程度以上の予測精度があります。また、(3)強雨予測、(4)山岳風下における冬季の寒気の吹き出しに伴う降雪予測、及び(5)山岳風下における降水予測についても改善がみられました。

(1) 循環場の精度

図1に海面更正気圧(P_{sea}、左列)と500hPa高度(Z500、中列)、250hPaの風ベクトル差(Wind250、右列)のメソ解析に対する平方根平均二乗誤差(RMSE)を示しています。寒候期のZ500で静力学MSMが非静力学MSMよりもやや良いほかは、非静力学MSMが静力学MSM以上か同程度の精度を保っています。

(2) 降水予測精度

レーダー・アメダス解析雨量に対するスレットスコア(TS)、バイアスコア(BS)を示します。図2に暖候期の、図3に寒候期の、閾値ごと及び予報時間ごとのスコアを示します。暖候期において、TSはほと

んどの閾値に対して非静力学MSMが静力学MSMを上回り、BSは全般に同程度でした。寒候期は、TSは非静力学MSMが静力学MSMを上回り、BSは静力学MSMでは1よりもかなり大きいものに対して、非静力学MSMでは1に近くなりました。

(3) 強雨予測の改善事例

平成15年7月19日午前5時頃、太宰府市で1時間に100mmを超える豪雨が観測されました。この事例について、図4に、18日午後3時を初期値とする15時間予報と、対応する時刻のレーダー・アメダス解析雨量による実況を示します。19日午前6時の実況(図4右)では、九州北部と五島列島の南に20mm/hrを越す降水域がありました。従来の静力学MSM(図4左)では、この強雨をほとんど予想できませんでしたが、非静力学MSM(図4中)では、福岡県付近と長崎県付近に強い降雨帯を予測することができました。

(4) 寒気吹き出し時降雪の改善事例

寒気吹き出し時の降雪の予報事例として、図5に平成16年1月13日午前9時を初期値とする18時間予報と、対応する時刻のレーダー・アメダス解析雨量による実況を示します。非静力学MSM(図5中)では、岐阜県北部、群馬県・栃木県の北部、宮城・山形県境の山の風下側に降水を予測し、場所・強度ともに14日午前3時の実況(図5右)に近い予測ができたことが分かります。一方、静力学MSM(図5左)では実況と比較して降雪域が風上側である北西にずれた場所に予測されており、降水強度の極大値が大きくなっています。このように、従来の静力学MSMでは水蒸気が凝結すると、そのほとんどをその場所での降水として扱っていましたが、非静力学MSMでは、大気中の雪が風に流されることを考慮することにより、風下側への降水(降雪)として表現できるようになりました。

(5) 強風時の山岳風下における降水の改善事例

強風に伴い降水が山岳風下にも予想される例として、図6に平成16年6月21日午前3時を初期値とする9時間予報と、対応する時刻のレーダー・アメダス解析雨量による実況を示します。非静力学MSM(図6中)では、紀伊山地の風下側に降水が予測されており、21日正午の実況(図6右)に近い予測ができたことが分かります。静力学MSM(図6左)では実況に見られる降水を予測できませんでした。この違いは、非静力学MSMでは、雪の場合と同様に、雲水や雨水などが風に流される効果を適切に表現できるようになったためです。

4. プロダクトの特性など

(1) 国内航空悪天予測資料

国内悪天12時間予想図(FBJP112,212,312,412)、国内航空路6/12時間予想断面図(FXJP106,112)について、資料を作成する手法に変更はありません。ただし、場の予測特性の変化に伴い、各予想図の乱気流予測特性も変わりました。また、FXJP106,112では予報場の湿度が小さくなって湿域が狭くなりました。その他の要素や指数に関しては顕著な違いはありません。

図7に乱気流予測精度を示します。鉛直シャーが大きくなるに従い、非静力学MSMの乱気流遭遇率比は大きくなり、危険性を適切に表現できるようになりました。

図8に300hPaにおける新旧MSMの相対湿度の誤差を示します。非静力学MSMでは誤差は小さくなり、対流圏上部で過剰に予想していた湿域が改善しました。同様の傾向は250hPaや200hPaでも見られました。図9は平成16年6月25日18UTC初期値のFXJP106です。この改善により、静力学MSMでは300hPaより上層で表現していた過剰な湿域(図9上の白矢印で示した領域)が、非静力学MSMでは解消されました。

(2) モデル地形と海陸分布の変化

予報モデルの地形はわずかに変化します。これは、従来の静力学MSMではスペクトルモデルを採用していましたが、非静力学MSMでは格子モデルを採用したため、空間離散化の方法が変わるからです。図10に非静力学MSMのモデル地形と、静力学MSMのモデル地形との差を示します。山岳地域を中心に差(200m程度以下)がありますので、気温の標高差補正の場合などは、新しいモデル地形を参照する必要があります。

また、海陸基準の見直しにより、沿岸部や島嶼部で海陸分布が変わります。図11に非静力学MSMの海陸分布と、新旧MSMで海陸の別が異なる格子を示します。一般に、陸地か海かによって気温の日変化(陸で大きく、海で小さい)や風速(陸で弱く、海で強い)に系統的な違いがありますので、沿岸部や島嶼部の格子点データの利用には注意が必要です。

5. サンプルデータ等について

非静力学MSMの夏冬1週間分のファイル形式GPVをサンプルデータとして提供します。また、モデルの地形及び海陸分布データも提供します。詳しくは(財)気象業務支援センターにお尋ね下さい。

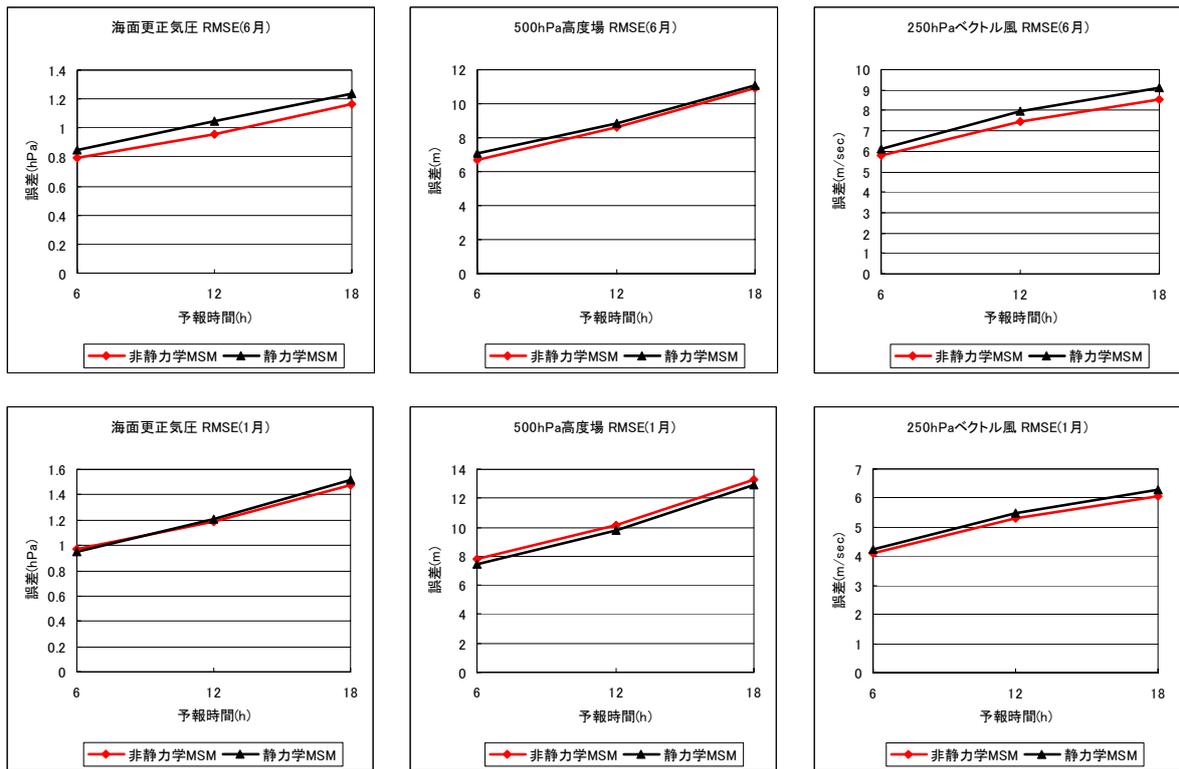


図1 メソ解析に対するRMSE。左列は海面更正気圧、中列は500hPaの高度場、右列は250hPaベクトル風の平均二乗誤差の平方根で、上段は暖候期(平成16年6月)、下段は寒候期(同1月)。横軸は予報時間、縦軸は誤差の大きさを表している。

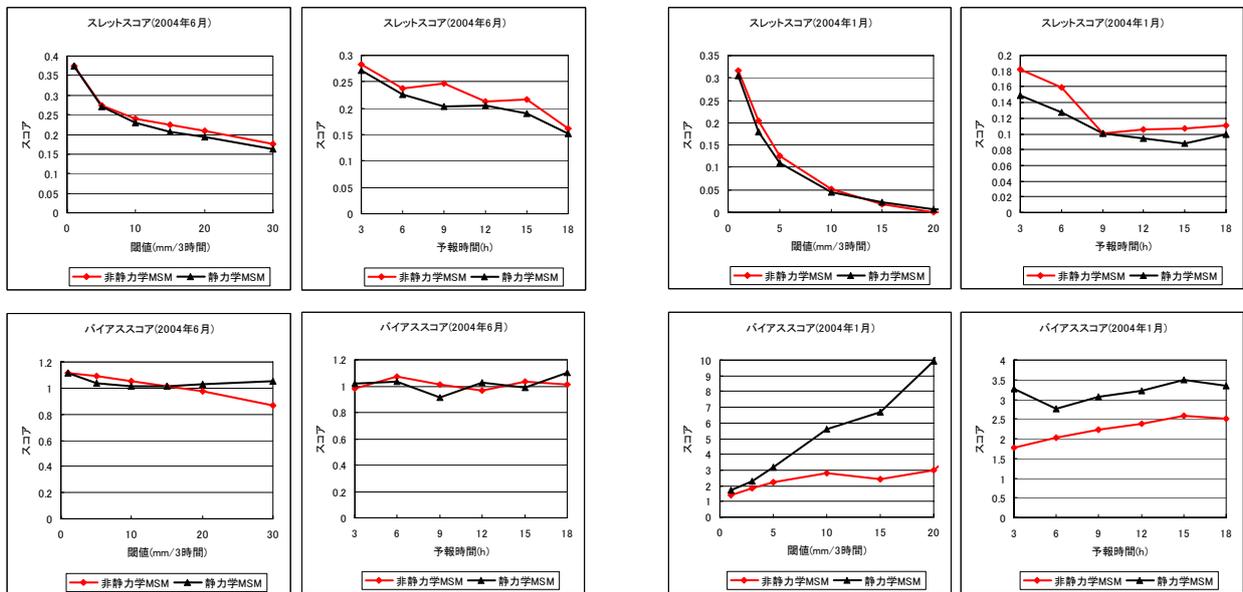


図2 暖候期のスレツスコア(上段)とバイアスコア(下段)。閾値ごと、全ての予報時間でまとめた結果(左列)と、閾値15mm/3時間に対する予報時間ごとの結果。検証格子間隔は20kmで、3時間積算降水量の格子内平均値を用いてスコアを計算した。検証範囲は、日本の陸上から約40km以内の範囲とした。

図3 図2と同じ、ただし寒候期の場合で、予報時間ごとのスコアの閾値は5mm/3時間。

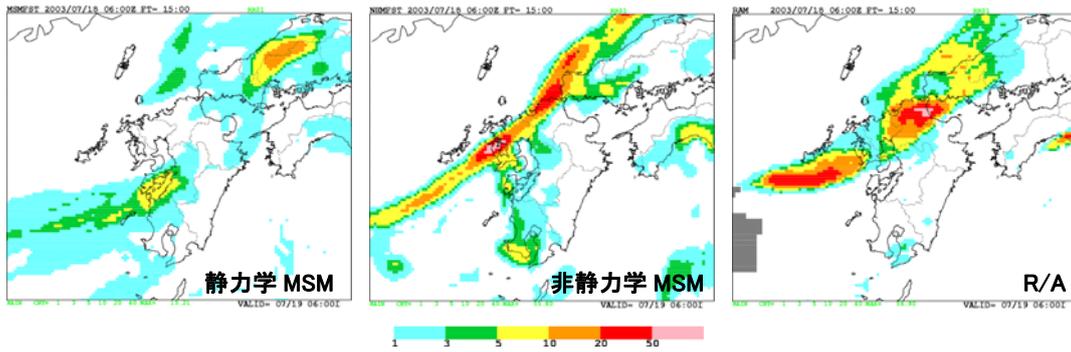


図4 平成15年7月18日午後3時を初期値とする15時間予報による前1時間降水量。
左:静力学MSM、中:非静力学MSM、右:対応する19日午前6時の解析雨量。

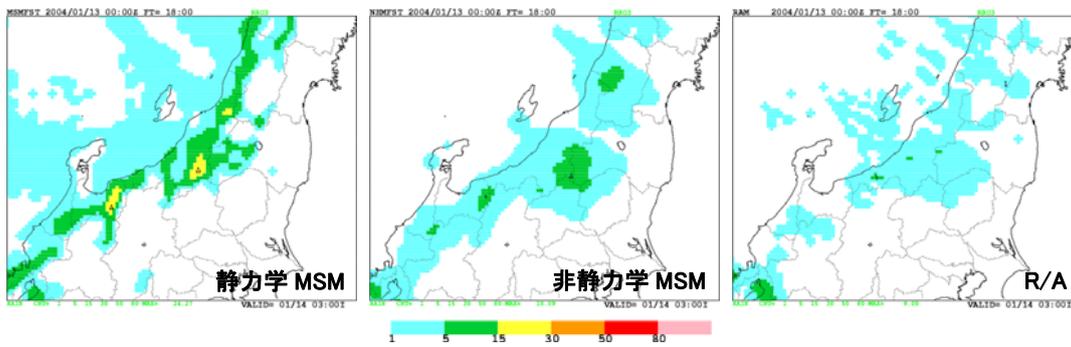


図5 平成16年1月13日午前9時を初期値とする18時間予報による前3時間降水量。
左:静力学MSM、中:非静力学MSM、右:対応する14日午前3時の解析雨量。

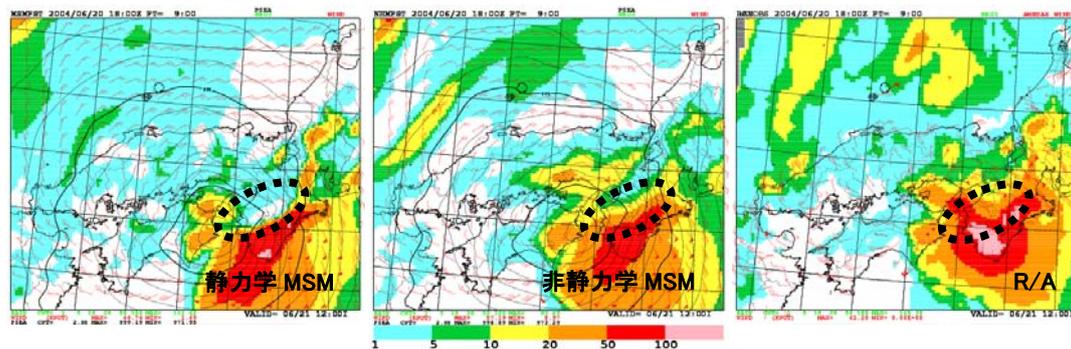


図6 平成16年6月21日午前3時を初期値とする9時間予報による前3時間降水量。
左:静力学MSM、中:非静力学MSM、右:対応する21日正午の解析雨量。太破線
で降水予測に差がある領域(紀伊山地の風下側)を示す。

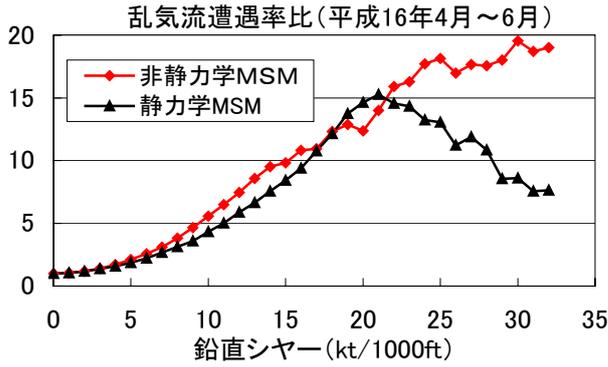


図7 平成16年4月～6月の乱気流遭遇率比^{*}。航空機から通報された並 (MOD) 以上の揺れの実況を、乱気流ありとして検証。国内悪天12時間予想図では、鉛直シヤーが16kt/1000ft以上の領域を並 (MOD) の乱気流予測領域として描画している。

^{*}乱気流遭遇率比:その領域が平均状態と比べて何倍揺れに遭遇し易いかを示す。

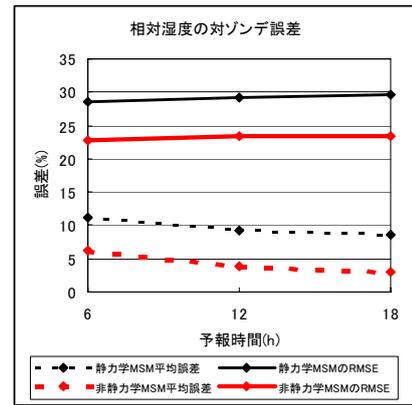


図8 平成16年4月～6月における静力学MSM (黒) と非静力学MSM (赤) の300hPaでの相対湿度誤差。平均二乗誤差の平方根 (実線) と、平均誤差 (破線) を示す。

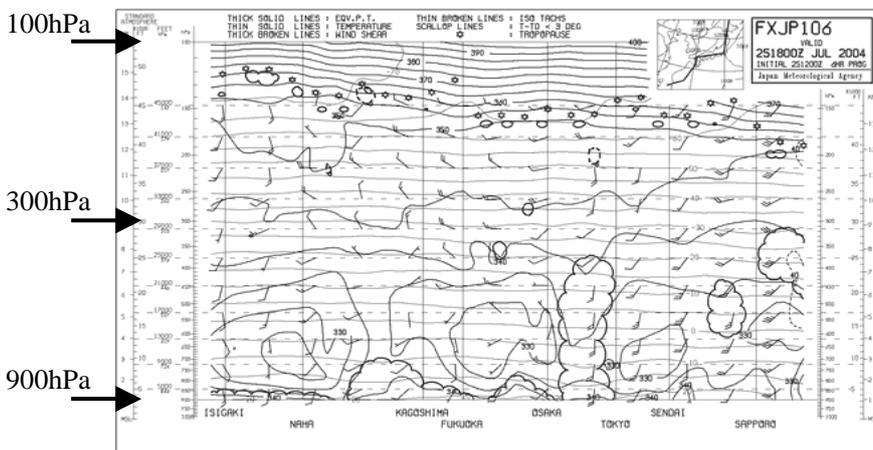
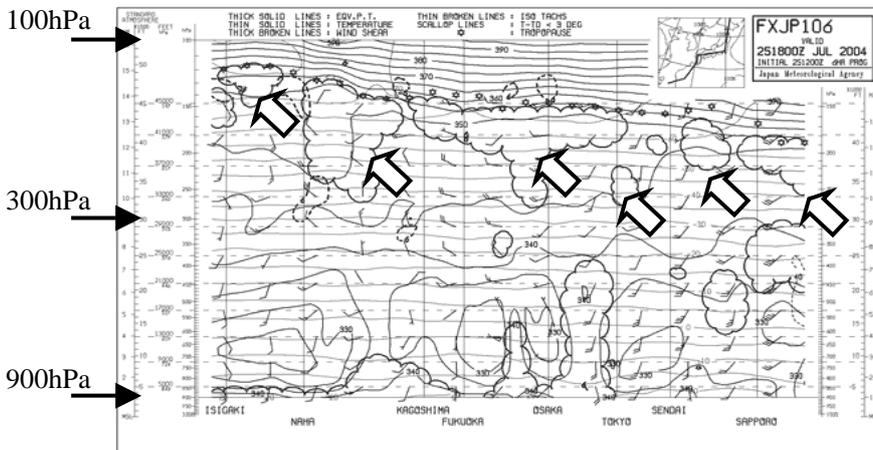


図9 国内航空路6時間予想断面図 (FXJP106) の例。平成16年7月25日12UTCを初期値とする予想断面図。(上) 静力学MSMの場合。(下) 非静力学MSMの場合。白矢印は静力学MSMで過剰に湿域を予想していた領域。

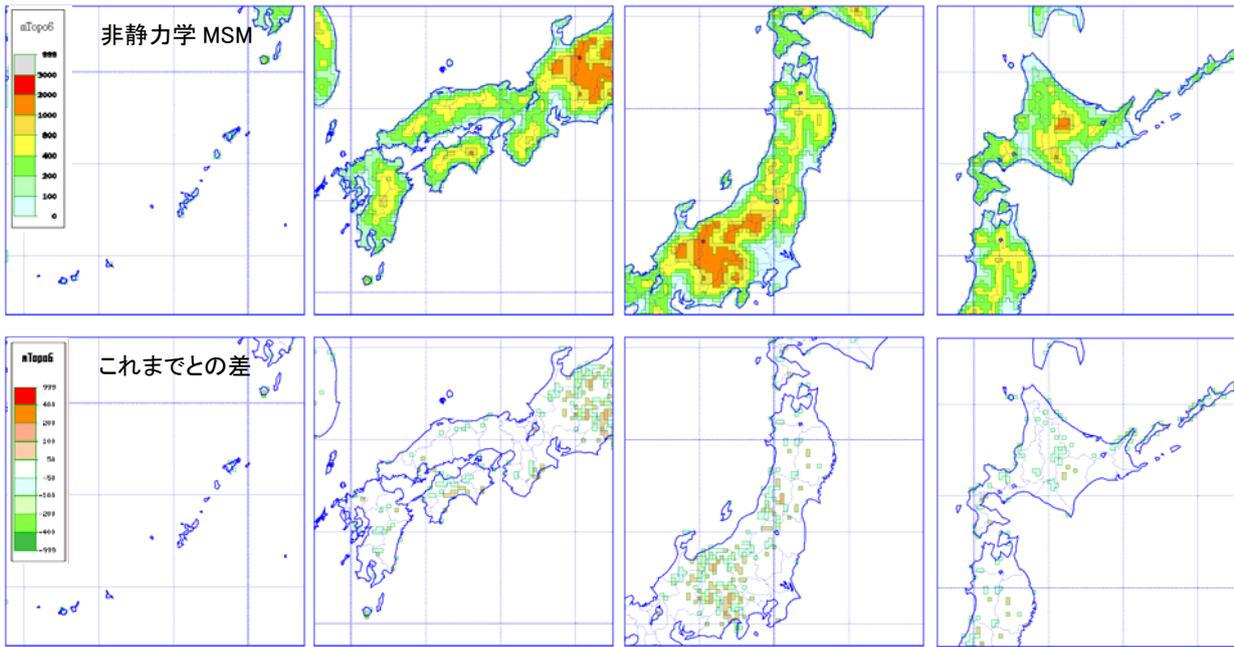


図10 非静力学MSMのモデル地形(上段)と、その静力学MSMのモデル地形との差(下段)。

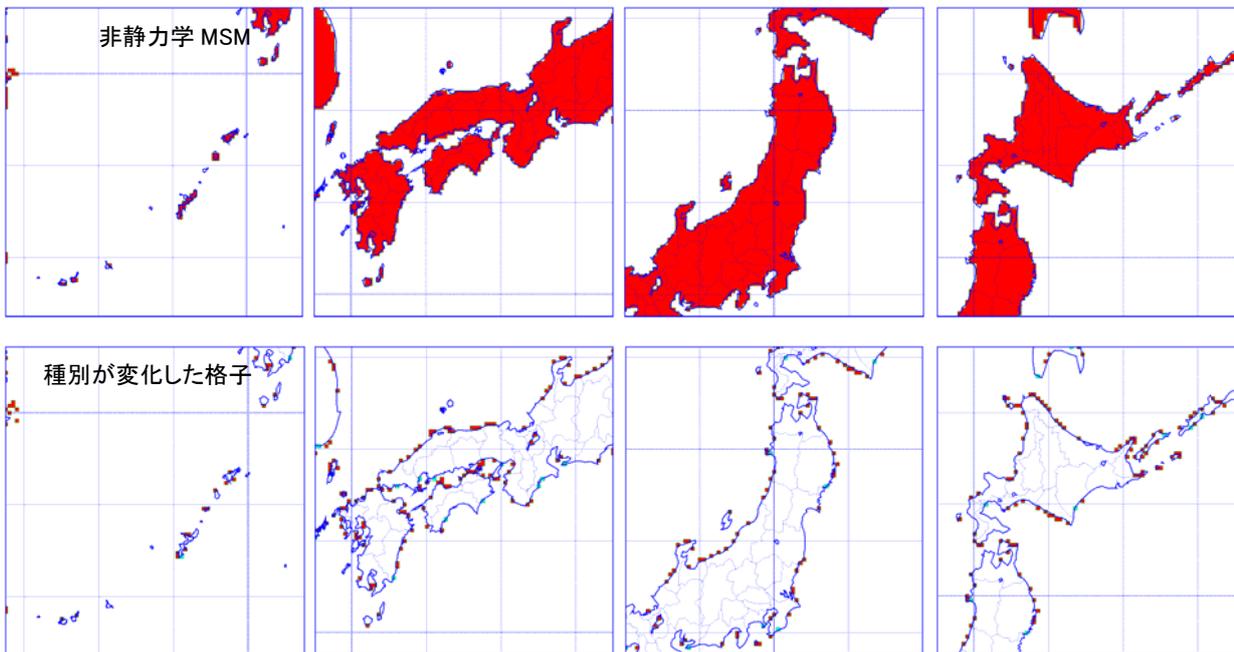


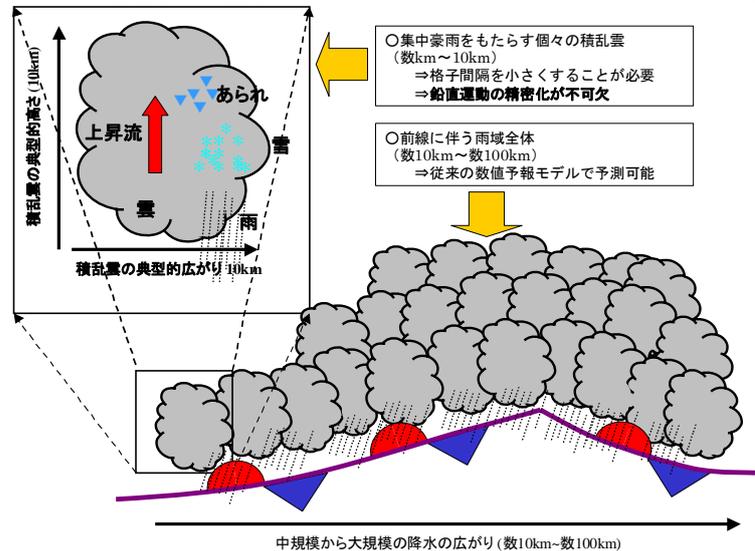
図11 非静力学MSMの海陸分布(上段)と、静力学MSMとは海陸の種別が変わった格子の分布(下段)。赤の格子が、静力学MSMでの陸地が非静力学MSMで海に変わった格子、青の格子は逆に、海が陸地になった格子。

非静力学メソ数値予報の特徴

1. 鉛直運動の取り扱いを精密化

これまでのモデルでは、計算時間の短縮のために、大気鉛直運動の取り扱いで静力学近似を行ってきました。この近似は、空気に働く重力と気圧傾度力が鉛直方向につりあっていると仮定するもので、高気圧や低気圧、前線に伴う雨域全体(参考図1下)など、数10km以上のスケールの現象を取り扱う場合は、非常に高い精度で成立します。しかし、激しい降水をもたらす積乱雲(参考図1左上)のような、数kmから10km程度の現象を扱う場合は、誤差が大きくなります。

現在のメソ数値予報モデルの水平解像度は10kmであり、モデルで表すことのできる現象の大きさは数10kmです。この場合、静力学近似は必ずしも悪い近似ではありませんが、近似を除去してより精度の高い計算を行うことにより、予報精度を改善することができます。

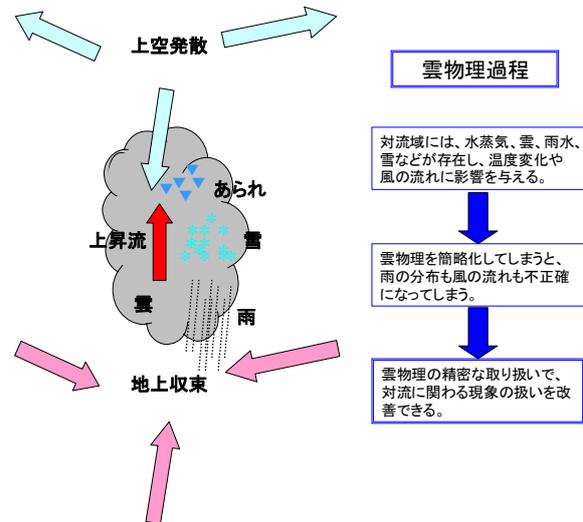


参考図1 前線に伴う雨域は全体として静力学近似で精度よく扱うことができる。しかし、集中豪雨を精度良く予測するためには、この雨域を構成する発達した雲を扱わなければならない、近似をしない計算が必要になる。

2. 降水過程の精密化

これまでのモデルでは、大気中で水蒸気が凝結した場合は、大気中での再蒸発を考慮するものの、基本的には直ちに降水として地上に達するとみなし、現実の大気中に存在する、雲(微細な水滴や氷晶)、雨滴や雪、あられなどを扱っていませんでした。

新しいモデルでは水蒸気の分布はもちろん、大気中におけるこれらの物質の生成、消滅、衝突や併合、相互変換などによって降水が形成される過程を扱うこととしました(参考図2)。例えば、上空で雪が形成された場合に、風に流されたり、一定の速さで落下したり、また落下の途中で雨になったり、時にはこの雨が蒸発したりすることまで予測することができます。この結果、雨や雪の空間分布をより現実に近く取り扱うことが可能になります。この精密な降水過程の実現が、集中豪雨等の予測の基礎になります。これまでは計算に時間がかかることが理由で、精密な降水過程を計算していませんでしたが、新しいメソ数値予報モデルでは、十分な精度と計算速度を実現して、実用化に成功しました。



参考図2 新しいモデルでは、詳細な雲物理過程が組み込まれている。これにより、水蒸気だけでなく、雲水、雲氷、雨、雪、あられをより現実的に予測することができる。