

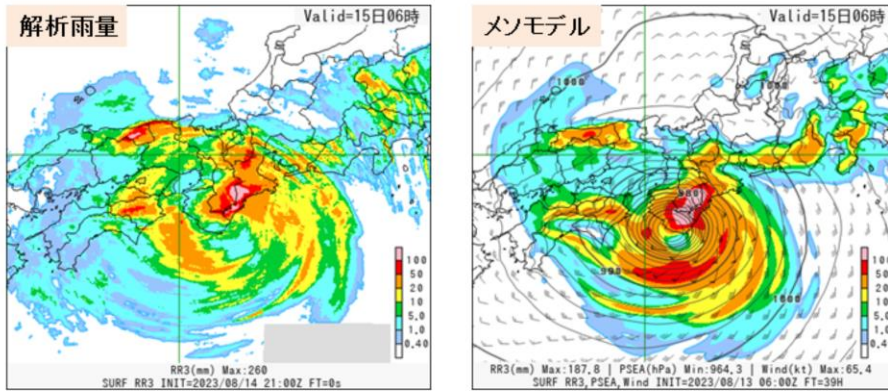


第1章 基礎編

1.7.5 メソモデル

メソモデル

- 利用目的は、防災気象情報、航空気象情報、降水短時間予報、天気予報、局地モデルの側面境界条件
- 水平格子間隔(5 km)で日本付近を対象に1日8回78時間(初期時刻00, 12 UTC)または39時間(初期時刻03, 06, 09, 15, 18, 21 UTC)先まで予測
- 最大3日先程度までの大雨や暴風等の災害をもたらす現象が主な予測対象



令和5年台風第7号における予測例。令和5年8月15日6時までの3時間降水量
(令和5年8月13日15時初期値、39時間予報)



メソモデルは気象庁非静力学モデル asuca に基づく数値予報モデルである。全球モデルと比較して詳細な雲物理過程が組み込まれ、境界層過程も高度化されているのが大きな特徴である。また、メソスケールモデル向けの積雲対流パラメタリゼーションを用いている。メソスケールの現象を精度よく予測し、水平スケールが20km程度より大きな集中豪雨を表現できるなど、全球モデルにはない特徴を持つ(本田ほか 2018)。

メソスケール現象を予測することによって、防災気象情報や天気予報に役立てられているほか、航空機の安全運航に寄与する航空気象情報、15時間先までの降水予測を行う降水短時間予報にも役立てられ(辻村 2019)、局地数値予報システムへ第一推定値や側面境界値を提供する役割も担っている。

主な予測対象は、最大3日先程度までの大雨・暴風といった災害をもたらす顕著現象である。

スライドの図に令和5年台風第7号の降水量の予測結果を示す。令和5年8月15日6時までの3時間降水量で、左図が解析雨量、右図が令和5年8月13日15時初期値のメソモデルによる39時間先の予測結果である。台風に伴う強い降水域がメソモデルの予測においても表現されており、メソモデルで実況の強雨を予測できていることが分かる。

メソモデルの主な仕様

- 非静力学モデル asuca がベース

- 2004年9月に静力学スペクトルモデルから気象庁非静力学モデル (JMA-NHM) に移行
- 2017年2月に JMA-NHM から非静力学モデル asuca に移行

メソモデル (MSM) の仕様	
水平格子間隔	5 km (817 × 661)
鉛直層	96層 (地上～37.5 km)
積分時間間隔	100/3 (=33.333...)秒
初期値	メソ解析 (MA)
側面境界値	全球モデル (GSM)
予報時間	78時間予報 (00, 12 UTC) 39時間予報 (03, 06, 09, 15, 18, 21 UTC)

メソモデルの主な仕様をスライドの表に示す。

メソモデルは、2001年3月に水平格子間隔10kmのモデルとして本運用を開始した。当時は静力学平衡を仮定し、かつスペクトルモデルであった。その後、2004年には静力学平衡の近似を用いない非静力学モデル JMA-NHM が導入され(石田 2013)、2017年2月には JMA-NHM を置き換える形で新しい気象庁非静力学モデル asuca が導入されている(成田 2020)。なお、1.7.8節で示すように、asuca は局地モデルにも使われている。

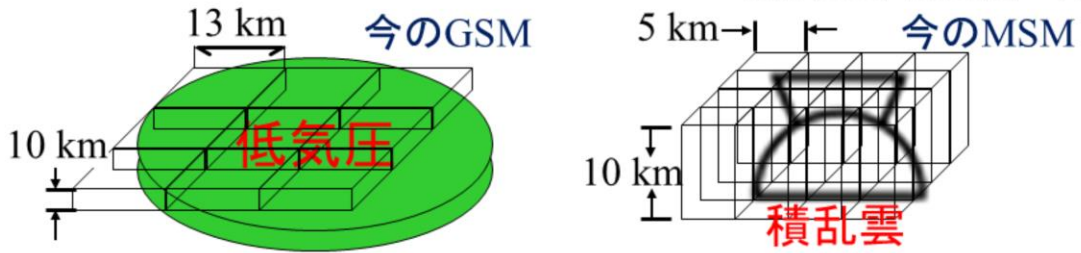
メソモデルは、日本付近の領域のみを予測対象としている領域モデルである。水平格子間隔5km鉛直96層で非静力学方程式系を基礎方程式とし、空間離散化には有限体積法を用いている。メソ解析で1日8回作成される解析値から予測計算を行っている。予報時間は初期時刻によって異なり、00, 12UTCの解析値からは78時間、それ以外の初期時刻の解析値からは39時間先の予測計算を行う。

物理過程としては、本節で示すバルク法雲物理過程(氏家 2020a)や、Kain-Fritsch 積雲対流パラメタリゼーション(氏家 2020b)などが用いられている。2022年3月には鉛直1次元の海洋混合層モデルが導入されている(数値予報開発センター 2022)。

非静力学の効果について

- 現象の水平スケールが鉛直スケールに比べて大きな場合
 - 鉛直風時間変化の影響を無視できる
 - 鉛直スケールが水平スケールに近づくと非静力学モデルが必要
- 断熱過程では水平格子間隔2~3 km以下で非静力学の効果効いてくる
 - 水平スケール10 km程度の現象を解像、鉛直スケール(10 km)と同程度
- 雲・降水過程を取り扱う場合は、10 kmより小さい水平格子間隔で非静力学の効果効いてくる
 - 非断熱過程による潜熱放出が格子単位で起こって水平格子間隔に近い対流が生じやすいため

加藤 (1999)「気象研究ノート」



(雲・降水過程を取り扱うためには) 水平格子間隔
約10 km以下の非静力学モデルが必要

メソモデルは気象庁非静力学モデル asuca に基づく数値予報モデルであり、全球モデルとは異なり静力学平衡の近似を用いていない。

温帯低気圧のような総観規模現象の場合、現象の水平スケールが鉛直スケールと比べてはるかに大きい。この場合、鉛直流の時間変化を無視した静力学平衡の近似が良い精度で成り立つ。一方、集中豪雨などの顕著な降水現象の多くは、積乱雲やメソ対流系擾乱と呼ばれる積乱雲の集合体によって引き起こされる。これらの現象の水平スケールは通常数10km以下で、静力学平衡の近似が十分な精度では成り立たない。また、水の相変化に伴う潜熱の解放と雲内水物質の分布が、運動場と降水域の決定に重要な役割を果たしている。したがって、顕著降水現象の予報には、雲の微物理過程を含む水平格子間隔5km以下の非静力学モデルを用いることが本質的に望ましい(齊藤 2003)。メソモデルは水平格子間隔5km、局地モデルは水平格子間隔2kmであり、いずれも非静力学モデルが必要とされる。

非静力学モデルの利点と難点

• 利点

- モデルの水平格子間隔に原理的な制限がなくなる
 - 水平スケール数10 km のメソ対流系擾乱による集中豪雨などの顕著現象の予測に威力を発揮する
- 雲や降水の生成と消滅において重要な鉛直流を陽に扱うことができる
- 局地的な地形の影響を受ける風を正確に表現できる

• 難点

- 気圧や密度の計算が静力学モデルより複雑になる
- 音波を解に含むため数値計算に工夫が必要になる

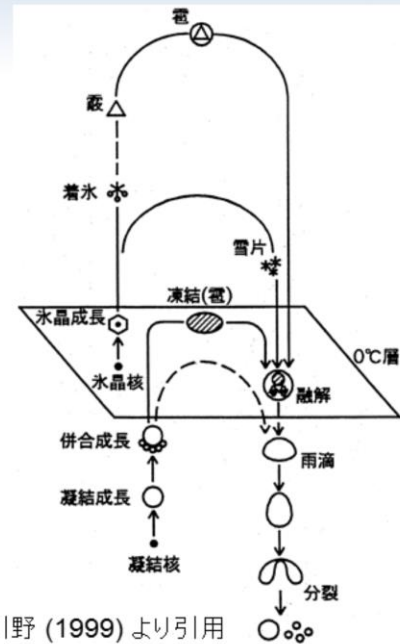
これまで述べてきたように、メソ・局地モデルでは非静力学モデルを用いている。スライドに、非静力学モデルの利点と難点をまとめる。

利点としては、モデルの水平格子間隔に原理的な制限がなくなることが挙げられる。前述したように、静力学モデルの水平格子間隔は静力学平衡が精度良く成立する水平格子間隔10km程度が限界である。非静力学モデルを用いることによってこのような制限がなくなり、空間スケールが数10km 程度のメソ対流系擾乱による集中豪雨など、防災上重要な現象の解像ができるようになる。また、静力学モデルでは鉛直流を連続の式から診断するが、非静力学モデルでは鉛直流を運動方程式から陽に計算するため、鉛直流が重要な役割を果たす雲・降水の生成や消滅といった現象をより高度に扱っていることになる。高解像度化することによって地形の表現性が向上するため、局地的な地形の影響を受ける風をより正確に表現できるようになることも利点の一つである。

難点としては、まず、静力学モデルと比べて気圧や密度の計算が複雑になることが挙げられる。非静力学モデルでは密度(もしくは気圧)が予報変数になるため、静力学モデルに比べ計算が複雑になる。また、気象庁の非静力学モデル asuca は完全圧縮方程式系を採用しており、解には音波が含まれる。音波は非常に高速であるため、音波を安定に解くために積分時間間隔を決めると、積分時間間隔を非常に短くする必要がある。天気予報において重要な移流やロスビー波といった現象は音波に比べると低速であるため、気象学的に重要でない音波に合わせて積分時間間隔を決めると、計算効率が極めて悪い。また、音波ほど高速ではないものの、重力波もその他の現象に比べて高速であり、安定に解くための工夫が必要になる。asuca では効率的に計算を行うために、音波や重力波に関する項は短い積分時間間隔に分割して積分を行い、その他の項については積分時間間隔を分割せずに積分を行う split-explicit 法を用いている(松林ほか 2013)。

雲・降水過程の役割

- 降水形成
 - 雲の微物理構造
 - 降水形成速度・降水効率
 - 降水のタイミング・場所・強度
- 潜熱の解放・吸収・再分配を介して雲のダイナミクスに関与
 - 相変化に伴う潜熱・粒子の荷重
 - 鉛直流の時間変化項
 - 雲の力学構造
 - 発達・維持



川野 (1999) より引用

メソスケール現象は降水現象と深く関係するため、雲・降水を詳細に扱う必要があることは述べてきた通りである。このため、大気中に雲が形成され、雲の中で水滴が成長し、最終的に降水として地上に降るといふ雲・降水過程を全球モデルよりも詳細に扱うことが求められる。雲内での雨粒の成長を模式的に示した図をスライドに示す。

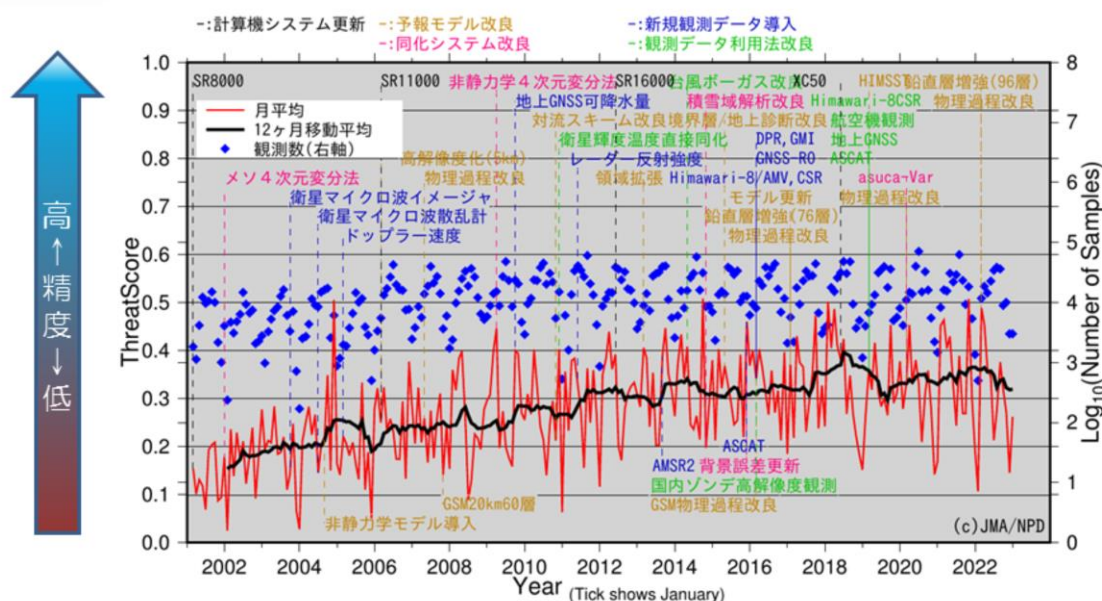
大気中の凝結した水は、様々な形態や大きさで存在し、その形態や大きさによって相変化の特性は細かく変わってくる。粒子ひとつひとつを予報するのは現実的ではないので、形態毎に集団的に状態を記述する簡便な方法(これを「バルク法」と言う)が考えられる。大気中の水は相変化を繰り返しており、雲水、雲氷、雨、雪、あられなど、様々な状態、形で存在している。このように水の状態をいくつかのカテゴリーに分類し、相変化を考慮することによってカテゴリー毎の量を予測し、雲の発達・衰弱の様子をより正確に表現しようとするのが雲物理過程である(本田ほか 2018)。非静力学モデルであるメソモデルや局地モデルでは雲物理過程を採用しており、降水形成についての予測を行っている。

このように雲の微物理構造をモデル化した過程を取り入れることによって、降水の形成を予測している。また、相変化に伴う潜熱の解放・吸収・再分配を計算しており、雲物理過程それ自身が鉛直流の時間変化に影響を及ぼす。

一方で、全球モデルにおいては雲水から降水への変換や再蒸発、雪の融解などの単純化した雲物理過程を取り扱っている。

メソモデルの精度向上

予報時間03～15時間の3時間毎の降水量予測に対する平均スコア
(閾値10mm/3h, 検証格子20km, 2001年3月～2023年1月)



メソモデルの降水量予測に対する平均スレットスコアの推移を示す。スレットスコアは高いほど精度が良い(スレットスコアについての説明は、4.7節を参照)。また、メソ数値予報システムの更新を図中に示す。

継続的なメソ数値予報システムの開発・更新によって、年々精度が向上していることが分かる。

参考文献

- 石田純一, 室井ちあし, 2013: はじめに, 平成25年度数値予報課報告・別冊第60号, 気象庁予報部, 1-4.
- 氏家将志, 2020a: 雲過程, 令和元年度数値予報課報告・別冊第66号, 気象庁予報部, 45-55.
- 氏家将志, 2020b: 積雲対流パラメタリゼーション, 令和元年度数値予報課報告・別冊第66号, 気象庁予報部, 33-44.
- 加藤輝之, 1999: 湿潤対流における非静力学効果, 気象研究ノート第196号, 153-168.
- 川野哲也, 1999: Bin法雲物理とモデルへの導入, 気象研究ノート第196号, 85-102.
- 斉藤和雄, 2003: 概論. 数値予報課報告・別冊第49号, 気象庁予報部, 1-15.
- 数値予報開発センター, 2022: メソモデルの改良, 令和3年度数値予報開発センター年報, 気象庁数値予報開発センター, 94-99.
- 辻村豊, 2019: はじめに. 平成30年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 142-144.
- 成田正巳, 2020: メソ・局地数値予報システムの改良, 令和元年度数値予報課報告・別冊第66号, 気象庁予報部, 1-7.
- 本田有機, 坂本雅巳, 藤田匡, 計盛正博, 室井ちあし, 2018: 数値予報モデル. 平成30年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 90-105.
- 松林健吾, 河野耕平, 石田純一, 室井ちあし, 2013: 時間離散化, 平成25年度数値予報課報告・別冊第60号, 気象庁予報部, 43-52.