



第1章 基礎編

1.7.4 メソ解析

メソスケール現象と数値予報

- メソスケールの現象の特徴
 - 降水現象と直接関係する
 - 積乱雲、メソ対流系、梅雨前線上の低気圧など
 - 雲・降水過程に伴う非断熱加熱がその振る舞いに本質的な影響を及ぼす
 - 顕著現象との関連が深い
 - 大雨・大雪・強風・突風・雷
 - メソスケール現象の予測
 - 防災上極めて重要
- メソスケール現象を予測するための数値予報システム
 - メソスケール現象は、時空間規模が(総観規模に比べて)小さい
 - 高い時間・空間分解能を持つ数値モデルが必要
 - メソスケール現象は降水現象と直接関係する
 - 雲・降水を詳細に扱う必要がある
 - 雲・降水に関連する観測データを利用する必要がある

雲物理過程を実装した非静力学モデルと、それを基にしたデータ同化システムが必要

気象現象には大小様々な空間スケールのものが存在する。全球数値予報システムが主な予測対象としている現象は天気図で卓越する総観規模現象である。総観規模現象は2000km以上の空間スケールの現象を指す。

一方で、2~2000kmの空間スケールの現象をメソスケール現象という。メソスケール現象の特徴として、積乱雲やメソ対流系など降水に直接関係する現象であること、大雨・雷など顕著現象との関連が深いことが挙げられ、これらのことからメソスケール現象の予測は防災上極めて重要となっている。

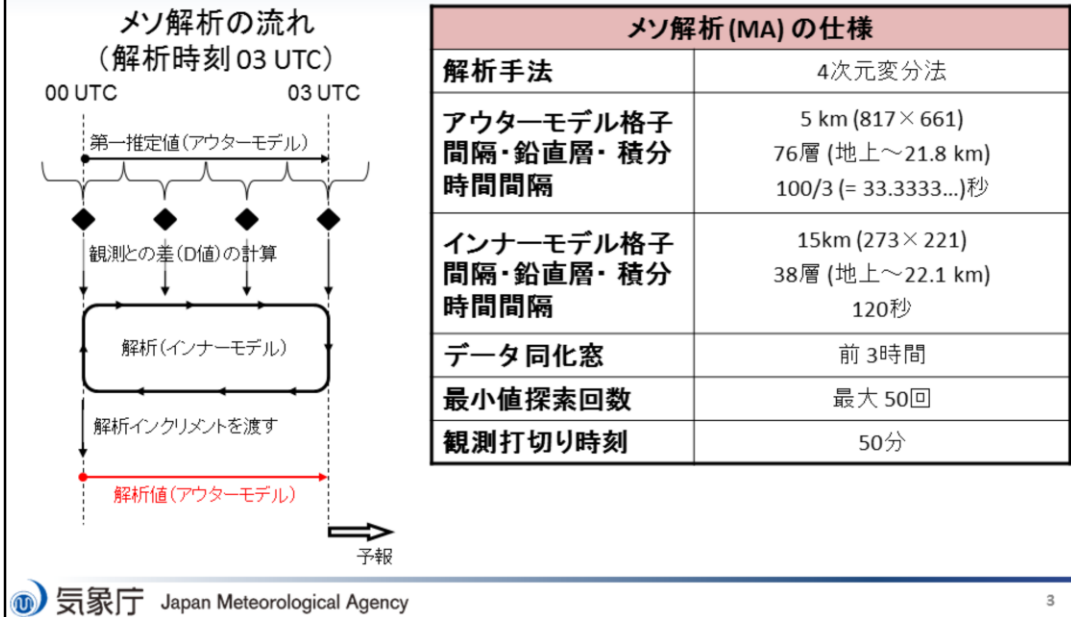
空間スケールが総観規模現象に比べ相対的に小さいメソスケール現象を予測する為には、全球数値予報システムよりも高い時間・空間分解能を持つ数値予報システムが必要となる。また、メソスケール現象は降水現象と直接関係することから、雲・降水を予報モデルで詳細に扱うとともに、データ同化でも雲・降水に関する観測データを多く利用する必要があり、この要請を満たす予報モデルとデータ同化システムから数値予報システムを構成する必要がある。このような背景があり、メソ数値予報システムが運用されている。

2001年3月にメソ数値予報システムの本運用が開始された。2002年には世界的にも画期的な成果である4次元変分法を用いたメソ解析システムが導入された。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 (Non-Hydrostatic Modelの略) が導入され、2009年4月には、JMA-NHM を基にした変分法データ同化システム JNoVA が導入された(本田 2010)。その後も継続的な更新・改良がなされており、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 (Asuca is a System based on a Unified Concept for Atmosphere の略。再帰的略称を用いている) が導入され(室井 2020)、2020年3月には、asuca を基にした変分法データ同化システム asuca-Var(幾田 2014) が導入されている。そして今日、メソモデルや局地モデルの予測資料は、防災気象情報の基盤のひとつとなっている。

メソ数値予報システムはメソ解析とメソモデルからなっている。まず、メソ解析について述べる。

メソ解析の仕様

- asucaに基づく4次元変分法(asuca-Var)がベース



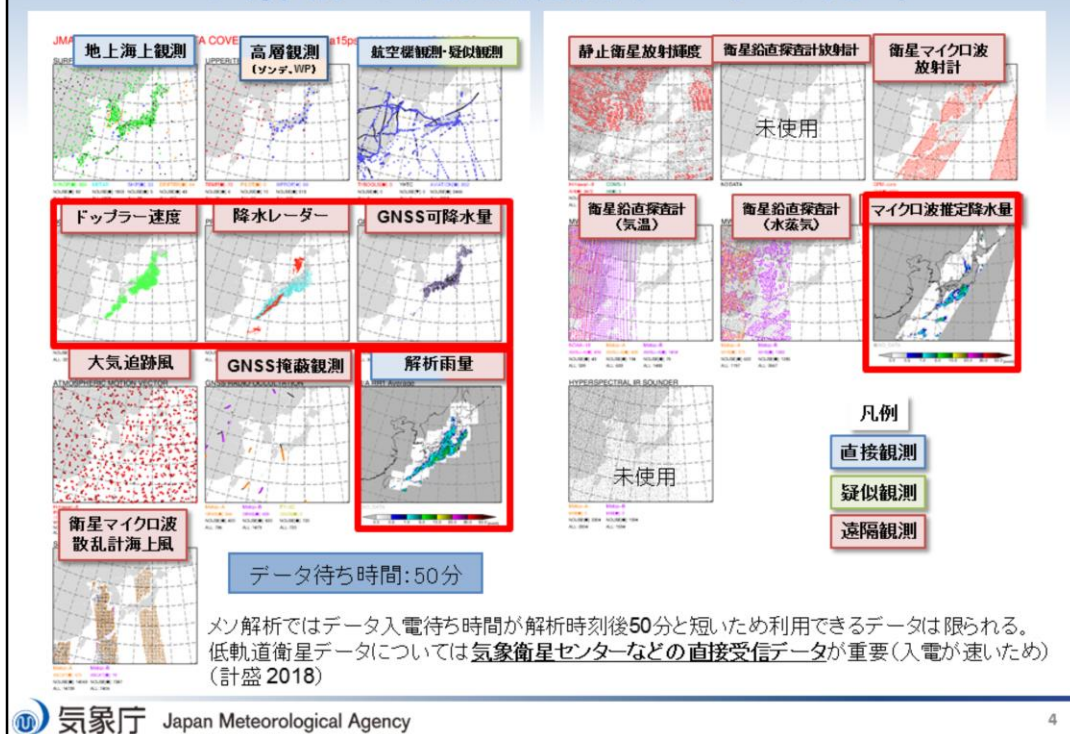
メソ解析は日本を中心とする東アジア領域の大気解析である。大気の解析手法には asuca に基づく4次元変分法を用いているが、大気解析で解析されない地上の解析には最適内挿法を利用している(本田 2018)。

メソ解析の基本的な仕様をスライドの表に纏めておく。なお、アウターモデルは第一推定値の計算に用いるモデル、インナーモデルは解析修正量を求める計算に用いるモデルのことを指す。アウターモデルは格子間隔5km鉛直層76層であるのに対し、インナーモデルは格子間隔15km鉛直層38層であるのは、後述するようにメソ解析では繰り返し計算が必要であり、この繰り返し計算によって計算量が膨大になってしまうことを防ぐ為である。

スライドの図に、解析時刻03UTCにおけるメソ解析の処理の流れを示す。メソ解析のデータ同化窓は前3時間である為、この例においては00～03UTCの観測データがデータ同化に利用される。まず、アウターモデルを実行して、00UTCの解析値から03UTCまでの予測計算を行うことで第一推定値を得る。この時、00～03UTCにある全ての観測から予報がどの程度離れているかを計算する。次に、インナーモデルを逆方向に実行し、どのような修正を解析値に与えれば良いかを探索する。そして、探索された修正を加えた解析値からインナーモデルを実行して予測計算を行い、観測からどの程度予測が離れているかを計算する。以降、このインナーモデルの計算を繰り返し行っていく。この繰り返し計算は、インナーモデルでの計算が観測データに十分に近付いた時、もしくは、メソ解析での最小値探索の最大回数である50回で打ち切れ、解析インクリメントが算出される。最後に、解析インクリメントを加えた解析値でアウターモデルを実行して予測計算を行い、03UTCにおける解析値を得る。

メソ解析では、このような流れで解析値を計算している。

メソ解析の利用観測データの分布



メソ解析で利用している観測データの分布図をスライドに示す。全球速報解析よりも観測データの待ち受け時間は短く設定されており、利用できる観測データは限られる(計盛 2018)。

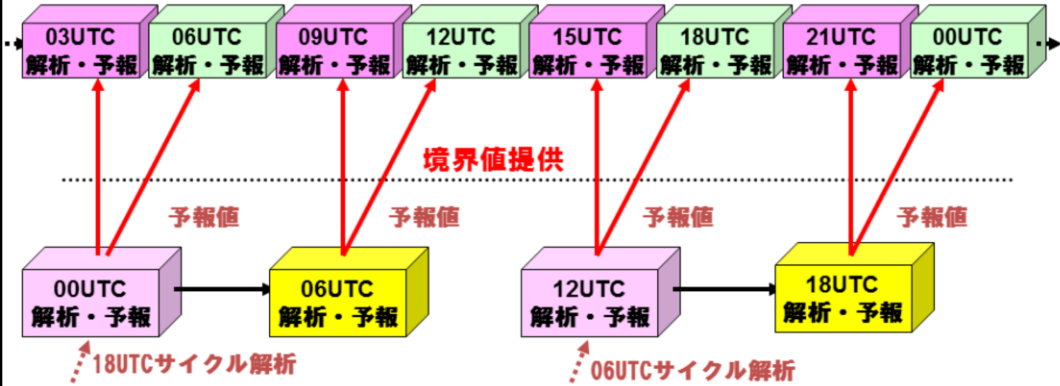
前述した通り、メソスケール現象は降水現象に直接関係する為、雲・降水に関する観測データを多く利用する必要がある。このことから、メソ解析では解析雨量、レーダー反射強度やマイクロ波推定降水量など、全球解析では利用されていない観測データが同化されている(計盛 2018)。スライドの図で、全球解析では同化されていない観測データを赤枠で囲った。

ドップラー速度とは、ドップラーレーダーによって測定された降水粒子の移動速度のことであり、ドップラー速度から大気中の風の情報を得ることができる。降水レーダー反射強度とは、レーダーから射出された電磁波の反射強度のことであり、反射強度から大気中の湿度の情報を得ている。GNSS可降水量とは、複数のGNSS衛星から発信された電波を地上のGNSS受信機で受信した際の、受信時間の遅れ(伝播遅延)の情報を利用して求めた、受信機が設置された場所における鉛直積算水蒸気量(可降水量)である。なお、全球解析では可降水量の同化は行っていないが、遅延量としては同化を行っている。解析雨量は、地上の雨量計とレーダーから解析された降水量であるから、厳密には観測データではないが、メソ解析では降水に関するデータとして同化を行っている。マイクロ波推定降水量とは、極軌道衛星に搭載されたマイクロ波放射計(イメージャ)の観測データから推定した降水強度である(計盛 2014)。

全球数値予報システムとメソ数値予報システム

- 側面境界値が更新された直後の予報 (赤色)とその次の予報 (緑色)は同じ側面境界値を使う → 側面境界値の影響を大きく受ける予報後半では、新しい初期時刻の予報の精度が前初期時刻の予報精度に近づく傾向がある

メソ解析・予報



全球速報解析・予報

- 1日4回の予報を側面境界としてMSMへ提供

全球数値予報システムとメソ数値予報システムの関係をスライドの図に示す。

メソ数値予報システムは全球数値予報システムと同様、ひとつ前の初期値から始めた予報値を第一推定値として解析値を作成している。例えば、06UTCの解析値は03UTC解析値からの予測結果を第一推定値としている。また、メソモデルは領域モデルである為、予報方程式を解く為に側面での境界条件が必要になる。メソモデルでは、全球速報解析・予報で作成される予報値を側面境界値として利用している。例えば、06UTC解析値からの予測は、全球数値予報システムにおける00UTC解析値からの予測結果を側面境界値としている。

メソ数値予報システムは1日8回のデータ同化と予報を行うが、全球数値予報システムは1日4回である為、メソ数値予報システムでは同じ側面境界値を2回ずつ利用することになる。スライドには、側面境界値が更新された直後の予報を赤色で、その次の予報を緑色で示す。一般に数値予報モデルは予報時間が長くなるにつれ側面境界値の影響が大きくなる為、同じ側面境界値を用いる予測では、新しい初期時刻の予測の精度が前初期時刻の予測の精度に近づく傾向がある。

参考文献

- 幾田泰醇, 2014: asuca変分法データ同化システム,平成25年度数値予報課報告・別冊第60号, 気象庁予報部, 91-97.
- 計盛正博, 2014: マイクロ波イメージャ, 平成26年度数値予報課報告・別冊第61号, 気象庁予報部, 50-54.
- 計盛正博, 本田有機, 佐藤芳昭, 2018: 観測データと品質管理. 平成30年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 72-82.
- 本田有機, 2010: 概要,平成21年度数値予報課報告・別冊第56号, 気象庁予報部, 1-6.
- 本田有機, 藤田匡, 計盛正博, 室井ちあし, 佐藤芳昭, 2018: データ同化. 平成30年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 84-89.
- 室井ちあし, 2020: はじめに, 令和元年度数値予報課報告・別冊第66号, 気象庁予報部.