

第4章 データ同化システム¹

4.1 はじめに

本章では、全球、領域、メソ、台風の各数値予報モデルの初期値を作成するためのデータ同化処理を「解析」と呼び、その概要を記す。合わせて、モデルの下部境界の状態を決めるために必要な積雪解析と海面水温解析についても触れる。なお、毎時大気解析はモデルの初期値を与えるものではないため、本章ではなく第6章で解説している。

本章で用いられている略号は付録にまとめて説明する。

4.2 観測データと解析前処理

4.2.1 前回更新以降のデータの扱いの変更

新システムの解析で使用する観測データを表4.2.1にまとめた。前回のNAPS更新時（大野木・多田 2000）以降、下記に掲げる観測データの扱いが追加・変更されている。処理の詳細および予報への影響については引用している文献を参照していただきたい。

- (1) **マイクロ波散乱計**： 1998年7月から使われていたERS衛星の散乱計データは、2001年1月に観測が途絶して使えなくなった。それ以後、QuikSCAT衛星のマイクロ波散乱計SeaWindsから算出される海上風データ利用の開発を進め、2003年5月に全球解析で、2004年7月にメソ解析での利用を開始した（大橋 2004; 大橋・今泉 2004）。
- (2) **サウンダ**： 全球解析でNOAA衛星のATOVS輝度温度の直接同化を2003年5月から開始した（計盛・岡本 2004）。その後、2004年12月に使用するデータをレベル1Dからレベル1Cに変更し（計盛ほか 2005）、2005年3月にはAqua衛星搭載のマイクロ波サウンダAMSU-Aの輝度温度の利用を開始した。さらに2005年8月には観測時刻の違いを考慮したデータ間引き処理を導入して4次元変分法に適したデータの使い方ができるようになった。なお、領域解析・メソ解析については、輝度温度ではなくNESDISおよび気象衛星センターで気温と水蒸気量の鉛直分布に変換されたデータを利用している（水蒸気量の利用は領域解析のみ）。
- (3) **湿度ボーガス**： GMS-5の輝度温度から統計的手法で作成した湿度の鉛直分布データ（TBBボーガスと呼ばれていた）は、GMS-5からGOES-9への運用切替時（2003年5月）に利用を止めた。

衛星の変更に合わせて統計の再計算が必要になるためだが、今後は輝度温度の直接同化を目指す方針であるため、MTSAT-1Rについて湿度ボーガスを作成する予定はない。

- (4) **マイクロ波放射計**： メソ解析でDMSP衛星に搭載されているSSM/IとTRMM衛星に搭載されているTMIのデータから算出した可降水量と降雨強度の利用を2003年10月から開始した（佐藤 2003）。また、これに加えて2004年11月にAqua衛星に搭載されているAMSR-Eのデータから算出した可降水量と降雨強度の利用を開始した。
- (5) **大気追跡風**： 全球解析でTerra衛星、Aqua衛星のMODIS画像から算出された極域の衛星風の利用を開始した（北極域：2004年5月から、南極域：2004年9月から）（計盛・中村 2005）。
- (6) **ドップラーレーダー**： メソ解析で空港気象ドップラーレーダーの動径風データの利用を2005年3月から開始した（小泉 2004）。当初は新千歳、成田、東京、大阪、関西、那覇の6空港のレーダーを使用していたが、2005年6月に中部と福岡の2空港を追加した。

4.2.2 台風ボーガスの扱い

モデル初期値で台風を適切に表現するための台風ボーガスについて、前回の更新以降、各解析に4次元変分法が導入された時に手法の変更があったのでここでまとめておく（表4.2.2参照）。

台風の中心位置と強風半径から典型的な台風の構造（海面気圧と指定面のジオポテンシャル高度）を求める方法は、大野木(1997)から変更されていない。4次元変分法導入より前には、こうして求めた気圧、高度およびそこから計算される風を第一推定値に埋め込むという方法を採用してきた²。これに対して4次元変分法の導入以降、メソ解析、領域解析、全球速報解析では、計算された典型的な台風構造から人工的な観測データを作成し、それを他の観測データと同時に同化する、という擬似観測型ボーガスを採用している（小泉 2003; 新堀 2005）。この擬似観測型ボーガスを用いると、モデルの中での物理的なバランスを崩さずに台風の構造を表現することができ、4次元変分法との相性が良い。ただし、インナーモデル³の解像度が低いと台風の細かい構造が十分に表現できないという弱点があるため、全球4次元変分法ではどちらがより適切かは不明であった。そこでいくつかの組み合わせで実験を行った結果、サイ

¹ 小泉 耕

² 2002年1月に、全球解析から全球モデルに引き渡される要素が高度から気温に変更された。これに伴いボーガスとして埋め込む要素も気温（高度から算出）に変更された。

³ 変分法の解を計算するとき使用するモデル。変分法は膨大な計算量を必要とするため、解の計算には解像度を下げたモデルを使用する。

クル解析で埋め込み型、速報解析で擬似観測型を用いた場合が最も良い成績であった（新堀 2005）ため、現状ではこのような組み合わせで運用している。

擬似観測型台風ボーガスを投入する時刻は、全球速報解析と領域解析については解析時刻だが、メソ解析については解析時刻の3時間前となっている。これは、メソ解析のデータ打ち切り時刻に台風位置情報の作成が間に合わない場合があることを考慮し、

データが確実に入る3時間前についてボーガスを投入するようにしたためである⁴。このため、メソ解析での台風位置は解析時刻の台風実況とずれる場合がある。解析時刻の台風位置情報がメソ解析のデータ打ち切り時刻に間に合わない割合や、解析時刻に台風ボーガスを投入した場合の予報への影響については調査中である。

表4.2.1 全球解析、領域解析、メソ解析に使用する観測データ

	観測の種類	解析に使用する観測要素
直接観測	固定観測点の地上観測	気圧（全球解析、領域解析、メソ解析）
	船舶・ブイ	気圧（全球解析、領域解析、メソ解析）
	ラジオゾンデ・レーウィン	気温、風、湿度（全球解析、領域解析、メソ解析）
	航空機	風（全球解析、領域解析、メソ解析）、気温（領域解析、メソ解析）
	アメダス	降水量（解析雨量として領域解析、メソ解析）
レーダー	ウィンドプロファイラ	風（全球解析、領域解析、メソ解析）
	一般気象レーダー	反射強度（解析雨量として領域解析、メソ解析）
	空港気象レーダー	ドップラーレーダー動径風（メソ解析）
衛星観測	イメージャ	画像上の雲や水蒸気パターンの移動から算出した風（全球解析、領域解析、メソ解析）
	サウンダ	輝度温度（全球解析）、NESDISまたは衛星センターで輝度温度から算出した気温（領域解析、メソ解析）および湿度（領域解析）
	マイクロ波放射計	輝度温度から算出した可降水量と降水強度（メソ解析）
	マイクロ波散乱計	散乱断面積から算出した海上風（全球解析、メソ解析）
人工データ	豪州気象局作成ボーガス	海面気圧（全球解析）
	擬似観測型台風ボーガス	海面気圧、風（全球速報解析、領域解析、メソ解析；表4.2.2参照）

表4.2.2 台風ボーガスの仕様

	全球サイクル解析	全球速報解析	領域解析	メソ解析
ボーガスの解析への反映方法	第一推定値へ埋込む	擬似観測データ	擬似観測データ	擬似観測データ
擬似観測データの配置方法		地表から300hPaまでの指定面上で、台風中心および中心から200km間隔の同心円周上に配置（各同心円周に6~8個）		同左。 ただし、中心から100kmの円周上に4個のデータを追加
ボーガスの要素	海面気圧、気温、風	海面気圧、風	海面気圧、風	海面気圧、風
ボーガスを投入する時刻	解析時刻の3時間前から2時間後まで1時間ごと	解析時刻	解析時刻	解析時刻の3時間前

⁴ 更新前は解析時刻の台風位置情報がデータ打ち切り時刻に間に合わなかった場合、そのデータは次の解析に使われることになり、結果として解析時刻の6時間前にもボーガスが投入される場合があった。更新後は解析時刻の3時間前からのみの投入とする。

表4.3.1 NAPS更新後の大気解析の仕様

	全球解析 (サイクル、速報)	領域解析	メソ解析
解析時刻 [予報モデル実行用] (カッコ内はデータ打ち切り時間)	00,06,12,18 UTC (2時間20分)	00,12UTC (2時間45分)	00,03,06,09,12,15,18,21 UTC (50分)
解析時刻 [同化サイクル専用] (カッコ内はデータ打ち切り時間)	00,12UTC (11時間35分) 06,18UTC (5時間35分)	06,18UTC (8時間45分)	(なし)
水平格子	ガウス格子 640×320 (約0.5625度間隔)	ランベルト 325×257 (基準緯度[30N,60N]で20km 間隔)	ランベルト 361×289 (基準緯度[30N,60N]で10km 間隔)
インナーモデル水平格子	ガウス格子 320×160 (約1.125度間隔)	ランベルト 163×129 (基準緯度[30N,60N]で40km 間隔)	ランベルト 181×145 (基準緯度[30N,60N]で20km 間隔)
鉛直層	地上気圧+ σ -Pハイブリッド40層		
上端気圧	0.4hPa	10hPa	10hPa
解析手法	4次元変分法		
同化ウィンドウ ⁵	解析時刻の3時間前～3時間後	解析時刻の3時間前～3時間後	解析時刻の6時間前～解析時刻
繰り返し計算回数	70回(内、前半35回では簡略化した物理過程を使用)	実行時間による制限(実質20回程度)	実行時間による制限(実質40回程度)

4.3 大気解析の手法

新システムでの解析は表4.3.1にあるとおり、更新前と同じくすべて4次元変分法によって行われる。なお、メソモデルは格子間隔が5kmの非静力学モデルであるが、メソ解析は静力学モデルを基にした4次元変分法であり、解析値の水平格子間隔は10kmである。

仕様についてはNAPS更新時にいくつかの変更がある。まず、全球解析のインナーモデルの水平分解能をT63（ガウス格子で約1.875度間隔）からT106（約1.125度間隔）に上げる。これによって初期値の精度が向上し、予報が改善することが期待できる（図4.3.1参照）。また、06UTCと18UTCに全球予報を行うため、これらの時刻に全球速報解析を行う（更新前は台風モデルの初期値作成のために、台風モデル実行時にのみ行われていた）。メソ解析については、メソモデルの運用が1日8回になることに対応して解析の頻度が1日4回から8回になる。

更新前のメソ解析では、解析時刻の6時間前から解析時刻までを2つの同化ウィンドウ⁵に分け「解析時刻の6時間前から3時間前まで（前半ウィンドウ）」と「3時間前から解析時刻まで（後半ウィンドウ）」

を設定し、前半ウィンドウの第一推定値は前回解析値からの予報、後半ウィンドウの第一推定値は前半ウィンドウの解析値からの予報によって作られていた（石川・小泉 2002。図4.3.2も参照）⁶。

更新後のメソ解析は1日8回の運用となるが、メソ解析のデータ打ち切り時刻は短い（解析時刻+50分）ため、解析時刻の前3時間のデータだけを使うことにすると、観測から入電までに時間がかかってデータ打ち切り時刻に間に合わないデータがメソ解析に全く使われないことになる。そこで、少なくとも静力学モデルに基づく4次元変分法を利用している期間については計算時間に余裕があることから、観測データのとりこぼしをできるだけ減らすために、引き続き同化ウィンドウを解析時刻の前6時間とする。あわせて、3時間ごとに2つに分けていたウィンドウを1つにすることを検討している（図4.3.3参照）。ウィンドウを一つにまとめるのは、複雑化しているシステムをできるだけ簡略化してメンテナンスを容易にするためである。事前の調査ではこの変更によって予報が若干改善した例があった。

3時間毎に過去6時間の観測を使うことになると、ある解析と次の解析とで使用する観測データの時刻

⁵ 4次元変分法でモデルの時間積分を行う時間範囲。観測データは同化ウィンドウ内の毎正時前後30分のデータを毎正時に観測したものとして評価する。

⁶ 更新前の計算機環境では、メモリ不足のため6時間ウィンドウの計算は不可能であった。

