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 $2004)_{\circ}$
- (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ってきた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に使用するモデル。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。 33

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		
直接緝	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)		
測	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	ウィンドプロファイラ	風(全球解析、領域解析、メソ解析)		
 ダ	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)		
1	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	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)		
測	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	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
の反映方法				
擬似観測データの		地表から300hPaまでの指定面上で、台風中心		同左。
配置方法		および中心から200km間隔の同心円周上に配		ただし、中心から
		置(各同心円周に6~8個)		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	解析時刻の3時間前か	解析時刻	解析時刻	解析時刻の3時間前
る時刻	ら2時間後まで1時間			
	ごと			

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時間前のみの投入とする。

	全球解析	領域解析	メソ解析	
	(サイクル、速報)			
解析時刻	00,06,12,18 UTC	00,12UTC	00,03,06,09,12,15,18,21	
[予報モデル実行用]	(2時間20分)	(2時間45分)	UTC (50分)	
(カッコ内はデータ打				
ち切り時間)				
解析時刻	00,12UTC	06,18UTC	(なし)	
[同化サイクル専用]	(11時間35分)	(8時間45分)		
(カッコ内はデータ打	06,18UTC			
ち切り時間)	(5時間35分)			
水平格子	ガウス格子	ランベルト	ランベルト	
	640×320	325×257	361×289	
	(約0.5625度間隔)	(基準緯度[30N,60N]で20km	(基準緯度[30N,60N]で10km	
		間隔)	間隔)	
インナーモデル水平格	ガウス格子	ランベルト	ランベルト	
子	320×160	163×129	181×145	
	(約1.125度間隔)	(基準緯度[30N,60N]で40km	(基準緯度[30N,60N]で20km	
		間隔)	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	解析時刻の3時間前~3時間	解析時刻の6時間前~解析時	
	後	後	刻	
繰り返し計算回数	70回(内、前半35回では簡略	実行時間による制限(実質20	実行時間による制限(実質40	
	化した物理過程を使用)	回程度)	回程度)	

表4.3.1 NAPS更新後の大気解析の仕様

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

⁵4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。



図4.3.1 全球解析のインナーモデルの解像度を上げた場合(TEST)と上げない場合(CNTL)の500hPa高度のアノマ リー相関スコアを100倍した値。左は北半球、右は南半球のもの。横軸は予報時間(h)。スコアは値が大きいほど 精度が良いことを表す。実験期間は2004年8月。





図4.3.3 更新後のメソ解析の処理手順(予定)。00UTCの解析の例。

に重複が生じることになる(たとえば12UTCの解析 と15UTCの解析では、いずれも0830UTCから 1230UTCまでの間の観測を同化することになる)。 しかし、同じ観測を複数回使用すると、観測データ 相互には誤差相関が無いとする仮定に反するので、 一度解析に使われた観測データは次の解析には使わ ないようにする(つまり、12UTCの解析に間に合っ たデータは15UTCの解析には使わない)。

4.4 積雪解析·海面水温解析

モデルの下部境界の状態を決めるために必要な 積雪解析および海面水温解析は、これまでのもの(大 野木・多田 2000)からの変更はない。ただし海面 水温解析については、数値予報課で作成しているも のの他に、2005年3月からルーチンとして運用され ている海洋気象情報室作成の高解像度全球日別海面 水温解析(MGDSSTと略記。桜井ほか 2004;栗原 ほか 2006)があり、台風・領域・メソの各モデル ではNAPS更新当初からMGDSSTを使用する。事前 の調査により、解像度の高い海面水温解析を使うこ とによって領域モデルやメソモデルの地上気温予報 値の誤差が小さくなることが示されている。全球モ デルについては、予報精度の若干の悪化が見られた ために更新時点でのMGDSSTの使用は見送った。

参考文献

- 石川宜広,小泉耕,2002:メソ4次元変分法.数値予 報課報告・別冊第48号,37-59.
- 大野木和敏, 1997: 台風ボーガス. 数値予報課報 告・別冊第43号, 52-61.
- 大野木和敏,多田英夫,2000: データ同化システム. 平成12年度数値予報研修テキスト・数値予報課報 告・別冊第47号合併号,8-16.
- 大橋康昭, 2004: マイクロ波散乱計海上風の同化. 数値予報課報告・別冊第50号, 105-109.
- 大橋康昭, 今泉孝男, 2004: メソ解析へのマイクロ 波散乱計海上風の利用. 平成16年度数値予報研修 テキスト, 66-70.
- 計盛正博, 岡本幸三, 2004: ATOVS輝度温度の直接 同化. 数値予報課報告・別冊第50号, 93-104.
- 計盛正博,中村佳之,2005: MODIS極域風の同化. 数値予報課報告・別冊第51号,76-81.
- 計盛正博,大和田浩美,福田和代,2005: ATOVSレベル1C輝度温度の直接同化.数値予報課報告・別冊第51号,82-89.
- 栗原幸雄,桜井敏之,倉賀野連,2006:複数衛星デー タと現場データによる新しい全球日別海面水温 解析.測候時報,73 (提出中).
- 小泉耕,2003:メソ・領域解析の台風ボーガス.平成 15年度数値予報研修テキスト,13-16.

- 小泉耕,2004:メソ解析へのドップラーレーダー動 径風の利用.平成16年度数値予報研修テキスト, 71-74.
- 桜井敏之, 栗原幸雄, 倉賀野連, 2004: 気象庁・全球 日別海面水温解析の運用開始. 日本気象学会秋季 大会講演予稿集, **86**, D314.
- 佐藤芳昭, 2003: メソ解析へのマイクロ波放射計デ ータ同化. 平成15年度数値予報研修テキスト, 7-12.
- 新堀敏基, 2005: 全球4次元変分法の台風ボーガス. 数値予報課報告・別冊第51号, 106-110.