3.1 週間アンサンブル予報1

3.1.1 週間アンサンブル予報システムの高度化

週間アンサンブル予報の運用目的は週間天気予報 の支援であり、その本運用は2001年3月の計算機システ ム更新と同時に開始された。表3.1.1は本運用開始以降 の週間アンサンブル予報システム(週間EPS)の改良と 高度化計画をまとめたものである。本運用開始から2006 年3月の計算機システム更新までの間、週間EPSにおけ る初期摂動作成法と数値予報モデル(EPSモデル)の改 良が施され、週間天気予報の支援資料の精度向上が 図られてきた(経田 2006)。

2006年3月の新たな計算機システムの導入を機に、 確率情報の精度向上を目的としたメンバー数の増強を 実施した。また、2007年には、発表区域毎の支援資料 の拡充を目指し、EPSモデルの高解像度化を行う予定 である(第1.1節)。同時に、EPSモデルを全球モデルの 最新版とし、週間EPSの初期摂動作成法を台風アンサ ンブル予報(第3.2節)のそれと共通化することで、EPS の性能向上とEPS開発の効率化も目指す。

本節では、2006年3月以降の変更点とその効果について述べる。第3.1.2項では、酒井(2006)が数値実験から示したメンバー数増強の効果について、2006年春(3~5月)の週間アンサンブル予報の検証スコアを用いて確認する。また、今後の高解像度化に伴い利用価値が高まるモデル格子点予測値の検証結果も示す。第3.1.3項では、次期の週間アンサンブル予報の成績を評価するため、高解像度のEPSモデルを用いた数値実験の結果を予報図と共に示す。第3.1.4項では、週間天気予報期間内の台風進路情報の検証結果を示す。最後に第3.1.5項で今後の課題をまとめる。

3.1.2 メンバー数増強の効果

本項では、2006年3月に行なったメンバー数増強の 効果を週間アンサンブル予報の検証スコアにより示す。 検証スコアの説明は巻末付録Aを参照されたい。ここで は、解析値としてコントロールラン(摂動を加えない解析 値を初期値とする予報)の初期値を用い、気候値として 「気象庁及び電力中央研究所によるJRA-25長期再解 析」² (Onogi et al. 2007)のデータセットから計算した日 別気候値(計算方法は気象庁(2001)に準じた)を用いた。 また、検証領域の北半球域と日本域とは、それぞれ北 緯20度以北と、北緯20~60度、東経100~170度の領域 を指し、これら領域内の全格子点が対象となる。なお、 降水確率検証では定常的な検証対象地点(図3.1.1の 表3.1.1 週間アンサンブル予報システム(週間EPS)の主な改 良の実施時期と内容

時期	実施内容	
2001年3月	本運用開始	
2002年2月	初期摂動作成法の改良	
2003年6月	EPSモデルの改良	
2005年3月	EPSモデルの改良	
2006年3月	メンバー数の増強(25から51へ倍増)、	
	EPSモデルの改良	
2007年	EPSモデルの高解像度化、	
(予定)	初期摂動作成法の変更	



21地点)を選択し、実況は観測値、予報は地点最近傍 のモデル格子点における確率値とした。

(1) アンサンブル平均予報の精度

ここでは、予報作業上の主要天気図となる500hPa面 高度の精度を示す。図3.1.2は2001~2006年の各年春 のアノマリー相関スコアを表す。北半球域のスコア(図 3.1.2左)を見ると、2006年春は2005年春と並んで値が 大きく、成績が良かった。ただし、2006年春のメンバー 数(51)は2005年春の25から倍増しているものの、前年か らの改善度合いは小さい。つまり、酒井(2006)が示した ように、メンバー数を25から51に増やす効果は平均値と いった統計量の精度に対しては僅かである。むしろ 2004年春と2005年春のスコアの差が顕著である。この 間には、EPSモデルの改良(2005年3月)や全球数値予 報システムへの4次元変分法の導入(2005年2月)といっ た改良が行われており、週間EPSの性能にとってこれら の効果が大きいことを示している。また、日本域のスコア (図3.1.2右)を見ると、予報期間半ばまで2006年春の値 が最も大きかった。

他要素の検証結果を見ると、2006年春の精度が必ず しも最も高いわけではないが、2006年3月の高度化によ るアンサンブル平均予報の精度向上が北半球域や日

¹ 経田 正幸(第 3.1.4 項以外)、山口 宗彦(第 3.1.4 項)

² http://jra.kishou.go.jp/

本域の成績の年変化から確認できた。以上のことから、 2006年春の成績は総じて良かったといえる。

(2) 閾値別の確率予報の精度

週間天気予報の成績に大きく関係する日本付近の 低気圧の予測精度を見るために、ここでは低気圧に伴 う日本域の大気下層風の検証結果を示す。図3.1.3は 850hPa面風速が10m/sと15m/sを超える確率のブライア スキルスコア(BSS)を表す。二種類の閾値の結果を見る 目的は、大きなメンバー数により表現が可能となる気候 学的出現頻度の低い現象の予報成績を評価するため である。また、BSSは完全予報で1、気候学的な出現頻 度を基にする予測(気候値予報)で0となるスキルスコア で、今回のように異なった検証期間や閾値、また要素間 の比較を可能にする。

いずれのBSSも予報期間を通して0を超えており、 2003~2006年の春の予報は気候値予報よりも精度が高 い。10m/sを超える確率のBSS(図3.1.3左)を見ると、 2004~2006年の春の値は同程度であり、2006年春の精 度が特に高くはない。ただし、北半球域の検証では 2006年春のBSSが予報期間を通して最も大きな値であ った(図略)。一方、気候学的出現頻度が比較的低い 15m/sを超える確率のBSS(図3.1.3右)を見ると、これら の値は10m/sを超える確率のそれよりも小さい傾向があ る。10m/sを超える確率のBSSに対する15m/sを超える 確率のBSSの低下度合いに注目すると、2006年春が最 も小さく(北半球域の検証も同様)、かつ2005年春の低 下度合いとの差が大きいことがわかる。このことから、 2006年3月以前の確率予報は強風といった出現頻度が 低い現象の予測精度が相対的に低い傾向にあったが、 この傾向はメンバー数を25から51に増やすことによりか なり軽減したことがわかる。

(3) 地上要素の確率予報の精度

2006年3月からモデル格子点における地上と大気対 流圏の予測値を保存し、検証している。図3.1.4は国内 21地点の近傍格子点における日降水確率を検証した 結果である。青線が週間天気予報の発表項目と同じ日 降水量1mm以上の確率、赤線が日降水量12mm以上の 確率についてのROC(相対作用特性)面積スキルスコア を示す。ROC面積スキルスコアは適中率(Hit Rate)と空 振り率(False Alarm Rate)に基づく指標である。また、全 球モデル(60kmGSM)の降水量のバイアスを調べた坂 下・平井(2005)を参考に、予測頻度が過剰である日降 水量1mmに比べて、予測頻度がほぼ観測頻度に近い 日降水量12mmを閾値として選択した。

上述の二つの確率予報のROC面積スキルスコアを見ると、値が予報期間を通して0を超えており、確率予報



図3.1.2 アンサンブル平均予報の検証結果。検証対象は左が北半球域、右が日本域の春(3~5月各日 00,12UTC)の500hPa高度。横軸は予報時間(単位:時間)、縦軸はアノマリー相関スコアの大きさ(範囲:0.4 ~1.0)を表し、線色の違い(濃緑~黄・橙)で2001~2006年別のスコアを示す。



図3.1.3 週間アンサンブル予報による確率予報の検証結果。検証対象は日本域の春(3~5月各日00,12UTC) における850hPa面風速が10m/s(左)と15m/s(右)を超える確率のBSS。横軸は予報時間(単位:時間)、縦軸 はBSSの大きさ(範囲:0~1)を表し、線色の違い(緑・黄緑・黄・橙)で2003~2006年別のスコアを示す。



図3.1.4 アンサンブル予報による降水確率予報の検証 結果。検証対象は2006年春(3~5月)における国内 21地点の日降水量であり、青線が1mm以上、赤線が 12mm以上を閾値とした結果。横軸は予報時間(初期 時刻が12UTCのため、予報時間27,51,…,195時間は 日界に対応する)、縦軸はROC面積スキルスコアの大 きさ(範囲:0~1)を表す。

の精度が(適中率と空振り率が等しい)情報価値のない 予報よりも高いことを示している。また、両者の値はほぼ 同じであり、両確率予報の精度は同程度であるといえる。 なお、日降水量1mmの予報は予測頻度が過剰というバ イアスの影響を大きく受けて空振り率が高い。このため、 過去の予報や過去実験から計算可能なバイアスの量を 用いた補正がより精度の高い確率値の導出に効果的で ある。

3.1.3 高解像度アンサンブル予報の成績評価

第3.1.1項で述べたように、EPSモデルの高解像度化と 初期摂動作成法の変更が2007年に計画されている。こ れらがもたらす週間アンサンブル予報への効果を調べ るため、表3.1.2に示す「高解像度実験」と「対照実験」 の二種類の数値実験を実施した。高解像度実験のEPS モデルは2007年に運用開始が予定されているアンサン ブル全球モデル(水平解像度以外第2.1節の20kmGSM と同じ)、対照実験のそれは現在(2006年3月以降)のア ンサンブル全球モデルである。両実験の初期摂動につ いては第3.1.3項(1)、両実験の成績の比較は第3.1.3項 (2)~(4)に述べる。なお、両実験の大気解析値は同じで、 2007年に利用が予定される全球解析値(第2.2節)であ る。また、検証方法は第3.1.2項と同じであるが、検証期 間に2004年8月と2006年1月を選び、それぞれを夏実験、 冬実験として二季節の予報特性を調べた。

(1) 初期摂動とその作成法

対照実験の初期摂動作成法は2006年3月以降の週間EPSと同様(成長モード育成法)であり、その詳細は経田(2006)にまとめられている。一方、高解像度実験の初期摂動作成法は山口(2006)にある特異ベクトル(SV)法とし、その初期摂動は北半球域と熱帯域で独立に求めたSVの線形結合とする。この初期摂動作成法の仕様は表3.1.3の通りで、現業化の際に割り当てられる予定の計

	高解像度実験	対照実験
EPSモデル	アンサンブル全球モデル TL319L60	アンサンブル全球モデル TL159L40
初期摂動作成法	特異ベクトル法	成長モード育成法
初期摂動の領域と個数	南緯20度以北、25個	同左
メンバー数	51	同左
予報時間	216時間	同左
実験初期時刻	2004年7月23日~8月31日各日の12UTC、	同左
	2005年12月23日~2006年1月31日各日の12UTC	
大気解析値	TL959L60データ同化サイクル結果	同左
陸面解析値	TL959L60データ同化サイクル結果	2004年8月と2006年1月当時の解析結果

表3.1.2 高	ĭ解像度実験	と対照実験の)仕様比載
----------	--------	--------	-------

表3.1.3 高解像度実験における初期摂動作成法(特異ベクトル法)の詳細

SVの評価ノルム	初期時刻と評価時間後の評価ノルムは同じで、全エネルギー量。ただし、大気上層(約500hPa
	面以上)の水蒸気を評価しない。
SVの評価領域	評価時間後の評価領域として北半球域(北緯20度以北)と熱帯域(南緯20度~北緯20度)の
	二種類のSVの算出を行う。なお、初期時刻の評価領域は全球域とする。
SVの成長率の評価時間	北半球域は24時間、熱帯域は6時間
線形モデルの解像度	T63L40(水平解像度約180km)
線形モデルの物理過程	北半球域は断熱過程のみ、熱帯域は非断熱過程も含む
初期摂動の作成に用いる	北半球域と熱帯域のそれぞれの領域において、最大40個のSVを求め、各々の領域で位置の
SVと作成方法の概要	重なりが小さいSVを25個選択する。さらに、前回(24時間前)に求めた北半球域のSVから、成
	長率が大きい25個を選択し、それらを24時間時間積分する。初期摂動はこれらSVを空間的な
	ばらつきが大きくなるように線形結合したものである。

算機資源内で適切な初期摂動を求めるためのいくつか の工夫が施されている。例えば、北半球域のSVは傾圧 不安定の発達時間を考慮して評価時間を24時間にし、 その計算時は断熱過程のみの簡略で高速な線形モデ ルを用いている。一方、熱帯域のSVは対流不安定を考 慮して、その計算は非断熱過程を含むより緻密な線形 モデルを用いるが、評価時間を6時間と短くして全体の 計算時間の増加を抑えている。

表3.1.2の通り、高解像度実験と対照実験は初期摂動 作成法とEPSモデルの解像度に違いがあるため、両実 験の初期摂動の分布やその成長率が異なる。この程度 を見るため、ここでは初期摂動が十分成長する評価時 間後におけるスプレッドを比較する。

図3.1.5は2004年8月23日12UTC初期値の48時間予報のスプレッドとコントロールランの結果である。両実験のコントロールランにわずかな違いがある。注目すべきは、高解像度実験による低気圧の示度が対照実験のそれより低い傾向が見られる点である。このため、メンバー間で擾乱の位置のばらつきがあった場合(例えば日本の南にある台風第16号)、高解像度実験では中心付近の大きなスプレッドが現れやすい。

次に、中緯度のスプレッドを見ると、両実験の分布は よく似ており、千島列島とバイカル湖にある低気圧付近 では大きさも同程度である。ただし、高解像度実験にお ける台風周辺やこれら擾乱付近以外の領域のスプレッ ドは対照実験のそれに比べて小さい。台風周辺のスプ レッドについて、例えば対照実験の台風第17号の中に は東シナ海を北上するものがあるためにスプレッドの大 きい領域が東シナ海に拡がるなどしており、対照実験に よる台風進路のばらつきが過大である(第3.1.4項)傾向 が見られる一方、高解像度実験にはその傾向がない。

熱帯域のスプレッドに注目すると、対照実験の熱帯 域が予報初期には気候学的変動と同程度かそれ以上 のばらつきがある領域(暖色域)に広く覆われ、かなり過 大であることがわかる。一方、高解像度実験のその大き さは中緯度のそれと比べて特別な違いはない。

ここでは特定の初期値のアンサンブル予報の結果を

取り上げ、予報初期のばらつきの特徴を擾乱の種類や 位置と対応させて述べたが、これらの違いは夏実験、冬 実験の全ての初期値に見られる特徴である。

(2) スプレッドの大きさとアンサンブル平均予報の精度の比較

理想的なアンサンブル予報では、ある程度長い検証 期間におけるスプレッドの大きさとアンサンブル平均予 報のRMSEがほぼ同じ大きさとなる(高野 2002)ことから、 実験間の検証スコアの比較と共に各実験におけるこれ らの量の比較も行う。

図3.1.6は、高解像度実験(赤線)と対照実験(青線) のスプレッドの大きさ(〇印実線)と、アンサンブル平均



図3.1.5 対照実験(上段)と高解像度実験(下段)による48時 間アンサンブル予報のスプレッド(左列)とコントロールラン (右列)の海面更正気圧。初期時刻は2004年8月23日 12UTC、領域は西太平洋域であり、日本の南に台風第16 号、台湾付近に台風第17号がある。スプレッドはJRA-25長 期再解析から求めた気候学的標準偏差で規格化したもの であり、黄色~赤色の暖色領域は1以上の大きさ(ばらつき が気候学的変動より大きな場所)であることを表す。



図3.1.6 対照実験(青線)と高解像度実験(赤線)のスプレッドの大きさ(○印実線)と、アンサンブル平均予報のRMSE(○印破線)とアノマリー相関スコア(△印実線)の大きさ。検証対象は2004年8月(左図)と2006年1月(右図)の日本域500hPa面高度。横軸は予報時間、左縦軸はスプレッドの大きさとRMSEの大きさ(範囲: 0~100m)、右縦軸はアノマリー相関スコアの大きさ(範囲:0~1)を表す。 予報のRMSE(○印破線)とアノマリー相関スコア(△印 実線)の大きさを表す。まずスプレッドとRMSEを比べる。 対照実験のスプレッドは、夏季で予報初期、冬季で予 報期間後半までRMSEを上回る。一方、高解像度実験 のスプレッドは、予報初期でRMSEとほぼ同じ大きさであ るが、予報期間半ば以降RMSEより小さい。これら 500hPa面高度の検証で得られた傾向は要素に限らな い一般的な特徴である。

このように、対照実験の結果は、スプレッドが過大で あるという現状のアンサンブル予報の特徴(経田 2006) を表している。一方、高解像度実験の結果は、初期摂 動の振幅(予報時間0の値)が小さく、予報初期でばら つきの成長率を大きくするSV法の特徴が活かされてい る。しかし、予報期間半ば以降のスプレッドが過小であ る。北半球域を対象とした検証(図略)でも高解像度実 験のスプレッドが過小であるものの、日本域の検証で見 られる予報期間半ばで顕著になる傾向はない。また、第 3.1.3項(1)で熱帯域のスプレッドが大きく違うことを述べ たが、上と同様の比較検証をすると、対照実験のスプレ ッドの大きさは予報初期で過大、高解像度実験のそれ は予報期間を通して過小である。

ここで検証しているスプレッドとは検証期間平均の量 であり、これが過小であるということは、実際に起こりうる 現象をアンサンブル予報が表す集合で捕捉しにくいこと を意味する。過小の程度によっては、集合の平均値で あるアンサンブル平均予報や集合を確率分布とみなす 確率予報の精度に大きく影響する。ここでは、両実験の アンサンブル平均予報のスコアの比較により、高解像度 実験の成績を見てみる。高解像度実験のアノマリー相 関スコアは夏季で同程度以上、冬季で予報期間を通し て大きい。また、高解像度実験のRMSEの値は、両季節 共に予報前半でやや小さいものの、予報期間後半でや や大きい。また、北半球域を対象とした比較検証(図 略)では、高解像度実験の8MSEの値は予報期 間を通して小さい。

以上の検証結果から、高解像度実験のスプレッドは

過小であるものの、そのアンサンブル平均予報の成績 は対照実験と同程度であることがわかった。

(3) 確率予報の精度比較

日本付近の低気圧や台風の位置と大きさの成績を見 るため、ここでは日本域の海面更正気圧に関する確率 予報を比較する。最初に、南岸低気圧の事例を取り上 げる。図3.1.7は、6日予報の海面更正気圧が1000hPaを 下回る確率図と実況天気図である。この低気圧は日本 の南を発達しながら通過し、2006年1月21日には関東 南部に8年ぶりの大雪をもたらした。まず、確率値が最も 高い場所は両実験共にほぼ同じ所であることがわかる。 対照実験のその値が60%以下であることから、低気圧の 中には1000hPaまで発達しなかったものがあり、発達の タイミングの違いなどが存在すると考えられる。一方、高



図3.1.7 対照実験(下左)と高解像度実験(下右)によ る海面更正気圧が1000hPa以下となる確率予報(単 位:%、カラーバー参照)と対象時刻の地上天気図 (上)。予報の初期時刻は2006年1月15日12UTC、 対象時刻は21日12UTC。地上天気図として、対照 実験の21日12UTCの初期値を用いた。



Probabilistic forecast

Probabilistic forecast

図3.1.8 対照実験(青線)と高解像度実験(赤線)の確率予報検証スコアの月別比較。検証対象は2004年8月(S印線)と 2006年1月(W印線)の、日本域の海面更正気圧の平年偏差が負の気候学的標準偏差以下(左)と負の気候学的標準 偏差の2倍分以下(右)になる確率。横軸は予報時間、縦軸はBSS(範囲:-0.1~1)を表す。 解像度実験の低気圧のほとんどは実況の通り1000hPa を下回るまで発達する可能性が示されている。

この事例も含む、低気圧全般に関する確率予報の評価のため、図3.1.8左に日本域の海面更正気圧の平年 偏差が負の気候学的標準偏差以下になる確率³のBSS を示す。両実験のスコアを比べると、高解像度実験の夏 季の値は予報期間を通して概ね大きい。同様に、高解 像度実験の冬季の値は、予報期間前半でやや大きく予 報期間後半で小さい。さらに、発達した低気圧の予報 成績も評価するため、日本域の海面更正気圧の平年偏 差が負の気候学的標準偏差の2倍分以下になる確率⁴ のBSSを図3.1.8右に示す。両実験のスコアを比べると、 高解像度実験の夏季の値は0を上回る予報時間120時 間まで概ね大きい。また、高解像度実験の冬季の値は 予報期間を通して大きい。

以上の検証結果から、高解像度実験の低気圧に関 する確率予報の成績は、対照実験と比べて同程度以上 であることがわかった。

(4) 降水確率予報の精度比較

降水量をはじめとする地表付近の予測は、複雑な地 形の表現を可能にする数値予報モデルの高解像度化 の影響を大きく受ける。図3.1.9は、国内21地点の最近 傍格子点における24時間降水量1mm以上の確率予報 についてのROC面積スキルスコアを表す。両実験のス コアを比べると、高解像度実験の夏季の値は予報期間 を通して小さい。同様に、高解像度実験の冬季の値は 予報期間を通して大きい。これらのことから、対照実験 に比べて、高解像度実験の冬季の成績は良いものの、 高解像度実験の夏季の成績は悪いといえる。夏季の地



図3.1.9 対照実験(青線)と高解像度実験(赤線)の降 水確率予報の検証結果。検証対象は2004年8月(S 印線)と2006年1月(W印線)各日における国内21地 点の日降水量1mm以上である。横軸は予報時間(初 期時刻が12UTCのため、予報時間27,51,…,195時間 は日界に対応する)、縦軸はROC面積スキルスコア (範囲:0~1)の大きさを表す。 上要素の日々のばらつきを調べると、両実験のばらつき 具合は大きく異なっており、夏季の降水確率の精度が 相対的に低い原因の一つとして高解像度実験のスプレ ッドの過小の影響が考えられる。

次に、両実験の降水確率分布の比較に見られるEPS モデルの高解像度化の効果を示す。図3.1.10は、2006 年1月7~8日の冬型の気圧配置時の降水を対象とした 4日予報の確率値と実況降水量である。実況であるアメ ダス降水量分布(北日本日本海側~北陸・山陰地方に 見られる着色された領域が1mm以上、赤色域が6mm以 上を観測した場所)は冬型の気圧配置時に現れる典型 的な分布である。降水確率分布(1mm以上が(a),(c)、 6mm以上が(b),(d))は対照実験(上段)と高解像度実験 (中段)のそれぞれのEPSモデルの解像度と同程度の 1.25度、0.5625度格子で計算した値である。対照実験 の1mm以上の降水確率値は日本海側の各地で90%(赤 色)、北日本太平洋側の多くの場所で60%以上(黄色・ 赤色)、東・西日本の太平洋側でも5%以上(色あり)とい う場所がみられる。一方、高解像度実験の1mm以上の



図3.1.10 対照実験と高解像度実験による降水確率予 報値(a)~(d)(単位%、カラーバー参照)とアメダス降 水量(e)の分布図。初期時刻は2006年1月4日 12UTC、対象期間は7日12UTC~8日12UTC。対照 実験(a),(b)と高解像度実験(c),(d)の24時間降水量 がそれぞれ1mm(左)、6mm(右)以上の降水確率分 布を示す。アメダス降水量分布図は1mm以上の地 域を着色し、6mm以上の地域を赤としている。

³ 平年偏差が正規分布すると仮定した場合、その気候学的 出現確率は約16%である。

⁴ 平年偏差が正規分布すると仮定した場合、その気候学的 出現確率は約2.3%である。

降水確率値は日本海側の各地で90%、太平洋側の各地 で5%以下(色なし)という地域差が明瞭である。このよう に、対照実験では冬型の気圧配置時に降水が期待さ れない太平洋側で降水を予測する一方、現実により近 いモデル地形を有する高解像度実験は冬型の気圧配 置時の典型的な降水分布の出現を非常に高い可能性 で予測することを示している。また、6mm以上の降水確 率値について見ると、対照実験は5~40%の領域が北陸 地方と西日本日本海側の一部に存在する。一方、高解 像度実験は実況で6mm以上となった北日本日本海側 にも存在し、これらの地方の降水確率値がより高く適切 であるものの、6mm以上の降水を観測した西日本日本 海側の地域の降水確率は5%以下と低い。

3.1.4 週間アンサンブル予報による台風進路予報

数値予報課では、台風5日予報の実現を目指し、週 間アンサンブル予報による台風進路予報の利用可能性 を調査している(竹内 2005)。酒井・山口(2006)は、初期 摂動の作成手法が成長モード育成法で、メンバー数が 25 であった当時、その予報精度を調査し、台風が初期 時刻に存在した場合、5日先までの台風接近確率予報 が確率予報として十分な精度を持つことを示した。本項 では、メンバー数を25から51へと増強した2006年3 月以降に発生した台風を対象に同様の検証を行った結 果を示す。また、2007年に予定されている初期摂動作 成手法の変更に伴う予報特性の変化についても記述 する。

図 3.1.11 に台風接近確率予報の検証結果を示す。 図は信頼度曲線で、横軸は確率予報値、縦軸は確率 値毎に実際に現象が起きた相対頻度を表す。台風の 接近の定義は酒井・山口(2006)と同様、予報時間 0 時 間から120時間の間に台風中心が120km以内に近付く、 とした。検証対象となった台風は2006年の第1号から 第14号である。図中赤線は51メンバーによる結果で、 緑線は比較のためアンサンブルサイズを25とした(25メ ンバーはコントロールランと、正摂動または負摂動を加 えたそれぞれ12個の摂動ランで構成した。12個の摂動 ランは、それぞれ独立なブリーディングサイクルの1番 目から 12 番目の摂動による予報とした)ときの結果であ る。図を見ると、赤線は緑線と同様に、信頼度が完全で あることを表す黒線と良い対応となっている。51 メンバ ーによる台風接近確率予報も25メンバーのときと同様、 確率予報としての信頼度が高いことがわかる。一方ブラ イアスキルスコアを両者で比較すると、51メンバーによる 結果の方が値が小さく、精度が悪かった。精度の劣化 は、分離度を評価する項に表れており、酒井(2006)が指 摘するように51メンバーによる台風進路予報ではスプレ ッドが大きくなっている。

第 3.1.3 項で述べた通り、初期摂動作成手法として SV 法を採用した予報実験では台風進路予報のスプレ ッドが成長モード育成法のときと比べて小さくなるという 結果が得られている。図 3.1.12 に SV 法、成長モード育 成法それぞれの、各アンサンブルメンバーの初期場(予 報時間 0 時間)の台風予想位置の例を示す。初期時刻 は 2004 年 8 月 24 日 12UTC で、台風第 17 号の事例で ある。成長モード育成法(水色点)では、黒点が示す実 況の台風中心位置のまわりに広く台風中心が予想され ており、中には実況の位置から 300km 以上離れている 点も存在する。現行(2006 年 11 月現在)の成長モード育 成法では初期摂動の振幅が大きく、予報初期のスプレ ッドの大きさを過大に評価している傾向があるためと考 えられる。一方 SV 法では、予報初期でのばらつきの成 長率を大きくする特徴を活かし、初期摂動の振幅の大 きさを小さくしている(図 3.1.6 参照)。従って図 3.1.12 の



図3.1.11 台風接近確率予報の検証結果(信頼度曲 線)。横軸は確率予報値、縦軸は確率値毎に実際 に現象が起こった相対頻度である。赤線は51メン バーによる結果で、緑線は比較のためアンサンブ ルサイズを25としたときの結果である。検証対象は 2006年の台風第1号から第14号である。なお確率 70%以上の予報の検証は、事例数が十分でないこ とから省略した。



図 3.1.12 SV 法による各アンサンブルメンバーの初期 場(予報時間 0 時間)の台風予想位置(赤点)。水色 点は成長モード育成法による結果を表す。黒点は 実況の台風位置を表す。初期時刻は 2004 年 8 月 24 日 12UTC で、台風第 17 号の事例である。

赤点が示す通り、SV 法による各アンサンブルメンバー の台風初期位置はほぼ実況と同じ場所に予想されてい る。現実的でない初期値を持つメンバーはアンサンブ ルのメンバーとしてふさわしくなく、スプレッドの過大評 価や確率予報の精度劣化の原因となる。SV 法では、現 行の成長モード育成法で見られるような非現実的なメン バーが存在しないことから、上記の問題が軽減すると期 待できる。

3.1.5 まとめと今後の課題

週間EPSは2001年3月の本運用開始以降段階的に 改良されてきた。そして、2006年3月の計算機システム 更新を機に、週間EPSの運用に充てる計算機資源を増 やし、メンバー数を増強した。さらに、EPSモデルの高解 像度化といった高度化も行う予定である。

2006年3月のメンバー数増強とEPSモデルの改良によ り、週間アンサンブル予報の確率予報の成績は良くな っており、事前に想定していた通り信頼度情報の精度 向上が得られている。また、モデル格子点予測値に基 づいた地点予報の精度検証を行った結果、週間天気 予報の発表対象としている日降水量1mm以上といった 降水現象だけでなく、日降水量12mm以上といった比較 的強い降水の確率予報に、週間天気予報の範囲で有 意な精度があることを2006年春の検証で確認した。さら に、夏季の代表的な擾乱の一つである台風について、 進路予報のスプレッドが過大であるものの、台風が初期 時刻に存在した場合の5日先までの接近確率を検証し た結果、予報の信頼度は従来と同様高いことを確認し た。

EPSモデルの高解像度化と初期摂動作成法の変更 を施した次期の週間EPSは2007年から運用する予定で ある。高解像度化により、より小さな規模の現象や複雑 な地形の表現が可能となることから、次期の週間EPSの 現業化により、現象の強度や地表付近の予測精度の向 上、初期摂動の成長率の増加などが期待される。

実際に数値実験を行なった結果、降水確率分布図 から地上要素の信頼度がより高くなることがわかった。ま た、初期摂動の振幅の大きさを理想的な値に近づける ことにより、例えば台風の初期位置の中には非現実的 なものがあるといった、現状のアンサンブル予報に見ら れる予報初期の過大なスプレッドが引き起こす問題を解 決できることがわかった。一方、この初期摂動の振幅の 変更により、スプレッドの大きさが過小となる。そして、検 証結果の中には、このアンサンブル予報の精度が現状 に比べて低くなることを示すものもある。この結果を踏ま え、現在振幅の大きさを含めた初期摂動の見直しを進 めている。

今後はアンサンブル全球モデルの最新版も導入した 数値実験を再度行い、ここから得られた成果を次期の 週間EPSの運用開始時に反映する予定である。また、ス プレッドの増加にはSVの成長率の評価時間を延ばすこ とも有効な手段であることがわかっており、限られた運用 時間内で出来るだけ長い評価時間のSVが算出できるよ う、SV法の高速化にも取り組む予定である。さらに、いく つかの数値予報センターで成果を上げている数値予報 モデルの不完全性を考慮したアンサンブル手法を開発 し、予報期間後半の精度向上を図る予定である。

また、週間アンサンブル予報による日本周辺の予測 にとって、その予報期間内で発生から転向、温低化という過程を経る熱帯擾乱の予測精度は重要であり、現在 は予報の初期時刻に存在する台風に関する接近確率 の検証を行っている。特に、熱帯擾乱の発生可能性の 検証は熱帯域における週間EPSの性能評価の一つとし て重要であり、あらゆる過程の熱帯擾乱の検証を行うこ とが今後の課題である。

参考文献

- 気象庁, 2001: 循環場の新平年値の作成. 気候系監 視報告別冊第7号, 113pp.
- 経田正幸, 2006: 週間アンサンブル予報システム. 数 値予報課報告・別冊第52号, 気象庁予報部, 23-33.
- 酒井亮太,2006: 週間アンサンブル予報システムにお けるメンバー数増強の効果.数値予報課報告・別冊 第52号,気象庁予報部,43-49.
- 坂下卓也,平井雅之,2005:日本域における降水量予 測の国際比較.数値予報課報告・別冊第51号,気 象庁予報部,21-26.
- 高野清治, 2002: アンサンブル予報の利用技術. アン サンブル予報, 気象研究ノート, 201, 73-103.
- 山口宗彦, 2006: 特異ベクトル法の開発. 数値予報課 報告・別冊第52号, 気象庁予報部, 50-58.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura,
 - K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and
 - R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis, Submitted to
 - J. Meteor. Soc. Japan.

3.2 台風アンサンブル予報1

3.2.1 はじめに

気象庁は2007年から、台風進路予報の精度向上と信 頼度情報の高度化を目的として「台風アンサンブル予 報」の運用を開始する計画である。台風アンサンブル予 報の現業化に伴い台風モデルは廃止され、 20kmGSM(第2章)と台風アンサンブル予報が気象庁の 台風進路予報作業を支援する。台風の強度予報に関し ては、台風アンサンブル予報で用いるモデルの水平解 像度が60km程度と不十分であることから、20kmGSMが 支援を行なう。

気象庁が運用する全球モデルは、台風進路予報にお いても世界のトップクラスの予報精度を保持している(山 ロ・酒井 2005)。一方、全球モデルや台風モデルのよう な単独の予報モデルによる決定論的進路予報には、初 期時刻毎に予報結果が異なるという初期値替わりの問 題や、実況の台風進路が捕捉できないといった問題が 生じることがある。これは、解析値に解析誤差が含まれ ていることや、初期状態に応じて予報の不確実性が異 なることが原因のひとつである。たとえば、台風アンサン ブル予報の現業化に先立って実験的に監視している週 間アンサンブル予報による台風進路予報を見ると、事 例によって進路のばらつき具合が異なっていることがわ かる(酒井・山口 2006)。現在(2006年11月)気象庁では、 初期値替わりや見逃しのリスクを緩和するために、全球 モデルと台風モデルの両者の予報結果を利用して進路 予報を決定している(RSMC Tokyo-Typhoon Center 2004)。台風アンサンブル予報の現業化後はアンサンブ ルメンバー数と同数の進路予報結果が得られるため、こ れまで以上に初期値替わりや見逃しのリスクを緩和する ことが期待できる。台風の進路予報に関する確率情報 が、予報の不確実性を反映したアンサンブル予報結果 に基づいて得られ、これにより、たとえば、現在統計的 な手法で決定されている台風予報円の半径(白木ほか)

1993)を、アンサンブル予報のスプレッドの大きさから見 積もることができる。また決定論的な進路予報の誤差が アンサンブル平均やクラスター解析等の統計的な手法 を用いることで減少することが期待できる。

本節では、第 3.2.2 項で台風アンサンブル予報の仕様を示す。第 3.2.3 項では台風アンサンブル予報の計算手順を具体的に解説する。第 3.2.4 項では現業化に向けて行なった予報実験の結果を紹介する。第 3.2.5 項では台風アンサンブル予報の利用方法について記述し、第 3.2.6 項でまとめと今後の課題について述べる。

3.2.2 台風アンサンブル予報の仕様

表 3.2.1 に台風モデルによる台風予報と比較した台 風アンサンブル予報の仕様を示す。予報初期時刻と予 報時間に関して変更は無く、台風アンサンブル予報で も1日4回、84時間予報を行なう。両者で異なる点は、 予報モデル本体と、予報対象とする台風の個数が従来 の2個から1個増えて3個となることである(図 3.2.1参 照)。台風アンサンブル予報で用いる予報モデルはアン サンブル全球モデルで、20kmGSM と水平解像度以外 は同じで、週間アンサンブル予報で用いるモデルと同じ である。水平解像度はおよそ 60km で、台風モデルの 24km よりも粗い。台風アンサンブル予報は、予報モデ ルの不完全性に起因する予報の不確実性を扱うモデル アンサンブル(経田 2006)は考慮しておらず、解析値に 含まれる解析誤差に起因する予報の不確実性を扱う初 期値アンサンブル(経田 2006)である。初期摂動の作成 手法は特異ベクトル法(山口 2006)で、アンサンブルメ ンバー数はコントロールランと10個の摂動ランを合わせ た計 11 である。

3.2.3 台風アンサンブル予報の計算フローチャート

台風アンサンブル予報に関する具体的な記述は本 稿が初めてである。若干技術的な話になるが、台風アン

	台風モデルによる台風予報	台風アンサンブル予報
予報モデルの空間解像度	水平約24km鉛直40層	水平約60km鉛直60層
	(モデルトップは20hPa)	(モデルトップは0.1hPa)
予報初期時刻	00, 06, 12, 18 UTC	同左
予報時間	84時間	同左
予報対象とする台風の個数	最大2個	最大3個
メンバー数	1	11
	(決定論的予報)	(コントロールラン+ 10個の摂動ラン)
初期摂動作成手法	_	特異ベクトル法
モデルアンサンブル	_	考慮せず

表 3.2.1 台風モデルによる台風予報と比較した、台風アンサンブル予報の仕様

¹ 山口 宗彦



図 3.2.1 台風アンサンブル予報の例。初期時刻は 2006 年 8月7日 12UTC。このとき、MARIA, SAOMAI, BOPHA と同時に3つの台風が存在した。赤、緑、青線はそれぞ れ MARIA, SAOMAI, BOPHA に対する台風アンサンブ ル予報で、黒線はそれぞれの台風の実況の進路を表 す。

サンブル予報の具体的な計算手順をまとめておく。特 異ベクトル法に関する技術的な用語については山口 (2006)に解説があるので適宜参照して頂きたい。具体 的な計算手順に関心のない読者は本項を読み飛ばし て差し支えない。

台風アンサンブル予報は、初期摂動の作成を行なう 部分(以下、Tiと呼ぶ)と、求めた初期摂動を解析値に加 えて(又は、引いて)予報を行なう部分(以下、Te と呼ぶ) に大きく分かれる。Ti, Te それぞれは、さらに細かい計 算過程(以下、ジョブと呼ぶ)に分割でき、それらジョブを フローチャートにしたものが図 3.2.2 と図 3.2.3 である。 各ジョブの具体的な役割を以下に記述する。

(1) Ti

•CkTDSV

予報課解析熱帯低気圧情報ファイル(以下、YHTCフ ァイルと呼ぶ)を参照して後続ジョブの実行を判断する。 台風モデルの実行条件と同様、RSMC Tokyo-Typhoon Centerの責任領域(東経 100 度から 180 度、0 度から北 緯 60 度、以後 RSMC 責任領域と略す)内で、今後 24 時 間以内に Tropical Storm 以上(最大風速 34kt 以上)の 強度に発達することが見込まれる熱帯低気圧が存在す るか、解析時刻で Tropical Storm 以上の強度で解析さ れている熱帯低気圧が存在するか、どちらかの条件が 満たされている場合のみ後続ジョブが実行される。

• PRESV

特 異 ベクトル 計 算 の た め 、20kmGSM 解 析 値 (TL959L60)を、特異ベクトル計算に使用する接線形モ デルの解像度 T63L40 へ変換する。

•SV_RSMC

北緯 20 度以北の RSMC 責任領域を対象として(ター



図 3.2.2 初期摂動の作成を行なう部分(Ti)のジョブのフロ ーチャート。



図 3.2.3 求めた初期摂動を解析値に加えて(又は、引い て)予報を行なう部分(Te)のジョブのフローチャート。

ゲットとして)乾燥特異ベクトルを計算する。中緯度帯の 小擾乱により引き起こされる台風進路予報の不確定性 を捕捉することが目的である。評価時間は 24 時間で、 最大 10 個の特異ベクトルを計算する。

•SV_J[123]

最大3個までのそれぞれの台風について、台風周辺 域をターゲットとして湿潤特異ベクトルを計算する。計算 機資源の制約から、摂動計算の対象となる台風の数は 最大3個である²。予報初期の台風進路の不確定性を 捕捉することが目的である。ターゲット領域はYHTCファ イルに記載されている24時間後の台風予想位置が中 心となるように東西に20度、南北に10度の矩形領域で ある。評価時間は24時間で、5個の特異ベクトルを計算 する。

•PTB_RSMC

算出された RSMC 責任領域の乾燥特異ベクトルを用

²³個を超えた場合には、YTHCファイルが指定する3つの台 風を摂動計算の対象とする。4つ以上の熱帯擾乱が同時に解 析されることはまれで、過去10年間を調べても3初期時刻の みである。

いてアンサンブル初期摂動を作成する。最大10個の特 異ベクトルから位置の重なりが小さい特異ベクトルを5 個選択して、空間的にばらつきが大きくなるように線形 結合して初期摂動を作成する。結果、成長率の大きさ に依存しない1~5番目までのアンサンブル初期摂動が 作成される。振幅の大きさは850hPa高度の気温の気候 学的変動の値を基に規格化する。

•PTB_J[123]

最大3個までのそれぞれの台風について、算出された台風周辺域の湿潤特異ベクトルを用いてアンサンブル初期摂動を作成する。RSMC責任領域の初期摂動と異なり、求まった個々の特異ベクトルを定数倍してアンサンブル初期摂動とする。結果、成長率の大きさの順に1~5番目までのアンサンブル初期摂動が作成される。振幅の大きさは、東西風4.5m/s,南北風4.5m/s,比湿3g/kg,気温1Kの上限値を設定して、これらの数値を0.8倍した値を越えないように定数倍して求める³。

(2) Te

• Tf00

コントロールランを行なう。Ti の PRESV 同様、予報を 行なう前に 20kmGSM 解析値を、予報モデルの解像度 TL319L60 へ変換する。

•Tf0[1-5]p

摂動ランを行なう。初期値は、PTB_RSMC, PTB_J1, PTB_J2, PTB_J3 で求めたアンサンブル初期摂動をそれ ぞれ独立に解析値に足し込んで作成する。たとえば Tf01pの初期値は、PTB_RSMCで求めた1番目の摂動と PTB_J1, PTB_J2, PTB_J3 で求めた1番目の摂動をそれ ぞれ独立に解析値に足し込んで作成する。同様に Tf02pの初期値は、PTB_RSMCで求めた2番目の摂動と PTB_J1, PTB_J2, PTB_J3 で求めた2番目の摂動をそれ ぞれ独立に解析値に足し込んで作成する⁴。

•Tf0[1-5]m

アンサンブル初期摂動を引く以外は Tf0[1-5]p と同じ。

 Pstn 後処理を行なう。

3.2.4 台風アンサンブル予報実験の検証結果

台風アンサンブル予報の現業化に向け予報実験を 行ない、その予報精度を検証した。結果を以下の3項 目に分けて記述する。

- (1) 決定論的進路予報の検証
- (2) 確率的進路予報の検証
- (3) アンサンブルスプレッドの情報を反映した台風予 報円の利用可能性について

(1) 決定論的進路予報の検証

台風アンサンブル予報では、決定論的な進路予報の 誤差がアンサンブル平均やクラスター解析等の統計的 な手法を用いることで減少することが期待できる(酒井 2006)。2005 年 8 月 5 日から 9 月 24 日までに解析され た熱帯擾乱を対象に台風アンサンブル予報実験を行な い(以下、2005年夏実験と呼ぶ)、アンサンブル平均(各 アンサンブルメンバーの台風中心予報位置のベクトル 平均)による決定論的台風進路予報の精度を調べた。 実験では現業化予定の仕様と同様、1日最大4初期時 刻(00,06,12,18UTC)、11 メンバーによる84時間予報 を行なった。検証結果を図 3.2.4 に示す。図 3.2.4 は予 報時間毎の進路予報誤差で、横軸が予報時間、左の 縦軸が進路予報誤差(km)、右の縦軸が検証の事例数 を表す。緑線はコントロールラン、赤線はアンサンブル 平均、青線は台風モデルの進路予報誤差を表しており、 黒点が検証の事例数に対応する。

アンサンブル平均による決定論的台風進路予報は、 台風モデルやコントロールランよりも精度が良く、コント ロールランと比較すると予報後半で20km程度誤差が減 少している。海外の主要な数値予報センターの72時間 予報の台風進路予報誤差を比較すると、各センター間 の差は数 10km と非常に拮抗している(山口・酒井



図 3.2.4 台風アンサンブル予報による、コントロールランの 進路予報誤差(緑)とアンサンブル平均の進路予報誤差 (赤)。青は台風モデルの結果である。横軸は予報時間、 左の縦軸は進路予報誤差(km)、右の縦軸は検証の事例 数を表す。検証期間は 2005 年 8 月 5 日から 9 月 24 日 である。黒点は検証の事例数を表す。

³ 台風周辺域の摂動は風の要素が支配的で、東西風か南北 風の上限値で振幅の大きさが制限されることが多い。4.5m/sと いう値は、衛星風の 700hPa高度の観測誤差の値から引用し た。なお振幅の大きさの設定は今後の予報実験の結果に応じ て変わる可能性がある。

⁴ 台風が1個のときはPTB_J2, PTB_J3 は存在しない。同様に 台風が2個のときはPTB_J3 は存在しない。

2005)。20km という値は決して小さな改善幅ではない。 2004 年 7 月 24 日から 8 月 31 日を対象とした同様の予 報実験(以下、2004 年夏実験と呼ぶ)でも、改善幅は最 大 10km 程度であるが、アンサンブル平均予報の有効 性が全予報時間に対して確認できた(図略)。

(2) 確率的進路予報の検証

台風アンサンブル予報では、台風進路予報に確率 的な情報を付加することができる。"台風の接近"を定義 し、全アンサンブルメンバーに対して何メンバーが接近 したかをある地点で計算すれば、その地点での台風接 近確率を求めることができる。図 3.2.5 は、地図上の東 西南北1度格子の各点で接近確率を計算してそれを平 面図にしたもので、台風接近確率図と呼ばれている。



図 3.2.5 2006 年 8 月 7 日 12UTC 初期時刻の台風アンサ ンブル予報による台風接近確率図。転向を予想するア ンサンブルメンバーと転向せずに四国地方へ進むアン サンブルメンバーとに分かれていて、進路予報結果が初 期値に敏感であったことが推測される。黒線は実況の台 風進路である。凡例の単位は%。

2004年夏実験および2005年夏実験において台風接 近確率予報の検証を行なった。台風の接近の定義は、 予報時間 0 時間から 84 時間に台風が 120km 以内に近 付く、とした。図 3.2.6 に 2004 年夏実験の結果を示す (2005年夏実験の結果も同様であり、図は省略する)。図 は信頼度曲線(付録参照)で、横軸には確率予報値、縦 軸には各確率ごとに実際に現象が起こった相対頻度が プロットされる。図を見ると、検証結果を表す赤線が、信 頼度が完全であることを表す黒線と良い対応であること がわかる。これは予報の確率値とほぼ同じ頻度で現象 が起こっていることを表しており、確率予報としての信頼 度が高いことを意味している。Brier Skill Score(付録参 照)による検証においても、その値は正の値を示し、台 風接近確率予報の有効性が確認できた。

予報の確率値が30%よりも高いと若干信頼度が落ちる。 これは、どのアンサンブルメンバーも実況を捕捉できな かったり、観測型の台風ボーガス(第2.1項参照)の影響 で、解析位置とずれたところから進路予報が始まる事例



図 3.2.6 台風接近確率予報の信頼度曲線(赤線)。横軸は 確率予報値、縦軸は各確率ごとに実際に現象が起こっ た相対頻度である。台風の接近の定義は、予報時間 0 時間から 84 時間に台風が 120km 以内に近付くとした。 検証期間は 2004 年 7 月 24 日から 8 月 31 日である。

があることが原因のひとつであると考えられる。今後、解 析システムや予報モデルの高度化、モデルアンサンブ ルの導入やアンサンブルメンバー数の増強により確率 情報の高度化が期待できる。

(3) アンサンブルスプレッドの情報を反映した台風予 報円の利用可能性について

気象庁が発表する台風進路予報では、予報の不確 実性を表す予報円を使用している。この予報円の大きさ は、現在、過去の予報誤差の統計から決められている。 前述の通り、アンサンブル予報は予報の不確実性を見 積もる予報システムである。このため、台風アンサンブ ル予報では予報のスプレッドの大きさから予報円の大き さを見積もることが期待できる。2004年夏実験と2005年 夏実験の結果に対して、アンサンブルスプレッドを反映 した台風予報円の利用可能性について調査したのでそ の結果を示す。図 3.2.7 はスプレッドの大きさとコントロ ールランの進路予報誤差の関係を示す散布図である。 3日予報の予報円の大きさを評価するため、図は78時 間予報の結果である(気象庁の発表予報の時刻と予報 初期時刻がおよそ6時間ずれているため、3日先の発 表予報には78時間予報の数値予報資料が利用される)。 横軸は予報0時間から78時間まで6時間ごとに積算し た台風予報位置のスプレッド(アンサンブル平均予報の 台風予報位置に対する各アンサンブルメンバーの予報 位置の距離の標準偏差)で、縦軸はコントロールランの 進路予報誤差である(縦軸にアンサンブル平均の進路 予報誤差をとっても結果は同様の傾向を示す)。両者は 正の相関があり、特にスプレッドが小さいときはコントロ ールランの進路予報誤差も小さい傾向がある(図 3.2.7 の青点線の中)。気象庁は、予報円の中に実際に台風 が入る確率を 70%と定義している。これに基づき、スプレ ッドの大きさが 2500km 以下の事例(全事例数の 58%に



図 3.2.7 スプレッドの大きさとコントロールランの進路予報 誤差の関係。検証対象は 2004 年夏実験と 2005 年夏実 験で、予報時間は 78 時間である。横軸は予報 0 時間か ら 78 時間まで 6 時間ごとに積算した台風予報位置のス プレッド(km)で、縦軸はコントロールランの進路予報誤差 (km)である。

当たる)に対して検証すると、コントロールランの進路予報誤差が 320km以下である事例が全検証対象事例の 70%を占めた。

次に、図 3.2.8 のように、スプレッドをコントロールラン の台風進路に沿った成分(AT)と直交する成分(CT)に分 類して検証を行なった。図 3.2.9 に CT 方向の検証結果 を示す。横軸は CT 方向の積算スプレッドで、縦軸はコ ントロールランの CT 方向の予報誤差である。図から、 CT 方向のスプレッドが小さいとコントロールランの CT 方 向の誤差も小さいことがわかる(図 3.2.9 の青点線の中)。 これは台風の進路に関して、スピードの誤差はあるかも しれないが(AT 方向の誤差はあるかもしれないが)、コー スに関しては不確定性が小さいことを意味している。図 3.2.6 と同様の検証で、スプレッドの大きさが 1700km 以



図 3.2.8 台風の進行方向に相対的な誤差の取り方。進行 方向に沿った方向の誤差(AT)と進行方向に直交する 方向の誤差(CT)。進行方向はコントロールランの進行 方向のことで、検証対象時刻の予報位置と前 6 時間予 報位置から求める。



図 3.2.9 図 3.2.7 と同じ。ただし、CT 方向の検証結果。



図 3.2.10 図 3.2.7 と同じ。ただし、AT 方向の検証結果。

下の事例(全事例数の 61%に当たる)に対して検証すると、 コントロールランの CT 方向の進路予報誤差が 180km 以下である事例が全検証対象事例の 70%を占めた。現 在気象庁が発表している予報円は文字通り円形である が、将来楕円形を採用することが検討される際は今回 の検証結果が示す通り、CT方向のスプレッドが小さいと き、進行方向直角方向の幅を小さくできるかもしれな い。

図 3.2.9 の黒点線で囲った事例は、CT 方向のスプレッドが小さかったにもかかわらず、コントロールランの CT 方向の予報誤差が大きかった事例である。これらの事例は本項(2)で問題とした、全アンサンブルメンバーが 実況を捕捉できなかったり、解析位置とずれた位置から 進路予報が始まる事例であった。

図 3.2.10 に AT 方向の検証結果を示す。CT 方向の 検証結果とは対照的に、スプレッドの大きさと予報誤差 の相関は低い。今後転向のステージに応じた検証等を 行ない有効な情報が抽出できるか調査を進めていく予 定である。

3.2.5 台風アンサンブル予報の利用方法

実験結果が示した通り、台風アンサンブル予報は初 期値の不確定性に起因した台風進路のばらつきを捕捉 し、進路予報に関して有益な確率情報を提供すること ができる。台風接近確率図は台風アンサンブル予報の 有効な利用方法のひとつである。決定論的進路予報も、 アンサンブル平均の進路予報を用いることで、台風モ デルやコントロールランによる台風進路予報と比べて予 報誤差が減少する。今後は、決定論的進路予報の予報 精度が一層改善するように、アンサンブル平均以外の 統計手法としてクラスター解析等を試みる予定である。 この他、気象庁が発表予報で使用している予報円に関 して、アンサンブル予報のスプレッドの情報が有効利用 できそうである。スプレッドが小さいときは現状よりも予報 円の半径を小さくできる可能性がある。今後さらに定量 的な検証を進め、アンサンブルスプレッドの情報を反映 した台風予報円の実現可能性について調査する予定 である。

3.2.6 まとめと今後の課題

気象庁は、2007 年から台風進路を対象とするアンサ ンブル予報、「台風アンサンブル予報」の運用を開始し、 台風進路予報のさらなる精度向上を図る計画である。 台風アンサンブル予報の現業化に伴い、台風モデルは 廃止され、台風アンサンブル予報と20kmGSMが気象庁 の台風進路予報業務を支援する。

台風アンサンブル予報では、(1)決定論的な台風進 路予報の精度、(2)確率的な台風進路予報の精度が重 要である。2004年および2005年の夏を対象として行な われた予報実験では、これらについて十分な精度を持 つ結果が得られた。(1)に関しては、アンサンブル平均 の進路予報を用いることで、台風モデルやコントロール ランによる台風進路予報と比べて予報誤差が減少した。 (2)に関しては、台風接近確率図による確率予報の有効 性が確認できた。今後は、クラスター解析等、アンサン ブル平均以外の統計手法を試み、決定論的進路予報 の予報精度が一層改善するアルゴリズムを開発する予 定である。また確率予報に関しても、予報・解析システ ムの改良やアンサンブルシステムの高度化を行ない精 度向上を目指す。

アンサンブルスプレッドの情報を反映した台風予報 円の利用可能性については、基礎的な調査の結果、ス プレッドが小さいときは現状よりも予報円の半径を小さく できる可能性があることがわかった。特に、コントロール ランの進行方向に対して直角方向のスプレッドが小さい ときコントロールランの対応する方向の誤差も小さいこと がわかった。今後さらに定量的な検証を進め、アンサン ブルスプレッドの情報を反映した台風予報円の実現可 能性について調査する予定である。

参考文献

- 経田正幸,2006: アンサンブル予報概論. 数値予報課 報告・別冊第52号,気象庁予報部,1-12.
- 酒井亮太,山口宗彦,2006:週間アンサンブル予報の 台風予報への拡張.数値予報課報告・別冊第52号, 気象庁予報部,38-42.
- 酒井亮太, 2006: マルチセンターアンサンブルによる台 風予報. 数値予報課報告・別冊第 52 号, 気象庁予 報部, 63-65.
- 白木正規,黒良龍太,大久保忠之,1993: 確率予報に よる台風予報.研究時報,60,189-202.
- 山口宗彦, 酒井亮太, 2005: 熱帯低気圧進路予報の 国際比較. 数値予報課報告・別冊第 51 号, 気象庁 予報部, 27-31.
- 山口宗彦, 2006: 特異ベクトル法の開発. 数値予報課 報告・別冊第52号, 気象庁予報部, 50-58.
- RSMC Tokyo-Typhoon Center, 2004: Annual Report on Activities of the RSMC Tokyo-Typhoon Center, 12-20.