

## 伊勢湾台風再現実験プロジェクト\*

別 所 康太郎\*<sup>1</sup>・中 澤 哲 夫\*<sup>2</sup>・川 畑 拓 矢\*<sup>2</sup>・釜 堀 弘 隆\*<sup>2</sup>  
高 野 洋 雄\*<sup>3</sup>・新 藤 永 樹\*<sup>2</sup>・國 井 勝\*<sup>2</sup>・原 昌 弘\*<sup>2</sup>  
高 橋 清 利\*<sup>3</sup>・海老田 綾 貴\*<sup>3</sup>・太 田 行 哉\*<sup>3</sup>・古 林 慎 哉\*<sup>3</sup>  
守 谷 昌 己\*<sup>3</sup>・本 田 有 機\*<sup>3</sup>・澤 田 謙\*<sup>3</sup>

## 1. はじめに

1959年9月21日にマリアナ諸島の東海上で発生した台風第15号 (Vera) は、ほぼ北西に進路を取り、23日15時 (以下すべて日本標準時で表示) には中心気圧895hPaに達した。台風は、その後も強い勢力を保ったまま北上し、26日18時頃和歌山県潮岬の西に上陸した。上陸時の中心気圧は929hPaと観測史上4番目に低かった。上陸後は紀伊半島を北上し、そのまま富山県にまで進み、日本海に抜けた後は、秋田県に再上陸した。その後は、東北地方を抜けて太平洋側に移動し、27日21時に温帯低気圧に変わった。台風のもたらした高潮、強風、河川の氾濫により、紀伊半島沿岸一帯と伊勢湾沿岸を中心に、日本の広い範囲に甚大な被害が発生し、死者・行方不明者は合計5,098名、住家全壊40,838棟、床上浸水157,858棟という戦後の気象災害史上例を見ないものとなった。この被害を受けて、気象庁はこの台風第15号を伊勢湾台風と名付けた。伊勢湾台風の詳細については、気象庁がまとめた伊勢湾台風調査報告 (気象庁 1961) や、饒村 (1986)、村松 (2008) 等を参照して欲しい。

伊勢湾台風を契機に、日本での台風研究を理論面、実験面の両面で進めることとなった経緯が、1959年11月の衆議院科学技術振興対策特別委員会台風科学技術に関する小委員会での、当時の中曽根康弘国務大臣

(科学技術庁長官) の発言に示されている。曰く、「気象研究所の中に台風の関係の仕事をやった人がまだ四、五人しかいないわけです。そこで、台風研究部というものを作って、相当な人間を配置しながら、実験と理論的研究をやっていくようにしたい」と。特別委員会の答申を得て、気象庁気象研究所台風研究部は、1960年4月1日に新しく設置された。

それから幾星霜。2009年は、伊勢湾台風50周年であった。また、気象庁が数値予報を開始してから50周年の節目の年でもあった。2009年3月末日に、気象庁から米国メリーランド大学に移った三好建正氏と、本報告の著者である気象研究所台風研究部の別所、予報研究部の川畑の3名が会う機会があった。その際に、1987年まで米軍により行われていた台風の航空機観測データと、再解析データを組み合わせれば、過去の台風に対する詳細な再現実験あるいは感度実験が行えるのではという話になり、50周年を迎えた伊勢湾台風の再現可能性に話が進んだ。特に米軍機データについては、2008年に行われた台風の特別観測実験 T-PARC が終わった直後でもあり、50年前の米軍機によるデータのインパクトを調べるのは T-PARC の結果と比較する上でも、有益である。「JRA-25 ([http://jra.kishou.go.jp/JRA-25/index\\_jp.html](http://jra.kishou.go.jp/JRA-25/index_jp.html)) では伊勢湾台風までさかのぼれないが、気象庁地球環境・海洋部気候情報課が取り組んでいる JRA-55 ならば、伊勢湾台風が含まれているはず」ということになり、翌4月以降、別所・川畑両名が、気象研究所の台風研究部や予報研究部、気候研究部などの有志に呼びかけ、その賛同を受けて、伊勢湾台風の再現実験を試みようということになった。幸い、それぞれの研究部では、台風の再現実

\* Re-analysis/forecast of Typhoon Vera project: ReVera.

\*<sup>1</sup> 気象研究所 (現: 気象庁観測部)。

\*<sup>2</sup> 気象研究所。

\*<sup>3</sup> 気象庁。

© 2010 日本気象学会

験に対応する研究テーマを持っていたことから、急速に具体化が進み、伊勢湾台風再現実験プロジェクト (Re-analysis/prediction of Typhoon Vera project : ReVera) の立ち上げとなった。

最近の研究によれば、地球温暖化が進行すると台風の発生数は減少するものの、強度は増加するとされている (Oouchi *et al.* 2006)。本プロジェクトでは、気象庁が現業に用いている数値予報システムを主として用い、伊勢湾台風の再解析を行うことで、伊勢湾台風級の台風を現在の技術でどこまで予測できるのか検証してみた。特に進路予測のみならず、その強度や最も大きな被害をもたらした高潮についてもどこまで予測することができるのかを調査した。

再現実験の結果は、著者らを満足させるに足るものだった。アンサンブル予測による進路予測結果は、すべてのメンバーが上陸2日ほど前から日本上陸を予測し、適度に進路が分散しながらも、その多くが東海地方上陸を予測している。また、米軍機の観測データを取り入れることで実況に近い台風を再現することができ、上陸9時間前からの予測は、進路予測、強度予測、そして、高潮予測についても実況に近い結果であった。

## 2. 気候再解析データセット JRA-55予備実験データ

気象庁は(財)電力中央研究所との共同研究として、1979年から2004年を対象とした、我が国では初となる全球大気の長期再解析プロジェクト (JRA-25) を実施した (Onogi *et al.* 2007)。JRA-25データは、2006年7月より国内外の研究者等に広く提供され、世界52カ国の1000名を超える研究者に利用されている (2009年9月末時点)。また、最近ではGOSATプロジェクトへの提供が開始されるなど、気象をはじめ幅広い分野の基盤データとして利用されている。

JRA-25は、これまで海外で実施された長期再解析の中で、降水量の表現や熱帯低気圧の再現性が優れているなどの特徴がある一方、アマゾン域の乾燥化や成層圏気温にバイアスが存在するなど改善すべき課題が残されている。また、1979年以降を対象としているため、10年規模振動等の気候変動のシグナル抽出には、必ずしも十分な期間ではない。

一方気象庁では、JRA-25以降、全球モデル開発プロジェクトの実施、4次元変分法の導入等、様々な改良・改善がなされた結果、現業数値予報モデルの予報

精度が飛躍的に向上した。このような技術的背景を踏まえ、気象庁地球環境・海洋部では、より長期間のデータを使った地球温暖化や10年規模振動を含む気候変動の監視に資する情報の作成・提供を目的として、2008年度より1958年から2012年を対象とする55年長期再解析プロジェクト (JRA-55) を開始した。第1表にJRA-25とJRA-55の主要な変更点の比較概要を示す。

長期再解析では、現業数値予報とは異なり、プロジェクトの均質性を保つため、全期間を同一の解析システムを用いて計算が行われる。そのため、本計算前に数多くの予備実験を行い、データ同化システムの特性等を見極めておく必要がある。JRA-55においても多数の予備実験を行っているが、衛星データが存在しない時代の解析精度を確認するため、伊勢湾台風を含む期間の予備実験も行っている。

今回の伊勢湾台風再現実験プロジェクトの実施に至った理由の一つとして、JRA-55の予備実験の中に、伊勢湾台風が存在していた時期 (1959年9月) のデータが含まれ、かつ、伊勢湾台風が比較的良好に再現されていたことが挙げられる。なお、当初の予備実験に使用された観測データは、地上気象観測、高層気象観測、船舶等による海洋気象観測及び民間航空機観測データであったが、本プロジェクトでは、これらのほか次章で述べる米軍による航空機観測データを特別に加えた予備実験を実施している。

今後は、2009年度中の本計算開始に向け、各種観測データを整備するとともに、必要な他の予備実験を実施する予定である。

## 3. 米軍による台風の航空機観測

北西太平洋における台風の飛行機観測は、第二次世界大戦後まもなく米空軍第54気象観測中隊によって開始された。観測に用いられた飛行機は一般に700hPa付近を飛行し、台風の眼の壁雲の貫通飛行による台風の眼の内側の目視観測と同時に、飛行レベルの高度・気温・風向風速・相対湿度などを観測した (JTWC 1959)。さらに、ドロップゾンデを投下し、台風の眼の内外の海面気圧・各高度の気温などの観測も行っている。飛行機観測は伊勢湾台風を含む多くの台風に対して行われ、台風の実況解析や予報に大きな貢献をした。そこで我々は、これら飛行機観測によるデータを再解析に活用すべく、当時の事情を知る気象庁OBや、実際に飛行機で台風観測を行っていた米国退役軍

第1表 JRA-25とJRA-55の主要な変更点の比較.

プロジェクト名		JRA-25	JRA-55
解析年数		1979–2004 (26年)	1958–2012 (55年)
モデル	解像度	T106L40 モデルトップ：0.4hPa 水平解像度：約120km	TL319L60 モデルトップ：0.1hPa 水平解像度：約60km
	時間積分	オイラー法	セミラグランジュ法
	長波放射スキーム	線吸収 統計バンドモデル 水蒸気連続吸収帯 e-タイプ	線吸収 テーブル参照法, k-分布法 水蒸気連続吸収帯 e-タイプ, p-タイプ
	温室効果ガス	CO <sub>2</sub> 濃度のみ (375ppmv 一定)	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CFC-11, CFC-12, HCFC-12 (経年変化を考慮)
データ同化手法		3次元変分法	4次元変分法 (インナーモデル：T106)
バイアス補正 (ラジオゾンデ気温観測データ)		日射補正のみ (Andrae <i>et al.</i> 2004)	ERA-40のフィードバック情報を 利用した補正 RAOBCORE (Heimberger 2007)
バイアス補正 (衛星放射観測データ)		オフライン	変分法バイアス補正
現業モデルの予報成績 (北半球500hPa 24時間予報誤差)		13m (北半球), 19m (南半球) (2004年3月時点)	8 m (北半球), 11m (南半球) (2009年7月時点)

人のグループに問い合わせたが、戦後まもなくの飛行観測データは保存されていないだろうとのことであった。また、NHCやHRD、NCDCで飛行機によるドロップゾンデデータの保存に携わっている技術者や研究者にも確認したが、1982年以前のデータは保管していないとのことであった。最後に気象庁図書室の書庫もくまなく調べたが、それらしいレポートなどは発見されなかった。つまり、残念ながら、この貴重な観測記録は今日に至る間に保存されることなく失われ、現在そのほとんどは残っていないということである。わずかに、気象庁の気象要覧などに中心気圧観測などが引用されているのみということがわかった。当時の観測者にとっては、リアルタイムの台風解析・予報以外に後世、観測データが使われるとは夢にも思っていなかったのであろう。

大部分が失われてしまった飛行機観測データではあるが、伊勢湾台風に対するものだけは気象庁(1961)に引用されたため紙媒体記録として残っていた。伊勢湾台風を再現するため、この飛行レベル観測データおよびドロップゾンデ観測データを電子化し、そのデータを用いた全球再解析を、JRA-55の同化実験の一環として行った。伊勢湾台風については、サイパン島の東で9月21日21時に発生してから、9月26日18時頃に潮岬の西へ上陸するまでに10フライトが実施された。

ドロップゾンデ観測は、台風の眼の外側で14観測、眼の内側で13観測が実施されたが、この飛行機観測によると眼の直径は10-30海里(約30-50km)であり、分解能60kmのJRA-55で表現するにはサイズが小さすぎる。そのため、全球再解析では眼の内側のドロップゾンデデータは同化せず、飛行機観測としては眼の外側のドロップゾンデと飛行レベルデータ(10フライトで合計159観測)のみを同化している(後述するメソ同化では眼の内側のドロップゾンデデータも同化している)。

第1図は、9月25日21時の700hPaにおける飛行レベル観測とJRA-55同化実験による伊勢湾台風周辺の700hPa高度および風の場合である。台風中心付近の強度表現は不十分ではあるが、台風周辺の循環場はよく再現されている。この再解析データセットが、次章以降の全球アンサンブル予測およびメソ再解析の初期値となるものである。

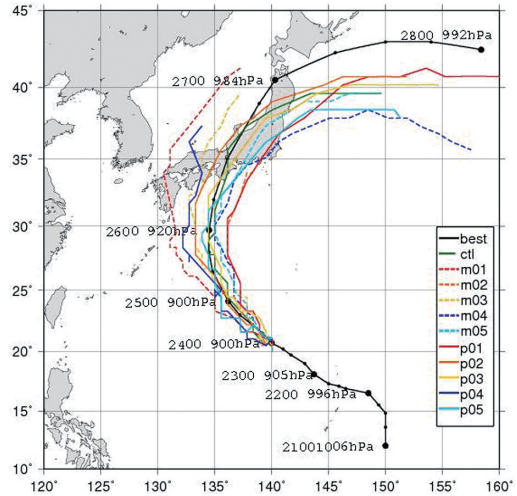
#### 4. 全球モデルによる進路予測

全球モデルによる台風予報の役割は進路予報である。アンサンブル予測を行うことにより、多数のシナリオを予報担当者に提示することが重要である。そこで、気象研究所で開発中の全球モデルを用いて、伊勢湾台風の進路予測を行った。実験方法は、気象庁現業

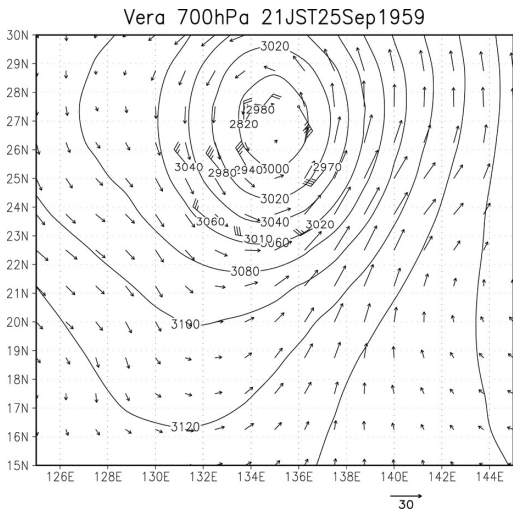
台風アンサンブル予報システム (小森・山口 2008 ; 山口 2008) を参考にしている. 解像度約60km (TL319L60) の全球モデルを JRA-55から作成した初期値でコントロールランを実行する. アンサンブル摂動は, ターゲット領域を指定し, 評価時間24時間による特異ベクトル法により水平解像度約180km (T63L40) の全球モデルから第5モードまで求め, 振幅調整した摂動をコントロールに加え, 飽和調節を行い, アンサンブル初期値 (10メンバー) を作成する. 気象庁現業で用いている全球モデルとの仕様の違いは主なものとして, 格子配置は標準ガウス格子, 積雲対流スキームは Tiedtke (1989) を改良した Yoshimura スキーム (吉村 2009), 雲スキームは Tiedtke (1993), 境界層スキームは Mellor and Yamada level 2 のクロージャー定数と混合長の評価を MYNN (Nakanishi 2001 ; Nakanishi and Niino 2004, 2006) に変更している. 海面水温は月平均値から日内挿したものを1日毎に更新, 鉛直ノーマルモードイニシャリゼーションを使用後, モデルを実行した.

9月24日09時初期値のコントロールランはベストトラックに近いコースを通っており, アンサンブルランから, 九州から関東へ上陸するシナリオが作成された (第2図). 第3図の接近確率図からは, 上陸確率の高い地域として四国から東海である事が示された. 全球

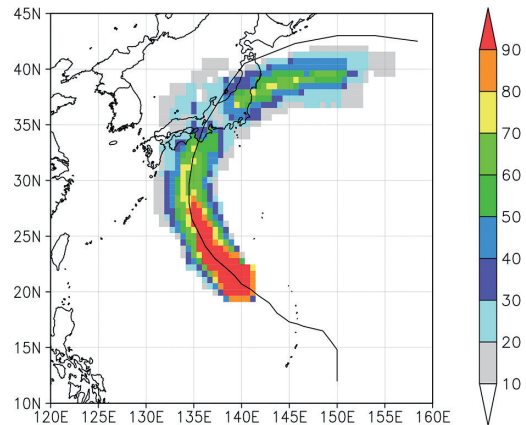
特異ベクトルの規格化した全エネルギーノルムは, 4つのモードが主に台風周辺と高度5760mの流れに乗る気圧の谷付近に計算され (第4図は第1モード), その結果, 予測開始24時間後の高度5760m付近のトラフの位置にばらつきが現れ (第5図), 台風進路がこの時間から26日09時にかけて分散し (第6図), 転



第2図 9月24日09時からアンサンブル進路予測. 黒が実況, 緑がコントロール. それ以外が摂動を入れた10メンバーの結果. ラベルの m と p は, それぞれ解析値に初期摂動を減算したメンバーと加算したメンバー.



第1図 9月25日21時の700hPaにおける飛行レベル観測 (矢羽根) と JRA-55同化実験による伊勢湾台風周辺の700hPa 高度 (等値線, m) および風の場合 (矢印, m/s).



第3図 アンサンブル予報を利用した24日09時から4日以内に台風中心が120km以内に接近する確率(%). 黒線はベストトラック.

向前後の進路が異なる複数のシナリオを作成することができた。

## 5. メソ解析・メソ強度予測および高潮予測

### 5.1 実験設定

本章では、伊勢湾台風の強度とこれに伴う高潮を再予測した結果について述べる。前章において全球モデルを用いた進路予測の結果を述べたが、強度予測を行うためには、高解像度のデータ同化システムとモデルが必要である。データ同化システムとして、2009年4月に現業化された JNoVA (Honda *et al.* 2005)、予

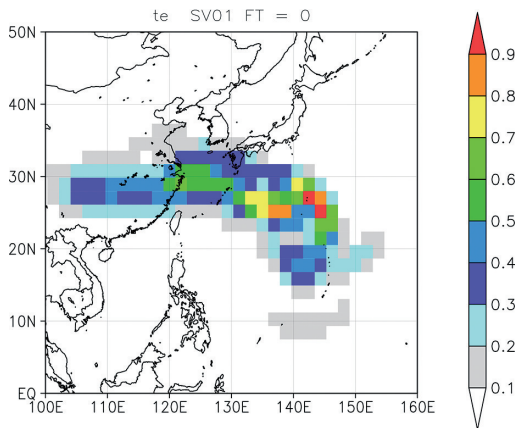
報モデルとして、NHM (Saito *et al.* 2007)、高潮モデルとして、POM (Blumberg and Mellor 1987) を、それぞれ用いた。

まず、9月24日09時における JRA-55の解析結果を20km 解像度の NHM を用いてダウンスケーリングした。この際、初期値にはベストトラックから作成した台風ポーガスを埋め込んで強度を強めた。さらに、25日03時から25日09時まで、5 km 解像度の NHM によってダウンスケーリングした。この結果を第一推定値とし、JNoVA で24時間、3時間ウィンドウによる解析-予報サイクルを行った。最後に26日09時の解析結果を初期値として、5 km 解像度の NHM による36時間予測を行った。さらに、この予測値を用いて、解像度2分(約4 km)の POM を用いて高潮予測を行った。高潮計算には海底地形として NGDC 発行の ETOPO2を用いた。

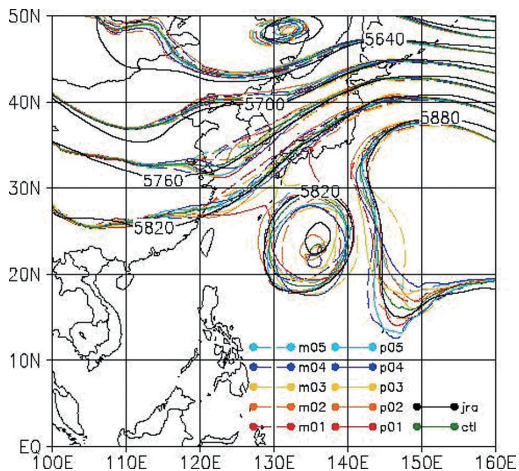
なお、a) 高層、地上、船舶による観測のみを同化、b) a)に加えて米軍機観測データを同化、c) a)に加えて台風ポーガスを同化、d) データ同化を行わない (JRA-55の解析値のみ)、という同化に用いる観測データが異なる4種の実験を行ったが、本稿では米軍航空機による観測データを同化した実験の結果b) についてのみの紹介する。

### 5.2 航空機観測データの同化

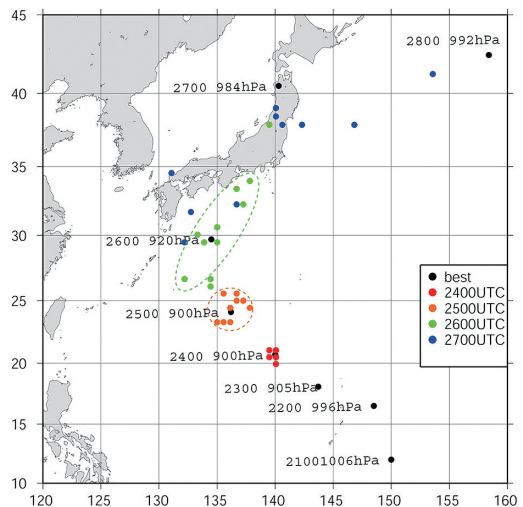
米軍航空機による観測は、航空機搭載の測器による



第4図 全球SVの規格化した全エネルギーノルム。FT=0 (24日09時)の第1モード。



第5図 FT=24 (25日09時)の500hPa高度場(m)。



第6図 アンサンブル予報を利用した推定予報円。数値はベストトラックの日時(UTC)と中心気圧。

飛行レベルで観測されるものと、ドロップゾンデによるものの2種類がある。ドロップゾンデは、台風の眼周辺及び中心付近に投下され、中心気圧などを観測している。

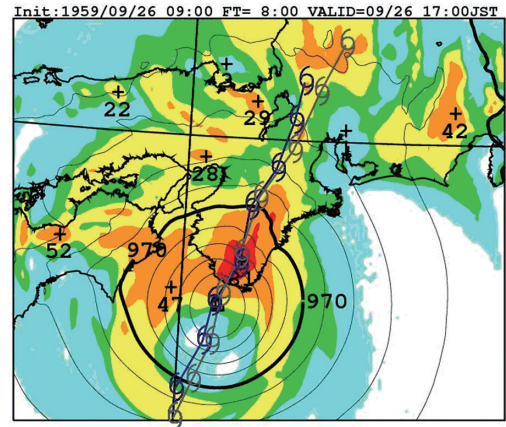
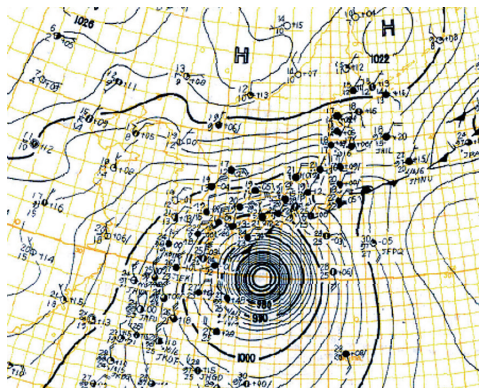
通常、台風の中心気圧の観測データは、代表性誤差のために、同化に用いることは適当ではない。すなわち、通常、モデルが表現可能な中心気圧は観測される中心気圧よりも高いので、このような観測データの同化はバイアスとして悪影響を及ぼす可能性が高い。今回は、先行した台風ポーガス同化実験の結果から、観測された中心気圧に近い強度の台風を再現できることが分かっていたので、同化に用いることにした。ただし、第一推定値における中心気圧と観測値との差

( $D$  値) が大きい時は、現業で用いられる誤差よりも約5倍大きい観測誤差を与えて代表性誤差を考慮した。また  $D$  値が小さいときは、1倍になるよう自動調節した。なお、このような誤差の調整は、ドロップゾンデによる地上気圧のみに適用した。

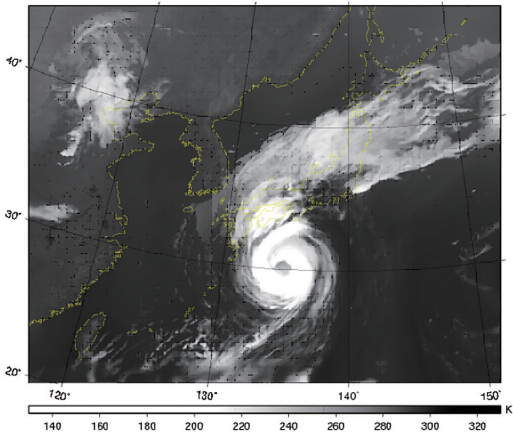
5.3 強度予測

第7図に、気象庁天気図と予測された伊勢湾台風を疑似的な気象衛星赤外面像(大和田 2006)で表現した図を示す。疑似赤外面像は天気図の等圧線や天気分布から想像される雲の分布と概ね一致しており、また、眼もはっきり確認できる。主観的にはよく再現されていると言える。

予測結果による台風中心気圧をベストトラックと比



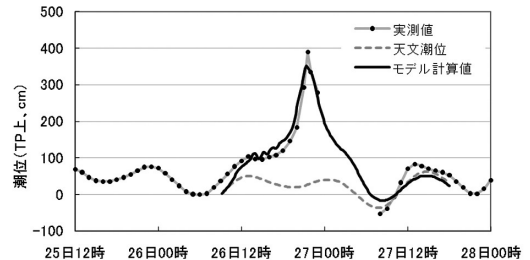
MSM\_IR INIT 1959.09.26 00UTC KT-00  
DATE 1959.09.26 00UTC



0.4 1 5 10 20 50 100 mm/h

第8図 上陸直前(26日17時)の予測された伊勢湾台風。地上気圧(等値線, hPa), 1時間降水量(色彩域, mm), 台風経路(黒線: 予測, 灰線: 実況, 台風シンボルは1時間おき)。

第7図 9月26日09時における地上天気図(上: 実況)と疑似衛星赤外面像(下: 予測)。



第9図 名古屋港における潮位 (cm, 灰線+黒点: 実況, 点線: 天文潮位, 黒線: 予測)。

較すると、初期時刻で930 hPa、上陸時で940hPaと、ベストトラックに比べて10hPa程度高いものの強度をよく予測している。また、上陸時刻は1時間程度遅かったものの、その上陸地点は実況に非常に近い(第8図)。このように強度とコースが良く予測されたために、次項で述べる高潮予測も良く予測することが可能になった。

#### 5.4 高潮予測

第9図に名古屋港における観測と予測された潮位との比較を示す。台風の進路

・強度がほぼ適切に予測さ

れたので、水位の変化傾向は、観測値とよく一致している。また、観測された最高潮位3.89mに対して、予測された最高潮位は3.52mと妥当な値であり、さらに最高潮位の発生時刻も観測とよくあっている。

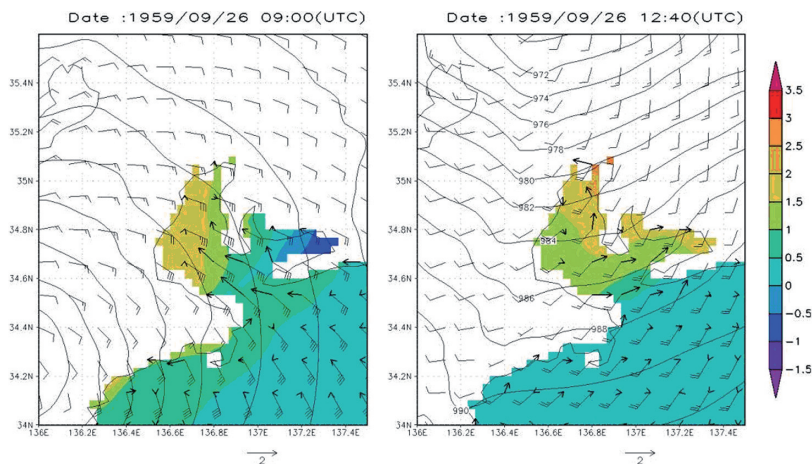
潮位の平面図(第10図)からは、高潮の動態が把握できる。台風が接近する前は、南東風により湾奥北西部に海水が吹き寄せられる。台風通過後に風が南南西になり、海水は北東部へ移動して名古屋港では大きな高潮となった。

伊勢湾は全般的に水深が浅いので、吹き寄せ効果が卓越していた。また、外洋との海水の出入りが多少あるものの、基本的には伊勢湾内のみで高潮が発生していた。

#### 6. まとめ

伊勢湾台風を現在の最先端技術を用いてどの程度再現できるのか、特に進路予測と強度・高潮予測の精度に注目して実験を行った。

初期値としては、現在気象庁で作成が進められているJRA-55の長期再解析データを用いた。進路予測については、決定論的予測の他に、アンサンブル予測も行った。その結果、アンサンブル予測結果は、上陸2日半前の初期値から出発して、10メンバーすべてが日本上陸を予測していた。高潮予測のためには、台風強度の適切な表現と正確な進路予測が求められる。このため、まず台風中心の航空機観測データを同化したメ



第10図 高潮偏差の平面図(左:26日18時,右:26日21時40分)。等値線:地上気圧(hPa),色彩域:高潮偏差(m),矢印:流速(m/s),矢羽根:風速(長10m/s,短5 m/s)。

ソ解析を行い、台風の中心気圧を実測に近い状態にまで強めてから予測を行った。その結果、26日09時から予測で、進路、強度ともに実測に近い結果を得ることができ、伊勢湾での高潮予測も実況に近い値を得ることに成功した。

これらの実験結果より、現行の技術で伊勢湾台風級の台風の進路・強度を正確に予測できる可能性があることがわかった。

#### 略語一覧

- ETOPO2: 2-minute Gridded Global Relief Data 2分分解能全球海洋底地形データ
- GOSAT: Greenhouse gases Observing SATellite 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」
- JNoVA: JMA-Nonhydrostatic Model-based Variational Data Assimilation System 気象庁現業用メソ4次元変分法解析システム
- JRA-25: Japan Reanalysis Data-25 長期再解析データ(1979年~2004年)
- JRA-55: Japan Reanalysis Data-55 長期再解析データ(1958年~2012年)
- JTWC: Joint Typhoon Warning Center 統合台風警戒センター
- MYNN: Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino Scheme メラー・山田・中西・新野乱流スキーム
- NCDC: National Climatic Data Center 米国気候データセンター
- NGDC: National Geophysical Data Center 米国地球物

理学データセンター

NHC : National Hurricane Center 米国ハリケーンセンター

NHM : Non-Hydrostatic Model 気象庁非静力学モデル  
NOAA/AOML/HRD : Hurricane Research Division  
米国海洋気象局大西洋海洋気象研究所ハリケーン研究課  
POM : Princeton Ocean Model プリンストン海洋モデル

T-PARC : THORPEX Pacific Asian Regional Campaign THORPEX 太平洋アジア地域観測実験

THORPEX : 観測システム研究・予測可能性実験計画

### 参考文献

- Andrae, U., N. Sokka and K. Onogi, 2004 : The radiosonde temperature bias correction in ERA-40. ECMWF ERA-40 Project Rep. Series 15, 34pp.
- Blumberg, A. F. and G. L. Mellor, 1987 : A description of a three-dimensional coastal-circulation model. in : Heaps, N. ed. Three-Dimensional Coastal Ocean Models, Vol. 4, American Geophysical Union, Washington, D.C., 208 pp.
- Haimberger, L., 2007 : Homogenization of radiosonde temperature time series using innovation statistics. *J. Climate*, **20**, 1377-1403.
- Honda, Y., M. Nishijima, K. Koizumi, Y. Ohta, K. Tamiya, T. Kawabata and T. Tsuyuki, 2005 : A pre-operational variational data assimilation system for a non-hydrostatic model at the Japan Meteorological Agency : Formulation and preliminary results. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 3465-3475.
- Joint Typhoon Warning Center, 1959 : Annual Typhoon Report 1959. 195pp.
- 気象庁, 1961 : 伊勢湾台風調査報告. 気象庁技術報告, (7), 899pp., 資料1-488.
- 小森拓也, 山口宗彦, 2008 : 台風アンサンブル予報システムの導入. 平成20年度数値予報課研修テキスト, 気象庁予報部, 27-30.
- 村松照男, 2008 : 2006年度秋季大会シンポジウム「台風—伊勢湾台風から50年を経て—」の報告 1. 台風防災の原点 : 伊勢湾台風から50年. *天気*, **55**, 362-369.
- Nakanishi, M., 2001 : Improvement of the Mellor-Yamada turbulence closure model based on large-eddy simulation data. *Bound.-Layer Meteor.*, **99**, 349-378.
- Nakanishi, M. and H. Niino, 2004 : An improved Mellor-Yamada level-3 model with condensation physics : Its design and verification. *Bound.-Layer Meteor.*, **112**, 1-31.
- Nakanishi, M. and H. Niino, 2006 : An improved Mellor-Yamada level-3 model : Its numerical stability and application to a regional prediction of advection fog. *Bound.-Layer Meteor.*, **119**, 397-407.
- 饒村 曜, 1986 : 日本を襲ったスーパー台風 (3) 伊勢湾台風. *気象*, **30**, 8846-8850.
- 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. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 369-432.
- Ouchi, K., J. Yoshimura, H. Yoshimura, R. Mizuta, S. Kusunoki and A. Noda, 2006 : Tropical cyclone climatology in a global-warming climate as simulated in a 20 km-mesh global atmospheric model : Frequency and wind intensity analyses. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 259-276.
- 大和田浩美, 2006 : 予想衛星画像. 気象研究ノート, (212), 105-120.
- Saito, K., J. Ishida, K. Aranami, T. Hara, T. Segawa, M. Narita and Y. Honda, 2007 : Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85B**, 271-304.
- Tiedtke, M., 1989 : A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1779-1800.
- Tiedtke, M., 1993 : Representation of clouds in large-scale models. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 3040-3061.
- 山口宗彦, 2008 : 気象庁台風アンサンブル予報システム. *天気*, **55**, 521-524.
- 吉村裕正, 2009 : エントレインメント率に幅を持たせたセミラグランジュ積雲スキーム. 日本気象学会2009年度春季大会講演予稿集, C463.