

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19201037
 研究課題名（和文） 航空機を用いた力学・熱力学場の直接観測による台風の予測可能性に関する研究
 研究課題名（英文） Research on Predictability of Typhoon by Dynamic and Thermodynamic Direct Observation using Aircraft
 研究代表者
 中澤 哲夫（NAKAZAWA TETSUO）
 気象庁気象研究所・台風研究部・室長
 研究者番号：20343890

研究成果の概要（和文）：

2008 年に行った航空機からの台風直接観測による進路予報へのインパクトについて調査を行った結果、ターゲット観測の予報改善効果が確認できたものの、台風第 13 号と第 15 号の二つの台風での限られた観測のため、有効性を十分に確認することまでは至っていない。高い感度領域でのデータ同化が、必ずしも予報精度の改善へ寄与していない事例のあることもわかった。台風周辺での観測のインパクトについては、数値予報の成績がよい気象庁やヨーロッパ中期予報モデルなどでは改善率が小さく、逆に米国のモデルなど通常の予報成績があまりよくない場合に改善率が大きいこともわかった。また、台風中心付近のデータをどのように同化システムに取込むかどうかによって予報精度が大きく影響されることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

The impact of direct airborne observations for typhoons in 2008 on the track forecast has been investigated. The result shows that the impact was positive in all models. However, the impact was small in the JMA or ECMWF models, which perform forecast performances better and it was large in the NCEP model, which has more error in track forecast. The result also suggests that the data assimilation near the center of the storm is critical for the track forecast. One of the research objectives in this project was to confirm the feasibility of the targeted observation. On this regard it is not fully confirmed, mainly because the observations are limited in two typhoon cases, Sinlaku and Jangmi. It has been revealed that the data assimilation over the high sensitive region did not give better forecast.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,300,000	0	7,300,000
2008年度	27,500,000	0	27,500,000
2009年度	1,800,000	0	1,800,000
年度			
年度			
総計	36,600,000	0	36,600,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 自然災害科学

キーワード：台風、最適観測法、航空機観測、予測可能性、アンサンブル予報、THORPEX、台風の進路予報、インパクト実験

1. 研究開始当初の背景

2004年の最多台風の日本上陸、2005年のカトリーナ、2006年の台風に伴う突風・竜巻被害など、近年、自然災害に対する社会の脆弱化により、台風による災害リスクが高まっている。そのため、新たな手法で観測及び予測を行い、台風の構造と進路に関する知見を増やし、その予測精度を向上させることにより、減災に資することは喫緊の課題である。米国では、航空機によるハリケーン観測が長年行われている。しかし、北西太平洋での航空機による台風の直接観測は、米軍が観測を中止した1987年以降、近年までほとんど行われていない。日本では、2000年に沖縄で無人気象観測機による台風観測を行ったが、台風中心から400キロほど離れたところでの観測であった。また、2004年に、民間テレビ局が、有人ジェット機による台風観測を行った(中道、2005)が、限定的なものであるなど台風の構造解明には必ずしも十分なものではない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、アンサンブル予測と連携した最適観測法(アンサンブル予測(わずかに異なる初期値から、複数予測を行う)の結果から求まる、誤差が時間とともに大きく成長する領域(ターゲット領域)で、航空機などにより機動的に観測を行い、予測精度を改善する能動的な観測法)に基づき、航空機を用いてドロップゾンデによる台風の直接観測を実施して、台風の力学・熱力学場の三次元空間構造を求め、台風の構造変化と進路の関係を解明することにあつた。

3. 研究の方法

本研究課題では、2008年8月から10月にかけて、北西太平洋において、台風の最適観測を行い、その観測が予測に与えるインパクト実験を行って、台風の進路予測改善効果を確認することを目指した。そのために、ターゲット領域の算出を行い、ターゲット領域付近の観測のみを取込んだ場合と取込まなかった場合の予測へのインパクト実験を行い、両者の違いをもたらす力学的・熱力学的要因を明らかにすることを目指した。

4. 研究成果

(1) 台風の観測システム実験

2008年8-9月、台風予測のための双方向予測システム(観測-同化-予測という片方向のシステムに対して、予測が観測にフィードバックする予測システムのこと)の実用性能を評価するために、T-PARCと呼ばれる特別観測実験が北西太平洋域で展開された。この実験に先立ち、台風進路予測を対象とした双方向予測システムの実証実験が2004年の台風第

4号CONSONを対象に行われた。台風周辺のドロップゾンデ観測データを利用しない場合、台風CONSONの北東進が予測できなかったが、ドロップゾンデ観測データを利用することでそれが予測できることがわかった。さらにその北東進の予測はターゲット領域内の8つの観測データを利用するだけで実現できることがわかった。図1は数値予報実験における台風進路予報の結果を表している。Analyzed Track(黒)は観測されたCONSONの進路、NODROP(青)はドロップゾンデ観測を一つも利用しなかった場合の進路予報結果、ALLDROP(赤)はドロップゾンデ観測全16個を利用した場合の進路予報結果、SVDROP(ピンク)は高感度領域の内の8つの観測データを利用した場合の進路予報結果、NSVDROP(黄緑)は高感度領域外の8つの観測データを利用した場合の進路予報結果をそれぞれ表している。また、SVPTB(緑)はターゲット領域を表す摂動を数値予報の初期値に加えて予報実験を行った場合の進路予報結果である。ALLDROPとSVDROPの進路がきわめて似ていることから、航空機観測による観測データが台風進路予報を改善すること、さらに感度解析の有効性が実証された。感度解析により推定されたターゲット領域を詳細に解析した結果、この領域は台風東側に位置する太平洋高気圧による指向流域に対応しており、この領域内の観測データを利用することで、初期値における北東方向の指向流が改善することがわかった。

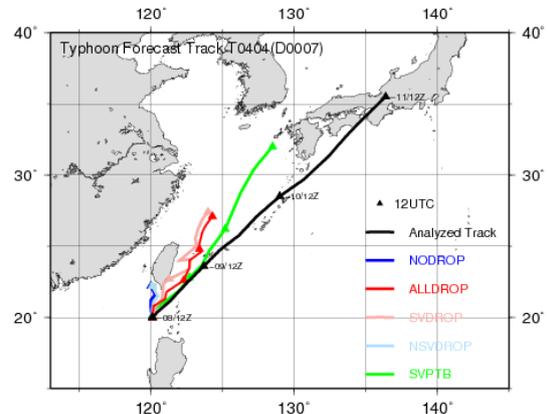


図1 台風進路予報を対象とした双方向予報システムの実験結果。実験対象台風は2004年台風第4号CONSON、数値予報実験の初期時刻は2004年6月8日00UTCである。

(2) 最適観測のインパクト実験

① 台風周辺での感度解析

T-PARCの主要な研究目的の一つであるターゲット観測を支援するための感度解析システムを構築し、T-PARC期間中毎日(1日1回00UTC初期値)運用した。感度解析技術には特異ベ

クトル (SV : Singular Vector) 法を用い、SV 計算を行うためのターゲット領域として事前に3つの固定領域 (JAPAN、TAIWAN、GUAM) と、全球台風モデルの進路予報に応じて動的に変化する領域 (MVTY) を設定した (図2)。この感度解析システムによって観測時刻の2日前から台風周辺の感度領域の情報を提供することができ、十分な検討のもとで特別観測を行うことに貢献した。

求めた SV 構造の特徴について詳しく調べるために、SV 計算に必要なノルムや線形モデルの湿潤過程による感度実験を行い、下層の水蒸気フラックス収束に対応した大気上層の加熱に線形モデルの積雲過程が大きく寄与している結果を得た。さらに、SV 法による感度解析の国際比較で統一されていなかった線形モデルの解像度の影響について調べるために開発中の線形モデルを用いて事例解析を行ったところ、中緯度擾乱周辺で求まる感度領域とは異なり、台風周辺で感度領域を検出するためにはある程度以上の線形モデルの解像度が必要となり結果に大きな影響を及ぼし得ることがわかった。

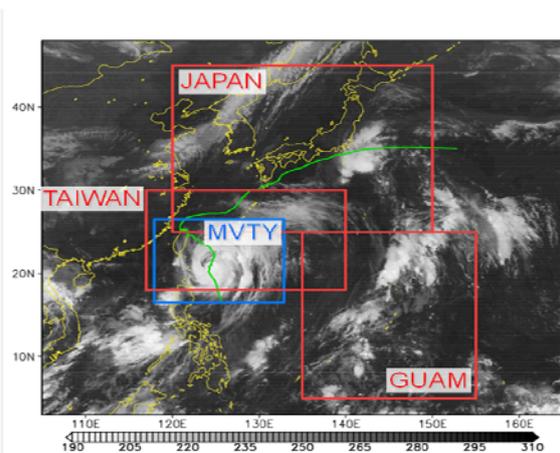


図2 3つの固定ターゲット領域 (赤の矩形) と1つの動的ターゲット領域 (青の矩形)

②気象庁全球モデルを用いた特別観測のインパクト実験-SINLAKU

気象庁全球データ同化システム (4次元変分法・インナーモデル T159L60、水平解像度約80km) および全球予報システム (GSM・TL959L60、水平解像度約20km) を用い、2008年台風第13号 (SINLAKU) を対象に、観測システム実験を行った。

以下のAおよびBの観測システム実験を行った。

A: 特別観測データを全て同化する場合 (TEST)、同化しない場合 (CNTL) の比較実験

B: SINLAKU 周辺での感度解析で得られた高感度領域 (数値モデルの予報誤差が大きく成長する領域) 内の特別観測データを全て同化する場合 (TEST)、特別観測データを全て同化しない場合 (CNTL) の比較実験

図3にAの結果として SINLAKU の転向前について、気象庁ベストトラックデータと比較した際の台風進路予報誤差の平均を示す。台風進路予報誤差は予報前半を中心に減少 (改善率: 12時間予報 (FT12) まで23~30%、FT48まで10%前後) し、強度予報誤差も減少することが確認された (図略)。転向後の進路予報誤差は、予報後半 (FT66以降) で10%弱減少する傾向が見られたが、強度予報誤差は殆ど変化がなかった (図略)。

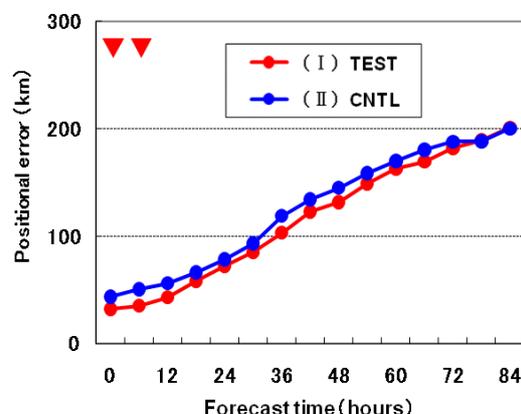


図3 台風第13号 (SINLAKU) の転向前 (2008年9月9日00UTC~14日18UTC) の進路予報誤差の比較。全特別観測あり (TEST) および全特別観測なし (CNTL)。▼は有意水準95%で統計的に差が有意な予報時間。

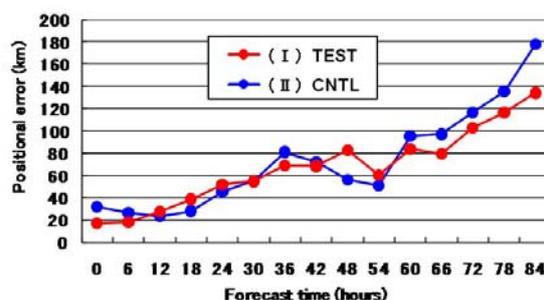


図4 2008年9月11日00UTCを対象とした台風 SINLAKU の中心の北東側高感度領域内の同日00~12UTCの特別観測データの有無による比較実験を行った際の台風進路予報誤差の比較。特別観測あり (TEST) および特別観測なし (CNTL)。

図4にBの実験結果の例として9月11日00UTCを対象とした台風中心の北東側ターゲット領域内の同日00~12UTCの特別観測デー

タの有無による比較実験を行った際の台風進路予報誤差の平均を示す。11日00~12UTC初期値予報で概ね予報初期で32~45%、FT60以降で16%の台風進路予報誤差の減少が確認され、双方向予報システムの有効性の一端が示された。一方で9月10日00UTCを対象とした同実験では、台風進路予報誤差が増大することが確認された(図略)。

③気象庁全球モデルを用いた特別観測のインパクト実験-JANGMI

2008年台風第15号(JANGMI)を対象に、CおよびDの観測システム実験を行った。

C: ドロップゾンデ観測および臨時高層観測データを全て同化する場合(TEST)、同化しない場合(CNTL)の比較実験。

D: Cで同化のインパクトの大きい特定の事例について、観測を複数のグループに分け、それぞれの同化の有無について比較実験。

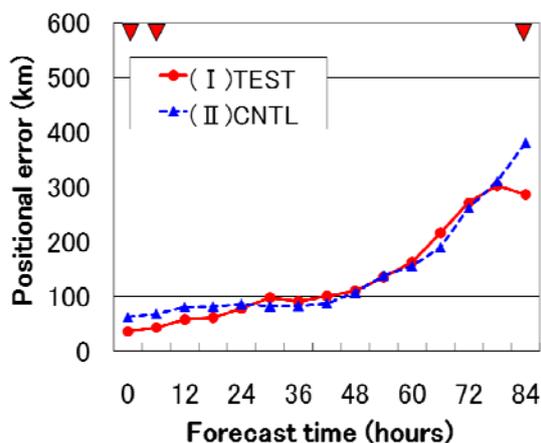


図5 台風JANGMI(0815号)の転向前の進路予報誤差の比較。全観測あり(TEST)および全観測なし(CNTL)。▼は有意水準95%で統計的に差が有意な予報時間。

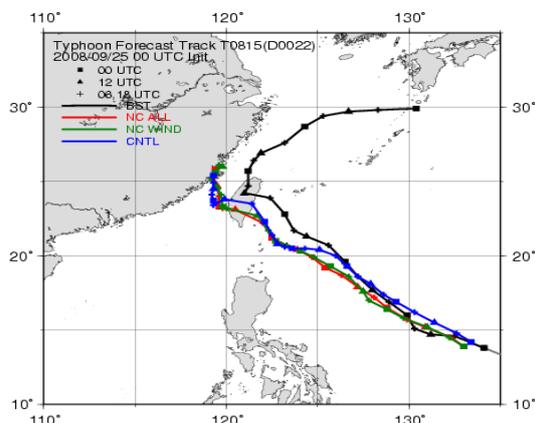


図6 2008年9月25日00UTC初期値のJANGMIの進路予報比較。全観測なし(CNTL)、北側・中心の観測あり(NC ALL)、北側・中心の風の観測のみあり(NC WIND)。黒実線は気象庁ベストトラックデータ。

図5に、Cの結果としてJANGMIの転向前について、気象庁ベストトラックデータと比較した際の台風進路予報誤差の平均を示す。台風進路予報誤差は予報時間前半で改善が見られ、FT=18までで24~42%の改善となった。転向後の進路予報誤差については、予報時間全般で統計的に有意な差は得られなかった(図略)。また、強度予報については、転向前で予報時間前半を中心に大幅な改善が見られた(図略)。

図6に、Dの一例として2008年9月25日00UTC初期値の実験結果を示す。この初期値前後に行われた特別観測のうち、台風の北側と中心付近の全観測を同化した場合(NC ALL)、同領域の風の観測のみ同化した場合(NC WIND)、特別観測を同化しない場合(CNTL)を比較している。その結果、進路予報・強度予報ともに風の観測を同化した場合のインパクトが大きいことがわかった。

(3) 各現業予報センターの進路予測結果

気象庁のみならず、他の現業予報センターであるヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)と米国環境予報センター(NCEP)における台風進路予測へのドロップゾンデのインパクトを調べた。図7は、各初期時刻の72間予報での台風の進路誤差の改善距離を示したものである。負の値は、ドロップゾンデにより、進路が改善したことを示す。この図から、NCEPでの予報改善効果が顕著であることがわかるが、気象庁やECMWFでは改善されていることはわかるものの、改善効果はNCEPに比べて小さいことがわかる。また、気象庁について言えば、大きく予報が悪化しているケースも見受けられる。悪化の理由として、台風中心付近のデータの同化法に問題があることが示唆された。

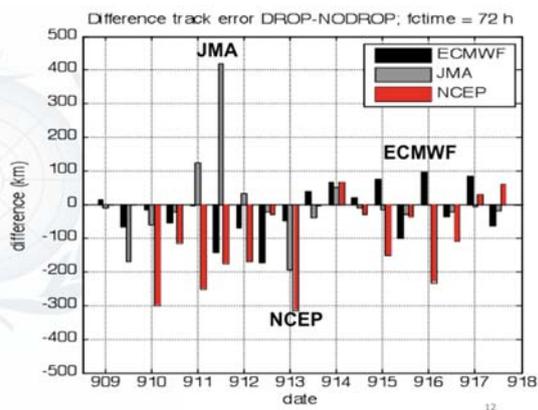


図7 3センターの台風進路改善効果。

(4) 台風の中心付近のデータ同化

一般的には真値に近い観測データを同化す

れば解析精度は向上するはずであるが、台風の中心付近の観測データをそのまま同化すると解析結果は必ずしも向上するとは限らない。T-PARCの観測データでも、この傾向が明らかになった。台風中心付近のメソスケール構造は、アンサンブル予測や感度解析に用いられるモデルの解像度では、十分に表現できない。そこで、台風の中心付近のデータを修正して同化する手法を考案した。

ここでは2通りの修正方法を用いた。ひとつは、台風の数値予報において気象庁等で用いられている台風ボーガス(疑似観測)を作成する際に用いられている台風中心気圧の修正を参考にしたものである。もうひとつはアンサンブルスプレッドを用いたものである。

ボーガスに基づいた方法は、Fujita (1952)が提案した経験的な気圧分布と傾度風平衡に現れる長さスケールを格子間隔の2~5倍(今回は2倍)として表現しうる最低の中心気圧 p_c を計算する。観測された解像度での気圧 p_o について、 $p_o < p_c$ のときは、 p_c と修正する。

アンサンブルを用いた方法では、アンサンブル平均値からアンサンブルスプレッドの2~3倍程度(今回は3倍)低い値を p_c とする。

2006年9月17日に延岡などに竜巻をもたらした台風Shanshanについて9月13日12UTCから同化実験を行い、2つの手法を比較した。水平解像度約80kmの地球シミュレータ用大気大循環モデルAFESと局所アンサンブル変換カルマンフィルタLETKFからなるシステムを用いた。追加の観測のないものを標準実験とし、気象庁ベストトラックの台風中心気圧を観測と見なして同化した。

中心気圧の修正をしない場合は、すべてのデータがLETKFの(モデル予測値に十分近いかどうか検査する)グロスエラーチェックにおいて受け付けられず、標準実験と全く同じ結果が得られた。

ボーガスに基づいた方法では、9月13日18UTCの台風位置の誤差は、修正されたデータはすべて取り込まれ、標準実験よりも中心気圧が高くなる傾向がある。標準実験(追加の観測なし)の141kmからモデルの水平解像度以下の31.8kmと大幅に低減することができた。

アンサンブルスプレッドを用いた方法では、すべてのデータが取り込まれたわけではないが、アンサンブル平均よりも低い値を同化するため、取り込まれた時刻では標準実験よりも台風を強め、中心気圧が低くなった。

ボーガスに基づく手法は台風に特化しており、確実にデータを取り込むことができる。後者の方法は必ずしもすべてのデータの取り込みは保証されないが、台風以外の顕著なデータの修正にも利用できる。どちらの方法でも、解析誤差の指標となるアンサンブルスプレッドは小さくすることができた(図8)。

今回の研究では、台風中心付近のデータを活用することを可能にする手法を開発することができた。今後は、手法をさらに多くの事例で検証していくことが必要である。

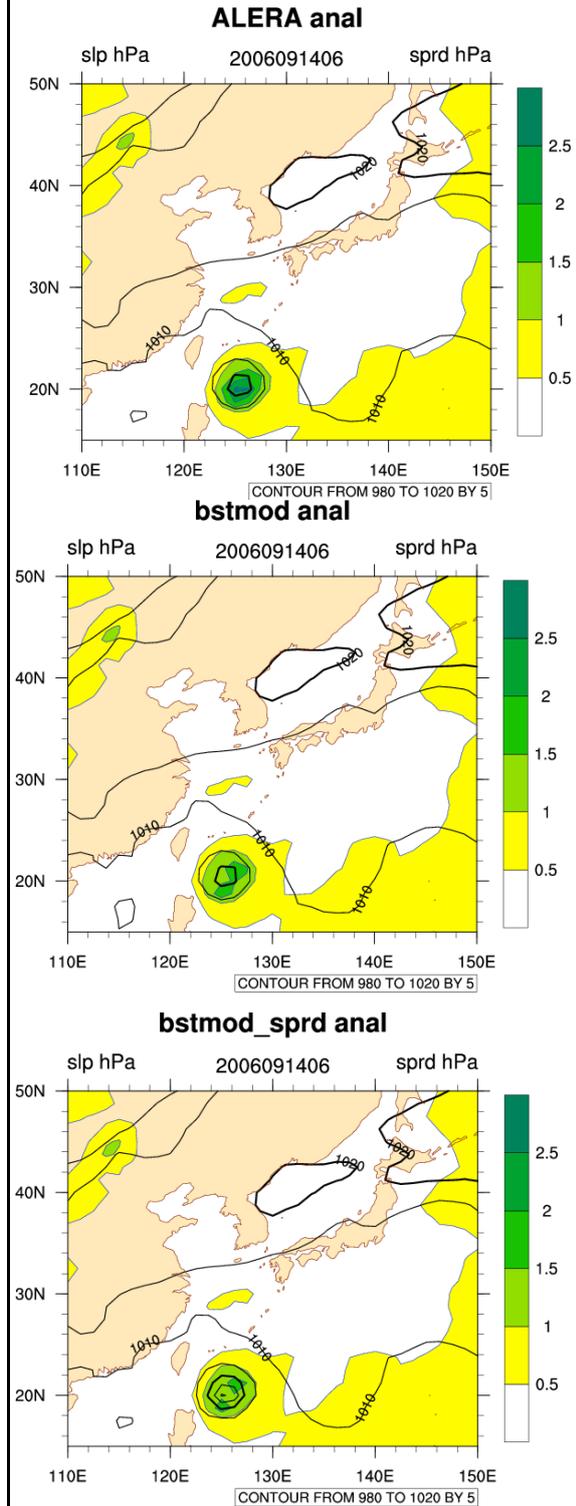


図8 2006年9月14日6UTCにおける気圧分布(hPa)と気圧のアンサンブルスプレッド(hPa). 上)標準実験, 中)ボーガスに基づく手法で修正した中心気圧を同化した実験, 下)アンサンブルスプレッドに基づく手法で修正した中心気圧を同化した実験.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 23 件)

- 1) Yamaguchi, M., T. Iriguchi, T. Nakazawa and C.-C. Wu, 2010: An observing system experiment for Typhoon Conson (2004) using a singular vector method and DOTSTAR data. *Mon. Wea. Rev.*, 査読有, **137**, 2801-2816.
- 2) Nakazawa, T., K. Bessho, 他 5 名, 2010: THORPEX-Pacific Asian Regional Campaign (T-PARC). Technical Review, 査読無, JMA, 12, 1-4.
- 3) Bessho, K., T. Nakazawa, M. Weissmann, 2010: DLR Falcon dropsonde operation in T-PARC and analysis of the environment surrounding typhoons. Technical Review, JMA, 査読無, 12, 5-11.
- 4) Komori, T., 他 6 名, 2010: Total energy singular vector guidance developed at JMA for T-PARC. Technical Review, JMA, 査読無, 12, 13-27.
- 5) Yamashita, K., Y. Ohta, K. Sato, and T. Nakazawa, 2009: Observing-system experiments using the operational NWP system of JMA, Technical Review, JMA, 査読無, 12, 29-44.
- 6) Hoshino, S. and T. Nakazawa, 2010: T-PARC Website at MRI. Technical Review, 査読無, JMA, 12, 45-53.
- 7) 中澤哲夫, 2008: 台風のための双方向予報システムの構築に向けて. 日本気象学会誌「天気」, 査読有, 374-378.

〔学会発表〕(計 81 件)

- 1) Nakazawa, T., 2009: Impact of special observation for tropical cyclone track forecasts in T-PARC 2008. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique. Nov. 30, 2009, Tokyo.
- 2) Nakazawa, T., 2009: Impact of special observation for tropical cyclone track forecasts in T-PARC 2008. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique. Nov. 30, 2009, Tokyo.
- 3) Komori, T., 2009: JMA sensitivity analysis in T-PARC. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique. Dec. 1, 2009, Tokyo.
- 4) Ohta, Y., K. Yamashita, T. Nakazawa 2009: Observing system experiments using the operational NWP system of JMA with T-PARC 2008 special observations targeted for Typhoon Jangmi. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique. Dec. 1, 2009, Tokyo.
- 5) Enomoto, T., T. Miyoshi, S. Yamane, 2009: Atmospheric uncertainty associated with

typhoon genesis estimated in ensemble reanalysis ALERA. International Workshop on Advancement of Typhoon Track Forecast Technique. Dec. 2, 2009, Tokyo.

- 6) Nakazawa, T., 2008: Overview of T-PARC. International Joint Workshop on Predictability and Observation Experiment in Korea and NWP, Nov. 13, 2008, Jeju, Korea.

〔図書〕(計 1 件)

- 1) Nakazawa, T., D. Parsons and T. Komori, 2009: THORPEX and Its Application for Nargis by Ensemble Prediction, Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change, Ed. Y. Charabi, Springer, pp373, 143-148.

〔その他〕

ホームページ等

<http://tparc.mri-jma.go.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中澤 哲夫 (NAKAZAWA TETSUO)
気象庁気象研究所・台風研究部・室長
研究者番号：20343890

(2) 研究分担者

別所 康太郎 (BESSHO KOTARO)
気象庁気象研究所・台風研究部・主任研究官
研究者番号：00354481
坪木 和久 (TSUBOKI KAZUHISA)
名古屋大学・地球水循環研究センター・教授
研究者番号：90222140
(H19→H20：連携研究者)
斉藤 和雄 (SAITO KAZUO)
気象庁気象研究所・予報研究部・室長
研究者番号：70391224
(H19→H20：連携研究者)
榎本 剛 (ENOMOTO TAKESHI)
海洋研究開発機構・地球シミュレーションセンター・
研究者番号：10358765
(H19→H20：連携研究者)

(3) 連携研究者

原 昌弘 (HARA MASAHIRO)
気象庁気象研究所・予報研究部・主任研究官
研究者番号：30354450