

平成 26 年度 卒業論文

2011 年台風 6 号が U ターンした理由とは
Why did Typhoon Ma-on(2011) return southward?

三重大学 生物資源学部

共生環境学科 自然環境システム学講座

地球環境気候学研究室 511369

堀口 桃子

指導教員：立花義裕教授

目次

1 章 序論.....	3
1-1 研究背景と研究目的.....	3
2 章 解析手法.....	4
2-1 使用データ.....	4
2-2 使用モデルの概要.....	5
2-3 本研究のモデル設定.....	6
3 章 解析結果.....	9
3-1 気象概要.....	9
3-2 Run1 と Run2 の台風の経路.....	11
3-3 Run1 と Run2 のジオポテンシャル高度の比較.....	12
3-4 Run1, Run2 と再解析データのジオポテンシャル高度の比較.....	14
3-5 Run1, Run2 における台風の鉛直構造の比較.....	15
4 章 結論.....	16
4-1 T1106 の進路.....	16
4-2 台風 6 号による台風北西側の高気圧の強化.....	16
5 章 まとめ.....	17
謝辞.....	18
参考文献.....	19

1 章 序論

1-1 研究背景と研究目的

台風の経路は、指向流と呼ばれる台風周辺の場の流れである上空の風と、台風自身の流れの2つによって決まる。台風自身はベータ効果などにより北西へ向かう流れを持っているが(Chan and Williams,1987)⁽¹⁾自身の持つ流れによる動きは非常に弱く、上空の風に流されて進むのが一般的であると言われている。そのため、台風が周囲の気圧場や風から影響を受けて進路が決定するという研究は多くなされているが、台風自身が周囲に及ぼし、それが更に進路に影響を与えるといった内容の研究は数少ない。台風が周囲に及ぼす影響として Kawamura and Ogasawara(2006)⁽²⁾や Yamada and Kawamura(2007)⁽³⁾では、台風が高気圧を遠隔的に強化して気象災害を引き起こしていることを示している。しかし、この研究でも遠隔的に強化された高気圧と台風の進路の関係性については言及されていない。先行研究として、中田(2014,卒業論文)⁽⁴⁾では台風の遠隔強制の進路への影響が示唆されている。

2011年7月に発生した台風6号は、7月20日0時(UTC)ごろ徳島県に上陸した後、同日10時(UTC)ごろ和歌山県潮岬付近を通過した。その後22日午前中まで南東へ進み、まるでUターンするような進路を取った(Fig.1)。日本付近で2日間に渡り南進する台風は前例がないものである。台風が南東に向かう流れというのは日本付近を代表する指向流である偏西風や太平洋高気圧の動きなどとは異なるものであり、台風自身の作り出す流れとも異なったものである。

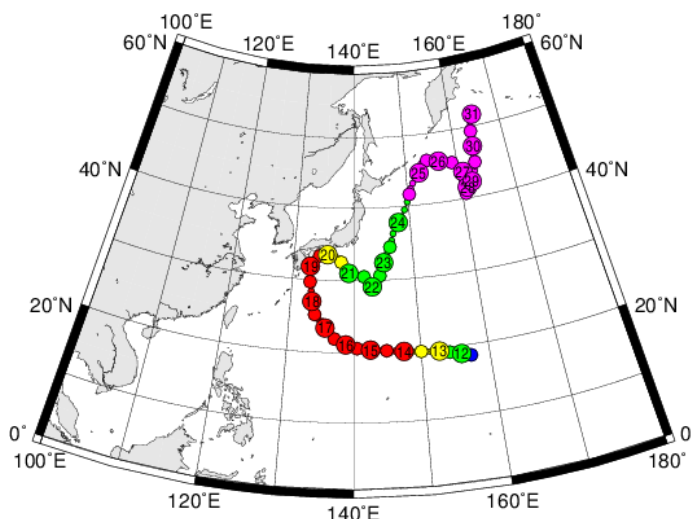


Fig.1 台風6号の経路図

数字は日付，色は台風の中心気圧を表す(但し，紫色は温帯低気圧となった期間)
赤色:970hPa 以下，黄色:970～990hPa，緑色:990～1000hPa
(デジタル台風より引用)⁽⁵⁾

そこで，本研究では，2011年台風6号のUターンのような進路に着目し、このような進路を取った原因の解明，更にその原因に台風の遠隔強制が関わっているか否かを解明することを目的とする。

2 章 解析手法

2-1 使用データ

ERA-interim

本研究では、ヨーロッパ中期予報センター(ECWMF:European Centre for Medium Range Weather Forecasts)が提供する再解析データである ERA-interim を気象データとして用いた。ERA-interim は、1979 年 1 月から現在までの月毎、6 時間間隔でデータが提供されている。データの水平解像度は 1.5 度、鉛直層は 37 等圧面、15 等温位面、1 等渦位面、地表面のデータがある。地表面データには東西、南北成分の 10m 風、地上 2m の気温、積雪量、海水温等の地表における気象データの他、地表面温度や地下土壌温度などの土壌物理データも含まれている。

本研究では、これらの気象データから対象期間が含まれる 2011 年 7 月の等圧面データ、地表面データを使用した。等圧面データには、相対湿度、気温、東西風、南北風、鉛直風、ジオポテンシャル高度が含まれる。

気象庁ベストトラック

台風は重要な気象現象であることから、世界各地の気象関係機関は、台風に関する詳細な記録を残している。この記録は、一定時間(3 時間～6 時間)ごとの台風の中心位置や中心気圧・最大風速などを、専門家が後日に解析してまとめたもので、一般にはベストトラック(最終解析結果)と呼ばれる。(デジタル台風より引用)

本研究では、気象庁台風センター(RSMC Tokyo - Typhoon Center)による RSMC Best Track Data から台風 6 号(MA-ON)の中心位置(緯度・経度)、中心気圧、最大風速を使用し、台風 12 号の実況を示している。

2-2 使用モデルの概要

2-2-1 WRF Version 3.4.1

本研究では、数値予報モデルの WRF(Weather Research and Forecast)Version3.4.1 を使用した。WRF はアメリカ大気研究センター(NCEP : National Center for Atmospheric Research), アメリカ海洋大気庁(NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration), 空軍気象局空軍気象局(AFWA : Air Force Weather Agency), 海軍研究試験所(Naval Research Laboratory), オクラホマ大学, 連邦航空局(FAA : Federal Aviation Administration)によって、気象研究及び実務予報のために共同開発された、次世代メソスケール数値予報システムである。(THE WEATHER RESEARCH & FORECASTING MODEL Website より)

WRF の特徴としては、計算範囲が数千 km から数十 m まで幅広く対応していること、最新の放射、乱流、雲物理、地表面モデルなどの物理モデルが導入されており、より進んだデータ同化システムが利用できるといったことが挙げられる。また、粗い解像度の領域の内部に細かい解像度の領域を設定(Nest)する手法(1way nesting)や、更に細かい解像度の領域内で計算した値を外側の粗い解像度の領域へ反映させ、再度粗い領域を計算し直す手法(2way nesting)が利用可能である(詳細は 2-3-2)。このように細かい計算が可能であるので、再解析データからでは分からない局所的気象現象のシミュレーションが可能である。更に、Nest した領域を台風など低気圧の移動と共に追従させる(Moving nest, 詳細は 2-3-1)ことも可能である。これらの手法を複合的に利用することで擾乱現象を緻密に計算することが出来るため、海洋の波浪研究の分野や都市部のヒートアイランド現象の研究分野などでも用いられている。

2-2-2 WRF の計算の流れ

Fig.2 に WRF における計算の流れを示す。NCEP や ECMWF などが提供している大気場データと、アメリカ地質調査所 (USGS) が提供している標高、土地利用データなどの地形データをそれぞれ WPS (WRF Preprocessing System) 内の ungrib.exe, geogrid.exe により namelist.wps で設定した領域にマッチングさせ、これらを metgrid.exe で合成した後、real.exe で初期値を決定する。その際、観測値等を WRF-DA (WRF Data Assimilation) によってデータ同化することも可能である。そして、namelist.input で雲物理過程や放射過程などの物理スキームや計算過程などを設定し、real.exe で出力された初期値を用いて ARW (Advanced Research WRF) で計算する。この際、理想化実験も可能である。出力された結果を解析するための ARWpost などの処理ツールも実装されている。

本研究では、地形データには USGS の 30 秒メッシュデータ、大気場および地表面データには ECMWF の ERA-interim を用いている。

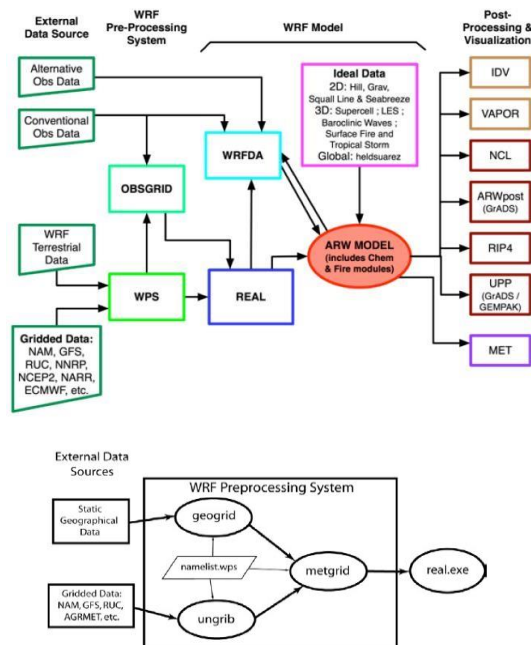


Fig.2 WRF モデルシステムのフローチャートと WPS のシステムフロー
(ARW Version 3 Modeling System User's Guide(2012)より引用)⁽⁶⁾

2-3 本研究でのモデル設定

2-3-1 Moving Nest

本研究では、台風を追従する Moving Nest を使用している。これにより、台風が移動しても常に解像度の細かい領域が台風を囲うことになり、台風の発生過程など、より細かな台風構造を計算することが出来る。

2-3-2 2way Nesting

本研究では、2way Nesting を使用している。これにより、台風を囲う細かい解像度の領域で計算された値を外側の粗い解像度の領域へ返すことになり、台風が周辺に与える影響込みで動きを見ることが出来る。

2-3-3 物理オプション

本研究で行った実験で使用した主要な物理オプションを示す (Table.1).

Table.1 **WRF** で使用した主な物理オプション

物理スキーム項目	使用スキーム
mp_physics	WRF Double-Moment 6-class scheme
ra_lw_physics	RRTM scheme
ra_sw_physics	Dudhia scheme
sf_surface_physics	Noah Land Surface Model
bl_pbl_physics	Yonsei University scheme
cu_physics	Kain-Fritsch scheme

本研究ではデータ同化は行わず，海面水温を 3 時間毎に外挿している．

2-3-4 計算領域

DO1, DO2 の水平格子間隔及び鉛直総数を以下に示す．Fig.3 で DO2 の位置は初期値の位置を示している．

水平格子間隔

DO1 : 30km

DO2 : 6km

鉛直総数 ; 28 層

DO1 は東経 119 度から 161 度，北緯 23 度から 55 度に位置する (Fig.3)．

本研究では，計算開始時刻の違う実験を2つ行った．台風が南進する前の7月19日00UTCから計算を行ったものをRun1，台風が南進し始めた7月20日00UTCから計算を行ったものをRun2とする．計算終了時刻はRun1，Run2共に7月23日00UTCまでとする．

DO1

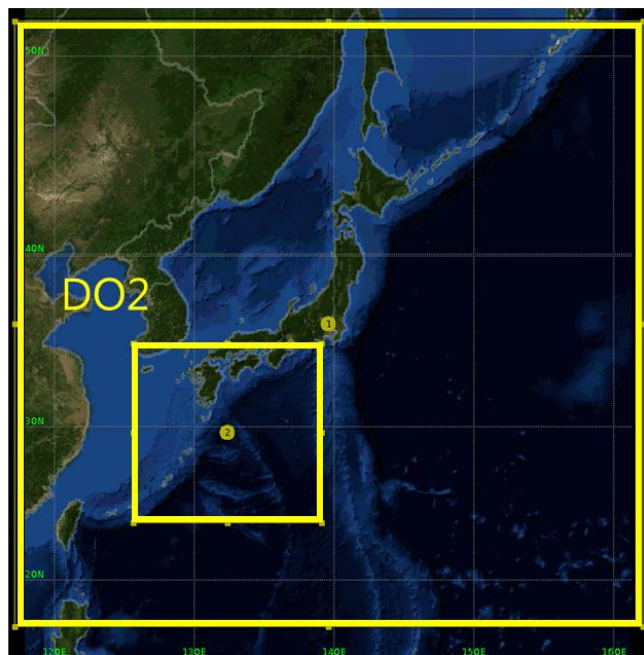


Fig.3 WRFにおけるD01，D02の計算領域

3 章 解析結果

3-1 気象概要

Fig.4, Fig.5 に台風が南進し始める 7 月 20 日(UTC)から台風が再び北に進み出す前の 7 月 22 日(UTC)のそれぞれ 250hPa 面, 500hPa 面におけるジオポテンシャル高度を ERA-interim 再解析データを用いて示す. この図は, 500hPa 面, 250hPa 面共に台風の南進の序盤から中盤までは台風の北西側に高気圧, 北東側に低気圧という形で波構造が存在していることを示している.

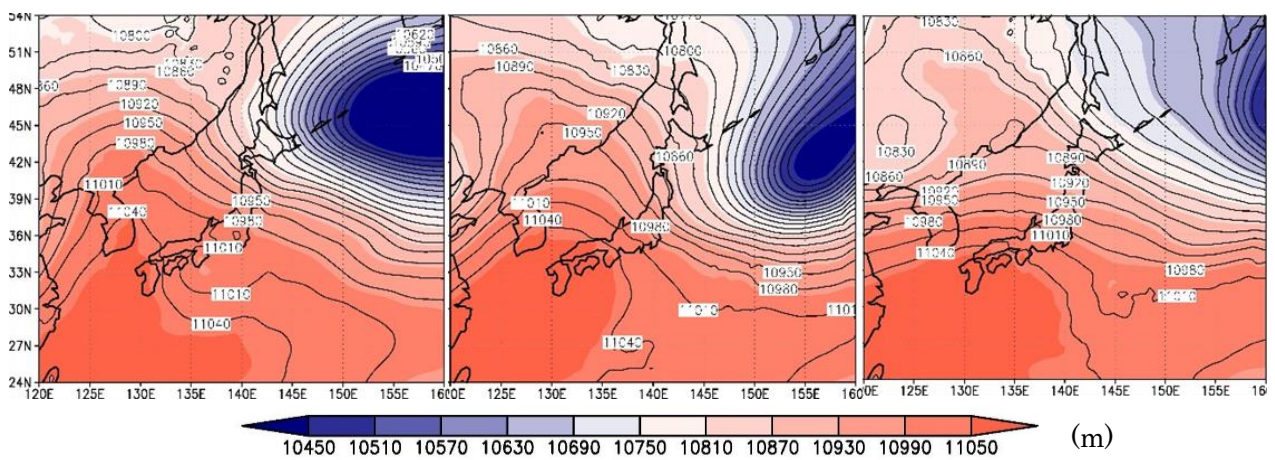


Fig.4 7 月 20 日(左), 7 月 21 日(中), 7 月 22 日(右)における 250hPa 面のジオポテンシャル高度.

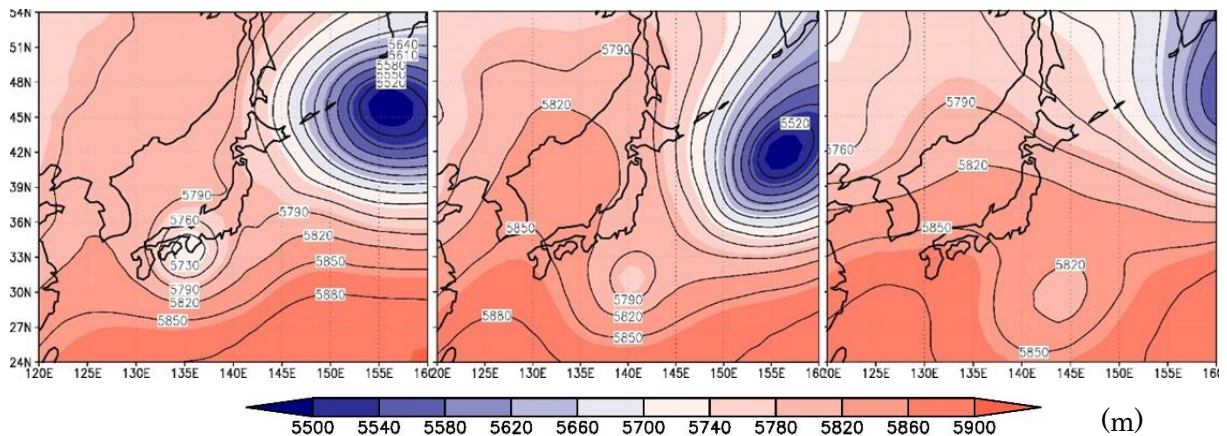


Fig.5 7 月 20 日(左), 7 月 21 日(中), 7 月 22 日(右)における 500hPa 面のジオポテンシャル高度.

この波構造を詳しく考察するため、ERA-interim 再解析データを用いて 250hPa 面におけるジオポテンシャル高度の $35\text{--}40^\circ\text{N}$ 領域を平均した時間-経度断面を示す (Fig.6). この図より、台風が日本付近に接近する前の 7 月 17 日頃から、台風が U ターンを止めて北上し出す 7 月 23 日頃まで $80\text{--}180^\circ\text{E}$ で高気圧と低気圧の波構造が出来ていることが分かった. これより、台風の南進中に見られた上空の波構造は、 80°E 付近で生じた波列が伝播したものという事が分かる.

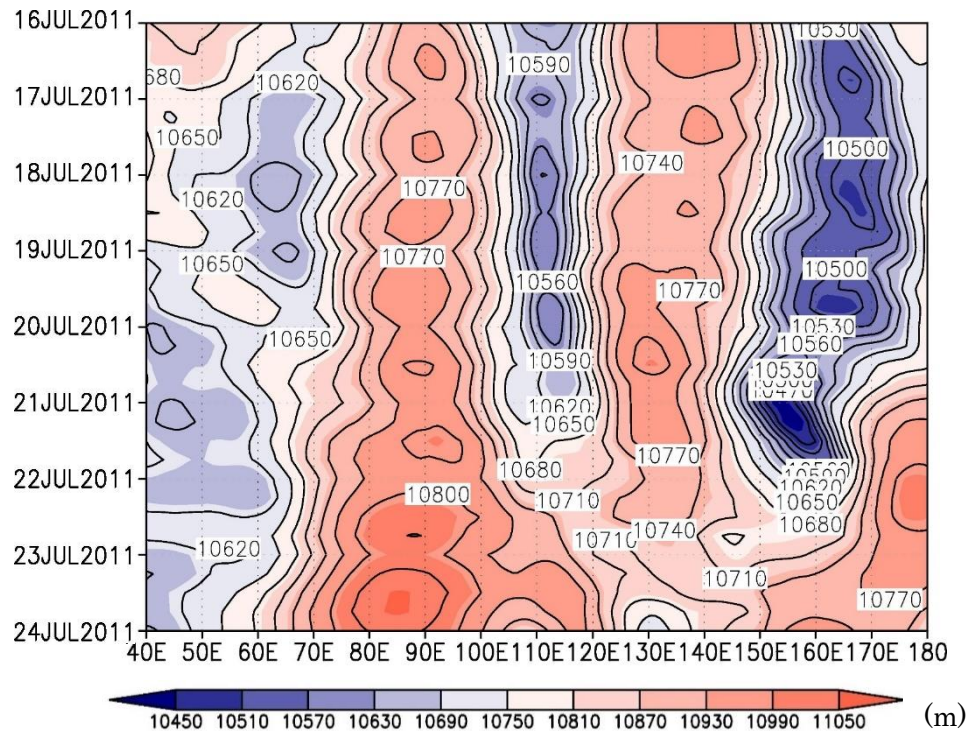


Fig.6 250hPa 面におけるジオポテンシャル高度の $35\text{--}40^\circ\text{N}$ を平均した時間-経度断面

3-2 Run1 と Run2 の台風の経路

以下、実際の台風 6 号と計算結果における台風 6 号との混同を避けるため、WRF の結果における対象の台風を T1106 と記す。また、Run1 と Run2 との差、ERA-interim 再解析データとの差を計算する時は、周囲の場との関係を見るためそれぞれ $120\text{--}158^{\circ}\text{ E}$, $20\text{--}50^{\circ}\text{ N}$ の領域平均値からのずれを計算したものからの差とした

Fig.7 に、Run1, Run2 それぞれの WRF における T1106 の経路とベストトラック(Fig.7 黒色線)を示す。Run1 は東へ向かい実際の台風のように南東へ向かう動きは見られず、進行速度も現実より速い結果となった(Fig.7 赤色線)。Run2 は実際の台風と進行速度にずれはあるが、U ターンを大まかに再現した結果となった(Fig.7 白色線)。これらの結果より、本研究では Run2 が南進した原因をある程度再現できたものとする。また、今後は南への進路を特に再現できており、Run2 の初期値から 12 時間経過後の 7 月 20 日 12 時(UTC)に着目して比較を行う。

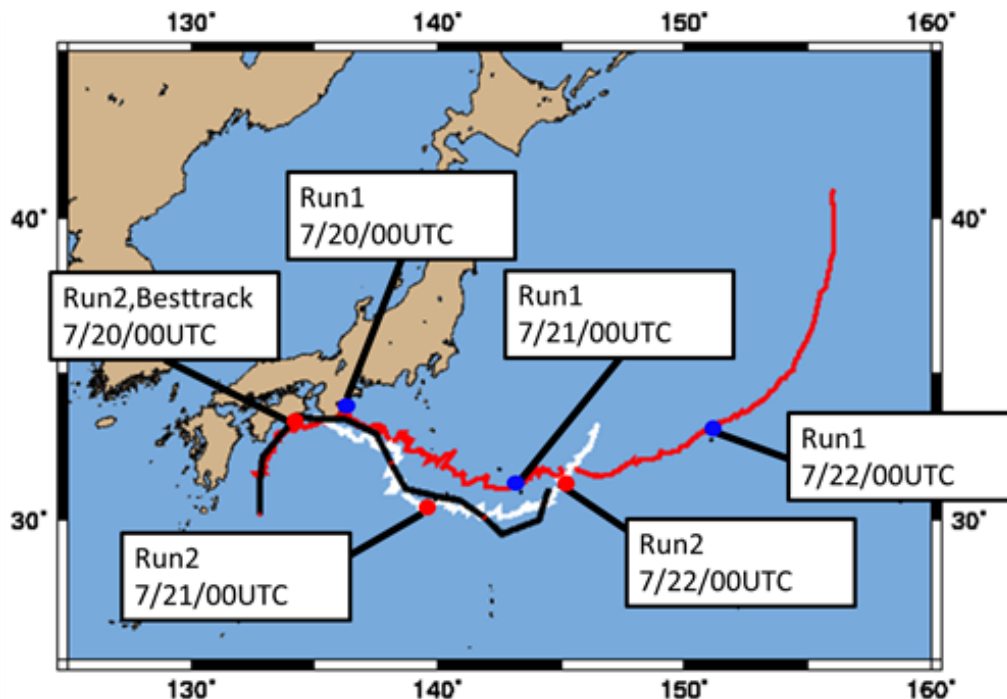


Fig.7 計算結果における進路と実際の進路. ベストトラック: 黒色線, Run1 赤色線, Run2: 白色線

3-3 Run1 と Run2 のジオポテンシャル高度の比較

Fig.8, Fig.9 に, Run1, Run2, それぞれ7月20日12UTCにおける250hPa面と500hPa面のジオポテンシャル高度を示した((a)は250hPa面, (b)は500hPa面). これらより, Run1, Run2共に上空の波構造を再現できていることが分かる.

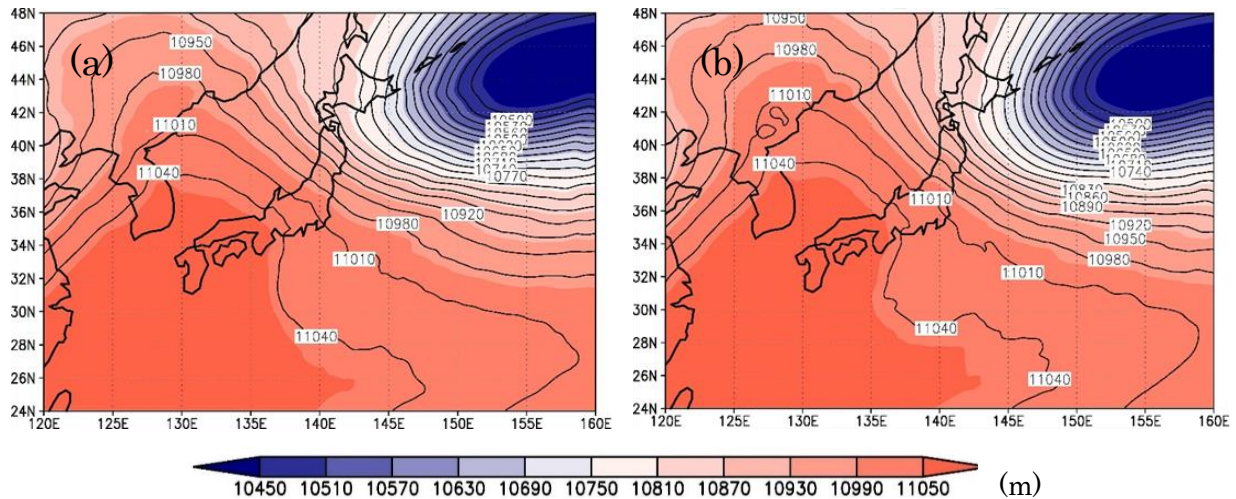


Fig.8 Run1(a), Run2(b)の7月20日12UTCにおける250hPa面のジオポテンシャル高度

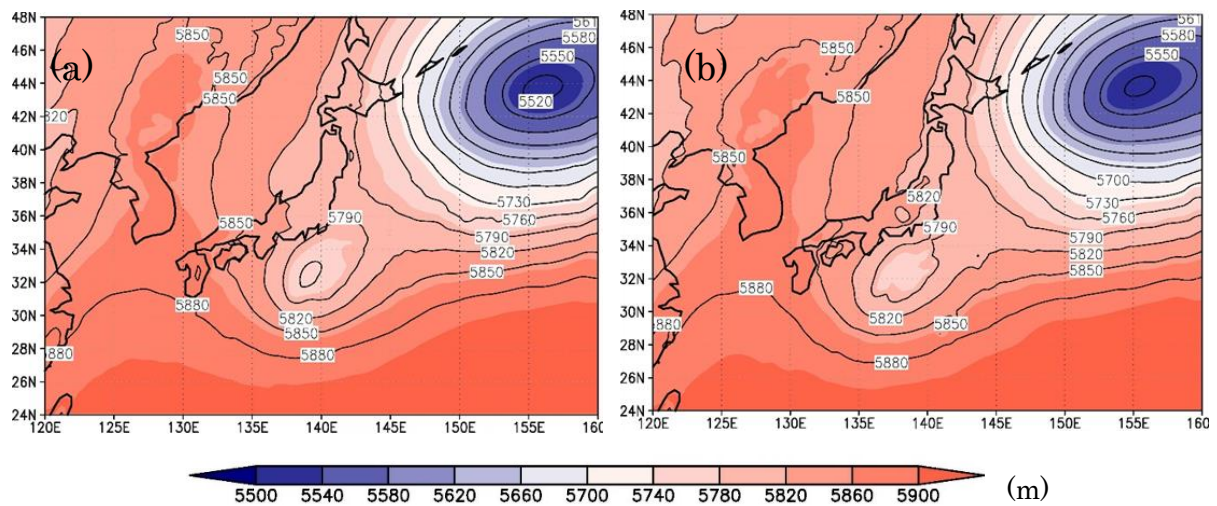


Fig.9 Run1(a), Run2(b)の7月20日12UTCにおける500hPa面のジオポテンシャル高度

Fig.10 に、7 月 20 日 12UTC におけるジオポテンシャル高度について、Run2 から Run1 を引いた差を示した．((a)は 250hPa 面，(b)は 500hPa 面) 250hPa 面では台風の存在する四国付近の北西側で高気圧偏差，北東側で低気圧偏差となっていることがわかる．一方，500hPa 面では台風の北西側，北東側に目立った偏差は見られない．

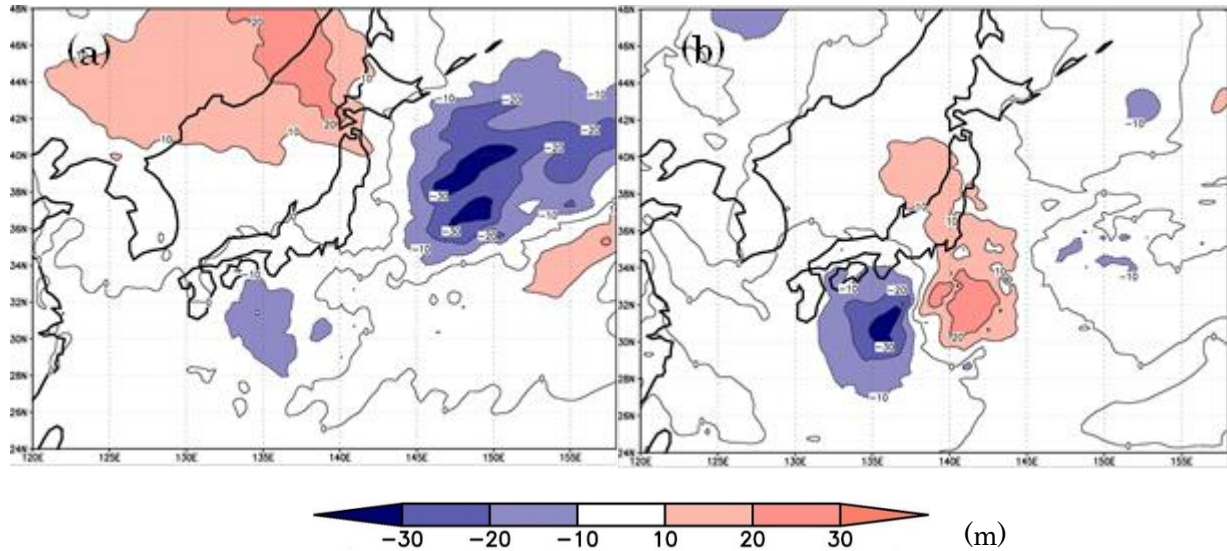


Fig.10 7 月 20 日 12UTC におけるジオポテンシャル高度の平均場からのずれを計算し，Run2 の平均場からのずれから Run1 の平均場のずれの差(実線は正，破線は負)．(a) 250hPa，(b) 500hPa

これらの結果より，Run1 と Run2 の差について，250hPa 面の上空の波構造についてのみ明瞭となった．

3-4 Run1, Run2 と再解析データのジオポテンシャル高度の比較

Fig.11 に ERA-interim 再解析データから 250hPa 面のジオポテンシャル高度の Run1, Run2 との差を計算したものを図 3 に示す(a は Run1 との差, b は Run2 との差). 台風の存在する四国の北西側、北東側について、台風の南進を再現できた Run2 との差は目立った偏差は見られなかった. 一方、南進が再現できなかった Run1 との差では北西側で高気圧偏差、北東側で低気圧偏差となった.

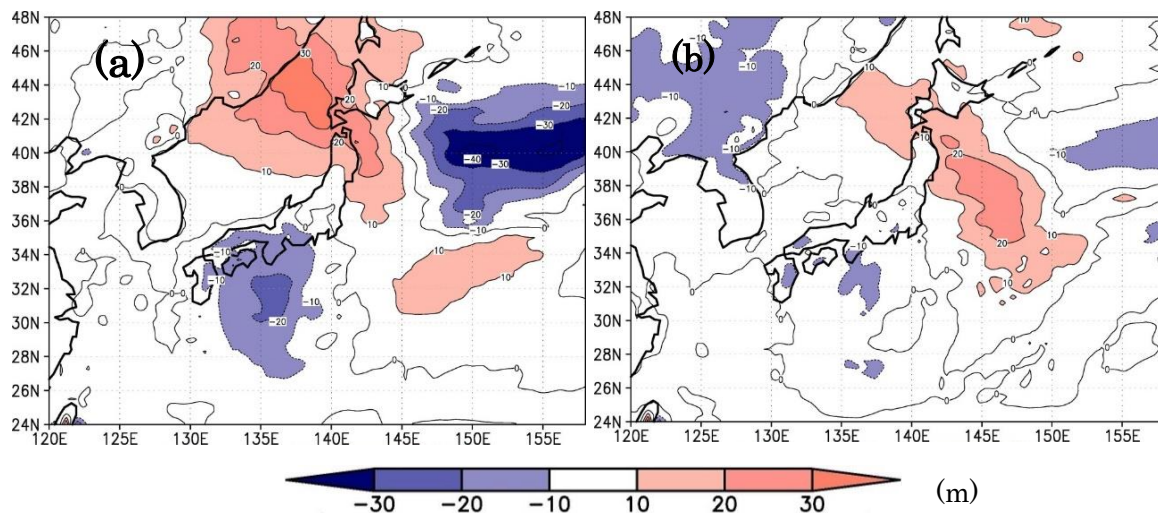


Fig.11 7月20日12UTCにおける250hPa面JRA-55ジオポテンシャル高度の平均場からのずれを計算したものから、モデル結果の平均場からのずれの差(実線は正、破線は負).
(a) JRA-Run1, (b) JRA-Run2

3-5 Run1,Run2 における台風の鉛直構造の比較

Fig.12 に、Run1, Run2 それぞれにおける台風の中心からの南北方向のジオポテンシャル高度の断面を計算し、Run2 から Run1 の差を取ったものを示す。Run1, Run2 ではそれぞれ台風の経度が異なる為、経度を合わせて差を取った。Fig.12 より、台風の存在する 28°N 付近の上空 250hPa 付近までは低気圧偏差、台風より北側の上空 500hPa 以上の所で高気圧偏差となっていることが分かる。

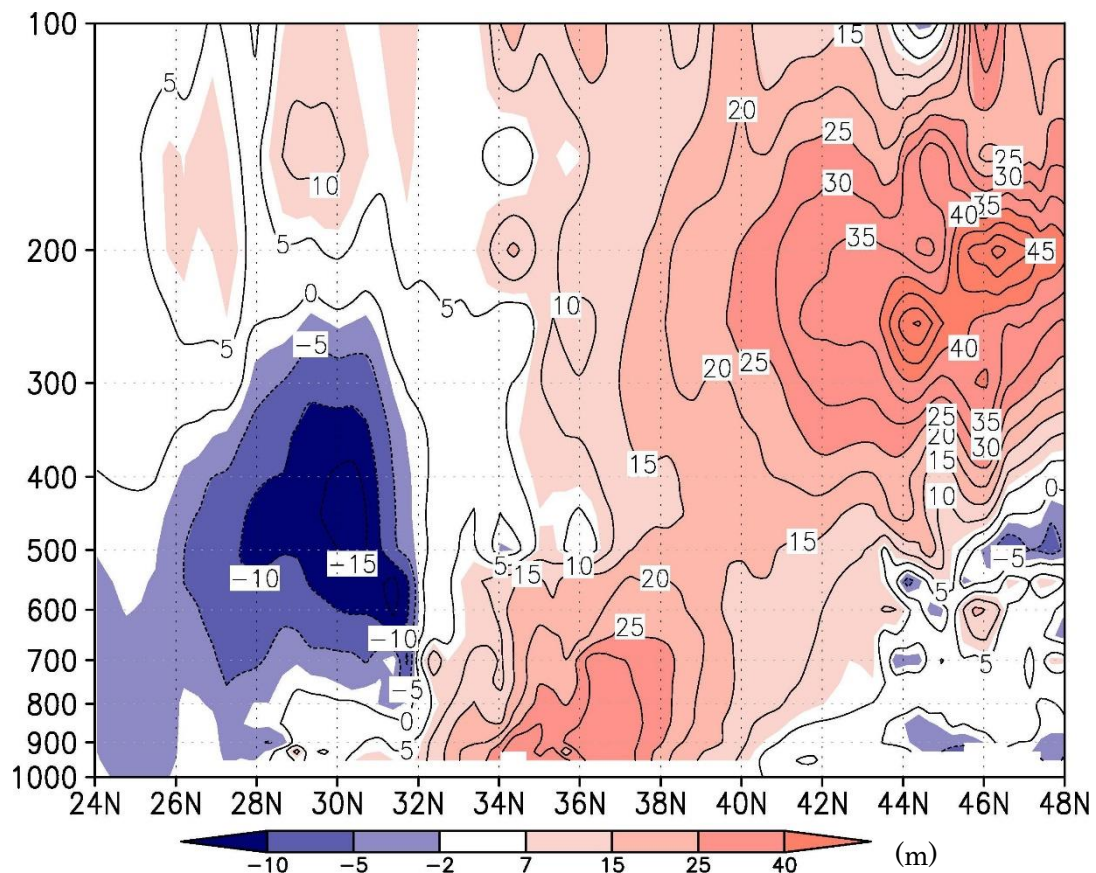


Fig.12 7月20日12UTCにおけるRun1, Run2それぞれにおける台風の中心からの南北方向のジオポテンシャル高度の断面, Run2 から Run1 の差(実線は正, 破線は負)

4 章 考察

4-1 T1106 の進路

南進しなかった Run1 と南進した Run2 を比較した結果、一般的に台風の移動に強く関わっていると言われる 500hPa 面の気圧配置に大きな差は見られなかったが(Fig.10 b), それより上空である 250hPa 面の気圧配置には明確な差が見られたことから(Fig.10 a), 台風の南進には 250hPa 面の気圧配置が関わっていることが示唆される. 更に, 再解析データにより, 台風 6 号が日本に接近した 7 月 19 日ごろから 7 月 23 日ごろは 250hPa 面の波構造が西から伝播してきている最中であることがわかった(Fig.6). これより, 台風 6 号の南進の原因は, 台風が日本に接近した際に波の張り出しの部分に進路を阻まれて押し下げられたことが原因であると考えられる.

4-2 台風 6 号による台風北西側の高気圧の強化

Run1 と Run2 の計算で変化させたものは初期条件のみであることより, 両者の計算結果を比較した際に見られた進路の違いや 250hPa 面の気圧配置の違いには台風自身の作り出す流れが関与している可能性があると考ええる. Fig.12 より, Run1 と Run2 の台風の鉛直構造を比較すると, Run2 では Run1 に比べ台風内部が低圧となっていた. 上空ではジオポテンシャルと温度の変化は同じような振る舞いをするため, Run2 では台風内部の暖かく湿っているウォームコア構造が弱いことが分かる. これより, 台風が南下した Run2 では台風自身が冷源となっていることが分かる. 台風が冷源となることで台風上空では低気圧傾向, その北側では高気圧傾向という南北方向の波構造が形成される. 南北方向に形成された波構造で高気圧となった箇所は, 東西方向の波構造の高気圧が位置する箇所と一致するため, 元々の高気圧が強化され波構造が強まり, 北風が強化されたためにより南に進んだと考えられる.

5 章 まとめ

台風 6 号の南進は大規模場の流れによってもたらされたものであるのか、台風 6 号自身の遠隔強制が働いた結果であるのか。もし遠隔強制が働いていたとしたら、どのようなメカニズムで起こっているものなのかを解明することを目的とし、再解析データと数値予報モデル WRF で解析を行った。その結果を以下にまとめる。

1. 南下が起こった 7 月 20 日 00UTC から 7 月 22 日 00UTC ごろ 250hPa 面では台風 6 号の北西側に高気圧、北東側に低気圧の波構造が見られた。
2. 数値予報モデル WRF を用いて、7 月 19 日 00UTC から計算を開始した Run1 と 7 月 20 日 00UTC から計算を開始した Run2 を比較した。計算結果は以下であった。
 - イ) Run1 では台風 6 号のような南下は起こらず、Run2 では台風 6 号と同様の南下が見られた。
 - ロ) Run1 と Run2 を比較した結果、上空 250hPa 面の波構造が Run2 においてより強く見られた。
 - ハ) 台風の鉛直構造を比較すると、Run2 の T1106 の方が Run1 の T1106 よりウォームコア構造が弱くなっていた。
3. Run2 の T1106 では台風が冷源となっており、上空で低気圧、その北側で高気圧という南北方向の波構造が作られ、北側の高気圧を強化し、波構造が強化されたことにより北風が強化され T1106 自身が流され南進したことが考えられる。また、現実の台風 6 号の強度、構造は Run2 の T1106 により近いものであったことより、台風による高気圧の遠隔強制は現実にも起こったものであると推測される。
4. 本研究では 2011 年台風 6 号に着目し、台風の遠隔強制について示した。台風研究において、台風の構造や発達過程の分野は古くから多くの研究が成されているが、台風の遠隔強制における進路や周囲の場への影響はほとんど研究されていない。これより、本研究で示されたような台風による遠隔強制が存在することが考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり，指導教員である立花義裕教授には一貫してご指導して頂き，気象に関する専門知識や解析手法，さらには発表の仕方などきめ細かいアドバイスをいただきましたこと，そして，特定事業研究員として本地球環境気候学研究室にお越しいただいている小寺邦彦氏，山崎孝治氏には研究に対するアドバイスのみならず，気象学の幅広い知識や研究内容に対するコメント，助言を頂きましたこと深く感謝申し上げます。

自然環境システム学講座の先生方には合同ゼミでご指導していただき，海洋，森林，大気，統計など専門的な授業で重要な知識を学ばせていただきました。深く感謝しております。地球環境気候学研究室の先輩方には，研究内容について多くの助言やプログラムの組み方，要旨を添削していただき，大変お世話になったことを心より感謝しております。また，中田晃志氏には研究方針について多大なアドバイスをいただきました事を深く感謝申し上げます。

皆々様へ重ねて心よりの感謝を申し上げまして，謝辞といたします。

参考・引用文献

- (1) Johnny C. L. Chan and R. T. Williams (1987): Analytical and Numerical Studies of the Beta-Effect in Tropical Cyclone Motion. Part I: Zero Mean Flow. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 1257–1265.
- (2) R. Kawamura, and T. Ogasawara (2006): On the Role of Typhoons in Generating PJ Teleconnection Patterns over the Western North Pacific in Late Summer. *SOLA*, **2**, 037–040.
- (3) K. Yamada and R. Kawamura (2007): Dynamical Link between Typhoon Activity and the PJ Teleconnection Pattern from Early Summer to Autumn as Revealed by the JRA-25 Reanalysis. *SOLA*, **3**, 065–068.
- (4) 中田晃志(2014): 2 つの台風による連鎖する遠隔強制—台風 12 号が日本に上陸した理由—.三重大学卒業論文.
- (5) 北本朝展／国立情報研究所：デジタル台風
<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>
- (6) WRF model organization : The Weather Research & Forecasting Model
<http://wrf-model.org/index.php>