

伊勢湾台風を対象とした高潮追算のためのJRA55再解析データの力学的ダウンスケール

著者	二宮 順一, 竹見 哲也, 森 信人
著者別表示	Ninomiya Junichi, Takemi Tetsuya, Mori Nobuhito
雑誌名	土木学会論文集B6(海岸工学)
巻	71
号	2
ページ	I_1699-I_1704
発行年	2015-11-10
URL	http://doi.org/10.24517/00049530

doi: 10.2208/kaigan.71.I_1699



伊勢湾台風を対象とした高潮追算のための JRA55再解析データの力学的ダウンスケール

二宮 順一¹・竹見 哲也²・森 信人³

¹正会員 金沢大学助教 理工研究域環境デザイン学系 (〒 920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: jnino@se.kanazawa-u.ac.jp

²正会員 京都大学准教授 防災研究所 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: takemi@storm.dpri.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学准教授 防災研究所 (〒 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: mori@oceanwave.jp

伊勢湾台風を対象に、最新の全球再解析気象データ JRA55 を用いた WRF によるダウンスケール実験を行った。伊勢湾台風が発生した 1959 年を含む全球気象データは限られており、その再現性は低いことが知られている。そこで、5 種の全球気象データから伊勢湾台風を抽出し、比較して、JRA55 の再現性の高さを示した。また、高潮追算の外力である海面気圧及び海上風を高解像度で計算するための領域気象モデルの台風経路から計算領域端までの幅と水平解像度について手法の検討を行った。計算領域サイズの設定は、台風経路と台風強度の両者に影響し、領域を広く設定するほど台風経路は誤差が大きくなり、台風強度は強く推定された。水平解像度の違いは台風経路への影響が小さく、高解像度ほど台風強度を強く推定することがわかった。以上の結果を踏まえて、高潮推算における領域気象モデルの検討手順を示した。

Key Words: Isewan typhoon, WRF, JRA55, storm surge, downscaling

1. 序論

既往最大規模の高潮災害をもたらした伊勢湾台風は、これまで多くの研究者が追算を行い、その時間的変動や被災過程について検討されてきた。高潮は、海面気圧と海上風のデータから計算される。これまで、周辺の観測結果を内挿する方法¹⁾や台風ボーガスから算出する方法^{2),3)}、気象モデルを用いて力学的に算出する方法^{4),5)}が用いられてきた。これらの手法は主に、外力である気圧及び海上風をより詳細に与えるため、陸地の影響を考慮するために順に改良されてきた手法である。現在では気象モデルを用いた高潮計算が一般的になっているが、伊勢湾台風のように急発達を伴った強い台風に対しては、現在の気象モデルを用いた方法では強度の再現性が良くないことが知られており、沿岸災害解析手法としてモデル使用者の経験に左右されることも多い。

これまで、高潮追算の外力に適用するための領域気象モデル WRF の条件設定として、安田ら (2009)⁶⁾ は Nudging と静的 Nesting、中野ら (2010)⁷⁾ は 4DVAR、鈴山ら (2011, 2012)^{8),9)} は動的 Nesting、高層のみへの Nudging、1 次元海洋モデルおよび台風ボーガス、金ら (2012, 2013)^{10),11)} は全球気象データ、地形データ、鉛直座標、惑星境界層モデルおよび微物理モデルの影響について検討している。台風の強度や大きさ、経路

といった特性によって、気象モデルを用いた台風再現の容易さは異なるものの、モデル条件が再現性に与える影響について徐々に明らかになってきている。領域気象モデルは全球気象データからダウンスケールを行うため、その精度は重要であるが検討している例がない。また、モデルの計算条件の決定にあたって、第 1 ドメインの領域サイズや水平解像度は計算負荷や台風の再現性に直結した重要な項目であるが、検討されておらず使用者の経験に委ねられているのが現状である。

そこで本研究では、再現が困難とされる急発達を伴った強い台風である伊勢湾台風を対象として、JRA55 を用いた領域気象モデル WRF による台風の再現計算を行う。この過程において、初期・境界値となる全球気象データの比較を行って、データ品質のバラつきを確認するとともに、JRA55 の日本周辺域の台風再現計算に対する有用性を示す。次いで、台風の再現計算を行う際の WRF の計算領域の設定方法と水平解像度が台風の再現計算に与える影響について検討する。最後に、気象モデルによる台風再現計算の手順についてまとめる。

2. 研究概要

(1) 伊勢湾台風の概要

本研究で対象とする伊勢湾台風は 1959 年 9 月に発生し、伊勢湾周辺域に最大規模の高潮災害をもたらした

表-1 気象モデルの計算条件

項目	設定内容
計算期間	1959年9月22日12時から 1959年9月27日0時(UTC)
鉛直層数	56(地表面付近を詳細に設定)
dt	水平解像度[km] × 4秒程度
微物理	WSM 6-class graupel
短波放射	RRTMG
長波放射	RRTMG
接地境界	Revised MM5 Monin-Obukhov
惑星境界	YSU
地表面	Thermal diffusion
雲物理	Kain-Fritsch
都市	N/A
地形・土地利用	USGS GTOPO30
Nudging	Spectral Nudging(波数2, 約700hPaより上層のみに適用)
台風ボーガス	初期時刻にのみ導入

台風である。最低中心気圧は895 hPaに達しており、日本上陸時でも929 hPaと第二室戸台風(925 hPa)に次ぐ強度を維持して上陸している。伊勢湾台風の経路、中心気圧の時間変化は図-1以降にBest Trackとして示すとおりである。伊勢湾台風の特徴は9月22日における急発達で、24時間で91 hPaもの気圧低下を示している。このような急速な気圧低下は気象モデルでの再現が困難であるとされている。

(2) 領域気象モデル

数値モデルにはWRF(Weather Research and Forecasting model)を用いる。WRFはMM5の後継モデルとして位置づけられ、現在では気象分野以外の研究者の使用例も多いモデルである。WRFは非静力のメソスケールを対象としたモデルで、積雲や微物理などを対象とした様々な物理モデルやデータ同化、台風ボーガス、Nesting、Nudging機能が組み込まれている。前述のとおり、これまで高潮計算のために台風の再現性向上について検討が行われており、本研究では台風再現に影響を与える全球気象データの選択、第1ドメインの計算領域のサイズ、水平解像度について検討する。その他の計算条件は表-1に示すとおりで、先行研究の知見を踏まえた内容となっている。

(3) 全球気象データ

領域気象モデルの実行には初期・境界値を決定するためのデータが必要となり、一般的にはWeb上で提供されているデータからユーザーが適宜選択する。気象

表-2 1959年を含む全球気象データ

気象データ	水平解像度	鉛直層数	期間
JRA55	1.25度	37	1958/1/1 - current
ERA40	2.5度	23	1958/1/1 - 2002/8/31
ERA20C	2.5度	37	1900/1/1 - 2011/1/1
NNRP	2.5度	17	1948/1/1 - current
CIRES v2	2度	24	1869/11/1 - 2012/12/31

データの品質は、メソスケール(数100 km)において対象とする台風の強度に影響するだけでなく、総観スケール(1000 km~)において台風の経路に影響するため、その選択は重要である。全球気象データは、モデルの特性や解像度、観測データとの同化などによって特徴付けられ、年々その種類が増加している。地域や現象ごとにモデルの精度差があることに留意する必要がある。全球気象データの多くはデータセンターにアーカイブされており、本研究ではCISL Research Data Archive(<http://rda.ucar.edu/>)からダウンロード可能でかつ、伊勢湾台風の発生した1959年を含むデータを抽出した。抽出したデータは、気象庁によるJRA55やECMWFによるERA-20C, ERA40, NCEP・NCARによるNNRP, NOAA・コロラド大学によるCIRES v2がある(表-2)。これらのデータは水平解像度は1.25度(約120 km)から2.5度(約240 km)まであり、期間は1900年頃もしくは1950年頃からのものがある。

3. 結果

(1) 全球気象データの精度比較

金ら(2013)¹¹⁾は2種類の全球気象データを用いた台風追算を行っており、その結果から台風の経路や中心気圧の再現性に全球気象データが強く影響していることが確認できる。領域気象モデルにとって、全球気象データは初期値・境界値・Nudgingデータとして計算のベースとなるため、その精度が重要なのは当然のことである。本研究では、前述したようにJRA55, ERA40, ERA20C, NNRP, CIRES v2の5つの全球再解析データに含まれる伊勢湾台風について、高潮計算の重要なパラメータである台風経路、中心気圧、最大風速を比較する。図-1に全球気象データに含まれる伊勢湾台風の経路を、図-2に中心位置の誤差、中心気圧、中心気圧の誤差、最大風速の時間変化を示す。全球気象データは現地観測データとの同化を行った再解析値であるため、台風経路はNNRPを除いて1 grid分(約200 km)程度の誤差となっており、かなり精度良く再現されていることがわかる。しかし、中心気圧や最大風速では、そ

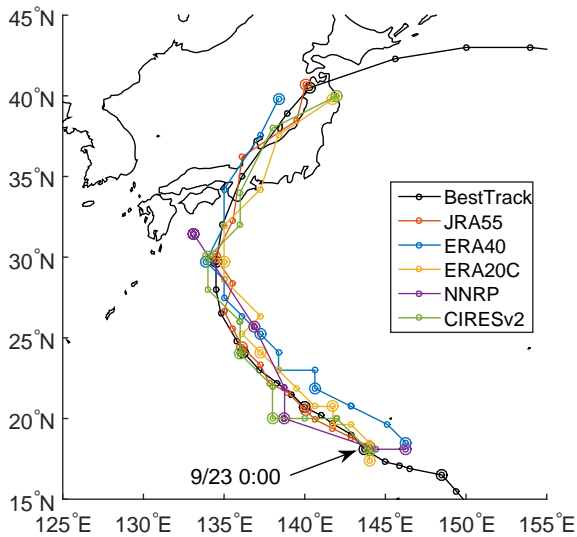


図-1 全球気象データで与えられる伊勢湾台風の経路の比較 (1959年9月23日0時から9月27日0時まで、二重丸は毎日0時の地点を示す.)

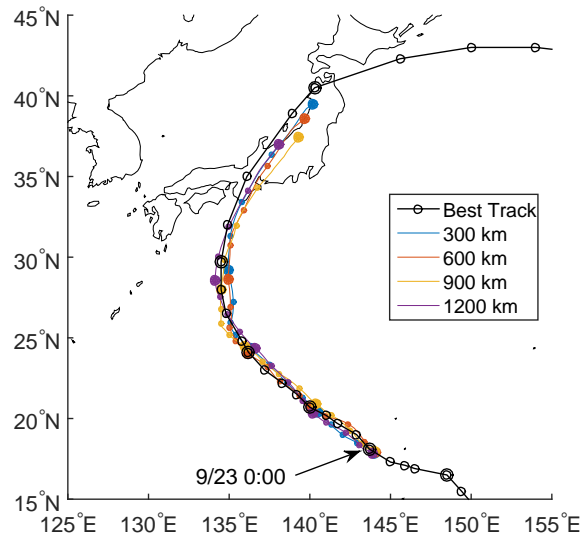


図-3 台風経路からの計算領域の余白幅の違いによる伊勢湾台風経路の比較 (1959年9月23日0時から9月27日0時まで、二重丸は0時の地点)

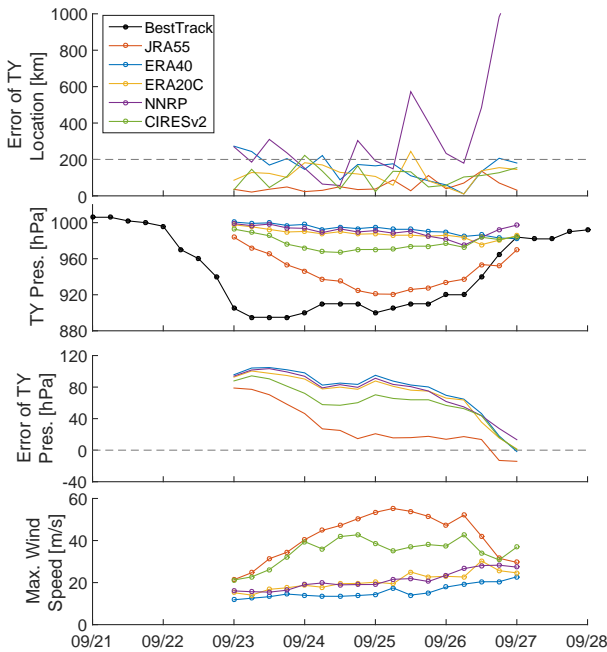


図-2 全球気象データにおける伊勢湾台風の時間変化 (上から中心位置の誤差, 中心気圧, 中心気圧の誤差, 最大風速)

の精度差は明らかである。JRA55 では中心気圧が 921 hPa, 最大風速が 55 m/s まで発達しているのに対して, CIRES v2 では 967 hPa, 43 m/s にとどまっておらず, その他の気象データでは中心気圧がほとんど低下していないことが確認できる。このことから, JRA55 は伊勢湾台風の再現に有力であること, また, 日本周辺の台風の再現性には気象データ間で大きなバラつきがあることがわかる。

(2) 台風の再現に対する計算領域サイズの影響

計算領域の設定方法として, 台風経路から計算領域境界までの距離で設定した。具体的には, 計算期間を 1959 年 9 月 22 日 12 時から 27 日 0 時としたため, 22 日 12 時時点の台風中心位置から南側及び東側境界までの距離と台風が最も西側に位置する 25 日 18 時時点の中心位置から西側境界までの距離を 300, 600, 900, 1200 km と変更して計算を行った。台風経路からの余白幅を変更して計算した結果の経路を図-3, 中心位置の誤差, 中心気圧, 最大風速の時間変化を図-4 に示す。Best Track 経路と計算結果を比較すると, どのケースも大きく外れておらず, 同様の結果を示している。初期の急発達には再現できていないが, 最も発達した段階以降の強度は良く再現できている。

計算ドメインのサイズの違いは, 台風経路にも影響を及ぼしており, 特に台風が衰退期については計算領域サイズの小さい方が良い結果を与えている。一方で, 台風の強度については, 計算の極初期段階において 300km のケースで台風発達の抑制が見られる。また, 台風が西側境界に近づく, 十分に発達した 24 日以降では 600km 以下のケースと 900 km, 1200 km のケースで台風の発達に差が生じている。最低中心気圧では, 300 km から 909 hPa, 907 hPa, 906 hPa, 898 hPa となっており, 計算領域を大きく設定した方が台風の発達は抑制されないことが確認できる。

発達抑制の発生条件について検討する。図-5 に計算初期と最も発達した時点での台風周りの風速分布に示す。計算初期では 600 km 以内に, 25 日 18 時では 900 km 程度の範囲に風速 15 m/s の領域が含まれている。このことから, 台風の強風域 (15 m/s 以上) が計算領域

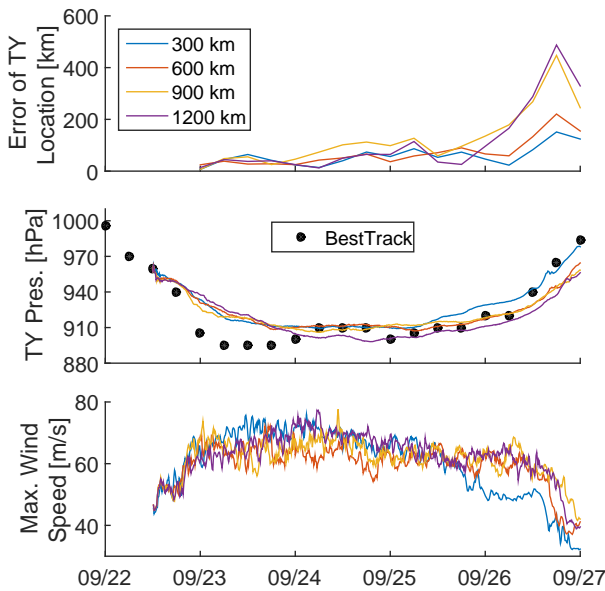


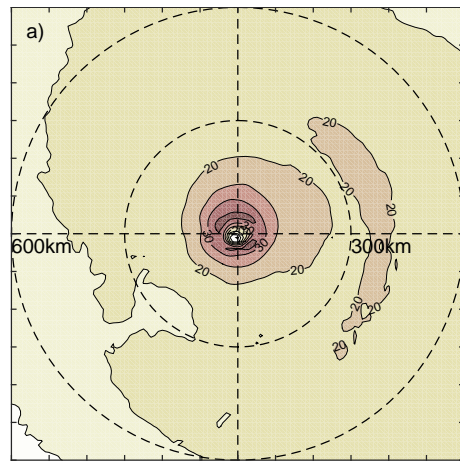
図4 台風中心位置からの余白幅の違いによる伊勢湾台風再現計算への影響(上から中心位置の誤差, 中心気圧, 最大風速の時間変化)

に十分含まれており, 気象モデルによって強風域が計算されているかどうかは閾値となっていると考えられる. 厳密にはより詳細な検討が必要ではあるが, 高潮計算に気象モデルを使用する際には, 計算ドメインの設定が台風の経路や中心気圧の再現性に影響することを示した.

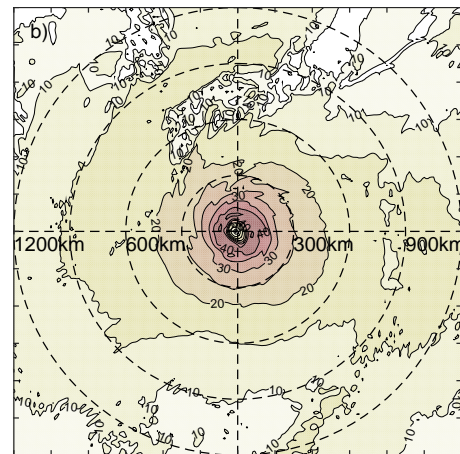
(3) 台風の再現に対する水平解像度の影響

先行研究では, Nesting による湾スケールの詳細風場の再現性について検討されていたが, 高潮計算において第1ドメインの水平解像度が台風自体の発達にどの程度影響するのかが検討されていない. そこで, 水平解像度が台風の経路や中心気圧, 風速にどの程度影響するのかがについて検討する. 計算領域は十分広く設定し, 水平解像度を 6, 9, 12, 15, 18 km に変更して計算を行った. 一般的に台風計算では水平解像度が数 km 以下が望ましいとされているが, 台風の移動範囲, 計算範囲, 期間などによって計算負荷が膨大になるため, 本研究では 6 km からの設定とした.

図-6, 図-7 に水平解像度を変更して計算した結果の台風経路と中心位置の誤差, 中心気圧, 最大風速の時間変化を示す. 計算領域のサイズ変更と異なり, 水平解像度の変更は台風経路や台風の速度にあまり影響しないことが確認できる. しかし, 台風の中心気圧, 最大風速には水平解像度の違いが見られる. 計算初期から最低中心気圧に達するまでに 12 km 以下では同じように台風が発達していくのに比べて, 15, 18 km では発達度が約 10 hPa 抑制される. また, 最低中心気圧に達した後の衰退期において, 同様に発達してきた 12 km 以



(a) 1959年9月22日15時(台風中心位置は北緯17.2度, 東経145.5度)



(b) 1959年9月25日18時(台風中心位置は北緯28.0度, 東経134.5度)

図-5 台風周りの風速分布(破線円は台風中心から300km毎の距離)

下の解像度では高解像度ほどゆっくりと衰退している. そして, 日本上陸後は総じて急速に衰退するため解像度の差は小さくなっている. 一方で, 最大風速の時間変化はやや異なった傾向を見せている. 計算期間を通して, 海上に台風が位置する間は最も強い風速を示す 6 km とそれよりやや弱い 9, 12 km と最も低風速を示す 15, 18 km という3つのグループに分かれている. 台風上陸後は中心気圧同様に解像度間の差が小さくなるが, 高潮にとって重要な海上風に対して水平解像度は影響する.

(4) 高潮簡易推算式による高潮偏差の比較

これまで検討を行ってきた各ケースについて, 高潮偏差としてどの程度の差を与えるのが確認する. 高潮推算は数値モデルではなく, 以下に示す簡易推算式を

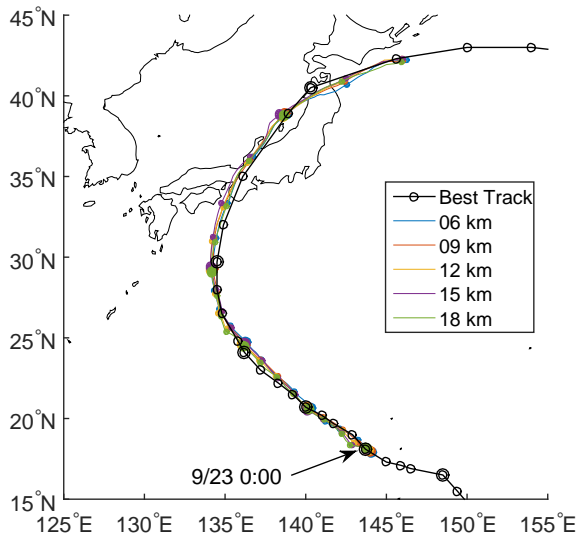


図-6 水平解像度の違いによる伊勢湾台風経路の比較 (1959年9月23日0時から9月27日0時まで、二重丸は毎日0時の地点)

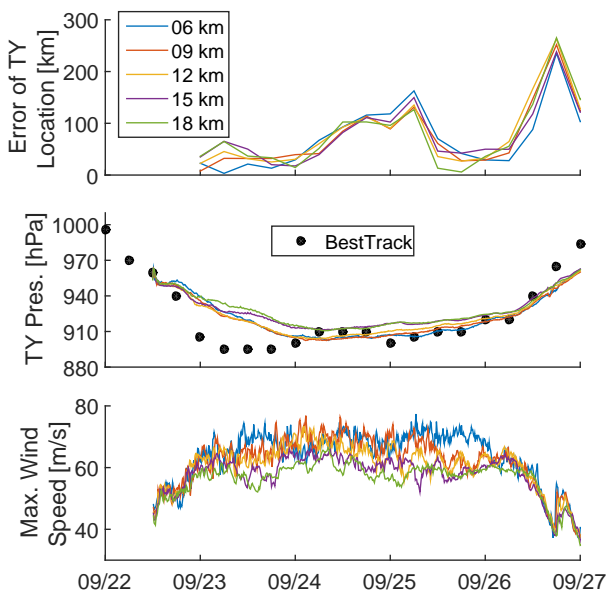


図-7 水平解像度の違いによる伊勢湾台風再現計算への影響 (上から中心位置の誤差, 中心気圧, 最大風速の時間変化)

用いる.

$$\zeta_p = 0.991(p - p_0) \quad (1a)$$

$$\zeta_w = k \frac{F}{h} u^2 \cos \theta \quad (1b)$$

ここで、 ζ は高潮偏差 [cm], 添字 p , w は気圧, 海上風要因, p は気圧 [hPa] で添字 0 は基準気圧, k は定数 ($= 4.8 \times 10^{-2}$), F は湾の岸沖距離 [km], h は平均水深 [m], u は風速 [m/s], θ は湾の岸沖方向と風向のなす角を示す. 計算は伊勢湾を対象にして, 湾の岸沖距離を 70 km, 平均水深を 20 m, 湾の岸沖方向は南北に設定し, 気圧, 風速, 風向は伊勢湾内の計算結果を平均して求めた. これらの式を用いて, 計算期間における

表-3 高潮偏差簡易推算式による算定結果

ケース名		高潮偏差 [cm]
実測 (名古屋港)		345
余白幅	300 km	178
	600 km	178
	900 km	114
	1200 km	194
水平解像度	6 km	339
	9 km	317
	12 km	270
	15 km	289
	18 km	275

最大高潮偏差を表-3に示す. 計算格子の余白幅が異なる結果の比較から, 台風強度が強くなる余白幅の大きい条件が必ずしも大きな高潮偏差を示すとは限らない. これは, 台風自体の強度差に比べて台風経路の違いによる影響が大きく, 経路の違いから湾内風速, 風向が大きく異なったためである. 一方, 水平解像度による影響は, 高解像度化と高潮偏差に正の相関が見られる. 水平解像度の台風特性に与える影響は, 経路への影響が小さく, 台風の強度差に大きく影響したためである. 実測での最大潮位偏差は 3.45 m であるため簡易な推定ではあるが, 6 km 解像度における伊勢湾内の気圧, 海上風の結果は高精度であると言える.

4. 結論

伊勢湾台風を対象として全球気象データの比較を行った結果, 最新の詳細全球気象データである JRA55 は他の全球気象データに比べて格段に良い精度のデータを提供していることを確認した. 次いで, JRA55 から WRF によるダウンスケーリングを行った結果, 台風経路に対する余白幅は強風域を目安にして, より広く設定することで台風を強く推定する一方で, 経路の誤差が大きくなることを示した. また, ダウンスケーリングの水平解像度の違いは台風経路にあまり影響せず, 高解像度計算によってより強い台風を推定することが可能であることを示した. ダウンスケーリングの結果から簡易式により高潮偏差を推定した結果, 水平解像度 6 km の結果で 3.39 m と実測にかなり近い結果を与えることを確認した. 最後に, これまでの検討結果からまとめられる高潮推算における気象モデルの検討順序を以下に示す.

1. 高潮イベントの決定
2. 対象となる台風の Best Track データを確認 (台風

がどこでどの程度発達してどの辺りに上陸したのかを確認する.)

3. 台風の発生から消滅までの期間を含む全球気象データの再現性を比較
近年のモデルによるデータか, 熱帯低気圧の発生場所に近い研究機関によるデータか, 観測データをどの程度同化しているかを目安に全球気象データを抽出して比較する.
4. 計算期間の設定(計算開始から1日弱は計算が安定しないことや, 数日の計算期間がないと台風が発達する以前に高潮発生地点に接近してしまうことから, 助走期間の設定が必要である. 次の計算領域の設定とも関連し, 計算負荷に大きく影響する.)
5. 計算期間の台風経路と強風域の半径を目安に計算領域を決定(計算負荷が大きくなる場合は, 計算期間を含めて見直す.)
6. 低解像度で試算(計算条件は, 目標水平解像度の1/3程度, 地表付近の鉛直座標を細かく設定, Spectral Nudging を約700 hPaより上層の風速に適用して, 物理モデルの影響はそれほど大きくなるならないため適宜選択する.)
7. 試算結果の台風経路がBest Trackと一致しているか確認(計算領域の設定が経路に少し影響するため, 領域を再設定する.)
8. 台風強度がおおよそ再現できているか確認(再現できていない場合は台風ポーガスを初期値に導入して, その影響を確認する. もしくは, 計算開始時刻が台風の発達状況に影響するため, 期間を再設定する.)
9. 目標解像度で計算して精度を確認(台風強度がBest Trackにわずかに足りない場合は各種物理モデルを見直すことで改善する場合がある.)
10. 高潮対象域へのNestingを含めた本計算(全球気象データの精度が重要であったのと同様に, 第1ドメインの再現性がNesting計算では重要である.)

謝辞: 本研究の一部は, 文部科学省気候変動リスク情報創生プログラムおよび科学研究費補助金による成果である.

参考文献

- 1) 宮崎正衛, 宇野木早苗, 上野武夫: 伊勢湾台風による高潮とその理論計算について, 第7回海岸工学論文集, pp.209-216, 1960.
- 2) 堀口孝男: 高潮推算に関する一考察, 第13回海岸工学講演会論文集, pp.242-247, 1966.
- 3) 山口正隆, 畑田佳男, 花山格章: 伊勢湾における高潮の極値の推定, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.321-325, 1995.
- 4) 大澤輝夫, 竹山剛生, 安田孝志: メソ気象モデルと台風ポーガスを用いた伊勢湾台風時の風の場のシミュレーション, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.281-285, 2001.
- 5) 吉野純, 村上智一, 林雅典, 安田孝志: 高潮計算精度に及ぼす入力台風気象場の再現性の影響, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1276-1280, 2006.
- 6) 安田誠宏, 山口達也, 金洙列, 森信人, 間瀬肇: 気象モデルにおける4次元データ同化およびネスティングが高潮推算精度に及ぼす影響に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第65巻, pp.381-385, 2009.
- 7) 中野俊夫, 山城賢, 橋本典明, 大西健二: 4DVARを用いた台風9918号の追算, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第66巻, pp.381-385, 2010.
- 8) 鈴山勝之, 柴木秀之, 尾形竹彦: WRFの計算特性に関する幾つかの検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第67巻, pp.426-430, 2011.
- 9) 鈴山勝之, 柴木秀之, 尾形竹彦: 台風ポーガスを導入したWRFの計算方法に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第68巻, pp.471-475, 2012.
- 10) 金洙列, 松浦智典, 松見吉晴, Tracey H. Tom, 安田誠宏, 間瀬肇, 西野博史: 山陰沿岸気象予測へのメソ気象モデルWRFのパラメータ感度分析に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第68巻, pp.1236-1240, 2012.
- 11) 金洙列, 松浦智典, 松見吉晴, 玉井和久, 安田誠宏, Tracey H. Tom, 間瀬肇: 中緯度の気象解析に対するWRFのパフォーマンス解析 惑星境界層スキームと雲物理モデルの影響, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第69巻, pp.516-520, 2013.

(2015. 3. 18 受付)

Dynamical Downscaling of Typhoon Vera for Storm Surge Hindcast based on JRA-55

Junichi NINOMIYA, Tetsuya TAKEMI and Nobuhito MORI

Dynamical downscaling experiment of JRA55 for Typhoon Vera (Isewan Typhoon) using WRF was carried out. At First, the reproducibilities of five global reanalysis data for Typhoon Vera were compared, and it was shown that JRA55 has highest quality. There are some papers of the dynamic downscaling method for storm surge hindcast. In this study, domain size and resolution of the coarse domain were considered. The coarse domain size influences the typhoon route and central pressure, and large domain estimates large error of typhoon route and strong typhoon. Threshold is whether the coarse domain fully includes the area of wind speed more than 15 m/s around the typhoon. On the other hand, the resolution of the coarse domain doesn't affect the typhoon route, and affect the typhoon strength.