

将来の極端台風の複数経路計算による可能最大被害予測

奥 勇一郎・吉野 純*・石川 裕彦・竹見 哲也・中北 英一

* 岐阜大学大学院工学研究科

要 旨

台風によってもたらされる被害の規模や地域は台風の経路に大きく依存する。本研究では、気象庁・気象研究所の超高解像度全球大気モデル（水平解像度約20km）の温暖化予測実験で再現された21世紀末における日本に最も影響が大きい台風を対象とし、その異なる経路による可能最大の被害を詳細に予測することを目的としてダウンスケール実験を行った。東京都心を対象とし、台風がいわゆる「最悪のルート」をたどった場合の期間中の地上風速や降水量の最大値がどれだけ大きくなるかを調べた。

キーワード：台風，渦位逆変換法，気候変動，超高解像度全球大気モデル，力学的ダウンスケール，影響評価

1. はじめに

21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」では、強風雨等の極端現象に着目し、気象庁・気象研究所の超高解像度全球大気モデル（水平解像度約20km）を用いた温暖化予測実験を行っている。京都大学防災研究所では、この温暖化予測実験の結果を用いて、日本の土砂災害、洪水・氾濫災害、渇水災害、高潮・高波災害、強風災害の環境変化の予測を行う。

イベント型災害による影響評価を正確に行うためには、より時空間的に密なデータが必要であり、領域気象モデルを用いた力学的ダウンスケールを行う必要がある。しかし、計算機資源の制限により全期間においてダウンスケール実験を行うのは困難であり、あらかじめ強風雨をもたらす顕著事例を選択し、その前後の期間において実験を行うことになる。既往事例のダウンスケール実験では、被害報告に基づき事例の選択ができるが、温暖化予測実験ではそれができない。奥ら(2009)では、全球モデル出力の格子点データから客観的に定めたリスク指標を用いて極端気象を抽出する方法を提案した。この方法により、全球モデルによる現在気候計算と21世紀末気候計算それぞれ25年分の積分結果から求めたリスク指標を比較したところ、21世紀末気候で現在気候よりも大

きなリスク指標の事例が計算されていることがわかり、21世紀末気候におけるリスク指標の最大事例は図1の台風であることがわかった。一般に、台風は日本のはるか南の海上で発達するが、この台風は日本列島のすぐ近くの東海地方の沖合約500kmの海上で発達した。最盛期には920hPaまで中心気圧が低下し、その勢力が急激に衰えることなく房総半島に接近した。その後、東日本の太平洋岸に沿って北上し、

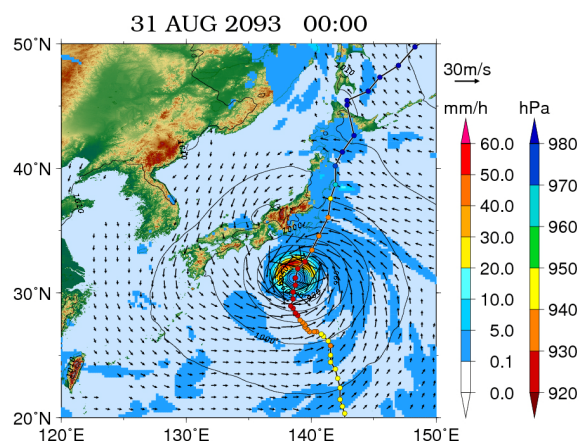


Fig 1: A typhoon simulated by 20km-mesh JMA/MRI AGCM future climate experiment. Wind speed (vector), sea level pressure (contour), and hourly precipitation (shaded color) at 00UTC on August 31, 2009 are depicted. Circles with color indicate a time series of the minimum pressure at the center of this typhoon every 6 hour.

Table 1: Model configuration

model	WRF/ARW version 3.1.1
horizontal resolution	5km
number of grids	453×453×50
time step	30s
initial time	0600UTC, 30 Aug. 2093
end time	0000UTC, 2 Sep. 2093
boundary data	20km mesh JMA/MRI GSM
cumulus scheme	Kain-Fritsch
microphysics scheme	WSM6
PBL scheme	MYJ Level 2.5

980hPa前後の中心気圧で北海道を南北に縦断した。関東地方に上陸こそしなかったものの、首都圏は台風による強風にさらされたため、この台風による災害リスク指標が21世紀末気候計算の期間25年間において最大となった。

台風によってもたらされる被害の規模や地域は台風の経路に大きく依存する。この台風の場合、経路が少しでも西にそれると関東地方に上陸することになり、その結果、東京都心では全球モデルにおける経路をたどった場合に比べてより強い風が吹き、より被害が甚大になることが想像できる。したがって、ある極端台風による可能最大の影響評価を行う場合、全球モデルからの力学的ダウンスケールを行うだけでは、その極端台風による一シナリオの影響評価をするにすぎず、不十分である。ゆえに、可能最大の影響評価は全球モデルで計算された経路だけでなく、様々な経路をたどった場合の強風雨を見積もり、その最大値でもってなされるべきである。

一方で、領域気象モデルを用いて力学的ダウンスケールを行う以上、モデルにおける物理法則を逸脱して台風の経路を操作することはできないが、計算初期時刻における台風の位置を操作しダウンスケール実験を行うことで結果として台風の経路が変わることが期待できる。本研究では、渦位逆変換法 (Davis and Emanuel, 1991; 吉野ら, 2003) を用いた台風ボーガシング手法による計算初期時刻における台風の位置の操作を行い、可能最大の影響を定量的に見積もることを目的としたダウンスケール実験を行った。

2. 力学的ダウンスケール

この台風の特徴を維持したままで経路が異なる台風の気象場を詳細に得るために、領域気象モデルを用いたダウンスケール実験を行う。通常のダウンスケール実験では計算開始時刻における親モデルの気象場を領域気象モデルに初期値として与えるが、台風の初期位置を操作することで様々な経路をたどる

台風のダウンスケール実験ができると期待される。従前の方法では、台風中心からある程度の範囲の風速場や温度場を直接移動させることで、台風の初期位置の操作を行ってきた。しかしこの方法では、風速・温度・気圧の物理的バランス関係が崩れてしまい、特に台風とその周辺場における接続部分では物理的整合性がとれなくなる。ゆえに、台風の特徴を維持したままの移動が困難であり、実験初期における誤差の原因ともなりえる。そこで、風速・温度・気圧から渦位を求め、その渦位場において台風の初期位置の操作を行う。風速場や気圧場では、台風中心から遙か遠方まで台風の影響が及んでしまうので客観的に台風を抽出するのが難しいが、渦位場は台風から少しでも離れると急激に0になるという特徴があるので台風を抽出することが容易である。台風位置の移動は、台風の高渦位を移動させることに相当する。操作した渦位場は渦位逆変換法を用いて風

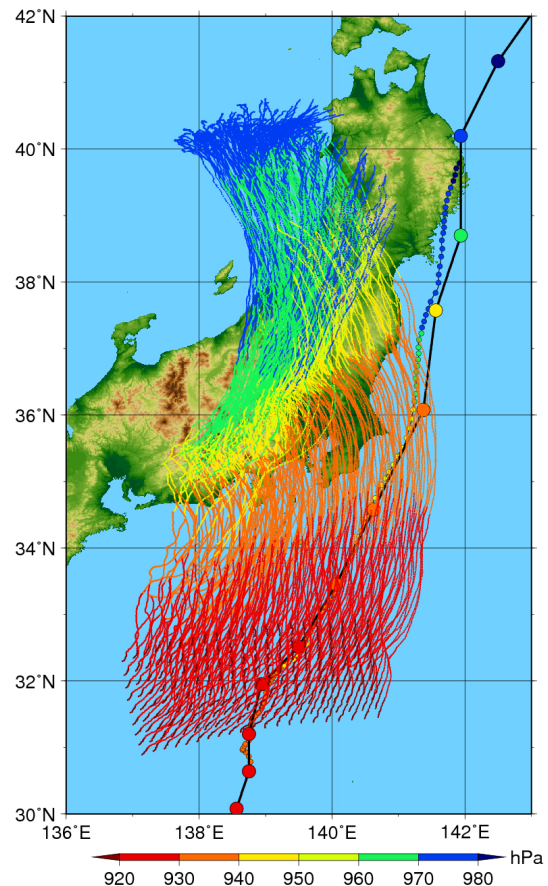


Fig. 2: Thin black line with a smaller circle is the typhoon track downscaled from AGCM run by using the spectral nudging method. Other color lines are same but modified a typhoon location in its initial time (189 members). Thick black line with a larger circle is the typhoon track simulated by 20km-mesh JMA/MRI AGCM.

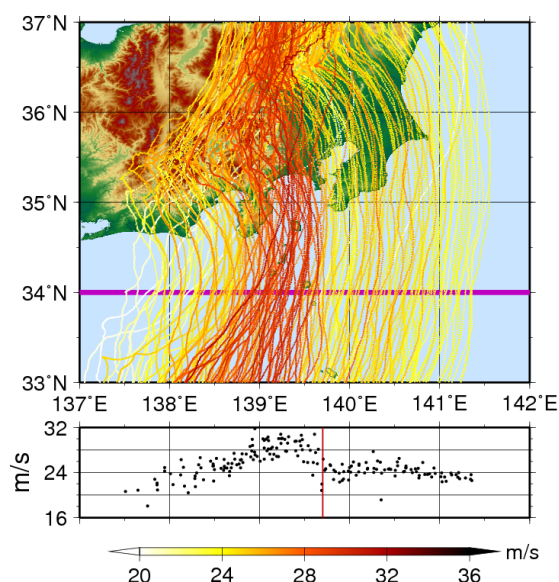


Fig. 3: The upper panel shows typhoon tracks with the maximum wind speed at the central Tokyo during this event with a color depicted in the scale. A purple horizontal line indicates 34°N. The lower panel shows the relationship the maximum wind speed at the central Tokyo during this event and the longitude when the typhoon has passed at 34°N. A red vertical line indicates the longitude of the central Tokyo.

速・温度・気圧の気象場に変換を行い、これらを初期値としてダウンスケール実験を行う。

領域気象モデルはWRF/ARWを用いた。実験設定を表1に示す。全球モデル21世紀末気候計算における2093年8月30日06UTCの当該台風の中心位置から東西に各50km、北に40kmの範囲内で5km毎の中心位置

を移動させて、合計189個の初期値を用意した。台風を中心位置は海面気圧の最低値で定義した。このほかに初期値操作を行わず、スペクトルナッジングを用いて全球モデルにおける台風の経路と同じ経路をたどる台風のダウンスケール実験も行った。これら190通りのダウンスケール実験で得られた台風の経路を図2に示す。図2の太実線（大きな丸印）が全球モデルにおける台風の経路、細実線（小さな丸印）がスペクトルナッジングを用いたときの経路、そのほかの線は初期値における台風位置の操作を行って計算された経路を示している。スペクトルナッジングは空間的に波長の長い成分をナッジングさせる手法であり、領域気象モデルの予報値に親モデルにおける大規模場の変動を反映させることができる。台風のダウンスケール実験の際にこれを用いると、領域気象モデルにおける台風の経路が親モデルのそれとほぼ同じになる。図2でもその傾向が見て取れる。一方、初期時刻において台風の位置を操作することによって、全球モデルでは関東地方に上陸しない経路をたどった台風が、東日本の太平洋沿岸の各地に上陸している様子が見える。

3. 東京都心における「最悪ルート」

21世紀末気候において最もリスク指標の高い台風が、東京都心に対して最も影響を及ぼす経路、いわゆる「最悪のルート」について数値実験の結果から調べる。

この台風の通過期間中における地上風速の最大値は、全球モデルでは28.1 m/sであった。数値実験の結果、最悪のルートをたどった場合の地上風速の最大

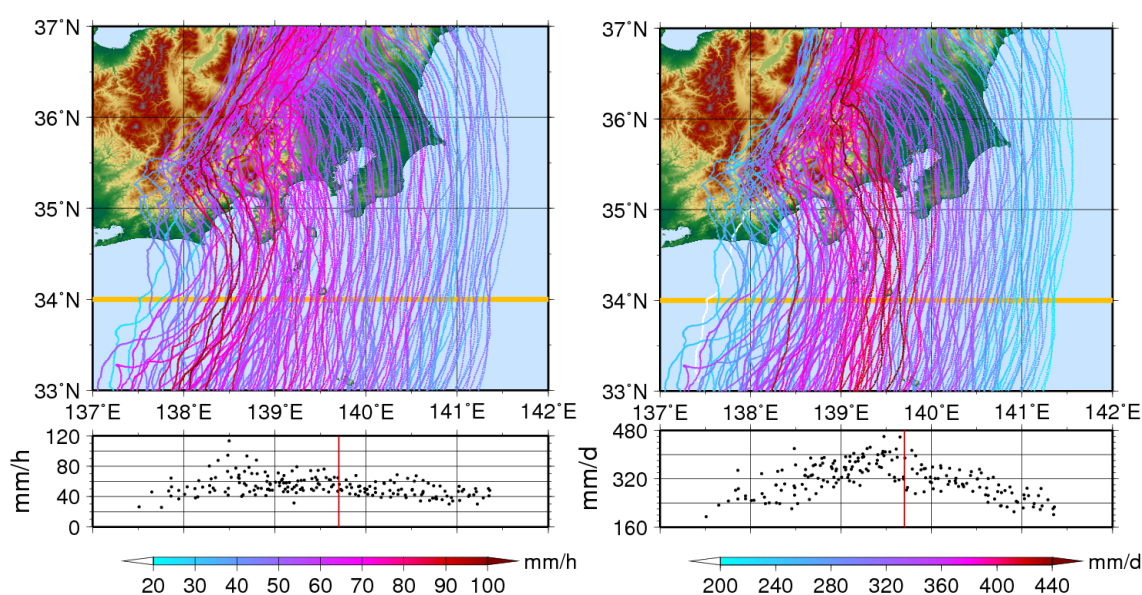


Fig. 4: Same as Fig. 3, but hourly precipitation (left) and daily precipitation (right).

値は31.8m/sと約1.1倍になった。台風の経路と東京都心における地上風速の最大値との関係を図3に示す。対象とした台風は、数値実験の結果も含めて関東地方周辺をほぼ真北に向かう経路をたどっていたので、東京都心から約150km南の北緯34度における台風中心の通過位置と東京都心における地上風速の最大値との関係についても図示している。最悪のルートは台風中心が相模湾のほぼ中央を北上する経路であり、伊豆半島東部から三浦半島までの地域に上陸する経路の場合に強風がもたらされることが図3から見て取れる。一般に、台風に吹き込む風の向きと台風本体の移動の向きが重なる台風進行方向の東側において強風がもたらされる傾向があるが、同じ傾向が今回の結果からも得られた。

一方、台風の通過期間中における1時間降水量の最大値は全球モデル24.4mmに対して、最悪のルートの場合113.3mmに達することがわかった。さらに24時間積算降水量では全球モデル206mmに対して、最悪のルートの場合459mmになることがわかった。全球モデルの経路と最悪のルートとの差がこれだけ大きいのは、全球モデルとダウンスケール実験との空間解像度の差が原因の一つとなっている。全球モデルの空間解像度は約20km、ダウンスケール実験のそれは5kmであり、後者の方が地形性の降水域や台風のレインバンドによる降水帯をより詳細に表現できるためである。そこで、同じ空間解像度での比較をするために、スペクトルナッジングを用いて全球モデルと同じ台風の経路でダウンスケール実験した結果を解析したところ、1時間降水量は43.1mm、24時間積算降水量は298mmであった。それでも、最悪のルートの1時間降水量の最大値は全球モデルの経路の2.6倍、24時間積算降水量は1.5倍に達することがわかった。

24時間積算降水量での最悪のルートは、三浦半島寄りの相模湾を北上する経路をたどっており、地上風速での最悪のルートとよく似た傾向を示している。最悪のルート以外でも、伊豆半島東部から三浦半島までの地域に上陸する経路の場合に24時間積算降水量が400mmを超えることが図4からわかる。しかし、1時間降水量では、駿河湾を北上する経路が最悪のルートとなっている。最悪のルート以外でも、東京都心に強い降水をもたらす傾向がある経路は、駿河湾から伊豆半島西部の地域に上陸するものであることがわかった。

4. まとめ

気候変動による社会への影響評価を行う上で大切なのは、影響の最も大きな事例が発生する確率とその事例がもたらす影響の大きさの両方を定量化することである。ここでは後者に着目し、最も影響が大きいイベントにおける可能最大の被害を予測することを目的として将来の極端台風のダウンスケール実験を行った。一例として東京都心を対象とし、台風がいわゆる最悪のルートをたどった場合の期間中の地上風速や降水量の最大値がどれだけ大きくなるかを調べた。結果から得られた数値は、あくまでこの事例のみにおける限定的なものであり、普遍的なものではないが、21世紀末気候条件にける全球大気モデルを用いた気候実験の一シナリオにおける地上風速や降水量の可能最大値を算出することができた。経験的あるいは統計的手法によらず、物理的整合性を維持した過程を経て得られたこれらの計算結果は、強風雨災害や高潮高波災害など災害影響評価研究における基礎資料となる。

謝 辞

本研究における全球モデル温暖化実験は文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」のもと、地球シミュレータを用いて行われました。ダウンスケール実験は京都大学学術情報メディアセンターの大型計算機システムでなされたものです。

参考文献

- 奥 勇一郎, Sunmin Kim, 中北 英一 (2009): 超高解像度全球大気モデルの温暖化予測実験データを用いた日本陸域の極端気象現象の抽出方法. 京都大学防災研究所年報, 第52号B, pp. 439–444.
- 吉野 純, 石川 裕彦, 植田 洋匡 (2003): Piecewise Potential Vorticity Inversion を用いた中緯度における台風9918 号の衰弱・再発達過程に関する診断的解析. 京都大学防災研究所年報, 第45号B, pp. 423–442.
- Davis, C. A. and Emanuel, K. A. (1991): Potential vorticity diagnostics of cyclogenesis. Mon. Wea. Rev., Vol. 119, pp. 1929–1953.

Maximum Damage Estimation by Multi-Track Approach of Extreme Typhoon in Future Climate

Yuichiro OKU, Jun YOSHINO*, Hirohiko ISHIKAWA, Tetsuya TAKEMI, and Eiichi NAKAKITA

* Graduate School of Engineering, Gifu University

Synopsis

It is important to estimate a probable maximum damage due to an extreme typhoon, which has a potential to cause severe atmospheric disasters by its strong wind or heavy precipitation, in terms of disaster prevention under the future climate. For this purpose, the most disastrous typhoon which approaches Japan in the future climate simulated by JMA-MRI 20km-mesh atmospheric general circulation model (AGCM) has been identified, and then a multiple dynamical downscaling of this typhoon with modified initial conditions to control its track has been conducted to estimate a probable maximum damage.

Keywords: typhoon, potential vorticity inversion, climate change, 20km-mesh AGCM, dynamical downscale, impact assessment