

台風災害のリアルタイム予測の不確実性評価の試み

中條 壮大¹⁾・稲本 義人²⁾

- 1) 大阪市立大学 大学院工学研究科 e-mail: nakajo@eng.osaka-cu.ac.jp
- 2) 熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター e-mail: yinamoto@kumamoto-u.ac.jp

気象庁によりリアルタイムで提供される台風情報は我々が簡単に利用できる災害情報である。しかし、その予測結果の不確実性については十分に明らかにされていない。ここではウェブスクレイピング技術を用いて取得したテキストデータより台風予測の不確実性について評価を試みた。その結果、既往の予測精度評価結果と比較し、概ね同オーダーであることを確認した。また、台風予測精度の季節依存性や海域依存性について明らかにした。

Key words : 台風, リアルタイム予測, 不確実性, リードタイム

1. はじめに

近年、台風災害や集中豪雨による浸水被害および土砂災害は世界規模で増大し、気候変動の影響についても懸念されている¹⁾。近年の代表的な激甚風水害を挙げてみると、2012年7月には発達した線状降水帯により九州北部豪雨が発生し、翌年の2013年8月には気象庁が特別警報の運用を開始した。同年10月には台風26号による伊豆大島土砂災害が発生し、2014年7月には台風8号が沖縄で高潮と大雨災害をもたらした。同年8月には線状降水帯によって広島土砂災害が発生し、2015年9月には温帯低気圧に変化した台風18号が鬼怒川決壊となる豪雨をもたらした。2016年10月には台風18号(最低中心気圧905 hPa)が沖縄と韓国で大きな被害をもたらした。こうした状況を受けて2017年6月には水防法が改正され、「逃げ遅れゼロ」と「社会経済被害の最小化」が目標に掲げられ、国交省によりタイムライン防災が進められている²⁾。その後も2017年7月には再び線状降水帯により九州北部豪雨が発生し、2018年7月には台風により刺激された梅雨前線が広域の西日本豪雨をもたらした。小坂田・中北³⁾によれば、全球モデル解析により示された100年後の将来にはこうした前線性の豪雨頻度が増加すると予測されている。またスーパー台風と呼ばれる非常に勢力の強い台風が太平洋では発生しており、2013年にはHaiyan(最低中心気圧895 hPa)がフィリピンを、2016年にはMeranti(最低中心気圧890 hPa)が台湾を襲い、高潮、強風、豪雨による被害をもたらしている。

特に台風由来の風水害については、比較的早期に要因となる台風の進行情報が観測・予測・報道されるために、事前の対策により災害を未然に防ぐ減災行動の効果が大きいとされる。例えば国交省の示すタイムラインの一例では、最接近時の72時間前に対策本部を設置し、24時間前に特別警報や広域避難を検討し、9時間前には広域避難の完了を目指している。こうした防災行動計画の策定が地域の防災協議会単位に作成されることが求められているが、実際に計画を立てる際には、台風予測の不確実性について予め理解しておく必要がある。2012年にアメリカのニューヨークを襲

ったハリケーン Sandy の際には市長の強力なガバナンスによって非常事態宣言が出され，証券取引所も2日間の営業停止を決断し，地下鉄も運休とするなど事前の対処が功を奏したと評価されている。しかし，5日目の予報では20ケースほどのアンサンブル予測のうち1ケースのみがニューヨークに進行すると予報していたことを考えると予報の信頼性について懸念せざるを得ない。

2015年に熊本県宇城市で生じた高潮災害の場合には，台風15号は当初九州を北東に横切るという予報であった。宇城市の危機管理課においては対策本部を設置し，警戒態勢をとっていたが，九州上陸の直前に台風が進路を北側に変更したために，被災の2時間前になって高潮警報が発令された。宇城市内を流れる浅井出川の河道内には防潮水門が設けられていたが，当時は70mm/hの豪雨も予報されていたため，閉門が早すぎれば河川氾濫による浸水も懸念され，閉門操作の指示は待機状態であった。急に発令された高潮警報と観測された水位上昇から早急に閉門操作が行われたが，水位上昇速度が早く10分程度の遅れによって堤内地に浸水被害が生じた。このような事例を踏まえると，タイムライン防災を行う体制が整っていたとしても，予測の不確実性の幅がわからなければ行動することができないであろう事，現状の高潮警報を基準とした対策では十分なリードタイムを確保できない可能性がある事が懸念される。

既往の研究として，気象庁高解像度GPVデータを用いた高潮追算^{4),5)}や波浪追算⁶⁾は地域毎のリアルタイム予測への適用を目指して行われている。しかし，これらの検証は事後の確定情報に基づいており，リアルタイム予測の検証ではない。近年ではニューラルネットワークを応用したリアルタイム予測も実施されている^{7),8)}。しかし，これも決定論的な予測であるために予測の不確実性について知ることはできない。気象庁は台風進路予測精度評価も行っており，各リードタイムの経路の平均予測誤差とその年推移を公表している⁹⁾。しかし，海域毎や時期毎の比較は無く，中心気圧などの予測精度評価は示されていない。Ito¹⁰⁾や伊藤¹¹⁾は中心気圧や風速といった台風強度の精度評価を行っているが，海域毎の評価はされておらず，また経年変化の比較となっている。またリードタイムの違いを考慮した高潮予測誤差の評価はほぼ無く，特定の事例について示されている程度である¹²⁾。

2. 研究目的

上で述べた背景を鑑み，本研究では気象庁のリアルタイム台風予測データを自動取得するプログラムを用いて取得された台風予測データより，数日前～数時間前の各リードタイムにおける予測値と事後確定値との差を分析することで，台風予測の不確実性を評価する。台風予測の不確実性評価が可能となれば，その後の展開として，仮想シナリオベースの高潮計算結果と合わせることで，高潮予測の不確実性の定量評価へとつなげることができると考えている。

3. 使用データ

気象庁は「台風情報」(<https://www.jma.go.jp/jp/typh/>)のHP上で各台風の実況と予報結果を公表している。一例として2018年8月に発生した台風20号の予報情報を図-1に掲載する。図のよ

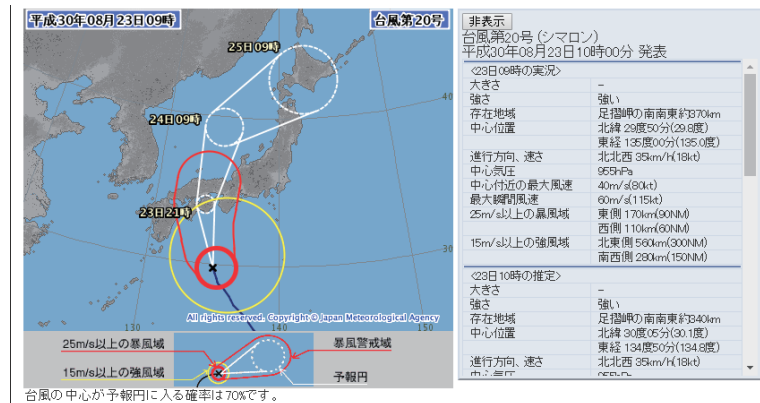


図-1 台風情報の例

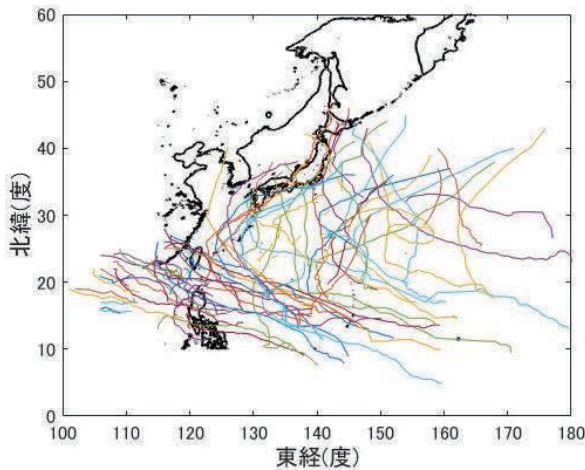


図-2 収集された69台風の経路（実況結果）

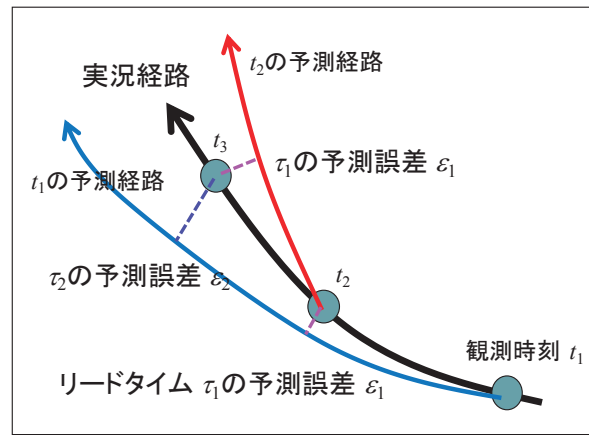


図-3 各リードタイム予測誤差の定義

うに HP 上には図的情報とテキスト情報が示されるが，本研究ではこのテキスト情報を利用した．台風が日本沿岸より離れた地点に存在するときには情報更新のペースは概ね3時間毎であるが，接近すると1時間毎になるなど更新の頻度が増大する．よって，情報が更新されるたびに上記のテキスト情報をプログラムにより自動収集した．テキストには台風の中心位置，進行方向，速度，中心気圧，最大風速，強風域半径，予報円半径などの情報が含まれている．また各時刻のテキスト情報には実況時を0時として数時間～72時間先までの予報値が示されている．予報円の情報もアンサンブル予測に基づいた予測の不確実性を評価する上で重要な因子であるが，今回は基礎的検討として，時系列の予報精度がどのように変化するかに着目して分析を行った結果を示す．

予測値の収集は2018年8月現在も継続しているが，今回の分析では2015年7号から2017年22号台風までの69台風を対象とした．図-2は収集された台風の全経路である．台風の経路情報は実況で与えられたものと最終的に気象庁が確定値として示すもの（ベストトラックと呼ばれる）には決定方法の違いから若干の相違が生じる．ここで示すのはあくまでも当日に得られた実況結果であり，テキスト情報から抽出した情報である．図-2の結果によると，フィリピン沖やグアム周辺で発生し南シナ海側へ直線的に進む台風と途中でくの字に曲がって日本付近に進行する台風，ウェーク島付近などかなり遠方から接近する台風など多様な経路が含まれている．しかし一方で日本列島に近接した台風経路については比較的少なく，今後の継続的資料収集が必要である．

4. 予測不確実性の評価方法

ここでは各予報値が出された時点（実況時）を基準としてリードタイムを定義し，その時刻よりも前の予報値との誤差を予測の不確実性として評価した．図-3には経路データの予報誤差の概念を示している．例えば観測時刻 t_3 の実況結果から見て時刻 t_2 において予報された経路との差はリードタイム τ_1 の予報誤差 ε_1 となる．誤差の計算は同時刻における値との差（時間軸における差）として定義することもできるが，災害発生時刻の評価を無視すれば，高潮などの災害予測の不確実性評価としては空間座標の誤差（空間軸における差）が重要であることが多いため，今回は実況経路と予測経路間の距離が最小となる地点の差で ε を定義した．なお，中心気圧および進行速度の予測不確実性評価についても同じように定義している．これにより，観測地点毎，リードタイム毎の予測誤差が定義される．一例として，2015年11号台風の結果を図-4に示す．図中の丸印付きのプロットは実況時の観測値であり，真値に相当する．その他のプロットはいずれも各実況時から予測した結果を表している．ただし，ここではあくまでアンサンブル平均値を示しており，予報円の大きさ（予

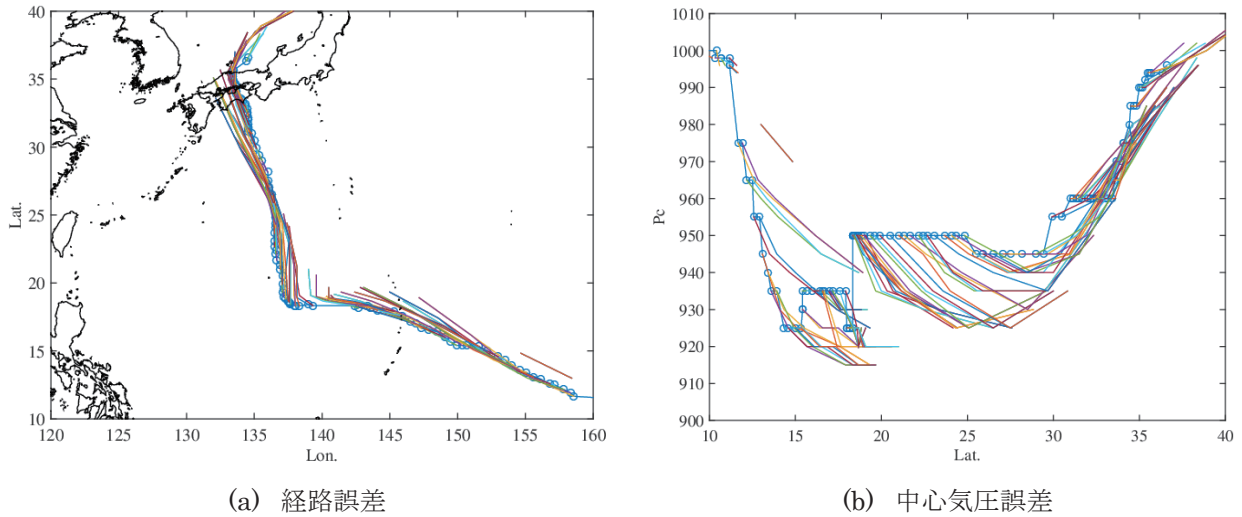


図-4 予測の不確実性検証例 2015年11号台風

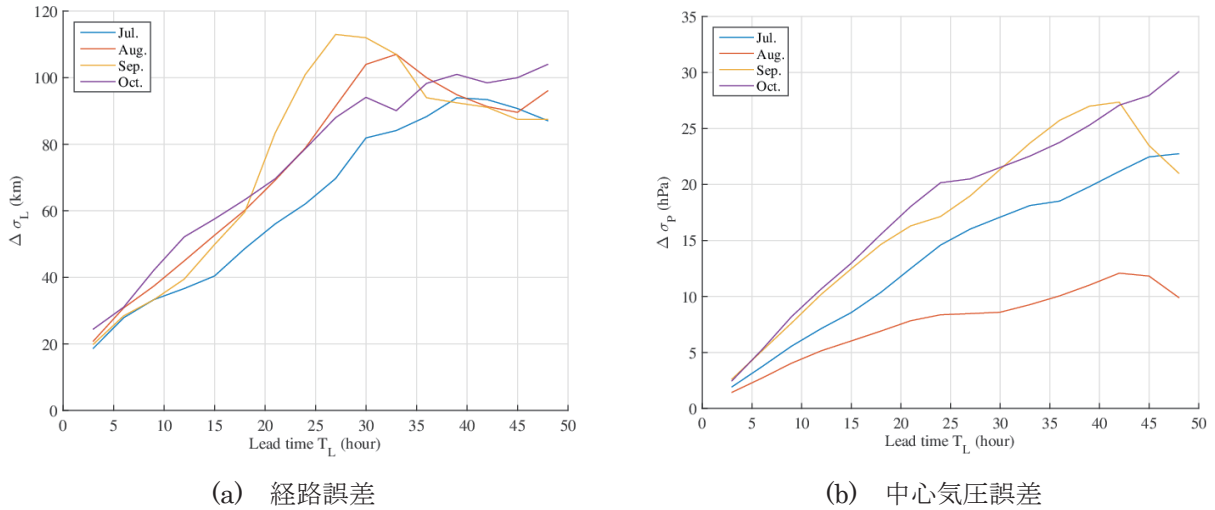


図-5 予測精度とリードタイムの関係と季節変化の影響

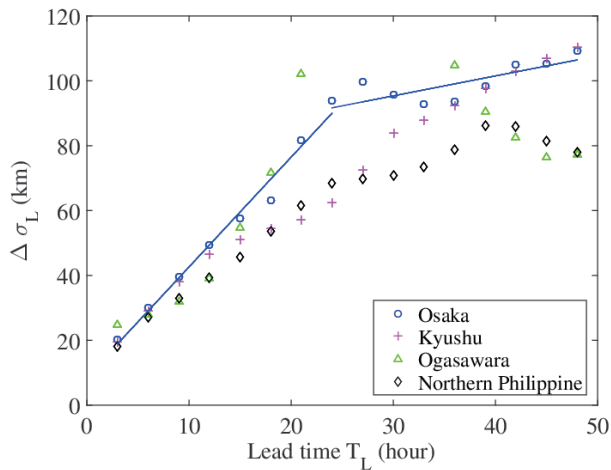
測のばらつき)は考慮されていない。この事例の場合には、おおよその経路はある程度予測できている。しかし、台風の影響範囲の指標である最大風速半径のオーダーは 100 km 程度(緯経度では 1 度程度)であることを考えると、特に移動方向の転換点付近で精度が落ちていることには注意が必要である。一方で中心気圧については低緯度で発達を過小評価、緯度が増加するにつれて過大評価する結果となっており、その誤差のオーダーもざっくり見積もって 10 hPa 程度と大きいことがわかる。この結果はあくまでも一例であり、全ての結果が同じ傾向というわけではないが、予測精度についての大まかなイメージを捉えることができる。

5. 台風の予測不確実性の分析結果

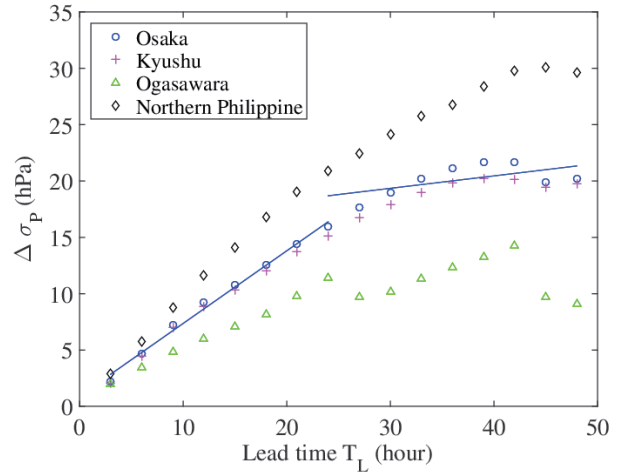
台風の予測精度が海域特性や経路特性、進行速度などのパラメータとどのような関係にあるのかを知る事は、我々の減災行動の決断を強化する、あるいは潜在的なリスクを想像するために有効である。ここではその幾つかを紹介する。

(1) 全域的傾向

図-5 は全資料から算定した経路および中心気圧の予測精度とリードタイムの関係を季節毎に分類して比較した結果である。ここで予測誤差は正負それぞれに分布するために、真値からの差についての標準偏差を用いて表現している。結果としていずれもリードタイムが長くなるほど誤差が大



(c) 経路



(d) 中心気圧

図-6 大阪湾における台風特性の予測誤差とリードタイムの関係

きくなっている。これらの図は、リードタイム毎に誤差の程度を確率論的に示しているという点で意義があり、例えば冒頭に述べたように 24 時間前に広域避難を検討する際には、予報円と同様に約 70%程度の信頼区間で考えれば、おおよそ進路については台風の最大風速半径程度（100 km）程度の振幅を考慮すべきであるということが言える。この結果は伊藤¹¹⁾が示している既往研究の結果とほぼ一致している。またこの経路の誤差は季節によって多少変動し、7月の台風は比較的精度よく、8～10月の台風は精度が落ちることがわかる。これは季節風の影響により台風経路が変動することに起因すると考えられる。

中心気圧については 24 時間前予測では 10～20 hPa の予測誤差を含んでいると考えられる。これも季節によって変動し、8月は最も精度が高く秋頃になると精度が低下するという結果になった。この原因はよくわからないが、データ同化によりリアルタイムの観測値が毎回の予測計算に反映されるようになって、中心気圧の予測を決定づける海面付近の水蒸気量の観測値の精度が十分でないために、現状としては大きな予測誤差を含んでいることが指摘されている¹¹⁾。中心気圧予測精度の季節依存性についても、この水蒸気量予測の精度と関連するものと推測している。

(2) 地域的傾向

既往研究^{9), 10), 11)}では全資料に対して平均的な精度比較をしたものしか示されていなかったが、実際には海域毎に台風の発達段階や経路が異なるので、各々の予測誤差も異なる。ここでは大阪（E135°，N35°）、九州（E130°，N33°）、小笠原（E143°，N27°）、フィリピン北部（E121°，N20°）付近を中心とする半径 5 度の領域を通過した台風資料に対して各々上記と同様に予測誤差を評価した。図-6はその結果を示している。大阪のデータについては特にリードタイム 24 時間を境として 2 種類の回帰曲線を描いている。先ほどの図-5 で示された全資料に対する分析結果と見比べると、大阪における予測精度は経路も中心気圧も概ね平均的と言える。経路誤差についてはリードタイム 12 時間程度までは地域差はあまり見られないが、それ以上では九州やフィリピン北部における誤差は他よりも小さい。一方で中心気圧についてはフィリピン北部で誤差はやや大きく、小笠原付近では小さい。

6. まとめ

リアルタイムで公開される台風情報のデータ（約 2 年半ぶんに相当）より台風の予測精度を独自

の方法で評価し, 既往の評価結果と比較し, 概ね同オーダーであることを確認した. また, 予測精度の季節変動や海域別特性について統計的に示すことができた. この結果を踏まえて, 今後は高潮などの台風災害の予測における不確実性評価へと展開していく.

謝辞

本研究は 2017 年度 CERD 特別推進研究の援助を受けて実施された成果の一部である. ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 1) J. Sillmann, V. V. Kharin, X. Zhang, F. W. Zwiers and D. Bronaugh (2013): Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 118, 2473-2493.
- 2) 国土交通省, タイムライン, <http://www.mlit.go.jp/river/bousai/timeline/index.html#know>, 2018 年 8 月 23 日参照.
- 3) 小坂田ゆかり, 中北英一 (2017): メソ β とマクロスケールから捉えた気候変動による梅雨期集中豪雨の将来変化予測, *水文・水資源学会研究発表会要旨集*, 2 p.
- 4) 川崎浩司, 二村昌樹, 下川信也, 飯塚聡, 栢原孝浩, 佐々木淳 (2016): 海洋流動モデル FVCOM とメソ数値予報モデルを用いた日本周辺海域の高潮推算, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 72, No. 2, pp. I_199-I_204.
- 5) 森信人, 澁谷容子, 竹見哲也, 金洙列, 安田誠宏, 丹羽竜也, 辻尾大樹, 間瀬肇 (2014): 2013 年台風 30 号 Haiyan による高潮の予測可能性と再解析精度, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 70, No. 2, pp. I_246-I_250.
- 6) 間瀬肇, 森信人, 中條壮大, 安田誠宏, Sheng Dong, 池本藍 (2011): 気象・海象の再解析値と予測値を利用した洋上風力発電施設的设计外力算定, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 67, No. 2, pp. I_1226-I_1230.
- 7) 山城賢, 月足健太郎, 橋本典明, 横田雅紀 (2010): 地上気象観測値に基づくリアルタイム高潮予測の試み, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 66, No. 1, pp. 291-295.
- 8) 金 洙列, 松見 吉晴, 出田 裕二郎, 間瀬 肇, 森 信人, 安田 誠宏 (2015): ニューラルネットワークによる高潮予測モデル, *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, Vol. 71, No. 2, pp. I_223-I_228.
- 9) 気象庁, 台風進路予報の精度検証結果, https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typ_kensho/typ_hyoka_top.html, 2018 年 8 月 23 日参照.
- 10) K. Ito (2016), Errors in Tropical Cyclone Intensity Forecast by RSMC Tokyo and Statistical Correction Using Environmental Parameters, *SOLA*, Vol. 12, pp. 247-252.
- 11) 伊藤耕助 (2015), 台風予報の現状と見通し, *海と安全* 秋号, pp. 6-11.
- 12) 小西達男 (1999), 数値モデルによる高潮予測について, *天気*, pp. 793-795.