

第Ⅱ部門

台風予報の不確実性のリアルタイム評価に関する基礎的研究

大阪市立大学 工学部 都市学科 学生員 ○安井 慶人

大阪市立大学 大学院工学研究科 都市系専攻 正会員 中條 壮大

1. 背景と目的

気象観測技術や高解像度数値予報の発展によって、台風予測技術は向上している。しかし予測の不確実性が減災行動の意思決定に及ぼす影響を考えると、タイムライン防災で求められている2日前や1日前予測から行動を決定することは難しいほどに予報円は大きく、実際の経路はアンサンブル予測の平均経路から大きく外れることも珍しくない。また、台風の強さを表す中心気圧の予測精度についても同様である。こうした予測の不確実性は強風災害予測や高潮・高波予測においても影響が大きく、経路が数10 km程度ずれただけでも被害の程度は一変する。

台風は強風・豪雨、高潮などをともなう複合災害であり、例えば早めに水門を閉めてしまうことで生じる河川氾濫リスクと高潮リスクを考えたときに、河川氾濫リスクに備えて水門操作が間に合わなくなるというような事態も生じうる。その他にも事前に行動決定すべきだが決定が難しい場合が多数存在する。

台風予測の誤差には前述の観測値の不確実性に起因するものだけでなく、予測モデル固有のバイアス、状況から確定論的に議論できる組織的な誤差も存在すると考えられる。そうした予測可能な誤差とランダム誤差とを分離して評価し、予測の不確実性を個別の台風毎により具体化して捉えられるのではないかと考えた。

リアルタイム台風の不確実性評価については、予報円情報を用いたものや、既往の台風経路から作成した確率台風モデルによるものがあり、高潮予測への適用も検討されている。しかし、これらは実際の予測誤差ではないものを元に考察しており、実際の予測誤差に基づいた評価は見られない。

そこで本研究では既往の台風予測データを基に予測誤差を評価し、その誤差を各台風毎にリアルタイムに予測することを目標として分析を行った。

2. 手法と分析データ

気象庁の「台風情報」には時々刻々の台風予測結果

が開示され、これに基づいて各種の防災行動が判断されている。ここに示される予報円は観測データの不確実性を考慮した初期値アンサンブル結果であり、予測と実際のどの程度ずれたかを評価することはできない。ここでは各時刻の予報値と実況値の差から予測誤差を評価した。なお、気象庁はベストトラックと呼ばれる確定値を実況値とは別に後日に報告している。

2015年7号台風から2020年10号台風までの137台風を対象に、「台風情報」に提示される予測情報のテキストデータをプログラムで自動取得した。情報は逐次更新されるため、その都度データは保存されている。

「台風情報」には台風中心位置、進行速度、中心気圧、最大風速などの予報値と実況値、予報円半径などの情報が、予報値は12, 24, 48時間後などの時刻の値が示される。実況値も予報値も特定の時刻・場所における値しか存在しないため、両者を比較する際には線形補間で内挿を行った。

予測誤差 ε については 3×3 度の対象海域毎に以下のように分離できるとして考えた。

$$\varepsilon = \varepsilon_{\mu} + \varepsilon_p + \varepsilon' \quad (1)$$

ここで ε_{μ} は対象地の平均予測誤差（予測バイアス）、 ε_p は確定論的な予測誤差、 ε' はランダム誤差である。

3. 解析結果

3.1 予報円と予測誤差の関係

予報円と予測誤差に単純な相関関係があれば、予報円半径を一定の比率で低減させることで予測の不確実性を表現できる可能性がある。しかし、リードタイム別に実際にそれらの関係を調べると、相関係数の絶対値は0.1より小さく、ほぼ無相関となった。リードタイムの混在したデータで相関を取ると0.5程度の相関となるが、これはリードタイムが長いほど予測誤差は大きく、また予報円半径も大きいことによる見かけの相関であり、実際にリアルタイム予測には適用することができないと考えられる。

3.2 予測バイアスの特徴

図-1 に各海域におけるリードタイム T_L が 24 時間の台風の経路の予測バイアス ε_μ を示す。台風の進行方向に対して右側にずれる場合を正、左側を負としている。また誤差の変動値と比べた際のバイアスの大きさを確認するために各地点の誤差の標準偏差 σ で正規化し、台風の通過数が少ない地点の結果は非表示としている。多くの海域でバイアスは予測誤差の変動量に比べて無視できないほどの大きさである。また、北緯 23 度を境にその南北で予測バイアスの正負が変化している。これは物理的なメカニズムだけでなく予測手法の違いに起因する人為的な影響もあるかもしれない。主に西日本で正のバイアス（概ね東方向のずれ）が大きくなる傾向にある。日本上陸時の経路誤差の絶対値平均は概ね 50 km 程度であった。気象庁が報告している平均的な経路誤差は 2018 年時点で約 80 km であることを考えると、概ね同程度とみなせる。 T_L が変化しても、こうした予測バイアスの正負の分布傾向はよく似ている。ただし、 T_L が短くなるほど変動量に対する割合は小さくなった。

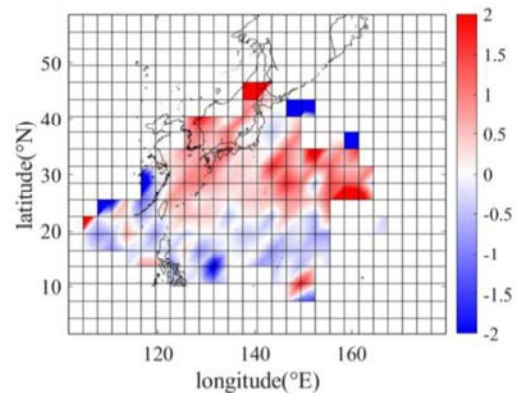


図-1 台風経路の予測バイアス ($T_L = 24h$)

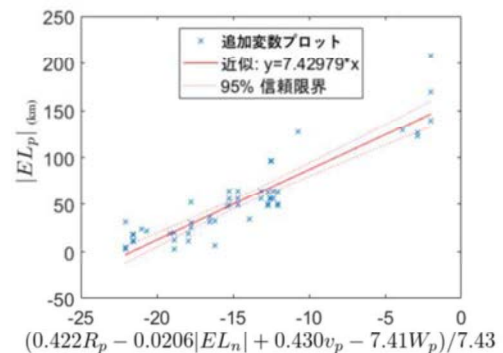


図-2 大阪付近における台風経路の確定論的予測誤差 ε_p ($T_L = 48h$) の推定結果

強い台風ほど中心気圧の変化予測が難しく、速度が速ければ比較的予測誤差は小さいということを表すと思われる。また、これまでの中心気圧の予測誤差は 1 割程度寄与する。

図-2 は縦軸に実際の経路の予測誤差を、横軸に重回帰モデルによる推定予測誤差を示したものである。この場合、推定結果はかなり実際の誤差を説明できているといえる。このときの決定係数は 0.823 とかなり高い。この推定結果からのずれについては、ランダム誤差 ε' としてモデル化される量である。

4. 結論

既往の 137 台風について予測誤差を算定し、その分布傾向を明らかにした。また、予測誤差のバイアスを除いた成分について重回帰モデルによりリアルタイム予測の可能性を調べた。その結果、大阪付近の 48 時間前予測に対するモデル式を提案した。ただし、この結果は地点やリードタイムに依存して変化するため、個別の詳細検討が必要である。また、ランダム成分のモデル化についても今後検討し、確率論的に予測する手法の提案へと展開することを目指す。

3. 3 確定論的予測誤差の推定について

各予測誤差から予測バイアスを差し引いたものに対して、予測段階でわかっている実況値や予測値を説明変数に用いた重回帰分析を行い、確定論的予測誤差の推定を試みた。説明変数の候補として設定したのは、その時刻までの予測誤差、進行速度 V 、中心気圧 P 、中心付近の最大風速 W 、予報円半径 R などである。説明変数が過大とにならないように選定し、決定係数の大きいモデルを探索した結果、以下に示す式が最適であることがわかった。

$$|\varepsilon_p| = 0.422R_p - 0.0206|\varepsilon_n| + 0.43V_p - 7.41W_p + 161 \quad (2)$$

$$|E_p| = 0.0916|E_n| + 0.354P_p - 0.173V_p + 0.797W_p - 360 \quad (3)$$

ここで ε は経路、 E は中心気圧の予測誤差を表す。下添え字 p は予測値を、 n は実況値を表す。経路の予測誤差は予報円半径と進行速度の予測値に対して正の相関があり、最大風速の予測値とは負の相関にある。進行速度が速いほど誤差は大きく、強い台風ほど進路は比較的定まっているということを表すものと思われる。また、これまでの経路予測誤差の影響は相対的に小さい。中心気圧の予測誤差は中心気圧および最大風速の予測値と正の相関にあり、進行速度とは負の相関にある。