

台風における新しい確率モデルの提案 その2 修正直交変換法の提案

- (株)長大 正会員 ホタイホーム
 東京大学 正会員 石原 孟
 東京大学 フェロー会員 藤野陽三

1. はじめに

従来の台風シミュレーションでは、台風パラメータの間の相関関係が同時に再現されていない。また一部の相間のみを考慮したモデルでは、二つのパラメータ間の相間が正しく再現できる反面、目標とした確率分布を精度よく再現できない問題がある。その結果、現在よく利用されている台風シミュレーション手法により求められた年最大風速は実観測データから求められた年最大風速の確率分布と一致せず、長い再現期間の風速を過大に評価してしまう。

本論文その2では台風パラメータの相関関係を正しく再現でき、かつ台風パラメータの確率分布の精度を損なわない修正直交変換法を提案する。

2. 台風パラメータ間の相関関係

表1には千葉気象台を中心とし、半径500km以内に通過した台風の台風パラメータ間の相関係数を示す。パラメータによって0.3を超える相関係数が見られる。例えば、 ΔP と d_{\min} との間に正の相関が見られた。これは千葉気象台に対して右側に通過する台風が強いことを示し、太平洋側に通過した台風と比べると、上陸側に通過した台風の方が弱いことに対応している。このような相関を無視すると陸側を通過した台風の強さが過大に評価され、年最大風速の過大評価につながる。従って、台風シミュレーションにより台風を作り出す時、台風パラメータの確率分布を正しく再現するだけでなく、パラメータ間の相関関係も忠実に再現する必要がある。

表1 千葉における台風パラメータ間の相関係数

| 千葉 | ΔP | R_m | C | θ | d_{\min} |
|------------|------------|-------|-------|----------|------------|
| ΔP | 1.00 | | | | |
| R_m | -0.28 | 1.00 | | | |
| C | 0.01 | 0.37 | 1.00 | | |
| θ | -0.03 | -0.03 | -0.27 | 1.00 | |
| d_{\min} | 0.33 | -0.25 | -0.37 | -0.28 | 1.00 |

従来から台風パラメータ間の相間を考慮する手法は提案されてきた。Vickeryら²⁾は R_m と ΔP の間の相関関係を式(1)のように表した。ここで、 $f(R_m)$ は確率密度関数を表し、 $\mu_{\ln R_m}$ と $\sigma_{\ln R_m}$ はそれぞれの $\ln R_m$ の平均値と標準偏差である。

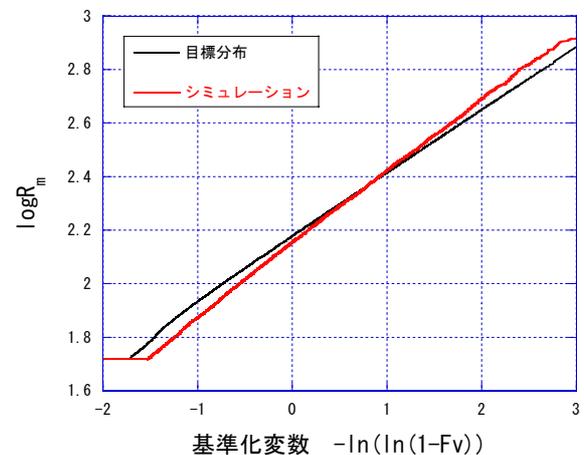
$$f(R_m) = \frac{1}{R_m \sqrt{2\pi} \sigma_{\ln R_m}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln R_m - \mu_{\ln R_m}}{\sigma_{\ln R_m}} \right)^2 \right] \quad (1)$$

ただし、 $\mu_{\ln R_m}$ は ΔP の関数として、式(2)により表す。

(2)式により R_m と ΔP の相関関係を再現した。

$$\mu_{\ln R_m} = a \Delta P + b \quad (2)$$

ここで、 a, b は係数である。式(1)と式(2)により発生した R_m と ΔP の相関係数は -0.26 となり、観測値とほぼ一致することが分かる。

図1 Vickery手法による R_m の確率分布

しかし、Vickeryらの手法には幾つかの問題がある。図1は目標とした確率分布とVickery手法により求められた最大旋衡風速半径 R_m の確率分布を示す。シミュレートされた R_m の確率分布は目標とした確率分布と一致しないことが分かる。これは相関を考慮するために R_m の平均値を変化させたことによるものである。つまり、Vickery手法は台風パラメータの確率分布と相関が同時に再現していないことがわかる。またこの手法では、二つの台風パラメータの間の相関しか再現できないという制約もある。

3. 修正直交変換法の提案

本研究では、台風パラメータ間の相関関係と確率分布を同時に満足するために、修正直交変換法を提案する。この手法は以下の三つのステップになる。

- 1) 独立パラメータへの直交変換

台風パラメータは気圧低下量 ΔP ，最大旋衡風速半径 R_m ，進行速度 C ，進行方向 θ ，最近距離 d_{min} がある。これらの台風パラメータから構成されるベクトルは次式により表す。

$$\{x_i\}^T = \{\log_{10}(\Delta P), \log_{10}(R_m), \log_{10}(C), \theta, d_{min}\} \quad (3)$$

台風パラメータの間の相関行列を S とし，固有値 λ_k と固有ベクトル ϕ_k の関係は以下ようになる。

$$[S - \lambda_k E] \{\phi\}_k = 0 \quad (4)$$

相関をもつ台風パラメータの観測データ x_i から無相関の独立パラメータ z_i に式(4)のように変換することができる。

$$\{z_i\} = [\phi] \{x_i\} \quad (4)$$

このように得られた独立パラメータ z_i は正規分布と一様分布からなるミックスモデルにより近似する。

2) 台風パラメータへの逆変換

次に，推定された確率分布に従って，所定年数分の台風の独立パラメータ z_i を発生し，固有ベクトルの逆行列をかけて相関を持つ台風パラメータに逆変換する。

$$\{x_i\} = [\phi]^{-1} \{z_i\} \quad (5)$$

表 2 台風パラメータ間の相関係数

| 千葉 | ΔP | R_m | C | θ | d_{min} |
|------------|------------|-------|-------|----------|-----------|
| ΔP | 1.00 | -0.28 | 0.02 | -0.04 | 0.33 |
| R_m | -0.28 | 1.00 | 0.35 | -0.02 | -0.24 |
| C | 0.02 | 0.35 | 1.00 | -0.25 | 0.37 |
| θ | -0.04 | -0.02 | -0.25 | 1.00 | -0.28 |
| d_{min} | 0.33 | -0.24 | -0.37 | -0.29 | 1.00 |

このように再現した台風パラメータから求められた相関係数は表 2（左下）に示す。観測から求めた相関係数（表 1 の左下）と良く一致していることがわかる。ただし，ここで再現した台風パラメータの分布は図 2 のように目標とした確率分布と完全に一致していないという問題点が残されている。

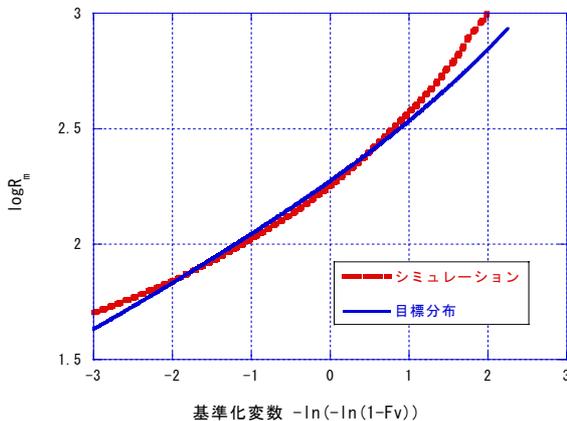


図 2 Vickery 手法による R_m の確率分布

3) 目標とした確率分布への補正

この問題を解決するために，逆変換された台風パラメータに微小修正を加える。逆変換された台風パラメータと目標とした確率モデルにより発生した値を同時に昇順で並べ，逆変換された台風パラメータは目標とする確率モデルにより発生した値に合うように修正する。この補正は相関関係を考慮して決定されたパラメータの組みに対し，微小修正を加えるのみなので，パラメータ間の相関係数(表 2 の右上)にはほとんど影響を与えないことが分かる。

最後に台風パラメータの観測値を用いて本手法の有効性を検証した。図 3 は千葉気象台における再現期間と上空風の関係を示す。従来の手法に比べ，本研究に提案した手法は観測データをよく再現していることが分かる。

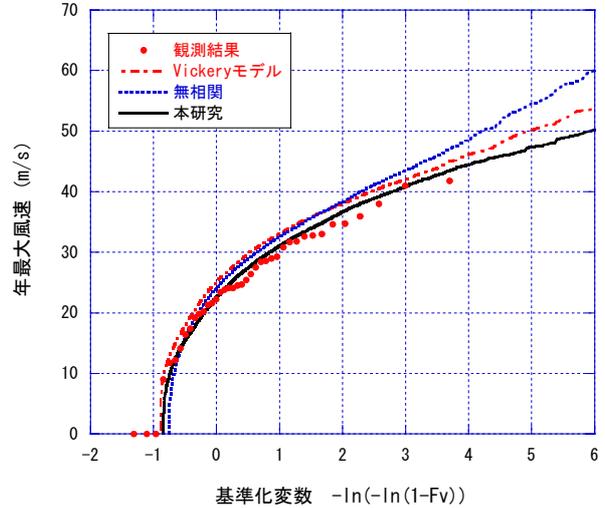


図 3 千葉における上空風の年最大風速

また本手法による求めた那覇，宮崎，大阪，千葉，仙台の上空風の 50 年再現期間期待値は北へ行くにつれ単調に減少する結果を得た。この結果は台風が北上するにつれ，弱くなっていくことに対応している。

4. まとめ

本研究では，台風パラメータの確率分布と相関関係を同時に満足する修正直交変換法を開発した。その結果，本手法により計算された上空風の期待値は，従来の手法により年最大風速の過大評価という問題を改善し，観測値と良く一致する結果を得た。

参考文献

- 1) 石原孟，ホタイホーム，藤野陽三：台風における新しい確率モデルの提案，その 1 ミックスモデルの提案，土木学会第 59 回年次学術講演会，2004.
- 2) J.Vickery, L.A.Twisdale: Prediction of hurricane wind speeds in the United States, J. Struct. Div. ASCE, 121(11), pp.1691-1699, 1995.