

ベイズ最適化を用いた最悪台風経路探索手法の発展に関する研究

九州大学 学生会員 ○西村愛理沙
九州大学 正会員 井手喜彦
九州大学 正会員 山城 賢
九州大学 フェロー 橋本典明
九州大学 児玉充由

1. はじめに

日本の多くの都市部は台風常襲地帯であり、また今後は気候変動による地球温暖化の影響で海面上昇および台風の強大化により高潮災害の危険性が高まると考えられる。高潮対策のハード対策やソフト対策のためには想定最大規模の高潮を把握することが求められており、そのためには着目している地点における最大高潮偏差が最も大きくなる経路(最悪経路)の決定が必要である。現在、最悪経路の探索には、直線経路もしくは検討対象の湾において過去に大きな高潮をもたらした既往の台風経路を基準経路とし、それを平行移動および回転させて網羅的に探索を行うグリッドサーチという手法が用いられている。しかし、ある1つの経路の平行移動と回転のみで探索した経路が真に最大となる経路であるかは定かではなく、複雑な形状を持つ湾では湾曲した経路が真の最悪経路である可能性は大いに考えられる。既往の研究として、井手ら¹⁾は高い自由度を経路表現に課した場合でも最大高潮偏差が最大となる経路に限りなく近い経路を低い計算コストで見つけ出すためベイズ最適化を用いた探索手法を提案した。ベイズ最適化を経路探索に適用することの妥当性と有用性が確認できた一方で、ベイズ最適化を用いるために必要な初期の2つの探索点を500回変えて同様の探索を行った結果からは必要な探索回数に変動があることがわかった(図-1)。

以上より、本研究では初期の探索点の取り方に対する必要な探索回数の傾向を把握することで、井手らの手法をより効率的な探索に発展させることを目的とする。

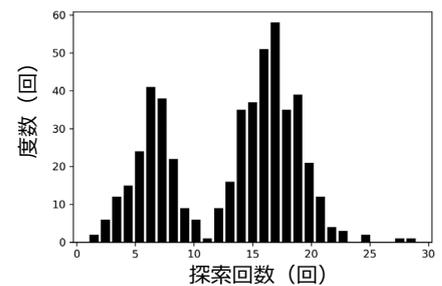


図-1 探索回数のヒストグラム

2. 探索手順

まず、2つの異なる台風経路において高潮数値シミュレーションを行い、既知データを作成する。このデータをもとにベイズ最適化を用いて次に探索する経路の条件を決定し、高潮数値シミュレーションを行う。得られた最大高潮偏差を既知データに加えて再びベイズ最適化を用いて次の条件を決めるという操作を繰り返し、井手ら¹⁾と同様に得られた最大高潮偏差がグリッドサーチでの結果を超えた時点で探索を終了する。なお、終了までに行った探索回数を“必要探索回数”と呼ぶ。

2.1 ベイズ最適化

ベイズ最適化とは、形状のわからないブラックボックス関数の最大値を効率的に求める手法の一つであり、ベイズ最適化を用いることですべての条件で評価することなく効率的に探索を行うことが可能となる。なお、ベイズ最適化におけるガウス過程による関数の推定のためには最低2つの初期の探索点を予め決定しなければならない。ここでの台風経路は平行移動 α と回転 θ (時計回りを正)で表現する。例えば、図-2の黒の実線が基準経路であり青の破線は基準経路から $\theta=30$ 度回転させた経路、青の実線は $\theta=30$ 度回転させ $\alpha=1$ 度平行移動させた経路である。探索範囲については -2 度 $\leq \alpha \leq 1$ 度、 -90 度 $\leq \theta \leq 100$ 度である。本研究ではベイズ最適化を用いて、高潮偏差が最大となる α 、 θ を見つけ

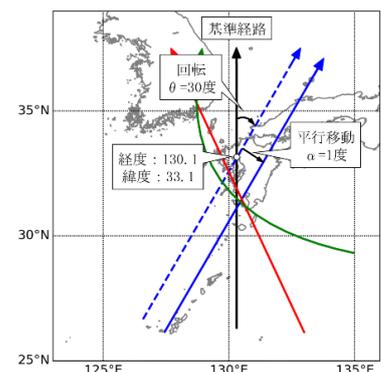


図-2 台風経路の例

出す。

2.2 高潮数値シミュレーション

高潮数値シミュレーションには海洋流動モデル FVCOM (Finite Volume Coastal Ocean Model version 3.2)²⁾を用いた。計算領域と計算条件は井手ら¹⁾と同様のものを用いた。

3. 初期の探索点の取り方と必要探索回数との関係

初期の2つの探索点をランダムに変え500回探索を行った結果を用いて、初期の探索点2点の位置関係を把握するために2点を結んだ線を必要探索回数ごとに示した(図-3)。

図-3より必要探索回数の傾向を把握するため、図-4aに初期の探索点の2点間距離に対する必要探索回数を示した。相関係数は-0.114となり相関が見られず、2点間距離が必要探索回数に影響を及ぼす可能性は低いことがわかった。同様に、図-4bに初期の探索点の平行移動 α の差に対する必要探索回数、図-4cに初期の探索点の回転 θ の差に対する必要探索回数、図-4dに初期の探索点における最大高潮偏差の差に対する必要探索回数を調べた結果、それぞれ相関係数は0.099, -0.115, -0.104となり、いずれにおいても相関が見られず必要探索回数に対する明確な傾向は見つからなかった。

図-3とグリッドサーチによる最大高潮偏差の結果(図-5)を比較すると、必要探索回数の少ない1~5回では線の端点(初期の2点)の多くが最大高潮偏差の大きい領域(-1度 $\leq \alpha \leq 0$ 度, -80度 $\leq \theta \leq 60$ 度)内にあり、一方で必要探索回数の多い21~28回では線の端点の多くが最大高潮偏差の大きい領域外にあることがわかった。一方で、必要探索回数6~20回ではデータ数が多く、これらの傾向が当てはまるとは言いきれずより詳細な解析が必要である。

4. おわりに

必要探索回数が初期の探索点に依存した変動を有しているため、初期の探索点と必要探索回数の関係の検討を行ったが十分な傾向の把握には至らなかった。現段階では初期の探索点を2つとして探索を行った結果における検討を行ったが、今後は初期の探索点を3つ以上に増やした検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 井手彦彦・山城賢・橋本典明・児玉充由:ベイズ最適化を用いた新たな最悪台風経路探索手法の提案, 第68回海岸工学講演会, 2021年11月10-12日開催
- 2) Chen et al. (2003): An Unstructured Grid, Finite-Volume, Three-Dimensional, Primitive Equations Ocean Model: Application to Coastal Ocean and Estuaries, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology Vol.20, pp159-186

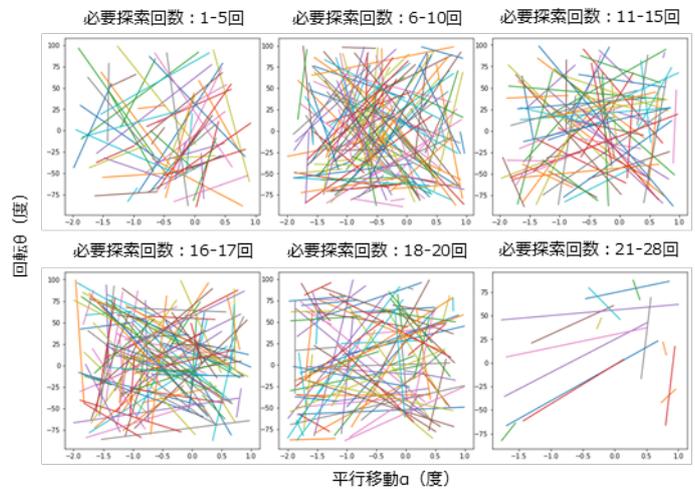


図-3 初期の探索点2点の位置関係

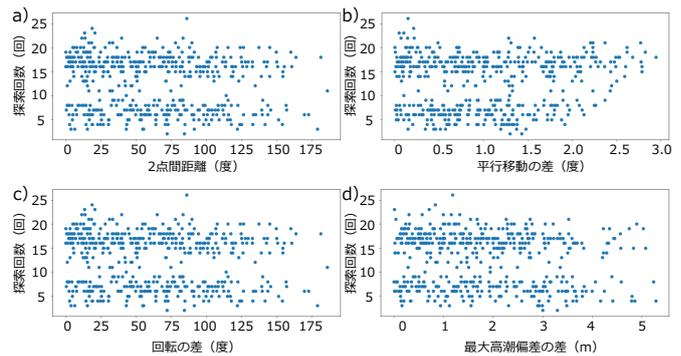


図-4 初期の探索点と探索回数

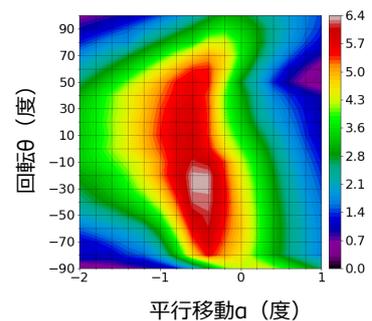


図-5 グリッドサーチによる結果