

# 台風進路の方角・操舵角を用いた迷走台風の抽出

理学専攻・情報科学コース 2240656 田村香子

## 1 はじめに

台風は通過地域に甚大な災害をもたらすことがあるため、台風の予報は重要視されている。その中で、台風進路の予測精度は年々向上しているが、複雑な経路をとる、いわゆる迷走台風は予報が難しいと言われている。しかし、迷走台風の定量的な定義が存在しないため、その進路予想の難しさや、台風が複雑な進路をとる条件を統計的に解析することは困難である。

そこで、本研究では台風の緯度帯・進行する方角・操舵角の3つの条件で段階的に迷走台風を識別する手法を提案した。

## 2 データと手法

### 2.1 使用データ

台風の観測データは、RSMC 東京の Best Track Data を用いた。台風の観測データだけでは統計を取るには不足しているため、100 メンバーのアンサンブルシミュレーション結果である、d4PDF 熱帯低気圧トラッキングデータも用いた。このデータのトラッキングアルゴリズムは Yoshida et al. (2017)[1] に基づいている。d4PDF の水平解像度は 60km である。観測データ・シミュレーションデータ共に、期間は 1951 年から 2020 年を利用している。

次節以降で説明する手法による迷走台風の抽出結果を評価するために、wikipedia の複雑な動きをする台風のページ [2] を参考に 41 件の迷走台風の例を用意した。

迷走台風が発生する環境場を解析するために、海面水温と海面気圧と 850 hPa 面 (対流圏下層) の東西風のデータとして ERA5 の再解析データを用いた。水平解像度は  $1^\circ \times 1^\circ$  格子、期間は 1951 年から 2020 年に設定した。予報円データはウェザーマップ社から提供していただいた、2011 年から 2020 年の気象庁発表予報円データ (台風進路予報をしているのは気象庁のみ) を使用している。

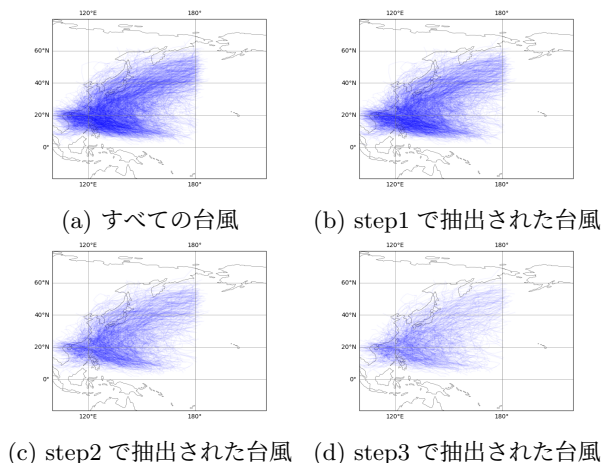


図 1: 抽出された台風

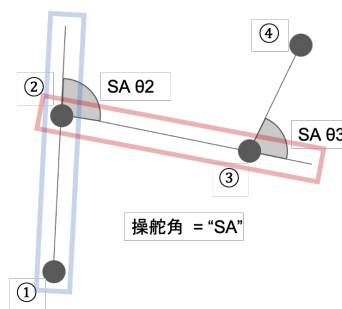


図 2: 台風進路の操舵角

### 2.2 迷走台風の抽出手法

本研究では、台風進路の方角や操舵角の値を用いて、3段階のステップで迷走台風を抽出する手法を提案する。

[ステップ 1]

激しく蛇行したりループを描いたりする迷走台風は、同じ緯度帯を複数回通過することが多い。そこで、step1 では、同じ緯度を複数回通過する部分を抽出した。

[ステップ 2]

迷走台風と典型的な台風の違いの 2 つ目は、特異な方角に進むことである。ここでは、各月・緯度ごとの方角の分布において両側確率 95% の範囲から逸脱した方角に進んだ点を珍しい方角に進んだ点と定義し、step1 で抽出された緯度帯にこの点が含まれるならば step2 で検出されるように設定した。

[ステップ 3]

step3 では、迷走台風がどれだけ蛇行したかを表す操舵角という値を導入し、迷走したかどうかを判定した。操舵角  $\theta$  は以下の式で導出した。

$n$  番目の観測点を

$P(n) = (\text{経度}, \text{緯度}) = (\text{lon}[n], \text{lat}[n])$  とする。

$\vec{a}(n) := (\text{lon}[n] - \text{lon}[n-1], \text{lat}[n] - \text{lat}[n-1])$

$\vec{b}(n) := (\text{lon}[n+1] - \text{lon}[n], \text{lat}[n+1] - \text{lat}[n])$

$$\theta = \arccos \left( \frac{\vec{a}(n) \cdot \vec{b}(n)}{\|\vec{a}(n)\| \|\vec{b}(n)\|} \right)$$

$(\vec{a}(n) \times \vec{b}(n)) \cdot \vec{n} > 0$  ならば右旋回、

$(\vec{a}(n) \times \vec{b}(n)) \cdot \vec{n} < 0$  ならば左旋回を表す。

ただし、 $\vec{n}$  は鉛直上向きの単位ベクトル。

step3 では、緯度帯中の操舵角の合計の絶対値が  $90^\circ$  以上の緯度帯を検出する。ただし、左旋回と右旋回を足し合わせた結果、経路は複雑であるにも関わらず値が小さくなってしまいうこともあるので、迷走台風の抽出にあたっては緯度帯中の観測データ数も考慮し緯度帯の幅の 4 倍以上のデータ数が含まれる緯度帯も検出するようにした

1951 年から 2020 年の 1835 個の台風に適用するとおよそ 1/3 の 592 個、wikipedia 「複雑な動きをする台風」 [2] にて迷走台風の例に挙げられている 41 個の台風に適用すると 37 個の台風が迷走台風として抽出された。

### 3 結果と考察

#### 3.1 迷走台風の発生位置・発生数

先に抽出した迷走台風のデータを用いて、迷走台風の発生数・発生位置を調査した。月別の迷走台風発生数はその月の台風発生数におおむね比例していた。年別の迷走台風発生数は3から21個と変動が大きかった。発生した位置は北緯30°以南の南シナ海とフィリピン近海に集中していた。

#### 3.2 迷走台風が発生する環境場

7月と8月の迷走台風の発生割合と海面水温の相関を取ると、太平洋西部赤道域に強い正の相関が見られた。これは台風の迷走とエルニーニョ現象が関連していること示唆している。迷走台風の割合とエルニーニョ現象の発生を表すNino3.4指数の相関係数は0.47、p値が $4.03 \times 10^{-5}$ と強い相関が認められた。

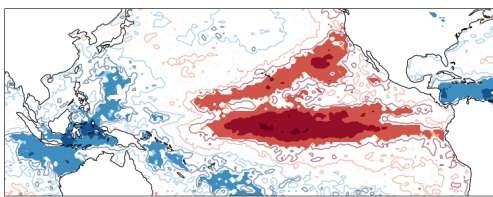


図 3: 迷走台風の割合と海面水温の相関

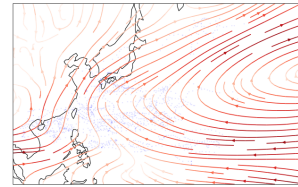
通常の夏は日本の東の太平洋高気圧の縁辺に沿って時計回りに風が吹き、その風に乗って台風は移動する。しかし、迷走台風の割合が大きいときとエルニーニョ現象が発生しているときは、平均場との差分を取ると、反時計回りの流れが見える。これは通常よりも時計回りの縁辺流が弱いことを示す。迷走台風の割合が小さいときとラニーニャ現象発生時は、逆に縁辺流が強くなっている。したがって、エルニーニョ現象に伴って太平洋高気圧の縁辺流が弱くなることで、台風が迷走するという流れを読み取ることができる。

#### 3.3 予報精度の比較

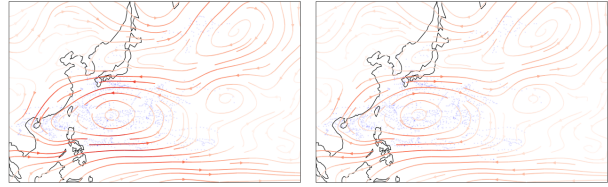
迷走台風の進路予測は一般的に難しいと言われているが、迷走台風の予報円半径・予報誤差・的中率が劣っているとは言えなかった。しかし、迷走台風は移動距離あたりの予報誤差が大きいことから、迷走台風の進行方向はまだ精度向上の余地があることが示唆された。

予報時間 (h)	予報円半径 (km)		予報誤差 (km)		的中率		予報誤差 /移動距離	
	すべて	迷走	すべて	迷走	すべて	迷走	すべて	迷走
3	38.58	37.09	27.17	25.15	0.80	0.79	0.43	0.73
6	56.74	nan	47.40	nan	0.83	nan	0.28	nan
9	66.12	58.75	56.65	39.77	0.73	0.75	0.25	0.36
12	78.27	76.00	61.43	65.65	0.72	0.68	0.26	0.34
24	125.92	122.27	98.89	95.83	0.72	0.70	0.42	0.58
48	250.94	243.33	224.22	137.07	0.63	0.82	0.24	0.23
72	363.88	289.67	302.50	234.55	0.65	0.80	0.19	0.21
96	543.66	426.47	541.21	407.11	0.59	0.71	0.24	0.31
120	740.84	642.56	725.63	533.24	0.61	0.69	0.26	0.31

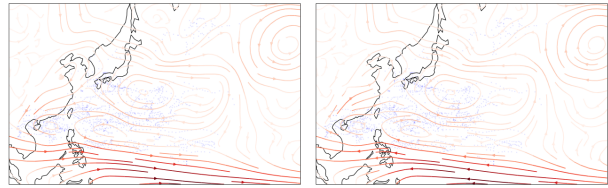
図 4: 予報精度の比較



(a) 平均場



(b) 迷走台風割合大 - 平均場 (c) 迷走台風割合小 - 平均場



(d) エルニーニョ - 平均場 (e) ラニーニャ - 平均場

図 5: 迷走台風の発生割合の大小と Nino3.4 指数の大小の 850 hPa 風の場の比較 (7月)

### 4 まとめと今後の課題

1951年から2020年の台風を本研究で提案した3つのステップからなる迷走台風の抽出手法を適用したところ、およそ1/3の台風が迷走台風と判定された。迷走台風の発生割合と海面水温/海面気圧/850 hPa 面東西風の相関図から、エルニーニョ現象に伴う太平洋高気圧の縁辺流の弱化によって台風が迷走する可能性を示唆した。また、迷走台風は移動距離あたりの予報誤差が大きいことから、移動方向の予測に向上の余地があることを示した。

本研究では、台風の迷走とエルニーニョ現象に関連があることを示したが、因果関係を検証するためには、Nino3.4領域の海面水温を変動させるシミュレーション実験を行う必要がある。また、将来気候のシミュレーションデータを用いて迷走台風の発生数や位置の長期トレンドを分析することで、将来の台風進路の傾向を予測できる可能性がある。

### 参考文献

- [1] Kohei Yoshida, Masato Sugi, Ryo Mizuta, Hiroyuki Murakami, and Masayoshi Ishii. Future changes in tropical cyclone activity in high-resolution large-ensemble simulations. *Geophysical Research Letters*, 44, 19, 9910-9917, 2017.
- [2] 複雑な動きをする台風 - ウィキペディア日本語版 <https://ja.wikipedia.org> (最終アクセス: 2023/07/05)