

# 竜巻の進行方向と大規模場の風向の関係

三田 優里 (指導教員：神山翼)

## 1 はじめに

竜巻とは、積乱雲に伴って発生する激しい上昇気流の渦である。大気の状態が非常に不安定な時に発生するがその予測は難しく、構造を含め未だ多くのことがわかっていない。特に日本では、台風等の災害に比べて被害が小さいために世間の関心が薄く、また目視の観測報告に頼っていることから、統計研究の数が少ない。一方で、現在気象庁が発表する竜巻注意情報の対象範囲が広く曖昧であることが課題となっており、人体や家屋への被害を最小限にするためには、竜巻の発生予測と進路予測が必要不可欠である。そこでまずは、進路の予測が可能かどうかの議論が必要となる。

Niino et al. (1997)[1]によると、竜巻の進行方向の半数以上は北東方向に進んだことがわかっている。しかしこの進行方向の多くは目撃情報に基づいたデータであるために正確とは言えず、この研究内でも、16方位のうち8方位に回答の偏りがあることが指摘されている。そのため本研究ではまず初めに、先行研究より新しい年代も含めた竜巻について、発生地点と消滅地点から進行方向を算出したうえでその偏りを分析し、原因を探っていききたい。

## 2 データと手法

### 2.1 竜巻の進行方向

#### 2.1.1 使用データ

気象庁の「竜巻等の突風データベース」から、1961～2016年の竜巻または竜巻の可能性のある事例1029件について、発生日時や発生・消滅地点の緯度経度他。

#### 2.1.2 計算手法

発生場所の緯度： $lat1(\text{rad})$  経度： $lon1(\text{rad})$

消滅場所の緯度： $lat2(\text{rad})$  経度： $lon2(\text{rad})$

移動角度  $\theta_1 = \arctan 2(lat2 - lat1, lon2 - lon1)$

### 2.2 風向

#### 2.2.1 使用データ

ヨーロッパ中期予報センターの「ERA5 hourly data on pressure levels from 1959 to present」より、再解析の東西・南北風の風速。 $(0.25^\circ \times 0.25^\circ)$

#### 2.2.2 計算手法

東西風： $u$  南北風： $v$

風向  $\theta_2 = \arctan 2(v, u)$

$u$  と  $v$  は、竜巻発生地点を囲む隣接4地点の平均をとった。

## 3 結果

発生と消滅場所の報告があった1029件の竜巻のうち、緯度または経度方向に1秒(約40m)以上動いている592件について、進行方向の分布をとる。

### 3.1 北東方向への偏りの信頼性

先行研究[1]と同じ1961～1993年の期間に発生した151件の竜巻の移動方向は下図Fig. 1.1のようになり、73%が北東方向に進んでいることがわかる。ここで、北東方向とは東から反時計回りに $90^\circ$ の範囲を指すこととする。また、先行研究以降の1994～2016年の441件の竜巻についても同様にFig. 1.2となり、66%が北東方向に進んでいる。2つの期間の独立なデータで定性的な結果が変わらなかったため、北東方向への偏りは偶然ではなく、理由があることが示唆される。

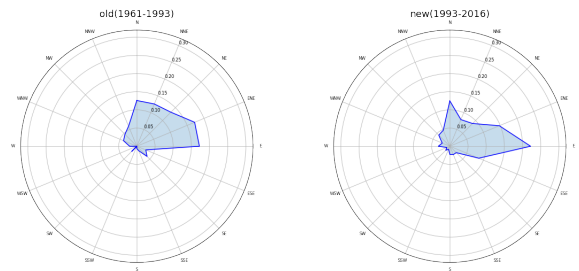


Fig. 1.1 : 1961～1993年 Fig. 1.2 : 1993～2016年

### 3.2 季節ごとの進行方向

Fig. 2.1～2.4は、季節ごとに進行方向をまとめた図である。発生数は9,10,11月(SON)が最も多く、次いで6,7,8月(JJA)、12,1,2月(DJF)と3,4,5月(MAM)となっており、いずれの季節に発生する竜巻も7割以上が北東方向に進行している。

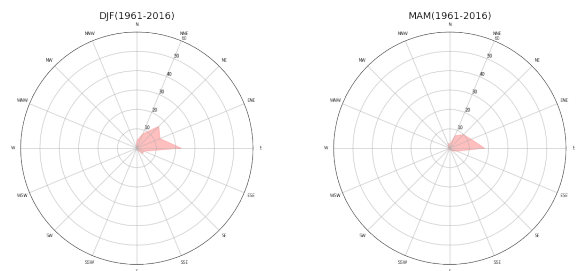


Fig. 2.1 : DJF

Fig. 2.2 : MAM

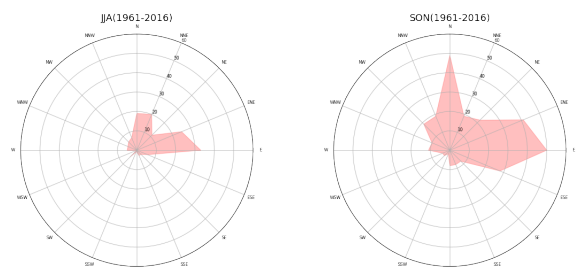


Fig. 2.3 : JJA

Fig. 2.4 : SON

### 3.3 台風性の竜巻

前段落での JJA と SON では東と北への突出が見られた。これは2つの異なる原因によるものと考え、台風に伴って発生した JJA の 37 件、SON の 75 件の竜巻を抽出した。Fig. 3.1 と 3.2 が台風性、Fig. 3.3 と 3.4 が非台風性であり、北への突出の一因が台風に伴う竜巻にあることが考えられる。

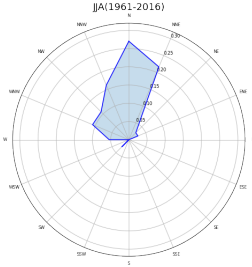


Fig. 3.1 : JJA 台風性

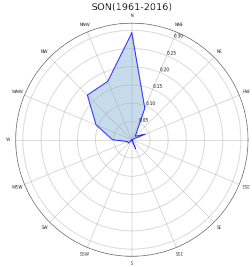


Fig. 3.2 : SON 台風性

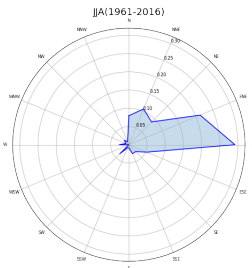


Fig. 3.3 : JJA 非台風性

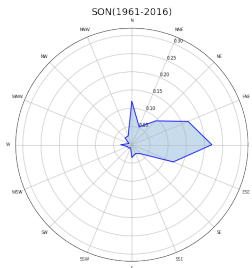


Fig. 3.4 : SON 非台風性

### 3.4 進行方向とその分布

1961～2016 年の竜巻事例のうち移動が報告された 592 件について、Fig. 4 のように 68% が北東方向に進行していることが確認できた。

本研究で進行方向の統計に用いた 592 件の竜巻について、日本列島での発生分布は Fig. 5 のようになっており、赤く塗られた点は北東方向に進行した事例を示す。全国的に北東方向への偏りがあるが、特に沿岸では東に、関東平野など内陸では北に、進行する竜巻が多く見られた。

### 3.5 相関

例えば台風に伴う 114 件については北に極端に偏るなど、発生環境場や地域、季節によって偏りの傾向が異なったが、多くが北東方向に進行することは共通している。ここから竜巻発生時の風向きと進行方向に相関が見られるのではないかと考え、ジェット気流ののった積乱雲と共に風に流されていると仮定して 500hPa 面での風向きと比較した。

$$\varphi_i := \theta_{1i} - \theta_{2i}$$

$$\mathbf{a} = \text{abs} \frac{1}{N} \left( \sum_{i=0}^N \cos \theta_{1i}, \sum_{i=0}^N \sin \theta_{2i} \right)$$

$\mathbf{a}$  が (1,0) に近づくほど竜巻の進行方向と風向きに相関があり、上記の計算をデータ数  $N=592$  で行ったところ、 $\mathbf{a} \approx (0.78, 0.27)$  が得られた。

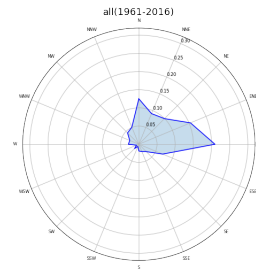


Fig. 4 : 全竜巻の移動方向

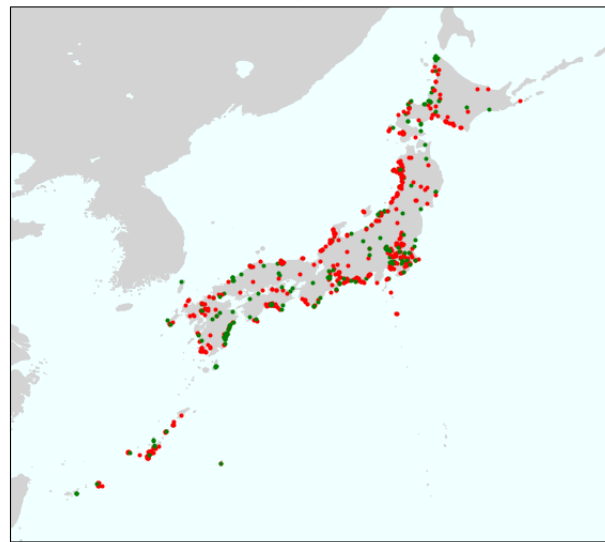


Fig. 5 : 竜巻の発生分布 (赤色が北東方向に進行)

## 4 まとめと今後の課題

先行研究から統計の期間を増やし、また、進行方向を算出することで新たに統計をとった結果、竜巻の進行が北東方向に7割程度偏っていることを確認した。また竜巻発生時の風向きとの相関を見ることで、積乱雲と共に風に流されているという仮説を検証した。スケールの小さい竜巻現象において現在使用している風向きデータの解像度での検証が妥当かどうか、また、竜巻の発生地点や台風性であることの信頼性を確認できるか、観測報告の曖昧さをどのように排除するかが課題となっている。これが解決されれば、竜巻の進路予測は可能であると言える。

今後は、陸上で発生した竜巻と海上発生時の進行方向の違いについて考察を深めたり、親雲となる積乱雲が特定できる事例についての解析を進めれば、進行方向と風向きのより精度の良い相関を得られる可能性がある。また、各気圧面での相対湿度や気圧の差から渦の出来やすい環境場について、進路予測と共に発生予測の立て方の考察も必要である。

### 参考文献

- [1] Niino, H., Fujitani, T., Watanabe, N. (1997). A statistical study of tornadoes and waterspouts in Japan from 1961 to 1993. *J. Climate*, **10**(7), 1730-1752.