

# 平成 30 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災

研究期間：平成 30 年度

課題番号：172001

研究課題名（和文）：日本における竜巻発生環境の客観的評価

研究課題名（英文）：Objective assessment of tornadogenesis environment in Japan

研究代表者：佐々浩司

交付決定額（当該年度）： 260,000 円

## 1. 研究の目的

日本において発生が確認された竜巻情報は気象庁により詳細にまとめられているが、これは必ずしも発生数と一致するわけではなく、人口バイアスなどにより地域によって確認数が異なっている。米国では Potvin et al. (2016)により補正モデルなどが提案されている。海上竜巻の場合は、被害痕跡も残らないため、人口バイアスは顕著である。このようなことから目撃情報や被害状況によらない竜巻発生状況の評価が必要とされている。本研究は、日本における竜巻発生可能性の客観的情報を得ることを目的とする。これには、レーダーによる上空の渦の捕捉、地上観測による突風の捕捉といった観測的な統計解析だけでなく、竜巻をもたらしやすい大気環境を客観的に評価するゾンデ観測や再解析データを用いた環境指標を評価することにより、総合的な統計解析を行い、地域特性、季節変化、日変化などを明らかにするとともに、竜巻等突風データベースとの比較により、日本における竜巻発生可能性と人口バイアスの関係を明らかにする。

## 2. 研究の方法

### ①レーダーによる渦の統計解析(佐々浩司、鈴木修)

全国 20 箇所の気象庁ドップラーレーダーにより観測されたデータより気象研究所開発の渦検出アルゴリズムを用いて積乱雲内の渦の発生状況を明らかにするとともに、渦をもたらす降水システムの分類を行なって、地域特性、季節変化、日変化などの統計的特性を明らかにする。

### ②再解析データを用いた環境場の評価(津口裕茂)

再解析データもしくはメソ解析値を用いて CAPE や SReH など竜巻をもたらす積乱雲の発達指標となる環境パラメータの気候変化、地域特性、季節変化、日変化および、それらの地域特性を明らかにする。

### ③地上観測データによる突風統計解析(益子涉)

気象官署の地上観測データを統計解析し、突風現象を抽出して、その地域特性、季節変化、日変化などの統計的特性を明らかにする。

### ④竜巻等突風データベースによる検証とデータベースに載らない事例の実態調査

(小林文明、松井正宏)

気象庁竜巻等突風データベースに記載されている事例に加えて、データベースに載っていないが報道等により事実確認がなされている事例を調査し、上記客観的データと比較検討する。

上記 4 つのサブ課題のうち、今年度は①～③を集中的に実施した。①についてはレーダーデータのうち、ドップラー速度データのみを用いた解析を行った。

### 3. 研究成果

#### (1) レーダーによる渦の統計解析

本年度は2013年1年間のドップラー速度データを用いて解析を行った。ただし名瀬レーダーのみは3/5からのみ観測データがあり、年間の統計解析からは除いている。検出条件として①周方向にドップラー速度の極大極小ペアがあること、②その10m/s以上であること、③渦径が0.1km~10kmの範囲内にあること、④渦度が発散より大きいこと、⑤鉛直方向もしくは時間的に連続して検出されること、という条件下のもとで検出したが、時間的な連続性については渦の移動速度を考慮して連続するスキャンで6km以内に存在する場合のみ検出し、範囲内に複数の渦が検出される場合は、ランキン渦への当てはめ誤差が最小となるものを検出対象とした。この結果、渦の総検出数は37539個となった。季節別に見ると、図1に示すように秋(9~11月)が最も多いことがわかったが、検出数の多い日本海側(札幌、秋田、函館、新潟、福井、松江、長野)は冬(12~2月)の方が検出数が多かった。太平洋側(釧路、仙台、東京、静岡、名古屋、大阪、室戸)と南西諸島(沖縄、石垣)は全国的な傾向とほぼ同様で秋が多かった。なお、広島、福岡、種子島の3レーダーはこれらの傾向にあてはまらなかった。

発生時間帯別に見ると、気象庁突風データベースでは午後の発生数が圧倒的に多いのに対して、際立った日変化傾向は認められなかった。わずかに春のみ気象庁突風データベースと同様の傾向となった。一方、冬は朝方9時帯が極端に少ない傾向を示した。

渦径は5km以下のものが多く、平均は3.8kmであった。渦の速度差については、図3に示すように50m/s以下のものが圧倒的に多く、平均値は34m/sであったが、なかには130m/sを超える極めて強い渦も検出された。なお、渦径と速度差の間の相関は明瞭には認められなかった。一方、図4に示すように渦の持続時間は検出条件である最低2スキャン分(5分間)のみ認められる短寿命のものが圧倒的に多くほとんどの渦がノンスーパーセル的な渦であることを示した。持続時間が60分を超えるようなスーパーセルのメソサイクロンの渦は60個程度であり、日本においてスーパーセルの発生頻度はあまり大きくないことが明らかになった。

各レーダーで検出された渦の分布を図5に示す。渦の検出数は、陸上よりも海上が多いことがわかるが、それ以上に顕著なのはレーダー近傍での検出数が多く、遠方で少なくなる距離依存性であった。また、大阪レーダーなどサイトによっては、特定の地形に依存してある方位角方向に検出数が増える傾向が認められた。これらは、地形効果によって降水システムに水平シアーが生

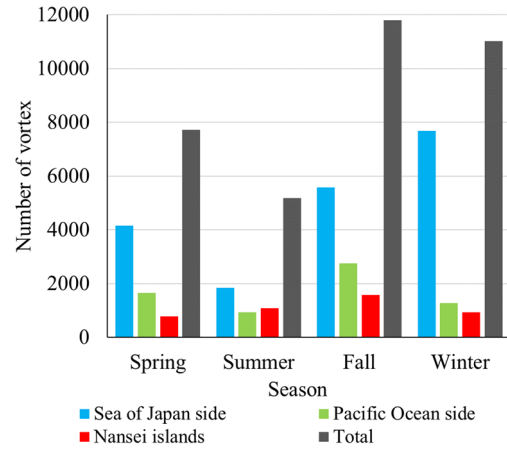


図1 季節別の渦検出数

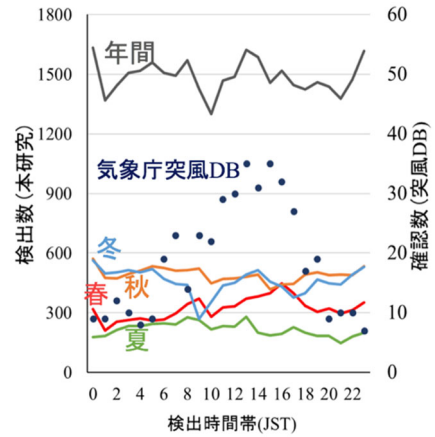


図2 時間帯別の渦検出数

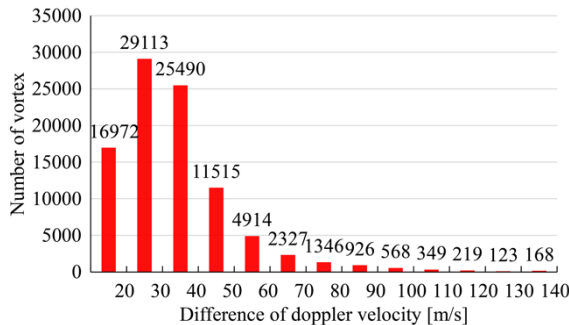


図3 渦の速度差の度数分布

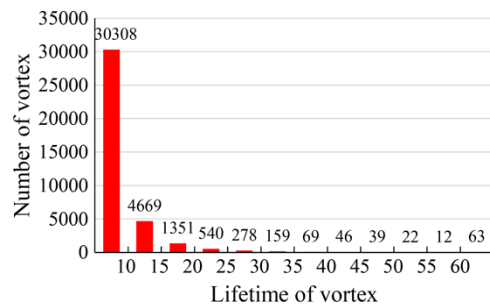


図4 渦の持続時間の度数分布

じやすい環境に置かれていることを示すものであり、竜巻の発生に寄与するような渦の存在を示すものとは異なるものと考えている。今年度はドップラー速度のみにより渦検出を行った結果、レーダーの距離依存性が図5に示すように顕著に認められた。今後は、反射強度を用いて降水システムの移動に合わせた渦検出を行うことにより、よりの確な渦発生傾向を調べる必要があることが明らかとなった。

#### (2) 再解析データを用いた環境場の評価

20km 格子の気象庁客観解析 GPV データを用いて竜巻発生に寄与する環境パラメータの分布を調べた結果、ストームに相対的なヘリシティ  $SReH$  が  $150\text{m}^2/\text{s}^2$  を超えるようなスーパーセルの発生しやすい環境は西日本全体が15%程度の発生確率であるのに対し、関東の一部や東北、北海道の一部では25%にもおよび、北日本ほど渦が作られやすい傾向があることが明らかになった。一方、対流有効位置エネルギー  $CAPE$  が  $200\text{J}/\text{kg}$  を超える対流不安定な環境は西日本で20%程度、沖縄で40%程度であるのに対し、東北より北では10%にも満たず、日本の南部ほど積乱雲が発達しやすい環境であることがわかった。これら二つの条件を満足するような竜巻が発生しやすい環境になりやすい地域は、は結果として西日本と東北の日本海側、関東地区であることがわかった。一方、2075年から2099年の将来気候においては、 $SReH > 150\text{m}^2/\text{s}^2$ 、 $CAPE > 500\text{J}/\text{kg}$  となるような竜巻が発生しやすい環境が日本全体で2~3倍に増加することが明らかとなった。

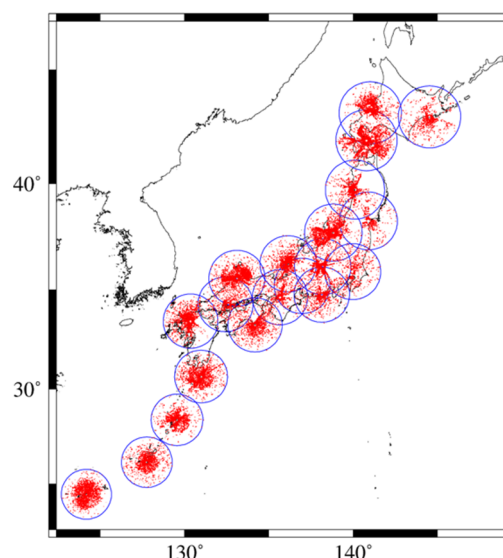


図5 検出された渦の分布。青丸は各レーダーの探査範囲を示す。

#### (3) 地上観測データによる突風統計解析

2002年から2016年までの気象官署の1分値データを用い、瞬間風速が前10分平均より15m/s以上大きく、ガストファクターが2を超える事例を検出した結果、3163事例の突風が検出され、一旦高い風速になったあとしばらくそれが持続するステップ型突風は176事例が検出された。突風の発生数は8月から10月にかけてが最も多く、その大半が台風の影響下で発生したものであった。一方、ステップ型突風は12月が最も多くなり、季節変化の傾向が明瞭に異なることがわかった。台風に伴うものは全体で51.7%あったが、このうちの多くは西日本の太平洋岸で発生していた。発生位置は台風の北東象限が多く、台風に伴う竜巻の発生分布と同様であった。また、海岸線からの距離別に見ると、海岸から10km以内で大半が発生していることがわかった。

#### 4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

1. 山中稔、佐々浩司、橋本学、中川一、川池健司、張浩、森牧人、村田文絵、寺尾徹、レーダーネットワークを活用した統合防災システムの構築、第54回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集、2018、p. 57-63.

[学会発表] (計 2件)

1. 西井章、佐々浩司、気象庁レーダーで捉えた雲内の渦の分布、日本流体力学会年会 2018、豊中、2018年9月.
2. 山中稔、佐々浩司、橋本学、中川一、川池健司、張浩、森牧人、村田文絵、寺尾徹、レーダーネットワークを活用した統合防災システムの構築、第54回自然災害科学総合シンポジウム、宇治、2018年9月.

[図書] (計 0件)

なし。

[その他、産業財産権、ホームページ等]

なし。

## 5. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐々浩司(高知大学)

### (2) 研究分担者

1. 鈴木修(気象研究所)
2. 益子渉(気象研究所)
3. 津口裕茂(気象研究所)
4. 小林文明(防衛大学校)
5. 松井正宏(東京工芸大学)

## 6. 要約(Abstract)

研究課題名：日本における竜巻発生環境の客観的評価

研究代表者名：佐々浩司（高知大学）

本研究は被害調査や目撃証言に依存する気象庁突風データベースを補う客観的な竜巻発生分布を把握することを目的として、レーダーによる渦の分布、数値データによる環境場の把握、気象官署における突風検出などの点から解析を行った。

この結果、レーダー解析により 2013 年 1 年間で渦が 37539 個見付き、季節別では秋が最も多かった(図 1)。また、全体として日本海側の発生数が多かったが、日本海側は冬の発生数が最も多かった。時間帯別(図 2)に見ると気象庁突風データベースとは異なり、日変化はほとんど見られなかった。渦径の平均は 3.8km、速度差の平均は 34m/s であり、これらに相関は見られなかった。一方、渦はほとんどがノンスーパーセル的な渦と判断できるほど寿命が短く 10 分以内に集中しており、スーパーセル的な 1 時間を超えるものは 60 個ほどしか検出されなかった。渦の分布にはレーダーの距離依存性が認められ、エコトラッキングを行う必要があることがわかった。

客観解析データを用いた 20km メッシュの環境場解析では  $SReH$  は北日本が高く、CAPE は南部ほど大きいことから、結果として西日本太平洋岸と日本海側、関東地区の竜巻発生確率が高いことがわかった。

過去 15 年間の気象官署 1 分値データより突風とステップ型突風を検出した結果、それぞれ、3163、176 事例が検出された。突風は 8~10 月に多く、大半が台風に伴うものであった。一方、ステップ型突風は冬に多かった。

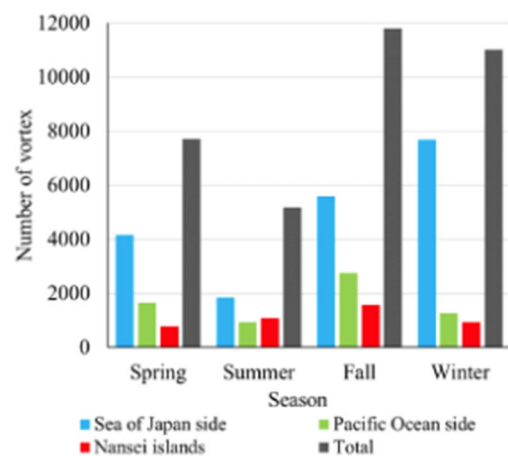


図 1 季節別の渦検出数

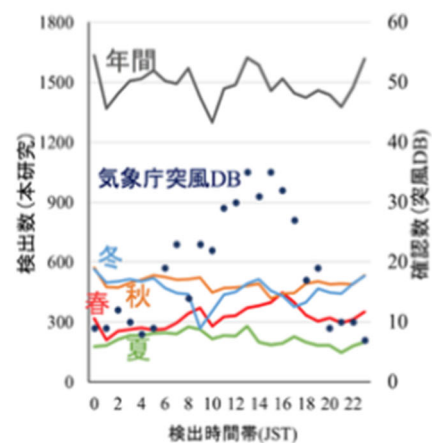


図 2 時間帯別の渦検出数