

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01682

研究課題名（和文）日本における竜巻発生環境の再評価に基づいた竜巻発生予測の高精度化

研究課題名（英文）Improvement of tornadogenesis prediction based on the re-evaluation of the environment of tornadoes in Japan

研究代表者

佐々 浩司（Sassa, Koji）

高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・教授

研究者番号：50263968

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：レーダーパターンにより竜巻の元となる降水システムの形態を6種類に分類し、その特性を明らかにすることによって降水システム毎の危険度を示すとともに、レーダーパターンと監視カメラ画像を用いた深層学習による自動検出を可能とした。また、室内実験により、竜巻形成に適する親雲下層の気流構造を示すとともに、相対的に上昇流域が大きくなると、ノンスーパーセル竜巻とスーパーセル竜巻の基本的な形成メカニズムは同様であることを示した。さらに冷気外出流の侵入と上昇流の発生のタイミングにより形成の条件が異なることも示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

竜巻の元となる降水システムを詳細に分類したのは国内では本研究成果が初めてであり、国内の竜巻の気候学的研究を進める基礎となるものとして重要である。また、その特性によって危険度を推定する足がかりを得ることができ、危険度に応じた注意情報の発表などが期待できる。また、深層学習を用いた自動検出は、実測に基づいた注意情報の発表を可能とする実用性が期待される。室内実験による竜巻発生条件の解明は、竜巻形成メカニズムを詳細に明らかにする学問的価値のみならず、今後発生予測をより高精度化するための基礎的な知見としての利用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Parent convective systems of tornadoes are categorized to 6 types based on the radar echo patterns and the characteristics of parent systems are investigated to evaluate the risk of tornado. Funnel clouds from the surveillance camera data and Hock echoes in radar reflectivity are successfully detected by the deep learning. Laboratory experiments show that the suitable flow conditions for tornadogenesis. The generation mechanism is shown to be same between supercell and non-supercell in the case of larger updraft area. The difference in the timing of intrusion of cold outflow and generation of updraft affects to the suitable flow condition.

研究分野：気象学・流体力学

キーワード：竜巻 レーダー観測 画像解析 室内実験 深層学習 スーパーセル

1. 研究開始当初の背景

気象庁竜巻等突風データベースによれば、竜巻の年間平均発生数は海上竜巻を含めて約 60 であり、死傷者こそ少ないものの、社会損失を与えるものとしてその対策が求められている。2006 年に延岡竜巻、佐呂間竜巻を契機として我が国でも重大な気象災害の一つとして竜巻が認知され、気象庁も竜巻注意情報や竜巻発生確度ナウキャストを提供するようになった。これらの的中率が 15%程度であることや、リードタイムを十分に取ることができていないのは、竜巻を発生させる大気環境がいまだに明らかではなく、現在用いられている指標が竜巻発生予測に十分対応するものではないことによる。一方、先述のデータベースは被害や目視などで認知された竜巻に限定されており、我が国の客観的な評価法に基づく地域別の発生状況も明らかにされていない。竜巻発生メカニズムを明らかにするため、米国やわが国において精力的な研究が続けられているが、多くは事例解析であり、竜巻発生シナリオそのものも数多くあるのではないかと (Bluestein 2014) とされている。このため、米国の情報だけに頼るのではなく、我が国における事例の蓄積を必要とすることに加えて、米国ではほとんど研究対象とされていないノンスーパーセル竜巻の発生環境も明らかにする必要がある。

このような状況下にあつて、代表者は世界屈指の竜巻多発地域 (Sassa et al. 2011) である高知県にレーダーネットワークを構築して観測を継続し解析を進めてきたが、気象庁のレーダー網を活用した全国の竜巻の状況を把握することにより、事例の増加だけでなく親雲の形態の違いなど地域的な特性にも着目した統計解析の必要性を強く感じている。

2. 研究の目的

竜巻とそれをもたらす親雲の発生状況および発生環境について以下のことを明らかにする。

- (1) レーダー解析による雲内に渦を持つストームの形態と発生分布、発達過程
 - (2) 室内実験によるノンスーパーセル竜巻およびスーパーセル竜巻の気流条件
 - (3) MSM 初期値データなどを用いた竜巻発生前後の環境場の特性
- これらの知見に基づいて、以下の事柄により竜巻注意情報の高精度化をめざす。
- (4) レーダーエコーパターンのトラッキングによる渦の接近ナウキャスト
 - (5) 漏斗雲画像の自動検出による渦の接近ナウキャスト
 - (6) 新たな竜巻発生指標とレーダーエコーパターンによる竜巻親雲の発生予測

上記(2)はまさに接近しつつある竜巻のナウキャスト情報の提供を実現するものであるが、(1)は被害を防ぐ対策の実施を可能するようなリードタイムを稼いだものであり、(3)はさらに時間的余裕をもたせた情報提供ができるものをめざす。

3. 研究の方法

大きく分けて、①レーダー観測・解析、②室内実験、③画像解析、④モデル解析の 4 つの手法により研究を進めた。

① レーダー観測とその解析

高知県内に 6 台の X バンド MP ドップラーレーダーを配置し、低仰角を中心とする 5 仰角の PPI スキャンを 1 分毎にする行う常時観測を継続している。このレーダーネットワークにより捕捉した竜巻親雲の構造とその中にみられる渦の特性について明らかにする事例解析を行う。これらの蓄積により、親雲または元となる降水システムの形態を分類するとともに、形態毎の渦の特性を比較して、危険度の高い形態を明らかにする。被害の発生した事例については気象台と連携して被害調査を実施するとともにドローンを用いた被害分布解析を行い、被害状況から推定される地上気流と親雲との対応関係について明らかにする。

また、親雲の自動検出を目指して、深層学習による親雲パターンの検出も試みる。

②室内実験

スーパーセル模擬装置および冷氣外出流模擬装置をさらに改良して、スーパーセル竜巻とノンスーパーセル型竜巻の発生条件とその発達過程を明らかにする。スーパーセルについては、竜巻の発生のきっかけとされている強い降水コアや Rear Flank Downdraft に伴うガストフロントを再現するため、新たに下降気流発生装置を製作し、下降気流のパラメータワークを含めた発生条件を評価する。ノンスーパーセル竜巻再現装置は現有のものを一部改変して下降気流の再現や、ガストフロントが侵入する過渡的な状況も再現する装置とし、竜巻渦発生の源となる強い下降冷氣や冷氣外出流の流速や環境場の流速、傾圧性、上昇気流の流速と影響範囲、形成される局地前線と上昇流域との対応関係などのパラメータを可変して竜巻渦の発生・維持構造を立体的に調べる。

③画像解析

竜巻の画像・映像を収集し、深層学習による漏斗雲の自動検出精度を向上させる。また、湿潤環境において雲底が極めて低く漏斗雲が判別しにくいような事例について異なる検出アルゴリズムの活用を試みる。

④モデル解析

気象庁メソ数値予報モデル初期値による周辺の気流環境を把握し、竜巻発生指標として用いられる CAPE、SReH などを評価し、他の事例の発生環境と比較する。なお、モデル初期値と渦検出時刻が大きく離れている場合は、WRF による時間補間を行って評価する。

4. 研究成果

4-1. レーダー観測結果

本学レーダーが稼働を始めた 2014 年から 2021 年に至るまで、15 事例の竜巻被害または漏斗雲の観測が高知地方気象台から報告され、その前後に関連して現れた渦や SNS 等を通じて報告された事例を含めて合計 28 事例の解析を行った。その結果、図 1 に示すように、スーパーセル(図 1a)、スコールライン(図 1b)、波状雲(図 1c)、クラウドクラスター(図 1d)、孤立積乱雲(図 1e)、台風の日周辺(図 1f)のように 6 つの降水システムに分類されることがわかった。このうち孤立積乱雲が最も多く全部で 18 事例あり、台風は 1 事例のみ、その他は数事例ずつ見られた。クラウドクラスターやスコールラインが最も長く 100km 前後の事例もあったが、ついで波状雲が 30km、スーパーセルが 25km 程度であり、孤立積乱雲は 10km 未満が大半であった。幅についてはクラウドクラスターが 20km を超えるものが見られ、スーパーセルが 15km であったが、スコールラインや波状雲は孤立積乱雲と同様の 5km 前後が多かった。なお、クラウドクラスターは積乱雲が複数の集合体となって個々のセルを明確に区別できない事例で、比較的小規模なものも見られた。台風に伴う事例は図の反射強度だけを見ると孤立積乱雲のようにも見えるが、より広い範囲で見ると、目の壁雲を構成する一部であり、ドップラー速度により台風の強い旋回気流の影響下にあることがわかる。図 2 に渦径と渦内の速度差の散布図を示す。竜巻の被害を与えた事例の大半は雲内の速度差が 15m/s 以上であることが、この結果から明らかとなった。しかし、親雲の移動速度が速い事例については、速度差が 5m/s 程度でも被害をもたらしている場合が見られる。台風の日周辺においても速度差は小さいものの、台風そのものの強い旋回流が重なることによって被害をもたらされたことがわかる。なお、スーパーセルにおいて速度差の小さい事例は竜巻そのものではなく、メソサイクロンの速度差を示している。降水システム内の渦径はスーパーセル内のメソサイクロンが 2km を超える規模を持っているが、波状雲内にもメソサイクロンと思われる直径 2km ほどの渦と、竜巻渦に相当する直径 400m ほどの渦が見られ、細長い雲列が平行に複数配列する様子から波状雲としているが、内部構造はスーパーセル的な特徴を有するものであることも明らかになった。本学朝倉レーダーと須崎レーダーによるデュアルドップラー解析の結果は図 3 に示すように、北東の走向をもつ細長い親雲の南西端にメソサイクロンが

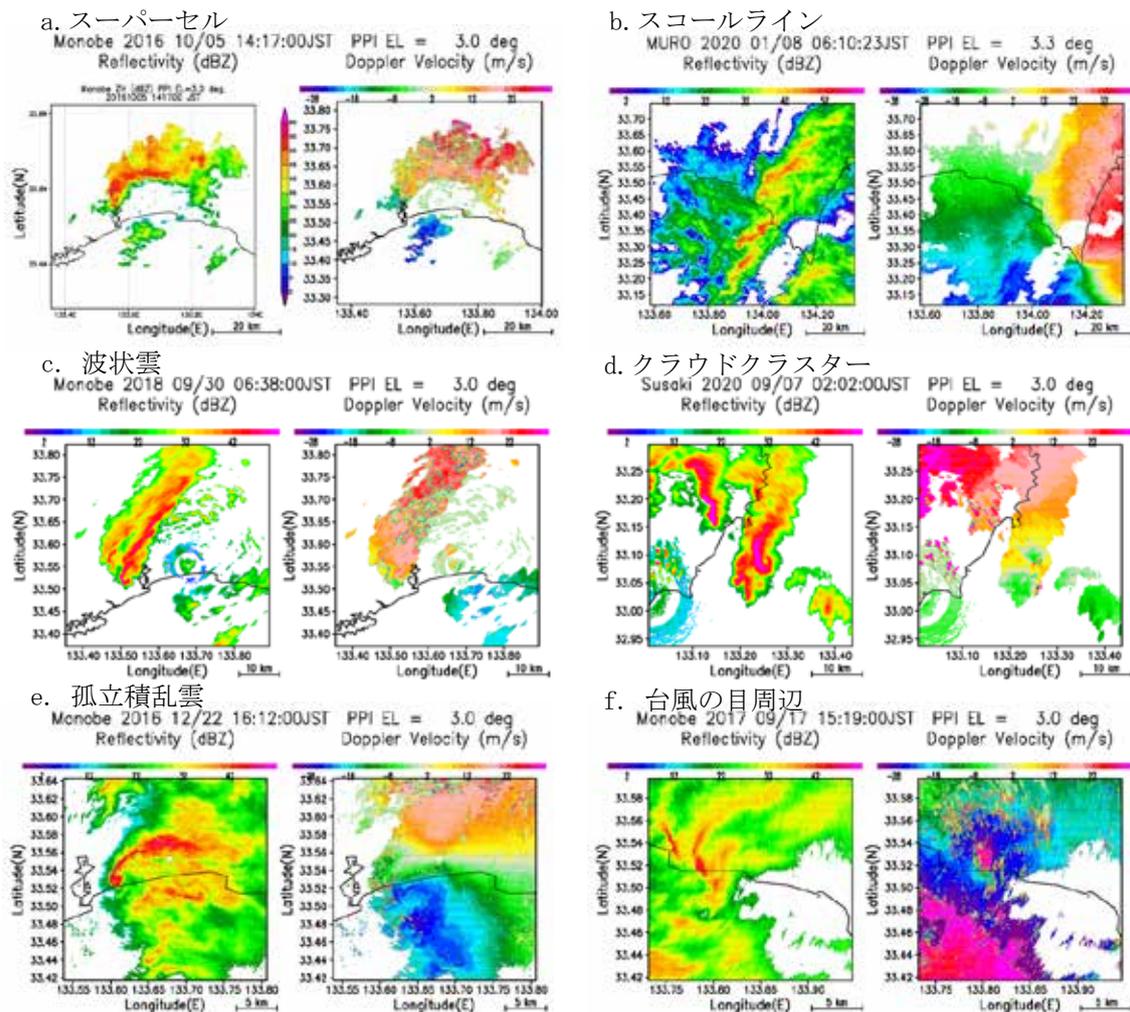


図 1 竜巻をもたらす降水システムのレーダーデータによる分類、それぞれ図の左側が反射強度、右側がドップラー速度を示す。

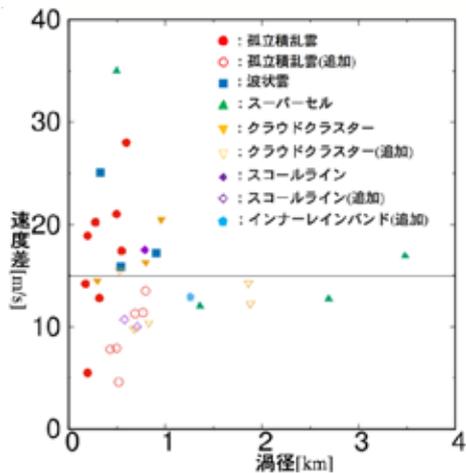


図2 降水システム毎の渦径と速度差の散布図、図中、白抜きの記号は被害の報告がない事例を示す。

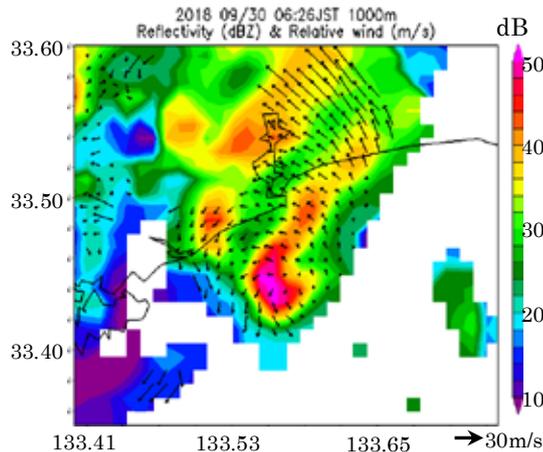


図3 6:26JSTにおける高度1000mの朝倉レーダーと須崎レーダーデュアルドップラー解析結果。矢印が相対風の風向、シェードが反射強度を示す。

存在する様子が明瞭に示されている。渦の持続時間については、スーパーセルが長く、孤立積乱雲の大半は20分弱であった。

上記の事例の中には図1 a, c, e に示すように明瞭なフックエコーが見られる事例が数多く見られたため、フックエコーパターンを用いた深層学習により竜巻親雲の自動検知を試みた。検出アルゴリズムとしてSSDを用いて2000エポックの学習により、検出時間は0.6秒ほどで準リアルタイムに渦を検出することができた。特に図1に示すような親雲を拡大表示したデータについては、検出しきい値が0.4で再現率0.81、精度0.98となり、十分な検出性能があることを示した。ただし、レーダー探査範囲全域のデータを用いた場合は、反射強度分布の画素数が相対的に劣化するため、見逃しが多くなることがわかった。この問題については、レーダー探査範囲の解像度を上げることで解決できるものと考えている。

4-2. 室内実験結果

スーパーセルのメソサイクロンに流入する下降気流を再現する実験を行なった結果、下降冷気が比較的低高度から落下する場合は、冷気外出流が安定してメソサイクロン内に流入し、図4に示すような1セルの安定した竜巻状渦が形成される一方、下降冷気が高高度から流入する場合は、メソサイクロンの旋回の影響を受け、より強い回転をする竜巻状渦が形成されることがわかった。また、冷気は狭い範囲で流入する方が安定した渦を形成しやすいなど、スーパーセル竜巻の形成に必要なメソサイクロンと下降冷気の配置関係について、明らかにした。

ノンスーパーセル竜巻については、冷気外出流の流入角度を環境場の風に対して傾ける実験、上昇流の規模や強さを変化させる実験、冷気外出流が上昇流域に過渡的に侵入する状況を再現して、竜巻形成過程や、発生条件を求める実験を行なった。このうち、冷気外出流が斜めに侵入する実験については図5に示すように、冷気外出流の進行方向に向かって左手側の低気圧性渦度が集中しやすい箇所に上昇流(図中の赤丸印)があると、安定した低気圧性の渦を形成しやすいことがわかった。なお、この図では渦に巻き込まれるように形成される収束流が、環境場の風と衝突する画面中央下の部分にシア不安定による高気圧性の渦が形成され、竜巻状渦の右手に高気圧性の渦が対をなして形成される様子が認められる。このような事例はスーパーセル竜巻によく見られる特徴であるが、ノンスーパーセル竜巻においても、上昇流の影響範囲が冷気外出流の侵入状況に対して相対的に大きい場合は、スーパーセル竜巻と同様な環境を再現し得ることを示すことができた。なお、上昇流域を冷気外出流先端部の中程に設置した場合は、テイルテイングによる小規模な渦のみが形成され、冷気外出流の右手側に設置した場合はやや不安定ではある



図4 低高度から穏やかに降下する冷気に伴って発生するスーパーセル竜巻の再現実験



図5 環境場に斜めに侵入する冷気外出流に伴って形成される竜巻状渦

が、高気圧性の渦が形成された。このようなことから、冷気外出流と環境場の風が形成する局地前線と上昇流との位置関係が竜巻形成に重要であることを示した。

冷気外出流が過渡的に上昇流域に侵入する際の竜巻形成状況は、図6に示すように最初に冷気外出流が上昇流により弱く旋回して上昇に転じたのちに、下層の旋回流が誘導され、最終的に竜巻状渦が強化することを明らかにした。この変化傾向は、海面の変化から海上竜巻の形成過程を示したGolden(1971)の状況をよく再現するものであり、形成過程の様子を本実験により定量的に明らかにすることができる可能性を示すことができた。しかしながら、環境場と冷気外出流の流速の関係は、上昇流が後で発生する場合と、上昇流域に冷気外出流が侵入する場合とでは大きく異なることも明らかとなった。これは、ノンスーパーセル竜巻にカテゴリズされるものでも、局地前線が形成された後に上昇流が発達していくWakimoto & Wilson(1989)のタイプと、積乱雲からの下降流がもたらした冷気が別の積乱雲の上層流域に侵入するタイプ(濱田ら2011)とでは、形成に適する環境が異なるということを示した実験成果である。

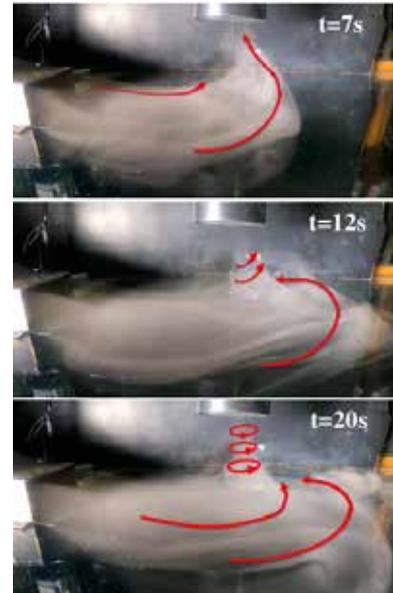


図6 上昇流域に侵入する冷気外出流による竜巻形成過程

4-3 画像解析

監視カメラの画像を用い、漏斗雲を自動検出するアルゴリズムについては、FullHDサイズの画面を分割して検出に用いるYOLO Ver.1と、そのままの画像から検出するYOLO Ver.3を比較して検出を試みた結果はVer.1が再現率が0.85、精度が0.46で逃しは少ないものの、誤検出が多いのに対し、Ver.3は再現率が0.60、精度が0.97であり、誤検出はほとんどないが見逃しが多いことがわかった。このように、まだ課題は残っているものの、実際に監視カメラ映像が保存されるサーバーに検出アルゴリズムを組み込むことにより、実用化できる段階にあることを示すことができた。検出した一例を図7に示す。このように漏斗雲が細い事例に対して、比較的被害が甚大になりやすい場合には、2019年の延岡竜巻のように、漏斗雲が鍋底状となり、同じ深層学習では検出できないような事例も認められる。この場合、画像の時間差分によって漏斗雲画像のエッジを検出することができれば、雲底の垂れ下がり量により、竜巻強度を推定可能であることを示すことができた。さらに地形の陰になった場合も同様にエッジ検出をすることにより、静止物体との区別を行うことが可能であることを示した。

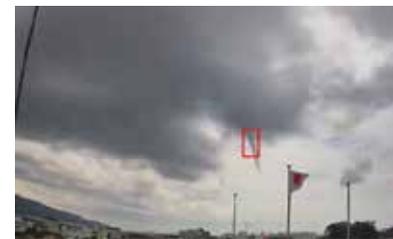


図7 YOLO Ver.3による漏斗雲検出結果

4-4 モデル解析

図1cに示した波状雲の事例について、図1aの様なスーパーセルのうち、アウターレインバンド内で形成されら2014年7月の事例と、環境場の指標について初期値から比較した。波状雲の場合は、MUCAPEが土佐湾海上で1400J/kg、SReHが400m²/s²であり、一般的なスーパーセルが十分に発生し得る環境であったことがわかった。一方、アウターレインバンドにおいては、MUCAPEが400J/kgに対してSReHが1000 m²/s²であり、典型的なHigh Shear Low CAPE環境にあることがわかった。しかしながら、波状雲の長軸の走向は通常のスーパーセルのように上空の風向とほぼ平行になるのではなく、大きい角度で交差するため、メソサイクロンの維持には風上側からのインフローが寄与する特殊な構造であることがわかった。

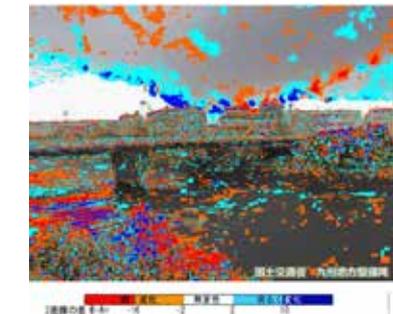


図8 延岡竜巻の1秒差分処理結果

4-5 総括結果

竜巻予測の高精度化という観点で見ると、即応性のある結果としては、画像解析による漏斗雲検出がほぼ実用化できたことと、レーダー画像からフックエコー自動検出が成功したことが大きい。これらは、今後実証実験のプロセスに移行できるものと考えている。一方、レーダー解析により、親雲の形態を明確に分類できたことにより、個々の竜巻形成過程を詳細に検討するきっかけを作っただけではなく、日本国内全域のレーダーネットワークデータを活用することにより、国内の形態分類を気候学的に明らかにすることが可能となることを示した。室内実験の成果は、親雲下層の気流構造に着目した微細スケールの環境を明らかにしたに過ぎないが、今後異なる親雲毎に詳細構造を知ることにより、よりの確かな予測指標を提示できるものと確信している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 宮城弘守, 牧野仁胤, 佐々浩司	4. 巻 26
2. 論文標題 2019年延岡竜巻の映像解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 風工学シンポジウム講演梗概集	6. 最初と最後の頁 29-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 佐々浩司	4. 巻 44
2. 論文標題 小型二重偏波レーダーネットワークによる竜巻親雲の観測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本風工学会誌	6. 最初と最後の頁 397-405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 佐々浩司, 西井章, 長野陽菜	4. 巻 25
2. 論文標題 斜めに貫入する冷気外出流境界における竜巻生成の実験	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第25回風工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 37-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 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	4. 巻 55
2. 論文標題 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第55回自然災害総合シンポジウム講演論文集	6. 最初と最後の頁 57-63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 西井章、佐々浩司	4. 巻 30K-03
2. 論文標題 台風201807号に伴う高知の降水システム	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 台風研究会 大規模・広域・複合台風災害の発生要因の理解と減災に向けて	6. 最初と最後の頁 125-129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 佐々浩司	4. 巻 63
2. 論文標題 微細スケールの竜巻発生環境：調査・実験・観測	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 月刊海洋 号外「竜巻シンポジウム - 藤田哲也博士生誕100年を記念して - 」	6. 最初と最後の頁 79-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計38件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 佐々浩司、村田文絵、西井章
2. 発表標題 台風外縁の波状雲に伴う竜巻
3. 学会等名 日本気象学会2020年度春季大会 (発表扱い)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々浩司、名黒千尋
2. 発表標題 スーパーセル竜巻形成における下降気流の影響
3. 学会等名 日本気象学会2020年度春季大会 (発表扱い)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々浩司、名黒千尋
2. 発表標題 スーパーセル下層の気流特性の再現
3. 学会等名 日本流体力学会年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々浩司、石戸空、村田文絵、西井章
2. 発表標題 竜巻をもたらした台風外縁の波状雲
3. 学会等名 日本気象学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井虎太郎、佐々浩司
2. 発表標題 高知大学レーダーネットワークで捕捉された竜巻親雲の特徴
3. 学会等名 日本気象学会関西支部第1回例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 棚瀬旺和、本田理恵
2. 発表標題 並列分散処理フレームワークによる時系列画像からの部 分時系列の高速リサンプリングとクラスタリング
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会 四国支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々浩司
2. 発表標題 微細スケールの竜巻発生環境：調査・実験・観測
3. 学会等名 竜巻シンポジウム - 藤田哲也博士生誕100 年を記念して - (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々浩司、藤井祐貴、本田理恵、有岡無敵
2. 発表標題 深層学習を用いた漏斗雲の抽出と追跡
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長野陽菜、佐々浩司
2. 発表標題 竜巻形成における上昇流の影響
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮城弘守、佐々浩司
2. 発表標題 気象レーダーと単眼監視カメラ映像を利用する雲底高度の測定
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々浩司
2. 発表標題 高知における竜巻のレーダー観測
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Sassa, Haruna Nagano
2. 発表標題 3-D structure of non-supercell tornado at initial stage
3. 学会等名 10th European Conference on Severe Storms (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 名黒千尋、佐々浩司
2. 発表標題 下降流に着目したスーパーセル竜巻の模擬実験
3. 学会等名 第24回日本流体力学会中四国・九州支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Sassa
2. 発表標題 Compact X-band radar network for severe storms observation
3. 学会等名 2nd ASEAN - Japan Meeting Point of Collaboration by Stakeholders and Researchers for Reducing Environmental Problems in ASEAN Countries (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々浩司、西井章
2. 発表標題 平成30年台風24号に伴い発生した竜巻親雲の構造
3. 学会等名 2019年度気象学会関西支部第1回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井祐貴、本田理恵、佐々浩司、村田健史、村永和哉、有岡無敵、棚瀬旺和
2. 発表標題 気象監視カメラを用いた災害監視システムの構築 - 深層学習による漏斗雲の自動抽出と追跡 -
3. 学会等名 DEIM2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西井章、佐々浩司
2. 発表標題 気象庁レーダーで捉えた雲内の渦の分布
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々浩司、長野陽菜
2. 発表標題 局所的に貫入する冷氣外出流に伴う竜巻生成過程の再現実験
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮城弘守、本田理恵、佐々浩司
2. 発表標題 自動検出した漏斗雲画像による竜巻の強さの推定
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 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
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第55回自然災害総合シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西井章、佐々浩司
2. 発表標題 台風201807号に伴う高知の降水システム
3. 学会等名 平成 30 年度京都大学防災研究所共同集会「台風」 - 大規模・広域複合台風災害の発生要因理解と減に向けて -
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Sassa, Rie Honda, Yuki Fujii
2. 発表標題 Automatic Detection of Funnel Clouds from Pictures by Surveillance Cameras with Deep Learning
3. 学会等名 The 29th AMS Conference on Severe Local Storms (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Sassa, Akira Nishiii
2. 発表標題 Radar Observation of parent clouds of tornadoes in Tosa Bay
3. 学会等名 Conference on Mesoscale Convective System and High Impact Weather (ICMCS-XIII) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Sassa, Rie Honda, Yuki Fujii, Muteki ARIOKA
2. 発表標題 Automatic Detection of Funnel Clouds from Observation Camera Images by Deep Learning
3. 学会等名 ICMCS-XIV (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井虎太郎、佐々浩司
2. 発表標題 高知大学レーダーが捉えた竜巻親雲の統計的な特性
3. 学会等名 日本気象学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石戸空、佐々浩司
2. 発表標題 台風遠隔で発生した竜巻親雲の特徴
3. 学会等名 日本気象学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々浩司、青柳百華
2. 発表標題 冷気外出流の貫入に伴う竜巻生成過程の実験
3. 学会等名 日本風工学会2021年度年次研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々浩司、藤井虎太郎
2. 発表標題 土佐湾における竜巻親雲のパターン分類
3. 学会等名 地球惑星連合大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koji Sassa, Haruna Nagano
2. 発表標題 Formation Mechanism and Occurrence Environment of Stationary Line-Shaped Precipitation System Formed over the Eastern Shikoku, Japan
3. 学会等名 ICTAM2020+1 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々浩司、中野峻也
2. 発表標題 貫入する冷気外出流による竜巻発生の最適環境
3. 学会等名 日本流体力学会年会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮城弘守、牧野仁亂、松井賢哉、佐々浩司
2. 発表標題 雲の動きによる竜巻検知方法の検討
3. 学会等名 第28回日本流体力学会中四国・九州支部講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石戸空、佐々浩司
2. 発表標題 宮崎に竜巻をもたらす台風遠隔の降水システム
3. 学会等名 日本気象学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井虎太郎、佐々浩司
2. 発表標題 高知大学レーダーネットワークで捕捉した雲内の渦の特性
3. 学会等名 日本気象学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山脇正也、本田理恵、棚瀬旺和、佐々浩司
2. 発表標題 レーダー反射強度を用いた竜巻親雲の自動検出の試み
3. 学会等名 日本気象学会関西支部第2回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐々浩司、本田理恵
2. 発表標題 深層学習による監視カメラ画像からの漏斗雲の自動検出
3. 学会等名 研究会「深層学習を用いたカメラ映像による気象判別」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々浩司,山脇正也,棚瀬旺和,久保智哉,本田理恵
2. 発表標題 深層学習によるフックエコーの自動検出
3. 学会等名 地球惑星連合大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中野峻也, 佐々浩司
2. 発表標題 冷氣下降流に伴う竜巻発生環境の再現実験
3. 学会等名 日本風工学会2022年度年次研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々浩司
2. 発表標題 竜巻を組織化する大気下層の気流構造
3. 学会等名 第29回日本流体力学会中四国・九州支部講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 佐々浩司、林泰一、鈴木修、藤吉康志編、佐々浩司他 3 1 名	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本気象学会	5. 総ページ数 297
3. 書名 竜巻を識る 気象研究ノート 第243号	

〔産業財産権〕

〔その他〕

TOSA RADAR CHAIN https://tosa-radar-chain.nict.go.jp/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	野田 稔 (Noda Minoru) (30283972)	高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・教授 (16401)	
研究分担者	本田 理恵 (Honda Rie) (80253334)	高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・教授 (16401)	
研究分担者	宮城 弘守 (Miyagi Hiromori) (90219741)	宮崎大学・工学部・助教 (17601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------