

1053：401：407：413：415：5012（突風調査；竜巻注意情報；竜巻発生確度ナウキャスト）

1. 気象庁における竜巻等突風に関わる業務の概要

中 里 真 久*

2005年に山形県庄内町，2006年に宮崎県延岡市，及び北海道佐呂間町で発生したような突風災害に対処するために，気象庁では竜巻等突風に関わる業務を強化してきた。本稿では，気象庁で行っている突風被害の現地調査，観測，予測に関する現在の業務の概要をま

とめた。また，各業務における課題と今後の対応及び見通しについてもふれた。

1. 突風調査に関わる業務

気象庁では，竜巻等の激しい突風による被害が生じた際は現地調査を行い，その突風現象の発生日時と場所，現象の種類（竜巻，ダウンバースト，ガストフロントなど），強さ等を特定して報道発表を行っている（第1図）。現地調査から報道発表までの一連の作業は

* 気象庁予報部予報課。
masahisa.nakazato-a@met.kishou.go.jp
© 2016 日本気象学会



第1図 現地調査結果の一例。

各地の気象台が行う。管区気象台では、必要に応じて技術支援や関係機関への情報共有等を行う。被害の規模が大きいなど社会的関心が高い場合や技術的に高度な判断を要するような場合は、本庁や気象研究所の専門家も参画する。本庁では、全国の突風に関する調査結果を取りまとめた竜巻分布図などの各種統計資料を作成し気象庁ホームページ「竜巻等の突風データベース」で公開しているほか、突風調査技術の向上に取り組んでいる。調査結果や各種統計資料は、予測技術の向上、社会資本の設計の参考資料、気象学や風工学等の基礎研究等に活用されている。

ここ数年間、国内で確認された竜巻等突風は年間あたり100件を超えており、そのうち海上竜巻を含む竜巻は約61件（うち陸上に限れば約25件）、ダウンバーストとガストフロントを合わせて10件程度、残りの大部分がその他（不明を含む）となっている。

突風調査の課題としては、被害規模の小さいものが多いため、目撃情報や映像がない場合は被害の痕跡から現象の種類を特定することが難しい事例も多いことが挙げられる。また、これまでの突風調査では強さの評定作業にしばしば時間を要していた。この理由の1つとして、藤田スケールによる強さの評定に課題があったことが挙げられる。

藤田スケールは米国における突風被害を対象として作成されたものであり、評定に用いる被害指標が限られているなど現在の日本における被害状況への適用が難しい場合がある。このため、藤田スケールで示されている被害の態様に合わないケースでは評定の精度に限界があった。

この課題に対処するため、気象庁では2013年7月に

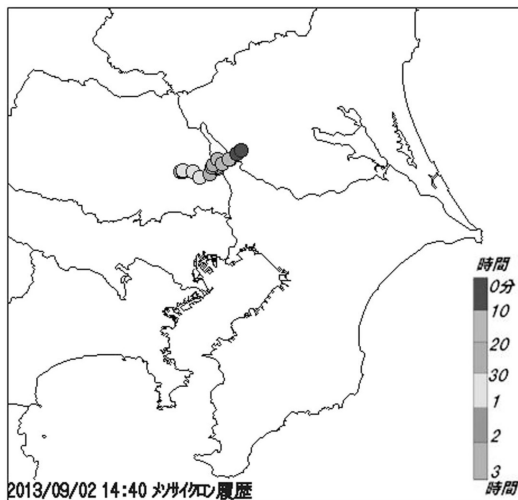
風工学、建築学、気象学等の専門家からなる「竜巻等突風の強さの評定に関する検討会」（会長：田村幸雄 東京工芸大学名誉教授）を立ち上げ、3年にわたる検討を行い、2015年12月の第6回検討会において「日本版改良藤田スケールに関するガイドライン」が策定された。これを受けて、2016年4月から日本版改良藤田スケールを用いた竜巻等突風の強さの評定業務が開始されることとなった。日本版改良藤田スケールに関する詳細は、本シンポジウム「日本版改良藤田スケール（JEF スケール）の策定」を参照されたい。

2. 竜巻等突風の観測に関わる業務

気象庁では、全国に20基のドップラーレーダーを配備し、降水の分布及び動径風速の分布を常時観測している。波長帯としてはCバンド（波長約5cm）を採用し、降水はレーダーから400km以内、動径風速は最大で250km以内（デュアルPRF観測時）を観測しており、日本の陸地をほぼすべて覆っている。アンテナの回転速度は分速4回転で仰角を変えながら10分毎に同じ動作を繰り返す（最下層データは5分毎に更新）。観測する仰角はレーダー周辺の地形等を考慮してレーダー毎に異なるが、複数の仰角の観測データから等高度面（CAPPI）データを算出している。これは高度1kmから15kmまで1km毎に反射強度の分布を算出したものであり、危険な積乱雲の構造を知るための基本データとなっている。CAPPIデータから10分毎に三次元的な降水の鉛直断面図や高さに関する情報を含んだ各種のレーダーエコー指数の分布図が算出される。レーダーエコー指数としては、鉛直積算雨量、鉛直積算雨量密度、エコー頂高度、鉛直分布の中の最大反射強度などが出力されており、各地の気象台で気象情報発表の判断材料に活用されている。

ドップラーレーダー観測の成果は、20基分の降水観測データを1つに合成した全国合成図、解析雨量、降水短時間予報、降水ナウキャスト、高解像度降水ナウキャスト、雷ナウキャスト、及び竜巻発生確度ナウキャスト（後述）の作成に利用され気象庁ホームページ等で公開されるほか、数値予報モデルに同化されるなど、防災や日々の天気予報に役立てられている。

竜巻等突風に関わる業務としては、レーダーエコー指数と竜巻発生の前兆の1つであるメソサイクロンの自動検出結果（第2図）から突風判定が行われており、竜巻発生確度ナウキャストの精度を決定づけている。また、同ナウキャストにおける1時間先までの予



第2図 ドップラーレーダーによるメソサイクロン検出例。

測のために降水ナウキャストが活用されている。

竜巻等突風に関わる観測業務の課題としては、メソサイクロン検出の信頼性、更新間隔（観測周期）、空間分解能の制約などがあり、突風の前兆の検出能力を向上させることが求められている。

メソサイクロン検出の信頼性については、2014年度までの庁内における技術的改善によって気象庁レーダーの観測が500 m メッシュから250 m メッシュに詳細化され、メソサイクロンの検出方法も改善が図られた。これにより、課題の1つとなっていたシークラッターによる誤検出を減少させ検出結果の信頼性が向上した。

更新間隔については、突風発生の直前に現れる前兆を早期に検出するために小さくすることが望まれるが、現在のレーダーエコー指数の更新間隔（10分）では急激に発達する積乱雲に対処できない場合もある。この課題への中長期的な対策として、フェーズドアレイレーダーの活用が考えられている。気象研究所では、2015年度にフェーズドアレイレーダーを整備し、観測研究を開始した。将来の気象業務への活用のための実証的な研究が進められるものと期待されている。

また現在はドップラー速度観測に空間分解能の制約があるため竜巻そのものの観測が難しく、代わりにメソサイクロンの検出を目標としているが、メソサイクロンが検出されても竜巻が発生しなかったときは突風の予測としては空振りになっている。メソサイクロン

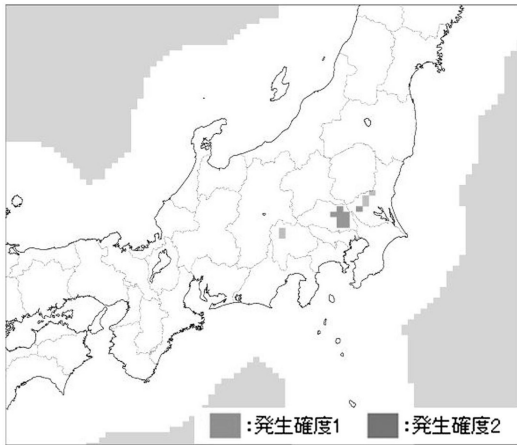
が観測されない非スーパーセル竜巻の監視も同じ理由で難しい。そこで、研究ベースではあるが、Xバンドレーダー（波長約3 cm）を使ってレーダーの近傍に発生した竜巻スケールの渦（マイソサイクロン）を直接探知・追跡したり、二重偏波レーダーを用いて竜巻による飛散物を検出することで、竜巻渦の直接観測はできなくとも間接的に竜巻の発生を知ったりする研究が試みられている。その他、更なる突風の検出性能向上のために、レーダーの方位方向の分解能を向上させる技術開発や、レーダーの台数を増やして遠方での検出性能低下の問題を回避することなどが考えられる。

3. 竜巻等突風の予測に関わる業務

気象庁における現在の竜巻等突風に関する予測情報は、一般の気象情報、及び雷注意報に「突風」の文言を付加して段階的に発表しており、まさに竜巻等の突風が発生しやすい状況に至ったときは、竜巻注意情報を発表して注意を呼びかけている。

竜巻注意情報発表の判断基準は数通りがあるが、最も重要なものは突風判定によるものであり、数値予報モデルによる竜巻等突風のポテンシャルの推定とドップラーレーダー観測による実況監視技術を併用し、10 km 格子毎に突風の発生の可能性を自動判断することで行っている。メソ数値予報モデルの出力から二次的に計算される対流有効位置エネルギー（CAPE）、自由対流高度（LFC）などの突風関連指数と前述のレーダーエコー指数を説明変数とするロジスティック重回帰分析を経て作成された統計式（これを突風危険指数と呼んでいる）がある閾値を超えたか否かを判定する。突風危険指数にはALL型、竜巻型、ダウンバースト型の3種類がある。ALL型はメソサイクロン検出を併用した判定方法が採られており、低めの閾値が設定されている。竜巻型とダウンバースト型は、レーダーから離れておりメソサイクロンが検出されにくい場所でも突風判定が可能ないように設計されており、それぞれ竜巻とダウンバーストの捕捉に適した説明変数の構成になっている。

この突風判定の結果を地図表示したものを、竜巻発生確度ナウキャストとして気象庁ホームページで公開している（第3図）。竜巻発生確度ナウキャストは、竜巻の発生可能性が高い領域を発生確度1（適中率1～5%として設計）及び2（同5～10%）の2段階で表示し10分毎に更新する。更に降水ナウキャストを用



第3図 竜巻発生確度ナウキャストの一例 (2013年9月2日14:00JST).

いた1時間先までの移動予測も行う。竜巻発生確度ナウキャストの10分及び20分予測において発生確度2が生じた府県の气象台に自動で突風報知がなされ、予報官の最終判断を介して竜巻注意情報が発表される。気象庁では、竜巻注意情報が発表された際に推奨される対応などについて気象庁ホームページやリーフレット等を用いた普及啓発に力を入れているところである。

これまでの竜巻注意情報の発表状況は全国で年間600回程度、捕捉率約30%、適中率約3%である。捕捉率と適中率はトレードオフの関係になっており、適中率を上げるためには捕捉率の向上が課題である。

捕捉率を上げる方策の1つとして、2014年9月2日から目撃情報を活用した竜巻注意情報の運用を開始した。竜巻等の突風が発生する大気状態では、複数の突風現象が発生することが多いため、竜巻発生等の目撃情報が得られた際は、その周辺で更なる突風が発生するおそれが非常に高まっていることを伝えることが目的である。運用当初は、全国の気象庁職員と関東地方

の消防本部が入手した情報の活用に限られていたが、2015年度は全国の都道府県警察から、2016年度は全国の消防本部からの情報の活用を開始した。

今後の改善計画としては、2016年度より竜巻注意情報を現在の府県単位での発表から一次細分単位(〇〇県南部など)での発表に地域を絞って発表する予定である。一般に発表単位を小さくすれば竜巻注意情報の捕捉率及び適中率は低下するため、これまでは予測精度を考慮して府県単位で発表していたが、地域を絞った発表が求められており、近年の技術的進歩によって発表単位を一次細分単位まで絞っても従来並み以上の予測精度を確保できる見通しが得られたため、発表単位を絞ることとなった。技術的進歩の内容としては、前述の気象庁レーダーの250mメッシュ化、メソサイクロン検出性能の向上、及びレーダー反射強度の三次元観測の有効活用を進めたことで突風危険指数の改善を図ったことが挙げられる。これらの改善に加えて国土交通省のXバンドMPレーダネットワーク(XRAIN)のデータを活用してメソサイクロン検出を行うことや、竜巻及びダウンバーストに関する最新の研究成果に基づく新しい予測指数の利用を予定している。これらの成果を組み込んで一次細分単位での発表を行った場合の予測精度は、現行の府県単位での発表の予測精度を上回ることが確認されている。今後は更に、局地モデル(LFM)を用いた予測指数の活用、フックエコーやヴォールトなどのレーダー反射強度分布に見られる特徴の抽出など竜巻注意情報の改善を継続して進める。

さらに、気象研究所では現実の大気境界条件を使った竜巻の数値シミュレーション、超高解像度数値予報モデル開発、高解像度データ同化・アンサンブル予報技術の開発等が進められており、中長期的な予測技術の向上に寄与するものと期待されている。