

竜巻発生確度ナウキャストの提供開始

瀧 下 洋 一*

1. はじめに

2005年12月に山形県で発生した突風による羽越線列車脱線事故や2006年に宮崎県延岡市や北海道佐呂間町において相次いで発生した甚大な竜巻災害を契機として、気象庁では2008年3月から、竜巻などの激しい突風の発生する可能性が高まったときに、各地の気象台が文章形式で随時に発表する「竜巻注意情報」を開始した(瀧下 2009)。さらに2010年5月には、分布図形式の短時間予測情報として「竜巻発生確度ナウキャスト」の発表を開始した。

本稿では、竜巻発生確度ナウキャストの概要、予測技術、利用方法などについて紹介する。

2. 竜巻発生確度ナウキャストの概要

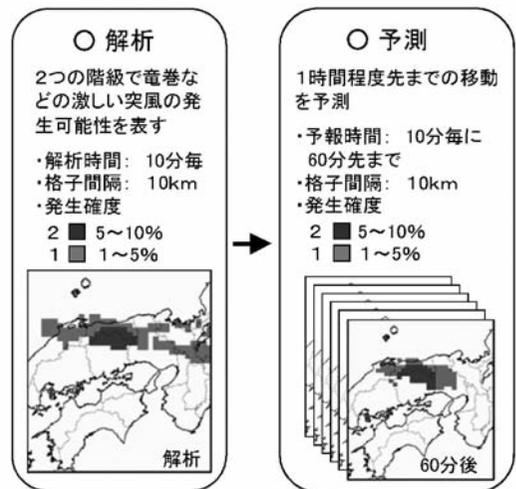
竜巻発生確度ナウキャストは、竜巻などの激しい突風が発生する可能性を10km 格子単位で解析し、1時間先まで10分単位の移動予測を行うものである。刻々と変化する状況に追従できるよう、平常時も含めて10分毎に最新の情報を提供する(第1図)。

竜巻発生確度ナウキャストが対象とするのは、竜巻注意情報と同様に、積乱雲に伴い発生する竜巻やダウンバーストなどによる激しい突風である。これらの現象は、規模が小さく継続時間が短いため、その発生を直接観測したり予測することは困難である。このため、竜巻発生確度ナウキャストでは、気象ドップラーレーダー観測などの資料から「竜巻が今にも発生する(または発生している)」可能性の高さを推定し、発生確度1及び2の二つの階級で表す。

第1図下段の発生確度の説明において、「%」で示

した数値は、予報を発表したときの現象の発生確率(予報の適中率に相当する)に対応している。発生確度1及び2には次のような特徴がある。

- ・発生確度2は、発生確度1に比べて適中率は高い(空振りは少ない)が、突風の発生の捕捉率は低い(見逃しが多い)。
- ・発生確度1は、発生確度2に比べて突風の発生の捕



発生確度	状況
2	予測の適中率(現象の発生確率)は5~10%程度、捕捉率は20~30%程度である。発生確度2となっている地方(県など)に竜巻注意情報を発表する。
1	予測の適中率は1~5%程度と発生確度2の地域よりは低いが、捕捉率は60~70%程度と見逃しが少ない。

第1図 竜巻発生確度ナウキャストの概要。

* Yoichi TAKISHITA, 気象庁予報部。

捉率は高い（見逃しは少ない）が、適中率は低い（空振りが多い）。

発生確率が数%というかなり小さな値と思われるかもしれないが、竜巻などの激しい突風が10km 格子で10分間に発生する気候的発生確率は10万分の1%程度であることから、発生確度1や2が出現した場合には、竜巻などの激しい突風に遭遇する可能性が普段に比べて格段に高くなっているといえる。

なお、捕捉率の高い発生確度1でも、突風の発生を見逃すことがあるので、発生確度1や2が出ていなくても積乱雲の周辺では竜巻などの激しい突風が発生する可能性があることに留意する必要がある。

3. 竜巻発生確度ナウキャストの作成手法

3.1 突風の総合判定

竜巻発生確度ナウキャストにおける突風の予測技術は、竜巻注意情報における予測技術を踏襲したものである。すなわち、第2図に示すとおり、気象ドップラーレーダー観測による「メソサイクロンの自動検出」及び、数値予報資料を基にした突風関連指数（大気の状態の不安定度や鉛直シアの大きさを指数化したもの）と気象レーダー観測を基に計算する「突風危険指数」を用いた突風の「総合判定」により、まず突風発生の可能性の高い格子（突風有り判定格子）を特定する（海老原・瀧下 2007）。

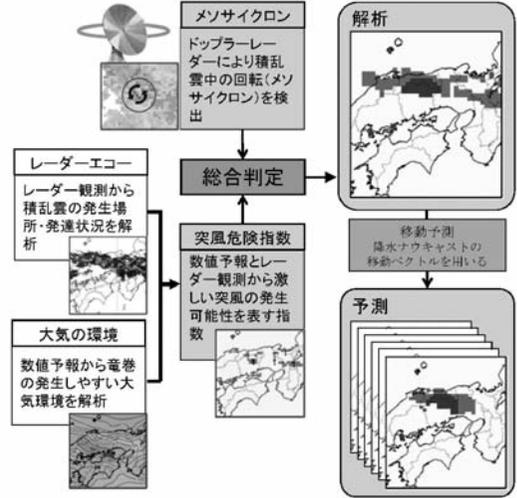
第3図に突風の総合判定の概要を示す。「メソサイクロンの検出」と「突風危険指数」を用いて、時間的、空間的にある程度幅を持たせた上で両者のAND条件を求め、AND条件が成立した格子を「突風有り判定格子」としている。

竜巻発生確度ナウキャストでは、突風有り判定格子からさらに3.2節で示す方法で突風が発生する可能性の高い地域を発生確度1や2として解析し、3.3節で示す方法で1時間先までの移動予測を行っている。

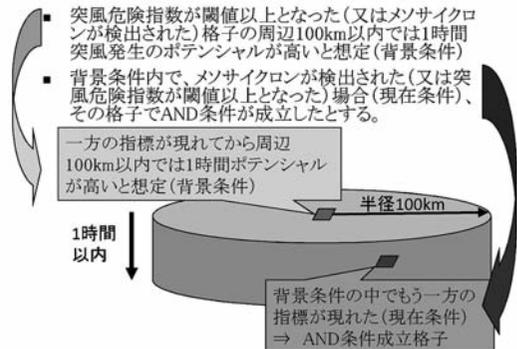
3.2 竜巻発生確度ナウキャストにおける発生確度1及び2の判定方法

(1) 発生確度2の判定方法

前述の突風の総合判定で求めた「突風有り判定格子」の周辺40km 範囲内では積乱雲が発生すれば突風の可能性が高い領域と考え、これを「発生確度2背景」とする（第4図aの濃い灰色部分）。この発生確度2背景と気象レーダー観測による降水強度の閾値（20mm/h）以上が重なる格子を「発生確度2」と判定する（第4図cの濃い灰色部分）。



第2図 竜巻発生確度ナウキャストの解析・予測技術。



第3図 突風の総合判定の概要。

実際に竜巻などの激しい突風が発生する時には積乱雲が発達しており、降水強度は弱くても50mm/h程度はあり、100mm/h以上になっていることが多いが、既に発達した積乱雲のみに着目していると急に発達する積乱雲から発生する竜巻などの激しい突風を見逃してしまう。このため、降水強度の閾値は20mm/hとやや低めに設定している。

(2) 発生確度1の判定方法

突風の総合判定で利用する二つの条件（メソサイクロンの検出、及び突風危険指数の閾値以上）のいずれかを満たした格子の周辺100km 範囲内は、積乱雲が発生すれば通常より突風の可能性が高い領域と考え、これを「発生確度1背景」とする（第4図aの薄い

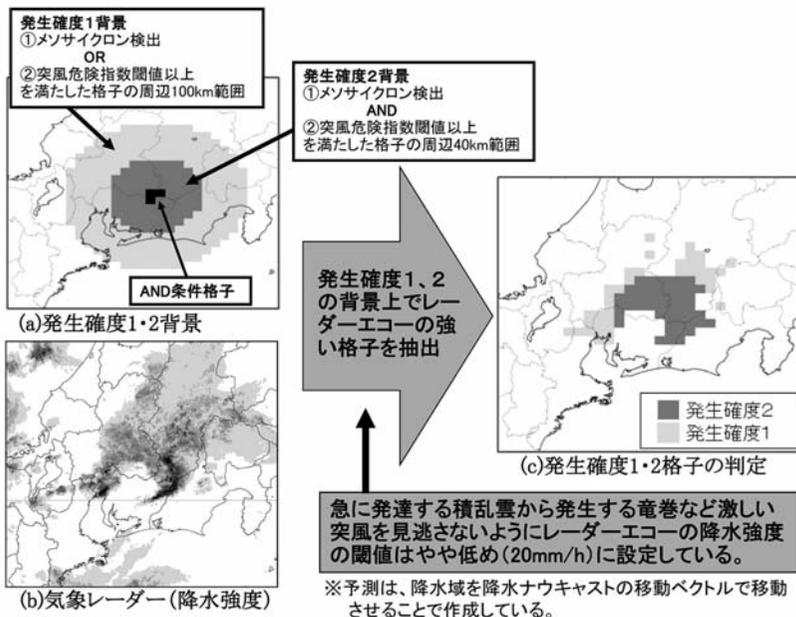
灰色部分). 発生確度 2 を求めたのと同様に, この発生確度 1 背景と気象レーダー観測による降水強度の閾値 (20mm/h) 以上が重なる格子を「発生確度 1」と判定する (c の薄い灰色部分).

3.3 1時間先までの予測発生確度 2 (又は 1) 背景は, 観測に基づく解析であることから, 観測時刻後に新たに発生確度 2 (又は 1) 背景になるという予測はできない. このため, 発生確度 2 (又は 1) 背景という「突風が発生しやすい状態の分布」は, 判定時刻から 1 時間その場所で持続すると仮定し, これに降水強度の移動予測を重ねることで, 1 時間先までの発生確度 1 及び 2 の分布を作成している.

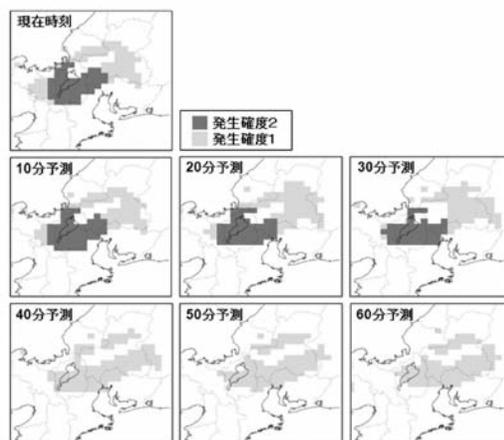
具体的な 1 時間先までの予測の作成方法は以下のとおりである.

- ①発生確度 2 (又は 1) 背景は, そのままの位置で判定された時刻から 1 時間先まで継続する (第 4 図 a). 1 時間の間に再び条件を満たさない場合には, 判定後 1 時間で消滅させる.
- ②解析時刻における発生確度 2 (又は 1) 背景には, 解析時刻の判定だけではなく, 過去 1 時間以内の判定が含まれている場合がある. 例えば 20 分前に判定されて継続している部分は, 40 分後の予測では (1 時間が経過したため) 消滅するので, 必ずしも解析時刻の発生確度 2 (又は 1) 背景が同じ範囲のまま 1 時間継続するわけではない.
- ③解析時刻の降水強度の分布を, 降水ナウキャストの移動ベクトルを用いて 1 時間先まで 10 分毎に移動予測を求める.
- ④ 1 時間後までの各 10 分毎の予想降水強度, 及び各時刻の発生確度 2 (又は 1) 背景から, 発生確度 2 及び 1 格子を決定する.

以上の作成方法を実際の事例に適用すると, 第 5 図のようになる (瀧下 2010).



第 4 図 発生確度 1・2 の作成方法.

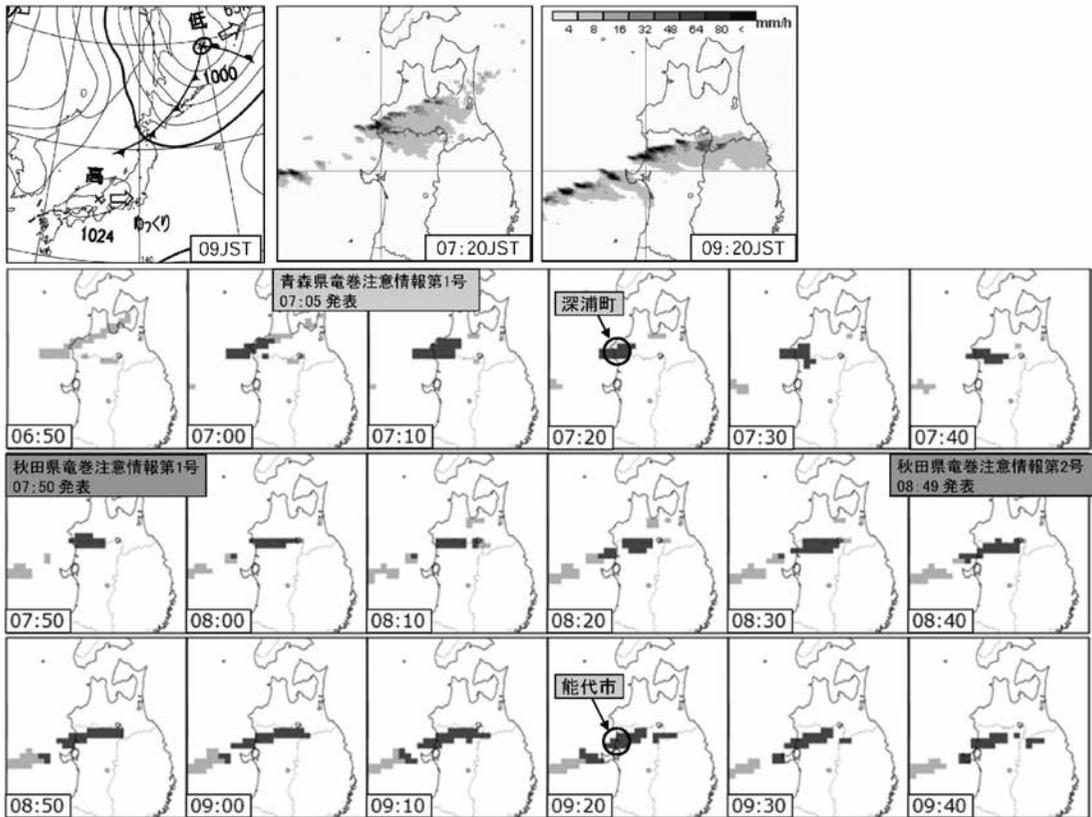


第 5 図 竜巻発生確度ナウキャストの予測事例 (2007年 7月12日10時20分初期時刻). 40分予測で発生確度 2 が消滅しているのは, 発生確度 2 背景の判定がでてから 1 時間が経過したため.

4. 竜巻発生確度ナウキャストの事例と特徴

実際に竜巻が発生した事例について, 竜巻発生確度ナウキャストの解析結果の時系列を示す.

第 6 図は, 2009年10月30日に青森県深浦町で発生した竜巻 (藤田スケール 0 : 以下 F0などと記す) 及び



第6図 竜巻発生確度ナウキャストの解析事例. 2009年10月30日に青森県深浦町で発生した竜巻 (07:20頃, F0), 秋田県能代市で発生した竜巻 (09:20頃, F1) の解析. 上段左: 地上天気図, 上段中・右: 全国合成レーダー画像 (降水強度), 下段: 竜巻発生確度ナウキャスト解析 (濃い灰色は発生確度2, 薄い灰色は発生確度1を表す).

秋田県能代市で発生した竜巻 (F1) の解析事例である。寒冷前線の南下に伴い帯状の降水域が東北地方北部を南下している。この降水域に対応して発生確度1や2が線状に出現している。青森県深浦町では、発生確度2が現れた約20分後の07時20分頃に竜巻 (F0) が発生した。また、秋田県能代市では、09時20分頃に竜巻 (F1) が発生したが、秋田県内では約2時間前から発生確度2が継続して出現していた。

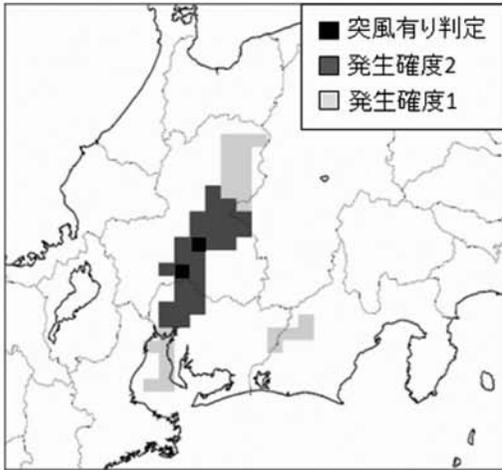
この事例は、突風が発生する前に発生確度2が解析された事例であるが、実際の解析や予測では、以下のような特徴があり留意が必要である。

- ①発生確度1のまま終わり発生確度2とはならない場合がある (発生確度2と1の出現比率は約1:5)。
- ②発生確度1で竜巻が発生することも多い。

- ③発生確度1が先に出現してから、発生確度2となることもあるが、初めから発生確度2として現れることがある。
- ④発生確度1や2が出現しなくても竜巻が発生することがある (突風発生時の約60~70%で発生確度1や2が出現するが、残りの約30~40%では発生確度1や2は出現しない)。

5. 竜巻発生確度ナウキャストと竜巻注意情報の関係

竜巻発生確度ナウキャスト開始以前は、3.1節の突風の総合判定で述べた「突風有り判定格子」が含まれる県などに対して竜巻注意情報を発表していたが、竜巻発生確度ナウキャスト開始以降は、突風有り判定格子の周辺40km範囲内に現れる発生確度2がかかる県



第7図 発生確度2と竜巻注意情報の関係。

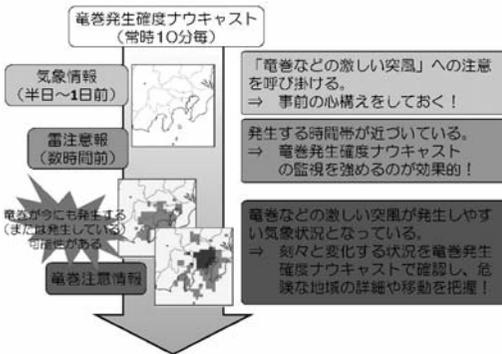
などの激しい突風も予想される場合には、「竜巻などの激しい突風に注意」という言葉を用いて特段の注意を呼びかける。

雷注意報は、積乱雲に伴う激しい現象（落雷・ひょう・急な強雨・突風）に対して数時間前に注意を呼びかける情報だが、竜巻などの激しい突風が予想される場合には、「竜巻」を明記して注意を呼びかける。雷注意報が発表された段階で、竜巻発生確度ナウキャストの監視を強めるのが効果的である。

竜巻発生確度ナウキャストは、10分毎に常時提供される情報である。発生確度2が現れた県などには竜巻注意情報が発表されるので、竜巻注意情報が発表されたら、竜巻発生確度ナウキャストにより竜巻などの激しい突風が発生し易い地域の詳細や移動を把握し、刻々と変化する状況を監視するのが効果的である。

7. 竜巻発生確度ナウキャストの利用上の注意点

竜巻などの激しい突風を精度良く予測することは、現在の技術では非常に困難なため、竜巻発生確度ナウキャストは空振りの多い情報となる。従って、発生確度1や2の出現に連動して負担の大きな対策（例えば、発生確度2が出現したら直ちに避難するといった対策）を実施するのは難しいのが現状である。まずは、身の回りの「空の様子に注意する」といった負担の小さな対策から実施し、例えば、「真っ黒い雲が近づき、周囲が急に暗くなる」、「雷鳴が聞こえたり電光が見えたりする」、「ヒヤッとした冷たい風が吹き出す」、「大粒の雨やひょうが降り出す」など、発達した積乱雲が接近する兆候を確認した段階で、現場作業の中断や避難などの負担の大きい対応をとることが現実的である。



第8図 突風に関する気象情報の利活用。

などに竜巻注意情報を発表している。例えば、第7図では、突風有り判定格子（黒色の格子）が含まれる県は岐阜県のみであるが、発生確度2（濃い灰色部分）がかかる県は岐阜県、愛知県、長野県となり、これらの県に竜巻注意情報を発表する。

6. 竜巻発生確度ナウキャストを含めた突風に関する気象情報の利用

突風に関する各種気象情報の発表タイミングや利用方法について、第8図に示す。

発達した低気圧などにより大雨などの災害が予想される場合、通常半日～1日程度前に、県などを対象に予告的な気象情報（例えば、大雨と雷及び突風に関する〇〇県気象情報）を発表している。このとき、竜巻

8. おわりに

積乱雲がもたらす局地的な大雨や落雷、竜巻などの激しい突風は十分な時間的余裕を持って予測することは難しい。従って、竜巻などの激しい突風から身を守るには、現象や気象情報の利用方法について理解を深め、最新の気象情報を利用することが重要である。

気象庁では、積乱雲がもたらす災害から身を守るための知識の普及を目的として、リーフレットを作成 (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nowcast3/index.html>) するとともに、竜巻発生確度ナウキャストの解説や竜巻などの激しい突風の特徴、突風に関する各種気象情報の利用方法などについての解説

を気象庁ホームページに掲載 (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/toppuu/tornado0-0.html>) しているので、竜巻などの激しい突風から身を守るために役立てていただきたい。

参 考 文 献

- 海老原 智, 瀧下洋一, 2007: 突風予測技術. 平成19年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-16.
- 瀧下洋一, 2009: 突風に関する防災気象情報の改善. 天気, 56, 167-175.
- 瀧下洋一, 2010: 竜巻発生確度・雷ナウキャスト. 平成21年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 106-115.
-