

資料 2

竜巻などの激しい突風に関する気象情報の
利活用の手引き

(案)

ver. 0.93

気象庁

目次

利活用の手引き作成の目的	3
--------------------	---

【 第一部 】 利用と留意点

1. 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の解説	
1-1 対象となる「竜巻などの激しい突風」とは	5
1-2 竜巻などの激しい突風に関する気象情報とは	7
1-3 竜巻注意情報について	8
1-4 竜巻ナウキャスト（仮称）について	10
1-5 竜巻ナウキャスト（仮称）と竜巻注意情報の関係	17
2. 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利用方法と留意点	
2-1 各段階で発表される気象情報の相互関係	18
2-2 各段階で発表される気象情報の精度	21
2-3 予測精度の低い情報を利用する場合の留意点	23
2-4 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の基本的な利用の流れ ...	24
《参考1》 竜巻注意情報の発表に際してとるべき行動	26
《参考2》 実際に竜巻が間近に迫った場合の身の守り方	27
2-5 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の入手方法	28
3. 竜巻など激しい突風に関する気象情報の想定利用例	
3-1 対応計画の作成	30
3-2 屋外イベント等における情報利用イメージ	31
4. 報道機関や民間気象事業者による情報提供	
4-1 基本的な考え方	34

4-2	テレビ・ラジオによる情報提供	34
4-3	携帯電話による情報提供	36
4-4	ホームページ（インターネット）による情報提供	36

【第二部】技術解説

1.	概要	38
2.	気象レーダーの基礎知識	39
3.	メソサイクロンの検出（気象ドップラーレーダー）	40
4.	突風ポテンシャル指数（数値予報）	42
5.	突風危険指数（数値予報+気象レーダー）	43
6.	竜巻などの激しい突風の可能性がある地域の判定技術	44

【参考資料】

1.	竜巻などの激しい突風による被害の現状	47
2.	コスト／ロスを考慮した竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度1と2の利用	61

利活用の手引き作成の目的

平成 22 年度に「竜巻ナウキャスト（仮称）」の提供開始を予定している。本手引きでは、新たな情報を利用する事業者、及び情報提供に協力をいただく報道機関・民間気象事業者等が、提供開始当初から速やかに利用できるよう、竜巻などの激しい突風に関する気象情報の特徴、効果的な利用法、および利用上の留意点などを示す。

（1）竜巻ナウキャスト（仮称）の提供の背景

近年、竜巻などの激しい突風による災害が相次ぎ、平成 18 年 9 月に宮崎県延岡市、同年 11 月に北海道佐呂間町でそれぞれ発生した竜巻では、多数の死者を出す大きな災害となった。これらの災害を契機に、気象庁では竜巻などの激しい突風の予測技術の開発を進め、平成 20 年 3 月に、「竜巻注意情報」の発表を開始した。更に、平成 22 年度からは、竜巻などの激しい突風の発生する可能性のある地域の分布と 1 時間後までの移動を予測した分布図型式の情報である「竜巻ナウキャスト（仮称）」の提供を開始することとした。

（2）利活用の手引きの目的

竜巻などの激しい突風は、発現時間が短く極めて小規模な現象のため、最新の技術を用いても観測や予測が難しい。このため、これまで発表してきた「竜巻注意情報」や平成 22 年度から提供を開始する竜巻ナウキャスト（仮称）の精度は必ずしも高くはない。しかし、情報の精度及び利用上の留意点等を理解した活用方法を広めることで、できるだけ多くの皆様に利用していただき、ひとりでも多くの命を救うことに繋がることを目指している。

竜巻などの激しい突風に注意を呼びかける気象情報は、一般の利用者には、テレビ・ラジオ等による報道の他、一部自治体等の情報提供サービス、気象庁のホームページなどを通じて提供されている。さらに、様々なニーズに対応した多様な利用形態に対しては、民間気象事業者などへの対応が期待されている。

本手引きは、竜巻ナウキャスト（仮称）の提供開始当初から様々な分野で速やかに利用できるよう、竜巻ナウキャスト（仮称）の特徴や効果的な利用、および情報提供に関する留意点をまとめて解説したものである。

（3）本手引きの対象と構成

本手引きの内容は、竜巻などの激しい突風に関する気象情報を屋外作業の安全確保などの目的で利用する事業者や、テレビなどの気象情報解説者、気象庁が提供する各種情報や資料から気象情報を加工して提供を行う民間気象事業者などを対象としている。

本手引きの構成は、第一部に、事業者等が竜巻ナウキャスト（仮称）を効果的に利用するための留意点や利用方法、および、報道機関や民間気象事業者が情報を提供する際の留意点や解説例など、特に理解していただきたい内容を示す。第二部では、突風予測に関する技術の解説を行い、参考資料では竜巻などの激しい突風による被害の現状、およびコスト／ロスモデルに基づいた予測情報利用の考え方について解説している。第二部や参考資料は、第一部を理解するうえで背景となる技術的事項等であり、必要に応じて目を通していただきたい。

コラム 竜巻ナウキャスト（仮称）

ナウキャストとは、今（ナウ）と予報（フォーキャスト）を組み合わせた造語であり、現在までの天気の解析と、その変化傾向の外挿を基に、1～2 時間程度先までの短時間予報を行うものである。突風・雷・強雨など状況の変化の大きい局地的な現象の予測にはナウキャスト技術は非常に有効な手段となる。

【 第一部 】 利用と留意点

1 . 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の解説

1 - 1 対象となる「竜巻などの激しい突風」とは

「竜巻などの激しい突風」とは、積乱雲に伴って発生する「竜巻」、「ダウンバースト」、「ガストフロント」による激しい突風の総称である。竜巻などの激しい突風に関する気象情報は、これらの突風を対象とする。

竜巻などの激しい突風に関する気象情報は、積乱雲に伴って発生して災害をもたらす激しい突風を対象とする。具体的には「竜巻」や「ダウンバースト」及び「ガストフロント」による突風である。台風や低気圧、冬型の気圧配置などにより、広い範囲で平均的に強い風が吹く状況下で「風の息」により一時的に風が強まる突風や、地形による局地風、強い日射により発生する塵旋風などは対象としない。

本手引きにおいては、積乱雲に伴って発生する「竜巻」、「ダウンバースト」、「ガストフロント」による激しい突風を総称して、「竜巻などの激しい突風」と呼ぶ。なお、竜巻注意情報や竜巻ナウキャスト（仮称）では名称に「竜巻」を使っているが、これは利用者が激しい突風に対して最も危機意識を感じる現象が「竜巻」と考えられるためであり、これらにはダウンバーストやガストフロントに対する注意も含んでいる。

低気圧や台風は数百 km～数千 km と大きな規模を持つが、竜巻などの激しい突風は水平規模が数十 m から数 km と小さく、アメダスなどの気象観測網でも捉えることは困難な現象である。寿命は数分から数十分と非常に短い現象にもかかわらず、竜巻などの激しい突風は建物などに甚大な被害をもたらすだけでなく、生命を脅かす危険な現象である。

(1) 竜巻 (図 1-1 a)

竜巻は、積雲や積乱雲に伴って発生する鉛直軸を持つ激しい大気中の渦巻きが地上に達しているものである。漏斗状または柱状の雲を伴うことがある。多くの場合、竜巻の直径は数十～数百mで、数kmに渡ってほぼ直線的に移動する。移動速度は時速数十km程度のものが多いが、中にはほとんど動かないものや時速90kmと非常に速い場合もある。被害地域は帯状になる特徴がある。

(2) ダウンバースト (図 1-1 b)

ダウンバーストは、積雲や積乱雲から吹き降ろす下降気流が地表に衝突して水平に吹き出す激しい空気の流れである。吹き出しの広がり直径数百 m から 10km 程度である。その広がり大きさが 4km 以上のものをマクロバースト、4km 未満のものをマイクロバーストと分類することがある。被害地域は面的に広がる特徴がある。

(3) ガストフロント (図 1-1 c)

ガストフロントは、積雲や積乱雲の下で形成された冷たい空気のかたまりが、その重みによって周辺に流れ出ることによって発生する。流れ出る空気の先端は冷気と周囲の暖かい空気との境界であり、突風を伴うことからガストフロント (突風前線) と呼ばれている。水平の広がり竜巻やダウンバーストより大きく、数十 km 以上に達することもある。

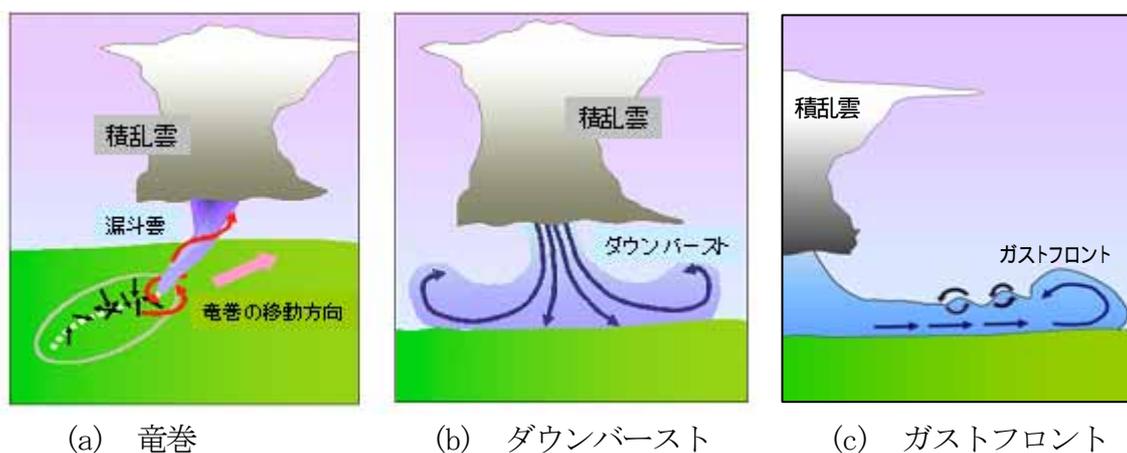


図 1-1 積乱雲に伴って発生する激しい突風をもたらす現象

※ 各現象に伴って見られることの多い主な特徴については、参考資料 1 【付録 2】を参照

1 - 2 竜巻などの激しい突風に関する気象情報とは

竜巻などの激しい突風に関する気象情報には、事前に注意を呼びかける「(予告的な) 気象情報」と「雷注意報」、竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況になった時点の「竜巻注意情報」があり、各地の気象台から発表される。さらに平成 22 年度からは、平常時を含めて常時提供する「竜巻ナウキャスト (仮称)」が加わる。本手引きではこれらを総称して、「竜巻などの激しい突風に関する気象情報」と呼ぶ。

(1) 予告的な気象情報

低気圧の発達などにより災害に結びつくような気象現象が予想される場合、半日～1 日程度前に「大雨と雷及び突風に関する〇〇県気象情報」などの標題で(予告的な) 気象情報が発表される。このとき、竜巻などの激しい突風の発生が予想される場合には、「竜巻」というキーワードを明記して注意を呼びかける。

(2) 雷注意報

雷注意報は積乱雲に伴う激しい現象(落雷、ひょう、急な強い雨、突風など)の発生が予想される数時間前に発表される。このとき、竜巻などの激しい突風の発生が予想される場合には、注意報本文の付加事項に「竜巻」と明記して特段の注意を呼びかける。

(3) 竜巻注意情報

気象ドップラーレーダーの観測などから、今まさに竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況になったと判断されたときに、竜巻注意情報が発表される。詳しくは 1-3 で解説する。

(4) 竜巻ナウキャスト (仮称)

気象ドップラーレーダーの観測などを利用して、竜巻などの激しい突風の可能性のある地域を分布図(10km 格子単位)で表し、その 1 時間後までの移動を予測する。竜巻ナウキャスト(仮称)は、平常時を含めて常時 10 分毎に発表される。詳しくは 1-4 で解説する。

《 暴風警報や強風注意報との違い 》

暴風警報や強風注意報は、主に低気圧や台風などにより継続的に吹く暴風(強風)による災害を対象に発表される。

1 - 3 竜巻注意情報について

竜巻注意情報は、気象ドップラーレーダーによる観測などから、竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況になったと判断したときに、各地の気象台が県などを対象に発表する文章形式の気象情報である。

(1) 竜巻注意情報の概要

各地の気象台は、雷注意報の発表中に、気象ドップラーレーダーによる観測等から、竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況になったと判断したときに、竜巻注意情報を発表する。竜巻注意情報は、雷注意報を補完する気象情報であり、各地の気象台などが担当している地域（概ね1つの県）を対象に文章形式で発表する（図1-2）。

なお、竜巻などの激しい突風の発生しやすい状況は長時間継続しないことが多いことから、竜巻注意情報では発表から1時間の有効時間を設けている。有効時間を過ぎても危険な気象状況が続くと予測した場合には、竜巻注意情報を再度発表する。

最後の「対象地域」の欄には、竜巻など激しい突風の発生しやすい対象地域として、竜巻注意情報の発表時点で雷注意報が発表されている二次細分区域が表示される。

〇〇県竜巻注意情報 第1号
平成××年5月21日15時29分 △△地方気象台発表

〇〇県では、竜巻発生のおそれがあります。

竜巻は積乱雲に伴って発生します。雷や風が急変するなど積乱雲が近づく兆しがある場合には、頑丈な建物内に移動するなど、安全確保に努めてください。

この情報は、21日16時30分まで有効です。

対象地域
中部、南部、東部

図1-2 竜巻注意情報の文例

(2) 竜巻注意情報の精度

竜巻などの激しい突風は、非常に規模が小さく稀な現象であるため、最新の技術を用いても予測が難しい。このため、竜巻注意情報の精度は通常の天気予報などと比べて低く、これまでのところ適中率は概ね10%程度、捕捉率は30%程度となっている。

適中率とは、竜巻注意情報を発表した回数のうち、実際に竜巻などの激しい突風が発生した比率である。すなわち、竜巻注意情報を100回発表すると、そのうち10回は実際に竜巻などの激しい突風が発生するが、残りの90回では発生しない（空振り）ということである。

捕捉率とは、実際に発生した竜巻などの激しい突風の回数に対して、竜巻注意情報を発表できた回数の比率である。すなわち、竜巻などの激しい突風が100事例発生したとして、そのうち30事例については竜巻注意情報を発表できるが、残りの70事例については発表できない（または、間に合わない）ということである。

（適中率と捕捉率の意味については、13ページのコラムも参照。）

(3) 雷注意報と竜巻注意情報の特徴の比較

竜巻などの激しい突風が発生するときには、ほとんどの場合、事前に雷注意報が発表されている。すなわち、雷注意報を突風発生の予報と見做した場合、捕捉率は100%に近いということである。しかし、雷注意報の発表回数は竜巻注意情報の10倍以上、1回当たりの発表時間も10時間以上と長い。つまり、雷注意報の発表時間は竜巻注意情報に比べ、延べ時間にして100倍以上ということになる。

一方、竜巻注意情報は、捕捉率は30%程度であるものの、竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況を絞り込んでいるので、竜巻注意情報発表中は雷注意報発表中に比べて竜巻などの激しい突風の発生する可能性ははるかに高い。地域・期間とも限定的な試算ではあるが、竜巻注意情報運用開始前の関東地方の1年間のデータで調べたところ、竜巻注意情報発表中に竜巻など激しい突風の発生する可能性は、雷注意報の30倍以上も高いという結果であった。

1 - 4 竜巻ナウキャスト（仮称）について

平成 22 年度から新たに提供を開始する竜巻ナウキャスト（仮称）は、気象ドップラーレーダーによる観測などから竜巻などの激しい突風の発生する可能性がある地域を判定し、60 分先までの移動を予測する情報である。分布図形式（格子点データ）で、平常時も含めて 10 分毎に最新の情報を提供する。

（1）竜巻ナウキャスト（仮称）の概要

竜巻ナウキャスト（仮称）は、気象ドップラーレーダーの観測等に基づき、10km 四方の格子単位で竜巻などの激しい突風の発生する可能性を判定し、その 60 分先までの移動予測を行うものである。現在時刻と 60 分後までの 10 分単位の予測を分布図で示し、格子点データとしても提供する。時々刻々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（図 1-3）。

竜巻などの激しい突風の発生する可能性を低い方から順に「発生確度 0・1・2」で表現する。この「発生確度」は竜巻の発生可能性を表し、予測の適中率の違いに対応している。平成 22 年度の竜巻ナウキャスト（仮称）開始時から、予測も含めて発生確度 2 が出現

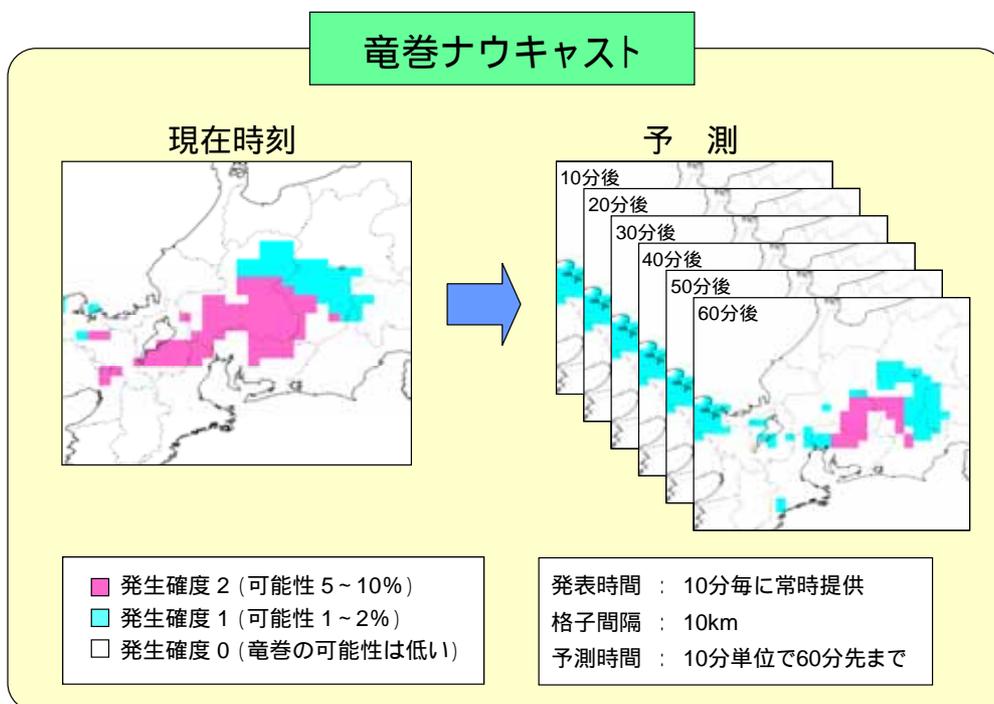


図 1-3 竜巻ナウキャスト（仮称）の概要

した地域（県など）に対して竜巻注意情報を発表することになる。なお、発生確度1は発生確度2に比べて適中率は低いが捕捉率は高いという利点がある。

竜巻ナウキャスト（仮称）の分布図の見方は次の通りである。

- 発生確度2の地域
 - 竜巻などの激しい突風が発生する可能性があり、竜巻の発生に注意が必要である。予測の適中率は5～10%あるが、捕捉率は20～30%程度である。発生確度2が出現している地域（県など）には竜巻注意情報が発表される。
- 発生確度1の地域
 - 発生確度2の地域よりは可能性が低いですが、竜巻などの激しい突風が発生する可能性がある。予測の適中率は1～2%程度だが、捕捉率は90%程度ある。
- 発生確度0の地域
 - 当面は竜巻など激しい突風の可能性は低いですが、周辺で発生確度1や2が出現している場合には、今後の変化に留意する必要がある。

(2) 竜巻ナウキャスト (仮称) の精度

竜巻ナウキャスト (仮称) について、開発段階での検証結果を図 1-4 に示す。検証方法等は以下の通りである。

- 検証期間は、平成 19 年 4 月～平成 20 年 3 月の 1 年間である。
- 検証地域は、気象ドップラーレーダーの展開時期から、この期間を通して評価実験が可能であった地域 (東北地方南部から東海地方) である。
- 10 分毎に発表する竜巻ナウキャスト (仮称) の全ての発表回数について検証した。
- 1 格子単位ではなく、1 回の発表で発生確度 1 や 2 となった範囲 (図 1-3 のように一定の広がりを持った範囲) を対象とした検証とした。
 - 現在時刻から 60 分後までの予測の間に発生確度 2 (発生確度 1 の検証では発生確度 1 以上) となった全ての格子内のどこかで竜巻などの激しい突風が発生した場合、この回の予測を適中とした。
 - 発生確度 2 (または発生確度 1 以上) となった全ての格子内のどこにも竜巻などの激しい突風が発生しなかった場合、この回の予測を空振りとした。
 - 適中率や捕捉率の定義は、次ページのコラムを参照。

発生確度 2 の適中率は 6.5%、捕捉率は 26%と、竜巻注意情報の精度に近い。一方、発生確度 1 の適中率は 1.7%と低いが、捕捉率は 100%と見逃しがほとんどない (限られた地域・期間の検証の結果なので捕捉率 100%を保証するものではない。実際には 90%前後を見込んでいる。)。発生確度 1 の捕捉率が高く見逃しが少ないのは発表回数が多いためであり、発生確度 1 の発表回数は発生確度 2 の 15 倍以上も多い。

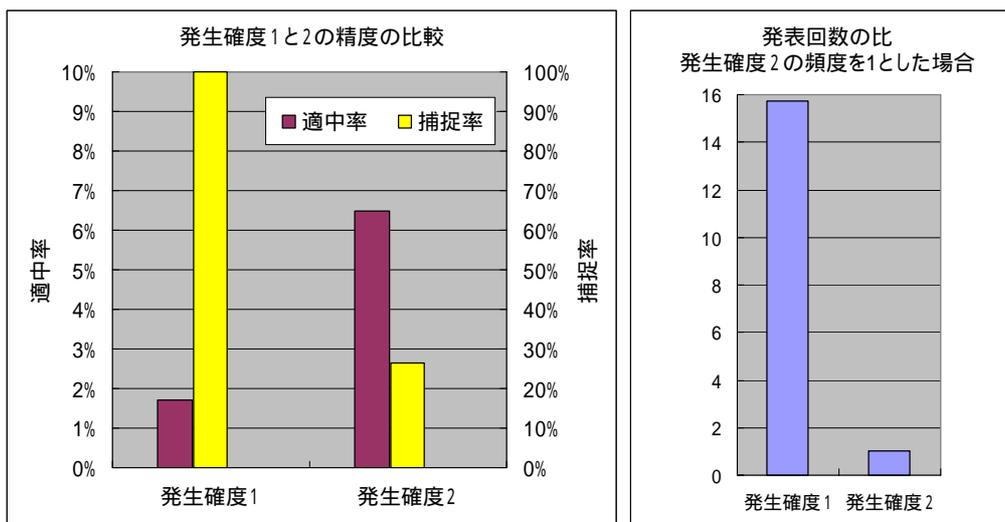


図 1-4 竜巻ナウキャスト (仮称) の精度

コラム 精度評価に利用するスコアについて

突風の有無の予報の検証では、まず、予報有りで突風有り、予報有りで突風無し、予報無しで突風有りのなどの回数を数える。これを整理したものを分割表という。

突風（竜巻などの激しい突風）の有無予報の分割表

		実況 (突風の発生)		計
		有り	無し	
予報	有り	a 突風有り予報の適中数 (突風有理事例の捕捉数)	c 突風有り予報の空振り数	a + c
	無し	b (突風有理事例の見逃し数)	d 突風無し予報の適中数	
計		a + b		

本手引きで用いている検証スコアの適中率と捕捉率は、この分割表の各回数を用いて以下の定義で計算したものである。

$$\text{適中率} = a / (a + c)$$

$$\text{捕捉率} = a / (a + b)$$

適中率とは、予報有りの全発表回数のうち予報が適中した発表回数の比率である。適中率の高い（低い）予報とは、空振りが少ない（多い）予報ということになる。

捕捉率とは、全突風事例数のうち発生時に予報が発表されていた事例数の比率である。捕捉率の高い（低い）予報とは、見逃しが少ない（多い）予報ということになる。

竜巻などの激しい突風のように稀にしか発生しない現象については、「予報も突風も無し」という場合が圧倒的に多いので、突風無しの予報の適中数dは非常に大きな数になる。このため、dも加えた適中率の評価にはあまり意味がない。

なお、本文中で「空振りが多い（少ない）」、「見逃しが多い（少ない）」と記述しているものは、分割表のcやbの回数のことである。

(3) 竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度1と2の出現回数

竜巻ナウキャスト（仮称）の利用にあたっては、発生確度1や2の出現回数がどの程度になるのかも考慮する必要がある。そこで、平成19年4月～20年3月の1年間について、関東地方周辺における発生確度1と2の出現回数を調べた（図1-5）。特定の1年間のみのデータであることに留意が必要である。

竜巻ナウキャスト（仮称）は10分毎に発表するので年間では52560回の発表回数になる。出現回数とは、そのうち発生確度1や2が出現した回数である。関東地方では、発生確度1が1格子当たり年間200回前後、発生確度2が多い地域で1格子当たり20～30回程度出現している。

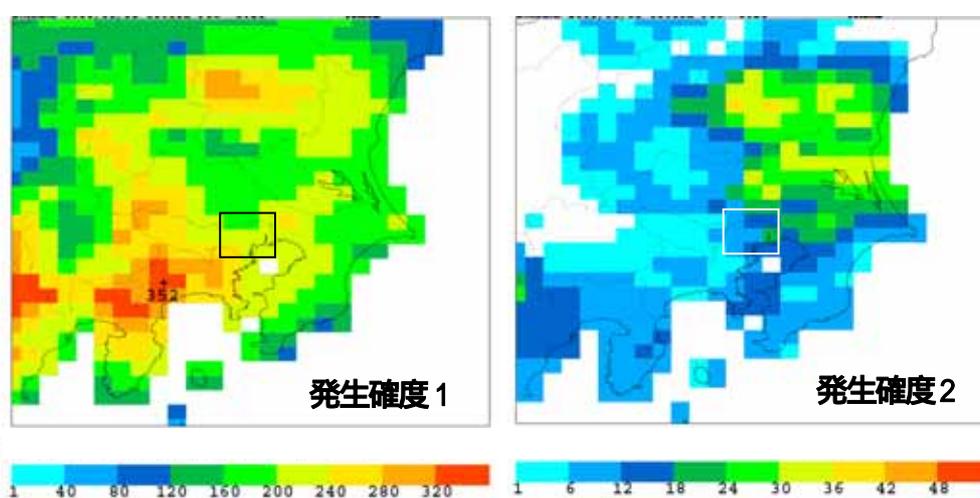


図1-5 竜巻ナウキャストの発生確度1と2の1年間の出現回数分布

次に東京23区（図1-5に示した枠内9格子）での発表頻度をみる。この9格子のうち1格子でも発生確度1や2が出現した回数を集計すると表1-1の通りとなる。出現時間数とは発生確度1や2が出現した延べ時間であり、10分毎に発表する出現回数の1/6となる。出現日数とは発生確度1や2が1回でも出現した日数である。発生確度1や2が出現する日には、まとまった回数の出現があるため、出現日数で見ると数字は小さくなる。調査した東京23区の1年間では、発生確度1が出現した日は37日、発生確度2が出現した日は5日であった。

表1-1 東京23区内における1年間の発生確度1と2の出現回数

東京23区内	発生確度1	発生確度2	1年間総数
出現回数	483	25	52560(10分)
出現時間数	80	4	8760(時間)
出現日数	37	5	365(日)

(4) 出現日数から見た雷注意報と竜巻ナウキャスト（仮称）の関係

表1-1では、東京23区で1年間に発生確度1が出現したのは37日、発生確度2は5日であった。一方、同じ1年間に東京23区に雷注意報が発表された日数は述べ66日であった。これらの関係を図示したのが図1-6である。発生確度1や2が出現したときには事前に雷注意報が発表されていた。この1年間の東京23区では、発生確度1の出現日数は雷注意報発表日数の約半分、発生確度2は1/10以下であった。雷注意報が発表されても竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度1や2が出現しない日が半数近くある。

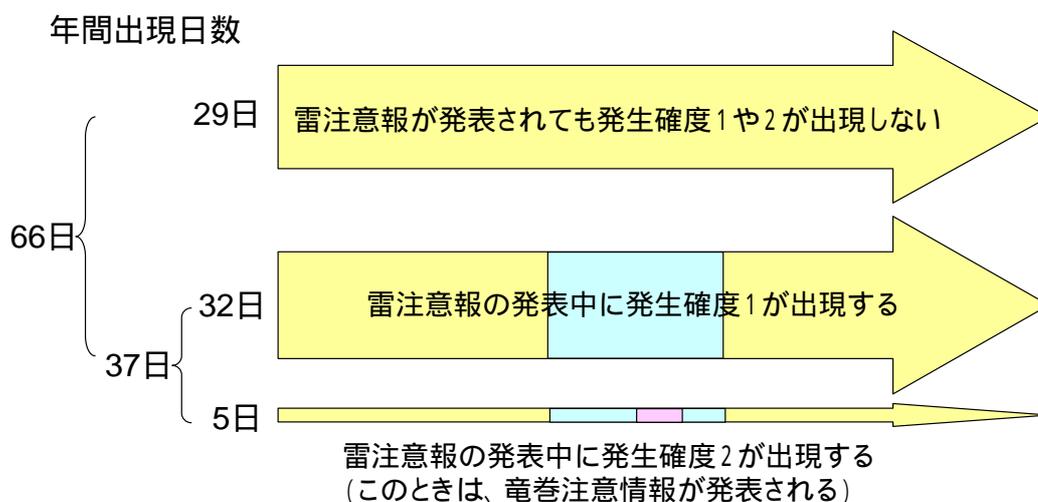


図1-6 出現日数から見た雷注意報と竜巻ナウキャストの関係

平成19年4月～20年3月の1年間における東京23区の例。黄色は雷注意報が発表されている時間帯、水色は発生確度1が出現している時間帯、桃色は発生確度2が出現している時間帯を意味する。

(5) 竜巻ナウキャスト（仮称）の予測例

図1-7は2007年4月28日15時00分、図1-8は2008年7月27日12時00分を現在時刻とした竜巻ナウキャスト（仮称）の予測例である。最上段は現在時刻における発生確度の分布、その他の6枚は10分後～60分後までの予測である。

図1-7の事例には発生確度1と2の両方が現れている。予測部分は主に移動を考慮したものだが、有効時間も考慮している。15時00分現在までの経過から発生確度2の有効時間はこの時点で残り50分になっていたので、60分後の予測では発生確度2が消えている。

図1-8に事例では発生確度1のみが現れている。発生確度2に比べて発生確度1の出現回数はかなり多いので、通常はこのような分布となることが多いが、竜巻などの激しい突風の多くは発生確度1の段階で発生していることを認識しておく必要がある。



図1-7 2007年4月28日15時00分の予測例

- 発生確度 2
- 発生確度 1
- 発生確度 0

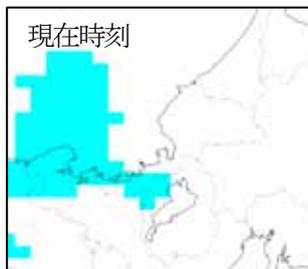
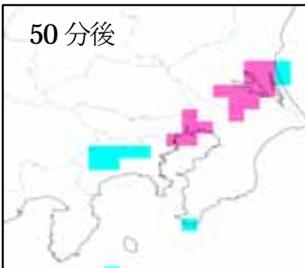
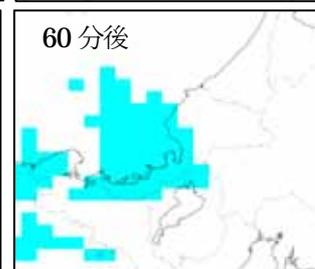
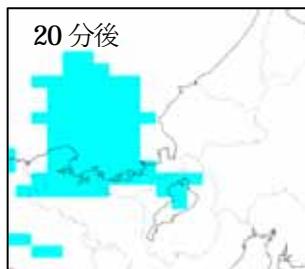


図1-8 2008年7月27日12時00分の予測例

- 発生確度 2
- 発生確度 1
- 発生確度 0



1 - 5 竜巻ナウキャスト（仮称）と竜巻注意情報の関係

平成 22 年度の竜巻ナウキャスト（仮称）開始以降は、発生確度 2 が出現した県などを対象に竜巻注意情報が発表される。竜巻注意情報は県内で竜巻などの激しい突風の可能性が発生しやすい気象状態になったこととお知らせする情報、竜巻ナウキャスト（仮称）は、その地域的分布と今後の予測を詳細に示す情報という役割分担になる。

（1）竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度と竜巻注意情報の関係

竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 2 の判定基準を、現在の竜巻注意情報の判断基準と同等とするので、予測も含めて発生確度 2 が出現している地域（県など）に竜巻注意情報を発表する。県内に竜巻注意情報が発表された場合、竜巻ナウキャスト（仮称）により竜巻などの激しい突風の可能性のある地域の詳細を確認することができる。

（2）竜巻ナウキャスト（仮称）と竜巻注意情報の役割分担

竜巻注意情報は、県内で竜巻などの激しい突風の可能性が発生しやすい気象状態になったこととお知らせする情報である。一方、竜巻ナウキャスト（仮称）は、竜巻などの激しい突風が発生する可能性の詳細な地域的分布や、1 時間先までの予測を示すもので、竜巻注意情報や雷注意報を補足する参考情報としての役割を持つ。

現在の竜巻注意情報では、情報文の末尾の「対象地域」に、竜巻などの激しい突風が発生する可能性がある地域として雷注意報発表地域名を表示しているが、平成 22 年度の竜巻ナウキャスト（仮称）の提供時には「対象地域」の表示を廃止する。これは、竜巻注意情報が発表されたら竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 2 に着目して、竜巻などの激しい突風の可能性のある地域の詳細および今後の変化を見るという役割分担とするためである。

なお、竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 1 は、突風による影響の大きな事業者等で、適中率が低くても捕捉率が高く見逃しが少ないことを重視する場合の利用を想定している。

2 . 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利用方法と留意点

2 - 1 各段階で発表される気象情報の相互関係

竜巻注意情報は、竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況となった時点で発表される気象情報であり、予告的な気象情報と雷注意報は、事前（数時間～1 日程度前）に発表される気象情報である。平成 22 年度から開始する竜巻ナウキャスト（仮称）は、平常時を含めて常時提供され、竜巻など激しい突風が発生しやすい気象状況となった時点で、その可能性に応じて発生確度 1 や 2 が出現する。出現した発生確度 1 や 2 については、1 時間後までの変化（移動）も予測される。

竜巻などの激しい突風が予想される場合には、時間経過および突風の発生可能性に応じて段階的に、予告的な気象情報、雷注意報、竜巻注意情報が発表される。このうち、竜巻注意情報は、竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況となった時点で発表される気象情報であり、予告的な気象情報と雷注意報は、事前（数時間～1 日程度前）に発表される気象情報である。これらに加えて、平成 22 年度には、平常時も含めて常時提供される竜巻ナウキャスト（仮称）の発表が開始される。竜巻などの激しい突風の可能性を発生確度 1 および発生確度 2 として表現するほか、1 時間後までの移動予測も行うので、前もって対策を検討する際の利用が期待される。

以下では、竜巻ナウキャスト（仮称）を含めた各気象情報の相互関係を、現在と平成 22 年度の竜巻ナウキャスト（仮称）提供開始後で比較して示す。

(1) 各段階で発表される気象情報の相互関係（現在）

図 2-1 は、各段階で発表される気象情報の相互関係（現在）を示したものである

(a) 事前に発表される気象情報

- 「予告的な気象情報」は突風の発生が予想される時間帯の半日～1 日程度前、「雷注意報」は数時間前に発表される気象情報である。両者の関係には以下の 2 通りがある。
- ① 「予告的な気象情報が発表されている状況下で雷注意報が発表される」。数値予報資料から竜巻などの激しい突風の可能性が高いと判断された場合、突風の発生が予想される時間帯の半日～1 日程度前に、予告的な気象情報が発表される。この状況下で発表される雷注意報は、通常の雷注意報より竜巻などの激しい突風につながるおそれが高いと考えておく必要がある。
 - ② 「予告的な気象情報が発表されていない状況下で雷注意報が発表される」。前もって

竜巻などの激しい突風に関する気象情報が発表されていない場合でも、当日の気象状況によっては、局地的に積乱雲が発達して竜巻等の激しい突風の発生につながる場合がある。必ずしも、竜巻注意情報や雷注意報に先立って、予告的な気象情報が発表されるとは限らないということを知っておく必要がある。

- (b) 竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況となった時点で発表される気象情報
- 「竜巻注意情報」は、竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況となった時点で発表される気象情報である。
 - 雷注意報が発表されても竜巻注意情報の発表まで至らない場合も多い。
 - 竜巻注意情報は、発表条件を厳しくすることで雷注意報に比べて注意を要する回数を大幅に絞り込んだ情報となっている。しかし、竜巻注意情報は、竜巻などの激しい突風全体の約 30%程度しか竜巻注意情報で捕らえられず、70%以上は見逃しになることに注意が必要である。

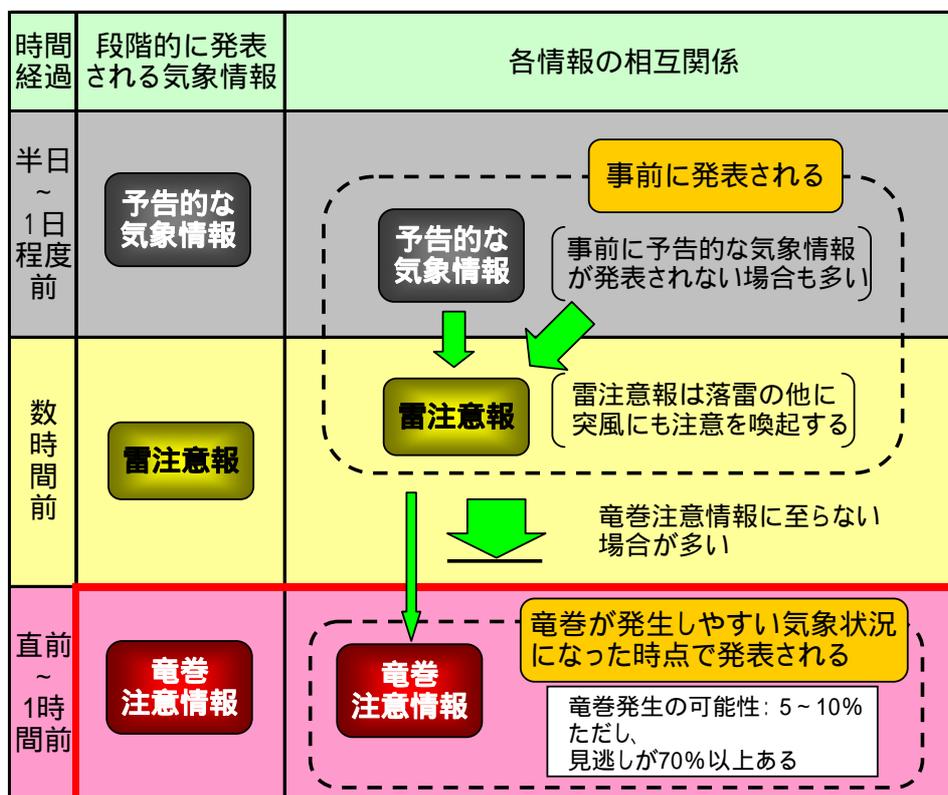


図2-1 各段階で発表される気象情報の相互関係（現在）

(2) 各段階で発表される気象情報の相互関係（竜巻ナウキャスト（仮称）開始後）

図2-2は、各段階で発表される気象情報について、平成22年度の竜巻ナウキャスト（仮称）開始後の相互関係を示したものである。予告的な気象情報、雷注意報、竜巻注意情報の役割は変わらないが、「平常時も含めて常時提供される気象情報」である竜巻ナウキャスト（仮称）が加わることで、竜巻などの激しい突風が発生する可能性の程度の差異や地域の絞り込み、1時間先までの予測の利用などが期待される。

(a) 事前に発表される気象情報

- 予告的な気象情報と雷注意報の関係は現在と同じである。
- 雷注意報が発表された日数のうち、竜巻ナウキャストの発生確度 1 や 2 が出現するのは約半数である。

(b) 竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況となった時点で発表される気象情報

- 竜巻ナウキャストは「平常時を含めて常時提供される気象情報」だが、発生確度 1 や 2 は竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況となった時点で現れる。
- 発生確度 1 と 2 の違いは、竜巻などの激しい突風が発生するまでの時間的な切迫度を表現したものではなく、発生する可能性の程度の違いを表現したものである。
- 発生確度 1 と 2 を合せると、これらの出現以降に発生する竜巻などの激しい突風は、その全体の約 90%程度あると見込まれ、見逃しは 10%程度と少ない。
- 竜巻ナウキャスト（仮称）では 1 時間先までの移動予測も行うので、前もって対策の検討に利用されることが期待される。発生確度の分布や今後の予測を見ることで、注意を要する地域や時間を絞り込むなどの対応が期待される。

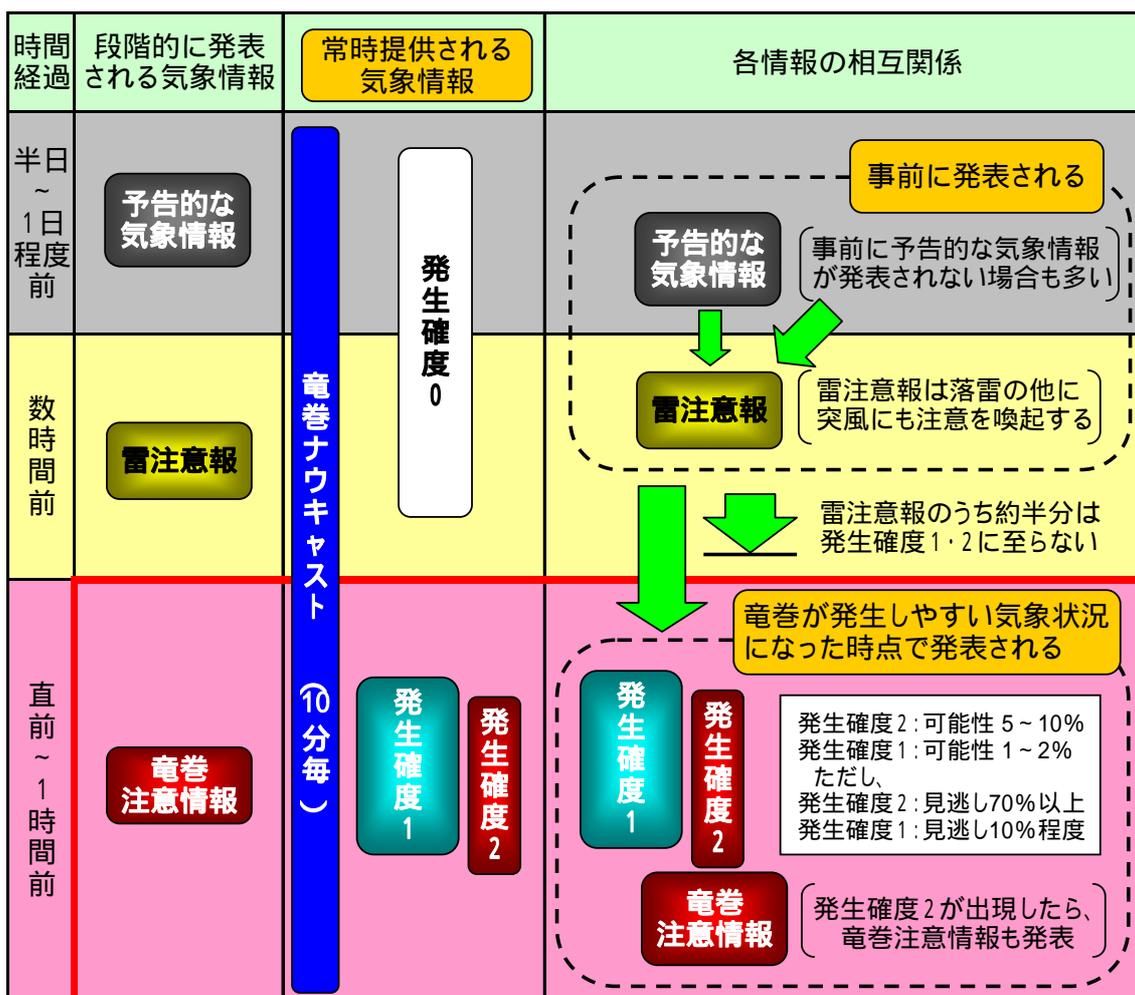


図 2-2 各段階で発表される気象情報の相互関係（竜巻ナウキャスト（仮称）開始後）

2 - 2 各段階で発表される気象情報の精度

竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 2 は、判定条件を厳しくしているため、適中率が発生確度 1 より高いが、実際に発生する竜巻などの激しい突風の 3 割程度しか捕らえられない。発生確度 2 の適中率が相対的に高いといっても 6.5%程度であり 90%以上が空振りとなる。

発生確度 1 は、判定条件を緩めているので適中率は発生確度 2 より低いですが、実際に発生する竜巻などの激しい突風のほぼすべてを捕らえることが期待できる。ただし、発表頻度は発生確度 2 に比べて約 15 倍もあり、空振りの頻度は相当に多くなる。

竜巻注意情報は発生確度 2 とほぼ同等の精度である。雷注意報は発生確度 1 と同等の捕捉率であるが、発表頻度は発生確度 1 の更に 2 倍になる。

竜巻などの激しい突風に関して、各段階で発表される気象情報の精度を、それぞれの発表地域単位や発表期間などと合わせて比較すると表 2-1 のようになる。表 2-1 は、竜巻注意情報や竜巻ナウキャスト（仮称）運用開始前のシミュレーションに基づいており、各情報の精度や発表回数は以下に示す複数の検証による結果である。

- 予告的な気象情報は平成 18 年 10 月～平成 19 年 9 月の 1 年間の関東地方 1 都 6 県を対象とした検証。
- 雷注意報と竜巻注意情報は平成 18 年 5 月～19 年 9 月の冬季を除く 13 ヶ月間の関東地方 1 都 6 県を対象とした検証。
- 竜巻ナウキャストの検証は平成 19 年 4 月～平成 20 年 3 月の東北地方南部～東海地方を対象とした検証。限られた地域・期間の検証であるので、例えば発生確度 1 の捕捉率 100%は保障されるものではなく、実際には 90%程度と見込んでいる。
- 年間発表回数は平成 19 年 4 月～平成 20 年 3 月の東京都 23 区を対象とした検証。

予告的な気象情報は発表期間が約 24 時間と発表されている時間が長いですが、その間に竜巻等が発生する可能性（適中率）は 24%と比較的高く、事前準備の情報として効果的に利用できる。一方、竜巻注意情報や竜巻ナウキャスト（仮称）は発表時間が 1 時間と、注意すべき時間帯を絞り込んだ情報である。その中では、竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 1 に比べて、発生確度 2 と竜巻注意情報の適中率が高い。ただし、適中率が相対的に高いといっても、実際の値は 7%程度であり、残り 90%以上が空振りとなる。

適中率を重視して発表条件を厳しくする（発表頻度を抑える）と捕捉率が下がり（見逃しが増え）、捕捉率を重視して発表条件を緩める（発表頻度を増やす）と適中率は下がる（空振りが増える）という関係にある。竜巻注意情報や竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 2 は適中率を重視しているため、捕捉率は 20～30%程度と低い（実際に発生した竜巻などの激しい突風全事例の内、3 割程度しか捕らえることができない）。

一方、雷注意報や竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度1は、捕捉率を重視しているので、捕捉率が高い（実際に発生した竜巻などの激しい突風全事例の内、ほぼすべてを捕らえることができる）。しかし、発生確度1の発表頻度は発生確度2の約15倍（図1-4）、雷注意報の発表頻度は発生確度1の更に2倍（図1-6）あり、雷注意報や発生確度1は空振りの頻度も相当に多くなる

表2-1 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の精度の比較。

	予告的な 気象情報	雷注意報	竜巻注意情報	竜巻ナウキャスト	
				発生確度1	発生確度2
発表地域の 単位	県	2次細分区域	県	10km格子	10km格子
突風発生時刻 までの時間	半日～1日	数時間	0～1時間	0～1時間	0～1時間
情報の発表期間	約24時間	約12時間	1時間	1時間	1時間
発表期間内の 適中率	24%	2.3%	7%	1.7%	6.5%
捕捉率	83%	100%	23%	100%	26%
年間発表日数 (東京都23区の例)	7日	66日	5日	37日	5日

2 - 3 予測精度の低い情報を利用する場合の留意点

竜巻注意情報や竜巻ナウキャスト（仮称）は空振りが多く、これらの発表と連動して負荷（影響）の大きな対策を実施するのは難しいのが現状である。したがって、「空の様子に注意する」など、なるべく負荷（影響）の小さな対策から実施するのが適当といえ、負荷（影響）の大きな対策の実施については、発生確度 1 や 2 の出現に現場の気象状況を加味して判断するのが現実的な利用方法といえる。

なお、竜巻注意情報や竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 2 は捕捉率が低いので、捕捉率の高い雷注意報や発生確度 1 も含めた利用を検討する必要がある。

(1) 適中率の低い情報を利用する場合の留意点（発生確度 1・2 共通、竜巻注意情報）

竜巻などの激しい突風は、非常に規模が小さく稀な現象であるため、最新の技術を用いても予測は難しく予測精度には限りがある。竜巻注意情報や竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 1 や 2 が出現している場合には、竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況であることは間違いないが、適中率を重視した竜巻注意情報や発生確度 2 でも適中率は低く、相当の空振りがあることを認識して利用する必要がある。

適中率が低く空振りが多い情報を利用する場合には、「空の様子に注意する」など、なるべく負荷（影響）の小さな簡単にできる対策から実施するのが適当といえる。

負荷（影響）の大きな対策については、発生確度 1 や 2 の出現と連動して実施するのは難しいのが現状であり、発生確度 1 や 2 の出現に現場の気象状況を加味し、最終的な対策の可否を判断するのが現実的な対応といえる。現場の担当者が周辺の気象状況を監視できる場合には、「激しい雨やひょう、雷」など発達した積乱雲が近づいている兆候を認知した段階や、「竜巻の漏斗雲や突風により舞い上がる飛散物が見える」など実際に突風が発生していることを認知した段階において、負荷（影響）の大きな対策を実施するのが現実的な対応と考えられる。

(2) 適中率は低くても捕捉率の高い情報の利用（発生確度 1、雷注意報）

竜巻注意情報や竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 2 は適中率を重視しているため、捕捉率は 20～30%と低い。したがって、これらの情報が発表されていないからといって安全と考えることはできないので、捕捉率が高い雷注意報や竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 1 も含めた利用を検討する必要がある。これらは発生確度 2 などに比べて空振りが更に多い情報となるが、「空の様子に注意する」など負荷（影響）の小さな対策であれば、対応できる場合も多いと考えられる。

2 - 4 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の基本的な利用の流れ

段階的に発表される予告的な気象情報、雷注意報、竜巻注意情報、及び平常時から常時提供される竜巻ナウキャスト（仮称）を組み合わせ利用し、突風発生までの時間や発生可能性の高まりに応じた対策を行う。

(1) 予告的な気象情報の発表

【 竜巻などの激しい突風の可能性がある半日～1日程度前に発表 】

- 発達した積乱雲により、落雷やひょう、急な強い雨に加えて、竜巻などの激しい突風の可能性もあることを認識する。
- 行動計画の点検、もしもの場合に備えた危険回避行動策の検討などを行う。
- 今後の気象情報（雷注意報、竜巻注意情報など）に注意する。

(2) 雷注意報の発表

【 竜巻などの激しい突風の可能性がある数時間前に発表 】

- 発達した積乱雲により、落雷やひょう、急な強い雨に加えて、竜巻などの激しい突風の可能性がある時間帯が近づいていることを認識する。
- 安全確保に時間を要するような行動計画などについては、もしもの場合に備えた危険回避行動策の検討などを行う。
- 周辺の気象状況の変化や今後の気象情報（竜巻注意情報、竜巻ナウキャスト（仮称）など）に注意する。

(3) 竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度1や2の出現、および竜巻注意情報の発表

【 竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況になった時点で発表 】

- 発達した積乱雲が発生しており、積乱雲の近辺では、落雷やひょう、急な強い雨に加えて、竜巻などの激しい突風が発生しやすい気象状況になっていることを認識する。
- 竜巻ナウキャスト（仮称）で、発生確度1や2の出現している地域の詳細を把握する。
- 安全確保に時間を要するような場合には、1時間後までの予測も利用して早めの危険回避準備を心がける。
- 周辺の気象状況の変化に注意し、積乱雲が近づく兆候がある場合には竜巻などの突風の可能性があるので、危険回避の行動をとる。

図 2-2 で示した気象情報の相互関係に、基本的な利用方法を記入すると図 2-3 の通りとなる。

時間経過	段階的に発表される気象情報	常時提供される気象情報	基本的な利用の流れ
半日～1日程度前	予告的な気象情報	竜巻ナウキャスト (10分毎)	<p>【半日～1日後に竜巻等が発生する可能性がある】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・行動計画の点検、危険回避行動などを検討する。 ・今後の気象情報(雷注意報等)に注意する。
数時間前	雷注意報		<p>【数時間以内に竜巻等が発生する可能性がある】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安全対策に時間を要する場合は、もしものときの危険回避行動策を検討する。 ・周辺の気象状況の変化や今後の気象情報(竜巻ナウキャスト等)に注意する。
直前～1時間前	竜巻注意情報		<p>【竜巻等が発生しやすい気象状況になっている】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発達した積乱雲が発生しており、積乱雲の近辺では竜巻などが発生しやすい気象状況である。 ・竜巻ナウキャストで、竜巻等が発生する可能性のある地域を確認する。 ・安全確保に時間を要する場合には、1時間先までの予測も利用して早めの危険回避準備をする。 ・周囲の空の変化に注意し、積乱雲が近づく兆しがあれば、危険回避の行動をとる。

図 2-3 突風に関する気象情報の基本的な利用の流れ

《参考1》 竜巻注意情報の発表に際してとるべき行動

竜巻などの激しい突風は積乱雲に伴って発生するので、竜巻注意情報が発表されたら、まず空の状態に注意を払う。何ものなければ特段の行動は不要だが、積乱雲が近づく兆しを察知した場合には、近くの建物の中に入るなど身の安全を図る。



図 2-4 竜巻注意情報の発表に際してとるべき行動の流れ



図 2-5 積乱雲が近づく兆し

《参考2》 実際に竜巻が間近に迫った場合の身の守り方

実際に竜巻が間近に迫った場合には、すぐに身を守るための行動をとる必要がある。

○ 竜巻が間近に迫った時の特徴

- 雲の底から地上に伸びる漏斗状の雲が目撃される。
- 飛散物が筒状に舞い上がる。
- ゴーというジェット機のような轟音がする。
- 気圧の変化で耳に異常を感じる。

○ 竜巻が間近に迫った場合の身の守り方

- 住宅内では
 - 窓から離れる。
 - 地下室か最下階へ移動する。
 - できるだけ家の中心部に近い窓のない部屋に移動する。
 - 顔を下に向け、できるだけ低くかがんで、両腕で頭と首を守る。
- オフィスビル・病院・高層ビルなどにいるときは
 - 窓のない部屋や廊下等へ移動する。ガラスのある場所からは離れる。
 - ビル内部の階段室も避難場所となる。その際、可能なら下の階へ移動する。
 - 顔を下に向け、できるだけ低くかがんで、両腕で頭と首を守る。
 - エレベーターは停止する恐れがあるので乗らない。
- 外にいるときは
 - 近くの頑丈な建物に避難する。
 - そのような建物が無ければ、地面にうつぶせになり、両腕で頭と首を守る。
 - その際、樹木や自動車など飛ばされる恐れのある物体から出来るだけ離れておく。

2 - 5 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の入手方法

竜巻などの激しい突風に注意を呼びかける情報は、一般の方々には、テレビ・ラジオ等による報道の他、一部自治体等の情報提供サービス、気象庁のホームページなどを通じて提供される。また、様々なニーズに対応した多様な利用形態への対応には、民間気象事業者などを通じた提供が想定されている。

竜巻などの激しい突風に関する気象情報は、テレビ・ラジオ、気象庁ホームページなど様々なメディアを通じて入手可能である。一方、携帯電話を利用した情報提供など、エンドユーザーの要望に応じた加工情報の提供については、民間気象事業者によるサービスに対する期待が大きい。竜巻ナウキャスト（仮称）の格子点データをコンピュータ処理するような高度利用をする場合には、(財)気象業務支援センターを通じて入手することになる。気象情報の主な入手方法は以下の通りである(図 2-6 参照)。

- 気象庁から直接入手する方法
 - 気象庁ホームページ
- 気象庁以外の機関等から入手する方法
 - テレビ・ラジオのニュース・天気予報での解説
 - テレビのテロップ、ラジオの速報（竜巻注意情報）
 - 携帯電話を利用した情報提供（自治体、民間気象事業者による）
- (財)気象業務支援センターを通して入手できる気象情報
 - 各種の文章型式の情報（予告的な気象情報、雷注意報、竜巻注意情報）
 - 計算機処理による加工に適したデータ（竜巻ナウキャスト（仮称）の格子点データ、雷注意報、竜巻注意情報の XML 電文）

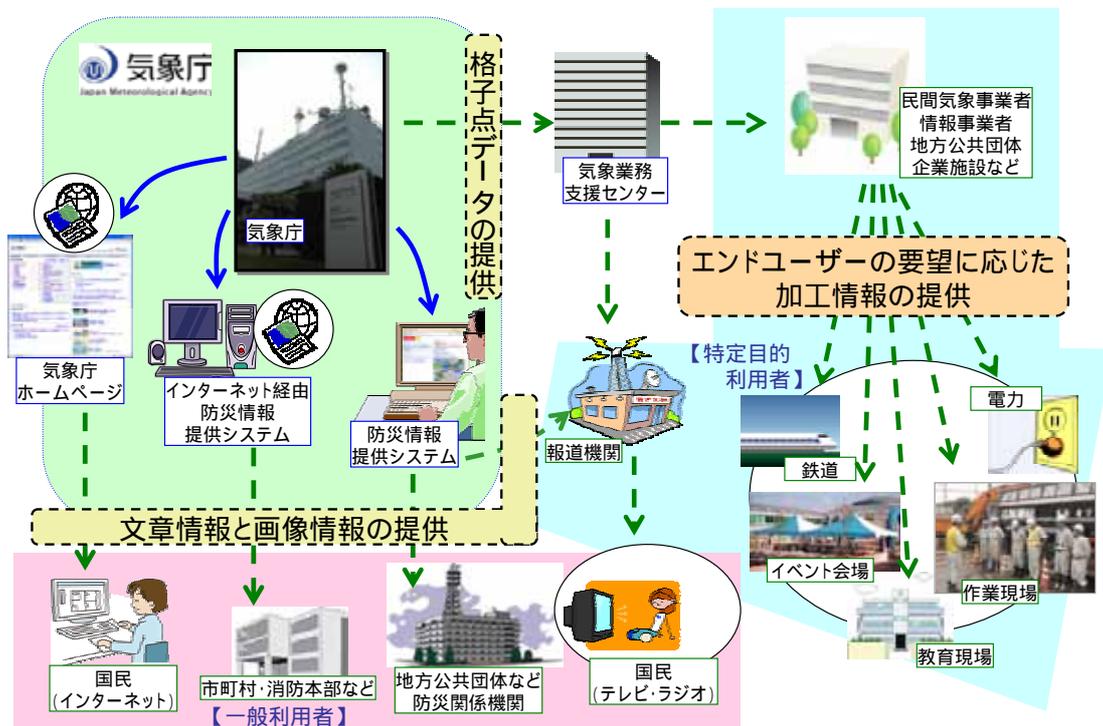


図 2-6 突風に関する気象情報の入手方法

用語解説 「気象業務支援センター」

(財) 気象業務支援センターは、官・民の役割分担による総合的な気象事業の展開を図るため、気象庁と民間気象事業を結ぶセンターとしての役割を担うべく設立された公益法人である。

気象庁の保有する各種気象情報のオンライン・オフラインによる提供、気象予報士試験の実施、測器検定事務に加え、各種講習会等の実施、関連図書の刊行等の事業を実施している。

3 . 竜巻など激しい突風に関する気象情報の想定利用例

3 - 1 対応計画の作成

竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利用に当たっては、各利用者（事業者）における被害軽減・回避行動の判断基準、可能な対策などを、各段階で発表される気象情報の精度を勘案して、あらかじめ検討しておくことが効果的である。具体的な対策については利用者（事業者）によって環境や事業内容が異なることから、個別の事業形態に即して、図3-1のような対応計画を検討しておくことよ。

	利用者(事業者)	注意事項、参考となる情報等
対象とする災害の想定	<ul style="list-style-type: none"> ・竜巻や突風、ダウンバースト等といった現象がどのような現象であるか、過去にどのような被害をもたらしたのかを把握する。 	<ul style="list-style-type: none"> 気象庁ホームページには竜巻等の突風被害の解説ページ、過去の竜巻等による被害の統計値が参照可能。 本ガイドライン(参考資料)も参照。
	<ul style="list-style-type: none"> ・(利用者毎に)想定される被害の規模や形態を想定・把握 	
被害軽減・回避行動の想定	<ul style="list-style-type: none"> ・(利用者毎に)被害を軽減・回避するための事前の対応策や行動等を想定・把握 	
判断の材料となる情報とその入手手段の把握	<ul style="list-style-type: none"> ・突風に関する各種気象情報の種類・内容、の把握 ・各種情報の精度の把握 	<ul style="list-style-type: none"> 本ガイドライン第1章を参照。 資料毎の精度(適中率・捕捉率)や情報の対象範囲・有効時間についても整理・把握する。
	<ul style="list-style-type: none"> ・予測情報等の入手手段の整理・把握 	
判断基準の策定	<ul style="list-style-type: none"> ・被害を軽減するための対策の検討 ・適中率と捕捉率を考慮して、各段階でとるべき対策と判断基準を策定 	<ul style="list-style-type: none"> 考えられる対応策と各段階の情報の精度を勘案し、どの情報が発表された場合に、どのような被害軽減・回避行動をとるかを決めておく。 本ガイドラインの第2章や3-2、および参考資料を参照。
行動計画の決定・マニュアル化	<ul style="list-style-type: none"> ・行動計画のマニュアル化・運用準備 	

図3-1 竜巻などの激しい突風に対する『対応計画』の検討手順

3 - 2 屋外イベント等における情報利用イメージ

- 想定する利用者の特徴
 - ・ 激しい突風が発生した場合、飛ばされるなどして人に影響を与えるような資機材、遊具やテントなどが屋外に仮設されているなど、突風の影響を受けやすい。
 - ・ 現場担当者が、気象情報と現場の気象状況を合わせた判断が可能である。
- ポイント
 - ・ 現場において気象情報を随時入手できる手段を確保する
 - ・ 安全確保に時間を要する場合は、段階的に実施できる安全対策を検討しておく。
 - ・ 最終的には現場担当者が周囲の気象状況を基に対策の実施を判断する。

(1) 竜巻などの激しい突風に関する気象情報利用の考え方

竜巻などの激しい突風に関する気象情報は、時間経過や可能性の高まりに応じて段階的に発表されるので、最新の気象情報を現場に周知して、安全確保に要する時間や各情報の精度に応じた利用を心がける。屋外のイベント等では、現場の担当者が気象状況を考慮して臨機応変に対応することが可能であると想定されるので、竜巻ナウキャスト（仮称）については、次のような利用が考えられる。

- ・ 発生確度1や2が出現した段階で、現場の気象状況の監視を強化する。
- ・ 最終的な危険回避対策の実施は、現場の担当者が気象状況の変化をみて判断する。
- ・ 安全確保に時間を要する場合には、竜巻ナウキャスト（仮称）の予測も考慮して、可能な範囲で早めに危険回避策を講じる。

なお、竜巻ナウキャスト（仮称）の適中率は低く、発生確度1や2が出現しても竜巻などの激しい突風が発生しないことも多いが、竜巻やダウンバーストなどには至らなくても、発達した積乱雲の下では、ある程度の強さの突風や急な強い雨、雷、ひょうなど激しい現象が発生する可能性が高いことも考慮して、資機材の養生など必要な安全対策への準備を心がける。

(2) 気象情報の入手手段の確保

現場において気象情報を適宜入手できる手段を確保しておく。気象情報の中央監視体制がある場合には、事前に現場との連絡システムを確認しておく。中央監視体制がない場合には、民間気象事業者等の携帯電話サービスにより気象情報発表の報知を受けたり、携帯電話の気象情報コンテンツを適宜参照できるような体制をとる。

(3) 屋外イベント等開始の前日～開始前における情報利用例

- テレビ・ラジオ、携帯電話、気象庁ホームページ等で気象情報を確認する。
- 1日～半日程度前に発表される気象情報で、「竜巻などの激しい突風」に対する注意が呼びかけられている場合
 - 大雨や落雷、突風などに関する気象情報の本文中に「竜巻などの激しい突風」に関する注意があるかどうか確認する。気象情報のタイトルに突風が含まれていなくても、本文中で「竜巻などの激しい突風」に関する注意を呼びかけている場合もある。
 - 「竜巻などの激しい突風」に関する注意が呼びかけられている場合、イベント開催中に竜巻などの激しい突風が発生する可能性があることを認識し、イベント計画の点検及びもしもの場合の危険回避策などを確認しておく。また、現場のミーティングなどにおいて、竜巻などの激しい突風が起きやすい気象状態が予想されていることを現場担当者に周知する。
- イベント開始直前に雷注意報が発表されている場合
 - 気象情報で「竜巻などの激しい突風」に対する注意が呼びかけられていない場合でも、積乱雲が近づけば竜巻などの激しい突風が発生する可能性があることを認識し、いざという場合の危険回避策などについて確認しておく。

(4) 屋外イベント等開催中の対応

- 雷注意報が発表されていない場合
 - 今後の雷注意報の発表状況に留意する。
- 雷注意報が発表されている場合
 - 中央監視体制がある場合は監視担当者が竜巻ナウキャスト（仮称）の監視を強める。中央監視体制がない場合には、現場担当者が携帯電話等により竜巻ナウキャスト（仮称）などの気象情報を適宜監視する。
 - 竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度1や2の出現が竜巻などの激しい突風の発生に間に合わないこともあるので、現場担当者は天気急変に備えて周辺の気象状態の変化に注意をしておく。また、安全確保に時間を要する場合には、いざという場合の危険回避の手順を再確認しておく。
- 竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度1や2が現れた場合
 - 中央監視体制の場合は、現場担当者に発生確度1や2が現れたことを通知する。
 - 発生確度1や2の出現を知った現場担当者は、竜巻などの激しい突風がいつ発生してもおかしくない気象状態であることを認識し、周辺の気象状況の変化を注意深く監視する。
 - 安全確保に時間を要する場合は、予測を含めて発生確度1や2の状態になった時点で、危険回避のための準備を開始する。

- 発生確度 1 や 2 が出現しているときの積乱雲は、竜巻などの激しい突風を発生させやすい。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、雷光が見えたりする、ヒヤッとした冷たい風が吹き出すなど、積乱雲が近づく兆しを認知した場合には、急な強い雨や落雷、ひょうなどとともに、竜巻などの激しい突風が発生する可能性があるため、遊具の運転停止など、危険回避の対策をとる。
- 竜巻の漏斗雲や、突風で吹き上げられた飛散物などを確認した場合は、危険が間近に迫っているため、遊具の運転停止だけでなく、イベント参加者に安全な場所に避難するよう呼びかけるなど緊急の対策を行う。

コラム 鉄道運行規制や道路交通規制などへの利用について

列車・自動車等の徐行・停止をとまなう規制は、乗客等の利用者に多大な影響がある。これに対して、竜巻ナウキャスト(仮称)は発生確度 2 であっても空振りが多いため、連動して列車・自動車の徐行や停止などの対策をとるという利用は難しいのが現状である。

基本的に列車・自動車等の徐行や停止をとまなう規制は、運転指令所などにより実施されるが、竜巻などの激しい突風に関する規制の判断については、例えば、竜巻ナウキャスト(仮称)と沿線の気象状況と組み合わせて更に警戒すべき路線を時間的・空間的に絞込めるようにする必要がある。そのためには、適宜、突風災害等の専門知識を有する機関の助言も受けながら、それぞれの機関の利用レベルに合わせて判断手法・基準を策定するための調査・研究開発をすすめてゆくことが望まれる。

なお、このように時間的・空間的な絞り込みを行った状況とは、竜巻などの激しい突風の発生が切迫した状態といえるので、列車・自動車の徐行や停止など現場の対策までに要する時間を出来るだけ短縮するルールを確立するなど、対応マニュアルの整備とセットで、利用に向けた準備をしてゆくことが望まれる。

4 . 報道機関や民間気象事業者による情報提供

竜巻などの激しい突風に関する気象情報は、気象庁からホームページ等を通じて利用者に提供されるが、一般利用者への情報提供としては、テレビの文字スーパーやラジオによる速報、気象解説も大きな役割を果たしている。また、様々な利用ニーズへの対応に対しては、民間気象事業者による独自の携帯電話コンテンツサービス等に対する期待も大きい。

4 - 1 基本的な考え方

突風に関する気象情報は、気象庁からホームページ等を通じて利用者に提供されるが、一般利用者への情報提供としては、テレビの文字スーパーやラジオによる速報、気象解説も大きな役割を果たしている。また、様々な利用ニーズへの対応に対しては、民間気象事業者による独自の携帯電話コンテンツサービス等に対する期待も大きい。

テロップや携帯メールなどの速報、音声や画像による詳細な解説、パソコン等の情報端末による WEB コンテンツなど、各種メディアの特性を活かした情報提供が期待される。

また、竜巻注意情報や竜巻ナウキャスト（仮称）は、最新の情報を可能な限り速やかに利用することが重要であることから、利用者への提供にあたっては、その点に注意が必要である。

4 - 2 テレビ・ラジオによる情報提供

(1) 竜巻注意情報の速報

竜巻注意情報が発表されるようなときは、スーパーセルと呼ばれる非常に発達した積乱雲により、竜巻などの激しい突風だけでなく、急な強い雨、落雷、ひょうなどの可能性もあることから、防災情報としても新たなステージに入ったことを意味するものであり、速報されることで意味を持つ気象情報でもある。この点を踏まえた上で、提供メディアの特性を生かした伝達のしかたを考える必要がある。

竜巻注意情報の一般への速報手段として、テレビの文字スーパーやラジオは、非常に有力であり、テレビなどにより、気象情報番組等でキャスターが直接注意を呼びかけることも、住民に危険性を意識させる非常に有力な手段であると考えている。

(2) 気象情報番組等におけるキャスターの解説例

気象情報番組等において、予告的な気象情報や竜巻注意情報が発表されている時には、竜巻などの激しい突風への注意の呼びかけや、危険回避のための具体的な行動について適宜解説していただきたい。さらに、竜巻ナウキャスト（仮称）を参考にして、警戒すべき地域を絞り込んだ解説を行うことも効果的である。

(a) 予告的に発表する気象情報の段階での注意の呼びかけ

気象情報の中で「竜巻など激しい突風」に注意を呼びかけている場合には、通常より竜巻などの激しい突風が発生する可能性が高いことを意味している。気象情報番組などでは、「竜巻」という言葉を用いて特段の注意を呼びかける。

(例)

明日の午後には、発達した低気圧に伴う寒冷前線が△△地方を通過する見込みです。〇〇県では、・・・(大雨や落雷などの注意事項)・・・に対する注意が必要です。また、竜巻などの激しい突風のおそれもありますので、十分に注意してください。

(b) 竜巻注意情報が発表された段階での注意の呼びかけ

竜巻注意情報が発表された場合には、危険な状況が差し迫っていることを強調し、竜巻注意情報を受けた視聴者がとるべき行動を、次のように具体的に示すことが望ましい。

- 屋外にいる場合や外出する場合には、空の状態に気をつけること。
- 空が急に暗くなる、雷が鳴る、大粒の雨やひょうが降り出す、冷たい風が吹き出すなど、積乱雲が近づく兆しがある場合には竜巻が発生するおそれがあること。
- このような場合には建物の中に入るなど、なるべく安全な場所に移動すること。

(例)

〇〇県には竜巻注意情報が発表されています。竜巻は積乱雲の下で発生します。空が急に暗くなる、雷が鳴る、大粒の雨やひょうが降り出す、冷たい風が吹き出すなど、積乱雲が近づく兆しがある場合には、近くの建物の中に入るなど身の安全の確保に努めてください。竜巻等の発生する可能性が高い地域の詳細や刻々と変わる状況は、気象庁HPなどから竜巻ナウキャストで確認してください。

(c) 竜巻ナウキャスト（仮称）を利用した注意の呼びかけ

テレビでは必要に応じ、竜巻ナウキャスト（仮称）を分布図で示すなどして、次のように警戒すべき地域を絞り込んだ解説を行うことも効果的である。また、竜巻注意情報が発表された場合の例のように、視聴者がとるべき行動を具体的に示すことが望ましい。

- 基本的には、発生確度2の地域を画面表示する。
- 発生確度2の広がっている地域では竜巻が発生する可能性があることを説明する。

- 竜巻注意情報が発表されている場合、発生確度2の表示がない地域でも今後の状況の変化で可能性が高まることもあるので注意が必要であることも示す。
- 発生確度1の地域も画面表示する場合には、「発生確度2の地域より可能性は低い、発生確度1の地域でも竜巻などの激しい突風が発生することがある」と説明する。

(例)

(竜巻ナウキャストの図を示し) ○○県と□□県には竜巻注意情報が発表されています。赤(発生確度2)で表示されている地域では竜巻が発生するおそれがあります。雷が鳴る、大粒の雨やひょうが降り出す、冷たい風が吹き出すなど、積乱雲が近づく兆しがある場合には、近くの建物の中に入るなど、身の安全の確保に努めてください。赤の表示がない地域でも、今後可能性が高まる場合がありますので、状況の変化には注意してください。

4 - 3 携帯電話による情報提供

携帯電話は特に屋外にいる利用者への情報提供手段として有効であり、次のような提供形態が想定される。これらの携帯電話のコンテンツサービスについては民間気象事業者に対する期待も大きい。

- 竜巻注意情報が発表された地域の契約者にメールを送信する。
- 竜巻ナウキャスト(仮称)で発生確度1や2となった地域の契約者にメールを送信する。
- 竜巻ナウキャスト(仮称)をWEBコンテンツとして図情報で提供する。

4 - 4 ホームページ(インターネット)による情報提供

ホームページ(インターネット)は、竜巻ナウキャスト(仮称)の分布図を詳細に見るのに適している。竜巻ナウキャスト(仮称)は、雷注意報や竜巻注意情報を補完する情報なので、雷注意報や竜巻注意情報の発表状況を表示・リンクすることが望ましい。また、積乱雲に伴う激しい気象現象の予測として、竜巻ナウキャスト(仮称)に加えて、雷ナウキャスト(仮称)や降水ナウキャストを、切り替えて表示することなども効果的である。図4-1に気象庁ホームページで想定する表示のイメージを示した。

なお、竜巻ナウキャスト(仮称)の発生確度1や2は、竜巻などの激しい突風が発生しやすい地域を示しているものであるが、予測精度は低いので予測精度を踏まえた利用について「留意事項」に明記することを基本とする。

(留意事項の例)

竜巻は予測が難しい現象ですので確度の高い予測は難しく、発生確度 2 となっている範囲でも 1 時間以内に竜巻が発生する可能性は5~10%程度です。しかし、竜巻が発生しやすい気象状況となっていることは確かですので、空が急に暗くなるなど発達した積乱雲が近づく兆候がある場合には、なるべく屋内に入るなど身の安全を確保するための行動を心がけてください。

発生確度 1 で竜巻が発生する可能性は更に低く 1~2%程度です。発生確度 2 に比べて頻繁に出現して空振りが多くなる代わりに、竜巻などの激しい突風の発生を見逃すことが少ない情報ですので、突風による影響が大きい作業や行事を行う場合には、発生確度 1 の出現にも留意してください。

The image shows a screenshot of the Japan Meteorological Agency (JMA) website's '竜巻ナウキャスト' (Tornado Nowcast) page. The page features a map of Japan with colored areas indicating the probability of tornadoes. Annotations in red boxes highlight specific features:

- A red box labeled 'イメージ' (Image) points to the top navigation bar.
- A red box labeled '降水・雷・竜巻を切り替え表示' (Switch display of precipitation, lightning, and tornadoes) points to the '竜巻ナウキャスト' button.
- A red box labeled '「竜巻注意情報」の発表状況を表示' (Display the issuance status of 'Tornado Warning Information') points to the '竜巻注意情報' link in the right sidebar.
- A yellow box labeled '竜巻注意情報発表中 滋賀県、岐阜県、愛知県、三重県、長野県' (Tornado Warning Information Issued in Shiga Prefecture, Gifu Prefecture, Aichi Prefecture, Mie Prefecture, and Nagano Prefecture) points to the map.
- A red box labeled '留意事項を明記' (Clearly state precautions) points to a text box at the bottom.

The text box at the bottom contains the following information:

竜巻は予測が難しい現象ですので確度の高い予測は難しく、発生確度2となっている範囲でも1時間以内に竜巻が発生する可能性は5~10%程度です。しかし、竜巻が発生しやすい気象状況となっていることは確かですので、空が急に暗くなるなど発達した積乱雲が近づく兆候がある場合には、なるべく屋内に入るなど身の安全を確保するための行動を心がけてください。

発生確度1で竜巻が発生する可能性は更に低く1~2%程度です。発生確度2に比べて頻繁に出現して空振りが多くなる代わりに、竜巻などの激しい突風の発生を見逃すことが少ない情報ですので、突風による影響が大きい作業や行事を行う場合には、発生確度1の出現にも留意してください。

竜巻の可能性がある格子

- : 発生確度 2 (可能性 5 ~ 10%)
- : 発生確度 1 (可能性 1 ~ 2%)
- なし : 発生確度 0 (竜巻の可能性低い)

図 4-1 気象庁ホームページにおける表示のイメージ

【 第二部 】技術解説

1 . 概要

(1) 竜巻などの激しい突風の発生地域の判定・予測の困難性

竜巻は水平規模が数十mから数百mと非常に小さいため、アメダスや気象ドップラーレーダーの観測網でも直接捉えることは困難である。このため、竜巻の発生状況を観測した結果を基に、竜巻などの激しい突風の発生地域を判定するということとはできない。

予測の面から見ても、このような規模の小さな現象の予測は難しい。通常天気予報に利用する数値予報は、低気圧や台風などを予測するのに非常に有効な手段であるが、竜巻やダウンバーストなどの現象は規模が小さすぎて予測できない。竜巻やダウンバーストなどの発生の基となる発達した積乱雲でも、水平規模は10kmから数10km程度しかなく、数値予報で直接予測することはできない。

(2) 竜巻などの激しい突風の可能性のある地域の判定・予測の方法

竜巻を発生させるような積乱雲の中には、水平規模が数kmの小さな低気圧（これをメソサイクロンと呼ぶ）が存在することが多い。積乱雲中の風の分布を観測できる気象ドップラーレーダーを利用しても、水平規模が100m前後しかない竜巻自体は検出できないが、メソサイクロンを検出することは可能である。したがって、気象ドップラーレーダーの観測でメソサイクロンを検出したら、その付近で竜巻などの激しい突風の可能性があるという判断ができる（→第3節）。

一方、数値予報では、竜巻を発生させるような発達した積乱雲の発生を直接予測することはできないが、そのような積乱雲が発生しやすい大気環境は予測可能である。この予測を利用すれば、1日程度前に発表する「予告的な気象情報」で竜巻などの激しい突風に対して注意を呼びかけることができる（→第4節）。また、このような大気環境の下で、気象レーダーで観測した雨雲の強さなどから積乱雲の発達が確認できれば、今現在、その積乱雲の付近で竜巻などの激しい突風の可能性があるという判断が可能である（→第5節）。

竜巻注意情報や竜巻ナウキャスト（仮称）における、竜巻などの激しい突風の可能性のある地域の判定では、これらの技術を総合的に利用している（→第6節）。

2 . 気象レーダーの基礎知識

レーダー (RADAR) という言葉は、現在では広く一般に使われているが、その語源は、Radio Detection And Ranging から来ている。レーダーとは、この語源からも明らかなように、電波を使って物体を検知し、その位置を測定する装置である。

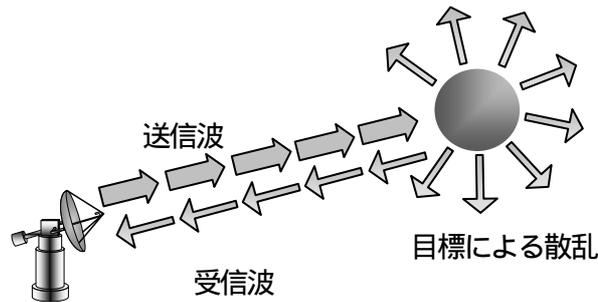


図 2-1 レーダー電波の散乱

レーダーの原理は、電波の「直進性」「等速性」「散乱性」を利用して、空中線からある方向に電波を送信し、目標で散乱されて戻ってくる電波を受信し、電波の往復に要する時間と空中線の向きから、目標までの距離と方位を測定するものである。気象レーダーの場合、さらに降水粒子の散乱特性を考慮し、散乱波の強さから、降水の強さに変換している。

具体的な観測手順は次の通りである。

ア) 極めて短い時間、パルスの形で鋭い指向性をもった電波を断続的にアンテナから送信する。

イ) 送信された電波が、経路の途中にある目標にあると、そのエネルギーはあらゆる方向に散乱される。

ウ) このうち、もとのアンテナ方向に散乱（後方散乱）されたエネルギーを同じアンテナを使用して受信する。この受信信号をエコー (Echo=こだま) という。

エ) 電波を送信してから受信するまでの時間差 Δt を測定する。目標までの距離を r とすると、 Δt は電波が r を往復するのに要した時間であるから、電波の伝搬速度 (光の速度) を用いて目標までの距離が求められる。

オ) アンテナの向きによって、目標の方位や高さが求められる。

カ) 検出した信号の強さや性質によって、目標の性質が推定できる。

観測できる範囲は、パルスの間隔に依存し、パルス間隔が長いほど遠くまで観測できるが、地球の曲率があるため、遠方になるほど観測高度は高くなる。

3. メソサイクロンの検出 (気象ドップラーレーダー)

(1) 風を観測する原理

気象ドップラーレーダーは、降水の位置や強さの他に、降水粒子の移動をドップラー効果を用いて測定することができるレーダーである。降水粒子等の目標に対して送信周波数 f_t (波長 λ) の電波を発射した時、目標がアンテナに対して移動していない場合は受信周波数も f_t となるが、移動している場合ドップラー遷移が起こり $f_t + f_d$ (或いは $f_t - f_d$) の受信周波数となる (図 3-1)。この f_d をドップラー周波数と言い、 $v = -\lambda \times f_d / 2$ で与えられる v をドップラー速度という。

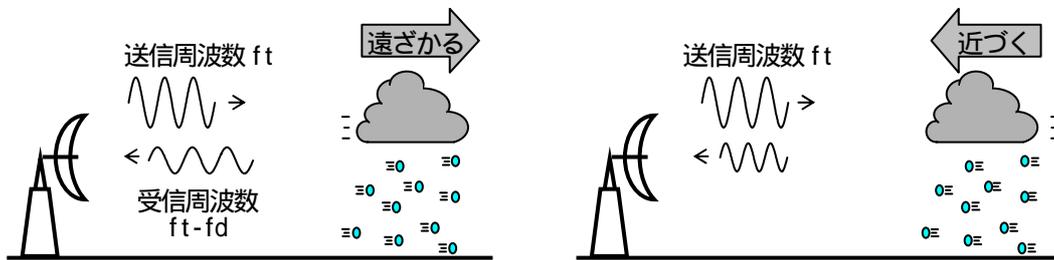


図 3-1 ドップラー観測

ドップラーレーダーはドップラー効果を用いて、レーダーに対して近づいてくる風と遠ざかっていく風を判別することができる。風がレーダーに対して斜めに吹いている場合は、レーダーに対する方向の成分がドップラー速度として観測される (図 3-2)。

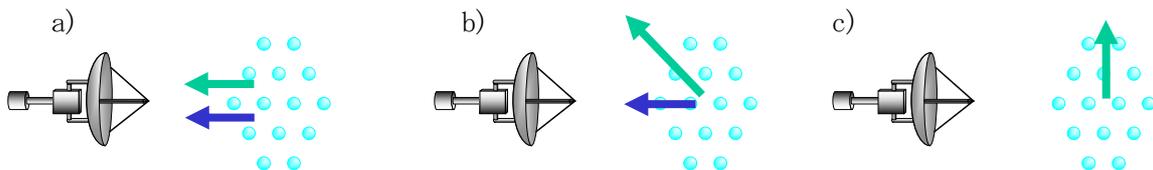


図 3-2 ドップラー速度

緑の矢印が目標の移動速度で青がドップラー速度。a) では移動速度 = ドップラー速度。b) では移動速度のアンテナ方向成分がドップラー速度。c) ではドップラー速度は 0 になる。

ドップラーレーダーで観測できるドップラー速度は、パルスの間隔に依存する。パルスの間隔が小さいほど観測できるドップラー速度が大きくなる。一方、レーダーで観測できる範囲はパルスの間隔が大きいのほど広がる。パルスの間隔は、これらの条件をふまえて決定する。

(2) 風の見分け方

強い風の発散・収束域、渦、シヤーがある場合は、ドップラー速度のパターンから見分けることができる (図3-3)。

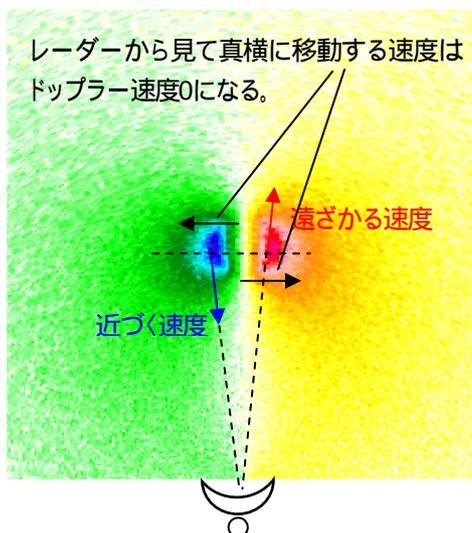


図3-3 ドップラー速度のパターン
顕著な渦があるときのドップラー速度のパターン。青色の濃いところが近づく速度が速いところで、赤色の濃いところが遠ざかる速度が速いところ。顕著な渦の場合は青色の濃い領域と赤色の濃い領域がレーダーから見て左右に並んで見える。

(3) メソサイクロンの検出

竜巻は直径が数10mから数100mしかなく、気象ドップラーレーダーで観測されるドップラー速度の解像度では検出できないが、竜巻をもたらす発達した積乱雲の中にある直径数kmのメソサイクロンは検出することができる (図3-4)。観測されたドップラー速度に図3-3のようなパターンが検出できた場合には、メソサイクロンが存在すると判定して突風の危険域の解析・予測に利用する。

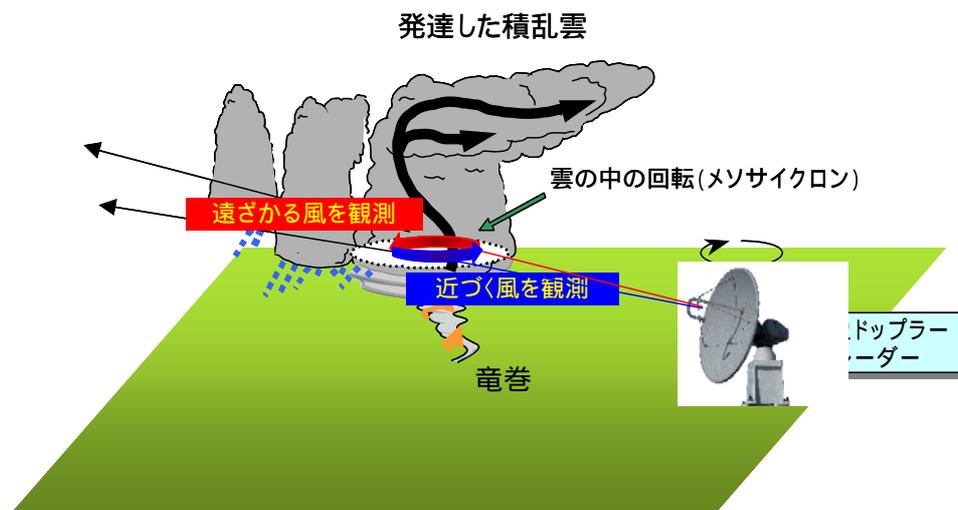


図3-4 気象ドップラーレーダーによる積乱雲中のメソサイクロンの検出

4 . 突風ポテンシャル指数 (数値予報)

数値予報は、大気の状態を風、気温、気圧などの物理量で表し、その変化を物理法則に基づいて計算し、大気の状態を予測する方法である。数値予報では、格子状に配置された点の値を解析・予測しており、格子の大きさが小さいほど (解像度が高いほど) 詳細な大気現象を表現できるが、解像度を高くすると計算に長い時間が必要となる。

近年、計算機の発達により解像度の高い数値シミュレーションが可能となり、実際に発生した竜巻やダウンバーストなどの現象の再現実験が行われ、竜巻などの発生メカニズムが次第に明らかとなってきた。しかし、現状では計算機能力の制限などから、日々の天気予報で用いている数値予報では、竜巻やダウンバーストおよびそれらをもたらす積乱雲の発達を直接予測することはできない。

一方、強い竜巻やダウンバーストはスーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生するが、このような積乱雲の発達には、大気の状態が不安定であること、鉛直方向の風向・風速の変化が大きいことが重要である。このような大気環境と竜巻発生との関係は米国における竜巻監視でも利用されており、突風の発生に関係する幾つかの指数 (以下、突風ポテンシャル指数と呼ぶ) が考案されている。

このような大気環境は数値予報でも予測が可能であり、数値予報結果から突風ポテンシャル指数を計算することにより (図 4-1)、事前に竜巻の発生する可能性を予測して、1 日程度前に発表する気象情報の中で注意を呼びかけることができる。

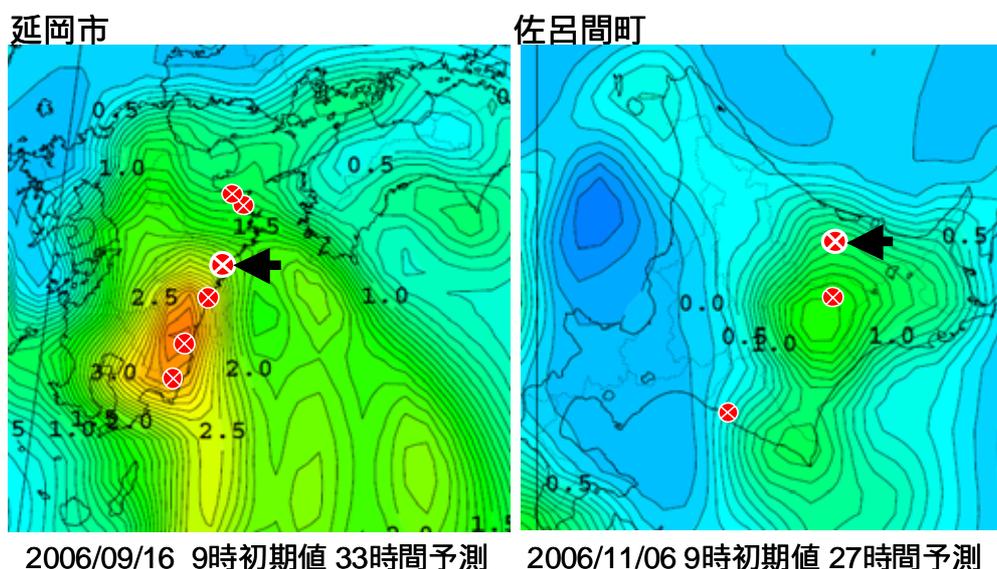


図 4-1 突風ポテンシャル指数の予測例

平成 18 年 9 月の延岡市竜巻と 11 月の佐呂間町竜巻について、1 日前に数値予報から突風ポテンシャル指数を予測した例。これらの事例では \otimes で示した地点で突風が発生している。矢印は左から延岡市竜巻、佐呂間町竜巻の発生地点である。

5 . 突風危険指数 (数値予報 + 気象レーダー)

突風ポテンシャル指数の値が大きな領域で積乱雲が発達している場合には、その場所で竜巻などの激しい突風が発生する可能性が高まっていると考えることができる。このようなことを客観的に推定するため、数値予報による突風ポテンシャル指数と 10 分毎に得られる気象レーダーの観測値から、現時点における突風発生の可能性を推定する「突風危険指数」を新たに開発した。積乱雲の水平スケールが 10~30km 程度であることから、突風危険指数は 10km 格子単位で計算する。図 4-2 には平成 18 年の延岡市竜巻を例に、突風ポテンシャル指数と積乱雲の発達程度 (気象レーダー観測)、および、これらから算出された突風危険指数を示した。

この突風危険指数は、次の 6 章で示すように気象ドップラーレーダー観測によるメソサイクロンの検出と組み合わせて、突風の可能性がある地域の判定・予測に利用する。

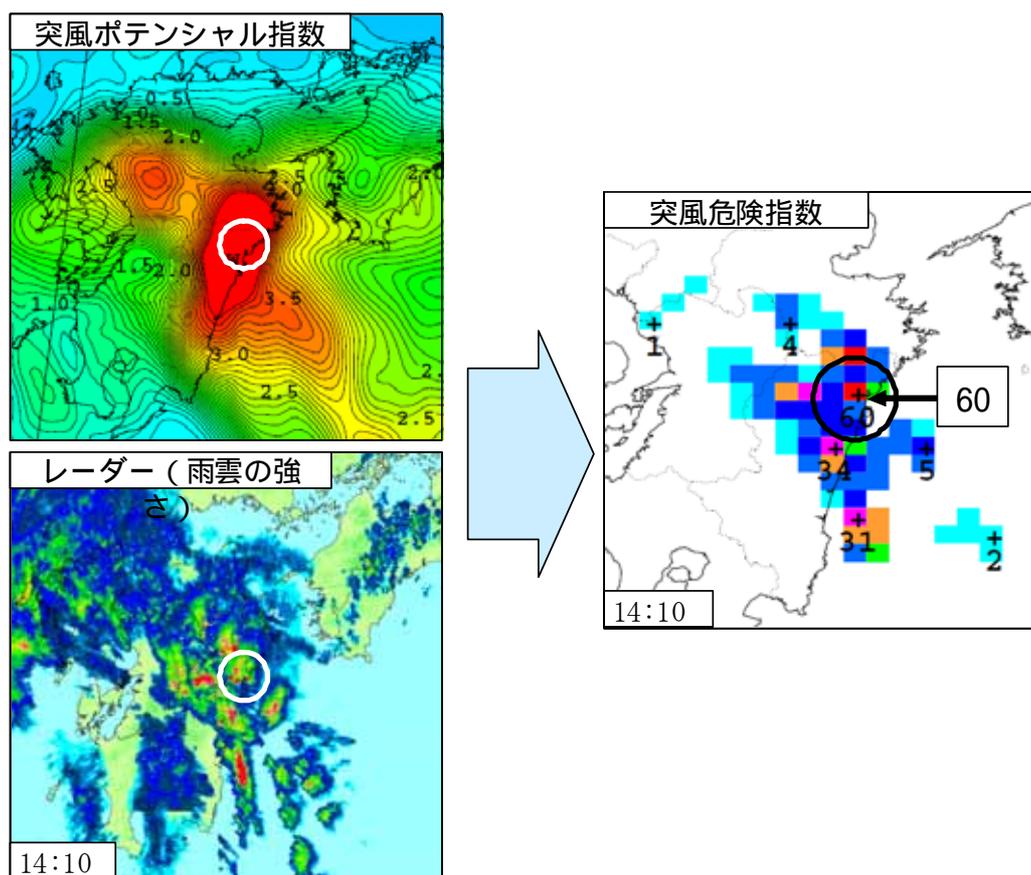


図 4-2 突風ポテンシャル指数と気象レーダーから突風危険指数が算出される様子

6 . 竜巻などの激しい突風の可能性のある地域の判定技術

(1) 2つの技術を用いた突風の有無判定

「今現在、竜巻などの激しい突風の可能性が高まっている」ことを判定する（突風の有無判定）技術として、これまでに示した気象ドップラーレーダーによる「メソサイクロンの検出」と、数値予報と気象レーダーによる「突風危険指数」の2つがあるが、いずれも単独で利用するには精度に課題がある。

気象ドップラーレーダーでメソサイクロンが検出されれば、その付近で竜巻などの激しい突風が発生する可能性があるといえるが、メソサイクロンが検出されても竜巻やダウンバーストが発生しないことも多いこと、また、メソサイクロンの検出結果には誤検出も含まれることから、メソサイクロンの検出だけで突風の有無判定をすると、空振りが相当に多くなってしまう。一方の突風危険指数も、ある程度の捕捉率を確保するように閾値を設定して突風の有無判定をすると、空振りが非常に多くなってしまう。

そこで、突風の有無判定の空振りを減らして適中率を高めるため、「メソサイクロンの検出」と「突風危険指数」をいずれも満たす(AND)条件を使う手法を採用した。突風の有無判定は10km格子単位で行うが、格子や時刻を厳密に対応させるとAND条件はほとんど成立しないので、竜巻ナウキャスト（仮称）では時間的・空間的にある程度幅を持たせた上でAND条件を求めるなどの工夫を行い、発生確度2の判定を行っている。

一方、AND条件のように判定条件を厳しくすると、空振りは減るが逆に見逃しが増える（捕捉率が下がる）ため、捕捉率を高める対策として、「メソサイクロンの検出」と「突風危険指数」のいずれかを満たす(OR)条件も利用して発生確度1の判定を行っている。

(2) 竜巻注意情報の発表基準

竜巻注意情報は、竜巻ナウキャスト（仮称）のように「常時提供する情報」ではなく、各地の气象台が「随時に発表する情報」なので、あまりに頻繁に発表して空振りが非常に多くなるような運用は適切でない。このため、発表基準を厳しくして発表回数を抑え、適中率を重視した情報としており、平成20年3月に運用を開始した竜巻注意情報では、AND条件が成立した10km格子を含む予報区域（概ね県単位）に対して竜巻注意情報を発表することとした。

平成22年度の竜巻ナウキャスト（仮称）の開始からは、竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度2格子を含む予報区域（概ね県単位）に対して竜巻注意情報を発表するように変更する予定である。発生確度2もAND条件を前提とした判定なので、竜巻注意情報の特性に大きな変化はない。

4 - 6章の参考文献

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.

(3) 竜巻ナウキャスト（仮称）における発生確度1と2の判定

竜巻ナウキャスト（仮称）では、竜巻などの激しい突風の可能性がある地域を10km格子単位で判定する。図4-3に危険域の判定過程を示した。まず、「メソサイクロン検出」または「突風危険指数」を満たした（OR条件）格子の周辺100km範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性がある」領域と考える。これを「発生確度1背景」と呼ぶ（aの水色領域）。さらに、「AND条件を満たした格子の周辺40km範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性が発生確度1背景より高い」領域と考える。これを「発生確度2背景」と呼ぶ（aの赤色領域）。これらと気象レーダー観測による雨量強度（b）を重ねて、雨量強度の強い格子を発生確度1格子または発生確度2格子と判定する（c）。

実際に竜巻やダウンバーストが発生するときには積乱雲が発達しており、雨量強度は弱くても50mm/h程度はあり、100mm/h以上に達することが多いが、すで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激しい突風を見逃してしまう。このため、発生確度1や2の格子と判定する雨量強度の閾値は20mm/h（暫定値）とやや低めに設定している。発生確度1や2と判定された地域では、積乱雲の急な発達や発達した積乱雲の接近の兆候を捉えたら、竜巻など激しい突風への対策を行うというのが適切な対応といえる。気象レーダーを常時監視し雨量強度の変化に対して迅速な対応ができる場合には、特に強い雨量強度の場所や、雨量強度が強まりつつある場所に着目して、「竜巻の可能性の高い場所」を随時絞り込みながらの対策も可能である。

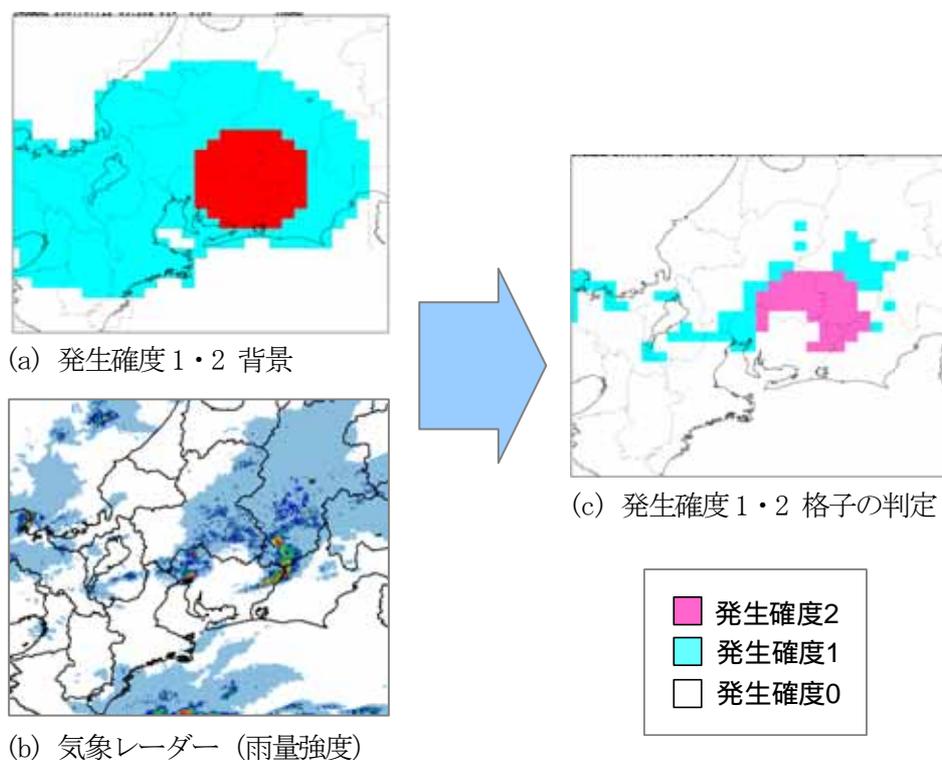


図4-3 発生確度1・2背景と雨量強度から発生確度1・2格子を判定する過程

(4) 移動予測

発生確度1や2などの格子が「新たに出現する」という予測は困難であるため、竜巻ナウキャスト（仮称）では「発生確度1・2背景の状態は移動せず判定から1時間継続する」と仮定し、その中を移動する雨雲の雨量強度から発生確度1や2の分布を予測する。

- 判定で用いた発生確度1・2背景は移動せずに1時間先まで固定とする。
- 但し、発生確度1・2背景の有効時間は1時間とし、判定された時刻から1時間経過したら消滅させる。
- 現在時刻の雨量強度の分布について1時間後までの移動を予測する。
- 1時間後までの各10分の予想雨量強度、及び各時刻の発生確度1・2背景から発生確度1・2格子を判定する。

このようにして予測された結果（ある時刻の竜巻ナウキャスト（仮称））を図4-4に示す。

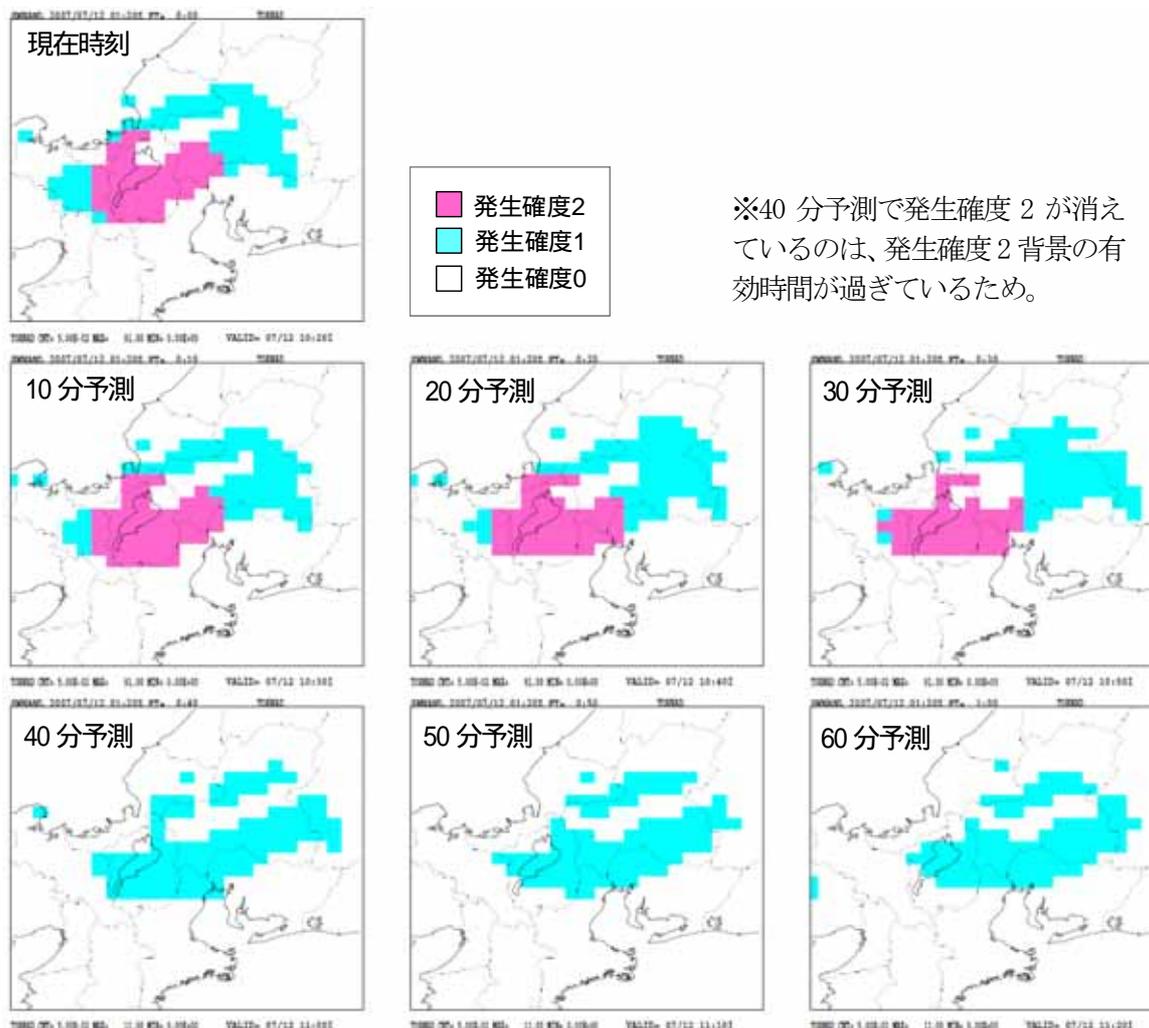


図4-4 平成19年7月12日10時20分を初期時刻とした竜巻ナウキャスト

【 参考資料 】

1 . 竜巻などの激しい突風による被害の現状

わが国における、竜巻、ダウンバースト、ガストフロントなどの突風の実情を、過去の事例の集計結果をもとに述べる。

以下、気象庁が把握している突風事例^{*1}のうち、1991年1月から2008年12月までの期間における「塵旋風」及び「漏斗雲」を除く事例の現状を示す。なお、特に断らない限り水上で発生しその後上陸しなかった事例（いわゆる海上竜巻など。以下、海上事例と言う。）は除いている。

（1）突風の年間発生確認数

1991年～2008年までの18年間に陸上及び沿岸で確認した、突風（竜巻、ダウンバースト、ガストフロントなど）を図1-1に示す。竜巻（ただし、調査の結果から竜巻か漏斗雲かを特定できなかったものを含む）を赤で、ダウンバーストやガストフロントを青で、突風による被害は確認されたものの、現象の特定には至らなかった不明な事例を緑でプロットしている。

地域により発生確認数の違いはあるものの、北海道から沖縄にかけて広く突風が確認されており、集計期間が短いことやすべての突風の確認ができるわけではないことを考えると、日本のいずれの場所でも突風発生の可能性はあると考えられる。

なお、竜巻は沿岸部で多く確認される傾向がみられるが、ダウンバーストやガストフロントにはそのような傾向はみられない。

*1 竜巻以外は藤田スケールでF0に満たないと推定した事例は除いている。また、2006年までのガストフロント、その他の突風については、竜巻、ダウンバーストの事例を集約する過程で把握できたもののみである。

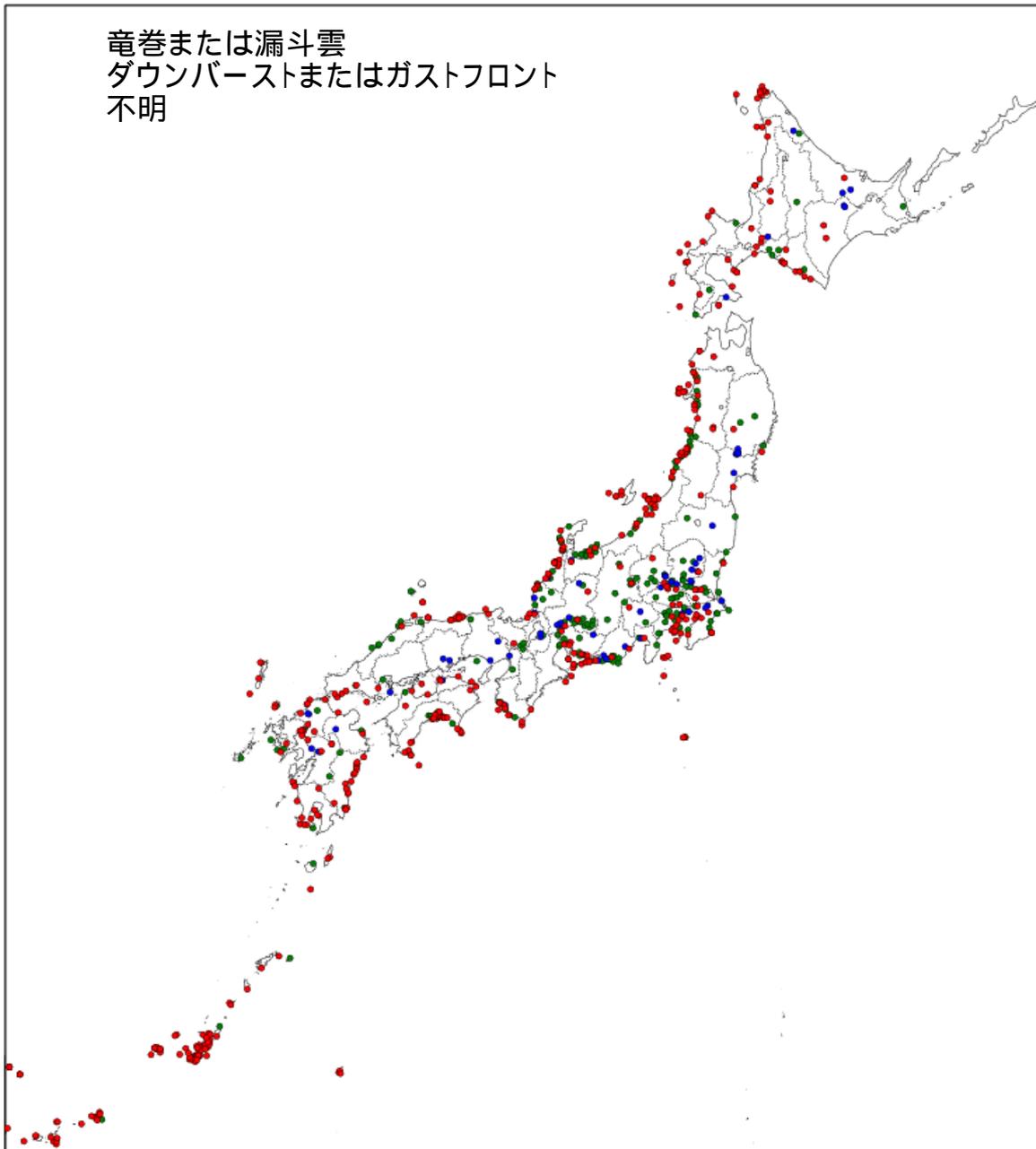


図 1-1 1991 年～2008 年に確認した突風の分布

1991 年～2008 年に確認した突風は全部で 508 件であり、そのうち竜巻と評定したものは 240 件と約半数を占めている。

また、1 年あたりの発生確認数（1991 年～2006 年の平均^{※2}）は、突風全体で 24.3 件/年、「竜巻」および「竜巻またはダウンバースト」では 12.8 件/年である。

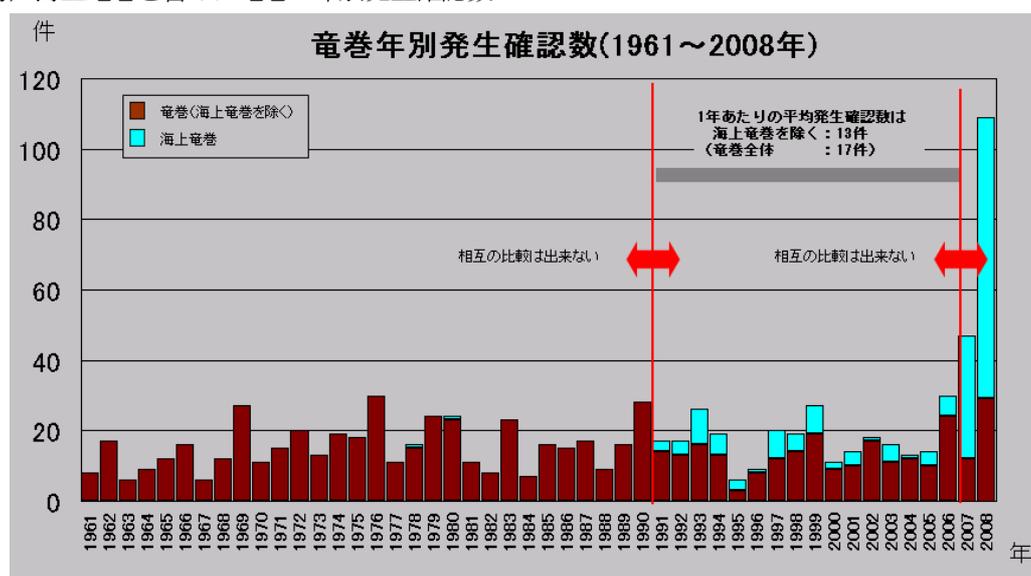
表 1-1 突風の発生確認数及び年間平均発生確認数

現象の種類	1991～2008年	1991～2006年	
	発生確認数	発生確認数	1年あたり
竜巻	240	199	12.4
竜巻または漏斗雲	5	0	0.0
竜巻またはダウンバースト	6	6	0.4
ダウンバースト(マイクロバーストも含む)	50	37	2.3
ダウンバーストまたはガストフロント	4	0	0.0
ガストフロント	11	5	0.3
不明	192	141	8.8
総数	508	388	24.3

*2 気象庁が把握している突風事例は、年代により収集方法に以下の違いがあり、これらの期間をまたいで事例数の増減を比較することは出来ないため、1年あたりの平均発生確認数は1991年～2006年までの期間を対象として算出している。また、陸上の突風事例と違い、海上竜巻などの海上事例は被害をもたらさないことがほとんどであるため、突風事例数の集計対象から除外している。

- ・1961年～1990年：竜巻の発生確認数は、当時から気象庁が竜巻として公表していたものに、災害報告、調査・研究報告、新聞などの資料からあらためて収集した事例のうち一定規模以上のものから、気象庁が竜巻と評定したものを加えた数（当時存在が明らかでなかったダウンバーストも竜巻の発生確認数に含まれている可能性がある）。この中には被害のない海上竜巻は含まれない。塵旋風やガストフロント、その他の突風の発生確認数は、上記の事例を集める中で把握できたものに限られる。
- ・1991年～2006年：竜巻の発生確認数は、災害報告、調査・研究報告、新聞などの資料からあらためて収集した全ての事例から、気象庁が竜巻と評定したものの数。この中には被害のない海上竜巻も含むが、目撃情報のうち集約できているものは一部に限られる。塵旋風やガストフロント、その他の突風の発生確認数は、上記の事例を集める中で把握できたものに限られる。
- ・2007年以降：竜巻の発生確認数は、報道や目撃情報等も含めた広範な情報源から収集した事例から、気象庁が竜巻と評定したものの数（気象庁が突風事例の調査体制を強化したことに伴い、評定の精度も向上している）。幅広く情報を入手していることから、海上竜巻の発生確認数が格段に増加している。

(参考) 海上竜巻を含めた竜巻の年別発生確認数



(2) 突風の被害に遭う確率（遭遇確率）

一般的には突風に遭遇することは稀であると思われがちだが、国内の任意の場所で1年間に突風に襲われる可能性のある確率（遭遇確率）を他の事例と比較することでその高低を示す。

1991年～2008年までに確認した突風508件のうち、陸上の被害面積が推定できているものは341件あり、その被害面積の合計は1年あたり約40.0km²である。日本全国の面積は約378000km²であるから、突風の発生確率が国内で等しいと仮定すると、1年あたりの遭遇確率は約0.011%となる。言い換えれば、任意の地点で突風に遭遇するのは約9000年に1度程度ということが出来る。これは確率としては小さいように思われるかもしれないが、一年のうちに交通事故により死亡する確率が約0.0045%^{*3}であることから見れば、その約2倍にあたり、決して無視することのできない数字といえる。

アメリカで1年あたり約800件の竜巻が確認されていることと比べると、わが国の12.8件は少なく感じられるが、10,000km²あたりで見ると、わが国では約0.3件、アメリカでは約0.8件となり、単位面積あたりでは両国の間で極端な違いはない。同様に、ドイツが約1.0件、イギリスが約0.6件、イタリアが約0.3件、フランスが約0.1件であり、これらとも極端な違いはない。

*3 警察庁交通局「平成19年中の交通事故の発生状況」の交通事故の死者数（5,744人）を総務省統計局「人口推計」の平成19年10月1日現在の総人口（1億2777万1千人）で除したものである。

(3) 地域による発生確認数の違い

1991年～2008年までに確認した突風508件について、都道府県別に10,000km²あたりの数を算出した(図1-2)。

集計期間が短いことや、すべての突風を必ずしも確認できていないことを考慮しても、全体的な傾向としては、東日本と西日本の太平洋側の地方、そして沖縄・奄美、北陸地方で多い傾向が見られる。

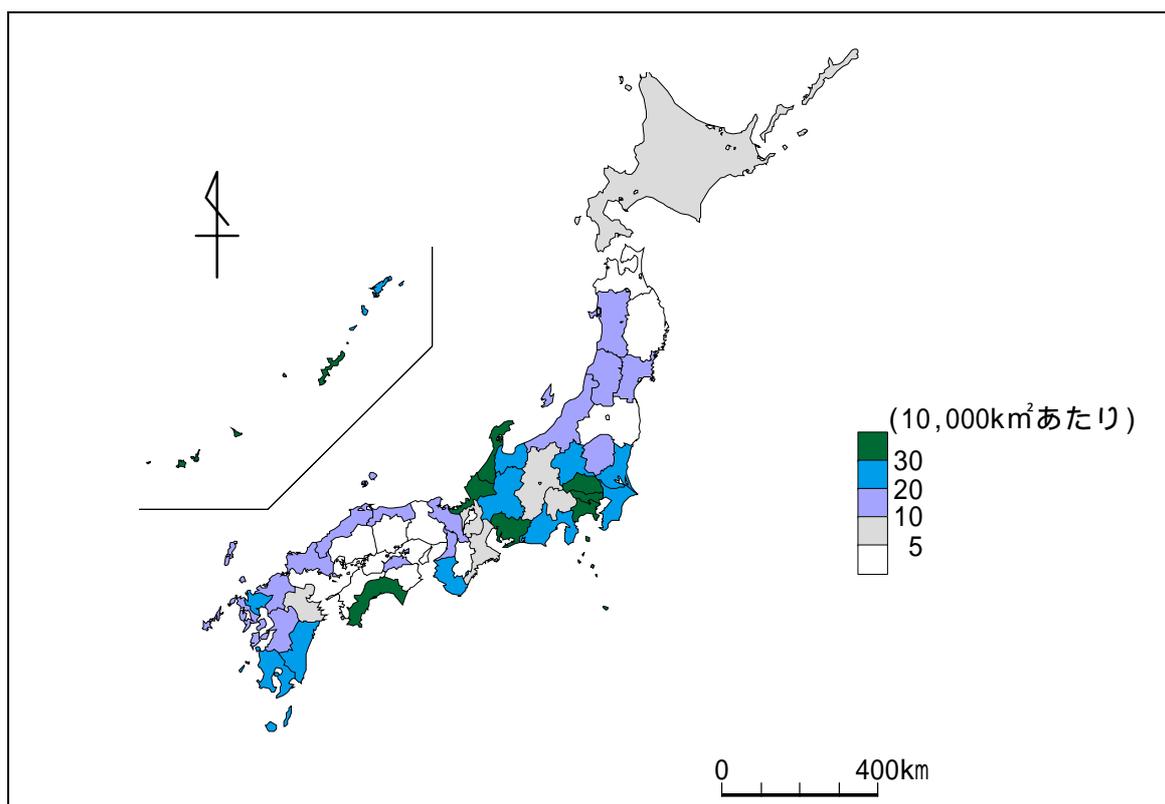


図1-2 都道府県別の突風発生確認数(1991年～2008年合計、10,000km²あたり)

(4) 季節による発生確認数の違い

1991年～2008年までに確認した突風508件について、月別の集計結果を図1-3に示す。前線や台風の影響および大気の状態が不安定となりやすいことなどにより、突風の発生確認数は7月から10月にかけて多く、この4ヶ月で全体の約60%を占めているなど、季節による違いが見られる。

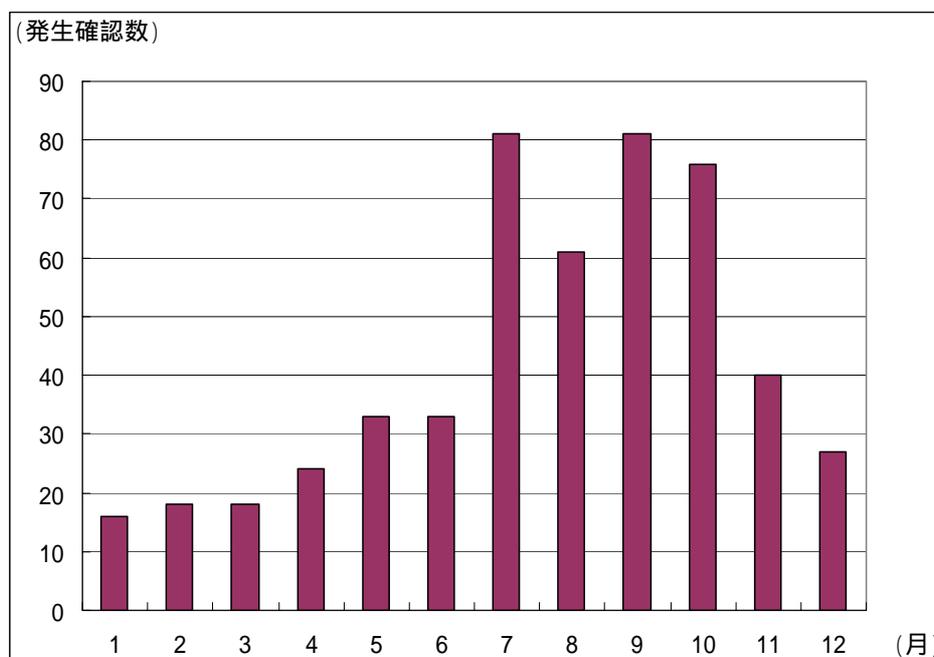
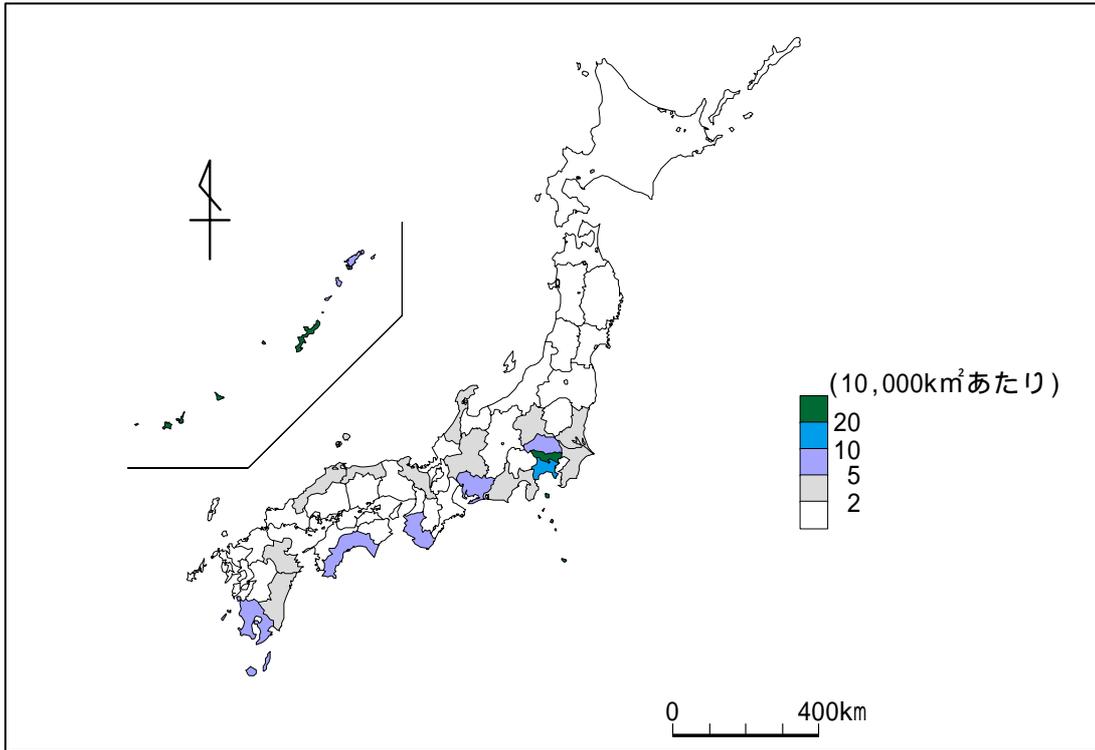


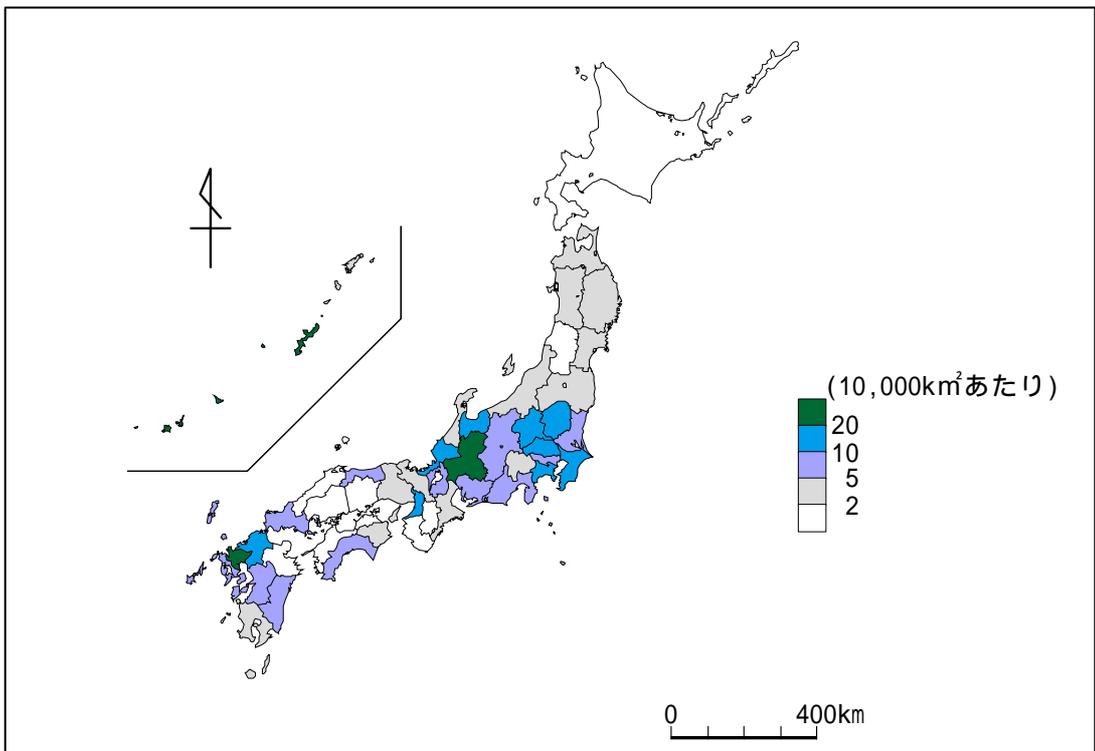
図1-3 突風の月別発生確認数（1年あたり、1991年～2008年までに確認したもの）

また、都道府県別の10,000km²あたりの発生確認数を季節別に示す（図1-4）。以下のよう
に、季節による違いが見られる。

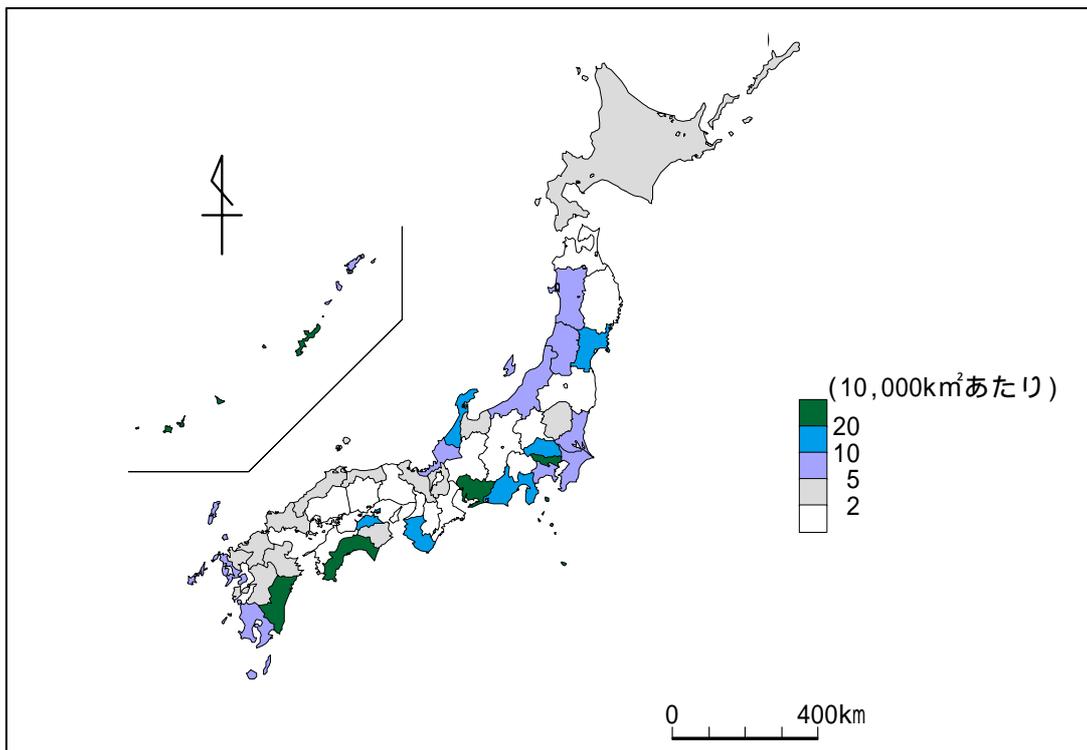
- ・ 春（3～5月）は、関東以西の特に太平洋側が多い。
- ・ 夏（6～8月）は、全国的に発生が確認されているが、特に関東以西が多い。
- ・ 秋（9～11月）は、沿岸部を中心に多い。
- ・ 冬（12月～2月）は、秋と同様に沿岸部を中心に多いが、日本海側でやや多い傾向が見られる。



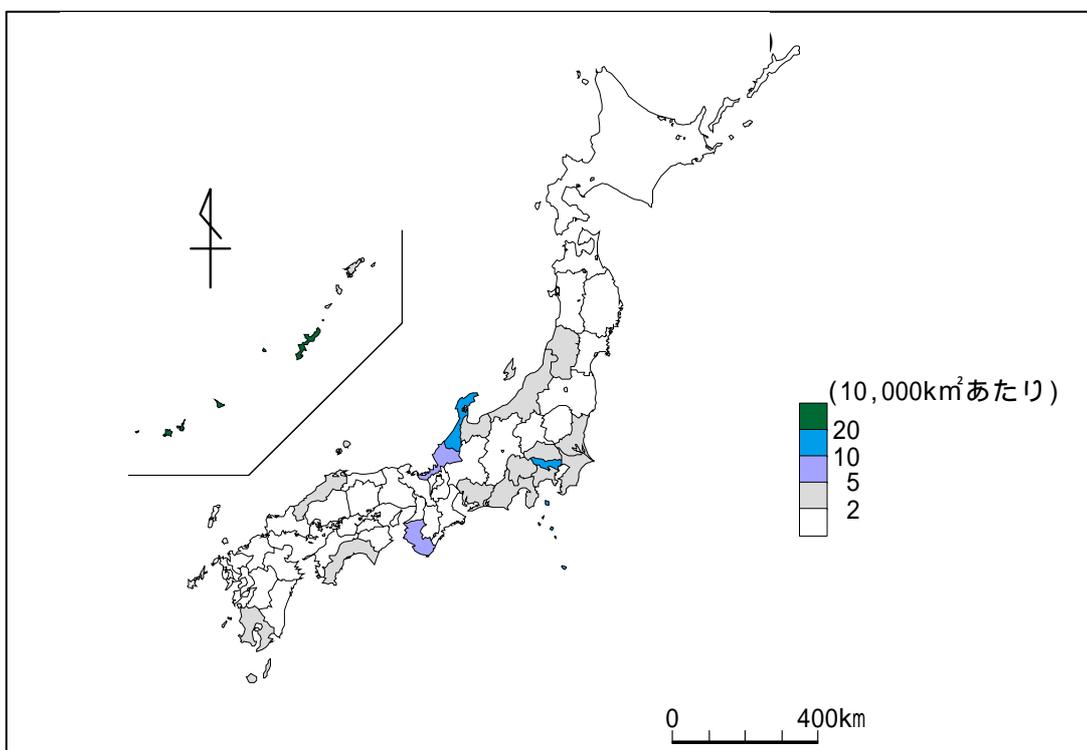
(a) 春 (3~5月)



(b) 夏 (6~8月)



(c) 秋 (9~11月)



(d) 冬 (12~2月)

図1-4 (a) ~ (d) 季節ごとの都道府県別の突風発生確認数 (1991年~2008年合計、10,000 km²あたり)

(5) 時刻による発生確認数の違い

1991年～2008年までに確認した突風508件のうち、発生時刻が判明している484件について、発生した時刻別の件数を図1-5に示す。

突風の発生は夜間よりも昼間に多く確認されており、14時から17時の間にピークが見られる。

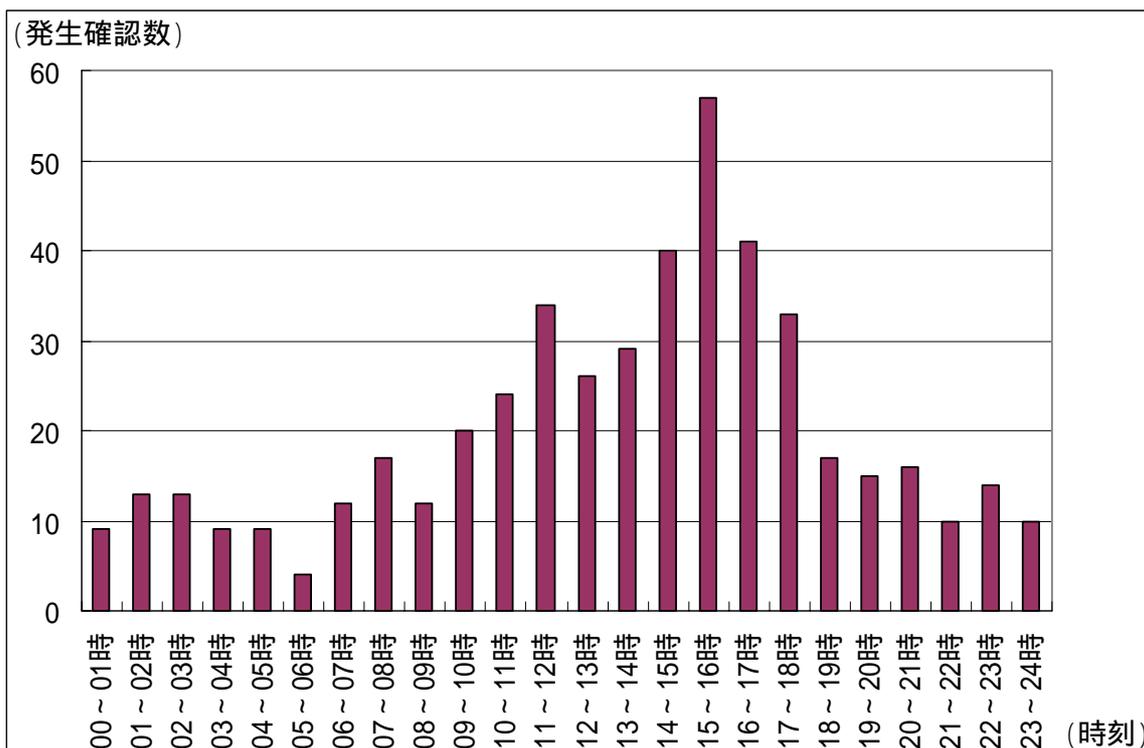


図1-5 突風の発生時刻別確認数（1991年～2008年までに確認したもの）

(6) 突風の発生が確認されたときの気象要因

1991年～2008年までに確認した突風508件について、発生時の気象要因別の件数を図1-6に示す。

突風ごとに要因となった総観規模の現象を選び出し、複数の要因が考えられる場合には、以下の優先順で1件につき1つのみを選択し集計した。

- 優先順位：1 台風・熱帯低気圧
- ：2 低気圧
- ：3 前線
- ：4 不安定（寒気や暖気の移流など）
- ：5 その他（気圧の谷など）

前線、寒気や暖気の移流等による不安定な気象要因下が多く全体の約60%を占める。次いで、低気圧や台風・熱帯低気圧が要因として続く。

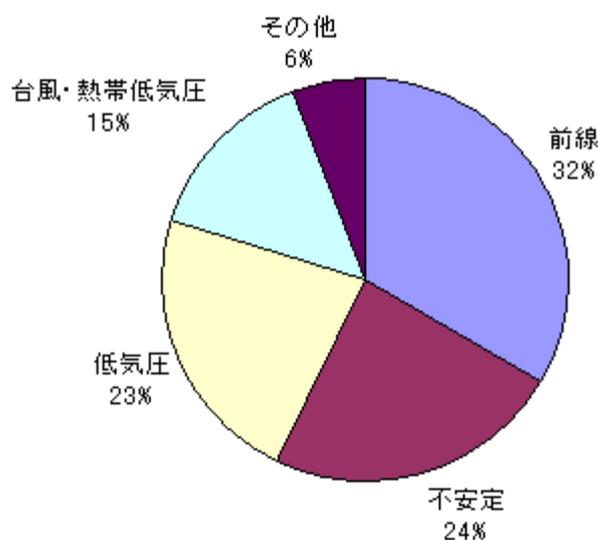


図1-6 突風発生確認時の気象要因（1991年～2008年）

(7) 確認した突風の藤田スケール (Fスケール)

竜巻などの激しい突風をもたらす現象は水平規模が小さく、既存の風速計から風速の実測値を得ることは難しい。このため、1971年にシカゴ大学の藤田哲也博士により、竜巻やダウンバーストなどの突風により発生した被害の状況から風速を大まかに推定する藤田スケール (Fスケール) が考案された。被害が大きいほどFの値が大きく、風速が大きかったことを示す。日本ではこれまでF4以上の竜巻は観測されていない【付録1】参照。

1991年～2008年までに確認した突風508件のうち、突風の強度を表す藤田スケールを地上に被害が発生するF0以上と推定した397件について、Fスケール別の件数を図1-7に示す。なお、FスケールをF0～F1のように幅をもって推定した事例は、最も小さいFスケール (この場合はF0) とした。

この期間、住家の倒壊が発生するようなF3と推定した突風は2件 (2006年の北海道での竜巻、1999年の愛知県での竜巻) である。また、住家の屋根がはぎとられるようなF2と推定した突風は21件である。一方、屋根瓦が飛散するようなF1の突風は格段に多くなり180件、F0は194件である。なお、F0とF1の件数はほぼ同数だが、F0の突風は覚知するに至らなかったものもあると考えられ、実際にはこれより多いものとみられる。

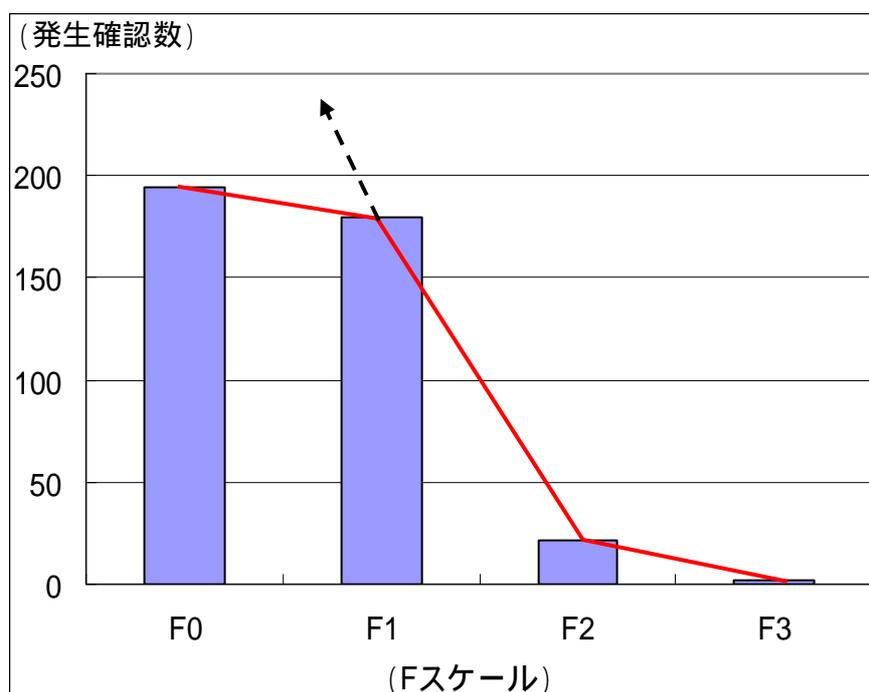


図1-7 藤田スケール別の突風発生確認数 (1991年～2008年)

(8) 過去の主な事例

気象庁が把握している突風被害のうち、1981年以降について、死者1名以上、または藤田スケールF3の事例を表1-2に示す。

表 1-2 突風被害の主な事例

現象区別	発生日時	発生場所	藤田スケール	死者	負傷者	住家全壊	住家半壊
ガストフロント	2008/07/27 12:50 頃	福井県 敦賀市	F0	1	9	0	0
竜巻	2006/11/07 13:23	北海道 佐呂間町	F3	9	31	7	7
竜巻	2006/09/17 14:03	宮崎県 延岡市	F2	3	143	*79	*348
その他(不明を含む)	2005/12/25 19:10 頃	山形県 酒田市	F1	5	33	0	0
その他(不明を含む)	2004/10/09 16:00 頃	静岡県 伊東市	不明	*5	*100	*165	*244
ダウンバースト	2003/10/13 15:30 頃	茨城県 神栖町	F1～F2	2	7	不明	不明
竜巻	1999/09/24 11:07	愛知県 豊橋市	F3	0	415	40	309
竜巻	1997/10/14 13:45	長崎県 郷ノ浦町	F1～F2	1	0	0	0
ダウンバースト	1996/07/15 14:50	茨城県 下館市	F1～F2	1	19	1	69
竜巻	1991/02/15 11 時頃	福井県 (湖上)	F1	*1	*5	*1	0
竜巻	1990/12/11 19:13	千葉県 茂原市	F3	1	73	82	161
竜巻	1990/02/19 15:15 頃	鹿児島県 枕崎市	(F2～F3)	1	18	29	88

被害数の「*」は、他の気象現象による被害数を含む

藤田スケールの括弧は、文献等からの引用または被害のおおまかな情報から推定したもの

【付録1】 藤田スケール(Fスケール)

各スケールと被害との対応は次のとおり。

F0	17～32m/s (約15秒間の平均)	テレビアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。
F1	33～49m/s (約10秒間の平均)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木は幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。
F2	50～69m/s (約7秒間の平均)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、汽車が脱線することがある。
F3	70～92m/s (約5秒間の平均)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は転覆し、自動車はもち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半折れるか倒れるかし、引き抜かれることもある。
F4	93～116m/s (約4秒間の平均)	住家がバラバラになって辺りに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨づくりでもペシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1トン以上ある物体が降ってきて、危険この上もない。
F5	117～142m/s (約3秒間の平均)	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などがもち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。

【付録2】 竜巻などの現象に伴って見られることの多い主な特徴

	(a) 竜巻	(b) ダウンバースト	(c) ガストフロント
現れ方	<ul style="list-style-type: none"> ・回転を伴う突風 ・1か所での突風の継続時間は短い ・雲の底から地上に伸びる漏斗状の雲や、砂塵や飛散物などで地上の付近の渦が目撃される場合がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・発散性の突風 ・1か所での突風の継続時間は短い ・強雨やひょうをとまなうことが多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ほぼ一定方向の突風 ・1か所での突風の継続時間は比較的長い(数分から数10分) ・降水を伴うこともある
被害分布	<ul style="list-style-type: none"> ・線状または帯状 	<ul style="list-style-type: none"> ・円や楕円形など広がりを持つ 	<ul style="list-style-type: none"> ・形は明瞭ではなく広がりを持つ ・点在する場合もある
一地点での気温や気圧、風の変化	<ul style="list-style-type: none"> ・気圧のV字状の急下降 ・渦の通過を示す風向の変化、風速の急変 	<ul style="list-style-type: none"> ・露点温度がV字状の下降する場合がある ・気温や気圧は、上がる場合も下がる場合もある ・比較的継続時間が短いほぼ一定の風向の突風 	<ul style="list-style-type: none"> ・気温の急下降 ・気圧の急上昇 ・風速の急増とその後の緩やかな減少、風向の急変
音や体感	<ul style="list-style-type: none"> ・「ゴー」というジェット機のような轟音が、突風の前後に聞こえる ・気圧の変化で耳に異常を感じる 	<ul style="list-style-type: none"> ・音は特にないか、風切り音などが突風とほぼ同時に聞こえる 	<ul style="list-style-type: none"> ・音は特にないか、風切り音などが突風とほぼ同時に聞こえる

2. コスト/ロスを考慮した竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 1 と 2 の利用

竜巻ナウキャスト（仮称）では 2 種類の予測（発生確度）を表示するが、「発生確度 2 は適中率が高いが捕捉率は低い」、「発生確度 1 は適中率が低いが捕捉率は高い」という特性の違いがある。この 2 種類の予測については、どちらの精度が高いと一概にはいえず、利用場面に応じて発生確度 2 が適している場合、あるいは発生確度 1 が適している場合がある。

どちらの予測を利用すると効果的なのかを客観的に示すには、1 回の対策費（コスト：対策により生じる利益の低下を含む）と対策による被害軽減額（ロス）を見積もり、予測を利用して対策を行った場合の効果を算出する方法がある。これは、確率予報の利用で用いられるコスト/ロスモデルの考え方によるものだが、発生確度 1 や 2 の適中率を発生確度 1 や 2 が予測されたときの発生確率と考えれば、今回の問題にも応用できる。

以下では、コストやロスを適当な値に仮定して話を進める。実際にコストやロスを正確に見積もるのは難しいので、この方法を利用できない場合も多いと考えられるが、発生確度 1 と発生確度 2 を効果的に使い分ける場合の参考としていただきたい。

（1）適中率と捕捉率を考慮した予測の利用効果の比較

ある予測を利用して対策を立てた場合の効果は、式 1 のように記述できる。

$$\text{効果} = \text{総被害軽減額} - \text{総対策費} \quad (\text{式 1})$$

式 1 を、突風被害 1 事例に対する効果の期待値 (E) として記述すると式 2 のようになる。

$$E = H \times (L - C/P) \quad (\text{式 2})$$

ここで、H は予測の捕捉率、P は予測の適中率、L は対策による 1 事例当たりの被害軽減額、C は 1 回の対策費である（式の導出過程は省略）。

発生確度 1 と 2 の適中率や捕捉率などを以下のように仮定して式 2 を評価する。

- ◇ 1 事例当たりの被害軽減額 (L) は 10000 円
- ◇ 発生確度 1 の適中率 (P) は 0.02
- ◇ 発生確度 1 の捕捉率 (H) は 0.9
- ◇ 発生確度 2 の適中率 (P) は 0.04
- ◇ 発生確度 2 の捕捉率 (H) は 0.3

このとき、竜巻ナウキャスト（仮称）の発生確度 1 と 2 のどちらの予測を利用するのが効果的かを見るために、発生確度 1 と 2 について、E と C の関係を示したのが図 2-1 である。発生確度 1 では対策費が 200 円以下、発生確度 2 では対策費が 400 円以下、であれば、予測を利用して対策をした場合の期待値がプラスとなり、予測の利用価値があるといえる。これは、コスト/ロスモデルで、 $C/L < P$ の場合に予測の利用価値があることに対応する。

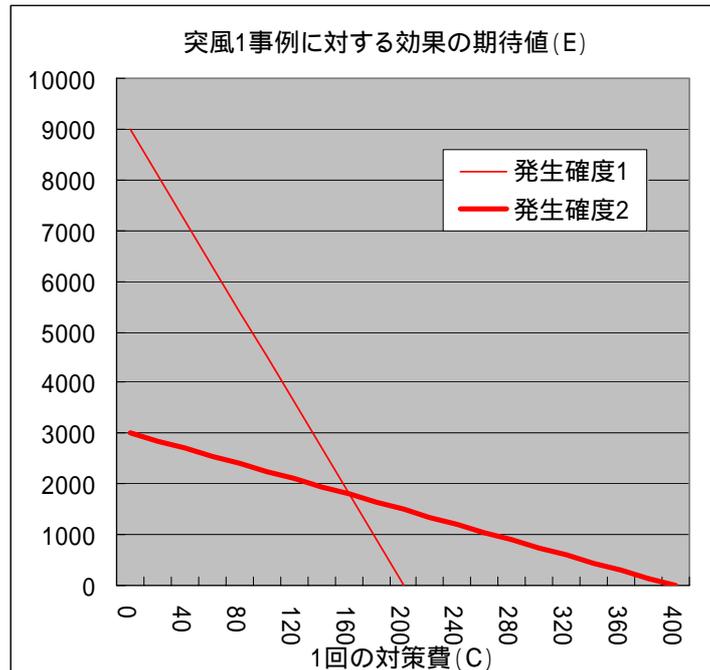


図 2-1 対策による被害軽減額が 10000 円の場合、発生確度 1 と発生確度 2 の利用効果（期待値）を、対策費（C）の違いに応じて見たグラフ。それぞれのグラフには、各ランクの適中率・捕捉率が加味されている。

発生確度 1 と 2 のグラフは対策費 160 円のところで交差している。これは、対策費が 160 円以下と小さい場合には発生確度 1 の予測で対策をとる方が予測の利用効果が高く、対策費が 160 円～400 円の場合には発生確度 2 の予測で対策をとる方が予測の利用効果が高いということを意味する。この想定の場合、対策費が 400 円以上かかる場合には、いずれの予測も利用効果がないことになる。

以上の話を定性的に理解すると次のようになる。

- ◇ 対策費が小さい場合には、空振りが多いことによる対策費の増大より、多くの事例を捕捉できることによって被害軽減額が増大する効果の方が大きいので、捕捉率の高い発生確度 1 の利用が効果的である。
- ◇ 対策費が大きい場合には、空振りが多いことによる対策費の増大が無視できないので、補足できる事例は少なくとも適中率の高い（空振り率が低い）発生確度 2 の利用が効果的である。

(2) 複数の対策が想定される場合の発生確度 1 と 2 の効果的な使い分け

ここまででは、対策による被害軽減額が 10000 円となる対策が唯一つだけあると想定した話であったが、実際には対策費とその被害軽減額が異なる複数の対策が存在することも想定される。この場合、発生確度 1 と 2 対策費の異なる対策をとるという方法で、単独の予

測を利用するより利用効果が上がる場合がある。

いま、1 事例当たりの被害軽減額 (L) が、10000 円の対策 1、6000 円の対策 2、4000 円の対策 3 があると想定し、それぞれの E と C の関係を図 2-2 に示す。なお、発生確度 1 と 2 の適中率と捕捉率は図 2-1 と同じと仮定している。

対策 1 の対策費 200 円、対策 2 の対策費は 100 円、対策 3 の対策費は 60 円と想定すると、以下のことがわかる。

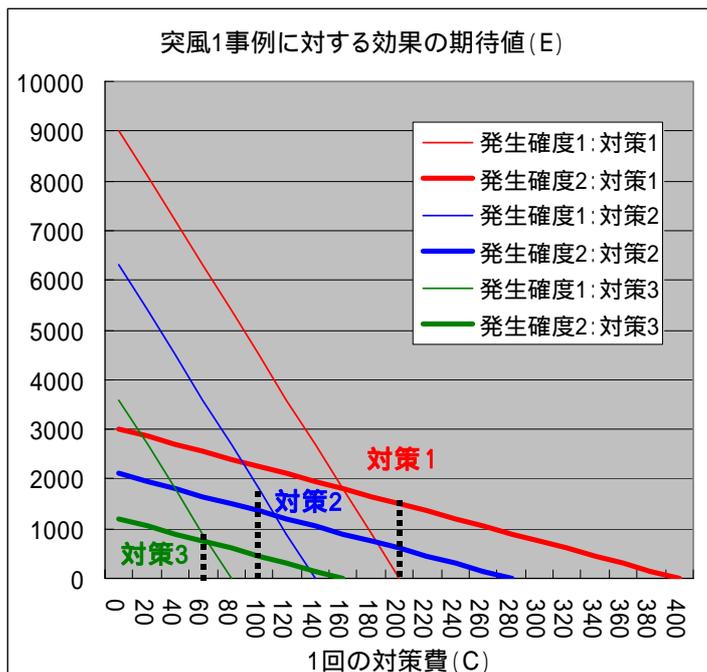


図 2-2 説明は図 2-1 と同じ。ただし、対策による被害軽減額は、対策 1 が 10000 円、対策 2 が 6000 円、対策 3 が 4000 円としている。縦の破線は今回想定した各対策の対策費を示している。

- ◇ 対策 1 しか存在しない場合、対策費 200 円では発生確度 1 の期待値は 0 円、発生確度 2 の期待値は 1500 円なので、発生確度 2 の利用が効果的である。
- ◇ 対策 1 と対策 3 が存在する場合、発生確度 2 で対策費 200 円の対策 1 をとると期待値 1500 円で最も効果が高い。この他に発生確度 1 で対策費 60 円の対策 3 をとると期待値 900 円が得られる。すなわち、発生確度 1 の時には対策費の小さな対策 3 をとり、発生確度 2 のときだけ対策費の大きな対策 1 をとるといように、使い分けるとより高い利用効果が得られる。
- ◇ 全ての対策が存在する場合、発生確度 1 で対策 2 をとるのが期待値 1800 円で最も効果が高い。このような場合には発生確度 2 を利用する必要がない。

このように、対策費と被害軽減額が異なる様々な対策を想定し、最も予測の利用効果が高くなる利用法を採用するという考え方ができる。