

# 突風可能性予測プロダクト

～「突風に関する予告的気象情報」の  
発表判断を支援するために～

- 内容
- ・開発の経緯
  - ・概要
  - ・活用方法
  - ・まとめ

予報部予報課開発班

## 変更履歴

2019/11/18 初版

2019/12/24 文言等の微修正

## 開発の経緯

### 現在

例年、本庁から各気象官署にMSM突風関連指数を提供し、予告的気象情報における「竜巻などの激しい突風のおそれ」のキーワードの付加基準の作成等に活用いただいている。

### 課題

キーワードの付加基準が府県により異なり、隣接府県において統一感のある運用になっていないところがある。本庁としては、全国で適用可能な基盤となる技術を提供していきたい。

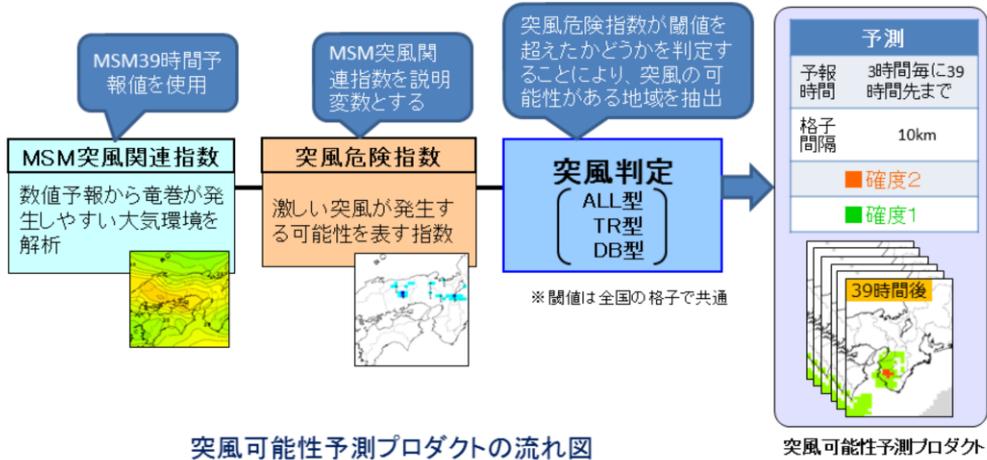
### 改善策

予告的気象情報の発表の判断に活用できるように、海上を含めた半日～1日先の突風の可能性を予測するプロダクトを開発。

2

改善策では、突風可能性予測プロダクトで確度1が現れた場所にキーワードを付加するという全国統一の基準による運用を目指しています(12枚目を参照)。  
現在は府県ごとに基準が異なっている点が問題であるところ、1つのプロダクトの出力結果に従って運用することにより、どのような事例であっても統一感のある運用になります。

# 突風可能性予測プロダクト

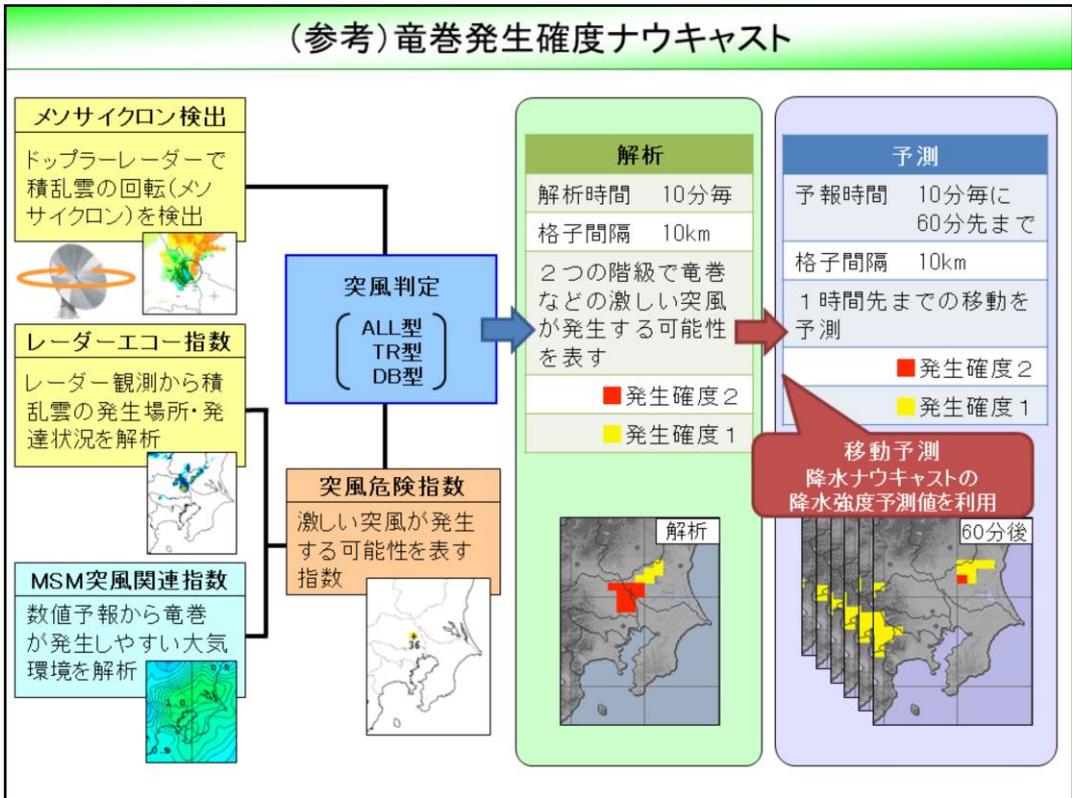


突風可能性予測プロダクトの流れ図  
(常時3時間毎に作成・提供)

- ・竜巻発生確度ナウキャストの技術を活用
- ・MSM突風関連指数のみから突風危険指数を作成
- ・外部への提供は行わず、庁内で活用

3

- ・突風可能性予測プロダクトの流れ図はこの図のとおりです。
- ・MSM39時間予報値から、MSM突風関連指数を計算し、竜巻発生確度ナウキャストと同じようにして「突風可能性予測プロダクト用の突風危険指数」を計算します。
- ・「突風可能性予測プロダクト用の突風危険指数」の値が予め設定された閾値を超えたかどうかを10km格子毎に判定(突風判定)します。「突風判定」という用語について、竜巻発生確度ナウキャストの指数単独判定と同じ方法を採用しているため、同じ用語としています。
- ・閾値を超えた格子に確度1を解析します。
- ・確度1が解析された中で、突風危険指数と降水強度で決まる判定式(スライド9枚目)を満たす格子に確度2を解析します。
- ・突風可能性予測プロダクトは、MSM39時間予報値と同じく、3時間毎に39時間先まで計算されます。
- ・解析時刻の概ね2時間20分後に更新されます。
- ・突風可能性予測プロダクトは、予告的気象情報に「竜巻」キーワードを付加するかどうかを判断するために庁内で利用することを想定しており、現在のところ外部への提供は想定していません。



・参考として、竜巻発生確度ナウキャストの概要を図に示します。

**【参考文献】**

瀧下洋一, 2011: 竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報について. 測候時報, 78, 57-93.

## 竜巻発生確度ナウキャストと突風可能性予測プロダクトの違い

	突風可能性予測プロダクト	竜巻発生確度ナウキャスト
目的	2時間～39時間先までの突風の可能性の予測	10分毎の突風の可能性の解析と1時間先までの移動予測
説明変数	MSM突風関連指数	MSM突風関連指数、レーダーエコー指数、メソサイクロン検出
解析	3時間毎	10分毎(突風判定は5分毎)
MSM突風関連指数の初期時刻(basetime)	解析時刻	解析時刻の2～5時間前
予報時刻(validtime)	解析時刻の2時間～39時間後	解析時刻の10分～60分後
予測手法	MSM予報値(FT=02～39)	発生確度背景と降水ナウキャストの論理和
計算対象	突風危険指数、突風可能性(確度)	突風危険指数、竜巻発生確度

- ・突風可能性予測プロダクトの説明変数はMSM突風関連指数に限定
- ・basetimeとvalidtimeが異なる。
- ・予測はMSMのFTと同じ。降水ナウキャストを用いた移動予測は行わない。
- ・計算対象は概ね同じだが、レーダーデータを使用しないため分布の見た目は異なる。

5

- ・突風可能性予測プロダクトと竜巻発生確度ナウキャストの違いを表にまとめました。
- ・竜巻発生確度ナウキャストでは、レーダー観測データを使用しており、解析時刻と予報時刻はレーダー観測の時刻と降水ナウキャストの予報時刻を元としています。
- ・これに対して、突風可能性予測プロダクトでは、レーダー観測データは使用しておらず、解析時刻と予報時刻はMSM39時間予報値の解析時刻と予報時刻を元としています。
- ・この違いのため、計算対象は概ね同じですが、レーダー観測データを使用していないため分布の見た目は異なり、突風可能性予測プロダクトの方が広い範囲に解析される傾向があります。

# 突風の型判別式と突風危険指数

## 突風の型判別

### 【作成方法】

- 統計モデル：判別分析
- データ期間：2012.04.01～2017.03.31（60か月分）  
「竜巻」又は「ダウンバースト」と評定された突風事例（227事例）
- 目的変数：現地調査に基づく「突風の種類」
- 説明変数候補：突風発生の70分前から突風発生時刻までの指数の最大値
- 統計処理言語Rの判別分析パッケージを使用
- 説明変数の選択は試行錯誤で実施

### 【結果】

- 説明変数：右表のとおり（係数は次ページ）

#### 型判別式

$$KIND \sim Const + k_1 * TVPEz + k_2 * PTORS + k_3 * DBHd + k_4 * DBVw + \dots$$

- 閾値：KIND ≥ 0 ⇒ 竜巻

$$KIND < 0 \Rightarrow \text{ダウンバースト}$$

## 突風危険指数

### 【作成方法】

- 統計モデル：ロジスティック重回帰分析
- データ期間：2012.04.01～2017.03.31（60か月分）
- 目的変数：「竜巻等の突風データベース」に記載されている突風  
（突風の有無。海上竜巻を含まない。）
- 説明変数候補：MSM突風関連指数
- 統計処理言語Rのロジスティック重回帰分析を使用
- 説明変数の選択は自動で行われる。

### 【結果】

- 説明変数：右表のとおり（係数は次ページ）

- 突風危険指数（TR型の場合）

$$P_{TR} = \frac{1}{1 + \exp(Const + k_1 * EL + k_2 * SSIm + k_3 * SREH + \dots)}$$

- 閾値：9ページ目を参照

突風の型判別式と突風危険指数の説明変数

	説明変数
型判別	TVPEz, PTORS, DBHd, DBVw, LEL, VILen, DnstTR, DnstDB
TR型	EL, SSIm, SREH, VGP, TTIIm, MLCAP3, BRNsh, TVPEz, VILen
DB型	TTIIm, BRNsh, DBHd, LEL, LELz, VILen
ALL型	SSIm, VGP, TTIIm, MLCAP3, BRNsh, LEL, VILen

記号	説明変数名称(レーダー・調査資料)
EL	平衡高度
DBHd	ダウンバーストの厚さ(乾燥)
LELEz	平衡高度までの積算雨量予想値(エネルギー保存)
SSIm	ショワルター安定指数
TTIIm	トータル・トータルズ指数
MLCAP3	地上から高度1000mの平均空気塊を持ち上げて計算したCAPE
SREH	ストームに相対的なヘリシティ
VGP	渦生成パラメータ
BRNsh	バルクリチャードン指数シア
TVPEz	竜巻風速パラメータ(エネルギー保存)
PTORS	竜巻の種の発生確率予想値
VILen	降水分布の長さ予想値
DBVw	ウェットダウンバースト予想風速
LEL	平衡高度までの積算雨量予想値
DnstTR	竜巻の突風密度
DnstDB	ダウンバーストの突風密度

- 突風危険指数の計算の前に、竜巻発生確度ナウキャストと同じく、突風の型判別を行います。この型判別の結果に基づいて、竜巻型又はダウンバースト型の突風危険指数による突風判定を行います。

### 【突風の型判別式】

- 突風の型判別式は、判別分析で作成されています。
- データ期間、目的変数、説明変数候補は上記のとおりです。
- 判別分析で選択された突風の型判別式の説明変数は右の表のとおりです。
- 突風の型判別式にある「Const」は定数項を表します（定数項の値は次ページを参照）。
- 型判別式が0以上の時は竜巻、0未満の時はダウンバーストと判定されます。

### 【突風危険指数】

- 竜巻発生確度ナウキャスト用の突風危険指数と同じく、突風可能性予測プロダクト用の突風危険指数には3種類（TR型、DB型、ALL型）があります。
- 突風危険指数は、ロジスティック重回帰分析で作成されています。
- データ期間、目的変数、説明変数候補は上記のとおりです。
- ロジスティック重回帰分析で選択された突風危険指数の説明変数は右の表のとおりです。
- 突風危険指数にある「Const」は定数項を表します（定数項の値は次ページを参照）。
- 確度を解析するための閾値は9ページ目にあります。

### 【参考文献】

中里真久, 西村建志, 2016: 平成28年度予報技術研修テキスト「3.4.2 MSM突風関連指数とレーダーエコー指数の改善」

# 型判別式及び突風危険指数の係数

突風の型判別式の係数

説明変数	係数
Const	2.246073
TVPEz	0.0164122699
PTORS	0.0521546507
DBHd	-0.0003173537
DBVw	-0.0877660663
LEL	-0.0240646033
VILen	0.0000259700
DnstTR	0.0778385631
DnstDB	-0.0267360053

突風危険指数の係数

竜巻型 (TR型)		ダウンバースト型 (DB型)		ALL型	
説明変数	係数	説明変数	係数	説明変数	係数
定数項	-2.014e+01	定数項	-4.286e+01	定数項	-2.356e+01
EL	-2.348e-03	TTIm	5.045e-01	SSIm	2.224e-01
SSIm	3.154e-01	BRNsh	1.004e-01	VGP	5.768e+00
SREH	1.049e-03	DBHd	6.723e-04	TTIm	2.399e-01
VGP	6.705e+00	LEL	1.010e-01	MLCAP3	9.023e-03
TTIm	1.954e-01	LELEz	1.172e-02	BRNsh	1.106e-01
MLCAP3	9.879e-03	VILen	4.055e-05	LEL	2.529e-02
BRNsh	8.343e-02			VILen	2.374e-05
TVPEz	2.095e-02				
VILen	2.810e-05				

(参考) 各指数の平均値

事例	TVPEz	PTORS	DBHd	DBVw	LEL	VILen	DnstTR	DnstDB
竜巻	11.088520	3.3620274	765.3635	8.395413	50.44969	22328.56	8.042734	6.207133
ダウンバースト	6.375711	0.8083045	1675.5973	14.730612	73.95370	19387.05	5.990179	45.179932

データ期間：2012年4月～2017年3月 (60ヶ月)

- ・突風の型判別式と突風危険指数の係数の値は表のとおり。
- ・参考として、竜巻事例とダウンバースト事例の時の各説明変数の平均値を表に示します。竜巻事例で、竜巻の予測指数の平均値が大きくなっており(赤色の欄)、ダウンバースト事例で、ダウンバーストの予測指数の平均値が大きくなっている(水色の欄)ことが分かります。
- ・説明変数と係数は、今後の技術開発により更新されることがあります。

# 突風の型判別の精度

データ期間: 2012.04.01~2017.03.31 (60か月分)

竜巻発生確度ナウキャストVer.4.1: **hemx**、**r\_vil**、TVPEz、PTORS、DBVw、DnstTR、DnstDB  
※ どれか1つを抜くと精度が低下する。

		予測		適中率: 0.938(= 213/227)
		竜巻	ダウンバースト	
現地調査 &再評価	竜巻	173	7	
	ダウンバースト	7	40	

突風可能性予測プロダクト: TVPEz、PTORS、**DBHd**、DBVw、**LEL**、**VILen**、DnstTR、DnstDB

		予測		適中率: 0.925 (=210/227)
		竜巻	ダウンバースト	
現地調査 &再評価	竜巻	172	8	
	ダウンバースト	9	38	

竜巻発生確度ナウキャストVer4.1の説明変数を採用した場合に比べて、型判別の適中率は約1%小さい。

8

- ・突風の型判別の精度(適中率)は上記のとおりです。ここでは、竜巻発生確度ナウキャストVer.4.1の型判別の適中率と突風可能性予測プロダクトの型判別の適中率を比較しています。
- ・表の上の指数は、突風の型判別に使っている説明変数です。黒色の指数は、竜巻発生確度ナウキャストVer4.1と突風可能性予測プロダクトで共通する説明変数です。赤色の指数は、両プロダクトで異なる説明変数です。
- ・突風可能性予測プロダクトではレーダーエコー指数(hemx、r\_vil)を使用できないため、適中率が低下します。
- ・突風可能性予測プロダクトの型判別の適中率は、竜巻発生確度ナウキャストVer.4.1の型判別の適中率より約1%小さいですが、92.5%と十分高い値になっています。

## 【レーダーエコー指数の説明】

hemx :レーダーエコー頂高度  
 r\_vil :鉛直積算雨水量比

## 【参考文献】

中里真久, 西村建志, 2016: 平成28年度予報技術研修テキスト「3.4.2 MSM突風関連指数とレーダーエコー指数の改善」

# 突風可能性予測プロダクトの予測精度

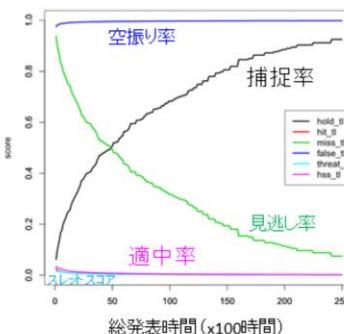
## <<閾値の設定>>

従属データ期間: 2012年4月1日-2017年3月31日  
 総発表時間(発表回数に相当): 15200時間(※一次細分区域毎に数えた延べ時間)として閾値を設定。

確度1の閾値: 6.32x10<sup>-4</sup>(TR型)  
 4.98x10<sup>-4</sup>(DB型) ※運用では仮数部のみを使用している。  
 9.76x10<sup>-4</sup>(ALL型) (小数点以下は切り捨て)

確度2の判定式:  
 $0.1 \times (\text{突風危険指数}) \times (\text{MSM降水強度}) + 1 \geq 40$

<<従属資料>>  
 捕捉率: 80.6%、適中率: 0.240%  
 ※ たたし、適中率は一次細分区域毎1時間毎に評価



## <<府県単位での精度検証結果>>

独立検証期間: 2018年4月1日-12月31日  
 突風事例数: 61

	突風可能性 プロダクト※	府県気象 情報(突風)	雷注意報 (竜巻)
捕捉数	49	35	37
発表数	4063	5930	5375
捕捉率	<b>80.3%</b>	57.4%	60.7%
適中率	1.94%	0.59%	0.69%

※ FT2~39で確度1以上がでた府県予報区に発表  
 発表後12時間(は発表抑止(実際の情報発表頻度と  
 できるだけ合わせるため)

突風可能性予測プロダクトの利用により、  
 「突風」、「竜巻」キーワードの付加が現在に比べて適正化されると想定。

9

・3つの突風危険指数(TR型、DB型、ALL型)の閾値は、予測精度が高くなるように自動で決められています(参考文献を参照)。

・確度1の閾値は上記のとおりです。右上図は、総発表時間を横軸に取った時の捕捉率、適中率、見逃し率等が示されています。総発表時間は、突風可能性予測プロダクトに基づいて、竜巻キーワード付きの府県気象情報が発表されている時間の合計であり、竜巻発生確度ナウキャストの場合の発表回数に相当します。総発表時間が15200時間の時の値を確度1の閾値としています。

・独立検証データを用いて、府県単位で精度検証した結果を下の表にまとめてあります。比較のため、府県気象情報(突風キーワード付き)と雷注意報(竜巻キーワード付き)の精度の実績値を併記しています。突風可能性予測プロダクトを用いた場合は、捕捉率が高く、発表回数が小さくなり、より適正な発表が可能になることが分かります。

・突風可能性予測プロダクトでは、予告的気象情報の発表回数を規定する閾値を採用した場合の捕捉率が十分高いことから、竜巻発生確度ナウキャストのように捕捉率を確保するための(竜巻発生確度ナウキャストの発生確度1に相当する突風危険指数の)閾値は必要ありません。

・一方で、竜巻発生確度ナウキャストの降水強度条件のように、突風危険指数と降水強度を考慮して相対的に激しい現象が見込まれる領域を強調する目的で確度2を表示することにより利便性は向上すると考えられることから、突風危険指数とMSM降水強度を使った確度2の判定を採用しています。

・確度2の判定式は上記のとおり。

## 【参考文献】

中里真久, 西村建志, 2016: 平成28年度予報技術研修テキスト「3.4.2 MSM突風関連指数とレーダーエコー指数の改善」

## <<参考>>

### 【FT2-39の精度検証の前提】

1. FT2-39の間に少なくとも1つ確度1以上が現れた府県に対して、解析時刻の2時間後までに発表する。

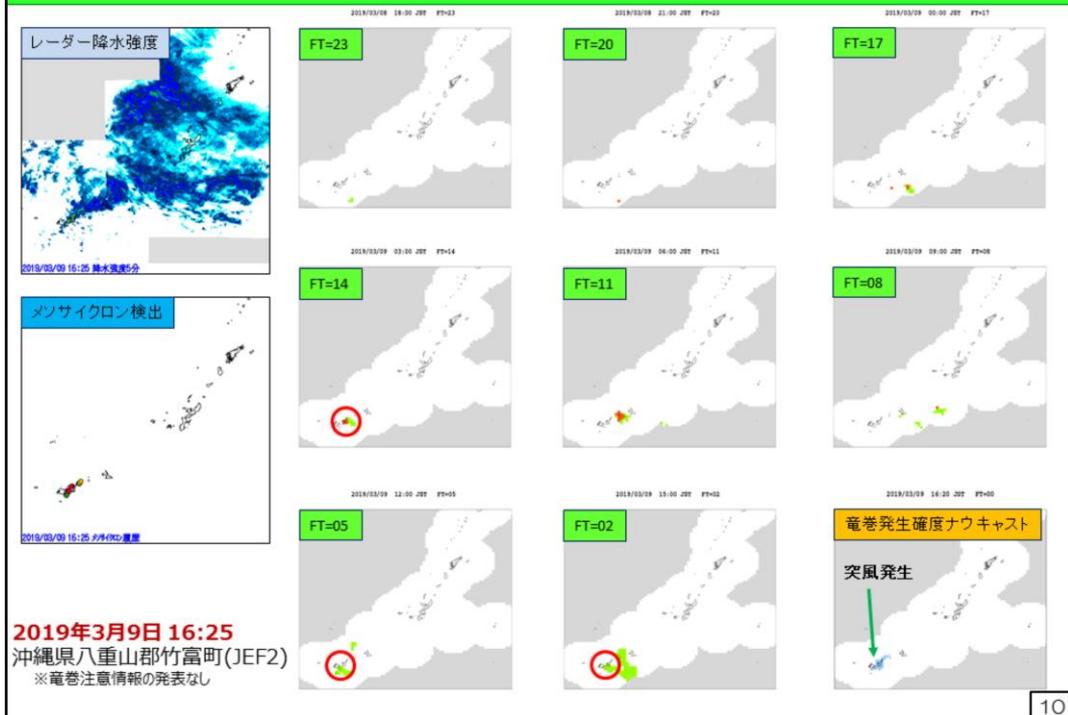
2. 有効時間は39時間

3. 発表後12時間は再発表しない

4. FT14-39の間に確度1以上が現れて発表した場合は、12時間後以降に発表がなかった場合でも当たりとする

5. 12時間後に再発表した場合は、別の発表として発表回数に数える(一連発表はない)。

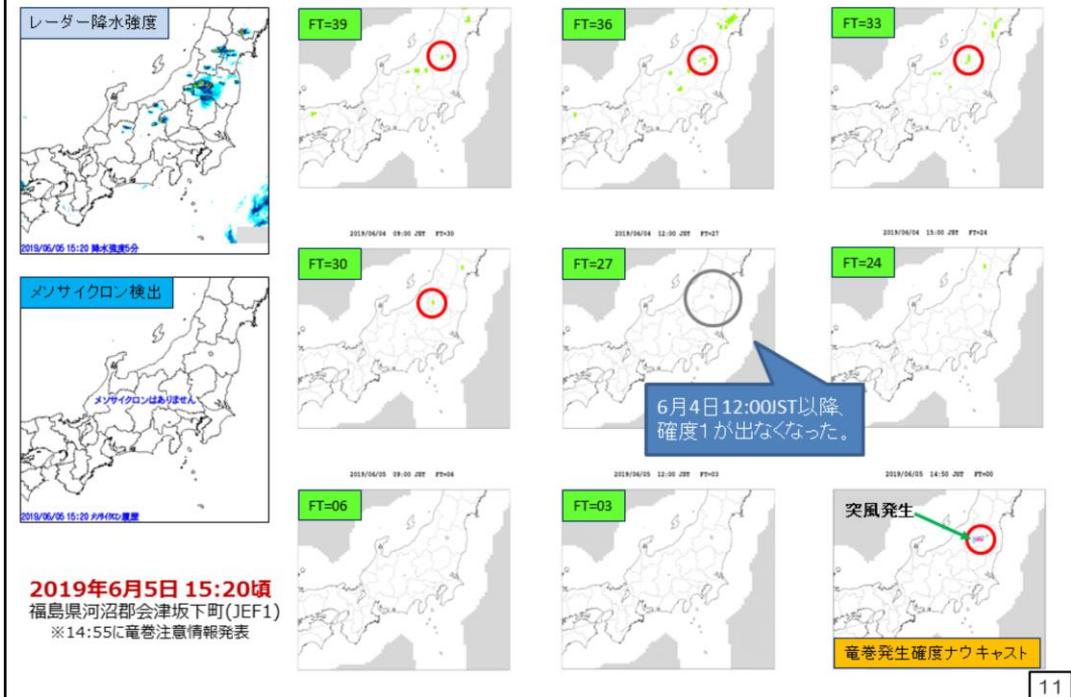
# 突風可能性予測プロダクトの予測例



・予測例です。この例では、2019年3月9日3時(JST) (FT=11時間)以降に実際の突風発生場所で突風の発生を予想しています。

# 突風可能性予測プロダクトの予測例

※予報時刻(FT)が近いほど精度がよいとは限らない。



11

- ・別の予測例です。この例では、2019年6月4日9時(JST)までは突風の発生場所の近くで確度1が予想されていましたが、12時以降は確度1の予想がなくなりました。
- ・このような場合でも、精度検証では「当たり」として数えられます。

# 突風可能性予測プロダクトの活用

## 突風可能性予測プロダクトについて

突風可能性予測プロダクトは、39時間先までのMSM突風関連指数を用いて計算した突風危険指数に竜巻発生確度ナウキャストで採用されている突風判定手法を適用したプロダクトです。

突風可能性予測プロダクトでは、1) MSMで降水が予想されており、2) MSM突風関連指数を用いて作成された突風危険指数の値が大きい、の2条件を満たす場所を突風発生の可能性があるものとして表示します。本プロダクトでは、気象レーダーのデータは使用していません。

## 突風可能性予測プロダクトの活用

府県気象情報などの予告的気象情報において「突風」のキーワードの付加の参考情報としての活用を想定しています。

## 突風可能性予測プロダクトに基づくキーワードの付加(案)

突風可能性予測プロダクトは、確度1(黄緑色)と確度2(橙色)の2段階で表示します。確度1以上が表示されている府県にキーワードを付加することを想定しています。なお、突風危険指数と予想降水強度の値が特に大きい場所に確度2を表示します(確度2は参考的な情報です)。

12

- ・突風可能性予測プロダクトは、府県気象情報などの予告的気象情報において「突風」のキーワードの付加の参考情報としての活用を想定しています。
- ・具体的には、確度1(黄緑色)が表示されている府県にキーワードを付加することを想定しています。確度2は参考的な情報です。

# 突風可能性予測プロダクトの実例と利用イメージ

2018年6月29日 13:40

滋賀県米原市(JEF2)

※突風発生後の11分後に電巻注意情報

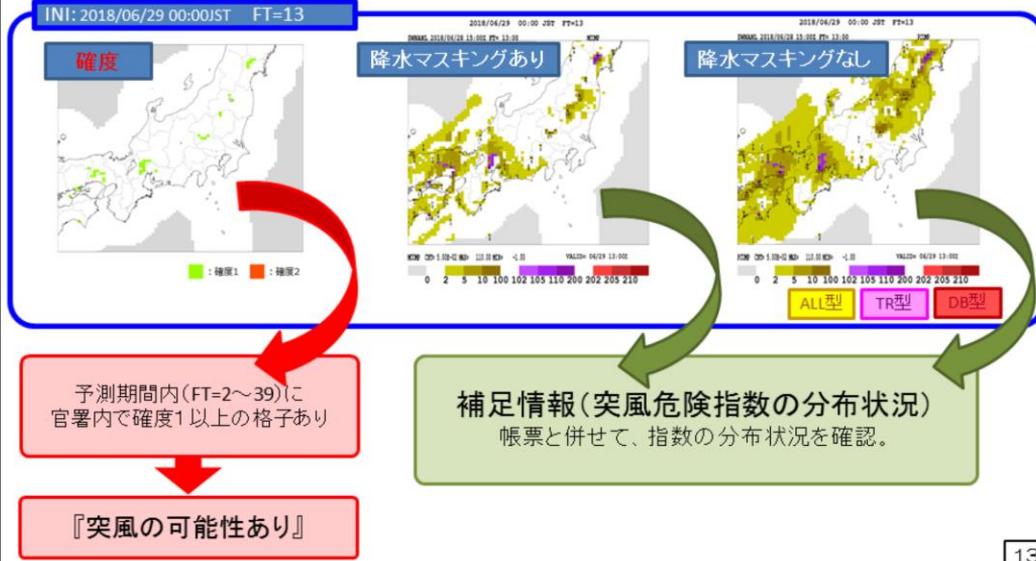
2018年6月29日 18:30

岐阜県本巣市(JEF0)

※突風発生後の約6時間前に電巻注意情報

- ・数値は突風が発生する確率に相当する。但し値は1万分率。
- ・ALL型は数値をそのまま表示。竜巻型(TR)は100を、ダウンバースト(DB)型は200を加えている。
- ・この図では、突風危険指数が2以上の場所に着色している。

INI: 2018/06/29 00:00JST FT=13



- ・突風可能性予測プロダクトの出力データとしては、確度(確度1と確度2の2段階)の他に、補足情報として突風危険指数の分布状況があります。
- ・突風危険指数の分布状況としては、MSMの降水データでマスキングしたものとマスキングしていないものを閲覧できます。「降水マスキングなし」の分布から、突風危険指数の分布状況が分かります。また、降水が予想されている場所は、降水が予想されていない場所よりも突風の可能性が高いと言えます。このため、「降水マスキングあり」の分布から、突風が発生する可能性が高い場所での突風危険指数の分布状況が分かります。
- ・突風危険指数の数値は突風が発生する確率であり、0から100までがALL型の突風危険指数の値(1万分率で表示)を表します。100から200までがTR型の突風危険指数の値に100を足したものです。200から300までがDB型の突風危険指数の値に200を足したものです。
- ・色は突風危険指数が2以上の場所に着色しています。
- ・JEFは日本版改良藤田スケールです。

## まとめ

- ・激しい突風に関する予告的気象情報の発表判断への活用を目的として、突風可能性予測プロダクトを開発した。

- ・39時間先までの突風の発生しやすさを2段階で表示する。

- ・竜巻発生確度ナウキャストと同じく突風危険指数から算出する。ただし、レーダー観測に基づく指数は説明変数に使用していない。

- ・本プロダクトで確度1以上が現れた府県に予告的気象情報で「突風」又は「竜巻」のキーワードを付加するという利用方法を想定している。

突風可能性予測プロダクトの利用により、「突風」、「竜巻」キーワードの付加が現在に比べて適正化されると想定。

- ・当面は外部提供は行わず、庁内で活用する。今後、部外への提供や気象庁HPでの公開についても検討する。