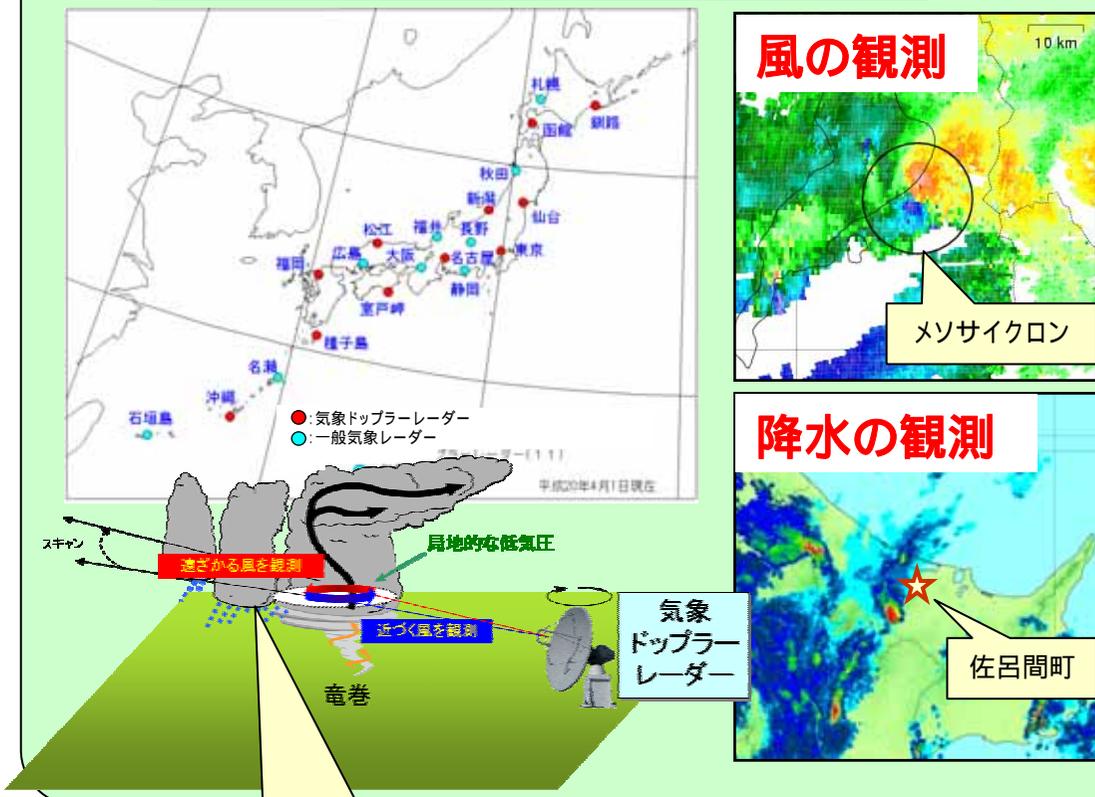


竜巻など激しい突風に注意を呼びかける  
情報の評価と今後の対応

平成20年7月29日  
第1回 突風等短時間予測情報利活用検討会  
気象庁

# 気象ドップラーレーダーと数値予報モデルを組み合わせた新技術

## 気象ドップラーレーダーによる観測



活発な積乱雲を監視するとともに、竜巻の発生と関係がある局地的な低気圧を検出

数値予報モデルを用いて突風発生の危険度を計算

数値予報モデルによる突風発生危険度と最新の気象ドップラーレーダー観測を組み合わせる

## 気象庁の取組

竜巻等の激しい突風をもたらすような発達した積乱雲が存在しうる気象状況であるか・・・を、判断する技術を開発

# 竜巻など激しい突風に注意を呼びかける情報

平成20年  
3月26日から

情報発表のタイミング)

半日～1日前 「気象情報」発表

「竜巻など激しい突風のおそれ」と明記します。

数時間前 「雷注意報」発表

落雷、ひょう等とともに、「竜巻」も明記します。

0～1時間前 『竜巻注意情報』発表

今、まさに竜巻の発生しやすい気象状況になっていることをお知らせします。

新設!

竜巻発生!!

埼玉県竜巻注意情報 第1号  
平成19年5月21日15時29分 熊谷地方気象台発表

埼玉県では、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。

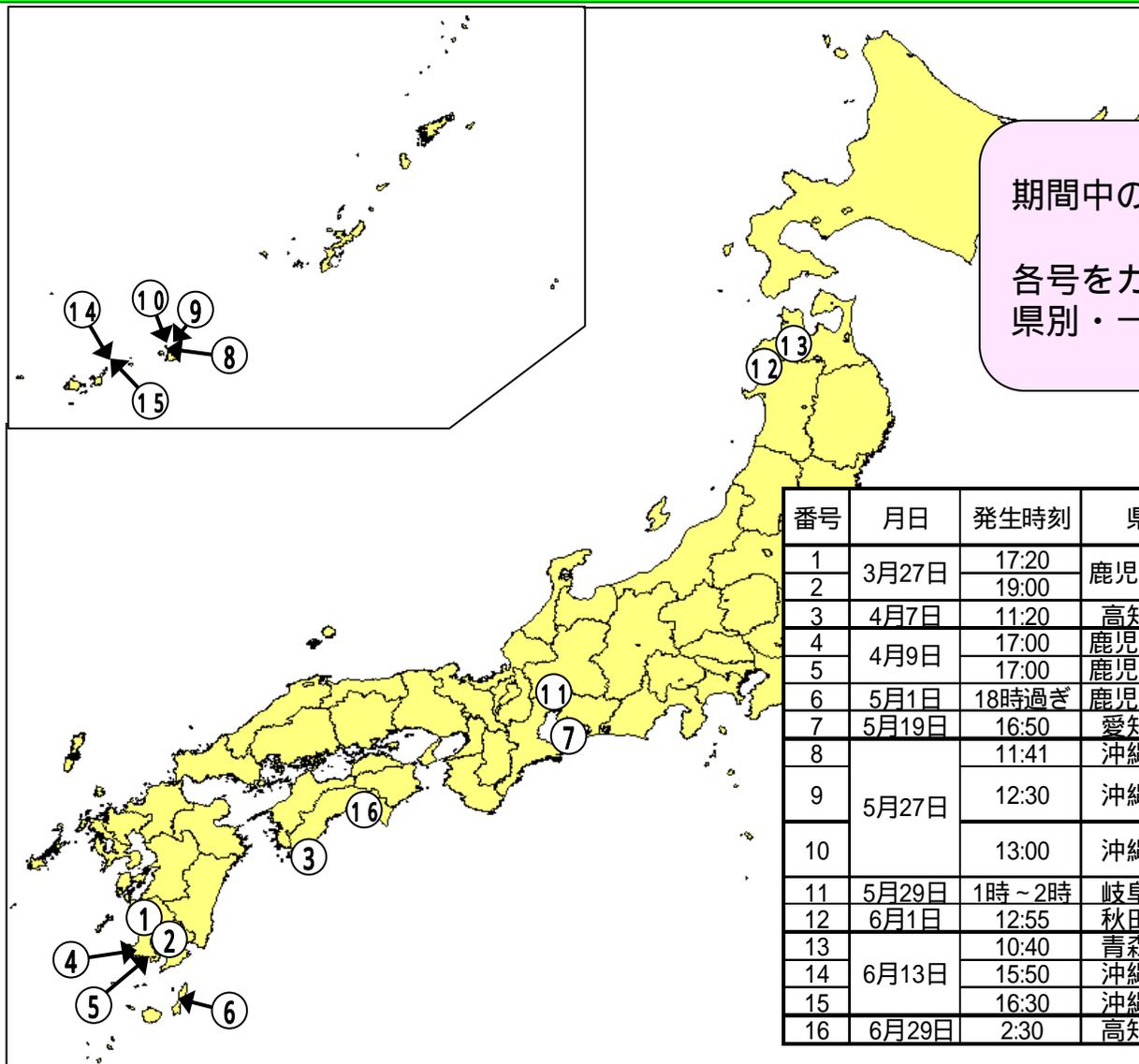
この情報は、21日16時30分まで有効です。

情報イメージ

対象地域  
南中部、南西部、北東部、北西部、秩父地方



# 突風の発生状況 (期間：2008年3月26日～6月30日)



期間中の全国の竜巻注意情報発表回数

各号をカウント・・・・・・・・・・71回  
 県別・一連の現象をカウント・・・・32回

番号	月日	発生時刻	県	市町村	種別	F値	竜巻注意情報
1	3月27日	17:20	鹿児島県	いちき串木野市	竜巻	1	-
2		19:00		垂水市	竜巻	1	-
3	4月7日	11:20	高知県	土佐清水市	竜巻	0	-
4	4月9日	17:00	鹿児島県	枕崎市	竜巻	0	-
5		17:00	鹿児島県	指宿市	その他突風	0	-
6	5月1日	18時過ぎ	鹿児島県	中種子町	竜巻	0	-
7	5月19日	16:50	愛知県	伊勢湾	竜巻(海上)	-	-
8	5月27日	11:41	沖縄県	宮古島	竜巻(海上)	-	-
9		12:30	沖縄県	宮古島	竜巻又は漏斗雲(海上)	-	-
10		13:00	沖縄県	宮古島	竜巻又は漏斗雲(海上)	-	-
11	5月29日	1時～2時	岐阜県	羽島市	その他突風	0	-
12	6月1日	12:55	秋田県	八峰町	その他突風	0	-
13	6月13日	10:40	青森県	板柳町	竜巻	1	-
14		15:50	沖縄県	石垣島	竜巻(海上)	-	-
15		16:30	沖縄県	石垣島	竜巻(海上)	-	-
16	6月29日	2:30	高知県	安芸市	竜巻	0	-

過去の竜巻注意情報発表状況を気象庁ホームページで公開しています。  
<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/index.html>

# 竜巻注意情報の発表時の状況

	利活用状況	課題
都道府県	<ul style="list-style-type: none"> <li>・おおむねFAXやシステムにより関係機関や市町村へ伝達</li> <li>・特別な体制をとらない県が多いが、一部では消防に被害確認を実施。</li> <li>・一部の県では県民向けにホームページに防災情報として掲載</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・システム改修予定県もあるが、FAXによる伝達は時間がかかる</li> </ul>
報道機関	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NHK各局はテレビのテロップやラジオで速報、情報発表中はニュース等で随時言及</li> <li>・民放による速報の実施は少数</li> <li>・利活用方法の広報について多くの報道機関に協力いただいた</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複数号発表された際に第1号のみ速報された例があった</li> <li>・民放では速報検討中の局もあり、引き続き速報についての依頼を実施中</li> </ul>
市町村	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多くの場合は特に伝達していないが、住民向けメールサービスや防災行政無線で伝達する例あり</li> <li>・特別な体制をとらない場合が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・住民への伝達等について、まだ情報の取り扱いを決めていない市町村が少なからずある</li> </ul>
住民	<ul style="list-style-type: none"> <li>・情報をテレビで見て、海上に竜巻を発見し通報した例があった</li> <li>・情報を報道で聞いて、どこに発表されているのか、県内で竜巻が発生したのかといった問い合わせが気象台にあった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・情報の入手方法や利活用方法が浸透していない</li> </ul>

- 発表情報を広く速報するという点で一定の成果
- 「まず周囲の空に注意」という利活用方法が浸透していない
- 報道機関の協力を得て、市町村や一般市民に対する利活用方法の周知広報が引き続き必要

# 竜巻注意情報の課題と今後の対応

## 竜巻注意情報の課題

県単位で発表するため、注意が必要な地域を特定できない。

見逃しが多い。運用後3ヶ月に発生した16の突風事例のうち、12例を見逃している。

## 課題に対しては格子点形式情報で対応

10km四方の格子点形式とすることで、注意が必要な地域を限定した情報とする。

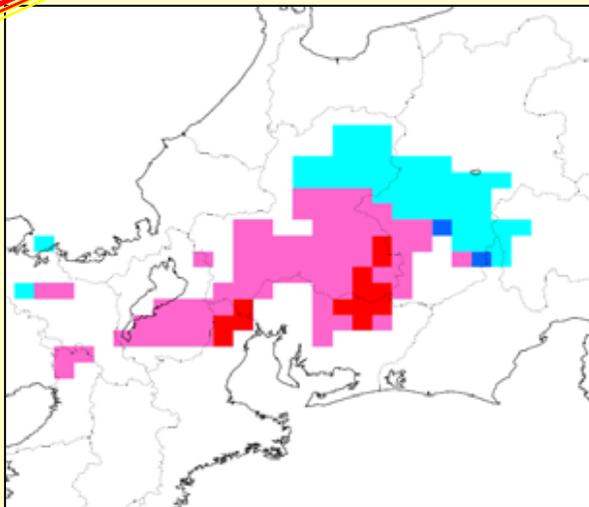
竜巻注意情報に相当する発表基準に加えて、適中率は低い（空振りが多い）が見逃しが少なくなる発表基準を設定し、2つのランクで格子点形式情報を発表する。

# 格子点形式 突風等短時間予測情報

平成22年度から  
開始(計画)

## 突風の短時間予測情報

解析

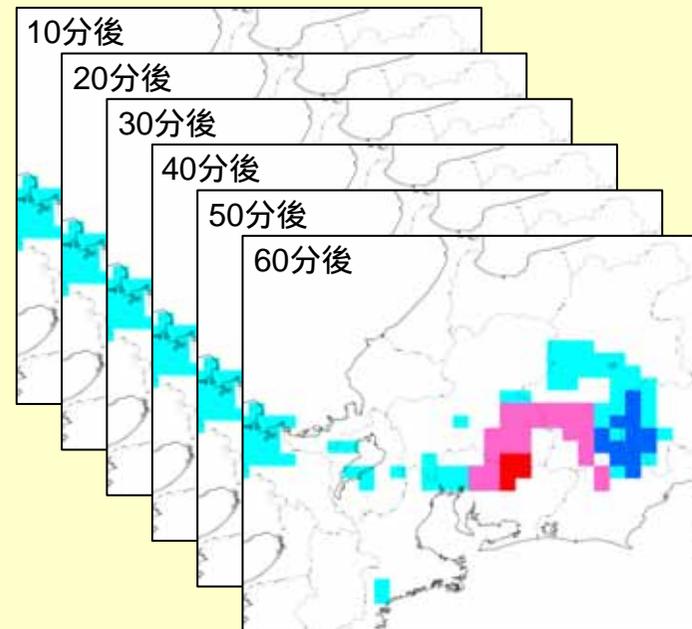


- ・10分毎に解析
- ・10km格子単位
- ・表示要素: 突風発生可能性のランク



- ランクA+
- ランクA
- ランクB+
- ランクB

予測

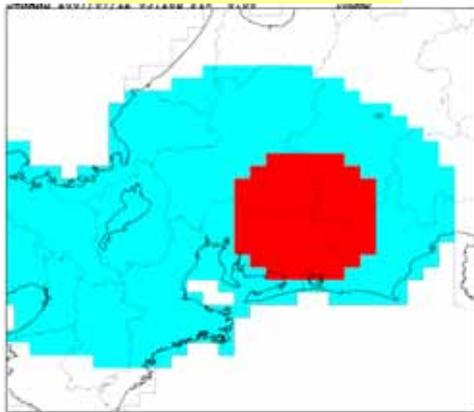


- ・解析を基に60分後までの突風発生可能性を予測
- ・10分毎に解析と予測を格子点形式データとして提供

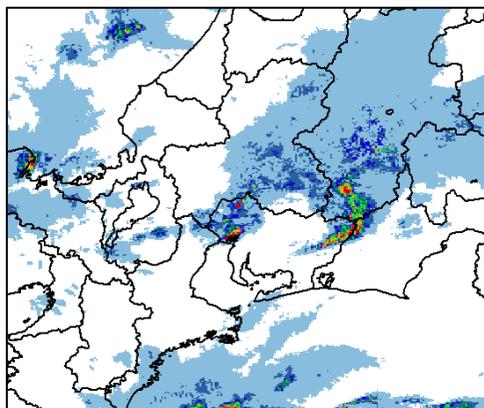
# 竜巻などの激しい突風に係る短時間予測情報の作成方法

竜巻注意情報の技術を応用して格子点形式の情報を作成する。適中率・捕捉率とも高い予測は困難なため、適中率重視のランクAと捕捉率重視のランクBを設定する。

ポテンシャル領域

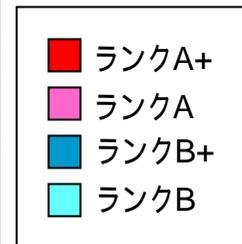
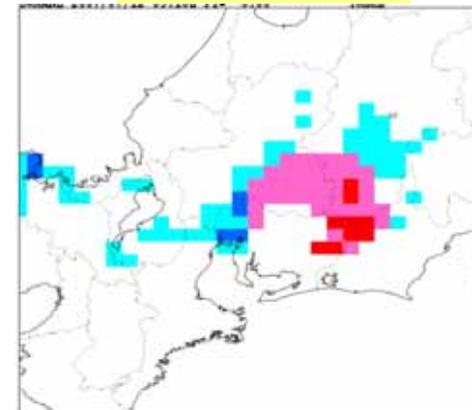


- メソサイクロンまたは突風危険指数が基準を超えた地点の周辺100kmを水色
- 両者を満たした地点の周辺40kmを赤
- ポテンシャル領域は1時間有効



レーダーエコー(雨量強度)

格子分布情報



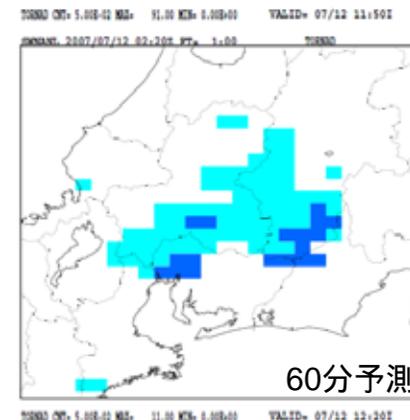
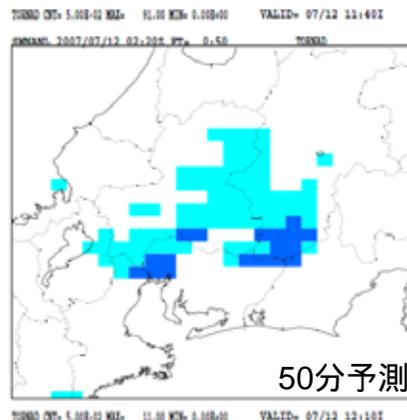
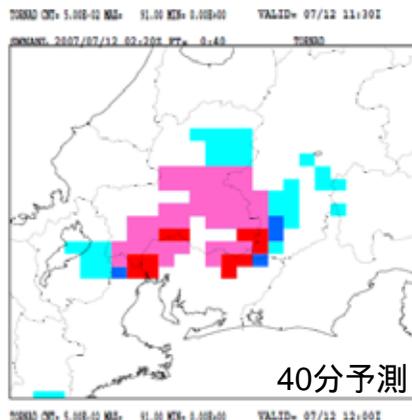
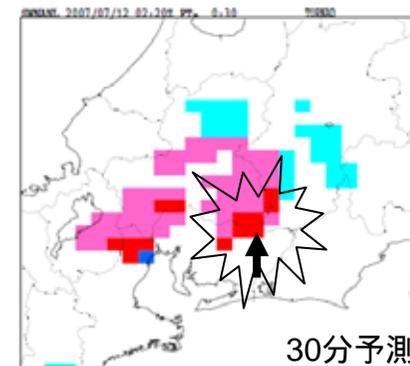
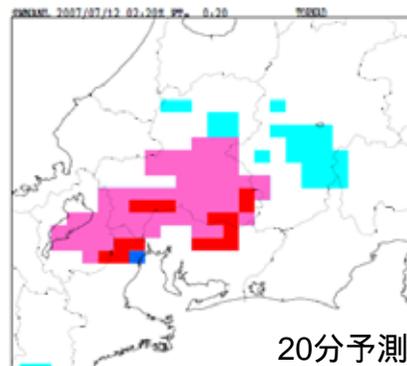
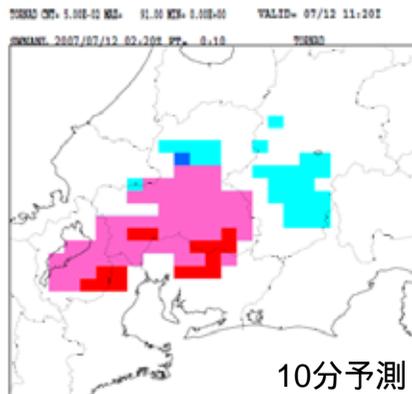
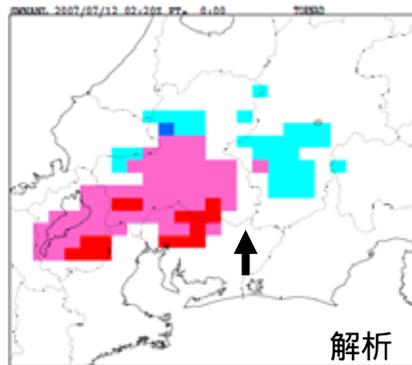
- ◆ 赤(水色)のポテンシャル領域の中で雨量強度が強い格子をランクA(ランクB)と判定する。
- ◆ 基本的にはランクAとランクBの2ランクだが、それぞれを以下の通り符号で分類している。  
【+】:雨量強度が90mm/h以上と強く、今現在の積乱雲の強さで竜巻の可能性がある。  
【無印】:雨量強度が20mm/h以上90mm/h未満で、今後積乱雲が発達して竜巻が発生する可能性がある。
- ◆ レーダーエコーの移動速度を計算して、1時間後までの移動予測を行う。

# 格子点形式 突風等短時間予測情報の予測事例

2007年7月12日11時20分の解析と予測

30分後(11時50分頃)に愛知県豊田市(↑)で突風発生

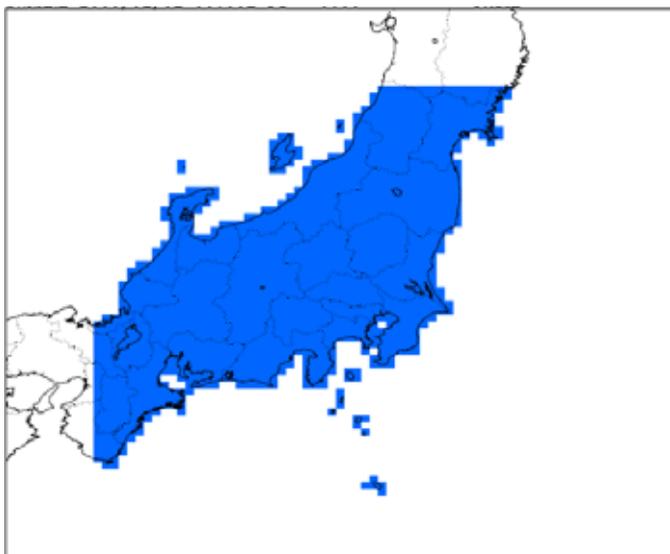
(注)50分予測でランクAがなくなっているのは、前ページの左上図で示したポテンシャル領域の有効時間(1時間)が過ぎたため。



- ランクA+
- ランクA
- ランクB+
- ランクB

# 格子点形式 突風等短時間予測情報の精度( )

## 検証範囲



- ・2007年4月～2008年2月は仙台・新潟・東京・名古屋ドップラーレーダーの範囲である、上図の青色範囲で検証
- ・2008年3月はドップラーレーダーが全国展開したため、検証範囲を全国に広げている

## 検証期間

2007年4月～2008年3月の1年間

## 評価スコア

### ◆ 適中率(格子単位)

- 突風有と発表した格子で突風が発生したときに適中とする厳格な評価。

【適中率 = 適中格子数 / 全発表格子数】

### ◆ 適中率(発表単位)

- 突風有と発表した格子のどこかで突風が発生したときに適中とする。

【適中率 = 適中発表回数 / 全発表回数】

### ◆ 捕捉率

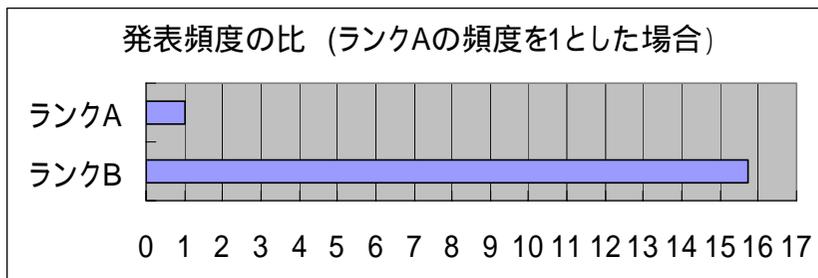
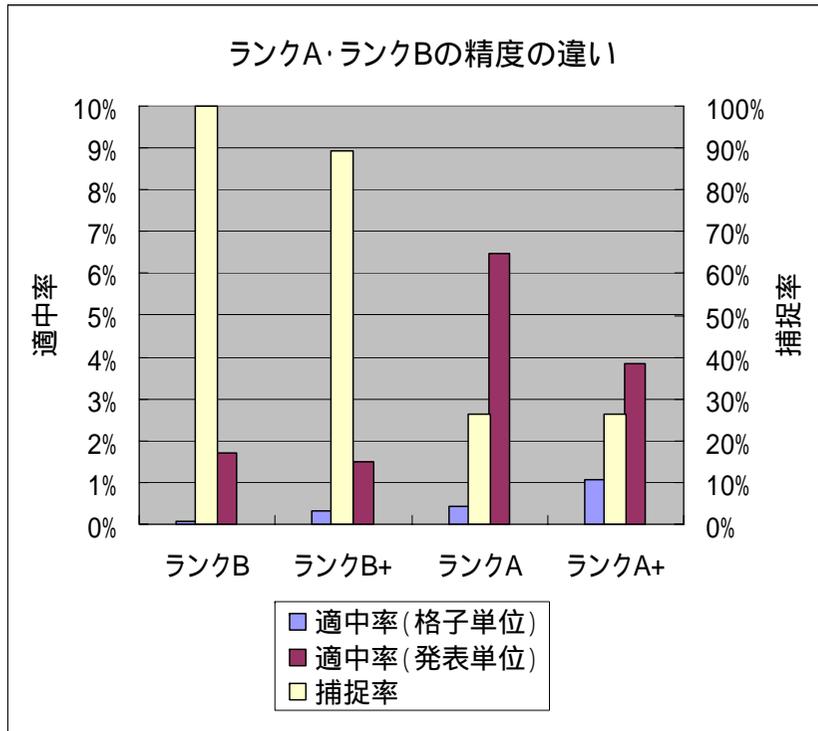
- ある突風事例に対して、1回でも突風有りと発表していれば捕捉したとする。

【捕捉率 = 適中事例数 / 全突風事例数】  
(検証期間の全突風事例数は19回)

各評価スコアの数値や発表回数等は、2008年7月段階のもので、現状の技術レベルを示すものですが、今後の技術開発で数値が変わることがあります。

# 格子点形式 突風等短時間予測情報の精度( )

## ランクAとランクBの特性(精度)



### ◆ ランクBは捕捉率重視

- 捕捉率は90～100%、見逃しはほとんどないといえるレベルである。
- 適中率は1.5%前後と低い。発表頻度はランクAに比べて15倍以上も多い。
- ランクBは、発表頻度が多く適中率は低いが、ほとんど全ての突風事例を予測できる。

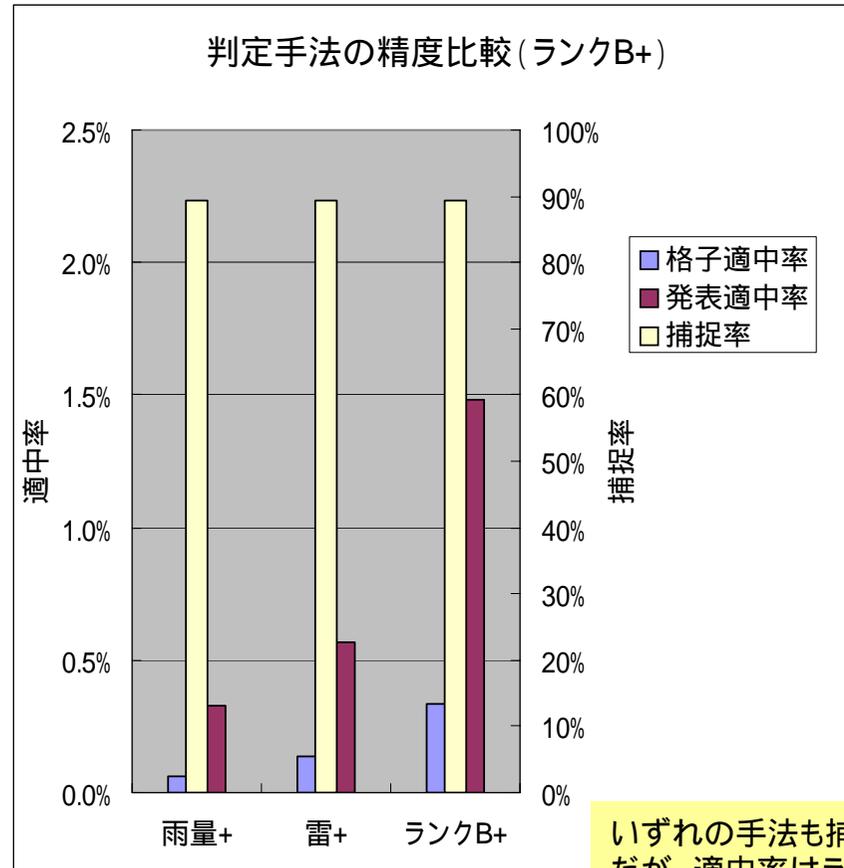
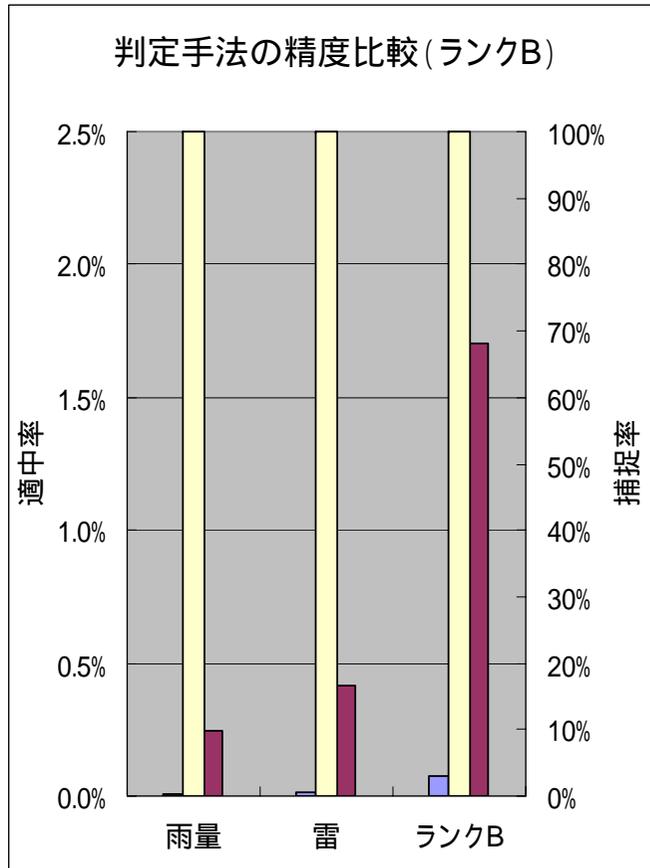
### ◆ ランクAは適中率重視

- 捕捉率は20～30%、言い換えれば70%以上を見逃す。
- 適中率はランクAで6～7%とランクBに比べてかなり高い。これは発表基準が厳しく、発表頻度が注意1の1/15以下と少ないためである。
- ランクAは、発表頻度が少なく適中率は高くなるが、その分、予測できない突風事例も多い。
- ランクAの精度は竜巻注意情報と同程度である。

### ◆ ランクA+とランクB+について

- 【+】は【無印】に比べて領域(格子数)を絞り込んで発表するため適中回数が減る。このため、発表単位の適中率は低下する。
- 一方、【+】の発表格子数は【無印】の1/5～1/8と少ない(図略)ので、格子単位の適中率は高い。

# 各種判定手法の精度比較



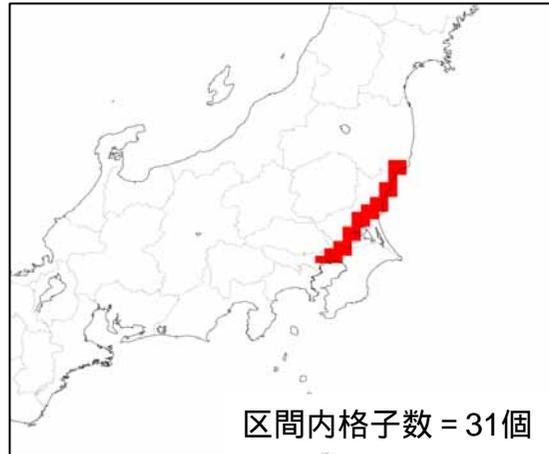
雨量・雨量+ : レーダーで雨量強度20、雨量+は90mm以上の格子  
 雷・雷+ : 雨量・雨量+で、かつ雷注意報が発表されている場合  
 ランクB・B+ : 雨量・雨量+で、かつ周辺100km以内にメソサイクロンが検出されている、  
 または、突風危険指数が7以上ある。

いずれの手法も捕捉率は同じだが、適中率はランクBが格段に高い。すなわち、ランクBでは同じ数の突風を予測するのに、大幅に少ない予報回数で済むということであり、利用価値が高いといえる。

# 実際の情報利用を想定したシミュレーション 1

## - 格子点形式の突風等短時間予測情報 -

東京～いわき区間の監視  
(鉄道、道路沿線を想定)

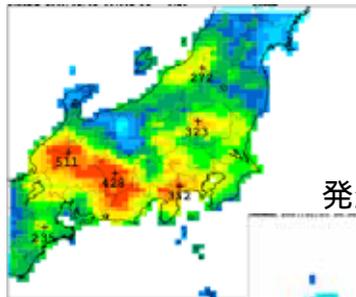


2007年4月～2008年3月の1年間の区間内集計値

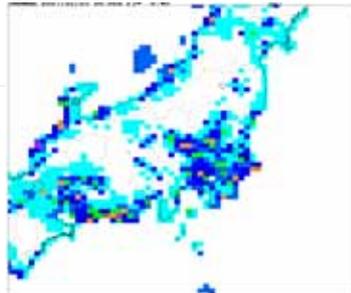
【区間内】	ランクB	ランクB+	ランクA	ランクA+
発表格子数	3275	905	322	65
発表回数	885	348	87	36
発表時間数	148	58	15	6
発表日数	52	38	9	7
推定適中率(回数)	0.05%	0.12%	0.16%	0.38%
推定適中率(日数)	0.78%	1.07%	1.50%	1.93%

突風発生回数(47年間)	21
突風発生回数(1年当たり)	0.45

発表回数分布



発生頻度分布



- ◆ 発表格子数は、区間内に発表された格子数の総数。
- ◆ 発表回数・発表時間・発表日数は、区間内のいずれかの格子で発表されれば1回と計測する。
- ◆ 10分毎に発表するので、発表回数を6で割って発表時間としている。
- ◆ 推定適中率 = 突風発生回数(1年当たり) × 捕捉率 / 発表回数(日数)  
集計した1年間の発表回数(日数)を、突風発生回数の統計に用いた47年間の平均値と推定したもの。捕捉率はランクB90%、ランクA30%として算出した。
- ◆ 例えば、区間内にランクAが発表されるのは年間87回だが、日数で見ると9日となる。発表回数当たりの適中率は0.16%だが、ランクAが発表された日に突風が発生したかという検証では1.5%の適中率となる。
- ◆ ランクBでは2.5年に1回、ランクAでは7.4年に1回の適中事例が出る計算。

# 実際の情報利用を想定したシミュレーション2

## - 格子点形式の突風等短時間予測情報 -

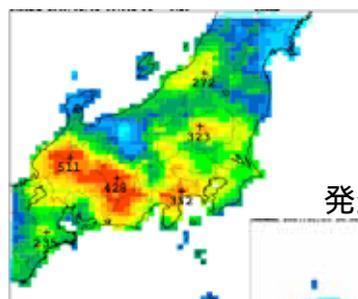
浜松～京都区間の監視  
(鉄道、道路沿線を想定)



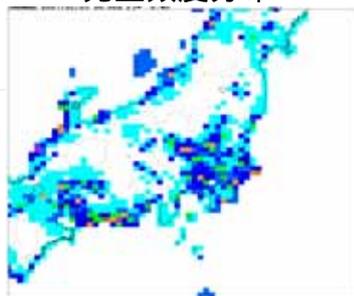
2007年4月～2008年3月の1年間の区間内集計値

【区間内】	ランクB	ランクB+	ランクA	ランクA+
発表格子数	5045	1680	600	185
発表回数	885	454	109	74
発表時間数	148	76	18	12
発表日数	45	36	9	9
推定適中率(回数)	0.10%	0.19%	0.27%	0.40%
推定適中率(日数)	1.96%	2.45%	3.27%	3.27%

発表回数分布



発生頻度分布



突風発生回数(47年間)	46
突風発生回数(1年当たり)	0.98

- ◆ 図表の説明はシミュレーション1と同じ。
- ◆ 例えば、区間内にランクAが発表されるのは年間109回だが、日数で見ると9日となる。発表回数当たりの適中率は0.27%だが、ランクAが発表された日に突風が発生したかという検証では3.27%の適中率となる。
- ◆ ランクBでは1.1年に1回、ランクAでは3.4年に1回の適中事例が出る計算。

実際には格子情報の分布を見ながら監視するので、監視区間の端に一時的にランクA等が掛かる場合などには対策を見送るという判断もありうる。このため、実質的な発表回数(対策回数)は上記より少なくなると考えられる。

# 実際の情報利用を想定したシミュレーション3

## - 格子点形式の突風等短時間予測情報 -

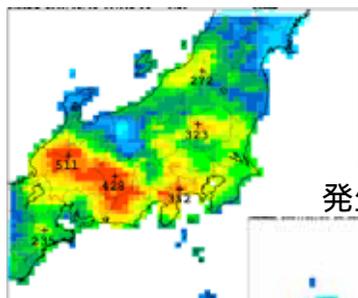
東京23区内の監視  
(特定地域内を想定)



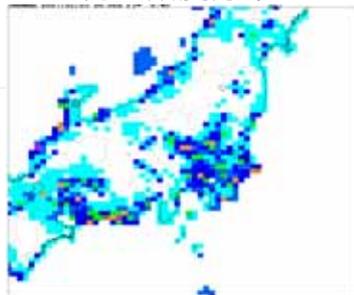
2007年4月～2008年3月の1年間の区間内集計値

【区間内】	ランクB	ランクB+	ランクA	ランクA+
発表格子数	1160	236	58	8
発表回数	483	139	25	5
発表時間数	80	23	4	1
発表日数	37	22	5	2
推定適中率(回数)	0.04%	0.13%	0.25%	1.26%
推定適中率(日数)	0.51%	0.86%	1.26%	3.15%

発表回数分布



発生頻度分布



突風発生回数(47年間)	10
突風発生回数(1年当たり)	0.21

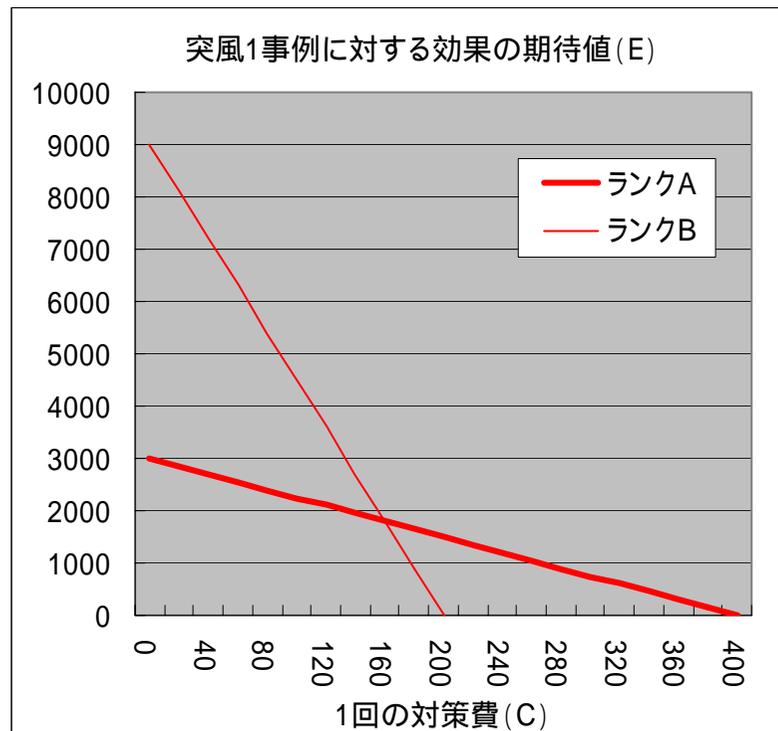
- ◆ 図表の説明はシミュレーション1と同じ。
- ◆ 例えば、区間内にランクAが発表されるのは年間25回だが、日数で見ると5日となる。発表回数当たりの適中率は0.25%だが、ランクAが発表された日に突風が発生したかという検証では1.26%の適中率となる。
- ◆ ランクBでは5.3年に1回、ランクAでは15.9年に1回の適中事例が出る計算。

参考

# ランクAとBの特性を考慮した利活用 1

適中率の低い予報なので、予報を利用した場合の費用対効果を十分検討する必要がある。

また、ランクAとランクBという、捕捉率と適中率の特性が異なる予報を提供するので、総合的な効果を考慮して、対策を検討する必要がある。



被害軽減額L = 10000になる対策があり、予報の精度から考えて、その対策費Cがいくらであれば対策を行う効果があるかを見たグラフ。

効果 = 被害軽減額 - 対策費

この関係を、突風1事例に対する効果の期待値(E)として記述すると、

$$E = H \times (L - C/P)$$

Cは1回の対策費、Lは対策をとったときの1事例当たりの被害軽減額、Hは予報の捕捉率、Pは予報の適中率。

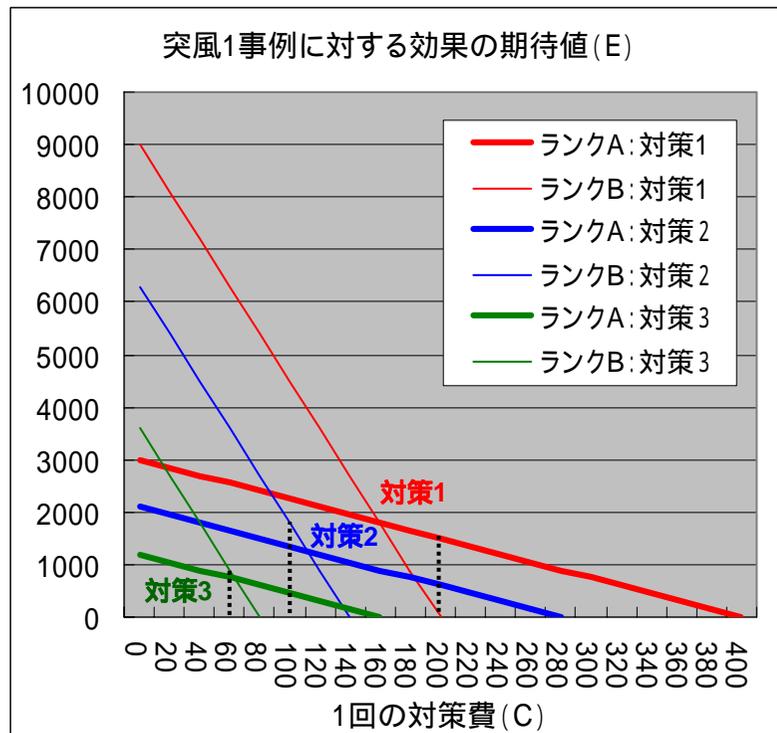
1事例当たりの被害額軽減額(L)を10000、ランクAの捕捉率(H)を0.3、適中率(P)を0.04、ランクBの捕捉率(H)を0.9、適中率(P)を0.02と仮定してEの推定を行った。

ランクAでは $C < 400$ 、ランクBでは $C < 200$ の場合には対策による期待値が0以上になり予報の利用価値がある。一般化すると、 $C/L < P$ なら予報の利用価値があるということである。

C=160で2本の線が交差する。Cが160以下の場合にはランクBで常に対策をとる、Cが160~400の場合にはランクAのときのみ対策をとるのが最も効果的な利用となる。

# ランクAとBの特性を考慮した利活用 2

ここまでは、被害軽減額が10000となる対策が一つあると想定した議論であった。実際には、その他に「被害軽減額は10000より小さくても、対策費が非常に小さくて済む対策」など複数の対策があることが想定される。このような場合、それぞれの対策をランクAとランクBについて行った場合の期待値を比較し、最も利用効果の高い対策を検討することになる。



対策1: 被害軽減額L=10000になる対策  
 対策2: 被害軽減額L=7000になる対策  
 対策3: 被害軽減額L=4000になる対策

これまでの対策を対策1とし、その他に左図に示したような対策2と対策3も考えられるとする。ここで、対策1の対策費=200、対策2の対策費=100、対策3の対策費=60と仮定して、効果的な利用について考察する。

対策1だけしかない場合には、ランクBは期待値が0なので、ランクAだけの対策が最適で期待値は1500となる。

対策1と対策3がある場合、ランクAで対策1をとると期待値1500が得られる。この他に、ランクBの時にも対策3をとると期待値900が得られるので、ランクにより対策1と対策2を使い分けるのが最適となる。

対策1と対策2と対策3がある場合、ランクBで対策2をとると、全ての対策で最も高い期待値1800が得られるので、ランクB以上(ランクAを含む)で対策2をとるのが、他のどの対策の組み合わせよりも効果が高い。

このように、様々な対策(それぞれ対策費と被害軽減額が異なる)を想定し、最も効果の高い対策を選択する。