

降水・雷・竜巻発生確度ナウキャスト

瀧下 洋一（気象庁予報部予報課）

1. はじめに

近年、局地的な大雨、落雷、竜巻など、積乱雲（入道雲）に伴う激しい現象による被害が相次いで発生しています。2008 年（平成 20 年）には、兵庫県神戸市の都賀川における急な増水や東京都豊島区における下水管内の急な増水により合わせて 10 名が亡くなる事故が発生しました。2006 年（平成 18 年）には、宮崎県延岡市や北海道佐呂間町で竜巻により合わせて 12 名が亡くなるなど甚大な被害が発生しています。また、落雷により年間 15 人程度の方々が被害を受けています。このような積乱雲に伴う激しい現象による被害を最小限に抑えるには、最新の気象実況と予測情報を素早く入手し、一人ひとりが的確な対応により身を守ることが重要です。気象庁では、局地的な激しい現象を対象に、「ナウキャスト」と呼ばれる短時間予測情報を発表しています。

2. ナウキャストとは？

ナウキャスト（nowcast）とは、今（now）と予報（forecast）を組み合わせた言葉です。最新の観測に基づき予報対象とする現象の分布を解析し、直近の変化傾向に基づいた移動予測を中心とした 1 時間先までの予報と合わせて発表します。5 分や 10 分と短い時間間隔で予報を発表することにより、刻々と変化する状況にも迅速に対応することができます。ナウキャストは、急激に変化する激しい局地的な現象の予測に適した手法といえます。

現在の予測技術では、個々の積乱雲の発生や発達を正確に予測することは難しいですが、積乱雲の立体的な解析や数値予報から得られる上空の気温や風のデータなどを利用すれば、雷や突風などの発生の可能性を予測することもある程度可能です。

現在気象庁では、降水ナウキャスト、雷ナウキャスト、竜巻発生確度ナウキャストの 3 つの情報を提

供しています（第 1 表）。これら 3 つのナウキャストは、気象庁ホームページや国土交通省防災情報提供センターの携帯電話向けページ（巻末の URL 参照）で見ることができるほか、気象業務支援センターを通じ利用者へ提供しています。

第 1 表 ナウキャストの種類

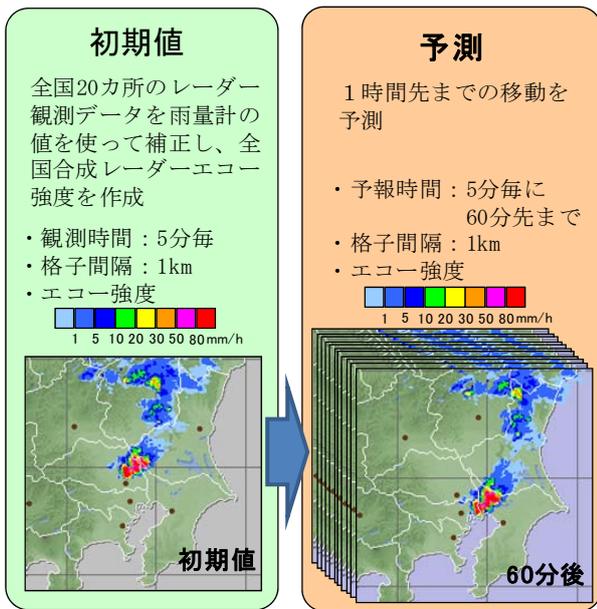
	降水ナウキャスト	雷ナウキャスト	竜巻発生確度 ナウキャスト
発表間隔	5分ごと	10分ごと	
予報時間	1時間先まで 5分毎に予報	1時間先まで 10分毎に予報	
格子の大きさ	1km		10km
用いる資料	気象レーダー 雨量計	雷監視システム 気象レーダー	気象ドップラーレーダー 数値予報資料
内容	降水の強さ	雷の活動度（雷の 可能性及び激しさ）	竜巻などの激しい突風が 発生する確度

3. 降水ナウキャスト

（1）降水ナウキャストとは？

降水ナウキャストは、過去の降水域の動きと現在の降水の強さの分布を基に、5 分ごとに、1 時間先まで 5 分毎に降水の強さを 1km 格子単位で発表します（第 1 図）。

従来は、10 分ごとに 1 時間先までの「10 分間の降水量」の予測を行っていましたが、降水量の予測に加えて、2011 年 3 月から 5 分毎にレーダー画像のエコー強度と同じ「瞬間の降水の強さ」の予測も行うようになりました。これにより、レーダーによる実況変化とナウキャストによる予測を連続して見る場合（テレビや気象庁ホームページでの動画表示など）に、レーダー画像から予測画像にシームレスに繋がるようになり、従来の降水ナウキャスト（10 分間降水量）より降水パターンの動きを人の目で捉えるのに適したものとなりました。なお、従来の降水ナウキャスト（10 分間降水量）については、引き続き気象業務支援センターを通じて利用者へ提供しています。



第1図 降水ナウキャストの概要

(2) 初期値の作成

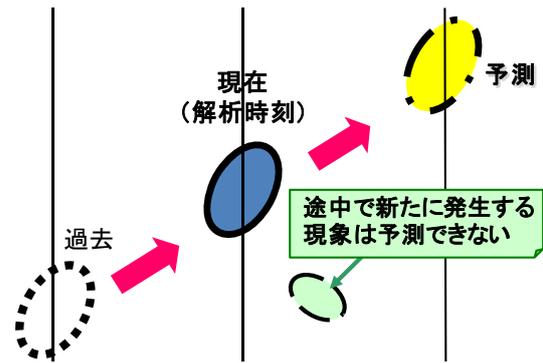
まず、全国 20 カ所のレーダーにおける観測データを収集して品質管理を行い、地形エコー、航空機などが原因の点状エコー、ノイズによる弱いエコーなどを除去します。次に、各レーダーの観測データとアメダス雨量計の値を比較して、レーダーエコーの強度を決め、全てのレーダーデータを合成して、「全国合成レーダーエコー強度」を作成します。これが、降水ナウキャストの初期値となります。

(3) 予測手法

降水ナウキャストによる予測には、過去 1 時間内の降水域の移動を詳しく解析して求めた移動速度を利用します。予測を行う時点で解析されている降水域の移動速度がその先も変化しないと仮定して、初期値として作成されたエコー強度の分布を 60 分先まで移動させて予測を行います。

降水ナウキャストの移動予測では、観測時刻以降の雨の強さの変化、特に、新たに発生した雨域等を予測に反映することはできません（第 2 図）。しかし、5 分毎の観測に基づき予測を更新することで、降水域の移動を細かく解析するとともに、常に新しい降水の状況を予測に反映するようにしています。

その他、予測では、冬型の気圧配置の時に現れるような低いエコーが高い山を越えないような処理も行っています。



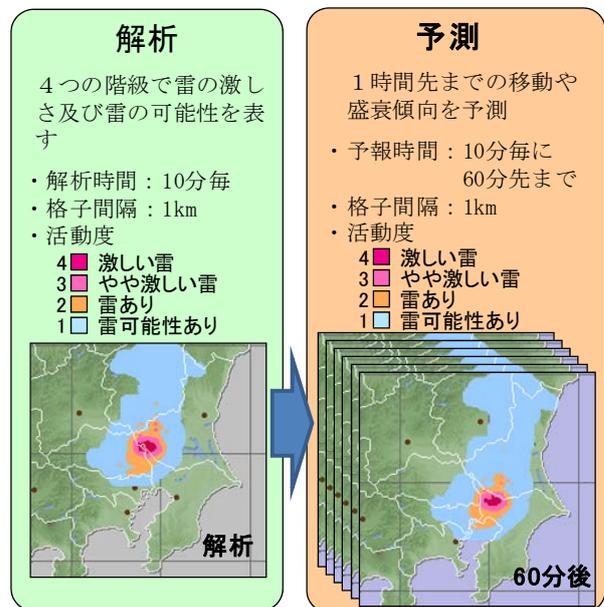
第2図 移動予測のイメージ

過去から現在へ移動したのと同じ速度で移動させ、予測情報を作成する。解析時刻の後に新たに発生する現象は予測できない。

4. 雷ナウキャスト

(1) 雷ナウキャストとは？

雷ナウキャストは、2010年5月から提供を開始した新しい気象情報です。雷の激しさや雷の可能性を1km格子単位で解析し、10分毎に1時間先までの予測を行うもので、10分ごとに提供します。雷の解



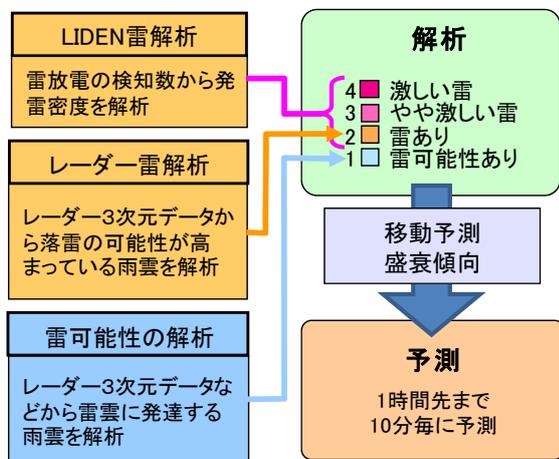
活動度	雷の状況	
4	激しい雷	落雷が多数発生
3	やや激しい雷	落雷がある
2	雷あり	電光が見えたり雷鳴が聞こえる。落雷の可能性が高くなっている。
1	雷可能性あり	現在は雷は発生していないが、今後落雷の可能性がある。

第3図 雷ナウキャストの概要

析は、雷監視システムによる雷放電の検知及び気象レーダーによる雨雲の立体的な観測などを基にして、活動度 1 ～ 4 の 4 つの階級で表します（第 3 図）。活動度 2～4 では、既に積乱雲が発生している状態で、いつ落雷あってもおかしくない状況を表しています。雷ナウキャストで近くに活動度 2～4 が解析されたり、接近してくるような場合は、直ちに建物の中など安全な場所へ避難する必要があります。

（2）雷ナウキャストの技術

活動度は、雷監視システムによる雷放電の検知数が多いほど激しい雷（活動度が高い：2～4）としています（LIDEN 雷解析）。雷放電を検知していない場合でも、雨雲の立体的な特徴から発雷直前の雷雲を解析（活動度 2）する（レーダー雷解析）とともに、1 時間以内に雷雲に発達する可能性のある雨雲も解析（活動度 1）します（雷可能性の解析）。予測については、降水ナウキャストの移動速度を利用して雷雲を移動させるとともに、雷雲の盛衰の傾向も考慮しています（第 4 図）。

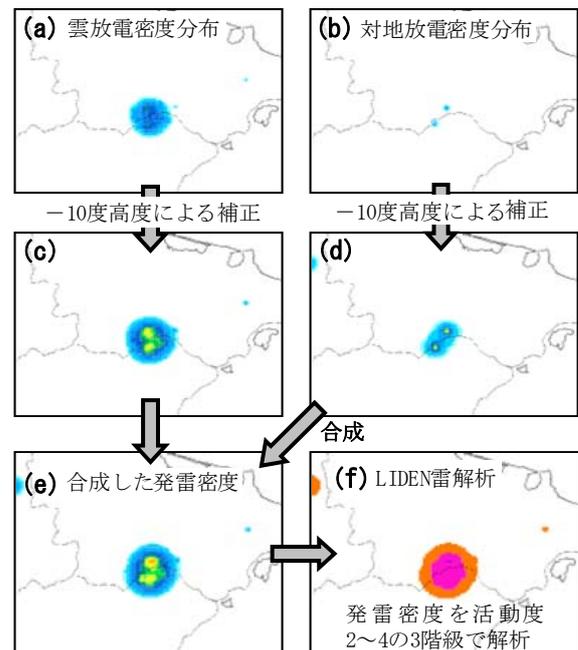


第 4 図 雷ナウキャストの技術

①LIDEN 雷解析

雷監視システム（LIDEN：LIghtning DETection Network system）は、対地放電（落雷）や雲放電（雲と雲の間の放電や雲の中で発生する放電）により発生する電波を、全国 30 カ所の検知局で受信し、発雷の位置や時刻を検知するシステムです。雷ナウキャストでは、LIDEN で検知した対地放電と雲放電を

合成して「発雷密度」（1km 格子内における 10 分間あたりの放電数）を求め、これを基に雷活動の激しさを活動度 2～4 で表しています（第 5 図）。



第 5 図 LIDEN 雷解析の概要

(a)～(d)は放電密度（1km 格子内の 10 分間あたりの放電数）分布。(a), (c)は雲放電, (b), (d)は対地放電, (a), (b)は補正前, (c), (d)は補正後。(e)は(c)と(d)を合成した発雷密度, (f)は, (e)を 3 段階で表示した LIDEN 雷解析で、雷活動度 2～4 に対応する。

②レーダー雷解析

過去のデータから、気象レーダーで観測される雨雲の立体的な特徴、雷活動に関係の深い気温が -10 度となる高度のエコー強度、エコー頂高度などの指標と、観測から 30 分以内に発生した落雷との統計的な関係を調べて予測式を作成しておきます。この予測式を用いて、落雷の可能性が高まっている雨雲を雷雲として検出し、活動度 2 として解析します。

③雷可能性の解析

時間的な余裕をもって落雷に対応できるように、レーダー観測による雨雲の立体的な特徴などから、今後雷雲に発達し 1 時間以内に発雷する可能性のある領域を、活動度 1 として解析します。具体的には、レーダー観測などから、電荷の蓄積に関係する -10 度の高度、雨雲の強度や頂高度、対流性の雲かどうかといった情報から雷雲に発達する可能性を解析しています。LIDEN が検知する落雷の 90%以上

を 30 分前には活動度 1 として予測できるよう、活動度 1 の判定パラメータを調整しています。

(3) 予測手法

予測手法は、解析された活動度 1~4 を降水ノウキャストで求めた移動速度を利用する移動予測が主な方法となります。移動予測のほか、雷雲の盛衰傾向を少しでも表現するため、発雷領域の特徴（周辺領域の放電数、雨雲の立体的な特徴など）から、統計的手法により作成した関係式を用いて盛衰傾向の予測も加味していますが、現在の予測技術では、実況の大きな変化を正確に予測することは難しい状況です。

5. 竜巻発生確度ノウキャスト

(1) 対象とする現象

竜巻発生確度ノウキャストや竜巻注意情報は、積乱雲に伴って発生する激しい突風に注意を呼び掛けるものです。具体的には、竜巻、ダウンバースト、ガストフロントを対象としていますが、「竜巻」は、利用者が「激しい突風」をイメージしやすい用語であることから、情報名に利用しています。

(2) 竜巻発生確度ノウキャストとは？

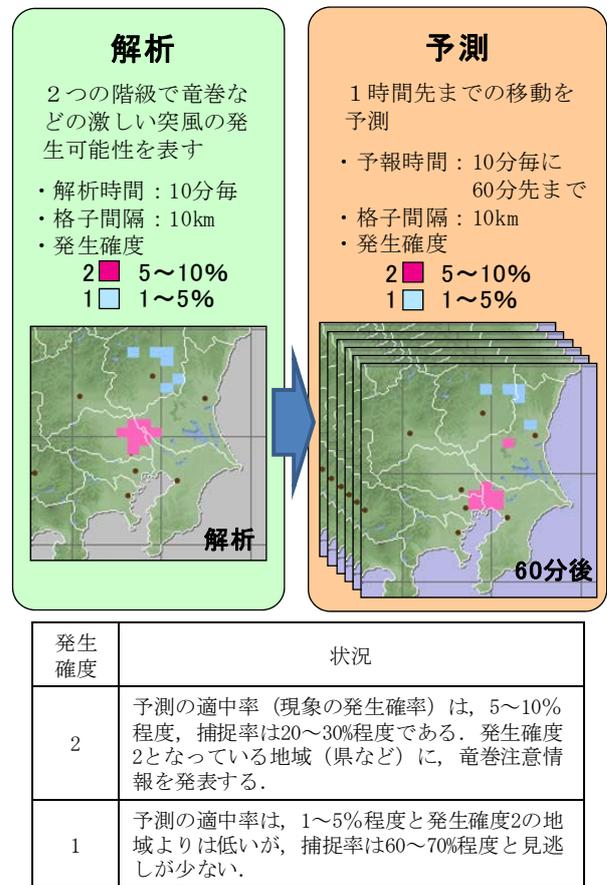
竜巻発生確度ノウキャストは、雷ノウキャストと同時（2010年5月）に提供を開始した、新しい気象情報です。竜巻発生確度ノウキャストは、10km 格子単位で「竜巻が発生する可能性の程度」を2つの階級（発生確度1と2）で解析し、10分毎に1時間先までの予測を行うもので、10分ごとに提供します。竜巻などの激しい突風は、規模が小さく、レーダーなどの観測機器で直接実体を捉えることができません。そこで、竜巻発生確度ノウキャストの解析では、他のノウキャストとは異なり、気象ドップラーレーダーなどから「竜巻が今にも発生する（または発生している）可能性の程度」を推定しています。

発生確度2の格子が掛る県などに対しては、竜巻注意情報を発表しています（第6図）。

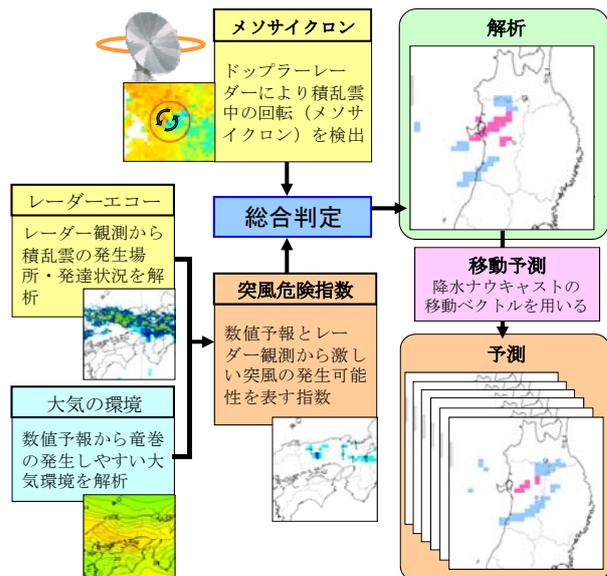
(3) 竜巻発生確度ノウキャストの技術

竜巻発生確度ノウキャストでは、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（低気圧性の回転）の検出」、及び、数値予報資料を基に

した大気環境場と気象レーダー観測を基に計算する「突風危険指数」の2つの指標を用いて、激しい突風の発生可能性の高まりを推定しています（第7図）。



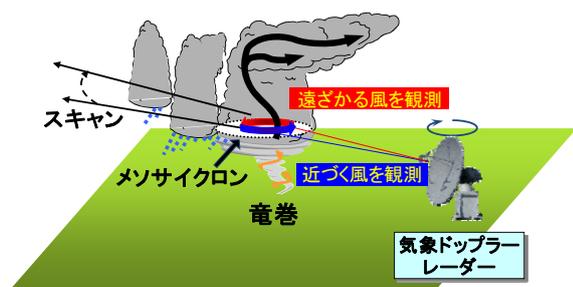
第6図 竜巻発生確度ノウキャストの概要



第7図 竜巻発生確度ノウキャストの技術

①気象ドップラーレーダーによるメソサイクロンの検出

気象ドップラーレーダーは、降水の位置や強さの他に、風に流される降水粒子から反射される電波のドップラー効果を用いて、レーダーに近づく風の成分と遠ざかる風の成分を観測することができます。これをドップラー速度と呼びます。竜巻は直径が数十m～数百mしかないため、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、竜巻を直接検出することはできません。しかし、強い竜巻をもたらす発達した積乱雲の多くは、その中に直径数km～十数kmの大きさを持つ低気圧性の回転(メソサイクロン)が存在することが分かっています(第8図)。気象ドップラーレーダーでは、メソサイクロンを検出することで間接的に竜巻の発生を監視しています。



第8図 気象ドップラーレーダーによるメソサイクロンの観測イメージ

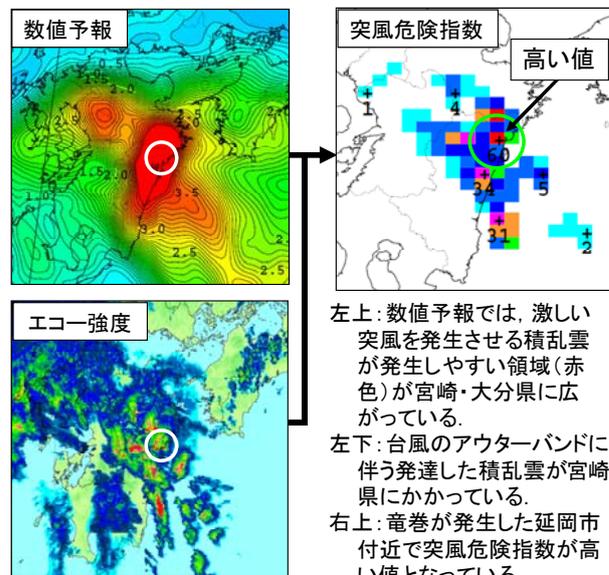
②突風危険指数

竜巻などの激しい突風を発生させる積乱雲は、大気の状態が不安定で、高度により風向・風速が大きく変化している(鉛直シアーが大きい)大気環境の下で発生しやすいと考えられています。このような大気環境は、数値予報により事前に予測することが可能です。積乱雲が発生しやすい大気環境下で、実際に積乱雲が発生すれば(強いエコ強度が観測されれば)、激しい突風の可能性が高まっていると考えられます。この考え方に基づき、リアルタイムで突風発生の可能性の高さを客観的に推定するため、数値予報資料とレーダーデータを利用した「突風危険指数」を計算しています(第9図)。

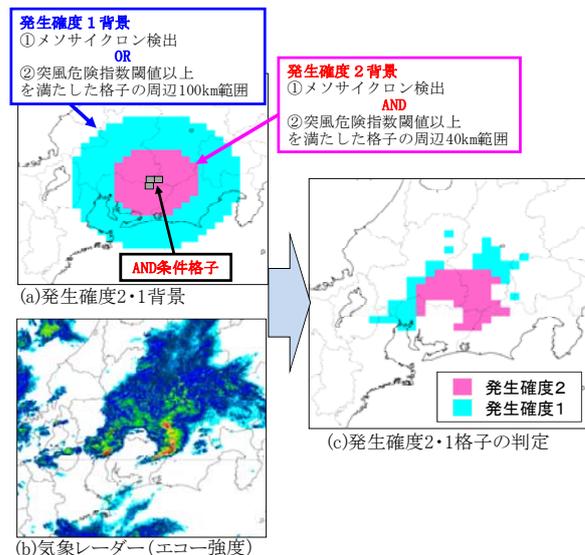
③発生確度2,1の解析

発生確度2・1の解析では、まず、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突風危険指数を用いた総合的な判定により、激しい突風の発生可能性が高まっている領域(発生確度2・1背景)を解析します。こうして解析した発生確度2・1背景は、1時間その場所で持続させます。この領域に強いエコ強度が重なる格子を発生確度2や発生確度1として解析しています(第10図)。



第9図 突風危険指数
2006年9月17日宮崎県延岡市で竜巻が発生した頃の突風危険指数



第10図 発生確度2・1の解析方法
発生確度2・1背景は、その場所で1時間有効。降水ナウキャストの移動速度でエコ強度を移動させ、発生確度2・1背景と強いエコ強度が重なる格子を発生確度2や1として解析する。

(4) 予測手法

竜巻発生確度ナウキャストの予測は、降水ナウキャストで求めた移動速度を用いてエコー強度を移動させ、発生確度 2・1 背景と強いエコー強度が重なる格子を発生確度 2 や 1 として表現します。発生確度 2・1 背景は最初に解析された時刻から 1 時間しか持続させないため、初期時刻で発生確度 2 や 1 が解析されていても 1 時間先までの予測の途中で発生確度 2・1 背景がなくなり、発生確度 2 や 1 が消滅することがあります。

6. ナウキャストを含めた気象情報の有効利用

屋外で活動する場合は、前日や当日の天気予報を確認しましょう。積乱雲が発達しやすい気象状況の場合は、「大気の状態が不安定」や「雷を伴う」と解説します。また、外出前には、気象庁ホームページなどで雷注意報の発表の有無を確認して下さい。

屋外では、国土交通省防災情報提供センターの携帯電話向けページで降水・雷・竜巻発生確度ナウキャストを確認できるので、最新の情報を入手し有効に活用して下さい。周囲の空の状況に注意を払い、雷鳴が聞こえたり電光が見えるなど積乱雲が接近していることに気付いた場合は、速やかに安全な場所へ避難することが、身を守るために重要です。

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た各種リーフレットを作成していますので、合わせて利用してください。

○リーフレット

- ・竜巻・雷・強い雨～ナウキャストの利用と防災～
- ・局地的大雨から身を守るために
- ・竜巻から身を守る～竜巻注意情報～

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/index.html>

○国土交通省防災情報提供センター（携帯電話向けページ）の URL：メニュー「気象ナウキャスト」

http://www.mlit.go.jp/saigai/bosai_joho/i-index.html



7. 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、難しいのが現状です。従って、積乱雲がもたらす突発的な激しい現象から身を守るためには、気象ドップラーレーダーや雷監視システムなどの最新の観測データに基づいて解析・予測を行うナウキャストを有効に利用することが重要です。

参考となる文献など

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.

笠原真吾(2010a)：雷ナウキャスト．平成 21 年度予報技術研修テキスト，116-135.

笠原真吾(2010b)：雷ナウキャストの提供開始．天気，57，847-852.

気象庁（2009）：竜巻等の激しい突風に関する気象情報の利活用について．63pp.

気象庁ホームページ

- ・降水短時間予報と降水ナウキャスト

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kura-shi/kotan_nowcast.html

- ・雷ナウキャスト

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/topp-uu/thunder0-0.html>

- ・竜巻発生確度ナウキャスト

<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/topp-uu/tornado0-0.html>

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.

瀧下洋一（2010）：竜巻発生確度ナウキャストの提供開始．天気，57，805-810.

宮城仁史，枝元勝悟，萩尾公一（2009）：メソサイクロン検出に関する技術情報の共有．測候時報，76.1, 95-105.