

X帯気象レーダーの現状と今後の展開

古野電気株式会社
株式会社ウェザーニューズ

目次

1. はじめに
 2. 検討対象周波数について
 3. X帯気象レーダーを取り巻く背景
 - 気象現象の動向
 - 社会的ニーズ
 - 気象レーダーによる観測
 - C帯気象レーダーとX帯気象レーダーの違い
 4. X帯気象レーダーの現状
 - 現在の実用局の分布と設置の状況
 - 現在の実験試験局の分布状況
 - 現在の実験試験局の設置状況と主な諸元
 - 実験試験局による実証実験
 5. X帯気象レーダーの今後の展開
 - 将来のX帯気象レーダーの技術要件の考え方
 - 将来のX帯気象レーダーの設置イメージ
 - 将来のX帯気象レーダーの展開イメージ
- (補足1) 将来のX帯気象レーダーの導入を望む声
- (補足2) X帯気象レーダーの現在の実験試験局の詳細分布
- (補足3) X帯気象レーダーの現在の実証実験の例

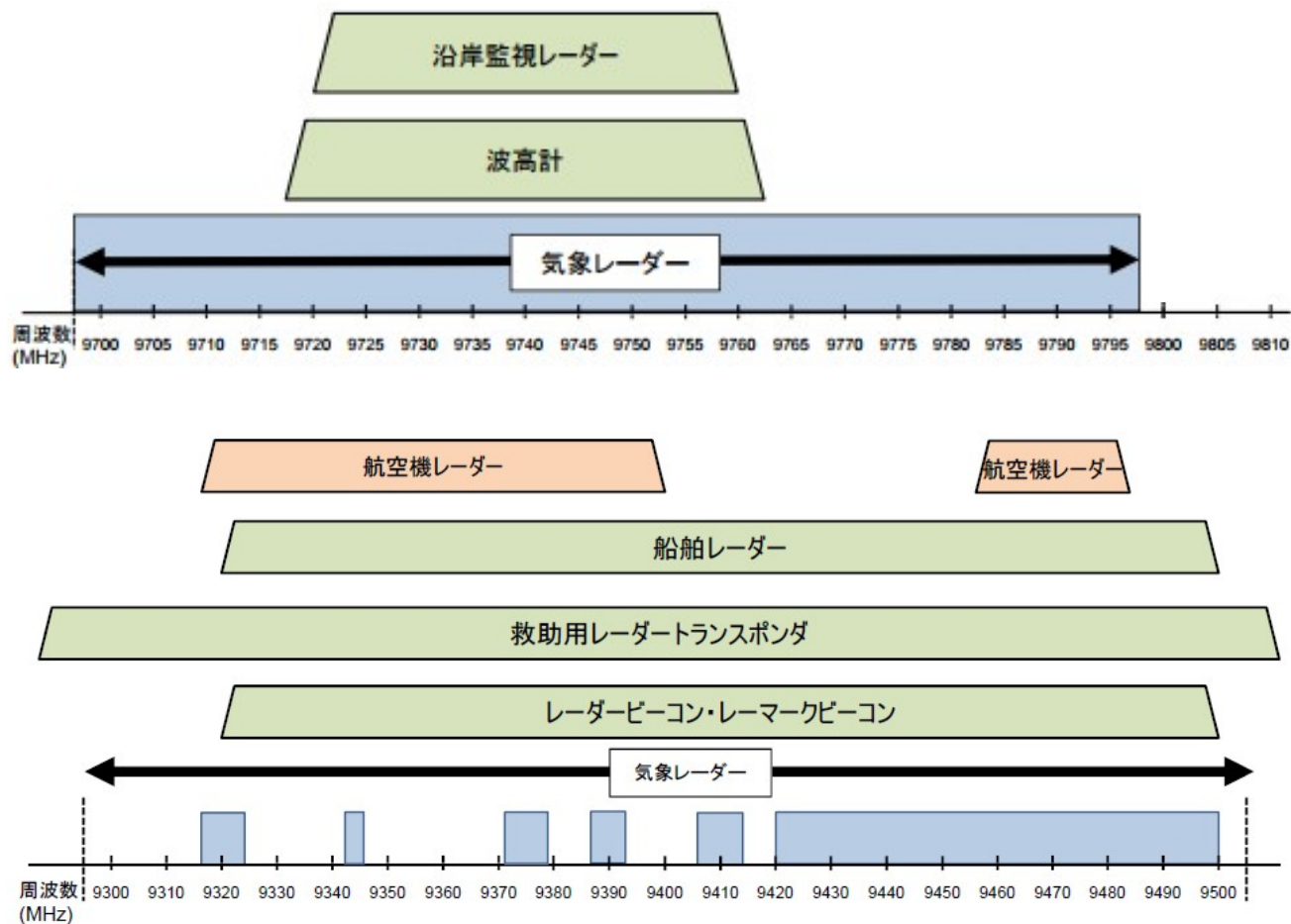
1. はじめに

2017年9月、C, X帯気象レーダーとウィンドプロファイラの技術的条件を検討するため、情報通信審議会に「気象レーダーの技術的条件」が諮問された。特に9.4GHz帯気象レーダーの検討を先行して進め、2018年6月の一部答申を目指して同一システム間及び他システムとの共用条件等に向けた検討を行っている。

本資料は、X帯気象レーダーの概要として、その現状と実験試験局から将来展開するX帯気象レーダーについてまとめている。

2. 検討対象の周波数について

X帯気象レーダーの周波数割り当て状況は以下の通りで、9.4GHz帯では二次業務として割り当てられており、現在は実験試験局として試験観測を行っている。



(転載 気象レーダー作業班X帯サブ・ワーキング・グループ(第1回)
資料「気象レーダーの設置状況(X帯)」より)

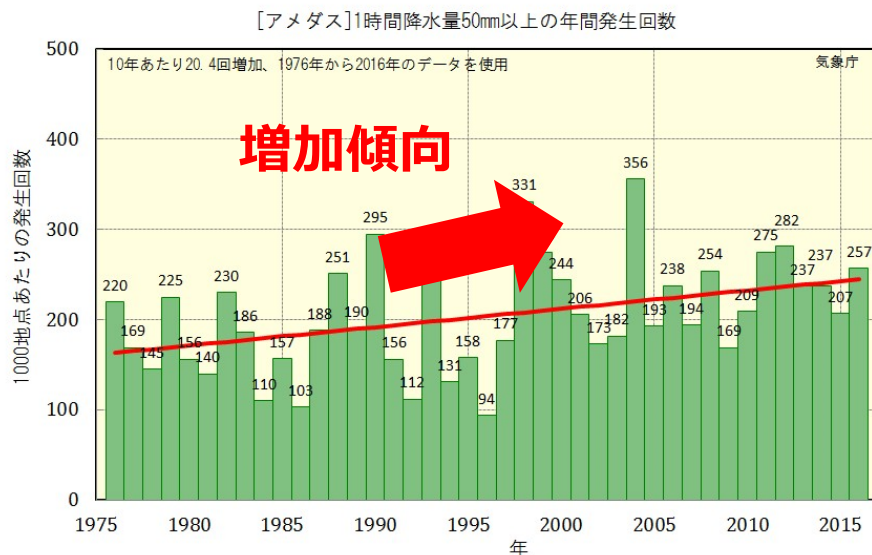
3. X帯気象レーダーを取り巻く背景

3. 気象現象の動向

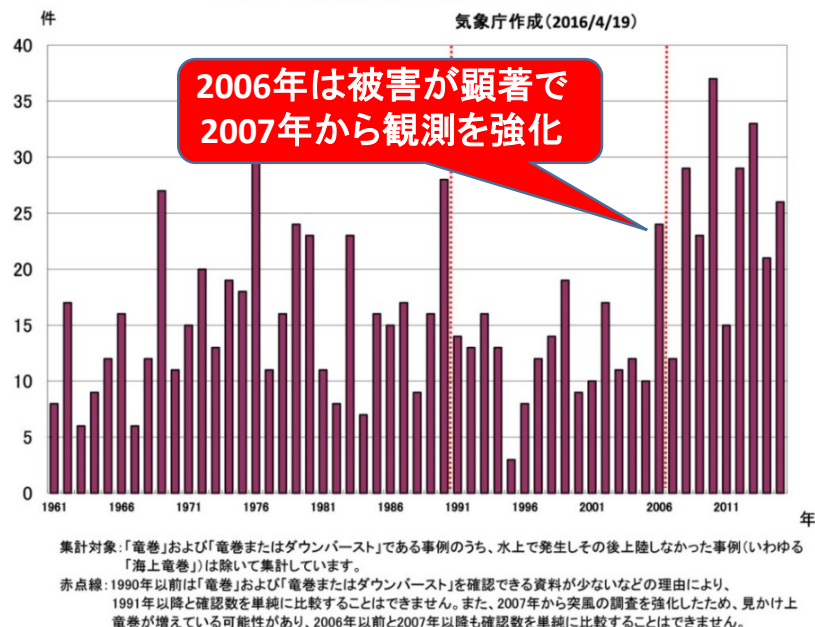
- 近年では、竜巻や突風などの風による被害が発生したり、局地的豪雨（ゲリラ豪雨）や大規模な水害をもたらす大雨が増加傾向にある。
- 将来の気候予測に基づく気象の変化では、大雨になるリスクはさらに高まると予想されている。

(気レX2-参1：最近の気象現象の変化について)

時間降水量50mm以上の「非常に激しい雨」
1000地点あたりの発生回数



竜巻の年別発生確認数(1961～2015年)



(出典 気象庁)

3. 社会的二一ズ

- こうした気象傾向の変化を受けて、2006年以降から高速道路や鉄道、空港などの交通機関や国土交通省、気象庁では局地的豪雨や竜巻、突風による被害軽減方策の強化を行うようになった（下表）。
- また、交通機関では上記に加えて民間気象事業者へ、より一層の観測による実況監視の強化や危険回避のための情報を求めるようになった。

（気レX2-参2：気象業務法における民間気象事業者の役割について）

国土交通省や気象庁、交通機関による主な方策について

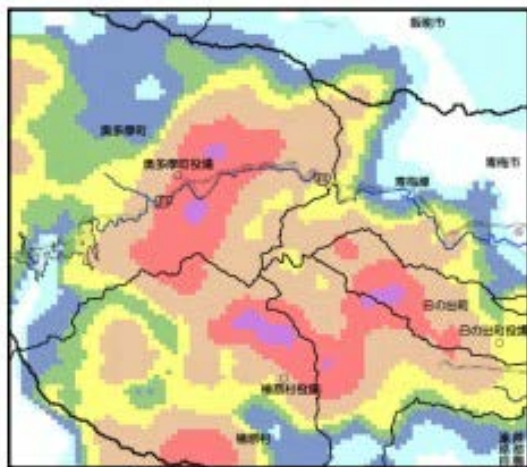
交通機関/省庁	現象	主な対策
鉄道	竜巻、突風	風速計の新設による風観測の強化、防風柵の設置 運転規制、突風対策について引き続き調査・研究
航空	竜巻、突風	空港への気象ドップラーレーダー整備の継続など
気象庁	竜巻、突風、局地的豪雨	竜巻注意情報の発表、気象レーダーの観測間隔の5分化
高速道路	局地的豪雨	新しい通行規制基準の試行

（出典）・内閣府 竜巻等突風対策検討会（2006年～2009年）
・気象庁 突風に注意を呼びかける新しい府県気象情報の提供開始について（2008年）
・気象庁 気象レーダーの観測間隔の5分化について（2009年）
・国土交通省 ゲリラ豪雨に対応し、新しい通行規制基準を試行します。
～災害捕捉率の向上と通行止め時間の適正化～（2015年）

3. 気象レーダーによる観測

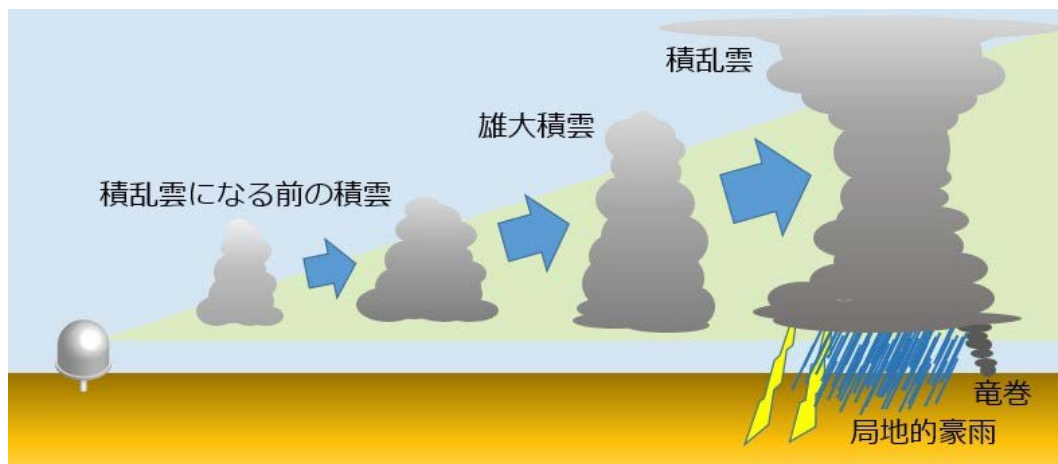
- 国土交通省では、河川管理や国土の維持保全に加え、適切な施設管理や防災業務に役立てるために2009年よりレーダー雨量情報（XRAIN）を整備して、国民に情報を広く配信している。現在は実用局として観測している。
- また、気象レーダーは降水分布や風向・風速等の観測に用いられることから、雨雲の発生初期からの発達過程や竜巻、突風の前兆現象を早期に観測することができるため、交通機関からのニーズである“より一層の実況監視の強化”を検証するため、民間気象事業者は実験試験局で試験観測している。

(気レX2-参3：気象観測における気象レーダーの役割)



XRAINのレーダ雨量情報

(転載 国土交通省「XRAIN(エクスレイン)」の配信エリアを大幅に拡大します！)

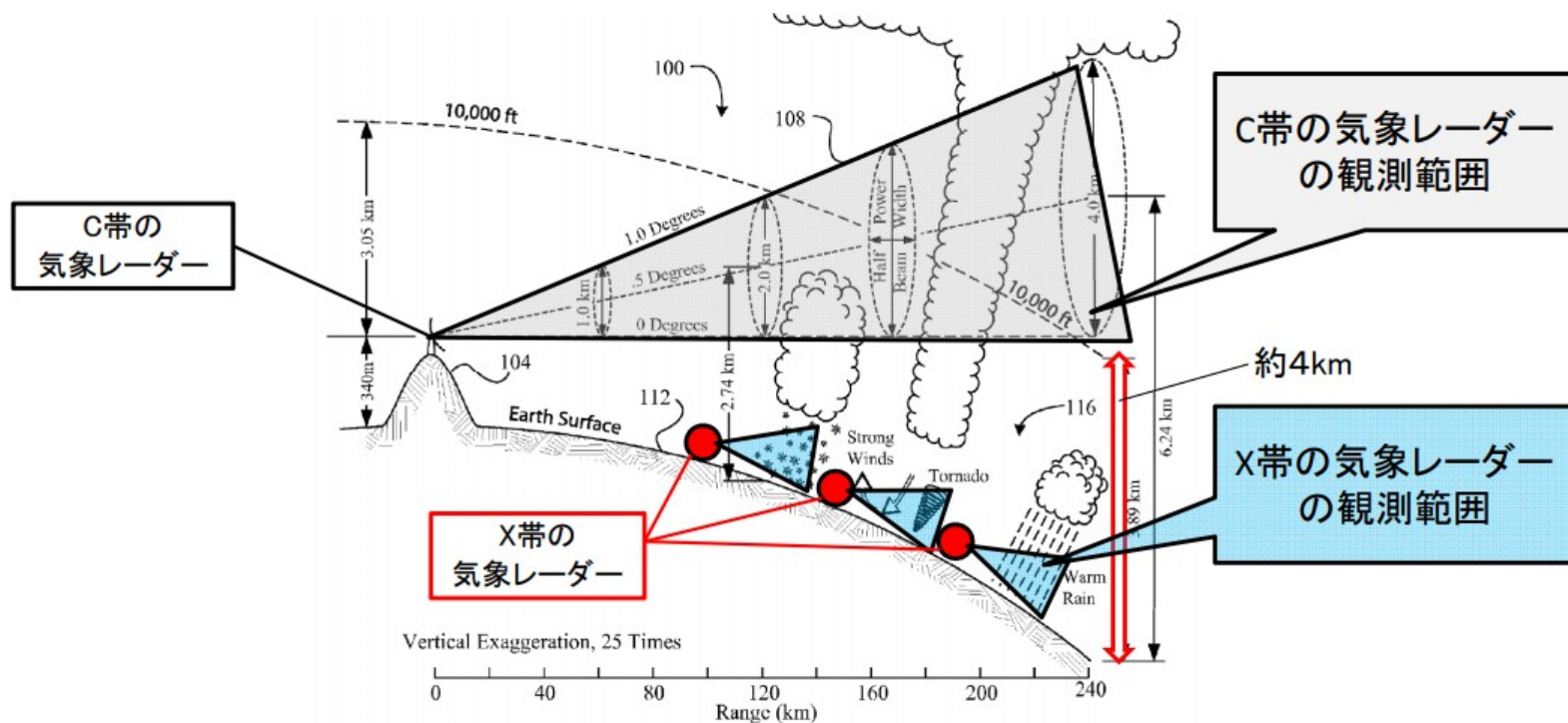


鉛直方向のスキャンによる雨雲の発達過程を観測するイメージ図

3. C帯気象レーダーとX帯気象レーダーの違い

- C帯気象レーダーは、気象予報等を主目的として広範囲を観測しており、地球の湾曲や地形条件により地表付近の局所的な観測を十分に行えない場合がある。
- X帯気象レーダーは、局所的に複数台を設置し、より高精度・高頻度で観測できる。

(気レX2-参3：気象観測における気象レーダーの役割)

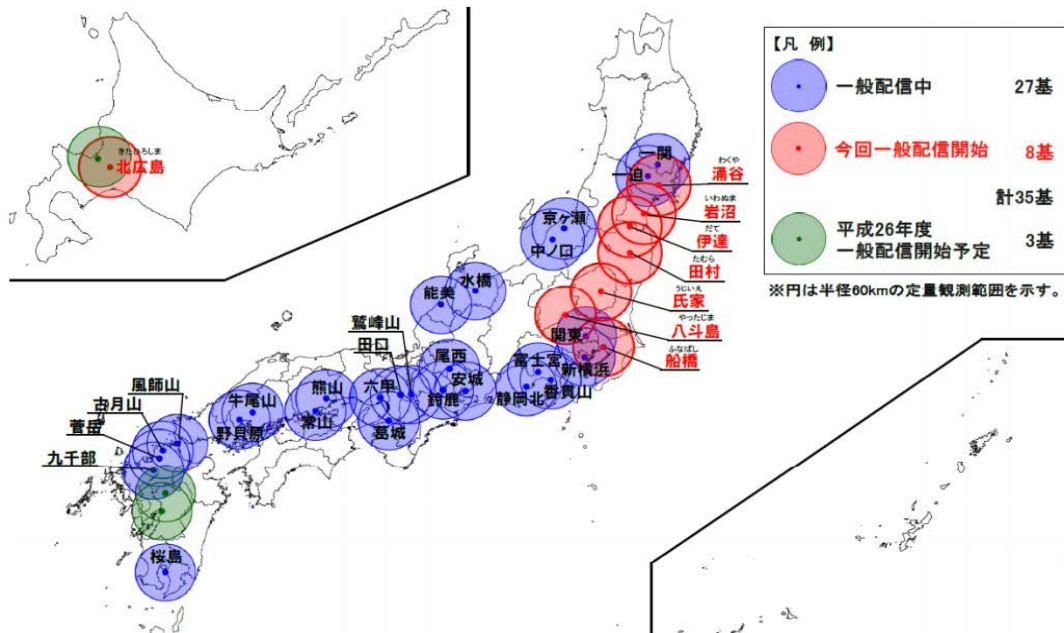


4. X帯気象レーダーの現状

4. 現在の実用局の分布と設置の状況

- ◆ 現在のX帯気象レーダーで実用局は、XRAINに用いられており、公的運用主体である国土交通省の運用で、約40局で免許が付与されている。

X帯気象レーダー実用局の分布状況 ※1



設置のイメージ



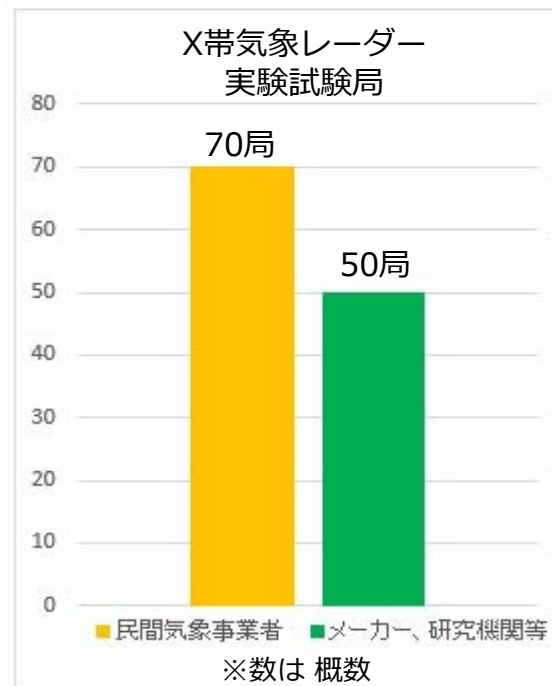
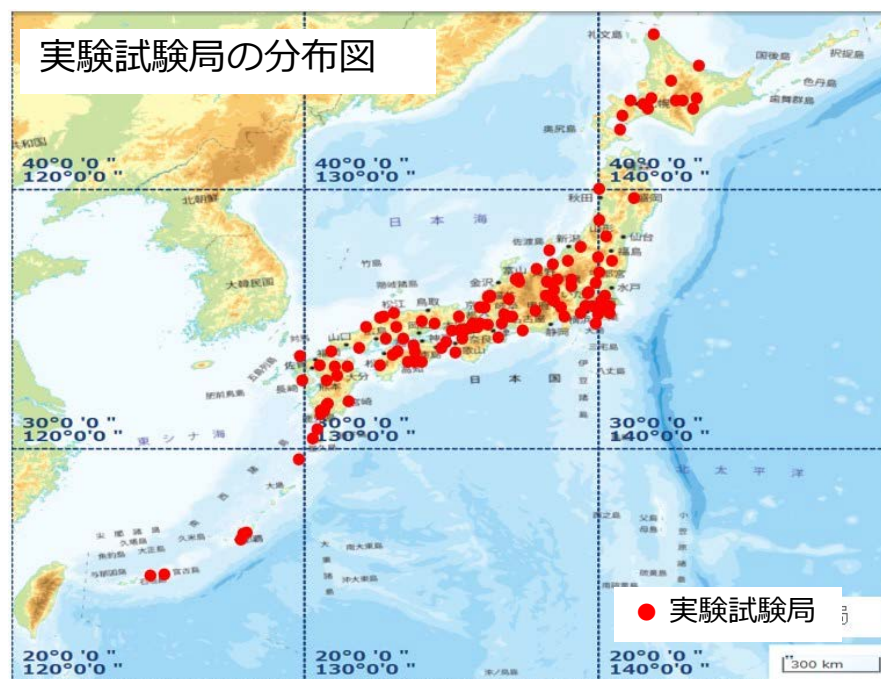
(転載 国土交通省 XRAIN (XバンドMPLレーダーネットワーク) 配信エリア拡大! 2016年6月より)

※1 2017年8月現在、岩手県にも設置されている。

(国土交通省 東北地方整備局 平成29年8月4日記者発表資料より)

4. 現在の実験試験局の分布状況

- ◆ 現在の実験試験局の総数は約 120 局で免許が付与されており、主に民間気象事業者による民間主体で運用されている。
- ◆ 民間気象事業者以外の免許人は、気象レーダーメーカーによる自治体独自の導入等に向けた効果の検証に利用されており、ほかに研究機関等が約 30 局ある。
- ◆ この民間気象事業者の気象レーダーは約 70 局あり、航空や鉄道、高速道路等の交通機関からのニーズに応えるための実証実験として、気象予報上必要となる地点に設置されている。（補足 P.26-29を参照）



4. 現在の実験試験局の設置状況と主な諸元

現在の実験試験局のレーダーは、主に市街地や郊外で見晴らしのよい建物の屋上に設置されており、例として主な2社の諸元は右下表の通りである。

主なレーダーの設置イメージ

表：2社の主なレーダーの諸元



送信周波数	9320 ~ 9472.2 MHz
空中線電力	24 ~ 200 W
送信装置	固体化送信機
占有周波数帯幅	3.6 ~ 4.4 MHz
空中線型式	パラボラ カセグレン 平面スロット
空中線半値幅	1 ~ 6 度
偏波面	水平・垂直
パルス幅	1 ~ 128 μ s
PRF	50 Hz ~ 20 kHz

上図：FURUNOレーダーの外観

下図：WNI社による設置の
WITHレーダーの外観



4. 実験試験局による実証実験

- 民間気象事業者A社の実証実験では、顧客のニーズである“より一層の実況監視と危険回避情報の提供”を目指して、実験試験局の気象レーダーを導入するにあたり、試験観測による気象現象そのものの観測、及び事前の前兆現象の捕捉と情報提供が機能するのか、を検証している。

(実証実験の詳細は、補足P.30以降を参照)

表：交通機関ごとの実験試験局のレーダー導入前と後の結果

交通機関	エリア 観測対象	レーダー導入前の課題	レーダー導入後の結果
高速道路	北陸の あられ	道路管理事業者は、あられによる路面状態の悪化を解消するためのタイムリーな雪氷作業を行うのが難しく、時間を要することもあった。	道路管理事業者は、あられの事前情報の提供を受けて、雪氷作業開始までの所要時間の短縮が認められて、路面状態の維持に気象レーダーが有効であることがわかった。
航空 (ドクター ヘリ)	北海道の 降雪	運航事業者は、ドクターヘリの安全な運航を判断するために、できる限りの気象情報を入手しているが、峠など山間部では入手しづらい箇所もある。	運航事業者は、この試験観測を活用することで、気象の悪化や回復のタイミングを見極めることができ、安全な運航の判断材料の一つとして有効性が確認された。

4. 実験試験局による試験観測

現在の実験試験局における試験観測から

- 実証実験を行った結果、交通機関ではこれまで現象発生後から管理作業などの対応を始めていたが、気象レーダーの導入により現象発生前から作業を開始できることがわかり、気象レーダーの有効性が確認できた。

交通機関からは運行管理や作業の効率向上のためにも、引き続き観測を求める声があり、実用局化したい。（補足P.22：導入を望む声）

- こうした現象をもたらす積乱雲は、すでに公的主体で運用されている広域観測の気象レーダーと合わせて、さらに高い時間頻度での観測や鉛直方向の観測といった現在の実験試験局の気象レーダーの特徴を用いることで、現象の発生初期から観測できたこの手法は有効である。

5. X帯気象レーダーの今後の展開

5. 将来のX帯気象レーダーの技術要件の考え方

現在の実験試験局による実証実験の結果により有効であることから、実用局化のために、将来のX帯気象レーダーの技術要件の考え方を以下に示す。

- 局地的豪雨や竜巻、突風をもたらす積乱雲を観測する気象レーダーとして以下の探知性能が求められる。
 1. 降雨観測を主目的とする。
 - ・発生初期の雨雲は降水強度が弱いことから、小雨（1mm/h）の降雨を観測できる。
 2. 降雨域の三次元的な位置と、その反射強度を測定する。

発達していく積乱雲の様子を観測するため、上空（雨雲中）の雨粒分布の観測を行う。

 - ・雨雲が突発的に発達する前に、発生初期の雨雲を観測するため、積乱雲の雲底高度（概ね約500～600m[1]）以上で探知できる。
 - ・ペンシルビームのアンテナを用いて、水平に定常回転しながら仰角を変化させ、三次元位置の決定ができるようスキャンする。
 3. 探知範囲は半径40～50km程度が観測できる。
 - ・積乱雲（現象の広がり：20km前後）を観測できる範囲とする。

[1]西日本で見られる積乱雲の雲底高度の高度別出現頻度
～雲解像モデルの予想結果から～ 加藤輝之（気象研・予報） 17

5. 将来のX帯気象レーダーの技術要件の考え方

将来のX帯気象レーダーの技術要件の考え方を以下に示す。

- エンドユーザーのニーズに対応できるように、気象レーダーの観測方法は任意の積乱雲を観測できるように、水平方向のスキャンだけでなく鉛直方向のスキャンも選べる自由度の高い運用を選択できること。
- 9.4GHz帯気象レーダーは二次業務にあたるため、共用する他システムとの干渉を十分考慮する必要がある。

5. 将来のX帯気象レーダーの設置イメージ

◆ 気象レーダーの設置に関し、「ニーズに基づいて気象現象を観測する」ため現在の実験試験局で設置している条件でもある

- ・ 見晴らしのいいところ
- ・ 建物の影響を受けないよう、ビル等の高さのあるところ
- ・ 鉄道や高速の路線や空港に近い市街地あるいは郊外

が望ましい。

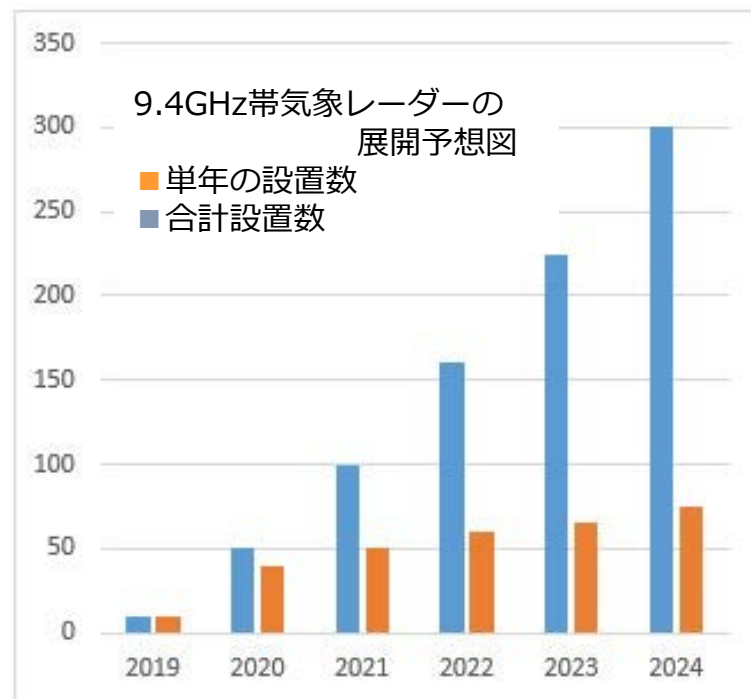
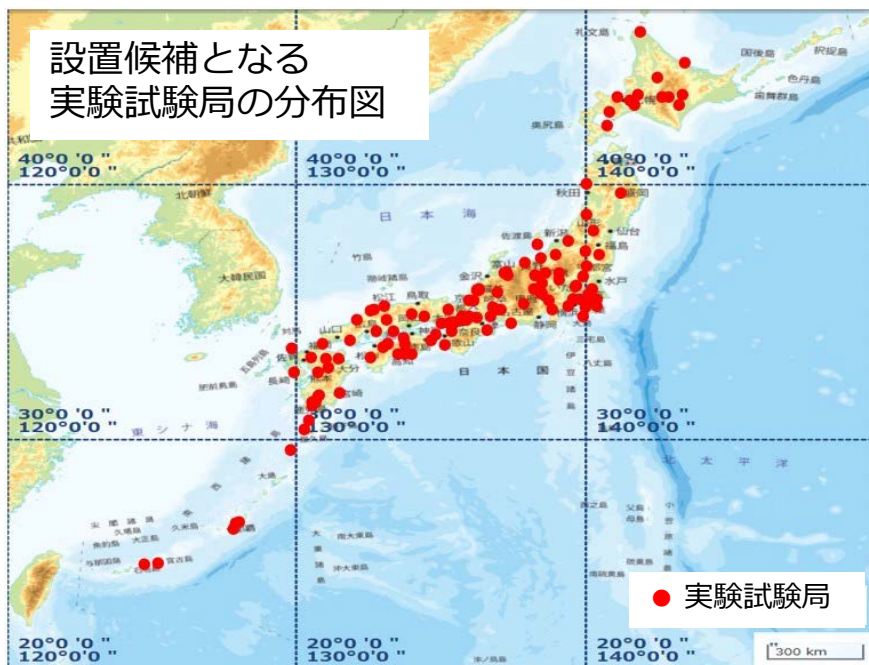
現在、実験試験局の設置されている場所
(こうした場所に設置が想定される)



5. 将来のX帯気象レーダーの展開イメージ

- ◆ 将来の普及予想は、現在の実験試験局の免許人となっている民間気象事業者や気象レーダーメーカーに加えて、自治体や複数の民間気象事業者が新たな免許人となり参入することが想定される。

すでに民間気象事業者による実験試験局（約 70 局）は航空や鉄道、道路等の交通機関から観測継続のニーズを受けており（補足 P.22：導入を望む声）、加えて周辺への複数設置や、新たな免許人として自治体や民間気象事業者の設置が見込まれる。



補足資料

(補足1) 将来のX帯気象レーダーの導入を望む声

- ◆ 鉄道事業者は、強風や大雨に対する速度規制等の運行規制を行うために、風速計や雨量計を線路に沿って設置しているが、あくまで「点での観測」であり、過剰な安全基準で判断しがち。結果として経済性や利用者に対する利便性を損なっている。



鉄道事業者の声（鉄道運行管理担当者）

「 強風の吹き始めや、運行規制解除後の再規制となるかどうかを把握することで、最適な運行を行い、列車の駅間停止を防ぎたい。これは同時に鉄道利用者への適切な情報提供ができることになり、お客様の満足度を向上していきたい。」

鉄道事業者の声（鉄道運行管理担当者）

「 従来の風向風速計による観測では現況把握が局所的なため、運行規制は安全を配慮し、現実より厳しい判断基準となる可能性が高い。路線周辺の広域の面的分布で気象実況を把握することにより規制実施の最適化を図りたい。」

(補足1) 将来のX帯気象レーダーの導入を望む声

- ◆ 高速道路事業者にとっては、積雪深計や気温計といった「点での観測」だけでは高速道路全体を管理することが難しく、さらに現在の観測で捉えきれない山間部での観測網の充実と合わせた「面での観測」があって初めて、適切な管理業務が可能になる



高速道路事業者の声（道路維持管理業務担当）

「高速道路のうちトンネルを除くところでは、雨量計だけでは測りきれない雨やあられが事前にわかれば、対応策をとることができる。そうすれば交通障害を減らすことが期待できる。また、山間部を走る区間が多いため、既存レーダーの死角になっているところでは、どのような気象現象が起きているのか、測ることができる状況がわかるので、対応策をとることができる。」

(補足1) 将来のX帯気象レーダーの導入を望む声

- ◆ 航空事業者、特にドクターヘリの運航者にとっては、離発着設備のない小学校の校庭のような場所に緊急に離着陸するため、地上観測設備を前もって準備することが難しく、気象レーダーのようなリモートセンシングによる観測網が整っていると安全運航に大いに役立つ



ドクターヘリの運航事業者の声

「VFR、有視界飛行方式で飛ぶ航空機にとって、急な天候の変化による視程悪化、雲底の低下は運航上非常にクリティカルとなる。特にドクターヘリや山岳救助で飛行するヘリは都市部だけでなく、山間部を飛ぶケースも多く、既存レーダーの死角となるエリアの運航可否は極めて難しい判断を迫られることがある。

離陸から飛行中、着陸まで全ての段階において、急な雨雲の発達や地上-上空の風向風速の変化、ダウンバースト等のいち早いシビア現象の検知ができれば、運航の安全を確保する上で非常に役立つ。」

(補足1) 将来のX帯気象レーダーの導入を望む声

- ◆海運会社にとっては、地上風速計を作業場所に設置することが多く、離着岸作業やクレーン作業といった突風の影響を強く受ける作業に対して、現在の観測手法では前もって事故回避することが困難



海運会社の声（船舶運航管理担当者）

「船舶にとっては、離着岸時及び港湾作業中の突風がリスクになる。このレーダーで、突風の前兆をとらえてくれるなら、船が流れる前に対策をとることができると考えている。高頻度に観測ができると聞いたので、そこは期待したい。」

(補足2) X帯気象レーダーの現在の実験試験局の詳細分布①

一部の実験試験局の設置場所と目的となる観測内容を以下に示す。

実験試験局の設置場所	観測ニーズのある市場				主な観測ターゲット
	高速	鉄道	航空	自治体他	
北海道／旭川北IC	○	-	○	-	局地的豪雨、低い雪雲の流れ込み
北海道／新札幌	○	-	○	○	局地的豪雨、強雪
北海道／千歳	○	-	○	-	地域気象特性による強雨、強雪・雨水
北海道／帯広	○	-	○	-	局地的豪雨、強雪・雨水
北海道／洞爺湖	○	-	○	-	地形による強雨、強雪
北海道／岩見沢	○	-	○	-	局地的豪雨、強雪
北海道／森	○	-	○	-	地域気象特性による強雨、低い雪雲の流れ込み
北海道／小樽	○	-	○	-	局地的豪雨、強雪
群馬／高崎	○	○	○	-	強雨、竜巻突風、降雪
群馬／水上	○	○	○	-	局地的豪雨、竜巻突風、降雪
栃木／宇都宮	○	○	○	-	強雨、竜巻突風、降雪
栃木／那須	○	○	○	○	強雨、竜巻突風、降雪
埼玉／羽生	○	○	-	○	強雨、竜巻突風、降雪
千葉／八街	○	○	○	○	強雨、竜巻突風、降雪
千葉／幕張	○	○	-	○	局地的豪雨、竜巻突風、降雪
千葉／茂原	○	○	-	○	局地的豪雨、竜巻突風、降雪
東京／調布飛行場	○	○	○	○	局地的豪雨、竜巻突風、降雪
神奈川／厚木IC	○	○	○	○	局地的豪雨、竜巻突風、降雪

(補足2) X帯気象レーダーの現在の実験試験局の詳細分布②

一部の実験試験局の設置場所と目的となる観測内容を以下に示す。

実験試験局の設置場所	観測ニーズのある市場				主な観測ターゲット
	高速	鉄道	航空	自治体他	
新潟／佐渡	○	-	○	-	局地的豪雨、強雪、あられ
新潟／上越	○	○	○	-	局地的豪雨、あられ
新潟／新発田	○	○	○	-	局地的豪雨、あられ
新潟／糸魚川	○	○	○	-	局地的豪雨、あられ
長野／園原	○	-	○	-	局地的豪雨、短時間強雪、あられ
長野／佐久大学	○	○	○	-	強雨、低い雪雲の流れ込み
長野／諏訪	○	-	-	-	局地的豪雨、降雪
山梨／一宮御坂IC	○	-	○	-	局地的豪雨
山梨／八ヶ岳	○	-	○	-	局地的豪雨
愛知／内津峠	○	-	-	-	局地的豪雨、空港周辺の降雪
愛知／豊橋	○	○	-	-	局地的豪雨、空港周辺の降雪
愛知／小牧	○	○	-	-	局地的豪雨、空港周辺の降雪
三重／四日市	○	○	○	-	局地的豪雨、空港周辺の降雪
三重／多気	○	-	○	-	局地的豪雨、雪雲の流れ込み
名神／大津SA	○	○	○	-	降雨、降雪
新名神／甲賀	○	○	○	-	降雨、降雪
大阪／りんくうタウン	○	○	○	○	地域気象特性による強雨、降雪
京都／福知山	○	-	○	-	降雨、降雪

(補足2) X帯気象レーダーの現在の実験試験局の詳細分布③

一部の実験試験局の設置場所と目的となる観測内容を以下に示す。

実験試験局の設置場所	観測ニーズのある市場				主な観測ターゲット
	高速	鉄道	航空	自治体他	
京都／宇治	○	○	○	-	地域気象特性による強雨、降雪
兵庫／六甲山	○	○	○	-	地域気象特性による強雨、降雪
兵庫／山崎	○	○	○	-	低い雨雲／低い雪雲の流れ込み
兵庫／洲本	○	-	○	-	地域気象特性による強雨、降雪
和歌山／御坊	○	-	-	-	地域気象特性による強雨、降雪
岡山／高梁SA	○	○	-	-	降雨、降雪
岡山／津山	○	-	○	-	降雨、降雪
広島／尾道	○	○	○	○	降雨、降雪
広島／広島大学	○	○	○	○	降雨、降雪
広島／庄原	○	-	○	○	降雨、降雪
山口／下関	○	○	○	-	強雨
山口／周南	○	○	○	-	降雨、降雪
島根／安来	○	-	○	-	降雨、降雪
島根／浜田	○	-	○	-	降雨、降雪
高知／高知	○	-	○	-	強雨
愛媛／今治	○	-	○	-	降雨、降雪
徳島／美馬	○	-	-	-	雪雲の流れ込み
徳島／徳島大学	○	-	○	-	降雨、降雪

(補足2) X帯気象レーダーの現在の実験試験局の詳細分布④

一部の実験試験局の設置場所と目的となる観測内容を以下に示す。

実験試験局の設置場所	観測ニーズのある市場				主な観測ターゲット
	高速	鉄道	航空	自治体他	
佐賀／鳥栖JCT	○	○	○	-	強雨
長崎／稲佐山	○	-	○	-	強雨、降雪
長崎／壱岐	○	-	○	-	強雨
大分／日田	○	-	○	-	ダム流域の降雨
熊本／熊本	○	○	○	-	強雨
熊本／阿蘇（臨時観測）	○	○	○	-	阿蘇山の火山灰
宮崎／宮崎	○	-	○	-	強雨
鹿児島／加治木	○	-	○	-	桜島・新燃岳の火山灰
沖縄／那覇（夏場設置）	○	-	○	-	強雨
沖縄／名護	○	-	○	-	強雨

(補足3) X帯気象レーダーの現在の実証実験① (高速道路)

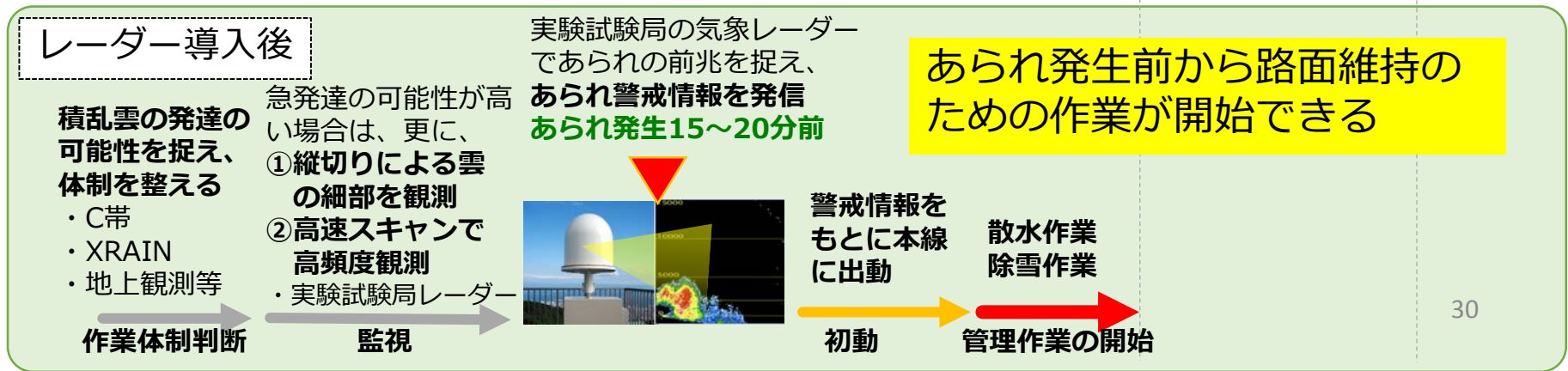
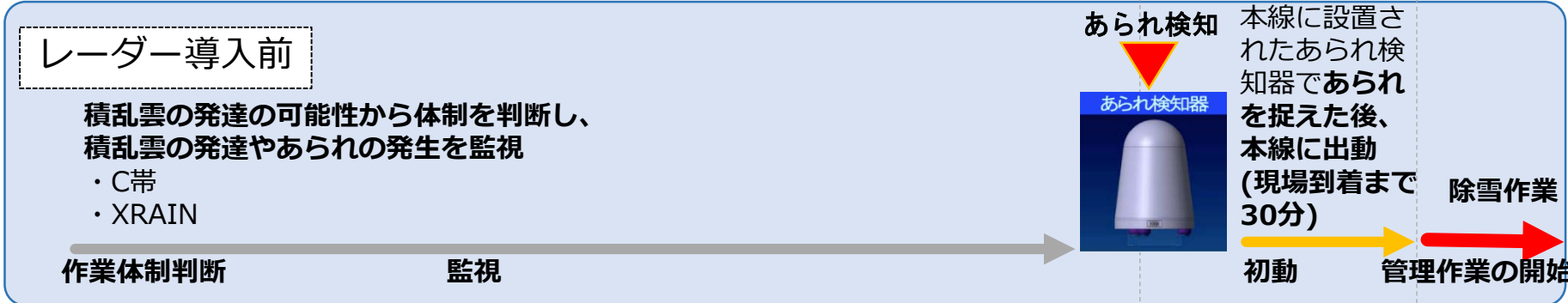
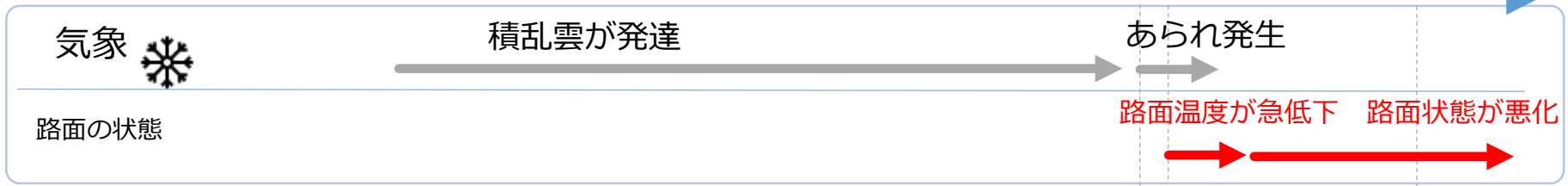
◆高速道路管理における気象レーダー導入前と導入後

1. 体制構築
数時間前

2. 監視
あられ発生数十分前

3. 散水作業、除雪作業
あられ発生直後

時間軸



(補足3) X帯気象レーダーの現在の実証実験① (高速道路)

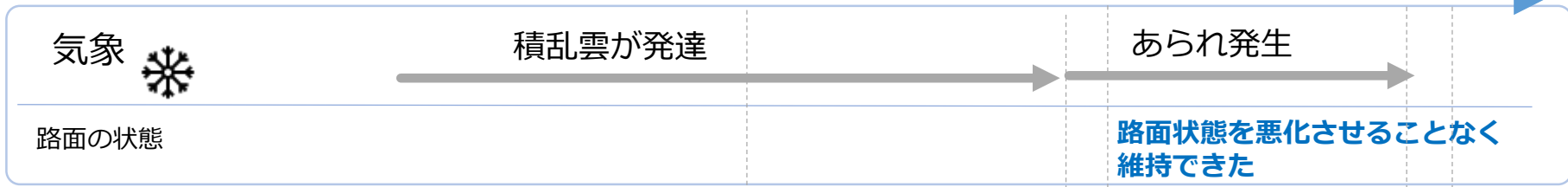
◆ あられ発生前に管理作業ができた事例 (平成23年11月21日)

1. 体制構築
数時間前

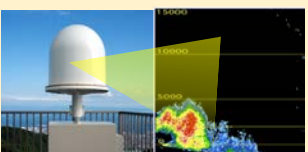

2. 監視
あられ発生数十分前

3. 散水作業、除雪作業
あられ発生直後

時間軸



体制判断・監視

<p>積乱雲の発達の可能性を捉え、通行可否を判断</p> <ul style="list-style-type: none"> ・C帯 ・XRAIN ・地上観測等 	<p>雲頂高度3000m以上の積乱雲を確保し、警戒情報発表を確定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・C帯 ・XRAIN 	<p>あられ警戒情報メール通知</p> <ul style="list-style-type: none"> ・C帯 ・XRAIN ・実験試験局の気象レーダー 	<p>さらに発達する積乱雲を捉える</p> <ul style="list-style-type: none"> ・C帯 ・XRAIN ・実験試験局の気象レーダー 	<p>山王トンネル～能生間であられを検知</p> <ul style="list-style-type: none"> ・あられ検知器 
体制判断会議時	3:50頃	4:07頃	5:00頃	5:13頃

管理作業

<p>本事例ではあられ検知の約60分前から初動を開始した。こうしたあられ発生前に管理作業を開始できた事例は平成23年で63事例あった。</p>	<p>警戒情報をもとに、あられ発生直後に本線に到着できるように体制検討&出動</p> <p>初動 (現場まで20-30分程度)</p>	<p>あられ発生直後に、路面が悪化しないよう散水作業によりあられを散らす</p> <p>散水作業開始</p>
---	---	--

(出典 参考論文「独自レーダーを用いたあられ捕捉と作業支援の取り組み」 平成25年)

(補足3) X帯気象レーダーの現在の実証実験②

◆ドクターヘリの運航管理における気象情報活用

1. 飛行可否判断
3分~5分前

2. 有視界飛行を維持した状態の患者の搬送
雪雲の流れ込み・降雪時

時間軸

