

# XMPレーダ雨量計を活用した降雪把握と雪害ナレッジについて

今長信浩\*1、大手方如\*2、片岡正次郎\*1

## 1. はじめに

冬期における除雪を適切に行うには積雪場所・時間・量を正確に把握し、除雪車等の資機材を効率的に運用することが重要となる。このため、道路管理者は各種気象予報情報の活用による除雪体制の構築、CCTVや積雪深計等による降雪状況や道路状況の把握により除雪を行っている。

本報告は、冬期における除雪行動と必要情報の整理、気象パターンと道路雪害の関係を整理した雪害ナレッジ構築、降雪把握におけるレーダ技術の活用、雪害ナレッジ情報とレーダ情報等を組み合わせた道路雪害発生可能性判断機能構築の概要について述べるものである。

## 2. 冬期における除雪行動と必要情報の整理

### 2.1 除雪行動の流れ

除雪行動の一連の流れを積雪地域、非積雪地域の道路管理者にヒアリングを行ない行動内容の基本パターンを整理した。図-1は降雪がある程度予想される国道事務所の除雪管理体制を時間軸との関係から整理したものである。積雪地域、非積雪地域とも時間軸に多少の差はあるが、行動内容については、除雪体制の構築、除雪実施判断、オペレータの手配、参集等、ほぼ同様の流れとなっている。

### 2.2 除雪時に必要とする情報

図-2は降雪がある程度予想される事務所が除雪実施時に使用する情報を時間帯毎に整理したものである。72時間前は気象会社等から得られる概括的情報である雪氷予測情報を中心であり、除雪体制の構築、資機材の手配・配置検討等に活用している。また、除雪作業の実施が近づくにつれて詳細情報として降雪・積雪状況、路面の状態等をCCTV、路面温度計、道路パトロール等で把握している。

除雪を適切に実施するには、必要とする各段階において、道路管理者が必要とする情報を、必要な精度で入手することが重要となる。

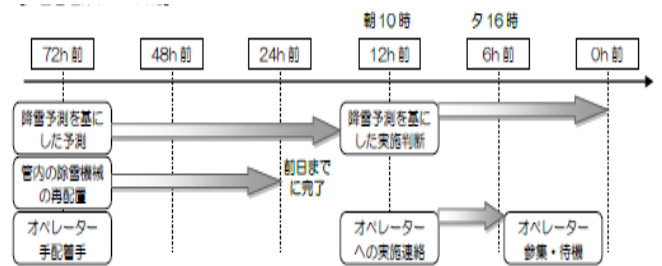


図1 除雪管理体制と時間軸

時間帯	現場代理人	出張所職員	事務所職員	扱う情報と関連
7:00				気象協会の雪氷予測 ※新雪降雪 5~10cm 以上等
8:00~9:00		出張所出勤	事務所出勤	
		除雪実施有無の協議		テレメータの確認 ※積雪深を確認 CCTVの確認 ※雪が積もっているかどうかを画像で判断 大型車が走行しても路面が白いかどうか判断
	除雪体制の判断			
10:00	現場代理人交代			路温計の確認 ※路面温度が0℃以下 警察署、地域住民からの連絡
	凍結防止剤の散布			CCTVの確認 ※雪が積もっているかどうかを画像で判断 大型車が走行しても路面が白いかどうか判断
				現場パトロール ※雪が降っているか積もっているか判断 異外ナンバーのトラックが増えた場合は、要注意
16:00		除雪実施有無の協議		気象協会の雪氷予測 ※新雪降雪 5~10cm 以上等
	除雪体制の判断		決定事項の報告	テレメータの確認 ※積雪深を確認 CCTVの確認 ※雪が積もっているかどうかを画像で判断 大型車が走行しても路面が白いかどうか判断
	オペレーターへの実施連絡		情報版・FM長岡による情報提供	
17:00~21:00				CCTVの確認 ※雪が積もっているかどうかを画像で判断 大型車が走行しても路面が白いかどうか判断
	オペレーターの参集			現場パトロール ※雪が降っているか積もっているか判断 異外ナンバーのトラックが増えてきた場合は、要注意
22:00	除雪作業実施			目視による確認 ※雪の密度、降り方を確認
	除雪作業終了	状況報告	状況報告	

図2 除雪実施時に使用する情報

## 2.3 雪害ナレッジの構築

道路除雪を適切に実施するには、前述の如く降雪やそれに伴う道路状況を適切に把握することが重要であるが、道路雪害が発生する気象パターンには一定の特徴がある。この気象パターンと実際に過去発生した道路雪害をデータベースとして整理し、類似の気象パターンが観測された場合、道路雪害の発生予想箇所（地方整備局など）に早めの情報提供を行うことにより、道路管理者は予想される道路雪害に対して備えることが可能になる。そのため、過去（約50年程度）に発生した道路雪害の状況、その際の気象パターン等を整理した雪害ナレッジを構築している。

雪害ナレッジは、道路雪害の概要、被災路線の状況、気象概況、被害状況と社会的影響、道路管理者の対応と雪害の経緯をとりまとめたものである。図-3に雪害ナレッジの概要（抜粋）を示す。

道路雪害事例	No.XXX-20101231
--------	-----------------

### (1) 道路雪害の概要

雪害発生日	平成22年(2010年) 12月31日~1月2日
雪害の概要	12/31の10時25分に大雪警報が発令され、降雪が続いた。14時頃にタンクローリーが立ち往生し、上下線で車両停滞が発生する。この時間までの12時間降雪量は60cmに達した(最大時間降雪量は12cm)。タンクローリー救出までの間、除雪作業を継続するとともに、立ち往生車両を随時排除した。応援の除雪車を隣接の鳥取河川国道より派遣したものの、この間に1000台(報道の立ち往生車両が発生。翌1/1の6時段階で約600台の立ち往生車両を確認。8:55に立ち往生したタンクローリー移動完了した。13:20から通行止めを開始し、1/2の8:25に規制を解除した。 立ち往生車両：タンクローリー1台がスタック、約23kmにわたって、約600台の車両が立ち往生。 通行止め期間：1/1 13:20~1/2 8:25(国道9号大山町福尾~琴浦町八橋) 管理：中国地方整備局倉吉河川国道事務所

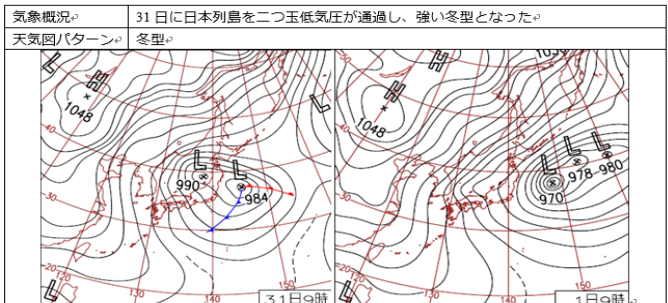
主な雪害発生路線	① 一般国道9号、大山町福尾~琴浦町八橋(約23km)
----------	-----------------------------



### (2) 被災路線の状況

被災区間の道路状況	海岸線沿いを東西方向に伸びる片側1車線の直線道路である。
車線数	片側1車線
周辺環境	山陰地方の日本海側に位置し、道路北側に日本海の海岸線が広がっている。交通障害発生区間内には登坂箇所が2箇所存在。
対策施設など	特になし。
センサス交通量	24時間交通量：23,699台(小型車19,347台、大型車4,352台) □□※H22

### (3) 気象概況



### (4) 被害状況と社会的影響

被害状況	直轄国道本線上で著しい渋滞と立ち往生が発生(12月31日14時~1月1日6時にかけて約600台以上の車両が立ち往生)
社会的影響など	・山陰自動車道や国道9号線で一部区間が通行止めとなり、物流や帰宅するドライバーに大きな影響が生じた。 ・鳥取の奥大山スキー場で雪崩が発生、4名死亡。 ・公共交通機関ではJR山陰線御来屋~下市間で倒木が発生、鳥取発新山口行きの特急が立ち往生。
主な気象記録	(日降雪量) □□米子アメダス79cm(12月31日:観測史上1位) □□□□□□□□境アメダス70cm(12月31日:観測史上1位) (日最深積雪) □米子アメダス89cm(1月1日:観測史上1位) □□□□□□□□境アメダス72cm(1月1日)

### (5) 道路管理者の対応と雪害の経過

日時	雪害の経過	道路管理者の対応
12月30日		
16時30分	・大雪注意報発表。	
12月31日		
9時00分		・国道9号の除雪作業を開始。
10時25分	・大雪警報発表。	
14時00分頃	・積雪深が128cm、降雪量60cm/12h(最大時間降雪量は12cm)	・国道9号はタンクローリーの立ち往生等の影響で、上下線とも通行できない状況(警察が国交省に除雪車を要請していた)
14時~	・立ち往生車両列が延伸。 ・降雪も継続。	・立ち往生車両を随時排除、渋滞状況を道路情報板等で提供。 ・警察が国交省に要請していた除雪車1台が、国道9号の現場に到着。 ・警察へ連絡。 ・非常体制発令、鳥取県へ自衛隊の派遣を要請。
21時00分頃		
21時30分頃		
23時30分		
1月1日		
2時25分		・隣接の鳥取河川国道事務所より応援の除雪車を派遣。
6時00分		・鳥取側から給油・食事配給開始(国交省職員2名)。立ち往生車両台数を確認(約600台)。
8時50分		・立ち往生車両の救出開始(国交省職員・建設業協会30名)。 ・タンクローリー移動完了。 □引き続き除雪作業と立ち往生車両の排除を実施。
8時55分		・県へ連絡。 ・通行止め規制開始(琴浦町八橋~大山町松河原間)。
12時30分		
15時15分		
18時15分		・通行止め規制いったん解除(同区間)
18時45分		・再び通行止め規制開始(同区間) ・全線通行確保、通行止め規制解除。
1月2日		
5時7分	・大雪警報解除。	
8時25分		・全線通行確保、通行止め規制解除。
15時40分	・大雪注意報解除。	

### ■気象経過

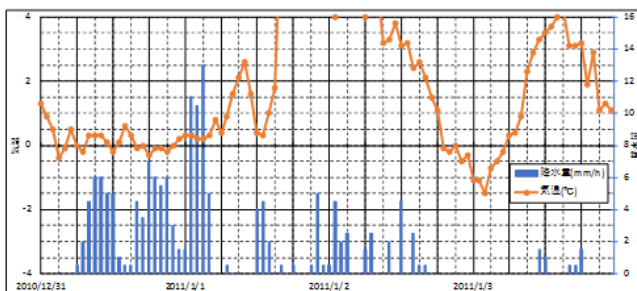
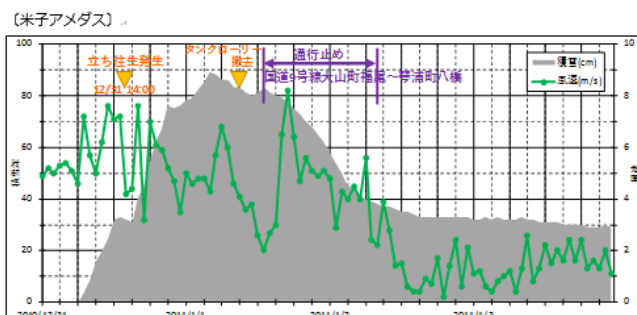


図3 雪害ナレッジ例(抜粋)

### 3. レーダによる降雪把握

#### 3.1 XバンドMPレーダ雨量計の概要

2で記載したとおり、除雪を行う場合、概括的情報については、気象会社等からの予測情報を中心に活用している。しかしながら、これらの情報は対象とする範囲が地方整備局全体で広域なこと、一定時間毎の予測でありリアルタイム情報では無いこと、気象状態と道路位置との関係が把握しにくいことなどの課題を有している。気象会社からの予測情報を補足する手段があれば、概括的情報の精度が高まると考えられる。

国土交通省では、近年、多発している局所的且つ短時間に発生する大量の降雨を正確に把握することを目的として大都市部を中心にXバンドMPレーダ雨量計(以下、XMPレーダ)の整備を行っている。また、従来から全国の雨量把握用レーダとして整備されているCバンド単偏波レーダ雨量計(以下、C単偏波レーダ)についてもマルチパラメータ(以下、MP化)を図り観測精度の高度化を図っており、XMPレーダ雨量計と同程度の精度で情報収集は可能となっている。

これらのレーダ雨量計で適切に降雪状況が把握可能であれば、道路管理者が除雪に必要とする何時、何処で、どの程度の降雪が発生しているか等の情報を得ることが可能となる。

XMPレーダは、マイクロ波(9.7GHz帯)を利用したレーダである。250mメッシュという非常に細かい精度で降雨データが取得可能であり情報の更新頻度は1分、検出可能距離は60km~80kmである。主要都市の豪雨監視を目的として39基が整備されている。

#### 3.2 XMPレーダによる降雪把握と降雪量把握補正

2017年に開催されたふゆトピア in 函館においてXMPレーダでは、降雪有無の把握は可能であるが降雪量については、実際の降雪量と大きな乖離が生じる場合もありなんらかの補正が必要なことを報告した。

そのため、補正技術としてC単偏波レーダ降水量把握に活用しているダイナミックウィンドウ法を適用し補正を試みた。図-4は、2017年1月23日~26日にかけて長岡地区で発生した豪雪時の降水データを気象庁データ(観測点:長岡)とXMPレーダデータで比較したもの

である。青の棒グラフは時間毎の気象庁アメダスデータである。黒の線グラフはダイナミックウィンドウ法適用前にXMPレーダで観測された雨量、赤の線グラフはダイナミックウィンドウ法適用後の雨量を示している。ダイナミックウィンドウ法適用後の雨量は、気象庁アメダスデータとは完全には一致しないが、補正前に比較して降雨量が改善されており、同法による降雨量補正が一定の効果を有していることが確認された。また、図-5は1月24日、16時の気象庁アメダス降雨量データである。新潟市、見附市、長岡市、小地谷市等、海岸部から約10km程度の箇所を中心に3mm~7mmの降雨量が観測されている。

一方、図-6(適用前)は、2016年1月24日、16時における新潟県長岡市から新潟市におけるXバンドレーダが検知した降雨(雪)データである。また図-6(適用後)は、そのデータに対してダイナミックウィンドウ法により補正を行ったものである。補正後は、長岡市から新潟市にかけて降雨(雪)量3mm~7mmの範囲が広がっており、アメダスデータで観測された雨量に近づいていることがわかる。この様に、ダイナミックウィンドウ法を適用す

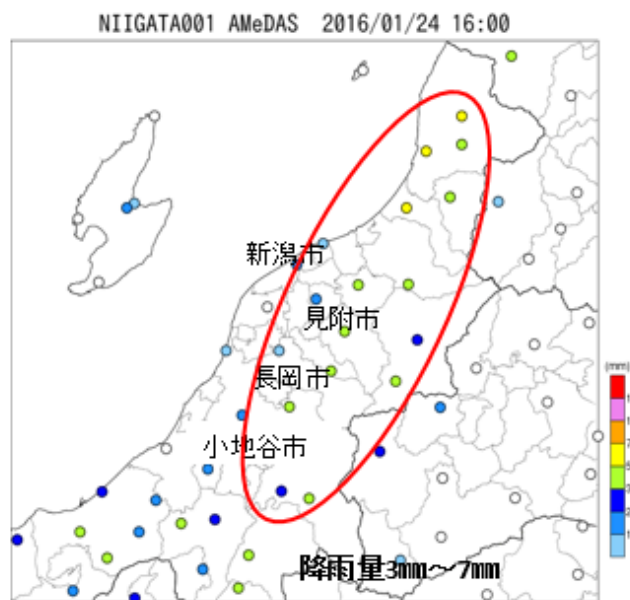


図5 1月24日16時のアメダス降雨量

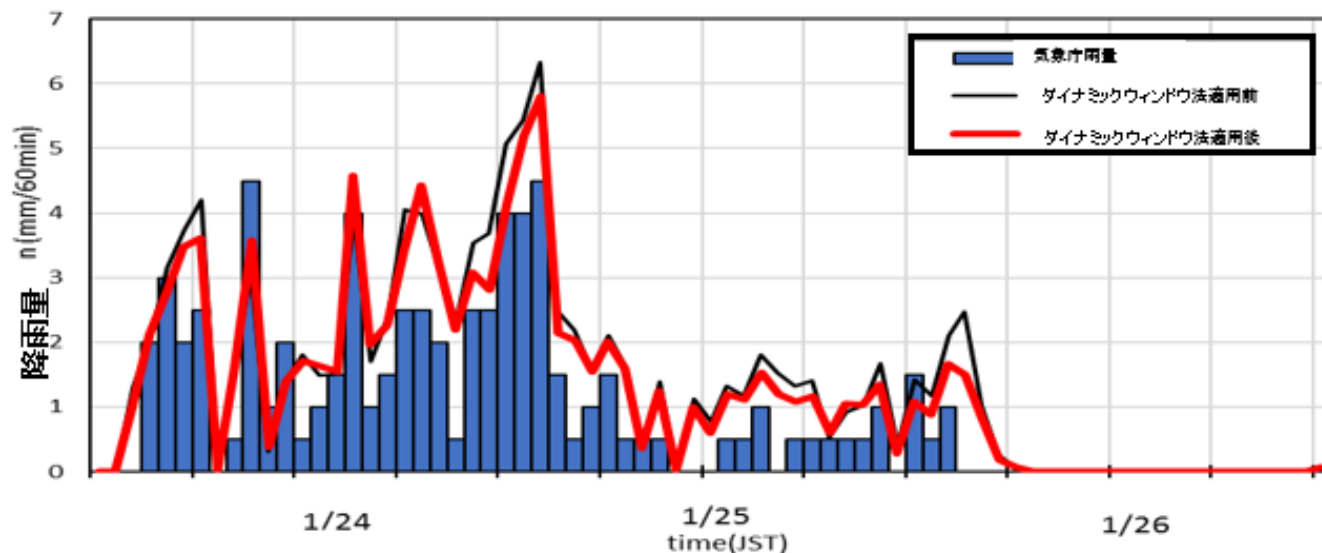


図4 長岡における降雨データの比較



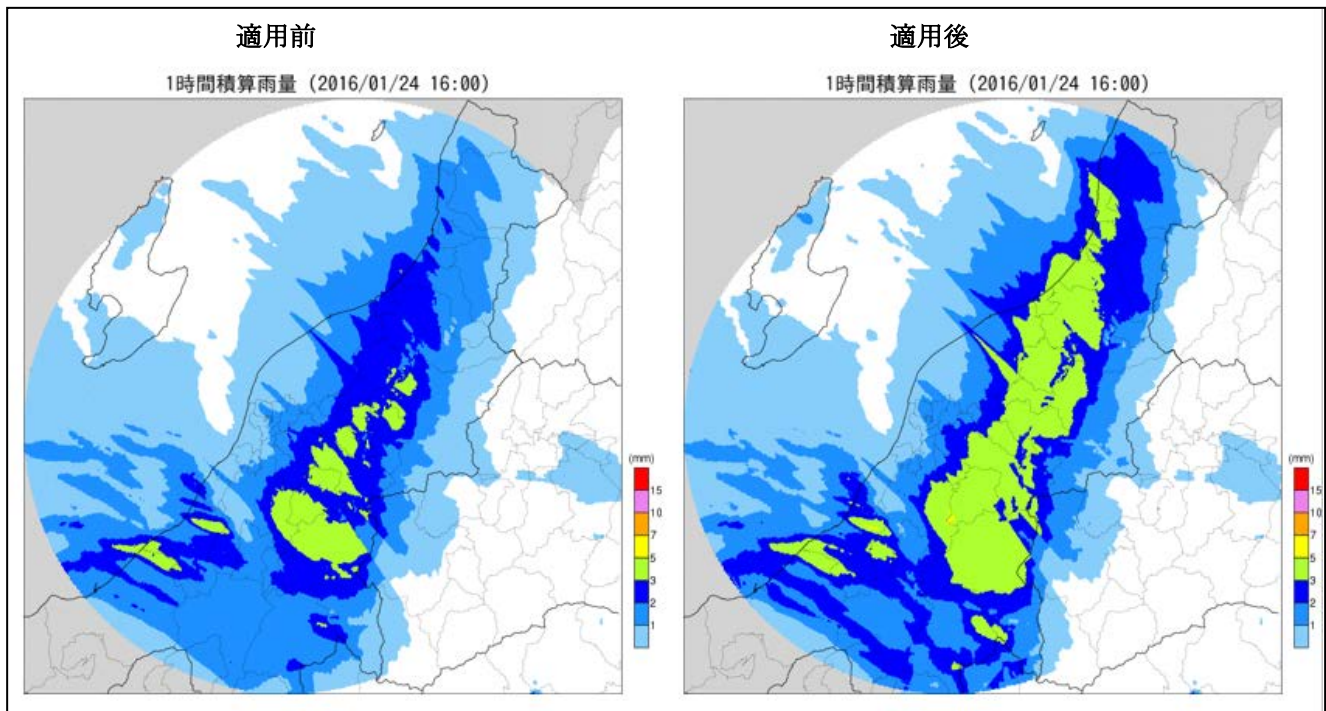


図6 XMPレーダデータのダイナミックウィンドウ法による補正

ることにより、XMPレーダにおいても降雪有無、降雪量が一定の精度で把握可能となることが推察された。

### 3. 3 レーダによる降雪把握技術の改良

前項までの検討においてXMPレーダを活用すれば、広範囲且つ常時の降雪範囲、降雪量が把握出来る可能性があることが確認された。しかしながら、XMPレーダによる降雪把握を実現し、その情報を道路除雪に活用するためには様々な課題がある。以下に当面、取り組むべき検討内容について記述する。

#### (1) 雨、雪判別機能の追加

降雪初期と終了期は雨、雪が混在する気象条件が多々発生する。降雨と降雪では、除雪体制の構築や除雪作業内容が大きく異なる。降雨の場合は当初、除雪体制を構築する必要は無いが、夜間の凍結に備えた凍結防止材散布準備や降雨が降雪に変化した場合を考慮した除雪体制準備等の作業が中心となる。

これに対して降雪の場合は除雪体制の構築、除雪作業の実施が中心となる。また、この時期はドライバーの雪道に対する認識が十分では無いこと等から適切に道路管理を行う必要がある。

レーダは広範囲の降雨状況が把握可能な事の特徴としているが、大気中に存在する雨滴の反射により降雨位置や量を判断するため、反射する対象物の形態判定機能は有していない。現在、幾つかの機関において粒子判別による雨、雪判別の研究がなされているが、実用化までには一定の期間を要すると思われる。

そのため雪、雨判別を簡易且つ確実にを行う方法として、道路管理者が保有しているCCTV画像情報をXMPレーダ表示画面と組み合わせる事により雪、雨判別を行う機能について検討を行う。

CCTVは道路上の特定箇所の道路状況を把握するために一定間隔で設置されている。情報の把握範囲が数十メー

トルと狭いこと、極端な悪天候時や夜間においては、更に情報の収集範囲が狭まることなどの課題を有しているが、リアルタイムに現地の状況を目視により直接把握可能であるため雪、雨判別は確実にを行う事が可能である。XMPレーダによる降雪状況を表示している画面上にCCTV情報を重ねることが可能になれば、道路管理者は降雪情報を正確に把握する事が可能となる。図-7にXMPレーダ表示画面にCCTV画像を組み合わせるイメージを示す。

#### (2) 雨、雪判別機能判定の精度向上

降雨、降雪は地表付近の外気温により変化する。そのため、XMPレーダにより得られた降雨位置や降雨量の情報に、気象庁が保有する気象庁数値予測(LFM)の地上気温を用いた面的な雪水比から降雪量換算の検討を行う予定である。図-8はXMPレーダデータに対して気温に応じ雪水比を用いた補正を行ったイメージである。

#### (3) Xバンドレーダの未検知エリアへの対応

XMPレーダは都市部における降雨監視を目的とし整備されたものであるため、日本列島全体をカバーしているものではなく未検知エリアが存在する。

一方、道路除雪把握に必要な降雪状況は日本列島全体で把握する必要がある。そのため、国土交通省が全国の降雨把握用として整備しているC単偏波レーダから得られる情報と合成することにより未検知エリアを解消することが可能となる。図-9にXMPレーダとCMPレーダ雨量計データの合成イメージを示す。なお、現在、国交省では、C単偏波レーダのMP化による検知性能の向上、XMPレーダとCMPレーダの合成を進めており、近い将来においてXMPレーダとほぼ同等の精度により全国規模で降雨監視が可能な体制が整備される。

#### (4) 降雪予測機能の追加

Xバンドレーダは大気中に存在する雨滴の濃さ、過去の移動方向、移動速度については検知可能である。一方、将来的な降雪予測を行うためには、大気の運動、雲

の振舞い等、様々な気象情報を組み合わせる必要がある。

そのため、Xバンドレーダにより得られた情報に気象庁から得られる短時間予測情報を加味する事により、数時間先の降雪予測に関する検討を行う予定である。表-1に検討イメージを示す。

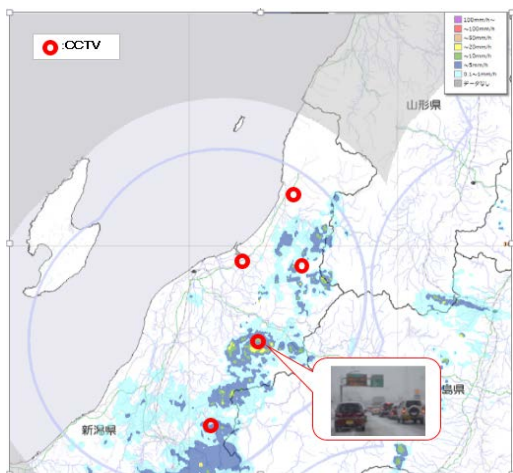


図 7 XMP 表示画面と CCTV 情報の組み合わせ

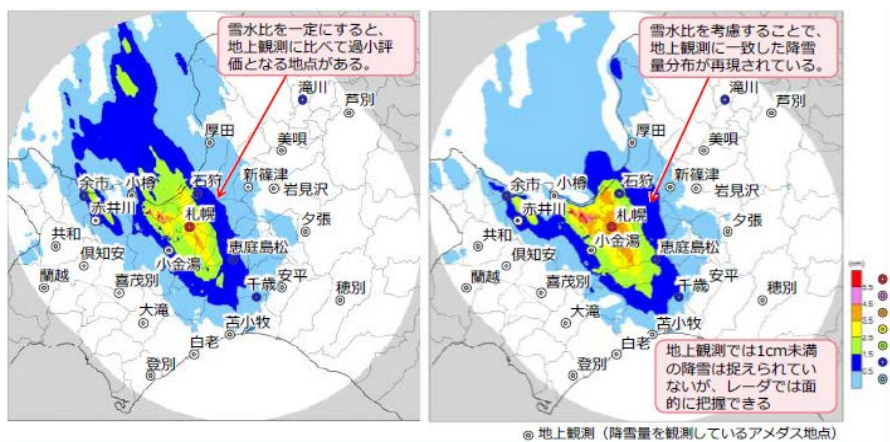


図-8 雪水比による補正イメージ

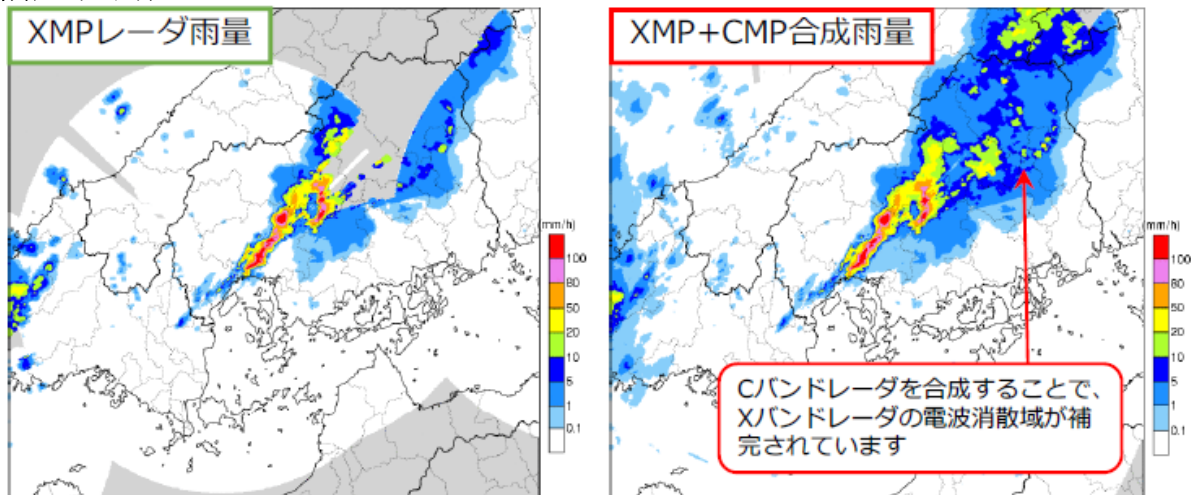


図-9 XMCレーダとCMPレーダの合成

表 1 気象庁情報と組み合わせた降雪予測

予測手法	計算手法	予測期間	更新間隔	デメリット
レーダを用いた降雨（雪）予測	レーダで観測した降雨（雪）分布を、直近の移動ベクトルを用いて外挿	1～3時間先	5分間隔	積乱雲などの擾乱の発生や発達・衰弱を表現することができない
気象庁降水量短時間予測	大気の流れや雲の振る舞いを物理法則に基づいて、数値的に予測	1～6時間先	30分間隔	更新頻度が粗い

↓  
Xバンドに加え、他の予測による補完や活用を検討



#### 4. 道路雪害発生判断機能の作成

除雪準備から降雪収束に至る一連の道路管理行動と各段階（時間）において必要とする活用情報と内容を示したものを図-10に示す。降雪発生一週間～1日前までは、気象庁や各種気象会社等から入手する気象予報情報を活用している。また、各種、気象予報情報を補完するものとして、前述のレーダ技術の活用も想定される。さらに、降雪発生時の状況把握については、CCTVや路面センサなど降雪、路面状態を直接把握するセンサが整備され実際に運用されている。

このような情報を組み合わせることで有効に活用可能であれば、適切な除雪行動に寄与すると考えられる。そのため、概括的情報把握精度を向上させる一手段として、道路雪害発生可能性判断機能の構築を行っている。

道路雪害発生判断機能とは、前述の雪害ナレッジに蓄積された過去の道路雪害データと、実際の気象情報を比較、類似パターンが見られる場合は、「雪害発止可能性有り」との判断を行い、発災が予想される地方整備局や国道事務所などに道路雪害アラーム1として、情報提供

を行う機能である。最初の段階では、降雪エリア（地方整備局単位）、雪害内容など、大枠の情報を提供する。さらに、降雪予測日に近づいた場合、レーダから得られた降雨情報等を組み合わせる事により精度を向上させ、道路雪害アラーム2として、雪害発生地域(対象路線)、時期、規模、内容、可能性等に関する情報を提供する。この機能が適切に機能すれば、道路管理者は降雪に備えた体制構築、被災を想定した対策準備等を早め実施する事が可能となる。図-11に機能イメージを示す。

#### 5. おわりに

道路は日本の人、物の動きを支える極めて重要なインフラである。そのため、冬期においても適切な道路管理を行い降雪状況下で道路交通を確保することが道路管理者の責務である。国総研では、今後の除雪におけるレーダの活用等、各種技術検討を進めるとともに、関係する整備局、自治体等と連携しつつ、道路雪害対策に関する検討を進める予定である。

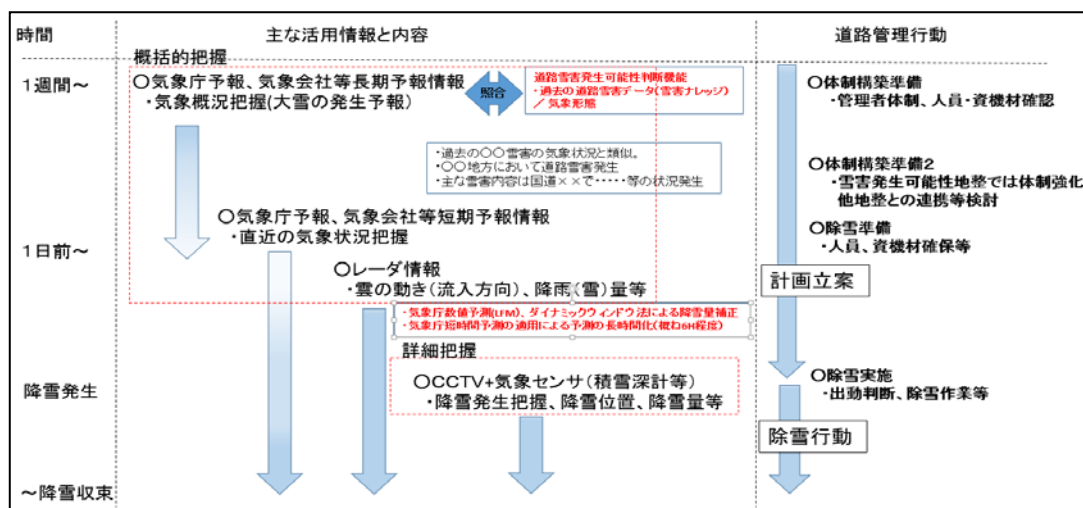


図-10 除雪までの各段階における行動と必要情報

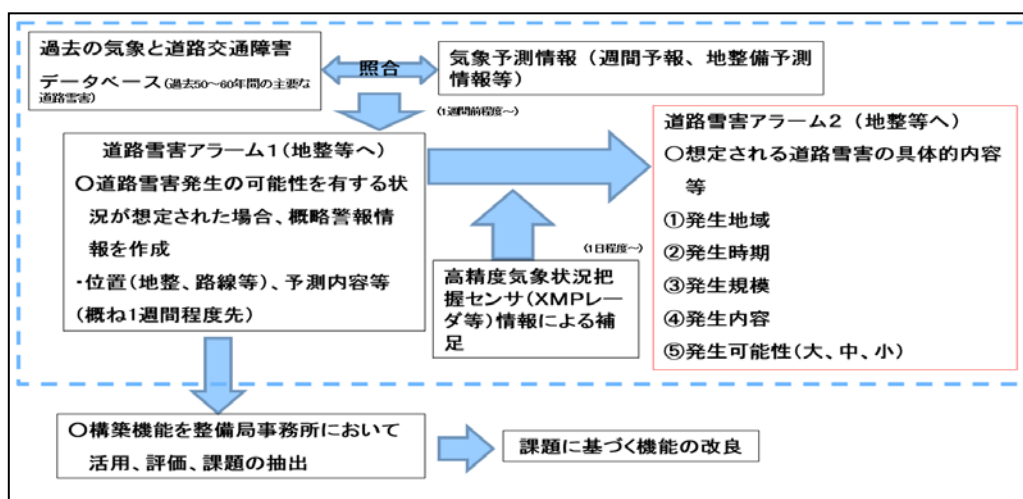


図-11 道路雪害発生判断機能のイメージ

参考文献：1)今長信浩、斉藤清志、大手方如、石井洋輔、片岡正次郎、冬期除雪支援におけるレーダ技術の活用に関する一考察、2017 ふゆトピア研究発表会論文集

2) 財団法人 河川情報センター、レーダ雨量計全国合成システム 運用管理指針(案)

\* 1 国土交通省国土技術政策総合研究所 所属 \* 2 国土交通省関東地方整備局