X-MP レーダによる降水粒子判別と道路雪氷対策への利用について

鴻野繁和*1、須藤哲寛*1、増田有俊*1、野村茂行*1、松口大輔*2

1. はじめに

福井県嶺南地方は、北陸地方の中でも気温が高い地域で、 冬期の降水が雨か雪かの判断が難しい地域である。冬期に は大雪の原因となる日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)が、到 達することがあり、局地的な短時間強雪が道路に大きな影響を及ぼす。また、近畿圏から流入する車両も多く、初冬期や終冬期にあられが路面に積もる場合には、高速道路においてスリップ事故が発生しやすい。高速道路における適切な道路管理のために、雨雪判別と降雪量予測の精度向上が求められるが、若狭湾から流入する雲の特性(雨雪判別や降雪規模など)を把握するための適切な観測機器がなかった。

若狭湾から流入する雪雲を立体的に観測し、雲の中の粒子が雪なのか雨なのかを判別するために、Xバンド帯マルチパラメータレーダ(X-MPレーダ)を設置した。また、X-MPレーダの粒子判別結果を検証するために、高速道路沿いに設置されたディストロメータによる降水種別判定結果や自動降雪計の観測結果を利用した。

2. 気象レーダによる降雪量の推定の問題点

図-1は舞鶴若狭自動車道で24時間で35~119cmの大雪が降った日のレーダ図である。平成29年2月10日2時の気温は $0.3\sim0.8$ ^{\circ}、時間降雪量は $1\sim6$ cmであったが、20時には気温 $-0.3\sim-0.9$ ^{\circ}、時間降雪量4~14cmとなった。レーダ図だけではこのような降雪量の差異を区別することが難しく、また、気温のわずかな差で、短時間強雪につながる。

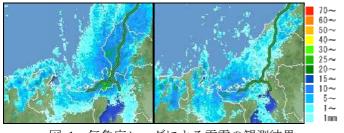


図-1 気象庁レーダによる雪雲の観測結果 (平成29年2月10日 左図:2時、右図:20時)

3. X-MPレーダの設置と粒子判別

気象レーダはグランドクラッターと呼ばれる地形の影響を避けるため、やや仰角を上げて観測している。この方法だと、遠方になるにしたがってレーダビームの観測高度は

高くなり、次第に上空の雲の反射をとらえることになる。

また、日本海から接近する雪雲の多くは積乱雲で、高さ方向に均一ではないため、水平に回転する観測では、地上への影響の異なる高さの雪雲を捉えることになる。このような観測上の問題を解決するために、仰角を変化させながら観測することも行われているが、いずれの方法でも近距離の高い雲の観測ができない。

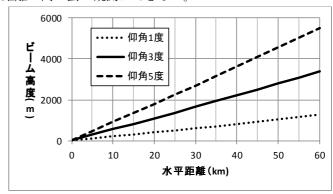


図-2 レーダの仰角とビーム高度の関係

雲の中の雨や雪の立体的な粒子分布を観測するために、 平成29年11月、若狭湾に面する福井県美浜町レインボーライン山頂公園 (標高約400m)にX-MPレーダを設置した。このレーダは探知距離は50kmで分解能は約50mである。雨雲の高さ方向の断面を観測するために、垂直にレーダを回転するようにした。さらに、水平方向に回転させて、全方向の観測ができるようにし、9分で全方位の雲の立体的な観測を完了する。



図-3 X-MPレーダ概観と回転方向

X-MPレーダは、二重偏波レーダとも呼ばれ、水平偏波と垂直偏波による反射強度を同時に観測できるレーダである。これらの反射強度とその差を分析することにより、反射粒子の大きさや扁平率を推測することができる。

例えば、水平偏波と水平偏波の強度差から反射粒子の 扁平率が推定され、また、両者の相関係数から、粒子の 均一性が推測できる。これらの粒子の形状と分布及び推 定気温から雲中の粒子判別を行う。図-4に粒子判別の方 法の例を示す。

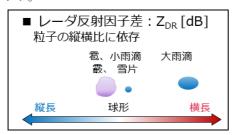


図-4 レーダ反射因子による粒子判別方法の例 (増田有俊、中北英一:水工学講演会資料 2014より)

雲の中の水蒸気は、上空で雨粒や氷晶に変化し、それらが結合することによって、雪やあられ、雨となって地上に達する。雲の中の粒子がどのような構成で分布し、時間的にどのように変化しているかを観測することにより、海上の雲が陸地に達したとき、どのような影響を及ぼすかを予測することができる。

粒子判別の妥当性の検証のために、高速道路内に設置された自動降雪計とディストロメータの観測結果を利用した。自動降雪計は5分ごとの降雪量を観測できる装置で、ディストロメータは落下する降水の落下速度と粒径から10種類の降水種別に判定する装置である(図-5)。



図-5 自動降雪計とディストロメータ(樫曲)

3. X-MPレーダの観測結果

図-6は平成30年2月10日 9時気象庁レーダの観測例である。北陸地方に西から雨雲が接近しているが、雨雲なのか雪雲はレーダエコーからは判別しづらいが、松江付近同心円状の強雨域があるが、これは、ブライトバンドとよばれる。上空の雪が落下して雨に変わると、雨から雪

に変わる高さでレーダの反射強度が強まる現象で、図-6 に示したように、レーダが観測する高さがほぼ一定の距離になることから、同心円状の強いエコーが観測される。 このことから、この雲の下の地上では雨が降っていると推測できる。



図-6 気象庁レーダによる降水観測結果 (平成30年2月10日 9時)

図-7は同時刻の西南西方向の雲の鉛直断面の粒子判別結果である。気象庁レーダの雨雲の付近は、上空1000~3000m付近の高さで雪となっており、1000m付近でみぞれとなり、それより下層では雨となっていることが分かる。このみぞれの層が、ブライトバンドとして観測されているものと考えられる。また、X-MPレーダでは、レーダサイトから20km先まで雨が観測されており、上空は氷晶が観測されているが、上空の降水強度が弱く、雨やみぞれが含まれている雲の高さが1000m以下と低いため、気象庁レーダでは観測されていない可能性がある。

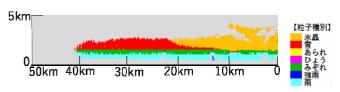


図-7 X-MPレーダによる粒子判別結果 (平成30年2月10日9時2分)

図-8の管内の自動降雪計による観測によれば、12時頃から1時間に1mm程度の雨が降り出し、夜にはやや雨量が多くなったが、降雪は観測されていない。このことから、X-MPレーダによる粒子判別結果から、2時間後には雨が降ると予想でき、雨雪の判断に有効であるといえる。

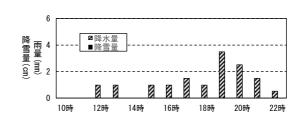


図-8 管内の雨と雪の観測結果 (気山高架橋 平成30年2月10日)

図-9は能登半島沖の小さな低気圧による雪雲が近づいてきたときの気象庁レーダ図である。低気圧に伴う雪雲が渦状に連なり、若狭湾沖から東西に延びる雲が広がっていることが分かる。雲の所々がやや強い反射強度となっているが、レーダエコーの形状と強さからだけでは雨か雪かの判別は困難である。



図-9 気象庁レーダ観測結果 (平成30年2月4日 14時0分)

図-10は同時刻のX-MPレーダによる粒子判別結果である。 雲は地上から約3000mの高さで、一部氷晶の部分もある が、ほぼ雪やあられで構成された雲であることが分かる。 したがって、接近する雲は雪を降らせる雲であると推測 できる。

図-11はX-MPレーダの反射強度の観測結果である。30km 程度先までは地上付近のみ反射強度が強く、それより先 は上空まで反射強度が強くなっている。このことから、 近い雲の降雪強度は強くないが、遠方の雲は、上空まで 反射強度の強い雪雲で占められているので、強い雪を降 らせるポテンシャルがあると考えられる。

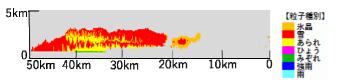


図-10 X-MPレーダによる粒子判別結果 (平成30年2月4日14時5分 北北西方向)

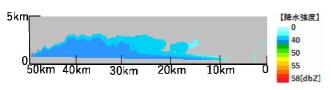


図-11 X-MPレーダによる反射強度 (平成30年2月4日14時5分 北北西方向)

図-12は降水量と降雪量の観測結果である。18時から雪が降り出し、次第に強度が強まって長時間継続した。

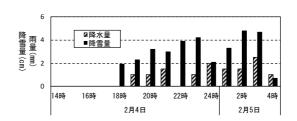


図-12 管内の雪と雨の観測結果 (北川橋 平成30年2月4~5日)

図-13は若狭湾沖で雲の収束が観測されたときの気象庁レーダ図である。高速道路の西に発達した雲が捉えられている。X-MPレーダでは5000m近くまで発達した雲が観測され、雲の形はほとんど変化せず、同じ場所に停滞した(図-14)。雲の中にはひょうも観測され、地上付近では降水強度が強まっている(図-15)。管内の降雪はその後強まり、夜にかけて1時間に5cm前後の降雪が継続した(図-16)。このような収束雲はJPCZと呼ばれるが、X-MPレーダは雲の特徴や動向を捉えており、今後の予測に利用できる可能性がある。



図-13 気象庁レーダによるレーダ画像 (平成30年1月12日15時0分)

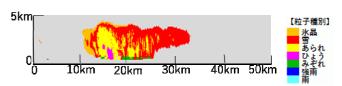


図-14 X-MPレーダによる粒子判別結果 (平成30年1月12日15時10分 北東方向)

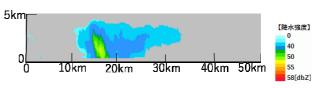


図-15 X-MPレーダによる反射強度 (平成30年1月12日15時10分 北東方向)

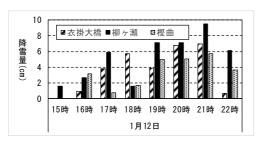


図-16 平成30年1月12日の降水量と降雪量

図-17は寒冷前線通過による降水時のレーダ図である。若狭湾に発達した雨雲が観測されている。図-18この雨雲の方向のX-MPレーダの観測結果である。上空3000m以上に雪やあられを含んだ積乱雲と思われる雲が観測されており、中心部分で5000mの上空から地上に達するひょうが観測されている。

樫曲でのディストロメータによる降水粒子の判別によれば、X-MPレーダでの観測の約1時間後の17時13分~17分にかけて雨に混じってあられが観測されている(図-19)。 樫曲の気温は15.2℃で、このような高い気温でもあられが降ることがあることが分かった。

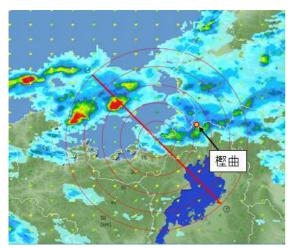


図-17 気象庁レーダによる16時20分のレーダ画像 (平成30年4月11日 16時20分)

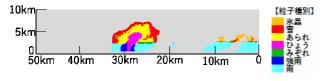


図-18 X-MPレーダによる粒子判別結果 (平成30年4月11日 16時15分 北西方向)

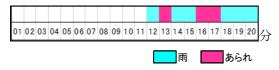


図-19 ディストロメータによる降水種別判別結果 (平成30年4月11日17時01分~20分)

4. 粒子判別結果の気象予測と道路雪氷対策への利用

日本海から接近する雲により、今後、雨が降るか雪が降るかの判断が難しかったが、X-MPレーダの粒子判別結果は1~2時間後の予測に効果的で、予測の信頼性が増加した。

あられについては、強い反射強度の雲があられを伴っているか、地上まで達するあられかが観測できるようになったため、路面への対策のための出動が必要か否かが明確にわかるようになった。

5. 課題と今後の予定

X-MPレーダの降水の粒子判別観測により、雲の立体的な構造を把握することが可能となった。判別結果において、実際の現象と差があると考えられる。地上に落下する5mm以上の氷粒をひょう、5mm未満をあられと定義されているが、冬期でも地上でひょうと判別されるケースが度々あり、上空では雪とあられが雲中に観測されるケースが多かった。ひょうと判定された粒子をあられまたは氷あられに、上空のあられと判定された粒子は雪あられまたは氷粒と呼ぶのが妥当と思われる。しかし、氷あられ、雪あられの呼称は一般的になじみが薄く、氷粒としても定義が曖昧になってしまう。粒子の分類分けについては、なじみやすく理解しやすい呼称を検討すべきかもしれない。

地上付近から上空までの降水粒子について、立体的に 粒子判別ができることがわかった。また、従来のレーダ と同様に降水強度についても観測でき、これらの情報を 組み合わせると、降雪強度について立体的な観測が可能 となる。この観測結果を利用すれば、陸地に達していな い日本海の雲について降雪量を推定でき、地上に達して いない上空の雲でも、降ってきたらどの程度の降雪にな るかが直接観測できるので、早めの効率的な出動準備が 可能となる。

6. おわりに

本稿は平成29年年9月15日から平成30年10月31日において実施した、気象情報提供業務におけるX-MPレーダによる観測と検証結果の成果の一部をまとめたものである。

7. 参考文献

増田有俊、中北英一: Xバンド偏波レーダを用いた降水セルのライフステージ判別手法の開発 水工学論文集 第58巻 2014

増田有俊、中北英一: Xバンド偏波レーダを用いた降水 セルのライフステージ判別手法の開発 水工学講演会資 料 2014