

# 山岳性降雪雲の人工調節に関する研究 水資源確保を目指して

報告者 村上 正隆 (物理気象研究部)

## 1 はじめに

近年、大都市とその周辺地域では、人口増加と1人当たりの水使用量の増加により潜在的な水不足の状態にある。例えば、東京都と周辺に位置する関東地方では、昭和47、48、53、54、57、62、平成2、6、8、9、13年と、2～3年に1回程度の割合で渇水が頻発している。融雪水への依存度の高い中部地方以北の地域では、冬季の水源地における少雪と梅雨時の雨不足が重なると、たちどころに渇水騒ぎとなる。平成6年の全国的な大渇水は記憶に新しいところである。

このような水不足は世界的な傾向で、国連が2025年までに世界中の人口の2/3が水不足の問題に直面すると警告しているほどである。現在でも、米国の30数件を始め毎年、世界30数国で100件以上の気象調節のプロジェクトが実施されている。これらのプロジェクトの7割以上が水資源の確保を目的としている。

気象庁気象研究所と国土交通省利根川ダム統合管理事務所は平成6年度から共同研究を実施し、関東地方の水資源の安定供給をはかるための一方策として、人工降雨降雪の可能性を検討してきた。ここでは、共同研究の概要と最新の研究成果について報告する。

## 2 水資源確保のシナリオ

水資源を確保するためには、暖候期(渇水時)にシーディングを行い増雨をはかる方法と、寒候期に増雪をはかる方法が考えられる。前者は渇水対策という観点からは即効性があるが、出現する雲すべてが必ずしもシーディングに適した雲ではないこと、増雨の場合は増加量が大きすぎると洪水等への配慮も必要となる。一方、後者は、即効性は弱い、シーズンを通して適した雲にシーディングを行い、山岳部(ダム水源地)に積雪の形で水資源を貯えることができ、増雪による洪水等の心配もない。現在、経済効率が高いと考えられているのは、山岳性過冷却雲に対するシーディングであり、このような雲は日本では冬季に頻繁に出現すると考えられる。以上のことを考慮して、まず、冬季に越後山系にかかる雪雲に対してシーディングを行って増雪を図ることを検討対象とした。

## 3 観測体制

冬季、越後山脈にかかる雪雲を観測するために、風上側平野部、風上側斜面、風下側斜面(ダム集水域)に2波長(23GHzと31GHz)のマイクロ波放射計を設置し、一冬(11



図1 人口降雪プロジェクトの概念図

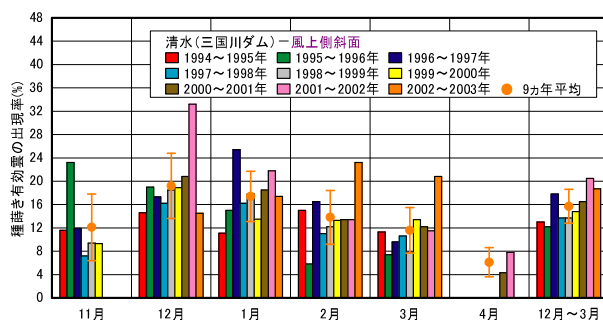


図2 冬季、越後山脈風上斜面上におけるシーディングに適した雲の出現頻度

月～3月)を通して雪雲中の積分雲水量を測定した。その他に、観測期間中に3週間程度の集中観測を実施し、研究観測用航空機、雲粒子ゾンデ、ドップラーレーダ等を用いたシーディング前後の雪雲の内部構造の観測と地上降雪粒子の観測を実施した(図1)。

## 4 シーディングに適した雲の出現頻度

雲粒子ゾンデを用いた観測結果から、雲頂温度 $-5 \sim -25$ の雪雲のなかに高度2km以上に豊富な過冷却雲水を含み、シーディングに適した雲が頻繁に見られることがわかった。

そこで、静止気象衛星の赤外チャンネルデータから求められる雲頂温度と地上設置マイクロ波放射計から求められる積分雲水量を用いて、観測領域上を対象に、シーディングに適した雲の出現頻度を調べた。その結果、山岳風上斜面上で出現頻度が高く、時間に換算すると全期間の15～20%となることが分かった(図2)。

シーディングに適した雲は、西高東低の冬型気圧配置、寒前冷線通過前後及び南岸低気圧の通過直後に出現頻度が

高く、冬型気圧配置でも、その継続時間が比較的短いときや寒気吹き出しの終盤に多く出現することも分かった。

#### 5. 航空機を用いたシーディング実験

平成 9 年度から 3 冬期間は 1 機の航空機（シーディングと雲観測を兼用）で小規模シーディング実験を、平成 12 年度から 3 冬期間は 2 機の航空機（シーディング用と雲観測用）を用いて準実スケールのシーディング実験を実施し、ドライアイスシーディングによる雲の内部構造変化を調べた。

図 3 は、雲頂温度 - 14 の山岳性降雪雲に対してドライアイスシーディングをした直後の雲の内部構造の変化を示す。氷晶は 10 分後までに昇華凝結成長により数 100 μm にまで成長し、それ以後は付着併合成長により数 mm の雪片（降雪粒子）にまで成長したことが分かる。シーディングによって生成される降雪粒子のタイプは、過冷却雲水が多い場合には濃密雲粒付き結晶や小粒の霰となる傾向も確認された。

降雪粒子の画像から算出したレーダ反射強度は風上側 20 km 付近ではともに 8 dBZ 程度である。ダム上空まで移動する間に自然の雲では 10 dBZ 程度へと若干の増加しかみられないが、シーディングカーテン内では 15 dBZ 程度へと顕著な増加がみられ、シーディングによるレーダ反射強度の増加は 3 ~ 5 dB と見積もられた。この結果はレーダ観測の結果とも整合的であった。シーディングカーテンの幅は、数分後には 200 ~ 300m であるが、時間とともに拡散し、20 ~ 30 分後には 2 ~ 3 km まで広がり、この程度の間隔で風向に直交する方向にシーディングするのが効果的であることも分かった。

#### 6. 数値実験によるシーディング効果の評価

2 次元および 3 次元非静力学モデルを用いて、冬型気圧配置の下で越後山系にかかる種々の雪雲をシミュレートし、観測データとの比較を通してモデル性能の検証を行った。さらに、モデルの空間解像度やシーディング方法がシーディング効果の見積もりに及ぼす影響評価・2 次元モデルの適用限界の評価・最適シーディング法の開発なども行った。

これらの結果をふまえて、2 次元モデルを用いた最適ドライアイスシーディング実験を行い、1 冬期間（1996 年 12 月 ~ 1997 年 3 月）の降雪量をどの程度増加できるかを調べた。1 冬期間の降水量の 7 ~ 8 割がもたらされる冬型気圧配置の期間に限定して、1 日 4 回（6 時間毎）の初期値（GANAL）を用いてシーディング実験を行った。ダム集水域においては、約 500mm、約 5 割の降水増加がみられる（図 4）。

#### 7. まとめ

これまでの研究から、越後山脈の風上斜面上では、シー

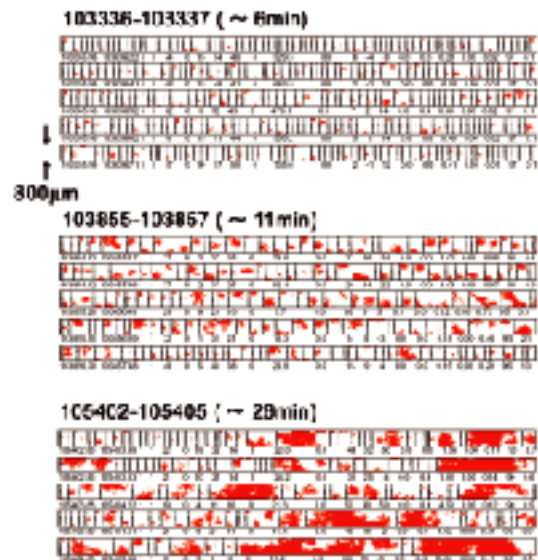


図 3 シーディング 6 分後、11 分後、20 分後におけるシーディングカーテン内で観測された雲粒子・降水粒子の画像（2D-C イメージ）

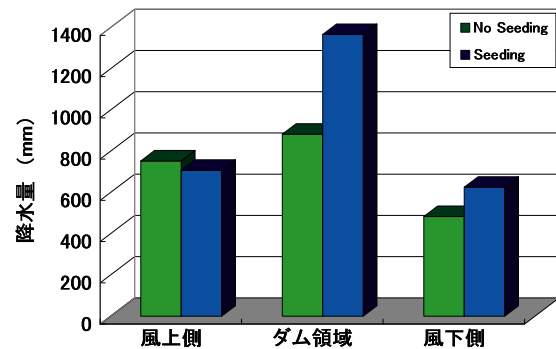


図 4 一冬を通したシーディング効果

ディングに適した雲が時間に換算すると 1 冬期間の 15 ~ 20% と高い頻度で出現し、最適なシーディングを行うことにより、一冬の降雪量を 40 ~ 50% 増加させることが可能ことが示された。

最新の観測技術と雲の数値モデルを用いたコンピュータシミュレーションを駆使することにより、理論的には最適シーディング法を確立し、シーディング効率を向上させることが可能となりつつある。しかし、その技術を実用化するためには、理論的に決定された最適シーディング法を実施するための工学的なシーディング技術の開発のほかに、降水調節の及ぼす自然環境への影響と社会的影響について地域住民に十分な理解を得ることが必須である。本共同研究の成果は、このとき必要となる科学的データ（シーディング効果の大きさ、そのために必要な経費、周辺地域での降水量の変化等）を提供するものである。

今後も、山岳性降雪の人工調節の観点からの研究に加えて、観測空白域の降雪実況把握・予測精度向上の観点からも研究を進め、水資源確保・水資源の有効利用技術の高度化に対する社会的要請に応えていきたい。