

TECHNICAL REPORTS OF THE METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE No.48

Study of Precipitation Mechanisms in Snow Clouds over the Sea of Japan  
and Feasibility of Their Modification by Seeding

BY

Physical Meteorology Research Department

AND

Forecast Research Department

気象研究所技術報告

第48号

日本海降雪雲の降水機構と人工調節の可能性に関する研究

物理気象研究部  
予報研究部



気 象 研 究 所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

JULY 2005

# METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE

Established in 1946

Director-General: Dr. Tokunosuke Fujitani

Forecast Research Department	Director: Dr. Masato Sugi
Climate Research Department	Director: Dr. Akira Noda
Typhoon Research Department	Director: Mr. Hitoshi Sakakibara
Physical Meteorology Research Department	Director: Mr. Norio Hayashi
Atmospheric Environment and Applied Meteorology Research Department	Director: Mr. Tetsuji Sawai
Meteorological Satellite and Observation System Research Department	Director: Mr. Yozo Takayama
Seismology and Volcanology Research Department	Director: Mr. Hidemi Ito
Oceanographical Research Department	Director: Dr. Jun-ichi Ohyama
Geochemical Research Department	Director: Dr. Katsumi Hirose

1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, 305-0052 Japan

## Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Tetsuji Sawai

Editors : Makoto Ohzeki      Yuhji Kuroda      Kenichi Kusunoki  
          Shigenori Haginoya    Naoko Seino      Masahiro Sasaoka  
          Takeyasu Yamamoto    Norihisa Usui     Masao Ishii  
Managing Editors : Yoshihisa Nakamoto, Seiichi Suzuki

The *Technical Reports of the Meteorological Research Institute* has been issued at irregular intervals by the Meteorological Research Institute since 1978 as a medium for the publication of technical reports, data reports and comprehensive reports on meteorology, oceanography, seismology and related earth sciences (hereafter referred to as reports) contributed by the members of the MRI and the collaborating researchers.

The Editing Committee reserves the right of decision on acceptability of manuscripts and is responsible for the final editing.

---

© 2005 by the Meteorological Research Institute.

The copyright of reports in this journal belongs to the Meteorological Research Institute (MRI). Permission is granted to use figures, tables and short quotes from reports in this journal, provided that the source is acknowledged. Republication, reproduction, translation, and other uses of any extent of reports in this journal require written permission from the MRI.

In exception of this requirement, personal uses for research, study or educational purposes do not require permission from the MRI, provided that the source is acknowledged.

Study of Precipitation Mechanisms in Snow Clouds over the  
Sea of Japan and Feasibility of Their Modification by Seeding

BY

Physical Meteorology Research Department

AND

Forecast Research Department

日本海降雪雲の降水機構と人工調節の可能性に関する研究

物理気象研究部  
予報研究部

気象研究所

## 序

日本海側の地域には冬季、大量の降雪がもたらされる。これは、熱と水蒸気を取り込みながら日本海上を渡ってくるシベリア寒気団からの寒気吹き出し（季節風）によるものである。国土の約半分を占める豪雪地帯に住む 2000 万以上の人々にとって交通路確保、屋根雪除去等の雪対策は、冬季の大きな負担となっている。この負担を軽減するために、降雪の短時間予報の改善や降雪被害の緩和のための降雪の人工調節技術の確立が望まれているが、そのためにはこれらの雪雲の降水機構の理解が必須である。

1960 年代に気象研究所が中心となって実施した北陸豪雪の特別観測に代表されるように、日本海降雪雲に関する総観スケール・メソスケールの研究は数多くなされてきたが、マイクロスケール・メソスケール現象に焦点を当て雲物理学的立場から降雪機構を調べた研究はそれまでさほど多くない。また、降雪（降水）調節に関しても、諸外国や我が国においても研究が進められてきたが、実際の日本海降雪雲の調節可能性に関する技術的見通しはまだ得られていない。

気象研究所では、防災科学技術研究所・土木研究所・北海道大学・名古屋大学・秋田大学などと共同で、1988 年度から 1992 年度まで科学技術振興調整費「降積雪対策技術の高度化に関する研究」の副課題として「降雪機構の解明と降雪雲調節の可能性に関する基礎的研究」実施した。複数のドップラーレーダ、特殊ゾンデや研究観測用航空機等を組み合わせた総合観測から、これまで不明であった雲中の気流の 3 次元構造や氷晶や過冷却雲水の分布を明らかにし、降雪機構の解明を進めた。数値モデルを用いた研究では、雲物理過程を陽に含む各種モデルが開発され、降雪機構の解明が進められ、降雪雲の人工調節に関するシミュレーションも実施された。

本報告書はこの 5 年間のプロジェクトの成果を中心にまとめたものである。プロジェクト終了から 10 年以上が経過した現在でも、プロジェクトで取得された豊富なデータの解析から新しい知見が得られている。このプロジェクトは、各種の観測を同期させてマイクロスケールからメソスケールの現象を対象に日本海降雪雲を調べた総合的研究としては初めてのものであり、日本海降雪雲の解明に資す

る最新の成果を数多く収めた。個々の研究成果についてはすでに気象学会等で発表済みのものもあるが、今後の研究の一助となることを願い、これまでの成果をまとめて印刷することとした。

気象研究所ではその後、降雪予測の精度向上などを目標とした戦略的基礎研究「メソ対流系の構造と発生・発達メカニズム解明の研究」や、首都圏の水資源確保の可能性を探る「山岳性降雪雲の人工調節に関する研究」（利根川ダム統合管理事務所との共同研究）の中でも降雪に関する研究が進められており、これらの成果と併せて雪雲の総合的理解を深めるのに貢献できれば幸いである。

平成 17 年 4 月

物理気象研究部長 林 則雄

# 目 次

序

第1章 概 要	1
1.1 研究の目的	1
1.2 観測体制	1
1.3 成 果	2
第2章 降雪の統計	8
2.1 地上降雪粒子の統計	8
2.2 降雪雲エコーの統計	14
第3章 降雪粒子の諸特性	19
第4章 降雪雲の微物理構造（ゾンデ観測）	25
4.1 観測手法	25
4.2 ゾンデ観測の統計	30
4.3 孤立型対流性降雪雲	35
4.4 初期氷晶分布と氷晶発生機構	48
第5章 降雪雲の気流構造（デュアルドップラーレーダ観測）	56
5.1 デュアルドップラーレーダデータ解析法	56
5.2 バンドの走向と混合層内の平均風向や鉛直シアとの関係	59
5.3 孤立型降雪雲	66
5.4 Lモードのバンド状降雪雲	73
5.5 Tモードのバンド状降雪雲	85
第6章 降雪雲の航空機観測	99
6.1 大気観測用航空機と搭載測器	99
6.2 背の低い降雪雲のアンサンブル平均	101
第7章 降雪雲内の鉛直積分雲水量	109
第8章 種々の降雪雲の降水（雪）機構	114
8.1 風速増加域に出現したバンド状降雪雲	114
8.2 暖気移流場に出現したバンド状降雪雲	127
8.3 低気圧後面の背の高いバンド状降雪雲	140
8.4 筋状降雪雲	152

第9章 日本海降雪雲の数値シミュレーション	162
9.1 混合層発達と降雪雲形成 (2-D シミュレーション)	162
9.2 孤立型降雪雲の EVOLUTION	178
9.3 地形の効果	183
9.4 降雪雲群の振舞い	189
第10章 野外シーディング実験	200
第11章 シーディング数値実験	207
11.1 1次元モデルによるシーディング数値実験	207
11.2 2次元・3次元モデルによるシーディング数値実験	217

謝 辞