

非静力学モデルを用いた人工降雪実験

*橋本明弘¹・村上正隆¹・林修吾²・加藤輝之²
¹ 気象研究所物理気象研究部 ² 気象研究所予報研究部

1. はじめに

水資源確保のを目的とした雲の人工調節実験において、人工的に改変された雲の内部構造や地上降水量への影響を定量的に捉えるには、観測のみならず数値モデルを用いた評価が必要である。科学技術振興調整費「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」は、各種シーディング物質を用いた野外実験を計画している。野外シーディング実験の定量評価のために開発した、航空機によるドライアイスシーディングモデルの概要と矢木沢ダムを対象とした予備実験の結果について報告する。

2. シーディングモデルの開発

気象庁非静力学モデル(JMANHM)をベースとして、ドライアイスの昇華による氷晶発生と、シーディング飛行機の飛行経路長を求めるためのスキームを組み込んだシーディングモデルを開発した。

単位質量のドライアイスの昇華によって発生する氷晶数は、Fukuta *et al.* (1971)の実験結果に基づき、 $1 \times 10^{13} \text{ g}^{-1}$ とした。ドライアイスペレットの昇華率は、Fukuta *et al.* (1971)によって、実験に基づいた定式化がなされており、これを用いた。航空機から撒布されたドライアイスペレットの時々刻々の動態は、落下速度を 10 m s^{-1} (村上と松尾, 2005)と仮定し、移流と昇華率を考慮した、混合比と数濃度に関する予報方程式を解くことで得られる。この氷晶発生スキームと、タイムステップ当りにモデル格子内を通過するシーディング飛行機の飛行経路長を求めるスキームを組み合わせることで、モデル格子内に撒布されるドライアイスの質量が決まり、それによって発生する氷晶数を決めることができる。

3. 数値実験

新潟県日本海岸から群馬県矢木沢ダムを含む水平 $200\text{km} \times 100\text{km}$ 、鉛直約 9.3km を計算領域(図1)とし、12時間の時間積分($dt=3\text{sec}$)を行なった。モデル解像度は、水平 500m 、鉛直方向には 40m から 500m のストレッチ格子(38層)とした。初期値は、2005-2006冬季JMANHM実験(水平解像度 1km) (林と加藤, 2006)で得られた2006年1月18日03時(JST)のデータから作成した。この日は、北西季節風が定常的に吹き付ける典型的な事例であった。温度・湿度プロファイルは、風上側境界に近い海上のデータを用い、風速プロファイルは、内陸のデータを用いた(図2)。風向は、計算領域長辺方向のみとした。側面境界には放射条件を用い、流入境界のみ初期値を10%の重みで合成した。

雲物理過程は、5つの水物質カテゴリ(雲粒・雨滴・氷晶・雪粒子・霰粒子)全てに、混合比・数濃度の2つを予報変数とする2モーメントパルクスキームを用いた。

シーディングを行わない場合(実験I)と行う場合(実験II)の二通りの実験を行った。実験IIでは、矢木沢ダムの風上側尾根から更に数km風上をシーディング領域とし(図3)、計算開始後6時間目にシーディングを開始した。ドライアイスペレットの初期粒径は直径 4 mm 、シーディング率は毎分 1 kg 、航空機の飛行速度は 100 m s^{-1} 、飛行高度は 3000 m とした。航空機シーディングによって、過冷却雲内にドライアイスのシーディングカーテンを形成し、降雪粒子のもととなる大量の氷晶を発生させることができる(図4)。

4. 結果

図5aは、実験Iの計算開始後7時間目の20分間降水量である。矢木沢ダム周辺では 0.3 mm 前後の降水があった。図5bは、シーディングによる変化量(実験II-実験I)である。矢木沢ダム周辺で 0.3 mm 前後の増雪効果がみとめられる。

図6a,dは、相対湿度に対するシーディングの影響を表している。矢木沢ダムの風上領域では、本来、水飽和だった場所が、シーディングによって未飽和になっており、水蒸気が氷晶・雪粒子の発生・成長によって消費されたことを反映している。図6b,eは、氷晶数濃度を表している。シーディングによって最大 1000L^{-1} 以上の氷晶が生成されていた。この値は、Fukuta *et al.* (1971)の実験結果を用いて理論的に導かれる氷晶数濃度にほぼ匹敵する。氷晶をもとに生成される雪粒子が、シーディング領域からダム周辺にかけて増加しており(図6c,f)、図5bおよび図6a,dと整合的な結果であった。

5. まとめ

JMANHMをベースとして、ドライアイスシーディングモデルを開発し、予備実験を行った。モデルは、ドライアイスシーディングに関わる物理過程を適切に再現できていた。今後、このモデルを用いて、最適シーディング法(どこにどれだけ撒けば増雪効果を最大化できるか)の開発を行う。

参考文献

林と加藤, 2006: 発雷観測数と数値シミュレーションにおける雲物理量の統計的比較(2005/06冬), 日本気象学会2006年度春季大会, 5月21日-24日, つくば, C203.
村上と松尾 2005: 野外シーディング実験, 気象研究所技術報告”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”, 48, 200-206.

Fukuta, N., W. A. Schmeling and L. F. Evans, 2005: Experimental Determination of Ice Nucleation by Falling Dry Ice Pellets. *J. Atmos. Sci.*, **10**, 1174-1179.

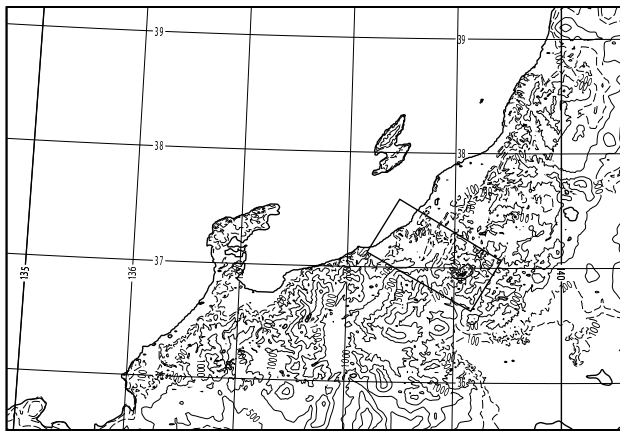


図 1 計算領域 (実線長方形).

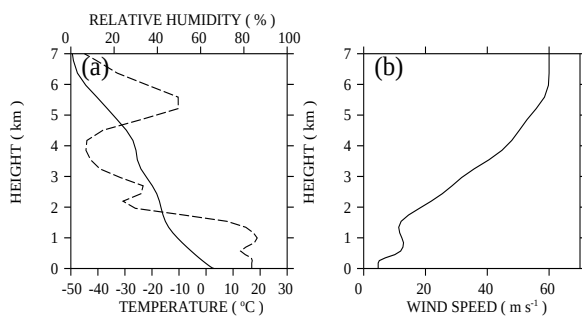


図 2 温度, 湿度, 風速の初期値.

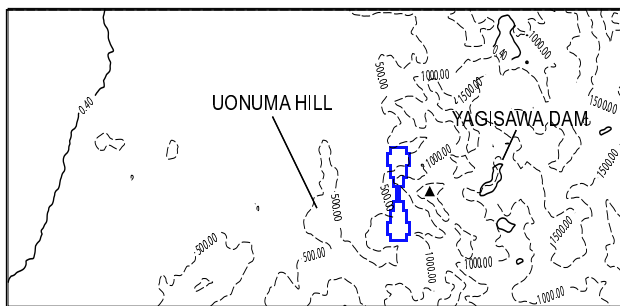


図 3 数値実験で仮定したシーディング飛行機の飛行経路.

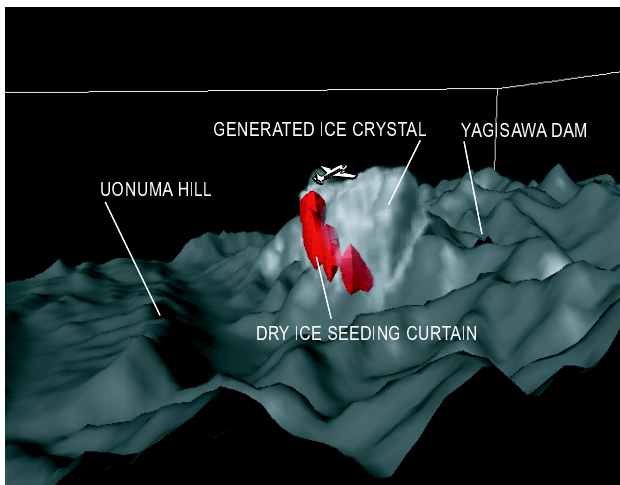
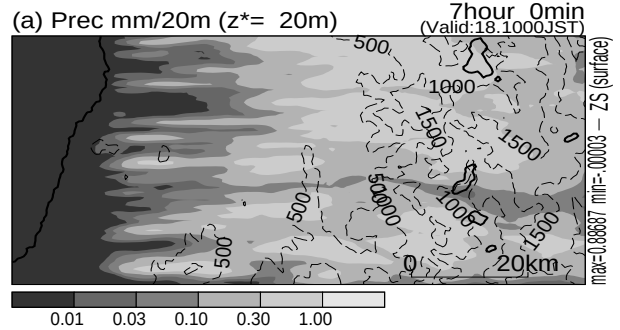


図 4 ドライアイスシーディング実験の例. 過冷却雲の分布は省略.

Initial : 2006.01.17.18UTC



Initial : 2006.01.17.18UTC

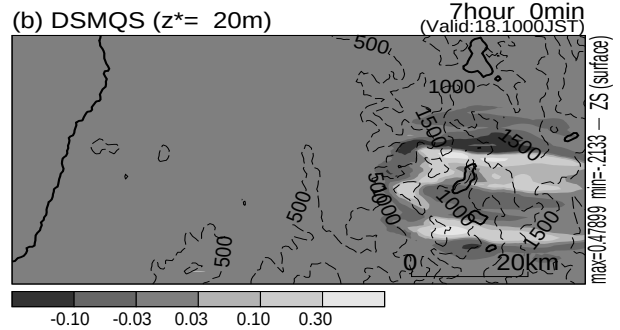


図 5 (a) 実験 I における 20 分間降水量 と (b) 実験 I と II の降水量の差 (II-I). いずれも計算開始後 7 時間目の値.

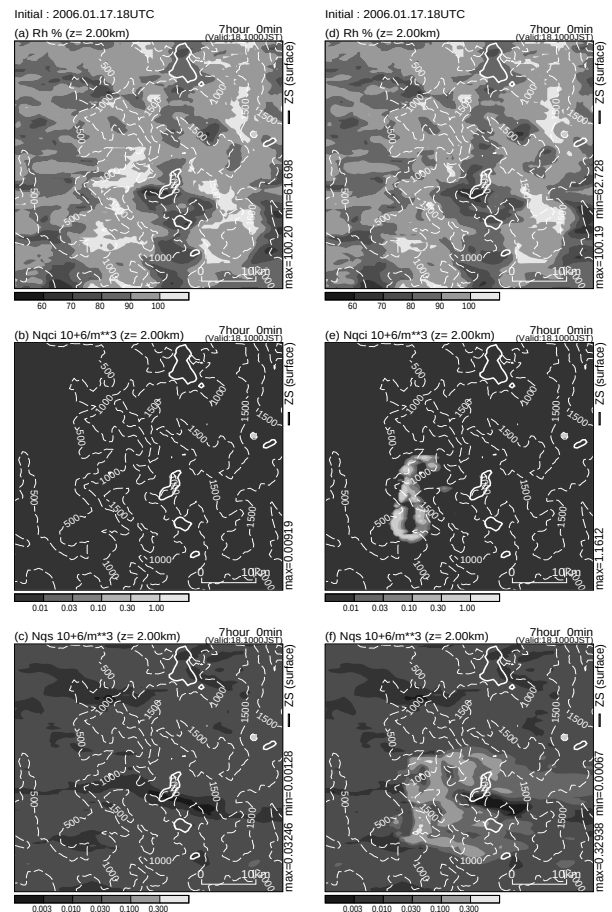


図 6 実験 I の高度 2km における (a) 相対湿度, (b) 氷晶数濃度, (c) 雪粒子数濃度. (d), (e), (f) は, 実験 II に対応するもの. いずれも計算開始後 7 時間目の値.