

非球形粒子を仮定した散乱計算による降雪Zeの算出

* 中井専人・本吉弘岐・石坂雅昭・山口悟・(防災科研・雪氷)・岩本勉之(北大低温研)

1. はじめに

雲解像モデルに2モーメントのバルクスキームを使用している場合、雪、霰、雨といった降水粒子の種類毎に混合比と数濃度が得られる。それらの予報値と粒径分布など雲物理スキームに用いられている式やパラメーターを使用すると、粒子形状に仮定を置いた上で、モデル内の降水粒子によるレーダー電波の後方散乱断面積、ひいては等価レーダー反射強度因子Zeを求めることができる。昨年このワークショップではNHM予報値からMie散乱(均一球形粒子による散乱)によるZeを求め、Rayleigh近似によるZeよりも雲頂付近でやや強めにZeが計算されることを示した。本報告ではこれを一歩進めて、非球形均一粒子による散乱計算を行い、Mie散乱、Rayleigh近似による結果とともに示す。なお、本報告では雪片について計算した結果を示す。

2. 研究手法

計算に用いたのはMishchenko and Travis (1998)及びMishchenko et al. (2002)による、ランダムに方位した粒径分布を持つ相似形の多数の軸対称粒子による散乱を計算するコードである。これに粒子の軸比(1:2で扁平)の回転楕円体(雪片を単純化)、電磁波の波長(31.74mm)、粒子の複素屈折率と粒径分布といったパラメーターを与えると、反射率 η ($\text{m}^2 \text{m}^{-3} = \text{m}^{-1}$)

$$\eta = \frac{\sum \sigma_b}{V} = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \sigma_b(D) N(D) dD$$

が得られる。レーダーはこれをレーラー散乱だとして計算したZe($\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$)を記録するので、それと同様の計算、 $\lambda = 31.74 \times 10^{-3} \text{m}$ 、 $|K_w|^2 = 0.93$ (水についての平均的な値)として、

$$Ze = \eta \frac{\lambda^4}{\pi^5 |K_w|^2} = 3.566 \times 10^{-9} \eta (\text{m}^6 \text{m}^{-3})$$

$dB(Ze) = 180 + dB(Ze(\text{m}^6 \text{m}^{-3}))$ ($dB(\text{mm}^6 \text{m}^{-3})$)
によってレーダー観測相当のZeが得られる。

η を計算するため与えるパラメーターはNHMで用いられている値と整合を取る。固体降水の複素屈折率は、NHM内の降水粒子の密度

$$\text{雪の密度} \quad 0.84 \times 10^2 (\text{kg m}^{-3})$$

から降水粒子内の氷の容積比を求め、それをもとに複素屈折率とK値を計算する。

NHMの3-iceバルクスキームの雪の粒径分布は指数分布 $N_s(D) = N_{0s} e^{-\Lambda_s D}$ であり、 N_{0s} (m^{-3})と Λ_s (m^{-1})は予報値である N_s と Q_s 、大気密度 ρ_a (kg m^{-3})から診断的に得られる(sは雪を表す)。予報値から指数分布を表すパラメーターとして

Mishchenkoのコードに与えるのは N_s と Λ_s である。モデルのパラメーターとしては計算する粒子の最小、最大半径(mm)を与える必要がある。最小、最大半径はZeに大きく影響するので、予報値を作成したとき使った値を使う必要がある。NHMでは最小、最大の雪粒子の質量がパラメーターとなっており、デフォルトでは

$$\text{最小の雪の質量} \quad 1.5 \times 10^{-10} (\text{kg})$$

$$\text{最大の雪の質量} \quad 0.5 \times 10^{-3} (\text{kg})$$

となっている。本研究では回転楕円体粒子を仮定するが、モデルで得られる粒径には回転楕円体(軸比は粒径によらず一定)に対して体積が等価な球の半径を対応させた。Mishchenkoのコードは体積等価と表面積等価どちらかの球で表した粒径分布を与えれば散乱強度を計算できるようになっている。最大、最小粒径もこれに従って最大、最小の質量から得られたものを使用した。

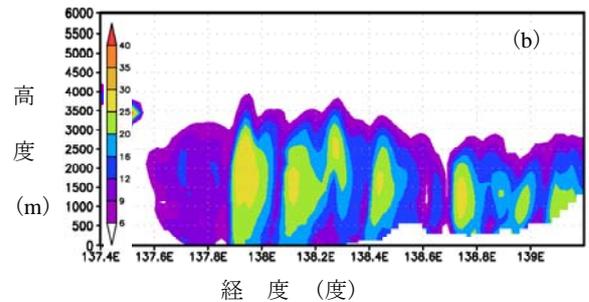
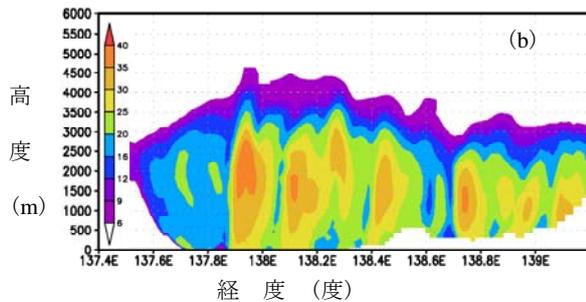
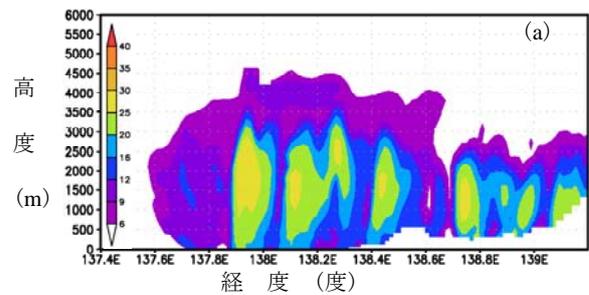
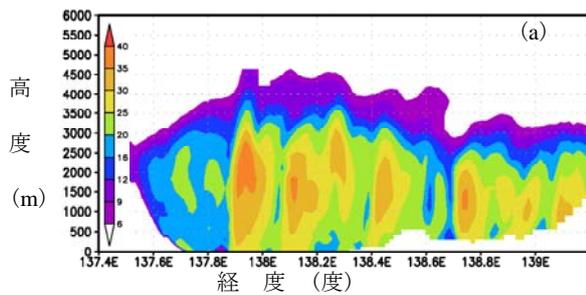
ある N_s と Λ_s に対して、モデル内でパラメーターとなっている雪粒子の密度を変えて計算しようとする、粒径を変えなければならない。例えば、雪片の密度を $0.84 \times 10^2 (\text{kg m}^{-3})$ から $0.30 \times 10^2 (\text{kg m}^{-3})$ に変えると、粒径は全体に約1.4倍になる。

モデル予報値からのZeの計算は、計算時間の短縮のため、 N_s と Λ_s で張る2次元空間に対するZeのテーブルを作成し、それを参照する形でZe分布を求めた。

3. 結果

2008年2月12日から18日にかけて、日本付近を低気圧が発達しながら通過した後に冬型の気圧配置が続き、新潟県中越地域でまとまった降水が観測された。このとき防災科学技術研究所雪氷防災研究センターでは、MSMを境界値として、気象庁非静力学モデルJMANHMを10km(外側)、1.2km(内側)分解能で2重ネスティングした予報実験を行っていた。このうち内側モデルの出力を本研究に用いた。雲物理過程は氷相を含むバルク法で、混合比と数濃度を予報した。対流パラメタリゼーションは用いていない。

2008年2月16日10UTの、北緯37.2度の鉛直東西断面についての計算結果を示す(第1図)。非球形散乱では、雲頂付近など弱い降雪強度がMie散乱よりも強めに出る傾向が見られた。Rayleigh近似では逆に強い降雪がより強く表現されていた。しかしそれらの差はdBZで見るとそれほど大きいものではなかった。一方、雪の密度を $0.30 \times 10^2 (\text{kg m}^{-3})$ と小さくして計算したZeは、雪の混合比を保存するため粒径を大きくしたにもかかわらず、



第2図 第1図に同じ、ただし雪の密度を 0.03×10^2 (kg m^{-3})に変更して計算したもの。(a)非球形散乱、(b)Mie散乱。

第1図 北緯37.2度の鉛直東西断面についての雪片によるZeの計算結果。2008年2月10日10UTに対する N_s と Λ_s の予報値から求めた。(a)非球形散乱、(b)Mie散乱、(c)Rayleigh近似。

5dB以上も小さくなっていた。これはMie散乱を仮定して計算したときと全く同じ結果である。密度が小さくなった分、雪粒子に含まれる空気の比率が多くなり、それが複素誘電率に反映した結果である。

4. まとめと今後の課題

NHM予報値として得られる雪の混合比と数濃度からのZe算出について、Rayleigh近似、Mie散乱、非球形散乱の3通りを計算し、寒気吹き出し時の鉛直断面で比較した。散乱計算の差によりZeの値に系統的な変化が見られたが、その差はこれまで調べた範囲ではあまり大きくなかった。一方、雪の密度を小さくしたところ5dB以上Zeが小さくなり、雲物理スキーム中の雪の密度がレーダーとの比較において重要であることが示唆された。混合比と数濃度が与えられた場合、降雪粒子密度は降雪粒子の大きさ、形状と連動する。非静力学モデル出力からZeを正確に求めるには、降雪粒子の等価回転楕円体もしくは等価球を密度も含めて適切に定義しなければならないと思われる。

バルクスキームでは粒径分布などに制約があり、特に、雪片の密度が定数で与えられていることが雲物理学的に現実と異なる点である。しかし、雲物理過程を反映した降雪種、数濃度を考えようとすると、モデル内で仮定されている粒子の密度は重要である。特に雪片の密度は粒径とともに小さくなるため(Magono and Nakamura, 1965; 石坂, 1995)、現状の定数による表現ではなく、粒径の関数として与える必要があると考えられる。

この結果はまだ予備的なものである。本研究でチェックすべきパラメーターはモデル、散乱計算の両方で多くあり、今後も設定を変えた計算を多く行う必要がある。

本研究は防災科学技術研究所『高度降積雪情報に基づく雪氷災害軽減研究』によります。解析にはGrADSを使用しました。

参考文献

- 石坂雅昭, 1995: 雲粒付雪片の落下速度について. 雪氷, 57, 229-238.
- Magono, C, and T. Nakamura, 1965: Aerodynamic studies of falling snow flakes. J. Meteor. Soc. Japan, 43, 139-147.
- Mishchenko, M. I. and L. D. Travis, 1998: Capabilities and limitations of a current FORTRAN implementation of the T-matrix method for randomly oriented, rotationally symmetric scatterers. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 60, 309-324.
- Mishchenko, M. I., L. D. Travis, and A. A. Lacis, 2002: Scattering, absorption, and emission of light by small particles. Cambridge University Press, Cambridge.