

降雪予想に対する水平・鉛直解像度と乱流過程の依存性 ー鉛直プロファイルの違いー

加藤輝之（気象庁・数値予報/気象研）

1. はじめに

Kato (2011)では、グレーゾーン（水平分解能 500m～5km）での降雪予測に対する依存性について、気象庁非静力学モデルを用いて、水平分解能だけでなく、下層の鉛直解像度を上げた場合、境界層過程を Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino レベル 3(MYNN3)と Deardroff(DD)にした場合を比較した。その中で、1km モデルで MYNN を用いた方が DD よりも、モデル最下層の風速が強まって潜熱・潜熱フラックスを増大させる一方、海上での降雪予想が少なくなることが示した。今回は、その原因を大気の成層構造・上昇流や雲水の鉛直分布などから調査した。

2. 実験設定

図 1a を対象領域とした 5km モデルによる 1 日 4 回 12 時間予報を行い、その 3 時間予報値を初期値とし、図 1b の領域を対象に 2km/1km/500m モデルによる 9 時間予報を行った。5km モデルの初期値・境界値は気象庁メソ解析（水平解像度：5km、時間間隔：3 時間）から作成した。検証データとして、予報時間後半 6 時間の 1 時間毎の予報値から 5 日分のデータセットを作成した。対象期間は北陸・新潟地方に豪雪があった 2009 年 12 月 16～20 日とし、北陸の西方海上 36～38N、134～136E の領域（図 1b の赤の太線内）を対象に比較した。

降水過程としては、氷相のみ数密度を予想するバルクタイプの雲物理過程を用い、5km モデルでは Kain-Fritsch の対流のパラメタリゼーションを併用した。また、鉛直層数 70 のモデルでは下層 3km 以下で、層厚が鉛直層数 50 のモデルの約半分になるように設定した。

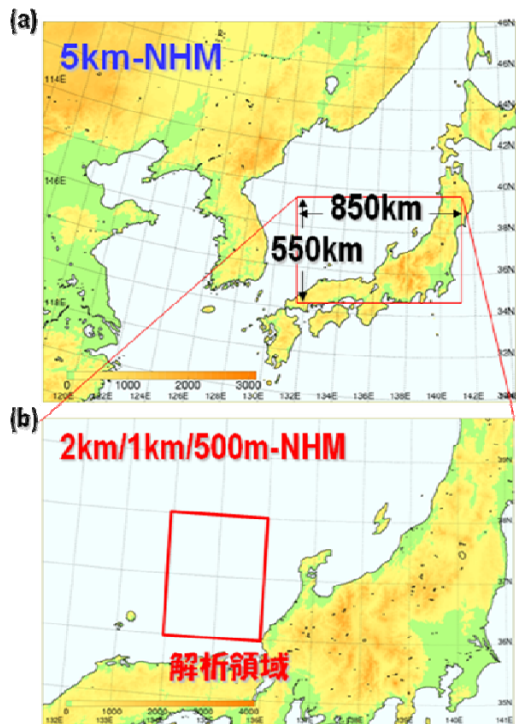


図 1 (a) 5km と (b) 1km モデルの領域と地形. 2km と 500m モデルの領域は (b) と同じ。

3. 1km モデルにおける MYNN と DD の違い

解析対象領域（図 1b の赤の太線内）で領域・5 日間平均した結果（表 1）をみると、1km モデルの MYNN (dx01) は DD (dx01_dd) に比べて潜熱フラックスが 20% も多い一方、降水量は 8% も少ない。まず、顕熱・潜熱フラックスが多くなる理由を考察してみると、MYNN の方が最大・平均風速とも 16% 大きく、これが主要因であることがわかる。最下層と海面との比湿差は MYNN の方が大きい、温位差は逆に MYNN の方が小さいので、顕熱フラックスの差 (11%) が潜熱フラックスほどの差になっていない。また、これらの差から MYNN では最下層に水蒸気を蓄積しないで、速やかに上層に輸送していることが示唆される。

降水量をみると、降水量の差のほとんどはあられの量の違いによることがわかる。あられの生成には強い上昇流と大量の雲水が必要であることから、MYNN の上昇流の方が小さく、強い上昇流域で雲水も少ないことが推測できる。

表 1 図 1 の解析領域内・5 日間平均の 1km モデルの MYNN (dx01) と DD (dx01_dd) の結果. ratio は dx01/dx01_dd の比. 顕熱フラックス (SHflux)、潜熱フラックス (LHflux)、最大風速 (MaxWind)、平均風速 (MeanWind)、モデル最下層と海面との温位差 (ΔPT) と比湿差 (Δq_v)、降水量 (Precipitation)、雨 (Rain)、あられ (Graupel)、雪 (Snow)。

	dx01	dx01_dd	ratio
SHflux (W/s)	214.1	193.2	1.11
LHflux (W/s)	346.1	288.2	1.20
MaxWind (m/s)	20.93	18.83	1.11
MeanWind (m/s)	13.08	11.29	1.16
MeanWind (m/s)	13.08	11.29	1.16
ΔPT (K)	13.07	13.46	0.97
Δq_v (g/kg)	8.27	7.85	1.05
Precipitation (mm)	39.15	42.65	0.92
Rain (mm)	10.42	10.73	0.97
Snow (mm)	21.73	21.09	1.03
Graupel (mm)	7.00	10.83	0.65

4. 大気の鉛直構造

領域・期間平均の仮温位の鉛直プロファイル（図 2）を見ると、水平分解能ではなく、境界層スキームによって分けられる。DD グループでは下層 200m 以下に約 1 度の絶対不安定な成層が見られる一方、MYNN グループでは高度約 500m までほぼ中立な成層になっている。気象庁の観測船による冬期日本海での高層観測でも、下層約 100m に 1 度程度の絶対不安定な成層がよく観測されていることから、MYNN による鉛直混合が強すぎると思われる。また、両グループは高度約 1500m 以上ではほぼ同じ鉛直分布を持つが、MYNN グループの方が最下層 20m で約 0.3 度高くなっている。この温度差は顕熱フラックスの違い（表 1）による。

1km モデルの MYNN と DD の仮温位の鉛直傾度の高度別出現頻度（図 3）から鉛直成層を議論する。MYNN（図 3a）では下層のピークが 0K/km 付近にあり、絶対不安定成層はほぼみられない。DD（図 3b）では絶対不安定成層の高度別出現ピークが平均値（図 3 太線）よりも下層（～100m）にあ

り、また高度 4.5km まで不安定な成層がみられる。後者は凝結によるもので、湿潤対流を発生させるための浮力を生み出している。一方、MYNN では浮力を生み出す絶対不安定の強度は DD に比べて半分以下であり、MYNN によって不安定の多くが解消されていることが示唆される。ただし、湿潤対流によって作り出される対流混合層の出現高度(図 3 破線)にはほとんど差がみられない。また、これら傾向は水平分解能に依存しない(図略)。

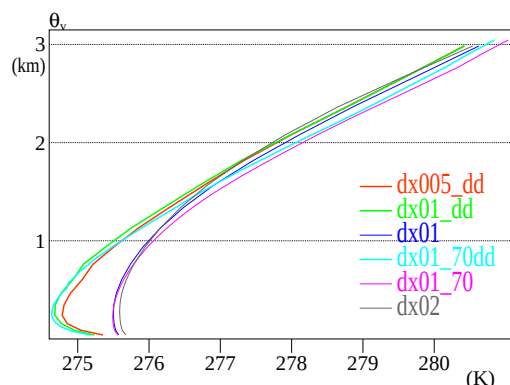


図 2 2009 年 12 月 16 日～20 日の 36～38N、134～136E の領域の平均仮温位の鉛直プロファイル。dx02, dx01, dx005 は 2km, 1km, 500m の結果、dd は Deardorff(dd が付いていないものは MYNN)、70 は 70 層(下層層厚約 1/2)を用いた実験を示す。

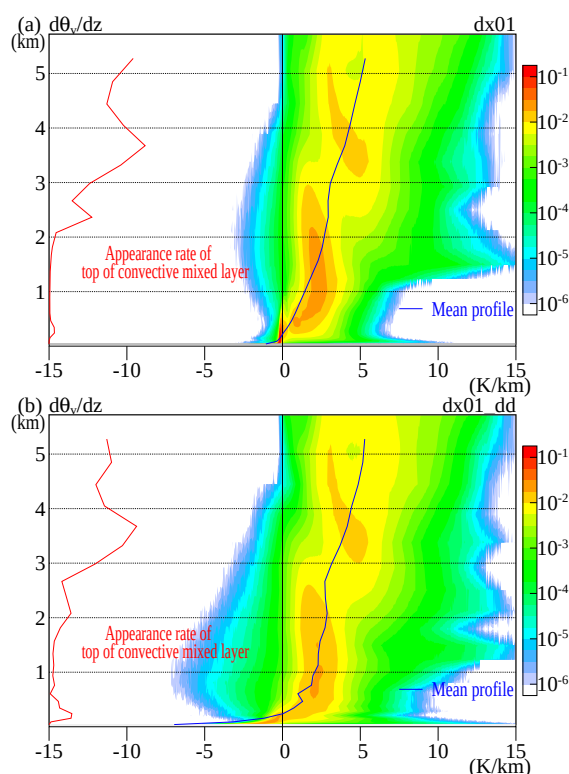


図 3 図 2 と同じ、ただし、(a) dx01 と (b) dx01_dd の仮温位の鉛直傾度別出現頻度。太線で平均値、破線で対流混合層の出現頻度を示す。

5. 鉛直流の鉛直分布

上位 1% に対応する上昇・下降流の速度の鉛直分布(図 4)から強い上昇・下降流の特徴を見てみる。ここでも、70 層を用いたものを除けば DD と MYNN によってグループ分けできる。DD グループの上位 1% の上昇流の最大は 1.1km 付近にみられる一方、MYNN グループでは約 500m

高くなっている。これらは絶対不安定性層の出現頻度のピーク高度(図 3)に対応している。また DD グループの方が MYNN グループより下降流が強く、上昇流域の割合も両者でかなり異なる。70 層にすると、上昇流の強さが弱くなり、強い上昇流の領域が鉛直方向に分散されている。

雲水の鉛直分布(図 5)には、上昇流が最大となる高度(図 4)に対応してピークがみられ、そのピークは 1km モデルの MYNN(dx01)に比べて DD(dx01_dd)の方が 20%以上大きい。両者の上昇流の強さに大きな違いがみられないことから、下層ほど気温が高いことによって dx01_ddの方が大量の雲水を形成していることになる。この大量の雲水と強い上昇流により、あられが効率よく形成されて、あられの降雪量が多くなった(表 1)と考えられる。

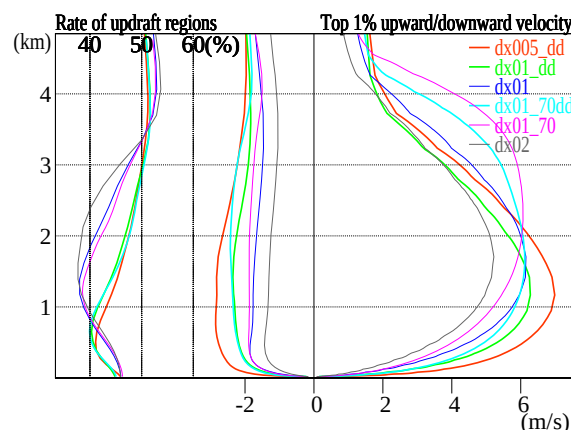


図 4 図 2 と同じ、ただし、上位 1% の上昇流と下降流の大きさ。左側に、上昇流域の割合を示す。

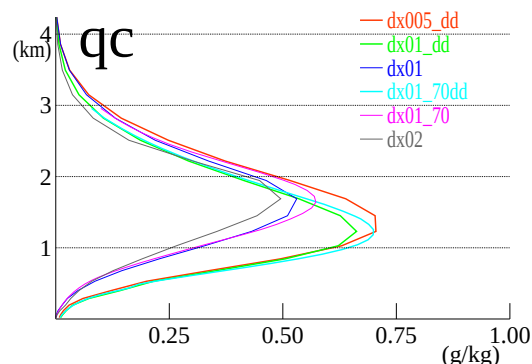


図 5 図 2 と同じ、ただし、雲水の比湿。

6. まとめ

1km モデルで MYNN を用いた方が DD よりも潜熱フラックスが大きい(20%増)にもかかわらず、海上での降雪予想が少ない(8%減)原因を調査した。MYNN では日本海上下層 200m 以下にみられる絶対不安定成層を強制的に解消させるため、湿潤対流による強い上昇流が現れる高度が高くなり、あられを効率よく形成するための雲水の生成量が DD よりも少なくなっていた。これにより、あられの生成が過小になり、DD に比べて降水量が減少したと考えられる。

参考文献

Kato, T., 2011: Dependency of horizontal and vertical resolutions, and turbulence schemes on snowfall forecasts. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 41, 3.03-3.04.