

雲解像モデルによる降雪予測

加藤輝之（気象研・予報）

1. はじめに

加藤（2007）は、水平分解能 5km の気象庁非静力学モデルによる冬季日本海側での降雪が山岳部で過大、平野部で過小に予想され、水平分解能を 1km にすると予想が改善されることを示した。本研究では、水平解像度(5km, 2km, 1km, 500m)、モデル最下層の高さ (20m, 10m)、鉛直層数 (50, 70)、乱流過程 (Mellor-Yamada レベル 3: M-Y3, Deardroff: DD) および計算領域の大小による差について、降雪予想の変化を調べた。降水過程としては、氷相について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 モデルについてのみ Kain-Fritsch の対流のパラメタリゼーションを併用した。対象期間は北陸・新潟地方に豪雪があった 2009 年 12 月 16~20 日とした。

2. 実験設定

まず、日本海を含む 2500×2000km を対象領域 (図 1 a) とした 5km モデルによる 1 日 4 回 12 時間予報を行った。その初期値・境界値は気象庁メソ解析 (水平分解能 5km, 3 時間毎) から作成した。次に、5km モデルの 3 時間予報値を初期値とし、日本海の中央部から北陸・新潟地方を含む 850×550km を対象領域 (図 1 b) に、2km/1km/500m のモデルによる 9 時間予報を行った。検証データとして、予報期間後半 6 時間の予報値を用い、5 日分のデータセットを作成した。標準実験 (モデル最下層の高さ: 20m, 鉛直層数: 50) とモデル最下層の高さを 10m とした場合、それぞれモデル上端 (21.8km と 21.3km) まで層厚を 40m と 20m から均等に大きくした。鉛直層数を 70 とした場合、41 層目が 100m になるように下層の層厚が薄くなるように設定した (モデル上端: 20.3km)。

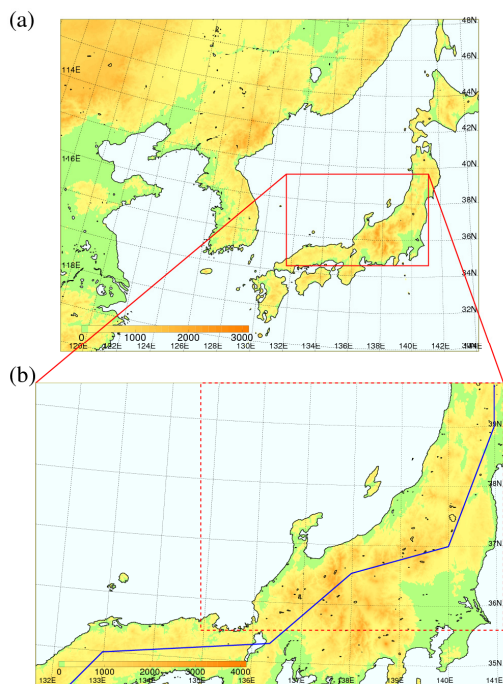


図 1 (a) 5km モデルと (b) 1km モデルの計算領域と地形。2km/500m モデルの計算領域は(b)と同じ。(b)の赤色の破線内と青の実線より北側の領域は、それぞれ 1km モデルで領域を狭くした場合と図 4・6 で比較検討した領域を示す。

3. 予測精度

1km モデルの結果 (図 2 b) は、アメダスが設置されていない山岳域を除いて、アメダスでの観測降水量分布 (図 2 a) を非常によく再現している。ただ、北陸地方の沿岸部で多少過小評価になっている。高度 100m 以下の平野部での平均降水量 (図 4 b) は、観測・予測結果ともに約 90mm であり、量的にも 1km モデルの予測精度が高いことを示している。5km モデルは、加藤 (2007) が示しているように、降水を山岳部で過大、平野部で過小に予想したが、2km モデルではかなり 1km モデルの結果に近づいていた (図略)。また、500m モデルの結果は 1km モデルの結果とあまり変わらなかった (図略)。

予想される降水物質については、水平分解能が高くなるほど降雪 (雪+霰) に対する霰の割合が大きくなり、特に沿岸部分で 5 割を超えるようになる (図 3)。このことは観測事実と整合している。

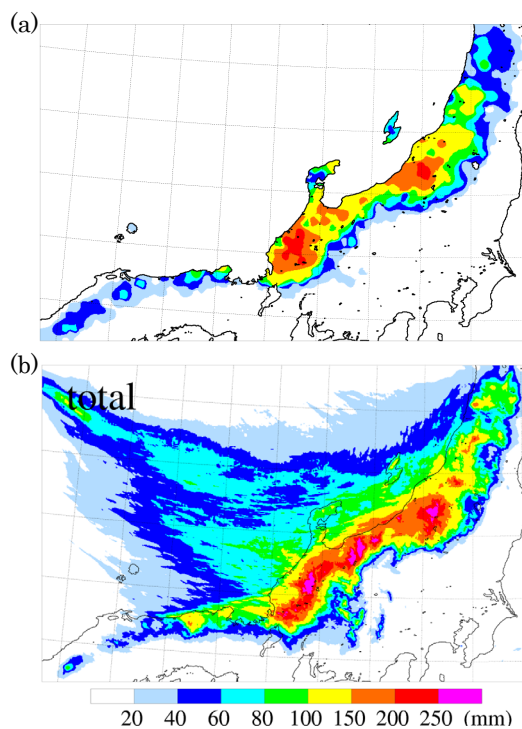


図 2 2009 年 12 月 16~20 日の (a) アメダスで観測された積算降水量分布と (b) 1km モデルの結果。

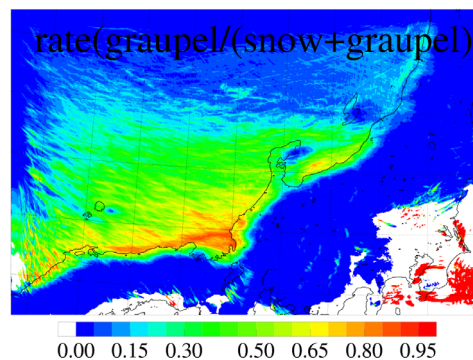


図 3 図 2 b と同じ、ただし、降雪 (雪+霰) に対する霰の割合。

4. 依存性

図1の青の実線より北側の領域を対象に、海上と高度100m以下の平野部での平均降水量について、モデル設定（水平解像度など）の依存性を調べた（図4）。DDの1km（dx01）と500m（dx005）モデルの結果の差は小さく、M-Y3の1kmモデル結果とともに平野部ではAMeDASから推定される降水量とほぼ一致している。5km（dx05）モデルでは、海上・平野部ともに1kmモデルに対してかなり過小評価になっている。また、5kmモデルに対する2km（dx02）モデルによる予測結果の改善は著しく、山岳部での過大予想もかなり抑制されていた（図略）。降水物質別にみると、5kmモデルでは霰がほとんど予測されていない一方、1kmモデルでは海上・平野部ともに霰が雪の30%強予想されている。また、5kmモデルに対する1kmモデルの降水と霰の増加量はほぼ一致している。平野部では霰による降水が多いことから、5kmモデルの平野部での降水の過小評価は霰がほとんど予想されないことによると推測される。

計算領域を図1の赤色の破線内に限定した場合の1kmモデルの結果（図略）をみると、北陸地方平野部での降水量が減っていた。これは、西側のモデル境界が近く、霰の生成量が減ったためである。このことから、平野部での降水を精度よく予測するためには、霰を十分予想できる水平分解能および風上側に十分な計算領域が必要であると結論付けられる。なお、風上に十分な計算領域があった新潟地方では、予想結果に違いはあまり見られなかった。

モデル最下層の高さを10mにすると、DDでは変化は小さいが、M-Y3では水平分解能に関係なく降水量が多くなる（図4細線）。このことを海上での潜熱・顕熱フラックスの違い（図5）から議論する。潜熱フラックスの最大値（図4破線）は約 500W s^{-1} であり、今までの観測結果と比較して、妥当な数値を示している。DDではモデル最下層の高さを低くしてもフラックス量に差はあまりないが、M-Y3ではかなり増加している。この増加が降水量の増加に結びついている。また、DDに比べて、M-Y3のフラックス量は大きく、これは鉛直拡散によって強制的に上空の強風が下層に輸送されているためである。

1kmモデルの標準実験（モデル最下層：20m、M-Y3、鉛直層数：50）の平均降水量に対してモデル最下層を10mにした場合（図6の一番左）、どの領域でも降水量が増加している。その他のケースでは、海上での降水量を増加させ、陸上での降水を減少させる傾向にある。なお、鉛直層数を増加させた場合（L70）や雪と霰の蒸発割合を半分にした場合（fac0.5）では変化は小さい。このことは、海上での潜熱フラックスに変化がない一方、L70では海上での雪雲の発生・発達が可能となり、fac0.5では蒸発量が減ったために海上での降水量が増加したために陸上での降水が減少したためだと考えられる。DDでは海上でのフラックス量がM-Y3より減少する一方、海上での降水を増加させ、陸上での降水をかなり減少させている。M-Y3は強制的に海上での対流混合層を作るように働くために、大気的不安定度を減少させる。このために、DDではM-Y3よりも大気状態が不安定で、雪雲の発生・発達しやすく、海上での降水量が多くなる。

今後、降水物質の鉛直構造についての違いについても調査する予定である。

参考文献 加藤輝之, 2007: 雪雲の発達高度からみた2005年12月の豪雪～環境場からみた潜在的な発達高度と数値実験の結果から～, 気象研究ノート, **216**, 61-70.

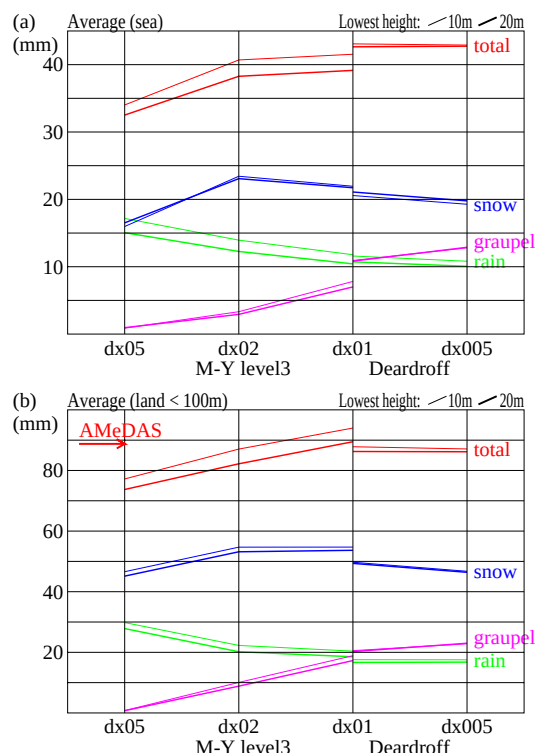


図4 2009年12月16日～20日の(a)海上と(b)高度100m以下の平野部での平均降水量。dx05, dx02, dx01, dx005は5km, 2km, 1km, 500mの結果、AMeDASは観測による推定値を示す。

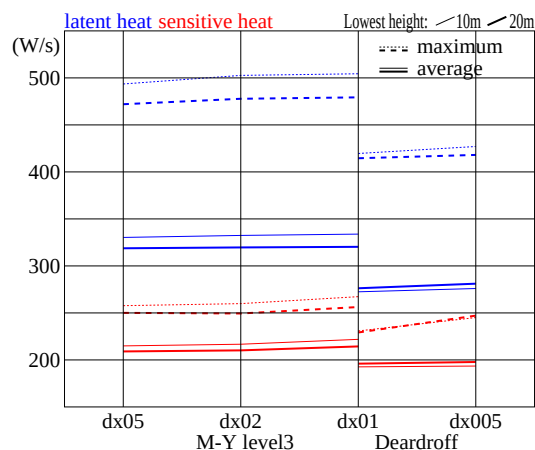


図5 図4aと同じ、ただし、潜熱・顕熱フラックス。

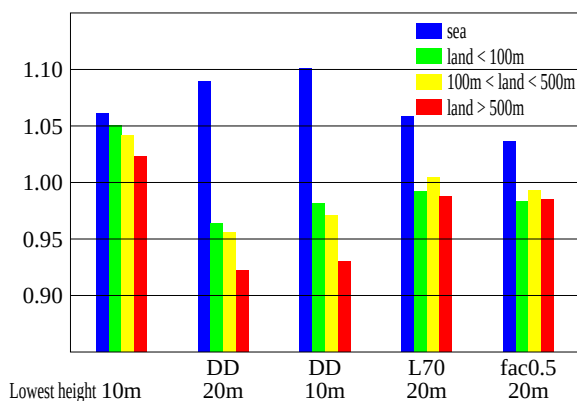


図6 1kmモデルの標準実験（Lowest height: 20m, M-Y3, L50, fac1.0）との比較。縦軸は平均降水量比。Lは鉛直層数、facは雪と霰の蒸発割合。