

局地気象モデルを用いた日本海沿岸域の 降雪量水平分布の解析

地球環境研究室
指導教官

豊田 文吾
早川 典生
熊倉 俊郎

1. 研究背景及び目的

日本海沿岸域は世界有数の豪雪地帯である。融雪後、長期にわたって河川流出量に影響を与える積雪水量としての積雪量監視は、水資源管理を考える上で非常に重要である。衛星観測技術を用いた積雪域の特定は既に為されているが、積雪深の推定は山地の雪観測点が少ないため、未だ困難である。この問題を解決する方法として、数値シミュレーションがある。しかし現状の数値シミュレーションを用いた降雪量予測は実用に堪えうる精度は得られておらず、問題点も明らかにされていない。

そこで本研究は、局地気象モデルを用いて冬季日本海沿岸域における降雪量水平分布の解析を行い、降雪を予測する際の問題点を明らかにすることを目的とした。

2. 使用データ

大気境界条件・初期値

米国環境予測センター (National Center for Environmental Prediction) の 6 時間毎、全球 1 度メッシュの気象客観解析データ。

地形データ

アメリカ地質調査所 (U.S. Geological Survey) の GTOPO30, 全球 30 秒メッシュデータ。

土地被覆分類データ

USGS の土地被覆 24 分類の 25-category USGS Vegetation Data, 全球 30 秒メッシュデータ。

海面温度・積雪水量データ

NCEP の全球データ同化システム GDAS (Global Data Assimilation System)による SST data 及び SNOW data, 全球 1 度メッシュデータ。

3. 局地気象モデル

3. 1 局地気象モデルの概要

局地気象モデルは、ペンシルバニア州立大学 (Pennsylvania State University) と米国気象研究所 (National Center for Atmospheric Research) による MM5 (Fifth-generation PSU / NCAR Mesoscale Model)¹⁾ を使用した。

以下に、MM5 のプリプロセッサ²⁾ の示す。

TERRAIN

MM5 を用いて数値シミュレーションを行うために、計算領域と格子間隔の設定をする。その設定を基にした格子上に、GTOPO30 の地形データと USGS の地表面データを内挿する。

REGRID

実験対象とする期間の NCEP 全球客観解析・海面温度・積雪データを切り出しを行い、TERRAIN で作成した格子上に内挿して、モデルの第 1 推定値を作成する。

INTERPF

モデルの初期値、側面境界条件、及び下方境界条件を作成する。またデータの鉛直座標系を、気圧面座標系から σ 座標系に変換する。

MM5

INTERPF で用意した初期値、側面境界条件、下方境界条件データを用いて数値シミュレーションを行う。このプリプロセッサにおいて、数値シミュレーションの計算時間、計算ステップ、物理過程の選択、境界条件、雪被覆による影響の有無などの設定を行う。

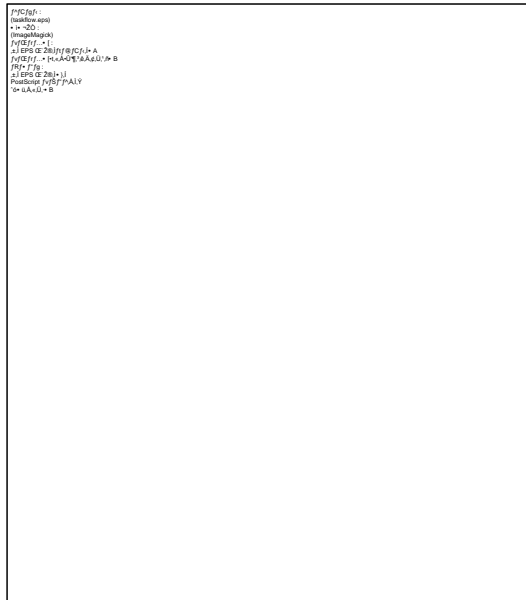


図1 MM5 フローチャート

3. 2 実験対象時間

実験対象時間は、AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) 気象観測データと地上天気図により降雪があったと考えられる以下の2ケースを選定した。

2001年1月26日0時~29日0時(UTC)

2001年3月6日0時~10日0時(UTC)

前者は里雪型、後者は山雪型の降雪期間である。

3. 3 テストラン

局地気象モデルでは、計算領域の境界で境界条件の影響を受けるため、領域を広げて境界の影響が十分に少なくなった地域のデータを解析しなければならない。また、水平解像度を良くした際の計算結果への影響を調べた。テストランでは格子間隔10kmをコントロール実験として実験を行った。

テストランによって得られた知見は、1)対象領域が境界の影響を受けないために、周囲10グリッド(約100km)を拡張して計算を行う必要があるということ、2)水平解像度の向上により気温の予測精度が改善されたため、更に解像度を上げて計算をする必要があることである。

3. 4 気温の高度補正

アメダス観測所と対応するメッシュデータを単純に比較することはできない。そこでアメダス観測地点の周囲4地点のモデル計算結果を用いて、アメダス観測地点での気温を算定した。

まず、アメダス観測点Pと周囲のモデル格子点P₁, P₂, P₃, P₄で作る四角形の面積A₁, A₂, A₃, A₄より、重み係数w₁, w₂, w₃, w₄を算出した。

$$A' = 1/A_1, A'_2 = 1/A_2, A'_3 = 1/A_3, A'_4 = 1/A_4$$

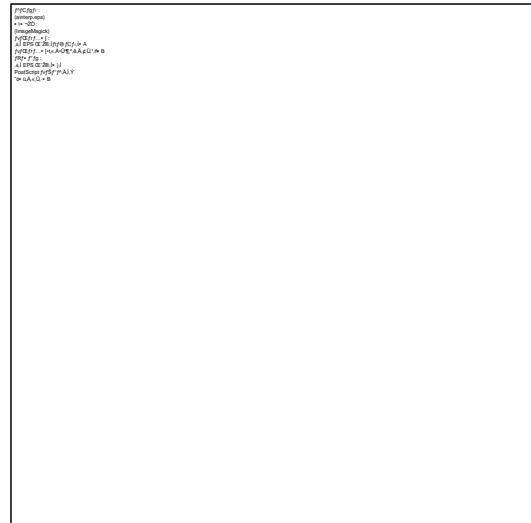


図2 面積加重平均の例

$$A' = A'_1 + A'_2 + A'_3 + A'_4$$

$$w_1 = A'_1/A', w_2 = A'_2/A', w_3 = A'_3/A', w_4 = A'_4/A'$$

この重み係数を用いて、アメダス観測点Pにおけるgzとtを算出した。

$$gz = w_1 gz_1 + w_2 gz_2 + w_3 gz_3 + w_4 gz_4$$

$$t = w_1 t_1 + w_2 t_2 + w_3 t_3 + w_4 t_4$$

さらに、P点におけるアメダス観測所標高hとモデルの標高gzの差から高度補正した気温Tを求めた。

$$T = t + \Gamma_d (h - gz)$$

湿潤断熱減率 Γ_d は、一般的な値として-0.006 [°Cm⁻¹]を用いた。

4. 結果及び考察

4. 1 里雪型降雪実験

里雪型の実験詳細を表1に示す。RUN5がコントロール実験である。RUN3は計算領域が他の実験よりも狭いため、大陸からの寒気が日本海上を通過する際に、水蒸気の補給が十分行われないと予想される。モデルが安定する時間を考慮し、実験開始から1日の結果は解析を行わない。実験開始1日後から実験終了までを解析期間と呼ぶ。

	RUN10	RUN5	RUN3
中心緯度	37.5° N		
中心経度	138. 0° E		
格子系	60×60	120×120	132×132
水平解像度	10km	5km	3km
鉛直解像度	23層 (σ座標系)		
実験開始時間	2001年1月26日0時(UTC)		
実験終了時間	2001年1月29日0時(UTC)		
時間分解能	1時間		

表 1 里雪型実験詳細

```
f^fCfjgk:
zz.eps
• j• -Z0:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf... [:
±, EPS CE Z@, lftf@fCf, i• A
fvfCEfjf... [t, «, A•U¶, é, Ä, ç, Ü, 1, ñ• B
fRf• f"fg:
±, EPS CE Z@, i• }, i
PostScript fvfŠf" f^A, i, Y
^ó• ü, A, «, Ü, • B
```

(a) 計算領域

```
f^fCfjgk:
zz.eps
• j• -Z0:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf... [:
±, EPS CE Z@, lftf@fCf, i• A
fvfCEfjf... [t, «, A•U¶, é, Ä, ç, Ü, 1, ñ• B
fRf• f"fg:
±, EPS CE Z@, i• }, i
PostScript fvfŠf" f^A, i, Y
^ó• ü, A, «, Ü, • B
```

(b) 期間の設定

図 3 里雪型実験の計算領域及び解析期間設定
(a) 実計算領域(外側)と解析対象領域(内側), (b) 期間 1 及び期間 2 を図示した。

図 3(a)に RUN5 の計算領域を示した。内側は、実際に解析を行う領域である。(b)は長岡における降水量の時系列比較であり、白抜き点がアメダス観測値、グレー点は RUN5 の結果である。前半の降雪期を期間 1、後半の降雪期を期間 2 と呼ぶ。

```
f^fCfjgk:
zz.eps
• j• -Z0:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf... [:
±, EPS CE Z@, lftf@fCf, i• A
fvfCEfjf... [t, «, A•U¶, é, Ä, ç, Ü, 1, ñ• B
fRf• f"fg:
±, EPS CE Z@, i• }, i
PostScript fvfŠf" f^A, i, Y
^ó• ü, A, «, Ü, • B
```

(a) 平均気温差

```
f^fCfjgk:
zz.eps
• j• -Z0:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf... [:
±, EPS CE Z@, lftf@fCf, i• A
fvfCEfjf... [t, «, A•U¶, é, Ä, ç, Ü, 1, ñ• B
fRf• f"fg:
±, EPS CE Z@, i• }, i
PostScript fvfŠf" f^A, i, Y
^ó• ü, A, «, Ü, • B
```

(b) 気温標準誤差

図 4 平均気温差及び気温標準誤差

2001 年 1 月 27 日 0 時から 29 日 0 時の解析期間において AMeDAS 観測値と RUN5 の結果より、平均気温差(a)及び気温標準誤差(b)を算出した。

```
f^fCfjgk:
zz.eps
• j• -Z0:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf... [:
±, EPS CE Z@, lftf@fCf, i• A
fvfCEfjf... [t, «, A•U¶, é, Ä, ç, Ü, 1, ñ• B
fRf• f"fg:
±, EPS CE Z@, i• }, i
PostScript fvfŠf" f^A, i, Y
^ó• ü, A, «, Ü, • B
```

(a) 積算降水量

```
f^fCfjgk:
zz.eps
• j• -Z0:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf... [:
±, EPS CE Z@, lftf@fCf, i• A
fvfCEfjf... [t, «, A•U¶, é, Ä, ç, Ü, 1, ñ• B
fRf• f"fg:
±, EPS CE Z@, i• }, i
PostScript fvfŠf" f^A, i, Y
^ó• ü, A, «, Ü, • B
```

(b) 降水量標準誤差

図 5 積算降水量差と降水量標準誤差

2001 年 1 月 27 日 0 時から 29 日 0 時の解析期間において AMeDAS 観測値と RUN5 の結果より積算降水量(a)及び降水量標準誤差(b)を算出した。

2001年1月27日5時から17時(UTC)にかけて、長岡市周辺では低気圧の通過に伴い降雪が観測された。この期間を期間1と呼ぶ。27日23時から28日14時にかけて、新潟市から長岡市にかけての平野部において強い降雪が観測された。この期間を期間2と呼ぶ(図3(b))。解析期間中(27日0時~29日0時)のアメダス観測値とRUN5の平均気温差(図4(a))、積算降水量差(図5(a))、降水量標準誤差(図5(b))をみると、モデルでは越後平野で降雪量を過小評価しており、その結果、気温も降雪がない影響で高く見積もられている。長岡周辺の平野部で降雪量が低く見積もられることを明確化するため、長岡の気温時系列比較と値を計算し図6に示した。

```
f^fCfjf<:
z.eps
• |• -ZÖ :
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCFrf...• [ :
,±,| EPS CE Z@,|ftf@fCf<,|• A
fvfCFrf...• [•t,«A•Ü¶,³,e.Ä,ç,Ü,¹,ñ• B
fRf• f"fg:
,±,| EPS CE Z@,|• },|
PostScript fvfŠf" f^A,|,Y
^ó• ü,A,«,Ü,• B
```

(a) 長岡における気温の時系列比較

```
f^fCfjf<:
z.eps
• |• -ZÖ :
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCFrf...• [ :
,±,| EPS CE Z@,|ftf@fCf<,|• A
fvfCFrf...• [•t,«A•Ü¶,³,e.Ä,ç,Ü,¹,ñ• B
fRf• f"fg:
,±,| EPS CE Z@,|• },|
PostScript fvfŠf" f^A,|,Y
^ó• ü,A,«,Ü,• B
```

(b) 期間2における領域平均降水量

図6 長岡周辺の領域平均降水量

(a)長岡における気温の時系列比較と(b)期間2における領域平均降水量[mm]。太線がアメダス観測値で細線がRUN5の計算結果である。

```
f^fCfjf<:
z.eps
• |• -ZÖ :
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCFrf...• [ :
,±,| EPS CE Z@,|ftf@fCf<,|• A
fvfCFrf...• [•t,«A•Ü¶,³,e.Ä,ç,Ü,¹,ñ• B
fRf• f"fg:
,±,| EPS CE Z@,|• },|
PostScript fvfŠf" f^A,|,Y
^ó• ü,A,«,Ü,• B
```

(a) 風の発散を時間平均した水平分布

```
f^fCfjf<:
avediv.eps
• |• -ZÖ :
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCFrf...• [ :
,±,| EPS CE Z@,|ftf@fCf<,|• A
fvfCFrf...• [•t,«A•Ü¶,³,e.Ä,ç,Ü,¹,ñ• B
fRf• f"fg:
,±,| EPS CE Z@,|• },|
PostScript fvfŠf" f^A,|,Y
^ó• ü,A,«,Ü,• B
```

(b) 風の発散の領域平均値

```
f^fCfjf<:
z.eps
• |• -ZÖ :
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCFrf...• [ :
,±,| EPS CE Z@,|ftf@fCf<,|• A
fvfCFrf...• [•t,«A•Ü¶,³,e.Ä,ç,Ü,¹,ñ• B
fRf• f"fg:
,±,| EPS CE Z@,|• },|
PostScript fvfŠf" f^A,|,Y
^ó• ü,A,«,Ü,• B
```

(c) 水蒸気混合比

図7 期間2における長岡周辺の風の発散

(a)大気2層目の風の発散。-0.0005でハッチあたりはRUN5, ハッチなしはRUN3, -0.0003で塗りつぶしはRUN10である。(b)大気2層目の風の発散を領域平均し時系列で示した。(c)大気2層目の水蒸気混合比[kg/kg]。28日12時での値で、下からRUN5, RUN10, RUN3である。

```
f^fCfjgk:
z.eps
• |• -ZÖ:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf...[:
±,| EPS CE Z@,|ftf@fCf<,|• A
fvfCEfjf... [t,«A•Ü¶,²,é,Ä,ç,Ü,¹,ñ• B
fRf• f^fg:
±,| EPS CE Z@,|• },|
PostScript fvfSf^f^A,i,Y
^ó• ü,A,«,Ü,• B
```

(a) 気温

```
f^fCfjgk:
z.eps
• |• -ZÖ:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf...[:
±,| EPS CE Z@,|ftf@fCf<,|• A
fvfCEfjf... [t,«A•Ü¶,²,é,Ä,ç,Ü,¹,ñ• B
fRf• f^fg:
±,| EPS CE Z@,|• },|
PostScript fvfSf^f^A,i,Y
^ó• ü,A,«,Ü,• B
```

(b) 降水量

図 8 湯沢における気温・降水量の時系列比較
アメダスは太線，黒点が RUN5，白抜き四角点が RUN3. (a)は気温で，標準誤差は RUN5 が 1.90，RUN3 が 1.24 であった. (b)は降水量で，標準誤差は RUN5 が 0.85，RUN3 が 0.74 であった.

図 6(a)をみると分かるように，低気圧通過に伴い気温の過大評価が起きているため，低気圧の再現性に問題があると考えられ，降水量に関する考察は行わない. 図 6(b)は，この領域において降雪が長時間維持されていたことを示している(図の太線が観測値). ところが RUN5 は降雪の維持を再現できていないことが分かる. これは，雪雲を維持するための風の収束に問題があると考えられる.

そこで，RUN10・RUN5・RUN3 と解像度を変えた実験を行った. 風の発散計算結果を図 5 に示した. 図 7(a)の水平分布をみると，RUN5 より RUN3 は広範囲にわたって収束の強く，RUN10 は収束が非常に弱いことがわかる. また図 7(b)の領域平均値の時系列比較をみると，RUN3 のみが風の収束を維持していることがわかった. また，図 7(c)の水蒸気混合比をみると，RUN3 では風の収束に伴い水蒸気が輸送さ

れこの領域で降雪が起りやすい状態を作り出していることがわかる. このことから，解像度を上げて計算を行うことで，里雪型降雪を再現する可能性があることが示唆された.

山地の例として湯沢アメダス観測所での気温と降水量を RUN5 及び RUN3 について比較をし図 8 に示した.

図 8 の結果から解像度を改善すると，湯沢では精度が良くなることが分かった. また，RUN5 と RUN3 の気温標準誤差の解析対象領域平均は，1.84 から 1.63 に改善された. このことから力学過程は，解像度を向上させることで改善が期待される.

4. 2 山雪型降雪実験

山雪型降雪実験は，表 1 の里雪型降雪実験の時と同様の設定で，計算時間を 2001 年 3 月 6 日 0 時から 10 日 0 時に変更して行った. RUN 番号は，RUNM5 と M を付する. また里雪同様，開始 1 日目は解析を行わない.

```
f^fCfjgk:
zz.eps
• |• -ZÖ:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf...[:
±,| EPS CE Z@,|ftf@fCf<,|• A
fvfCEfjf... [t,«A•Ü¶,²,é,Ä,ç,Ü,¹,ñ• B
fRf• f^fg:
±,| EPS CE Z@,|• },|
PostScript fvfSf^f^A,i,Y
^ó• ü,A,«,Ü,• B
```

(a) 平均気温

```
f^fCfjgk:
zz.eps
• |• -ZÖ:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf...[:
±,| EPS CE Z@,|ftf@fCf<,|• A
fvfCEfjf... [t,«A•Ü¶,²,é,Ä,ç,Ü,¹,ñ• B
fRf• f^fg:
±,| EPS CE Z@,|• },|
PostScript fvfSf^f^A,i,Y
^ó• ü,A,«,Ü,• B
```

(b) 積算降水量

図 9 山雪型実験の平均気温差と積算降水量差
(a)は 3 月 8 日 0 時から 10 日 0 時までの平均気温差，(b)は同期間の積算降水量差である.

図9 (b)をみると、日本海沿岸のほぼ全域で降水量が過大評価されている。これは、大気移流が地形による強制上昇を受け降雪をもたらす場合、降水量を過大評価する傾向があることを示している。里雪型降雪実験でもこの傾向があり、水蒸気スキーム³⁾のパラメータの検討が必要であることが示唆された。

```
f^fCfjgfc:
z.eps
• | • -ZÖ:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf... • [ :
± | EPS CE Z@ | ftf @ fCfç | • A
fvfCEfjf... • [ t « A • Ü ¶ ; é . Ä . ç . Ü ; ; ñ • B
fRf • f'fg:
± | EPS CE Z@ | • } |
PostScript fvfSf" f^A | . Y
^ó • ü . A , « , Ü , • B
```

(a) 領域平均気温

```
f^fCfjgfc:
z.eps
• | • -ZÖ:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf... • [ :
± | EPS CE Z@ | ftf @ fCfç | • A
fvfCEfjf... • [ t « A • Ü ¶ ; é . Ä . ç . Ü ; ; ñ • B
fRf • f'fg:
± | EPS CE Z@ | • } |
PostScript fvfSf" f^A | . Y
^ó • ü . A , « , Ü , • B
```

(b) 領域平均降水量

図 10 飛騨山脈・妙高山周辺で領域平均した気温と降雪量

(a)領域平均気温[°C]と(b)領域平均降水量[mm]. 太線がアメダス観測値で細線が RUNM5 の計算結果である。

図 10 を見ると、気温が全体的に過小評価されており、降雪量は先の水平分布でみた通り、時間全体で過大評価されており、正確に予報されているとはいえなかった。

図 11 をみると、この時間帯は気温の変化が少なかったため、解像度による大きな差はみられなかったが、全体的に RUNM5 のほうが精度が良いといえる。

5. 結論

解像度の改善により、里雪型、山雪型を問わず気温や風などの力学過程の改善が顕著であっ

た。降水量については、大気移流による強制上昇での降雪が過大評価される結果となった。これは、降雪を司るモデル内の雲の生成や降雪のパラメタリゼーションに問題があると考えられるため、解像度を含めて検討する必要がある。また、衛星観測を利用した雲域の比較や積雪域の同定を行うことが今後の課題である。

```
f^fCfjgfc:
zz.eps
• | • -ZÖ:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf... • [ :
± | EPS CE Z@ | ftf @ fCfç | • A
fvfCEfjf... • [ t « A • Ü ¶ ; é . Ä . ç . Ü ; ; ñ • B
fRf • f'fg:
± | EPS CE Z@ | • } |
PostScript fvfSf" f^A | . Y
^ó • ü . A , « , Ü , • B
```

(a) RUNM10

```
f^fCfjgfc:
zz.eps
• | • -ZÖ:
gxeps $Revision: 0.68 $
fvfCEfjf... • [ :
± | EPS CE Z@ | ftf @ fCfç | • A
fvfCEfjf... • [ t « A • Ü ¶ ; é . Ä . ç . Ü ; ; ñ • B
fRf • f'fg:
± | EPS CE Z@ | • } |
PostScript fvfSf" f^A | . Y
^ó • ü . A , « , Ü , • B
```

(b)RUNM5

図 11 湯沢における気温時系列比較

湯沢における気温を時系列で比較した。(a)は RUNM10, (b)は RUNM5 の結果で単位は[°C]. 太線がアメダス観測値で細線が計算結果である。

参考文献

[1] Georg A. Grell · Jimmy Dudhia · David R. Stauffer, 1995: A Description of the Fifth-Generation Penn State / NCAR Mesoscale Model (MM5), NCAR/TN-398+STR NCAR TECHNICAL NOTE.
 [2] Jimmy Dudhia · Dave Gill · Yong-Run Guo · Kevin Manning, 2000: PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide:MM5 Modeling System Version 3 , Mesoscale and Microscale Meteorology Division : National Center for Atmospheric Research
 [3] Schultz,P., 1995: An Explicit Cloud Physics Parameterization for Operational Numerical Weather Prediction, Mon. Wea. Rev., 123, 3331-3343