

MJ-SiB積雪3層モデルの多層化と しもざらめ雪の導入

大泉三津夫(気象大学校)

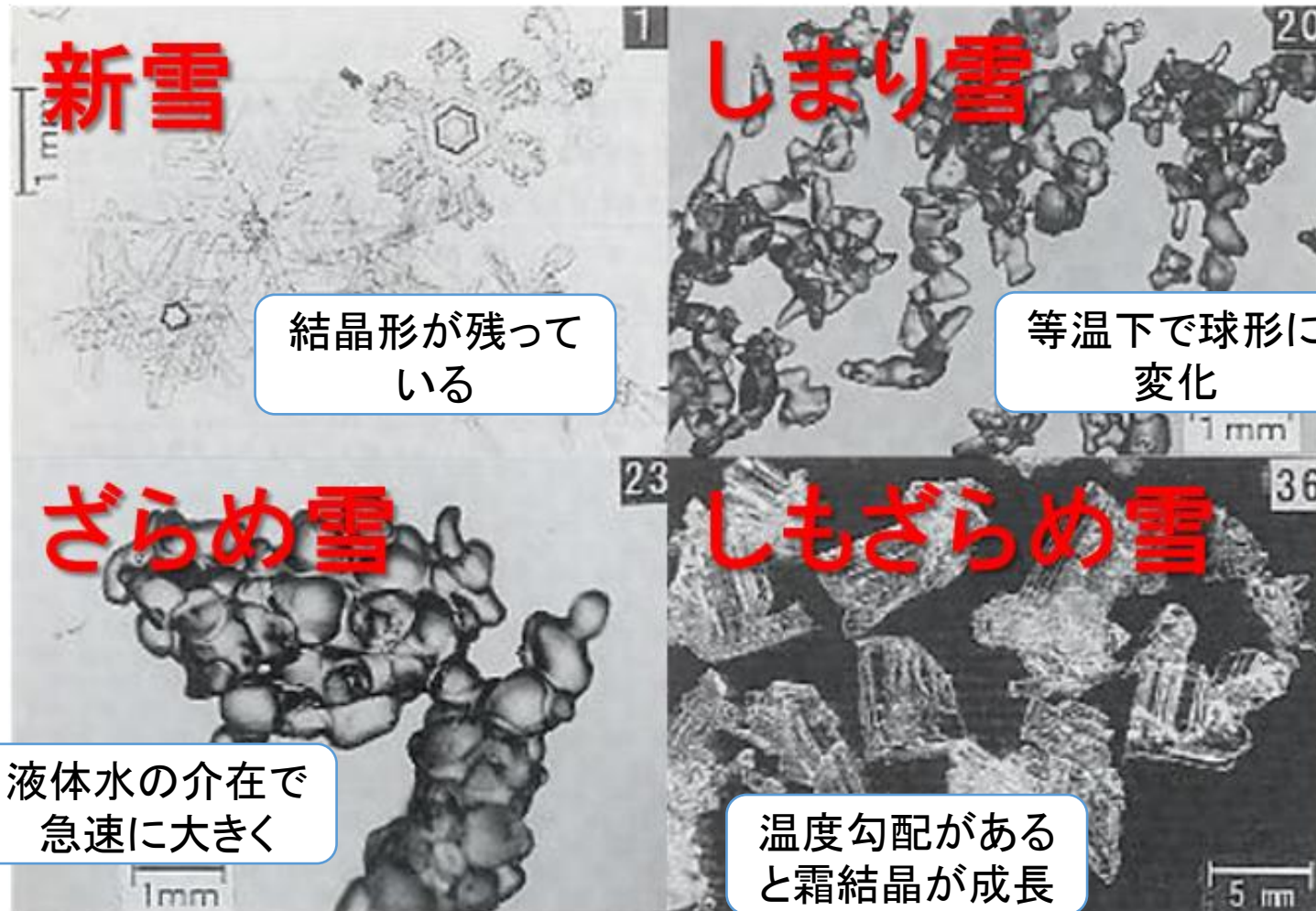
池上慶希(釧路地方気象台)

発表内容

1. はじめに……………しもざらめ雪と研究目的
2. モデル……………しもざらめ雪のパラメタリゼーション
3. 数値実験……………3層モデル
……………多層モデル
4. 今後の課題

しもざらめ雪

雪質: 積雪層は雪粒子の大きさ・形・結合により大きく分けて4種類に分類



雪質による積雪の物理特性の違い

- 新雪、しもざらめ雪 → 異方性
- しまり雪、ざらめ雪 → 等方性

平地積雪のしもざらめ雪の特徴

同密度の他の等方性の雪質の雪と比べて

熱を伝えにくい・・・(熱伝導率が小さい)

圧縮されにくい・・・(圧縮粘性係数が大きい)

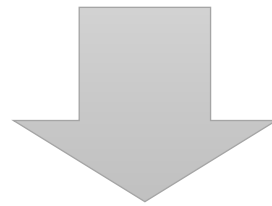
(表面霜は別として)積雪下部でよくみられる

しもざらめ雪(鉛直断面)



研究目的

- NHRCMに組み込まれているMJ-SiB積雪サブモデルは扱う積雪過程が非常に簡単で、熱伝導率と圧縮粘性係数は雪温と密度だけで決まる
- しもざらめ雪の特性は全く考慮されていない



MJ-SiBにしもざらめ雪の熱的効果を取り入れ、NHRCMでの積雪予測・再現性の向上を目指す。

モデル……しもざらめ雪のパラメタリゼーション

しもざらめ雪への変態が起こりやすい条件

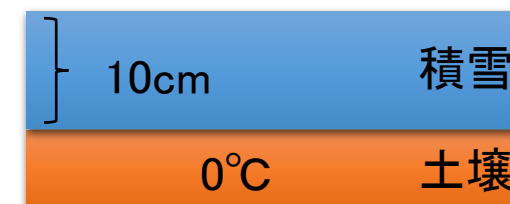
1. 積雪内部の温度勾配が大
地上気温が低い
積雪が薄い
2. 温度勾配が長期間継続

しもざらめ雪がみられる場所

- 降雪量の少ない厳寒地（シベリアなど）
- 日本では北海道や山岳部

しもざらめ雪への変態が
起こりやすい状況

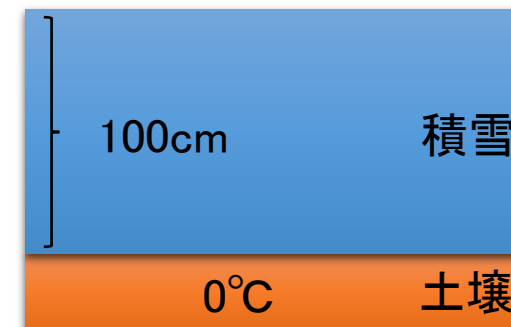
-10°C



温度勾配 100 °C/m

しもざらめ雪が発生し
にくい状況

-5°C



温度勾配 5 °C/m

山崎(1998)のしもざらめ雪パラメタリゼーション

しもざらめ雪形成の進行速度の指標として有効温度勾配を導入

大気中の雪結晶の
水蒸気拡散成長

$$\frac{dm}{dt} \propto 4\pi r D \Delta\rho_v$$

……積雪中のしもざらめ雪の成長も同様に考えて……

$$4\pi r_0 D \Delta\rho_{vs} \propto D \cdot d\rho_{vs}/dT \cdot dT/dz$$



有効温度勾配

$$g_t(T(z, t)) = \Gamma \cdot f(T) \quad (\Gamma \geq 10^\circ\text{Cm}^{-1})$$

T は雪温($^\circ\text{C}$) ; Γ は雪温勾配

$f(T)$ は水蒸気の拡散係数×飽和水蒸気密度の温度依存性

$$\Gamma = \left| \frac{\partial T}{\partial z} \right|, \quad f(T) \cong 1 + 0.0733T + 0.00197T^2 + 0.0000187T^3$$

g_t はある時刻での成長速度に相当するので、ある期間で積算した値がしもざらめ雪の変態の程度を表す

積算有効温度勾配

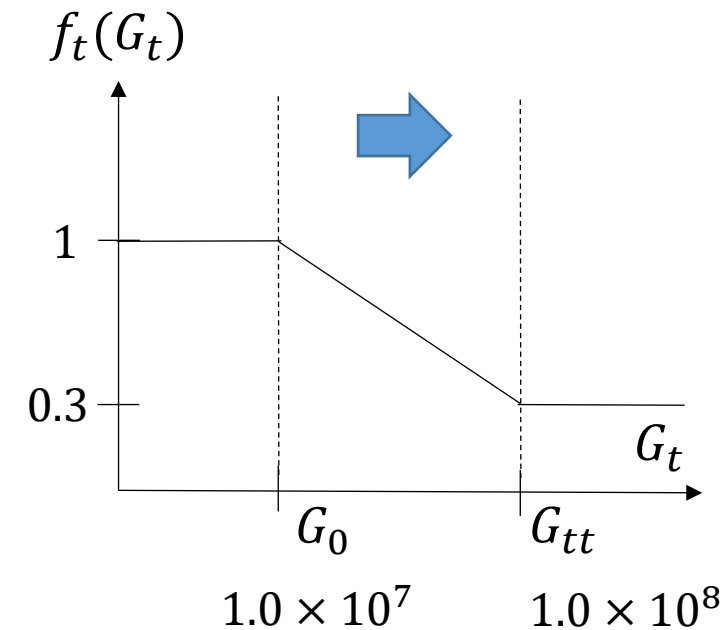
$$G_t(z, t + \Delta t) = G_t(z, t) + g_t \Delta t$$

- 温度勾配が $10 \text{ }^\circ\text{Cm}^{-1}$ より小さい場合は寄与しないと考え、 $g_t = 0$
- 湿雪ざらめ雪に変化した場合、 G_t は0にリセット

G_t を等方性の積雪の熱伝導率 k_0 と圧縮粘性係数 η_0 に掛けて補正

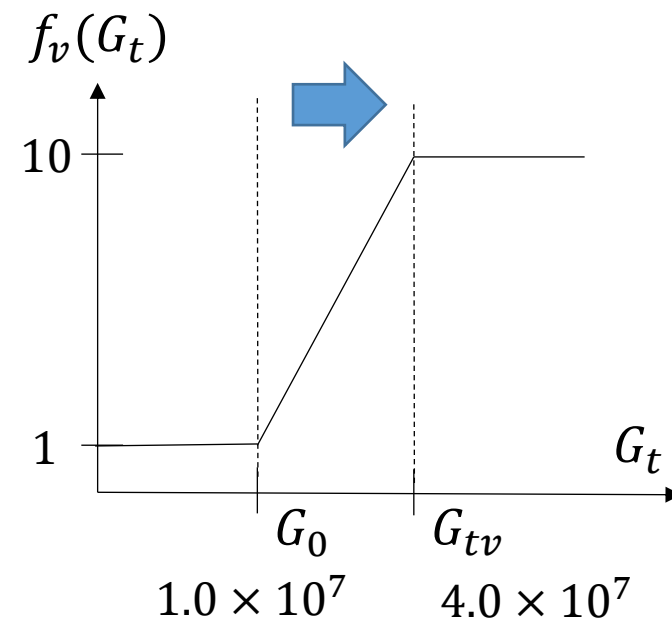
熱伝導率の変化

しもざらめ雪の変態が進行すると熱伝導率は小さくなり、最小で k_0 の0.3倍となる



圧縮粘性係数の変化

圧縮粘性係数は大きくなり、最大で η_0 の10倍となる



数値実験・・・3層モデル

実験概要

- モデル : MJ-SiBオフラインモデル(タイムステップは120秒)
- 場所 : 札幌
- 期間 : 2006/10/1~07/4/30
2007/10/1~08/4/30
- 強制力 : 北大低温研露場で測定された地上気象観測データ
- 検証データ: 同露場での積雪断面観測

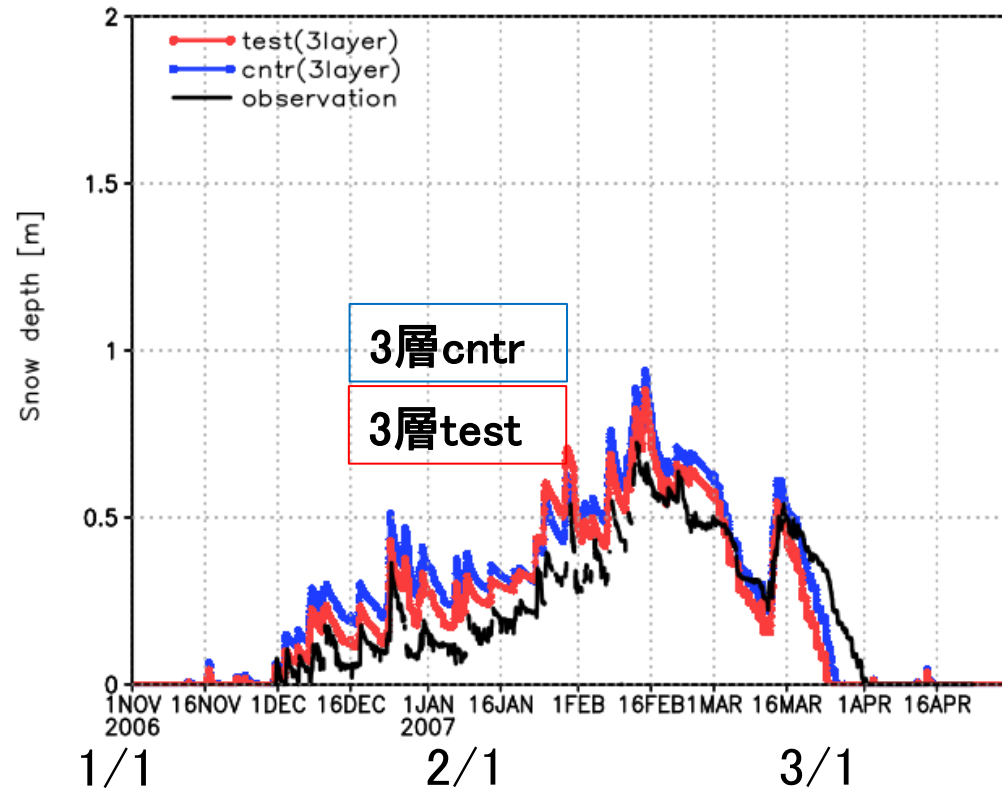
※12~2月の札幌の平均気温と最深積雪 (平年値 -2.5°C 、99cm)

2006~7年は -1.3°C (暖冬)と78cm

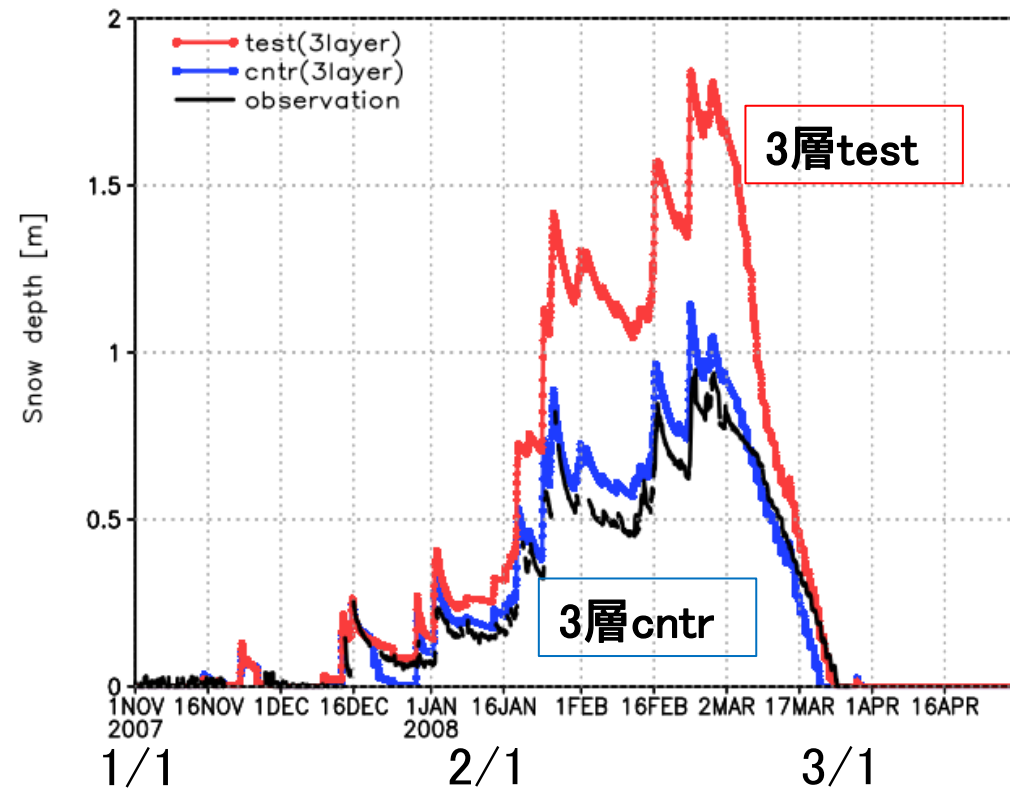
2007~8年は -2.8°C (寒冬)と106cm

3層モデルの積雪深

2006-7年冬



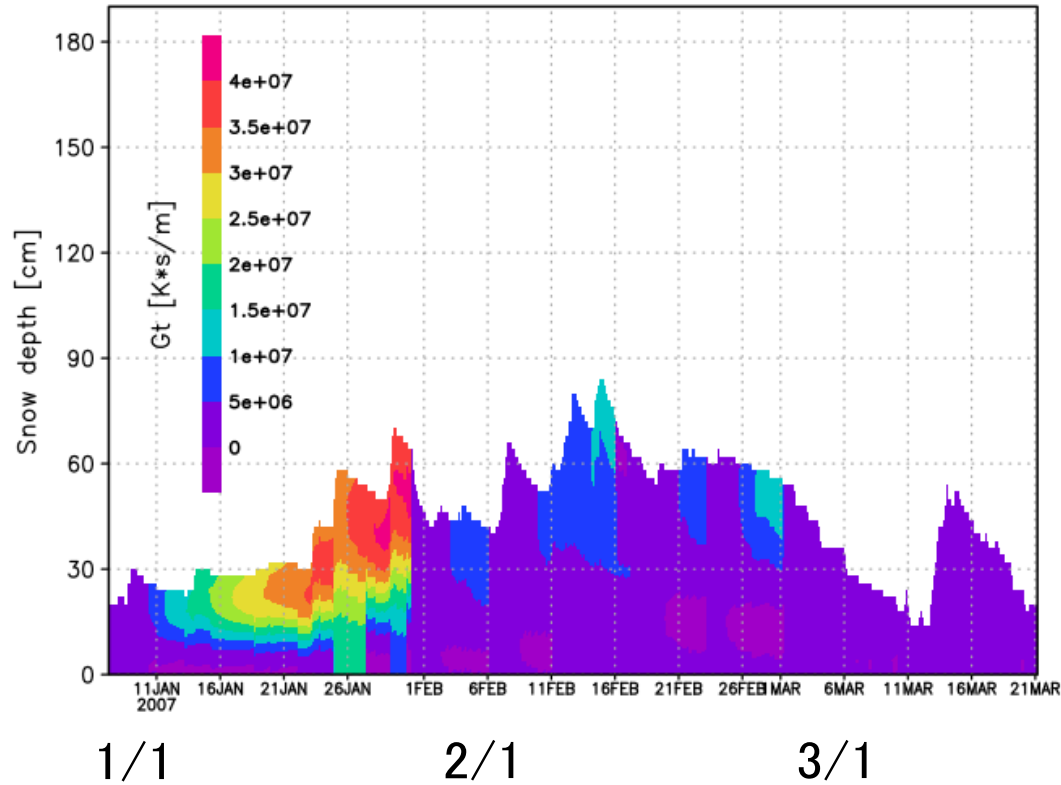
2007-8年冬



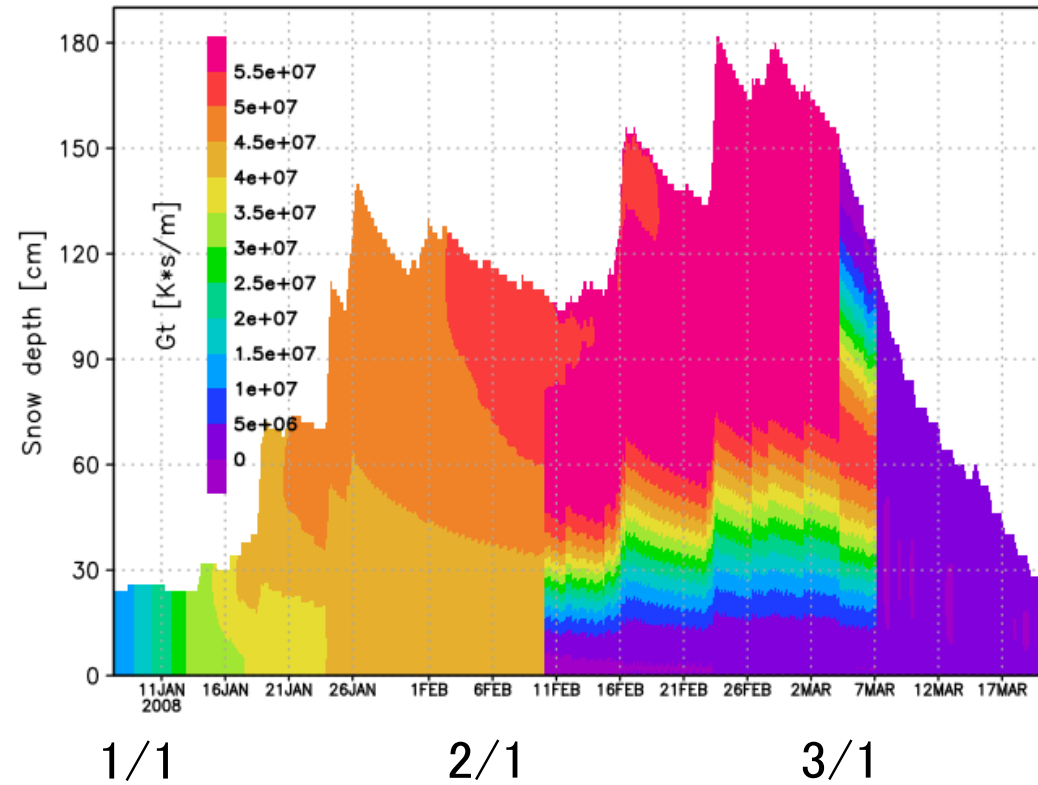
しもざらめ雪パラメタリゼーションを導入すると、しもざらめ雪形成時に積雪深がcntrと比べ過大(上層で圧縮されにくい)

3層モデルの積算有効温度勾配 G_t

test(2006-7年冬)



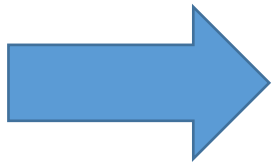
test(2007-8年冬)



暖冬年よりも寒冬年の方がしもざらめ雪化が顕著
よく見られるしもざらめ雪の分布(積雪下部に多い)になっていない

3層モデルのまとめ

- しもざらめ雪パラメタリゼーションを導入すると上層の密度が小さくなり、積雪深が過大になる
- 上方でしもざらめ雪が顕著・・・観測とは異なる結果
- 今回の手法でしもざらめ雪を的確に表現するには、3層では不十分

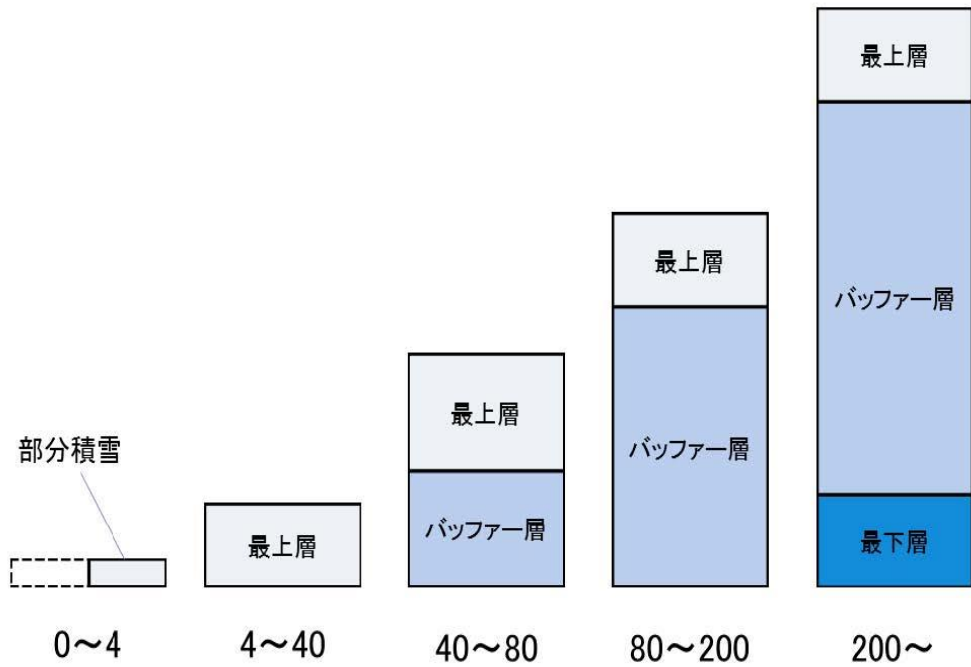


多層モデルが必要

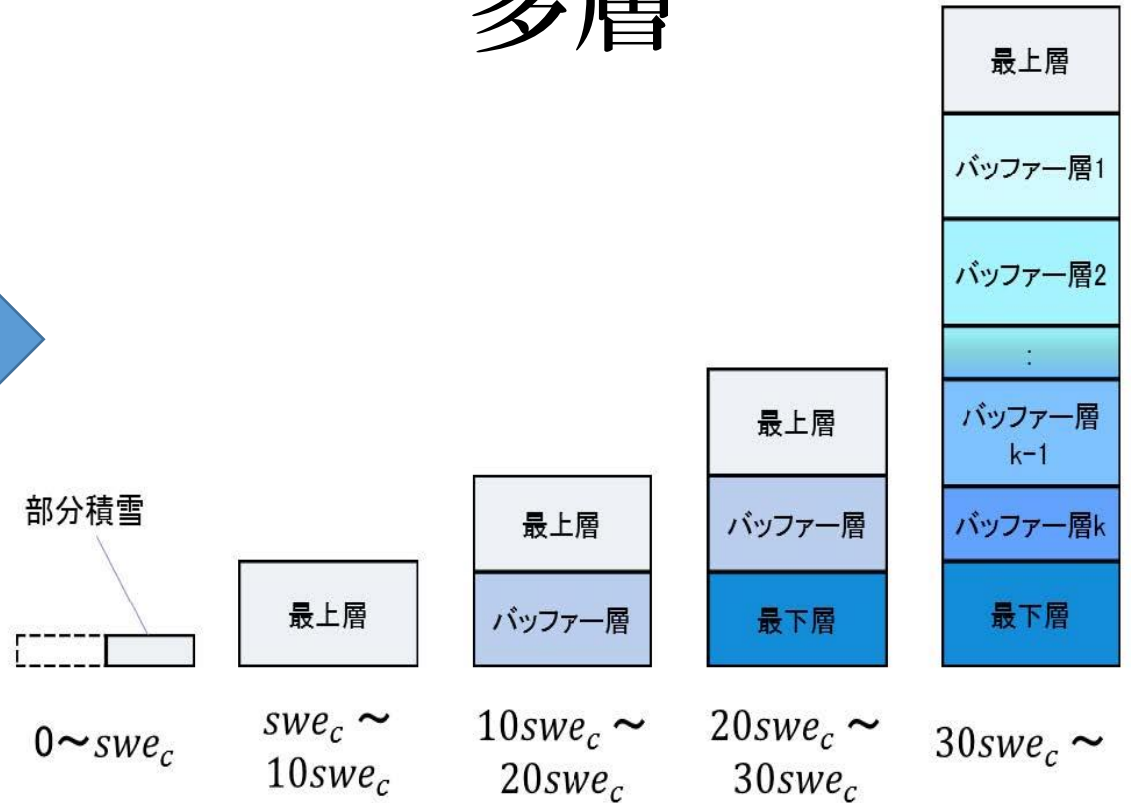
……多層モデル

MJ-SiBでの3層および多層積雪サブモデルの層構造

3層



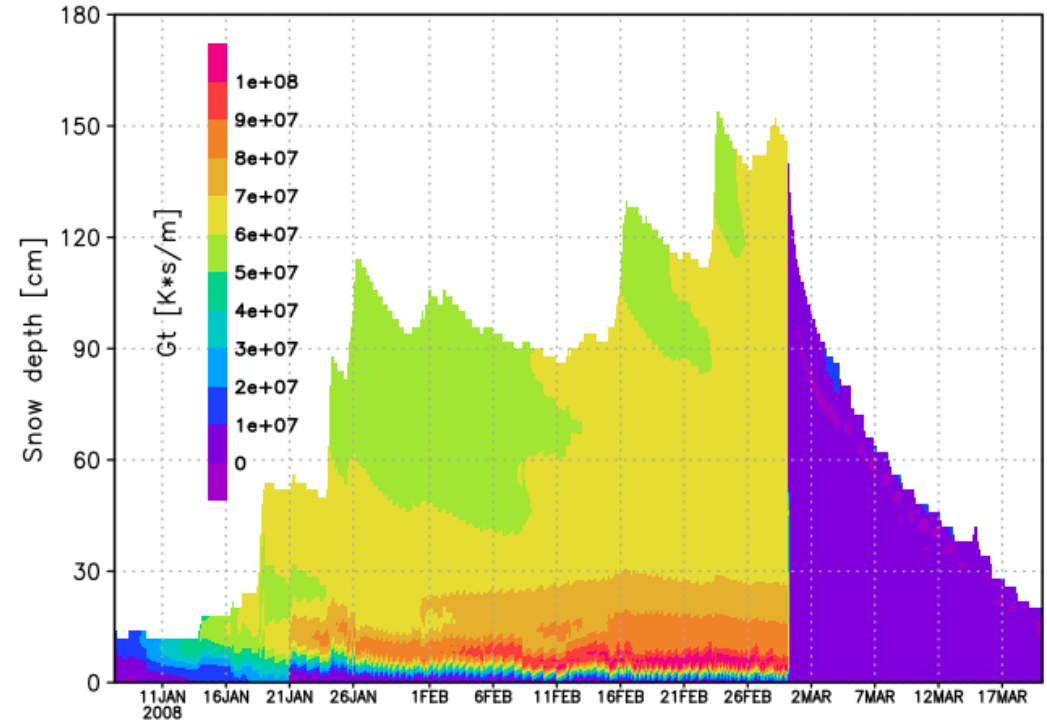
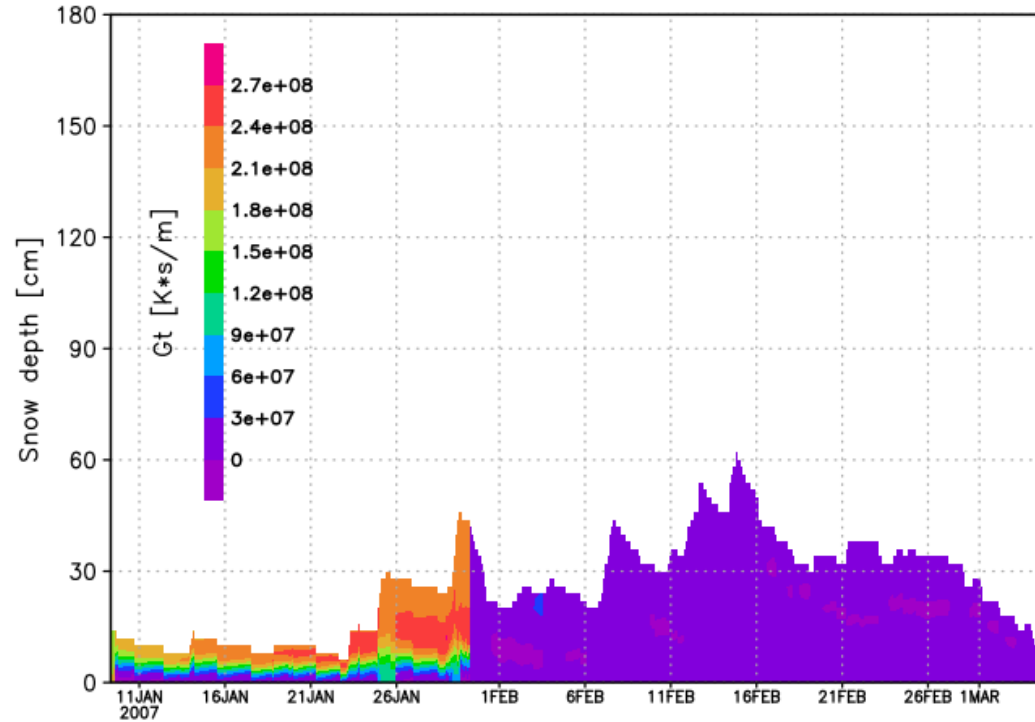
多層



多層モデルのしもざらめ雪の積算有効温度勾配 G_t

2006-7年冬

2007-8年冬



1/1

2/1

3/1

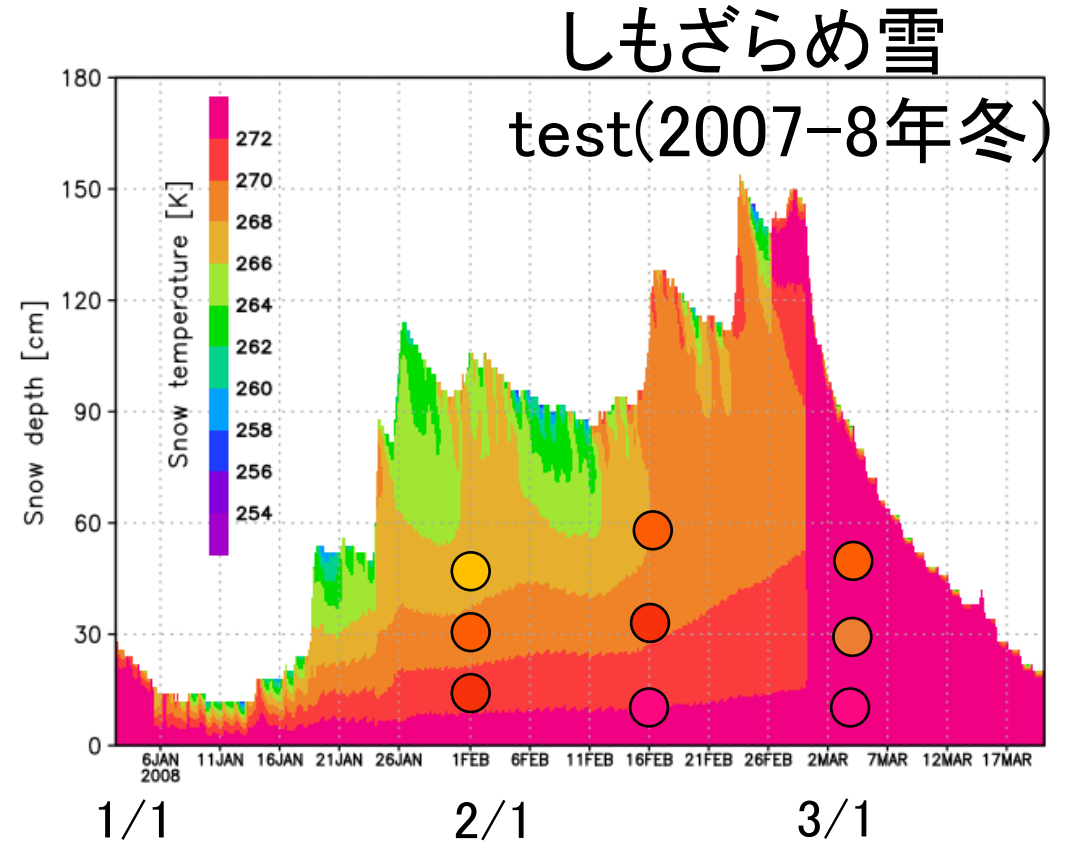
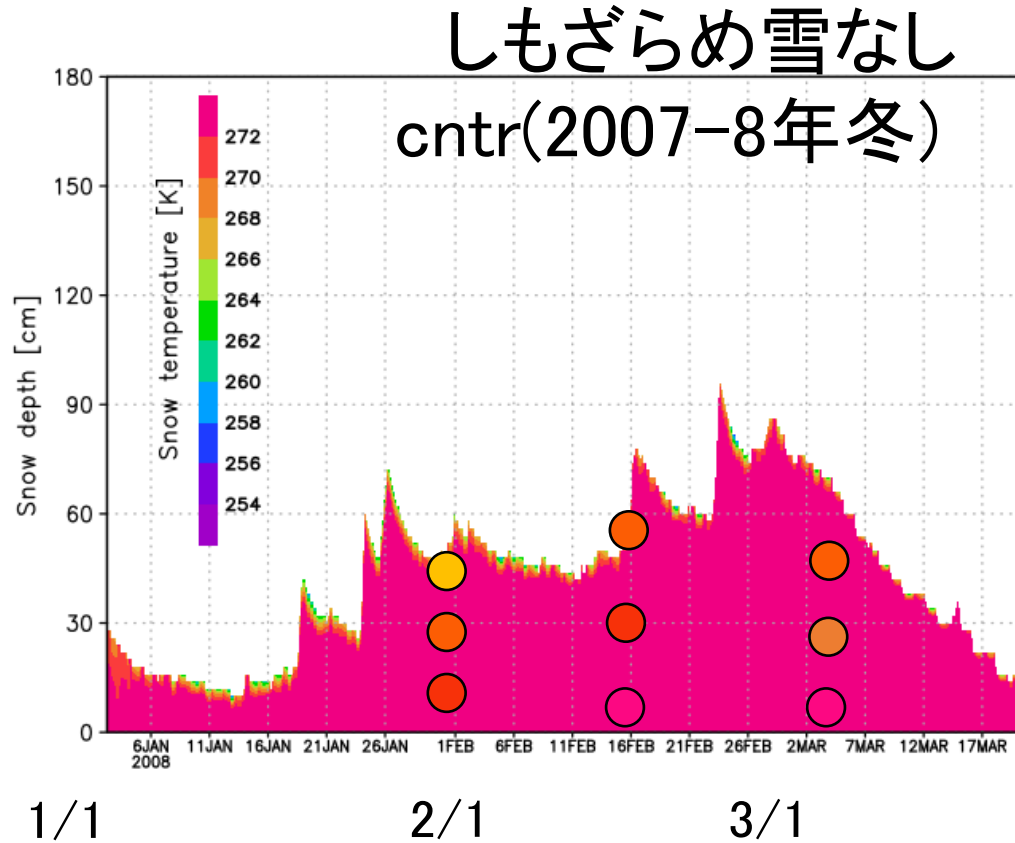
1/1

2/1

3/1

- 寒冬年では3層モデルより適切にしもざらめ雪を表現し、下部ほど G_t が大

寒冬年の多層モデルの積雪温度

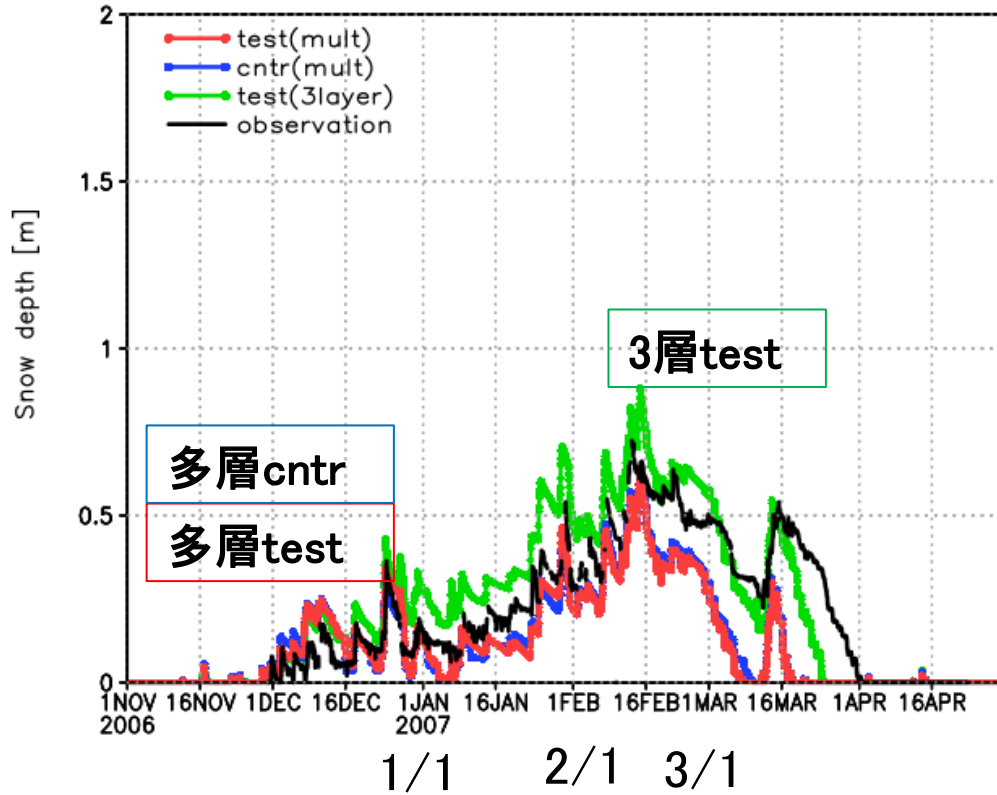


寒冬年で

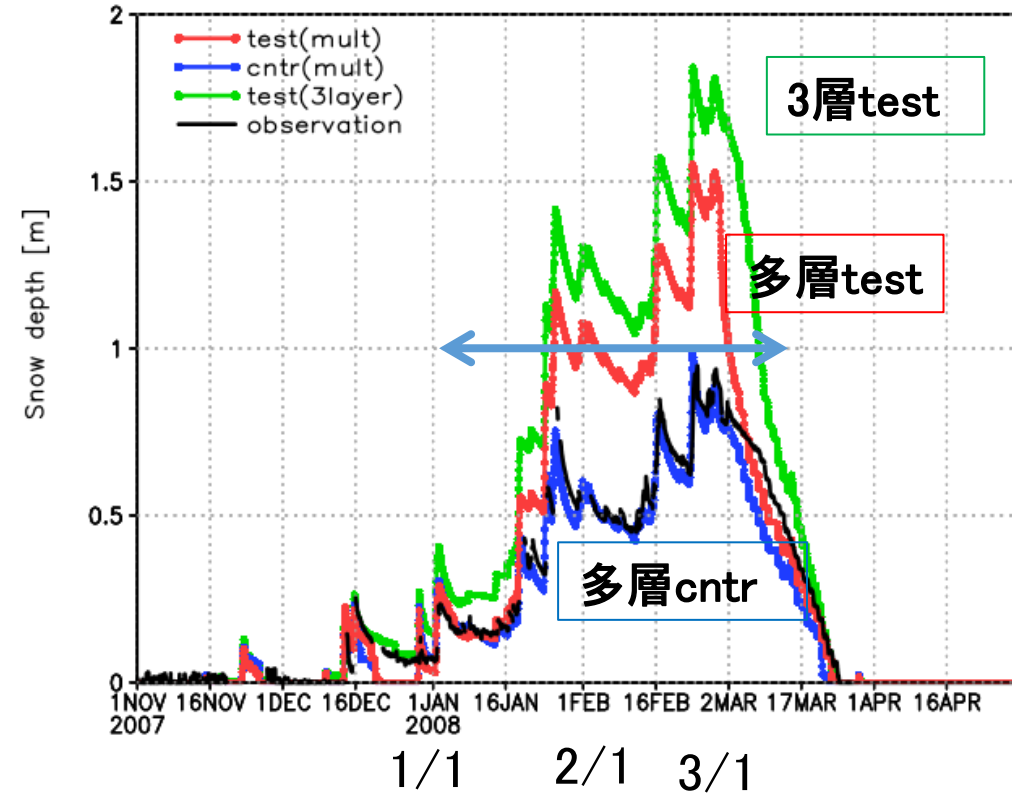
- しもざらめ雪なしのcntrでは、積雪内部の温度勾配をうまく表現できない
- しもざらめ雪を考慮すると高温バイアスが解消され、雪温分布を適切に表現

多層モデルの積雪深

2006-7年冬



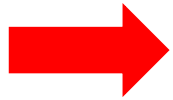
2007-8年冬



- (しもざらめ雪の有無によらず) 多層モデルは3層モデルより積雪深小
- 寒冬年ではしもざらめ雪を考慮すると積雪深は過大 (3層モデルと同様)

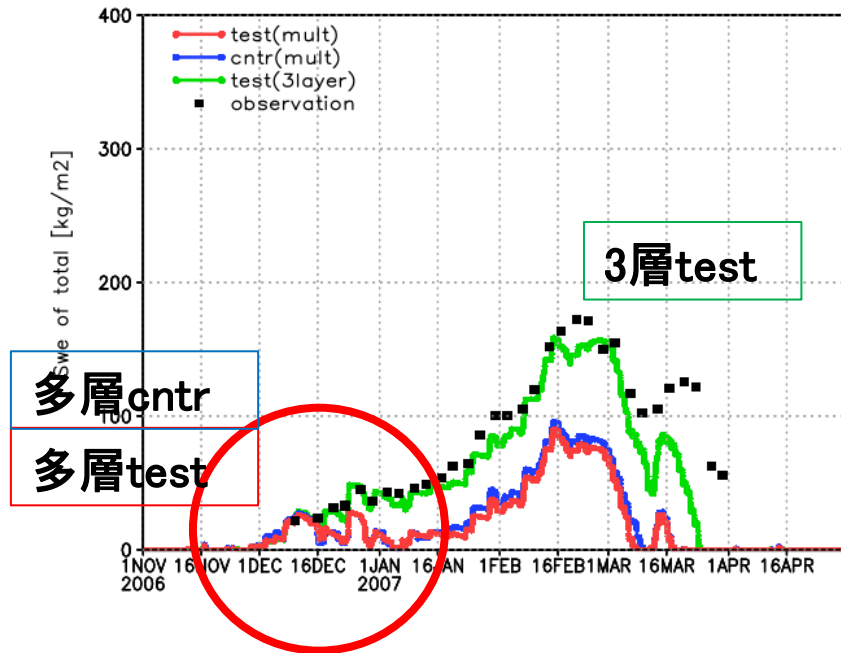
多層モデルの積雪水量

- 多層モデルでは全冬季を通じて積雪水量が小

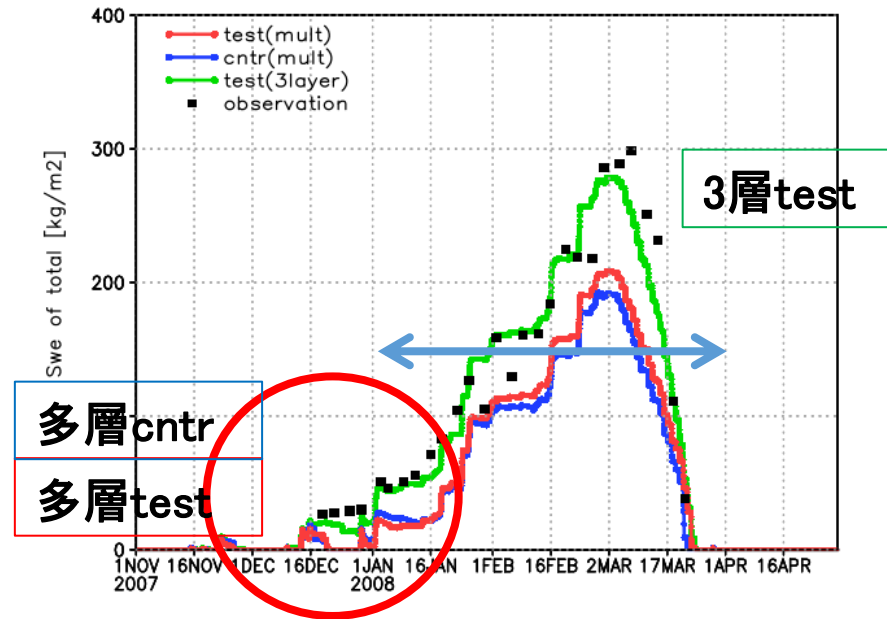


初期の違いが尾を引く、この時期の再現性の向上が必要

2006-7年冬



2007-8年冬



多層モデルとしもざらめ雪のまとめ

(改善点)

- 多層モデルはしもざらめ雪を3層モデルより適切に表現
- しもざらめ雪を考慮することで、多層モデルでの温度構造が適切に表現

(修正すべき点)

- 多層モデルでは積雪水量が過小に計算される(初期に問題あり)
- しもざらめ雪になってからの圧縮が不十分で、密度が小(粘性係数が大きすぎ)

今後の課題

- 多層モデルで積雪形成初期の積雪水量の改善
- しもざらめ雪パラメタリゼーションでの粘性係数のチューニング
- **NHRCMで多層モデルのパラメータ調節。等方性の積雪の圧縮粘性係数の再チューニング**（小さくして、圧縮されやすくする）

謝辞

本研究では数値予報課土田技官がH25年度気象大学校卒業研究で作成した積雪多層モデルを基盤モデルとして使用した

また、気象研究所気候研究部の庭野研究官にはオフラインモデルを駆動させるための大気強制力を提供していただいた

両氏に感謝申し上げます

終わり