

# 地域気候モデルを用いた東北地方の 積雪水資源の再現性

流体地球物理学講座 M2 高松直史

# はじめに

- ◆ 降雪・融雪は地形（標高）に強く依存するため、ダウンスケーリングは必須。
- ◆ 力学的ダウンスケーリング（GCM※<sup>1</sup>→RCM※<sup>2</sup>→水文モデル）
  - 長所：物理的な基礎があり、将来気候でも適用できる。
  - 短所：GCMやRCM自身の系統的な誤差（バイアス）が引き継がれる。バイアスを減らすには、物理過程を改良する必要がある。
- ◆ 陸面過程モデルは積雪の消長を表現するため、積雪予測においては重要な物理過程
  - GCMのスキームを移植するだけでは、高解像度したときに問題が生じる。

**[目的] 高解像度で積雪水資源予測を行うために、現在気候で解像度を変えたときの積雪の再現性を評価する。**

※<sup>1</sup>GCM: Global Climate Model (全球気候モデル)  
※<sup>2</sup>RCM: Regional Climate Model (地域気候モデル)

# 実験方法

- JMA-NHM (Saito et al., 2007) による降雪～融雪期のダウンスケーリング
- 検証データ
  1. アメダス → 気温・積雪深  
地点数：154 or 71 (気温) / 75 or 33 (積雪深)
  2. APHRO\_JP (Kamiguchi et al., 2010) → 降水量  
解像度：0.05度 アメダスの雨量計データから作成
  3. MODIS Daily 積雪被覆データ (堀・村上, 2009) → 積雪被覆  
解像度：0.005度  
JAXAが受信・処理したデータ (NSIDCのデータとは異なる)  
アメダスによる検証作業を行う

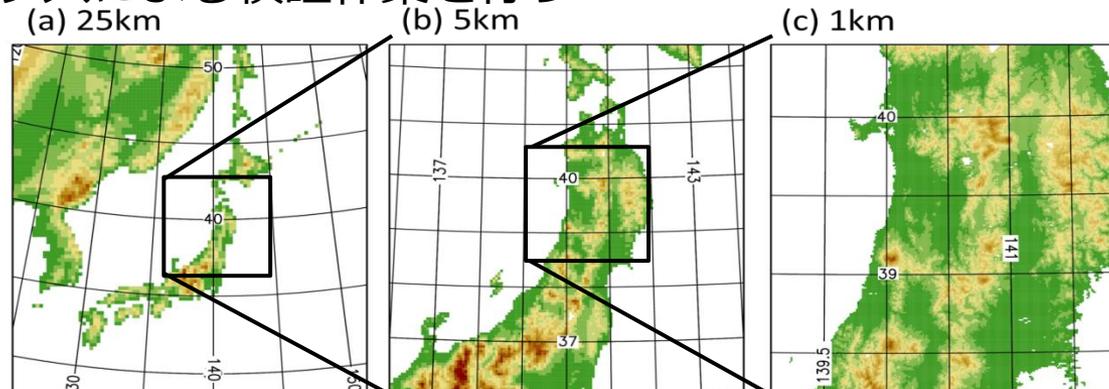


図 モデルの計算領域

# 実験方法

表 モデルの計算設定

	25km	5km	1km
計算期間	2005.10.01.09JST ~ 2006.05.01.09JST		
タイムステップ	60秒	15秒	4秒
初期値境界値	JRA55	25kmの結果	5kmの結果
乱流過程	MYNN3		Deardorff診断スキーム
積雲対流	KFスキーム		なし
放射過程の雲量	部分凝結スキーム		雲物理過程 (0か1の値をとる)
陸面過程	MJ-SiB/平板モデル		
スペクトル境界 結合	あり	なし	
SST	NOAA Daily OISST version2 (0.25degree)		

# MJ-SiBと平板モデルとの違い

## <MJ-SiB>

- キャンプー、土壌、積雪のサブモデルから構成される。
  - キャンプー：蒸発散、降水遮断、runoff
  - 土壌：熱伝導、凍土、土壌水の拡散、重力排水
  - 積雪：熱伝導、圧密、日射の減衰、底面融解、融雪水の滞留

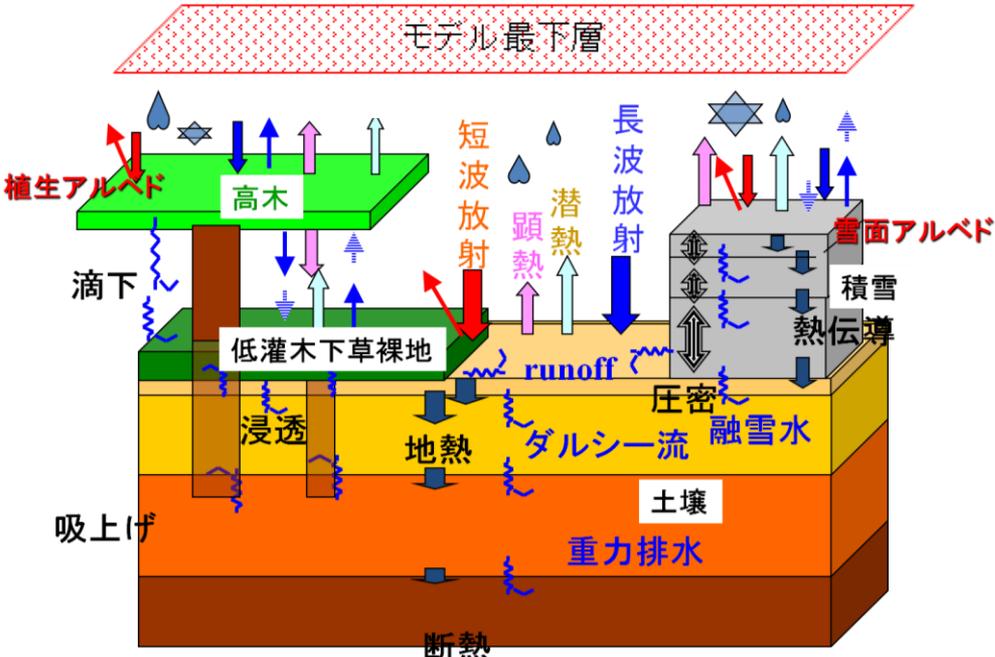


図 MJ-SiBの模式図 (気象大学校・大泉氏よりご提供)

## <平板モデル>

- 土壌：熱伝導 (温度)、強制復元法 (水分)
- 地表面被覆 (海、陸、雪、海氷) は初期状態で固定し、積雪の消長は表現しない。

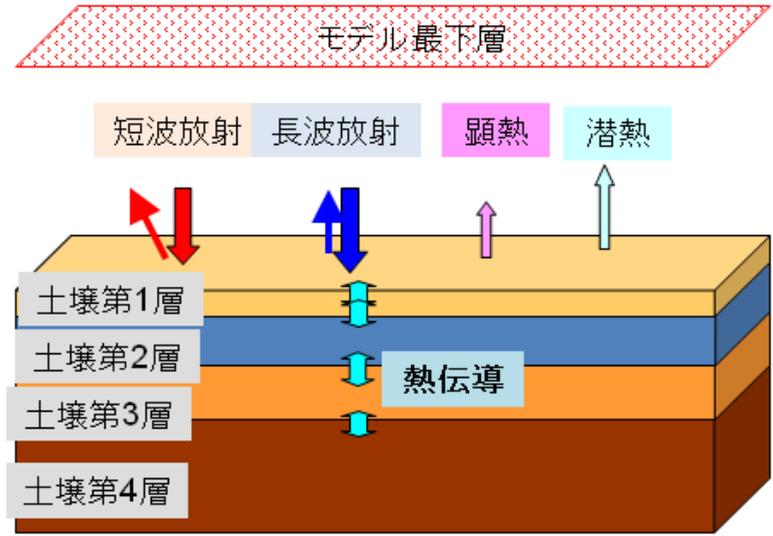
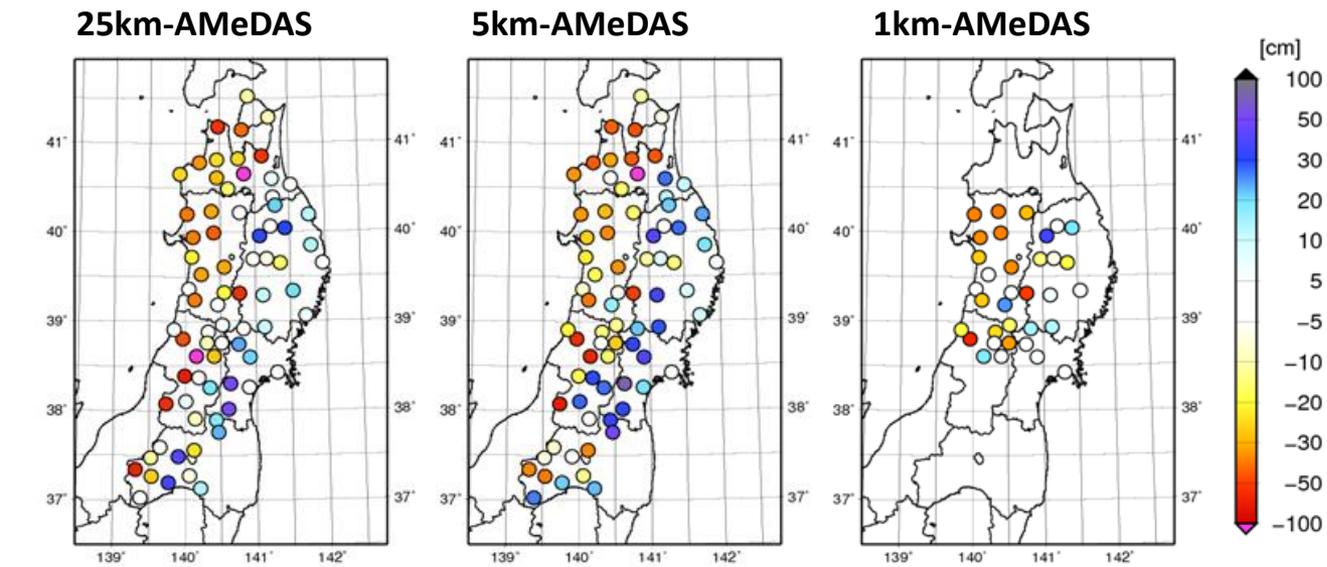
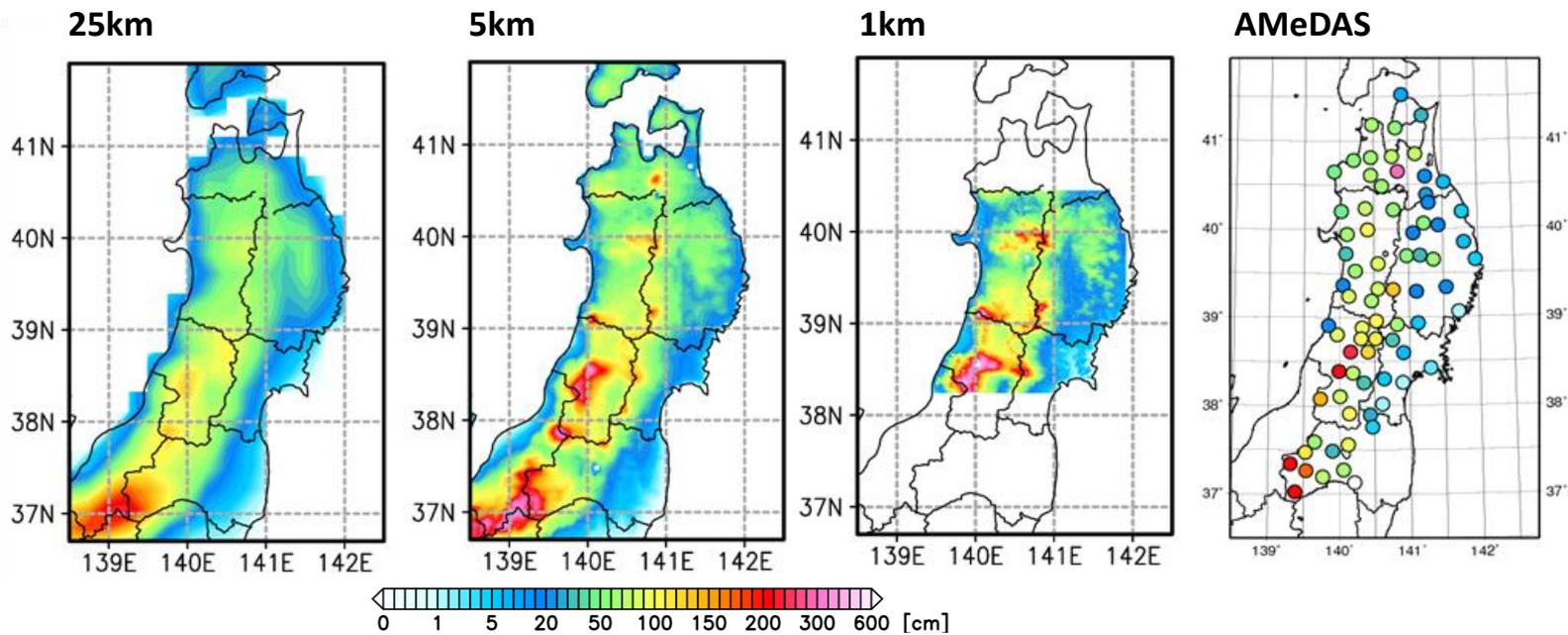


図 平板モデルの模式図 (気象庁, 2012より引用)

# 積雪深 (DJF)



- 日本海側沿岸部では  
ダウンスケーリング  
後も過小
- 太平洋側では改善

図 DJFの平均積雪深 左上:モデル、右上:観測(アメダス)、左下:モデルー観測

# アメダスによるMODIS積雪被覆データの精度評価

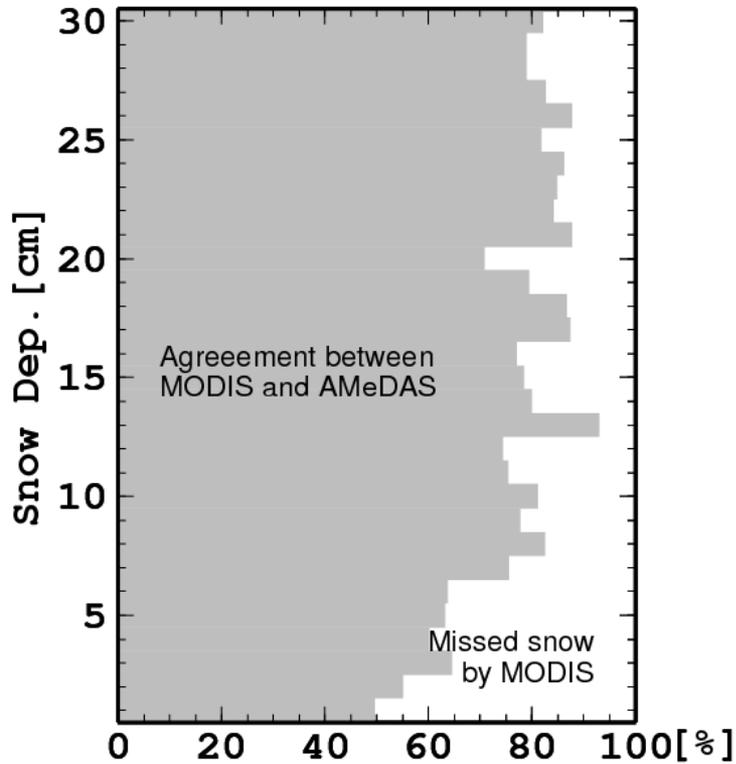


図 アメダスの積雪深に対するMODISによる積雪被覆の精度

表 MODIS対AMeDASのエラーマトリックス (2005.10~2007.05)

		MODIS		
		Land	Snow	Cloud
AMeDAS	Land(<1cm)	5761 <b>91.8%</b>	517 8.2%	9668
	Snow (>=1cm)	749 17.6%	3504 <b>82.4%</b>	8001
	Land(<5cm)	5950 <b>88.6%</b>	766 11.4%	10419
	Snow (>=5cm)	560 14.7%	3255 <b>85.3%</b>	7250
	Land(<10cm)	6077 <b>84.9%</b>	1081 15.1%	11086
	Snow (>=10cm)	433 12.8%	2940 <b>87.2%</b>	6583
	Land(<15cm)	6143 <b>82.0%</b>	1348 18.0%	11628
	Snow (>=15cm)	367 12.1%	2673 <b>87.9%</b>	6041

- 少雪は見逃すことが多い。
- 積雪深5cm~10cmのときに、精度がほぼ一致する。  
→5cm以上の場合を雪あり、5cm未満の場合を雪なしと判定する。

# アメダスによるMODIS積雪被覆データの精度評価

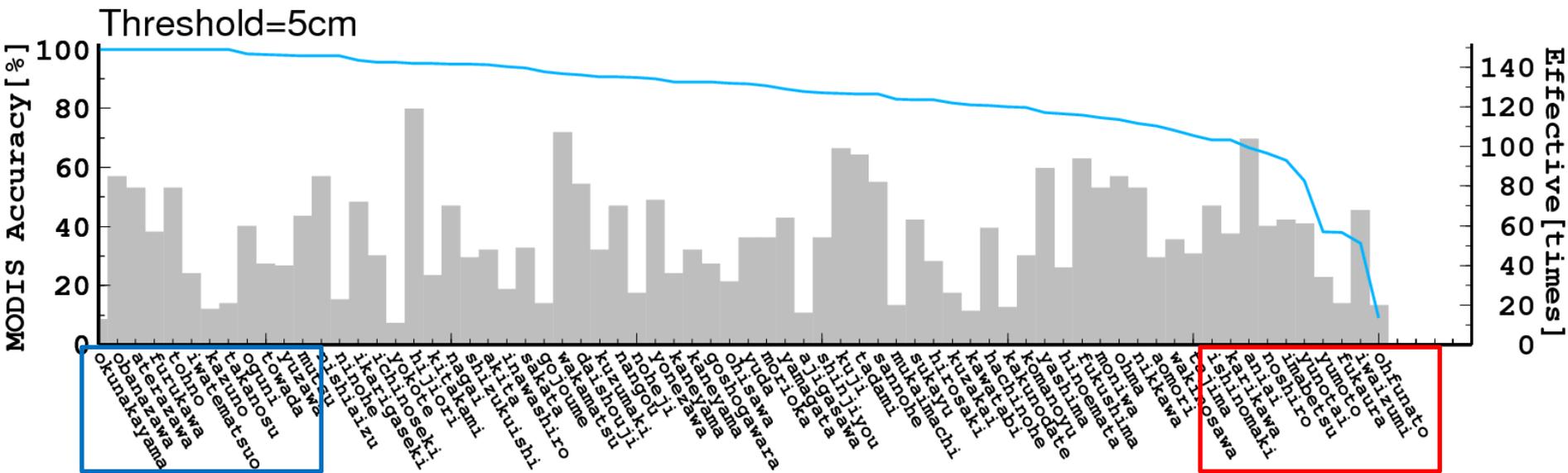


図 地点ごとのMODIS積雪被覆データの精度 (2005.10~2007.05)

**MODIS Accuracy**  
 $= D / (C+D)$   
 $(\neq (A+D) / (A+B+C+D))$

	MODIS	Land	Snow
AMeDAS			
Land (<5cm)		A	B (commission error)
Snow (>=5cm)		C (ommission error)	D

## 精度が良い地点

奥中山、尾花沢、左沢、古川、遠野、岩手松尾、鹿角、鷹巣、小国、十和田  
 →**周囲に地物があまりない地点**

## 精度が悪い地点

大船渡、岩泉、深浦、湯本、湯ノ岱、今別、能代、阿仁合、狩川、石巻  
 →**積雪深が少ない or 海に近い or 市街地や森林の近くにある地点**

# アメダスによるMODIS積雪被覆データの精度評価

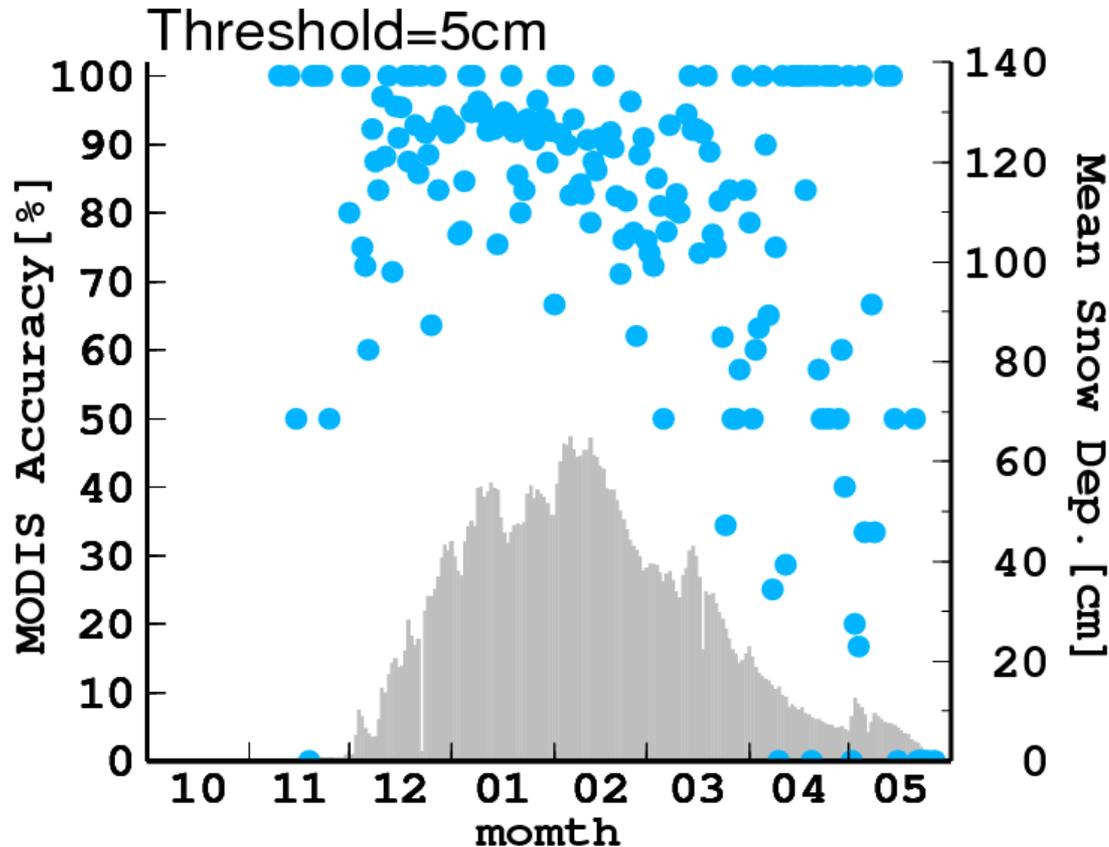


図 日別のMODIS積雪被覆データの精度 (2005.10~2007.05)

精度が悪い時期

雪が少ない時期や融雪期

→森林地や市街地で均質に積雪が分布しないためと考えられる。

**森林や市街地では融雪期に積雪面積が小さくなる可能性がある。**

# MODISとの比較

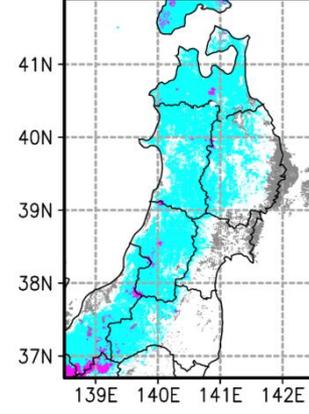
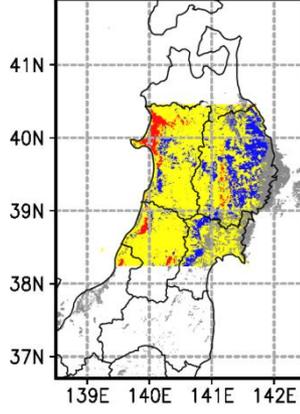
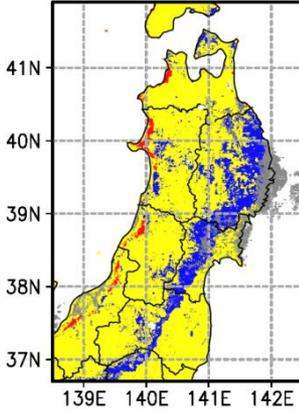
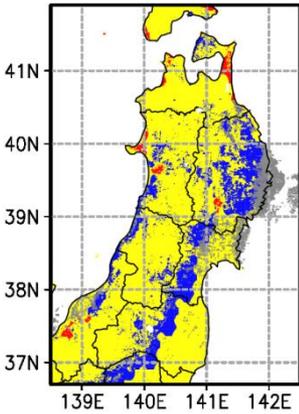
25km-MODIS

5km-MODIS

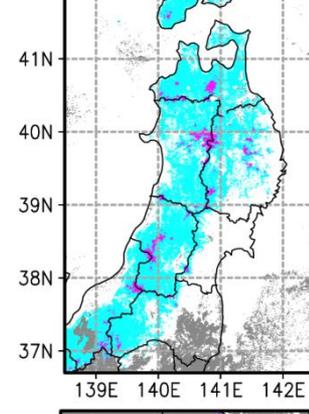
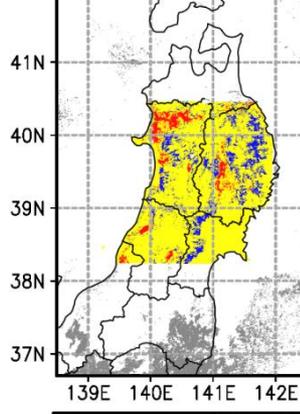
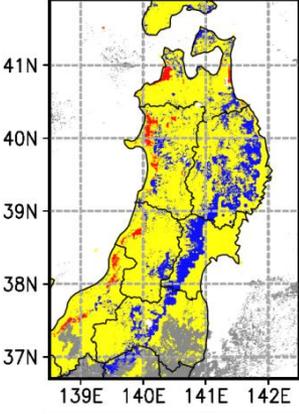
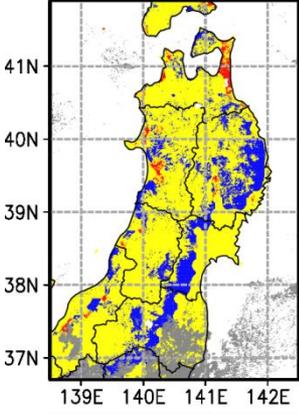
1km-MODIS

MODIS

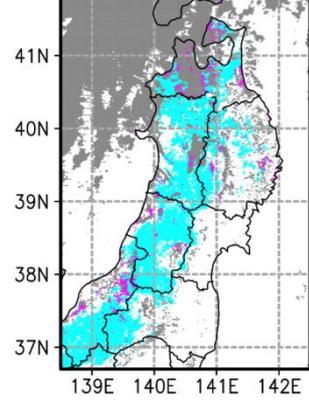
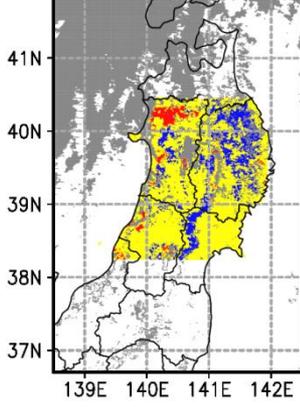
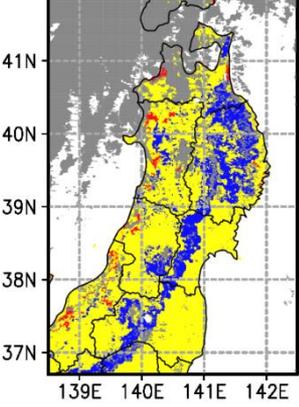
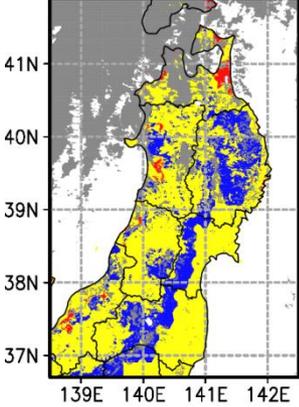
2/25  
(78%)



3/7  
(78%)



3/11  
(79%)



- いずれの解像度でも日本海側で消雪早い
- 低解像度では奥羽山脈東縁で消雪遅い

- cloud
- wet snow
- dry snow
- snow(モデル) / land(MDS)
- land(モデル) / snow(MDS)
- consistent

図 各日における積雪 10/17 被覆状態

# MODISとの比較

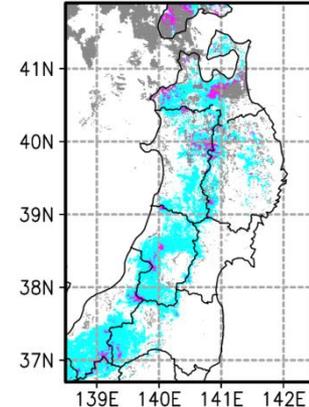
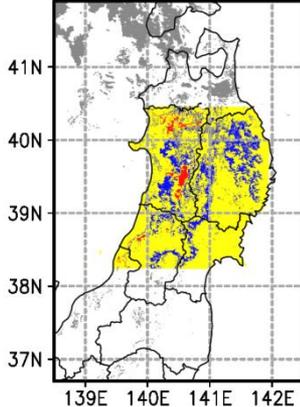
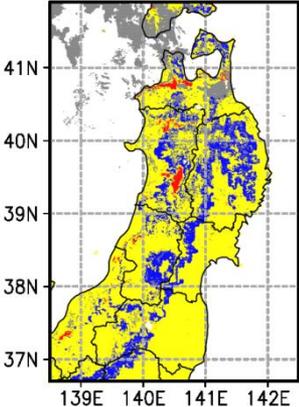
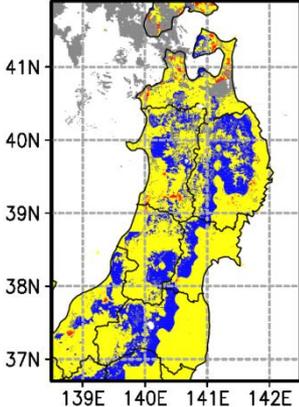
25km-MODIS

5km-MODIS

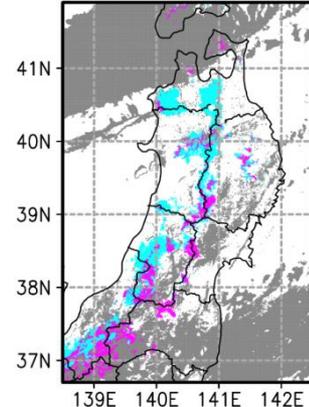
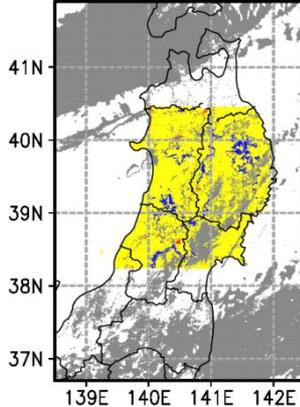
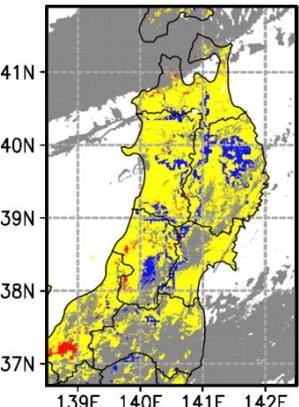
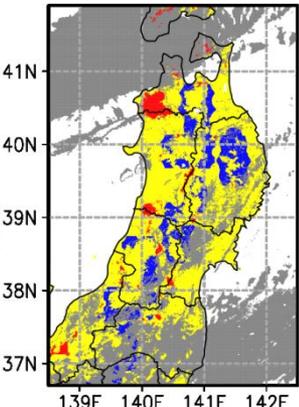
1km-MODIS

MODIS

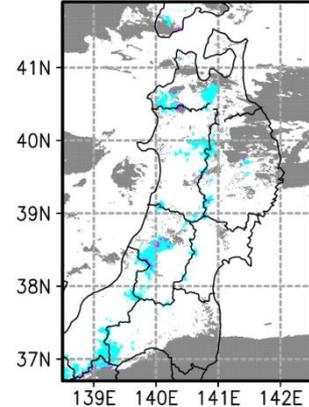
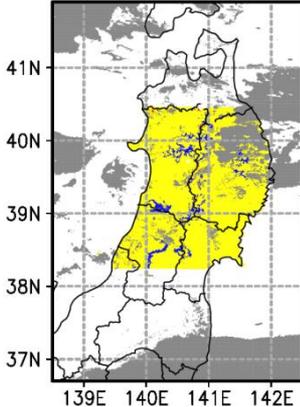
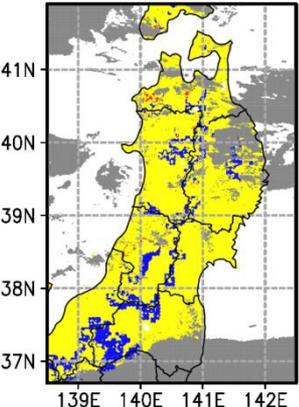
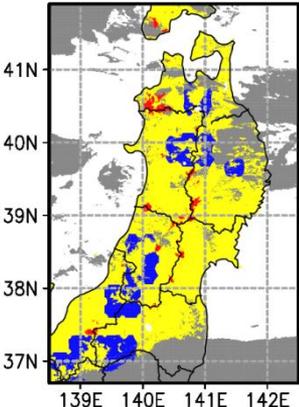
3/25  
(34%)



4/15  
(100%)



4/29  
(60%)



- 低解像度では山地の消雪の分布を再現できない
- 高解像度でも山地の消雪遅い

Legend:

- cloud (grey)
- wet snow (cyan)
- dry snow (magenta)
- snow(モデル) / land(MDS) (blue)
- land(モデル) / snow(MDS) (red)
- consistent (yellow)

図 各日における積雪 11/17 被覆状態

# 積雪深と気温の関係

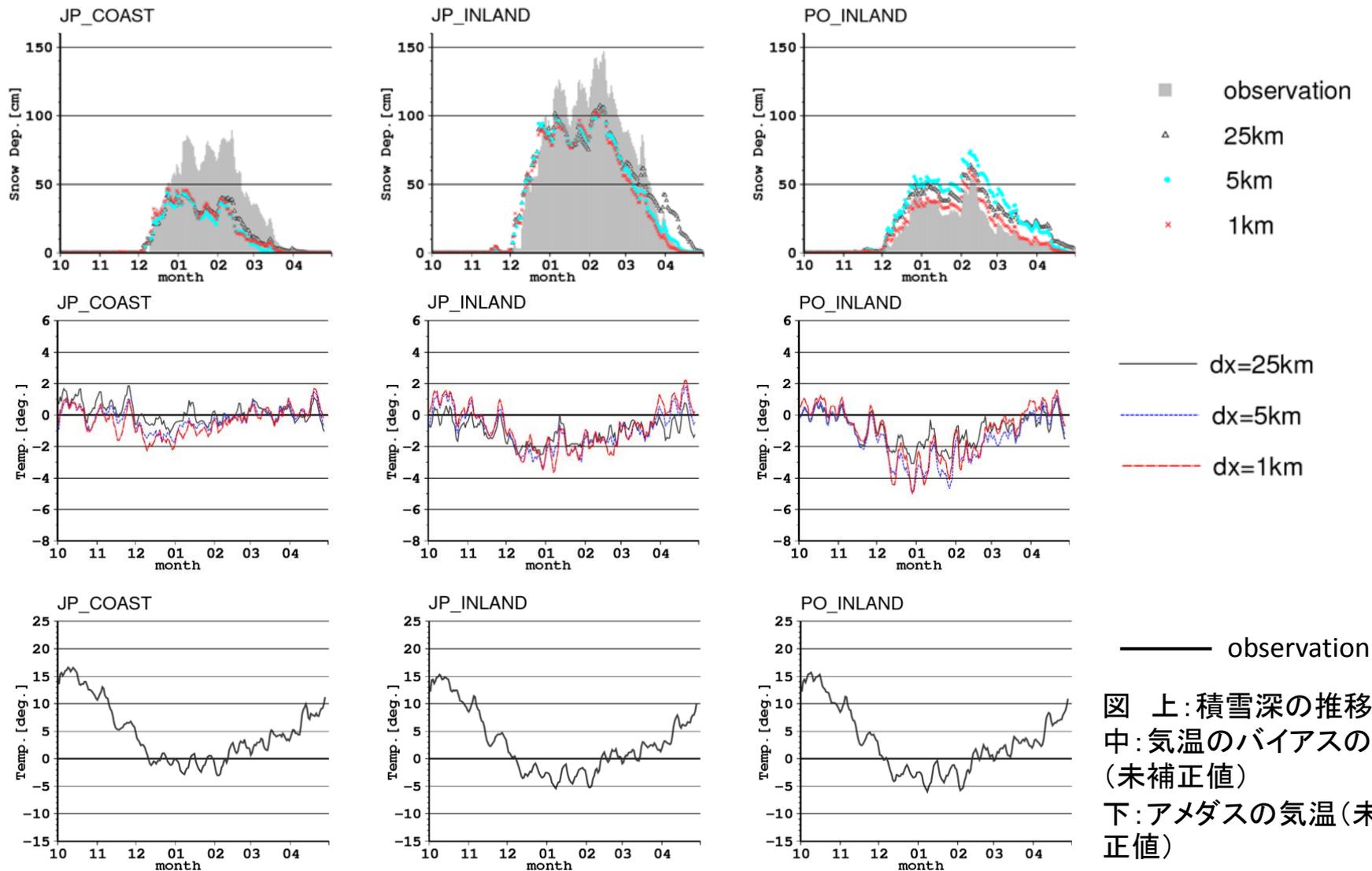
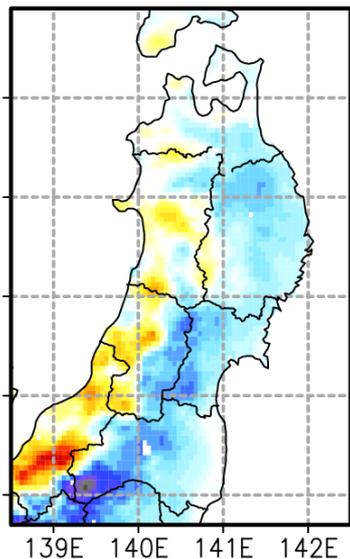


図 上:積雪深の推移  
 中:気温のバイアスの推移  
 (未補正值)  
 下:アメダスの気温(未補  
 正值)

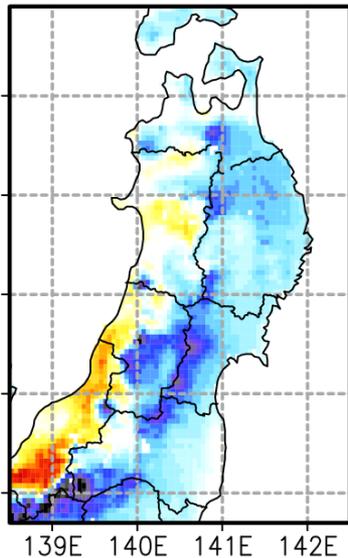
- 積雪期の内陸部で顕著な低温バイアス
- 気温の積雪への影響は限定的

# 月降水量のバイアス (DJF)

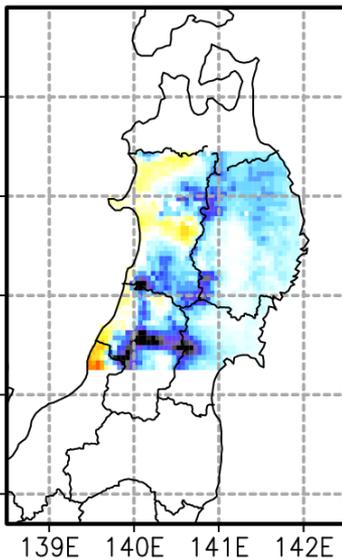
25km, with SiB



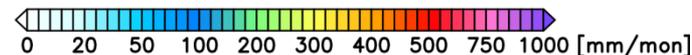
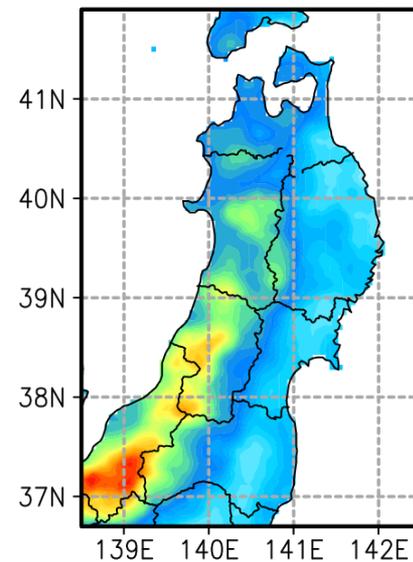
5km, with SiB



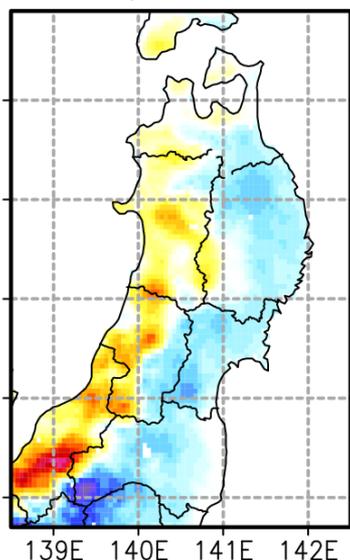
1km, with SiB



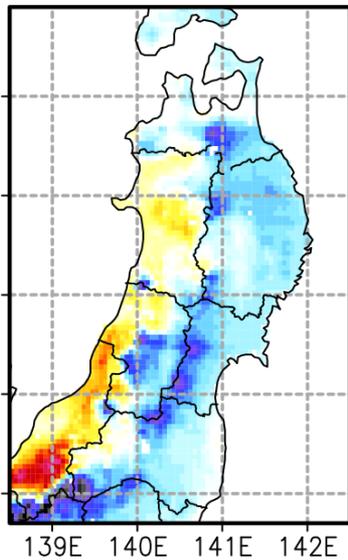
APHRO\_JP



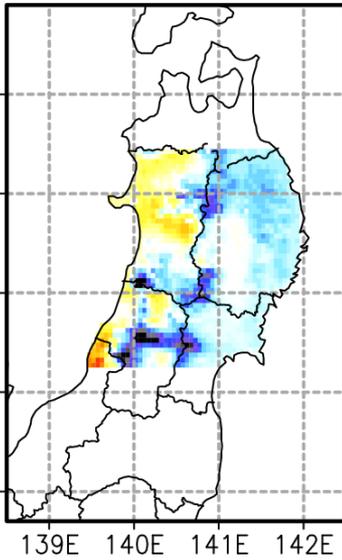
25km, no SiB



5km, no SiB



1km, no SiB

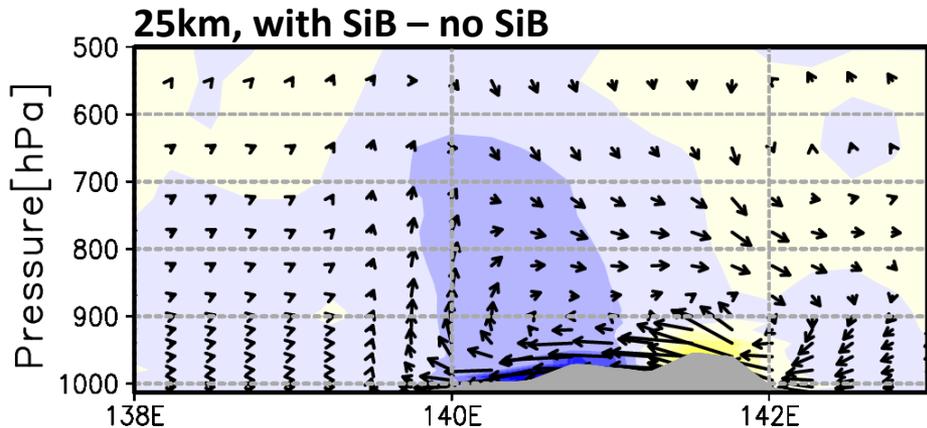
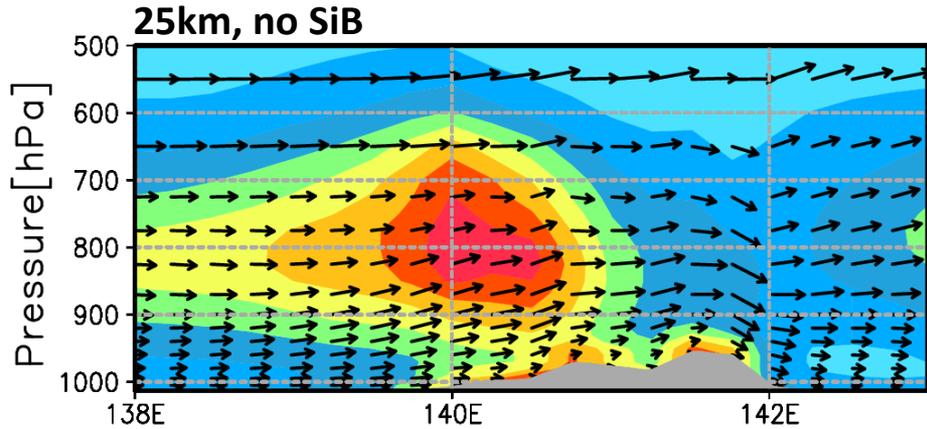
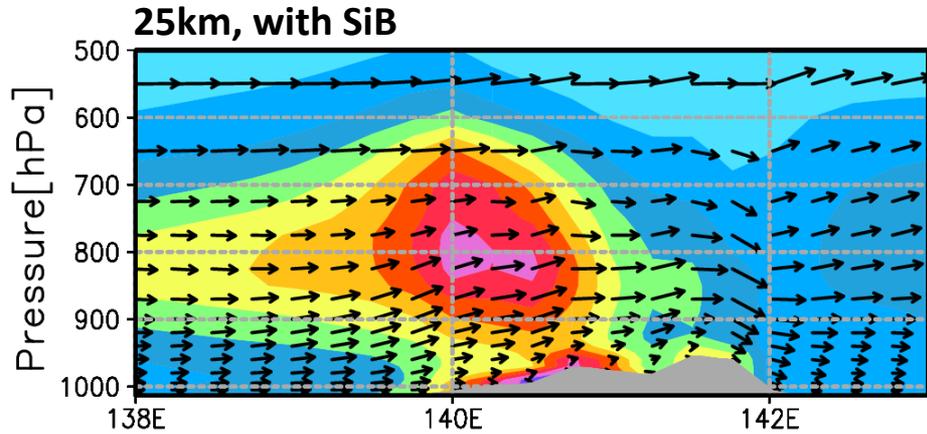


- 太平洋側では改善
- 日本海側沿岸部では過小評価のまま
- 山地では降水量が増加したが、観測値とは単純に比較できない

→積雪の分布と整合的

図 月降水量の誤差と観測値 13/17 (APHRO\_JP)

# 凝結水物質と風速の鉛直断面 (DJF)



- 森林の大きな粗度
- 下層風の弱化
- 海岸線での収束強化
- 上昇流強化
- 降水増加

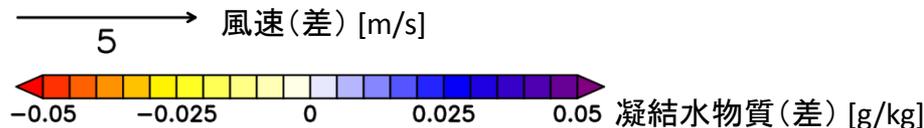


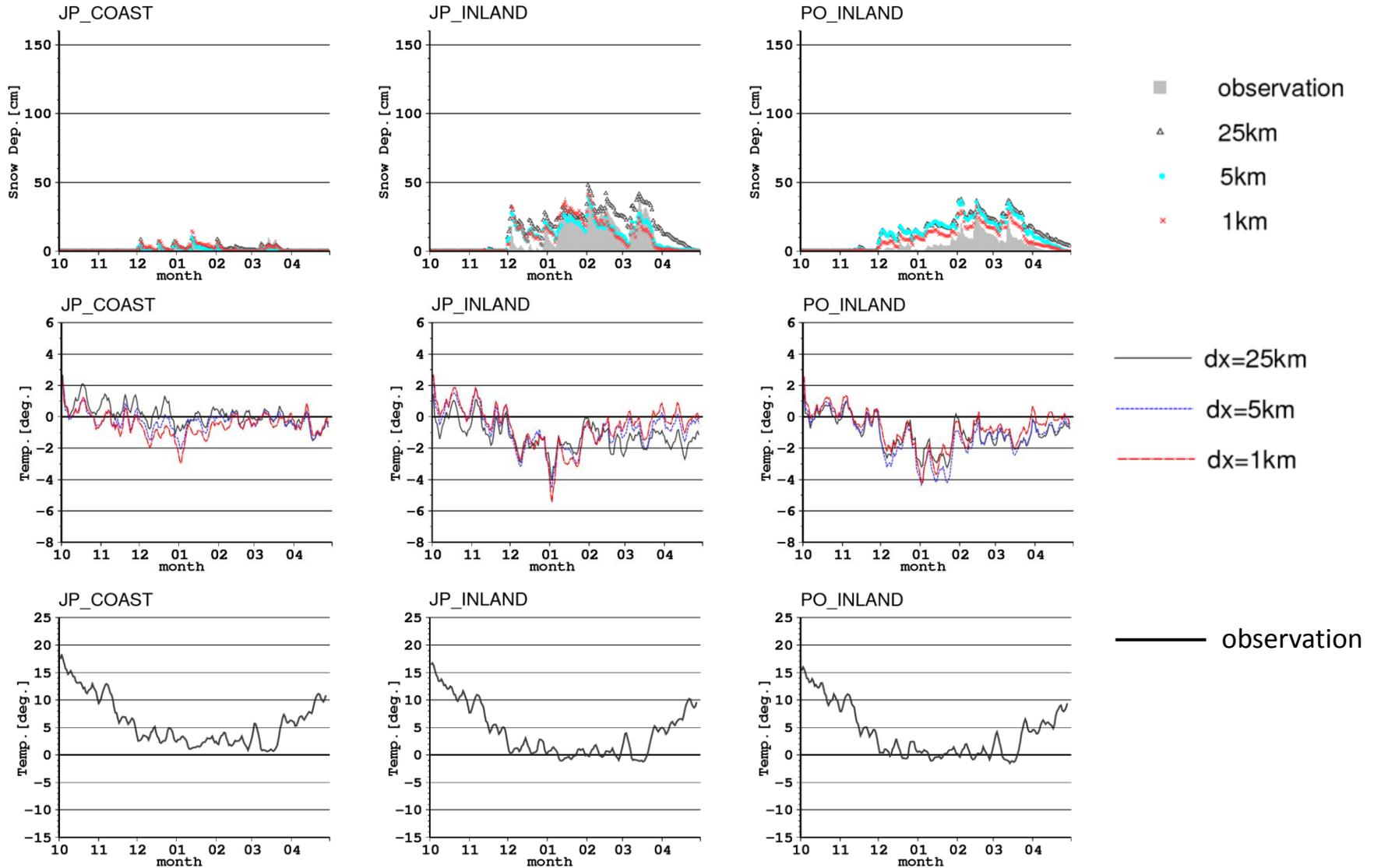
図 39.3deg.N(にかほー横手ー北上ー釜石)におけるDJFの凝結水物質と風速場の鉛直断面図  
鉛直風は水平風に対して50倍に強調している

# まとめ・結論

- 気温
  - SiBを用いると平板モデルを用いたときと比べて低温側にシフトする。特に、高解像度モデルでは積雪期の内陸盆地では低温バイアスが顕著であった。
  - 低温バイアスは高度に依存しておらず、また積雪期に顕著に現れることから、SiBの積雪サブモデルに関連する誤差と考えられる。
- 降水量
  - 1kmまでダウンスケーリングすることで太平洋側の過剰な降水が解消された。対して、日本海側の降水量は不足したままであった。山地では降水量が増加した。
  - 陸面過程の違いによる降水量差は、粗度の違いが原因として考えられる。
- 積雪
  - 高解像度化によって積雪分布をより現実的に再現した。
  - 降水量の再現性が積雪の再現性に大きな影響を及ぼしている。
  - 気温は12月初旬の雨雪判別に影響を及ぼしたのみ。

高解像度モデルは積雪の分布をより正確に再現し、積雪水資源予測における力学的ダウンスケーリングの有効性が示された。しかし、降水量の誤差によって、再現が不十分な地域も残った。また、少雪年には気温の誤差が雨雪判別に影響する可能性があるため、追加検証が求められる。

# 積雪深と気温の関係（2006-2007年）



- 雨雪判別に影響
- 厳冬期の融雪にも影響している

# 課題

- MODISの雲マスクの検証

積雪を雲と判定している可能性があるため、気象官署の雲量を利用して検証する。

- 少雪年との比較

厳冬期の気温が高い場合は、気温が雨雪判別で重要な役割を果たす可能性がある。

- 低温バイアスの原因

積雪に関するパラメータ（熱伝導度、熱容量、アルベド）を変えたときの地上気温へのインパクトを確認する必要がある。

- 陸面過程の違いによる降水量差の原因

総観場がずれない程度の短期間で、粗度だけを変えた感度実験を行い、本当に粗度によるものかどうか検証する必要がある。