

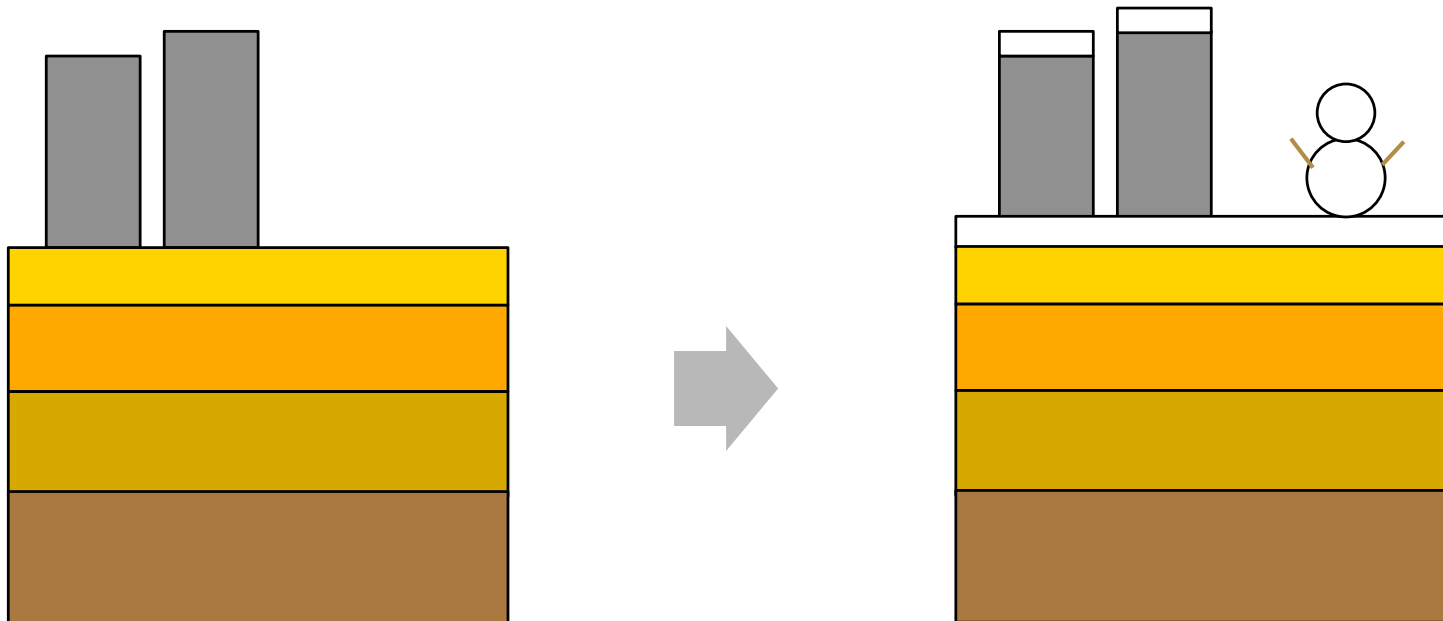
## 第12回ヤマセ研究会

# NHRCMの都市キャンピーモデルSPUCの オフライン化と積雪サブモデルの改善

大泉 三津夫、堀 直登（気象大学校）  
青柳 暁典（気象研究所）

# 研究目的

- 気象研非静力学領域気候モデルNHRCM用に開発された都市キャンピーモデルSPUCの積雪モデル(青柳モデル)のパフォーマンスを検証するため、必要な計算機資源が少なくて済むオフラインモデルを構築
- 問題点を改良し、改良積雪モデル(堀モデル)を構築



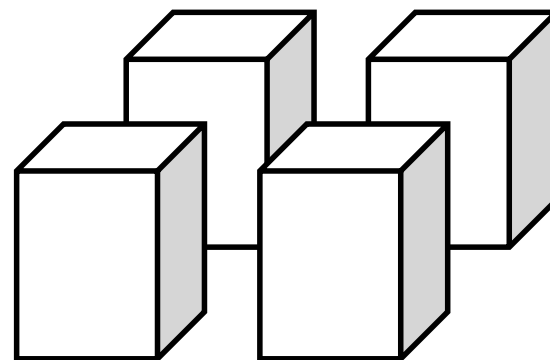
# SPUCと青柳積雪モデルの概要

# SPUC

- 気象研非静力学領域気候モデルNHRCMに組み込まれている陸面モデルの一つ。

Square Prism Urban Canopy scheme

開発者(気象研 青柳)



非都市域: MJ-SiB (植生キャノピーモデル)



都市域: SPUC

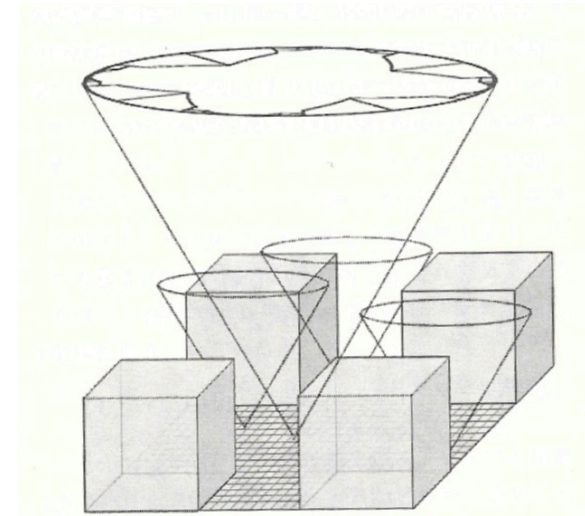
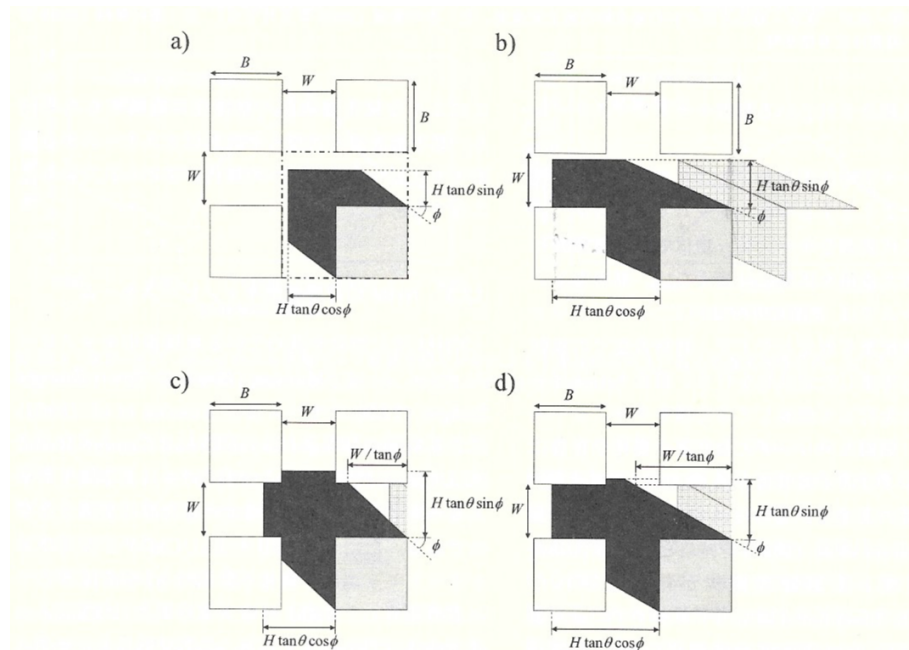
# MJ-SiBにはないSPUCの特徴（放射過程）

【ビル屋上、ビルの壁面、ビル間の地面、天空】4面間での放射

日光率（〈ビル＋地面〉中の日照部分の割合）……時間変化

天空率（地面から見上げた時の天空の割合）……不変

（無積雪時） 基本的に鏡面反射 …… 2度目の入射で全吸収



# SPUCの熱収支

【熱伝導方程式】・・・表面＜屋上・壁面・地面＞＋内部温度＜多層＞

熱伝導率や比熱・密度・・・標準的なビル、土壌の値を採用

3面での顕熱・潜熱フラックス・・・バルク法で計算

潜熱フラックス; 表面は飽和、 $\beta$ 法(貯水量の関数)

バルク係数: <地面－キャニオン空間－大気> Beljaars and Holtzlag(1991),

<屋上・壁面－キャニオン空間> Deardorff(1978)

キャニオン空間での気温・比湿・・・診断量

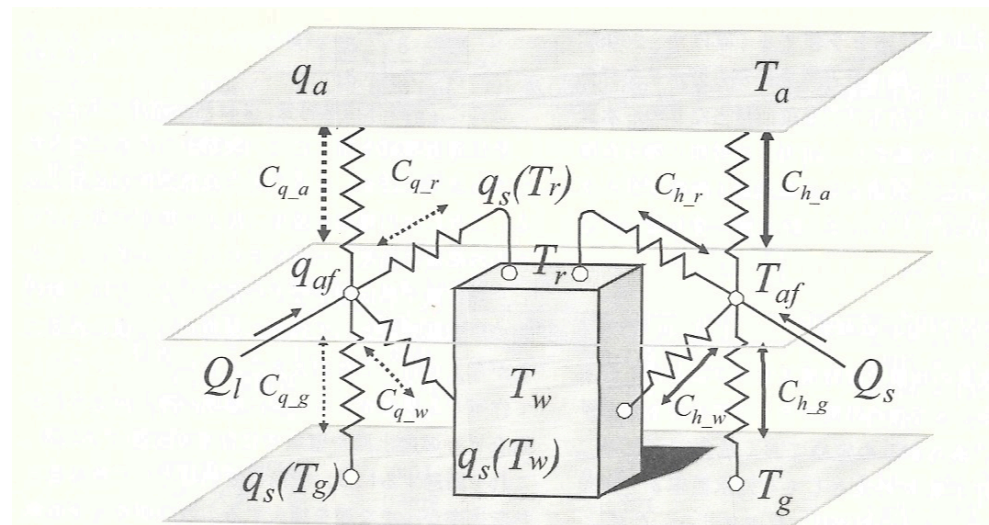


図 12.7 NHM 用単層都市キャニオンスキームでの熱バランス回路の模式図 (Aoyagi and Seino 2011 より引用)。

# SPUCへの積雪モデル導入

東京・大阪など巨大都市圏に限定



計算機資源の増加

NHRCM高解像度化  
水平分解能 10km→5km→2km

多くの都市格子が計算領域に出現

札幌・仙台・新潟等の積雪域

冬季の積雪の影響大



# SPUC積雪モデルの概要

- 単層、圧密、アルベドのaging、含水、熱伝導
- 雪温変化のエネルギー(蓄熱量) $\Delta Q_s$  ( $Q^*$ : 正味放射)

$$\Delta Q_s = a_1 Q^* + a_2 \frac{\Delta Q^*}{\Delta t} + a_3$$

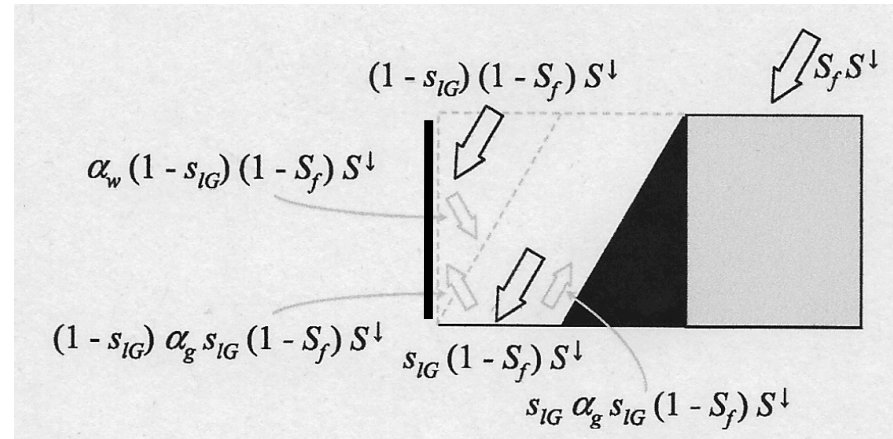
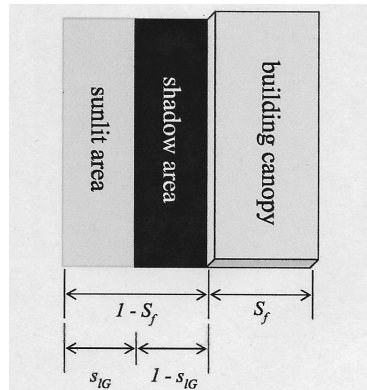
- 融雪・凍結量 $M_i(Q^*, T_a)$

$$\left[ \begin{array}{l} M_i = a_r Q^* \\ M_i = a_t T_a \\ M_i = a_f T_a \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} Q^* > 0, T_a \geq T_f \\ Q^* < 0, T_a \geq T_f \\ T_a < T_f \end{array}$$



# (続)

放射過程……地面・屋上に積雪の有無が生じ、考慮すべき表面の組み合わせが増えて計算が非常に複雑化



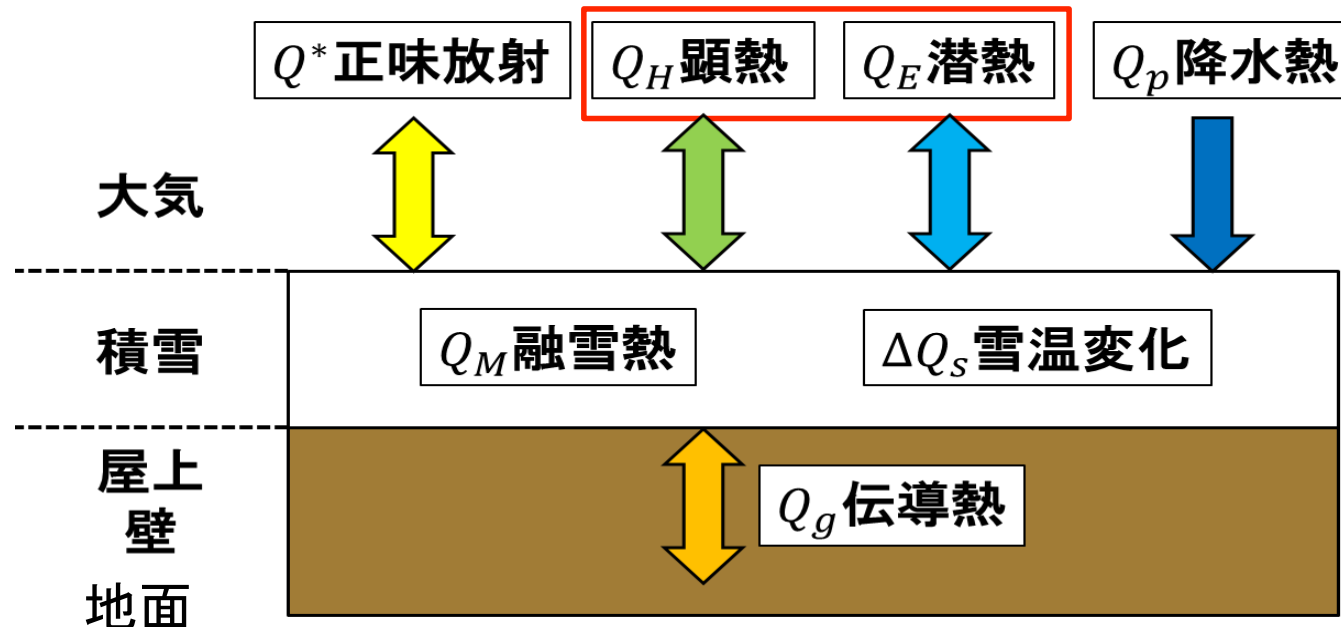
Radiosity Method……(黒体でない) diffuse surfaces で囲まれた領域各面上の放射を計算する方法

(続)

□ 雪面上の顕熱・潜熱フラックス：ペンマン法

$$Q_E = \frac{s\tilde{Q} + \frac{c_p\rho\Delta e}{r_a}}{s + \gamma} \quad \tilde{Q} = Q^* + Q_p + Q_M + \Delta Q_S + Q_g$$

$$Q_H = \tilde{Q} - Q_E$$



# 数値実験と評価方法

- ・オフラインモデル
- ・数値実験
- ・評価方法

# オフラインモデル

- モデル: 感度実験やチューニング時の計算効率を考慮してオフラインモデルを作成
  - ※(手軽なDSにも使える)
  - 計算時間: 1冬期(10月~4月)
  - 結合モデル... 6h(MRI)、25x25格子、10CPU
  - オフライン ... 1m(MC)、5x5格子、1CPU
- (NHRCMのフレームを利用した)MJ-SiBオフラインモデルにNHRCMのSPUCを移植。パラメータはNHRCMでの値をそのまま使用(Cntl実験)

# 数値実験

- 対象地域：札幌都市域
- 大気強制力：北大低温研の露場の気象データ
- 実験期間：2006年10月～2007年4月（調整用）  
2007年10月～2008年4月（検証用）
- 積分時間間隔：120 sec
- ※使用するパラメータによって安定に計算できる  
 $\Delta t$ は変わる（1800secでも可）
- （格子間隔：10km）

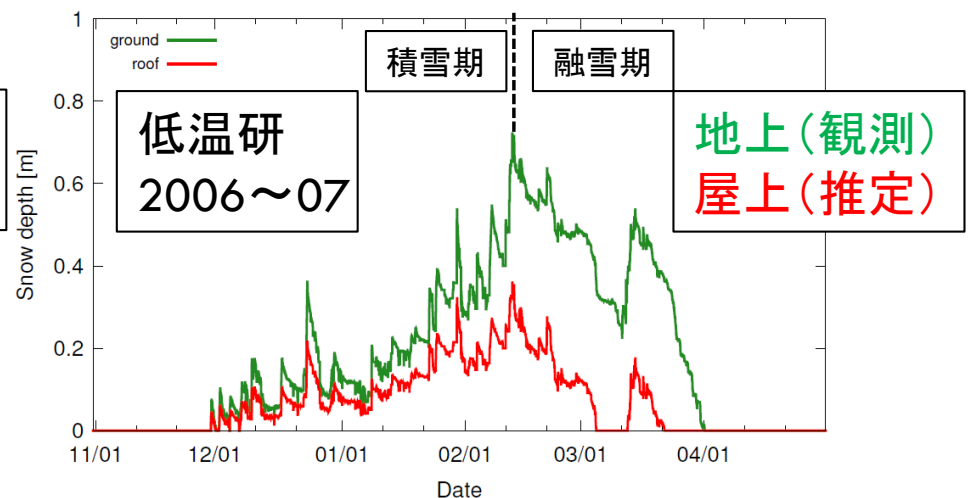
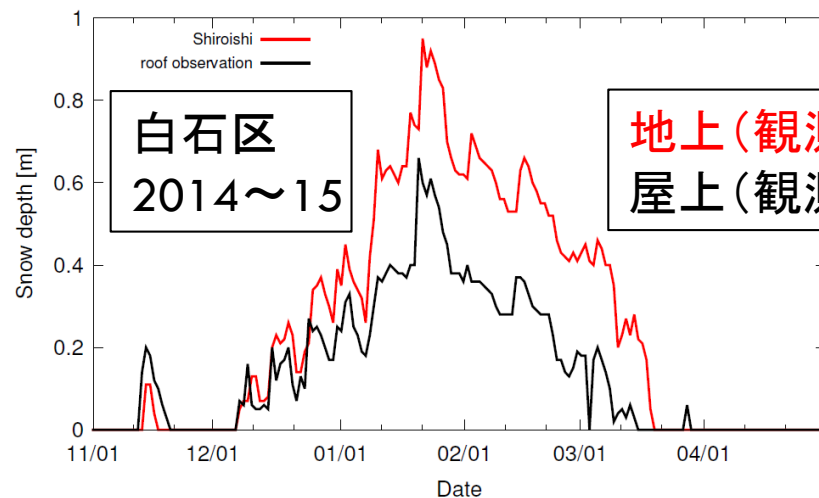
# 評価方法

## □ 建物周囲の地面積雪

→ 低温研での積雪深観測値と比較

## □ 屋上積雪

→ 低温研での直接観測がなく、推定値（推定誤差を付記）



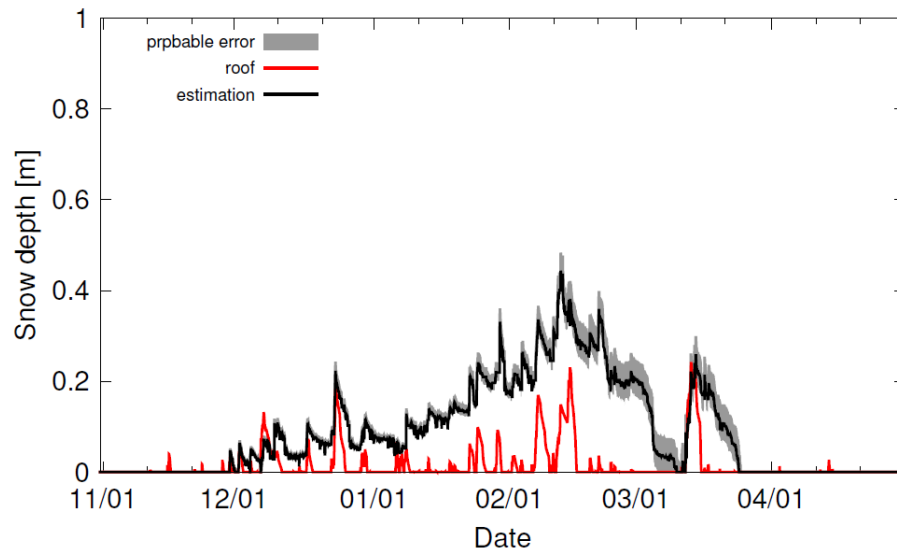
積雪形成～最深積雪: 屋上積雪は地上の約6割  
最深積雪～積雪消失: 同じ速度で融雪

## SPUC積雪モデル(青柳モデル)の計算結果

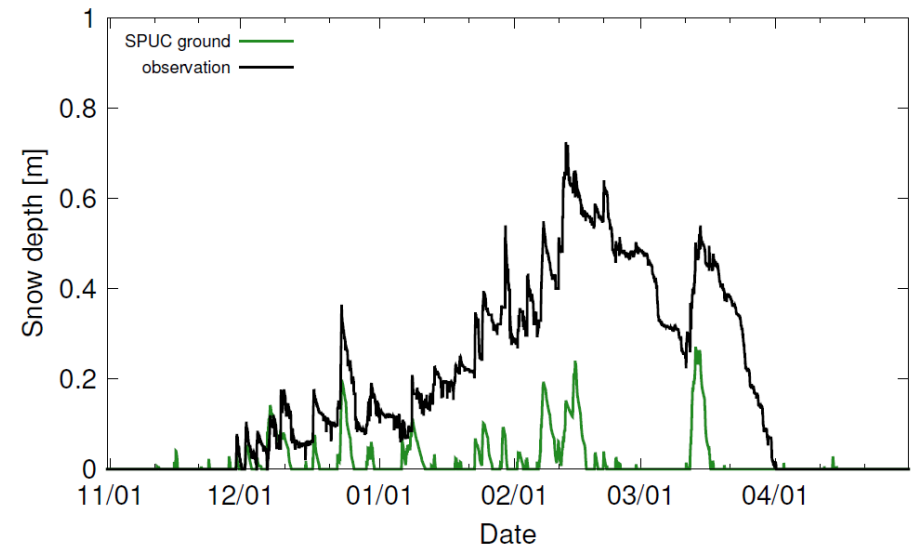
- Cntl実験(パラメータ調節前)の結果
- Test実験(パラメータ調節後)の結果
- パフォーマンスのまとめ

# Cntl実験の積雪深

## 屋上積雪



## 建物周囲の地面積雪

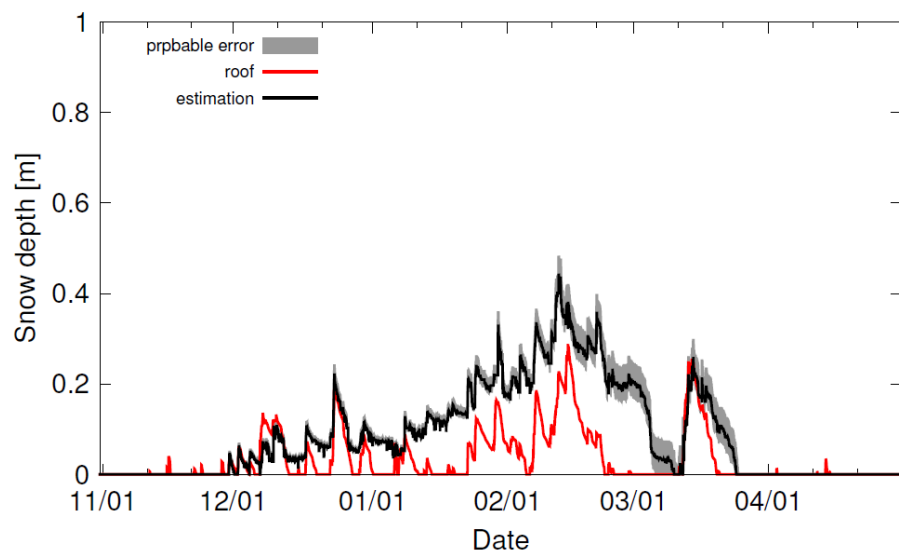


- 屋上、地面ともに積雪形成・融雪を繰り返す
- 観測値、推定値よりも大幅に少ない結果

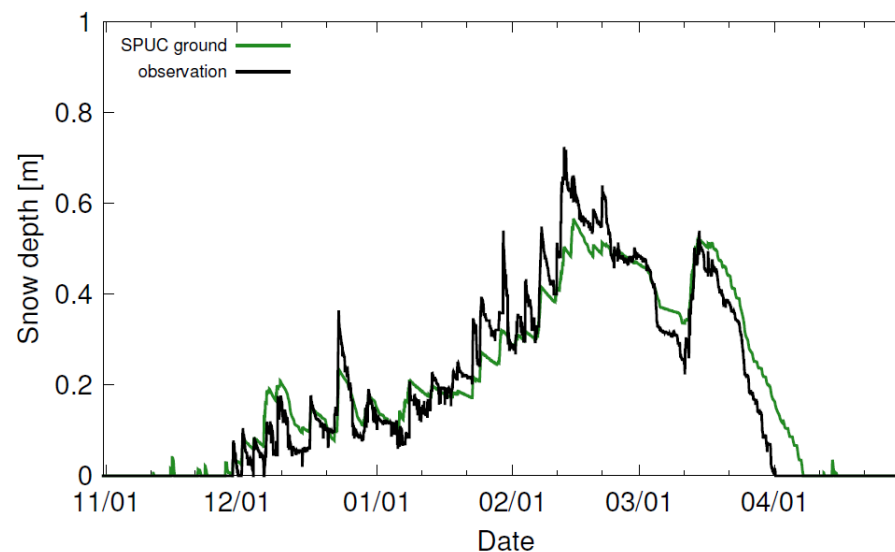


# Test実験の積雪深

## 屋上積雪



## 建物周囲の地面積雪



- 地面は大幅に再現性向上
- 屋根も積雪深は増加するが、少ない

# SPUC積雪モデル(青柳モデル)のパフォーマンス

- パラメータのチューニングにより建物周囲の地面積雪の計算値を観測値に近づけることは可能
- 屋上積雪は依然として少ない
- 対象地域に応じて再調節が必要



モデルの改良が必要

## 改良単層積雪モデル(堀モデル)の構築

- ・雪温変化、融雪・凍結量の計算方法
- ・顕熱・潜熱フラックスの計算方法

# 雪温変化、融雪・凍結量の計算方法

SPUC積雪モデル

$Q^*, T_a$ から統計的に推定



改良積雪モデル

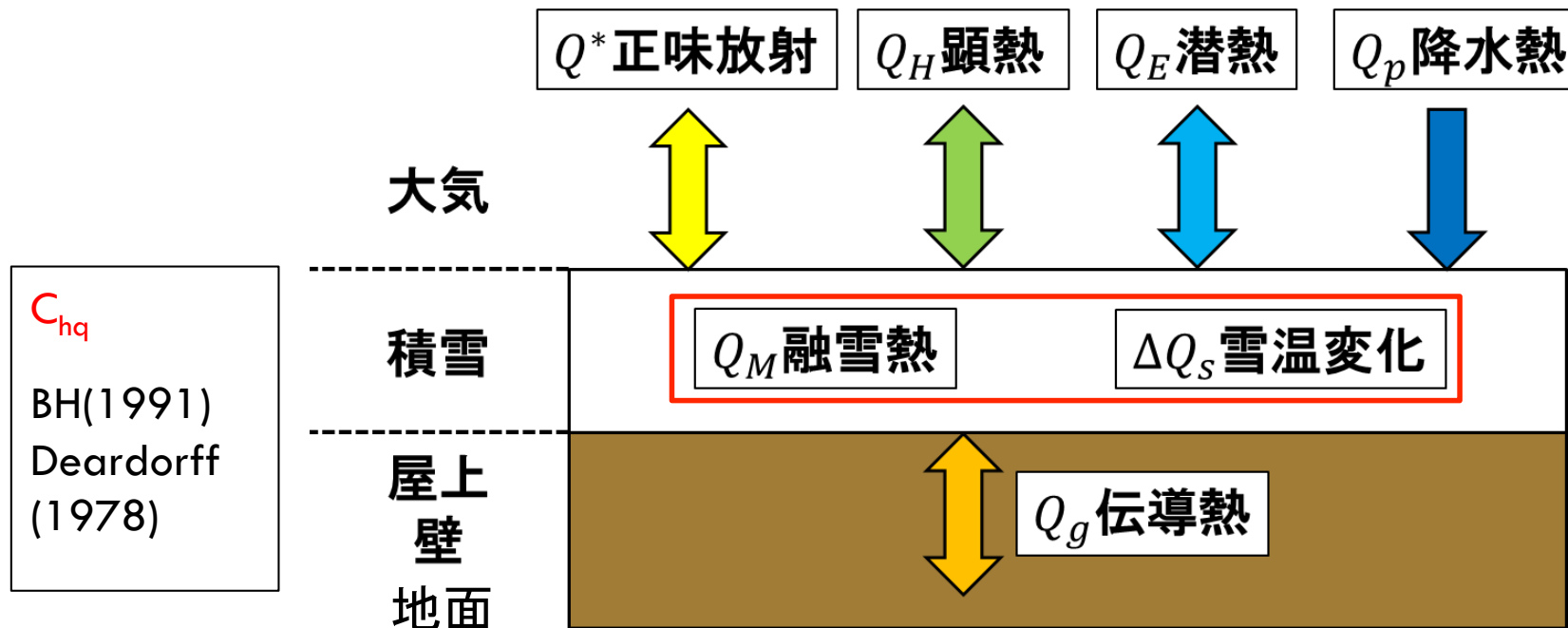
積雪に出入りするエネルギー( $Q^*, SH, LH, Q_g, Q_p$ )  
の残差から計算

# バルク法 (改良積雪モデル)

改良積雪モデル……SPUCの無積雪時に戻す (屋上積雪は変更)

バルク法

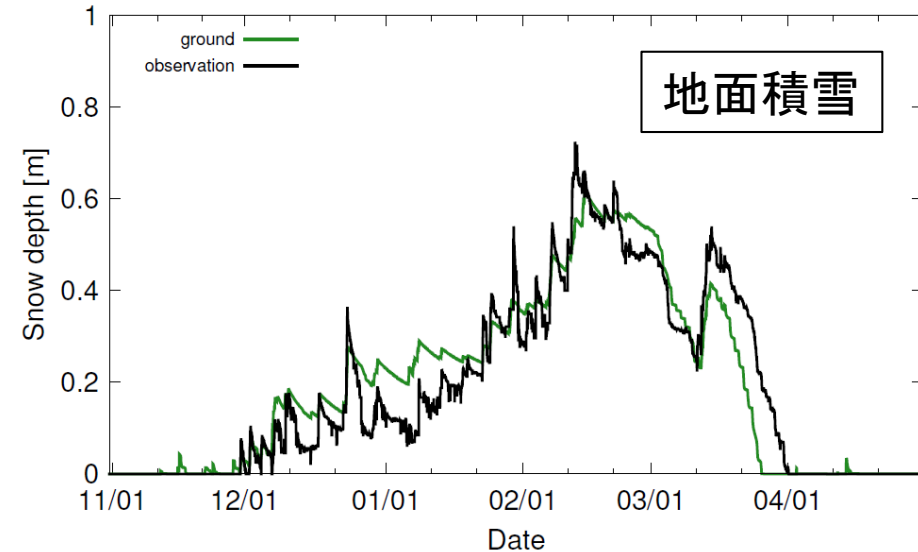
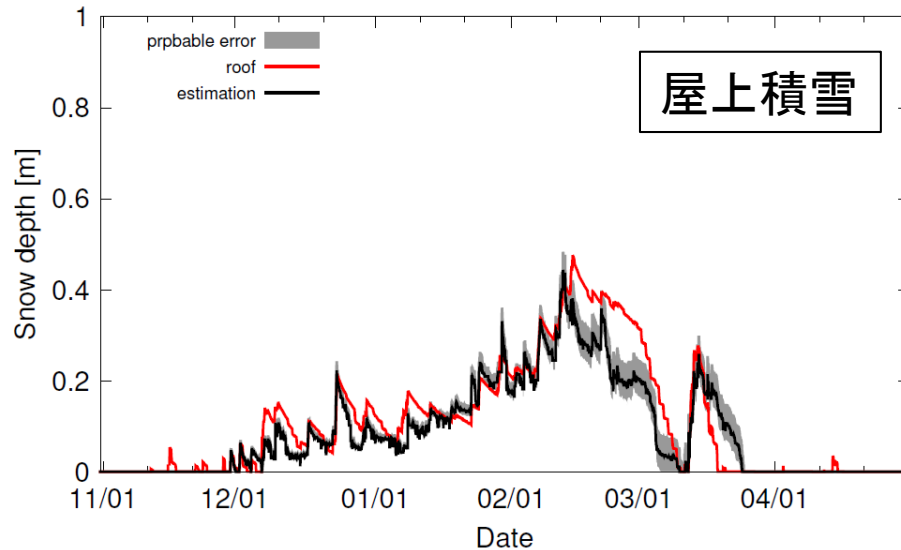
$$Q_H = \rho c_p C_h U_a (T_s - T_a)$$
$$Q_E = \rho L \beta C_q U_a [q_{sat}(T_s) - q_a]$$



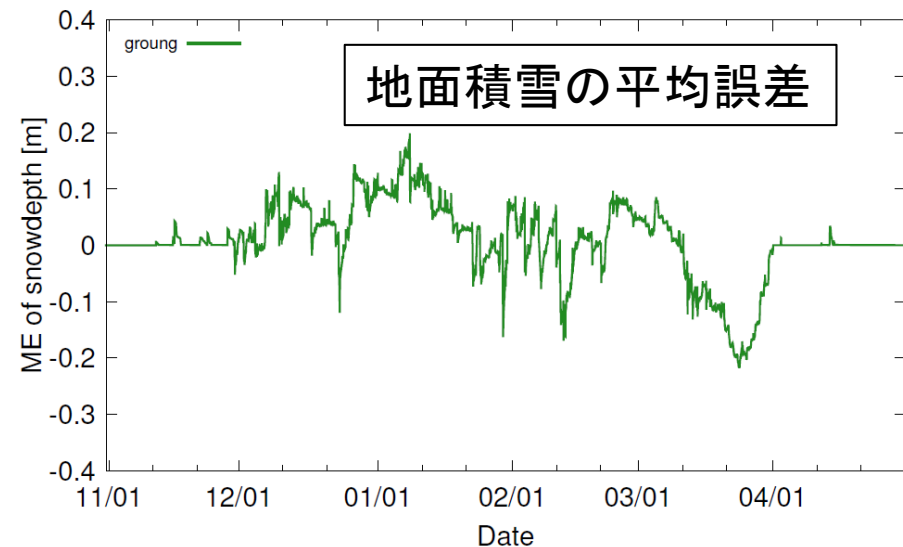
## 改良積雪モデルの計算結果と検証

- ・2006～07年の結果
- ・再現性向上の要因
- ・エネルギーフラックスの日変化

# 積雪深の再現結果(2006~07年)



- ・屋上、地面ともに再現性向上
- ・2月までは地面の誤差0.1m前後
- ・2月以降、屋上積雪は過大評価

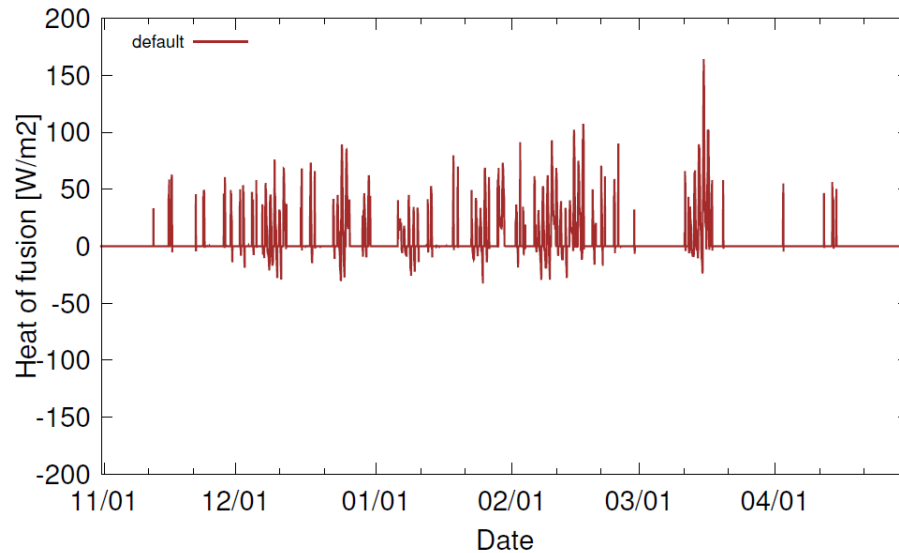


# 再現性向上の要因

妥当な融雪の評価

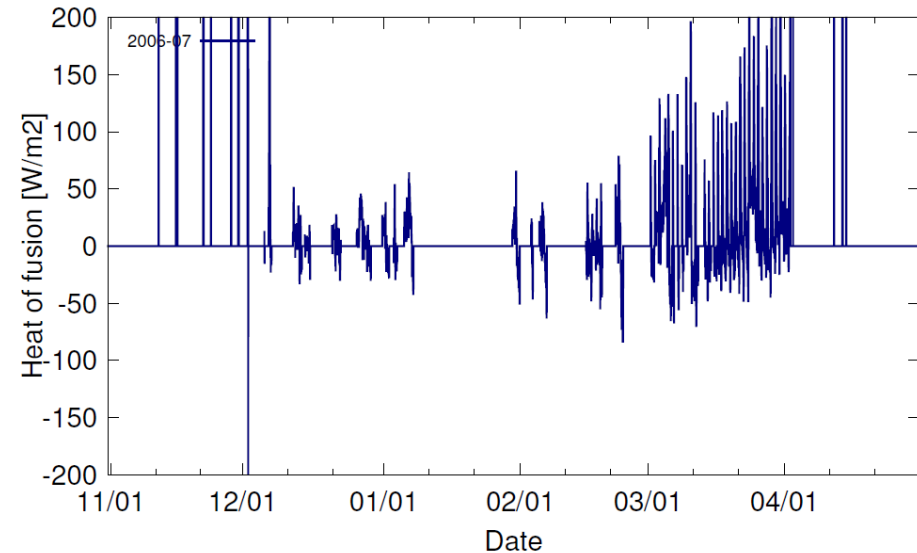
建物周囲の地面積雪の融解熱

SPUC積雪モデル



厳冬期も融雪発生  
長期的な積雪形成されず

改良積雪モデル



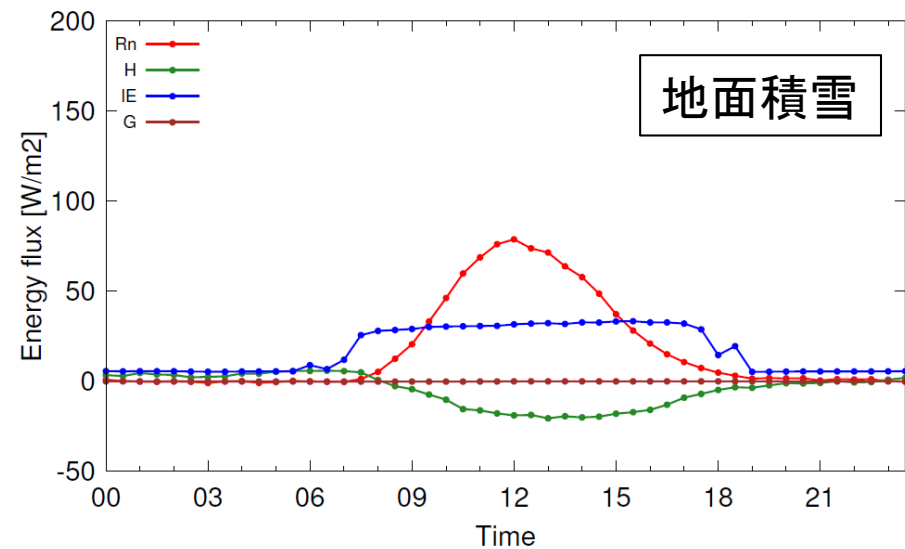
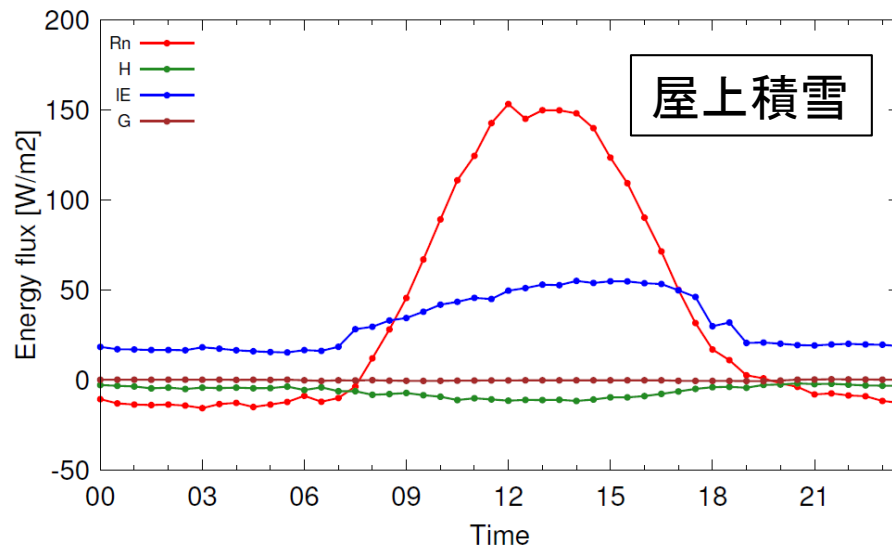
厳冬期はほぼ融雪なし  
春先に一気に融雪



# エネルギーフラックスの日変化

融雪期(2/15~3/17)

赤: 正味放射 緑: 顕熱フラックス 青: 潜熱フラックス 茶: 伝導熱



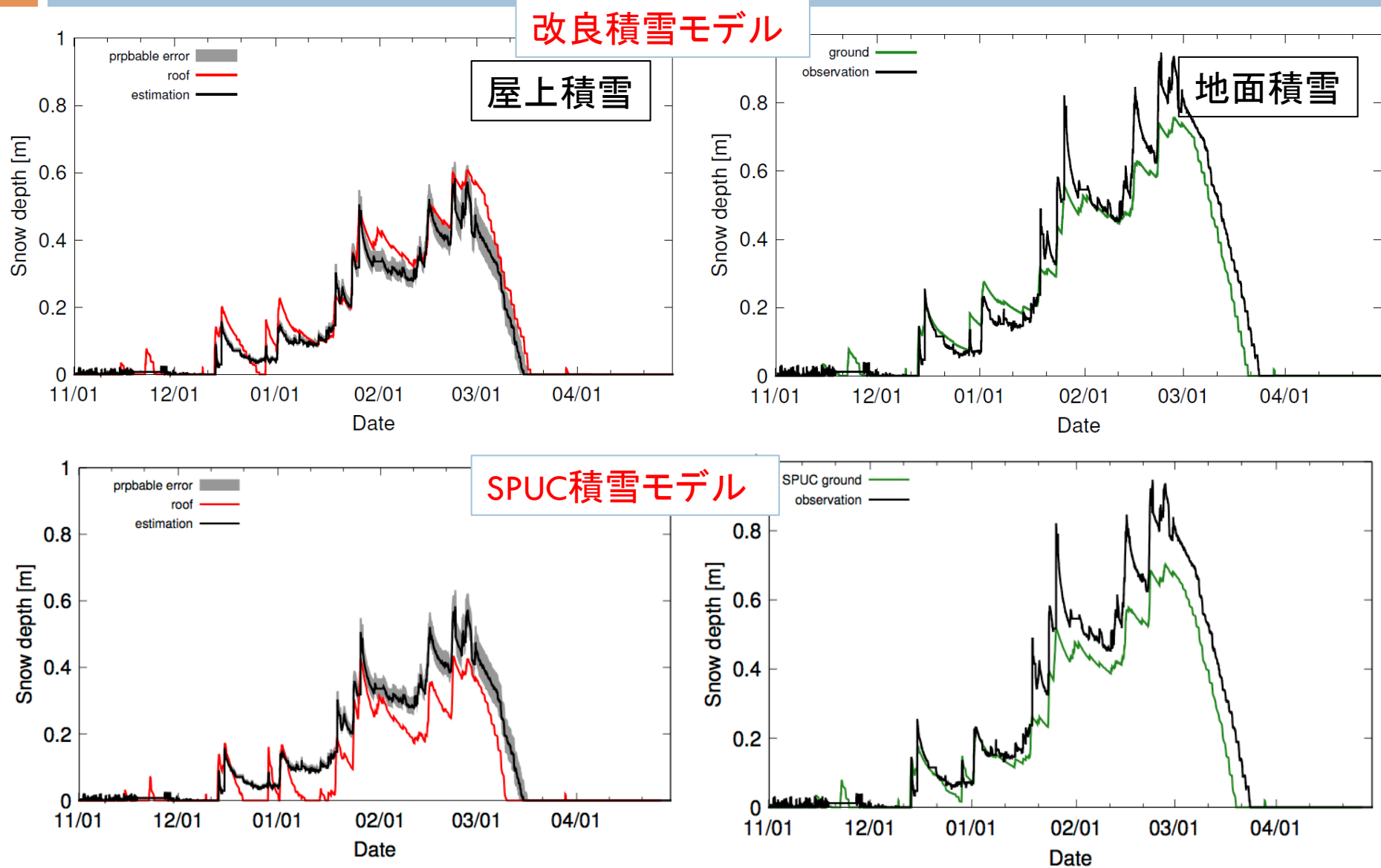
潜熱フラックスが卓越し、  
積雪を冷却し融雪抑制

顕熱・潜熱フラックスの  
打ち消し合いが表現

# 2つの積雪モデルの検証

- ・2007～08年の計算結果
- ・改良モデルの結果まとめ

# 検証データ(2007~08年)での比較



# 改良積雪モデルのまとめ

- SPUC積雪モデルと比較して再現性は向上

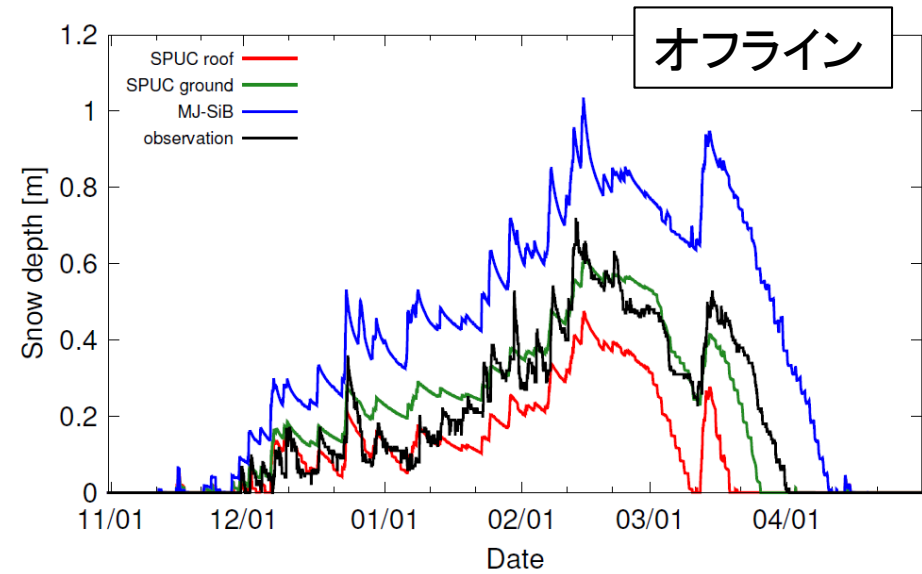
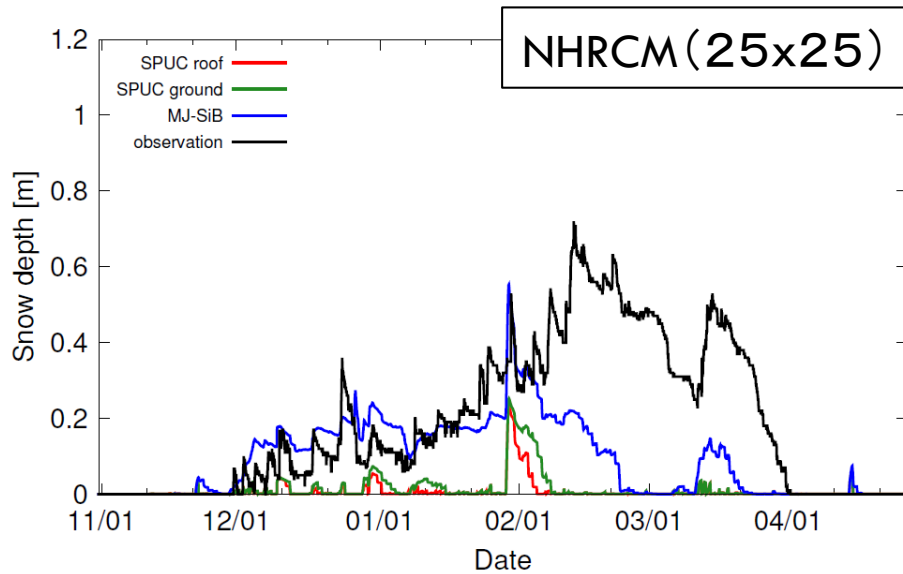
更なる改善に向けて

- 2月以降の地面の積雪深の過小評価  
→積雪1層による密度の計算精度の影響
- 2月以降、屋上積雪がやや過大(推定値の精度?)  
→屋上積雪の観測が必要、バルク係数の再調節

# 今後の課題

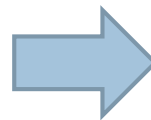
- ・結合モデルの状況

# 改良積雪モデルのNHRCMでのインパクト



2006~07冬季: 水平格子間隔10km、NHRCMはメソ解析からの初期値・境界値  
札幌中心部の積雪深時系列

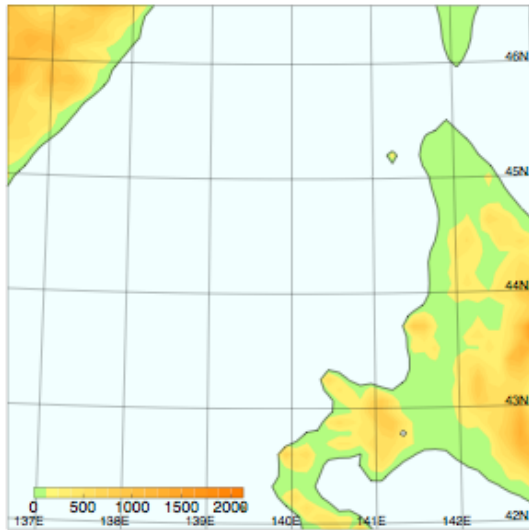
MJ-SiBも含めて、結合モデルは  
積雪深が少ない



水蒸気供給源の日本海の領域不足のせいで、降雪量不足か？

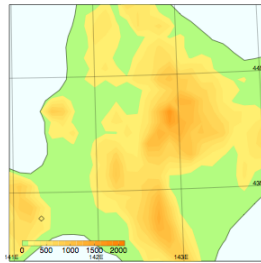
# 計算領域の影響

領域(50×50)

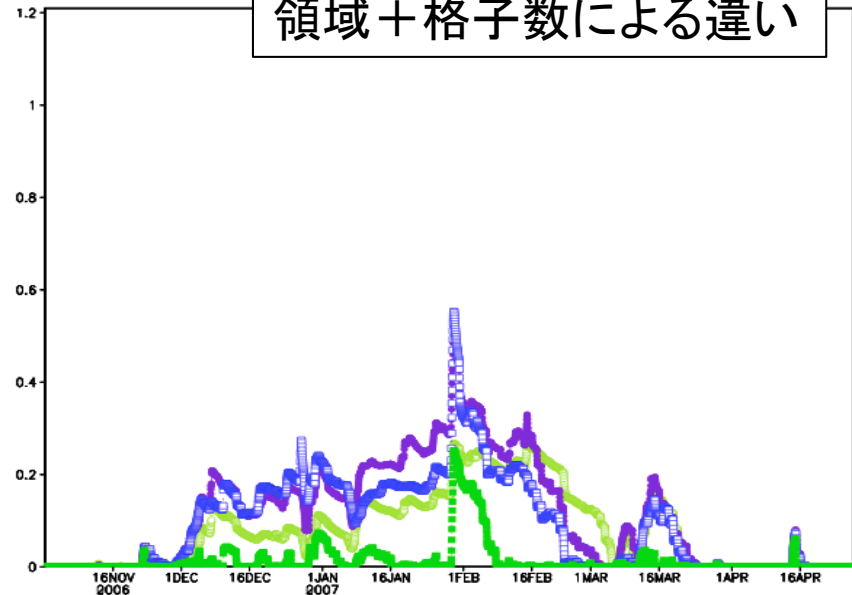


NHRCM

領域(25×25)



領域+格子数による違い



**SPUC 地面積雪** 緑(25×25) → 黄緑(50×50)

**MJ-SiB** 青 → 紫

・・・領域増加に伴う積雪深増加の具合が両者で異なる

水平分解能 → **5km**

(それでだめなら) 結合モデル向けのチューニングが必要

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、気候研究部第六研究室の青木輝夫室長・庭野匡思研究官にはオフラインモデルを駆動させるための強制力を提供していただきました。ここに心より感謝を申し上げます。