

積雪・融雪プロセスにおける熱フラックスの役割

Role of heat fluxes in snowpack accumulation and melting using a heat balance approach

○瀧本裕士\* 小倉晃\*\* 吉田匡\* 高瀬恵次\* 丸山利輔\*

Takimoto Hiroshi\*, Ogura Akira\*\*, Yoshida Masashi\*, Takase Keiji\*, Maruyama Toshisuke\*

1. はじめに

本研究は、純放射，地中熱フラックス等の融雪に関係する要因を4年間にわたり実測し，潜熱・顕熱・雨滴フラックス等を推定して，積雪・融雪プロセスの定量的な分析を行った．特に，融雪期における熱収支各要因の大きさを明らかにした上で，厳寒期には地中熱フラックスが融雪に果たす役割が大きいことを指摘した点が大きな特徴である．また，これまで積雪時にはアルベドの影響が大きい日射量を基準に熱収支分析を行っていた研究が多いのに対し，純放射を基準に熱収支分析を行ったこと，降水が雪であるか雨であるかの判別に気温のみでなく湿度を考慮したこと，風の影響を顧慮して降水の補捉率を視野に入れたことなど，従来の研究では必ずしも十分検証されていなかった，積雪・融雪プロセスの定量的評価を試みた点が本研究の特徴である．

2. 研究の方法

Fig.1 に示すように，積雪層に対する各種熱フラックスの収支を考える．本研究では，積雪表面と積雪下面に分けて以下のように融解熱を求めた．

積雪表面の融解熱フラックス =  $Rn + Re + H + LE$

積雪下面の融解熱フラックス =  $G$

(いずれも積雪層に入射する側をプラスとする)

積雪・融雪プロセスの分析には石川県林業試験場の気象データ(2009年から2013年の4年間にわたる日単位データ)を用い，熱収支を基にした積雪水量の追跡計算を行った．なお，顕熱フラックス，潜熱フラックスの計算ではバルク法を採用した．

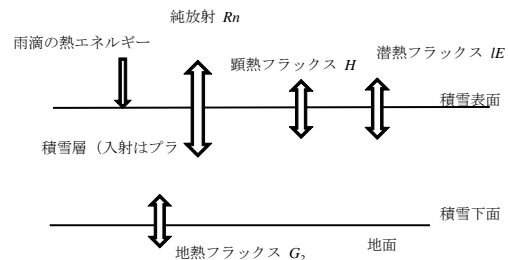


Fig.1 積雪・融雪における熱収支モデルの構成  
Schematic expression of heat balance for snowpack and melting model

3. 分析結果

3.1 積雪・融雪期における地中熱フラックスの特徴

地中熱フラックスは，積雪・融雪期に入ると安定し，入射フラックスとなる(Fig.2). 積雪期に入った当初は大きな値を示すが急

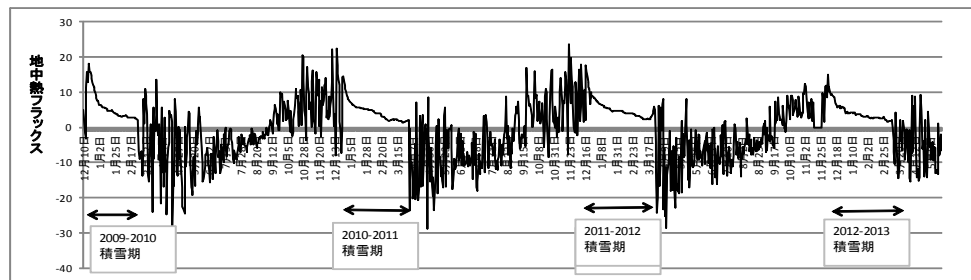


Fig.2 地中熱フラックスの経時変化と積雪・融雪期の特徴(W/m²)  
Characteristics of temporal change of underground heat flux during snowpack period

\*石川県立大学生物資源環境学部, \*\*石川県農林総合研究センター林業試験場 \*Ishikawa Prefectural University, \*\*Research Center of Agriculture and Forestry キーワード: バルク法, 地中熱フラックス, 積雪密度

に減少し、積雪がなくなると放熱を始め日変化が激しくなる。その大きさは積雪期の純放射フラックスとほぼ同等のオーダーであった。積雪下面では交換された熱フラックスは主として水の相変換に使われる。

### 3.2 積雪・融雪プロセスの追跡結果

本研究では、毎年根雪となった時点を開始点として積雪層の変化を追跡した。積雪表面からの入力  $MELT1$  は  $Rn+Re+H+IE$  であり、計算により求めた。これに対し、積雪下面からの入力  $G(=MELT2)$  は実測されているのでこれを用いる。すると、日々の積雪水当量は次式で求められる。

$$S_i = S_{i-1} + \Delta S_i - \Delta M1_i - \Delta M2_i \quad (1)$$

$$\Delta M1 = a1 \times MELT1 \quad (2)$$

$$\Delta M2 = a1 \times MELT2 \quad (3)$$

ここに、 $S_i$  日目の積雪水当量 (mm),  $\Delta S$  降雪水量 (mm/d),  $\Delta M$  融雪量 (mm/d),  $i$  降雪開始からの日数  $a1: W/m^2$  から mm/d への単位換算係数=0.258

なお、(2)式、(3)式によって、積雪表面からの熱フラックス  $MELT1$  と積雪下面からの熱フラックス  $MELT2$  に分けたのは、積雪上面と積雪下面とは独立して凍結・融解が行われることによる。すなわち、積雪層内の温度は基本的には  $0^\circ C$  を保ち、温度勾配がないので、熱の移動は無視できると考えた。したがって、 $MELT1$  がマイナス(凍結)の場合は積雪水量をゼロとした。

積雪水量の追跡では、計算積雪密度(積雪水量/積雪深)と実測積雪密度の比較により計算精度を確認した。

Fig.3に示すように概ね良好な結果が得られたことから、本研究では積雪・融雪プロセスを上手く表現できたと言える。Table 1は厳冬期(12月~2月)における積雪層内の各種入射熱の割合を示しているが、特に地中熱フラックスの割合に特徴がある。4年間の平均では地熱フラックスは32.7%であるが、2010-2011年および2011-2012年ではそれぞれ45.6%,44.7%を占め、年によ

っては半分近くの融解熱を地面から供給していることがわかる。これは厳冬期において積雪下面からの融雪割合が高いことを示している。

Table 1 厳寒期における入射熱の割合 (%)  
Ratio of individual input fluxes during very cold season

年次	雨滴熱	入射顕熱	入射潜熱	入射地熱	純放射	合計
2009-2010	3.5	58.1	7.4	22.3	8.8	100
2010-2011	3.2	42.3	1.5	45.6	7.3	100
2011-2012	2.3	39.4	3.2	44.7	10.4	100
2012-2013	2.9	54.1	4.8	18.3	19.9	100
平均	3.0	48.5	4.2	32.7	11.6	100.0

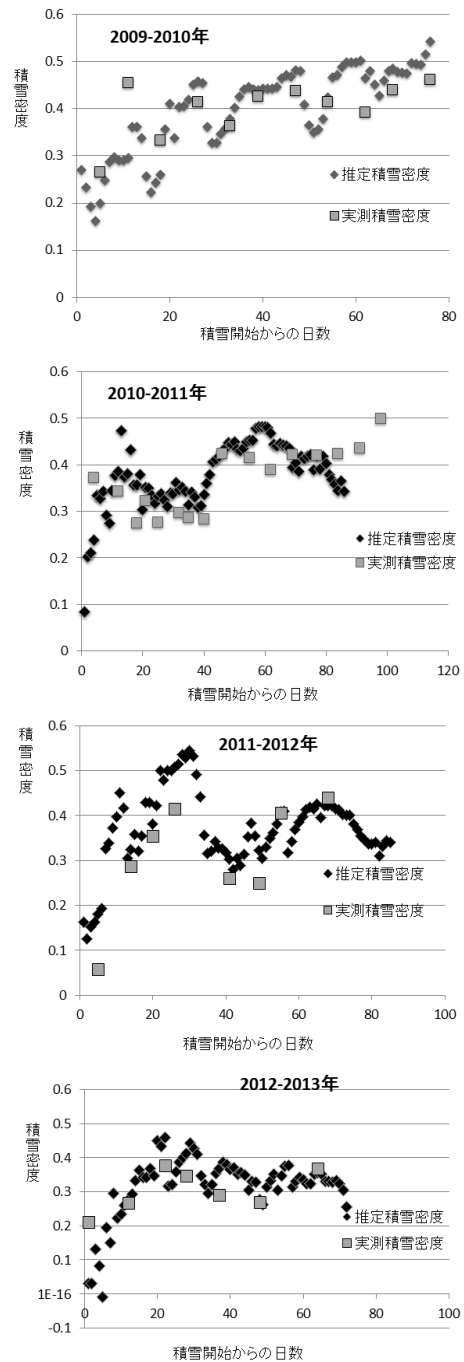


Fig.3 積雪密度の経時変化  
Temporal change of snow density