

雪面蒸発量の斜面依存について (2)

○ 高橋修平、榎本浩之、百武欣二 (北見工大)

1. はじめに

北見地方では、最低気温 -20°C 以下の日が続く厳冬期においても、南向き斜面では積雪の消耗が見られる。これは融解ではなく雪面からの蒸発によるところが大きいと考えられ、蒸発量の斜面依存に関する観測を行った。本来、 0°C 以下の場合の水蒸気の入りは昇華と言うべきであるが、方向性を明確にするため蒸発・凝結という言葉を用いることにする。

2. 蒸発量観測

1989年1月から3月にかけて、北見工大構内において高さ約50cmの屋根型の雪山を作り、斜面における蒸発量を測定した。蒸発皿として $175\text{mm}\times 85\text{mm}\times 35\text{mm}$ の角型プラスチック容器を用い、雪山の南斜面 45° 、 22.5° および北斜面 45° 、 22.5° で測定を行い、水平面蒸発量と比較した。

1月から2月にかけての気温の低い冬期間、南 45° 斜面では蒸発量が水平面の約2倍であり、北 45° 斜面では約1/2であった。融雪期となって表面が濡れ出すと、この斜面依存の傾向は小さくなった(図1)。

南斜面と北斜面の蒸発量の差が大きいときの気象条件は、気温が 0°C 以下で直達日射量が大い快晴の日のときである。これは直達日射が斜度に依存するため、表面温度に差を生じ、雪面の蒸気圧の違いから蒸発量に差が生じるものと考えられる。

3. 表面温度観測

斜面における蒸発量変化には表面温度が重要な役割をすると考え、1990年2月1,2日に、蒸発量とともに斜面の表面温度を測定した。

表面温度計として、携帯型放射温度計を3種(CHINO-IRAHOT, SOAR-TX700, TASC0-THI300)用い、毎回、初めに水と氷を混ぜた 0°C 検定表面を測

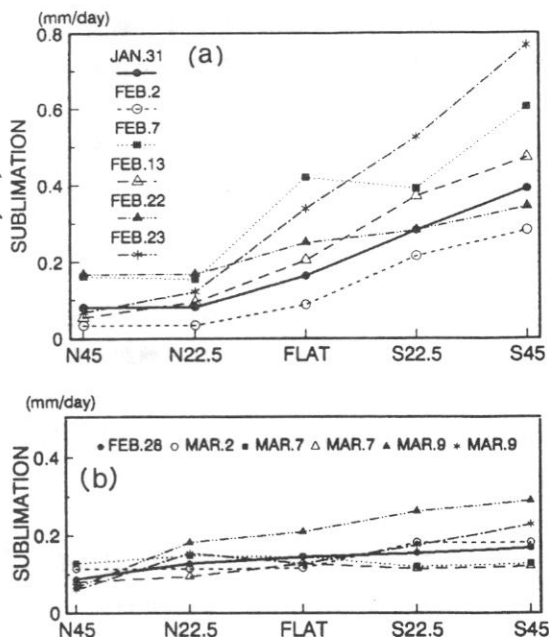


図1. 蒸発量の斜面依存

a: 冬期 (1989年1月31日-2月23日)

b: 融雪期 (1989年2月28日-3月9日)

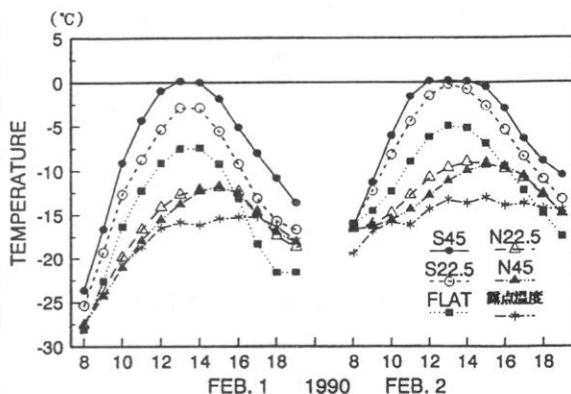


図2. 斜面の表面温度および露点温度

(1990年2月1日, 2日)

定し、各斜面表面温度を測定後、再び0°C表面を測定した。3機種の内、安定していて、夜間のカミタ温度計とよい一致をみたものを測定値として採用した。

表面温度の観測結果を図2に示す。観測は任意の1~2時間毎であるが、熱収支計算用に、毎時平均値(その前1時間の平均)で示した。南45°と北45°では10°C以上の差がある。露点温度と比べると、北斜面は夕方に凝結することが予想できる。

4. 斜面の熱収支

北見工大構内における気象観測値を図3、図4に示す。これらから、斜面における熱収支各項を次のように見積った。

①放射収支 Q_R : 短波放射収支を Q_{SR} 、長波放射収支を Q_{LR} とすると

$$Q_R = Q_{SR} + Q_{LR}$$

直達日射量 I_0 は観測しているのので、日射量 I から散乱成分 D を分離でき、斜面傾斜から短波放射収支を次式のように求められる(図5)。但し散乱成分は斜度依存しないとする。

$$Q_{SR} = (1-A)I \quad (A: \text{アルベド})$$

$$I = I_0 \cdot \sin H + D \quad (H: \text{太陽高度})$$

$$\sin H = \sin(\phi - \theta) \sin \delta + \cos(\phi - \theta) \cos \delta \cos t$$

(ϕ : 緯度, θ : 斜度, δ : 赤緯, t : 時角)

長波放射収支は斜面表面温度を測定しているのので、天空放射 $Q_{LR\downarrow}$ 、地表放射 $Q_{LR\uparrow}$ から次式のように求めることができる(図6)。但し $Q_{LR\downarrow}$ は傾斜に依存しないとする。

$$Q_{LR} = Q_{LR\downarrow} + Q_{LR\uparrow}$$

$$Q_{LR\uparrow} = \sigma(T_s + 273)^4$$

②顕熱 Q_A : 斜面の表面温度 T_s が観測されているのので、1m気温 T_a は共通として、平面における顕熱輸送の次式が使えるものとする(図7)。

$$Q_A = \alpha V(T_a - T_s)$$

(α : 係数, V : 1m風速)

③潜熱 Q_E : 表面温度から表面蒸気圧 E_s がわかり、1m蒸気圧 E_a は共通として、平面における

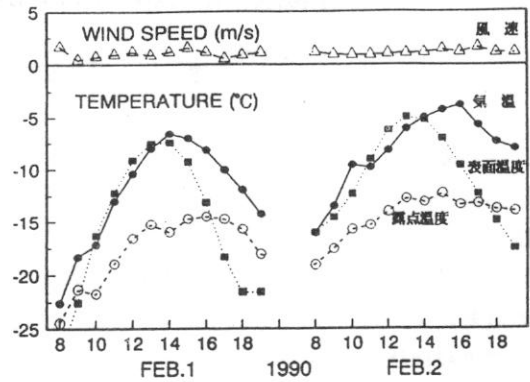


図3. 気象条件(風速、気温、水平面表面温度、露点温度)

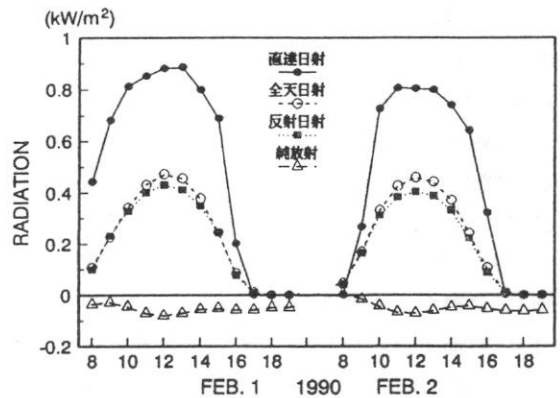


図4. 放射量観測値

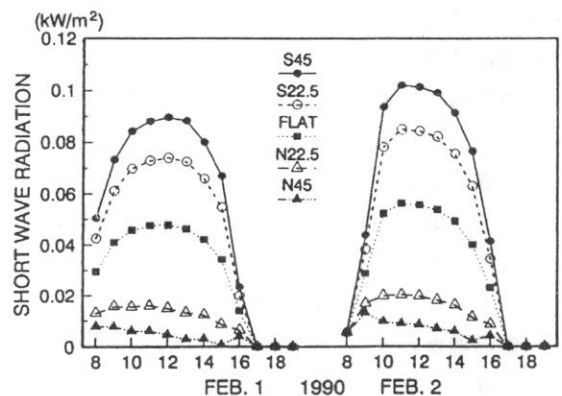


図5. 短波長放射収支

潜熱輸送式を用いる (図8)。

$$Q_E = \beta V (E_a - E_s)$$

(β :係数)

④伝導熱 Q_c : 雪面温度が 0°C 以下のとき、伝導熱 Q_c を考えねばならず。前述の各項との間に熱収支の式が成り立つ。

$$Q_R + Q_A + Q_E + Q_c = 0$$

他の項が求められたので、 Q_c は残差項として求められるが、それぞれの項の誤差も含み、残差計算からだけは確実なことは言えない。1日間積算するとき、 Q_c の斜度依存は小さいとして、今回はこれに言及しない。

5. 蒸発量の斜面依存性

図9に蒸発量実測値を示す。先の潜熱計算から得られた熱量(図8)と比べると(蒸発は負の潜熱なのでグラフは上下反対)、傾向は非常によく一致する。絶対値は実測値の方が小さいが、気象測定点が約500m離れていて風速が異なることなどが考えられる。

図10に熱収支各項をそれぞれ一日積算したものを斜度別に示す。またその各項の水平面の値からの偏差を図11に示す。短波放射が南斜面で増加する分、それに匹敵する負の熱流量が顕熱、長波放射によってあり、3~4割程度の大きさの潜熱が負熱流量としてある。

図12に熱収支各項の概念図を示す。傾斜により直接変化するものと、2次的に表面温度変化から変化するものがある。短波放射のうち直達日射が傾斜によって異なるため、表面温度が変化し、そのために顕熱、長波放射が、さらに表面蒸気圧変化から潜熱が変化することになる。つまり風速、気温、蒸気圧にもよるが、直達日射量を知れば熱収支各項の斜面による変化が予想でき、さらに蒸発量の斜面変化を求めることができることになる。

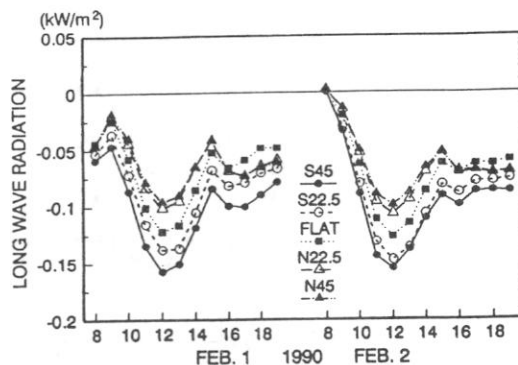


図6. 長波長放射収支

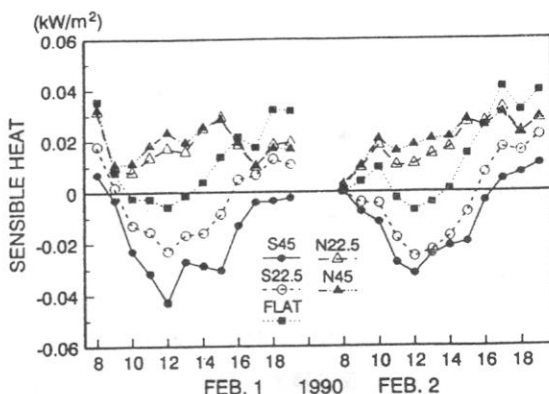


図7. 顕熱フラックス

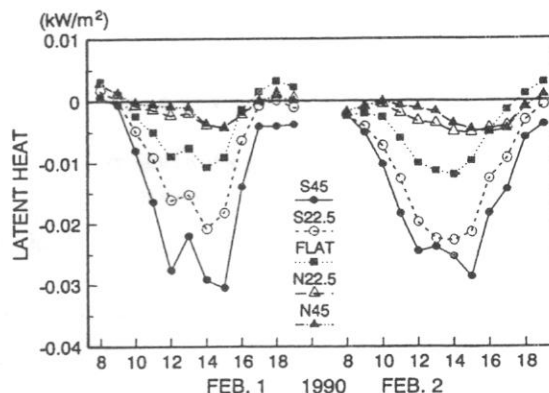


図8. 潜熱フラックス

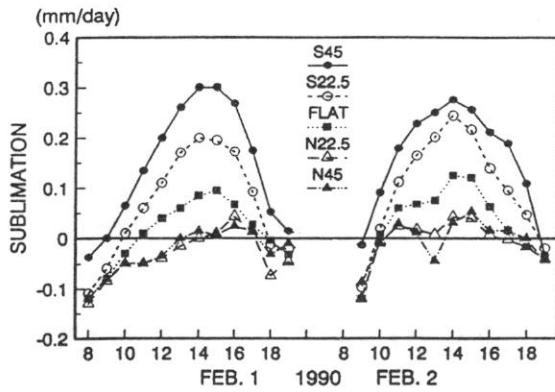


図9. 蒸発量観測値

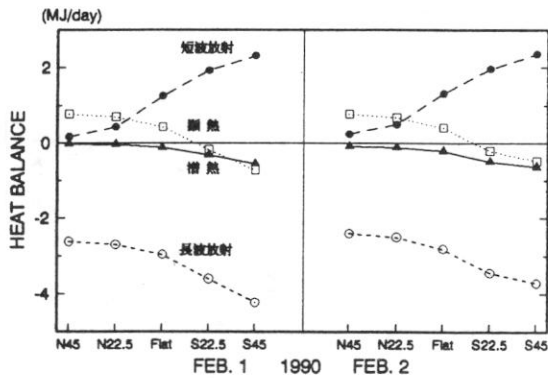


図10. 熱収支積算の斜面による違い

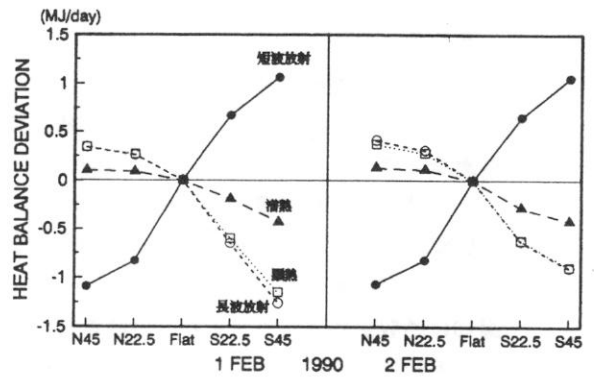


図11. 熱収支積算の水平面からの偏差

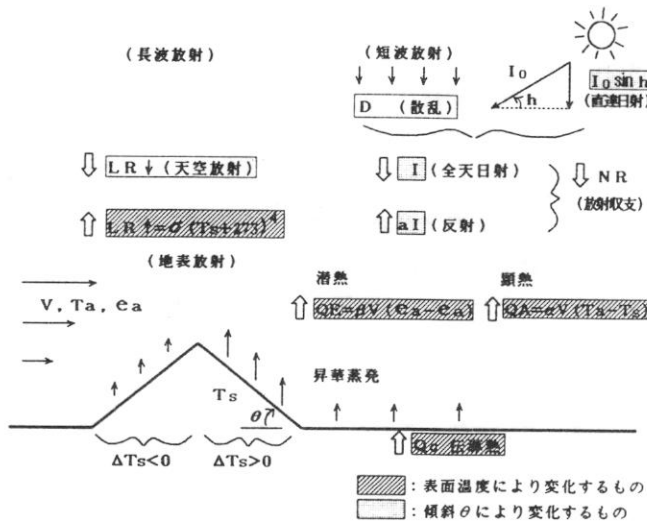


図12. 斜面における熱収支各項の概念図