

盆地冷却層解消の季節特性

岩倉 徹・兒玉 裕二(北大低温研)・田中 夕美子(北大演習林)

岡田 啓嗣(北大農)・石川 信敬(北大低温研)

1. はじめに

盆地地形や谷地形など起伏のある複雑な地表面上では、地表面に熱的な不均一が生じ、平坦地とは異なった熱交換が行われている。したがって、複雑な地形を有する地域での広域水循環・熱循環を推定の上で、複雑地形での熱交換過程を理解することは極めて重要である。盆地や谷での夜間の熱収支を扱った研究は数多く存在するが、日中の熱収支を扱ったものは少ない。そこで本研究では、大気境界層観測により、積雪期(厳冬期と融雪期)における日中の盆地内熱収支特性を求めた。

2. 観測概要

2. 1. 観測地

観測は2000年2月24日～27日までの厳冬期と、2000年4月24日～30日までの融雪期に、北海道北部の北大雨龍演習林のある母子里において行った。母子里は周囲を山に囲まれた盆地になっており、全体の面積は53.3 km²、中央平地の面積がおおよそ10 km²である。また、周囲の山と中央平地の平均高度差は約150mであり

(図1)、周囲の山(側壁斜面)は森林に覆われている。厳冬期も融雪期も、盆地内は全面積雪に覆われていた。

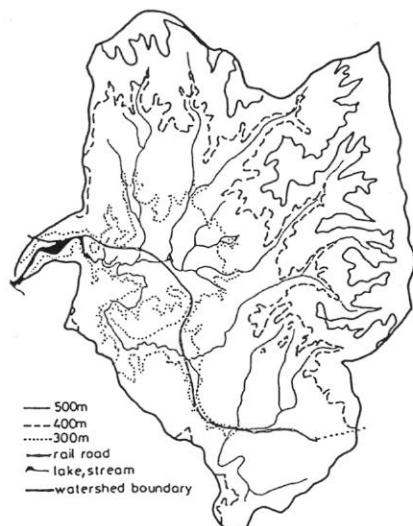


図1 母子里盆地(兒玉ら, 1992)

2. 2. 観測内容

盆地の中央部に位置する低温科学研究所融雪観測室の前庭において、係留ゾンデを用いた大気境界層観測を、日の出直前から正午まで連続的に行った。係留ゾンデによる観測項目は、乾球・湿球温度、風速、風向、気圧である。また同地点にある観測露場では、積雪面上の熱収支観測と、赤外線カメラを用いての樹体表面温度の測定を行った。

3. 観測結果

3. 1. 厳冬期の盆地冷却層解消過程

2月27日は前日の夜間から晴天が続き、日の出直前には雪面上1.5mの気温は-28.9℃であった。図2に同日の日の出から11:20までの温位プロファイルを示す。中立大気では、温位は高度と共に変化することはなく、一様となるが、本観測では日の出直前(06:15)には、地上約150m付近まで、高度と共に温位が上昇する温位逆転の状態となっている(このような状態の層を以後は逆転層と呼ぶ)。地上150mまでの温位プロファイルは、06:15から08:00まではほとんど変化していない。しかし09:00以降のプロファイルでは、温位は勾配をほぼ一定に保ったまま高くなっている。また逆転層上端面の高度は徐々に低下し、10:30から11:20の間で、逆転層は解消された。逆転層上端面より上空の大気の温位はほぼ一定で、時間経過と共に全層一様に上昇しているが、その変化は逆転層内の大気と比べると小さい。

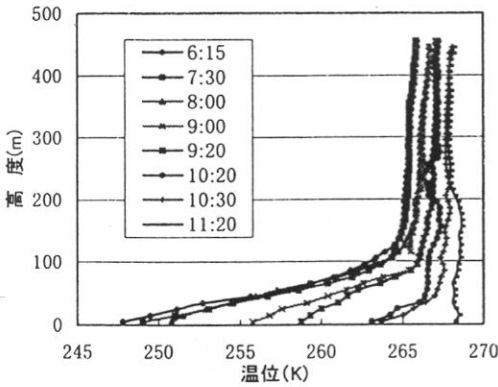


図2 2/27 温位プロファイル

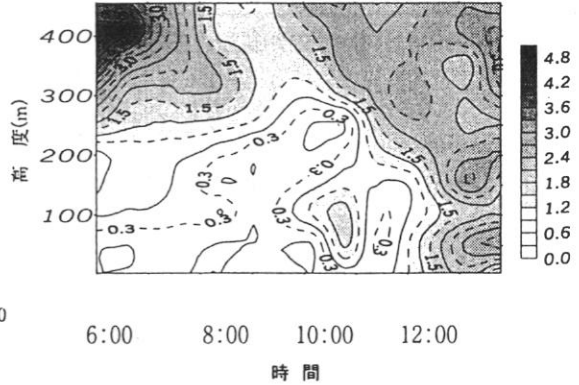


図3 2/27 風速イソプレット

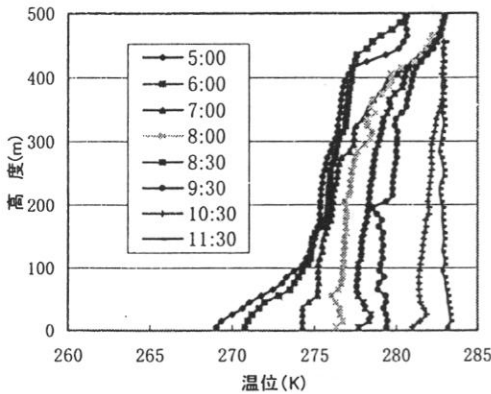


図4 4/30 温位プロファイル

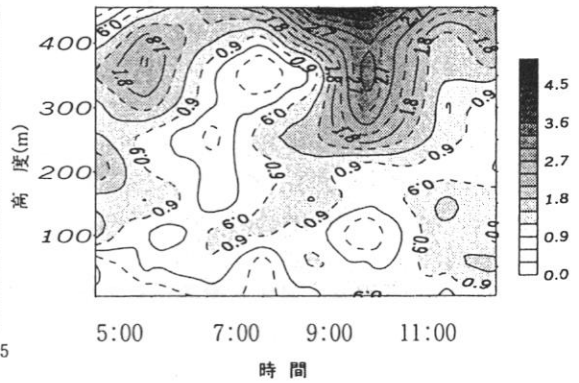


図5 4/30 風速イソプレット

図3に同日の風速のイソプレットを示す。この図は横軸に時間、縦軸に高度をとり、風速の強弱を色の濃淡で表したものであり、等値線を0.3m/s毎に引いている。図3の太い実線は逆転層上端面の高度を表している。日の出直前、逆転層より上空での風速は比較的大きいが、逆転層内の風速は極めて小さい。このことは大気が非常に安定な状態にある逆転層内の大気と、逆転層上空の大気との混合が起こりにくいことを表している。逆転層解消後には、低い高度まで上空の強い風が吹き込んでいる。

3. 2. 融雪期の盆地冷却層解消過程

図4に4月30日の日の出から11:30までの温位プロファイルを示す。日の出直前の地表付近の気温は-6.4℃であった。厳冬期と同様、融雪期も高度150m付近まで盆地内には逆転層が形成されていたが、温位の逆転の度合いは厳冬期よりも小さい。厳冬期とは異なり、07:00の観測では、高度70m付近まで混合層が形成されており、08:00過ぎには逆転層が解消されている。日の出以降の逆転層上端面の高度低下は厳冬期と同様、融雪期にも見られる。逆転層上端面より上空の温位プロファイルの変化には、厳冬期との差異が見られる。05:00と06:00の高度400m付近では、急激な温位の上昇がみられる。また、06:00以降の逆転層上端面より上空の温位プロファイルの変化は、厳冬期と比べてかなり大きい。

第5図は4月30日の風速のイソプレットである。融雪期の盆地内の風速の時間変化は厳冬期と同様であり、大気が安定な状態である逆転層内の風速は小さく、逆転層解消後の盆地内部には、やはり逆転層が存在する時間よりも強い風が吹き込んでいる。

4. 厳冬期・融雪期の雪面上熱収支

雪面上の熱収支式は、下向きを正として以下のように表される。

$$R_n = H + IE + G \text{ (or } M) \quad \dots\dots (1)$$

R_n は正味放射量、 H は顕熱フラックス、 IE は潜熱フラックスである。右辺第3項は、厳冬期には積雪を昇温する積雪伝導熱 (G)、融雪期には積雪を融解させる融雪熱 (M) となる。融雪期の H と IE は渦相関法により求めた。厳冬期の IE は、(1) 式の残差として求めた。

図6は2月27日(厳冬期)の、図7は4月30日(融雪期)の雪面上の熱収支である。大気と雪面との熱のやり取りを表す顕熱フラックスは、厳冬期で09:00以降、融雪期で06:00以降の時間帯、すなわち逆転層の解消が起こっている時間帯で上向きを示している。これは雪面が逆転層解消時の大気に対して熱源として働いていることを表している。しかし融雪期の顕熱フラックスは、逆転層解消後にあたる09:00以降、下向きを示している。すなわち、逆転層解消中に大気に対して熱源として働いていた雪面が、解消後には冷却源に転じている。

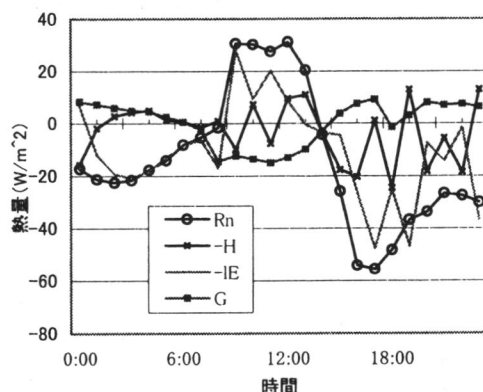


図6 2/27 雪面上熱収支

5. 冷却層解消に対する雪面からの熱の寄与

前章から、逆転層解消時に、雪面は大気に対して熱供給源として働くことがわかった。本章では、その寄与の大きさを調べるため、温位プロファイルの変化から大気の貯熱量変化を計算し、大気に対して供給される顕熱フラックスの量との比較を行う。

時間 t_1 から t_2 の、地表面から $h(m)$ までの大気の貯熱量変化 (ΔQ) は以下の式で表される。

$$\Delta Q = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^h \rho C_p \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dz dt \quad \dots\dots (2)$$

($h=50m, 100m, 150m$)

ρ は空気密度、 C_p は空気定圧比熱、 θ は温位である。厳冬期・融雪期共に、 t_1 から t_2 の間隔(観測インターバル)は一定ではない。そこで(2)式から計算される貯熱量変化を時間間隔で割ることにより1時間あたりの貯熱量変化(大気加熱率)として、 t_1 から t_2 の間で積算した顕熱フラックスを、同様に時間間隔で割った量と比較する(図8)。

厳冬期の大気加熱率(図8(a))と融雪期の大気加熱率(図8(b))を比較すると、逆転層解消時の大気加熱率は、厳冬期のほうが大きい。しかし厳冬期では解消後期の大気加熱率は小さくなっているが、融雪期では解消中と同程度の加熱が続いている。雪面から供給される顕熱フラックスが、仮に50mまでの大気昇温に利用されたとすると、その寄与は融雪期

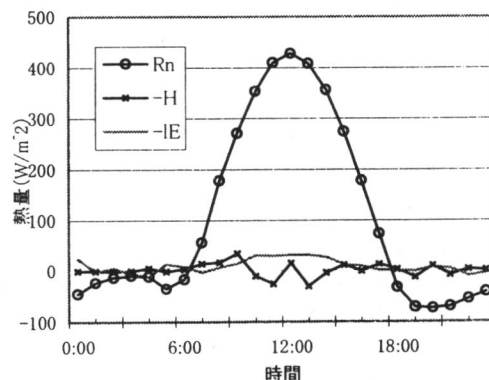


図7 4/30 雪面上熱収支

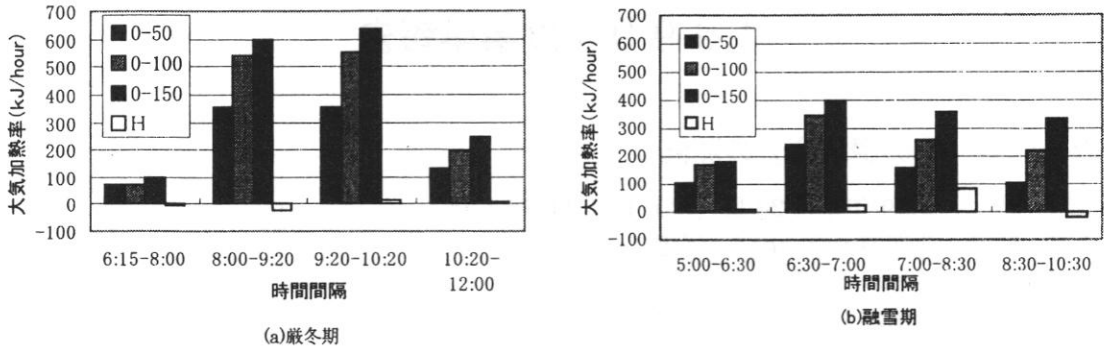


図8 大気加熱率と顕熱フラックスの比較

では、05:00-06:30で6.7%、06:30-07:00で10%。07:30-08:30で53.1%と比較的大きいが、冷却層全体の昇温に対する寄与は、融雪期でもきわめて小さい。また融雪期の冷却層解消後の雪面は、大気に対して冷却源として働いている。

5. 考察

前章では、逆転層解消に対する雪面からの熱の寄与が極めて小さく、逆転層全体の解消に必要な熱量を説明しきれないことを示した。本章では、逆転層解消のための熱源として、側壁斜面を覆う森林の効果に関して考察を行う。図9は、4月29日～30日の地上2.5mの気温と、赤外線カメラにより測定した樹体表面温度を示しているが、樹体表面温度が気温よりも常に高い。樹体表面のアルベードは0.1～0.2と小さく、日射の大部分を吸収するため、表面の温度が高くなると考えられる。したがって、森林は大気に対して熱源として働くことが可能で、この森林から供給される熱が、冷却層解消に対して大きな役割を果たす可能性がある。

6. まとめ

母子里盆地における厳冬期と融雪期の大気境界層観測及び雪面上熱収支観測から以下のことがわかった。①前日の夜間から晴天が続いた厳冬期・融雪期共に、母子里盆地内には日の出直前に上空およそ150mまで、逆転層が形成された。②逆転層解消過程において両期間に差異が見られた。すなわち厳冬期に比べて融雪期では、冷却層上端面より上空の温位変化が大きく、冷却層解消後の温位変化も大きいことがわかった。③厳冬期・融雪期共に、冷却解消時の盆地中央平地の大部分を占める積雪は、大気に対して熱源として働くが、その寄与はきわめて小さいことがわかった。④赤外線カメラを用いた樹体表面温度を測定した結果、樹体表面温度は気温よりも常に高かった。したがって、盆地内に存在する森林は、逆転層解消のための熱源として働き得ると推測された。

盆地逆転層解消時には、盆地内には雪面や森林のみならず、様々な熱供給源からの熱の供給が存在するものと考えられる。今後は様々な熱供給源からの熱供給量を可能な限り定量化し、何が盆地内大気の昇温に対して支配的に働くのかを調べていく予定である。

<参考文献>

兒玉裕二・石川信敬・竹内由香里 1992：融雪期における盆地冷却層解消について、低温科学，物理編，51，53-61。

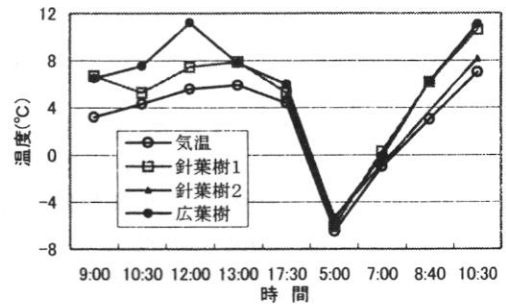


図9 4/29～4/30 樹体表面温度と気温