

多雪地域における冬季放射量連続観測のための装置製作

下山宏¹、中鉢健太²、藤田和之²、新堀邦夫²、中坪俊一²、渡辺力¹

1. 大気陸面相互作用研究グループ
2. 技術部・装置開発室

はじめに

寒冷圏における冬季の冷却メカニズムを把握する事は、気候システムを理解する上で非常に重要である。夜間は地表面からの放射冷却によって気温は低下する。地表面に積雪が存在する寒冷圏では、断熱効果の高い積雪が地表面を覆っており、地中から大気への熱輸送が遮断されるため、地表面に接した大気の放射冷却量は非常に大きくなる。この放射冷却量のメカニズムを定量的に把握するためには放射量（短波および長波放射量）を正確に観測する事が必要である。

冬季に放射量を観測するためには様々な問題が存在する。特に遠隔地において連続観測を行うにあたっては、センサー感部への着雪や、放射計本体への過度の着雪による物理的影響などにより、測定精度に問題が生じる。そこで、これらの影響をできるだけ取り除き、メンテナンスフリーで連続観測を行うための放射観測システムの開発・製作を行った。そして、北海道母子里において連続観測を実施したので、これらの結果を合わせて報告する。

開発概要

今回観測に使用する基本機は、アルベード計（上・下方向短波放射量；MR-22, 英弘精機）と、長波放射計（PIR, EPLAB.）である。放射冷却量に直接影響するのは長波放射量であるが、短波放射量も日中と夜間の区別、天候状態、また積雪の物理的な状態を判断するのに重要な要素であるため、アルベード計も開発の対象とした。それぞれの機種と概観を写真1に示す。

豪雪地帯における放射量の観測精度を維持するためには、第一に放射計への着雪および積雪の防止である。センサードーム部は特に深刻であり、即座に観測精度へ影響を及ぼす。センサー部以外でも、本体の一部に着雪し、そこから着雪体積が増加してセンサードームの底面よりも上まで盛り上がった場合には観測値に誤差をもたらす。このような状況を避けるためには、1) 風を送ることによって雪を飛ばす。2) 熱で雪を融かし着雪を防ぐ。3) 物理的に着雪しにくい構造にする、といったポイントが挙げられる。これらを組み合わせることによって、より効果的に着雪の影響を除去する事を試みた。

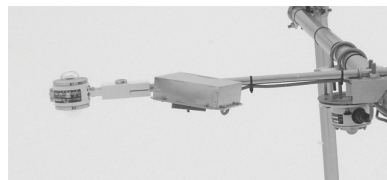


写真1 上) アルベード計 (MR-22) と、下) 長波放射計 (PIR)。

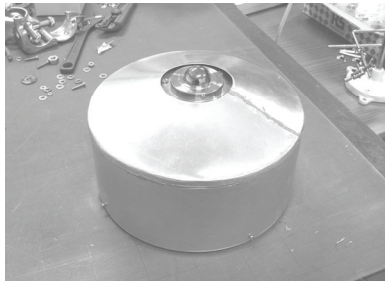


写真2 新しく製作したカバーを取り付けた長波放射計 PIR。

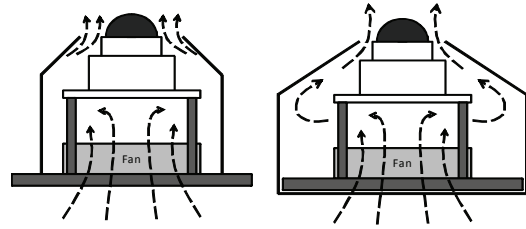


図1 長波放射計の構造。左) 市販のもの；右) 今回製作したもの。放射計本体の下にファンがあり、カバー下部から吸い込んだ空気をセンサードーム横から放出する構造。

長波放射計システム

メーカー標準の長波放射計の外観を図1に示す。この装置はセンサードーム部の放射冷却による結露を防止するために、風を送るためのファンが内蔵されている。基本的にはこの送風によって、降雪がセンサードームにあたるのを防ぐことができると考えられる。この送風によって雪を飛ばすためには、風量が多いほど効果的であるが、現状の長波放射計の形状では、センサードーム脇の風の出口の開放部分が大きいためロスがある。そこで、この開放部分の面積を小さくしたカバーを新たに製作し、出口を絞ることによって風量を増加させる事にした(写真2、図1)。また、メーカー標準品では、カバーとベースの部分に段差があるため、ここに一度雪が積もるとそこへの着雪によってセンサー全体が雪に覆われる可能性が高い。これに対して新しく製作した外部カバーでは、表面の凹凸を無くし、着雪しにくい構造にした。

さらに、より確実に着雪を避けるために、外部カバー内側にヒーターを装着して、熱で雪を融かす方法を取り入れた。新しい外部カバーは、雪が融けた水滴が溜まる凹凸がないため、ヒーターを組み合わせる方法においても最適な形状である。しかしながら、この方法では、センサー周辺部がヒーターで加熱されるため、長波放射量の観測値への影響が懸念される。そこで、ヒーターの駆動を降雪中に限定して行う制御を取り入れた。システムは、降雪を検知する感雪センサーとアナログ信号入力とコントロール信号出力を合わせて持つ多機能マルチデータロガー (CR10X, Campbell Sci. Ins.)、およびリレーで構成される。感雪センサーが降雪を検知すると、その信号がデータロガーに入り、それを受けてリレーを駆動させるためのコントロール信号をデータロガーから出力する仕組みである。これにより、降雪時のみヒーターの影響が反映されるため、必要とされるデータの観測時には従来の精度を維持した観測値が得られる仕組みである。

アルベード計システム

アルベード計では、センサー形状の問題により結露防止のファンが付いたモデルは市販されていない。そこで、上部センサードームへ外部から風を当てる装置を新たに開発した。装置の物理的な影響をできるだけ小さくするため、送風装置はアーム部に固定し上下のセンサードームベース高さの間に収まる構造にした(図2)。これをセンサー部から少し離して取り付け、さらに送風装置の取り付けに角度を持たせることによってセン

サードーム上部に風を当てる仕組みである。また、送風に用いるファンは、薄型でも大きな風量を得ることができるブロアタイプ(シロッコファン)を用いた。

この形状の送風装置では、比較的広域的に風が当たるため、センサー部への着雪の可能性は低い。一方で、送風装置本体への着雪が懸念されるため、この装置にヒーターを組み込むことにした。この場合は、ヒーターによる加熱が放射観測に影響を及ぼさないため、常時作動する事とした。

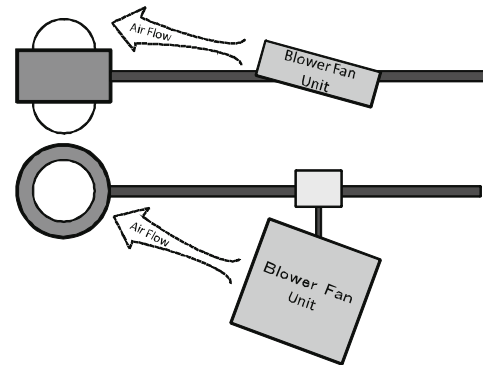


図2 アルベード計用送風装置の構造。
上) 側面、下) 上面からの概観。

観測結果

図3に2008年2月24~27日における観測結果の時系列を示す。上図から、下向き・上向き短波放射量 (S_d, S_u)、下向き・上向き長波放射量 (L_d, L_u)、感雪センサーの信号 (0: 降雪なし、1: 降雪あり)、である。放射量の観測は、今回新たに製作した装置を取り付けたもの (MR-22, PIR) と、比較用として市販製品のまま取り付けたもの (短波・長波4成分放射計; CNR-1, Kipp & Zonen) を用いて行った。

2月24日日中から25日午前中までは晴天が続いていたが、2月25日昼過ぎから下向き短波放射量 (S_d) の低下とともに、感雪センサーに降雪の反応 (信号が1の値) が観測された。同じタイミングで下向き長波放射量 (L_d) が増加しており、また感雪センサーは断続的に1と0を繰り返していた。日没以降 L_d は高い値で安定し、さらに感雪センサーは1の値が連続して観測されており、まとまった降雪が開始したことを示唆している。この降雪は2月27日午前中まで続いた。

この降雪期間中、2月26日の S_d に大きな差が観測された。着雪対策を施した S_d [MR-22] の値に比べて S_d [CNR-1] は明らかに低い値を示していた。また S_d [CNR-1] は S_u に比べて値が小さく、入力量よりも反射量が大きいう矛盾した結果となっていた。これらを考慮すると、CNR-1のセンサー部に着雪があったことが示唆される。これに対して、 S_d [MR-22] は S_u との対応も良好で、積雪面のアルベードの状況を正確にとらえていることから、降雪期間中でも精度良く観測できることがわかった。

一方、 L_d に関しては、2月27日未明から日中にかけて L_d [PIR] と L_d [CNR-1] に大きな誤差が存在した。感雪センサーの反応は、連続したものから断続的になり、同時に L_d [PIR] は急激に低下していることから、天気回復傾向 (雲の少ない状況) を示している。一方、 L_d [CNR-1] は、2月27日日中まで高い値を示し、その後急激に低下して L_d [PIR] と同様の値となった。 S_d の日変化から判断すると、この日の日中は朝から非常に良い天気であることがわかる。従って、晴天日にもかかわらず L_d [CNR-1] の値が高いのは、センサー部に着雪があり、大気からの放射量を正確に観測できていない事が原因であると言える。これに対して L_d [PIR] は、まとまった降雪においても着雪をすることなく、急激な天気回復による L_d の変化を正確に捉える事ができた。

まとめ

夜間大気の冷却は地表面に積雪がある場合に大きくなるが、特に新雪である場合は最も冷却効果が大きい。このようなプロセスを調べるためには、降雪直後のデータは非常に重要な意味を持つ。今回開発した放射計用着雪防止装置を用いることによって、降雪中の短波放射量や、降雪直後の長波放射量などを、メンテナンスフリーの環境で精度良く観測できることがわかった。このような着雪を未然に防ぐ装置を用いることによって、積雪の物理特性や、夜間冷却のメカニズムを調べるのに重要なデータを、連続観測で正確に得ることができるものと期待される。

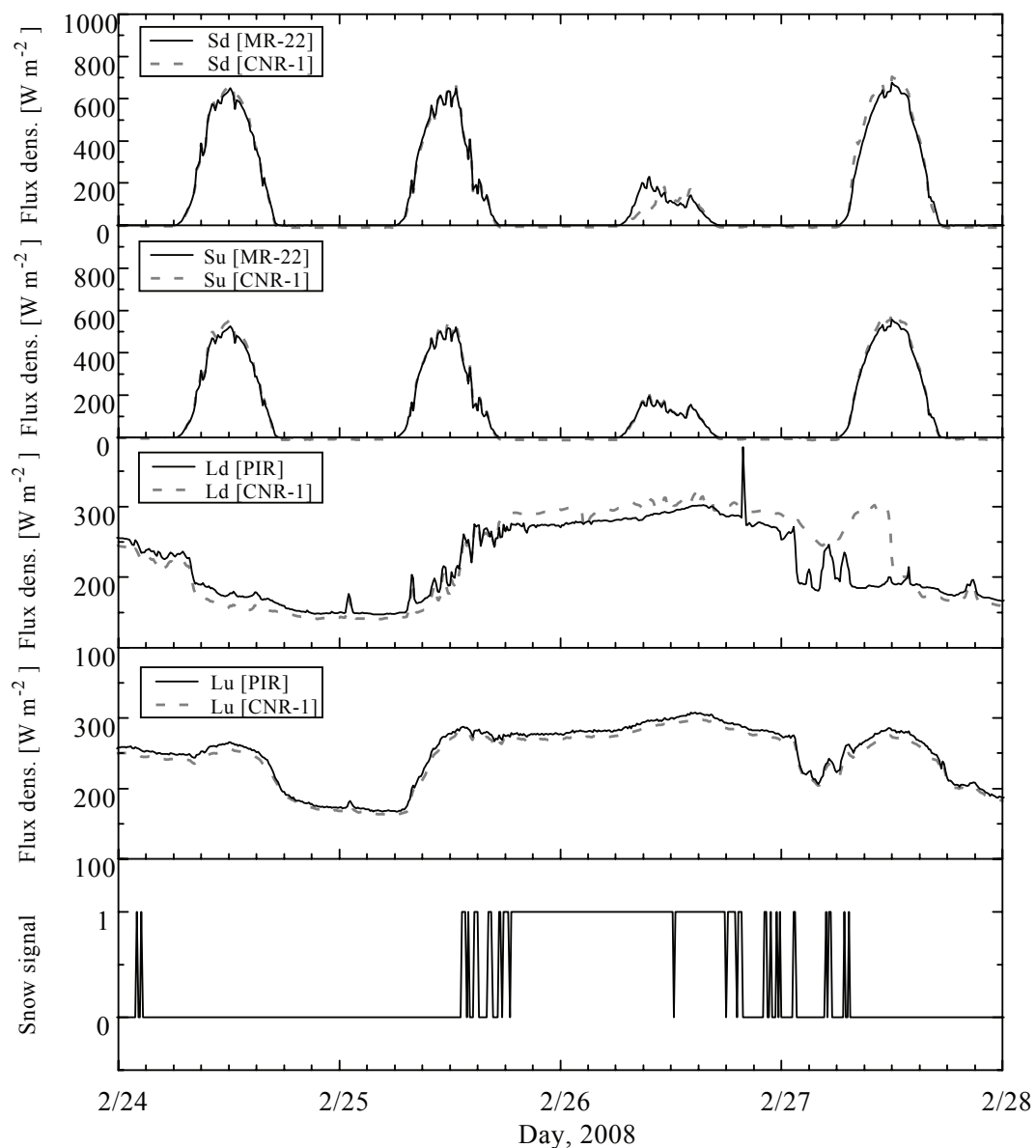


図3 放射量の時系列。上から、下向き短波放射量（日射量）：Sd、上向き短波放射量：Su、下向き長波放射量：Ld、上向き長波放射量：Lu、感雪センサー信号。各放射量観測はそれぞれ2種類の測器を用い、着雪防止装置をつけたもの（短波：MR-22、長波：PIR）と、つけないもの（短波および長波：CNR-1）で比較した。感雪センサーは0の時に降雪なし、1の時に降雪あり。