

II-12

風洞実験による融雪現象の解明（1）

長岡技術科学大学大学院 学生員○奥村 学
 東京大学大学院 学生員 浅沼 順
 長岡技術科学大学建設系 正会員 小池俊雄
 長岡技術科学大学建設系 正会員 後藤 巖

1. はじめに

両極地方やアジア高山地域の積雪領域におけるエネルギー収支は、地球規模の水循環に与える影響が大きく、その現象の解明と融雪量分布のモデル化が望まれている。低温強風下での融雪現象の解明のために、富士山吉田側斜面において1988年に行われた融雪観測によるこのような検討結果を基に、本研究では、顕熱・潜熱による熱交換の定量化を目的として、風洞融雪実験を行った。

2. 実験方法と主要な結果

実験は、長岡技術科学大学内の低温用恒温室と常温用恒温室を使用して、1)負の顕熱交換特性の解明を目的とする低温室内風洞実験と2)正の顕熱交換特性および潜熱交換特性の解明を目的とする常温室内風洞実験の2通りを行なった。

2-1. 低温室内風洞実験：この実験は -10°C の恒温室内に、図1に示すエッフェル型（吹き流し型）風洞を制作し、風洞中心風速は 9.4m/s の条件下で行なった。風洞測定部の底面に厚さ 30cm 、幅 27cm 、長さ 108cm の雪サンプルをおき、周囲を断熱材で囲って側面と下面からの熱伝導による降温を最小限にとどめた。雪サンプルは、開き目が 4.76mm のふるいでふるって型枠に入れて -2°C の低温室で2日以上保存したものを使用した。雪面上および雪層内の温度プロファイルは図2のように配置された銅・コンスタンタン熱電対によって計測され、風速プロファイルは同図に示すように熱線風速計感部を微動装置で上下に移動して測定した。

雪面上では温度、風速の境界層が発達すると思われるが、気温が -10°C であるために雪面温度が急激に下がり温度境界層の発達は見られなかった。風速のプロファイルの流下方向の変化を図3に示す。境界層厚は $3\text{cm} \rightarrow 5\text{cm}$ へ変化していることが示され、また雪面粗度はいずれの地点でもほぼ 0.02cm であった。次に雪の前端から 98cm の地点で高さ 0.5cm における風速 $V_{0.5}$ 、気温 $T_{0.5}$ と雪面温度 T_0 の観測結果から、バルク法による負の顕熱伝達量

$$Q_{s-} = \alpha_{0.5} \cdot V_{0.5} (T_{0.5} - T_0) \quad (1)$$

を算定した。この実験では

顕熱伝達以外の項を無視しているので、積雪表面での伝導熱量

$$Q_{ca} = K_a (dT/dZ) \quad (2)$$

が顕熱伝達量に等しいと考えて計算した。

この計算を各時間毎の温度

プロファイル（図4）に適用し、それに求められたバルク係数 α_z とリチャードソン数との関係を表1に示す。

これより、今回の実験範囲内では、負の顕熱交換特性は大気の状態や雪層の温度状態に依存しないことが示された。

2-2. 常温室内風洞実験：この実験は室温を $14 \sim 30^{\circ}\text{C}$ に制御できる恒温室

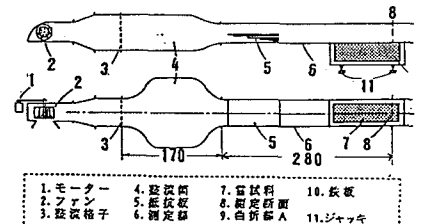


図1. エッフェル型風洞側面図(a)及び平面図(b)

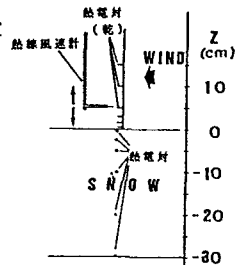


図2. 低温室内風洞実験における熱線風速計と熱電対の配置図

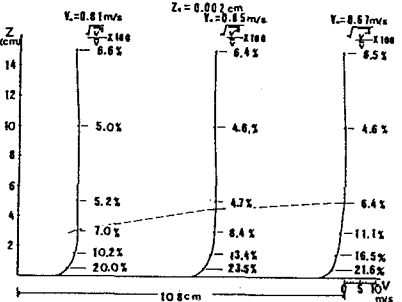


図3. 風速の鉛直分布及び境界層発達図

内に、図5 のゲッチング型（回流型）風洞を制作し、表2に示す7ケースの条件下で行なった。加湿機の設置による湿度制御も試みたが、風洞の密閉性の不備から制御不可能であり、実験では湿度は成行きとなっている。気温および湿度は銅・コンスタンタン熱電対を

図6 のように設置して、一方に糸を巻き付け、適度に湿らせて計測した。その他、通風式ポリエチレン風防型示差放射計により放射収量を雪面上17.5cmで測定し、融雪量はサンプルの高さの変化に密度を乗じて求めた。従って、（正の顕熱交換量 Q_s +潜熱交換量 Q_l ）は（融雪熱量 Q_m -放射収量 Q_r ）として求められる。高さ Z のデータを用いた正の顕熱交換量、潜熱交換量はバルク法を用いると次式で示される。

$$Q_s + \alpha_{z+} \cdot V_z (T_z - T_0) \quad (3) \quad Q_l = L \beta_z \cdot V_z (e_z - e_0) \quad (4)$$

ただし、 L ：気化熱、 e_z 、 e_0 ：水蒸気圧、 α_{z+} 、 β_z ：バルク係数

ここでは、 $Z=3.0\text{cm}$ の観測値を用い、7ケースの結果からバルク係数を最小自乗法で決定した。図7は、計算値と観測値を比較したものでほぼ一致している。2-1と同様に $Z=100\text{cm}$ の正の顕熱交換のバルク係数を求めると $\alpha_{100+}=0.006$ となり、負の場合のバルク係数とほぼ一致することが示された。

3. 結論

今回の風洞実験により、積雪表面に対する顕熱・潜熱交換量に関するいくつかの特性が明らかにされたが、今後、相似則の一致性を明らかにするために富士山の現地観測において対応する諸量の計測を行う必要がある。

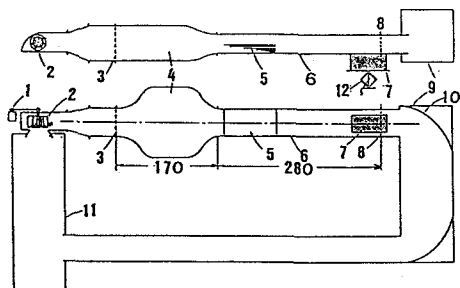


図5. ゲッチング型風洞側面図(a)及び平面図(b)

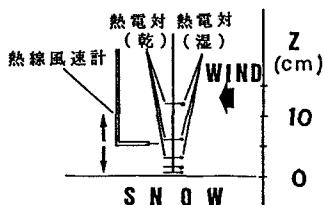


図6. 常温室内風洞実験における熱線風速計と熱電対の配置図

表1. リチャードソン数とバルク輸送係数の関係

経過時間(min)	リチャードソン数	$\alpha_{0.5}$	α_{100}
0	-0.011	-0.045	-0.007
9	-0.003	"	"
15	-0.001	"	"

α_{100} は雪面上高さ100cmに変換した値

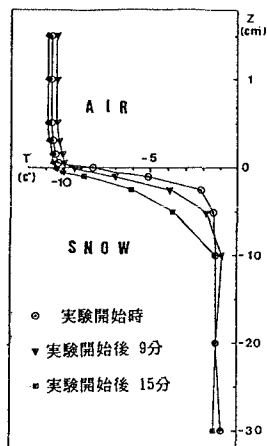


図4. 雪温と風洞内温度の鉛直分布図

表2. 常温室内風洞実験の実験結果一覧表

	風洞内温度			
	14℃	18℃	22℃	28℃
風洞中心速度	3.5m/s	実験5	実験6	実験4
	11.0m/s	実験3	実験7	実験2
			実験1	

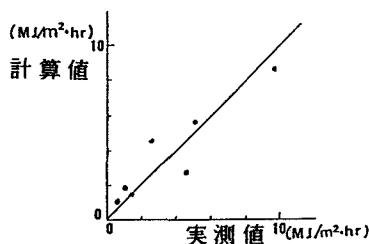


図7. (顕熱交換量+潜熱交換量)の実測値と計算値