

II-411

接地境界層の熱収支特性と乱流構造の役割について

(株)キタック 正会員 松尾内助
長岡技術科学大学 正会員 早川典生
長岡技術科学大学 正会員 小池俊雄

研究の目的

融雪に影響を及ぼす風の乱流状態について、融雪熱収支と乱流の構造を明らかにし特徴づけることを狙いとし、比較観測に基づきいくつかの条件下で詳細な雪面熱収支の現地比較観測を行い観測地における雪面熱収支特性を検証した。また乱流輸送量の直接観測により、乱流構造を調べ、熱収支との関係を比較検討した。

比較観測の対象は観測期間を降雪と融雪を繰り返す遷移期から消雪時までとし、対象条件を地形（標高・起伏）、地被（森林の有無・樹種）の異なる条件とした。

雪面熱収支式

融雪熱量は、大きく放射収支量、顕熱輸送量、潜熱輸送量の三つの異なる熱量の和で構成されることができる。

$$Q_M = Q_R + Q_H + Q_E$$

ここで Q_M :融雪熱量、 Q_R :放射収支量、 Q_H :顕熱輸送量、 Q_E :潜熱輸送量で、また $Q_H + Q_E$ は乱流輸送量と呼ばれる。

放射収支量は放射収支計による実測値を使用した。雪面の表面温度の算定には太田らが提案した以下の経験式を用いた。

$$T_s = 1.13T_0 - 1.67 \quad (T_0 < 1.47) \\ = 0.0 \quad (T_0 \geq 1.47)$$

ここで、 T_s :雪面温度、 T_0 :高さ120cmにおける気温である。

風速は超音波風速温度計で測定し、30分から1時間の平均値を差し引くことにより乱流成分を抽出した。気温、比湿 q についても同様に平均量と乱流成分を分離した。

乱流輸送量はバルク係数を用いて以下のように平均値で表すことができる。

$$Q_H = \rho C_p CH U (\theta - \theta_s) \\ Q_E = \rho C_E U (q - q_s)$$

ここで CH, C_E :顕熱、潜熱のバルク係数、 ρ :空気密度、 θ :温位、 C_p :定圧比熱、 q :比湿である。

本論では表面熱収支を検討するので鉛直一次元の輸送量のみを考える。鉛直の乱流輸送量は高さ方向に一定と仮定した(近藤,1994)。

顕熱は、鉛直風速の変動と気温変動の共分散

で、また潜熱は、鉛直風速と水蒸気変動の共分散で表される。渦相関法は、これら共分散を直接計測する方法である。

$$Q_H = \rho C_p (w' \theta')$$

$$Q_E = \rho L_v (w' \theta')$$

ここで L_v :蒸発潜熱である。添え字'は乱流成分であることを示す。

本研究では融雪熱量は融雪観測により求めた。これより放射収支量を差し引くことにより乱流輸送量が求まる。そのうち顕熱輸送量は渦相関法により算定し、残りを潜熱輸送量とした。また乱流輸送特性の評価を行うため乱流輸送量に関係する指標としてフラックスリチャードソン数、乱流強さ、そして変動成分のスペクトルを利用した。また渦スケールはスペクトルのピーク周波数で平均風速を除いて求めた。

考察

観測により得られた平均的な熱収支構成を図1に、得られた顕熱と潜熱のバルク係数を表1に示す。なお、川西については融雪熱量の測定を行っていないので、正しい計算融雪熱量を求めることはできなかった。

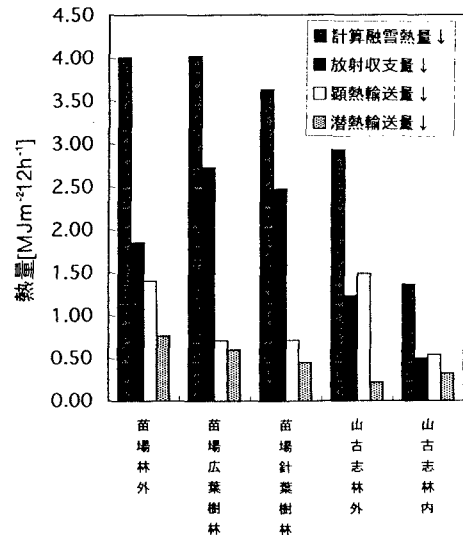


図1.各観測地における平均熱量

表1.得られたバルク係数

地点	CH(120cm)	CE(120cm)
琵琶湖水田1	0.00279	0.00324
琵琶湖水田2	0.00225	0.00370
琵琶湖水田3	0.00138	0.00165
川西	0.00108	
苗場林外	0.00527	0.00538
苗場広葉樹林	0.00271	0.0028
苗場針葉樹林	0.00250	0.00257
山古志林外	0.00710	0.00717
山古志杉林	0.00400	0.00419

1.標高による熱収支構造の比較(図1、表1)

ともに裸地雪面である苗場林外(標高1500m)と山古志林外(標高300m)で比較した結果、放射収支量と潜熱輸送量は、苗場林外が大きくなったが、顕熱輸送量は、ほぼ同じであった。放射収支量については観測時期の違いにより日射とアルベドに差が生じたことが影響していると考えられる。

標高の違いから、苗場林外の比湿は山古志よりも大きく、これに速い風速が乗じるため、苗場林外の潜熱輸送量は山古志のそれより大きい。融雪期においては大気圧の低い苗場林外のほうが潜熱輸送による融雪が進行しやすいことが分かった。

2.地被による熱収支構造の比較(図1、表1)

苗場観測地点における林外と林内の顕熱輸送量は、温位差では違いは少ないが、林外風速が林内より強いいため、林外の顕熱輸送量が多い。これにはまた林外での大きな顕熱のバルク係数も寄与している。山古志の林外と林内では温位差と風速が相殺して大きな違いとはならなかった。

苗場では潜熱のバルク係数が大きく、そのため山古志と同様の効果があるにもかかわらず、林外の方が潜熱輸送量は大きくなった。

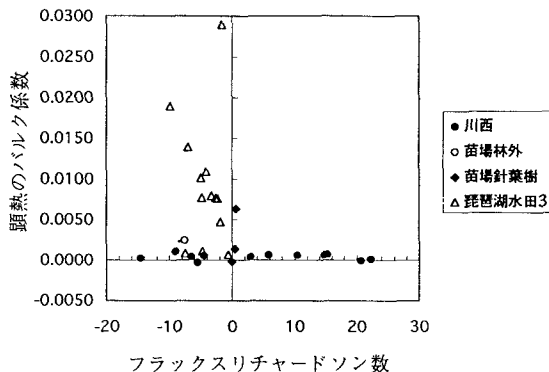


図2.フラックスリチャードソン数とバルク係数の関係

林外での顕熱のバルク係数は苗場でも山古志でも、それぞれ近接する林内のそれよりは1.7から2.0倍も大きい値となった。これは乱流構造が関係していると思われる。苗場の広葉樹林と針葉樹林について、樹種の違いによるバルク係数の違いは小さく、バルク係数は森林条件の違いには依存しないことが示唆された。

3.乱流輸送量と乱流構造

(a)安定度と顕熱バルク係数の関係(図2)については、川西のように地表面付近で大気強い安定状態になると層流が発達し、温度勾配が小さくなる。これにより、顕熱輸送量が小さくなることが確認された。琵琶湖水田3のように温度勾配が逆転し大気が不安定となると、地表面付近の大気が混合され顕熱輸送が促進されることが分かる。

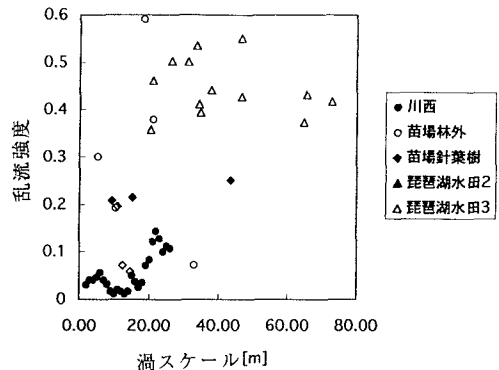


図3.渦スケールと乱流強度の関係

(b)渦スケール(図3)は、地表面の凹凸の影響を受けていると考えられる琵琶湖水田3や苗場林外が、地表面の凹凸の影響の少ない川西より大きいことが示された。同程度の渦スケールにおいては林内の方が裸地よりも乱れが大きくなることが示唆された。

(c)鉛直方向の風速の乱流強さは風速が増加するにつれて観測地点ごとにほぼ同じ勾配で増加する傾向がみられた。その勾配は大気が不安定なほど大きいことが示唆された。

《参考文献》

- 近藤純正編(1994):水環境の気象学,朝倉書店,99.
太田岳史,橋本哲(1991):落葉樹林内における雪面上純放射量の推定と表層融雪量,水文・水資源学会1991年研究発表要旨集,18-25.