

学位論文題名

Studies on the effect of melting snow/ice surface on the atmospheric surface layer

(大気に及ぼす融雪面の熱的效果の研究)

学位論文内容の要旨

地球上の陸域には季節積雪、氷床、氷河、雪渓など様々な形態で雪氷体が存在し雪氷面を形成している。雪氷面は地表面を構成する他の物質とは大きく異なる熱的特性をもつ上、比較的短時間に規模を変化させうるため、地球の気候変動に対してフィードバック効果をもたらす可能性があり、気候システムの一部として重視されている。しかし雪氷面が大気に及ぼす影響を観測事実に基づいて議論した研究はほとんどなく、雪氷-大気相互作用についてはまだ不明瞭な点が多い。

そこで本研究では雪氷面が大気に及ぼす影響を明らかにするために、気候の異なる北海道、北極圏、南米パタゴニアの雪氷域において気象・熱収支観測を行ない、雪氷面の中でも特徴的な融雪面が下層大気に及ぼす影響を比較した。

まず北海道母子里において1990-1994年にわたって通年観測を行ない、乾雪期や無雪期との比較によって融雪面熱収支特性を求めた。乾雪期、融雪期、無雪期では平均アルベド（各々0.82、0.55、0.19）の差に起因して昼間の放射収支量に大差があり、さらに雪面では無雪面に比べて粗度が小さく、顕熱や潜熱の輸送係数が小さいことも長期間のデータから明確になった。母子里の結果を他の地域の融雪期の結果と比較したところ、融雪強度はそれぞれの地域で大きく異なるが融雪面熱収支の成分比には地域差がほとんどないことがわかった。すなわちいずれの地域においても放射が最大の熱源であり、地表面が吸収した熱のほとんど全てが融解の潜熱となって消費されていた。一方融雪期にも夜間には地域差があり、気温、水蒸気圧、風速等にみられる各々の地域の気候的特徴が熱収支成分比に顕著に現われた。

そこで、融雪面上の気温と表面温度の日変動に着目し乾雪面や無雪面との比較を行った結果、融雪面上では同じ日射量を受けても気温が上がりにくいことがわかった。また気温と表面温度上昇時の大気安定度を頻度で比較すると、無雪面では9割近くが

不安定状態であるのに対し、乾雪面では約7割、融雪面では9割以上が安定であることがわかった。ただし融雪面上では安定度が小さく中立に近い状態が多い点が乾雪期と異なる。さらに融雪面では融解や凍結の潜熱により表面温度の日変動幅が乾雪面や無雪面に比べて小さくなり、そのために融雪面上の気温変動幅も小さくなることがわかった。

このような気温変動に及ぼす融雪面の影響を定量的に表わすために“気候感度”の概念を導入した。一般に気候感度は外部条件の変化により気候が変化する度合いで定義され、本研究では外部条件として日射量、気候状態として気温を用い、昼夜の平均気温の差を日射量の差で除した値を気候感度 (β) とした。その結果、融雪面上での気候感度は乾雪面や無雪面の約50%と小さくなること、一方地表面の影響が届きにくい上空の260 mでは表面状態の違いにもかかわらず気候感度には差がないことを見だし、融雪面が接地境界層の気候感度を小さくしていることを明らかにした。

さらに、いずれの地域においても融雪面上の気候感度は隣接する無雪面上より小さくなることがわかった。無雪面上に対し融雪面によって減少する割合 (α) は大気に及ぼす融雪面の影響の強さを表わす指標とみなせるので“気候感度指数”とし、気候感度指数と雪氷域面積の関係を求めると、雪氷域面積が大きいほど気候感度指数は大きくなり、大気に及ぼす融雪面の影響が強くなることがわかった。また、気候感度指数は雪氷域が小さいほど面積変化に強く依存することもわかった。

地球上には緯度や地形によって様々な気候が存在するが、いずれの気候帯においても融雪面上には気候感度の小さい独特の接地境界層が形成されることが本研究によって明らかになった。このことによって雪氷面が大気に影響を及ぼしていることを示すことができた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	小林	大二
副査	教授	福田	正己
副査	教授	渡辺	興亜 (国立極地研究所)
副査	助教授	高橋	英紀
副査	助教授	成瀬	廉二
副査	助教授	石川	信敬

学位論文題名

Studies on the effect of melting snow/ice surface on the atmospheric surface layer

(大気に及ぼす融雪面の熱的效果の研究)

地球上の陸域には季節積雪、氷床、氷河、雪渓など様々な形態で雪氷体が存在し雪氷面を形成している。雪氷面は地表面を構成する他の物質とは大きく異なる熱的特性をもつ上、比較的短時間に規模を変化させるため、地球の気候変動に対してフィードバック効果をもたらす可能性があり、気候システムの一部として重視されている。しかし雪氷面が大気に及ぼす影響を観測事実に基づいて議論した研究はほとんどなく、雪氷-大気相互作用についてはまだ不明瞭な点が多い。

この研究では雪氷面が大気に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、気候の異なる北海道、北極圏、南米パタゴニアの雪氷域において行なった気象・熱収支観測に基づいて、雪氷面の中でも特徴的な融雪面が下層大気に及ぼす影響を比較している。

まず北海道母子里において1990-1994年にわたって通年観測を行ない、乾雪期や無雪期との比較によって融雪面熱収支特性を求めた。乾雪期、融雪期、無雪期では平均アルベド(各々0.82、0.55、0.19)の差に起因して昼間の放射収支量に大差があり、さらに雪面では無雪面に比べて粗度が小さく、顕熱や潜熱の輸送係数が小さいことも長期間のデータから明確に示された。このような長期にわたる観測から熱収支の地表面依存性を求めた研究は少なく貴重なものである。次に母子里の結果を他の地域の融雪期の結果と比較し、融雪強度はそれぞれの地域で大きく異なるが融雪面熱収支の成分比には地域差がほとんどないこと、すなわちいずれの地域においても放射が最大の熱源であり、地表面が吸収した熱のほとんど全てが融解の潜熱となって消費されていることを明らかにした。一方融雪期にも夜間には地域差があり、気温、水蒸気圧、風速等にみられる各々の地域の気候的特徴が熱収

支成分比に顕著に現われることもわかった。

そこでこの研究では、融雪面上の気温と表面温度の日変動に着目し、乾雪面や無雪面との比較を行なった結果、融雪面上では同じ日射量を受けても気温が上がりにくいこと、さらに融雪面では融解や凍結の潜熱により表面温度の日変動幅が乾雪面や無雪面に比べて小さくなり、そのために融雪面上の気温変動幅も小さくなるという知見を得た。

このような気温変動に及ぼす融雪面の影響を定量的に表わすために、申請者は“気候感度”の概念を新たに導入することを考案した。一般に気候感度は外部条件の変化により気候が変化する度合いで定義され、この研究では外部条件として日射量、気候状態として気温を用い、昼夜の平均気温の差を日射量の差で除した値を気候感度 (β) とした。その結果、融雪面上での気候感度は乾雪面や無雪面の約 50% と小さくなること、一方地表面の影響が届きにくい上空の 260 m では表面状態の違いにもかかわらず気候感度には差がないことを見出し、融雪面が接地境界層の気候感度を小さくしていることを明瞭に示した。

さらに、いずれの地域においても融雪面上の気候感度は隣接する無雪面上より小さくなることも明らかとなった。そこで申請者は、無雪面上に対し融雪面によって気候感度が減少する割合 (α) は大気に及ぼす融雪面の影響の強さを表わす指標となりうることから“気候感度指数”と呼び、気候感度指数と雪氷域面積の関係を求めた。その結果、雪氷域面積が大きいほど気候感度指数は大きくなり、大気に及ぼす融雪面の影響が強くなることを明確に示すことができた。

このように、この研究は、長期にわたる通年観測や様々な気候帯における実測データに基づいて、地球上の緯度や地形によって形成されるいずれの気候帯においても、融雪面上には気候感度の小さい独特の接地境界層が形成されることを示した上、気候感度指数という新たな指標の導入によって雪氷面が大気に及ぼす影響を定量化したものであり、雪氷-大気相互作用の解明に大きく寄与するものである。

よって審査員一同は、これらの成果を高く評価すると共に、申請者が国内外での野外調査を精力的にこなし、研究論文を多数出版し、国内での学会発表はもちろん、国際会議にも出席して研究成果の発表を着実にこなしていること等も併せ、博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。