

学位論文題名

Studies on the Structure of Snowbursts in Winter Monsoon Surges
(冬期季節風吹き出し内で発生するスノーバーストの構造に関する研究)

学位論文内容の要旨

冬期季節風時の日本海側では、寒気の吹き出しによって形成された混合層内で発生する積乱雲からのしゅう雪が頻繁に観測される。このしゅう雪に伴って地表で突風が吹くことがあり、それが吹雪や地吹雪の原因になっているとも考えられる。このような突風の成因の一つとしては、しゅう雪に伴って発生する激しい下降流が挙げられるが、その詳しい構造については明らかにされていなかった。降水現象に伴って発生する激しい下降流としてはアメリカ合衆国中西部で暖候期に観測されるマイクロバーストなどが良く知られているが、その発生時の周囲の温度状況などが冬期季節風吹き出し時とは大きく違っていることから、しゅう雪に伴って発生する激しい下降流に関してはマイクロバーストなどとは異なった発生メカニズムを考える必要がある。本論文では、しゅう雪に伴って発生する激しい下降流と、それがもたらす地表での突風を、新たに「スノーバースト」として認識し、その詳しい構造や発生メカニズムを明らかにした。

すなわち、季節風による降雪が多く、降雪雲の上陸時の動態を容易に捕らえることができる札幌市近郊の石狩平野を研究対象のフィールドとして、1987年及び1989年の冬期に、スノーバーストの構造をとらえることを目的とした地上気象要素、写真、気象レーダーなどの観測を行なった。スノーバーストに対する観測の結果を、石狩平野内で暖候期に発生したマイクロバーストの観測結果やその他のマイクロバーストを対象とした多くの数値実験の結果などと比較することによって、スノーバーストによる下降流の発生メカニズムを考察した。

マイクロバーストをはじめとする積乱雲からの下降流は、それぞれに特徴的な形態を示すことが良く知られている。スノーバーストに対する連続写真観測の結果から、

しゅう雪時の雪足を下降流を伴うバースト(Burst)タイプと下降流を伴わないバーガ(Virga)タイプの二種類に分類した。バーストタイプの雪足は雲底下において約10m/sの落下速度を示しており、霰粒子の代表的な落下速度である約5m/sよりも速いことから、スノーバーストに対応した激しい下降流の存在が確認された。バーガタイプの雪足の落下速度は約1m/sで、一般的な降雪時の雪足に対応していた。

スノーバーストが地上気象要素に与える影響を面的に詳しくとらえるために、石狩平野内にAMeDASよりも細かい水平スケールの独自の気象観測用メソネットワークを展開し、北海道大学構内に設置した気象用レーダーから得られたデータと対比することにより、降雪エコーの侵入に伴い地上気温の降下と地上での突風が対応していることを明らかにした。このような地上気象要素の変化は間欠的なレーダーエコーの侵入に対応しており、30分～2時間の周期と約10kmの水平スケールを持っていた。また、高層気象観測データの解析から、地上での気温降下量は降雪雲内から湿潤断熱的に降下した気塊の気温に対応しており、スノーバースト発生時の雲底下の成層状態は、すべて条件付不安定となっていることが示された。これらの熱力学的構造は、雲底下の条件付不安定の解消が下降流の形成に必要であることを意味している。

1989年冬期に行なわれた、北海道大学構内に設置したドップラーレーダーによる観測から得られたスノーバースト発生時の降雪雲内部の速度構造は、対流活動の一環としての下降流の存在を示していた。スノーバーストは高度3km程度に発達した混合層内の直径約10kmの浅い対流セルが衰弱する過程で発生しており、1時間程度の短い寿命を持った対流が、混合層中層から上層の季節風の持つ運動量を効果的に下層へ輸送していた。また、スノーバースト発生直後には高度800m以下の下層に20m/s以上の突風が記録されていた。これは、混合層内中層から上層の季節風の平均的な速度(約15m/s)よりも速いことから、混合層内における運動量の輸送が効果的に行なわれていたことに加え、下降流による下層風の発散が地上の水平風を加速していたことを示している。

スノーバーストは直径10km程度の対流セルから発生しており、その対流セルの発達初期においては、対流の中層での強い上昇流と上層での発散及び対流雲上層での強い反射強度のコアがみられた。これらは、スノーバースト発生前には対流雲上層に霰粒子や濃密雲粒付きの雪粒子が多く存在していたことを意味している。スノーバースト

発生時には、反射強度のコアが下層へと輸送され、下層には約5 kmの水平スケールの発散がみられ、下降流の存在が示唆された。また、上層には雪片などによって構成されていると考えられる反射強度の弱い領域が残っていた。冬期季節風時の雲底下は気温が0℃以下で湿度が高いことから、下降流の成因として降水粒子の昇華・蒸発・融解などは主要な働きをしていないと考えられる。すなわち、スノーバーストによる下降流の形成には、密度の高い雪粒子や霰粒子が落下することによって生じる抗力の効果(Precipitation Loading)が大きいと結論付けることができた。

一方、暖候期の北海道石狩平野に発生するマイクロバーストは、数時間にわたって長続きする高度10 km以上にもおよぶ深い対流雲から生じており、発達中の積乱雲への下層のInflow(流入域)を貫くようなシャフト状の下降流によって特徴付けられていた。また、下降流の形成メカニズムとしては、スノーバースト発生時にはみられなかった強い水平収束と循環によって大きな降水粒子や霰などの集中が起こり、相対的に高温で乾いている雲底下で降水粒子が融解や蒸発によって冷却されることが最も効果的であると考えられる。

以上のような観測・解析及び理論的な考察より、冬期季節風時に発生するしゅう雪に伴う下降流は、従来から良く知られていたマイクロバーストとは異なり、スノーバーストと呼ぶべき特徴的な構造を持っていることを明らかにした。スノーバーストは、寿命の短い対流セルが衰弱する過程で発生しており、雲底下での条件付不安定の解消と霰などの降水粒子による抗力などの効果によって激しい下降流が維持されていた。地表における突風などのスノーバーストに特徴的な構造は、激しい下降流によって形成される下層での水平発散と対流の衰弱に伴い冬期季節風時の対流混合層上層の運動量が効果的に下層に輸送されていることで説明された。これらの結果から、これまで明らかにされていなかったスノーバーストの構造に対する新たな知見が得られた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 菊 地 勝 弘
副 査 教 授 播 磨 屋 敏 生
副 査 助 教 授 上 田 博
副 査 助 教 授 遠 藤 辰 雄

学 位 論 文 題 名

Studies on the Structure of Snowbursts in Winter Monsoon Surges

(冬期季節風吹き出し内で発生するスノーバーストの構造に関する研究)

冬期季節風時の日本海側で発生する積乱雲からのしゅう雪に伴う下降流は、吹雪や地吹雪を発生させる原因の一つと考えられてきたが、それらの発生、発達、消滅を通しての詳細な観測や発生メカニズムに関する検討はほとんど行なわれていなかった。本論文は、北海道西岸で冬期季節風時の積乱雲からのしゅう雪に伴う激しい下降流と、それがもたらす地表での突風をスノーバーストとして新たに認識し、その構造および発生メカニズムを明らかにしたものである。

本論文は全体で八章から構成されており、第一章の序論では、過去の研究との比較からその位置付を行い、その構造を説明する必要性を述べている。

第二章では、水平スケールが約10kmであるスノーバーストが地上気象要素に与える影響を面的に詳しくとらえるために、メソネットワークを石狩平野内に独自に展開し、北大構内に設置した通常型及びドップラー気象レーダーや連続写真等を含めて行った観測方法について述べている。

第三章では、しゅう雪時のスノートレイルには強い下降流を伴うバーストタイプと、激しい下降流を伴わないバーガタイプのあることを明かにし、10m/s程度の落下速度

を示すバーストタイプのスノートレイルがスノーバーストに対応していることを初めて明らかにし、スノーバーストをもたらすセル状レーダーエコーの侵入に際して、地上気温の降下と地上風の突風が対応していることを初めて指摘した。

第四章では、スノーバーストを熱力学的構造からとらえ、スノーバースト発生時の必要条件として雲底下が条件付き不安定であることを明らかにした。

第五章では、1989年冬期に行なったドップラーレーダーによる観測からスノーバーストは、対流セル発達初期の強い上昇流によって雲内の上部に集中してた霰粒子や濃密雲粒付きの雪粒子が、上昇流による支持を失って落下する際に激しい下降流を形成していることを明らかにした。

第六章では、スノーバーストと水平スケールがほぼ一致するマイクロバーストが1988年9月22日石狩平野内で発生した際のドップラーレーダー観測等の結果を検討している。このマイクロバーストは、寿命の長い積乱雲からのシャフト状の下降流として特徴付けられ、スノーバーストとは全く異なった構造をしていることを示した。

第七章では、スノーバーストの発生メカニズムとして、激しい下降流による下層風の発散に加え、混合層内における運動量の上層から下層への効率的な輸送が地表での水平風を加速していたこと、また、下降流の形成には雲底下での条件付き不安定の解消と降水粒子による抗力が重要な役割を果たしていることを明らかにした。

第八章では、全体のまとめを行っている。

このように、申請者は冬期季節風時の日本海側で発生する積乱雲からのしゅう雪に伴う下降流がスノーバーストと呼ぶべき特徴的な構造を持っていることを、独自に展開したメソネットワーク及びドップラーレーダー観測から明らかにした。さらに、石狩平野に暖候期に発生したマイクロバーストのドップラーレーダーによる解析から、両者は全く異なった構造及び発生機構を持っていることを明らかにした点は、気象学、特にレーダー気象学、雲物理学の分野に多くの知見をもたらした。

参考文献は11篇あり、その内10篇は欧文で、この分野で高い評価を受けている。

以上により、審査員一同は、申請者が博士（理学）の学位を受ける資格を有するものと認める次第である。