

学 位 論 文 題 名

Snowfalls and their relation to cold air drainage  
in Hokkaido Island, Japan

(北海道における降雪に及ぼす地形性寒気流出の影響)

学位論文内容の要旨

冬期北海道や本州の日本海側では、しばしば大雪が降る。これは、ユーラシア大陸から太平洋に向かって吹く冬のモンスーンが日本海で水蒸気を得て、雲をつくり、それが日本海側に降雪をもたらすためとされている。本州の場合には、その降雪集中域が大きく分けて、二種類あることが知られている。平野部に降雪が集中する場合と、山岳部に降雪が集中する場合の二種類である。ところが、北海道の降雪では、このような観点からの研究は全く行われていない。本研究は、北海道にも平野型降雪と山岳型降雪が存在することを、統計的手法を用いて明らかにした。

さらに、各降雪型がどのような大気の大規模の下で発現するかについて、客観解析データを用いてその違いを探った。山岳型降雪は、強い偏西風の軸が北海道上空に位置している状況下で起こっているのに対し、平野型降雪の場合は、偏西風の軸は本州よりも遙か南に位置している。したがって、強い西風が吹いているときには山岳に、西風が弱いときには平野に降雪が集中することになる。また、両者の降雪分布型をもたらすこのような大気の流れの違いは、日本付近だけの局地的なものではなく、北半球規模で、全く異なっていることがわかった。例えば、極東域の geopotential の偏差パターンは、山岳型降雪が発現するときと、平野型降雪が発現する場合とでは全く反対の偏差パターンであることがわかった。偏西風の位置が異なることから当然の帰結として、平野型降雪は、より寒冷な極気団に上空が覆われている時に発現するのに対し、山岳型降雪が起こっているときの上空の寒気は強くないことが示された。

また、気象衛星の雲画像と比較することによって、日本海にどのような雲が発生するときにいかなる降雪分布をもたらすかについて調べた。その結果、山岳型降雪は、日本海が筋状の雲に覆われたときに発現することが明らかにされた。平野型降雪は、渦状あるいは三日月型をした雲が北海道に侵入することによってもたらされていること

がわかった。

両降雪分布型が起こっているときの、北海道の地上風について調べたところ、両者に大きな違いが見いだされた。山岳型降雪が起こっているときの、海岸の観測点の風向は、日本海から北海道向きであるのに対して、平野型降雪の場合は、風向は北海道側から日本海へ向かっている。また、海岸地点の地上気温は、平野型降雪が起こっている場合非常に低い。これは、内陸が放射冷却によって冷えるために起こる、いわゆる海陸風循環の陸風と同等のものであると考えられる。また、この地形性寒気と、ユーラシア大陸からのモンスーンとの間のフロント付近で降雪雲がいちばん発達することから、降雪が平野に集中する。但し、この地形性寒気は継続時間が非常に長く数日間継続する場合も多く、全てが海陸風循環で説明されうるわけではない。

本研究では、平野型降雪の一つの必要条件である地形性寒気の起源および規模について、以下のような仮説を提唱した。「山地斜面を含めた石狩川流域全域の大気境界層に放射冷却によって形成された寒冷気塊が、周囲の空気よりも重いために、重力流として斜面を下降する。これらの斜面で形成された寒冷気塊は、石狩低地帯に流出し合流する。この様にして石狩低地帯に貯留された寒冷気塊が、石狩湾に流出する。この貯留された寒冷気塊は単なる陸風よりも遙かに規模が大きい。その結果、平野型降雪をもたらす際の必要条件とされている地形性寒気が止まず、降雪が長期的わたって継続する。」さらにこの仮説を統計解析及び熱物質収支を見積もることによって検証した。平野型降雪の継続時間が長いときは、石狩川全流域で生じる斜面下降流が平野部に集まり、平野部に集積された寒冷気塊が、石狩川と平行により標高の低い方向へ流出している様子が、流域の観測点の風向分布の統計から支持された。一方平野型降雪の継続時間が短い場合は、風向分布にこの様な統一性はみられず、一部の領域でしか斜面下降流が生じていない。また、流域での地上気温の分布をみると、継続期間が長い場合は、流域全体が非常に低温であるのに対して、継続期間が短時間の場合は、それほど気温は低くない。よって、寒冷気塊の量の多、少が、降雪の継続時間に大いにかかわっていることが示唆された。従って、流域全体で斜面を下降する風向分布が生じることが、平野型降雪が長期間継続する時の特徴的なパターンであることがわかった。また、北海道内陸部の大雪山の斜面に設置した無人気象観測点のデータも、仮説と矛盾ない結果が得られている。一方、山岳型の降雪の風向分布はこれとは全く反対

の方向、すなわち斜面を昇る方向になっている。

さらに、平野部に溜まる寒冷気塊と、石狩湾から流出する陸風が量的に矛盾がないかどうかを計算した。流出量は、海岸部のアメダスの風速データ及びドップラーレーダ等によって見積もられた陸風の高さを基に見積った。一方、山地斜面から平野部への流入量は、夜間には全ての斜面で一様に寒気が形成されると仮定し、それが一定の速さで下降すると仮定して水理学的手法によって見積もった。

その結果、流域面積が大きくかつ全流域面積に対する平野の比が一定の割合よりも大きいときには、流出量と流入量とのバランスがとれることがわかった。従って、この場合は長時間の流出の継続が可能である。石狩川の全流域はこの条件に一致する。しかし、流域面積が小さい場合は、流入量が少ないためにバランスがとれず、長時間継続することができない。短時間しか継続しない場合は流域面積が小さい場合、あるいは寒気形成量が少ない場合に相当する。従って、寒冷気塊の総量が少ないために継続時間も短い。以上のように平野型降雪の継続時間に対しては、背後に存在する河川地形は地形性寒気の源となる寒冷気塊の量を規定する「器」として重要な役割をはたしていることがわかった。流域面積の大きい河川を背後に持った平野部で起こる降雪は、長時間継続する潜在性がある。

以上の結果から、総観場スケールの西風が弱く極気団に北海道が覆われるときには、放射冷却が山岳地の斜面で発達し、寒気の重力流が発達し、地形性寒気が生成される。この寒気が存在するために、降雪が平野部に集中する。一方、総観場スケールの西風が非常に強く、上空の気温がそれほど低くないときには、大気が山岳によって強制上昇を起こし、対流雲が山岳地帯で発達し、降雪が山岳地帯に集中する。この場合、風が強いために放射冷却は発達せず、地形性寒気は生成されない。この様に、地形の影響の効き方が、山地型の降雪と平野型の降雪では、互いに全く異なっていることが明らかにされた。

## 学位論文審査の要旨

|     |     |         |
|-----|-----|---------|
| 主 査 | 教 授 | 竹 内 謙 介 |
| 副 査 | 教 授 | 播磨屋 敏 生 |
| 副 査 | 助教授 | 遠 藤 辰 雄 |
| 副 査 | 助教授 | 上 田 博   |

### 学 位 論 文 題 名

## Snowfalls and their relation to cold air drainage in Hokkaido Island, Japan

(北海道における降雪に及ぼす地形性寒気流出の影響)

北海道における降雪は社会的な影響も大きく、その機構の解明は気象学の重要な課題の一つとして関心を集めてきた。この降雪は主としてユーラシア大陸北部からの寒気の吹き出しが日本海より水蒸気の供給を受け、それを陸地に降雪という形でもたらすものである。しかし、特に社会生活への影響が大きい平野部への降雪がどのような条件下で起きるか等、まだ解明されていない問題も多い。近年、気象レーダー等を用いた観測により、降雪雲の構造に関して多くの知見が得られるようになってきた。しかし、これまでは事例解析による降雪雲の中小規模構造の研究が中心であったため、統計的にどのような降雪分布があり、それがどのような条件のもとで起きるかについての理解は十分とは言えなかった。申請者の研究は正にこのギャップを埋めるもので、また、降雪機構の研究に客観的、統計的な基盤を与えたものとして価値がある。

申請者は、先ず、降雪分布にどのようなパターンがあるのかを調べた。その為に気象庁自動気象観測網(AMeDAS)による石狩川流域における降雪データに回転経験的直交関数解析を適用し、主要な降雪パターンとして山岳型と平野型があることを明らかにした。本州日本海側での降雪パターンに山雪型と里雪型があることは知られていたが、この研究では北海道でも同じ様なパターンで降雪が分類され

得ることが示された。

申請者は次に、この降雪パターンがどのような条件下で起きるかについて、次の事を明らかにした。

- 1) 平野型の降雪時には偏西風がより南側に位置し、北海道では西風が弱く、また強い寒気が上空に存在する。
- 2) 日本海上の雲の形状が、山岳型降雪時には筋雲状であるが、平野型時では三日月型や渦型の雲分布が北海道沖で発生している。
- 3) 平野型の降雪時には石狩川河口付近から日本海への寒気の流出がある。

これまでの研究でも、三日月型や渦型の降雪雲が札幌市周辺に集中的な降雪をもたらす事が指摘されていたが、この様に雲の形状と降雪分布の間に明瞭な統計的關係が有る事が示されたのは初めてのことである。また、この様な降雪雲の形成における、北海道からの寒気流の役割が指摘されていたが、この研究により客観的に裏付けられた。

この北海道からの寒気流出は、従来、陸地の夜間冷却による海陸風と考えられてきた。しかし、申請者はこの様な寒気の流出は時として数日間持続する事が有る事を見出し、単なる海陸風では説明が付かないと考えた。そこで、申請者は寒気の形成は石狩川流域全体で起こり、これが地形にそって下降して平野部に溜り、日本海に流出するという大胆な仮説を立てた。これを立証するためにAMeDASのデータを解析し、平野型降雪時には地上風の主方向が下流方向であり、また気温も平年値より低い事を示した。また、平野型降雪が1日以上継続する場合は、短期に終了する場合よりこの傾向が更に強い事、更に補助的に用いた山岳地での観測結果等もこの仮説を支持することが示された。

これらの結果をまとめると、次の様なシナリオが浮かび上がる。北海道上空に強い寒気が入り陸地が強く冷却され、流域規模で形成された寒気が平野部に集積され日本海側に流出し、大陸からの季節風との間に生じる収束場によって渦状等の降雪雲が形成され、平野部に激しい降雪をもたらす。

北海道の降雪に関し、これまで推測に留まっていた事項に客観的な裏付けを与え、また全体を統一的なシナリオにまとめあげた事は、降雪現象の研究に対する大きな貢献として評価される。このシナリオは他の大きな河川の流域の降雪にも適用出来る可能性があり、また、海陸風の機構の研究にも一石を投じるものでもある。審査員一同は、申請者がこの研究で示した独創性と緻密な解析力は高く評価し、申請者が博士（理学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認定した。