

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	えいと ひさき 永 戸 久 喜
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	論 理 博 第 号
学位授与の日付	平成 24 年 3 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
(学位論文題目) Studies on cloud bands causing heavy snowfalls during a cold air outbreak over the Sea of Japan (日本海への寒気吹き出し時に大雪をもたらす雲バンドに関する研究)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 余田 成男 教授 里村 雄彦 教授 石川 裕彦 教授

(論文内容の要旨)

本論文は、冬季日本海上で寒気吹き出し時に発生するメソスケールの雲バンドに関する研究である。それらのなかで、日本海沿岸に発生する「降雪バンド」や、朝鮮半島の付け根付近から日本列島にかけて形成される日本海寒帯気団収束帯（JPCZ）上に発生する「JPCZ 雲バンド」（「带状雲」とも呼ばれる）は、しばしば日本海沿岸地方の海岸平野部に大雪をもたらすことが知られている。しかし、詳細な観測データの不足や高解像度の数値実験の不十分さにより、それらの理解が十分に進んでいなかった。申請者は、北陸地方の海岸平野部を中心に大雪となった 2001 年 1 月中旬の事例について、その時期に行われていた野外特別観測（冬季日本海メソ対流系観測-2001:WMO-01）のリモートセンシングを中心とする高分解能観測データ、および水平分解能 1km の雲解像領域数値予報モデル（気象庁非静力学モデル：JMA-NHM）の再現実験をもとに、これらの雲バンドの構造と発生・維持機構について総合的な研究を行った。

まず、WMO-01 期間中の 2001 年 1 月 16 日に富山湾付近から新潟県の日本海沿岸地方にかけて発生・停滞して大雪をもたらしたメソ β スケールの降雪バンドについて、その構造と発生・維持機構を研究した。ドップラーレーダー及び境界層レーダーの観測データから、降雪バンドの内部構造およびバンド内部とその周辺の気流構造を解析した。降雪バンドは、相対的に暖かい海面から潜熱・顕熱の補給を受けた北西季節風と冷たい南からの陸風との収束域上に発生していた。そして、降雪バンドの北側部分では水平規模が数 km の対流性降雪セルが形成され、それらが東南東に進行するとともに発達・併合することにより、降雪バンド内に約 10km 程度の対流性降雪システムが形成されていた。また、高頻度のゾンデ観測データの解析から、降雪バンドの下層には厚さ数百 m の冷氣層が持続して存在することがわかった。さらに、JMA-NHM による再現実験結果の解析と感度実験により、この冷氣層は雪の昇華蒸発に伴う非断熱冷却によって形成されていたことを明らかにした。この冷氣層は、降雪バンド形成後に弱まった陸風を補う形でバンド北側での北西季節風の収束の維持に寄与しており、降雪バンドの維持にとって重要な役割を果たしていた。

次に、朝鮮半島の付け根付近から若狭湾付近まで南東方向に伸びる JPCZ 上で、2001 年 1 月 14 日に発生し持続した JPCZ 雲バンドについて調べた。JPCZ 雲バンドは、その南西端に位置する「発達したバンド状対流雲」と、それに直交する「直交型筋状雲」の二種類の雲バンドから形成されているが、これらのうち、それまで十分に明らかにされていなかった直交型筋状雲の構造と発生機構について研究した。衛星画像、航空機搭載雲レーダー及び気象観測船による海上でのゾンデ観測データの解析から、直交型筋状雲の構造について以下のような特徴を明らかにした。①混合層内の水平風の鉛直シアベクトルの向きに平行に、北東から南西の方向に伸びていた。②主に対流雲から形成されており、個々の対流雲は高さとともに鉛直シアの下流方向に傾いていた。③混合層の発達に伴い南西側ほど背が高く幅が広がっていた。また、JMA-NHM による数値実験結果の解析から、直交型筋状雲は混合層内の鉛直シアベクトルの方向に平行な軸を持つロール状循環に付随していたことを示した。さらに、運動エネルギー収支解析を行い、ロール状循環は基本場の鉛直シアと浮力によって駆動されていることも明らかにした。

さらに、海上ゾンデ観測データと数値実験結果の解析から、直交型筋状雲は下層に対流不安定な気層を伴っていることを明らかにするとともに、ドップラーレーダー観測データの解析から、直交型筋状雲が降雪バンドに流入する傾向も確認した。そして、これらの結果をもとに、下層に対流不安定な気層を伴う直交型筋状雲の流入が降雪バンドの発生・維持に重要な役割を果たしている可能性を指摘した。

(論文審査の結果の要旨)

冬季のメソ対流系擾乱は、社会的影響も大きい大気現象であるが、総観規模の擾乱と比べてその時空間規模が小さいために、従来の現業観測網や数値予報モデルでは十分に解像することができず、さらにその多くが海上で発生するために観測自体が限られており、その詳細な構造や生成・維持機構について十分な理解は得られていなかった。本研究では、冬季のメソ対流系擾乱のうち、同じ場所に停滞して大雪をもたらすことが多い雲バンドに着目し、高分解能のリモートセンシングを中心とした野外観測データと雲解像モデルによる再現実験の解析結果をもとに、それらの構造と発生・維持機構について明らかにした。

日本海沿岸地方で発生し停滞して大雪をもたらした降雪バンドについて、ドップラーレーダーデータの解析により、その内部構造や気流構造を明らかにするとともに、新開発の境界層レーダーのデータを用いて、降雪粒子が存在しない場所・時間での気流構造まで解析した。これにより、降雪バンド発生直前の陸風の卓越を捉える事に成功し、その発生機構の解明に寄与することができた。さらに、水平分解能が 1km という、当時の現業用モデルよりも一桁以上高い分解能の非静力学雲解像モデルを用いた数値実験によって、降雪バンド下層に生成された冷氣層の成因を突き止めた。降雪バンドの維持に対する冷氣層の寄与はこれまで確認されておらず、この研究は降雪バンドの維持機構についての新たな知見を与えるものである。

朝鮮半島の付け根付近から若狭湾付近まで南東方向に伸びる形で日本海上に発生し持続した JPCZ 雲バンドのうち、3次元的な構造が明らかにされていなかった直交型筋状雲について、本研究では、航空機搭載雲レーダーによる海上雲の観測データを解析することで、その詳細な構造をはじめて明らかにした。また、気象観測船上でのゾンデ観測データにより、通常は観測困難な海上での大気の力学的熱力学的構造の特徴を把握した。さらに、高分解能の数値実験結果の解析から、直交型筋状雲が混合層内のロール状循環に付随しており、このロール状循環は基本場の鉛直シアと浮力によって駆動されていることを明らかにした。これらの結果は先行研究で可能性が示唆されていたが、詳細な観測のデータ解析と高分解能の数値実験結果により確認されたのは初めてである。さらに、本研究では、下層に対流不安定な気層を伴う直交型筋状雲の流入が、降雪バンドの発生・維持に重要な役割を果たしている可能性も指摘した。

氏 名	永 戸 久 喜
-----	---------

この研究は、日本海への寒気吹き出し時に北陸地方海岸平野部に大雪をもたらす雲バンドの発生・維持機構について、詳細な野外特別観測データの解析と高分解能の数値実験により、日本海寒帯気団収束帯を中心とした統一的な新視点をもたらすものである。また、境界層レーダーデータや非静力学モデルを用いた部分は、その後、気象庁において新たに現業化された測器や数値予報モデルの実証試験の意味も有している。このように本研究は、申請者のメソ気象学および数値モデル実験に関する力量の高さを立証するものであり、また、メソ気象学および応用気象学の発展に寄与するものとして高く評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 9 月 21 日に論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。