

学 位 論 文 題 名

Studies on the Mechanisms of Local Heavy Rainfalls
in the Orofure Mountain Range, Hokkaido, Japan.

(北海道オロフレ山系における局地的大雨の発生機構に関する研究)

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

北海道は日本の他の地域に比べて、年平均降雨量と大雨の回数が少ないことが、一般に知られている。しかし、太平洋に面した北海道南西部の、苫小牧から白老・登別にかけてのオロフレ山系南東斜面では、比較的年平均降雨量が多く、日雨量90mmを越える大雨も年間3、4回発生することが知られている。また、この地域はしばしば大雨による洪水と地滑りにみまわれてきた。大雨の発生機構が解明されれば、適切な予報をとおして洪水とそれによる被害も軽減できると思われる。

北大理学部地球物理学科気象学研究室では、この地域の大雨の研究を10年以上にわたって続けてきたが、降水雲の3次元構造や雲内の気流の循環などについてはまだ明らかにされておらず、大雨の発生機構は完全には解明されていない。本研究の目的は、この地域における大雨の発生及び増幅機構と、上空を通過する降水雲に対する地形の影響を明らかにすることである。そこで、1985年と1986年の8月下旬から9月上旬にかけて、この地域に自記雨量計、風向風速計、微気圧計からなる独自のネットワークと移動型の気象レーダーを設置して降雨観測を行った。また、1989年にはドップラーレーダーを用いて観測を行った。解析は1985年と1986年の観測期間中に50mm以上の降雨を記録した5事例と、1989年の期間中に観測域上空を降水雲が広くおおった3事例について行った。

降雨量がオロフレ山系南東斜面に集中するような大雨は、地上風向が山系に直交する方向の南から南東の場合に発生していた。一方、降雨量が広い範囲に分布する場合には、地上風向は北西から北北東であった。そして、南もしくは南東風の吹く状況は、

総観場としては低気圧が日本海上に停滞するか、北海道上空には入らずに日本海上を北東に移動する時に生じ、秋田沖に低気圧が停滞する場合が典型的といえる。さらに、オホーツク海上の高気圧からの吹き出しが、この地域で南東風となる時にも100 mmを越す大雨が発生しうることに注意しなければならない。またこのような状況においては、下層の水蒸気は南東側から、観測域を含む広い三角形領域に流入することが、水蒸気流束解析から明らかになった。

南東風以外の時にもこの地域で大雨は発生し、いくつかの降雨事例においては上空を通過する降雨システムに対する地形の影響が見いだされた。様々な機構によって生じる上昇流を、観測結果等から定量的に評価することによって、この地域の大雨の発生及び増幅の機構の重要性を考えた。その結果、「強制上昇」が $0.2\sim 0.6$ m/sという、考えられる機構の中で最も強い上昇流を発生させることがわかった。従って、オロフレ山系南東斜面に集中する大雨の主原因は、太平洋上から吹き込む、湿った暖かい南もしくは南東風の、斜面に沿った「強制上昇」と結論づけられた。

次に、主に山系と直交して流れる川に沿った谷地形によると考えられる「水平収束」は、地上風の観測から $1.5\sim 3.0\times 10^{-4}$ sec⁻¹となり、これが山間部の降水雲を維持し降雨量を増加させていたと考えられる。この水平収束に伴う上昇流の大きさは、 $0.1\sim 0.2$ m/sとみつもられた。また、ドップラーレーダーによって得られた降水雲内のドップラー速度のデータを、VAD法、VVP法を使って解析したところ、下層の風向が東南東から南の時には、観測域南西部の南東に張り出した二つの尾根によって気流が分けられ、尾根の間に集中し、その結果生じる水平収束が降水雲を発達させていたこともわかった。

一方海岸部では、海陸表面の粗度に不連続があるため、「摩擦による収束」が生じる。この摩擦による収束が、登別市付近の海岸部上空の背の低い降水雲の形成と増幅に寄与していたことがわかった。この収束量は $2\sim 4\times 10^{-4}$ sec⁻¹とみつもられ、それに伴う上昇流は $0.1\sim 0.2$ m/sと考えられた。

層状降水雲が、この南東斜面上空を通過した事例においては、降水雲が地形の影響を受けていることが確認された。つまり、融解層付近の上空から供給される降水粒子はほぼ一様であるにもかかわらず、「地表付近の風が吹きつける斜面に沿った上昇流」のために、南東に張り出した尾根付近のみで降水雲は下層で発達し、その結果、尾根

の周閉で降雨量が多くなった。

また、中立もしくは対流不安定の成層が上空まで広がった場合には、エコートップが10kmを越える活発な対流性の降水雲が南東斜面上空で発達した。この降水雲は、平野部でバンド状を呈し、「シアーライン」上の収束による上昇流で維持されていた。このシアーラインは海からの南よりの風と、山間部から吹きおろす北よりの風の間で形成され、収束量は $2.0 \times 10^{-4} \text{sec}^{-1}$ とみつもられた。

「内部重力波」の通過もまた、観測域で降雨量を増加させる一つの機構としてはたっていることが、微気圧データのスペクトル解析とフィルター処理によってわかった。観測された周期約3.6時間、振幅0.3~0.6mbの内部重力波は約 $1.0 \times 10^{-4} \text{sec}^{-1}$ の水平収束を引き起こし、約0.1 m/sの上昇流が発生したと考えられる。

さらに、雲の二層構造による「seeder-feederメカニズム」をとおしての降雨の増幅を、世界で初めて、レーダー観測によって直接明らかにすることができた。すなわち、擾乱に伴う上空の降水雲が下層の地形性降水雲の上を通過した時、両者の降水粒子の間で衝突・併合過程といった相互作用が起こり、山間部の降雨量が60~70%も増加したことがわかった。擾乱に伴う降水雲、地形性降水雲、両者の相互作用の降雨強度に対する寄与の比はおよそ1:2:2となり、相互作用の重要性は明らかである。

これらの増幅機構が強制上昇とともにいたり、あるいはいくつかの機構が組み合わされることによって、オロフレ山系南東斜面で大雨が発生したと考えられる。特に、「強制上昇」による上昇流と「seeder-feederメカニズム」による効率のよい増幅がこの地域では重要であることが明らかになった。

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

北海道は日本の他の地域に比べて、平均降雨量と大雨の回数が少ないことが、一般に知られている。しかし、太平洋に面した北海道南西部の、苫小牧から白老・登別にかけてのオロフレ山系南東斜面では、比較的年平均降雨量が多く、日雨量90mmを超える大雨も年間3、4回発生し、しばしば洪水や地滑りにみまわれてきた。

北大理学部地球物理学科気象学研究室では、この地域の大雨の研究を続けてきたが、気象レーダーを使つての降水雲の三次元構造や雲内の気流の循環等についてはまだ明らかにされておらず、大雨の発生機構は完全に解明されていない。

本研究は、この地域における大雨の発生及び増幅機構と、降水雲に対する地形の影響を明らかにした、第1章の序論から第9章の結論まで、9章から構成されている。

第1章は序論であり、これまでに行われてきた地形性降雨の研究を総括し、本研究の目的を述べている。第2章では、1985年と1986年の8月下旬から9月上旬にかけて行った、自記雨量計、風向風速計、微気圧計からなる独自のメソスケールネットワークと移動型気象レーダー、また1989年にはドップラーレーダーによる降雨観測について説明した。第3章では、観測期間中の全降雨について水蒸気流束解析を行い、オロフレ南東斜面での大雨の特徴を総観場、中規模場から明らかにした。

第4章では、オホーツク海高気圧からの吹きだしによつても、日雨量100mmを超える大雨が発生しうることを、そして山間部に降雨をもたらす上昇流は $0.1 \sim 0.2 \text{ m/s}$ と見積つた。また海岸部の降雨は強制上昇と海陸表面の粗度の違いによる収束が原因であることを明らかにし、上昇流を $0.1 \sim 0.2 \text{ m/s}$ と推定した。

第5章では、擾乱に伴う降水雲の事例について解析を行い、特に内部重力波の通過もこの地域の降雨量を増加させる一つの機構として働いていることを微気圧データのスペクトル解析とフィルター処理によつて明らかにし、これに伴う上昇流を 0.1 m/s と見積つた。

第6章では、雲の二層構造による Seeder-Feeder メカニズムを通しての降雨の増幅効果を、レーダー観測によって世界で初めて明らかにした点は高く評価される。すなわち、擾乱に伴う上空の降水雲が下層の地形性降水雲の上を通過した時、両者の降水粒子の間で衝突・併合過程といった相互作用が起こり、山間部の降雨量が60～70%も増加することをつきとめた。降雨強度に対する擾乱に伴う降水雲、地形性降水雲、両者の相互作用の寄与の比は、およそ1:2:2となり、相互作用の重要性を具体的に明らかにした。

第7章では、1989年に行ったドップラーレーダーの観測結果をVAD法やVVP法を使って解析し、下層の風向が、東南東から南の時には、観測域南西部の南東に張りだした二つの尾根によって気流が分けられ、尾根の間に集中し、その結果生じる水平収束が降水雲を発達させていることを明らかにした。特に、二次元性を仮定した計算結果とはいえ、オロフレ山系南東斜面のRHI断面上での気流の循環系と、反射強度の分布を対応づけたことは、この地域の降雨機構を理解する上で重要な貢献を行ったものであり、高く評価される。

第8章は考察であり、様々な機構によって生じる上昇流を観測結果等から定量的に評価した。その結果、高温多湿の南東気流に対する南東斜面という地形が、0.2～0.6 m/sの強制上昇を発生させていることを明らかにした。

第9章は本研究で得られた数々の知見をまとめたものである。

このように、申請者は北海道南西部オロフレ山系南東斜面の局地的大雨の発生活機構を水蒸気流束解析、独自にセットした雨尺計、風向風速計、微気圧計などのメソスケールのネットワーク、レーダー観測および解析を通して明らかにした。すなわち、局地的大雨の主たる原因は、太平洋上から吹き込む暖かい湿った南東風の谷地形に沿った強制上昇であり、それにいくつかの増幅機構が組み合わさった結果であり、特に強制上昇による上昇流とSeeder-Feederメカニズムによる効率のよい増幅が重要であると示唆した点は、気象学、特にメソ気象学、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。特に、第6章で述べた結果は、1988年西ドイツで行われた第10回国際雲物理学会議でベスト・ポスター賞を受賞した。

参考論文は5篇であり、そのうち3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、審査委員一同は、申請者が理学博士の学位を受ける資格を有するものと認める次第である。