



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道胆振管内森野での垂直レーダーによる降水雲の観測
Author(s)	藤吉, 康志; FUJIYOSHI, Yasushi; 遠藤, 辰雄 他
Citation	低温科学. 物理篇, 43, 113-123
Issue Date	1985-03-18
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18505
Type	departmental bulletin paper
File Information	43_p113-123.pdf



北海道胆振支庁森野での垂直レーダによる降水雲の観測*

藤吉康志・遠藤辰雄・山田知充

(低温科学研究所)

(昭和59年10月受理)

I. 緒 言

北海道胆振地方のオロフレ山系は、北海道の豪雨地帯である。森野（第6図参照）はその中でも、最大降雨量をしばしば記録することで知られている。オロフレ山系の土壌は火山灰であり、豪雨が生ずると火山灰は泥流化し、山裾にある都市に多大な被害を与える。従って、胆振地方の豪雨の実態及びその降雨機構を明らかにすることは、雲物理学的興味以外に、災害科学的な観点からも極めて重要である。

北海道の4月から10月までの年間平均雨量の分布を見ると、降雨量のピークは胆振地方に存在し¹⁾、この地方の豪雨が明らかに地形性豪雨であることを示している。又、この地方の豪雨は、低気圧が通過する際に多く発生している¹⁾。即ち、胆振地方の豪雨の多くは、低気圧に伴った降水雲系がこの地方を通過する際、地形によって何らかの影響を受けて降水機構が変化した結果生ずると考えられている。

オロフレ山系のような山岳斜面が存在することによって、その地域に豪雨が生ずることを説明するためのモデルが、これまでにいくつか提唱されている^{2)~7)}。それらの共通点は、雲を、地形によってその地域に固定して形成される雲（地形性の雲）と、移動しながらその地形効果を受ける雲とに分け、それら自身或いは、それらの雲の間での相互作用によって増雨効果が生ずるという考え方である。しかし、どのようなタイプの雲（例えば、層状雲か対流雲）が、いつ、どの高さ、どの場所で発生し、どの程度発達するかは、その時の大気状態と地形によって様々に変化する。それにも拘らず、毎年或る時期、特定の地域に豪雨が生ずるということは、その地域特有の豪雨発生機構が存在することを示唆している。しかし、現段階では、全ての地形性豪雨の発生を予測し得る一般的な理論は無く、各豪雨地帯で観測し、解析を行う必要がある。

菊地らは、オロフレ山系に、気象庁のAMeDAS以外に独自に、長期巻自記雨量計を設置し、降雨分布及びその時間変化を詳細に調べた⁸⁾。その結果、彼らは降雨パターンを、(1)山岳性降雨型、(2)海岸性降雨型、(3)均一性降雨型の3種類に分類した。彼らは又、山間部の森野と、海岸部の白老の2地点で雨滴の粒径分布を測定し、豪雨時には、森野で白老に見られない二山型の粒径分布を得たことから、山岳部には対流性の雲が発達していることを示唆した⁹⁾。これ

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2680号

らの観測結果を基に、彼らはオロフレ山系で豪雨をもたらす降水雲のモデルを作った。

しかし、この地域ではこれまで、豪雨をもたらす雲（ないしは雲系）自体の観測は行われていないため、それらの大きさ、力学的構造、微物理学的過程については不明な点が多い。

そこで我々は、豪雨をもたらす雲の構造についての知見を深めることを目的として、1983年8月25日から9月6日までの約2週間、オロフレ山系で、北大理学部気象学講座と時期を合わせて観測を行った。本来地形効果を見る為には、地形の効果を受ける前の雲の構造、地形効果を受けている雲の構造、更に地形効果を受けた後の雲の構造を比較する必要がある。移動中の雲系のレーダーエコー構造の変化については、気象学講座が、苫小牧に設置したPPIレーダーを使って観測を行った。

本論文は、最も地形効果を受けている段階の雲の構造を明らかにする目的で行った、白老から約12 km 山側に位置する森野での垂直レーダー観測の結果について主にまとめたものである。

II. 観測方法

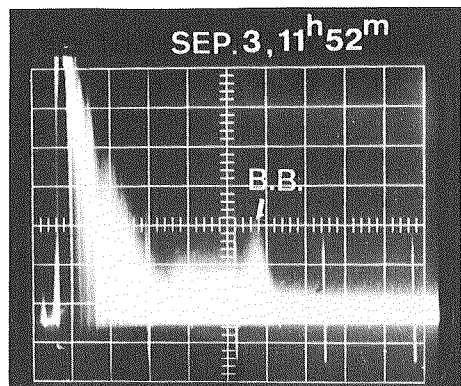
オロフレ山系の降雨分布をより詳しく調べるため、気象学講座が設置した雨量計に加えて、樽前山麓に新たに10台の長期巻自記雨量計を設置した(図6(a)参照)。又、降水雲の微細構造に対応した降雨強度の短時間変動を調べるため、森野と白老の2地点にラピッド雨量計を設置した。

我々が森野に設置したレーダーは、波長3.2 cm、長さ2.4 m、巾15 cmの船用スロットアンテナで、これを上方に向けて固定し、垂直レーダーとして使用した。水平・垂直ビーム幅はそれぞれ、0.95°と18°であり、高度5 kmでのビームの広がりはそれぞれ、83 m、1.57 kmとなる。ビーム幅は1.0 μsであり、従って高度距離分解能は150 mである。即ち、このレーダーの高度5 kmにおけるサンプリング体積は、83 m × 1.57 km × 150 mである。

レーダーエコーの鉛直分布は、オシロスコープ上に映ったエコー（第1図）を2分間隔で撮影し、後で値を読み取って調べた。ただし、本レーダーでは距離補正を行っていないので、スコープ上の値をそのまま読むと、ブライトバンドを除いてほとんど常に近距離の方が、遠距離に比べて値が大きくなってしまう。そこでここでは、降雨が無いときの各高度のノイズレベルの大きさを調べ、その値に対して何%大きいかを計算し、その比を相対強度と名づけて解析に使うこととした。

例えば、高度2 kmのノイズレベルが0.3 Vであり、エコー強度が0.6 Vであれば、相対強度は、

$$\left(\frac{0.6}{0.3} - 1 \right) \times 100 = 100 (\%)$$



第1図 オシロスコープ上で受けた、受信信号。縦軸は受信強度、横軸は掃引時間（高度は（電波の伝搬速度 × 掃引時間）/ 2 で計算される）。図中、矢印で示した箇所がブライトバンドである

となる。この相対強度を使うと、高度が異なっても互いの値を比較することができる。

しかし、この方法は便宜的なものであり、降水粒子の成長過程を議論するような定量的解析はできない。本レーダーから得られる情報は、エコー頂高度の時間変化、ブライツバンドの有無（氷晶過程を含む雲か否か）、ブライツバンド高度（0℃高度）、及び、対流性の雲と層状性の雲との判別、雲の水平方向の広がりである。これまで、森野を含む豪雨地帯は、既存のレーダーからは死角となっていたため、雲の鉛直構造は不明であった。従って、定性的ではあっても、森野において垂直レーダーを使うことにより、雲の鉛直構造に関して新しい知見を得ることができる。

Ⅲ. 観測結果と考察

1. 1983年8月29日から31日にかけての降雨

8月29日から31日にかけての降雨が、観測期間中最も降雨量が多かった。降雨量の水平分布¹⁰⁾を見ると、降雨量は山側よりも海側に多く、海岸性降雨型⁸⁾に似た分布をしている。しかし、降雨量の水平分布を良くみると、降雨量のピークが、海岸より少し山側に入った地点と、樽前山麓の2ヶ所にあることが分る。この降雨パターンがどの程度の頻度で、どのような条件の下で現われるのかについては、今後、観測例を増やす必要がある。

このケースについては、森野での垂直レーダーの故障によりデータが欠落したため、雲の構造について議論することができなかった。

2. 1983年9月3日から4日にかけての降雨

このケースでは、観測期間中最大の10分間降雨強度(>50 mm/hr)が観測された。降雨量の水平分布¹¹⁾を見ると、降雨域が西から東へと移動しながら、オロフレ山系で降雨が強くなっていたことが分る。又、この降雨量の水平分布を見ると、海岸部よりも山側に降雨量が多く、山岳性降雨型⁸⁾に極めて良く似ている。

第2図は、気象衛星ひまわりの画像である。図から分るように、この降雨は、低気圧の暖域内で形成され（第4図参照）、秋田沖で急速に発達し、北海道を縦断して行った雲系からもたらされたものである。この雲系は、“コンマ状雲”と呼ばれ、突発的な豪雨をもたらすことが知られている¹²⁾。

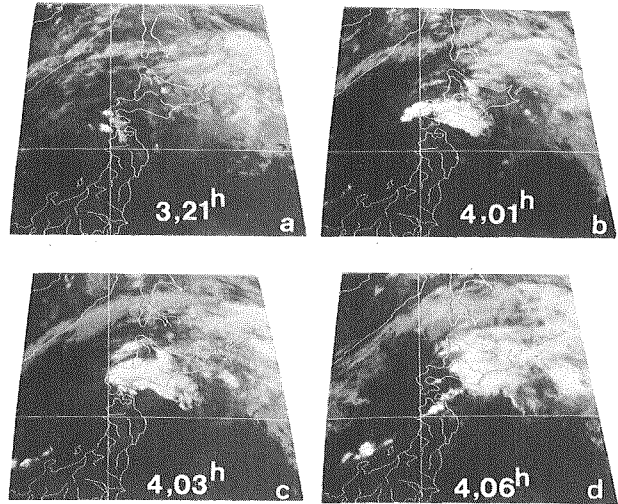
第3図は、レーダーエコーの相対強度の時間高度断面図と、ラピッド雨量計で測定した10分間降雨強度の時間変化である。午前1時以前は、高度4.3 km付近にブライツバンドが現われており、層状性の雲からの降雨であったことを示している。強い雨が観測された1時から2時30分の間では、エコー頂高度が7 km前後の対流雲が二つ、観測点上空を通過して行ったことが分かる。2時30分以降は、エコー頂高度が5 km前後の小さい対流雲からの降雨で、雨は強くない。

第4図は、地上と700 mbの天気図である。低気圧の北上に伴って、南から暖い空気が北の方に顕著に入り込んでいる。第5図は、森野で大雨が降った時間帯前後の、札幌におけるゾンデデータから得た、気温と風向・風速の鉛直分布である。気温の鉛直分布はどの時間帯を見ても、湿潤断熱線(Γ_w)よりも気温の減率が、極く下層を除いて大きく、対流不安定な成層をして

いたことが分る。風向・風速の時間高度断面図からは、3日の9時から21時の間に、850 mb以下に15 m/s以上の下層ジェットが、オロフレ山系に対してほぼ直角の南東の風向で吹いていたことが分る。一方、雲の動きは、ほぼオロフレ山系の走向と平行で、北東方向であった。

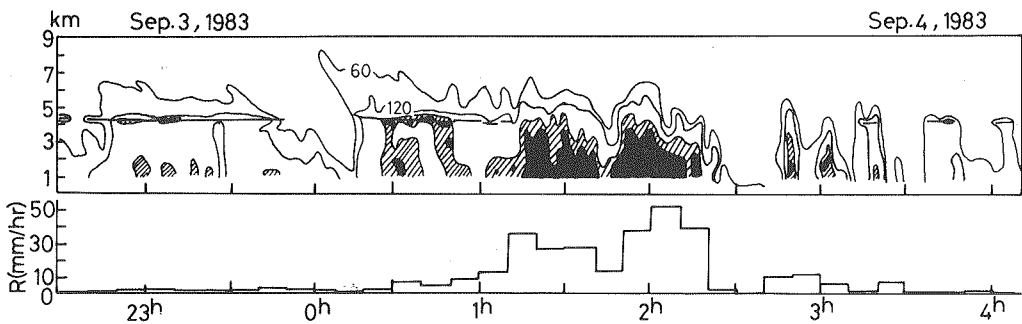
即ち、このケースの降雨は、北東に向って移動してきた雲系へ、オロフレ山系によって強制的に上昇させられた下層ジェットに乗った暖い湿った空気が、進行方向に対して直角に入り込むことにより、発達あるいは降水能率が增大した

対流雲によってもたらされるものと考えられる。同様な下層ジェットの存在は、対流性山岳性降雨の場合に近野ら⁹⁾によって見出されている。

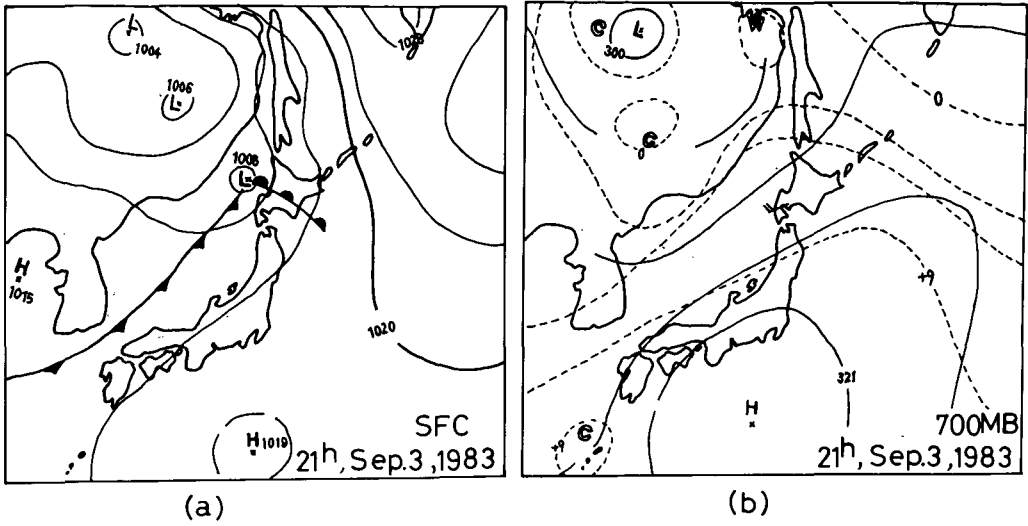


第2図 気象衛星ひまわりの赤外画像

- (a) 9月3日21時
- (b) 9月4日1時
- (c) 9月4日3時
- (d) 9月4日6時

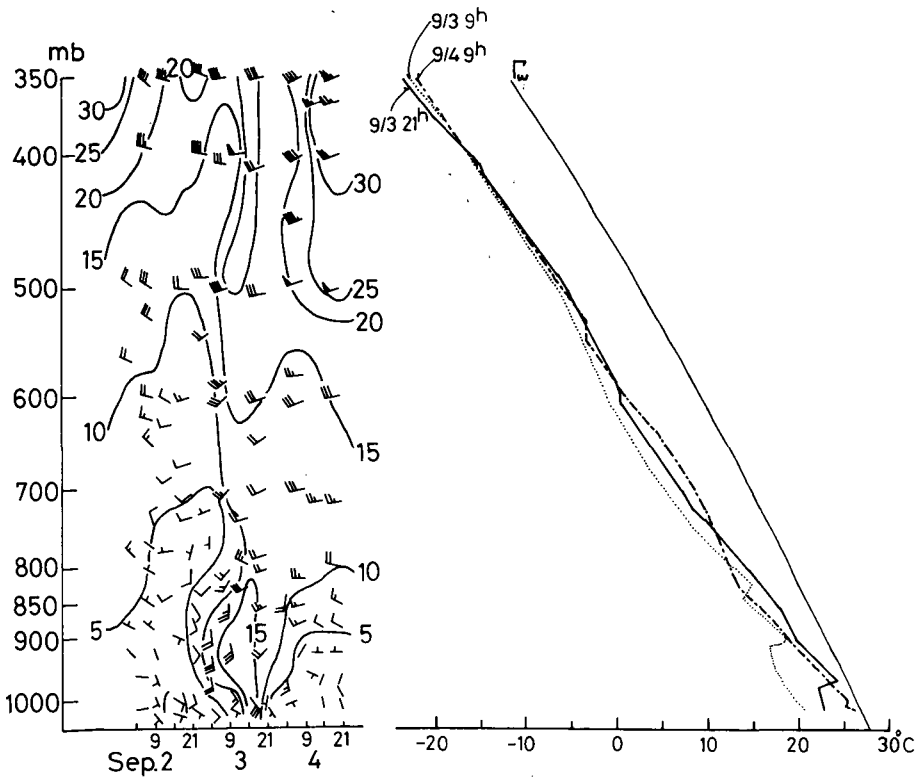


第3図 1983年9月3日から4日にかけてのレーダーエコーの相対強度の時間高度断面図(上)と、ラピッド雨量計で得た10分間降雨強度の時間変化(下)。斜線部は、相対強度が480%以上、黒く塗った部分は、540%以上の領域を意味する。4.5 km付近の横線は、ブライトバンドに対応する



第4図 1983年9月3日21時の天気図

(a) 地上
(b) 700 mb

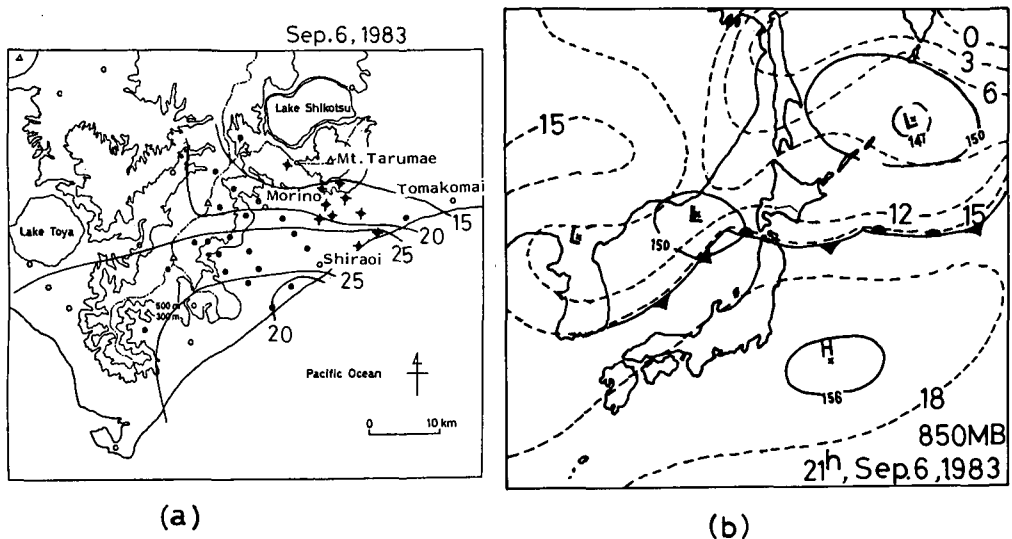


第5図 札幌における気温の鉛直分布(右)と、風向・風速の時間高度断面図(左)

3. 1983年9月6日の降雨

第6図aに示した日降雨量の水平分布から分るように、前の例とは異なり、地形的な降雨

の増加が全く見られない。この分布は、均一性降雨型⁸⁾と良く似ている。第6図bに示した850 mbの天気図から分るように、この日は、南の暖い空気がほとんど北に入りこんでいない。又、下層及び上層の風は共に、北西寄りであった。このことは、地形による下層空気の上昇が起こりにくい状況にあったことを示している。

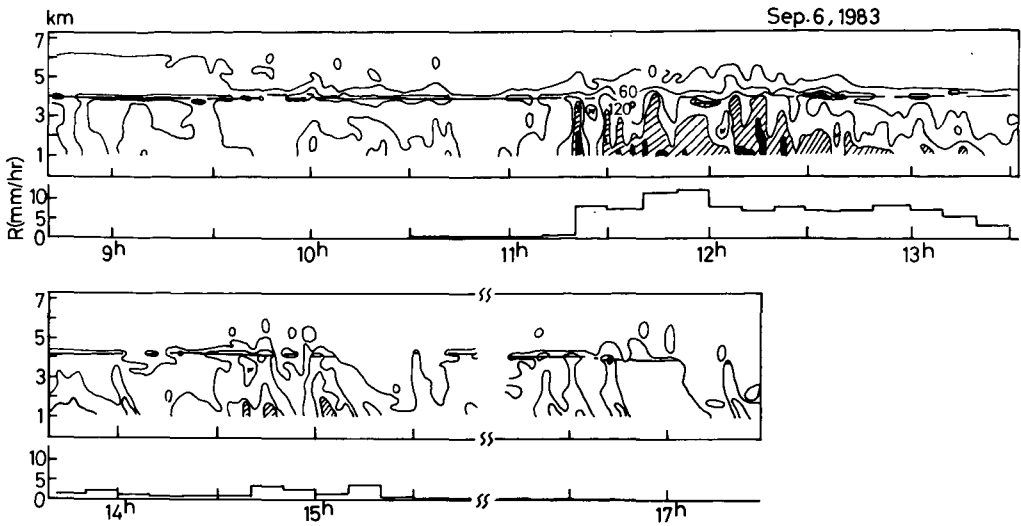


第6図 (a) 1983年9月6日の日降雨量の水平分布
 + : 北大低温研の雨量観測点 (長期巻自記雨量計を設置)
 ● : 北大理学部気象学講座の雨量観測点
 ○ : 気象庁の AMeDAS
 ⊕ : 北海道庁の雨量観測点
 ラピッド雨量計は、白老と森野に設置した。
 (b) 1983年9月6日21時の850 mbの天気図

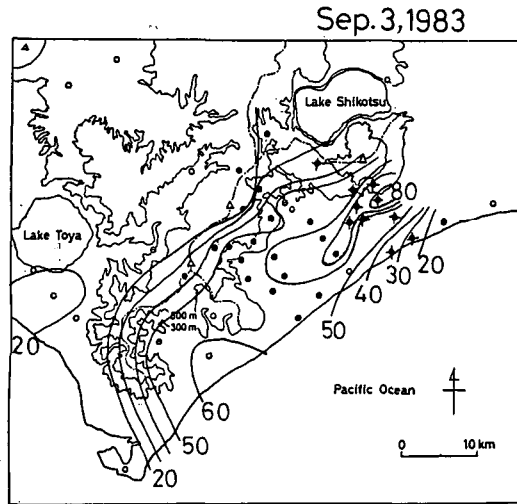
第7図は、レーダーエコーの相対強度の時間高度断面図と10分間降雨強度の時間変化である。観測時間中ほとんど常に、高度4 km 付近にブライトバンドが現われているが、降雨が多かった11時20分から13時30分の間では、間欠的にブライトバンドが消え、エコートップもやや高くなっている。このことは、中層層状雲と下層対流雲とが同時に存在したときに、特に降雨が多くなっていたことを示している。しかし、この対流雲は、エコートップが低く、かつ降雨継続時間及びエコー強度の時間変化が短いことから、雲のスケールが小さく、前述の大雨をもたらした対流雲と比べて、余り発達していないことが分る。

4. 1983年9月3日の降雨

9月3日の日降雨量の水平分布を第8図に示す。この図から分るように、オロフレ山系の尾根を境に、海岸方向に急速に雨量の増加が見られるが、山間部と海岸部とで降雨量にほとんど差が無い。しかし、樽前山麓で降雨量のピークが見られる。この日降雨量のピーク値は89 mmを越え、比較的強い雨であった。樽前山麓でのピークは、8月29日から31日にかけての降雨のときにも現われており、このピークが偶然に生じたものではないことを示唆している。

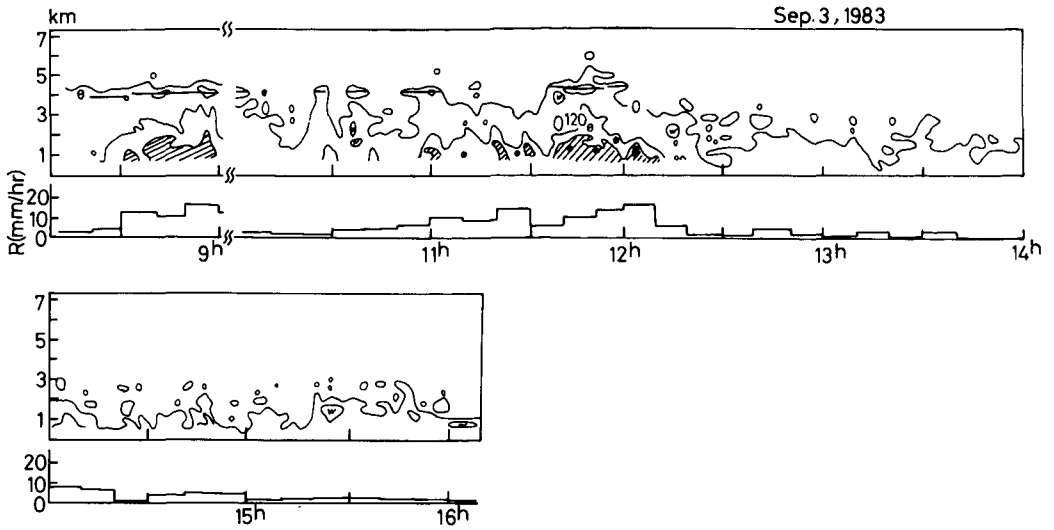


第7図 1983年9月6日の、レーダーエコーの相対強度の時間高度断面図(上)と、ラピッド雨量計で測定した、10分間降雨強度の時間変化(下)。斜線部、黒く塗った部分、横線の意味は第3図と同じ



第8図 1983年9月3日の日降雨量の水平分布

第9図は、相対強度の時間高度断面図と、10分間降雨強度の時間変化である。図から、12時頃までは、高度4 km 付近にブライトバンドが現われており、それ以降は、エコトップが約3 km の下層対流雲が通過して行ったことが分る。9月6日の例とは異なり、下層対流雲が活発であったときでも、ブライトバンドが現われている。このことは、下層対流雲の雲頂が4 km 以下であることを意味する。従って、この降雨システムは、4 から6 km に存在する薄い中層降水雲と、4 km 以下に存在する下層対流雲とから構成されており、降雨量の多くは、両者が同時に存在したときにもたらされている。



第9図 1983年9月3日の、レーダーエコーの相対強度の時間高度断面図(上)と、ラピッド雨量計で測定した、10分間降雨強度の時間変化(下)、斜線部は、相対強度が260%以上、黒く塗った部分は360%以上の領域を意味する。4 km 附近の横線は、ブライトバンドを意味している。

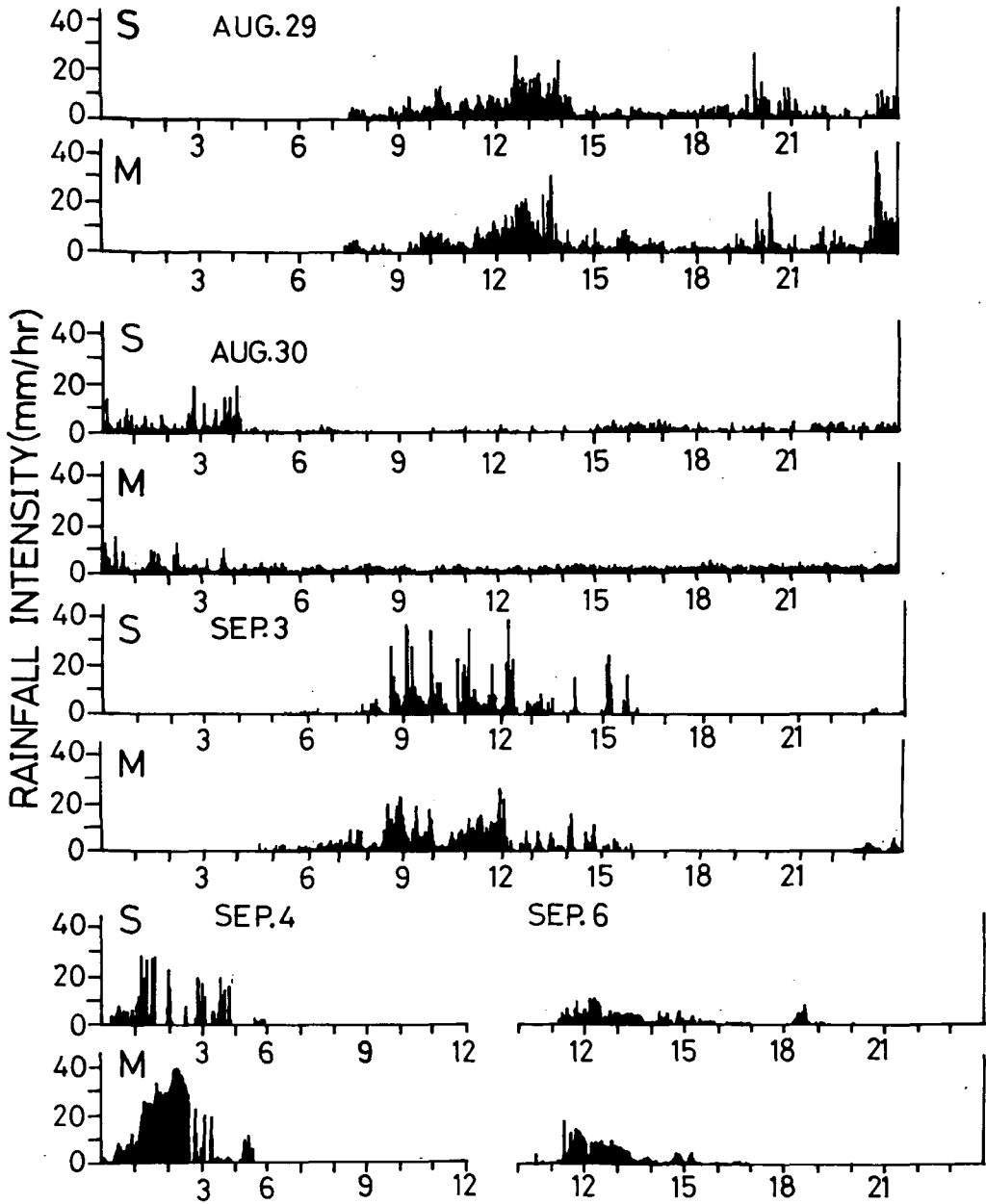
5. 降雨強度の短時間変動

第10図は、白老と森野での、降雨強度の短時間(1分間)変動を示したものである。図から分かるように、白老では森野に比べてスパイク状の降雨強度変化を示し、かつ、ピーク値が大きい場合が多い。この傾向は、均一降雨型の9月6日以外の降雨、即ち、何らかの地形効果を受けていると考えられる雲からの降雨に見られる。このことは、山間部と海岸部とで、降水雲の特性に違いがあることを示唆する。即ち、山間部では、海岸部に比べて、個々の対流雲としては弱まるが、全体としては、降水雲の寿命が延びるか、又は、移動速度が遅くなるような地形効果を受けたものと考えられる。

IV. まとめと今後の課題

北海道胆振地方の豪雨の実態及びその降水機構を明らかにする研究の一環として、波長3.2 cmの垂直レーダーを使った降水雲の観測を、1983年8月25日から9月6日まで、胆振支庁森野で行った。観測期間中、顕著な降雨は、8月29日、30日、31日、9月3日、4日、6日にあった。今回の観測で得られた主な結果は、以下のようにまとめられる。

- ① オロフレ山麓に、典型的な地形性豪雨をもたらした雲は、エコートップが7 kmに達する(従って、雲頂高度が7 km以上の)十分発達した積乱雲であった(9月3日から4日にかけての降雨例)。
- ② 氷晶過程を含む中層降水雲と、下層対流雲が同時に存在したときでも、オロフレ山麓では豪雨にならなかった。ただし、降雨量の多くは、この2種の雲が同時に存在したときに降り、中層層状雲あるいは下層対流雲のみからの降雨量は少なかった(9月3日、6日の降雨例)。
- ③ オロフレ山麓で豪雨が降っていなくとも、そこから水平距離にして、わずかに数十 km 離れ



第10図 白老と森野での、ラピッド雨量計で測定した降雨強度の短時間変動
S：白老，M：森野

た樽前山麓で豪雨が生じている場合もあった（8月29日から31日，9月3日の降雨例）。

④ 降雨強度の細かい時間（1分間）変動を見ると，海岸部では山岳部に比べて，短時間に強い雨が集中して降る傾向があった。

1回の観測から，従来のモデルの当否を議論することはできないが，①の結果から，少くとも積乱雲のみでも，それが地形の影響を受けて十分発達するならば，豪雨をもたらし得ることが言えるであろう。ここで注意すべきことは，同じ大気条件下にあっても，全ての対

流雲が発達し得るのではないということである。すなわち、地形によって収束され、斜面に沿って上昇して来る暖い湿った空気を、効率良く雲内に運び込む気流の循環系が、対流雲の中に既に存在しているような対流雲のみが、地形効果を受けて発達し得るであろう。どのような気流の循環系が、地形と雲との間で形成されているかは、今後明らかにすべき最も重要な課題である。

②の結果は、中層雲から下層対流雲への種蒔き効果の存在を示唆している。ただし、豪雨になるためには、下層対流雲がより発達している必要があると思われる。下層対流雲は、尾鷲の豪雨で最も重要な役割を演じている⁷⁾。しかし、オロフレ山系の豪雨に対して、どのような役割を果たしているのかについては、これまで報告が無く、今後検討を行う必要がある。

③の結果は、どのような条件のときに、豪雨の中心がどこに現われやすいか、という問題と密接に結びついている。今回観測した例にも見られたように、斜面に対して直角に下層の風が吹いたときに最も地形効果が生じやすいであろう。樽前山麓とオロフレ山麓とでは、斜面の走向が異なっている。従って、前者に降雨量のピークが現われたということは、下層の主風向が変化したためと思われる。オロフレ山麓に豪雨が生ずるときと、樽前山麓に豪雨が生ずるときの風系を比較する必要がある。

冬の日本海側において、雪雲が海岸から内陸へ入るにつれて、対流性から層状性の雲へと変化して行くことが知られている¹¹⁾。④の結果が、同様な雲の変化に対応した現象かどうか、興味あるところである。

最後に、レーダー観測の場所を快く提供して下さい、観測の際には種々の便宜を計って頂いた、森野小中学校の皆様にご心より御礼を申し上げます。雨量計の設置に際しては、白老営林署に大変お世話になりました。降雨量の水平分布作製の際に、貴重な資料を提供して頂いた、北大理学部気象学講座の皆様にご厚く御礼を申し上げます。観測は、当研究所大学院生入川真理、小西啓之両君の協力を得た。又、当研究所若濱五郎教授には、終始適切な助言を頂きました。記して感謝の意を表します。本研究に要した費用の一部は、文部省科学研究費補助金（自然災害特別研究(1)「降雨災害をもたらす豪雨の集中度に関する研究」課題番号58020016、代表者武田喬男）によった。

文 献

- 1) 武田栄一・菊池勝弘 1978 北海道の局地的大雨 (I)——年間降雨量に対する大雨の寄与について——北海道大学地球物理学研究報告, 37, 19-29.
- 2) Browning, K.A., Hill, F.F. and Pardoe, C.W. 1974 Structure and mechanism of precipitation and the effect of orography in a wintertime warm sector. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 100, 309-330.
- 3) 武田喬男 1974 集中豪雨の降水特性と微物理学的過程 気象研究ノート, 120, 81-95.
- 4) 武田喬男 1977 雲物理学的にみた地形の効果 天気, 24, 43-53.
- 5) Sakakibara, H. 1979 Cumulus development on the windward side of a mountain range in convectively unstable air mass. *J. Meteor. Soc. Japan*, 57, 341-348.
- 6) 武田栄一・菊池勝弘 1979 北海道の局地的大雨 (II)——道北と道南の集中豪雨の降雨機構について——北海道大学地球物理学研究報告, 38, 1-16.
- 7) Takeda, T. and Takase, T. 1980 Radar observation of rainfall system modified by orographic effects. *J. Meteor. Soc. Japan*, 58, 489-499.

- 8) 近野好文・菊池勝弘 1981 北海道オロフレ山系南東斜面の降雨特性 (I)——降雨分布——北海道大学地球物理学研究報告, 39, 1-18.
- 9) 近野好文・菊池勝弘・若原勝二・鈴木和史 1981 北海道オロフレ山系南東斜面の降雨特性, (II)——雨滴粒度分布の二点観測——北海道大学地球物理学研究報告, 39, 19-35.
- 10) 播磨屋敏生・飛塚一敏・菊池勝弘・遊馬芳雄・遠藤辰雄 1984 北海道胆振地方での降雨観測(その1)——レーダーエコー・雨量強度の水平分布の特徴——日本気象学会春季大会講演予稿集, 45, 179.
- 11) 飛塚一敏・播磨屋敏生・菊池勝弘 1984 北海道胆振地方での降雨観測 (その4)——9月3日~4日の降雨について——日本気象学会秋季大会講演予稿集, 46, 172.
- 12) Matsumoto, S., Ninomiya, K. Hasegawa, R. and Miki, Y. 1982 The structure and the role of a subsynoptic-scale cold vortex on the heavy precipitation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 339-354.
- 13) Takeda, T., Isono, K., Wada, M., Ishizaka, Y., Okada, K., Fujiyoshi, Y., Maruyama, M., Izawa, Y. and Nagaya, K. 1982 Modification of convective snow-clouds in landing the Japan Sea coastal region. *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 967-977.

Summary

It is well known that a local heavy rainfall sometimes occurs around the Orofure mountain range, the southwestern part of the Iburi District of Hokkaido Island. The precipitation mechanism there has remained unclear, however. As the place lies in the shadow of the mountains, the vertical structure of clouds has not been observable by means of existing weather radars. The purpose of this study is to clarify the vertical structure of the clouds which bring rainfalls in this district.

We observed precipitating clouds from Aug. 25 to Sep. 6, 1983, using a vertically pointing radar of 3.2 cm in wavelength, which was set at Morino in the mountainside of this district. The main results obtained are summarized as follows:

- (1) The clouds which brought a typical local heavy rainfall on the Orofure mountain range were the well-developed cumulo-nimbus whose radar-echo top was higher than 7 km. (Cases from Aug. 29 to 31 and Sep. 3)
- (2) Even when the low-level convective clouds coexisted with the middle-level ice clouds, no heavy rainfall occurred. However, the amount of rainfall was larger when these two types of clouds passed through the site of observation simultaneously than that when they passed separately. (Cases of Sep. 3, 4 and 6)
- (3) In some cases the peak value of the amount of rainfall did not appear on the Orofure mountain range, but on the southern slope of Mt. Tarumae. The latter area is only several ten kilometers apart from the former area. (Cases from Aug. 29 to 31 and Sep. 3)
- (4) A comparison of short-time (one minute) change of rainfall intensity at Morino (mountainside) with that at Shiraoui (coastal side) showed such a tendency that the duration of rainfall was shorter but the peak value of rainfall intensity was larger at Shiraoui than that at Morino.