

山岳域の気象・降雨特性に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON METEOROLOGICAL AND RAINFALL CHARACTERISTICS IN MOUNTAIN REGIONS.

片岡幸毅¹・大東秀光²・角田恵³・池淵周一⁴
中北英一⁵・大石哲⁶・藤田暁⁷・高田望⁸

Kouki KATAOKA, Hidemitsu DAITOU, Megumi SUMIDA, Shuichi IKEBUCHI,
Eiichi NAKAKITA, Satoru OISHI, Akira FUJITA and Nozomu TAKADA

¹正会員 工修 関西電力株式会社 土木建築室 (〒530-8270 大阪市北区中之島 3-3-22)

²工修 関西電力株式会社 土木建築室 (〒530-8270 大阪市北区中之島 3-3-22)

³関西電力株式会社 土木建築室 (〒530-8270 大阪市北区中之島 3-3-22)

⁴フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

⁵正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

⁶正会員 博(工) 京都大学助手 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

⁷正会員 工修 株式会社 ニュージェック (〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19)

⁸理修 財団法人日本気象協会関西本部 (〒537-0011 大阪市東成区東今里 3-16-11)

It is very important for disaster prevention and flood control to predict severe rainfall in mountain regions. The accuracy of rainfall prediction, however, is not enough because of the complexity of meteorological characteristics caused by the steep mountains and valleys.

To investigate meteorological quantities, experimental observations have been performed 1998-1999 in and around Kurobe-Valley. In this paper, three types of observations 1) Doppler radar to measure rainfall echo around Kurobe-Valley 2) Mini-radar to measure rainfall echo in Kurobe-Valley 3) GPS sonde to measure profiles of meteorological quantities (temperature, specific humidity and winds) are presented. It is found that some local phenomena are occurred in steep mountain regions at time of heavy rainfall and new ideas and instruments using in this experiments are effective to observe that phenomena.

Key Words : mountain region, rainfall characteristics, radar, GPS sonde

1. はじめに

急峻で複雑な山岳域において精度の高い降雨予測手法を確立することは、山岳域に位置するダムを適切に管理・運用していく上で非常に重要である。しかし、このような山岳域では降雨予測手法を確立するための基礎資料となる気象・降雨特性に関する知識・情報さえ十分に得られていないのが現状である。この原因としては、このような山岳域では地形の特殊性に起因して気象・水象現象が複雑になっていることに加え、ダム周辺の山岳域は標高が高く急峻であることから既存レーダーによる観測網の盲点になっていることが挙げられる。

このような状況下、黒部川では1995年7月11日から12日にかけての局地的な集中豪雨により黒部峡谷の各所で土石流や土砂崩れが発生している¹⁾。

そこで、著者ら²⁾は、標高3000m級の急峻な山々と深い溪谷から形成される日本有数の山岳地域であ

る黒部溪谷において、ダム管理・運用のみならず防災技術の向上も視野にいたれた降雨予測手法確立のための第一段階として、1998年度に溪谷内での気象・降雨特性を把握するためミニレーダー、GPSゾンデを用いた実験的観測を行った。その結果、溪谷内の気象・降雨特性に関する知見を得るとともに、観測手法の有効性も確認した。

本研究では、豪雨発生機構の解明を更に進めていくためには、黒部溪谷のローカルな気象・降雨特性とともに、それを生み出す要因となる、より大きなスケールの気象状況の把握も重要と考え、1. ドップラーレーダーによる黒部溪谷周辺領域の降雨エコー観測、2. ミニレーダーによる黒部溪谷内の降雨エコー観測、3. GPSゾンデによる気象要素の鉛直分布観測の3手法による同時観測を行い、貴重なデータの取得に成功し、またこのデータを活用した急峻な山岳域における気象・降雨特性の解明を試みた。

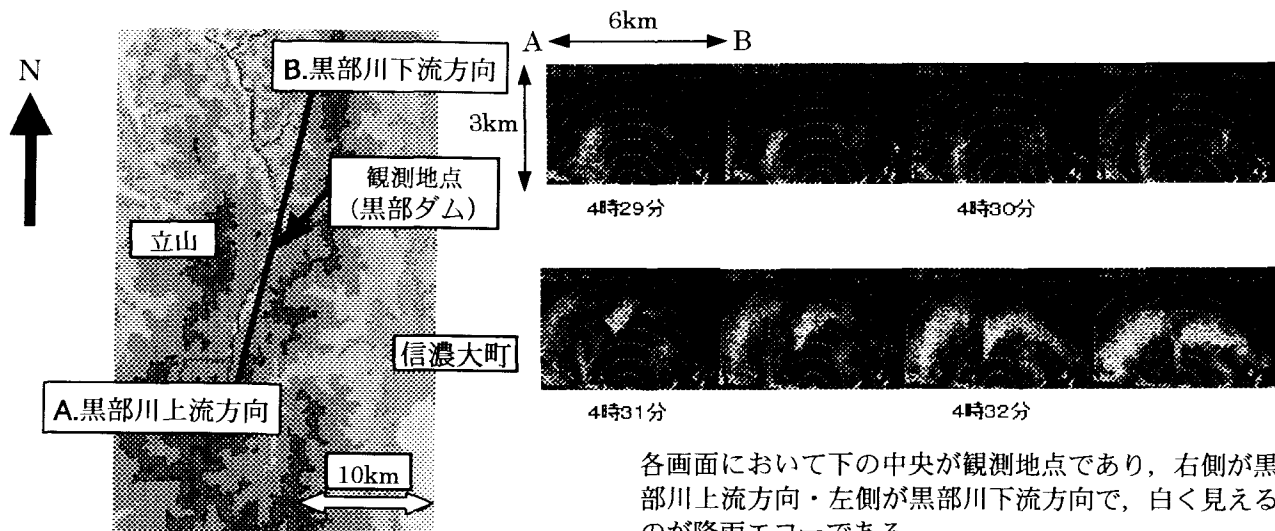


図-1 ミニレーダー観測断面位置

各画面において下の中央が観測地点であり、右側が黒部川上流方向・左側が黒部川下流方向で、白く見えるのが降雨エコーである。

図-2 黒部渓谷沿いのレーダーエコー鉛直断面
(1998年8月12日4時29分00秒～4時32分30秒)

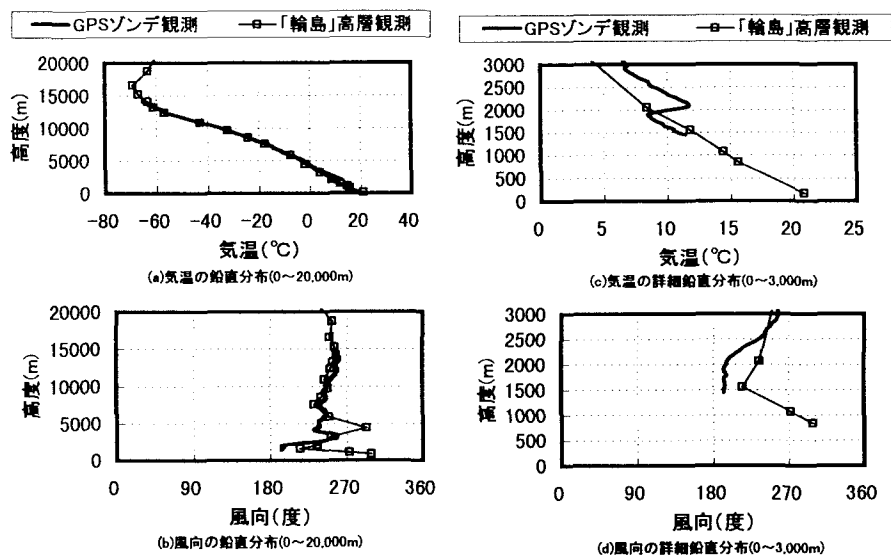


図-3 GPS ソンデ観測結果 (1998年9月26日21時の気温(上段)と風向(下段)の鉛直分布)

2. 1998年度観測結果

(1) ミニレーダーによる降雨エコー観測

1998年8月12～18日の期間に黒部ダムサイトにおいて車載型のミニレーダー(周波数9375MHz)を用いた降雨エコーの鉛直断面観測を実施した。観測データは、図-1に示す黒部渓谷に沿った断面の降雨エコーのモニター画面をビデオ撮影することで取得した。観測画面の一例を図-2に示す。図-2からは降雨セルのスケールは水平・鉛直ともに1kmのオーダーであること、また、落下速度は10m/sのオーダーであることが分かる。これらは個々の積乱雲の動きを映し出しているものと思われる。このことより、ミニレーダーにて降雨エコーを捉え、その特徴を把握することが可能であるとともに、既存レーダーの死角となる急峻な山岳域において有効な観測手段とな

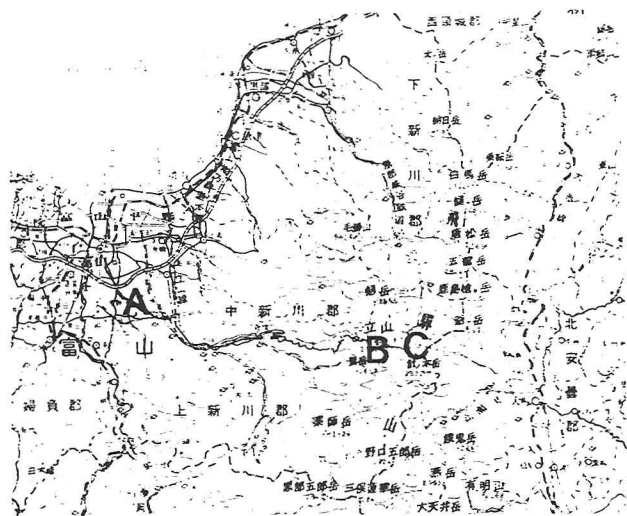
りえることが分かった。また、渓谷内における降雨エコーデータの蓄積は降雨予測手法の開発に必要である。

(2) GPS ソンデによる気象要素の鉛直分布観測

1998年9月24～29日の期間に、黒部ダムサイト(標高1450m)においてGPSゾンデを用いた気象要素(気温・湿度・風向・風速)の鉛直分布観測を実施した。気象要素の鉛直分布を把握することは渓谷内の気象・降雨特性の解明に必要不可欠であるが、急峻な山岳地域では放球されたゾンデが地形に遮蔽されるために放球地点から追尾しながら位置を測定する従来型のゾンデを用いることができない。そこで、ゾンデ本体にGPSを搭載したゾンデを利用して観測を行った。図-3に観測結果の一例(1998年9月26日21時:気温と風向データの鉛直分布)を気象庁の「輪島」の高層気象観測データとともに示す。

表-1 1999 年度観測項目一覧

観測地点	標高	観測手法	観測項目	観測期間	観測範囲	時間分解能
A 開発(富山平野)	59m	ドップラーレーダー	降雨エコー, 風向風速	1999.6.10~7.23	64km	10 分
B 浄土山(立山)	2832m	ミニレーダー(水平断面観測)	降雨エコー	1999.6.12~7.23	約 7.5km	30 秒
C 黒部ダム	1450m	ミニレーダー(鉛直断面観測)	降雨エコー	1999.6.24~6.30	約 7.5km	30 秒
		GPS ソンデ	気温・湿度・風向・風速	1999.6.24~6.30	高度約 10km	6 時間



縮尺 100 万分の 1

A: 開発(富山平野) B: 浄土山(立山) C: 黒部ダム

図-4 観測点位置図

図-3(a), (b)を見ると本観測の観測結果と気象庁「輪島」の観測データは全体的に良く一致しているが、詳細を示した図-3(c), (d)を見ると黒部渓谷内となる高度 1500~3000m の間では両者の特徴が異なっていることが分かる。すなわち、図-3(c)で示す通り、GPS ソンデ観測データのみで高度 1900~2100m 付近に厚さ約 200m、気温差約 3 度の逆転層が見られ、更に図-3(d)に示す通り、GPS ソンデ観測データでは気温の逆転層の中心付近である高度 2000m 以下では風向は南南西(黒部渓谷の上流から下流に向かう川筋方向)で安定しているが、高度 2000m 以上は黒部渓谷外の上空の風の場の影響により上方に向かうにつれ西風に変化していることが分かる。このことより、GPS ソンデでの観測により高度 2000m 付近での黒部渓谷内特有の小スケールな現象(気温の逆転層と風向の特性)を捉えることが出来たものと考えられる。

このように、GPS ソンデ観測により複雑な山岳地形においても気象要素の鉛直分布観測が可能であり、黒部渓谷内の気象特性把握のための有効な手段であることが分かった。渓谷内の大気現象は一様ではないと考えられ、豪雨時の気象特性把握のための GPS ソンデ観測の時空間分解能については今後検討する必要がある。

3. 1999 年度観測結果

(1) 観測の概要

前節でミニレーダーによる渓谷内の鉛直断面観測と GPS ソンデによる観測の有効性が確認された。

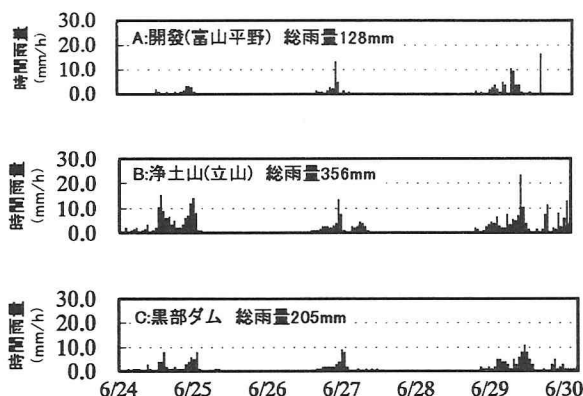


図-5 各観測点の降水量時間変化図(1999 年 6 月 24~30 日)

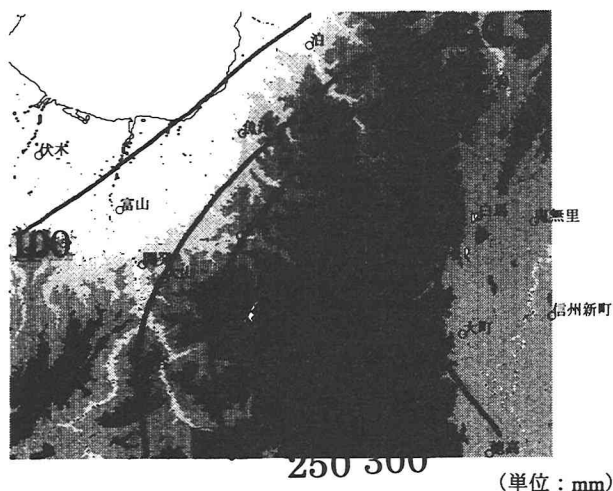


図-6 総雨量分布図(1999 年 6 月 24~30 日)

1999 年度は、これらの観測に加えて、開発(富山平野)と浄土山(立山)にそれぞれドップラーレーダーとミニレーダーを設置して同時観測を実施した。ドップラーレーダーは黒部渓谷のローカルな現象を生み出す要因となる、より広いスケールの気象・降雨特性を把握することを目的としており、浄土山に設置した水平断面観測用のミニレーダーは、渓谷内の降雨エコーの動きを黒部ダムに設置した鉛直断面観測用のミニレーダーと併せて 3 次元的に捉えることを目的としている。図-4 に各観測点の位置を示し、表-1 に各観測点における観測項目の一覧を示す。

同時観測期間である 1999 年 6 月 24~30 日にかけては停滞前線を通して低気圧の影響で雨の日が多く、対象地域では西系の風が卓越していた。図-5 に、ほぼ

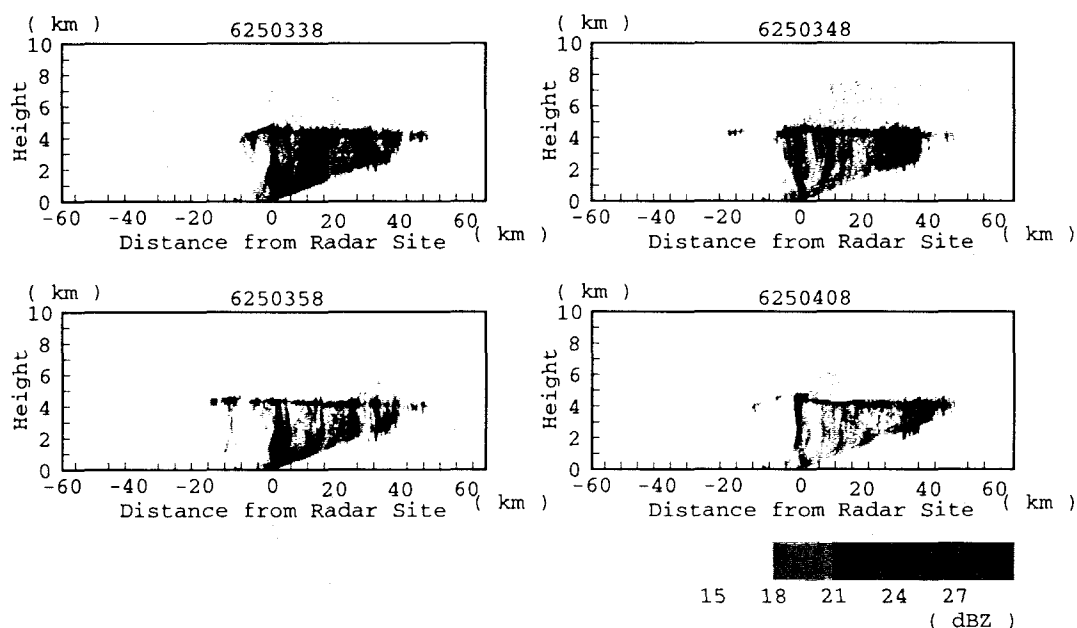


図-7 ドップラーレーダー観測によるレーダー反射因子の RHI 画像の時間変化 (1999 年 6 月 25 日 3 時 38 分～4 時 8 分)

卓越風向にそって位置する 3 観測地点（開発，浄土山，黒部ダム）の降水量時間変化図を示す。また、図-6 に黒部溪谷周辺地域の総雨量分布図を示す。図-5、図-6 の地上雨量より、富山平野～立山西側斜面で徐々に発達した雨雲が、立山稜線～黒部溪谷にかけて多量の雨をもたらした後、信濃大町側に抜けていく様子が推察できる。

(2) 観測結果

ここでは図-5 に示す同時観測期間中、富山平野と黒部溪谷付近の雨量に最も違いが現れ、黒部溪谷特有の降雨特性を表していると考えられる 6 月 24～25 日の降雨事例について、ドップラーレーダー、ミニレーダーおよび GPS ソンデ観測の観測結果を示す。

図-7 に 6 月 25 日 3 時 38 分～4 時 8 分の期間における 10 分毎のドップラーレーダー観測によるレーダー反射因子の RHI 画像を、図-8 に 6 月 25 日 3 時 40 分～4 時 10 分の期間における 10 分毎の高度 4000m におけるドップラーレーダー観測によるレーダー反射因子の CAPPI 画像を示す。図-7、図-8 から以下のことが分かる。

- ・ 高度 4500m 付近にレーダー反射因子が極大値を持つ層が存在する。
- ・ 高度 4500m 以下では水平スケールが数 km～10km の降雨セルの構造が存在する。
- ・ 立山稜線～黒部溪谷を含む周辺の山岳域に局在した雨域が存在する。

次に、図-9 に 6 月 25 日 3 時 0～3 分の期間での 1

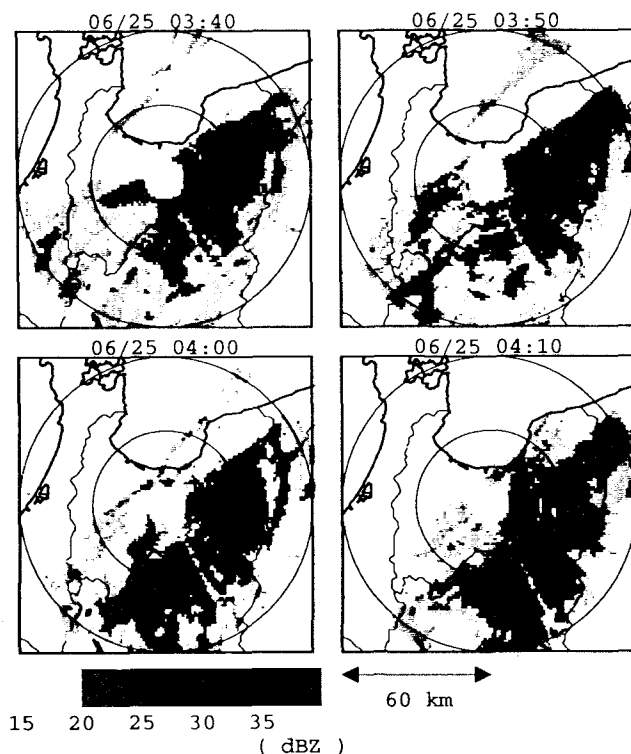


図-8 ドップラーレーダー観測によるレーダー反射因子の 4000m 高度における CAPPI 画像の時間変化 (1999 年 6 月 25 日 3 時 40 分～4 時 10 分)

分毎の黒部ダム地点におけるミニレーダー鉛直断面画像を示す。図-9 から次のことが分かる。

- ・ 高度 4500m 付近に強い降雨エコー帯が存在し、高度 4500m 以下には 1km スケールの降雨セルの移動（落下および観測断面の通過）が見られる。
- ・ 高度 7000m 以上には降雨エコーが見られない。

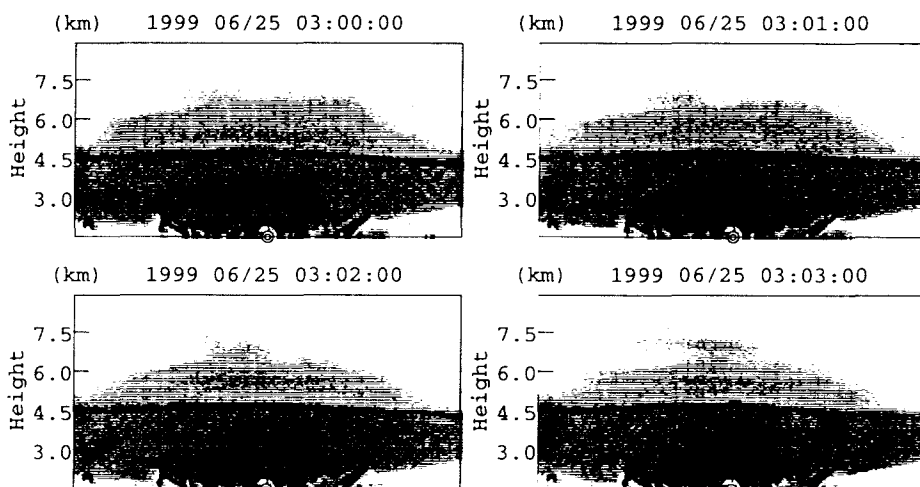


図-9 ミニレーダー観測による降雨エコー鉛直断面画像の時間変化（黒部ダム：1999年6月25日3時0分～3時3分）

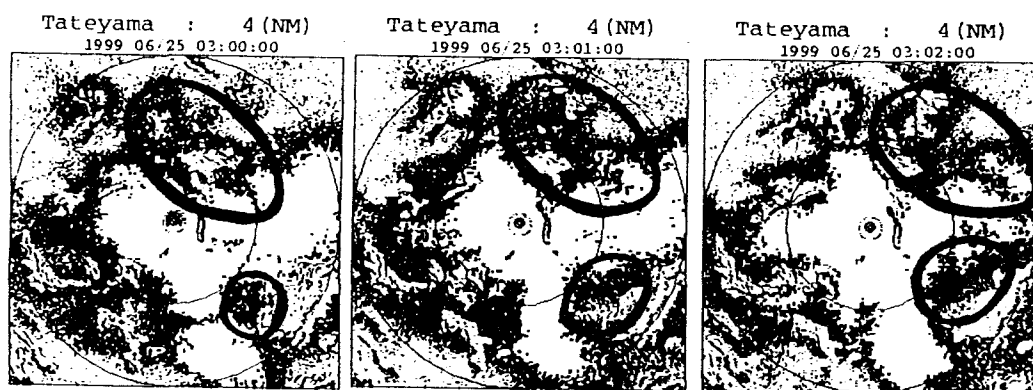


図-10 ミニレーダー観測による降雨エコー水平断面画像の時間変化（浄土山：1999年6月25日3時0分～3時2分）

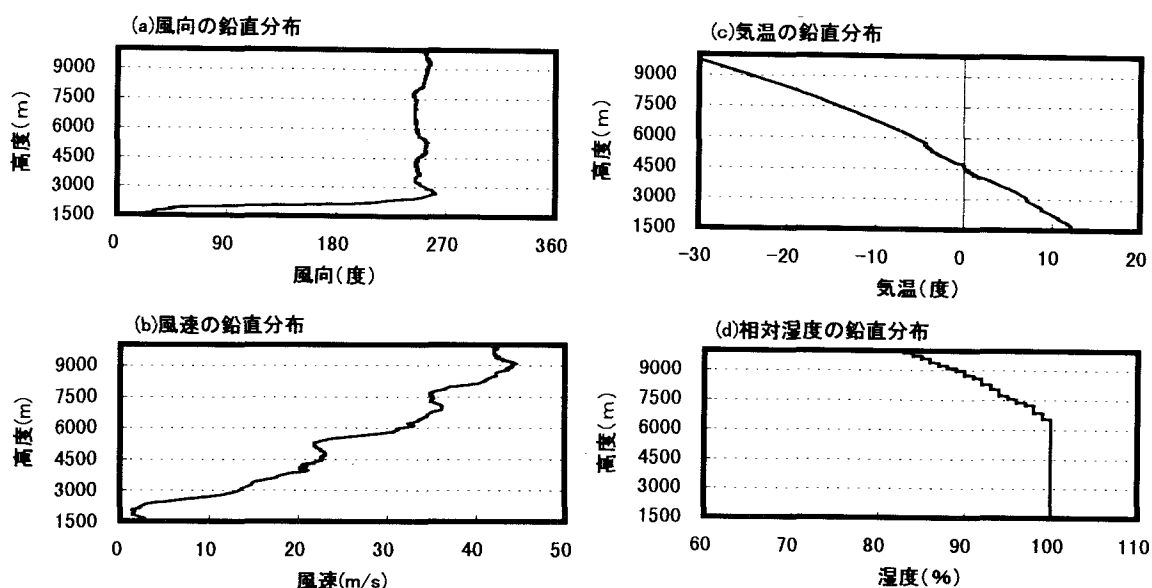


図-11 GPS ソンデ観測の結果

図-10 に 6 月 25 日 3 時 0 分～3 時 2 分の期間での浄土山における 1 分毎のミニレーダーの水平断面画像を示す。図-10 から以下のことが分かる。

- ・ 観測点の北側に見られる雨域は西～東に移動しており、その移動速度は大まかに見積もって 16m/s である。
- ・ 観測点の南側に見られる雨域は時間の経過とともに領域が拡大している。

図-11 に 6 月 25 日 3 時の黒部ダムにおける GPS ソンデ観測の結果を示す。図-11 から以下のことが分かる。

- ・ 風向、風速の鉛直分布から黒部溪谷内（高度 1500～3000m）では風は 10m/s 以下で風向も高度が上がるにつれて北～東～南～西と時計回りに変化し、風速は 10m/s 以下であるのに対して、溪谷外（高度 3000m 以上）では風向は西南西で安定し、風速は高度が高くなるにつれて強くなっている。
- ・ 気温の鉛直分布から高度 4500m で気温が 0 度となっている。
- ・ 相対湿度の鉛直分布から高度 6500m までは相対湿度 100%で飽和状態であるが、高度 6500m 以上では相対湿度は徐々に減少し不飽和状態にある。

(3) 考察

以上の観測結果から以下のことがいえる。

- ・ 富山平野からのドップラーレーダー観測によって、立山稜線～黒部溪谷の山岳域に局在する降雨エコーをその内部構造を含めて捉えることが出来た。
- ・ ドップラーレーダーおよびミニレーダーによって観測された高度 4500m 付近の強いエコー帯は、GPS ソンデ観測結果で得られた気温の 0 度層と一致し、この強いエコー帯はブライトバンドであるといえる。
- ・ GPS ソンデ観測によって得られた湿度の鉛直分布（高度 6500m 以上の不飽和）とミニレーダー観測結果（高度 7000m 以上に降雨エコーが存在しない）とは整合性がとれており、高度 7000m 以上は乾燥していたことが分かる。
- ・ GPS ソンデ観測によって黒部溪谷内では独自の風系が形成されていることが分かった。

4. まとめ

本研究では、降雨予測手法の開発を目的とし、気象データの蓄積が乏しい山岳域を対象領域とした観測手法の検討およびその結果を踏まえての梅雨期の同時特別観測による実験的観測を実施した。その結果、富山平野からのドップラーレーダー観測により黒部溪谷周辺領域の降水システムの把握が可能なこと、溪谷内でのミニレーダー観測により黒部溪谷外からは捉えることが不可能な、溪谷内独自の小スケールな降雨状況の把握が可能なこと、溪谷内からの GPS ソンデ観測により溪谷内の詳細な気象特性が把握可能なことが判明した。また、これらの手法を組み合わせることで、山岳域特有のより詳細な降水メカニズムの解明が可能となることが分かり、よって、今回の実験的観測が急峻で複雑な山岳域において有効な観測手法であることが確認できた。

今後は、今回の観測事例における黒部溪谷周辺の雨雲の発達・維持・衰退の現象を詳細に解析するとともに、観測事例を増すことにより基礎データを蓄積し、降雨予測手法の開発について取り組む予定である。

謝辞：本研究の浄土山における観測は、富山大学の立山施設を利用して行われた。研究を進めるにあたっては、富山大学理学部の竹内章教授、川田邦夫助教授、遠山和大氏（富山大学大学院生）に多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 寺田昌史，牧田稔，広根政義：自然災害による電力土木設備の被災状況，電力土木，No.262，pp.9-21，1996。
- 2) 森本浩，小久保鉄也，角田恵，池淵周一，中北英一，大石哲，藤田暁，高田望：急峻な山岳域における気象・降雨特性の観測・評価，土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集，1999。

(1999. 9. 30 受付)