

北海道大学工学部 正 員 山田 正

北海道大学大学院 学生員 茂木 正

北海道大学工学部 学生員 亀田祐二

## 1. はじめに

近年、建設省や北海道開発庁による日本全体をカバーする多くのレーダー雨量計が建設され、流域スケールでの降雨強度のデータやその分布特性あるいは経時変化がほぼ実時間で入手できるようになってきた。このことは従来の雨量計を用いた点観測では得られない面的な降雨特性の把握ができるようになったわけであり、このような観点からのレーダー雨量計を用いた研究が盛んに行われるようになってきた。この様な近年の動向から本研究は北海道のいくつかの山地流域に高密度に雨量計を配置することにより得られたデータをもとに、数分から数か月単位の時間スケールで降雨量、降雨強度の動向及びそれらの地形との関係や降雨タイプ別にみた特徴などを解析したものである。さらに対象流域における風の場を再現したものである。

## 2. 降雨観測の位置と方法

本研究で対象とした山地流域は図-1、図-2に示すような北海道の中央部に位置する夕張岳（標高1667m）の東側と西側の両斜面（それぞれ1190km<sup>2</sup>、780km<sup>2</sup>）、及び、札幌市の南西部に位置する豊平川上流域の、簗舞川流域（65.2km<sup>2</sup>）、豊平峡ダム流域（134.0km<sup>2</sup>）、定山溪ダム流域（104.0km<sup>2</sup>）および白井川を含むそれ以外の流域（189.8km<sup>2</sup>）である。夕張岳の西側斜面の流域にはダム管理用の雨量計が標高100mから800mの間に8基配置されており、東側斜面流域にはアメダス雨量計などが標高116mから1160mの間に7基配置されている。豊平川上流域には北海道開発局の既設の雨量計が、豊平峡ダム流域には5基、定山溪ダム流域には4基配置されている。夕張岳

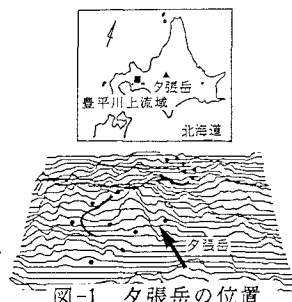


図-1 夕張岳の位置

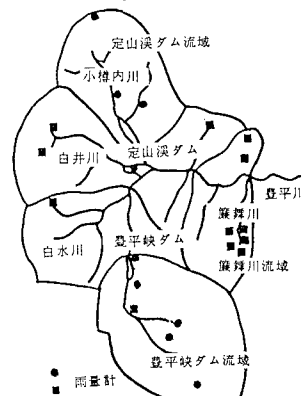


図-2 豊平川上流域の位置

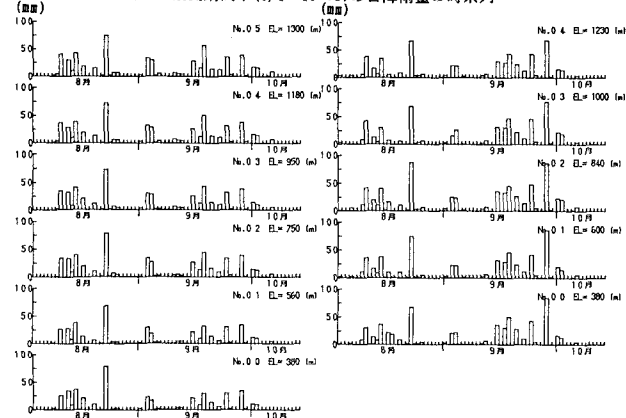
表-1 観測期間中(8/4～10/13)における代表的な降雨の諸元

| 年次   | 月 日       | 降雨タイプ   | 概 説                                                       |
|------|-----------|---------|-----------------------------------------------------------|
| 1990 | 8/10～8/11 | 台風(11号) | 台風11号の通過に伴い、北海道の太平洋側を中心に雨を降らせた。台風通過後も、気圧の谷の影響で不安定な天気が続く。  |
|      | 8/13～8/16 | 低気圧・前線  | 秋分前線が北海道上空に停滞し、その上を低気圧が通過し、各地に断続的に強い雨をもたらす。               |
|      | 8/22～8/26 | 台風(14号) | 台風14号が北海道上陸。東西に延びる前線も雨からの湿った空気で活発。台風通過後も、低気圧の接近。          |
|      | 9/17～9/18 | 前 線     | アムール川中流域の低気圧より南に延びる前線が北海道を通過。北海道南西部を中心に雨。                 |
|      | 9/24～9/25 | 前 線     | 秋分前線の日本海西部に発達した低気圧が25日北海道の南海上を通過。北部の一部を除いて、ほぼ北海道全域に雨が広がる。 |
|      | 9/28～9/29 | 気圧の谷    | 中国沿海地方あたりから前線を含む気圧の谷の接近                                   |

においてはこれらの雨量計の他に、新たに転倒枡雨量計を西側斜面に6基、東側斜面に5基の合計11基を設置し、また、豊平川上流域においては、北海道電力が2年前から簗舞川流域に標高460mから750mの間に7基、豊平峡ダム流域には1基、そして定山溪ダム流域には標高290mから930mの間に5基の10分間隔で計測可能な転倒枡雨量形を配置した。本研究は夕張岳においては、1990年8月4日から10月13日までの降雨を対象とし、西側斜面の14基、東側斜面の12基の合計26基の雨量計、また豊平川上流域においては簗舞川流域の7基、豊平峡ダム流域の6基、そして、定山溪ダム流域の9基の計22基の雨量計の4月～10月のデータを収集し解析を行ったものである。得られた降雨データについては時間スケールをいくつかに変えて整理し、降雨量に及ぼす観測時間及び標高の影響

響、観測時間による降雨特性の変化等を山の斜面方向や、流域毎について検討している。

日降雨量 図-3 観測期間中(8/4~10/13)の日降雨量の時系列



### 3. 観測結果

#### (1) 夕張岳の観測

降雨特性に与える要因としては標高、観測時間長、降雨の諸元(表-1に記す)等がある。以下に観測時間の長いものの順にデータを整理した結果を示す。

#### a) 観測期間中(1990年8月4日から10月13日)の日雨量の時系列特性

図-3は観測期間中の日雨量の時系列を示している。この図から東側と西側の両者面の降雨日は一致しており、降雨変動の様子もよく似ていることがわかる。

#### b) 観測期間中(1990年8月4日から10月13日)の総降雨量及び8月あるいは9月の月雨量と標高の関係

図-4は観測期間中の総降雨量と標高との関係を示したものである。この図より東西両斜面で雨量と標高の間に線形の関係が見られるが、西側斜面ではより強い傾向がある。また東側斜面のほうが標高に対する雨量の増加傾向が大きいことがわかる。図-5と図-6はそれぞれ1990年8月と9月の月雨量と標高の関係を示したものである。図-5より東側と西側斜面の8月の月雨量は共に標高に対して線形の増加傾向を認めることが出来る。図-6より9月は東西両斜面ともに標高と雨量の線形関係は明瞭ではない。

#### c) 日雨量と標高との関係

図-7は8月23日の日雨量と標高との関係を示したものである。この図には標高に対する降雨量の線形性は見られないが、標高に対する降雨の増加傾向はよく一致していることがわかる。図-8は9月28日における日雨量と標高との関係を示したものである。

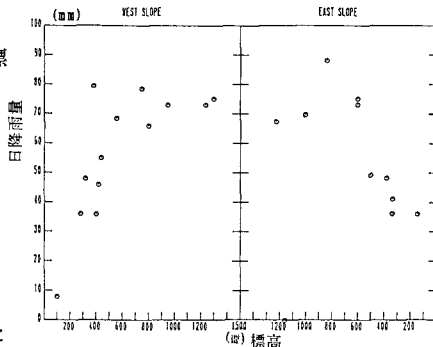


図-7 日降雨量と標高との関係(1990.8月23日)

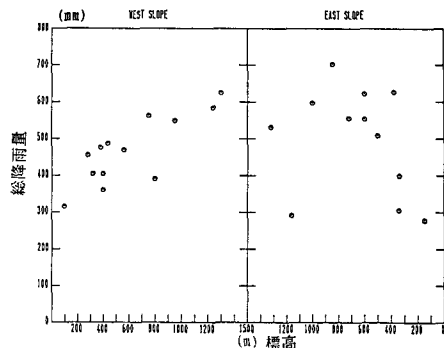


図-4 観測期間中(8/4~10/13)の総雨量と標高との関係

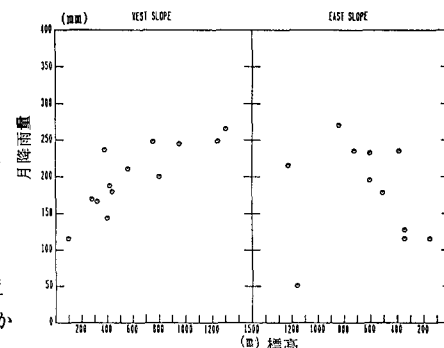


図-5 月降雨量と標高との関係 (1990.8月)

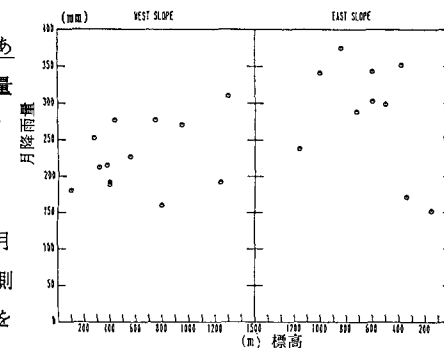


図-6 月降雨量と標高との関係 (1990.9月)

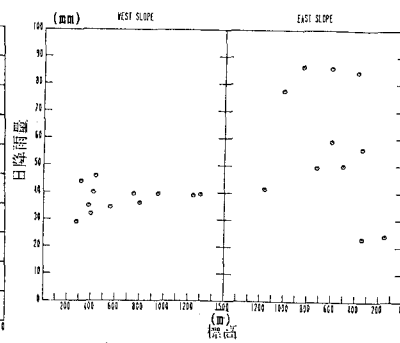


図-8 日降雨量と標高との関係 (1990.9月28日)

である。この図より東側の斜面の降雨量は23mmから86mmまではばらついており、降雨と標高の線形性は見られないのに対して、西側斜面ではほぼ40mm前後の降雨量となっている。最も大きい降雨量でさえ45mmであり東側の半分の降雨量となっている。

#### d) 標高毎の降雨強度の時間変化: 図-9は9月28

日の降雨を標高毎に1時間毎の変化で示したものである。この図より東側と西側の両斜面の雨の降り始め、降り終わりの時刻や、降雨継続時間はほとんど一致している。また東側と西側の両斜面共に降雨強度は違うが、降雨の時間変動の様子は似たパターンとなっている。

#### e) 時間降雨強度の最大値と標高との関係: 図

-10は9月28日の1時間毎の降雨強度をとり、その最大値を各標高に対して表したものである。図9の東西両斜面の降雨強度の差は図7よりも大きくはないが、西側の降雨強度は標高400m

より上では8mm/hr程度で一定なのに対し、東側斜面の降雨強度は最低で5mm/hrから15mm/hrまでばらつきが見られる。

#### f) 10分間降雨強度の最大

値と標高との関係: 図-1

1は9月28日を10分間隔で

区切り、その降雨強度の

最大値を標高毎に示した

ものである。図-11によると西側斜面では標高が400mより上では降雨強度が2.5mm/10minで一定となり、東側斜面では降雨強度が最低5mm/10min、最大7mm/10minとその差は2mm/10minになっている。また時間単位の図-10よりも10分単位の図-11のほうが、西側と東側の両斜面間の差が大きく現れている。

#### e) 5分間の移動平均をかけた瞬間降雨強度の時間変化: 図

-12は東西両斜面の標高毎の降雨強度の5分間の移動平均をとったものである。この図より降雨は10~20分間のスケールで変化している。また東西両斜面間での相関はあまり見られないが、各斜面毎に見ると降雨強度の増減傾向はどの標高でも一致する。この図より降雨強度は明らかに東側斜面のほうが大きく、20時40分頃の降雨強度の波形が標高と共に成長し大きくなっている。さらに、標高380mと1230mの高度の違いでその差が20mm/hrに及んでいる。このとき、降雨強度のピーク時刻は標高が高いほど早く現れて、標高380mと1230mとは10分程の時間のズレがある。

また見られないが、各斜面毎に見ると降雨強度の増減傾向はどの標高でも一致する。この図より降雨強度は明らかに東側斜面のほうが大きく、20時40分頃の降雨強度の波形が標高と共に成長し大きくなっている。さらに、標高380mと1230mの高度の違いでその差が20mm/hrに及んでいる。このとき、降雨強度のピーク時刻は標高が高いほど早く現れて、標高380mと1230mとは10分程の時間のズレがある。

### (2). 豊平川上流域の観測

#### a) 観測期間中の総降雨量と標高との関係: 図-13は観測期間中の総降雨量と標高との関係に関して簾舞川流域、

豊平峽ダム流域、定山溪ダム流域にそれぞれ分けて表したものである。この図より簾舞川流域では総降雨量

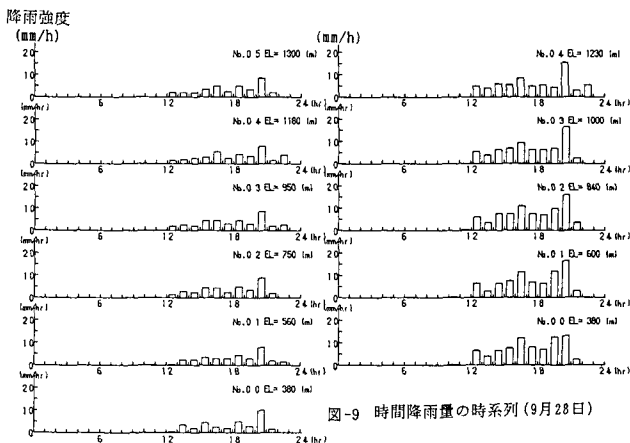


図-9 時間降雨量の時系列 (9月28日)

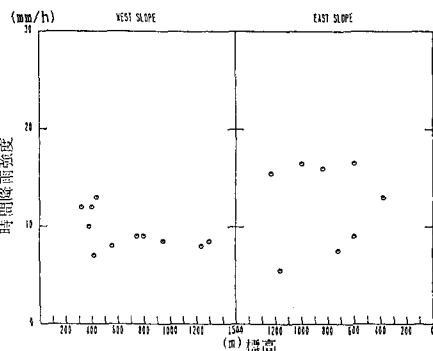


図-10 時間降雨強度の最大値と標高との関係 (9月28日)

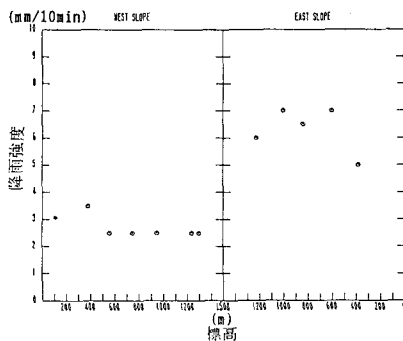


図-11 10分間降雨強度と標高との関係 (9月28日)

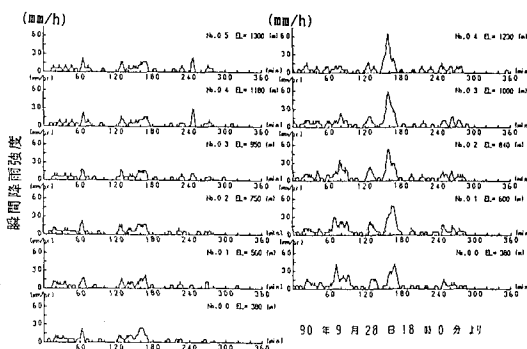


図-12 瞬間降雨強度の時系列

は500mm～700mmの間にあり、標高との相関性はみられないのに対し、定山溪ダム流域では、標高と降雨量との相関性がみられる。豊平峡ダム流域は、他の流域に比べ降雨量が多い。しかし、標高が700mを超えると降雨量が標高と共に少なくなっている。

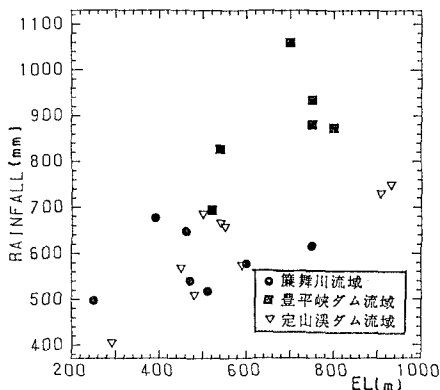


図-13 観測期間中(4月～10月)の総降雨量と標高との関係

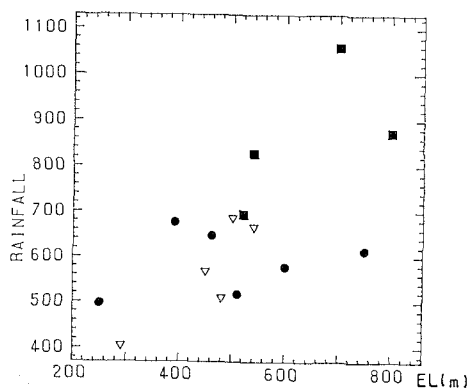


図-14 観測期間中(4月～10月)の西側斜面の総降雨量と標高との関係

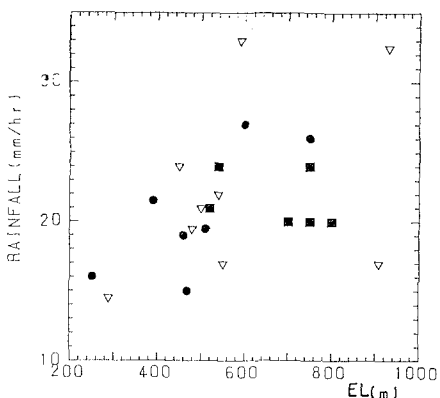


図-15 観測期間中(4月～10月)の時間降雨強度の最大値と標高との関係

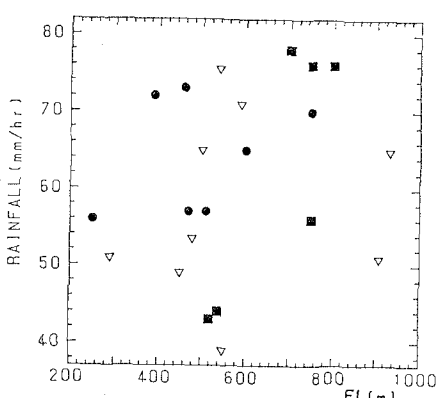


図-16 観測期間中(4月～10月)の日雨量の最大値と標高との関係

b) 西側斜面の観測期間中の総降雨量と標高との関係：図-14はそれぞれの流域で西側斜面に設置されている雨量計の観測期間中の総降雨量と標高との関係を表したものである。この図より降雨量と標高との関係は図-13よりも相関性が強く現れているが、流域毎に分けて考えると図-13と同様の傾向が現れる。著者らは、他の斜面方向についても考察を行ってみたが、図-14に現れるような強い標高と降雨量の相関性は見られなかった。

c) 観測期間中の最大時間降雨強度と標高との関係：図-15は、観測期間中の時間降雨強度と標高の関係を表したものである。この図より簾舞川流域と定山溪ダム流域では標高と時間降雨強度との間多少の相関性がみられる。前者は標高の増加が560m対して降雨強度の差が13mm/hなのに対し、後者の降雨強度の最大と最小の差は19mm/hにもなっている。豊平峡ダム流域では時間降雨強度の最大値は標高によらず20mm/h～24mm/hである。

d) 観測期間中の日雨量の最大値と標高との関係：図-16は、観測期間中の日雨量の最大値と標高との関係を表したものである。この図より標高と観測期間中の日雨量の最大値との間に相関性は見いだされない。流域別にみれば簾舞川流域では、56mm/day～73mm/dayに対し、定山溪ダム流域と豊平峡ダム流域は、最大と最小の

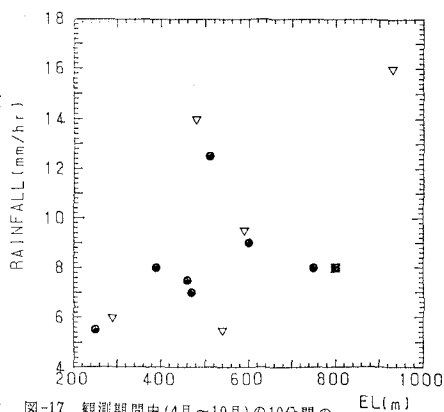


図-17 観測期間中(4月～10月)の10分間の降雨強度の最大値と標高との関係

日降雨強度の差が35mm/dayと篠舞川流域の2倍あることが分かる。

e) 観測期間中の10分間降雨強度と標高との関係：図-17は、観測期間中の10分間降雨強度の最大値と標高との関係を表したものである。標高との相関は見られるが、標高500m～800m位の間では降雨強度のばらつきが大きい。

4. 山地地形における風の場の数値シミュレーション

ここでは、いわゆる地形性降雨の発生要因となる一般風の計算を、夕張岳周辺と豊平川上流域について行った。一般風の計算方法としては著者らが開発しているポテンシャル流として扱った解析方法<sup>1), 2), 3), 4), 5)</sup>を用いている。図-18～19は、豊平川上流域を含む地域(62km\*62km)において行った風のベクトル図である。主流Uを西から風速10m/sで与え計算の上限を高度10,000m、X,Y方向のメッシュ間隔を2,000m、Z方向のメッシュ間隔を200mとして計算を行っている。図-18は、高度800mの(X-Y)断面でみた風のベクトル図である。この図より山に当たった風は斜面を昇ったり、一部は回り込み、山陰で収束していることが解る。図-19は、定山溪を通るような(X-Z)断面での風のベクトル図である。この図より豊平川上流域は、阿女嶺岳(標高1014m)や、美比内山(標高1000m弱)などの山陰にあたり下降流の卓越している地域であることが解る。つぎに、夕張岳周辺の地域(63km\*63km)の風の場を計算したのが図-20～21である。計算の条件は、主流Uを風速10m/sの西風として与え計算の上限を高度5,000mとし、X-Y方向のメッシュ間隔を500m、Z方向のメッシュ間隔は200mとして行った。図-20は、高度1000mの(X-Y)断面でみた風のベクトル図である。この図も図-18と同様に風上斜面の谷で風が収束し、山陰の尾根へと向かっていることが分かる。図-21は著者らが設置した雨量計を通るような(X-Z)断面での風のベクトル図である。この図より夕張岳の斜面は急勾配であり、その西側斜面は強い

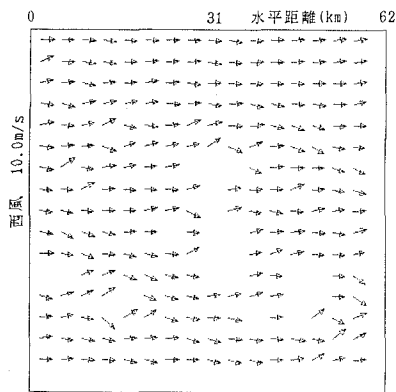


図-18 高度800mのX-Y断面の豊平川上流域の風のベクトル図

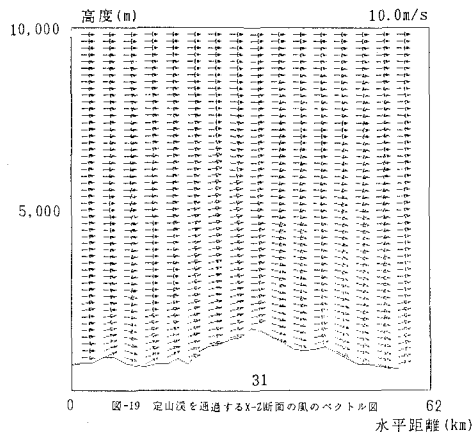


図-19 定山溪を通るX-Z断面の風のベクトル図

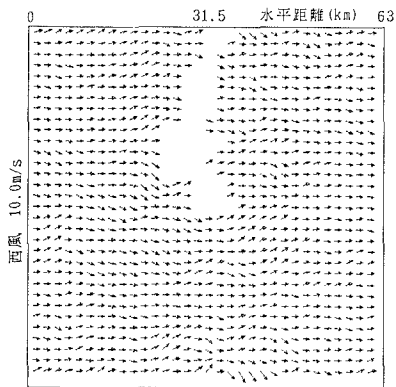


図-20 高度1,000mのX-Y断面の夕張岳周辺地域の風のベクトル図

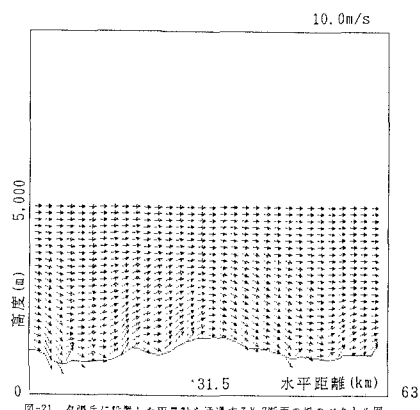


図-21 夕張岳に設置した雨量計を通るX-Z断面の風のベクトル図

上昇流が生じ、逆に東側斜面では強い下降流が生じていることが分かる。このことが本研究で得られている降雨特性を生じさせている最大の原因であると思われる。

## 5. おわりに

豊平川上流域と夕張岳における降雨の観測とそこでの風の様子をシミュレートすることによりその地形特性から、夕張岳周辺の地域の方が上昇流と下降流という地形性の降雨をもたらす要因が顕著に現れていることが分かる。また豊平川上流域では、標高と降雨の相関性は、豊平川上流域全体でみると弱い、斜面方位毎流域を分けて考えれば、それぞれの流域毎の特徴が現れている。このような山地及びダム流域において雨量計を密に設置し観測を行っているところは他に余り例がなく、今後とも観測を継続しつつ得られたデータを解析するとともにレーダー雨量計の出力とも比較しつつ降雨の特性を明らかにする予定である。

## 謝辞

本研究を遂行するに当り、著者らは北海道開発局、北海道電力並びに気象協会北海道本部より貴重な資料の提供を受けている。ここに甚大なる感謝の意を表す。また本研究は重点領域研究(1)「気象解析とレーダー雨量計を補完的に組み合わせた豪雨災害の予測手法に関する研究」(代表：山田正、北大)の補助のもとに行われている。これに対しても著者らは感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 中津川誠・竹本成行・山田正・茂木正：流域スケールの降雨特性の研究(その1~4)、開発土木研究所月報NO.1~4, 1990.
- 2) 山田正・藤田睦博・渡辺元：地形性降雨の数値実験に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集, pp. 183~188, 1987.
- 3) 山田正・渡辺英章：一般的な山地地形における風の子の研究、土木学会北海道支部論文報告集, pp. 287~292, 1988.
- 4) 山田正・渡辺英章：山地地形における風の子の研究、土木学会第43回年次講演回講演概要集, pp. 68~69, 1988.
- 5) 山田正・中津川誠その他2名：流域スケールの風の子と降雨のシミュレーション, 第33回水理講演会論文集, pp. 109~114, 1989.
- 6) 今野好文・菊地勝弘：北海道大学地球物理学研究報告, pp. 37~44, 1981.
- 7) 日野幹雄・太田猛彦・砂田憲吾・渡辺邦夫：洪水の数値予報, 森北出版, 1989.
- 8) Roger A. Pielke: Mesoscale Modeling, Academic Press, 1984.
- 9) 山田正・茂木正・亀田祐二：山地流域における降雨の分布特性と降雨の数値シミュレーション, 水工学論文集第35巻, 1991.
- 10) 山田正・中津川誠・茂木正：山地流域における降雨の分布特性と石狩川流域の降雨量予測について, 土木学会北海道支部論文報告集, 1990.