

1991年3月23日長野県中部で発生した雨水現象の特徴*

牛山素行**・宮崎敏孝***

要旨

1991年3月23日未明、長野県中部の山岳地帯で発生した雨水現象について、発生時間中の移動調査や直後に実施した聞き取り調査などによって、発生の状況を詳しく調べた。

今回の雨水現象は、長野県中部の山脈の北側斜面のほぼ標高1200~1800mの範囲内で確認できた。総観規模の気象データでは、雨水発生の条件とされる0°C前後の気温逆転層は確認できなかったが、発生地付近の地上気温データからは、現象発生時に標高2000m付近に暖気が入ってできた0°C前後の気温逆転層が解析された。しかし、同時帯に山脈の南側斜面では気温逆転は見られず、山脈の存在が現象発生に影響を及ぼすものと考えられた。雨水発生域内では、発生中の気温変化がほとんど無く、ほぼ0~−1°Cの範囲で安定していた。雨水発生中の降水量は1~3mm/hと少なく、このため森林等への被害には至らなかった。

1. はじめに

雨水(第1図)は過冷却水滴が地物に当たってできる氷であり、着氷現象の一種である。気象庁(1988)では着氷を樹霜、樹氷、粗氷、雨水の4種類に分けている。雨水以外は、霧などの微小な過冷却水滴から生じるものであるが、雨水は過冷却の雨から生じるのが特徴である。

雨水の発生頻度はよくわかっていない。何らかの被害を生じる程度の事例は過去約90年間に10回程度(第1表)記録されている。被害の種類としては、氷の重みによる樹木の倒伏や折損、電線の切断のほか、着氷する事によって電気鉄道の架線とパンタグラフが絶縁され、列車が運休する被害などがある。地域的には東日本が中心であり、長野県での記録が特に多い。(牛山, 1991)

過冷却水滴による着氷の物理的特徴については小口(1951)などの研究がある。しかし、実際の現象としての雨水に関しては十分調べられていない。雨水となる過冷却水滴は、上空に0°C以上の層(仮に融解層と呼



第1図 シラカンバに付着した雨水
1991年3月23日06時40分、長野県北佐久郡立科町白樺高原にて撮影。聞き取り調査ではこの写真を携行。

ぶ)、地表付近に0°C以下の層(仮に再冷却層と呼ぶ)が存在する場合には、融解層でできた水滴が再冷却層で冷却されて生じると説明されている(長野地方気象台, 1988など)が、具体的な解析事例は少ない。発生時の気象状況、発生場所の特徴などについての研究は三沢(1923)などわずかであり、詳細は明らかになっていない。森林被害の特徴については村井(1936)、井上・増田(1955)などの研究があるが、被害地の一部についての調査が多く、面的な解析例は少ない。外国の事例としては、例えば1990年2月にアメリカ東部(Oklahoma~New England 付近)で発生した事例の報告(Martner *et al.*, 1991)などがある。

* Feature of the Glaze Phenomenon in the central district of Nagano prefecture on March 23, 1991.

** Motoyuki Ushiyama, 信州大学大学院農学研究所修士課程。

*** Toshitaka Miyazaki, 信州大学農学部。

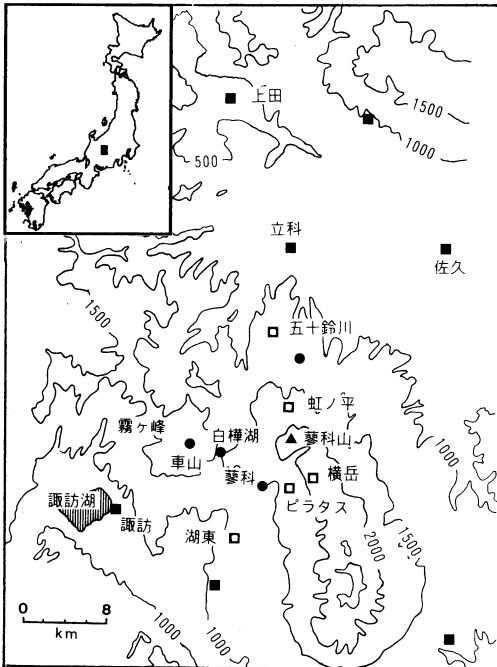
—1992年1月22日受領—

—1992年8月20日受理—

第1表 過去に発生した大規模な雨水現象
牛山(1992b)より ★は今回の調査地域での記録。

年月日	発生地域	森林被害面積 (ha)	文献
1902.01.08	関東地方	不明	岡田(1934)
★1923.01.22~23	長野県中部	700以上	三沢(1923)
1936.01.25	房総半島南部	2400	村井(1939)
1954.02.27~28	北海道上川管内	3900	井上ら(1955)
★1956.03.19~21	長野県中部, 山梨	4200	武田(1957)
★1969.01.29	長野県北・中部全域	5500	大木ら(1969)
1974.03.25~27	熊本県阿蘇地方	不明	河野ら(1975)
1977.01.26	長野県諏訪地区	不明	※
1980.03.22~23	長野県中部	不明	長野県(1981)
★1989.02.25~26	長野県東信地区	2200	牛山ら(1992a)

※長野県天文気象教育研究会(1978)



第2図 調査地概略図

■: AMeDAS □: 自己観測所 ●: その他の観測所 等高線は500m毎, 数字は標高。

筆者は、これまでに1989年2月26日に長野県中部で発生した雨水による森林被害について調査した(牛山・宮崎, 1992b)。1990年1月以降, この時の被災地周辺で各種観測を実施してきたが, その中で1991年3月23日未明, 雨水現象の発生に遭遇し, 発生時の状況についてこれまでの事例より詳しく調査できたので報告する。

2. 調査手法

調査地付近の概略を第2図に示す。北側に上田・佐久盆地, 南側に諏訪盆地が広がり, その間に標高1500m以上の霧ヶ峰, 蓼科山, ハヶ岳などの山脈が北西から南東に向かって延びている。この付近は1989年の事例を始め, 過去に4回大規模な雨水発生記録(第1表)が残っており, 雨水の実例をつかむ可能性が高い地域である。

筆者は1990年12月から第2図中の□で示す5地点に観測所を設け, 冬季間の気温観測を行っている。観測地点は, ①他機関の観測所が少ない標高1000m以上の地帯, ②各観測所の標高間隔が約700~800m, ③冬季間でも単独, 徒歩でメンテナンス可能な場所, などの条件から選定した。観測地点数は測器数の制約によった。観測装置はコーナシステム社のデータロガー(KADEC-U)にサーミスタセンサー(測定精度: 0~100°Cで±0.5°C)を取り付けたものを用い, 百葉箱内に設置した。

また, 過去の記録のまとめなどから, 雨水発生の可能性がある気圧配置の際には, この付近で自動車による移動観測を行い, 天気の変化や気温分布などを調べており, 3月22日までに10回の観測を実施している。3月22日もこの観測を実施し, その途中で雨水の発生を直接確認した。

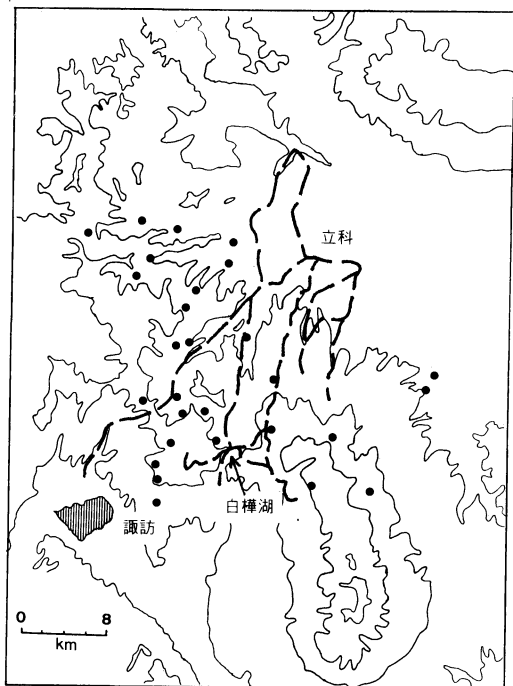
観測は22日夜半前から翌23日朝にかけて(所要約12時間)第3図に示すルートを走行して行った。気温の測定, 天気の観測を行うと共に, 雨水発生の有無を自動車内からの目視や, 車外に出て手で触れて確認した。明るくなってからは, 所々で写真撮影を行い, 自動車で行けない場所の発生も調べた。当日は時間を節約するために発生の境界が確認されたら折り返すよう

第2表 聞き取り事項の概略

調査対象者	スキー場関係者、宿泊施設関係者、住民、通行人など
調査内容	<ul style="list-style-type: none"> ・3月23日の朝はどこにいましたか ・その日写真のような現象を見るか話を聞きませんでしたか ・見た場合、どのあたりで見ましたか ・何時頃から何時頃まで見られましたか

第3表 聞き取り調査結果の例

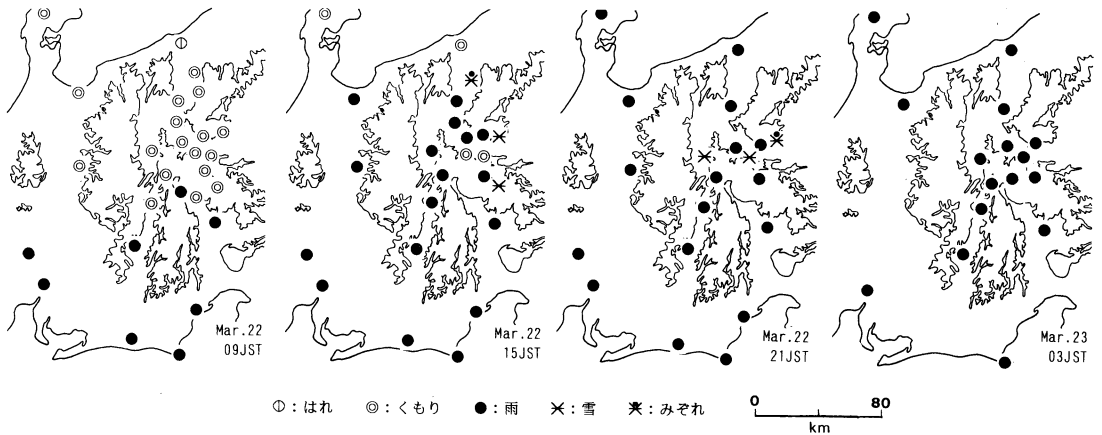
聴取市町村	長門町鷹山
聴取地	ブランシュたかやまスキー場 (1380 m)
聴取日	91.03.26
聴取者職種	スキー場パトロール員
雨水を見たか	スキー場付近で見た
消滅時刻	午前10時頃まで
その他情報	着水の重みで曲がった木がリフトに垂れかかっていたので伐採した記憶がある
聴取市町村	諏訪市霧ヶ峰
聴取地	霧ヶ峰スキー場 (1640 m)
聴取日	91.03.30
聴取者職種	スキー場指導員
雨水を見たか	スキー場付近で見た
消滅時刻	よく覚えていない
その他情報	諏訪市街の方から通っているが、サイの河原 (1550 m) のあたりから上で見られたように思う



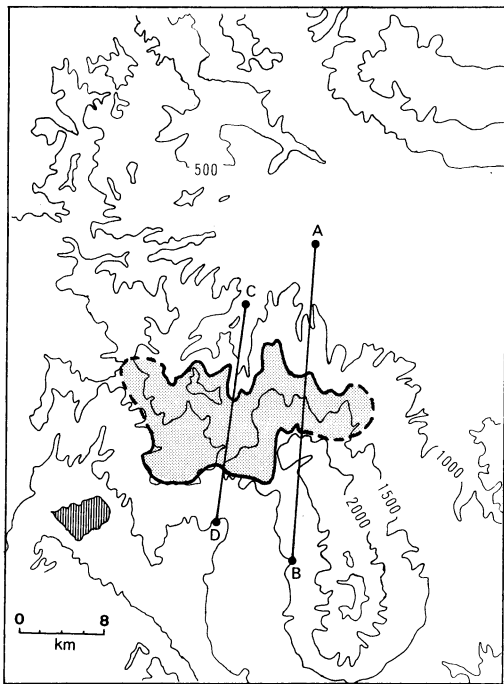
第3図 移動観測ルート・聞取調査地点
太破線が観測ルート、●が聞き取り地点。

なルートを取った。更に当日の調査を補うために、3月25～30日の間に聞き取り調査を行った。聞き取りは第3図に●で示す31地点で、のべ45人に対して行った。聞き取り地点は、23日に発生を確認した場所を中心に調べ、「発生がみられなかった」との証言が得られるところまで範囲を広げていった。聞き取りはこちらの身分を名乗った上で、第2表に示す内容を口頭で行った。その際には、当日撮影した雨水の写真(第1図)を提示し、現象に対する誤解が無いようにした。聞き取りの結果得られた情報は、その地点の点的な情報の場合が主だが、調査対象者が通勤途上で見たことなどの線的、面的な情報も含まれている。聞き取り調査結果の例を第3表に示す。

気温の解析には自己設置観測所資料の他、①信州大学経済学部の柳町氏が車山に設置された観測所、②発生地周辺のAMeDAS、③長野県望月少年自然の家、④白樺湖観光センターの各資料を用いた。①は自己設置観測所と同様のKADEC-U、一ミスタセンサーを接続して観測しており、③、④にバイメタル自記温度計(週巻)である。自己設置観測所以外のデータについてはとくに補正などは行わなかった。降水量については長野県内のAMeDAS資料および長野県諏訪建設



第4図 中部地方の天気変化
1991年3月22日～23日、気象官署及び消防署資料などによる。等高線は1000 m.



第5図 雨水現象発生範囲
東西方向の境界(点線部)は詳細不明.

事務所所管の資料(蓼科, 八ヶ岳)を用いた。長野県所管の観測所はヒーターが取り付けられ、冬季降水量の観測が可能になっている。天気については中部各県の気象官署資料の他、長野、山梨県内12ヶ所の消防署および霧ヶ峰有料道路管理事務所の資料を用いた。

3. 調査結果

3.1 発生・消滅過程

22日午前は長野県下は曇りの所が多かったが、南部から次第に雨が降り始め、午後にはほぼ全域で雨やみぞれ、標高の高いところでは雪となった(第4図)。

聞き取り調査の結果や筆者の移動観測の記録を総合すると、雨水発生地を含む長野県中部の気象変化は次のようであったと考えられる。22日夕方以降は標高にかかわらず雨、雪、みぞれなどが小刻みに変化していたが、23日01時頃以降はほぼ全域で雨となった。23日01時30分頃、白樺湖付近で雨水発生を筆者が初めて確認し、以後雨水は次第にその厚さを増していった。雨水の成長が終わった時刻は明確ではないが、23日07時頃には最盛期より範囲が狭まって融け始めているのを確認した。以後標高の低いところから消滅し、23日12時頃までには全域で消滅した。

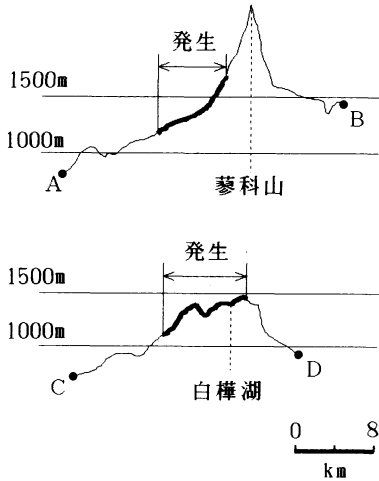
3.2 発生範囲

今回の雨水発生範囲を推定すると第5図のようになる。これは、当日の移動調査、写真、3月25～30日の聞き取り調査の結果から、まず雨水発生域と非発生域の境界が確実にわかっているところを縮尺20万分の1の地図上に点または線で記入し、不確実なところはおおよそ等高線に沿ってつなぎ、作成したものである。北側、南側の境界は情報が多く、推測に基づく部分は少ないが、東西の境界は情報が少なく、詳細はわからなかった。第5図を断面的に見たのが第6図である。このように、今回の雨水は蓼科山、霧ヶ峰の北側斜面、標高1200～1800 mの範囲内で発生した。場所によって細かな特徴はあるが、ほぼ等高線に沿って帯状に発

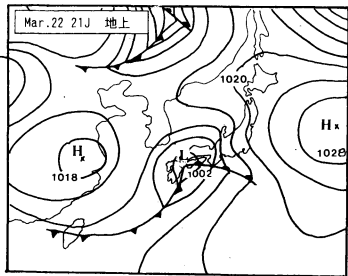
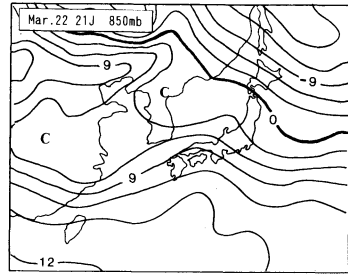
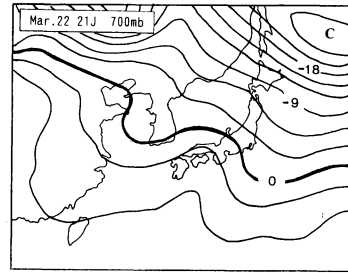
生が見られた。また、同一標高帯でも、山脈の南側斜面では発生がほとんど見られなかった。

3.3 総観的気象条件

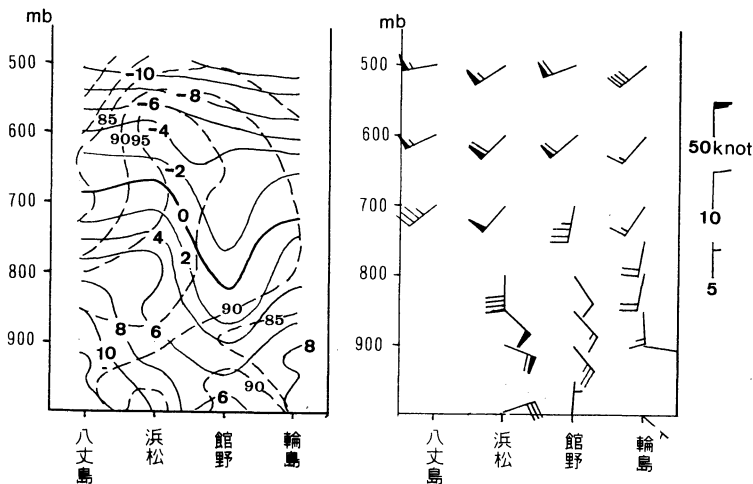
雨水発生直前の地上天気図及び 850 mb, 700 mb 等温線図を第7図に示す。21日に台湾北方にあった低気圧は東進し、22日から23日にかけて日本の南岸を通過した。この低気圧の通過ともなって850 mb 面では南からの暖気が入り込み、21日21時に西日本上空にあった0°C等温線は22日21時には津軽海峡付近ま



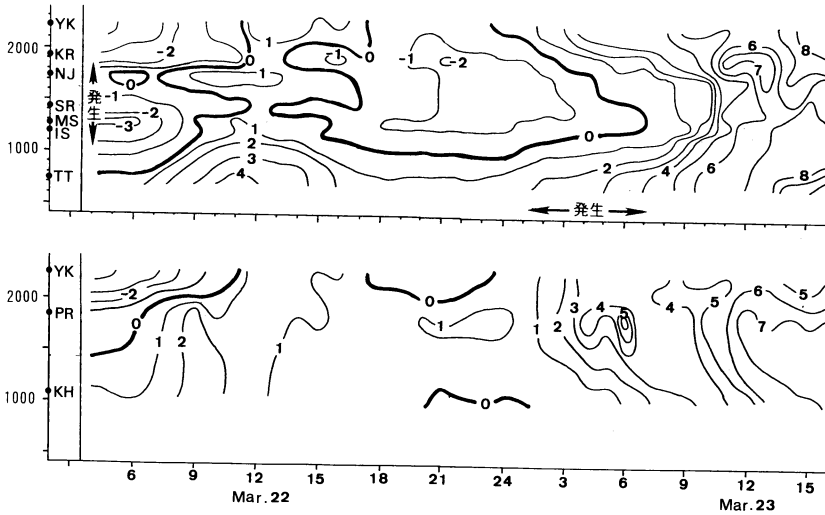
第6図 雨永現象発生範囲断面図
A, B, C, Dは第5図中の記号に対応。



第7図 発生前の地上天気図,
850・700mb等温線図



第8図 発生直前の中部付近鉛直気温断面図
1991/3/22 21JST 左：気温・湿度鉛直断面図 実線が気温(°C), 破線が相対湿度(%), 右：風向・風速鉛直断面図 矢羽の向きが風向を示す。



SR:車山 NJ:虹ノ平 SR:白樺湖 MS:望月少年自然の家 IS:五十鈴川 TT:立科
YK:横岳 PR:ピラス KH:湖東

第9図 気温アイソプレス (上:北側斜面 下:南側斜面)
縦軸矢印は雨水発生範囲, 横軸矢印は雨水発生時間を示す。

で北上した. 700 mb 面でも低気圧の中心付近で 0°C 線が北へ入り込んでいた. 22 日 21 時の中部付近の高層断面図を示すと第 8 図のようになり, 同一断面で 1969 年や 1989 年の雨水発生時に現れた 0°C 前後の気温逆転 (牛山・宮崎, 1992 a) は現れていない.

3.4 発生地付近の気象変化

地上の観測所資料を用いて, 雨水発生地付近の気温鉛直方向の分布を近似的に表したのが第 9 図である. ここで「北側斜面」とは第 1 図中の横岳〜立科を結ぶ線付近の観測所のデータから作成したものであり, 「南側斜面」とは横岳〜湖東を結ぶ線付近のデータからのものである.

北側では 22 日午後から標高に関わらず 0〜マイナス 1°C になっていたが, 雨水の発生し始めた 23 日 01 時頃から 2000 m 以上の地域で 0°C 以上となり, 2000 m 付近を境にして気温逆転層が形成されていく. この逆転層は 23 日 09 時頃まで継続するが, 0°C 以下の層は 06 時頃までに消滅しており, これは雨水の融け始める時刻とほぼ一致している.

一方南側では 22 日午後から全般に 0〜1°C 程度になっており, 23 日 01 時頃からは北側より早くかつ一様に気温が上昇し, 雨水発生の要因となる 0°C 前後の気温逆転層は形成されなかった.

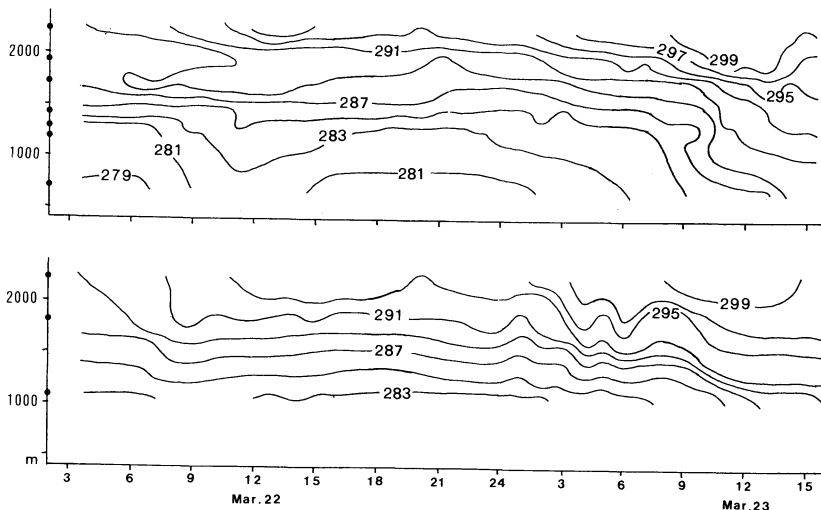
更に, 大気の動きを見るために, 同じデータから温位を計算した結果が第 10 図である. 温位計算に必要な

各観測所の気圧は, 諏訪測候所の気圧から海面更正式を利用して推定した. これによると, 22 日 24 時頃までは北側, 南側とも安定している. 南側では 23 日 01 時頃に 2000 m 付近から次第に温位の上昇がみられ, 09 時頃大きく上昇する. 一方北側では 01〜06 時頃は大きな変化はないが, 09 時頃以降にはっきりとした上昇があり, 北側の温位上昇は南側より 6〜9 時間程度の遅れがあった.

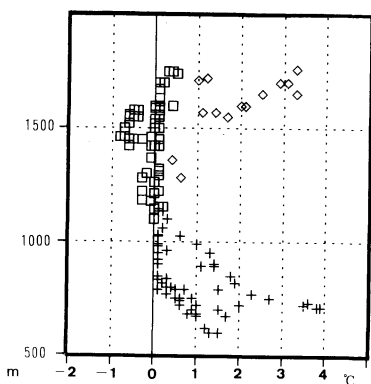
23 日 01 時頃からの南側の気温, 温位の上昇は, それまでの支配気塊より高温の気塊が入り込んできたことを示すものと考えられる. 北側の変化が遅れたのは, 南北斜面の間にある山脈が気塊の進行を妨げた結果ではないかと考えることができよう.

3.5 発生地内気温の特徴

雨水発生地内の気温の特徴を示すために, 移動観測気温とそのときの観測車の標高の関係を表したのが第 11 図である. 北側斜面で標高 1200 m 以下の雨水が発生していない地域を走行中は, 気温は標高の上昇と共に遞減していくが, 1200〜1800 m の発生地内では標高に関わらず気温はほぼ 0〜マイナス 1°C の間 (平均 -0.1°C) で安定している. しかし, 標高 1200〜1800 m の範囲内でも, 雨水が発生しなかった南側斜面ではこういった安定性はみられない. 南側斜面で標高 1300 m 以下の資料はないが, 1500 m 以上ではむしろ標高と共に気温が上昇する傾向がある.



第10図 温位アイソプレス (上:北側斜面 下:南側斜面)



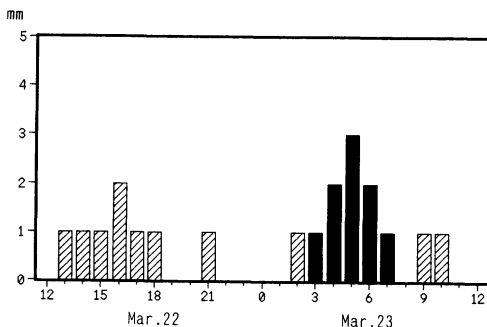
第11図 雨水発生時間中の移動観測
気温と観測車標高

1991年3月23日 2時20分
～7時20分 □:雨水発生
地内 +:非発生地北側斜
面 ◇:非発生地南側斜面

なお、 $+0.1\sim+0.2^{\circ}\text{C}$ 程度で雨水発生域内のデータがあるが、気温が 0°C よりやや高くても、降水や地物の表面が 0°C 以下であることは十分考えられ、この場合雨水が形成されることは不自然ではない。また、移動観測の手法による多少の観測誤差とも考えられる。 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 程度でも雨水発生域となっているのは発生域と非発生域の境界付近のデータである。

3.6 降水量

雨水発生地内には冬季測定可能な降水観測施設がないので、ここでは発生地のやや南側にある蓼科観測所(長野県所管)のデータ(第12図)を用いる。1989年



第12図 1991年3月22日～23日の時間降水量
(蓼科) 黒塗りは雨水発生中の降水量。

2月に大きな被害を生じた雨水が発生した際と同観測所の降水量は $5\sim7\text{mm/h}$ 程度であった。今回の雨水発生中の降水量は $1\sim3\text{mm/h}$ 程度であり、89年の事例よりは少なかった。

4. まとめ

1991年3月23日未明、長野県中部の蓼科山北側斜面の標高 $1200\sim1800\text{m}$ を中心とした地域に雨水現象が発生した。発生は23日01時頃から06時頃までであり、その後次第に融け、23日12時頃までに完全に消滅した。

雨水は南岸低気圧の北側に広がった降水雲の下で発生した。850 mb, 700 mb面では中部付近に南側からの暖域の入り込みがみられたが、中部付近の高層資料から作成した鉛直気温断面図では 0°C 前後の気温逆転はみられなかった。

発生地付近では、発生開始時刻(23日01時頃)以降に2000m付近を境に、上が0°C以上、下が0°C以下となる気温逆転層が存在した。雨水は、この0°C以下の層中で発生した。2000mより上の0°C以上の層で雨になった降水が、0°C以下の層を通過する際に過冷却状態になり、地表で雨水となったものと考えられる。

0°C以下の層中での気温経時変化が少なかったこと、温位が南側の2000m付近から先に上昇したことなどから判断すると、この気温逆転は、発生前に存在していた0°Cよりやや低い温度の気塊(仮に冷氣塊と言う)の上に、南側から0°C以上の気塊(暖気塊)が入り込んだ事によって生じたものと考えられる。

北側で気温逆転があったのと同時時間帯に発生地南側の斜面では気温逆転がみられず、また、温位変化も北側が南側より6~9時間程度の遅れがあった。これは山地の存在が北側の標高の低い地域に南側からの暖気塊が進入する事を妨げ、この地域にあった冷氣塊の上に暖気塊を「乗せる」役目を果たしたのではないかと考えている。この問題については、今後の気温データの蓄積や、風、湿度などの観測による検証が望まれる。

発生地内の気温は安定しており、平均するとマイナス0.1°Cで変化がほとんど無かった。

発生時間中、発生地内の降水量は1~3mm/hと弱かった。このため、雨水は大きく成長せず、森林などへの被害も生じなかった。

今回の観測によって、雨水現象は軽微なものであれば比較的短期間でもとらえられる感触を得た。さらに事例を増やし、今回見られたいくつかの特徴について検証を進める必要がある。

謝 辞

本研究では長野県諏訪建設事務所、長野県望月少年自然の家、白樺湖観光センター、長野・山梨県内12ヶ所の消防署、霧ヶ峰有料道路管理事務所、ならびに信州大学経済学部の柳町先生から貴重な観測資料の提供をいただきました。また、長門町役場産業課林政係、立科町役場商工観光課林務係、諏訪営林署総務課、蓼科観光開発(株)の各機関には観測所設置にご協力をいただきました。関係者のみなさまに厚くお礼申し上げ

げます。また、研究の進行に当たって東京大学理学部の松本先生、東京都立大学理学部の菅野氏ならびに気候コロキウムの諸氏からは貴重なアドバイスをいただきました。併せてお礼申し上げます。

参考文献

- 井上桂, 増田久夫, 1955: 上川盆地の雨水被害について, 林業試験場北海道支場特別報告, 3, 98-102.
- 気象庁, 1988: 地上気象観測法, 日本気象協会, 160-161.
- 河野良治, 竹下幸, 志水俊夫, 吉本衛, 1975: 日本林学会九州支部大会講演論文集, 28, 211~212.
- Martner, B. E., R. M. Rauder, R. M. Rasmussen, E. T. Prater, and M. K. Ramamurthy, 1991: Impacts of a Destructive and Well-Observed Cross-Country Winter Storm. Bull. Amer. Meteor. Soc., 73, 169-172.
- 三沢勝衛, 1923: 大正十二年一月二十二日二十三日の長野県中部の雨水に就て(第二報), 気象集誌第二輯, 1(4), 61-72.
- 村井日吉, 1939: 千葉県演習林の雨水被害報告, 東京帝国大学農学部演習林報告, 27.
- 長野地方気象台, 1988: 信州の気候百年誌, 長野地方気象台, 気象協会長野支部, 63.
- 長野県, 1981: 長野県の災害と気象 昭和55年, 長野県生活環境部消防防災課, 9-11.
- 長野県天文気象教育研究会編, 1978: 信州の天気, 信濃毎日新聞社, 221-224.
- 小口八郎, 1951: 着水の気象条件について(着水の物理的研究), 低温科学, 6, 103-115.
- 岡田武松, 1934: 気象学 上巻, 岩波書店, 377~380.
- 大木政夫, 今井元政, 1969: 森林の雨水害調査, 長野県林指業務報告, 昭和43年度, 28~33.
- 武田繁後, 1957: 林木の冠雪害と雨水害, 林業技術, 188, 9~14.
- 牛山素行, 1991: 異常気象・災害記録にみるわが国の雨水現象, 日本気象学会春季大会予稿集, 59, 256.
- , 宮崎敏孝, 1992 a: 1989年2月26日長野県下で発生した雨水現象—発生状況について—, 日本林学会中部支部大会講演論文集, 40, 141~144.
- , ———, 1992 b: 1989年2月26日長野県下で発生した雨水現象—森林被害の特徴について—, 日本林学会大会講演論文集, 103, (投稿中).