

1996年長野県小谷村土石流災害時の融雪機構に関する研究

宇治橋 康 行*

Snow Melt Mechanism at the Debris Flow Disaster Occurred at Otari Nagano Prefecture in 1996

Yasuyuki Ujihashi

A debris flow disaster has occurred at the Gamaharazawa valley in Otari Nagano prefecture in December 6, 1996 and destroyed fourteen of lives. The disaster was caused by not only rainfall but also snow melt occurred at the day before. In this study the author investigated the mechanism of snow ablation based on the heat balance analysis. The dominant heat fluxes were the sensible and latent heat fluxes because of rainy, warm and windy weather condition. The total amount of melt water was estimated to 20 to 40 mm.

1. はじめに

1996年12月6日長野県小谷村姫川左支川蒲原沢左岸標高1,300m付近において斜面崩壊が発生し、この崩壊土砂による土石流が発生し、折りから1995年7月豪雨災害による復旧工事あたっていた作業員が土石流に巻き込まれ死者行方不明者14名という惨事となった。我が国では毎年のように山腹崩壊や土石流による災害が発生しているが、これらのほとんどは6～10月の降雨期に大量の降雨により発生している。これに比べ今回の土石流は、12月という雨の少ない、寒い時期に大量の水の供給なしに発生したことが大きな特徴の一つである。しかしながら、後述するように土石流発生の前日は比較的気温が高く、しかも崩壊地周辺にはかなりの積雪があったと想像され、降雨の他に融雪が斜面崩壊および土石流発生の誘因として寄与していたことが考えられる。我が国の山間部では冬期にかなりの積雪が見られるのが一般的である。したがって、今後も積雪期の気象条件によっては融雪を誘因とする斜面崩壊や土石流の発生も予想される。そこで、降雨だけでなく融雪の寄与による積雪期の土石流に対する防災、避難体制を確立していく上からも融雪の寄与を解明することは重要である。本研究では熱収支法により斜面崩壊時の融雪機構および斜面に供給された融雪量の推定を行った。

2. 流域および気象概要

2.1 流域概要

蒲原沢は姫川左支川で流域面積は国界橋地点で3.7km²、崩壊地より上流の流域面積は約0.96km²、平均標高1,475m、平均河道勾配約20°である。図-1に示すように、全体としては急峻なV字型の

* 建設工学科 土木工学専攻

谷を形成しているが、沢の右岸側と左岸側では様相が異なる。右岸は流域幅も狭く勾配も急な斜面を形成しており水の流れる沢はない。左岸側は幅もやや広く緩やかな斜面を形成し、水の流れる沢が発達している。

流域の地質は図-2 に示すように、下流側から粘板岩や砂岩からなる古生代の地層である姫川層、崩壊地よりも上流域は主として頁岩、砂岩、礫岩の互層から成るジュラ紀の来馬層群とこれをを被う安山岩質溶岩類の第4紀の白馬大池火山噴出物が存在している。

2. 2 気象概要

12月4日9時に東シナ海で発生した1016hPaの低気圧は5日9時には996hPaに発達しながら新潟付近を通過し、土石流の発生直前の12月6日9時には984hPaとなってオホーツク海を通過している。これにともなって、土石流発生前日の12月5日には上空に暖気が入り、標高の高い山岳部でかなり気温が上昇し、いわゆる逆転現象が生じていたと思われる。図-3は12月5日の小谷村(標高600m)、梅池スキー場(標高1,582m)、八方尾根スキー場(標高1,398m)、岩岳スキー場山頂(標高1,283m)およびコルチナ国際スキー場(標高1,400m)での気温とコルチナ国際スキー場での降水量を示したものである。一般に気温は標高が高くなるほど低くなり、気温の高度減率は湿潤空気では0.5°C/100m前後とい



図-1 蒲原沢流域概要図

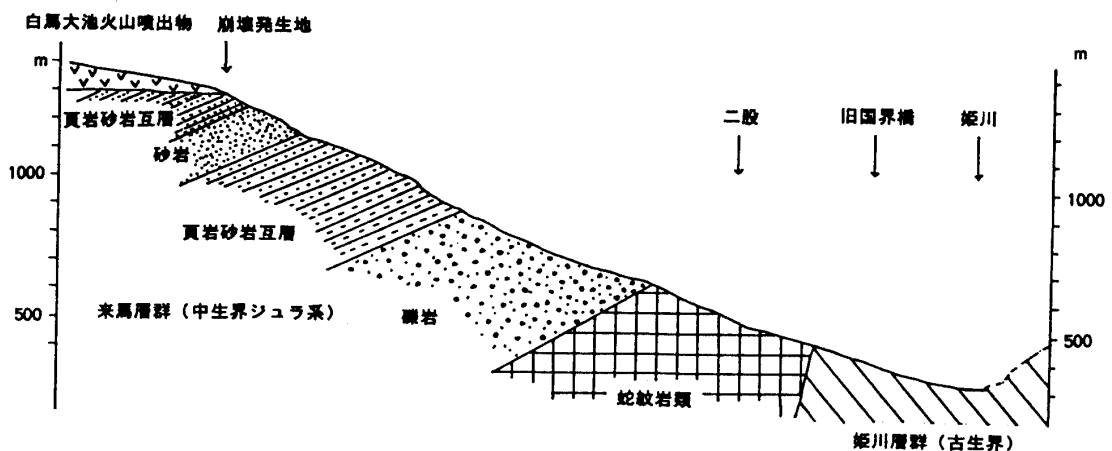


図-2 流域の地質構造概要

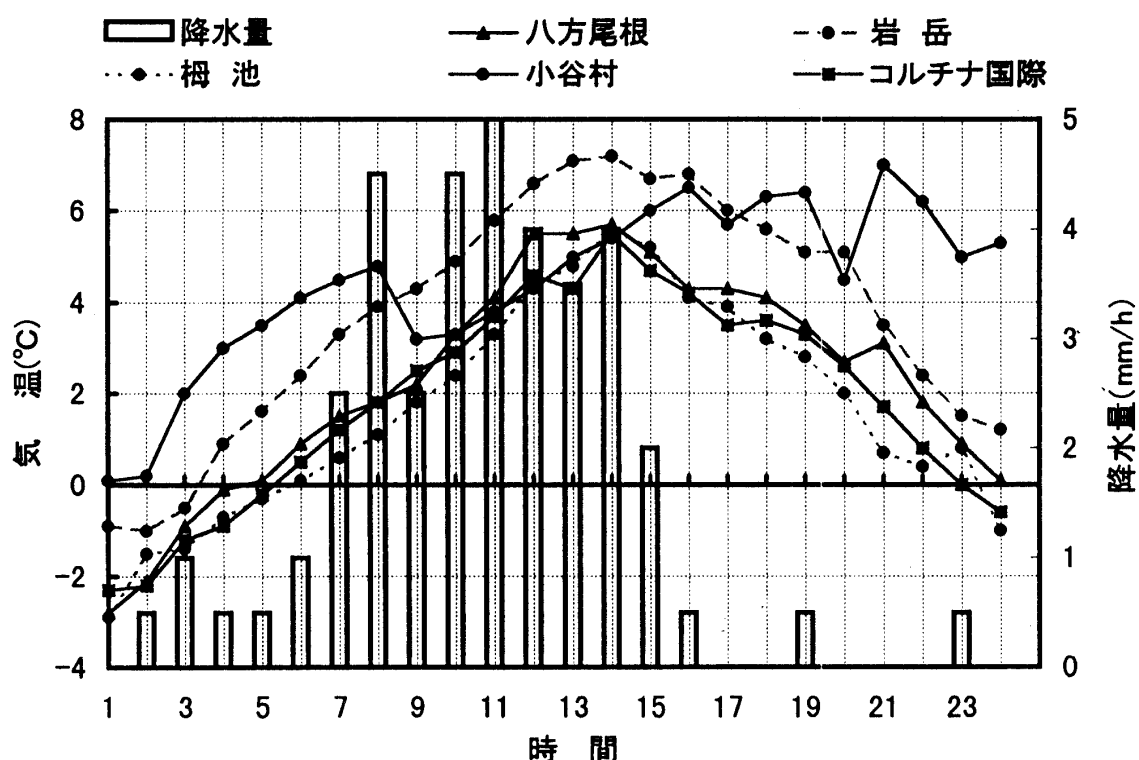


図-3 12月5日の気温および降水量

われている。このことからすると、3スキー場での気温は4～4.5℃低く、-1℃～1℃程度となる。しかしながら、図を見ると9時～15時の間で栂池、八方尾根、コルチナの3スキー場と小谷村での気温がほぼ等しくなっている。このことから、前に述べた、いわゆる気温の逆転層が生じていたことがわかる。このような山岳地域での高温が融雪を促進する一因となったことが想像される。

3. 融雪機構および融雪量の推定

融雪量の算定には1) 熱収支法、2) 融雪係数法、3) 雪面の低下から推定する方法の3つがある。この中で、融雪係数法は、時間単位の融雪量の推定には適用できない。また、雪面の低下から推定する方法は積雪の密度を正確に推定できれば融雪量をかなりの精度で推定できるが、融雪機構の検討はできない。融雪の機構および融雪量を推定できる方法は熱収支法のみであるといえる。本研究では雪面の熱収支に基づく融雪量の推定および融雪機構について検討することとした。

雪面表層の熱収支の基礎式²⁾は

$$Q_C + Q_{Melt} = Q_G \quad (1)$$

である。ここに、 Q_C ：積雪表層の温度変化に使われるエネルギー、 Q_{Melt} ：融雪に使われるエネルギー、 Q_G ：積雪表層が表面から得るエネルギーである。 Q_G は次式で与えられる。

$$Q_G = (1 - Al) I_S + L_d \downarrow - \varepsilon_s \sigma T_S^4 - H - lE + Q_{rain} \quad (2)$$

ここに、 Al ：積雪表面のアルベド、 I_S ：斜面全天日射量、 $L_d \downarrow$ ：下向き大気放射量、 ε_s ：雪面

の射出率, σ : Stefan-Boltzmann 定数, T_s : 積雪表面温度 (K), H : 顕熱伝達量, lE : 潜熱伝達量, Q_{rain} : 降雨による伝達熱量である。潜熱および顕熱伝達量はバルク表現を用いれば, それぞれ

$$H = c_p \rho C_H U (T_s - T_a) \quad (3)$$

$$lE = l \rho C_E U (q_s - q) \\ \approx l \rho C_E U \left[(1 - rh) q_{SAT}(T_a) + \left. \frac{dq_{SAT}}{dT} \right|_{T=T_a} (T_s - T_a) \right] \quad (4)$$

と表される。ここに, c_p : 空気の定圧比熱, ρ : 空気の密度, C_H : 顕熱輸送のバルク係数, U : 風速 (m/s), T_s : 積雪表面温度, l : 水の気化の潜熱, q : 比湿, q_s : 雪面温度に対する飽和比湿, $q_{SAT}(T_s)$: 気温 T_a に対する飽和比湿, C_E : 潜熱輸送に対するバルク係数, q_{SAT} : 水蒸気の飽和比湿である。式 (3), (4) を式 (2) に代入し T_s について解けば,

$$T_s = \frac{(1 - Al)I_S + L_d \downarrow - \sigma T_a^4 - l \rho C_H (1 - rh) q_s}{4 \sigma T_a^3 + \left(l \frac{dq_{SAT}}{dT} + c_p \right) \rho C_H U} + T_a \quad (5)$$

となる。式 (5) の T_s を式 (3), (4) に代入すれば顕熱および潜熱伝達量が求められる。

また, 一般に下向き大気放射量 $L_d \downarrow$ は実測値がないのが普通であり, ここでは次式の Brunt の式³⁾を用いて晴天時の大気放射量を推定し, さらに日照時間を用いて雲量による補正を行って推定した。

$$L_{df} \downarrow = (0.53 + 0.066 \sqrt{e}) \sigma T_a^4 \quad (6)$$

$$L_d \downarrow = \sigma T_a^4 \left[1 - \left(1 - \frac{L_{df} \downarrow}{\sigma T_a^4} \right) C \right] \quad (7)$$

$$C = 0.826 \left(\frac{N}{N_0} \right)^3 - 1.234 \left(\frac{N}{N_0} \right)^2 + 1.135 \left(\frac{N}{N_0} \right) + 0.298, \quad 0 < \frac{N}{N_0} \leq 1 \\ = 0.2235 \quad N/N_0 = 1 \quad (8)$$

ここに, $L_{df} \downarrow$: 晴天時の下向き大気放射量, e : 地表面付近の水蒸気圧, N : 日照時間, N_0 : 日照時間である。雪面の射出率は 0.97 とし, アルベドは山崎ら⁴⁾の実験式により推定した。

4. 計算結果と考察

計算には崩壊地点付近の標高に近く, 日射量の観測値のあるコルチナ国際スキー場の気象データを

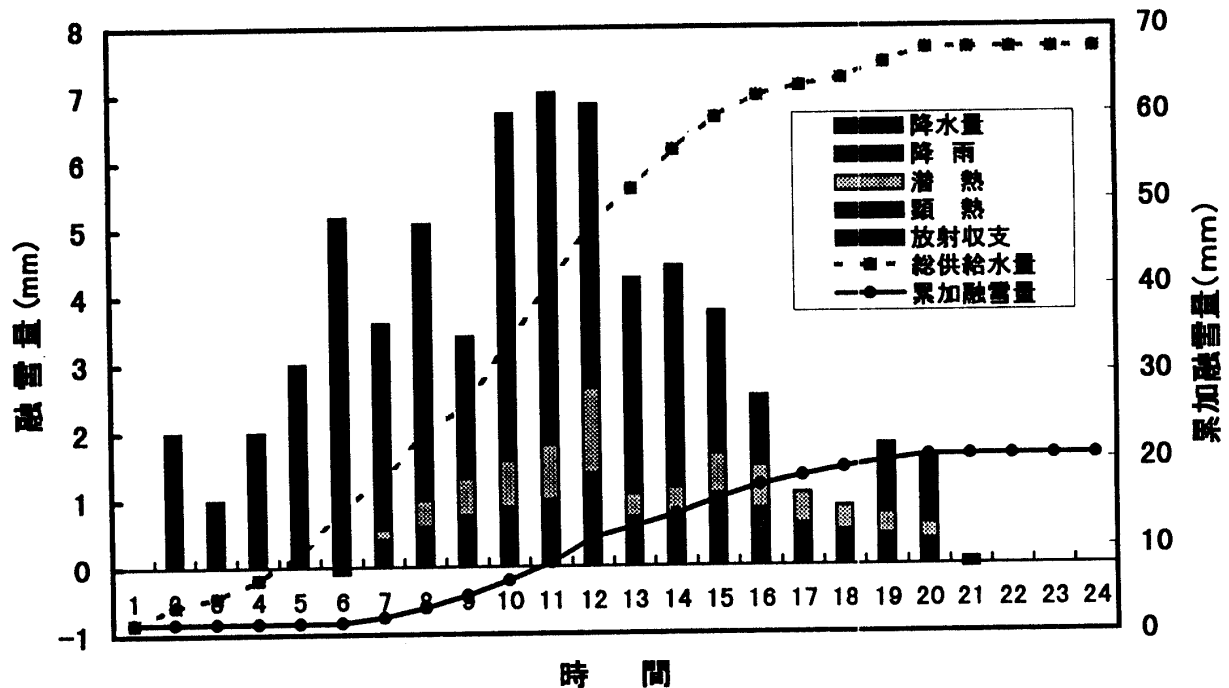


図-4 12月5日の融雪量

主に用い、同スキー場で観測されていない、気圧、相対湿度のデータについては梅池、八方、岩岳の各スキー場のデータを用いた。また、大気放射量の推定に用いる日照時間は周辺 AMeDAS 観測所のデータを用いたが、12月5日は周辺で40~80mm程度の降雨があり、日照時間はほとんど0であった。

コルチナ国際スキー場での観測データを中心に算定した熱収支法による融雪量の計算結果を図-4に示す。図-4には熱収支の各項別の融雪量、累加融雪量および降水量をあわせた斜面への総供給水量の累加値を示した。計算の結果、下向き大気放射量は 300W/m^2 前後の値で日変化も少なく、雪面からの長波長放射量とほぼ同じであり、放射による熱量のほとんどは日射によるものであった。図に示すように、毎時の融雪量に占める割合は顕熱および潜熱が約80%と大部分を占め、放射収支および降雨による融雪はわずかであり、総融雪量は19.13mmであった。これは、前述のように当日は気温が高く風速も強く、さらに、降雨があり長野県内の近隣の AMeDAS 観測所の日照時間が0時間であったことに示されるように日照がなくコルチナ国際スキー場での日射量の観測値も 1.32MJ/m^2 と極めて少なかったためである。この結果から、崩壊地点付近では66.1mmの水が斜面に供給されたと推定される。以上述べたように、今回の土石流発生の原因となった融雪の機構は、短波、長波長放射量が主要な熱源となる春の融雪最盛期に比べ異なった融雪機構となっており、融雪に最も寄与する気象因子は気温と風速である。気温と風速は気象因子の中でも場所的な変動の激しいものの代表であり、特に、風速は局所の変動が大きい。したがって、コルチナ国際スキー場のデータから

求めた前述の融雪量が実際の蒲原沢崩壊地点より上流域の融雪量をどの程度代表しているかを検討しておく必要がある。

表-1 は気温、風速の値を変えて同様な計算を行った結果を示したものである。表から風速が 1.2 倍、1.5 倍になっても融雪量は 3.1mm、7.7mm 増加するだけであるが、気温が 1°C、1.5°C、2°C 増加すると融雪量は 8.8mm、13.87mm、19.8mm と増加する。この結果から気温の影響がより大きいことが分かる。

前述の図-3 に示したように、9 時～15 時の間で標高 600m の小谷村の気温と標高 1,300～1,400m にある各スキー場の気温とにほとんど差はみられない。しかし、標高 1283m の岩岳スキー場の気温は標高が約 100～200m 高い他のスキー場より 1.5～2°C 程度高くなっていることが分かる。したがって、崩壊地点より上流域の当日の気温も 1.5～2°C 程度高かった可能性もある。このことを考えると表-1 から融雪量を合わせた総供給水量は 80mm～86mm 程度であったと推定される。

表-1 気温、風速の変化による融雪量の変化

Case	気温 (°C)	風速 (倍率)	融雪量 (mm) (12/4～12/6)	12月5日の融雪量 (mm)
1	±0.0	× 1.0	20.43	19.13
2	±0.0	1.2	23.28	22.23
3	±0.0	1.5	27.57	26.88
4	+1.0	1.0	29.69	27.90
5	+1.0	1.2	34.04	32.52
6	+1.5	1.0	35.21	33.06
7	+1.5	1.2	40.42	38.57
8	+2.0	1.0	41.67	39.02
9	+2.0	1.2	47.91	45.58
10	+2.0	1.5	57.33	55.43

5. 結 語

1997 年 12 月 6 日長野県小谷村蒲原沢で発生した土石流は死者行方不明者 14 名という惨事となった。発生した土石流の土砂量そのものは前年豪雨災害時に比べて規模の小さいものであったにもかかわらず惨事となった最大の原因は土石流発生当日は降雨がなく小雪が降る状況であり、前日の雨も総量で 40～50mm と警戒雨量に達しておらず避難勧告が出されず復旧作業が行われていたことにある。しかし、本研究によれば土石流発生前日は気温の逆転層が生じ、標高の高い山岳地域でも気温が高く、風も強かったため、顕熱、潜熱輸送による融雪が促進される条件にあり、融雪量は約 20mm～40mm 程度であったと推定された。降雨量と合わせれば約 70～90mm 程度の水が斜面に供給されていたと考えられる。この量は避難体制を取る基準の警戒雨量 70mm を超えており、もし、融雪も考慮に入れた管理体制が確立されていれば今回のような惨事は防ぐことが出来たかもしれない。今後の河川工事における防災対策において融雪の考慮とその監視システムの導入が考慮されるべきであると考えられる。

参考文献

- 1) 赤羽貞幸：蒲原沢土石流発生之地形地質学的背景，文部省科学研究費報告書「1996 年長野県小谷村の土石流災害調査研究」，1996 年 3 月.
- 2) 近藤純正編著：水環境の気象学，朝倉書店，1994 年.
- 3) 竹内清秀,近藤純正著：大気科学講座 I 地表に近い大気，東京大学出版会，1981 年.
- 4) 前出の 2).

(平成 9 年12月11日受理)