

10 96.12.6 姫川左支蒲原沢土石流発生機構に関する応用気象学的検討 Ⅲ. 熱収支より推定される地面状況について

信州大学農学部 ○鈴木 純、星川和俊、宮崎敏孝

1. はじめに

標記土石流は、一般に報告されている多くの土石流の事例と異なり、寒冷期に発生しており、その発生メカニズムについて諸説提案されている。川上ら（信州大）はすでにこの土石流が浅層地下水の増加が引き金となっていることを報告している。前報（宮崎ら、星川ら）では、土石流発生当時の気象の特徴、状況について検討を行ったが、各気象要素がどのような振る舞いで地表面付近の水量の増加をもたらしたかについて、熱収支解析的な検討を行ったので報告する。

2. 方法

気象データはAMeDAS、農業気象観測システム(AWS)の観測値を使用した。周知の通りAMeDASでは、気温、雨量、日照、風向および風速（4要素観測所）が各正時毎計測されている。AWSにおいては、AMeDAS観測項目に加え、日射、湿度、純放射（正味放射）、地温、積雪深および地表面温度が計測されている。ここでは土石流発生現場から南方約30 kmに位置するAWS-S2の観測値を使用した。また信州大学農学部附属演習林苗圃（長野県南箕輪村）において冬期のヒノキ苗圃の放射・地象の観測を行っている。観測項目は、地温、気温、湿度、純放射、反射放射、積雪温度、地表面温度、地中熱フラックスである。

積雪条件下の地表面の熱収支は式（1）、各熱収支項はそれぞれ式（2）～（5）で示される。

$$R_n + A = IE + S + G_{\text{snow}} + G_{\text{ground}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$IE = \iota \rho C_E U (q_s - q) \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$S = C_p \rho C_H U (T_s - T) \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$G_{\text{snow}} = K_{\text{snow}} \cdot (T_{sz1} - T_{sz2}) / \Delta z \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$G_{\text{ground}} = K_{\text{ground}} \cdot (T_{gz1} - T_{gz2}) / \Delta z \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 R_n は純放射、 A は移流項、 IE は潜熱、 S は顕熱、 G_{snow} は積雪層内熱流、 G_{ground} は地中熱流（以上単位は W/m^2 ）、 ι は水の気化潜熱、 ρ は空気の密度（ kgm^{-3} ）、 $C_E U$ は潜熱の交換速度（ ms^{-1} ）、 q_s 、 q は温度 T_s （表面）および T における比湿、 $C_p \rho$ は空気の体積熱容量（ $JK^{-1}m^{-3}$ ）、 $C_H U$ は顕熱の交換速度（ ms^{-1} ）、 K_{snow} 、 K_{ground} は積雪、地中の熱伝導率、 $(T_{sz1} - T_{sz2}) / \Delta z$ 、 $(T_{gz1} - T_{gz2}) / \Delta z$ は積雪および地中の温度勾配である。なお、放射項はすべて下向きを正としている。

3. 結果と考察

3.1. 地中—積雪—大気間の熱交換：積雪期間のヒノキ苗圃の地温、積雪温度、放射項の推移をFig. 1に示す。気温が示すとおり寒冷な気候で推移している。積雪により土壤表面の温度勾配は小さいが、土壤深度が深いほど地温は高く推移した。その結果、地中熱フラックスは常に上向きとなっている。純放射は、日中、夜間ともに地温、地中熱フラックスに影響を及ぼしていないことから、積雪層内の温度変化に費やされていると推察される。つぎにAWS-S2の観測値を用いた検討を行う。土石流発生前日のAWS-S2の地表面温度、地温(5cm)、を用いて底面融雪量を算出した。雪（氷）の融解熱は $3.34 \times 10^5 (J/kg)$ を定数と

して用い、2.89 mm/dayを得た。この融雪は積雪以降常に継続して生じていたと思われる。次に気温、湿度および風速の観測値を式(2)、(3)に代入し、潜・顕熱を算出したところ、それぞれ2.09、2.74 mm/dayを得た。降水による融雪は降水の温度を湿球温度と同等と仮定すると、1.53 mm/dayを得た。各融雪深を合計すると、9.25 mm/dayとなった。融雪に対する空気中の水蒸気の雪面への凝結潜熱の影響が大きいことがわかる。

3.2. 土石流発生時に推定される地面状況：3.1.で述べたとおり積雪底面では常に融雪が生じており、12月はじめの降雪以降、土壤表層は非常に含水率が高い状態であったと推察される。また高温・高湿による融雪が促進され、土壤表層の含水率が急激に上昇したと考えられた。新潟大の報告(速報(2))によれば、山腹斜面からの湧水が確認されている。急激な融雪により新たな水脈が形成されたものと推察される。積雪底面(土壤表面)は、0℃以上であることがほとんどであり、力学的には見かけの摩擦角の減少(京都大)が推察される。

3.3 総括：降雨時あるいは降雨直後に気温が上昇すると水蒸気圧が上昇し、雪面に凝結潜熱が伝達しやすくなり、風速が大きいとこれが促進される。顕熱伝達も同様で、式(1)中の移流項が増加する。積雪の温度が高い状態では、底面および表面で同時に融雪が進行する。雨の融雪に対する寄与はさほど大きくない。地中-積雪-大気間の熱交換のモデルは、Fig. 3に示すとおりとなる。

4. おわりに

蒲原沢土石流発生時の近傍の気象データから、予想される地面状態について検討した。急激な融雪は、土石流発生以前の気温・降水条件に加え、高温・高湿による雪面への負の潜熱により促進されたことが推察された。その結果、土壤表層付近は非常に含水率の高い状態が形成されたと考えられ、見かけの摩擦力等の力学的要素の低下が推定される。

高温・高湿・強風時には、融雪が促進されることが強調され、流路近くにおける工事には特に配慮が必要である。

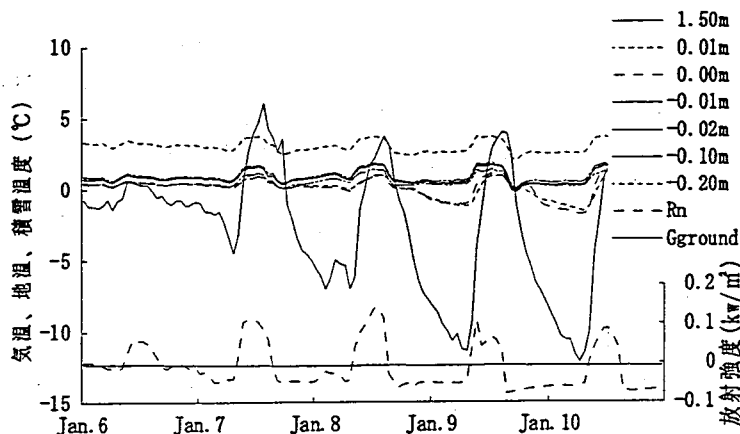


Fig. 1 降雪後の気温、地温、積雪温度の推移
(3年生ヒノキ苗圃、信州大学農学部付属演習林)

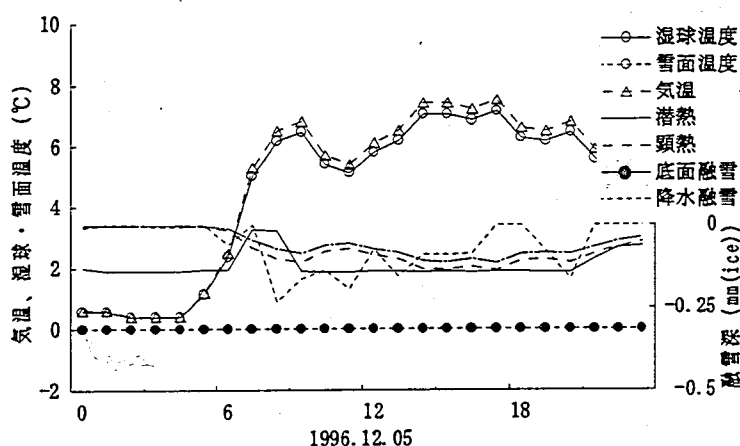


Fig. 2 AWS-S2観測局の温度と融雪強度の日変化
(式(2)、(3)、(5)による)

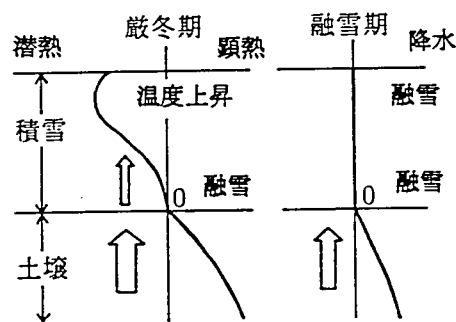


Fig. 3 地中-積雪-大気の熱交換モデル(近藤に加筆)