

# サーマルカメラによる1997年7月斜面崩壊の調査 ～出水市針原地区と長崎市北陽町を対象として～

後 藤 恵之輔\* · 全 炳 徳\*  
中 村 晋 一\*\* · 山 中 稔\*  
持 下 輝 雄\*

## Survey for Slope Failures of July, 1997 by Using Thermal Camera

～Harihara Area, Izumi City and Hokuyo Town, Nagasaki City～

by

Keinosuke GOTOH\*, Byundug J U N\*, Shin-ichi NAKAMURA\*\*  
Minoru YAMANAKA\* and Teruo MOCHISHITA\*

The heavy rain in June and July of 1997 caused some natural disasters in various places in Kyushu Island. Among these disasters the slope failure yielding the debris flow of July, 10 at Harihara area in Izumi City, Kagoshima Prefecture and the slope collapse of July, 19 at Hokuyo Town in Nagasaki City were dealt with in this study. To investigate the causes of these slope failures the authors surveyed these areas by using a thermal camera, a spectral photometer and an elastic wave prospecting method. Investigation was carried out also to find out the relationship between the slope failures at Harihara area and the earthquake occurred before three months at north-west part of Kagoshima Prefecture. As a result of this investigation, it was found that there was a relationship between the slope failure of Harihara area and the earthquake, while the surface temperature of Hokuyo area slope failure was very different from other areas.

### 1. はじめに

今年(1997年)の梅雨は、九州で6月から7月に掛けて大雨が降り続いたが、この長雨により各地で土砂崩れ等の自然災害が発生した。中でも、鹿児島県出水市針原地区で7月10日未明に発生した土石流により、針原地区の住家18棟が押し流され、死者21名、重軽傷者13名を出す大惨事となった<sup>1),2)</sup>。

この土石流災害は、土石流の挙動にも不明な点が多いが、土石流発生の原因とされている針原川上流部で

の斜面崩壊は、崩壊までに累積降水量が1000mm以上もあった。しかし、なぜそこだけが崩れたのか。この原因について異常な降水、地すべり、過剰地下水圧など、様々な推測が現在までになされてきた。

そこで本研究では、同年3月と5月に発生した鹿児島県北西部第1, 第2地震やそれに伴う周辺の活断層の影響も視野において、斜面崩壊部を地上リモートセンシング技術である、サーマルカメラ(赤外線放射温度計)とスペクトルフォトメータ(分光放射率計)を

平成9年10月28日受理

\*社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

\*\*大学院修士課程社会開発工学専攻 (Graduate Student, Department of Civil Engineering)

用いた観測を行い、崩壊の発生原因について検討を行った。また、弾性波速度の測定により、崩壊斜面の密度の解析も行った。

また、この他に、1997年7月19日未明に発生した長崎市北陽町の斜面崩壊についても、7月23日にサーマルカメラによる観測を行ったので、その結果の報告も行う。

## 2. 使用機器及び観測手法

出水市と北陽町の観測に用いた機器は、サーマルカメラとスペクトルフォトメータである。また、出水市の斜面崩壊部については崩壊部地盤に対して弾性波速度を計測した。

### 2.1 サーマルカメラ

サーマルカメラとは、観測対象の表面が放射する熱赤外線を検知し、観測対象表面の温度を計測する機器のことである。現在、観測対象表面の場所による相対的な温度差から、構造物の壁面や、のり面の空隙もしくは亀裂の検出などに使用されている。

本研究で使用したサーマルカメラはNECのTH3100シリーズMRと呼ばれる機種で、センサ部はTH3102MR（観測波長8～13 $\mu\text{m}$ 、温度測定範囲-50～2000 $^{\circ}\text{C}$ ）、本体部はTH31-110と呼ばれるものを使用した。

### 2.2 スペクトルフォトメータ

スペクトルフォトメータとは、物質が反射する電磁波の反射率を計測する機器である。400, 425, 450, 475, 500, 525, 550, 575, 600, 625, 650, 675, 700, 750, 850, 950, 1050nmの17個の波長ごとの反射率を測定する。ここでの反射率とは、白色板との比較した値である。

参考として、紫色から青色は約380nm～490nm、緑色から黄色は490～590nm、橙色から赤色は590nm～770nmで、770nm以上は近赤外線である。

### 2.3 弾性波探査

弾性波探査とは、地表付近または地中で人工的に弾性波を発生させ、弾性波が地盤を伝わる状況を、地表に設けた測定装置で観測し、弾性波の伝達時間から地中の構造や岩質等を調べる方法である。

## 3. 出水市土石流災害の崩壊部観測

本研究では、7月10日未明に発生した出水市針原地区土石流災害の、土石流を引き起こした針原川上流の

崩壊部を、7月24日と8月28日にサーマルカメラを用いて観測を行った。

### 3.1 7月24日の観測結果及び考察

災害発生から2週間後の7月24日、サーマルカメラを用いて観測を行った。観測時は快晴で、午後2時30分頃に測定した気温は33.0 $^{\circ}\text{C}$ で、観測対象の放射率は0.95に設定した。観測を行った崩壊部の写真を写真-1に、サーマルカメラの画像を画像-1に示す。

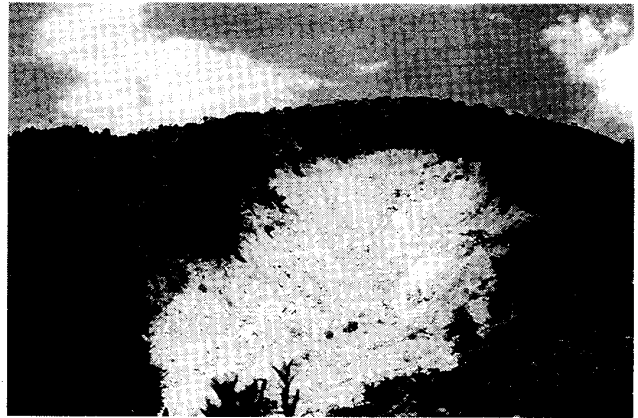
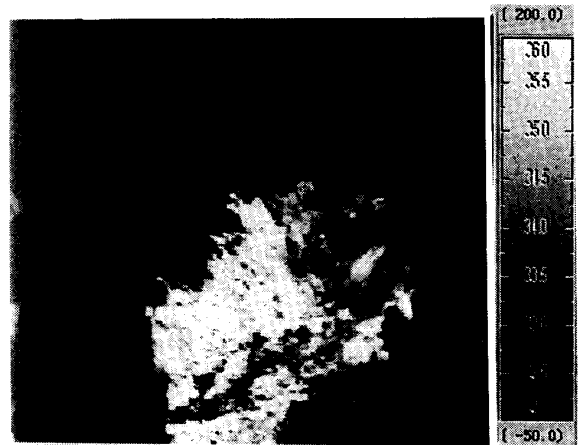


写真-1 7月24日に観測した出水市斜面崩壊部の状況



画像-1 7月24日に観測した出水市斜面崩壊部のサーマルカメラ画像  
(中心温度34.0 $^{\circ}\text{C}$ 、計測幅0.5 $^{\circ}\text{C}$ )

写真-1と画像-1を比較すれば、崩壊部が明るく表されており、高温であることを示している。周囲の植物は、蒸発散作用によって温度が低いものと思われる。また、崩壊部の向かって右側の斜面に、斜めに高温の部分がある。このとき太陽は右手から照っており、崩壊部右側は日陰になっていたのに、温度が低いはずであるが、この部分だけ温度が高くなっている。

こうしたことから、崩壊部の右側中央部分に何らかの異常があるものと考えた。

3.2 8月28日の観測結果と考察

8月28日の観測は、サーマルカメラとスペクトルフォトメータによって、午前6時頃から午後7時まで、崩壊部の温度変化及び崩壊部の右側と左側の500nm～1050nmの反射率を計測、比較を行った。また、弾性波探査によって崩壊部の右側と左側の密度を計測した。

8月28日に観測した写真と崩壊部のサーマルカメラ画像を写真-2と画像-2に示す。なお、サーマルカメラの画像は、7月24日に観測を行ったほぼ同時刻の午後2時30分のもので、設定した放射率は0.60である。

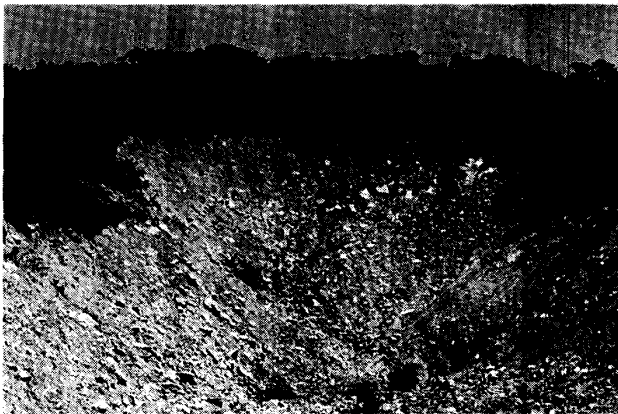
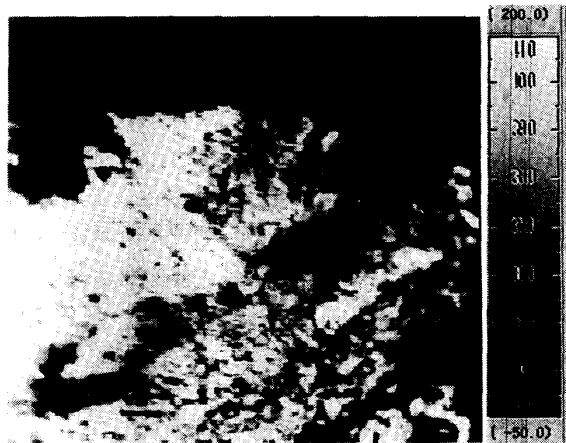


写真-2 8月28日に観測した出水市斜面崩壊部の状況



画像-2 8月28日に観測した出水市斜面崩壊部のサーマルカメラ画像  
(中心温度37.0℃、計測幅1.0℃)

8月28日観測のサーマルカメラ画像から、7月24日の観測時にあった崩壊部右側の高温部がなくなっているが、写真による比較をしてみれば、7月24日には崩

壊部右側中央に薄い岩石の層が見られ、この層による空隙のある部分を検出したものと思われる。

一般に、間隙やひび割れなどの強度的に弱い部分は周辺部に比べ、太陽光が当たった場合、高温であるか、温度の上昇もしくは下降が著しいことが分かっている。また、崩壊部の右側と左側とでは、写真-2のように異なるように見えることから、崩壊部を6時20分から19時までサーマルカメラで10分ごとに観測し、崩壊部の左側と右側の温度変化を抽出してみた。その結果を図-1に示す。

図-1を見れば、崩壊部の左側の温度は8:00から、右側の温度は10:40から上昇し始めており、温度差も15:00頃までほとんど一定である。これは、崩壊部が南西方向に向いているため、日の出が崩壊が起こった斜面の背後から上り日光が崩壊部を左側から照り出したため、崩壊部の右側が日光に照らされる時間が少し遅れたことも原因の一つと考えられる。

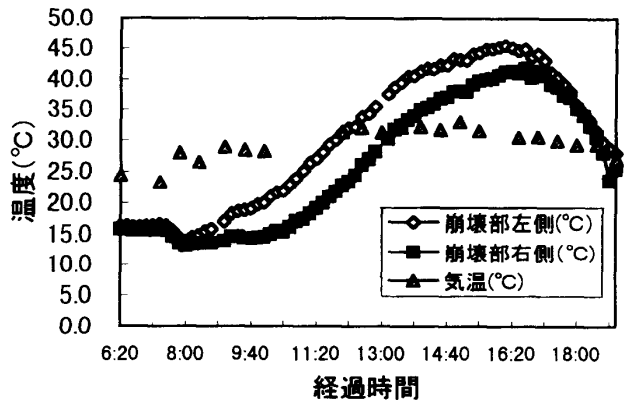


図-1 崩壊部の左右部における温度の経時変化

16:00を過ぎた頃になると、崩壊部左右部の温度が同時に低下する。崩壊部左側の温度の低下が右側に比べ顕著に見える。そこで、温度の時間による、崩壊部左側と右側の温度の上昇率と下降率を求めた。その値を表-1に示す。

表-1によれば、温度の上昇率は崩壊部の右側がやや大きく、下降率は崩壊部の左側がかなり大きい。温度上昇率の結果は、日射の開始時間が違うことや日射

表-1 崩壊部右側と左側の温度上昇率と下降率

	崩壊部左側	崩壊部右側
上昇率 (°C/時)	4.14 (8:00~14:50)	4.33 (10:40~14:50)
下降率 (°C/時)	6.28 (15:00~18:40)	5.28 (15:00~18:40)

の角度の違い、また左右ではほとんど差がないことなどから考慮外として、崩壊部左側で温度変化が顕著であることが言え、間隙もしくはひび割れがあるのは、7月24日の観測とは反対の崩壊部左側という結果となった。

次に、同日に行った弾性波探査の結果を表-2に示す。崩壊部の左側と右側の弾性波速度を比較すれば、右側が左側の2倍も速度が速く、崩壊部右側の地盤の密度が左側より高いことが分かる。

表-2 崩壊部左側と右側の弾性波速度

	崩壊部左側	崩壊部右側
弾性波速度 (m/s)	450	912

表-2の弾性波速度の結果を踏まえて、サーマルカメラによって計測した、崩壊部の時間による温度の変化と変化率の結果について考察を行ってみる。崩壊部の右側にはひび割れや間隙のような部分は見つからなかったことから、崩壊部の左側が密度が低いことで、地中の温度伝達が少ない分、崩壊部の右側よりも日射の影響を直接受け、表面温度の時間変化が大きくなったものと思われる。

スペクトルフォトメータによる観測は、午前中は崩壊部の右側がやや日陰になっていたことから、崩壊部の右側も陽が当たりだした11:00から1時間毎に17:00まで、崩壊部の左側と右側の反射率を測定した。測定した結果の一部を図-2に示す。

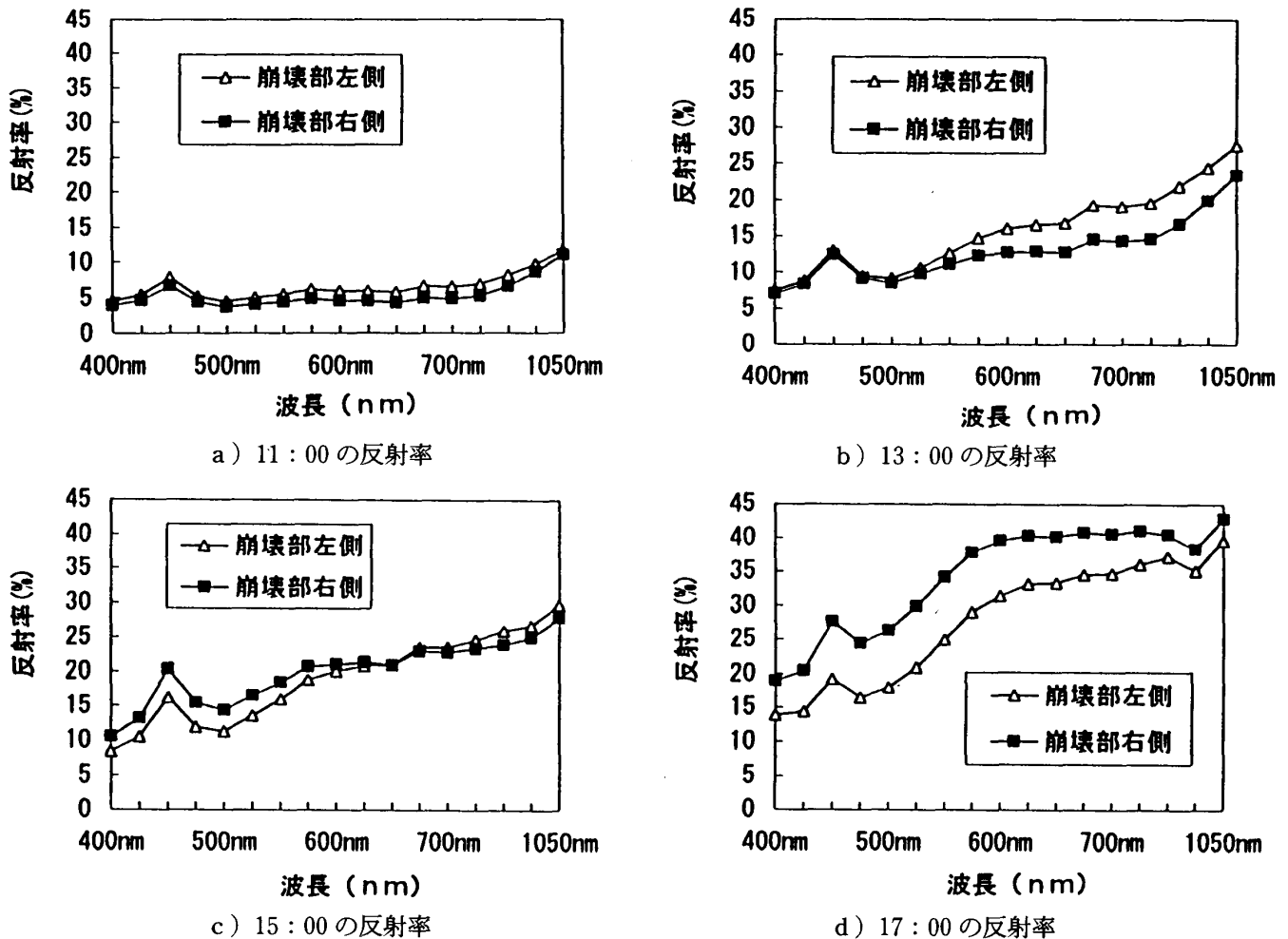


図-2 崩壊部の左右の分光反射特性

図-2の測定結果を時間別に見れば、12:00~14:00では崩壊部の左側が反射率が大きく、15:00を境に16:00からは崩壊部の右側が反射率が大きくなっている。

これは、観測時の太陽の位置の影響を考えることで、次のような説明ができる。崩壊斜面は南西方向を向いており、太陽は崩壊した斜面の背後から昇り、崩壊部の左側を8:00頃から照らし出した崩壊部左側の反射

率が、11:00から14:00の間は右側よりも大きい(図-2 a), b) 参照)。

太陽が崩壊部の正面に位置したのが15:00頃で、崩壊部の左右の反射率は同程度である。15:00を過ぎる

と太陽が南西に位置し、崩壊部の右側の正面に太陽が位置した状態になっていたため、崩壊部の右側の反射率が大きいのが分かる(図-2 c), d) 参照)。

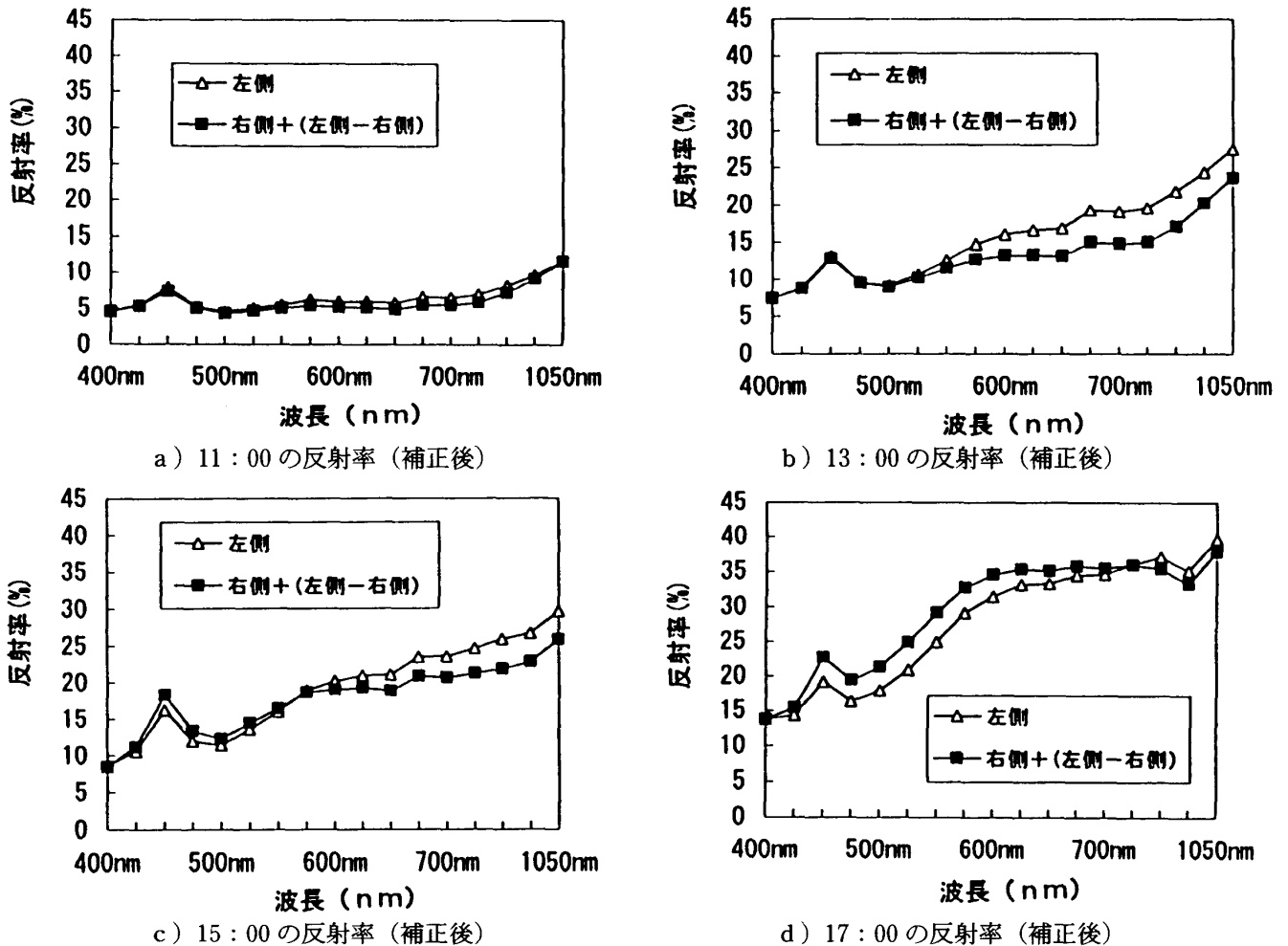


図-3 補正後の崩壊部の左右の分光反射特性

時間による太陽の位置や高度の変化によって生じた、崩壊部の左右の反射率の差を、スペクトルフォトメータの最小測定単位である400nmの値を合わせることで、崩壊部の左側と右側の比較をしやすくしたものを図-3に示す。

補正した崩壊部の左側と右側の反射率を比較すれば、どの時間帯を見ても同じように、崩壊部の左側が赤色～近赤外線に当たる波長帯の反射率が大きい。このことから、崩壊部の左側と右側とでは、物質もしくは物質の状態に相違があるものと思われる。

#### 4. 長崎市北陽町の斜面崩壊観測

北陽町の観測は、崩壊から5日目の7月23日16:00頃にサーマルカメラによる観測を行った。崩壊部全体

の状況を写真-3に、サーマルカメラの画像を画像-3に示す。なお、画像-3のサーマルカメラ画像の設定放射率は0.95である。

写真-3と画像-3を比べてみれば、サーマルカメラの画像上では、崩壊地の陽が当たっている向かって左側の部分と輪郭が明るくなっており、崩壊地の位置が特定できる。

また、崩壊部の左側、写真-3では日陰になっている辺りに、画像-3では縦に明るい筋が通っており、周辺とは何らかの違いがあることを示している。当時、崩壊地周辺は立入り禁止となっており、崩壊地に入って崩壊部地盤の詳しい状態を調べられなかったことから、この明るい筋の特定はできなかった。

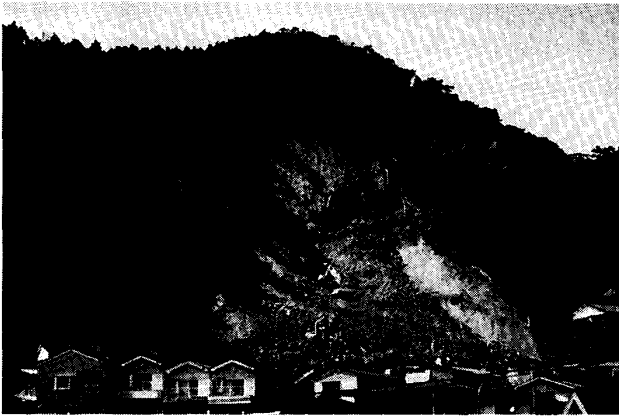
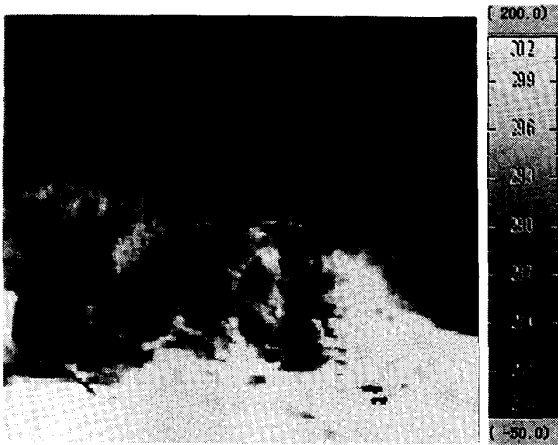


写真-3 7月23日に観測した長崎市北陽町斜面崩壊地の状況



画像-3 7月23日に観測した長崎市北陽町斜面崩壊地のサーマルカメラ画像  
(中心温度29.0℃, 観測幅0.3℃)

しくは地下水による作用と重なり合って、今回の崩壊を招いたものと考えられる。長崎市北陽町の斜面崩壊部では、崩壊部に向かって左側に縦に筋状の異質な部分を発見した。

しかし、サーマルカメラによる観測には、斜面崩壊の観測に限らず、放射率の設定が必要である。今回の出水市の斜面崩壊観測では、放射率の特定ができておらず、7月24日では0.95、8月28日では0.60と設定を変えて観測を行った。

サーマルカメラの観測で設定する放射率は、観測対象物やその状態によって異なることから、設定した放射率と観測対象の放射率に差があれば、観測対象の実際の温度の計測ができない。しかし、今回の研究では、観測対象の相対的な温度変化を用いたため、絶対的な温度はあまり関係ないことから、放射率の相違は考察から外した。しかし、設定放射率が観測対象の放射率と大きく異なれば、相対的な温度変化の幅も大きく変わることから、できるだけ放射率を観測対象に近い値に設定する必要がある。

また、出水市の観測で、1日の温度変化と分光反射特性を測定したが、その値は崩壊斜面の太陽との角度や日射量、観測時間によってかなり変わっていたことから、より高い精度、信頼度を得るためには、太陽の入射角、日射量、時間等を同時に計測すべきである。

3. で、8月28日のスペクトルフォトメータの計測値から、崩壊部の右側と左側の物質もしくは物質の状態が異なると言った、しかし、この反射特性が異なる原因(物質の化学的特性、湿度等)の特定まではできなかった。

## 5. おわりに

今回、出水市針原地区土石流を引き起こした斜面崩壊と長崎市北陽町の斜面崩壊を対象として、サーマルカメラ等を用いた観測を行った。

出水市の斜面崩壊部では、左側と右側とで岩質や密度の相違があることが分かった。左右の岩質の違いが、1997年の3月と5月に発生した地震および活断層、も

## 参考文献

- 1) 平野宗夫・北村良介: 鹿児島県出水市針原川土石流災害, 土木学会誌, Vol.82, No. 9, pp.26~28, 1997.9.
- 2) 読売新聞, 1997.7.11付.