

短報

赤外放射温度計による
雲仙・普賢岳の斜面高
温域の遠隔検出

山本晴彦*・鈴木義則**・早川誠而***

Remote Sensing of High Temperature on the Slope of
Mt. Unzen-Fugendake Volcano by Infrared Thermometer

Haruhiko YAMAMOTO*, Yoshinori SUZUKI** and Seiji HAYAKAWA***

Abstract

A remote sensing of high temperatures on the slope of Mt. Unzen-Fugendake Volcano was made by infrared thermometer. The maximum surface temperature on the northeast slope (Dome 4) of 18 October 1991 was 190°C and the surface area of raised temperature (>50°C) was 149,000m². The surface area of raised temperature on 3 April 1992 was greater than that on 18 October 1991. The changes in maximum surface temperature on the northeast slope and the east slope (Dome 2) followed. The maximum surface temperature of a pyroclastic flow of Dome 2 measured on 4 December 1991 was 236°C. The decreasing rate of surface temperature of a pyroclastic flow was 2.4–3.9°C/min.

キーワード：雲仙・普賢岳，赤外放射温度計，表面温度，リモートセンシング

Key words: Mt. Unzen-Fugendake volcano, infrared thermometer, remote sensing, surface temperature

1. はじめに

1990年11月17日，長崎県南高来郡小浜町にある雲仙・普賢岳（標高1,359m）が噴火した。今回の雲仙・普賢岳の噴火は寛政4年（1792）以来，約200年ぶりのことであった。雲仙・普賢岳の斜面では，噴火によって生じた溶岩ドームの崩落によ

って火砕流が頻繁に発生している⁵⁾⁶⁾⁹⁾¹²⁾。火砕流は，きわめて高温な火砕流本体と火砕流本体上部の灰雲（火砕サージ）からなり，火砕流が通過した地域では，森林，作物，建造物等の焼失が起こっている³⁾⁴⁾⁷⁾⁸⁾。

雲仙・普賢岳の溶岩ドームの内部に存在するマ

* 九州農業試験場生産環境部
Department of Agro-Environmental Management,
Kyushu National Agricultural Experiment
Station

本短報に対する討論は平成6年4月末日まで受付する。

** 九州大学農学部
Faculty of Agriculture, Kyushu University
*** 山口大学農学部
Faculty of Agriculture, Yamaguchi University

グマ溜りには多量の高温マグマが蓄積，供給されており¹⁾，雲仙・普賢岳の東側斜面では広範囲にわたり高温域が広がっているものと推察される。このような現状からみて，斜面の高温域の状態や火砕流の温度状態の実態解明が必要であるが，現在も火砕流が頻繁に発生していることから，詳細な現地調査を行うことは不可能な状態である。

このため，後藤ら²⁾，植田ら¹⁰⁾は，航空機に熱映像画像装置を搭載して雲仙・普賢岳の高温域の状態や火砕流の温度状態の測定を試みている。しかし，航空機による温度情報の収集は，気象条件に大きな制約を受け，さらに多大の経費を必要とすることから，長期間にわたり観測を実施するこ

とは困難であるといえる。

そこで本研究では，赤外放射温度計を用いて地上からの遠隔計測により雲仙・普賢岳の斜面の表面温度の測定を行い，斜面高温域の発達状態，火砕流の表面温度の測定および降温速度の解析を試みたので概要を報告する。

2. 測定方法

雲仙・普賢岳東斜面の表面温度の測定日時，赤外放射温度計の設置場所および測定対象斜面を Fig. 1 および Table 1 に，さらに Table 1 には観測時における雲仙岳測候所の気温，水蒸気圧，相対湿度，絶対湿度を示した。測定は，1991年10月18

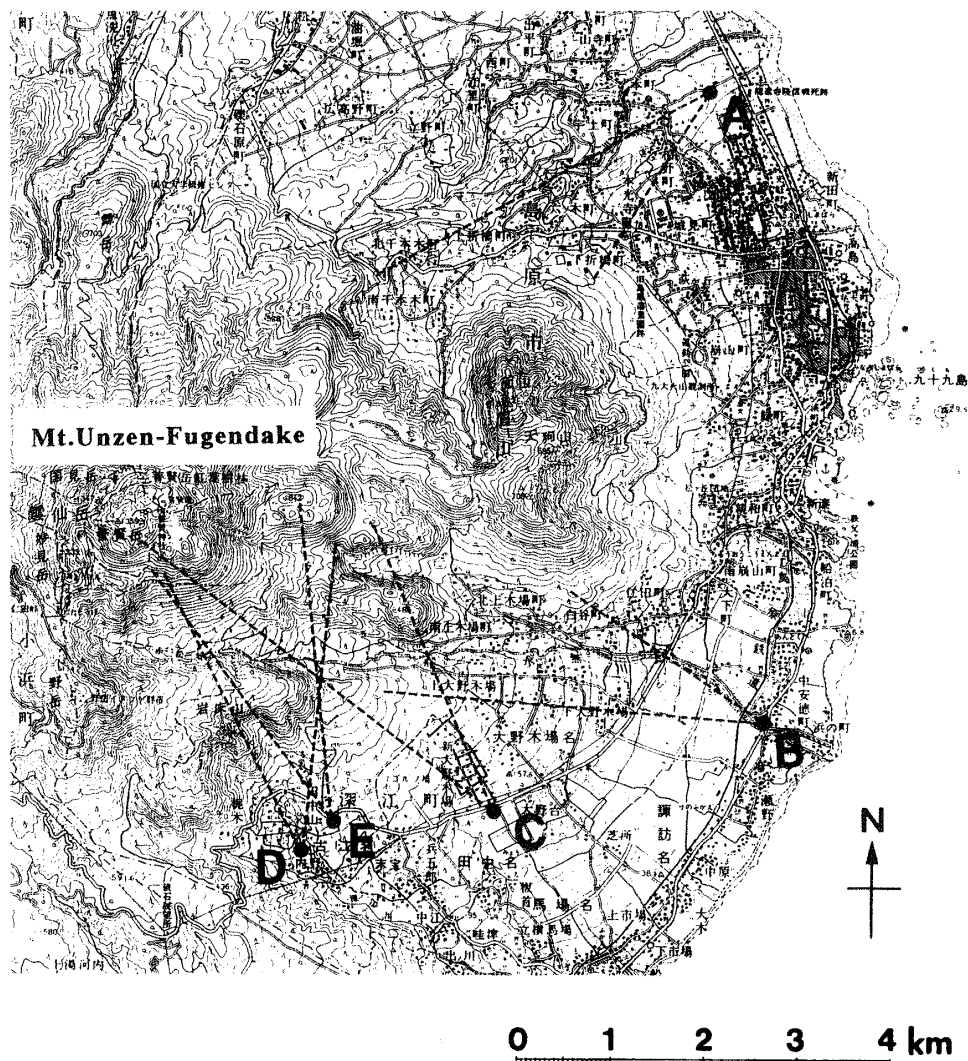


Fig. 1. Measuring places on the slope of Mt. Unzen-Fugendake by infrared thermometer.

Table 1. Measurements of surface temperature of Mt. Unzen-Fugendake by infrared thermometer.

Measured date	Place	Measured slope and dome	At ¹⁾ (°C)	Wvp ²⁾ (hPa)	Rh ³⁾ (%)	Ah ⁴⁾ (g/m ³)
18 Oct.1991	Kitamoncho ⁵⁾	Northeast, Dome3,4	16.5	9.9	53	7.4
	Minamiantokuchō ⁶⁾	East, Dome2,3	16.3	9.7	53	7.3
4 Dec.1991	Kitamoncho ⁵⁾	Northeast, Dome3,4,5	11.2	7.3	55	5.6
	Ohnokoba ⁹⁾	East, Dome2,3	10.9	7.8	60	6.0
	Furue ⁹⁾	East, Dome2,3	5.3	7.9	88	6.2
8 Jan.1992	Kitamoncho ⁵⁾	Northeast, Dome3,4,5	7.7	7.5	71	5.8
	Tanakayama ⁹⁾	East, Dome2,3,6	7.5	7.3	71	5.6
13 Mar.1992	Kitamoncho ⁵⁾	Northeast, Dome3,4,5	13.8	8.0	50	6.1
	Tanakayama ⁹⁾	East, Dome3,3,6	13.1	8.1	54	6.1
3 Apr.1992	Kitamoncho ⁵⁾	Northeast, Dome3,4,5	13.7	7.7	49	5.8
	Tanakayama ⁹⁾	East, Dome3,6,7	14.1	8.1	51	6.1
22 Jan.1993	Kitamoncho ⁵⁾	Northeast, Dome3,4	2.0	4.1	58	3.2
	Tanakayama ⁹⁾	East, Dome6,8,9	3.5	4.1	52	3.2

¹⁾ At : Air temperature, ²⁾ Wvp : Water vapor pressure, ³⁾ Rh : Relative humidity, ⁴⁾ Ah : Absolute humidity

⁵⁻⁴⁾ Measurements by Unzendake meteorological station

⁵⁾ Shimabara city, ⁶⁾ Fukae town, ⁷⁾ Measurement of pyroclastic flow

日, 12月4日, 1992年1月8日, 3月13日, 1993年1月22日の計6回である。赤外放射温度計の設置場所は, 雲仙・普賢岳の北東斜面を望む島原市北門町(A), 東斜面を望む島原市南安徳町(B), 深江町大野木場(C), 深江町古江(D)および深江町田中山(E)の5カ所である。

表面温度の測定には, 赤外放射温度計(日本電気三栄製, 6 T62)を使用した。赤外放射温度計は, 赤外域による放射を利用した非接触式温度計である。温度測定の原理は, 測定する物体の絶対温度と放射エネルギーを関係づけた Stefan-Boltzmann の法則に基づいている。この装置のカメラ部分の検出器は液体窒素冷却型の水銀カドミウムテルライド(HgCdTe)を使用し, 計測波長域は8~13 μ m, 温度測定範囲は-50~2000°C, 温度分解能は0.1°C(30°C黒体), 測定視野は水平30°, 垂直25°の範囲であり, 1画素の視野は1.5mradである。自然物体の射出率は, 通常1より小さく, 物体ごとに射出率を設定して測定するか, 射出率の違いによる誤差を計算し補正する必要がある。山本¹¹⁾は個葉の射出率が表面温度に与える影響を測定した結果, 射出率を1.00から0.95に変えた場合には, 表面温度が約1.9°C程

度低くなると報告している。本測定では, この程度の測定温度差は無視できる範囲内と考え, 今回の測定では測定対象物の射出率は0.95~1.00と設定して測定を行った。また, 赤外放射温度計の計測値は, 大気中の水蒸気量によって影響を受けることがある。1991年10月18日および12月4日の雲仙岳測候所(標高678m)の気温データと赤外放射温度計により測定した同一標高の表面温度の温度差は, 約-1.0~2.7°Cであったので, とくに補正は行わなかった。測定は, 10秒~10分間隔で行い, 3.5インチのフロッピーディスクに保存した。温度域の面積は, 熱画像処理プログラム(日本電気三栄製, 9626)を用いて求められた面積に傾斜補正を行って算出した。

3. 結果および考察

3.1 斜面の表面温度分布および変動

1991年10月18日の北東斜面(測定場所: 島原市北門町, A)の写真および赤外放射温度計により観測された表面温度の分布をPhoto 1に示した。また, 1991年10月から1993年1月にかけて観測した北東斜面の表面温度の最高値および50°C以上の高温域の面積の変動をFig. 2に示した。

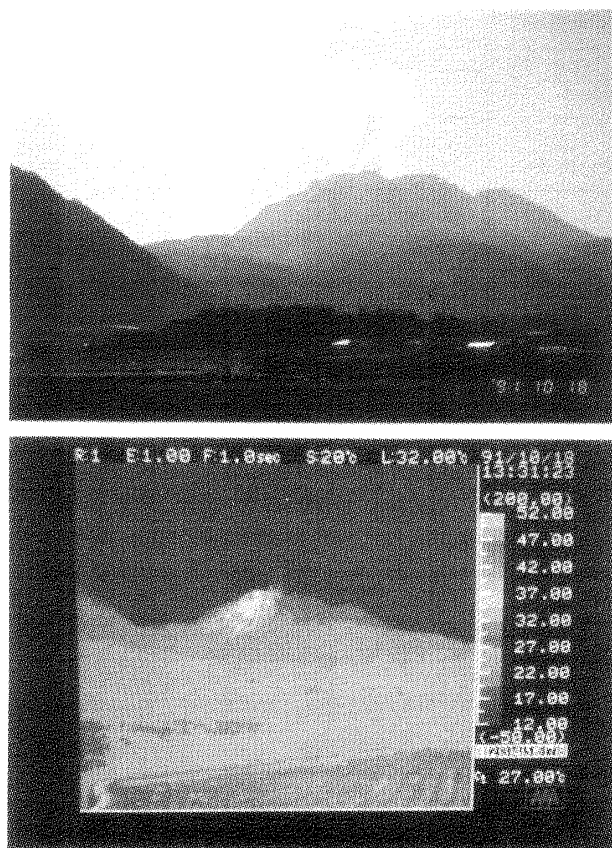


Photo 1. Photograph and the infrared thermal image on the northeast slope of Mt. Unzen-Fugendake on 18 October 1991.

赤外放射温度計による地上からの遠隔計測では、第4溶岩ドームを中心とした北東斜面の表面温度は、1991年10月18日の時点で最高195°Cを示している。また、溶岩ドームを中心にPhoto 1でピンク色以上の部分に相当する50°C以上の高温域の面積は、画像解析の結果から約149,000m²と推定された。このことから北東斜面では広域にわたって高温域があることが確認できた。

北東斜面の表面温度の最高値の変動をみると、1991年12月4日には74°Cまで低下しているが、1992年1月8日には120°C、3月13日には138°Cと観測ごとに上昇する傾向が認められた。4月3日の観測では101°Cまで低下したが、1993年1月22日には134°Cまで再び上昇する傾向を示した。北東斜面における50°C以上の高温域の出現面積は、1991年12月4日には42,000m²と10月18日よ

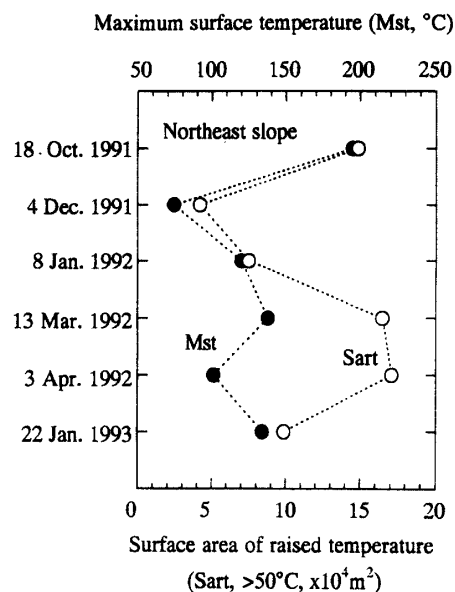


Fig. 2. Changes in maximum surface temperatures (Mst) and surface area of raised temperatures (Sart) on the northeast slope of Mt. Unzen-Fugendake.

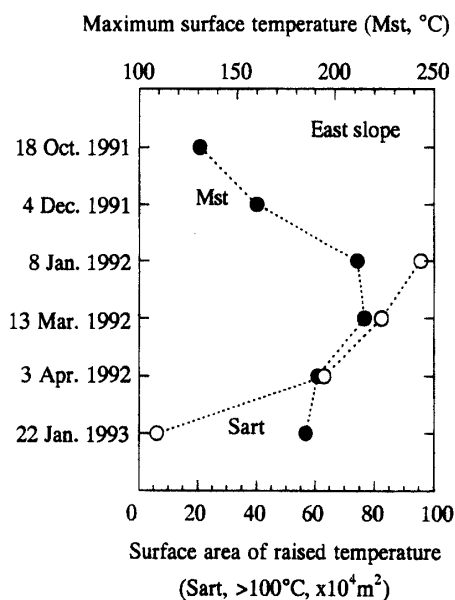


Fig. 3. Changes in maximum surface temperatures (Mst) and surface area of raised temperatures (Sart) on the east slope of Mt. Unzen-Fugendake.

り大幅に縮小する傾向にあったが、1992年1月8日には増加に転じ、3月13日には10月18日に観測された面積を上回る165,000m²まで拡大し、4月3日の観測でも同様な面積を維持していた。1993年1月22日現在の観測では、50°C以上の高温域は99,000m²まで縮小している。

1991年10月から1993年1月にかけて観測した東斜面の表面温度の最高値および100°C以上の高温域の面積の変動をFig. 3に示した。ただし、1991年10月18日および12月4日は、観測場所が1992年3月13日以降と大きく異なっているため、Fig. 3には示されていない。1991年10月18日に島原市南安徳町(B)から観測された第2溶岩ドームを中心とした東斜面の表面温度は、最高131°Cと同日に観測した北東斜面よりも60°C以上も低いものの、

40°C以上の高温域がかなり広域にわたって出現していた。

Photo 2には1991年12月4日に深江町大野木場(C)から観測した東斜面の表面温度および写真を示した。前回とは観測地点が異なっており、測定した斜面の位置や角度の違いはあるものの、前回の観測結果と比較して表面温度が30°Cも上昇し、最高値は160°Cを示した。

1992年1月8日には東斜面で火災流が頻繁に発生し、表面温度は最高で211°Cを観測した。100°C以上の高温域の面積は約956,000m²で、北東斜面と比較してかなり広い範囲に及んでいることがわかる。

さらに、1992年3月13日に深江町田中山(E)から観測された第6溶岩ドームを中心とした東斜面

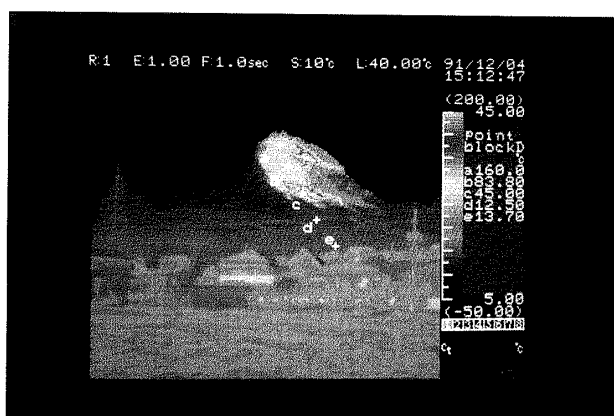
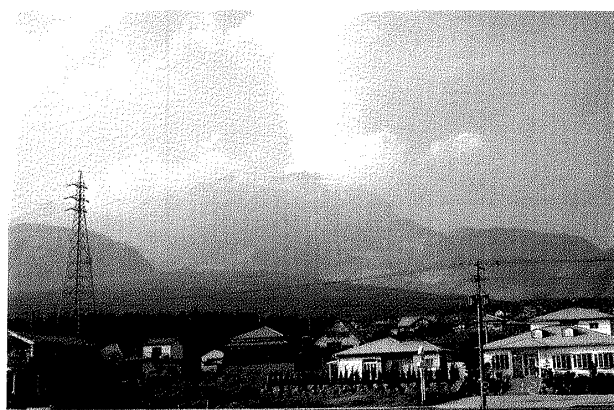


Photo 2. Photograph and the infrared thermal image on the east slope of Mt. Unzen-Fugendake on 4 December 1991.

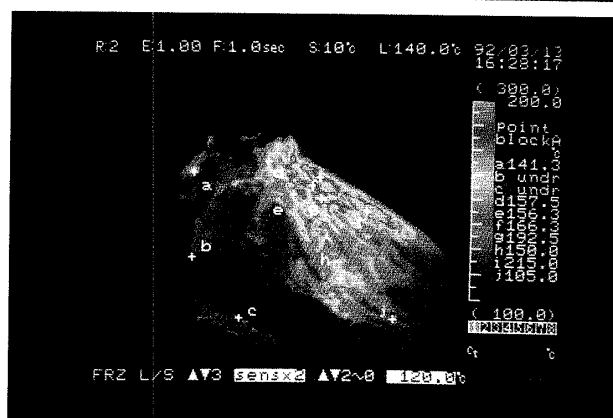
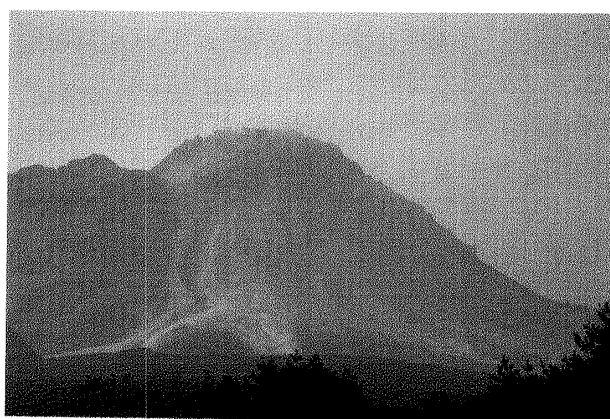


Photo 3. Photograph and the infrared thermal image on the east slope of Mt. Unzen-Fugendake on 13 March 1992.

の表面温度および写真を**Photo 3**に示す。1992年3月13日の観測では最高215°Cの表面温度を観測し、前回には観測されなかった赤松谷方向にも新たに火砕流の発生が認められ、谷すじにも100°C以下ではあるが高温部が確認できた。高温域の面積は1992年1月8日の前回の観測よりも約15%縮小しているが、溶岩ドームの生長が継続していることが明らかである。1992年4月3日においても前回の観測結果とほぼ同様に表面温度は低下する傾向が確認され、100°C以上の高温部の面積は632,000m²であった。1993年1月22日現在の観測では、100°C以上の高温域は62,000m²で、大きく縮小していることが確認された。

赤外放射温度計により測定された北東斜面および東斜面における表面温度の最高値の関係を**Fig. 4**に示す。1991年10月18日に測定した東斜面の表面温度は、測定地点がその後の観測日と異なっているため、この測定データを除いて相関関係を解析した。両者の間には正の相関関係が認められ、相関係数も0.78であった。このことは、表面温度の変動が北東斜面、東斜面の両斜面で同調して起きていることを意味するものである。

3.2 東斜面に発生した火砕流の表面温度

東斜面に迫り出した溶岩ドームを測定対象とし

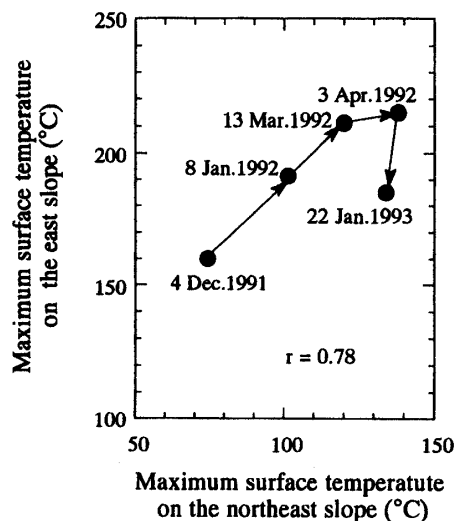


Fig. 4. Relationship between maximum surface temperatures on the northeast slope and the east slope of Mt. Unzen-Fugendake.

て、1991年12月4日に深江町古江(D)から赤外放射温度計で表面温度を10秒間隔で計測した結果を**Photo 4**に示した。観測時には火砕流が頻繁に発生しており、東斜面を急激に流れ落ちた後の表面温度状態が、赤外画像により確認することができた。このときの表面温度は、最高で236°Cを示し

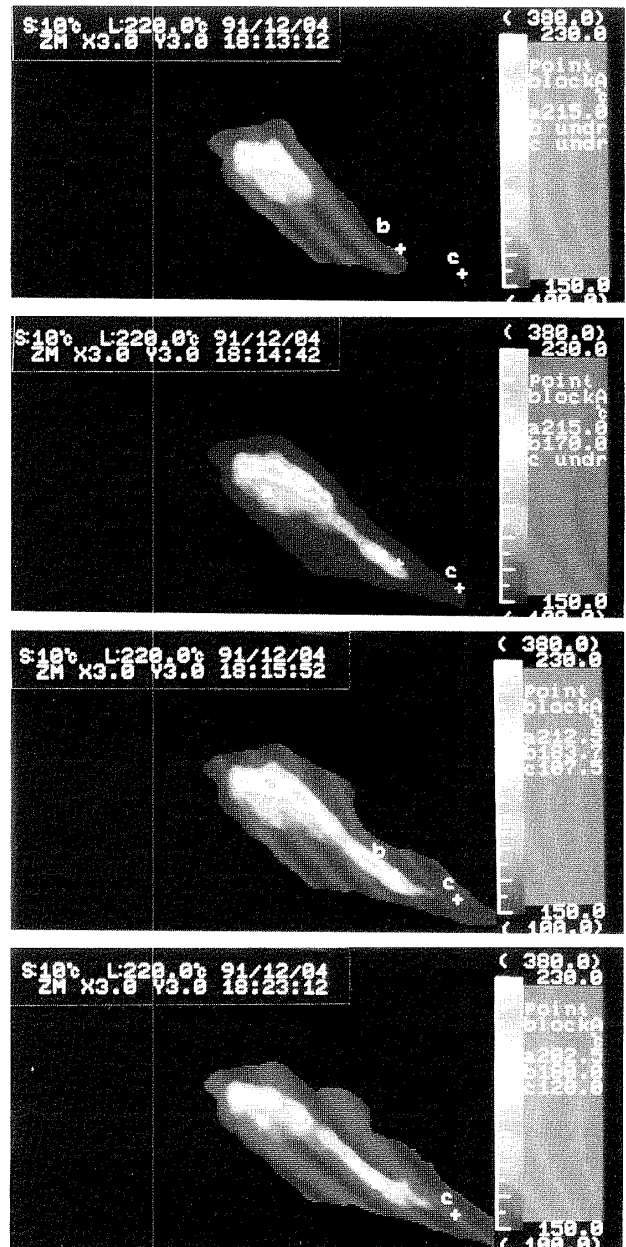


Photo 4. Photograph of infrared thermal images in a pyroclastic flow on the east slope of Mt. Unzen-Fugendake on 4 December 1991.

ており、火砕流の発生により 100℃以上の高温域は急激な速さで下流域に拡大している現象が確認できた。

Photo 4 の中に示した 3 点, a, b および c 地点の表面温度の推移を Fig. 5 に示した。18時13分に小規模な火砕流が a 地点で発生し、数分遅れて火砕流の崩落塊を受けた b 地点の表面温度が急激に上昇しており、最高温度は約 205℃に達している。さらに少し離れた c 地点の表面温度は約 4 分遅れて最高の約 155℃に達して、その後低下する傾向を示した。b 地点において求めた表面の降温速度は、18時15分～25分で約 3.9℃/min, 18時30分～37分では約 2.4℃/min であった。火砕流の流下域のうち火砕流による表面温度の上昇が大きい地点では、高温状態が長時間にわたって持続されていることが明らかになった。

4. まとめ

赤外放射温度計を用いて地上からの遠隔計測により雲仙・普賢岳の斜面の表面温度の測定を行い、斜面高温域の発達状態、火砕流の表面温度の測定および降温速度の解析を試みた。

- 1) 北東斜面および東斜面の表面温度の最高値は、それぞれ 195℃, 215℃を示していた。

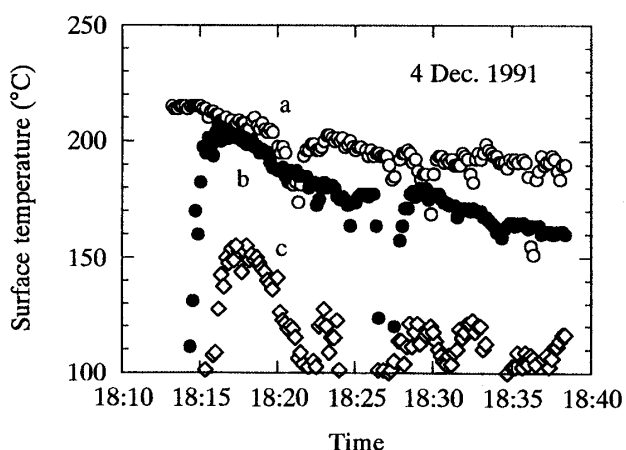


Fig. 5. Changes in surface temperatures in a pyroclastic flow on the east slope of Mt. Unzen-Fugendake. Point a, b and c are same as those in Photo 4.

- 2) 1992年3月13日の観測では、前回の1992年1月8日には観測されなかった赤松谷方向にもあらたに火砕流の発生が認められ、谷すじにも高温域が確認できた。

- 3) 火砕流の降温速度は、1991年12月4日の例によると18時15分～25分で約 3.9℃/min, 18時30分～37分では約 2.4℃/min であり、高温状態が長時間にわたって持続された。

これらの火砕流に伴う熱が植物に及ぼす影響については別途報告する予定である。

謝辞

本研究は、農林水産技術会議事務局緊急調査研究費「雲仙岳の火山灰等の火山放出物の土壌と農作物へ及ぼす影響の解析に関する緊急調査研究」並びに文部省科学研究費重点領域研究「新噴出火山灰による農林災害の火山別特性に関する比較研究」(研究代表者 鈴木義則)の一部として行われたものである。

本研究の遂行に当たっては、九州農業試験場大山信雄生産環境部長(現九州東海大学教授)の御指導および御助言を賜った。さらに、赤外放射温度計の使用に当たっては、日本電気三栄株式会社小野 彰氏に多大の便宜を図って頂いた。ここに厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 江原幸雄：雲仙火山周辺の水理的・熱的構造，地球惑星科学関連学会1992年合同大会共通セッション・シンポジウム予稿集，125p., 1992.
- 2) 後藤恵之輔・板坂修二・中沼達也：熱映像装置による雲仙普賢岳・火砕流跡の温度観測，土木工学における非破壊評価シンポジウム論文集，pp. 213～219, 1991.
- 3) 池谷 浩・石川芳治：平成3年雲仙岳で発生した火砕流，土石流災害，砂防学会誌，Vol. 44, No. 2, pp. 46～56, 1991.
- 4) 池谷 浩・石川芳治，1992：平成3年雲仙普賢岳で発生した火砕流，土石流災害(第2報)，砂防学会誌，Vol. 44, No. 5, pp. 36～46.
- 5) 毎日新聞社：雲仙・普賢岳全記録，162p., 1992.
- 6) 長崎新聞社：鳴動普賢岳，163p., 1992.
- 7) 中田節也・大学合同観測班：雲仙火山1991～1992年噴火によって生じた溶岩ドーム，地球惑星科学関

- 連学会1992年合同大会共通セッション・シンポジウム予稿集, 140p., 1992.
- 8) 中田節也：火砕流の本質－雲仙普賢岳噴火の例，土と基礎，Vol. 41, No. 3, pp. 37-42, 1993.
 - 9) 太田一也：1990～1992年雲仙岳噴火活動，日本地質学会1992年大会講演要旨，pp. 9-16, 1992.
 - 10) 植原茂次・熊谷貞治・矢崎 忍：航空機搭載MS Sによる雲仙岳火山の熱観測，日本リモートセンシング学会誌，Vol. 11, pp. 487-493, 1991.
 - 11) 山本晴彦：熱赤外画像情報を利用した作物生理反応の非接触・非破壊モニタリングに関する基礎的研究，農林水産省農林水産技術会議事務局 平成2年度流動研究及び国内留学結果報告書，pp. 1-40, 1991.
 - 12) 雲仙岳測候所・福岡管区气象台：1991年雲仙岳噴火－活動概要その2－，地球惑星科学関連学会1992年合同大会共通セッション・シンポジウム予稿集，113p., 1992.

(投稿受理 平成4年11月14日
訂正稿受理 平成5年7月9日)