

## FT-IRを用いた雲仙火山における火山噴気の遠隔観測

平尾龍也\*・藤光康宏\*\*・西島潤\*\*・江原幸雄\*\*

Remote Observation of Volcanic Gases by FT-IR at Unzen Volcano

Tatsuya HIRAO\*, Yasuhiro FUJIMITSU\*\*, Jun NISHIJIMA\*\* and Sachio EHARA\*\*

### ABSTRACT

We have applied FT-IR remote sensing to the measurement of chemical composition of volcanic gas in Unzen volcano, Japan. The observation was carried out four times between October 1999 and August 2002. As a result, CO and CO<sub>2</sub> were remotely detected and those column concentrations were calculated by quantitative analysis. The variation of fumarole temperature, molar ratio of volcanic gas component and equilibrium temperature show that the activity of Unzen volcano tends to settle down.

### 1. はじめに

火山ガスは火山活動を通じて地下から供給される気体成分であり、その化学組成の変化は、火山内部の変化を敏感に反映していると考えられる。従来、火山ガスの遠隔測定には相関スペクトロメータ(COSPEC)が用いられてきた(大喜多・下鶴, 1975)。このCOSPECは300nm付近の紫外光を利用するもので、これによりSO<sub>2</sub>の観測が可能となった。SO<sub>2</sub>以外の成分については、赤外領域(約400~4000cm<sup>-1</sup>)を利用するフーリエ変換赤外分光法(FT-IR)が開発され、これまでにSO<sub>2</sub>(Notsu et al., 1993)、HCl(Mori et al., 1993)、SiF<sub>4</sub>(Francis et al., 1996)、CO(小野他, 1997)、CO<sub>2</sub>(Mori and Notsu, 1997)などの検出が報告されている。

本研究では、長崎県の雲仙火山において、1999年10月4日、2000年8月11日、2001年8月10日、2002年8月8日の計4回、FT-IRによる噴気の遠隔観測を行った。その結果、全ての観測において、COとCO<sub>2</sub>の2成分が検出され、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O、CO/CO<sub>2</sub>及び平衡温度が算出された。そこで、本論文では、これまでに求められた噴気温度や各成分比、平衡温度の経時変化と雲仙火山の活動との比較を行った。なお、4回の観測で観測位置・解析方法ともに同一のため、解析結果の詳細については2002年8月のもののみを示した。

### 2. 雲仙火山の概要

雲仙火山は長崎県の島原半島に位置する活火山である。有史以後の活動としては、1663年の安山岩溶岩(古焼溶岩)の流出と、眉山が崩壊して大災害となった1792年のデイサイト質溶岩(新焼溶岩)の流出が知られている。1990年11月、198年ぶりに雲仙普賢岳は噴火を開始した。噴火は、水蒸気爆発による火山灰の噴出に始まり、溶岩ドームの形成、火砕流・土石流の発生へと活動の形態を変えながら1995年まで続いた。

現在、噴火活動は終息し、噴気ガス温度は低下の傾向にある。しかし、1999年10月に461℃の噴気ガスが観測されており、噴気孔においてモリブデンブルーの付着も確認されていることから(九大島原, 2001)、地下は依然として高温であると考えられる。

### 3. 雲仙火山における観測

#### 3-1. 観測装置

使用した装置はBOMEM社製のMB100型フーリエ変換赤外分光計である。センサーはInSb(1800~4000cm<sup>-1</sup>対応)、望遠鏡は5mradの視野角を持つカセグレン型狭視野望遠鏡を使用した。また、解析の際に必要な噴気温度の測定にはNEC三栄製TH3100赤外熱映像装置を用いた。

\* 九州大学大学院工学府地球資源システム工学専攻地球熱システム学研究室  
〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

Laboratory of Geothermics, Department of Earth Resources Engineering, Graduate School of Engineering, Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581, Japan

\*\* 九州大学大学院工学府地球資源システム工学部門地球熱システム学研究室  
〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

Laboratory of Geothermics, Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, 812-8581, Japan

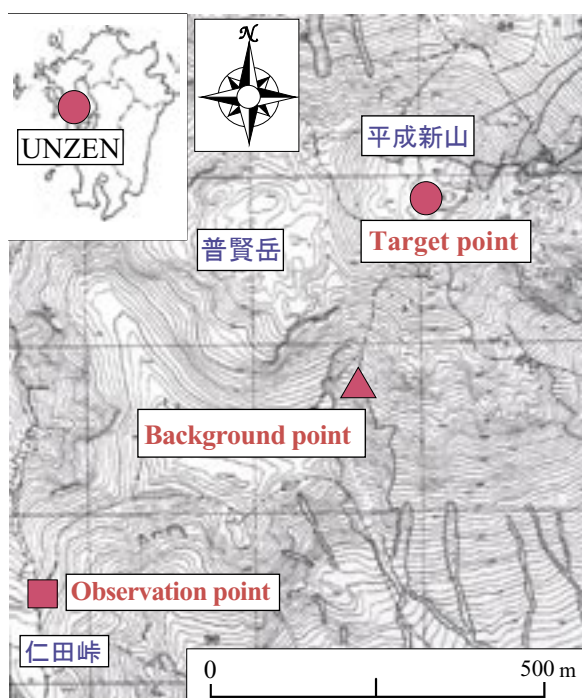


Fig.1 Topographic map of Unzen volcano.

### 3-2. 噴気温度

噴気温度は以下のように決定した。本研究で用いた望遠鏡の視野角は5mradであり、今回の観測の観測距離は約1860mであるので直径約9.3mの円内を観測していることになる。一方、赤外画像上の1画素は、水平方向に3.82m、垂直方向に3.87mとなる。これより、分光計の円内の画素数は、水平方向に2.4画素、垂直方向に2.4画素となる。しかし、長方形の画素を円に置き換えることは困難なので、今回はすべての観測において、赤外画面上の中心画素と、中心画素の上下、左右計5つの温度の平均を温度の測定値とした。

### 3-3. 観測方法

噴気に向けて観測を行った場合、得られたデータには大気成分の吸収も含まれている。このため、本研究では噴気に向けての測定(ターゲット測定)とは別に、大気成分のみの測定(バックグラウンド測定)を行い、両者を差し引くことで大気成分の影響を取り除いている。

Fig. 1に2002年8月8日の雲仙火山における観測位置を示す。観測は、仁田峠の展望台から行った。ターゲット測定は平成新山頂上付近の噴気に対して行い、バックグラウンド測定は平成新山中腹の斜面で行った。光源温度はターゲット測定が約27℃、バックグラウンド測定は約25℃であった。スキャン(走査)回数は、ターゲット測定では噴気の状態・光源温度が変化していることを考慮して1回(測定時間約5秒)とし、これを50回繰り返し測定した。バックグラウンド測定では、噴気の状態・光源温度が一定と考えられるのでS/N比を向上させるため、スキャン回数50回とした。

### 3-4. ノイズの除去

本研究のターゲット測定では、上述のように噴気の変動を考慮してスキャン回数1回で観測を行っている。しかし、1回スキャンでは装置の問題から発生するノイズや赤外線強度の低下によるノイズの影響を無視できない。

このため、本研究ではスキャン回数1回で観測したスペクトルを解析時に積算し、S/N比を向上させる手法を採用している。この手法を用いた場合の噴気温度は、個々のスペクトルを観測したときの噴気温度のヒストグラムを作成し、最頻値の温度を採用した。

## 4. 解析結果

### 4-1. スペクトル解析

本研究では、3-3に示すようにターゲット測定とバックグラウンド測定を差し引いて、観測スペクトルを作成している。この際、両測定での光源温度の違いが問題となるが、本研究ではスペクトル解析前にHITRANデータベース(Rothman et al., 1987)を用いて理論スペクトルを作成してベースラインを修正することで光源温度の違いによる影響を取り除いている。

### 4-2. 定性分析

定性分析は観測スペクトルと理論スペクトルとの比較によって行う。各成分はそれぞれに決まった波数に吸収帯を持っているため、観測スペクトルと理論スペクトルの同じ波数域に吸収帯が確認できれば、その成分が含まれていると考えることができる。本研究で解析時に見ているのは、COが2160~2190 cm<sup>-1</sup>、CO<sub>2</sub>が2230~2260 cm<sup>-1</sup>の波数域である。

### 4-3. 定量分析

本研究では、HITRANデータベースを用いて作成された2成分(目的成分とH<sub>2</sub>O)を同時に分析することが可能なフィッティングプログラムTCAFP(小野他, 1998)を用いて定量分析を行っている。定量分析では、観測スペクトルと理論スペクトルをパラメータ(各成分の濃度、温度、全圧、機器の装置関数など)を変化させながらあわせ、条件があった理論スペクトルの濃度から観測スペクトルのカラム濃度(噴気成分の測定方向への積算値)を求める。

Fig. 2に2002年8月8日に観測されたCOとCO<sub>2</sub>のフィッティング結果を示す。

### 4-4. 噴気成分比について

定量分析で得られるカラム濃度は、噴気幅が特定できれば濃度への変換が可能である。しかし、カラム長は噴気の変動や風などの影響で変化する。そこで、本研究では成分比を求め、この成分比について議論を進めた。Table 1に、2002年8月8日の観測における噴気温度、CO/H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O、CO/CO<sub>2</sub>及びCO/CO<sub>2</sub>より

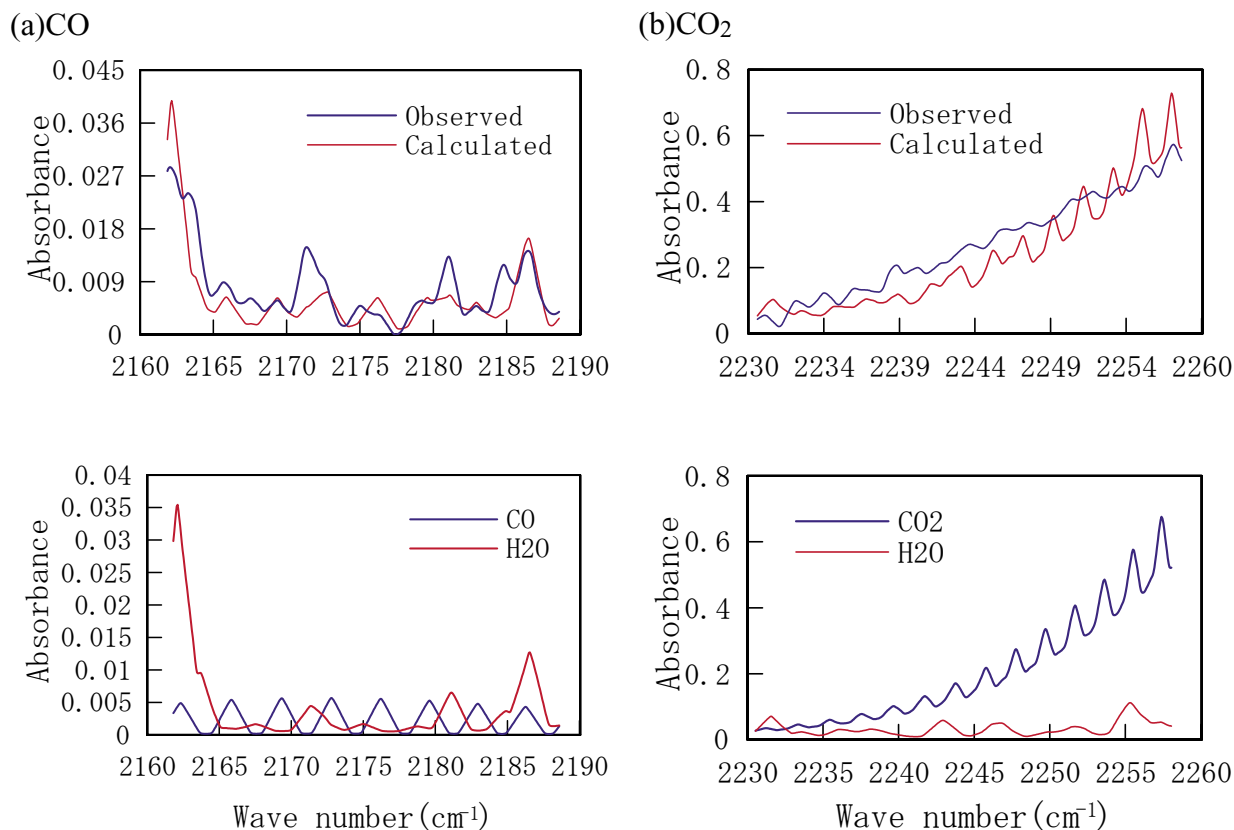


Fig.2 Analyzed spectra of (a)CO and (b)CO<sub>2</sub>. In each figure set, the upper indicates comparison between the observed and the theoretical spectra of volcanic gas and the lower indicates the theoretical spectra of each component.

算出した平衡温度 (詳細は Mori and Notsu, 1997) を示す。

Table 1 Fumarole temperature, molar ratio of each component and equilibrium temperature.

Fumarole temp.	27 (°C)
CO/H <sub>2</sub> O	$(1.51 \pm 0.09) \times 10^{-3}$
CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	$(6.32 \pm 0.13) \times 10^{-3}$
CO/CO <sub>2</sub>	$(2.39 \pm 0.16) \times 10^{-3}$
Equilibrium temp.	735 ± 113(°C)

### 5. 噴気成分比の変化と火山活動

Fig. 3 に噴気温度、平衡温度及び成分比の経時変化を示す。図を見ると、噴気温度、CO/CO<sub>2</sub> はゆるやかな減少傾向にあり、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O についても、多少上下動しているものの長期的には減少傾向にあると考えられる。

平衡温度の値も誤差の範囲ながら減少傾向にあり、2002年8月に観測した値は 735 ± 113(°C) となった。この値は現在推定されている平成新山の火道内の温度 759°C (Fujimitsu et al., 2002) とほぼ等しい値であり、噴気の直接サンプリングから求められた平衡温度 850 ~ 910°C (Ooba et al., 1994) や 1999年10月に FT-IR で観測した 873 ± 137°C という値と比較すると

100°C以上低い値となっている。また、この結果は、Fujimitsu et al. (2002) において、火道内のマグマの温度が直線的に減少していると推定されていることに一致しており、雲仙火山の内部は依然として高温状態にあるものの、徐々に冷却が進んでいると考えられる。

### 6. まとめ

本研究では、長崎県の雲仙火山において 1999年10月から 2002年8月の間に計4回、FT-IRによる噴気の遠隔観測を行った。

その結果、CO と CO<sub>2</sub> の2成分が検出され、CO/CO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 及び噴気温度、平衡温度の経時変化が得られた。そこで、得られた各成分比及び噴気温度、平衡温度の経時変化と火山活動との比較を行った。

CO/CO<sub>2</sub> と噴気温度はほぼ同じ傾向を示し、ゆるやかに減少している。CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O についても長期的にはゆるやかな減少傾向にあると考えられる。

平衡温度の値も誤差の範囲ながら減少傾向にあり、2002年8月に観測した値は 735 ± 113(°C) となった。この値は火道内の温度 759°C (Fujimitsu et al., 2002) とほぼ等しく、過去の平衡温度と比較して低い値となっている。また、この結果は、Fujimitsu et al. (2002) において、火道内の温度が直線的に減少していると推定されていることに一致しており、雲仙火山の内部は依然として高温状態にあるものの、徐々に冷却が進んでいると考えられる。

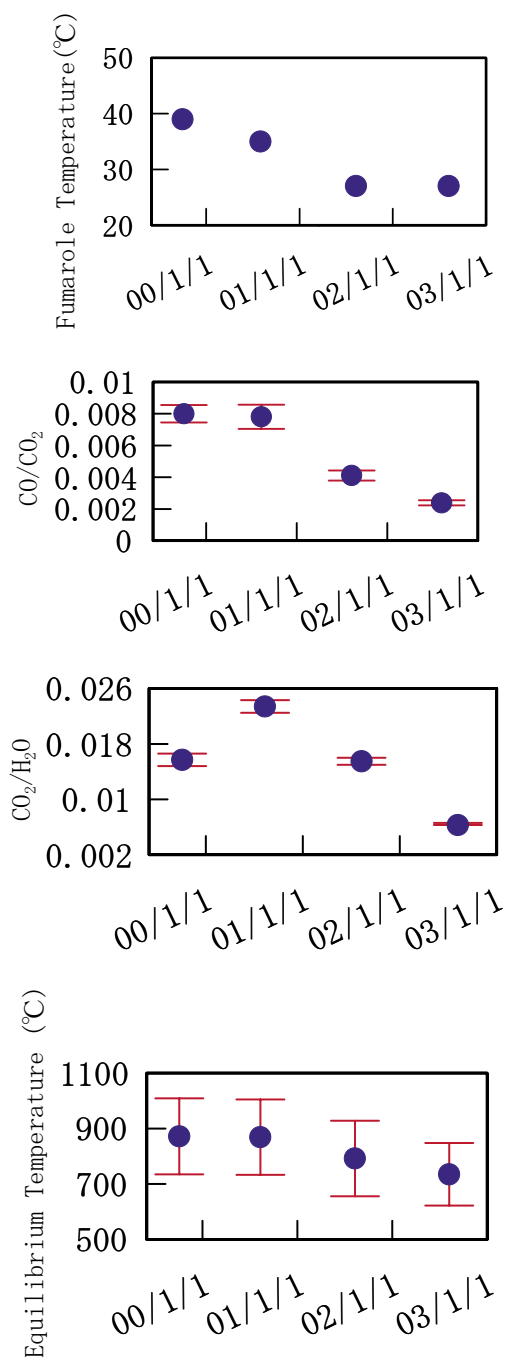


Fig. 3 Temporal variation of each component in molar ratio, fumarole temperature and equilibrium temperature. CO/CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O, fumarole temperature and equilibrium temperature tend to decrease from October 1999 to August 2002.

参考文献

Francis P., Chaffin C., Maciejewski A. and

Oppenheimer C. (1996) : Remote determination of SiF<sub>4</sub> in volcanic monitoring. *Geophy. Res. Lett.*, Vol.23, 249-252.

九州大学大学院理学研究科附属島原地震火山観測所 (2001) : 雲仙岳火山活動概況. 火山噴火予知連絡会会報, Vol.76, 92-96.

Mori T. and Notsu K. (1997) : Remote CO, COS, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl detection and temperature estimation of volcanic gas. *Geophy. Res. Lett.*, Vol.124, 2047-2050.

Notsu K., Mori T., Igarashi G., Tohjima Y. and Wakita H. (1993) : Infrared spectral radiometer : A new tool for remote measurement of SO<sub>2</sub> of volcanic gas. *Geochem. J.*, Vol.27, 361-366.

小野暁, 神宮司元治, 藤光康宏, 江原幸雄 (1997) : FT-IR による九重硫黄山における CO ガスの遠隔観測に関する研究. *火山*, Vol.42, 47-51.

小野暁, 小屋政裕, 藤光康宏, 江原幸雄 (1998) : 阿蘇火山におけるフーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) による火山噴気の遠隔観測. *火山*, Vol.44, 123-130.

Ooba T., Hirabayashi J., Yoshida M. (1994) : Equilibrium temperature and redox state of volcanic gas at Unzen volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.60, 263-272.

大喜多敏一, 下鶴大輔 (1975) : 火山ガスのリモートセンシング—火山から放出される SO<sub>2</sub> の測定. *火山*, Vol.19, 151-157.

Rothman. L. S., Gamache. R. R. (1987) : The HITRAN database : 1986 edition. *Appl.Opt.*26, No.19, 4058-4097.

Fujimitsu, Y., Kanou, R., Nishijima, J., Ehara, S. and Hirao, T. (2002) : Investigation and modeling of hydrothermal system of Unzen volcano, Japan — A case study in the Unzen Scientific Drilling Project —, *Proc. Int. Workshop on Intelligent Mining System*, 1-6.