

草津白根山山頂地域から放出される二酸化炭素ガス量

齊藤政城¹・平林順一¹・野上健治¹・森 健彦²・水橋正英¹・及川光弘¹

1:東京工業大学 火山流体研究センター

2:京都大学大学院理学研究科 地球熱学研究施設

Discharge rate of CO₂ from the summit area of Kusatsu-Shirane volcano

J. Hirabayashi¹, M. Saito¹, K. Nogami¹, T. Mori², S. Mizuhashi¹, M. Oikawa¹

1: Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

2: Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University

1. はじめに

火山噴火の原動力であるマグマ中の揮発性成分は、火山ガス、温泉水、河川水などとして放出されるほか土壌表面からも拡散放出される。地表から放出される揮発性成分の化学的特性や量を知ることが、揮発性成分の物質収支、地下の熱水系構造、火山活動の変化や規模を解明する上で非常に重要である。土壌からの拡散放出されるCO₂ガスは、水への溶解度が低いため地下水や熱水の影響を受けにくく、その放出量や変動は火山活動に関する様々な情報を与える(例えば、Chiodini: 1996, 1998, 下池: 1999)。

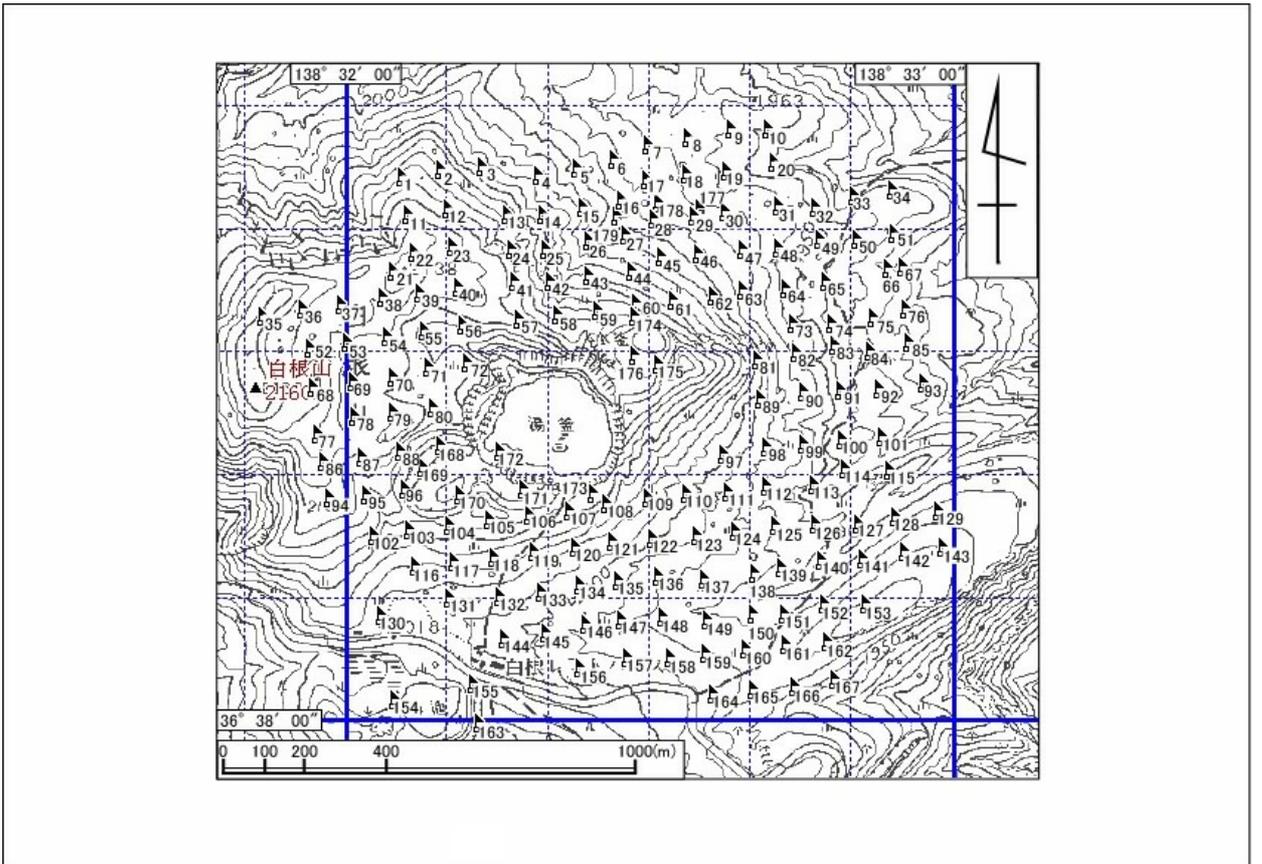
草津白根山山頂では、強酸性の火口湖「湯釜」の湖底から火山ガスや熱水が噴出しており、湯釜火口の北及び北東の噴気地熱地帯にある多数の噴気孔から火山ガスが放出されている。また、山頂域には温泉水の湧出も見られ、マグマからの揮発性物質は様々な形態で放出されている。

本報告では、草津白根山山頂域における土壌ガス中のCO₂濃度及び土壌表面から拡散放出されるCO₂量の測定を行い、その分布や特徴についてまとめた。

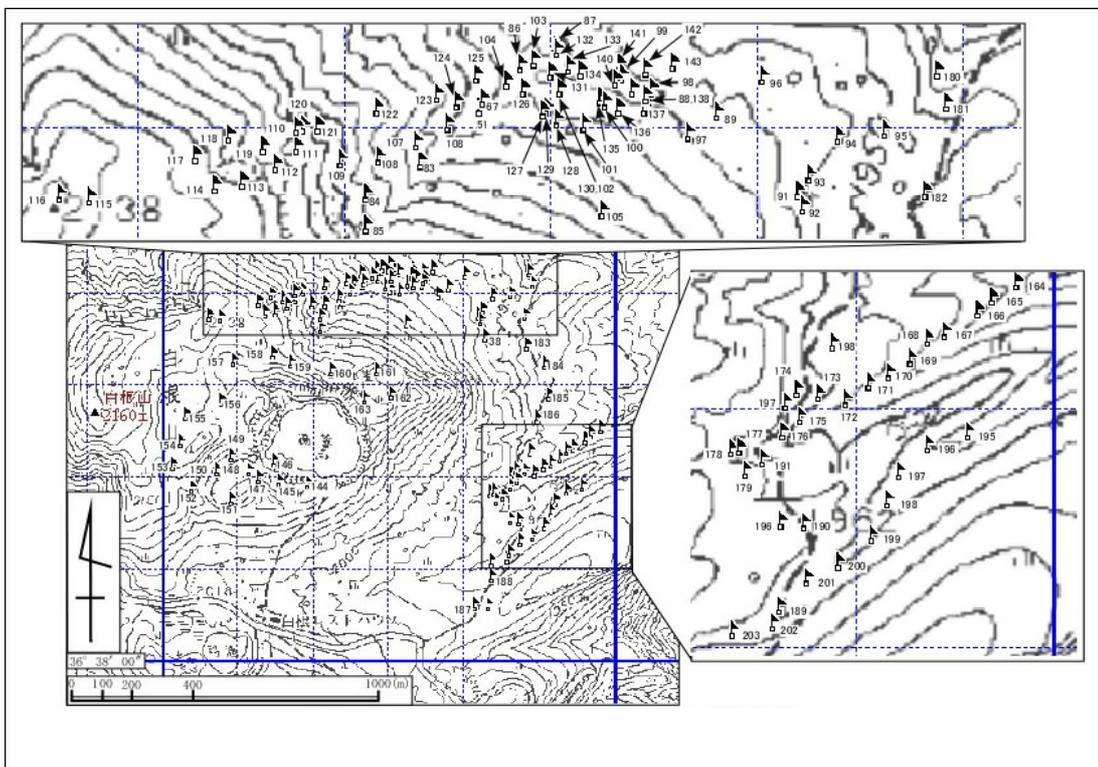
2. 土壌ガス及び土壌から拡散放出されるCO₂ガスの測定

2.1 土壌ガス中のCO₂濃度の測定

2002年8月から11月にかけて草津白根山山頂域の約1.5 km × 1.5 kmの範囲において約100 m間隔で土壌ガスの測定を行った。測定地点は繰り返し測定も含め180点である(第1図)。測定の手順は、まず鉄パイプを用いて60 cmの穴をあけ、そこに先端部を土壌ガスが入りやすくなるように加工し、上部にゴム栓を付けた塩化ビニール製パイプを挿入する。一昼夜放置後、パイプ内に溜まったCO₂濃度を検知管(ガステック社製)で測定した。次いで、パイプ内のガスの一部をプラスチック製注射筒に採取し、土壌ガス中のH₂濃度をガスクロマトグラフ装置(検出器:TCD, キャリヤーガス:アルゴン)で測定した。最後に、孔底の温度をサーミスター温度計で測定した。



第1図 土壌ガス濃度測定点



第2図 土壌からのCO₂拡散放出量測定点

2.2 土壌からの CO₂ 拡散放出量の測定

2003年8月から10月にかけて、前述の土壌ガス中のCO₂濃度分布にもとづいて、マグマ起源のCO₂が多く含まれると考えられる湯釜北側噴気地帯を中心にCO₂ガスの拡散放出量の測定を行った。また、比較のために土壌ガス測定でCO₂濃度の低かった場所でも測定を行った。測定点は170地点である(第2図)。

CO₂の拡散放出量は、イタリア West Systems 社製の Carbon dioxide flux meter を用いて測定した。同装置は、チャンバー内のガスを循環させて赤外線吸収法でCO₂濃度を測定する(ガスセル長:5cm, LICOR LI-800 Carbon Dioxide detector)。また、水分除去剤には塩素酸マグネシウム(Mg(ClO₄)₂)を用いた。測定は、攪拌ファン付の内容量3.1リットルのチャンバーを平らにした地表にかぶせ、チャンバー内のCO₂ガス濃度の上昇率(Slope: ppm/sec)にチャンバー内容量、気温、高度によって決まる係数(AcK: Accumulation chamber Constant)を乗じて求めた(次式)。

$$\text{CO}_2 \text{ Flux (g/m}^2 \cdot \text{day)} = \text{Slope (ppm/sec)} \times \text{AcK}$$

3 結果及び考察

3.1 土壌ガス中の CO₂ 濃度

草津白根山山頂域における土壌ガス中のCO₂濃度測定の結果、土壌ガス中のCO₂濃度は、用いた検知管の測定限界の200,000ppmを越えた地点もあるが、100~100,000ppmである。第3図に示したCO₂濃度分布図から、湯釜北側噴気地帯、湯釜北東変質地熱地帯、湯釜東変質地帯及び湯釜南西の斜面で土壌ガス中のCO₂濃度が高いことが明らかとなった。このうち南西の斜面では植生が発達していることから、マグマ起源のCO₂は少なく、大部分が植物起源のCO₂と考えられる。孔底の地温と気温差による温度補正を行った結果、湯釜北側および北東噴気地帯でCO₂濃度の高い地点は、地温も高いことが明らかとなった。このことは、湯釜北側噴気地帯及び湯釜北東変質地熱地帯の土壌ガス中のCO₂はマグマ由来であることを示唆している。また、CO₂濃度は高い値を示したが地温の低かった湯釜東変質地帯は、植生が見られず土壌が変質していることから、マグマからの火山ガスが地表に達する前に冷却され、主成分であるH₂Oのほとんどが凝縮し、CO₂が主成分として放出されていると考えられる。また、現在最も活動的な山頂の湯釜火口および水釜火口内のCO₂濃度は100~400ppmと低いことも明らかとなった。

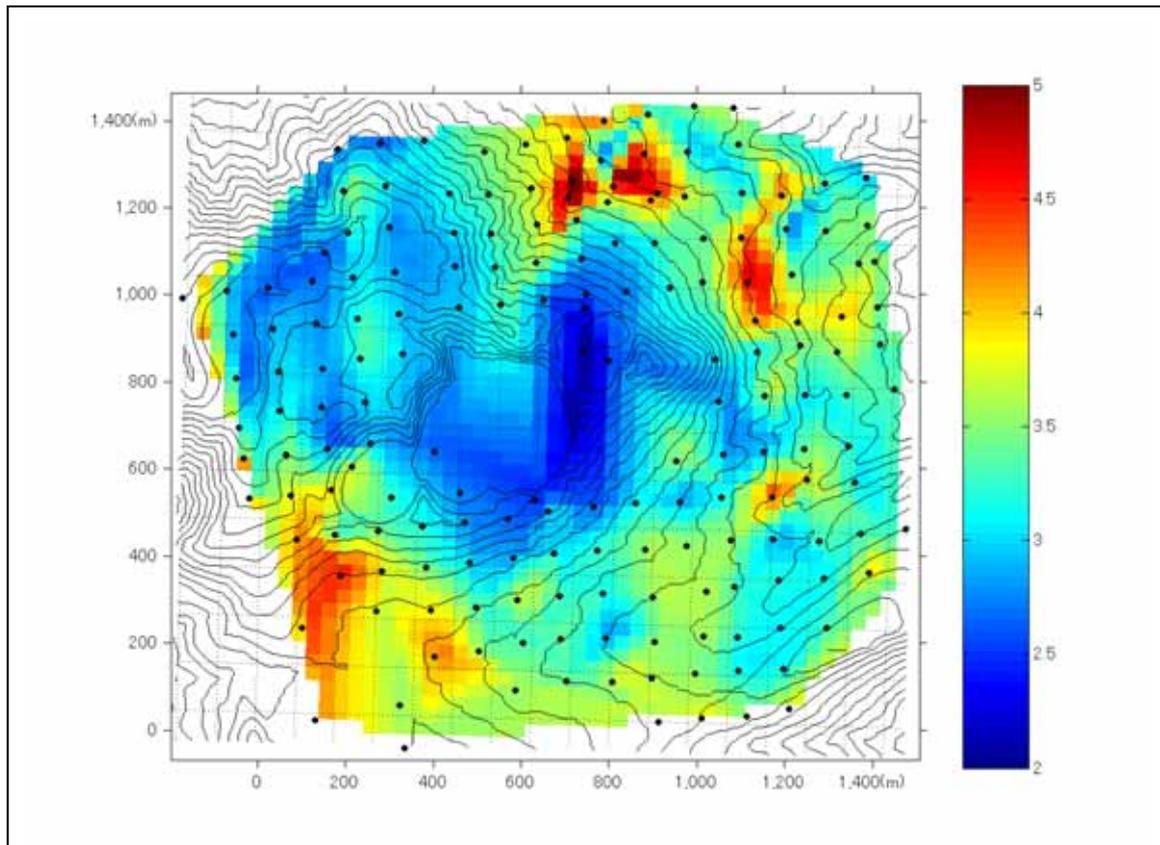
また、全測定点のうちH₂が検出されたのはわずか4測定点(C-14, D-9, N7-1, N10-1)である。このうち、C-14, N7-1, N10-1測定点は噴気孔の近くや変質地熱地帯であり、土壌ガス中のCO₂濃度も高い値を示した。また、D-9測定点は変質帯ではないが、変質帯に近く、H₂ガスが特異的に染み出している場所と考えられる。

3.2 土壌表面から拡散放出される CO₂ 量

湯釜北側噴気地帯及び湯釜北東変質地熱地帯の土壌表面から放出されるCO₂拡散放出量の分布図を図4に示した。CO₂拡散放出量は、第4図の分布図において2本の等放出量線に挟まれた面積と2本の等放出量線の中間放出量から見積もった。湯釜北側噴気地帯、湯釜北東変質地熱地帯からのCO₂拡散放出量は、それぞれ0.04km²、0.011km²の範囲から0.67ton/day、0.75ton/dayと見積もられ、草津白

根山湯釜北側噴気地帯及び湯釜北東変質地熱地帯からの CO₂ 拡散放出量の総量は 1.4 ton/day である。

湯釜北側噴気地帯、湯釜北東変質地熱地帯から噴気ガスとして放出される CO₂ 量はそれぞれ 3.04 ton/day、0.035 ton/day と見積もられており(鈴木 2002)、湯釜北側噴気地帯及び湯釜北東変質地熱地帯からの CO₂ の総放出量は 4.5 ton/day である。このうち、土壌表面から拡散放出される CO₂ 量は、全 CO₂ 放出量の約 1/3 で、草津白根山山頂域にから気体として放出される揮発性成分量を議論する上で土壌表面からの拡散放出ガス量は無視することはできない。

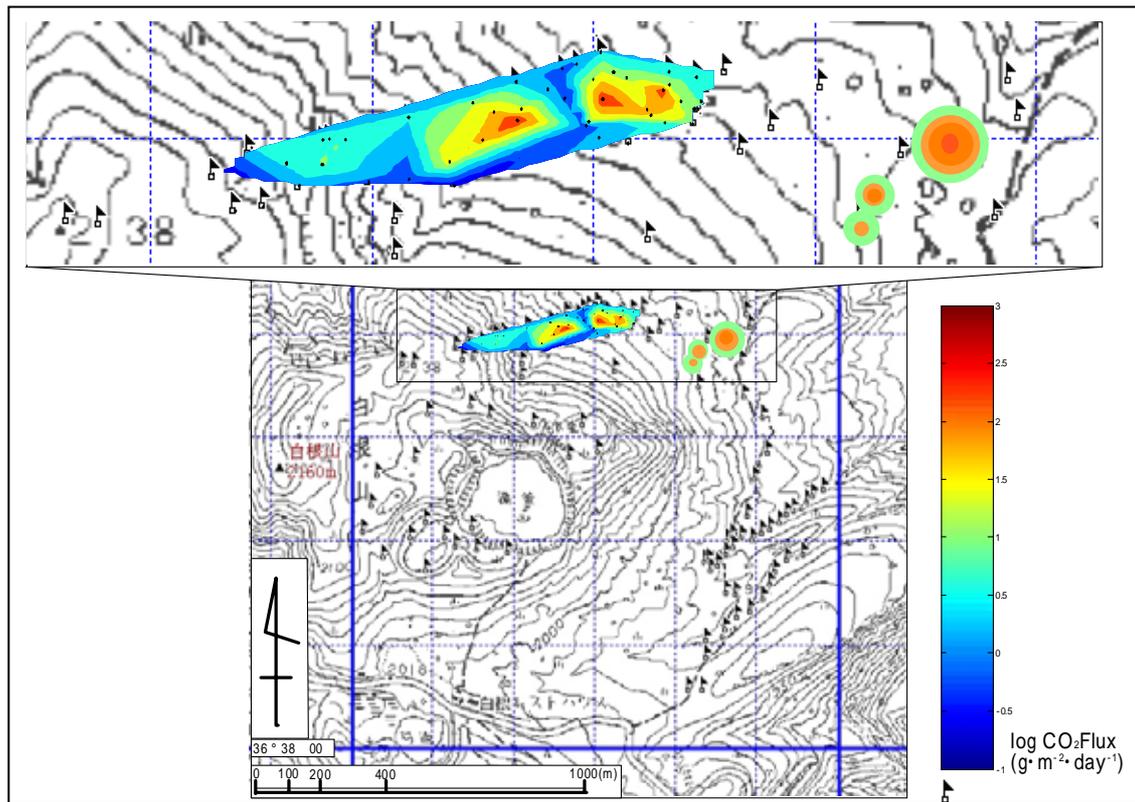


第3図 土壌ガス中の CO₂ 濃度分布

3.3 噴気ガスと土壌表面からの拡散放出ガスとしての CO₂ 放出量の比較

湯釜北側噴気地帯及び湯釜北東変質地熱地帯において、噴気ガスとして放出される CO₂ 量と土壌から拡散放出される CO₂ 量を比較すると、湯釜北側噴気地帯では、土壌からの CO₂ 拡散放出量は噴気ガスとして放出される CO₂ 量の約 22% にすぎない。一方、湯釜北東変質地熱地帯では、土壌からの CO₂ 拡散放出量は噴気ガスとしての CO₂ 放出量の約 21 倍である。すなわち、湯釜北側噴気地帯では噴気ガスとしての CO₂ 放出が卓越し、湯釜北東変質地熱地帯では逆に土壌からの拡散放出される CO₂ 量が卓越している。湯釜北東変質地熱地帯では、火山ガスが地表まで上昇する過程で、ガスの大部分が凝縮していることを示唆している。このことは、両地域からの噴気放出量と放熱量の検討からも同様に考えられている(鈴木, 2002)。また、湯釜北側噴気地帯では、噴気ガスおよび地表からの拡散放出による CO₂ 量は 3.7 ton/day であり、湯釜北東変質地帯からの CO₂ 放出量, 0.79 ton/day の約 4.7 倍で、CO₂ の水に対する溶解度が低いことから、両地域の CO₂ 放出量は、マグマからの火山ガス供給量を示して

いると考えられる。



第4図 土壤表面からのCO₂拡散放出量

草津白根山山頂域における噴気ガス及び地熱異常による放熱量は鈴木(2002)、鍵山ら(1996)により見積もられている。湯釜北側噴気地帯、湯釜北東変質地熱地帯からの噴気ガスによる放熱量はそれぞれ4.2 MW, 0.05 MW (鈴木, 2002), 両地域における地熱異常による放熱量はそれぞれ1.4 MW, 1.2 MWと見積もられている(鍵山ほか, 1996)。湯釜北側噴気地帯の噴気ガス放出, 地熱異常による放熱量の合計は5.6 MWであり, 湯釜北東変質地熱地帯の両放熱量1.3 MWの4.5倍で, CO₂放出量からみた湯釜北側噴気地帯と湯釜北東変質地熱地帯の火山ガス供給量の比とほぼ等しい。

3.4 湯釜北側噴気孔周辺のCO₂拡散放出量

北側噴気孔周辺の土壤からのCO₂拡散放出量と北側噴気孔からの距離との関係を見ると, 5~10 m 離れただけで土壤からのCO₂拡散放出量は大きく変化し, 地下浅所~地表面の状態や変質の状態も関係して非常に不均質であることが分かった。

3.5 他の火山のCO₂拡散放出量との比較

草津白根山山頂域からのCO₂拡散放出量と他の火山からの放出量とを比較すると, 草津白根山山頂域の土壤からのCO₂拡散放出量は, 1997年測定の伊豆大島からの放出量に近いが, 1998年及び1999年の有珠山, 1998年の三宅島の放出量と比べると1桁~3桁少ない。しかし, 各火山での放出量測定面積は異なるため放出量を単純に比較することができない。そこで単位面積あたりの放出量に換算し, 比較すると草津白根山山頂域の単位面積あたりの放出量は1 ton/km²·dayとなり, 単位面積が

らの放出量でも伊豆大島の値に近く、有珠山や三宅島の放出量よりは1~2桁小さい(第1表)。

4.まとめ

草津白根山山頂域では、湯釜北側噴気地帯、湯釜北東変質地熱地帯、湯釜東変質地帯、湯釜南西の斜面で土壤ガス中のCO₂濃度が高いことが明らかとなった。植生の発達していない湯釜北側噴気地帯、湯釜北東変質地熱地帯、湯釜東変質地帯の土壤ガス中のCO₂はマグマ起源と考えられる。また、山頂域からのCO₂拡散放出量は1.4 ton/dayと見積もられた。

山頂域で、噴気ガス及び地表から拡散放出されるCO₂総量は4.5 ton/dayであり、このうち地表からの拡散放出量は約30%を占め、同地域における気体として放出される揮発性成分を議論する上で土壤からの拡散放出ガスを無視することはできない。

CO₂の放出形態は、湯釜北側噴気地帯では噴気ガスとしてのCO₂放出が卓越し、湯釜北東変質地熱地帯では逆に土壤からのCO₂拡散放出が卓越している。

湯釜北側噴気地帯への火山ガス供給量は、湯釜北東変質地熱地帯への火山ガス供給量の約4.6倍である。

現在の草津白根山山頂域における土壤表面からのCO₂拡散放出量は、単位面積あたりの放出量と比較すると、有珠山や三宅島からの放出量の1桁~2桁小さい。

第1表 各火山からのCO₂拡散放出量

火山	CO ₂ 拡散放出量 ton/day	測定面積 km ²	放出量 / 面積 ton/km ² · day	測定年	文献
草津白根山	1.4	1.44	1	2003	本研究
薩摩硫黄島	80	n.d.		1999,2000	Shimoike et al.,2002
有珠山	39	2	19.5	2000	Hernandez et al.,2001
	340	2.65	128	1999	
	120	2.65	43.5	1998	
伊豆大島	3	5	0.6	1997	下池,1999
三宅島	4300	41.4	104	Sep.1998	Hernandez et al.,2001
	3200	33.4	95.8	May 1998	Hernandez et al.,2001
Vulcano (Italy)	206	0.42	490.5	Jul.1995	Chiodini et al.,1996
	200	0.65	307.7	Apr.1995	

謝辞 本研究を行うにあたり、CO₂ 拡散放出量測定装置を快く貸していただき、取り扱い方法をお教えたいただいた産業技術総合研究所、高橋 浩氏、北海道大学、橋本武志助教授に心から感謝申し上げます。

引用文献

- Chiodini, G., Frondini, F. and Raco, B. (1996) : Diffuse emission of CO₂ from the Fossa crater, Vulcano Island (Italy), Bull volcanol, 58, 41-50.
- Chiodini, G. (1998) : Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas, Applied Geochemistry, 13, 543-552
- Hernandez, P. A., Notsu, K., Salazar, J. M., Mori, T., Natale, G., Okada, H., Virgili, G., Shimoike, Y., Sato, M. and Perez, N. M.(2001) : Carbon Dioxide Degassing by Advective Flow from Usu Volcano, Japan, Science, 292, 6, 83-86.
- Hernandez, P. A., Shimoike, Y., Mori, T. and Notsu, K.(2001) : Diffuse emission of CO₂ from Miyake-jima volcano, Japan. 日本火山学会 1998 年度秋季大会講演予稿集, 121
- 鍵山恒臣, 平林順一, 大場武, 井口正人(1996) : 草津白根山の赤外映像調査, 第 3 回草津白根山の集中総合観測報告書, 37-44
- 鈴木隆 (2002) : 火山ガス放出量と放出圧力振動メカニズム, 東京工業大学修士論文
- 下池洋一 (1999) : 伊豆大島火山の火山性流体の挙動, 月刊海洋/号外, No.19, 88-94.
- Shimoike, Y., Kazahaya, K. and Shinohara, H. (2002) : Soil gas emission of volcanic CO₂ at Satsuma-Iwojima volcano, Japan. Earth Planets Space, 54, 239-247.