

雲仙火山周辺における土壌中の二酸化炭素に対する 火山性流体の影響マッピング

高橋 浩・風早康平・篠原宏志・森川徳敏（産総研 地質調査総合センター）
中村俊夫（名古屋大 年代測定総合研究センター）

要旨—土壌ガスに含まれる CO_2 に対する雲仙火山の影響が、どのくらいの範囲に及んでいるのか、マグマ起源 CO_2 の寄与はどの程度であるのかを、炭素同位体 ($\delta^{14}\text{C}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$) を用いて解析した。その結果、雲仙地溝の内部でマグマ起源 CO_2 の寄与が大きなものとなったが、その傾向は地溝の東側で顕著で、西側では特筆するほどの傾向は見られなかった。これとは別に地溝帯の北側で寄与が高いものがあった。また、同位体を用いて導き出した寄与率に土壌中での CO_2 濃度や土壌からの CO_2 フラックスをかけ合わせた評価を行った。

はじめに

活動中の火山にはマグマ起源の二酸化炭素 (CO_2) が大量の供給されており、噴気口だけではなく火山の山体からも放出されている (Farrar *et al.*, 1995; Hernández *et al.*, 2001)。しかし、本研究で扱う雲仙火山では、噴火活動時期に火山ガスが大規模に火道壁を通じて山体へ散逸したという観測結果は得られておらず、ほとんどの揮発性物質は火道から放出されていると考えられている (篠原他 2002)。一方、現在、土壌ガス中の CO_2 が非常に高い濃度を示す地点が観測されていることや、地下水の炭素同位体を用いた研究から島原半島の広範囲にマグマ性の炭素の混入が示されている (Ohsawa *et al.*, 2002) ことから、マグマ性 CO_2 が上昇してくる何らかの経路が、火道以外にも存在すると考えられる。マグマ性 CO_2 は、上昇の過程で地下水へ溶解する成分とガス態のまま地上へと運ばれる成分があると考えられる。地下水に溶け込んでいた CO_2 が地表付近で遊離して土壌ガス供給されることから、土壌ガスを通して地下水に対するマグマ性 CO_2 の影響を推定することができると考えられる。また、土壌ガスは地下水よりも試料採取が可能な地点が豊富にあるため、密度の高い観測が期待できる。

調査地域・試料・方法

本研究の調査は、2002 年 1 月に島原半島のほぼ全域をカバーするような間隔をあけた 37 地点で行った。島原半島の中央部には雲仙火山が存在し、いくつかの正断層により東西に分

断されており、半島の中央部が落ち込んでいる雲仙地溝帯を形成している。

各地点では、深さ 30cm まで採気管を打ち込み、土壌気相をシリンジで吸引し、ガス検知管 (GasTEC) を用いて濃度測定を行った。その後、ガラス容器 (100ml) かアルミバック (3L) に同位体測定用の試料を採取した。さらに可搬型のフラックスメーター (West System・Portable CO₂ flux meter) により CO₂ フラックスを測定した。採取したガス試料は、真空ラインへ導入して CO₂ を分離した (青木他, 1998)。δ¹³C をガス型質量分析計 (MAT-252, Delta Plus) で、¹⁴C 濃度を加速器質量分析計により測定した。

結果・考察

観測結果を Fig. 1 へ示す (Fig. 1c と 1d 中の白丸：同位体測定用の試料を採取しなかった地点)。観測結果の地域的な変化に着目すると、土壌 CO₂ の濃度は雲仙地溝の内側で高く、同位体比についても雲仙地溝の内側でやや高めのδ¹³C や低めのδ¹⁴C 値を示す地点があった。

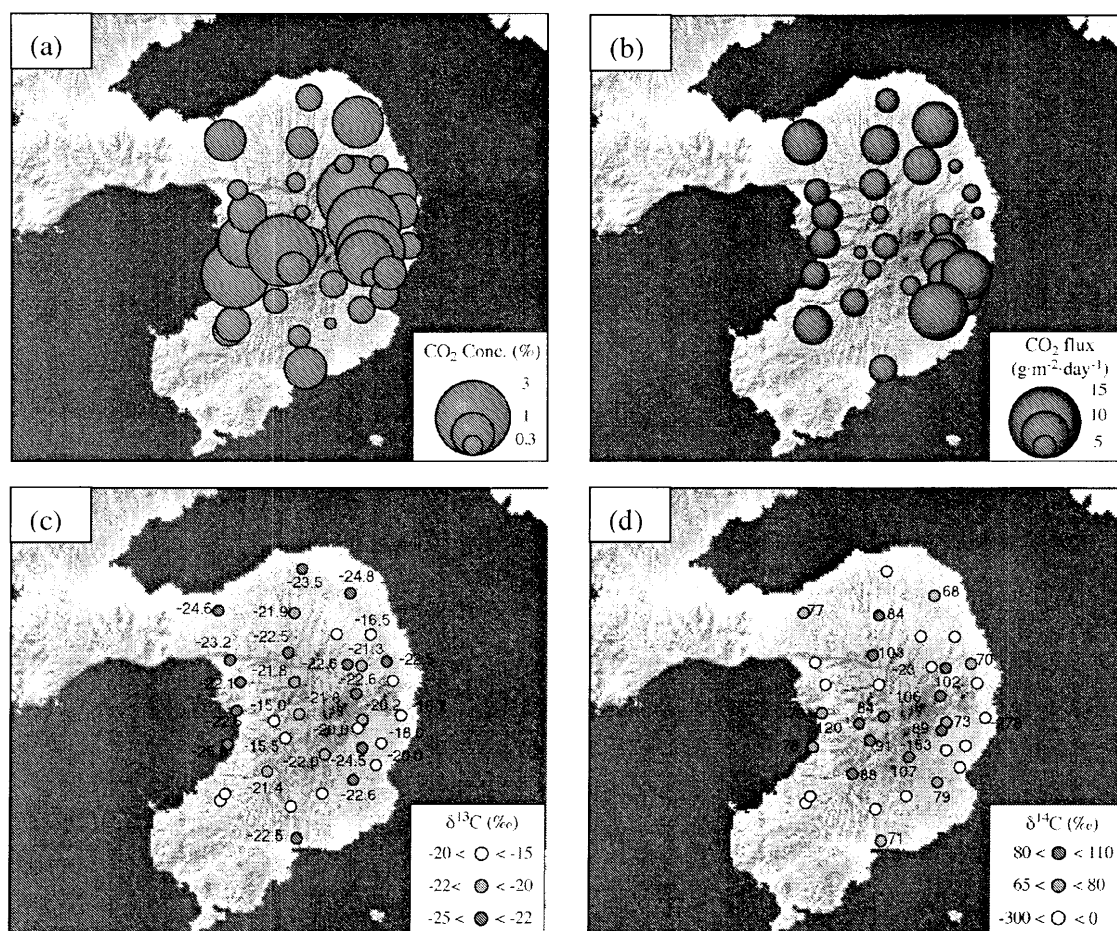


Fig. 1 The spatial variations of CO₂ concentration (a), flux (b), δ¹³C (c) and δ¹⁴C (d) values in soil air at the Shimabara Peninsula, Kyushu, SW Japan.

これらは、雲仙地溝の内側でマグマ性 CO_2 の寄与があることを示唆する結果であろう。一方、 CO_2 フラックスは、島原半島の外周（沿岸沿い）で大きなものであった。フラックスが半島の外周で大きい原因としては、それらの地域の方が、土壌が発達しているためと考えられる。

一般的に土壌 CO_2 は、微生物による土壌有機物の分解や植物の根呼吸といった生物活動や大気からの CO_2 を起源としており、そこにマグマ性 CO_2 が混入していると考えて、3成分の同位体マスバランス ($\delta^{14}\text{C} \cdot \delta^{13}\text{C}$ を利用) により寄与の推定を行った (Takahashi *et al.*, 2002). 推定された土壌 CO_2 に対するマグマ性 CO_2 の寄与、土壌中での濃度、フラックスの分布を Fig. 2 へ示す (黒点：測定項目の不足により寄与等が算出できなかった地点)。

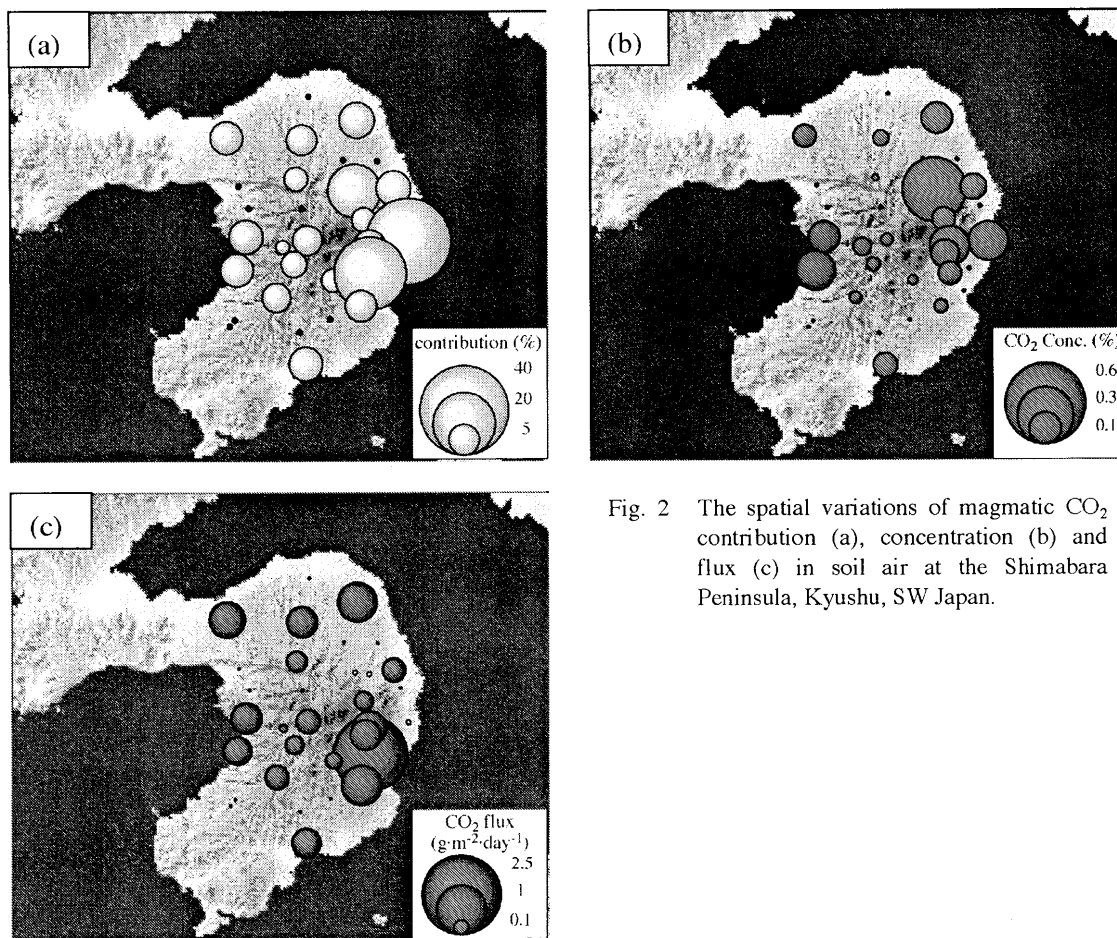


Fig. 2 The spatial variations of magmatic CO_2 contribution (a), concentration (b) and flux (c) in soil air at the Shimabara Peninsula, Kyushu, SW Japan.

マグマ性 CO_2 の寄与は、雲仙地溝の内側の島原市側（東側）で高い傾向であったが、小浜町側（西側）では地溝の外側と比べて特に高い傾向は見られなかった。土壌気相に占めるマグマ性 CO_2 の濃度で見ると、雲仙地溝の内側の東側で特に高く、西方でも若干高い傾向が認められる。フラックスは、雲仙地溝の内側で特に高い地点があるほか、地溝外側の北方にもやや高い地点が認められた。しかし、全体的には半島の外周で大きい傾向は残されたままであるようだ。

雲仙地溝の内側であっても東西でマグマ性成分の寄与が異なる点は、地下水中のヘリウム同位体比の分析結果からも求められている（森川他・未公表データ）。大気のヘリウム同位体比で規格化した場合 ($1\text{Ra}=1.4\times 10^{-6}$)、試料の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は、西側では大多数の地点が 1.0～1.5Ra であるのに対して、東側では 4～7Ra と大きな値を示す地点が多い。このことは、マントル成分の付加が東側で多いことを示しており、炭素同位体を用いた結果と矛盾しない。また、地溝の北側でやや高いヘリウム同位体比を示す地点も見つかっている。

大まかな傾向としては、地溝の内側でマグマ性 CO_2 の寄与や濃度、フラックスが高いものとなっているが、寄与率、濃度、フラックスのどれを指標とするかによって、細かな点で違いが見られる。しかしながら、いずれの指標を用いた場合でも雲仙地溝の内側の東方で高い寄与等が認められる。特に雲仙から東南東方向にある赤松谷断層の付近で大きい（赤松谷断層自体は東西方向に走っている）。このことから、この断層による破碎帯を通して深部からのマグマ性流体が上昇しているものと思われる。また、地溝の北側でもマグマ性 CO_2 の寄与が高い地点が認められるということは、地下水が上述したような破碎帯を横切った際にマグマ性流体の供給を受けた可能性も考えられる。島原半島の地質学的な特徴の一つに、東西に走る多くの断層の存在が挙げられる。もし、このような断層がマグマ性流体の供給経路となっているならば、東西方向よりもむしろ南北方向の探査を行うことで、マグマ性流体の寄与が高い地点を見つけやすいかのかもしれない。

謝辞

土壌 CO_2 フラックスの測定のために、東京大学大学院理学系研究科附属地殻化学実験施設からフラクスマーターをお借りした。同施設の森俊哉助手からは測定法について多くの助言を頂いた。また、 ^{14}C 測定に際しては名古屋大学大学院理学研究科の木平英一助手に実験を手伝って頂いたほか、年代測定総合研究センターのスタッフの方々にも様々な便宜を図って頂いた。記して謝意を表します。

本研究の ^{14}C 測定は、独立行政法人産業技術総合研究所より年代測定総合研究センターへの委託研究（課題名：異なる地質環境での炭素試料の高精度の ^{14}C 分析に関する研究）により行われた。

引用文献

青木浩, 吉田尚弘, 中村俊夫 (1998) 名古屋市東部における大気の大気二酸化炭素の濃度と同位体比の変化. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, 9, 171-178.

- Farrar, C. D., Sorey, M. L., Evans, W. C., Howle, J. F., Kerr, B. D., Kennedy, B. M., King, C. -Y. and Southon, J. R. (1995) Forest-killing diffuse CO₂ emission at Moomoth Mountain as a sign of magmatic unrest. *Nature*, **376**, 675–678.
- Hernández, P. A., Notsu, K., Salazar, J. M., Mori, T. Natale, G., Okada, H., Virgili, G., Shimoike, Y., Sato, M., Pérez, N. M. (2001) Carbon dioxide degassing by advective flow from Usu volcano, Japan. *Science*, **292**, 83–86.
- Ohsawa, S., Kazahaya, K., Yasuhara, M., Kono, T., Kitaoka, K., Yusa, Y. and Yamaguchi, K. (2002) Escape of volcanic gas into shallow groundwater systems at Unzen Volcano (Japan): evidence from chemical and stable carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon. *Limnology*, **3**, 169–173.
- 篠原宏志・佐藤久夫・福井敬一 (2002) 雲仙火山平成新山噴火における脱ガス過程. *月刊地球*, **24**, 873–877.
- Takahashi, H. A., Kazahaya, K., Shinohara, H. and Nakamura, T. (2002) Application of radiocarbon to detect a deep source CO₂ in soil air. NIMB, submitted

THE SPATIAL VARIATION OF MAGMATIC CARBON DIOXIDE CONTRIBUTION IN SOIL AIR AT UNZEN VOLCANO, SW JAPAN

*Hiroshi A. Takahashi, Kohei Kazahaya, Hiroshi Shinohara, Noritoshi Morikawa

(Geological Survey of Japan, AIST)

and

Toshio Nakamura (CCR, Nagoya University)

Abstract

Unzen volcano is located on the western part of Beppu-Shimabara Graben in Kyushu Island, SW Japan. We are studying about the mapping of volcanic fluid influence for CO₂ in order to estimate flux of magmatic volatiles in Shimabara Peninsula. In the present study, the carbon isotopic approach was used for identification of magmatic contribution in soil air. A large contribution of magmatic CO₂ in a dissolved carbonate of spring water in this region has already been reported (Ohsawa *et al.*, 2002). Use of the soil air has advantages that it is easy to measure flux from soil surface and collect sample. We have collected ca. 45 soil air samples in and around Unzen Volcano, and they are analyzed for CO₂ concentration, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{14}\text{C}$ using the portable gas detector, IR-MS and AMS.

The CO₂ concentration inside Unzen Graben showed higher than that outside. This suggests that the magmatic contribution is high inside the graben. The flux of CO₂ from ground surface was high at costal area. The spatial variation of flux might cause by the difference of biogenic activity at each point. The biogenic impact might be stronger than the magmatic one for the CO₂ flux, since the almost costal region used for farm field and might contain much higher amount of organic materials. The magmatic CO₂ showed high contribution in/around Shimabara City located ca. 7km east from Unzen Volcano, which agrees well with the result from ground water study using carbon isotopes (Ohsawa *et al.* 2002). It is noteworthy that the high contribution, flux and concentration of CO₂ are appeared along the Akamatsudani fault zone located southeast of the volcano. Our observation across the Akamatsudani fault zone was also represented to be a remarkable peak of CO₂ concentration and $\delta^{13}\text{C}$ values. These suggest that magmatic fluid comes up along the fracture zone like as fault system of Unzen Graben.

* Phone: +81-29-861-2486, Fax: +81-29-861-3749, e-mail: h.a.takahashi@aist.go.jp

研究発表等（平成 13 年度・平成 14 年度）

<誌上発表>

Takahashi, H. A., Konohira, E., Hiyama, T. and Nakamura, T. "Seasonal $\delta^{13}\text{C}$ variations in soil respired CO_2 and the vertical profiles of soil air CO_2 and soil organic matter in a deciduous temperate forest, Nagoya City, Japan." *Tellus B*, submitted

Takahashi, H. A., Kazahaya, K., Shinohara, H. and Nakamura, T. "Application of radiocarbon to detect a deep source CO_2 in soil air." *NIMB*, submitted

Takahashi, H. A., Konohira, E., Hiyama, T., Minami, M., Yoshida, N. and Nakamura, T. "Diurnal variation of CO_2 concentration, $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in an urban forest: estimate of the anthropogenic and biogenic CO_2 contributions." *Tellus*, **54B**, 97–109.

Takahashi, H. A., Yonenobu, H., Nakamura, T. and Wada, H. "Seasonal fluctuation of stable carbon isotopic composition in Japanese cypress tree rings from the last glacial period ---Possibility of palaeo-environment reconstruction." *Radiocarbon*, **43**, 433–438.

Yoshioka, T., Lee, J.-Y., Takahashi, H. A. and Kang, S.-J. "Palaeoenvironment in Dae-am Sang high moor, KOREA." *Radiocarbon*, **43**, 555–560.

Takahashi, H. A., Hiyama, T., Konohira, E., Takahashi, A., Yoshida, N. and Nakamura, T. "Balance and behavior of carbon dioxide at an urban forest inferred from the isotopic and meteorological approaches." *Radiocarbon*, **43**, 659–669.

<学会発表>

Takahashi, H. A., Kazahaya, K., Shinohara, H. and Nakamura, T. "Application of radiocarbon for the detection tool of a deep source CO_2 in soil air---Soil CO_2 flux, concentration and carbon isotopic composition ---" Ninth International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, Nagoya University, Japan, September, 2002.

高橋浩，風早康平，篠原宏志，中村俊夫「炭素同位体を用いた土壌気相中の深部起源二酸化炭素の検出手法の開発」日本水文科学会，日本大学，2002 年 6 月

高橋浩，風早康平，篠原宏志，中村俊夫「島原半島における土壌中の二酸化炭素の濃度と炭素同位体・二酸化炭素フラックス」地球惑星科学関連学会合同大会，国立オリンピック記念青少年総合センター，2002 年 5 月

高橋浩，小栗秀之，木平英一，檜山哲哉，南雅代，中村俊夫，吉田尚弘「都市森林における二酸化炭素の再利用に関する研究」日本地球化学会，学習院大学，2001 年 10 月

高橋浩，木平英一，檜山哲哉，南雅代，中村俊夫，吉田尚弘「都市森林における大気二酸化炭素の動態の季節変化に関する研究」日本地球化学会，学習院大学，2001 年 10 月

Takahashi, H. A., Konohira, E., Hiyama, T., Nakamura, T. and Yoshida, N. "Seasonal variations of concentration and $\delta^{13}\text{C}$ in soil air CO_2 and soil respired CO_2 ". First International Symposium on Isotopomers, Yokohama, Japan, July, 2001.