

## 雲仙周辺における土壌 CO<sub>2</sub> を利用した火山活動の影響範囲の推定に関する研究

高橋 浩・風早康平・篠原宏志（産業技術総合研究所 地質調査総合センター）

中村俊夫（名古屋大学 年代測定総合研究センター）

### はじめに

活動中の火山にはマグマ起源の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 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). 観測地域である雲仙地溝の内側では、地下水や湧水の重炭酸濃度の増加が見られ、同位体的に見るとマグマ起源 CO<sub>2</sub> の影響が見られることが報告されている (Ohsawa *et al.*, 2002). しかし、地下水や湧水は、滞留時間が長く挙動が複雑であるため、実際のマグマ起源 CO<sub>2</sub> の寄与がある地点と試料採取の地点にギャップが生じてしまう。また、地下水や湧水試料を系統的に採取することは、大変な労力を必要とするばかりではなく、地域によっては試料が得られないこともある。そこで、本研究では土壌 CO<sub>2</sub> を用いた解析を試みた。地下から上昇してきた CO<sub>2</sub> は、ガス態であるため地下水流動とともに長距離を移動せずに、比較的すみやかに地上へ到達すると考えられる。

一般的に土壌 CO<sub>2</sub> は、土壌有機物が微生物の活動により分解されることで生成し、大気へ放出される。そこにマグマ起源 CO<sub>2</sub> が混入すると、濃度、炭素同位体比の変化が期待される。

### 調査地域・試料・方法

本研究の調査は、長崎県島原市および南高来郡深江町で行った。調査地域である長崎県島原半島の中央部には雲仙火山が存在し、いくつかの断層により東西に分断されており、北側の千々石断層と南側の布津断層により雲仙地溝帯を形成している。雲仙火山は現在も噴気をあげており、現在でも火山活動が継続している。

雲仙科学掘削プロジェクトの USDP-2 サイト近傍とわれん川河口近くで 500-600m ほどの測線を設定して、数 m から 250m の間隔で 2001 年 9 月に土壌ガス調査を行った。調査では、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。また、われん川湧水中の遊離ガスと平成新山の噴気ガスを同位体測定用に採取した。

USDP-2 測線では、17 地点の濃度測定を行い、そのうち 6 地点の  $\delta^{13}\text{C}$  測定を行った。われん川測線

---

\* Phone: 0298-61-2486, Fax: 0298-61-3749, e-mail: h.a.takahashi@aist.go.jp

では、17 地点の濃度測定を行い、そのうち 10 地点の $\delta^{13}\text{C}$  測定を行った、さらに、2 地点の  $^{14}\text{C}$  測定を行った。また、われん川湧水中の遊離ガスと平成新山の噴気ガスの  $^{14}\text{C}$  測定を行っている。

採取したガス試料は、真空ラインへ導入して  $\text{CO}_2$  を分離した。アルミバックに採取した試料については、大気との交換を防ぐために、採取から 10 日以内に処理を行った。真空ラインにて二酸化炭素の精製を行い、 $\delta^{13}\text{C}$  をガス型質量分析計で、 $^{14}\text{C}$  濃度を加速器質量分析計により測定した。

### 結果・考察

$^{14}\text{C}$  測定を行った試料について、 $\delta^{13}\text{C}$  との関係性を Fig. 1 に示す。土壌中の  $\text{CO}_2$  の起源としては、大気と土壌有機物が一般的であり、そこにマグマ起源  $\text{CO}_2$  が混入していると考えられる。そこで、3つの成分のエンドメンバーのプロットを Fig. 1 中に行った。大気成分は、Levin and Kromer (1997)で報告された値をもとに、経年変化を利用して 2001 年の値を計算によって求めたものである。土壌有機物（生物起源）成分は、1999 年と 2000 年に名古屋大学構内の二次林で、土壌から放出される  $\text{CO}_2$  の観測結果を用いた。化石燃料による  $^{14}\text{C}$  の希釈効果の影響を受けていると思われるが、今回は補正などを行わない。マグマ成分の $\delta^{14}\text{C}$  は理論的に-1000‰とおくことができる。 $\delta^{13}\text{C}$  については、平成新山の噴気ガスと大気成分の値を結んで得られる一次式に、 $\delta^{14}\text{C}=-1000‰$ を代入することで求めた。その値

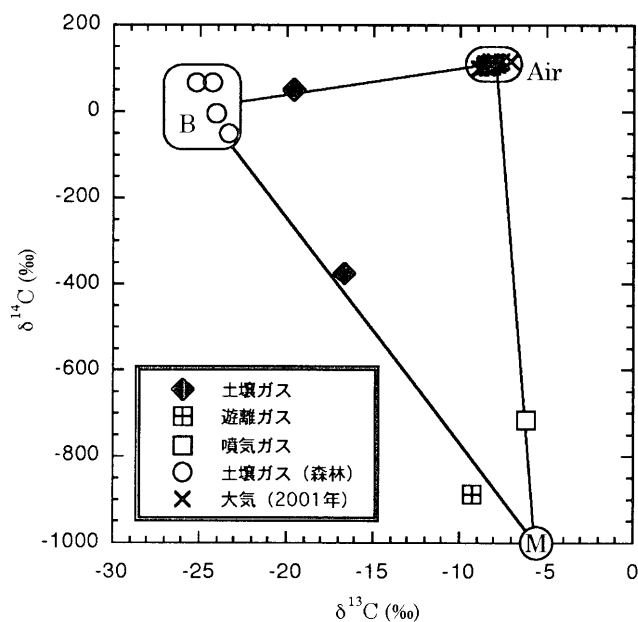


Fig. 1 The relationship between  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{14}\text{C}$  values of soil air  $\text{CO}_2$ , smoke air of Heisei-shinzan and bubble air in Waren River Spring. M: magmatic component, Air: atmospheric component, B: biogenic component

は-5.4‰であり、マグマ起源  $\text{CO}_2$  の $\delta^{13}\text{C}$  値としては妥当なものである。大気成分や生物成分はそれぞれの値の平均値を計算に用いた。

上記のエンドメンバーから、各成分の寄与率を求めると、われん川湧水の脇（2m）の土壌  $\text{CO}_2$  で、マグマ成分が 60%ほど、生物成分が 40%弱、大気成分が数%であった。さらに、そこから 500m ほど離れた地点の土壌  $\text{CO}_2$  では、マグマ成分の寄与はわずかで、生物成分が 30%、大気成分が 70%であった。われん川湧水中の気泡については、遊離成分と溶存成分との間に同位体分別が生じることから (Zhang *et al.*, 1995), Fig. 1 で示した 3つのエンドメンバーで囲まれた範囲から外れてしまっていると考えられる。

このように、土壌中の  $\text{CO}_2$  の  $^{14}\text{C}$  と $\delta^{13}\text{C}$  の関係を見ることで、マグマ成分の検出が可能であり、土壌中の  $\text{CO}_2$  を用いた火山活動の影響が及ぶ範囲の推定が可能であると思われる。しかしながら、 $^{14}\text{C}$  測定を行うことは、設備や試料量などの問題から容易ではない。そこで、同じ炭素同位体である $\delta^{13}\text{C}$  と  $\text{CO}_2$  濃度を指標とした観測結果の解析を行った。

✕ 土壌  $\text{CO}_2$  の濃度と $\delta^{13}\text{C}$  について見ると、USDP-2 サイト・われん川測線の両地点とも、土壌  $\text{CO}_2$  の濃度が高い地点が観測され、そのなかのいくつかの地点では $\delta^{13}\text{C}$  の上昇が見られた。通常、土壌  $\text{CO}_2$  の濃度は、土壌有機物の分解が活発となると高くなり、 $\delta^{13}\text{C}$  は土壌有機物の値に近づいていくが、マグマ起源  $\text{CO}_2$  の寄与があると濃度-同位体の関係にズレが生じる。マグマ起源  $\text{CO}_2$  の $\delta^{13}\text{C}$  は土壌有機物よりも高く、マグマ  $\text{CO}_2$  の寄与が増加するほど、濃度増加に比して $\delta^{13}\text{C}$  が高くなる。 $\text{CO}_2$  濃度の逆数と $\delta^{13}\text{C}$  のプロット (Fig. 2) を行うと、この様子が把握できる。火山地域以外の観測例として福島県

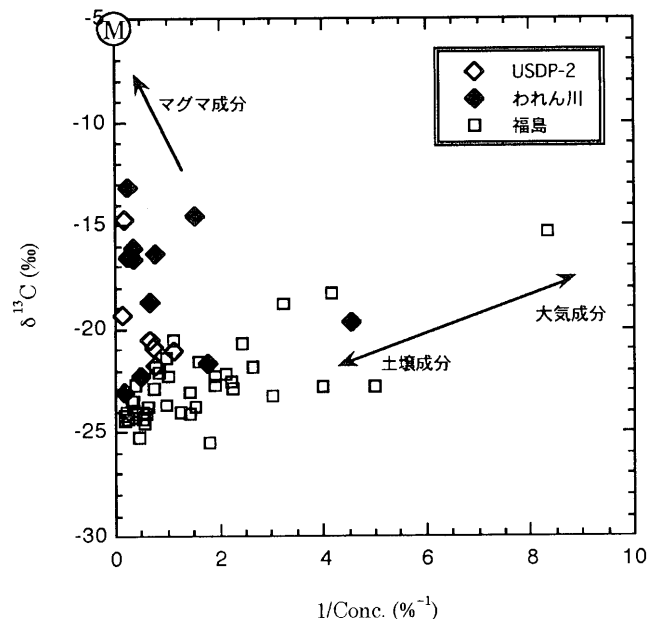


Fig. 2 The relationship between inverse of concentration and  $\delta^{13}\text{C}$  value of soil air  $\text{CO}_2$ . M: magmatic component

北部地域で測定した結果を同時に示す。

島原での観測結果のいくつかは、明らかにマグマ起源 CO<sub>2</sub> の寄与があることを示しており、濃度とともに $\delta^{13}\text{C}$  の上昇が確認できる。これは、同位体的に重いマグマ起源 CO<sub>2</sub> の混入、つまり雲仙火山の影響によると考えられる。そのような上昇が見られた地点のいくつかは、断層の直上であると考えられる地点に対応しており、断層に沿って地下からマグマ起源の CO<sub>2</sub> が供給されたものと予想される。一方、数 m 離れた地点どうしで片方ではマグマ起源 CO<sub>2</sub> の寄与が認められるのに、もう片方では認められない地点があるなど、地点間の不均一性が問題として残される結果となった。

### まとめ

本研究で、長崎県島原半島における土壌 CO<sub>2</sub> の調査を行った結果、湧水や河川水の溶存炭素をのかわりに土壌 CO<sub>2</sub> を試料として用い、<sup>14</sup>C、 $\delta^{13}\text{C}$ 、濃度の関係を見ることで、マグマ成分を検出し、火山活動の影響が及ぶ範囲の推定が可能であることが示唆された。

### 引用文献

- 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 CO<sub>2</sub> 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.
- Levin, I. and Kromer, B. (1997) Twenty years of atmospheric <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> observations at Schauinsland station, Germany. *Radiocarbon*, **39**, 205-218.
- Ohsawa, S. Kazahaya, K., Yasuhara, M., Kono, T., Kitaoka, K., Yusa, Y. and Yamaguchi, K. (2002) Escape of volcanic gas into shallow ground water systems at Unzen volcano (Japan): Evidence from chemical and stable carbon isotope compositions of dissolved inorganic carbon. Extended abstract of International workshop on Unzen Scientific Drilling Project, 100-101.
- Zhang, J., Quay, P. D. and Wilbur, D. O. (1995) Carbon isotopic fractionation during gas-water exchange and dissolution of CO<sub>2</sub>. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **46**, 1183-1191.

## Spatial estimation of volcanic effect using soil air CO<sub>2</sub> around the Unzen volcano

Hiroshi A. Takahashi, Kohei Kazahaya, Hiroshi Shinohara (Geological Survey of Japan, AIST)

and

Toshio Nakamura (CCR, Nagoya University)

### Abstract

In the present study, the carbon isotopic approach was used for identification of magmatic contribution in soil air CO<sub>2</sub>. Here we represent the CO<sub>2</sub> concentration and carbon isotopic composition in soil air in order to estimate the effect from Unzen Volcano in the Shimabara Peninsula.

We took soil air through a sampling tube pricked at 30cm depth below the land surface, and measured concentration of carbon dioxide by the GASTEC tube. For the isotopic analysis, soil air was sampled in a glass reservoir (100 ml: for stable carbon isotopic measurement) or an aluminized plastic bag (3 liters: for radiocarbon measurement). CO<sub>2</sub> was collected from the sampled soil air under the vacuum at the laboratory, and its stable carbon isotopic composition was measured by the IR-MS. Some samples measured radiocarbon concentration by the accelerator mass spectrometry at the Nagoya University.

The field observations were carried out in September 2001. We had two traverses (500-600 m) across the fault near the USDP-2 site and embouchure of the Waren River. We also took bubbles in the spring water at the Waren River and the smoke air of Heiseishin-zan volcano.

We found that several points had the high CO<sub>2</sub> concentration in the two traverses of the USDP-2 and the Waren River. Some of them showed the relatively higher value of stable carbon isotopic ratio. This indicates that the magmatic CO<sub>2</sub> might be brought to the land surface in the area of Unzen Graven. Moreover, radiocarbon technique tells us the stable carbon isotopic ratio of magmatic CO<sub>2</sub> and contributions of magmatic, biogenic and atmospheric CO<sub>2</sub>. The value of stable carbon isotopic ratio was estimated to be -5.4 per-mil. The proportions of respective contributions were 75:0:25 for smoke air, 60:40:0 in soil air nearby the Waren River spring and 0:30:70 in soil air at 500m away from the Waren River.

---

\* Phone: +81-298-61-2486, Fax: +81-298-61-3749, e-mail: h.a.takahashi@aist.go.jp