

国府津 - 松田断層周辺における土壌ガス中の炭酸ガス

代田 寧*

Carbon dioxide in soil gases around the Kouzu-Matsuda fault

by

Yasushi DAITA*

1. はじめに

地震の前兆現象として、活断層周辺の地下から発生する水素やヘリウム、ラドンなどのガス濃度に変化が生じることが知られている（例えば、加藤ほか、1986; 杉崎・杉浦、1986; 森ほか、2000）。そのなかでも、水素とヘリウムは地震の前兆現象を捉えられる期待が大きい（杉崎、1985）が、分子量が小さいためサンプリングバッグ等による採取では逸散に対する注意が必要である。森ほか(2000)では、現場にガスクロマトグラフを設置して自動的に水素、ヘリウム、アルゴン等を連続観測しており、大きな成果を上げているが、この方法では非常にコストが高くなる。

国府津 - 松田断層の周辺でも調査研究がおこなわれており、栗屋ほか(1986)はラドン濃度のピークが断層の位置とほぼ一致することを報告している。また、加藤ほか(1982)はラドンが放射する α 線に感度を有するフィルムを使用した α トラック法により同様の結果を得ており、これらの測定が活断層や破砕帯の推定に有用な方法であることを報告している。

一方、炭酸ガス濃度が α トラック数と同様の挙動を示す事例（加藤ほか、1982）や、ラドン濃度と高い相関を示す事例(Shapiro *et al.*, 1982; 宇井・林、1983)が報告されているほか、検討の余地はあるものの、炭酸ガス濃度の変動が地震活動や断層活動と関連している可能性も示されている（杉崎ほか、1984）。地震活動と炭酸ガス濃度の関連を示す実例として、丹那断層において1978年1月14日に発生した伊豆大島近海地震の約2ヶ月前から炭酸ガス濃度が増加し、地震後に平常に戻ったという報告がある（永田ほか、1978）。

また、炭酸ガスは検知管等を用いることにより簡便かつ迅速に測定することが可能であり、さらに安価であるため、モニタリングには有利であると考えられる。

本研究では、国府津 - 松田断層周辺における土壌ガス

中の炭酸ガス濃度をモニタリングすることにより、断層の活動度の評価や地震の前兆把握に利用するための基礎資料として、炭酸ガス濃度の季節変動等の特徴や検知管による簡易測定法について若干の知見を得たので報告する。

2. 方法

2.1. サンプリング地点

サンプリング地点として、小田原市曾我大沢及び同市上曾我に位置する国府津 - 松田断層を横切る測線上の4地点を選定した（図1）。地点Aは水田に隣接した柿畑で、逆断層の下盤側に位置している。地点B、C、Dは断層活動によりせり上がったみかん山に位置し（逆断層の上盤側）、最も断層に近いのが地点Bである。

2.2. サンプリング方法

土壌ガスのサンプリング方法は、栗屋ほか(1986)や地震予知・地球化学的研究グループ(1984)を参考にした。すなわち、土壌ガス採取用として直径7.5cm、深さ95cmの孔を掘り、下部30cmの部分に直径1cm程度の通気孔を36ヶ所あけた1mの塩ビパイプを埋設して観測孔とした。観測孔の断面図およびサンプリング方法を図2に示す。なお、サンプリング時には大気の混入が問題となるが、地表から80cm以深では大気の混入が少ないことから（高橋ほか、1984）、本研究では観測孔の深さを95cmとした。

サンプリングには定量ポンプを用い、吸引速度1L/minでほぼ孔底まで挿入したチューブを通じてテドラーバッグに土壌ガスを採取し、実験室に持ち帰って熱伝導度検出器(TCD)を備えたガスクロマトグラフ(GC)により炭酸ガスの分析を行なった。使用したGCは、VARIAN製Micro-GC CP-2003で、サンプルごとに5回以上測定し平均したものを結果として用いた。

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第38巻, 31-34, 2006.

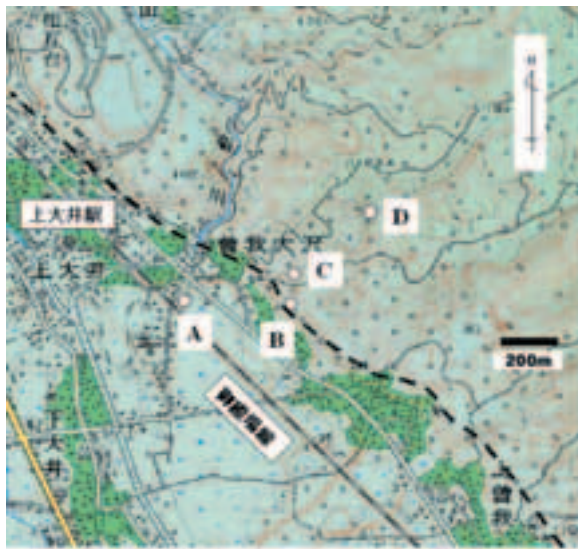


図1 サンプルング地点。図中の破線は断層を示す。

3. 結果及び考察

3.1. サンプルング条件の検討

土壌ガスをサンプルングする際に大気の混入を避けるため、あらかじめ塩ビパイプ内に溜まっているガスを吸引して追い出し、地下からの土壌ガスで満たされた頃にサンプルングをおこなう必要がある。そこで、土壌ガスを吸引した後スクリーコックで閉じ、3分、10分、1時間、44時間と放置時間を変えて炭酸ガス濃度を測定したところ、それぞれほぼ同様に約8500ppmの結果が得られ、3分程度放置すれば十分であることがわかった(図3)。なお、同時に測定した観測孔の直上における大気中の炭酸ガス濃度は約300ppmであり、土壌ガス中の炭酸ガス濃度は大気に対して有意に高い。

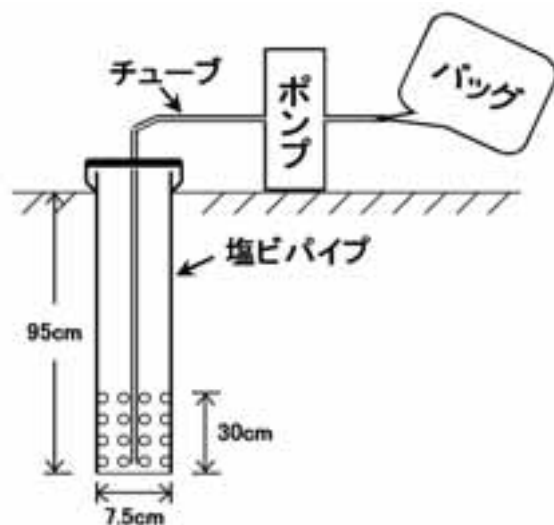


図2 観測孔断面図とサンプルング方法。サンプルングには定量ポンプを用い、吸引速度1L/minでテドラバッグに土壌ガスを採取する。

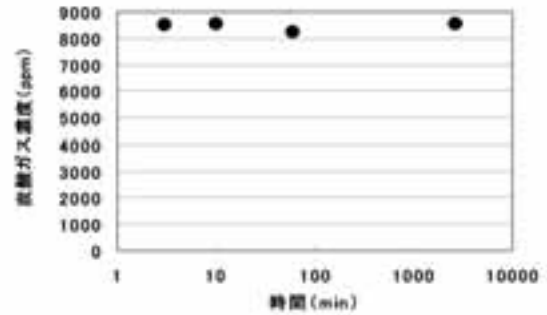


図3 サンプルング時の放置時間の影響(地点B)

3.2. 各地点の炭酸ガス濃度

図4に、2001(平成13)年12月～2006(平成18)年6月までに測定した炭酸ガス濃度の結果を示した。上盤側に位置するみかん山に設置した地点B、C、Dについては、全ての結果において断層に近い地点Bが最も濃度が高く、断層から離れるにしたがって低くなっていた。

加藤ほか(1982)は、神縄断層及び南北性断層を横切る測線において、それぞれ20及び16観測点で土壌ガス中の炭酸ガス濃度を測定し、濃度のピークが断層の位置と一致したことを報告している。本研究では観測点数が少ないものの、同様に断層に近い観測孔の濃度が最も高くなる結果となった。なお、加藤ほか(1982)による結果を簡単に述べておくと、調査は3月に実施し、神縄断層を横切る測線の最高濃度は約15000ppm、南北性断層を横切る測線の最高濃度は約4000ppmという結果であった。

また、断層の近くで濃度が最も高くなるのは、杉崎ほか(1984)によると、活断層に沿って観測される炭酸ガスの多くは堆積物中の有機物が起源であり、断層上(破碎帯中心部)では破碎により水やガスの流通が促進されて生物活動が高められたためであると推察している。

一方、地点Aについては、水田に隣接していることもあり、田植えの時期や降雨後には塩ビパイプ内に水が溜まっているため、サンプルングできないことが多かつ

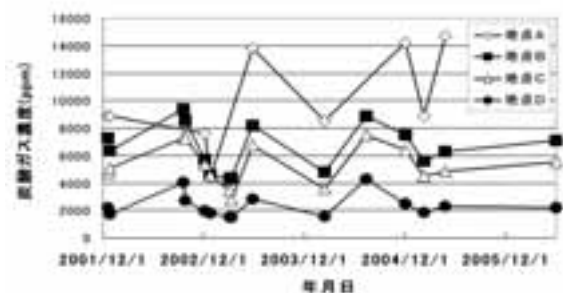


図4 炭酸ガス測定結果

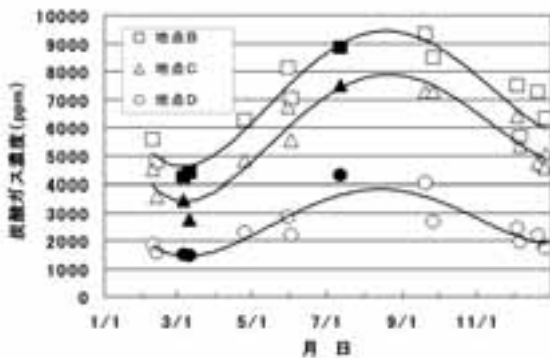


図5 炭酸ガス濃度の季節変動
全データをプロットしてある。塗りつぶしは、3日以内に降雨があったものを示す。

た。このような場所は観測孔として適切ではなく、観測場所を選定する場合には注意が必要である。それに対して、地点 B、C、D は降雨の後であっても塩ビパイプ内に水が溜まっていることは一度もなかった。

また、地点 A は断層から離れている割に濃度が高い。これは次章で述べる季節変動の結果から、炭酸ガスの起源が生物活動（微生物による有機物の分解）によるものである可能性が高く、他の地点と比較して地点 A の生物活動が活発なためと考えられる。地点 A は水田に隣接し、降雨後に観測孔内に水が溜まっていたことからわかるように土壌の保水力が大きいため、生物活動が高められていると考えられる。

このようなことから、地点 A は性格の異なる観測孔であり、他の地点とは同列に比較することはできないため、これ以降は地点 B、C、D のデータのみ論ずる。

3.3. 炭酸ガス濃度の季節変動

炭酸ガス濃度は夏季に高く冬季に低くなる結果が得られ（図5）、杉崎ほか(1984)が述べているように生物起源による可能性が高いと考えられる。炭酸ガスの起源を調べる上で、炭素同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ が有用な指標となるが、今回は測定しておらず今後の課題である。

深部起源のものに比べ、生物起源の炭酸ガスでは地震の前兆把握に利用できるかは疑問があるが、杉崎ほか(1984)はラドン濃度と高い相関を示す事例などから、生物起源の炭酸ガスでも地震活動や断層活動と結びつけることも可能であるとしている。例えば、地震前の応力変化等により断層沿いに上昇してくるガス組成が変化し、結果として炭酸ガス濃度が変化するなど、通常とは異なる挙動を示すことも考えられる。

図5から、若干ばらつきはあるものの、おおむね各地点における季節ごとの濃度がわかるので、有意な変化があればこれらと比較することにより異常かどうかを判断

できると考えられる。

3.4. 炭酸ガス濃度の気温による影響

前章で炭酸ガス濃度の季節変動について検討したが、炭酸ガスが生物起源だとすると、季節的な変動というよりも気温による影響が大きいと考えられる。そこで、サンプリング時の気温と炭酸ガス濃度の関係を図6に示した。各地点ともややばらつきがあるものの、おおむね気温との相関が高いことがわかる。生物の代謝活動度の影響だとすると、当日の気温だけではなく、数日間あるいは数週間の気温が影響することも考えられる。したがって、サンプリング前数日間の平均気温を用いることなどにより、さらに相関が良くなる可能性もあるので今後検討したい。

また、わずかではあるが断層に近いほど相関が悪くなっている。これは測定誤差などによる影響も考えられるが、断層に近いほど地下から上昇してくるガス組成の変化が現れやすいことを示しているのかもしれない。推論ではあるが、断層近くの炭酸ガスは、地下深部からのガスと生物活動によるガスが混在していることも考えられる。

3.5. 炭酸ガス濃度の降雨による影響

炭酸ガスは水溶性が高いため、降雨による濃度変化が生じる可能性がある。図5で黒く塗りつぶしてあるのは、サンプリング日の3日前以内に降雨があり、地点 A に水が溜まっていたもので、降雨による影響が大きいと思われるデータである。しかし、炭酸ガス濃度の低下は認められず、地点 B、C、D については降雨の影響はほとんどないものと考えられる。

3.6. 検知管による測定

炭酸ガスは検知管を用いることにより簡易な測定が可能となる。また、GC による分析のように実験室に持ち帰る必要がなく、現場で迅速に結果がわかる。

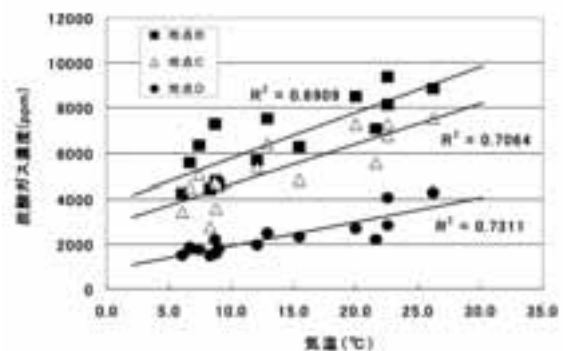


図6 炭酸ガス濃度と気温の関係

表1 GC及び検知管による測定結果の比較(単位はppm)
 検知管1はテドラーバック内のガスを検知管で測定した結果を、検知管2は塩ビ管内に検知管を差し込んで測定した結果を示す。

	地点A	地点B	地点C	地点D
GC	14700	6300	4800	2300
検知管1	16000	6200	4000	2000
検知管2	9800	4500	3200	2000

そこで、検知管を用いた簡易分析法について検討し、結果を表1に示した。検知管1は、テドラーバックで土壌ガスを採取するまでは同様の方法で、測定だけがGCではなく検知管を用いる方法である。この方法では、ほぼGCと同様の結果が得られ、簡便かつ迅速な方法として実用的であると考えられる。

一方、検知管2はさらに簡易化し、ポンプで吸引せずに塩ビ管内に検知管を差し込んで測定する方法である。この方法であれば、検知管とガス採取器を渡しておくことにより一般の人でも簡単に測定できるため、当所でおこなっている「なまずの会(民間ボランティアによる井戸の水位観測)」のような観測も可能となる。しかし、この方法ではGCによる分析値と比較して低い値を示し、大気の混入が避けられないものと考えられる。

4. おわりに

国府津-松田断層周辺において土壌ガス中の炭酸ガス濃度を測定し、断層の活動度の評価や地震の前兆把握に利用するための基礎資料として、炭酸ガス濃度の季節変動等の特徴について調べた。炭酸ガス濃度は季節や気温により変動するため、それらの補正をして平常時の濃度を正しく把握することが重要となる。今回の結果から気温との相関が高く、おおよそ季節ごとの濃度は把握できたが、数日間の平均気温を用いて補正するなどの検討が今後必要であろう。また、測定には検知管を用いることが可能であり、簡便かつ迅速な方法である点も炭酸ガスモニタリングの特長といえる。

謝辞

観測孔を設置するにあたり、土地所有者の方々には便宜を図って頂きました。また、元温泉地学研究所専門研究員(現湘南地域県政総合センター環境部)の小沢清氏および温泉地学研究所の板寺一洋主任研究員にはサンプリング場所の選定ならびに観測孔の設置にご協力頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 栗屋 徹・小鷹滋郎・平野富雄・石坂信之・大木靖衛(1986) 国府津-松田断層の地層気体中ラドン, 温地研報告, 17(5), 71-78.
- 地震予知・地球化学的研究グループ(1984) 地質調査所における地下水・地下ガスによる地震予知研究の概要(その3), 地質ニュース, 359号, 16-26.
- 加藤 完・池田喜代治・高橋 誠・永田松三(1982) α トラック法による神縄および国府津-松田断層地域の調査, 第四紀研究, 21(2), 67-74.
- 加藤 完・高橋 誠・吉川清志(1986) 長野県西部地震の前兆としての震央周辺における α トラック法によるラドン濃度異常, 地震, 39, 47-55.
- 森 康則・山下瑠佳・川邊岩夫・伊藤貴盛・永峰康一郎・大井田 徹・藤井直之(2000) 長島観測井で観測された温泉ガス組成の地震地球化学的变化: H_2/Ar 比のスパイク状およびランプ関数状変化とその解釈, 地震, 53, 165-176.
- 永田松三・加藤 完・伊藤吉助(1978) 断層周辺の土壌ガス組成とその変化について-伊豆半島地域-, 地球化学会年会講演要旨, 212.
- Shapiro, M.H., Melvin, J.D., Tombrello, T.A., Jiang, F., Li, G., Mendenhall, M.H., Rice, A., Epstein, S., Jones, V.T., Masdea, D. and Kurtz, M. (1982) Correlated radon and CO_2 variations near the San Andreas Fault, Geophys. Res. Lett., 9, 503-506.
- 杉崎隆一・井戸正彦・武田 浩・磯部由美子・佐竹 洋・林 美光・中村則明・水谷義彦(1984) 活断層より放出されるガス(1) 炭酸ガスについて-断層ガスの化学的特徴と断層活動-, 地震, 37, 45-54.
- 杉崎隆一(1985) 地球化学的地震予知の基礎的研究-地下ガス組成変化と地殻内での歪変化ならびに破壊現象-, 自然災害科学, 4, 34-55.
- 杉崎隆一・杉浦 孜(1986) 長野県西部地震に伴う温泉ガス、火山ガスの前兆的組成変動, 地震, 39, 99-109.
- 高橋 誠・吉川清志・加藤 完・池田喜代治(1984) 地下ガス観測上の問題点について, 地殻化学実験施設彙報, 3, 27-35.
- 宇井啓高・林 美光(1983) 断層ガスの継続観測, 月刊地球, 5, 346-351.