JAEA-Research 2009-043



水素ガス原位置測定による 断層破砕帯調査手法の検討

Study on the Method of Fault Zone Survey by Use of In-situ Hydrogen Gas Measurement

黒澤 英樹 石丸 恒存 島田 耕史 丹羽 正和 斉藤 聡 ニノ宮 淳 小坂 英輝

Hideki KUROSAWA, Tsuneari ISHIMARU, Koji SHIMADA, Masakazu NIWA Hideki KOSAKA, Satoshi SAITO and Atsushi NINOMIYA

> 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate

January 2010

日本原子力研究開発機構

Japan Atomic Energy Agency

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department, Japan Atomic Energy Agency 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

水素ガス原位置測定による断層破砕帯調査手法の検討

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

黒澤 英樹*1, 石丸 恒存, 島田 耕史, 丹羽 正和, 小坂 英輝*1, 斉藤 聡*1, 二ノ宮 淳*1

(2009年11月2日受理)

地震・断層活動に伴う岩盤の破壊や地層の変形が及ぼす影響は、放射性廃棄物の地層処分などの地下数百m以深を対象とした長期的な地下利用を考慮する上で重要な自然現象の一つである。 そこで、断層の活動性評価や、断層活動に伴う破断、変形などの影響範囲の把握を目的とした断 層破砕帯の調査手法の一つとして、断層沿いを移行する地下深部起源のガスを利用した地球化学 的調査が考えられる。このうち水素ガスについては最近、市販の携帯型水素ガス濃度検知器を利 用し、断層露頭に小さな測定孔を掘削して原位置でかつ数時間程度で測定する手法が考案された。

本研究では、携帯型水素ガス濃度検知器を利用した原位置測定の実用化を図るため、検知器の 設置方法や、大気中の水蒸気や測定孔の掘削に伴う擾乱などが測定値に与える影響について検討 した。その結果、測定開始直後から1時間程度までは、孔の掘削に伴って発生した水素ガスや、 掘削部近傍の土壌や岩石に吸着していた水素ガスなどが測定値に影響を与えている可能性が示唆 された。その影響を避けるため、測定開始から2~3時間後にかけての水素ガス放出量(R₃)を、 その測定地点において地下から継続的に放出している水素ガスの量とみなした。

さらに、断層破砕帯の調査手法に資するための事例研究として、兵庫県の山崎断層帯を対象に 広域的な水素ガスの原位置測定を行った。その結果、活断層である山崎断層帯の土万(ひじま) 断層、安富(やすとみ)断層及び暮坂峠(くれさかとうげ)断層に沿って分布する破砕帯や割れ 目と、その延長上にある微小地震密集域に位置する破砕帯や割れ目から高濃度の水素ガスの放出 が検知され、一方で、それらから離れた位置にある破砕帯や割れ目からは高濃度の水素ガスの継 続的な放出は認められなかった。

以上から、本研究で用いた水素ガスの濃度測定法は、地中から放出される水素ガス濃度の原位 置測定を広範囲かつ短期間で実施するのに有効な手法であることが確認された。

東濃地科学センター(駐在):〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31

- ※1 技術開発協力員
- *1 環境地質株式会社

JAEA-Research 2009-043

Study on the Method of Fault Zone Survey by Use of In-situ Hydrogen Gas Measurement

Hideki KUROSAWA^{**1}, Tsuneari ISHIMARU,Koji SHIMADA, Masakazu NIWA, Hideki KOSAKA^{**1}, Satoshi SAITO^{**1} and Atsushi NINOMIYA^{**1}

> Tono Geoscientific Research Unit, Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency Izumi-cho, Toki-shi, Gifu-ken

> > (Received November 2, 2009)

Research on the influence of fault activity on deep geological environments contributes to the reliability of geological disposal systems for high level radioactive wastes. Measurement of deep-seated gas discharged along faults is proposed as an effective method to understand the extent of influence of fault activity. In this study, in-situ and short-lasting measurement of hydrogen gas by use of a portable monitor is tested for prehension of spatial distribution of active faults. Preliminary test shows that the measured value within 1 hour after measurement start is supposed to include hydrogen gas generated by rock fracturing during the drilling of sampling holes and stored in surrounding disturbed rocks. Thus we determine deep-seated hydrogen gas concentration based on the mean emission per minute in 2 to 3 hours after the measurement start.

We investigated the concentration of hydrogen gas emitted from the Yamasaki fault zone, in southeast Japan. The Yamasaki fault zone is one of the major active faults in Japan which caused the A.D. 868 Harima Earthquake. In our survey, the points where high concentrations of hydrogen gas emission was detected were unevenly distributed along the active fault, and in the southeast portion of the study area where small earthquakes frequently occurred. These results suggest that widespread and exhaustive in-situ hydrogen gas measurement can be available for outlining fault activities.

Keywords: Geological Disposal of HLW, Long-Term Stability of Geological Environment, Fault Activity, In-situ Hydrogen Gas Measurement

^{*1} Collaborating Engineer

^{*1} Environmental Geology Co., Ltd.

目 次

1.	は	じめ	に1
2.	研	究内	容
	2.1	断層	習 破砕帯における水素ガス発生の要因
	2.2	水素	素ガス原位置測定手法の検討3
	2.	.2.1	水素ガス検知器の仕様
	2	.2.2	水素ガス検知器の設置方法の検討4
	2	.2.3	水素ガス検知器が示す測定値の評価10
	2	.2.4	水蒸気が測定値に及ぼす影響の評価
	2	.2.5	測定孔の掘削に伴う擾乱が測定値に及ぼす影響の評価
	2	.2.6	ドリル刃の鉄と水素ガスとの反応に伴う影響の評価
	2.3	断層	暑破砕帯露頭における水素ガス原位置測定(山崎断層帯における事例研究)19
	2.	.3.1	調査方法及び地質概説19
	2.	.3.2	調査結果及び考察
3.	ま	とめ	
引。	用文	て献・	
付	録 1	露	頭調査票
付	録 2	之水	素ガス濃度測定データ及び温度・湿度データ

Contents

1. Background
2. Study
2.1 Origin of hydrogen gas in fault zone ·····2
2.2 Study on the method of in-situ hydrogen gas measurement $\cdots 3$
2.2.1 Specifications of hydrogen gas monitors ······3
2.2.2 Installation of hydrogen gas monitors ······4
2.2.3 Assessment of measured value shown by hydrogen gas monitors10
2.2.4 Influence of water vapor to hydrogen gas monitors13
2.2.5 Influence of disturbing due to drilling of a measurement hole
2.2.6 Influence of interaction between iron of drill bit and hydrogen18
2.3 In-situ measurement of hydrogen gas in fault zone outcrops
(Case study in the Yamasaki Fault Zone)19
2.3.1 Measurement procedure and geological background
2.3.2 Result and discussion ······22
3. Summary
References ····································
Appendix 1 Sketch of outcrop
Appendix 2 H2 and Celsius / Humidity measurement data

図目次

図 2.1-1	珪酸塩鉱物の破壊に伴うラジカル反応を起源とする水素ガス発生の模式図2
図 2.2.1-1	水素ガス検知器の外観
図 2.2.2-1	直径数 mm の孔をチューブで通した水素ガス濃度測定の例
図 2.2.2-2	直径 9mm の孔をチューブで通して測定する場合の手順
図 2.2.2-3	飛騨市宮川町菅沼の跡津川断層の断層ガウジで,掘削方式により測定した場合
	の水素ガス濃度と時間の関係6
図 2.2.2-4	ビニールシートで覆う方式を採用した場合の検知器の設置状況
図 2.2.2-5	飛騨市宮川町三川原における、ビニールシートの方式を採用した場合の測定結
	果(水素ガス濃度と時間の関係)
図 2.2.2-6	図 2.2.2-5 と同地点で1週間後に再測定を行った結果8
図 2.2.2-7	ポリプロピレン製ケースで検知器を覆う方式による測定の例8
図 2.2.2-8	ポリプロピレン製ケースで検知器を覆う方式による測定の結果
	(水素ガス濃度と時間の関係)
図 2.2.3-1	リーク速度の実験
図 2.2.3-2	Finch-Mono II の表示値(横軸)と、1 分間あたりのリーク量(縦軸)との関係・11
図 2.2.4-1	水蒸気をデシケータ中に強制的に封入したときの検知器が示す濃度の値の変化…13
図 2.2.4-2	塩化ビニルのシートにくるんだ検知器を屋外に放置しておいたときに検知器が
	示す濃度の変化(快晴の場合)
図 2.2.4-3	塩化ビニルのシートにくるんだ検知器を屋外に放置しておいたときに検知器が
	示す濃度の変化(にわか雨の場合)14
図 2.2.4-4	測定時間の気象データ、快晴の場合(多治見地点)、にわか雨の場合(河合地点)14
図 2.2.4-5	検知器の入ったタッパー容器を屋外に放置した測定における測定位置15
図 2.2.4-6	検知器の入ったタッパー容器を屋外に放置して測定した結果(快晴の場合)15
図 2.2.4-7	検知器の入ったタッパー容器を屋外に放置して測定した結果(雨天の場合)16
図 2.2.5-1	測定孔の掘削に伴う擾乱が測定値に及ぼす影響の実験17
図 2.3.1-1	山崎断層帯の位置と調査範囲
図 2.3.1-2	調査範囲の地質概略と測定地点の位置図
図 2.3.1-3	1997 年 10 月から 2008 年 12 月までに山崎断層周辺に発生した地震の分布21
図 2.3.2-1	穿孔位置の説明
図 2.3.2-2	左横ずれ断層に対する複合面構造との関係
図 2.3.2-3	測定地点の断層面/節理面の極を示したステレオ下半球等積投影図23
図 2.3.2-4	調査範囲における水素ガス濃度分布
図 2.3.2-5	山崎断層帯における水素ガス濃度測定の結果(1)
図 2.3.2-6	山崎断層帯における水素ガス濃度測定の結果(2)
図 2.3.2-7	山崎断層帯における水素ガス濃度測定の結果(3)30
図 2.3.2-8	山崎断層帯における水素ガス濃度測定の結果(4)
図 2.3.2-9	山崎断層帯における水素ガス濃度測定の結果(5)32

表目次

表 2.2.1-1	Finch-Mono II 及び Gasman-H2 の主な仕様
表 2.2.2-1	孔の直径と水素ガス放出継続時間との関係4
表 2.3.2-1	山崎断層帯における測定地点と水素ガス放出量の特徴

1. はじめに

我が国における地層処分の概念は、地質環境の長期的な安定性について特に配慮し、「安定な地 質環境」に、多重バリアシステムを構築するという特徴がある。すなわち、天然現象によって地 層処分システムの性能が著しく損なわれるおそれのないようなサイトを選ぶことが前提であり、 その上で、サイトの地質環境条件やその長期的な変化を見込んで、合理的な多重バリアシステム を構築し、長期的な安全性に係る信頼性を高めていくことが必要となる。

地震・断層活動は、高レベル放射性廃棄物の地層処分における地質環境の長期安定性を考慮す る上で重要な自然現象の一つである。日本原子力研究開発機構では、「『わが国における高レベル 放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性一地層処分研究開発第2次取りまとめ一」¹⁾及び「高レベ ル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築-平成17年度取りまとめー」²⁾などにお ける研究を通じ、地形・地質調査や、反射法地震探査などの物理探査といった複数の調査手法を 組み合わせることにより、活断層の三次元的な分布と活動の履歴を把握することができる見通し を得ている。一方で、活動間隔が長い、あるいは1回の活動に伴う変形量が小さいといった原因 で、地表に明瞭な地形学的な活動の証拠をほとんど残さない断層に対する評価手法として、地球 化学的調査などを活用した調査技術の開発が求められている³⁾。

断層沿いにはしばしば、割れ目が密に発達し、周辺岩盤と比べて著しく透水性の高い領域(ダ メージゾーン)が発達する⁴⁾。そのため、断層沿いを移行する地下深部起源のガスを利用した地 球化学的調査は、断層の活動性評価や、断層活動に伴う破断、変形などの影響範囲の把握を目的 とした調査手法の一つとして利用することが考えられる。

既往の研究で、断層活動と関連付けて研究がなされている地下深部起源のガスとしては、ラドン, ヘリウム、二酸化炭素、メタン及び水素などが挙げられる。ラドン濃度と地震との関係を調べた研究は1950年代ごろから、その他の気体を利用した調査も1970年代ごろから各地で行われており、その概要は1980年代に既にまとめられている^{5),6)}。断層から放出されるガス(以下、断層ガス)を対象にした調査の主な目的の一つは、断層ガスの濃度変化を連続的に測定することにより、断層の活動状況の把握に役立てようとするものである。もう一つは、断層ガスの量が周辺の母岩よりも著しく多いことを利用して、断層帯周辺の流体移行経路などの把握に役立てようとするものである。

従来の断層ガス測定の場合では、一般的には、直径数 cm 以上の孔を掘削後、12 時間~24 時間以上放置してからガスを吸引し、実験室などに持ち帰ってガスクロマトグラフなどで測定する 方法が取られている 5)。このような方法では、広域の調査範囲を対象とした測定を短期間で行う ことは難しい。なお、ラドン濃度の測定については、αトラック法やαシンチレーションカウン ター法などにより、原位置で短時間に測定する手法が確立されている 7)が、その他の断層ガスに 対しては、そのような手法が十分整備されているわけではない。

著者らのうち島田は、市販の携帯型水素ガス濃度検知器を利用し、断層露頭において水素ガス を数時間程度で測定する手法(原位置測定)を考案している⁸。ただし、検知器の設置方法によ り得られる測定値の違いや、大気中の水蒸気や測定孔の掘削に伴う擾乱などが測定値に与える影 響などについて詳細には示されていない。そこで本研究では、断層露頭から放出される水素ガス を測定する手法を考案する上で検討してきた事項について取りまとめるとともに、兵庫県の山崎 断層帯を対象に事例研究として行った、広域的かつ多地点による水素ガスの濃度測定の結果に基 づいて、断層の活動状況の把握における本手法の適用について議論する。

2. 研究内容

2.1 断層破砕帯における水素ガス発生の要因

断層帯直上の土壌からは、高濃度の水素ガスの放出が観測されることが、従来から幾つかの地域で報告されている。特に、地震の歴史記録のある活断層では、大気中の水素ガス濃度(0.5ppm 程度⁹⁾)の数10倍から数万倍以上の濃度の水素ガスの放出が観測されている¹⁰⁾¹¹⁾。これらの水素ガスの起源は、水素の安定同位体比に基づき、地震震源深度付近にあることが示されている¹²⁾。

一方,岩石の破壊実験からは,珪酸塩鉱物の破壊でSi-O 結合が切断されることによって生じ る鉱物の新生破壊表面と水とのラジカル反応によって,水素ガスが発生することが知られている ¹³⁾。また,発生する水素ガスの量は,破壊によって生じた表面積に比例することが明らかとなっ ている¹⁴⁾。以上のような事実を背景に,断層帯における高濃度の水素ガスの起源として,断層活 動に伴う珪酸塩鉱物の新生破壊表面の生成が主に考えられ,特に1980年代以降,断層の活動性 評価や地震予知を視野に入れた活断層での水素ガス濃度測定が行われてきた¹⁵⁾。

水素ガスの濃度変化に基づき、断層の活動性評価などについて議論するためには、地震活動と 水素ガス濃度の変化及び地下の水素ガスの移行経路について理解することが不可欠である。地震 活動と水素ガス濃度の変化については、微小地震に対応して温泉ガス中のH₂/Ar 比がスパイク状 に上昇することが示されている¹⁶。野島断層や跡津川断層の断層破砕帯を貫くボーリングコアか らガスを抽出してガスクロマトグラフによって測定した例では、割れ目の多いゾーンで水素ガス が高濃度となることが示されている¹⁷⁾¹⁸。このことから、断層破砕帯深部で生成された水素ガス が、濃度差を駆動力とする拡散ではなく、地下水に溶解して高透水部に沿って移動する移流によ って地表付近まで運ばれてくると解釈されている。したがって、地下深部における地震活動に伴 い、珪酸塩鉱物の新生破壊表面と水とのラジカル反応によって発生した水素ガスは、断層沿いの 高透水ゾーンを地下水とともに移動して地表に達する(図 2.1-1)というのが、現段階で最も考 えやすいシナリオの一つであると言える。

地下深部における水素ガス発生の要因としては, 珪酸塩鉱物の新生破壊表面におけるラジカル 反応の他に,(1)火山ガスとして発生,(2)放射壊変に伴って発生するヘリウム(α)の分解,

(3) メタンの熱分解,(4) 還元環境下における微生物活動,(5) 蛇紋石など鉄に富む鉱物の酸 化が挙げられる。このうち(1)~(4)は、二酸化炭素、メタン、ヘリウムなどの水素以外のガ スの発生を伴うので、水素ガスとともにこれらのガスの濃度測定を同時に行うことで、本調査手 法の応用が期待される。また,(1)と(5)は、調査地域の火山活動や地質分布に依存する要因 である。これらの詳細については今後の課題とし、本稿では議論しない。



図 2.1-1 珪酸塩鉱物の破壊に伴うラジカル反応を起源とする水素ガス発生の模式図

2.2 水素ガス原位置測定手法の検討

2.2.1 水素ガス検知器の仕様

短期間かつ多地点で水素ガス濃度を原位置測定するためには、測定時間の短縮、測定装置の小 型化が必要である。本研究では、手軽に短期間かつ多地点で水素ガス濃度を原位置測定する観点 から,既に市販されている携帯型の水素ガス検知器「Finch-Mono II (Infitron, Inc.製)」及び 「Gasman-H2 (MK Scientific, Inc.製)」(図 2.2.1-1)を使用した。

Finch-Mono II 及び Gasman-H2 の主な仕様は、表 2.2.1-1 の通りである。いずれも持ち運び が簡単で測定方法も容易であり、分解能は 1ppm で 2000ppm (Finch-Mono II) または 5000ppm

(Gasman-H2) までの測定が可能である。両者ともデータロガーを内蔵しており、Finch-Mono II については、測定間隔が10秒、30秒、1分、2分から選択可能で、メモリー数が最大で3,500 である。Gasman-H2 については測定間隔が1分で,900時間の測定が可能である。本体に記録 された測定データは、パーソナルコンピュータに転送し、付属のアプリケーションソフトによっ てテキストファイル形式(*txt)で保存することにより,他のアプリケーションを使用して分析・解 析を行うことができる。





図 2.2.1-1 水素ガス検知器の外観 (左) Finch-Mono II (右) Gasman-H2

	Finch-Mono II	Gasman-H2
測定範囲	$0{\sim}2000$ ppm	$0{\sim}5000$ ppm
分解能	1ppm	1ppm
電源	単3型アルカリ電池3本	リチウムイオン電池(充電式)
	(電池寿命約 2000 時間)	(フル充電で約 12 時間連続測定可能)
操作温度	-20~+50°C	-20~+65°C
操作湿度	80%以下	99%以下
サイズ	121.9×63.5×30.5mm	90×48×24mm
重量	123g(電池含まず)	80g
防爆仕様	UL: Class 1, Div. 1, Group A, B, C, D	UL: Class 1, Div. 1, Group A, B, C, D
	ATEX: II 2G EEx ia IIC T4	ATEX: II 2G EEx iad IIC T4
	CQST: Ex ia IIC T3	

表 2.2.1-1 Finch-Mono II 及び Gas	sman-H2 の主な仕様
--------------------------------	---------------

2.2.2 水素ガス検知器の設置方法の検討

断層露頭の複数地点における水素ガスの濃度測定を短時間で可能にするためには、測定孔の掘 削を必要最小限にするか、あるいは孔を掘削せず、検知器を置くだけで測定できるようになるこ とが望ましい。特に、検知器を置くだけで断層露頭から放出される水素ガス濃度が測定できるの であれば、天然記念物に指定されている断層露頭など、大がかりな掘削などの手を加えることが 難しい露頭での水素ガス濃度の測定も可能になる。本項では、Shimada *et al.* (2008) [®]による、 測定孔の掘削を必要最小限にすることで短時間での測定を可能にした測定方法[®]を要約し、次に、 検知器の設置方法についての検討結果を示す。

孔を掘削して測定する方法

活断層を対象にした水素ガス濃度の測定では、従来は土壌中に直径数 cm 程度、深さ数 10cm 程度の孔を掘削し、孔から放出される気体を採取して測定する場合が殆どであった¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾。この 場合、孔を掘削する際に孔近傍に形成される擾乱帯において、岩石破壊に伴う水素ガスが発生す ることが考えられる。地中から放出される水素ガス濃度の時間変化を測定するためには、この擾 乱帯から新たに発生する水素ガスの影響を可能な限り小さくする必要がある。擾乱帯からの水素 ガスの放出を拡散で考えると、孔中心を通過する断面における水素ガス濃度分布の時間変化は下 記の誤差関数分布で表現される。

 $C = C_0 erf(\eta) \qquad \eta = (\alpha d\beta) / (2\sqrt{D_e t})$

ここで、C は水素ガス濃度、Dg は拡散係数、t は時間、d は孔の直径、ad で擾乱帯の厚さ、(ad8) で孔の壁面から擾乱帯のある位置までの距離を表す。したがって、擾乱帯で形成される水素ガス 濃度(初期値; Co)がどの孔径でも同じ場合、孔の直径 d が半分になると、擾乱帯の中に残され た水素ガス濃度が、ある一定の検出限界以下の濃度(例えば C=1ppm)になるまでの時間 t は 4 分の 1 になる。

(1)

すなわち, 孔の直径が小さいほど, 擾乱帯で新たに発生した水素ガスが孔外に放出されるのにか かる時間が少なくてすむので,本来の地中から放出される水素ガス濃度の時間変化の測定に早く 移ることができる(表 2.2.2-1)。本研究で使用した Finch-Mono II 及び Gasman-H2 の場合,孔 の直径が数 mm 程度でも,図 2.2.2-1 のようにチューブを通して水素ガス濃度を測定することが できる。つまり,従来の測定手法では,時間をかけて孔から放出される気体を採取し,実験室な どで測定する場合が殆どであったが,それよりも格段に手軽に短時間で,任意の割れ目において, 地中から放出される水素ガス濃度を原位置測定することができることとなる。

	文献 20)	文献 21)	本研究 (Finch-Mono II
孔径 (cm)	5	2.5	0.9
深さ (cm)	50	100	15-45
- 測定方法 (M:原位置測定,G:ガスクロマトグラフ)	Μ	G	Μ
報告された水素ガス初期放出継続時間(分;概算)	1440	7500	35
最高濃度 (ppm)	55	7000	150

表 2.2.2-1 孔の直径と水素ガス放出継続時間との関係





断層ガウジで測定

図 2.2.2-1 直径数 mm の孔をチューブで通した水素ガス濃度測定の例

このような測定が可能な検知器を用いて、本方法では、内径 4mm、外径 6mm、肉厚 2mm の テフロンチューブを使用し、次の手順で測定を行うこととした(図 2.2.2-2)。

(1) 長さ 45cm, 直径 9mm のハンドドリルで測定部位に孔を掘削する。

(2)約 10 分間孔を放置しておく(孔の中の気体の状態を地表大気と同じ状態に近づける)。 この間に、水素ガス検知器の電源を入れ、大気中で自動ゼロ校正を行う。時間経過後、先端 部に小穴を多数開けたテフロンチューブを孔に差し込む。

(3)水素ガス検知器のセンサーの部分にゴムキャップをかぶせ,検知器をタッパー容器に入れ, そこに2本のシリコンチューブをつなぎ,うち1本は孔に差し込んだテフロンチューブにつ なぐ。

(4) もう一方のシリコンチューブは、三方コックを介して注射器と連結する。

(5) 注射器 (20cc) による吸引と三方コックの操作を利用して, 穴の中の気体を吸引して大気 中に追い出す。テフロンチューブから三方コックまでに約 100cc の空間があることから, こ れを 5 回繰り返し, 設置時におけるそれら空間内のガスの影響をできる限り小さくする。

(6) 注射器と三方コックにつないであったテフロンチューブの方をクリップでつまむ。この状態で、チューブから自然にリークする水素ガスを除き、検知器まで水素ガスが送り込まれることになる。3時間放置して測定値の変化を調べる。



図 2.2.2-2 直径 9mm の孔をチューブで通して測定する場合の手順 (島田ほか(2006)²²⁾に加筆)

次に、検知された水素ガス濃度を時間の関数としてグラフを書き、水素ガス濃度の推移を確認 した。図 2.2.2-3 は、岐阜県飛騨市宮川町菅沼の跡津川断層の断層ガウジで Finch-Mono II を利 用し測定した場合のグラフである。



図 2.2.2-3 飛騨市宮川町菅沼の跡津川断層の断層ガウジで,掘削方式により測定した場合の水 素ガス濃度と時間の関係

この場合,測定の初期(上記測定手順の(5)の段階)に急激なピークが見られ(図 2.2.2-3 の ①),その後,一旦減少した後,再び緩やかなピーク(図 2.2.2-3 の②)を示し,その後は測定値 がほぼ一定となるか,ゆっくりと減少する。①の最初の急激なピークの原因としては主に,孔の 掘削による珪酸塩鉱物の破壊に伴う水素ガスの発生,掘削部近傍の土壌や岩石に吸着していた水 素ガスの放出,掘削部にもともと含まれていた水蒸気などと急に触れることによる検知器の急激 な反応が考えられる。このピークを primary peak と呼ぶ。

一方,②の緩やかなピークは、主に地下から孔を通って放出される水素ガスが測定されている と推定される。このピークを secondary peak と呼ぶ。地下から放出される水素ガスの量は、孔 の掘削に伴って発生した水素ガスや、掘削部近傍の土壌や岩石に吸着していた水素ガスが含まれ ている可能性が小さいと考えられる secondary peak 以降に注目して算出すればよいと考えられ る。算出の方法については、2.2.3で後述する。

② 検知器を置くだけで測定する方法

測定地点がドリルによる掘削の困難な固い岩盤であったり,地面に傷を付けたりすることがで きないような場合(天然記念物に指定されている露頭など)の測定方法を検討するため,塩化ビ ニル(PVC)製のビニールシート(厚さ0.13mm)で一定の範囲を覆い,その中に水素ガスを溜 めて測定可能かどうかテストを行った。方法は,次の通りである(図2.2.2-4)。

(1) 測定地点を整地する。草が茂っている場合は、草を刈る。

(2) 測定地点の地表に水素ガス検知器を置く(電源を入れて,大気中で自動ゼロ校正をしておく)。なお,湿った地面に触れたままにならないよう,下に板などを敷いておく。

- (3) その上に塩化ビニル製ビニールシートを敷く(2m×2m 以上)。
- (4) パイプで 1.5m×2.0m の格子をつくり、ビニールシートの上に置いて飛ばないように固定
- する。また、ビニールシートの四隅を錘等を設置して固定する。
- (5) 測定時間だけ放置する。



図 2.2.2-4 ビニールシートで覆う方法を採用した場合の検知器の設置状況

上記の測定テストを,飛騨市宮川町三川原の跡津川断層露頭近傍の土壌中で行った。なお,本地点では孔の掘削方式によって100ppm以上の水素ガスが3時間以上連続して放出されることがすでに確認されている²²⁾。測定時間は11時間とし,30秒間隔で測定を行った(図2.2.2-5)。測定装置はFinch-Mono II を使用した。



図 2.2.2-5 飛騨市宮川町三川原における、ビニールシートの方法を採用した場合の測定結果 (水素ガス濃度と時間の関係)

それによると、測定開始直後に水素ガスは検知されず、約2時間後になってようやく水素ガス が検知される。その後少しずつ濃度が増し、正午ごろに急増して大きなピークを示す。最大ピー クの後、約1時間 30 分ほどで検知されなくなる。なお、測定日の天気は快晴で、日中は気温が 上昇し、土壌やそこに生えている植物からの蒸発散が活発になり、それに伴う水素ガス濃度の上 昇が推定される。

次に、同じ地点で1週間後に同様の方法と装置を使用し、8時間30分の測定を行った(図2.2.2-6)。測定間隔は30秒とした。この日も一週間前と同様に快晴であったが、前回の結果と異なり、最大濃度は約10分の1にとどまった。また、最大のピークを示した時刻も前回より1時間近く早くなっていた。



図 2.2.2-6 図 2.2.2-5 と同地点で1週間後に再測定を行った結果

以上の測定テストからは、ビニールシートの方式でも孔の掘削による測定時と同様に水素ガス 濃度の大きなピークが確認できたが、測定開始後すぐに水素ガスが検知されるわけではないこと、 また、同じ地点において同じ水素ガス濃度の放出が繰り返されるわけではないことが判明した。 これは、土壌中に溜まっている水素ガスが定常的に放出されているわけではなく、測定地点の土 壌の状況(植生など)や測定時の天候などの影響によって、ある特定の条件の時に限り一時的に 放出されていることが原因と考えられる。また、この方法による測定の場合、測定中にビニール シートの内側の表面に水滴が溜まる場合があり、結露による検知器への影響が懸念される。

上述のビニールシートを利用する設置方法と並行して、同じ地点において、ポリプロピレン製 ケース(42cm×74cm×15cm)で検知器を覆う設置方法によっても測定を行った(図 2.2.2-7)。



図 2.2.2-7 ポリプロピレン製ケースで検知器を覆う方式による測定の例

装置は Finch-Mono II を使用し、11 時間の測定を行った(図 2.2.2-8)。測定間隔は 30 秒とした。ビニールシートの方式と同様に、測定開始直後に水素ガスは検知されず、正午ごろに水素ガス 濃度のピークがあるが、その濃度はビニールシートの方法に比べはるかに小さいことが分かった。



図 2.2.2-8 ポリプロピレン製ケースで検知器を覆う方法による測定の結果 (水素ガス濃度と時間の関係)

以上の結果からは、孔をハンドドリルで掘削してテフロンチューブで検知器と孔をつなげるこ とによる設置方法が、ビニールシートを利用する方法などよりも安定して水素ガスが検知できる ことが期待される。そこで、以後の断層破砕帯調査では、原則として孔を掘削し、検知器を設置 する方法を採用することとした。

2.2.3 水素ガス検知器が示す測定値の評価

孔をハンドドリルで掘削し、検知器をつないだテフロンチューブを入れて測定する場合、水素 ガスが測定器系内に蓄積することが考えられることから、水素ガス検知器が表示する測定値がそ のまま穿孔からの水素ガス濃度を示すとは限らない。すなわち、下記のように、測定器系からの リーク速度と、検知器のゼロ点の変動を考慮する必要がある。本項では、まず、①測定器系から のリーク速度についての検討結果を示し、次に②検知器が表示する測定値から、実際の水素ガス 放出量を算出する方法を示す。

① 測定器系からのリーク速度

穿孔から上昇して検知された水素ガスは、分子の大きさが非常に小さいので、チューブや容器 を介して大気中に拡散する。ただし、すばやく拡散するわけではなく、しばらくチューブや容器 中に滞留したままの水素ガスも多く存在すると考えられる。したがって、チューブからのリーク する水素ガスの量を算出し、その結果をもとに、各時間における水素ガス濃度から放出量を計算 する必要がある。そこで、実験室でテフロンチューブをつないだ検知器からなる測定器系(破砕 帯露頭で孔を掘削する方式で測定する方法と同様)に水素ガスの標準試料を注入し(図 2.2.3-1)、 測定器系からリークする水素ガスの量を算出した。ある時間あたりのリークする水素ガスの量(リ ーク速度)は、例えば、ある1分間に検知器が示していた水素ガス濃度とその前の1分間に検知 器が示していた水素ガス濃度の差と考えられる。図 2.2.3-2 は、Finch-Mono II において実施した 結果である。



図 2.2.3-1 リーク速度の実験



図 2.2.3-2 Finch-Mono II の表示値(横軸)と、1分間あたりのリーク量(縦軸)との関係 (破線は 10%の傾きを示す)

図 2.2.3・2 からは、ある1分間に Finch-Mono II の測定器系からリークする水素ガスの量はその前の1分間に検知器が示していた水素ガスの量のおよそ10%以下に相当するということが言える。すなわち、ある時間t(分)から1分間に実際に孔から放出される水素ガスの濃度 Ctは、次の式で表すことができる。

$$C_t = S_{t+1} - 0.9S_t \tag{2}$$

Stはある時間tに検知器が記録した水素ガス濃度を指す。

同様に, Gasman-H2 を対象に測定を行ったところ, 測定器系からリークする水素ガスの量はその前の 1 分間に検知器が示していた水素ガスの量のおよそ 8%以下にに相当することが分かった。 Gasman-H2の測定器系については, 次の関係式となる。

$$C_t = S_{t+1} - 0.92S_t$$

(3)

Finch-Mono IIとGasman-H2 でリーク速度が異なるのは、検知器とチューブをつなぐ箇所の形状の違いなどによるものと解釈できる。

② 検知器が表示する測定値から実際の水素ガス放出量を算出する方法

孔を掘削する方式で測定した場合,2.2.2 で述べたように地下から放出される水素ガスの量は, 図 2.2.2-3 の primary peak 後に主に反映されていると推定される。primary peak 後のうち,測 定開始から1時間程度までは,孔の掘削に伴って発生した水素ガスや,掘削部近傍の土壌や岩石 に吸着していた水素ガスが影響している可能性がある。一方,地下から継続的に水素ガスが供給 されている場合は, secondary peak に達した水素ガス濃度の値が2~3時間後も大幅に下がるこ とはないものと考えられる。したがって,測定開始から2~3時間後にかけての水素ガス放出量 が大きいほど、地下からの水素ガスの供給量が大きいと判断することができる。なお、本研究で は、測定開始から1時間後にかけての水素ガス放出量を R_1 、測定開始から1~2時間後にかけて の水素ガス放出量を R_2 、測定開始から2~3時間後にかけての水素ガス放出量を R_3 とし、この R_3 を基準として地下からの水素ガス放出量の検討を行うこととした。

リーク速度に関する検討からは、Finch-Mono II の場合,ある1分間に測定器系からリークする水素ガスの量はその前の1分間に検知器が示していた水素ガスの量のおよそ10%に相当することが言えるので、R₃は下記の式より求めることができる。

$$R_3 = \sum_{t=120}^{179} (C_{t+1} - 0.9C_t) \tag{4}$$

Gasman-H2による測定の場合は、上式の0.9を0.92とすれば良い。

なお、ある時間に検知器が示した水素ガス濃度がその前の1分間に検知器が示していた水素ガス濃度よりも10%以上減少している場合、すなわち、リーク速度を上回る減少を示す場合がある (水蒸気量の急激な変化に伴う, primary peak から減少する部分など)。

2. 2. 4 水蒸気が測定値に及ぼす影響の評価

跡津川断層沿いで行った孔の掘削(図2.2.2-3)及びビニールシートなど(図2.2.2-5,6,8)に よる水素ガス濃度測定からは、孔の掘削直後や、日中に気温が上昇した時などに伴って、急激な 水蒸気の放出に検知器が反応する可能性があることが分かった。そこで、本項では、水蒸気が測 定値に及ぼす影響を評価するため、まず、①検知器をアクリル密封デシケータに入れ、湯を沸か し、水蒸気をデシケータ中に強制的に封入したときの検知器が示す濃度の測定結果と、②検知器 を塩化ビニルのシートにくるみ、屋外で自動車のボンネット上に放置し、塩化ビニルのシート内 で検知器が示す濃度の測定結果を示し、次に③閉鎖系の検知器(破砕帯露頭での設置状況に合わ せて)を屋外の地面から離して放置し、大気内の検知器が示す濃度の測定結果を示し、それらか ら、水蒸気が測定値に及ぼす影響について検討する。

① 水蒸気をデシケータ中に強制的に封入したときの検知器が示す濃度

検知器をアクリル密封デシケータに入れ,湯を沸かし,水蒸気をデシケータ中に強制的に封入し,測定間隔10秒で約9時間40分の間測定を行った。検知器はFinch-MonoIIを使用した。室 温は20度であった。その結果を図2.2.4-1に示す。



図 2.2.4-1 水蒸気をデシケータ中に強制的に封入したときの検知器が示す濃度の値の変化

この結果からは、5ppm までの値は水蒸気の急な増加に伴う検知器の反応を示している可能性 があることが示唆される。

② 屋外で自動車のボンネット上に放置しておいたときの検知器が示す濃度

検知器を塩化ビニルのシートにくるみ,屋外で自動車のボンネット上に放置し,測定間隔 10 秒で約8時間 30分の間測定を行った。検知器は Finch-Mono II を使用した。天気は快晴であった。その結果を図 2.2.4-2 に示す。

また,別の日に,にわか雨が降っている時間帯を選んで,30秒間隔で4時間10分の間測定を 行った。検知器は Finch-Mono II を使用した。その結果は図 2.2.4-3 のようになった。



図 2.2.4-2 塩化ビニルのシートにくるんだ検知器を屋外に放置しておいたときに検知器が示す 濃度の変化(快晴の場合)



図 2.2.4-3 塩化ビニルのシートにくるんだ検知器を屋外に放置しておいたときに検知器が示す 濃度の変化(にわか雨の場合)

気象庁のホームページ(http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php) で公開されてい る,測定地点近傍の気象データを利用して,測定時間の気象データ(図 2.2.4-4) と検知器が示す 濃度変化とを比較した。



図 2.2.4-4 測定時間の気象データ 快晴の場合(多治見地点) にわか雨の場合(河合地点)

その結果, 2.2.4②の測定実験からは, 10ppm 程度(にわか雨の場合)までは, 日中の気温変 化と大気中の水蒸気の急変に対する反応の結果を示している可能性が示唆される。 ③ 閉鎖系の検知器を屋外の地面から離して放置しておいたときに検知器が示す濃度

検知器の入ったタッパー容器から出ている2本のシリコ ンチューブのそれぞれをクリップで挟み,破砕帯露頭で孔 を掘削する方式で測定する方法と同様に,検知器を閉鎖系 の状態にし,その容器を屋外の地面から約4.5mの高さに 放置し,測定間隔60秒で約9時間の測定を行った。検知 器はFinch-Mono IIを使用した。測定器系の設置位置は図 2.2.4-5の通りである。測定結果を図2.2.4-6に示す。

図 2.2.4-5 検知器の入ったタッパー容器を







また,3日後の雨天の日に同様の測定を再度実施した.天気は早朝から雨であった。その結果 を図 2.2.4-7 に示す。



図 2.2.4-7 検知器の入ったタッパー容器を屋外に放置して測定した結果(雨天の場合) (上図は水素ガス放出濃度,下図は容器内の温度・湿度)

水素ガス濃度と温度・湿度の関係は、快晴の場合で温度の上昇または下降とともに水素ガス濃 度がスパイク状に変化する。雨天の場合で温度・湿度の大きな変化が無く、水素ガス濃度にも変 化が見られない。以上の結果からも、塩化ビニルのシートで包む実験と同様に、10ppm 程度(快 晴の場合)までは大気中の水蒸気の急変に対する反応の結果を示している可能性が示唆される。

以上より,水蒸気が測定値に及ぼす影響として,およそ 10ppm 以内の水素ガス濃度の変化に 収まると推定される。

2.2.5 測定孔の掘削に伴う擾乱が測定値に及ぼす影響の評価

孔の掘削による測定では、孔の掘削による珪酸塩鉱物の破壊に伴う水素ガスの発生、掘削部近 傍の土壌や岩石に吸着していた水素ガスの放出、摩擦による温度上昇や掘削部にもともと含まれ ていた水蒸気などによる新たな水素ガスの発生の影響が想定される。本項では、測定孔の掘削に 伴う擾乱が測定値に及ぼす影響を評価することを目的として、まず、市販のベントナイトを使用 した下記のような実験を行った結果を示す。次に、測定孔の掘削に伴う擾乱が測定値に及ぼす影 響を検討する。

- (1) 直径 5cm,長さ 60cm の塩化ビニルパイプの中に,先にテフロンチューブを垂らした状態で水でこねたベントナイトをパイプに詰める。テフロンチューブの外に出ている口は水素ガス検知器につなげる。ベントナイトを詰めた塩化ビニルパイプの上面は脱脂綿で湿らせておく(図 2.2.5-1(1))。この状態で1分間隔で8時間以上,室温 20度で測定を行う。
- (2) 直径 5cm,長さ 60cmの塩化ビニルパイプの中に、テフロンチューブを垂らす前に水でこねたベントナイトをパイプに詰め、上面を湿った脱脂綿でかぶせて10日間放置する。 放置後、上からハンドドリルで45cmの孔を開けてからテフロンチューブを挿入し、水素ガス検知器につなげて1分間隔で8時間以上、室温20度の測定を行う(図2.2.5-1(2))。
- (3) (1)の測定後,塩化ビニルパイプの部分を水槽に入れ,ヒーターポンプで水槽中の水 を攪拌しながら段階的に水温を 60 度まで上昇させて検知器の表示の変化を調べる。1 分間 隔で 11 時間以上の測定を行う。
- (4) (2)の測定後、塩化ビニルパイプの部分を水槽に入れ、ヒーターポンプで水槽中の水 を攪拌しながら段階的に水温を 60 度まで上昇させて検知器の表示の変化を調べる。1 分間 隔で約 24 時間の測定を行う。

使用したベントナイトは山形県月布産のクニゲル V1 で、モンモリロナイトが約 50%、石英が 約 35%、長石類、方解石、苦灰石、方沸石、黄鉄鉱などが少量含まれている ²³。(1) では非破 壊でベントナイトが元来保持している水素ガスの量に対する評価を、(2) ではハンドドリルによ る掘削の影響を、また(3) 及び(4) で温度上昇に伴う評価を行うのが目的である。検知器は Finch-Mono II を使用した。結果は、いずれの場合も検知器の値は 0ppm のままだった。この結 果からは、市販のベントナイトから検知できる程度の水素ガスは含まれていないこと、またハン ドドリルによる掘削程度の鉱物の破壊や温度上昇で検知できる程度に水素ガスの発生は無いこと が分かった。実際の露頭では、構成鉱物の量比や水分の量、密度など非常に不均質であり、条件 によっては掘削に伴う新たな水素ガスの発生が検知される可能性があると推測される。



2. 2. 6 ドリル刃の鉄と水素ガスとの反応に伴う影響の評価

測定孔の掘削に使用するドリル刃が鉄製の場合,掘削時にドリル刃の鉄と,地中の水素イオン との酸化還元反応^{24)など}から,水素ガスが発生する可能性が懸念される。そこで,本項では,鉄と 水素ガスとの反応についての実験結果を示す。実験は,土壌を掘削した孔に鉄片を投入し,水素 ガスが発生するかどうか検知器による測定を行った。検知器は Finch-Mono II を使用した。

測定の結果,水素ガスは検知されなかった。この結果からは,掘削時のドリル刃の鉄の反応で は水素ガスが発生しないか,または発生しても周囲に吸着したままであるかのいずれかが考えら れる。仮に生成した水素ガスが周囲に吸着したままであっても,もともと掘削部近傍の土壌や岩 石に吸着していた水素ガスと同様に,主に primary peak として測定開始から1時間程度までに 放出されることが期待される。したがって,地下から継続的に放出されている水素ガスを把握す るために,測定開始から2~3時間後にかけての水素ガス放出量を問題にする場合は、ドリルの 鉄と水素ガスイオンとの反応に伴う影響は考慮する必要がないものと考えられる。

2.3 断層破砕帯露頭における水素ガス原位置測定(山崎断層帯における事例研究)

2.3.1 調査方法及び地質概説

断層破砕帯の調査手法の実用化に資するための事例研究として,活断層帯を対象に広域的な水 素ガスの原位置測定を行った。原位置測定では、2.2での検討に基づき、測定地点に孔をハン ドドリルで掘削し、テフロンチューブで携帯型の水素ガス検知器と孔をつなげる方法によって孔 から放出している水素ガス濃度の測定を行った。なお、2.2.3 ③で示した通り、孔の掘削に 伴って発生した水素ガスや、掘削部近傍の土壌や岩石に吸着していた水素ガスなどによる影響を 避けるため、測定開始から 2~3 時間後にかけての水素ガス放出量(R₃)をその測定地点におい て地下から継続的に放出している水素ガスの量とみなした。水素ガス検知器は、原位置における 測定では高い湿度が予想されることから、より操作湿度の高い Gasman-H2 を使用した。

断層露頭から放出される水素ガスを短時間で測定できるという特性を生かし,地質図スケール 相当の広い範囲を対象に多地点で測定を行い,水素ガスの濃度測定の結果に基づいて,断層調査 における本手法の適用について議論する。

事例研究は,兵庫県の山崎断層帯が分布する地域を対象に行った(図 2.3.1-1)。山崎断層帯は, 岡山県東部から兵庫県南東部にかけて分布する活断層帯で²⁵,そのうち中央部に分布する土万

(ひじま)断層,安富(やすとみ)断層及び暮坂峠(くれさかとうげ)断層を含む地域を調査範囲とした。

これら3つの断層は、全体として WNW-ESE 方向に分布し、西側に位置する土万断層から、 北側に位置する安富断層と南側に位置する暮坂峠断層に分岐する形状を示す。断層破砕帯の露頭 観察によれば、断層面の傾斜はほぼ垂直である。断層変位地形に基づき、3つの断層とも、北東 側に隆起成分を持つ左横ずれ断層であると考えられている。兵庫県(1996)は、安富断層で実施 したトレンチ調査及びボーリング調査に基づき、調査地点の上下成分の平均変位速度を最大 0.1m /千年程度の可能性があるとしている²⁶⁰。横ずれ成分の平均変位速度は調査範囲内では情報が得 られていないが、土万断層の北西方に分布する大原断層における調査では、約 1m/千年程度の 可能性があるとされている²⁷⁷。これらの断層は、トレンチ調査結果^{260,277,280,290}及び歴史地震の記 録³⁰⁰に基づき、最新活動時期は868年の播磨国地震、平均活動間隔は約 1,800~2,300年であっ た可能性が高いと考えられている²⁵⁰。



図 2.3.1-1 山崎断層帯の位置と調査範囲

JAEA-Research 2009-043

調査範囲の地質は構造的上位より,上月-龍野帯,超丹波帯,丹波帯で構成され,それらを後 期白亜紀の火山岩類などが被覆する^{31),32),33),34),35),36)}(図 2.3.1-2)。上月-龍野帯は主に,夜久野 コンプレックスの斑れい岩類と,龍野層群の砂岩及び泥岩で構成され,ペルム紀の年代を示す。 超丹波帯は,スレートの発達が特徴的な泥岩と砂岩を主体とし,ペルム紀の付加体であるとされ ている。丹波帯は,砂岩,泥岩を主体とし,チャート,玄武岩,石灰岩などを含むジュラ紀の付 加体である。丹波帯の地層はしばしば,泥岩中に砂岩,チャート,玄武岩,石灰岩などの岩塊や 岩片を含む混在岩の産状をなす。後期白亜紀の火山岩類は,流紋岩,凝灰岩,凝灰角礫岩などか らなる。また,これらの火山岩類の活動と関連して,礫岩,砂岩,泥岩からなる湖成堆積物や岩 屑なだれ堆積物が分布している。以上に加え,白亜紀~古第三紀の花崗閃緑岩などが一部で貫入 している。



図 2.3.1-2 調査範囲の地質概略 ^{31),32),33),34),35),36)と測定地点の位置図 活断層の分布は中田・今泉編(2002)³⁷⁾による。測定地点番号は表 2.3.2-1 及び図 2.3.2-3~図 2.3.2-7 に対応。}

本地域における地震活動については、気象庁の震源データや 1960 年代半ば以降の京都大学防 災研究所による定常観測 ^{38),39)}によると、大局的には山崎断層帯の周辺に沿って地震が多く発生し ている。特に近年では、図 2.3.1-3 に示す通り、山崎断層帯の南東部、調査範囲の中では暮坂峠 断層の南東延長で微小地震が顕著に発生している。過去 30 年の期間中で、M_j5 以上の地震が観 測されたのは、暮坂峠断層沿いで 1984 年に起こった 1 回のみである。



図 2.3.1-3 1997 年 10 月から 2008 年 12 月までに山崎断層周辺に発生した地震の分布

陰影図は国土地理院発行の数値地図 50m メッシュを用いて作成した。活断層の分布は活断層研究会(1991)⁴⁰⁾ による。震源分布は 20km 以浅のものを抽出し、1997/10/1~2006/12/31 の震源分布は気象庁(2006) 地震年報、2007/1/1~2008/12/31 の震源分布は気象庁一元化処理震源による。

2.3.2.調査結果及び考察

事例研究では、山崎断層帯沿いやその周辺に分布する破砕帯、及び調査範囲の様々な地点に分 布する割れ目(節理)を対象に、合計40地点において測定を行った(図2.3.1-2)。穿孔位置は、 破砕帯及び節理としたが、安富断層沿い及び微小地震密集域の一部では、土壌中に掘削して測定 を実施した。露頭における穿孔位置の説明は図2.3.2-1の通りである。測定地点の断層面/節理 面の姿勢はステレオ下半球等積投影図として図2.3.2-3に示した。調査範囲における水素ガス濃 度分布は図2.3.2-4に、測定地点と水素ガス放出量の特徴(断層面/節理面の姿勢、破砕帯の幅、 穿孔位置など)は表2.3.2-1に示した。測定結果は図2.3.2-5~図2.3.2-9の通りである。

測定開始 2~3 時間後に放出された水素ガス放出量が 100ppm 以上を記録した地点は,活断層 研究会編(1991)⁴⁰で示されている活断層沿い,または微小地震密集域の近傍に位置する(図 2.3.2-4)。このうち,地点 27 は,活断層研究会編(1991)⁴⁰では ENE-WSW 方向の活断層の疑い があるリニアメントとして記載されているところである。地点 33,40 は,暮坂峠断層の東方延 長上に顕著に見られる微小地震密集域の近傍に位置する。それ以外は,土万,安富または暮坂峠 断層沿いに位置する。

ただし、グラフから、毎分 100ppm 以上の継続的な放出が測定開始 2~3 時間後も続いているのは、地点 4、25、27、32、40 のみであり、毎分 100ppm 未満だが、水素ガス放出量の増加傾向が見受けられるのは地点 3、34、35 のみである。したがって、測定開始 2~3 時間後も地下から継続的に水素ガスが放出していることが示唆される地点は、山崎断層帯の活断層(推定活断層含む)またはその疑いのあるリニアメント沿い、または微小地震密集域の近傍に限られる。なお、primary peak は、典型的なパターンが見られる地点(3、4、7、25、27、29、32、35、36、37、40) とそうでない地点とが認められる。

水素ガスの放出が顕著な地点は、土万断層や安富断層周辺よりも暮坂峠断層周辺に多く認めら れる。地表地質では、土万断層や安富断層周辺では丹波帯または超丹波帯の堆積岩類が主に露出 しているのに対し、暮坂峠断層周辺では白亜紀の火山岩類が主に露出する。土万断層や安富断層 周辺で水素ガスの放出が顕著に見られた地点は、いずれも泥岩中に穿孔している。丹波帯または 超丹波帯の泥岩と白亜紀の火山岩類の岩石はともに石英、長石に富む珪長質な岩石であるが、黒 雲母, 白雲母, イライト, 緑泥石などのフィロケイ酸塩鉱物の量比は, 丹波帯または超丹波帯の 泥岩の方が、白亜紀の火山岩類の岩石よりも一般的に卓越する。Kameda et al. (2003)¹⁴⁾の実験 的研究によれば、黒雲母や白雲母といったフィロケイ酸塩鉱物は、石英や長石に比べ、破砕に伴 うラジカル反応でより多くの水素ガスを放出することが知られている。したがって、土万断層や 安富断層周辺より暮坂峠断層周辺で高濃度の水素ガス放出地点が多い原因を、露出する岩石の違 いによって説明することはできない。また、継続的に放出する水素ガスの起源を、前述の通り地 震震源深度付近に求めるとすれば 12, 白亜紀の火山岩類が被覆する暮坂峠断層周辺においても, 基盤岩は主に丹波帯または超丹波帯の堆積岩類である可能性が高い。水素ガス放出の顕著な地点 が断層帯の中で偏在する要因としては、掘削地点に分布する岩石の違いよりはむしろ、個々の断 層の活動性、震源分布や地下深部からのガスの通り道となり得る割れ目や破砕帯の連続性・連結 性などが主に関与していると考えられる。

高濃度の水素ガス放出が継続的に認められる地点は,幅1m以上の破砕帯を有する断層中に位置するものが多いが,地点40のように節理面から放出を続ける地点も存在する(表 2.3.2-1)。なお,穿孔位置と水素ガス放出との関係は今回の調査からだけでは不明である。水素ガスが継続的に放出する地点の断層面または節理面の姿勢について,土万断層や暮坂峠断層の左横ずれの主剪断面(Y面)に対する複合面構造^{例えば41),42)}との関係(図 2.3.2-2)で見ると,地点25はY面またはR1面の方向に相当する(図 2.3.2-3)。地点40はP面に,地点3,4はR1面またはT面に,地

点 32,34 は P 面または X 面に,地点 35 は Y 面の方向に相当する可能性がある。これらのよう に,対象となる活断層の方向と斜交する方向の割れ目や断層が,地下深部からの水素ガスの移行 経路となる可能性もある。特に,暮坂峠断層の一般走向との斜交成分が大きい地点 32 が,今回 の事例研究の中で最も高濃度の水素ガス放出を示した地点であることは注目すべきである。



図 2.3.2-2 左横ずれ断層に対する複合面構造との関係



図 2.3.2-3 測定地点の断層面/節理面の極を示したステレオ下半球等積投影図 (このうち黒丸は,測定開始 2~3 時間後も継続的な水素ガスの放出が認められた地点) 継続的な水素ガスの放出が認められた地点では、測定開始 2~3 時間後に放出された水素ガス が、最大で 14,191ppm(地点 32)を示した。山崎断層帯では、Wakita et al. (1980)など ¹⁰⁾¹²⁾⁴³⁾ 及び Dogan et al. (2007)⁴⁴)により、水素ガス濃度の測定結果が報告されている。Wakita et al. (1980)など ^{10),12),43)}では、断層沿いの土壌にハンドオーガーや電動のドリルで径 2.5~5.0cm,深 さ 50~100cm の孔を掘削し、孔に蓋をして約 1 昼夜放置した後、孔に充満した気体試料を 2~ 5cc 程度採取し、ガスクロマトグラフで気体成分の測定を行っている。その結果、山崎断層帯沿 いでは水素ガスの放出が認められた地点とそうでない地点とがあり、放出が認められた地点では、 最大で 30,000ppm 以上の濃度を示した地点が報告されている。一方、山崎断層帯から離れた地 点では、大気中の濃度を有意に上回る水素ガスはいずれの地点でも検出されていない。これらの 結果は、本事例研究における携帯型水素ガス検知器を用いた測定結果の傾向と整合的である。な お、上記既往研究で 1,000ppm 以上の高濃度の水素ガスが観測された地点は図 2.3.2-3 の通りで あるが、その後の土地改変などにより、今回は、これらと全く同じ露頭で水素ガス濃度測定を行 うことはできなかった。

Dogan et al. (2007)⁴⁴⁾では、Wakita et al. (1980)など¹⁰⁾¹²⁾⁴³⁾で最大 30,000ppm 以上の水素ガ ス濃度を示した地点のすぐ近傍の複数地点において、長さ 50cm のステンレスチューブを用いて 深さ 30cm の土壌中から約 10ml の気体を採取し、ガスクロマトグラフで気体成分の測定を行っ ている。その結果得られた水素ガス濃度は 0~29ppm の範囲であった。Wakita et al. (1980)など ¹⁰⁾¹²⁾⁴³⁾と異なり水素ガス濃度が低かった要因として、土壌中からの気体採取方法の違いと、微小 地震活動の活発度の違いに関して議論されている。Dogan et al. (2007)⁴⁴⁾では、土壌中では地下 から移動してきた気体成分が大気成分に希釈される可能性があるとしている。一方、今回の事例 研究で適用した手法では、破砕帯または割れ目に直接孔を掘削して気体を採取することができ、 上記既往研究よりは大気成分との混合のリスクが少ないと考えられる。微小地震活動については、 Wakita et al. (1980)など^{10),12),43)}が試料を採取した 1978 年及び 1979 年は、それ以降よりも試料 採取地点周辺の微小地震活動が低調であったことから、微小地震活動と水素ガス放出量を関連づ けるのは難しいとされている⁴⁴⁾。本研究では、高濃度水素ガスの放出は、活断層の地表トレース 付近と微小地震活動の比較的活発な地域から認められる傾向を示す結果が得られており、微小地 震活動と水素ガス放出量との関係については今後更なる検討が望まれる。



バス放出量の		:	備考			左横ずれ 断層	左横ずれ 断層																	
水素大			٣	14	6	343	758	0	0	3	4	18	9	1	17	1	9	3	0	16	10	16	13	12
青だが,	重	킭始時	気圧	1003	1003	1005	1005	1012	1018	1020	1014	1014	1019	1029	1015	1011	1016	997	1018	966	1019	1022	1022	1024
om 未湯	ガス放	測定厚	時刻	9:14	9:11	15:47	16:02	11:13	12:13	14:53	10:12	10:15	9:02	12:51	10:04	10:59	12:59	13:42	8:33	10:14	12:00	14:25	8:34	9:24
r 100pg	の水素)	ъ.	傾斜	0	0	51	51	0	0	23	0	18	0	43	60	30	06	06	0	06	06	06	06	20
は毎分	かけての	斑	長さ (cm)	20	30	45	45	25	35	20	20	20	20	15	50	50	45	25	20	20	20	25	45	20
(。 網掛	間後にフ		位置	3	2	1	1	2	2	5	3	2	5	5	3	5	5	5	3	5	2	5	I	3
ったた地点	5 2~3 時	挟 の 種類		角礫	砂	粘土 (葉片状)	粘土 〔葉片状〕	角礫	粘土	粘土	角礫	粘土	なし	なし	角礫	なし	なし	なし	角礫	なし	粘土	なし	I	粘土
も継続的に認めり	参照。R3:測定開始から	挟在物 の色		淡緑灰	暗灰	暗灰	暗灰	浽	黒灰	洆	駩	暗灰	コな	コな	洆	コな	った	った	駩	コな	洆	コな	I	巫
		(m) 闡(角礫	0.200	0.200	2.000	2.000	1.500	2.000	0.000	4.000	4.000	I	I	0.200	0.000	0.000	I	0.100	I	0.000	I	I	0.300
時間後		破砕帯の	ガウジ	0.001	0.300	0.600	0.600	0.001	0:030	0.001	0.000	0.050	I	Ι	0.001	0.001	0.001	Ι	0.001	Ι	0.020	I	I	0.200
定開始 2~3	は図 2.3.2-1	新國/箭理面	9後勢	N67W79N	N45W55W	N88W52S	N88W52S	N58W53S	N76E80S	N55W71N	N81W72N	N85W79S	N74W71N	N19W46E	N83W82N	N81W25S	N32E68E	N52E74S	N18W61E	N43E69E	STTW0TN	N85W84N	I	N74W28N
放出が測	置の説明	f:断層	j:節理 s:土嶽	f	f	f	f	Ŧ	÷	f	f	f	Ĺ	Ĺ	f	f	į	į	f	Ĺ	f	.–	s	f
り水素ガス	点。穿孔位	系 2000	緯度	35.072071	35.072104	35.043025	35.043057	35.039400	35.034336	35.029413	35.057257	35.057206	35.060582	34.986384	34.991481	34.989908	34.960966	35.028493	34.988683	35.078844	35.038614	35.016940	34.966011	34.965575
)ppm 以上6	トらたる地点	日本測地	経度	134.435303	134.435270	134.455558	134.455577	134.465552	134.477287	134.486195	134.474992	134.474976	134.542863	134.557835	134.583131	134.582884	134.599477	134.651238	134.640935	134.674065	134.680858	134.677455	134.675437	134.676162
は毎分 100	向が見受け	日子	<i>流</i>	1/15	1/15	1/8	1/8	1/15	1/14	1/14	1/14	1/14	1/14	1/15	1/8	1/8	1/8	1/10	1/13	1/10	1/10	1/10	1/9	1/9
灰色	増加傾	ч ≢	ů 考 予	1	2	3	4	5	9	7	8	6	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	灰色は毎分 100ppm 以上の水素ガス放出が測定開始 2~3 時間後も継続的に認められた地点。網掛は毎分 100ppm 未満だが,水素ガス放出量の	灰色は毎分 100ppm 以上の水素ガス放出が測定開始 2~3 時間後も継続的に認められた地点。網掛は毎分 100ppm 未満だが,水素ガス放出量の 増加傾向が見受けられる地点。穿孔位置の説明は図 2.3.2-1 参照。Ra:測定開始から 2~3 時間後にかけての水素ガス放出量	灰色は毎分 100ppm 以上の水素ガス放出が測定開始 2~3 時間後も継続的に認められた地点。網掛は毎分 100ppm 未満だが,水素ガス放出量の 増加傾向が見受けられる地点。穿孔位置の説明は図 2.3.2-1 参照。Ra:測定開始から 2~3 時間後にかけての水素ガス放出量 、 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	灰色は毎分 100ppm 以上の水素ガス放出が測定開始 2~3 時間後も継続的に認められた地点。網掛は毎分 100ppm 未満だが, 水素ガス放出量の 増加傾向が見受けられる地点。穿孔位置の説明は図 2.3.2-1 参照。R ₃ : 測定開始から 2~3 時間後にかけての水素ガス放出量 地点 測定日 日本測地系 2000 f:断層 断層/節理 破砕帯の幅 (m) 挟在物 挟在物 穿孔 測定開始時 R ₃ 備考 (2008 年) 経度 緯度 によ (m) 低約 時刻 気圧 R ₃ 備考 R ₃		灰色は毎分 100ppm 以上の水素ガス放出が測定開始 2~3 時間後 も継続的に認められた地点。網掛は毎分 100pm 未満だが、水素ガス放出量の 増加傾向が見受け られる地点。穿孔位置の説明は図 2.3.2-1 参照。R3: 測定開始から 2~3 時間後にかけての水素ガス放出量 地点 測定日 日本測地系 2000 f:断層 断層/節理面 破砕帯の幅 (m) 挟在物 穿孔 薄孔 測定開始時 著号 (2008 年) 経度 緯度 s:土壌 の姿勢 ガウジ 角礫 の色 の種類 位置 長さ 傾斜 時刻 気圧 R ₃ 備考 1 1/15 134.435303 35.072104 f N45W55W 0.300 0.200 暗灰 砂 2 30 0 9:11 1003 9 0	 (府自抗見受けられる地点。穿孔位置の説明は図 2.3.2-1 参照。R3:測定開始から 2~3時間後におけての水素ガス放出量 (南が見受けられる地点。穿孔位置の説明は図 2.3.2-1 参照。R3:測定開始から 2~3時間後にわけての水素ガス放出量 (南村 (南が見受けられる地点。穿孔位置の説明は図 2.3.2-1 参照。R3:測定開始から 2~3時間後にわけての水素ガス放出量 (中) 1/15 日本測地系 2000 (吉斯層) 1.5mg (南市) 1.5mg (115 134.435303 35.072011 (115 134.435503 35.072014 (116 134.435503 35.072014 (117 134 135270 35.072014 (118 134.45558 35.043025 (119 134.45558 35.043025 (110 130 140 (110 140 140 (111 140 140 (111 140 140 (111 140 	灰色は毎分 100ppm 以上の水素ガス放出が測定開始 2~3 時間後 も継続的に認められた地点。網掛は毎分 100pm 未満だが、水素ガス放出量の増加傾向が見受けられる地点。穿孔位置の説明は図 2.3.2-1 参照。R3:測定開始から 2~3 時間後にかけての水素ガス放出量地点測定日日本測地系 2000f: 断層所層一級砕帯の幅 (m)技布物技布物学孔第1第1第1第1地点測定目1: 前理の答約ガウジ角礫0.0授権物授権物学孔第1第1第1第111/15134.43530335.07201fN67W79N0.0010.200総祿匹砂23001410031421/15134.4555735.043025fN88W52S0.6002.000暗匹粘土1455115.4710033941/8134.4555735.043057fN88W52S0.6002.000暗匹粘土1455116.021053441/8134.4555735.043057fN88W52S0.6002.000暗匹粘土1455115.4710033941/8134.4555735.043057fN88W52S0.6002.000暗匹ボニ1455110573232441/8134.4555735.043057fN88W52S0.6002.0001455116.02105735651/8134.4555735.043057fN88W52S0.6002.0001455115.971023235351/8	厌色は毎分 100pm 以上の水素ガス放出が測定開始 2~3 時間後 5 継続的に認められた地点。綱掛は毎分 100pm 未満だが、水素ガス放出量の 推加傾向が見受けられる地点。穿孔位置の説明は図 2.3.2.1 参照。Ra: 測定開始から 2~3 時間後にかけての水素ガス放出量. 地点 都号 2008 年) 経度 日本測地系 2000 1:節層 1/15 11/15 日本測地系 2000 15.1 11 11/15 134.435573 35.072071 1 10 103 47 11/15 134.435573 35.043025 1 Na8W52S 0.600 2.000 84 3 20 0 9:14 1003 14 1 1/15 134.45557 35.043025 1 Na8W52S 0.600 2.000 第先 14 16 16.02 16.02 16.02 16.02 16.02 14 17 1 1/15 134.45557 35.043025 1 Na8W52S 0.600 2.000 前所 14 16 16 16 16.02 16 16.02 16.02 16.02 16.02 16.02 16.02 16 16 14 16 16 16 14 16 14 16 16 14 16 <	灰色は毎分 100pm 以上の水素ガス放出が測定開始 2~3 時間後 2 総続的に認め 5 れた 地点。綱掛 (在 命 100 pm 未満だが、水素ガス放出量の 増加傾向が見受け 5 れる地点。穿孔位置の説明 (は図 2.3.2-1 参照。Ra: 測定開始から 2~3 時間後 (これ) ての水素ガス放出量 地点 測定日 日本測地系 2000 (前 前 算 (前 一) (15 134.45556 3507201 f NoTVN 8 (17 2 1 (17 134.45556 35072104 f NoTVN 8 (17 1 (17 134.45556 35072104 f NoTVN 8 (17 1 (17 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	(1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	所 (由) (市) (由) (市) (由) (市) (中) (市) (市) (市) (市) (市) (市) (市) (市) (市) (市	(11) (11) (11) (11) (11) (11) (11) (11)	(1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	(単加値向が見受けられる地点。穿孔仏置の説明は図 2-3 時間後も継続的に認められた地点。網掛は毎分 100pm 未満だが、水素ガス放出量の 増加傾向が見受けられる地点。穿孔仏置の説明は図 2.3.2-1 参照。Rs: 測定開始から 2-3 時間後にかけての水素ガス放出量 地点 測定目 日本測(系 2000 竹筋 検(m) 検(m) 検(m) (m) (m)	映した(16)(10)(11)(12)(12)(12)(12)(12)(12)(12)(12)(12	映 (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	(1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	映加機両が見受けられる地に、穿孔(位置の説明は図 2.3.2-1 参照、Ra: 測定開始から 2-3 時間後にかけでの水素ガス放出量 地加機両が見受けられる地に、突孔(位置の説明は図 2.3.2-1 参照、Ra: 測定開始から 2-3 時間後にかけでの水素ガス放出量 地点 潮走目 日本測地系 2000 行断層 時層/値 水 第 A 地合 潮走目 日本測地系 2000 「新醋酸 時層/前面 秋 秋本物 紫木 第 第 A 地合 前定目 日本測地系 2000 「新醋 時層/前面 初 竹 第 第 第 第 第 第 第 第 第 第 第 #	联合 (中 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1	現金目 新定目 新作 100ppm 以上の水素ガス放出活制定開始2-3 時間後も純的に認められた地点。 新排估年分100ppm 未満だめ、水素ガス放出量の 地価価が見受けられる地点。 第1位 第2 1 第2 第 <	(共通行会)100ppm 以上の水素ガス放出が測定開始 2-3 時間後 総統的に認められた地点、 網掛は毎分 100ppm 未満だが、水素ガス放出量の (約加値)が見受けられる地点、 穿孔(位置の設田)(国 2.3.2-1 象形、Rs. 泡油(開始から 23 時間後にかけでの水素ガス放出量) (約面値)が見受けられる地点、 穿孔(位置の設田)(国 2.3.2-1 象形、Rs. 泡油(開始から 23 時間後にかけでの水素ガス放出量) (第一 1)15 日本和学系2006 : 1-2 (2)13 (2	(素白油(1)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)(2)	(E dit 26-3) Table (E diversion) Latric Latric E diversion) Latric Latric E diversion (E diversion) (E dit 26-3) (E diversion) (E

		みかけ左横 ずれ断層				みかけ 正断層					みかけ右横 ずれ断層								
	94	130	8	2975	11	1249	6	6	36	2	14191	7	93	88	5	0	1	58	799
	1012	1017	1029	1027	1031	1021	1018	1023	1015	1024	1030	1024	1023	1030	1030	1032	1033	1020	1023
	12:16	12:51	9:31	11:06	15:12	10:45	14:19	13:14	11:53	14:02	15:03	9:44	9:40	10:06	10:19	12:00	8:45	9:01	10:54
	06	06	06	90	0	20	06	0	34	0	20	0	45	06	06	06	0	42	06
	20	25	25	20	20	15	40	25	50	20	45	30	30	40	20	20	30	25	20
	5	2	2	3	9	3	Ι	9	2	9	2	1	3	1	3	2	Ι	5	9
	なし	粘土	北北	角礫	なし	角礫	I	なし	粘土	なし	粘土	粘土	角礫	粘土	角礫	北北	I	角礫	なし
続き)	なし	口	淡緑灰	淡緑灰	ねし	暗灰	I	った	山	ねし	灰	灰	暗灰	淡灰	灰	淡灰	I	뭠	った
2.3.2-1	I	0.000	0.000	1.000	I	1.000	I	0.000	0.000	I	2.000	0.300	0.300	0.300	0.300	0.150	I	0.100	I
(表	I	0.020	0.020	0.001	-	0.000	-	0.001	0:030	-	0.010	0.100	0.100	0.200	0.200	0:030	-	0.001	-
	N62W67N	N68E69N	N73E83N	N64W65N	N75W83S	N52E68N	I	N72W59S	N68W69S	N81E81S	N18W47W	N24W81W	N24W81W	N57W86S	N57W86S	N59W74N	I	N47W61E	N43W77W
	.–	f	f	f	·-	f	s	f	f		f	f	f	f	f	f	s	f	
	34.933795	34.933795 34.928596		34.922373	34.897427	34.975108	34.962847	34.954353	34.941963	34.916912	34.903722	34.883667	34.883766	34.896051	34.896029	34.900195	34.878307	34.880016	34.849717
	134.644911	134.653705	134.653705	134.665027	134.666706	134.700169	134.704035	134.714473	134.696325	134.682495	134.701652	134.709075	134.709075	134.717256	134.717296	134.742368	134.759960	134.788121	134.774760
	1/12	1/12	1/11	1/11	1/13	1/9	1/12	1/11	1/9	1/13	1/9	1/16	1/15	1/13	1/13	1/13	1/16	1/12	1/12
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

JAEA-Research 2009-043



図 2.3.2-5 山崎断層帯における水素ガス濃度測定の結果(1)

灰丸数字は毎分100ppm以上の水素ガス放出が測定開始2~3時間後も継続的に認められた地点。 網掛丸数字は毎分100ppm未満だが,水素ガス放出量の増加傾向が見受けられる地点。



図 2.3.2-6 山崎断層帯における水素ガス濃度測定の結果(2)



図 2.3.2-7 山崎断層帯における水素ガス濃度測定の結果(3)



図 2.3.2-8 山崎断層帯における水素ガス濃度測定の結果(4)



図 2.3.2-9 山崎断層帯における水素ガス濃度測定の結果(5)

3. まとめ

本研究では、断層の活動性評価や、断層活動に伴う破断、変形などの影響範囲の把握を目的とした調査手法の一つとして、断層沿いを移行する地下深部起源のガスを利用した地球化学的調査 手法の考案という観点から、市販の携帯型水素ガス濃度検知器(Finch-Mono II 及び Gasman-H2) を利用し、断層露頭において水素ガスを原位置でかつ数時間程度で測定する手法について検討した。

まずは, Shimada et al. (2008)⁸で未報告であった,検知器の設置方法により得られる測定値の 違いや,大気中の水蒸気や測定孔の掘削に伴う擾乱などが測定値に与える影響などの検討結果に ついて取りまとめた。以下に,今回の検討で得られた結論をまとめる。

- ① 水素ガス検知器の設置方法の検討では、ハンドドリルで孔を掘削してテフロンチューブで検知器と接続して測定する Shimada et al. (2008)⁸に準拠した設置方法と、地表に検知器を置いてビニールシートなどで覆う設置方法とを比較し、孔を掘削する設置方法が、より安定して水素ガスが検知できることを確認した。
- ② 水素ガス検知器が示す測定値の評価では、Finch-Mono II と Gasman-H2 の 2 種類の検知器 について、測定器系からのリーク速度と時間経過に伴うゼロ点の変動について、また、検知 器が表示する測定値から実際の水素ガス放出量を算出する方法について検討を行った。その 結果、それぞれの検知器のリーク速度は、Finch-Mono II で約 10%/min、Gasman-H2 で約 8%/min と求められた。時間経過に伴うゼロ点の変動は、最高でも 0.3ppm/hour であり、数 時間程度の測定では無視できることを確認した。実際の水素ガス放出量を算出する方法につ いては、測定開始から 2~3 時間後にかけての水素ガス放出量(R₃)が大きいほど、地下から の水素ガスの供給量が大きいと判断し、この R₃を基準とすることとした。
- ③ 水蒸気が測定値に及ぼす影響は、室内実験と屋外実験から、10ppm 以内の水素ガス濃度の変 化に収まることを確認した。
- ④ 測定孔の掘削に伴う擾乱が測定値に与える影響は、今回の室内実験では認められなかった。
- ⑤ ドリル刃の鉄と水素ガスとの反応に伴う影響は、今回の室内実験では認められなかった。

次に、現地調査による本手法の適用性を検討するため、兵庫県の山崎断層帯を事例対象とし、 地質図スケールで多地点における測定を実施した。その結果、山崎断層帯の活断層または推定活 断層沿い、及び微小地震密集域の近傍では、測定開始から 2~3 時間後の水素ガス放出量が数 10 ~数 1,000ppm、最大で 14,191ppm を示した破砕帯や割れ目が存在するのに対し、それらから離 れた位置にある破砕帯や割れ目からは、高濃度の水素ガスの継続的な放出は認められなかった。

以上から, Shimada et al. (2008)[®]が示した,ハンドドリルによる測定孔の掘削と携帯型水素ガス濃度検知器を利用した水素ガス濃度測定の手法が,地中から放出される水素ガス濃度の原位置 測定を広範囲かつ短期間で実施するのに有効な手法であることが確認された。

今後は、現地調査による適用例を増やすことや、断層ガスの濃度変化を長期連続的に測定する ことにより、地表に明瞭な地形学的な活動の証拠をほとんど残さない断層に対する評価手法とし て、地球化学的調査を活用した調査技術の開発を進めていくことが重要と考える。また、水素ガ ス放出量と破砕帯の性状との関連性や、断層の活動性や微小地震活動の活発度などとの関連性に ついて検討を進めていくことが重要と考える。さらに、二酸化炭素やメタンなどの水素ガス以外 のガス測定を併用することにより、断層の活動状況の把握や断層帯周辺の流体移行経路の空間分 布の把握などを目的とした地球化学的調査手法として、体系的に整備されていくことが望まれる。

引用文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構: "わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性– 地層処分研究開発第2次取りまとめ-分冊1わが国の地質環境",核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 99-021 (1999).
- 2) 核燃料サイクル開発機構: "高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築-平成 17 年取りまとめー分冊 1 深地層の科学的研究", 核燃料サイクル開発機構, JNC TN1400 2005-014 (2005).
- 3) 経済産業省 資源エネルギー庁,日本原子力研究開発機構: "高レベル放射性廃棄物の地層処 分基盤研究開発に関する全体計画"(2006).
- 4) J. S. Caine, J. P. Evans, C. B. Forster : "Fault zone architecture and permeability structure", Geology, 24, pp. 1025-1028 (2000).
- 5) 安部勝征,岡田篤正,垣見俊弘: "地震と活断層",アイ・エス・ユー (ISU) (1985).
- 6) C.-Y. King: "Gas geochemistry applied to earthquake prediction: An overview", Journal of Geophysical Research, 91, pp. 12269-12281 (1986).
- 7)小池克明, 冨田 諭, 坂本幸人, 吉永 徹, 大見美智人: "地下ガス中のラドン濃度と数値 シミュレーションによる活断層の形状の推定", 物理探査, 53, pp. 29-42 (2000).
- K. Shimada, H. Tanaka, T. Saito : "Rapid and simple measurement of H2 emission from active faults using compact sampling equipments", Resource Geology, 58, pp. 196-202 (2008).
- 9) 松尾禎士: "地球化学", 講談社サイエンティフィク (1989).
- 10) H. Wakita, Y. Nakamura, I. Kita, N. Fujii, K. Notsu : "Hydrogen release: new indicator of fault activity", Science, 210, pp. 188-190 (1980).
- R. Sugisaki, M. Ido, H. Takeda, Y. Isobe, Y. Hayashi, N. Nakamura, H. Satake, Y. Mizutani : "Origin of hydrogen and carbon dioxide in fault gases and its relation to fault activity", Journal of Geology, 91, pp. 239-258 (1983).
- 12) I. Kita, S. Matsuo, H. Wakita, Y. Nakamura : "D/H ratios of H₂ in soil gases as an indicator of fault movements", Geochemical Journal, 14, pp. 317-320 (1980).
- 13) I. Kita, S. Matsuo, H. Wakita : "H₂ generation by reaction between H₂O and crushed rock: an experimental study on H₂ degassing from the active fault zone", Journal of Geophysical Research, 87, pp. 10789-10795 (1982).
- 14) J. Kameda, K. Saruwatari, H. Tanaka : "H₂ generation in wet grinding of granite and single-crystal powders and implications for H₂ concentration on active faults", Geophysical Research Letters, 30, doi:10.1029/2003GL018252 (2003).
- 15) 野津憲治: "活断層に沿って深部揮発性物質は上昇するのか?", 月刊地球, 27, pp. 461-466 (2005).
- 16) 森 康則,山下瑠佳,川辺岩夫,伊藤貴盛,永峰康一郎,大井田徹,藤井直之: "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変化-H₂/Ar 比のスパイク状及びランプ関数 状変化とその解釈-",地震 第2輯, 53, 2, pp. 165-176 (2000).
- 17) T. Arai, T. Okusawa, H. Tsukahara : "Behavior of gases in the Nojima Fault Zone revealed from the chemical composition and carbon isotope ratio of gases extracted from DPRI 1800 m drill core", The Island Arc, 10, pp. 430-438 (2001).
- 18) 島田耕史,齋藤友比古,田中秀実: "跡津川断層掘削コア中の水素ガス濃度(予報)",地球

惑星科学関連学会 2005 年合同大会, S044-P011 (2005).

- 19) 佐竹 洋,林 美光: "跡津川断層,牛首断層における断層ガスの連続観測 -炭酸ガス,水 素ガスについて-",月刊地球,5, pp. 366-372 (1983).
- 20) H. Satake, M. Ohashi, Y. Hayashi : "Discharge of H2 from the Atotsugawa and Ushikubi Faults, Japan, and its relation to earthquakes", Pure and Applied Geophysics, 122, pp. 185-193 (1984/85).
- 21) 風早康平,加藤 完,高橋 誠,安藤直行,大隅多加志,平林順一,日下部実:"ガスセンサーによる伊豆半島割れ目土壌ガス中の水素ガスモニタリング",地質調査所月報,38, pp. 677-688 (1987).
- 22) 島田耕史,丹羽正和,野原 壯,田中秀実: "活断層露頭で得られた水素ガス濃度の未固結 断層岩方位に対応する変化",日本地球惑星科学連合 2006 年大会,S107-002 (2006).
- 23) 伊藤雅和,岡本真由美,柴田雅博,佐々木康雄,壇原 徹,鈴木啓三,渡辺 隆: "ベントナイトの鉱物組成分析",動力炉・核燃料開発事業団, PNC TN8430 93-003 (1993).
- 24) 岡崎正規・佐藤幸夫:水和酸化物,「土の化学」社団法人日本化学会, pp.67-79 (1989).
- 25) 地震調査研究推進本部, 地震調査委員会: "山崎断層帯の評価" (2003).
- 26) 兵庫県: "平成7年度地震調査研究交付金 山崎断層に関する調査成果報告書" (1996).
- 27) 岡山県: "平成7年度地震調査研究交付金 大原断層に関する調査成果報告書" (1996).
- 28) 岡田篤正, 安藤雅孝, 佃 為成: "山崎断層系安富断層のトレンチ調査", 地学雑誌, 96, pp. 81-97 (1987).
- 29) 遠田晋次, 宮腰勝義, 井上大栄, 楠健一郎, 鈴木浩一: "山崎断層系大原断層のトレンチ調 査", 地震第2輯, 48, pp. 57-70 (1995).
- 30) 宇佐美龍夫: "最新版 日本被害地震総覧[416]-2001", 東京大学出版会 (2003).
- 31)神戸信和,広川 治: "5万分の1地質図幅「佐用」",地質調査所 (1963).
- 32) 尾崎正紀, 栗本史雄, 原山 智: "5万分の1地質図幅「北条」", 地質調査所 (1995).
- 33) 竹村静夫, 鈴木茂之: "兵庫県西部における超丹波帯の地質とテクトニクス", 地質学雑誌, 102, pp. 1-12 (1996).
- 34) 猪木幸男, 弘原海清: "5万分の1地質図幅「上郡」", 地質調査所 (1980).
- 35) 山元孝広, 栗本史雄, 吉岡敏和: "5万分の1地質図幅「龍野」", 地質調査所 (2000).
- 36) 山元孝広, 栗本史雄, 吉岡敏和: "5万分の1地質図幅「山崎」", 産業技術総合研究所 地質 調査総合センター (2002).
- 37) 中田 高, 今泉俊文編: "活断層詳細デジタルマップ", 東京大学出版会 (2002).
- 38) 中尾節郎, 澁谷拓郎, 片尾 浩: "山崎断層周辺の地震活動", 京都大学防災研究所年報, no.47, pp. 713-720 (2004).
- 39) 澁谷拓郎, 中尾節郎, 西村和浩, Mori James, 加納靖之: "山崎断層周辺の地震活動-30 年間のデータのまとめー", 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, S143-P010 (2008).
- 40) 活断層研究会編: "新編日本の活断層-分布図と資料-",東京大学出版会 (1991).
- 41) 狩野謙一,村田明広: "構造地質学",朝倉書店 (1998).
- 42) Swanson, M. T.: Pseudotachylyte-bearing strike-slip duplex structures in the Fort Foster Brittle Zone, southern Maine, Jour. Struct. Geol., 10, 813-828 (1988).
- 43) 中村裕二, 脇田 宏: "水素ガス分布-断層活動の示標-", 月刊地球, 7, pp. 27-31 (1985).
- 44) T. Dogan, T. Mori, F. Tsunomori, K. Notsu : "Soil H2 and CO2 surveys at several active faults in Japan", Pure and Applied Geophysics, 164, pp. 2449-2463 (2007).