

野島断層平林 NIED コア破碎帯部 (1,140m, 1,300m, 1,800m) の物質解析

松田達生^{*1}・新井崇史^{*2}・池田隆司^{*1}・小村健太郎^{*1}
小林健太^{*3}・島田耕史^{*4}・田中秀実^{*5}
富田倫明^{*6}・平野 聡^{*7}

Chemical Analysis along Fracture Zones (1,140m, 1,300m, 1,800m Depth) of the Hirabayashi NIED Drilling Core of the Nojima Fault

By

Tatsuo MATSUDA^{*1}, Takashi ARAI^{*2}, Ryuji IKEDA^{*1}, Kentaro OMURA^{*1}
Kenta KOBAYASHI^{*3}, Koji SHIMADA^{*4}, Hidemi TANAKA^{*5}
Tomoaki TOMITA^{*6}, and Satoshi HIRANO^{*7}

^{*1}*National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan*
mtatsuo@bosai.go.jp, ikeda@bosai.go.jp, omura@bosai.go.jp

^{*2}*Shinshu University, sa96401@gipac.shinshu-u.ac.jp*

^{*3}*Niigata University, kenkoba@gs.niigata-u.ac.jp*

^{*4}*Waseda University, 698g5040@mn.waseda.ac.jp*

^{*5}*Ehime University, tanaka@sci.ehime-u.ac.jp*

^{*6}*University of Tsukuba, tomita@luna.riko.tsukuba.ac.jp*

^{*7}*Japan Marine Science and Technology Center, hiranos@jamstec.go.jp*

Abstract

An 1,800m deep borehole was drilled at Nojima Hirabayashi and penetrated the Nojima fault that was activated at the time of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake (Kobe earthquake) in Japan. Three possible fracture zones were detected at depths of about 1,140m, 1,300m, and 1,800m respectively. In order to investigate the conditions of these fracture zones in a fault that had just moved, we analyzed the mode of distribution of rocks, minerals and chemical elements in the fracture zones. We consider the foliated blue-gray fault gouge zone to design the central fault plane at 1,140.7m. The results are as follows. The degree of fracturing appears to be greater in the hanging wall than in the footwall. The relative amounts of minerals are estimated qualitatively. In the analyzed interval, we not only detected quartz, orthoclase, plagioclase, biotite and hornblende in the parent rock (granodiorite), but also kaolinite, smectite, laumontite, stilbite, calcite, ankerite and siderite, which are related to hydrothermal alteration. In particular, biotite disappears in both the hanging wall and footwall across the central fault plane, although it disappears over a wider range in the hanging wall than in the footwall. The amounts of major chemical elements were estimated quantitatively. Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 , and P_2O_5 all decrease throughout the interval except for at some points. $\text{H}_2\text{O}+$ and CO_2 increase throughout the interval. Na_2O increases in the region adjacent to the central plane, while MgO and CaO increase in the hanging wall and decrease in the footwall. SiO_2 and K_2O decrease in the hanging wall and increase in the footwall. This is probably due to the greater degree of wall rock fracturing observed in the

^{*1}防災科学技術研究所 ^{*2}信州大学 ^{*3}新潟大学 ^{*4}早稲田大学
^{*5}愛媛大学 ^{*6}筑波大学 ^{*7}海洋科学技術センター

hanging wall. It is suggested that these characteristics are associated with fault activity and the nature of fluid-rock interactions in the fracture zone.

We analyzed other fracture zones in the same way. As a result, the fracture zone at 1,300m depth is not similar to the fracture zone at 1,140m depth, and the fracture zone at 1,800m is highly similar to the fracture zone at 1,140m depth. This suggests that these two fracture zones (at depths of 1,140m and 1,800m respectively) were activated at the time of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake.

Key words : Hyogo-ken Nanbu earthquake, Nojima fault, drilling, Chemical analysis, Fault zone

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震（阪神大震災）に伴って、淡路島北西岸沿いに延長10 km以上に渡る野島地震断層が出現した。その約1年後、科学技術庁防災科学技術研究所（NIED）は、津名郡北淡町平林地区において、断層線の南東（上盤）側約300 mの地点より、鉛直からの最大傾斜 $7^{\circ}20'$ の斜め掘削を行い、深度1,001~1,838 m間の連続した岩石コアを回収することに成功した（図1）。本掘削の詳細に関しては池田ほか、1998；竹村ほか、1998を、またGSJとNIEDの掘削コアの産状については田中ほか、1998 aを参照されたい。この延長800 m以上にもわたるコア試料には、1,140, 1,300, 1,800 mの各深度付近において、顕著な変形・変質作用を被った断層破砕帯が認められる（図2）。また、特に深度1,140.7 mでは断層中軸帯とみなされる断層ガウジが認められた（小林ほか、1997；田中ほか、1998 a）。しかし、この部分を含めて今回の地震でこの破砕帯が活動したのかは明らかになっていない。そこで、本研究ではそれを明らかにするために各深度の破砕帯の物質解析（鉱物・元素組成分析）を行った。今回の地震で動いているところは強く破砕されて割れ目が多量に入り、そこに水を中心とした流体が流れ込み母岩と反応し

て各種鉱物が生成していることが予想されるからである。

2. 掘削コアの処理手順および試料の調整法

断層破砕帯を含むコアは脆弱であるので、各種分析用に加工する前にコア試料表面をエポキシ樹脂等で固定する必要がある。図3にその手順を示す。まず、刷毛などを使用してコア試料表面にエポキシ樹脂を塗布する。十

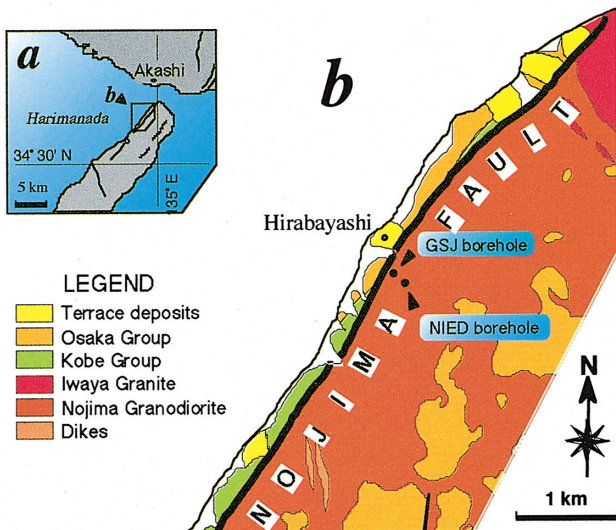


図1 NIED（防災科技研）、GSJ（地質調査所）の掘削抗位置および周辺の地質

Fig. 1 Location of the GSJ and the NIED (Nojima-Hirabayashi) boreholes and geological map.

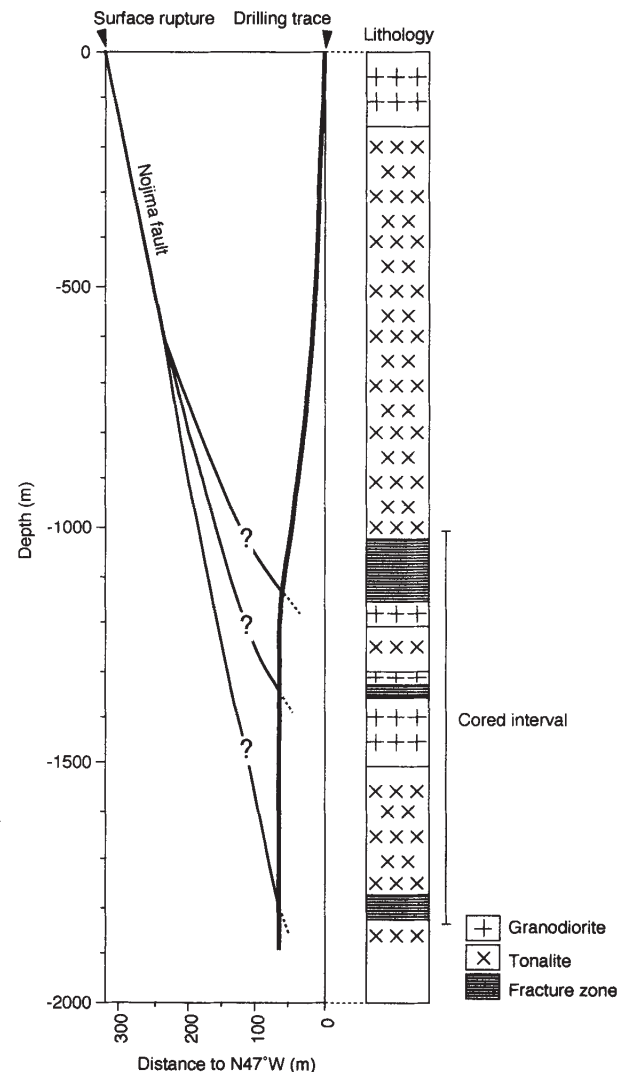


図2 NIED平林掘削抗断面図および地質柱状図

Fig. 2 Outline of the Hirabayashi NIED borehole and its lithological profile.

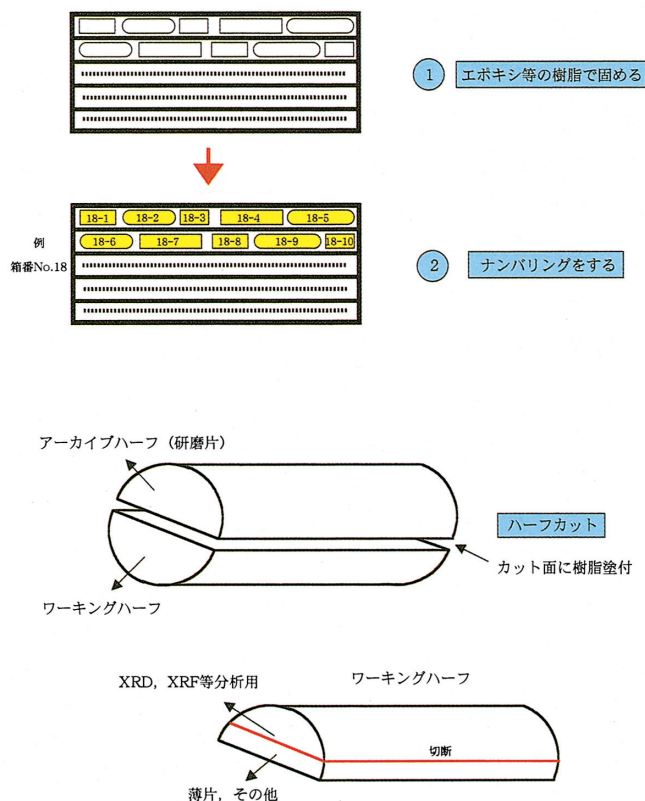


図3 掘削コア試料の処理手順

Fig.3 Procedure for collecting samples for various analyses from the drill core.

分に乾燥して固定されたら、後述するハーフカットの作業中などにコア試料の位置や方位を間違えないように、ナンバーを記入していくナンバリングという作業を行う。例えば箱の番号が18であれば、一番目のピースから18-1, 18-2 というように番号を記す。その後、これらのコアを軸と平行にハーフカットする。カットしたコアの半分（アーカイブハーフ）のカット面に樹脂塗布した後研磨し、研磨片として断層岩組織の観察用試料とする。残りの半分（ワーキングハーフ）をさらに2つに切り分け、そのうちエポキシ樹脂の付着していない部分を削り出して分析用試料とし、XRD, XRF, CS 分析を行う。また、局所的な岩相変化による影響を除去するために、試料を深度 0.5 m 毎に区分し、均一に混合したものを使用した。

3. 各深度の鉱物組み合わせ

鉱物の同定は、XRD (X 線回折分析) の不定方位法による測定で行った。本研究で使った XRD 機器は理学電気 RADIIA である。対陰極に Cu を使い、その特性 X 線である $\text{CuK}\alpha$ 線を利用した。また、全ての測定を以下の条件で行った。

電圧 40 kV 電流 20 mA
スリット系 DS 1/2°, SS 1/2°, RS 1/2°
STEP SCAN 方式

Start Angle (2θ) : 2°
Stop Angle (2θ) : 50°
Step/Sampling (2θ) : 0.01°
Fixed Time (sec.) : 1 s

1,140 m 部 72 試料, 1,300 m 部 60 試料, 1,800 m 部 55 試料の計 187 試料について XRD 分析を行った。結果を図 4~図 6 に示す。なお、これらの図には後述する元素分布結果のうち、特に関係が深いと思われる水と炭素の結果を並記してある。

〈深度別の含有鉱物〉

1,140 m 部：石英，長石，黒雲母，カオリナイト，スメクタイト，濁沸石，束沸石，方解石，アンケライト，シデライト

1,300 m 部：石英，長石，黒雲母，カオリナイト，スメクタイト，濁沸石，束沸石，方解石，アンケライト，シデライト

1,800 m 部：石英，長石，黒雲母，ホルンブレンド，カオリナイト，緑泥石，濁沸石，束沸石，方解石，アンケライト，シデライト

原岩(花崗閃緑岩)：石英，長石，黒雲母，ホルンブレンド

〈深度別の鉱物分布特徴〉

1,140 m 部では、断層中軸面を挟んで上盤側，下盤側でその傾向に顕著な差がみられた。以下にその特徴を記す。

石英：中軸部より上盤側で僅かに減少する。

長石：中軸部付近で減少する。上盤側でより顕著。

黒雲母：中軸部を挟んだ上／下盤側で消失。上盤側でより幅広く消失。

カオリナイト：中軸部の下盤側で消失している部分がある。上盤側に多く認められる。

スメクタイト：下盤側に一部存在するが、中軸部直下や上盤側で認められる。

濁沸石：全体に上盤側に多くみられる。

束沸石：下盤側で少量認められる。

方解石：上盤側に少量認められる。

アンケライト：中軸部および上盤側に多く認められる。

シデライト：下盤側で一部認められるが、基本的に上盤側に認められる。

1,300 m 部と 1,800 m 部には明瞭な断層中軸部が認められていないが、鉱物の分布からも 1,140 m 部のような傾向は特に 1,300 m 部では見出せない。1,300 m 部と 1,800 m 部の違いとしては、1,800 m 部では原岩にはない変質による鉱物(カオリナイト，緑泥石など)が 1,300 m 部よりも多く認められることから 1,300 m 部よりもより破碎を強く受け変質が進んでいることを示していると思われる。

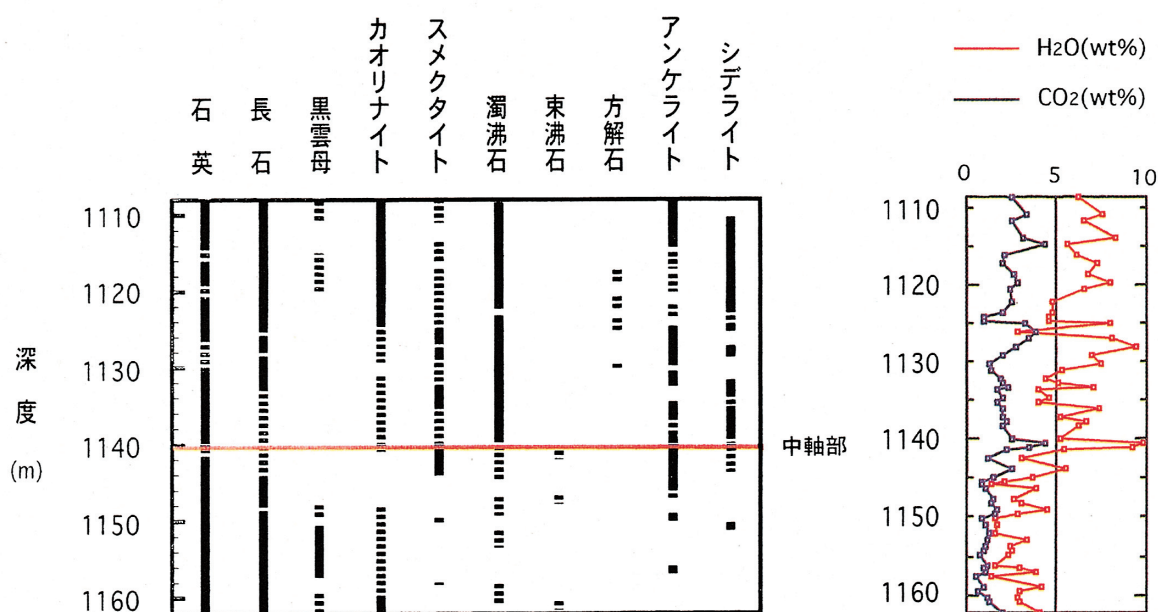


図4 深度1,140 m部破碎帯の試料の含有鉱物と深度分布

Fig. 4 Distribution of mineral assemblies in the fracture zone at a depth of 1,140m.



図5 深度1,300 m部破碎帯の試料の含有鉱物と深度分布

Fig. 5 Distribution of mineral assemblies in the fracture zone at a depth of 1,300m.

4. 各深度の元素分布様式

主要10元素の定量分析は、理学電気X-ray spectrometer 3,070を使用して、ガラスビード法によって測定した。付着水 (H_2O^-) および構造水 (H_2O^+) は重量法にて測定を行った。なお、構造水の定量のため、試料中の炭素を炭素硫黄 (CS) 同時分析装置を用いて定量した (LECO 社製 CS-444)。図7に測定手順の流れを示す。

XRD分析と同じものである1,140 m部72試料, 1,300 m部60試料, 1,800 m部55試料の計187試料に

ついて分析を行った。結果を図8～図10に示す。これらの結果はボーリングコア中で原岩 (花崗閃緑岩) に近い新鮮なサンプル9点を選定し、それらに含まれる各元素の量を平均した値を1として、各測定試料中の含有元素量を規格化して深度との関係をプロットしたものである。表1に規格化に用いたサンプルの分析値を示す。

結果は、XRD分析と同じく1,140 m部では、断層中軸面を挟んで上盤側、下盤側でその傾向に顕著な差がみられた。以下にその特徴を記す。

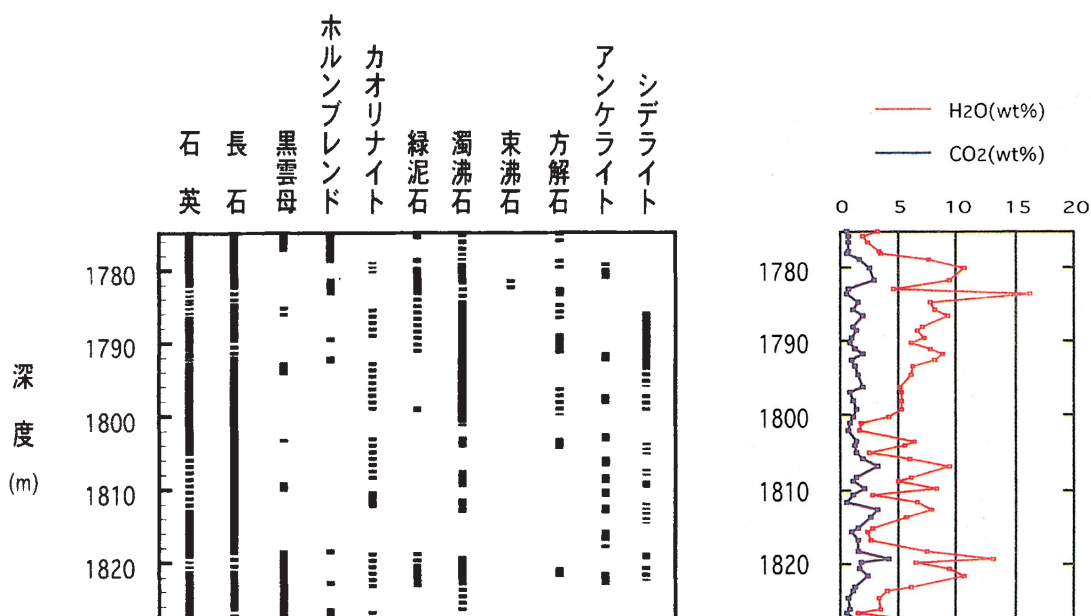


図6 深度1,800 m部破碎帯の試料の含有鉱物と深度分布

Fig.6 Distribution of mineral assemblages in the fracture zone at a depth of 1,800m.

XRF 主成分分析

Si：上盤側で減少，下盤側で増加。

Ti, P：全体的に減少するが深度1,128 m付近で増加のピークを持つ。

Al：全体的に減少する。中軸部で減少のピークを持つ。

Fe, Mn, Mg：上盤で増加，下盤で減少。

Na, K：全体的に増加。

Ca：全体的に減少，1,126 mと中軸部で増加のピークを持つ。

H₂O (+)：上盤側で大幅に増加する。中軸部で原岩の最大15倍もの量を含む。

H₂O (-)：上盤側で大幅に増加する。

以上の結果をまとめると，主要10元素を上盤，下盤側での傾向にしたがって4つのグループに分類でる。

原岩と比較して

- I. 全体に減少するもの：Ti, Al, Ca, P
- II. 上盤で増加，下盤で減少するもの：Fe, Mn, M
- III. 上盤で減少，下盤で増加するもの：Si
- IV. 全体的に増加するもの Na, K

また，中軸部の断層ガウジのみに注目して分類すると以下ようになる。

- V. ガウジ部で増加するもの：Fe, Mn, Mg, Ca
- VI. ガウジ部で減少するもの：Si, Ti, Al

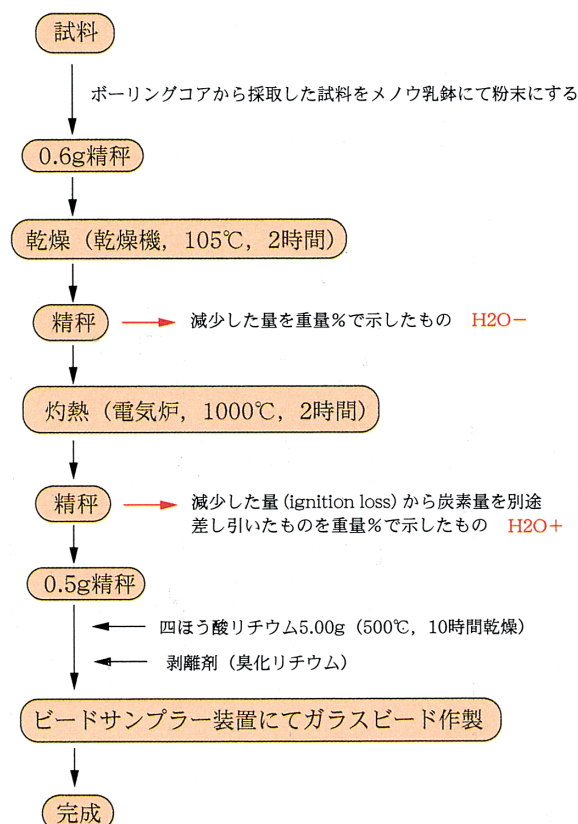


図7 蛍光X線 (XRF) による主成分分析および炭素の定量分析手順

Fig.7 Procedure for X-ray fluorescence analysis (Major elements) and quantitative analysis of carbon.

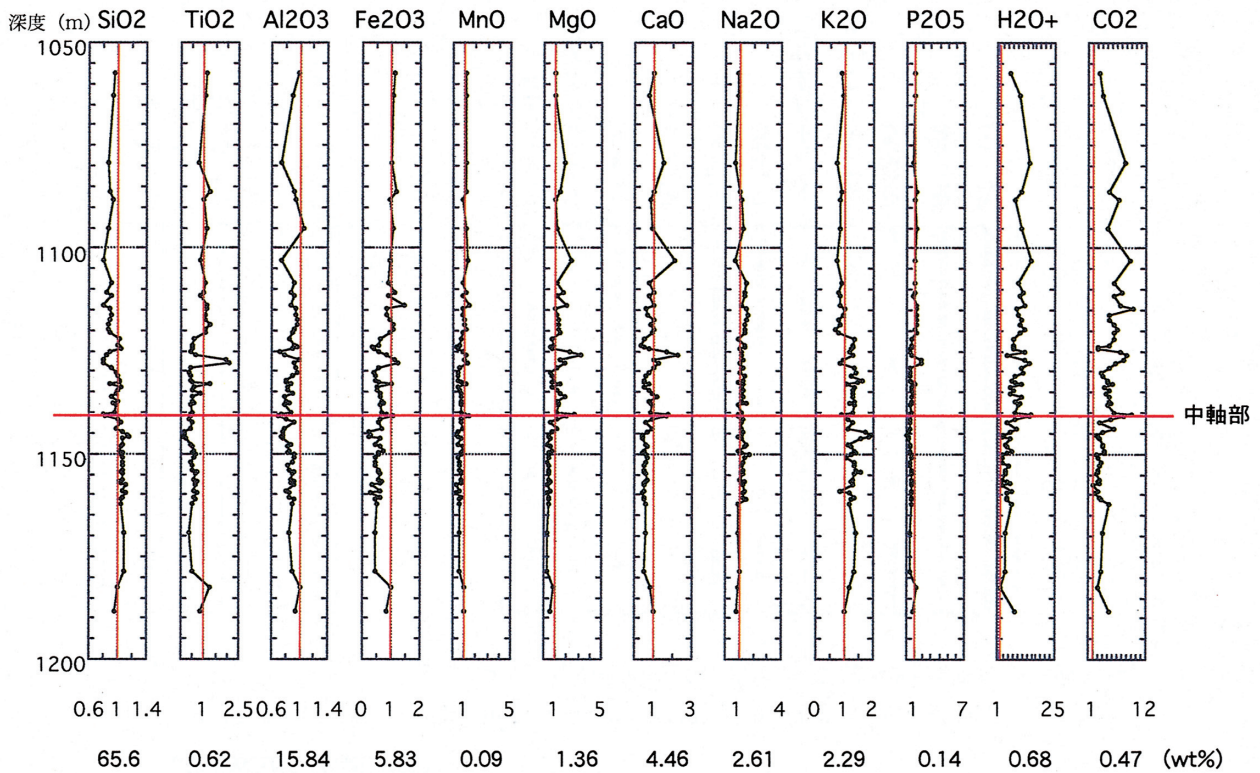


図 8 各元素の原岩との相対量比 (深度 1,140 m 部)

Fig. 8 Variations in chemical compositions in the fracture zone at a depth of 1,140m. (Values are normalized to those of reference.)

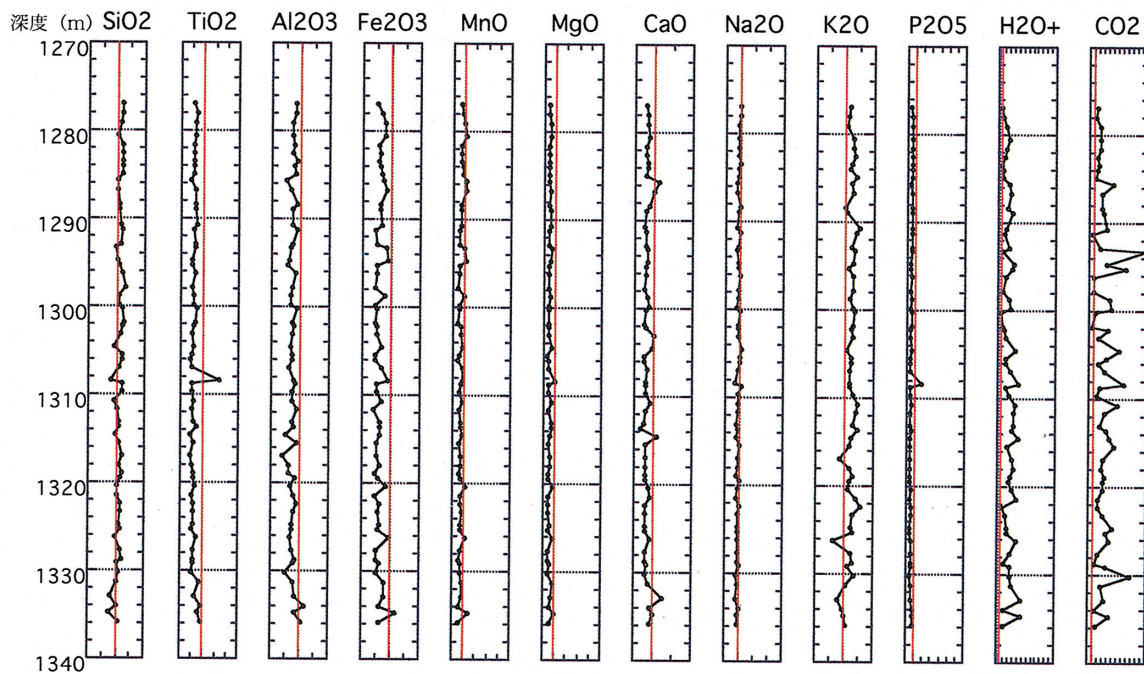


図 9 各元素の原岩との相対量比 (深度 1,300 m 部)

Fig. 9 Variations in chemical compositions in the fracture zone at a depth of 1,300m. (Values are normalized to those of reference.)

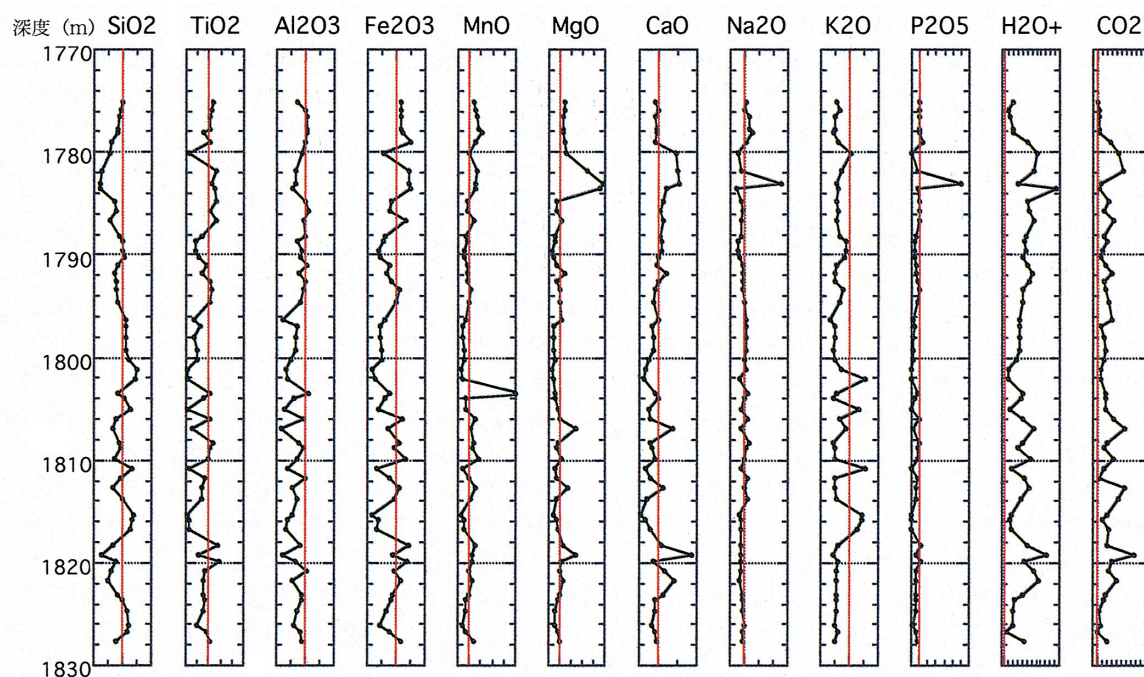


図 10 各元素の原岩との相対量比 (深度 1,800 m部)

Fig. 10 Variations in chemical compositions in the fracture zone at a depth of 1,800m. (Values are normalized to those of reference.)

表 1 規格化に用いた原岩試料 9 個の全岩分析値とその平均値

Table 1 Results of chemical compositions of samples for 9 references (from the least altered/deformed points in the core).

Sample No.	Depth (m)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	Total(wt%)
9-2-R	459.15	64.88	0.71	16.17	6.42	0.11	1.63	4.74	2.80	2.17	0.15	0.00	0.24	100.00
15-3-L	673.40	71.11	0.32	14.84	3.46	0.07	0.73	2.93	2.64	3.41	0.07	0.00	0.40	100.00
17-1-L	835.25	64.76	0.68	15.65	7.03	0.10	1.39	4.12	2.68	2.60	0.16	0.44	0.38	100.00
23-1-L	1015.80	65.06	0.65	15.85	5.01	0.07	1.03	4.05	2.57	2.06	0.14	2.69	0.81	100.00
97-5-L	1396.20	68.12	0.47	14.89	4.61	0.08	1.00	4.34	2.58	1.92	0.11	1.17	0.71	100.00
122-3-R	1516.85	65.18	0.68	16.03	6.44	0.10	1.48	4.78	2.55	2.17	0.15	0.11	0.34	100.00
144-5-L	1726.97	65.11	0.66	15.84	6.24	0.09	1.48	4.98	2.45	1.95	0.15	0.53	0.52	100.00
172-1-R	1760.75	62.81	0.77	16.50	7.02	0.11	1.89	5.22	2.49	2.22	0.18	0.48	0.31	100.00
187-3-R	1836.24	63.40	0.68	16.76	6.25	0.10	1.64	5.00	2.71	2.08	0.16	0.73	0.50	100.00
average		65.60	0.62	15.84	5.83	0.09	1.36	4.46	2.61	2.29	0.14	0.68	0.47	100.00

1,300 m 部と 1,800 m 部には, XRD 分析の結果と同じく 1,140 m 部のような傾向の違いは認められなかったものの, それぞれ以下のような特徴が認められた。

1,300 m 部: ほとんどの元素が原岩と比較しての増減幅が小さく, 各々の元素で全体的に減少していたり増加していたりするのみである。H₂O や CO₂ も他の 2 深度と比較すると僅かに増えているといった程度である。

1,800 m 部: 中軸部が特定できなかったために, 1,140 m

部のような上盤下盤といった傾向ははっきりとはしなかったものの, 原岩と比較した元素の増減幅は 1,140 m 部と同様に大きい。特に H₂O では, 原岩と比較して最大 25 倍近くの値になるところもある。

5. 考察

(1) 1,140 m 部上盤側や中軸部での顕著な変質鉱物の出現から考えられる H₂O の起源

XRD の結果から, 中軸部を挟んで上盤, 下盤側での鉱物分布に以下のような傾向がみられた。上盤側でスメク

タイトや沸石類、炭酸塩鉱物がより多く出現している(図 4)。原岩には含まれないこれらの変質鉱物が多く生成するような環境が上盤側に整っていたことがうかがえる。上盤側に下盤側よりも多くの H_2O が含まれていた結果は、その裏づけの一つとなるものである。

変質鉱物の構造中には、 CO_2 や H_2O が他の鉱物と比較して多く含まれることから、灼熱減量 (ignition loss) である CO_2 , H_2O が変質鉱物生成の指標となることが考えられる。図 8 において上盤側、特に中軸部で CO_2 , H_2O が顕著に増加していることは、断層においてはこれらの流体の通路が中軸部すなわち断層ガウジに存在していたことを示唆し、中軸部で変質鉱物が多く出現していることと調和的である。

H_2O の起源が主に天水のダウフローによるものとする、中軸部で生成したカオリナイトやス멕タイトといった粘土鉱物によるシーリングにより下盤側への水の供給が妨げられ、上盤側では水がより過剰になって下盤側よりも変質鉱物が生成しやすい環境になったとも考えられる。なお、ダウフローかアップフローかの問題を明らかにするためには、今後同位体の研究を行う必要がある。

(2) 破碎帯の断層岩類を通してみた物質移動特徴

XRF の結果から破碎帯を構成する断層岩について、特に 1,140 m 部に関しては上盤、下盤を挟んだ挙動について主要 10 元素を 4 つのグループに分けることができた。

田中ほか, 1998 b は GSJ コアの断層岩について、本研究と同様な手法で元素の規格化を行い、規格化後の各元素と構造水の関係から、弱変形変質岩と断層破碎帯中軸部を占める断層岩の間での元素交換について考察している。それによると、各元素について縦軸に規格化した元素の値、横軸に規格化した構造水の値をとってプロットしたグラフには凹型、凸型の 2 つの型があらわれ、それぞれの変極点 (含水率 2.5~4) を境に構造水が多くなる範囲に中軸部の断層岩が、少なくなる範囲に弱変形変質岩がプロットされるとしている。このことは、凹型分布を示す元素は含水率が変極点より少ない範囲で溶脱し、変極点より含水率が多い範囲で H_2O とともに流入する元素ということを意味する。凸型はその逆である。このような変極点を境にした溶脱と流入という元素収支形態より、弱変形変質岩と中軸部断層岩類との間で凹型と凸型の元素の交換が行われることが示唆されるとしている。この傾向と本研究結果を比較すると、5 で分類したグループ I・II の元素は凹型分布を示すものと、グループ III・IV の元素は凸型を示すものと一致するが本研究のサンプルについても同様の解析を試みたところ GSJ コアにみられるような凹型凸型の傾向は認められなかった。しかし、元素と構造水の相関としては Mg と Ca が構造水と正の相関を、Si は構造水と負の相関を示した (図 11~図 13)。このことは、地表における雨水による風化作用と同じようないわゆる酸化作用が地下でも起きている

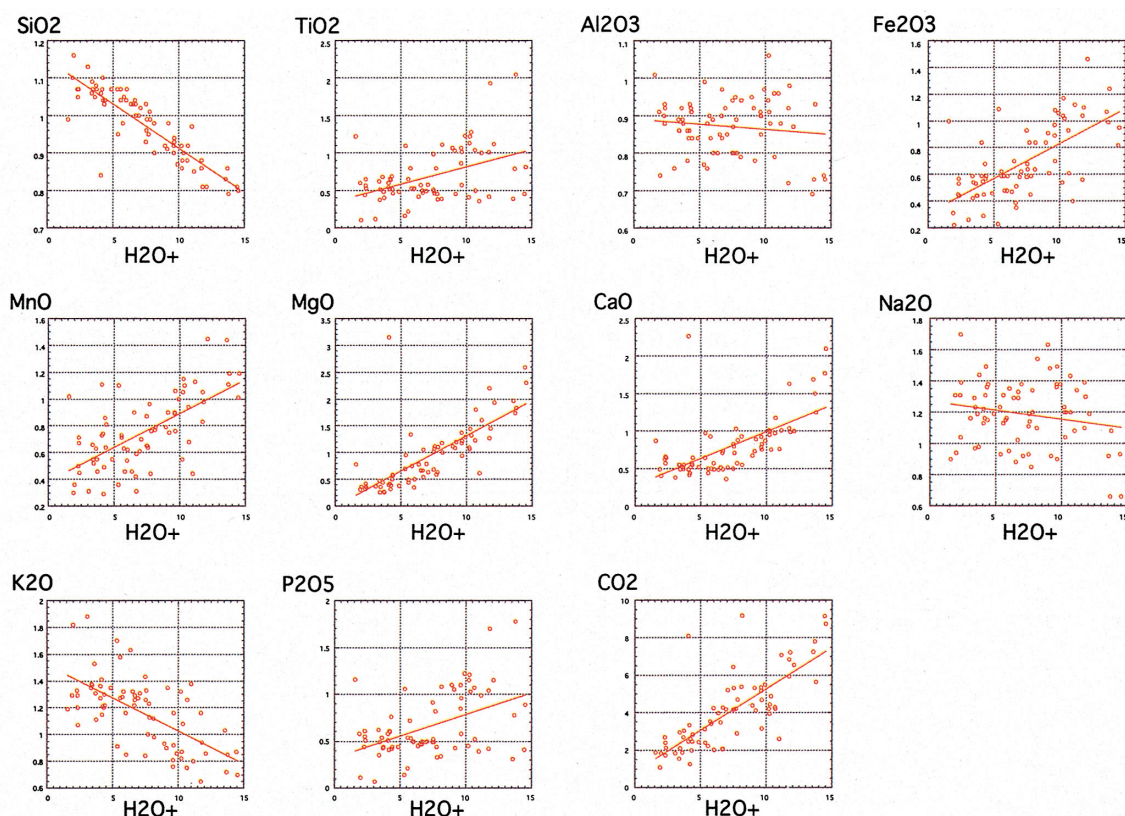


図 11 各元素と構造水の相関図 (深度 1,140 m 部)

Fig. 11 Relationship between major elements and H_2O+ (at a depth of 1,140m).

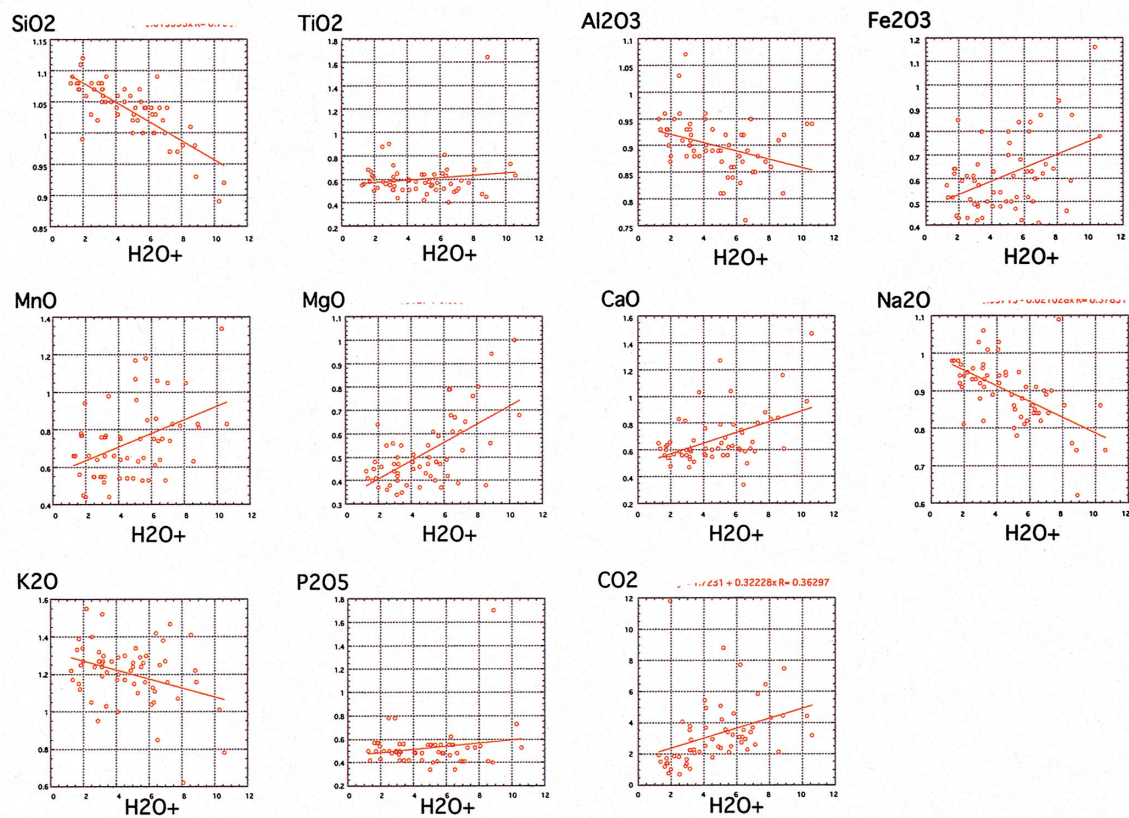


図 12 各元素と構造水の相関図 (深度 1,300 m部)

Fig. 12 Relationship between major elements and H_2O+ (at a depth of 1,300m).

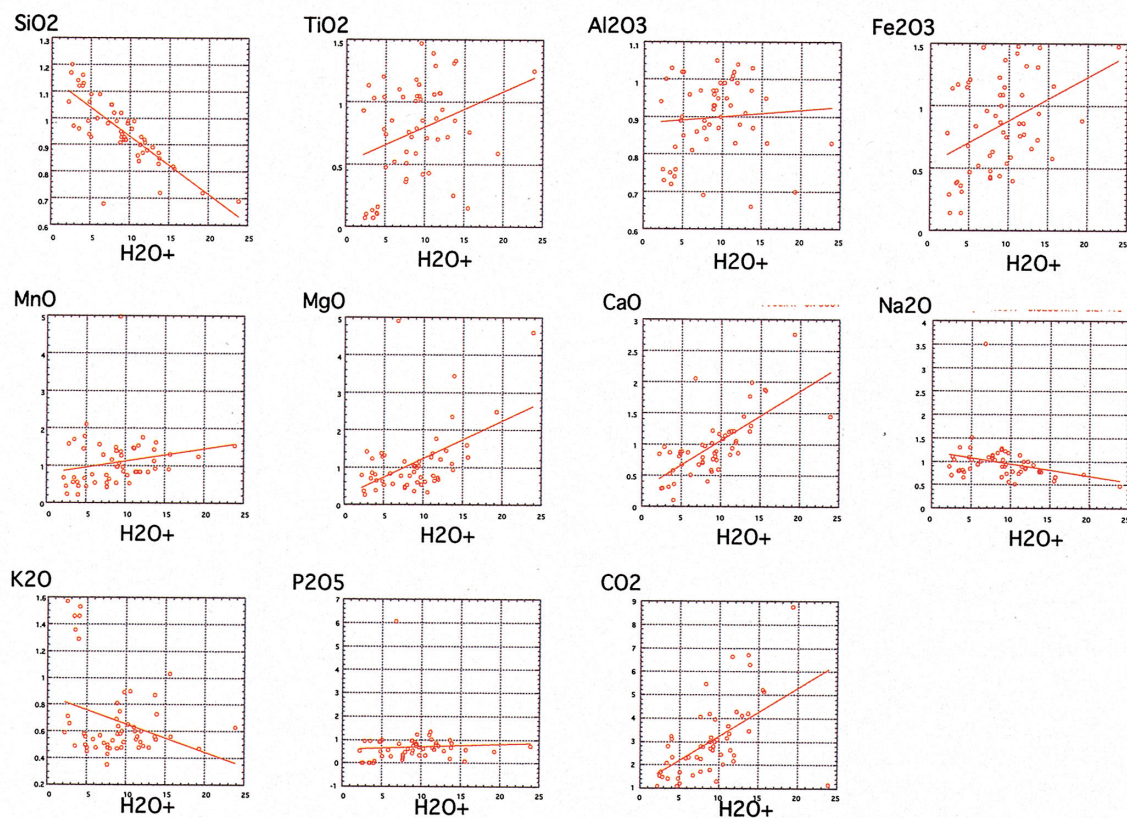


図 13 各元素と構造水の相関図 (深度 1,800 m部)

Fig. 13 Relationship between major elements and H_2O+ (at a depth of 1,800m).

事を示唆している。したがって、Mg や Ca は、天水によるダウンプローの途中で溶かし込まれながら破碎帯に大量に到達したと考えられる。その結果、破碎帯では相対的に Si が減少しているものと思われる。なお、ダウンプローを起こす機構については、間震期に断層中軸部が流体のバリアーとして働いていたのが断層活動によってそのバリアーが破られ下方に流体が移動するなどのモデルも考えられているが、現段階でははっきりとしたことは分からない。ちなみに田中ほか、1998c においても UNIV 500 m コア破碎帯の元素と構造水の相関関係について調べた結果から、正の相関を示すものに Fe, Mn, Ca (NIED コア、ガウジ部で増加する元素グループ VI にも対応)、負の相関を示す元素に Si が挙げられるとしており、NIED コア 1,140 m 部破碎帯内での挙動と調和的である。

(3) 特に断層ガウジにおける物質移動の特徴

1,140 m ガウジ部における物質移動について、5 では増加するものと減少するものという 2 つのグループに分けることができた。ガウジで増加するグループ VI (Fe, Mn, Mg, Ca) には、1,140 m 破碎帯内において構造水との正の相関を示す元素 Mg, Ca が含まれることから、この 2 元素に注目して図 8 をみるとガウジ部で大きく増加していることが認められる。このことから、ガウジ部では Mg, Ca が濃集する傾向にあるということが考えられる。

(4) 1,300 m 部の変質および物質移動

1,300 m 部においては、変質鉱物の分布とその量は他の 2 深度に比べると顕著にあらわれていない。原岩中の元素との相対的な量比増減に関しては、原岩より多少減少しているものが多くなっている。Fe, Ca, K に関しては増減幅がやや大きくなっているが、それ以外の元素は増減幅が小さい。このことから、1,300 m 部では元素の顕著な移動はおきていないものと推定される。

また、元素と構造水の相関に関しては、Si と K に負の相関がみられ、構造水そのものは他の深度ほどではないにしろ多少増加している。これらから、Si と K の減少分をまかなう程度の水が流入したものであると思われる。

(5) 1,800 m 部の変質および物質移動

図 6 から、破碎帯全体を通してカオリナイトや濁沸石、炭酸塩鉱物の広範、多量の出現がみられる。元素の挙動については、1,300 m 部同様に全体的に減少するものが多いが、増減幅の大きい元素が多い。特に Fe, Mn, Mg, Ca (1,140 m 部におけるグループ VI の元素と一致) の 1,810 m 付近から 1,820 m までの増減傾向は構造水 (H_2O+) の増減傾向と調和的であり、この深度における上記 4 元素に関しては、1,140 m 断層中軸部における元素の挙動と調和的である。また、構造水との相関では、Mg, Ca とは正の相関、Si, Na とは負の相関が認められる。以上のことから、1,800 m 破碎帯内部では、1,140 m 破碎帯内部と共通した物質移動様式が考えられる。このことはつまり、今回の地震で 1,800 m 破碎帯も 1,140 m 破碎帯と同様に活動したことを示唆しているものと思われる。

6. まとめ

以上の結果をまとめると以下のようになる。NIED 野島平林コアには、1,140 m, 1,300 m, 1,800 m と 3 深度で断層破碎帯が確認され、そのうち 1,140 m 部破碎帯内の深度 1140.7 m に断層中軸部とみなされる断層ガウジが確認された。そして各深度の破碎帯の物質解析により、今回の地震 (1995 兵庫県南部地震) で 1,140 m 部破碎帯が活動し、主として断層中軸面より上盤側で強く破碎され、水を媒介として元素の流動が生じた。1,300 m 部破碎帯は今回の地震ではほとんど活動せず、少量の水が既存の割れ目に注入した程度である。1,800 m 部破碎帯は、断層中軸面は特定できないものの、物質解析の結果からは 1,140 m 部破碎帯と同様に今回の地震で活動したと考えられる (図 14)。今後の課題としては、今回明らかになった地震直後の断層破碎帯の状態が、どのようにして変化していくのかを他の断層などを同様に調べることによ

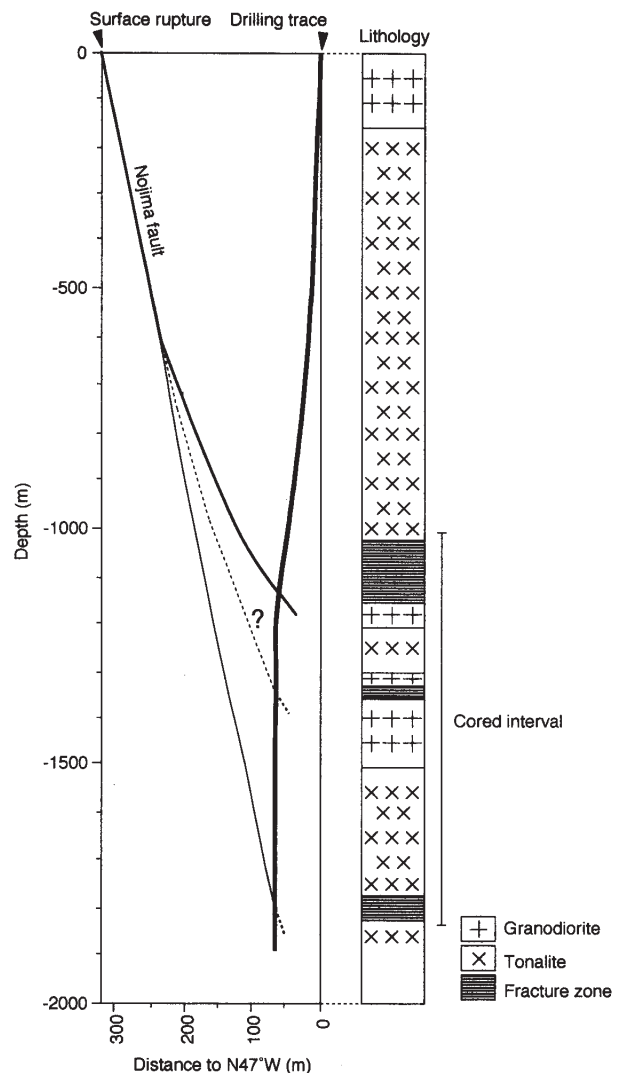


図 14 今回の地震 (1995 兵庫県南部地震) における野島断層の活動推定図

Fig. 14 Cross section of the Nojima fault (1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake) below the ground.

て明らかにしていくことである。これにより、いわゆる地震サイクルのメカニズムが判明し、より精度の高い地震予測や予知につながるものとなるであろう。

謝辞

本研究の一部は、財団法人深田地質研究所の研究助成を受けて行われた。コア試料の炭素測定においては、早稲田大学理工学部物性計測センターラボ、渋谷俊道氏および同大学教育学部地球科学教室の林 貴之氏に御協力頂いた。早稲田大学教育学部地球科学教室、坂 幸恭教授には本研究について貴重な御意見を頂いた。コアの処理、観察においては、佐野広征氏(筑波大学)、澤口 隆氏(早稲田大学)、山崎暁子氏(早稲田大学)、富田直人氏(愛媛大学)に多大なる御協力を頂いた。以上の方々に、厚く感謝の意を表します。

文献

- 1) Blanpied, M. L., Lockner, D. A. & Byerlee, J. D. (1992): An earthquake mechanism based on rapid sealing of faults. *Nature*, **358**, 574-576.
- 2) 池田隆司・飯尾能久・小村健太郎 (1998): 活断層の応力

測定について。月刊地球, 号外 No. **21**, 91-96.

- 3) 小林健太・池田隆司・澤口 隆・田中秀実・平野 聡・松田達生 (1997): 地球惑星科学関連学会 1997 年合同大会予稿集, 18.
- 4) 竹村恵二・伊藤久男・池田隆司・田中秀実 (1998): 野島断層掘削の意義・課題と現状 —コア解析に関連して— 月刊地球, 号外 No. **21**, 132-136.
- 5) 田中秀実・池田隆司・伊藤久男・新井崇史・大谷具幸・小村健太郎・小林健太・佐野広征・澤口 隆・富田倫明・富田直人・樋口孝幸・平野 聡・藤本光一郎・松田達生・山崎暁子 (1998 a): 野島地震断層掘削コア (GSJ および NIED) に見られる断層岩の産状. 地質雑, 104, XIII-XVI.
- 6) 田中秀実・藤本光一郎・富田直人・大谷具幸・伊藤久男 (1998 b): 地下浅部の断層帯における物質移動様式—野島断層 CSJ コアの検討から—, 日本地質学会第 105 年学術大会演旨, 135p.
- 7) 田中秀実・樋口孝幸・松本晋一郎・小坂和夫・林 愛明・竹村恵二・村田明広・宮田隆夫 (1998 c): 野島断層掘削コア (小倉 500 m コア) 断層岩分布様式および変形—変質過程. 月刊地球, 号外 No. **21**, 160-164.

(原稿受理: 2000 年 12 月 6 日)

要 旨

1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震に伴って、淡路島北西岸沿いに延長 10 km 以上にわたる野島地震断層が出現した。その約 1 年後、科学技術庁防災科学技術研究所は、淡路島の津名郡北淡町平林地区において、野島断層を貫通する活断層ドリリングでの連続コアリング(掘削深度 1,001~1,838 m)により、連続した岩石コアを回収することに成功した。この延長 800 m 以上にもわたるコア試料には、1,140 m, 1,300 m, 1,800 m の各深度において、顕著な変形・変質作用を被った断層破砕帯が認められる。筆者らによる断層コア解析チームは、はじめに今回の地震で動いた可能性が高いと考えられる 1,140 m 部の破砕帯の物質解析を行った。解析内容は、主として以下のものである。

- ① ボーリングコアの肉眼観察による断層岩の記載と分類、およびその柱状図作製。
- ② 粉末 X 線回折 (XRD) による鉱物の半定量分析。
- ③ 蛍光 X 線分析 (XRF) による元素の定量分析。

その後、同様の解析を 1,300 m および 1,800 m 部の破砕帯でも行った。今回は、それらの結果を総合して地下における断層の挙動を明らかにすることを試みた。

1,140 m 部での解析結果には、ある顕著な特徴がみられた。それは、今回の断層運動の中心であろうと考えられる断層中軸部を挟んで、その上盤側と下盤側では分析結果に異なる傾向がみられたことである。上盤側では下盤側に比べてより広い範囲で変形と変質を被っているという結果が出た。具体的にいえば、上盤側で長石類や黒雲母は、熱水変質作用によってカオリナイトやスメクタイトに変化しており、アンケライトやシデライトまたローモンタイトといったような岩石中の空洞や割れ目に二次的鉱物として産する鉱物も多く見られた。また、元素の分布様式も、上盤側でより岩石の溶脱が進んでいることを示していた。それと同時に、重量%で 10% を超えるほどの H₂O も上盤側に存在することが分かった。1,300 m 部の結果にはこれらのような傾向は見られなかった。その結果は、破砕帯全般にわたって微弱な変形、変質を受けたことを示している。このことは、1,300 m 部の破砕帯が今回の断層運動では動いてはおらず、以前の断層活動によって形成されたものであることを示唆するものと考えられる。これに対して、1,800 m 部破砕帯では 1,140 m 部と同じような傾向を示す結果となった。このことから、今回の地震では、1,140 m 部と 1,800 m 部破砕帯が主として活動したものと推定される。

キーワード: 兵庫県南部地震, 野島断層, 活断層掘削, 化学分析, 断層帯