

# 広島県三段峡地域における節理の形成過程

平山恭之\*・林 隆也\*\*・中井真一\*\*・津島淳生\*\*\*・於保幸正\*

\*広島大学大学院総合科学研究科

\*\*広島大学総合科学部

\*\*\*広島大学大学院生物圏科学研究科

## Development of joints in the Sandankyo Area, Hiroshima Prefecture, Southwest Japan

Yasuyuki Hirayama\*, Takaya Hayashi\*\*, Shinichi Nakai\*\*, Atsuo Tsushima\*\*\*  
and Yukimasa Oho\*

\* Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Japan

\*\* Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Japan

\*\*\* Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Japan

### Abstract

Joints are markedly developed in the acidic welded tuff of the Sandankyo Area, Hiroshima Prefecture, Southwest Japan. Six sets of joint are distinguished in this area, namely N-S set, NE-SW set, NNE-SSW set, NW-SE set, NNW-SSE set, and horizontal set. It is considered that NE-SW, NNE-SSW, NW-SE, and NNW-SSE sets of joint were formed by the simple shear due to NE-SW strike-slip faulting with right-lateral shear sense. Detailed microscopy shows that N-S and NE-SW sets of joint contain narrow quartz vein with newly recrystallized muscovite, and cut by the other sets. This suggests that, preceding the NE-SW faulting, WNW-ESE extension accompanied with granite porphyry intrusion formed N-S and NE-SW sets of joint.

### 1. はじめに

中国地方には脊梁面(高度約1000 m), 吉備高原面(高度400-600 m), 瀬戸内面(高度約100 m)と呼ばれる三つの平坦面が存在しており, これら面の侵食によって形成された河谷地形が発達している。これらの河谷地形は中新世後期以降から現在にいたる日本列島の隆起の過程で形成されてきたものであり(多井, 1972), 中国地方の山地地形の基本的な骨組みとなっている。これらの地形を規制している基本的な素因として, 中国地方のほ

ぼ全域に形成されている北東-南西系の断層の存在が注目されてきた。その結果, 中国地方の全域に見られるマクロなスケールでの北東-南西方向の河谷は, これらの断層の形成に続いてつくられた断層谷であることが明らかとなってきた(例えば, 今村, 1959; 今村ほか, 1959; 佃, 1985)。一方, メソスケールで見ると, 現在進行中の侵食を促す弱線部として節理が存在する。一般に節理は複数の異なる方向に発達し, 基盤をブロック化する役割を担っており, 現在進行中の河谷地形の発達過程において重要な役割を果たしているものと

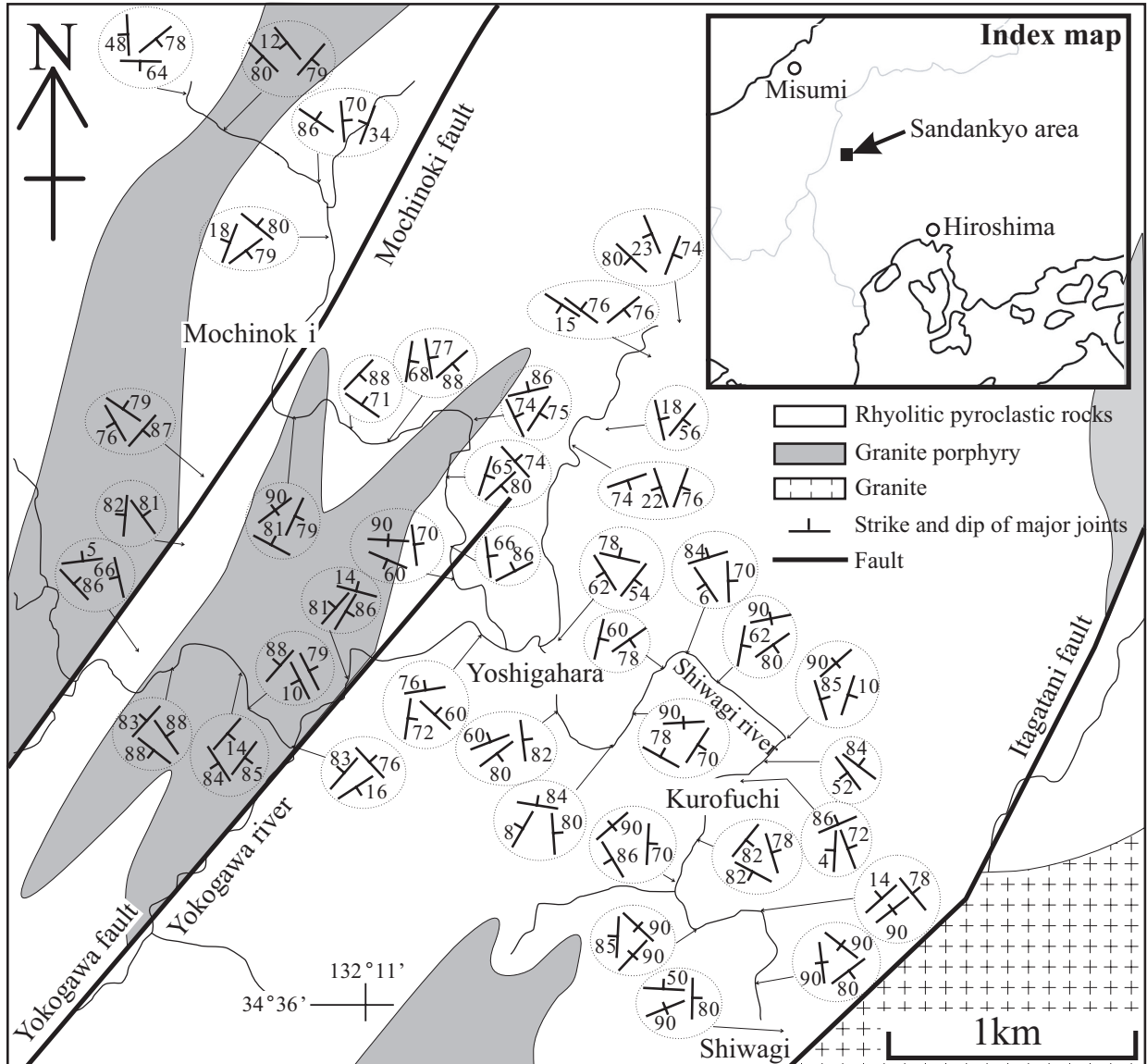


Fig. 1. Geologic map of the Sandankyo area (modified after Geological Survey of Japan, 1985).

考えられている。中国地方に分布する基盤岩類には節理が顕著に発達することが多く、中国地方の地形形成の素因として極めて重要な地質学的な要素である。このような節理や割れ目系の分布や成因、形成時期などを明らかにしようとした研究は本邦でも数多く発表されているものの（例えば、平林, 1965; 木村, 1980; 藤井, 2000; 藤井・堀, 2005; 丸山, 2006など）、中国地方においては岡村 (1965), 吉村・林 (1983, 1989), 吉村 (1997) による報告くらいである。

本研究地域である広島県北西部三段峡は、節理の発達著しく、中国山地を形成している侵食面の一つである脊梁面の開析地形として代表的なものである。本地域のほとんどを白亜紀～古第三紀

の流紋岩質火砕岩が占めているが、溶結面や流理構造などの節理以外の面構造の形成が比較的に少ない地域であり、節理の解析に適している。また、本調査地域の南東には広島型花崗岩の、地域内には花崗斑岩の貫入が見られ、北東—南西系の断層が複数存在しており、中国地方における白亜紀以降の主要な構造運動がよく現われている地域である。以上の点から、中国地方における節理の形成過程を明らかにする上で最適な地域の一つであると考えられる。本研究では三段峡地域における節理系の解析をおこない、節理の微細構造の観察結果について記載する。さらに、得られたデータを基にして三段峡地域に分布する節理の形成過程についての考察をおこなう。

## 2. 地質概要

本調査地域である三段峡は、広島県山県郡安芸太田町を北西－南東方向に流れる柴木川の上流に位置する (Fig. 1). 中国地方には酸性火成岩類が広く分布している. 三段峡地域の峡谷を形成している岩石類は、林ほか (1995) の分類による匹見層群に相当する白亜紀～古第三紀の流紋岩質火砕岩, これに貫入したとされる白亜紀後期の黒雲母花崗斑岩および広島型花崗岩などである (通産省工業技術院地質調査所, 1985). 花崗岩は柴木の南東部に、黒雲母花崗斑岩は調査地域の北西部および南端に小規模に露出しているが、峡谷の大部分は流紋岩質火砕岩によって構成されている. この流紋岩質火砕岩は白亜紀～古第三紀の大規模火砕流堆積物であると考えられている (飯泉ほか, 1985; 林ほか, 1995). 流紋岩質火砕岩は灰白色を呈し、泥質岩や花崗岩などの岩片が含まれていることもある. 斑晶は主に石英からなり、カリ長石、斜長石および黒雲母を含む. 長径は、石英、カリ長石、斜長石で1-5 mm, 黒雲母では0.2-1 mm程度である. 斑晶のうち、石英は融食形を呈し、全体に丸みをおびた形になっている. カリ長石と斜長石は自形を示すことが多い. 基質は細粒で等粒状の石英、カリ長石、斜長石の集合体からなり、その長径は10-30 $\mu$ mである. 林ほか (1995) は、本地域から奥三段峡地域にかけて比較的急傾斜な溶結面や流理構造が認められることから、この地域にNE-SW方向の火道が存在したことを示唆している. 北東－南西方向に走る餅ノ木・横川・板ヶ谷の各断層の存在が確認されており (今村ほか, 1959) (Fig. 1), 全域で節理群が著しく発達している. 北東－南西方向の断層は中国地方に広く形成されており、横ずれ谷などの地形的特徴から第四紀更新世に活動した右横ずれ断層であると考えられている (例えば、今村ほか, 1959; 佃, 1985; 東元ほか, 1986). 北川ほか (1997) は、これらの北東－南西系の断層破碎帯で形成された粘土鉱物のK-Ar年代を測定し、これらの断層には最初期の活動が白亜紀から古第三紀にさかのぼるものがあることを示した. 吉村 (1997) は本地域周辺の12露頭で節理の姿勢を測定し、北東－南西

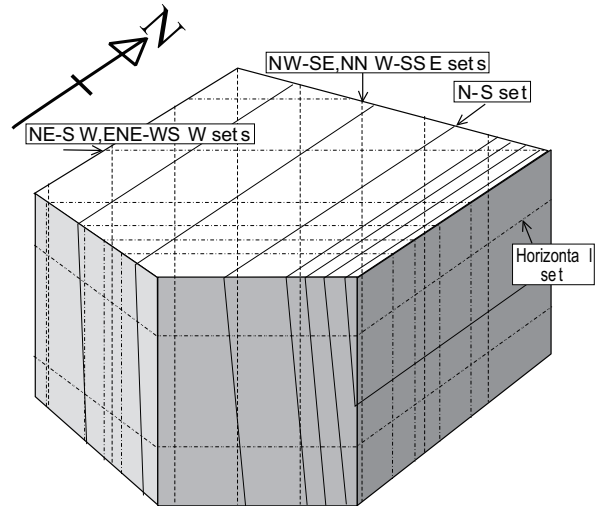


Fig. 2. Brief visualization of joint system of the Sandankyo area.

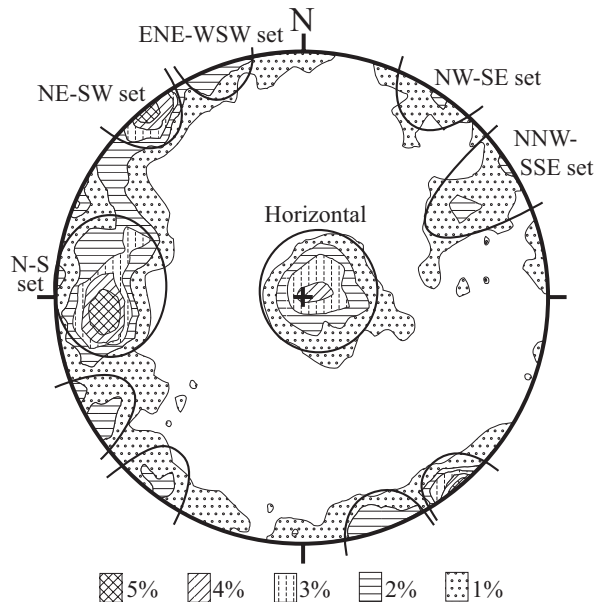


Fig. 3. Joint planes in the Sandankyo area (455 points, equal area, lower hemisphere).

方向、北西－南東方向の走向と高角度の傾斜を持つ節理系を中心に2～4つのセットの節理群が存在することを報告している. 吉村・林 (1989) は本地域の南～南西に隣接する地域において、ジュラ紀の堆積岩、流紋岩質火砕岩、花崗岩に形成されている節理を研究し、北東－南西系と北西－南西系の節理がどの岩石においても共通に形成されていることを明らかにしている. また、吉村・林 (1983) は本地域の約10 km北東に位置する滝山峡の花崗岩に見られる節理を調べ、6つのセットの急傾斜節理系が存在することを報告している. 後

述するように、本論では、節理の姿勢は大きく分けて6つの方向のセットに分類され、その中でも南北の走向を持つものと北東-南西方向の走向を持つものが卓越することを示している(Figs. 1, 2, 3).

### 3. 節理の構造

#### (1) 露頭スケールにおける構造

本調査地域に発達する節理群の方向には特徴が認められる。この詳細を明らかにするため、露頭条件の良好な柴木川および葎ヶ原付近で北方から柴木川に合流する支流に沿ったルートを中心に野外調査をおこなった。また、調査地域全体における節理の卓越する方向を明らかにするため、節理面の極をコンターダイアグラムに表した(Fig. 3).

Fig. 3に示した節理面は、ばらつきが多いものの、大きく以下に示す6つの領域に集中がみられる。これらの節理系を、便宜的に、N-S系、NE-SW系、ENE-WSW系、NW-SE系、NNW-SSE系、水平系と呼ぶことにする(Fig. 2)。一般に、これらの節理系のうち3つから4つのもので一つの地点内で形成されている。どの節理系が優勢に現れるかは場所によって異なり、極端な場合では数mから数10 mの範囲で変わる場合もある。節理面の間隔は数cmから1 m程度で変化するが、一般には20 cmから80 cm程度である(Fig. 4)。以下、各節理系の特徴について記載する。

**N-S系**：節理面の走向は $N20^{\circ}W \sim N20^{\circ}E$ 、傾斜は垂直から東向きに $60^{\circ}$ までの範囲で変化するものを、この節理系として定義する。ステレオネット上では、この節理面の姿勢はNS、 $70^{\circ}E$ を中心とする極に集中している。この節理系の節理面の間隔は少なくとも露頭スケールにおいては不均質で、局所的に特に密に発達している場合がある。密に発達した領域全体の幅は数10 cmから数m程度で、その内部には数cm程度の間隔を持つ節理面が形成されている(Fig. 4)。N-S系の節理はほぼ全域で形成されているが、北部では希にしか観察されない。特に葎ヶ原を中心に半径1 kmの円内の地域において顕著に発達している。

**NE-SW系**：走向は北東-南西方向で、傾斜はほぼ垂直であるものを、この節理系として定義する。Fig. 3では $N50^{\circ}E$ 、 $85^{\circ}SE$ を中心に分布するものである。この節理は調査地域全域で顕著に観察されるものである。節理面の間隔は一般に数10 cm程度だが、葎ヶ原周辺では数cm程度と密に発達することがある。

**ENE-WSW系**：節理面の走向は $N60^{\circ}E \sim N80^{\circ}E$ を向き、傾斜はほぼ垂直であるものを、この節理系として定義する。この節理面の姿勢は $N70^{\circ}E$ 、 $90^{\circ}SE$ を中心として分布している。この系の面には地域的な偏りはないが、露頭で観察される頻度は小さい。節理面の間隔は数10cm程度である。

**NW-SE系**：走向が北西-南東方向を向き、ほぼ垂直に傾斜するものをこの節理系として定義する。特に節理の集中する方向は $N50^{\circ}W$ 、 $85^{\circ}NE$ である。この節理系は全体として出現頻度が小さく、葎ヶ原を中心とした半径1 kmの円内の地域では特に観察されることが少ない。節理間隔は数10 cmである。

**NNW-SSE系**：走向が北北西-南南東方向を向き、ほぼ垂直に傾斜するものをこの節理系として定義する。この節理系は $N30^{\circ}W$ 、 $90^{\circ}$ と $N30^{\circ}W$ 、 $70^{\circ}SW$ を中心に分布する。NNW-SSE系は主に葎ヶ原以南で観察される。全体として観察される頻度が小さく、節理の間隔は30 cmから1 m程度となっている。

**水平系**：水平な面を中心として分布するものを、この節理系として定義する。分布に地域的な偏りは認められない。節理面の間隔は一般に20 cmから1 m程度であるが、稀に数cm程度の間隔で密に発達することもある。

#### (2) 節理の微細構造

顕微鏡下で観察される微細組織の特徴から、本地域で形成されている節理面は3つのタイプに分けられる。本研究では、便宜的に、それらをType-1、Type-2、Type-3と呼ぶことにする。以下、これらの節理の微細構造の特徴をタイプ別に記載する。なお、これらの節理の姿勢は野外で得られた定方位試料から復元することにより求めた。

Type-1の節理は破断面の存在とその間を充填す

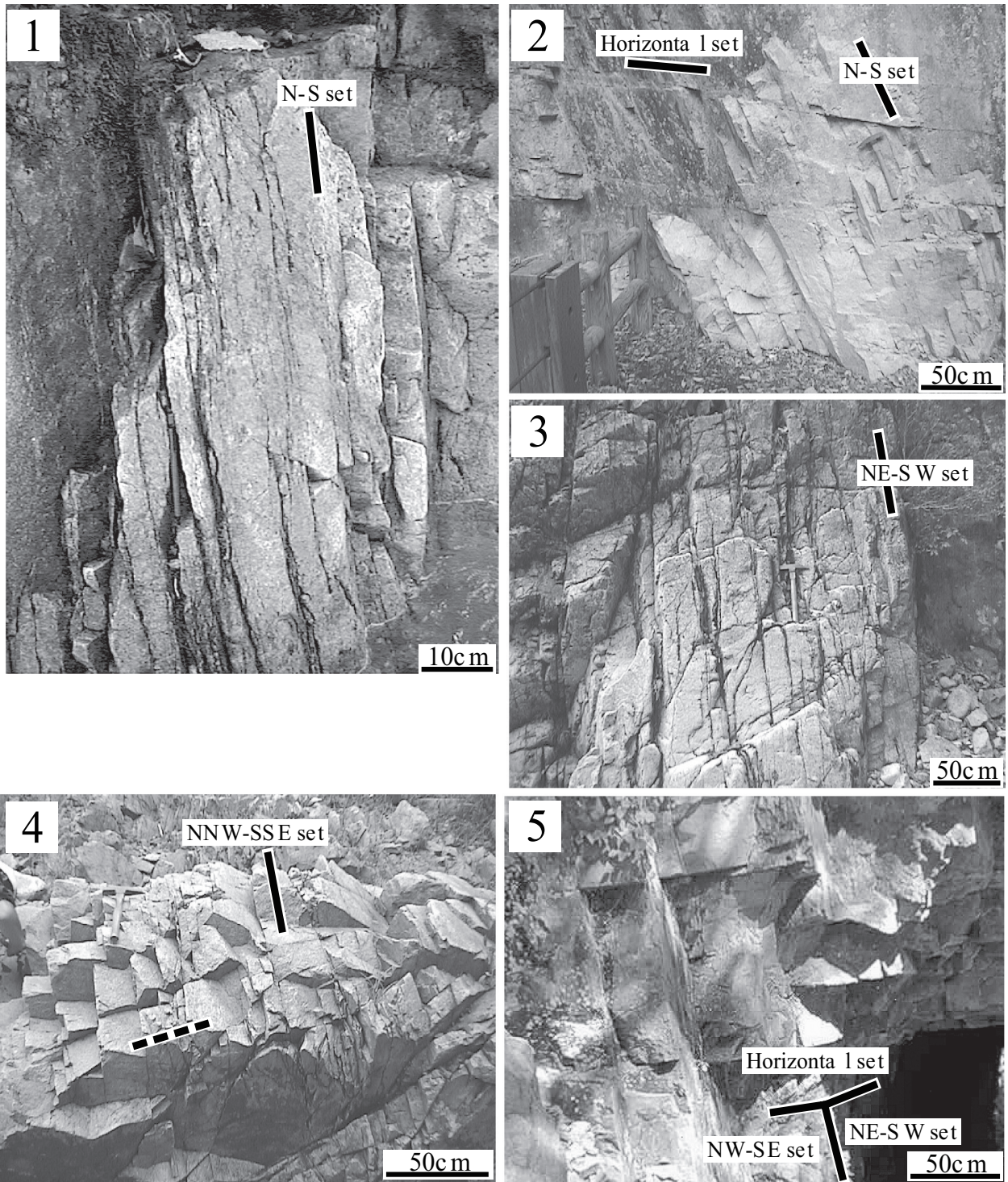


Fig. 4. Joints in the welded acidic tuff of the Sandankyo Area. Fig. 4.1: N-S set of joint, striking  $N11^{\circ} W$  and dipping to  $78^{\circ} E$ . Space between the two original fracture surfaces of joints is 2 to 10 cm. Fig. 4.2: N-S and horizontal sets of joint. N-S set strikes  $N3^{\circ} W$  and dips  $74^{\circ} E$ , and horizontal set strikes  $N3^{\circ} E$  and dips  $8^{\circ} E$ . Fig. 4.3: NE-SW set of joint, striking  $N45^{\circ} E$  and dipping  $78^{\circ} S$ . Fig. 4.4: NNW-SSE set of joint, striking  $N43^{\circ} W$ , dipping  $82^{\circ} S$ . Dashed line shows joint, striking  $N23^{\circ} E$  and dipping  $72^{\circ} E$  (N-S set?). Fig. 4.5: NE-SW, NW-SE and horizontal sets of joint. NE-SW set strikes  $N47^{\circ} E$  and dips  $81^{\circ} S$ . NW-SE set strikes  $N61^{\circ} W$  and dips  $84^{\circ} N$ . Horizontal set strikes  $N30^{\circ} E$  and dips  $12^{\circ} N$ .

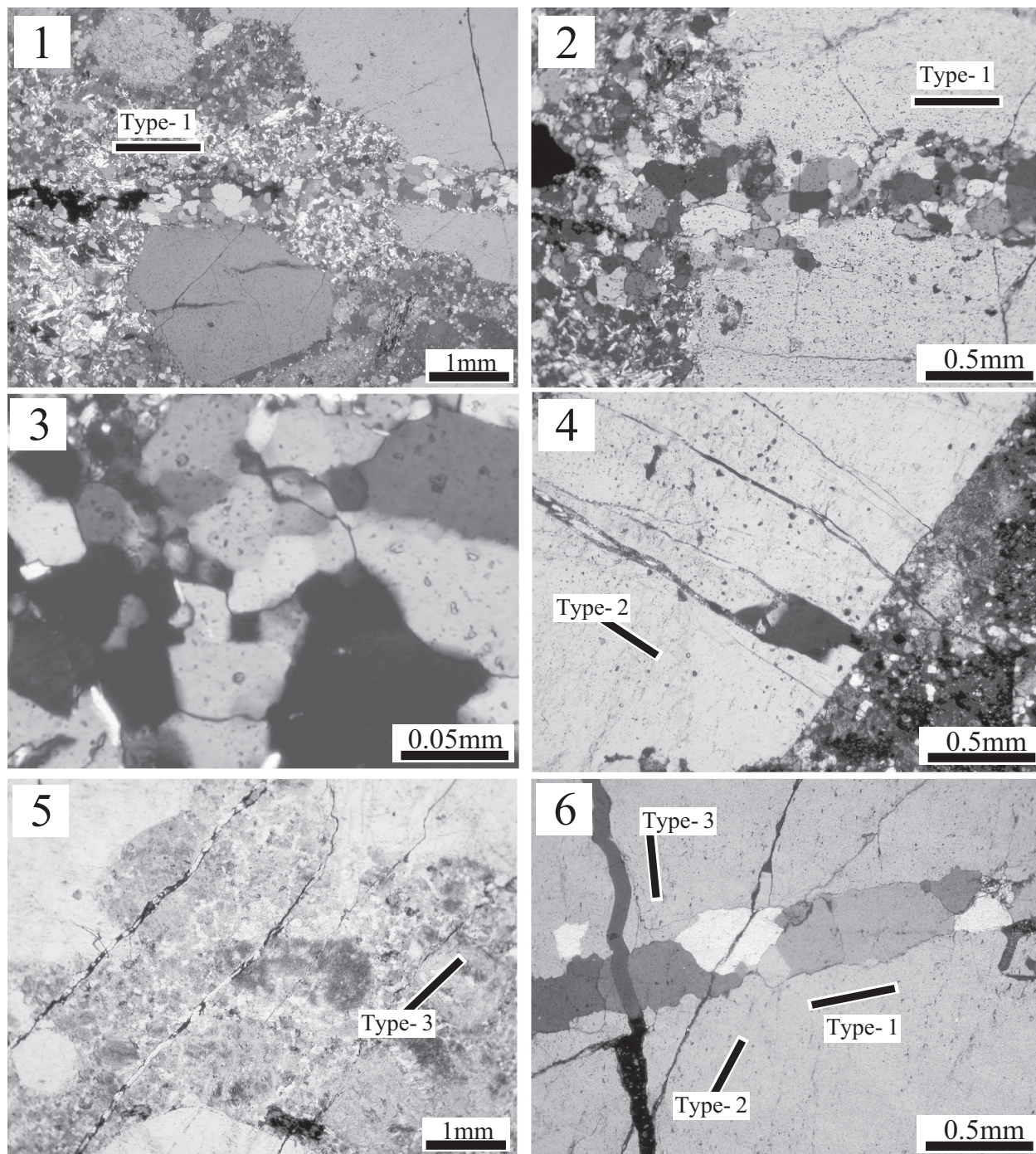


Fig. 5. Photomicrographs of three types of joint, Type-1, Type-2 and Type-3. Fig. 5.1-5.2: Type-1 joint. Type-1 joints infilled by quartz vein, cutting quartz phenocryst and matrix. Highlight platy minerals, which are muscovite, crystallize along Type-1 joint. Fig. 5.3: subgrains in quartz vein. Fig. 5.4: Type-2 joint, fracturing quartz phenocryst. The boundary part consists of micro-fractures. Fig. 5.4: Type-3 joint defined by empty fissures. Fig. 5.6: Type-1, Type-2 and Type-3 joints. Type-1 is intersected by both Type-2 and Type-3. Fig. 5.1-5.4 and Fig. 5.6: Crossed polars, Fig. 5.5: Plane-polarized light.

る石英脈の組み合わせとして特徴づけられる (Fig. 5.1-5.3). Type-1の節理は5地点でのみ観察され、南北あるいは北東-南西方向の走向を持ち、ほぼ垂直に傾斜している (Fig. 6). このタイプの節理

は石英やカリ長石の斑晶、および基質を切って連続的に発達している。破断面の形態は全体としてみると直線あるいは緩やかな曲線を示す。石英脈の幅は0.3-0.6 mm程度で、その幅は一つの連続し

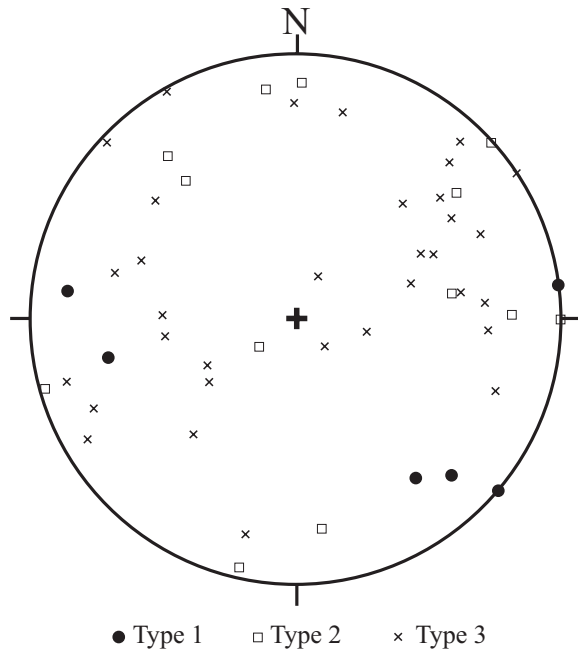


Fig. 6. Poles to joint planes about Type-1, Type-2 and Type-3 (51 points, equal area, lower hemisphere). Note that Type-1 joints concentrates on the N-S and the NE-SW trends of strike.

た石英脈においても場所によって変化している。石英脈を構成する石英粒子の長径は一般に0.2-0.5 mmである。母岩中の石英では新結晶粒の形成や変形した痕跡はみられないが、石英脈中のものでは長径20-50  $\mu\text{m}$ の等粒状の石英粒子やサブグレインが観察される (Fig. 5.3)。石英脈の内部の石英結晶が母岩中にまで成長した結果、本来の破断面や、石英脈と母岩の石英斑晶および基質との境界が不明瞭となる場合もある (Fig. 5.2)。また、このタイプの節理では、白雲母の自形結晶が石英脈に沿った母岩中に数mm以内の幅の帯をなして形成されている様子も観察される。この白雲母の自形結晶の長径は10-100  $\mu\text{m}$ 程度である。Type-1の節理はこのような特徴の組織を持つが、南北方向の走向を持つものと北東-南西方向のものとの間に組織の違いは認められない。

Type-2の節理は空隙が生じていない閉じた破断面によって特徴づけられる (Fig. 5.4)。破断面に沿って微小の変位が認められることがあるが、変位が確認される試料の数は少なく、そのため三次元でのせん断センスを求めることはできなかった。Type-2が特定の方向に集中することはない

(Fig. 6)。このタイプの節理には、石英や斜長石の斑晶のみを切るものと基質部分にまで発達するものがある。一般には直線状の形態を示し、斑晶内に限定されることが多い。石英斑晶内では、破碎によって細粒化した数  $\mu\text{m}$ 以下の石英粒子が破断面に沿って形成されている様子が観察されることがある。破断が顕著な場合、いくつもの破断面が網目状に形成され、全体として0.3-1 mm程度の幅を持つ破断帯として発達することもある。この破断の結果として、数10  $\mu\text{m}$ から数100  $\mu\text{m}$ 程度の長径を持つ石英や斜長石の粒子が形成されている。このような粒子は破断面と平行に伸びた楕円状の形態を持ち、内部には波動消光が認められることが多い。観察した範囲内では、Type-2の節理はType-1の節理を切っている (Fig. 5.6)。

Type-3の節理は破断面が開いており、破断面と破断面との間が空隙となっている伸張節理である (Fig. 5.5)。節理面の姿勢の分布は、北西-南東から北東-南西の走向を持ち急傾斜をするものが多い (Fig. 6)。このタイプの節理は石英や斜長石の斑晶、および基質を切って発達している。破断面の形態は全体としてみると直線、あるいは緩やかな曲線を示す。破断面に挟まれた空隙の幅は30  $\mu\text{m}$  ~ 0.3 mm程度であり、一つの破断面においても場所によって変化する。このタイプの節理はType-1の節理を切っている (Fig. 5.6)。Type-3の破断面はType-2と平行であることが多く、また、Type-2に比べ破断面がより連続して形成されている。Type-3がType-2を切る場合が数例観察されるが、この関係が一般的なものかどうかは明らかでない。

## 4. 考察

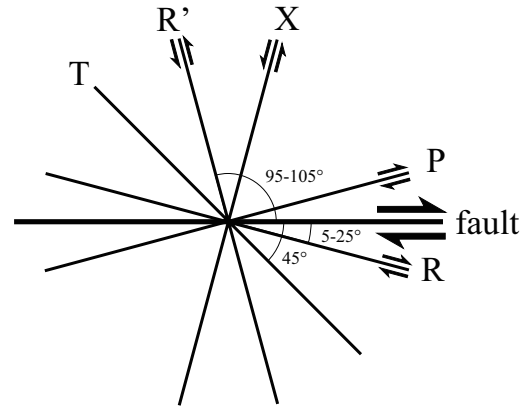
### (1) 北東-南西方向の断層と節理の関係

中国地方には北東-南西方向の断層群が広く形成されており、三段峡地域においても餅ノ木断層、横川断層、板ヶ谷断層の三つの断層の存在が確認されている (今村ほか, 1959)。断層運動は節理を形成する要因の一つであると一般に考えられており、三段峡地域に見られる節理を形成した応力はこれらの断層運動に起因する可能性が強い。

従って、まず、北東-南西方向の断層と節理の関係について検討する。

中国地方に形成されている北東-南西方向の断層群の幾つかは、北西の基盤が北東方向に動くセンスを持つ右横ずれ断層であることが確認されている(佃, 1985; 東元ほか, 1986)。また、今村ほか(1959)は横川断層の滑面上の搔痕よりこの断層が右横ずれ断層であることを指摘している。すなわち、三段峡地域に分布する北東-南西方向の断層は右横ずれ断層であると考えられる。このようなセンスを持つ脆性的な単純剪断では、一般に、剪断の方向と平行な主剪断面とそれに関連してP面、T面、X面、R面、R'面と呼ばれる破断面が形成されることが知られている(例えば、Nicolas, 1984; 大原ほか, 1989)(Fig. 7(1))。三段峡地域では前述のように大きく分けて6つの方向に破断面が形成されているが、このうち幾つかの節理系の方向は、北東-南西方向の右ずれ単純剪断に付随して形成されると推定される破断面の方向とよく一致している。すなわち、NE-SW系、NNW-SSE系、NW-SE系、ENE-WSW系の姿勢の方向は、それぞれ、NE-SW系を断層面と考えた場合の主剪断面、X面、R'面、R面の方向と同じである(Fig. 7(2))。P面、T面に対応する破断面は三段峡地域では特に発達する様子は認められない。P面はNNE-SSWの方向の破断面に相当するが、特に出現頻度の大きいNE-SW系とN-S系の間に挟まれる領域であるため、ステレオネット上では明瞭な集中域として識別できていない可能性がある。また、T面の方向に対応する破断面は、本地域ではE-Wの方向を向くものに相当するが、出現頻度は小さいものの局所的に発達する様子が観察されている。以上のように、節理系の発達する方向についてみた場合、これらの節理系が断層運動によって形成されたものと考えて矛盾はないが、各節理系の破断面の剪断センスを明らかにすることができないため、現段階では単純剪断による二次的な破断面の剪断センスとの比較・検討をすることができなかった。従って、三段峡地域に発達するNE-SW系、NNW-SSE系、NW-SE系、ENE-WSW系の節理は北東-南西方向の右横ずれ断層に伴って形成された可能性が強いが、この考

(1) Pattern of second order fractures associated with a dextral fault



(2) Joint system of Sandankyo area

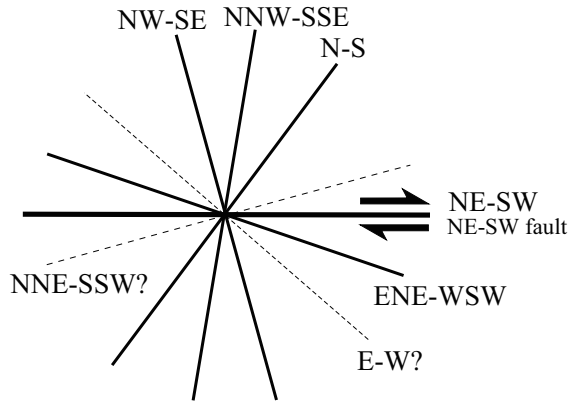


Fig. 7. Comparison of second order fractures associated with a dextral fault (1) and joint system of the Sandankyo area (2). (1) is modified after Nicolas (1984).

えをより確かにするためには各節理系の剪断センスについて検討を進める必要がある。なお、調査地域でもっとも顕著に形成されているN-S系の節理は、その走向の方向から考えて、北東-南西方向の断層運動に起源を求めることができないのは明らかである。

## (2) 節理の微細構造からみたType-1の節理の形成時期

顕微鏡スケールにおける節理の微細組織は、前述したように3つのタイプに区分することができる。Type-1の節理では破断面と破断面の間は石英脈で充填されており、石英脈中の石英結晶が破断面の境界を越えて破断面の外側の母岩である石英粒子中にまで成長している様子が観察される(Fig. 5.2)。石英脈に沿った母岩中では白雲母の結晶が



形成されているが、白雲母は流紋岩質火砕岩の石英脈周辺以外では観察されないため母岩形成時に結晶化したものではなく、それ以降の何らかの地質学的な事象によって形成されたものと判断される。これらのことは石英脈形成時の高温状態がある程度の期間継続していたことを示している。さらに、Type-1に伴う石英脈中の石英粒子には非常に小さな等粒状粒子やサブグレインが形成されており、石英脈の形成後に石英粒子は高温状態かつ差応力下で変形したものと考えられる。以上のことから、石英脈はType-1の破断面とほぼ同時に形成されたものと判断される。Type-1の破断面の走向は南北方向および北東-南西方向にのみ認められ (Fig. 6), N-S系の節理とNE-SW系の節理の一部はType-1として記載した節理の特徴を持つものと考えられる。Type-2, Type-3の節理は野外観察より分類した各方向の節理系の分布に従っており、その中で特に集中して卓越する節理系はない。また、両者の破断面はお互いに平行に形成されていることが多い。従って、Type-2とType-3は同時に形成されたものと考えられる。Type-3は破断面がより連続していたために、岩体が地表に現れて周囲の応力場から開放されたため、あるいは北東-南西方向の断層形成後に応力場が伸張応力場へと変化した時期があったため、破断面が開いて空隙が生じた可能性がある。Type-2およびType-3にはN-S方向の走向を持つものもある。これは、節理の破断面が開かず石英の充填がなかったためにType-1の特徴を示さず、Type-2やType-3として表れたものであると推定される。

顕微鏡下での観察から、Type-1の節理は他のタイプの節理によって切られている (Fig. 5.6)。このことはType-1の節理系が他の節理系よりも前に形成されたことを示している。さらに、Type-1の節理はN-S系およびNE-SW系で特徴的に認められ (Fig. 6), その形成要因を北東-南西方向の断層運動に求めることはできない。以上のことから、Type-1, すなわちN-S系および大部分のNE-SW系の節理の形成時期は、流紋岩質火砕岩の固結時から北東-南西系の断層が形成されたと考えられる更新世までの間のいずれかの時期に相当するものと考えられる。三段峡地域の流紋岩質火砕岩は白

亜紀後期の黒雲母花崗斑岩によって貫入されている。この花崗斑岩は北東-南西方向の断層によって切られており (通産省工業技術院地質調査所, 1985), 北北東-南南西の方向に伸びる分布形態を示す。その分布域に隣接して囲まれた葎ヶ原周辺ではN-S系の節理が特に発達している。このことは、この石英脈の形成とそれに伴う白雲母の結晶化は花崗斑岩の貫入に伴う接触変成作用によって生じた可能性が強いことを示している。従って、広域的な西北西-東南東方向の伸張が起こり、それに伴って、花崗斑岩の貫入とType-1, すなわち、N-S系およびかなりの部分のNE-SW系の節理の形成が生じたものと考えられる。花崗斑岩中にはN-S系の節理が稀にしか認められず、N30°E ~ N60°E, N20°W ~ N50°Wおよび水平方向のものが多く (Fig. 8)。このような節理の分布パターンは、N-S系とNE-SW系に顕著な集中域を示す調査地域全体のパターン (Fig. 3) とは大きく傾向が異なっている。このことは、Type-1が花崗斑岩の貫入と同時にそれよりも前に形成されたことを示しており、N-S系, NE-SW系が花崗斑岩の貫入に伴って形成されたという考えを支持している。

本調査地域および近接地域での節理系の過去の研究例から (吉村・林, 1983, 1989; 吉村,

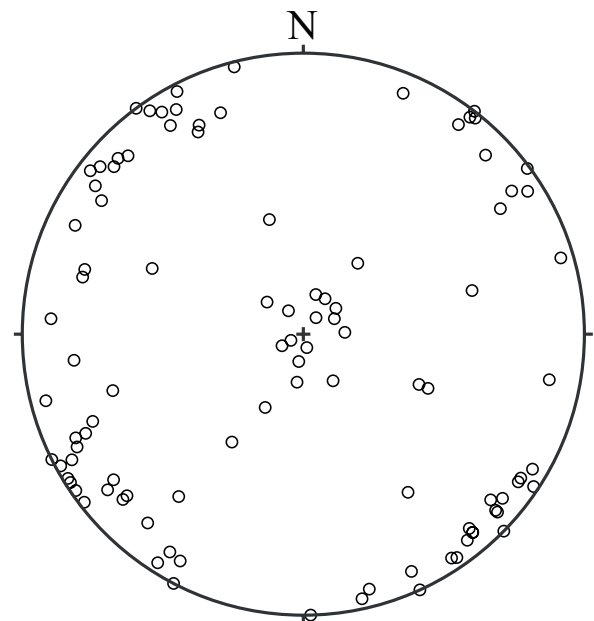


Fig. 8. Poles to joint planes in the granite porphyry, exposed about 1km west of Yoshigahara (100 points, equal area, lower hemisphere).

1997), 本論における6つの節理系はNE-SW系, NW-SE系を中心として, 中国地方に分布する白亜紀~古第三系の火成岩類に広く形成されているものと推定される. 吉村・林(1989)は, 本地域の南西延長上に分布するホルンフェルス化したジュラ紀の堆積岩, 流紋岩質火砕岩, 花崗岩に発達する節理の姿勢を調べ, NW-SE系とNE-SW系が全ての岩石に共通に発達しているがN-S系は流紋岩質火砕岩で特に発達していることを示した. 吉村・林(1983)は花崗岩中にN-S系の節理が主要なせん断面として形成されていることを明らかにし, この花崗岩には花崗斑岩の貫入や節理面に沿って入ってきた石英脈やアプライト脈が認められることを示している. これらの研究結果は, 上述した三段峡地域におけるN-S系とその後に続くNE-SW系・NW-SE系の形成機構と調和的である. Kitagawa & Nishido (1994) と北川ほか(1997)は広島県と島根県に分布する花崗岩および流紋岩中の粘土細脈のK-Ar年代を測定し, その粘土細脈の形成年代が母岩の花崗岩とほぼ同じか, あるいはやや若い年代(31-80 Ma)であることを明らかにし, これらが花崗岩形成末期の広域応力下での熱水活動によって生成されたものと推定している. このような粘土細脈の形成は, 本論のType-1節理の形成機構・時期と調和的であり, 同じ地質学的事象で形成された可能性が高い.

以上のように, 三段峡にみられる節理群の形成過程は単独の地質学的事象によって説明することは難しく, 形成時期の異なる少なくとも二回の変形運動を受けて形成されたものと判断される. 初期の節理の形成は白亜紀後期の流紋岩質火砕岩堆積直後の花崗斑岩の貫入に伴うもので, 西北西-東南東方向の伸張応力場が生じ, N-S系およびNE-SW系の節理が形成されたものと判断される. 後期の節理の形成は, 現状で得られるデータからは白亜紀後期から更新世の北東-南西方向の断層運動によるものである可能性が高く, この断層運動によってNE-SW系, ENE-WSW系, NW-SE系, NNW-SSE系の4つの節理系が形成されたものと考えられる. 白亜紀後期の花崗斑岩の貫入および北東-南北方向の断層は中国地方全域で認められ

るものであり, 6つの節理系も本調査地域より広い範囲において確認される. 従って, 中国地方全域の節理の形成過程をこのモデルで説明できる可能性が高い.

## 5. まとめ

(1) 三段峡地域には節理が顕著に発達しており, その発達する方向には規則性が認められる. これらの節理は, その姿勢の分布から, 便宜的に, N-S系, NE-SW系, ENE-WSW系, NW-SE系, NNW-SSE系, 水平系の6つの節理系に区分することができる. 節理面の間隔は一般に20 cmから80 cm程度で変化するが, N-S系, NE-SW系がもっとも出現頻度が高く, 数cm程度の節理面の間隔をもって密に発達することがある.

(2) 顕微鏡スケールにおける節理の微細組織は, 便宜的に, 3つのタイプに分けられる. Type-1は破断面と破断面の間を充填する石英脈の組み合わせとして特徴づけられる. このタイプの節理の形成に伴い白雲母が形成されている. Type-2の節理は空隙が生じていない微細な破断面によって特徴づけられる. Type-3の節理は空隙の生じた破断によって特徴づけられている.

(3) Type-1の節理はN-S系およびNE-SW系の節理に特徴的に認められる組織であり, Type-2・Type-3は節理系に依存せずに形成されている. Type-1, すなわち, N-S系およびNE-SW系の節理はその微細組織や産状から判断して, 花崗斑岩の貫入に伴う伸張応力によって形成されたものと考えられる. Type-2・Type-3 (NE-SW系, ENE-WSW系, NW-SE系, NNW-SSE系)はType-1 (N-S系, NE-SW系)の形成の後に, 北東-南西方向の断層運動によってつくられた可能性がある.

(4) NE-SW系の節理に関しては顕微鏡下では, Type-1, Type-2, Type-3の全てのタイプのものがみられ, その形成は, 花崗斑岩の貫入と北東-南西方向の断層運動との両方に関ったものであると考えられる.

## 6. 文献

- 藤井幸泰, 2000, 中部日本東濃地方, 土岐花崗岩中の割れ目解析. 地質学雑誌, 106, 249-263.
- ・堀 伸三郎, 2005, 三次元写真測量と地質学的観察を用いた那珂湊砂岩中の割れ目形成過程の解析. 深田地質研究所年報, 6, 137-144.
- 林 武広・鈴木盛久・今岡照喜, 1995, 広島県北西部の白亜紀火成岩類. 日本地質学会102年学術大会見学旅行案内書, 133-155.
- 東元定雄・高橋祐平・牧本 浩・脇田幸治・佃 栄吉, 1986, 大竹地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所.
- 平林照雄, 1965, 松本盆地西側の花崗岩の節理系と断層系. 地質学雑誌, 71, 18-31.
- 今村外治, 1959, 中国山地の地質外観 (比婆山・道後山・船通山). 「中国山地国定公園候補地学術調査報告」, 17-28.
- ・楠見 久・中野光雄・吉村典久・岡本和夫, 1959, 三段峡・八幡高原地域を主とするいわゆる断層谷の地質学的研究. 「三段峡と八幡高原(総合学術調査研究報告)」, 広島県教育委員会, 64-83.
- 飯泉 茂・沢田順弘・先山 徹・今岡照喜, 1985, 中国・四国地方の白亜紀から古第三紀火成活動-火成岩類の対比を中心として-. 地球科学, vol. 39, 372-384.
- 木村 学, 1980, 節理系の解析と褶曲の形成機構—北海道東部二又地域を例として—. 地質学雑誌, 86, 105-118.
- Kitagawa, R. and Nishido, H., 1994, Orientation Analysis and Formation Ages of Fractures Filled with Clay Minerals (Clay Veins) in Hiroshima and Shimane Prefectures, Southwest Japan. Jour. Japan Soc. Eng. Geol., Vol. 35, No. 2, 14-22.
- 北川隆司・西戸裕嗣・井上 基・新見 健・松井章拓, 1997, 活断層の断層内粘土鉱物のK-Ar放射年代—己斐断層と大竹(小方-尾瀬)断層—. 応用地質, Vol. 38, No. 5, 299-303.
- 丸山大悟・小嶋 智・大谷具幸, 2006, ボーリングコアとボアホールテレビ画像を利用した岐阜県東濃地方, 土岐花崗岩の割れ目解析. 応用地質, 47, 13-22
- Nicolas, A., 1984 ed., Principles of Rock Deformation. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 208p.
- 大原 隆・西田 孝・木下 肇, 1989 ed., 地球の探求, 朝倉書店, 東京, 226p.
- 岡村義彦, 1965, 山口県徳山市黒髪島花崗岩体の構造. 広島大学地学研究報告, 第14号, 307-316.
- 多井義郎, 1972, 中新世以降における中国地方の地殻変動について ---Structure Contour Mapを中心として---. 広島大学教養部紀要III, 自然科学, 5巻, 25-34.
- 佃 栄吉, 1985, 岩国活断層—その概要と発達史—. 吉田博直先生退官記念論集, 245-253.
- 通産省工業技術院地質調査所, 1985, 20万分の1地質図広島. 地質調査所.
- 吉村典久, 1997, 戸河内町史—自然編. 戸河内町, 広島, 105-119.
- ・林 武広, 1983, 滝山峡における花崗岩の節理. 「滝山峡(総合学術調査研究報告)」, 滝山峡総合学術調査委員会, 広島, 131-153.
- ・-----, 1989, 太田川流域の侵食小起伏面と断層系. 「立岩貯水池周辺地域の自然(自然環境調査報告)」, 中国電力株式会社, 広島, 15-32.