

日向峠-小笠木峠断層周辺の早良花崗岩中に発達する断裂系

Fracture system in the Sawara Granite along the Hinatogote - Okasagitogote Fault, northern Kyushu

柚原雅樹* 宮崎崇大朗*
 鮎沢潤* 西瑛莉子*
 清浦海里* 寺本慶*

Masaki Yuhara*, Sotaro Miyazaki*,
 Jun Aizawa*, Eriko Nishi*,
 Kairi Kiyoura* and Kei Teramoto*

平成26年12月1日受理

* 福岡大学理学部地球圏科学科
 Department of Earth System Science, Faculty of Science,
 Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku,
 Fukuoka 814-0180, Japan

Corresponding author; M. Yuhara,
 yuhara@fukuoka-u.ac.jp

Abstract

The Hinatogote - Okasagitogote Fault is a Northwest-trending 28 km-long mainly left-lateral slip fault located on the northern Kyushu (HERP, 2013). We described cross cutting relations of fractures along the fault in the Sawara Granite, in order to reveal the formation history of the fracture system. The fractures in the surveyed area are classified by their orientations into four types: NNW-SSE-oriented high-angle fractures, NW-SE-oriented high-angle fractures, ENE-WSW-oriented high-angle fractures, and low-angle fractures. The fractures are further divided into three groups: minor faults associated with cataclasite, minor faults associated with fault gouge, and joints accompanying hydrothermal veins. Based on the crosscut relationships of these fractures and the mineralization along joints, the formation process of the fractures related to activity of the Hinatogote - Okasagitogote Fault involves at least five stages. At the first stage, the minor faults associated with cataclasite were formed. At the next stage, laumontite was precipitated along the opening of the joints. At the third stage, the minor faults associated with fault gouge were formed. Stilbite was precipitated in spaces formed by the opening of joints following the third stage. At the last stage, the minor faults associated with fault gouge were generated.

Key Words: Hinatogote - Okasagitogote Fault, Fracture system, Sawara Granite, Cataclasite, Fault gouge.

はじめに

福岡市ならびにその周辺地域には、警固断層帯や宇美断層などの活断層の存在が知られている (Fig.1). 警固断層帯南東部については、2005年3月20日に発生した2005年福岡県西方沖の地震の震源とその余震域で示される地震断層の南東延長に位置し、 ΔCFF (Coulomb Failure Function: クーロン破壊関数) が増加する地域にあたる (産業技術総合研究所, 2005) ことから、同断層帯の長期評価の精度と確度を上げるための調査・検討が数多く行われてきた (例えば、文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学, 2014).

一方、福岡市周辺地域の活断層の調査により、日向峠-小笠木峠断層の存在が示された (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2013 など; Fig.1). 日向峠-小笠木峠断層は、福岡県糸島市大門から佐賀県鳥栖市神辺町にかけて約28kmにわたり分布する、北西-南東走向、一部に南西側隆起成分を伴う左横ずれ断層であり (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2013), 地形ならびに地質調査によって、本断層は北西に分布する糸島沖断層群および前原断層に連続する活断層帯を形成する活動度C級の活断層であるとされた (下山ほか, 2013). 日向峠-小笠木峠断層の分布域には、基

盤岩として白亜紀花崗岩類がひろく露出している (Fig.1). 地下深部で形成され、現在地表に露出している深成岩体は、その上昇過程で震源域を通過していることから、断層活動に伴う形成時期や形成条件の異なる変形構造が連続的に記録されていることが期待される。それらの変形構造の解析により断層の形成発達史全体を解明することが可能である。これまでの研究により、断層や節理を通路とした熱水活動が、北部九州の広範囲において起こった可能性が指摘されている (柚原ほか, 2003, 2004b, 2005a, 2005b, 2006a, 2006b, 2007; Yuhara et al., 2013; 佐古・柚原, 2004; Fig.1). 本研究では、室見川流域 (Fig.1) において、日向峠-小笠木峠断層周辺に分布する早良花崗岩中に発達する断裂系の記載を行い、断裂系の形成史の解析を行った。

地質概略

調査地域には、北部九州白亜紀花崗岩類 (唐木田, 1985) に属する早良花崗岩が広く分布し、更新世の段丘堆積物である仲原礫層、須崎層、大坪砂礫層と、阿蘇4火砕流堆積物、沖積層である住吉層がこれを不整合に覆う (久保ほか, 1993; 唐木田ほか, 1994; Fig.1). 早良花崗岩は糸島花崗閃緑岩に貫入し、粗粒岩相 (主

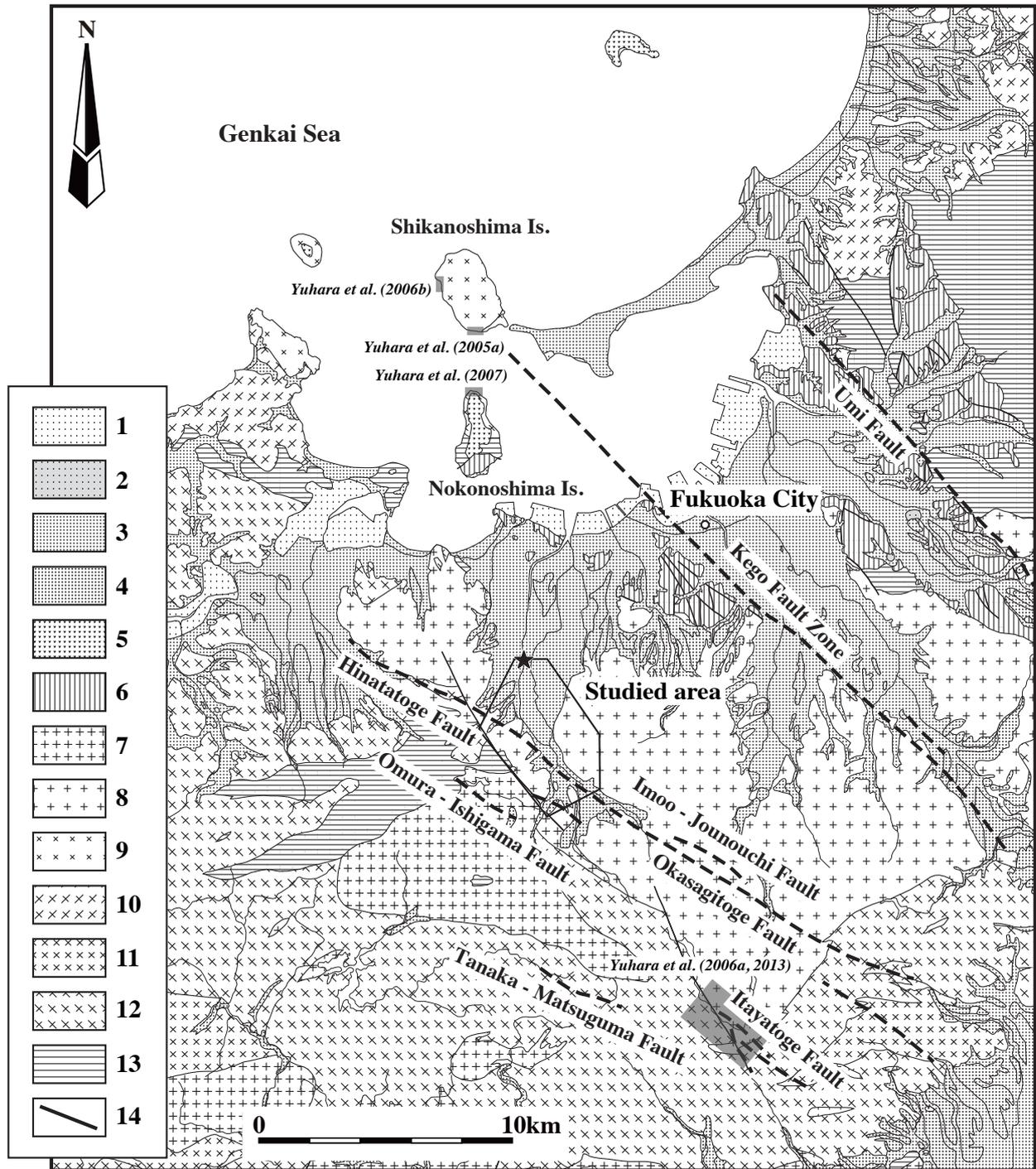


Fig.1. Position of the Hinatogoto - Okasagitoke Fault based on the Headquarters for Earthquake Research Promotion (2013). Partly modified from Kubo et al. (1993). Solid star indicates the location of Figure 6. 1: reclaimed land, 2: spoil-heap, 3: Holocene sediments, 4: Pleistocene sediments, 5: Neogene volcanic rocks, 6: Paleogene sedimentary rocks, 7: Saga Granite, 8: Sawara Granite, 9: Shikanoshima Granodiorite, 10: Kitazaki Granodiorite, 11: Fukae Granite, 12: Itoshima Granite, 13: Sangun metamorphic rocks, 14: fault.

岩相)と細粒岩相に分けられる(唐木田ほか, 1994)。前者は、岩体の主部を構成しており、後者は主に岩体の周縁部に分布する。両者は、漸移関係にある場合や、細粒岩相が岩脈として主岩相を貫く場合がある(唐木田ほか, 1994; 川野・柚原, 2008)。厚さ最大60cmの

ペグマタイトや厚さ最大6cmの石英脈に貫入される。主岩相は、粗粒斑状黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩で、一般的に塊状であるが、NW走向で高角な弱い面構造が発達する部分もある。斑晶のカリ長石は最大長径が数cmに達する。細粒岩相は、細粒～中粒塊状黒雲母花崗

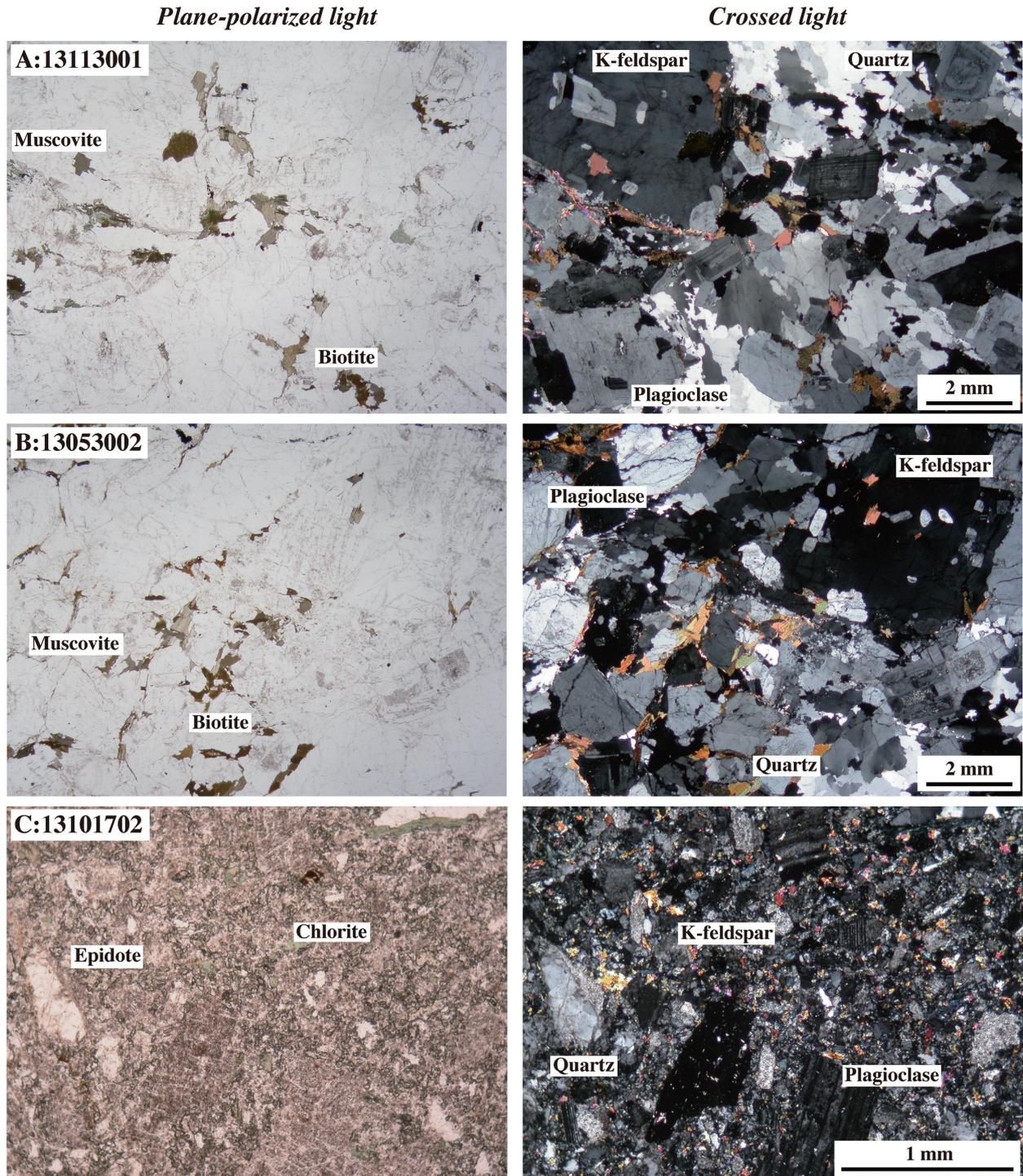


Fig.2. Photomicrographs of the Sawara Granite (A and B) and cataclasite (C).

岩～花崗閃緑岩である。本調査地域には、主に主岩相が分布する。本花崗岩については、 114 ± 11 MaのRb-Sr全岩アイソクロン年代、 105.2 ± 2.3 MaのRb-Sr全岩-鉍物アイソクロン年代 (大和田ほか, 1999), 主岩相から 96.6 ± 5.9 MaのRb-Sr全岩アイソクロン年代、 88.3 ± 0.5 MaのRb-Sr全岩-鉍物アイソクロン年代、細粒相から 101.2 ± 10.9 MaのRb-Sr全岩アイソクロン年代 (川野・柚原, 2008), 主岩相から 74.1 ± 3.8 Ma, $73.6 \pm$

4.1 Maのジルコンフィッシュントラック年代、 5.4 ± 0.6 Ma, 4.7 ± 0.6 Maの燐灰石フィッシュントラック年代、細粒相から 83.1 ± 3.6 Ma, 62.0 ± 4.0 Maのジルコンフィッシュントラック年代、 6.3 ± 0.5 Ma, 3.8 ± 0.5 Maの燐灰石フィッシュントラック年代 (Yuhara et al., 2013) が報告されている。

早良花崗岩の岩石記載

本岩は、鏡下では斑状組織を呈し (Figs.2A, B), 主としてカリ長石, 石英, 斜長石, 黒雲母, 白雲母からなり, 副成分鉱物として, 不透明鉱物, 燐灰石, 褐れん石, ジルコンを含む. 斑晶は自形性の強いカリ長石からなり, 長径最大2.5cmに達する. カリ長石は斜長石, 黒雲母, 燐灰石, ジルコンを包有する. 石基のカリ長石は他形で, 他鉱物間を充填し, 最大5mmに達する. 斜長石は自形~半自形で累帯構造を示し, 最大4mmに達する. 斜長石は石英, 黒雲母, 不透明鉱物,

燐灰石を包有する. 斜長石の一部はイライト化している. 斜長石とカリ長石の境界部にはミルメカイトが認められる場合がある. 石英は他形で波動消光を示し, 部分的に動的再結晶が認められる場合がある (Fig.2B). また, 斜長石, 黒雲母, ジルコン, 不透明鉱物を包有し, 最大3mmに達する. 黒雲母は褐色~赤褐色, 自形から他形で, 最大3mmに達する. 黒雲母は燐灰石, 不透明鉱物, ジルコンを包有する. 黒雲母の一部は緑泥石化している. 白雲母は自形~半自形で, 最大2mmに達する.

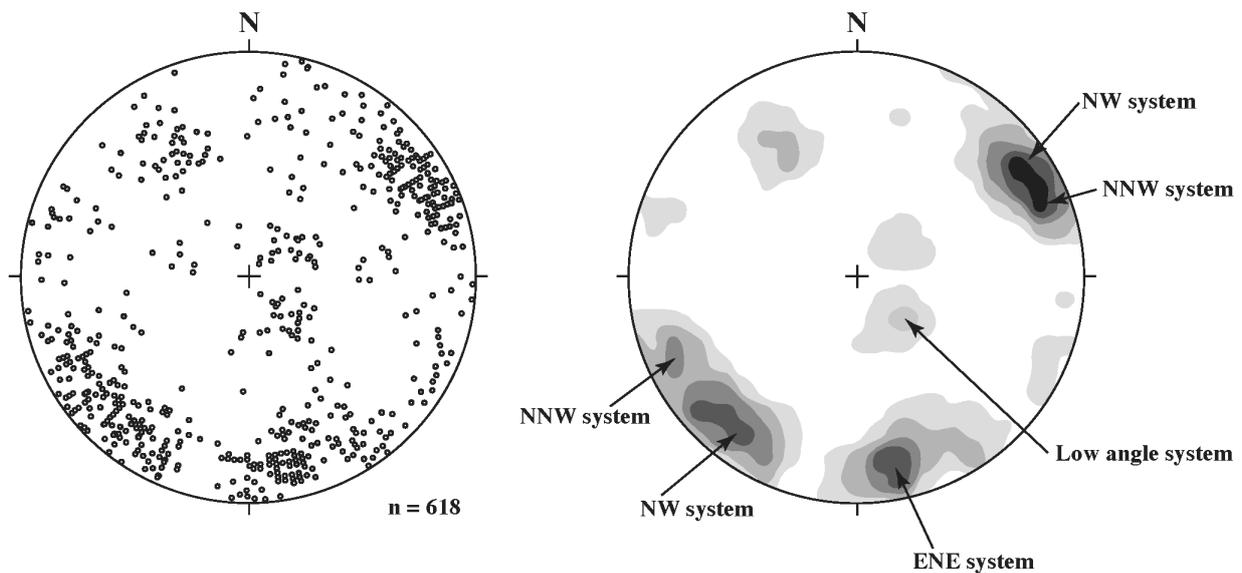


Fig.3. Attitudes of fractures in the Sawara Granite. Each plot is projected by equal-area lower hemisphere.

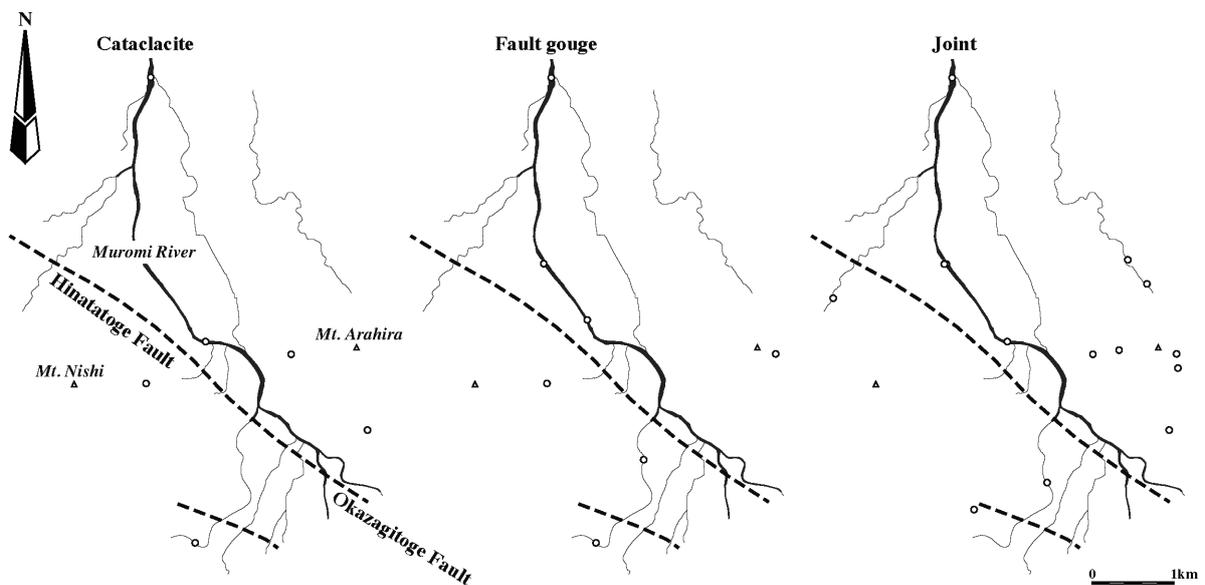


Fig.4. Distributions of fractures.

断裂の記載

本調査地域の早良花崗岩には、NNW-SSE 走向で高角な断裂 (NNW 系)、NW-SE 走向で高角な断裂 (NW 系)、ENE-WSW 走向で高角な断裂 (ENE 系) および低角で西に傾斜する断裂が卓越する (Fig.3)。本論文では、それらを NNW 系断裂、NW 系断裂、ENE 系断裂、低角断裂と呼ぶ。NW 系断裂は日向峠-小笠木峠断層の一般走向 (N55°W: 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2013) と類似する。さらに、これらの断裂はカタクレーサイトを伴う小断層、断層ガウジを伴う小断層、節理に区分される。これらの断裂は、調査

地域全域にわたり分布している (Fig.4)。

断層ガウジならびに節理に伴われる鉱物脈について、X 線回折装置 (RINT2200HF, リガク) を用いて、構成鉱物の同定を行った。Cu 管球 (モノクロメーターで単色化) を用い、印加電圧と電流はそれぞれ 30 k V, 10 mA, 走査速度は 2°/min, 走査範囲は 4° から 64° とした。代表的な試料についての X 線回折パターンを Fig.5 に、同定結果を Table 1 に示す。

田村大橋付近の室見川河床 (Fig.1 の星印) には早良花崗岩が広く露出している (Fig.6A)。ここでは、他露頭よりも厚く連続性の良いカタクレーサイトや断層ガウジが分布しており (Fig.7)、これらの断裂の相互関

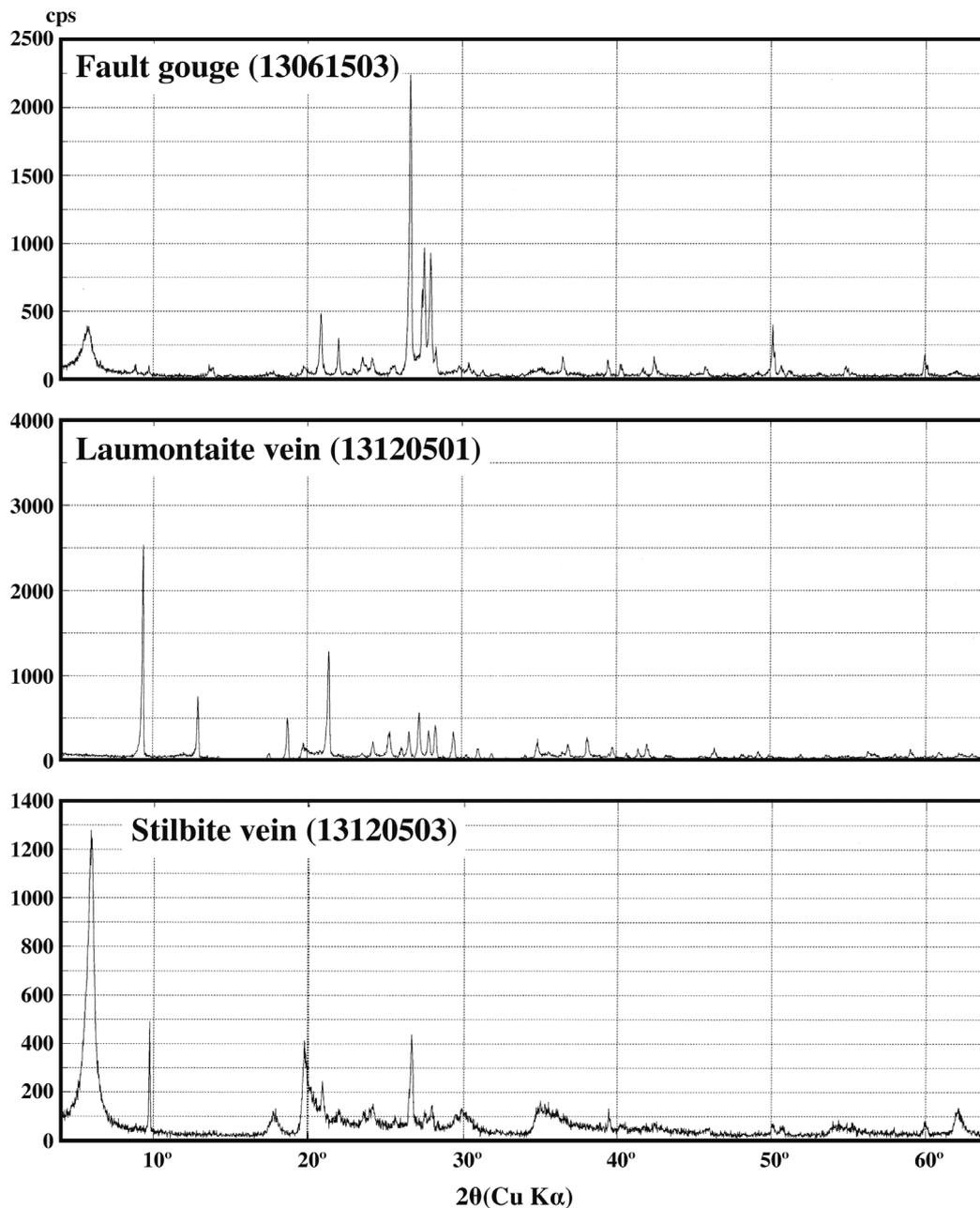


Fig.5. X-ray powder diffraction patterns of fault rocks.

係の観察が可能である。NNW系小断層とNW系小断層は、互いに分岐・収れんしており、同時に形成されたと考えられる。カタクレーサイトを伴う小断層沿いには、これとほぼ平行な断層ガウジを伴う小断層が形成されており、後者が前者を切る。

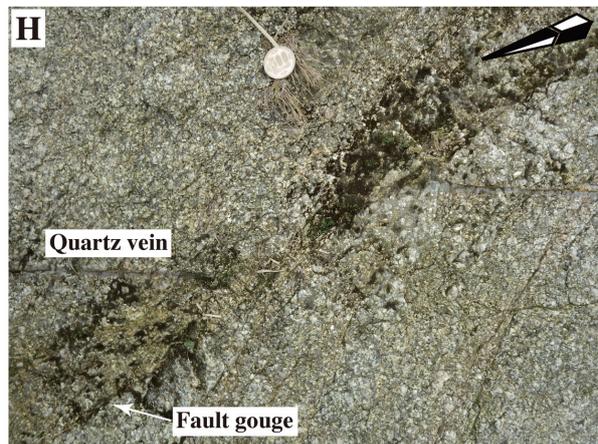
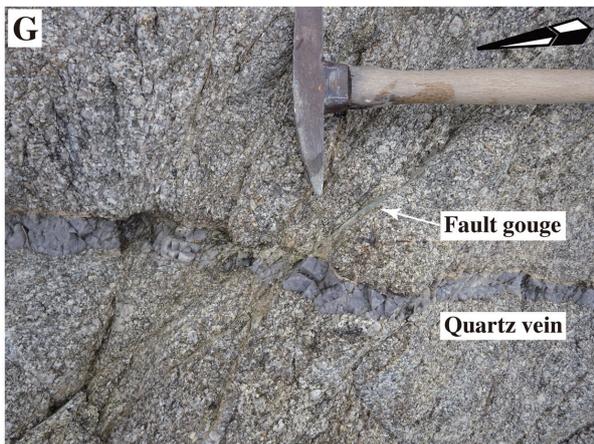
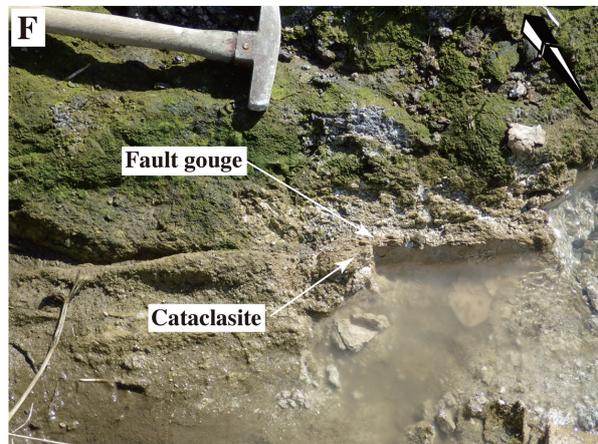
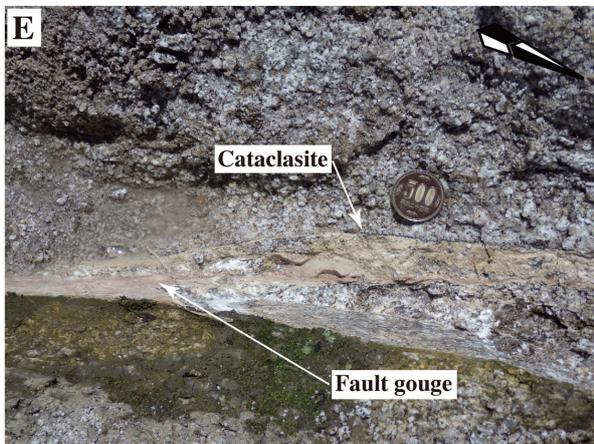
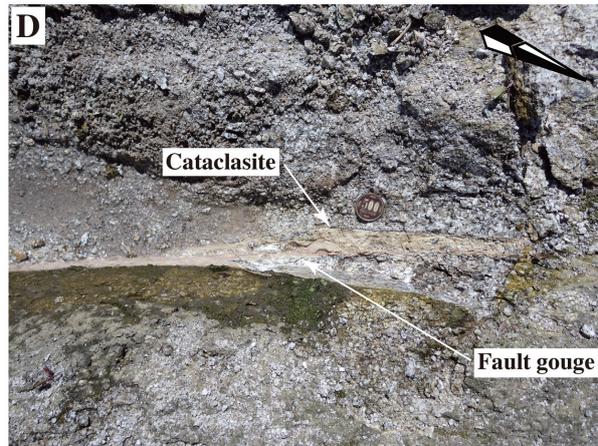
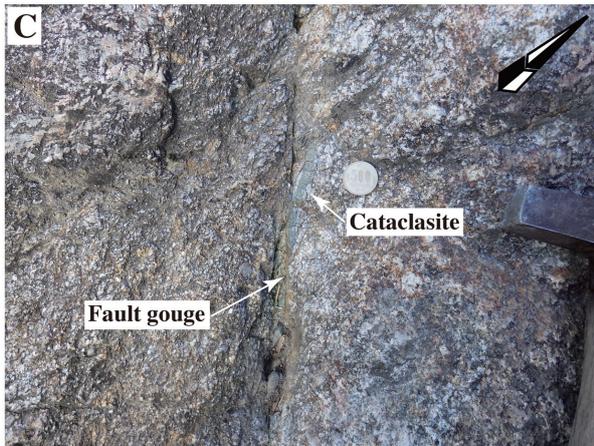
カタクレーサイトを伴う小断層はNW系に卓越するが、NNE走向のものも認められる (Fig.8)。小断層の間隔は、5~100cmである。カタクレーサイトは厚さ15cm以下で、野外では淡緑色、灰色、白色を呈し (Figs.7B, C)、緑れん石、緑泥石、源岩の残存鉱物と考えられる石英、斜長石、カリ長石やそれらの集合体と細粒基質から構成される (Fig.2C)。細粒基質にはイライトやスメクタイトも含まれ、さらに束沸石が含まれる場合もある (Table 1)。この束沸石は、カタクレー

サイト中の薄い鉱物脈を形成しているものであると考えられる。条線 (Figs.9A, B) にはSSE方向に低角にプランジするものとNEあるいはSW方向に高角にプランジするものがある (Fig.10)。断層面に垂直で、条線に平行に切ったXZ研磨面 (Fig.11) では、基質物質の配列と破碎岩片の長軸方向の定向配列で規定されるP面、カタクレーサイト帯の延びの方向に平行で、基質物質の配列によって規定されるY面、Y面に対して低角~中角度で斜交し、基質物質の配列によって規定されるR₁面が認められる。複合面構造の幾何学的配列 (高木・小林, 1996) から、左ずれの剪断運動が推定される。露頭スケールで観察される面構造と研磨片で観察される複合面構造との関係は、NW系小断層の方向がY面の方向に、NNW系小断層の方向がP面の方

Table 1. Mineral assemblage of fault rocks.

	Sample No.	quartz	plagioclase	K-feldspar	biotite	chlorite	illite	smectite	laumontite	stilbite
cataclacite	13101005	◎	○	△	△		△			
	13101702	○	◎	△		△	△			
	13103108	○	○	△				△		◎
fault breccia	13103104	◎	○	△	△			○		
fault gauge	13061503	◎	○	△	△			○		
	13061506	◎	△	△				○		
	13061507	○	△					△	△	
	13082904	◎	◎						○	△
	13082905	○	◎		△		○	△	○	
	13101002	◎	△	△				○		
	13101004	◎	○	△	△				△	
	13101701	○	○	△				△	◎	
	13103101	◎	△	△				△		△
	13103102	◎	○	△				△		
	13103103	◎	○	△				○		
	13103105	◎	○	△				○		
	13103106	◎	△	△				○		△
	13103109	◎	◎	△					△	△
	13110504	◎	○	△					△	△
13120502	◎	△	△	△			○	△		
mineral vein in joint	13053003								◎	
	13103110		△						◎	△
	13110503	○	△	△					◎	
	13113003		△						○	
mineral vein in fault gauge	13101003								○	
	13120501	△	△						◎	
	13120503	○	△					○		○
	13120504	△	△						◎	

◎: abundant, ○: medium, △: rare.



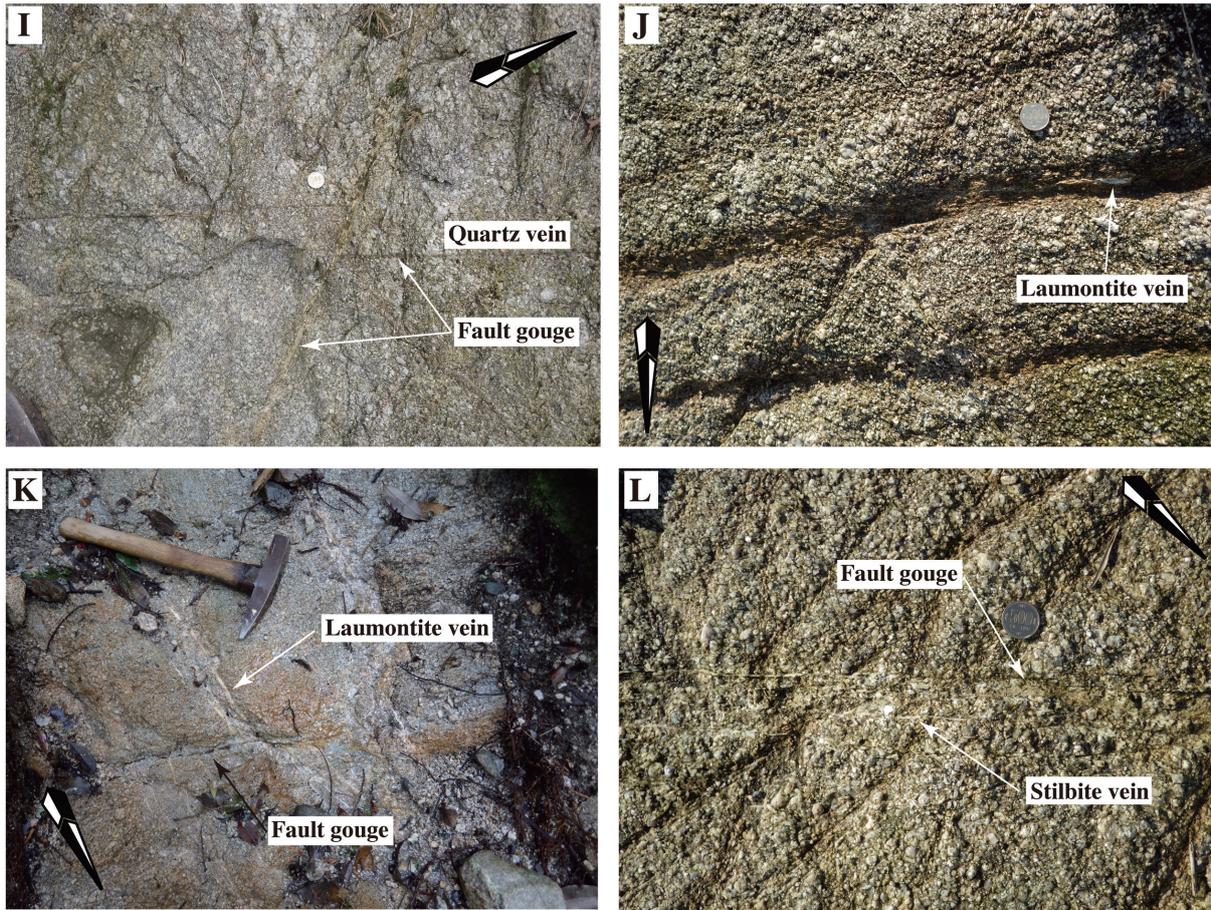


Fig.6. Photographs showing the outcrop at solid star in Figure 1 (A) and field occurrence of fractures in the Sawara Granite (B-H). B: NNW-SSE-oriented minor fault associated with cataclasite, C, D, E, F: NW minor fault associated with fault gouge cutting NW minor fault associated with cataclasite, G, H: NNW and NW minor fault associated with fault gouge cutting quartz vein, I: NW minor fault associated with fault gouge cutting NE-SW-oriented minor fault associated with fault gouge and quartz vein, J: laumontite vein in fault gouge of ENE minor fault, K: NW minor fault associated with fault gouge cutting laumontite vein, L: stilbite vein in fault gouge of NW minor fault cutting ENE minor fault associated with fault gouge.

向に対応している。

断層ガウジを伴う小断層は、NNW系、NW系およびENE系が卓越するが、低角のものも認められる (Fig.8)。さらにNE走向で中角のものも比較的多い。小断層の間隔はNNW系で5~60cm、NW系で4~140cm、ENE系で2~110cm、低角なもので5~35cm、NE走向のもので5~130cmである。断層ガウジは厚さ最大10cmに達し、野外では呈紫灰色、明灰色、白色を呈する。断層ガウジは主に源岩の残存鉱物、イライト、スメクタイトから構成されるが、濁沸石や東沸石が含まれる場合もある (Table 1)。断層ガウジを伴う小断層は、石英脈、カタクレサイトを伴う小断層や濁沸石脈や東沸石脈を切り (Figs.6C, D, E, F, K)、多くが水平隔離最大17cmの左横ずれを示す (Figs.6C, G, H, K) が、水平隔離最大8cmの右横ずれを示す場合もある (Fig.6I)。NNW系とNW系の断層ガウジを伴

う小断層は、互いに分岐・収れんする場合が多いが、NW系小断層がNNW系小断層を左横ずれのセンスでずらす場合もある。また、NW系小断層は、NE走向の小断層を左横ずれのセンスで、ENE系小断層はNW系小断層を左横ずれのセンスでずらす。断層ガウジ中には、厚さ最大2cmの濁沸石脈や東沸石脈が認められる (Figs.6J, L)。断層ガウジを伴う小断層の条線 (Figs.9C, D) は水平から低角にプランジすることが多いが、高角にプランジする場合もある (Fig.10)。

節理は、NW系、ENE系および低角で西に傾斜するものが卓越する (Fig.8)。節理の間隔はNW系で5~105cm、ENE系で3~170cm、低角なもので5~30cmである。厚さ3mm以下の鉱物脈を伴う場合がある。カタクレサイトを伴う小断層や断層ガウジを伴う小断層を切る (Fig.7L)。高角な節理には、主に濁沸石からなる鉱物脈が伴われることが多いが、東沸石を主体

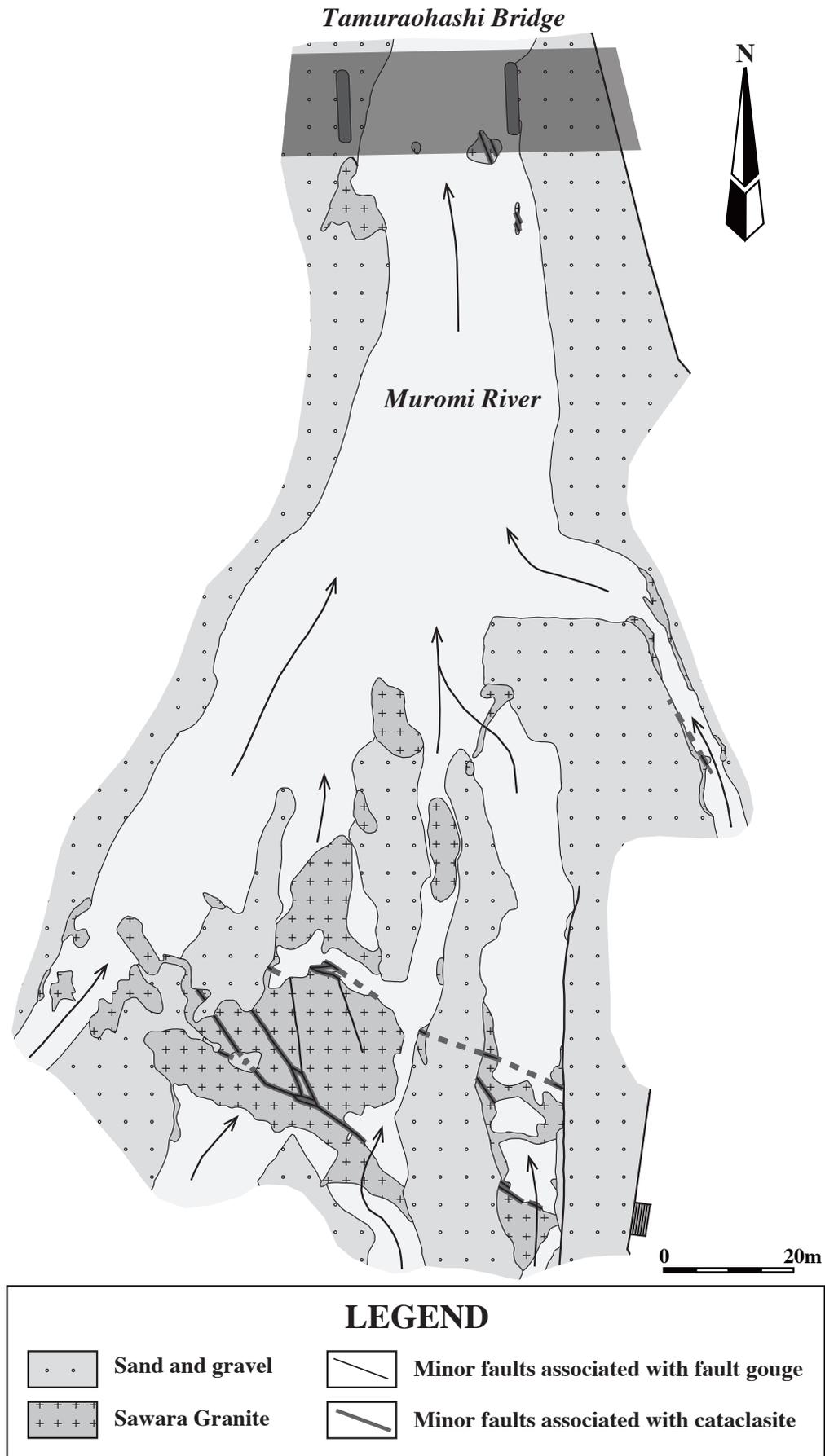


Fig.7. Route map along the Muromi River at solid star in Figure 1.

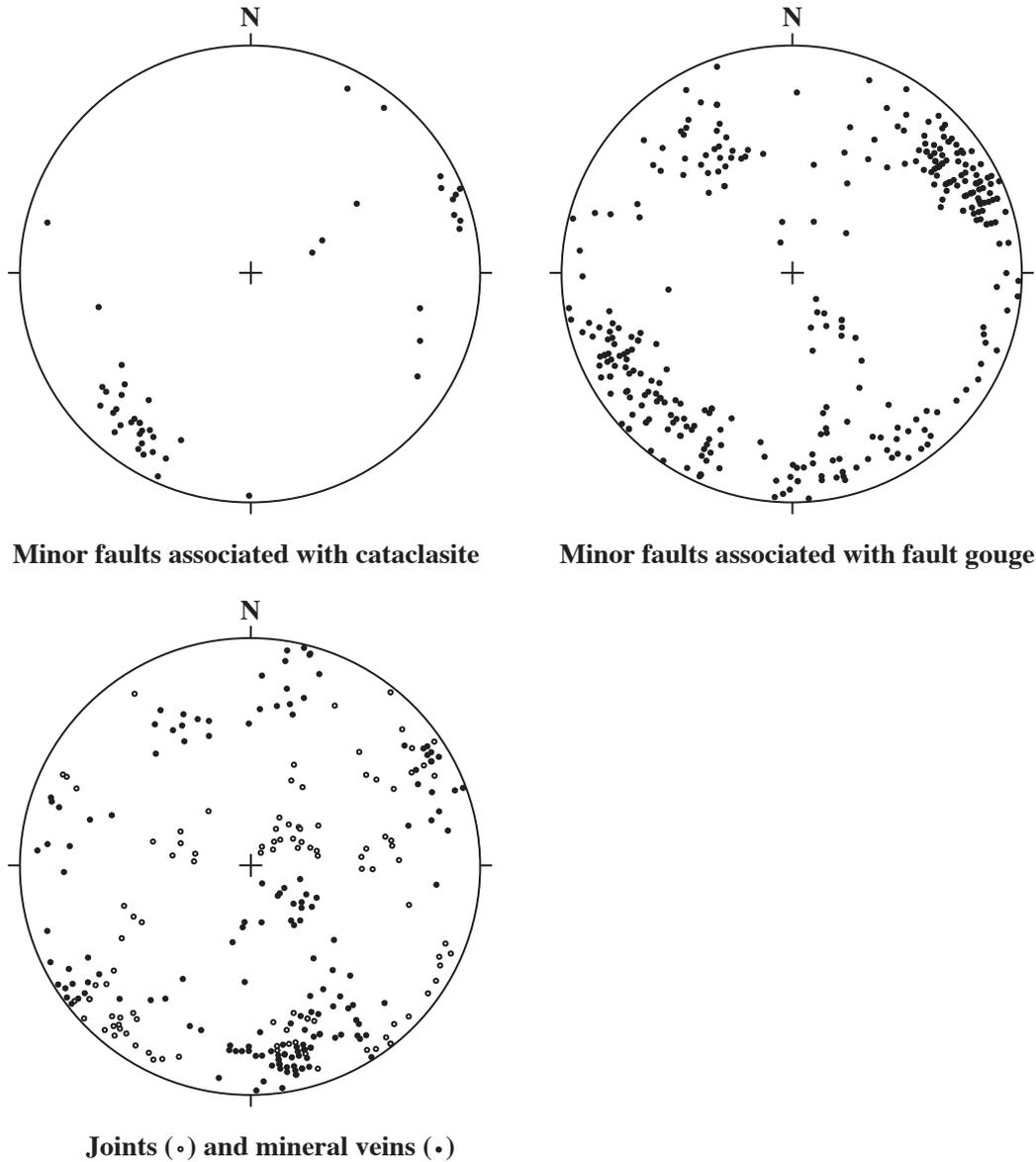


Fig.8. Attitudes of fractures are shown in equal-area lower hemisphere projections.

とする鉱物脈も認められる (Table 1).

岩石ならびに断層ガウジの化学組成

断層活動に伴う元素移動の予察的な解析のため、早良花崗岩 9 試料 (うち 5 試料は風化しているもの)、断層角礫 1 試料、断層ガウジ 8 試料について、福岡大学理学部の蛍光 X 線分析装置 (ZSX100e, 理学電機工業) を用いて、主成分および微量元素の測定を行った。試料調製および測定方法は、柚原・田口 (2003a, b)、柚原ほか (2004a)、高本ほか (2005) に従った。測定結果を Tables 2, 3 に示す。一部の岩石試料採取時には、帯磁率計 (WSL-C, 株式会社田中地質コンサルタント) を用いて、帯磁率の測定を行った。測定は露頭における試料採取部分を含む新鮮な岩石が露出している複数

点で行い、その平均値を岩石の帯磁率とした (Table 2)。

風化した早良花崗岩の SiO_2 含有量は 69.7~72.5wt.% であり、これまでに報告されている早良花崗岩の組成範囲 (柚原・祐徳, 2005; 川野・柚原, 2008; 本研究) 内にあり (Fig.12), 風化に伴う大きな組成変化は認められない。断層角礫や断層ガウジの強熱減量 (L.O.I.) は、2.6~9.8wt.% と、早良花崗岩に比べて極めて高い (Tables 2, 3) ため、各元素の挙動をそのまま比較することはできない。そこで、強熱減量が早良花崗岩の平均値 (0.56wt.%) になるように補正した値を用いた。断層角礫および断層ガウジは、多くの元素で早良花崗岩の組成範囲内にあるが、 Al_2O_3 , MgO , Y にやや富み、 Na_2O や V にやや乏しい傾向がある。したがって、断層ガウジ形成に伴う元素の移動があったことが示唆

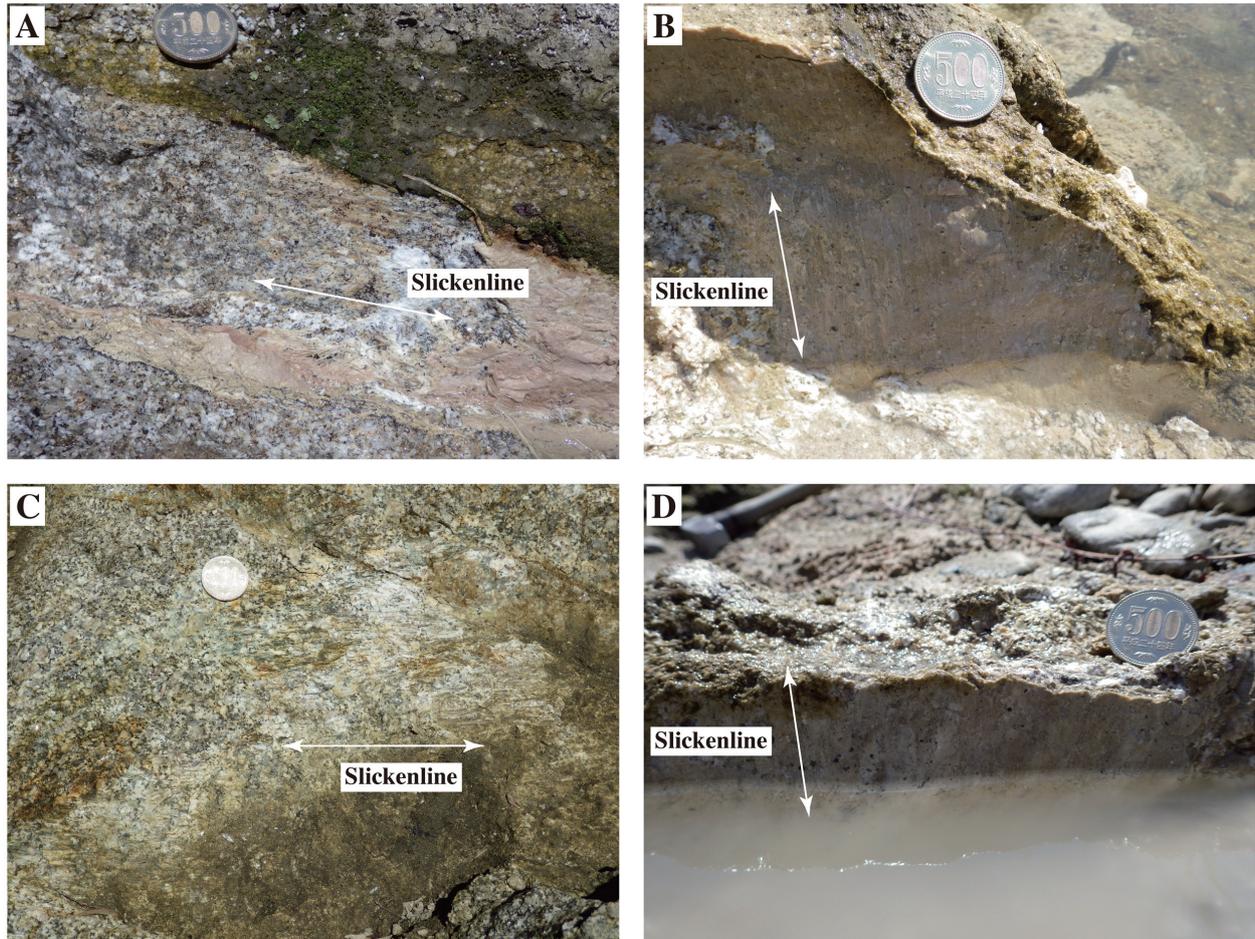


Fig.9. Photographs of slickenlines. A, B: slickenline on the surface of minor fault associated with cataclasite, C, D: slickenline on the surface of minor fault associated with fault gouge.

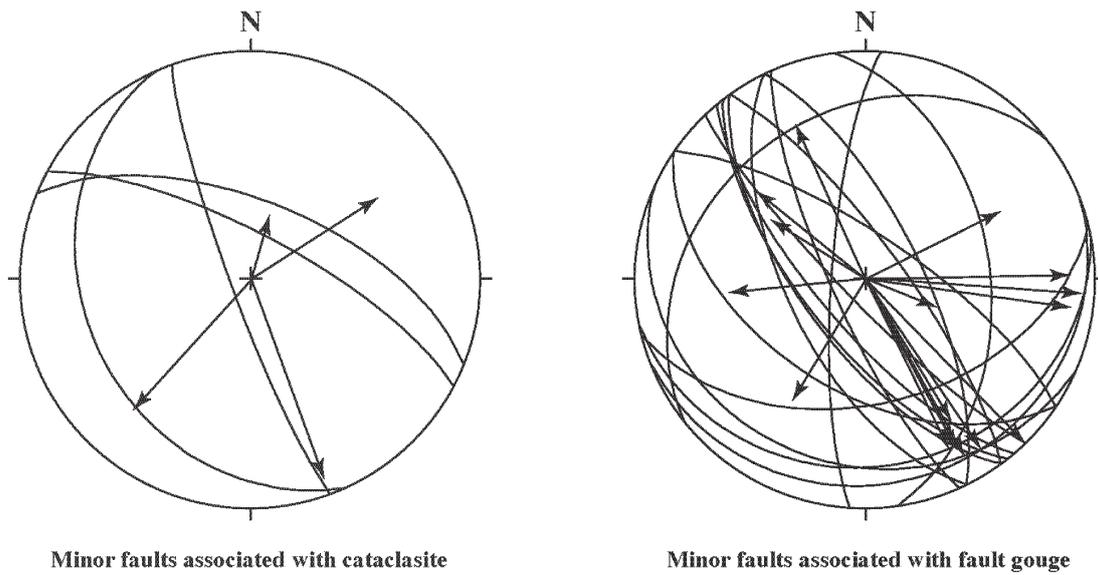


Fig.10. Attitudes of slickensides and slickenlines on the surface of minor faults are shown in equal-area lower hemisphere projections.

13061501



13061502

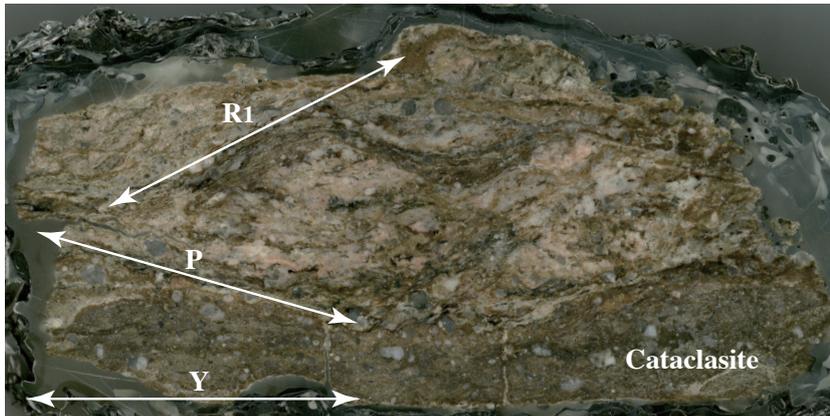


Fig.11. Photographs of composite planar fabric on XZ plane of cataclasite.

される。しかしながら、断層ガウジ中には鉱物脈起源の鉱物も含まれているため、断層活動に伴う元素移動のより詳細な解析のためには、ガウジの他、鉱物脈等も含めた元素分析の必要があろう。

本研究における帯磁率の単位は、SI unit である。3.0 × 10⁻³ SI unit は、およそ 100 × 10⁻⁶ emu/g に相当する（上野, 1987; Ishihara, 1990）。早良花崗岩の帯磁率は、3.1~3.9 × 10⁻³ SI unit であり（Table 2）、Ishihara (1990) および Ishihara et al. (1995) によって示された SiO₂ 含有量を踏まえたマグネタイト系列とイルメナイト系列の区分によると、マグネタイト系列に分類される。

考 察

調査地点に分布する断裂には様々な断層岩および鉱物脈が伴われ、それらには明らかな切断関係が存在す

るため、同時期に形成されたものではないと考えられる。また、NW系小断層は日向峠-小笠木峠断層の一般走向と類似するため、これと分岐・収れんするNNW系小断層は同断層の活動に関連して形成されたと考えられる。

各断裂の切断関係から、次のような5つのステージからなる断裂系の形成史が推定される。すなわち、1) カタクレーサイトを伴う小断層の形成→2) 濁沸石からなる鉱物脈の形成→3) 断層ガウジを伴う小断層の形成→4) 束沸石からなる鉱物脈の形成→5) 断層ガウジを伴う小断層の形成。カタクレーサイトには緑れん石が生成していることから、この小断層の形成条件は緑色片岩相程度の温度圧力であったと考えられる。このようなカタクレーサイトを伴う小断層の形成は、北方の志賀島や能古島でも観察される（柚原ほか, 2005a, 2006b, 2007）。これらの地域では、NNE, NW,

Table 2. Whole-rock chemical compositions of the Sawara Granite.

Sample No.	13053005	13053004	13113005	13113001	13103107	13110502	13113004	13082903	13060601
	Sawara Granite			weakly weathered Sawara Granite			weathered Sawara Granite		
SiO ₂ (wt.%)	69.77	71.25	71.60	73.38	70.31	71.09	71.53	69.71	72.51
TiO ₂	0.30	0.29	0.23	0.22	0.17	0.28	0.28	0.22	0.24
Al ₂ O ₃	15.94	15.12	15.28	14.45	15.66	14.77	15.28	15.36	14.44
Fe ₂ O ₃ *	2.47	2.34	1.92	1.83	1.49	2.32	2.35	1.83	2.15
MnO	0.06	0.06	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06	0.06	0.16
MgO	0.60	0.57	0.47	0.45	0.34	0.55	0.55	0.42	0.48
CaO	2.65	2.44	2.20	2.32	2.04	2.56	2.51	2.07	2.02
Na ₂ O	4.31	3.88	3.86	3.84	4.19	4.16	4.17	4.01	3.87
K ₂ O	2.97	3.20	3.82	3.07	3.92	2.55	2.87	3.65	2.89
P ₂ O ₅	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03	0.04
L.O.I.	0.41	0.40	0.51	0.41	0.88	0.63	0.47	0.99	0.97
Total	99.54	99.60	99.97	100.05	99.09	99.02	100.11	98.35	99.77
As(ppm)	n.d.	<4	n.d.	n.d.	<4	<4	n.d.	n.d.	n.d.
Ba	728	889	999	759	923	578	574	739	447
Cr	4	4	4	5	<3	3	5	<3	6
Cu	13	4	<4	<4	<4	4	<4	5	<4
Ga	20	19	18	18	18	19	20	20	19
Nb	11	13	9	8	8	11	11	11	12
Ni	<4	<4	7	8	4	4	4	6	4
Pb	14	13	17	14	16	13	15	18	13
Rb	108	110	99	85	104	83	88	108	104
S	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sr	417	404	379	372	359	381	371	327	315
Th	7	5	11	<4	5	6	9	7	8
V	21	18	16	16	10	15	19	18	13
Y	11	10	10	9	10	10	11	11	16
Zn	59	56	50	46	32	61	59	48	54
Zr	177	176	132	128	116	157	148	118	153
M.S. ± STD	3.1 ± 0.2	3.4 ± 0.3	3.5 ± 0.4	3.9 ± 0.3		3.8 ± 0.4			
N.	9	15	15	20		18			

*: total iron as Fe₂O₃, L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected.M.S.: magnetic susceptibility (x 10⁻³ SI unit), STD: standard deviation, N.: number of measurement.**Table 3.** Whole-rock chemical compositions of fault rocks.

Sample No.	13103104	13061506	13103109	13061507	13103101	13103102	13103106	13103103	13061503
	fault breccia	fault gouge							
SiO ₂ (wt.%)	72.37	63.68	64.38	69.43	70.34	70.61	70.81	71.08	72.41
TiO ₂	0.21	0.19	0.17	0.21	0.21	0.21	0.23	0.21	0.19
Al ₂ O ₃	14.10	17.31	17.56	15.09	13.95	14.89	13.80	14.77	14.28
Fe ₂ O ₃ *	1.85	1.51	1.29	1.71	1.86	1.88	1.98	1.85	1.71
MnO	0.07	0.30	0.04	0.12	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04
MgO	0.61	1.58	0.28	0.66	0.97	0.71	0.91	0.86	0.54
CaO	1.65	1.43	3.47	1.24	1.53	1.07	2.09	1.39	1.37
Na ₂ O	2.86	1.08	2.98	2.43	1.43	1.97	2.13	2.01	3.01
K ₂ O	3.24	3.11	2.64	3.46	3.19	3.56	2.78	3.36	3.52
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.04
L.O.I.	3.21	9.79	7.19	5.63	6.59	4.75	6.14	5.38	2.64
Total	100.19	100.00	100.00	100.00	100.14	99.69	100.96	100.98	99.75
As(ppm)	n.d.	n.d.	<4	n.d.	<4	<4	<4	<4	<4
Ba	600	686	480	604	593	720	477	666	692
Cr	4	3	3	4	<3	5	6	3	5
Cu	4	9	20	6	4	<4	<4	<4	6
Ga	17	27	24	19	19	18	19	18	18
Nb	10	9	9	9	10	10	10	10	8
Ni	6	8	6	7	7	7	5	6	7
Pb	15	15	10	14	12	13	9	13	13
Rb	100	94	77	110	98	103	97	98	116
S	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sr	263	277	176	292	203	211	235	246	296
Th	6	5	10	5	7	7	6	6	6
V	11	15	12	12	15	12	16	12	12
Y	12	16	7	13	28	11	15	18	15
Zn	47	68	37	39	58	48	46	54	38
Zr	146	128	96	129	147	153	149	143	131

*: total iron as Fe₂O₃, L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected.

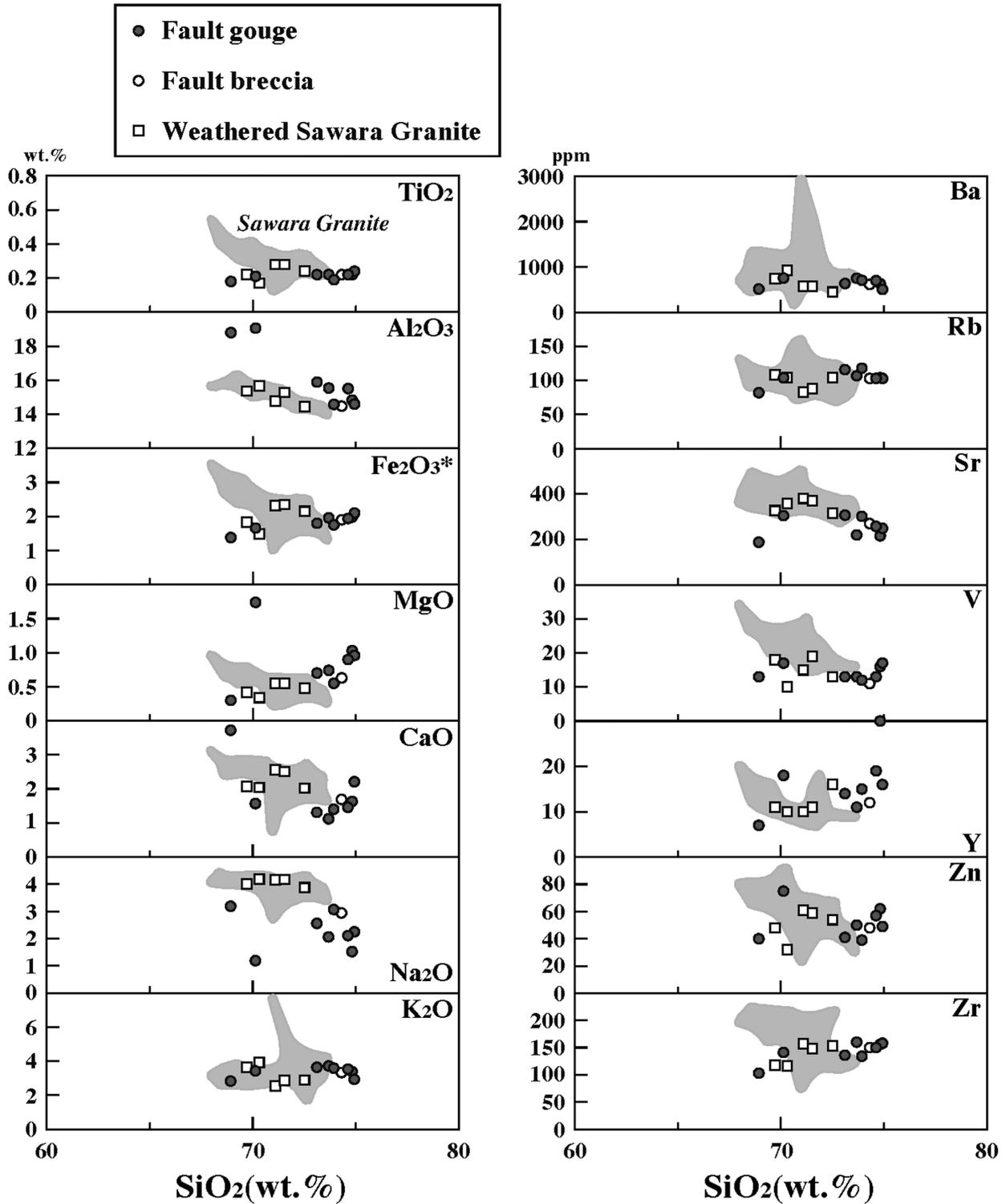


Fig.12. SiO₂-major and trace elements diagrams of the Sawara Granite. Fe₂O₃* is total iron as Fe₂O₃. Data sources: Kawano and Yuhara(2008), Yuhara and Yutoku (2005) and this study.

E-W 走向の小断層が形成されているが、前 2 者の走向は、本地域のカタクレースサイトを伴う小断層と共通のものである (Fig.8)。しかし、志賀島・能古島では NNE 系が卓越するのに対し、本調査地域では NW 系が卓越する。この違いの原因解明については、より広域な調

査と解析が必要である。濁沸石からなる鉍物脈を形成する熱水活動は、本調査地域の北東方に位置する渡半島から志賀島および能古島にかけての玄界灘沿岸部に分布する白亜紀花崗岩体で確認されており (柚原ほか, 2003, 2004b, 2005a, 2006b, 2007 ; Fig.1), その時期

は約15Maと推定されている（柚原ほか，2005b）。したがって，それと同時期の熱水活動によって，本地域の濁沸石からなる鉱物脈も形成されたと考えられる。ガウジ中に濁沸石が含まれる（Table 1）のは，濁沸石からなる鉱物脈を切って，あるいはそれを使って断層ガウジを伴うステージ3）の小断層が形成された際に脈状の濁沸石がガウジ中に取り込まれ散在しているためである。また，ガウジ中に束沸石からなる鉱物脈が認められる，すなわち，ガウジを切る束沸石脈の存在は，断層ガウジを伴うステージ3）の小断層の形成後に熱水活動が起こったことを示唆している。一般に，熱水変質帯において濁沸石が生成される温度条件と束沸石が生成される温度条件は大きく異なる（吉村，2001；井上，2003）ので，ガウジを伴う小断層の活動を挟んで，異なる熱水活動が起こった可能性がある。板屋峠断層（Fig.1）周辺に発達する断裂系（柚原ほか，2006a）に沿った熱水活動では小規模な金鉱床が形成されており（柚原・祐徳，2005），その時期は6.3～3.8Maと推定されている（Yuhara et al., 2013）。断層ガウジを伴うステージ3）の小断層の形成後の熱水活動は，これに対比されるかもしれない。濁沸石同様，束沸石もガウジ中に含まれる場合があることから，その後もガウジを形成する断層活動，すなわち，ステージ5）の小断層が形成されたと考えられる。断層ガウジを伴う小断層の運動センスは左横ずれが多いが，右横ずれも認められる。さらに，条線の方法も複数認められる。これらのことから，同方向の小断層を使った複数回のガウジを形成する断層活動が想定される。

以上のように，カタクレーサイトや断層ガウジといった形成条件の異なる断層岩が存在し，それらを切る鉱物脈が認められることから，日向峠－小笠木峠断層周辺に分布する早良花崗岩中には震源域深度から地表にいたる断層活動や熱水活動の痕跡が保存されていると言える。今後は，日向峠－小笠木峠断層の生成と上昇過程での断層活動の重複過程を明らかにするため，本調査地域の北西および南東の白亜紀花崗岩類中の断裂系の解析が必要である。

まとめ

日向峠－小笠木峠断層周辺に分布する早良花崗岩中に発達する断裂の姿勢計測と切断関係の調査・解析，断層ガウジならびに脈鉱物の同定を行った結果，以下のことが明らかとなった。

1. 早良花崗岩中に発達する断裂は，4つの方向（高角NNW系，高角NW系，高角ENE系，低角系）が卓越する。さらに，これらの断裂はカタクレーサイトを伴う小断層，断層ガウジを伴う小断層，節理に

- 区分される。節理には鉱物脈が伴われる場合がある。
2. 各断裂の切断関係から，本地域に分布する断裂系の形成史は5つのステージに区分される。
3. 節理に伴われる鉱物脈の主要構成鉱物は，濁沸石および束沸石である。
4. 本調査地域においても，渡半島榑崎周辺，志賀島および能古島と同様に，濁沸石脈を生成する熱水活動の痕跡が認められる。このことは，北部九州における熱水活動の広域性を示唆する。
5. 生成条件の異なる断層岩や鉱物脈の存在から，日向峠－小笠木峠断層周辺に分布する早良花崗岩中には震源域深度から地表にいたる断層活動や熱水活動の痕跡が保存されている。

謝辞

本論文は宮崎崇大朗の福岡大学理学部地球圏科学科における平成25年度の卒業研究を発展させたものである。卒業研究を進めるにあたり，福岡大学理学部地球圏科学科の田口幸洋教授，奥野 充教授には様々な御意見，御討論をいただいた。産業技術総合研究所，活断層・火山研究部門活断層評価研究グループの宮下由香里博士には，査読をしていただき，有益な助言をいただいた。記して感謝の意を表します。

文献

- 井上厚行，2003，熱水変質作用。創立50周年記念出版編集委員会編，資源環境地質学，資源地質学会，195-202。
- Ishihara, S., 1990, The inner zone batholith vs. the outer zone batholith of Japan: evaluation from their magnetic susceptibilities. *Univ. Mus., Univ. Tokyo, Nature and Culture*, no.2, 21-34.
- Ishihara, S., Tanaka, R., Nakagawa, M. and Goto, Y., 1995, Magnetic susceptibility of late Cenozoic volcanic rocks of east-central Hokkaido and the Kuril Island. *Resour. Geol.*, **18**, 217-228.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会，2013，日向峠－小笠木峠断層帯の長期評価。1-12，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/13feb_chi_kyushu/k_6.pdf.
- 唐木田芳文，1985，北九州花崗岩の地質学的分類。日本応用地質学会九州支部会報，no.6，2-12。
- 唐木田芳文・富田宰臣・下山正一・千々和一豊，1994，福岡地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）。地質調査所，192p。
- 川野良信・柚原雅樹，2008，福岡県那珂川上流，白亜紀花崗岩類の年代学的，同位体岩石学的研究。地質

雑, **114**, 218-230.

久保和也・松浦浩久・尾崎正紀・牧本 博・星住英夫・鎌田耕太郎・広島俊男・中島和敏, 1993, 20万分の1地質図 福岡. 地質調査所.

文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学, 2014, 警固断層帯(南東部)における重点的な調査観測 平成23-25年度 成果報告書, 378p.

大和田正明・亀井淳志・山本耕次・小山内康人・加々美寛雄, 1999, 中・北部九州, 白亜紀花崗岩類の時空分布と起源. 地質学論集, no.53, 349-363.

佐古有希枝・柚原雅樹, 2004, 小倉-田川構造線, 田川断層周辺の添田花崗閃緑岩に発達する断裂系. 福岡大学理学集報, **34** (2), 45-58.

産業技術総合研究所, 2005, 福岡県西方沖地震による応力変化と余震活動域の予測. 地震予知連絡会会報, **74**, 517-519.

下山正一・辻 智樹・磯 望・黒木貴一・市原季彦・高田圭太, 2013, 日向峠-小笠木峠断層と糸島半島沖断層群の連続性について. 日本地球惑星科学連合2013年大会予稿集, SSS32-P32.

高木秀雄・小林健太, 1996, 断層ガウジとマイロナイトの複合面構造-その比較組織学. 地質雑, **102**, 170-179.

高本のぞみ・柚原雅樹・古川直道, 2005, 福岡県東部, 今川・祇川流域の元素濃度分布. 福岡大学理学集報, **35** (2), 41-66.

上野宏共, 1987, 岩石の磁氣的諸量の国際単位系(SI)とCGS系間の換算. 岩鉱, **82**, 441-444.

吉村尚久, 2001, 粘土鉱物と変質作用. 地学団体研究会, 293p.

柚原雅樹・鮎沢 潤・古川直道・毛利順子・江川貴司・木村靖幸・関 友美子・黨 洋一郎・猪俣拓郎・加治屋 佑・伊藤裕之・押川美佳・瀬戸間洋平・高橋美佳・前垣内勇作・田中聖太・中村良司・高本のぞみ・沖 聡・久次賢介・佐志篤史・稲永康平・川添 司・中村浩則・藤木道雄・中村賢司・杉原 薫・杵山哲男, 2003, 福岡県津屋崎, 北崎トータル岩中に発達する断裂系. 福岡大学理学集報, **33** (2), 65-76.

柚原雅樹・鮎沢 潤・森重沙織・阿部宏子・砂押智浩・村上恵理・久保有未・片淵康隆・村上敬太郎・丹 孝博・宮崎友紀・丸尾寛人・田中 晋・山崎真理奈・松岡文和・三角拓也・白石 融・守安 誠・安部佑輔・河本広美・西川角人・上野勝美, 2006b, 福岡市志賀島北西部の志賀島花崗閃緑岩中に発達する断裂系. 福岡大学理学集報, **36** (2), 63-81.

柚原雅樹・鮎沢 潤・大平寛人・西 奈保子・田口幸洋・加々美寛雄, 2005b, 福岡県福津市渡半島に分

布する白亜紀花崗岩類の放射年代から見た熱水活動の時期. 岩石鉱物科学, **34**, 275-287.

柚原雅樹・鮎沢 潤・宇藤千恵・吉塚雅輝・福島千晴・江藤稚佳子・植田康一・梶原良兵・八塚慎也・足立兆玄・福井祥規・菱川一磨・小路泰之・原 啓二郎・島田 優・岡 大翼・古賀奏子・小川秀和・中原慎太郎・石原与四郎・田口幸洋, 2005a, 福岡県志賀島南端部の白亜紀深成岩中に発達する断裂系. 福岡大学理学集報, **35** (2), 67-84.

柚原雅樹・古川直道・田口幸洋, 2004a, 粉末ペレット法による珪酸塩・炭酸塩岩石の微量元素の蛍光X線分析. 福岡大学理学集報, **34** (1), 43-49.

柚原雅樹・三井洋平・宇藤千恵・内田貴之・草本和慶・山王堂信雄・溝口哲幸・中村一貴・平 泰輔・早川直樹・中尾智子・山崎則子・小野剛晴・長通隆次・小田弥生・向井 樹・宮崎広征・西 亜紀奈・江島 舞・古野奈津子・今福太郎・久次賢介・石原与四郎・鮎沢 潤・杵山哲男, 2004b, 福岡県津屋崎, 北崎トータル岩中に発達する断裂系(その2). 福岡大学理学集報, **34** (2), 73-88.

柚原雅樹・宮崎桂輔・鮎沢 潤・宮崎友秀・後藤寛幸・橘 翔・吉田智博・小宮詩保・遠藤紀子・井上剛・芝 佐代・大庭幸樹・田中義輝・瓦田雄二・井浦 聡・武廣勇輝・世良義明・坂東友希・緒方亮・佐藤 司・吉井創一郎・永田俊輔・城戸慶介・田口幸洋, 2007, 福岡市能古島北端, 也良岬の北崎トータル岩中に発達する断裂系. 福岡大学理学集報, **37** (2), 61-76.

Yuhara, M., Ohira, H. and Kawano, Y., 2013, Fission track geochronology of Itoshima Granodiorite and Sawara Granite in the Gokayama area, northern Kyushu: timing of Miocene to Pliocene hydrothermal activity in Cretaceous granitoids. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **64**, 161-168.

柚原雅樹・田口幸洋, 2003a, 蛍光X線分析装置ZSX100eによる珪酸塩岩石の主成分および微量元素の定量分析. 福岡大学理学集報, **33** (1), 25-34.

柚原雅樹・田口幸洋, 2003b, ガラスビード法による珪酸塩岩石のCoおよびSの蛍光X線分析. 福岡大学理学集報, **33** (2), 77-81.

柚原雅樹・宇藤千恵・小路泰之・川野良信, 2006a, 那珂川上流, 五ヶ山地域の白亜紀花崗岩類に発達する断裂系. 福岡大学理学集報, **36** (1), 55-67.

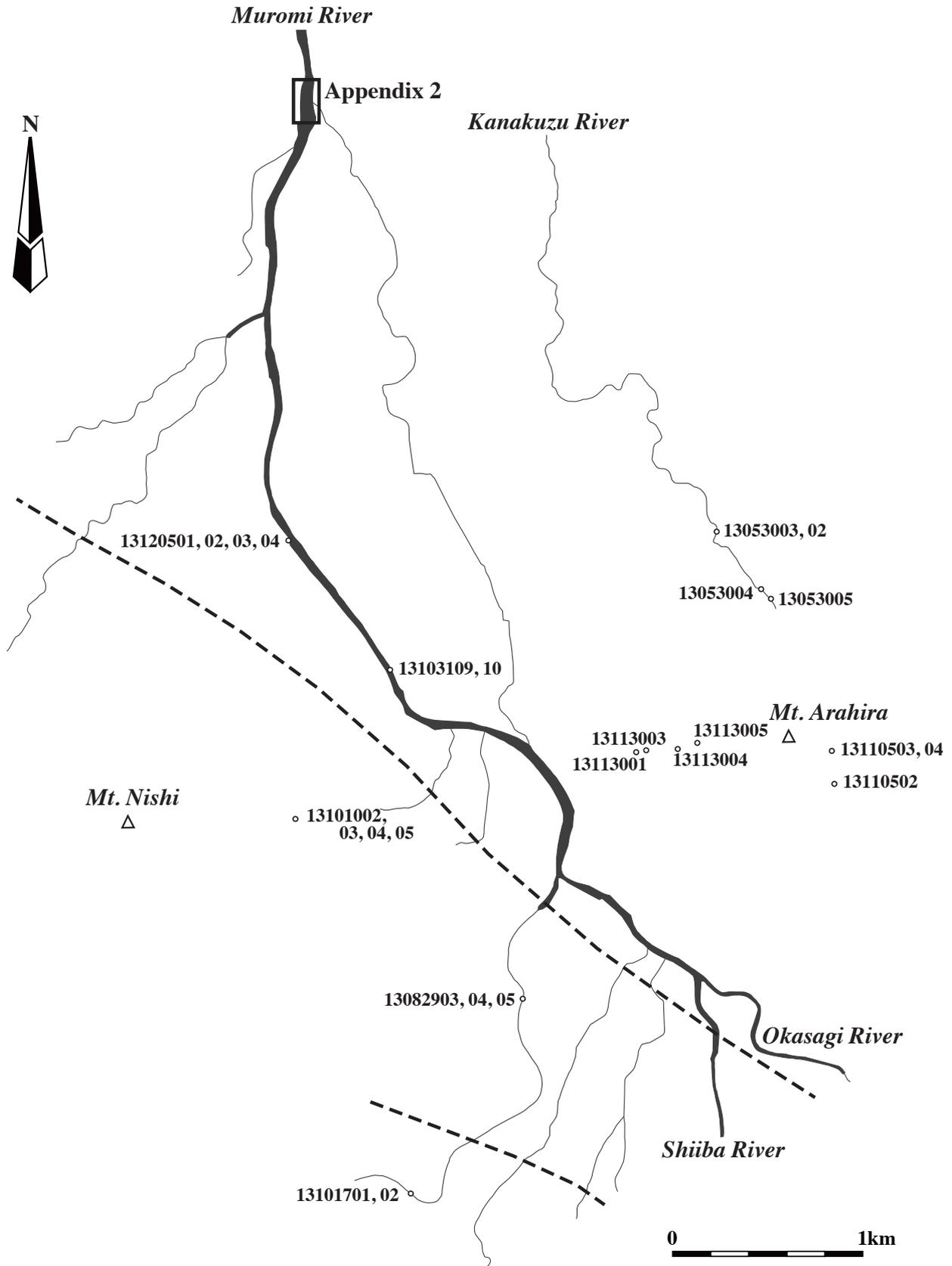
柚原雅樹・祐徳信武, 2005, 那珂川上流, 五ヶ山地域の金探鉱跡地周辺に認められる早良花崗岩の変質. 福岡大学理学集報, **35** (1), 49-73.

（要 旨）

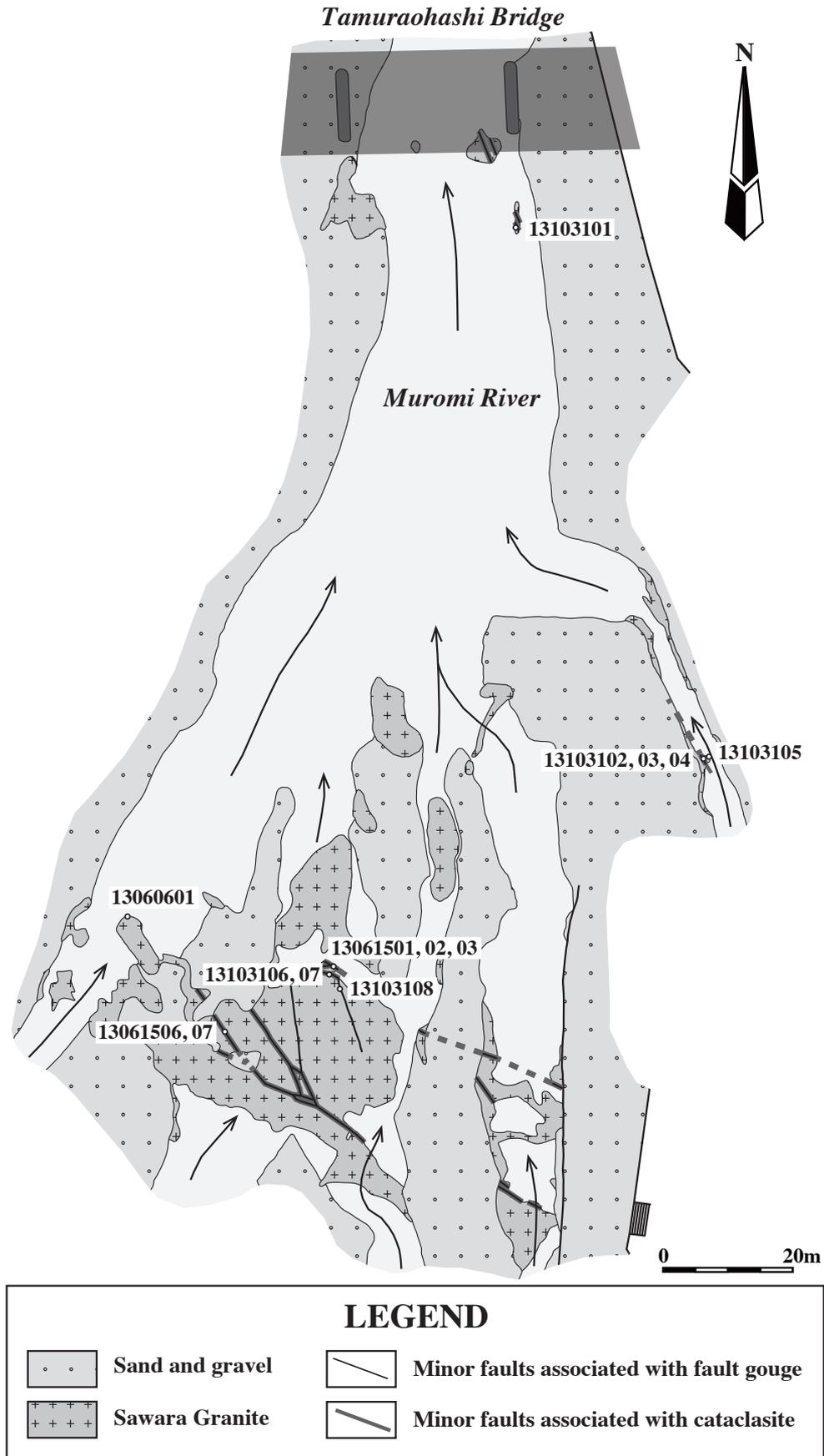
柚原雅樹・宮崎崇大朗・鮎沢 潤・西 瑛莉子・清浦海里・寺本 慶, 2015, 日向峠－小笠木峠断層周辺の早良花崗岩中に発達する断裂系. 福岡大学理学集報, 45, 43-61. (Yuhara, M., Miyazaki, S., Aizawa, J., Nishi, E., Kiyoura, K. and Teramoto, K., 2015, Fracture system in the Sawara Granite along the Hinatatoge – Okasagitoge Fault, northern Kyushu. *Fukuoka Univ. Sci. Rep.*, 45, 43-61.)

日向峠－小笠木峠断層は、北西－南東走向で長さ約28kmの主に左横ずれを示す活断層である。日向峠－小笠木峠断層周辺に分布する早良花崗岩中に発達する断裂の切断関係の記載を行い、断裂の形成史の解析を行った。

調査地域に発達する断裂は、NNW-SSE 走向で高角な断裂、NW-SE 走向で高角な断裂、ENE-WSW 走向で高角な断裂および低角な断裂が卓越する。さらに、これらの断裂はカタクレーサイトを伴う小断層、断層ガウジを伴う小断層、節理に区分される。断裂の切断関係と断裂に沿った鉱物形成から、日向峠－小笠木峠断層の活動関連した断裂の形成過程は、少なくとも5つのステージからなる。最初のステージでは、カタクレーサイトを伴う小断層が形成された。次のステージでは、節理の開口に伴う熱水活動により濁沸石脈が形成された。第3ステージでは、断層ガウジを伴う小断層が形成された。続くステージでは、東沸石脈が形成される。最後のステージでは、断層ガウジを伴う小断層が形成された。



Appendix 1. Sample locations.



Appendix 2. Sample locations at solid star in Figure 1.