

福岡県津屋崎，北崎トータル岩中に発達する断裂系

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

(平成15年5月31日受理)

Fracture system in the Kitazaki Tonalite at Tsuyazaki, Fukuoka Prefecture

Masaki YUHARA, Jun AIZAWA, Naomichi FURUKAWA, Junko MOHRI,
 Takashi EGAWA, Yasuyuki KIMURA, Yumiko SEKI, Yoichiro TO,
 Takuro INOMATA, Yu KAJIYA, Hiroyuki ITO, Mika OSHIKAWA,
 Yohei SETOMA, Mika TAKAHASHI, Yusaku MAEGAKIUCHI, Shota TANAKA,
 Ryoji NAKAMURA, Nozomi TAKAMOTO, Satoshi OKI, Kensuke HISATSUGU,
 Atsushi SASHI, Kohei INENAGA, Tsukasa KAWAZOE, Hironori NAKAMURA,
 Michio FUJIKI, Kenji NAKAMURA, Kaoru SUGIHARA and Tetsuo SUGIYAMA

(Received May 31, 2003)

Abstract

We measured orientations of fractures in the Kitazaki Tonalite at the Tatezaki of Watari Peninsula, Tsuyazaki Town, Fukuoka Prefecture, and analyzed their formation sequence. The fractures in the surveyed area are divided into three groups: fractures filled aplite, green faults, and faults associated with zeolite and/or calcite. The last one is further divided into three types: NE-oriented faults, NW faults, and E-W faults. Based on crosscut relationships of those faults and development of mineralization along the fault planes, the formation process of the fractures comprise four stages. The fractures filled by aplite and green faults were formed at the first stage (Stage 1). The NE and NW faults were formed at the second stage (Stage 2). At the third stage (Stage 3), the E-W faults were formed. The E-W faults opened at the final stage (Stage 4). Zeolite (laumontite) was precipitated in the space formed by the NE, NW, and E-W faults at Stages 2 and 3. Calcite and Fe oxide-hydroxide minerals veins were formed mainly in the E-W faults at Stage 4.

はじめに

福岡県津屋崎町の渡半島^{わたり}（第1図a）に分布する白亜紀花崗岩類には、種々の断裂が発達し、沸石脈や方解石脈が認められる（上野・花田，1982；唐木田・山本，1996など）。これらの断裂および鉱物脈の方向性や形成過程の解析は、花崗岩体がおかれていた応力場や熱構造の変遷を知る上で、重要なデータを与える。しかしながら、それらの断裂の詳しい記載がなされておらず、形成過程や形成条件についても明らかにされていない。さらに、花崗岩類のみならずそれを覆う堆積岩にまで認められる沸石鉱物の成因については古くから注目され、様々な見解（岡田・小島，1963；中牟田，1976；上野・花田，1982；Miki et al., 1993）が示されているが、いまだ明確な答えは出されていない。花崗岩類における断裂の形成と脈鉱物の関係の解析は、この問題を基盤の側から明らかにする手掛かりを与えると考えられる。

また、本地域の断裂は様々な方向に様々な角度で発達し、沸石脈や方解石脈を伴うため、その切断関係を把握しやすい。そのため、クリノメーターを用いた姿勢計測、地質現象の切断関係の観察といった、地質調査の基礎的作業の訓練を行うのに適したフィールドであるといえる。今回、福岡大学理学部地球圏科学科の地球物質科学実験Ⅱの野外実習として、本地域に分布する北崎トータル岩中に認められる断裂の姿勢計測と切断関係、鉱物脈との関係の調査・解析を行った。本報告では調査地点に分布する断裂の種類、方向、切断関係について報告し、それらの形成史の解析を行う。

地質概要

調査地域は、福岡市北東約25kmの津屋崎町渡半島の南部西海岸、楯崎の北東である（第1図b）。楯崎周辺の地質は、北部九州白亜紀花崗岩類に属する北崎トータル岩、志賀島花崗閃緑岩を基盤として、それらを不整合に被う、非海成の下部漸新統津屋崎層と、その上位の単斜輝石カンラン石玄武岩からなる（第1図b；岡田・小島，1963ほか）。これより北方の渡半島北端部には、海成の上部漸新統山鹿層が津屋崎層を整合に覆って分布する（岡田・小島，1963ほか）。

白亜紀花崗岩類は、楯崎およびその南部の海岸

に沿って分布している（第1図b）。また、津屋崎水道の渡にも分布する（唐木田・山本，1996）。北崎トータル岩と志賀島花崗閃緑岩の境界部には、ヒン岩の岩脈が貫入している。

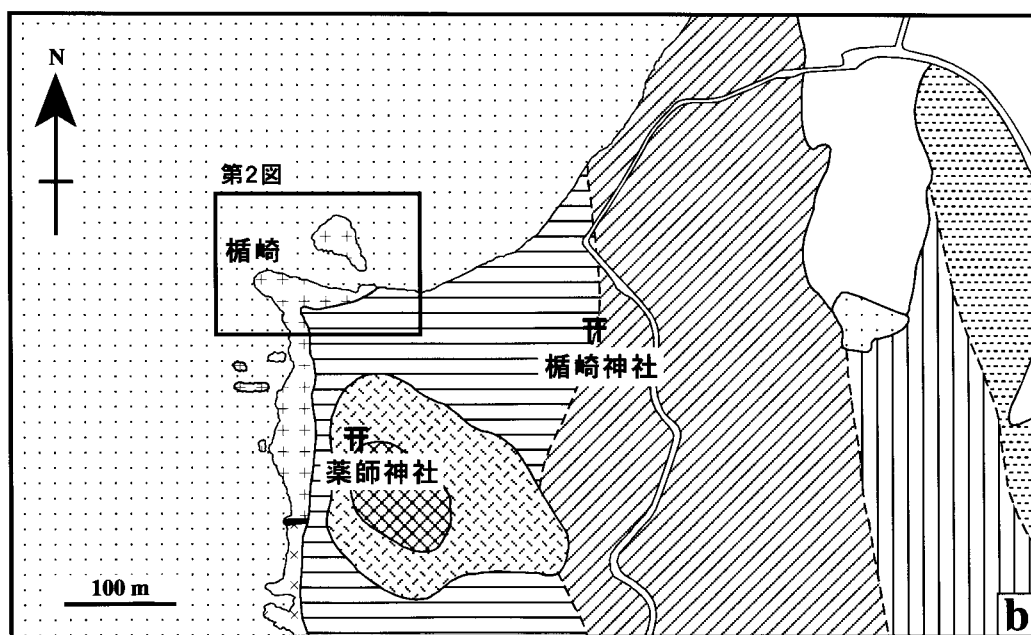
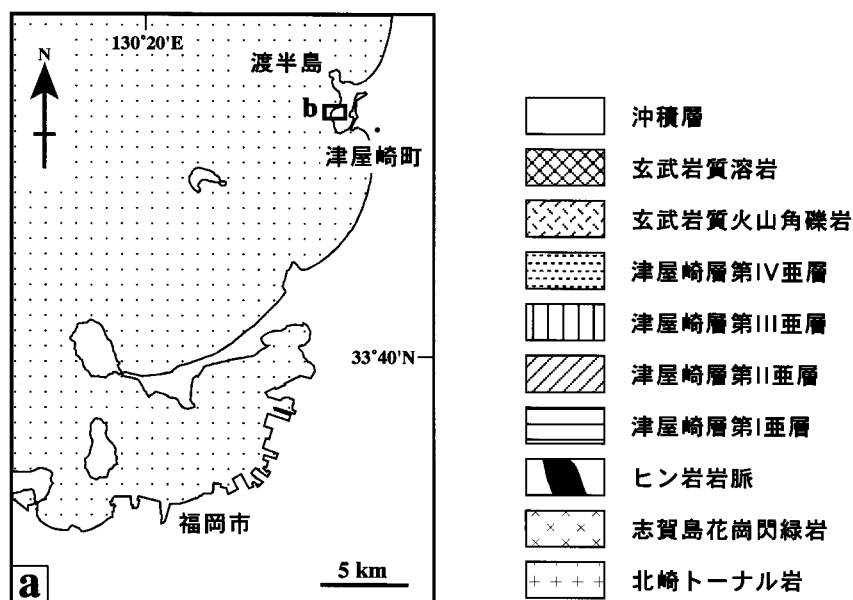
北崎トータル岩は、糸島半島の北崎海岸から能古島・志賀島を経て糟屋郡、宗像郡、宗像市にわたって分布する、優黒質中粒の普通角閃石黒雲母トータル岩～花崗閃緑岩で、本地域では楯崎周辺に分布する。本トータル岩については、 110 ± 35 MaのRb-Sr全岩アイソクロン年代（唐木田，1998）、 $118.0 \sim 103.0$ MaのK-Ar普通角閃石年代、 $110.0 \sim 86.4$ MaのK-Ar黒雲母年代が報告されており（唐木田・山本，1996；唐木田，1997）、本地域では 118.0 ± 5.9 MaのK-Ar普通角閃石年代と 110.0 ± 5.0 MaのK-Ar黒雲母年代が報告されている（唐木田・山本，1996）。

志賀島花崗閃緑岩は、優白質中～粗粒の普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩～トータル岩で、糸島半島北端の西ノ浦地域から志賀島を経て津屋崎町・福岡町に分布する。北崎トータル岩の中央部に貫入し、それと累帯深成岩体を構成すると考えられている（井沢ほか，1985）。本地域においても北崎トータル岩と貫入関係で接し（唐木田・山本，1996）、これよりも南側の海岸に分布する。志賀島花崗閃緑岩は、主成分鉱物として、斜長石、石英、カリ長石、黒雲母、普通角閃石を含み、副成分鉱物として、不透明鉱物、燐灰石、チタン石、褐レン石、ジルコンを含む。本花崗閃緑岩については、 94.6 ± 4.7 MaのK-Ar黒雲母年代が報告されている（唐木田・山本，1996）。

津屋崎層は、北崎トータル岩と志賀島花崗閃緑岩を不整合に被い、粗粒火山性物質を主とする非海成層からなる。渡半島のほぼ全域に分布し、岩相により、第Ⅰ亜層から第Ⅴ亜層まで5つに区分される（岡田・小島，1963）。花崗岩類直上の第Ⅰ亜層は、礫岩、砂岩、シルト岩からなる。第Ⅱ亜層は、主に礫質粗粒砂岩からなる。第Ⅲ亜層は、主に赤紫色の火山角礫岩からなる。第Ⅳ亜層は、流紋岩質～石英安山岩質凝灰岩ならびに礫質粗粒砂岩・黒色シルト岩からなる。渡半島北部では、津屋崎層は山鹿層とともに北北西にゆるくプランジした褶曲軸を持つゆるい向斜構造を示す（岡田・小島，1963）。津屋崎層は、産出する花粉や胞子化石の研究により遠賀層に対比されている（高橋，1962；岡田・小島，1963）。

単斜輝石カンラン石玄武岩は、^{やくし}薬師神社周辺に露出し、津屋崎層の上にほぼ水平に分布する。大部分は溶岩であるが、最下部は火山角礫岩である。斑状組織を呈し、斑晶はカンラン石とごく少量の単斜輝石で、石基は主に斜長石、単斜輝石、不透明鉱物と少量のカンラン石からなる。松本ほか

(1992) は、斑晶を除去した本岩から、 3.64 ± 0.11 Ma（楯崎）、 3.51 ± 0.10 Ma（薬師神社）、 3.52 ± 0.15 Ma（東郷公園）の全岩 K-Ar 年代値を報告している。また、唐木田・山本（1996）は、薬師神社の南東に位置する東郷公園の玄武岩試料から 3.6 ± 1.0 Ma の全岩 K-Ar 年代値を報告している。



第1図 福岡県津屋崎町渡半島，楯崎周辺の地質図

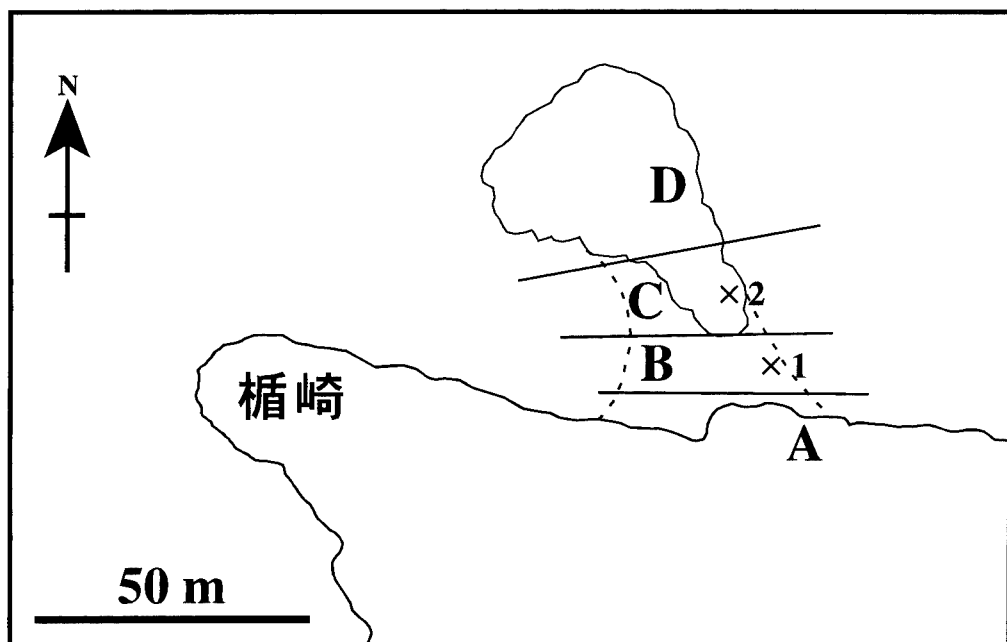
a：渡半島の位置図，b：楯崎周辺の地質図（岡田・小島，1963を改変）。

北崎トータル岩の岩石記載および化学組成

調査対象とした北崎トータル岩は、優黒質中粒塊状の普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩で、紫味を帯びた暗灰色を呈する。径1～30cmの暗色包有物をしばしば包有する。本岩には、厚さ数～60cmのアブライト岩脈が多数貫入している。北崎トータル岩は鏡下では半自形粒状組織を呈し、主として斜長石、石英、カリ長石、普通角閃石、黒雲母と少量の単斜輝石からなり、副成分鉱物として、不透明鉱物、燐灰石、チタン石、ジルコンを含む。斜長石は自形から半自形で、累帯構造を示し、最大4mmに達する。普通角閃石、黒雲母、不透明鉱物を包有する。斜長石の一部はセリサイト化している。斜長石とカリ長石の接触部にはミルメカイトが認められる。石英は他形で、他鉱物間を充填し、弱い波動消光を示す。また、大きく成長しポイキリティックに斜長石、普通角閃石、黒雲母を包有することもある。カリ長石は他形で、他鉱物間を充填し、時に大きく成長しポイキリティックに斜長石、普通角閃石、黒雲母を包有する。普通角閃石は半自形から他形で、青緑褐色から淡黄褐色の

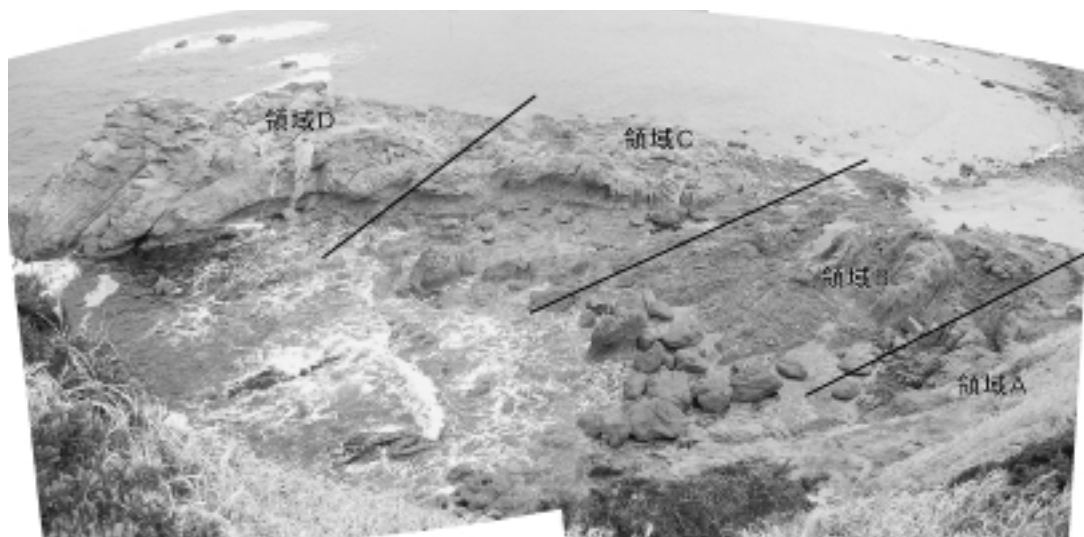
多色性を示し、最大2mmに達する。黒雲母、不透明鉱物、石英、他形で蜂の巣状の単斜輝石を包有する。石英を多量に包有して、ふるい状あるいは蜂の巣状の構造を呈する場合もある。黒雲母は半自形から他形で、暗褐色から淡黄褐色の多色性を示し、最大2mmに達する。普通角閃石、不透明鉱物、チタン石、燐灰石、ジルコンを包有する。また、石英とともにシンプレクタイトを形成している場合がある。黒雲母の一部は緑泥石化している。単斜輝石は普通角閃石に包有されており、他形で、不規則な形態を示す。また、不規則な形をした小結晶の集合体となることもある。不透明鉱物は、チタン石に縁どられていることが多い。

化学分析用岩石試料を2試料採取し（第2図）、福岡大学理学部の蛍光X線分析装置（ZSX100e）を用いて、岩石の主成分および微量元素の測定を行った。分析方法は、柚原・田口（2003a, b）に従った。分析結果は、第1表に示した。2つの試料は、 K_2O 、Ba、Rbを除くと、ほぼ同じ化学組成を示す。 K_2O 、Ba、Rbの含有量の違いは、カリ長石の含有率の違いによると考えられる。

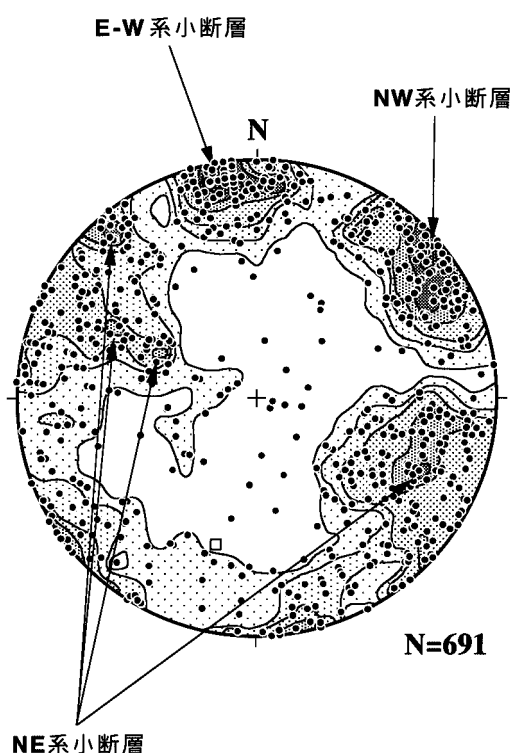


第2図 調査領域の区分と試料採取地点

1 ; 02061801, 2 ; 02061805



第3図 調査地域全景



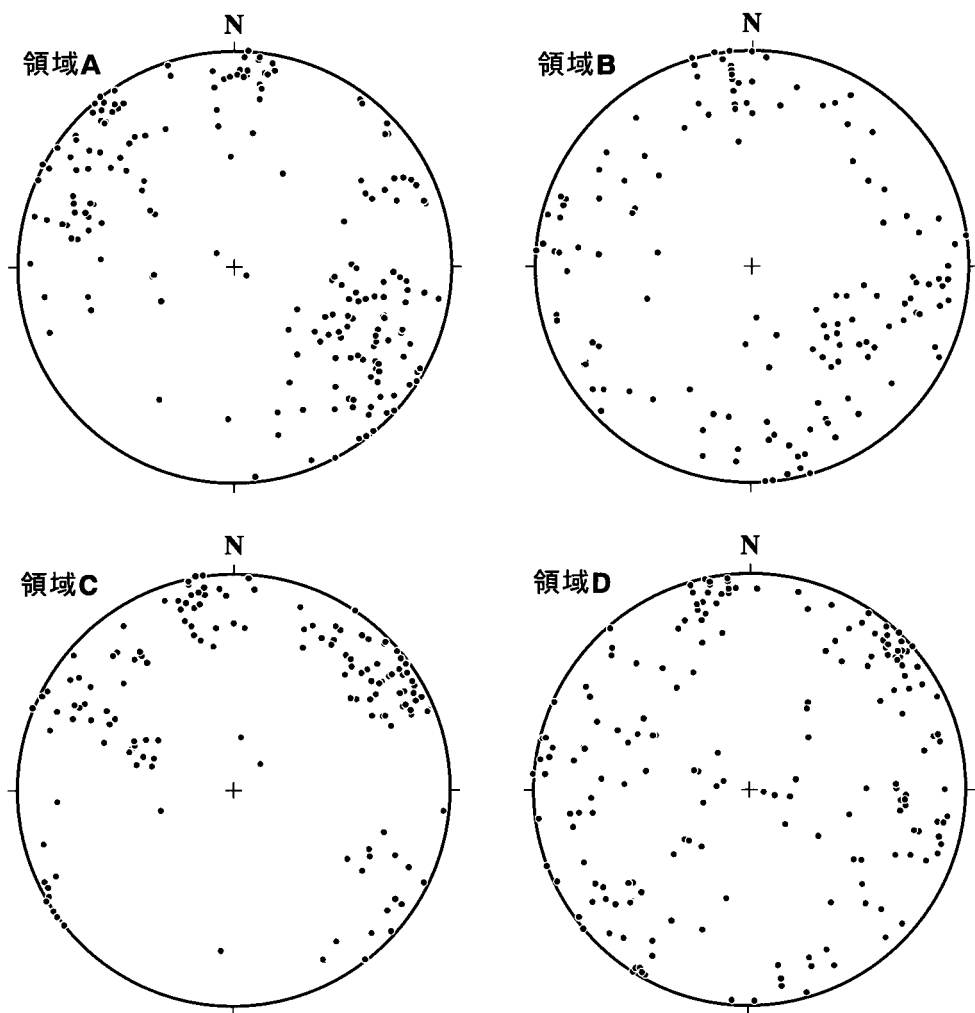
第4図 調査地域全域の断裂方向のコンターマップ
 (シュミットネット，下半球投影)
 等値線は，0.5-1-1.5-2-2.5-3-3.5%。
 アプライト岩脈を伴う断裂を除く。
 □は緑色小断層。

断裂系および鉱物脈の記載

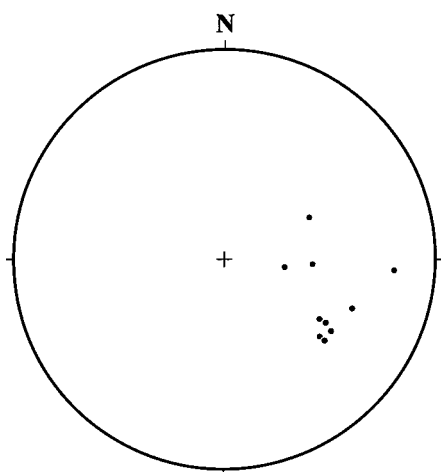
調査は福岡県津屋崎町楯崎の北東側の岩礁で，A～Dの4つの領域に分けて行った（第2，3図）。調査地点に分布する断裂はアプライト岩脈を伴うもの，緑色を呈した断層岩を伴うもの，沸石や方解石からなる鉱物脈を伴うものに区分される。さらに，沸石や方解石からなる鉱物脈を伴う断裂は，その方向性から，大きく3つのグループ（N30°E 走向，N45°W 走向，E-W 走向）に分けることができる（第4図）。そこで，それらをアプライト岩脈を伴う断裂，緑色小断層，NE系小断層，NW系小断層，E-W系小断層とした。これらの小断層は，調査地点全域に分布するが，NW系小断層は北西部域（領域CおよびD）に卓越する（第5図）。

アプライト岩脈を伴う断裂

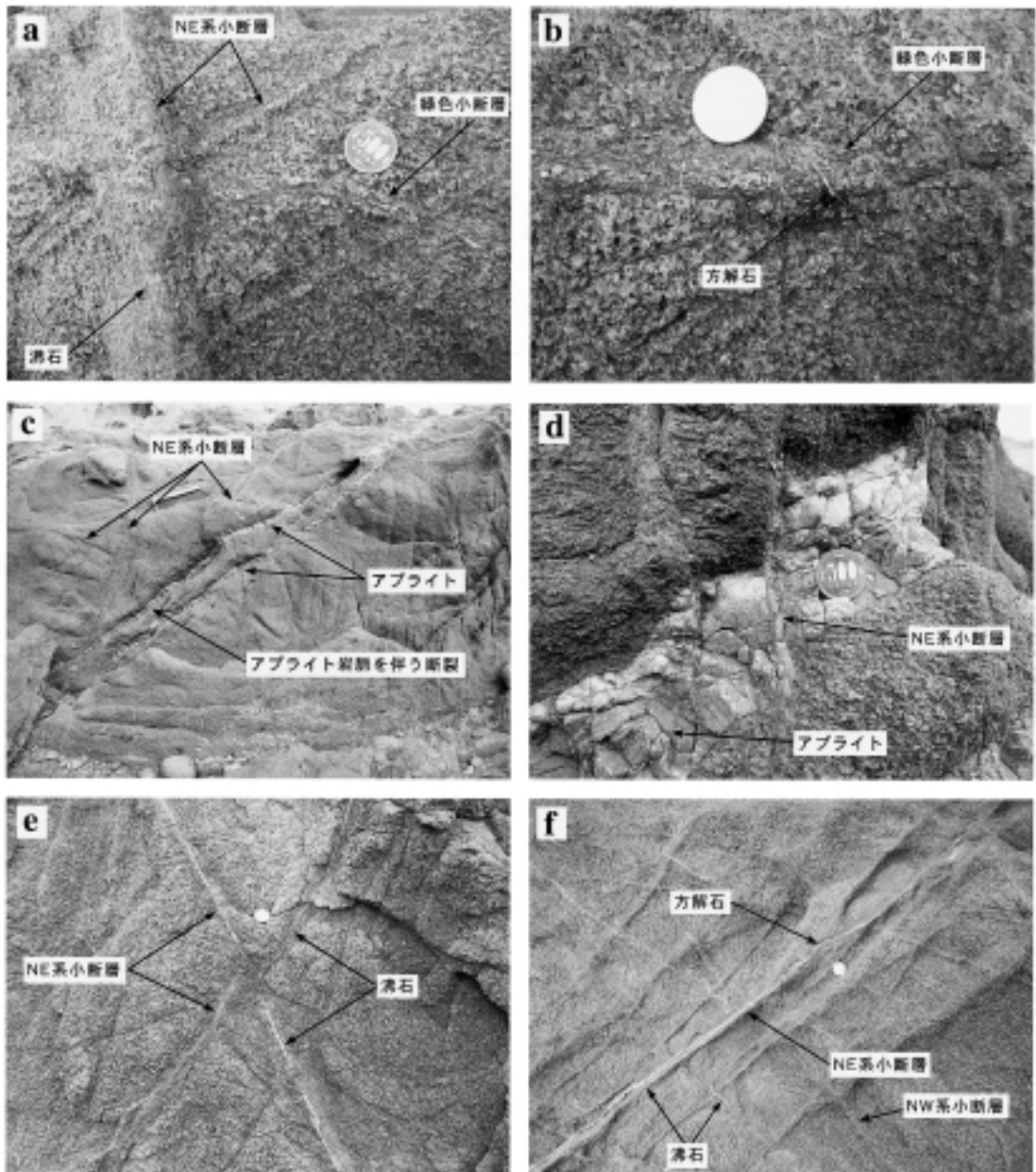
アプライト岩脈を伴う断裂は，走向がN35°E～N25°W とばらつき，傾斜方向は西方向であるが，24°～70°と幅広い（第6図）。厚いアプライト岩脈は連続性がよいが，厚さ数cm程度のアプライト脈は，2m程度しか連続しない（第7図c）。これらの形態から，この断裂は開口断裂であると考えられる。



第5図 各領域における断裂の方向（シュミットネット，下半球投影）

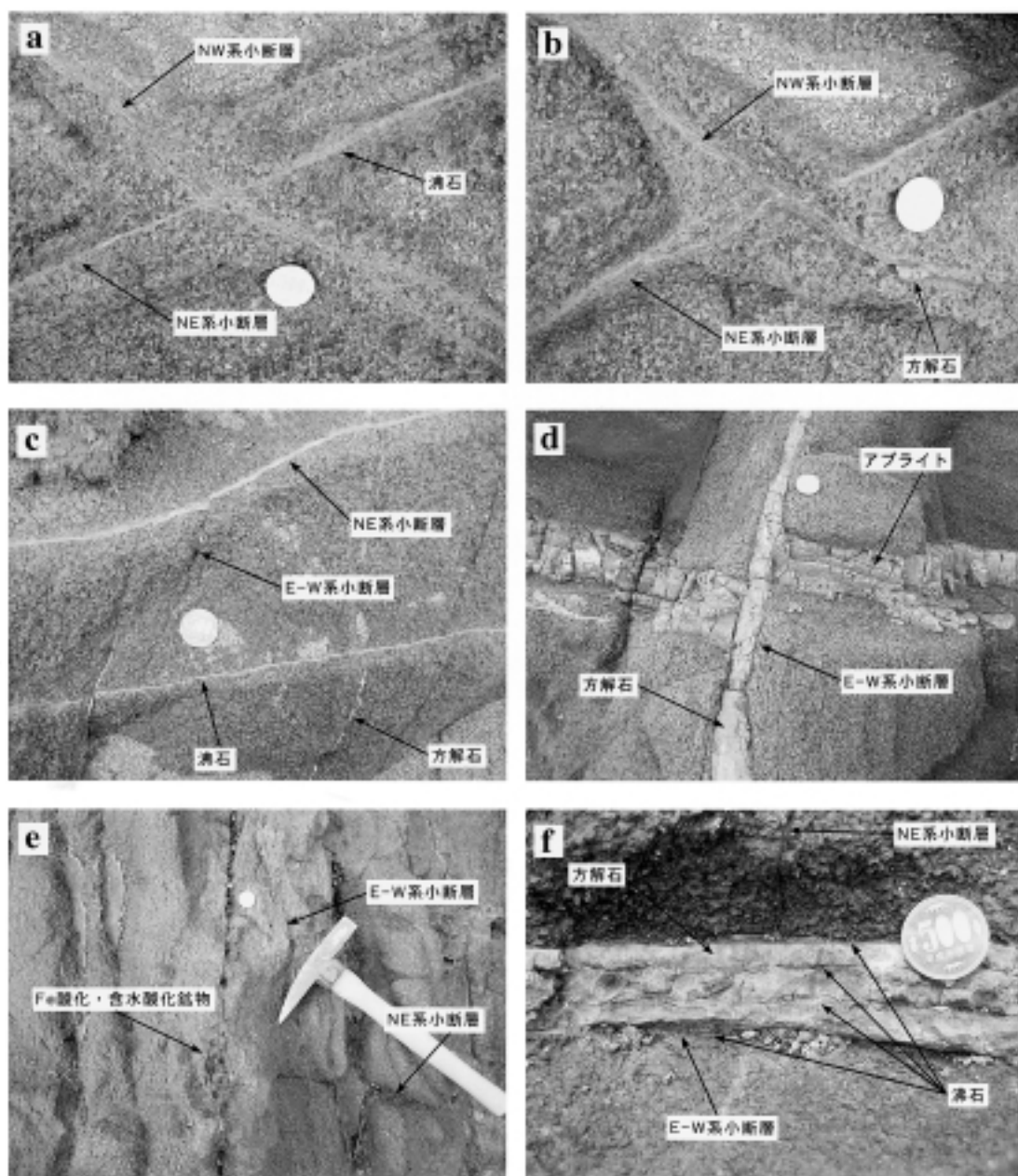


第6図 アプライト岩脈を伴う断裂の走向傾斜（シュミットネット，下半球投影）



第7図 断裂の露頭写真

- a : NE系小断層に切られる緑色小断層（領域D），
- b : 方解石脈に切られる緑色小断層（領域D），
- c : アプライト岩脈を伴う断裂とNE系小断層の関係（領域B），
- d : アプライト岩脈を切るNE系小断層（領域B），
- e : 傾斜方向の異なるNE系小断層（領域A），
- f : NE系小断層とNW系小断層の関係（領域B）。



第8図 断裂の露頭写真

- a : NW系小断層を切るNE系小断層 (領域D),
- b : NE系小断層を切るNW系小断層 (領域D),
- c : NE系小断層を切るE-W系小断層 (領域B),
- d : アプライト岩脈を切るE-W系小断層 (領域B),
- e : Fe酸化・含水酸化鉱物脈を伴うE-W系小断層 (領域B),
- f : 方解石脈と沸石脈を伴うE-W系小断層 (領域B).

緑色小断層

緑色小断層は厚さ1.5cm以下（第7図a, b）で，主に0.4mm以下に細粒化した普通角閃石，石英，斜長石，黒雲母および少量のカリ長石からなり，不透明鉱物，燐灰石，チタン石，ジルコンを含む断層岩を伴う．緑色小断層は，NE系小断層に切られる（第7図a, b）．現在のところ，領域Dの一ヶ所でしか確認されていない．この小断層は，N75° W/54° Nの姿勢を持つ（第4図）．

第1表 北崎トータル岩の化学組成

Sample No.	02060805	02060801
SiO ₂ (wt%)	59.22	59.71
TiO ₂	0.79	0.82
Al ₂ O ₃	16.08	15.9
FeO*	6.82	6.91
MnO	0.12	0.13
MgO	3.29	3.38
CaO	5.49	5.49
Na ₂ O	3.33	3.40
K ₂ O	3.09	2.35
P ₂ O ₅	0.24	0.25
Total	98.47	98.34
Ba(ppm)	622	563
Co	53	47
Cr	31	33
Cu	64	54
Ga	17	18
Nb	13	12
Ni	15	15
Pb	9	11
Rb	109	68
S	86	13
Sr	496	474
Th	10	10
V	165	171
Y	23	23
Zn	59	65
Zr	194	199

FeO*: total iron as FeO.

沸石や方解石からなる鉱物脈を伴う断裂

NE系小断層

NE系小断層は，N25° E/65° NWとN50° E/85° SEの2方向に集中域を持ち，さらにN28° E/35° SEとN28° E/55° SEの2方向にも若干集中する（第4図）．このうち，N28° E/35° SEとN28° E/55° SEは，N62° W/86° SWの大円ガードルを形成する．この小断層は，アプライト岩脈を伴う断裂，緑色小断層，NW系小断層を切り（第7図a, c, d, f, 8図a），厚さ数mm以下の濁沸石からなる沸石脈を伴う（第7図e, f, 8図a）．水平隔離および傾斜隔離はそれぞれ3cm以下である．小断層の間隔は，4～30cmである．ほぼ同方向の方解石脈が伴われる場合がある．この場合，方解石脈は小断層および沸石脈を切ることが多い（第7図f）．前述のようにNE系小断層には高角なものの中角なものがあるが，これらは互いに切断関係にある（第7図c）．さらに高角で2方向（N25° E/65° NWとN50° E/85° SE）の小断層も，互いに切断関係にある（第7図e）．

NW系小断層

NW系小断層はN45° W/85° SWに集中する（第4図）．この小断層は，NE系小断層を切り（第8図b），厚さ数mm以下の濁沸石からなる沸石脈や方解石脈を伴う（第8図b）．水平隔離は2cm以下，傾斜隔離は1cm以下である．小断層の間隔は，3～40cmである．NE系小断層同様，小断層にはほぼ平行な方解石脈に切られる場合がある．

E-W系小断層

E-W系小断層は，N80° E/80° Sに集中する（第4図）．この小断層は，アプライト岩脈を伴う断裂，NE系およびNW系小断層を切る（第8図c, d）．水平隔離は最大6cmに達するが，傾斜隔離はほとんど認められない．変位センスは，左横ずれである（第8図d）．また，小断層の間隔は，5～30cmである．この小断層は方解石脈，沸石脈（濁沸石からなる）を伴うが，厚い方解石脈にはその両側および内部に薄い沸石脈が認められる（第8図f）．沸石脈は厚さ数mm以下であるが，方解石脈は最大13cmに達する．さらに，E-W系小断層には，Fe酸化・含水酸化鉱物脈を伴うものもある（第8図e）．Fe酸化・含水酸化鉱物脈は単独で存在する場合と，方解石脈と共存する場合がある．

考 察

調査地点に分布する断裂は、随伴する鉱物種の違いから大きく3つのグループに区分される。そのうち沸石または方解石を伴うものは、その方位により、さらに3つのグループに細分される。これらの断裂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。そこで、各断裂の切断関係から、本地域に分布する断裂系の形成過程を解析した。その結果、断裂系の形成史は4つのステージに区分されることが判明した（第9図）。


ステージ1では、緑色小断層とアプライト岩脈を伴う断裂が形成される。ここで形成される緑色小断層は、まだ1ヶ所では認められないため、この変形が広域なものかは判断できない。構成鉱物が母岩の北崎トータル岩と同じであることから、鉱物の破壊のみを伴う剪断変形によって形成されたと考えられる。この小断層の形成条件については、より多くの小断層を見つけ、さらに検討をする必要がある。アプライト岩脈を伴う断裂は、薄いアプライト岩脈がレンズ状の形態を示す（第7図c）ことから、開口断裂であると考えられる。緑色小断層とアプライト岩脈を伴う断裂の切断関係は現在のところ認められないため、両者の前後関係は不明である。

ステージ2ではNEおよびNW系小断層が形成される。これらの小断層系は、互いに切断関係にあり、伴われる鉱物脈も同じであるため、形成時期はほぼ同時で、共役系であると考えられる。両小断層の姿勢から主応力軸の方向を求めると、 σ_2 が垂直に近く、 σ_1 と σ_3 がそれぞれ南北方向と東西方向に低角な配置と考えられる。これは津屋崎層および山鹿層に認められる北北西—南南東方向の向斜軸とは斜交する。このことは、これらの小断層が向斜軸の形成とは無関係であることを示唆する。また、NE系小断層の一部は大円ガードルを形成する。この大円ガードルの π 軸も向斜軸の方向とは斜交する。これらの小断層は平面ではなく屈折している（第7図d）ため、傾斜のばらつきが大円ガードルとして示されている可能性が高い。

ステージ3では、E-W系小断層が形成される。この小断層が最も隔離量が大きく、左横ずれ変位が卓越する。

最後に、ステージ4で、E-W系小断層の開口が起こったと考えられる。このステージに開口したのは主にE-W系小断層であったが、NEおよびNW系小断層も若干開口している。

沸石脈がNE、NWおよびE-W系小断層に伴われることから、沸石脈の形成はステージ2および3であると考えられる。方解石脈が沸石脈を切る（第7図f、8図c）ことや、E-W系小断層に

	断 裂	鉱 物 脈
ステージ 1	緑色小断層 アプライト岩脈を伴う断裂の形成	アプライトの貫入
ステージ 2	NE系小断層 NW系小断層の形成	 沸石脈の形成
ステージ 3	E-W系小断層の形成	
ステージ 4	E-W系小断層の開口	方解石脈および Fe酸化・含水酸化鉱物脈の形成

第9図 北崎トータル岩中に発達する断裂の形成史

伴われる厚い方解石脈の両側に薄い沸石脈が認められる (第8図f) ことから, 方解石脈の形成は, 沸石脈の形成の後, すなわちステージ4の小断層の開口時期であると考えられる. また, Fe酸化・含水酸化鉱物脈も方解石脈に密接に産することから, ステージ4で形成されたと考えられる. これらの鉱物脈は, 熱水活動で形成されたと考えられる (岡田・小島, 1963; 上野・花田, 1982). 沸石脈は調査地域全域に認められるが, 最西部では非常に少ない. さらに最西部ではNE系小断層にのみ伴われる. それ以外の部分でも, その分布は様ではなく数ヶ所の集中域が認められる. 方解石脈は, 南東部域 (領域A~C, 特に領域B) に集中する. Fe酸化・含水酸化鉱物脈は, 南東部域 (領域B) のごく一部に認められる. このことはそれぞれの鉱物脈を形成した熱水活動が広範囲に及ぶものではないことを示唆する. それぞれの鉱物脈を形成した熱水活動の範囲や時期については, より広い範囲の調査を行うことにより明らかにすることができると考えられる. ただ, 今回の調査地域内では, 南東部側に分布が偏っていることから, 熱水活動の中心は南東側にあった可能性が高い.

北崎トータル岩中の脈鉱物は, 束沸石, 濁沸石, 方解石であり, 志賀島花崗閃緑岩では濁沸石と方解石であるとされる (上野・花田, 1982; 中牟田, 1996). 本地域の沸石脈を構成する沸石のうち, 今回の検討でX線回折により確認できたのは濁沸石のみであるが, これに若干のイライトが含まれる場合がある. また, 沸石脈の周囲数mm~5cm程度は, 桃色~橙色を呈している (第7図e, f, 8図a, b). これは沸石脈形成時, トータル岩の構成鉱物の粒間に沸石が生成したためであると考えられる. 沸石脈および周辺の鉱物構成については, さらに解析を進める必要がある.

前述のように, 北崎トータル岩は塊状で, 化学組成も調査地域内ではほぼ一定であり (第1表), 初生的には構造的, 岩石学的異方性はなかったと考えられる. したがって, 本地域に発達する断裂は, 貫入・固結後の構造運動によって形成されたと考えられる. その構造運動の範囲や応力場の検討には, 上位の堆積岩類も含めたより広い範囲の調査が必要である.

ま と め

福岡県津屋崎町の渡半島榑崎北東に分布する北崎トータル岩中に発達する断裂の姿勢計測と切断関係, 鉱物脈との関係の調査・解析を行った結果, 以下のことが明らかとなった.

1. 調査地点に分布する断裂は, それに伴われる鉱物種の違いから大きく3つのグループ (アブライト岩脈を伴う断裂, 緑色小断層, 沸石や方解石からなる鉱物脈を伴う断裂) に区分される. そのうち沸石や方解石を伴う断裂は, その方位により, さらに3つのグループ (NE系小断層, NW系小断層, E-W系小断層) に細分される.
2. これらの断裂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. 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4つのステージに区分される.

謝 辞

大阪市立大学理学部の奥平敬元博士には粗稿を読んでいただき, 有益な討論をいただいた. 福岡大学理学部の上野勝美助教授には査読をしていただき, 有益な助言をいただいた. 以上の方々に心から感謝いたします.

文 献

- 井沢英二・唐木田芳文・島田允堯・高橋正好・成富雅史, 1985, 福岡市の北崎-志賀島累帯深成岩体. 三鉱学会昭和60年秋期連合講演会講演要旨集, 37.
- 唐木田芳文, 1997, 火成岩類—北崎トータル岩と岩脈類. 宗像市史通史編「自然」, 117-140.
- 唐木田芳文, 1998, 花崗岩類. 福岡町史自然編Ⅲ「福岡町の地質・鳥類・漂着物」, 23-38.
- 唐木田芳文・山本博達, 1996, 渡半島の火成岩類. 津屋崎町史, 資料編下巻 (二), 24-56.
- 松本征夫・山縣茂樹・板谷徹丸, 1992, 北部九州および下関市産玄武岩類のK-Ar年代と主化学成分. 松本征夫教授記念論文集, 247-264.
- Miki, T., Nakamuta, Y. and Aizawa, J., 1993, Regional patterns of diagenetic alteration in the Tertiary of the Kyushu-Korea region:

- Implications for plate tectonics at the eastern Asian continental margin. *Jour. Sed. Petrol.*, **63**, 894-898.
- 中牟田義博, 1976, 福岡県津屋崎付近の第三紀層中の沸石と粘土鉱物. 岩鉱, **71**, 147-156.
- 中牟田義博, 1996, 渡半島の鉱物. 津屋崎町史, 資料編下巻 (二), 113-136.
- 岡田博有・小畠郁生, 1963, 福岡市北方, 津屋崎町付近の第三系. 九大理研報, 地質学, **7**, 75-83.
- 高橋 清, 1962, 津屋崎古第三紀層に見られる花粉群とその地質学的意義. 九鉱誌, **30**, 378-382.
- 上野禎一・花田京子, 1982, 福岡県津屋崎産沸石鉱物の化学組成と成因. 鉱物雑, **15**, 259-272.
- 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**, 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**, 77-81.