

2000年鳥取県西部地震の震源域における地質構造解析

Geological structure of the epicentral area of the 2000 Tottori-ken Seibu earthquake

小林健太¹・相澤泰隆²・梅津健吾³・小山敦子⁴・山本 亮⁵

Kenta Kobayashi¹, Yasutaka Aizawa², Kengo Umetsu³, Atsuko Oyama⁴ and Ryo Yamamoto⁵

^{1,4}新潟大学大学院自然科学研究科 (Graduate School of Science and Technology, Niigata University, kenkoba@gs.niigata-u.ac.jp, f02f467k@mail.cc.niigata-u.ac.jp)

²新潟大学理学部, 現所属: 京都大学大学院理学研究科 (Faculty of Science, Niigata University, present affiliation: Graduate School of Science, Kyoto University, inaho0go@kueps.kyoto-u.ac.jp)

³新潟大学大学院自然科学研究科, 現所属: 株式会社日さく (Graduate School of Science and Technology, Niigata University, present affiliation: Nissaku Co., chousal-ngt@nissaku.co.jp)

⁵帝国石油株式会社 (Teikoku Oil Co., Ltd., r_yamamoto@teikokuoil.co.jp)

Abstract: We precisely described mesostructural characteristics of geological structures in the epicentral area (aftershock zone) of the 2000 Tottori-ken Seibu earthquake and the surrounding area. Mesoscopic distribution density, width and hue (color) of fault rocks, such as fault gouges and cataclasites, are different between the epicentral and surrounding areas. Foliated cataclasites occur only in the epicentral area. These facts suggest that the 2000 epicentral area has a longer history and higher activity in faulting than the surrounding area.

キーワード: 2000年鳥取県西部地震, 震源域, 断層, 断層岩, 断層岩の(分布)密度, 断層岩の幅, 断層岩の色相

Keywords: 2000 Tottori-ken Seibu earthquake, epicentral area, fault, fault rocks, distribution density of fault rocks, width of fault rocks, hue of fault rocks

1. はじめに

2000年鳥取県西部地震(Mj 7.3)は, 確実な活断層が認められない地域で生じた大規模な内陸地震である. この地震に前後して, 周辺での空中写真判読により, 左横ずれを示す推定活断層やリニアメント群が判読され, また地表踏査により, それらに沿った多数の断層露頭の存在が示された(200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ, 2000; 堤ほか, 2000; 井上ほか, 2002). しかし, これらの配置は, 伏島ほか(2001)で示された地表地震断層の配置と完全に一致するわけではなく, それから離れた位置にも広く分布する. また断層露頭の記載も, 構造地質学・構造岩石学的な視点からみて充分とはいえない. すなわち, 断層の性状に基づいた形成時期等の区分はなされておらず, 震源断層との関係についても不明な点が多い.

本研究では, 井上ほか(2002)による調査よりも広い範囲を踏査した(第1図). 各断層露頭において, 原則的に全ての構造要素を漏れなく記載した. その結果を, 福山ほか(2001)の余震分布と, それに基づく堀川ほか(2001)の断層モデルと比較することにより, 震源断層直上に分布する断層の性格付

けを行うことを主たる目的とした. また, 余震域から離れた露頭との差異を抽出することにより, 断層系として地震発生前の認定が可能であるか否かを検討し, さらにその配置を決定した要因について議論した.

2. 地表踏査の概要

以下の2回の期間に調査を行った.

2.1 第1回調査

2002年8月10日から19日までの期間に, 鳥取県西伯郡西伯町を中心とし, 同郡会見町, 日野郡日野町・日南町・溝口町および島根県能義郡伯太町にわたる, 北西-南東約17km, 北東-南西約12kmの範囲において実施した(第1図). これは, 井上ほか(2002)の調査範囲を, 震源域の北西側に約4km拡張した範囲に当たる. 新潟大学の大学院生・学生を含む, 数名ずつの調査チームを編成し, 調査地域全域にわたる広域の岩相分布を把握するとともに, 各調査地点において, 断層・岩脈・節理等を記載した. 記載項目は, 面構造・線構造の種類と姿勢, 変位(量), 破碎帯の幅・色相, 側岩との関係

等である。記載の標準化を図るため、予め記載項目を列記したワークシートを作成し、各調査地点の観察事実をこのワークシートに記載した。また、連続露出のある2地点（西伯町緑水園および西伯／溝口町境）において、長さ80-25mの水平測線を計3本設定し、断層・岩脈・節理の姿勢および分布密度の変化を連続的に測定するとともに、断層岩等の定方位試料を採取した。

2.2 第2回調査

2002年11月16日から21日までの期間に、鳥取県西伯郡西伯町を中心とし、日野郡日野町・日南町・溝口町の数地点において実施した。調査内容や記載項目は、前回とほぼ同様であり、これを補うものである。

3. 調査結果

本調査で得た結果のうち、主たるものは以下の通りである。

3.1 花崗岩類と岩脈の分布

調査地域の南方に露出する三郡変成岩類を基盤として、白亜紀後期～古第三紀の花崗岩類（根雨岩体：山陰バソリス研究グループ、1982）が広く貫入する。今回、花崗岩類を組織や鉱物粒径に基づいて3つに区分した。すなわち、1) 粗粒黒雲母花崗岩、2) 中粒黒雲母花崗岩、3) 中～粗粒斑状黒雲母花崗岩、である（第1図）。各岩体間での貫入関係を確認することはできなかった。1) は調査地域の中央部、2) はその周辺部、3) は北西端に分布する。

調査地域全体で、花崗岩類を貫く岩脈を約400枚確認した。玄武岩ないし安山岩質のものが大多数である。これらの貫入は中新世以前と考えられている（服部・片田、1964）。また、アプライト質のものがほぼ全域に、流紋岩質のものが調査地域の北半部に分布する（第1図）。

震源断層直上（余震域北西部・余震域中央部・余震域南東部の3地域に区分；第2図）の各露頭では、6-10枚/100mの密度で岩脈が形成されており、特に余震域中央部では、11枚/100m以上の密度を示す露頭が複数存在する。震源断層から離れた地域（余震域外北東部と余震域外南部の2地域に区分；第2図）では、全般に岩脈の発達は低調であるが、余震域外北東部の北東縁部では、6-10枚/100mとやや高い。

3.2 カタクレーサイト帯の分布と性状

余震域北西部の1地点、余震域中央部の2地点、余震域南東部の2地点において、粗粒および中粒黒雲母花崗岩を原岩とする面状カタクレーサイト帯を確認した。他の地点では認めていない（第3図）。以下、代表的な2地点での産状を記載する。

日野町根妻の日野水力発電所付近（余震域南東

部）では、面状カタクレーサイトが産する（第4図）。原岩は中粒黒雲母花崗岩であり、暗色包有物（最大径8cm、暗色ゴマ塩状）を頻繁に含む。このカタクレーサイトは、Y面やP面に沿った黒雲母の底面すべりによる伸長と、それらをずらすR1面、また斜長石の変質による粘土鉱物化（白濁化）を特徴とする。Y面の姿勢（走向・傾斜）はN24°W・66°SWであり、それに対するP面やR1面の斜交性は、左横ずれの剪断センスを示す。

西伯町緑水園（余震域中央部）の大露頭は、北北東－南南西方向に幅80m以上で連続露出する。中粒黒雲母花崗岩中に、玄武岩ないし安山岩質、流紋岩質、アプライト質の岩脈が貫入する。大多数の岩脈の姿勢は西北西－東南東走向・高角だが、安山岩質の支脈が北東－南西方向に貫入する部分があり、これに沿って右横ずれのカタクレーサイト帯が形成されている（第5図）。花崗岩と安山岩の境界面は、R1面やR2面で接する箇所を除くと、入り組んだ形状を示す部分が多い。カタクレーサイト化に伴う細粒化が両側に認められることから、安山岩の貫入以後に生じた変形と判断される。

3.3 断層ガウジ帯の分布と性状

調査地域全体で、約900枚の断層ガウジ帯を確認した。余震域北西部、余震域中央部および余震域南東部の各露頭では、6-10枚/5mの密度でガウジ帯が形成されており、特に余震域中央部では、11枚/5m以上の密度を示す露頭が複数存在する（第3図）。余震域外北東部と余震域外南部では、全般にガウジ帯の発達は低調だが、前者では逆に震源断層から離れるほど分布密度が高くなり、北東縁部では11枚/5m以上を示す露頭が北西－南東方向に配列する。

ガウジ帯の幅は、1mm-10数cmの範囲にわたるが、数mm前後のものが多く、また、比較的幅の広いもの（3cm以上）は、余震域中央部と、余震域外北東部の北東縁部に限って認められる。断層ガウジの組織の詳細については別途報告するが、基質に含まれる破碎岩片の割合が少なく、粒径もより小さいこと、また粘土鉱物の割合が多いことによって、前述したカタクレーサイトとは区別される（第6図）。

ガウジ帯の色相は多岐にわたり、白色・淡黄色・黒色・淡緑色・黄褐色・桃赤色・淡桃赤色・淡橙赤色等が認められる。余震域中央部では、色相を識別した444枚のガウジ帯のうち、無彩色・還元色を示すものが80%を占め、酸化色は11%に過ぎない。一方、余震域外北東部では、189枚のガウジ帯のうち、酸化色が55%、無彩色・還元色が33%であり、余震域中央部とは逆の傾向を示す。

3.4 断層岩帯・岩脈の姿勢と随伴性

調査地域全体では、断層岩帯（そのほとんどが断層ガウジ帯）の姿勢は西北西－東南東走向・鉛直に集中し、また東北東－西南西走向・鉛直にも弱く集

中する(第7図)。

余震域北西部では、 $N63^{\circ}W \cdot 86^{\circ}SW$ に集中するが、東西走向・鉛直を経て東北東-西南西走向・鉛直まで、連続的に変化する。余震域中央部では、 $N65^{\circ}W \cdot 80^{\circ}NE$ と $N60^{\circ}E \cdot 84^{\circ}SE$ に分かれて集中する。余震域外北東部では、 $N55^{\circ}W \cdot 85^{\circ}NE$ に集中する。これら3地域では、岩脈と断層の姿勢はほぼ一致し、各地域内での集中同士の差は $3-12^{\circ}$ である(第2,7図)。

一方、余震域南東部では $N57^{\circ}W \cdot 87^{\circ}NE$ と $N26^{\circ}W \cdot 84^{\circ}NE$ に、余震域外南部では $N45^{\circ}W \cdot 60^{\circ}NE$ に、断層岩帯の姿勢はそれぞれ集中する。岩脈との斜交性は、それぞれ 6° と 26° 、 35° であり(第2,7図)、調査地域の北・中央部と比べてやや大きい。

断層ガウジ帯上で姿勢を測定した線構造(多くは条線)は、総数100本程度であり、地域間での差を見いだすには至らなかった。走向移動を示す低角なものが多いが、高角なものも少なからず存在する(第7図)。ごく少数の例外を除き、カタクレサイト帯も含め、西北西系のは左横ずれ、東北東系のは右横ずれを示す。

西伯町緑水園において、岩脈を合計10数枚確認した。これらは3枚程度の組で並走する岩脈群をなす。異なる岩質で岩脈群をなす場合もある。その姿勢は3.2で述べたように、西北西-東南東走向・高角が多い。一方、断層の姿勢は、露頭全体では $N60^{\circ}W \cdot 鉛直$ と $N60-70^{\circ}E \cdot 鉛直$ に集中する。剪断面の分布密度は数枚/m程度であるが、10枚/mを超えるピークも3箇所認められる。このうち最大のピーク(20枚/m)は、岩脈群と花崗岩の境界より数m花崗岩側に認められる。

4. 議論

今回の調査結果から、断層岩(断層ガウジ・カタクレサイト)の分布密度、幅、色相に関して、震源断層直上とそれから離れた地域との間で違いが認められた。ただし、余震域外北東部の北東縁部に限り、余震域中央部に匹敵する分布密度と幅を示す部分がある。これは、2000年鳥取県西部地震に伴っては活動しなかったものの、顕在的に並列する別の断層系の可能性がある。

震源断層直上に限って産するカタクレサイト、特に面状カタクレサイトについて、形成環境を深く議論することは避けるが、一般的には断層ガウジよりも深部でのレオロジー領域で形成されたと考えられる(例えば、Sibson, 1977)。このことを重視すると、「震源断層の位置では周囲に比べ、より古い地質時代から、より活発な断層活動が生じている」と結論される。

震源断層直上の断層と、北東縁部の断層は、ガウジ帯の色相が大きく異なっている。一般に断層ガウジ帯の色相は、その鉱物組成等によって変化するた

め、両者は破碎に伴う熱水変質環境(温度やpH等)が異なっていた可能性がある。両者に違いを生じさせた原因をこれ以上論ずることは難しいが、例えば野島断層等の場合、その中軸部(fault core)では還元色、外縁部(damage zone)では酸化色(赤色系)の変質が卓越し、本地域でも同様な関係を観ているのかもしれない。もしそうであれば、ガウジの色から断層の活動性を推定できる可能性がある。今後、測色計等を用いたより厳密な色彩解析に加え、ガウジ試料の粉末X線回折や微小構造解析、透水係数の測定を進め、この仮説を検証する必要がある。

堀川ほか(2001)の断層モデルに対して、反時計回りに斜交する断層ガウジ帯の姿勢に対する説明として、まず挙げられるのは、剪断初期におけるリーデル剪断面(R1面)の卓越(例えば、Tchalenko and Ambraseys, 1970)であろう。これは、観察したガウジ帯が、断層系形成初期の姿を現しているとする立場である。余震域中央部での断層モデル($N38^{\circ}W \cdot 鉛直$)に対し、調査地域全体でみた斜交関係は、この説明に調和的である。ただし地域ごとに細かく検討すると、R2面やP剪断面に相当するものも普遍的に認められ、これらが卓越する地域も存在する。具体的には、余震域北西部に比較的多い東北東系のガウジ帯はR2面とみなせるとともに、この地域に想定される別の断層($N74^{\circ}E \cdot 87^{\circ}SE$: 堀川ほか, 2001)自体が、余震域中央部の断層に対するR2面とみなせる。この問題については、データをさらに蓄積した上で、稿を改めて議論したい。

断層ガウジ帯と岩脈の間に認められる分布傾向の一致と姿勢の平行性は、上述した余震域北西部に加え、西伯町緑水園での結果に良く現れている。ここでは、岩脈群と花崗岩との境界付近の、花崗岩側に変形が集中している。この点を考慮すると、断層ガウジ帯と岩脈の分布傾向の一致と姿勢の平行性について、1)貫入に伴う初生的な断裂面が、岩脈群の片側に形成されていた、2)断層活動時に、岩脈群として(個々の岩脈ではなく)剛体的に挙動した、3)岩脈群に規制された流体移動により、その片側で破壊が促進された、等の成因が想定される。結論として、これらのうちのいずれか、もしくは複数の成因に、上述したリーデル剪断面の卓越する効果が複合的に加わり、断層系の位置と配列が決定されたと考えられる。

5. まとめ

2000年鳥取県西部地震の震源断層直上とそれから離れた地域とでは、断層岩(断層ガウジ・カタクレサイト)の分布密度、幅、色相に差があることが確認された。また、面状カタクレサイトは、震源断層直上に限って産することが明らかになった。これらのことから、震源断層の位置では周囲に比べ、より古い地質時代から、より活発な断層活動が生じ

ていると結論される。今後は、調査地域を震源断層の北東側および南西側に拡大して、今回の調査結果を検証するとともに、より分析的な手法を加えることによって、その成因についても探求して行く予定である。

謝辞 現地調査を実施するにあたり、新潟大学大学院自然科学研究科の藤平秀一郎氏、同理学部地質科学科の岩下享平、中井 亮、千葉郁恵、大塚洋之、村田竜治、桑原麻希、斉藤 健、三宅克彦、田村綾子、小安孝幸、播磨雄太、大橋聖和、大川直樹、窪島光志の各氏にご協力いただいた。また、産業技術総合研究所活断層研究センターの伏島祐一郎氏には、調査の準備段階において有益な助言をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。なお本研究は、産業技術総合研究所深部地質環境研究センターが経済産業省原子力安全・保安院からの委託を受けて実施した「平成 14 年度地層処分にかかる地質情報データの整備」の一環として行われた。

文 献

福山英一・Ellsworth, W. L.・Waldhauser, F.・久保篤規 (2001) 2000 年鳥取県西部地震の詳細断層構造. 2001 年地球惑星科学関連学会合同大会, S3-007.
伏島祐一郎・吉岡敏和・水野清秀・宍倉正展・井村隆介・小松原 琢・佐々木俊法 (2001) 2000 年鳥取県西部地震の地震断層調査. 活断層・古

地震研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, No. 1, 1-26.

服部 仁・片田正人 (1964) 5 万分の 1 地質図幅「根雨」および同説明書. 地質調査所, 40p.

堀川晴央・関口春子・岩田知孝・杉山雄一 (2001) 2000 年鳥取県西部地震の断層モデル. 活断層・古地震研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, No. 1, 27-40.

井上大榮・宮腰勝義・上田圭一・宮脇明子・松浦一樹 (2002) 2000 年鳥取県西部地震震源域の活断層調査. 地震 2, 54, 557-573.

200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ (2000) 「200 万分の 1 日本列島活断層図」ー過去数十万年間の断層活動の特徴ー. 活断層研究, No. 19, 3-12.

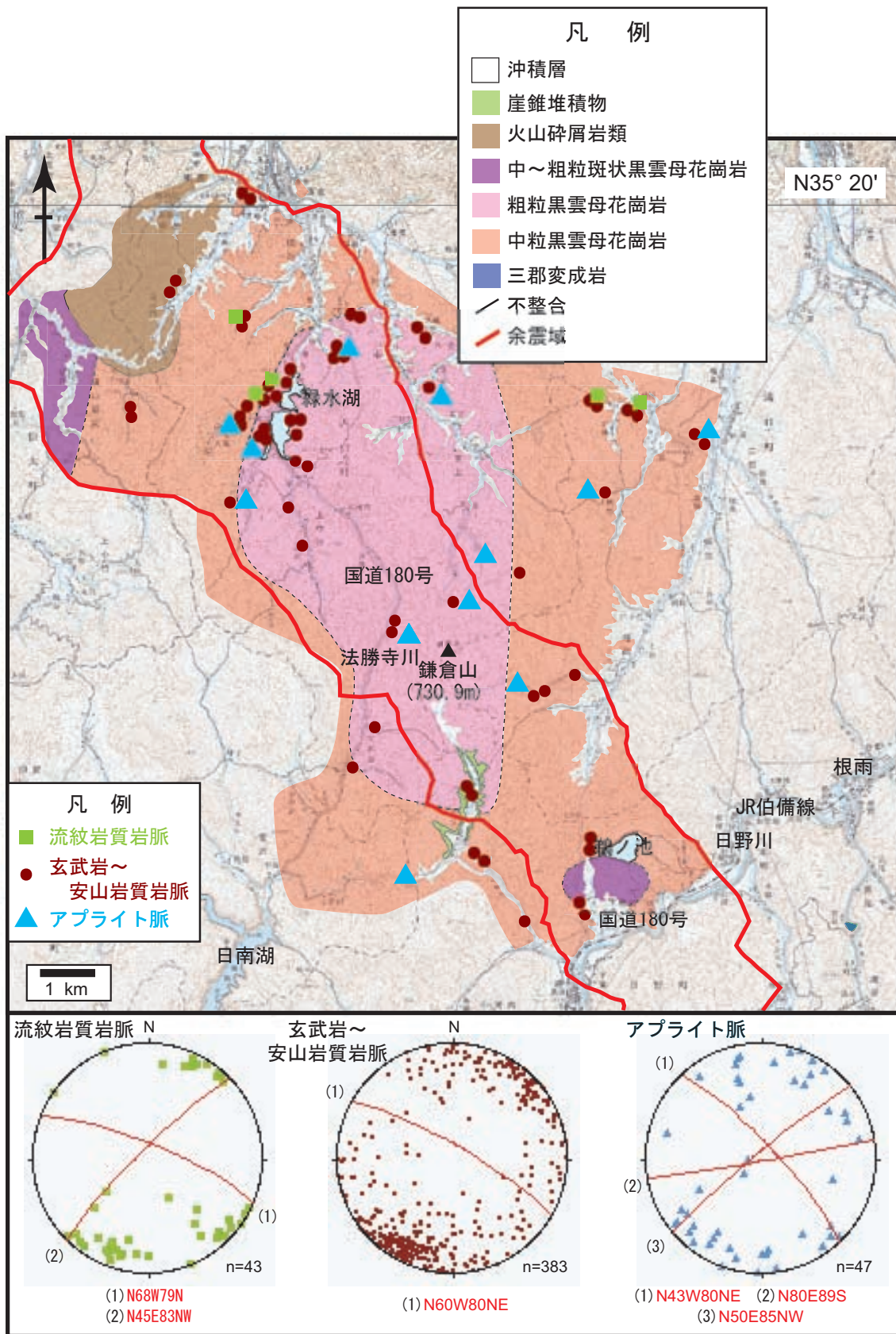
山陰バソリス研究グループ (1982) 根雨花崗岩体ー山陰帯におけるバソリスの研究 (その 1) ー. 地質学雑誌, 88, 299-310.

Sibson, R. H. (1977) Fault rocks and fault mechanisms. *Jour. Geol. Soc. London*, 133, 191-213.

Tchalenko, J. S. and Ambraseys, N. N. (1970) Structural analysis of the Dasht-e Bayaz (Iran) earthquake fractures. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 81, 41-60.

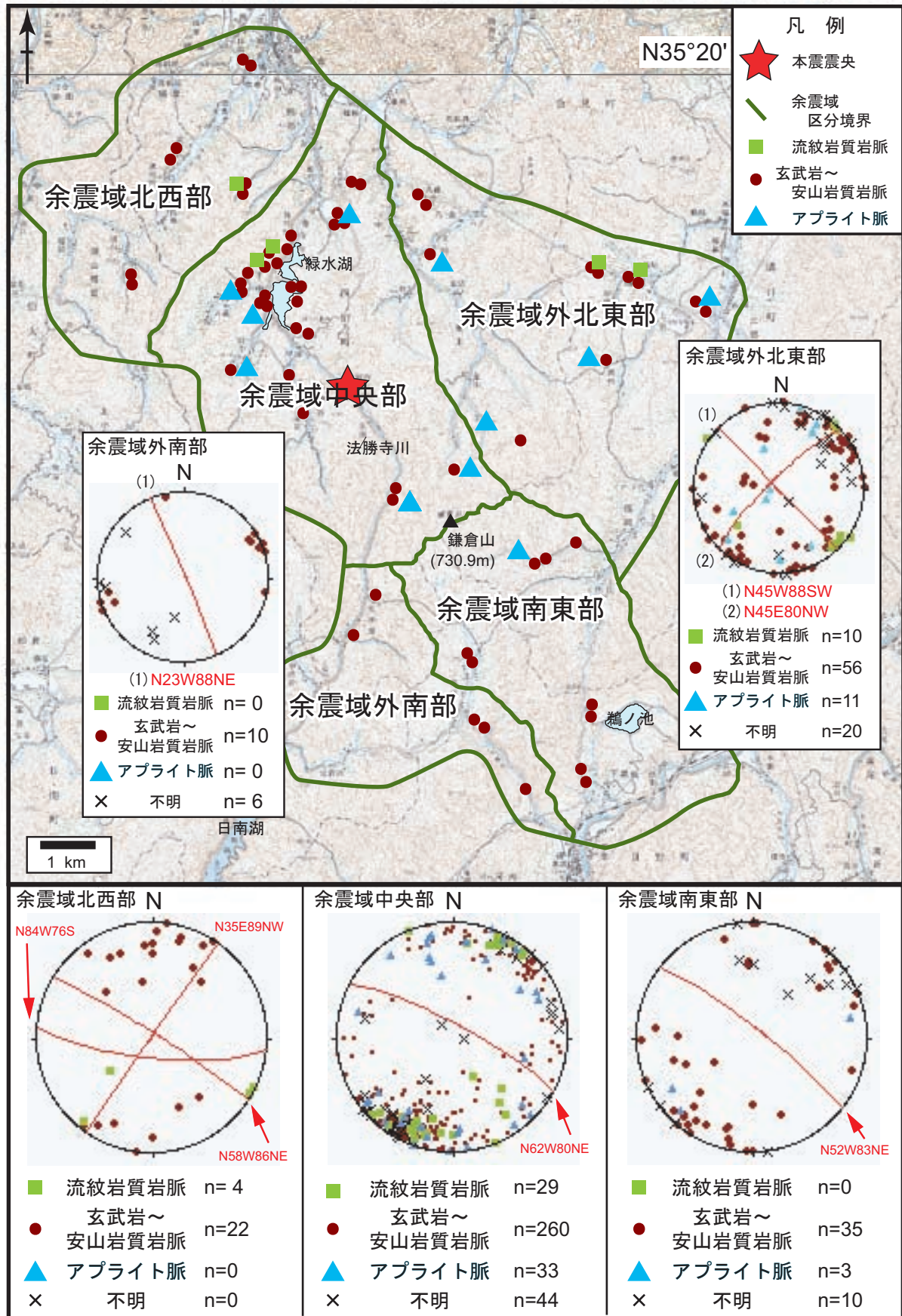
堤 浩之・隈元 崇・奥村晃史・中田 高 (2000) 鳥取県西部地震震源域の活断層. 月刊地球号外, No. 31, 81-86.

(受付: 2003 年 10 月 3 日, 受理: 2003 年 10 月 10 日)



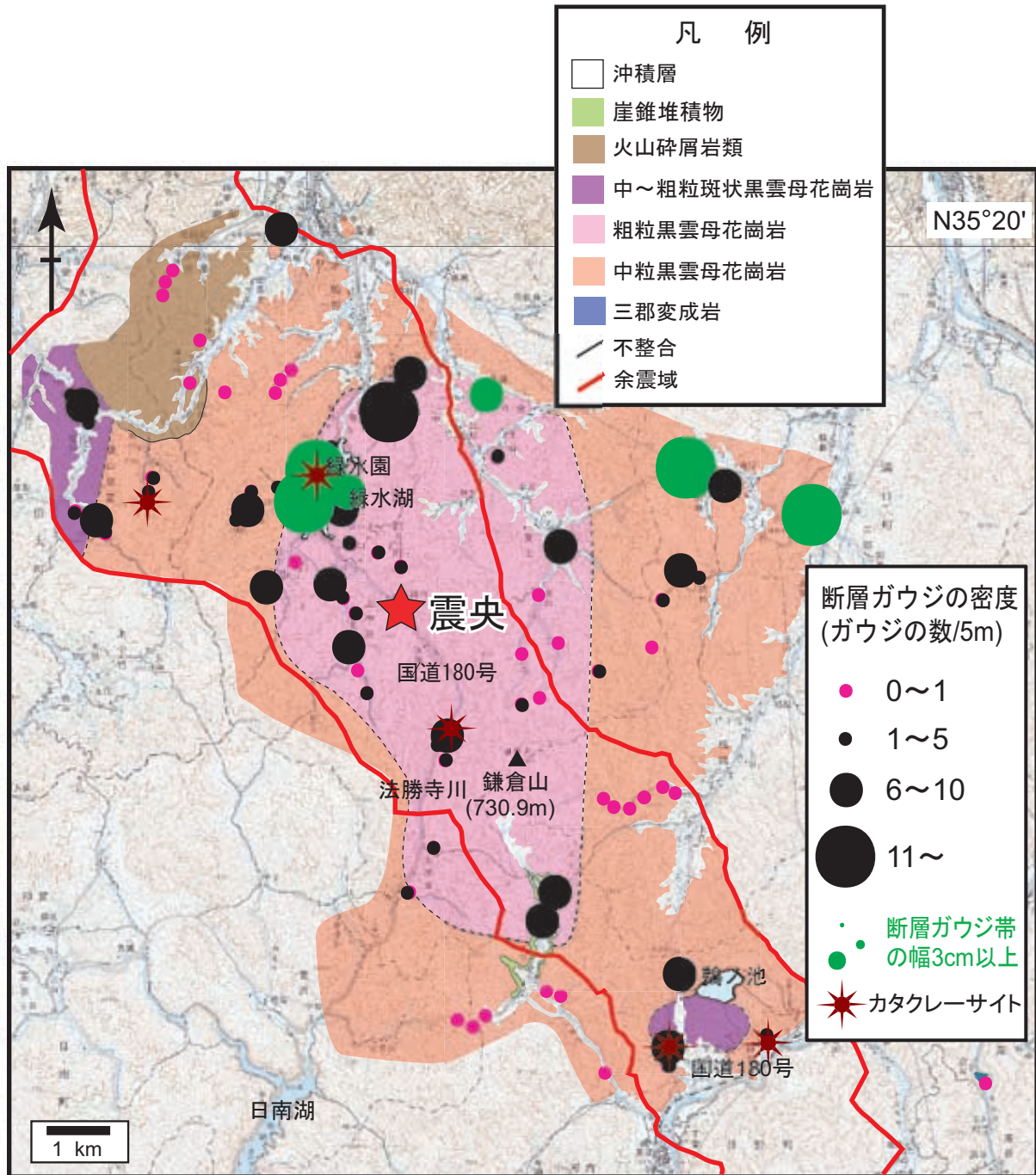
第1図. 調査地域の地質図と岩脈の姿勢 (シュミットネット下半球投影). 国土地理院発行5万分の1地形図「米子」および「根雨」を使用.

Fig. 1. Geological map of the survey area and the attitudes of dikes (equal-area lower-hemisphere projections). 1: 50,000 topographic maps "Yonago" and "Neu" published from the Geographical Survey Institute are used for the base map.

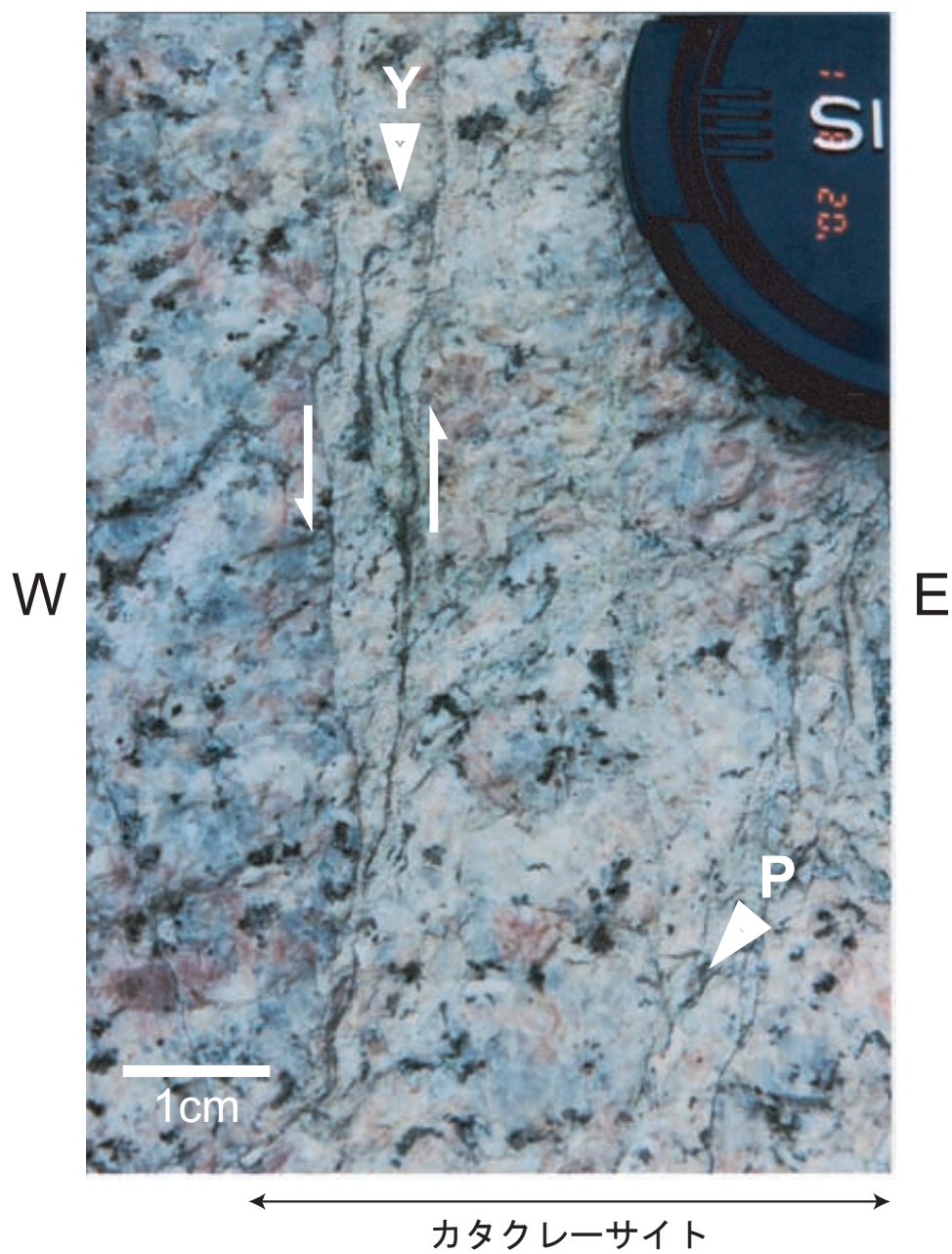


第2図. 5地域の岩脈分布と姿勢.

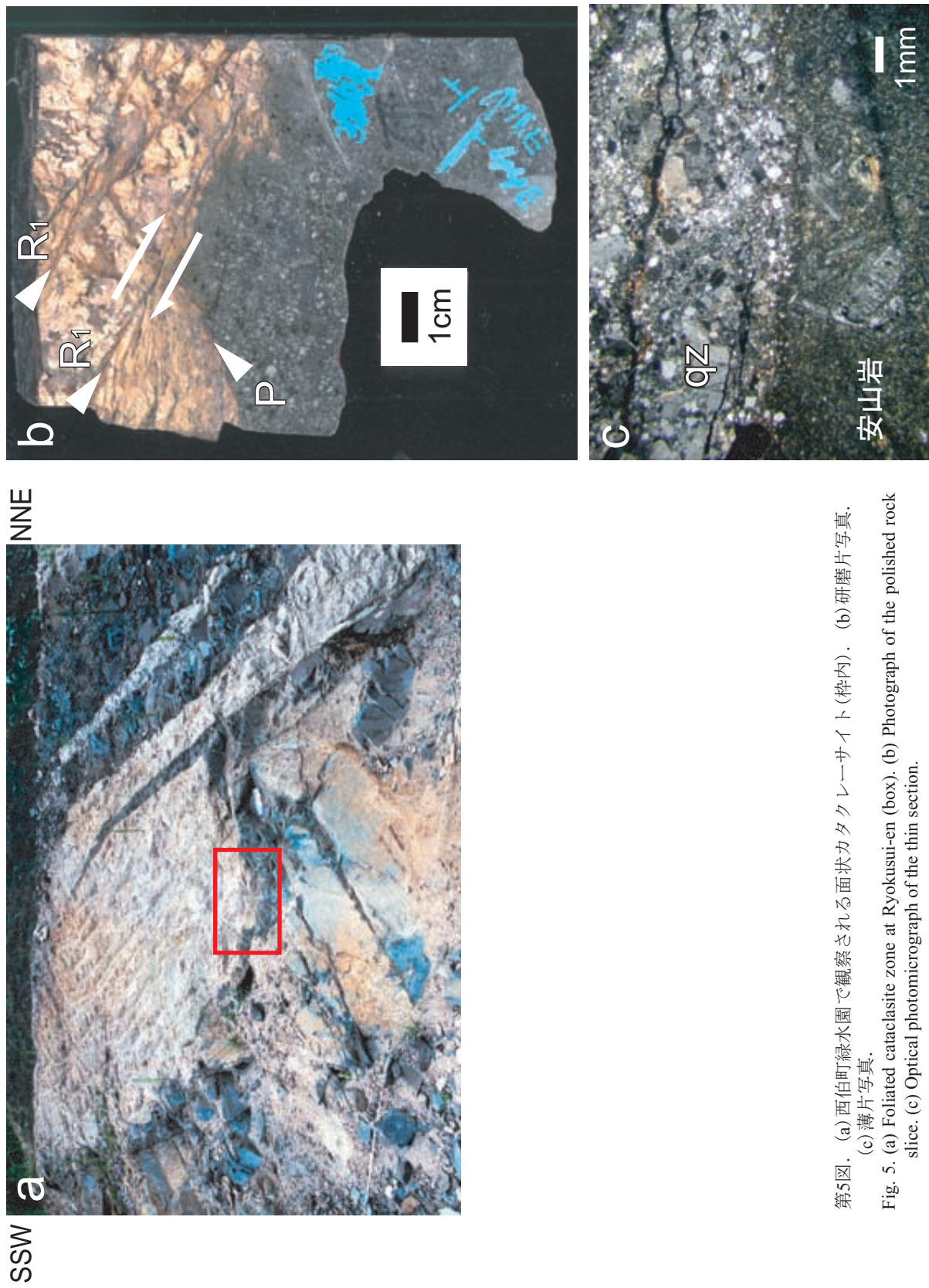
Fig. 2. Distribution and attitudes of dikes in the five areas.



第3図. 断層岩 (断層ガウジ・カタクレーサイト) の分布, 密度, 幅.
Fig. 3. Distribution, density and width of the fault rocks (fault gouges and cataclasites).

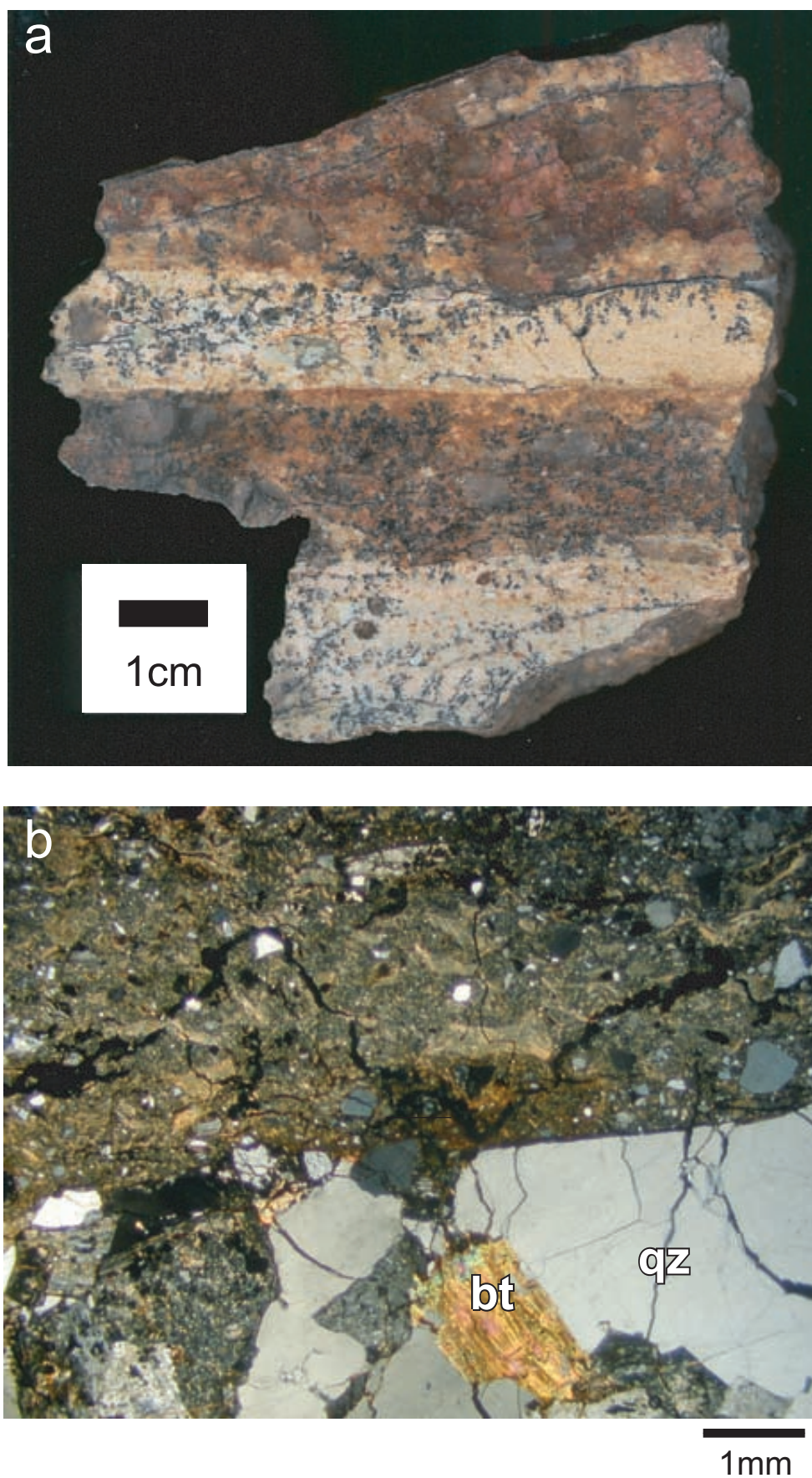


第4図. 日野町根妻の日野水力発電所付近で観察される面状カタクレーサイト.
Fig. 4. Foliated cataclasite zone at Hino.

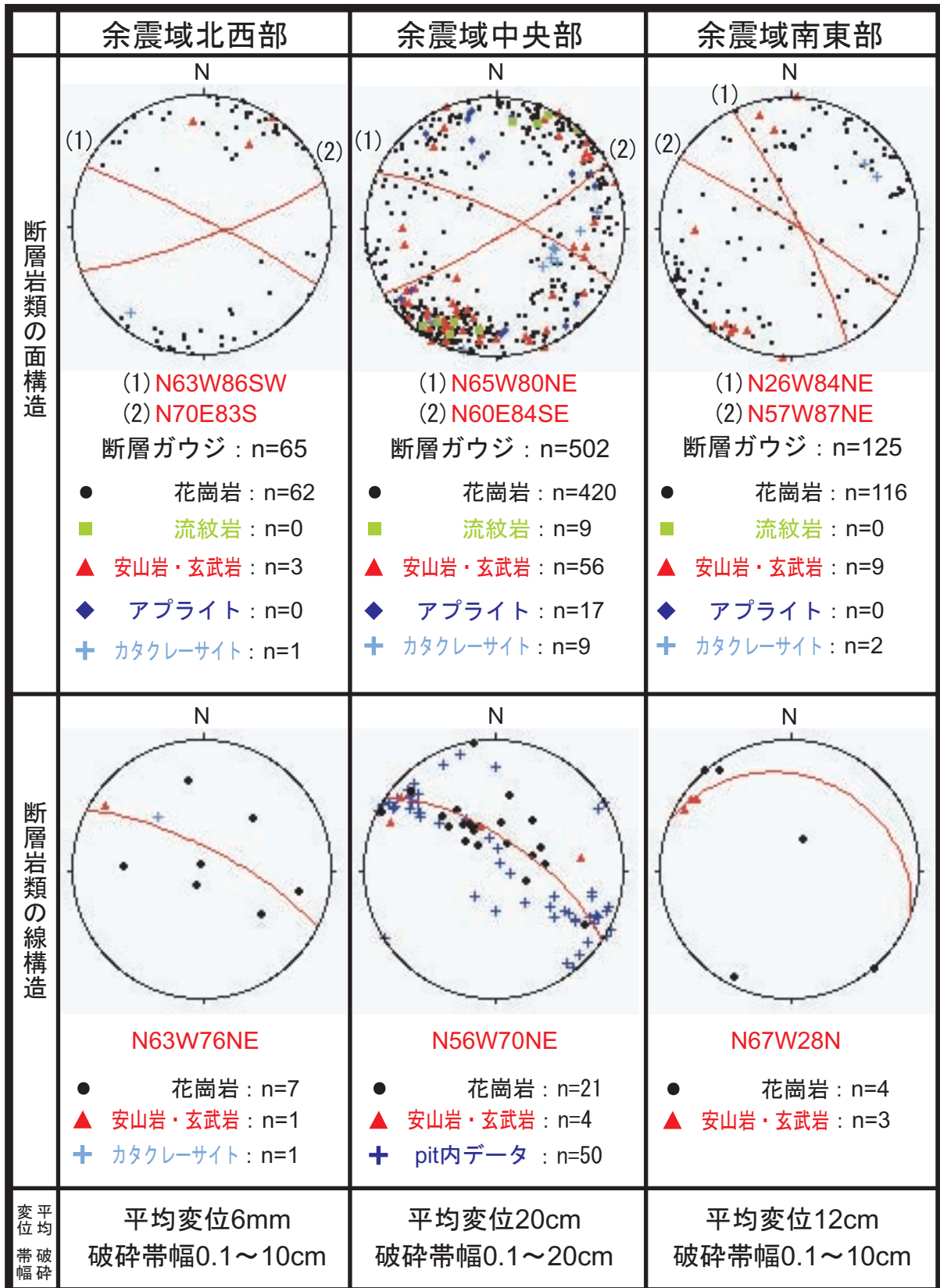


第5図. (a) 西伯町緑水園で観察される面状カタクラサイト(枠内). (b) 研磨片写真.
(c) 薄片写真.

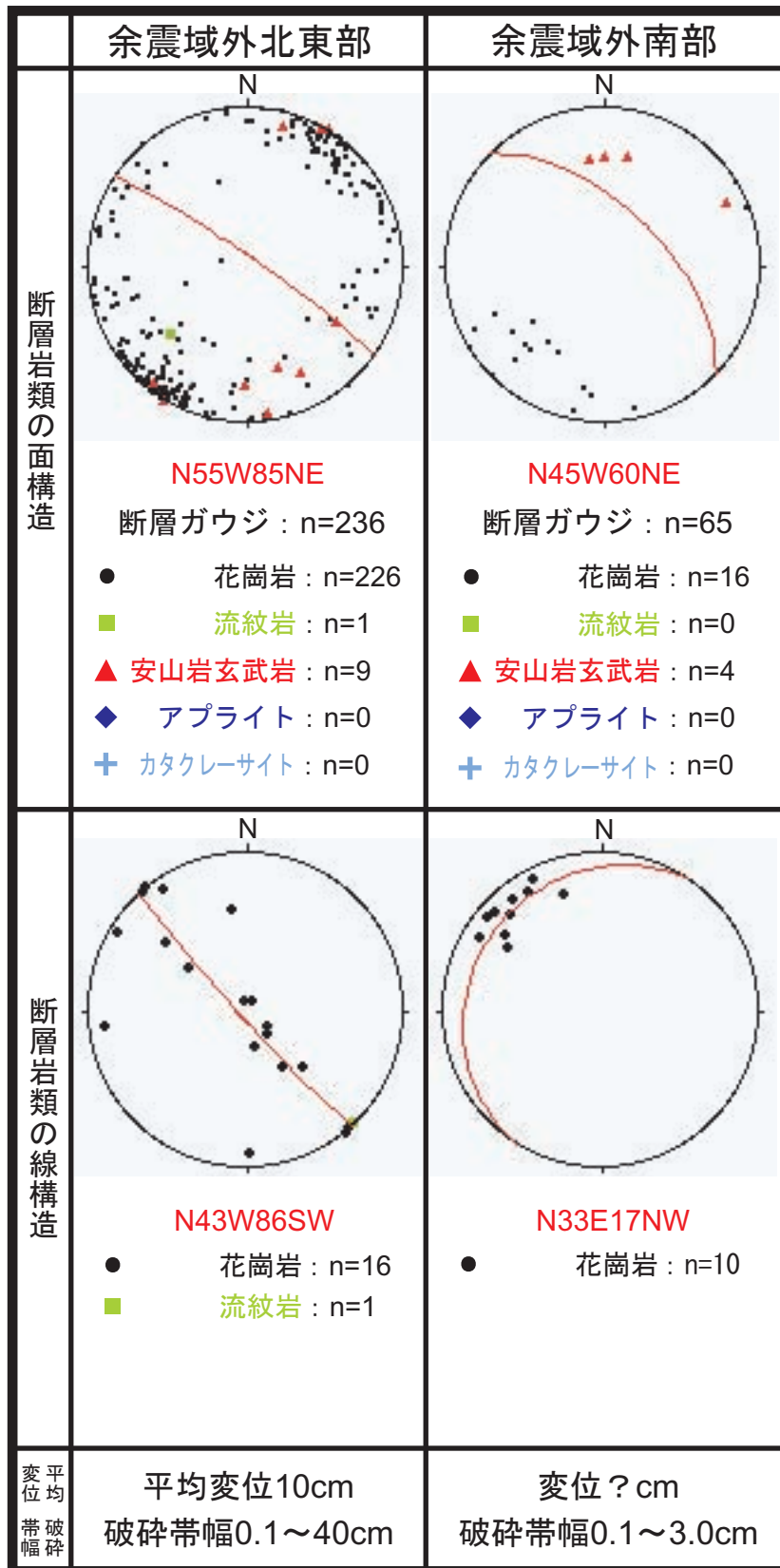
Fig. 5. (a) Foliated cataclasite zone at Ryokusui-en (box). (b) Photograph of the polished rock slice. (c) Optical photomicrograph of the thin section.



第6図. 西伯町緑水園で観察される断層ガウジ. (a) 研磨片写真. (b) 薄片写真.
Fig. 6. Fault gouge zone at Ryokusui-en. (a) Photograph of the polished rock slice. (b) Optical photomicrograph of the thin section.



第7図. 断層岩類の面構造と線構造の姿勢.
Fig. 7. Foliations and lineations of the fault rocks in the five areas.



第7図. 続き.
Fig. 7 (continued).