

山崎断層系における岩石密度の測定

竹内文朗・中村佳重郎・松村一男・渡辺邦彦

要 旨

山崎断層系の構造を調べるため、断層周辺で岩石を収集し、その密度を調べる事を行なった。期間は 1988 年から 2004 年までで、少しずつデータの増加を続けた。ここでは、その進行状態と結果の概要を報告し、これと並行して行なった重力測定の結果を合わせて示す。これらは、直接間接に地質構造と関係を持つように見える。当域は西暦868年にM 7の播磨地震が発生したところである。現在、微小地震の発生頻度が高く、今後その関係に注目したい。

キーワード： 山崎断層系，岩石密度，重力測定，微小地震，地殻変動，地質

1. はじめに

山崎断層系は主に兵庫県，岡山県に 80km にわたり西北西 - 東南東に走る活断層系の一つである。そこには、主として大原断層，土万(ひじま)断層，安富断層，暮坂峠断層，琵琶甲断層などの断層があり，(活断層研究会，1991)，更に東方の断層とのつながりも指摘されている(例えば，地震調査研究推進本部地震調査委員会，2003)。また，これらのほとんどは確実度 で，活動度は B と考えられている(新編日本の活断層，1991)。この断層系では，868 年に播磨・山城の地震(M 7.0)が起こったとされ(宇佐美，1996)，それ以後既に 1,100 年以上経ている。

この断層帯を含む多くの観測研究は 1970 年代初めから続いている。微小地震の観測は鳥取微小地震観測所(現，鳥取観測所) 1965 年から始まり，1976 年にはテレメータ観測で質的に向上した。また 1975 年ごろから，安富断層周辺で山崎断層観測坑での伸縮計測定をはじめ，地殻変動的観測が開始された。1978 年には「山崎断層テストフィールド総合観測」が 10 カ年の地震予知計画に加えられ，実験的研究の場になった。一連の研究は，山崎断層研究論文集(1)(1988)，山崎断層研究論文集(2)(1988)に数十編がまとめられている。

10 年間のテストフィールド計画が終了した後，それぞれの分野で連続的に続けられ今日に至っている。例えば，渡辺ら(1997)，澁谷・竹内(2005)は一例である。安富断層の構造調査の一つとして重力測定が

ある(竹内ら，2001)。これは 1984 年～1999 年の独自の重力観測データと，金属事業団(当時)の観測データをあわせて安富断層の構造を求めたものである。この内 1988 年の観測の時，我々は後の補正のため断層を南北にまたぐラインで岩石を集め，密度測定を行なった。結果は，破碎帯と言われる断層近くに密度の高い岩石が分布した。そこでこの傾向の確認と山崎断層周辺での一般性を見るため，更に岩石収集を重ねた。ここではその途中経過を行なう。



Fig. 1 Main parts of the Yamasaki fault system. Stone density were observed from 1,988 to 2,004. Gravity measurements were held from 1,984 to 1,999 near and around the faults.

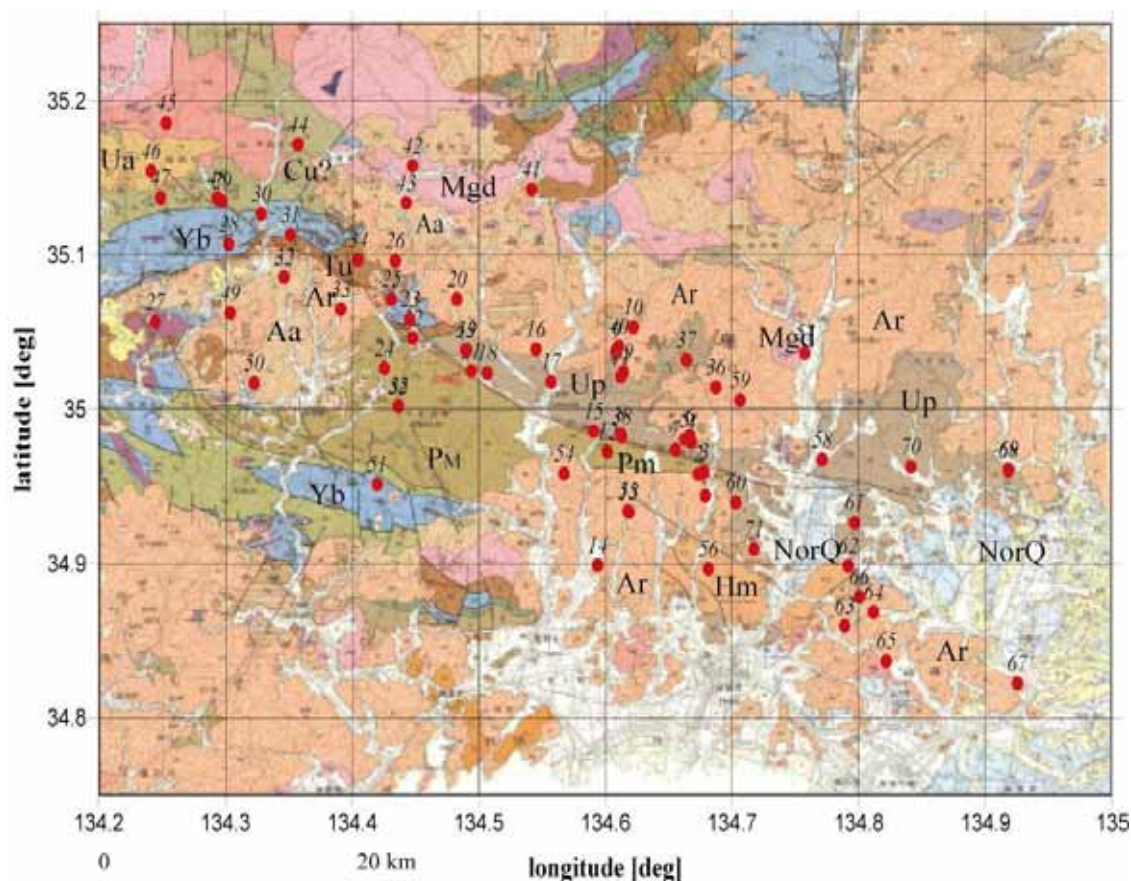


Fig.2 Red points show the stone collected points on a geophysical map (modified from Geological maps of Japan 1:200,000 (Images)). Numbers on the points are the time order as follows. 1-15, 1988; 16-35, 2002; 36-56, 2003; 57-71, 2004. Yamasaki fault system is shown as the sloping lines. Rocks' names and their geological ages are shown by color with abbreviation. Neogene or Quaternary, NorQ; Mesozoic, Mgd(granodiorite), Ar(rhyolite & dacite pyroclastic rocks & lavas), Aa(andesite lava & pyroclastic rocks), Hm(rhyolite pyroclastic rocks), Ur(rhyolite & dacite lavas & pyroclastic rocks), Ua(andesite lava & pyroclastic rocks), Yb(hornblende gabbro, pyroxene gabbro & diabasic gabbro), Ym(amphibolite & biotite gneiss); Paleozoic, Tu(slate mudstone, sandstone, chert, limestone, acid tuff & basic volcanic rock), Pm(sandstone, phyllitic state, chert, basic volcanic rock & limestone), Up(slate, sandstone, chert, limestone & basic volcanic rock)

2. データ

2.1 岩石の採集

1988年の重力測定に際し、安富断層に交わる15点で岩石採取した(竹内ら, 2001)。その後、重力測定点も増加し、これを考慮し当断層系の西部を占めるに土万断層、大原断層、また東方に戻って暮れ坂峠断層や琵琶甲断層でも岩石を収集した。これらは1988, 2002, 2003, 2004 の各年を通じて71点である。Fig.1, Fig.2 に示すように山崎断層系は西北西 - 東南東にほぼ一直線に分布する。道路条件等から、断層走行に沿った道が多く、ところどころから直行する道路が山へ別れ中腹の町村へつながる。岩石採集場所は自ずとこの道路条件に従い、それほど均等ではない。現在のところ、ほとんど全ての点は断層



Photo 1 An example of stone collection. (in the Fukusaki town, Hyogo Pref., Aug. 27, 2004)

から10 km 程度までに分布する。(Fig.2 参照)

岩石の採集は、壁面をのみとハンマーで叩き割り風化の少ない岩石を優先した。最近の採掘工事現場での採集が若干点あったが、これはごく稀で、ほとんどは岩石の表層部分を人力で採集した。(Photo 1) 従って、ここでは岩石密度測定としての精度はゆるいが、場所によるおよその岩石密度の違いは得られると考えている。なお、作業は各回3人前後、1~2日の作業で、部屋での密度測定は1~3人で行なった。

2.2 岩石の密度測定

集めた岩石は程度の差こそあれ風化している。場合によっては現在採掘中の発破現場での岩石選びも出来たが、ごく稀である。つまり、我々の集めた岩石の風化常態、ひいては岩石密度は地下のそれとは異なる。しかし、その影響を正しく見積もる事は難しいため、我々はこれを無視し、地上での値をそのまま測定するにとどめた。また、地下数kmまでは岩石の密度変化は小さく、間隙は水で飽和されるものと考えた。従って採取した岩石密度は、十分長く水に浸けた状態で測定する事にした。Photo 2 は2004年の岩石を水中に浸けている例である。



Photo 2 Example of stones in water in order to be saturated. This condition was kept for at least 1 week through some months.

岩石密度は、その重量と体積を得れば求まる。重量は秤により簡単に得られるが、体積はやや手間を要する。我々は、(a)岩石重量 s と、(b)容器に入れた水に岩石を沈めた時の総重量 $s + w$ と、(c)を釣り糸で外部にぶら下げ、岩石部を水中に浮かせた時の重量 $s + w - t$ 、(但し、単位はいずれも gr(グラム)。 w は容器とそこに入れる水の重さの合計。 t は釣り糸が支える張力) を測定し、後は計算で密度を求めた。なお、水は出来るだけ15 ~17 にしたが、日により22 になった事もある。しかし、密度は1.000 g/cm³ と考えて処理した。以上の測定を

Fig.3 に模式的に示す。更に、岩石の密度の計算過程を、式(1)、(2)、(3) に表す。

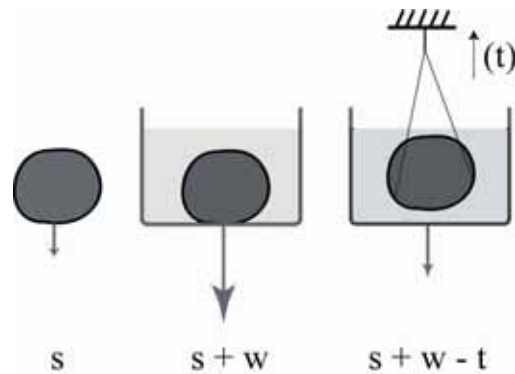


Fig. 3 Schematic diagram of stone density calculation. s , stone weight; w , weight of water+vessel; t , tension. Units are all for gr.

重さは新光電子株式会社の測器「DJ-6100 はかり」を用いた。6,100 gr まで測定でき、0.1 gr 単位の表示がなされる。実際の精度は0.1 gr である。Fig. 3 に示した重量をこの秤で得て、密度 d gr/cm³ を次の計算で求めた。岩石体積を v cm³ とし、測定量を上記(a)、(b)、(c)、で表すと、

$$d = s / v$$
$$= (a) / v \quad (1)$$

ここに、

$$v = (s - t) / 1.000 \quad \text{であり、しかも}$$

$$(s - t) = s + \{(s + w - t) - (s + w)\}$$
$$= (a) + (c) - (b) \quad (2)$$

であるから、密度 d g/cm³ は、

$$d = (a) * 1.000 / \{(a) + (c) - (b)\} \quad (3)$$

として得られる。求めた 71ヶの岩石につき、その番号、採取年月日、採取場所の緯度、経度、密度、岩石の推定年代、岩石の推定種類を、付録に示した。

3. 考察

3.1 密度の値と場所による違い

上記付録に示された岩石密度を 0.1 g/cm³ 区切り

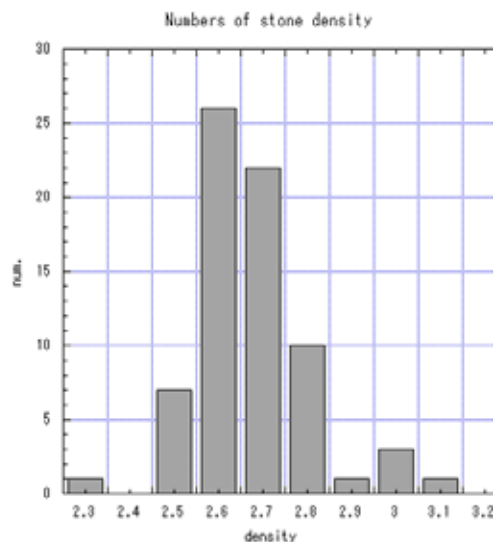


Fig.4 Numbers of stones versus their density. Almost all the densities are 2.55 ~ 2.75 g/cm³. However, some stones show greater than 2.9 g/cm³.

で Fig.4 に示す。ほとんどが 2.5 g/cm³ 強 ~ 2.7 g/cm³ 強を示す。次に, Fig.5 に地図上にこの密度の平均値をコンターとして示す。Fig.4 に記した特に高い値は, Ohara 断層と, Hijima 断層に極めて近い白丸の附近で 2.9 以上, 最高 3.04 g/cm³ というものである。Fig.2 で青い部分に相当し, 中生代三疊紀の角閃石斑レイ岩などである。(通商産業省工業技術院, 1981) 以下この地質図による。この 2 つの高密度点の間は中生代白亜紀 ~ 古代三期の流紋岩や安山岩などが多い。更に東へ向かうと, Hijima-f. が 2 分し, Yasutomi-f. と Kuresaka-toge-f に変わる。その間は断層の南が古生代二疊紀三日月層, 断層北が古生代末区分岩石である。安富断層は南に三日月層が細長く続き, 北は古生代岩石である。暮坂峠断層は中生代の流紋岩等火砕岩が主である。今回対象にしたうちの最も東の琵琶甲断層には中生代の流紋岩と第四期の堆積層が存在する。

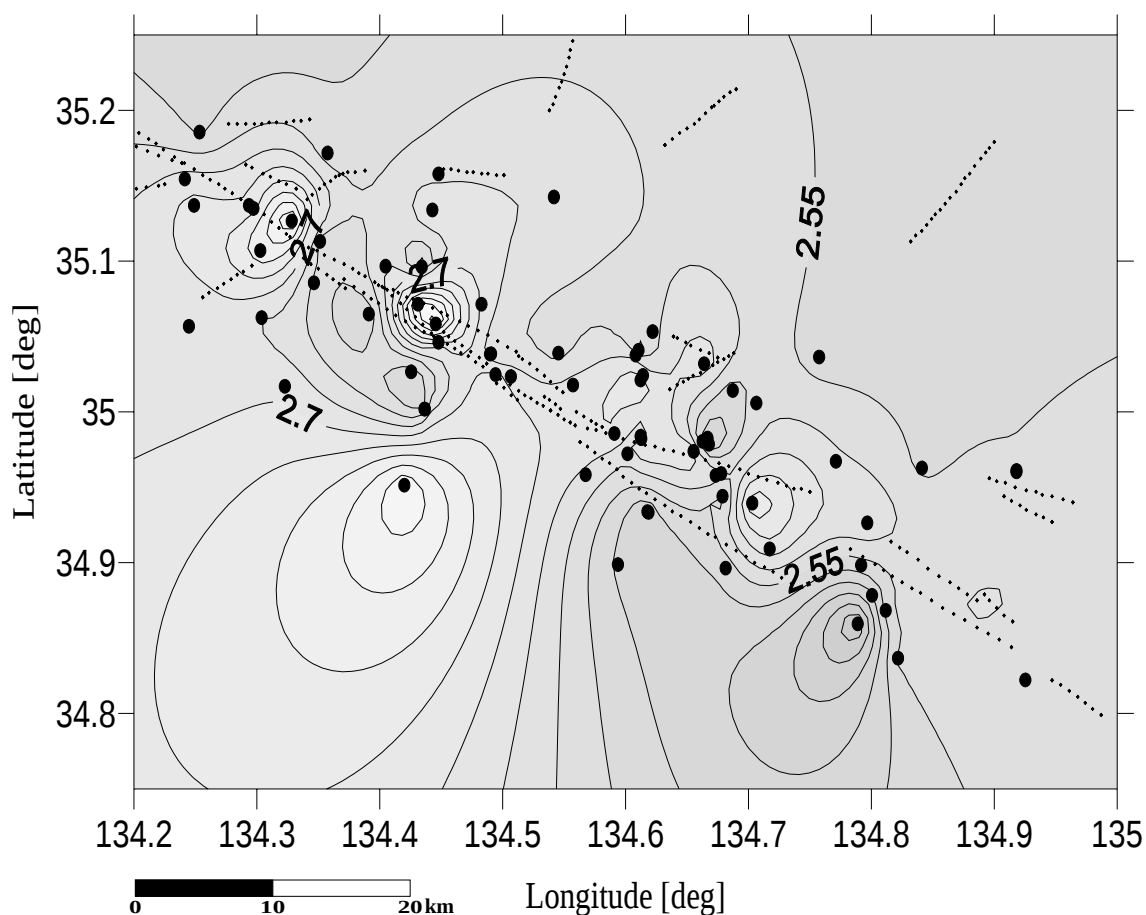


Fig.5 Contour map of the stone density observed from the stones (black circles). White corresponds to high density and black low (3.04 ~ 2.24). Dot lines are the main faults belonging to the Yamasaki fault system. Density values close to the faults show high.

安富断層近くでの採集岩石の高密度傾向(竹内ら, 2001)が, その後の岩石集めの要因であるが, その後は測点増加でむしろ特徴は薄れている。現在安富断層の場合, 更に南の暮坂峠断層周辺が低密度であるのに対し, 安富断層上と更に北数 km は密度が高い程度の特徴はあるが, 鮮明ではない。以上現状報告にとどまる。

3.2 重力値との比較

これまでの重力測定の結果と, 今回の岩石の結果を比べた。その様子を Fig.6-1, Fig.6-2 に示す。

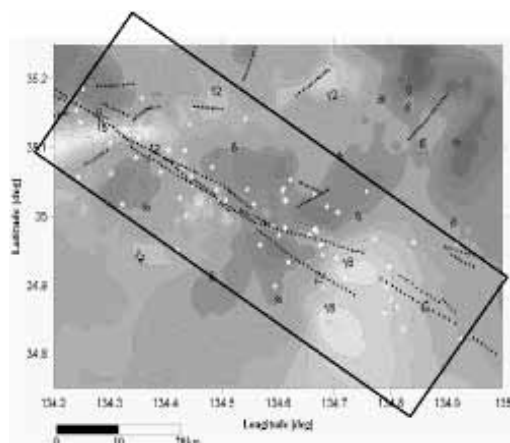


Fig.6-1 Bouguer anomalies in and around the Yamasaki fault system. White regions correspond to the high Bouguer anomaly and black low. White points are the stone corrected points. The rectangle indicates the outline of stone collected region.

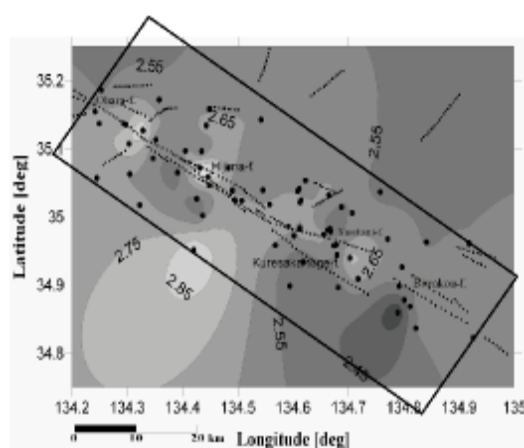


Fig.6-2 Stone density map in and around the Yamasaki fault system. White shows the high density regions and black low. Solid black marks are the stone collected points. The rectangle is the same as in Fig.6-1. Fault lines are shown by thin dot lines.

Fig.6-1 は我々独自の千点弱の重力測定値と, 金属鉱業事業団のデータ(地質調査所, 2000)を用いた。図の四角は重力的にも岩石採取からもデータが取れている範囲である。観測点分布は $2 \times 2 \text{ km}^2$ に1点の割合である。赤っぽいのがブーゲー異常の高い所を, 青っぽいのが低いところを表す。高い所は, だいたい高い密度を示す岩石のあった点を示すが, Fig.6-2 に示した岩石密度の粗い色分けと比べると完全に一致するわけではない。大原断層や土万断層上のブーゲー異常の高い所の形や, 同じく安富断層と暮坂峠断層の間の東部の高い値が, 岩石密度の形と微妙に異なる。また, 両者の小さい値も完全一例するわけではない。これが真の違いならば, 重力探査の結果が地表面の岩石の密度差を表しているだけでなく, 更に深い構造の違いを表していると考えられる事が出来る。しかし一方, 重力で千点近いデータを用いているのに対し, 岩石密度は 71 データに過ぎないという調査の質の違いを検討すべきと思われる。

4. おわりに

断層周辺で岩石を収集し, その密度を調べるという作業を行ってきた。これはもともと重力探査の解析材料と考えて始めた事である。しかし, 山崎断層系の安富断層で 1988 年に行なったところ, 断層に近いところが重く, 遠いところに軽い岩石が多いという結果を得た。重力探査は, その後 1997 年から3度行なったが, これに加えて 2002, 2003, 2004 年に岩石を集め, 密度を測定する事が出来た。相互の関係は, 測定数に反比例して解釈が複雑になってきた。しかし, 現状を調べ, データの蓄積を図る事は大切と考え, 上記のような結果を示した。

謝 辞

本稿作成にあたり, データの収集, 作成に尾上謙介氏, 松尾成光氏, 見野和夫氏に援助頂いた。深く感謝いたします。

なお, 金属工業事業団の重力データの一部を利用させていただきました。御礼申し上げます。

参考文献

- 活断層研究会編(2001): [新編]日本の活断層 - 分布図と資料 -, 東京大学出版会, p438.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2003): 山崎断層の長期評価について.
- 宇佐美龍夫(1996): 新編日本被害地震総覧.

山崎断層研究グループ編（1988）：山崎断層研究論文集（1）．

山崎断層研究グループ編（1988）：山崎断層研究論文集（2）．

渡辺邦彦・中尾節郎・松村一男・竹内文朗（1997）：兵庫県南部地震前後の山崎断層域の地殻活動(その2) -地震データベース構築のために，京都大学防災研究所年報，第40号B-1，pp.21-26．

澁谷拓郎・竹内文朗（2005）：活断層帯の微小地震の活動特性，大大特平成16年度報告書，京都大学防災研究所，pp.150-158．

20万分の1地質図幅複集（画像）（2002）：産業技術総合研究所 地質調査総合センター．

竹内文朗・中村佳重郎・渡辺邦彦・松村一男・河野芳輝・原宏史・駒澤正夫・西田良平（2001）：山崎断層系、安富断層周辺での重力測定，京都大学防災研究所年報、第44号B-1、pp.177-184．

地質調査所編集（2,000）：日本重力CD-ROM，通商産業省工業技術院地質調査所．

Geological Survey of Japan, AIST (2002)
Geological maps of Japan 1:200,000 (Images),
version.2.0

付録 1 - 1

no	mm.dd	latitude	longitude	density	humid	volume	age	description
	1988	Deg.	Deg.	g/cm3	g	cm3		
1	Feb.13	34.94408	134.67889	2.52	261.0	103.5	M	rhyolite
2	Feb.13	34.95789	134.67334	2.65	196.0	74.0	P	basic Volcanic rock
3	Feb.13	34.95914	134.67778	2.60	444.0	171.0	M	sandstone
4	Feb.13	34.97849	134.66777	2.45	440.5	180.0	M	rhyolite
5	Feb.13	34.98046	134.66267	2.49	215.5	86.5	M	rhyolite
6	Feb.13	34.98262	134.66667	2.44	257.0	105.5	M	rhyolite
7	Feb.13	34.97383	134.65533	2.69	456.0	169.5	P?	?
8	Feb.13	34.98387	134.61223	2.60	372.0	143.0	P	slate
9	Feb.13	35.03764	134.60822	2.65	481.0	181.5	P	shale
10	Feb.13	35.05323	134.62199	2.59	322.5	124.5	M	rhyolite
11	Feb.13	35.02115	134.61223	2.75	500.0	182.5	P	slate
12	Feb.13	34.97222	134.60156	2.61	475.0	182.0	P	(basic volcanic rock)
13	Feb.13	34.93333	134.61867	2.48	423.5	170.5	M	rhyolite
14	Feb.13	34.89875	134.59378	2.49	505.0	204.0	M	rhyolite
15	Feb.13	34.98566	134.59088	2.70	443.0	164.0	P	basic Volcanic rock

no	mm.dd	latitude	longitude	density	humid	volume	age	description
	2002	Deg.	Deg.	g/cm3	g	cm3		
16	Jul.30	35.03896	134.54527	2.58	1263.0	488.7	M	rhyolite
17	Jul.30	35.01779	134.55722	2.67	723.6	270.8	P	basic Volcanic rock
18	Jul.30	35.02342	134.50667	2.68	862.2	321.5	M	basic Volcanic rock
19	Jul.30	35.03851	134.49056	2.58	1312.9	509.5	P?	?
20	Jul.30	35.07140	134.48277	2.69	1249.0	464.4	M	rhyolite
21	Jul.30	35.02478	134.49417	2.72	705.8	259.6	P?	?
22	Jul.30	35.04617	134.44778	2.71	852.8	315.2	P	basic Volcanic rock
23	Jul.30	35.05833	134.44556	3.04	1144.9	376.1	M	diabasic Gabro
24	Jul.30	35.02658	134.42555	2.51	765.3	304.3	P	basic Volcanic rock
25	Jul.30	35.07140	134.43111	2.98	1144.4	383.8	M	gabbro
26	Jul.31	35.09617	134.43417	2.52	1257.8	498.8	M	rhyolite
27	Jul.31	35.05676	134.24472	2.65	1000.8	377.6	P	basic Volcanic rock
28	Jul.31	35.10698	134.30278	2.84	908.2	320.3	M	Hornblende gabbro
29	Jul.31	35.13491	134.29723	2.73	1205.6	441.9	P	chert
30	Jul.31	35.12658	134.32834	2.97	648.2	218.5	M	diabasic Gabro
31	Jul.31	35.11306	134.35140	2.57	720.5	280.2	P	basic Volcanic rock
32	Jul.31	35.08559	134.34639	2.59	929.5	359.3	M	dacite pyroclastic
33	Jul.31	35.06487	134.39111	2.51	703.7	280.9	M	rhyolite
34	Jul.31	35.09662	134.40472	2.66	1371.4	516.3	P	(rhyolite?)
35	Jul.31	35.00180	134.43666	2.64	1703.2	644.0	P	chert

Appendix 1-1 Result of stone density observation. no, collected number, year is written bellow mm.dd, here observed are in 1988 and 2002. humid, the stone's density after it is mostly wetted. age, geological epoch, P=Paleozoic, M=Mesozoic.

付録 1 - 2

no	mm.dd	latitude	longitude	density	humid	volume	age	description
	2003	Deg.	Deg.	g/cm3	g	cm3		
36	Oct.16	35.01417	134.68723	2.52	713.1	283.4	M	pyroclastic
37	Oct.16	35.03194	134.66390	2.69	700.6	260.8	P	chert or slate
38	Oct.16	34.98222	134.61278	2.75	808.1	293.7	P	slate
39	Oct.16	35.02417	134.61417	2.67	803.7	300.5	M	rhyolite
40	Oct.16	35.04083	134.61055	2.53	530.1	209.8	M	rhyolite
41	Oct.16	35.14250	134.54167	2.65	520.7	196.5	P	acid tuff
42	Oct.16	35.15778	134.44778	2.63	557.5	211.8	M	granodiorite
43	Oct.16	35.13389	134.44278	2.71	817.9	301.4	M	andesite
44	Nov.09	35.17167	134.35750	2.57	690.6	268.9	M	pyroclastic
45	Oct.17	35.18556	134.25333	2.54	641.3	252.6	M	granit
46	Oct.17	35.15445	134.24139	2.67	476.0	178.6	M	andesite lava
47	Oct.17	35.13694	134.24889	2.72	636.2	234.0	M	rhyolite
48	Oct.17	35.13694	134.29361	2.71	701.4	258.4	M	(pyroclastic)
49	Oct.17	35.06250	134.30389	2.65	579.0	218.6	M	rhyolite
50	Oct.17	35.01695	134.32278	2.69	688.0	255.6	M	andesite
51	Oct.17	34.95139	134.42000	2.95	758.1	257.1	P	hornblende gabbro
52	Oct.17	35.00195	134.43639	2.52	459.1	182.2	M	dacite
53	Oct.17	35.03833	134.48972	2.65	932.1	352.1	P	sandstone
54	Oct.17	34.95833	134.56751	2.64	707.1	267.9	M	andesite
55	Oct.17	34.93389	134.61778	2.45	474.4	193.3	M	pyroclastic
56	Oct.17	34.89639	134.68140	2.52	603.4	239.8	M	rhyolite

no	mm.dd	latitude	longitude	density	humid	volume	age	description
	2004	Deg.	Deg.	g/cm3	g	cm3		
57	Aug.27	35.03639	134.75751	2.53	631.0	249.8	M	granodiorite
58	Aug.27	34.96722	134.77112	2.61	347.5	133.3	P	basic Volcanic rock
59	Aug.27	35.00583	134.70639	2.58	571.9	221.6	M	rhyolite
60	Aug.27	34.93945	134.70305	2.80	446.7	159.4	P	sandstone
61	Aug.27	34.92639	134.79666	2.64	449.4	170.4	P	chert
62	Aug.27	34.89833	134.79167	2.53	561.7	222.0	M	rhyolite
63	Aug.27	34.85944	134.78890	2.24	396.6	176.9	M	rhyolite
64	Aug.27	34.86833	134.81166	2.53	359.4	142.3	M	rhyolite
65	Aug.27	34.83667	134.82167	2.56	473.5	184.7	M	liparite
66	Aug.28	34.87833	134.80055	2.44	548.4	225.2	M	mudstone
67	Aug.28	34.82222	134.92528	2.59	668.0	258.3	M	rhyolite
68	Aug.28	34.96028	134.91806	2.59	549.7	212.5	M	granit
69	Aug.28	34.96111	134.91806	2.56	557.8	218.2	M	pyroclastic
70	Aug.28	34.96278	134.84111	2.54	580.8	228.9	M	rhyolite
71	Aug.28	34.90917	134.71722	2.68	535.5	199.8	M	andesite

Appendix 1-2 Result of stone density observation. no, collected number, year is written bellow mm.dd, here observed are in 2003 and 2004. humid, the stone's density after it is mostly wetted. age, geological epoch, P=Paleozoic, M=Mesozoic.

Density of Stones Observed Near and Around the Yamasaki Fault System

Fumiaki TAKEUCHI, Kajuro NAKAMURA, Kazuo MATSUMURA, and Kunihiro WATANABE

Synopsis

We collected the stones near and around the Yamasaki fault system for studying the structure of the faults, from 1988 to 2004. The measured stone density is shown with the observed Bouguer anomalies. Both of these data shows some relationship with geological structure. The Harima Earthquake (M7, A.D.868) is believed as occurred around this region. The number of microearthquakes observing in this region is also high.

Keywords : Yamasaki fault system, stone density, gravity measurement, microearthquake, crustal movement, geology

