

神奈川県西部，山北町丸山における表層ボーリング調査
—山北南高感度地震観測井により示唆された第四紀断層の解明に向けて

林 広樹^{*1}・中満隆博^{*2}・上杉 陽^{*3}・笠原敬司^{*4}・関口渉次^{*5}

**Drilling survey at the Maruyama Mountain,
Yamakita Town in the western part of Kanagawa Prefecture, central Honshu, Japan
-toward an investigation of the Quaternary fault suggested by the borehole survey
of the Yamakita-minami observatory well-**

Hiroki HAYASHI^{*1}, Takahiro NAKAMITSU^{*2}, Yo UESUGI^{*3}, Keiji KASAHARA^{*4}, and Shoji SEKIGUCHI^{*5}

^{*1}*Shimane University, Japan*

hayashi@riko.shimane-u.ac.jp

^{*2}*Yachiyo Engineering Co. Ltd., Japan*

^{*3}*Tsuru University, Japan*

^{*4}*Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Japan*

^{*5}*Earthquake Research Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan*

Abstract

Many active faults belonging to the Kan'nawa-Kozu-Matsuda Fault System are distributed in the western part of Kanagawa Prefecture, central Honshu, Japan. According to the borehole geology of the Yamakita-Minami observation well drilled at the southwestern foot of Mt. Maruyama, an unknown Quaternary fault has been presumed nearby the well. We conducted two drilling surveys of 75 m in deep at the top and southwestern foot of the mountain for investigating the unknown fault. At the drill site of the mountain top, the borehole geology is divided into three lithologic units in descending order: newly rone deposits (0-26.6 m), rounded cobble (26.6-27.2 m) and lapilli tuff of the Neishi Formation, Ashigara Group (27.2-75.0 m). At the drill site of the southwest foot of the mountain, lapilli tuff of the Neishi Formation was recovered from 0-75.0 m in deep. With respect to the geologic and topographic data around the mountain, we propose the Maruyama Fault as a newly defined Quaternary fault having NW-SE strike along the southwestern foot of the mountain.

Key words: Borehole geology, Kanagawa Prefecture, Yamakita Town

1. はじめに

首都圏西部，神奈川県西部から静岡県東部には多数の活断層が分布する。そのうち，神縄・国府津－松田断層系は平均変位速度が約 3 m/千年に達する地点も有し（地震調査委員会，2009），我が国で最も活動的な活断層のひとつである。こうした活断層，またはそれらから派生し

た伏在断層の形状および運動像を把握する事は，この地域の地震テクトニクスを理解するためのみならず，首都圏の地震防災を考慮するうえでも重要な課題である。

防災科学技術研究所（以下，防災科研）では，2002 年度より開始された文部科学省からの委託研究「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」（通称・大大特）の一環と

^{*1} 島根大学

^{*2} 八千代エンジニアリング株式会社

^{*3} 都留文科大学

^{*4} 東京大学 地震研究所

^{*5} 独立行政法人 防災科学技術研究所 地震研究部

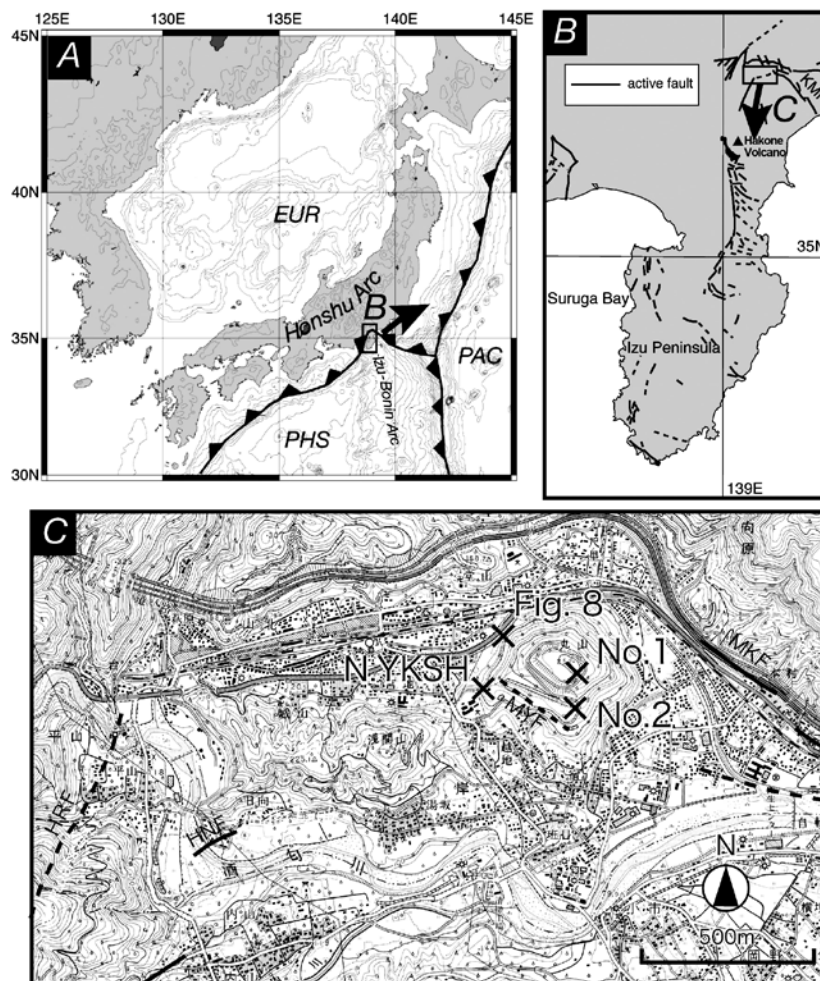


図1 山北南観測井の位置図。地形図は1:25,000 国土地理院発行「山北」を利用した。活断層分布は杉山ほか(1997)を単純化して示した。N.YKSH: 山北南観測井, No.1: No.1 孔井, No.2: No.2 孔井, HNF: 日向断層, HRF: 平山断層, MKF: 松田北断層, MYF: 丸山断層(新称)

Fig. 1 Map showing boreholes of the present study. Topographic map: "Yamakita" 1:25,000 in scale published by Geographical Institute of Japan. Active faults are simplified after Sugiyama *et al.* (1997). N.YKSH: Yamakita-Minami observation well, No.1: No.1 borehole, No.2: No.2 borehole, HNF: Hinata Fault, HRF: Hirayama Fault, MKF: Matsuda-kita Fault, MYF: Maruyama Fault (defined by the present study)

して、2003年度に神奈川県西部山北町丸山の山麓で深度2,000 m級のボーリング掘削を行った(以下、山北南観測井)。山北南観測井では深度1,076.6 mまでオールコアの採取が試みられ、それ以下の層準についてはスポットコアおよびカッティングスが採取された。この掘削調査における重要な成果として、深度721 m(標高-569 m)まで、陸成の箱根古期外輪山噴出物が確認されたことが挙げられる(津久井ほか、2006)。箱根古期外輪山噴出物の下限年代は約0.5 Maと考えられることから(柳沢ほか、2005)、本掘削地点が約0.5 Ma以降に少なくとも569 m沈降していることが明らかである。丸山の北斜面には足柄山地を構成する足柄層群が露出していることから、この掘削地点と丸山北斜面の間に、垂直変位が最低でも569 mを超えるような南西側落ちの未発見第四紀断層が存在することになる(笠原ほか、2004; 林ほか、2007)。

筆者らはこの未発見第四紀断層の位置および形状を制

約するため、丸山山頂および南西山麓において浅層ボーリング調査を行った。本稿ではその孔井地質の概要について報告する。

2. 丸山におけるボーリング調査の概要

今回掘削されたボーリング地点、および山北南観測井の位置を図1に示す。掘削地点の所在地は以下の通りである。

No.1 孔(丸山山頂): 北緯35度21分32.8秒, 東経139度5分46.1秒(世界測地系, 以下同じ), 標高249 m

No.2 孔(丸山南西山麓): 北緯35度21分26.3秒, 東経139度5分47.6秒, 標高177 m

地形学的には、丸山は北側の丹沢山地と南側の足柄平野に挟まれて細長く分布する足柄山地の南端地域に位置する孤立丘である。丸山の山頂および山麓には平坦面が認められ、これらは段丘面の可能性が指摘される。

足柄山地の南限境界，すなわち掘削地点を含む丸山とその南側に分布する足柄平野の境界には，東西走向の活断層である日向断層の存在が推定されていた（徐，1995）．この推定に基づくと，山北南観測井は日向断層の上盤側に位置している．しかし，先述の通り山北南観測点からは深度721 mまで箱根古期外輪山噴出物が掘削されたことから，地表における足柄層群の南限断層は，山北南観測井よりも山側に位置するものと考えられる．しかし，丸山には北斜面以外に露頭が存在しないことから，断層の位置および形状を地表の情報のみから把握することは困難であった．そうした観点から，丸山の山頂平坦面，および南西山麓の平坦面それぞれについて，基礎的な層序データを得るための浅層ボーリング調査を行った．

ボーリング調査は大洋地下地質株式会社（本社：東京）により，それぞれ深度75.0 mまで掘削された．掘削は，No.1孔ではロータリーパイプロ工法と通常のロータリー式ボーリング工法の併用，No.2孔ではロータリーパイプロ工法によって行われた．ロータリーパイプロ工法は打撃を与えながら掘削する方法であり，未固結の礫質土や破碎帯の掘削に適しているが，固結した岩石ではコアが小片状に割れやすく，堆積構造や断層等の構造を観察することが難しくなる．今回の掘削でも，特にNo.2孔ではコアが数センチ大に破碎されて回収されたが，岩相記載上は特に問題が無い程度であった．コアの回収率はNo.1孔，No.2孔とも100%であった．

3. コアの岩相

コア試料の観察に基づき，地質柱状図を作成した（図2）．採取したコアの写真および岩相記載を図3，4に示す．火砕岩類については岩片の薄片を作成し，偏光顕微鏡で観察した．なお，本文および図の深度は，全て地表面からの深度で表記されている．

丸山山頂のNo.1孔における孔井地質は，大きく3層に区分される．上位の深度0-26.6 mの区間はスコリアの混じった黒褐色～黄褐色を呈する軟弱な塊状ロームにより主に構成され，深度4.8-7.6 mの区間には，黒色スコリアの密集部が認められた．その下位の深度26.6-27.2 mの区間は，ロームを基質とする円磨された安山岩巨礫層により構成される．下位の深度27.2-75.0 mの区間には，安山岩質～石英安山岩質の火山礫凝灰岩が認められた．この火山礫凝灰岩は数mm～1 cm前後の黄灰色石英安山岩質ラピリ，および最大径5 cm前後の灰色安山岩角礫により主に構成され（図5），わずかに黒色および赤色スコリアを伴うほか，深度52.3 mおよび60.6 mの2層準で離弁の二枚貝化石が認められた（図6）．また，玉随の細脈がしばしば発達し，熱水変質の影響が示唆される．この火山礫凝灰岩は，厚さ10～50 cm前後の灰色塊状中粒砂岩の薄層をしばしば挟んでいる．層理面の傾斜は，ほぼ水平，または10°以下の緩傾斜であった．

丸山南西山麓のNo.2孔における孔井地質は，採取された深度0-75.0 mの全体が安山岩質の火山礫凝灰岩により構成される（図7）．表層の深度0-12 mの区間は著しく風

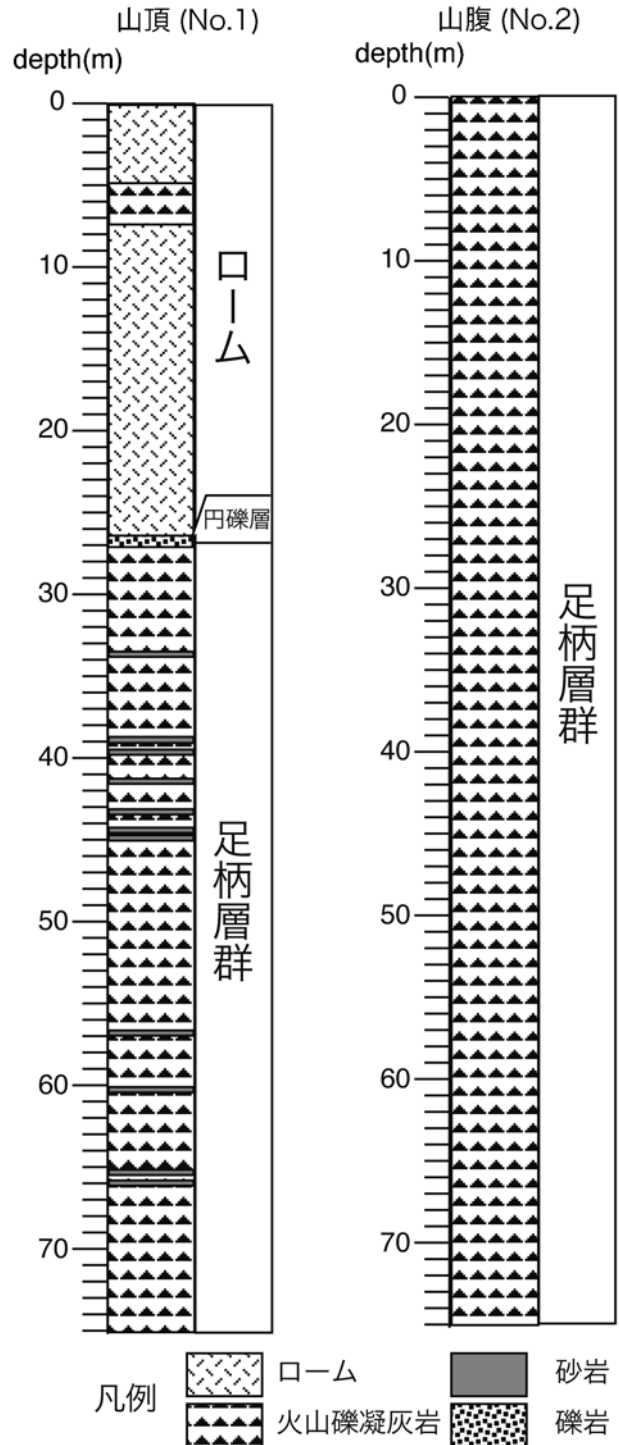


図2 No.1孔井およびNo.2孔井の地質柱状図
Fig. 2 Geologic sections of No.1 and No.2 boreholes.

化し，粘土化が進んでいる．火山礫凝灰岩には，径数mm程度の石英安山岩質または安山岩質のラピリ，最大径60 cmにおよぶ灰色安山岩角礫を含んでいる．また，普遍的に玉随とみられる白色細脈が発達し，鏡下では変質鉱物として緑泥石も認められた．以上の岩相はNo.1コアの深度27.2-75.0 m区間のものと同様している．


























深 度	コ ア 写 真	深 度	地 質
0m		1m	0-4.8m 黒褐色スコリア 混じりローム
1m		2m	
2m		3m	
3m		4m	
4m		5m	
5m		6m	4.8-7.6m 黒褐色スコリア
6m		7m	
7m		8m	
8m		9m	7.6-26.6m 黒褐色スコリア 混じりローム
9m		10m	
10m		11m	7.6-10.1m 黒色風化著しい 12.4-12.5m 黄褐色細粒火山灰
11m		12m	
12m		13m	
13m		14m	
14m		15m	
15m		16m	
16m		17m	
17m		18m	
18m		19m	
19m		20m	
20m		21m	
21m		22m	
22m		23m	
23m		24m	
24m		25m	

図 3.1 No.1 孔井で採取されたコアの写真

Fig. 3.1 Photographs showing core samples from the No.1 borehole.






深 度	コ ア 写 真	深 度	地 質
25m		26m	26.6-27.3m 円巨礫層 基質はローム
26m		27m	
27m		28m	27.3-75.0m 安山岩～石英安山 岩質火山角礫岩 白色玉随脈が稀に 認められる
28m		29m	
29m	30m		
30m	31m		
31m	32m		
32m	33m		
33m	34m		
34m	35m		
35m	36m		
36m	37m		
37m		38m	38.7-39.2m, 39.7-39.8m, 41.2-41.4m, 43.2-43.4m, 49.5-49.6m, 49.8-50.0m に中粒砂岩の薄層 を挟む
38m		39m	
39m	40m		
40m	41m		
41m	42m		
42m	43m		
43m	44m		
44m	45m		
45m	46m		
46m	47m		
47m		48m	
48m		49m	
49m		50m	

図 3.2 No.1 孔井で採取されたコアの写真 (つづき)

Fig. 3.2 Photographs showing core samples from the No.1 borehole (continue).

深 度	コ ア 写 真	深 度	地 質
50m		51m	-75.0m 安山岩～石英安山 岩質火山角礫岩 白色玉随脈が稀に 認められる 52.3m, 60.6m 二枚貝の化石 (離弁) 54.0--54.2m, 56.8-57.0m, 60.4-60.6m, 65.3-65.6m, 65.9-66.0m に中粒砂岩の薄層 を挟む
51m		52m	
52m		53m	
53m		54m	
54m		55m	
55m		56m	
56m		57m	
57m		58m	
58m		59m	
59m		60m	
60m		61m	
61m		62m	
62m		63m	
63m		64m	
64m		65m	
65m		66m	
66m		67m	
67m		68m	
68m		69m	
69m		70m	
70m		71m	
71m		72m	
72m		73m	
73m		74m	
74m		75m	

図 3.3 No.1 孔井で採取されたコアの写真 (つづき)

Fig. 3.3 Photographs showing core samples from the No.1 borehole (continue).





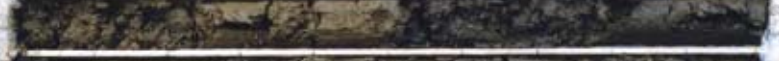




















深 度	コ ア 写 真	深 度	地 質
0m		1m	0-75.0m スコリア混じり安山 岩質火山角礫岩
1m		2m	
2m		3m	
3m		4m	0-12.0m 強風化し黒色を呈 する, 他の層準は灰 褐色 3.2m 巨角礫
4m		5m	
5m		6m	
6m		7m	
7m		8m	
8m		9m	
9m		10m	
10m		11m	
11m		12m	
12m		13m	
13m		14m	
14m		15m	
15m		16m	
16m		17m	
17m		18m	
18m		19m	
19m		20m	
20m		21m	
21m		22m	
22m		23m	
23m		24m	
24m		25m	

図 4.1 No.2 孔井で採取されたコアの写真
 Fig. 4.1 Photographs showing core samples from the No.2 borehole.


























深 度	コ ア 写 真	深 度	地 質
25m		26m	0-75.0m スコリア混じり灰 褐色安山岩質火山 角礫岩
26m		27m	
27m		28m	
28m		29m	
29m		30m	
30m		31m	
31m		32m	
32m		33m	
33m		34m	
34m		35m	
35m		36m	
36m		37m	
37m		38m	
38m		39m	
39m		40m	
40m		41m	
41m		42m	
42m		43m	
43m		44m	
44m		45m	
45m		46m	
46m		47m	
47m		48m	
48m		49m	
49m		50m	

図 4.2 No.2 孔井で採取されたコアの写真 (つづき)

Fig. 4.2 Photographs showing core samples from the No.2 borehole (continue).

深 度	コ ア 写 真	深 度	地 質
50m		51m	0-75.0m スコリア混じり灰 褐色安山岩質火山 角礫岩
51m		52m	
52m		53m	
53m		54m	
54m		55m	
55m		56m	55.1-55.7m 灰色安山岩の巨礫
56m		57m	
57m		58m	
58m		59m	
59m		60m	
60m		61m	
61m		62m	
62m		63m	
63m		64m	
64m		65m	
65m		66m	
66m		67m	
67m		68m	
68m		69m	
69m		70m	
70m		71m	
71m		72m	
72m		73m	
73m		74m	
74m		75m	

図 4.3 No.2 孔井で採取されたコアの写真 (つづき)

Fig. 4.3 Photographs showing core samples from the No.2 borehole (continue).

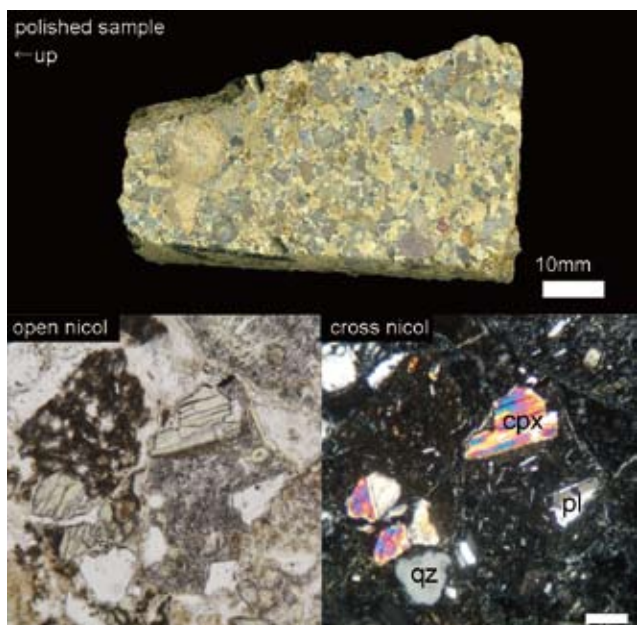


図5 No.1 孔井の深度 46.5 m で得られた火山礫凝灰岩の薄片写真
薄片のスケールは 100 μm . cpx: 単斜輝石, pl: 斜長石, qz: 石英

Fig. 5 Microphotographs showing lapilli tuff from 46.5 m deep at the No.1 borehole. Scale for thin section: 100 μm , cpx: clinopyroxenes, pl: plagioclase, qz: quartz.

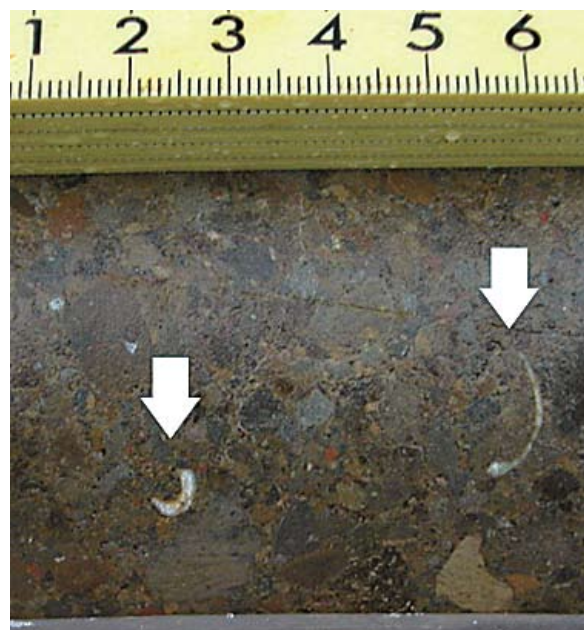


図6 No.1 孔井の深度 53.2 m で認められた、火山角礫岩中の二枚貝化石の断面

Fig. 6 Photograph showing molluscan fossils in the volcanic breccia from 53.2 m deep at the No.1 borehole.

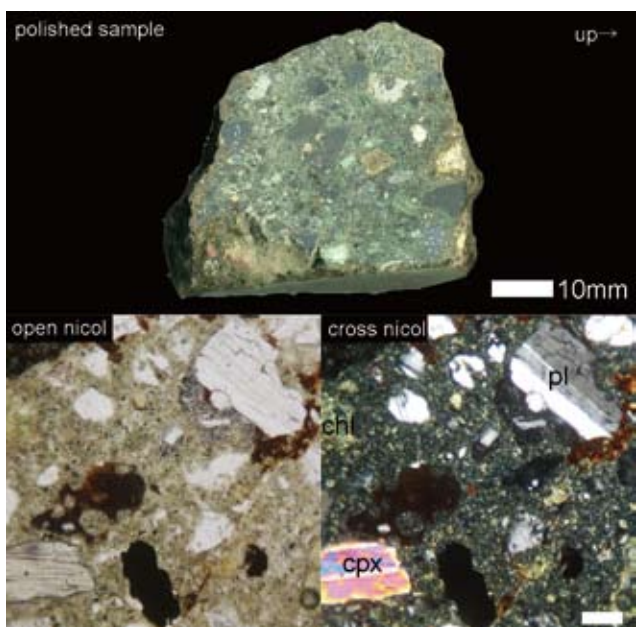


図7 No.2 孔井の深度 46.5 m で得られた火山礫凝灰岩の薄片写真
薄片のスケールは 100 μm . chl: 緑泥石, cpx: 単斜輝石, pl: 斜長石

Fig. 7 Microphotographs showing lapilli tuff from 46.5 m deep at the No.2 borehole. Scale for thin section: 100 μm , chl: chlorite, cpx: clinopyroxenes, pl: plagioclase.

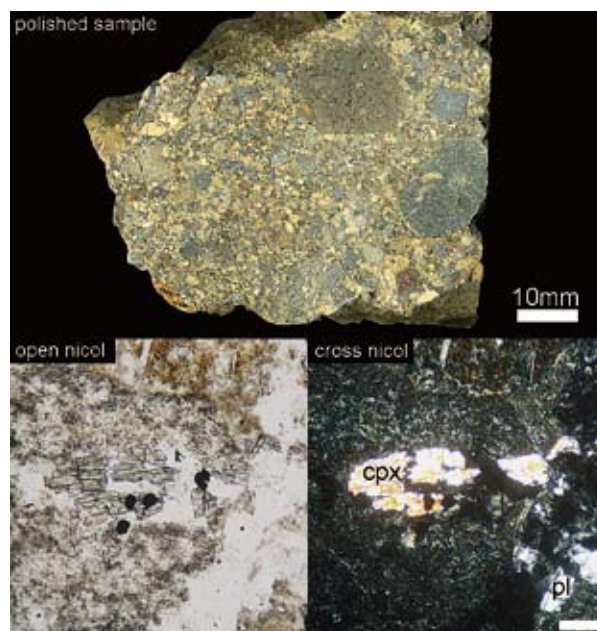


図8 丸山北斜面に露出する火山礫凝灰岩。試料の採取位置は図1に示した。薄片のスケールは 100 μm . cpx: 単斜輝石, pl: 斜長石

Fig. 8 Photographs showing lapilli tuff outcropped at the northern slope of Maruyama. The sample locality is indicated in Fig. 1. Scale for the thin section: 100 μm , cpx: clinopyroxenes, pl: plagioclase, qz: quartz.

4. 考察

丸山山頂の No.1 孔井で得られた地層のうち、上位の深度 0-26.6 m の区間は軟弱な火山噴出物から構成されるため、更新世以降の箱根火山もしくは富士火山の噴出物に相当するものと考えられる。また、深度 26.6-27.2 m の区間は円礫層によって構成されることから、段丘礫層に相当する可能性がある。丸山山頂には平坦面が認められることから、この礫層を高位段丘面の礫層と仮定すると、その基底面標高は約 222 m にも達し、周辺の段丘面と比べて有意に高い。この段丘面の同定は丸山の平均隆起速度を知る重要な手がかりとなるが、そのためには孔井から得られたテフラ層の同定が不可欠であり、今後の重要な課題である。

No.1 孔井の深度 27.2-75.0 m の区間、および丸山南西山麓の No.2 孔井で得られたコアの岩相は、丸山北斜面に露出している海成更新統である足柄層群根石層（天野ほか、1986）の火山礫凝灰岩（図 8）にきわめて類似しており、この層準に対比されるものと判断した。丸山には現在、北斜面以外に露頭が無いが、同様の岩相は南斜面や東斜面にも転石として認められる。したがって、丸山には全体にわたって足柄層群根石層の火山礫凝灰岩が分布している可能性がある。同様の火山礫凝灰岩は丸山の北方約 500 m の山北中学校付近、東方約 1 km の本村付近にも分布しており、これらの地点では、根石層の主体をなす砂岩泥岩互層に 100 m 程度の厚さで挟在している。しかし、丸山からは露頭、孔井および転石のいずれにおいても砂岩泥岩互層が認められていない。もし丸山全体が火山礫凝灰岩のみから構成されているとすると、丸山周辺の火山礫凝灰岩よりも層厚が厚くなっている可能性がある。あるいは、断層や褶曲等で火山礫凝灰岩の層準が繰り返している可能性があるが、詳細については不明である。

先述の通り、山北南観測点では深度 721 m（標高 -569 m）まで陸成の箱根古期外輪山噴出物が分布しており、丸山本体との間に少なくとも 569 m の垂直変位をもつ第四紀断層の存在が推定されている（笠原ほか、2004；林ほか、2007）。本研究により、その第四紀断層の位置は、丸山南西山麓の No.2 孔井と山北南観測井の間に限定された。これら両孔井の間には遷緩線が北西 - 南東方向に伸びている（図 1 の MYF）。岩相上、比較的硬質な足柄層群と、軟弱な箱根古期外輪山噴出物とでは地形の起伏量に差が出ることが予想されることから、筆者らはこの位置に第四紀断層の丸山断層を提唱する。

丸山断層 (Maruyama Fault: 新称)

分布：丸山南西斜面に推定される。北西延長となる山北駅北側の山地には追跡されず、おそらく、丸山の北にある凹地帯を通る別の断層に切られているものと考えられる。また、南東延長は足柄平野の地下に伏在する可能性もあるが、丸山より南側の低位段丘面や現在の酒匂川河床には変位が現れていない。

断層の性状：北西 - 南東走向で、北側隆起、南側沈降の断層である。断層露頭が未発見のため、正断層か逆断層かは不明であるが、この地域の大局的な応力場は東西圧

縮であることから、逆断層の可能性が高い。本断層の傾斜については不明であるが、逆断層であると仮定すると、北東傾斜と考えられる。

運動像：最近 50 万年間に少なくとも 569 m の垂直変位量を示すことから、平均変位速度は最低でも 1.1 m/kyr. 以上と推定される（林ほか、2007）。しかし、この断層の最新活動時期および平均活動間等については制約できる地質学的証拠が無く、今後の課題である。

謝辞

今回のボーリング調査においては、山北町、三井造船株式会社をはじめ、関係諸機関にご協力をいただいた。本研究は文部科学省の RR2002・大都市大震災軽減化特別プロジェクト (I) 大都市圏地殻構造調査研究（研究代表者：東京大学地震研究所 平田 直教授）の一部として行われた。

参考文献

- 1) 天野一男・高橋治之・立川孝志・横山健治・横田千秋・菊池 純 (1986): 足柄層群の地質 - 伊豆微小大陸の衝突テクトニクス -. 北村 信教授記念地質学論文集, 7-29.
- 2) 林 広樹・伊藤谷生・上杉 陽・笠原敬司・関口渉次・高橋雅紀・津久井雅志・松本拓己・山水史生・柳沢幸夫 (2007): 伊豆衝突帯北東部における大深度陸上掘削の成果. 月刊地球, 号外, No. 57, 140-147.
- 3) 地震調査委員会 (2009): 神縄・国府津 - 松田断層帯の長期評価の一部改訂について. 文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会, 36pp.
- 4) 笠原敬司・林 広樹・関口渉次 (2004): 伊豆 - 丹沢衝突域に未発見 A 級活断層の存在確実 - 神奈川県山北町における 2,000 m 掘削速報 -. 日本地質学会第 111 年学術大会講演要旨, S-4.
- 5) 徐 垣 (1995): 足柄層群南縁の衝上断層 (日向断層) とその地震テクトニクス上の意義. 地質学雑誌, 101-4, 295-303.
- 6) 杉山雄一・須貝俊彦・井村隆介・水野清秀・遠藤秀典・下川浩一・山崎晴雄 (1997): 50 万分の 1 活構造図 8「東京」 (第 2 版). 地質調査所.
- 7) 津久井雅志・山崎 優・松井智之・小山田浩子・上杉 陽・林 広樹・柳沢幸夫・笠原敬司 (2006): 伊豆弧北端の火山岩類の記載と地殻構造 - 山北南大深度観測井の箱根火山, 先箱根火山岩類から -. 地質調査研究報告, 57, 197-215.
- 8) 柳沢幸夫・渡辺真人・高橋雅紀・田中裕一郎・木村克己・林 広樹 (2005): 大深度ボーリング試料による地質年代調査. 大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動 (強い揺れ) の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成 16 年度成果報告書, 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・防災科学技術研究所, 338-358.

(原稿受理：2010 年 4 月 5 日)

要 旨

神奈川県西部には、神縄・国府津－松田断層系の活断層が多数分布している。その西部にあたる山北町丸山山麓で 2003 年に掘削された山北南観測井の解析により、この観測井近傍に未発見の第四紀断層の存在が示唆されていた。この断層の位置および性状を詳細に制約するため、丸山山頂と丸山南西山麓でそれぞれ深度 75 m の浅層ボーリング調査を実施した。丸山山頂の孔井では、地表から深度 26.6 m までの区間ではローム層が、深度 26.6 m から 27.2 m までの区間では円礫層が、深度 27.2 m から孔底の 75.0 m の区間では足柄層群根石層に相当する火山礫凝灰岩が得られた。他方、丸山南西山麓の孔井では、地表から孔底の 75.0 m まで足柄層群根石層に相当する火山礫凝灰岩が得られた。これらの成果や周辺の地形および地質データを総合し、丸山南西斜面に北西－南東走向の新たな第四紀断層である丸山断層を提唱した。

キーワード：孔井地質，神奈川県，国府津－松田断層，山北町