

箱根・下湯場地域で掘削された2本の温泉井のボーリング地質と温泉

萬年一剛*

Geology of the two hot spring wells in Shimoyuba district Hakone volcano, Japan

by

Kazutaka MANNEN*

Abstract

Two hot spring wells (DTI-1 and DTI-2) were drilled recently in Shimoyuba district, located on the northern end of the central cones of Hakone volcano. Core samples captured at 50m intervals revealed the geological structure of this district. Geology of DTI-1 is as follows in descending order; unconsolidated talus deposit containing megabreccia of the old somma lava and pyroclastic flow deposits (~ c. 300m depth), altered andesite (c. 350 ~ c. 600m depth) and altered pyroclastic breccia (c. 650 ~ c. 700m depth). The altered andesite and pyroclastic deposit should be correlative with Yugashima group (tertiary). Geology of DTI-2 is as follows in descending order; talus deposit of the central cones (~ c. 50m depth), fresh olivine bearing opx-cpx andesite (c. 100 ~ c. 300m depth), unconsolidated pyroclastic breccia (around 360m depth) and consolidated pyroclastic breccia (c. 400 ~ c. 600m depth). Absence of basement (Yugashima group) and thick pile of the pyroclastic breccia in DTI-1 indicate subsidence or lack of the basement and filling up with fall-back deposit beneath the central cone lavas.

1. はじめに

温泉井の地質を明らかにすることは、その温泉の成因及び湧出機構を解明する上で重要である。箱根地域に於いては、中央火口丘周辺やカルデラの西部など従来温泉の開発が行われてこなかった地域でも、近年温泉井の掘削が行われるようになった。こうした新しい温泉はその成因や湧出機構がかならずしも明らかではない。このため、温泉井の掘削時に採取される地質試料を解析し、その結果を蓄積していくことが、温泉の適切な利用・開発を図る上で重要である。

箱根町下湯場地域で最近、2本の温泉井が掘削された。これらの温泉井の掘削の際、約50mおきにコア(岩芯)の採取がおこなわれ、これまで不明であった当該地域の地下地質が明らかになった。本報告ではコアの観察とそれに基づく地下地質の推定を行うとともに、両温泉の泉質について若干の考察を行う。

2. 下湯場地域の地形

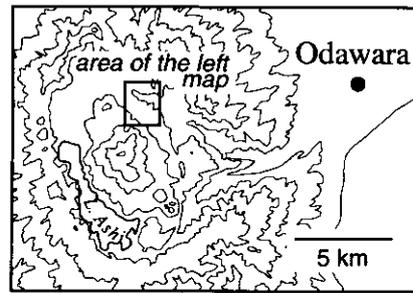
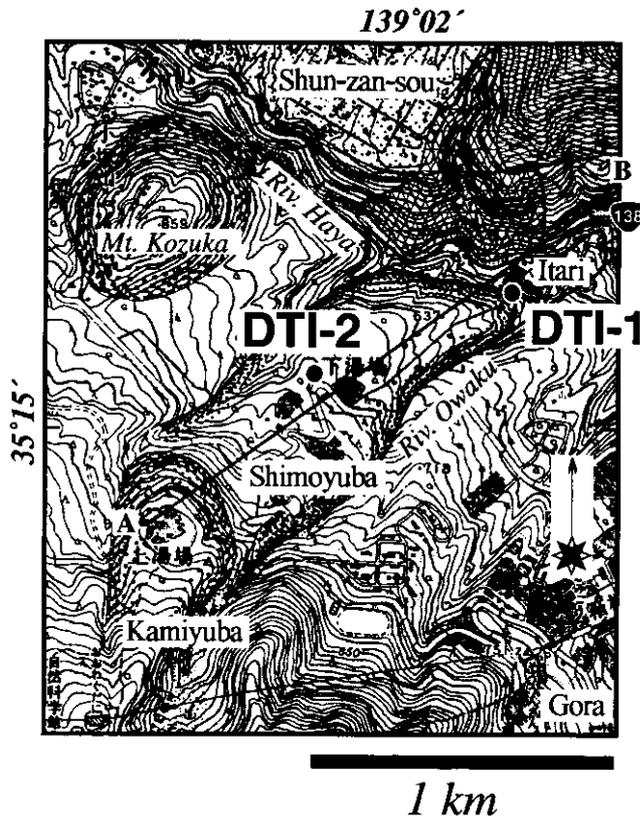
下湯場地域は箱根火山中央火口丘群の北端近く、溶岩円頂丘である小塚山の南東に位置する(図1)。下湯場地

域は、北東南西方向にのびた台地上にある。航空写真及び地形図の判読から、この台地は、大涌谷付近を給源とし、北東方向に流下した溶岩流(ここでは下湯場溶岩流と呼ぶ)によって構成されていると思われる。下湯場溶岩流の北東側末端は早川の谷に近く、対岸には古期外輪山溶岩が露出している。下湯場溶岩流の南側は、やはり大涌谷付近から北方向に流下する溶岩流(ここでは上湯場溶岩流と呼ぶ)に覆われている。下湯場・上湯場溶岩流とも噴出位置から見て中央火口丘の溶岩である。

3. 井戸の位置・深さおよびサンプリング

ここでは、今回掘削された2本の温泉井のうち北側の井戸をDTI-1、南側の井戸をDTI-2と呼ぶ(図1)。DTI-1は下湯場溶岩ロープの北東末端部にあり、孔口の標高は554m、深度は700m、孔底の標高は-146mである。DTI-2は下湯場溶岩ロープ上にあり、孔口の標高は699m、深度は603m、孔底の標高は96mである。コアの採取は深さ約50mおきに行われた。採取されたコアの大きさは直径約6.5cm、長さ約1メートルである。

* 神奈川県温泉地学研究所〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
論文, 神奈川県温泉地学研究所報告 第31巻, 第1号, 1-15, 1999.



Legend

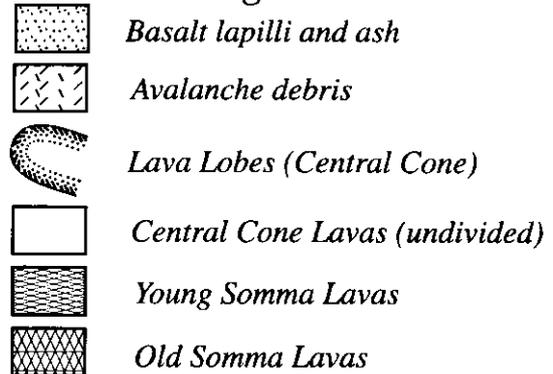


図1 下湯場地域の地質図(神奈川県教育委員会、1980 を改変)と DTI-1、DTI-2 温泉井の位置(地形図は国土地理院数値地図を利用した)。

Fig.1 Geological map of the Shimoyuba (after Kanagawa prefecture, 1980) and locations of the hot spring wells (DTI-1 and DTI-2).

4. 肉眼・鏡下によるコアの記載

得られたコアの全体写真を付録に示す。以下に両温泉井から得られたコアの肉眼及び顕微鏡による薄片観察の結果を記載する。ここではコア採取時に破壊したと思われる岩石の破片を断片、もともと地層中に入っていた岩石の破片を岩片と呼ぶことにする。なお、火山岩の分類には全岩化学組成分析をしたものについては得られた SiO_2 の量を用い、63%以上をデイサイト、63%未満 57%以上を安山岩、57%未満 52%以上を玄武岩質安山岩、52%未満を玄武岩とした。全岩化学組成分析の方法及び結果は後述する。

4.1. DTI-1

深度 49.6~50.8m (標高 504.4~503.2m) : 未固結の風化土壌及びデイサイトの断片(数~十数 cm)が採取された。

デイサイトには斑晶として斜長石(10~5%)、単斜輝石(3~1%)及びわずかな斜方輝石と不透明鉱物が含まれる。デイサイトの石基は流理構造を示し、隠微晶質の基質中に 0.25mm ほどの長さの針~短冊状の斜長石が 1%程度含まれる、hyalopilitic 組織を示す(写真 1-a)。

深度 99.8~102.7m (標高 454.2~451.3m) : 固結した火山灰層で、下位半分にはラミナも認められる。鏡下では、ガラス質で発泡した火山灰を多量に含み、遊離結晶、岩片も多く認められる。溶結の跡は認められない(写真 1-

b)。

深度 151.0~152.1m (標高 403~401.9m) : やや風化した玄武岩質安山岩の数 cm 以下の断片及び風化土壌(?)が採取された。玄武岩質安山岩の断片には何種かの岩種が含まれていると思われるが、そのうちの一つを鏡下で観察した。斑晶として、斜長石(20~15%)、斜方輝石(3~1%)及びわずかな単斜輝石と不透明鉱物を含む。斜方輝石は単斜輝石の反応縁を有する。石基は流理構造を呈しており、0.25mm 以下の針状~短冊状の斜長石及びそれを充填する不透明鉱物と単斜輝石より成る intersertal 組織を示す。また、ところどころ hyalopilitic な組織を示す部分がパッチ状に存在する(写真 1-c)。

深度 201.5~202.6m (標高 352.5~351.4m) : 風化土壌及び一部風化した玄武岩質安山岩の断片が採取された。採取された玄武岩質安山岩の断片には何種かの岩種が含まれていると思われるが、そのうちの一つを鏡下で観察した。斑晶として斜長石(30~20%)、単斜輝石(5~3%)、斜方輝石(3~1%)及びわずかにかんらん石、不透明鉱物を含む。斜方輝石には単斜輝石の反応縁がある。かんらん石はほぼ完全に iddingsite 化している。不透明鉱物は集斑晶に少し含まれるが、斑晶としてはわずかしかない。石基は intergranular 組織を示す。空隙や斑晶の一部が方解石で充填されたり、置換されたりしている場合もある。

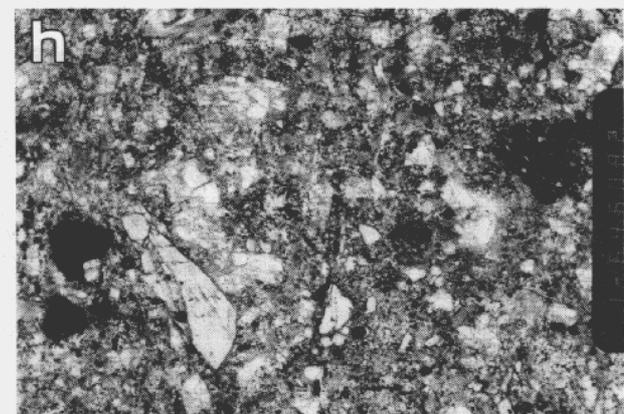
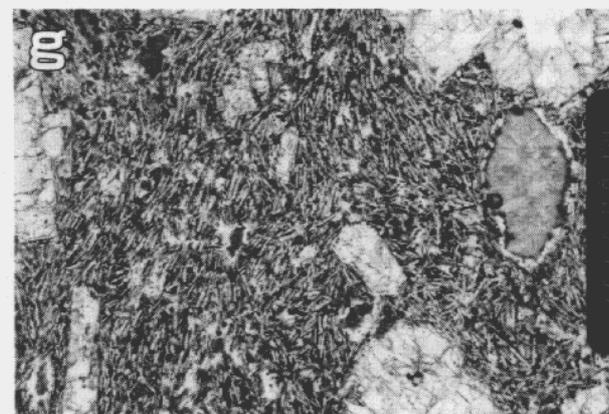
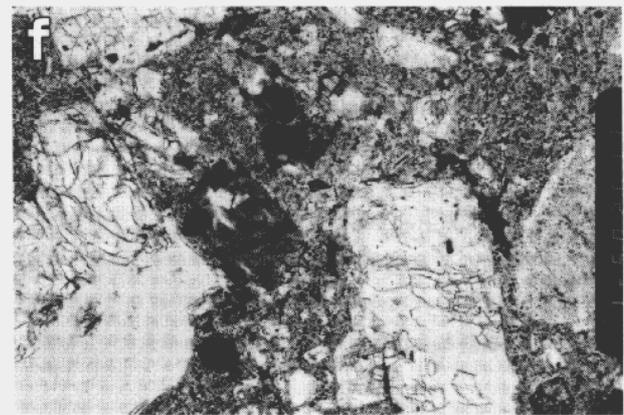
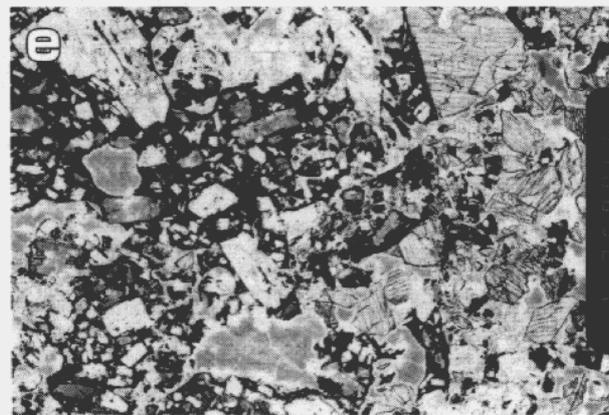
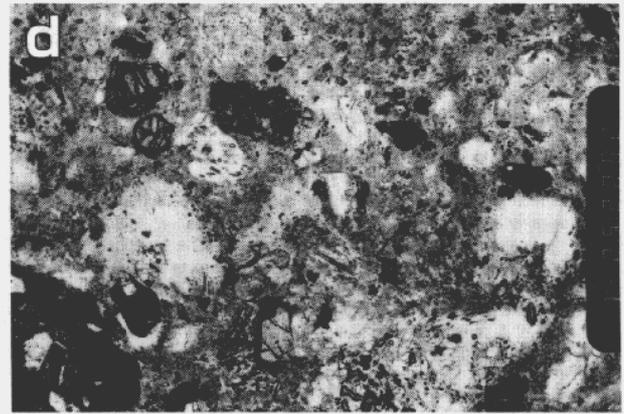
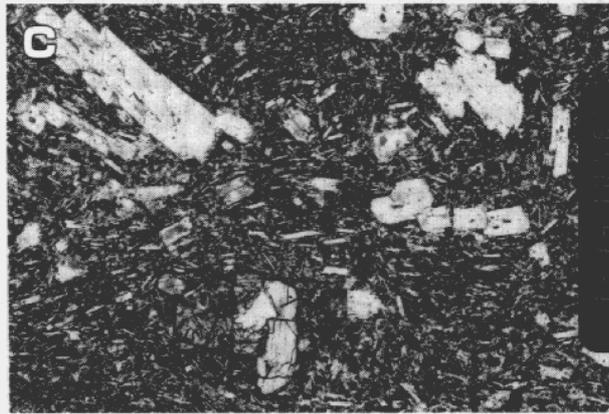
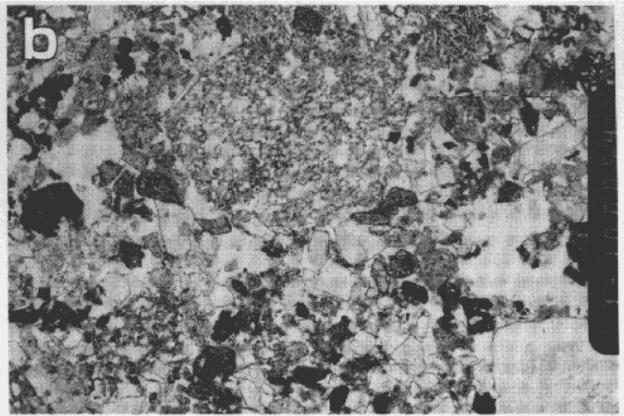
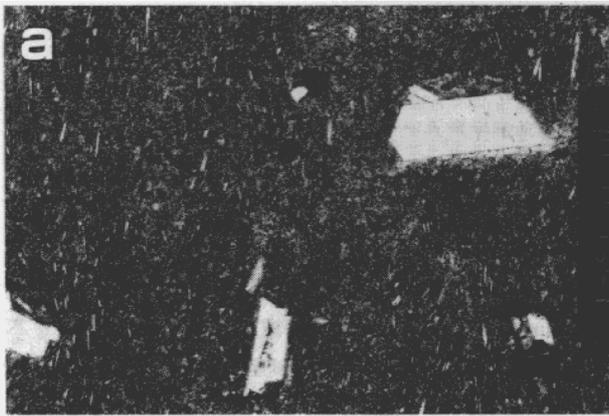


写真1 DTI-1 から得られた岩石の顕微鏡写真。すべてオープンニコル。a) 深度 50.1m、b) 深度 100.5m、c) 深度 151.5m、d) 深度 252.0m、e) 深度 350.5m、f) 深度 502.8m、g) 深度 646.2m、h) 深度 556.8m。

Photo 1 Microphotograph of thinsections of DTI - 1 rocks. a) 50.1m depth, b) 100.5m depth, c) 151.5m depth, d) 252.0m depth, e) 350.5m depth, f) 502.8m depth, g) 556.8m depth, h) 646.2m depth.

深度 251.5 ~ 252.7m (標高 302.5 ~ 301.3m) 白色 ~ 淡赤灰色の火山灰基質中に暗灰色の数 cm 以下の火山岩岩片を含む、凝灰角礫岩が採取された。弱く固結しており比較的しっかりとしたコアの形を保っている。鏡下の観察では、黄土色の基質中にガラス質で発泡したパミス質の破片及びさまざまな岩種の岩片を含む (写真 1-d)。黄土色の基質もパミス質であった可能性が高い。角閃石の遊離結晶が薄片中に一個だけ確認された。

深度 301.5 ~ 302.5m (標高 252.5 ~ 251.5m) : 灰色の斜長石斑晶が目立つ玄武岩質安山岩の断片が採取された。斑晶として斜長石 (20 ~ 15%)、斜方輝石、単斜輝石 (3 ~ 1%) 及びわずかなかんらん石を含む。単斜輝石には斜方輝石の反応縁及び over growth がある。かんらん石はほぼ完全に iddingsite 化している。石基には濃淡があり intersertal から hyalo-ophitic の組織を示す。

深度 350.1 ~ 351.2m (標高 203.9 ~ 202.8m) : 変質した暗灰色の斜長石斑晶の目立つ緻密な安山岩から成り、ほぼ完全な形のコアとして採取された。強く変質しており、輝石はほとんど失われているが、残っているものには斜方輝石と単斜輝石の両方が含まれる。空隙が多いが沸石や粘土類でうめられているものがほとんどである。斜長石は 15% ほど含まれる。石基は隱微晶質の基質中に 0.7mm ほどの方形の斜長石が散在する hyalo-ophitic 組織を示していたものと思われるが、斜長石微斑晶以外は完全に変質しているので詳細は不明である (写真 1-e)。

深度 399.5 ~ 400.8m (標高 154.5 ~ 153.2m) : 変質した暗灰色の緻密な玄武岩質安山岩から成りほぼ完全な形のコアとして採取された。強く変質を被っており、肉眼観察、顕微鏡下の観察とも深度 350.1 ~ 351.2m のものと同様である。

深度 452.5 ~ 453.7m (標高 101.5 ~ 100.3m) : 変質した灰色の玄武岩質安山岩及び暗灰色の玄武岩質安山岩が採取された。方解石の脈が多く入る。灰色の玄武岩質安山岩の鏡下での観察は前 2 つの試料と同様であるが、輝石斑晶は変質によりほぼ失われている。暗灰色の玄武岩質安山岩も強く変質を被っており、輝石斑晶はほとんど失われている。石基も変質しているが、細粒の斜長石微斑晶から成る intersertal 組織を残している。

深度 502 ~ 503.2m (標高 52 ~ 50.8m) : 暗灰色の変質した玄武岩質安山岩が採取された。肉眼による岩相は前 3 つの試料とほぼ同様である。鏡下の観察は深度 452.5 ~ 453.7m の暗灰色の玄武岩質安山岩に似る (写真 1-f)。

深度 556 ~ 557.2m (標高 -2 ~ -3.2m) : 非常に緻密で、オリブ色がかった灰色 ~ 灰白色を呈する変質した玄武岩質安山岩が採取された。斜長石斑晶及び多くの方解石の脈を含む。鏡下の観察では気泡が含まれており、粘土鉱物により充填されている。斑晶鉱物では、斜長石 (10 ~ 5%) が残っている。輝石斑晶は変質により失われているが、もともともあまり多くなかったと考えられる。石基は長さ 0.15mm ほどの針状の斜長石が流理構造を示し、それを不透明鉱物が充填する pilotaxitic 組織を示す (写真 1-g)。

深度 598.0 ~ 599.2m (標高 -44 ~ -45.2m) : 緻密で、オリブ色がかった暗灰色と灰白色の部分が入り交じった変質した玄武岩質安山岩が採取された。肉眼での色調の違いにもかかわらず、鏡下ではほぼ同質の岩石である。斜長石 (約 15% 以下) 及びわずかな不透明鉱物が斑晶として含まれる。輝石斑晶は変質して失われたものと考えられる。

深度 646.0 ~ 647.1m (標高 -92 ~ -93.1m) : 緑色がかった灰色、下部は赤色がかった灰色の凝灰岩が採取された。方解石及び沸石の脈が入る。鏡下では斜長石、輝石及び比較的ガラス質の褐色の充填物から成り、結晶は破碎されている (写真 1-h)。緻密で、気泡はなく良く固結している。

深度 698 ~ 699m (標高 -144 ~ -145m) : 赤灰色の部分と緑灰色の部分がパッチ状に入り組んだ、凝灰岩が採取された。肉眼での色調の違いにもかかわらず、岩石的には均質である。方解石及び沸石の脈が入るがあまり多くない。鏡下での特徴は深度 646.0-647.1m の試料と似ているが、やや気泡を多く含み、充填物がやや濃い褐色をしている点が異なる。

4.2. DTI-2

深度 49 ~ 49.9m (標高 650 ~ 649.1m) : 暗灰色のやや発泡した、斜長石斑晶の目立つ安山岩及び淡灰色の緻密な斜長石と輝石の斑晶が目立つ安山岩の断片が採取された。暗灰色の安山岩は斑晶として、斜長石 (20 ~ 15%)、斜方輝石、単斜輝石 (両方とも 10 ~ 5%) および不透明鉱物 (5% 程度) を含む。斑晶鉱物と同種の鉱物から成る集斑晶が多い。斜長石は dusty zone を有するものが多い。石基は長さ 50 μ m ほどの短冊状の斜長石及び 20 μ m ほどの不透明鉱物が散在し、それらの粒間を隱微晶質が充填する hyalo-ophitic 組織を示す (写真 2-a)。

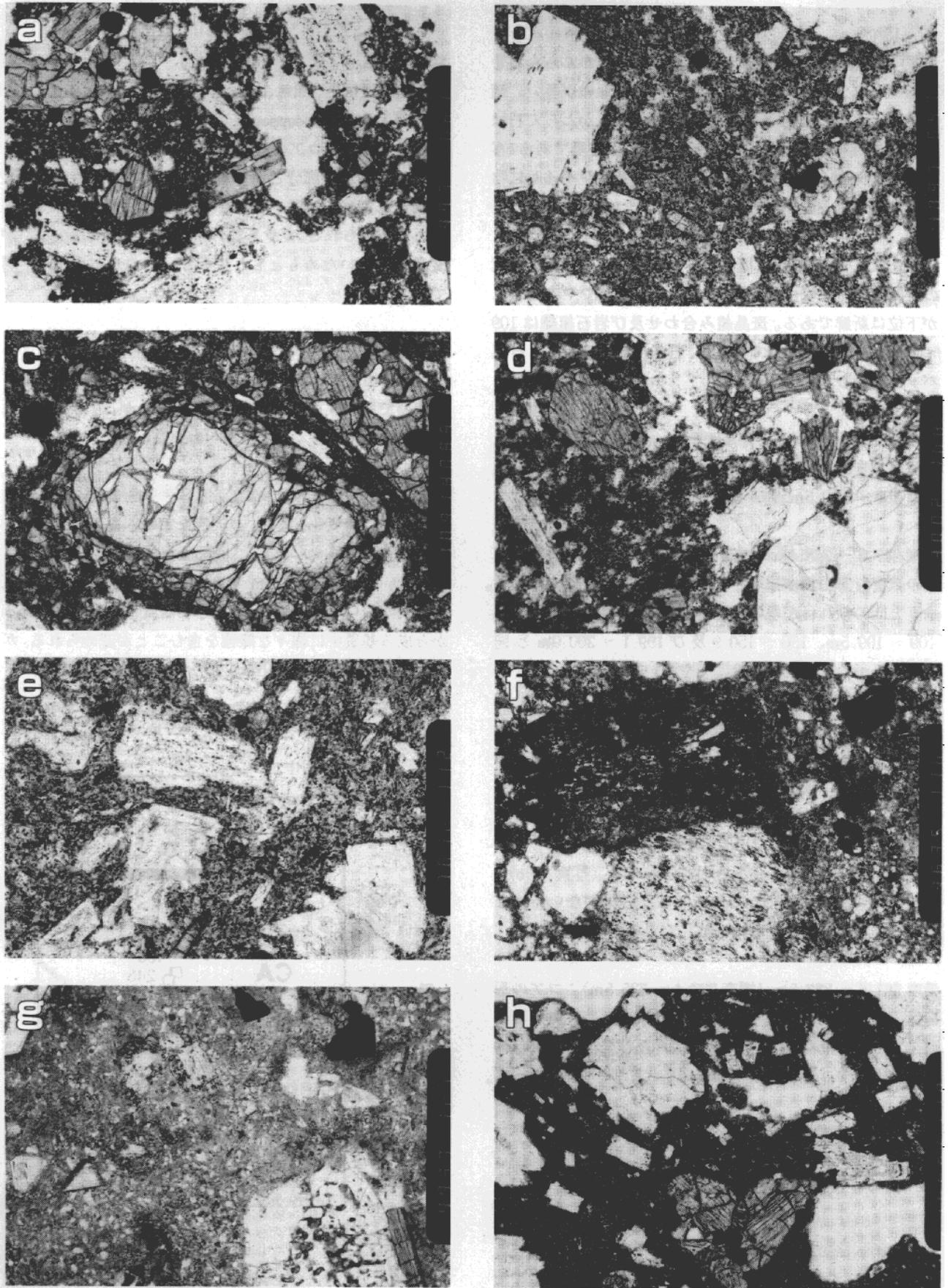


写真2 DTI-2 から得られた岩石の顕微鏡写真。すべてオープンニコル。a) 深度 49.3m、b) 深度 109.7m、c) 顕著な反応縁を有するかんらん石、深度 109.7m、d) 深度 300.2m、e) 深度 301.2m、f) 深度 363.5m、g) 深度 398.05m、h) 深度 499.7m。
 Photo 2 Microphotograph of thinsections of DTI-2 rocks. a) 49.3m depth, b) 109.7m depth, c) olivine with reaction rim, 109.7m depth, d) 300.2m depth, e) 301.2m depth, f) 363.5m depth, g) 398.05m depth, h) 499.7m depth.

深度 109 ~ 109.5m (標高 590 ~ 589.5m) : 淡赤灰色の新鮮で緻密な安山岩が採取された。わずかに発泡している。輝石斑晶及び集斑晶が目立つ。鏡下では斑晶として、斜長石 (15%程度) 単斜輝石 (10 ~ 5%) 斜方輝石 (10 ~ 5%) 不透明鉱物 (5%程度) 及びわずかにかんらん石を含む (写真 2-b)。斜長石は大きく清澄なものが多い。斑晶鉱物と同種の鉱物から成る集斑晶に富む。かんらん石は主に斜方輝石より成る反応縁を有するのが特徴である (写真 2-c)。石基は長さ 20 μm ほどの斜長石及び不透明鉱物から成る intersertal 組織を示す。

深度 150.0 ~ 150.9m (標高 549 ~ 548.1m) : 淡緑灰白色の新鮮で緻密な安山岩が採取された。上位がやや赤変するが下位は新鮮である。斑晶組み合わせ及び岩石組織は 109 ~ 109.5m とほぼ同様であるが、石基にところどころ石英パッチを含む。

深度 199.1 ~ 200.0m (標高 499.9 ~ 499m) : 淡緑灰白色の緻密な安山岩が採取された。斑晶組み合わせ及び岩石組織は 109 ~ 109.5m 及び 150 ~ 150.9m と同様である。

深度 247.8 ~ 248.4m (標高 451.2 ~ 450.6m) : 淡緑灰白色の緻密な安山岩が採取された。気泡がわずかに含まれる。垂直方向の割れ目が多い。斑晶組み合わせ及び岩石組織は 109 ~ 109.5m、150 ~ 150.9 及び 199.1 ~ 200.0m と同様であるが、斑晶量が全般にやや多い。

深度 300.0 ~ 312.2m (標高 399 ~ 386.8m) : 淡緑灰白色の緻密な安山岩であるがコア採取時に数 ~ 十数 cm ほどの大きさの断片に破断した。岩石は一種類ではないらしく、斑晶組み合わせ及び岩石組織が、109 ~ 109.5m 以深とほぼ同様なものと (写真 2-d) 斑晶組み合わせは同じながら石基鉱物の粒径がやや大きいものがある (写真 2-e)。どちらの岩種も斑晶のかんらん石は反応縁がない新鮮なものと、集斑晶内で完全に分解したものとが含まれる。

深度 361.6 ~ 363.5m (標高 337.4 ~ 335.5m) : コアの形を保っていない、もろい砂質礫岩が採取された。方解石の脈を含む。清澄な斜長石、輝石、岩片及び発泡したガラス質の火山灰から成る。鉱物は破碎されている (写真 2-f)。深度 397.6 ~ 399.0m (標高 301.4 ~ 300m) : やや発泡した安山岩礫を含む砂質礫岩が採取された。361.6 ~ 363.5m にくらべてコアの形はしっかりしている。含まれる礫の岩相は以下の通り。斑晶は斜長石 (15 ~ 10%) 斜方輝石 (5%程度) 単斜輝石 (5 ~ 3%) 及び不透明鉱物 (3%以下) が含まれ、かんらん石はあったが変質して失われた可能性が高い。石基は隠微晶質の基質中に 30 μm ほどの針状斜長石、10 μm ほどの不透明鉱物が散在する hyalo-ophitic 組織を示す (写真 2-g)。

深度 440.6 ~ 442.5m (標高 258.4 ~ 256.5m) : 黄褐色の基質中に暗灰色、灰色、赤灰色など様々な色の安山岩質の角礫が入る matrix supported な凝灰角礫岩が採取された。固結しており、コアの形はしっかりしている。

鏡下では、変質した褐色の部分と破碎された形状を示す遊離結晶から成る基質中に、様々な岩種・粒径の岩片が散在していることが認められる。ガラス質の発泡した火山灰は少ないが、変質が激しいためもともと少なかったのかどうかは不明である。

深度 498.6 ~ 500.0m (標高 200.4 ~ 199m) : 肉眼による観察は 440.6 ~ 442.5m と同様のコアが採取された。鏡下の観察でも 440.6 ~ 442.5m とよく似るが、ガラス質の発泡した火山灰が多く含まれる (写真 2-h)。

深度 549.2 ~ 550.8m (標高 149.8 ~ 148.2m) : 暗緑灰色の基質中に暗灰色、灰色、赤灰色などのさまざまな色の安山岩質の礫が入る、matrix supported な凝灰角礫岩が採取された。440.6 ~ 442.5m、498.6 ~ 500.0m と似るが全体に色調が暗い。鏡下では、変質した淡黄色 ~ 淡褐色の部分から成る基質中に様々な礫種を含むことが認められる。ガラス質の、発泡した火山灰も多く含まれる。

深度 601 ~ 602.3m (標高 98 ~ 96.7m) : 肉眼、鏡下の観察とも深度 549.2 ~ 550.8m と同様のコアが採取された。

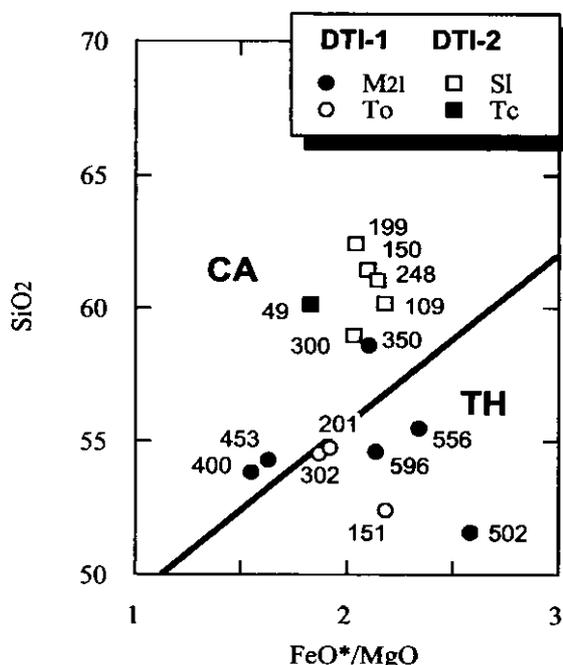


図2 DTI-1、DTI-2から採取された溶岩の SiO₂ - FeO*/MgO プロット。数字は深度。
Fig.2 SiO₂ - FeO*/MgO plot of lava of DTI-1 and DTI-2. Figures indicate the depth of the sample.

表1 DTI-1、DTI-2 から得られた溶岩の主成分全岩化学組成。測定した 10 酸化物の合計を 100%に再計算した。

Table 1 XRF analyses of lava of DTI-1 and DTI-2.Total oxide is normalized to 100%.

well	DTI-1							
depth(m)	50	151	201	302	350	400	453	502
unit*	To	To	To	To	M21	M21	M21	M21
(wt%)								
SiO ₂	70.53	52.42	54.64	54.53	58.53	53.81	54.25	51.59
TiO ₂	0.70	0.74	0.74	0.79	0.70	0.73	0.73	1.02
Al ₂ O ₃	14.64	19.59	19.64	17.79	18.82	20.06	19.46	21.68
FeO*	4.23	9.12	7.66	9.09	6.35	7.36	7.77	8.57
MnO	0.12	0.24	0.12	0.21	0.12	0.13	0.14	0.17
MgO	0.96	4.17	3.97	4.86	3.00	4.76	4.75	3.30
CaO	3.59	11.29	10.05	10.03	9.48	10.41	10.03	10.93
Na ₂ O	4.16	2.10	2.61	2.29	2.52	2.38	2.54	2.53
K ₂ O	0.89	0.25	0.45	0.32	0.34	0.22	0.18	0.06
P ₂ O ₅	0.18	0.07	0.12	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15
FeO/MgO	4.39	2.19	1.93	1.87	2.12	1.55	1.64	2.59

well	DTI-1		DTI-2					
depth (m)	556	596	49	109	150	199	248	300
unit*	M21	M21	Tc	S1	S1	S1	S1	S1
(wt%)								
SiO ₂	55.44	54.57	60.11	60.21	61.48	62.47	61.03	58.97
TiO ₂	0.90	0.71	0.64	0.77	0.73	0.69	0.73	0.77
Al ₂ O ₃	18.70	19.68	17.77	16.82	16.63	16.73	16.94	16.98
FeO*	9.20	8.12	6.56	7.45	6.84	6.43	6.86	7.83
MnO	0.16	0.18	0.14	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15
MgO	3.94	3.80	3.57	3.42	3.25	3.14	3.19	3.84
CaO	8.99	10.04	7.85	7.42	7.11	6.69	7.31	7.82
Na ₂ O	2.43	2.44	2.85	3.07	3.13	3.03	3.13	3.03
K ₂ O	0.15	0.38	0.42	0.57	0.59	0.56	0.57	0.51
P ₂ O ₅	0.11	0.09	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
FeO*/MgO	2.34	2.14	1.84	2.18	2.11	2.04	2.15	2.04

*;記号は図3に同じ。詳細は本文を参照のこと。

*;Marks are same as in figure 3.See text for detail

*;全鉄を FeO として示す。

*;FeO as total iron

5. 全岩化学組成

採取された岩石のうち溶岩について、蛍光 X 線分析装置 (XRF) による主成分全岩化学組成分析を行った。分析は試料 1 に対し、融剤 (4 ホウ酸リチウム:メタホウ酸リチウム=4:1) を 2 の割合で作成したガラスビードについて行った。なお、試料はビード作成前に 1000 で 3 時間灼熱し、水分を揮発させると共に、鉄酸化物を Fe_2O_3 に酸化させた。比較のため主成分合計を 100% として再計算した。また、再計算にあたって全鉄を FeO とした。結果を表 1 に示す。また、都城ダイアグラム上のプロットを図 2 に示す。

DTI-1 号井から得られた溶岩で化学分析を行ったものは、深度 49.6~50.8m で採取されたデイサイト以外は玄武岩質安山岩~安山岩で、ソレライト系列かソレライト系列とカルクアルカリ系列の境界付近にプロットされた。また、DTI-2 号井から得られた溶岩は全て SiO_2 が 60% 前後の安山岩で、カルクアルカリ系列の範囲にプロットされた。

6. ボーリング地質のまとめと対比

6.1. DTI-1

この温泉井では深度 300m 付近を境に、その上下で岩相が異なる。

深度 300m 付近以浅のコアは多くの場合破断した溶岩で、風化土壌が含まれる。これらのことから、回収された溶岩は巨礫を掘抜いたもので、溶岩流を掘抜いたものではないと思われる。このことから、DTI-1 の深度 300m 付近以浅は、溶岩礫及び風化土壌から成る未固結な崖錐堆積物であると考えられる。深度 300m 付近以浅の岩石はほとんどが玄武岩質安山岩で、斜方輝石斑晶に単斜輝石の反応縁を有すること、集斑晶が少ないこと、化学組成が都城ダイアグラム上でソレライト系列の範囲にプロットされることなどの古期外輪山溶岩の特徴を備えている。すなわち、この崖錐を構成する岩石の大部分はこの地点の北側の古期外輪山山体が供給源になっていると思われる。

深度 300m までには深度 99.8~102.7m で固結したラミナを含む褐色の火山灰層が、深度 251.5~252.7m で白色~淡赤灰色の火山灰層が挟まれる。層相は、前者は火砕サージ堆積物に、後者は珪長質軽石流本体に類似している。また、深度 251.5~252.7m の火山灰層には角閃石の斑晶が含まれており、極めて特徴的である。これらの火山灰層は崖錐の形成中に発生した火砕流の堆積物と思われるが、対比は今後の課題である。

深度約 350m から 600m 付近は緻密で脈が多く入り、変質を被っている玄武岩及び玄武岩質安山岩で、特に深度

550m 以深では緑色がかかる。深度の違うコアの岩相が鏡下でも区別がつかない場合が多いことを考えると、この区間には厚さ 50m をこえるかなり厚い溶岩流が何枚が含まれる可能性が高い。

深度 650m 以深は緑色がかかった灰色の変質を被っている凝灰岩である。

深度 350m 以深から採取された岩石はおそらく古期外輪山溶岩または、基盤岩である湯ヶ島層群のものと考えられる。深度 350m (標高約 200m) 以深で採取されたコアの色調や脈の入り方など、肉眼的な岩相はほとんど一定である。また、Kuno et al. (1970) は DTI-1 近傍のボーリングで、標高 250m 以深を湯ヶ島層群としている。そこでここでは深度 350m 以深を一括して湯ヶ島層群とする。

6.2. DTI-2

この温泉井で特徴的なのは、深度 100m 付近から深度 300m 付近までの緻密な安山岩溶岩と、深度 400m 以深の緻密な凝灰角礫岩である。

深度 100m 付近から深度 300m 付近までの緻密な安山岩溶岩は、深度にかかわらず斑晶組み合わせや岩石組織及びかんらん石斑晶の多くに反応縁が見られるという特徴が同一である。従って、深度約 100~300m は一つの溶岩流であると考えられる。下湯場集落の台地はこの溶岩流によって構成されていると考えられる。ここではこの溶岩流を下湯場溶岩流と呼ぶことにする。

深度約 400m 以深の採取率がよく破断の少ない凝灰角礫岩には基質にガラス質の発泡した火山灰が、深度によって量の多少はあるものの、含まれる。また含まれる礫は暗灰色、灰色、赤灰色など多様な色、岩種から成る。

深度 49~49.9m から採取された溶岩は下湯場溶岩流と斑晶組み合わせが異なる。また、コアの採取率も非常に低い。これらの特徴からこの溶岩は下湯場溶岩流上の崖錐堆積物または中央火口丘起源の山崩堆積物 (CC9; 久野、1972) である可能性が考えられる。どちらに当たるかは今後の課題であるが本研究では久野 (1972) が本井戸の地点を山崩れ堆積物の分布域に含めていないことから、ここでは崖錐堆積物とする。

深度 361.6~363.5m から採取された岩石は砂質の礫岩で、発泡したガラス質の火山灰を含むなど火砕流堆積物の層相を示す。コア採取率が低く、詳細は不明であるが、深度 400m 以深と同一である可能性がある。

7. 議論

7.1. 地質断面

DTI-1 及び DTI-2 のコアの観察から推定した、下湯場地域の地質断面 (図 1 の A-B 断面) を図 3 に示す。本研

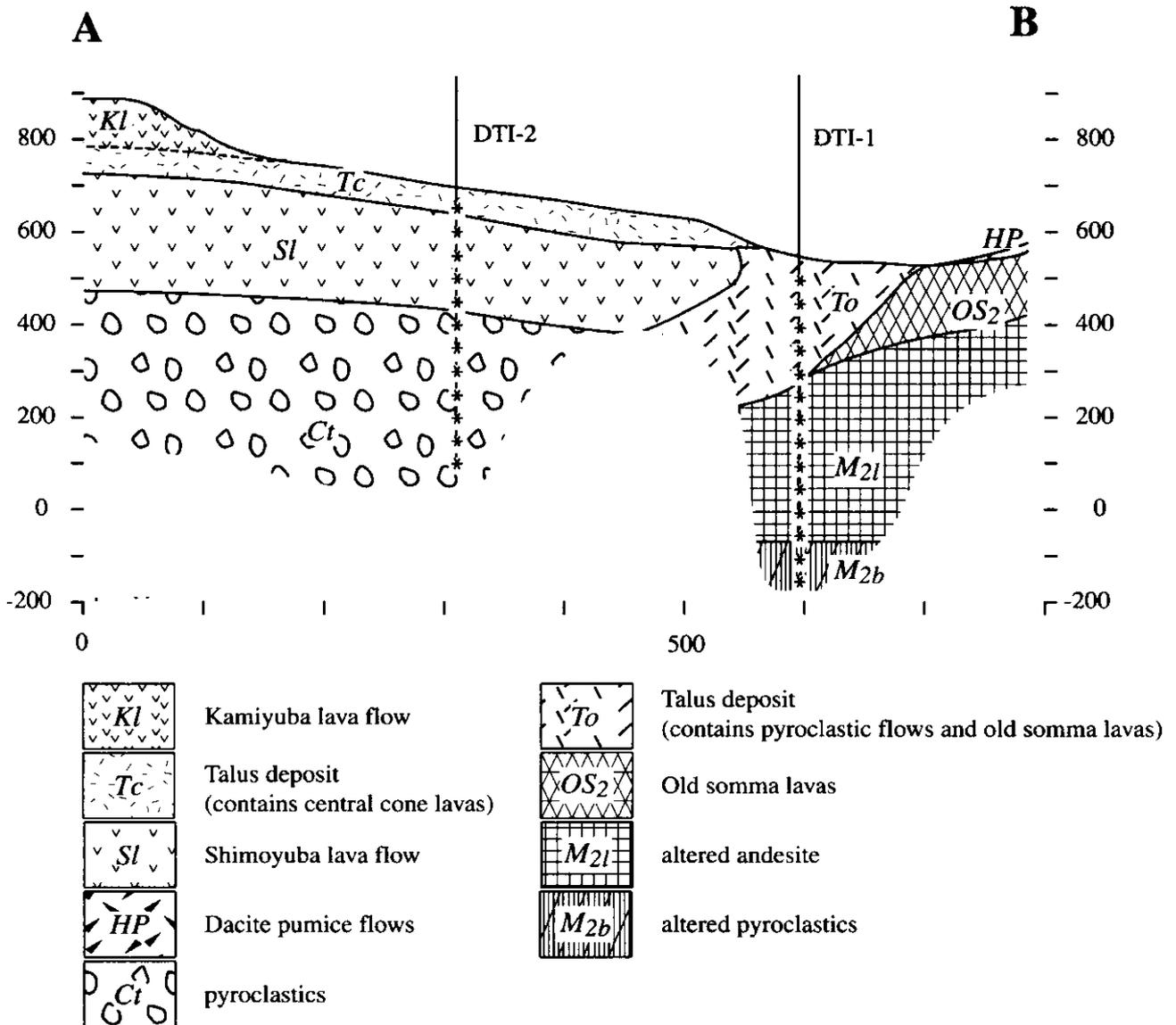


図3 下湯場地域の地質断面図(図1のA-B断面)
Fig.3 Geological cross section along A-B line in Fig.1.

究では、DTI-1の坑井地質を上位から;To、古期外輪山内側斜面を給源とする崖錐堆積物(火砕流堆積物を含む);M2l、湯ヶ島層群相当(?)の溶岩;M2b、湯ヶ島層群相当(?)の凝灰岩、と分類した。古期外輪山溶岩は早川の対岸に露出しているが、DTI-1の直下では、古期外輪山の溶岩流は存在していないと考えられる。Toの堆積時期は定かではないが、その底が下湯場溶岩の基底よりも深いことから下湯場溶岩の流下前には堆積していたものと思われる。また下湯場溶岩が現在の早川まで達さず、下流域で流向が北東から東へ屈曲していることから推察して、この溶岩の流下時には旧早川の谷は現在の早川の谷よりも南側にあったと思われる。

また、DTI-2のボーリング地質を上位から;Tc、中央火口丘起源の崖錐堆積物;Sl、下湯場溶岩流;Ct、中央火口丘地下の凝灰角礫岩と分類した。Tcは厚さ50m以上の

未固結の堆積物であると思われるが、一部しか採取されていないので詳細は不明である。Slは厚さ200m以上の厚い安山岩溶岩である。この溶岩流の下位は厚く下限が不明な、凝灰角礫岩層から成る。

なお、過去の地質図で記載されている山崩れ堆積物(図1のavalanche debris、神奈川県教育委員会、1980)は久野(1972)の神山起源の山崩れ堆積物(CC9)に相当するが、深さの下限が明らかでない。DTI-1の深さ51mから得られたコアに含まれているデイサイト質の岩石は古期外輪山起源にしてはかなり珪長質である。このため、この岩石は神山起源の山崩れ堆積物に含まれるものかも知れない。しかし、DTI-1の深さ51mの岩石を神山起源の山崩れ堆積物に含まれるものと断定する根拠がないのでここではToに含め、図3の断面図では山崩れ堆積物を図示しなかった。

表2 DTI-1、DTI-2の温泉水の化学組成(分析者;粟屋徹、石坂信行)

Table 2 Composition of hot spring water of DTI-1 and DTI-2 (analyst; T.Awaya and N.Ishizaka).

	DTI-1	DTI-2*
試料採取日	1997年7月3日	1997年6月9日
温泉 ()	70.4	21.7
掘削深度 (m)	700	500
Na+ (mg/l)	536	34.7
K+ (mg/l)	6.98	2.95
Mg+ (mg/l)	0.51	16.3
Ca++ (mg/l)	183	32.2
Hw2iO3 (mg/l)	84	96.1
HBO2 (mg/l)	38.6	1.21
C1- (mg/l)	899	8.64
SO4- (mg/l)	349	86.8
HCO3- (mg/l)	58.1	191
NO3- (mg/l)	1.26	0.1
pH	7.37	7.82
電気伝導度 μ S/cm	3270	462
蒸発残留物 (mg/l)	2082	358
成分統計 (mg/l)	2156	470

*: 孔井完成前の測定値

: values when the well is under construction

7.2. 中央火口丘地域の基盤

DTI-1とDTI-2は直線距離で700mしか離れていないにも関わらず、地質が大きく異なる。箱根地域の基盤岩は湯ヶ島層群から成るが、これに相当すると思われる岩石に、北側のDTI-1では標高350m付近で達したのに対し、南側のDTI-2では標高約100mに掘り進んでも達することができなかった。基盤岩の上面は南方向にかなりの傾斜をしているか、両温泉井の間で断層を挟んで中央火口丘

地下で落ち込んでいるか、欠落していると思われる。

Kun0 et al. (1970)は温泉井の地質試料から箱根火山の地下構造を復元した。当時、中央火口丘周辺の温泉井は限られていたため、中央火口丘地下の地質は不明であった。今回DTI-2では中央火口丘溶岩類の一つである下湯場溶岩の直下が厚い凝灰角礫岩であったが、こうした層相の厚い凝灰角礫岩は早雲山噴気地帯周辺の地下、標高650m以深でも認められる(横山、萬年、1998)。中央火口丘溶岩類は少なくとも中央火口丘周辺域では比較的薄く、その下位は厚い凝灰角礫岩から成るらしい。この凝灰角礫岩の給源や堆積プロセス等は今後の課題であるが、中央火口丘溶岩に直接覆われていると考えられることやパミス質の物質を多く含むことから、新期カルデラ形成時の噴火に関係しているのかもしれない。

7.3. 温泉化学

DTI-1及びDTI-2の両温泉井から湧出した温泉水の化学分析の結果を表2に示す。両温泉井の温泉は距離があまり離れていないにもかかわらず泉温、成分量、泉質が大きく異なる。DTI-1の温泉は泉温が70.4と高温で、溶存成分に富むという特徴がある。一方、DTI-2の温泉は低温で溶存成分に乏しく、その割に炭酸水素イオンに富む特徴がある。両温泉井の温泉の成分を、 $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+}$ 三角図、 $\text{Cl}^- - \text{CO}_2 - \text{SO}_4^{2-}$ 三角図上にプロットすると、DTI-1が第I帯、DTI-2が第II帯の範囲に入る(図4; Oki and Hirano, 1970)。第I帯は基盤岩に胚胎する温泉、第II帯は中央火口丘基部に胚胎する温泉に分類される。両温泉のこのような泉質は、両温泉井の孔底付近の地質と調和的である。

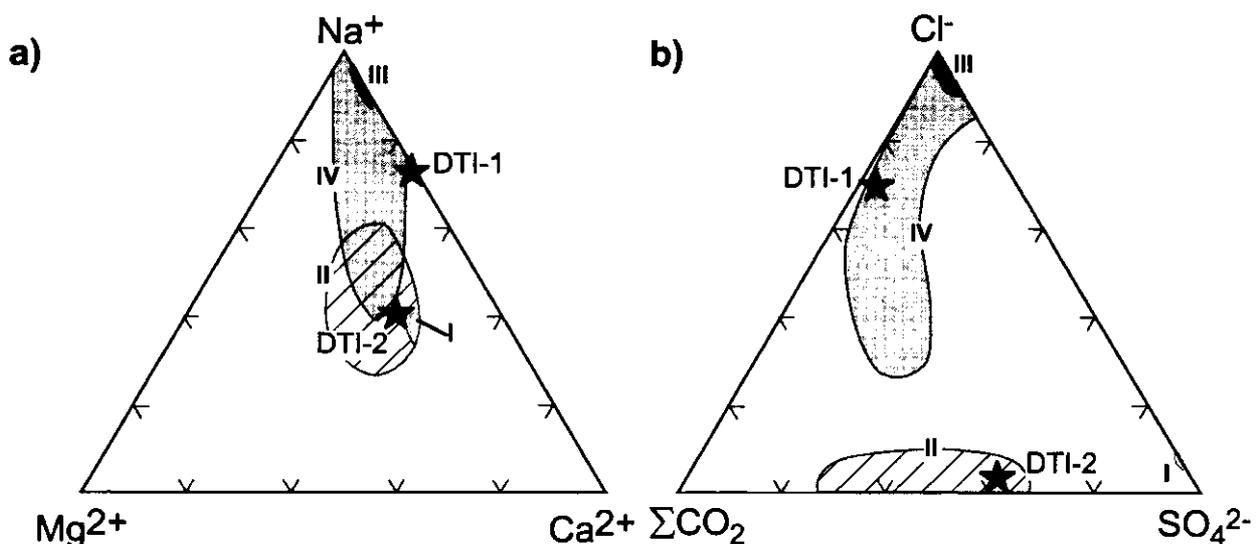


図4 DTI-1、DTI-2の温泉水の化学組成の $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ 三角図、 $\text{Cl}^- - \Sigma \text{CO}_2 - \text{SO}_4^{2-}$ 三角図投影。I~IVはOki and Hirano(1970)による箱根地域の温泉分帯を示す。 ΣCO_2 は CO_2 がすべて HCO_3^- として溶存しているものと仮定して計算した。

Fig.4 Chemical compositions of hot spring waters of DTI-1 and DTI-2, projected onto a) the $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ and b) the $\text{Cl}^- - \Sigma \text{CO}_2 - \text{SO}_4^{2-}$ diagrams. Fields for four types of thermal water in Hakone (I~IV) are also shown (after Oki and Hirano, 1970). ΣCO_2 was calculated assuming all CO_2 dissolved as HCO_3^- .

8. まとめ

従来、温泉井の開発が行われてこなかったため不明であった箱根・下湯場地域の地下地質構造が、最近行われた 2 本の温泉井 (DTI-1、DTI-2) の地質試料により明らかになった。北側の DTI-1 の標高 350m 以浅は火砕流堆積物を交える、古期外輪山起源の未固結の崖錐堆積物から成ると考えられ、それ以深では基盤岩である湯ヶ島層に達しているものと思われる。南側の DTI-2 では標高 510m (深度約 50m) 付近までは中央火口丘起源の岩石から成る未固結の崖錐堆積物から成ると見られるが、標高約 590m から約 390m の間は厚い溶岩流から成る (下湯場溶岩流)。下湯場溶岩流の下は厚い凝灰角礫岩から成る。下湯場溶岩流の下位の凝灰角礫岩と似た岩相の層は早雲山地下にも見られ、両者は同一で中央火口丘の地下に広く存在する可能性がある。基盤である湯ヶ島層群はこの地域で、南に大きく傾斜しているか、断層を挟むなどして中央火口丘中央部で陥没ないし欠落しているかもしれない。両温泉井の温泉水は DTI-1 が基盤岩に胚胎する型とされる第 1 帯に、DTI-2 が中央火口丘の基部に胚胎する型とされる第 2 帯に分類され、地質と調和的である。

謝 辞

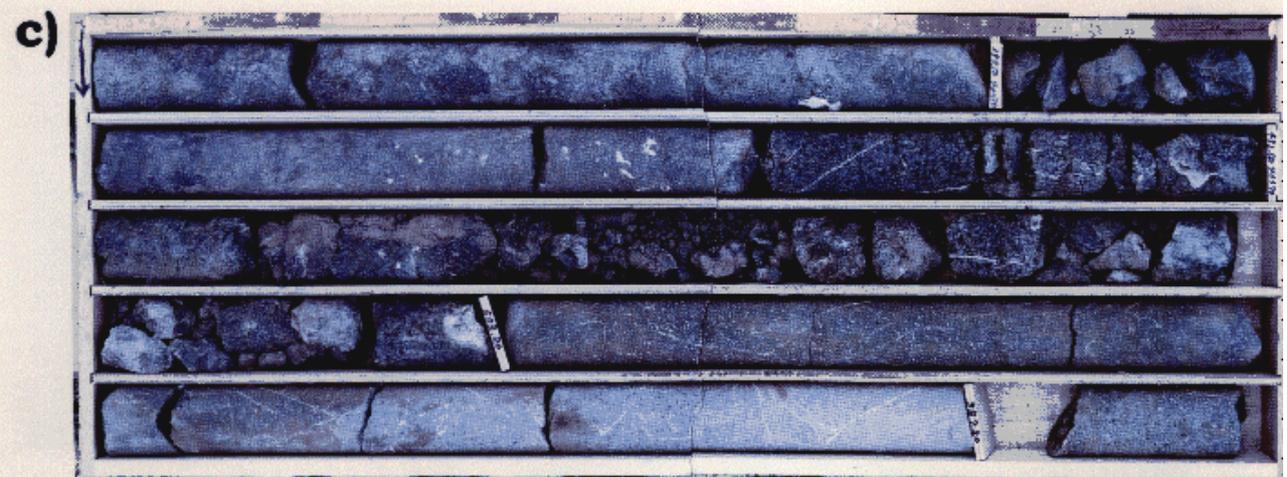
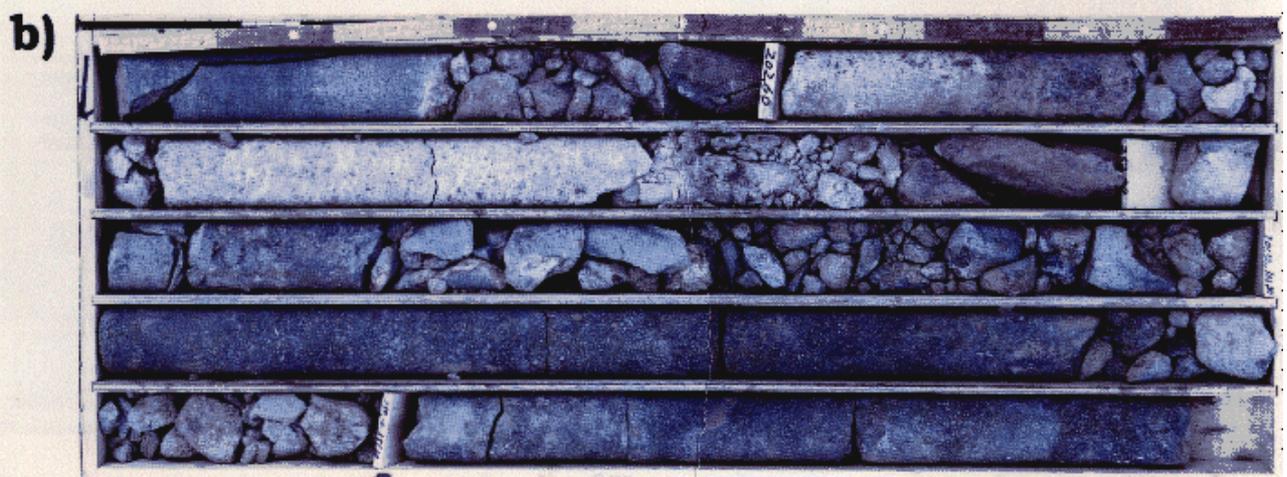
両温泉井の掘削の施主である岩崎産業株式会社にはボーリング試料の採取、提供をしていただきました。ひとかたならぬ御協力に対しここに記して深く感謝の意を表します。松沢親悟技能技師には岩石の薄片を作成していただきました。温泉地学研究所の粟屋徹、石坂信之両専門研究員には温泉水の分析結果を提供していただきました。

なお、本研究には温泉地学研究所経常研究費及び東京大学地震研究所特定共同研究 (B) の研究費を使用しました。

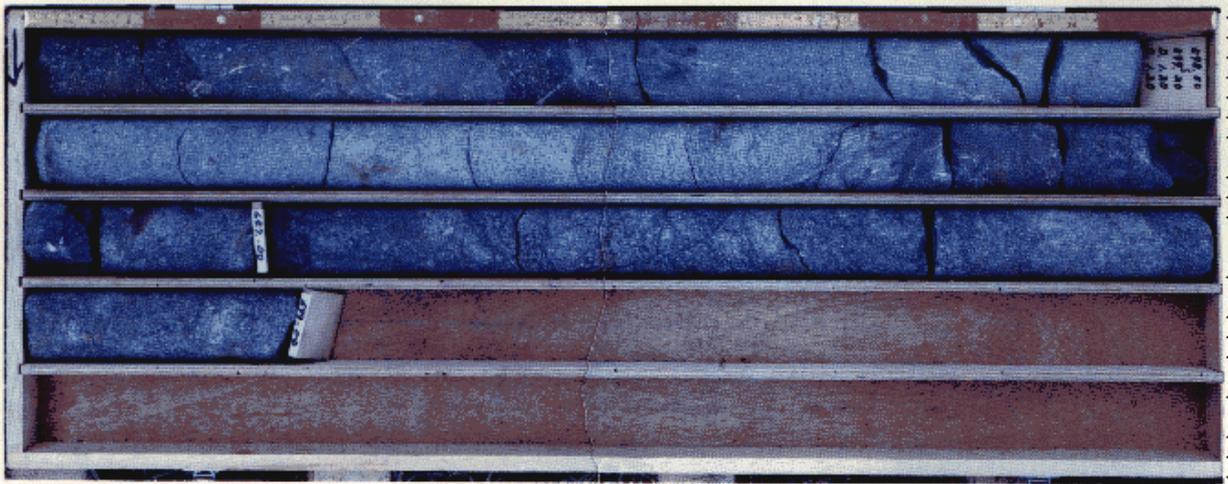
参考文献

- 神奈川県教育委員会 (1980) 神奈川県地質図「10 御殿場・小田原」.
- Kuno, H., Oki, Y., Ogino, K., and Hirota, S. (1970) Structure of Hakone caldera as revealed by drilling, Bull. Volcanol., 34, 713-725.
- 久野久 (1972) 箱根火山地質図説明書, 大久保書店.
- Oki, Y. and Hirano, T. (1970) The geothermal system of the Hakone volcano, Geothermics special issue 2, U. N. symposium on the development and utilization of geothermal resources, Pisa 1970, 2, 1157-1166.
- 横山泉、萬年一剛 (1998) 箱根火山の基盤構造, 日本火山学会講演予稿集 1998 年度秋季大会, 66.

DTI-1



d)

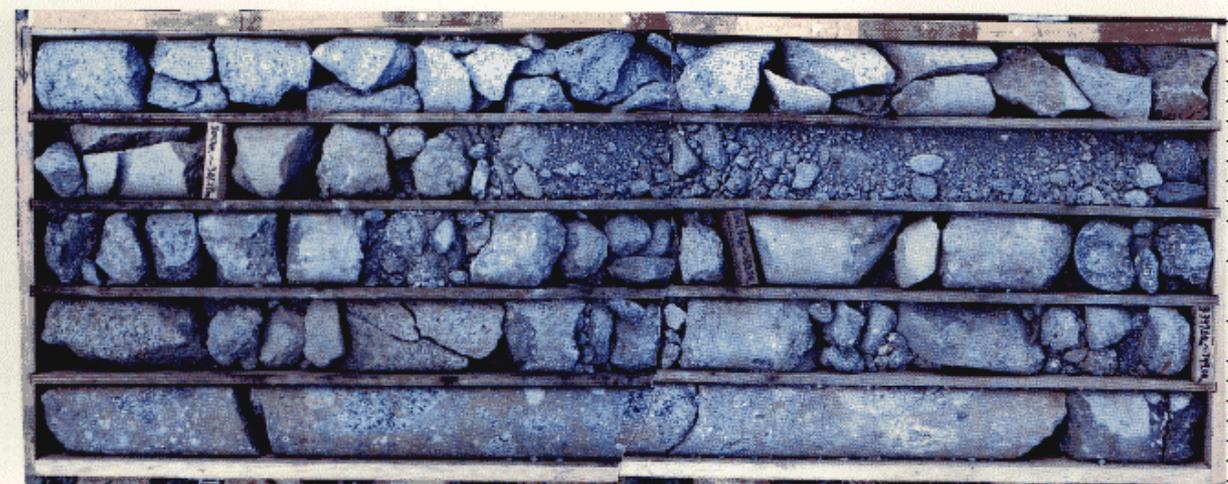


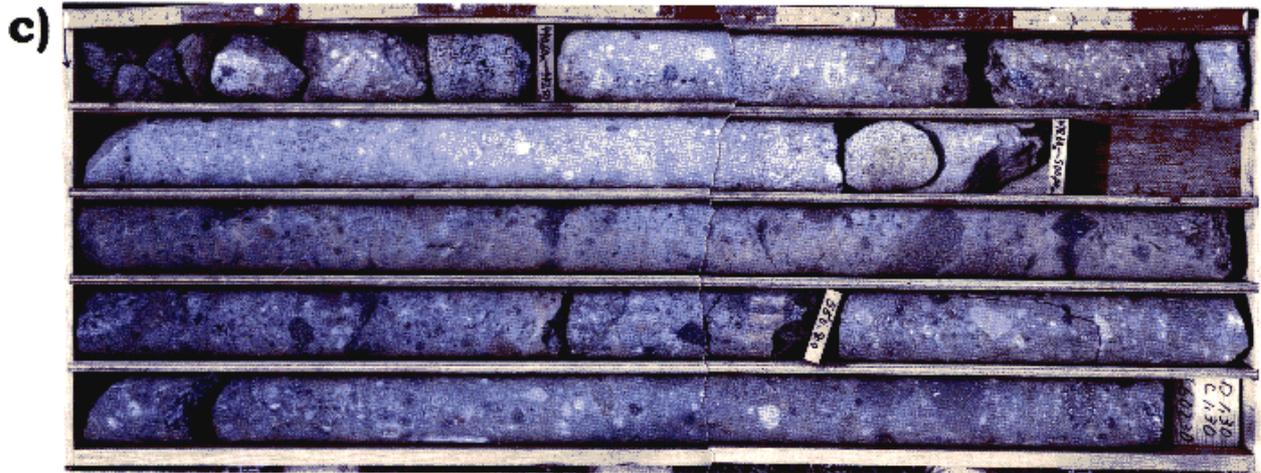
DTI-2

a)

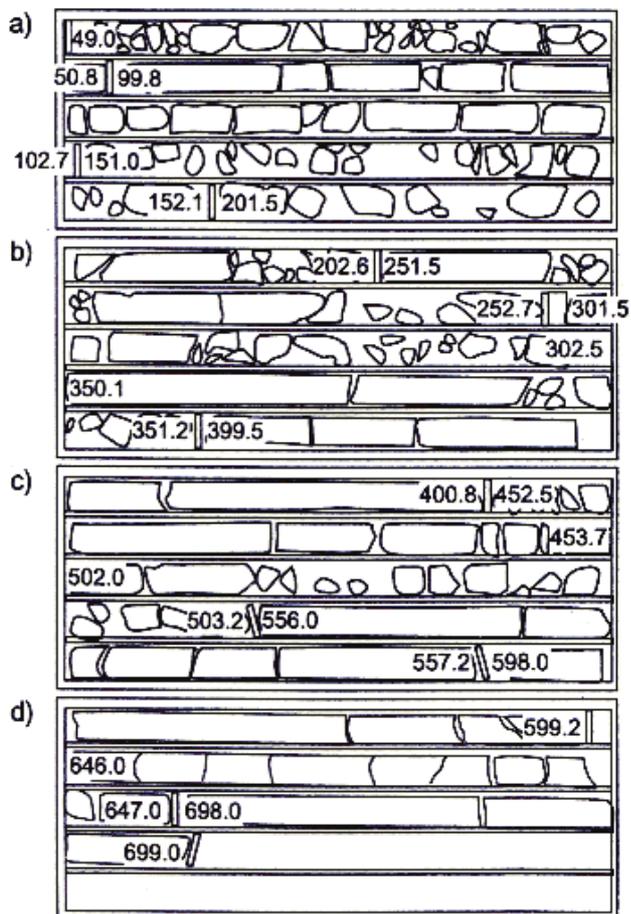


b)

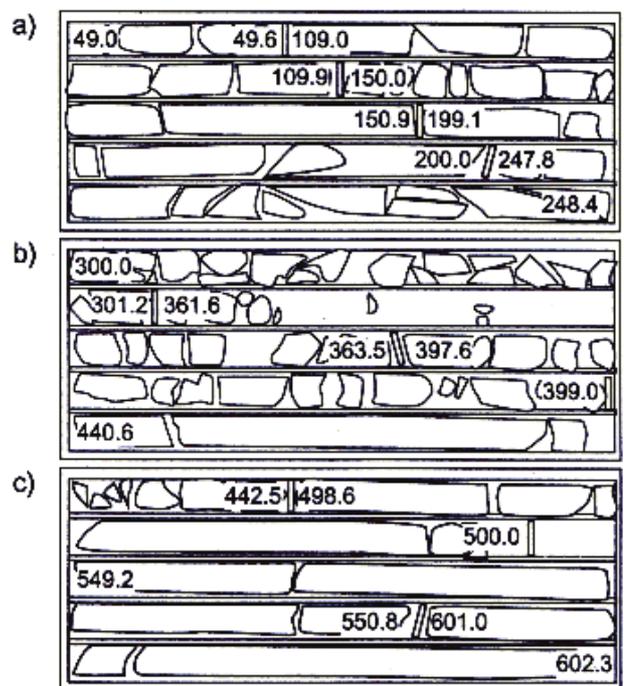




DTI-1



DTI-2



DTI-1、DTI-2両温泉井のボーリングコア写真。各写真上部の物差の長さは1m。およそ50mおきに試料を採取するスポットコアリングのため、箱の中で隣り合うサンプルでも深度が大きく異なる場合があることに注意。末尾に各コアの採取深度を示す。