

1. 地質概要

1.1 観測井周辺の地形と地質

1.1.1 観測井の位置

海山観測井は、三重県北牟婁郡紀北町海山区小山浦の又口川右岸の段丘上に位置している（図 1.1-1）。掘削位置の緯経度は、GPS 計測によれば以下の通りである。

海山観測井の位置

孔 1：北緯 34° 06' 44.3987”， 東経 136° 10' 53.2725” 標高 29.427m

孔 2：北緯 34° 06' 44.7366”， 東経 136° 10' 53.5959” 標高 29.416m

孔 3：北緯 34° 06' 44.9903”， 東経 136° 10' 53.8390” 標高 29.809m

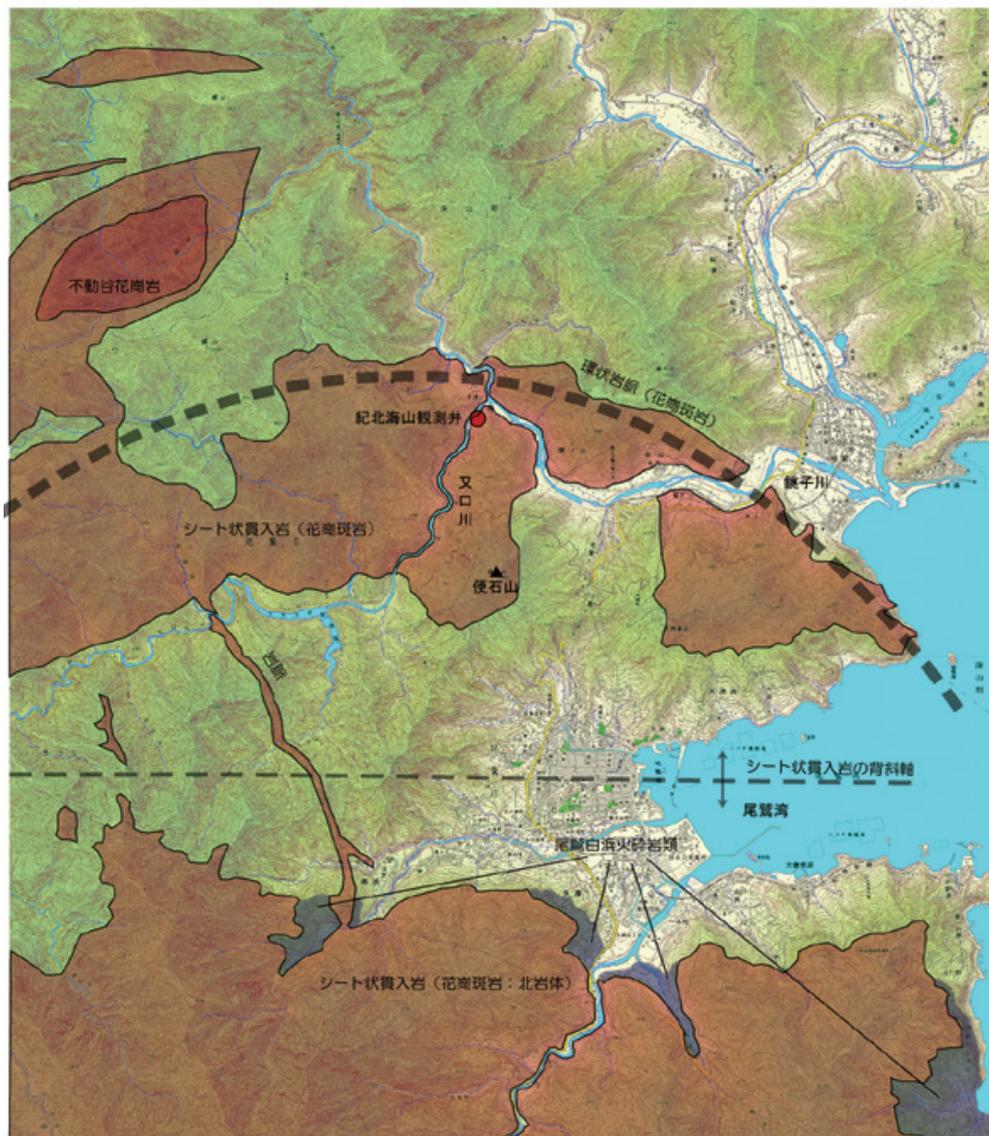


図 1.1-1 海山観測井周辺の地形・地質

(彩色地形図：地図センター、地質図：Kawakami et.al(2007))

1.1.2 観測井周辺の地形概要

海山観測井は、銚子川本川と右支川又口川の合流点近く、又口川右岸の段丘上に位置している(図 1.1-1)。段丘上は盛土で嵩上げされており、建設会社資材置き場の一角である。

両岸斜面は 45 度前後と急峻で段丘は発達せず、河道に巨礫と露岩が連続する溪谷(魚飛峡)となっている。上流に電源開発クチスボダムがあって、平時の流量が少ないため細粒土砂は流出してしまっている。段丘堆積物と盛土を合わせた厚みは 10m 程度である。

1.1.3 観測井周辺の地質概要

海山観測井周辺の地質は、熊野酸性岩類北岩体に属する花崗斑岩である。観測井位置は、川上・星(2007)および Kawakami et. al.(2007)の環状岩脈上に位置している(図 1.1-1)。仕様書では鉛直深度 600m まで花崗斑岩が続くと想定している。

熊野酸性岩類の地質記載は、荒牧・羽田(1965)および荒牧(1965)によってなされ、下位より神ノ木流紋岩類・凝灰岩・花崗斑岩に区分されている(図 1.1-2b)。

(1) 花崗斑岩

花崗斑岩について、荒牧・羽田(1965)は、組成や鉱物組合せなどが一様で、均質な岩体としている。斑状組織で、石英・カリ長石・斜長石・黒雲母などの斑晶と、主に石英・カリ長石からなる石基で構成されるとした。また、石基の岩石組織により、

- 1)細粒岩相(岩体縁辺部:急冷相)
- 2)Microgranitic texture の岩相(岩体の主体岩相)
- 3)Micropegmatitic texture の岩相(岩体中心部)

に区分した。また、捕獲岩塊は通常 20cm 以下で変成した岩塊が普遍的で、未変成の岩塊は岩体縁辺部に多いとしている。以上は、岩体が一様な冷却史を経たことを念頭においた区分である。

これに対して、皆川・吉田(2001)は、北岩体において斑晶量が岩体北部～西部の急冷相で量比が多く、斜長石斑晶の最大径は岩体中央部～北西部で大きいこと、気孔を含む岩相が岩体東部～南部に卓越するなどの岩相の不均質性を見出した。これらの不均質性は、冷却史だけでなく岩体北西部～南東方向への低角なシート状の貫入により説明されるとした。

また、川上・星(2007)および Kawakami et. al.(2007)は、岩体北縁部に環状岩脈を

見出し、北岩体が高傾斜の環状岩脈とシート状貫入岩体からなる巨大な貫入岩体で、火砕岩を伴う弧状の正断層群の存在とともに、“ピストンシリンダー型”のカルデラ形成を示すものと考えている。

(2) 凝灰岩類

凝灰岩について、荒牧・羽田(1965)は、

i 型) 層理が明瞭で軽石レンズを含むもの：軽石凝灰岩、

ii 型) 層理が明瞭でなく軽石片が目立たないもの：塊状で破碎斑晶を多量に含む凝灰岩

に大別し、ii 型が凝灰岩の大半を占め、両者は漸移関係とした。石基は i 型・ii 型ともにガラス質～潜晶質で、捕獲岩片には未変成の岩片(暗褐色シルト岩など)のほか変成した岩片も含むとした。Aramaki et al(1977)は、凝灰岩を結晶片に富む溶結凝灰岩(Crystal-rich welded tuff)と記載し、Miura(1999)は噴出機構を重視した Ash-flow tuff と呼んだ。

(3) 熊野酸性岩類の形成

熊野酸性岩類の形成年代は、Miura(1999)にまとめられており、14Ma 前後(1,400 万年前、中期中新世)の約 50 万年間の短期間に集中している(図 1.1-2c)。

熊野酸性岩類の噴出機構に着目した代表的な模式断面図を、図 1.1-3(荒牧、1965)および図 1.1-4(Miura, 1999)、図 1.1-5(Kawakami et.al, 2007)に示す。両者ともにカルデラ形成を念頭に置いたモデルである。荒牧(1965)ではカルデラ形成時に基盤岩の巨岩塊が落ち込むと同時に、マグマだまり上部の発泡で噴出した凝灰岩に巨岩塊が取り込まれ、その後巨岩塊周囲の割れ目からのマグマ噴出による溶岩湖形成で巨大な花崗斑岩体が形成されたと考えた。この場合花崗斑岩は地上噴出と考えている。これに対して Miura(1999)や Kawakami et.al(2007)では、カルデラ形成時のリング状断層から Ash-flow が噴出してカルデラを埋め尽くし、その後ラコリス～シート状に花崗斑岩が貫入したと考えている。この場合、花崗斑岩は貫入岩である。

なお、北岩体のカルデラ陥没量について、熊野井内浦観測井のコア試料の凝灰岩出現層準のデータを用いて短期間に 1,000m 以上に達したと見積もられている(下司ほか、2007)。

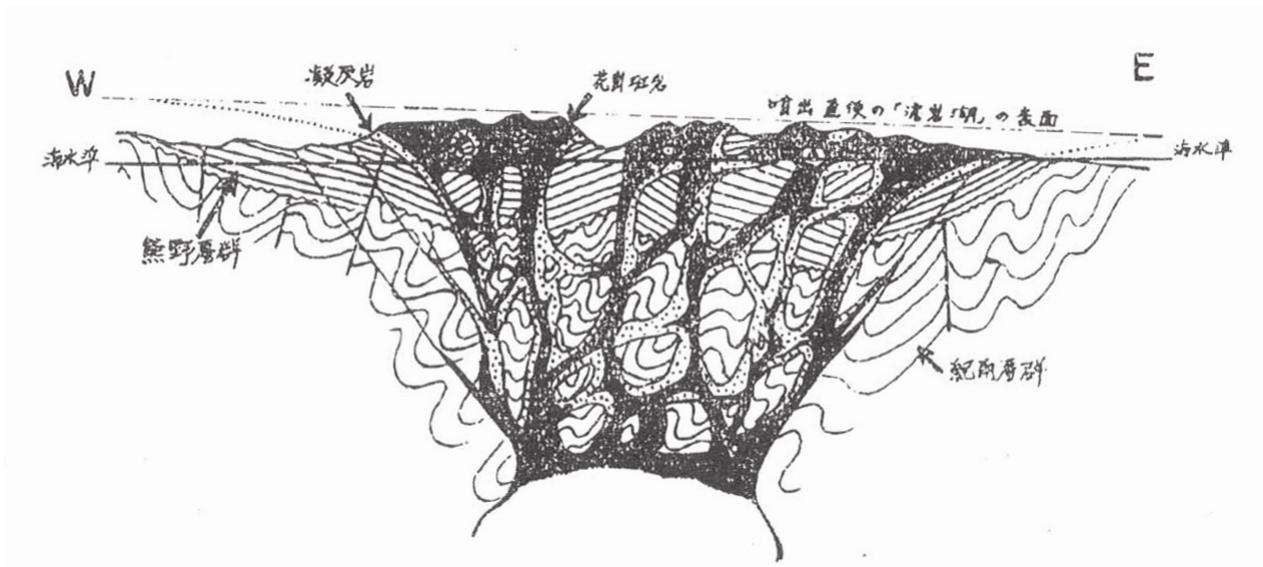


図 1.1-3 荒牧(1965)による熊野酸性岩類南岩体の模式断面図
 黒色：花崗斑岩、砂目：凝灰岩

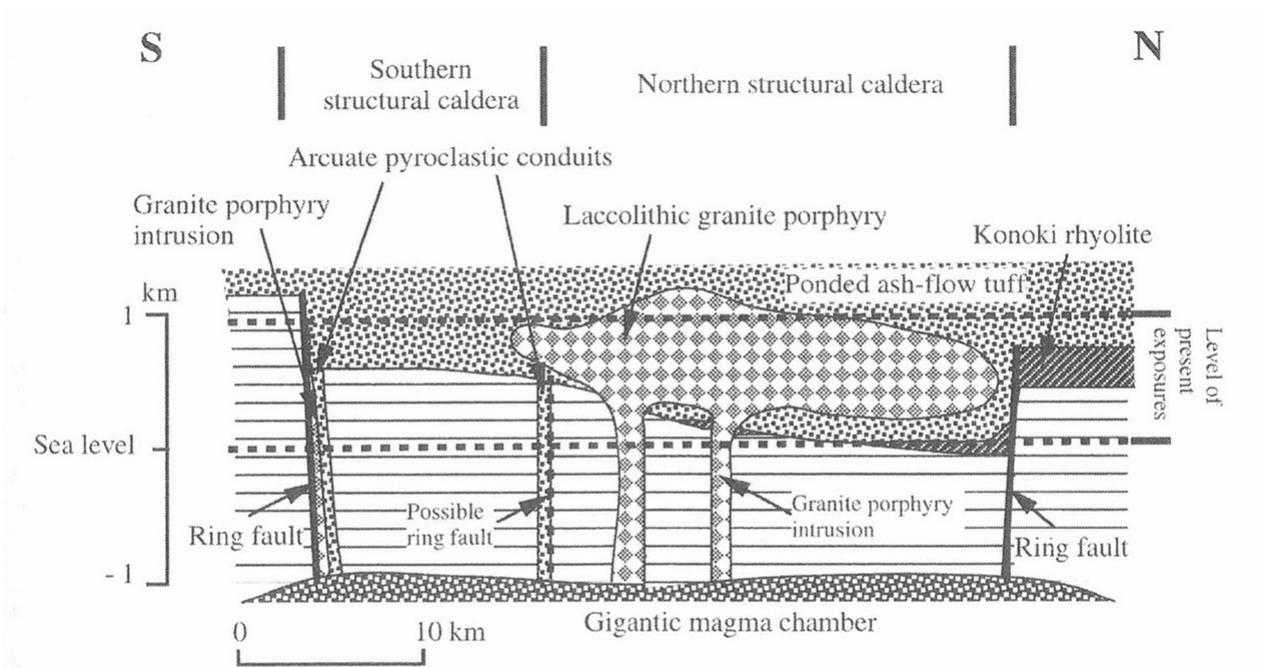


Fig. 13. Schematic illustration of the present state of the Kumano caldera. The genetic relationship of the units and structures is shown. The granite porphyry mass is considered as a large laccolithic intrusion into the ponded ash-flow tuff. The caldera consists of the nested northern and southern structural calderas.

図 1.1-4 Miura(1999)による熊野酸性岩類南岩体の模式断面図
 菱形：ラコリス状の花崗斑岩体、砂目：凝灰岩

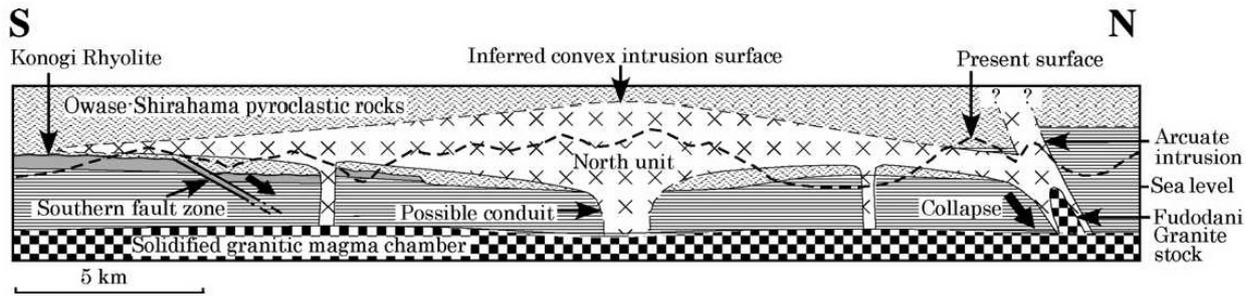


図 1.1-5 Kawakami et. al (2007)による熊野酸性岩類北岩体の模式断面図

×形：シート・岩脈状の花崗斑岩貫入岩体、波目：凝灰岩

1.1 引用文献

荒牧重雄(1965)、熊野酸性火成岩類の噴出様式、地質学雑誌、Vol.71, no.842, p.525-540

荒牧重雄・羽田忍(1965)、熊野酸性火成岩類の中部および南部の地質、地質学雑誌、Vol.71, no.841, p.494-512

Aramaki, S. and Takahashi, M., Nozawa, T.(1977), Kumano Acidic Rocks and Okueyama Complex; Two examples of the granitic rocks in the outer zone of southwestern Japan, Plutonism in relation to volcanism and metamorphism. In: Yamada, N. (Ed.), Proceedings of 7th Circum-Pacific Plutonism Project meeting, IGCP, UNESCO, Toyama, Japan, p.127-147

下司信夫・三浦大助・新正裕尚・角井朝昭・及川輝樹・中島隆・小泉尚嗣(2007)、熊野コアに見られる熊野酸性岩の火砕流堆積物の堆積構造、地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会発表要旨

Kawakami, Y., Hoshi, H., Yamaguchi, Y. (2007), Mechanism of caldera collapse and resurgence: Observations from the northern part of the Kumano Acidic Rocks, Kii peninsula, southwest Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 167, p.263-281

川上裕・星博幸(2007)、火山 - 深成複合岩体にみられる環状岩脈とシート状貫入岩：紀伊半島，尾鷲 - 熊野地域の熊野酸性火成岩類の地質、地質学雑誌、Vol.113, no.7, p.296-309

Miura, D.(1999), Arcuate pyroclastic conduits, ring faults, and coherent floor at Kumano caldera, southwest Honsyu, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.92, p.271-294

1.2 紀北観測井の地質・岩盤状況

1.2.1 コア観察の方針

歪計・地震計埋設と地下水位観測を目的とする本調査では、コア観察による岩盤劣化状況と水みちの把握が最重要である。1.1 に示した地質概要を踏まえて、コア観察では岩相および地質構造のコントラストを把握することを眼目に、以下を記載項目とした。

- ・ 岩相区分（斑晶、石基の粒径や組織、風化状態に着目）
- ・ 捕獲岩塊の種類、粒径、形状
- ・ 気孔の有無
- ・ 包有物（シンターなど）や鉱物脈（石英、方解石、セリサイト）の記載
- ・ 風化や変質の記載（溶脱、珪化、粘土化、赤紫色変質）
- ・ 割れ目の記載（とくに開口割れ目と断層）
- ・ 断層岩の種類
- ・ 岩盤性状の記載（岩盤等級、RQD、コア採取率）
- ・ コアロス位置
- ・ 逸水や湧水位置
- ・ その他

以下では、検層結果も参照した地質・岩盤状況を簡潔に記す。

1.2.2 紀北孔1の地質・岩盤状況

紀北孔1では、表層の20.0mまでが盛土・段丘堆積物で、20.0～600.0mまでが熊野酸性岩類の花崗斑岩である。

(1) 表層の盛土・段丘堆積物：0.0-20.0m（図 1.2-1(1)）

表層部は30.0mまでエアハンマーによるノンコア掘削であったため、カッティングスにより地質区分した。表層の0.0-11.0m間は玉石と土層の混合物からなる盛土、11.0-20.0mは水分を多く含む砂礫からなる段丘堆積物である。20.0m以深は褐色化した風化花崗斑岩で、カッティングスの褐色化は均一なので礫でなく岩盤とし、20.0mを着岩とした。

(2) 熊野酸性岩類の花崗斑岩：20.0-600.0m（図 1.2-1(1)～図 1.2-1(7)）

花崗斑岩は20.0-600.0mまで分布し、断層帯沿いに160mまでは褐色～淡褐色に風化した褐色変質帯と緑色変質帯が断続的に分布する。この区間は断層帯が多く、岩相が頻りに変化し、捕獲岩の分布も多い。160m-370mまでは均質な中～粗粒花崗斑岩で、断層帯や変質帯もごく少ない。ただし、250m以深にはディスクキングが発達する。370m-600m間は有色鉱物量比の多い花崗閃緑斑岩となり、断層帯・白色変質帯（珪化）も発達する。各区

間の地質性状を以下に整理する。

30.00-89.45m 間：粗粒花崗斑岩（図 1.2-1(1)および(3)）

極硬質かつ逸水を伴う低角割れ目で特徴付けられる。60.80m 以深は有色鉱物量比（黒雲母）が増大し、緑泥石・緑簾石を伴う緑色変質が顕著となる。変質中心部はガウジを伴う 70°南落ちの断層帯（73.33-77.70）となる。鉱物脈には方解石・石英を伴うものもある。天水の浸入による水酸化鉄の沈積が 66.88-67.83m 間に顕著である。

89.45-126.80m 間：細粒の花崗閃緑斑岩（図 1.2-1(1),(4),(6)）

粗粒花崗岩～花崗斑岩の大礫～ブロック（最大 3m）を含む。100-104m 間に流理が見られる。106-124m 間には緑色変質帯が顕著で、付随する高角断層は横ずれセンスが卓越する。

126.80-150.75m 間：中粒花崗斑岩と極細粒花崗岩（図 1.2-1(1),(3),(4),(7)）

高角断層帯に伴って、上記岩相が互層状の産状を示す。断層帯周囲は緑色・白色変質が著しく、さらに天水の浸入による褐色化のため岩相識別しにくい。白色変質部は石英脈を伴い逆断層センス、緑色変質部は横ずれセンスの断層が卓越する。岩盤分類・RQDともに最低値を示すが、逸水はない。

150.75-370.60m 間：均質な中粒花崗斑岩（図 1.2-1(1),(3),(7)）

ゼノリスが多く、ディスクキングが発達する花崗斑岩。とくに 250m 以深のディスクキングが顕著で、最大 50 本/m（密着を含めると 100 本/m 程度）に達する。287m～313m までの断層帯は横ずれセンス、332-340m の断層帯は逆断層センスである。変質箇所は少ないが、270m 付近のディスクキングには天水の浸入を示す褐色化が認められる。少量の逸水は節理に伴って、160m,215m,291m,345-350m 付近に認められる。

370.60-580.00m 間：中～粗粒の花崗閃緑斑岩（図 1.2-1(1),(4),(7)）

変質およびディスクキングが発達する花崗閃緑斑岩である。552.8-556.7m 間は火砕岩の可能性もある。370-455m,530-575m 間は白色変質（粘土化あるいは珪化）が顕著で、断層帯を伴っている。ディスクキングは、390-420m, 455m, 495-525m, 560m, 573m に発達する。80 度程度の高角断層は横ずれセンスが主体であるが、40 度前後の断層（408m, 424m, 495-498m）は正断層と逆断層（518m）である。

580.00-600.00m 間：中～粗粒の花崗閃緑斑岩

上位と同様に変質およびディスクキングが発達する花崗閃緑斑岩で、一部に花崗岩（583.55-589.93m）が 40-50 度傾斜で貫入しており、チルドマージンを伴う。区間内は白色変質

(粘土化あるいは珪化)が顕著で、貫入花崗岩の周囲には黄鉄鉱を伴う珪化脈が認められる。593.5-600.0m間は高角の断層帯で、最下部の2mは粘土化・マサ化したガウジ～断層角礫のためコアロスした。ディスクリングは、580-592m間に断続的に発達する。80度程度の高角断層は横ずれセンスが主体である。花崗岩周囲の40度前後の断層は変質が著しく、運動センスは不明である。

(3) 岩相以外の地質性状

以下に観察した地質性状を整理する。

a) 花崗斑岩の風化変質状況(図 1.2-1(3),(4))

風化帯(褐色変質帯)は、160mまでは断層帯や岩相境界に沿って分布し、褐鉄鉱(limonite)の沈積と長石の白濁で特徴付けられる。割れ目充填物が褐色化する幅狭い場合がほとんどだが、135-160m間のカタクレーサイトを伴う高角断層帯では幅広く断層岩～基質の全体が褐色化する。割れ目周囲の微弱な褐色化ハローが認められる最深部は、272m付近でディスクリング割れ目である。

褐色変質帯と重なって、やや深い深度(190m付近)まで断層帯沿いに緑色変質帯が分布する(図 1.2-1(4))。色調は灰緑色が普通で、有色鉱物・割れ目充填物の緑泥石化で特徴付けられる。緑泥石のほか、緑簾石・炭酸塩鉱物(方解石・シデライト)・石英が脈状に分布する。緑色変質帯は、370-380mや462m付近の断層帯にも認められる。150m付近の変質帯重複区間の観察から、緑色変質帯は後述の珪化を伴う白色変質帯によりオーバープリントされている。

白色変質帯は最も広く分布し、全深度の断層帯に対応して分布する。白色～淡黄色で、変質帯の中心部に石英脈と白色粘土(セリサイトと思われる)、縁辺部に石英+方解石細脈が分布し、長石の白濁・溶脱を伴っている(図 1.2-1(4))。断層帯の下盤では、白色変質帯に伴って黄鉄鉱の自形結晶が認められることがある(163m, 432m, 542m, 552m)。ディスクリング割れ目の卓越する250m以深に白色変質帯が卓越する傾向があるが、これ以浅の緑色変質帯にもオーバープリントして分布する。

また、赤紫色変質は岩相境界部の371.25-376.65m間にのみ確認され、赤紫色化した変質鉱物が斑点状～割れ目充填状で認められる。これらは、岩相境界の断層を通じた気成変質と思われる(図 1.2-1(4))。

変質帯の分布は、断層帯の分布とよく対応している。

b) 花崗斑岩中の捕獲岩片 (図 1.2-1(6))

捕獲岩片には、閃緑岩・花崗岩・ひん岩・頁岩・砂岩・凝灰岩・流紋岩・ホルンフェルスが認められる。ホルンフェルスや閃緑岩片では、周囲に反応縁が認められアメーバ状を呈する場合がある。全般に変成されており、扁平な形状が多い。

岩片種および径は深度変化があり、86-130m 間では花崗岩の径 10cm 以上 (最大径は 3m 以上) の捕獲岩、130m 以深は閃緑岩・頁岩・砂岩が主体で 10cm 前後となり、多くは径 2cm 以下と小さい。

c) 花崗斑岩中の気泡

気泡は 130-340m 間に認められ、径数 mm 以下である。

d) 花崗斑岩中の鉱物脈 (図 1.2-1(5))

鉱物脈は変質鉱物脈が主体で、緑色変質帯では緑泥石と石英脈 (最大 3cm 程度)、白色変質帯では石英と方解石が共存して脈状に分布する。このほかアプライト(81.1m)やペグマタイト(46.0m, 110.4m, 339.6m)の細脈が分布する。

e) 花崗斑岩中の割れ目 (図 1.2-1(7))

割れ目分布は、以下のように 4 区間に区分できる。

30-65m 間 : シーティング節理主体の低角割れ目帯。割れ目密度が低い区間。

65-180m 間 : カタクレーサイトを伴う岩相境界の高角断層帯。割れ目密度が高い。100-130m までは横ずれセンス、130-155m 横ずれ主体だが逆断層・正断層センスも認められる。この区間は緑色変質帯の中心でもある。

180-250m 間 : ごく割れ目の少ない区間

250-600m 間 : ディスキング割れ目とガウジを伴う断層帯の断続区間。

ディスキングは、掘削時の応力開放でコアがディスク状 (1~2cm 間隔程度でやや湾曲した形状) に分離する現象である。今回のディスキング割れ目には、割れ目面が滑らかで割れ目周囲の長石が白濁したものがあり、掘削以前に割れているものが含まれている。断層帯は小規模なガウジを伴い、横ずれセンスのものが多い。455-494m 間にごく割れ目の少ない区間を含む。

f) 花崗斑岩の岩盤等級と RQD

岩盤等級および RQD は、割れ目の頻度分布に逆相関して変化している。断層帯とディスクリングが発達するために、250m 以深には CM 級以上の岩盤が少なかった。

g) 花崗斑岩掘削時の逸泥状況

泥水掘削時の主要な逸泥区間は、42-90m 間(56.7m で全量逸泥 90L/min), 160m (10L/min), 214m (60L/min), 292m (22L/min), 350m (25L/min), 380m (20L/min), 430m (20L/min)である。

はシーティング節理群に対応し、56.7m の全量逸泥に対応して孔内セメンチングを実施した。は 210-216m 間の 35° 傾斜の平行節理群 (1-2 本/m) に対応し、213.7m で LCM を実施した。

泥水掘削時の湧水区間は着岩境界 20.0-21.8m である。泥水掘削の中断時には、ディスクリング割れ目帯に対応した 232-295m 間、580m 停掘時に湧水が認められた。ストレーナ区間 (417-428m) は清水切り替え後に湧水し、掘進時は泥水と送水圧で湧水が抑えられていた。また、580-600m 間の清水掘削では湧水区間が連続した。

h) 花崗斑岩掘削時の孔壁の変状 (図 1.2-1(7))

149.8m のカタクレーサイトを伴う変質中心部の断層帯で、孔壁崩壊が生じた。538-545m の高角断層周囲の粘土化した白色変質帯で孔壁が自立せず、押し出しが生じた。また、591m 付近の断層帯でも同様な性状で、孔壁崩壊のため掘進不能となり、セメンチング後に掘進した。

断層に伴う白色変質帯は 361-364m、419-424m、550-556m、570-600m 間に認められ、掘削時やケーシング設置時に押し出しや崩壊が生じて、障害となった。

また、崩壊の一部はボアホールブレイクアウトによるもので、キャリパー検層では XY 径が最大 50%程度広がって計測されている。

紀北海山観測井の地質-1 花崗斑岩



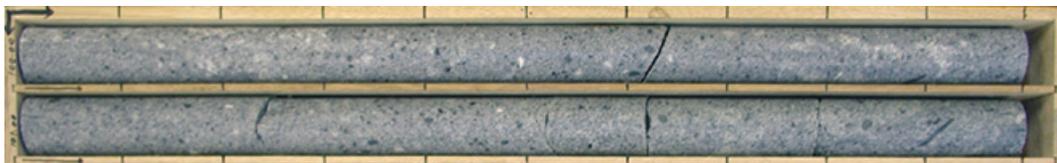
孔1:0-30mスライム
盛土(0-11m)・段丘(11-20m)・風化花崗斑岩(20-30m)



孔1:45-47m 中～粗粒花崗斑岩 (均質)



孔1:210-212m 中～粗粒花崗斑岩 (ほぼ均質)



孔1:100-102m 細粒相の花崗閃緑斑岩 (均質で泥岩捕獲岩片多数)



孔1:388-390m 粗粒相の花崗閃緑斑岩 (不均質で捕獲岩多い)



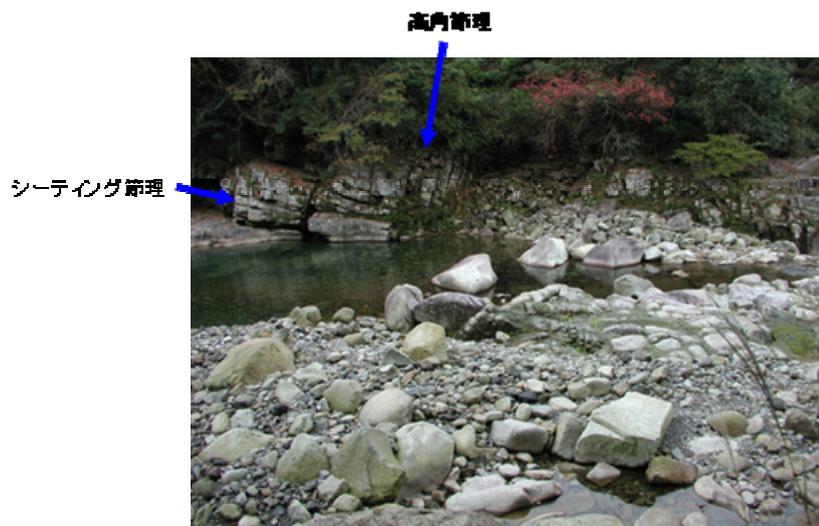
孔1:481-483m 粗粒相の花崗閃緑斑岩 (均質で捕獲岩少ない)

図 1.2-1(1) 紀北海山観測井の花崗斑岩の代表的岩相 (孔 1)

紀北海山観測井の地質-2 露頭での花崗斑岩の産状



花崗斑岩中のシーティング節理で形成された小瀑布（又口川）



花崗斑岩中のシーティング節理と高角節理（又口川）

図 1.2-1(2) 紀北海山観測井周辺の花崗斑岩の産状（孔 1）

紀北海山観測井の地質-3 花崗斑岩の風化状況



孔1:65-68m カタクレーサイトを伴う高角断層帯(65.70-70.55)の風化状況
高角の水みちに沿ってリモナイト沈積。



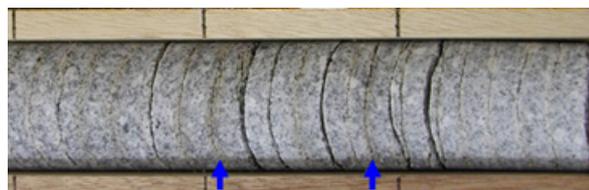
孔1:88-90m 割れ目充填物が風化で褐色化



孔1:140-142m カタクレーサイトを伴う断層帯(132.10-147.90m)の風化状況
全体がカタクレーサイト



孔1:152-154m 割れ目沿いの風化状況
30° 傾斜の平行割れ目帯沿いに褐色化。



孔1:270.7-271.0m ディスキング割れ目沿いの弱風化
風化痕跡の最深部で、割れ目面がやや褐色化。

図 1.2-1(3) 紀北海山観測井の花崗斑岩の風化状況 (孔 1)

紀北海山観測井の地質-4 花崗斑岩の変質状況



孔1: 75-80m (緑色変質) 75.0-79.08mまで緑色変質帯を伴う新層帯。



孔1: 121-123m (緑色変質) 有色鉱物が全て緑泥石化



孔1: 385-390m (白色変質) 385.0~387.65mは白色変質 (白色~黄白色) して、脱化。



孔1: 173.3-173.7m (Ca,Znを伴う白色変質)



孔1: 405-408m (Qzを伴う白色変質)



孔1: 左374-376m (赤紫色変質)



右376.3mの赤紫色充填物を伴う断層

図 1.2-1(4) 紀北海山観測井の花崗斑岩の変質状況 (孔1)

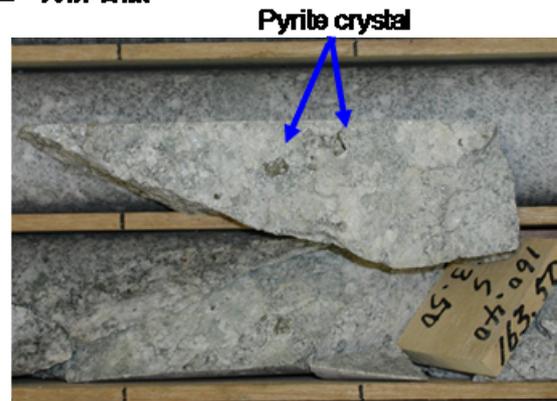
紀北海山観測井の地質-5 花崗斑岩中の鉱物脈



孔1: 56.2m 方解石脈



孔1: 568.6m 方解石脈 (割れ目充填、淡黄色)



孔1: 163.5m 方解石脈 (割れ目充填、Py伴う)



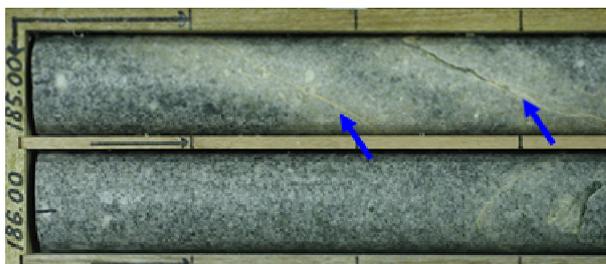
孔1: 301.02m 方解石と緑泥石の混濁



孔1: 406.0-406.35 白色変質帯中の石英脈



孔1: 572.4m ディスキングを伴う石英脈 (白色変質)



孔1: 185.0-185.3m ゼオライト脈 (?)



孔1: 110.3-110.6m ベグマタイト脈

図 1.2-1(5) 紀北海山観測井の花崗斑岩中の鉱物脈 (孔1)

紀北海山観測井の地質-6 花崗斑岩中の捕獲岩片



孔1:101.9m 頁岩片



孔1: 249.3-249.6m 細粒閃緑岩～砂岩, 頁岩片



孔1:193.2m 細粒閃緑岩～砂岩片



孔1: 435.8-466.0m 閃緑岩片 (豆点輝あり)



孔1:192.2-192.8m 閃緑岩片 (溶融して同化しつつある)



孔1:383.3-386.7m 閃緑岩片 (溶融して同化しつつある)



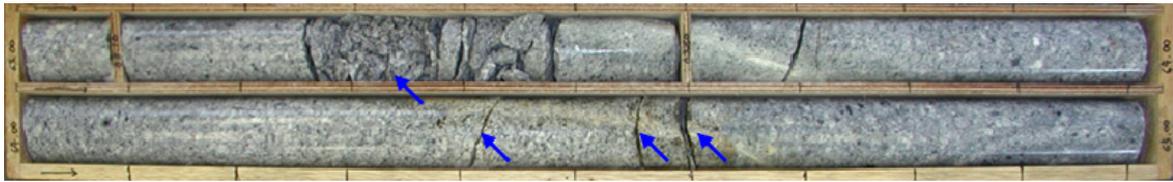
孔1: 562-564m 閃緑岩片および変斑輝岩片



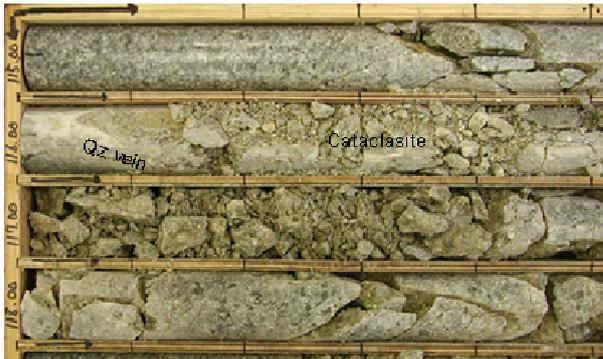
孔1: 106.0-106.5m 花崗岩片 (花崗岩はさらに砂岩片を包有)

図 1.2-1(6) 紀北海山観測井の花崗斑岩中の捕獲岩片 (孔1)

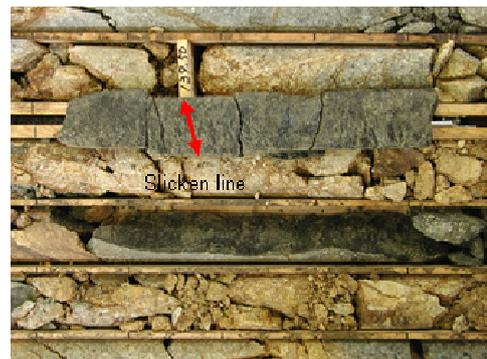
紀北海山観測井の地質-7 花崗斑岩中の割れ目



孔1:85-87m シーディング節理と思われる低角割れ目



孔1:115-119m 緑色変質を伴う断層帯 (妙ヶ岳帯)
(条線の傾斜約30°)



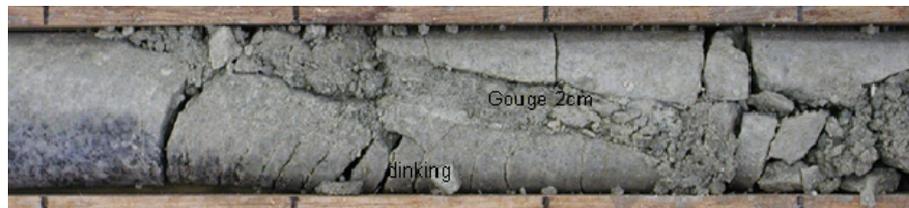
139-143m 褐色変質を伴う断層帯 (妙ヶ岳帯)
(条線の傾斜約30°, 85°)



孔1: 294.5-295.0m 白色変質を伴う断層帯 (妙ヶ岳帯)
(条線の傾斜約20°, 45°)



518.4-518.7m 同左
(条線の傾斜約80°, 逆断層)



孔1: 538.2-538.8m 孔壁の押し出しを生じた幅広い粘土化を伴う高角断層帯 (妙ヶ岳帯・白色変質)



孔1: 252-257m ディスキング割れ目帯



孔1: 313.2-313.45 同層の狭いディスクキング (上)



孔1: 578.9-579.0m 彎曲のきついディスクキング (下)

図 1.2-1(7) 紀北海山観測井の花崗斑岩中の割れ目 (孔1)

(4) 紀北孔 1 の地質構造について

花崗斑岩中の断層帯は 70° 以上の高角であることが多く、BHTV で確認すると EW 系で S 傾斜が卓越する。とくに花崗斑岩 / 花崗閃緑斑岩の岩相境界である 140m 付近の断層帯（カタクレーサイト）および 370m 付近の断層帯（ガウジ）、それに押し出しの生じた粘土化の著しい 538m 付近の断層帯（ガウジ）では、明らかに南落ちの高角断層が主体をなしている。また高角断層の運動センスは、横ずれが卓越している。

川上・星(2007)および Kawakami et. al(2007)によれば、熊野酸性岩北岩体の弧状岩脈は弧状部外側に 60 度以上傾斜した形状（本掘削地点では北落ち：図 1.1-1 および図 1.1-5 参照）としている。本掘削孔で出現した弧状岩脈内部の断層は南落ちが主体であり、岩脈内部の断層帯は走向が岩脈伸張方向だが、少なくとも 600m 程度までの浅層部では逆傾斜主体の可能性がある。また、岩体定置後の運動が横ずれ主体で、変質作用もこれに伴って進展したと考えることが可能である。

(5) 紀北孔 1 の検層結果について

孔 1 で 3 回に分けて実施された検層結果（0-600m）について、地質・岩盤状況を踏えたコメントを以下に示す。地質状況と合わせた地質検層柱状図を図 1.2-2 に示す。

1) キャリパー検層

割れ目位置と孔径拡大範囲を示す。29m の割れ目帯、250-600m 間のディスクング帯、74m・135m・365m・526-541m の断層帯（粘土化区間）の孔径拡大が明瞭である。ディスクング帯は、BTV で観察されるボアホールブレイクアウトにほとんど一致している。

2) 電気検層

データは、岩盤 + 地下水の見かけ比抵抗の変化を示す。低角割れ目帯（30-31m, 34-35m, 220m, 255m, 290m：地下水）と、断層に伴う粘土化変質部（66-78m, 106-157m, 370-440m, 535-600m：粘土化）で低比抵抗となっている。

3) SP 検層

地下水溶存成分の増加あるいは地下水流動による電位上昇を示す。地下水流動による上昇（35m）と、断層に伴う粘土化変質部での電気化学的の上昇（65-160m, 360-410m, 520-600m）がある。

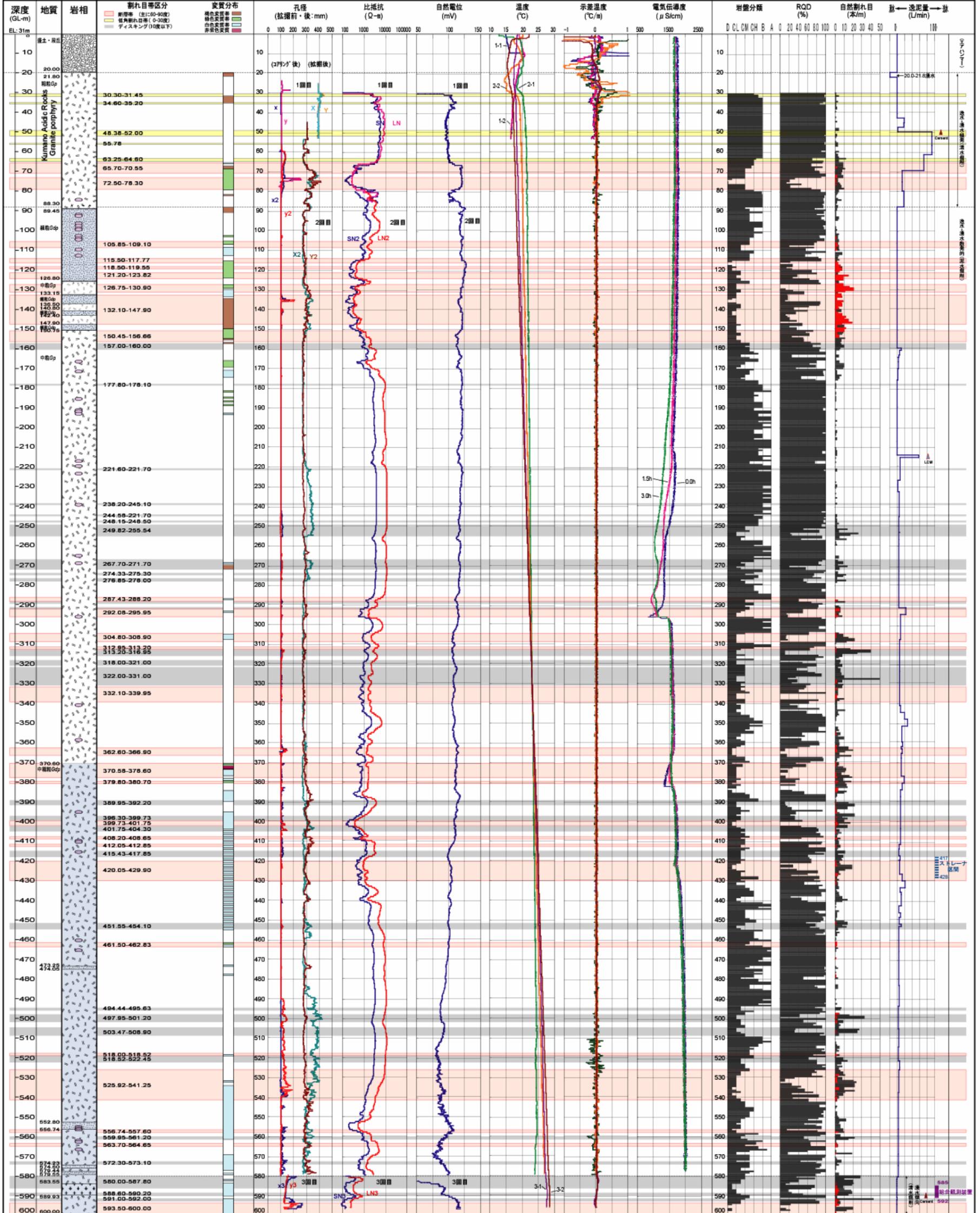
4) 電気伝導度検層

地下水溶存成分の増減を示し、210m, 285-295m, 370-385m, 422m に明瞭な変化が認め

られる。

5) 温度検層

地下水の流出入位置を示す。10m 付近の盛土と洪水段丘境界と、50m 付近の全量逸水箇所
所で温度変化が顕著である。また、60-160m 間と 510-580m 間の断層帯区間では、振幅
の小さい温度変化が連続する。



紀北海山観測井-孔1の地質検層柱状図(0.00-600.00m)

【コア状況】
 ・30.00-59.45m間は粗粒花崗斑岩で、無縫質かつ透水を伴う低角割れ目特徴付けられる。60.80m以深は有色鉱物量比(黒雲母)が増大し、緑泥石・緑泥石を伴う緑色変質が顕著となる。変質中心部はガウジを伴う。90.00-100.00m間は粗粒の花崗閃緑岩で、粗粒花崗閃緑岩の大塊(最大3m)を含む。一部に流理が見られる。106-124m間には緑色変質帯が顕著で、付随する高角断層は横ずれセンスが卓越する。
 ・126.80-150.75m間は中粒花崗斑岩と破砕花崗斑岩(火砕岩?)が、高角断層帯に伴って互層状の産状を示す。断層帯周囲は緑色・白色変質が著しく、さらに天水の浸入による褐色化のために岩相識別しにくい。白色変質帯は石英脈を伴い逆断層センス、緑色変質帯は横ずれセンスの断層帯を卓越する。岩量分類・RQDともに最低値を示すが、透水はない。
 ・150.75-370.60m間は均質な中粒花崗斑岩で、ゼノリスが多く、ディスキングが発達することが特徴である。とくに250m以深のディスキングが顕著で、最大50m/m(密着を含めると100m/m程度)に達する。287m~313mまでの断層帯は横ずれセンス、332-340mの断層帯は逆断層センスと見られる。変質帯は少ないが、270m付近のディスキングには天水の浸入を示す褐色化が認められる。少量の透水は断層に伴って、160m、215m、291m、345-350m付近に認められる。
 ・370.60-600.00m間は中粒花崗閃緑岩で、変質およびディスキングが顕著である。とくに370-455m、530-600m間は白色変質(粘土化あるいは珪化)が顕著で、断層帯を伴っている。ディスキングは、390-420m、455m、495-525m、560m、573m、580-600mに発達する。80度程度の高角断層は横ずれセンスが主体であるが、40度前後の断層帯は正断層(408m、424m、495-498m)と逆断層(518m)である。

【検層結果の解釈】
 ・キャリアー検層データは、割れ目位置と孔径拡大範囲を示す。31mの割れ目帯、250-600mのディスキング帯、74m・135m・365m・526-541m・593-600mの断層帯(粘土化区間)の孔径拡大が明確である。また、ディスキングが顕著となる220m以深の孔径拡大は孔壁形状が扁平で、BTV画像からボアホールブレイクアウトが断続的に発生していることが読み取れる。
 ・電気検層データは、岩盤+地下水の見かけ抵抗率の変化を示す。低角割れ目帯(30-31m、34-35m、220m、255m、290m:地下水)、断層に伴う粘土化変質帯(66-78m、106-157m、370-440m、535-600m:粘土化)で、低抵抗率。
 ・SP検層データは、地下水溶存成分の増加あるいは地下水流動による電位上昇を示す。地下水流動による上昇(35m)と、断層に伴う粘土化変質帯での電気化学的上升(65-160m、360-410m、520-600m)がある。
 ・電気伝導度検層データは、地下水溶存成分の増加を示す。160-296m、370-385m、422mで明確に変化する。160-296m間は296mの割れ目から湧き地下水が流出・上昇。370-385m・422mも同様は小さいが同様。
 ・温度検層データは、地下水の湧き出し位置を示す。10m付近の湧き出しと20m付近の湧き出し境界・30m付近のケーシング灰のほかに、60-160mおよび580-585m間の断層帯周辺での温度変化が明確である。

- 凡例
- 1. 岩相
 - (1) 液層堆積物
 - (2) 酸性変質岩類
 - (3) 中粒花崗斑岩
 - (4) 中粒花崗閃緑岩
 - (5) 中粒花崗閃緑岩
 - (6) 包有岩片 (>10cm)

図 1.2-2 紀北孔1の地質・検層柱状図(0-600m)

1.2.3 紀北孔 2 の地質・岩盤状況

紀北孔 2 では、180-204m 間のみコアリングが行われ、そのほかはノンコア掘削であった。ノンコア区間は、採取したカッティングス・掘削記録と検層結果から地質状況を判断した。

孔 1 と同様の岩相区分を適用すると、22.5m までが盛土表土と段丘堆積物、風化花崗斑岩が 22.5-44.5m 間で、44.5-204m までが新鮮な花崗斑岩と見られる。電気検層のプロファイルで孔 1 の地質と比較すると、160m 付近までは低角割れ目帯（50-52m）や断層帯（64-79m 間・140-157m 間）に対応する低比抵抗帯がよく一致し、ほぼ同様の岩相分布と確認できる。

キャリパー検層結果とコアから、高角断層帯は 30-32m, 34-39m, 64-79m, 85-87m, 100-103m, 118-120m, 132-136m, 140-157m, 174-182.1m, 191.4-195.8m 間の 10 区間に設定できる。64-79m 間・140-157m 間は、とくに孔径拡大が大きい。なお、逸泥は検出されなかった。

孔 2 では、190-196m 間で孔壁の押し出しが生じ、キャリパー検層で孔径縮小が確認された。この区間のコアは、強い白色～淡黄色変質で強く粘土化した断層帯（ガウジ）であり、孔 1 の 526-541m 間と性状が酷似している。両者が連続していると考えると、断層帯の傾斜は 87NE 程度となる。

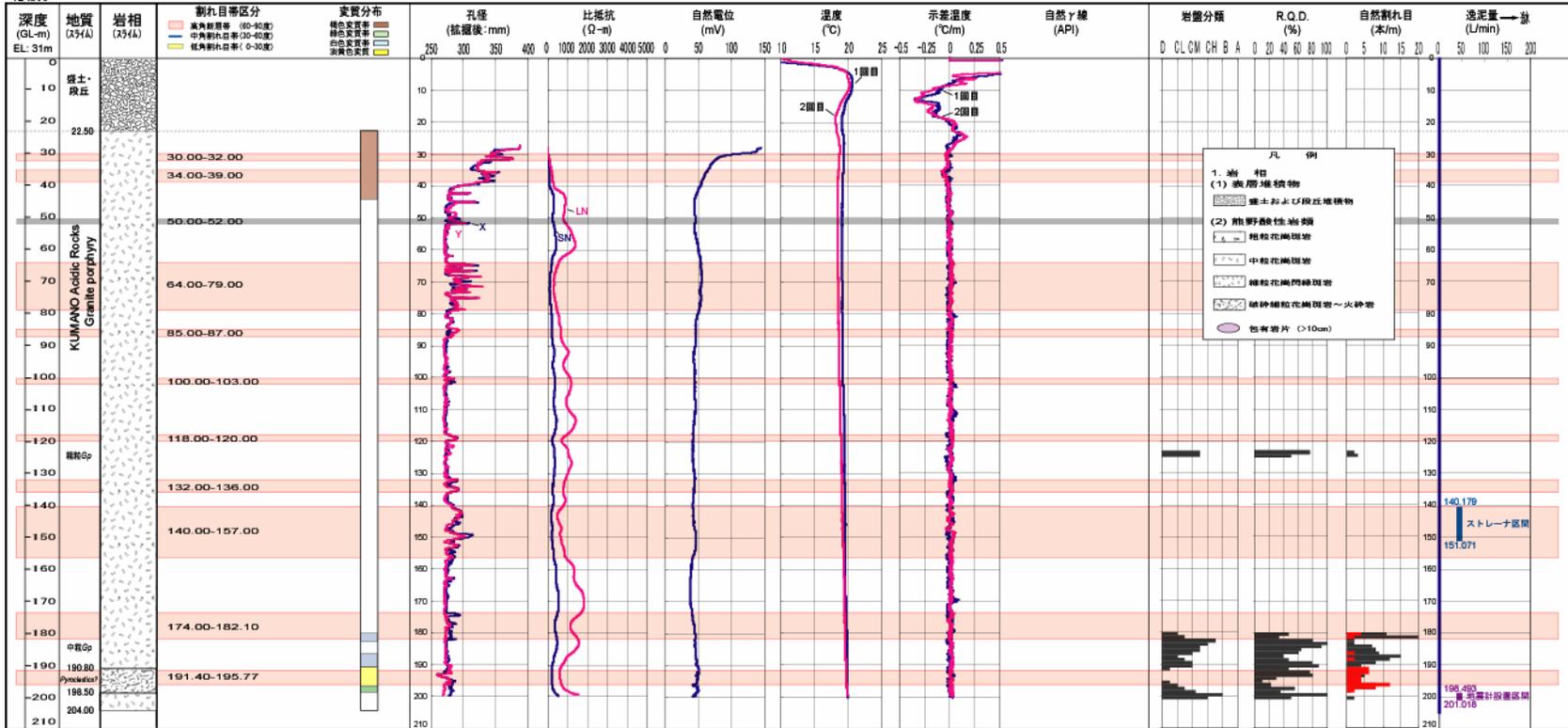
孔 2 の地質・検層柱状図を図 1.2-3 に示す。

1.2.4 紀北孔 3 の地質・岩盤状況

紀北孔 3 のコアリング区間は 15-41m 間で、すべて風化花崗斑岩である。全体が風化による褐色変質帯にあり、褐鉄鉱の沈積が著しい。15-18.6m 間にシーティングと見られる低角割れ目帯、その下位では 18.6-20.1m, 23.9-28.8m, 32.0-34.4m, 37.7-41m 間が高角断層帯である。

孔 3 の地質・検層柱状図を、孔 2 とともに図 1.2-3 に示す。

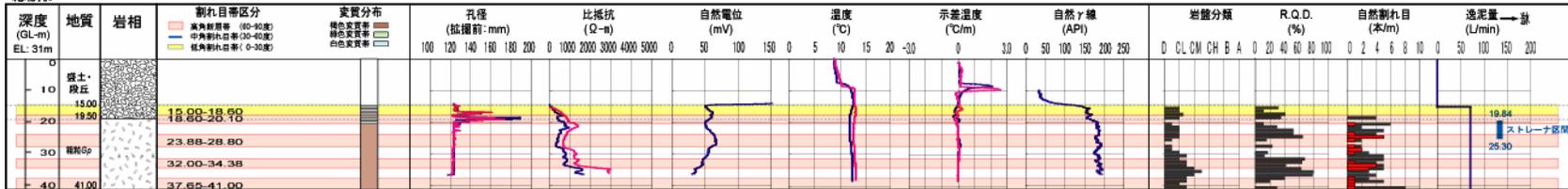
紀北孔2



紀北海山観測井-孔2の地質検層柱状図 (0.00-204.00m)

【コア状況】
 ・180-200mのコアは、中粒花崗斑岩と火砕岩で石英・アブライト脈を含む。孔1の130-150m間の延長部と見られる。鉱物脈周囲で白色変質、断層帯で黄白色変質が卓越。192.8-193.5m間は崩壊性粘土で孔壁に押し出し。
 【検層結果の解釈】
 ・キャリアー検層データ（拡張後）は、割れ目位置と風化で脆弱化して孔隙拡大した範囲を示す。25-40mは高角割れ目に連続した風化帯、40-50mは低角割れ目区間、その他は変質を伴う高角断層帯を想定。
 ・電気検層データは、岩壁+地下水の見かけ比抵抗の変化を示す。割れ目帯・変質帯に対応する低比抵抗帯が明瞭である。
 ・SP検層データは、地下水溶存成分の増加あるいは地下水流動による電位の上昇を示す。地下水流動による上昇と思われる変化が、65-80m・145-155m・175-200mに認められる。
 ・温度検層データは、地下水の流出入位置を示す。温度変化はほぼ一様で、地下水の流出入箇所は不明瞭である。

紀北孔3



紀北海山観測井-孔3の地質検層柱状図 (0.00-41.00m)

図 1.2-3 紀北孔 2(204m)および孔 3(41m)の地質・検層柱状図

1.2 引用文献

荒牧重雄(1965)、熊野酸性火成岩類の噴出様式、地質学雑誌、Vol.71, no.842, p.525-540

荒牧重雄・羽田忍(1965)、熊野酸性火成岩類の中部および南部の地質、地質学雑誌、Vol.71, no.841, p.494-512

荒牧重雄(1967)、熊野酸性岩の花崗斑岩のマグマと斑晶長石の成分、地質学雑誌、Vol.73, no.4, p.181-191

Aramaki, S. and Takahashi, M., Nozawa, T.(1977), Kumano Acidic Rocks and Okueyama Complex; Two examples of the granitic rocks in the outer zone of southwestern Japan, Plutonism in relation to volcanism and metamorphism. In: Yamada, N. (Ed.), Proceedings of 7th Circum-Pacific Plutonism Project meeting, IGCP, UNESCO, Toyama, Japan, p.127-147

下司信夫・三浦大助・新正裕尚・角井朝昭・及川輝樹・中島隆・小泉尚嗣(2007)、熊野コアに見られる熊野酸性岩の火砕流堆積物の堆積構造、地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会発表要旨

Kawakami, Y., Hoshi, H., Yamaguchi, Y. (2007), Mechanism of caldera collapse and resurgence: Observations from the northern part of the Kumano Acidic Rocks, Kii peninsula, southwest Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 167, p.263-281

川上裕・星博幸(2007)、火山 - 深成複合岩体にみられる環状岩脈とシート状貫入岩：紀伊半島，尾鷲 - 熊野地域の熊野酸性火成岩類の地質、地質学雑誌、Vol.113, no.7, p.296-309

Miura, D.(1999), Arcuate pyroclastic conduits, ring faults, and coherent floor at Kumano caldera, southwest Honshu, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.92, p.271-294

皆川淳、吉田武義(2001)、熊野酸性岩北岩体花崗斑岩の内部構造から推定される貫入方向と定置様式、地球惑星科学関連学会、2001 年合同大会発表要旨 Jn-P012

1.3 総合検討

1.3.1 孔 1 (600m 孔)

(1) 地質構造

花崗斑岩中の断層帯は 70° 以上の高角であることが多く、BHTV で確認すると EW 系で S 傾斜が卓越する。とくに花崗斑岩 / 花崗閃緑斑岩の岩相境界である 140m 付近の断層帯 (カタクレーサイト) および 370m 付近の断層帯 (ガウジ) それに押し出しの生じた粘土化の著しい 538m 付近の断層帯 (ガウジ) では、明らかに南落ちの高角断層が主体をなしている。また高角断層の運動センスは、横ずれが卓越している。

川上・星(2007)および Kawakami et. al(2007)によれば、熊野酸性岩北岩体の弧状岩脈は弧状部外側に 60 度以上傾斜した形状 (本掘削地点では北落ち : 図 1.1-1 および図 1.1-5 参照) としている。本掘削孔で出現した弧状岩脈内部の断層は南落ちが主体であり、岩脈内部の断層帯は走向が岩脈伸張方向だが、少なくとも 600m 程度までの浅層部では逆傾斜主体の可能性がある。また、岩体定置後の運動が横ずれ主体で、変質作用もこれに伴って進展したと考えることが可能である。

(2) 物理検層

孔 1 で 3 回に分けて実施された検層結果 (0-600m) について、地質・岩盤状況を踏えたコメントを以下に示す。地質状況と合わせた地質検層柱状図を図 1.3-1 に示す。

1) キャリパー検層

割れ目位置と孔径拡大範囲を示す。29m の割れ目帯、250-600m 間のディスクキング帯、74m・135m・365m・526-541m の断層帯 (粘土化区間) の孔径拡大が明瞭である。ディスクキング帯は、BTV で観察されるボアホールブレイクアウトにほとんど一致している。

2) 電気検層

データは、岩盤 + 地下水の見かけ比抵抗の変化を示す。低角割れ目帯 (30-31m, 34-35m, 220m, 255m, 290m : 地下水) と、断層に伴う粘土化変質部 (66-78m, 106-157m, 370-440m, 535-600m : 粘土化) で低比抵抗となっている。

3) SP 検層

地下水溶存成分の増加あるいは地下水流動による電位上昇を示す。地下水流動による上昇 (35m) と、断層に伴う粘土化変質部での電気化学的の上昇 (65-160m, 360-410m, 520-600m) がある。

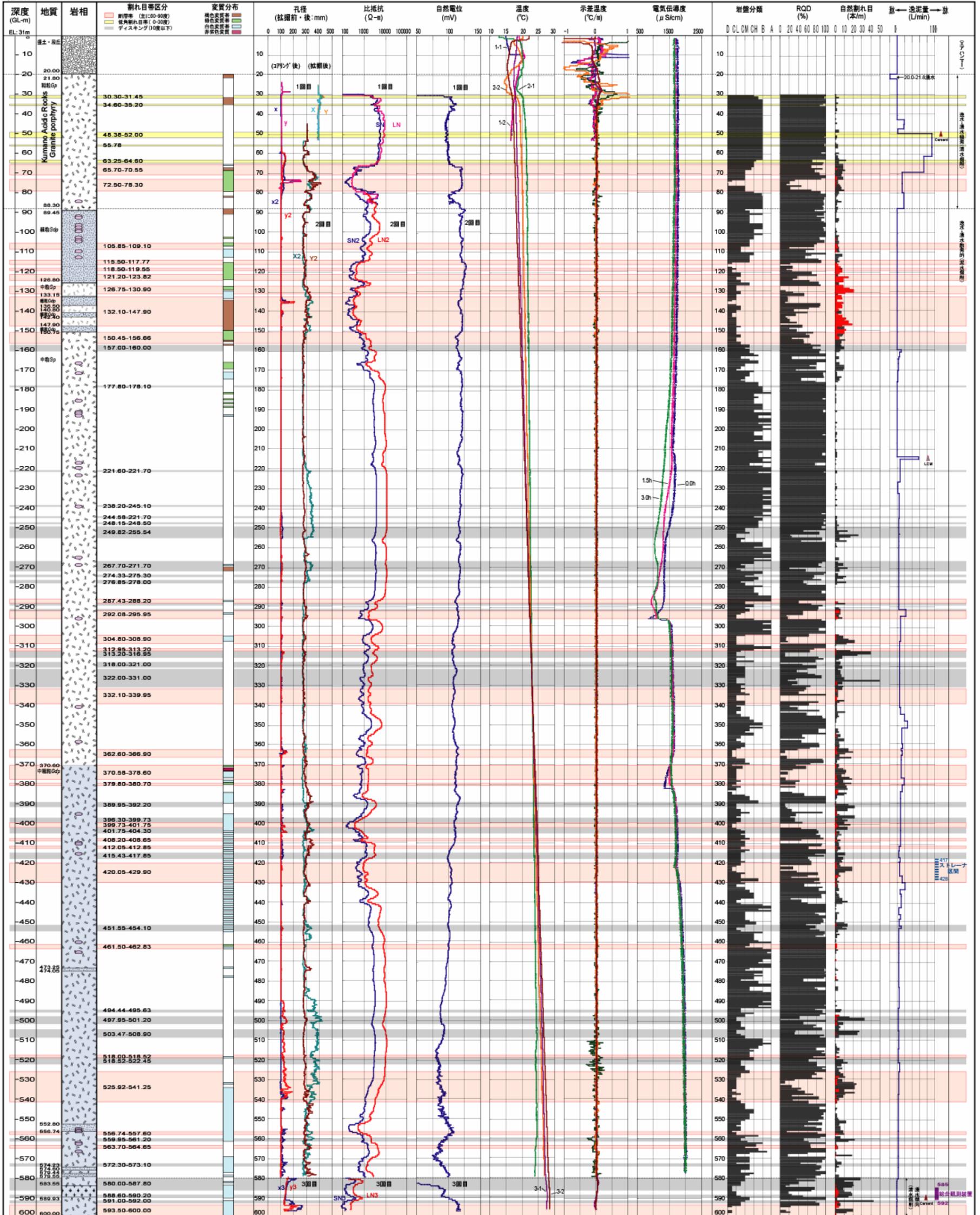
4) 電気伝導度検層

地下水溶存成分の増減を示し、210m, 285-295m, 370-385m, 422m に明瞭な変化が認められる。

5) 温度検層

地下水の流出入位置を示す。10m 付近の盛土と洪水段丘境界と、50m 付近の全量逸水箇所温度変化が顕著である。また、60-160m 間と 510-580m 間の断層帯区間では、振幅の小さい温度変化が連続する。

紀北孔1



紀北海山観測井-孔1の地質検層柱状図(0.00-600.00m)

【コア状況】
 ・30.00-59.45m間は粗粒花崗斑岩で、無縫質かつ透水を伴う低角割れ目特徴付けられる。60.80m以深は有色鉱物量比(黒雲母)が増大し、緑泥石・緑泥石を伴う緑色変質が顕著となる。変質中心部はガウジを伴う。90.00-100.00m間は粗粒の花崗閃緑岩で、粗粒花崗閃緑岩の大塊(最大3m)を含む。一部に流理が見られる。106-124m間には緑色変質帯が顕著で、付随する高角断層は横ずれセンスが卓越する。
 ・126.80-150.75m間は中粒花崗斑岩と破砕花崗斑岩(火砕岩?)が、高角断層帯に伴って互層状の産状を示す。断層帯周囲は緑色・白色変質が著しく、さらに天水の浸入による褐色化のために岩相識別しにくい。白色変質帯は石英脈を伴い逆断層センス、緑色変質帯は横ずれセンスの断層帯を卓越する。岩量分類・RQDともに最低値を示すが、透水はない。
 ・150.75-370.60m間は均質な中粒花崗斑岩で、ゼノリスが多く、ディスキングが発達することが特徴である。とくに250m以深のディスキングが顕著で、最大50m/m(密着を含めると100m/m程度)に達する。287m~313mまでの断層帯は横ずれセンス、332-340mの断層帯は逆断層センスと見られる。変質帯は少ないが、270m付近のディスキングには天水の浸入を示す褐色化が認められる。少量の透水は断層に伴って、160m、215m、291m、345-350m付近に認められる。
 ・370.60-400.00m間は中-粗粒の花崗閃緑岩で、変質およびディスキングが顕著である。とくに370-455m、530-600m間は白色変質(粘土化あるいは珪化)が顕著で、断層帯を伴っている。ディスキングは、390-420m、455m、495-525m、560m、573m、580-600mに発達する。80度程度の高角断層は横ずれセンスが主体であるが、40度前後の断層帯は正断層(408m、424m、495-498m)と逆断層(518m)である。
【検層結果の解釈】
 ・キャリアー検層データは、割れ目位置と孔径拡大範囲を示す。31mの割れ目帯、250-600mのディスキング帯、74m・135m・365m・526-541m・593-600mの断層帯(粘土化区間)の孔径拡大が明確である。また、ディスキングが顕著となる220m以深の孔径拡大は孔壁形状が扁平で、BTV画像からボアホールブレイクアウトが断続的に発生していることが読み取れる。
 ・電気検層データは、岩盤+地下水の見かけ抵抗率の変化を示す。低角割れ目帯(30-31m、34-35m、220m、255m、290m:地下水)、断層に伴う粘土化変質帯(66-78m、106-157m、370-440m、535-600m:粘土化)で、低抵抗率。
 ・SP検層データは、地下水溶存成分の増加あるいは地下水流動による電位上昇を示す。地下水流動による上昇(35m)と、断層に伴う粘土化変質帯での電気化学的上升(65-160m、360-410m、520-600m)がある。
 ・電気伝導度検層データは、地下水溶存成分の増加を示す。160-296m、370-385m、422mで明確に変化する。160-296m間は296mの割れ目から湧き地下水が流出・上昇。370-385m・422mも同様は小さいが同様。
 ・温度検層データは、地下水の流入位置を示す。10m付近の湧き水と20m付近の湧き水境界・30m付近のケーシング灰のほかに、60-160mおよび580-600m間の断層帯周辺での温度変化が明確である。

- 凡例
- 1. 岩相
 - (1) 表層堆積物
 - (2) 酸性岩類
 - (3) 中性岩類
 - (4) 中粒花崗斑岩
 - (5) 粗粒花崗閃緑岩
 - (6) 中-粗粒花崗閃緑岩
 - (7) 包有岩片 (>10cm)

図 1.3-1 紀北孔1の地質・検層柱状図(0-600m)

1.3.2 孔 2 (200m 孔)

紀北孔 2 では、180-204m 間のみコアリングが行われ、そのほかはノンコア掘削であった。ノンコア区間は、採取したカッティングス・掘削記録と検層結果から地質状況を判断した。

孔 1 と同様の岩相区分を適用すると、22.5m までが盛土表土と段丘堆積物、風化花崗斑岩が 22.5-44.5m 間で、44.5-204m までが新鮮な花崗斑岩と見られる。電気検層のプロファイルで孔 1 の地質と比較すると、160m 付近までは低角割れ目帯 (50-52m) や断層帯 (64-79m 間・140-157m 間) に対応する低比抵抗帯がよく一致し、ほぼ同様の岩相分布と確認できる。

キャリパー検層結果とコアから、高角断層帯は 30-32m, 34-39m, 64-79m, 85-87m, 100-103m, 118-120m, 132-136m, 140-157m, 174-182.1m, 191.4-195.8m 間の 10 区間に設定できる。64-79m 間・140-157m 間は、とくに孔径拡大が大きい。なお、逸泥は検出されなかった。

孔 2 では、190-196m 間で孔壁の押し出しが生じ、キャリパー検層で孔径縮小が確認された。この区間のコアは、強い白色～淡黄色変質で強く粘土化した断層帯 (ガウジ) であり、孔 1 の 526-541m 間と性状が酷似している。両者が連続していると考え、断層帯の傾斜は 87NE 程度となる。

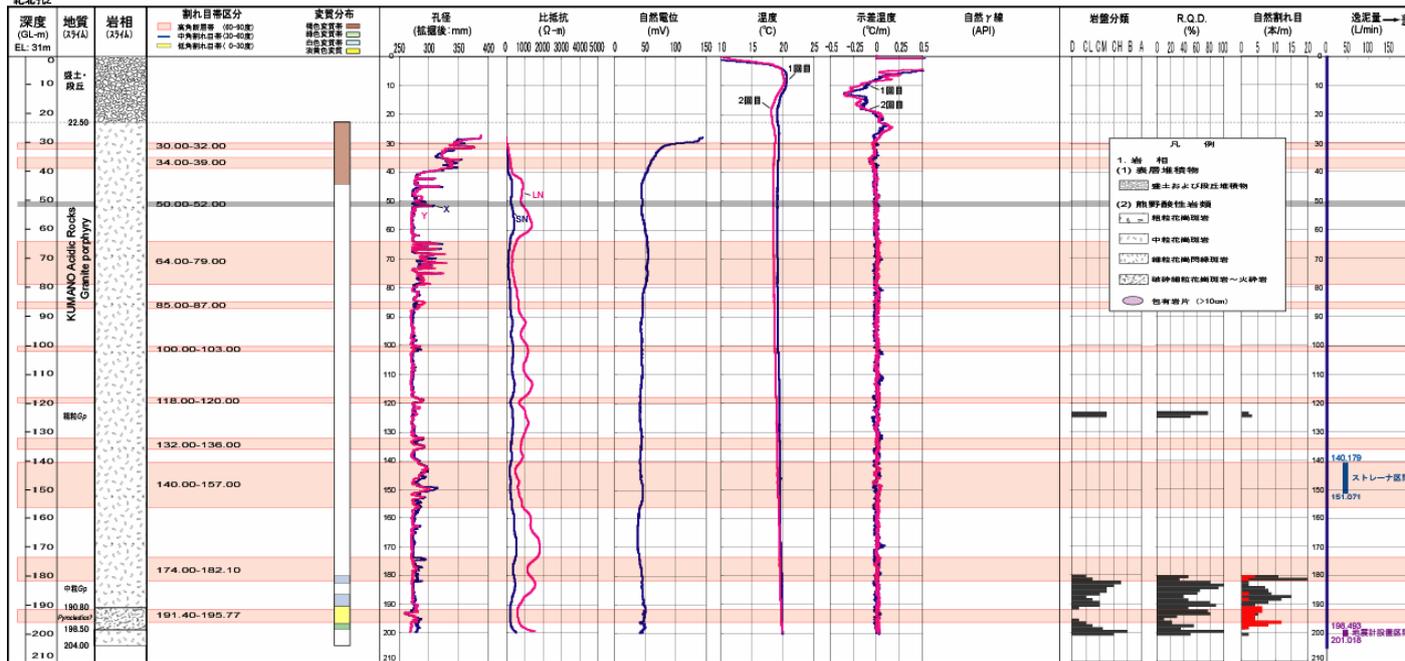
孔 2 の地質・検層柱状図を図 1.3-2 に示す。

7.3 孔 3 (30m 孔)

紀北孔 3 のコアリング区間は 15-41m 間で、すべて風化花崗斑岩である。全体が風化による褐色変質帯にあり、褐鉄鉱の沈積が著しい。15-18.6m 間にシーティングと見られる低角割れ目帯、その下位では 18.6-20.1m, 23.9-28.8m, 32.0-34.4m, 37.7-41m 間が高角断層帯である。

孔 3 の地質・検層柱状図を、孔 2 とともに図 1.3-2 に示す。

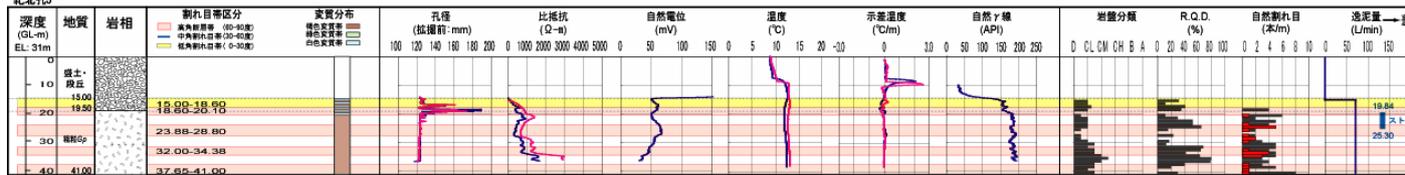
紀北孔2



紀北海山観測井-孔2の地質検層柱状図(0.00-204.00m)

【コア状況】
 ・180-200mのコアは、中粒花崗斑岩と火砕岩で石英・アブライト脈を含む。孔1の130-150m間の延長部と見られる。載物層周囲で白色変質、新層帯で黄白色変質が卓越。192.8-193.5m間は膨潤性粘土で孔壁に押し出し。
 【検層結果の解説】
 ・キックオフ検層データ（拡張後）は、割れ目位置と風化で脆弱化した孔隙拡大した範囲を示す。25-40mは高角割れ目に連続した風化部、40-50mは低角割れ目区間、その他は変質を伴う高角新層帯を想定。
 ・電気検層データは、地盤+地下水の浸みかけ比抵抗の変化を示す。割れ目帯・変質帯に対応する低比抵抗帯が明確である。
 ・SP検層データは、地下水溶存成分の増加あるいは地下水流動による電位の上昇を示す。地下水流動による上昇と思われる変化が、65-80m・145-155m・175-200mに認められる。
 ・温度検層データは、地下水の流出入位置を示す。温度変化はほぼ一律で、地下水の流出入箇所は不明瞭である。

紀北孔3



紀北海山観測井-孔3の地質検層柱状図(0.00-41.00m)

図 1.3-2 紀北孔 2(204m)および孔 3(41m)の地質・検層柱状図

2. 地質柱状図

2.1 孔 1 JACIC 柱状図

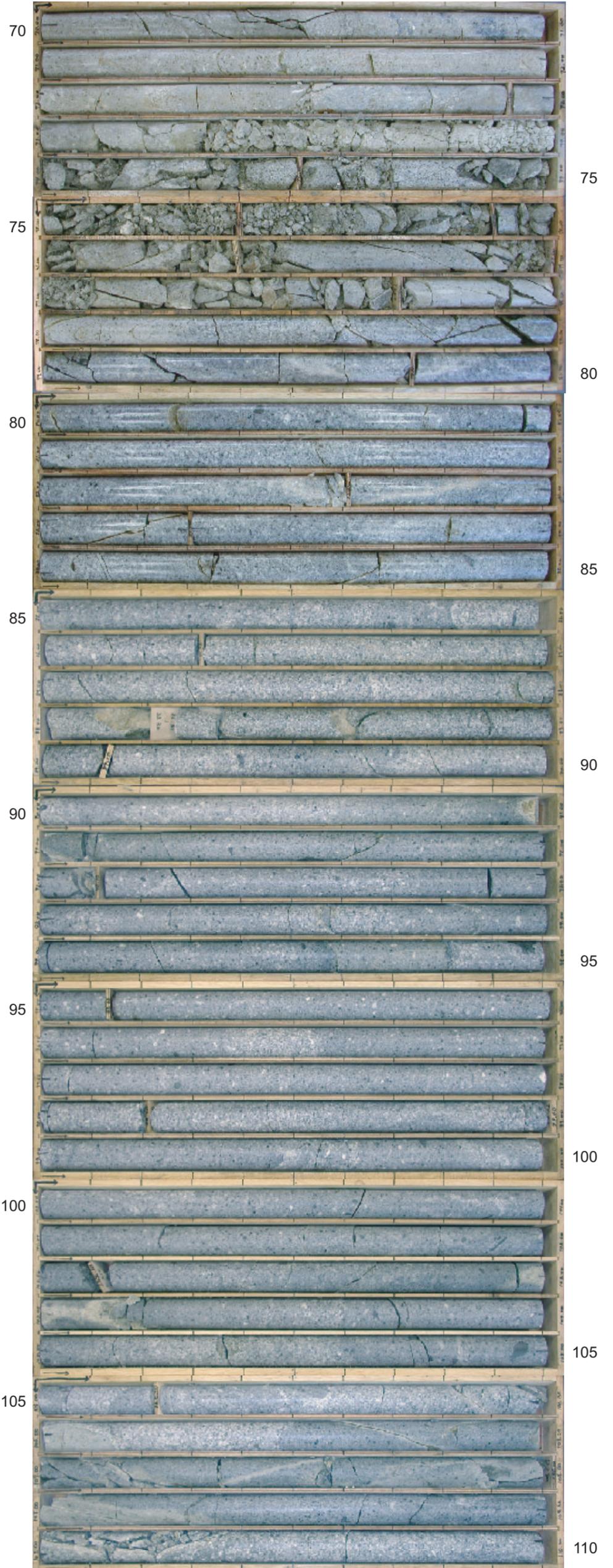
2.2 孔 2 JACIC 柱状图

2.3 孔 3 JACIC 柱状图

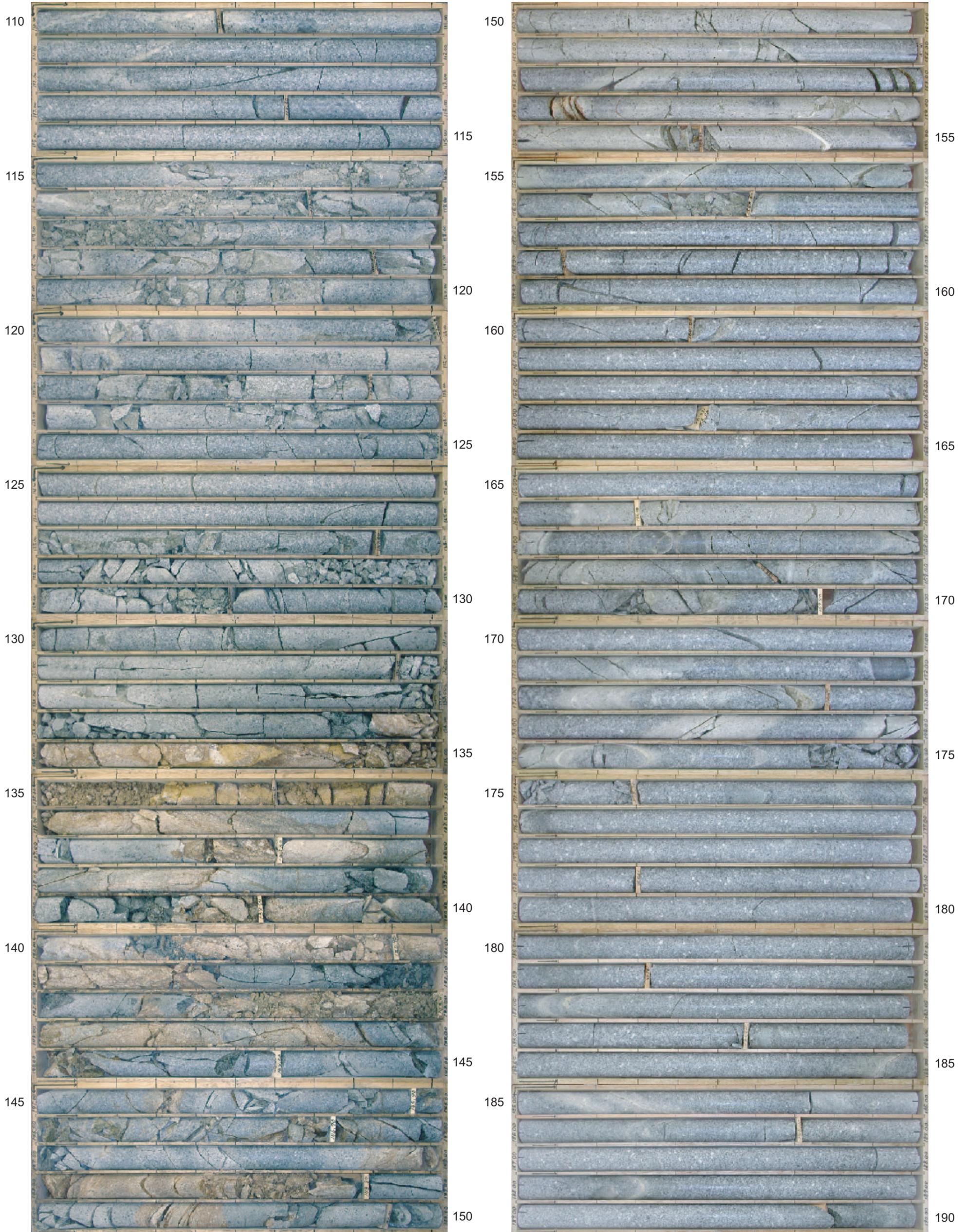
3. コア写真

3.1 孔 1 コア写真

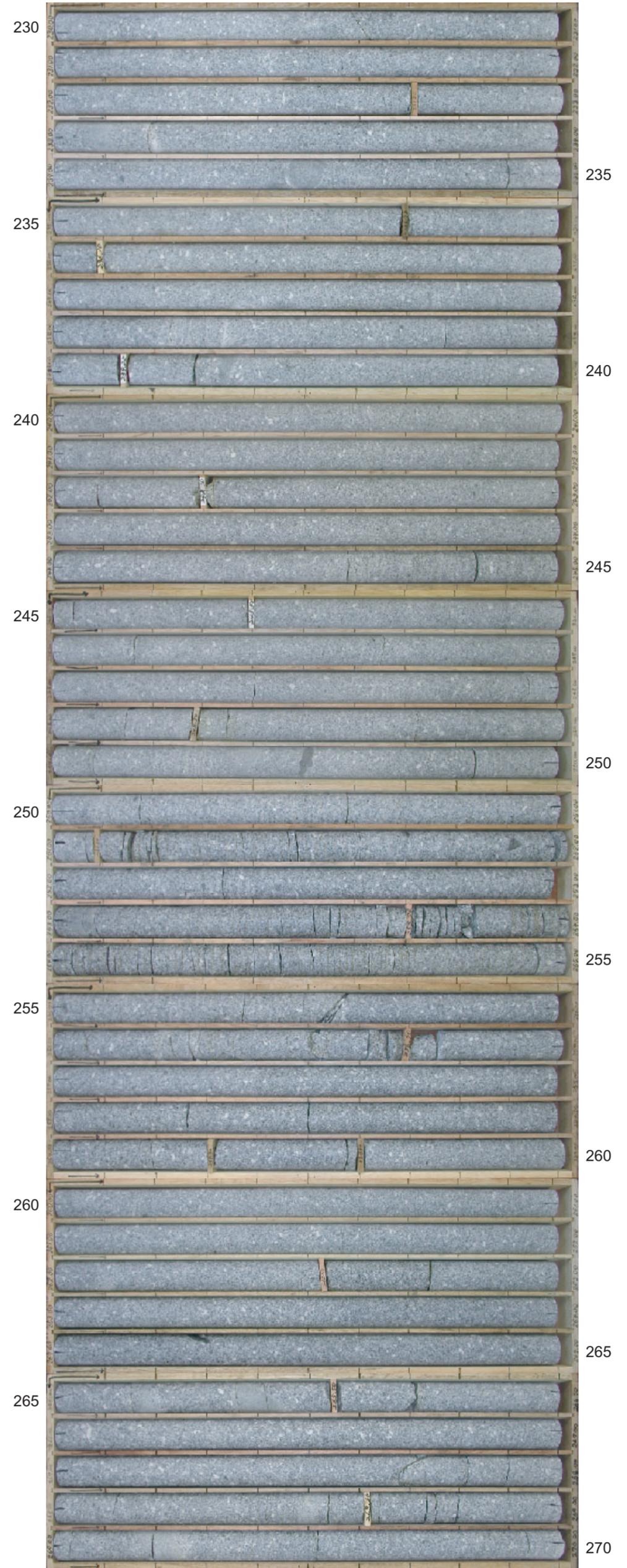
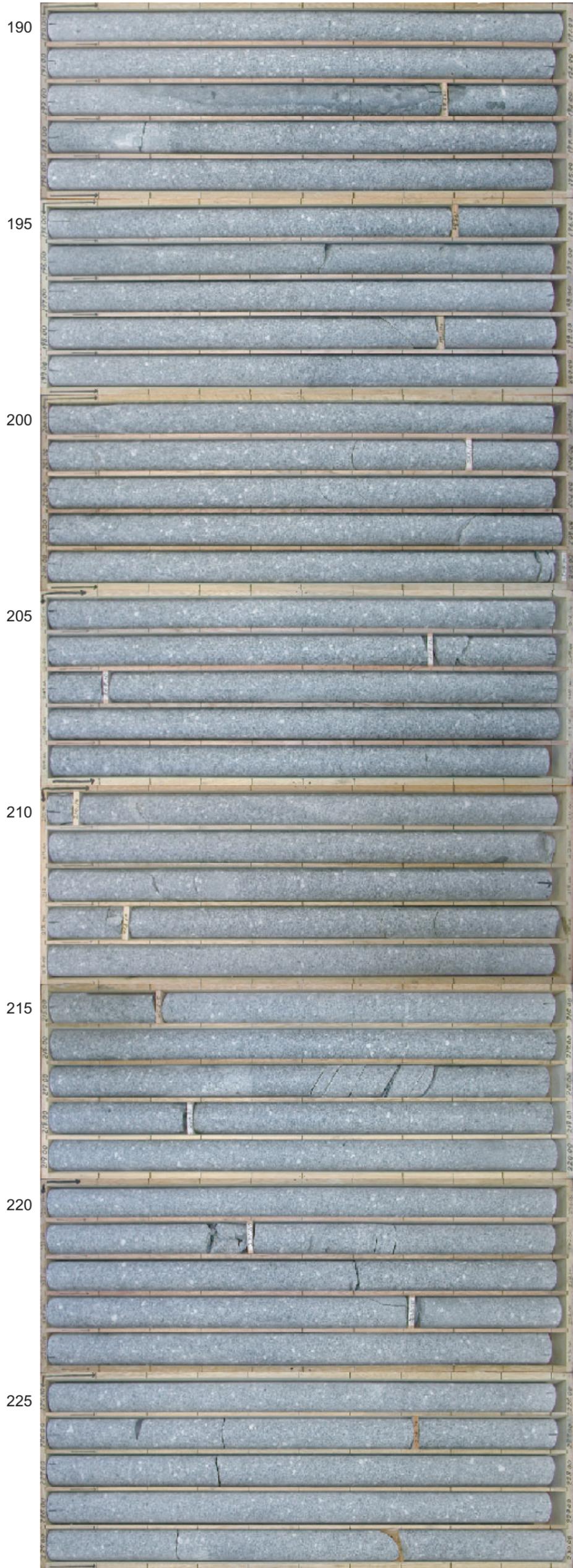
KIHOKU-1 (30~110m)



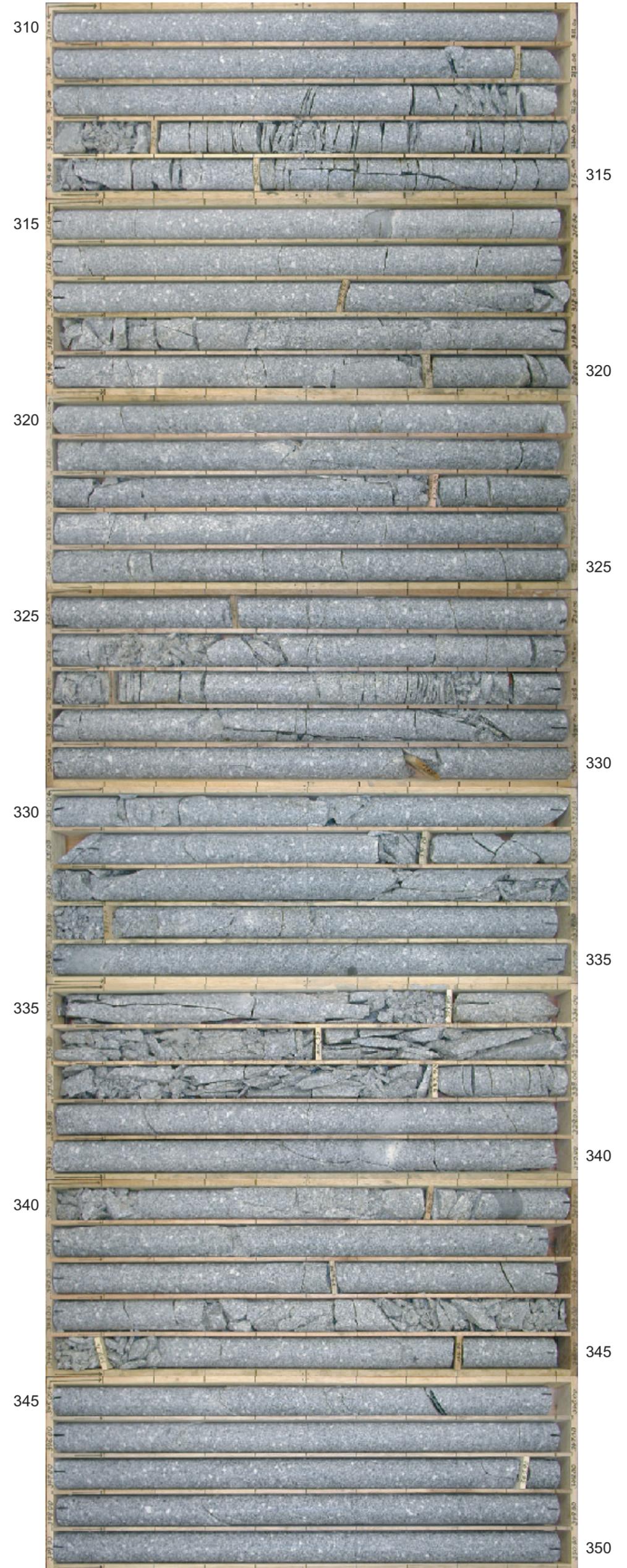
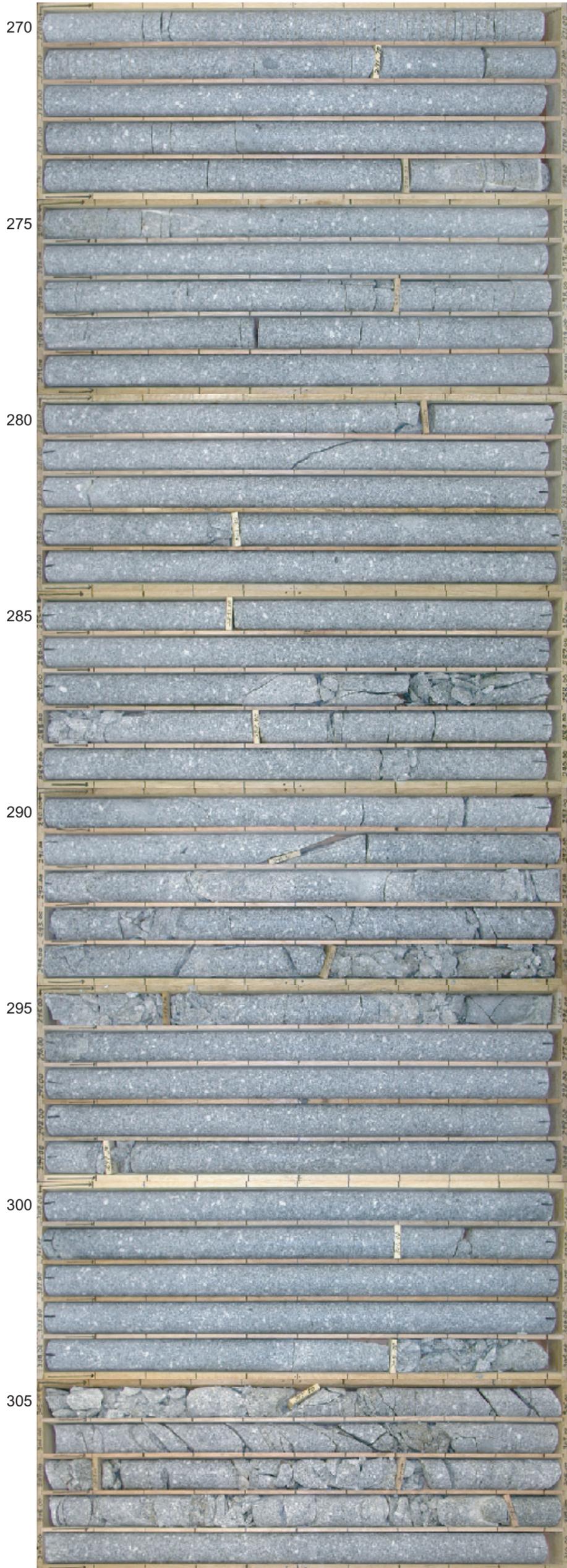
KIHOKU-1 (110~190m)



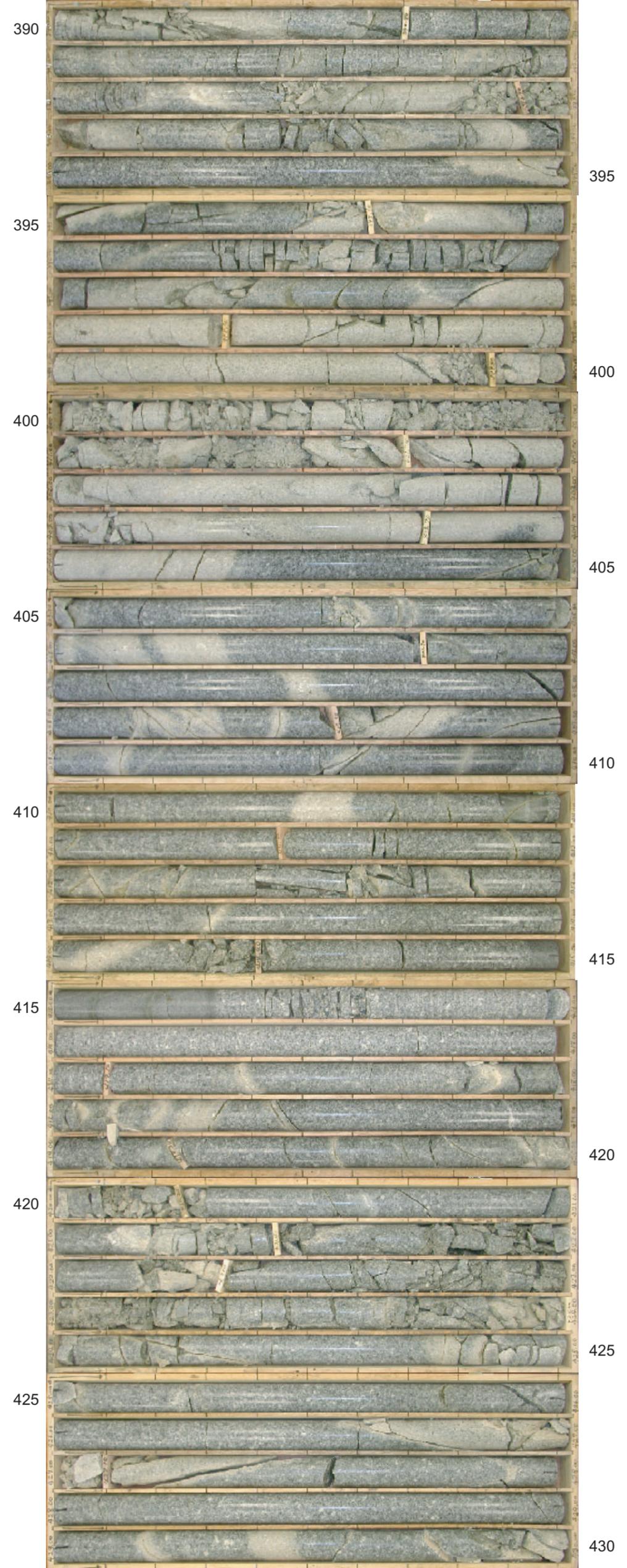
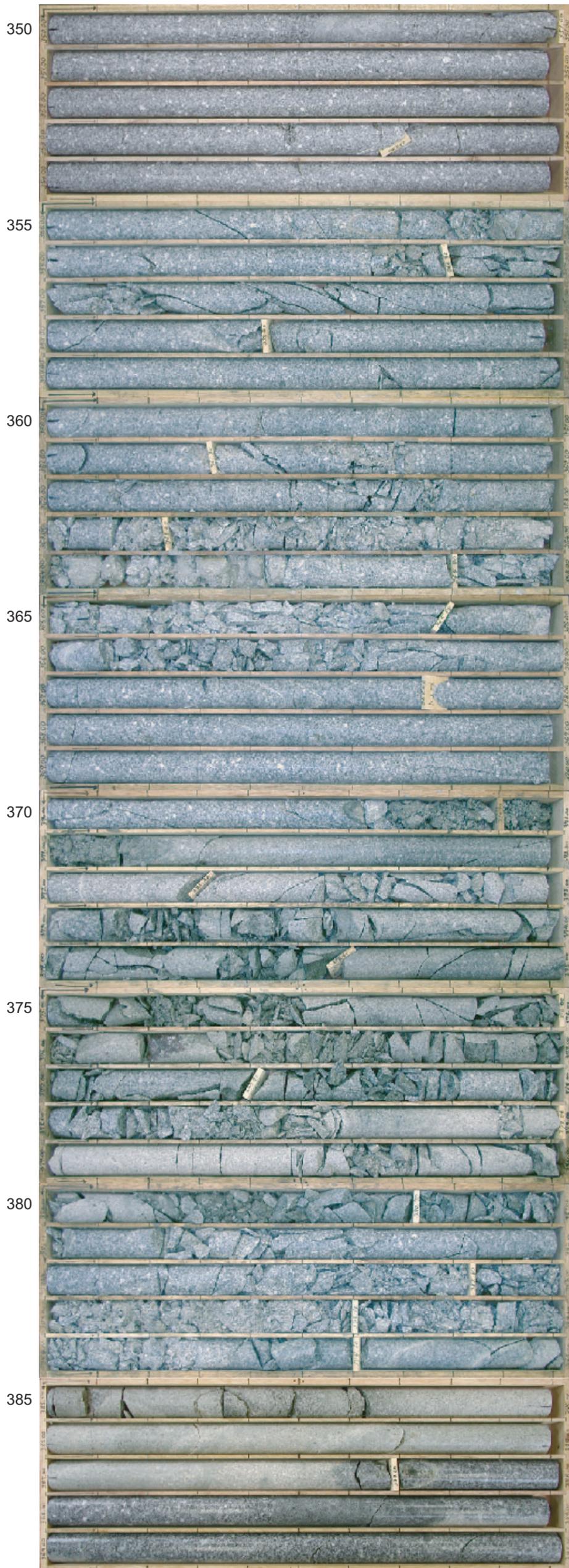
KIHOKU-1 (190~270m)



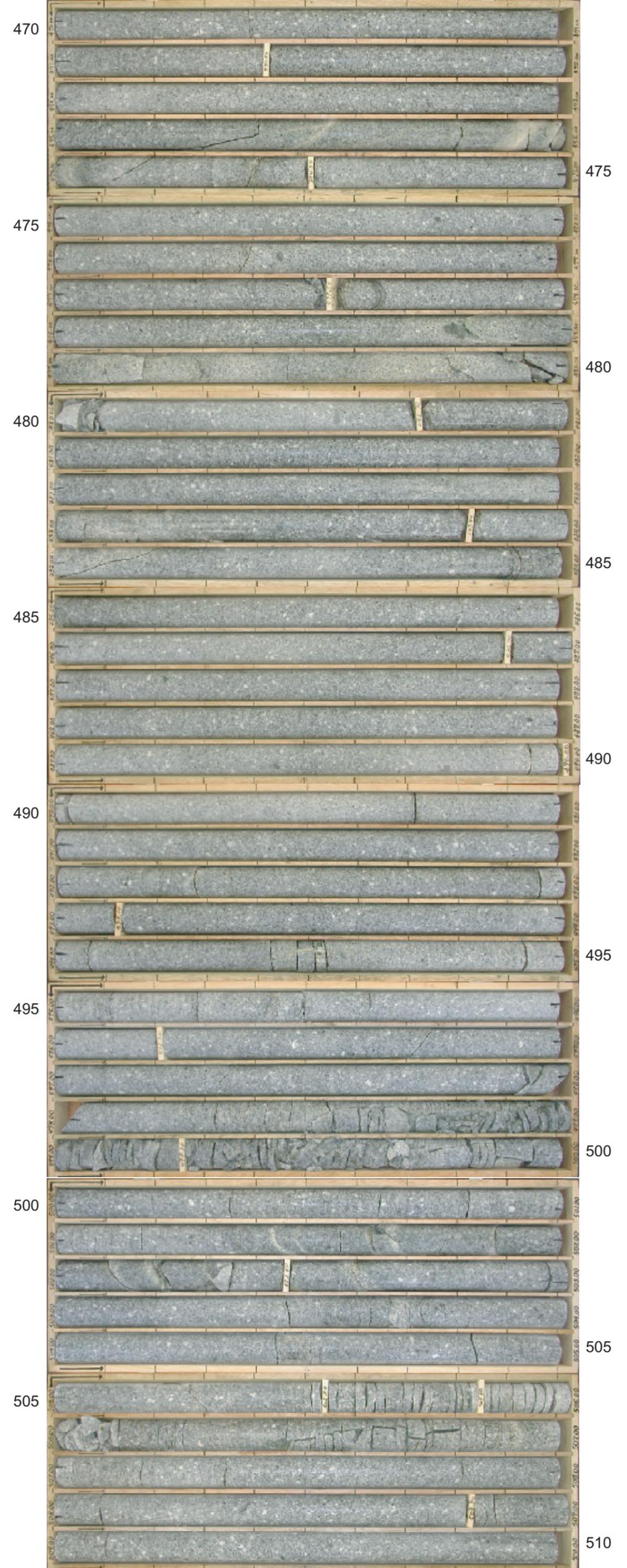
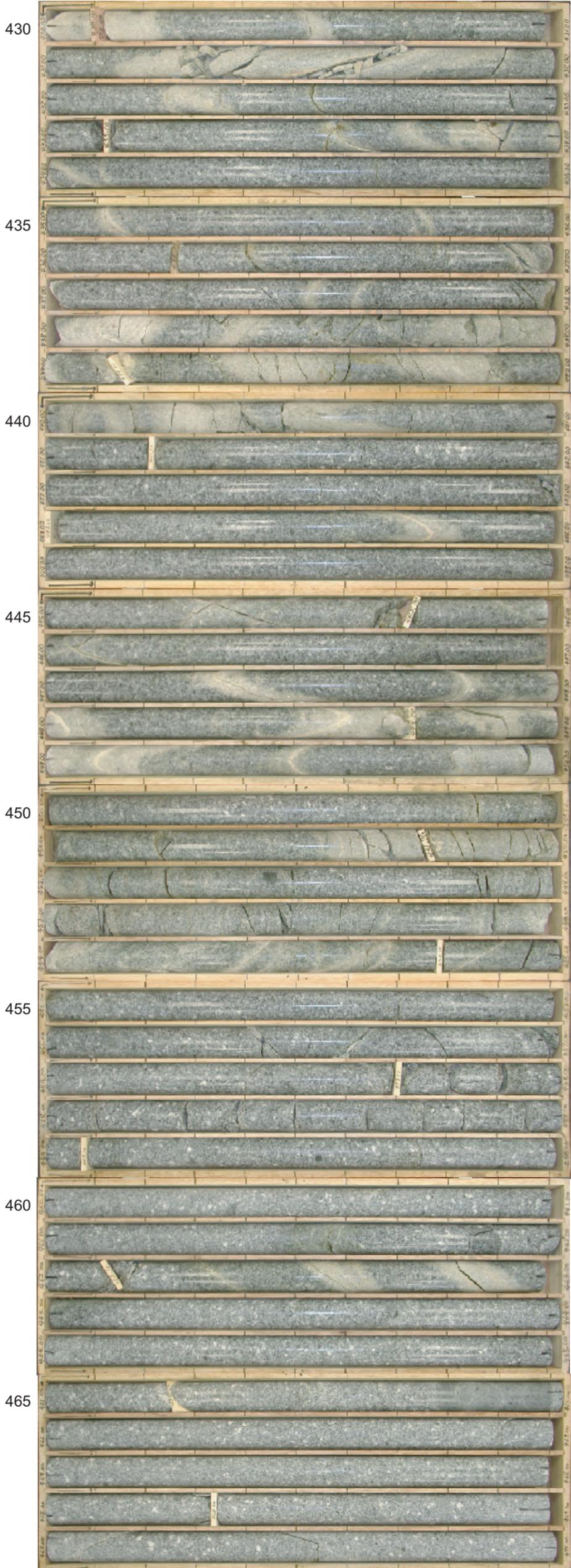
KIHOKU-1 (270~350m)



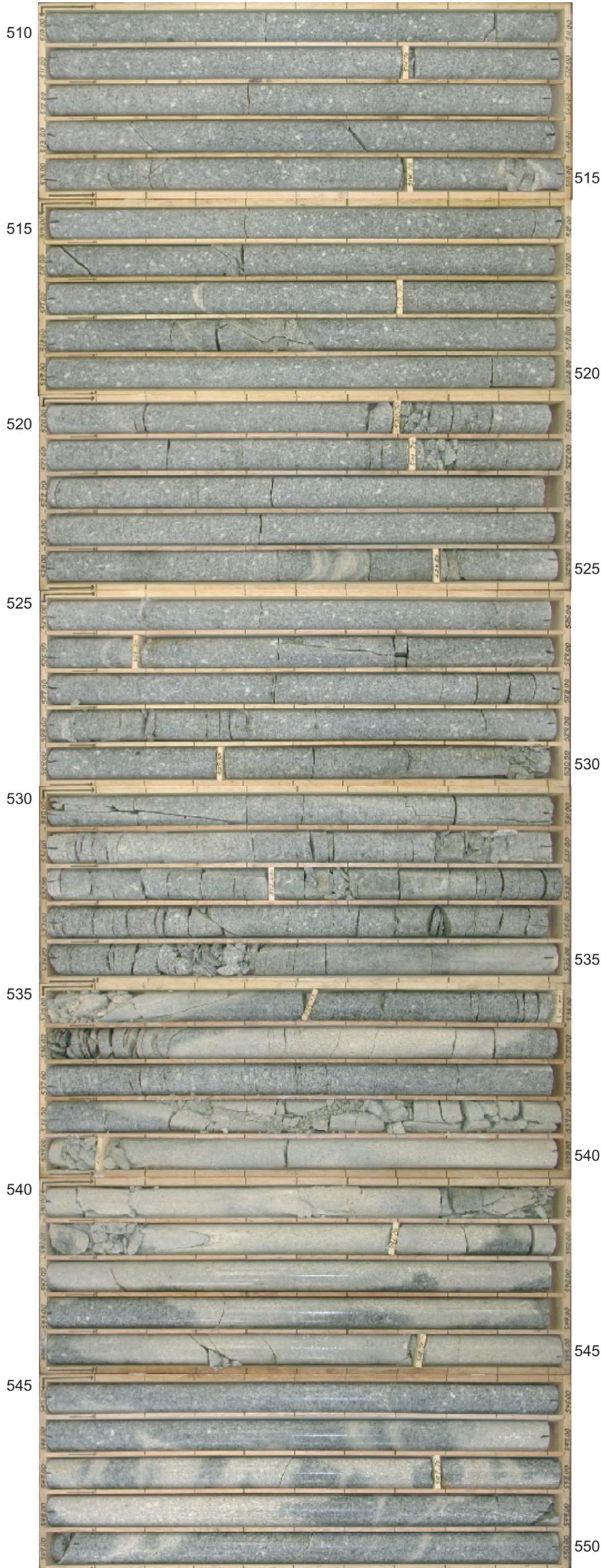
KIHOKU-1 (350~430m)



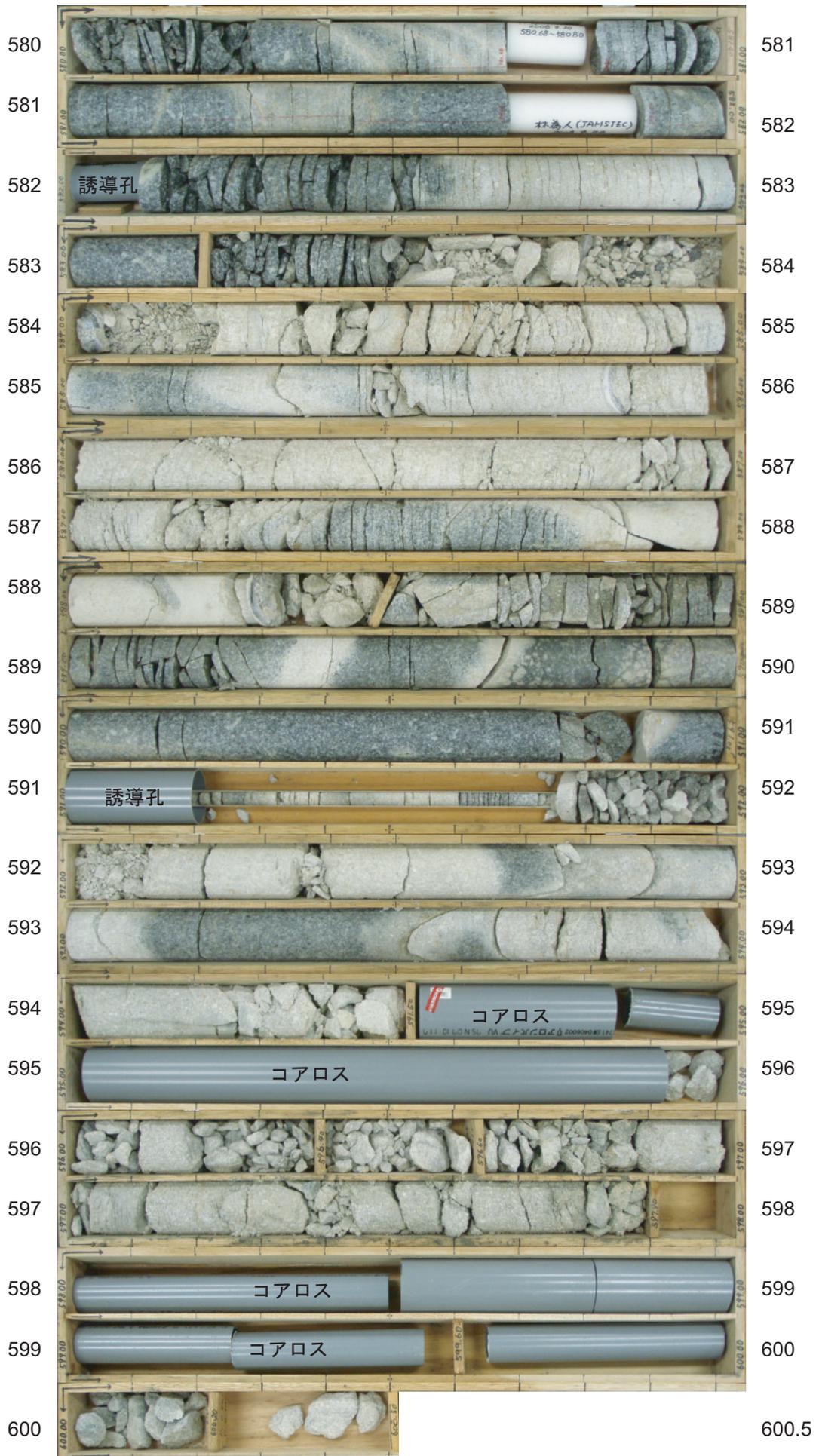
KIHOKU-1 (430~510m)



KIHOKU-1 (510~580m)

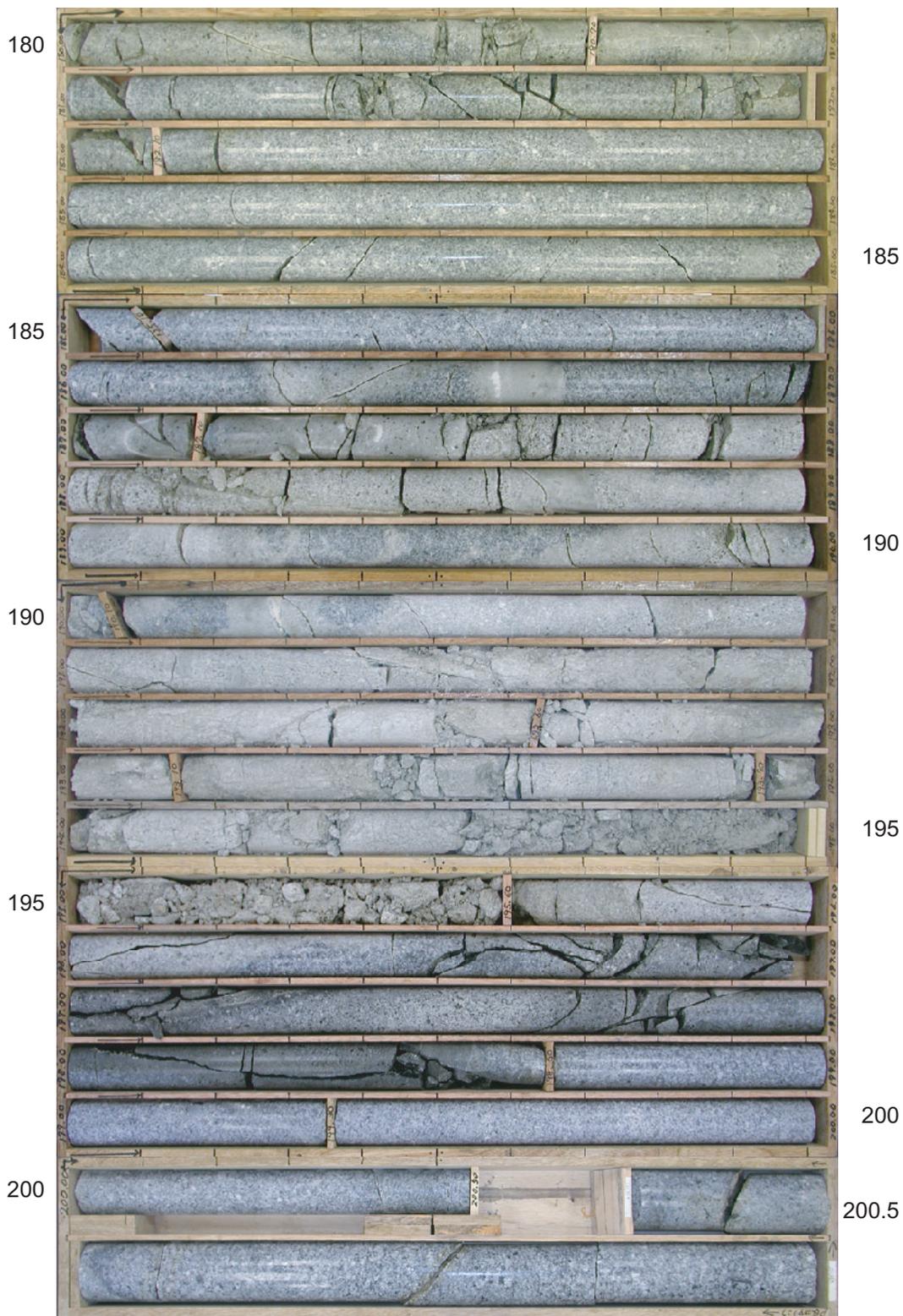


KIHOKU-1 (580-600.5m)



3.2 孔 2 コア写真

KIHOKU-2 (180-200.5m)



3.3 孔 3 コア写真

KIHOKU-3 (15.0-41.0m)

