

3. 10 雲仙断層群（南東部）の調査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 雲仙断層群（南東部）の調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人 産業技術総合研究所	主任研究員	丸山 正

(c) 業務の目的

雲仙断層群（南東部）（以下、雲仙断層群南東部とする）の平均変位速度については、既往の調査成果からは評価に採用できるほどの信頼度があるとは言えないため、参考として記述するに留められている。本業務では、雲仙断層群南東部を構成する複数の断層のうち支配的とされている布津沖の断層を対象として、既往音波探査記録の再処理、海上ボーリング調査によるコア試料採取、コア試料の解析及び年代測定などを実施し、それらに基づいて信頼度の高い平均変位速度を解明することを目的とする。

(d) 年度毎の実施業務の要約

1) 令和元年度：

雲仙断層群南東部の平均変位速度を明らかにすることを目的として、対象地域の既往音波探査記録の再処理を行い、海上ボーリング調査の適地を選定した。海上ボーリング調査は、雲仙断層群南東部を構成する断層のうち支配的な断層をまたいで1箇所ずつ（40 m×1孔、35 m×1孔）の計2箇所を実施した。また、海上ボーリング調査で取得した堆積物コアから貝殻片試料及び腐植質堆積物試料を採取し、¹⁴C年代測定を実施した。これらの結果に基づいて、地層の形成年代を予察的に検討した。

2) 令和2年度：

令和元年度に海上ボーリングで採取した堆積物コア試料の解析を行い、既存の音波探査記録における音響層序と堆積相との関係を検討する。

3) 令和3年度：

令和元年度に海上ボーリングで採取した堆積物コア試料の解析及び年代測定を行い、平均変位速度及び活動履歴を検討する。調査観測のまとめを行う。

(2) 令和元年度の成果

(a) 業務の要約

雲仙断層群南東部を構成する複数の断層のうち、累積変位量や最近の活動性の点で支配的な布津沖の断層を対象として、平均変位速度を明らかにすることを目的として、以下の調査を実施した。1) 平成21年度に産業技術総合研究所が文部科学省委託事業「沿岸海域における活断層調査」の一環として熊本県宇土市沖で取得した音波探査記録の再処理を行

い、変形構造の詳細な把握及び海上ボーリング調査の適地選定を行った。2) 宇土市沖において、布津沖断層の北側(相対的低下側)で1箇所(掘削深度40 m)、南側(相対的隆起側)で1箇所(掘削深度35 m)について海上ボーリング調査を実施し、両地点とも詳細なコア解析が可能となる高いコア採取率で堆積物コア試料を回収した。3) 堆積物コアから採取した貝殻片試料及び腐植質堆積物試料計7点について¹⁴C年代測定を実施し、地層の形成年代を予察的に検討した。

(b) 業務の成果

1) はじめに

雲仙断層群は、橘湾から島原半島を経て島原湾にかけて分布する断層群である(図1)。本断層群は、ほぼ東西に延びる多数の断層から構成されるが、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2006)は、断層の分布や走向、変位の向きから、雲仙断層群北部、雲仙断層群南東部及び雲仙断層群南西部の3つに区分している(図1)。

調査対象とする雲仙断層群南東部は、長崎県雲仙市小浜町^{おばま}から同県南島原市布津東方沖に至る断層群である。雲仙断層群南東部は赤松谷断層、深江断層、鶯鶯ノ池断層^{おしどり}、布津断層^{ふつ}、高岩山断層、柳原断層、布津沖の断層などから構成され、全長約23 km、大局的にはN80°W方向に延び、相対的に南側が隆起する正断層である(図1)。

雲仙断層群南東部の平均変位速度については、これまでに長崎県(2003, 2004, 2005)や松岡・他(2005)などにより地形・地質調査に基づき平均変位速度の算出が試みされてきた。しかしながら、これらの調査・研究により報告された平均変位速度について、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2006)は、「溶岩や火砕流堆積物等の分布を変位基準としているが、形成時の起伏が不明であることや沈降側が浸食されている可能性があることから、評価に採用できるほどの信頼度があるとは言えないため、参考として記述するに留める」と評価している。

その後、文部科学省委託「沿岸海域における活断層調査」の一環として雲仙断層群の海域において実施された構造探査によって、雲仙断層群南東部の支配的な断層が明らかにされた(産業技術総合研究所・千葉大学理学部・東海大学海洋学部・地域地盤環境研究所, 2010)。この断層を調査対象とし、探査記録断面に年代軸を入れることによって、本断層群の上下変位速度及び活動履歴を高い精度で検討可能になることが見込まれる。しかしながら、過去に実施された採泥調査では、断層変位を確認できる反射面まで到達できなかった。

そこで、本調査では、従来の海底活断層調査における採泥調査では採取不可能であった深度までの堆積物コア試料を採取するため、断層を挟んだ両側で海上ボーリング調査を実施した。その際、調査地点選定のため、対象地域の既往成果を整理した上で既存の音波探査記録に基づくサイトサーベイを実施した。また、探査記録の再処理及び海上ボーリング調査で取得した年代試料の分析を実施し、地層の形成年代を検討した。

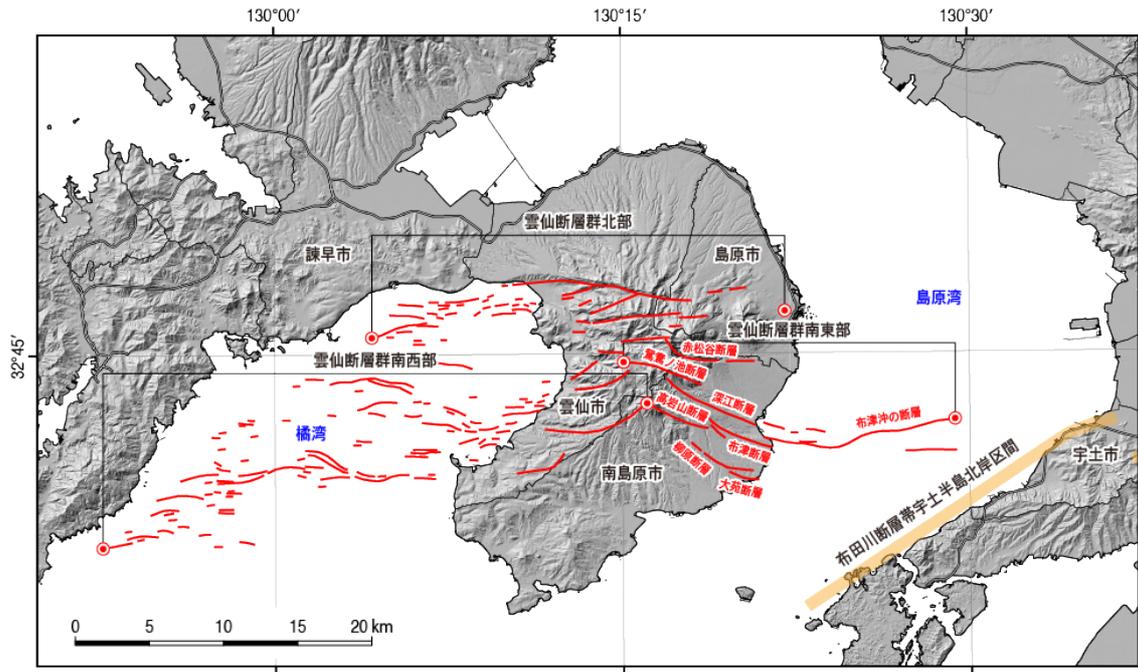


図1 雲仙断層群の分布

断層トレース及び断層名は地震調査研究推進本部地震調査委員会（2006，2013）による。陰影図は国土地理院基盤地図情報数値標高モデル 10m メッシュを用いて作成。黒の細線は行政区域境界。

2) 海上ボーリング調査

a) 調査地点の選定

海上ボーリング掘削地点の選定にあたっては、産業技術総合研究所・千葉大学理学部・東海大学海洋学部・地域地盤環境研究所（2010）によるエアガン及びブーマーを音源としたマルチチャンネル音波探査結果を参照した。地下約 2 km 以浅の地下構造を解明するために実施されたエアガン音波探査によると、雲仙断層群南東部の海域延長部には多数の断層が認定されるものの、南島原市布津沖から熊本県宇土市沖にかけてほぼ東西に延びる布津沖の断層に沿って反射面に顕著な北側低下の落差が認められ、この断層が島原湾における支配的な断層であると解釈されている（産業技術総合研究所・千葉大学理学部・東海大学海洋学部・地域地盤環境研究所，2010）。布津沖の断層は、地下浅部の地質構造を検討するため実施されたブーマー音波探査でも反射面に明瞭な北側低下あるいは地溝状の変形構造として認められており、変形の背後（南側）には北向きの断層崖が認められている（産業技術総合研究所・千葉大学理学部・東海大学海洋学部・地域地盤環境研究所，2010）。こうした構造探査の結果及び海底面に生じた断層崖の存在を踏まえ、本調査では、雲仙断層群南東部の支配的な断層である布津沖の断層を調査対象とすることとした。

選定に際しては、1) 探査記録断面に年代軸を入れるため、布津沖の断層が明瞭に認められているブーマー音波探査測線沿いであること、2) 断層が分岐しておらず、変形帯の幅が狭い地点であることを考慮した。このような基準に従って検討した結果、後期更新世以降の平均変位速度の解明を目的とする海上ボーリング調査には、ブーマー音波探査の S4、S5 もしくは S6 測線上が最適と判断された（図 2）。そこで、この 3 測線についてより鮮明な

断面を取得することを目的として、観測記録と位置情報を整理した上で最新の解析ソフトウェアを用いて再処理を実施した(図3～図5)。また、既存の探査記録断面では明瞭な反射面が捉えられなかった S7 測線についても本再処理により断面の品質が改善されるか検討した(図6)。その結果、S4～S6 測線では、反射面の不連続や変形が鮮明に表現され、浅部における布津沖の断層の位置及び形状を詳細に把握することができた。これらの品質改善された探査記録断面は、海上ボーリング掘削地点の選定や掘削深度の決定に役立った。一方、S7 測線については既存の探査記録断面と同様に明瞭な反射面が捉えられなかった。

最終的には、地元機関から調査の承諾が得られた宇土市沖の S5 測線上の断層の北側(相対的沈降側)で1地点(GS-UTO-1 地点)と南側(隆起側)で1地点(GS-UTO-2 地点)を海上ボーリングの調査地点に選定した。掘削計画深度は、音波探査記録を参考にして、GS-UTO-1 地点で 40 m、GS-UTO-2 地点で 35 m とした。選定した掘削地点付近の水深は海底地形デジタルデータ(M7024 九州西岸海域)によると 30～40 m 程度である(図2)。

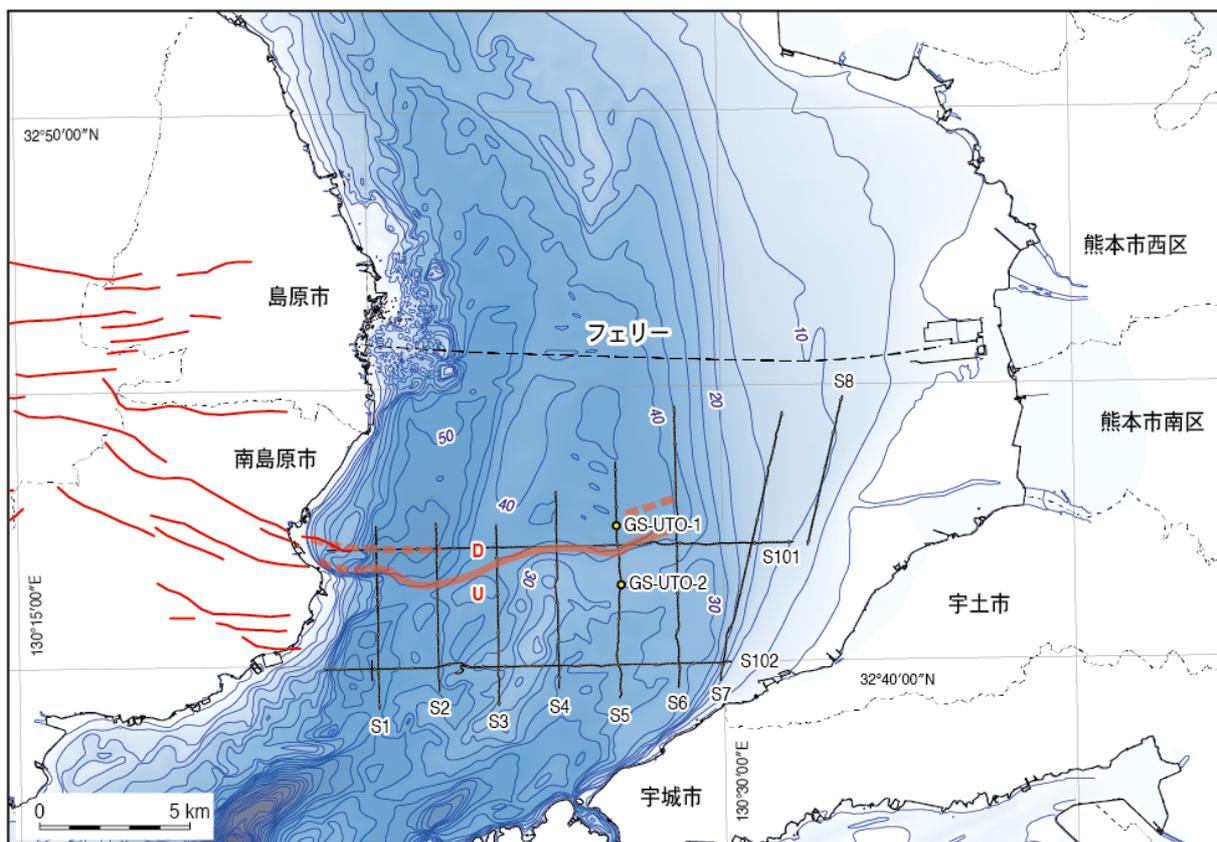


図2 海上ボーリング調査地点(コア採取地点)位置図

断層の分布は地震調査研究推進本部地震調査委員会(2006)による。布津沖の断層の分布は産業技術総合研究所・千葉大学理学部・東海大学海洋学部・地域地盤環境研究所(2010)による。S1～S8、S101及びS102はブーマーマルチチャンネル音波探査測線(産業技術総合研究所・千葉大学理学部・東海大学海洋学部・地域地盤環境研究所, 2010)。S4～S7測線については、本調査により再解析を実施した。海底地形は海底地形デジタルデータ(M7024九州西岸海域)から作成(等深線間隔は5 m)。U、Dは相対的隆起側、低下側を示す。

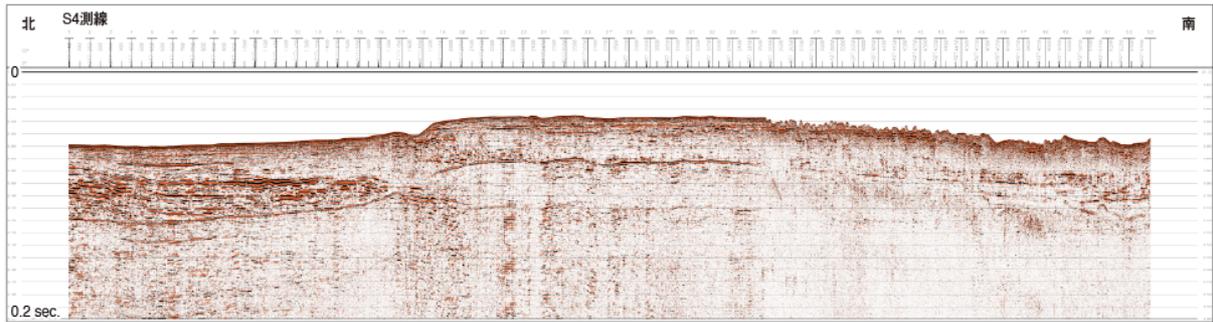


図3 S4 測線の再解析断面
測線の長さ及び位置は図2を参照。縦軸は往復走時。

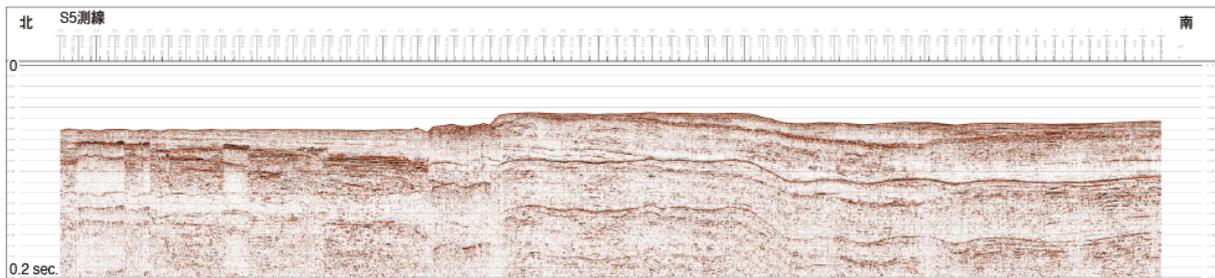


図4 S5 測線の再解析断面
測線の長さ及び位置は図2を参照。縦軸は往復走時。

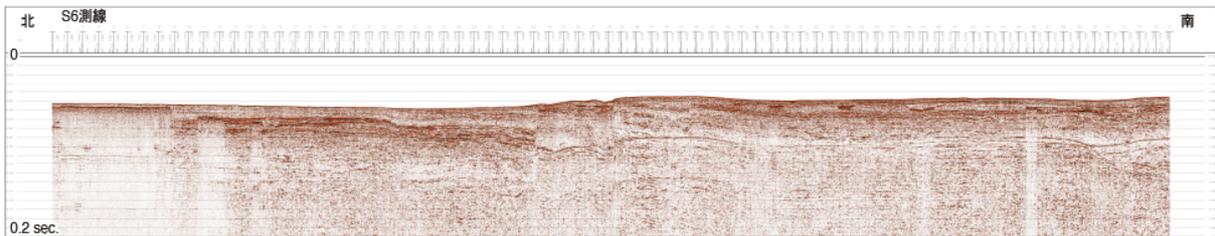


図5 S6 測線の再解析断面
測線の長さ及び位置は図2を参照。縦軸は往復走時。

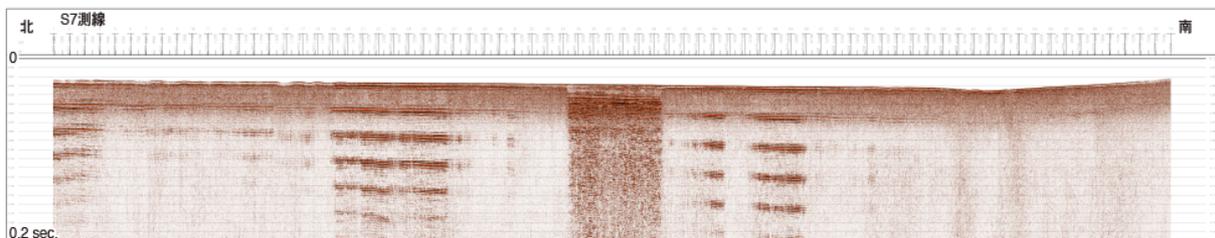


図6 S7 測線の再解析断面
測線の長さ及び位置は図2を参照。縦軸は往復走時。

b) 工法及び仮設

海上ボーリングは、上述したように掘削地点の水深が30～40 m程度であることから、水

深 50 m でも施工できる傾動自在工法により実施した。この工法では、クレーン台船の船舷にボーリング足場及び檣、ボーリングマシンなどを仮設するとともに、クレーン台船の外側に掘削ロッド、サンプラー及びケーシングパイプなどを通す鉄製の案内管（ガイドパイプ）を仮設する（図 7，図 8）。掘削時には、ボーリングマシンをガイドパイプの真上に移動させて作業を行い、掘削作業休止時及び夜間の係留時には、台船が波浪で大きく動揺してもガイドパイプと台船が接触しないように、両者を隔離することができる。

傾動自在工法は、水深 20 m 以深の海域での活断層調査で採用され、陸域ボーリングと遜色のない高いコア採取率が報告されている（例えば、杉山・他，2014；岡村・他，2017）。



図 7 クレーン台船の船舷に設置したボーリング足場及び檣



図 8 ボーリングマシンをガイドパイプの真上に移動させている状況

c) ボーリングマシン・サンプラー及び掘削コア径

海上ボーリング掘削には、油圧式ロータリー式ボーリングマシンを使用した。サンプラーには、打ち込みサンプラー（GS-UTO-1 の深度 0.0 m～40.0 m、GS-UTO-2 の深度 0.0 m～15.4 m）、一重管サンプラー（使用実績なし）及びスリーブ内蔵三重管サンプラー（GS-UTO-2 の深度 15.4 m～35.0 m）の 3 種類を用意し、堆積物の硬軟・締まり具合によってこれらを使い分けた。掘削孔径は直径 86 mm（コア径直径 70 mm）とした。掘削時には孔壁崩壊防止のため、ケーシングパイプを挿入した。

d) 掘削地点の座標測定

ボーリング掘削地点の位置測量には、位置精度 1.0 m 以内のディファレンシャル方式 GNSS 測位システムを用いた。使用基準点は四等三角点「御輿来」（熊本県宇土市）とし、掘削地点の位置は、GNSS 受信機をクレーン台船の舷側に設置したガイドパイプに置いて測定した。

掘削地点の海底面の標高（地盤高）は、全長が判明しているガイドパイプ設置後、海面が穏やかな時間に図 9 に示す手順で測定した。1）最寄りの潮位観測所（道の駅宇土マリーナ内：熊本県宇土市）の潮位を確認する。2）それと同時にガイドパイプ天端から海面までの長さを計測する。3）2で測定した長さに検潮所潮位を足し合わせた値がガイドパイプ天端の標高となる。4）1～3を5回繰り返し、平均値を求める。5）4で得られた平均値からガイドパイプ全長を差し引いた値が海底面の標高となる。

このようにして計測した掘削地点の座標を表 1 に示す。

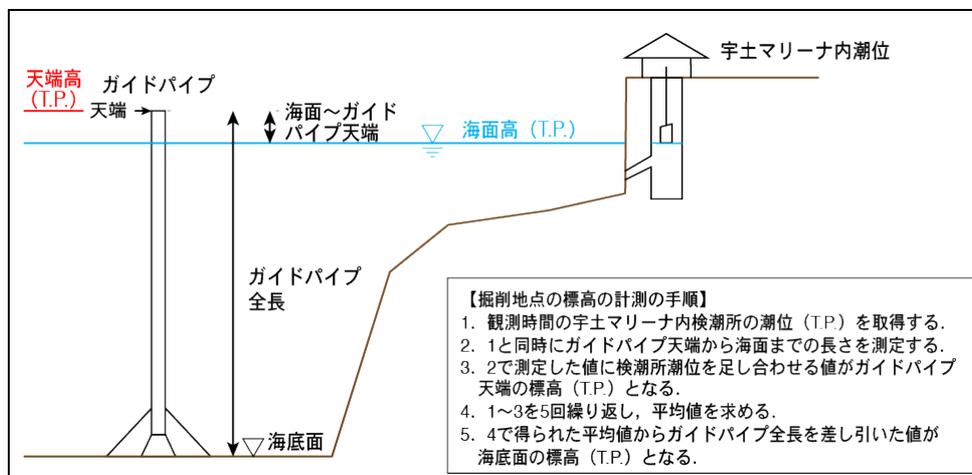


図 9 掘削地点の地盤高の計測の手順

表 1 海上ボーリング掘削地点の座標

ボーリング コア名	平面直角座標（第 II 系）		標高 (m)	経緯度	
	X (m)	Y (m)		北緯	東経
GS-UTO-1	-32206.15	-50394.79	-46.69	32°42'30.30"	130°27'44.85"
GS-UTO-2	-34196.93	-50269.61	-33.07	32°41'25.69"	130°27'50.05"

標高の基準面は T.P.（東京湾平均海面）

e) 海上ボーリング調査の工程

海上調査では、まずGS-UTO-1地点において、2019年11月23日にコアの掘削を開始した。同年12月9日には所定の深度に達したため掘り止めとした。続いて、掘削機材をGS-UTO-2地点に移設して、12月15日にコアの掘削を開始した。12月25日には計画していた深度に達したため掘り止めとした。なお、海上ボーリング調査期間中には、11月24日、28日、12月2日、3日、12月22日の計5日間は海象悪化予報または現地で海象悪化を確認したため、海上作業を中止した。

以上の海上ボーリング調査によって、当初計画していた断層の相対的沈降側で深度40m (GS-UTO-1)、隆起側で深度35m (GS-UTO-2) の連続コアが得られた。

f) 結果

i) ボーリングコア採取状況

本調査で採取したコアのコア採取率はGS-UTO-1コアでは全体で95.3% (うち、粘性土で98.5%、砂質土で93.6%、礫質土で87.9%)、GS-UTO-2コアでは全体で97.5% (うち、粘性土で100%、砂質土で96.6%) で、いずれも非常に高い採取率でコアを回収することができた (表2)。

表2 コア採取率

	GS-UTO-1 コア		GS-UTO-2 コア	
	掘削長 (m)	採取率 (%)	掘削長 (m)	採取率 (%)
粘性土	17.20	98.5	9.61	100.0
砂質土	19.50	93.6	25.39	96.6
礫質土	3.30	87.9	0.00	
全体	40.00	95.3	35.00	97.5

ii) ボーリングコアの地質

本調査で採取したコアの地質は、シルトや砂を主体とする海成層及び軽石を多く含む陸成層を主体とし、一部にスコリア質の黒色砂を含む。コアの写真を図10～図14、柱状図を図15に示す。肉眼観察に基づいたコアの地質区分は以下の通りである。

・GS-UTO-1 コア

- 0.00 m ~ 9.90 m : シルト質砂 (海成層)
- 9.90 m ~ 10.20 m : 砂質シルト (海成層)
- 10.20 m ~ 17.65 m : シルト (海成層)
- 17.65 m ~ 18.00 m : 粘土/シルト (海成層)
- 18.00 m ~ 18.85 m : シルト (海成層)
- 18.85 m ~ 23.50 m : スコリア質砂
- 23.50 m ~ 26.25 m : シルト (海成層)
- 26.25 m ~ 29.90 m : シルト質砂 (海成層) / スコリア質砂

29.90 m ~ 33.20m : 砂礫
33.20 m ~ 34.65 m : 粘土 (陸成層)
34.65 m ~ 38.70 m : シルト (海成層)
38.70 m ~ 40.00 m : 砂 (海成層)

・GS-UT0-2 コア

0.00 m ~ 0.50 m : 砂 (海成層)
0.50 m ~ 2.50 m : シルト (海成層)
2.50 m ~ 3.50 m : シルト質砂 (海成層)
3.50 m ~ 5.00 m : 砂 (陸成層)
5.00 m ~ 8.30 m : 軽石を含む礫混じり砂
8.30 m ~ 14.80 m : 軽石を多量に含む砂
14.80 m ~ 15.40 m : 凝灰質シルト
15.40 m ~ 16.00 m : スコリア質砂質シルト
16.00 m ~ 19.30 m : スコリア質砂
19.30 m ~ 24.15 m : シルト質砂 (海成層)
24.15 m ~ 26.99 m : スコリア質砂
26.99 m ~ 33.40 m : 固結した凝灰質シルト
33.40 m ~ 35.00 m : 砂 (海成層)

コア写真及び柱状図に示すように、GS-UT0-1 コアと GS-UT0-2 コアでは岩相が大きく異なる。すなわち、GS-UT0-1 コアは部分的に貝殻片が混入する砂から粘土の細粒層からなる海成層を主体とし、明らかに陸成層と判断される地層は深度 33.20 m~34.65 m にのみ認められる。これに対して、GS-UT0-2 コアは深度 3.5 m までは海成層であるものの、それ以深は陸成層を主体とし、軽石及びスコリアを多量に含むことで特徴付けられる。軽石はコア径大 (直径 70 mm 以上) のものも認められる。とくに深度 8.30 m~14.80 m では軽石が多く含まれ (図 13)、また深度 26.99 m~33.40 m では固結した凝灰質シルトを含む (図 14)。

a GS-UTO-1 (0.0 m~18.0 m)

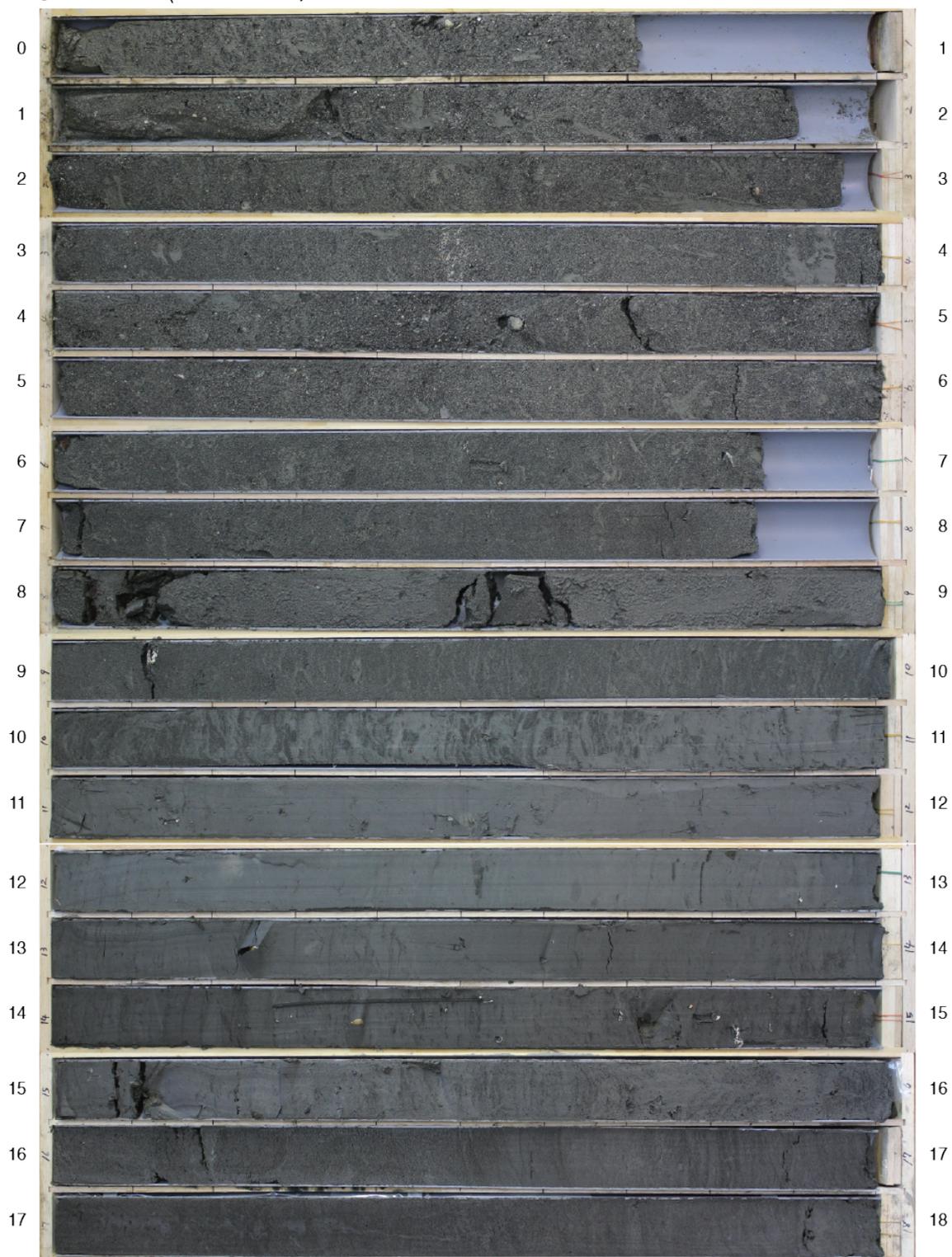


図 10 GS-UTO-1 コアの写真 (深度 0~18m)

b GS-UTO-1 (18.0 m~36.0 m)

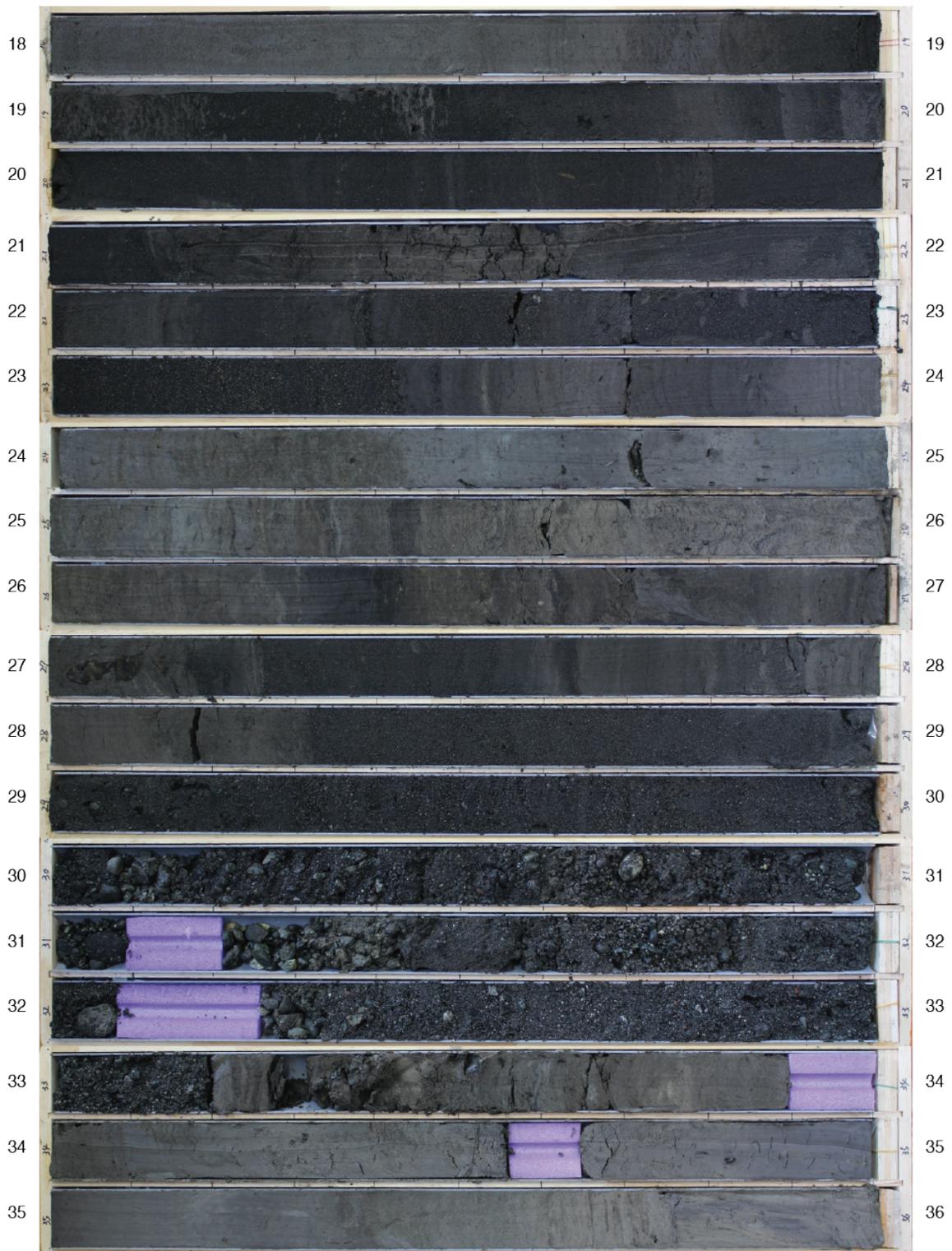


図 11 GS-UTO-1 コアの写真 (深度 18~36m)

C GS-UTO-1 (36.0 m~40.0 m)



図 12 GS-UTO-1 コアの写真 (深度 36~40m)

d GS-UTO-2 (0.0 m~18.0 m)

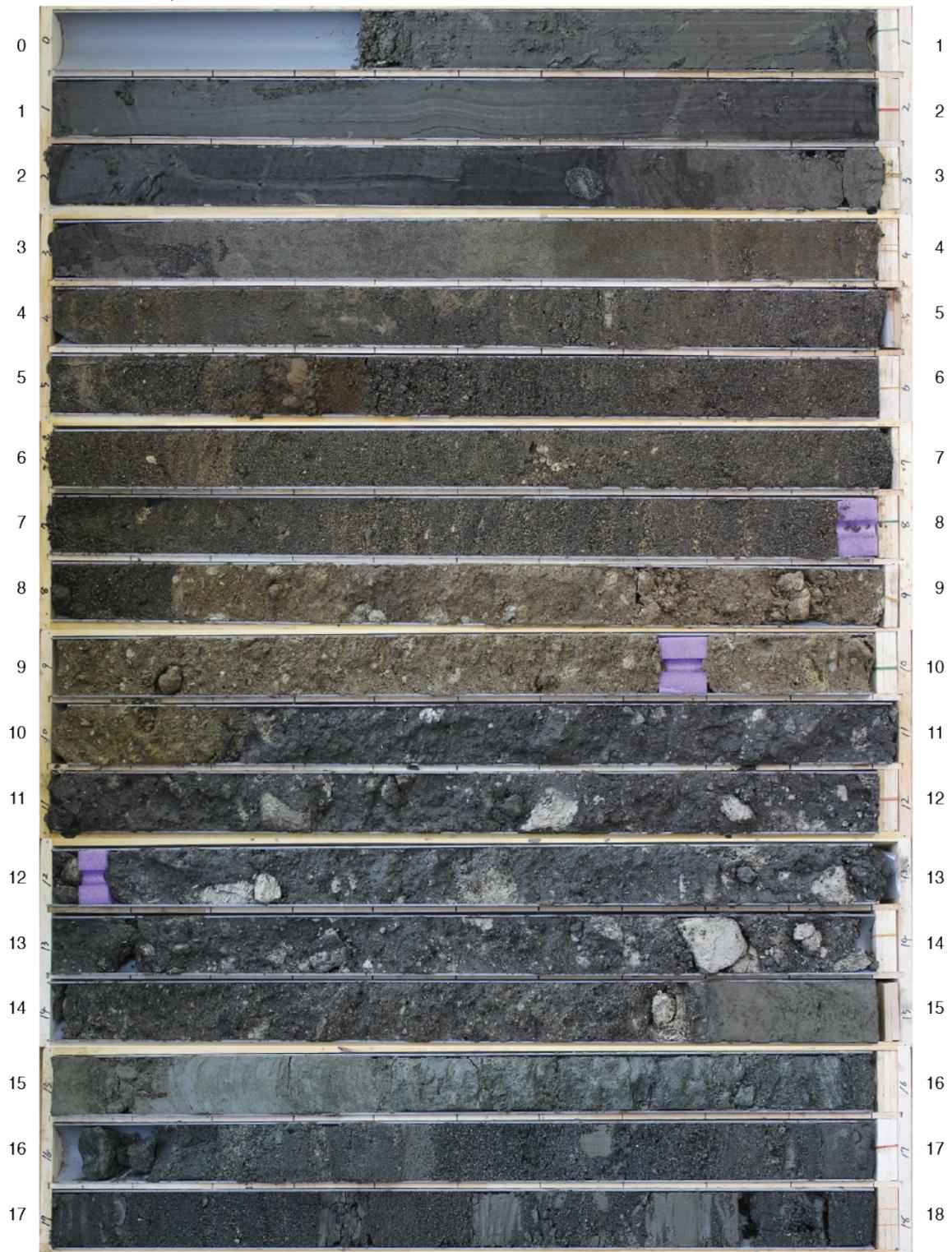


図 13 GS-UTO-2 コアの写真 (深度 0~18m)

e GS-UTO-2 (18.0 m~36.0 m)

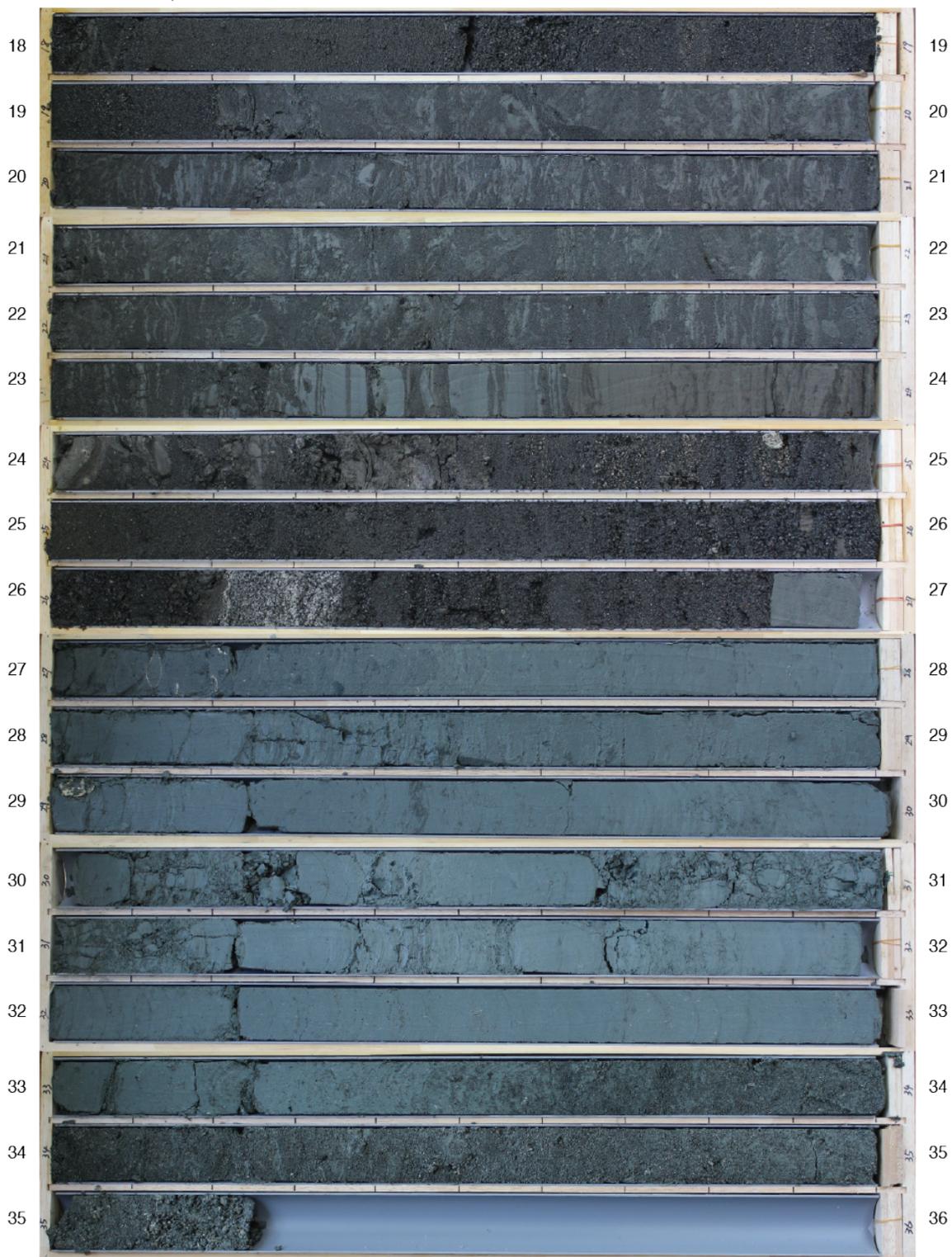
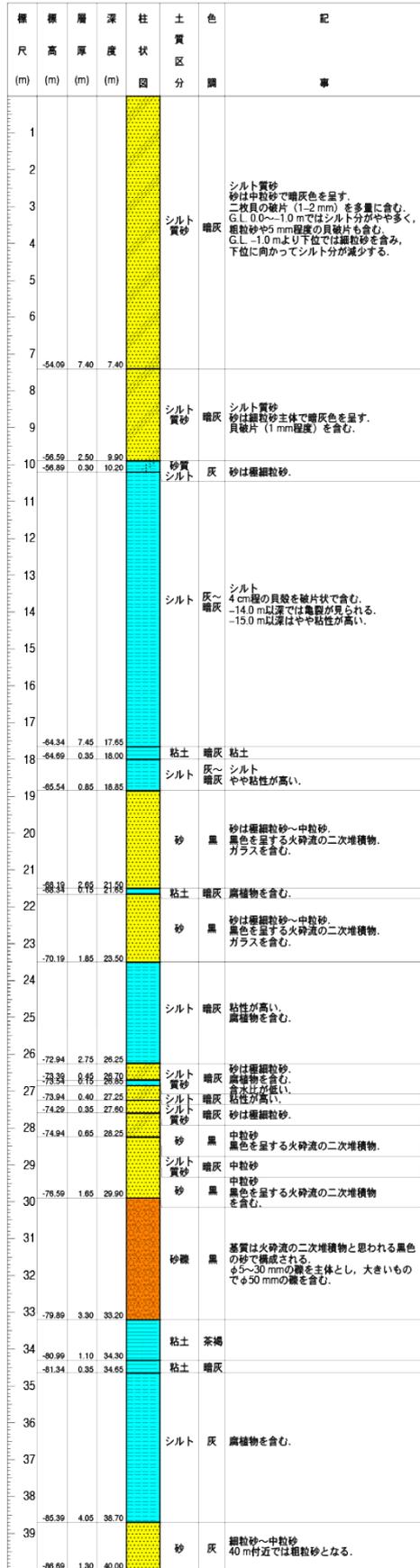


図 14 GS-UTO-2 コアの写真 (深度 18~35m)

a GS-UT0-1



b GS-UT0-2

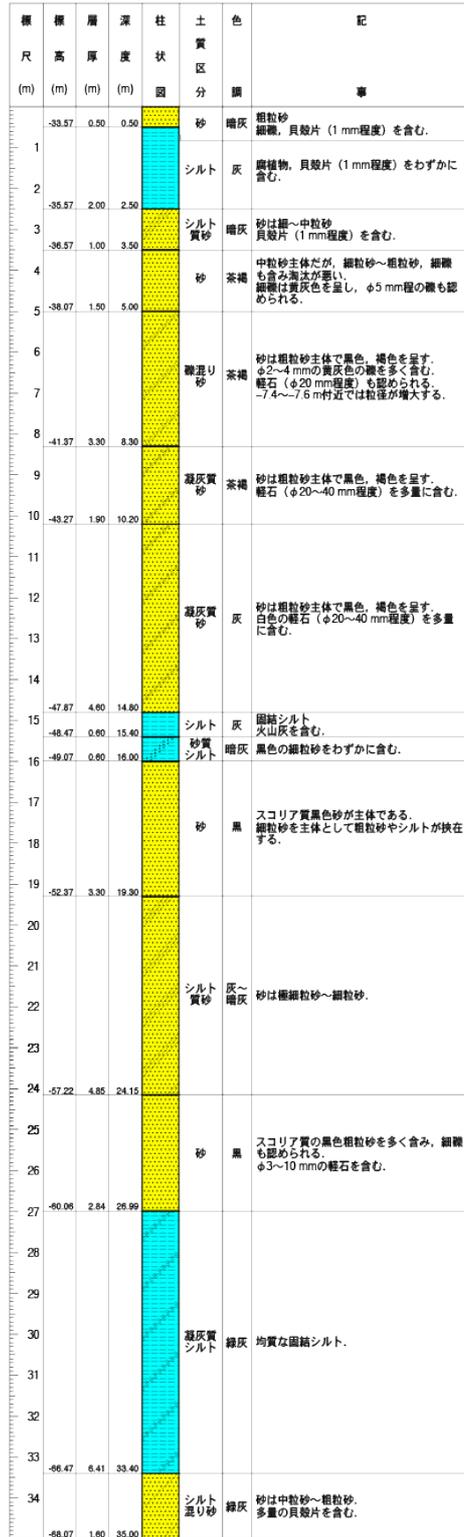


図 15 GS-UT0-1 コア (左) 及び GS-UT0-2 コア (右) の柱状図

iii) ボーリングコアと音波探査記録断面との対比

掘削地点を横切る測線 S5 での既存音波探査記録再処理断面にボーリングコア柱状図を投影したところ、GS-UT0-1 コアと GS-UT0-2 コアともに顕著な岩相の境界が音波探査記録断面に見られる明瞭な反射面と概ね対応していることが認められた (図 16)。

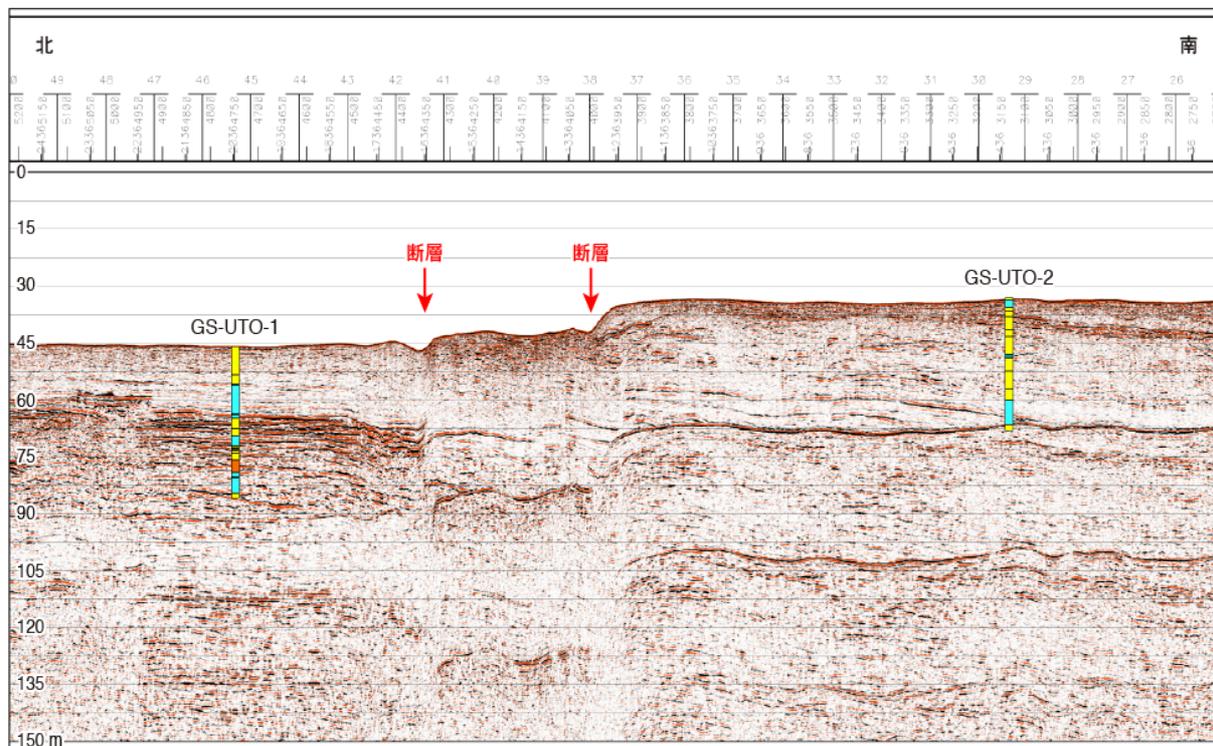


図 16 ボーリングコアと既存音波探査記録の再処理断面 (S5 測線) との対比
柱状図の詳細は図 15 を参照。深度変換では、音波の伝達速度を 1,500 m/秒と仮定。

iv) ^{14}C 年代測定

海上ボーリング調査で取得したボーリングコア試料を対象として、地層の堆積年代を推定するために貝化石や腐植質堆積物を採取し、AMS ^{14}C 年代測定を行なった。測定は (株) 地球科学研究所を通して Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory (米国フロリダ州) に依頼した。測定試料の一覧及び測定結果を表 3 に示す。

^{14}C 年代測定の結果、コア GS-UT0-1 では深度 3.10 m で $4,720 \pm 30$ yBP (同位体分別補正後の ^{14}C 年代、以下同じ)、深度 6.82 m で $7,680 \pm 30$ yBP、深度 11.49 m で $9,520 \pm 30$ yBP、深度 15.04 m で $10,110 \pm 30$ yBP の年代値が得られた。これらについては採取した深度と年代値は矛盾しておらず、 ^{14}C 年代値から深度 15 m 付近以浅では完新世の地層がほぼ連続的に堆積している可能性がある。一方、コア GS-UT0-2 については、深度 1.1 m で $11,600 \pm 30$ yBP、深度 2.27 m で $10,480 \pm 30$ yBP、深度 2.70 m で $14,920 \pm 40$ yBP の年代値が得られた。 ^{14}C 年代値から、深度 2.70 m 付近以浅の堆積物は最終氷期最盛期後の海水準の上昇に伴い堆積した地層と考えられる。

表3 海上ボーリングコアから採取した試料の AMS¹⁴C 年代測定結果

試料番号	採取コア	測定コード	深度 (m)	測定 試料種	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional ¹⁴ C 年代 (yBP, $\pm 1\sigma$) ²	暦年較正年代 (cal BP : 95.4%) ³
UTO-1-1	GS-UTO-1	Beta-552585	3.10	貝	+1.24	4,720 \pm 30	5,041–4,845
UTO-1-2	GS-UTO-1	Beta-552586	6.82	貝	+0.52	7,680 \pm 30	8,234–8,025
UTO-1-3	GS-UTO-1	Beta-552587	11.49	貝	+0.21	9,520 \pm 30	10,485–10,253
UTO-1-4	GS-UTO-1	Beta-552588	15.04	貝	-7.67	10,110 \pm 30	11,211–11,017
UTO-2-4	GS-UTO-2	Beta-554715	1.10	堆積物 ¹	-21.83	11,600 \pm 30	13,532–13,324
UTO-2-5	GS-UTO-2	Beta-554716	2.27	堆積物 ¹	-21.46	10,480 \pm 30	12,562–12,238
UTO-2-6	GS-UTO-2	Beta-554717	2.70	堆積物 ¹	-21.23	14,920 \pm 40	18,301–17,956

¹ バルク試料。

² 半減期は 5,568 年を使用した。

³ 暦年較正プログラム OxCal (Bronk Ramsey, 2009) を使用し、暦年較正には較正曲線として Marine13 (Reimer et al., 2013) を用いた。なお、ローカルなリザーバ効果の補正は行っていない。

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、海上ボーリング調査の実施、音波探査記録の再処理、予察的なコア観察及びコア試料の¹⁴C年代測定を行なった。ボーリングコアの詳細な観察・解析、音波探査記録断面との対比及びそれらに基づく活動性の検討は令和2年度及び同3年度に実施する予定である。

(d) 引用文献

Bronk Ramsey, C., Bayesian analysis of radiocarbon dates, Radiocarbon, 51, 337–360, 2009.

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「雲仙断層群の評価 (一部改訂)」, 48p, 2006.

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「布田川断層帯・日奈久断層帯の評価 (一部改訂)」, 66p, 2013.

松岡 暁・堤 浩之・竹村恵二・星住英夫・松本哲一, 雲仙活断層群の変位速度と活動史, 活断層研究, 25, 135–146, 2005.

岡村行信・阿部信太郎・宮下由香里・吾妻 崇・東郷徹宏・白濱吉起・栗田泰夫・丸山 正, 3.1 活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査及び断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測, 「平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査」平成 28 年度成果報告書, 文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学, 5–185, 2017.

長崎県, 「平成 14 年度 地震関係基礎調査交付金「雲仙活断層群に関する調査」成果報告書」, 242 pp, 2003.

長崎県, 「平成 15 年度 地震関係基礎調査交付金「雲仙活断層群に関する調査」成果報告書」, 1-1-8-1, 2004.

長崎県, 「平成 16 年度 地震関係基礎調査交付金「雲仙活断層群に関する調査」成果報告書」, 1-1-10-3, 2005.

Reimer, P. J., E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, P. G. Blackwell, C. Bronk Ramsey, C. E. Buck, H. Cheng, R. L. Edwards, M. Friedrich, P. M. Grootes, T. P. Guilderson, H. Haflidason, I. Hajdas, C. Hatté, T. J. Heaton, D. L. Hoffmann, A. G. Hogg, K. A. Hughen, K. F. Kaiser, B. Kromer, S. W. Manning, M. Niu, R. W. Reimer, D. A. Richards, E. M. Scott, J. R. Southon, R. A. Staff, C. S. M. Turney and J. van der Plicht, IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP, Radiocarbon, 55, 1, 869-1,887, 2013.

産業技術総合研究所・千葉大学理学部・東海大学海洋学部・地域地盤環境研究所，沿岸海域における活断層調査「雲仙断層群北部（海域）及び雲仙断層群南東部（海域）」成果報告書，本文 49p，図表 134p，2010，
https://jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/engankaiiki/h21/h21_unzen.pdf
https://jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/engankaiiki/h21/h21_unzen1.pdf
https://jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/engankaiiki/h21/h21_unzen2.pdf
https://jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/engankaiiki/h21/h21_unzen3.pdf
https://jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/engankaiiki/h21/h21_unzen4.pdf (2020年3月25日閲覧).

杉山雄一・井上卓彦・村上文敏・坂本 泉・滝野義幸・永田高弘・細矢卓志・宇佐美琢哉，福井県美浜町菅浜沖，野坂断層海域部の更新世末期以降の活動，活断層・古地震研究報告，14，57-108，2014.