

関東平野中央部, 埼玉県菖蒲町で掘削された 350m ボーリングコア (GS-SB-1) の層相と堆積物物性

山口正秋^{1,3,*}・水野清秀¹・納谷友規¹・本郷美佐緒¹・中里裕臣²・中澤 努¹

Masaaki Yamaguchi, Kiyohide Mizuno, Tomonori Naya, Misao Hongo, Hiroomi Nakazato, and Tsutomu Nakazawa (2009) Lithofacies and physical properties of 350-m-long GS-SB-1 core, central Kanto plain, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.60(3/4), p.147-197, 5 figs, 5 tables, 2 Appendixes.

Abstract: A 350-m-long sediment core, the GS-SB-1, was recovered at Shobu Town, central Kanto plain. This core was obtained to achieve a standard stratigraphy of the Lower to Upper Pleistocene subsurface geology in the central Kanto plain. This paper describes basic lithofacies, tephtras and physical properties of the GS-SB-1. Physical properties including density, elastic wave velocity, spontaneous potential, and electric resistivity were measured. Sixty-nine facies units (unit 1 to unit 69 in descending order) were identified and their relation to physical properties was discussed. Thirty-nine tephtras were found from GS-SB-1 core, and two of them correlate to the Ontake Pm-1 tephtra (9.90-10.90m in depth, ca 100ka), and the Ks5 tephtra (182.85-182.87m in depth). Stratigraphic boundary between the Shimosa Group and the Kazusa Group is situated between 165m and 184m in depth. Nine marine deposits were identified based on sedimentary facies and diatom assemblages reported by Naya et al. (2009).

Keywords: Kanto plain, Pleistocene, sediment core, lithofacies, physical property

要 旨

関東平野中央部, 埼玉県菖蒲町で掘削された深度 350m ボーリングコアについて, コア (菖蒲コア: GS-SB-1) の層相記載と ¹⁴C 年代測定, テフラ, 密度, 帯磁率, 弾性波速度, 自然電位, 電気比抵抗の各分析・測定を行った。菖蒲コアは 12 枚の砂礫層とそれに挟まれた砂層及び泥層からなり, 層相の連続性をもとに 69 のユニットに分けることができる (上位よりユニット 1 ~69)。菖蒲コアには 39 層準にテフラが挟まれている。このうち深度 10.90m のテフラは御岳 Pm-1 (ca.100ka) に, 深度 182.87m のテフラは Ks5 (酸素同位体ステージ 12 の時期に降灰) にそれぞれ対比される可能性が高い。コアの層相と納谷ほか (2009) の珪藻分析結果を総合的に検討し, 9 層準の海成層 (上位より M1~M9) の分布深度を示した。¹⁴C 年代値やテフラの対比等から, ユニット 1 (深度 0.50~1.82m) は沖積層に, ユニット 5 (深度 9.76~10.90m) は大宮層の一部に, またユニット 29~31 (深度 138.73~164.95m) にみられる海成層 (M4) は地蔵堂層の一部に対比される。また上総層群

と下総層群は層相ではその境界を判別することができないが, テフラと海成層の層序学的な関係から, 両者の境界は深度 165 ~ 183m の間に位置すると考えられる。

1. はじめに

首都東京を抱える関東平野は人口が集中し, 都市基盤整備や産業立地の計画, 防災等の点で, 地盤特性や地質構造といった, 地表及び地下地質情報の整備が特に必要とされている。このような背景から, 関東平野では古くから層序や層相, 堆積物の物性値, 地下水の水質, 反射法地震探査等のさまざまな調査がおこなわれてきた (例えば東京地盤調査研究会, 1959; 鈴木, 2002; 林・内田, 2005)。しかし, 膨大なデータの蓄積にも関わらず, これらの地質情報は同じ基準で統合利用できる形式や精度としては十分に整備されていない。そこで, まず地下地質標準を確立すること, 更にこの標準にもとづいて様々な地下地質データを統合し, データベース化することによって利活用することが重

¹地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

²農村工学研究所 (National Institute for Rural Engineering, 2-1-6, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8609 Japan)

³現所属: 株式会社クインテッサジャパン (Quintessa Limited K.K., Queen's Tower A 7-707, 2-3-1 Minatomirai, Nishi-ku, Yokohama, 220-6007 Japan)

* Corresponding author: M. YAMAGUCHI, Email: yamaguchi@quintessa.co.jp

要であると考えられる。

このような背景の中で著者らは、関東平野中央部の地下地質標準を確立するために、ボーリング調査を主体とした地質調査を行っている。更に反射法地震探査や水理学的な調査結果と統合することによって、精度の高い地質構造の解明を進めている。

上記のプロジェクトの一環として、埼玉県菖蒲町で深度 350.20m のオールコアボーリングを実施し、GS-SB-1 (菖蒲コア) を採取した。このコアでは、層相記載、テフラ分析、花粉分析、珪藻分析、及び古地磁気測定等が行われており、それらを総合的に解釈し、周辺地域と対比することで、関東平野中央部における地下数百 m までの標準層序の確立を目指している。更にこのボーリング調査では、応用地質学的検討に対する基礎資料として、弾性波速度や電気比抵抗等の物性値測定を行った。

本報告は菖蒲コアとボーリング孔を使った一連の研究の第一報であり、層相記載、テフラ分析、堆積物物性値測定の結果と、地層のおおよその年代を報告するものである。

2. 掘削地点及び調査地域

菖蒲コア (GS-SB-1) は、2006 年 11 月～2007 年 5 月にかけて関東平野中央部の埼玉県南埼玉郡菖蒲町上大崎 (北緯 36°3' 18", 東経 139°36' 19.6" (世界測地系)) で採取された (第 1 図)。この付近は関東造盆地運動の沈降中心付近 (貝塚, 1987) にあたり、更新統が厚く堆積していることが知られている (関東平野中央部地質研究会, 1994)。

コアは標高 11.736m の地表面から深度 350.20m まで、オールコアで採取された。掘削地点は幅約 1km の谷底低地の中央部付近に位置し、周囲には比高 1～2m 程度の中位段丘面 2 (杉山ほか, 1997) が分布している (第 1 図 b)。

3. 調査方法

3.1 コアの掘削と採取, 処理, 記載

本ボーリングの掘削にはロータリー式普通工法, ロータリー式パイプ工法, 及びワイヤーライン工法が用いられ, コアの採取には, それぞれロータリー式三重管サンプラー (ビット径: 116mm), ロータリーパイプサンプラー (ビット径: 123mm), ワイヤーライン用 HQ-3 (スリータイプ) WL コアバレル (ビット径: 97mm) が用いられた。第 1 表に深度別の掘削方法を示す。またキャリパー検層によって孔径の測定が行われた (第 2 図 a)。

採取されたコアは塩化ビニール管に充填された状態で搬入され, そのままガンマ線強度と帯磁率の測定を行った。その後コアを塩化ビニール管ごと岩石カッターで半割し, 片方を観察・保存用試料, 残りを分析用試料とした。ただし 28 層準から長さ 30～100cm の不攪乱試料をコア間隙水分析及び土質試験用に提供したため, これらの層準では肉眼観察を行っていない。また深度 199.95～219.00m については半割を行わず, 表面を剥いで肉眼観察を行った。観察・保存用試料, 分析用試料ともに半割面をヘラ等で整形した。観察・保存用試料については半割面の写真撮影, 及び層相記載を行った。記載では粒度, 堆積構造, 化石や生痕, テフラ,

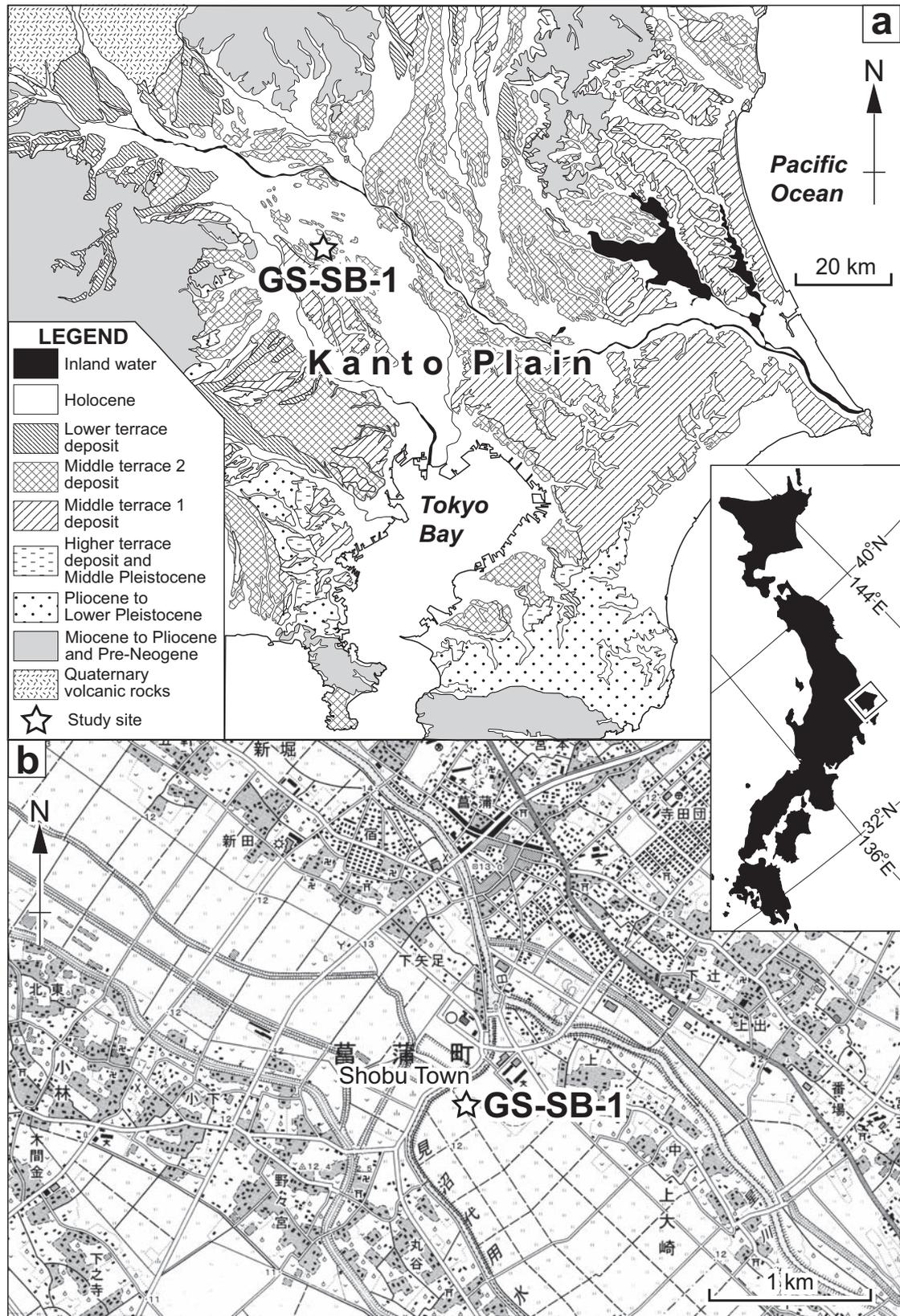
第 1 表 菖蒲コアの掘削に用いられた工法。

Table 1 Drilling methods applied for GS-SB-1 core recovery.

depth [m]	method	sampler	bit diameter [mm]	inner tube	core diameter [mm]
0.00 - 2.40	rotary and vibro rotary	triple tube sampler	116	thin wall	75
2.40 - 37.00		triple tube sampler	116	PVC(VU75)	83
37.00 - 43.00		rotary vibro sampler	123	PVC(VU65)	71
43.00 - 56.00		triple tube sampler	116	PVC(VU75)	83
56.00 - 58.00		rotary vibro sampler	123	PVC(VU65)	71
58.00 - 59.13		triple tube sampler	116	PVC(VUU75)	83
60.00 - 137.00		rotary vibro sampler	123	PVC(VU65)	71
137.00 - 194.50		triple tube sampler	116	PVC(VU75)	83
194.50 - 350.20	wire line	HQ3(three type) WL core barrel	97	—	61

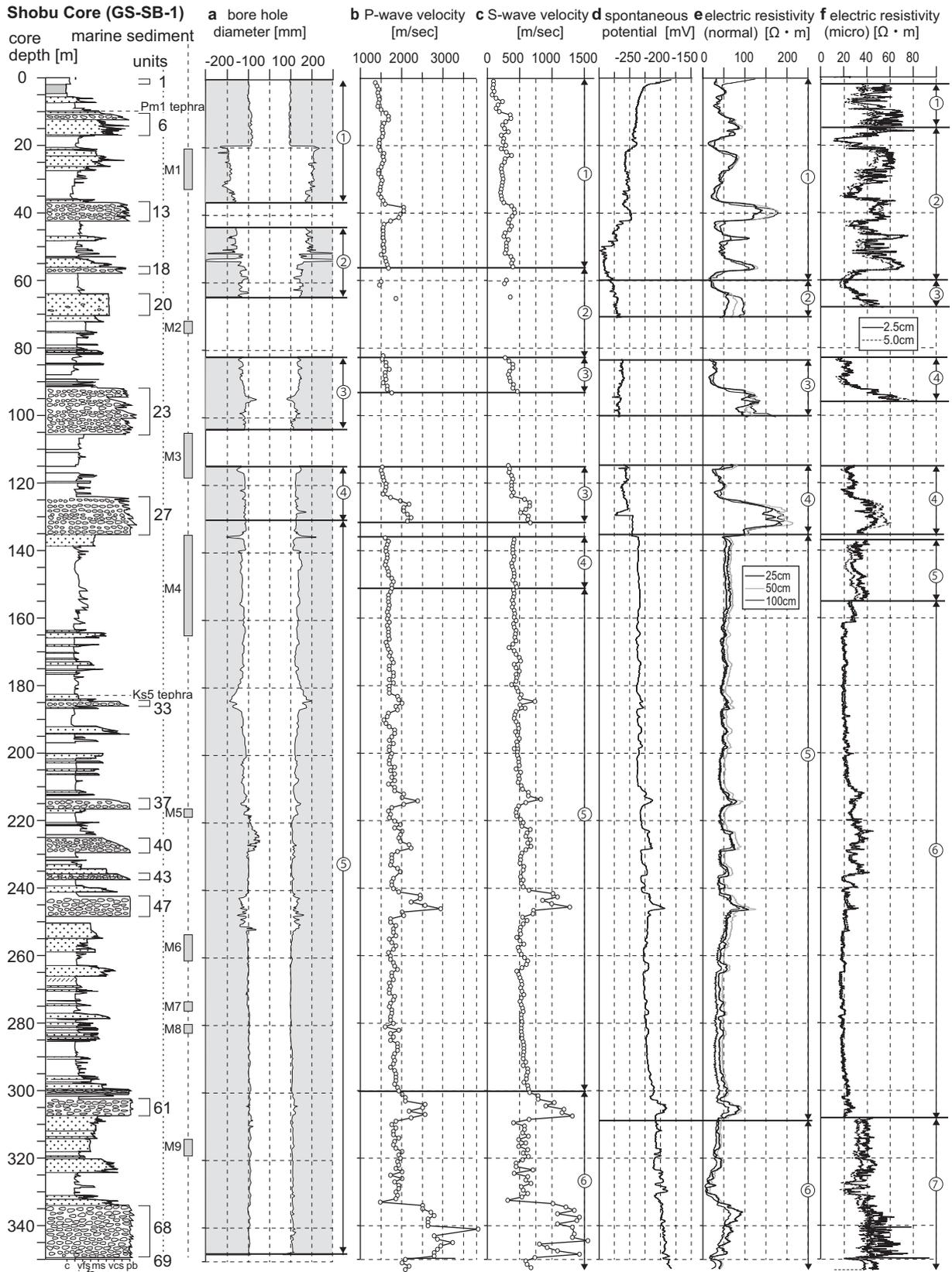
PVC: polyvinyl chloride

菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)



第1図 菖蒲コアの掘削地点位置図。(a) 菖蒲コアの掘削地点。地質図は杉山ほか(1997)を簡略化し、活断層の分布等を省略した。(b) 掘削地点周辺の地形分類図。国土地理院発行25,000分の1地形図「鴻巣」を使用。

Fig. 1 Locality of GS-SB-1 drilling (a) and the detailed geomorphic classification map around the drilling site (b). Geologic map was modified after Sugiyama et al. (1997).



第2図 菖蒲コアの物理検層結果。(a) ボーリング孔を用いて測定した孔径、(b) P波速度、(c) S波速度、(d) 自然電位、(e) 電気比抵抗 (ノルマル)、(f) 電気比抵抗 (マイクロ)。①～⑧はそれぞれ測定日の違いを表す。

Fig. 2 Logging results of GS-SB-1. Bore hole diameter (a), P-wave velocity (b), S-wave velocity (c), spontaneous potential (d), normal electrical resistivity (e), micro electrical resistivity (f) are shown.

色調などに着目して、4分の1スケールでスケッチを行った。一方分析用試料からは、 ^{14}C 年代測定、テフラ分析、花粉分析、珪藻分析、湿潤嵩密度測定、古地磁気測定等に使用する試料を採取した。

3.2 放射性炭素年代測定

放射性炭素年代測定は加速度質量分析法 (AMS) によって行われた。測定は(株)加速器分析研究所に依頼した。年代測定を行った試料は深度1.68~1.71mの層準から採取した泥炭と、深度2.36~2.39mの層準から採取した有機質火山灰土の2試料である。得られた測定値については、 $\delta^{13}\text{C}$ 補正及び暦年較正が行われた。暦年較正にはIntCal04 (Reimer et al., 2004) のデータセットを用い、OxCal v.3.10 (Bronk Ramsey, 1995, 2001) のプログラムを用いた。

3.3 テフラ分析

コアから肉眼で識別できる軽石層や火山灰層を採取した。ただし散在していたり、ラミナ状に堆積しているものでも比較的円磨度の低いものについては試料を採取した。採取した試料については篩を用いて、粒径1/4~1/16mmの範囲の粒子のみを集め、これらの試料をスライドガラス上に封入してプレパラートを作成し、偏光顕微鏡下にて主要重鉱物や火山ガラスの形状を観察した。なお粗粒な試料は乳鉢で粉碎した後、篩い分けをおこなった。火山ガラスの形状は吉川 (1976) にしたがって分類した。テフラ試料には純層でないものもあり、定量的な鉱物組成の検討は行っていない。また火山ガラスの含有率の高いテフラ試料については、火山ガラスのエネルギー分散型X線マイクロアナライザー (EDX) による化学分析及び屈折率測定を行った。屈折率の測定には、(株)古澤地質製の温度変化型屈折率測定装置 MAIOT (古澤, 1995) を使用した。火山ガラスの化学組成については、(株)古澤地質に分析を依頼し、エネルギー分散型X線マイクロアナライザー (EDX) による分析を行った。分析手順は入谷ほか (2005) と同様の手順によった。使用した機材は日立製作所製 S3000 及び堀場製作所製 EMAX ENERGY EX-250 である。測定条件は、加速電圧を15kV、試料電流を0.3nA、ビーム径を約150nmにして4 μm 四方を走査させ、測定時間を200秒間として、ZAF法にて主成分組成の補正計算を行った。

3.4 密度測定

強震動予測に必要なパラメーターとなる堆積物の密度を測定した。本研究ではキューブを用いて湿潤嵩密度を直接測定すると同時に、コアを透過させたガンマ線の強度 (attenuated gamma intensity; 以下ガンマ線強度) を測定し、これを密度に換算することによって堆積物

の密度 (以下、ガンマ線換算密度) を得た。

湿潤嵩密度は、半割直後のコアから容積7ccのプラスチックキューブを用いて堆積物を採取し、採取直後のキューブ試料の重量 (湿潤重量) からあらかじめ測定しておいた空のキューブ重量を引き、それをキューブの容積7ccで割って算出した。キューブを用いた試料採取は、原則として砂層-泥層を対象とした。礫層の層準や、コア深部の半固結した層準ではキューブ試料を採取しなかった。

ガンマ線換算密度は以下のように求めた。まずガンマ線強度を産業技術総合研究所に設置されている Geotek 社製の Multi-Sensor Core Logger (以下 MSCL) (池原, 1997) を用いて測定した。本研究では、 ^{137}Cs (370Bq) の線源から出るガンマ線を10秒間コアに照射して、コアを透過したガンマ線の強度を深度方向に1cmの間隔で測定した。各点のガンマ線強度は、計数率 (cps: count per second) 単位で得られる。なおコアチューブの両端部などにはコアが充填されていない部分があるため、正確な測定ができない。したがってコアチューブの両端から1cm~数cm分、及びコアが充填されていない深度の異常測定値を取り除いた。ガンマ線の透過率は、その物質の密度と逆相関することが知られている (Tittman and Wahl, 1965)。したがってコアを透過したガンマ線の強度を測定し、それを換算することで密度を得ることができる。ガンマ線強度と密度との関係は下記の (1) 式 (Geotek, 2000) で示される。

$$\ln I = a(\rho * d)^2 + b(\rho * d) + c \quad (1)$$

ここで、 I はガンマ線強度、 d はコア径、 ρ は密度を示す。 a, b, c は測定条件によって変化する係数で、測定日ごとに求める必要がある。本研究では係数 a, b, c を求めるために、測定日ごとにコアチューブに入れたテストピース (厚さ1.0cm, 2.0cm, 3.0cmのアルミニウム板) 及びコアチューブのガンマ線強度を測定した (第2表)。アルミニウムの密度は2.71g/cm³とした。ガンマ線換算密度は (1) 式にそれぞれの測定日の a, b, c の数値と、コア径、及びガンマ線強度を代入して求めた。

3.5 帯磁率測定

帯磁率はMSCLによってガンマ線強度と同時に測定した。測定には内径12.5cmのループセンサーを用いた。またガンマ線強度と同様に、コアチューブの両端部にはコアが充填されていない部分があるため、正確な測定ができない。したがってコアチューブの両端から1cm~数cm分の異常測定値を取り除いた。帯磁率の値はコア径やループセンサーの内径の影響を受けるため、Geotek (2000) に示されている (2) 式で補正した。

第2表 ガンマ線強度-ガンマ線換算密度の換算係数 ((1) 式の a, b, c) を求めるための実験結果. 測定深度, コア径 (d), 測定点数 (data counts), ガンマ線強度 (ブランク値 (I_0), コアチューブ (I_t), コアチューブに入れたテストピース (厚さ 1cm (I_{a1}), 2cm (I_{a2}), 3cm (I_{a3}) のアルミ板) を示す.

Table 2 Calibration data of MSCL. Core diameter (d), data counts, measured gamma ray intensity in counts per second [cps] of blank (I_0), empty core tube (I_t), and aluminium test pieces (1cm, 2cm, and 3cm thick aluminium plate; I_{a1} , I_{a2} , and I_{a3}) are shown.

Core ID	Depth [m]	Diameter d [cm]	Tube material*	Blank gamma ray intensity I_0 [cps] (n.)	Attenuated gamma ray intensity			conversion factors for density calculation			
					empty tube I_t [cps] (n.)	1 cm alluminum test piece I_{a1} [cps] (n.)	2 cm alluminum test piece I_{a2} [cps] (n.)	3 cm alluminum test piece I_{a3} [cps] (n.)	a	b	c
GSSB002	0.0 - 2.4	7.5	T-wall	21261 (4)	18120 (40)	15257 (9)	12793 (8)	10643 (9)	-0.0010	-0.0922	10.090
GSSB003	2.4 - 6.0	8.3	PVC	21081 (3)	19963 (47)	16682 (9)	13987 (8)	11637 (9)	-0.0004	-0.1008	10.207
GSSB004	6.0 - 12.0	8.3	PVC	21081 (3)	19811 (46)	16608 (9)	13879 (8)	11570 (8)	-0.0005	-0.0995	10.197
GSSB005	12.0 - 30.0	8.3	PVC	20996 (4)	19642 (47)	16437 (9)	13769 (9)	11306 (8)	-0.0016	-0.0892	10.167
GSSB006	30.0 - 37.0	8.3	PVC	21066 (4)	19811 **	16608 **	13879 **	11570 **	-0.0005	-0.0995	10.197
GSSB007	43.0 - 50.0	8.3	PVC	21066 (4)	19811 (47)	16437 (8)	13774 (8)	11460 (8)	-0.0003	-0.1019	10.196
GSSB008	55.0 - 56.0	8.3	PVC	20917 (4)	19687 (47)	16437 (9)	13772 (9)	11463 (8)	-0.0006	-0.0987	10.189
GSSB009	58.0 - 60.0	8.3	PVC	20980 (4)	19680 (47)	16495 (9)	13772 (9)	11463 (8)	-0.0006	-0.0987	10.189
GSSB010	37.0 - 43.0	7.1	PVC	22221 (5)	20952 (49)	17580 (9)	14656 (9)	12226 (9)	-0.0005	-0.0996	10.254
GSSB011	56.0 - 58.0	7.1	PVC	22221 (5)	20952 (49)	17580 (9)	14656 (9)	12226 (9)	-0.0005	-0.0996	10.254
GSSB012	60.0 - 78.0	7.1	PVC	22061 (4)	20811 (47)	17439 (9)	14558 (9)	12104 (8)	-0.0007	-0.0982	10.244
GSSB013	78.0 - 90.0	7.1	PVC	20902 (2)	19764 (48)	16572 (9)	13834 (8)	11505 (8)	-0.0007	-0.0977	10.191
GSSB014	119.0 - 120.0	7.1	PVC	20677 (4)	19611 (48)	16422 (9)	13735 (8)	11416 (9)	-0.0006	-0.0983	10.184
GSSB015	93.0 - 105.0	7.1	PVC	20673 (4)	19521 (48)	16348 (9)	13643 (8)	11301 (8)	-0.0009	-0.0961	10.176
GSSB016	114.0 - 119.0	7.1	PVC	20673 (4)	19521 (48)	16348 (9)	13643 (8)	11301 (8)	-0.0009	-0.0961	10.176
GSSB017	105.0 - 114.0	7.1	PVC	20620 (4)	19550 (46)	16417 (7)	13701 (8)	11323 (8)	-0.0014	-0.0912	10.166
GSSB018	120.0 - 137.0	7.1	PVC	20700 (4)	19570 (49)	16373 (9)	13714 (9)	11400 (8)	-0.0006	-0.0990	10.183
GSSB019	90.0 - 93.0	7.1	PVC	20529 (4)	19401 (49)	16260 (9)	13563 (9)	11285 (9)	-0.0006	-0.0988	10.175
GSSB020	137.0 - 146.0	8.3	PVC	20545 (4)	19278 (48)	16136 (9)	13494 (10)	11239 (8)	-0.0004	-0.1004	10.172
GSSB021	146.0 - 156.0	8.3	PVC	20482 (4)	19162 (47)	16044 (10)	13397 (9)	11143 (8)	-0.0006	-0.0993	10.164
GSSB022	156.0 - 162.0	8.3	PVC	20339 (5)	19059 (48)	15931 (9)	13317 (8)	11067 (8)	-0.0005	-0.1003	10.160
GSSB023	162.0 - 168.0	8.3	PVC	20211 (4)	18881 (46)	15825 (9)	13177 (9)	10964 (8)	-0.0006	-0.0991	10.149
GSSB024	168.0 - 176.4	8.3	PVC	20233 (5)	18869 (48)	15813 (9)	13209 (9)	10976 (9)	-0.0007	-0.0975	10.144
GSSB025	176.4 - 184.9	8.3	PVC	20220 (4)	18994 (42)	15886 (9)	13233 (8)	11016 (8)	-0.0004	-0.1018	10.161
GSSB026	184.9 - 194.5	8.3	PVC	20273 (3)	18947 (48)	15865 (9)	13248 (9)	11000 (9)	-0.0007	-0.0979	10.150
GSSB027	194.5 - 197.0	6.1	PVC	20075 (4)	19044 (48)	15914 (9)	13297 (9)	11040 (8)	-0.0006	-0.1000	10.159
GSSB028	200.0 - 208.5	??*	PVC	20075 (4)	19044 (48)	15914 (9)	13297 (9)	11040 (8)	-0.0006	-0.1000	10.159
GSSB029	208.5 - 219.0	??*	PVC	20049 (4)	18925 (49)	15834 (9)	13211 (10)	11020 (9)	-0.0003	-0.1026	10.158
GSSB030	219.0 - 241.5	6.1	PVC	20297 (4)	19203 (47)	16073 (8)	13431 (9)	11179 (8)	-0.0005	-0.1001	10.167
GSSB031	241.5 - 258.5	6.1	PVC	20212 (4)	19168 (47)	16052 (9)	13388 (9)	10946 (8)	-0.0020	-0.0861	10.137
GSSB032	258.5 - 260.5	6.1	PVC	20326 (4)	19185 (46)	16055 (9)	13430 (9)	11184 (8)	-0.0004	-0.1005	10.167
GSSB033	260.5 - 268.8	6.1	PVC	20256 (5)	19238 (45)	16108 (9)	13485 (9)	11194 (9)	-0.0007	-0.0972	10.162
GSSB034	269.8 - 272.8	6.1	PVC	20256 (5)	19238 (45)	16108 (9)	13485 (9)	11194 (9)	-0.0007	-0.0972	10.162
GSSB035	268.8 - 269.8	6.1	PVC	20265 (4)	19258 (46)	16117 (9)	13484 (9)	11225 (8)	-0.0005	-0.1001	10.170
GSSB036	272.8 - 281.8	6.1	PVC	20265 (4)	19258 (46)	16117 (9)	13484 (9)	11225 (8)	-0.0005	-0.1001	10.170
GSSB037	281.8 - 293.8	6.1	PVC	20445 (3)	19291 (49)	16181 (9)	13520 (8)	11049 (8)	-0.0022	-0.0835	10.137
GSSB038	293.8 - 311.6	6.1	PVC	20360 (3)	19209 (48)	16007 (9)	13473 (9)	11182 (8)	-0.0003	-0.1012	10.169
GSSB039	311.6 - 320.6	6.1	PVC	20422 (3)	19266 (53)	16139 (9)	13485 (9)	11148 (8)	-0.0011	-0.0939	10.158
GSSB040	320.6 - 332.6	6.1	PVC	21127 (2)	19852 (57)	16617 (9)	13898 (8)	11398 (9)	-0.0017	-0.0884	10.176
GSSB041	332.6 - 350.2	6.1	PVC	20308 (3)	19181 (50)	16075 (9)	13436 (9)	11171 (8)	-0.0007	-0.0978	10.161
Total				(126)	(1570)	(285)	(279)	(265)			

*T-wall: Thin-wall sampler, PVC: Polyvinyl chloride pipe

**No gamma ray data for alluminum test pieces: alternative values from GSSB008 are shown

***Core diameter could not be fixed for unequable core diameter.

$$K = \frac{K_{uncor}}{2.087(d/D_1)^2 - 0.218(d/D_1) - 0.0049} \quad (2)$$

ここで K は補正帯磁率, K_{uncor} は帯磁率の測定値, d はコア径, D_1 はループセンサーの内径を示す.

3.6 弾性波速度測定

弾性波速度は一般に反射法地震探査断面との対比や強震動予測のために用いられる. 菖蒲コアでは, ボーリング孔を用いて速度検層を行い, P波速度とS波速度を測定した. 本研究ではサスペンション法によって弾性波速度の測定を行った. サスペンション法は, 震源及び受信器を孔壁に圧着しないで速度検層を行う方

法である (物理探査学会, 2005)。

測定ではソレノイドコイル型打撃板激突式の起振装置が組み込まれたゾンデ (応用地質社製 MODEL-3302) を用いて、深度方向に1m間隔で測定した。なお本調査では孔壁の状況等に応じて6回に分けて、①深度1~56m, ②深度60, 61, 65m, ③深度82~92m及び深度115~131m, ④深度136~151m, ⑤深度150~302m, ⑥深度300~353mの区間についてそれぞれ別の日に測定を行った (第2図b, c)。また孔壁が安定しなかった深度では測定を行っていない。

3.7 自然電位と電気比抵抗の測定

自然電位と電気比抵抗は、一般に帯水層の把握のために用いられ、帯水層は高比抵抗層として識別される (山本, 1983)。本研究ではボーリング孔を用いて電気検層 (ノルマル電気検層とマイクロ電気検層) を行い、自然電位と電気比抵抗 (ノルマル電気比抵抗とマイクロ電気比抵抗) を測定した。電気検層には応用地質社製のジオロガー 3030 (Mark-2) を用い、この装置にELメジャリングモジュール (Model-3143A) を搭載して測定を行った。更にケーブルの先端にプローブと呼ばれるセンサーを接続し、このセンサーを孔内に挿入してデータを取得した。

自然電位とノルマル電気比抵抗は、ノルマル電気検層用のプローブ (Model-03174-0501) (電極間隔25, 50, 100cm) を用いて同時測定された。一方マイクロ電気比抵抗は、マイクロ電気検層用のプローブ (Model-03172-0501) (電極間隔2.5, 5.0cm) を用いて測定された。いずれも深度方向の測定間隔は5cmとした。自然電位の測定範囲は±2000mV、分解能は1mVである。自然電位とノルマル電気比抵抗は、孔壁の状況等に応じて6回に分けて、①深度0~60m, ②深度60~70m, ③深度83~100m, ④深度115~135m, ⑤深度135~309m, ⑥深度309~353mの区間についてそれぞれ別の日に測定を行った。また孔壁が安定しなかった深度では測定を行っていない。マイクロ電気比抵抗についても孔壁の状況等に応じて7回に分けて、①深度2~15m, ②深度15~60m, ③深度60~68m, ④深度83~96m及び深度115~135m, ⑤深度137~155m, ⑥深度155~308m, ⑦深度308~353mの区間についてそれぞれ別の日に測定を行った。このうち①の区間は別孔で測定した値である。別孔は本孔から北西に約1.5m離れた地点で掘削され、孔径86mm、深さは28mである。測定は深度25mまで行われ、このうち15mまでのデータを使用した。別孔を掘削したのは、コア再上部では本孔の孔径が大きく、プローブを孔壁に圧着して測定することができなかったためである。

4. 結果

4.1 層相記載とユニット区分

付図1に菖蒲コアの柱状図を示す。本稿では、隣接する上下の一連の地層と粒径、堆積構造等の層相上の特徴が明らかに異なっており、かつ層厚1m以上のものをユニットとした (ユニット1~69)。ただし、一部の層準 (ユニット29, 44, 51, 53の基底) では層相が漸移的に変化するため、これらの層準では層相変化の上限をユニット境界とした。また最下部のユニットについては下限が不明なため、層厚1m以下でもユニットとして識別した。以下にユニット1~69の各ユニットについて記載した。なおビニール片や不淘汰な角礫層を含む深度0~0.50mは盛土と判断し、ユニットには含めていない。また挟在するテフラ層名についてはSBT-のあとに各テフラ層の下限深度をつけて示した (SBT-2.13~SBT-326.43)。また全層準の写真を付図2に示した。

ユニット1 (深度0.50~1.82m, 層厚1.32m) : 本ユニットは粘土~シルトを主体とし、深度1.35mを境に上部は直立した植物根痕を含むシルト層、下部は泥炭層とシルト層の互層からなる。下位のユニット2は風化火山灰土であり、境界は色調や粒度の違いによって識別できる。

ユニット2 (深度1.82~4.57m, 層厚2.75m) : 本ユニットは風化火山灰土からなる。このうち深度2.78mを境に上部は有機質で暗灰色を呈するほか、上部から50cmには直立した植物根痕や植物片がみられる。一方下部は褐色を呈する。また深度1.89~2.13mには暗褐色火山灰土層中に火山ガラス片が濃集している (SBT-2.13) ほか、深度4.20~4.23mには火山灰層 (SBT-4.23) が、深度4.40~4.49mには軽石層 (SBT-4.49) が挟在する。

ユニット3 (深度4.57~7.32m, 層厚2.75m) : 本ユニットは不淘汰なシルト~シルト質砂層を主体とし、全体として上方細粒化する。深度5.62mを境に上部は直立した植物根痕の発達する凝灰質の粘土-シルト層で、緑灰色-灰褐色を呈する。一方下部は一部に弱い平行ラミナのみられる淘汰の悪い上方細粒化砂層で、上位のシルト-粘土層に漸移する。深度4.57~4.59mには軽石層 (SBT-4.59) が挟在する。

ユニット4 (深度7.32~9.66m, 層厚2.34m) : 本ユニットは不淘汰なシルト-シルト質砂層を主体とし、全体に直立した植物根痕や植物片を含む。このうち深度9.06m以浅は凝灰質のシルト-砂質シルトで、緑灰色~灰褐色を呈する。一方深度9.06m以深はシルト-シルト質細粒砂を主体とする砂泥互層で、厚さ数cm~10cm程度の逆級化及び正級化構造が顕著に認められる。下位のユニット5は泥分をほとんど含まない砂層であることから、泥質な本ユニットとの境界は明瞭に

識別される。

ユニット5 (深度 9.66~10.90m, 層厚 1.24m):本ユニットは泥分に乏しい細粒砂~中粒砂層を主体とし、高角の斜交葉理が特徴的にみられる。この砂層中の深度 9.90~10.90m には軽石と砂が葉理をつくっている (SBT-10.90)。本ユニットは少なくとも4枚の上方細粒化セットからなる。この砂層とユニット6の砂礫層との境界は粒度の違いにより識別される。

ユニット6 (深度 10.90~16.95m, 層厚 6.05m):本ユニットは砂礫層を主体とし、厚さ 10~50cm 程度の上方細粒化セットからなる。各セットの基底は、極粗粒砂や細礫及び中礫からなる。深度 14.90~15.00m はシルトや砂、細礫の薄層の互層からなる。また深度 13.30~13.70m は高角の斜交葉理の発達する砂層からなる。

ユニット7 (深度 16.95~21.20m, 層厚 4.25m):本ユニットはシルト-シルト質砂層を主体とし、直立した植物根痕や植物片を含む。また全体に緑灰色-灰褐色を呈する。深度 19.07m を境に上部は不淘汰なシルト-シルト質中粒砂を主体とする砂泥互層で、厚さ 3~15cm 程度の逆級化及び正級化構造が顕著に認められる。一方下部はシルトを主体とし、とくに深度 19.50m 以浅ではシルト質細粒砂のラミナが認められる。更に深度 20.70m 以深は不淘汰なシルト質細粒砂層に漸移する。この砂層とユニット8の泥層との境界は明瞭である。

ユニット8 (深度 21.20~23.13m, 層厚 1.93m):本ユニットは淘汰の良い中粒砂-細粒砂層を主体とし、全体に平行葉理または低角の斜交葉理が発達する。また葉理に沿って重鉱物が濃集する。また深度 22.40m 以深には白斑状の生痕化石 *Macaronichnus segregatis* が発達する。一方、本ユニットの最上部、深度 21.57m 以浅は植物根痕の発達したシルト-シルト質中粒砂層に漸移する。本ユニットの下位は高角の斜交葉理の発達する砂層に漸移するため、重鉱物の濃集層の最下部をもってユニット境界とした。

ユニット9 (深度 23.13~26.22m, 層厚 3.09m):本ユニットは高角の斜交葉理の発達する細粒砂-中粒砂層を主体とし、厚さ 10cm 程度の上方細粒化セットからなる。また深度 24.00m 付近には白斑状生痕化石 *Macaronichnus segregatis* が認められる。また深度 24.63~24.74m には軽石 (SBT-24.74) が散在し、深度 25.39~26.22m には、葉理に沿って軽石 (SBT-26.22) が挟在する。本ユニットの基底付近には直径 7cm を越えるマッドクラストがみられ、ユニット10の細粒砂層との境界は粒度の違いにより識別される。

ユニット10 (深度 26.22~27.53m, 層厚 1.31m):本ユニットは細粒砂-極細粒砂を主体とする淘汰の良い砂層で、平行葉理または低角の斜交葉理が発達する。また深度 26.80m 以深にはシルト層や上方細粒化砂層を挟み、巢穴化石がみられる。下位のユニットの泥層との境界は

粒度の違いにより識別される。

ユニット11 (深度 27.53~33.32m, 層厚 5.79m):本ユニットは淘汰の悪いシルト-砂質シルト層を主体とし、厚さ数 cm の細粒砂~極細粒砂をレンズ状に挟む。更に深度 29.45m と 29.90m 付近には層厚 10cm 程度の貝殻密集層が挟在する。この密集層に含まれる貝殻のほとんどは 5mm 以下の破片で同定不能だが、一部は海生の *Scapharca kagoshimensis* (サルボウ) に同定された。深度 30.00~31.20m 付近は生物擾乱が著しく、*Rosselia* isp. などの巢穴化石が認められる。また深度 30.10m からは汽水生の *Corbicula japonica* (ヤマトシジミ) が産出した。更に深度 32.20m 付近及び深度 33.10~33.30m には軽石 (SBT-32.20, SBT-33.30) が散在する。本ユニットの基底付近には、よく円磨されたマッドクラスト (直径 0.5~2cm) が密集し、下位の凝灰質シルト層とはこの密集層の基底を境に区分される。

ユニット12 (深度 33.32~36.84m, 層厚 3.52m):本ユニットはシルト-シルト質砂を主体とし、全体に凝灰質である。また直立した植物根痕や植物片が多く認められる。本ユニットの下部、深度 36.09m 以深は逆級化砂層が顕著に認められる砂泥互層である。深度 33.45~33.75m, 34.24~34.41m, 34.44~34.47m には軽石層が挟在する (それぞれ SBT-33.75, SBT-34.41, SBT-34.47)。本ユニットとユニット13の礫層との境界は粒度の違いにより識別される。

ユニット13 (深度 36.84~42.45m, 層厚 5.61m):本ユニットは重円礫~円礫層で、最大粒径は 5cm 程度、一部に粗粒砂層や中粒砂層を挟む。礫層は少なくとも 13 枚の上方細粒化セットからなり、最上部のセットは上部に斜交葉理の発達した中粒砂層~粗粒砂層がみられる。

ユニット14 (深度 42.45~47.09m, 層厚 4.64m):本ユニットは植物根痕を含むシルト-シルト質細粒砂層を主体とし、直立した植物根痕や植物片を多く含む。深度 43.55m と 43.85m 付近に直径 1cm 程度のマッドクラストが密集する。また深度 44.09m, 44.20m 付近には逆級化する極細粒砂の薄層が挟在する。更に深度 46.45m, 46.55m 付近には木片が挟在する。また深度 46.00~46.10m には軽石 (SBT-46.10) が散在する。本ユニットとユニット15の砂層との境界は粒度の違いにより識別される。

ユニット15 (深度 47.09~48.22m, 層厚 1.13m):本ユニットは細粒砂-中粒砂を主体とし、高角の斜交葉理が発達する。砂層は少なくとも4枚の上方細粒化セットからなる。

ユニット16 (深度 48.22~54.20m, 層厚 5.98m):本ユニットはシルト-砂質シルトを主体とし、厚さ 3~40cm 程度の砂層が挟在する。このうち深度 48.32~48.82m は有機質で褐色を呈し、木片や植物片が密集する。深度 52.48~52.93m には不自然な変形構造が認められる。

また深度 52.93~53.10m は不淘汰な軽石や火山岩片の密集層 (SBT-53.10) が挟在する。更に深度 53.60m 以深には厚さ 3~5cm 程度の逆級化砂層が認められる。本ユニットとユニット 17 の砂層との境界には明瞭な粒度の違いがみられる。この境界の上位は泥質で逆級化構造が特徴的に認められることから両者を区別した。

ユニット 17 (深度 54.20~56.11m, 層厚 1.91m) :本ユニットは中粒砂 - 粗粒砂を主体とし、高角の斜交葉理が発達する。また層厚 40~90cm 程度の上方細粒化セットからなる。また 55.30m 付近には中礫が含まれる。本ユニットとユニット 18 の礫層との境界は粒度の違いにより識別される。

ユニット 18 (深度 56.11~57.93m, 層厚 1.82m) :本ユニットは最大粒径 1.5cm 程度の垂円礫 - 円礫層を主体とし、少なくとも 3 枚の上方細粒化セットからなる。また深度 57.60m 付近にはマッドクラストが密集する。本ユニットとユニット 19 との境界はコアが欠落しているものの、粒度の違いにより識別される。

ユニット 19 (深度 58.00~64.00m, 層厚 6.00m) :本ユニットは緑灰色を呈するシルト - 砂質シルトを主体とし、直立した植物根痕や植物片がみられる。深度 58.65~59.13m は凝灰質で、深度 62.46~63.14m には軽石層 (SBT-63.14) が挟在する。この軽石層は顕著な逆級化を示し、上部はスコリア質である。本ユニットとユニット 20 との境界はコアが欠落しているものの、粒度の違いによって識別される。

ユニット 20 (深度 64.00~72.00m, 層厚 8.00m) :本ユニットは不淘汰な礫混じり砂層を主体とする。また深度 70.05~70.17m には軽石が散在する (SBT-70.17)。本ユニットはコアの攪乱が激しいために堆積構造は観察できない。本ユニットの基底は侵食面で、下位の貝殻まじり細粒砂層と接している。

ユニット 21 (深度 72.00~75.45m, 層厚 3.45m) :本ユニットは貝殻片を含む細粒砂 - 粗粒砂層を主体とする。このうち深度 72.00~72.15m は 1cm 程度の貝殻片を含む粗粒砂~中粒砂層で、深度 72.15m に侵食面を伴う。また深度 72.15~75.45m は比較的淘汰の良い細粒砂層からなる。本ユニットに含まれる貝殻はどれも破片化しており大部分は同定不能だが、深度 75.10m において海生の *Scapharca kagoshimensis* (サルボウ) が同定された。深度 75.44m 付近は貝殻片の密集層で、この貝殻密集層の基底をユニット 22 との境界とした。

ユニット 22 (深度 75.45~91.63m, 層厚 16.18m) :本ユニットは全体として不淘汰なシルト - 中粒砂層を主体とする砂泥互層で、直立した植物根痕や植物片を多く含む。このうち深度 75.45~90.08m には砂質シルトや極細粒砂の薄層が認められるほか、層厚 15~50cm 程度の正級化砂層及び逆級化砂層も挟在する。また本ユニットの下部、深度 90.08m 以深には少なくとも

4 枚の逆級化するシルト~砂層が認められる。更に深度 81.91~81.95m には軽石層 (SBT-81.95) を、深度 82.64~82.66m には軽石及びブスコリア層 (SBT-82.66) を、深度 82.74~82.78m には火山灰層 (SBT-82.78) が挟在する。本ユニットとユニット 23 との境界は粒度の違いにより識別される。

ユニット 23 (深度 91.63~105.60m, 層厚 13.97m) :本ユニットは円礫~垂円礫層を主体とし、最大礫径は 6cm、少なくとも 21 枚の上方細粒化セットからなる。本ユニットの最上部、深度 92.00m 以浅は砂層に漸移する。

ユニット 24 (深度 105.60~106.63m, 層厚 1.03m) :本ユニットは淘汰の良い極細粒砂 - 細粒砂層を主体とし、平行葉理または低角の斜交葉理が発達する。また深度 106.07m 以深には葉理に沿って破碎された貝殻片が認められる。更に深度 106.60m 付近には破碎された貝殻片の密集層がみられ、この貝殻密集層の基底を境に、ユニット 25 と区別される。

ユニット 25 (深度 106.63~114.90+m, 層厚 8.27m 以上) :本ユニットは比較的淘汰の悪い砂質シルト - シルト質極細粒砂層を主体とする。本ユニットの深度 106.63~114.50m には貝殻片がみられ、とくに深度 108.30m, 109.68m, 112.40m 付近には破碎された貝殻片の密集層が挟在する。本ユニットに含まれる貝殻はほとんどが同定不能であるが、深度 113.80m と 114.45m にはそれぞれ海生の *Ringiculina doliaris* (マメウラシマガイ) と *Dentalium (Paradentalium) octangulatum* (ヤカドツノガイ) が認められた。深度 114.50m 以深には巢穴化石及び植物片が認められる。深度 114.90~117.15m はコアが欠落しているため、下位のユニットとの境界面は不明だが、この欠落部を挟んだ下位のユニットには貝殻片や巢穴化石などが認められないこと、及び植物片や植物根痕を含むことから両者は区別される。

ユニット 26 (深度 117.15~124.20m, 層厚 7.05m 以上) :本ユニットはシルト - 砂質シルト層を主体とし、ところどころに厚さ 10~30cm 程度の砂層が挟在する。砂層は主に正級化するが、一部に逆級化するものも認められる。本ユニットには全体に直立した植物根痕や植物片が多く認められる。本ユニットとユニット 27 は層相が漸移的に変化し、境界が不明瞭であるが、ここでは砂質シルトの基底をもってユニット境界とした。

ユニット 27 (深度 124.20~135.33m, 層厚 11.13m) :本ユニットは垂円礫~円礫層を主体とする。最大礫径は 5cm で、少なくとも 21 の上方細粒化セットからなる。

ユニット 28 (深度 135.33~138.73m, 層厚 3.40m) :本ユニットは細粒砂 - 中粒砂を主体とし、平行葉理または低角の斜交葉理が発達する。深度 137.40m 以深には葉理に沿って貝殻片が認められる。深度 138.70m 付近には貝殻密集層がみられ、この貝殻密集層の基底をユ

ニット 29 との境界とした。

ユニット 29 (深度 138.73~147.40m, 層厚 8.67m) : 本ユニットは全体として淘汰の悪いシルトや砂質シルトを主体とし、貝殻片や生痕化石、植物片を多く含む。深度 143.00m を境に上部は貝殻の密集層や正級化砂層、極細粒砂の薄層を多く挟在する。一方下部はシルトを主体とし、生物擾乱が著しく、堆積構造はほとんど認められない。このシルト層中には海生の巻貝、合弁の二枚貝の化石が多く含まれており、*Ringiculina doliaris* (マメウラシマガイ) や *Raetellops pulchellus* (チヨノハナガイ) が認められる。また深度 146.76~146.81m には、生息姿勢を保持した *Dosinella angulosa* (ウラカガミ) が産出する。泥層を主体とする本ユニットと砂質なユニット 30 との境界は層相が漸移するため不明瞭であるが、上方細粒化する砂質泥層の上限を両者の境界とした。

ユニット 30 (深度 147.40~156.70m, 層厚 9.30m) : 本ユニットは不淘汰な泥質砂層~砂質泥層を主体とする。本ユニットには少なくとも 6 層準に貝殻片が密集している。また深度 153.15m 以深には生痕を多く含む。本ユニットの基底の深度 156.70m には貝殻片が密集する。ユニット 29 と同様に海生の巻貝や二枚貝が多く含まれ、*Ringiculina doliaris* (マメウラシマガイ)、*Raetellops pulchellus* (チヨノハナガイ)、*Macoma tokyoensis* (ゴイサギガイ)、*Dosinella angulosa* (ウラカガミ) などが認められる。また深度 156.70m 付近には貝殻密集層がみられ、この密集層の基底をユニット 31 との境界とした。

ユニット 31 (深度 156.70~164.95m, 層厚 8.25m) : 本ユニットは不淘汰なシルト - 砂質シルトを主体とし、厚さ 20~60cm 程度の正級化砂層やシルトの薄層が挟在する。このユニットは生痕化石の有無などにより、深度 161.90m を境に上下 2 つのサブユニットに分けることができる。上部のサブユニットには全体に生物擾乱が発達する。一方下部のサブユニットでは直立した植物根痕が多く認められ、深度 162.70~162.90m はマッドクラストを含む黒色の泥炭質または有機質のシルト層が挟在する。また深度 163.47~163.90m には逆級化構造が認められる。本ユニットの最下部 (深度 164.30m 以深) は高角の斜交葉理の発達する中粒砂~粗粒砂層で、6 枚の上方細粒化セットからなる。本ユニットとユニット 32 との境界は粒度の違いにより識別される。

ユニット 32 (深度 164.95~184.45+m, 層厚 19.50m 以上) : 本ユニットは淘汰の悪いシルト - 砂質シルトを主体とし、ところどころに層厚 15~40cm 程度の正級化砂層や逆級化砂層が挟在する。本ユニットには全体に植物片や木片、植物根痕が多く認められる。本ユニットには 10 枚のテフラ層が挟在する。このうち深度

173.55~173.93m には軽石が散在する (SBT-173.93)。また深度 178.50m 以深は全体に凝灰質であり、深度 179.57~179.63m には軽石層 (SBT-179.63) を、深度 179.84~179.86m, 179.94~179.95m, 180.03~180.04m には火山灰層 (SBT-179.86, SBT-179.95, SBT-180.04) を、深度 180.25~180.27m, 180.43~180.49m, 182.27~182.33m には軽石層 (SBT-180.27, SBT-180.49, SBT-182.33) を、更に深度 182.85~182.87m にはレンズ状にガラス質火山灰層 (SBT-182.87) が挟在する。また深度 179.90~180.40m 及び深度 181.40~182.46m には泥炭質または有機質シルト層が認められる。本ユニットとユニット 32 の礫層との境界はコアが欠落しているものの、粒度の違いにより識別される。

ユニット 33 (深度 184.80~186.09m, 層厚 1.29m) : 本ユニットは垂円 - 円礫層を主体とし、最大礫径は 3cm である。深度 185.73~185.92m には中粒砂層が挟在する。

ユニット 34 (深度 186.09~192.20m, 層厚 6.11m) : 本ユニットはシルト - 粘土層を主体とし、ところどころに泥炭質シルトまたは有機質シルトをシーム状にはさみ、成層構造が認められる。この泥層中の深度 188.79~189.62m には軽石層 (SBT-189.62) が挟在する。またこの泥層を含む深度 188.29~191.88m には、直径数 mm 程度の鉱物がパッチ状に析出する。この鉱物の色は、コア半割直後には青白色を呈し、時間の経過とともに暗青色に変化した。したがってこの鉱物は藍鉄鉱であると判断した。本ユニットとユニット 35 の砂層との境界は粒度の違いにより識別される。

ユニット 35 (深度 192.20~194.38m, 層厚 2.18m) : 本ユニットは中粒砂 - 極粗粒砂を主体とする。更に高角の斜交葉理が発達し、少なくとも 4 枚の上方細粒化セットからなる。そのうち 2 枚のセットの基底は細礫を含む。また最下部のセットの基底は中礫からなる。

ユニット 36 (深度 194.38~212.50+m, 層厚 18.12m 以上) : 深度 199.95~219.00m は、コアの形状が安定しないため、半割は行わなかった。したがって観察できる堆積構造等は限定される。本ユニットはおおむね砂泥互層からなり、植物片や直立した植物根痕が頻りにみられる。深度 194.48~194.50m には火山灰層 (SBT-194.50) が認められるほか、深度 196.21~196.30m には軽石が点在する (SBT-196.30)。また深度 201.74~201.85m にはコアの欠落部分を挟んで軽石層が挟在する (SBT-201.85)。深度 212.50~213.52m はコアが欠落しているため、下位のユニットとの境界は不明だが、この欠落部を挟んだ下位は礫層であることから、両者は区別される。

ユニット 37 (深度 213.52~216.40m, 層厚 2.88m 以上) : 本ユニットは垂円~円礫層を主体とし、最大礫径は 3cm である。

ユニット 38（深度 216.40～223.83m，層厚 7.43m）：本ユニットはシルト - シルト質細砂を主体とする。全体に植物片を含み，深度 221.40～222.00m 付近には直立した植物根痕が認められる。また本ユニットの下部（深度 223.30m 以深）には逆級化構造が頻繁に認められる。本ユニットと下位のユニット 39 との境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 39（深度 223.83～225.75m，層厚 1.92m）：本ユニットは中粒砂 - 粗粒砂を主体とし，全体に上方細粒化傾向が認められる。深度 225.50 m 以深の砂層には高角の斜交葉理が発達し，その基底には細礫を含む。この砂層の基底をユニット境界とした。

ユニット 40（深度 225.75～229.56m，層厚 3.81m）：本ユニットは亜円礫 - 円礫層を主体とし，最大粒径は 5cm である。本層のうち，一部には上方細粒化の粒度変化が認められる。上部は深度 226.60m 付近を境に粗粒砂 - 中粒砂層に漸移する。

ユニット 41（深度 229.56～234.32m，層厚 4.76m）：本ユニットは粘土 - シルトを主体とし，灰 - オリーブ灰色を呈する。また全体に直立した植物根痕や植物片を多く含む。本ユニット下部，深度 232.60m 以深には逆級化構造が頻繁に認められる。本ユニットとユニット 42 との境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 42（深度 234.32～235.70m，層厚 1.38m）：本ユニットは粗粒砂を主体とし，深度 235.30m 以深では高角の斜交葉理が認められる。本ユニットとユニット 43 の礫層との境界は粒度の違いにより識別される。

ユニット 43（深度 235.70～237.35m，層厚 1.65m）：本ユニットは亜円 - 円礫を主体とする。最大礫径は約 9cm である。深度 236.10～237.20m のコア欠落部を挟んで下部は中礫を，上部は細礫を主体とする。

ユニット 44（深度 237.35～239.58m，層厚 2.23m）：本ユニットはシルト - 砂質シルトを主体とし，緑灰色を呈する。深度 238.10～238.80m には植物片や直立した植物根痕が認められる。また深度 239.40m 以深には成層構造が認められる。泥層を主体とする本ユニットと砂質なユニット 45 との境界は層相が漸移するため不明瞭であるが，上方細粒化する砂質泥層の上限を両者の境界とした。

ユニット 45（深度 239.58～241.12m，層厚 1.54m）：本ユニットは中粒砂 - 粗粒砂を主体とし，少なくとも 2 枚の上方細粒化セットからなり，セットの基底には細礫やマッドクラストを含む。本ユニットの下部，深度 239.40m 以深には高角の斜交葉理が認められる。本ユニットの下位は泥層で，本ユニットとユニット 46 との境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 46（深度 241.12～242.52m，層厚 1.40m）：本ユニットはシルト - 砂質シルトを主体とし，全体に緑灰色を呈する。上部（深度 241.90m 以浅）には直立し

た植物根痕が認められる。また深度 242.30m 付近には径 5cm の礫を含む。本ユニットとユニット 47 の礫層との境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 47（深度 242.52～248.30+m，層厚 5.78m 以上）：本ユニットは亜円 - 円礫層を主体とし，最大礫径は 6cm である。本ユニットとユニット 48 の砂層との境界はコアが欠落しているものの，粒度の違いによって識別される。

ユニット 48（深度 250.30～253.50+m，層厚 3.20m 以上）：本ユニットは細粒砂～中粒砂層を主体とする。このうち上部の深度 251.45m 以浅は礫混じりで，深度 251.30～251.40m に最大礫径 6cm 程度の亜円～円礫層が挟在する。本ユニットには明瞭な構造や化石等が認められないことから，ユニット 49 とは区別される。

ユニット 49（深度 253.90～258.85m，層厚 8.55m 以上）：本ユニットは細粒砂 - 中粒砂を主体とし，全体に貝殻を含む。また深度 254.60m 付近や 254.75m 付近にはマッドクラストを含む。本ユニットのうち深度 254.79m 以浅は中粒砂を主体とし，高角の斜交葉理が発達する。また少なくとも 4 つの上方細粒化セットが認められ，斜交葉理に沿って貝殻片が認められる。一方深度 254.79m 以深は比較的淘汰の良い細粒砂 - 中粒砂を主体とし，平行葉理または低角の斜交葉理が認められる。葉理に沿った貝殻密集層が多く認められる。また深度 256.27～258.07m には厚さ数 mm のリズムカルな砂泥互層や生物擾乱の著しい砂質泥層が挟在する。砂質な本ユニットと，泥を主体とするユニット 50 は，粒度の違いによって区別できる。

ユニット 50（深度 258.85～260.30m，層厚 1.45m）：本ユニットは不淘汰なシルト - 砂質シルトが卓越する。全体に貝殻片を含み，薄い貝殻密集層やレンズ状の砂層がところどころに挟在する。貝殻密集層には，汽水生の *Potamocorbula* sp. (ヌマコダキガイ類) の破片が多く，海生の *Scapharca kagoshimensis* (サルボウ) もわずかに含まれる。本ユニットの基底には貝殻片が密集し，この貝殻密集層の基底をユニット 51 との境界とした。

ユニット 51（深度 260.30～263.10m，層厚 2.80m）：本ユニットは不淘汰なシルト - 砂質シルトを主体とする。深度 262.00m 以浅には *Rosselia* isp. などの巣穴化石が認められる。また深度 260.50～261.00m 付近には成層構造が認められる。また深度 262.45～263.10m には砂の薄層が挟在する。シルトを主体とする本ユニットと，砂質なユニット 52 との境界は層相が漸移するため不明瞭であるが，シルトの下限をもってユニット境界とした。

ユニット 52（深度 263.10～266.10m，層厚 3.00m）：本ユニットは中粒砂 - 粗粒砂を主体とし，少なくとも 6 枚の上方細粒化セットからなる。セットの基底には細

礫やマッドクラストが認められる。また深度 264.40～266.10m には高角の斜交葉理が発達する。

ユニット 53 (深度 266.10～277.20m, 層厚 11.10m) : 本ユニットはシルト - 砂質シルトを主体とし、ところどころに層厚 10～50cm 程度の砂層が挟在する。また全体に植物片を、下部に直立した植物根痕を含む。更に深度 266.90～267.30m 付近には木片がみられる。一方深度 274.30～274.70m には巢穴化石が、深度 268.49～268.50m には軽石層 (SBT-268.50) が挟在する。シルトを主体とする本ユニットと砂質なユニット 54 との境界は層相が漸移するため、不明瞭であるが、ここでは上方細粒化する砂層の上限をユニット境界とした。

ユニット 54 (深度 277.20～278.62+m, 層厚 1.42m 以上) : 本ユニットは細粒砂 - 粗粒砂を主体とする。深度 277.23～278.62m には高角の斜交葉理が発達し、少なくとも 4 枚の上方細粒化セットからなる。この砂層中の深度 277.60m 以浅には植物片を、深度 278.30m 付近にはマッドクラストを含む。本ユニットとユニット 55 の境界はコアが欠落しているために確認できないものの、粒度の違いにより識別される。

ユニット 55 (深度 278.80～282.87m, 層厚 4.07m 以上) : 本ユニットは淘汰の悪いシルト - 砂質シルトを主体とし、ところどころに厚さ 10～20cm 程度の細粒砂 - 中粒砂層が挟在する。本ユニットは全体に植物片を含み、深度 281.20m 以浅には植物根痕を、深度 282.30m 以深には巢穴化石を含む。また深度 281.49～281.87m には、厚さ数 mm のリズミカルな砂泥互層がみられる。本ユニットの下位は砂層で、本ユニットとユニット 56 との境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 56 (深度 282.87～284.73m, 層厚 1.86m) : 本ユニットは細粒砂 - 中粒砂を主体とする。この砂層は 8 枚の上方細粒化セットからなり、セットの基底には一部にマッドクラストが認められる。また本ユニットの上部、深度 283.40m 以浅には高角の斜交葉理が発達する。また深度 283.40m 付近には植物片を含む。本ユニットとユニット 57 の泥層との境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 57 (深度 284.73～297.95m, 層厚 13.22m) : 本ユニットは不淘汰なシルト - 砂質シルトを主体とし、ところどころに厚さ数～30cm 程度の砂層が挟在する。砂層は逆級化や正級化を示すものが多い。本ユニットには全体に植物片や直立した植物根痕がみられる。また深度 294.70m には木片が挟在する。本ユニットとユニット 58 との境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 58 (深度 297.95～299.53m, 層厚 1.58m) : 本ユニットは中粒砂 - 粗粒砂を主体とし、少なくとも 2 枚の上方細粒化セットからなる。本ユニットとユニット 59 の礫層との境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 59 (深度 299.53～300.86+m, 層厚 1.33m 以上) : 本ユニットは円礫 - 垂円礫を主体とする礫層で、最大礫径は 4cm である。本ユニットとユニット 60 との境界はコアが欠落しているため観察できないものの、粒度の違いによって識別できる。

ユニット 60 (深度 301.24～302.60m, 層厚 1.36m 以上) : 本ユニットは礫層に挟まれた泥層と砂層からなる。深度 301.70m を境に上部は中粒砂 - 極細粒砂を主体とする上方細粒化砂層で、高角の斜交葉理を伴う。一方下部は淘汰の悪い砂質シルト - シルト質粘土を主体とする。一部に直立した植物根痕や植物片を含み、緑灰色を呈する。本ユニットとユニット 61 の礫層との境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 61 (深度 302.60～307.35m, 層厚 4.75m) : 本ユニットは最大礫径 5cm 程度の垂円 - 円礫層を主体とする。本礫層はコアの欠落が多く不明瞭なものの、深度方向に礫径変化が認められる。

ユニット 62 (深度 307.35～314.25m, 層厚 6.90m) : 本ユニットは中粒砂を主体とし、少なくとも 10 枚の上方細粒化セットからなる。また一部に高角の斜交葉理を伴う。深度 313.20～313.24m に軽石が挟在する (SBT-313.24m)。本ユニットとユニット 63 との境界は粒度の違い及び、貝殻片、巢穴化石の有無によって識別される。

ユニット 63 (深度 314.25～318.01m, 層厚 3.76m) : 本ユニットは淘汰の良い細粒砂層を主体とし、最上部の深度 314.55m 以浅には巢穴化石が、深度 315.19m 以深には貝殻片が認められる。また深度 316.00m 以深には平行葉理または低角の斜交葉理が認められ、葉理に沿って貝殻片が密集する。貝殻片のほとんどは 10mm 以下で同定不能であるが、海生の *Scapharca kagoshimensis* (サルボウ) が認められる場合がある。本ユニットとユニット 64 との境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 64 (深度 318.01～320.24m, 層厚 2.23m) : 本ユニットは不淘汰なシルト - 砂質シルトを主体とする。本ユニットの上部、深度 318.40 m 以浅には貝殻片が認められ、深度 318.40m 付近にみられる厚さ 4cm の貝殻密集層を境に下部には巢穴化石が認められる。ユニット 65 は砂層で、本ユニットとの境界は粒度の違いによって識別される。

ユニット 65 (深度 320.24～324.25m, 層厚 4.01m) : 本ユニットは中粒砂 - 粗粒砂を主体とし、高角の斜交葉理を伴う。本ユニットは少なくとも 8 枚の上方細粒化セットからなる。セットの基底には一部細礫を含む。深度 321.40～321.46m には軽石が散在する (SBT-321.46)。

ユニット 66 (深度 324.25～331.97m, 層厚 7.72m) : 本ユニットはシルト - 砂質シルトを主体とし、ところどころに層厚 20～30cm 程度の砂層が挟在する砂泥互層からなる。全体に植物片を含み、深度 328.15m 付近

菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

には木片が挟在する。本ユニットの下部、深度 331m 以深には逆級化砂層が顕著に認められる。更に深度 324.53~324.56m、及び 325.42~326.43m には火山灰層 (SBT-324.56, SBT-326.43) が挟在する。また深度 328.68m 付近には軽石が散在する (SBT-328.68)。本ユニットと下位のユニット 67 との境界は、粒度や淘汰度の違い、逆級化構造の有無によって識別される。

ユニット 67 (深度 331.97~333.95m, 層厚 1.98m 以上): 本ユニットは粗粒砂を主体とし、少なくとも 3 枚の上方細粒化セットからなる。セットの基底には 2cm 程度の礫がみられることもある。また一部に高角の斜交葉理が認められる。本ユニットが砂層中に礫が挟在するのに対して、ユニット 68 は礫を主体とすることから、両者は区別される。

ユニット 68 (深度 334.00~349.60m, 層厚 15.60m): 本ユニットは垂円・円礫層を主体とし、最大礫径は 6cm 程度である。このうち 342.10m 以浅、及び深度 342.70~342.90m、深度 347.40~349.60m はマトリックスが流失しているために、堆積構造が不明であるが、深度方向に礫径の変化が繰り返されているようにみえる。

ユニット 69 (深度 349.91~350.20+m, 層厚 0.29m 以上): 本ユニットは泥層を主体とする。菖蒲コアでは本ユニットの基底は確認できない。

4.2 放射性炭素年代測定結果

菖蒲コアでは 2 層準から放射性炭素年代測定値が得られた。このうちユニット 1 の泥炭層中の深度 1.68~1.71m からは、1680-1530 cal BP、ユニット 2 の風化火山灰土層の暗色層にあたる深度 2.36~2.39m から 21250-20550 cal BP の放射性炭素年代測定値がそれぞれ得られた (第 3 表)。

4.3 テフラ分析結果

菖蒲コアから 39 層準のテフラ層 (SBT-2.13~SBT-326.43) を見出し、このうち 32 層準についてはサンプルを採取し、篩い分けを行った。それぞれのテフラの層相、粒径、火山ガラスの形状、重鋳物組成を第 4 表

に示した。各テフラの層相については既に 4.1 節で記載した。軽石層は一般に結晶粒の比率が比較的多いか、長石などの結晶の表面にガラスが付着しているものが多いが、SBT-10.90 は砂層中のラミナに沿って軽石粒が濃集していて、火山ガラスを主体としている。重鋳物の種類では、全体的には輝石を含むものが多いが、SBT-82.78, SBT-173.93, SBT-180.49, SBT-189.62, SBT-268.50m のテフラは角閃石を比較的多く含んでいる。また火山灰層では、SBT-179.86, SBT-182.87, SBT-324.56 が火山ガラスを比較的多く含む。なお SBT-2.13 は肉眼ではテフラ層として認識できないが、火山灰質土壌中に火山ガラス片が濃集している。

各テフラのうち火山ガラスを多く含む SBT-10.90, SBT-173.93, SBT-179.86, SBT-182.87, SBT-189.62, SBT-194.50, SBT-324.56 については火山ガラスのエネルギー分散型 X 線マイクロアナライザー (EDX) による化学分析を、更にそのうち SBT-10.90, SBT-179.86, SBT-182.87, SBT-324.56 については火山ガラスの屈折率も測定した。これらの化学分析、及び屈折率測定結果を第 5 表に示す。火山ガラスの化学組成の特徴としては、SBT-324.56 は特に FeO* (FeO として計算した全 Fe) や MgO が他のテフラと比べて高く、更に屈折率も高い値を示している。また K₂O の値として SBT-173.93, SBT-189.62, SBT-194.50 は 2% 台とやや低く、SBT-179.86 は 4% 台と高い値を示している。

4.4 密度測定結果

湿潤嵩密度: 試料は砂層 - 泥層で計 458 個採取され、深度 0~29m では約 12.5cm 間隔、深度 29~69m では約 25cm 間隔、深度 69~197m では約 50cm 間隔で採取した。また 200m 以深では深度 278~294m で 10 個採取した。湿潤嵩密度の測定結果を第 3 図 a に示す。湿潤嵩密度は 1.09~2.05g/cm³ の値をとる。湿潤嵩密度の値は深度方向に変化し、深度約 90m 以浅では深度が深くなるほど値が大きくなる傾向がある。またおおむね砂層では相対的に高い値を、泥層では相対的に低い値を示す。なお礫層からは試料を採取していない。一方深度約 160m 以深では、類似した層相でも値のばらつ

第 3 表 菖蒲コアの放射性炭素年代測定結果。

Table 3 Radiocarbon dates obtained from GS-SB-1 core.

Depth [m]	Material	δ ¹³ C [‰]	Radiometric age [BP]	Conventional ¹⁴ C age [BP]	Calibrated age (1σ) [cal BP]	¹⁴ C	Sample code
1.68 - 1.71	peat	-19.41±0.80	1560±30	1650±30	1680 - 1530		IAAA-71155
2.36 - 2.39	volcanic ash soil containing organic fragments	-18.28±0.38	17539±70	17640±70	21250 - 20550		IAAA-71156

第4表 菖蒲コアに産出する主なテフラ.

Table 4 Major tephra from GS-SB-1 core.

Code	Depth (m)	Type or facies	Grain size	Shape of glass shard*	Heavy mineral composition**
+ SBT-2.13	1.89 - 2.13	glass shards concentrated in soil	very fine sand	H, C	
+ SBT-4.23	4.20 - 4.23	volcanic ash layer	very fine sand		Opx>Ho
+ SBT-4.49	4.40 - 4.49	pumice layer	< granule		
+ SBT-4.59	4.57 - 4.59	pumice layer	< very coarse sand		
+ SBT-10.90	9.90 - 10.90	laminated pumice layer	< very coarse sand	C, T	Opx>Ho
SBT-24.74	24.63 - 24.74	scattered pumice grains	< coarse sand		
+ SBT-26.22	25.39 - 26.22	laminated pumice grains	granule - medium sand		
SBT-32.20	32.20 - 32.20	scattered pumice grains	< granule		
+ SBT-33.30	33.10 - 33.30	scattered pumice grains	< coarse sand		
+ SBT-33.75	33.45 - 33.75	scattered pumice grains	< coarse sand		Opx,Cpx,Cum,Ho
+ SBT-34.41	34.24 - 34.41	scattered pumice grains	< very coarse sand		
+ SBT-34.47	34.44 - 34.47	pumice layer	< very coarse sand		
+ SBT-46.10	46.00 - 46.10	scattered pumice grains	very coarse - coarse sand	T	Opx>Cpx
+ SBT-48.69	48.66 - 48.69	scattered pumice grains	< granule		
+ SBT-53.10	52.92 - 53.10	pumice and lithic fragment layer	< pebble (<5mm)		Opx,Cpx>Ho
+ SBT-63.14	62.46 - 63.14	pumice and scoria layer	< coarse sand		Ho,Opx,Cpx
SBT-70.17	70.05 - 70.17	scattered pumice grains	< pebble (<15mm)		
+ SBT-81.95	81.91 - 81.95	pumice layer	< very coarse sand		Opx>Cpx
+ SBT-82.66	82.64 - 82.66	pumice and scoria layer	coarse sand		Opx,Cpx
+ SBT-82.78	82.74 - 82.78	volcanic ash layer	medium sand		Ho,Cum
+ SBT-173.93	173.55 - 173.93	scattered pumice grains	< pebble (<10mm)	T	Ho>Opx
+ SBT-179.63	179.57 - 179.63	pumice layer	coarse sand		Ho,Opx>>Cum
+ SBT-179.86	179.84 - 179.86	volcanic ash layer	fine sand	C, T	Opx,Cpx
+ SBT-179.95	179.94 - 179.95	volcanic ash layer	fine sand		Opx,Cpx,Ho
+ SBT-180.04	180.03 - 180.04	volcanic ash layer	very coarse sand		Ho,Opx,Cpx
+ SBT-180.27	180.25 - 180.27	pumice layer	coarse-medium sand	T	Opx,Cpx,Ho
+ SBT-180.49	180.43 - 180.49	pumice layer	very coarse-coarse sand	T > C	Ho>Opx
+ SBT-182.33	182.27 - 182.33	scattered pumice grains	< granule		
+ SBT-182.87	182.85 - 182.87	volcanic ash layer	very fine sand - silt	H, C > T	Ho,Opx
+ SBT-189.62	188.79 - 189.62	pumice layer	< very coarse sand	T	Ho>Cum
+ SBT-194.50	194.48 - 194.50	volcanic ash layer	< medium sand	T	
SBT-196.30	196.21 - 196.30	scattered pumice grains	coarse sand		
SBT-201.85	201.74 - 201.85	pumice layer	< pebble (< 5mm)		
+ SBT-268.50	268.49 - 268.50	pumice layer	very coarse -coarse sand		Ho>Opx
+ SBT-313.24	313.20 - 313.24	scattered pumice grains	coarse sand		
SBT-321.46	321.40 - 321.46	scattered pumice grains	very coarse sand		
+ SBT-324.56	324.53 - 324.56	volcanic ash layer	fine sand - silt	T > C	Opx,Cpx
+ SBT-326.43	326.42 - 326.43	volcanic ash layer	very fine sand - silt		
SBT-328.68	328.68 - 328.68	scattered pumice grains	very coarse sand		

+ Sampled tephra

* H: H-type(bubble-wall type), C: C-type, T: T-type(pumice type) after Yoshikawa (1976)

** Opx: Orthopyroxene, Cpx: Clinopyroxene, Ho: hornblende, Cum: Cummingtonite

きが大きくなる。

ガンマ線換算密度: ガンマ線強度は計 27844 点で測定値が得られ、コアの継ぎ目等のデータを除いた 25064 点を有効な値として使用した。MSCL で測定したガンマ線強度を第 3 図 b に、ガンマ線換算密度を第 3 図 c にそれぞれ示す。ガンマ線強度から換算した密度は 1.10 ~ 2.22g/cm³ の値をとる。深度 140m 付近までは深度が大きくなるにつれ値が大きくなる傾向がある。相対的に密度の高い区間 (高密度層) は 11 層準で認められる (第 3 図 c)。それらは上位より深度 5~17m 付近, 21~23m 付近, 37~43m 付近, 56~58m 付近, 64~71m 付近, 92~106m 付近, 125~136m 付近, 196~198m 付近, 264~265m 付近, 324~325m 付近, 343~349m 付近である。

ガンマ線換算密度と湿潤嵩密度の関係: 第 4 図にガンマ線換算密度と、それに対応する深度の湿潤嵩密度の関係を示した。ガンマ線換算密度と湿潤嵩密度は比較的よく相関するものの (相関係数 R=0.71), 近似式から大きく外れている値もみられる (第 4 図 a)。例

えば深度 0~20m についてみると、湿潤嵩密度とガンマ線換算密度には高い相関が認められる (相関係数 R=0.83) (第 4 図 b)。一方、深度 140~160m ではガンマ線換算密度は狭い範囲 (約 1.5~1.6g/cm³) に値が集中するのに対して湿潤嵩密度は 1.1~2.0g/cm³ 程度のばらつきがみられる (相関係数 R=0.16) (第 4 図 c)。深度 20m 以浅では堆積物がやわらかく、キューブ内に堆積物が充填されている。一方、深度 140~160m では、圧密の影響で堆積物が固く、キューブ内に堆積物が完全に充填されない場合がある。更にこの深度では、貝殻を多産するため、試料採取時にキューブの縁によって貝殻片が押し切れられ、堆積物を乱して空隙が生じてしまう。このため堆積物の充填率が下がる可能性がある。また、これを避けるために、貝殻が少ない層準を試料採取したことなどの理由で、その深度の平均的な密度を代表していない場合がある。以上のような理由から、キューブ試料を用いた密度測定法は、ガンマ線透過率を利用した密度測定とくらべて、貝殻片の有無など堆積物構成物の違いにより、測定値にばらつきが

菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

第5表 菖蒲コアの主なテフラ及び対比候補テフラの火山ガラスの屈折率及びEDXによる主成分化学組成。主成分化学組成は合計を100%として計算した値。またFeO*は総FeをFeOとして計算した値。

Table 5 Refractive index and chemical composition of glass shards taken from GS-SB-1 core tephras. Those from known regional tephras are also shown for reference. Major element composition was calculated such that a total sum is 100%.

Tephra sample	Refractive index	Major element composition (wt %) (Lower : Standard deviation)									(n.)
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	
SBT-10.90	1.501-1.502	75.88	0.18	13.76	1.08	0.11	0.20	1.64	3.52	3.62	15
10.78-10.80m		0.21	0.05	0.08	0.06	0.06	0.04	0.08	0.11	0.08	
SBT-173.93		78.05	0.18	12.92	1.26	0.02	0.30	1.74	3.26	2.26	15
173.85m		0.49	0.05	0.25	0.13	0.04	0.06	0.13	0.13	0.13	
SBT-179.86	1.500-1.504	78.61	0.25	11.56	1.23	0.02	0.21	1.22	2.61	4.27	15
179.84-179.86m	(1.500-1.502)	0.24	0.06	0.08	0.09	0.04	0.06	0.05	0.09	0.08	
SBT-182.87	1.502-1.506	77.46	0.26	12.47	1.41	0.02	0.31	1.41	3.62	3.02	15
182.85-182.87m	(1.504-1.505)	0.22	0.07	0.10	0.10	0.04	0.05	0.06	0.09	0.06	
SBT-189.62		78.49	0.13	13.00	1.11	0.02	0.29	1.69	3.18	2.11	15
188.79-189.62m		0.20	0.05	0.06	0.10	0.03	0.06	0.04	0.10	0.05	
SBT-194.50		78.22	0.09	12.99	0.93	0.00	0.30	1.44	3.51	2.51	13
194.48-194.50m		0.16	0.04	0.07	0.10	0.00	0.05	0.10	0.09	0.16	
SBT-324.56	1.510-1.513	74.23	0.32	13.71	2.46	0.01	0.46	2.10	3.42	3.28	13
324.53-324.56m		0.27	0.05	0.10	0.10	0.02	0.07	0.08	0.07	0.06	
On-Pm1	1.501-1.504	76.04	0.16	13.72	1.00	0.09	0.21	1.58	3.54	3.67	15
Suwa-GS400 210.30-210.50m		0.23	0.06	0.12	0.09	0.07	0.05	0.09	0.09	0.08	
Ks5	1.504-1.505	77.62	0.28	12.45	1.37	0.04	0.29	1.39	3.57	2.99	15
Funaki,Nagara,Chiba Pref.		0.22	0.06	0.09	0.06	0.06	0.05	0.05	0.09	0.07	
Naruohama IV	1.502-1.504	77.57	0.24	12.61	1.26	0.03	0.37	1.36	3.53	3.04	20
SA-FY-1 142.30-142.35m		0.24	0.06	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05	0.12	0.07	

*Calculated assuming that all Fe compose FeO.

n.: number of samples

生じやすいと考えられる。

4.5 帯磁率測定結果

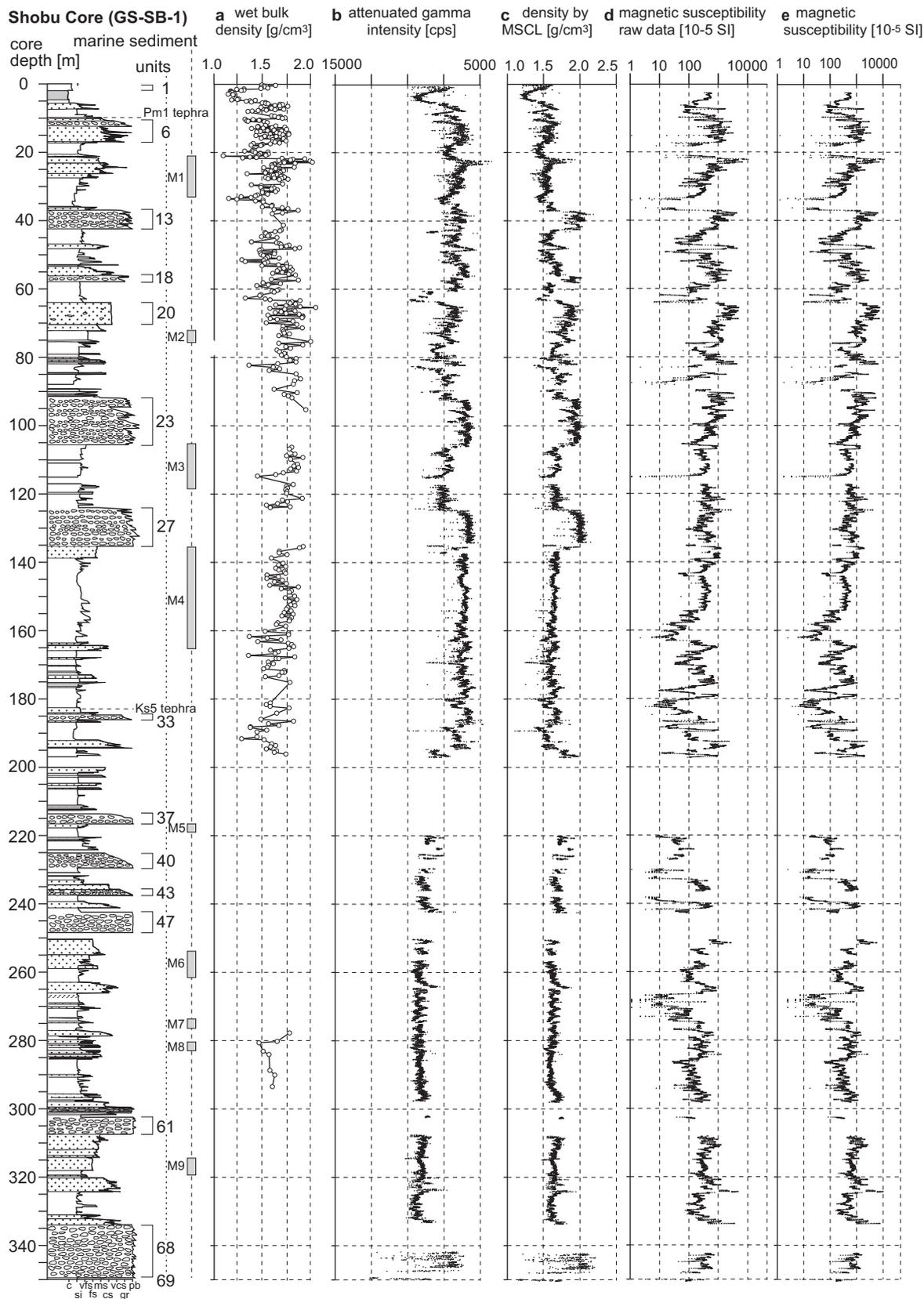
MSCLによって測定した帯磁率の測定結果を第3図dに示す。計27844点で測定値が得られ、コアの継ぎ目等のデータを除いた計25036点の値を有効な測定値として用いた。また測定した帯磁率を3.5節の(2)式を用いてコア径などの影響を補正した補正帯磁率(以下帯磁率)の値を第3図eに示す。帯磁率は $-158 \sim 12595 \times 10^{-5}$ SIの値をとる。深度23m付近、38m付近、68m付近、82m付近、95m付近、251m付近、265m付近、323m付近、334m付近などに相対的に高い値を示す層準が認められる。これらの層準は基本的に砂層が多く、一部の礫層でも高い値を示す。例えば深度23m付近には顕著なピークが認められるが、この層準は重鉱物の濃集する細粒砂層からなる。一方深度18~20m付近、34~36m付近、83~84m付近などには帯磁率のとくに低い層準が認められ、これらの層準では負の値をとる。上記の層準はいずれも緑灰色を呈する泥層からなる。

4.6 弾性波速度測定結果

弾性波速度の測定結果を第2図b, cに示す。深度57~59m, 62~64m, 66~81m, 93~114m, 132~135mについては孔壁が安定しなかったため、計測を行うことができなかった。数層準の相対的に速度の大きな層準(高速度層)を除いて、P波速度はおおむね1400~2000m/sec, S波速度はおおむね100~600m/secであり、いずれも深度とともに速度が増加していく傾向が認められる(第2図b, c)。一方、厚さ30m以下の高速度層が数層準存在し、そのP波速度はおおむね1600~3700m/sec, S波速度はおおむね300~1500m/secである。欠測区間のない深度135m以深では、P波, S波ともに深度182~188m付近, 212~216m付近, 226~229m付近, 241~248m付近, 302~308m付近, 333~349m付近などに高速度層が認められる。高速度層はそれぞれユニット37, 40, 43, 47, 61, 68の砂礫層にほぼ対応している。

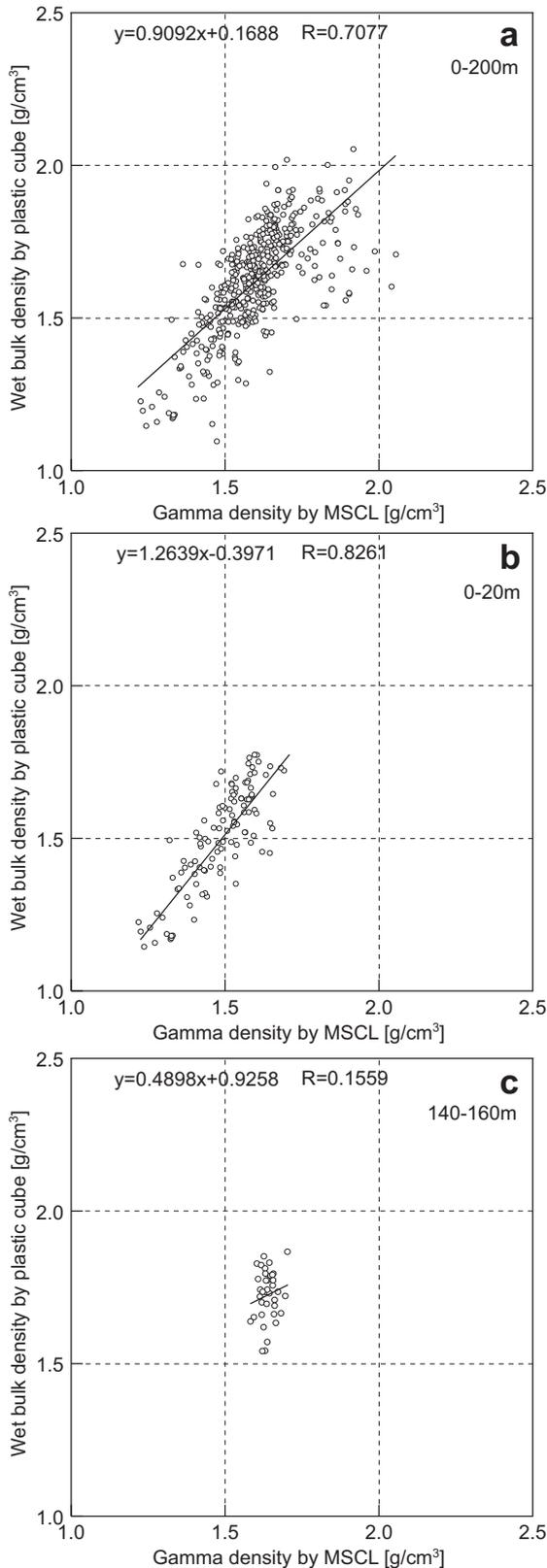
4.7 自然電位と電気比抵抗の測定結果

自然電位についてはノルマル電気検層で、電気比抵



第3図 葛蒲コアの堆積物物性値。(a) 湿潤嵩密度, (b) 透過ガンマ線強度, (c) ガンマ線換算密度, (d) 帯磁率 (測定値), (e) 帯磁率 (補正值)。

Fig. 3 Physical properties of GS-SB-1. Wet bulk density (a), attenuated gamma ray intensity (b), density calculated from attenuated gamma ray intensity (c), magnetic susceptibility (raw data) (d), magnetic susceptibility (e) are shown.



第4図 湿潤嵩密度とガンマ線換算密度との相関図。(a) 深度0~200m, (b) 深度0~20m, (c) 深度140~160mについてそれぞれ示す。

Fig. 4 Correlation charts of wet bulk density and density converted from gamma ray intensity. Data from 0-200m (a), 0-20m (b), 140-160m (c) in depth are shown.

抗については、ノルマル電気検層とマイクロ電気検層の双方によって測定した。その結果を第2図 d, e, f に示す。ノルマル電気検層は孔壁が安定しなかった深度70~83m及び100~115mでは測定を行うことができなかった。またマイクロ電気検層についても、孔壁が安定しなかった深度68~83m, 96~115m, 135~142mでは測定を行うことができなかった。また深度0~2mについては、ケーシングが入った状態で測定されたため、有効な測定値が得られなかった。

自然電位の測定結果をみると(第2図 d), 自然電位は地表から深度50m付近までは小さな増減を伴いながら値が低下する一方、深度50~140mでは深度方向に値が増大する(第2図 d)。また、ところどころに相対的に自然電位の高い層準がみられる。欠測区間のない深度約140m以深についてみると、深度211~215m付近, 222~228m付近, 244~247m付近, 262~264m付近, 302~307m付近, 323~330m付近などに自然電位の高い層準がみられた。

ノルマル電気比抵抗の測定結果をみると(第2図 e), 比抵抗値の高い層準と低い層準が繰り返しみられ、相対的に電気比抵抗値の高い層準は、欠測区間のある深度70~115mを除くと、深度11~17m付近, 21~27m付近, 36~41m付近, 46~48m付近, 55~57m付近, 125~134m付近, 333~349m付近などに認められる。これらの高比抵抗層はそれぞれユニット6, 8~10, 13, 18, 27, 68の礫層または砂層にほぼ対応している。一方深度135~309mの区間は上下の層準に比べて値の変化が小さく、全体に低い値を示すが、このうち深度210~247mには不明瞭ながらも局所的に高い値を示す箇所が繰り返し認められ、この層準は比較的薄い礫層と砂泥層の繰り返しからなるユニット37~47にほぼ対応するほか、深度304~307m付近にも小さなピークが認められ、この層準はユニット61の礫層にほぼ対応する。

マイクロ電気比抵抗の測定結果をみると(第2図 f), ノルマル電気比抵抗に比べて小刻みに値が変化する。またノルマル電気比抵抗と同様に比抵抗値の高い層準と低い層準が繰り返しみられ、相対的に電気比抵抗値の高い層準は、欠測区間のある深度68~137mを除くと、深度21~27m付近, 36~42m付近, 46~48m付近, 53~62m付近, 331~350m付近などにみられる。これらの高比抵抗層はそれぞれユニット6, 8~10, 13, 18, 27, 68の礫層または砂層にほぼ対応している。一方深度155~308mの区間は値の変化が小さく、全体に低い値を示すが、このうち深度210~247mには、不明瞭ながらも局所的に高い値をとる層準が繰り返し認められ、この層準は比較的薄い礫層と砂泥層の繰り返しからなるユニット37~47にほぼ対応している。

上記のように、電気比抵抗(ノルマル及びマイクロ)

には上下の層準に比べて値の振幅が小さい層準がみられる。一般に電気検層は泥水の比抵抗の影響を受けるが(物理探査学会, 1998), 菖蒲コアの電気検層は7区間の測定区間ごとに測定時期が異なっており, 測定時期ごとに泥水の比抵抗値が異なっていた可能性がある。すなわち他の区間は掘削の休止または終了後3日~2週間後に測定を行ったのに対して, ノルマルの深度135~309m, マイクロの137~398mの区間は休止後の翌日~翌々日にかけて測定を行ったため, より濃度の高い(電気比抵抗の低い)泥水の影響が残り, 他の区間よりも低い電気比抵抗値となった可能性がある。

5. 考察

5.1 海成層の識別

地層を対比するために海成層について検討した。層相からは6層準の海成層を識別することができた。一方で納谷ほか(2009)の珪藻分析では9層準に海成層が識別されている。菖蒲コアでは海生珪藻化石を産出しつつも肉眼観察では海成層の特徴がみとめられない層準や, 肉眼観察では明らかに海成層の特徴を示しながらも珪藻化石の全く産出ししない層準が一部に認められる。そこで本稿では, コアの層相と納谷ほか(2009)の珪藻分析結果とを総合的に検討し, 海成層の分布深度を検討した。海成層の深度は第2図に示す。以下に各海成層M1~M9について示す。

M1 (深度: 21.20~33.32m: ユニット8~11): ユニット8の深度21.57~23.13mの砂層には, 海浜相に特徴的にみられる白斑状生痕化石, *Macaronichnus segregatis* が多産する。またユニット11の深度29.35~32.60mには貝殻片がみられる。これらの層準は漸移的な層相変化を示すことから, ユニット8~ユニット11は一連の海成層である可能性が高い。更にユニット11の基底は侵食面で, ユニット内に層相変化がみられないことからユニット11の基底は海進面である可能性が高い。以上から深度21.20~33.32mを海成層とした。一方珪藻分析によって認定された海成層は深度27.625~32.875mであり(納谷ほか, 2009), この範囲に入っている。以上から深度21.20~33.32mを海成層M1とした。

M2: (深度: 72.00~75.45m: ユニット21): ユニット21は貝殻片を含む不淘汰な泥層を主体とし, 深度72.00~72.45mには貝殻片を含むこと, ユニット21はユニット内に層相変化がほとんどなく, かつ上下は侵食面であることから, ユニット21は一連の海成層と考えられ, 深度72.00~75.45mを海成層と判断した。一方珪藻分析によって認定された海成層は深度75.45mであり(納谷ほか, 2009), 上記の範囲に入っている。以上から深度72.00~75.45mを海成層M2とした。

M3: (深度: 105.60~118.375m: ユニット24~26の

一部): ユニット24の深度106.07mからユニット25の深度114.50mには貝殻片を含むこと, 及びユニット24, 25はユニット内に層相変化がないことから, ユニット24~25は一連の海成層と考えられる。一方珪藻分析によって認定された海成層は深度114.375~118.375mであり, これより上部には珪藻化石を全く含まない(納谷ほか, 2009)。またユニット26は植物根痕や植物片を含む陸成層の層相を示すこと, 及びユニット25~26にかけては明瞭な侵食面がないことから, この海成層の基底は漸移的であり, ユニット26は陸成層から海成層に漸移する層準と考えられる。そこで, 本稿では海生珪藻化石が産出する深度118.375m以浅を海成層とし, 深度105.60~118.375mを海成層M3とした。

M4: (深度: 135.33~164.85m: ユニット28~31): ユニット28の深度137.40mからユニット30の深度156.70mには貝殻片を含むこと, 及びユニット28及び30はユニット内に層相変化がほとんどないことから, ユニット28~30は一連の海成層と考えられる。とくにユニット30の基底は貝化石の密集する明瞭な侵食面であり, ラビンメント面と考えられる。ただこの侵食面の下位のユニット31の上位にも *Rosselia* isp. などの生痕化石が多く認められることから, 海成層の基底はユニット31にあると考えられる。珪藻分析によって認定された海成層は深度157.32~164.875mに分布することから(納谷ほか, 2009), 海成層の基底は164.875mとした。以上から深度135.33~164.875mを海成層M4とした。

M5: (深度 216.6~219.3m, ユニット38の一部): ユニット38は, 泥層を主体とし, 層相からは海成層と判断できない。しかし, 珪藻分析によれば深度216.6~219.3mが海成層と認定されている(納谷ほか, 2009)。このことはユニット38が潮間帯や干潟のような海域と陸域との漸移的な環境を示す可能性がある。ここでは珪藻分析で認定された海成層の深度216.6~219.3mをそのままM5とした。

M6: (深度: 253.90~262.0m: ユニット48の一部~51の一部): ユニット48の深度253.90mから~ユニット50の深度260.30mには貝殻片が認められる。またユニット48は深度253.90mを境に上位では淘汰が悪くなる。したがってここではユニット48の下部~ユニット50を一連の海成層と判断した。一方ユニット51は *Rosselia* isp. などの生痕化石を含む泥層を主体とする。また珪藻分析では深度255.1~262.0mが海成層と認定され(納谷ほか, 2009), ユニット51は陸成層から海成層へ漸移する層準と考えられる。したがってここでは海生珪藻の産出する下限深度の262.0mを海成層の下限とし, 深度253.90~260.30mを海成層M6とした。

M7: (深度: 273.72~276.30m: ユニット53の一部): ユニット53は, 泥層から泥質砂層を主体とし, 一部に生痕化石が認められるものの, 貝化石等の明瞭な海成

層を示す証拠は認められない。しかし、珪藻分析では深度 273.72~276.3m が海成層と識別されている (納谷ほか, 2009)。このことから、ユニット 53 は潮間帯や干潟のような海域と陸域との漸移的な環境を示す可能性が高い。ここでは珪藻分析で認定された海成層の深度 273.72~276.30m をそのまま海成層 M7 とした。

M8: (深度: 280.60~282.80m: ユニット 55 の一部): ユニット 55 は、植物根痕を含む泥層を主体とし、一部深度 281.49~281.87m には、厚さ数 mm のリズムカルな砂泥互層がみられるものの、貝化石等の明瞭な海成層を示す証拠は認められない。しかし、珪藻分析では、深度 280.6~282.6m が海成層と識別されている (納谷ほか, 2009)。このことからユニット 55 は潮間帯や干潟のような海域と陸域との漸移的な環境で堆積した可能性が高い。ここでは珪藻分析で認定された海成層の深度 280.60~282.80m をそのまま海成層 M8 とした。

M9: (深度: 314.4~319.25m: ユニット 63 ~ 64): ユニット 63 の深度 315.15 からユニット 64 の深度 318.42m には貝殻片が含まれる。このうちユニット 64 で貝殻片を含むのは上部のみで、下部は生痕化石を含むことから、陸成層から海成層への漸移的な層準と考えられる。一方珪藻分析によって認定された海成層は深度 314.4~319.25m に分布する。以上から深度 314.4~319.25m を海成層 M9 とした。

5.2 地層の対比及び年代に関する予察

ここではテフラや海成層にもとづいて、コアの上半部を中心に地層の年代を検討する。

5.2.1 テフラ対比

菖蒲コアにみられる 39 層準のテフラ (SBT-2.13~SBT-326.43) のうち、SBT-10.90 と SBT-182.87 は火山ガラスの化学分析及び屈折率測定結果からそれぞれ御岳 Pm1 テフラ (町田・新井, 2003) と Ks5 テフラ (町田ほか, 1980; 徳橋・遠藤, 1984) に対比される可能性が高いことが明らかになった。以下にその根拠を示す。

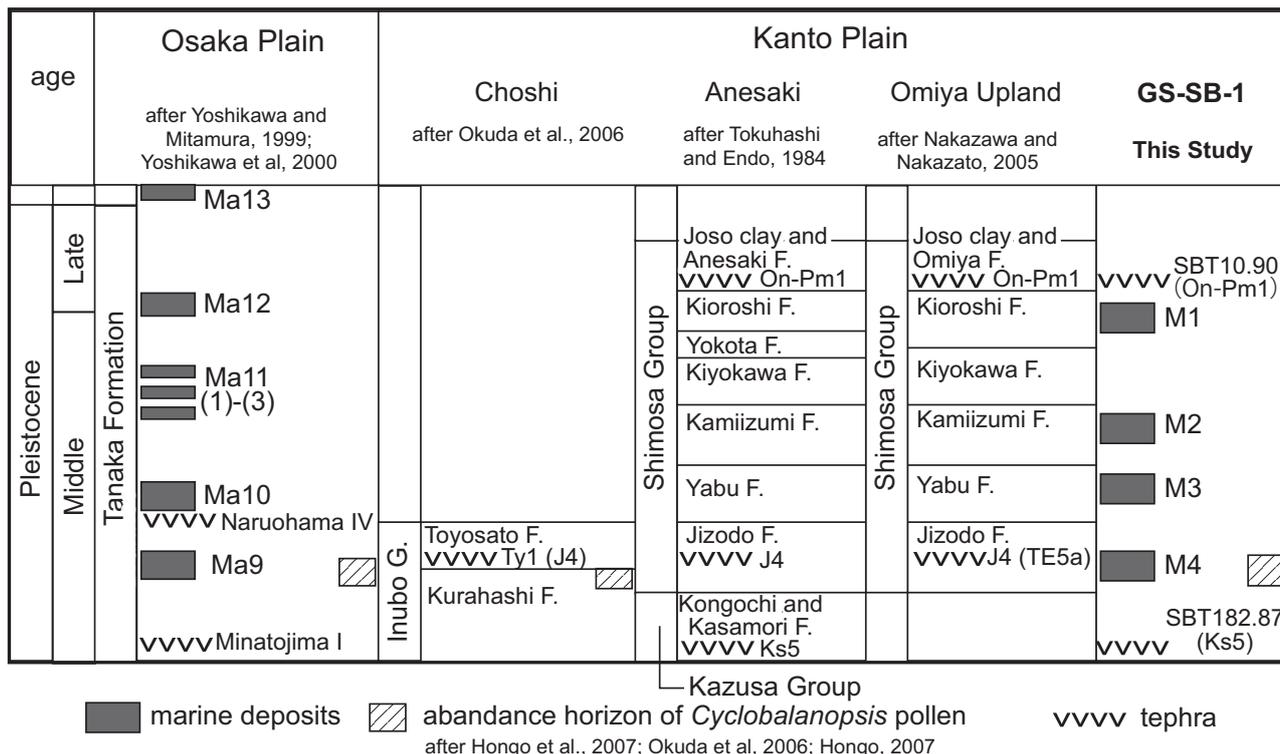
御岳 Pm1 テフラ: SBT-10.90 (深度 9.90~10.90m) は火山ガラスを主体とする細粒軽石であり、対応するテフラの候補は、関東平野では御岳起源の軽石層 (町田, 1973) にほぼ限定される。そこで後期更新世以降で中部地方以西起源の広域テフラをほとんど網羅していると考えられる長野県高野層中に狭在するテフラの化学分析値 (入谷ほか, 2005; 長橋ほか, 2007) について検討した。これら分析値をみると、御岳 Pm1 テフラ (On-Pm1 (ca.100ka): 町田・新井, 2003; Kobayashi et al., 1968 の Pm-I) に対比されているテフラの化学分析値は、菖蒲コアの SBT-10.90 の値とすべての主成分組成において類似しており、また御岳 Pm1 以外に全主成分組成の類似したテフラはない。更に諏訪湖沿岸域で掘削されたボーリングコア (GS400) の深度 210.30

~210.50m から得られた御岳 Pm1 テフラ (山崎ほか, 1991) の試料を使って EDX 分析を行ったところ (第 5 表)、菖蒲コアの SBT-10.90 の分析値とすべての主成分組成がよく一致した。これらのことから、SBT-10.90 は御岳 Pm1 に対比される可能性が高い。なお御岳 Pm1 は重鉱物として角閃石や黒雲母が多いのに対して、SBT-10.90 には重鉱物として斜方輝石が多く含まれている。砂層中に葉理をつくって堆積する SBT-10.90 の産状から判断すると、これらの斜方輝石は他の碎屑層に由来するものと考えられる。

Ks5 テフラ: SBT-182.87 (深度 182.85~182.87m) も同様に火山ガラスを主体とする細粒火山灰層であり、広域テフラの可能性が高い。このテフラの火山ガラスの屈折率と化学組成値は、個性的な特徴もつとは言えないが、町田・新井 (2003)、吉川ほか (2000) などによる前・中期更新世テフラの分析リストから対比候補を選ぶと、全ての主成分組成が類似するものは上総層群笠森層に挟まる Ks5 テフラ (町田ほか, 1980; 徳橋・遠藤, 1984) と大阪平野地下に見られる鳴尾浜 IV テフラ (吉川ほか, 2000) である。そこで千葉県長生郡長柄町船木で採取した Ks5 テフラと、鳴尾浜 IV テフラに対比されている埼玉県深谷市で掘削された SA-FK-1 コアの深度 142.30 ~ 142.35m の火山灰層 (水野ほか, 2004) を比較のために分析した (第 5 表)。これらの火山ガラスの屈折率、全主成分化学組成はともに類似しており、両者を容易に判別することはできない。大阪平野地下では、Ks5 テフラに対比される港島 I テフラ (吉川ほか, 2000) と上位の鳴尾浜 IV テフラの間には Ma9 層と呼ばれる海成粘土層が挟まっており、その層準は房総半島の下総層群地蔵堂層に対比される海洋酸素同位体ステージ 11 と考えられている (吉川・三田村, 1999)。この層準はコナラ属アカガシ亜属花粉が高率で産出することが特徴である (Okuda et al., 2006; Hongo, 2007) が、菖蒲コアにおいては、深度約 141m から 160m にアカガシ亜属が優勢な層準があり、酸素同位体ステージ 11 の温暖期の海進で形成された海成層 (M4) であると考えられている (本郷ほか, 2007)。したがってこの層位学的な関係からは、SBT-182.87 は Ks5 テフラに対比される可能性が高いと考えられる。Ks5 テフラは上総層群上部の笠森層と金剛地層に認められる火山灰である (徳橋・遠藤, 1984)。Ks5 テフラは酸素同位体ステージ 12 に降下したと考えられている (町田・新井, 2003)。

5.2.2 地層の対比

前項で示した M1~M9 の海成層のうち、最も特徴的なものは M4 (深度 137.40~164.85m) である。M4 は最も厚い海成層で、層厚は 27.45m である。またテフラの対比の項で示したように、M4 はステージ 11 の温暖期に堆積した海成層と考えられることから、この海



第5図 菖蒲コア上部の海成層及びテフラと関東平野及び大阪平野における各地層との層位関係。

Fig. 5 Stratigraphic relations among upper GS-SB-1 core and previous studies in and around Kanto plain and Osaka plain based on marine sediments and tephra layers.

成層を含む地層は房総半島の地蔵堂層に対比できる。したがってM4の基底からKs5までの間に下総層群と上総層群の境界がくるはずであるが、層相ではその境界を判別することができない。以上から下総層群と上総層群の境界は、深度約165～183mの間にあると考えられる(第5図)。

菖蒲コアの下総層群相当層には4枚の海成層(M1～M4)が認められることになる。大宮台地付近の地下約150m以浅には4枚の海成層が認められ(中澤・遠藤, 2002), それらは上位より房総半島の木下層, 上泉層, 藪層, 地蔵堂層に対比されている(中澤・中里, 2005)。中澤・中里(2005)によれば, 木下層と上泉層の間に挟まる清川層にあたる層準は, 大宮台地地下ではすべて陸成層であり, 清川層に相当する高海面期には大宮台地付近まで海域が達しなかったためと解釈されている。これらの点を考慮すると, 大宮台地北縁に位置する菖蒲コアにみられるM1～M3の海成層はそれぞれ木下層, 上泉層, 藪層に対比される可能性が高い。またM1とM2の間にみられる比較的厚い陸成層は清川層に相当する層準を含んでいる可能性がある。

一方M1(深度21.57～32.88m)上位のユニット1～7は, 層厚20mを超える陸成層からなる。このうちユニット1(深度0.50～1.82m)は, 深度1.68～1.71mから1680-1530 cal BPの年代値が得られことから, 現

在の低地を埋める沖積層と考えられる。またユニット5(深度9.76～10.90m)の深度9.90～10.90mにはOn-Pm1テフラ(約10万年前)が挟在する。中澤・遠藤(2002)によれば, 大宮層及び大宮層と一部同時異相の関係にある常粘粘土層中にはOn-Pm1が産出すること, 及び砂礫を主体とするユニット5の層相から, ユニット5は, 大宮層の一部と考えられる。

上総層群相当層には5枚の海成層(M5～M9)が認められることになる。これらの対比については他の既存コアとの比較を含めて, 今後の課題である。なお深度140～165mのシルト主体の層準及び深度334～350mの礫層は, 菖蒲コア全体のなかでも特徴的に厚く, 周辺の他のコアとの比較や反射法探査による反射面との対比を行う上で, 鍵層になるものと期待される。

6. まとめ

関東平野中央部, 埼玉県菖蒲町で掘削された深度350mコア(菖蒲コア: GS-SB-1)の基本的な層相記載と¹⁴C年代, テフラ, 密度, 弾性波速度, 自然電位, 電気比抵抗の各分析・測定を行った。その結果, 以下の点が明らかになった。

- 1) 菖蒲コアは12枚の砂礫層とそれに挟まれた砂層及び泥層からなり, 層相の連続性をもとに69枚のユ

ニットに区分した。

- 2) 菖蒲コアには39層準にテフラ (SBT-2.13~SBT-326.43) が挟まれている。このうち SBT-10.90 は御岳 Pm-1 テフラに, SBT-182.87 は Ks5 テフラに対比される可能性が高い。
- 3) コアの層相と納谷ほか (2009) の珪藻分析結果を総合的に検討し, 9層準の海成層 (M1~M9) の分布深度を示した。
- 4) テフラや¹⁴C年代値等から, ユニット1 (深度0.50~1.82m) は沖積層に, ユニット5 (深度9.76~10.90) は大宮層の一部に, またユニット29~31 (深度138.73~164.95m) にみられる最も厚い海成層 (M4) は地蔵堂層の一部におおむね相当する。
- 5) 上総層群と下総層群は層相ではその境界を判別することができないが, テフラと海成層の層序学的な関係から, 両者の境界は深度165~183mの間に位置すると考えられる。

謝辞: 本研究を行うにあたり, 埼玉県菖蒲町役場及び埼玉県杉戸県土整備事務所には掘削用地利用の許可をいただいた。コアの掘削, 採取, 物理検層調査は大洋地下調査株式会社によって行われた。地質情報研究部門の中島 礼博士には, 貝化石の同定をしていただいた。また査読者である同部門の小松原琢博士並びに担当委員である活断層研究センターの金田平太郎博士には適切なコメントをいただき, 本稿を大幅に改善することができた。記して謝意を表します。

本研究は科学技術振興調整費「統合化地下構造データベースの構築」(平成18年度), 及び産業技術総合研究所の運営交付金「関東平野の地震動特性と広域地下水流動系の解明に関する地質学的総合研究」(平成18~19年度) を使用して行った。

文 献

Bronk Ramsey, C. (1995) Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program, *Radiocarbon*, **37**, 425-430.

Bronk Ramsey, C. (2001) Development of the radiocarbon calibration program OxCal, *Radiocarbon*, **43**, 355-363.

物理探査学会 (1998) 物理探査ハンドブック. 物理探査学会, 東京. 1336p.

物理探査学会 (2005) 新版物理探査用語辞典. 愛智出版, 東京. 279p.

古澤 明 (1995) 火山ガラスの屈折率測定・形態分類とその統計的な解析. 地質雑, **101**, 123-133.

Geotek (2000) Geotek MSCL manual. Geotek. Daventry. UK. 127p. Online: <http://www.geotek.co.uk/ftp/manual.pdf>

林 武司・内田洋平 (2005) 水文環境図 No.3「関東平野」, CD-ROM, 産業技術総合研. 究所地質調査総合センター.

Hongo, M. (2007) Stratigraphic distribution of *Hemiptelea* (Ulmaceae) pollen from Pleistocene sediments in the Osaka sedimentary basin, southwest Japan. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **144**, 287-299.

本郷美佐緒・山口正秋・納谷友規・中里裕臣・水野清秀 (2007) 関東平野中央部菖蒲コア上部に認められるコナラ属アカガシ亜属花粉の多産層準. 日本第四紀学会講演要旨集, no.37, 78-79.

池原 研 (1997) 地質調査所 (海洋地質関係) で所有する堆積物試料の分析・観察装置. 堆積学研究, **46**, 67-69.

入谷 剛・北川陽一・大井信夫・古澤 明・宮脇理一郎 (2005) 長野県北部, 上部更新統高野層のテフラと花粉分析に基づく環境変遷. 第四紀研究, **44**, 323-338.

貝塚爽平 (1987) 関東の第四紀地殻変動. 地学雑誌, **96**, 223-240.

関東平野中央部地質研究会 (1994) 関東平野中央部の地下地質の編年と対比. 地団研専報, no.42, 154-164.

Kobayashi, K., Minagawa, K., Machida, M., Shimizu, H. and Kitagawa, K. (1968) The Ontake pumice-fall deposit Pm-I as a late Pleistocene time-marker in central Japan. *Jour. Fac. Sci. Shinshu Univ.*, **3**, 171-198.

町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺]. 東京大学出版会, 東京, 336p.

町田 洋・新井房夫・杉原重夫 (1980) 南関東と近畿の中部更新統の対比と編年—テフラによる一つの試み—. 第四紀研究, **19**, 233-261.

町田瑞男 (1973) 武蔵野台地北部及びその周辺地域における火山灰層位学的研究. 地質雑, **79**, 167-180.

水野清秀・須貝俊彦・八戸昭一・中里裕臣・杉山雄一・石山達也・中澤 努・松島紘子・細矢卓志 (2004) ボーリング調査から推定される深谷断層南東部の地質構造と活動性. 活断層・古地震研究報告, 産総研地質調査総合センター, no.4, 69-83.

長橋良隆・佐藤孝子・竹下欣宏・田原敬治・公文富士夫 (2007) 長野県, 高野層ボーリングコア (TKN-2004) に挟在する広域テフラ層の層序と編年. 第四紀研究, **46**, 305-325.

中澤 努・遠藤秀典 (2002) 大宮地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 41p.

中澤 努・中里裕臣 (2005) 関東平野中央部に分布する更新統下総層群の堆積サイクルとテフロクロロジー. 地質雑, **111**, 87-93.

- 納谷友規・山口正秋・水野清秀 (2009) 菖蒲コアにおける珪藻化石出現層準と淡水成層準及び海成層準の識別. 地質調査研究報告, **60**, 245-256.
- Okuda, M., Nakazato, H., Miyoshi, N., Nakagawa, T., Okazaki, H., Saito, S. and Taira, A. (2006) MIS11-19 pollen stratigraphy from the 250-m Choshi core, northeast Boso Peninsula, central Japan : Implications for the early/mid-Brunhes (400-780ka) climate signals. *Island Arc*, **15**, 338-354.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C., Blackwell, P.G., Buck, C.E, Burr, G, Cutler, K.B., Damon, P.E, Edwards, R.L, Fairbanks, R.G, Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G, Manning, S., Bronk Ramsey, C., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J., and Weyhenmeyer, C.E. (2004) INTCAL04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, **46**, 1029-1058.
- 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.
- 鈴木宏芳 (2002) 関東平野の地下地質構造. 防災科学技術研究所研究報告, **63**, 1-19.
- Tittman, J. and Wahl, J.S. (1965) The physical foundations of formation density logging (gamma-gamma). *Geophysics*, **30**, 284-294.
- 徳橋秀一・遠藤秀典 (1984) 姉崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 136p.
- 東京地盤調査研究会 (1959) 東京地盤図. 技報堂, 東京, 114p.
- 山本荘毅 (1983) 新版地下水調査法. 古今書院, 東京, 490p.
- 山崎晴雄・下川浩一・水野清秀・鹿島 薫 (1991) 地殻構造調査. 科学技術庁研究開発局「中部日本活構造地域の地震テクトニクスに関する研究 (第 I 期, 第 II 期) 成果報告書」, 69-79.
- 吉川周作 (1976) 大阪層群の火山灰層について. 地質雑, **82**, 479-515.
- 吉川周作・三田村宗樹 (1999) 大阪平野第四系層序と深海底の酸素同位体比層序との対比. 地質雑, **105**, 332-340.
- 吉川周作・水野清秀・加藤茂弘・里口保文・宮川ちひろ・衣笠善博・三田村宗樹・中川康一 (2000) 神戸市東灘 1,700m ボーリングコアの火山灰層序. 第四紀研究, **39**, 505-520.

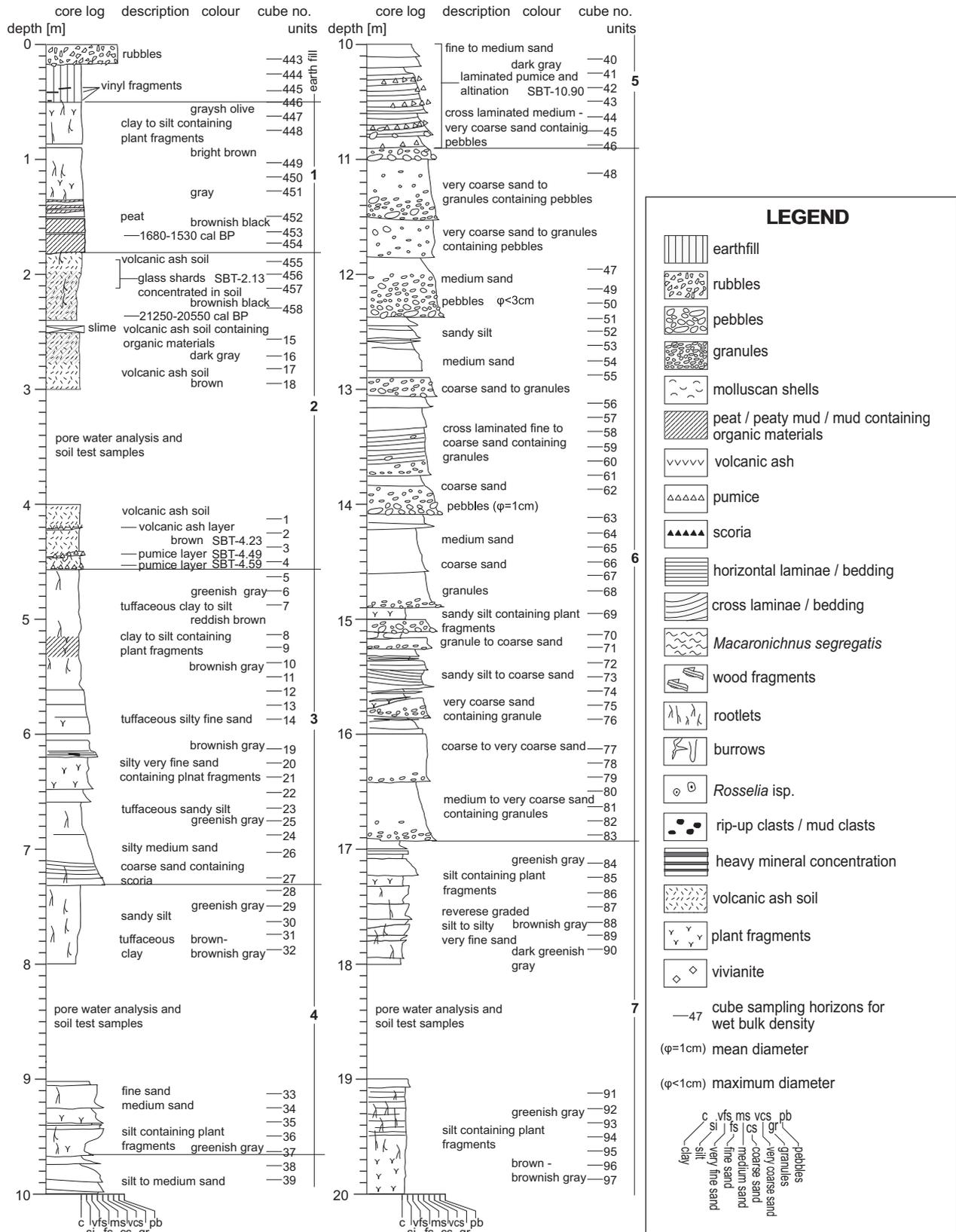
(受付: 2008年4月11日; 受理 2008年11月26日)

菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

付図1 菖蒲コアの詳細柱状図. 湿潤嵩密度測定試料 (キューブ試料) の採取層準, ¹⁴C年代測定試料の採取層準及び年代値もそれぞれ示した.

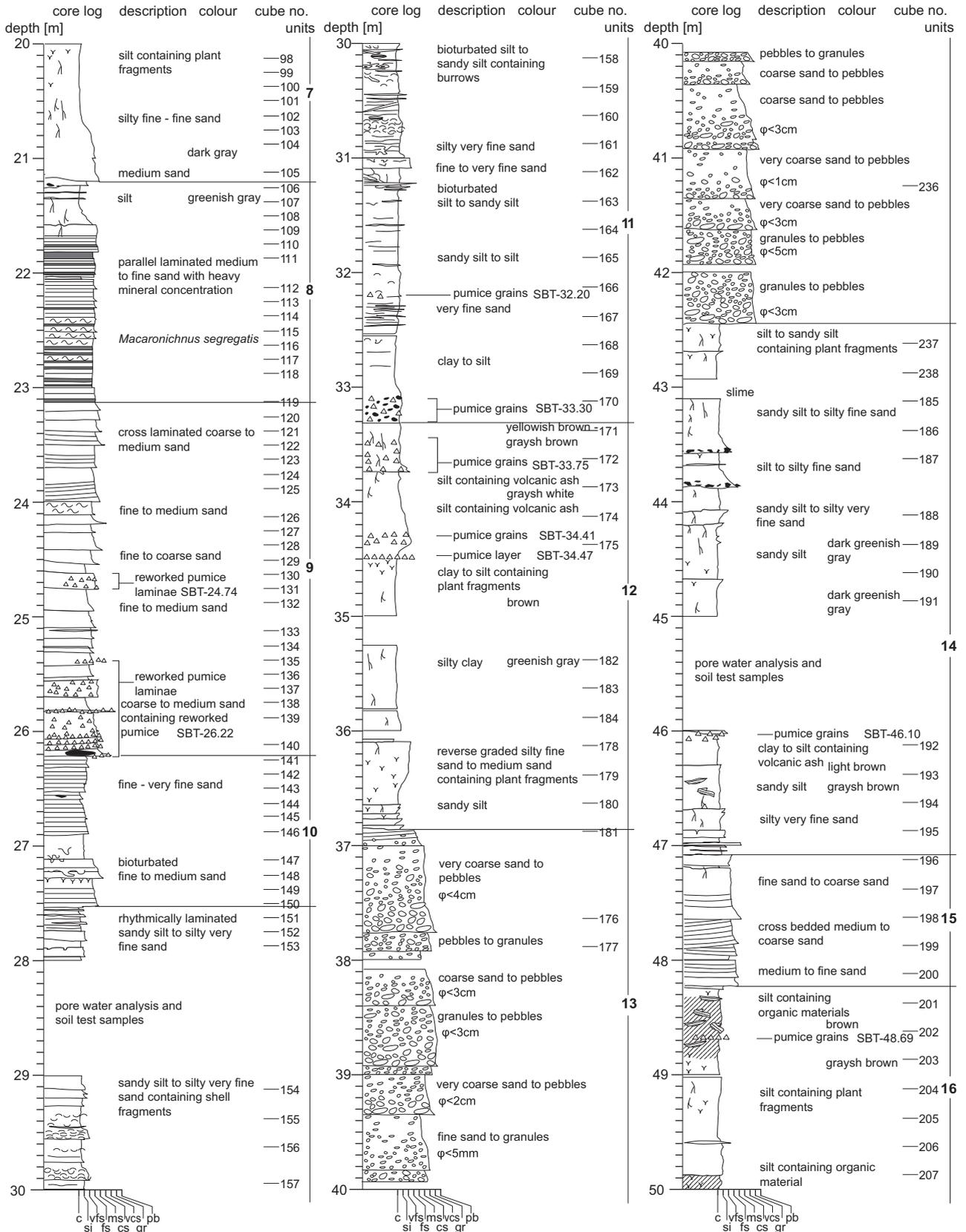
Appendix 1 Sedimentary columns of GS-SB-1. Sampling horizons for wet bulk density analysis (cube) and ¹⁴C dating are also shown.

Shobu Core (GS-SB-1) Altitude : 11.736 m (a.s.l.) Core Length : 350.20 m



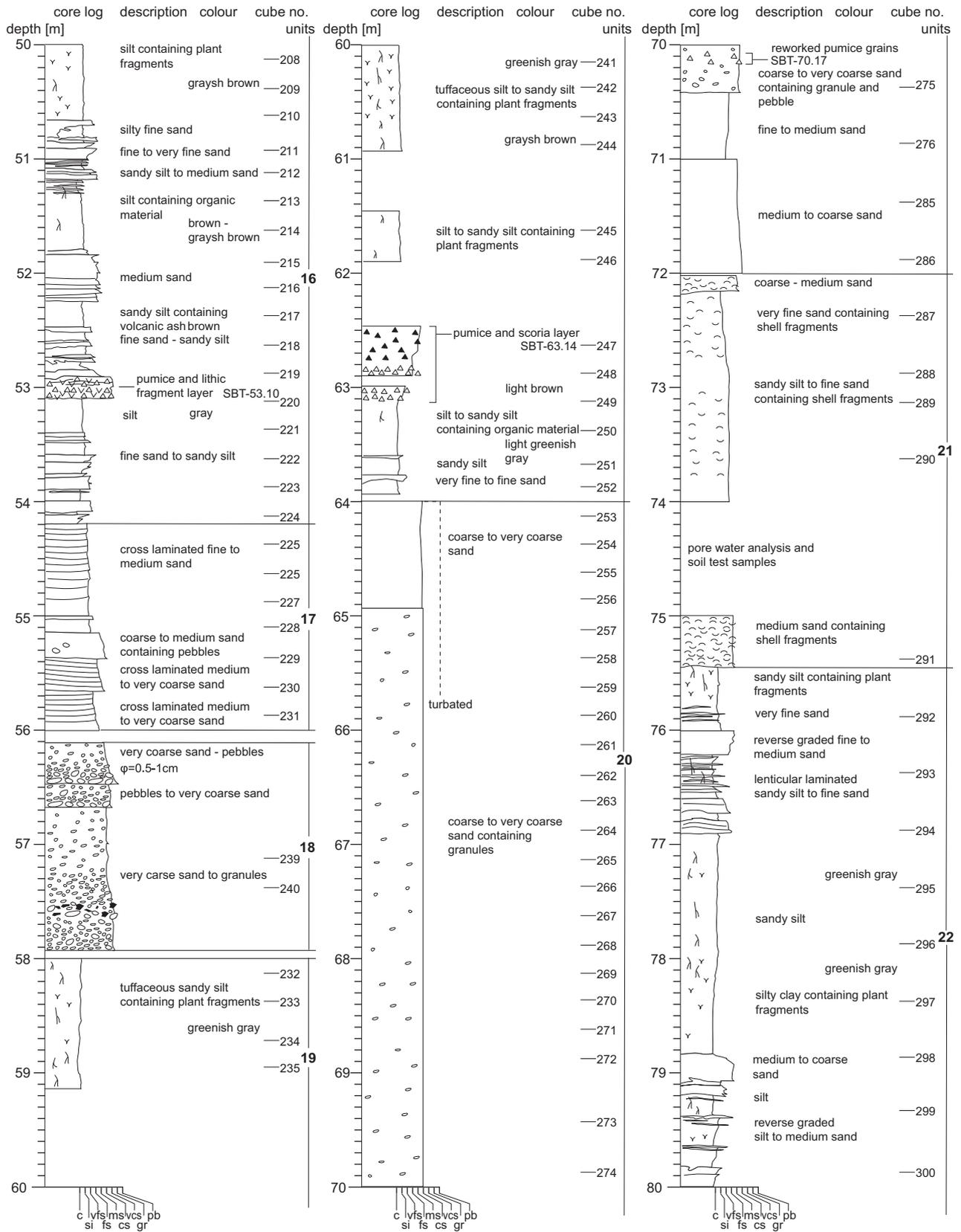
付図 1-2 (続き)

Appendix 1-2 Continued



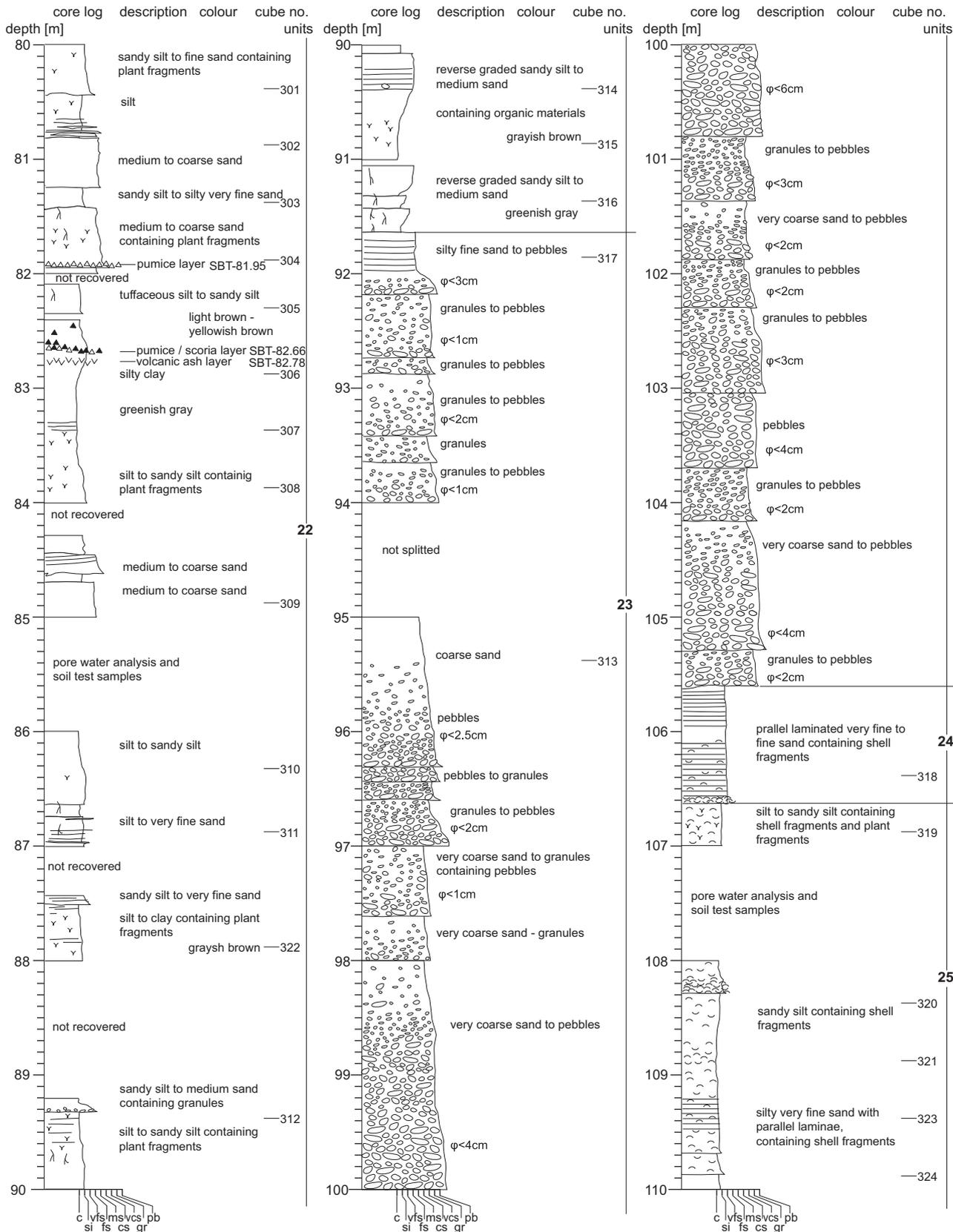
菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

付図 1-3 (続き)
Appendix 1-3 Continued



付図1-4 (続き)

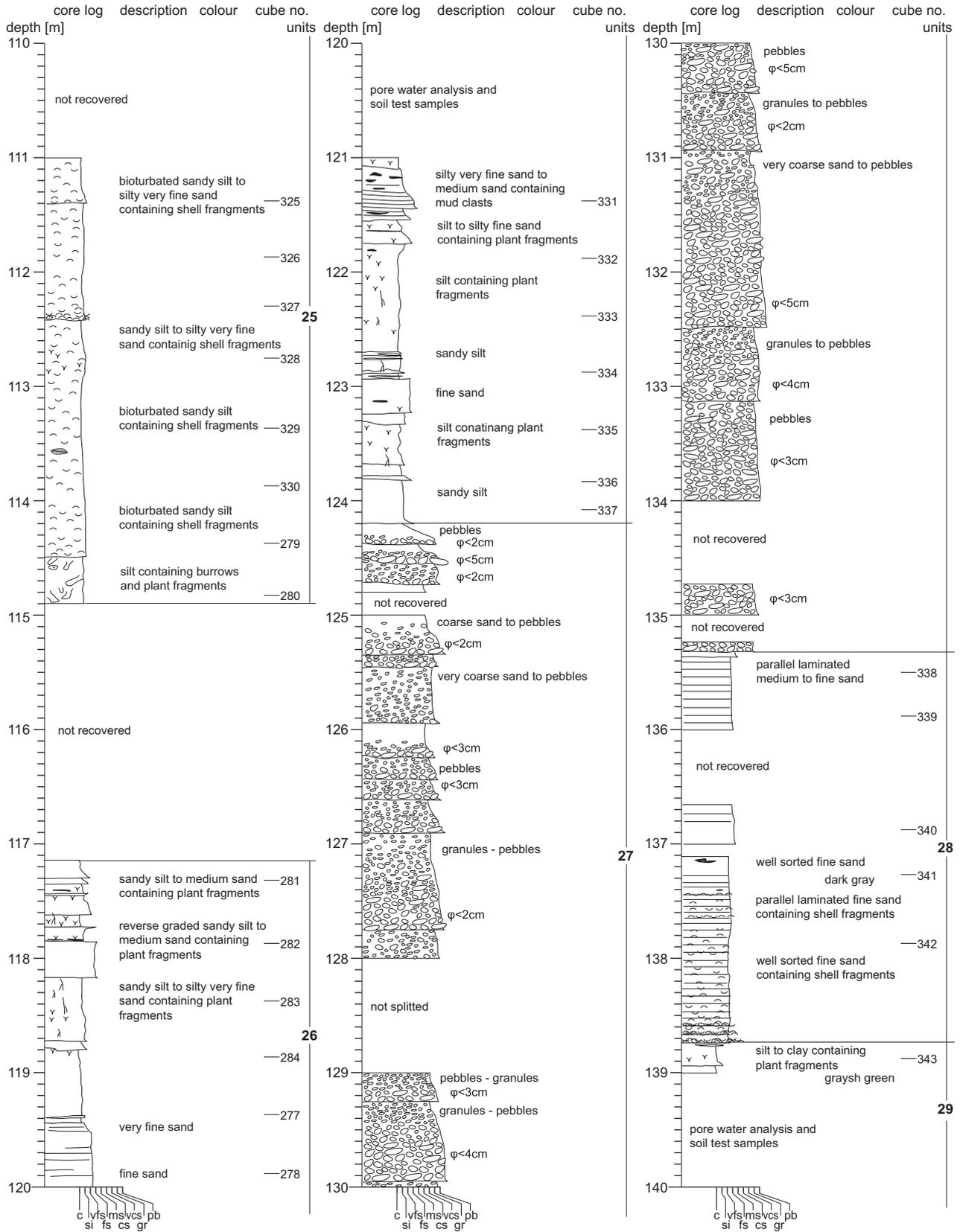
Appendix 1-4 Continued



菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

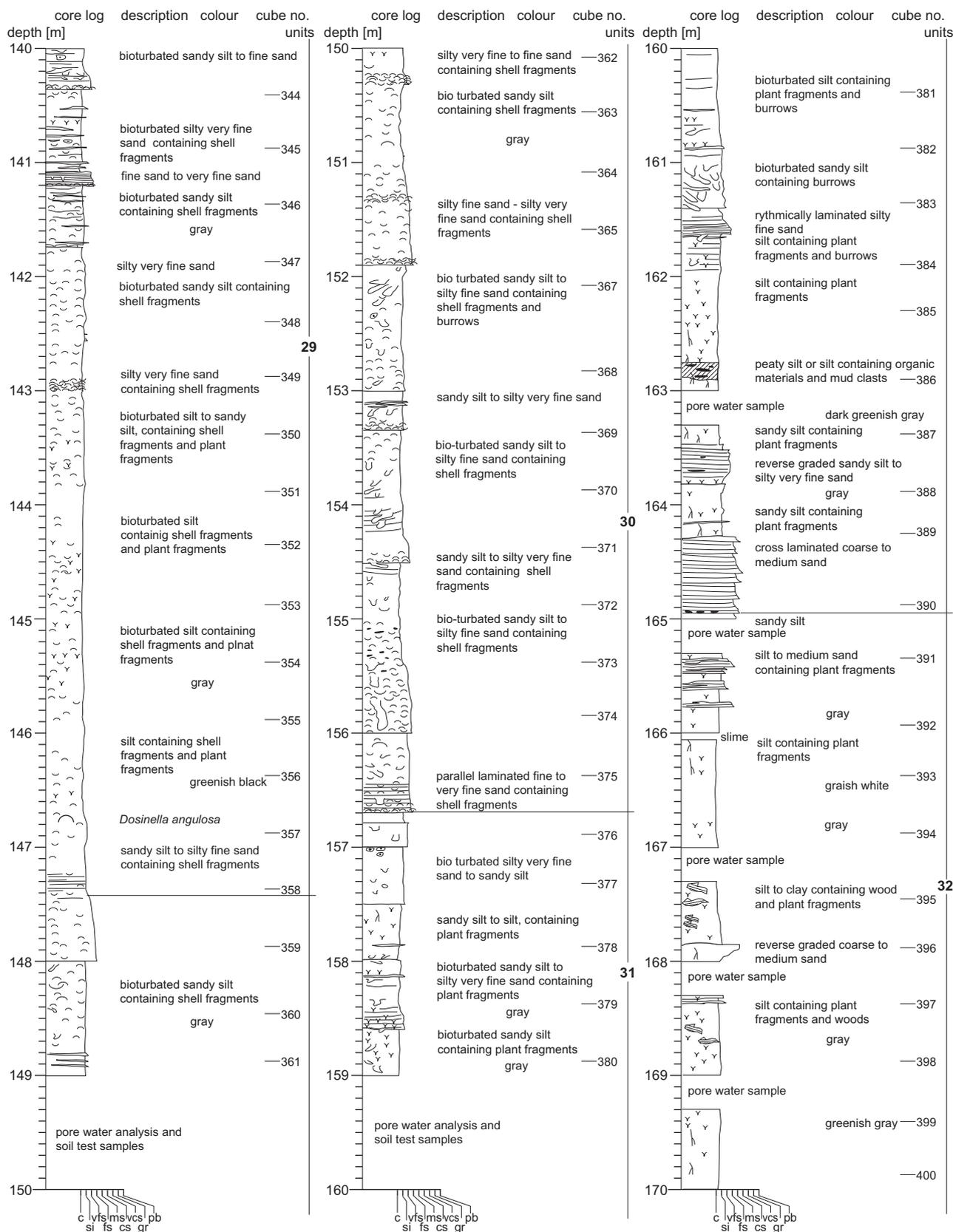
付図 1-5 (続き)

Appendix 1-5 Continued



付図 1-6 (続き)

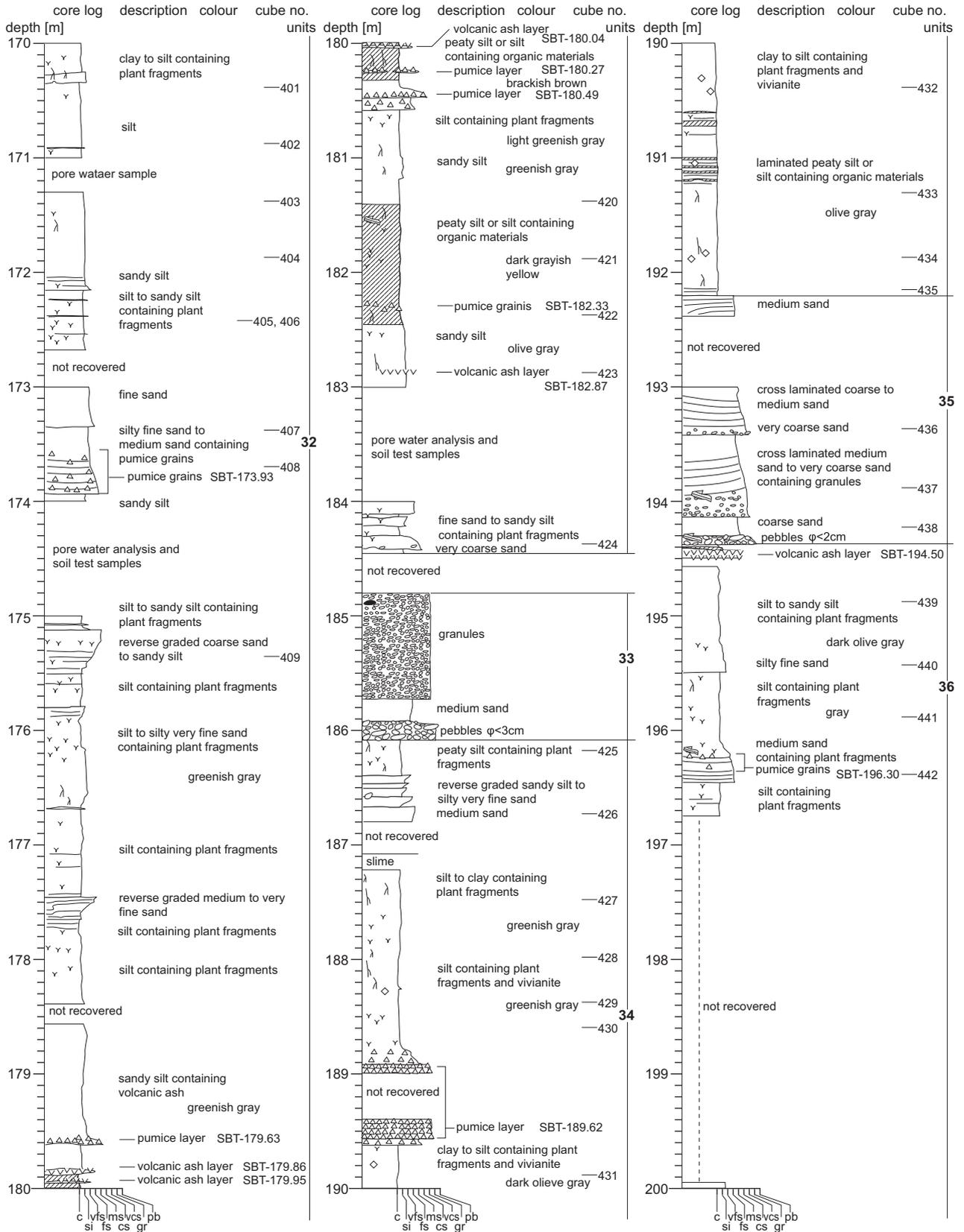
Appendix 1-6 Continued



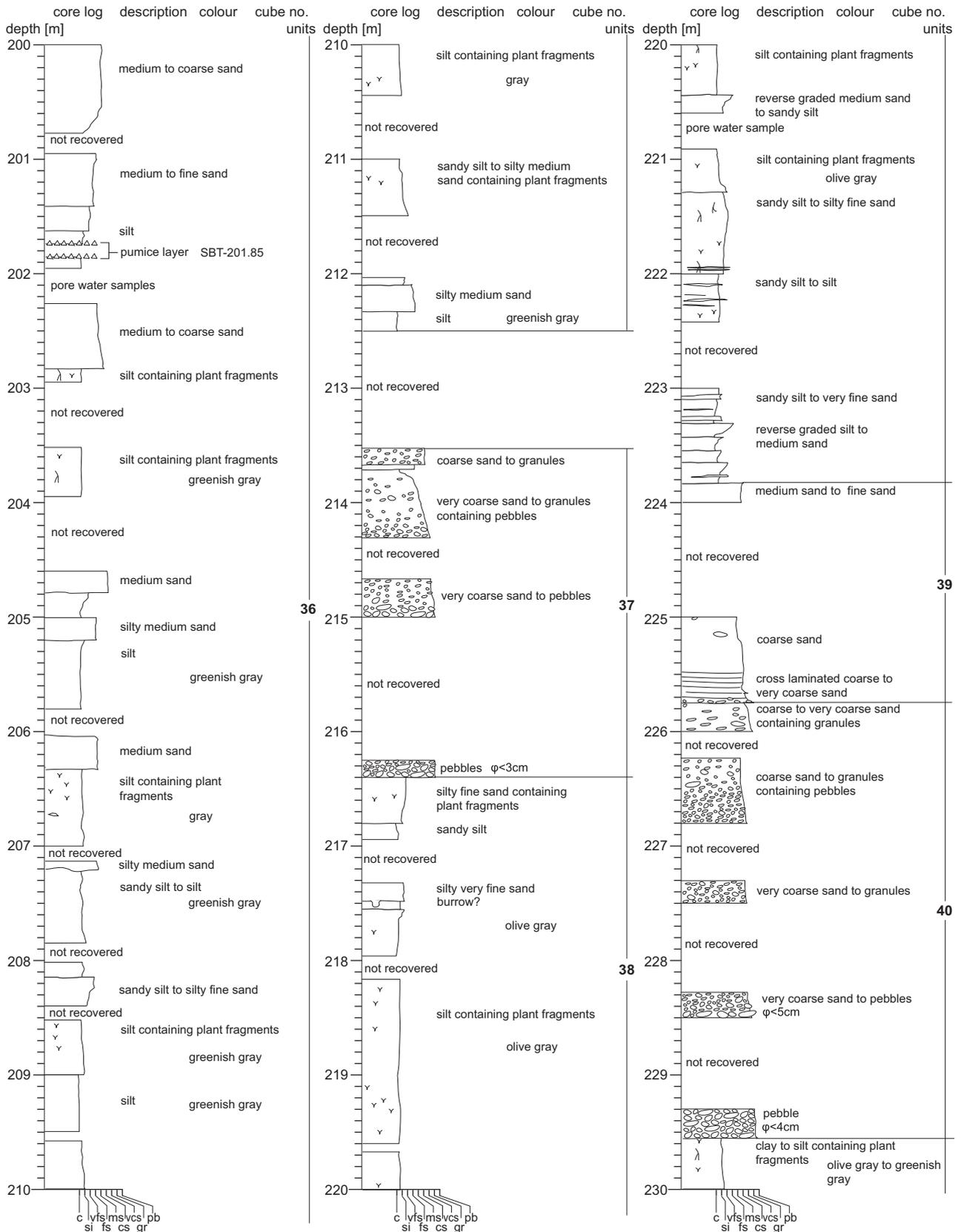
菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

付図 1-7 (続き)

Appendix 1-7 Continued

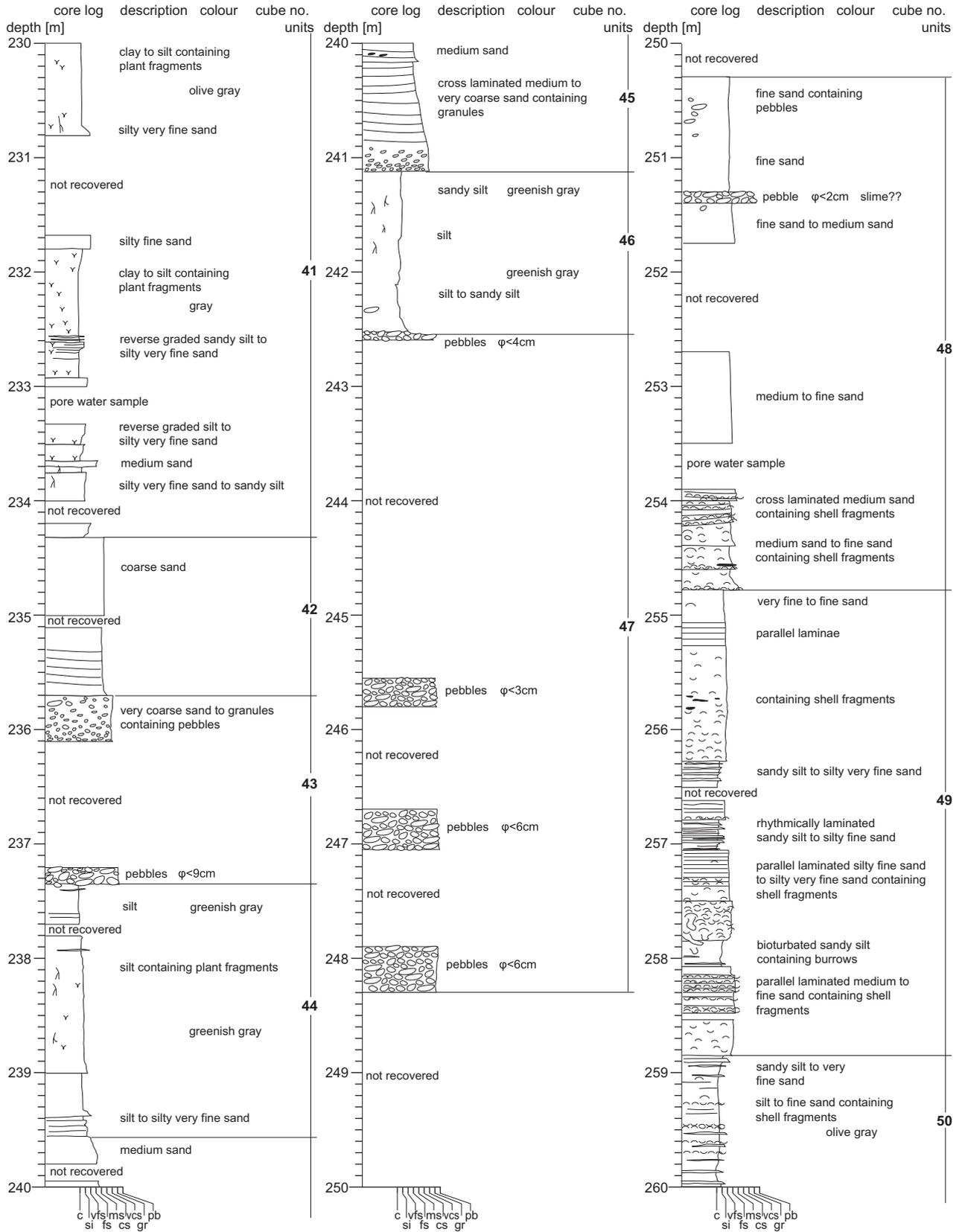


付図 1-8 (続き)
Appendix 1-8 Continued



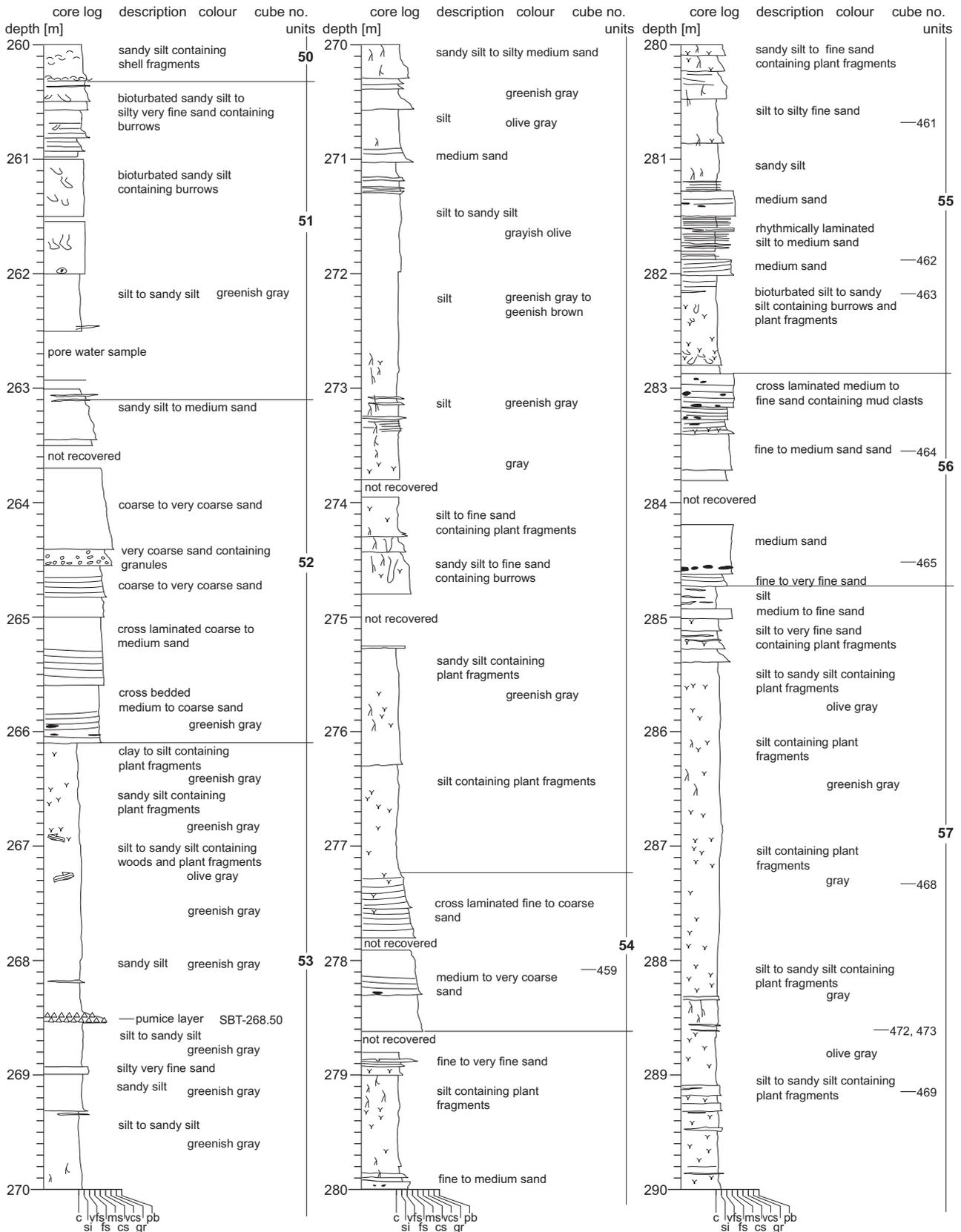
菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

付図 1-9 (続き)
Appendix 1-9 Continued



付図 1-10 (続き)

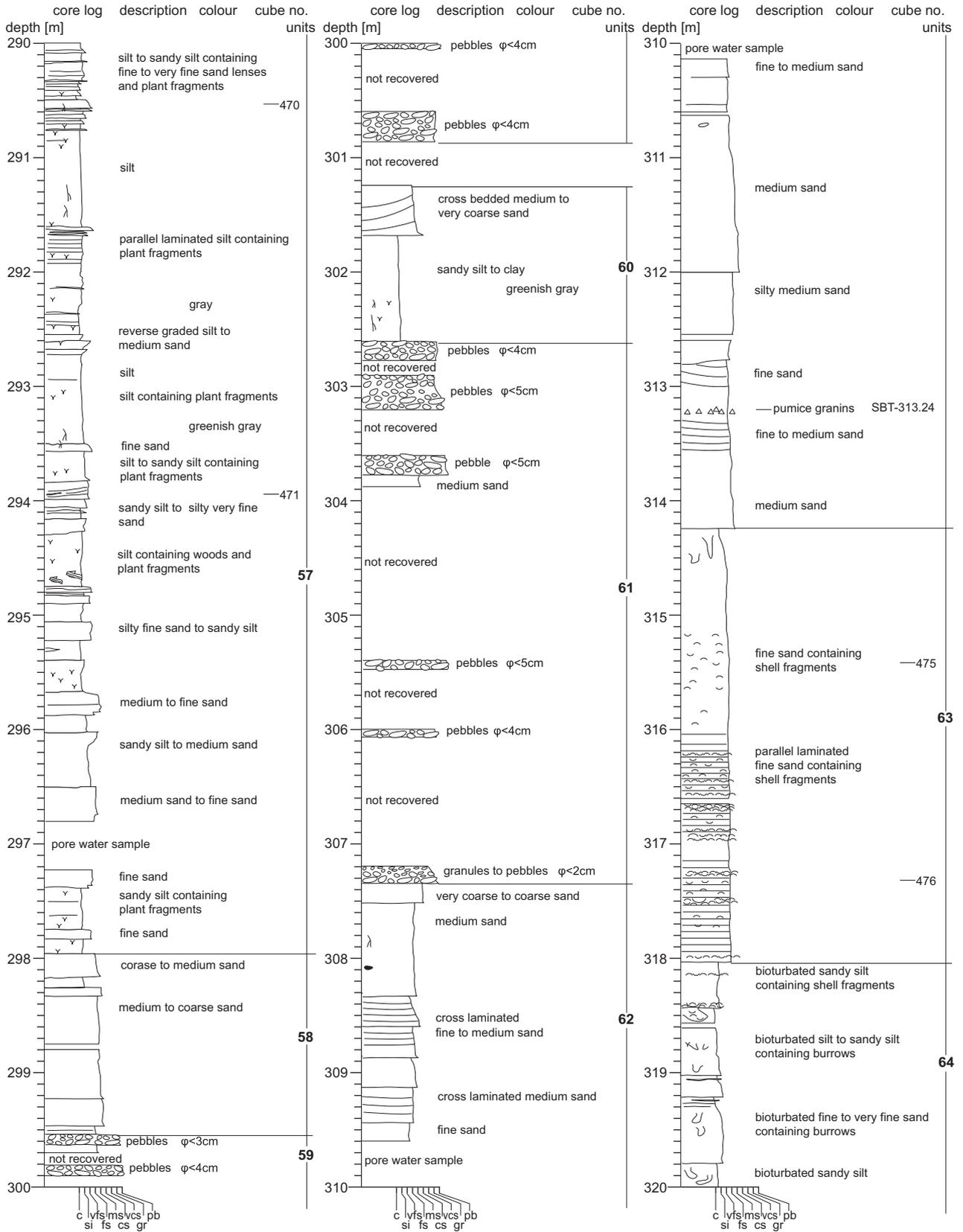
Appendix 1-10 Continued



菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

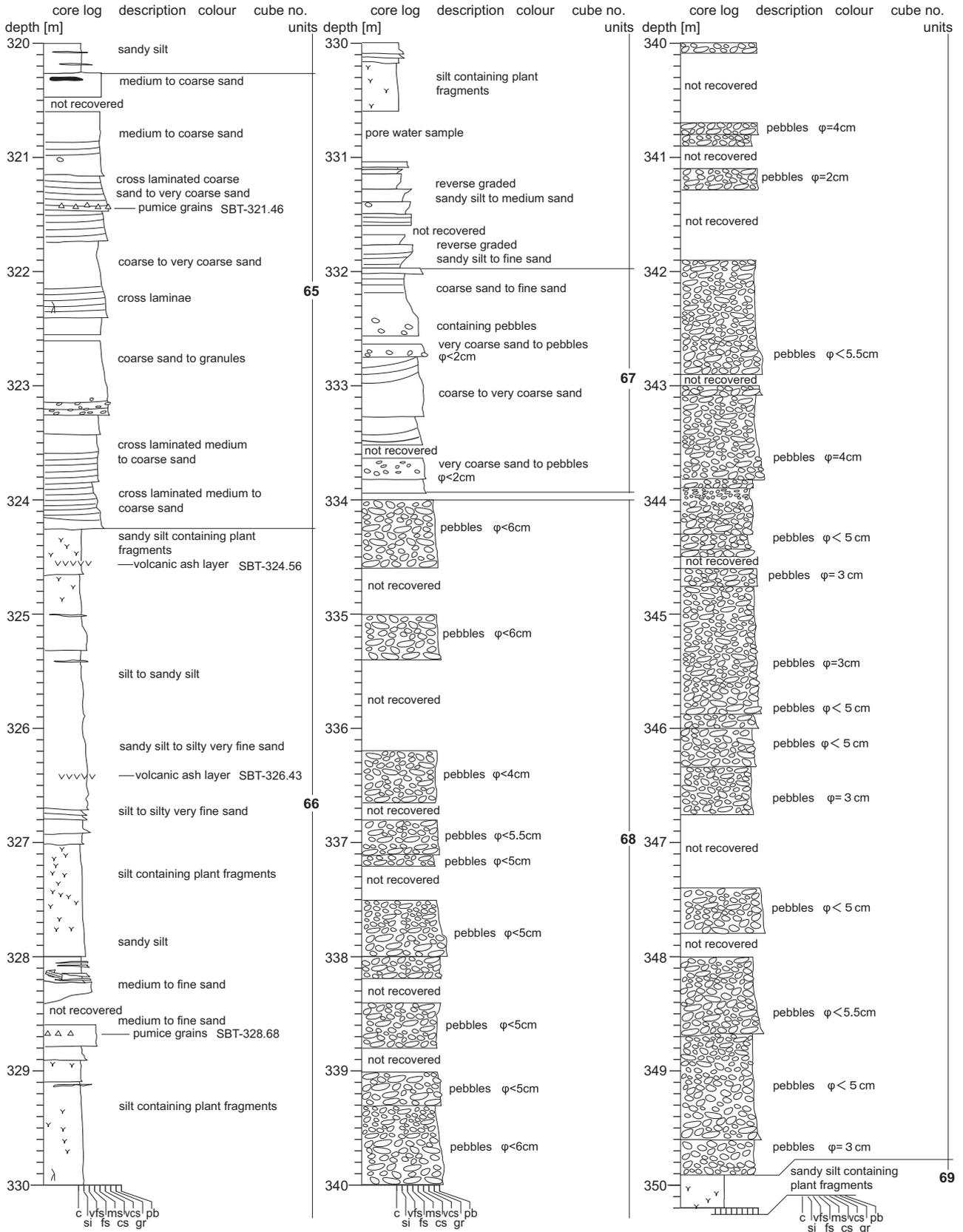
付図 1-11 (続き)

Appendix 1-11 Continued



付図 1-12 (続き)

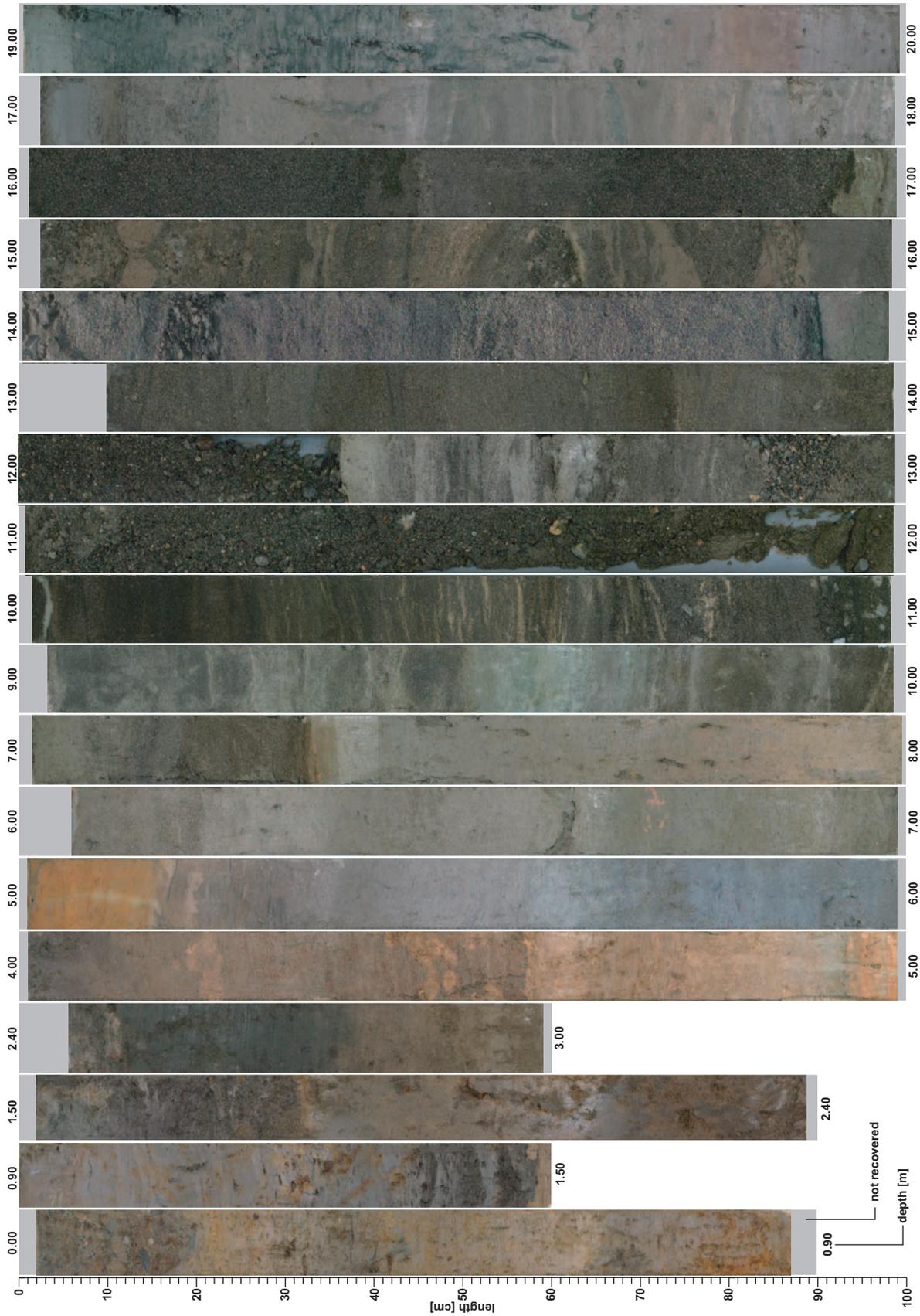
Appendix 1-12 Continued



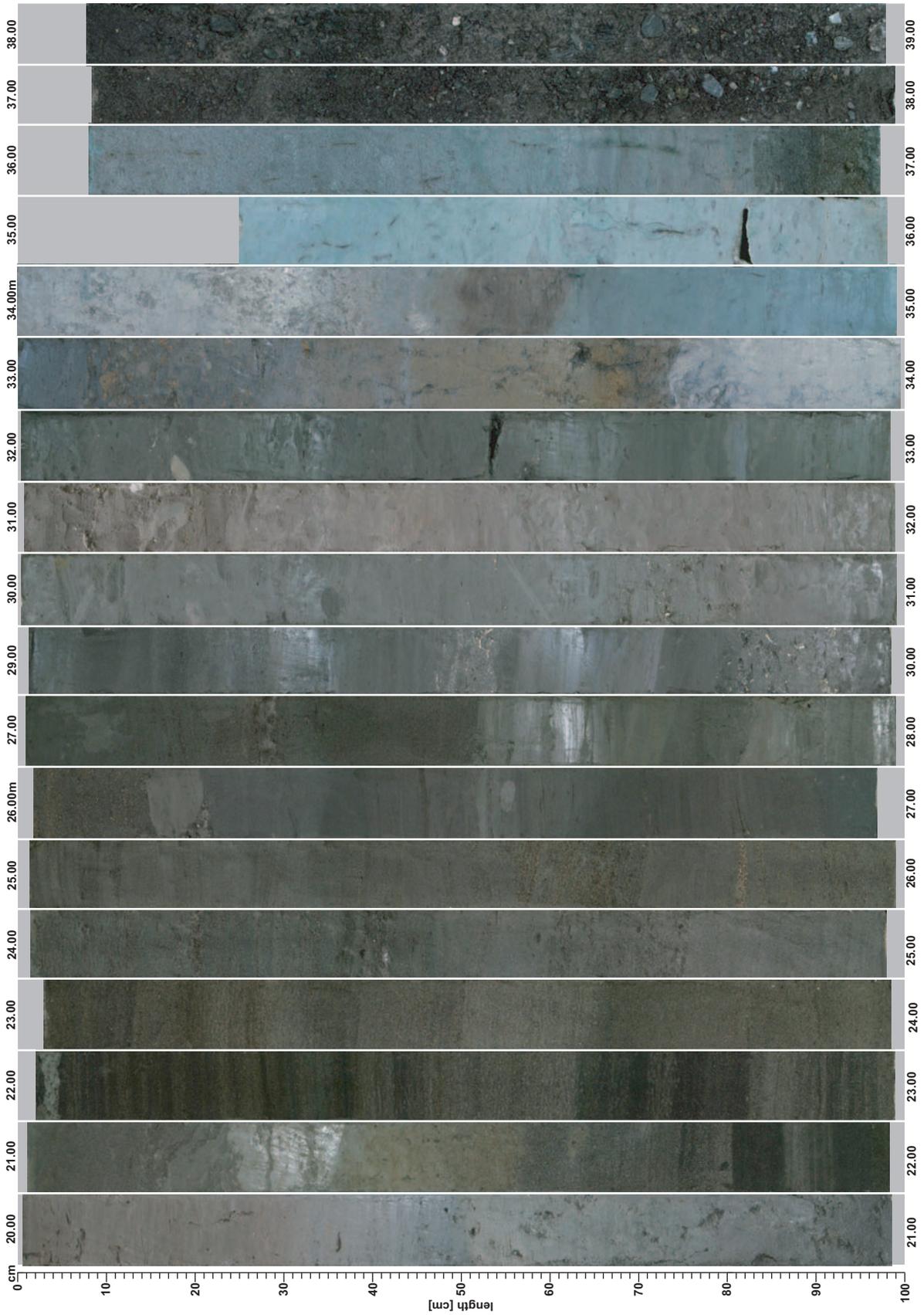
菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

付図2 菖蒲コア (GS-SB-1) 全層準の写真.

Appendix 2 Photographs from all horizons of GS-SB-1 core. Colour photographs are available in the online PDF.

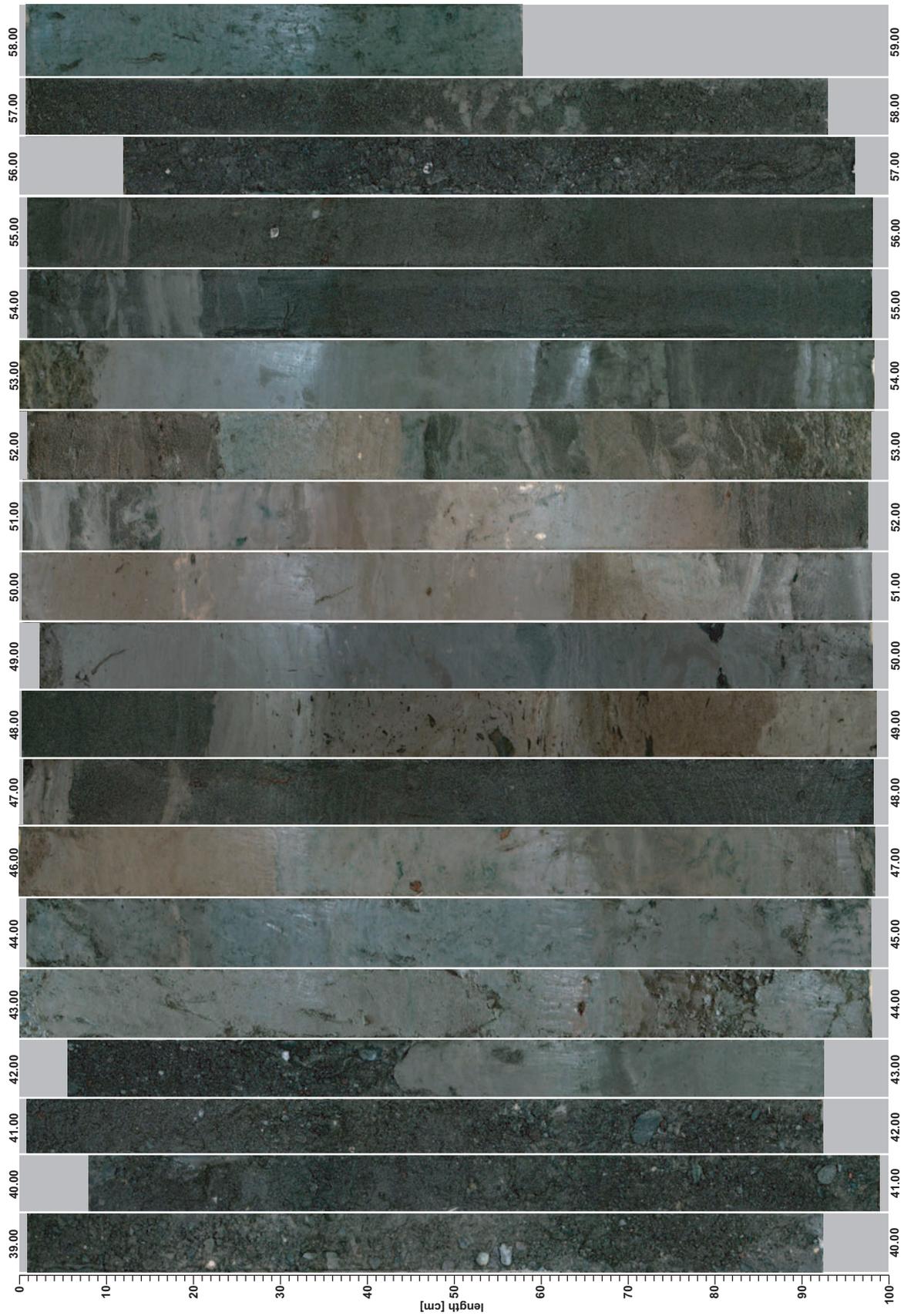


付図 2-2 (続き)
Appendix 2-2 Continued



菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

付図 2-3 (続き)
Appendix 2-3 Continued

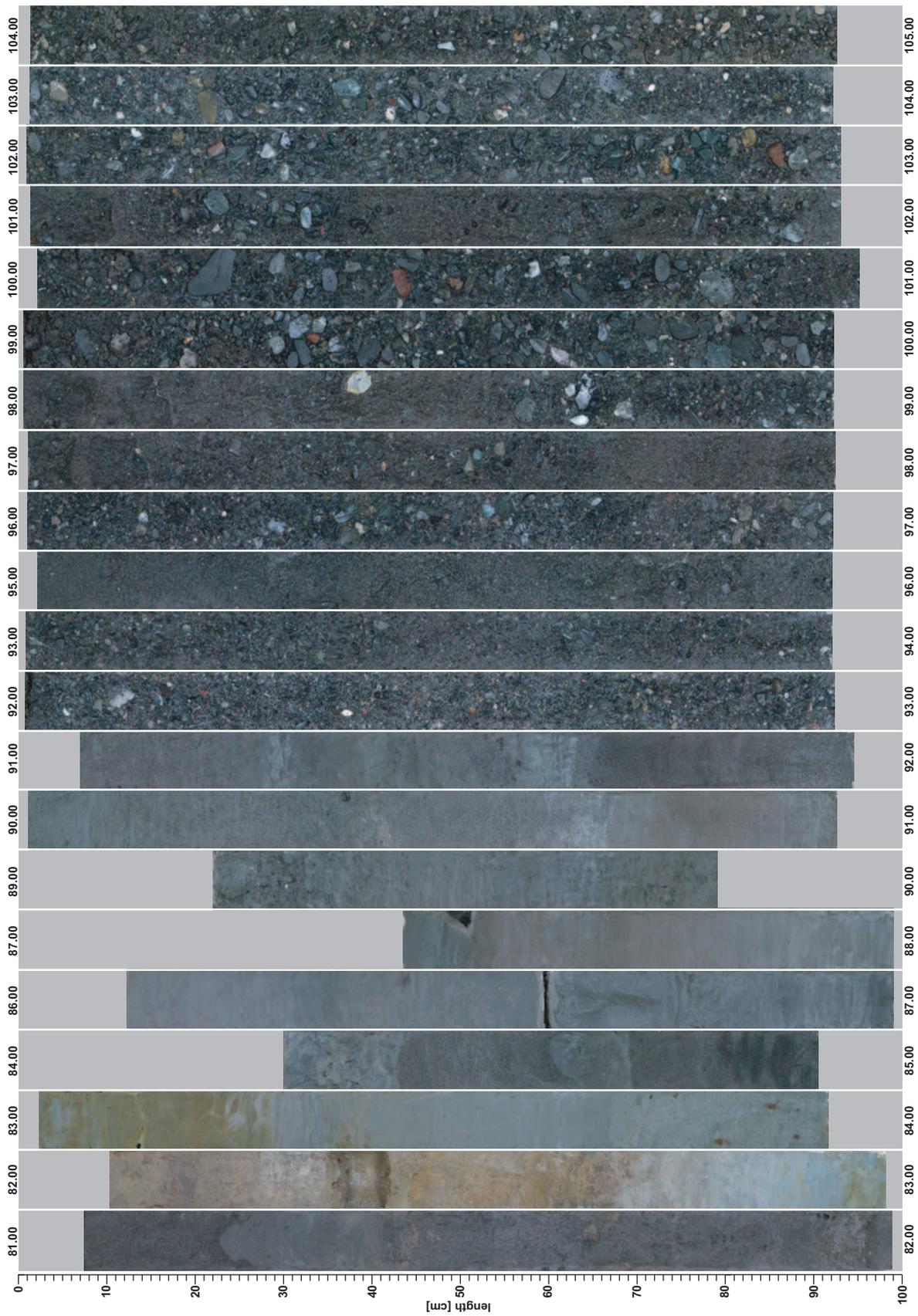


付図 2-4 (続き)
Appendix 2-4 Continued



菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

付図 2-5 (続き)
Appendix 2-5 Continued



付図 2-6 (続き)
Appendix 2-6 Continued

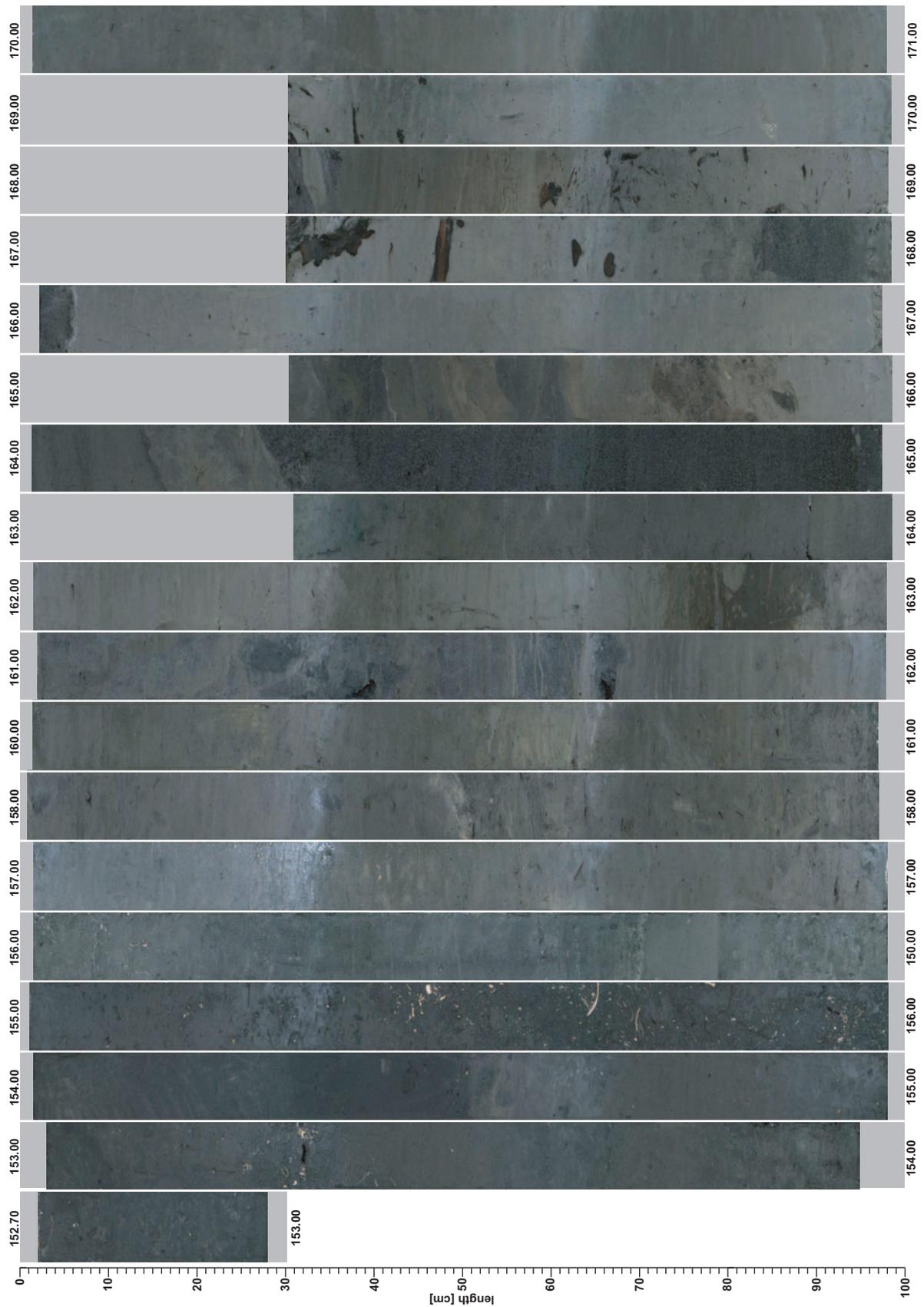


菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

付図 2-7 (続き)
Appendix 2-7 Continued

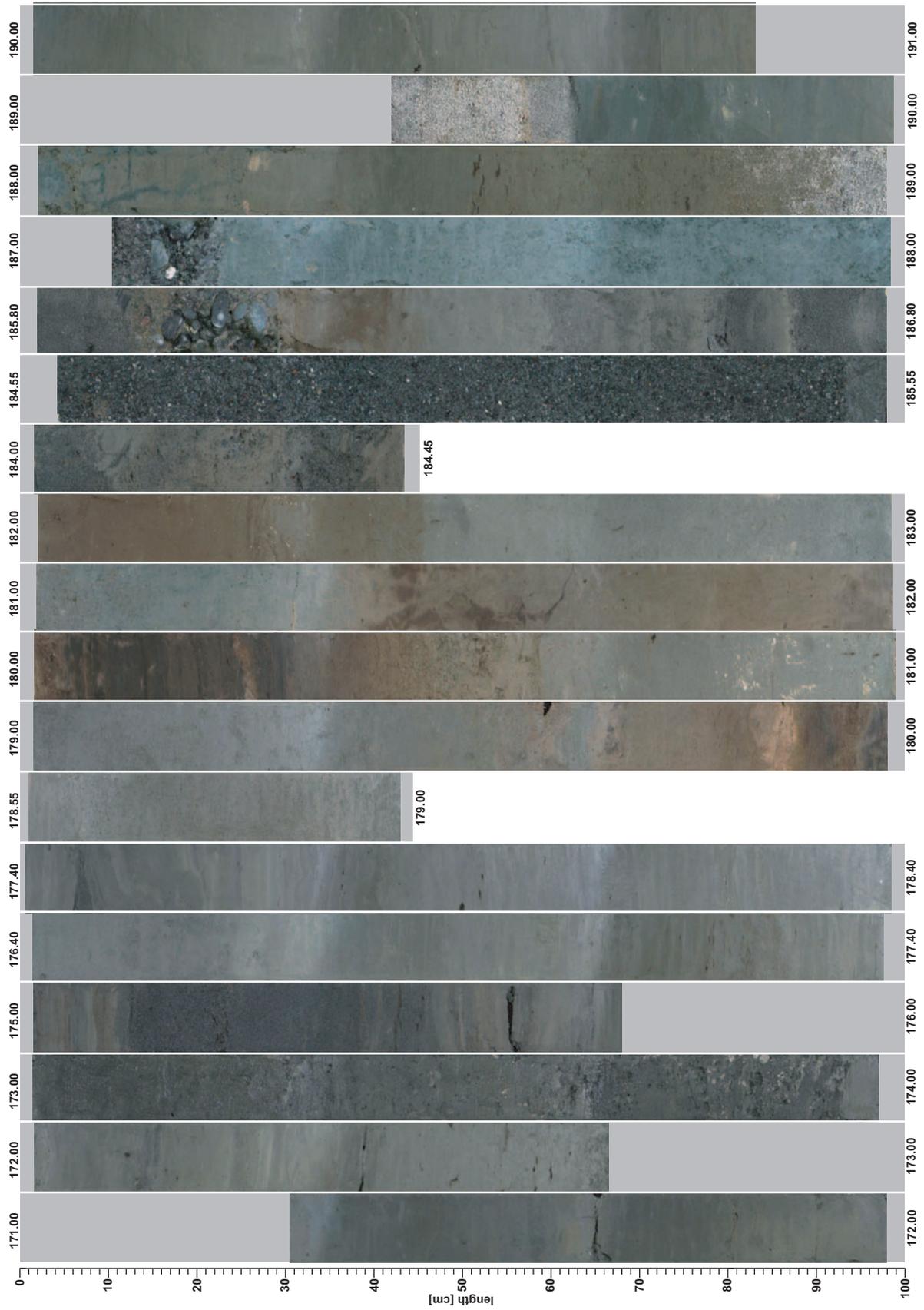


付図 2-8 (続き)
Appendix 2-8 Continued



菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

付図 2-9 (続き)
Appendix 2-9 Continued



付図 2-10 (続き)

Appendix 2-10 Continued



菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

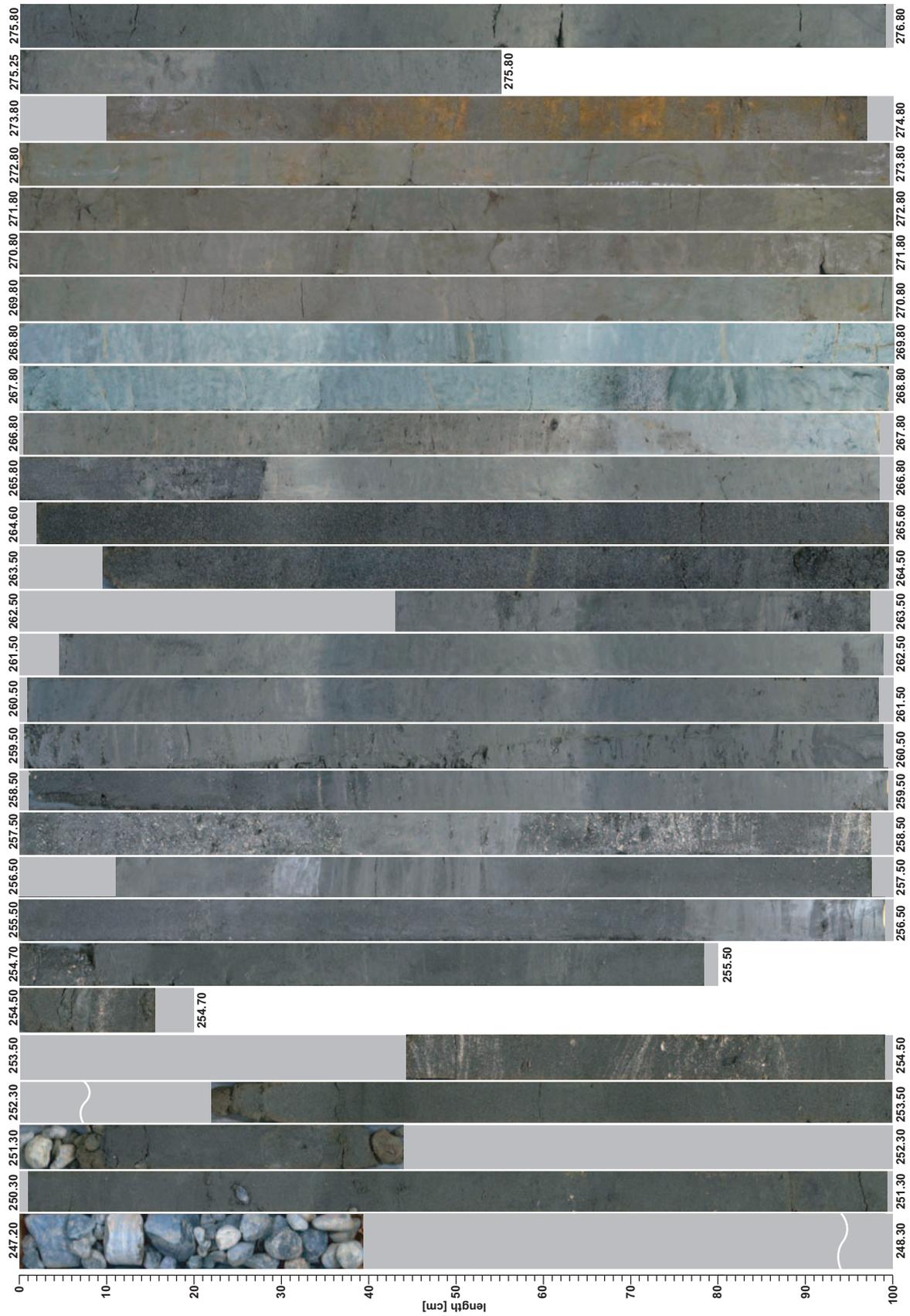
付図 2-11 (続き)

Appendix 2-11 Continued



付図 2-12 (続き)

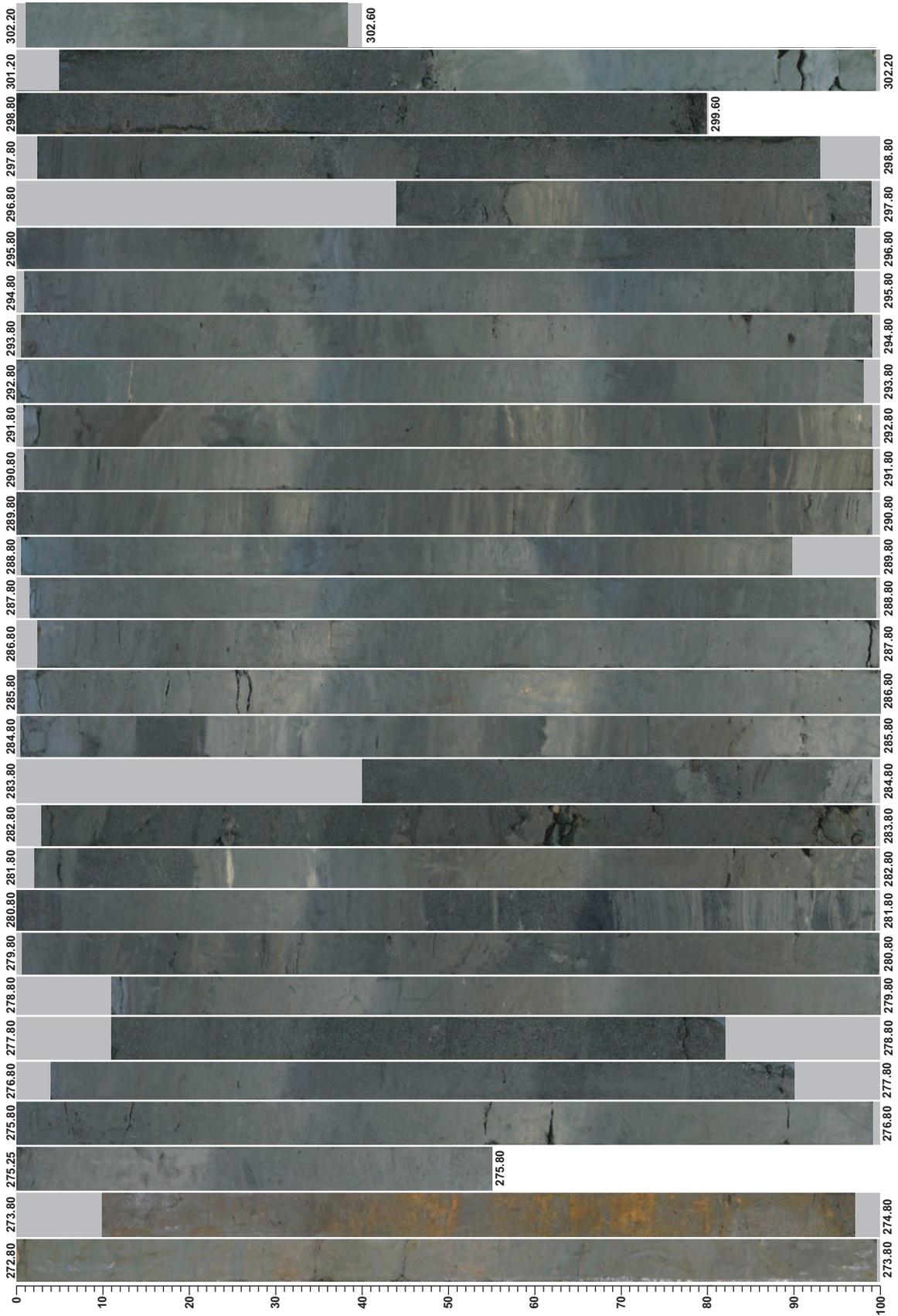
Appendix 2-12 Continued



菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

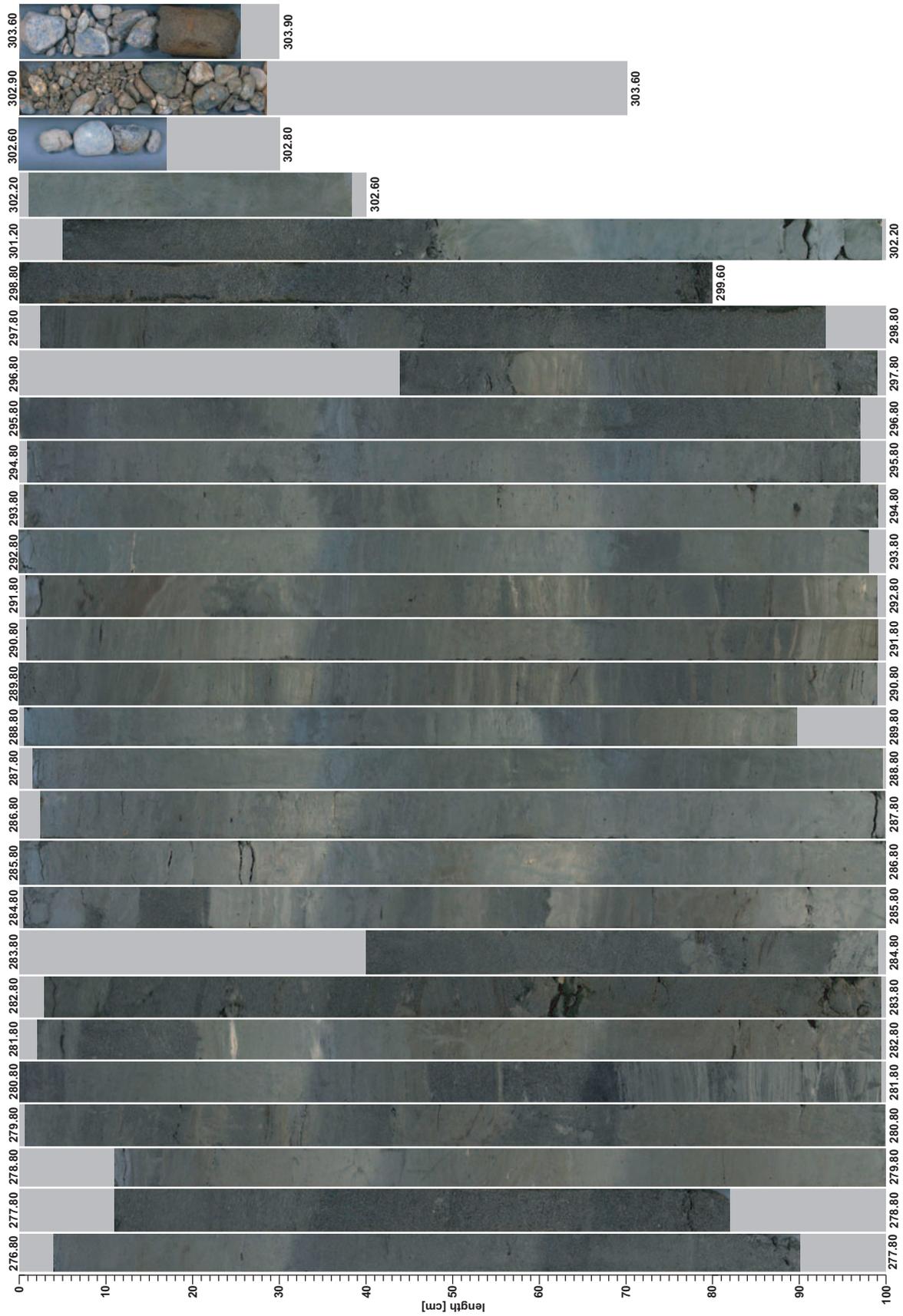
付図 2-13 (続き)

Appendix 2-13 Continued



付図2-14 (続き)

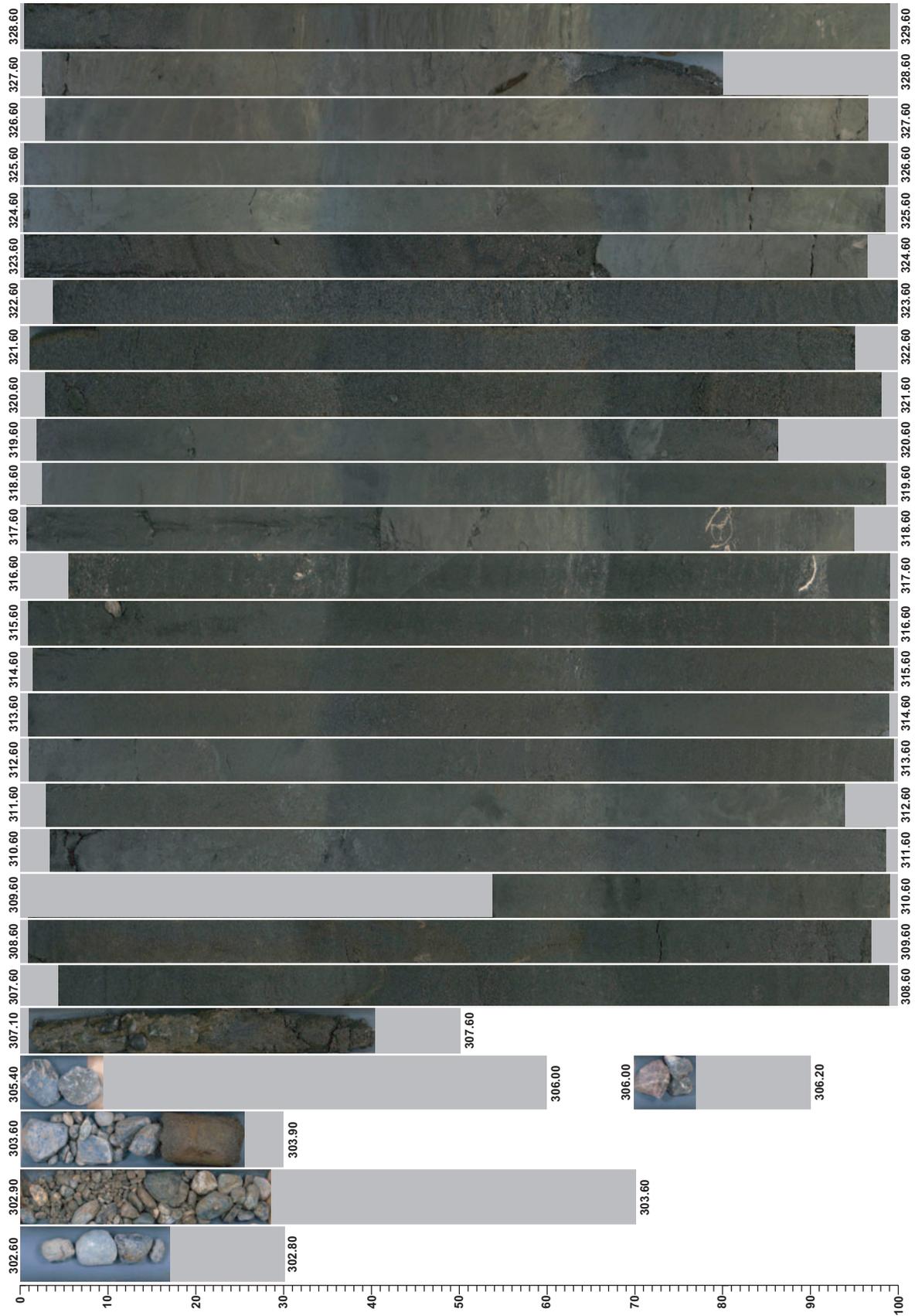
Appendix 2-14 Continued



菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

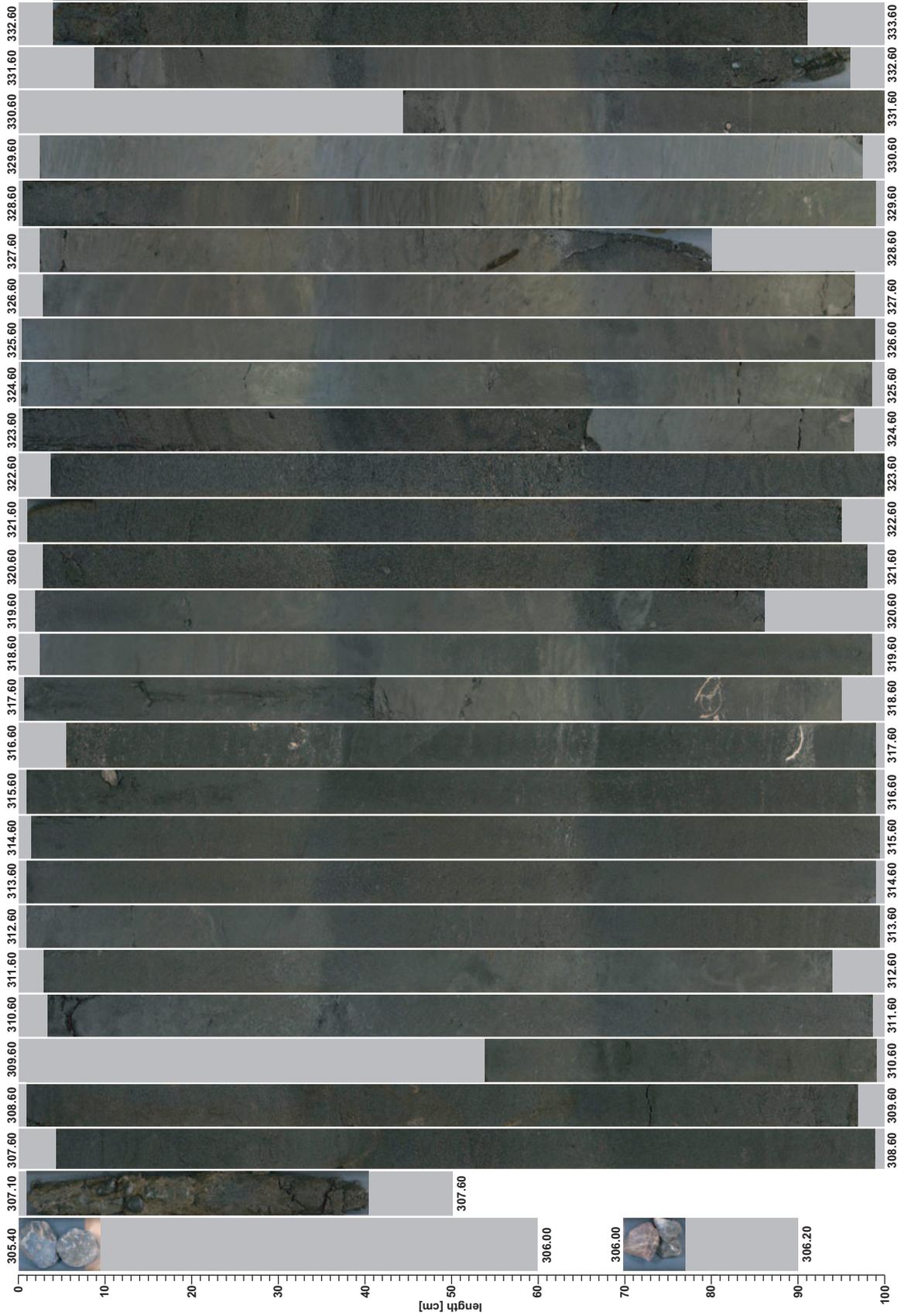
付図 2-15 (続き)

Appendix 2-15 Continued



付図 2-16 (続き)

Appendix 2-16 Continued



菖蒲町における350mボーリングの概要 (山口ほか)

付図 2-17 (続き)

Appendix 2-17 Continued

