

## 北海道石狩平野, 石狩市親船地区で掘削された 沖積層ボーリングコア (GS-HIS-1) の層序学的及び堆積学的解析

川上源太郎<sup>1,\*</sup>・船引彩子<sup>2</sup>・嵯峨山 積<sup>1</sup>・中島 礼<sup>3</sup>・  
仁科健二<sup>1</sup>・廣瀬 亘<sup>1</sup>・大津 直<sup>1</sup>・磯前陽介<sup>4</sup>・木村克己<sup>3</sup>

Gentaro Kawakami, Ayako Funabiki, Tsumoru Sagayama, Rei Nakashima, Kenji Nishina, Wataru Hirose, Sunao Ohtsu, Yousuke Isomae and Katsumi Kimura (2012) Stratigraphic and sedimentologic analysis of the latest Pleistocene to Holocene sediment core GS-HIS-1 recovered from the Ishikari coastal plain, Oya-fune, Ishikari, Hokkaido, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 63(5/6), p. 129-146, 14 figs, 5 tables.

**Abstract:** The stratigraphy and sedimentary facies of the latest Pleistocene to Holocene incised-valley fills were analyzed at Oya-fune, Ishikari, in the Ishikari coastal plain, Hokkaido, northern Japan. A core sample, named GS-HIS-1, was obtained at a site in the present strand plain, where the axis of the paleo-Ishikari River valley was located in the Last Glacial Age. The core sediments can be divided into seven stratigraphic units: flood-plain deposits (Unit 1), gravelly river deposits (Unit 2), meandering river and tidal river / salt marsh deposits (Unit 3), inner-bay deposits (Unit 4), lower-shoreface deposits (Unit 6), lagoonal deposits (Unit 7), and upper-shoreface to foreshore / backshore deposits (Unit 8), in ascending order.

The lower shoreface sands (Unit 6) erosively overlie the inner-bay deposits (Unit 4), and the erosive boundary is considered to be a wave ravinement surface. Delta-front / delta-plain deposits (Unit 5 in Kawakami *et al.*, 2012a; b) on inner-bay deposits in inland area are absent at the drilling site. Units 6–8 constitute a prograding sand body, which was formed after the mid-Holocene sea-level highstand. The muddy deposits (Unit 7) intercalated with this sand body yield abundant freshwater diatom species, and they were probably deposited in a lagoonal fluvial channel running parallel to the shoreline. The channel would have been rapidly buried as a result of shore progradation.

The sediment accumulation curve provides information on the timing of periods of environmental change at the studied site. As the sea level rose, the sedimentary system changed from a gravelly river to a meandering sandy river at about 13,000 cal BP. The river was influenced by marine water intrusion after 10,600 cal BP, and the inner-bay environment was generated around 8,900 cal BP. The shallow marine sands prograded onto the wave ravinement surface after 5,300 cal BP.

**Keywords:** stratigraphy, sedimentary facies, physical property, latest Pleistocene to Holocene, incised-valley fills, Ishikari coastal plain, Hokkaido

### 要 旨

北海道石狩平野の石狩市親船地区において、沖積層の層序と堆積環境を検討した。ボーリングコア GS-HIS-1 の掘削地点は現在の海岸平野に位置し、最終氷期の古石狩川の谷筋にあたる。堆積相、珪藻化石並びに貝化石から、沖積層は下位より礫質河川堆積物 (ユニット 2, 深度 68.5-56.1 m)、蛇行河川～河川の感潮域及び塩水湿地

の堆積物 (ユニット 3, 深度 56.1-24.0 m)、内湾の堆積物 (ユニット 4, 深度 24.0-20.6 m)、外浜～海浜の堆積物 (ユニット 6, 深度 20.6-11.0 m 及びユニット 8, 深度 7.7-0.4 m) とそれに挟在する淡水成の泥質堆積物 (ユニット 7, 深度 11.0-7.7 m) からなると解釈された。沖積層の下位には上部更新統の氾濫原堆積物 (ユニット 1) が確認された。より内陸部において、内湾堆積物の上位に見られるデルタプレーンの堆積物 (川上ほか, 2012a ; b のユニッ

<sup>1</sup> 北海道立総合研究機構 地質研究所 (Hokkaido Research Organization, Geological Survey of Hokkaido, Nishi-12, Kita-19, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0819, Japan)

<sup>2</sup> 日本大学工学部機械工学科 (Mechanical Engineering Department, College of Engineering, Nihon Univ.)

<sup>3</sup> 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

<sup>4</sup> 株式会社建設技術研究所 (CTI Engineering Co., Ltd.)

\* Corresponding author: G. Kawakami, E-mail: kawakami-gentaro@hro.or.jp

ト5)は親船地区では認められず、ユニット4とユニット6の間の侵食性の境界は海進ラビメント面と考えられる。ラビメント面を覆うユニット6～ユニット8は、縄文海進高頂期以降に海側に成長した浅海の砂体である。この砂体に扶在する淡水成の泥質堆積物(ユニット7)は、海岸線に平行に偏向するラグーン状の河道に堆積し、砂体の海側への急速な成長に伴って埋積・保存されたと推定される。堆積曲線によれば、海進に伴い礫質河川から蛇行河川環境へ転換するのは13,000 cal BP頃、河川が海水の影響を受け始めるのが10,600 cal BP頃、内湾環境に転換するのは8,900 cal BP頃である。また下部外浜の砂層が海進ラビメント面を介して内湾泥層を覆いはじめたのは5,300 cal BP頃である。

## 1. はじめに

日本海に面する北海道の石狩湾沿岸は潮位差が小さく波浪が卓越する海洋環境にあり、石狩平野を構成する沖積層は典型的な波浪卓越型の incised-valley system (Boyd *et al.*, 2006) からなると考えられる。この石狩沖積層の層序と堆積環境、並びにその三次元的な分布を明らかにするため、独立行政法人産業技術総合研究所(以下、産総研)と地方独立行政法人北海道立総合研究機構地質研究所(以下、地質研)は、平成20年度から平成22年度までの3年間、共同研究「石狩低地の浅層地下地質・構造の解明に関する研究」を行った。

これまでに、縄文海進高頂期に形成された紅葉山砂丘(上杉・遠藤, 1973)の分布域から3 kmほど陸側に位置する当別町太美地区(GS-HTF-1 コア)、及び7 kmほど内陸に位置する当別町川下地区(GS-HTB-1 コア及びGS-HTB-2 コア)で得たボーリングコアを用い、紅葉山砂丘の陸側における沖積層の層序と堆積環境を明らかにした(川上ほか, 2012a; 2012b)(第1表, 第1図)。その結果、紅葉山砂丘の陸側には内湾の泥層(屯田泥層(西浜層上部))が厚く発達し(川上ほか, 2012a)、また紅葉山砂丘に近い太美地区では内湾に張り出す湾口砂体(前田砂層)が形成されていたことが確認された(川上ほか, 2012b)。紅葉山砂丘陸側に分布する内湾泥層や湾口砂体は後背湿地堆積物に覆われているが、海側では地表から深度20 m付近まで浅海性の砂層(花畔砂層)が分布することが知られている(第1表)。すなわち沖積層最上部の層相・層序は、バリアー砂体である紅葉山砂丘の陸側と海側で大きく異なる。そこで平成22年度は、バリアーの海側における沖積層の層序及び堆積システムを明確にすることを目的として、現在の石狩川河口付近の河川敷地(石狩市親船)においてボーリングコア(コア名:GS-HIS-1)の掘削調査を行った。

## 2. 調査地点の概要

調査地点は国道231号線石狩河口橋脚の北側の河川敷地(石狩川左岸)で、石狩市ヤウスバ運動公園として利用されている区画の中である(第1図)。掘削作業は(株)ダイヤコンサルタントに依頼し、平成22年6月に行った。掘削孔(コア名GS-HIS-1)の世界測地系による緯度経度及び孔口標高は、北緯43°13'41.83'', 東経141°20'55.45'', T.P. 2.56 mで、現海岸線からは1.3 km内陸に、紅葉山砂丘からは5 kmほど海側に位置する。地盤ボーリングデータベース(廣瀬ほか, 2011)によれば、この付近では沖積層の基底礫層上面深度が標高-50 mに位置し、沖積層の厚さは60 mを超えると想定された(第1図B)。

現在の石狩川は、掘削地点付近で石狩砂丘に遮られて、その流下方向が北西から海岸線に沿う北東へと大きく変わる(第1図B, C)。掘削地点はこの蛇行の攻撃面側にあたることから、表層部が現河川堆積物で占められる可能性は小さいものと判断した。河川堤防の西側の住宅地及びその南西延長には、紅葉山砂丘の海側に広がる花畔低地帯を特徴づける浜堤列地形が確認される(上杉・遠藤, 1973; 松下, 1979; 村瀬ほか, 1991)。

## 3. 研究手法

### 3.1 掘削方法

GS-HIS-1 コアは全長72 mで、深度2 mまでは固定ピストン式サンプラーで、以深はロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラーにより、径70 mm、長さ1 m単位のオールコアで採取した。泥水は採取コアの化学特性への影響(内山ほか, 2011)を避けるため、礫層からなる深度59 m以深を除きイーゼードリルを使用した。深度17-18 m区間、及び砂礫からなる深度56~68.5 m区間を除くと、コア採取率は90%を超えている。なお表層から深度0.4 mまでは盛土/人工改変土である。

### 3.2 コアの解析手法

コアの解析手法と手順は、川上ほか(2012a)に準じている。まず得られたコアに対し、コアパック及び塩ビ管に封じた状態のまま、産総研所有のGeotek社製Multi-Sensor Core Logger(MSCL)を用いて透過ガンマ線強度及び帯磁率を測定した。ガンマ線源は<sup>137</sup>Cs(370Bq)、計測条件は測定間隔2 cm、測定時間10秒である。MSCLによる解析データは山口ほか(2009)を参考に補正及び密度換算し、ガンマ線換算密度と補正帯磁率を求めた。MSCLによる測定後にコアを半裁し、半分を各種サンプリングに、残りの半分を記載に供した。

コアの記載は半裁直後の一次記載(縮尺1/5での柱状図作成)を基本とし、半裁直後のコア写真、軟X線写真、剥ぎとり標本を併用して二次記載を行った(第2, 3図)。

沖積層ボーリングコア (GS-HIS-1) の層序及び堆積学的解析 (川上ほか)

第 1 表 石狩平野沖積層の層序 (松下, 1979; 北川, 1990; 添田ほか, 2010; 川上ほか, 2012a; b を元に作成).

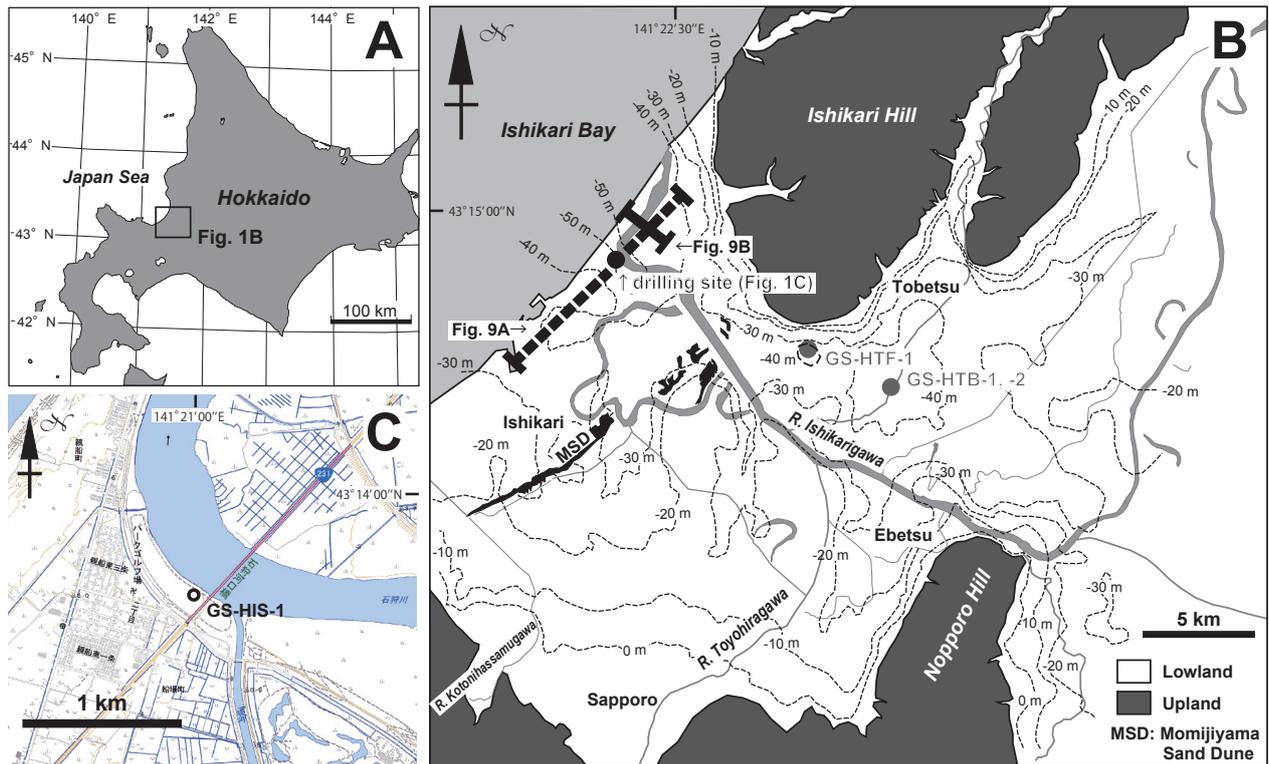
Table 1. Stratigraphy of the Latest Pleistocene to Holocene incised valley-fill (“Chyuseki-so”) in the Ishikari coastal plain (compiled after Matsushita, 1979; Kitagawa, 1990; Kawakami *et al.*, 2012a; b).

Drilling site ↓	Oyafune, Ishikari (GS-HIS-1)*		Futomi, Tobetsu (GS-HTF-1)**		Kawashimo, Tobetsu (GS-HTB-1, -2)***	
Geomorphic zoning →	Bannaguro Lowland		Momijiyama Sand Dune	Back Marsh		
Holocene	Ishikari Dune Sand	Unit 6 to Unit 8	Bannaguro Sand Bed	Unit 5: delta plain	"Back marsh deposits"	Unit 5: delta plain
			Momijiyama Dune Sand	Unit 4-b, Unit 4-c: bay-mouth, delta front		
			Maeda Sand Bed	Unit 4-a: inner bay		
		Unit 4	Upper part (Tonden Mud)			
Pleistocene	Nishihama Bed	Unit 3	Lower part	Unit 3: sandy river		Unit 3: sandy river
		Unit 2	Including "gravel beds of buried valley" of Matsushita (1979)	Unit 2: gravelly river		Unit 2: gravelly river
		Unit 1	"Buried terrace deposits"	not confirmed		Unit 1

\*This study

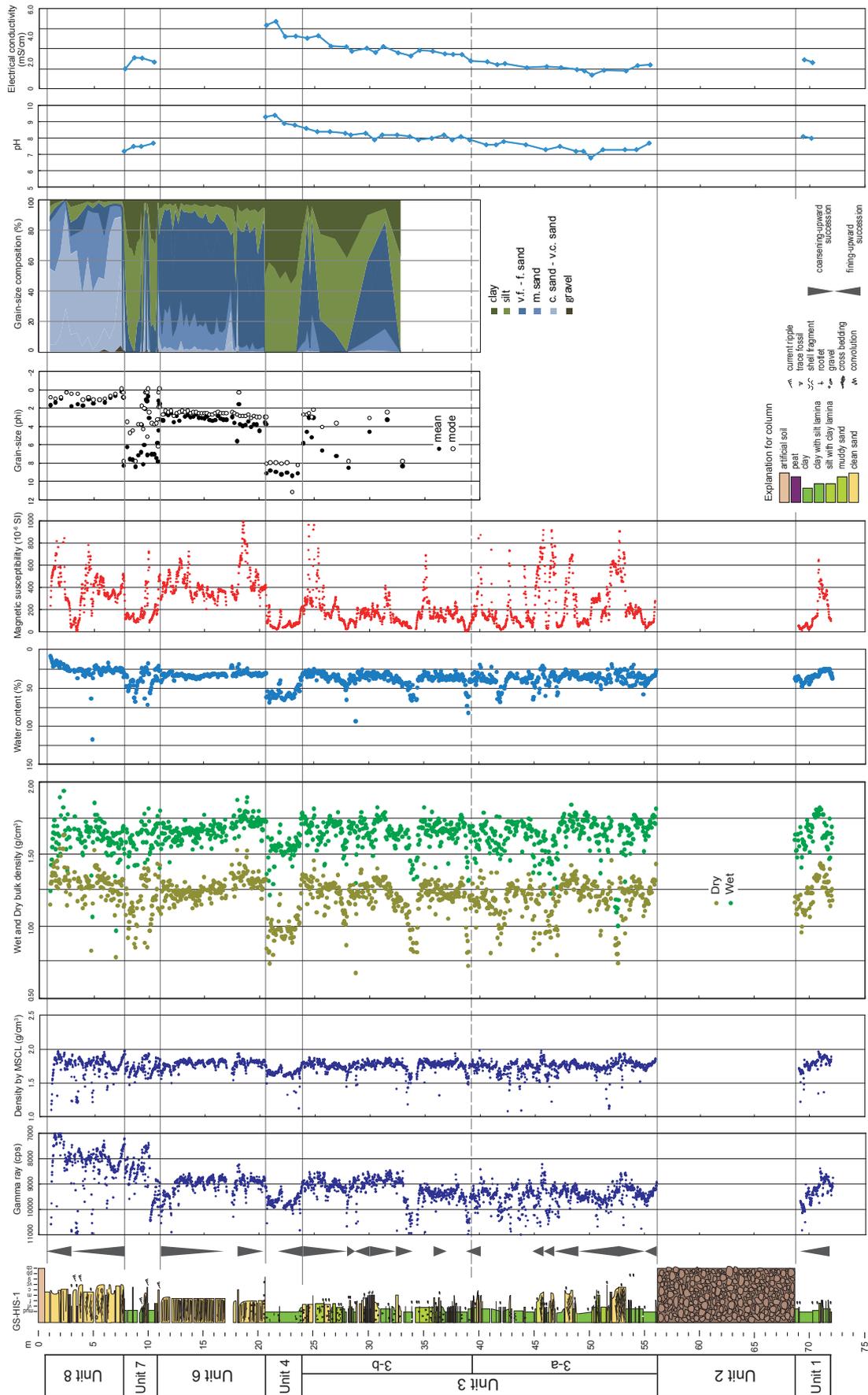
\*\*Kawakami *et al.* (2012b)

\*\*\*Kawakami *et al.* (2012a)



第 1 図 GS-HIS-1 コアの掘削地点位置図。第 1 図 B のコンター (細い破線) は石狩平野における基底礫層上面深度 (標高) の等値線 (廣瀬ほか, 2011), 黒色の太い波線は第 9 図の断面線を示す。第 1 図 B の地形図は国土地理院が公開する電子国土を用いた。

Fig. 1 Location of the GS-HIS-1 drillhole. Dashed contour lines in B show the base of alluvium beneath the Ishikari coastal plain (Hirose *et al.*, 2011). Black-colored thick dashed line shows the location of sectional profile in Fig. 9. The topographic map in C is after “Denshi Kokudo” by the Geospatial Information Authority of Japan.



第2図 GS-HIS-1 コアの柱状図及び堆積物物性 (透過ガンマ線強度, ガンマ線換算密度, 湿潤及び乾燥かさ密度, 含水比, 補正帯磁率, 粒度組成, pH, 電気伝導度).  
 Fig. 2 Sedimentary column of the GS-HIS-1 core, showing physical properties of the sediment (attenuated gamma ray intensity (raw data), density converted from attenuated gamma ray intensity, wet and dry bulk density, water content, calibrated magnetic susceptibility, grain-size, grain-size composition, pH, and electrical conductivity).

第2表 AMS <sup>14</sup>C年代測定結果. 校正カーブは植物片に IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004), 貝殻片及びウニ片に Marine04 (Hughen *et al.*, 2004) を用いた.

Table 2. Results of AMS <sup>14</sup>C dating. Calibration database: IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004) for plant fragments, Marine04 (Hughen *et al.*, 2004) for shell and echinoid fragments.

Sample No.	Depth (m)	Elevation (m)	Material	Measured <sup>14</sup> C age (yr BP)	δ <sup>13</sup> C (‰)	Conventional <sup>14</sup> C age (yr BP)	2σ calibrated age range(s) (cal BP)	Lab. No.
HIS-01	4.08	-1.52	plant fragments	2700±40	-21.7	2750±40	2940-2760	Beta-282981
HIS-02	9.90	-7.34	echinoid fragments	2730±40	+0.8	3150±40	3050-2840	Beta-282982
HIS-03	12.93	-10.37	shell fragments ( <i>Cryptomya busoensis</i> )	2830±40	-0.3	3240±40	3190-2940	Beta-282983
HIS-04	19.84	-17.28	shell fragments ( <i>Macoma</i> sp.)	3960±40	-0.7	4360±40	4600-4400	Beta-282984
HIS-05	20.60	-18.04	shell fragments ( <i>Raetellops pulchellus</i> )	4550±40	-1.3	4940±40	5330-5220	Beta-282985
HIS-06	23.48	-20.92	shell fragments ( <i>Potamocorbula</i> sp.)	7970±40	-1.9	8350±40	9010-8840	Beta-282986
HIS-07	29.54	-26.98	plant fragments	9770±50	-25.8	9760±50	11240-11130	Beta-282987
HIS-08	38.95	-36.39	plant fragments	9460±50	-28.8	9400±50	10740-10510	Beta-282988
HIS-09	44.87	-42.31	plant fragments	9540±50	-27.6	9500±50	11080-10940 10870-10650 10620-10600	Beta-282989
HIS-10	55.15	-52.59	plant fragments	10860±50	-29.8	10780±50	12860-12780	Beta-282990
HIS-11	68.65	-66.09	plant fragments	40540±330	-28.1	40490±330		Beta-282991

色調は、日本色研事業(株)発行の標準土色帖を用い湿潤状態の色調を記録した。軟X線写真は、内寸が厚さ1 cm, 幅6 cm, 長さ25 cmまたは20 cmの透明アクリルケースに採取したスラブ試料を、試料が乾かないうちに撮影した。X線の強度条件は管電圧40 kVp, 電流3 mA, 照射時間は20~30秒の範囲で変えた。剥ぎとり標本は、湿潤状態の半裁コアに裏打ちとなる不織布を当て、その上から5~6倍の水で溶いた親水性ポリウレタン樹脂(東邦化学工業(株)製のハイセルOH-1AX)を塗布し、樹脂の固化後に引き剥がすという手順で採取した。

**珪藻:** 珪藻化石の分析には、乾燥重量測定を終えたキューブ試料(後述)を用いた。鑑定用プレパラートの作成手順は嵯峨山ほか(2010)に従った。プレパラートは173枚作成し、その中から層厚0.5~1 m間隔となるように、かつ珪藻殻を多く含む45試料を選別し、珪藻種の同定を行った。同定はHustedt(1930a; 1930b; 1959; 1961-1966)及びKramer and Lange-Bertalot(1986; 1988; 1991a; 1991b)に従い、1250倍の生物用光学顕微鏡で1試料につき100個体を目処としてカウントした。第4図に、同定した種のうち代表的なものを選んで深度ごとの産出頻度を示したほか、小菅(1972), 濁川・西片(1975), 野尻湖珪藻グループ(1980), 小杉(1988), 安藤(1990), 長谷川・濁川(1993), 工藤(1997), 濁川・長谷川(1999; 2002; 2005)を参考に、海生種, 海生~汽水生種, 汽水生種, 汽水生~淡水生種, 淡水生種, 絶滅種及び不明種に7区分して整理し、その構成を個数百分率で示した。

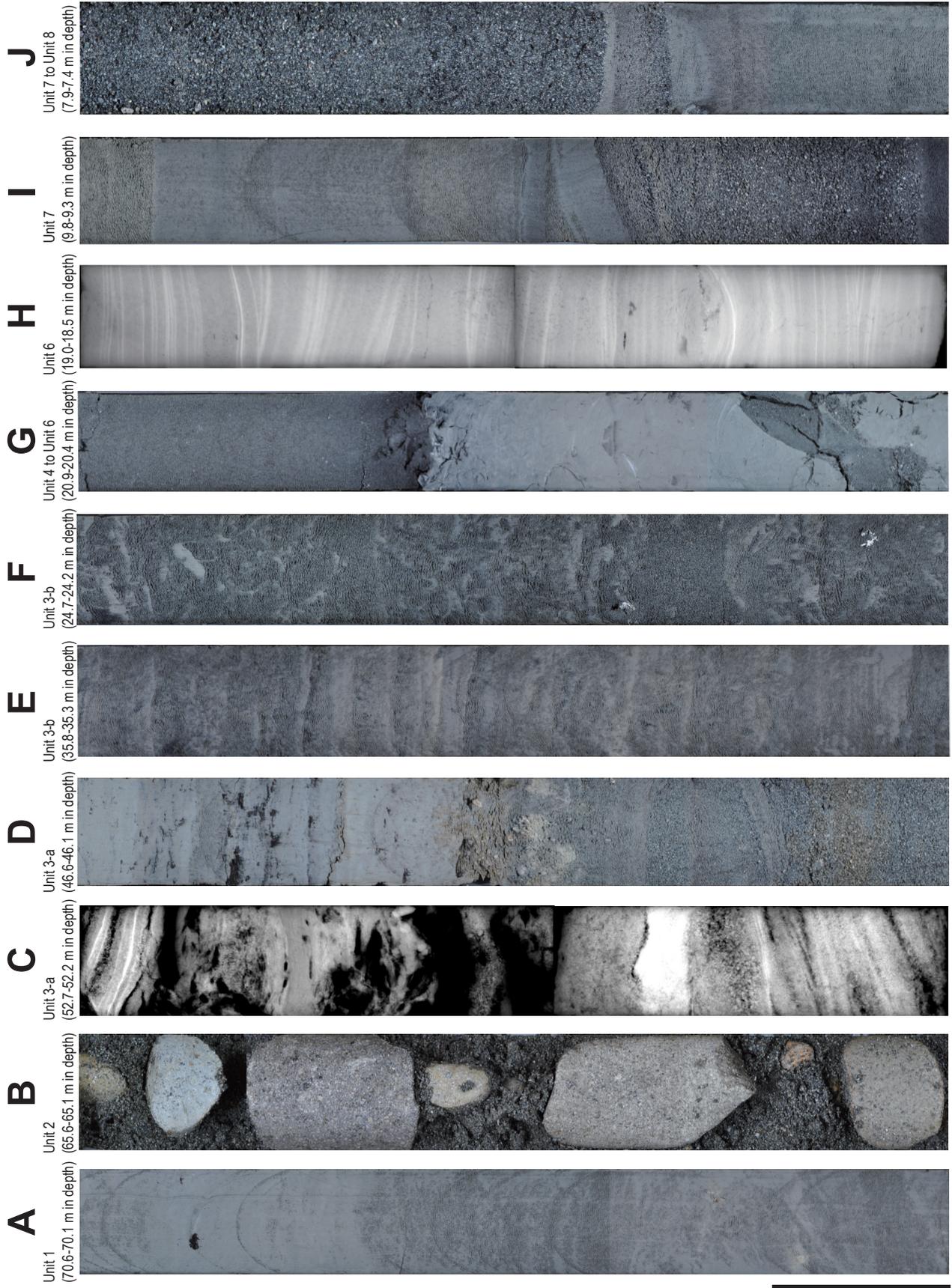
**<sup>14</sup>C年代測定:** 年代測定試料のうち深度23.48~12.93 mの4試料は貝殻片, 深度9.90 mの1試料はウニの破片, 残りの6試料は植物片である(第2表)。測定試料は堆

積物中から拾い出した植物片・生物片をイオン交換水で洗浄後に乾燥させ、そのうち植物片は葉片の集合状のものを優先して選び測定に供した。AMSによる<sup>14</sup>C年代測定及び暦年校正は、(株)地球科学研究所に依頼した。植物片の暦年校正にはIntCal04(Reimer *et al.*, 2004)を、貝殻及びウニ片の校正にはMarine04(Hughen *et al.*, 2004)を用い、後者の校正ではΔR=0, 海洋効果100%とした。本文では、特に断らない限り誤差2σをとって校正した暦年代を表記する。

**密度及び含水比:** MSCLによるコアの透過ガンマ線強度を、測定日ごとの1 cm, 2 cm, 3 cm厚のアルミ板(密度2.71 g/cm<sup>3</sup>)の測定値をもとに換算し、ガンマ線換算密度(山口ほか, 2009)として求めた。それとは別に、半裁直後のコアから深度5 cmおきに7 ccのポリカーボネート製キューブ容器に詰めて連続採取した堆積物試料(以下キューブ試料)を用い、採取直後の湿潤重量及び60℃で48時間乾燥させた後の乾燥重量を計測して、湿潤かさ密度, 乾燥かさ密度を求めた。なお透過ガンマ線強度に認められる1 mごとの規則的な値の増加は、コアの継ぎ目によるものである。含水比はキューブ試料の湿潤重量と乾燥重量から求めた。

**帯磁率:** MSCLを用い1 cm間隔で連続計測した。ループセンサーは径125 mmである。測定した値をコア径及びループセンサーの内径に応じて補正し、補正帯磁率を求めた。

**粒度分析:** 分析試料は、コア深度33 mより上位の層準から97層準を選び、軟X線撮影のために採取したスラブ試料またはキューブ試料から分取した。およそ0.2 g(泥質試料)~6.0 g(砂質試料)の試料に対し、酢酸(20

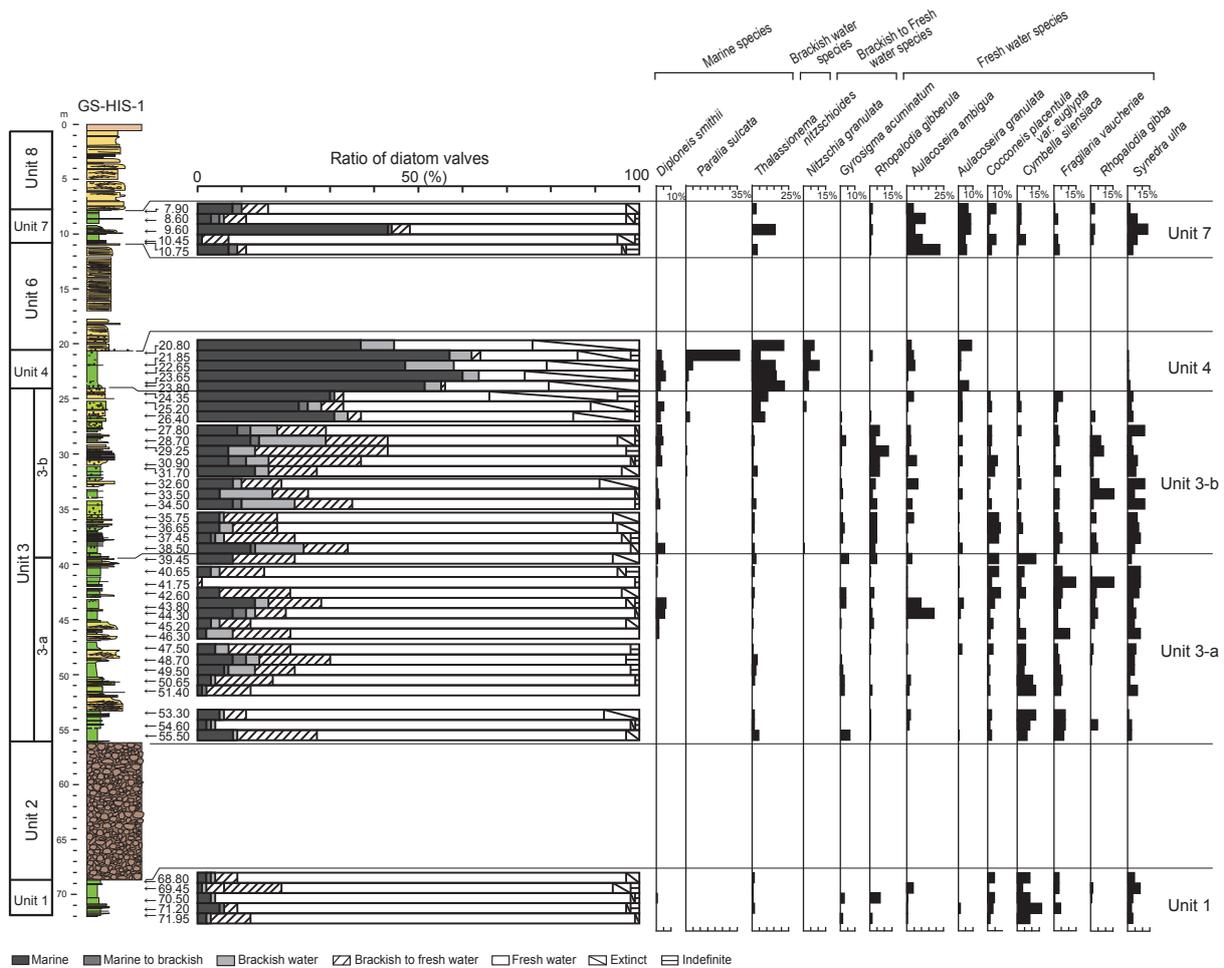


10 cm

←

第3図 GS-HIS-1 コアの層序ユニットの代表的写真. A: ユニット1の不明瞭に成層するシルト層及び粘土層, B: 粗粒砂基質に支持されるユニット2の中礫~大礫. C: ユニット3-aのトラフ状斜交層理砂層(軟X線写真). 木片(黒色部分)を伴う. D: ユニット3-aの粘土・シルトの細互層. トラフ状斜交層理砂層を覆う. 黒く見えるのは植物片. E: ユニット3-bの弱く生物擾乱を受けた細粒砂層とシルト層の細互層~葉理互層. F: 巣穴状生痕による強い擾乱を受けたユニット3-bの砂質層準. G: ユニット6の淘汰の良い細粒砂がユニット4の塊状の泥を侵食的に覆う. 境界面上には小さな中礫が見られる. 写真下部の大型の巣穴状生痕は貝殻片を含む細粒砂により充填されている. H: トラフ状, またはハンモック状~スウェール状斜交層理を示すユニット6の砂層(軟X線写真). I: 粗粒砂層を挟在するユニット7の褐色の泥層. J: ユニット7の褐色の泥層を覆うユニット8の中粒砂層.

Fig.3 Representative photographs and radiographs of stratigraphic units in the GS-HIS-1 core. A: Slightly stratified silty and clayey beds in Unit 1. B: Cobbles and pebbles in Unit 2, supported by coarse-grained sand matrix. C: Radiograph of trough cross-bedded sands in Unit 3-a. Black parts are wood fragments. D: Thinly stratified clayey and silty beds of Unit 3-a, overlying trough cross-bedded sands. Scattered black materials are plant fragments. E: Weakly bioturbated, thinly stratified to laminated sand and silt of Unit 3-b. F: Strongly burrowed sandy interval of Unit 3-b. G: Well sorted fine-grained sands of Unit 6 erosively overlie massive muds of Unit 4. Note a fine pebble occurred on the erosive contact. A large ellipsoidal burrow at the bottom of the photo is filled by shell-fragments bearing sands. H: Radiograph of trough cross-bedded, or hummocky to swaly cross-bedded sands in Unit 6. I: Brownish muds in Unit 7 intercalate coarse-grained sand beds. J: Medium-grained sands of Unit 8 overlie brownish muds of Unit 7.



第4図 GS-HIS-1 コアから産出した珪藻化石群集. 柱状図の凡例は第2図を参照.

Fig. 4 Diatom assemblages of the GS-HIS-1 core. See Fig. 2 for the explanation of the columnar section.

vol%)により炭酸塩を、更に過酸化水素水(6%)により有機物を除去した後、超音波分散させた。測定レンジを超える礫サイズの粒子は、 $-0.5\Phi$  (1.41 mm)のふるいを用いて除去し、残りを地質研所有のレーザー回折式粒度分析装置(coulter社製LS230)により分析した。なお礫サイズの碎屑粒子は重量を測定して細粒分との重量比として割合を求めたが、最大でも5%を下回る。得られた結果は、粘土(8 $\Phi$ 以上)、シルト(8~4 $\Phi$ )、極細粒砂(3 $\Phi$ )、細粒砂(2 $\Phi$ )、中粒砂(1 $\Phi$ )、粗粒砂(0 $\Phi$ )、極粗粒砂(-1 $\Phi$ )、礫に区分して割合を示した。なおサブミクロンオーダーの測定は偏光の散乱理論(ミュー散乱理論)により算出しており、光学条件は屈折率実数部を1.45、虚数部を0.01とした。得られた粒度組成からモーメント法によって平均粒径及び最頻径値を求めた。なお、最頻径値はモード径を含む粒径階の平均値とした。

**水素イオン濃度指数(pH)・電気伝導度(EC)**: 層厚1 m毎に泥質な層準を選んで試料(層厚10 cm相当)を採取し、分析に供した。測定手順は、地盤工学会による土懸濁液の作成法を改良した内山ほか(2011)の方法にしている。すなわち試料にその乾燥重量の5倍の蒸留水を加え十分に攪拌し、30分以上~3時間以内で静置させたあと遠心分離・ろ過した溶液のpH、ECを、HORIBA製コンパクト電気伝導率計Twin cond B-173及びコンパクトpHメータTwin pH B-212を用いて計測した。なお電気伝導度の値は、含水比の値から希釈率を求めて測定値を補正したものである。

#### 4. 層序区分と層相, 化石, 年代値

掘削されたコアのうち深度56~68.5 mは礫層からなり、その下位には植物片を伴う泥層とそれに挟まれる薄い砂層が確認された。後述する $^{14}\text{C}$ 年代値から、この礫層が沖積層の基底礫層で、下位の泥層・砂層は上部更新統である。層相からコアは7つの層序ユニットに区分される(第2図)。なお後述するが、既報の当別町川下地区(GS-HTB-1, -2:川上ほか, 2012a)及び太美地区(GS-HTF-1:川上ほか, 2012b)とは、沖積層最上部の層相が大きく異なる。すなわち親船地区では川下・太美両地区の最上位ユニット(ユニット5)に相当する層相を欠き、代わりに3つの層序ユニットが新たに識別される。そこで対比上の混乱を避けるため、7つの層序ユニットを下位よりユニット1~4, 6~8とする(第1表)。

##### ユニット1 [深度72.0 m ~ 68.5 m]

**記載**: 本ユニットは不明瞭に成層する粘土層とシルト層からなり(第3図A)、リップル斜交葉理とともに逆級化構造をもつ数cm~10 cmの厚さの細粒砂層を伴う。砂層は主にユニット下部に挟在し、ユニット上部は粘土層の割合が増えて上方細粒化をなす。明瞭な生物擾乱は認められず、植物片がわずかに散在する。粘土の色調は灰

(7.5Y 6/1 ~ 4/1, 10Y 6/1 ~ 5/1)、シルトは灰(7.5Y5/1 ~ 4/1, 5Y4/1)や暗オリーブ灰(2.5GY4/1)、細粒砂は暗オリーブ灰(2.5GY 4/1 ~ 3/1, 5GY 4/1 ~ 3/1)を呈する。

珪藻化石の主要産出種は淡水生種の*Cymbella silesiaca* Bleischや*Fragilaria vaucheriae* Kütz.である。

ユニット最上部(深度68.65 m)に含まれていた植物片の $^{14}\text{C}$ 年代値は40,490 $\pm$ 330 y BP (conventional age)であった。

**解釈**: 厚さが3 mほどで十分な解釈は難しいが、層相や産出する珪藻化石種などが後述するユニット3-aとよく類似する。したがって堆積年代は異なるものの、ユニット3-a同様に蛇行河川の氾濫原で堆積したものと考えられる。およそ4万年前の $^{14}\text{C}$ 年代値を示すことから、本ユニットは沖積層の下位の上部更新統に相当する。

##### ユニット2 [深度68.5 m ~ 56.1 m]

**記載**: 本ユニットは全体に不淘汰な礫層からなり、成層構造や上方細粒化あるいは粗粒化などの系統的な粒径変化が認められないが、掘削時の乱れによって本来の層相を保持していない可能性がある。基質は細礫を混じえる粗粒~極粗粒砂、礫は中礫~大礫サイズでコア径を超えるものが少なくない(第3図B)。礫の形状は主に亜円礫であり、礫種はデイサイト質~安山岩質の火山岩が卓越する。

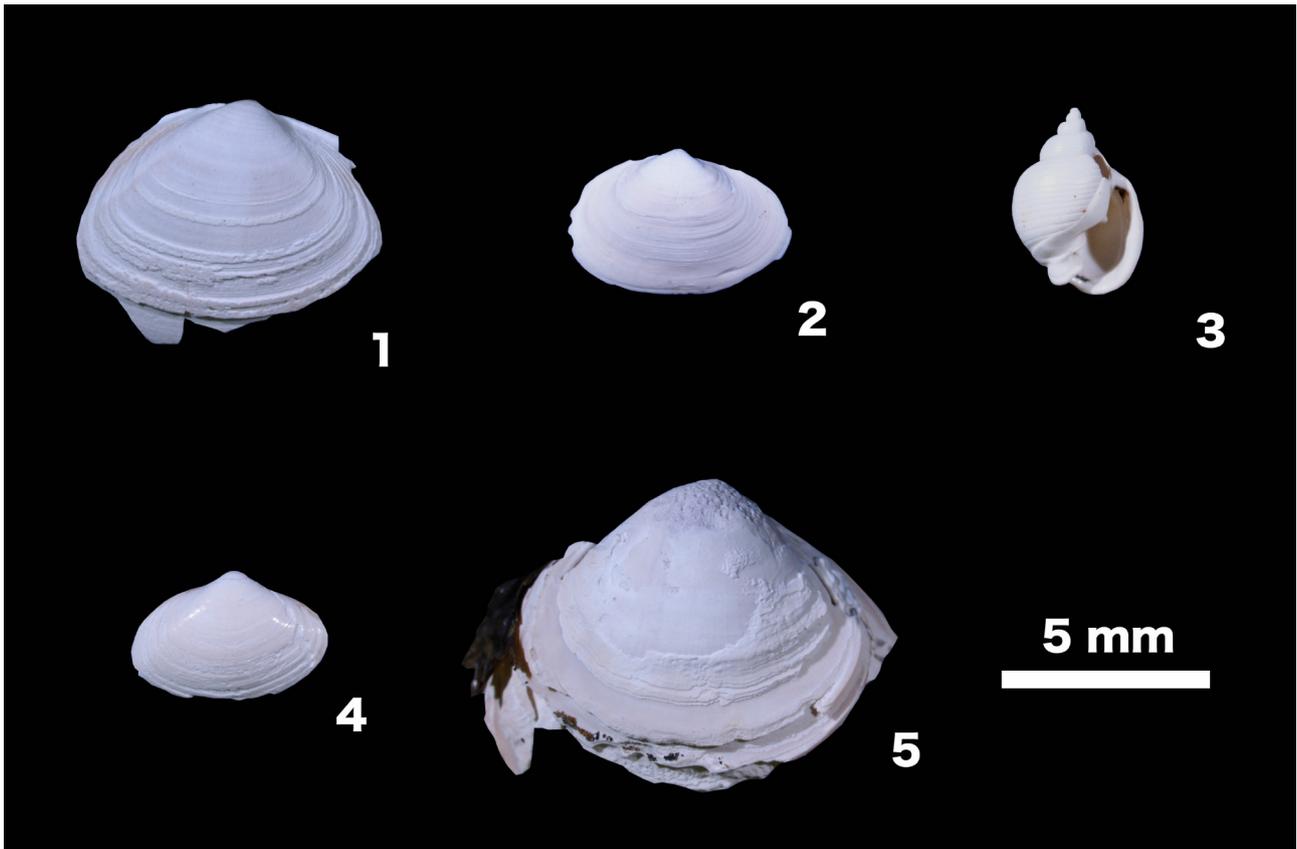
本ユニットからは年代試料は得られていない。また珪藻化石の分析は行っていない。

**解釈**: 本ユニットには貝化石や生痕化石は認められず、不淘汰な礫層のみからなる。上位及び下位のユニットが河川の氾濫原で堆積したと考えられること、本ユニットを境に大きな時間間隙が認められることから、下位層を侵食的に覆う礫質河川の堆積物と解釈される。また分布深度から、松下(1979)の埋没谷礫層—すなわち沖積層の基底礫層に対比される。

##### ユニット3 [深度56.1 m ~ 24.0 m]

**記載**: 本ユニットは成層する粘土層、シルト層及び砂層からなり、層理に沿って集合する植物片がしばしば認められる。下半部は生物擾乱をほとんど受けていないのに対し上半部は生物擾乱を受けている。それらを深度39.3 mを境に、3-a, 3-bの2つのユニットに細分して記述する。**ユニット3-a (56.1 m ~ 39.3 m)** 本ユニットは、厚さが最大1.5 mに達する粘土層と、細粒砂層及び粘土~シルト層からなる葉理互層(数mm~1 cm程度の厚さで葉理状に成層するもの)~細互層(1~5 cm程度の厚さで互層するもの)、並びに厚さが10 cm~最大1 m程度のトラフ状や平板状の斜交層理砂層から構成される。これらは下位層を侵食的に覆う斜交層理砂層にはじまり、細互層~葉理互層、粘土層の順に累重する厚さ1~4 mの規模の上方細粒化サクセッションを示す。

斜交層理砂層はセット高が1~10 cmで、主に細粒~中粒砂からなる。深度53~52 mの斜交層理砂層は極



第5図 GS-HIS-1 コアから産出した貝化石. 1. *Mactra chinensis* Philippi, バカガイ, 深度 12.86-13.00 m. 2. *Cryptomya busoensis* Yokoyama, ヒメマスオガイ, 深度 12.86-13.00 m. 3. *Ringiculina doliaris* (Gould), マメウラシマガイ, 深度 19.20-19.30 m. 4. *Potamocorbula* sp., ヌマコダキガイ類, 深度 23.48-23.50 m. 5. *Corbicula japonica* Prime, ヤマトシジミ, 深度 27.14-27.15 m.  
 Fig. 5 Molluscan fossils from the GS-HIS-1 core. 1. *Mactra chinensis* Philippi, 12.86-13.00 m below the ground surface. 2. *Cryptomya busoensis* Yokoyama, 12.86-13.00 m. 3. *Ringiculina doliaris* (Gould), 19.20-19.30 m. 4. *Potamocorbula* sp., 23.48-23.50 m. 5. *Corbicula japonica* Prime, 27.14-27.15 m.

粗粒砂からなり、木片を伴う (第3図C)。細互層をなす細粒砂層にも低角の平板状斜交層理やリップル斜交葉理が認められ、しばしば逆級化構造を示す。細互層や厚い泥層には植物片が含まれ (第3図D)、軟X線写真では根痕が認められる。また藍鉄鉱と思われる径数ミリメートルの青色～青白色の鉱物粒が点在する。泥層の色調は灰 (7.5Y4/1, 10Y4/1～5/1), 暗オリーブ灰 (5GY4/1, 2.5GY4/1), オリーブ黒 (7.5Y3/1, 10Y3/1) などで、植物片に富むものはオリーブ黒～灰 (2.5GY3/1～5/1) を帯びる。

珪藻化石は、淡水生や汽水～淡水生の *Athnanthes lanceolata* Bréb., *Fragilaria vaucheriae*, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr. などを多く産する。*A. lanceolata* は中～下流性河川指標種群に属する (安藤, 1990)。また深度 43.8 m の試料からは *Aulacoseira ambigua* (Grun.) Simonsen や *Diploneis smithii* (Bréb.) Cleve が多産し、このうち *A. ambigua* は湖沼沼沢湿地指標種群に属する (安藤, 1990)。

植物片を用い、2層準で<sup>14</sup>C年代測定を行った。年代

値は、下底付近 (深度 55.15 m) が 12,860-12,780 cal BP、中部層準 (深度 44.87 m) が 11,080-10,940 / 10,870-10,650 / 10,620-10,600 cal BP である。

ユニット 3-b (深度 39.3 m～24.0 m) 本ユニットは厚さ 1 m 程度以下の粘土層と、細粒～中粒砂層及び粘土～シルト層からなる葉理互層や細互層からなり、下位ユニットに見られるような厚い斜交層理砂層は見られない。厚さが 1～4 m の規模の上方粗粒化サクセッションが発達し、細互層をなす砂層には逆級化構造や、一部にリップル斜交葉理が見られる。層理に沿って集合する植物片はユニット全体に見られるほか、根痕も認められる。全体に生物擾乱を受けており (第3図E)、特に深度 27.5 m 以浅は擾乱が強く巣穴状生痕も認められる (第3図F)。また深度 30.12～24.46 m には貝殻片が認められ、同定不能のものを除くと全てヤマトシジミ (*Corbicula japonica* Prime) であった (第5図, 第3表)。

珪藻化石は、下位ユニットと同様に淡水生や汽水～淡水生の *Athnanthes lanceolata*, *Fragilaria vaucheriae*,

第3表 GS-HIS-1 コアから産出した貝化石群集. “\*”は破片の存在を示す.

Table 3. Molluscan fossil assemblages from the GS-HIS-1 core. The symbol “\*” indicates a presence of fragments.

Specific name	Depth in core (m) →	30.12	29.50	27.60	27.14	26.33	25.68	25.25	24.59	24.46	23.50	21.95	21.85	21.36	21.08	20.62	19.84	19.25	18.95	18.40	17.48	16.60	16.25	15.20	14.62	14.28	13.45	12.93	9.90
<i>Corbicula japonica</i> Prime		1*			1*	1*		2*	1*	3*																			
<i>Potamocorbula</i> sp.											5*																		
<i>Batillaria</i> ? sp.												*																	
<i>Raetellops pulchellus</i> (Adams and Reeve)														*	*			*	*								*		
<i>Macoma</i> sp.																1*				1			1						
<i>Ringiculina doliaris</i> (Gould)																				1									
<i>Cryptonatica</i> sp.																				1	1								
<i>Cryptomya busoensis</i> Yokoyama																													2
<i>Maetra chinensis</i> Philippoi																													2
<i>Yoldia</i> sp.																									1				
Shell fragments		*	*			*								*						*	*		*		*	*	*	*	*
Bryozoan fragments												*																	
Echinoid fragments																													*

Specific name	Japanese name	Habitat
<i>Corbicula japonica</i> Prime	ヤマトシジミ	brackish, sand & mud
<i>Potamocorbula</i> sp.	ヌマコダキガイの仲間	brackish, mud intertidal
<i>Batillaria</i> ? sp.	ウミニナの仲間?	
<i>Raetellops pulchellus</i> (Adams and Reeve)	チヨノハナガイ	sand & mud subtidal-100m
<i>Macoma</i> sp.	シラトリガイの仲間	
<i>Ringiculina doliaris</i> (Gould)	マメウラシマガイ	fine sand & mud 5-150m
<i>Cryptonatica</i> sp.	タマガイの仲間	
<i>Cryptomya busoensis</i> Yokoyama	ヒメマスオガイ	mud intertidal-170m
<i>Maetra chinensis</i> Philippoi	バカガイ	sand & mud lower tidal-50m
<i>Yoldia</i> sp.	ソデガイの仲間	

*Synedra ulna*などを多く産するが、生物擾乱の強い深度27.5 m以浅の試料からは海生種である *Diploneis smithii*, *Paralia sulcata* (Ehr.) Cleve, *Thalassionema nitzschioides* (Grun.) Mereschkowsky が多く共産する。このうち *P. sulcata* は内湾指標種群の代表種、*T. nitzschioides* は外洋指標種群及び内湾指標種群の主要構成種 (小杉, 1988) である。

植物片を用い2層準で<sup>14</sup>C年代測定を行った。下底付近(深度38.95 m)が10,740-10,510 cal BP, 上部(深度29.54 m)が11,240-11,130 cal BPの年代値を示し、上部の方が古い逆転した値であった。

**解釈:** ユニット3-aには貝化石は全く確認されず、産出する珪藻化石は淡水生種が優勢であり、特に中～下流性河川指標種群や湖沼沼沢湿地指標種群に属する種を含む。斜交層理砂層にはじまる上方細粒化サクセッションは、河川の流路充填堆積物の特徴である (Collinson, 1996)。またサクセッション上部の細粒層には根痕が発達し、河川の氾濫原で堆積したもの (例えば Bridge, 2006) と考えられる。流路充填堆積物と氾濫原堆積物の繰り返しは主河道の移動に伴い形成されたもので、本ユニットは蛇行河川の堆積物と考えられる。

ユニット3-bにおいても、生物擾乱が弱い深度27.5 m以深では淡水環境を示す珪藻化石が優勢である。しかし上部ほど汽水生や汽水～淡水生種の割合が増える傾向を示し、堆積場が次第に海水の影響を受けやすい河川の感潮域や塩水湿地などへ移行したことを示す。とくに深度27.5 m以浅では海生の珪藻種が30%に達し、またヤマ

トシジミを産するなど海水の影響がより強くなったことを示唆する。ユニット3-bに見られる上方粗粒化サクセッションは、河川の氾濫にともなうスプレイ (Smith and Pérez-Arlucea., 1994; Collinson, 1996; Nichol *et al.*, 1997; Bridge, 2006) の堆積物と考えられる。

**ユニット4 [深度24.0 m～20.6 m]**

**記載:** 本ユニットは主に塊状の粘土からなり、最下部はややシルト質である。粘土の色調は暗オリーブ灰(5GY 4/1)を呈する。厚さ数mmのレンズ状のシルト層が、わずかに挟在される。またシルトで充填された小さな斑状の巣穴状生痕が点在し、ユニット上部の深度20.9 mには貝殻片を混じえる細粒砂により充填された大型の巣穴状生痕が認められる(第3図G)。貝殻片は本ユニットの粘土中にも散在し、深度23.5 m付近にはヌマコダキガイ類(*Potamocorbula* sp.)、深度22.0 mにはウミニナ類と思われるもの(*Batillaria*? sp.)、深度21.0 mにはチヨノハナガイ(*Raetellops pulchellus* (Adams and Reeve))が認められた(第5図, 第3表)。

珪藻化石は海生種である *Thalassionema nitzschioides* を多産し、海生種のみで50%程度を占める。

深度23.5 mのヌマコダキガイ類を用いて測定した<sup>14</sup>C年代値は、9,010-8,840 cal BPであった。

**解釈:** 本ユニットは全体に生物擾乱を受け、珪藻化石は海生種が優勢である。またユニット下半部からヌマコダキガイ類、中部からウミニナ類、上部からチヨノハナガイを産出するなど、汽水～海水域で堆積したものと考えられる。ほぼ泥質堆積物のみから構成されることから、

波浪や河川の影響をほとんど受けない静穏な内湾の泥底環境に堆積したものと解釈される。

#### ユニット6 [深度 20.6 m ~ 11.0 m]

**記載:** 本ユニットは、異地性と考えられる破片状の貝殻を散在する淘汰の良い細粒砂から構成され、泥層は伴わない。ユニット基底は明瞭な境界を介して下位ユニットに接しており、径 1 cm 程度以下の礫及び貝殻片をラグ状に混じえる (第3図 G)。ユニット全体としては、下部から上部に向かってゆるやかに粗粒化する傾向を示す。砂層内には平行~低角で斜交する葉理が発達し (第3図 H)、形態を特定するのは難しいがセット高 10 ~ 30 cm の平板状またはトラフ状斜交層理や、ハンモック状あるいはスウェール状斜交層理の一部と推定される。同定された貝は、主に潮下帯に生息するものである (第3表)。なお本ユニットは砂質堆積物のみからなるため、珪藻化石は検討していない。

ユニット基底のチヨノハナガイが 5,330-5,220 cal BP、深度 19.84 m のシラトリガイ類が 4,600-4,400 cal BP、ユニット上部 (深度 12.93 m) のヒメマスオガイが 3,190-2,940 cal BP の  $^{14}\text{C}$  年代値を示した。

**解釈:** 本ユニットと下位ユニットの  $^{14}\text{C}$  年代値には時間間隙が認められ、基底にはラグ堆積物を伴う。したがって、本ユニットは下位の内湾泥層を侵食して覆っていると考えられる。全体に淘汰の良い細粒砂層からなり、トラフ状あるいはハンモック状~スウェール状斜交層理が癒着して発達することから、波浪卓越型陸棚における下部外浜の堆積物の特徴 (斎藤, 1989) に合致する。潮下帯の貝殻片を含むことも、この解釈を支持する。

#### ユニット7 [深度 11.0 m ~ 7.7 m]

**記載:** 本ユニットは褐色~暗褐色の泥層を主体とし、基底部には波状層理 (Reineck and Singh, 1980) をなす不淘汰な中粒~粗粒砂層、中部にはトラフ状斜交層理をなす厚さ 5 ~ 20 cm の中粒~粗粒砂層が数枚挟まれる (第3図 I)。泥層は肉眼では塊状にみえるが、軟 X 線写真では細かな葉理が確認され生物擾乱は受けていない。色調は暗オリーブ灰 (2.5GY 3/1)、オリーブ黒 (10Y 3/1)、灰 (7.5Y 4/1) などである。植物片や貝殻片はほとんど含まれないが、中部層準の砂層 (深度 9.9 m) にウニの破片が含まれていた。

珪藻化石は、*Aulacoseira ambigua* や *Synedra ulna* など淡水生種が多く産するが、中部の斜交層理砂層を覆う泥層 (深度 9.6 m) からは *Thalassionema nitzschioides* が多産し、海生種の割合が 40% を超える。

ウニ片の  $^{14}\text{C}$  年代は 3,050-2,840 cal BP であった。

**解釈:** 既述のように本ユニットの下位は下部外浜の堆積物であり、また上位は後述するように上部外浜の堆積物と解釈され、海成層に挟まれる。本ユニットにおいても中部の砂層にはウニ片が含まれ、またこの砂層を覆う泥層には海生の珪藻が多く含まれていた。一方で、それ

以外の 4 層準から産出した珪藻化石は淡水生種が優勢で、淡水環境下で堆積したことを示唆する。本ユニットは全体に泥層を主体とすることから静穏で、かつ間欠的に海からの碎屑物が流入する淡水環境、例えばラグーンや、砂州により閉塞された河川の河口域などが想定される。ウニ片を混じえる砂層の流入は高潮などによると推定されるが、下位や上位のユニットとの関係を含め後段で再度議論する。

#### ユニット8 [深度 7.7 m ~ 0.4 m]

**記載:** 本ユニットはやや不淘汰な中粒~粗粒砂を主体とし、明瞭な境界を介して下位の褐色泥層を覆う (第3図 J)。深度 3.5 m 以深には低角または高角のトラフ状斜交層理が発達する。ユニット上部では極細粒砂層を挟在して、不明瞭な平行層理~低角の斜交層理をなす。貝殻片は伴わず、深度 3 ~ 5 m には木片や植物片が層理に沿って集合し、特に深度 3.3 ~ 3.5 m には層状に集積した木片が認められる。

極細粒砂層から珪藻の抽出を試みたが、十分な数の産出は得られなかった。

深度 4.08 m の植物片は 2,940-2,760 cal BP の  $^{14}\text{C}$  年代を示した。

**解釈:** 泥層を欠いて全体に粗粒な砂層から構成され、トラフ状斜交層理や平行層理~低角の斜交層理が発達することから、掃流や波浪の影響のもとで堆積したと考えられる。貝殻片などは認められないが、花畔低地帯の浜堤列を構成する砂体であることから、上部外浜~海浜の堆積物と推定される。とくに本ユニットの下部~中部に発達する斜交層理砂層は、上部外浜の沿岸砂州を構成する堆積物 (斎藤, 1989) と考えられる。

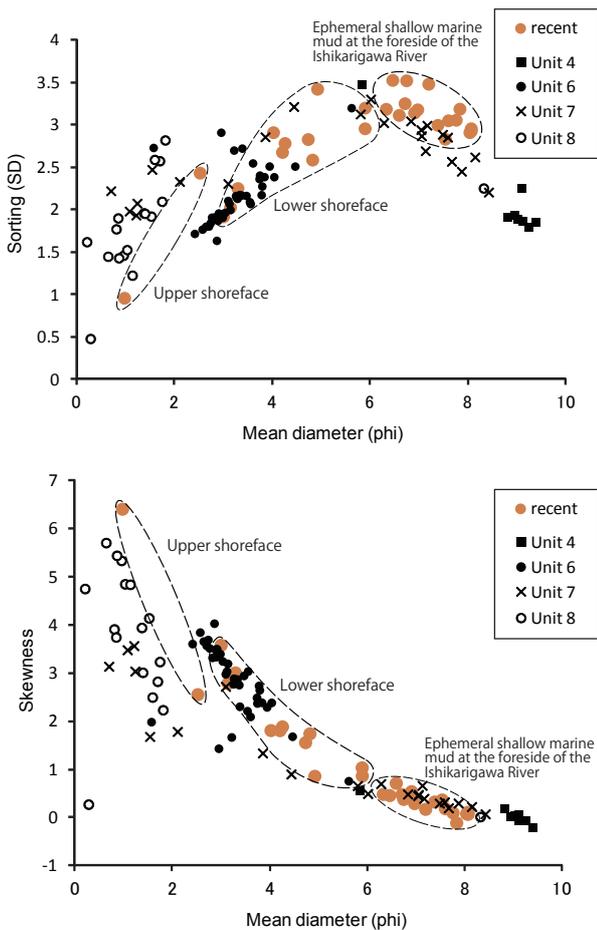
## 5. 堆積物物性と粒度組成, pH, 及び EC

### 密度及び含水比

ガンマ線換算密度と、キューブ試料から求めた湿潤及び乾燥かさ密度の深度プロファイルは一致するものの、ガンマ線換算密度の値の方が湿潤かさ密度より高い傾向がある (第2図)。その理由については明確ではないため、本論では密度のおおよその値と、その相対的な変化傾向について参照するにとどめる。

密度データの深度プロファイルは、層相記載で記述した各ユニットに発達する上方粗粒化や上方細粒化のサクセッションとおおむね対応している。一方、泥層のガンマ線換算密度の値から深度と密度の関係を比較すると、ユニット1及びユニット3は 1.7-1.8 g/cm<sup>3</sup> で一定しており、ユニット4では 1.6 g/cm<sup>3</sup> 程度まで減少する。ユニット7では値がばらつきははっきりしないが、1.6-1.75 g/cm<sup>3</sup> の範囲である。深度と密度の関係に一定の傾向は見出し難い。

含水比の深度プロファイルは密度データの深度プロ



第6図 GS-HIS-1 コアの堆積物と石狩湾の現世表層堆積物との粒度特性の比較。(A) 平均粒径—淘汰度(標準偏差)図及び(B) 平均粒径—歪み度図。

Fig. 6 Comparison of grain-size parameters between the GS-HIS-1 core sediments and shallow marine sediments of modern Ishikari Bay on the scatter diagrams of (A) mean diameter versus sorting (standard deviation), and (B) mean diameter versus skewness.

ファイルと良く対応する。ユニット1及び3ではおおよそ30-40%の範囲であり、ユニット4では60%程度と高含水比を示す。ユニット7では値がばらつくが、ユニット6の砂質堆積物は30%でほぼ一定であり、ユニット8では25%前後となる。

**帯磁率**

帯磁率の値は粒度組成とよく対応し、特に砂サイズの堆積物で高い値を示す。帯磁率の深度プロファイルから、層相記載で記述した各ユニットに発達する上方粗粒化や上方細粒化のサクセッションが確認される。

**粒度分析**

粒度分析はユニット3-bとその上位層準を対象とした。各ユニットの特徴を以下に簡単に記述する。

ユニット3-b：平均粒径の範囲は3.0-8.5Φで、泥分を含んで全体に淘汰が不良である。

ユニット4：最下部を除くと平均粒径は8.8-9.4Φの範囲にあり、分析対象としたユニットのうち最も細粒な粒度特性を示した。試料毎の粒度特性の差が小さく全体に均質といえるが、ユニット上部に向かって粘土の比率がわずかに減少する傾向を示す。

ユニット6：淘汰の良い細粒砂を主体とし、平均粒径の範囲は2.4-4.0Φである。上方粗粒化を示し、最頻径は最下部で3.1Φ、上部で2.3Φ、最上部では1.9Φである。

ユニット7：平均粒径値は0.7-8.4Φの範囲で広いが、これは泥層に粗粒な砂の薄層が挟在されることによる。

ユニット8：平均粒径の範囲は0.2-1.8Φで、対象としたユニットの中で最も粗粒な碎屑粒子から構成される。平均粒径値にもとづけば、コア深度2.6mを境に2回の上方細粒化を示す。

ユニット4, 6, 7, 8と、現世の石狩湾岸における海底の表層堆積物の粒度分析値(菅・濱田, 2001; 北海道立地質研究所, 2004)とを、Φ値について求めた平均粒径—淘汰度(標準偏差)及び平均粒径—歪み度の図にプロットして比較した(第6図)。なお比較対象とした現世の表層堆積物は、上部~下部外浜の砂質堆積物及び石狩川河口前面の沿岸域に広がる泥質堆積物である。

ユニット7を除くと、各ユニットの分析値は平均粒径の違いによりプロットされる領域がおおむね分かれる。内湾の泥質堆積物と解釈されたユニット4の分析値は、現世の湾岸における表層堆積物の分析値とはほとんど重ならず、より細粒側に分布する。ユニット6は現世の下部外浜の砂がプロットされる領域に入っており、堆積相にもとづく解釈と調和的である。ただしユニット6の砂は現世の下部外浜の砂と比較し、より粗粒で淘汰が良い領域に集まっている。この違いは現世の表層堆積物が静穏時に採取されたもので、暴浪による淘汰が進んでいないためと解釈される。上部外浜~後浜の堆積物と解釈されたユニット8の分析値は、現在の上部外浜堆積物より淘汰度が悪く、歪み度が小さい側にプロットされる結果となった。ただし、現世のデータが2点であることから十分な比較はできない。なお石狩湾岸における前浜の平均粒径について、太井子(1977)は石狩川河口付近で1.2-1.7Φと最も粗く、河口から南西に15km離れた場所では2.0-2.3Φと最も細かいことを報告している。ユニット8の分析試料はいずれも平均粒径が1.8Φ以下であることから、河口に近接する海浜環境にあったと推察される。ユニット7の泥層試料の分析値は、現在の石狩川河口前面の浅海域に堆積する泥質堆積物と分布が重なり、シルト層の試料は現世の下部外浜堆積物の領域に、また泥層に挟在される砂層の分析値はユニット8の分析値が占める領域と重なった。

**水素イオン濃度指数(pH)・電気伝導度(EC)**

pH及びECの値はユニット3からユニット4にかけて漸増する。深度50.2mでpH・ECはそれぞれ最小値6.8,

1.0 mS/cm となり、深度 21.5 m で最大値 9.4, 5.0 mS/cm を示す。ユニット 6, 8 は砂質堆積物のみからなりデータが無いが、ユニット 7 では pH が 7.2 ~ 7.7, EC が 1.5 ~ 2.3 mS/cm で、ユニット 3-a と同程度の値を示す。

## 6. 考察

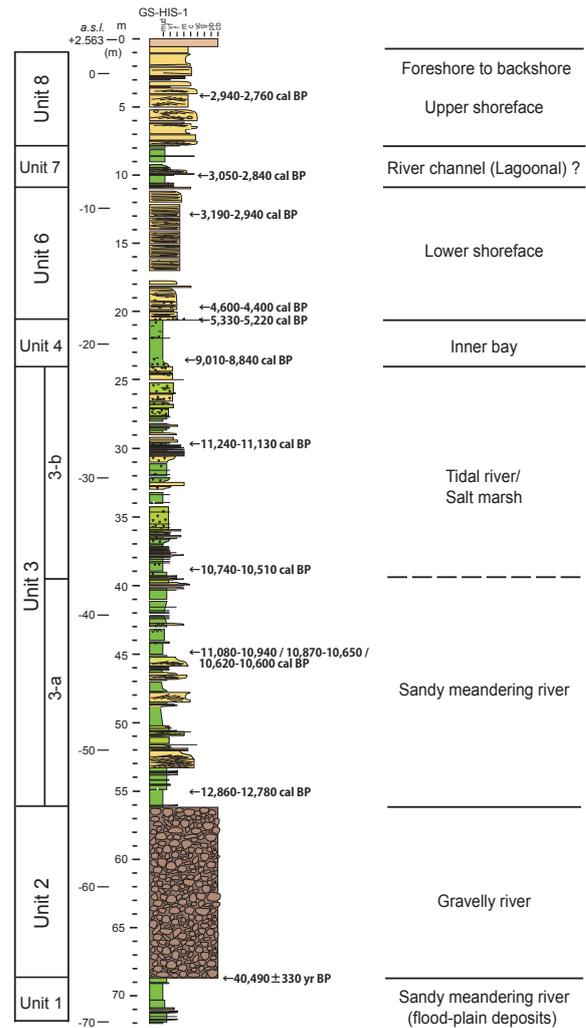
### 6.1 層序と堆積環境

GS-HIS-1 コアのユニット 3 基底 (深度 55.15 m) から得られた  $^{14}\text{C}$  年代値 (12,860 ~ 12,780 cal BP), 及びユニット 1 の最上部 (深度 68.65 m) が示す  $^{14}\text{C}$  年代値 40,490 ± 330 y BP から、ユニット 2 の礫層が沖積層基底礫層に相当する。沖積層は、下位より礫質河川堆積物 (ユニット 2), 蛇行河川 ~ 河川の感潮域及び塩水湿地の堆積物 (ユニット 3), 内湾の堆積物 (ユニット 4), そしてユニット 6 及び 8 は下部外浜及び上部外浜 ~ 海浜の堆積物で、間に挟まれるユニット 7 は淡水環境下における泥質堆積物と解釈された (第 7 図)。既報の当別町太美地区 (GS-HTF-1 コア: 川上ほか, 2012b) 及び同町川下地区 (GS-HTB-1, -2 コア: 川上ほか, 2012a) において、内湾堆積物の上位に認められた河川及び塩水湿地の堆積物 (両地点の層序ユニット 5) は、今回の親船地区では認められない。北川 (1990) により整理された既存層序と対比すると、ユニット 2, 3 が西浜層下部層, ユニット 4 が西浜層上部層 (屯田泥層), ユニット 6 ~ 8 が花畔砂層に相当する (第 1 表)。

以下、太美地区及び川下地区における調査結果と比較しながら、今回調査を行った親船地区の沖積層の層序と堆積環境の特徴について述べる。

まず基底礫層であるが、親船地区では中礫 ~ 大礫を主体とした粗粒な礫層からなり 12 m もの厚さに達する。また礫の大半が火山岩類である。一方、太美地区及び川下地区の基底礫層は、北海道中央部の中生界起源と思われる堆積岩類やチャート、緑色岩などの礫が多く、礫径は中礫サイズ以下のものがほとんどである (川上ほか, 2012a ; b)。これは親船地区において、札幌西部に源流をもつ河川 (古豊平川?) からの粗粒碎屑物供給が優勢であったことを示している。

次に、親船地区では基底礫層を覆う蛇行河川堆積物 (ユニット 3-a) の上位に、河川の感潮域及び塩水湿地の堆積物 (ユニット 3-b) が認められる。pH, EC の深度プロファイルはユニット 3-a から 3-b にかけて緩やかに高くなり、ユニット 3-b では pH が 8 ~ 8.5, EC は 3 mS/cm 程度を示す。このユニット 3-b に相当する層序ユニットは太美、川下両地区では認められず、同層準には蛇行河川堆積物が発達しており、pH, EC の値も 7 ~ 8, 1 mS/cm 以下であり変化しない (川上ほか, 2012a ; b)。親船地区は現在の石狩川河口付近にあり、10,000 年前以降には海進に伴って次第に海水の影響を受けやすい河川の感潮域と

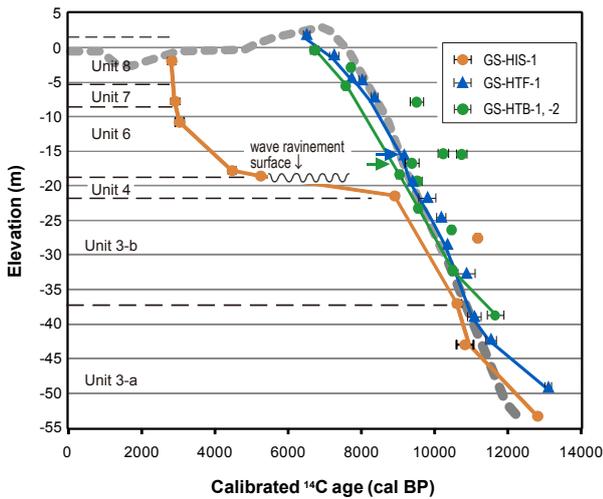


第 7 図 GS-HIS-1 コアの層序ユニットと AMS  $^{14}\text{C}$  年代、及び解釈された堆積環境。柱状図の凡例は第 2 図を参照。

Fig. 7 Summary of stratigraphy, AMS  $^{14}\text{C}$  ages, and interpreted sedimentary environments of sediments in the GS-HIS-1 core. See Fig. 2 for explanation of the columnar section.

なったことを示している。

上位のユニット 4 の堆積は、引き続き海進に伴い親船地区が内湾環境になったことを示す。この内湾泥層は 3 m 程度の厚さしかなく、下部外浜の砂層 (ユニット 6) に侵食的に覆われる。ユニット 4 下部の  $^{14}\text{C}$  年代が 9,010-8,840 cal BP であるのに対し、ユニット 6 基底に含まれる貝殻片の  $^{14}\text{C}$  年代は 5,330-5,220 cal BP で大きな開きがある。また、この貝殻片の年代値は、較正暦年で 7,000 ~ 7,500 年前頃と見積もられる縄文海進高頂期 (奥東京湾の例: 木村ほか, 2006 ; 田辺ほか, 2008) よりも有意に若い。類似のサクセッションは九十九里浜平野の海成沖積層から報告されており (田村ほか, 2006), そこでは海進期のラビンメント面を介して更新統を侵食的に覆う海退期 (5,000 cal BP 以降) の浅海成の砂体が発達する。



第8図 GS-HIS-1 コアの堆積曲線。比較のため、GS-HTB-1,-2 コア及びGS-HTF-1 コアから求めた堆積曲線を合わせて示し、緑と青の矢印でユニット3とユニット4の境界位置を示した。灰色の破線は木村ほか(2006)がコンパイルした奥東京湾における海水準変動曲線。年代値の誤差は2σの範囲を示す。

Fig. 8 Sediment accumulation curve from the GS-HIS-1 core. Accumulation curves from the GS-HTB-1, -2 cores and the GS-HTF-1 core are also shown for comparison. The green and blue arrows indicate horizons of Unit 3/Unit 4 boundary of the GS-HTB-1, -2 and the GS-HTF-1 cores, respectively. Gray dashed line shows revised sea-level curve for Paleo-Okutokyo Bay (Kimura *et al.*, 2006). Horizontal errors are given as 2σ.

それを参考にすると、基底の侵食面は海進期に形成されたラビンメント面 (Nummedal and Swift, 1987) であり、これを海退期の下部外浜の砂層がダウンラップして覆っているものと考えられる。

ユニット6からユニット8にかけては、全体として上方粗粒化、上方浅海化する。それらがつくる砂体は現在の花畔低地帯の浜堤列下のみ分布しており (松下, 1979)、上述したように縄文海進高頂期以降に海側に成長したものと結論づけられる。この砂体中に挟まれる淡水成泥層 (ユニット7) の位置づけについては、次の項で考察する。

### 6.2 外浜堆積物に挟在する淡水成泥層

ユニット7の泥層は外浜の砂層中に挟在するにも関わらず、既述のように淡水生の珪藻遺骸を多く産出し、その割合は80~90%に達する。また葉理が発達して生物擾乱は受けておらず暗褐色を呈するなど、層相からも淡水成であることが示唆される。ただし植物片や根痕が全く観察されず、ユニット3-aの氾濫原堆積物に見られる厚い泥層とは層相が異なる。堆積曲線と海水準変動曲線(第

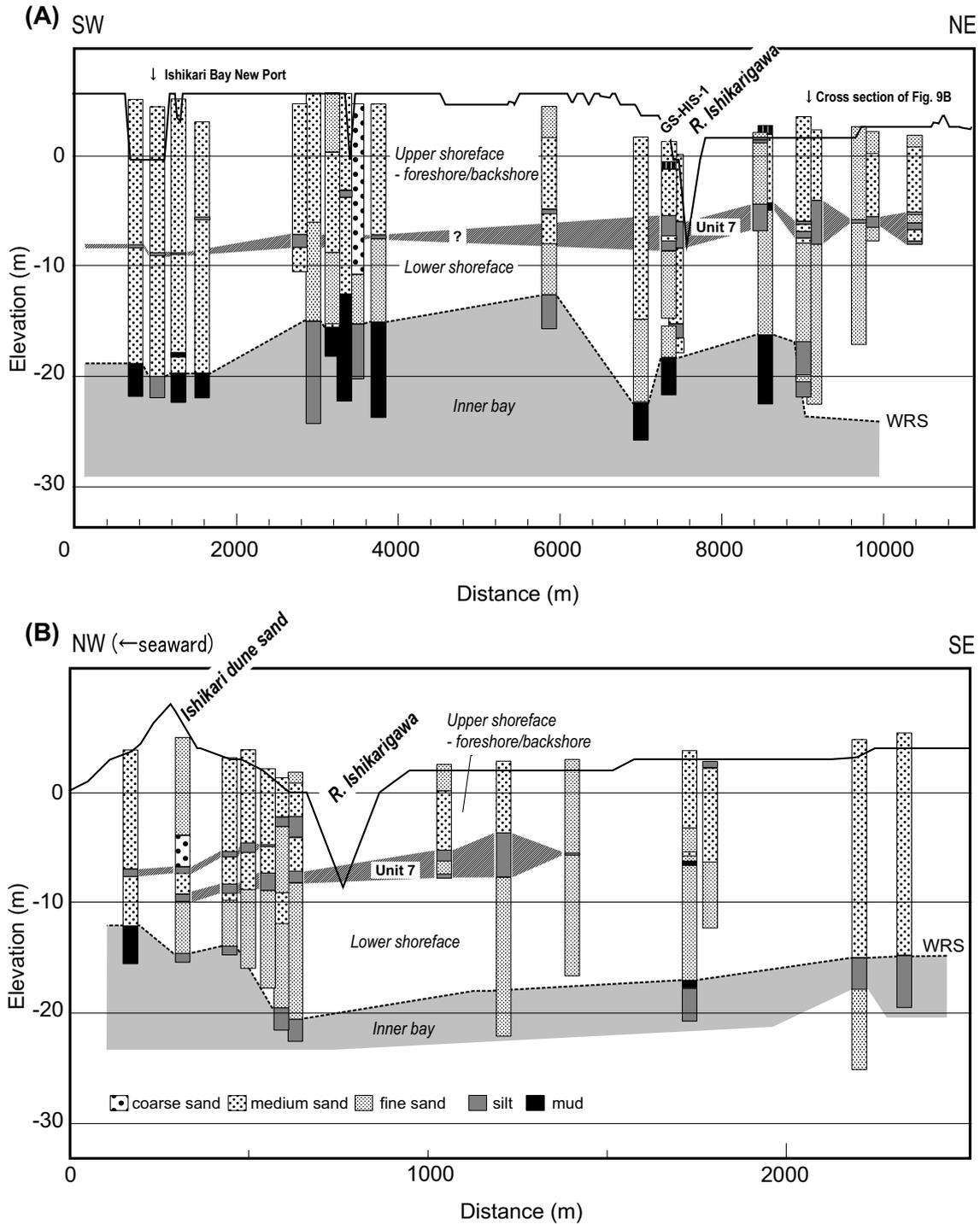
8図)に基づくと、ユニット7が堆積したおよそ3,000年前頃の海水準は現在とほぼ同じか若干低い程度であり、その時期に標高-5~-8mの場所で淡水成の泥質堆積物が形成されたことになる(堆積曲線については、後で詳述する)。

粒度特性から見ると、ユニット7の泥層は現在の石狩川河口前面の沿岸域に堆積する泥質堆積物とよい一致を示す。また、同ユニットの深度9.9mに挟在される砂層にはウニの破片が含まれ、直上の泥層(深度9.6m)試料のみ海生の珪藻を多産し、その割合は40%を超える。この砂層の粒度特性は、上部外浜~海浜の堆積物と解釈されたユニット8と類似している。

次に同ユニットの分布状態を、地盤ボーリング資料(廣瀬ほか, 2011)を用いて確認する(第9図)。泥層の対比上の判断基準として、分布標高及び層序、すなわち泥層の下位に細粒砂が、上位には中粒~粗粒砂が卓越することに着目した。その結果GS-HIS-1の掘削地点付近から北東側にかけて、海岸線に平行に流れる石狩川最下流域に沿う標高-5mから-9m付近に、ユニット7に対比し得る泥質堆積物が連続的に認められる(第9図A)。掘削地点から西方では泥質堆積物は薄く、また断続的となるが、石狩湾新港付近までは確認できる。一方、海岸線に直交する断面(第9図B)を見ると、泥質堆積物は現河道を横断してその海側・陸側の両側にそれぞれ500mほどの幅で広がり、全体として海側に傾斜するように見える。また海側末端は石狩砂丘の直下まで到達している。更に石狩砂丘の下では、2~3m浅い位置(標高-3~-7m)にも泥質堆積物のレンズが挟在するのが確認される。このことは花畔低地帯の浜堤列が海側へ成長していく過程で、浅海の砂層中に泥質堆積物が挟まれ、保存されたことを示唆する。

以上を総合的に勘案すると、ユニット7は沿岸の浜堤列が海側へ成長する間に石狩川から供給された泥質堆積物が、外浜堆積物に挟まれて保存されたものと推定される。ただしユニット7は3mを超える厚さを持ち、また泥層には葉理が認められることから、完全に外洋に面した外浜域での堆積・保存は考えにくい。おそらく現在と同様に沿岸砂州によって海岸に平行に偏向していた河道がラグーン状の環境をなしており、泥質堆積物が堆積・保存されたと思われる。そこには高潮などにより、間欠的に海浜の砂が供給されたであろう。

以上の解釈は、波浪の影響を受けたデルタシステムの沿岸域における堆積様式を示したBhattacharya and Giosan (2003)に拠っている。それによれば、沿岸流によりデルタの成長が河口の両側で非対称な場合—特に河道が沿岸流の下流側へ大きく偏向する場合に、河川からの泥質物の供給が活発であれば、河口から沿岸流の下流側にかけて厚い泥質堆積物が保存される(彼らのFig. 7及びFig. 11)。現在の石狩湾において、石狩川河口前面の浅海



第9図 石狩川河口域における地盤ボーリング柱状図の対比 (測線位置は第1図参照)。

Fig. 9 Stratigraphic correlation of geologic columns around the mouth of the Ishikarigawa River. See Fig. 1 for location.

域表層に泥質堆積物が広く堆積していることから、石狩川からの泥質物の供給は非常に多いと考えられる(菅・濱田, 2001)。また現在の石狩川の屈曲が示すように沿岸流は北東へ向かう流れが卓越しており, Bhattacharya and Giosan (2003) が示したケースによく適合する。

以上の解釈で問題となるのは、ユニット7の泥層が現

在の可道より海側の石狩砂丘直下にまで分布することである(第9図B)。年代的な制約を考えると2000~3000年前とされる弥生の小海退(太田ほか, 1982; 1990; Umitsu, 1991)に伴う河道の海側への移動と、その後の海水準上昇による石狩砂丘の形成、並びに河道の陸側への再移動が想定されるが、今後の検証が必要であろう。

### 6.3 堆積曲線

今回測定した<sup>14</sup>C年代値と深度から堆積曲線を描くと、第8図のようになる。なお圧密の影響を正確に見積もることは困難であり、ここでは圧密補正を行っていない。この図から、堆積速度はユニット3で8 m/1000年程度であるが、ユニット4～ユニット6下部にかけて0.8 m/1000年と著しく堆積速度が低下している。これは既述のように海進時の侵食による見かけのものである。更にユニット6上部からユニット8にかけては40 m/1000年と著しく堆積速度が速くなる。海成沖積層の外浜～海浜の砂層が速い堆積速度を示すことは、九十九里浜平野や仙台平野においても示されている(田村・増田, 2004; 田村ほか, 2006)。なお松下(1979)は花畔砂層の海側への成長速度について、<sup>14</sup>C年代(測定値)を用いておおよそ1 km/1000年と見積もっている。

石狩湾沿岸域並びに周辺域における海水準変動曲線について詳細が知られていないため、得られた堆積曲線を奥東京湾における海水準変動曲線(木村ほか, 2006)と暫定的に比較する。その結果、陸成と解釈されたユニット3の区間が堆積曲線より標高の低い位置を通り、矛盾する。またユニット3-bは河川の感潮域や塩水湿地の堆積物を主体とすることから、本来9,000～10,600 cal BPの区間で堆積曲線と海水準変動曲線が近接していなければならない。

次に、より内陸のGS-HTF-1(川上ほか, 2012b)及びGS-HTB-1, -2(川上ほか, 2012a)から得られた堆積曲線もふまえて、奥東京湾の海水準変動曲線との関係を整理する。堆積曲線における内湾泥層(ユニット4)の下底は海水準変動曲線上にのることを前提とすると、GS-HTB-1, -2では標高が3～4 mほど低い側にずれるが、GS-HTF-1では海水準変動曲線上にのる(川上ほか, 2012b)。一方、GS-HIS-1では標高が6～7 mも低い側を通過しており、ずれが大きい。このような地点ごとのばらつきは圧密やあるいは地殻変動の影響と推定されるが、現時点では特定できない。石狩湾沿岸域における海水準変動曲線の確立が望まれる。

最後に堆積システム変遷の年代をまとめると、礫質河川(ユニット2)から蛇行河川環境(ユニット3-a)への転換は13,000 cal BP頃、蛇行河川環境から感潮域や塩水湿地環境(ユニット3-b)への移行は10,600 cal BP頃、更に内湾環境(ユニット4)への転換は8,900 cal BP頃となる。内湾環境への転換は、川下地区や太美地区でも年代的にほぼ同時であり、アジア各地で報告されている9,000～8,500年前の急激な海水準の上昇(Hori and Saito, 2007)に対応する可能性がある。ユニット4までは海水準の上昇に伴い形成された地層であるが、内湾泥層にダウンラップする下部外浜～海浜の砂層は5,300 cal BP以降の形成であり、縄文海進高頂期後の海面低下に応じて急速に海側に向かって成長したものと推定される。

### 7. まとめ

1. 北海道石狩市親船地区で掘削した沖積層ボーリングコアGS-HIS-1の層序と堆積環境を検討し、合わせて堆積物物性、粒度組成、pH、ECを計測した。堆積相、珪藻化石並びに貝化石から、沖積層は下位より礫質河川堆積物(ユニット2)、蛇行河川～塩水湿地の堆積物(ユニット3)、内湾の堆積物(ユニット4)、外浜～海浜の堆積物(ユニット6及び8)とそれに挟在する淡水成の泥質堆積物(ユニット7)からなると解釈された。沖積層の下位には上部更新統の氾濫原堆積物(ユニット1)が確認された。
2. ユニット4とユニット6の境界は海進ラビメント面であり、ユニット6の下部外浜の砂がダウンラップして覆っている。
3. ユニット6～ユニット8は花畔砂層を構成し、縄文海進高頂期以降の海退期に海側に成長した砂体である。この砂体に挟在する泥質堆積物(ユニット7)は、沿岸砂州により海岸に平行に偏向していたラグーン状の河道に堆積し、砂体の海側への成長に伴って埋積・保存された。
4. <sup>14</sup>C年代から、礫質河川環境(ユニット2)から蛇行河川環境(ユニット3)への転換は13,000 cal BP頃で、海水の影響を受け始め感潮域や塩水湿地環境となるのが10,600 cal BP頃、引き続き海進により内湾環境(ユニット4)に転換するのは8,900 cal BP頃である。また下部外浜の砂層が海進ラビメント面を介して内湾泥層を覆いはじめたのは5,300 cal BP頃である。

謝辞：研究にあたり、札幌市・石狩市をはじめ北海道・国などから多くの地盤ボーリングデータの提供を受けた。掘削に当たっては、石狩市、北海道開発局札幌河川事務所の皆様にご多大なるご協力を頂いた。掘削調査は(株)ダイヤコンサルタントに委託した。MSCLの使用に際しては産業技術総合研究所地質情報研究部門の池原 研博士に、コア試料からのサンプリングや各種の分析にあたっては同部門の國本節子氏に、堆積物の軟X線撮影に際しては同部門の宮地良典氏、小松原純子博士にご助力を頂いた。新潟大学の卜部厚志博士、福岡大学の石原与四郎博士には、堆積相の解釈に際してご助言を頂いた。原稿は、査読者の納谷友規博士のご指摘により改善された。本研究に、科学技術振興調整費重要課題解決型研究「統合化地下構造データベースの構築」を利用した。以上の方々、関係各機関に対しここに記して感謝申し上げます。

### 文 献

- 安藤一男(1990) 淡水産珪藻による環境指標種群の設定と古環境復元への応用。東北地理, 42, 73-88.
- Bhattacharya, J. P. and Giosan, L. (2003) Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies

- reconstruction. *Sedimentology*, **50**, 187-210.
- Boyd, R., Dalrymple, R. W. and Zaitlin, B. (2006) Estuarine and incised-valley facies models. In Posamentier, H. W. and Walker, R. G. eds., *Facies models revisited*, SEPM Special publication no. 84, 171–235.
- Bridge, J. (2006) Fluvial facies models: recent developments. In Posamentier, H. W. and Walker, R. G. eds., *Facies models revisited*, SEPM Special publication no. 84, 85-170.
- Collinson, J. D. (1996) Alluvial sediments. In Reading, H. G., ed., *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*, Blackwell Science, Oxford, 37-82.
- 長谷川康雄・濁川明男 (1993) 新潟県佐渡島の加茂湖からえられた珪藻群集. *Diatom* (珪藻学会誌), **8**, 79-99.
- 廣瀬 亘・川上源太郎・大津 直・木村克己 (2011) 地盤ポーリングデータベースを用いた石狩低地沖積層開析谷地形の解析. 日本地球惑星科学連合大会予稿集, HQR022-P01.
- 北海道立地質研究所 (2004) 石狩水圏好適環境創造事業植物片等調査報告書. 54p.
- Hori, K. and Saito, Y. (2007) An early Holocene sea-level jump and delta initiation. *Geophy. Res Lett.*, **34**, doi:10.1029/2007GL031029.
- Hughen, K. A., Baillie, M. G. L., Bard, E., Beck, J. W., Bertrand, C. J. H., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Burr, G. S., Cutler, K. B., Damon, P. E., Edwards, R. L., Fairbanks, R. G., Friedrich, M., Guilderson, T. P., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Ramsey, C. B., Reimer, P. J., Reimer, R. W., Remmele, S., Southon, J. R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F. W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C. E. (2004) Marine04 Marine radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, **46**, 1059-1086.
- Hustedt, F. (1930a) Bacillariophyta (Diatomeae). In Pascher A. ed., *Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas*, Heft 10, Gustav Fischer, Jena, 466p.
- Hustedt, F. (1930b) Die Kieselalgen, Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. In Rabenhorst, L. ed., *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreichs und der Schweiz*, Teil 1, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 920p.
- Hustedt, F. (1959) Die Kieselalgen, Deutschland, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. In Rabenhorst, L. ed., *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreichs und der Schweiz*, Teil 2, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 845p.
- Hustedt, F. (1961-1966) Die Kieselalgen, Deutschland, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. In Rabenhorst, L. ed., *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreichs und der Schweiz*, Teil 3, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 816p.
- 川上源太郎・小松原純子・嵯峨山 積・仁科健二・木村克己・広瀬 亘・大津 直 (2012a) 北海道当別町川下地区で掘削された沖積層ポーリングコア (GS-HTB-1, GS-HTB-2) の層序および堆積学的解析. *地質学雑誌*, **118**, 191-206.
- 川上源太郎・嵯峨山 積・仁科健二・中島 礼・廣瀬 亘・大津 直・木村克己 (2012b) 北海道当別町太美地区で掘削された沖積層ポーリングコア (GS-HTF-1) の層序学的および堆積学的解析. *地質調査研究報告*, **63**, 21-34.
- 木村克己・石原与四郎・宮地良典・中島 礼・中西利典・中山俊雄・八戸昭一 (2006) 東京低地から中川低地に分布する沖積層のシーケンス層序と層序の再検討. *地質学論集*, no. 59, 1-18.
- 北川芳男 (1990) 第四系 — 北海道中央部 — 石狩低地帯 — 石狩海岸平野. 日本地質 北海道地方編集委員会編「日本の地質 1 北海道地方」, 共立出版株式会社, 東京, 135-136.
- 小菅明男 (1972) 福島県相馬市松川浦の水質と底質の珪藻遺骸について. *地球科学*, **26**, 243-255.
- 小杉正人 (1988) 珪藻の環境指標種群の設定と古環境復元への応用. *第四紀研究*, **27**, 1-20.
- Kramer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986) Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D., eds., *Süßwasser-Flora von Mitteleuropas*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 876p.
- Kramer, K. and Lange-Bertalot, H. (1988) Bacillariophyceae, 2. Teil: Epithemiaceae, Surirellaceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D., eds., *Süßwasser-Flora von Mitteleuropas*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 610p.
- Kramer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991a) Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D., eds., *Süßwasser-Flora von Mitteleuropas*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576p.
- Kramer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991b) Bacillariophyceae, 4. Teil: Athnathaceae Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D., eds., *Süßwasser-Flora von Mitteleuropas*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437p.
- 工藤浩三 (1997) 秋田県八郎潟干拓地におけるポーリン

- グ・コア試料中の珪藻遺骸群集と古環境. *Diatom* (珪藻学会誌), **13**, 201-214.
- 松下勝秀 (1979) 石狩海岸平野における埋没地形と上部更新～完新統について. *第四紀研究*, **18**, 69-78.
- 村瀬 正・羽坂俊一・池田国昭・山口昇一 (1991) 3 万分の 1 札幌および周辺部地盤地質図および説明書. 特殊地質図 (30), 地質調査所, 73p.
- Nichol, S. L., Zaitlin, B. A. and Thom, B. G. (1997) The upper Hawkesbury River, New South Wales, Australia: a Holocene example of an estuarine bayhead delta. *Sedimentology*, **44**, 263-286.
- 濁川明男・長谷川康雄 (1999) 福島県松川浦の底質表層軟泥中の珪藻遺骸群集と環境の変化. *Diatom* (珪藻学会誌), **15**, 85-101.
- 濁川明男・長谷川康雄 (2002) 青森県鷹架沼の珪藻遺骸群集と水環境. *Diatom* (珪藻学会誌), **18**, 57-71.
- 濁川明男・長谷川康雄 (2005) 青森県尾駱沼の珪藻群集. *Diatom* (珪藻学会誌), **21**, 107-118.
- 濁川明男・西片 武 (1975) 北陸沿岸湖沼群の珪藻類. *地球科学*, **29**, 18-35.
- 野尻湖珪藻グループ (1980) 野尻湖層の珪藻遺骸群集. *地質学論集*, no.19, 75-100.
- Nummedal, D. and Swift, D. J. P. (1987) Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous examples: implications for more ancient strata. In Nummedal, D., Pilkey, O. H. and Howard, J. D. eds., *Sea-level fluctuation and coastal evolution*, SEPM Special publication no. 41, 241-260.
- 太田陽子・松島義章・森脇 広 (1982) 日本における完新世の海面変化に関する研究の現状と問題—Atlas of Holocene sea-level records in Japan を資料として—. *第四紀研究*, **21**, 133-143.
- 太田陽子・海津正倫・松島義章 (1990) 日本における完新世相対的海面変化とそれに関する問題—1980～1988 における研究の展望—. *第四紀研究*, **20**, 31-48.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Bertrand, C. J. H., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Burr, G. S., Cutler, K. B., Damon, P. E., Edwards, R. L., Fairbanks, R. G., Friedrich, M., Guilderson, T. P., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, F. G., Manning, S. W., Ramsey, C. B., 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, 26-0 ka BP. *Radiocarbon*, **46**, 1029-1058.
- Reineck, H. E. and Singh, I. B. (1980) *Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, New York, 551p.
- 斎藤文紀 (1989) 陸棚堆積物の区分と暴風型陸棚における堆積相. *地学雑誌*, **98**, 164-179.
- 嵯峨山 積・外崎徳二・近藤 務・岡村 聡・佐藤公則 (2010) 北海道石狩平野の上部更新統～完新統の層序と古環境. *地質学雑誌*, **116**, 13-26.
- Smith N. D. and Pérez-Arlucea, M. (1994) Fine-grained splay deposition in the avulsion belt of the lower Saskatchewan River, Canada. *Journal of Sedimentary Research*, **B64**, 159-168.
- 添田雄二・嵯峨山 積・赤松守雄 (2010) 第四紀地殻変動域の堆積物—北海道中央部—石狩低地帯—石狩海岸平野. 日本地質学会編集「日本地方地質誌 1 北海道地方」, 株式会社朝倉書店, 東京, 250-251.
- 菅 和哉・濱田誠一 (2001) 石狩湾奥の沿岸堆積物と海岸侵食. *北海道立地質研究所報告*, **72**, 31-71.
- 太井子弘和 (1977) 石狩海岸砂質地における砂質堆積物の環境区分と堆積環境. *北海道大学地球物理学研究報告*, **36**, 1-15.
- 田辺 晋・石原与四郎・中島 礼 (2008) 東京低地北部における沖積層のシーケンス層序と古地理. *地質調査研究報告*, **59**, 509-547.
- 田村 亨・増田富士雄 (2004) 多数の年代値を入れた波浪卓越型堆積シーケンスの研究—千葉県九十九里浜平野と宮城県仙台平野の完新統から得られた最近の成果—. *地学雑誌*, **113**, 1-17.
- 田村 亨・斎藤文紀・増田富士雄 (2006) 浜堤平野における沖積層の層序と堆積学的解釈: 仙台平野と九十九里平野の例. *地質学論集*, no. 59, 83-92.
- 内山美恵子・原 未来也・竹内美緒・木村克己 (2011) 東京低地と中川低地の沖積層堆積物で作成した懸濁液の水素イオン濃度指数および電気伝導度. *地質調査研究報告*, **62**, 85-104.
- 上杉 陽・遠藤邦彦 (1973) 石狩海岸平野の地形と土壌について. *第四紀研究*, **12**, 115-124.
- Umitsu, M. (1991) Holocene sea-level changes and coastal evolution in Japan. *Quatern. Res.*, **30**, 187-196.
- 山口正秋・水野清秀・納谷友規・本郷美紗緒・中里裕臣・中澤 努 (2009) 関東平野中央部, 埼玉県菖蒲町で掘削された 350 m ボーリングコア (GS-SB-1) の層相と堆積物物性. *地質調査研究報告*, **60**, 147-197.

(受付: 2011年5月18日; 受理: 2012年7月26日)