

## 北海道当別町太美地区で掘削された沖積層ボーリングコア (GS-HTF-1) の層序学的及び堆積学的解析

川上源太郎<sup>1,\*</sup>・嵯峨山 積<sup>1</sup>・仁科健二<sup>1</sup>・中島 礼<sup>2</sup>・廣瀬 亘<sup>1</sup>・大津 直<sup>1</sup>・木村克己<sup>2</sup>

Gentaro Kawakami, Tsumoru Sagayama, Kenji Nishina, Rei Nakashima, Wataru Hirose, Sunao Ohtsu and Katsumi Kimura (2012) Stratigraphic and sedimentologic analyses of the latest Pleistocene to Holocene sediment core GS-HTF-1 recovered from the Ishikari coastal plain, Futomi, Tobetsu, Hokkaido, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 63(1/2), p. 21-34, 7 figs, 1 table.

**Abstract:** The detailed stratigraphy and sedimentary facies of the latest Pleistocene to Holocene incised-valley fills were analyzed at Futomi, Tobetsu, in the Ishikari coastal plain, Hokkaido, northern Japan. A boring core, named GS-HTF-1, was obtained at a site (43°11' 57.78"N, 141°26' 53.53"E) located along the axis of the paleo-Ishikari River valley during the last glacial age.

The succession in the core can be divided into four stratigraphic units on the basis of sedimentary facies, diatom assemblages, molluscan fossils, and AMS radiocarbon ages: gravelly river deposits (Unit 2; 60.0-51.0 m below the ground surface), meandering river deposits (Unit 3; 51.0-22.4 m), inner-bay, bay-mouth to delta front deposits (Unit 4; 22.4-8.6 m), and salt marsh and fluvial (delta plain) deposits (Unit 5; 8.6-1.5 m), in ascending order.

The physical properties of the sediments correspond to their sedimentary facies and stratigraphic positions. The pH and EC (electric conductivity) values of the muddy sediments are in good agreement with the interpreted depositional environments, i.e. the sediments of Unit 4 provide relatively higher pH and EC values than other units, although the inner-bay mud (Unit 4-a) show low values same as the fluvial deposits.

The accumulation curve constructed based on the AMS <sup>14</sup>C ages of twelve samples provides information on the timing of periods of environmental change at the studied site during a Holocene transgression: (1) the onset of deposition in a meandering river system, succeeding a gravelly river system, occurred at about 12,000cal BP; (2) the inner-bay environment rapidly expanded to the study site at around 9,000cal BP; (3) the bay-mouth sands prograded landward on the inner-bay floor due to rapid sea-level rise at around 8,000cal BP, and the sands retrogradationally aggraded during a sea-level highstand of 8,000-7,000cal BP; and (4) the delta front deposits covered the bay-mouth sand body at around 7,000cal BP.

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

### 要 旨

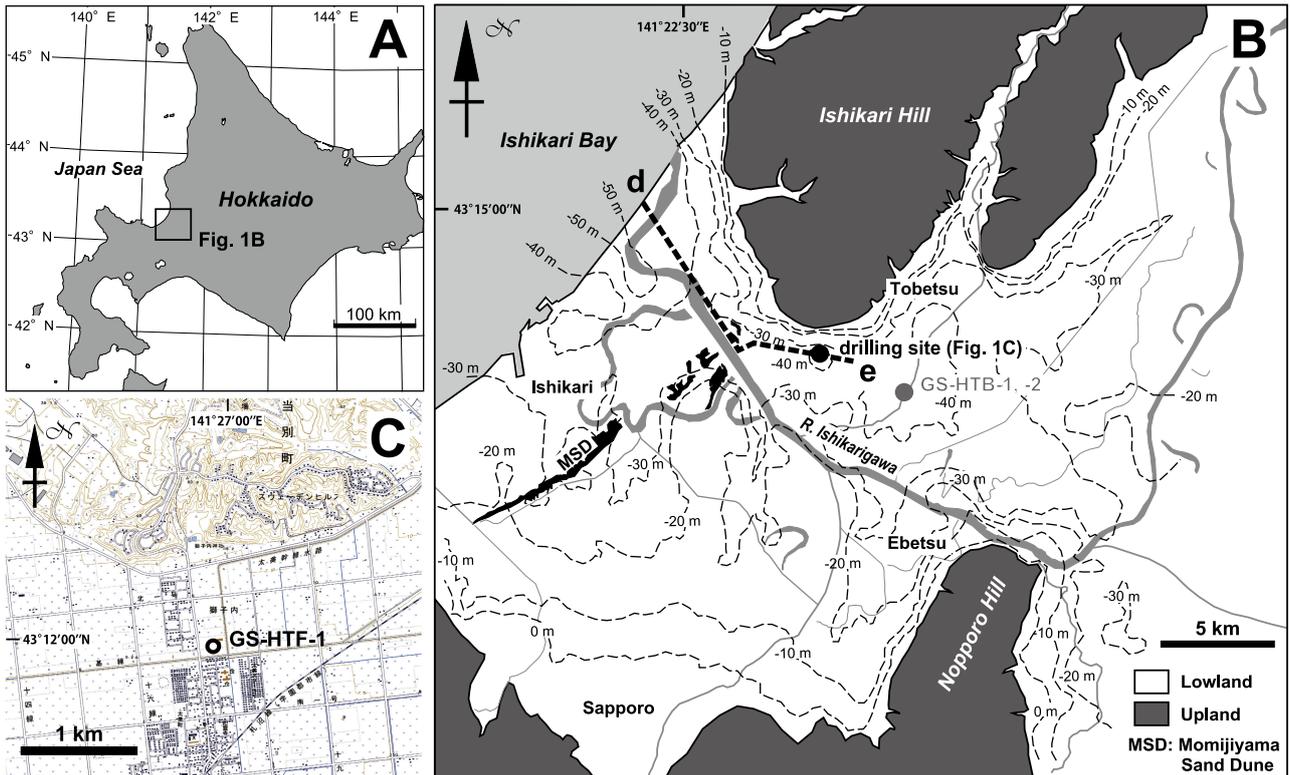
北海道当別町太美で掘削した沖積層ボーリングコア GS-HTF-1 は、堆積相、産出する珪藻並びに貝化石、<sup>14</sup>C 年代から、下位より礫質河川堆積物 (ユニット 2)、蛇行河川の堆積物 (ユニット 3)、内湾～湾口砂体～デルタフロントの堆積物 (ユニット 4)、塩水湿地及び河川堆積物 (デルタプレーン堆積物) (ユニット 5) に区分される。各ユニットにおける堆積物物性・粒度組成は層相と対応する。また堆積物懸濁液の pH・EC の値は解釈された堆

積環境と相関しており、ユニット 4 では他ユニットと比べて値がやや高く、堆積場における海水の寄与を反映する。ただし、内湾泥層 (ユニット 4-a) の pH、EC は河川層と同程度の低い値を示した。13 試料の <sup>14</sup>C 年代から作成した堆積曲線によると、礫質河川から蛇行河川環境への転換は 12,000cal BP 頃、河川から内湾環境への転換は 9,000cal BP 頃である。また縄文海進最盛期の 8,000cal BP 頃に湾口砂体が湾奥に急速に前進し、高頂期の 8,000～7,000cal BP 頃には海側へ後退的に累重した。7,000cal BP にはデルタフロントが到達し、湾口砂体を覆った。

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

<sup>2</sup> 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

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



第1図 GS-HTF-1 コアの掘削地点位置図。第1図C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), 太い波線は第6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-HTF-1 drillhole. Dashed contour lines in B show the base of alluvium beneath the Ishikari coastal plain (Hirose *et al.*, 2011). Thick dashed line shows the location of sectional profile in Fig. 6. The topographic map in C is after “Denshi Kokudo” by the Geospacial Information Authority of Japan.

## 1. はじめに

近年、関東平野や新潟平野を中心に沖積層の再検討が進められ、その層序や堆積システム、成因などについての理解は急速に深まっている(井内ほか, 2006編)。一方、北海道の石狩平野では、松下(1979)が先駆的に地盤ボーリング資料と<sup>14</sup>C年代値を用いて、おもに沿岸域における沖積層の層序とその基盤地形を検討したが、その後は目立った進展がない。このため、例えば石狩平野と関東平野や新潟平野における沖積層の堆積システムや層序を詳細に比較し、それぞれの特徴を明確化するという検討を行うのは難しい状況である。

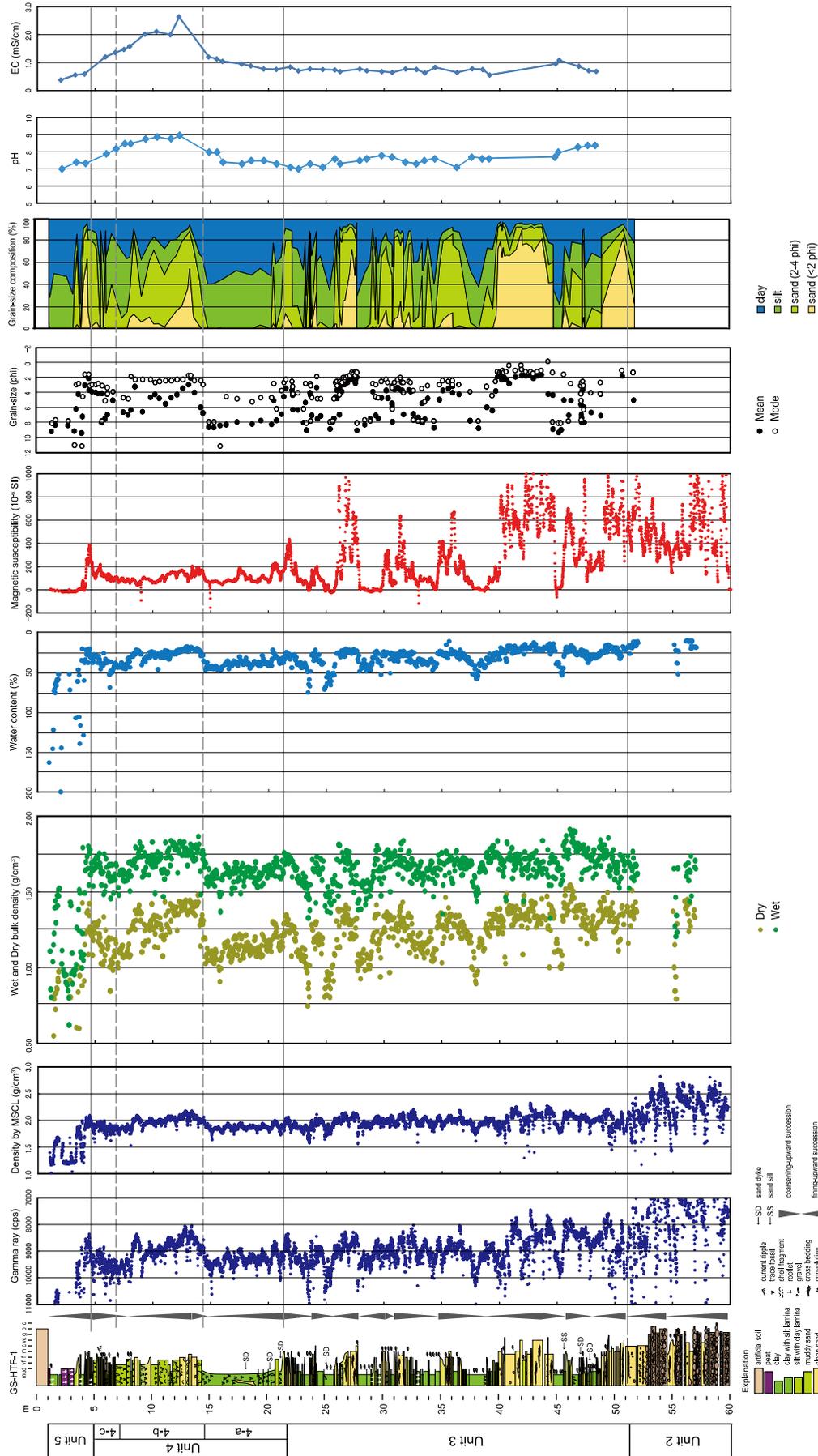
以上のような背景から、独立行政法人 産業技術総合研究所(以下、産総研)と地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 地質研究所(以下、地質研)は、石狩平野沖積層の層序と堆積環境、ならびにその三次元的な分布を明らかにするため、平成20年度から平成22年度までの3年間、共同研究「石狩低地の浅層地下地質・構造の解明に関する研究」を行った。平成20年度は、石狩平野においてとくに既存資料に乏しい内陸寄りの地点を対象とし、縄文海進高頂期に形成されたと考えられている紅

葉山砂丘(上杉・遠藤, 1973)の分布域から7kmほど内陸の当別町川下地区でボーリング調査を行い、層序と堆積環境を明らかにした(GS-HTB-1コア及びGS-HTB-2コア:川上ほか, 印刷中)。平成21年度は、紅葉山砂丘により近い場所における沖積層層序の解明を第一の目的として、川下地区から4kmほど海側に位置する当別町太美地区で基準ボーリングコア(コア名:GS-HTF-1)の掘削・解析を行った(第1図)。本報告ではGS-HTF-1コアの詳細な解析結果を示すとともに、紅葉山砂丘砂層の直下~紅葉山砂丘の内陸側2~3kmに分布するとされる前田砂層(北川ほか, 1973; 松下, 1979)の堆積相や堆積システムについて、既存ボーリング資料との対比などもふまえて考察する。

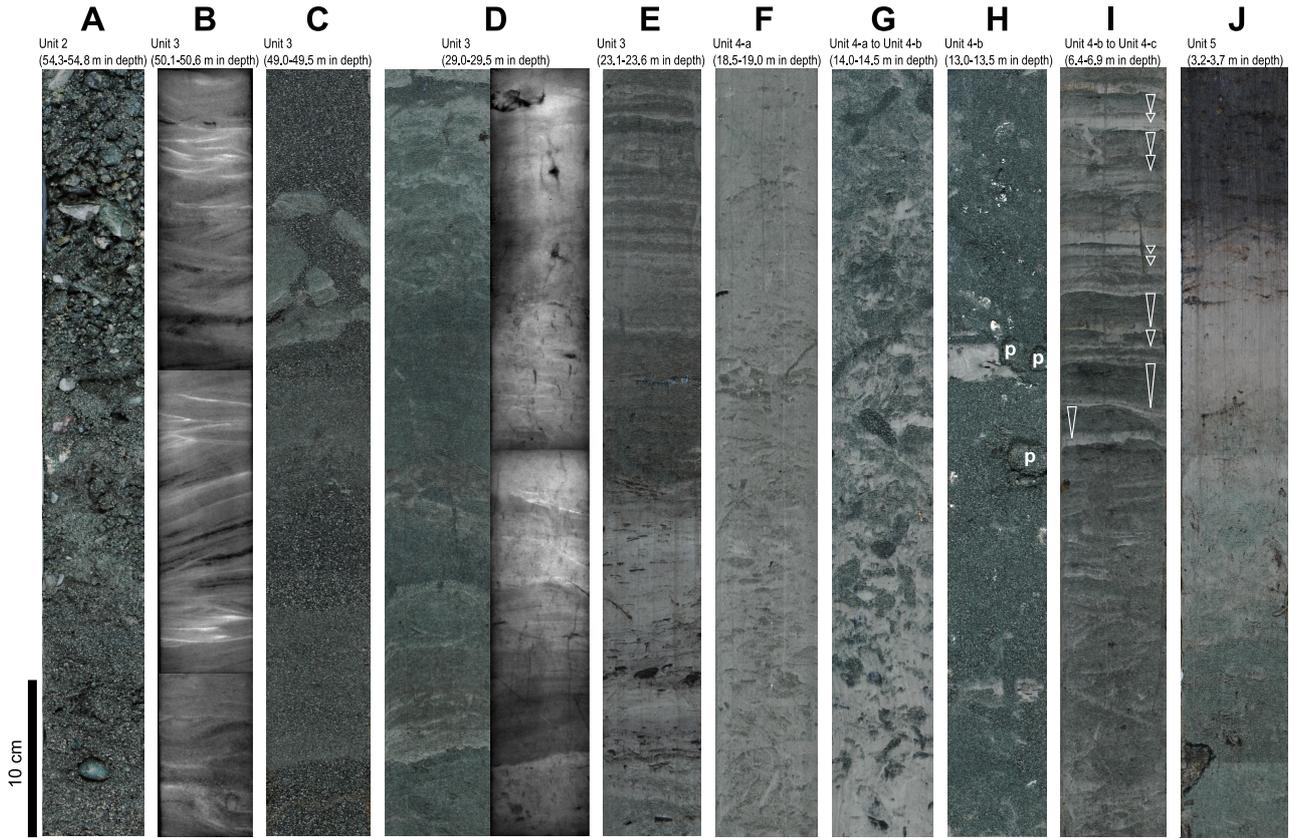
## 2. 調査地点の概要

調査地点は、当別町太美地区にある町立西当別中学校の敷地内である(第1図)。掘削は中央開発株式会社に依頼し平成21年7月下旬~8月上旬にかけて行った。掘削孔(GS-HTF-1)の緯度・経度及び孔口標高は、北緯43°11'57.78", 東経141°26'53.53", T.P. 6.11mで、紅葉山

北海道当別町太美地区で掘削された沖積層ボーリングコアの解析 (川上ほか)



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



第3図 GS-HTF-1 コアの層序ユニットの代表的写真. A: ユニット2の砂礫層, B: ユニット3の中粒砂に認められる斜交層理(軟X線写真). C: ユニット3の成層する細粒~中粒砂層と, それに含まれるマッドクラスト. D: 根痕により乱されたユニット3の細粒砂層とシルト層の細互層(右は軟X線写真). E: ユニット3の葉理互層をなすシルト層(暗色)と粘土層(明色), 及び植物片に富む褐色粘土層. F: 生物擾乱を受けたユニット4-aの泥層. G: ユニット4-aの泥層を覆う, ユニット4-bの強く生物擾乱を受けた泥質砂層. H: ユニット4-bの粗粒砂層. 礫(p)や白色の貝殻片が点在する. I: ユニット4-cに認められる, 規則的に累重する逆級化泥層—砂層(中抜け矢印). ユニット4-bの生物擾乱を受けた泥質砂層を覆う. J: ユニット5に見られる, 細粒砂を覆う茶褐色の粘土層及び泥炭層.

Fig. 3 Representative photographs and radiographs of stratigraphic units in the GS-HTF-1 core. A: Sand and gravel beds in Unit 2. B: Cross-bedded fine- to medium-grained sands in Unit 3 (radiograph). C: Mud-clast bearing stratified fine- to medium-grained sand beds in Unit 3. D: Thinly stratified sand and silt beds in Unit 3, bioturbated by rootlets. E: Laminated silt (darker color) and clay (lighter color), and thick bedded brownish mud with abundant plant fragments in Unit 3. F: Bioturbated mud in Unit 4-a. G: Intensely burrowed muddy sand of Unit 4-b, overlying mud of Unit 4-a. H: Coarse-grained sand interval of Unit 4-b, bearing scattered pebbles (p) and white colored shell fragments. I: Rhythmically accumulated inversely-graded mud-sand couplets (open arrowheads) of Unit 4-c, overlying bioturbated muddy sand of Unit 4-b. J: Peat, brownish clay and underlying fine-grained sand bed of Unit 5.

砂丘からは3kmほど陸側に位置する.

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-45mに位置し, 沖積層の厚さは60mに達すると想定された. また掘削地点から南方に向かって沖積層の厚さは急激に薄くなると推定され, 北方の石狩丘陵南端からも800mしか離れていないことから, 調査地付近は谷幅が狭まった地形的狭窄部であったと判断される(第1図B).

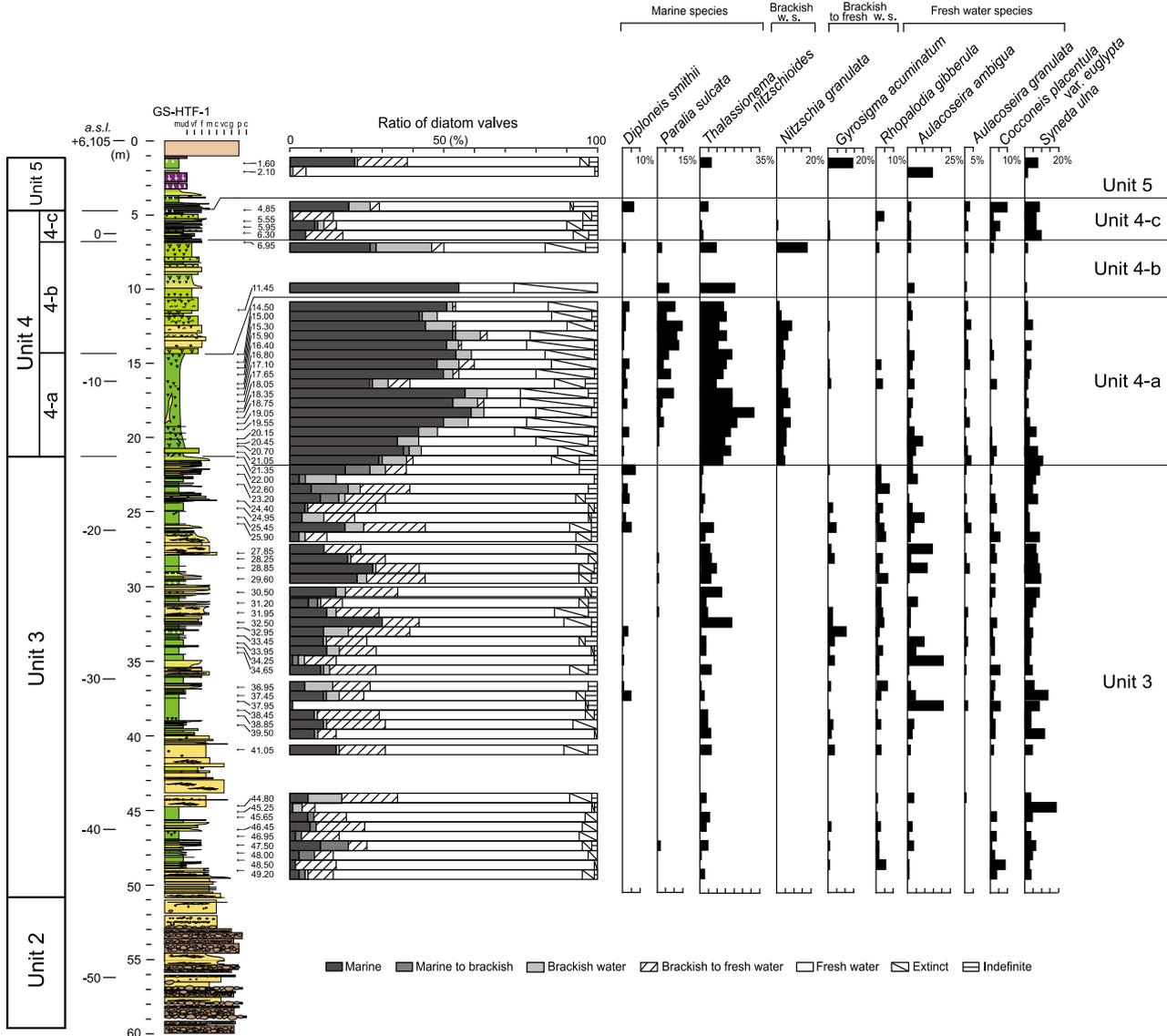
紅葉山砂丘砂層の直下~紅葉山砂丘の内陸側2~3kmに分布する前田砂層は, 石狩丘陵南縁に沿って張りだすような分布が推定されており(松下, 1979),

掘削地点はその張り出しの先端に近い場所に位置する.

### 3. 研究手法

#### 3.1 掘削方法

GS-HTF-1 コアは全長60mで, 二重管打ちこみサンプラー(外径86mm, 内径70mm)により長さ1m単位のオールコアで採取した. また深度60m以深で5mの余掘りを行っており, 余掘り区間は擾乱試料として堆積物を採取した. 使用泥水は, 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59m以



第4図 GS-HTF-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-HTF-1 core. See Fig. 2 for the explanation of the columnar section.

深を除きイーゼードリルを使用した。深度50mまではコア採取率がほぼ100%であったが、それ以深では砂礫層のためコアの一部が落下し、再打ちこみにより試料を採取している。なお表層から深度1mまでが盛土/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(印刷中)と同様である。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 $^{137}\text{Cs}$ (370 Bq)、計測条件は測定間隔1cm、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)。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1cm、幅6cm、長さ25cmまたは20cm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40kVp、電流3mA、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。

第1表 AMS <sup>14</sup>C年代の測定結果. 誤差2シグマをとって較正した結果, C-2, C-3, C-7, C-10の暦年は2つに別れた年代範囲を示す. 較正カーブは植物片に IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004), 貝殻片に Marine04 (Hughen *et al.*, 2004)を用いた.

Table 1 Results of AMS <sup>14</sup>C dating. Two sigma calibrated <sup>14</sup>C ages of C-2, C-3, C-7 and C-10 show split age ranges. Calibration database: IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004) for plant fragments, Marine04 (Hughen *et al.*, 2004) for shell 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.
C-1	4.13	1.98	plant fragments	5630±50	-27.1	5600±50	6480-6290	Beta-271491
C-2	7.07	-0.97	plant fragments	6110±50	-27.4	6070±50	7150-7120 7020-6790	Beta-271492
C-3	10.40	-4.30	plant fragments	6730±50	-24.1	6740±50	7670-7560 7540-7510	Beta-271493
C-14	10.70	-4.60	shell fragments	7050±50	-1.5	7440±50	7990-7810	Beta-271504
C-15	13.18	-7.08	shell fragments	7370±50	-1.3	7760±50	8340-8140	Beta-271505
C-4	16.70	-10.60	plant fragments	35680±330	-25.0	35680±330		Beta-271494
C-5	21.56	-15.46	plant fragments	8140±50	-27.8	8090±50	9120-8980	Beta-271495
C-6	25.32	-19.22	plant fragments	8340±50	-28.4	8280±50	9440-9120	Beta-271496
C-7	27.72	-21.62	plant fragments	8780±50	-26.1	8760±50	10110-10100 9920-9560	Beta-271497
C-8	30.57	-24.47	plant fragments	8990±50	-28.3	8940±50	10220-9910	Beta-271498
C-9	34.49	-28.39	plant fragments	9110±60	-27.3	9070±60	10290-10180	Beta-271499
C-10	38.68	-32.58	plant fragments	9530±60	-27.4	9490±60	11080-10930 10880-10580	Beta-271500
C-11	44.92	-38.82	plant fragments	9670±60	-27.3	9630±60	11200-10740	Beta-271501
C-12	48.23	-42.13	plant fragments	10000±50	-27.8	9950±50	11610-11240	Beta-271502
C-13	55.18	-49.08	plant fragments	11110±60	-27.2	11070±60	13100-12890	Beta-271503

**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214枚作成し, その中から層厚0.5~1m間隔となるように, かつ珪藻殻を多く含む62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. また同図の中央の帯グラフには, 同定した珪藻種を小菅(1972), 濁川・西片(1975), 野尻湖珪藻グループ(1980), 小杉(1988), 長谷川・濁川(1993), 工藤(1997), 濁川・長谷川(1999; 2002; 2005)などを参考に, 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:** 年代測定に用いた試料は, 深度10.70m及び13.18mの2試料が貝殻片, 残りの13試料は全て植物片である(第1表). 測定試料は堆積物中から拾い出した植物片・貝殻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年代測定及び暦年較正は, (株)地球科学研究所に依頼した. 植物片の暦年較正には IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004)を, 貝殻片の較正には Marine04 (Hughen *et al.* 2004)を用い, また貝試料の較正では ΔR=0, 海洋効果100%としている.

**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1cm, 2cm, 3cm厚のアルミ板(密度2.71g/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5cmおきに7cc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1m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1cm間隔で連続計測した. ループセンサーは径125mm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:** 礫層部分を除く162層準を選び, 軟X線撮影のために採取したスラブ試料から層厚5~10mm分の堆積物を試料として分取した. およそ0.2g(泥質試料)~6.0g(砂質試料)の試料に対し, 酢酸(20vol%)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. 更に-1φ(2.0mm)のふるいを用い, これを通過したものに対して, 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. したがって, 得られた結果は礫サイズの粒子を除いた粒度組成であり, 粘土(8φ以上), シルト(8~4φ), 極細粒砂~細粒砂(3~2φ), 中粒砂以上(2φ以

下)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)により算出している。光学条件は、屈折率実数部を1.45、虚数部を0.01とした。ま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1m毎に泥質な層準を選んで、層厚10cm分の堆積物試料を採取し、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)の方法に従っている。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メーター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, 珪藻化石, 年代値

掘削されたコアのうち、深度51m～60mまでは砂礫層からなり、更に余掘りした深度65mまでの区間も砂礫であった。後述する<sup>14</sup>C年代から、この砂礫層が沖積層基底礫層と考えられるが、砂礫層内で掘り終わっているため沖積層の基底深度は決定できない。層相記載からコアは4つの層序ユニットに区分されるが、沖積層基底礫層の下位層をユニット1とした川下地区の層序区分(川上ほか, 印刷中)との対比を考慮し、下位よりユニット2～5とした。またユニット4については3つのサブユニットに細分した(第2図)。

##### ユニット2 [深度60.0(63.0)m～51.2m]

**記載**: 本ユニットはおもに砂礫層からなる(第3図A)。礫層は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。とくに深度60m以深は余掘りで採取した擾乱試料であり、砂礫からなること以外、本来の層相は不明である。深度60m以浅では、深度54.5m付近を境としてやや不明瞭な2回の上方細粒化サクセッションを示す。

上方細粒化サクセッションの下部は径2cm以下の中礫～細礫からなる礫層と、径5cm前後の中礫を主体とする礫層が20～50cmの厚さで成層する。一部にコア径(70mm)を超える大礫も認められる。基質は軽石片をわずかに混じえる中粒砂～粗粒砂で、礫は主に垂円礫からなる。礫種は泥岩、珪質泥岩、砂岩などが多く、ほかに珪長質細粒凝灰岩やチャート、緑色岩、珪長質～安山岩質の火山岩が認められる。サクセッションの上部は、不明瞭ながら斜交層理を示す淘汰の悪い中粒～極粗粒砂層からなる。

深度55.2mの砂層中に含まれていた植物片の<sup>14</sup>C年代

は13,100-12,890cal BPであった。

**解釈**: 本ユニットには貝化石や生痕化石は認められない。砂層には斜交層理が発達し、細かな木片などを主体とした植物片を伴っており、掃流によって礫質な河川環境に堆積したと考えられる。また礫層の基質に含まれる軽石片は繊維状軽石が大部分で粒径も大きく、沖積谷周辺の台地に分布し約4万年前に噴出したとされる支笏火山噴出物(許ほか, 2001)が侵食され再堆積したものと推定される。

##### ユニット3 [深度51.2～21.3m]

**記載**: 本ユニットは0.5～1.5mの厚さの粘土層、粘土～シルト層と砂層からなる葉理互層(数mm～1cm程度の厚さで葉理状に成層するもの)～細互層(1cm～5cm程度の厚さで互層するもの)、及び厚さが数10cm～最大1m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(第3図B～E)。これらは、粘土層にはじまって上位に砂やシルトが優勢な葉理互層～細互層が累重する上方粗粒化サクセッションをなすものと、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、泥層の順に累重する上方細粒化サクセッションをなすものに区別される。前者は厚さ1～2mの規模、後者は厚さ2～5mほどの規模である。

斜交層理砂層はセット高が1cm～数cmで細粒砂～中粒砂を主体とし、径1～5cmのマッドクラストを伴う場合がある(第3図B, C)。全体に軽石片が含まれており、層理に沿ってやや濃集することがある。細互層をなす砂層はしばしば逆級化構造を示し、特に上方粗粒化サクセッション内で認められる。葉理互層や厚い泥層には植物片が含まれることが多く、軟X線写真では根痕の発達が認められる(第3図D, E)。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。泥層の色調はオリブ灰(5GY5/1)～灰(7.5Y5/1～5Y5/1)で、植物片に富むものは黄灰(2.5Y4/1)を帯びる。

なお、本ユニットの深度40～43mの砂層には脱水による変形構造やコンボリューションが認められる。また深度48～45m区間及び深度25m付近には、砂脈が認められる。

珪藻化石は、淡水生種の *Aulacoseira ambigua* (Grun.) Simonsen, *Cymbella tumida* (Bréb.) Van Heurek, *Cymbella turgidata* (Greg.) Cleve, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr., *Reimeria sinuata* (Greg.) Koc. et Stoerm, *Rhopalodia gibba* (Ehr.) O. Müll. などが多産する。淡水生～汽水生種の *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabh. や *Rhopalodia gibberula* (Ehr.) O. Müll. も、ユニット全体から産出する。なお深度33～27mでは、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 *Thalassionema nitzschoides* (Grun.) Mereschkowsky の産出が増える。

植物片を用いて、本ユニットの7層準の<sup>14</sup>C年代値を得た。年代値は、下底付近(深度48.2m)の11,610-

11,240cal BPからユニット最上部(深度21.6m)の9,120-8,980cal BPまで上位に若くなり、逆転や極端に古い年代値などは認められない。

**解釈:**本ユニットには汽水生及び海生の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る。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)。また細粒化サクセッション上部の細粒層には根痕が発達することから、河川の氾濫原での堆積が示唆される。一方、上方粗粒化サクセッションは、主河道の移動やスプレイのプログラデーションにより氾濫原で形成されたもの(Smith and Pérez-Arlucea., 1994; Collinson, 1996; Nichol *et al.*, 1997; Bridge 2006)と推定される。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4 [深度21.3～4.6m]

**記載:**本ユニットは下部の泥層、中部の泥質砂層、上部の砂泥葉理互層～細互層を主体とする部分に3分されるが、ユニット全体に生物擾乱が認められるのが特徴である。珪藻化石は海生種及び汽水生種が多産し、その割合はユニット基部から深度17m付近にかけて増大して、深度19m付近で最大(60%)となる。以下に3つのサブユニットに区分して記述する。

**ユニット4-a (深度21.3～14.3m)** 下底付近の深度21.0～20.6mには生物擾乱の弱い砂層とシルト層の細互層が認められるが、その上位は巣穴状生痕を伴い強く生物擾乱を受けた粘土層を主体とし(第3図F)、全体として上方粗粒化を示す。ユニット最上部(深度15.5m以浅)には、中粒～粗粒砂で充填された短径1～2cm、長径5cm以下の楕円～長楕円状を呈する、やや大型の巣穴状生痕が認められる。粘土層には極細粒砂層～シルト層の薄いレンズ～パッチが頻繁に認められるが、深度16～15m及び深度19～18m付近は塊状の粘土からなり、暗オリーブ灰(5GY4/1)を呈する。

なお深度21.2～21.0m, 20.4～20.2m, 及び19～17m区間に砂脈が貫入している。砂脈はくさび状の断面を示し、分岐しながらもおおむね垂直に貫入しており、幅は最大3cm程度である。壁面は明瞭で直線状～細かな凹凸をなし、周囲の泥層に対し侵食的に接している。

珪藻化石は、ユニット基底付近において下位ユニットに続き淡水生種が優勢だが、深度19m付近にかけて海生種の割合が増加し、最大60%近くに達する。海生種では*Paralia sulcata* (Ehr.) Cleve, *Stephanopyxis* spp., *Thalassionema nitzschioides*などを多産する。また汽水生種の*Nitzschia granulata* Grun.が本ユニットに特徴的に産出する。

年代は、深度16.7mに微量に含まれていた植物片から35,680±330yr BPという古い<sup>14</sup>C年代値を得た。

**ユニット4-b (深度14.3～6.8m)** 強く生物擾乱を受けた砂質泥と、やや泥質な細粒砂～中粒砂を主体とし(第3図G)、深度13.5～13.0mには礫がわずかに散在する泥質基質に乏しい粗粒砂層(第3図H)が認められる。ユニット基底からこの粗粒砂層までは上方粗粒化を、粗粒砂層から上位は上方細粒化を示す。深度10m付近より上位には、植物片がわずかながら散在する。ユニット全体が生物擾乱を受けており初生堆積構造は判然としないが、深度8.5m付近の中粒砂の軟X線写真にはリップル斜交葉理が確認される。巣穴状生痕は垂直・水平の両タイプが認められ、太さは1cm以下、長さ5cm程度の大きさで、内部は中粒～粗粒砂で充填されているものが多い。また壁面が泥で裏打ちされるものが多く認められる。

ユニット下半部(深度13.2～10.7m)には離弁または合弁の貝殻片が散在し、同定の結果全て汽水域の潮間帯～潮下帯に生息するヌマコダキガイ(*Potamocorbula* sp.)類(中島ほか, 2004)であった。

珪藻化石を産出したのは、深度11.5m及び深度7mの2層準のみである。深度11.5mでは海生種の割合が50%を超え、*Paralia sulcata*や*Thalassionema nitzschioides*などが多産する。深度7mでは海生種に加え汽水生種の*Nitzschia granulata*が産出し、海生種と汽水生種で45%を占めた。

本ユニット下部(深度13.2m)の貝殻片の<sup>14</sup>C年代値は8,340-8,140cal BPであった。また中部の貝殻片は7,990-7,810cal BP(深度10.7m)、ほぼ同深度の植物片は7,670-7,510cal BP(深度10.4m)を示し、最上部(深度7.1m)の植物片は7,150-6,790cal BPの<sup>14</sup>C年代値を示した。

**ユニット4-c (深度6.8～4.6m)** 本ユニットは全体として上方粗粒化サクセッションを示す。ユニットの大部分は細粒砂層と泥層の有律細互層からなり、フレイザー層理～波状層理を示す(第3図I)。軟X線写真では、砂層に平行葉理やリップル斜交葉理が確認される。また砂層はしばしば下位の粘土層から漸移し、シルトを経て上面付近で細粒砂となる逆級化構造を示す。その上面は極めて明瞭で、上位は泥層に覆われる。生物擾乱は、深度6.5m以深の細互層、及び深度5.4～4.9mのやや厚い細粒～中粒砂層に認められる。本ユニットからは貝化石は産出せず、ユニット下部には層理面に沿う植物片が認められる。

珪藻化石は、下部では淡水生種が優勢で、*Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehr.) Cleve, *Fragilaria vaucheriae* Kütz., *Reimeria sinuata*, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr.などを産出した。最上部(深度4.8m)では海生種の割合がやや高く、20%程度を示す。

**解釈:**ユニット4-aの厚い粘土層は蛇行河川堆積物に累重して上方粗粒化をなし、内湾指標種群の代表種である*Paralia sulcata*や泥質干潟指標種群を構成する*Nitzschia*

*granulata* などの珪藻化石を多産することから、堆積場が河川から内湾環境に移行したことを示す。ユニット 4-b はヌマコダキガイを多産することから、汽水性の潮間帯～潮下帯の水深が推定される。全体に砂質で大型の巣穴状生痕が発達すること、内湾泥層の上位に累重することから、内湾の沿岸や湾口部に堆積したものと考えられる。これについては、周辺のボーリング柱状図を用いた地質断面をもとに、後段で若干議論する。ユニット 4-c の有律細互層はフレイザー層理～波状層理 (Reineck and Singh, 1980) を示し、潮汐の影響下で堆積した可能性がある。特に逆級化を示す砂層は川下地区の沖積層の同層準に認められ、湾頭デルタの分流チャンネル前面において潮汐の作用下で堆積した可能性が示唆されている (川上ほか, 印刷中)。

#### ユニット 5 [ 深度 4.6 ~ 1.0 m ]

**記載:** ユニット最下部に厚さ 20 cm の斜交層理砂層が認められ、その上位には泥質な砂層と有機質粘土が互層状に深度 3.5 m まで累重する。更に上位は、灰色粘土と泥炭の互層からなる (第 3 図 J)。軟 X 線写真では、最下部の斜交層理砂層を除き、ユニット全体に根痕が認められる。珪藻化石は淡水生の *Aulacoseira ambigua* や *Synedra ulna*、淡水生～汽水生の *Gyrosigma acuminatum* などを産し、深度 2 m では淡水生種が 90% を超えるが、深度 1.6 m では淡水生種が 50%、海生種が 20% の割合を示した。

深度 4.1 m の粘土層中の植物片は 6,480-6,290 cal BP の  $^{14}\text{C}$  年代値を示した。

**解釈:** 基底の斜交層理砂層は掃流により堆積したものであり、上位には粘土層や泥炭層が累重して上方細粒化サクセッションをなす。粘土層には比較的多くの海生珪藻種が含まれることから、本ユニットは塩水湿地を流れる河川とその周辺の堆積物と考えられる。

### 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よく対応するものの、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。深度との関係を泥層のガンマ線換算密度と比較すると、全体的な傾向としてユニット 3 から 4-a にかけて圧密によると思われる密度の漸移的な低下が認められる。すなわち、ユニット 3 下部では  $2.0\text{g}/\text{cm}^3$  を上回り、同上部で  $2.0\text{g}/\text{cm}^3$  を下回ってユニット 4-a では  $1.8\text{g}/\text{cm}^3$  前後を示す。ただし後述する粒度分析結果から、ユニット 4-a 内における上方への密度低下は細粒化の影響もあると考えられる。

含水比の深度プロファイルは密度の深度プロファイルと良く対応し、ユニット 3 下部の 25% 程度からユニット 4-a 上部の 45% 程度まで、上位へ値が増加していく

傾向が認められる。しかしユニット 4-b 下部で再び 20% 近くまで値が下がったあと上位へ漸増するが、ユニット 4-c で再び漸減する。

#### 帯磁率

帯磁率の値は粒度とよく対応し、とくに砂サイズの堆積物で高い値を示すことが読み取れる。このため帯磁率の深度プロファイルからも、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できる。なおユニット 4-a の深度 17 ~ 18 m 付近に認められる小さなピークは砂脈に対応するものと思われる。

#### 粒度分析

含泥率、平均粒径及び最頻径の値は、いずれも肉眼記載と調和的である。上方細粒化・上方粗粒化のサクセッションは、粒度分析からも支持される。平均粒径値は、ユニット 3 の斜交層理砂層 (深度 42.1 m) において最大値  $0.93\phi$  ( $0.52\text{mm}$ ) を、ユニット 5 の粘土層 (深度 4.0 m) において最小値  $9.47\phi$  ( $1.4\mu\text{m}$ ) を示した。なおユニット 4-b では、ユニット上面に近い深度 15.4 m において最小値  $8.74\phi$  ( $2.4\mu\text{m}$ ) を示す。

#### 水素イオン濃度指数 (pH) ・電気伝導度 (EC)

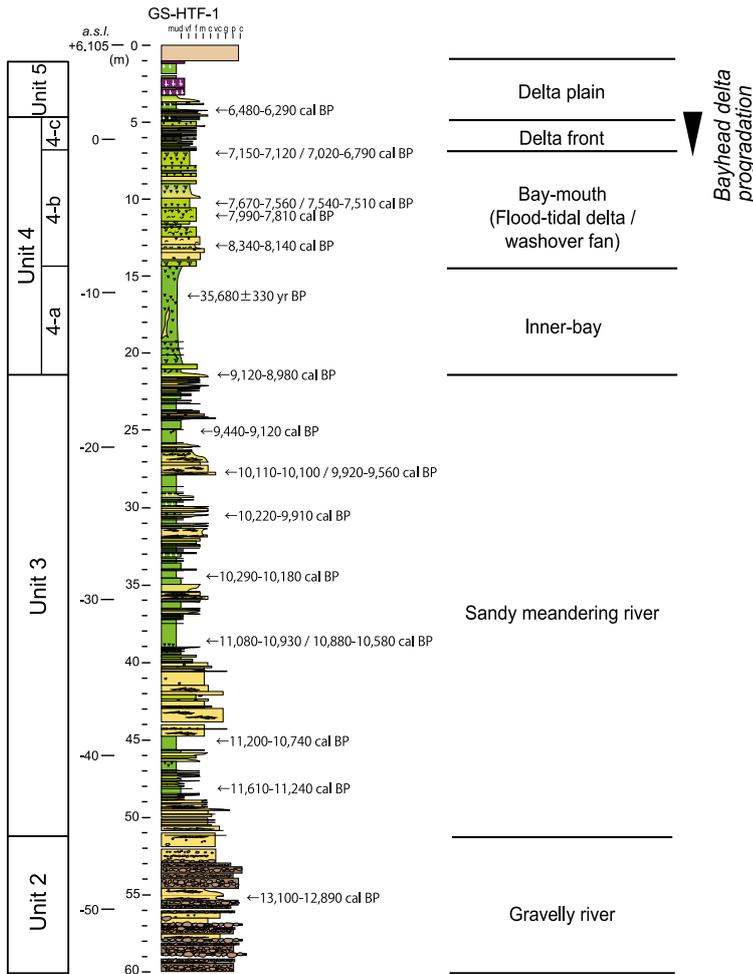
堆積物懸濁液の pH 及び EC の値はユニット 3 からユニット 4-a まであまり変化せず、それぞれ 7 ~ 8、 $0.8\text{mS}/\text{cm}$  程度である。ただし pH の値はユニット 3 下部 (深度 45 m 以深) では 8 を超える。またユニット 4-a 最上部から 4-b にかけて pH、EC ともに値が大きくなり、深度 12 m 付近でともに最大値 (pH が 9、EC が  $2.6\text{mS}/\text{cm}$ ) を示す。そこから上位のユニット 4-c、ユニット 5 にかけて値が漸減し、深度 2 m で pH は 7、EC は  $0.4\text{mS}/\text{cm}$  となる。

## 6. 考 察

### 6-1 層序と堆積環境

ユニット 2 の中部層準 (深度 55.2 m) から得られた  $^{14}\text{C}$  年代値 13,100 ~ 12,890 cal BP から、太美地区の GS-HTF-1 コアはほぼ全区間が沖積層からなると判断される。ただし、余掘りを行った深度 65 m までの砂礫層全てが沖積層の基底礫層に相当するかは明確ではなく、基底礫層がより古い砂礫層の上に連続して累重している可能性も残る。現段階では、ユニット 2 を沖積層基底礫層として議論を進めることとする。

太美地区の沖積層は、下位より礫質河川堆積物 (ユニット 2)、蛇行河川の堆積物 (ユニット 3)、内湾～湾口の堆積物 (ユニット 4)、そして最上部の塩水湿地及び河川の堆積物 (ユニット 5) の順に累重すると解釈された。細粒砂層と泥層の有律細互層で特徴づけられるユニット 4-c から、河川及び塩水湿地堆積物からなるユニット 5 にかけての上方浅海化は、川下地区において認められるサクセッション (川上ほか, 印刷中) とよく類似しており、湾



第5図 GS-HTF-1 コアの層序ユニットと AMS<sup>14</sup>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. 5 Summary of stratigraphy, AMS<sup>14</sup>C ages, and depositional environments of sediments in the GS-HTF-1 core. See Fig. 2 for the explanation of the columnar section.

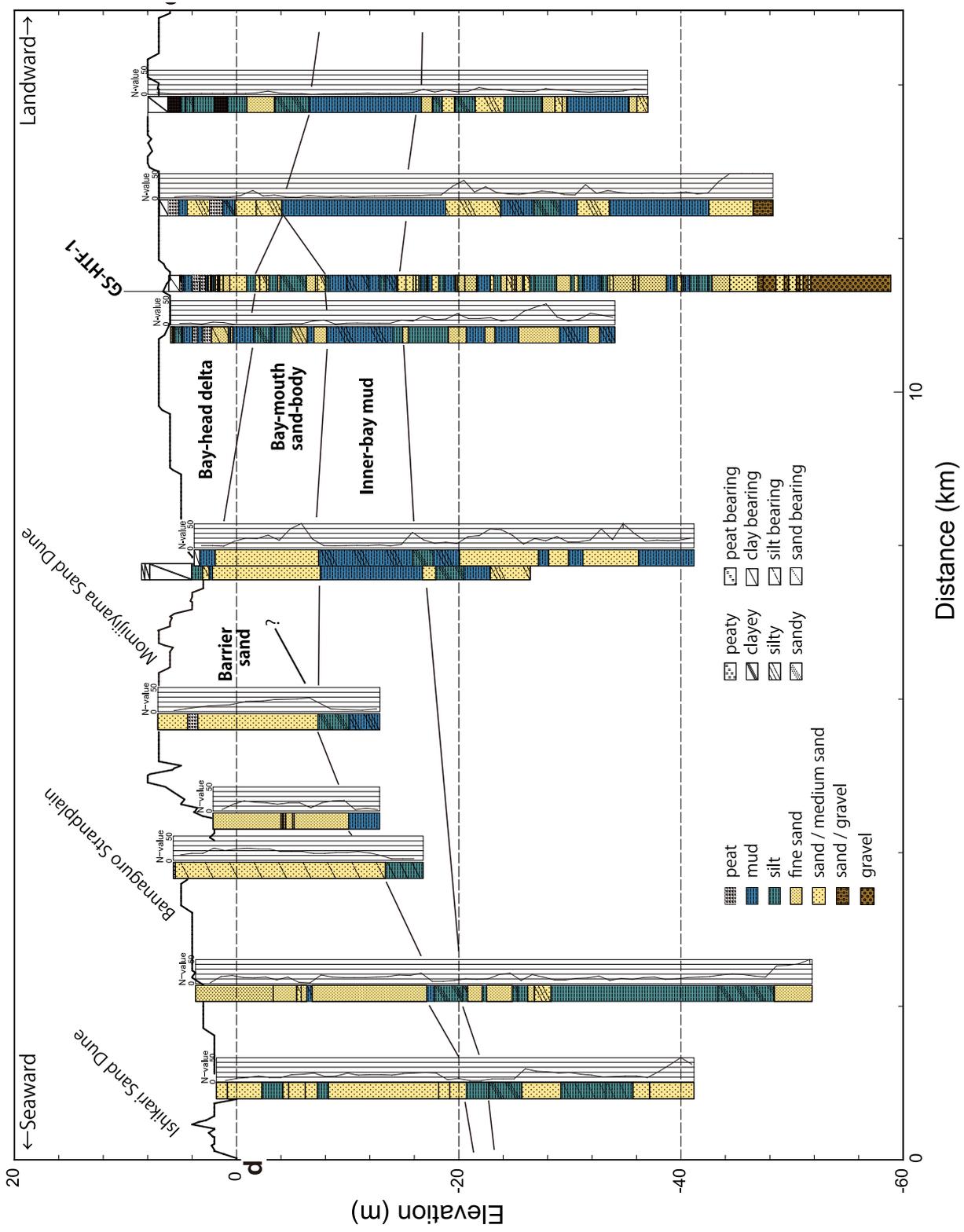
頭デルタのプログラデーションによるものと考えられる。すなわちユニット 4-c はデルタフロント、ユニット 5 はデルタプレーンの堆積物と解釈される。ただし川下地区ではデルタフロントの堆積物はプロデルタ堆積物に累重するのに対し、太美地区では湾口の砂質堆積物に累重している (第5図)。堆積物懸濁液の pH・EC の値は湾口の堆積物 (ユニット 4-b) で高いが、内湾の泥層 (ユニット 4-a) では pH が 7.3 ~ 7.5, EC が 0.7 ~ 1.1 mS/cm と低く、下位の河川堆積物 (ユニット 3) と同程度である。川下地区の GS-HTB-1, -2 コアでは、内湾泥層の pH が 8 ~ 9, EC が 1.4 ~ 2.6 mS/cm で、推定される堆積環境に応じた高い値を示しており (川上ほか, 印刷中), GS-HTF-1 コアの同層準で pH, EC の値が低い理由については、現時点では不明である。

いずれにしても、上述した GS-HTF-1 コアに見られる堆積環境の変遷は、より内陸に位置する川下地区の GS-HTB-1, -2 コアに見られたものと基本的には同じであり、最終氷期最盛期の後の海進に伴って沖積谷を埋積した谷埋めシステムを示している。年代的に見ると、蛇行河川環境の開始はユニット 3 基底 (深度 48.2 m) の年代である 11,610-11,240 cal BP 頃、内湾泥層 (ユニット 4-a) の堆積

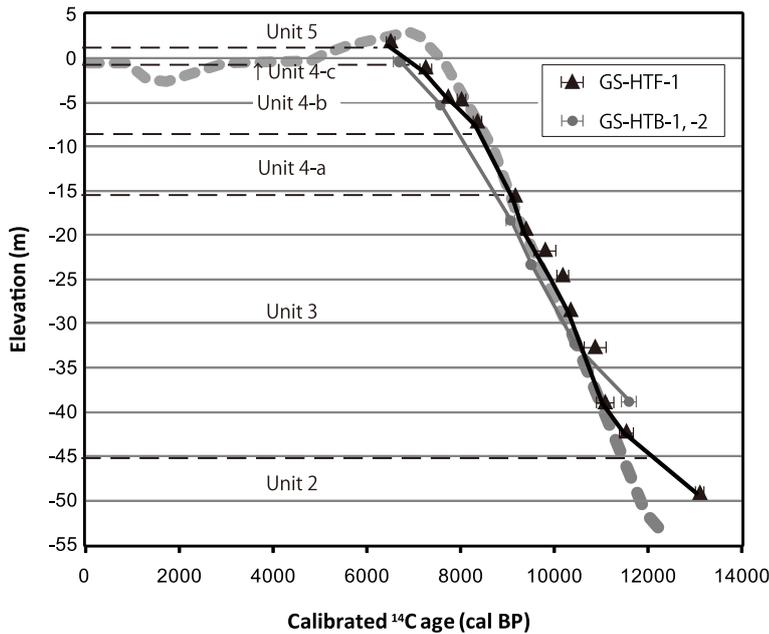
開始は深度 21.6 m の植物片が示す 9,120-8,980 cal BP 頃、またデルタプレーン (ユニット 5) が到達するのはユニット 5 下部の年代から 6,480-6,290 cal BP 頃であり、川下地区とほとんど変わらない。

一方、GS-HTF-1 コアに見られる層序の特徴として、基底礫層が厚く、また蛇行河川堆積物はより陸側の川下地区と比較して砂層に富んでおり、クレバス・スプレイ堆積物だけでなく流路充填堆積物が発達することがあげられる。このことは、掘削地点が地形的な狭窄部に位置していたため、河道の側方への移動が制限されていたことを反映する可能性がある。

また太美地区における沖積層の大きな特徴は、内湾泥層 (ユニット 4-a) とデルタフロント堆積物 (ユニット 4-c) に挟まれて、生物擾乱を強く受けた砂質泥~泥質砂 (湾口堆積物: ユニット 4-b) が発達することである。川下地区の同層準は泥質なプロデルタ堆積物からなり、砂質物に乏しい。地盤ボーリングデータベース (廣瀬ほか, 2011) によれば、この砂質なユニットは紅葉山砂丘の陸側の標高 0 ~ -8 m に同砂丘から連続するように幅数 km ~ 5 km で分布し、陸側にせん滅する (第6図)。これは既存の層序区分による前田砂層 (北川, 1990) に相当す



第6図 石狩湾岸から太美にかけての測線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. 6 Stratigraphic correlation of geologic columns from the Ishikari coastline to Futomi. See Fig. 1 for location.



第7図 GS-HTF-1 コアの堆積曲線。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。年代値の誤差範囲は2σ。

Fig. 7 Sediment accumulation curve from the GS-HTF-1 core. Dashed line shows the revised sea-level curve for Paleo-Okutokyo Bay (Kimura *et al.*, 2006). Horizontal errors are given as 2σ.

るものと考えられる。紅葉山砂丘は縄文海進高頂期に最も陸側に形成されたバリアー上の風成の砂層であり(上杉・遠藤, 1973), このバリアーの陸側に発達し, 内陸に向かって薄くなる断面形態を示すことから, ユニット4-bはウォッシュオーバーファンや上げ潮三角州などの複合からなる湾口の砂体(井内・斎藤, 1993; Saito, 1995)と推定される。

ユニット4-bの基底は, 下位の内湾泥層からの急激な上方粗粒化を示すが, その上部では上方細粒化の傾向を示す。ヌマコダキガイ類はユニットの下半部にのみ含まれ, 上半部には植物片が認められる。年代的には深度13.2mの貝殻片が8,340-8,140 cal BP, 深度10.7mの貝殻片が7,990-7,810 cal BP, 深度10.4mの植物片が7,670-7,510 cal BP, そして深度7.1mの植物片が7,150-6,790 cal BPを示した。これらのことから, 湾口の砂体は8千年前頃の縄文海進最盛期にバリアーの陸側への移動に伴い湾奥に向かって急速に前進し, その後7千年前頃の縄文海進高頂期にかけて海水準上昇速度が緩やかになると, バリアーの海側への移動とともに後退的に累重したと推定される。この海退により, 河川からの碎屑物供給の寄与が大きくなるとともに, デルタフロントの堆積物に直接覆われたと考えられる。

### 6-2 堆積曲線

今回測定した<sup>14</sup>C年代値(暦年較正值)と深度から堆積曲線を描くと, 第7図のようになる。石狩湾岸域及び周辺域における完新世の詳細な海水準変動曲線は明らかではないため, 川上ほか(印刷中)と同様に, ここでは多くの調査研究並びにAMS<sup>14</sup>C年代値に基づいて復元されている奥東京湾の海水準変動曲線(例えば木村ほか, 2006)と堆積曲線とを暫定的に比較する。

GS-HTF-1 コアが示す堆積速度は, ユニット3~ユニット4-aまでが10m/千年, ユニット4-b~ユニット5にかけてはやや遅くなり, 5m/千年である。前者は完新世の海進最盛期における海水準上昇に応じたものであり, 後者は海進期から高海水準期にかけての海水準上昇速度の減少とその後の海水準低下に応じたものと考えられる。

河川堆積物と解釈されたユニット3の区間において, 堆積曲線は海水準変動曲線にほぼ沿う。すなわち海水準に近接する低平地で, 海水の影響を受けやすい河川環境であったことが示唆される。ユニット3の中~上部層準で海生珪藻種の産出割合が少なくないことも, そのような環境を示唆する。河川環境から内湾環境への移行を示すユニット3とユニット4-aの境界付近で堆積曲線は海水準変動曲線と交差し, 層相から見た堆積環境の変化を支持する。

次に, より陸側のGS-HTB-1, -2 コアから求めた堆積曲線(川上ほか, 印刷中)と比較すると, GS-HTF-1のユニット3中部層準より上位の区間で相対的に標高の高い位置を通っており, 河床勾配を考えると異常である。例えば内湾泥層と下位の河川堆積物の境界は年代的にはほとんど変わらないが, その標高はGS-HTB-2 コアでは-17mであるのに対し, GS-HTF-1 コアでは-15mである。海水準変動曲線との関係も合わせて考慮すると, 川下地区が沈降している可能性が指摘されるが, この点についてはより詳細な検討を加えて議論する必要がある。

### 7. まとめ

1. 北海道当別町太美地区で掘削した沖積層ボーリングコアGS-HTF-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, 堆積物懸濁液のpH, ECを計測した。

堆積相及び産出する珪藻化石から、沖積層は下位より礫質河川堆積物(ユニット2)、蛇行河川の堆積物(ユニット3)、内湾～湾口砂体～デルタフロントの堆積物(ユニット4)、そして最上部の湾頭デルタのデルタプレーンを構成する堆積物(ユニット5)の順に累重すると解釈された。

2. 堆積物物性・粒度組成は層相とよく対応した。また pH・EC の値は解釈された堆積場と対応しており、堆積環境下における海水の寄与の程度を示すと考えられる。

3.  $^{14}\text{C}$  年代から、ユニット2とユニット3の境界(礫質河川環境から蛇行河川環境への転換)は12,000cal BP頃、ユニット3とユニット4の境界(蛇行河川環境から内湾環境への転換)は9,000cal BP頃と推定される。更に縄文海進最盛期の8,000cal BP頃に湾口砂体が湾奥に急速に前進し、高頂期の8,000～7,000cal BP頃にはバリアーの海側への移動とともに後退的に累重したと推定される。また7,000cal BPにはデルタフロントが太美地区に到達し、湾口砂体を覆った。

謝辞：研究にあたり、札幌市、当別町をはじめ北海道や北海道開発局などから多くの地盤ボーリングデータの提供を受けた。掘削にあたって、当別町教育委員会、当別町立西当別中学校の皆様にも多大なるご協力を頂いた。掘削調査は中央開発(株)に委託した。MSCLの使用に際しては、産総研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。査読者並びに担当編集委員の澤井祐紀博士のご指摘により、原稿は大きく改善した。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る。本研究の研究費として、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」を使用した。

## 文 献

- 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) 地盤ボ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.
- 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.
- 許 成基・山崎 誠・左高裕之・中川昌己・秋山泰祐・平野令緒 (2001) 支笏火山噴出層年代の再検討. *地球科学*, **55**, 145-156.
- 井内美郎・稲崎富士・卜部厚志・岡 孝雄・木村克己・斎藤文紀・高安克己・立石雅昭・中山俊雄・長谷義隆・三田村宗樹 (2006 編) 地質学論集 59 号「沖積層研究の新展開」. 日本地質学会, 東京, 212 p.
- 井内美郎・斎藤文紀 (1993) 霞ヶ浦. *アーバンクボタ*, **32**, 56-63.
- 川上源太郎・小松原純子・嵯峨山 積・仁科健二・木村克己・廣瀬 亘・大津 直 (印刷中) 北海道当別町川下地区で掘削された沖積層ボーリングコア (GS-HTB-1, GS-HTB-2) の層序および堆積学的解析. *地質学雑誌*.
- 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. *日本の地質 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.
- 北川芳男・赤松守雄・平川善祥・熊野純男・五十嵐八枝子(1973)石狩低地の後氷期の変遷. 第四紀研究, **12**, 25.
- Kramer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986) Bacillario-phyceae, 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) Bacillario-phyceae, 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) Bacillario-phyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunoticeae. 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) Bacillario-phyceae, 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.
- 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.
- 工藤浩三(1997)秋田県八郎潟干拓地におけるボーリング・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.
- 中島 礼・木村克己・宮地良典・石原与四郎・田辺晋(2004)東京都江戸川区小松川と埼玉県草加市柿木において掘削した沖積層ボーリングコアから産出した貝化石群集. 地調研報, **55**, 237-269.
- 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)青森県尾駮沼の珪藻群集. 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.
- 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.
- 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. 地質雑, **116**, 13-26.
- Saito, Y. (1995) High-resolution sequence stratigraphy of an incised-valley fill in a wave and fluvial-dominated setting: latest Pleistocene-Holocene examples from the Kanto Plain, central Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*. no. 45, 76-100.
- 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.
- 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. 地調研報, **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.
- 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350m ボーリングコア(GS-SB-1)の層相と堆積物物性. 地調研報, **60**, 147-197.

(受付: 2011年10月13日; 受理2012年2月14日)