

東京都葛飾区における沖積層の堆積相と堆積物物性: 奥東京湾口の砂嘴堆積物の時空間分布

田辺 晋¹・中島 礼¹・中西利典¹・石原与四郎²・宮地良典¹・木村克己¹・中山俊雄³・柴田康行⁴

Susumu Tanabe, Rei Nakashima, Toshimichi Nakanishi, Yoshiro Ishihara, Yoshinori Miyachi, Katsumi Kimura, Toshio Nakayama and Yasuyuki Shibata (2006) Sedimentary facies and physical properties of the Chuseki-so under Katsushika-ku, eastern margin of the Tokyo Lowland, central Japan: Time and spatial distribution of Holocene spit sediments. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 57(9/10), p.261-288, 10 figs, 4 tables.

Abstract: Latest Pleistocene to Holocene incised-valley fills (the Chuseki-so) under the eastern margin of the Tokyo Lowland comprise sandy sediments which stiff 20–50 in N-value in T.P. -40–0m. The sandy sediments have been interpreted as Pleistocene shallow marine deposits or as transgressive deltaic sediments deposited during the last deglaciation. However its distribution and depositional processes have not been well documented. On the basis of sedimentary facies analysis and radiocarbon dating of two core sediments obtained from the eastern margin of the Tokyo Lowland, we have clarified that the sandy sediments can be interpreted as Holocene spit sediments which wide 5km and elongate northwest-ward from the Shimosa Upland. The proximal and distal portions of the spit sediments, respectively, consist of shelly sand and sand-mud alternation. Large amount of the spit sediments deposited in the bay-mouth portion of the Paleo-Okutokyo Bay during the middle-Holocene sea-level highstand. Compared with a massive prodeltaic mud in the Tokyo and Nakagawa Lowlands, the spit sediments are relatively coarse and high-density. It is therefore predicted that the distribution of the spit sediments will be important to make earthquake simulation/city planning.

Keywords: Chuseki-so, incised-valley, spit, sedimentary facies, radiocarbon date, Tokyo Lowland, Holocene

要 旨

下総台地と接する東京低地の東縁には、標高-40～0 mにN値20～50の砂体が分布している。この砂体は中・上部更新統の下総層群や沖積層の中間砂層として解釈されてきた。しかし、その詳細な分布や成因については不明な点が多い。東京都葛飾区の新宿地区と高砂地区から採取した2本のボーリングコア堆積物の岩相と生物化石相の詳細な観察と放射性炭素年代測定の結果、この砂体は下総台地の南縁の市川砂州から北西方向に伸長する砂嘴堆積物であることが明らかになった。砂嘴は、完新世中期以降、奥東京湾口の千葉県市川市から葛飾区高砂地区にかけて幅5 kmにわたって発達した。砂嘴堆積物の本体は貝化石が点在する砂層から構成されるのに対し、その縁辺は再堆積した貝化石や中礫を多く含む砂泥互層から構成される。砂嘴堆積物は、東京低地の臨海部や中川低地に分布するデルタ性の内

湾泥層と比べ、砂粒含有率と密度が大きな砂層から構成される。よって、その分布は地震動予測や都市計画を行うにあたって重要になると考えられる。

1. はじめに

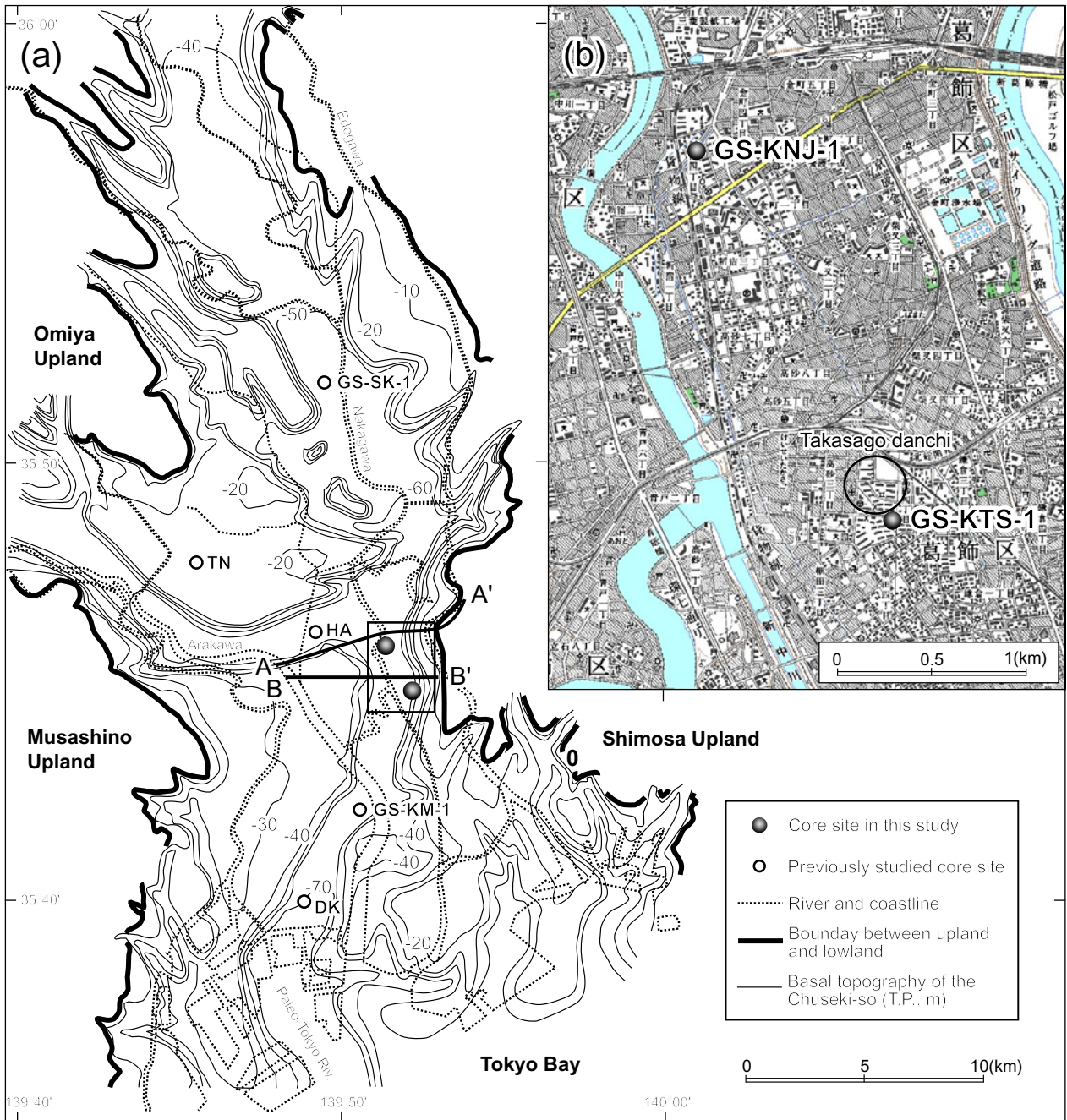
東京低地などの沿岸河口低地の地下には、海水準の低下に伴って最終氷期最盛期までに形成された開析谷を充填する河成から海成の未固結堆積物が分布している。沖積層と呼ばれるこれら堆積物は現在の荒川河口付近において70 m以上の層厚を有しており、その基底部においてN値50以上の砂礫層、そして、その表層30 mにN値0～5のシルト層を有することを特徴とする(Matsuda, 1974 など)。沖積層が、このような特徴的な層相を含む場合、その分布や層序は標準貫入試験(JIS A 1219)に伴うボーリング柱状図資料を用いることで比較的容易に検討できる。しかし、沖積層が層序

¹地質情報研究部門(Institute of Geology and Geoinformation, GSJ).

²福岡大学理学部地球圏科学科(Department of Earth System Science, Fukuoka University, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan)

³東京都土木技術センター(Civil Engineering Center, Tokyo Metropolitan Government, Shinsuna 1-9-15, Koto-ku, Tokyo 136-0075, Japan)

⁴国立環境研究所化学環境研究領域(Environmental Chemistry Division, National Institute for Environmental Studies, Onogawa 16-2, Tsukuba 305-8506, Japan)



第1図 東京低地の位置図。

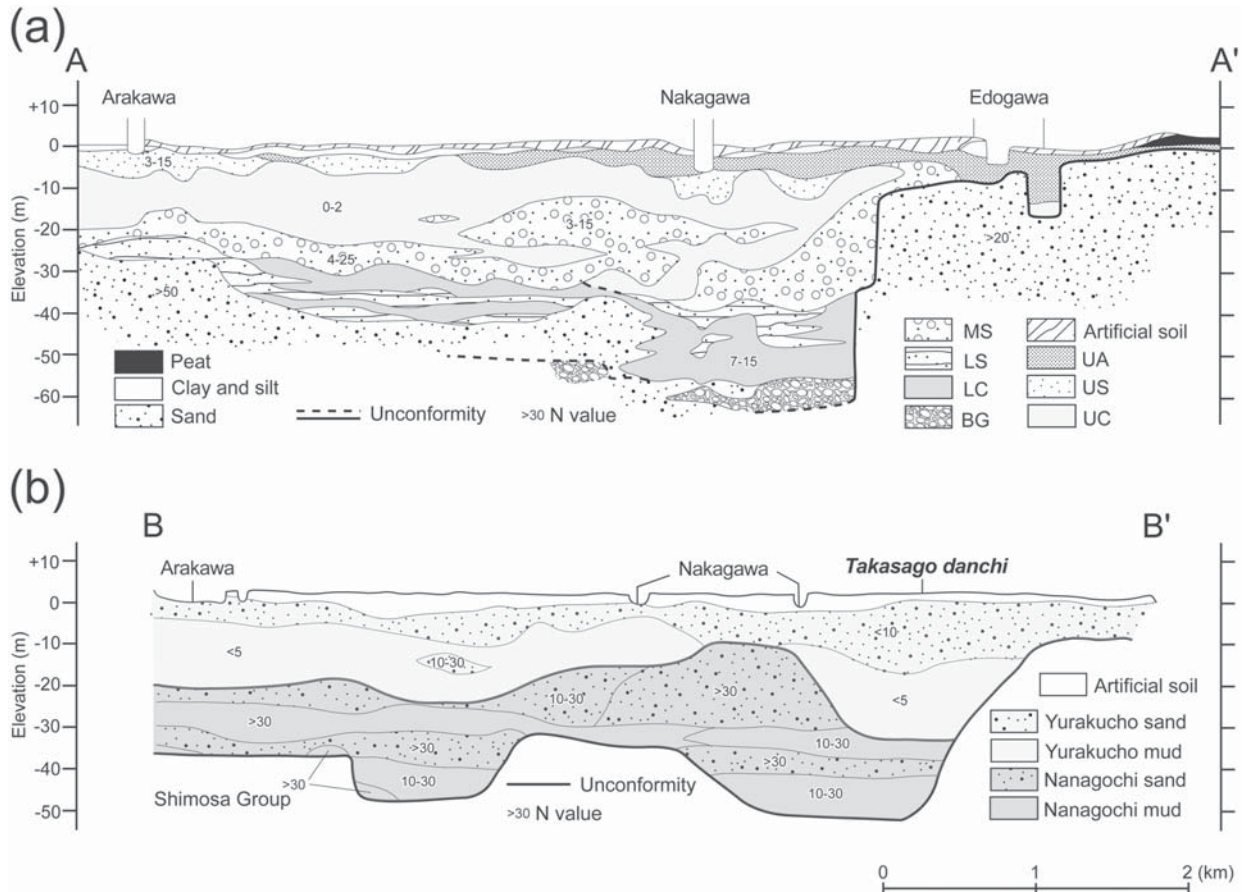
(a) 奥東京湾地域における沖積層基底分布。遠藤ほか(1988)を一部改編。既存のボーリングコアの掘削地点は、GS-KM-1が宮地ほか(2004)、GS-SK-1が石原ほか(2004a)、DK、HA、TNが石原ほか(2004b)による。(b) 本研究のボーリングコアの掘削地点。国土地理院発行数値地図25,000(地図画像)「東京」を使用。

Fig. 1 Location map of the Tokyo Lowland.

(a) Valley topography formed until the Last Glacial Maximum (modified after Endo *et al.*, 1988). Previously studied core sites are based on Miyachi *et al.* (2004): GS-KM-1, Ishihara *et al.* (2004a): GS-SK-1 and Ishihara *et al.* (2004b): DK, HA, TN. (b) Inset of (a) showing core sites in this study. (b) is illustrated based on topographic maps, Digital Map 25,000 (Map Image), Tokyo by Geographical Survey Institute.

区分の指標となる層相を含まない場合、ボーリング柱状図のみによる層序区分は困難で、柱状図の解釈の模式となるボーリングコア堆積物と沖積層のより詳細な形成モデルが必要となる。

下総台地と接する東京低地の東縁には、台地に沿う幅が5 kmの地域の表層40 mにN値10以上の砂層が分布している (Matsuda, 1974; 東京都土木技術研究所, 1977) (第1図, 第2図)。そして、この砂層は、これま



第2図 東京低地東縁における砂質堆積物の分布。

(a) Matsuda (1974)と(b) 東京都土木技術研究所(1977)の東西地質断面。

BG：基底礫層, LC：下部泥層, LS：下部砂層, MS：中間砂層, UC：上部泥層, US：上部砂層, UA：最上部陸成層, MSの日本語訳は松田(1993)による。

Fig. 2 Distribution of sandy sediments under the eastern margin of the Tokyo Lowland.

EW geological sections of Matsuda (1974) (a) and Institute of Civil Engineering of T.M.G. (1977) (b). BG: Basal Gravel, LC: Lower Mud, LS: Lower Sand, MS: Middle Sand, UC: Upper Mud, US: Upper Sand, UA: Uppermost alluvium.

で中・上部更新統の下総層群(Matsuda, 1974; 東京都土木技術研究所, 1977)や沖積層の中間砂層(MS)(Matsuda, 1974; 松田, 1993), 七号地層, 有楽町層下部(東京都土木技術研究所, 1977)として解釈されてきた。同一の砂層の層序が異なるのは, この地域の沖積層が層序区分の指標に乏しく, 複雑な岩相から構成されているためである。東京低地東縁では沖積層の基盤の下総層群が砂層から構成されているうえに, 開析谷斜面に沖積層の基底礫層が分布しない。また, 表層40 mの砂層はN値0~5のシルト層と指交関係にあり, 複雑な分布の中間土と呼ばれる砂泥層や砂泥互層を形成している(第2図)。

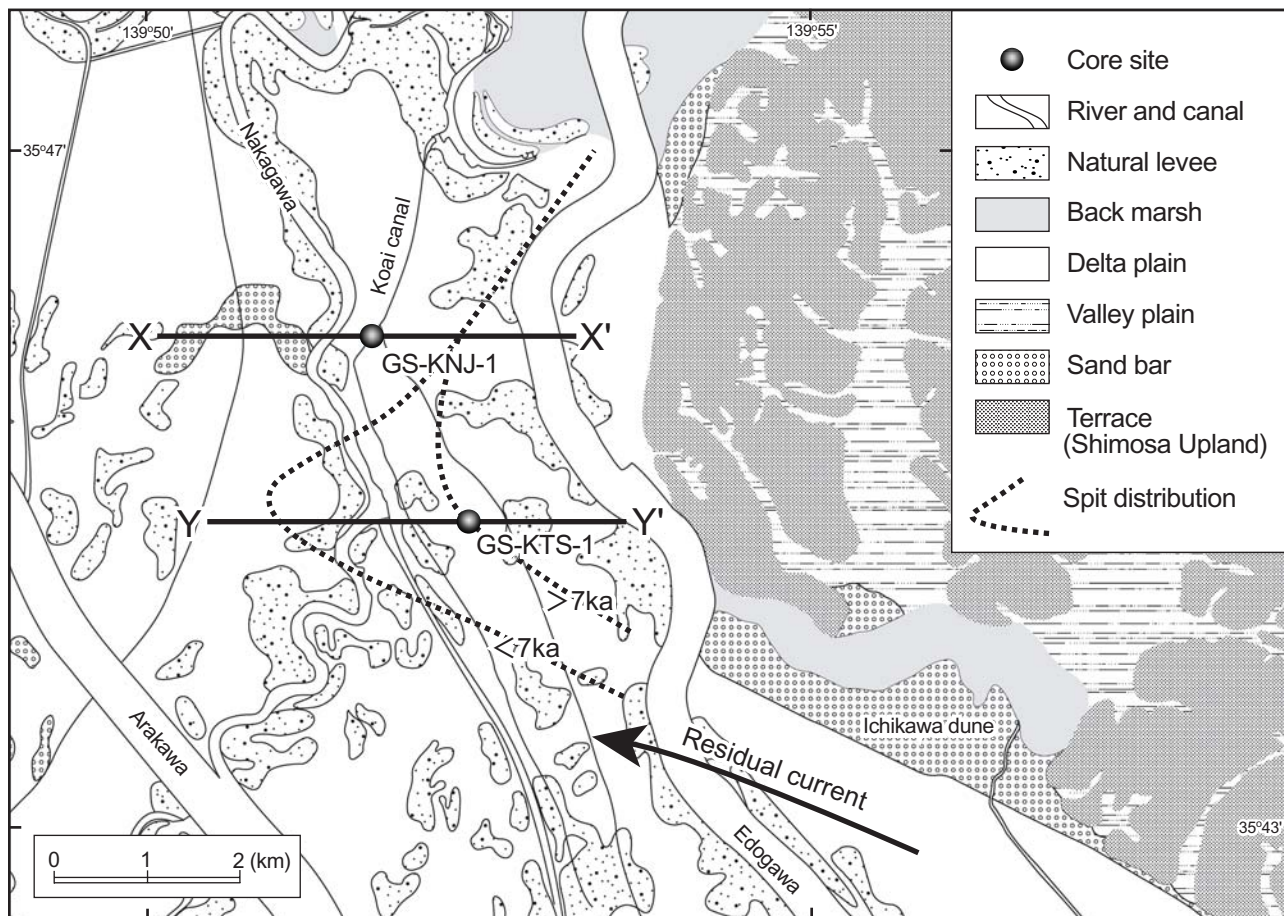
地質調査総合センターの都市地質研究プロジェクトでは, 平成14(2002)年度から東京低地から中川低地に至る沖積層の標準層序と堆積物物性の確立を目的としたボーリングコア堆積物の掘削と解析を行っている(木村, 2004)。そして, 2003年度は, 東京低地東縁に

おける沖積層の模式層序の確立を目的として, 東京都葛飾区の新宿地区と高砂地区において, それぞれ70 m長と40 m長のボーリングコア堆積物(GS-KNJ-1とGS-KTS-1)を掘削した。コア堆積物は, 岩相と生物化石相の詳細な観察と放射性炭素年代値の高密度な測定に基づいて堆積相に区分し, 密度などの物性値を測定した。本稿では, これら2本のコア堆積物の堆積相と物性を記載し, 同プロジェクトで整備したボーリング柱状図データベース(田辺ほか, 2005)を併用することで, 東京低地東縁における堆積相と堆積システムの時空間分布を試みる。

2. 東京低地東縁における沖積層の地形・地質概説

2.1 地形

東京低地は, 東に下総台地, 西に武蔵野台地, 南に東京湾に面した, 標高4 m以下の沿岸低地である(貝塚,



第3図 東京低地東縁の地形分類図 (久保, 1993).
砂嘴の分布は第9図における砂嘴堆積物の西端の分布を示す。

Fig. 3 Geomorphological division of the eastern margin of the Tokyo Lowland (after Kubo, 1993).
Spit distributions indicate the western margin of the spit sediments in Fig.9.

1979). 中川低地や荒川低地を合わせたこの地域は奥東京湾地域と呼ばれ、完新世中期の海水準高頂期以降に陸化した(貝塚, 1979; 小杉, 1989) (第1図)。東京低地の中でも、とりわけ、その東縁には、潮間帯のデルタ低地上に自然堤防と砂州の微高地が発達する(第3図)(久保, 1993)。自然堤防は中川の分岐河道沿い、そして、砂州は奥東京湾の旧汀線に沿って分布する。本稿では、中川と新中川よりも東に分布する、古利根川の沿岸河口低地を東京低地東縁と定義する。東京低地東縁は、地盤高が標高1 mよりも低い“ゼロメートル地帯”(貝塚, 1979)よりも東に分布する。

2.2 地質

東京低地東縁の沖積層は、これまでMatsuda (1974)と東京都土木技術研究所 (1977) によって、その分布と層序が検討されてきた(第2図)。

Matsuda (1974) はJR常磐線沿線の東西地質断面を用いて、沖積層の層序区分を行っている(第2図a)。第

2図aにおいて沖積層は、下位より、基底礫層(BG)、下部泥層(LC)、下部砂層(LS)、中間砂層(MS)、上部泥層(UC)、上部砂層(US)、最上部陸成層(UA)に区分される(Matsuda, 1974; 松田, 1993)。そして、中川より東の地域において、BGは標高-60~-55 m, LCとLSは標高-55~-30 m, MSは標高-40~-10 m, UCは標高-30~-5 m, USは標高-15~-5 m, UAは標高-10 m以浅に分布している。MSとUCは中川付近において一部指交関係にあるが、これは後期有楽町海進に伴って堆積した三角州堆積物の前置層と底置層として解釈されている(Matsuda, 1974; 松田, 1993)。USは完新世中期の海水準高頂期以降に堆積した三角州堆積物の前置層である。江戸川付近の沖積層は、新ドリラス期以降の後期有楽町海進に伴って形成された海食台に累重する(第2図a)。

第2図bは東京都土木技術研究所(1977)によるN 34° 44' 30" 付近の東西地質断面である。この地質断面において沖積層は、洪積層(更新統)の東京礫層と東京層

第1表 GS-KNJ-1とGS-KTS-1の位置情報と掘削に用いたサンプラー、緯度・経度は世界測地系。

Table 1 Locations of GS-KNJ-1 and GS-KTS-1, and samplers used to obtain the cores. Latitude and longitude are described in JGD2000.

Core	Latitude (N)	Longitude (E)	Elevation (m)	Penetration depth (m)	Sampler
GS-KNJ-1	35° 45' 49.328"	139° 51' 38.777"	+0.425	70.0	Triple tube and double tube
GS-KTS-1	35° 44' 47.787"	139° 52' 23.246"	+1.193	42.0	Double tube

第2表 GS-KNJ-1とGS-KTS-1の堆積物物性の測定総数。

Table 2 Total numbers of sediment physical properties measured for GS-KNJ-1 and GS-KTS-1.

Core	γ ray	Magnetic susceptibility	L*, a*, b*	Wet bulk density	Water content	Sand content
GS-KNJ-1	6218	6218	632	1863	554	329
GS-KTS-1	2098	2098	415	1431	394	200

(東京地盤調査研究会, 1959), 埋没段丘礫層を不整合に覆う。そして、沖積層は、下位より、七号地層、有楽町層下部、有楽町層上部(青木・柴崎, 1966)に区分され、それぞれ、N値30以上と5~10の泥層とN値30以上の砂層、N値5以下の泥層、N値10以下の砂層から構成されている。七号地層は標高-50~-10 m、有楽町層下部は標高-30~-5 m、有楽町層上部は標高-10 m以浅に分布している(第2図b)。七号地・有楽町層境界は新ドリラス期の一時的な海水準の低下によって形成されたと考えられている(青木・柴崎, 1966)。中川付近には新ドリラス期の海水準低下に伴った侵食を免れたと考えられる七号地層が標高-10 m以深に分布する(第2図b)。

3. ボーリングコア堆積物の掘削方法

東京都葛飾区の新宿地区と高砂地区におけるボーリングコア堆積物(GS-KNJ-1とGS-KTS-1)は、基礎地盤コンサルタンツ(株)に依頼して平成15(2003)年度に採取した。第1表に各コア堆積物の位置情報とコア長、掘削に用いたサンプラーの種類を記す。コア堆積物の採取地点は第1図と第3図に示した。

GS-KNJ-1は葛飾区新宿地区の街路整備区画において2004年1月に採取した。コア堆積物の採取地点は中川左岸のデルタ低地に位置しており、その標高は東京湾平均海面(T.P.)+0.425 mである(第3図)。街路整備区画は近世の用水路(小合用水)が埋め立てられたものである(久保, 1993)。70.0 m長のGS-KNJ-1は、掘削深度58.0~67.9 mについては打撃式スリーブ内蔵単管サンプラー、それ以外の層準についてはロータリー式三重管サンプラーを用いて採取した。両サンプラー

の試料径は80 mmである。なお、三重管サンプラーのシューの部分(1 m長のサンプラーの下端10 cm)は堆積物採取時に攪乱されている可能性があるため、本研究では取り扱わない。シューを除いたコア堆積物の回収率はほぼ100%である。

GS-KTS-1は葛飾区高砂地区の高砂公園において2004年2月に掘削した。掘削地点は中川の左岸のデルタ低地に位置する(T.P.+1.193 m)(第3図)。42.0 m長のGS-KTS-1は、試料径が65 mmの打撃式スリーブ内蔵単管サンプラーを用いて採取した。コアの回収率はほぼ100%である。なお、GS-KTS-1の掘削は沖積層の基底まで達していない。

貝塚・松田(1982)と遠藤ほか(1988)の沖積層基底図によると、GS-KNJ-1とGS-KTS-1の採取地点は古東京川(中条, 1962)の開析谷の中軸部に位置する(第1図)。

4. ボーリングコア堆積物の解析方法

GS-KNJ-1とGS-KTS-1は γ 線透過率と帯磁率を測定した後、GS-KNJ-1の掘削深度15.0~15.5 m、23.0~23.5 m、45.0~45.5 m、52.0~52.5 mを除いて半裁し、アーカイブハーフとワーキングハーフとした。そして、アーカイブハーフを用いて、写真撮影、記載、色調の計測、剥ぎ取り標本の採取を行った。ワーキングハーフからは、軟エックス線写真撮影用のスラブ試料とプラスチックキューブ試料を採取した。含水率と湿潤・乾燥かさ密度、 4ϕ (63 μ m)と 2ϕ (250 μ m)よりも粗い碎屑物の含有率は、後にこのキューブ試料を用いて測定している。コア堆積物から採取した53点の貝化石と植物片は加速器質量分析(AMS)法によって放

放射性炭素年代値を測定した。これら解析方法を、4.1 堆積相の記載、4.2 放射性炭素年代値の測定、4.3 堆積物物性の測定、として以下に記す。第2表に γ 線透過率と帯磁率、色調、湿潤かさ密度、含水率と乾燥かさ密度、碎屑物含有率の測定総数を記す。

4.1 堆積相の記載

ボーリングコア堆積物の記載と堆積相の区分は、半裁直後の写真と記載、剥ぎ取り標本、軟エックス線写真、4 ϕ と2 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率を用いて行った。碎屑物の含有率の測定方法については後述する。

コア堆積物の記載は、岩相（岩相境界の特徴、堆積構造、粒度、粒子の支持様式）と生物化石相（植物根の有無、生痕化石と貝化石の産状と種類）に着目して行った。貝化石の種類は、共著者の中島によって、堆積物に含まれる0.5 mm以上の個体が同定された。剥ぎ取り標本の採取方法は宮地ほか（2004）に基づく。軟エックス線写真の撮影には、長さが20 cmと25 cm、幅が6 cm、厚さが1 cmのスラブ試料を使用した。

4.2 放射性炭素年代値の測定

2本のコア堆積物から採取した53点の貝化石と植物片の放射性炭素年代値の測定は、Beta Analytic(株)と共著者の中西が名古屋大学と国立環境研究所において行った。後者が測定した14点の植物片と貝化石については、蒸留水中で超音波洗浄を繰り返し行い、付着物を取り除いた。その後、植物片については、1規定のHClとNaOHを用いて二次的生成物を溶解除去し（80℃）、真空乾燥させた。こうして前処理を行った試料は、酸化銅と共にバイコール管に真空封入した後、燃焼させてCO₂を生成した（850℃、2時間）。標準試料としたシュウ酸（NIST HO_xIIと和光製特級試薬）も植物片と同様に真空封入・燃焼させた。貝化石については、試料の約10%（重量比）が融解するように希塩酸と反応させ、二次的生成物を除去した後に真空乾燥させた。こうして前処理を行った試料は、真空下でリン酸分解しCO₂を生成した。貝化石の標準試料とした石灰岩も同様にCO₂を生成した。上記手順で生成した植物片と貝化石、標準試料のCO₂は、精製後、鉄を触媒とした水素還元法（Kitagawa *et al.*, 1993）によってグラファイトにした。手動の圧縮装置を用いて作成したグラファイト・ターゲットの放射性炭素年代値は、国立環境研究所のタンデム加速器（NIES-TERRA, Yoneda *et al.*, 2004）を用いて測定した。

放射性炭素年代値の較正年代は、Reimer *et al.* (2004)とHughen *et al.* (2004)のデータセットとCALIB ver.5.0 (Stuiver and Reimer, 1993)を用いて計算した。貝化石の暦年較正の際、 $\Delta R=0$ 、海洋炭素=100%とした。本稿では較正年代（cal BP）を用いて以下の議論をす

ずめる。なお、本稿で一部使用する“yr BP”は、同位体分別無補正年代（中村, 2001）を放射性炭素年代値とみなしたものである。

4.3 堆積物物性の測定

本稿では、コア堆積物から測定した γ 線透過率と帯磁率、色調、含水率、湿潤・乾燥かさ密度、4 ϕ と2 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率を堆積物物性とする。これら堆積物物性の測定方法は、4 ϕ と2 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率を除き、石原ほか（2004a）と宮地ほか（2004）に従った。

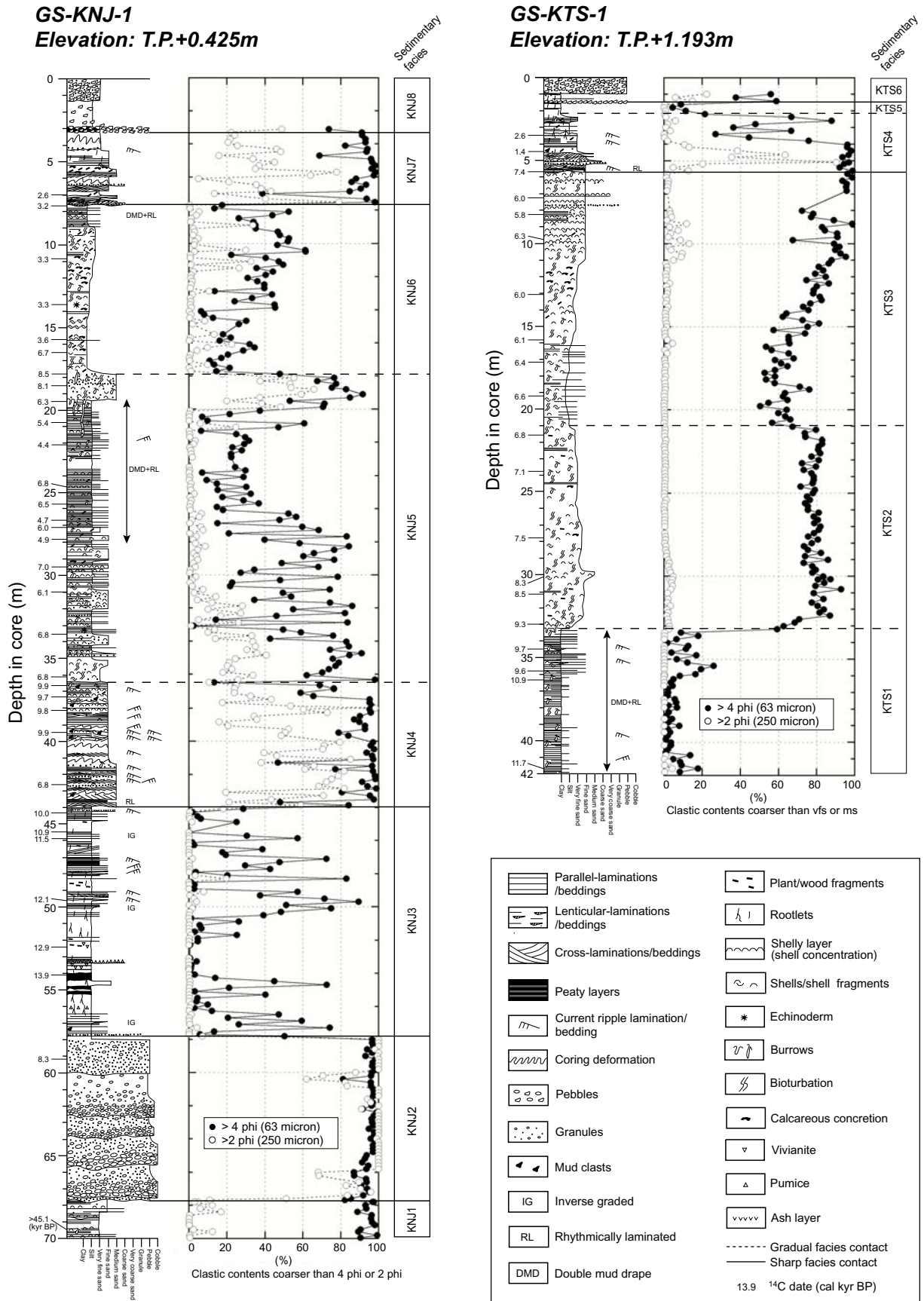
γ 線透過率は地質調査総合センターに導入されているマルチセンサーコアロガー（MSCL）（池原, 2000）を用いて測定した。¹³⁷Ce（370 Bq）を線源としたMSCLのコリメーター穴は5.0 mm、 γ 線透過率の測定間隔は1 cm、各点の測定時間は10秒とした。帯磁率はMSCLに装備されているループセンサー（125 mm径）を用いて測定し、測定間隔を1 cmとした。色調は、半裁直後のアーカイブハーフ面上に食品包装用ラップフィルムを敷き、土色計（SPAD-503）（コニカミノルタホールディングス（株））を用いて、L*a*b*表示系により5 cm間隔で測定した。含水率とかさ密度の測定には、外径が23 mm、容積が7 ccのプラスチックキューブ（夏原技研（株））を用いている。コアの半裁面から連続的に採取したキューブ試料は、60℃で2日間乾燥させ、含水率とかさ密度を計算した。湿潤かさ密度の測定間隔は23 mm、乾燥かさ密度と含水率の測定間隔は46 mmである。なお、GS-KNJ-1の掘削深度0.0～3.1 mと58.0～67.8 m、GS-KTS-1の掘削深度0.0～1.0 mについては、盛土と礫層のためキューブ試料を採取しなかった。4 ϕ と2 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率は、GS-KNJ-1の掘削深度58.0～67.8 mの砂礫層についてはワーキングハーフから直接採取した試料、そして、それ以外の層準についてはキューブ試料を用いて、それぞれ63 μ mと250 μ mの篩によって20 cm間隔で測定した。

5. 堆積相の結果

GS-KNJ-1とGS-KTS-1は、それぞれ8つと4つの堆積相に区分できる。本章では、これら2本のコア堆積物から認定した堆積相と、堆積相ごとの4 ϕ （63 μ m）と2 ϕ （250 μ m）よりも粗い碎屑物の含有率を記載する。第4図にコア堆積物の柱状図と碎屑物の含有率、第5図に堆積相の代表的な写真を示す。

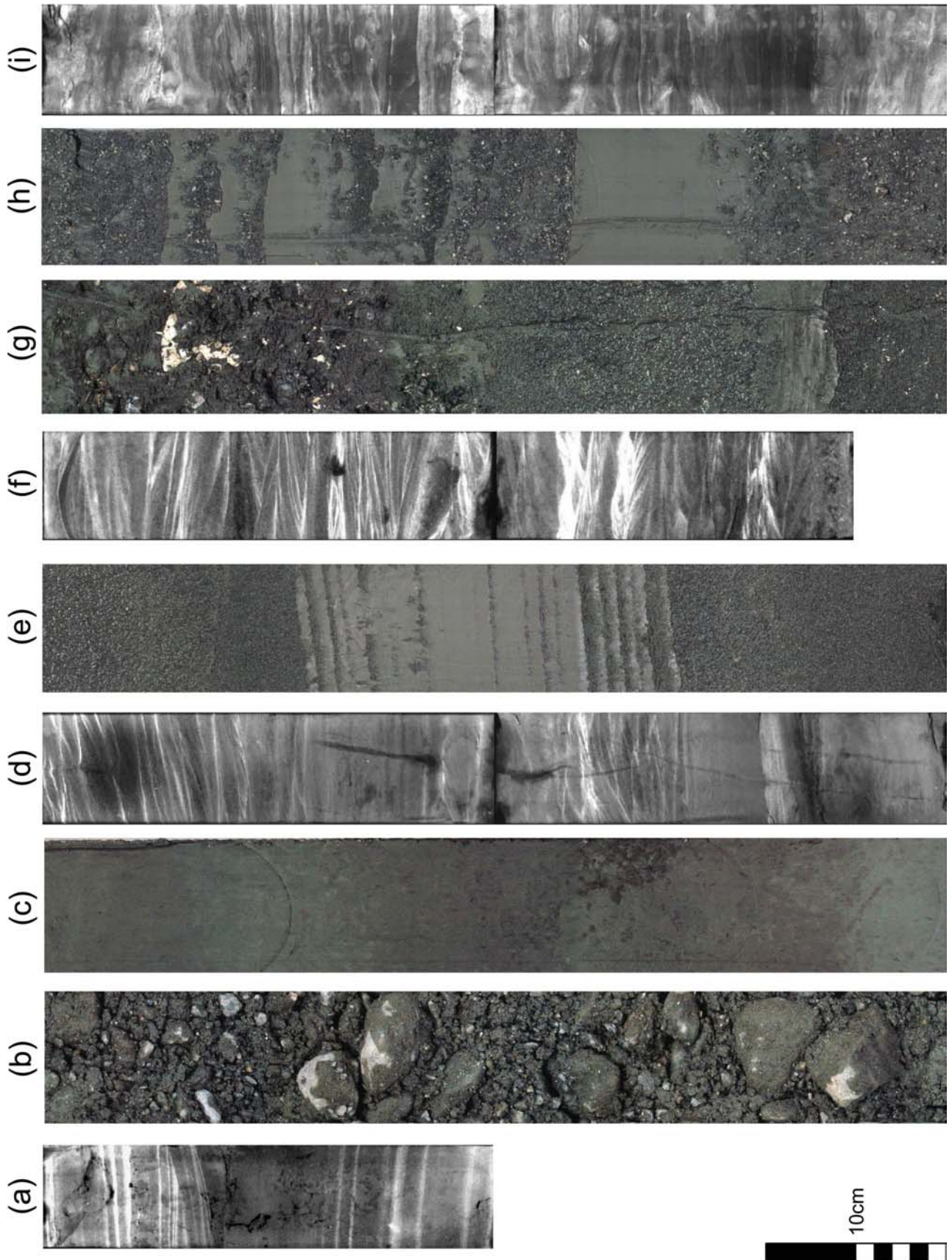
5.1 GS-KNJ-1

GS-KNJ-1は下位より堆積相KNJ1～8に区分できる。KNJ2～8はKNJ1（中・上部更新統の下総層群）に不整合に累重すると考えられる沖積層である（第4図）。



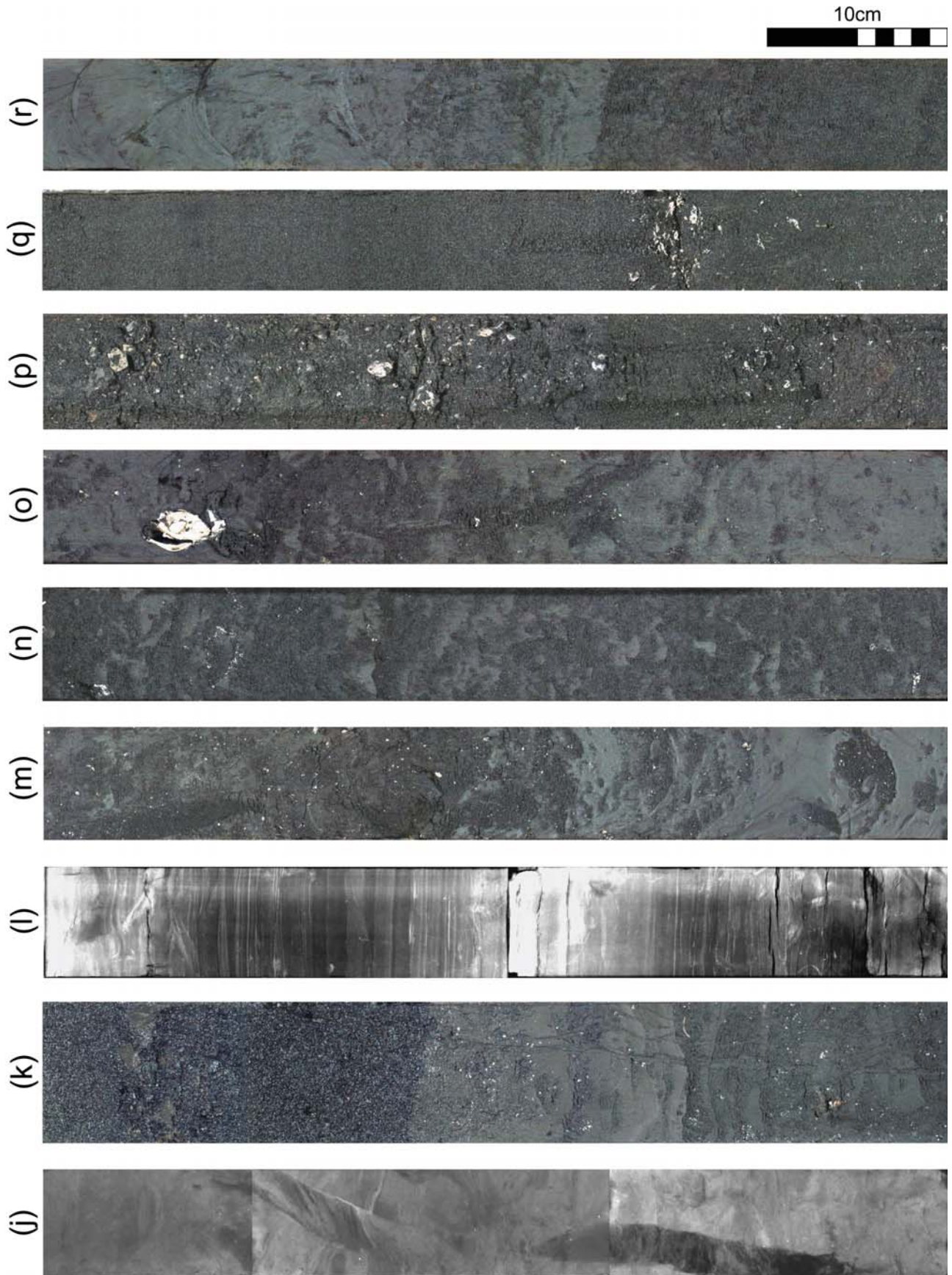
第4図 GS-KNJ-1 と GS-KTS-1 の堆積相と柱状図。

Fig. 4 Sedimentary facies and columns of GS-KNJ-1 and GS-KTS-1.



第5図 GS-KNJ-1 と GS-KTS-1 の堆積相の写真。(説明は、p.270 に記載.)

Fig. 5 Selected photographs of sedimentary facies identified in GS-KNJ-1 and GS-KTS-1. (p.270)



第5図 (つづき).
Fig. 5 (continued).

第5図 GS-KNJ-1 と GS-KTS-1 の堆積相の写真. (p.268, 269)

(a) KNJ1, 掘削深度 68.60 ~ 68.85 m, 低角の斜交層理のみられる中粒砂層. (b) KNJ2, 掘削深度 67.10 ~ 67.60 m, 礫質・基質支持礫層. 上部に向かって最大礫径が減少する. (c) KNJ3, 掘削深度 55.10 ~ 55.60 m, 泥炭質なシルト層. 明灰色の塊状シルト層と互層をなす. (d) KNJ3, 掘削深度 49.40 ~ 49.90 m, 砂泥互層. 植物根がみられるシルト層からカレントリップル層理のみられる細粒砂層に逆級化する. 軟エックス線写真 (陰画). (e) KNJ4, 掘削深度 43.40 ~ 43.90 m, 中粒砂層に挟在する砂泥細互層. シルトの層理と葉理の層厚が上部に向かって増加・減少する. (f) KNJ4, 掘削深度 42.25 ~ 42.70 m, 二方向流を示すカレントリップル層理のみられる中粒砂層. 軟エックス線写真 (陰画). (g) KNJ4 と KNJ5, 掘削深度 36.20 ~ 36.70 m, シルトの平行葉理を挟在する中粒砂層 (KNJ4) に生物攪乱を受けたシルト質砂層 (KNJ5) が累重する. KNJ4・5境界は生物攪乱を受けているため不明瞭. KNJ5の基底部に合弁のナミガイがみられる. (h) KNJ5, 掘削深度 34.20 ~ 34.70 m, 貝殻片を多く含む砂層と生痕化石の発達するシルト層の互層. (i) KNJ5, 掘削深度 22.00 ~ 22.50 m, 砂泥細互層. シルト層中に生痕化石とダブルマッドドレイプがみられる. 軟エックス線写真 (陰画). (j) KNJ6, 掘削深度 13.40 ~ 13.90 m, 生物攪乱を強く受けた砂質シルト層. 30 cm 長, 3 cm 径の生痕は *Psilonichnus* isp. 軟エックス線写真 (陰画). (k) KNJ6 と KNJ7, 掘削深度 7.50 ~ 8.00 m, 貝化石を多く含む砂泥互層 (KNJ6) にマッドクラストを含む中粒砂層 (KNJ7) が累重する. (l) KTS1, 掘削深度 36.50 ~ 37.00 m, ダブルマッドドレイプがみられる砂泥細互層. 軟エックス線写真 (陰画). (m) KTS1 と KTS2, 掘削深度 32.80 ~ 33.30 m, 生痕化石のみられるシルト層 (KTS1) に生物攪乱を受けたシルト質砂層 (KTS2) (上部の約 20 cm) が累重する. KTS1・2境界は生物攪乱を受けているため不明瞭. (n) KTS2, 掘削深度 28.00 ~ 28.50 m, 生物攪乱を強く受けたシルト質砂層. 貝化石片が点在する. (o) KTS3, 掘削深度 17.10 ~ 17.60 m, KTS3 下部の砂質シルト層. 生物攪乱を受けている. 写真上端に合弁のウラカガミがみられる. (p) KTS3, 掘削深度 7.30 ~ 7.80 m, KTS3 の上部の中粒砂層. バカガイ, ヒメカノコアサリなどの中等潮位以深の貝化石とツキガイモドキなどの潮間帯の貝化石が混在する. (q) KTS3 と KTS4, 掘削深度 5.40 ~ 5.90 m, 貝殻混じりの中粒砂層 (KTS3) に斜交層理砂層 (KTS4) が累重する. (r) KTS4 と KTS5, 掘削深度 2.10 ~ 2.60 m, 生物攪乱を受けた砂層とシルト層 (KTS4) が植物根のみられるシルト層 (KTS5) に漸移変化する.

Fig. 5 Selected photographs of sedimentary facies identified in GS-KNJ-1 and GS-KTS-1. (p.268, 269)

(a) KNJ1, 68.60–68.85 m depth, Low-angle cross bedded medium sand. (b) KNJ2, 67.10–67.60 m depth, Gravel- and matrix-supported conglomerates. Grain sizes of the gravels become smaller to the top. (c) KNJ3, 55.10–55.60 m depth, Peaty silt alternating with light-colored massive silt. (d) KNJ3, 49.40–49.90 m depth, Sand-mud alternation. The rooted silt inversely grades into current-ripple cross-stratified sand. Radiograph (negative). (e) KNJ4, 43.40–43.90 m depth, Sand-mud alternation. The thickness of the silt beds and laminations inclines- and then declines-upward. (f) KNJ4, 42.25–42.70 m depth, Bi-directional current-ripple stratified sand. Radiograph (negative). (g) KNJ4 and KNJ5, 36.20–36.70 m depth, Bioturbated silty sand (KNJ5) overlying medium sand intercalated with silt laminations (KNJ4). KNJ4 contains *Potamocorbula* sp. The KNJ4/5 boundary is intensely bioturbated. A jointed shell of *Panopea japonica* A. Adams and mud clasts distribute in the basal portion of KNJ5. (h) KNJ5, 34.20–34.70 m depth, Sand-mud alternation. The shelly sand grades-upward to burrowed silt. (i) KNJ5, 22.00–22.50 m depth, Sand-mud alternation. The silt bed/lamination contains burrows and double mud-drapes. Radiograph (negative). (j) KNJ6, 13.40–13.90 m depth, Intensely bioturbated sandy silt containing *Psilonichnus* isp. Radiograph (negative). (k) KNJ6 and KNJ7, 7.50–8.00 m depth, Medium sand (KNJ7) overlies shelly sand-mud alternation (KNJ6). (l) KTS1, 36.50–37.00 m depth, Sand-mud alternation containing double mud-drapes. Radiograph (negative). (m) KTS1 and KTS2, 32.80–33.30 m depth, Bioturbated silty sand (KTS2) overlies burrowed silt (KTS1). The KNJ1/2 boundary is intensely bioturbated. (n) KTS2, 28.00–28.50 m depth, Intensely bioturbated silty sand. Shell fragments scatter in the silty sand. (o) KTS3, 17.10–17.60 m depth, Bioturbated sandy silt in the lower portion of KTS3. The sandy silt coarsens-upward into (p). The sandy silt contains *Dosinella angulosa* (Philippi). (p) KTS3, 7.30–7.80 m depth, Medium sand. The sand bed contains sub- to lower inter-tidal shells of *Maetra chinensis* Philippi and *Veremolpa micra* (Pilsbry) and inter-tidal shells of *Lucinoma annulatum* (Reeve). (q) KTS3 and KTS4, 5.40–5.90 m, Cross-stratified sand (KTS4) overlies shelly medium sand (KTS3). (r) KTS4 and KTS5, 2.10–2.60 m depth, Rooted silt (KTS5) overlies bioturbated sand and silt (KTS4).

KNJ8 (深度 3.2 ~ 0.0 m) は垂角礫とヘドロからなる小合用水の埋土である。堆積相 KNJ1 ~ 7 の詳細を以下に記す。

5.1.1 堆積相 KNJ1 (中・上部更新統浅海成堆積物)

掘削深度：70.0 ~ 67.7 m

記載：本堆積相は低角の斜交層理砂層 (深度 70.0 ~ 67.8 m) (第5図a) と砂泥細互層 (深度 67.8 ~ 67.7 m) から構成される。砂層は淘汰の良い極細粒 - 細粒砂から構成され、バカガイと細礫が点在する。砂泥細互層は層厚がそれぞれ 5 mm と < 5 mm の細粒砂とシルトの互層から構成される。本堆積相の 4φ よりも粗い碎屑物の含有率は 90% 以上である (第4図)。深度 69.5 m から採取されたバカガイは、>45,090 yr BP の放射性炭素年代を示す。

解釈：バカガイの放射性炭素年代が >45,090 yr BP を示すことから、本堆積相は中・上部更新統の浅海性堆積物と考えられる。

5.1.2 堆積相 KNJ2 (網状河川チャネル堆積物)

掘削深度：67.7 ~ 57.8 m

記載：本堆積相は礫質支持の礫層と基質支持の砂質礫層の互層から構成される (第5図b)。礫質支持礫層と基質支持礫層の層厚は 10 ~ 50 cm である。本堆積相の最大礫径は、上部に向かって 9 cm から 5 cm へと減少する。本堆積相の 4φ と 2φ よりも粗い碎屑物の含有率はほぼ 100% である (第4図)。

解釈：礫質支持礫層と基質支持礫層は、それぞれ、掃流と堆積物重力流によって形成されたと考えられる。また、礫質支持礫層と基質支持礫層の互層は網状河川堆積物の主要な構成要素とされている (Miall, 1977; 1985; 1992)。したがって、堆積相 KNJ2 は礫質網状河川チャネルを充填する堆積物であることが解釈できる。最大礫径が上部に向かって減少するのは、チャネルの埋積に伴う水深と流速の減少を反映していると考えられる (Visher, 1965)。

5.1.3 堆積相KNJ3(氾濫原-自然堤防堆積物)

掘削深度：57.8～44.1 m

記載：本堆積相は植物片を多く含む泥炭質なシルト層から構成される(第5図c)。深度57.8～56.4 mと50.4～49.1 m, 47.9～46.4 mにおいて、シルト層には層厚が1～20 cmの極細粒砂-中粒砂層が多く挟在する(第4図)。極細粒砂-中粒砂層のうち、層厚が2 cm以上のものはカレントリップル層理(第5図d)とトラフ状斜交層理から構成されていることが多い。層厚が2 cm以下のものは塊状シルト層から砂層へと逆級化をなすことが多い。本堆積相の深度55.3～51.8 mには層厚が3～50 cmの泥炭質なシルト層が数多く挟在する(第4図)。泥炭質なシルト層には藍鉄鉱が多くみられる。深度56.1～56.0 mと53.3 mにはピンク色の軽石が点在する。塊状シルト層の砂粒含有率はほぼ0%である。

解釈：逆グレーディング構造は、洪水時の浮遊土砂流出の特性を反映した堆積構造であり(伊勢屋, 1982)、自然堤防帯における氾濫原洪水堆積物の示相堆積構造とされている(増田・伊勢屋, 1985)。また、自然堤防帯における砂層の層厚は一般的に河岸に近くなるほど厚いことが多い。したがって、深度55.3～51.8 mの泥炭質シルト層は後背湿地における堆積物、深度57.8～56.4 mと50.4～49.1 m, 47.9～46.8 mの砂泥細互層は、河道に比較的近い氾濫原や自然堤防における堆積物であることが解釈できる。

5.1.4 堆積相KNJ4(干潟-潮流の影響した河川チャネル堆積物)

掘削深度：44.1～36.3 m

記載：堆積相KNJ4は、下部の中粒砂層(深度44.1～43.7 m)と中部の砂泥細互層(深度43.8～43.6 m)、上部の細粒-中粒砂層(深度43.6～36.3 m)に細分できる(第4図)。下部の中粒砂層は二方向流を示すカレントリップル層理から構成され、その基底には堆積相KNJ3を掘り抜く楕円形の生痕化石(1 cm径)がみられる。中部の砂泥細互層はシルトの層理と葉理(層厚5～30 mm)と極細粒砂葉理(層厚1～10 mm)のリズミカルな互層から構成される(第5図e)。上部の細粒-中粒砂層は二方向流を示すカレントリップル層理(第5図f)とトラフ状斜交層理から構成され、マッドクラスト(1～5 cm径)が点在する。上部の細粒-中粒砂層に見られるトラフ状斜交層理は、深度38.6～38.2 mにおいて顕著で、そのセット高は10～25 cmである。深度42.7～41.4 mにはよく円磨された中礫が点在し、深度36.8～36.3 mにはシルトの平行葉理(層厚2～10 mm)が挟在する(第5図g)。本堆積相上部の深度39.5 m以浅には離弁のヌマコダキガイ類からなる貝化石密集層(層厚2 cm以下)がみられる。本堆積相の ϕ よりも粗い碎屑物の含有率は0～60%で、 2ϕ よりも粗い碎屑物の含有率が、上部に向かって80%から20%へと減

少することで、上方細粒化を呈する(第4図)。

解釈：二方向流を示すカレントリップル層理とリズミカルな砂泥細互層は干潟などの潮流の影響した環境に特徴的な堆積構造である(Reineck and Singh, 1980)。また、ヌマコダキガイ類は潮間帯や泥質干潟に特徴的な種とされる(奥谷, 2000; 中島ほか, 2006)。したがって、本堆積相は潮間帯付近において形成されたと考えられる。本堆積相下部の上方細粒化砂層は、潮間帯付近に分布する潮流の影響した河川チャネル堆積物と考えられる(Visher, 1965; Dalrymple, 1992)。マッドクラストや離弁のヌマコダキガイ類は、干潟から削剥・再堆積したと考えられる。

5.1.5 堆積相KNJ5(潮汐の影響した砂嘴縁辺堆積物)

掘削深度：36.3～17.7 m

記載：本堆積相は、下部の砂泥互層(深度36.3～27.2 m)、中部の砂泥細互層(深度27.2～19.2 m)、上部のシルト質砂層(深度19.2～17.7 m)から構成される(第4図)。下部の砂泥互層は生物攪乱を強く受けた極細粒砂-中粒砂層(層厚1～30 cm)とシルト層(層厚1～20 cm)の互層から構成され、シルト層中にはダブルマッドドレイプがみられる(第5図h)。深度32.36～32.35 mには淡褐色の火山灰質層が認められる。中部の砂泥細互層はシルトの層理と葉理(層厚1 mm～10 cm)と極細粒-細粒砂葉理(層厚1～10 mm)の互層から構成され(第5図i)、ダブルマッドドレイプとセット高が1 cm以下のカレントリップル葉理、楕円形の生痕化石(5～20 mm径)がみられる。上部のシルト質砂層は中粒砂を主体とし、*Psilonichnus isp.*による生物攪乱を強く受けている。*Psilonichnus isp.*は中部の砂泥細互層を2 mほど垂直に掘り抜いている。深度18.5～18.4 mには、よく円磨された細礫-中礫(<15 mm径)が点在する。本堆積相の基底部からは合弁のナミガイ、そして全層準を通じてヒメカノコアサリが産出する。本堆積相の下部と上部からはヌマコダキガイ類が多産する。本堆積相の ϕ よりも粗い碎屑物の含有率は、下部から中部にかけて80%から20%へと減少し、中部から上部にかけて20%から80%へと増加する(第4図)。

解釈：ダブルマッドドレイプがみられることとヒメカノコアサリが全層準を通じて産出することから、本堆積相は潮汐の影響した中等潮位以深の堆積物であることが解釈できる。ダブルマッドドレイプは潮汐の影響する堆積環境において広く認められる(Nio and Yang, 1991)。そして、本堆積相の基底のナミガイとヒメカノコアサリは中等潮位以深の砂泥底に特徴的に生息する(奥谷, 2000)。本堆積相の下部と上部から産出するヌマコダキガイ類は泥質干潟から削剥・再堆積したと考えられる。本堆積相は干潟堆積物(KNJ4)に累重し、後述する砂嘴堆積物の縁辺に分布することから、潮汐の影響した砂嘴縁辺堆積物と考えられる。本堆積

相と類似した砂泥互層は中期更新世の古東京湾の砂嘴に隣接した内湾堆積物からも報告されている(岡崎ほか, 2000). *Psilonichnus isp.* はアナジャコ類などによって形成されたと考えられる(奈良・小竹, 1997).

5.1.7 堆積相KNJ6(プロデルタ-デルタフロント堆積物)

掘削深度: 17.7~7.6 m

記載: 本堆積相は, 下部の砂質シルト層(深度17.7~8.9 m)(第5図j)と上部の砂泥細互層(深度8.9~7.6 m)から構成される。下部の砂質シルト層は, 極細粒-極粗粒砂の点在するシルトから構成され, 4φよりも粗い碎屑物の含有率が上部に向かって10%から50%へと増加する(第4図)。砂質シルト層は, *Psilonichnus isp.* による生物攪乱を強く受けており, 生物攪乱を免れた層準には極細粒砂やシルトの平行葉理(層厚2~10 mm)がみられる。本堆積相上部の砂泥細互層は, 極細粒砂とシルト-粘土の葉理(層厚1~10 mm)の互層から構成され, ヌマコダキガイ類, ダブルマッドドレイブ, 楕円形の生痕化石(1~4 cm径)が点在する。

解釈: 上方粗粒化する堆積物サクセションは, デルタなどの河口の前進に伴って浅海化する堆積物に特徴的である(Scruton, 1960)。また, 本堆積相と類似した堆積物は, 東京低地中央部と中川低地におけるプロデルタとデルタフロント堆積物からも報告されている(GS-KM-1: 田辺ほか, 2006; GS-SK-1: 石原ほか, 2004a)。したがって, 本堆積相はプロデルタ-デルタフロント堆積物と解釈する。

5.1.8 堆積相KNJ7(現世の蛇行河川チャネル堆積物)

掘削深度: 7.6~3.2 m

記載: 本堆積相は上方細粒化する極細粒-中粒砂層から構成される(第4図)。砂層中には20°以下の低角のトラフ状斜交層理や平行葉理がみられ(第5図k), 砂層中にはマッドクラストや植物片, よく円磨された細礫が点在する。深度5.0~4.3 mの植物根は堆積相KNJ8から貫入したものである。本堆積相の4φよりも粗い碎屑物の含有率は80%以上である。

解釈: 本堆積相には貝化石が含まれないこと, そして, 上方細粒化する砂層から構成されることから, デルタプレーン(デルタ低地)を構成する現世の蛇行河川チャネル堆積物と考えられる(Visher, 1965)。

5.2 GS-KTS-1

GS-KTS-1は下位より堆積相KTS1~6に区分できる。KTS6(深度1.5~0.0 m)は垂角礫からなる盛土である。以下にKTS1~5の詳細を記す。

5.2.1 堆積相KTS1(干潟堆積物)

掘削深度: 42.0~33.1 m

記載: 本堆積相は泥が卓越した砂泥細互層から構成される(第5図l)。シルトからなる泥層は, 細粒砂の平行葉理(層厚1~10 mm)を挟在しており, ダブルマッ

ドドレイブやカレントリップル葉理を含む。本堆積相からは全層準を通じて円形から楕円形の生痕化石(5~40 mm径)が産出し, 深度35.8~34.6 mからは合弁のヌマコダキガイ類が産出する。本堆積相の4φよりも粗い碎屑物の含有率は20%以下である(第4図)。

解釈: ダブルマッドドレイブと合弁のヌマコダキガイ類がみられることから, 本堆積相は潮汐の影響した泥質干潟堆積物と考えられる(Nio and Yang, 1991; 中島ほか, 2006)。

5.2.2 堆積相KTS2(下部砂嘴堆積物)

掘削深度: 33.1~21.0 m

記載: 本堆積相は, 全体として上方細粒化する生物攪乱を強く受けたシルト質砂層から構成され, シルト質砂層にはシルトのレンズやクラストが点在する(第4図と第5図m, n)。4φよりも粗い碎屑物の含有率は, シルトのレンズやクラストが密集する層準において相対的に低く, 深度33 mから30 m, 深度30 mから27 m, 深度27 mから21 mにかけて, 70%から80%に増加する(第4図)。本堆積相には, ヒメカノコアサリ, クサビザラガイ, ゴイサギガイなどの貝化石が点在する。

解釈: 本堆積相からは, ヒメカノコアサリ, クサビザラガイ, ゴイサギガイなどの潮間帯以深の砂底-砂泥底に生息する貝化石が産出し(奥谷, 2000), 後述するように下総台地から北西方向に伸長する砂体を形成していることから, 砂嘴堆積物であることが解釈できる。本堆積相にはKTS3のような明瞭な上方粗粒・浅海化サクセションが認められないことから下部砂嘴堆積物と命名する。

5.2.3 堆積相KTS3(上部砂嘴堆積物)

掘削深度: 21.0~5.7 m

記載: 全層準を通じて貝化石を多産する本堆積相は, 下部の砂質シルト層(深度21.0~16.4 m)(第5図o)と中部のシルト質砂層(深度16.4~10.0 m), 上部の砂層(深度10.0~5.7 m)(第5図p)に細分される(第4図)。下部の砂質シルト層は, 生物攪乱を受けており, 上下の岩相境界が不明瞭な極細粒-細粒砂層(層厚1~10 cm)を挟在する。中部のシルト質砂層は生物攪乱を強く受けた極細粒砂から構成され, 砂層中にはシルトのレンズやクラストが点在する。上部の砂層は中粒砂から構成されており, 砂層中には貝化石片とよく円磨された中礫が点在する。本堆積相の4φよりも粗い碎屑物の含有率は, 下部から上部に向かって, 60%から100%へと増加する(第4図)。本堆積相からは, クサビザラガイ, シマモツボ, パカガイ, ヒメカノコアサリ, マガキなどの貝化石が産出する。

解釈: 本堆積相からは, クサビザラガイ, シマモツボ, パカガイ, ヒメカノコアサリなどの中等潮位以深の砂泥底に生息する貝化石と, マガキなどの潮間帯に生息する貝化石が混在して産出すること(奥谷,

2000). そして, 上方粗粒化するにも関わらず, 植物片含有量などの河口の前進を示唆する情報が得られないことから, 干潟などの前進に伴って浅海化した砂嘴堆積物と考えられる. マガキは干潟から削剥・再堆積したと考えられる. 本堆積相は, KTS2の下部砂嘴堆積物に対して, 上部砂嘴堆積物と命名する. 本堆積相と類似した層相は東京湾の富津砂州のボーリングコア堆積物からも報告されている(茅根, 1991).

5.2.4 堆積相KTS4(潮汐の影響した河川チャンネル-塩水湿地堆積物)

掘削深度: 5.7~2.2 m

記載: 本堆積相は深度5.7~3.3 mの砂層(第5図q)と深度3.3~2.2 mのシルト質砂層(第5図r)から構成される. そして, 下部の砂層は深度5.7~4.1 mの極細粒-中粒砂層と深度4.1~3.3 mの砂泥互層に細分される(第4図). 極細粒-中粒砂層には平行葉理とトラフ状斜交層理がみられる. 砂泥互層はシルト層(層厚1~10 cm)と砂層(層厚1~5 cm)の互層から構成され, 砂層にはカレントリップル層理がみられる. 本堆積相上部のシルト質砂層は生物攪乱を受けた極細粒砂から構成され, 植物根が多く含まれる. 本堆積相の4φよりも粗い碎屑物の含有率は, 下部において約90%, 上部において約20~90%である(第4図).

解釈: 生痕化石と植物根が混在していることから, 本堆積相の上部は塩水湿地などにおける堆積物と考えられる. 生痕化石は海成-汽水成層に普遍的に存在する(Pemberton *et al.*, 1992). 本堆積相の下部は, 浅海成堆積物である堆積相KTS3に累重し, 上部の塩水湿地堆積物に上方細粒化することから, 潮汐の影響した河川チャンネル堆積物と解釈できる(Visher, 1965; Dalrymple, 1992).

5.2.5 堆積相KTS5(現世の氾濫原堆積物)

掘削深度: 2.2~1.5 m

記載: 本堆積相は, 植物根の多くみられる泥炭質なシルト層から構成される. 4φよりも粗い碎屑物の含有率は約10%である.

解釈: 生痕化石や貝化石がみられず, 堆積相KTS6(盛土)の直下に分布することから, 本堆積相は現世の氾濫原の堆積物と解釈できる. KTS4・5境界は高潮面を示すため, 現在の東京湾奥における最大潮差を約2 m(宇野木, 1993)とすると, >T.P.+1.0 mに位置する筈である. しかし, その境界は現在ではT.P.-1.0 mに分布している. よって, GS-KTS-1の掘削地点はKTS5が堆積した後に2 mほど沈下している可能性がある.

6. 放射性炭素年代値の測定結果

GS-KNJ-1とGS-KTS-1から得られた放射性炭素年代値を第3表, そして, その標高・年代分布を第6図に示

す. このうち, 標高と年代値が最も小さい点を結んだ曲線(堆積曲線)が, GS-KNJ-1とGS-KTS-1の堆積年代を示す. 堆積曲線の勾配はコア地点における堆積速度を示す. 以下にGS-KNJ-1とGS-KTS-1の堆積年代と堆積速度を記載する.

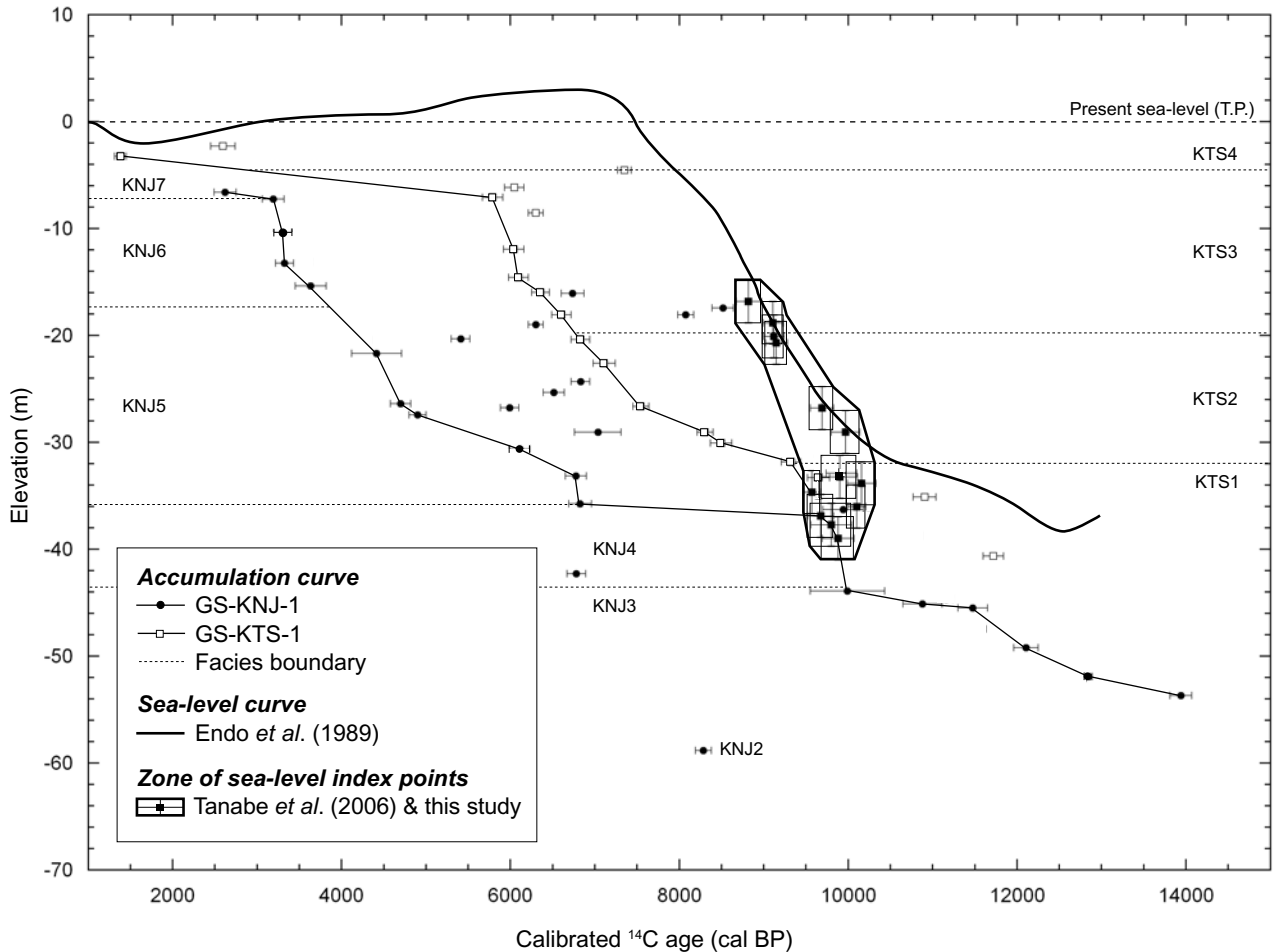
6.1 GS-KNJ-1

GS-KNJ-1の沖積層から得られた貝化石と植物片は, 13,940±130~2,620±130 cal BPの放射性炭素年代値を有する. このうちT.P.-58.8 mとT.P.-42.28 mから採取した貝化石片は, 堆積年代よりも著しく小さな年代値を有するため, 本研究では取り扱わない(第6図). T.P.-58.8 mから得られたバカガイの貝化石片はKNJ2(網状河川チャンネル堆積物)の礫層, T.P.-42.28 mの貝化石片はKNJ4(干潟-潮流の影響した河川チャンネル堆積物)のコア堆積物採取時に乱れた砂層に点在しており, 両試料とも循環泥水から混入した可能性が高い(第4図). 以下に堆積相KNJ3~8の堆積年代と堆積速度を記載する.

KNJ3(蛇行河川氾濫原堆積物)からは, 13,940±130~9,990±440 cal BPの放射性炭素年代値が得られており, その堆積速度は0.07~0.59 cm/yrである(第4図). KNJ4(干潟-潮流の影響した河川チャンネル堆積物)とKNJ5(潮汐の影響した砂嘴縁地堆積物)の堆積年代と堆積速度は, それぞれ9,990±440~6,825±135 cal BP(0.66~1.60 cm/yr)と9,675±155~3,635±185 cal BP(0.27~5.18 cm/yr)である(第4図). KNJ5の中部と上部(掘削深度27.2~17.7 m)から産出した貝化石はそのほとんどが再堆積したものである(第6図). このうち, T.P.-27.40 m, -26.36 m, -21.68 mから産出したアサリとヒメカノコアサリ, マメクルミガイ, マテガイは, 4,900±100~4,415±295 cal BPの放射性炭素年代値を有し, 堆積年代に近い値を示すと考えられる(第3表). 再堆積を示す貝化石のうち, T.P.-29.03~-18.98 mから産出したヒメカノコアサリとマテガイは堆積年代の見積もりよりも1,300~2,300 cal BP古い年代値, そして, T.P.-18.04とT.P.-17.42 mから産出した種の判別が不可能な貝化石片は堆積年代よりも4,500 cal BP古い年代値を有する(第3表). KNJ6(プロデルタ-デルタフロント堆積物)の堆積年代は4,415±295~2,620±130 cal BP, 堆積速度は0.68~14.25 cm/yrである(第4図). KNJ7(現世の蛇行河川チャンネル堆積物)は2,620±130 cal BPの放射性炭素年代値を有する. GS-KNJ-1における堆積速度はKNJ4・5境界において最も遅い(0.04 cm/yr)(第6図).

6.2 GS-KTS-1

GS-KTS-1の沖積層から得られた貝化石と植物片, 泥炭質堆積物は, 11,720±120~1,380±70 cal BPの放



第6図 GS-KNJ-1とGS-KTS-1の堆積曲線。

KNJ5 (潮汐の影響した砂嘴縁辺堆積物)からは多くの再堆積した貝化石が産出する。海水準指標範囲は、遠藤ほか(1989)と田辺ほか(2006)、第3表のデータに基づいて作成。海水準指標の深度方向のエラーバーは現在の東京湾における最大潮差(±2 m)を示す。各コアサイトの古水深は、堆積曲線と海水準変動曲線の標高差に基づいて計算した。

Fig. 6 Sediment accumulation curves of GS-KNJ-1 and GS-KTS-1.

KNJ5 contains abundant reworked shells. The zone of sea-level index points is illustrated based on the dataset from Endo *et al.* (1989), Tanabe *et al.* (2006), and Table 3. Vertical error bar in the sea-level index indicates spring tidal range (±2 m) in the present Tokyo Bay. The vertical difference in the elevation of the sea-level curve and the sediment accumulation curve in a certain age indicates the paleo-water depth in the core site.

放射性炭素年代値を有する。このうちGS-KNJ-1の基底付近(T.P.-40.61 mとT.P.-35.11 m)から得られた泥炭質泥については、堆積年代よりも著しく古い年代値を示すため、本研究では取り扱わない(第6図)。泥炭質泥は再堆積した陸源性有機物を含むので、堆積年代よりも古い年代値を示すことが多い(Coleman *et al.*, 2002など)。堆積年代として用いることができる放射性炭素年代値はKTS1~4から得られている。次に各堆積相の堆積年代と堆積速度を記載する。

KTS1(干潟堆積物)は9,570±100 cal BPの放射性炭素年代値を有する。KTS2(下部砂嘴堆積物)の堆積年代と堆積速度は9,570±100~6,605±115 cal BPと0.21~0.92 cm/yrである(第4図)。KTS3(上部砂嘴堆積物)の堆積年代と堆積速度は6,605±115~5,790

±120 cal BPと0.54~1.93 cm/yrで(第4図)、その最上部から堆積年代よりも500~1,500 cal BP古い放射性炭素年代値を有するバカガイとキサゴ類を産出する(第6図)。KTS4(潮汐の影響した河川チャネル-塩水湿地堆積物)は1,380±70 cal BPの放射性炭素年代値を有する。GS-KTS-1の堆積速度は、KTS2の基底において最も遅く(0.21 cm/yr)、KTS3の上部にかけて加速する(第6図)。

7. 堆積物物性の測定結果

GS-KNJ-1とGS-KTS-1の堆積物物性の垂直変化を第7図に示す。本章ではγ線透過率と湿潤・乾燥かさ密度を密度として一括し、各コア堆積物の密度と含水率、

帯磁率, 色調を記載する。

7.1 GS-KNJ-1

7.1.1 密度

GS-KNJ-1の γ 線透過率, 湿潤かさ密度, 乾燥かさ密度は, それぞれ6,000~9,000 cps (count per second), 1.4~2.0 g/cm³, 0.8~1.6 g/cm³の値をとる。そして, これら密度の値は4 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率と良い相関性が見られる(第7図)。KNJ2とKNJ8の礫層の γ 線透過率については, 堆積物採取時にコア試料が乱され, 空隙を有するために, 地中状態の γ 線透過率よりも低い値を示している可能性がある。また, KNJ2とKNJ8からはキューブ試料を採取していないので, 湿潤・乾燥かさ密度を測定していない。

KNJ5とKNJ6の密度値はKNJ1とKNJ3, KNJ4, KNJ7と比べ, 同一深度において広い幅の値を有する。例えば, 堆積相ごとの20 cm単位の値を見た場合, KNJ5とKNJ6は γ 線透過率が約2,000 cps, かさ密度が約0.2 g/cm³の幅を持って増減するのに対し, KNJ1とKNJ3, KNJ4, KNJ7のそれらは約1,000 cpsと約0.1 g/cm³の幅を持つ(第7図)。このような密度の幅の違いは, KNJ5が潮汐の影響した砂泥細互層, KNJ6が生物攪乱を受けた砂質シルト層から構成されるのに対し, KNJ1, KNJ3, KNJ4, KNJ7が淘汰の良い砂層やシルト層から構成されるために生じていると考えられる。

7.1.2 含水率

GS-KNJ-1の含水率は20~40%の値をとる。そして, その垂直変化は密度と同様に, 4 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率と相関性が見られる(第7図)。KNJ5とKNJ6の含水率は20 cm単位で見た場合, KNJ1とKNJ3, KNJ4, KNJ7よりも大きな増減の幅を持つ。前者の増減の幅は約10%, 後者のそれは約5%である(第7図)。これらの違いは密度と同様に層相の違いに起因すると考えられる。KNJ2とKNJ8についてはキューブ試料をほとんど採取しなかったため値を測定していない。

7.1.3 帯磁率

GS-KNJ-1は0~1,000 μ SIの帯磁率を有する。そして, その垂直変化は4 ϕ と2 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率と相関する(第4図と第7図)。KNJ3については4 ϕ , そしてKNJ4~7については2 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率と相関する。これは, KNJ4~7の極細粒砂と細粒砂がKNJ3のそれと比べ重鉱物の含有量に乏しいことに起因すると考えられる。KNJ1の掘削深度69~68 mの砂層とKNJ2の礫層は重鉱物碎屑物をほとんど含まないと考えられる。第7図にみられる1 m間隔の負のピークはコアの継ぎ目にあたる部分である。

7.1.4 色調

GS-KNJ-1のL*とa*, b*は, それぞれ20~50, -5~5, 0~5の値をとる。そして, L*についてはKNJ6を除

いて4 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率とおおよそ相関する(第7図)。L*はKNJ1, KNJ2, KNJ4, KNJ7などの砂礫層において低くなる。

7.2 GS-KTS-1

7.2.1 密度

GS-KTS-1の γ 線透過率, 湿潤かさ密度, 乾燥かさ密度は, それぞれ8,000~10,000 cps, 1.4~1.9 g/cm³, 0.9~1.5 g/cm³の値をとる。そして, これら密度は4 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率とおおよそ相関する(第7図)。 γ 線透過率とかさ密度が有する20 cm単位の値の幅は, それぞれ約500 cpsと約0.2 g/cm³で一定している。KTS6のほとんどの層準はキューブ試料を採取しなかったため, かさ密度を測定していない。

7.2.2 含水率

GS-KTS-1は20~40%の含水率を有する。そして, その値は4 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率と相関する(第7図)。含水率のもつ20 cm単位の幅は5%以下である。KTS6のほとんどの層準の含水率はキューブ試料を採取しなかったため測定していない。

7.2.3 帯磁率

GS-KTS-1は-10~500 μ SIの帯磁率を有する。そして, この垂直変化は4 ϕ と2 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率と相関する(第4図と第7図)。KTS4については2 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率, それ以外の層準については4 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率と相関する。KTS3の深度14~12 mとKTS5の帯磁率は-10~0 μ SIである。

7.2.4 色調

GS-KTS-1のL*, a*, b*は, それぞれ25~45, -3~2, 0~5の値をとる。他の物性値との明瞭な相関性は認められない(第7図)。

8. 考察

8.1 堆積システムとシステム境界

東京低地東縁における沖積層はGS-KNJ-1とGS-KTS-1から認定した堆積相を基に5つの堆積相の組み合わせ(堆積システム)に区分できる(第8図)。本章では, これら5つの堆積システムとそのシステム境界について記載する。

8.1.1 網状河川システム

分布深度: T.P.-67.3~57.4 m

記載: 本堆積システムはKNJ2の砂質礫層(網状河川チャネル堆積物)から構成されており, KNJ1の砂層(中・上部更新統浅海成堆積物)に累重する(第8図)。本堆積システムの粒度の垂直変化は認められない。本堆積システムから堆積年代を示す放射性炭素年代値は得られていない。

解釈: 本堆積システムは, >45,090 yr BPの年代値を

有する中・上部更新統浅海成堆積物の上位、そして、 $<13,940 \pm 130$ cal BPの年代値を有する蛇行河川システムの下位に分布することから、最終氷期最盛期に至る海水準低下もしくは $\sim 13,940 \pm 130$ cal BPの海水準の上昇に伴って形成されたと考えられる。KNJ1・2境界(中・上部更新統と網状河川チャネル堆積物の境界)は古東京川によって最終氷期最盛期までに形成された侵食面と考えられる。KNJ2と類似した基質支持礫層と礫質支持礫層の互層は奥東京湾地域の開析谷底において広く認められる(GS-SK-1のUnit2:石原ほか, 2004a; HA-Unit2, DK-Unit2:石原ほか, 2004b; GS-KM-1の堆積相B:田辺ほか, 2006)(第1図)。開析谷底に幅広く分布する、このような礫質河川チャネル堆積物は網状河川システムと解釈できる(Miall, 1992; Collinson, 1996)。

8.1.2 蛇行河川システム

分布深度: T.P.-57.4 \sim -43.7 m

記載:本堆積システムはKNJ3の植物根を多く含むシルト層(氾濫原・自然堤防帯堆積物)から構成されており、GS-KNJ-1において網状河川システムに明瞭な境界面で接して累重している(第8図)。KNJ3は、河道や自然堤防に近い堆積場において形成された砂泥細互層と、河道から離れた後背湿地に近い堆積場のシルト層の互層から構成される。本堆積システムの堆積年代は $13,940 \pm 130 \sim 9,990 \pm 440$ cal BPである。

解釈:KNJ3が自然堤防に近い層相と後背湿地に近い層相の互層から構成されていることから、本堆積システムは河道変遷が活発な蛇行河川などの河川システムにおいて形成されたと考えられる(Miall, 1992; Collinson, 1996)。更に、KNJ3と対比される奥東京湾地域の蛇行河川チャネル・氾濫原堆積物は、礫質砂・シルト層から構成され、網状河川システムを構成するような基質支持礫層を含まない(GS-SK-1のUnit3:石原ほか, 2004a; HA-Unit3, DK-Unit3とDK-Unit4:石原ほか, 2004b; GS-KM-1の堆積相C:田辺ほか, 2006)。このことは、本堆積システムが網状河川と比べて河床勾配が緩く、掃流の影響の少ない蛇行河川システムなどにおいて形成されたことを指示する(Orton and Reading, 1993)。

8.1.3 エスチュアリーシステム

分布深度: T.P.-43.7 \sim -31.9 m

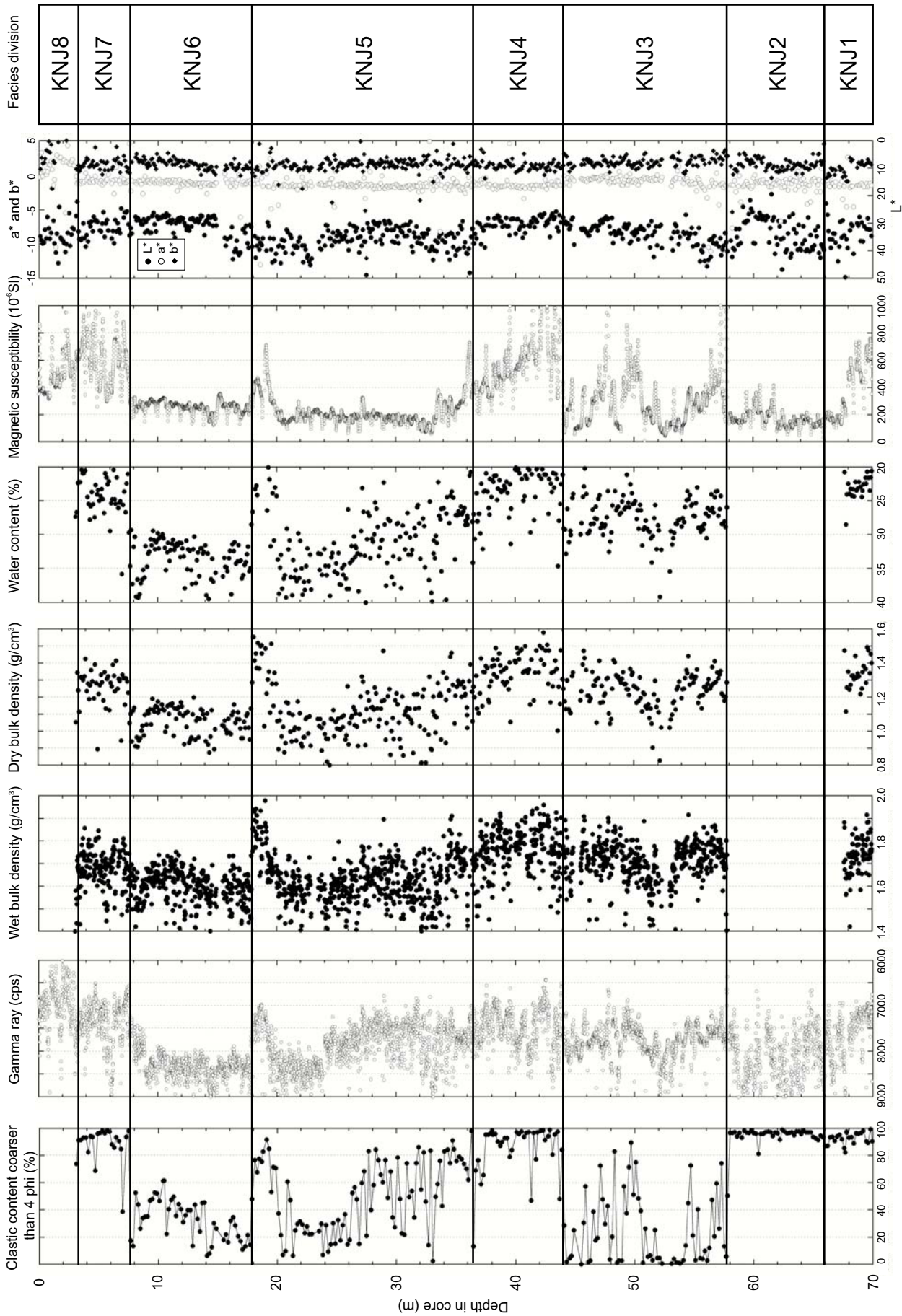
記載:本堆積システムは、KNJ4の砂層(干潟・潮流の影響した河川チャネル堆積物)とKTS1の砂泥細互層(干潟堆積物)から構成され、GS-KNJ-1において明瞭な境界面で接して蛇行河川システムに累重する(第8図)。KNJ4とKTS1からは潮間帯に生息する貝化石が多産する。GS-KNJ-1とGS-KTS-1の堆積曲線と奥東京湾地域における海水準変動曲線(遠藤ほか, 1989; 田辺ほか, 2006; 本研究)との対比に基づくと、KNJ4から

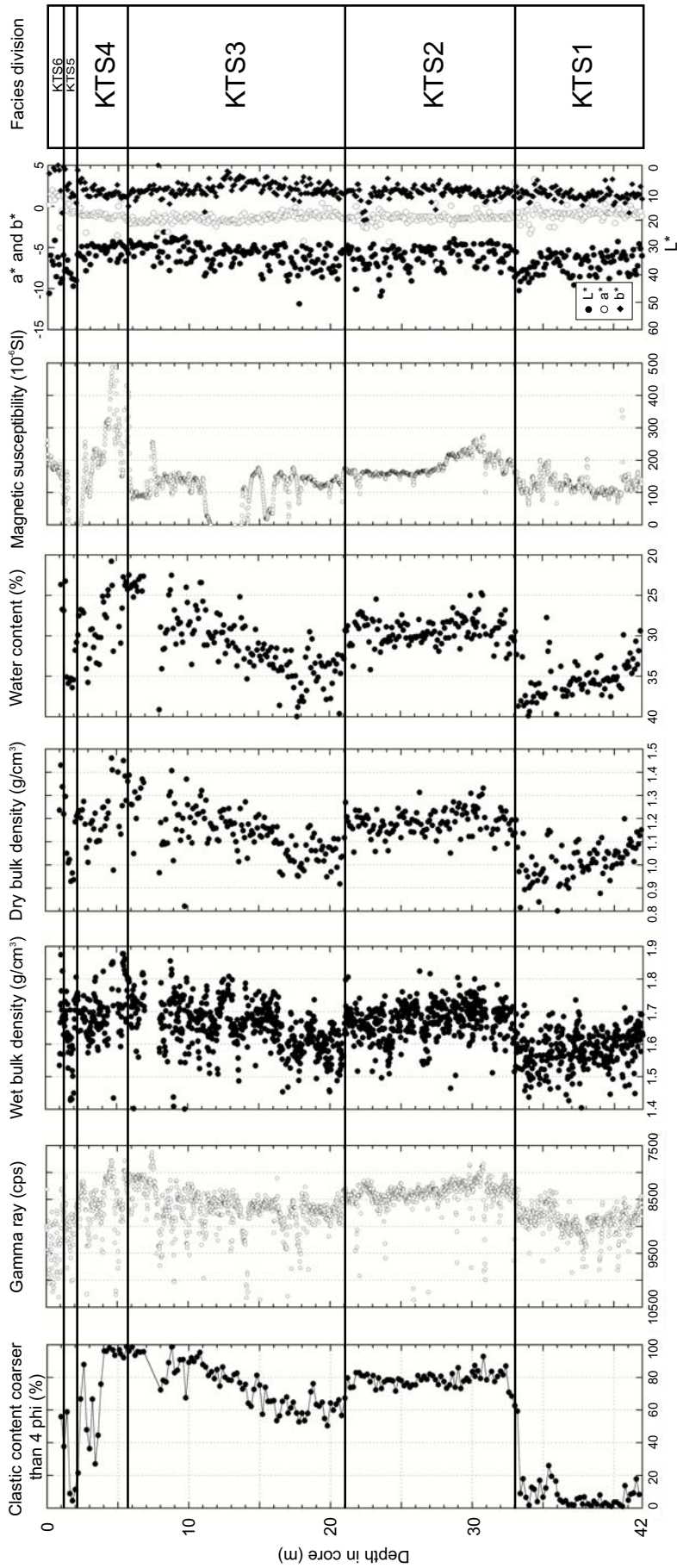
KNJ4・5境界とKTS1からKTS1・2境界にかけて古水深は、それぞれ潮間帯から水深36 mと潮間帯から水深2 mに増加する(第6図)。本堆積システムの堆積年代は $9,990 \pm 440 \sim 6,825 \pm 135$ cal BPである。

解釈:本堆積システムは2つのコアサイトにおいて上方深海化を示すことから、海岸線の陸側への後退に伴ってリトログラデーションするエスチュアリーシステムであることが解釈できる(Boyd et al., 1992)。また、GS-KNJ-1の蛇行河川・エスチュアリーシステム境界と、KNJ4・5境界とKTS1・2境界は、それぞれ後氷期の一連の海水準上昇に伴って形成されたラビーンメント面(Nummedal and Swift, 1987)とみなせる(第6図)。次に各ラビーンメント面の形成機構について述べる。

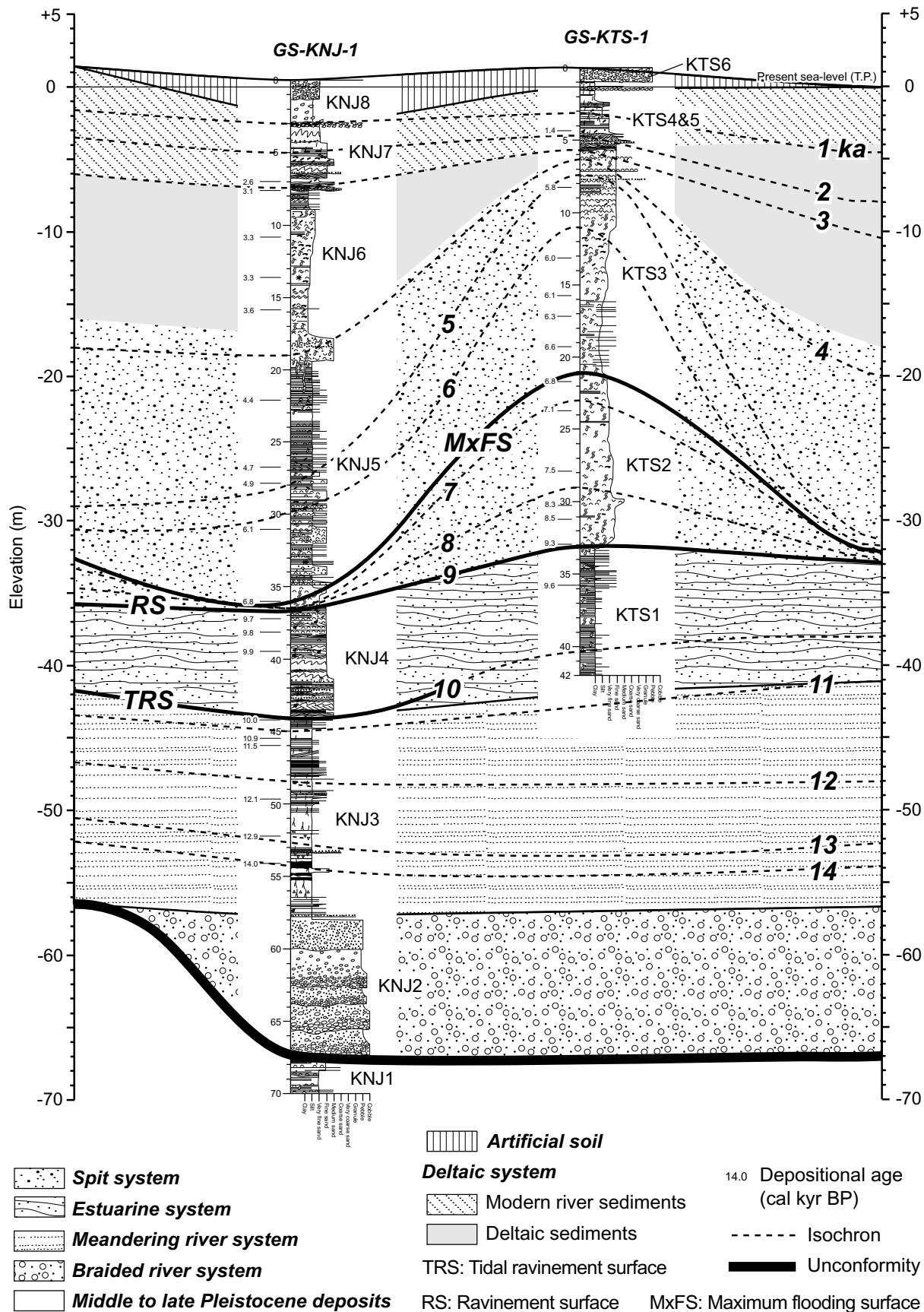
GS-KNJ-1における蛇行河川・エスチュアリーシステム境界は、蛇行河川システムのKNJ3(氾濫原・自然堤防帯堆積物)がエスチュアリーシステムのKNJ4(干潟・潮流の影響した河川チャネル堆積物)によって覆われることから、潮流の影響した河川チャネルによって形成された潮汐ラビーンメント面(Allen and Posamentier, 1993)とみなせる(第8図)。潮汐ラビーンメント面はGS-KNJ-1において約10 cal kyr BP($9,990 \pm 440 \sim 9,880 \pm 190$ cal BP)に形成された(第6図)。この潮汐ラビーンメント面はKTS1(干潟堆積物)の堆積年代が一定であったと仮定すると、GS-KTS-1のT.P.-38 m付近に分布する筈である。しかし、GS-KTS-1のこの層準には明瞭な層相変化が認められず(第8図)、潮汐ラビーンメント面がGS-KNJ-1コア地点のみにおける局所的な分布であったことを示す。これと同様の潮汐ラビーンメント面はGS-KM-1の堆積相C・D(蛇行河川チャネル・氾濫原・干潟堆積物)境界において認められる(田辺ほか, 2006)。

KNJ4・5境界とKTS1・2境界は各コア地点における古水深が潮間帯から潮下帯に深海化したことによって形成された(第6図)。両境界面は約10 cmの幅で生物攪乱を受けており不明瞭である(第5図g, m)。しかし、KTS1・2境界については、境界面の直上が泥分含有率(4 ϕ 以下の碎屑物の含有率)40%のシルト質砂層から構成されるため(第4図)、奥東京湾の静振などによって形成された軽微なラビーンメント面と考えられる。KTS1・2境界と対比される堆積相境界はGS-KM-1の堆積相D・E(干潟堆積物・海進砂境界)からも認定されており、海進砂が泥分含有率20%のシルト質砂層から構成されることから、ラビーンメント面が波浪ではなく静振によって形成されたと考えられている(田辺ほか, 2006)。一方、KNJ4・5境界については、境界面の直上が泥分含有率0%の黒色の砂層から構成され(第4図)、帯磁率の高い重鉱物に富む(第5図g, 第7図)。そのうえ、KNJ4・5境界の分布深度(T.P.-35.9 m)は、KTS1・2境界(T.P.-31.9 m)や堆積相D・E境界





第7図 GS-KNJ-1とGS-KTS-1の堆積物物性。
 GS-KNJ-1とGS-KTS-1の γ 線透過率と帯磁率は、それぞれ半載していない、硬化塩化ビニル管(内径80mm, 外径86mm)と半載済みの硬化塩化ビニル管(VU65, JIS K 6741)を含む。
 Fig. 7 Physical properties of GS-KNJ-1 and GS-KTS-1.
 Gamma ray and magnetic susceptibility of GS-KNJ-1 and GS-KTS-1, respectively, contain value of plastic pipes not split in half (inner diameter 80 mm, outer diameter 86 mm) and plastic pipes (VU65, JIS K 6741) split in half.



第8図 GS-KNJ-1とGS-KTS-1の間の同時間地質断面。

Fig. 8 Isochron of the longitudinal section GS-KNJ-1-GS-KTS-1.

(T.P.-32.9 m) と比べて3 m以上も低い(第8図)。したがって、KNJ4・5境界は、静振よりも水理営力の強い潮流などによって、局所的な削剝を受け、形成された可能性がある。KNJ4・5境界面に累重するKNJ5(潮汐の影響した砂嘴縁辺堆積物)に潮汐の影響した堆積構造が卓越するのも、この解釈を支持する。木村ほか(2006)はGS-KM-1の堆積相D・E境界を内湾ラビーンメント面と呼んでいる。KTS1・2とKNJ4・5境界の形成年代は、それぞれ $9,675 \pm 155 \sim 6,825 \pm 135$ cal BPと $9,570 \pm 100 \sim 9,325 \pm 115$ cal BPである。

8.1.4 砂嘴システム

分布深度：T.P.-35.9～-4.0 m

記載：本堆積システムは、KNJ5の砂泥互層(潮汐の影響した砂嘴縁辺堆積物)とKTS2のシルト質砂層(下部砂嘴堆積物)、KTS3のシルト質砂・砂層(上部砂嘴堆積物)から構成され、先述したKNJ4・5境界とKTS1・2境界のラビーンメント面を介してエスチュアリーシステムに累重する(第8図)。KTS2の古水深はKTS1・2境界の水深2 mからKTS2・3境界の水深23 mにかけて増加する(第6図)。一方、KNJ5とKTS3の古水深は、KNJ4・5境界からKNJ5・6境界とKTS2・3境界からKTS3・4境界にかけて、それぞれ36 mから18 mと23 mから8 mに減少する(第6図)。本堆積システムの堆積年代は $9,990 \pm 440 \sim 1,380 \pm 70$ cal BPである。

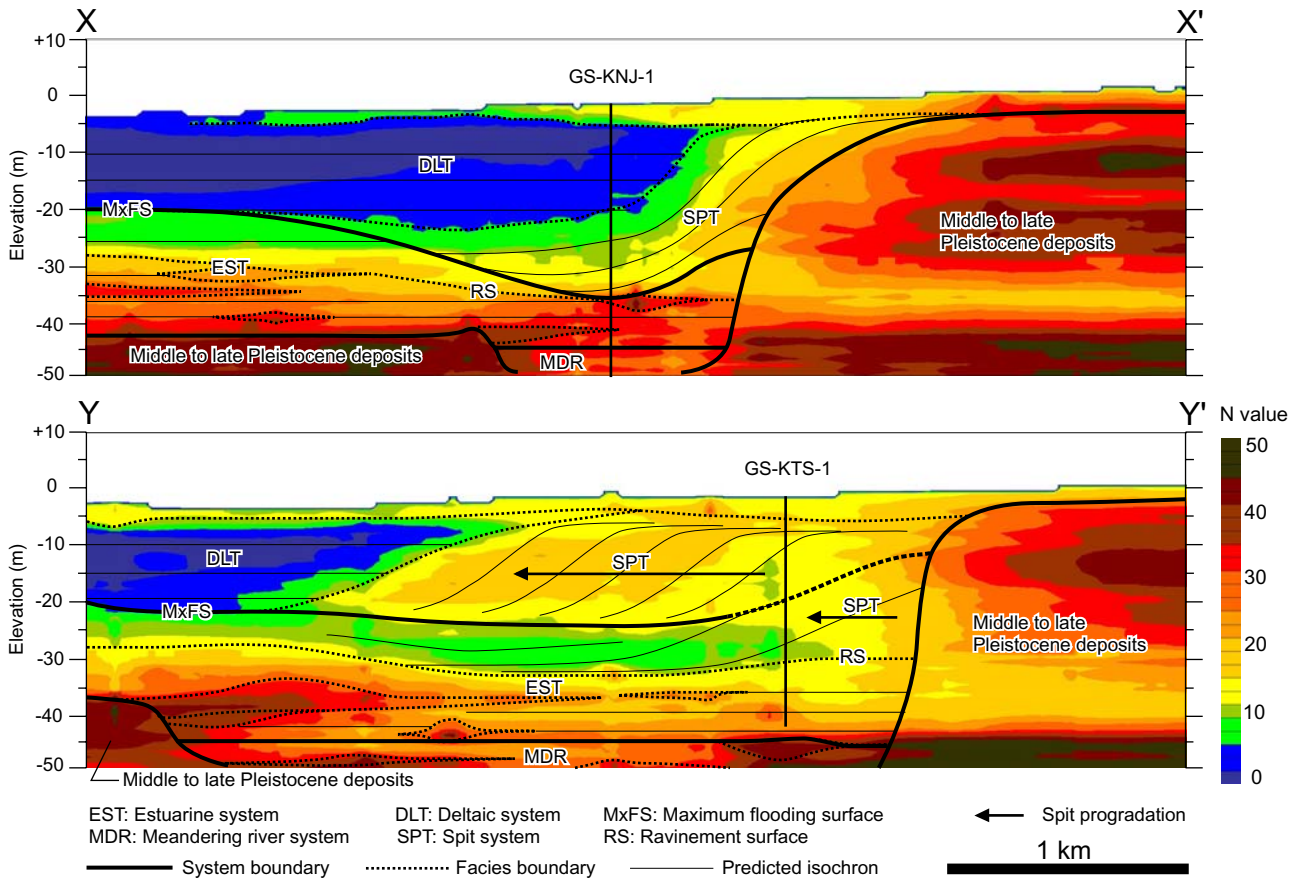
解釈：本堆積システムは下総台地の南縁から北西方向に伸長する砂体を形成し、後述するデルタシステムの塊状砂質シルト層とは、分布と層相、発達様式が異なることから、砂嘴システムと解釈できる。なお、GS-KNJ-1とGS-KTS-1の堆積相サクセションは、KNJ4・5境界とKTS2・3境界を境に上方深海化から上方浅海化に転ずるので、両境界面は最大海氾濫面(Van Wagoner *et al.*, 1988)として認定することができる(第8図)。GS-KNJ-1とGS-KTS-1における最大海氾濫面の形成年代は、それぞれ $9,675 \pm 155 \sim 6,825 \pm 135$ cal BPと $6,830 \pm 110 \sim 6,605 \pm 115$ cal BPである。このうち、GS-KNJ-1の最大海氾濫面は約2,500年間の凝縮層を形成し、KNJ4・5境界のラビーンメント面と同一の層準を形成する(第6図と第8図)。

第9図は東京低地と中川低地におけるボーリング柱状図データベース(田辺ほか, 2005)から作成したGS-KNJ-1とGS-KTS-1コア地点における東西方向のN値分布断面図である。本断面図は筆頭著者のアイデアを基に共著者の石原と開発したExcel VBA(Visual Basic for Application, Microsoft社)プログラムから作成した。その概要はEto *et al.* (2006)に紹介する。

このN値分布断面図とGS-KNJ-1とGS-KTS-1のコア堆積物を対比すると、KTS2とKTS3、KNJ5は、それぞれ標高約-30～-20 mのN値が上部に向かって10から15に増加する層相、標高約-20～-5 mのN値が上部に向

かって15から20に増加する層相、そして、標高約-35～-20 mのN値が上部に向かって25から0に減少する層相に対比され、堆積相を構成する粒度の垂直変化とN値の垂直変化が近似することが伺える(第9図)。KTS2の下部砂嘴堆積物は下総台地の西縁と繋がった上方粗粒化(N値が上部に向かって増加)する層相を構成している(第9図)。そして、その古水深は、9.5～8.5 cal kyr BP(T.P.-32～-30 m)は2 mから20 mにかけて増加したが、8.5～7.0 cal kyr BP(T.P.-30～-20 m)は20 m以上の古水深で安定している(第6図)。KTS2は、上方粗粒化するにも関わらず、その大部分の古水深が変化しないことから、下総台地から西にアグラデーショナルにプログラデーションした砂嘴を形成していたと考えられる(第9図)。KTS2を構成する3～4 m厚の上方粗粒化サクセションは、このような砂嘴のフォアセット構造を示している可能性がある(第4図)。一方、KTS3の上部砂嘴堆積物は、下総台地の西縁やGS-KTS-1から更に西に連続して分布する上方粗粒化相を構成している(第9図)。そして、KTS3の古水深は7.0 cal kyr BP以降低下した(第6図)。したがって、GS-KTS-1の西の砂嘴システムは、その大部分が完新世中期の海水準高頂以降のプログラデーションによって上方浅海化し、形成されたと考えられる。GS-KNJ-1付近のN値断面図にはKTS2やKTS3のような上方粗粒化する砂嘴堆積物はほとんど見られず、代わりにKNJ6の潮汐の影響した砂嘴縁辺堆積物と対比される上方細粒化相が分布する(第9図)。KNJ6からは、様々な年代値と古水深を有する貝化石が産出することから、潮流によって砂嘴付近から削剝・再堆積した碎屑物によって上方浅海化したと考えられる(第6図)。なお、KNJ6の上部(深度19.2～17.7 m)は2φよりも粗い碎屑物の含有率が60%の砂層から構成され、砂層からは中礫や堆積年代よりも著しく古い年代値を有する貝化石が産出する(第4図と第6図)。これら碎屑物は、潮流よりも更に営力の強い暴浪などによってコアサイトに供給された可能性がある。

KTS2とKTS3の砂嘴堆積物は、下総台地の南縁の市川砂州から北西方向に伸長したと考えられる(第3図)。現在の東京湾奥では、夏季には南西からの季節風の影響により、反時計回りの循環流が卓越する(宇野木, 1993)。よって、東京低地東縁の砂嘴も奥東京湾口の恒流などによって形成された可能性が高い。市川砂州からは6,000～7,000年前の年代値を有する内湾性の貝化石が産出する(杉原, 1971)。そして、砂州を形成する砂は、後氷期の海水準の上昇に伴って下総台地の南部の波食台(第1図)から供給されたと考えられている(杉原, 2000)。市川砂州の延長に位置し、砂嘴を構成する碎屑物も、下総層群の波食台から削剝・供給された可能性が高い。しかし、砂嘴の分布は、海水準上昇



第9図 東京低地東縁における N 値断面。
断面図の位置は第3図に示す。

Fig. 9 N-value cross sections in the eastern margin of the Tokyo Lowland.
See Fig. 3 for location.

期の下部砂嘴堆積物 (KTS2) よりも海水準安定期の上部砂嘴堆積物 (KTS3) の方が大きく (第3図), 海水準の上昇によって市川砂州付近にトラップされた碎屑物が, 完新世中期の海水準高頂以降, 砂嘴として再堆積した可能性がある。KTS3の最上部 (深度5.72 m) から産出するキサゴ類は, 約7,400 cal BPの年代値を有する (第6図) ことから, 市川砂州付近から削剥され, 再堆積した可能性がある。

8.1.5 デルタシステム

分布深度: T.P.-17.3 ~ +1.7 m

記載: 本堆積システムは, KNJ6の砂質シルト層 (プロデルタ-デルタフロント堆積物) と KNJ7の砂層 (現世の河川チャネル堆積物), KTS4の砂泥層 (潮汐の影響した河川チャネル-塩水湿地堆積物), KTS5のシルト層 (現世の氾濫原堆積物) から構成され, GS-KNJ-1において漸移的, GS-KTS-1において侵食的に砂嘴システムに累重する (第8図)。本堆積システムの古水深は, KNJ5・6境界と KTS3・4境界から現在の地表面にかけて, 19 mと6 mから上方浅海化する (第6図)。本堆積

システムの堆積年代は5,790 ± 120 ~ 0 cal BPである。

解釈: 本堆積システムは2本のボーリングコアにおいて上方浅海化することから, 海岸線の海側への前進に伴ってプログラデーショナルするデルタシステムとみなすことができる (Boyd *et al.*, 1992)。KNJ6は東京低地中央部のGS-KM-1の堆積相Fと堆積相G (プロデルタ堆積物とデルタフロント堆積物) (田辺ほか, 2006) に対比され, 同一深度における堆積年代がGS-KM-1にかけて小さくなることから, 奥東京湾奥からの河口の前進を示していると考えられる。KNJ6と堆積相GのT.P.-10mにおける堆積年代は, それぞれ3.3 cal kyr BPと2.9 cal kyr BPで (第6図, 田辺ほか, 2006), GS-KNJ-1からGS-KM-1の直線距離が約7 kmであることから, デルタの前進速度は17.5 km/kyrと計算できる。KNJ6・7境界とKTS3・4境界はデルタプレーンの河川チャネルによる侵食面である (第8図)。

8.2 堆積システムのN値断面分布

本節では, GS-KNJ-1とGS-KTS-1から認定した堆積

第4表 東京低地東縁における沖積層の堆積システムとN値の対比.

Table 4 Comparison between sedimentary systems and N-values of the latest Pleistocene to Holocene incised-valley fills (Chuseki-so) under the eastern margin of the Tokyo Lowland.

Depositional system	Sedimentary facies	Lithology	Vertical change in grain-size	Shell	N value	
					(min)	(max)
Delta system						
	Modern river floodplain	Mud	————	absent	0	5
	Modern river channel	Sand	Fining upward	absent	10	25
	Prodelta to delta front	Mud	Coarsening upward	present	0	5
Spit system						
	Upper spit			present	5	25
	Lower spit			present	10	30
	Distal spit			present	5	20
Estuary system						
	Tidal flat	Mud	————	present	5	15
	Tide-influenced channel	Sand	Fining upward	present	15	40
Meandering river system						
	Meandering river floodplain	Mud	————	absent	20	25
	Meandering river channel	Sand	Fining upward	absent	25	50
Braided river system						
	Braided river channel	Gravel	————	absent	50	50
Middle to late Pleistocene shallow marine deposits	————	Sand & mud	————	present	10	50

システムと第9図のN値の断面分布を対比する。第4表に堆積システムとN値の対応を示す。なお、第9図のT.P.-50 m以深については沖積層の基底が描かれていないが、これは標準貫入試験 (JIS A 1219) の多くがN値50以上の網状河川システム (沖積層基底礫層) の上面に到達した時点で終了しているからである (田辺ほか, 2005)。沖積層開析谷の東部に分布する中・上部更新統の下総層群は、沖積層と比べて単調な分布のN値10以上の砂がち砂泥互層から構成される (第9図)。

GS-KNJ-1を投影したN値断面図 (第9図) において、蛇行河川システムはT.P.-45 m以深のN値20~45の層相に対比できる。エスチュアリーシステムはT.P.-45~-20 mのN値5~40の層相に対比できる。GS-KNJ-1付近のT.P.-45~-35 mに分布するN値25以上のレンズ状の層相は、干潟堆積物と指交する潮流の影響した河川チャネル堆積物 (KNJ4) と考えられる。砂嘴システムはT.P.-35~-5 mのN値5~20の層相に対比できる。この層相は潮汐の影響した砂嘴縁辺堆積物 (KNJ5) である。GS-KNJ-1付近は、その西部と比べて最大海氾濫面 (MxFS) の分布深度が低く、潮流による窪みを形成していたと考えられる (第9図)。デルタシステムはT.P.-25 m以浅のN値0~20の層相に対比できる。T.P.-20~0 mのN値0~5の層相はプロデルタ-デルタ

フロント堆積物 (KNJ7), T.P.-5 m以浅のN値15以下の層相はデルタプレーンの現世の蛇行河川チャネル堆積物 (KNJ8) に相当する。

GS-KTS-1を投影したN値断面図 (第9図) において、蛇行河川システムは、T.P.-45 m以深のN値20~50の層相に対比できる。N値25以下の層相はN値25~50の層相をレンズ状に挟在し、それぞれ、蛇行河川システムを構成する氾濫原堆積物と河川チャネル堆積物と考えられる。エスチュアリーシステムはT.P.-45~-20 mのN値5~35の層相に対比できる。GS-KTS-1付近のT.P.-45~-30 mにおけるN値10~15の層相は干潟堆積物 (KTS1), GS-KTS-1の西部におけるT.P.-40~-30 mのN値15~35の層相は干潟堆積物と指交する潮流の影響した河川チャネル堆積物の可能性がある。砂嘴システムはT.P.-30~-5 mのN値が上部に向かって5から30に増加する層相と対比できる。このうち、T.P.-30~-10 mのN値が上部に向かって5から25に増加する層相は下部砂嘴堆積物 (KTS2), T.P.-20~-5 mのN値が10から30に増加する層相は上部砂嘴堆積物 (KTS3) に対比できる。デルタシステムはT.P.-20 m以浅のN値0~25の層相に対比できる。このうち、GS-KTS-1の西方に分布するN値0~5の層相はプロデルタ-デルタフロント堆積物 (KNJ6) に対比できる。T.P.-5 m以浅のN値10~

25の層相は、デルタプレーンに相当し、上方細粒化する現世河川チャンネル堆積物 (KNJ7とKTS4) を含む。

8.3 既存層序との対比

本節では、東京低地東縁の既存層序 (Matsuda, 1974; 東京都土木技術研究所, 1977) (第2図) と堆積システム区分を行ったN値分布断面図 (第9図) を対比する。

Matsuda (1974) とGS-KNJ-1を投影する地質断面の沖積層とN値の分布はほぼ一致する。そして、Matsuda (1974) のBGは開析谷軸部における網状河川システムの礫質堆積物と対比できる (第2図a, 第9図)。しかし、Matsuda (1974) のLC, LS, MS, UCについては本稿の蛇行河川、エスチュアリー、砂嘴、デルタシステムと対比できない。LCとLSは11 cal kyr BP以前の前期有楽町海進に伴って堆積した河成層で、LCは現在の東京低地において汽水 - 海成層を含むとされている (Kaizuka *et al.*, 1977; 松田, 1993)。LCとLSは、それぞれ第9図のT.P.-45 m以浅に分布するエスチュアリーシステムの干潟堆積物と潮流の影響した河川チャンネル堆積物に対比され、汽水 - 海成層からなると考えられる。第2図 a のT.P.-40 ~ -5 mにおいて指交するMSとUCは、後期有楽町海進に伴って堆積した三角州堆積物の前置層と底置層と考えられている (Matsuda, 1974; 松田, 1993)。これら層相は、それぞれ砂嘴システムの砂嘴縁辺堆積物とデルタシステムのプロデルタ - デルタフロント堆積物に相当すると考えられる (第9図)。なお、第2図 a のT.P.-25 ~ -10 mのMSは、第9図には見られないが、プロデルタ - デルタフロント堆積物と指交する砂嘴縁辺堆積物の可能性がある。

東京都土木技術研究所 (1977) の東西地質断面図はGS-KTS-1を投影するN値断面と対比できる (第2図b, 第9図)。このうち、T.P.-50 m以深の下総層群は網状河川システム、T.P.-50 ~ -30 mの砂層と泥層 (七号地層) は蛇行河川とエスチュアリーシステムに相当する。T.P.-30 m以浅の砂層 (七号地層) と泥層 (有楽町層) は、それぞれ、砂嘴システムの砂嘴と砂嘴縁辺堆積物、デルタシステムのプロデルタ - デルタフロント堆積物に相当すると考えられる。第2図 b の中川左岸のT.P.-30 m以浅における層相がN値5以下の泥層から構成されるのは、GS-KTS-1の北部における高砂団地 (第1図) のボーリング柱状図を用いているためである (東京都土木技術研究所, 1977)。

8.4 泥分含有率と含水率の比較

第10図はGS-KNJ-1とGS-KTS-1のキューブ試料から測定した泥分含有率と含水率を比較したものである。泥分含有率は、100 (%) - (4φよりも粒径の粗い碎屑物の含有率) とした。この図は、KNJ3 (氾濫原 - 自然

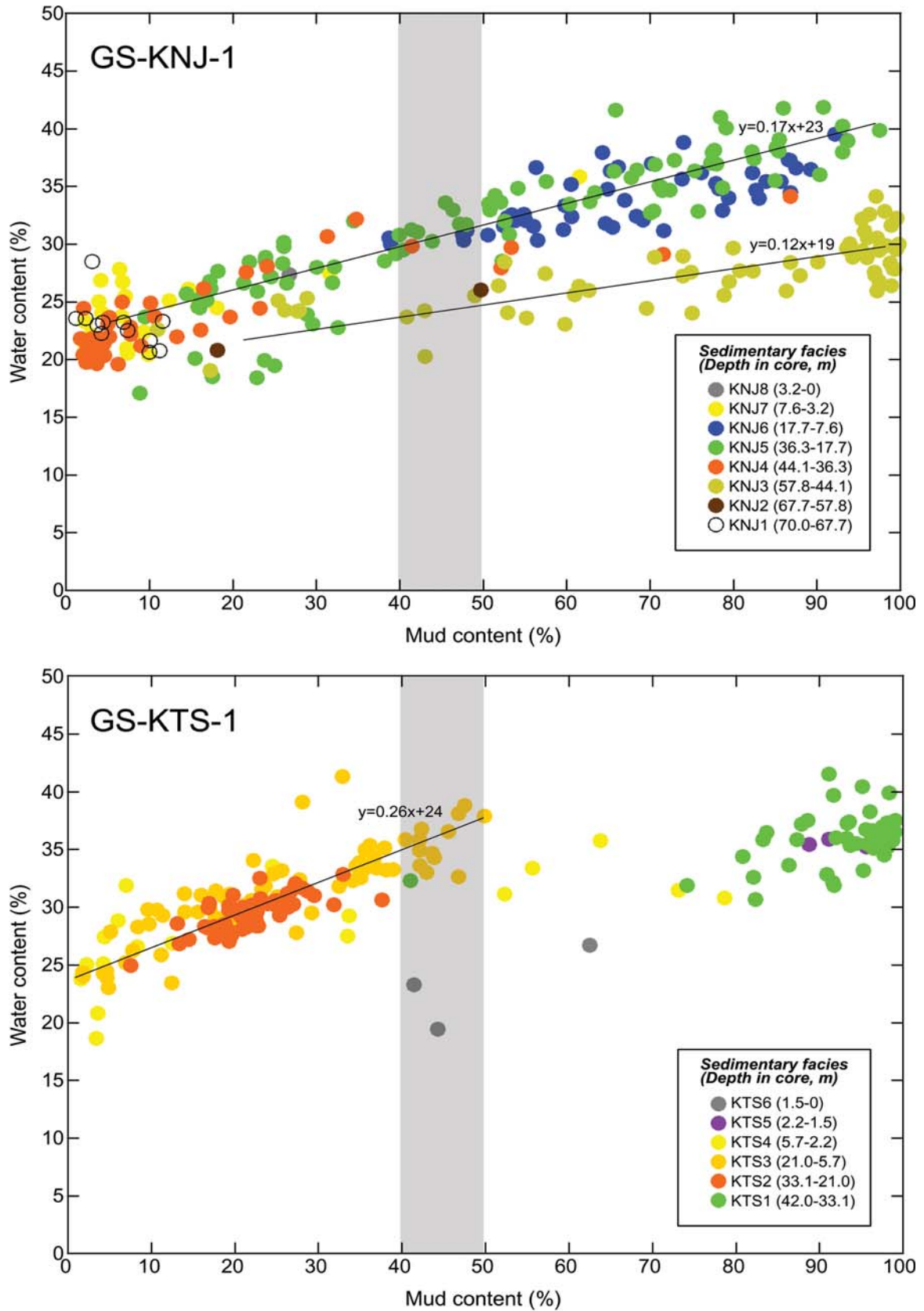
堤防堆積物)、KNJ5とKNJ6 (潮汐の影響した砂嘴縁辺堆積物とプロデルタ - デルタフロント堆積物)、KTS2とKTS3 (下部と上部砂嘴堆積物) の泥分含有率と含水率が一次関数の回帰式によって示され、各層相の回帰係数が異なることを示している。上記層相の回帰係数は、KTS2とKTS3 (0.26)、KNJ5とKNJ6 (0.17)、KNJ3 (0.12) の順に高い。

このような回帰係数の違いは、KTS2, 3とKNJ5, 6については岩相、KNJ3とKNJ5, 6については圧密特性の違いが起因していると考えられる。KTS2, 3は、GS-KTS-1のT.P.-31.9 ~ -4.5 mに分布しており、生物攪乱を受けたシルト塊が点在した砂層から構成される (第5図n)。一方、KNJ5, 6は、GS-KNJ-1のT.P.-35.9 ~ -7.2 mに分布しており、砂泥互層と生物攪乱を受けた砂が点在するシルト層から構成されている (第5図i, j)。KTS2, 3とKNJ5, 6はほぼ同じ深度に分布することから両者の上載圧は近似する。よって、KTS2, 3とKNJ5, 6の泥分含有率と含水率の回帰係数の違いは、生物攪乱の頻度や砂とシルトの支持様式の違いによって生じていると考えられる。砂を基質とした層相の場合、シルトを基質とした層相と比べて透水性が高く、帯水層を形成するため、泥分含有率と含水率の回帰係数が高くなると考えられる。KTS2, 3は東京低地東縁においてN値10以上の砂体 (砂嘴堆積物) を構成しており、KNJ5, 6と対比されるN値10以下の砂泥層 (砂嘴縁辺堆積物とプロデルタ - デルタフロント堆積物) と比べて、地表水の透水性に富むと考えられる (第9図)。このような回帰係数の違いは、KTS3とKNJ5の泥分含有率が40 ~ 50%の砂質シルト層に着目した場合、約5%の含水率の違いとして表れる (第10図)。

KNJ3はGS-KNJ-1のT.P.-57.4 ~ -43.7 mに分布しており、泥炭質なシルト層と砂泥互層を主体とする (第5図c, d)。陸成層であるKNJ3と海成層であるKNJ5, 6の泥分含有率と含水率の関係の違いは、従来から七号地層と有楽町層の粒子間隙率の違いとして指摘されてきた (東京都土木技術研究所, 1977 など)。分布深度が異なる両者が、上載圧の影響の違いを受けていることは間違いない。しかし、両者の圧密特性の違いやその要因については、今後、現世の陸成と海成の泥層の組成解析を含めた圧密実験を通じて検討していく必要がある。

9. まとめ

本研究では、東京都葛飾区の新宿地区と高砂地区において掘削したボーリングコア堆積物 (GS-KNJ-1とGS-KTS-1) の岩相と生物化石相の詳細な観察と放射性炭素年代の高密度な測定、物性の測定を行った。そして、これら解析結果を基に、東京低地東縁における堆



第10図 泥分含有率と含水率の比較。
泥分含有率=100%−4φ(63μm)よりも粗い碎屑物の含有率, とした。

Fig. 10 Mud content-water content plots.
Mud content=100%−component of clastic coarser than 4 φ(63μm).

積システム区分を試みた。その結果、次のことが明らかになった。

(1) GS-KNJ-1は、下位より、KNJ1（中・上部更新統浅海成堆積物）、KNJ2（網状河川チャネル堆積物）、KNJ3（氾濫原・自然堤防堆積物）、KNJ4（干潟・潮流の影響した河川チャネル堆積物）、KNJ5（潮汐の影響した砂嘴縁辺堆積物）、KNJ6（プロデルタ・デルタフロント堆積物）、KNJ7（現世の蛇行河川チャネル堆積物）、KNJ8（盛土）、そして、GS-KTS-1は、下位より、KTS1（干潟堆積物）、KTS2（下部砂嘴堆積物）、KTS3（上部砂嘴堆積物）、KTS4（潮汐の影響した河川チャネル・塩水湿地堆積物）、KTS5（現世の氾濫原堆積物）、KTS6（盛土）から構成される。

(2) GS-KNJ-1とGS-KTS-1の両地点において、中・上部更新統の下総層群に不整合に累重する沖積層は、下位より、網状河川システム（～14,000 cal BP）、蛇行河川システム（14,000～9,900 cal BP）、エスチュアリーシステム（10,000～6,800 cal BP）、砂嘴システム（10,000～1,400 cal BP）、デルタシステム（5,800～0 cal BP）に大分される。エスチュアリー・砂嘴システム境界であるKNJ4・5境界（T.P.-35.9 m, 9,700～6,800 cal BP）とエスチュアリーシステムに内在するKTS1・2境界（T.P.-31.9 m, 9,600～9,300 cal BP）は、潮間帯から潮下帯への深海化に伴って形成されたラビーンメント面であり、前者が潮流、後者が奥東京湾の静振によって形成されたと考えられる。KNJ4・5境界とGS-KTS-1における砂嘴・デルタシステム境界（KTS2・3境界, T.P.-19.8 m, 6,800～6,600 cal BP）は最大海氾濫面に相当する。

(3) 東京低地東縁において、蛇行河川システムはT.P.-45 m以深のN値20～50の層相、エスチュアリーシステムはT.P.-45～-20 mのN値が上部に向かって40から5に減少する層相、砂嘴システムはT.P.-35～-5 mのN値が上部に向かって10から25に増加する層相（砂嘴堆積物）とN値が上部に向かって20から5に減少する層相（砂嘴縁辺堆積物）にそれぞれ対比できる。デルタシステムはT.P.-25 m以浅のN値が上部に向かって0から25に増加する層相に対比できる。N値の垂直変化を粒度の垂直変化と仮定した場合、東京低地東縁における堆積相と堆積システムはN値によってその空間分布が表現できる。

(4) 従来、中間砂層（MS）や七号地層、有楽町層上部層、下総層群とされてきた東京低地東縁のT.P.-40 m以浅の砂層は、その大部分が完新世中期以降に形成された砂嘴堆積物に相当する。下総台地南縁の市川砂州から北西方向に伸長する砂嘴堆積物は、奥東京湾口の恒流によって形成されたと考えられる。

(5) GS-KNJ-1とGS-KTS-1の密度と含水率、帯磁率は、 4ϕ ($63\mu\text{m}$) や 2ϕ ($250\mu\text{m}$) よりも粗い碎屑物の

含有率と良い相関を示す。このうち、含水率と泥分含有率 ($63\mu\text{m}$ 以下の粒径を持つ碎屑物の含有率) の関係は一次関数によって示され、その回帰係数は砂を基質とした海成層 (KTS2とKTS3, 0.26)、砂泥互層と泥を基質とした海成層 (KNJ5とKNJ6, 0.17)、陸成泥層 (KNJ3, 0.12) の順に高い。KTS2, 3とKNJ5, 6の回帰係数の違いは岩相とその透水・帯水性の違いに起因すると考えられる。

謝辞：地質情報研究部門の内山美恵子博士にはボーリングコア堆積物の半割と試料採取を手伝って頂きました。名古屋大学の北川浩之博士と株式会社伯東の小林利行氏、環境研究センターの鈴木 亮氏には放射性炭素年代測定の際にお世話になりました。福岡大学の江藤唯佳子氏にはN値断面図を作成、そして愛媛大学の奈良正和博士には *Psilonichnus isp.* を同定して頂きました。地質情報研究部門の斎藤文紀博士には査読を通じて適切なご指摘を頂きました。以上の方々に記して謝意を表します。本研究は産業技術総合研究所の運営費交付金「大都市圏の地質災害軽減・環境保全を目的とした地質学的総合研究」（平成15～17年度）を使用して行った。

文 献

- Allen, G.P. and Posamentier, H.W. (1993) Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: the Gironde estuary, France. *J. Sediment. Petrol.*, **63**, 378-391.
- 青木 滋・柴崎達雄 (1966) 海成“沖積層”の層相と細分問題について。第四紀研究, **5**, 113-120.
- 中条純輔 (1962) 古東京川について—音波探査による—。地球科学, **59**, 30-39.
- Boyd, R., Dalrymple, R. and Zaitlin, B.A. (1992) Classification of clastic coastal depositional environments. *Sediment. Geol.*, **80**, 139-150.
- Coleman, S.M., Baucom, P.C., Bratton, J.F., Cronin, T.M., McGeehin, J.P., Willard, D., Zimmerman, A.R. and Vogt, P.R. (2002) Radiocarbon dating, chronologic framework, and changes in accumulation rates of Holocene estuarine sediments from Chesapeake Bay. *Quaternary Res.*, **57**, 58-70.
- Collinson, J.D. (1996) Alluvial sediments. In Reading, H.G. ed., *Sedimentary Environments: Processes, Facies, and Stratigraphy*. 3rd Ed., Blackwell Sci. Publ. 37-82.
- Dalrymple, R.W. (1992) Tidal Depositional Systems. In Walker, R.G. and James, N.P., eds., *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Geol.

- Assoc. Canada, 195-218.
- 遠藤邦彦・小杉正人・菱田 量 (1988) 関東平野の沖積層とその基底地形. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, no. 23, 37-48.
- 遠藤邦彦・小杉正人・松下まり子・宮地直道・菱田 量・高野 司 (1989) 千葉県古流山湾周辺域における完新世の環境変遷史とその意義. 第四紀研究, **28**, 61-77.
- Eto, C., Ishihara, Y., Tanabe, S., Kimura, K. and Nakayama, T. (2006) Three-dimensional models of lithofacies and N-values of alluvial deposits obtained using borehole logs: An example of the latest Pleistocene to Holocene incised-valley fills in the northern part of the Tokyo Lowland, central Japan. *J. Sediment. Soc. of Japan* (in press).
- Hughen, K.A., 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., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Bronk Ramsey, C., 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, 26-0 ka BP. *Radiocarbon*, **46**, 1059-1086.
- 池原 研 (2000) 深海堆積物に記録された地球環境変動—環境変動解析における試料の一次記載と非破壊連続分析の重要性—. 月刊地球, **22**, 206-211.
- 伊勢屋ふじこ (1982) 茨城県, 桜川における逆グレーディングをした洪水堆積物の成因. 地理評, **55**, 597-613.
- 石原与四郎・木村克己・田辺 晋・中島 礼・宮地良典・堀 和明・稲崎富士・八戸昭一 (2004a) 埼玉県草加市柿木地区で掘削された沖積層ボーリングコア (GS-SK-1) の堆積相・堆積物特性と放射性炭素年代. 地調研報, **55**, 183-200.
- 石原与四郎・木村克己・中島 礼・宮地良典・田辺 晋・中山俊雄・斎藤文紀 (2004b) 東京低地と荒川低地から得られた3本のボーリングコアの堆積相と放射性炭素年代: DKコア (江東区新砂), TNコア (足立区舎人公園), HAコア (東綾瀬公園). 地調研報, **55**, 221-235.
- 貝塚爽平 (1979) 東京の自然史 (増補第二版). 紀伊国屋書店, 239p.
- 貝塚爽平・松田磐余 (1982) 首都圏の活構造. 地形区分と関東地震の被害分布図 (20万分の1), 内外地図株式会社, 48p.
- Kaizuka S., Naruse Y. and Matsuda I. (1977) Recent formations and their basal topography in and around Tokyo Bay, Central Japan. *Quaternary Res.*, **8**, 32-50.
- 茅根 創 (1991) 房総半島富津砂州の形成に伴う完新世の貝類群集の変遷. 第四紀研究, **30**, 265-280.
- 木村克己 (2004) 巻頭言: 都市地質研究の展開. 地調研報, **55**, 181-182.
- 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. 井内美郎・稲崎富士・ト部厚志・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 (編), 沖積層研究の新展開, 地質学論集, no. 59, 1-18.
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E. (1993) A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ¹⁴C measurements. *Radiocarbon*, **35**, 295-300.
- 小杉正人 (1989) 完新世における東京湾の海岸線の変遷. 地理評, **62A-5**, 359-374.
- 久保純子 (1993) 東京低地水域環境地形分類図. 文部省科学研究費重点領域研究「近代化による環境変化の地理情報システム」成果.
- 増田富士雄・伊勢屋ふじこ (1985) “逆グレーディング構造”: 自然堤防帯における氾濫原洪水堆積物の示相堆積構造. 堆積学研究会報, no. 22/23, 108-116.
- Matsuda, I. (1974) Distribution of the Recent Deposits and Buried Landforms in the Kanto Lowland, Central Japan. *Geogr. Rep. Tokyo Metropolitan Univ.*, no. 9, 1-36.
- 松田磐余 (1993) 東京湾と周辺の沖積層. 貝塚爽平 (編), 東京湾の地形・地質と水, 築地書館, 67-109.
- Miall, A.D. (1977) A review of the braided-river depositional environment. *Earth Sci. Rev.*, **13**, 1-62.
- Miall, A.D. (1985) Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Sci. Rev.*, **22**, 261-308.
- Miall, A.D. (1992) Alluvial Deposits. In Walker, R.G. and James, N.P. eds., *Facies Models: response to sea level change*. Geol. Assoc. Canada, 119-142.
- 宮地良典・木村克己・石原与四郎・田辺 晋・中島 礼・堀 和明・中山俊雄・斎藤文紀 (2004) 東京都江戸川区小松川地区で掘削された沖積層ボーリングコア (GS-KM-1) の堆積相とその堆積物物性・放射性炭素年代. 地調研報, **55**, 201-220.
- 中村俊夫 (2001) 放射性炭素年代値とその高精度化. 第四紀研究, **40**, 445-459.
- 中島 礼・田辺 晋・宮地良典・石原与四郎・木村克己 (2006) 沖積層ボーリングコアにみられる貝化石群

- 集変遷—埼玉県草加市柿木と東京都江戸川区小松川の例—。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(編), 沖積層研究の新展開, 地質学論集, no. 59, 19-33.
- 奈良正和・小竹信宏(1997) 中—上部更新統下総層群に産する“アナジャコ巢穴化石” *Psilonichnus*. 地質雑, **103**, 971-981.
- Nio, S.D. and Yang, C.S. (1991) Diagnostic attributes of clastic tidal deposits. In Smith, D.G., Reinson, B.A. and Rahmani, R.A. eds., *Clastic tidal sedimentology. Canad. Soc. of Petrol. Geologists Mem.*, no. 16, 3-27.
- Nummedal, D. and Swift, D.J.P. (1987) Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: Some principles derived from Holocene and Cretaceous examples. In Nummedal, D., Pilkey, D.H. and Howard, J.D. eds., *Sea-level Fluctuation and Coastal Evolution. SEPM Spec. Publ.*, no. 41, 241-260.
- 岡崎浩子・佐藤弘幸・中里裕臣・鎌滝孝信(2000) 中部更新統下総層群数層から復元された砂嘴—内湾システム. 堆積学研究, no. 52, 63-74.
- 奥谷喬司(2000) 日本近海産貝類図鑑. 東海大学出版会, 1173p.
- Orton, G.J. and Reading, H.G. (1993) Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, which particular emphasis on grain size. *Sedimentology*, **40**, 475-512.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. and Frey, R.W. (1992) Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. In Walker, R.G. and James, N.P. eds., *Facies Models: response to sea level change*. Geol. Assoc. Canada, 47-72.
- 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, 551p.
- Scruton, P.C. (1960) Delta building and the deltaic sequence. In Shepard, F.P., Phleger, F.B. and van Andel, T.H. eds., *Recent sediments: north-west Gulf of Mexico*. AAPG, 82-102.
- Stuiver, M. and Reimer, P.J. (1993) Extended ¹⁴C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.
- 杉原重夫(1971) 地形の発達. 市川市史編纂委員会(編) 市川市史第1巻, 1-80.
- 杉原重夫(2000) 関東平野南東部. 貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎春雄・鈴木毅彦(編) 日本の地形4 関東・伊豆小笠原, 東京大学出版会, 214-231.
- 田辺 晋・石原与四郎・江藤稚佳子・中西利典・木村克己・中山俊雄・八戸昭一(2005) 東京低地から中川低地における沖積層の3次元堆積モデル. 日本地質学会第112年学術大会講演要旨, 197.
- 田辺 晋・石原園子・中島 礼・宮地良典・木村克己(2006) 東京低地中央部における沖積層の中間砂層の形成機構. 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(編), 沖積層研究の新展開, 地質学論集, no. 59, 35-52.
- 東京地盤調査研究会(1959) 東京地盤図. 技報堂, 114p.
- 東京都土木技術研究所(1977) 東京都総合地盤図I—東京都地質図集3—. 技報堂.
- 宇野木早苗(1993) 東京湾の水と流れ. 貝塚爽平(編), 東京湾の地形・地質と水, 築地書館, 135-186.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg, J.F., Louit, T.S. and Hardenbol, J. (1988) An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. and van Wagoner, J.C., eds., *Sea-Level Changes: An Integrated Approach. SEPM Spec. Publ.*, no. 42, 39-45.
- Visher, G.S. (1965) Use of vertical profile in environmental reconstruction. *AAPG Bull.*, **49**, 41-61.
- Yoneda, M., Shibata, Y., Tanaka, A., Uehiro, T., Morita, M., Uchida, M., Kobayashi, T., Kobayashi, C., Suzuki, R., Miyamoto, K., Hancock, B., Dibden, C. and Edmonds, J.S. (2004) AMS ¹⁴C measurements and preparative techniques at NIES-TERRA. *Nucl. Instr. and Meth. B*, **223-224**, 116-123.

(受付: 2006年7月3日; 受理: 2006年12月22日)