

東京都足立区本木地区から採取した沖積層ボーリングコア堆積物 (GS-AMG-1) の堆積相, 放射性炭素年代と物性

田辺 晋¹・中島 礼¹・中西利典¹・木村克己¹・柴田康行²

Susumu Tanabe, Rei Nakashima, Toshimichi Nakanishi, Katsumi Kimura and Yasuyuki Shibata (2006) Sedimentary facies, radiocarbon dates and physical properties of GS-AMG-1 core from Motogi district, Adachi-ku, western area of the Tokyo Lowland, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 57(9/10), p.289 - 307, 6 figs, 1 table.

Abstract: Latest Pleistocene to Holocene incised-valley fills (the Chuseki-so) under the lower reach of the Arakawa River comprise relatively thick fluvial-sand compared with those under the Nakagawa and Paleo-Tokyo Rivers. On the basis of sedimentary facies analysis, radiocarbon dating and measurement on physical properties of core sediments (GS-AMG-1) obtained from Motogi district, Adachi-ku, Tokyo Metropolitan, it has been revealed that the Chuseki-so in the core sediments (>T.P.-55.7 m) consists of (1) Gravel (braided-river channel fills), (2) Sand and peaty silt (meandering-river floodplain sediments), (3) Sand (tidal-current influenced channel fills), (4) Sand-mud alternation containing shells (tide-influenced deepening-upward shallow-marine sediments), (5) Silt to sandy silt containing shells (prodelta to deltafront sediments), (6) Sand-mud alternation containing burrows (tidal-flat sediments), (7) Peaty silt (modern meandering-river floodplain sediments) and artificial soils, in ascending order. Upward-deepening facies succession of (2) to (4) ($12,940 \pm 100$ – $8,030 \pm 110$ cal BP) and upward-shallowing facies succession of (5) to (7) ($6,660 \pm 180$ – $2,245 \pm 95$ cal BP), respectively, deposited in the core site in relation to sea-level rise since after the Last Glacial Maximum and sea-level stillstand/gentle lowering during the middle to late Holocene. Previously reported thick fluvial-sand is correlative to (3) in Motogi district. Density, water content, and N-value of the Chuseki-so in GS-AMG-1 are correlative to those of the sand-mud contents.

Keywords: Chuseki-so, incised-valley, methane bubble, Middle Sand, ravinement surface, sedimentary facies, radiocarbon date, Tokyo Lowland, Holocene

要 旨

荒川流系の末端の東京都足立区本木地区には、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沖積層が分布している。そして、この地域の沖積層は中川や古東京川流域のものとは比べ、厚層な河成の砂質堆積物から構成されることを特徴とする。荒川の開析谷軸部において掘削したGS-AMG-1ボーリングコア堆積物の堆積相解析、放射性炭素年代と物性の測定の結果、T.P.-55.7 m以浅に分布する沖積層は、下位より、(1) 礫層（網状河川チャネル堆積物）、(2) 砂層と泥炭質なシルト層（蛇行河川氾濫原堆積物）、(3) 砂層（潮流の影響した河川チャネル堆積物）、(4) 貝化石を含む砂泥互層（潮汐の影響した上方深海化する浅海性堆積物）、(5) 貝化石を含むシルト-砂質シルト層（プロデルタ-デルタフロント堆積物）、(6) 生痕化石のみられる砂泥互層（干潟堆積物）、(7) 泥炭質なシルト層（現世の

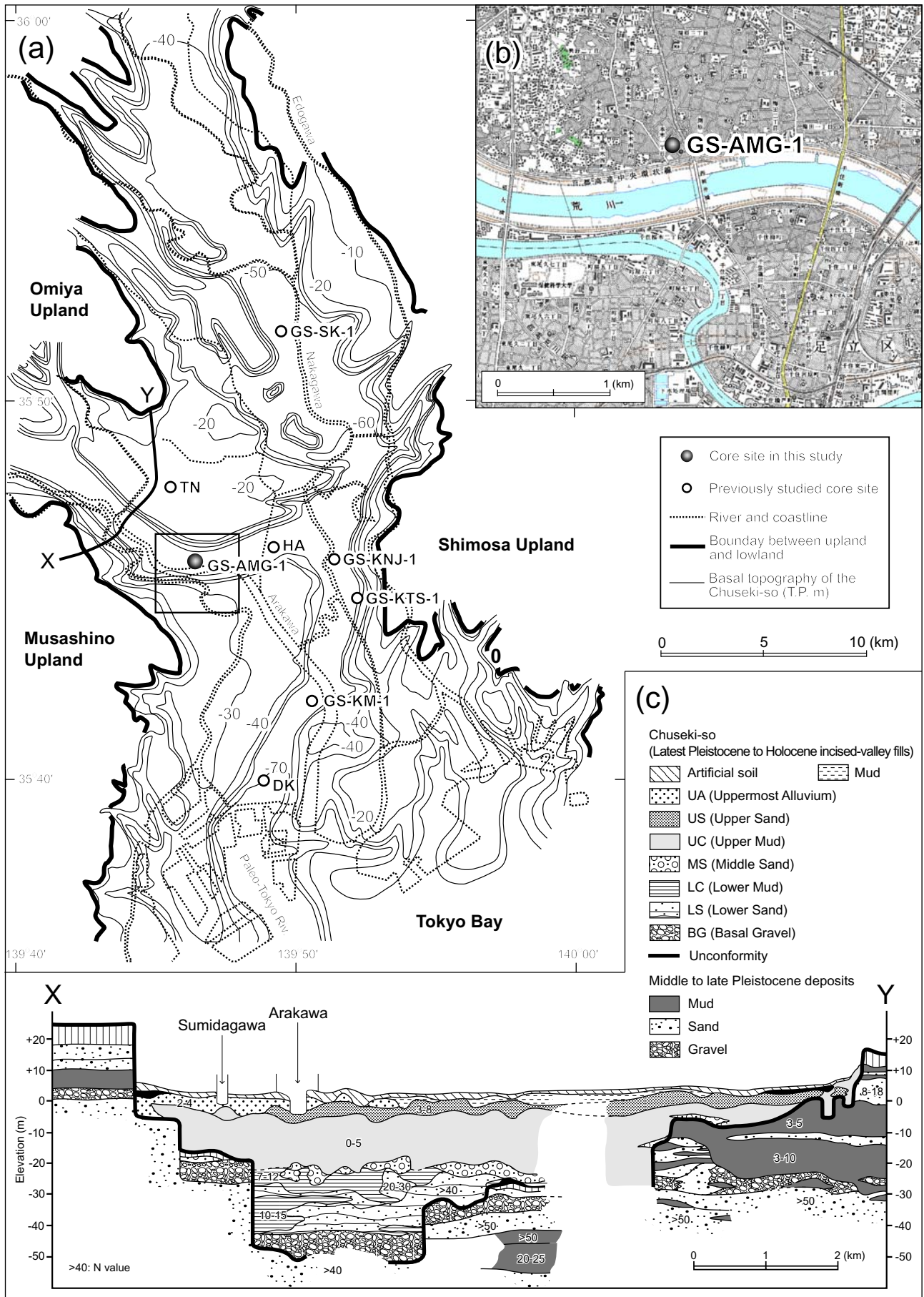
蛇行河川氾濫原堆積物）、埋土から構成されることが明らかになった。(2)～(4)の上方深海化サクセション($12,940 \pm 100$ ～ $8,030 \pm 110$ cal BP)と(5)～(7)の上方浅海化サクセション($6,660 \pm 180$ ～ $2,245 \pm 95$ cal BP)は、それぞれ最終氷期最盛期以降の海水準上昇と完新世中期以降の海水準の安定もしくは緩やかな下降に伴ってコアサイトに堆積したと考えられる。既報の厚層な河成砂質堆積物は(3)と対比される。GS-AMG-1の沖積層の密度と含水率、N値は、砂泥含有率と相関する。

1. はじめに

東京低地の西部には、最終氷期最盛期に至る海水準の低下に伴って形成された開析谷を充填する河成から海成の沖積層が分布しており、その層厚は荒川流域末端の東京都足立区本木地区において約60 mに至る（Matsuda, 1974；貝塚・松田, 1982；遠藤ほか, 1988）（第1図a）。

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

²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)



そして、この地域の沖積層は、中川や古東京川(中条, 1962)の流域のものと比べ、基底礫層と下部沖積層や七号地層を構成する砂層が厚く、上部沖積層や有楽町層を構成する海成泥層が薄いこと、全体として粗粒な堆積物から構成されていることを特徴とする(Matsuda, 1974; 遠藤ほか, 1983)。荒川、中川、古東京川流域における沖積層の、このような粒度特性の違いは、約4千年前の利根川の荒川低地から中川低地への流路変遷(菊地, 1981; 平井, 1983)と関東平野西部の秩父山地からの粗粒碎屑物の供給が深く関係していたと考えられる。現在の荒川の年間流量は1.5 km³/yrで、利根川の11 km³/yrと比べて極めて小さい(国立天文台, 2001)。その一方で、現在の荒川の河口から水源までの平均河川勾配は15/1,000で、利根川の6/1,000と比べて極めて急峻である(坂井, 1987)。河川勾配の違いは河床における碎屑物の粒度分布や堆積様式と深い関わりを持つ(山本, 2004など)。したがって、約4千年前以前の水流が現在よりも大きかった荒川流域では、より多くの粗粒碎屑物が供給されていたはずである。このように、荒川流系における沖積層の形成機構の検討には、最終氷期以降の海水準変動との関係に加えて、利根川の流路変遷と粗粒碎屑物の供給源を解明する必要があると考えられる。また、東京都足立区本木地区の東京湾平均海面(T.P.)-20 m以深には、層厚10 m以上、N値20以上の砂礫層が局所的に分布している(Matsuda, 1974; 東京都土木技術研究所, 1977)(第1図a)。従来、下部沖積層や七号地層とされてきたこの砂礫層の成因解明は、支持層の分布予測にも貢献できると考えられる。

地質調査総合センターの都市地質研究プロジェクト(木村, 2004)では、荒川流域末端の沖積層の模式層序の確立を目的として、平成16(2004)年度に東京都足立区本木地区において58 m長のボーリングコア堆積物(GS-AMG-1)を採取した。本稿では、このGS-AMG-1の堆積相と放射性炭素年代値、堆積物物性を記載する。

2. コアサイトの地形・地質概説

GS-AMG-1は荒川左岸のデルタ低地(久保, 1993)に

おいて採取した。コアサイトの緯度経度はN35° 45' 43.15", E139° 47' 11.01" (JGD2000)、標高はT.P.+1.666 mである(第1図a, b)。

GS-AMG-1のコアサイトは、貝塚・松田(1982)と遠藤ほか(1988)の沖積層基底分布図によると荒川流系の開析谷の中軸部に位置しており、その沖積層の層序は、下位より、基底礫層(BG)、下部砂層(LS)、下部泥層(LC)、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)。足立区西縁では、BGがT.P.-50~-40 m、LSとLCが-40~-20 m、MSが-30~-20 m、UCが-20~-5 m、USが-5~0 m、UAが-5~0 m、盛土が地表面に分布している(第1図c)(Matsuda, 1974)。GS-AMG-1や第1図cの地質断面は、貝塚(1979)の表層地形区分に基づくと、三角州・自然堤防地帯に位置し、BGとLS、LCが河成層、MSとUC、USが海成層、UAが現世の河成層に相当する(Kaizuka *et al.*, 1977)。MSは新ドリラス期の一時的な海水準低下、もしくは完新世初期の海水準上昇に伴って形成された三角州の前置層と考えられている(Matsuda, 1974; Kaizuka *et al.*, 1977; 松田, 1993)。なお、LCは三角州地帯において一部海成層を含むとされる(Kaizuka *et al.*, 1977)が、第1図cに貝殻を含まないことから、本稿では河成層とみなす。

3. 研究手法

3.1 ボーリングコア堆積物の掘削

GS-AMG-1は、中央開発(株)に依頼して東京都足立区本木地区の本木東小学校敷地内において2005年1月に掘削した。コア長が58.0 mのボーリングコア堆積物は、孔径が86 mm、試料径が68 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。このうち、掘削深度0.0~1.3 mと57.0~57.8 mの堆積物については、それぞれ、埋土とサンプラーの内径よりも大きな礫を含むため、採取しなかった。また、深度32.0~33.0 mの砂層はコア堆積物採取時に孔内に落下した。スライムを除いたコア堆積物の回収率は91%である。

第1図 GS-AMG-1のコアサイトと荒川流域末端における沖積層開析谷の地質断面。

(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。ボーリングコア堆積物の掘削地点は、GS-KM-1が宮地ほか(2004)、GS-SK-1が石原ほか(2004a)、GS-KNJ-1とGS-KTS-1が田辺ほか(2006a)、DKとHA、TNが石原ほか(2004b)に基づく。(b) GS-AMG-1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。(c) 荒川流域末端の沖積層開析谷の地質断面。Matsuda(1974)を一部改編。

Fig. 1 Core site of GS-AMG-1 and the geological section across the lower reach of the Arakawa Incised Valley under the Tokyo Lowland. (a) Valley topography formed until the Last Glacial Maximum under the Paleo-Okutokyo Bay area (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, Tanabe *et al.* (2006a): GS-KNJ-1 and GS-KTS-1 and Ishihara *et al.* (2004b): DK, HA, TN. (b) Inset of (a) showing core site in this study. (c) is based on topographic maps, Digital Map 25,000 (Map Image), Tokyo by Geographical Survey Institute.

3.2 ボーリングコア堆積物の解析

GS-AMG-1は、 γ 線透過率と帯磁率を測定した後に、掘削深度46.0～46.5 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。半裁しなかったコア堆積物についてはX線CT画像を撮影した。アーカイブハーフからは、写真撮影、記載、色調の計測、剥ぎ取り標本の採取を行った。そして、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。コア堆積物の含水率、湿潤・乾燥かさ密度、含砂率については、半裁直後に密閉した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38点の貝化石と植物片については加速器質量分析(AMS)法によって放射性炭素年代値を測定した。これらGS-AMG-1の解析方法の詳細は、3.2.1堆積相の記載、3.2.2放射性炭素年代値の測定、3.2.3堆積物物性の測定として以下に記す。

3.2.1 堆積相の記載

GS-AMG-1の記載と堆積相区分は、半裁直後の写真と記載、剥ぎ取り試料、軟エックス線写真、X線CT画像、含砂率、植物片含有率を用いて行った。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・種類)に着目して行っている。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。X線CT画像は、地質調査総合センターに設置されている医療用X線CT装置(日立メディコ(株)製CT-W2000)(池原, 1997)を用いて、1 mmスライス厚で撮影した。スライス画像の空間解像度は0.3 mmである。

3.2.2 放射性炭素年代値の測定

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36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80℃で溶解除去し、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)。植物片の標準試料としたシュウ酸(NIST HOxIIと和光製特級試薬)も、同様に真空封入・燃焼させた。貝化石については、試料重量の約10%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。その後、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についても、同様の手順でCO₂を生成した。こうして生成した、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。粉末状のグラファイトは、手動の圧縮装置を用いてターゲットとし、国立環境研究所のタンデム加速器(NIES-TERRA, Yoneda *et al.*, 2004)を用いて放射性炭素年代値を測定した。

本稿で使用する放射性炭素年代値の校正年代は、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。貝化石の暦年校正の際、 $\Delta R=0$ 、海洋炭素=100%とした。

3.2.3 堆積物物性の測定

GS-AMG-1からは、 γ 線透過率と帯磁率、色調、含水率、湿潤・乾燥かさ密度、含砂率、植物片含有率を測定した。これら堆積物物性値の測定方法は、石原ほか(2004a)と宮地ほか(2004)、田辺ほか(2006a)に基づく。

γ 線透過率は、地質調査総合センターに導入されているGeotek製の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。 γ 線透過率の測定総数は5,106点である。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。測定総数は5,110点である。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(コニカミノルタホールディングス(株)製SPAD-503)を用いて、 $L^*a^*b^*$ 表示系により5 cm間隔で測定した。測定総数は475点である。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))を用いた。ワーキングハーフから5 cm間隔で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。湿潤かさ密度と乾燥かさ密度、含水率の測定総数はそれぞれ746点である。なお、GS-AMG-1の掘削深度52.6 m以深については、礫層であったため、キューブ試料を採取しなかった。含砂率(4φと2φよりも粗い碎屑物の含有率)と植物片含有率はキューブ試料、そして、キューブ試料を採取しなかった層準についてはサンプル袋に採取した試料を用いて、63 μmと250 μmの篩によって20 cm間隔で測定した。植物片含有率は、残渣に含まれる植物片を拾い集めて、乾燥試料の重量比とした。4φと2φよりも粗い碎屑物の含有率、植物片含有率の測定総数はそれぞれ258点である。

4. 結 果

4.1 堆積相

GS-AMG-1は下位より堆積相AMG1～AMG9に区分

される(第2図)。このうち、AMG2～AMG9が中・上部更新統下総層群の極細粒砂層(AMG1)に不整合に累重する沖積層と考えられる。AMG9(深度1.8～0.0 m)はビニール袋などの人工物が混入する埋土である。以下に堆積相AMG2～AMG8の詳細を記す。

4.1.1 堆積相AMG2(網状河川チャンネル堆積物)

掘削深度: 57.4～52.1 m (T.P.: -55.7～-50.4 m)

記載: 本堆積相は層厚が20 cm以上の砂質礫層と層厚が30～40 cmの中・粗粒砂層の互層から構成される(第3図a)。基質支持の砂質礫層から産出する礫の最大(長軸)径は、4～7 cmで、その粒径の垂直方向の変化は認められない。砂層には細礫が点在する平行葉理がみられる。本堆積相における4φよりも粗い碎屑物の含有率は、ほぼ100%である(第2図)。堆積相AMG2と堆積相AMG1(極細粒砂層)の境界については、コア堆積物を採取できなかったため、カッティングスの観察により決定した(細谷卓志, 中央開発(株), 2005年私信)。

解釈: 基質支持礫層と細礫の点在する平行層理砂層は主にトラクションなどの掃流によって形成されたと考えられる。このような堆積物は湾曲度の低い網状河川帯に特徴的である(Miall, 1992; Collinson, 1996)。また、後述するように、本堆積相は、Matsuda (1974)の沖積層基底礫層(BG)と対比され、開析谷底にほぼ水平に分布する。以上のことから、本堆積相は網状河川チャンネルを埋積する堆積物と解釈できる。

4.1.2 堆積相AMG3(蛇行河川チャンネル-氾濫原堆積物)

掘削深度: 52.1～41.0 m (T.P.: -50.4～-39.3 m)

解釈: 本堆積相は、下位より、下部の砂層(深度52.1～50.2 m)、中部の砂泥互層(50.2～48.3 m)、上部の泥炭質なシルト層(48.3～41.0 m)から構成される。下部の砂層は細・中粒砂層から構成され、砂層中には、セット高が30 cm以上で、20～30°に傾斜する、コンケーブ状のフォアセット構造が観察できる(第3図b)。この斜交層理はトラフ型斜交層理の一部を構成すると考えられる。また、この砂層は、2φよりも粗い碎屑物の含有率が、上部に向かって、70%から0%に減少することで上方細粒化する(第2図)。中部の砂泥互層は、植物片を多く含むシルト層と極細粒・細粒砂層の互層から構成される。砂泥互層の砂層中にはカレント・リップル層理がみられ、シルト層から逆級化することが多い(第3図c)。砂泥互層における4φよりも粗い碎屑物の含有率は0～80%である(第2図)。上部の泥炭質なシルト層は炭化した植物片や植物根を多く含むシルト層から構成され(第3図d, e)、藍鉄鉱が晶出する。泥炭質なシルト層における4φよりも粗い碎屑物の含有率はほぼ0%である(第2図)。

解釈: 本堆積相の下部は上方細粒化するトラフ型斜交層理砂層から構成されることから、小規模な河川

チャンネルの埋積によって形成された河川チャンネル堆積物と考えられる(Visher, 1965)。また、中部の砂泥互層にみられた逆級化構造は、自然堤防帯における洪水堆積物に特徴的な堆積構造である(増田・伊勢屋, 1985)。上部の泥炭質なシルト層は、貝化石を含まず植物根が多く産出することから、後背湿地における堆積物と解釈できる。このような堆積物サクセションは、河道の側方移動に伴う、チャンネルから自然堤防、そして後背湿地への環境変化によって形成されたと考えられ、蛇行河川帯に特徴的である(Miall, 1992)。したがって、本堆積相は蛇行河川チャンネル-氾濫原における堆積物と解釈できる。

4.1.3 堆積相AMG4(潮流の影響した河川チャンネル堆積物)

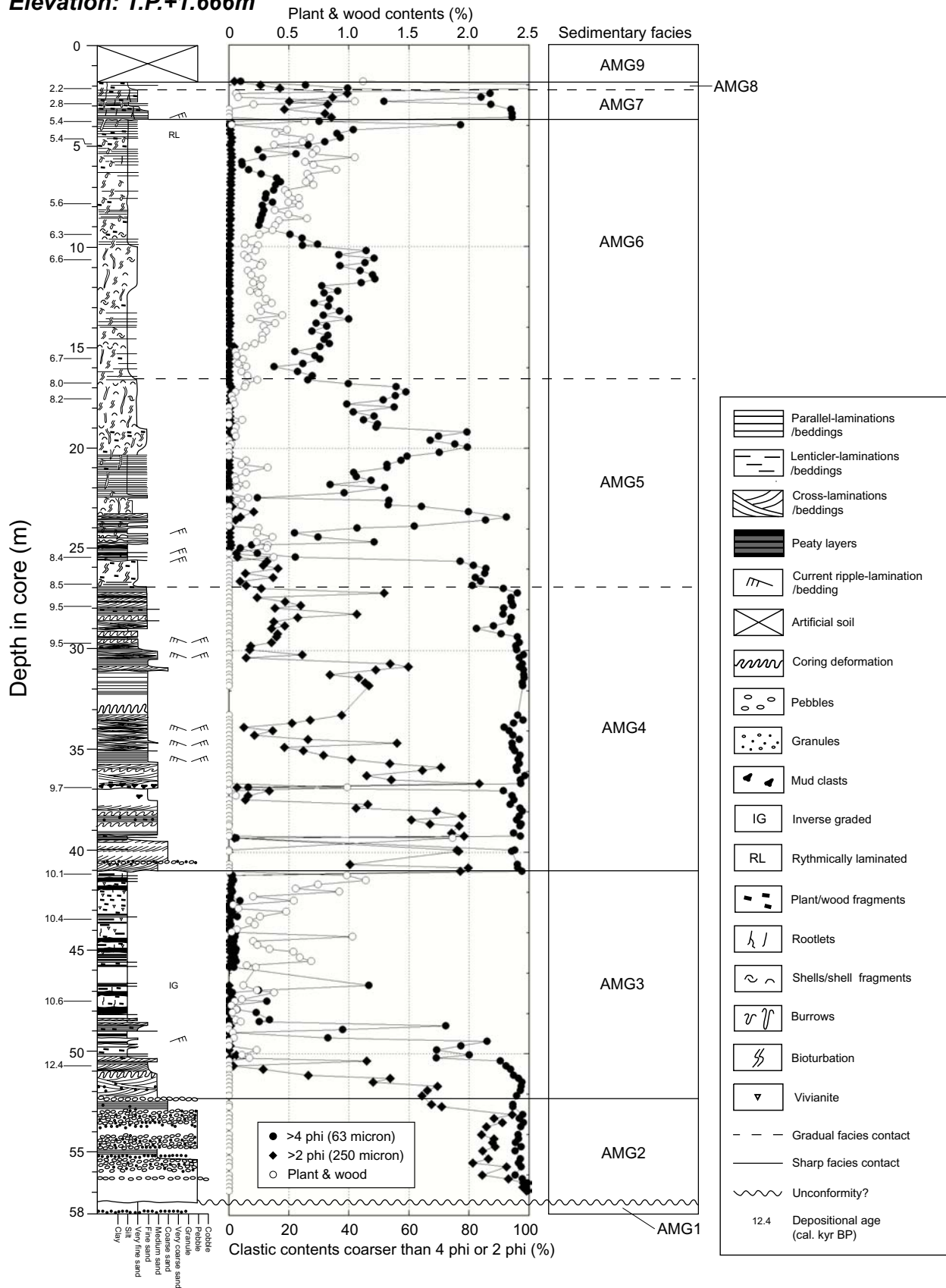
掘削深度: 41.0～26.9 m (T.P.: -39.3～-25.2 m)

解釈: 極細・中粒砂層から構成される本堆積相には、トラフ型斜交層理、低角の平板型斜交層理、カレント・リップル層理がみられる。本堆積相における4φよりも粗い碎屑物の含有率は90%以上であるが、2φよりも粗い碎屑物の含有率は上部に向かって80%から10%へと減少する(第2図)。深度33.0～32.0 mについてはコア堆積物が採取できなかったため不明であるが、2φよりも粗い碎屑物の含有率の垂直変化に着目すると、本堆積相は下部、中部、上部の全体として上方細粒化する岩相ユニットに区分することができる。下部ユニット(深度41.0～36.9 m)は中礫混じりの粗粒砂から細粒砂へと上方細粒化する。粗粒砂層にはセット高が40 cm以下のトラフ型斜交層理、そして中・細粒砂層には低角(約5°以下)の平板型斜交層理がみられる。中部ユニット(深度36.9～33.0 m)は、セット高が10～20 cmのトラフ型・平板型斜交層理を示す中粒砂(第3図f)からカレント・リップル層理の発達した細粒砂(第3図g)へと上方細粒化する。このカレント・リップル層理はヘリンボーン構造を示し、少なくとも二方向の古流向があることを示す。中部ユニットの基底には長軸系が8 cm以下のマッドクラストが濃集する。上部ユニット(深度32.0～26.9 m)は、セット高が20 cm以上の低角の平板型斜交層理を示す細粒砂からヘリンボーン構造のみみられる細粒砂へと上方細粒化する。上部ユニットの最上部(深度27.8～26.9 m)にはセット高が10～20 cmのトラフ型斜交層理がみられる。

解釈: 本堆積相は、3つの岩相ユニットが上方細粒化し、各岩相ユニットを構成する斜交層理のセット高が上部に向かって減少することから、河川チャンネルなどが埋積され、流速が減少した結果、形成されたと考えられる(Visher, 1965)。本堆積相と対比される東京低地におけるHAコアのUnit4のT.P.-32.4 mからはヤマトシジミの貝化石片が産出する(石原ほか, 2004b)(第1図a)。したがって、中部と上部ユニットにみられるヘリンボーン構造は、潮流によって形成された可能性

GS-AMG-1

Elevation: T.P.+1.666m



第2図 GS-AMG-1の柱状図と堆積相.

Fig. 2 Sedimentary facies and column of GS-AMG-1.

が高い。以上のことから、本堆積相は潮流の影響した河川チャネルを埋積した堆積物と解釈できる。

4.1.4 堆積相AMG5(潮汐の影響した上方深海化する浅海性堆積物)

掘削深度：26.9～16.5 m (T.P.：-25.2～-14.8 m)

記載：本堆積相は、層厚10～140 cmのシルト質砂層と層厚5～100 cmの砂泥細互層の互層から構成され、全体として上方細粒化する。しかし、深度25.0～23.4 mと22.5～20.0 mについては、4φよりも粗い碎屑物の含有率が上部に向かって0%から90%、30%から80%と、それぞれ増加することによって上方粗粒化する(第2図)。また、植物片の含有量は、0.3%から0%へと、上部に向かって減少している(第2図)。本堆積相の深度23.2 m以浅からはヌマコダキガイ類、深度19.8 m以浅からはウラカガミとイトカケ類が産出する。砂泥細互層と互層をなすシルト質砂層は、極細・細粒砂の点在する生物攪乱を強く受けたシルトから構成され(第3図h)、その4φよりも粗い碎屑物の含有率はおおよそ50%以上である(第2図)。一方、砂泥細互層は層厚2 cm以下の細粒砂とシルトの平行葉理・層理の互層から構成され(第3図i)、その4φよりも粗い碎屑物の含有率はおおよそ30%以上である(第2図)。砂泥細互層にはカレント・リップル層理とダブルマッドドレイプ、楕円形の生痕化石がみられる。本堆積相の深度23.0 m以浅にはアナジャコ類などによって形成されたと考えられる生痕化石(*Psilonichnus* isp.) (奈良・小竹, 1997)がみられる(第3図j)。

解釈：ヌマコダキガイ類は泥質干潟(中島ほか, 2006)、ウラカガミとイトカケ類は潮下帯(奥谷, 2000)に特徴的に生息する軟体動物である。したがって、本堆積相はヌマコダキガイ類の生息する水深における上方深海化に伴って形成されたと考えられる。一方、リズミカルな砂泥細互層やダブルマッドドレイプは潮汐の影響した堆積環境に特徴的な堆積構造である(Reineck and Singh, 1980; Nio and Yang, 1991)。以上のことから、本堆積相は潮汐の影響した上方深海化する浅海性堆積物と解釈できる。

4.1.5 堆積相AMG6(プロデルタ-デルタフロント堆積物)

掘削深度：16.5～3.6 m (T.P.：-14.8～-1.9 m)

記載：砂質シルト-シルト層から構成される本堆積相は、4φよりも粗い碎屑物の含有率に基づいて、下部と上部の上方粗粒化ユニットに細分できる。本堆積相は全層準を通じて*Psilonichnus* isp.などによる生物攪乱を受けており、その植物片含有率は上部に向かって0%から1.0%へと増加する(第2図)。本堆積相の下部のユニット(深度16.5～9.5 m)は、極細粒砂の点在する生物攪乱を強く受けたシルト-砂質シルト層から構成され、ウラカガミが産出する(第3図k, l)。4φよりも粗い碎屑物の含有率は、上部に向かって20%から50%

へと増加する(第2図)。本堆積相の上部のユニット(深度9.5～3.6 m)は、塊状シルト層-砂泥細互層から構成され、シルト層に挟在する極細粒砂層理と葉理(層厚2～40 mm)の頻度が増加することで上方に粗粒化する(第3図m, n, o)。4φよりも粗い碎屑物の含有率は、上部に向かって10%から40%へと増加する(第2図)。本ユニットの深度9.1 m以深からはウラカガミなどの貝化石が産出する。

解釈：本堆積相は、2つの上方粗粒化サクセションから構成され、上部ユニットの植物片の含有率が上部に向かって増加することから、河川の影響の増大や河口の前進などによって上方浅海化する堆積物であることが解釈できる(Scruton, 1960; Visher, 1965; Ookmens, 1970; Tanabe et al., 2003)。下部ユニットにおいて多産するウラカガミなどの貝化石が、上部ユニットからはあまり産出しないことも、この解釈を支持している。本堆積相と類似した層相は、中川低地の西縁におけるGS-SK-1コアと東京低地東縁におけるGS-KNJ-1コアのプロデルタ-デルタフロント堆積物からも報告されている(石原ほか, 2004a; 田辺ほか, 2006a)(第1図a)。

4.1.6 堆積相AMG7(干潟堆積物)

掘削深度：3.6～2.3 m (T.P.：-1.9～-0.6 m)

記載：本堆積相は、層厚が50～60 cmの極細粒・細粒砂層と層厚が20 cmの泥炭質なシルト層の互層から構成され、全層準を通じて生痕化石がみられる。砂層とシルト層における4φよりも粗い碎屑物の含有率は、それぞれ約90%と約50%以下である(第2図)。砂層中には低角の斜交層理や堆積相AMG8から貫入した植物根が認められる。泥炭質なシルト層には、多くの植物片と細粒砂で充填された楕円形の生痕化石がみられる(第3図p)。

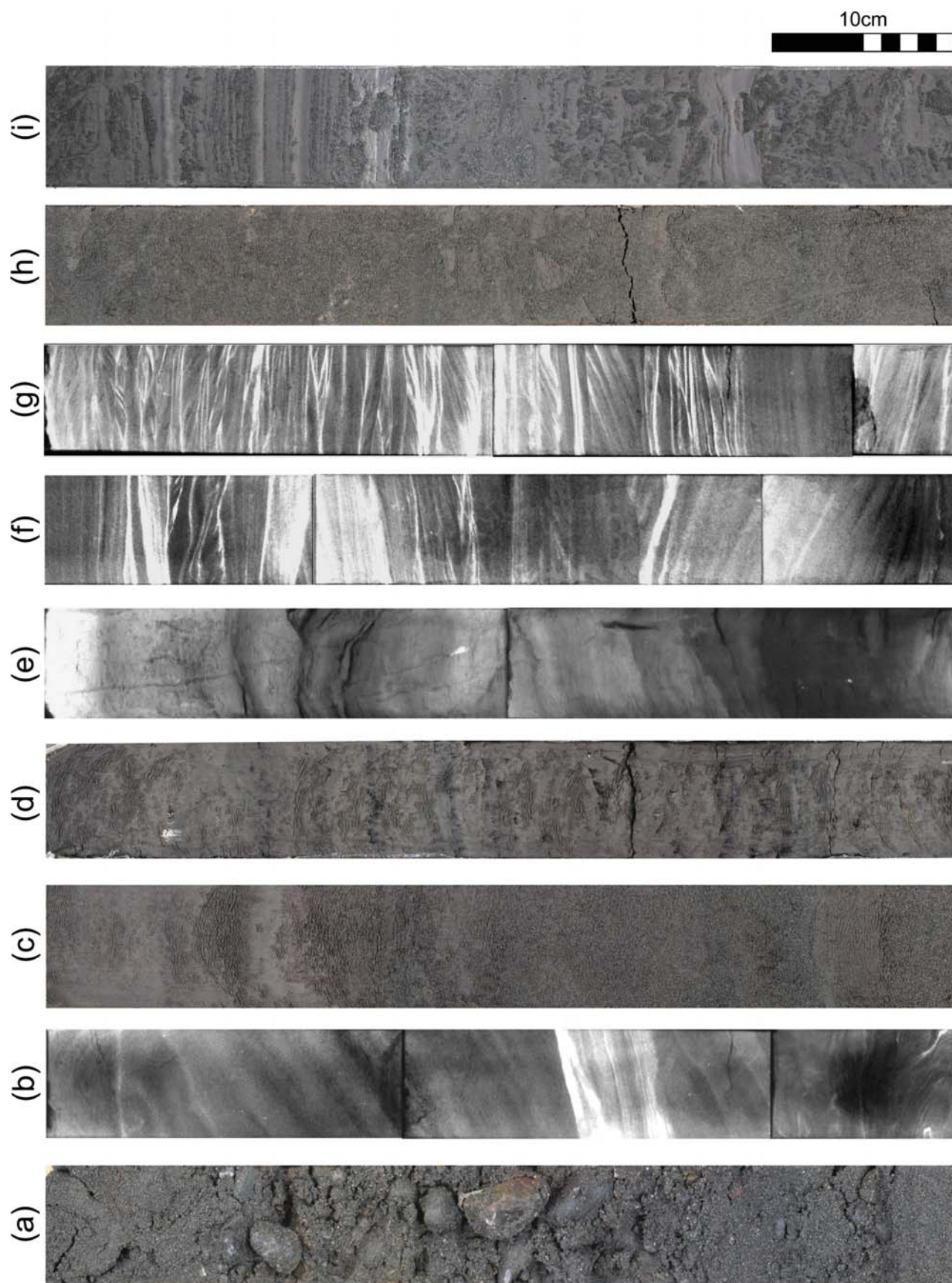
解釈：生痕化石がみられる本堆積相は、プロデルタ-デルタフロント堆積物である堆積相AMG7の上位、そして、陸成層である堆積相AMG9の下位に分布することから、干潟堆積物と解釈できる。生痕化石は一般的に海成層から多く産出する(Pemberton et al., 1992)。

4.1.7 堆積相AMG8(現世の蛇行河川氾濫原堆積物)

掘削深度：2.3～1.8 m (T.P.：-0.6～-0.1 m)

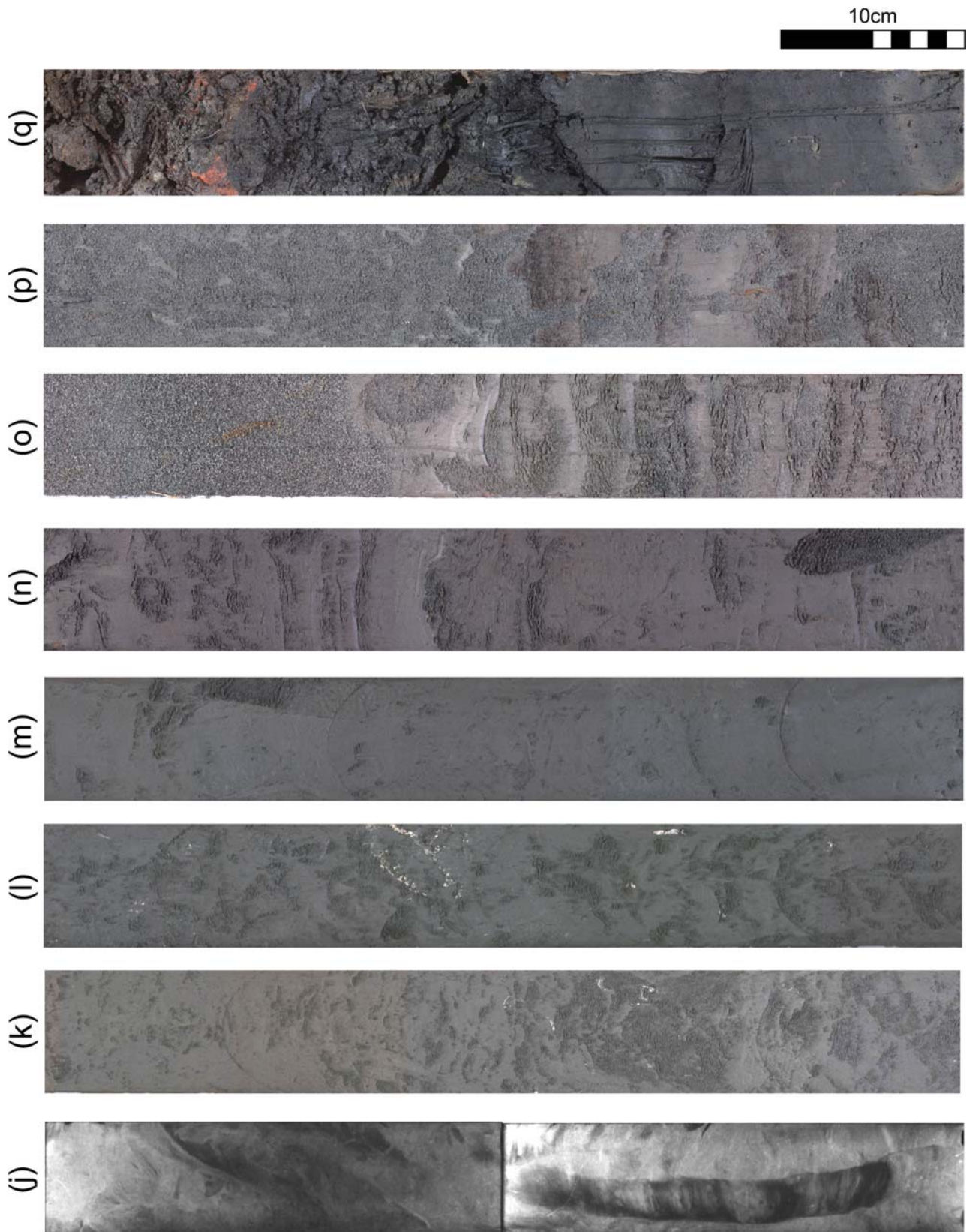
記載：人工物が混在する埋土の直下に分布する本堆積相は、4φよりも粗い碎屑物の含有率がほぼ0%の黒色の泥炭質なシルト層から構成される(第2図, 第3図q)。

解釈：貝化石や生痕化石を含まない本堆積相は、小学校建築前の地表面を形成していた現世の蛇行河川氾濫原の堆積物と考えられる。堆積相AMG8・9境界を高潮面、そして、コアサイトにおける最潮差を現在の東京湾奥と同じ約2 m(宇野木, 1993)と仮定すると、本来、T.P.+1 m付近に分布するはずの堆積相AMG8・9境界がT.P.-0.6 mに分布することから、GS-AMG-1のコアサイトはAMG9が堆積した後に約1.6 m沈下したことになる。



第3図 GS-AMG-1の堆積相の写真。(説明は、p.298に記載.)

Fig. 3 Selected photographs of sedimentary facies identified in GS-AMG-1. (p.298)



第3図 (つづき).
Fig. 3 (continued).

第5図 GS-AMG-1の堆積相の写真. (p.296, 297)

(a) 深度 52.00～52.50 m, 砂質礫層と細礫の点在する中粒砂の互層. (b) 深度 50.20～50.70 m, トラフ型斜交層理砂層. 軟エックス線写真 (陰画). (c) 深度 49.00～49.50 m, 逆級化構造のみられる砂泥互層. (d) 深度 45.00～45.50 m, 泥炭質なシルト層. 写真の上端から約10 cmの層準にみられる白い斑点は藍鉄鉱. 酸化して青紫色に変色した. (e) 深度 46.50～47.00 m, 泥炭質なシルト層. 植物根がみられる. 写真の上部約10 cmに見られる黒い斑点はメタンガスによる可能性のある気泡. 軟エックス線写真 (陰画). (f) 深度 35.35～35.85 m, トラフ型・平板型斜交層理砂層. 軟エックス線写真 (陰画). (g) 深度 34.15～34.65 m, ヘリンボーン構造を示すカレント・リップル層理砂層. 軟エックス線写真 (陰画). (h) 深度 26.40～26.90 m, 生痕化石のみられるシルト質砂層. 写真の下端から約10 cmの層準が堆積相 AMG4・5 境界. (i) 深度 24.00～24.50 m, リズミカルな砂泥細互層. 生物攪乱を受けている. (j) 深度 19.00～19.50 m, シルト質砂層にみられる *Psilonichnus* isp. 軟エックス線写真 (陰画). (k) 深度 16.40～16.90 m, 生物攪乱を受けた砂質シルト層. 写真の上端から約10 cmの層準が堆積相 5・6 境界. (l) 深度 10.40～10.90 m, 生物攪乱を受けた砂質シルト層. 写真中央部に酸によって融解したような合弁のウラカガミがみられる. (m) 深度 8.50～9.00 m, 塊状シルト層. (n) 深度 5.00～5.50 m, 極細粒砂葉理を挟むシルト層. (o) 深度 3.40～3.90 m, 砂泥細互層. 写真の上部約20 cmの砂層は堆積相 AMG7. (p) 深度 2.50～3.00 m, 生痕化石のみられる砂層と泥炭質なシルト層. (q) 深度 1.50～2.00 m, 黒色の泥炭質なシルト層. 写真上半部は人工物が混じる埋土.

Fig. 5 Selected photographs of sedimentary facies identified in GS-AMG-1.

(a) 52.00–52.50 m depth, Alternation of sandy gravel and medium sand. The medium sand bed contains granule. (b) 50.20–50.70 m depth, Trough-cross stratified sand. Radiograph (negative). (c) 49.00–49.50 m depth, Sand-mud alternation. Partly inverse graded. (d) 45.00–45.50 m depth, Peaty silt. Vivianite colored white, 10 cm below from the top of the picture, turned purple after its oxidation. (e) 46.50–47.00 m depth, Peaty silt. Rootlets and methane bubbles can be identified in the top portion of the picture. Radiograph (negative). (f) 35.35–35.85 m depth, Trough- to planner-cross stratified sand. Radiograph (negative). (g) 34.15–34.65 m depth, Bi-directional current-ripple cross-stratified sand. Radiograph (negative). (h) 26.40–26.90 m depth, Silty sand containing burrows. AMG4/5 boundary at 10 cm above from the bottom of this picture. (i) 24.00–24.50 m depth, Rhythmically-laminated sand-mud alternation. Lower half in the picture, bioturbated. (j) 19.00–19.50 m depth, Silty sand containing *Psilonichnus* isp. Radiograph (negative). (k) 16.40–16.90 m depth, Bioturbated sandy silt. AMG5/6 boundary at 10 cm blow from the top of this picture. (l) 10.40–10.90 m depth, Bioturbated sandy silt. *Dosinella angulosa* (Philippi) in the middle portion of this picture is considerably fragile probably because of the pore-water acid. (m) 8.50–9.00 m depth, Massive silt. (n) 5.00–5.50 m depth, Silt intercalated with very fine sand laminations. (o) 3.40–3.90 m depth, Thin-bedded sand-mud alternation. Sand bed of AMG7 in the top portion of this picture. (p) 2.50–3.00 m depth, Peaty silt and sand containing burrows. (q) 1.50–2.00 m depth, Black-colored peaty silt. Artificial soil (AMG9) in the upper half.

4.2 放射性炭素年代

GS-AMG-1から得られた放射性炭素年代値を第1表, そして, その標高・年代分布を第4図に示す. 本節では, 第4図の堆積曲線に基づいて, GS-AMG-1から認定した堆積相の堆積年代と堆積速度を記載する. なお, 堆積速度の計算にあたって, 堆積物の圧密効果は考慮していない.

GS-AMG-1から得られた貝化石と植物片は12,940±100～1,930±70 cal BPの放射性炭素年代値を有する. このうち, 堆積相AMG6の掘削深度3.60 mから得られた植物根は, 堆積曲線による見積もりよりも2,500 cal BP以上新しい年代値を有し, 堆積相AMG9以浅から貫入したと考えられる (第4図). この植物根を除いた放射性炭素年代値に基づく, 堆積相AMG3～AMG9は次の堆積年代と堆積速度を有する. AMG3: 12,430±320～10,060±170 cal BP (0.14～2.33 cm/yr), AMG4: 9,670±130～9,470±70 cal BP (1.07～36.20 cm/yr), AMG5: 8,495±95～8,030±110 cal BP (0.36～5.29 cm/yr), AMG6: 6,660±180～5,390±80 cal BP (0.21～7.13 cm/yr), AMG7: 2,760±50 cal BP, AMG8: 2,245±95 cal BP.

AMG5 (潮汐の影響した上方深海化する浅海性堆積物) から得られた試料のほとんどは, 堆積曲線による見積もりよりも～1,500 cal BP古い放射性炭素年代値を有する (第4図). 植物片と木片のほか, ヌマコダキガイ類と合弁のウラカガミも再堆積した放射性炭素年

代値を有しており, AMG5の大部分が潮流によって削剥・再堆積した碎屑物から構成されることを意味している. また, AMG6 (プロデルタ・デルタフロント堆積物) の6,660±180～5,665±115 cal BPと5,620±150～5,390±80 cal BPにおける堆積速度の増加は, 深度16.5～9.5 mと深度9.5～3.6 mにおける上方粗粒化と植物片含有量の増加と一致しており, 2サイクルのデルタの前進を示していると考えられる (第2図と第4図).

4.3 堆積物物性

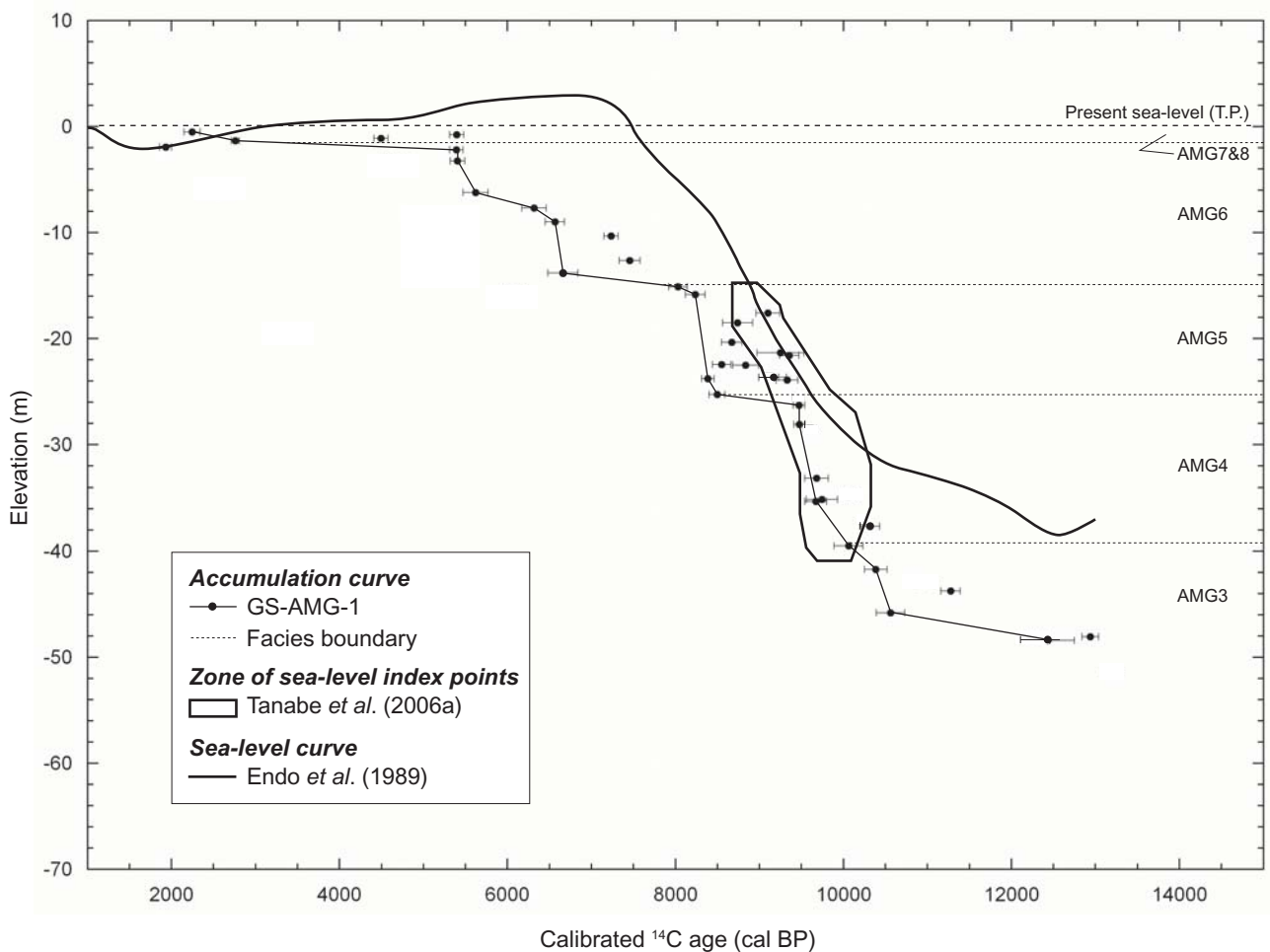
本節では, γ 線透過率と湿潤・乾燥かさ密度を密度として一括し, GS-AMG-1の堆積相ごとの密度と帯磁率, 含水率, 色調 (L^* , a^* , b^*) を記載する. また, GS-AMG-1の南東150 mの地点における標準貫入試験のN値の結果 (田辺ほか, 2005) についても, GS-AMG-1に隣接し, GS-AMG-1の堆積相と良い相関を示すことから, コア堆積物から測定した物性値と併せて記載する. 堆積物物性の垂直変化を第5図に示す.

4.3.1 密度

GS-AMG-1の γ 線透過率は6,000～11,000 cpsの値をとり, これら値は堆積相ごとに次のように変化する. AMG2: 6,000～10,000 cps. AMG3: 7,000～11,000 cps. AMG4: 7,000～10,000 cps. AMG5: 7,000～9,000 cps. AMG6: 8,500～10,000 cps. AMG7: 8,000 cps. AMG8: 8,000～11,000 cps. AMG9: 8,500～11,000 cps (第5図). このうち, AMG2を構成する礫層と

第1表 GS-AMG-1の放射性炭素年代値.
Table 1 Radiocarbon dates obtained from GS-AMG-1.

Depth in core (m)	Elevation (m)	Material	Species	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Measured ^{14}C age (yr BP)	Conventional ^{14}C age (yr BP)	Calibrated ^{14}C age 2σ (cal BP)	Lab #
2.16	-0.49	Wood	—	-32.3±1.2	2350±50	2230±40	2245±95	NIES-TERRA-b081205a03
2.42	-0.75	Wood	—	-33.9±1.2	4830±60	4680±50	5395±85	NIES-TERRA-b081205a04
2.77	-1.10	Plant	—	-31.0±1.1	4120±50	4020±40	4495±85	NIES-TERRA-b081205a05
2.98	-1.31	Plant	—	-27.4±1.3	2670±50	2630±40	2760±50	NIES-TERRA-b081205a06
3.60	-1.93	Root	—	-28.9±1.0	2040±50	1970±40	1930±70	NIES-TERRA-b081205a08
3.83	-2.16	Wood	—	-31.4±1.0	4750±50	4650±40	5390±80	NIES-TERRA-b081205a09
4.90	-3.23	Wood	—	-30.7±1.6	4780±50	4690±50	5405±85	NIES-TERRA-b081205a10
7.88	-6.21	Plant	—	-18.1±4.2	4790±60	4900±80	5620±150	NIES-TERRA-b081205a11
9.35	-7.68	Shell	<i>Dosinella angulosa</i> (Philippi)	+3.1±0.9	5430±80	5890±70	6315±145	NIES-TERRA-b080505a03
10.63	-8.96	Shell (jointed)	<i>Dosinella angulosa</i> (Philippi)	+6.2±1.2	5640±50	6140±40	6565±115	NIES-TERRA-b080505a04
11.97	-10.30	Shell	<i>Dosinella angulosa</i> (Philippi)	+2.4±1.2	6260±50	6700±40	7235±85	NIES-TERRA-b080505a05
14.30	-12.63	Shell (jointed)	<i>Dosinella angulosa</i> (Philippi)	+8.9±1.4	6410±70	6960±70	7455±125	NIES-TERRA-b080505a06
15.46	-13.79	Shell fragments	—	+0.5±1.0	5810±80	6220±70	6660±180	NIES-TERRA-b080505a08
16.75	-15.08	Shell fragments	—	+1.2±1.4	7130±60	7550±50	8030±110	NIES-TERRA-b080505a09
17.50	-15.83	Shell (jointed)	<i>Dosinella angulosa</i> (Philippi)	-0.8±1.0	7370±50	7760±50	8235±115	NIES-TERRA-b080505a10
19.25	-17.58	Shell fragments	—	-1.0±0.9	8060±60	8450±50	9100±140	NIES-TERRA-b080505a11
20.17	-18.50	Shell fragments	—	-3.1±1.9	7840±50	8200±50	8740±180	NIES-TERRA-b080505a13
22.00	-20.33	Plant	—	-25.2±1.1	7880±50	7870±50	8670±120	NIES-TERRA-b082205a29
23.00	-21.33	Shell	<i>Potamocorbula</i> sp.	+0.4±1.6	8210±130	8620±130	9250±280	NIES-TERRA-b080505a14
23.24	-21.57	Shell fragments		-1.2±1.4	8300±60	8690±50	9355±115	NIES-TERRA-b080505a15
24.11	-22.44	Plant	—	-30.0±1.3	7880±60	7800±50	8550±110	NIES-TERRA-b081205a13
24.17	-22.50	Plant	—	-26.2±0.0	7980±40	7960±40	8835±155	Beta-209334
25.31	-23.64	Plant	—	-26.8±0.0	8240±60	8210±60	9165±155	Beta-209335
25.44	-23.77	Plant	—	-24.3±1.2	7570±60	7580±50	8385±175	NIES-TERRA-b081205a14
25.55	-23.88	Wood	—	-27.6±1.3	8350±60	8310±50	9330±130	NIES-TERRA-b081205a15
26.92	-25.25	Wood	—	-27.2±1.4	7750±60	7710±60	8495±95	NIES-TERRA-b081205a16
27.94	-26.27	Wood	—	-32.5±1.6	8570±60	8450±60	9470±70	NIES-TERRA-b081205a19
29.75	-28.08	Wood	—	-31.8±1.2	8570±60	8460±50	9475±65	NIES-TERRA-b082205a30
34.75	-33.08	Wood	—	-28.2±1.9	8730±60	8680±60	9680±140	NIES-TERRA-b081205a20
36.78	-35.11	Wood	—	-26.5±1.4	8790±60	8770±50	9745±185	NIES-TERRA-b081205a21
36.97	-35.30	Wood	—	-30.4±1.4	8790±60	8700±50	9670±130	NIES-TERRA-b081205a22
39.32	-37.65	Plant	—	-34.6±1.0	9290±70	9130±60	10315±115	NIES-TERRA-b081205a24
41.15	-39.48	Plant	—	-37.0±1.2	9140±70	8940±60	10060±170	NIES-TERRA-b081205a25
43.38	-41.71	Plant	—	-31.9±1.2	9340±60	9230±60	10385±135	NIES-TERRA-b081205a26
45.40	-43.73	Plant	—	-30.1±1.7	9920±60	9830±60	11275±115	NIES-TERRA-b081205a27
47.45	-45.78	Wood	—	-32.7±1.3	9480±60	9350±60	10560±170	NIES-TERRA-b081205a29
49.71	-48.04	Wood	—	-27.5±1.1	11020±60	10970±60	12940±100	NIES-TERRA-b081205a30
50.07	-48.40	Wood	—	-38.2±2.7	10710±80	10490±90	12430±320	NIES-TERRA-b081205a31



第4図 GS-AMG-1の堆積曲線

堆積相AMG5（潮汐の影響した上方深化化する浅海性堆積物）からは多くの再堆積した植物片と貝化石が産出し、その年代値は堆積曲線よりも～1,500 cal BP 古くなる。

Fig. 4 Sediment accumulation curve of GS-AMG-1.

AMG5 (tide-influenced deepening-upward shallow-marine sediments) yields abundant reworked plants and shells dated <1,500 cal BP older than the depositional age predicted from the sediment accumulation curve.

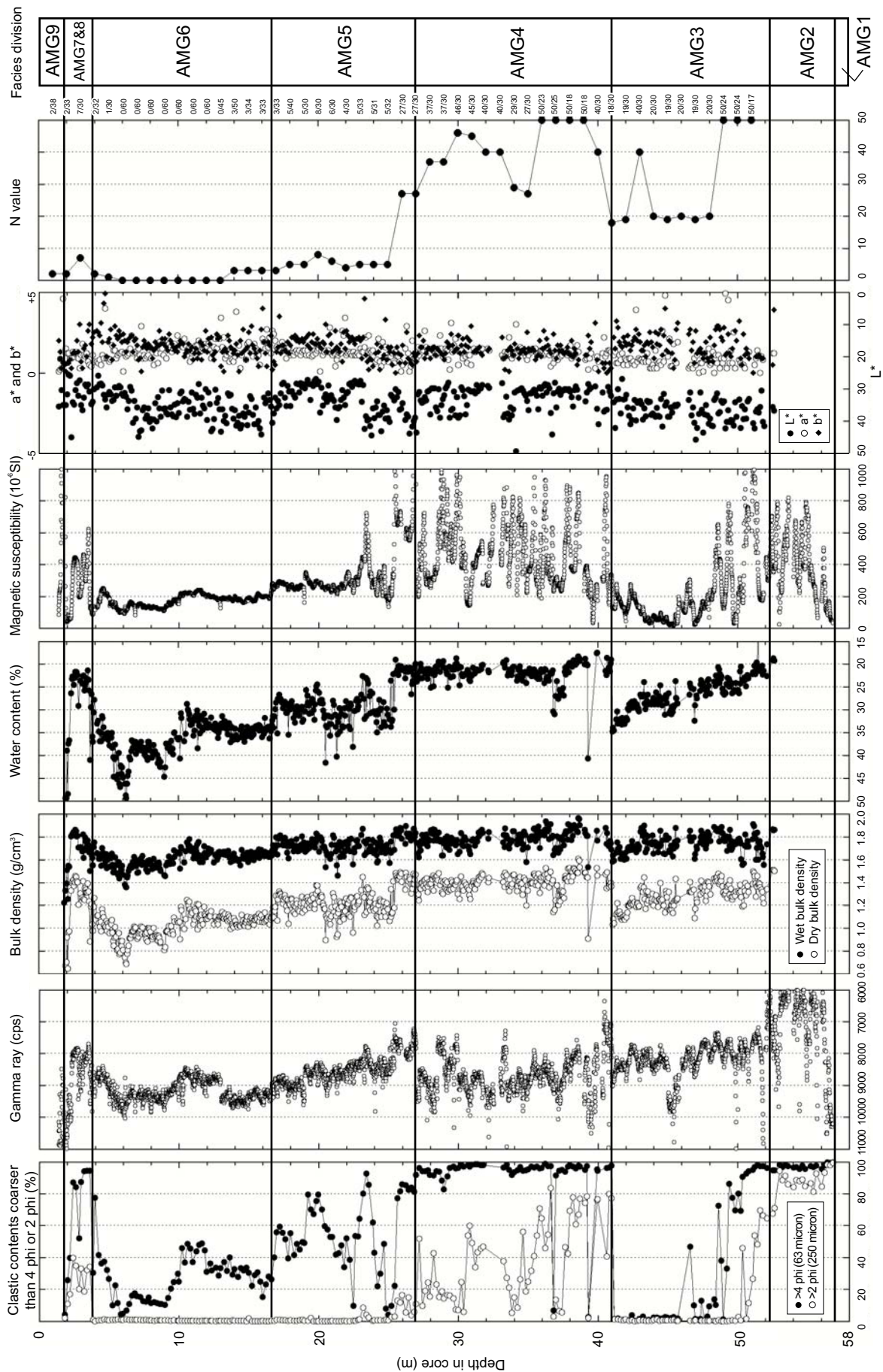
AMG4を構成する砂層については、コア堆積物を採取する際に粒子間隙が変化し、地中状態と比べて γ 線透過率が高く（密度が低く）なった可能性がある。また、AMG3の掘削深度46 m付近における γ 線透過率の正のピークは、氾濫原シルト層中に間隙水で被膜もしくは充填された気泡のような構造が観察されることから、メタンガスの発生と濃集によって生じた低密度層と考えられる（第3図eと第6図）。第3図eや第6図と類似した変形構造は、微生物起源のメタンガスの上昇によって形成された現世の浅海底堆積物からも報告されている（Anderson et al., 1998; Boudreau et al., 2005）。AMG4の深度39.3 m付近に見られる γ 線透過率のピークは、砂層に挟在するシルト層によるものである。AMG5～7の γ 線透過率は4 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率と相関する（第5図）。

GS-AMG-1の湿潤かさ密度と乾燥かさ密度は、それ

ぞれ1.2～2.0 g/cm³と0.6～1.6 g/cm³の値をとる。そして、これら値は堆積相ごとに次のように変化する（以下、湿潤かさ密度、乾燥かさ密度の順に記載）。AMG3: 1.6～1.9, 1.0～1.5 g/cm³。AMG4: 1.5～2.0, 0.9～1.6 g/cm³。AMG5: 1.5～1.9, 0.9～1.5 g/cm³。AMG6: 1.4～1.8, 0.6～1.3 g/cm³。AMG7: 1.8, 1.4 g/cm³。AMG8: 1.2, 0.6 g/cm³。GS-AMG-1のかさ密度は、全層準を通じて4 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率と良い相関を示す（第5図）。

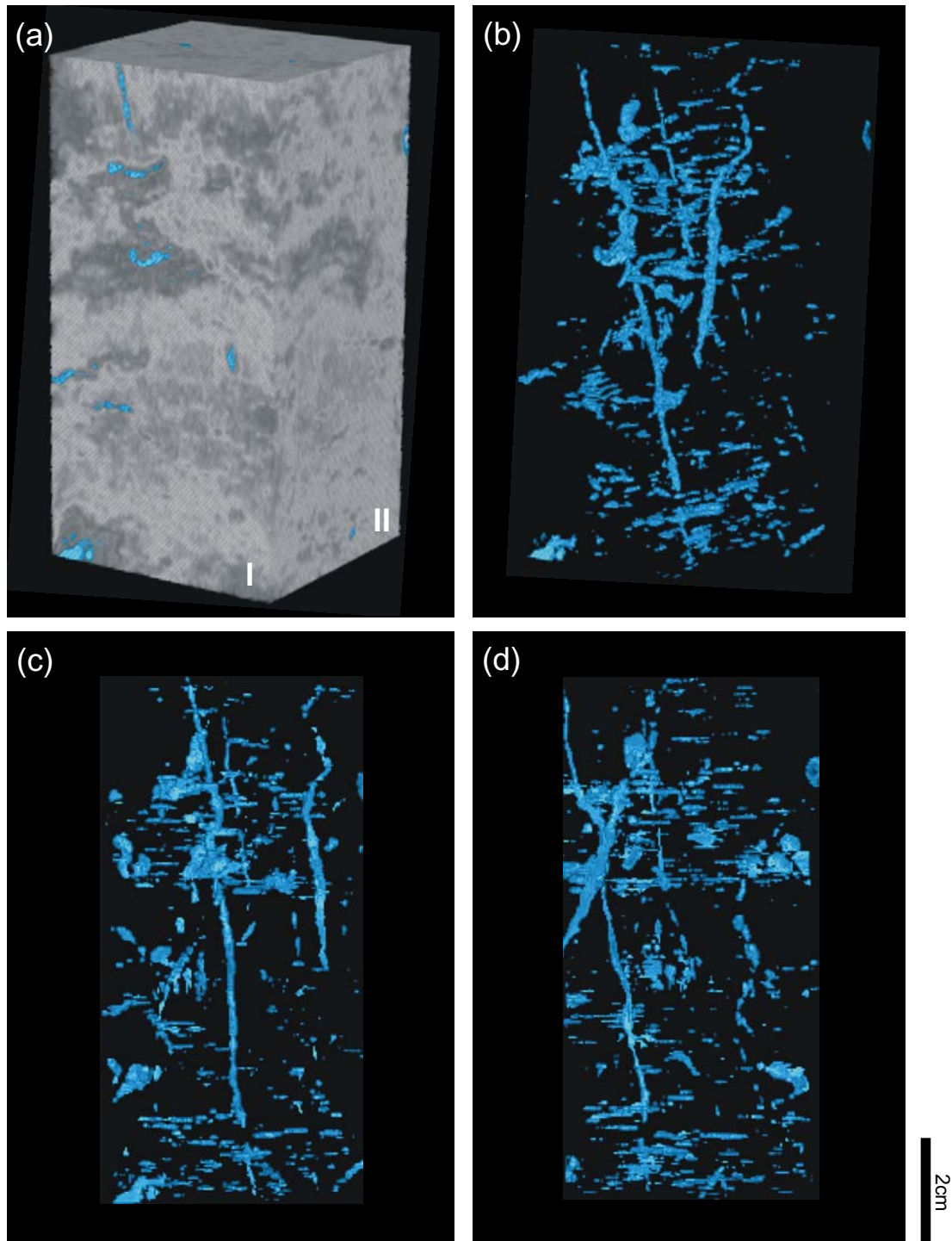
4.3.2 含水率

GS-AMG-1は20～50%の含水率を有する。そして、これら値は堆積相ごとに次のように変化する。AMG3: 20～35%。AMG4とAMG5: 20～40%。AMG6: 30～50%。AMG7: 20～25%。AMG8: 50%。GS-AMG-1の含水率は、全層準を通じて4 ϕ よりも粗い碎屑物の含有率と良い相関を示す（第5図）。そして、4 ϕ よりも粗い



第5図 GS-AMG-1の堆積物物性値。
γ線透過率と帯磁率は半裁した硬化塩化ビニル管 (VU75, JIS K 6741) を含む。N 値は田辺ほか (2005) に基づく。

Fig. 5 Physical properties of GS-AMG-1.
Gamma ray and magnetic susceptibility contain the value of plastic pipes (VU75, JIS K 6741) split in half. N values, after Tanabe *et al.* (2005).



第6図 堆積相 AMG3 (蛇行河川氾濫原堆積物) の X 線 CT 画像。

掘削深度：46.2～46.3 m. 1 mm 間隔のスライス画像を重ね合わせ、コア堆積物の芯の部分を 5 cm 四方にくり貫いて表示した。VGstudio MAX (Volume Graphics 製) を用いて作成した。(a) コア堆積物の 3 次元画像。画像の濃淡は CT 値。CT 値が 0 以下の濃色部は水色で示した。(b) (a) の着色部分の 3 次元透視画像。画面上の斑点はメタンガスによる気泡の可能性がある。垂直方向の線は植物根。それぞれ間隙水によって充填もしくは被膜されている。(c) I の面からみた(a)の着色部分の 2 次元透視画像。(d) II の面からみた(a)の着色部分の 2 次元透視画像。レンズ状の気泡が植物根によって繋がっているように見える。

Fig. 6 X-ray CT images of AMG3 (meandering-river floodplain sediments).

Depth in core: 46.2–46.3 m. Stack of the 1 mm-slice X-ray CT images. 5×5×10 cm wide. Core portion of the whole-round core sediments. Images created by using VGstudio MAX (Volume Graphics Inc.). (a) 3D image of the core sediments. Gray-scale indicates CT-value. The dark- and blue-colored portions, respectively, yield relatively low CT-value and CT-value of <0. (b) 3D transparent-image of the blue-colored portion in (a). Small dots and vertical lines, respectively, indicate methane bubble and rootlets filled/covered with water. (c) 2D transparent-image from side I in (a). (d) 2D transparent-image from side II in (a). Lenticular-shaped bubbles are connected with rootlets.

碎屑物の含有率がほぼ0%の層準については、植物片の含有量や粒子間隙の違いの影響を受けていると考えられる。例えば、4φよりも粗い碎屑物の含有率がほぼ0%のAMG3の深度45.7～41.1 mとAMG5の深度25.0 m、AMG6の深度5.8 m、AMG8の深度1.8 mに着目した場合、その含水率は、AMG3 (29～34%)、AMG5 (34%)、AMG6と8 (47～51%)の順に大きくなる(第5図)。植物片の含有量は、AMG3が0～1%、AMG6と8が1%であるのに対し、AMG5がほぼ0%である(第2図)。したがって、AMG6と8とAMG5の違いについては陸源高等有機物の含有量が影響していると考えられる。AMG6と8とAMG3の違いについては、植物片の含有量が変わらないことから、七号地層と有楽町層相当層の粒子間隙率の違いが影響していると考えられる(東京都土木技術研究所, 1977)。

4.3.3 帯磁率

GS-AMG-1は約0～1,000 μ SIの帯磁率を有する。そして、これら値は堆積相ごとに次のように変化する。AMG2: 0～800 μ SI。AMG3とAMG4: 0～1,000 μ SI。AMG5: 200～1,000 μ SI。AMG6: 100～200 μ SI。AMG7: 200～600 μ SI。AMG8: 100 μ SI。AMG9: 100～1,000 μ SI。このうち、泥層が卓越するAMG3、AMG5、AMG6、AMG8については、4φよりも粗い碎屑物の含有率と相関する。そして、砂層が卓越するAMG4とAMG7については、帯磁率と2φよりも粗い碎屑物の含有率が相関する(第5図)。しかし、AMG4とAMG7の2φよりも粗い碎屑物の含有率が約20%の層準を対比した場合、前者の帯磁率が1,000 μ SIに近いのに対し、後者は500 μ SI程度である(第5図)。この違いはAMG4とAMG7の碎屑物供給源の違いを反映しており、利根川の荒川低地から中川低地への流路変遷(菊地, 1981; 平井, 1983)を示している可能性がある。

4.3.4 色 調

GS-AMG-1の L^* , a^* , b^* は、それぞれ、20～54, 0.0～8.4, 0.0～8.9の値をとる。そして、これら値は堆積相ごとに次のように変化する(以下、 L^* , a^* , b^* の順に記載)。AMG3: 27～46, 0～7.8, 0～6.8, AMG4: 28～50, 0.2～8.4, 0～8.9, AMG5: 27～50, 0.1～6.5, 0～7.2, AMG6: 29～54, 0.1～8.2, 0.1～4.0, AMG7: 27～45, 0.3～1.8, 0.3～2.6, AMG8: 22～35, 0.9～1.5, 0.1～0.8, AMG9: 20～35, 0.1～4.6, 0.3～2.0(第5図)。

4.3.5 N 値

GS-AMG-1の南東約150 mの地点における標準貫入試験のN値は0～50の値をとる。AMG1とAMG2に相当する層準のN値は建築物の支持層以深に分布するので測定されていない。これらN値はGS-AMG-1の堆積相ごとに次の値をとる。AMG3: 20～50, AMG4: 30～50, AMG5: 5～25, AMG6: 0～5, AMG7: 5, AMG8

とAMG9: 0。N値の垂直変化は、4φと2φよりも粗い碎屑物の含有率と相関性がある(第5図)。泥が卓越するAMG5とAMG6については4φ、そして、砂が卓越するAMG4に関しては2φよりも粗い碎屑物の含有率とそれぞれ相関する。しかし、AMG3の河成シルト層に関しては、AMG6の海成シルト層と比べ、全体的に高いN値を有する(第5図)。この違いについては、含水率と同じように、七号地層と有楽町層相当層の粒子間隙率の違いが影響していると考えられる(東京都土木技術研究所, 1977)。AMG3の深度43 mにおけるN値のピークは、層厚が1 m未満であることから、蛇行河川氾濫原堆積物を構成し、GS-AMG-1採取地点の側方に分布するクレバススプレー砂層に相当すると考えられる(第5図)。

5. 考 察

5.1 既存層序との対比

本節では、Matsuda (1974)の地質断面とGS-AMG-1から認定した堆積相を対比する。GS-AMG-1の約5 km上流に位置する沖積層は、荒川開析谷の軸部において、下位より、基底礫層(BG)、下部砂層(LS)、下部泥層(LC)、中間砂層(MS)、上部泥層(UC)、上部砂層(US)、最上部陸成層(UA)から構成される(第1図c)(Matsuda, 1974)。

BGは堆積相AMG2(網状河川チャネル堆積物)に対比できる。しかし、BGはT.P.-50～-40 mに分布しており、AMG2(T.P.-56～-50 m)と比べて浅い。両者の分布深度の違いは荒川開析谷の勾配の違いを示している可能性がある。

LCとLSは、それぞれ堆積相AMG3(蛇行河川氾濫原堆積物)とAMG4(潮流の影響した河川チャネル堆積物)に対比できる。しかし、貝化石を含まない陸成層のLCの標高約-30 m以浅に分布するもの(第1図c)については、AMG4が干潟堆積物と指交関係にあることが予想され、海成層から構成され则认为される。

MSは堆積相AMG5(潮汐の影響した上方深海化する浅海性堆積物)に対比できる。第1図cにおけるMSはT.P.-25～-20 m、AMG5はT.P.-25～-15 mに分布しており、両者の分布深度もほぼ一致する。しかし、MSは貝殻と木片混じりの砂・砂質シルト層から構成されるのに対し(Matsuda, 1974; 松田, 1993)、AMG5は砂泥細互層とシルト質砂層の互層から構成され(第2図)、両者の層相は大きく異なる。AMG5は、潮汐の影響によって形成された堆積構造と多くの再堆積した貝化石を有し、植物片の含有量が2～4 m厚の上方粗粒化サクセションにおいて上部に向かって減少する(第2図と第4図)。よって、AMG5は、流速と海水の影響が増加する、潮流によるベッドフォームによって形成さ

れた可能性が高い。その一方で、MSは、東京低地中央部においてGS-KM-1コアの海進砂、東京低地東縁においてGS-KNJ-1コアとGS-KTS-1コアの砂嘴堆積物と対比される(田辺ほか, 2006a; 2006b)(第1図a)。これら層相は完新世中期の海水準高頂に至る上方深海化相によって構成される。しかし、その岩相と分布、形成機構については、今後、堆積地域ごとに検討していく必要がある。

UCとUSは堆積相AMG6(プロデルタ-デルタフロント堆積物)に対比できる。AMG5・6境界はGS-AMG-1においてT.P.-15 mに分布しており、この境界を境として、上方細粒化相が上方粗粒化相に転ずる(第2図)。この粒度変化は第1図cのUCにも存在する可能性がある。

UAは堆積相AMG7(干潟堆積物)とAMG8(現世の蛇行河川氾濫原堆積物)に対比できる。AMG7とAMG8は荒川左岸のUSの直上に泥層が累重する層相に近い(第1図c)。

5.2 ラビーンメント面の形成機構

埋土を除いたGS-AMG-1の沖積層は、下位より、網状河川チャンネル堆積物(AMG2)、蛇行河川氾濫原堆積物(AMG3)、潮流の影響した河川チャンネル堆積物(AMG4)、潮流の影響した上方深海化する浅海性堆積物(AMG5)、プロデルタ-デルタフロント堆積物(AMG6)、干潟堆積物(AMG7)、現世の蛇行河川氾濫原堆積物(AMG8)から構成され、GS-AMG-1の堆積相サクセションはAMG5・6境界を挟んで1回の上方深海化と上方浅海化を示している(第2図)。上方深海化する堆積相サクセションの中のAMG3・4境界は、潮流の影響した河川チャンネルによって形成された潮汐ラビーンメント面(Tidal ravinement surface: Allen and Posamentier, 1993)とみなせる。そして、AMG4・5境界は、潮間帯の堆積環境であるAMG4が潮下帯のAMG5へ深海化したことによって形成された。AMG4・5境界は生物攪乱を受けているため不明瞭である(第3図h)。しかし、境界面直上の泥分含有率(100% - 4φよりも粗い碎屑物の含有率)は約20%で、東京低地中央部のGS-KM-1コアや東京低地東縁のGS-KTS-1と同様の層相を呈する(第1図aと第2図)。よって、AMG4・5境界は奥東京湾(貝塚, 1979)の静振によって形成された軽微なラビーンメント面(Ravinement surface: Nummedal and Swift, 1987)である可能性が高い(斎藤, 2006; 田辺ほか, 2006a; 2006b)。なお、AMG4・5境界は、AMG5基底の木片が8,495±95 cal BPの放射性炭素年代値を有することから、海水準変動曲線との対比に基づいて、16 m以浅の水深で形成されたことが分かる(第4図)。AMG3・4、AMG4・5、AMG5・6境界の分布深度と形成年代は、それぞれ深度41.0 m(T.P.-39.3

m): 10,060±170~9,670±130 cal BP、深度26.9 m(T.P.-25.2 m): 9,470±70~8,495±95 cal BP、深度16.5 m(T.P.-14.8 m): 8,030±110~6,660±180 cal BPである。

これら堆積相境界の形成は、最終氷期最盛期以降の海水準変動と深い関わりを持っている。AMG3・4境界の潮汐ラビーンメント面とAMG4・5境界のラビーンメント面は、いずれも最終氷期最盛期以降の海水準の上昇に伴う深海化によって形成された(第4図)。一方、AMG5・6境界の形成年代は完新世の海水準高頂期(約6,000~7,000 cal BP)とほぼ一致する。しかし、AMG4・5境界の形成については海水準変動以外の要因も関係していたと考えられる。一般に土砂供給量が一定のもと海水準の上昇速度が低下する場合、堆積空間の埋積速度が増加するので、堆積相のサクセションは上方浅海化する。しかし、AMG4・5境界は、約9,500 cal BPを境として海水準上昇速度が約30 mm/yrから約10 mm/yrに低下しているにも関わらず、境界面付近における約9,500~8,500 cal BPの古水深が潮間帯から16 mに増加している(第4図)。このような古水深の増加には、堆積空間の増加による埋積速度の低下が関わっていると考えられる。

GS-AMG-1のAMG4・5境界と対比されるラビーンメント面は、東京低地のボーリングコア堆積物において次の分布深度と形成年代を有する。GS-KM-1: T.P.-32.9 m, 9,900~7,700 cal BP(田辺ほか, 2006b)。GS-KTS-1: T.P.-31.9 m, 9,600~9,300 cal BP(田辺ほか, 2006a)。AMG4・5境界の分布深度と形成年代はT.P.-25.2 mと9,500~8,500 cal BPなので、これら堆積相境界は、GS-KM-1, GS-KTS-1, GS-AMG-1の順に、内陸のコアほど分布深度が浅く、形成年代が若い、時間面と斜交する堆積相境界を形成していることが分かる。そして、その分布深度は各コア地点付近の埋没段丘面の分布深度とほぼ一致する(第1図a, c)。AMG4・5境界と対比される東京低地のラビーンメント面は、海水準上昇速度の緩急とは関係がなく、堆積空間が埋没段丘面上に広がったことによって、各コア地点における埋積速度が低下し、形成された可能性が高い。なお、古利根川は約4千年前に荒川低地から加須低地と中川低地にその流路を変遷したことが知られている(菊地, 1981; 平井, 1983)が、GS-KM-1, GS-KTS-1, GS-AMG-1における堆積相境界は、いずれも堆積速度が極めて小さいコンデンスセクション(凝縮層)(Loutit *et al.*, 1988)を形成していることから、各コア地点におけるラビーンメント面の形成時期に大規模な利根川の流路変遷と土砂供給量の変動があったとは考えにくい。

このように、AMG4・5境界と対比される東京低地のラビーンメント面は、最終氷期最盛期以降の海水準上昇と沖積層の基盤地形に規制された堆積空間の埋積速

度の低下によって形成されたと考えられる。しかし、その要因については、ボーリングコア堆積物や既存の柱状図資料などのフィールドデータに基づいた解釈だけでは不十分で、今後は、地層形成シミュレーションを併用した定量的な解析が必要になる。

6. まとめ

東京都足立区本木地区において掘削したGS-AMG-1ボーリングコア堆積物の詳細な岩相と生物化石相と放射性炭素年代の測定、物性の測定の結果、次のことが明らかになった。

(1) GS-AMG-1は堆積相AMG1(中・上部更新統下総層群)とそれに不整合に累重する沖積層から構成される。沖積層は、下位より、堆積相AMG2(網状河川チャンネル堆積物)、AMG3(蛇行河川氾濫原堆積物)、AMG4(潮流の影響した河川チャンネル堆積物)、AMG5(潮汐の影響した上方深海化する浅海性堆積物)、AMG6(プロデルタ-デルタフロント堆積物)、AMG7(干潟堆積物)、AMG8(現世の蛇行河川氾濫原堆積物)、AMG9(埋土)に区分される。従来、沖積層の下部砂層(LS)とされてきた、荒川流域末端のT.P.-20 m以深の厚層砂礫層はAMG4に対比される。

(2) GS-AMG-1の沖積層は $12,940 \pm 100 \sim 2,245 \pm 95$ cal BPの堆積年代を有する。このうち、AMG5(潮汐の影響した上方深海化する浅海性堆積物)は堆積年代による見積もりよりも $\sim 1,500$ cal BP古い放射性炭素年代値を有する植物片と合弁のウラカガミを多く含んでおり、潮流によって削剥・再堆積したと考えられる。

(3) GS-AMG-1の沖積層の密度と含水率、N値は、 $4 \varphi(63 \mu\text{m})$ と $2 \varphi(250 \mu\text{m})$ よりも粗い碎屑物の含有率と相関する。AMG4とAMG7を構成する砂層は、その粒度特性が近似するにも関わらず、それぞれ $0 \sim 1,000 \mu\text{SI}$ と $200 \sim 600 \mu\text{SI}$ の帯磁率を有する。この帯磁率の違いは利根川の荒川低地から中川低地への流路変遷を示している可能性がある。

(4) 上方深海化サクセッションAMG2～5は最終氷期最盛期以降の一連の海水準上昇、そして、上方浅海化サクセッションAMG6～8は完新世における海水準高頂期以降の海水準の安定、もしくは緩やかな低下に伴ってコア地点に堆積したと考えられる。AMG3・4境界とAMG4・5境界は、それぞれ潮汐と静振によって形成されたラビーンメント面として認定され、次の分布深度と形成年代を有する。AMG3・4境界：T.P.-39.3 m, $10,060 \pm 170 \sim 9,670 \pm 130$ cal BP。AMG4・5境界：T.P.-25.2 m, $9,470 \pm 70 \sim 8,495 \pm 95$ cal BP。上方深海化サクセッションが浅海化に転ずる、AMG5・6境界の分布深度と形成年代はT.P.-14.8 mと $8,030 \pm 110 \sim 6,660 \pm 180$ cal BPである。

謝辞:GS-AMG-1の採取にあたって、東京都立本木東小学校の教員の方々と中央開発(株)の細矢卓司氏には多くの便宜を図って頂きました。また、コア堆積物の半割と試料採取を地質情報研究部門の内山美恵子博士に手伝って頂きました。X線CT画像の撮影の際には地質情報研究部門の池原 研博士に、そして、放射性炭素年代測定の際には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 亮氏にお世話になりました。地質情報研究部門の田村 亨博士には査読を通じて適切なお指摘を頂きました。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.
- Anderson, A.L., Abegg, F., Hawkins, J.A., Duncan, M.E. and Lyons, A.P. (1998) Bubble populations and acoustic interaction with the gassy floor of Eckenfröde Bay. *Cont. Shelf Res.*, **18**, 1807-1838.
- Boudreau, B.P., Algar, C., Johnson, B.D., Croudace, I., Reed, A., Furukawa, Y., Dorgan, K.M., Jumars, P.A., Grader, A.S. and Gardiner, B.S. (2005) Bubble growth and rise in soft sediments. *Geology*, **33**, 517-520.
- 中条純輔 (1962) 古東京川について一音波探査による一。地球科学, **59**, 30-39.
- Collinson, J.D. (1996) Alluvial sediments. In Reading, H.G. ed., *Sedimentary Environments: Processes, Facies, and Stratigraphy*. 3rd Ed., Blackwell Sci. Publ. 37-82.
- 遠藤邦彦・関本勝久・高野 司・鈴木正章・平井幸弘 (1983) 関東平野の沖積層。アーバンクボタ, no. 21, 26-43.
- 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.
- 平井幸弘 (1983) 関東平野中央部における沖積低地の地形発達。地理評, **56**, 679-694.
- 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 (1997) X線CT装置を用いた地質試料の非破壊観察と測定 (1) -X線CT装置の原理・概要と断面観察-. 地質ニュース, 516, 50-61.
- 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.
- 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.
- 菊地隆男 (1981) 先史時代の利根川水系とその変遷. アーバンクボタ, no. 19, 2-5.
- 木村克己 (2004) 巻頭言:都市地質研究の展開. 地調研報, **55**, 181-182.
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E. (1993) A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements. *Radiocarbon*, **35**, 295-300.
- 国立天文台 (編) (2001) 理科年表2001. 丸善, 1064p.
- 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.
- Loutit, T.S., Hardenbol, J., Vail, P.R. and Baum, G.R. (1988) Condensed sections: the key to age determination and correlation of continental margin sequences. In Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. and van Wagoner, J.S., eds., Sea-level changes: An integrated approach. *SEPM Spec. Publ.*, no. 42, 183-213.
- 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. (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・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, 19-33.
- 奈良正和・小竹信宏 (1997) 中一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.
- 奥谷喬司 (2000) 日本近海産貝類図鑑. 東海大学出版会, 1173p.

- Ookmens, E. (1970) Depositional sequences and sand distribution in the postglacial Rhone delta complex. In Morgan, J.P. ed., *Deltaic Sedimentation: Modern and Ancient*, SEPM Spec. Publ., no. **15**, 198-212.
- 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.
- 斎藤文紀 (2006) 沖積層研究の魅力と残された課題. 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, 205-212.
- 坂井陸郎 (1987) 荒川本流の河川勾配と横断面. 埼玉県 (編), 荒川—荒川総合調査報告書 1—, 埼玉県, 313-342.
- 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 ^{14}C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.
- Tanabe, S., Saito, Y., Sato, Y., Suzuki, Y., Sinsakul, S., Tiyaipairach, S. and Chaimanee, N. (2003) Stratigraphy and Holocene evolution of the mud-dominated Chao Phraya delta, Thailand. *Quat. Sci. Rev.*, **22**, 789-807.
- 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・中島 礼・中西利典・石原与四郎・宮地良典・木村克己・中山俊雄・柴田康行 (2006a) 東京都葛飾区における沖積層の堆積相と堆積物物性: 東京都湾口の砂嘴の時空間分布. 地調研報, **57**, 261-289.
- 田辺 晋・石原園子・中島 礼・宮地良典・木村克己 (2006b) 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.
- Visher, G.S. (1965) Use of vertical profile in environmental reconstruction. *AAPG Bull.*, **49**, 41-61.
- 山本晃一 (2004) 構造沖積河川学—その構造特性と動態—. 山海堂, 690p.
- 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 ^{14}C measurements and preparative techniques at NIES-TERRA. *Nucl. Instr. and Meth. B*, **223-224**, 116-123.

(受付: 2006 年 8 月 21 日; 受理: 2006 年 12 月 25 日)