

茨城県鹿島台地・大洋村田塚における
第四系下総層群木下層の堆積シーケンスと軟体動物化石*

横山芳春**・安藤寿男***・森 大規***

(2001年3月15日受理)

**Depositional Sequence and Molluscan Fossils
of the Quaternary Shimosa Group in the Tazuka,
Taiyo Village, Kashima Upland, Ibaraki Prefecture, Japan***

Yoshiharu YOKOYAMA**, Hisao ANDO*** and Daiki MORI***

(Accepted March 15, 2001)

Abstract

The depositional facies and molluscan faunal successions of the late Pleistocene Kioroshi Formation, Shimosa Group at the Tazuka outcrop section, Taiyo Village, Ibaraki Prefecture, reveal the presence of two parasequences (PS1 and PS2) in contrast to previous studies that interpreted the formation by a single sequence. It unconformably overlies the Yabu Formation and consists of seven units, A to G. Units A and B constitute PS1 with an erosional sequence boundary and transgressive lags (unit A) and an upward-fining facies succession of inner shelf to lower shoreface facies (B). Molluscan assemblages from shell beds 2 to 5 in unit B indicate an upward-deepening (transgressive) trend according to the bathymetrical ranges of equivalent Recent bivalves. PS2 is composed of lagoonal facies (D) with a basal bay ravinement surface and transgressive lags (C), and an upward-coarsening facies succession (E-G) of lower shoreface to backshore facies with a basal wave ravinement surface (E). The Kioroshi Formation appears to have been formed by two small-scale sea-level changes reflecting global glacial eustasy during the oxygen isotope stage 5e.

Key words: Shimosa Group, Kioroshi Formation, Pleistocene, Kashima Upland, molluscan fossil, sedimentary facies, sequence stratigraphy.

はじめに

茨城県南東部の鹿島台地には、最終間氷期の汎世界的な海水準変動を反映した上部更新統下総層群木下層が広く分布している。木下層は、下末吉海進時に出現した古東京湾 (Yabe, 1931) を埋積した浅海成堆積物

を主体とし、近年では堆積相解析の進展に伴いバリアー島システムの堆積物の存在が報告され (牧野・増田, 1989; 岡崎・増田, 1992; Murakoshi and Masuda, 1992 など)、シーケンス層序学的観点に基づいた考察がなされている。この結果、木下層は下末吉海進に伴う1回の海進-海退サイクルにより形成された堆積物

* 本研究の一部は文部省科学研究費 (基盤 C, 課題番号: 10640446, 代表者: 安藤寿男) によって実施された。

** 茨城大学大学院理工学研究科 (〒 310-8512 水戸市文京2-1-1; Graduate School of Science and Technology, Ibaraki University, Mito 310-8512, Japan).

*** 茨城大学理学部地球生命環境科学科 (〒 310-8512 水戸市文京 2-1-1; Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Ibaraki University, Mito 310-8512, Japan).

であると解釈されている。

茨城県下における木下層は軟体動物化石を多産することから、真野（1965）以降多くの研究例があり、その軟体動物化石群集の概要は成田層研究会・茨城地学会（1998）により集大成されている。しかし、軟体動物化石密集層の堆積シーケンス中における位置付けや堆積相との詳細な対比、また露頭レベルの詳細な観察に基づいた形成論に関しては十分に研究されているとは言い難い状態にあり、村越（1999）による大洋村阿玉の研究例があるに過ぎない。

本研究では、鹿島台地西側斜面北部に位置する鹿島郡大洋村田塚（図1）の露頭において、詳細な堆積相の記載を行うとともに、産出する軟体動物化石密集層における二枚貝を対象とした群集解析を実施した。田塚では木下層の多くの層準に多数の軟体動物化石を挟在することから、下末吉海進期における精度の高い古環境復元が期待できる。

その結果、従来一連のサイクルで説明付けられていた本地域の木下層に、顕著な海面低下と引き続く海面上昇の形跡が認められた。このことは、下末吉海進期に発生した、短い周期の海面変動に起因したパラシーケンスを反映しているものと考えられる。また、軟体動物化石密集層は海進時に形成された海進ラグ化石層、ストームに起因した単一イベント化石層および多重イベント化石層、散在的な現地性の化石層に区分できた。

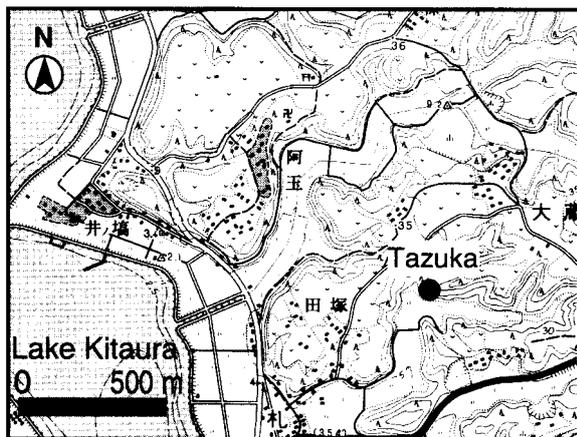


図1. 調査露頭位置。国土地理院発行2万5千分の1地形図「鉾田」を使用。

Fig. 1. Locality of the studied outcrop. Base map is after 1:25,000-scale topographic map "Hokota" by Geographical Survey Institute of Japan.

地形・地質概説

鹿島台地は茨城県南東部に位置し、北浦と鹿島灘に挟まれた北北西-南南東に伸びる標高40 m程度の台地である。鹿島台地中軸部は関東ローム層と下総層群から形成され、標高は台地中部で44~45 mと最も高く両翼では35~38 m程度と低下する傾向があり、台地縁辺では段丘崖に切られている。

鹿島台地を形成する下総層群は、下位より藪層、木下層、常総層に対比されている（岡崎，1992）。鹿島台地南部における木下層には東西方向に伸びる解析谷地形が知られており（真野，1965；岡崎，1992など）、厚い泥層が埋積している。このような谷地形は、酸素同位体比ステージ6の水期に開析され、その後の下末吉海進時（ステージ5e）初期にエスチュアリーとして埋積されたものと推定されている（Okazaki and Masuda, 1995）。このようなエスチュアリーシステムの形成後、海水準の上昇に伴って出現したバリアー島システム、海退時に形成された浜堤平野システムにより木下層が形成されたものと解釈されている（Mura-koshi and Masuda, 1992）。

鹿島台地南部における木下層には、とくに海進の進行に伴い潮流堆積物が堆積し、潮汐チャンネル、潮流口を伴うバリアー島システムが発達したと解釈されている（岡崎，1992）。また、村越（1999）は、本報告の田塚露頭の北西400 mに位置する大洋村阿玉で、本論のユニットAと同じ層準における海進ラグ堆積物における軟体動物化石密集層の堆積プロセスについて考察している。さらに、阿玉ではNakazato *et al.* (1993)により、木下層基底の礫層中から産出した *Spisula sachalinensis* のESR年代測定が実施されており、160 ± 19 Kaという年代値が得られている。

堆積相

大洋村田塚における総合柱状図を示す（図2）。田塚は高さ14 m、幅30 m程度の露頭であり、露出する下総層群は下位より藪層、木下層に区分できる。ここでは、木下層を堆積相の特徴からA~Gの7のユニットに分類した。

1. 藪層

露頭下部は木下層に不整合に覆われる藪層からな

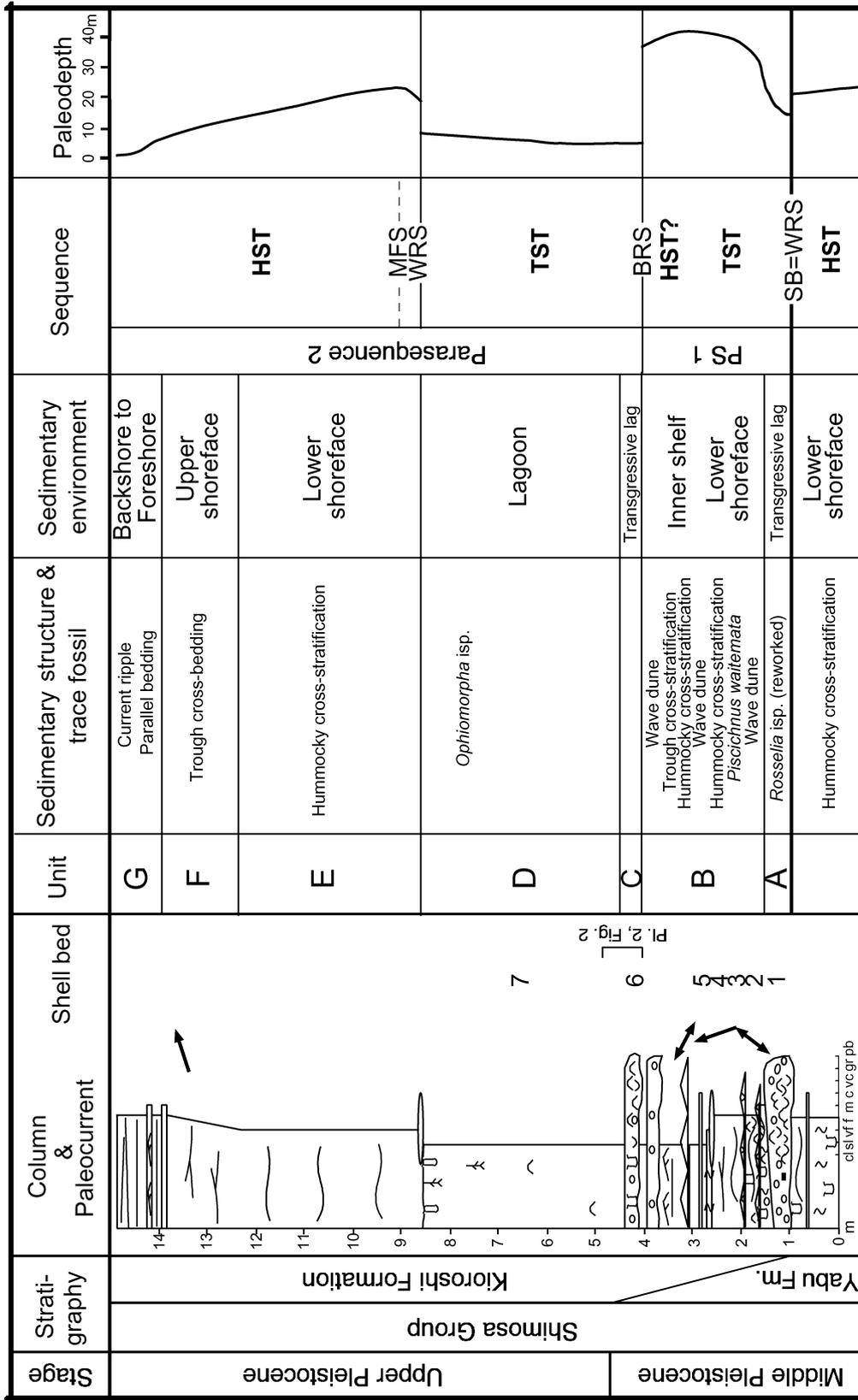


図 2. 茨城県大洋村田塚における地質柱状図。HST: 高海水準期堆積体, TST: 海進期堆積体, SB: シーケンス境界, WRS: 波浪ラビメント面, BRS: 内湾ラビメント面, MFS: 最大海泥蓋面。

Fig. 2. Geological columnar section at Tazuka, Taiyo Village, Ibaraki Prefecture. HST: highstand systems tract, TST: transgressive systems tract, SB: sequence boundary, WRS: wave ravinement surface, BRS: bay ravinement surface, MFS: maximum flooding surface.

る。藪層は鹿島台地周辺の台地下部に広く分布しており、木下層に不整合に覆われている（岡崎，1992）。藪層は主に生物擾乱を呈する細粒砂からなるが、最上部はハンモック状斜交層理を呈する細粒砂からなり、多数の管状生痕が認められる。管状生痕は上位の木下層との不整合面から穿孔されているものが多い。

2. 木下層

ユニット A

木下層最下部には藪層を緩く削り込んだ、明瞭な侵食面を呈する不整合面が認められる（図版 1a）。この侵食面を介してユニット A の、全体的に分級の悪い最大層厚 45 cm の軟体動物化石を含む中礫層が発達している。軟体動物化石密集部は全体的にレンズ状で、幅 6 m 程度である。基底には細～中礫が密集するが、中部では *Spisula sachalinensis*, *Mactra chinensis* などの比較的大形の二枚貝化石が密集し、上位に向かって細粒化、殻の小型化が認められるほか、再堆積した生痕化石 *Rosselia* isp. も散在的に含まれる。破片化、磨耗の程度は弱く、*Spisula sachalinensis*, *Acila insignis*, *Glycymeris yessoensis*, *Mactra chinensis* が合弁で産出する。この礫層は側方に収束し、薄い部分では層厚 10 cm 以下となり、軟体動物化石はキャストのみ、もしくは全く含まれなくなる。礫層の上位は比較的小型の軟体動物化石が散在する厚さ 10 cm 程度の細～中粒砂層に漸移する。

ユニット B

礫質ウェーブデューンと癒着型ハンモック状斜交層理極細粒～細粒砂層との互層、およびトラフ状斜交層理を呈する層厚 250 cm の粗粒～中粒砂層を一括してユニット B とした。

ウェーブデューンは波高 8～10 cm 程度で分級のやや悪い粗粒砂～中礫からなり、最上部のものを除いて *Glycymeris yessoensis*, *Astarte hakodatensis*, *Clinocardium californiense*, *Spisula sachalinensis* などの軟体動物化石を含む。最下部のウェーブデューン砂層は、再堆積した *Rosselia* isp. を含むとともに、下位層に掘り込んだ生痕化石 *Piscichnus waitemata* を充填した化石密集部（図版 1b）がある。ウェーブデューンから得られた波浪の振動方向は北東－南西方向を示し、現在の鹿島灘の方向に直交する。

ハンモック状斜交層理砂層は、ウェーブデューンに

引き続く生物擾乱を呈する細粒砂層をやや削りこんで堆積している（図版 2a）。生物擾乱を呈する細粒砂層にはウェーブデューンを覆う薄いシルトや管状生痕が認められる。ハンモック状斜交層理砂層は 2 層準認められるが、下位の層準のものには、層理に沿って殻の薄い *Cadella lubrica*, *Clinocardium californiense* などの軟体動物化石が密集して挟在する。

ハンモック状斜交層理砂層の上位には、浅くチャンネル状に削り込む、分級が悪くトラフ状斜交層理を呈する粗粒～中粒砂層が認められる。古流向は北西方向が卓越するが南西方向を示すものもあり、直交した方向を示している。この上位には化石を含まない礫質ウェーブデューン粗粒砂層が累重する。

ユニット C

Dendostrea paulucciae などの軟体動物化石を含む、層厚 10～15 cm の分級の悪い中礫層である（図版 2b）。基質はシルト分に富む。下底は下位層を浅く削り込んでいるとともに、管状生痕が穿孔する。

ユニット D

ユニット C を覆う塊状青灰色シルト層である（図版 2b）。層厚は 340～360 cm 程度である。生物擾乱は殆ど認められないが、合弁の *Theola lubrica*, *Raeta pulchella* を散在的に含むほか、単子葉植物の葉化石片などの植物片を含んでいる。侵食面を介して上位のユニット E より *Ophiomorpha* isp. と考えられる管状生痕が穿孔する。

ユニット E

ユニット D を平坦な侵食面で覆う、癒着型ハンモック状斜交層理を呈する分級の良い極細粒砂層である。層厚は 400 cm 程度である。

ユニット F

トラフ状斜交層理を呈する分級の中程度の極細粒～細粒砂層であり、ユニット E から漸移する。層厚は 120 cm 程度である。トラフ状斜交層理から得られた古流向は東北東を示している。

ユニット G

平行層理を呈する細粒砂層であり、カレントリップルが認められるほか、薄い極粗粒砂層を挟在する。ユ

ニット F から漸移し、層厚は 100 cm 程度である。

軟体動物化石

田塚露頭では、ユニット A～D における 7 層準から軟体動物化石が多産し、下位より化石層 1～7 の名称を与えた (図 2)。特に、ユニット A～B に含まれる化石層 1～5 は密集度が高く重要であると考えられることから、堆積相とともに産状を詳細に観察し、産出種の出現比率の推移を調べた (図 3)。なお、群集解析を行うにあたっては、軟体動物遺骸の供給源からの運搬の認識が容易 (佐藤・下山, 1992) な二枚貝を対象に、古生態学的考察を行った。

各化石層から得られた化石試料は、殻の破片化度により殻数を 1～0.25 まで 1/4 刻みで 4 段階に区分して殻数を計測し、その総数を示した (表 1)。また、優占種の殻数が 20 に満たない化石層 3, 7 以外の試料を除き、各試料における優占種の相対頻度の推移を示した (図 4A)。さらに、波部 (1977) による現生種の生息深度で、水深 30 m 以浅に生息する種を浅海種、50 m 以深に生息する種を深海種、これ以外の深度に広く生息する種は中間種とし、各化石層における種の産出頻度の変化も調べた (図 4B)。

各化石層の産状

化石層 1

木下層基底のユニット A の礫層に含まれる群集である (図版 1a)。最大層厚 45 cm のレンズ状中礫層中に貝殻片支持で著しく密集し、殻サイズは礫層中部で最大となり、下部、上部では小型化する傾向がある。殻の方向は下部では凹面上位が目立つが、中部では凸面上位、凹面上位の個体が乱雑に密集し、大型個体の内側は細粒堆積物やより小型の貝化石により充填されている。このような産状は、懸濁物密度の高い流れや波浪に運搬された大量の軟体動物遺骸が急速に埋没、堆積した結果であるものと考えられる (Allen, 1984)。これに対して化石層上部では凸面上位の姿勢を示す個体が卓越し、流れのエネルギーの低減に伴って安定した姿勢で堆積した経過を反映しているものと推測できる。

優占種は *Spisula sachalinensis* であり、全殻数の 60 % を占める。主要な随伴種は *Mactra chinensis*, *Mer-*

cenaria stimpsoni で、*Spisula sachalinensis* と併せて占有率は 86 % に達し、比較的多様度に乏しい群集であるといえる。これらは、いずれも水深 20～30 m 以浅の外洋砂底環境に生息する種であり、浅海種の出現比率は 91 % を占めている。合併個体は *Spisula sachalinensis*, *Mercenaria stimpsoni*, *Yoldia notabilis*, *Solen krusensterni* などに認められるが、いずれも生息姿勢は保たず離弁個体とともに特定の方向性を持たずに堆積している。また、合併個体を注意深く観察すると、*Mercenaria stimpsoni* では靱帯部の保存が良く、*Solen krusensterni* も殻前部を下位に向けた姿勢で産出する。さらに、離弁個体でも破片化の程度は弱く、磨耗の程度も弱いこと、生痕化石 *Rossselia isp.* が底質から洗い出されて挟在することなどから、生息地において洗掘されたのち、急速に堆積した半現地性の産状と考えられる。

化石層 2

化石層 2 は、ユニット B 最下部に認められる礫質ウェーブデューン砂層に含まれる化石層である (図版 1b)。*Yoldia notabilis* の 1 個体を除いて全て離弁個体であり、凸面上位個体が多く破片化が進行している。また、下部層に掘り込んだ大型の生痕化石 *Piscichnus waitemata* の形成する凹地を充填して、とくに破片化の著しい小型の個体が密集する。

優先種は *Spisula sachalinensis* であるが、その占有率は 37 % と化石層 1 に比較して減少し、随伴種の *Glycymeris yessoensis*, *Astarte hakodatensis* と併せてもその占有率は 52 % に過ぎない。化石層 2 では浅海種は 54 % を占めるが、*Astarte hakodatensis*, *Venericardia ferruginea* などの深海種も 13 % 出現し、化石層 1 に比較して急増する。

化石層 3

化石層 3 は、厚さ 5 cm 程度の砂層を挟んで化石層 2 の上位に認められる礫質ウェーブデューン砂層に含まれる化石層である (図版 1b)。化石層 1 に比較して化石の含有量は少なく、部分的にレンズ状の貝殻密集層が認められるに過ぎない。ウェーブデューンの波高は 10 cm 程度で、下底は緩い侵食面を示すが、化石層 2 に認められるような生痕密集部は認められない。全て離弁個体からなり破片化の進行した個体も多く、凸面上位の個体が卓越する。*Astarte hakodatensis*, *Ca-*

表 1. 茨城県大洋村田塚の木下層から得られた二枚貝化石リスト.

Table 1. List of bivalve fossils from the Kioroshi Formation at Tazuka, Taiyo Village, Ibaraki Prefecture.

Species	shell bed							depth index (m)	relative depth
	1	2	3	4	5	6	7		
<i>Acila insignis</i>	18.5	8.25	1.75	2.5	13.75	0.25		0-200	medium
<i>Yoldia notabilis</i>	20.25	8.5	0.25	0.25				20-200	medium
<i>Saccella confusa</i>	1							10-50	medium
<i>Saccella gordonis</i>				2	1			20-300	medium
<i>Nuculana yokoyamai</i>					0.25			50-450	deep
<i>Striarca tenebrica</i>						1		0-20	shallow
<i>Glycymeris yessoensis</i>	8	12	3.5	22.5	110.35	12		5-30	shallow
<i>Limopsis oblonga</i>		4.25	1	1	1			50-200	deep
<i>Limopsis</i> sp.					1				unknown
<i>Crenella yokoyamai</i>				2					unknown
<i>Modiolus difficilis</i>	1.75							0-20	shallow
<i>Polynemamussium imuscostatum</i>				1				50-400	deep
<i>Chlamys</i> sp.					1	0.25			unknown
<i>Pecten albicans</i>	1			4	0.75			10-80	medium
<i>Patinopecten yessoensis</i>						0.25		10-50	medium
<i>Patinopecten tokyoensis</i>	0.5	5.25	0.75	9.25	12.5	0.5			unknown
<i>Crassostrea gigas</i>		1		1	0.25			0	shallow
<i>Dendostrea paulucciae</i>						69.5			shallow
<i>Anomia chinensis</i>				2.75	0.25			0-20	medium
<i>Limatula kurodai</i>				51				10-300	medium
<i>Limaria hakodatensis</i>				2.5				5-100	medium
<i>Venericardia ferruginea</i>	0.25	8.5	0.75	0.5	13.25	4.75		50-400	deep
<i>Venericardia ferruginosa</i>				1	6			10-100	medium
<i>Axinopsida subquadrata</i>	1							5-50	medium
<i>Carditella toneana</i>				8	12			20-200	medium
<i>Lucinoma annulata</i>	1	4.75		3.5	4			20-150	medium
<i>Diplodonta usta</i>	1			0.5	2.25	0.5		10-50	medium
<i>Astarte hakodatensis</i>		12	8	5.75	149.25	14.75		50-150	deep
<i>Clinocardium californiense</i>	1	4.75	2.25	70	14.75	2.5		10-100	medium
<i>Callista brevisiphonata</i>					0.25			0-30	shallow
<i>Dosinia japonica</i>		0.5	0.25	2	1.75			0-50	medium
<i>Mercenaria stimpsoni</i>	51	7.5	0.5	7.25	3.75			0-20	shallow
<i>Tapes japonica</i>					3	3		0	shallow
<i>Protothaca jedoensis</i>					0.25	11.75		0-20	shallow
<i>Maetra chinensis</i>	130.5	2		59.5	4.75			0-20	shallow
<i>Spisula sachalinensis</i>	406.75	58.25		33.75	1			0-30	shallow
<i>Spisula polynympha</i>				43.25	1.5	1.25		0-120	medium
<i>Raeta pulchella</i>	1						3	0-100	medium
<i>Theora lubrica</i>							16	0-70	medium
<i>Hiatula ezonis</i>	2.75	0.25						0	shallow
<i>Lutraria maxima</i>					0.5			0-10	shallow
<i>Cadella lubrica</i>	1.5	2.25	3	256.25	96.75			0-50	medium
<i>Fabulina nitidula</i>	7	5		1.25				0-80	medium
<i>Macoma nipponica</i>		2.75	1.25	26.75	15.25			20-100	medium
<i>Macoma tokyoensis</i>	3.25	0.5						10-50	medium
<i>Peronidea venulosa</i>	11	0.75		0.75				0-20	shallow
<i>Solen krusensterni</i>	1	2.75	0.25	1	0.75			5-30	shallow
<i>Trapezium liratum</i>		1						0	shallow
<i>Panopea japonica</i>	3	0.5						0-30	shallow
<i>Myadora fluctuosa</i>		4		3.5	27.25	0.5		10-760	medium
<i>Anisocorbula venusta</i>	1	1			2.75			0-200	medium
<i>Pandora wardiana</i>				1.75				50-500	deep
<i>Thraciopsis transmontana</i>				6.75	2	1		10-300	medium
<i>Cuspidaria ligula</i>				2	1			10-400	medium
Total individuals	675	158.25	23.5	636.75	506	123.75	19		

生息水深は波部 (1977) に基づく。

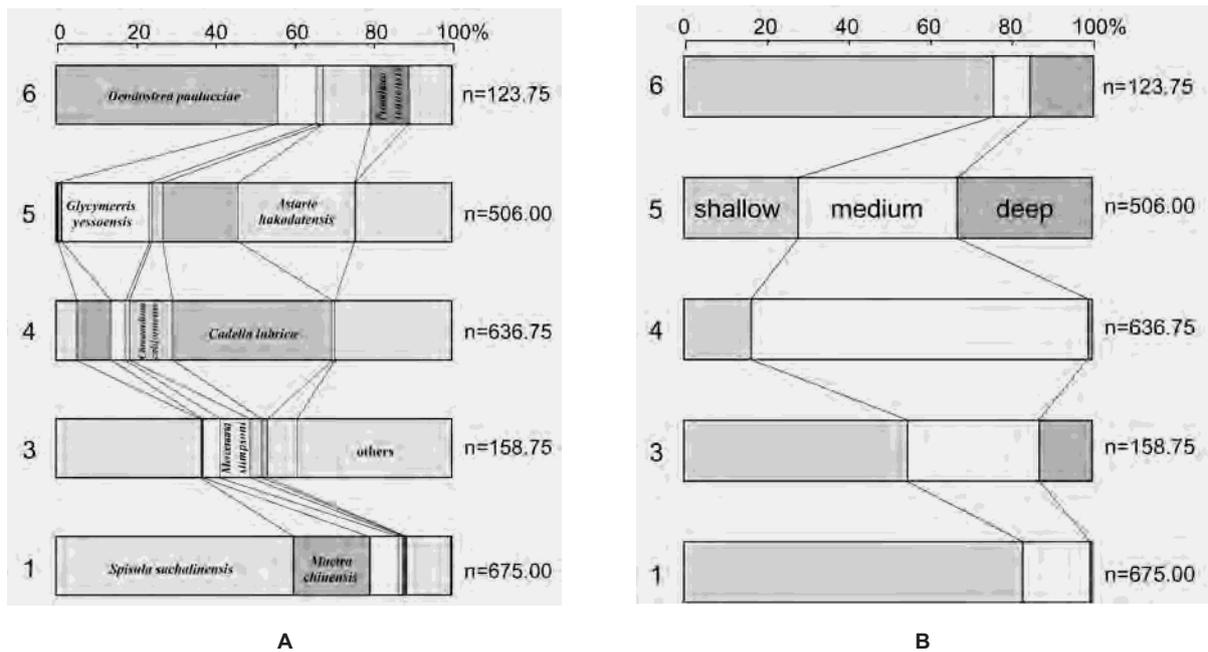


図 4. A: 化石層 1～6 における主要二枚貝種の頻度変化。

B: 化石層 1～6 から産出した二枚貝の現生種の生息水深 (波部, 1977) から見た頻度変化。

Fig. 4. A: Relative frequency change of the major bivalve species from the shell beds 1 to 6.

B: Relative frequency change of the three bathymetric types (Habe, 1977) of bivalves occurred from the shell beds 1 to 6.

della lubrica, *Glycymeris yessoensis* が比較的多産する。

化石層 4

化石層 3 に累重するハンモック状斜交層理極細粒砂層に認められる層厚 30 cm 程度の化石層である (図版 2a)。小型で殻の薄い *Cadella lubrica*, *Clinocardium californiense* などの軟体動物化石が葉理状に密集して産出し、おもに凸面上位の産状を示す。優先種は *Cadella lubrica* であり、全殻数の 40 % を占める。比較的破片化は少なく、磨耗の程度も弱い傾向がある。随伴種として *Clinocardium californiense*, *Maetra chinensis* を伴い、*Cadella lubrica* とあわせて 60 % を占めている。このほか、*Spisula polynympha*, *Limatula kurodai* なども比較的多産するが、いずれも殻の薄い小型の種で特徴付けられる。化石層 4 では *Cadella lubrica* に代表される中間種が卓越し、84 % を占める。浅海種は 20 %、深海種が 2 % であり、個体数は少ないが *Pandora wardiana*, *Astarte hakodatensis*, *Limopsis oblonga* などの深海種が産出する。*Cadella lubrica*, *Carditella toneana*, *Glycymeris yessoensis* は合弁で産出するが、いずれもハンモック状斜交層理に沿って配

列し、現地性の産状は示さない。

化石層 5

化石層 4 を覆う、波高 10 cm 程度の礫質ウェーブデューン砂層に含まれる化石層である。軟体動物化石はウェーブデューン下部に密集して産出し、凸面上位の姿勢で産出する個体が多い。優占種の *Astarte hakodatensis* の占有率は全殻数の 29 % を占めるに過ぎないが、随伴種の *Glycymeris yessoensis*, *Cadella lubrica* を加えると 71 % に達する。比較的殻の厚い *Astarte hakodatensis*, *Glycymeris yessoensis* が産出することが特徴である。また、合弁個体は *Carditella toneana* 3 個体に限られる。磨耗の進行した離弁個体が多いが、特に殻の厚い種の *Glycymeris yessoensis* を例に取れば、化石層 4 では産出個体数が少ないにも関わらず合弁個体が産出していることに対して、化石層 5 では全て離弁で産出し、破片化、磨耗が著しいといった特徴を有している。また、扁平な左殻に対して膨らみの強い右殻をもつ *Myadorea fluctuosa* では、右殻が 7 割を越えている。化石層 5 では深海種が 33 % を占め、浅海種の 25 % を上回り、田塚の化石層において唯一深海種が浅海種の比率を上回る群集である。

化石層 6

ユニット C の分級の悪い中礫層に含まれる層厚 10 cm 程度の化石層である (図版 2b)。破片化、磨耗を被った *Dendostrea paulucciae* などの離弁個体が凸面上位の姿勢で産出し、合弁で産出する種は認められない。優先種は *Dendostrea paulucciae* であり、占有率は 56% に達する。随伴種は *Astarte hakodatensis*, *Protothaca jodoensis* で、*Dendostrea paulucciae* と合わせて 77% を占める。本群集は、*Dendostrea paulucciae*, *Protothaca jodoensis*, *Tapes japonica* といった内湾潮間帯に生息する種と、*Astarte hakodatensis*, *Venericardia ferruginea* といった水深 50 m 以深に生息する種が混在している。さらに、浅海種、深海種とも破片化が進行しており、深海種ではとくに著しく磨耗を被っている。

化石層 7

ユニット D の塊状青灰色シルト層に化石が散在する群集である。離弁個体が多いが合弁個体も見受けられ、生息地から運搬された形跡が認められないことから、現地性から準現地性の群集であると考えられる。軟体動物化石は *Theola lubrica*, *Raeta pulchella* のみが産出し、多様度の低い群集であるといえる。

化石層 1～5 における構成種の変化

化石の特に密集して多産する化石層 1～5 における産出種の出現頻度の変遷について特に触れてみたい (図 3, 4)。 *Spisula sachalinensis*, *Mercenaria stimpsoni* に代表される浅海種は化石層 2 を境にして上方に減少し、*Cadella lubrica*, *Astarte hakodatensis* などの中間種、深海種は増加する傾向がある。ウェーブデューンを呈する化石層 2, 3, 5 では殻サイズが相対的に大型かつ厚質な *Glycymeris yessoensis* が多産することに対して、ハンモック状斜交層理をなす化石層 4 では殻の小型で薄質な *Cadella lubrica*, *Clinocardium californiense* が卓越する傾向がある。ウェーブデューン、ハンモック状斜交層理はいずれもストームに伴うベッドフォームである (斉藤, 1989)。ウェーブデューンの方がより浅海側の粗粒堆積物を特徴づけることから、後者ではより大型で厚質な軟体動物遺骸が礫質堆積物とともに選択的に洗掘、残留したことを示している。

考 察

1. 推定される堆積環境とその変遷

礫層を不整合に覆い、基底に侵食面を伴う礫質堆積物からなるユニット A は、後述するユニット B の上方深海化傾向を示す下部外浜～内側陸棚相に覆われている。このことから、ユニット A は海進時に粗粒堆積物 (砂礫や軟体動物遺骸) が残留したラグ堆積物と考えられる。その堆積深度は、浅海種の軟体動物化石が非常に卓越していること、含まれる化石は磨耗が少なく、さらに靱帯のよく保存された合弁二枚貝個体が産出することから、生息地近傍の水深 30 m 以浅の外浜環境においてかなり急速に堆積したことが推測される。

ユニット B は、一部で生物擾乱砂層を挟むハンモック状斜交層理砂層からなり、礫質ウェーブデューン砂層も含まれることから、暴浪波浪の卓越する下部外浜から内側陸棚における堆積環境が推測される (Harms *et al.*, 1975; 斉藤, 1989)。化石層 2～5 における軟体動物化石から推定される堆積深度は、下位層からの洗掘や浅海からの遺骸の運搬などの作用を考慮しても、上方に向かって増加する傾向がある。化石層 5 では浅海種が著しく減少し深海種が多産することから、その堆積深度は 30～40 m 前後であり、ユニット B の貝化石層のなかで相対的に最も深い堆積環境を示すものと考えられる。この結果は堆積相により推定される深度と良く合致しており、ユニット B はユニット A に比較してより深い堆積相であると判断でき、さらにユニット B 内部では化石層 2～5 の層準において上方深海化の傾向を認めることができる。

ユニット C では、堆積環境復元に有効な示相堆積構造は認められないが、化石層 6 に含まれる *Dendostrea paulucciae*, *Protothaca jodoensis* などの浅海生の軟体動物化石からは、潮間帯から水深 10 m 程度の浅い内湾環境が推測される。破片化、磨耗を被っている深海種も同時に産出するが、これらは下位の層準より洗掘されて混合したことによって説明できよう。ただし、浅海種も破片化が進行しており、かなり運搬を受けていることがわかる。さらに、上位には強内湾浅海成のユニット D が累重することから、ユニット B 堆積時に比較して内湾かつ浅海的环境下で形成されたものとみなすことができる。

田塚において最も細粒な堆積相で特徴づけられ、塊

状の青灰色シルト層からなるユニットDは、静穏な低エネルギー環境で形成されたことが明らかである。化石層7に認められる *Theora lubrica*, *Raeta pulchella* のみが卓越する多様度の小さな軟体動物群集は、水塊の停滞性が著しい内湾奥の泥底における貧酸素環境に特有な群集である(波部, 1956)。例えば、閉鎖的内湾性環境を代表する三河湾において、主に知多湾湾中部や渥美湾湾中部の水深6~15mの水域で同様の群集が卓越することが知られている(延原ほか, 1991)。したがって、ユニットDの堆積環境は、水塊の交換に乏しいラグーン状の閉鎖的な強内湾環境であることが推測できよう。

ユニットEは、癒着型ハンモック状斜交層理が卓越することから、下部外浜相であると推測される(Harms *et al.*, 1975; 齊藤, 1989)。さらに、累重するトラフ状斜交層理を呈するユニットF、平行層理、カレントリップルを呈するユニットGは、下部外浜に引き続く上部外浜から海浜の環境下において堆積したことが推測され(齊藤, 1989; 岡崎・増田, 1992)、ユニットEからGにかけて上方浅海化あるいは海退の傾向が認められる。

これらのことから、田塚における木下層は下部外浜~内側陸棚環境を示すユニットA~B、強内湾環境を示すユニットC~D、下部外浜~海浜環境を示すユニットE~Gに大別することができる。そして、セクション中部のユニットC~DはユニットA~B、E~Gとは堆積相が大きく異なっており、より内湾側の環境を示すことから、ユニットA~B→C~DとユニットC~D→E~Gの堆積環境変化の存在が読み取れる。

2. シーケンス層序学的解釈

堆積相層序から読みとれる、田塚における木下層の2回の堆積環境変化にはどのようなシーケンス層序学的意義があるのだろうか。以下に用いるシーケンス層序学用語は安藤(1990)、齊藤ほか(編)(1995)などに基づく。

まず、ユニットA基底に認められる藪層との不整合面をなす侵食面上には、先述したように海進ラグ堆積物が累重している。このようなラグ堆積物は、村越(1999)も指摘しているように、海進の進行に伴い外洋環境が成立した際の波浪侵食によって形成された波浪ラビンメント面(ここではシーケンス境界と一致)

上の海進ラグ堆積物であると解釈することができる。

村越(1999)は、阿玉においてユニットBに相当する層準に最大海氾濫面を求め、上位には外浜-海浜相が累重することから、最大海氾濫面より上位の層準を高海水準期堆積体として一括し、木下層の形成を1回の海水準変動によって説明づけた。しかし、田塚では上述のようにセクション中部のユニットC、Dにラグーン相が認められ、上下に波浪卓越環境の堆積物(内側陸棚相、下部外浜相)が発達する。さらに上位のユニットE~Gには外洋性の海退相が発達する。したがって、木下層を1回の海水準変動により解釈することは困難である。ユニットC基底の侵食境界と化石層1~7の群集構成から推定される古環境から、ユニットA~BとユニットC~Gの形成を異なる海水準変動、つまり2回の海水準変動で解釈する方が容易である。そして、ユニットDは、2回目の海進時に陸側に後退するバリアー島の内側のラグーンで形成された堆積物と解釈される。このことから、ユニットCは2回目の海進に伴う海進ラグ堆積物であり、基底の侵食面は内湾ラビンメント面であると考えられる。

ユニットE基底の侵食面は、上位にユニットE~Gの外浜-海浜相サクセッションが累重することから、海進期にラグーン相(ユニットC、D)が形成された後に、外浜侵食面が陸側に後退することによって形成された、外洋性の波浪ラビンメント面であると解釈できよう。ユニットE~Gに相当する外浜・海浜相海退性サクセッションは、鹿島台地南部では台地上部に広く認められている(例えば、荒川, 1986; 岡崎, 1992; 市原ほか, 1996)。

以上を統合すると、下末吉海進の進行に伴う外浜侵食によってユニットA基底の波浪ラビンメント面が形成された。その後、波浪ラビンメント面上に下部外浜~内側陸棚相が発達し(ユニットB)、化石層2~5が形成された。したがって、ユニットA、Bは第1回目の海進によって形成されたパラシーケンス1(以下PS1: parasequence 1, Posamentier *et al.*, 1988)であると解釈することができる。そして、その最大海氾濫面は、ユニットB中の堆積相層序と化石層2~5の種組成変化から、ユニットBにおける最大水深を示す化石層5より上位で、かつユニットCより下位の層準であることが推定できよう。

その後、一時的に小規模な海面低下が発生し、2回目の海進に伴ってバリアー島が形成され、陸側にラ

グーンが形成された。このラグーンにおける内湾ラビメント面上にはラグ堆積物としてユニットCが堆積し、ラグーン泥層としてユニットDが厚く堆積した。そして、海進の進行に伴ってバリアー島が陸側に後退すると、ラグーンより波浪の卓越する外浜環境に変化し、波浪ラビメント面が形成された。高海水準期になると、浜堤平野が海側に前進することによってユニットE～Gが形成された。ここではユニットC～GをPS2と呼称する。PS2における最大海氾濫面は外浜～海浜相の基底付近、つまり波浪ラビメント面直上の層準にあるものと推測される。したがって、ユニットC、Dは海進期堆積体、ユニットE～Gは高海水準期堆積体と解釈できる。

3. 軟体動物化石層の形成要因

次に、軟体動物化石層の形成要因について安藤・近藤(1999)の化石密集層区分にしたがって位置付けておきたい。化石層1, 6は、それぞれPS1, PS2における海進期堆積体の基底をなす礫質の化石密集層であることから、海進ラグ化石層(安藤・近藤, 1999)であるとみなされる。したがって、内湾潮間帯生種の卓越する化石層6において*Astarte hakodatensis*, *Venericardia ferruginea*などの深海種が混在することは、PS1上部の内側陸棚-下部外浜相がPS2形成初期の海進時に波浪侵食されたことによるものと説明づけられる。

一方、化石層2～5はそれぞれウェーブデューン、ハンモック状斜交層理といったストーム成のベッドフォームの形成に伴うイベント化石層であると考えられる。しかし、化石層2, 3, 5では、含まれる化石の磨耗や破片化が進行していること、合併個体が殆ど認められないことなどから、村越(1999)も指摘しているように、下位の層準からの洗掘による混合が生じている可能性が高い。したがって、化石層4は単一イベント化石層、化石層2, 3, 5は複数のイベント化石層の癒着した、多重イベント化石層であると解釈できる。

4. 従来の木下層形成論との比較

田塚における木下層には2層のパラシーケンスを認識することができるが、これまで1つのシーケンス(もしくは海水準変動)で説明づけられていた鹿島台地の木下層(Murakoshi and Masuda 1992; 岡崎, 1992)では、このような2層のパラシーケンスがほかの露頭

でも認められるであろうか。

岡崎(1992)によれば、鹿島台地南部では田塚のユニットC, Dに相当する層準に、潮汐チャネル、潮流口で形成された潮流堆積物が認められている。そして、その最上位にラグーン相が累重するとされている。一般に潮流堆積物は海進期にバリアー島の内湾側で形成されやすい堆積システムと考えられている(Zaitlin *et al.*, 1994)。したがって、田塚に認められるラグーン相は、バックバリアーにおける潮流口の埋積後あるいは側方に移動した後に出現した閉鎖環境において形成されたものと解釈できる。このような海進期のバックバリアー堆積物の上位には、引き続き高海水準期に形成されたと解釈される外浜～海浜相が累重する。このことから、岡崎(1992)の示した鹿島台地南部で認識される1回のシーケンスとは、本論のPS2に相当するものと考えられる。また、同様のラグーン相と考えられる*Theola lubrica*を含む泥質堆積物は東茨城台地東部の大洗町から旭村でも坂本(1975)によって報告されており、下末吉海進期にラグーン環境が出現したことが示唆されている。したがって、鹿島灘沿岸部の広い範囲においてPS2の海進期にラグーンが発達した可能性が十分考えられる。

一方、筆者らの調査によれば、PS1に相当する層準は、鹿島台地南部ではPS2によって削剥されていることに対し、鹿島台地北部では田塚と同様PS2のラグーン相もしくは潮汐三角州相などに覆われる外浜相が認められている。従来の研究(例えば、Murakoshi and Masuda, 1992)では、PS1の内側陸棚-下部外浜相とPS2の外浜-海浜相を一連の堆積システムにおける堆積物として解釈していたことから、パラシーケンスの分離がなされていなかったものと考えられる。木下層は、酸素同位体比ステージ5eに堆積したことが判明している(Okazaki and Masuda, 1995)ことから、パラシーケンスの形成はステージ5eにおける小規模な海水準変動に起因している可能性がある。なお、このようなパラシーケンスの分布や形成要因に関しては、今後の広域的な調査結果をもとに改めて報告したい。

まとめ

鹿島台地北部の大洋村田塚における下総層群木下層において、詳細な堆積相解析と軟体動物化石群集を行った結果、以下のことが判明した。

1. 堆積相解析と軟体動物化石群集解析の結果、大洋村田塚の木下層は内側陸棚-外浜で形成されたユニットA~B、ラグーンで形成されたC~D、外浜-海浜で形成されたE~Gに大別され、外洋-内湾-外洋の2回の顕著な堆積環境変化が認められる。そして、ユニットA, C, Eの基底には明瞭な侵食面が認められる。
2. シーケンス層序学的な考察から、ユニットA~BとユニットC~Gは異なる海水準変動(すなわち2回)で形成されたものと解釈され、木下層に2つのパラシーケンス(PS)が認められた。すなわち、藪層に重なる波浪ラビメント面(シーケンス境界)を介して、外洋成のユニットA~BがPS1の海進期堆積体の主体をなす。PS2の再海進に伴って形成されたバリアー島の湾側においてユニットC~Dが堆積し、外洋側でユニットE~Gが堆積した。PS2は内湾ラビメント面を覆う海進ラグ(ユニットC)、海進期堆積体(ユニットD)、波浪ラビメント面、高海水準期堆積体(ユニットE~G)から構成されるものと解釈される。
3. 軟体動物化石密集層の二枚貝の群集解析を行った結果、化石層1~5はいずれも外洋の浅海環境において形成されたものとみなされ、その中でも相対的に上方深海化する傾向が認められた。一方、化石層6, 7はラグーンのような内湾で形成された。

謝 辞

小論をまとめるに当たり、カキ化石の同定には大阪学院大学情報学部の鎮西清高教授の御教示を頂いた。生痕化石 *Piscichnus waitemata* に関しては、千葉大学理学部地球科学教室の小竹信宏助教授の御指摘を頂いた。国土地理院地理調査部の大井信三氏、山田美隆氏には、現地およびその周辺地域における調査に協力して頂くと共に、数々の有益な御討論を頂いた。また、茨城大学理学部地球生命環境科学科の天野一男教授、岡田 誠博士と大学院生、学部生諸氏には研究を進めるに当たり貴重な助言を頂いた。以上の方々、機関に厚く御礼申し上げる次第である。

引用文献

Allen, G. P. 1991. Sedimentary processes and facies in the

- Gironde estuary: a recent model for macrotidal estuarine system. In: Smith, D. G., G. E. Reinson, B. A. Zaitlin and R. A. Rahmani, (eds.), *Clastic Tidal Sedimentology*, Can. Soc. Petrol. Geol. Mem., **16**: 29-40.
- 安藤寿男. 1990. 堆積シーケンスとその境界の認定と意義. 地質雑, **99**: 247-261.
- 安藤寿男・近藤康生. 1999. 化石密集層の形成様式と堆積シーケンス. —化石密集層は堆積シーケンス内でのように分布するのか—. 地質学論集, **54**: 7-28.
- 荒川真司. 1986. 鹿島台地南部の地質 (1). 清真学園紀要, **2**: 47-66.
- Harms, J. C., J. B. Southard., D. R. Spearing and R. G. Walker. 1975. *Depositional Environment as Interpreted from Primary Sedimentary Structures and Stratification Sequences*. SEPM Short Course Notes, (2): 161 pp.
- 市原季彦・高塚 潔・下山正一. 1996. 生痕層序. 地質雑, **102**: 685-699.
- 波部忠重. 1956. 内湾の貝類遺骸の研究. 京大生理生態学研究業績, **77**: 1-31.
- 波部忠重. 1977. 日本産軟体動物分類学—二枚貝綱/腹足綱. 372 pp., 北隆館.
- 牧野泰彦・増田富士雄. 1989. 古東京湾のバリアー島. 日本地質学会第96年水戸大会見学旅行案内書. pp. 151-199.
- 真野勝友. 1965. 成田層の層相と下底の地形との関係—霞ヶ浦北岸および北浦周辺の第四系—. 地質雑, **71**: 155-166.
- 村越直美. 1999. 海進ラグ堆積物としての貝殻層: 上部更新統木下層の例. 地質学論集, **54**: 55-64.
- Murakoshi, N. and F. Masuda. 1992. Estuarine, barrier-island to strand-plain sequence and related ravinement surface developed during the last interglacial in the Paleo-Tokyo Bay, Japan. *Sediment. Geol.*, **80**: 167-184.
- Nakazato, H., K. Shimokawa and N. Imai. 1993. ESR dating for Pleistocene shell fossils and value of annual dose. *Applied Radiation and Isotopes*, **44**: 167-171.
- 成田層研究会・茨城地学会. 1998. 第四系. 茨城県自然博物館第1次総合調査報告書, pp. 45-105.
- 延原尊美・窪田裕亨・糸魚川淳二・松岡敬二. 1991. 三河湾の貝類遺骸群集—第一部, 二枚貝遺骸群集. 豊橋市自然博研報, (1): 13-32.
- 岡崎浩子. 1992. 下末吉海進に伴う潮流堆積相の発達—茨城県鹿島台地の下総層群木下層. 千葉中央博自然誌研報, **2**: 15-23.
- 岡崎浩子・増田富士雄. 1992. 古東京湾地域の堆積システム. 地質雑, **98**: 235-258.
- Okazaki, H. and F. Masuda. 1995. Sequence stratigraphy of the late Pleistocene Paleo-Tokyo Bay: barrier islands and associated tidal delta and inlet. In: Fleming, B. W. and A. Bertholoma (eds.), *Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediment*, Intern. Assoc. Sediment., Spec. Publ, (24), pp. 275-288, Blackwell Sci.
- Posamentier, H. W., M. T. Jervey and P. R. Vail. 1988. Eustatic controls on clastic deposition I - conceptual framework. In: Wilgus, C. K., B. S. Hastings., G. C. St. C. Kendall., H. Posamentier., C. A. Ross and J. Van Wagoner (eds.),

- Sea-level Changes: an Intergrated Approach*, Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner., (42): pp. 109-124.
- 齊藤文紀. 1989. 陸棚堆積物区分と暴風型陸棚における堆積相. 地学雑, **98**: 350-365.
- 齊藤文紀・保柳康一・伊藤 慎(編). 1995. シーケンス層序学: 新しい地層観を目指して. 地質学論集, **45**: 249 pp.
- 坂本 亨. 1975. 磯浜地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1 図幅). 地質調査所, 55 pp.
- 佐藤慎一・下山正一. 1992. 斧足類化石群集を用いた下総層群中部の古環境解析. 地質雑, **98**: 529-545.
- Yabe, H. 1931, Geological growth of the Tokyo Bay. *Bull., Earthq. Res. Inst.*, **9**: 333-339.
- Zaitlin, B. A., R. W. Darymple and R. Boyd. 1994. The stratigraphic organization of incised-valley systems associated with relative sea level changes. In: Darymple, W., R. Boyd and B. A. Zaitlin (eds.), *Incised-valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences*, Spec. Publ. Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner., (51): pp. 45-60.

(要 旨)

横山芳春・安藤寿男・森 大規. 茨城県鹿島台地・大洋村田塚における第四系下総層群木下層の堆積シーケンスと軟体動物化石. 茨城県自然博物館研究報告 第4号 (2001) pp. 55-67, pls. 1-2.

茨城県南部, 鹿島台地の大洋村田塚における木下層を対象に堆積相解析と軟体動物群集解析を行った結果, これまで1回の海水準変動による1シーケンスと解釈されていた研究に対し, 2つのパラシーケンスの存在が確認された. 藪層を覆う木下層は, A~Gの7ユニットに細分される. ユニットA, Bはパラシーケンス1(PS1)を構成し, シーケンス境界, 海進ラグ(ユニットA), 上方細粒化する下部外浜~内側陸棚相からなる. ユニットBに含まれる化石層2から5の軟体動物群集における現生種の生息環境から, PS1に上方深海化(海進)が読み取れる. PS2は, 内湾ラビンメント面, 海進ラグ, ラグーン相, 外洋波浪ラビンメント面, 上方粗粒化する下部外浜~後浜相からなる, 木下層は酸素同位体比ステージ5eの氷河性海水準変動を反映した2回の小規模の海水準変動によって形成されたと考えられる.

(キーワード): 下総層群, 木下層, 更新統, 鹿島台地, 軟体動物化石, 堆積相, シーケンス層序.

図版と説明

(2 図版)

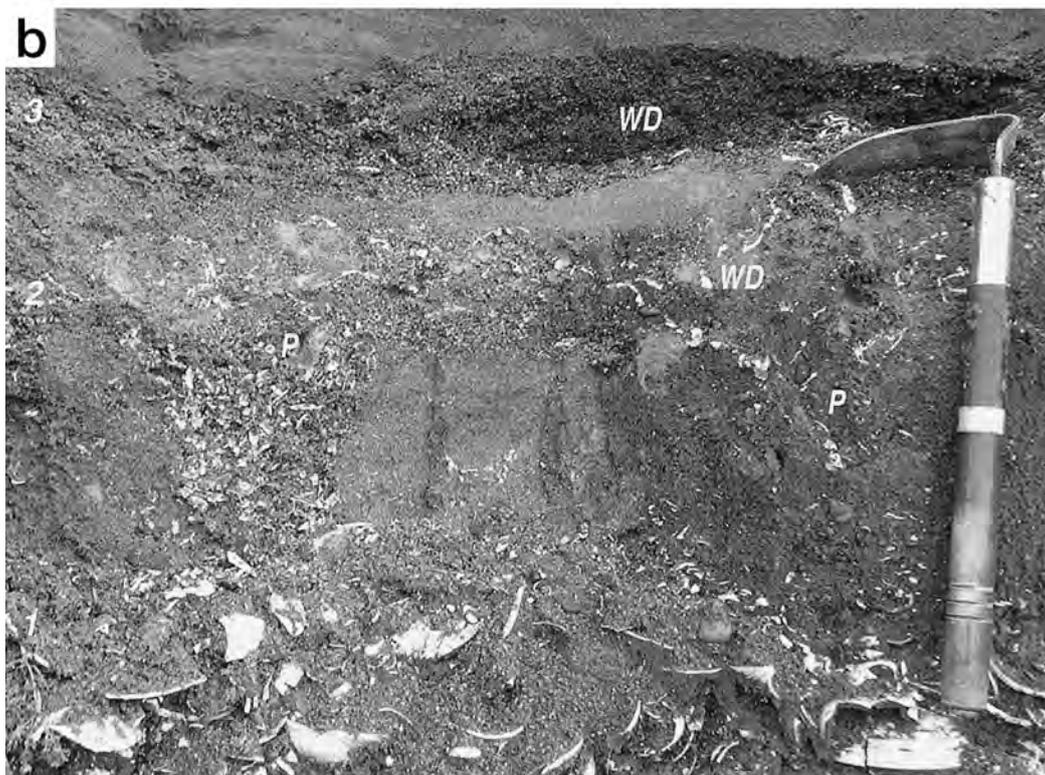
Plates and Explanations

(2 plates)

図版 1 (Plate 1)

- a. 藪層と木下層の不整合（シーケンス境界: SB）とユニット A にみられる化石層 1 の産状。地質柱状図における位置は本文中の図 3 を参照。
- a. Unconformity (sequence boundary: SB) between the Yabu Formation and Kioroshi Formation, and close up view of unit A, with shell bed 1. Refer to text-Fig. 3 for the stratigraphical position.

- b. ユニット A にみられる化石層 1 とユニット B 下部の化石層 2, 3 の産状。P: *Piscichmus waitemata* の掘穴を埋める化石密集層, W: ウェーブデューン。
- b. Close view of the upper part of unit A with shell bed 1 and the lower part of unit B with shell beds 2 to 3. P: *Piscichmus waitemata* burrow; W: wave ripple.



図版 2 (Plate 2)

- a. ユニット B 中部の化石層 3, 4 の産状. 4 にはハンモック状斜交層理が発達する.
- a. Close view of the middle part of unit B with shell beds 3 to 4. Hummocky cross-stratification is developed in shell bed 4.

- b. ユニット C (海進ラグ) にみられる化石層 6 とユニット D (ラグーン相) の化石層 7 の産状. 地質柱状図における位置は本文中の図 2 を参照.
- b. Close view of unit C (transgressive lag) with shell bed 6 and unit D (lagoonal facies) with shell bed 7. Refer to text-Fig. 2 for the stratigraphic position.

