

国指定天然記念物「木下貝層」(更新統下総層群木下層)の地質学的意義

岡崎浩子・黒住耐二

千葉県立中央博物館

〒260-8682 千葉市中央区青葉町 955-2

E-mail:kohiroko@chiba-muse.or.jp; kurozumi@chiba-muse.or.jp

要 旨 調査地(千葉県印西市木下万葉公園)の更新統下総層群木下層は異地性の貝化石を豊富に含む砂層で特徴づけられる。この含貝化石砂層は木下層全体の古地理復元からバリアー島システムの潮汐三角州堆積物とされている。また、調査地の地層は平成 14 年に国の天然記念物に指定され「国指定天然記念物木下貝層」と名付けられた。本研究では「木下貝層」の貝化石調査を堆積相解析とともに起こさない、潮汐三角州の発達過程を碎屑物の粒度組成と化石群組成から明らかにした。調査地では下位からⅠ～Ⅴの堆積相(このうち含貝化石砂層はⅡ～Ⅴ)が認められる。堆積相Ⅱは内湾の潮下帯の流れがあまりない堆積環境を示し、潮汐三角州の底置面の堆積物である。堆積相Ⅲはハスノハカシバン(棘皮動物門ウニ綱)の完形殻を多く含み、それらはインブリケイト構造を示す。この堆積相は潮下帯水深 5 m 程度の砂底の流れのあるところでたまったものと考えられる。堆積相Ⅳはバカガイの離弁完形殻を密集して産し、基底に浸食面をもついくつかのユニットに細分される。潮下帯水深 5～10m 程度の砂底で急激な流れによって堆積したことが示唆される。堆積相ⅢとⅣは前置層下部の堆積相と考えられる。堆積相Ⅴは層理面が数度の傾斜でゆるく傾く平板型斜交層理が特徴的にみられ、三角州の前置面のフォーセット層理をなしている。化石群は潮下帯砂底群集を主体とし外洋性の貝や潮間帯の磨耗殻も含む。これらの堆積相が示す全体的な傾向として上方粗粒化するとともに分級度がややよくなることがわかる。同時に貝化石群も内湾泥底群集から、内湾砂底群集および外洋砂底種を含む内湾砂底群集と変化する。また、それに伴い化石群の多様度が増していく。これらのことから、ここでは海水面の安定と外洋からの潮流の流入による三角州の前進が推定される。これらの堆積相の垂直的変化は、海水準の上昇による湾の拡大、それに伴うバリアー島および潮流口の内湾側への移動、湾口の広がりや外洋から砂の流入の増大を示している。

キーワード: 木下貝層, 上部更新統, 潮汐三角州堆積物, 国指定天然記念物。

千葉県印西市木下万葉公園にみられる貝化石を多く含む地層は平成 14 年に国の天然記念物(「木下貝層」)に指定されている。この地層は更新統下総層群木下層で、ここは木下層の模式地(横山, 1930)でもある。古くから地質調査が行われ、矢部(1906, 1914)はこの地域一帯の貝化石を含む更新統を“成田層”と呼んだ。また、成田層は“東京層”とともに“古東京湾”の浅い海に堆積した地層であると考えた。成田層はその後、青木・馬場(1971)によって上位から木下・上岩橋・清川の 3 つの部層に分けられ、これらの部層は、さらに木下層・上岩橋層・清川層の各累層に再定義されている(杉原ほか, 1978; 徳橋・遠藤, 1984)。ちなみにその後も成田層の名称が木下層相当層に用いられることがあるが、青木・馬場(1971)の成田層との混同を招くことから、木下層とするのが妥当である。このように本地域は関東平野研究の端緒となった地域であり、木下層については数多くの地質・古生物学的研究がある。また、近年では堆積学的研究によってより詳細な堆積環境の推定も行われている。

本研究は、天然記念物指定のためにおこなわれた「木下貝層」調査の結果の詳細を報告するものであり、また、これらを基に木下層の含貝化石砂層の形成過程およびその堆積作用について新たな知見を得たので、これを報告するものである。

地 質 概 説

木下層を含む下総層群の各累層は海成層と陸成層の組み合わせからなり、下総層群全体ではこの繰り返し(堆積サイクル)が認められる(例えば、青木・馬場, 1978 など)。このような下総層群各累層の層相変化は更新世の氷河性海水準変動に伴い形成されたものであり(町田ほか, 1980; 増田, 1988)、このうち木下層は上部に挟まれる KIP グループの FT 年代(KIP 6 = 128 ± 11 Ka, 町田・鈴木, 1971)などから酸素同位体比ステージ(MIS) 6～4 に対応する海進と海退で形成されたと考えられる。したがって、木下層の含貝化石砂層の堆積年代は約 12～13 万年前と考えられる。

次に木下層の概要について述べる。木下層は層厚が

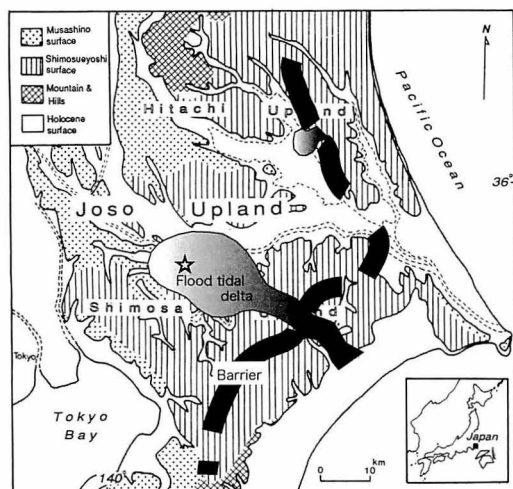


図1. 古東京湾のバリアー島システム復元図（岡崎・増田, 1992）と調査地点（☆）。このバリアー島システムは、バリアー島（barrier）と、潮流口（tidal inlet）、上げ潮潮汐三角州（flood tidal delta）、潟（lagoon）からなる。

約20~30mで、海進相である下部層、中部層と、主に海退相を示す上部層に大きく分けられる。下部層は、泥質層からなり木下層基底の谷の埋積物である。中部層は淘汰のよい砂層からなり異地性の潮間帯~上部浅海帯の貝化石を豊富に産出する。この含貝化石砂層は、下総台地北部の印西市、印旛村および成田市などで特に厚く発達し、木下化石帯（小島, 1958, 1959; 青木ほか, 1962; 大原・横田, 1967; 大原, 1971 など）、木下貝化石層と呼ばれる。このほかの木下層の貝化石産地としては木更津市桜井や市原市豊成などがある（大原ほか, 1976; 青木・馬場, 1973）。本報告では主にこの木下層中部層を対象とする。上部層は *Macaronichnus* 生痕化石が特徴的にみられる淘汰のよい砂層で、下総台地南部および東部に厚く発達する。最上部層は常総凝灰質粘土層と呼ばれる塊状粘土層で、木下層分布地域全域にみられる植物の根や茎の痕を含む。これらの層相をもつ木下層が千葉県北部の下総台地と茨城県南部の常陸台地の下総上位面（杉原, 1970）を構成する。同時代の地層は関東平野に広く分布し、横浜地域の下末吉層（関東第四紀研究会, 1970）、東京地域の「東京層」（Yabe, 1911）、東茨城台地の見和層（斎藤, 1959）などが木下層に対比される。

これらの層相の示す堆積環境については、Mura-koshi and Masuda (1992)、岡崎・増田 (1992)、西川ほか (1998) などの研究があるが、岡崎・増田 (1992) は木下層全域の堆積相の分布から、当時、この地域の太平洋側にバリアー島が存在し、それらによって外洋と遮断された内湾（古東京湾）が形成されたことを明らかにしている（図1）。この詳細については後

述する。

方法と結果

調査地点は印西市木下万葉公園で、平成14年の国天然記念物指定に際して、ここに露出する更新統下総層群木下層下部層および中部層に対して「木下貝層」の名称が用いられている。本報告では「木下貝層」について露頭観察に基づき堆積相区分をおこなった（図2）。次に露頭断面から垂直方向約20~50cm毎に約500ccの試料を採取し、沈降管式粒度分析装置を用いて粒度測定を行い平均粒径（算術平均値）、分級度（標準偏差）を求めた。なお、粒度分析測定試料からは目視できる貝化石の破片を除去した。また、同じサンプル地点で約1000~2000ccの試料を貝化石群集解析用に採取した。これらを1mm, 2mm, 4mm, 9.5mmのメッシュの篩いで篩い、二枚貝については4mm以上の化石を、腹足類については4mm以上と1~2mmの化石を解析に用いた。また、カシパン類（棘皮動物門ウニ綱）に関しては、完形殻の径と、9.5mmメッシュに残った破片を含めた重量を測定した。

以下に堆積相とその化石群組成について述べる。堆積相の概要については大原ほか（2004）で述べたが、ここでは黒住（2004）で示された各堆積相の化石群組成をその後の修正を加えて示すとともに（表1）、堆積作用のより詳細な推定のためにおこなった粒度組成と化石群組成の解析結果とともに報告する。なお、多様度の算出に当っては、属レベルでのみ同定されていたものの個体数は同属の種に比例配分し、磨滅していたために二枚貝類等としか同定できなかったものは対象から除いた。

1. 堆積相とその化石群組成

粒度や堆積構造、含まれる化石群組成などの特徴から下位より堆積相Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴの5つの堆積相に区分した（図2）。

堆積相Ⅰ：厚さは約3mで、木下層の下部層の堆積相である。基底には谷状の浸食面がみられる。泥層と細粒砂層との薄い互層または極細粒~細粒砂層からなる。ここでは管状生痕が多く認められ、全体に生物擾乱が激しい。

堆積相Ⅱ：厚さ約80cm。下部は極細粒砂層で上方に向かって細粒砂層になる。二枚貝類のイタボガキ *Ostrea denselamellosa*（イタボガキ科）やネコノアシガキ *Talonostrea talonata*（イタボガキ科）を含むカキ類と、腹足類のマメウラシマ *Ringiculina doliaris*（マメウラシマ科）が産出する。また、二枚貝類のチヨノハナガイ *Raetella pulchella*（バカガイ科）・ゴイサギ *Macoma tokyoensis*（ニッコウガイ科）・ウズザクラ *Nitidotellina minuta*（ニッコウガイ科）を含む。貝化石は密集せず、二枚貝類は離弁の状態で得られ、殻の

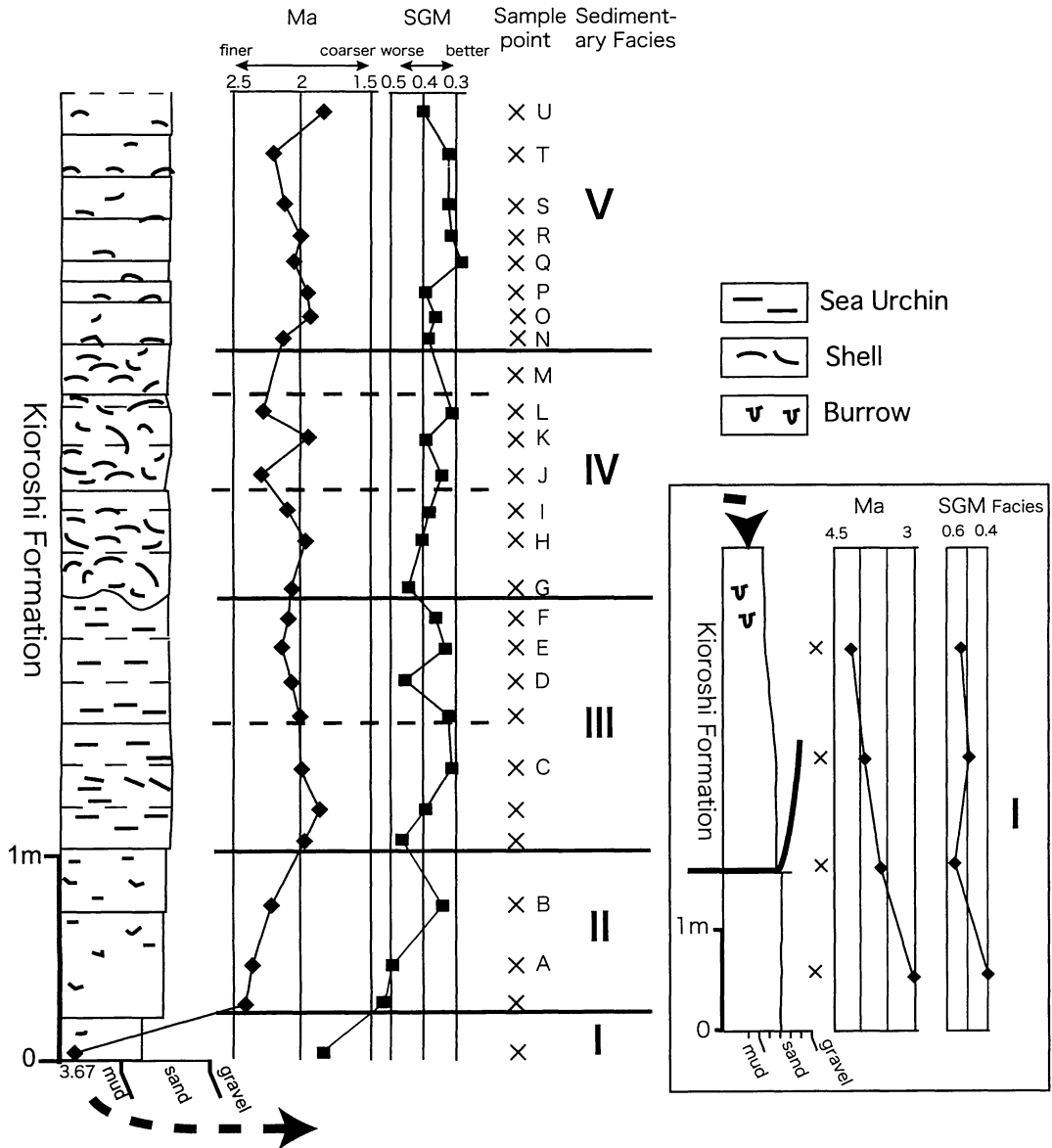


図2. 調査地点の堆積相区分 (I-V) と粒度組成. ×は試料の採取層準. ×A~×Uは貝化石群解析柱状図は大原ほか(2004)使用. 試料, Maは粒度組成の平均粒径(算術平均), SGMは分級度(標準偏差)を示す.

摩耗程度はそれほど高くないが全体的にみられた.

堆積相Ⅲ: 厚さ約 120cm. 細粒砂~中粒砂層からなり分級が良い. 含まれる化石はほとんどが棘皮動物のハスノハカシパン *Scaphechinus mirabilis* (以下, カシパンと表記) で, 完形の殻が比較的多い. 粒径や産状から2つのユニットに細分することができる. カシパンの殻は層理と平行に並ぶかもしくはインブリケート構造を示す.

堆積相Ⅳ: 厚さ約 120cm. 細粒砂~中粒砂層からな

り分級が良い. 離弁した二枚貝の完形殻が入り子状に密集するのが認められる. 産状や粒径から3つのユニットに細分される. 最下部のユニットの基底は大きくうねり, それより上のユニットの基底もややうねる. ユニット内の粒度は中部がやや粗くなり, 貝化石の密集度が高い. 堆積相全体では大型のバカガイ *Mactra chinensis* (バカガイ科) が多く, 小型の二枚貝類のクサビザラ *Cadella delta* (ニッコウガイ科) もよくみられる. 腹足類では, マメウラシマ (マメウラシマ科)

表 1 a. 木下貝層模式露頭における1000 cc あたりの二枚貝化石個体数.

サンプル番号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
イタボガキ	2.2																				
シオフキ?	1.5																				
チヨノハナ	2.2																				
ゴイサギ	0.7																				
ウズザクラ	0.7																				
フタバシラガイ類?	0.7																				
ハマグリ	0.7											0.7									
オキシジミ																				0.7	
ネコノアシガキ	2.2	2.9																			
カキ類	13.3	7.2		1.1																	
マガキ	1.5		0.6				0.5		0.5			0.7						0.7			
バカガイ	0.7						11.5	11.0	8.0	5.6	6.6	7.2	3.3	3.6	7.0	2.7	7.5	5.9	1.9	3.3	0.7
バカガイ属	0.7		0.6			0.8	8.5	24.5	28.6	27.5	28.1	23.4	20.0	15.6	18.9	3.4	22.5	33.3	7.6	11.7	15.0
ヒメバカ							2.4					0.7		0.7	1.1		1.3	1.5	1.0		
クサビザラ	0.7						22.0	21.1	30.7	18.9	17.3	10.4	8.4	7.8	3.2	4.7	3.8	6.7	7.6	3.9	5.2
キオロシアサリ	3.0		4.5	2.8		1.6	11.0	7.2	3.2	2.6	20.0	3.9	5.0	14.2	5.4	11.4	13.8	18.5	14.3	9.1	17.6
キタノフキアゲアサリ							5.5	11.5	5.3	4.7	5.6	11.7	13.4	57.5	29.2	30.8	50.0	60.7	61.8	57.9	65.7
シマワスレ													1.7	1.4	0.5	1.3	2.5	0.7	1.9	3.3	1.3
メオニアサリ																					0.7
シオツガイ																0.7					
シナヤカスエモノ															0.7						
キュウシュウナミノコ																		1.3			
コタマガイ																					
バカガイ科							1.0						1.7								
ミルクイ												0.7									0.7
タマキガイ							2.0	1.0									1.3	0.7		0.7	
エゾタマキ										0.4	0.5	1.3		0.7	0.5	0.7					
ミタマキ																					0.7
タマキガイ類						0.8	1.5	3.4	0.5		0.5		5.0	1.4	0.5	0.7		1.5		1.3	2.0
マルクサビザラ	0.7								0.5		0.5				0.5						0.7
エゾマテ	0.7						0.5	2.4			0.5	0.7		0.7				0.7			0.7
ウバガイ?				0.6																	
サラガイ							0.5	1.0	1.1	0.9			1.7						1.0		
ウソシジミ?																				0.7	
エゾイソシジミ?							1.0														
ウメノハナガイ	0.7															0.7					
イタヤガイ		1.4	0.6				0.5	1.4						0.7							
ヒロカタビラ				0.6			0.5														
ヤマザキスエモノガイ							0.5		0.5		0.5					0.7					
クチベニデ				0.6			1.5				0.5			0.7		0.7				0.7	
キヌタアゲマキ							1.0														
サルボオ							0.5	1.9	0.5	0.4	1.0	1.3		2.1	1.1	1.3		3.0	1.0	1.3	
アケボノキヌタ							0.5	1.4		0.4			1.7	0.7		0.7		0.7			
ブラウンスイシカゲガイ							1.5						1.7			0.7			1.0	0.7	
キヌマトイガイ							0.5														
トリガイ								1.0							0.7						
マツヤマワスレ									0.5	0.4									1.0		
マメクチベニ									0.5							0.7					
ウチムラサキ												0.7		0.7	0.5					0.7	
マルヒナガイ?												0.7					1.3				
カモメガイ												0.7									
ヒメマスオ											0.5										
コメザクラ?										0.4											
ヘノジガイ																		1.3			
フミガイ																		1.3			
クロマルフミガイ																			0.7		
シラスナガイ																			0.7		
オニアサリ?																					0.7
マルステレガイ科?					0.9										0.5						
二枚貝類不明			4.5	4.5		8.0		1.0	1.1		0.5	1.3		1.4	1.1	3.4	1.3			1.3	

国指定天然記念物「木下貝層」(更新統下総層群木下層)の地質学的意義

表1b. 木下貝層模式露頭における1000 ccあたりの腹足類等化石個体数.

サンプル番号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
クチキレガイ	2.2																				
ハオリクチキレ?	2.2																				
チヂミボラ?	0.7																				
マメウラシマ	308.9						9.0	7.2	1.6	3.9	7.7	2.0	1.7	4.9		5.0		13.3	2.9		2.6
ゴルドンコメツブ	22.2						10.5	5.8	3.2		1.5		5.0		7.1	7.5	2.0	8.9	5.7	7.8	
クチキレモドキ類	28.9						1.5	2.9		1.3	3.1	17.6	8.4	14.6	15.6	42.5	10.1	26.6	14.3	7.8	2.6
ムシボタル	6.7						10.0	14.4	2.1	1.7	8.2		1.7	9.7	9.9	12.5	4.0	11.8	35.2	3.3	4.6
ツメタガイ	3.0						0.5	0.5			0.5			0.5	2.8			0.7	1.0	3.3	
シマモツボ	2.2						1.5		1.6	6.5	12.2	11.7	11.7	4.9	12.8	22.5	24.1	46.6	42.8	7.8	10.4
ハナゴウナ類	2.2								1.3	1.5				11.3		5.0	1.3	4.4	8.6	2.6	2.6
マンジ類	2.2							1.4								2.5					
ヒメムシロ								1.0	0.5					0.5							
キヌボラ?									0.5												
ヒメムシロ類	2.2						1.5			2.6		3.9		1.6	1.4	5.0	2.0	6.7		7.8	2.6
ヒノデシタダミ?			2.2																		
エゾサンショウ			2.2	0.6				2.9	70.5			0.7		3.2	71.4	5.0	72.0	4.4	5.7		2.6
アコヤシタダミ?				0.6																	
エビスガイ類?				0.6																	
イトカケガイ類				1.7														2.2			
ノミニナモドキ	2.2														1.4			4.4			5.2
トウイト							0.5	0.5	0.5					0.5	0.7			0.7			0.7
ヒメゴウナ							0.5		71.6		74.6										
ウズマキガイ類							1.5							4.9							
オリイレクチキレ							4.5				1.5						2.0				
ハナゴウナ							1.5														
ムギガイ								1.0						0.5							
エゾタマガイ							1.0	71.6						0.5							2.6
スノメシャジク							1.0														
トカシオリイレ?							1.9														
コメツブガイ							71.4			1.3	1.5										
ヒラマキコメツブ?							1.4														
クリムシクチキレ類							4.3							1.6	1.4						
サナギクチキレ類?							1.4														
バイ								0.5						0.5							0.7
ミガキクチキレ?								1.6										2.2			
コロモガイ											70.5										
ヤツシロガイ											70.5										
イトコシタダミ類										1.3	1.5										
ムカドコシボソククチキレ類											1.5										
アカニシ										0.4											
ウミコハク														1.6	71.4	75.0			2.9		
ノミニナ														1.6							
イトカケギリ類														3.2							
マツシマコメツブ?														1.6				2.2			
キサゴ											71.5						3.8		2.2		
シラゲガイ															0.7	5.0					
カニモリ?															1.4	2.5					
オガサワラモツボ?																2.5					
クロダマメウラシマ																2.5					
スミスシラゲガイ																		2.0			
ヨワコメツブ																			4.4	11.4	
コメツブガイ類																			11.1	2.9	
ホソクチキレ類																			2.2	2.9	2.6
チビシャジク?																			2.2		
オオウヨウラク																					2.6
アラムシロ														0.5	0.7						
イボウミニナ														0.5							
ヘナタリ																					2.6
腹足類不明											1.5	3.9	3.3	3.8		27.5	4.0	24.4	28.5	7.8	5.2
ヒメナガツノ							1.5	4.3	0.5					1.6							
ツノガイ類															1.4	1.3		0.7			
ゴカイ類 (棲管)			2.2		1.7																

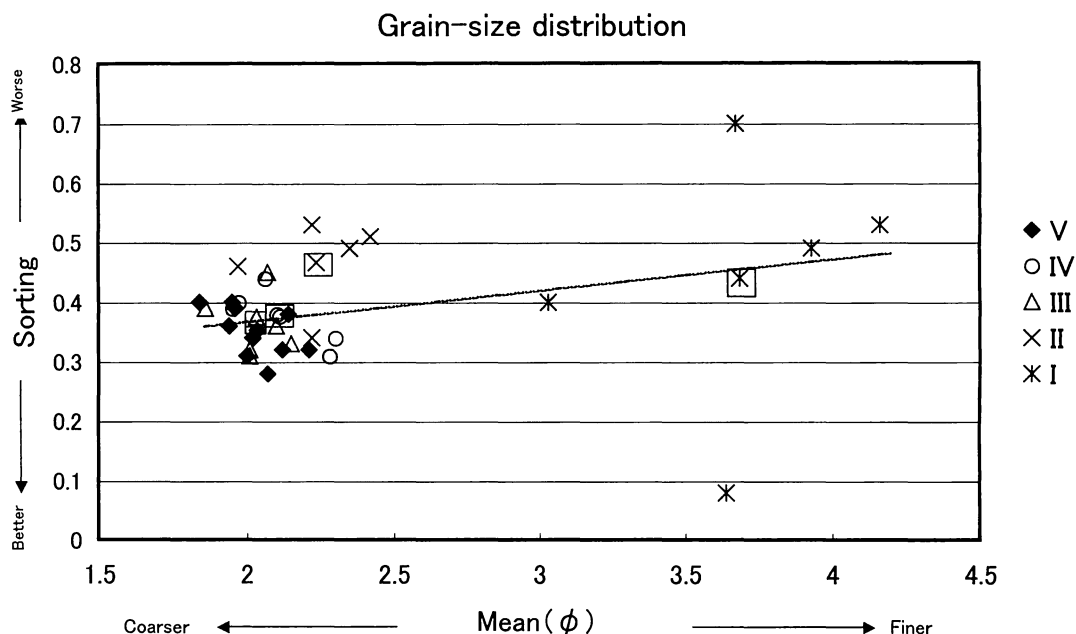


図 3. 粒度組成の平均粒径と分級度。□で囲った値は各堆積相の平均値。破線は相関近似線。

が比較的多い。その他、僅かであるが、二枚貝類のエゾマテ *Solen krusensternii* (マテガイ科)、ヤエザキスエモノガイ *Myadropsis transmontana* (ミツカドカタビラガイ科)、ヒロカタビラガイ *Myadra japonica* (ミツカドカタビラガイ科) や腹足類のトウイト *Siphonalia fusoides* (エゾバイ科)、ヤツシロガイ *Tonna luteostoma* (ヤツシロガイ科) が得られる。ここでみられるカシパンは全て破片で多くのものは擦れており、茶色に変色している。

堆積相 V：厚さ約 200cm。下位よりやや粗粒で中粒砂からなり分級は非常に良い。また、下位の堆積相とは漸移するが貝化石の密集度がより低くなり、離殻した二枚貝完形殻がふせた状態で平板型斜交層理（層理の厚さ約 10~20cm）をつくる。ここでの貝化石組成の特徴は二枚貝類のキタノフキアゲアサリ *Gomphina neastartoides* (マルスダレガイ科) が極めて多くなることである。堆積相 IV と比較すると、バカガイ (バカガイ科) が減少しそのサイズもより小型のものがみられる。また、より外洋性のヒメバカガイ (バカガイ科) の割合が増加する傾向を示し、クサビザラ (ニッコウガイ科) が減少する。その他、外洋に面した浜に多い腹足類のシラゲガイ *Mitrella lischkei* (フトコロガイ科) や二枚貝類のキュウシュウナミノコ *Latona kiusiuensis* (ナミノコガイ科) が出現し、同様に二枚貝類のシマワスレ *Cyclosunetta concinna* (マルスダレガイ科)、エゾタマキガイ *Glycymeris yessoensis* (タマキガイ科) も少数ながらみられる。また、内湾の砂泥底潮間帯に

生息するアラムシロ *Reticunassa festiva* (オリイレヨフバイ科) とイボウミニナ *Batillaria zonalis* (ウミニナ科) の磨滅した殻が認められる。ここでは、カシパンの完形殻も一部に認められるようになる。

2. 粒度組成と化石群組成

(1) 粒度組成

各サンプルの粒径の平均値（算術平均値）と分級度（標準偏差値）を求めた。全体的に上位の堆積相ほど粒径は粗くなり分級度はやや良くなる傾向が認められる（図 3）。ただし、含貝化石砂層の主構成層である堆積相 III, IV, V の間には顕著な変化はない。堆積相毎に粒度組成の特徴をみると（図 2）、堆積相 I は上方に細粒化し分級は全体によくない。堆積相 II は上方に粗粒化すると同時に分級がよくなる。堆積相 III は、2つのユニットに分けられるが、その平均粒径をみると下位ユニットの中部で、上下の部分と比較するとやや粗くなるところがある。分級度にもサンプル毎に変化が認められるが、平均粒径の変化とは必ずしも一致しない。堆積相 III でみられたような平均粒径の変化は堆積相 IV でより顕著で逆級化から正級化するユニットが複数認められる。分級度は下位の堆積相と同様に平均粒径の変化と一致しない。堆積相 V では平均粒径、分級度ともにより小幅の変化が認められるが顕著な規則性が認められない。しかし、これには試料採取を、層理とは無関係に等間隔に行なったことが影響している可能性がある。

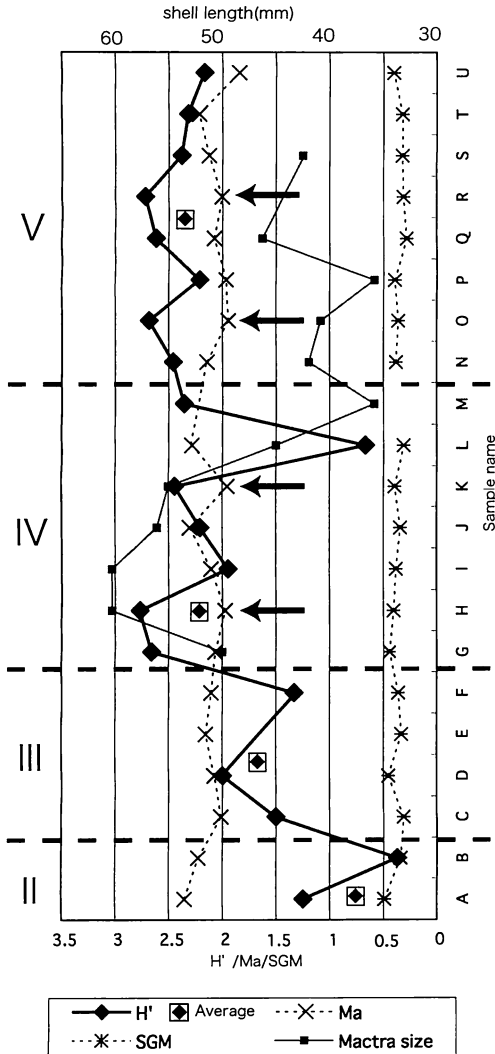


図4. 貝化石群集の多様度、バカガイの平均殻長および粒度組成。貝化石群集の多様度指数(H')は表1から求めた。多様度指数($\blacklozenge$)の各堆積相の平均値は $\blacksquare$ で示した。バカガイの平均殻長はFig. 5 bの頻度分布より求めた。

(2) 化石群組成

表1に示した貝化石群組成から多様度(Shannon-Wienwer)の多様度指数 H' 自然対数による計算値)を求めた(図4の H')。サンプル毎の変化がみられるが、各堆積相の平均値をみると上位の堆積相ほど多様度が大きくなっている。

調査地点の化石群の大きな特徴はバカガイとカシパンが優占することにある。そこで、この二種の完形殻の大きさの分布や含有重量を求めた(図5)。図5aはサンプル1000 ccあたりに含まれるカシパンの重量

(g)である。図5bは各サンプルに含まれていた完形殻のバカガイ(殻長)とカシパン(直径)の大きさの頻度分布を示す。この殻の大きさの頻度分布の平均値と標準偏差を求めてみると、全体的傾向として、大きい殻が含まれるサンプルほど殻の大きさがそろっている(図6)。次にカシパンとバカガイを個々みてみるとカシパンは、カシパンが圧倒的に多い堆積相IIIでは平均直径が小さくサイズがばらつくが、殻に磨耗が認められる堆積相Vでは、サンプル数は少ないが殻の平均直径が大きくまたサイズがそろう。バカガイでは、バカガイ離弁殻が密集する堆積相IVの方が比較的大きい殻がそろって出てくるのに対し、殻が平板型斜交層理をなす堆積相Vでは小さい殻が多くその中でいろいろなサイズが認められる。

(3) 粒度組成と化石群組成の相関

粒度組成(平均粒径と分級度)と化石群組成(多様度指数、カシパン、バカガイの殻の大きさ)の相互の関係をみてみると(図4)、平均粒径(図4の $\times$)と多様度指数(図4の $\blacklozenge$)に比較的良好な相関が認められる。すなわち粗粒な堆積物ほどそこに含まれる多様度が大きくなる傾向がある。例えば、サンプルH, K, O, Rなど上下のサンプルと比較して粒径が大きくなるところでは、多様度も大きくなる。また、バカガイの平均殻長(図4の $\blacksquare$)について層位的な特徴をみると、堆積相IVの最下部ユニットで粒径が大きくなったところで、殻長の平均値の最大が認められる。また、その上方で粒径が小さくなくても、殻長はなお最大の大きさを保っている。さらに上位のユニットになると粒径とは関係なく急激に殻長が小さくなる。堆積相Vでは、バカガイの殻長は碎屑物の粒径よりも多様度指数との相関が認められ、多様度が大きくなると殻長も大きくなる。

考 察

まず、木下層のバリアー島システムについて岡崎・増田(1992)にしたがって概略をのべ、木下層の含貝化石砂層が堆積した当時の古東京湾の堆積環境を紹介する。バリアー島とは沖合に海岸線に沿うように存在する砂州状の島のことをいう。これによって外洋と隔てられた潟(もしくは湾)ができる。潟と外洋は水路(潮流口)で結ばれ、潮流口の潟側と外洋側にはそれぞれ上げ潮潮汐三角州と下げ潮潮汐三角州が形成される。本報告で用いるバリアー島システムとはこれらの堆積物をまとめたものを指す。したがってバリアー島システムは、バリアー島本体をなす外浜-海浜堆積物と、潮流口堆積物、潮汐三角州堆積物、潟・内湾堆積物などからなる(図1)。

木下層については、その分布地域の東部に砂質の外浜-海浜堆積物(木下層上部層)が発達する。また、この西方には泥質な内湾堆積物が認められる。外浜-

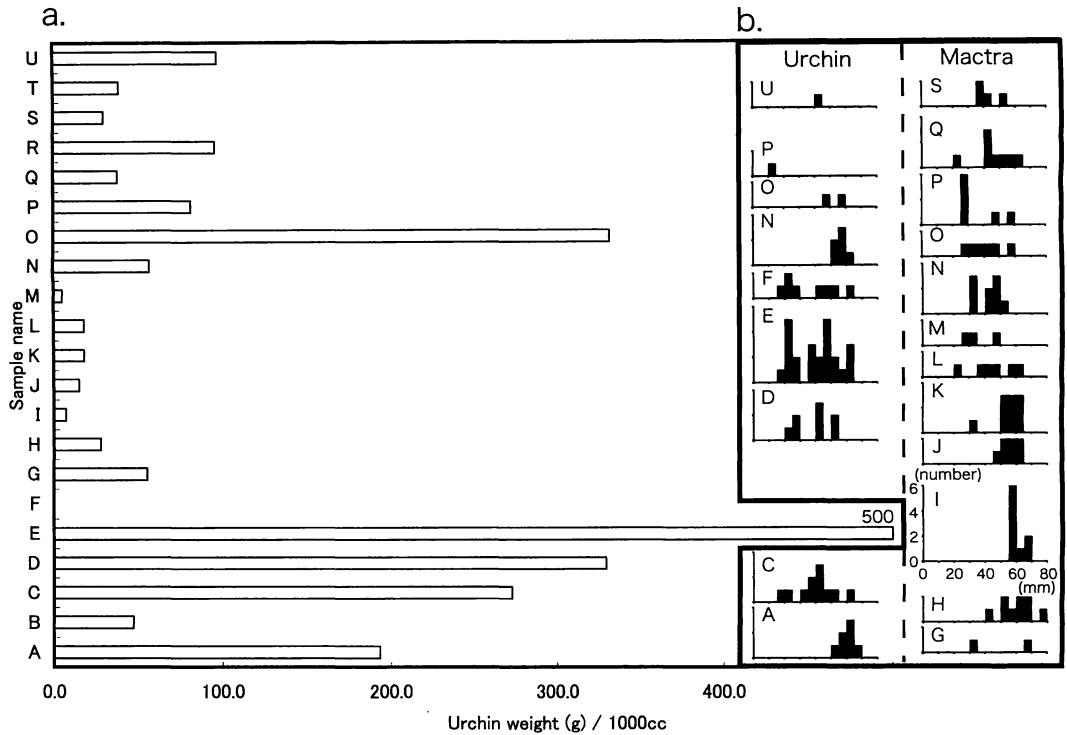


図 5. カシパンの含有率とカシパン、バカガイのサイズ分布. a, サンプル 1000 cc あたりに含まれるカシパンの重量 (g) ; b, カシパン, バカガイの完形殻のサイズ (mm) の頻度分布 (個体数).

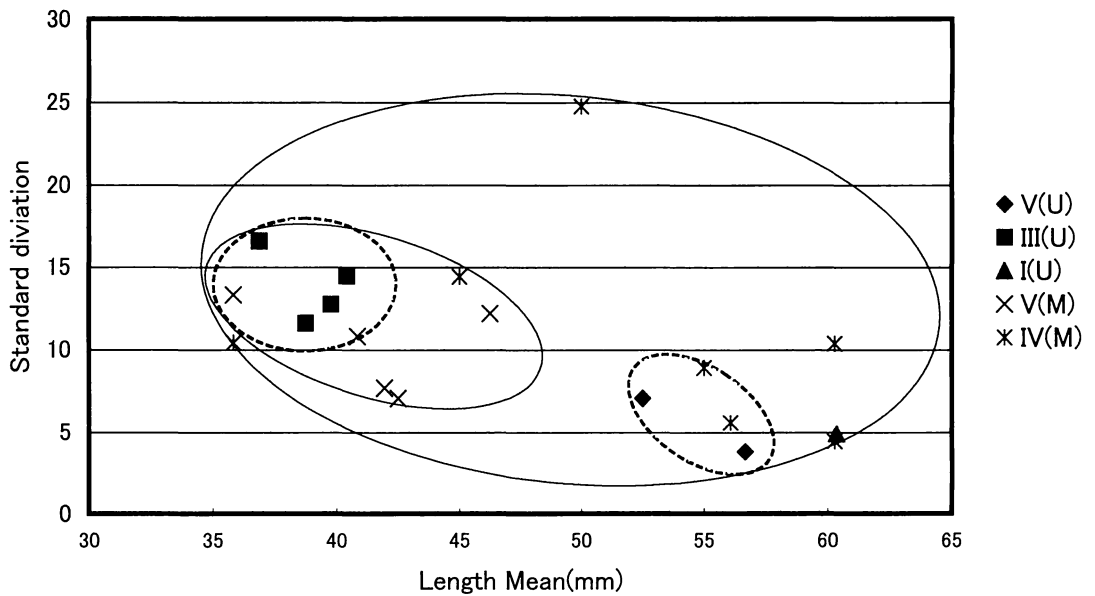


図 6. カシパンおよびバカガイの殻長分布の平均と標準偏差. (M) はバカガイ, (U) はカシパンの計測値. 平均と標準偏差は図 5 b から求めた.

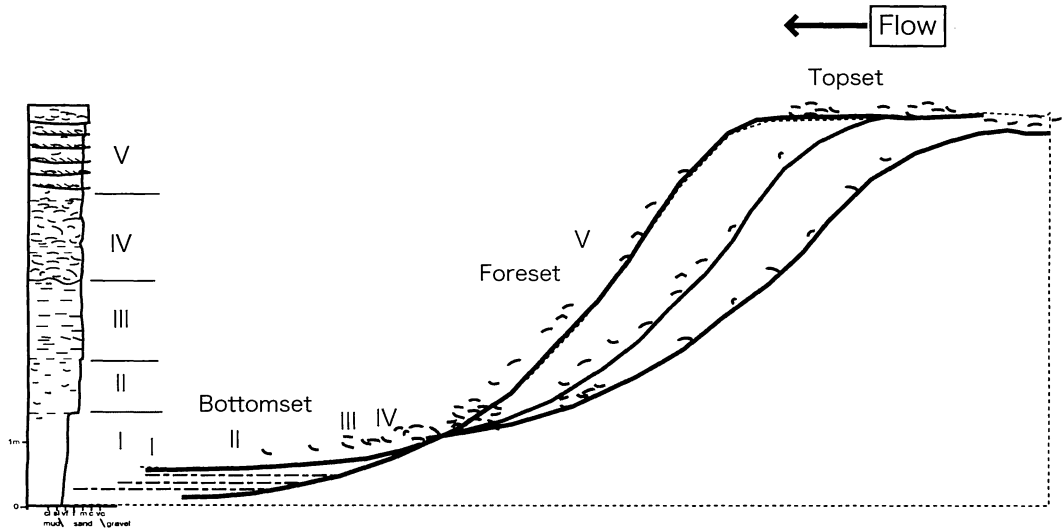


図7. 潮汐三角州堆積相模式図。頂置層，前置層，および底置層からなる。

海浜堆積物から推定されるバリアー島は現在の太平洋側に沿う方向と東京湾側に分布している。バリアー島の同時異相にはチャンネル状の砂礫層からなる潮流口堆積物が存在する。この内湾側に模式地でみられる含貝化石砂層(木下層中部層)が広く発達する。含貝化石砂層の分布地域内での層相や分布形態の特徴は次のようである。層相は下位から上位にむかって泥質細粒砂から中粒砂へと上方粗粒化する砂層で、異地性の内湾性貝化石を豊富に含み平板型斜交層理が認められる。この砂層は分布域の西方へいくほど下部の泥質層が厚くなる。層理から得られる古流向は東から西向きが優勢である。分布は東西にのびた形状を示し層厚は中央部が厚く周辺に薄くなる。これらの特徴から木下層の含貝化石砂層はバリアー島の内湾側に発達した上げ潮潮汐三角州と考えられる(岡崎・増田, 1992)。

このような既知の堆積環境条件をもとに調査地でみられる堆積相のそれぞれの堆積場および堆積作用を考察する。最初に堆積場について考察する(図7)。堆積相Ⅰは溺れ谷埋積物の層相(岡崎・増田, 1992)を示しており、木下層堆積時以前の低海水準期に形成された谷が海進期に溺れて埋積されたものである。堆積相Ⅱ～Ⅴが上げ潮潮汐三角州堆積物に相当する。堆積相Ⅱの堆積場は内湾泥底の貝化石群集を含み堆積構造が顕著でないことから、内湾の潮下帯の流れがあまり強くない場所だったと考えられる。これは潮汐三角州の底置層と考えられる。堆積相Ⅲはカシパンの完形殻の量が全体の中でもっとも多く、またその殻長にはいろいろな大きさが認められる。このことはこの化石群の原地性の程度が高いことを示している。一方、カシパン殻が成す堆積構造は波浪や流れの影響を受けたことを示す。したがってこの堆積相は潮下帯水深5m程

度の砂底の、流れのある程度あるところでたまったものと考えられる。潮汐三角州の前置層下部の堆積相と考えられる。堆積相Ⅳは基底に明瞭な浸食面をもち、後述するような高エネルギーな流れ・波浪の堆積作用を受けたことが推定される。ここでは下位の堆積相Ⅲで多産したカシパンが急激に減少すると同時に、バカガイの著しい増加がみられる。また、バカガイの他にヤエザキスエモノガイ、ヒロカタビラガイといった水深5mよりも深いところにも生息する種が得られる。したがって堆積水深としては下位の堆積相よりは同程度もしくはやや深く、潮下帯水深5～10m程度の砂底が考えられる。堆積相Ⅲと同じく前置層下部の堆積相と考えられる。堆積相Ⅴは、貝化石の離弁殻がふせた状態で平板型斜交層理をつくっている。この層理は数度でゆるく傾くのがみられ、三角州の前置面のフォースセット層理と考えられる。この貝化石群にはキタノフキアゲアサリが多くなることや僅かではあるがキュウシュウナミノコが認められることなどから、潮下帯でやや粒度の粗い砂底が考えられる。ここでは、他の堆積相では確認できなかった潮間帯に生息する種の磨滅した殻がみられる。これらは三角州頂置面の潮間帯から流れによって潮下帯に落ち込んできたと考えられる。以上のことから堆積相Ⅴは前置層の主部を形成したと考えられる。

次に堆積作用について検討する。まず、これらの堆積相が示す全体的な傾向として上方粗粒化するとともに分級度がややよくなる(図3)。特に堆積相ⅠからⅡ、ⅡからⅢ・Ⅳ・Ⅴへの変化が顕著である。同時に貝化石群も内湾泥底群集(堆積相Ⅱ)から、内湾砂底群集(堆積相Ⅲ・Ⅳ)および外洋砂底種を含む内湾砂底群集(堆積相Ⅴ)と変化する。また、それに伴い化

石群の多様度が増していく（図4）。これらの特徴は、この場所での堆積物（底質）の砂の割合の増加、および周辺の生物環境の多様化と堆積物の供給範囲の広がりを示唆している。特に外洋からの砂の供給が推定される。

各堆積相で示される海水準、波浪や流れなどの詳細についてもみえる。堆積相Ⅱで示される比較的波のない閉鎖的な内湾環境から、堆積相Ⅲでは水深が5 m程度まで上昇すると同時に波や流れなどで砂が動かされる場に変化している。さらに堆積相Ⅳでは比較的大きな波や流れによって砂が堆積していったと考えられる。これについて、粒度組成と化石群集組成の解析結果から考察する。堆積相Ⅳでは、ユニット中に逆級化から正級化の粒径変化と、それに伴う貝化石群の多様度の増減が顕著に認められる。一般的に逆級化は、その堆積物中で上方に選択的に粗い粒子が押し上げられる、もしくは後から粗い粒子が加わる、または上方で細粒の粒子が選択的にぬけていくなどしておけると考えられる。この堆積相の場合、粗粒化しても分級度が必ずしもよくなることから、上方で細粒の粒子が選択的にぬけていくことは考えにくい。したがって、粒径が粗くなると同時に多様度が増すのは、選択的に粗い粒子が押し上げられたかもしくは後から粗い粒子が加わった可能性が考えられる。次に、この粒径変化に伴う貝化石群の短い期間での多様度の増減は、生態的な変化よりも貝化石の粒子群としての挙動が考えられる。すなわち、本報告での貝化石（片）はおよそ2 mm以上の大きさをもつものであり、砂や泥などの碎屑物との比重や形態の違いは考慮しなければならないが、粒子径としてはかなり粗い粒子とみなすことができる。したがって粒径が粗くなると同時に多様度が増すのは、流体の中で化石の密度の濃い粗粒な部分が上方により集中して堆積した可能性が考えられる。貝化石群をみる限りここでの多様度指数の増加は、生態的にはあまり離れないが大きさや形態の異なる二枚貝や腹足類などが混合することが要因のようにみえる。次に、この堆積相に多産するバカガイについてそのサイズについてみる。ここで検討するバカガイは完形殻で殻長20～80mmの個体が対象となっている。この殻長の平均は堆積相の最下部ユニット基底より少し上で最大でサイズもよくそろい、産状は入れ子状でクラストサポートを示す。また、この殻長は碎屑物の粒径とは関係なく堆積相全体の中で上位に向って減少する。したがってこれらサイズの突出した大きい殻は、他の化石群とは異なるプロセスで堆積したと考えられる。すなわち、腹足類など小さくても浮力を受けにくい形のものに比べてより大規模に浮かび上がり、流体のエネルギーがやや下がってもこれらの凝集は続いたと考えられる。その後、堆積相全体の流体のエネルギーの減衰にともなって徐々に、これらの大きな殻が浮遊や運搬ができ

なくなっていくのではないかと考えられる。一般的にこのような級化構造をつくる流れとしては、混濁流、アンティデューンなどがあげられるが、ここでは堆積物中の含泥率が低いことからアンティデューンの可能性が高い。アンティデューンは流速の非常に速い場合におこる流れの逆行に伴うベッドフォームである。ここでは逆巻く波状の流れによって堆積がおこる。したがって、この場合、貝殻を多く含んだ流れによるアンティデューンが大規模な底面の巻き上げをおこし、その場にあった堆積物とともに上方への粗粒粒子の押し上げをおこしたのではないかと考えられる。正級化はその後のゆっくりとした沈下がその上を覆って形成したと考えられる。またこれが何回くりかえすと同時に流れ自体のエネルギーが減衰していったと推定される。次に堆積相Ⅴは下位の堆積相よりも粗粒化し分級がよい。貝化石群の組成は前述したように、潮下帯でやや粒度の粗い砂底群集に、そこへ流れ込んできたと思われる潮間帯に生息する種が混じる。と同時に外洋に面した浜に多い貝類群も増えている。これらのことは堆積相Ⅴが内湾へ外洋水が流入することによって砂が運ばれ堆積したものであることを示している。また、バカガイは堆積相Ⅳと比べると平均殻長が小さく殻のサイズがさまざまなことから、その流れは堆積相Ⅳでみられる高エネルギーで急激な流れではなく、より定常的な流れが想定される。また、平均粒径の粗いところで多様度が大きくなりバカガイの殻長も大きくなる。これは粗粒な粒子を運搬することができる速い流れの中に比較的大きく化石（片）を多く含むことができたことを示していると考えられる。また、この堆積相の貝化石群の多様度は全体的に高く、より広範な生息環境から潮流によって再移動されて形成されたことを示唆している。したがって、堆積相Ⅴは前述した堆積構造や粒度や貝化石組成などから、湾口の広がりに伴う活発な潮流作用で形成されたと推定される。

これらの結果からは、全体として上方に向って海水準の上昇による湾の拡大と、それに伴う流れや波などの運搬エネルギーの増大が読み取れる。このような堆積環境の変化はバリアー島システム全体の発達過程を示している。バリアー島は海進とともに内湾側に移動する（後退する）ことが現世のバリアー島の観測結果から知られている。ここでみられる潮汐三角州の底置層から前置層への発達、バリアー島の後退に伴う潮流口の移動によるものである。また、同時に潮流口の開口が広がったことも推定される。堆積相Ⅴでは貝化石群の中に房総半島より北には生息していないやや暖かい海域の貝類群も認められ、また再堆積の可能性もあるが房総半島以北にのみ生息する二枚貝類のエゾタマキガイ（タマキガイ科）も得られる。このような寒流系種と暖流系種の混合は、下総台地東岸が親潮系と黒潮系の潮目であることから、湾口が広がることによ

てこれが可能になったと推定される。

木下層全体が示すバリアー島システムの古地理と、調査地点の堆積相が示す砂層と異地性化石群の特徴は極めて調和的であり、ここでの堆積相の変移はバリアー島システムの発達過程をより明確に示している。したがって、このような変移は海水準上昇に伴う内湾の地理や海況変化を推定する上での重要な事例を与えるものと考えられる。厚さ5 mという比較的薄い化石層の中で読み取れる環境変遷としては第一級のものである。

ま と め

1. 調査地は千葉県印西市木下で更新統下総層群木下層が分布する。ここには異地性の貝化石が豊富に産出し「木下貝層」として国の天然記念物に指定されている。

2. 更新統下総層群木下層は千葉県北部の下総台地と茨城県南部の常陸台地に分布し、この地域全体の堆積相解析から約12~13万年前の当地域にバリアー島システムが存在し、調査地周辺にみられる含貝化石砂層はシステム中の潮汐三角州をなしていたことが明らかにされている(岡崎・増田, 1992)。本研究は調査地の化石群調査を堆積相解析とともにおこない、それによって、潮汐三角州の形成やそれを含むバリアー島システムの発達過程を明らかにした。

3. 調査地の木下層はⅠ~Ⅴの5つの堆積相に区分される。堆積相Ⅰは木下層基底の谷の埋積物である。堆積相Ⅱ~Ⅴの含貝化石砂層が、潮汐三角州堆積物に相当する。

4. 堆積相Ⅱ~Ⅴが示す堆積場は以下のようなものである。

- ・堆積相Ⅱは下部は極細粒砂層で上方に向かって細粒砂層になる。内湾泥底の貝化石群集を含み、顕著な堆積構造もみられないことから、内湾の潮下帯の流れがあまり強くない場所に堆積した潮汐三角州の底置層と考えられる。多様度が低い。
- ・堆積相Ⅲは、細粒砂~中粒砂層からなり分級が良い。含まれる化石のほとんどがカシパンで、完形殻が多くその大きさにはバリエーションがあり原地性の程度が高い。また、カシパンの殻は層理と平行に並ぶかもしれないインプリケイト構造を示す。したがってこの堆積相は潮下帯水深5 m程度の砂底の流れのある程度あるところであつたものと考えられる。潮汐三角州の前置層下部の堆積相と考えられる。
- ・堆積相Ⅳは細粒砂~中粒砂層からなり分級が良い。バカガイの離弁完形殻を多産する。基底に浸食面をもついくつかのユニットに細分され、後述する急激な流れによって運搬されたことが示唆される。潮下帯水深5~10 m程度の砂底が考えられ、前置層下部の堆積相と考えられる。
- ・堆積相Ⅴは下位の堆積相とは漸移するがやや粗粒(中粒砂)で分級は非常に良い。数度でゆるく傾く

平板型斜交層理がみられ三角州の前置面のフォーセット層理をなしていたと考えられる。化石群はバカガイが減少し、キタノフキアゲアサリが多くなる。また、より外洋性の貝や潮間帯の磨耗殻がみられ、全体として多様度が高い。これらのことから海水面の安定と、潮流によって外洋から砂の供給が増加し三角州の前進が促されたことが推定される。

5. 堆積相を構成する碎屑物の粒度組成とそこに含まれる化石群構成には相関が認められ、そこから堆積作用について検討をおこなった。堆積相Ⅳにはユニット中に逆級化から正級化の粒径変化と、それに伴う貝化石群の多様度の増減が認められる。逆級化は貝殻を多く含んだ急激な流れが大規模な底面の巻き上げにおこし多様な化石片を含む粗粒粒子を押し上げながら堆積した結果であると考えられる。また、その後にそれら粗粒粒子がぬけた碎屑物がゆっくりと上に沈下し正級化が形成された。また、突出した大きさを示すバカガイ殻は他の化石群とは異なるプロセスで堆積したと考えられ、より強い浮力をえて大規模に巻き上げられた後、流れ全体のエネルギーの減衰にともなう沈下していったことが推定される。

6. 堆積相Ⅴは、上記のように潮流による堆積が推定される。ここでは層理毎に大きな粒度組成の変化は認められず、含まれるバカガイは堆積相Ⅳと比べると平均殻長が小さく、またさまざまな大きさが認められる。このことは潮流のようなより定常的な流れを支持している。また、平均粒径の粗いところで多様度が大きくなり、バカガイの殻長も大きくなる。これは粗粒な粒子を運搬することができる速い流れの中に比較的大きく多量の化石(片)を含むことができたためと考えられる。

7. これらの堆積相の垂直的变化からは、上方に向って海水準の上昇による湾の拡大と、それに伴う流れや波などの運搬エネルギーの増大が読み取れる。このような堆積環境の変化は、バリアー島が海進とともに内湾側に移動することにより潮流口が移動し、同時に開口が広がったことを示唆している。特に堆積相Ⅴにみられる寒流系種と暖流系種の混合は、湾口が広がることによって可能になったと推定される。

謝 辞

本研究にあたり、現地調査で種々お世話になった印西市教育委員会の伊藤哲之氏、印西市都市建設部の藤崎博一氏に、また本稿の改稿に際し有益なコメントを頂いた査読者に御礼申し上げます。また、本研究は、平成19年度笹川科学助成金および科学研究費補助金基盤研究(C)(課題番号19540486)を使用した。

引用文献

青木直昭・馬場勝良, 1971. 木更津-市原地域の瀬又,

上泉および成田層の貝化石群とその産出層準. 地質学雑誌 7: 137-151.

青木直昭・馬場勝良. 1978. 成田層の古地理. 筑波の環境研究 3: 187-195.

青木直昭・栗野俊昭・福沢 章・堀口 興・池田宣弘・木野崎セツ子・小池桂子・小池俊夫・森 由紀子・杉山悠紀子・鈴木雅子・吉村 文. 1962. 成田層の貝化石について. 地質学雑誌 68: 341-346.

関東第四紀研究会. 1970. 下末吉台地およびその周辺地域の地質学的諸問題. 地球科学 24: 151-166.

小島伸夫. 1958. 木下化石帯に発見された堆積の間隙を示す面と現地堆積性の化石について (短報). 地質学雑誌 64: 153-154.

小島伸夫. 1959. 印旛沼周辺の成田層群について—成田層群の研究第3報—. 地質学雑誌 65: 595-605.

黒住耐二. 2004. 国指定天然記念物「木下貝層」2003年度調査報告書. 26 pp. 印西市教育委員会, 印西市.

町田 洋・新井房夫・杉原重夫. 1980. 南関東と近畿の中部更新統の対比編年—テフラによる一つの試み—. 第四紀研究 19: 233-261.

町田 洋・鈴木正男. 1971. 火山灰の絶対年代と第四紀後期の編年. 科学 41: 263-270.

横山次郎. 1930. 関東南部の洪積層. 小川博士還暦記念地学論集: 307-382.

増田富士雄. 1988. ダイナミック地層学—古東京湾の堆積相解析から— (その1 基礎編). 応用地質 29: 312-321.

Murakoshi, N. and F. Masuda. 1992. Estuarine, barrier-island to strand-plain sequence and related ravine-surface developed during the last interglacial in the Paleo-Tokyo Bay, Japan. Sed. Geol. 80: 167-184.

西川 徹・伊藤 慎・杉本英也. 1998. 地層から読み取るバリアー島の発達過程. 地質学雑誌 104: 477-494.

大原 隆. 1971. 成田層の貝化石と構成物質. 千葉大学教養部研究報告 B-4: 49-80.

大原 隆・桂 雄三・岡崎浩子・黒住耐二・大野康男・伊藤哲之. 2004. 文化財と地質学—天然記念物木下貝層化石観察ウォーク—. In 日本地質学会第111回学術大会見学旅行案内書, pp. 177-188.

大原 隆・菅谷政司・福田芳生・田中智彦. 1976. “桜井層”の化石 (1. 貝類・底生有孔虫類・蟹類・孤生珊瑚類・蔓脚類). 千葉大学教養部研究報告 B-9: 77-108.

大原 隆・横田敬一. 1967. 印旛郡印旛村瀬戸の成田層の貝化石と構成物質. 千葉大学銚子臨海研究所報告 9: 50-62.

岡崎浩子・増田富士雄. 1992. 古東京湾地域の堆積システム. 地質学雑誌 98: 235-258.

斎藤登志雄. 1959. 水戸・酒沼付近の地質. 茨城大学文理学部紀要, 自然科学 10: 135-143.

杉原重夫. 1970. 下総台地西部における地形の発達. 地理学評論 43: 703-718.

杉原重夫・新井房夫・町田洋. 1978. 房総半島北部の中・上部更新統のテフロクロロジー. 地質学雑誌 84: 583-600.

徳橋秀一・遠藤秀典. 1984. 姉崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1図幅). 136 pp. 地質調査所.

矢部長克. 1906. 東京附近の第三期及洪積期層に付て. 地質学雑誌 3: 187-192.

Yabe, H. 1911. A new Pleistocene fauna from Tokyo, with a general statement on the Pleistocene deposits of Tokyo, Japan. Geol. Mag. 8: 210-217.

矢部長克. 1914. 房総半島. 現代之科学 2: 227-234.

Sedimentary Processes of a Tidal Delta Inferred from the Natural Monument Kioroshi Shell Bed (Pleistocene Kioroshi Formation, Shimosa Group), Eastern Japan

Hiriko Okazaki and Taiji Kurozumi

Natural History Museum and Institute, Chiba
955-2 Aoba-cho, Chuo-ku, Chiba-shi, 260-8682 Japan
E-mail: kohiroko@chiba-muse.or.jp; kurozumi@chiba-muse.or.jp

A molluscan shell bed of the Pleistocene Kioroshi Formation is observed at Kioroshi, Inzai City, Chiba Prefecture, eastern Japan. The bed, which contains abundant allochthonous shells of shallow marine molluscs, has been recognized as a flood tidal delta deposit. This study describes precise sedimentary processes of the delta formation based on an analysis of sedimentary facies and fossil assemblages. The delta deposit is divided into five sedimentary facies, of which upper four facies are regarded as bottomset and foreset deposits of the tidal delta. Facies II, including an inner-bay muddy-bottom fossil assemblage and no sedimentary structure, represents a bottomset deposit of a tidal delta. In the fossil assemblage of Facies III, well-preserved, various-sized shells of *Scaphechinus mirabilis* (Echinodermata: Echinoidea: Clypeasteroidea) are predominant and show parallel stratification or imbricate structures. The features suggest that the Facies III was deposited on sandy bottom at the depths of 5-10m, where a weak flow existed. Facies IV,

characterized by concentration of abundant shells of a mactrid bivalve *Mactra chinensis* and divided into smaller units with erosion base, indicates that deposition occurred under high-energy flow. It is presumed that Facies III and IV had been deposited at lower part of the delta forset. Facies V shows low-inclined tabular cross-stratification. The fossil assemblage shows a composite fauna consisting mainly of inner-bay sandy bottom inhabitants and additional open-coast sandy bottom species and fragmentary shells of intertidal zone species. Facies V resulted from the transgression of delta forset by flood tidal currents. As a whole, these facies indicate upward coarsening and better-sorting trend. The rates of open-coast species and the diversity of the fossil assemblage also increase upward. The results reveal the expanding of the bay, the widening of the tidal-inlet and the increase of sand supply into the bay from open-coasts by tidal currents during the sea-level rise.