

論 説

ストーム成化石密集層の軟体動物化石における生態学的属性の層位変化：
鮮新統掛川層群大日層の下部外浜相を例に

木村由莉*・横山芳春**・平野弘道***

*サザンメソジスト大学地球科学・**株式会社アースアプレイザル 営業本部・***早稲田大学教育・総合科学学術院地球科学専修

Stratigraphic trends in molluscan paleoecology in storm-generated shell
beds from the lower shoreface deposits of the Pliocene Dainichi Formation,
Kakegawa Group, central Japan

Yuri Kimura*, Yoshiharu Yokoyama** and Hiromichi Hirano***

*Roy M. Huffington Department of Earth Sciences, Southern Methodist University, 3225 Daniel Avenue, Dallas, TX 75205, USA (ykimura@smu.edu); **Earth-Appraisal Co., Kanda Awajicho, Chiyoda 101-0063, Japan; ***Department of Earth Sciences, School of Education, Waseda University, Shinjuku 169-0051, Japan

Abstract. Molluscan fossils in storm-generated shell beds are commonly transported and damaged. Here we report a case study on assessing mollusc shell transport from original habitats to lower shoreface storm deposits. Fossil assemblages recovered from eight storm-generated shell beds in the Pliocene Dainichi Formation, Kakegawa Group, Japan, were examined. We assessed temporal changes in the relative frequency of three ecological categories (mode of life of bivalves, substrate preference, and habitat depth), using available information on modern molluscan species.

The studied stratigraphic section was subdivided into two distinct units based on taxonomic compositions and the ecological categories. The lower unit (D-1, D-2, D-2') is characterized by rocky-bottom dwellers such as *Arca arabica*, *Cardita leana*, *Chama* sp., *Lima vulgaris*, *Collisella* spp., and *Siliquaria cumingii*. The gravel-bottom dweller *Arcopsis symmetrica* is more common in the lower unit. The upper unit (D-3 to D-7) can be distinguished from the lower one by a decrease in deposit feeders that are better able to escape sudden burial than suspension feeders. In this unit, suspension feeders that generally inhabit quiescent environments increase in the place of the deposit feeders.

The results indicate the followings: (1) the storm-generated shell beds in the study section represent indigenous fossil assemblages; (2) thin and flat bivalves (e.g., "*Macoma*" spp. and *Saccella* spp.) exclusively deposited on the laminar surface (D-2') were more or less transported, whereas gastropods accumulated in lag deposits (D-2) of hummocky cross-stratified beds were residues after a storm event and its attendant winnowing of fine sediments; (3) paleontological evidence obtained from the lower unit indicates the existence of a rocky coast during the time when the Dainichi Formation began to deposit in the study area (Dainichi, Fukuroi City); and (4) the changes in the ecological categories from the lower to the upper unit are compatible with the upward-deepening sedimentary sequence recorded in the Dainichi Formation.

Key words: storm-generated shell bed, Mollusca, lower shoreface, hummocky cross-stratification, Kakegawa Group

はじめに

波浪卓越型外洋性海岸の下部外浜における砂質堆積物は、砂層同士が重なり癒着したハンモック状斜交層理(癒着HCS: amalgamated hummocky cross-stratification)や平行層理を呈する細粒砂層で特徴付けられる(斎藤, 1989)。HCS細粒砂層は、ストーム波浪自体によってもたらされ

る速い振動流と、ストーム波浪によって海岸側に押し寄せられた水の冲向きの反流との複合流によって形成されるとされている(Arnott and Southard, 1990; Duke *et al.*, 1991)。HCS砂層中には浅海生の化石が集積した密集層がしばしば保存されており、これはストーム波浪がもたらす高エネルギー環境下で貝殻などの生物骨格が集積したイベント化石層とされている(Kidwell, 1991; 安藤・

近藤, 1999; 近藤・鎌滝, 2000). こうしたストーム成のイベント化石密集層では, 洗掘 (reworking) や吹き飛ばし (winnowing) 作用を受けて殻が集積している上に, 殻の形態や大きさや重さなどによってそれらの作用による運搬履歴が異なるために, 異なる場に生息する種が混合している場合が少なくない. Fürsich and Oschmann (1993) によると, 下部外浜のストーム成化石密集層は生息場と堆積場がほぼ同所の同相的な貝化石群によって構成される. しかし, ストームによってどのくらい運搬されたのかを議論する際, 密集層内での貝殻化石の物理的保存状態や配列様式の情報だけからそれを視覚的に評価する方法は今のところ存在しない. 高精度の古環境解析を目指すのなら, 下部外浜相における化石群の運搬の程度を見積もることは不可欠である.

静岡県南西部に分布する鮮新統掛川層群大日層には, 多数の貝化石密集層が挟在することが知られており (Tsuchi, 1961; 鎮西, 1980), 下部外浜相に保存されたストーム成化石密集層として解釈されてきた (Ishibashi, 1989; Sakai and Masuda, 1995). これは間嶋・本目 (1993) による貝化石の配列方向の解析からも実証されており, ストーム成化石密集層の詳細な研究に好適な対象であるといえる.

そこで本研究では, 大日層の同一堆積相内に挟在する多数のストーム成化石密集層を対象に, そこに含まれる現生種およびその近縁種の生態学的属性 (二枚貝の生活様式, 二枚貝・巻貝の生息底質および生息深度) の層位変化から, 下部外浜相における化石群の運搬程度の評価を試みた.

試料

化石密集層の解析は, 間嶋・本目 (1993) と同様, 袋井市大日の株式会社日本シェーバー原種鶏農場の南側に位置する沢の露頭で行った. 本調査地点では, 下部外浜相内における化石密集層の垂直的な変遷を単一の露頭内で検討することが可能である. 宇刈川の細い支流に沿った谷に, 大日層が走向方向にほぼ連続して露出している. 大日層は, 基盤の倉真層群松葉層のシルト岩を不整合に覆う. 河床面に露出する基盤の松葉層には, 直径が1~4 cmで深さ2~3 cmの穿孔貝による穿孔痕が多数認められることから, 直上の大日層とは不整合の関係であることが示される.

本調査地点における下部外浜相は, 不明瞭な平行層理もしくはHCSをなす極細粒~細粒砂層からなり, 多数の化石密集層が挟在する. これらの化石密集層のうち, サンプルの比較的容易な8層準の化石密集層を識別し, 下位よりD-1 (Dainichi-1の意), D-2, D-2', D-3, D-4, D-5 (間嶋・本目 (1993) により解析された層準に相当), D-6, D-7として (図1), これらの層準で産状観察および化石試料採取を行った.

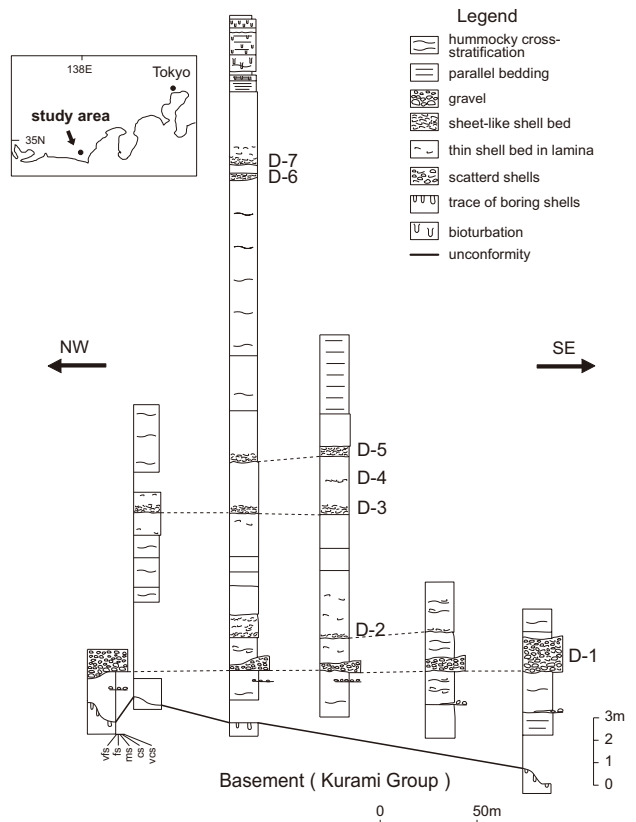


図1. 袋井市大日の調査地点における化石密集層の層準 (D-1~D-7) とその側方分布. 図中の最右の柱状図は間嶋・本目 (1993) の図1の最左の柱状図に対応し, 左から3番目の柱状図は間嶋・本目 (1993) の図1の最右に対応する. vfs, 極細粒砂; fs, 極細粒砂; ms, 中粒砂; cs, 粗粒砂; vcs, 極粗粒砂.

Fig. 1. Stratigraphic sections of the study area (Dainichi, Fukuroi City), indicating the temporal and spatial distributions of the shell beds (D-1 to D-7). vf, very fine sand; ms, medium sand; cs, coarse sand; vcs, very coarse sand.

研究方法

サンプリング

採取した試料 (30 cm×30 cm×20 cmの相当量) は, 室内において2.8 mmのメッシュの篩を用いて選別し, 貝化石を全て拾い出した. 貝化石の同定は, 主にOyama (1973) と Ozawa *et al.* (1998), 補助的に波部 (1983), 波部・奥谷 (1983), 奥谷 (1986), 間嶋 (1987, 1988) を用いた. 同定が困難な磨耗の激しい個体や破損の大きい個体のうち, *Nitidotellina*属および*Macoma*属は "*Macoma* spp.", タケノコガイ類で同定できなかった属をTerebridae spp., カキ類の*Ostrea*属および*Crassostrea*属は "*Ostrea*" spp.として一括した. 殻の残存度を考慮して, 破片化の度合に応じて0.25, 0.50, 0.75, 1.0の四段階の係数を乗じて殻数を計数し (横山ほか, 2001), この結果を表1に示した. なお計数に用いた個体は, 巻貝では「殻口を有し0.25以上」もしくは「0.50以上」残存しているもの, 二枚貝では「殻頂を含み0.25以上」残存しているもので

表1. 大日層の下部外浜相に狭在する化石密集層8層準から産出した軟体動物化石のリスト。epif-S, 表生懸濁物食者；bor, 穿孔性内生懸濁物食者；inf-sD, 内生浅潜没堆積物食者；inf-D, 内生堆積物食者；inf-S, 内生懸濁物食者。R, 岩礁底；G, 礫底；S, 砂底；mS, 泥質砂底；sM, 砂質泥底；M, 泥底。N₀, 潮間帯；N₁, 上浅海帯；N₂, 中浅海帯；N₃, 亜浅海帯；N₄, 下浅海帯；B, 深海帯。

Table 1. List of gastropod and bivalve taxa recovered from the eight shell beds studied. epif-S, epifaunal suspension feeder; bor, boring bivalve; inf-sD, infaunal shallow-burrowing deposit feeder; inf-D, infaunal deposit feeder; inf-S, infaunal suspension feeder. M, mud; sM, sandy mud; mS, muddy sand; S, sand; G, gravel; R, rock.

Species	Individual number								mode of life	substrate	Habitat
	D-1	D-2	D-2'	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7			
Gastropods											
<i>Actaeopyramis</i> cf. <i>A. lauta</i> A.Adams †		14.5	27.25	9	2	7.5	4		—	—	—
<i>Adamnestia japonica</i> A.Adams			8.75	2	5.75	9.75	0.75		—	S	N1-B
<i>Amaea</i> sp.					1				—	—	—
<i>Babylonia elata</i> Yokoyama †	4.5	10.5	2.25	22.75	9.5	3	1	5	—	—	—
<i>Baryspira albocallosa okawai</i> Yokoyama †	10.75	75.25	16.25	123.75	81	96.25	1.5	37	—	S	N1
<i>Bostrycapulus gravispinosus</i> Kuroda et Habe		2							—	R	N0
<i>Brevimyurella japonica</i> Smith			1						—	S	N1
<i>Calliostoma (Tristichotrochus) unicum</i> Dunker	1.75			1	1	0.75	1		—	R	N0-1
<i>Calliostoma</i> spp.								8.75	—	—	—
<i>Cancellaria pristina</i> Yokoyama †		0.75	3	6.25	10.5	16	5.25	11.5	—	—	—
<i>Cancellaria</i> spp.	0.25				2.25				—	—	—
<i>Chicoreus totomiensis</i> Makiyama †				1.5					—	—	—
<i>Cinguloterebra amabilis</i> Makiyama †			0.25	2.5		0.75			—	—	—
<i>Clavus</i> cf. <i>C. longispira</i> Smith †			1		1				—	—	—
<i>Collisella</i> spp.		6	6						—	R	N0
<i>Comitas</i> cf. <i>C. kirai</i> Powell									—	—	N3-B
<i>Cryptonatica janthostomoides</i> Kuroda et Habe	12.75	1	3.75				26.5	25.25	—	mS	N1-N2
<i>Cryptonatica</i> spp.	15	287.75	104	375.75	263.5	312	161.5	233.5	—	—	—
<i>Diodra suchiensis</i> Tomida †			1.25						—	—	—
<i>Diplomeriza yokoyamai</i> Makiyama †		8.25	3	4.75		11.75			—	—	—
<i>Duplicaria hiraodensis</i> Pilsbry †			0.75	0.5	5.5	1.75		3.25	—	no data	no data
<i>Epitonium scalare</i> Linnaeus			1						—	S	N1-N2
<i>Epitonium</i> spp.		8.5	9.25	6.5	2	5.75	1		—	—	—
<i>Euchelus</i> sp.			1.5						—	—	—
<i>Eufella</i> sp.			1			1	11		—	—	—
<i>Fusinus perplexus</i> A. Adams									—	S	N1-2
<i>Fusinus tuberosus</i> Reeve		1							—	gR	N0-N1
<i>Fusinus</i> spp.		1.75				1.5			—	—	—
<i>Gemmula (Unedogemmula) unedo</i> Kiener	1.5								—	—	N3
<i>Glossaulax didymi</i> Röding	11.75	9.75	9	22.25	42	41.5	20.5	32.5	—	S, mS	N1
<i>Glossaulax hagenoshitensis</i> Shuto †	11.75	42.5	6.5	40.75	35.5	35.25	7.25	47	—	—	—
<i>Glossaulax reiniana</i> Dunker				5		1			—	mS	N1
<i>Glossaulax vesicalls</i> Philippi		3.75				2.75			—	S	N1-2
<i>Glossaulax</i> spp.	2.75	3.5		7.75	19.25	10	2.25	10.25	—	—	—
<i>Granuliterebra</i> sp.						6	1.5		—	—	—
<i>Habesolatia nodulifera</i> Sowerby	4.75			7.5		4	2.5	18	—	S	N1
<i>Hastula dainichiana</i> Yokoyama †	6.75	7	8	16	6.75	15	4.75	12.75	—	—	—
<i>Hastulina</i> cf. <i>H. casta</i> Hind †	5.75	15	18.25	14.25	13.25	16	0.75		—	—	—
<i>Hemifusus tuba</i> Gmelin					1				—	S	N1-2
<i>Indomitrella yabei</i> Nomura		6	6.75	16.5	11	1			—	M	N1
<i>Inquisitor pseudoprincipalis</i> Yokoyama †	1.75	6.75		33.25	16	11.75	3.75	10	—	—	—
<i>Inquisitor</i> sp.		1			0.75		2.25	9.75	—	—	—
<i>Mathilda totomiensis</i> Makiyama †							0.75	1.5	—	—	—
<i>Mitrella (Mitrella) burchardi</i> Dunker			1						—	S	N1
<i>Mitrella bicincta</i> Gould		13.75	6.75	6.25	12	3.5		2	—	R, G	N0-1
<i>Nassarius caelatus dainichiensis</i> Makiyama †						1			—	—	—
<i>Niotha congrua</i> Yokoyama †	4	80.75	17.75	112.5	98	19.25	1	7.75	—	—	—
<i>Noditerebra taylori</i> Reeve	2.25	0.5							—	mS	N1
<i>Odostomia</i> sp.						1			—	—	—
<i>Olivella fulgurata</i> A. Adams and Reeve		22.5	15	11	11.5	26	1	4	—	S	N0-1
<i>Olivella japonica</i> Pilsbry		4	8		7.25				—	S	N1
<i>Olivella spretoides</i> Yokoyama	1	10.5	18.25	28	14	9.5	47.5	18.5	—	S	N3
<i>Palmadusta</i> sp.				0.5					—	—	—
<i>Parabathyoma luhdorfi</i> Lischke	0.25							3.25	—	S	N2-N4
<i>Paradrillia dainichiensis</i> Yokoyama †	2.75	7.75	1.5	7.5	11.75	13.25	24.25	43	—	—	—
<i>Parviconus tuberculosus</i> Tomlin			2		1				—	S	N3
<i>Philbertia (Pseudodaphnella)</i> sp.						2			—	—	—
<i>Phos nipponicus</i> Nomura †			1						—	—	—
<i>Polinices albumen</i> Linnaeus					3.25				—	S	N0
<i>Polinices</i> sp.	0.75							3.25	—	—	—
<i>Pollia mollis</i> Gould				5.5	1		1	1	—	R	N0-1
<i>Pristiterebra</i> aff. <i>Pristiterebra bifrons</i> Hinds	3.25	13.5	1.5	34.75	33	16.25	5.75	41.5	—	S	N1
<i>Proterato (Sulcerato) callosa</i> A. Adams and Reeve		18.75	20.75	2	5				—	R, gR	N0-1
<i>Pseudoetrema fortillirata</i> Smith		8.75	13.5	19	9	5	18.25		—	mS	N1-2
<i>Pupa solidula</i> Linnaeus				0.75	9	34.75			—	S	N0
<i>Purpura persica</i> Linnaeus	1								—	R	N0
<i>Pusia</i> sp. cf. <i>P. consanguinea</i> Reeve	0.75								—	R	N1
<i>Rapana venosa</i> Valenciennes				3.5				2.25	—	sM, (R)	N1
<i>Reishia bronni</i> Dunker	1.75								—	R	N0
<i>Reishia nakamurai</i> Makiyama †			0.75	1.5	1			1	—	—	—
<i>Reticunassa japonica</i> A. Adams		7	3.5	19.5	22	14.75			—	S	N0
<i>Reticunassa pauperus</i> Gould		4	5	9	2	1.5			—	S	N0

Species	Individual number								mode of life	substrate	Habitat
	D-1	D-2	D-2'	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7			
<i>Reticunassa</i> spp.							47.25	12.75	—		
<i>Ringicula doliaris</i> Gould		2	8		1			3	—	S, mS	N1-3
<i>Rubellatoma longispira</i> Smith		1							—	S	N1
<i>Siliquaria cumingii</i> Mörch		5	8.75						—	R	N0-N2
<i>Sinum javanicum</i> Griffith and Pidgeon		1.25							—	M	N1-N2
<i>Siphonalia declivis biconica</i> Makiyama †				1					—	—	—
<i>Siphonalia declivis declivis</i> Yokoyama †	1			4	33.5	5			—	—	—
<i>Siphonalia</i> spp.	50.5	95	54.75	216.75	265	65.75	24	60.5	—	—	—
<i>Strigatella</i> sp.		1							—	R	N0
<i>Suavodrililla kurodai</i> (Makiyama) †	1	14	3	2	6	18	26.25	19.75	—	—	—
Terebridae spp.	6.5	14	4.25	15.25	15.25	17.5	6.5	27.5	—	—	—
<i>Tomopleura yokoyamai</i> Makiyama †	3.5	32.5	19.75	50.75	33.25	79.75	71	144	—	—	—
<i>Trigonostoma kurodai</i> Makiyama †	9.5	33.25	10.5	33.25	32	3.5	4.75	19.5	—	—	—
<i>Triphora</i> sp.			1						—	—	—
<i>Triplostephanus</i> sp.							2.25	0.75	—	—	—
<i>Tugali decussata</i> A. Adams		1							—	R	N0-N2
<i>Tugali</i> sp.			1						—	—	—
<i>Turbonilla (Chemnitzia) multigrata</i> Dunker					2	4	7		—	S	N1
<i>Turbonilla (Dunkeria) shigeyasu</i> Yokoyama		1							—	mS	N0-N1
<i>Turbonilla (Paramormula) paucicostulata</i> Tokunaga †			3.25		2.75	1			—	—	—
<i>Turbonilla</i> spp.			4.75	5				1	—	—	—
<i>Turritella perterebra</i> Yokoyama †	17.5	8.25	5.75	30.25	26.5	20.5	4	6.25	—	—	—
<i>Umbonium (Suchium) mysticum</i> Yokoyama †	4.75	12.5	7.25	21.5	88	31.5	13	22.25	—	—	—
<i>Umbonium (Suchium) suchiense subsuchiense</i> Makiyama †	3.5	5.25	1.5	1.5	3.5	6.25			—	S	—
<i>Umbonium (Suchium) suchiense suchiense</i> Makiyama †	4.75	8	1.25	10	65.25	17.25	0.25	10	—	S	—
<i>Umbonium</i> spp.	15	21	5.75	4.5	12.5	16			—	—	—
<i>Zeuxis castus</i> Gould									—	mS, sM	N1-4
Bivalves											
<i>Acila (Truncacila) totomiensis</i> Schenck †		21.625	55.375		2.5	1.5	63.5	8.75	inf-sD	—	—
<i>Anadara</i> spp.	1.5	7	10.375	18.625	8	23.625	11	8.625	inf-S	—	—
<i>Anomia</i> sp.					1				epif-S	—	—
<i>Arca arabica</i> Philippi		2	2.125						epif-S	R	N0
<i>Arcopsis symmetrica</i> Reeve	0.875	13.75	18.375	1.5	2				epif-S	G	N0
<i>Bathytormus foveolatus</i> Sowerby				0.5		6.25	20.25	7.625	inf-S	no data	no data
<i>Callista chinensis</i> Holten		0.5	2.625	0.5		1.75	119.13	9.5	inf-S	S	N1-2
<i>Cardita leana</i> Dunker		1	1						epif-S	R	N0-N1
<i>Chama</i> spp.		3	3						epif-S	R	—
<i>Chlamys</i> sp.							1.375		epif-S	—	—
<i>Clementia papyracea</i> Gray					0.125				inf-S	mS	N0-1
<i>Cyclosunetta concinna</i> Dunker		3.875							inf-S	S	N1
<i>Cyclosunetta mensturalis</i> Menke			6.25						inf-S	S	N1
<i>Dosinorbis</i> spp.	0.875	0.625	1.25	3.5	5.5	9.25	0.5	0.625	inf-S	—	—
<i>Epicodakia delicatula</i> Pilsbry		1.5	1						inf-D	S	N1
<i>Glycydonta ozawai</i> Yokoyama †							0.375		—	—	—
<i>Glycymeris albolineata</i> Lischke		0.5		0.5	0.875	2.5	10.75	6.125	inf-S	mS	N1-2
<i>Lima vulgaris</i> Link		2	2						epif-S	R	N0-N1
" <i>Macoma</i> " spp.	4	5.375	88.5	9.25	11.5	4.5	0.875	0.75	inf-D	—	—
<i>Mactra crossei</i> Dunker		0.375	7.25						inf-S	S	N1
<i>Mactra maculata</i> Gmelin						1			inf-S	S	N1
<i>Mactra</i> spp.								1.25	inf-S	—	—
<i>Megacardita panda</i> Yokoyama †	0.25			1.125	0.375	1.25	41.25	19	inf-S	—	—
<i>Myadora reeveana</i> Smith							4.5		inf-S	sM	N1-B
<i>Nitidotellina indella</i> Martens				1.5					inf-D	fS	N1
<i>Nitidotellina nitidula</i> Dunker						1			inf-D	S	N1
<i>Nitidotellina</i> spp.		2.75				0.5	3.625	1	inf-D	S	N1
" <i>Ostrea</i> " spp.	1.875	11.375	6.625	4	1	1.5	10.875	15.125	epif-S	—	—
<i>Panopea japonica</i> A. Adams			0.875		0.125				inf-S	mS, sM	N1-2
<i>Pecten</i> sp.							0.875		epif-S	—	—
<i>Penitella kamakurensis</i> Yokoyama	0.5	0.375							bor	R	N0
<i>Petricola (Petricolirus) aequistriata</i> Sowerby		0.5							epif-S	R	N1
<i>Pillucina (Pillucina) pisidium</i> Dunker		0.25			1	0.5	51.625	8.875	inf-D	S, mS, sM	N0-1
<i>Placamen tiara</i> Dillwyn	0.375	1.875	1.375	8.75	14.5	10.25	51.25	29.375	inf-S	S	N1-4
<i>Poromya flexuosa</i> Yokoyama							3		inf-S	sM	N2-B
<i>Potamocorbula</i> sp.					0.5		0.5		inf-S	—	—
<i>Saccella (S.) semataensis</i> Suzuki and Ishizuka †					0.5				inf-sD	—	—
<i>Saccella gordonis</i> Yokoyama		3.375		1					inf-sD	mS, sM	N1-B
<i>Saccella</i> spp.			36.375				16	5.625	inf-sD	—	—
<i>Solen</i> sp.			2.125		0.25				inf-S	—	—
<i>Solidicorbula erythrodon</i> Lamarck	1.375	2.625		4.25	0.75	8.125		23.25	inf-S	S	N1
<i>Tapes (Amygdala) japonica</i> Deshayes				0.375		0.625			inf-S	S, mS	N0-1
<i>Thraciopsis transmontana</i> Yokoyama									inf-S	mS, sM	N1
Total	238.63	1049.5	740	1431.9	1409.3	1116.1	981.75	1068.8			

ある。さらに二枚貝類は右殻・左殻を別々に計数し、両殻の残存殻数の和を2で割って1個体とした。そのため表1に示した個体数は一般に自然数ではない。

現生種に基づく生態学的属性の評価

各化石密集層ごとに、二枚貝の生活様式、二枚貝・巻

貝の生息底質および生息深度を現生種の知見に基づいて評価し、それらの相対頻度の層位変化を検討した。現生種の生態はOyama (1973), 奥谷 (1986), 波部 (1983), 波部・奥谷 (1983), Todd (2000) を参考にした。絶滅種については、属レベル (二枚貝の生活様式), 亜属レベル (生息底質) で同じ分類群に含まれる現生種の生態的

情報を用いた。そして絶滅亜種 *Baryspira albocallosa okawai* の生息深度について、現生種 *Baryspira albocallosa* の情報を用いた。個体数から相対頻度を求める際には、例えばある層準から上浅海帯 (N_1) ~ 下浅海帯 (N_4) の深度に分布する *Placamen tiara* が10個体産出した場合、 N_1 , N_2 ,

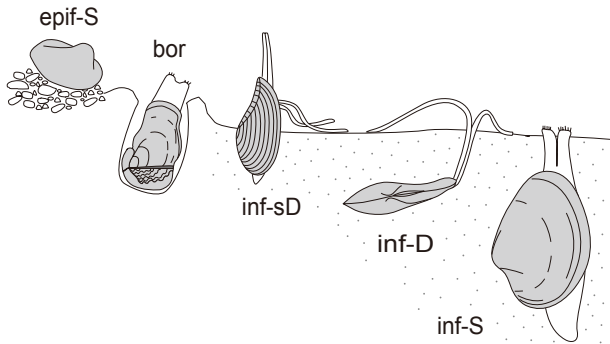


図2. 二枚貝の生活様式. epif-S, 表生懸濁物食者; bor, 穿孔性内生懸濁物食者; inf-sD, 内生浅潜没堆積物食者; inf-D, 内生堆積物食者; inf-S, 内生懸濁物食者.

Fig. 2. Mode of life of bivalves. epif-S, epifaunal suspension feeder; bor, boring infaunal suspension feeder; inf-sD, infaunal shallow-burrowing deposit feeder; inf-D, infaunal deposit feeder; inf-S, infaunal suspension feeder.

N_3 , N_4 のそれぞれにおいて10個体ずつ数えた。

下部外浜では特に二枚貝類において多様な生活様式が認められることから (近藤・鎌滝, 2000), 生活様式に関しては二枚貝についてのみ検討し, Todd (2000) の区分を参考に表生懸濁物食者 (epif-S: epifaunal suspension feeder), 穿孔性内生懸濁物食者 (bor: boring infaunal suspension feeder), 内生浅潜没堆積物食者 (inf-sD: infaunal shallow-burrowing deposit feeder), 内生堆積物食者 (inf-D: infaunal deposit feeder), 内生懸濁物食者 (inf-S: infaunal suspension feeder) のグループに分けた (図2)。

生息底質は Oyama (1973) にしたがって泥底 (M: mud), 砂質泥底 (sM: sandy mud), 泥質砂底 (mS: muddy sand), 砂底 (S: sand), 礫底 (G: gravel), 岩礁底 (R: rock) に区分した。

生息深度は, 大山 (1952) の分帯にしたがって潮間帯 (N_0), 上浅海帯 (N_1 : 低潮線から水深20~30m), 中浅海帯 (N_2 : 水深20~30mから水深50~60m), 亜浅海帯 (N_3 : 水深50~60mから水深100~120m), 下浅海帯 (N_4 : 水深100~120mから水深200~250m), 深海帯 (B: 水深200mから水深1000m) に区分した。

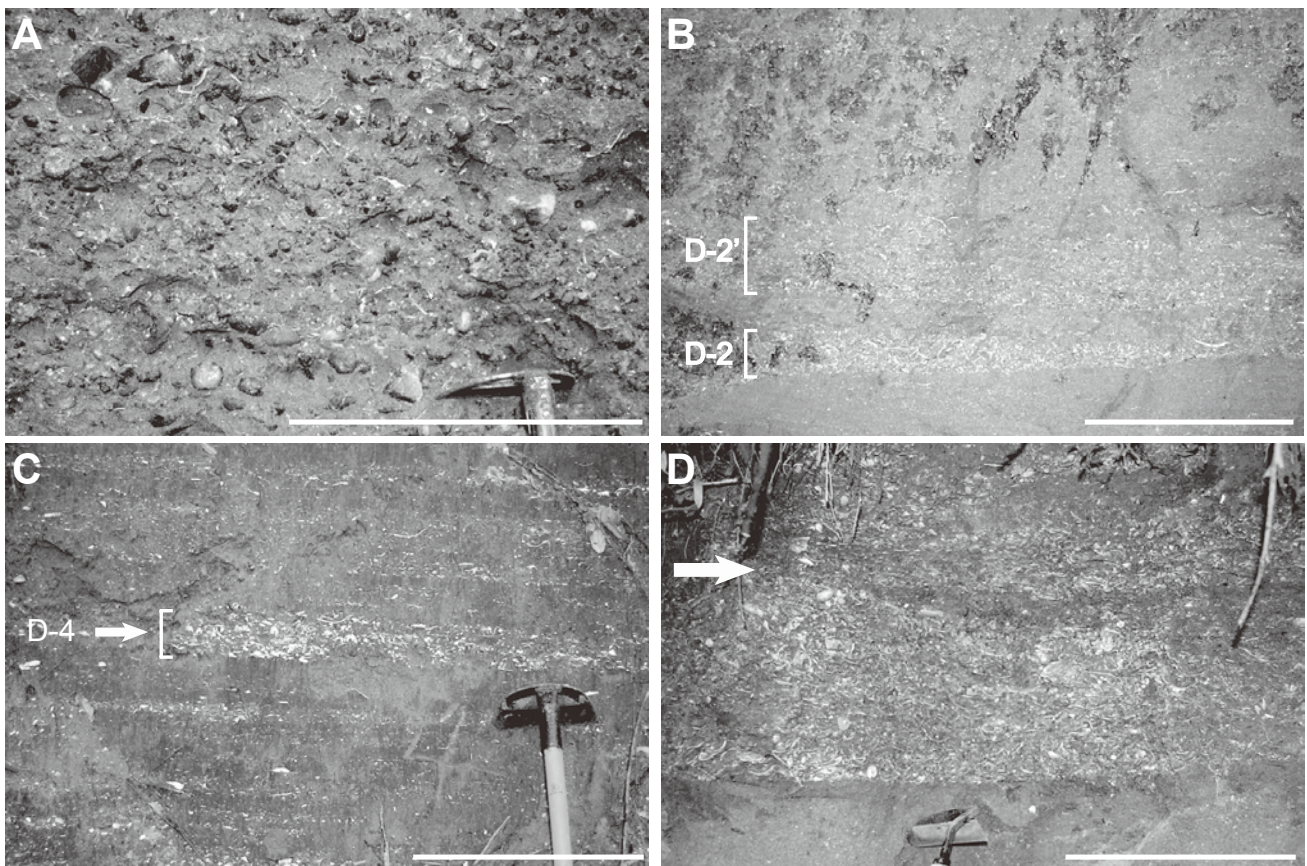


図3. 本研究で解析した化石密集層. (A) D-1, (B) D-2 と D-2', (C) D-4, (D) D-5. 矢印はD-5内の浸食面を示す. スケールは全て30cm.
Fig. 3. Shell beds analyzed in this study. (A) D-1 unit, (B) D-2 and D-2' units, (C) D-4 unit, (D) D-5 unit. Arrow indicates erosion surface in the D-5 shell bed. Scale bar equals 30 cm.



図4. 大日層から産出する巻貝種。

Fig. 4. Gastropod species collected from the Dainichi Formation. 1, *Babylonia elata* Yokoyama. 2, *Baryspira albocallosa okawai* Yokoyama. 3, *Pupa solidula* Linnaeus. 4, *Niotha congrua* Yokoyama. 5, *Umbonium (Suchium) suchiense* Makiyama. 6, *Umbonium (Suchium) mysticum* Yokoyama.

結果

化石密集層の特徴

本研究で解析対象とした化石密集層は、いずれも貝化石が殆ど離弁個体で運搬・集積された産状を示す点において共通であるが、岩相と形態によって大きく以下の三つのタイプに分けられる。

1. タイプ1

D-1のみが属する(図3A)。匝円～円礫からなる層厚30～130 cmの塊状～やや斜交層理をなす中礫層で、礫層中および礫層にレンズ状に挟在する細粒砂層中に貝化石が散在的に産出する。礫層中の貝化石は殻の厚いものが多いが、挟在する細粒砂層中の殻はやや薄い傾向がある。いずれも破片化が進行している。

2. タイプ2

D-2, D-3, D-4, D-5, D-6, D-7が属する。層厚5 cm (D-4)～90 cm (D-7)の分級の良い極細粒砂～細粒砂からなる化石密集層で、それら基底は明瞭な浸食面をなす(図3B, C)。いずれも貝殻片支持の産状を示し、軟体動物化石のサイズによる淘汰は悪い。D-4は幅150 cmのレンズ状の形態を示し、それ以外の化石密集層は側方に45 m (D-5)～400 m (D-6, D-7)に渡って追跡可能なシート状の形態をなす。D-3(層厚40～60 cm)は塊状細粒砂層(層厚250 cm)の基底に集積した密集層である。この砂層中にはこのほかにも厚さ数cm未満の多数の化石密集層が認められるが、このうち化石の密度が最も高い層をD-4とした。D-4の層内はわずかに級化構造を示し、殻の長軸方向に顕著な傾向は認められない。D-4からは比較的大型で堅厚な個体が多数産出し、化石の保存

状態は極めて良好である。D-5(層厚10～50 cm)では、化石密集層中部に浸食面が観察されたので(図3D)、間嶋・本目(1993)が指摘した通り、複数のストームに伴う癒着によるものであろう。以上のことから、タイプ2に属する化石密集層は全てストーム成のラグ堆積物であると考えられ、間嶋・本目(1993)の解釈を支持する。

3. タイプ3

D-2'(層厚20～30 cm)のみ属し、HCSの低角な斜交葉理に沿って貝化石が配列する。分級の非常に良い極細粒砂～細粒砂からなり、基質支持の化石密集層である(図3B)。貝殻が密集する葉理部は互いに平行または側方に緩やかに斜交し、一部は基底面上のD-2に緩やかに収束する。他層準に比べると二枚貝の産出が顕著である。

化石密集層の解析

D-1～D-7の計8層準から、二枚貝37属43種(絶滅種4種を含む)、巻貝72属99種(絶滅種25種を含む)、合計8035.875個体が得られた(図4;表1)。

1. 種構成

大日層の化石群は、化石密集層のタイプによらず、個体数、種数ともに巻貝が圧倒的に卓越する(図5,表1)。いずれの層準においても *Cryptonatica* spp. が卓越し、上位優占属は *Siphonalia* spp., *Glossaulax* spp., *Umbonium* spp. などの巻貝類である。これに対して二枚貝の占有率は低く、全層準の平均は15%で、もっとも低いD-3, D-4ではわずか4%に過ぎない。ただしD-2'とD-6では二枚貝の割合が他層準に比べて著しく高く、それぞれ33%, 42%を占める。いずれも内生浅潜没堆積物食者の *Acila (Truncacila) totomiensis* が優占種である点は共通している

ものの、その他の二枚貝類の優占属・種は互いに異なっている。D-2'では堆積物食者の“*Macoma*” spp., *Saccella*

spp., 岩礫底生の *Arcopsis symmetrica* が、D-6では懸濁物食者の *Callista chinensis*, *Pillucina (Pillucina) pisidium*, *Placamen tiara* が上位を占める。

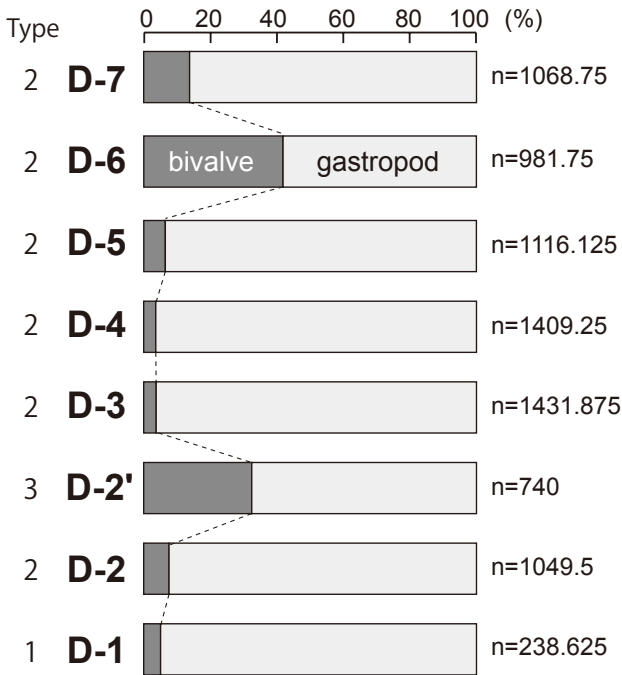


図5. 二枚貝と巻貝の個体数の比の層位変化。
Fig. 5. Stratigraphic change in the ratio of bivalve to gastropod individuals.

2. 生態学的属性の相対頻度変化

a. 二枚貝の生活様式

内生懸濁物食者の占有率は全層準を平均すると52%と過半数に及ぶが、層序的上位に向かって増加傾向を示し、内生懸濁物食者の割合が小さい下位3層準 (D-1, D-2, D-2', 平均占有率24%) と、大きい上位5層準 (D-3~D-7, 平均占有率68%) に区分される (図6A)。D-3~D-5での内生懸濁物食者の増加は *Anadara* spp., *Placamen tiara* の多産に起因する。より上位では、*Placamen tiara* の他に、D-6では *Callista chinensis*, *Megacardita panda* の、D-7では *Solidicorbula erythrodon*, *Megacardita panda* の多産による効果大きい。

堆積物食者の割合は、全層準にわたって内生堆積物食者の“*Macoma*” spp.および内生浅潜没堆積物食者の *Acila (Truncacila) totomiensis*, *Saccella* spp. の割合に支配される。下位3層準 (D-1, D-2, D-2') においては堆積物食者が最優占種であるが、中でもD-2'では、上記の堆積物食者が二枚貝における優占度の上位3番目までに位置付けられている。特に薄く偏平な殻形態を持つ“*Macoma*” spp. の占有率は全体の12%に及ぶ。D-2'と同様に二枚貝

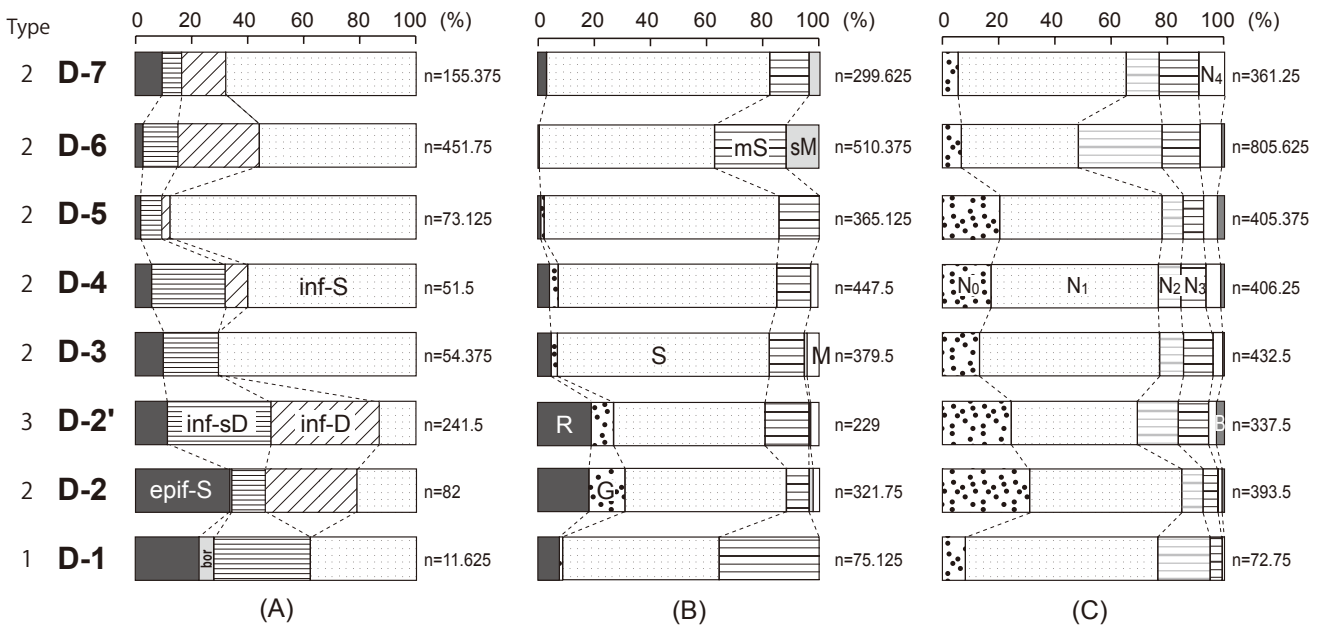


図6. 二枚貝・巻貝類の生態学的属性 (表1) の組成の層位変化。(A) 二枚貝の生活様式, (B) 生息底質, (C) 生息深度. epif-S, 表生懸濁物食者; bor, 穿孔性内生懸濁物食者; inf-sD, 内生浅潜没堆積物食者; inf-D, 内生堆積物食者; inf-S, 内生懸濁物食者. R, 岩礫底; G, 礫底; S, 砂底; mS, 泥質砂底; sM, 砂質泥底; M, 泥底. N₀, 潮間帯; N₁, 上浅海帯; N₂, 中浅海帯; N₃, 亜浅海帯; N₄, 下浅海帯; B, 深海帯.

Fig. 6. Stratigraphic change in the relative abundance of three ecological categories of mollusc species. (A) Mode of life of bivalves. epif-S, epifaunal suspension feeder; bor, boring bivalve; inf-sD, infaunal shallow-burrowing deposit feeder; inf-D, infaunal deposit feeder; inf-S, infaunal suspension feeder. (B) Substrate preference. M, mud; sM, sandy mud; mS, muddy sand; S, sand; G, gravel; R, rock (Oyama, 1973). (C) Habitat depth. Ecological information on the modern species is based on Oyama (1973), Okutani (1986), Habe (1983) and Habe and Okutani (1983).

の占有率の増加で特徴付けられるD-6においては、前述の堆積物食者よりも *Pillucina (Pillucina) pisidium* が多産する。D-2, D-2'における表生懸濁物食者の増加は、*Arcopsis symmetrica* の多産による効果が大い。

b. 生息底質

全層準にわたって砂底生息者が多く認められ、全層準を平均するとその占有率は68%に上る。最も少ないD-2'においても占有率は54%と半数を超え、最も多いD-5においては83%を占める(図6B)。主に砂底に生息するもののうち砂底以外の底質にも生息する種は、泥質砂底にも生息する4種のみ過ぎない。D-1で多く見られる泥質砂底生息者は *Cryptonatica janthostomoides* で、それ以外の層準の泥質砂底生息者は *Glossaulax didyma* である。下位のD-1, D-2, D-2'では岩礁生息者が上位の層準に比べてより多く産出する。特にD-2, D-2'ではその占有率は全体の19%に上る。岩礁生息者の種数は、D-3~D-7では2~4種であるのに対して、D-2では14種、D-2'では8種認められる。それらの岩礁生息者の中には、D-2, D-2'の両層のみに認められるもの、すなわち二枚貝では *Lima vulgaris*, *Chama* sp., *Cardita leana*, *Arca arabica*, 巻貝では *Siliquaria cumingii*, *Collisella* spp. が含まれる。また、両層からは、岩礫底生の二枚貝 *Arcopsis symmetrica* も多産する。なおD-1, D-2においてのみ穿孔貝 *Penitella kamakurensis* が産出した。

c. 生息深度

全層準にわたって N_1 に生息する個体が多く認められた(図6C)。二枚貝の割合が顕著に増加するD-2', D-6では半数を下回るものの、全層準を平均すると N_1 の割合は56%を占め、最も割合の高いD-1(タイプ1)では68%に上る。 N_1 には生息せず N_2 以深に生息する種、すなわち下部外浜以深に分布する種は二枚貝で1種 (*Poromya flexuosa*)、巻貝では5種 (*Comitas* cf. *C. kirai*, *Gemmula (Unedogemmula) unedo*, *Olivella spretooides*, *Parabathytoma luhdorfi*, *Perviconus tuberculatus*) 認められたにすぎず、個体数も極めて少ない。D-2, D-2'には N_0 が多く認められたが、それは潮間帯を生息深度に含む岩礁生二枚貝の産出による。また N_0 のみに生息する種は、その殆どが岩礁生種であり (*Bostrycapulus gravispinosus*, *Collisella* spp., *Strigatella* sp., *Arca arabica*, *Arcopsis symmetrica*, *Penitella kamakuraensis*)、その他の底質にも生息する種は砂底生の巻貝 *Polinices albumen* の1種に留まる。

考察

同一のイベントによって形成された化石密集層内にみられる差異

堆積構造の観察から、基底面に集積したD-2(タイプ2)と葉理に沿って軟体動物化石が配列したD-2'(タイプ3)の間に浸食面は見られず、D-2'の一部は基底面上

のD-2に緩やかに収束することから、両層は同一のストームイベントによって形成された化石密集層である可能性が示される。両密集層から産出する化石の生息深度および生息底質の相対頻度分布は良く類似した結果を示す(図6B, C)。一方、二枚貝/巻貝比および二枚貝の生活様式の相対頻度分布は両密集層の間で明確に異なる。D-2と比較すると、D-2'では二枚貝の割合が4倍になり、また堆積物食者の割合は1.6倍に増加する。これはD-2'において扁平で殻の薄い "*Macoma*" spp., *Saccella* spp. の産出量が他の相準と比べて突出して多いためである。中でも *Macoma* よりも殻が薄く小型な *Nitidotellina* の産出が目立つ。以上のことから、D-2がより残留的な化石密集層であるのに対して、D-2'は扁平で薄殻の二枚貝もろとも運搬されて堆積したものと考えられ、両者の特徴上の差異はその形成プロセスの違いを反映した結果であると解釈できる。同様の選択的な殻の集積は茨城県の上部更新統下総層群においても認められ、ウェーブデューン礫層においては殻の厚い *Glycymeris* が、これを覆うHCS細粒砂層のラミナに挟まれる密集層では *Macoma*, *Clinocardium* など殻の薄い種が卓越する例が報告されている(横山ほか, 2001)。

堆積相と化石相の整合性

HCSは流速の大きな振動流に一方向流が重ね合わさって形成されることが実験的に示されている(Arnott and Southard, 1990)。大日層の下部外浜相はこのような暴風時の複合流によって形成された堆積物であり、浸食力の強いストームが以前に堆積した静穏時堆積物を削り取った結果形成される癒着HCS(Dott and Bourgeois, 1982)が多く見られる。本調査地点周辺において、大日層の上部は、平行層理もしくはHCSの極細粒~細粒砂層と生物擾乱を呈する青灰色シルト質砂層または砂質シルト層(層厚10~120cm)の砂層がち互層の堆積相に移行する。このように大日層は上方深海化の傾向を示すことから、海進期堆積体に相当すると考えられている(Masuda and Ishibashi, 1991; Sakai and Masuda, 1995)。

大日層の下部外浜相における化石密集層は、主に下部外浜に生息していた生物群集がストームによる運搬・集積を受けたものの、それらの生息域内である下部外浜に留まった同相的な化石群であると考えられる。生息深度および生息底質の相対頻度に注目すると、全層準において上浅海帯と砂底生息者がそれぞれ過半数を超える。推定された生息深度の範囲は上浅海帯以外にも及んでいるが、これは上浅海帯を含む広範囲に生息できる種が多数産出したことによるものであり、事実として潮間帯あるいは中浅海帯以深に分布が限られる種はごく僅かに過ぎない。さらに、産出した砂底生種のうち89%が砂底のみに生息することから、殆どの軟体動物化石は上浅海帯に生息していた生物群集に由来すると考えられ、前浜から

の流れ込みは殆どなかったものと判断される。上浅海帯は低潮線から水深20～30mの範囲を指し(大山, 1952), 上部外浜(水深0～6m位)と以深の下部外浜(水深6～20m位)に二分される(斉藤, 1989)。既知の軟体動物の生息深度分布データから両者を明確に識別するのは難しいが, 上部外浜に生息する *Maetra*, *Gomphina*, *Meretrix*, *Sunetta* などの種(Kondo, 1998)はほとんど産出せず, 下部外浜に生息する *Callista*, *Dosinorbis*, *Glycymeris* および *Venericardia* (Kondo, 1998) に近縁な *Megacardita* が多産するという傾向が認められる(表1)。D-5とD-6では潮間帯(N₀)の割合が減少し, 下部外浜よりも深い中浅海帯で深(N₀～B)の割合が増加する。これは堆積相から判断される上方深海化の堆積シーケンスと調和的である。

D-1(タイプ1)は礫層中に軟体動物化石が散在する化石密集層であり, ストーム成の貝殻片支持のラグ堆積物であるタイプ2とは大きく異なる。しかしながら, 二枚貝/巻貝比と生態学的属性には, 両タイプで明瞭な差異は認められない。D-1では穿孔貝 *Penitella kamakurensis* の占有率がわずかに高く, 泥底・砂質泥底生息者が産出しない点でやや異なる(図6A, B)。ただしD-1から産出した化石の個体数(n=238.625)は, タイプ2から産出した化石の個体数(平均n=1176)の5分の1程度であるため(表1), こうした僅かな差が記録のバイアスによるものである可能性を否定できない。

下部外浜相内での生態学的属性の層位変化

生息底質および二枚貝の生活様式の相対頻度の層位変化を解析した結果, 同じ堆積相内にもかかわらず, D-2'とD-3の間を境に大きな変化が認められ, 下位3層準と上位5層準に区分できることがわかった(図6A, B)。

生息底質の相対頻度において, 岩礁生息者は減少傾向を, 砂底生息者は増加傾向を示す(図6B)。下位層準のD-2, D-2'では岩礁生種は個体数のみならず種数も多く, うち7種は両密集層のみから産する(*Collisella* spp., *Siliquaria anguina*, *Arca arabica*, *Cardita leana*, *Chama* sp., *Lima vulgaris*, *Maetra crossei*)。表生型二枚貝の割合は下位層準で比較的高く, 中でも下位3層準において15%の占有率を有していた岩礁生息者は上位5層準では3%まで減少する。その一方で, 砂底生息者の占有率は55%から75%にまで増加する。これらに加えて, 穿孔貝の *Penitella kamakurensis* がD-1, D-2からのみ産出し, 基盤の松葉層との不整合面上に穿孔貝の穿孔痕が多く認められることから考えると, 袋井市大日周辺での大日層の形成初期には松葉層のシルト岩から成る岩礁海岸が存在し, その海食台に生息していた穿孔貝や岩礁生種がストーム時に運搬・集積したことが示唆される。

二枚貝の生活様式の相対頻度をみると, 上位層準では岩礁生種の表生懸濁物食者が減少し, 砂底生の内生懸濁物食者が優勢な種構成にシフトする(図6A)。この傾向は, 各層準を特徴づける分類群の割合の層位変化において, より明白である(図7)。上位層準で内生懸濁物食者の割合が増加するが, その内訳は, D-3～D-5において

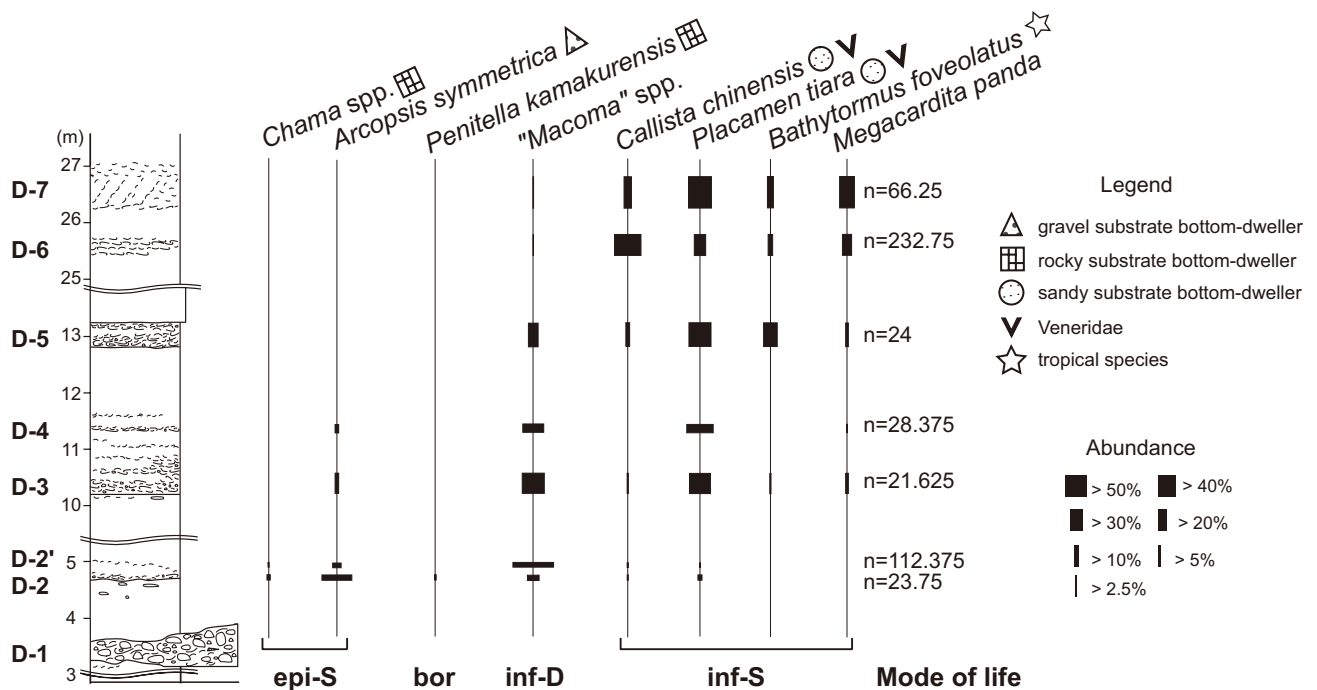


図7. 各層準を特徴づける分類群における個体数の割合の層位変化。
Fig. 7. Stratigraphic change in the relative abundance of selected taxa that characterize the shell beds analyzed.

は *Anadara* spp., *Placamen tiara* が, D-6 では *Placamen tiara*, *Callista chinensis*, *Megacardita panda* が, D-7 では *Placamen tiara*, *Solidicorbula erythrodon*, *Megacardita panda* が優勢となる。

運動能力が高く不安定な環境に適応していると考えられる堆積物食者 (Kondo *et al.*, 1998; 近藤, 2001) が上位層準の D-3, D-5, D-7 で著しく減少する一方で, 内生懸濁物食者は顕著な増加傾向を示す。一般に, 内生懸濁物食者は堆積物食者よりも埋没されやすいと考えられている (近藤, 2001)。上位層準での化石群組成の変化は, ストームのエネルギーが弱まり碎屑物供給量が減少した環境変化を反映したものと解釈することができる。これは, 堆積相から判断される上方深海化の傾向とも整合的である。

ただし, 上位層準のうち D-4 と D-6 の形成時には, 以下の理由でストームの影響が一時的に強かった可能性がある。上位層準を通じて優占種である *Placamen tiara* と D-6 から多産する *Callista chinensis* は, 共にマルスダレガイ科の内生懸濁物食者に属する。同科とバカガイ科に属する二枚貝類の中には, 高い潜没能力によって, ストーム時に擾乱される不安定な環境に適応しているものが少なくない (Kondo, 1998)。マルスダレガイ科とバカガイ

科に属する二枚貝類 (*Callista chinensis*, *Placamen tiara*, *Mactra* spp.) の割合は上位層準で高く, 特に D-4 と D-6 ではそれぞれ内生懸濁物食者のうち 47% と 65% を占める (図8)。D-4 と D-6 では堆積物食者の割合はそれぞれ 34% と 41% であり, 上位層準の中で比べても他より高い。これらのことはいずれも不安定な環境を示唆するものである。堆積物食者が占有する (75%) D-2' でもマルスダレガイ科とバカガイ科に属する二枚貝の割合が高いが (35%) これは前述した通り, 殻の薄いものが選択的に運搬・集積された結果にすぎないと考えられる。

まとめ

掛川層群大日層の下部外浜相に挟在する8層準のストーム成化石密集層から産出した軟体動物化石のうち, 現生種およびそれに近縁な種・分類群について, 各生態学的属性 (二枚貝の生活様式, 二枚貝・巻貝の生息底質, 生息深度) ごとに相対頻度の層位変化を調べた結果, これらの化石密集層に関して, 以下の3つのことを明らかにした。

- 1) 洗掘や運搬の過程を経て集積したストーム成化石密集層中の軟体動物化石群は, 下部外浜に生息していた生物群集が同じ堆積環境内で埋積された同相的な化石群である。
- 2) 貝化石がHCSの葉理上に配列するものでは, 殻が薄く扁平な種が選択的に集積し, HCS基底面上の残留的なシート状化石密集層とは異なる種が卓越。しかし, 両者から推定される生息深度および生息底質にはほとんど差異が認められない。
- 3) 解析した8層準は, 化石群組成より下位3層準と上位5層準に区分できる。下位層準での岩礁生息者の卓越は, 袋井市大日における大日層形成初期に, 堆積場の近傍に岩礁海岸が存在したことを示している。上位層準における運動能力の高い堆積物食者の減少と埋没作用に弱い内生懸濁物食者の増加は, D-4 と D-6 を除けば, 上方深海化に伴ってストームの影響が弱まったという堆積相解析からの解釈と概ね整合的である。

謝辞

本稿は第一著者 (木村由莉) の早稲田大学教育学部地球科学専修の卒業研究の一部である。高知大学の近藤康生博士には, 懇切丁寧で極めて適切なお助言を承った。東海大学自然史博物館の柴 正博博士には, 掛川層群の層相と火山灰鍵層について現地でのご指導を頂いた。編集長である静岡大学の生形貴男博士, 査読者である横浜国立大学の間嶋隆一博士と静岡大学の延原尊美博士から頂いた適切なコメントと助言により, 本稿は大幅に改善された。Southern Methodist University of the Meredith Faber

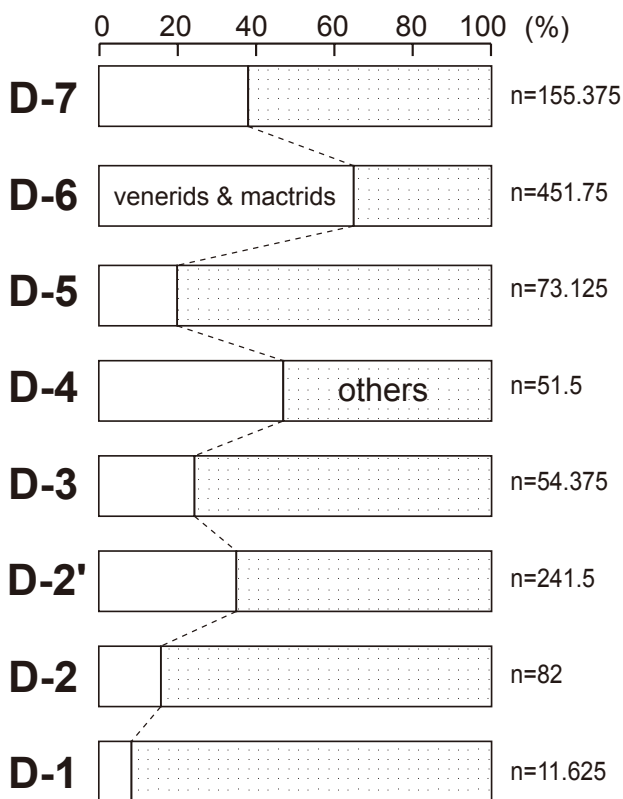


図8. 内生懸濁物食者のうちマルスダレガイ科とバカガイ科の二枚貝の割合の層位変化。

Fig. 8. Stratigraphic change in the proportion of venerids and mactrids to the total number of suspension feeders.

氏に英文法を直して頂いた。岡部 来氏，清家一馬氏とは多くの議論を交わした。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

文献

- 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どのように分布するか. 地質学論集, **53**, 7-28.
- Arnott, R. W. and Southard, J. B., 1990. Exploratory flow-duct experiments on combined-flow bed configurations, and some implications for interpreting storm-event stratification. *Journal of Sedimentary Petrology*, **60**, 211-219.
- 鎮西清高，1980. 掛川層群の軟体動物化石群，その構成と水平分布. 国立科学博物館専報, (13), 15-20.
- Dott, R. H. Jr. and Bourgeois, J., 1982. Hummocky stratification: Significance of its variable bedding sequences. *Geological Society of America Bulletin*, **93**, 663-680.
- Duke, W. L., Arnott, R. W. C. and Cheel, R. J., 1991. Shelf sandstones and hummocky cross-stratification: new insights on a stormy debate. *Geology*, **19**, 625-628.
- Fürsich, F. T. and Oschmann, W., 1993. Shell beds as tools in basin analysis: the Jurassic of Kachchh, western India. *Journal of the Geological Society, London*, **150**, 169-185.
- 波部忠重，1983. 学研生物図鑑一頁. 294p., 学習研究社, 東京.
- 波部忠重・奥谷喬司，1983. 学研生物図鑑一頁. 301p., 学習研究社, 東京.
- Ishibashi, M., 1989. Sea-level controlled shallow-marine systems in the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, Shizuoka, central Honshu, Japan: comparison of transgressive and regressive phases. In Taira, A. and Masuda, F., eds., *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*, 345-363. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo.
- Kidwell, S. M., 1991. The stratigraphy of shell concentrations. In Allison, P. A. and Briggs, D. E. G., eds., *Taphonomy, Releasing the Date Locked in the Fossil Record*, 211-290. Plenum Press, New York.
- Kondo, Y., 1998. Adaptive strategies of suspension-feeding, soft-bottom infaunal bivalves to physical disturbance: evidence from fossil preservation. In Johnstone, P. A. and Haggart, W., eds., *Bivalves: An Eon of Evolution—Paleobiological Studies Honoring Norman D. Newell*, 377-391. University of Calgary Press, Calgary.
- 近藤康生，2001. 二枚貝類の生活様式とその進化. 池谷仙之・棚部一成，古生物の科学3, 古生物の生活史, 149-168. 朝倉書店, 東京.
- 近藤康生・鎌滝孝信，2000. フィールド古生態学の方法：古東洋の二枚貝類を中心として. 奈良正和，ダイナミック古生態学：古環境と化石底生群集との相互作用, 古生物学トピックス (1), 37-67. 日本古生物学会.
- Kondo, Y., Abbott, S. T., Kitamura, A., Kamp, P. J. J., Naish, T. R., Kamataki, T. and Saul, G. S., 1998. The relationship between shellbed type and sequence architecture: examples from Japan and New Zealand. *Sedimentary Geology*, **122**, 109-127.
- 間嶋隆一，1987. 日本産ツメタガイ類（腹足綱：タマガイ科）の分類. 貝類学雑誌, **46**, 57-74.
- 間嶋隆一，1988. 日本産 *Glossaulax* (Gastropoda: Naticidae) の進化—第一部: *G. didyma*, *G. vesicalis*, *G. bicolor*および *G. reiniana* の進化—. 化石, (44), 13-23.
- 間嶋隆一・本目貴史，1993. 掛川層群大日層の貝殻集積層—その内部構造と起源—. 地質学雑誌, **99**, 659-674.
- Masuda, F. and Ishibashi, M., 1991. Onlap and downlap discovered in a depositional sequence of the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, Japan. *Journal of Sedimentological Society of Japan*, (34), 75-78.
- 奥谷喬司，1986. 決定版生物大図鑑—貝類. 399p., 世界文化社, 東京.
- 大山 桂，1952. 海産貝類の垂直分布について. 貝類学雑誌, **17**, 27-35.
- Oyama, K., 1973. Revision of Matajiro Yokoyama's type Mollusca from the Tertiary and Quaternary of the Kanto area. *Palaeontological Society of Japan, Special Papers*, (17), 148p.
- 斎藤文紀，1989. 陸棚堆積区分と暴風型陸棚における堆積相. 地学雑誌, **98**, 350-365.
- Sakai, T. and Masuda, F., 1995. Sequence stratigraphy of the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, Shizuoka, Japan. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, (45), 154-169.
- Todd, J. A., 2000. Bibliography for bivalve life habits at <http://eusmilia.geology.uiowa.edu/database/mollusc/bivlifebib.htm>. Neogene Marine Biota of Tropical America.
- Tsuchi, R., 1961. On the late Neogene sediments and molluscs in the Tokai region, with notes on the geologic history of the Pacific coast of Southwest Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography*, **32**, 437-456.
- 横山芳春・安藤寿男・森 大規，2001. 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, (4), 55-67.

(2011年1月24日受付, 2011年5月17日受理)

