

[原著論文]

「田辺 積氏化石コレクション」にみられる鮮新-更新統掛川層群産 軟体動物化石群集と化石密集層の形成要因

柴 正博¹⁾・石川智美²⁾・横山謙二²⁾・田辺 積³⁾

Fossil Molluscan Assemblages in the “Mr. Tsumoru TANABE's Fossil Collection” from the Plio-Pleistocene Kakegawa Group and Sedimentary Control on Shell-concentrated Beds

Masahiro SHIBA¹⁾, Tomomi ISHIKAWA²⁾, Kenji YOKOYAMA²⁾ and Tsumoru TANABE³⁾

Abstract

The Mr. Tanabe's Fossil Collection, donated to Shizuoka Prefecture, contains abundant fossil molluscan specimens (5,814 individuals in total) from 17 localities in the upper part of the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, central Japan. This study describes the species composition and modes of fossil occurrences of the shell beds, and reconstructs their sedimentary environments with some discussions on the shell-bed formation from the viewpoints of sequence stratigraphy.

The upper part of the Kakegawa Group consists of the Kamiuchida Formation (Lowstand systems tract), the Dainichi Formation (Transgressive systems tract), and the Hijikata Formation (Highstand systems tract), in ascending order. The sedimentary environments of each shell bed are as follows: Two shell beds in the Kamiuchida Formation (the upper slope), storm-generated shell beds at four locations in the Dainichi Formation (the lower shoreface to the inner shelf), the other five localities in the Dainichi Formation (the outer shelf to the upper slope), and all the six localities in the Hijikata Formation (the upper slope).

The storm-generated shell beds in lower shoreface to inner-shelf facies of the Dainichi Formation contain abundant shallow-marine molluscan fossils, which characterize the Kakegawa fauna, such as *Umbonium (Suchium) suchiense suchiense*, *Glossaulax didyma*, *Siphonalia* spp., *Babylonia elata*, *Terebra* spp., *Amusiopecten praesignis*, *Megacardita panda*, *Paphia schnelliana*, and so on.

Most of the shell-concentrated beds, formed by the transgression of the Dainichi Formation, is divided into four types: (1) the lower shoreface shell bed, (2) the condensed shell bed on the marine flooding surface, (3) the outer-shelf shell bed and (4) the channel-filled shell bed. Most of the shell-beds of the Dainichi Formation are thought to be formed by such a sea-level rise and the subsequent stagnation, that is consistent with the parasequence sets during the transgression.

¹⁾ 東海大学自然史博物館, 〒424-0806 静岡県静岡市清水区三保 2389
Natural History Museum, Tokai University, 2389, Miho, Shimizu-Ku, Shizuoka, Shizuoka, 424-8620, Japan
²⁾ NPO 静岡県自然史博物館ネットワーク 辻事務所, 〒424-0806 静岡県静岡市清水区辻 4-4-17
Tsuji Office, NPO Network for Shizuoka Prefecture Museum of Natural History, 4-4-17, Tsuji,
Shimizu-Ku, Shizuoka, Shizuoka, 424-0806, Japan
³⁾ 〒437-0017 静岡県袋井市鷺巣 582-31
582-31, Washizu, Fukuroi, Shizuoka, 437-0017, Japan

はじめに

筆者のひとりである化石愛好家の田辺 積は、1980年ごろから約30年間にわたり、主に掛川市に分布する掛川層群の露頭から、精力的に軟体動物化石を採集して、膨大な量の化石標本コレクションを構築した。そして田辺は、2006年3月にそのコレクションの一部である化石標本1,824点を、静岡県自然学習資料センターに寄贈した（以後、この寄贈化石標本を「田辺 積氏化石コレクション」という）。

田辺が化石採集に熱中した1980年代～1990年代にかけて、掛川市では多くの地域で土地の造成工事が盛んに行われ、丘陵が開発されて多くの露頭が出現し、その後それらの多くは消失していった。このコレクションは、いわゆる掛川動物群（Otuka, 1939）の代表的な化石や珍しい化石をほぼ網羅しているだけでなく、現在では消滅してしまった化石産地の多量の化石が含まれていることでも貴重である。

鮮新-更新統掛川層群は、日本の太平洋岸の模式層序として世界的な地層対比表にも掲載されるほど重要な地層であり、そこから産出する化石は世界の地質時代の対比のみならず、黒潮域の環境変動やそこに生きる海洋生物の進化や古生態の研究にとっても重要な資料である。田辺による本コレクションは、掛川層群上部層の化石産地をほぼ網羅しており、その堆積環境の変遷を知る重要な資料ともなる。

本研究では、2006年に静岡県に寄贈された「田辺 積氏化石コレクション」から掛川層群の化石を対象にその採集地点ごとの軟体動物化石のリストを作成した。そして、各採集地点の軟体動物化石群集の特徴と堆積環境を推定し、掛川層群上部層で見られる化石密集層の堆積過程とその形成要因について考察した。

本研究において、標本調査や資料整理に関して静岡県およびNPO 静岡県自然史博物館ネットワークに便宜を図っていただいた。これらの方々と機関に感謝を述べる。

資料

静岡県自然学習資料センターに寄贈された「田辺 積氏化石コレクション」は、静岡県から自然学習資料収集保管事業を委託されたNPO 静岡県自然史博物館ネットワークにより個々の標本の種類や個数が

記載・評価されて登録番号（SPMN-r-1～SPMN-r-1824）が与えられ整理・保管されている。

本コレクションの中には、静岡県の倉真層群や岐阜県の瑞浪層群など掛川層群以外の標本も含まれている。また、掛川層群の化石の中にも、軟体動物以外の化石（クモヒトデ類やウニ類、生痕化石など）も含まれている。本研究では、これらのうち掛川層群から採集された軟体動物化石を研究対象とした。

本化石コレクションの標本には、クリーニングされた1種1個体の標本（個体標本）、同一種の複数個体がまとめられた標本（集団標本）、そして貝殻を多産する地層の岩塊標本（ブロック標本）がある。これらをそれぞれ1点として数えた資料点数の合計は1,172点、集団標本中に含まれる個体数とブロック標本の表面で確認できる個体数を別個にカウントすると、軟体動物化石の全個体数は総計5,814となる。

軟体動物化石の同定および種名については、絶滅種についてはOzawa et al. (1998) に、現生種については主に奥谷編 (2000) に従った。本研究の資料とした軟体動物化石の全個体数のうち、腹足綱は3,021、堀足綱は74、二枚貝綱は2,719である。また、総種数は103属141種になり、そのうち腹足綱は52属75種、堀足綱は4属4種、二枚貝綱は47属62種である。

なお、標本個体数の数え方については、腹足綱は殻口があり半分以上残っているものを1個体とした。Turritellidae（キリガイダマシ科）のような細長い殻の場合は螺層が3個以上残っているものを1個体とした。二枚貝綱は合弁標本と離弁標本ともに1個体としたが、離弁の場合は殻頂があり半分以上形が残っているものも1個体とした。また、堀足綱は全体の1/3以上の長さのものを1個体とした。ブロック標本に含まれる軟体動物化石については、表面に露出して確認できる個体だけを数えた。また、殻が溶解して印象型が保存されているもので同定できるものもカウントした。

化石の採集地点は、①千羽、②成滝、③旭ヶ丘、④小市、⑤上屋敷、⑥飛鳥a、⑦飛鳥b、⑧大池、⑨遊家、⑩本郷、⑪家代、⑫杉谷、⑬矢崎、⑭亀の甲、⑮板沢、⑯下俣、⑰長谷の17地点である（図1）。これらの採集地点を柴ほか（2007）の層序に従って層準に区分すると、①千羽と②成滝は上内田層、③旭ヶ丘～⑪家代は大日層、⑫杉谷～⑰長谷は土方層にあたる。



図1 「田辺 積氏化石コレクション」の化石採集地点(①~⑰)．国土地理院地形図 1/25,000「掛川」,「山梨」,「下平川」を使用．
⑱の上西郷は柴ほか(2001)の鯨類化石発掘地．

⑥飛鳥 a と ⑦飛鳥 b はほぼ同じ地点にあるが、⑥飛鳥 a は細粒砂層から、⑦飛鳥 b はその上位の砂質シルト層から採集されたもので、層準が異なることから区別した。飛鳥の場合、オリジナルラベルには採集された層準の区別はないが、標本に付着する堆積物の岩質で区別でき、採集者の田辺もこれを確認した。なお採集者である田辺によって付されたオリジナルラベルには、以下のように同地点であるにもかかわらず、別の地名が付されている標本もある：③旭ヶ丘（「水垂」）、④小市（「西郷」）、⑤上屋敷（「上西郷」または（「下西郷」）、⑪家代（「森平」）。

各採集地点で田辺が採集した標本のすべてが寄贈されたわけではないこと、また採集時に特定の種類についてのみ採集した場合もあることなどを考慮すれば、本コレクションが各産地の化石群集について、オリジナルの種構成を厳密に反映したものになっているとは必ずしもいえない。しかしながら、本コレ

クションは、いくつかの採集地点を除き、標本数が多量であり、さまざまな種類が含まれることから、各採集地点での本来の産出種の全般的な傾向を示すものとしては有効であると判断した。

地質概説

掛川層群は、菊川市と掛川市を中心に東は牧之原市勝間から西は磐田市北部にかけて分布する鮮新統～下部更新統であり、海棲軟体動物化石を豊富に産する。このことから、掛川層群は日本の太平洋岸における鮮新-更新統の模式地のひとつとされ、古くから多くの層序学的または古生物学的研究が行われてきた (Yokoyama, 1923, 1926; 榎山, 1925, 1928a, 1928b, 1950, 1963; Makiyama, 1927, 1931; 千谷, 1928, 1931; 榎山・坂本, 1957; 氏家, 1958; Tsuchi, 1961, 1976; Ujiié, 1962; 加藤,

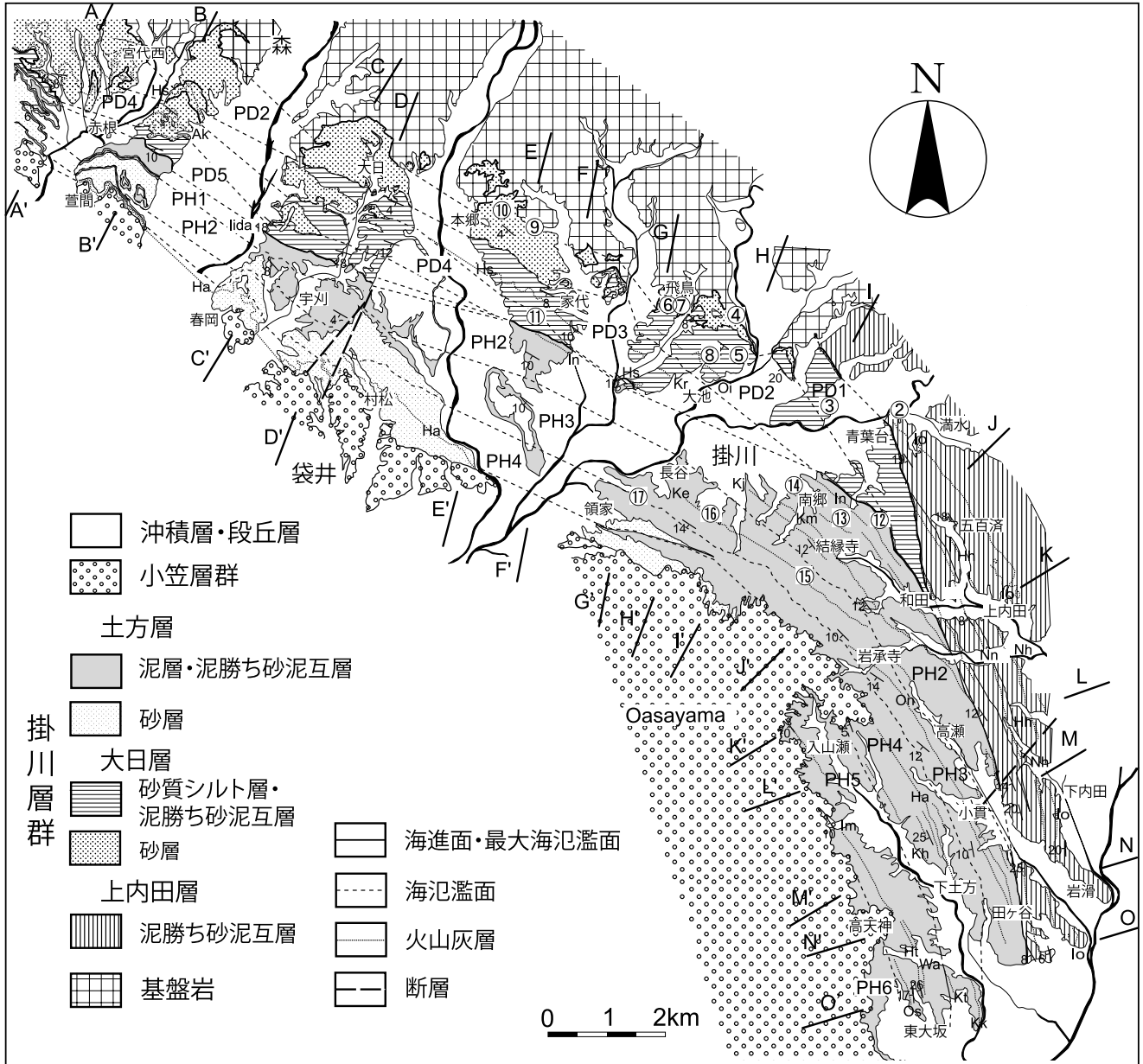


図2 掛川層群上部層の地質図(柴ほか, 2007 に加筆). 火山灰層 (lo: 五百済, lw: 岩滑, Nh: 西平尾, Hh: 東平尾, Nn: 七曲池, Oi: 大池, Kr: 蔵人, Hs: 細谷, Ak: 赤根, In: インター V, Km: 亀の甲, Kj: 結縁寺, Ke: 結縁寺奥, On: 大池, Ha: 春岡, Kk: 川久保, Kh: 上土方, Kt: 鎌田東, Wa: 渡辺池, Ht: 畑ヶ谷, Im: 今滝北, Ng: 長谷池, Os: 大坂). A-A' ~ O-O' は図3 に示した地質柱状の断面線. PD と PH はパラシーケンスセット.

1973; Ibaraki and Tsuchi, 1974; Oda, 1977; Chinzei and Aoshima, 1976; Ibaraki, 1986; 茨木, 1986; Ishibashi, 1989; Nobuhara, 1993; Tsukawaki, 1994; 柴ほか, 1996; 亀尾, 1998; Ozawa et al., 1998).

しかし、従来からの掛川層群の層序区分の多くは、縁辺相の礫層・砂層と沖合相の堀之内互層とに区別し、最上部に泥層からなる土方層や砂層からなる曾我層を設けたもの(横山, 1950; Tsuchi, 1961 など)

で、各層準の層位や層序関係、またその側方への平面的広がりが必ずしも明確ではなかった。Masuda and Ishibashi (1991) と Masuda (1992) は掛川層群がひとつの第3オーダーの堆積シーケンス (Haq et al., 1987) を構成するとし、酒井・増田 (1992) は掛川層群の沿岸～陸棚相にみられるパラシーケンスを区分した。

柴ほか (2000, 2010) は、掛川層群に挟在する多数の火山灰層を詳細に記載し、その層準をもとに岩

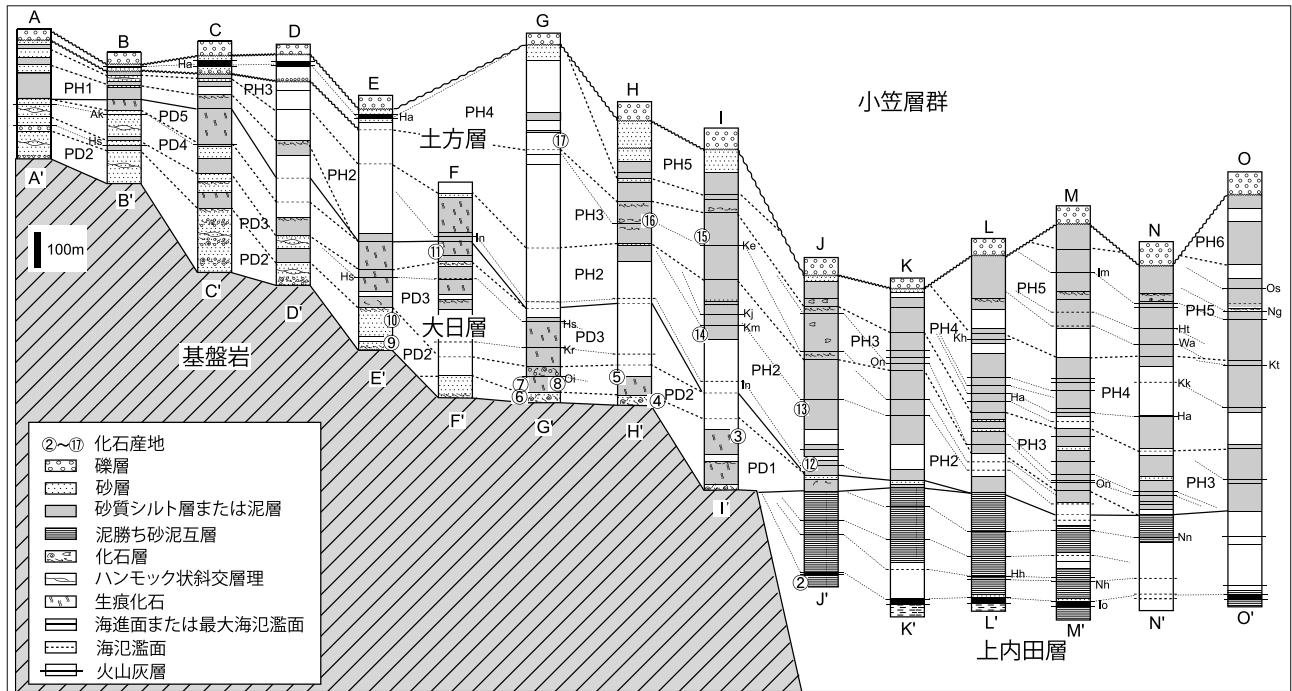


図3 掛川層群上部層の地質柱状図とパラシーケンス(柴ほか, 2007に加筆). 火山灰層については図2のキャプションを参照.

相や堆積体を区別し, 掛川層群が上下2つの第3オーダーシーケンスから構成されるとした. そして, 柴(2005)は掛川層群を下部層と上部層に分け, 下部層を下位から勝間層, 萩間層, 東横地層, 上部層を下位から上内田層, 大日層, 土方層に区分し, 掛川層群上部層の上内田層が第3オーダーシーケンスの低海水準期堆積体に, 大日層が海進期堆積体, 土方層が高海水準期堆積体に相当するとした.

柴ほか(2007)では, 掛川層群上部層の特に大日層と土方層についてパラシーケンスセットを区分して, 微化石の生層序や古地磁気などによる年代値データをもとに, 掛川層群上部層の時間層序断面を示した. 柴ほか(2007)による掛川層群上部層の地質図を図2に, 各地域の岩相柱状図を北西側から南東側にかけて連続的に配置した図を図3に示す. 掛川層群上部層には連続性のよい多くの火山灰層が認められており, それらの累重様式から大日層と土方層についてはパラシーケンスセットに細分されている. なお, 本研究の資料とした標本の採集地点(①千羽をのぞく)の位置と層準を両図に示した.

掛川層群上部層を構成する各層の概要を, 柴ほか(2007)に従って下位から以下に述べる.

上内田層は泥勝ち砂泥互層からなり, 挟在する火山灰層はどれも連続性がよい. これらの火山灰層は上位の大日層に対して陸側でトップラップする.

大日層は, 砂層とその上位に重なる砂質シルト層との組み合わせが下位から上位にむかって5回繰り返し累重することで構成されている. また, 各砂層は陸側にバックステップして分布し, 砂層の基底には海進面が認められ, 海進期堆積体の特徴をもつ. 大日層で認められる砂層と砂質シルト層の境界は, 海水準上昇に伴う海氾濫面であり, 各海氾濫面によってPD1~PD5の5つのパラシーケンスセットに区分される.

大日層の上位の土方層は主に泥層と砂層からなり, 北西から南に向かって沿岸~内側陸棚から外側陸棚~陸棚斜面の堆積相を示す. 土方層は, 浅海域では大日層に最大氾濫面をもって重なり, 沖合域では上内田層に対してダウンラップ面をもって重なる. 土方層は大日層を形成した海進期につづく高海水準期の堆積体で, 土方層の砂層とその上位の泥層との関係は大日層と同様に海氾濫面で接し, PH1~PH6の6つのパラシーケンスセットに区分される.

これまで報告されている掛川層群上部層に挟在する火山灰層のフィッシュトラック年代値は, 以下の通りである. 上内田層の基底の堀田火山灰層(白岩火山灰層)は2.25 Ma (Nagahashi and Satoguchi, 2007), 上内田層上部の五百済火山灰層は 2.3 ± 0.5 Ma, 土方層の下部に挟在する火山灰層

(細谷凝灰岩層とされたが細谷凝灰岩層と同一のものではなく、柴ほか(2000)の亀の甲火山灰層にあたる)は 1.9 ± 0.4 Ma (Shibata et al., 1984)。また、土方層下部には正磁極帯が認められており、オルドバイサブクロン(Cn2: 1.92–1.77 Ma)に対比されている(Yoshida and Niituma, 1976)。石田ほか(1980)は土方層最上部の正磁極帯をハラミロサブクロン(C1r.1n: 1.07–0.99 Ma)に対比した。

亀尾(1998)は掛川層群の石灰質ナンノ化石からいくつかの基準面を設定し、そのうち堀田火山灰層の直下で *Reticulofenestra minutula* var. のアクメ上限を認め Kameo et al. (1995) に従いその年代値を 2.25 Ma とした。また、五百済火山灰層の下位の層準で、小型の *Gephyrocapsa* 属のアクメ下限を認め、Kameo et al. (1995) に従いその年代値を 2.02 Ma とした。また、土方層の PH4 の基底を Sato and Takayama (1992) の化石基準面 12 (CN13a 垂帯の上限) に相当するとして、高山ほか(1995)に従いその年代値を 1.72 Ma とした。

これらのことから、掛川層群上部層は 2.25 Ma ~ ほぼ 1 Ma に堆積した地層と考えられる。また、上内田層の五百済火山灰層の下位が 2.02 Ma で、土方層の基底が 1.92 Ma であることから、それらに挟まれる大日層はおよそ 2 Ma ~ 1.9 Ma に堆積した地層と考えられる。

各採集地点の化石群集の特徴と堆積環境

表 1 に採集地点ごとの産出種のリストを示す。現生種については、主に奥谷編(2000)を参考に和名とその生息域の底質と水深を示す。代表的な産出種の写真を腹足綱は図 4 に、二枚貝綱は図 5 に示す。

堆積環境については、海浜から大陸斜面の地形を斎藤(1989)の定義に従って区分した。斎藤(1989)は海浜から大陸斜面の地形を浅海から深海にかけて前浜、上部外浜、下部外浜、内側陸棚、外側陸棚、陸棚斜面と区分し、陸棚堆積物の特徴とその水深について以下のように提案した。本稿では産出した化石の生息水深とともに、この堆積物の特徴を参考に堆積環境と堆積水深を推定する。

前浜は汀線から波が打ち寄せる限界の高さの間で、分級のよい砂や礫からなる。外浜は上部と下部に分け、上部外浜は水深 6m 以浅で砂礫堆積物からなる。下部外浜は水深 6m から約 20m で平穏時波

浪限界水深までの砂底で、砂層は癒着したハンモック状斜交層理や平行層理で代表される堆積構造をなし、泥質な堆積物をほとんど含まない。内側陸棚は、水深 20m から 70m の範囲で、平穏時波浪限界水深と暴風時波浪限界水深の間の海底で、暴風時に砂層が堆積し定常時には泥層が堆積して互層をなす場合が多い。外側陸棚は暴風時波浪限界以深で、主に生物攪乱の進んだ泥層からなる。陸棚斜面は大陸棚外縁から深海底につづく斜面の間で泥質の堆積物からなる。

なお、陸棚斜面は現在では水深 100 ~ 200m にある大陸棚外縁から水深 4000m 以深の深海底におよぶ大陸斜面にあたる。海浜から深海底におよぶ地形と堆積物、および代表的な現在生息する二枚貝の分布の概要を図 6 に示す。

本稿で記述する地層名やパラシーケンス層準については柴ほか(2007)に従い、火山灰層名は柴ほか(2000)に従う。以下に、下位の層準から採集地点ごとに、位置、岩相と層準、化石産状、標本数と各綱の種数、多産する種と化石群集の特徴、推定される堆積環境について記載する。

1) 上内田層

①千羽

位置: 掛川市千羽の東部工業団地の東側(図 1 の①)。

工業団地のための土地造成工事の露頭であるが、現在は消失。

岩相・層準: 上内田層の砂泥互層。堀田火山灰層の上位約 100m の層準。

産状: 10 ~ 20cm の砂勝ち砂泥互層に貝化石の密集層が挟在する。

標本数: 82 (腹足綱 41, 二枚貝綱 41), 23 属 24 種 (腹足綱 13 属 13 種, 二枚貝綱 10 属 11 種)。

特徴: 化石の表面装飾の磨耗が激しく、特に水深 30m 以浅に生息する貝は磨耗が激しい。腹足綱では *Glossaulax didyma*, *Turritella perterebra* や *Babylonia elata*, 二枚貝綱では *Anadara* spp., *Glycymeris rotunda*, *Paphia schnelliiana* が多く産した(図 7)。また、水深 50 ~ 400m に生息する *Ginebis argenteonitens* や水深 100 ~ 300m に生息する *Lischkia alwiniae* が含まれる。産出した種は、潮間帯~水深 50m までの上部浅海帯の砂底か、または水深 50 ~ 500m の泥底に生息する種である。

田辺氏化石コレクションの掛川層群化石群集と化石密集層

表1 軟体動物化石リスト 底質の m: 泥底, m-s: 砂泥底, s: 砂底, fs: 細砂底, r: 岩礁底.

Species Location	上内田層			大日層							土方層							合計	底質	生息水深(m)	和名
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰				
	平羽	成滝	旭ヶ丘	小市	上屋敷	飛鳥a	飛鳥b	大池	遊家	本郷	家代	杉谷	矢崎	亀の甲	板沢	下俣	長谷				
Glass Gastropoda																					
<i>Lischkeia chinuae</i> (Lischke)	1	3	1		1													8			
<i>Ginebis argenteoniens</i> (Lischke)	2	2	9		1		22				16	3	10	14	1	6	86				
<i>Ginebis argenteoniens</i> forma <i>comvexiusculus</i> (Yokoyama)											1		12				13				
<i>Ginebis</i> spp.												6	4		2		12				
<i>Umbohium</i> (<i>Suchium</i>) <i>mysiticum</i> Yokoyama									29								29				
<i>Umbohium</i> (<i>Suchium</i>) <i>suehiense</i> Yokoyama						170	2		25								197				
<i>Umbohium</i> (<i>Suchium</i>) spp.	5			60	5			33	51	17						7	173				
<i>Turritella perterebra</i> Yokoyama				87		72		95	122								381				
<i>Turritella totomiensis</i> (Makiyama)								1	1								2				
<i>Stellaria</i> (<i>Omstus</i>) <i>exatus</i> (Reeve)			4		4		7		1								16				
<i>Glossaulax dichma</i> (Röding)	13	34	111	6	65	5	12	31	145	9				1	1	33	466				
<i>Eunaticina papilla</i> (Gmelin)						1											1				
<i>Natica</i> (<i>Cryptonatica</i>) spp.	1			15						102							118				
<i>Sinum javanicum</i> (Griffith & Pidgeon)						1											1				
<i>Sinum japonicum</i> (Lischke)							2										2				
<i>Cryptonatica amdoi</i> (Nomura)														4			4				
<i>Semicassis bisulcata japonica</i> (Reeve)	1		5		1		1			1						1	11				
<i>Ficus subintermedia</i> (d'Obigny)			4														4				
<i>Tonna lineostoma</i> (Küster)			1						4								5				
<i>Tonna melanostoma</i> (Jay)			1														1				
<i>Tonna</i> spp.	2	2	1		1	1	2	3	1							2	14				
<i>Gyrineum enpidatum</i> (Reeve)									1								1				
<i>Murex</i> spp.									1								1				
<i>Ceratosoma ozawai</i> Tomida & Tanaka			34	2					1	3							4				
<i>Reishia nakamurai</i> (Makiyama)			15					2									4				
<i>Rapana venosa</i> (Valenciennes)			1			2		4		3	1						25				
<i>Rapana rapiformis</i> (Born)			1						4								5				
<i>Mitrella bicincta</i> (Gould)			1							3							5				
<i>Mangelia ugali</i> (Makiyama)			1									1					1				
<i>Niotha congrua</i> (Yokoyama)										1							1				
<i>Zeusis castus</i> (Gould)											39						39				
<i>Neptunea</i> (<i>Barbitonia</i>) <i>arthritica</i> (Bernardi)											1						1				
<i>Hindsia</i> (<i>Benthindia</i>) <i>magnifica</i> (Lischke)										20				1	30		54				
<i>Siphonalia declivis declivis</i> Yokoyama				47		1				4							52				
<i>Siphonalia damienensis</i> Makiyama										2							2				
<i>Siphonalia modificata</i> (Reeve)										1							1				
<i>Siphonalia concinna</i> A. Adams														1			1				
<i>Siphonalia</i> spp.	2					12	1	41	38	121						2	217				
<i>Babylonia elata</i> (Yokoyama)	7		3	65	3	25	5	38	21	4							171				
<i>Cantharus</i> (<i>Polita</i>) <i>molis</i> (GOULD)									1								1				
<i>Hemifusus tuba</i> (Gmelin)						1											1				
<i>Fusinus ferrugineus</i> Kuroda & Habe			1			1				1							4				
<i>Fusinus tuberosus</i> (Reeve)										1							1				
<i>Turricula sobrina</i> (Yokoyama)			1							23							25				
<i>Gemmaula</i> (<i>Uneedogemmaula</i>) <i>unedo</i> (Kiener)																	1				
<i>Fulguraria</i> (<i>Psephaea</i>) <i>concinna</i> (Broderip)			8							1							13				
<i>Fulguraria</i> (<i>Psephaea</i>) <i>mentiens</i> (Fulton)			1				5										19				
<i>Fulguraria</i> (<i>Masashia</i>) <i>totomiensis</i> Makiyama	3						5			4							14				
<i>Fulguraria</i> sp.						1											1				

Stratigraphy		上内田層			大目層								土方層							底質	生息水深(m)	和名
Species	Location	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	合計			
		千羽	成滝	旭ヶ丘	小市	上屋敷	飛鳥a	飛鳥b	大池	遊家	本郷	家代	杉谷	矢崎	龜の甲	板沢	下俣	長谷				
<i>Scotonea delicata</i> (Fulton)		1										1							2		100-500	サオトモヒダチオビ
<i>Baryspira albocollata okawai</i> (Yokoyama)					5		3			10	59	32					1		110			
<i>Baryspira regina</i> Tomida & Ozawa													8						15			
<i>Baryspira</i> spp.												31							31			
<i>Olivella fulgurata</i> (A. Adams & Reeve)										4		7							13		潮間帯-20	ムシボタルガイ
<i>Olivella mistelina</i> Lamarck		1			3	2	186				21								213		5-30	マクラガイ
<i>Mitra</i> spp.					3														3			
<i>Cancellaria pristina</i> (Yokoyama)											3								3			
<i>Cancellaria (Strophera) spengleriana</i> (Deshayes)					7		9					1							18		10-50	コロモガイ
<i>Cancellaria (Habesolatia) nodulifera</i> (Sowerby)					3	2				2	10	9							28		5-20	トカシオリイボレラ
<i>Trigonostoma karodai</i> Makiyama							2			8	3								13			
<i>Cleobula</i> spp.		1			29		3			4	1	5							43			
<i>Thacheria marabilis</i> (Angas)																			1		160-400	チマキボラ
<i>Paradrillia damienensis</i> (Yokoyama)											1								1			
<i>Inquisitor jeffreysi</i> (Smith)																			1			
<i>Inquisitor</i> spp.																			3			
<i>Suavodrillia karodai</i> (Makiyama)																			1			
<i>Gemmula (Unedogenmilla) unedo</i> (Kiener)											5								9			
<i>Lophiotoma (Lophioturris) sp.</i>																			1			
<i>Comitas</i> sp.																			2			
<i>Makiyamaia coreanica</i> (A. Adams & Reeve)																			1			
<i>Makiyamaia subdechloris</i> (Yokoyama)																			5			
<i>Micanatpex (Parabathytoma) Inehdorffi</i> (Lischke)		2		18		1	1	1	3		6	45							8		160-450	チヨウモンイダチ
<i>Terebra</i> spp.					30		21				12	46	15						84		100-400	クツツノイダチ
<i>Granuliterebra</i> sp.																			124			
<i>Architectonica maxima</i> (Philippi)					4		2												3			
Total number of Class Gastropoda		41	5	104	516	34	581	29	59	294	608	538	7	7	31	61	3	103	3021			
Class Scaphopoda																						
<i>Amalys weinkauffi</i> (Dunker)																						
<i>Fissidentulum yokoyamai</i> (Makiyama)									1		35	15							51		30-500	ツノガイ
<i>Entalina quadragularis</i> (Boissevain)												13							13		100-200	ヤスツノガイ
<i>Eufistulana grandis</i> (Deshayes)												9							9		200-1300	ミカドツノガイ
Total number of Class Scaphopoda		0	0	0	0	0	0	0	1	0	35	38	0	0	0	0	0	0	74			
Class Bivalvia																						
<i>Succella senataensis</i> (Suzuki & Isizuka)																						
<i>Acila divaricata divaricata</i> (Hinds)		1		13	1						1	2							19		100-500	ハトムギワテガイ
<i>Neilonella dubia</i> Prashad																			1		50-500	オオキクラガイ
<i>Yoldia similis</i> (Kuroda & Habe)																			1			
<i>Arca</i> sp.																			6		70-300	ナガノデガイ
<i>Anadara (Scapharca) satowi</i> (Dunker)																			1			
<i>Anadara (Scapharca) broughtonii</i> (Schrenck)																			5			
<i>Anadara (Scapharca) castellata</i> (Yokoyama)					3		6		2		15	3							29		10-50	サトノガイ
<i>Anadara (Scapharca) shizuokaensis</i> Noda							4		2		67	4							79		5-50	アガガイ
<i>Anadara (Scapharca) sasakii</i> (Yokoyama)		1																	2			
<i>Anadara (Tosarca) tosaensis</i> Noda					2		2				4								12			
<i>Anadara</i> spp.							6				2								8			
<i>Cucullaea labiosa granulosa</i> Jonas		10			2	4	6	4	8	12	75	1							122			
<i>Oblimopa multistriata</i> (Forsk.)					4		4		2		16								26			
<i>Limopsis tajima</i> Sowerby							16		3										23			
<i>Glycymeris rotunda</i> (Lischke)		11		2	7		9		16		660	2							694		10-400	シラスナガイ
<i>Glycymeris totoniensis</i> Makiyama				30			14		7		73								165		100-800	オオシラスガイ
<i>Glycymeris albolineata</i> (Dunker)				15	4				37		2	5							47		20-300	ベニクリ
<i>Modiolus auriculatus</i> (Krauss)				3	9		101		2	3	47	3							169		5-20	ペンケイガイ
							1												2		潮間帯	リュウキニホヒガイ

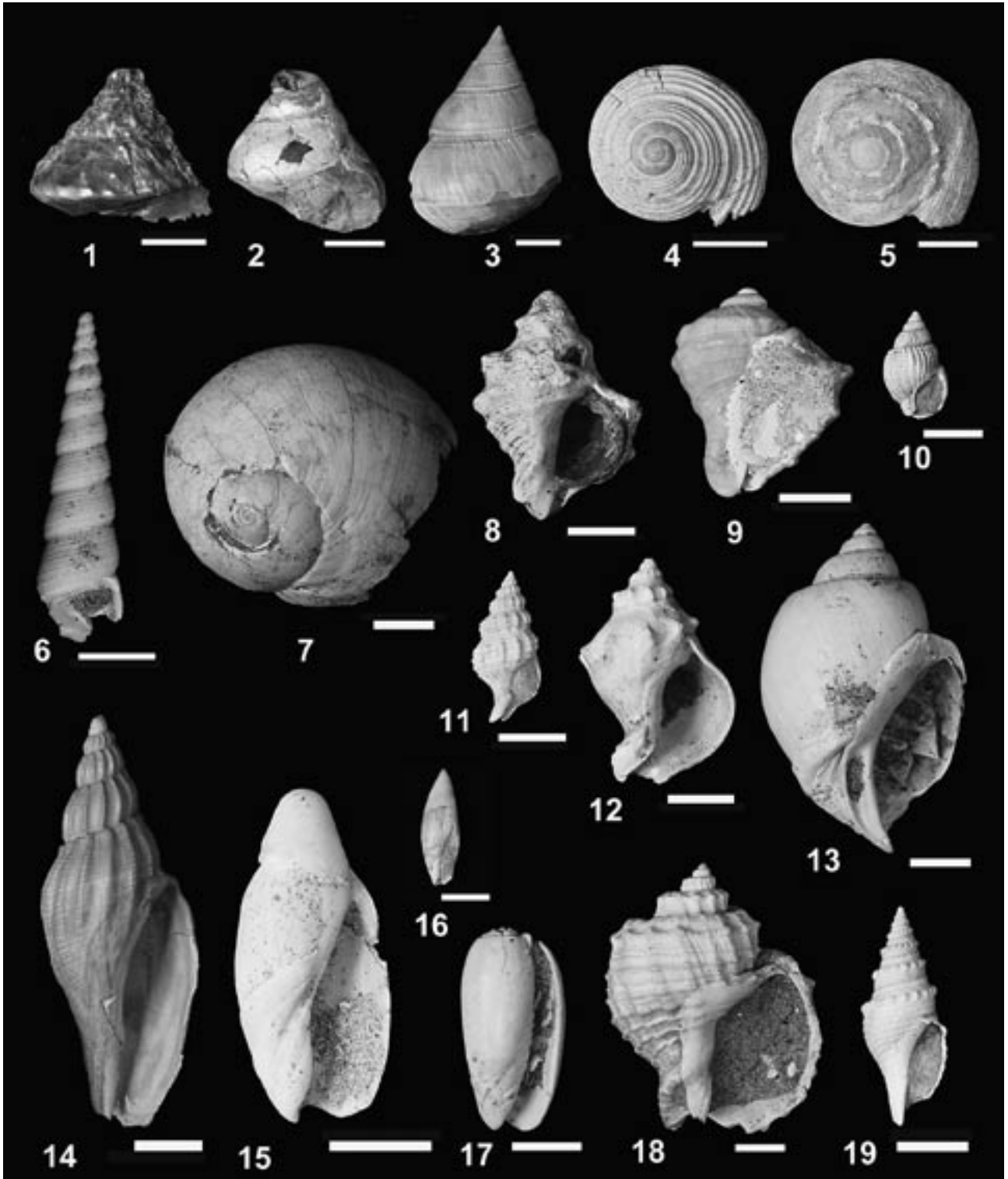


図 4 代表的な腹足類化石。スケールは 1cm。1 : *Lischkeia alwinae* (Lischke) 上屋敷 (SPMN-r-565), 2 : *Ginebis argenteonitens* (Lischke) 上屋敷 (SPMN-r-966), 3 : *Ginebis argenteonitens* forma *convexiusculus* (Yokoyama) 家代 (SPMN-r-1822), 4 : *Umbonium (Suchium) mysticum* Yokoyama 本郷 (SPMN-r-1784), 5 : *Umbonium (Suchium) suchiense suchiense* Yokoyama 本郷 (SPMN-r-1779), 6 : *Turritella perterebra* Yokoyama 本郷 (SPMN-r-67), 7 : *Glossaulax didyma* (Röding) 飛鳥 (SPMN-r-1732), 8 : *Reishia nakamurai* (Makiyama) 飛鳥 b (SPMN-r-1738), 9 : *Rapana venosa* (Valenciennes) 本郷 (SPMN-r-1789), 10 : *Zeuxis castus* (Gould) 家代 (SPMN-r-926), 11 : *Hindsia (Benthindsia) magnifica* (Lischke) 板沢 (SPMN-r-432), 12 : *Siphonalia declivis declivis* Yokoyama 飛鳥 a (SPMN-r-1402), 13 : *Babylonia elata* (Yokoyama) 遊家 (SPMN-r-1487), 14 : *Fulgoraria (Musashia) totomiensis* Makiyama 板沢 (SPMN-r-457), 15 : *Baryspira albocallosa okawai* (Yokoyama) 本郷 (SPMN-r-72), 16 : *Olivella fulgurata* (A. Adams & Reeve) 飛鳥 b (SPMN-r-1304), 17 : *Oliva mustelina* Lamarck 飛鳥 a (SPMN-r-1722), 18 : *Cancellaria (Habesolatia) nodulifera* (Sowerby) 家代 (SPMN-r-1810). 19 : *Micantapex (Parabathytoma) luehdorfi* (Lischke) 板沢 (SPMN-r-437).

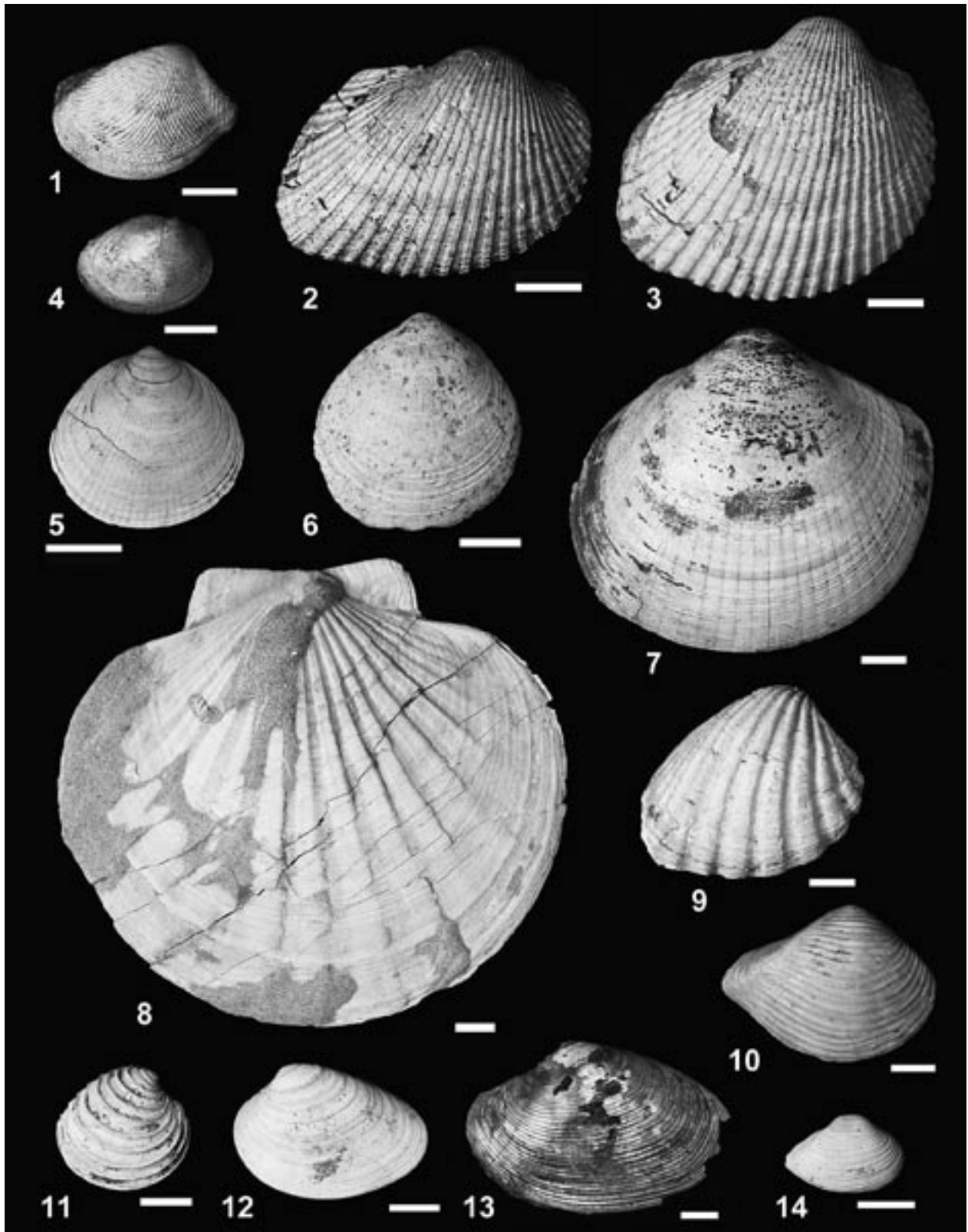


図5 代表的な二枚貝類化石。スケールは1cm。1: *Acila divaricata divaricata* (Hinds) 小市 (SPMN-r-369), 2: *Anadara (Scapharca) castellata* (Yokoyama) 飛鳥 a (SPMN-r-1438), 3: *Anadara (Scapharca) shizuokaensis* Noda 本郷 (SPMN-r-74), 4: *Limopsis tajima* Sowerby 家代 (SPMN-r-167), 5: *Glycymeris rotunda* (Lischke) 家代 (SPMN-r-938), 6: *Glycymeris totomiensis* Makiyama 家代 (SPMN-r-1816), 7: *Glycymeris albolineata* (Dunker) 飛鳥 a (SPMN-r-621), 8: *Amussiopecten praesignis* (Yokoyama) 本郷 (SPMN-r-1778), 9: *Megacardita panda* (Yokoyama) 飛鳥 a (SPMN-r-1427), 10: *Bathytormus foveolatus* (Sowerby) 飛鳥 a (SPMN-r-1422), 11: *Placamen tiara* (Dillwyn) 飛鳥 a (SPMN-r-1429), 12: *Callista chinensis* (Holten) 本郷 (SPMN-r-1796), 13: *Paphia schnelliana* (Dunker) 上屋敷 (SPMN-r-561), 14: *Solidicorbula erythrodon* (Lamarck) 遊家 (SPMN-r-1495)。

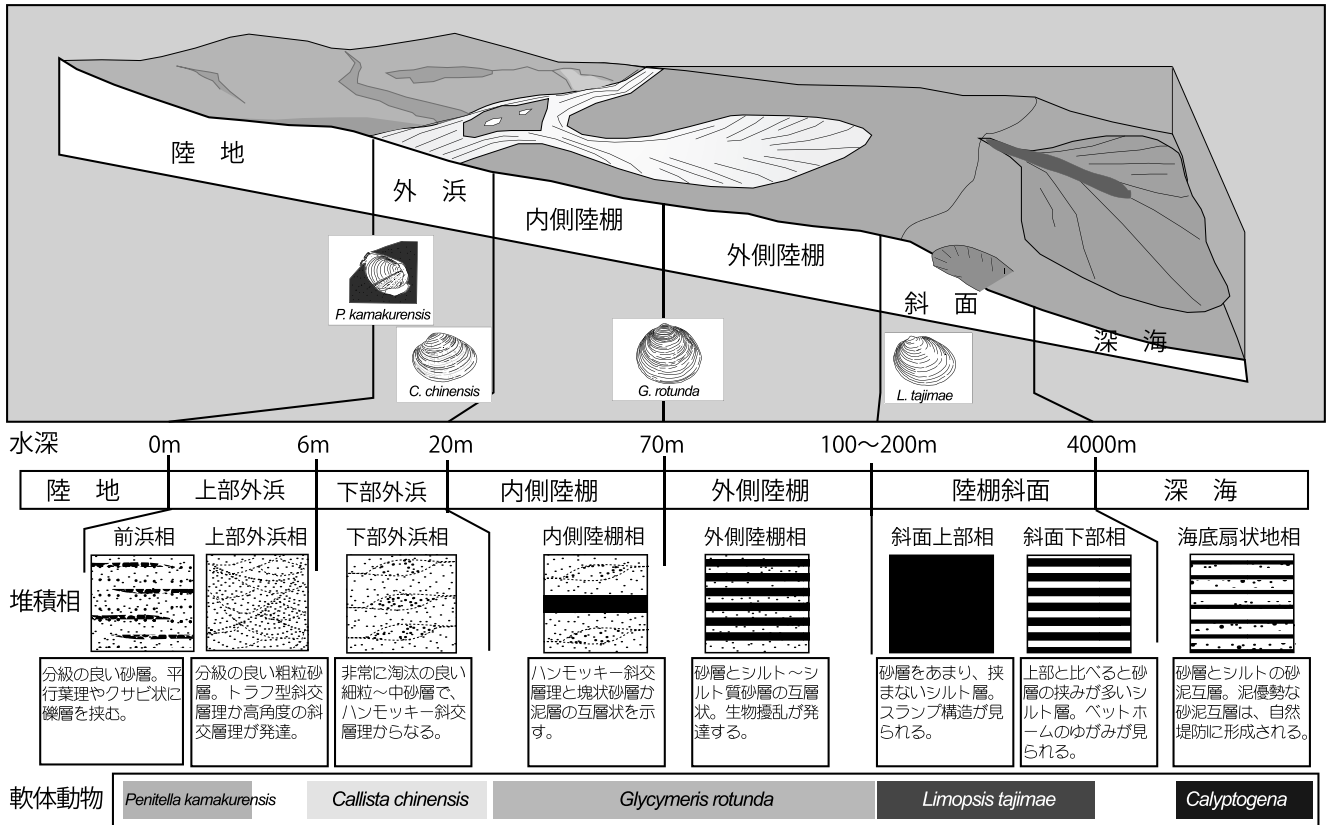


図6 海浜から深海底におよぶ地形と堆積物、および代表的な現生二枚貝の生息分布についての概念図。



図7 千羽の化石産状 (*Paphia schnelliana* (Dunker) が中央に見られる), SPMN-r-1071.

堆積環境：産出した化石の多くは外側陸棚より浅い海底に生息する種であるが、岩相がタービダイトからなる砂泥互層であり、化石群集に *Lischkia alwinae* が含まれることから、これらが堆積した環境は陸棚斜面上部と考えられる。外側陸棚より浅い海底に堆積した化石群集が、暴風時などに陸棚斜面上部に流れ込んだものと考えられる。

②成滝

位置：東海道新幹線満水トンネルの北側のゴルフ練習場の造成工事の露頭 (図1の②)。現在は消失。
岩相・層準：上内田層の最上部の泥層。五百済火山灰層の下位約10mの層準。

産状：厚さ20mの塊状の泥層に、主に *Calyptogena* (*Archivesica*) *kawamurai* の密集層が挟在し、その上部に貝化石が広範囲に散在する (Nobuhara and Tanaka, 1993)。

標本数：49 (腹足綱5, 二枚貝綱44), 6属6種 (腹足綱2属2種, 二枚貝綱4属4種)。

特徴：主に *Calyptogena* (*Archivesica*) *kawamurai* が密集して産出し、化石は偏圧を受けて割れている (図8)。それ以外には、*Lischkia alwinae* や *Limopsis tajimae* など生息水深が100~300m以深の砂泥底に生息する種があり、岩礁・砂礫底・砂底に生息する種は含まれない。多産した *Calyptogena* (*Archivesica*) *kawamurai* は押しつぶされたように割れているが、破片は周囲に散乱していない。また、表面装飾が磨耗していない貝が多い。

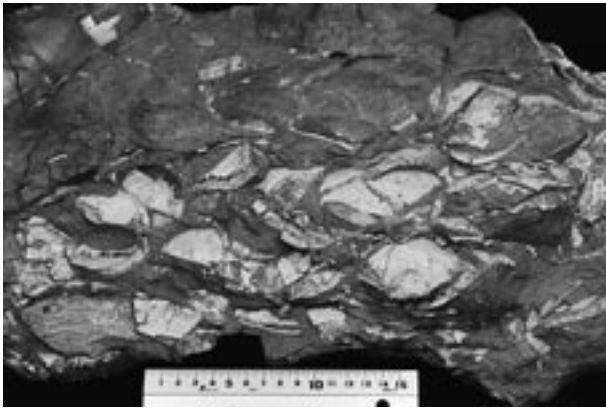


図8 成滝の化石産状 (*Calytogenea (Archivesica) kawamurai* (Kuroda) が密集層を形成する), SPMN-r-1657.

堆積環境：*Calytogenea (Archivesica) kawamurai* は化学合成二枚貝とされ、本地点の産出とその堆積環境については Nobuhara and Tanaka (1993) と Nobuhara (2003) に詳しく記載・考察されている。化学合成二枚貝は光合成による生物の一次生産に直接依存せず、体内に共生させた硫黄細菌が硫化物を酸化するときに出るエネルギーを利用して有機物の合成を行っている。Nobuhara (2003) はこの *Calytogenea (Archivesica) kawamurai* 群集が、陸棚斜面上部の泥底におけるメタン湧水によって、ほぼ自生的に形成されたとした。

2) 大日層

③旭ヶ丘

位置：掛川市警察署の北側で行われた土地造成の露頭 (図1の③)。現在は消失。

岩相・層序：大日層のパラシーケンス PD1 の泥層または砂質シルト層。

産状：化石は散在し、石灰質ノジュールも含まれる (図9)。貝化石は保存状態が良く、二枚貝は合弁個体が多い。

標本数：269 (腹足綱 104, 二枚貝綱 165), 42 属 50 種 (腹足綱 19 属 23 種, 二枚貝綱 23 属 27 種)。

特徴：腹足綱では *Glossaulax didyma* や *Micantapex (Parabathytoma) luehdorfi*, *Ginebis argenteonitens*, *Fulgoraria (Psephaea) concinna* など、二枚貝綱では *Limopsis tajimae*, *Glycymeris rotunda*, *Glycymeris totomiensis*, *Acila divaricata divaricata*, *Mercenaria chitaniana*, *Paphia schnelliana* が多産する。水深 100 ~ 300m に生息する種が多いが、より浅海に生息するものも含まれる。砂泥底およ



図9 旭ヶ丘の化石産状 (コンクリーション中に *Fulgoraria (Psephaea) concinna* (Broderp) が認められる), SPMN-r-373.

び細砂底に生息する種が多く、岩礁・砂礫底に生息する種は含まれない。

堆積環境：*Lischkeia alwinae* や *Fulgoraria (Psephaea) concinna*, *Limopsis tajimae* など外側陸棚から陸棚斜面上部に生息する種と、より浅海に生息する種も含まれることから、外側陸棚から陸棚斜面上部に暴風時などに浅海の貝が流れ込んだ化石群集と考えられる。

④小市

位置：掛川市小市の北西、飛鳥に通じる道路工事の切割の露頭 (図1の④)。現在、露頭は植生に覆われて見ることができない。

岩相・層序：大日層のパラシーケンス PD1 の砂礫層または砂層。

産状：下位の西郷層群との不整合面直上の地層で、延原・田中 (1999) がその岩相を記載している。それによれば、基底から細～中礫サイズの円礫よりなる礫層が厚さ 5m ほど発達し、その上位に細粒砂層が厚さ 10m ほど累重する。礫層は淘汰の良い細粒砂を基質とし、上部は基質支持で比較的淘汰の良い細粒礫で構成され、化石は礫層中に密集する。

標本数：711 (腹足綱 516, 二枚貝綱 195), 31 属 36 種 (腹足綱 16 属 17 種, 二枚貝綱 15 属 19 種)。

特徴：腹足綱では *Glossaulax didyma*, *Umbonium (Suchium) spp.*, *Turritella perterebra*, *Babylonia elata* と二枚貝綱では *Megcardita panda* が特に多産する。それに随伴して普通に産するものとしては、腹足綱では *Reisia nakamurai*, *Siphonalia*

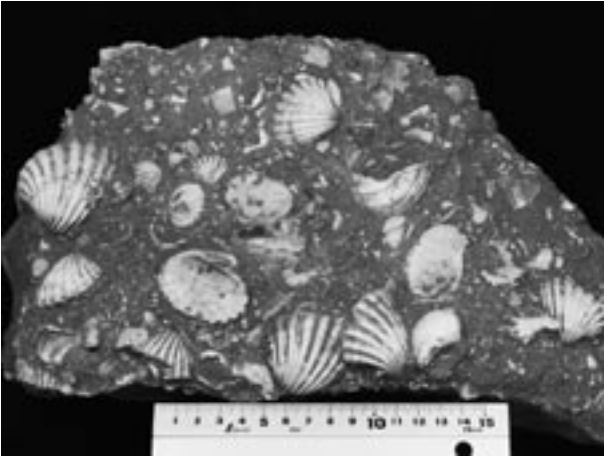


図10 小市の化石産状（多数の *Megacardita panda* (Yokoyama) を含む), SPMN-r-37.

declivis declivis, *Cleobula* spp., *Terebra* spp., *Ceratostoma ozawai* などと、二枚貝綱では *Mercenaria chitaniana*, *Paphia schnelliana* がある (図10). 標本の保存状態は良いが、二枚貝はほとんどが離弁である。全体に潮間帯から水深50mまでの上部浅海帯の砂泥底に生息する種が多く、*Reisina nakamurai* のような岩礁に生息する種が混在する。熱帯-亜熱帯に生息する *Cleobula* spp. が多数産出することも特徴である。
堆積環境：軟体動物化石は潮間帯から水深50mまでの上部浅海帯の砂泥底に生息する種が多く、岩相から下部外浜の堆積環境が考えられる。また、下部の礫層は上部外浜から暴風時に下部外浜へ流入し堆積したものである。これら岩相や含まれる軟体動物化石の特徴から、下部外浜の堆積物と考えられる。

⑤上屋敷

位置：掛川市上屋敷，永江院の北側の土地造成工事で現れた露頭 (図1の⑤)。現在は消失。

岩相・層序：大日層のパラシーケンスPD2の砂層を挟む泥層または砂質シルト層。

産状：不明。

標本数：59 (腹足綱34, 二枚貝綱25), 19属19種 (腹足綱14属14種、二枚貝綱7属7種)。

特徴：腹足綱では *Glossaulax didyma* と *Stellaria (Onustus) exutus*, *Makiyamaia subdeclivis* などが含まれ、二枚貝綱では *Glycymeris rotunda* や *Paphia schnelliana*, *Clementia papyracea* などが含まれる。軟体動物以外の化石も多く、オオグソクムシやカニなどの甲殻類，ウニなどの棘皮動物

やセンスガイなどの刺胞動物の化石が産した。上部浅海帯の種も含まれるが、*Lischkia alwinae* や *Makiyamaia subdeclivis* など水深100～400mに生息するものも含まれる。

堆積環境：含まれる軟体動物化石と泥層または砂質シルト層を主体とする岩相から、外側陸棚～陸棚斜面上部の堆積環境が考えられる。

⑥飛鳥 a

位置：掛川市下垂木飛鳥の金谷池の東側の採土場の露頭 (図1の⑥)。一部を残して消失。

岩相・層序：大日層のパラシーケンスPD1の砂層。

産状：分級のよい細粒砂層で、ハンモック状斜交層理が発達する。軟体動物化石はそのハンモック状斜交層理のスウェール基底に密集する。飛鳥aと飛鳥bは一連の露頭の異なる層準である (図11)。図12に露頭柱状図を示す。

標本数：1,117 (腹足綱581, 二枚貝綱536), 43属51種 (腹足綱21属22種、二枚貝綱22属29種)。

特徴：腹足綱では *Umbonium (Suchium) suchiense suchiense*, *Glossaulax didyma*, *Turritella perterebra*, *Oliva mustelina* が特に多く、*Siphonalia* spp., *Babylonia elata*, *Terebra* spp. も多産する。二枚貝綱では *Glycymeris albolineata*, *Dosinorbis* spp., *Megacardita panda* が特に多く、*Anadara* spp. や *Amussiopecten praesignis*, *Callista chinensis*, *Placamen tiara*, *Lutraria maxima*, *Oblimopa multistriata* も多産する。貝化石の破片も大量に含み、貝化石が密集しコンクリーションしている部分が多い (図13)。二



図11 飛鳥の露頭。手前側の下位の砂層が飛鳥aで、奥側の上位の砂質シルト層が飛鳥bにあたる。2002年4月22日撮影。

枚貝は合弁のものはほとんどない。ほとんどが、潮間帯～水深20mまたは10～50mまでの細砂底または砂泥底に生息する種で、岩礁または砂礫底に生息する種は含まれない。少量ではあるが、水深50～200mに生息する *Micantapex (Parabathytoma) luehdorfi* を含む。

堆積環境：産出するほとんどの軟体動物化石は水深50mまでの生息域をもつものであり、*Micantapex (Parabathytoma) luehdorfi* を含むことと、細粒砂層にはハンモック状斜交層理が発達することから、暴風時波浪限界深度以浅にあたる下部外浜～内側陸棚の堆積環境が考えられる。また、産出化石のほとんどの二枚貝は離弁個体からなり、大量の貝化石破片により化石密集層が形成されていることから、貝化石密集層は波浪の影響で洗い出された貝が遠くに運ばれずその場で堆積したと考えられる。

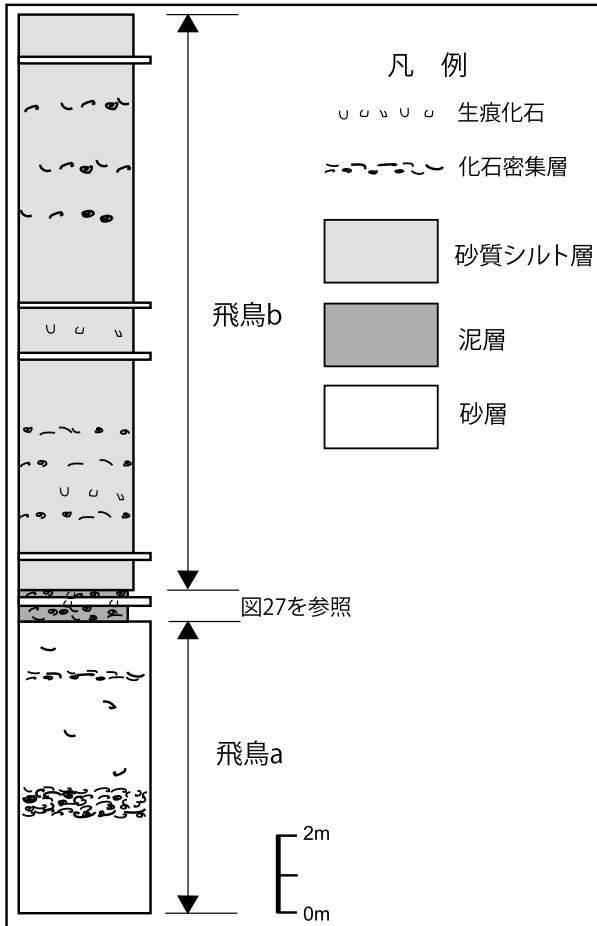


図12 飛鳥の露頭柱状図。

⑦飛鳥 b

位置：掛川市下垂木飛鳥の金谷池の東側の採土場の露頭（図1の⑦）。

岩相・層序：大日層のパラシーケンス PD2 の灰色の砂質シルト層の最下部。

産状：化石は砂質シルト層中の弱い層理に沿って散在的または部分的に密集して産出する（図14）。砂質シルト層には薄い砂層を挟み、砂質シルト層や砂層中に生痕化石が含まれる。標本の保存状態は良い。

標本数：83（腹足綱29、二枚貝綱55）、28属32種（腹足綱11属12種、二枚貝綱17属20種）。

特徴：特に多産する種はなく、腹足綱では *Stellaria (Onustus) exutus* と *Glossaulax didyma*, *Makiyamaia coreanica*, *Makiyamaia subdeclivis* などがあり、二枚貝綱では *Glycymeris totomiensis*, *Limopsis tajimae*, *Paphia schnelliana* などが産する。 *Atrina (Servatrina) pectinata* な

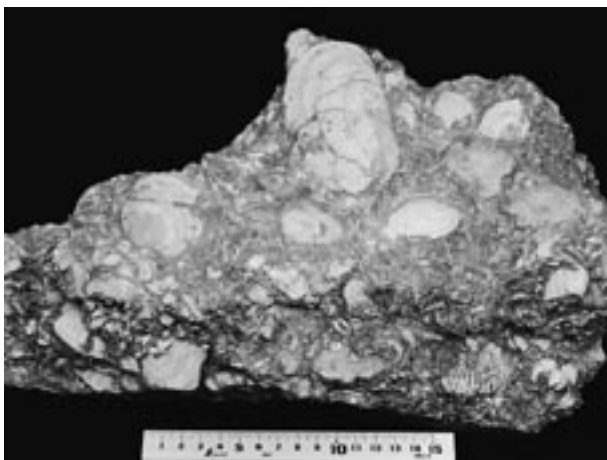


図13 飛鳥 a の化石産状 (*Panopea japonica* (A.Adams) などの多数の二枚貝を含むコンクリーション), SPMN-r-1656.



図14 飛鳥 b の化石産状。ストームシート砂層の上位に重なる砂質シルト層の中に層状に貝化石が並んで分布する。2011年10月15日撮影。

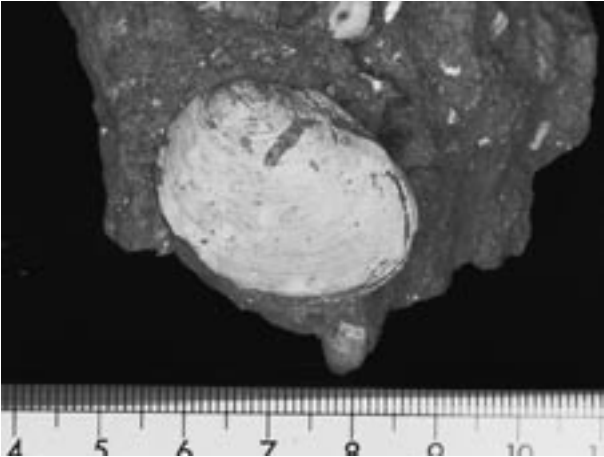


図15 飛鳥bの化石産状(*Limopsis tajimae* Sowerbyの化石が砂質シルトに支持された状態で埋没している), SPMN-r-1291.

ど水深0～30mに生息する種も含むが、水深50～200mまたは100～400mの砂泥底に生息する*Limopsis tajimae*(図15)や*Makiyamaia subdeclivis*も含まれる。

堆積環境：挟在する砂層はストームシートと考えられ、生痕化石を含む堆積相と産出する*Limopsis tajimae*や*Makiyamaia subdeclivis*を含むことから外側陸棚の堆積環境が考えられる。

⑧大池

位置：掛川市上屋敷，掛川バイパス北側の採土場の露頭(図1の⑧)．大池公園の南東側。

岩相・層序：大日層のパラシーケンスPD2の泥層または砂質シルト層で薄い砂層を挟む。砂層は大規模な斜交層理をなす(図16)．大池火山灰層の下位約20m。



図16 大池の露頭。下位の地層は右側(南側)に傾斜し、上位の地層は左側(北側)にゆるく傾斜する。2002年4月22日撮影。

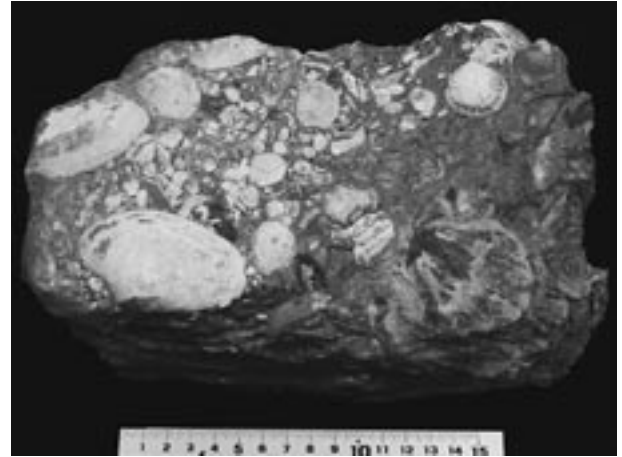


図17 大池の化石産状(*Paphia schnelliana* (Dunker)などの二枚貝化石が貝殻支持～一部基質支持で密集), SPMN-r-179.

産状：化石は塊状のシルト層中に散在するが、シルト層に挟在する厚さ50cmほどのレンズ状の砂層に軟体動物化石が密集する(図17)。

標本数：170(腹足綱59, 堀足綱1, 二枚貝綱116), 25属30種(腹足綱9属10種, 堀足綱1属1種, 二枚貝綱16属20種)。

特徴：腹足綱では*Glossaulax didyma*と*Ginebis argenteonitens*が多く、*Fulgoraria (Psephaea) mentiens*や*Fulgoraria (Musashia) totomiensis*が産する。二枚貝綱では*Glycymeris rotunda*が多産し、*Limopsis tajimae*, *Solamen spectabilis*, *Yoldia similis*が産する。多産する種のほとんどが水深50～200m以深に生息するものであるが、*Glycymeris albolineata*や*Dosinia troscheli*など上部浅海帯に生息するものも含む。また、*Mizuhopecten hokurikuensis*と、天野・延原(1995)によってすでに報告された*Mizuhopecten pseudoyessoensis*が含まれる。

堆積環境：産出する種と堆積相から外側陸棚から陸棚斜面上部の堆積環境が考えられる。また、天野・延原(1995)によれば、この地点の貝化石密集層は沿岸性貝化石群が深所に運搬され、下部浅海帯や漸深海帯に生息する種を加えて形成されたと推定した。

⑨遊家

位置：掛川市遊家の南，兎沢池の東(図1の⑨)。

岩相・層序：下位の西郷層群との不整合面直上の地層で、大日層のパラシーケンスPD2の砂礫層または砂層。

産状：不整合面直上の約2mは細～中礫サイズの円礫よりなる礫層で，その上位の中粒砂層にはハンモック状斜交層理が発達する．化石は礫層中に多く含まれる．貝化石を含む礫層はコンクリーションしていることがあり，その場合貝殻が溶けて印象型が残ることが多い（図18）．

標本数：374（腹足綱294，二枚貝綱80），28属30種（腹足綱19属20種，二枚貝綱9属10種）．

特徴：腹足綱では *Turritella perterebra* が特に多産し，*Umbonium (Suchium) spp.*, *Glossaulax didyma*, *Babylonia elata*, *Siphonalia spp.* も多い．二枚貝綱では合弁のものではなく，特に *Solidicorbula erythrodon* が多産し，*Anadara spp.* や *Callista chinensis*, *Placamen tiara* が多く含まれる．全般に，上部浅海帯の砂底に生息する種が多く，砂礫底に生息する種は含まれない．なお，本化石層からはイノシシ類の臼歯と鳥類の尺骨の化石の産出報告がある（小野，1980；新村ほか，2005）．

堆積環境：ほとんどの二枚貝が離弁であることと産出する種と堆積相から，④小市と同様に，下部外浜に堆積したと考えられる．下部の礫層は暴風時に上部外浜から流入したもので，海進により下部外浜の堆積環境が継続し，地層として保存されたものと考えられる．また，多産する *Solidicorbula erythrodon* は，波部（1977）によると河口付近に生息する種であることから，本採集点は河口に近接していた可能性がある．

⑩本郷

位置：掛川市本郷東の採土場の露頭（図1の⑩）．

岩相・層序：大日層のパラシーケンスPD2の砂層．
産状：細粒砂層からなる高さ約20mの露頭で，上部には薄い砂質シルト層が挟在する（図19）．細粒砂層中に発達するハンモック状斜交層理に沿って層厚10～30cmの貝化石密集層が挟在する（図20）．貝化石密集層は板状に固結している場合もある．

標本数：1,266（腹足綱608，堀足綱35，二枚貝綱623），45属55種（腹足綱23属28種，堀足綱1属1種，二枚貝綱21属27種）．

特徴：化石密集層中には貝殻片が多く含まれ，二枚貝化石に合弁のものはない．腹足綱は，*Glossaulax didyma* と *Turritella perterebra* が特に多く，*Umbonium (Suchium) suchiense suchiense* や *Umbonium (Suchium) mysticum*, *Umbonium (Suchium) spp.*, *Baryspira albocallosa okawai*, *Oliva mustelina*, *Siphonalia spp.*,



図19 本郷の露頭．2005年4月21日撮影．

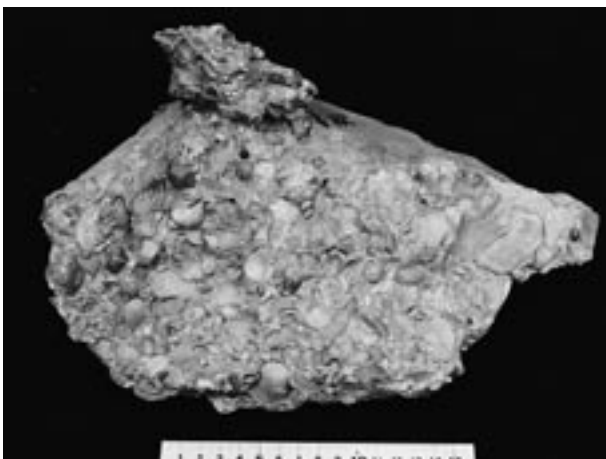


図18 遊家の化石産状（コンクリーション中に殻が溶解した印象化石が貝殻支持で密集），SPMN-r-123．

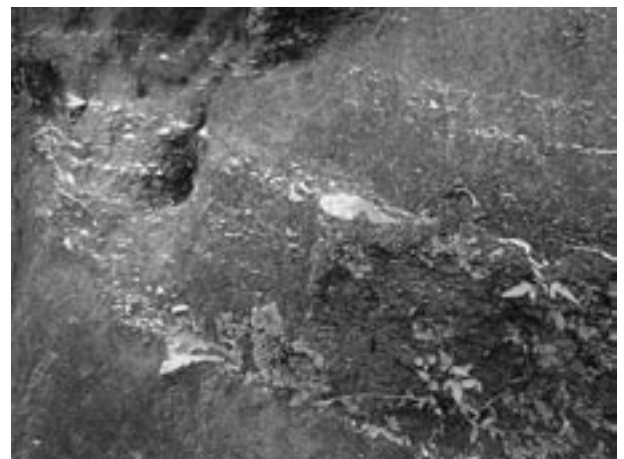


図20 本郷で見られるハンモック状斜交層理に沿って挟在する貝化石密集層．2011年10月15日撮影．

Babylonia elata などが多く含まれる。二枚貝綱は、*Amusiopecten praesignis* (図 21) と *Callista chinensis* が特に多く産し、*Anadara (Scapharca) castellata*, *Anadara* spp., *Glycymeris albolineata*, *Paphia schnelliana*, *Megcardita panda* も多く含まれる。これら多産するほとんどの種は潮間帯から水深 50m までの上部浅海帯の砂泥底に生息するが、水深 50m 以深に生息する *Semicassis bisulcata japonica* と *Micantapex (Parabathytoma) luehdorfi* (図 22) を少量であるが含む。

堆積環境：産出するほとんどの種が上部浅海帯に生息するものであるが、水深 50m 以深に生息する *Semicassis bisulcata japonica* と *Micantapex (Parabathytoma) luehdorfi* を含むこと、ハンモック状斜交層理をもつ堆積相の特徴などから、暴風時波浪限界深度以浅の下部外浜～内側陸棚の海底に堆積したと推定できる。ほとんどの二枚貝が離弁で保存がよいことは、波浪の影響を強く受け、ほぼその場所で堆積したことが推定される。

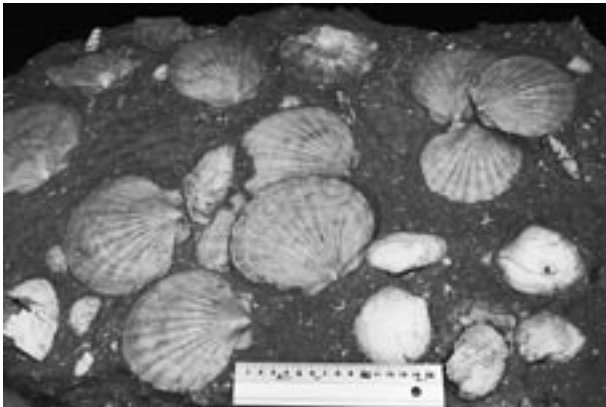


図 21 本郷の化石産状 (多数の *Amusiopecten praesignis* (Yokoyama) が層状に密集), SPMN-r-1654.



図 22 本郷のブロック化石に含まれる *Micantapex (Parabathytoma) luehdorfi* (Lischke), SPMN-r-1220.

⑪家代

位置：掛川市家代の里の宅地造成地の西側の露頭(図 1 の⑪)。現在はほとんどが消失し、掛川球場の東側の露頭で一部観察できる (図 23)。

岩相・層序：大日層のパラシーケンス PD4 の砂層を挟む泥層または砂質シルト層、家代火山灰層を含む上下の層準。

産状：シルト層または砂質シルト層に層厚数 10cm の化石密集層がいくつか挟在する。また、海底地滑りによる凹地 (スランプスカー) やチャネルが数多く見られ、海底地滑りで生じたスランプ褶曲が頻繁に認められる (横山ほか, 2000)。

標本数：1,349 (腹足綱 538, 堀足綱 38, 二枚貝綱 773), 41 属 57 種 (腹足綱 25 属 35 種, 堀足綱 4 属 4 種, 二枚貝綱 12 属 18 種)。

特徴：腹足類は、*Natica (Cryptonatica)* spp. と *Siphonalia* spp. が特に多く、*Micantapex (Parabathytoma) luehdorfi*, *Hindsia (Benthindsia) magnifica*, *Zeuxis castus*, *Baryspira albocallosa okawai*, *Baryspira* spp., *Ginebis argenteonitens*, *Turricula sobrina*, *Terebra* spp., *Fulgoraria (Psephaea) mentiens* が多く含まれる。二枚貝綱は、*Limopsis tajimae* が卓越し、*Glycymeris rotunda* が多い。*Mizuhopecten hokurikuensis* も産する (図 24)。また、堀足綱も多く含まれる。軟体動物化石は保存がよく、特に *Limopsis tajimae* は産出量の 1/6 が合弁である。浅海帯



図 23 家代の露頭の一部。下位の地層を切って傾斜の異なる地層が重なる。このようなスランプスカーとそれを充填する堆積物の重なりが繰り返され、化石密集層も挟在する。田辺氏の化石の採集地点はこの約 200m 右側手前 (南南東側) 付近。2002 年 4 月 22 日撮影。



図24 家代の化石産状 (*Mizuhopecten hokurikuensis* (Akiyama) がシルト層中に基質支持で埋積されている), SPMN-r-1808.

に生息する種も含まれるが、量的に卓越する *Limopsis tajimae* を含め、*Fulgoraria (Psephaea) mentiens* や *Makiyamaia coreanica* など水深100m以深に生息するものが含まれる。また、軟体動物の化石以外に、大量のクモヒトデ類の化石 (Ishida et al., 1996) やウニ類、カニ類、オオグソクムシなどの化石が産出する。

堆積環境：本採集地点ではスランプスカーやチャネルが数多く見られ、産出種のほとんどが水深100m以深の砂泥底に生息する種で構成されている。このことから、量的に卓越する *Limopsis tajimae* の生息環境である外側陸棚から陸棚斜面上部の水深100～800mの海底に、浅海域から多数の貝が海底地滑りで堆積物と共に運搬されて、本化石動物群が形成されたと考えられる。

3) 土方層

⑫杉谷

位置：掛川市杉谷南，掛川市立総合病院の東側の造成地の露頭 (図1の⑫)。現在は消失。

岩相・層序：土方層のパラシーケンス PH2 の砂層を挟在する泥層。南郷火山灰層グループの層準付近。

産状：不明。

標本数：11 (腹足綱7，二枚貝綱4)，5属5種 (腹足綱2属2種，二枚貝綱3属3種)。

特徴：腹足綱では *Ginebis* sp.，二枚貝綱では *Limopsis tajimae* や *Neilonella dubia* が含まれる。化石の保存状態は悪く，数も少ない。

堆積環境：産出種や産出数が極端に少なく，保存状態も悪いため，化石標本だけから堆積環境を推定することは難しいが，*Ginebis* sp. や *Limopsis tajimae* があることと泥層を主体とする岩相から，陸棚斜面上部の堆積環境が推定できる。

⑬矢崎

位置：掛川市矢崎の道路工事の切割露頭 (図1の⑬)。現在は消失。

岩相・層序：土方層のパラシーケンス PH2 の砂層を挟む泥層。矢崎Ⅱ火山灰層の層準付近。

産状：不明。

標本数：23 (腹足綱7，二枚貝綱16)，3属4種 (腹足綱1属2種，二枚貝綱2属2種)。

特徴：腹足綱では *Ginebis argenteonitens*，二枚貝綱では *Bathymodiolus* sp. があるが，化石の保存状態は悪く，数も少ない。

堆積環境：産出種や産出数が極端に少なく，保存状態も悪いため，化石標本だけから堆積環境を推定することは難しいが，間嶋ほか (1990) ではこの付近から化学合成二枚貝の *Calypptogena* sp. を報告していることと泥層からなる岩相から，②成滝や⑭亀の甲と同様に陸棚斜面上部と推定できる。

⑭亀の甲

位置：掛川市亀の甲のホテル・パレス造成地の露頭 (図1の⑭)。現在は消失。

岩相・層序：土方層のパラシーケンス PH2 の泥層。⑬矢崎とほぼ同層準。

産状：不明。

標本数：54 (腹足綱31，二枚貝綱23)，10属11種 (腹足綱7属8種，二枚貝綱3属3種)。

特徴：腹足綱は，*Ginebis argenteonitens*，*Ginebis argenteonitens* forma *convexiusculus* が多く，二枚貝綱は *Calypptogena (Archivesica) kawamurai* と *Bathymodiolus* sp.，*Limopsis tajimae* が多く産する。*Calypptogena (Archivesica) kawamurai* は合弁個体からなり密集する (図25)。

堆積環境：Nobuhara (2003) によれば，②成滝と同じく陸棚斜面上部の泥底におけるメタン湧水場にて，ほぼ自生的に形成された化石群集とされている。



図25 亀の甲の化石産状(*Calytogenia (Archivesica) kawamurai* (Kuroda)が密集するコンクリーションの一部), SPMN-r-1663.

⑮板沢

位置：掛川市板沢の南西，道路工事の切割露頭（図1の⑮）。現在はネットと植生で覆われて観察できない。

岩相・層序：土方層のパラシーケンス PH3 の泥層。結縁寺奥火山灰層の上位約 10m 層準付近。

産状：塊状の泥層中にパッチ状に化石が散在する。

標本数：61（腹足綱 61），10 属 10 種（腹足綱 10 属 10 種）

特徴：腹足綱のみの産出で，*Hindsia (Benthindsia) magnifica* が多産し，*Ginebis argenteonitens* や *Micantapex (Parabathytoma) luehdorfi*，*Cryptonatica andoi*，*Fulgoraria (Musashia) totomiensis*，*Makiyamaia coreanica* が含まれる。その他にウニの化石も産出する。

堆積環境：生息水深が 50m より浅い種も混在するが，*Ginebis argenteonitens* や *Makiyamaia coreanica* などが含まれることと，泥層主体の岩相から陸棚斜面上部の泥底と考えられる。

⑯下俣

位置：掛川市下俣南，資生堂掛川工場南側の露頭（図1の⑯）。現在は消失。

岩相・層序：土方層のパラシーケンス PH3 の泥層。結縁寺奥火山灰層の層準付近。

産状：塊状の泥層中にパッチ状に化石が散在する。

標本数：3（腹足綱 3），1 属 2 種（腹足綱 1 属 2 種）

特徴：腹足綱のみの産出で，保存状態は悪く，*Ginebis argenteonitens* が含まれる。

堆積環境：水深 50～400m に生息する *Ginebis argenteonitens* が産出することや塊状泥層からなる岩相から，陸棚斜面上部の泥底と考えられる。

⑰長谷

位置：掛川市高御所，東名高速道路小笠パーキングエリア西側の高架道路工事の露頭（図1の⑰）。現在は消失。

岩相・層序：土方層のパラシーケンス PH4 の基底付近の泥層。春岡火山灰層（曾我火山灰層）の約 50m 下位。

産状：不明。

標本数：126（腹足綱 103，二枚貝綱 23），29 属 31 種（腹足綱 16 属 17 種、二枚貝綱 13 属 14 種）

特徴：標本の産出数，種数ともに多く，保存状態が良い（図26）。腹足綱では *Ginebis argenteonitens* や *Zeuxis castus* が多産し，*Glycymeris rotunda* が多産する。二枚貝綱では，*Yoldia similis* が多く，*Venus (Ventricoloidea) foveolata* などがあり，*Crassostrea gigas* も含まれる。また，軟体動物以外では，カニやフジツボなどが多産し，鯨類の後頭骨の化石も産出した。

堆積環境：潮間帯から上部浅海帯の種も多いが，*Lischkeia alwinae* や *Fulgoraria (Psephaea) concinna* など水深 100m または 150m～300m に生息するものが含まれていることと，泥層を主体とする岩相から陸棚斜面上部と考えられる。

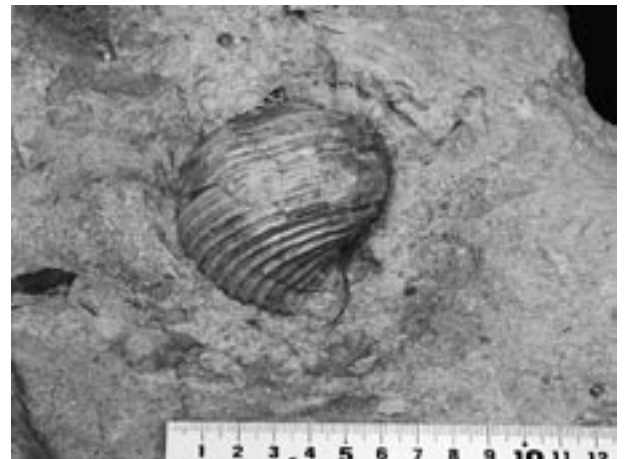


図26 長谷の化石。 *Tonna luteostoma* (Küster), SPMN-r-177.

化石群集の特徴に関する従来の研究との比較

本研究では、化石群集の種構成や産状および採集地点の堆積相などをもとに、各採集地点の堆積環境の推定を行った。その結果、上内田層の2地点である①千羽と②成滝は陸棚斜面上部に堆積したと推定した。大日層では、④小市と⑨遊家は下部外浜に、⑥飛鳥 a と⑩本郷は下部外浜～内側陸棚に、その他の③旭ヶ丘や⑤上屋敷、⑦飛鳥 b、⑧大池、⑪家代は外側陸棚～陸棚斜面上部に堆積したと推定した。また、土方層のすべての地点は陸棚斜面上部に堆積したと推定した。

鎮西 (1980) は、掛川動物化石群をいわゆる大日砂岩中の浅海の混合化石群集とそれよりも細粒な岩相中の貝化石群集とに分け、前者を潮間帯ないし潮下帯のいろいろな生息域の貝類が移動集積したものとして一括し、後者を *Glycymeris rotunda-Venus foveolata* 群集、*Nassaria mangnifica* 群集、*Limopsis tajimae* 群集の3つの化石群集に細分した。*Glycymeris rotunda-Venus foveolata* 群集は水深40m以深の泥底に生息する種からなり、*Nassaria mangnifica* 群集と *Limopsis tajimae* 群集は陸棚外縁付近の種を主体とした群集で、*Limopsis tajimae* 群集は *Nassaria mangnifica* 群集よりも深い海底環境を示すとしている。*Glycymeris rotunda-Venus foveolata* 群集は袋井市に分布する砂質シルト層（いわゆる宇刈層、本研究の大日層および土方層にあたる）に、*Nassaria mangnifica* 群集は家代の南側に分布する泥層（本研究の土方層）に、*Limopsis tajimae* 群集は結縁寺付近から南側の本研究の土方層に分布することを示した。

Nobuhara (1993) は、掛川市から袋井市にかけて分布する掛川層群の砂泥質層～泥質層から産する化石群集を、(1) *Amussopecten praesignis-Scapharca castellata* 群集、(2) *Paphia schnelliana-Clementia papyracea-Glycymeris rotunda* 群集、(3) *Crenulilimopsis oblonga-Glycymeris rotunda* 群集、(4) *Glycymeris rotunda-Ventricolaria foveolata* 群集、(5) *Nassaria mangnifica* 群集、(6) *Limopsis tajimae* 群集、(7) *Nuculoids-dominant* 群集の7つに区分した。そして、それらの堆積環境については、(1) を上部浅海帯の堆積環境とし、(2) と (3) を上部浅海帯～下部浅海帯、(4) を下部浅海帯、(5) を陸棚縁～最上部漸深海帯、(6) を上部

漸深海帯、(7) を漸深海帯とした。また、これらの群集の種構成の時代変化に関しては、上部浅海帯に生息する暖流系種の一部は段階的に消滅するが、下部浅海帯以深に生息していた群集には時間変化が認められないとした。Nobuhara (1993) の化石群集は、鎮西 (1980) の群集のうち、いわゆる大日砂岩の混合化石群集を除いたものに相当する。Nobuhara (2003) は、それらの群集型の層位分布が海進と海退に対応していることを明らかにした。

これら両研究と本標本の群集を対比させると、④小市と⑥飛鳥 a、⑨遊家、⑩本郷の大日層の砂層中の群集は鎮西 (1980) の浅海の混合化石群集に対比され、大日層のその他の地点の群集は Nobuhara (1993) の (2) *Paphia schnelliana-Clementia papyracea-Glycymeris rotunda* 群集～(6) *Limopsis tajimae* 群集に、上内田層と土方層の群集は (5) *Nassaria mangnifica* 群集～(7) *Nuculoids-dominant* 群集に相当するものと思われる。なお、上内田層の②成滝、土方層の⑬矢崎、⑭亀の甲に関しては、Nobuhara (1993) に該当する群集はなく、Nobuhara (2003) で報告されたアケビガイ *Calypptogena (Archivesica) kawamurai* 群集に相当する。

Ozawa et al. (1998) は、掛川層群のなかでも主に浅海で堆積した砂層および礫層（下位より、海老名層、大日層、油山層、曾我層）の軟体動物化石について記載した。Ozawa et al. (1998) は、大日層の群集はインド-西太平洋の熱帯地域の現生種が多数出現することで特徴づけられること、掛川動物群の特徴種である *Megacardita panda* や *Umbonium (Suchium) suchiense suchiense* などが大日層の上位層準から出現しないことを明らかにした。本研究の化石標本の採集地点は、Ozawa et al. (1998) の大日層（本研究の大日層の下部）と曾我層（本研究の土方層上部）に相当するが、同様の時間変化の特徴が認められる。

④小市や⑥飛鳥 a、⑨遊家、⑩本郷の大日層には、礫層中や細粒砂層中のハンモック状斜交層理に沿って貝化石密集層が挟在し、そこからは潮間帯から上部浅海帯に生息する種あるいは近縁種の軟体動物化石が大量に産する。これらの化石密集層は、癒着型のハンモック状斜交層理を伴う砂層中に見られることから、Ishibashi (1989) や Sakai and Masuda (1995) により下部外浜相に保存されたストーム成化石密集

層として解釈された。また間嶋・本目（1993）は、袋井市大日の細粒砂層中の化石密集層に含まれる貝化石の配列方向の解析から、それらがストーム成化石密集層であることを実証した。

木村ほか（2011）は、袋井市大日の露頭の細粒砂層中に挟在する7層のストーム成化石密集層に含まれる軟体動物化石群集の生態学的属性、およびその層位変化を解析した。その結果、これらの群集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ものであること、下部の層準では岩礁生息者が出現すること、また上部の層準においては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が見られることから、上方深海化に伴ってストームの影響が弱まった結果と解釈した。

本研究の④小市と⑨遊家の岩相は、間嶋・本目（1993）と木村ほか（2011）が堆積学および生態学的に解析した袋井市大日の露頭の岩相と類似する。④小市と⑨遊家においても同様の堆積環境と化石密集層の形成過程が考えられる。すなわち、それらの地点では主に下部外浜で暴風時に波浪の影響で洗い出された貝が、離弁や破損したあと遠くに運ばれずその場で堆積して化石密集層が形成したと推定される。

また、⑥飛鳥 a と⑩本郷のハンモック状斜交層理に沿う貝化石密集層は、同様のストーム成化石密集層であるが、産出する貝化石の中に水深 50m 以深に生息する *Semicassis bisulcata japonica* や *Micantapex (Parabathytoma) luehdorfi* が少量ではあるが含まれることから、下部外浜～内側陸棚の堆積物と考えられる。内側陸棚の堆積物には一般に静穏時に堆積した泥層が挟在するが、これらの地層では泥層の挟在がほとんど見られない。これは、内側陸棚にいったん堆積した泥層が暴風時に削剥されたと考えられ、これらの地層堆積時には砂の供給が多かったかまたは暴風時の波浪のエネルギーが強かったと思われる。

これら大日層の下部外浜～内側陸棚で形成されたストーム成化石密集層の軟体動物化石には、腹足綱では *Umbonium (Suchium) suchiense suchiense* または *Umbonium (Suchium) spp.*, *Glossaulax didyma*, *Siphonalia spp.*, *Babylonia elata*, *Terebra spp.*, 二枚貝綱では *Amusiopecten praesignis*, *Megacardita panda*, *Paphia schnelliana* が特徴的に含まれる。

これらの化石群集はほぼ同様の堆積環境で堆積したにも関わらず、本標本の4つの採集地点でそれぞれ特徴種や群集組成に違いが見られる。④小市では、上述の動物群集以外に *Ceratostoma ozawa* と *Cleobula spp.*, *Mercenaria chitaniana* が多産する。特に *Cleobula spp.* は熱帯-亜熱帯の海域を代表するもの（延原・田中，1999）であり、大日層中の上位の層準からも数は少ないが産出する。⑥飛鳥 a では、*Oliva mustelina* と *Glycymeris albolineata*, *Dosinorbis spp.* が卓越種に加わり、*Anadara (Scapharca) castellata* または *Anadara spp.* と *Bathytormus foveolatus*, *Callista chinensis* が多い。⑨遊家では、上述の動物群集のうち *Megacardita panda* が見られず、他に *Solidicorbula erythrodon* が多産する。木村ほか（2011）では、*Megacardita panda* のような内生懸濁物食者の増加はストームのエネルギーが弱まり碎屑物供給量の減少した環境を反映したものと解釈した。また、*Solidicorbula erythrodon* は河口付近に生息する種である（波部，1977）。これらのことから、⑨遊家は河口に近接しストームのエネルギーの強い碎屑物供給量の多い、水深のより浅い環境が推定できる。⑩本郷では、上述の種以外に *Baryspira albocallosa okawai* が多産し、⑥飛鳥 a 同様に内生懸濁物食者である *Anadara (Scapharca) castellata* または *Anadara spp.* と *Glycymeris albolineata*, *Callista chinensis* が多産し、扁平な大きな殻の *Amusiopecten praesignis* が卓越する。このように、埋没作用に弱い内生懸濁物食者が多く、扁平な殻のものが多くことは、平穏時には碎屑物供給量が少なく、暴風時の強いエネルギーによる選択的な運搬・集積が行われたことが原因と考えられる。

これら各採集地点における化石群集組成の違いは、河口からの距離や海浜から陸棚にかけての地形発達の違いとともに、主には堆積水深と波浪エネルギーの強さによる堆積プロセスの違いを反映しているものと思われる。

化石密集層の形成過程と 堆積シーケンスにおけるその要因

化石の形成要因として、一般に次の4つの要因が挙げられる。まず、(1) 化石となる生物が繁栄していてその数量が多いこと、(2) 堆積物が堆積する場

所があること、(3) 化石となる生物またはその遺骸が腐食・破壊される前に砂泥などの堆積物によって速やかに埋積されること、そして(4) それ浸食されず地層として保存されることである。

このことから、特に化石が密集した化石密集層が形成される過程を推定すると、地層が堆積し保存される場所またはその周辺に多くの生物が繁栄し、それらの遺体が砂泥などの堆積物よりも相対的に多量に集積して、そしてそれらが速やかに砂泥中に埋積され、地層として保存されたことになる。

近藤(1998)は、多くの化石密集層は遺骸を埋積する堆積物の堆積速度が減少することによって形成されるとし、化石密集層を堆積物供給の減少により形成されるダウンラップ型とバックラップ型、堆積物の通過によって堆積速度が減少するオンラップ型とトップラップ型の4つに区分した。そして、近藤(2001)では掛川層群大日層の化石密集層を海進初期のオンラップに伴って形成されたものとした。また、安藤・近藤(1999)は、化石密集層の形成型を堆積シーケンスおよび各堆積体の堆積過程と関連させて議論した。

ここでは、標本が採集された各化石層がどのように形成されたかを、シーケンス層序学的に考察する。

上内田層の①千羽は陸棚斜面に堆積したタービダイト砂層の中に貝化石層が見られ、②成滝では陸棚斜面上部の環境に *Calytogen* (*Archivesica*) *kawamurai* からなるほぼ自生的な湧水性のコロニーが形成されたと考えられる。上内田層は掛川層群上部層の低海水準堆積体にあたる。低海水準期には、堆積の中心は沖合側の陸棚斜面や海盆底に移動し、軟体動物の生産量の高い陸棚域の面積は減少し、斜面勾配は急傾斜となりタービダイトなど重力流堆積物が主体で堆積物の流入量が増大する。そして、これらの堆積物による急速埋没によって化石が保存されるが、化石の量は大量の砂泥の量によって希釈され、化石密集層が形成されにくい場合が多い。

上内田層の両採集地点の層準は低海水準堆積体にあたるが、千羽①の化石層は陸棚斜面に流入したタービダイトの中に混在した貝化石層で、このような化石層は基盤縁辺にそった上内田層のいくつかの地点でも見られる。成滝②は、斜面の傾斜が急なため砂質堆積物が通過し泥質堆積物しか堆積しなかった陸棚斜面の環境と考えられ、またその堆積速度も小さかったと推定される。そのため、そこに形成さ

れた湧水性環境下に化学合成二枚貝の *Calytogen* (*Archivesica*) *kawamurai* がコロニーを形成させたと考えられる。

波浪卓越型外洋性海岸の海進期堆積体である大日層では、④小市と⑥飛鳥 a、⑨遊家、⑩本郷で、海進期に陸側にバックステップしながらオンラップ状に堆積した下部外浜および下部外浜～内側陸棚の堆積物中に、ストーム成化石密集層が形成された。これら4つの採集地点の化石密集層は、下部外浜または下部外浜～内側陸棚にかけて生息していた生物群集が暴風時の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または下部外浜～内側陸棚に堆積した同相的なものであり、近藤(1998, 2001)のオンラップ型化石密集層に相当する。

この下部外浜～内側陸棚の堆積物中に見られるストーム成化石密集層について、一回のパラシーケンスセットの形成過程において考察すると、海面上昇期には堆積物供給の減少と外浜浸食が起り、外浜では外浜浸食面(ラビンメント面)が形成されるが、海水準上昇にともない浸食から免れた外浜～内側陸棚の堆積物が保存されたものと考えられる。木村ほか(2011)は、下部外浜のストーム成化石密集層の上下の層準における化石相の違いから、これらの堆積物に上方深海化を認めている。このことから、これらの堆積物が海水準上昇期に形成されたことが示唆される。

飛鳥の露頭での地層の重なり(図12)では、パラシーケンスセット PD1 の下部外浜～内側陸棚に堆積した細粒砂層(⑥飛鳥 a) の上位に層厚約1mの泥層があり、その上位に砂質シルト層が重なる。図27にその露頭の近接写真を示すが、この層厚約1mの泥層には、層厚20cmの平行葉理の見られるストームシート状の細粒砂層を挟むが、泥層には殻が溶解した貝化石が密集し、生物擾乱も発達する。この泥層は、パラシーケンスセット PD2 の海氾濫期におけるコンデンスセクションに相当し、細粒砂層(⑥飛鳥 a) の上面は海氾濫面すなわちパラシーケンス境界に当たる。泥層は、海面が上昇したために堆積物の供給が極めて少なくなり、その期間に薄く堆積したものである。そして、その期間にその泥層中で底生生物の活動が活発に行われて生物遺骸が密集し、コンデンス型の化石密集層が形成されたと考えられる。これは、近藤(1998, 2001)のバック

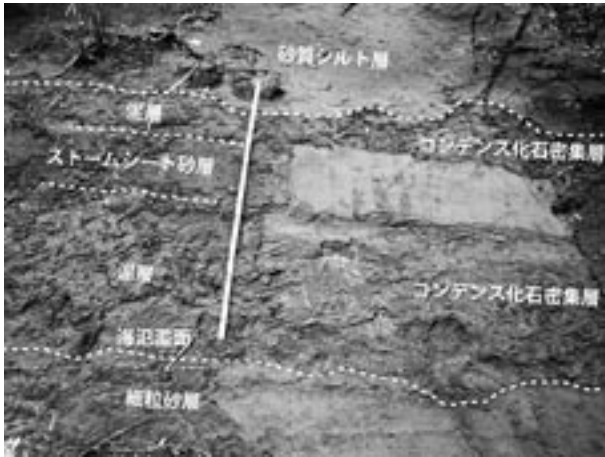


図 27 飛鳥の海氾濫面直上に見られる層厚 1m ほどの泥層からなるコンデンスセクション。層厚 20cm ほどのストームシート状の砂層が挟まれる。泥層中には軟体動物化石が密集するがほとんどの殻が溶解している。2011 年 10 月 15 日撮影。

ラップ型化石密集層に相当する。

飛鳥では、この泥層の上位に外側陸棚に堆積した砂質シルト層（⑦飛鳥 b）が重なる。この砂質シルト層中には貝化石が、弱い層理に沿って層状に散在または部分的に密集して含まれ、また生痕化石も見られる。飛鳥ではパラシーケンスセット PD2 の海進を起こした海水準上昇によって、下部外浜～内側陸棚の（⑥飛鳥 a の）環境から外側陸棚の環境に移化し、海水準上昇後の海面停滞期に、外側陸棚の環境に堆積物の供給が再開されて砂質シルト層（⑦飛鳥 b）が堆積したものと考えられる。そのため、コンデンスセクションの上面、すなわち砂質シルト層の下面はダウンラップ面に相当する。砂質シルト層は数 cm ～数 10cm の厚さをもって層状に堆積し、その各層準に軟体動物化石が散在または部分的に密集して分布する。含まれる軟体動物化石には、外側陸棚を生息域としているものもあり、それらの化石の保存もよいことから、暴風時により浅海の貝殻を含む堆積物が流入し、静穏時にそこに生息していた貝も巻き込んで堆積したと考えられ、これもストーム成化石密集層のひとつと言える。また、これは近藤 (1998, 2001) のダウンラップ型化石密集層に相当する。

下部外浜～内側陸棚の細粒砂層や礫層中のストーム成化石密集層と外側陸棚の砂質シルト層中のストーム成化石密集層を区別するために、前者を「下部外浜化石密集層」、後者を「外側陸棚化石密集層」とし、海氾濫期のコンデンスセクションに形成された化石密集層を「コンデンス化石密集層」とする。

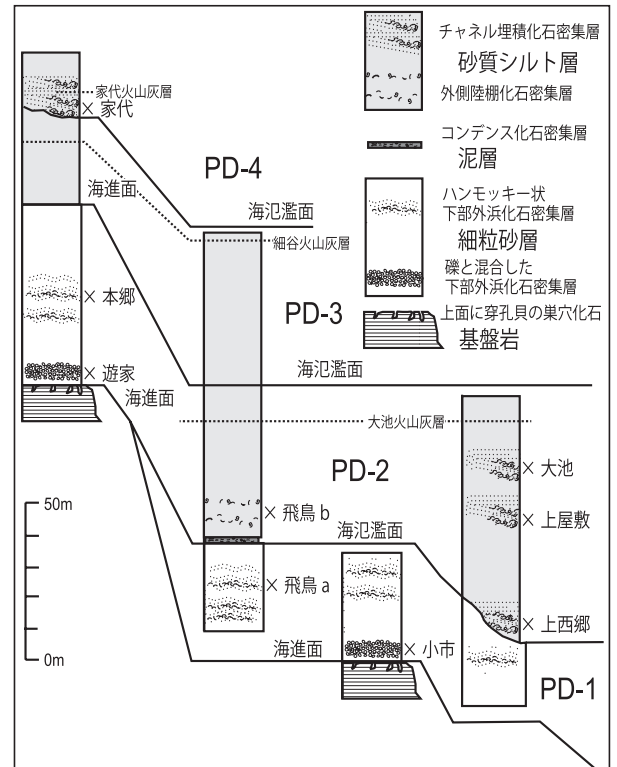


図 28 海進期の外浜相～陸棚斜面上に認められるパラシーケンスセットと軟体動物化石の産状との関係（パラシーケンス境界は海氾濫面）。

各パラシーケンスセットにおける海進期後に、外側陸棚～陸棚斜面上部の堆積環境になったと推定される⑧大池や⑪家代の採集地点には、大規模な斜交層理や海底地滑りによる凹地（スランプスカー）やチャンネルに、それらを埋積してシート状またはレンズ状の化石密集層が見られる。この化石密集層は、浅海の堆積物が沖合の陸棚斜面上部に運搬され、そこに形成されたスランプスカーやチャンネルをシート状またはレンズ状に埋積して堆積したものと考えられる。大日層に認められるこのようなイベント的にスランプスカーやチャンネルを埋積して形成された化石密集層を「チャンネル埋積化石密集層」とする。これらは、陸棚斜面上部の海氾濫面上に形成される傾向があると考えられる。

海進期の各パラシーケンスセットおよびその境界面である海氾濫面と、下部外浜から陸棚斜面上部にかけての堆積物と化石密集層の産状との関係を図 28 に示す。この図には本研究の大日層の各採集地点の層準を示した。この図を用いて地層と化石密集層の形成を以下に説明する。

パラシーケンス PD1 を形成した海水準上昇によって、小市と飛鳥において基盤上に浸入した海で

海進面（外浜浸食面）が形成され、海水準上昇にと
もない下部外浜～内側陸棚の堆積物が保存された。
その中には、ストームにより形成された下部外浜化
石密集層（小市と飛鳥 a）が含まれる。さらにその
後に、飛鳥で見られた海氾濫面（PD1/PD2の海氾
濫面）を形成した2度目の海水準上昇があった。そ
の結果、飛鳥では上部外浜～内側陸棚の環境が外側
陸棚の環境に移化して、コンデンス化石密集層が形
成された。その同じ海水準上昇によって、西側の遊
家と本郷では基盤上に浸入した海によって海進面が
形成され、海面上昇にともない遊家と本郷ではオン
ラップ状に下部外浜～内側陸棚の堆積物が堆積して
下部外浜化石密集層が形成された。その後の海面停
滞期に、飛鳥では外側陸棚の環境に砂質シルトの供
給がありダウンラップ状に外側陸棚化石密集層（飛
鳥 b）が堆積した。飛鳥の東側の大池と上屋敷では
外側陸棚～陸棚斜面上部の環境となり、スランプス
カーやチャンネルにシート状またはレンズ状のチャ
ネル埋積化石密集層が形成されたと考えられる。

図 28 で上屋敷の下位に上西郷とあるのは、図 1
の⑬にあたり、柴ほか（2001）の鯨類化石発掘地
で、ここでは外側陸棚から陸棚斜面上部にあった北西
-南東方向に軸をもつ幅約 200m のチャンネルを埋積
して4層のシート状のチャンネル埋積化石密集層があ
り、それらに鯨類などの骨化石が含まれていた（新
村ほか、2001、2008）。

大日層ではその後3回、合計で5回（PD1～
PD5）のこのような海水準上昇と海水準の停滞が繰
り返し、海進域を掛川市から袋井市にかけて北西側
に広げながら、外浜から陸棚斜面上部の堆積物を堆
積させた。そして、それらの堆積物の中に、上述の
下部外浜化石密集層、コンデンス化石密集層、外側
陸棚化石密集層、チャンネル埋積化石密集層という4
つのタイプの化石密集層が各パラシーケンスセット
中に形成されたと考えられる。また、このような海
進期堆積体の広がり、陸棚域を拡張させて、陸棚
域に生息する軟体動物の生産量を増大させ、化石密
集層の形成に寄与したと考えられる。

図 29 に海進期における海水準上昇と海水準停滞
による堆積物と化石密集層の形成および海底地形の
変化の概要を示した。低海水準期末期には陸棚域は
未発達で堆積物の供給も減少した。海面1から海面
2への海水準上昇期には下部外浜の堆積物が形成・
保存され、外側陸棚以深では堆積物の供給がほとん

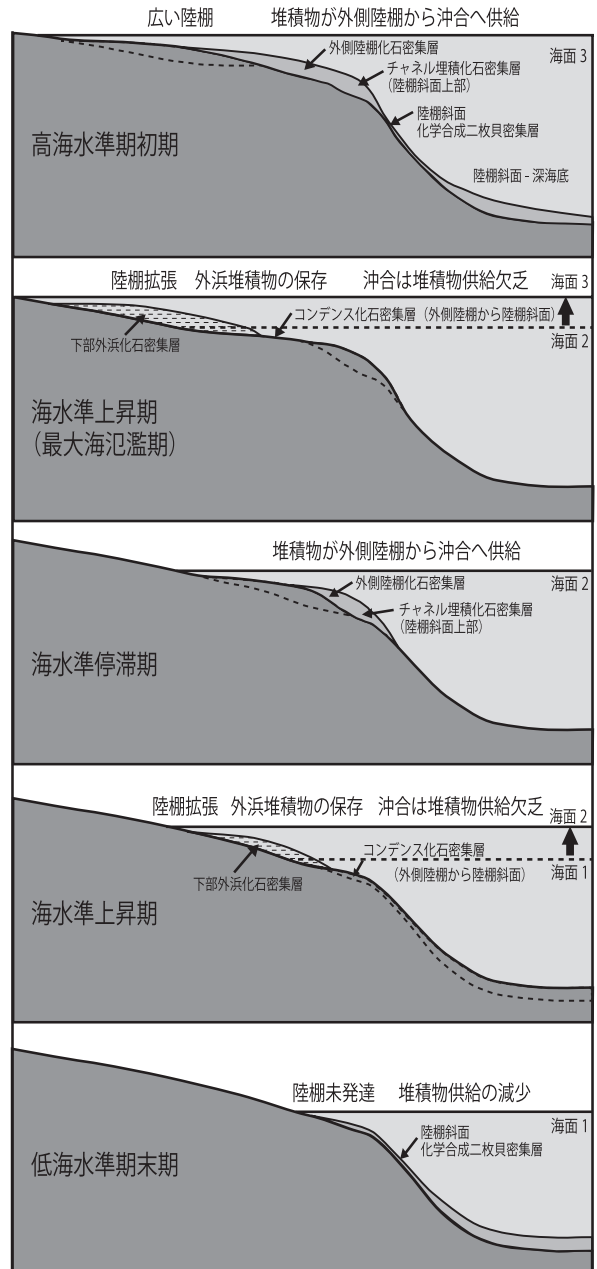


図 29 海進期における海水準上昇と海水準停滞による堆積物と化石密集層の形成および海底地形の変化。下の低海水準期末期から海進期を経て、上の高海水準期初期に至る時間的な経過で、どのように堆積物と化石密集層が形成され陸棚域が拡張していくかの概要を示した。

どなく、コンデンスセクションが形成された。海面
2の海水準停滞期には外側陸棚以深への堆積物の供
給が再開され、外側陸棚から陸棚斜面上部に堆積し
た。海面2から海面3への海水準上昇期でも以前の
海水準上昇期と同様に堆積が行われ、さらに陸棚域
が拡張した。海水準上昇が収まり、高海水準期初期
になると堆積物は陸棚域に堆積しはじめ、堆積物
の供給量の増加とともに海浜が沖合に前進して陸棚域

を埋積する。この図では2回の海面上昇と海面停滞(最後の海面停滞は高海水準期初期)しか示していないが、掛川層群の大日層ではこのような海面上昇と海面停滞が5回繰り返された。

土方層は、高海水準期堆積体に相当し、本化石標本における採集地点の堆積環境は、ほとんどが陸棚斜面上部の海底と推定できる。⑫杉谷と⑬矢崎、⑭亀の甲はパラシーケンス PH2 の層準で、⑬矢崎と⑭亀の甲はほぼ同層準である。⑮板沢と⑯下俣は PH3 のほぼ結縁寺奥火山灰層の層準にあたる。⑰長谷は PH4 の基底にあたる。

⑭亀の甲では化学合成二枚貝である *Calytogenia (Archivesica) kawamurae* の化石密集層が発達し、堆積速度が小さい陸棚斜面上部の堆積環境が推定される。⑭亀の甲と近接し同層準の⑬矢崎も *Calytogenia* sp. が産する(間嶋ほか, 1990)ことから、同様の環境がその一帯に広がっていたと考えられる。

⑮板沢と⑯下俣では、泥層中に貝化石が散在し、産出する種類も *Ginebis argenteonitens* などに限られる。⑰長谷では、軟体動物化石の産出も種類も多く、潮間帯から上部浅海帯とともに陸棚斜面上部の生息域の種類も含み、軟体動物以外にもカニやフジツボなどが多産し、鯨類の後頭骨の化石も産する。

安藤・近藤(1999)によれば、高海水準期最初期、すなわち最大海氾濫面形成期にはほとんどの陸源堆積物は沿岸河川域に堆積し、沖合域の堆積速度が最少になり、堆積物の欠乏によって形成されるコンデンス化石層が主体をなすという。また、高海水準期中期になると、外側陸棚や沖合では堆積速度が増加し、ストーム波浪などに起因する急速埋没イベントによって化石が保存され、高海水準期の後期には陸棚浅海域化石層が主体となり、斜面では堆積物の通過によるコンデンセーション、堆積物の増加や急速埋没イベントの機会の増加があるが、上位の堆積シーケンスが累重する際の削剥のために化石層が保存されない可能性があるという。

⑬矢崎と⑭亀の甲は、高海水準期の初期の層準にあたり、安藤・近藤(1999)が指摘したコンデンセーションの継続により堆積物が比較的少ないことによる化学合成二枚貝コロニーの生成とその保存によって化石層が形成されたと考えられる。また、高海水準期中期にあたる⑮板沢と⑯下俣の散在型の化石は、ストーム波浪などのイベントにより陸棚斜面に

運搬された泥質堆積物による急速埋没によって化石が保存されたものと推定できる。⑰長谷は、化石の産状が不明なため十分に考察できないが、PH4の基底にあたり、パラシーケンスの海氾濫面上に形成されるコンデンスセクションまたは急速埋没イベントによって形成された化石層の可能性がある。

まとめ

本研究では、静岡県に2006年に寄贈された「田辺 積氏化石コレクション」のうち、掛川層群産の軟体動物化石について産出地点ごとの化石リストを作成し、各産出地点の化石群集の特徴と堆積環境を推定し、掛川層群上部層で見られる化石密集層の堆積過程とその形成要因について、シーケンス層序学的に考察した。

本研究の資料とした軟体動物化石の全個体数は5,814であり、全種数は104属143種である。軟体動物化石の採集地点は17地点で、層序学的には①千羽と②成滝が上内田層、③旭ヶ丘、④小市、⑤上屋敷、⑥飛鳥 a、⑦飛鳥 b、⑧大池、⑨遊家、⑩本郷、⑪家代が大日層、⑫杉谷、⑬矢崎、⑭亀の甲、⑮板沢、⑯下俣、⑰長谷が土方層にあたる。

上内田層の2地点は陸棚斜面上部の堆積環境で、大日層の④小市と⑨遊家は下部外浜、⑥飛鳥 a と⑩本郷は下部外浜～内側陸棚、⑦飛鳥 b は外側陸棚、その他の4地点は外側陸棚～陸棚斜面上部の堆積環境と推定した。また、土方層のすべての地点は陸棚斜面上部の堆積環境と推定した。②成滝と⑭亀の甲では化学合成二枚貝である *Calytogenia (Archivesica) kawamurae* の密集するブロック標本が得られ、堆積速度が小さい陸棚斜面の堆積環境にアケビガイのコロニーがほぼ自生的に形成されたと考えられる。

下部外浜または下部外浜～内側陸棚で形成されたストーム成化石密集層からは、掛川動物群を代表する主に潮間帯から上部浅海帯の軟体動物化石が大量に産し、それらには腹足綱では *Umbonium (Suchium) suchiense suchiense* (または *Umbonium (Suchium) spp.*), *Glossaulax didyma*, *Siphonalia spp.*, *Babylonia elata*, *Terebra spp.*, 二枚貝綱では *Amussiopecten praesignis*, *Megacardita panda*, *Paphia schnelliiana* が特徴的に含まれる。

大日層が堆積した海進期に形成された化石密

集層には、パラシーケンスセットの海水準上昇期(海氾濫期)に下部外浜～内側陸棚で堆積・保存された下部外浜化石密集層と、外側陸棚で形成されたコンデンス化石密集層、その後の海水準の停滞による堆積物供給の再開によって外側陸棚で形成された外側陸棚化石密集層と、その沖側にあたる外側陸棚～陸棚斜面上部で形成させたチャンネル埋積化石密集層の4つのタイプが識別された。このように、掛川層群大日層に見られる主な化石密集層は、海進期における海水準上昇とその一時的な停滞、すなわちパラシーケンスセットの形成と密接に関連して形成されたと考えられる。

引用文献

- 天野和孝・延原尊美 (1995) 掛川層群から産出した *Mizuhopecten yessoensis* 種群の一種。瑞浪市化石博物館研究報告, 22号, p. 103-108.
- 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, 54号, p. 7-28.
- 千谷好之助 (1928) 遠州国相良, 掛川附近第三紀層に就て。地学雑誌, 38巻, p. 84-89.
- 千谷好之助 (1931) 静岡地質説明書。東京地質会, 東京, 48 p.
- 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。国立科博専報, 13号, p. 15-20.
- Chinzei, K. and M. Aoshima (1976) Marine thermal structure of the Plio-Pleistocene warm water in central Japan. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II, v. 19, p. 179-203.
- 波部忠重 (1977) 日本産軟体動物分類学二枚貝綱／掘足綱。図鑑の北隆館, 東京, 372 p.
- Haq, B. U., J. Hardenbol and P. R. Vail (1987) Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. Science, v. 235, p. 1156-1166.
- Ibaraki, M. (1986) Neogene planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Kakegawa area on the Pacific coast of central Japan. Rep. Fac. Sci. Shizuoka Univ., v. 20, p. 39-173.
- 茨木雅子 (1986) 掛川層群の浮遊性有孔虫生層序基準面とその岩相層序との関係。地質学雑誌, 92巻, p. 119-134.
- Ibaraki, M. and R. Tsuchi (1974) Planktonic foraminifera from the upper part of the Kakegawa Group and the Soga Group, Shizuoka Prefecture, Japan. Rep. Fac. Sci. Shizuoka Univ., v. 9, p. 115-130.
- 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 F. Masuda eds.: Sedimentary Facies in the Active Plate Margin, Terra Scientific Pub. Com., Tokyo, p. 345-363.
- 石田志朗・牧野内 猛・西村 昭・竹村恵二・壇原 徹・西山幸治・竹田 明 (1980) 掛川地域の中 部更新統, 第四紀研究, 19巻, p.133-147.
- Ishida, Y., T. Tanabe, T. Ito and K. Hachiya (1996) Fossil ophiuroids from the Plio-Pleistocene Hijikata Formation of the Kakegawa Group, Shizuoka Prefecture, central Japan. Bull. Natl. Sci. Museum, Ser. C, v. 22, p. 63-89.
- 加藤道雄 (1973) 掛川層群の微化石層位学的研究。地質学雑誌, 79巻, p. 263-276.
- 亀尾浩司 (1998) 石灰質ナンノ化石からみた掛川上部新第三系・第四系層序—満水層の層位的位置について—。地質学雑誌, 104巻, p. 672-686.
- Kameo, K., T. Sato and T. Takayama (1995) Late Pliocene nanofossil datums and biohorizons. In Flores, J. A. and, F. J. Sierro eds.: 5th INA Conf., Salamanca, 1993 Proc., Universidad de Salamanca, p. 87-98.
- 木村由莉・横山芳春・平野正道 (2011) 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。化石, 90号, p. 5-15.
- 近藤康生 (1998) 海進海退サイクルの古生態学とタフノミー。化石, 64号, p. 54-60.
- 近藤康生 (2001) I-2-3 堆積学的観察。化石研究会編: 化石の研究法, 共立出版, 東京, p. 7-10.
- 間嶋隆一・今井 静・内村竜一・木田正吾・早川政男 (1990) 掛川層群土方層からシロウリガイの発見。地質学雑誌, 96巻, p. 553-556.
- 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 卷, p. 659-674.
- 横山次郎 (1925) 遠江掛川付近第三紀層の層序. 地球, 3 号, p. 569-576.
- Makiyama, J. (1927) Molluscan fauna of the lower part of the Kakegawa Series in the province of Totomi, Japan. Mem. Coll. Sci., Kyoto Imp. Univ., Ser. B, v. 3, p. 1-147, pl. 1-6.
- 横山次郎 (1928a) 静岡縣掛川町近傍の地質に就きて (一). 地球, 9 号, p. 23-35.
- 横山次郎 (1928b) 静岡縣掛川町近傍の地質に就きて (二). 地球, 9 号, p. 100-118.
- Makiyama, J. (1931) Stratigraphy of the Kakegawa Pliocene in Totomi. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., Ser. B, v. 7, p. 1-53, pl. 1-3.
- 横山次郎 (1950) 日本地方地質誌中部地方. 朝倉書店, 東京, 233 p.
- 横山次郎 (1963) 掛川地方地質図説明書. 地質調査所, 30 p.
- 横山次郎・坂本 享 (1957) 5 万分の 1 地質図幅「見付・掛塚」および同説明書. 地質調査所, 50 p.
- Masuda, F. and M. Ishibashi (1991) Onlap and downlap patterns discovered in a depositional sequence of the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, Japan. Jour. Sediment. Soc. Japan, no. 34, p. 75-78.
- Masuda, F. (1994) Onlap and downlap patterns in Plio-Pleistocene forearc basin-fill successions, Japan. Sediment. Geol., v. 93, p. 237-246.
- Nagahashi, Y. and Y. Satoguchi (2007) Stratigraphy of Pliocene to Lower Pleistocene marine formations in Japan on the basis of tephra beds correlation. The Quaternary Research, v. 46, p. 205-213.
- Nobuhara, T. (1993) The relationship between bathymetric depth and climate change and its effect on molluscan faunas of the Kakegawa Group, central Japan. Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S., no. 170, p. 159-185.
- Nobuhara, T. (2003) Cold seep carbonate mounds with *Vesicomya (Calypptogena) kawamurai* (Bivalvia: Vesicomyidae) in slope-mud facies of the Pliocene forearc basin of the Sagara-Kakegawa area, central Japan. Paleontological Research, v. 7, p. 313-328.
- Nobuhara, T. and T. Tanaka (1993) Palaeoecology of *Akebiconcha kawanurai* (Bivalvis: Vesicomyidae) from the Pliocene Tamari Silt Formation in the Kakegawa area, central Japan. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol., v. 102, p. 27-40.
- 延原尊美・田中貴也 (1999) 静岡県の上部鮮新統大日砂層から産出したハイエナイモガイの新亜種. 貝類学雑誌, 58 卷, p. 129-143.
- Oda, M. (1977) Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the late Cenozoic sedimentary sequence, central Honshu, Japan. Tohoku Univ. Sci. Rep., 2nd Ser. (Geol.), v. 48, p. 1-72.
- 奥谷喬司編 (2000) 日本近海産貝類図鑑. 東海大学出版会, 東京, 1173 p.
- 小野慶一 (1980) 静岡県掛川産の鮮新世ミズナギドリ目鳥類化石. 国立科博専報, 10 号, p. 199-204, pl. 55-56.
- Otuka, Y. (1939) Tertiary crustal deformations in Japan (with short remarks on Tertiary palaeogeography). Jubilee Pub. Commem. Prof. H. Yabe, M. I. A. 60th Birthday, v. 1, p. 481-520.
- Ozawa, T., T. Tanaka and S. Tomida (1998) Pliocene to Early Pleistocene warm water molluscan fauna from the Kakegawa Group, central Japan. Nagoya Univ. Furukawa Museum, Special Report, no. 7, 205 p.
- 斎藤文紀 (1989) 陸棚堆積物の区分と暴風型陸棚における堆積相. 地学雑誌, 98 卷, p. 164-179.
- 酒井哲弥・増田富士雄 (1992) 鮮新・更新統掛川層群の沿岸～陸棚相にみられるパラシーケンス. 堆積学研究会報, 36 号, p. 19-24.
- Sakai, T. and F. Masuda (1995) Sequence stratigraphy of the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, Shizuoka, Japan. Mem. Geol. Soc. Japan, no. 45, p. 154-169.
- Sato, T. and T. Takayama (1992) A stratigraphically significant new species of the calcareous nannofossil *Reticulaofenestra asanoi*. In Ishizaki, K. and T. Saito eds.: Centenary of Japanese micropaleontology, Terra Scientific Publ., Tokyo, p. 457-460.
- 柴 正博 (2005) 2.2 静岡, 掛川地域の最新第三系・下部更新統. 日本の地質増補版編集委員会編: 日本の地質増補版, 共立出版, 東京, p. 132-136.

- 柴 正博・十河寿寛・川辺匡功・竹島 寛・村上 靖・横山謙二・駿河湾団体研究グループ (1996) 静岡県榛原郡地域の相良層群と掛川層群の層序. 地球科学, 50 卷, p. 441-455.
- 柴 正博・渡辺恭太郎・横山謙二・佐々木昭仁・有働文雄・尾形千里 (2000) 掛川層群上部層の火山灰層. 海・人・自然 (東海大博研報), 2 号, p. 53-108.
- 柴 正博・横山謙二・新村龍也・伊藤芳英 (2001) 掛川市上西郷における掛川層群産鯨目化石発掘調査の成果 — 地質および堆積環境 —. 海・人・自然 (東海大博研報), 3 号, p. 77-89.
- 柴 正博・横山謙二・赤尾竜介・加瀬哲也・真田留美・柴田早苗・中本武史・宮本綾子 (2007) 掛川層群上部層におけるシーケンス層序と生層序層準. 亀井節夫先生傘寿記念論文集, p. 219-230.
- 柴 正博・大石 徹・高原寛和・横山謙二・坂本和子・長谷川祐美・村上千里・有働文雄 (2010) 掛川層群下部層の火山灰層. 海・人・自然 (東海大博研報), 10 号, p. 17-50.
- Shibata, K., S. Nishimura and K. Chinzei (1984) Radiometric dating related Pacific Neogene planktonic datum planes. In Ikebe, N. and R. Tsuchi eds. : Pacific Neogene Datum Planes — Contributions to biostratigraphy and chronology —, Univ. Tokyo Press., Tokyo, p. 85-89.
- 新村龍也・柴 正博・横山謙二 (2001) 掛川市上西郷における掛川層群産鯨目化石発掘調査の成果 — 海生哺乳類化石 —. 海・人・自然 (東海大博研報), 3 号, p. 91-99.
- 新村龍也・柴 正博・深田竜一 (2005) 掛川層群大日層から産出した後期鮮新世の脊椎動物(哺乳類・鳥類)化石. 海・人・自然 (東海大博研報), 7 号, p. 15-23.
- 新村龍也・大石雅之・柴 正博 (2008) 静岡県掛川市の上部鮮新統掛川層群大日層から産出したヒゲクジラ亜目鯨類の下顎骨化石. 海・人・自然 (東海大博研報), 3 号, p. 91-99.
- 高山俊昭・佐藤時幸・亀尾浩司・後藤登美子, 1995, 第四系石灰質ナンノ化石層序と鮮新統/更新統境界の年代値. 第四紀研究, 34 卷, p. 157-170.
- 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 Jour. Geol. Geogr., v. 32, p. 437-456.
- Tsuchi, R. (1976) Neogene geology of the Kakegawa district. In Tsuchi, R. ed. : Neogene geology of the Kakegawa district. 1-CPNS, Guidebook for Excursion 3, Kakegawa district, p. 2-21.
- Tsukawaki, S. (1994) Depositional environments of the Sagara and Kakegawa Groups (Middle Miocene-Early Pleistocene), and the evolution of the sedimentary basin, central Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd, Ser. (Geol.), v. 63, p. 1-38.
- 氏家 宏 (1958) 相良・掛川堆積盆地の地質構造. 日本地質学会第 65 年総会, 日本第三系シンポジウム討論会資料, p. 1-7.
- Ujiié, H. (1962) Geology of Sagara-Kakegawa sedimentary basin in central Japan, Sci. Rep. Tokyo Kyoiku-Daigaku, v. 8, p. 123-188.
- 横山謙二・後藤仁敏・柴 正博 (2000) 掛川層群大日累層から産出した板鰓類化石. 海・人・自然 (東海大博研報), 2 号, p. 37-52.
- Yokoyama, M. (1923) Tertiary mollusca from Dainichi in Totomi. Jour. Coll. Sci., Imperial Univ. Tokyo, v. 45, Art. 2, p. 1-18, pl. 1-2.
- Yokoyama, M. (1926) Teritary mollusca from southern Totomi. Jour. Fac. Sci., Imp. Univ. Tokyo, Sec. 2, v. 1, p. 313-364, pl. 38-41.
- Yoshida, K. and Niitsuma, M., 1976, Magnetostratigraphy in the Kakegawa district. In Tsuchi, R. ed. : Neogene geology of the Kakegawa district. 1-CPNS, Guidebook for Excursion 3, Kakegawa district, p. 54-59.