

大規模カキ化石密集層のタフォノミー： 茨城県霞ヶ浦周辺の第四系更新統下総層群を例に

横山芳春*・安藤寿男**・橋本聰子**†

*早稲田大学大学院理工学研究科・**茨城大学理学部地球生命環境科学科・†現所属埼玉県警察

Taphonomy of large-scale oyster shell beds: examples from the Pleistocene Shimosa Group around the Lake-Kasumigaura area, Ibaraki Prefecture, Japan

Yoshiharu YOKOYAMA*, Hisao ANDO** and Satoko HASHIMOTO**†

*Graduate School of Science and Technology, Waseda University, Shinjuku 169-0051, Japan; **Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Ibaraki Univ., Bunkyo 2-1-1, Mito 310-8512, Japan; †Saitama Prefectural-Police

Abstract. Large oyster shell beds are contained in incised-valley fill deposits of the Cycle 1 of the Miwa Formation, Shimosa Group, Lake Kasumigaura area, Ibaraki Prefecture. This paper describes taphonomic processes of large oyster shell beds well exposed in three localities. Six shell bed types can be recognized on the basis of their lithology, sedimentary facies, mode of fossil occurrence and associated fossils: 1) autochthonous aggregated, 2) autochthonous scattered, 3) paraautochthonous aggregated, 4) cross-bedded aggregated, 5) cross-bedded scattered and 6) shell-fragment aggregated types. The large oyster shell bed higher than 5 m and wider than 30 m at east Hama (Loc. 1) is characterized by type 1 with two layers of type 3 five to 20 cm thick that seem to have formed by sudden storm events. The second shell bed at west Hama (Loc. 2) shows two mounds 3 m high and or wider than 7-10 m composed of type 1 and covered by massive muddy sediments. This means that the oyster banks were buried under estuary mud. The last example at Sakihama (Loc.3) is the largest oyster shell bed in this area with height of 5m and width of 70m. It can be divided into three unit bounded by two erosional surfaces. The unit I is composed mainly of type 1 representing in situ oyster reefs, and subordinately of 3 formed by reworking through tidal current. The unit II composed of types 4 and 5 forms a shallow channel-filled structure that seems to have been formed as a tidal channel. The overlying unit III above a flat erosional surface mostly consists of type 6. Reworked oyster shell fragments might have concentrated intermittently and condensed through muddy sediment bypassing within tidal flat to embayment.

Key words: Oyster, Shell bed, Taphonomy, Bivalvia, Pleistocene, Shimosa Group

はじめに

カキ類はペルム紀に出現し、三疊紀後期以降の浅海域に繁栄した、翼形亜網カキ目に分類される浮遊物濾過食者の二枚貝類である (Stenzel, 1971; 鎮西, 1982b; 波部ほか, 1994)。カキ類は岩礁に固着して生活する種が多いが、イタボガキ科の *Crassostrea* 属は内湾汽水域の泥底に大規模なコロニー、いわゆるカキ礁を構築することで知られている (鎮西, 1982a)。

Crassostrea 属のカキ類は、浮遊幼生から固着生活に移行する際に、自分の体長とほとんど変わらない小さな岩片や貝殻片でも着生の基盤として利用できる性質を持っている。そして、堆積速度の大きい泥底堆積面の上昇に応じて前世代の個体の殻に次世代が付着して、垂直方向に成長を繰り返すリレー生態戦略を獲得した (鎮西, 1982a, b)。さらに、その殻にチョーク層や蜂の巣状の空隙を築くことによって軽量化を図り、軟弱な泥質底への埋没を回避している (鎮西, 1982b; Chinzei, 1995)。 *Crassostrea* 属は、これらの生

態学的特性を獲得することによって、不安定な汽水域の泥底という広大なニッチを開拓・占有することに成功した。*Crassostrea* 属は、ジュラ紀後期以降汽水域にカキ礁という大規模なコロニーを形成して繁栄したため、各地から異なる時代のカキ化石密集層の存在が多数報告されている。しかし、鎮西 (1982a) 以降、とくに新生代のカキ化石密集層の詳細な記載や発達過程の検討は、乏しい状態にある。

そこで、著者らは現生種である *Crassostrea gigas* (マガキ) の大規模な化石密集層が極めて良く保存されている茨城県霞ヶ浦周辺地域の下総層群を対象に、詳細な産状観察を実施し、そのタフォノミーを検討した。まず層相・堆積相の変化を踏まえてカキ化石層の産状のタイプを識別した。その上でカキの巨大生息場であるカキ礁から、遺骸の堆積場となるカキ化石密集層が形成される過程について考察した。

下総層群におけるカキ化石密集層の層序的位置

関東平野全域に広く分布する更新統下総層群は、第四紀

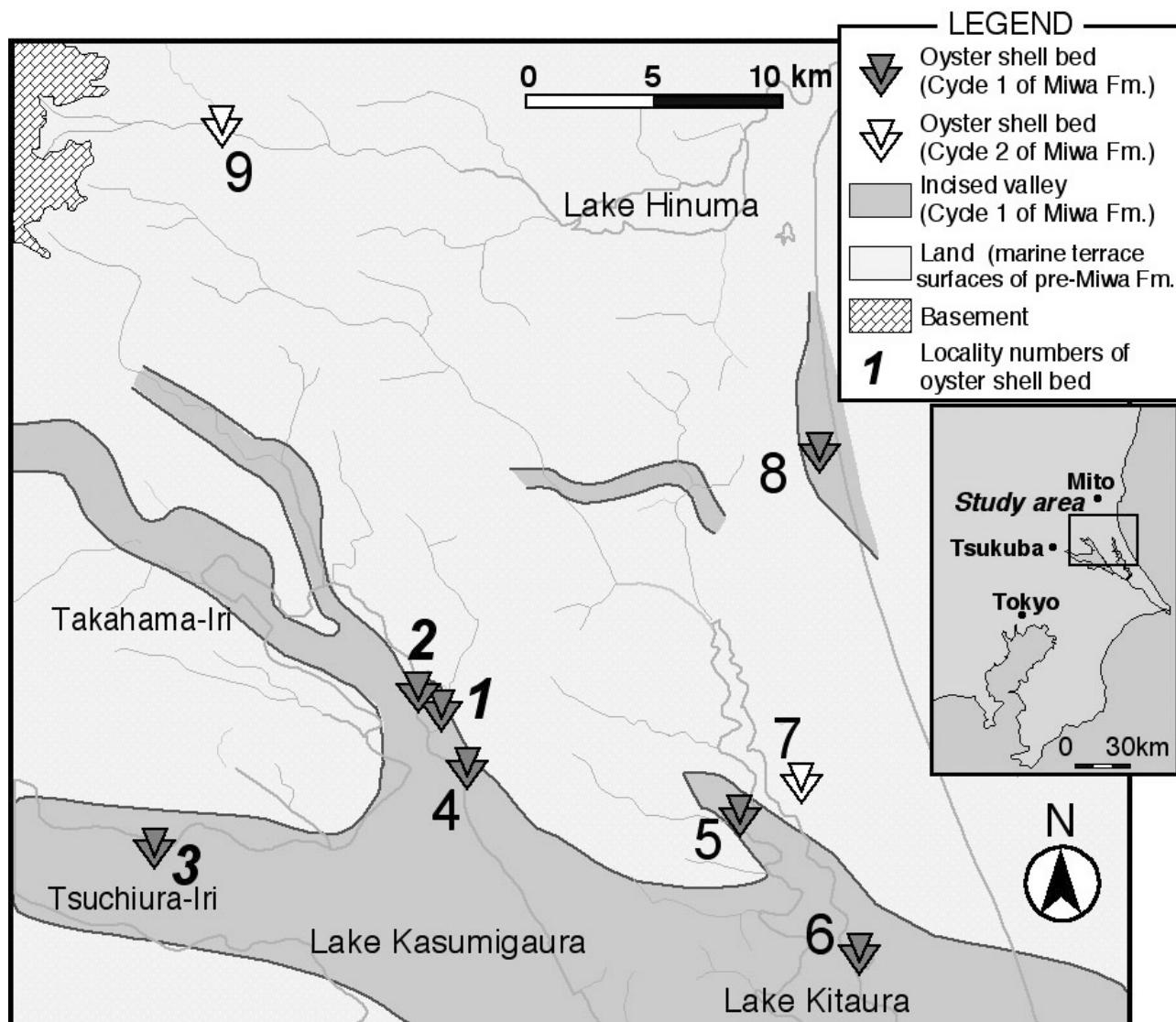


図1. 霞ヶ浦周辺地域における下総層群見和層のカキ化石密集層の分布。開析谷の分布は見和層サイクル1下部形成期のもの。

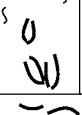
Fig. 1. Index map showing localities of oyster shell beds of the Miwa Formation, Shimo Group in the Lake Kasumigaura area. Distribution of incised valleys represents the early transgressive stage of the Cycle 1 of the Miwa Formation.

中期以降の汎世界的な氷河性海水準変動に伴った、河川～汽水～海成層の繰り返しをなす堆積サイクルから形成されている（例えば徳橋・遠藤、1984）。下総層群は主に間氷期に関東平野に出現した古東京湾（Yabe, 1931）を埋積した沿岸成堆積物からなり、内湾～浅海生の軟体動物化石を多産することで知られている。

茨城県南部地域の台地下部には、凹地を埋積した厚い下総層群の泥質堆積物が分布し、多数のカキ化石密集層が存在する。このような凹地の存在は、古くはうねり構造（服部・小村, 1959）と呼ばれ、また霞ヶ浦周辺におけるカキ化石を含む泥質堆積物は“*Ostrea* シルト層”として報告されている（成田研究グループ, 1962）。この泥質堆積物の層序的位置は、成田層下部層（菊地・館野, 1962；成田研究グループ, 1962）、成田層下部砂泥層（真野, 1965）、成田層上岩橋部層（馬場・青木, 1972；青木・馬場, 1973；1978, 1979）、上岩橋層（宇野沢ほか, 1988）、見和層下部

層（坂本, 1972, 1975；坂本ほか, 1981）、見和層中部～下部（成田層研究会, 2001）、木下層（荒川, 1986, 1995；岡崎, 1992；岡崎・増田, 1992；Okazaki and Masuda, 1995；柴田・安藤, 1996；市原ほか, 1996；O'hara and Sugaya 2001）として扱われており、とくに木下層下限の認定を中心に関現在でも研究者間・地域間において異論が多い。

これまでの研究では、霞ヶ浦以北における木下層もしくは見和層は、最終間氷期の下末吉海進に伴って形成されたものと解釈されてきた（斎藤, 1959；坂本, 1972, 1975；岡崎・増田, 1992）。しかしこの数年に実施した著者らの詳細な堆積相解析、テフラ対比、シーケンス層序学的研究によって、これらは2回の相対海水準変動によって生じた堆積物であることが明らかになった。そして、暫定的な地層名として木下層の名称ではなく見和層を用い、下位より見和層サイクル1、見和層サイクル2に細分した（横山ほか, 2001b）。このうち、台地下部の大規模な開析谷地形を

Shell bed types		Column	Lithology	Mode of occurrence	Associated fossils	Formative factors	Sedimentary environment
1	Autochthonous aggregated type		Bioturbated massive silt to sandy silt	A few <i>in situ</i> individuals oysters forming swarmed bouquet-like and showing relay strategy	<i>Chlamys farreri</i>	Growth of oyster bank by colonization; oyster growth rate = sedimentation rate	Muddy tidal flat
2	Autochthonous scattered type		Bioturbated massive silt to sandy silt	a few <i>in situ</i> individuals oysters forming scattered bouquet-like and showing relay strategy	<i>Chlamys farreri</i>	Growth of small oyster colonies; oyster growth rate < sedimentation rate	Muddy tidal flat
3	Parautochthonous aggregated type		Bioturbated massive silt to sandy silt	Swarmed, articulated and disarticulated valves lying down sideways	<i>Chlamys farreri</i>	Moderate storm or tidal currents falling living oysters down sideways within oyster banks	Muddy tidal flat
4	Cross-bedded aggregated type		Channelized, large-scale cross-bedded very fine sand	Disarticulated valves and their fragments form shell-framework	<i>Chlamys farreri</i> <i>Saxidomus purpurata</i> <i>Striarca tenebrella</i> <i>Anisocardia venusta</i>	Storm or continuous tidal currents reworking a large amount of shells and their fragments	Tidal channel
5	Cross-bedded scattered type		Channelized, large-scale cross-bedded very fine sand	Scattered disarticulated valves and their fragments	<i>Chlamys farreri</i> <i>Saxidomus purpurata</i>	Moderate tidal currents reworking a small amount of shells and fragments; successive bioturbation after deposition	Tidal channel
6	Fragment aggregated type		Massive very fine sand	Shell-supported framework composed of disarticulated valves and their fragments	<i>Chlamys farreri</i> <i>Saxidomus purpurata</i> <i>Striarca tenebrella</i> <i>Clinocardium buellowi</i> <i>Cycladicama cumingi</i> <i>Anisocardia venusta</i> <i>Panopea japonica</i>	Shell fragments condensation by muddy sediment bypassing	Tidal flat to embayment

si sysl vf

図2. カキ化石密集層の産状型区分とそれらの特性. 柱状図の凡例は図11参照. vfs : 極細粒砂. sysl : 砂質シルト. sl : シルト.

Fig. 2. Characteristics of oyster shell bed types in the Miwa Formation, Shimosa Group. Refer to Fig. 11 for legend of column. vf : very fine sand ; sysl : sandy silt ; sl : silt.

埋積し、多数のカキ化石密集層を有しているのは見和層サイクル1下部である。

見和層サイクル2は、木下層のバリアー島（牧野・増田, 1989；岡崎・増田, 1992）として知られる、潟・バリアー島システムの発達によって特徴付けられる（横山ほか, 2001b）。このバリアー島の潟成堆積物においても、いずれも小規模ではあるが幾つかのカキ化石密集層が認められている（横山ほか, 2001a, 2002）。

なお、見和層サイクル1, 2と、房総半島における下総層群の模式層序との対比は未だに課題が多く、その詳細は稿を改めて論述するが、見和層サイクル1のカキ化石密集層は上岩橋化石帶の下部（例えば、馬場・青木, 1972）に相当し、サイクル2のカキ化石密集層は木下化石帶に対比できる可能性が高いものと考えられる。

カキ化石密集層の分布

1. 見和層サイクル1のカキ化石層

見和層サイクル1下部に認められる開析谷地形は、霞ヶ浦のそれぞれ北西と南西に位置する高浜入りと土浦入りに沿って分布し、行方台地、北浦、鹿島台地を東西に横切って鹿島灘へと通じている。カキ化石密集層は、このような開析谷の分布に沿って認められる（Fig. 1）。

とくに大規模な密集層は玉造町浜周辺（Locs. 1, 2）お

よび霞ヶ浦町崎浜（Loc. 3）において認められることから、本論ではこの3地点を研究対象とした。これ以外にも玉造町手賀（Loc. 4）、北浦町山田（Loc. 5）、鹿嶋市津賀（Loc. 6）、旭村滝浜（Loc. 8）のほか、Fig. 1の範囲からは外れているが、土浦市永国（菅野ほか, 1978）、茨城町前田（松本ほか, 2000）などにおいても、現地性の産状を示すカキ化石密集層が認められている。

なお、Fig. 1に示した開析谷の位置は、筆者らの野外調査の結果のほか、既存文献（真野, 1965；坂本, 1975；坂本ほか, 1981；宇野沢ほか, 1988；岡崎, 1992；柴田・安藤, 1996）を用いて推定した。

2. 見和層サイクル2のカキ化石層

見和層サイクル2では、最も内陸側の友部町大古山（Loc. 9）においてカキ化石密集層が認められる。その産出層準は、これまで見和層下部層（坂本ほか, 1981）あるいは見和層中・下部（成田層研究会, 2001）と一括されていたが、筆者らの堆積相および火山灰対比から、見和層サイクル2の潟成堆積物に相当することが判明した（横山ほか, 2002）。また、大洋村田塚（Loc. 7）では、潟成堆積物基底に、離弁の *Dendostrea paulucciae*（カモノアシガキ）を含む10cm程度の化石密集層が認められた（横山ほか, 2001a の化石層6）。また、茨城県南部の下妻市高道祖では、台地上部の木下層から小規模な現地性カキ化石密集層が報告され

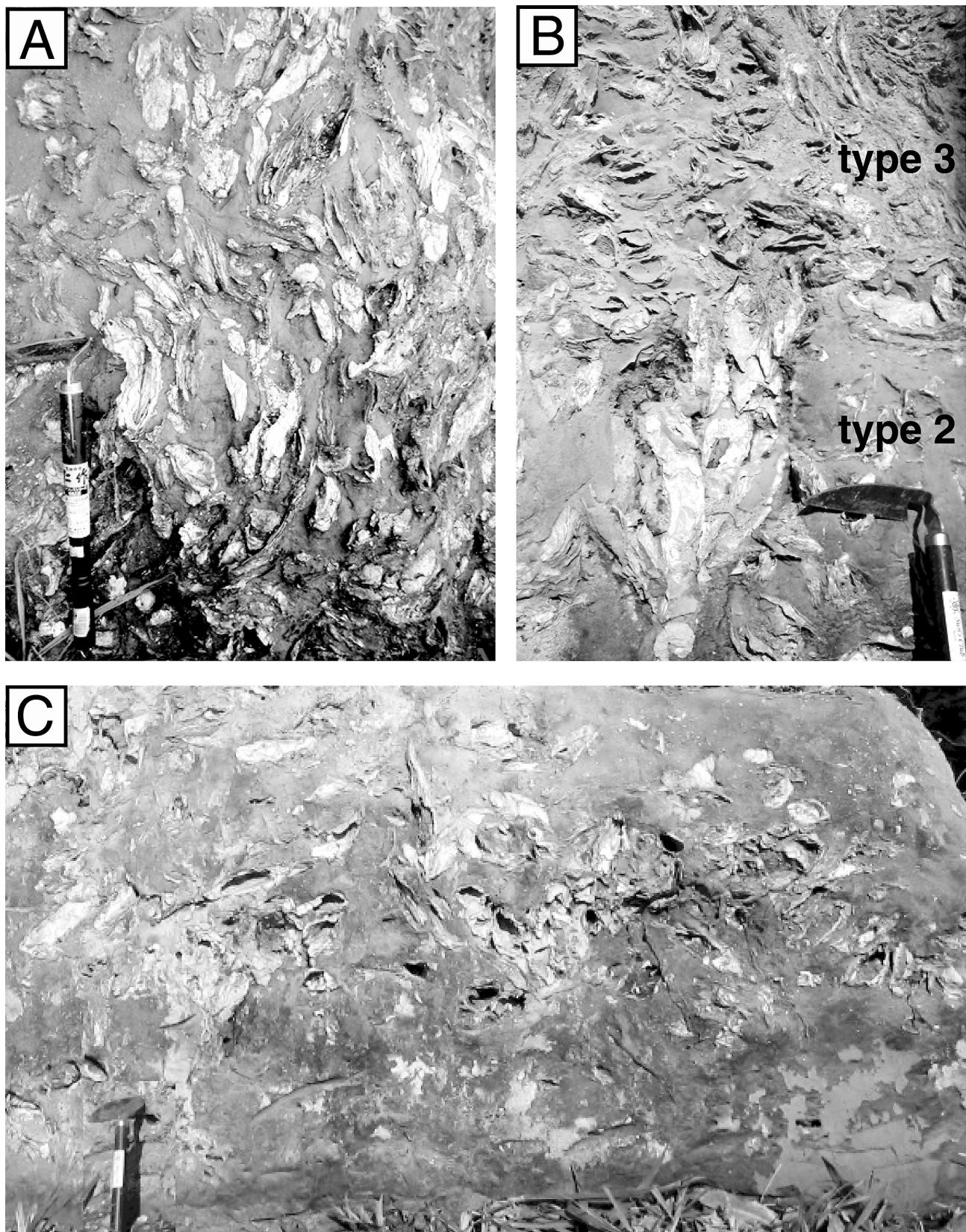


図3. カキ化石密集層の産状写真。いずれも霞ヶ浦町崎浜(Loc. 3)。A:自生密集型(タイプ1)。B:自生散在型(タイプ2)および微移動型(タイプ3)。C:自生散在型(タイプ2)。

Fig. 3. Mode of occurrence of oyster shell beds in the Miwa Formation at Sakihama (Loc. 3), Kasumigaura Town. A : Autochthonous aggregated type (type 1). B : Autochthonous scattered type (type 2) and paraautochthonous aggregated type (type 3). C : Autochthonous scattered type(type 2).

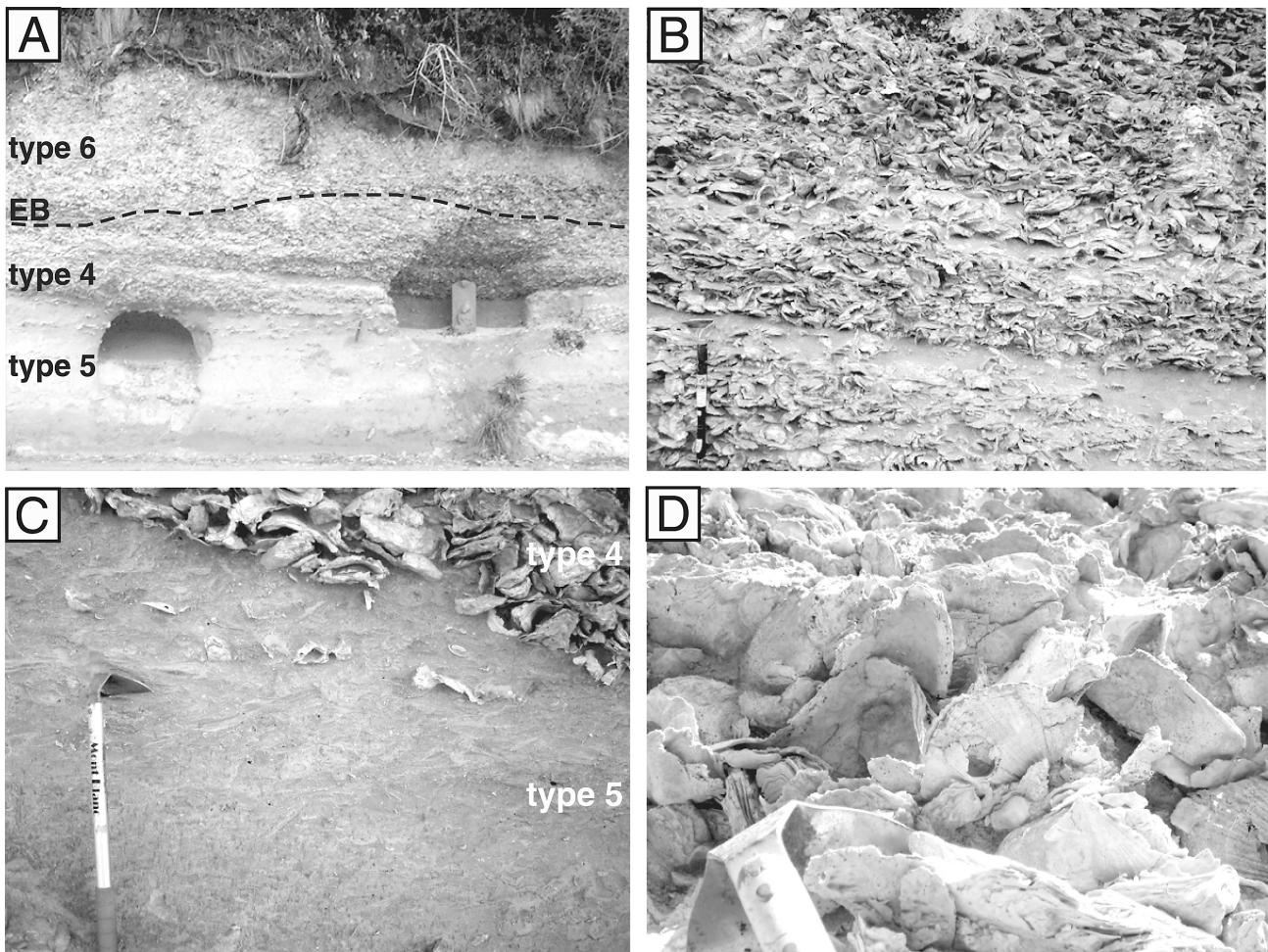


図4. カキ化石密集層の産状写真。いずれも霞ヶ浦町崎浜(Loc. 3)。A: 斜交層理散在型(タイプ5), 斜交層理密集型(タイプ4)および破片密集型(タイプ6)の累重。EBは浸食面を示す。B: 斜交層理密集型。C: 斜交層理散在型(タイプ5)と斜交層理密集型(タイプ4)。D: 破片密集型(タイプ6)

Fig. 4. Mode of occurrence of oyster shell beds in the Miwa Formation at Sakihama (Loc. 3), Kasumigaura Town. A : Cross-bedded scattered type (type 5), cross-bedded aggregated type (type 4) and fragment aggregated type (type 6), EB : erosional boundary. B : Cross-bedded aggregated type. C : Cross-bedded scattered type (type 5) and cross-bedded aggregated type (type 4). D : fragment aggregated type (type 6).

ているが（増田ほか, 1987），内陸部の台地上部において常総層に覆われることから、見和層サイクル2に相当する可能性が高い。

カキ化石密集層の産状型

玉造町浜東部 (Loc. 1), 浜西部 (Loc. 2), 霞ヶ浦町崎浜 (Loc. 3) の3地点において、化石密集層の貝殻密集度、現地性の程度、共産種、推察される堆積環境などの特徴から、6タイプの産状型を識別した (Figs. 2~4)。

タイプ1. 自生密集型

塊状のシルト～砂質シルトに、生息姿勢を保った *Crassostrea gigas* が形成する株同士が癒着し、密集して産出する産状である。共産種はLoc. 3において、まれに足糸付着生の *Chlamys farreri* (アズマニシキガイ) が認められるほかは極めて少ない。

このような産状は、*C. gigas* がその生息場である内湾汽水域の泥質潮汐低地において、リレー戦略をもって形成した礁が破壊されずに埋没、保存されたものと解釈されよう。

タイプ2. 自生散在型

塊状のシルト～砂質シルトに *C. gigas* が生息姿勢を保ち、少数個体が散在する産状である。密集度が低いことを除くと層相、共産種は自生密集型と同じであり、自生密集型から側方遷移する。

このような産状は、自生密集型と同様に、*C. gigas* 生息場の内湾汽水域の泥質潮汐低地に発達したものであるが、カキ礁に至るまで成長できずに埋没したか、もしくは成長できずにリレー戦略が途絶えたものと解釈される。

タイプ3. 微移動型

塊状のシルト～砂質シルト中に、横臥した合弁・離弁個体がほぼ貝殻片支持で重なりあって密集し、ごくまれに生

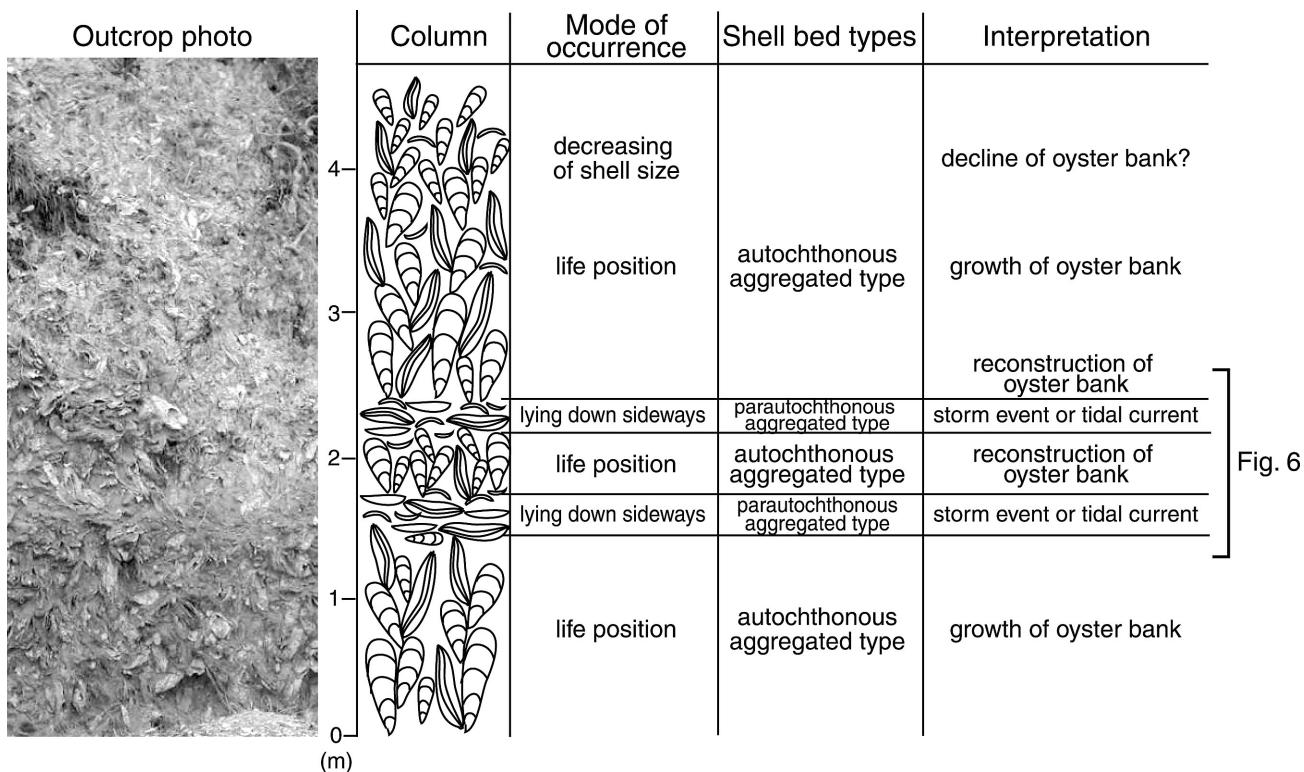


図5. 玉造町浜東部(Loc. 1)におけるカキ化石密集層の産状。

Fig. 5. Oyster shell beds at east Hama (Loc. 1), Tamatsukuri Town.

息姿勢を保った個体を含む産状である。共産種は、Loc. 3で *Chlamys farreri*, 固着生の *Anomia chinensis* (ナミマガシワガイ) が他相的な産状で認められるほかは少ない。

このような産状は、泥質潮汐低地近辺において、ストーム波浪や強い潮汐流などによってカキ礁が倒壊し、横臥した遺骸が集積、堆積した同相的な化石群と考えられる。

タイプ4. 斜交層理密集型

大規模トラフ型斜交層理を呈するシルト質極細粒砂に、破片または離弁個体が貝殻片支持で著しく密集した産状である。Loc. 3における共産種は、足糸付着生および固着生の *Chlamys farreri*, *Anomia chinensis*, *Striarca tenebrica* (マルミミエガイ) などが散在し、ときに合弁で認められる。フジツボ類を伴う表生生物も多く、*C. gigas* や *Chlamys farreri* の殻に付着しており、殻の内側にも固着する。

このような産状は、潮汐流によって形成された大規模な潮汐チャネル内において、カキ遺骸が間欠的に供給されて密集したものと考えられる。

タイプ5. 斜交層理散在型

大規模トラフ型斜交層理を呈し、生物擾乱の発達した極細粒砂に、破片または離弁個体が散在する産状である。斜交層理のフォーセット面に沿って、貝殻片が密集することがある。共産種とその産状は斜交層理密集型と同様である。

このような産状は、潮汐流によって形成された潮汐チャネル内において形成されたことは明らかであるが、生物擾乱

が著しく発達することから、間欠的に底生生物によって底質の擾乱を受ける場において堆積したことが推測されよう。

タイプ6. 破片密集型

塊状のシルト質極細粒砂に破片、離弁殻が貝殻片支持で極めて密集した産状で、Loc. 3においては上位ほど破片化度、磨耗度が増す傾向が認められた。共産種は、斜交層理密集・散在型に含まれる種に加えて内湾浅海生種が多く認められ、浅潜没内生濾過食者である *Saxidomus purpulata* (ウチムラサキガイ), *Clinocardium buellowi* (イシカゲガイ) が保存の良い状態で、ときに合弁で産出する。さらに、シェルター戦略 (Kondo and Stace, 1995) をとる深潜没内生濾過食者の *Panopea japonica* (ナミガイ) が生息姿勢を保っており、上方の堆積面から潜掘されたことは明確である。これらのことから、破片密集型の産状はストーム流、潮汐流などによって細粒な堆積物が吹き飛ばされる場で、貝殻遺骸が間欠的に供給されることによって癒着・濃集した結果と解釈することができる。

カキ化石密集層の形成過程

1. 玉造町浜東部 (Loc. 1) : 静穏なエスチュアリーにおけるカキ礁の成長と再構築過程

産状: 霞ヶ浦北東岸の玉造町浜東部 (Loc. 1) では、高さ 5 m, 幅 30m 以上の大規模なカキ化石密集層が認められ、玉造町指定の天然記念物として保護されている。塊状の黄



図6. 玉造町浜東部(Loc. 1)におけるカキ礁内の擾乱と再構築。横臥した*Crassostrea gigas*に付着してカキ礁が形成されている。矢印はカキの株の成長方向を示す。

Fig. 6. Oyster bank at east Hama (Loc. 1), Tamatsukuri Town. Shells of *Crassostrea gigas* are accumulated above oyster reefs. Arrows show growth directions of oyster-relied bouquets.

灰色シルト～砂質シルト層に *C. gigas* が極めて密集したタイプ1の自生密集型の産状を示し、露頭内において分布密度に変化がなく一様な貝殻片支持の化石密集層からなる。全層準において共産種は認められず、*C. gigas* のみからなる單一種群集を構成し、露頭下部では大型個体（殻高 30～40cm 程度）が、上部では中型個体（殻高 20cm 程度）が多くなる傾向がある (Fig. 5)。

基底より 1.6m の層準において、層厚20cm 程度の生息姿勢を保たない微移動型の密集層（タイプ3）が、さらに 0.5m 上位層準において層厚約 5 cm 程度の微移動型の密集層が認められる (Fig. 6)。2枚のタイプ3の密集層は、離弁個体が多いものの合弁個体が多数水平に累重しており、層相も自生密集型の層準と同様に塊状シルトからなる。

形成過程：Loc. 1における巨大なカキ化石密集層は、基質が塊状シルトからなり、ほぼ全層準においてリレー戦略を示す生息姿勢を保った *C. gigas* が礁をなすことから、カキ礁の成長に適した静穏な泥質潮汐低地の安定した汽水環境が、長期にわたって続いているものと解釈される。玉造町北西部の同層準においては、塊状シルト層からなる厚いエ

スチュアリー成堆積物が卓越しており (横山ほか, 2001b), 玉造町手賀 (Loc. 4) においても大規模なカキ化石密集層が認められることから、閉鎖内湾奥部において泥質低地が発達していたことを指示する。

微移動型の産状を示す層準では横臥した個体が密集し、合弁個体も認められることから、ストームなどの突発的なイベントによってカキ礁が倒壊して、その場で堆積したものと推察される。イベントの収束後には、死滅した殻を有用な固着底として、急速にカキ礁が復元し、再構築していくことがわかる。

2. 玉造町浜西部 (Loc. 2) : エチュアリーにおけるカキ礁の埋没過程

産状：Loc. 1の300mほど西に位置する玉造町浜西部 (Loc. 2) では、幅約20m、高さ 5 m の露頭に、幅 7～10m、高さ 4.5m 以上の 2 つのマウンド状の形状をもつ自生密集型のカキ化石密集層が発達している (Fig. 7)。観察できる範囲内では全て自生密集型を示す *C. gigas* からなり、カキ化石層の縁辺部はエチュアリー成の塊状シルト層に覆われ擾乱

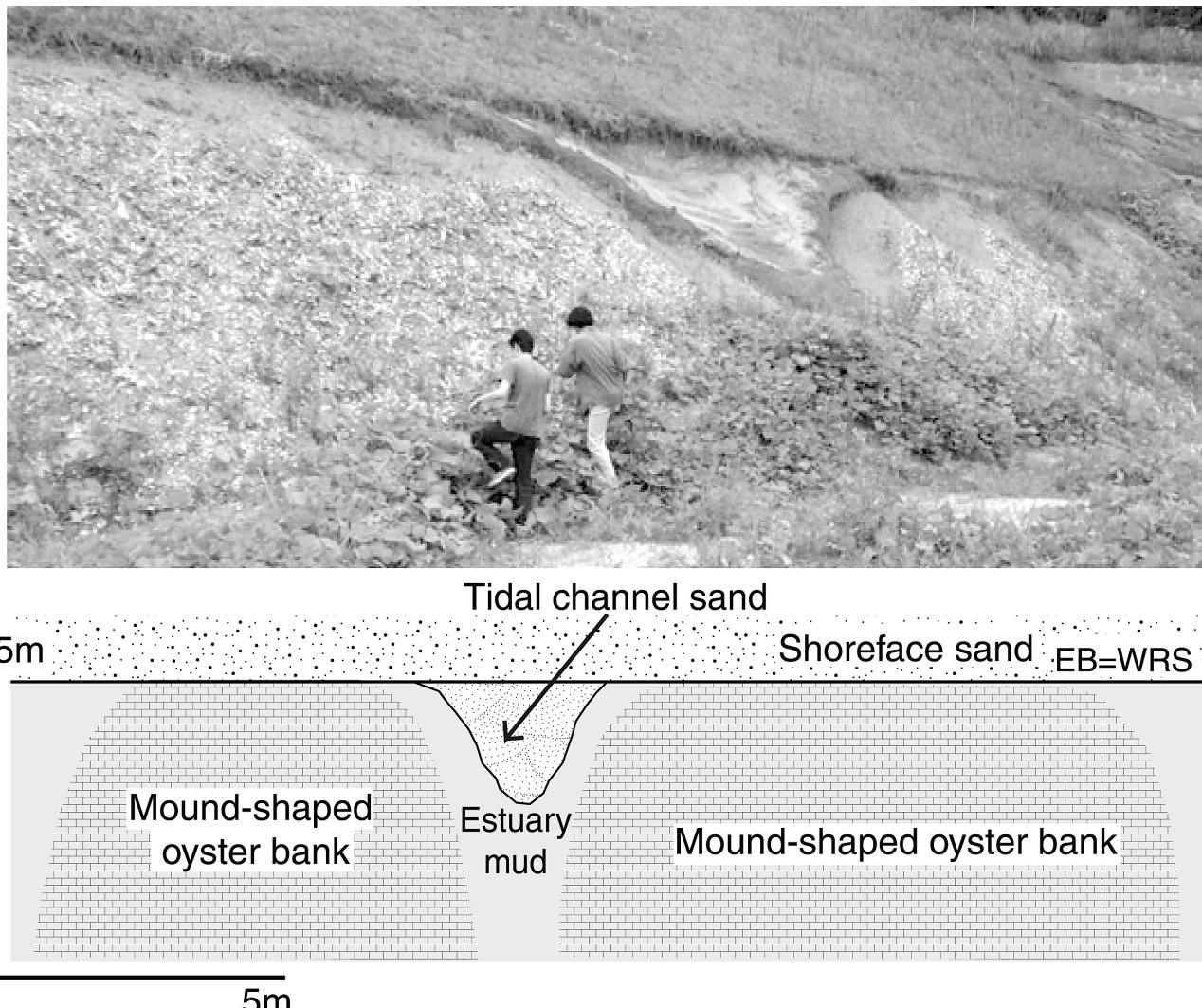


図7. 玉造町浜西部(Loc. 2)のカキ化石密集層の写真及び産状模式図。凡例は図10参照。EB: 浸食界面。WRS: 波浪ラビンメント面。

Fig.7. Mode of oyster shell beds at west Hama (Loc. 2), Tamatsukuri Town. Refer to Fig.10 for legend. EB: erosional surface; WRS: wave ravinement surface.

されていない。また、マウンド間の凹地部では、シルト層の上位にトラフ型斜交層理細粒砂層が認められる。マウンドの上限は平坦で明瞭な侵食面で切られており、それを上部外浜～下部外浜成のトラフ型・ハンモック型斜交層理細粒砂層が覆う。

形成過程：マウンド状のカキ化石層は、いずれも自生密集型の産状を示し、かつその縁辺部は擾乱されていないこと、上位層に *C. gigas* がほとんど含まれないことから、マウンド状にカキ礁が発達し、*C. gigas* の死滅後にそのまま埋没して保存されたものと判断されよう。そして、潮汐流の影響を受ける環境へと変遷すると、マウンド間の凹地は潮汐チャネルとなって、砂が充填したものと考えられる。さらにその後、海進の進行に伴って外浜環境に変化した際、外洋の波浪によってマウンドの頂部が侵食を被り、その外浜侵食面上に外浜成の砂層が堆積したものと推定される。

上に凸のマウンド状自生密集型産状は、鹿島灘沿岸の旭村滝浜 (Loc. 8) にも認められる (Fig. 8) 滝浜では、厚い

エスチュアリー成泥層中に、幅6～15m、高さ2.5m程度のマウンド状の形状を有したカキ化石密集層を複数確認することができる。

3. 霞ヶ浦町崎浜 (Loc. 3)：大規模潮汐チャネルを伴う砂質潮汐低地の複合力カキ化石密集層

産状：霞ヶ浦土浦入り北岸に位置する霞ヶ浦町崎浜 (Loc. 3) では、高さ5m、幅約70mにわたる巨大なカキ化石密集層が認められる (Figs. 9, 10)。露頭は古墳時代後期の横穴式古墳として保存され、霞ヶ浦町の天然記念物 (崎浜横穴古墳群) に指定されている。O'hara and Sugaya (2002) によって、下部の自生的産状と、上部の他生的産状を示す2層準からの産出化石リストが示され、堆積環境についても論じられている。

崎浜におけるカキ化石層は、露頭中央部の大規模なチャネル構造と、それを埋積した密集度の極めて高い産状に特徴付けられ、2枚の侵食面によって3つのユニットに区分

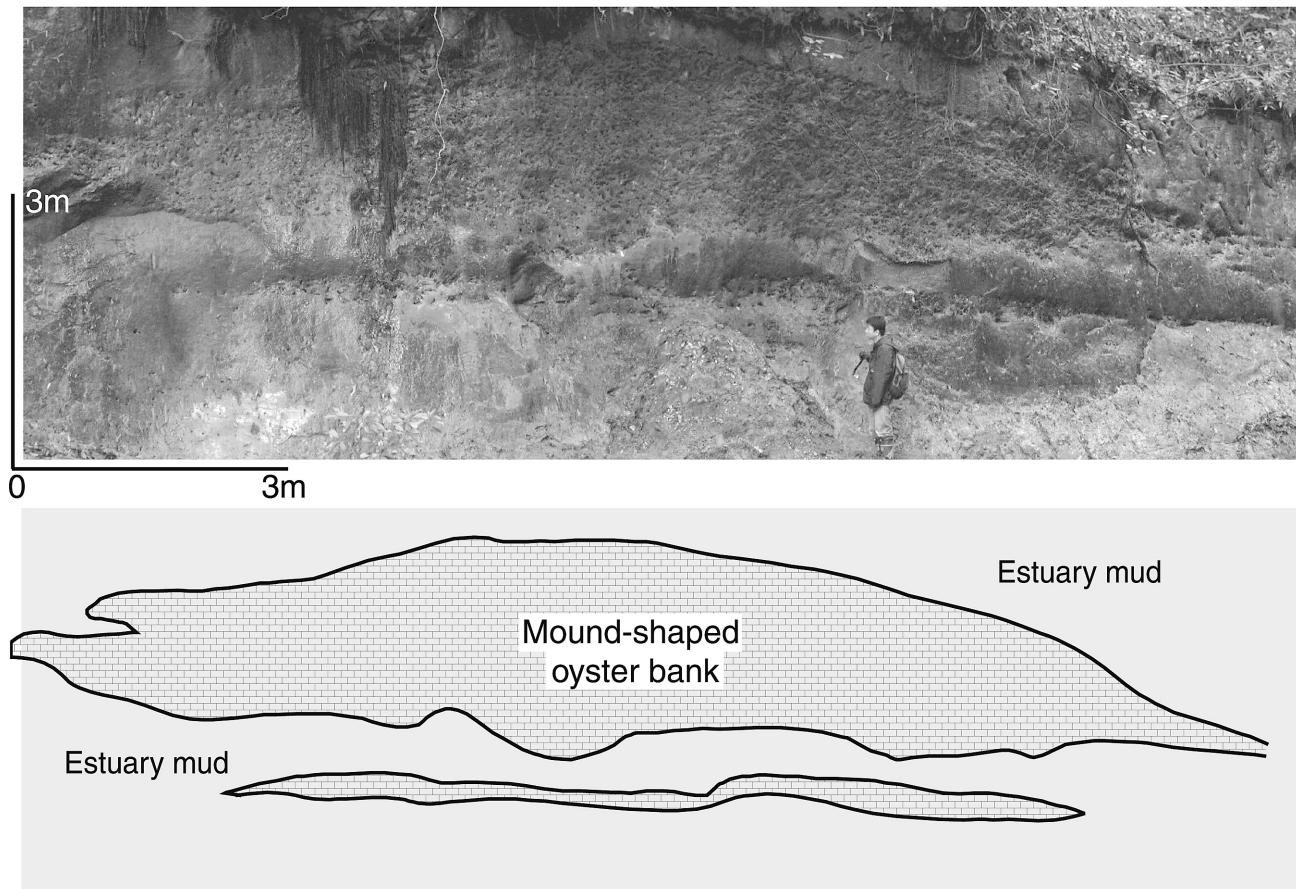


図8. 旭村滝浜(Loc. 8)のカキ化石密集層の写真及び産状模式図. 凡例は図10参照.

Fig. 8. Mode of oyster shell beds at west Takihama (Loc. 8), Asahi Village. Refer to Fig. 10 for legend.

することができる (Fig. 11). 密集層を構成しているのは、最大殻高 25cm 程度の比較的長い *C. gigas* である。

ユニットIは、自生密集型、自生散在型、微移動型の自生的産状の卓越した砂質シルト～シルト質極細粒砂層からなり、ユニットII基底の浅いチャネル状侵食面によって凹状に削剥されている。露頭左側上部では微移動型の産状が、右側では自生密集型の化石層が卓越し、チャネルの左右に2つのマウンド状の同相的化石層が発達する。自生散在型の産状は露頭左側縁辺部の下部に認められる。また、露頭右端では凝灰質の層準が認められ (Fig. 10, TF)，鏡下で観察すると角閃石を多量に含み、長石、斜方輝石、黒雲母、扁平型火山ガラス、ガラス質火山岩片を含むことから、見和層サイクル1の指標テフラである荒谷軽石 (ArP:横山ほか, 2001b) に由来している可能性が高い。

ユニットIIは厚さ4m以上、幅20～30m程度の大規模トラフ型斜交層理が発達しており、斜交層理散在型・密集型が互層する産状を示している。下部では斜交層理散在型が卓越し、上部では斜交層理密集型が卓越する。斜交層理密集型はレンズ状の形状を示し、2層以上の密集層が癒着している部分もある。

ユニットIIIは、ユニットI, IIを平坦な侵食面で覆った、塊状シルト質極細粒砂を基質とする、磨耗した離弁殻、貝

殻片が貝殻片支持で著しく密集した、厚さ2m以上の破片密集型の化石層である。共産種として *Clinocardium buellowi* (イシカゲガイ), *Cycladicama cumingi* (シオガマガイ)などの内湾生種を多数含み、ときに *Saxidomus purpulata*, *Panopea japonica*などが生息姿勢を保っている。さらに、ユニットII以上の層準においては、*C. gigas* や *Chlamys farreri* の殻に多くの表生生物が固着しており、とくにユニットIIIでは *Striarca interpellata*などの表生二枚貝類が多産する。

形成過程：1) 自生密集型の化石密集層は、カキ礁が擾乱されずに埋没・保存されたものである。そして、カキ礁の縁辺部では自生散在型に漸移している様子が観察できる。したがって、エスチュアリーの潮汐低地において比較的長い形態の *C. gigas* が群生するカキ礁が形成され、堆積速度および海水準上昇速度はカキの成長速度と均衡し、カキ礁は上方に成長したものと解釈される。堆積速度が成長速度を上回った部分では、*C. gigas* は堆積物中に埋没し自生散在型化石層となったのであろう (Fig. 12A)。

2) 次に、潮汐流が強くなりカキ礁内で殻の倒壊や移動が生じると、微移動型の化石密集層が形成された。自生密集型・自生散在型を含めた、同相的な化石群はマウンド状の形態を有していた。この形態は先述した浜西部 (Loc. 2) や滝浜 (Loc. 8) と同様に初生的なカキ礁の起伏を反映し

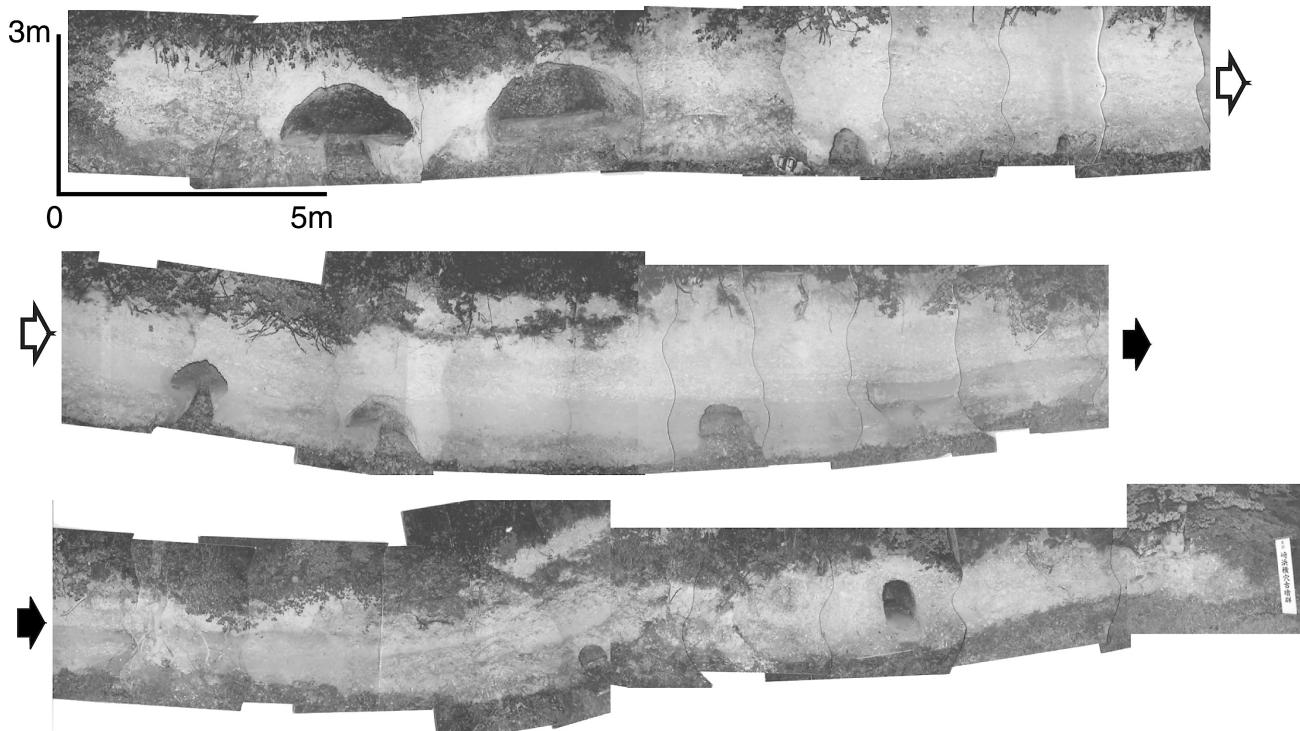


図9. 霞ヶ浦町崎浜(Loc. 3)の露頭全景写真

Fig. 9. Oyster shell beds at Sakihama (Loc. 3), Kasumigaura Town.

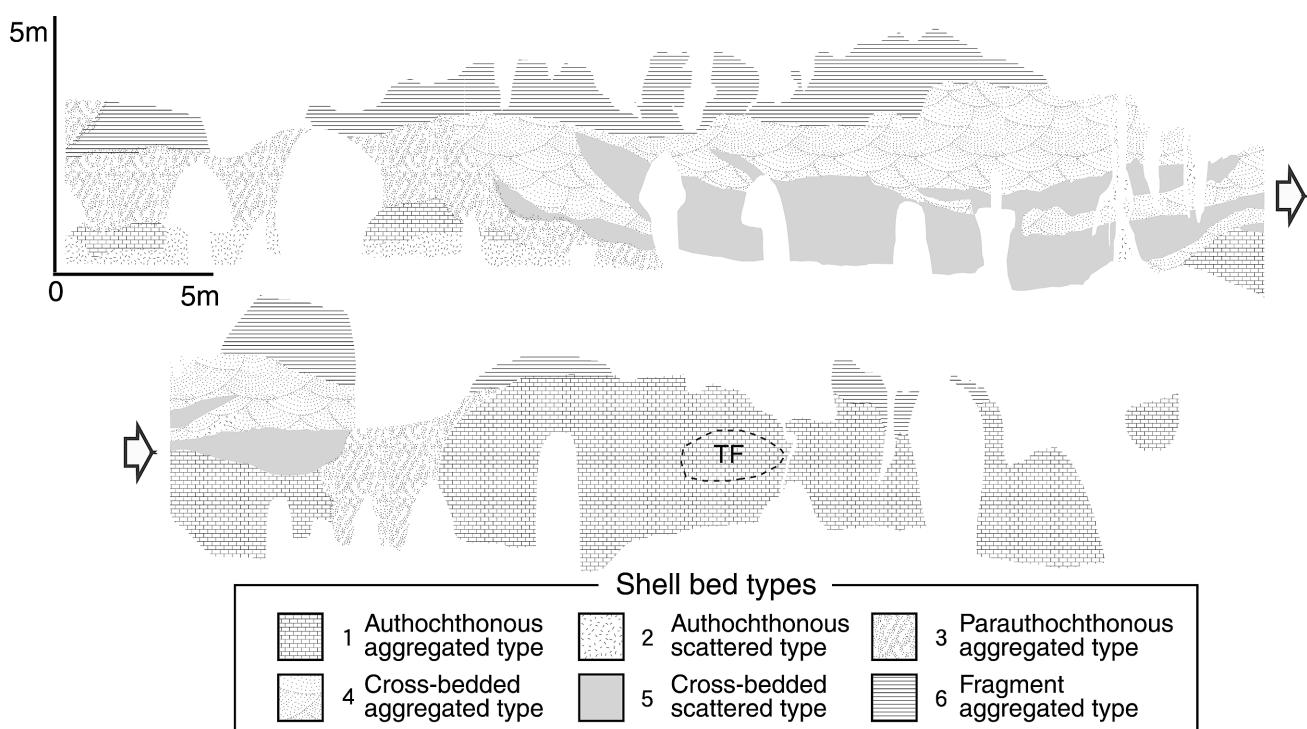


図10. 霞ヶ浦町崎浜(Loc. 3)の産状型分布. EB: 浸食境界面. TF: 凝灰質層準(荒谷軽石)

Fig. 10. Distribution of oyster shell beds at Sakihama (Loc. 3), Kasumigaura Town. EB : erosional surface ; TF : tuffaceous layer (Araya Pumice).

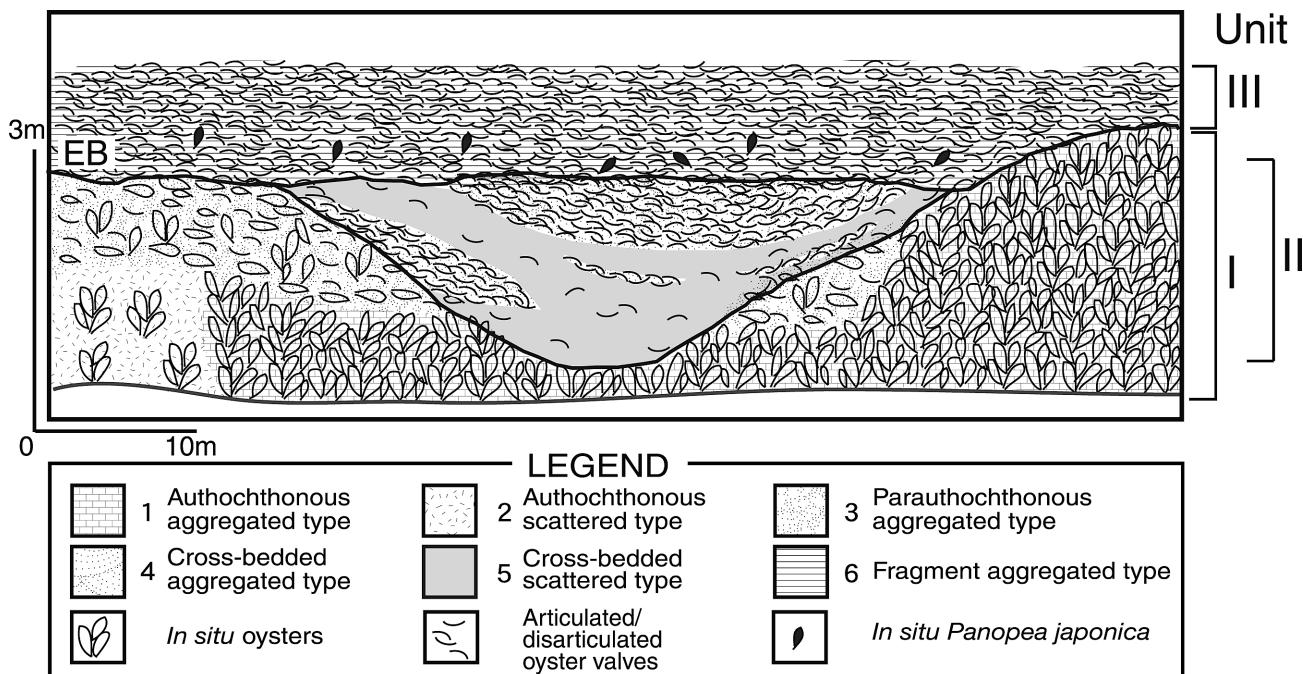


図11. 崎浜(Loc. 3)におけるカキ化石密集層の模式図. EB : 浸食境界面.

Fig. 11. Schematic profile of oyster shell beds at Sakihama (Loc. 3), Kasumigaura Town. EB : erosional surface.

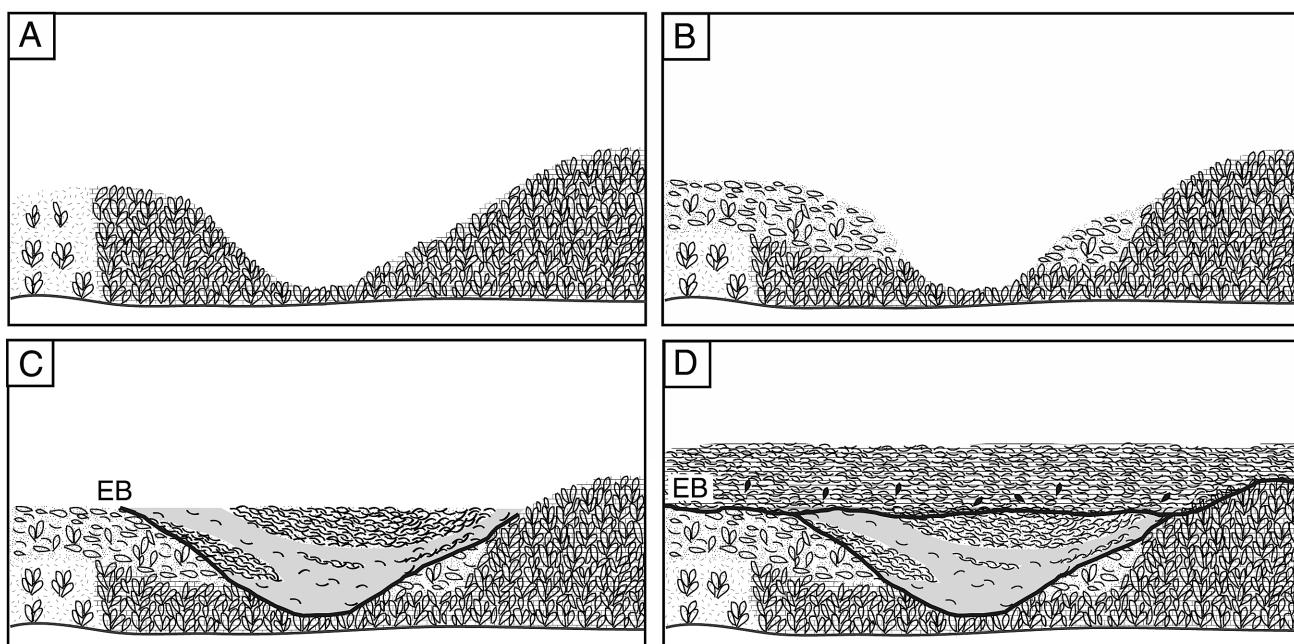


図12. 崎浜(Loc. 3)のカキ化石密集層の形成過程. A : 泥質潮汐低地にマウンド状のカキ礁と潮汐チャネルが形成される. B : カキ礁の縁辺が潮汐流によって擾乱される. C : 潮汐チャネルが埋積される. D : 遺骸が運搬・濃集され集積する. EB : 浸食境界面. 凡例は Fig.11参照

Fig.12. Formative processes of oyster shell beds at Sakihama (Loc. 3), Kasumigaura Town. A : mound-shaped oyster banks and tidal channel developing on muddy tidal flat, B : oyster banks partly reworked by tidal current. C : tidal channel filling with cross-stratified by tidal current, D : condensation of oyster shell fragments. EB : erosional surface. Refer to Fig. 11 for legend.

ているものと考えられる。すなわち、2つのマウンド状のカキ礁が発達し、この間は潮汐チャネルとなっていたことが推察される (Fig. 12B)。

3) 潮汐チャネルが堆積の場へと変化すると、潮汐チャネルを埋積して大規模な化石密集層が形成された。潮汐チャネルは、初めに *C. gigas* の遺骸をほとんど含まない、やや粗粒なシルト質極細粒砂により埋積され、その後断続的にカキ殻が供給されることによって斜交層理散在型の化石層が形成された。さらに潮汐流によって *C. gigas* の遺骸が頻繁に供給される場へと変化すると、斜交層理散在型と密集型とが互層したり、もしくは斜交層理密集型の化石層同士が癒着することによって、厚いチャネル埋積成化石密集層が形成された (Fig. 12C)。

4) これらを覆って、貝殻片支持産状を示す密集度が極めて高い破片密集型の化石層が形成された。これは、基質に乏しく磨耗した離弁殻、破片を多数含んでいることから、潮汐流または内湾におけるストーム波浪によって遺骸が運搬され、さらに堆積物中の泥質基質が吹き分けられたものと考えられる (Fig. 12D)。

5) さらに、ユニットⅡ以上の層準においては、多数の表生生物が固着した様子が観察される。ユニットⅢでは表生二枚貝類が多産する。加えて、ユニットⅢでは内湾生の内生二枚貝が多数含まれ、自生的産状を示す深潜没性の *Panopea japonica* も認められている。おそらく、これらの生物が生息できるある程度静穏な環境と、急激に貝殻遺骸が供給される堆積イベントが繰り返されていた可能性が指摘される。ユニットⅢの化石密集層は、一度のイベントによって形成されたものではなく、複数の化石層が癒着して形成されたものと解釈される。

見和層におけるカキ化石密集層の意義

1. カキ化石密集層の形成要因

安藤・近藤（1999）によると、開析谷を埋積したエスチュアリー成の準現地性の单一イベント化石層が存在することが指摘されている。カキ礁に代表される現地性～準現地性的カキ化石密集層は、カキ礁の発達～埋没といった地質学的に単一の形成過程を経て形成・保存されることから、その形成年代のスパンは大きいが单一イベント化石層と位置づけることが可能である。

しかし、Loc. 3 のユニットⅡ、Ⅲは、潮汐流またはストームに伴った高エネルギーの流れに起因していることに加え、複数回のイベントが癒着して大規模な化石密集層が形成されたことが明らかであることから、複合イベント化石層と解釈できる。このことから、一般的にはエネルギーレベルが弱く、静穏に堆積物が埋積されることの多いエスチュアリー～内湾域においても、大規模な複合イベント化石層が形成・保存されうるものと示唆される。

2. 海進期のエスチュアリーにおけるカキ礁がもたらす情報

霞ヶ浦周辺では、見和層サイクル1海進期においてエスチュアリーが形成され、潮汐低地には大規模なカキ礁が発達していた。見和層サイクル1やその中の海進期の氷河性海水準変動曲線のどのステージに対応するかについては、現在のところ検討中であるが、これまでに知られている氷河性海水準変動曲線のほとんど（例えば、Bassinot *et al.*, 1994）は、海退期より海進期の方が変動速度の大きい非対称形をなしている。したがって、古東京湾霞ヶ浦地域に海進が進行し、見和層サイクル1形成前の低海水準期に下刻された開析谷がエスチュアリーとなり、カキ礁が発達した時期は海進期全体のごく一部である可能性が指摘され、今後の検討を要する。

小笠原（1999）はカキ礁の発達する要因として、海進期のある期間に海水準上昇の停滞が生じ、カキ礁の生育に適した環境がもたらされた可能性を指摘しているが、もしそうだとすると、逆に海進が断続的に進行した証拠となる。

現生のカキ礁における *C. gigas* の成長速度は、鎮西（1982b）による福島県松川浦および北海道厚岸湖における観察の例から、最大でも 1 cm/yr 程度に過ぎないとされている。したがって、これをカキ礁の発達速度とみなすと、1、2において認められる厚さ 4.5～5 m 以上のカキ密集層が形成されるには、少なくとも 450～500 年以上の時間を要すると概算される。Loc. 1 のカキ化石層は上限下限が露出していないので、この値はさらに大きくなる。ただし、鎮西（1982b）の示した成長速度は、海水準変動速度の小さい地域の現生個体における計測値である。*C. gigas* の殻に残された情報から生息年齢を推定できる信頼性の高い手法はない（鎮西、1982b）が、見和層サイクル1における *C. gigas* の殻高は最大で 30～40 cm に達し、いわゆる“ナガガキ”型の形状を呈している。このことから、見和層サイクル1における *C. gigas* の成長速度は、鎮西（1982b）の示した海水準変動の小さい水域における殻高の小さい個体群より大きかったことが推定される。今後は、殻高の異なる個体群がどのような場で形成されたか、また、炭素 14 年代に基づいて詳細な年代軸の得られる完新統のカキ礁の例を検討する試みや、異なった条件下における *C. gigas* の成長速度の差異を明らかにすることが求められよう。

近年、堆積学の分野では海進期堆積物の形成過程の解明が進展しており注目されている（例えば、Darlymple *et al.*, 1994; Cattaneo and Steel, 2003）。カキ化石密集層は海進期堆積物の存在のよい指標となるばかりでなく、海進期堆積物の堆積史・形成過程解明に有用な情報を与えることが示唆される。

3. 生物遺骸殻供給源としてのカキ礁

海進期のエスチュアリーは、波浪や流れのエネルギーレベルが低い反面堆積速度が大きいことから、化石の保存ポテンシャルが大きいものと考えられる。Locs. 1, 2, 8 に存在するような巨大なカキ礁は、エスチュアリーにおける極めて堅牢な浸食抵抗性を有しており、堆積物中に埋没する

ことによって、地層中に保存されたものと考えられる。しかし、Loc. 3のユニットII, IIIにおいて観察されるように、強い潮汐流や波浪の影響を受ける場では、埋没したカキ礁が洗掘されて移動・再堆積し、潮汐チャネルから内湾底に他生的な産状を示す複合イベント化石密集層が形成されることから、*C. gigas*のカキ礁は内湾域における生物遺骸殻の大きな供給源をなしている可能性がある。

特にユニットIIIでは、潮汐流あるいはストーム波浪によってもたらされた*C. gigas*の遺骸殻からなる化石密集層に、生息姿勢を保った内湾生軟体動物や多数の表生生物を伴うことから、内湾域においてその遺骸殻が底質をなし、固着生物を含む多数の底生生物の生息場を提供していたことが推察できよう。すなわち、*C. gigas*による貝殻生産が、軟質泥底を貝殻底質に変えるタフオノミー・フィードバックをもたらしたのであろう(Kidwell, 1991)。

さらに、旭村滝浜(Loc. 8)では、カキ礁をなすエスチュアリー成泥層を覆う、外浜成砂層の基底に見られる海進ラグ堆積物中に、*Spisula sachalinensis*, *Tapes variegata*などの外洋生種とともに、多数の磨耗した*C. gigas*が混在している化石群が認められた。すなわち、カキ礁が海進時に外浜浸食を被り、洗い出されることによって*C. gigas*の大量の遺骸が外浜にもたらされるのである。これらのことから、*C. gigas*は内湾のみならず外洋に至る沿岸環境に移動・拡散したことは明確であり、カキ礁は沿岸域における他生的化石密集層的一大供給源になっているといえよう。

カキ礁をなす *Crassostrea* 属は、後期ジュラ紀に出現 (Komatsu *et al.*, 2002) 以降、様々な時代の内湾堆積盆において繁栄し、多数の化石密集層を形成している。例えば、安藤 (2000, 2001), 安藤ほか (2003) は、北海道蝦夷堆積盆の上部白亜系中部蝦夷層群三笠層(セノマニアン～チューロニアン)において堆積相解析に基づいたカキ化石密集層のタフオノミーを考察している。第三系では、常磐地域の古第三系始新統白水層群石城層(上田ほか, 2003), 福島県東部棚倉地域の新第三系中新統久保田層 (Chinzei and Iwasaki, 1967), 長野県中条村周辺における鮮新統柵層(天野・佐藤, 1995)などが知られている。

今後、カキの古生態進化や化石密集層としての貝殻生産の意味などを知るために、海水準変動や堆積過程を考慮したカキ化石密集層の発達過程に関する詳細な検討が望まれる。

まとめ

霞ヶ浦周辺地域の、上部更新統下総層群見和層に認められるカキ化石密集層の形成過程を調査・検討した結果は、以下のようにまとめられる。

- 霞ヶ浦-北浦周辺の台地下部においてカキ化石を多産する泥層は、堆積相解析、テフラ対比、シーケンス層序学的検討から、見和層サイクル1の開析谷埋積システムの堆積物とみなされる。

- カキ化石密集層の貝殻密集度、現地性の程度、層相、堆積構造、共産種などの特徴から、6つの産状型を識別した：自生密集型、自生散在型、斜交層理密集型、斜交層理散在型、破片密集型。
- 代表的な3露頭のカキ化石密集層の形成過程は以下のよう考察される。1) 玉造町浜東部(Loc. 1)では、静穏なエスチュアリーにおいて大規模なカキ礁が発達していた。一時的にストームによる擾乱が生じたが、転倒した殻を固着底として急速にカキ礁が再構築された。2) 玉造町浜西部(Loc. 2)ではカキ礁はマウンド状に発達した。その形状は、エスチュアリー成泥層に埋没することによって擾乱を受けずに保存された。3) 霞ヶ浦町崎浜(Loc. 3)では、最初にマウンド状に自生的カキ礁が発達し、その後潮汐流が強くなつて微移動型の密集層が形成された。さらにカキ礁間凹地の潮汐チャネルは、大規模な斜交層理を呈するカキ化石密集層で埋積された。最後に、断続的にカキを含む遺骸が供給され、破片密集型の塊状カキ化石密集層が形成された。

謝辞

本研究を進めるにあたり、千葉県立中央博物館の岡崎浩子博士、高知大学理学部の近藤康生助教授には、粗稿をご査読いただき、多くの建設的なご意見・ご指摘を頂いた。国土交通省国土地理院地理調査部の大井信三氏、独立行政法人農業工学研究所構造部の中里裕臣氏には、現地調査および層序・テフラの対比について貴重なご意見を賜った。早稲田大学教育学部の平野弘道教授および同教育学部および理工学研究科の院生・学生諸氏、さらに茨城大学理学部の天野一男教授、岡田 誠助教授には、終始ご指導ご鞭撻を頂いた。この研究は平成14-15年度文部科学省地域貢献特別支援事業の茨城大学地域貢献プランにおける「水・自然環境保全と活用」事業の霞ヶ浦(北浦)ワーキンググループの一員として実施したものである。以上の方々・機関に厚くお礼申し上げる。

文献

- 天野和孝・佐藤春樹, 1995. 内湾性貝化石群集と残存種の関係-長野県北部の鮮新統城下層産貝化石群-. 化石, (59), 1-13.
 安藤寿男, 2000. セノマニアン-チューロニアン中部蝦夷層群三笠層の浅海生軟体動物化石密集層-北海道奔別川セクションのボーリング・コア-. 三笠市立博物館紀要, (4), 15-35.
 安藤寿男, 2001. 上部白亜系セノマニアン-チューロニアン中部蝦夷層群三笠層の浅海生軟体動物化石密集層-三笠ぼんべつダムのボーリング・コア試料:まとめ-. 三笠市立博物館紀要, (5), 45-59.
 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のか-. 地質学論集, (54), 7-28.
 安藤寿男・橋本聰子・横山芳春, 2003. 北海道中部蝦夷層群三笠層におけるカキ化石密集層のタフオノミーと古生態学的意義. 三笠市博物館紀要, (7), 1-17.
 青木直昭・馬場勝良, 1973. 関東平野東部, 下総層群の層序と貝化

- 石のまとめ. 地質学雑誌, **79**, 453-464.
- 青木直昭・馬場勝良, 1978. 成田層の古地理. 筑波の環境研究, (3), 187-197.
- 青木直昭・馬場勝良, 1979. 霞ヶ浦-北浦地域の下総層群. 筑波の環境研究, (4), 186-195.
- 荒川真司, 1986. 鹿島台地南部の地質(1). 清真学園紀要, (2), 47-66.
- 荒川真司, 1995. 鹿島台地南部の地質(4). 清真学園紀要, (10), 49-65.
- 馬場勝良・青木直昭, 1972. 茨城県、霞ヶ浦-北浦地域の下総層群の層序区分. 地質学雑誌, **78**, 577-584.
- Bassinot, F. C., Labeyrie, L. D., Vincent, E., Quidelleur, X., Shackleton, N.J. and Lancelot, Y., 1994. The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth and Planetary Science Letters*, **126**, 91-108.
- Cattaneo, A. and Steel, R. J., 2003. Transgressive deposits: a review of their variability. *Earth-Science Rev.*, **62**, 187-228.
- Chinzei, K. and Iwasaki, Y., 1967. Paleoecology of shallow sea molluscan faunae in the Neogene deposits on Northeast Honshu, Japan. *Transactions and Proceedings of Palaeontological Society of Japan, New Series*, (67), 93-113.
- 鎮西清高, 1982a. 古生態からみた生物進化. 科学, **52**, 307-315.
- 鎮西清高, 1982b. カキの古生態学(1), (2). 化石, (31), 27-34, (32), 19-27.
- Chinzei, K., 1995. Adaptive significance of the lightweight shell structure in soft bottom oysters. *Neues Jahrbuch fuer Geologische und Palaeontologische Abhandlungen*, (195), 217-227.
- Dalrymple, R. W., Boyd, R. and Zaitlin, B. A., (eds.), 1994. *Incised-Valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences*. SEPM (Society of Sedimentary Geology) Special Publications, (51), 391p.
- 波部忠重・奥谷喬司・西脇三郎, 1994. 軟体動物学概説(上巻). 273p. サイエンティスト社.
- 服部富雄・小村幸三郎, 1959. “成田層”に関する2, 3の問題. 地球科学, (44), 19-28.
- 市原季彦・高塚潔・下山正一, 1996. 生痕層序. 地質学雑誌, **102**, 685-699.
- 菅野三郎・増田富士雄・天野和孝・伊藤慎, 1978. 筑波研究学園都市、花室川より発見された貝化石群について. 筑波の環境研究, (3), 169-180.
- Kidwell, S. M., 1991. Taphonomic feedback (live/dead interactions) in the genesis of bioclastic beds: keys to reconstructing sedimentary dynamics. In Einsele, G., Ricken, W. and Seilacher, A., eds., *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, 268-281.
- 菊地隆男・館野俊男, 1962. 茨城県江戸崎町および千葉県多古町周辺の第四系. 地質学雑誌, **68**, 17-28.
- Kondo, Y. and Stace, G., 1995. Burrowing ability and life position of *toheroa* (*Paphies ventricosa*: Mesodesmatidae), an unusually large, deep-burrowing ocean beach bivalve endemic to New Zealand. *Venus*, (54), 67-76.
- Komatsu, T., Chinzei, K., Zakhera, S. M., and Matsuoka, H. 2002. Jurassic soft-bottom oyster *Crassostrea* from Japan. *Palaeontology*, **45**, 1037-1048.
- 真野勝友, 1965. 成田層の層相と下底の地形との関係-霞ヶ浦北岸および北浦周辺の第四系. 地質学雑誌, **71**, 155-166.
- 牧野泰彦・増田富士雄, 1989. 古東京湾のパリアー島. 日本地質学会第96年水戸大会見学旅行案内書, 151-199.
- 増田富士雄・石橋正敏・伊藤慎, 1987. 下末吉期の古東京湾北縁の貝化石产地: 茨城県下妻市高道祖小渡. 筑波の環境研究, (10), 79-89.
- 松本現・大井信三, 山田美隆・牧野泰彦, 2000. 東茨城台地に分布する上部更新統木下層の堆積相. 茨城大学教育学部紀要(自然科学), (49), 1-17.
- 成田研究グループ, 1962. 下末吉海進と古東京湾. 地球科学, (60/61), 8-15.
- 成田層研究会, 2001. 鹿島・東茨城台地の見和層中部から産出した貝化石. 茨城県自然博物館第二次総合調査報告書, 25-49.
- 小笠原憲四郎, 1999. 化石層の形成過程と古生態学の展望. 地質学論集, (54), 1-5.
- 岡崎浩子, 1992. 下末吉海進に伴う潮流堆積相の発達-茨城県鹿島台地の下総層群木下層. 千葉県中央博物館自然誌研究報告, **2**, 15-23.
- 岡崎浩子・増田富士雄, 1992: 古東京湾地域の堆積システム. 地質学雑誌, **98**, 235-258.
- Okazaki, H. and Masuda, F., 1995. Sequence stratigraphy of the late Pleistocene Paleo-Tokyo Bay: barrier islands and associated tidal delta and inlet. In: Fleming, B. W. and Bertholoma, A., eds., *Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediment*. International Association of Sedimentologists, Special Publication, (24), 275-288.
- O'hara, S. and Sugaya, M., 2002. Molluscan fossils from the Upper Pleistocene Kioroshi Formation in the Dejima Upland of the Kasumigaura District, Central Japan. *Bulletin of Ibaraki Nature Museum*, (5), 1-20.
- 斎藤登志雄, 1959. 水戸・涸沼付近の地質. 茨城大学文理学部紀要, (5), 37-50.
- 坂本亨, 1972. 茨城県大洗付近の第四系-とくに見和層堆積期の海進(下末吉海進)について-. 地質調査所月報, (23), 7-13.
- 坂本亨, 1975. 磯浜地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅). 地質調査所, 55p.
- 坂本亨・相原輝雄・野間泰二, 1981. 石岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅). 地質調査所, 50p.
- 柴田真・安藤寿男, 1996. 茨城県北浦-霞ヶ浦地域の第四系下総層群の堆積シーケンス. 日本地質学会第103年学術大会講演要旨, 186-186.
- Stenzel, H. B., 1971. Oysters. In Cox, L. R. et al. eds., *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N, Mollusca 6 Bivalvia*, **3**, 953-1224, University of Kansas and Geological Society of America.
- 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). 地質調査所, 136p.
- 徳橋秀一・遠藤秀典, 1989. 下総層群の堆積サイクルと堆積環境に関する一考察. 地質学雑誌, **95**, 933-951.
- 上田庸平・安藤寿男・篠崎将俊, 2003. 茨城県北部の古第三系下部漸新統白水層群岩城層から浅貝層にかけての堆積相と古地理的意義. 茨城県自然博物館研究報告, (6), 1-17.
- 宇野沢昭・磯部一洋・徳橋秀一・田口雄作・永井茂・石井武丸・相原輝雄・岡重文, 1988. 2万5千分の1筑波研究学園都市及び周辺の環境地質図説明書. 特殊地質図, 地質調査所, 139p.
- Yabe, H., 1931. Geological growth of the Tokyo Bay. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, **9**, 333-339.
- 横山芳春・安藤寿男・森大規, 2001a. 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.
- 横山芳春・大井信三・山田美隆・安藤寿男, 2001b. 下総層群“見和層”に認められる2回の相対海水準変動の記録: 茨城県南東部石岡-鉢田地域の例. 堆積学研究, (54), 9-20.
- 横山芳春・大井信三・中里裕臣・安藤寿男, 2002. パリアー島に規制された堆積相と地形形成: 茨城県東茨城台地西縁地域における下総層群“見和層”を例に. 堆積学研究, (55), 17-28.

(2004年3月9日受付, 2004年6月16日受理)