中部更新統上総層群柿ノ木台層外側陸棚相の化学合成化石群集

A fossil chemosynthetic community from outer shelf environment of the Middle Pleistocene Kakinokidai Formation, Kazusa Group in Boso Peninsula, Chiba Prefecture, central Japan

Abstract

柴崎琢自* 間嶋隆一*

Takuji Shibasaki* and Ryuichi Majima*

1997年3月26日受付.

1997年7月25日受理.

* 横浜国立大学教育人間科学部地学教室.
Geological Institute, Yokohama National
University, Yokohama 240, Japan

A chemosynthetic community of Middle Pleistocene age occurs in outer shelf facies of the Kakinokidai Formation of the Kazusa Group at Kawayatsu, Kimitsu City, Chiba Prefecture, central Japan. The Kakinokidai Formation at this site is intensely bioturbated, shows no evidence of wave action, and contains molluscs that suggest a paleodepth of 100 to 150 m.

The chemosynthetic community occurs at the outcrop in a zone that is 18 m wide and 5 m high, and it consists of extremely abundant and mostly articulated shells of the bivalves *Conchocele disjuncta*, *Lucinoma aokii*, and *Acharax tokunagai*. These bivalves have been previously observed to contain chemosynthetic bacteria in their bodies. Nearly all of the articulated bivalves are preserved in life position. The enclosing matrix is mostly cemented by carbonates characterized by extreme ^{13}C depletion ($\delta^{13}\text{C} = -48.82 \sim -62.29\text{‰}$), which suggests that the carbonates were precipitated by sulfate-reducing bacterial activity using methane. These observations indicate that this community is an in situ chemosynthetic colony that depended on methane which seeped from unknown source.

The outcrop at Kawayatsu is divided into upper and lower parts, based on the mode of occurrence of the disarticulated valves. The lower part is characterized by disarticulated valves whose commissure planes are aligned vertical to the bedding plane. Those in the upper part are aligned parallel to the bedding plane and predominantly occur in convex-down positions. The disarticulated valves in the lower part may be in life position. They might have been disarticulated through biological means within the sediments, then preserved virtually in life position. The disarticulated valves in the upper part are inferred to have been reworked and exposed on the sediment surface.

It is likely that environmental changes occurred between the times of deposition of lower and upper parts of the Kawayatsu outcrop. Those changes were either a shallowing of the habitat due to an over-growth of carbonate cement, or an overpopulation of bivalves caused by increased volume of seepage or a reduced influx of sediments. These changes restricted the bivalve habitat to just below the sediment surface and allowed dead shells to easily rework onto the sediment surface.

Key words : chemosynthetic community, Pleistocene, outer shelf, the Kakinokidai Formation, the Kazusa Group, *Conchocele*, *Lucinoma*, *Acharax*, life position, carbonates, ^{13}C depletion, methane, mode of occurrence

はじめに

1976年, 南米チリ沖, ガラパゴスリフトの水深約2,500 mにある熱水噴出口周辺から, 化学合成独立栄養群集(以下, 化学合成群集)が発見(Lonsdale, 1977)されて以来, 世界各

地の深海底から同様な群集が知られるようになった(Paull et al., 1984; Suess et al., 1985など). これらの群集は, 著しく高い個体密度, 化学合成細菌との共生や摂食, および太陽光エネルギーに依存しない独立した食物連鎖系の形成などの特徴を有する(Gage and Tyler, 1991).

日本近海では相模湾初島沖、遠州灘、日本海溝などでシロウリガイ類を優占種とする群集が報告され、プレート沈み込みに伴う冷湧水に依存する化学合成群集であることが明らかにされた（太田，1987，1993；Fiala-Medioni and Pennec，1989；Hashimoto et al.，1989 など）。日本周辺の現生化学合成群集の発見に伴い、南関東のシロウリガイ類化石群集が注目を浴びるようになり、堆積環境やテクトニクスと関連させて、その産出が説明されている（Fujioka and Taira，1989；Niitsuma et al.，1989；平田ほか，1991；逗子市教育委員会，1991；間嶋ほか，1992；横浜防衛施設局，1993；Ogasawara et al.，1994；横須賀市池上地区シロウリガイ類化石調査団，1995 など）。

一方、*Conchocele*，*Lucinoma*，*Acharax* などの二枚貝類もシロウリガイ類と同様、体内に化学合成細菌を共生させ、化学合成群集を形成することが知られている（Reid and Bernard，1980；Felbeck et al.，1981；Reid and Brand，1986；太田，1993；橋本ほか，1995）。房総・三浦両半島に分布する上総層群は、上記3属の種からなる化石群集を各地から産出することが知られていた（Hirayama，1958；Aoki and Baba，1982；馬場，1990；松居・磯，1990）。これらの群集を産出する産地の中には、著しく貝化石が密集した産状を示すものがあり、房総半島の川谷の群集について Kondo et

Fig. 1. Index map showing the fossil locality with the chemosynthetic community at Kawayatsu, Kimitsu City, central part of the Boso Peninsula, Pacific side of central Japan. The fossil locality is plotted on a 1 : 25,000-scale topographic map of the quadrangle Kururi (Geographical Survey of Japan).

al. (1992) が、また三浦半島の上郷の群集について間嶋ほか (1996) が、冷湧水性化学合成群集である可能性を指摘した。

本研究の目的は、(1) Kondo et al. (1992) によって報告された千葉県君津市川谷の化石群集の産状を詳細に記載し、原

Fig. 2. Detailed map of the Kawayatsu area, showing outcrop of the lower part of the Middle Pleistocene Kakinokidai Formation of the Kazusa Group. The fossil chemosynthetic community studied occurs at locs. 1 and 2.

Fig. 3. Measured sections in the Kawayatsu area. The location of each measured section is shown in Fig. 2.

地性の群集であることを示すこと, (2) 群集に共産する炭酸塩コンクリーションの安定同位体比を測定し, 湧水の性質を明らかにすること, (3) これらの成果に基づき川谷の群集が冷湧水性化学合成群集であることを認定すること, および (4) 貝殻配列の垂直方向の変化から, 群集の堆積過程を考察することである。

地質概説

調査露頭は房総半島中央部, 君津市川谷に位置する (Fig. 1)。房総半島中央部には鮮新統～更新統上総層群が分布する。上総層群は中新統～鮮新統三浦層群を不整合で覆い, 更新統下総層群に不整合で覆われる (三梨, 1959, 1977 ;

Katsura, 1984 など)。上総層群は前弧海盆堆積物で, 下部に深海性, 上部に浅海性の地層を多く含むことから海退層であるとされている (Katsura, 1984)。Ito (1992, 1994) は上総層群に 17 の堆積シーケンスを認め, これらを氷河性海水準変動と堆積物の供給量の変動で説明した。

調査露頭周辺の野稿図を Fig. 2 に, 柱状図を Fig. 3 に示す。この地域には上総層群中部の柿ノ木台層が分布し, 地層の一般走向は約 N60°E で, NW 方向に 5°～18°傾斜する。柿ノ木台層は下位の国本層を整合に覆い, 上位の長南層に整合に覆われる。調査地域は柿ノ木台層下部の分布域にあたる。柿ノ木台層下部は無構造な砂質泥岩ないし泥質砂岩よりなり, 厚さ 5～10 cm の軽石質凝灰岩層や厚さ 5～150 cm の砂

Fig. 4. Molluscan fossils collected from the study area. 1: *Yoldia similis* Kuroda and Habe, loc. 1, NSM PM16070. 2: *Portlandia lischkei* (Smith), loc. 4, NSM PM16071. 3: *Modiolus* sp., loc. 4, NSM PM16072. 4: *Limopsis tokaiensis* Yokoyama, loc. 5, NSM PM16073. 5: *Acila divaricata* (Hinds), loc. 3, NSM PM16074. 6: *Euspira pila* (Pilsbry), loc. 4, NSM PM16075. 7: *Neptunea kuroshio* Oyama, loc. 3, NSM PM16076. 8: *Habevolutopsius hirasei* Pilsbry, loc. 3, NSM PM16077. 9: *Fulgoraria prevostiana* Kuroda and Habe, loc. 2, NSM PM16078. 10: *Dentalium yokoyamai* Makiyama, loc. 1, NSM PM16079. 11: *Conchocele disjuncta* Gabb, loc. 1, NSM PM16080. 12: *Lucinoma aokii* Hirayama, loc. 2, NSM PM16081. 13: *Acharax tokunagai* (Yokoyama), in float boulder, NSM PM16082. NSMPM= National Science Museum, Paleontology, Mollusca.

species	depth (m)	50	100	150	200	250	300	350+	locality
<i>Euspira pila</i> (Pilsbry)	10-150m								4
<i>Habevolutopsius hirasei</i> Pilsbry	80-300m								3
<i>Neptunea kuroshio</i> Oyama	50-600m								3
<i>Fulgoraria prevostiana</i> Kuroda and Habe	50-450m								2
<i>Dentalium yokoyamai</i> Makiyama	100-200m								1,2
<i>Acharax tokunagai</i> (Yokoyama)	100-500m								1,2
<i>Acila divaricata</i> (Hinds)	50-335m								3
<i>Yoldia similis</i> Kuroda and Habe	100-300m								1 ~ 5
<i>Portlandia lischkei</i> (Smith)	100-1400m								4
<i>Limopsis tokaiensis</i> Yokoyama	100-800m								1 ~ 5
<i>Modiolus</i> sp.									4
<i>Lucinoma aokii</i> Hirayama									1,2
<i>Conchocele disjuncta</i> Gabb	4-1400m								1,2

Fig. 5. Paleo-bathymetry estimated from molluscan fossils of the Kakinokidai Formation at Kawayatsu. The bathymetric ranges of extant species overlap at 100 to 150 m.

Fig. 6. Outcrop of the fossil chemosynthetic community at loc. 1. A: Fossils occur in the tunnel and at the ridge-side exposure indicated by the dashed white line. The solid white line indicates the area sketched in Fig. 7. The dashed line indicates the location of Fig. 6B. B: Close-up view of the ridge-side exposure. The solid white line shows the area sketched in Fig. 8.

岩層を挟在する。砂岩層中には平行葉理や斜行葉理が発達することがある。砂質泥岩中には貝、ウニ、単体サンゴ、材などの化石と、軽石などが散在的に産出する。また、局所的に石灰質コンクリーションが砂質泥岩中にレンズ状に発達する (Fig. 3 の柱状図 A, B, D, E)。

Ito (1992) によると柿ノ木台層は海進期堆積体 (TST) と高海面期堆積体 (HST) に相当し、泥質の陸棚ないし陸棚斜面堆積物である。また、Sato (1992) は堆積相と生痕相から柿ノ木台層を陸棚域の堆積物であるとした。上総層群の堆積年代はフィッシュントラック (鈴木・杉原, 1983; 徳橋ほか, 1983; Kasuya, 1990; 渡辺・檀原, 1996), 古地磁気 (新妻, 1976), 石灰質ナノ化石 (佐藤・高山, 1988) などにより検討され、柿ノ木台層の堆積年代は約 0.6~0.7 Ma とされている (Ito, 1992)。

堆 積 環 境

調査地域の 5 か所から貝化石が産出した (Figs. 2, 3 の化

石産地 1~5)。化石産地 1 と 2 (化学合成貝化石密集部) では、腹足類 2 種、掘足類 1 種、二枚貝類 4 種を産出し、化石産地 3~5 では、腹足類 4 種、掘足類 1 種、二枚貝類 5 種を産出した (Fig. 4)。これらの貝化石は、殻に摩滅の証拠がなく、多くの二枚貝は合弁状態で産出したので、原地性であると判断し、古水深を推定した (Fig. 5)。Fig. 5 の各種に対応する横棒は、現生種に同定できた種の深度分布 (波部・小菅, 1967; 波部, 1977; 黒田ほか, 1971; 肥後・後藤, 1993 による) を示し、その重複する深度は 100~150 m となった。

産出貝化石は、水深約 100~150 m の堆積環境、すなわち外側陸棚を示す。外側陸棚は、普段は泥が堆積し、時折浅海より乱泥流や地衡流などによって砂がもたらされ、Bouma sequence を形成するが (Walker, 1984)、薄い砂層は活発な生物活動により泥と混合し塊状の泥質砂岩あるいは砂質泥岩として堆積する。また、暴風時波浪作用限界水深よりも深いため、堆積物には波浪の影響を示す堆積構造は認められない。外側陸棚の深度は、日本付近で約 70 m から陸棚外縁部

までとされている(斎藤, 1989). したがって, 調査地域の岩相は外側陸棚の岩相と一致する. また, 以上の考察から得られた古水深は, 従来の研究成果(Katsura, 1984; Ito, 1992, 1994; Sato, 1992)と矛盾しない.

化学合成化石群集産出露頭の概要

化学合成化石群集は化石産地1と2から産出する. 化石産地1は, 砂質泥岩に掘られた長さ約18m, 高さ約3mのトンネル壁面とその上部の尾根からなり, 化石産地2は御腹川右岸の崖である. 化石産地1のトンネル東側壁面(Fig. 6A)とトンネル直上の尾根部分(Fig. 6B)のスケッチをFig. 7とFig. 8にそれぞれ示す. 以下, 化石産地1では, トンネル部を下部露頭, 尾根部を上部露頭と呼ぶ. 露頭面の走向方向(下部露頭でN50°E, 上部露頭でN55°E)と地層の走向(N56°E)は, ほぼ一致するのでスケッチ上の層理面はほぼ水平となる. 両露頭とも露頭面は, ほぼ垂直なので, これらのスケッチは貝化石密集部の垂直断面にほぼ等しい.

化石産地1の下部露頭(Figs. 6A, 7)

貝化石はトンネル南側の入口から約3m付近(Fig. 7の右図中央部)に厚さ約2.5m, 幅約7mの範囲で最も密集し(91個体/m²), トンネル両側の入口に向かって次第に個体数を減じて散在的に産出するようになる(Fig. 7の左図). 貝化石密集部は基質がコンクリーション化して茶褐色を呈し, 貝化石が散在的に産出する部分では, 青灰色の砂質泥岩中に灰色で不規則な形の塊状コンクリーションや, パイプ状生痕の周囲が筒状にコンクリーション化したものが分布する. 露頭のコンクリーション化した部分をFig. 7に実線と破線で示した(破線部は境界の不明瞭なコンクリーションを示す). これらは塩酸に反応するので, 砂質泥岩が炭酸塩によってコンクリーション化したものと思われる. パイプ状生痕はコンクリーション部を含めた直径が約5cmで, 長さは約30cmから200cmである. パイプ状生痕の内部は堆積物が充填している場合が多いがまれに中空状態のものも観察される(Fig. 9Aの矢印). パイプの内壁には微細な炭酸塩の白色結晶が晶出していることがある. 巣穴は内張りなどの無い単純な構造であること, 長さが2mに達するものもあること, 途中で不規則または樹枝状に分岐するものがあることなどから, 甲殻

類の巣穴(Bromley, 1990)である可能性が高い. 巣穴の周辺から甲殻類の爪の化石が産出した.

合併の貝化石は内部が堆積物によって充填されていることが多い. 貝化石の周囲がコンクリーション化している部分では貝化石内部を充填している堆積物も同様にコンクリーション化している. パイプ状生痕同様, まれに内部が中空状態の化石も観察され, このような殻の内壁には炭酸塩の結晶が晶出していることがある.

化石産地1の上部露頭(Figs. 6B, 8)

幅約3m, 高さ約1.5mからなる. 露出が局所的なため貝化石密集部の正確な広がり是不明である. 露頭には貝化石の密集部のみが露出しており 露頭での貝化石の産出密度は110個体/m²であった. 貝化石密集部は炭酸塩でコンクリーション化しており, 基質は茶褐色の泥質砂岩である(Figs. 8, 9B). 貝化石の内部は堆積物によって充填されている.

化石産地1の下部露頭と上部露頭の関係

下部露頭と上部露頭の間は露頭が欠如しているため, 両貝化石密集部の関係は直接確認できない. しかし下部露頭の化石密集部はトンネル天井部に向かうにつれて貝化石の密集度が低くなることから, 両密集部の間には貝化石の密集度の低い層準が挟まれていると考えられる. つまり密集度の高い部分が上下二段に重なった関係にあると推定される.

化石産地2(御腹川右岸)

青灰色の砂質泥岩中に幅約10m, 高さ約3mにわたって貝化石, 灰色で不規則な形のコンクリーション, 周囲が筒状にコンクリーション化したパイプ状生痕が散在的に分布する. このような産状は化石産地1の化石散在部で観察されるものによく似ており, 層準的にもほぼ一致する(Fig. 3). したがって, この露頭は化石産地1の延長であると考えられる.

産出化石

露頭からは殻長10cmに及ぶ大型二枚貝が多産し(Figs. 7, 8), これらは*Conchocele disjuncta*(Fig. 4-11), *Lucinoma aokii*(Fig. 4-12), および*Acharax tokunagai*よりなる. これら3種は, 鰓などの濾過器官を著しく発達させ, 化

Fig. 7. Mode of occurrence of shells and concretions on the tunnel at loc. 1. The sketched area is outlined by solid white line in Fig. 6 A.

Fig. 8. Mode of occurrence of shells and concretions on the ridge-side exposure at loc. 1. The sketched area is outlined by solid white line in Fig. 6 B. Arrow shows the scavenger snail, *Neptunea* sp.

学合成細菌をこれら濾過器官に共生させることによってエネルギーを摂取することが知られている (Reid and Bernard, 1980; Felbeck et al., 1981; Reid and Brand, 1986; 太田, 1993; 橋本ほか, 1995)。

化石産地1の下部露頭と上部露頭に露出していた594個体を同定した結果, *Conchocele disjuncta*が全体の89%を占め, *Lucinoma aokii*が7%, *Acharax tokunagai*が4%となった (Table 1)。また3種の合弁率を測定したところ, 下部露頭で91%, 上部露頭で84%となった (Table 2)。なお, 合弁率は離弁殻2つを1個体として計算した。

化石産地1からは, 上記3種の他に *Yoldia similis* (Fig. 4-2), *Limopsis tokaiensis*, *Dentalium yokoyamai* (Fig. 4-

10), 甲殻類の爪などが産出したが産出個体数は非常に少ない。また, 上部露頭からはエゾバイ科の巻貝化石 (*Neptunea* sp.) が5個体産出したが (Fig. 8の黒矢印), 下部露頭からは産出しなかった。

貝化石の配列

化石産地1の貝殻の配列方向を測定した。測定は露頭面に露出した貝殻の断面で行い, 合弁個体は殻頂方向, 離弁個体は殻の接合面の方向を測定した (Fig. 10)。下部露頭, 上部露頭とも, 露頭面はこの地域の一般走向にほぼ平行なので, 測定値の補正は行っていない。合弁個体のうち7%の個体は殻頂方向を決定できなかった。これらの個体の殻頂域は露頭面

と交わらなかったと考えられる。

測定結果を Fig. 11 に示す。合弁個体は下部露頭、上部露頭とも明らかに殻頂を層理面に対して上向きに配列する傾向がある。*Conchocele* と *Lucinoma* は殻頂を上に向け、堆積物に潜って生息することが知られている (Kauffman, 1969; Stanley, 1970; Kondo, 1990, 菅野, 1993)。したがって、大半の合弁二枚貝は生息姿勢を保った状態、すなわち自生状態で保存されていると判断できる。

離弁個体については下部露頭と上部露頭とで大きく異なる配列傾向が見られた。下部露頭の離弁個体は層理面に対し、殻の接合面を垂直に配列する傾向を示した。一方、上部露頭の離弁個体は殻の接合面を層理面に平行に配列する傾向を示し、また、殻の凸面を上に向けた殻 (convex up) は 13 個体であったのに対し、下に向けた個体 (convex down) は 38 個体であった。

炭酸塩コンクリーションの安定同位体比

炭酸塩の形成過程

貝化石密集部は全体的に炭酸塩でコンクリーション化している。また、その周囲の化石散在部にもパイプ状コンクリーションやコンクリーションの小塊が多数分布している (Figs. 7, 8)。世界各地から報告されている化学合成化石群集 (Campbell, 1992; Beauchamp and Savard, 1992; Gaillard et al., 1992; Von Bitter et al., 1992; 平ほか, 1993; 横須賀市池上地区シロウリガイ類化石調査団, 1995) や現生群集 (Sakai et al., 1992; 太田, 1993; 服部ほか, 1995) でも同様な炭酸塩コンクリーションが発達することが知られている。Beauchamp and Savard (1992) はこれらの炭酸塩の形成過程を次のように説明した。

湧水などによって上昇してきたメタンが表層近くでメタン酸化 (硫酸還元) バクテリアによって酸化され、表層間隙水中の硫酸イオンを還元する。その反応によって硫化水素イオンと炭酸水素イオンが生じる。これを反応式で書くと、

となる。間隙水中の炭酸水素イオンの濃度が高まると、pH の上昇とともに炭酸イオン (CO_3^{2-}) が作られるようになる。炭酸イオンは海水中のカルシウムなどと反応し、炭酸カルシウムなどの炭酸塩として堆積物をコンクリーション化する。すなわち、コンクリーションが存在するということは、炭酸イオン濃度が高かったことを示し、メタン酸化バクテリアの活動が活発だったことを意味する。

生物は体内に炭素を固定する際、選択的に軽い炭素原子 (^{12}C) を取り入れるため、生体有機物を起源として生じるメタンも生物体と同様に ^{12}C に富む。そのため有機物起源のメタンの $\delta^{13}\text{C}$ は非常に低く、 -60‰ 以下となることが知られている (Paull et al., 1992; Beauchamp and Savard, 1992)。したがって、メタン起源の炭素原子を多く含む炭酸塩の炭素同位体比は、メタンの炭素同位体比を反映するため非常に低くなる。すなわち化学合成化石群集に伴う炭酸塩コンクリーションの非常に低い $\delta^{13}\text{C}$ は、群集の生息していた環境にメタンが存在していたことを示す有力な証拠である。

測定試料と測定法

川谷の化石が生物起源のメタンに依存した化学合成群集であるならば、炭酸塩コンクリーションの炭素同位体比は非常に低い値を示すと予想される。そこで化石産地 1 の下部露頭からサンプルを採取し、安定同位体比の測定を行った。採取したサンプルはペトロポキシを用いて固め、切断し、切断面を研磨した後、アリザリンレッドで染色した。染色された部分を歯科技工用のドリルで試料を粉末にして採集した。基質部分の試料採集については染色された部分に微化石などが含まれていないことを鏡下で確認してから行った。試料は静岡大学理学部地球科学教室の MAT 250 型質量分析計によって同位体分析を行った。

測定は下部露頭から採取した 14 試料について行った。以下に測定試料を採取地点ごとに記載する。各試料の採取ポイントは Fig. 7 に示す。

試料 1, 2. 直径約 50 mm のパイプ状生痕に沿って発達したコンクリーション部。パイプは内側に析出した白色炭酸塩部 (試料 1) と外側の泥質砂岩のコンクリーション部 (試料 2: 基質を埋める炭酸塩) からなる。

試料 3, 4, 5. 直径約 40 mm のパイプ状生痕に沿って発達したコンクリーション部。このパイプは、パイプ外側の泥質砂岩のコンクリーション (試料 5: 基質を埋める炭酸塩)、その内側の白色炭酸塩部 (試料 4)、さらにその内側の針状炭酸塩結晶 (試料 3) からなる。

試料 6, 7. 化石密集部の塊状コンクリーション部。コンクリーションは、泥質砂岩中に発達し (試料 7: 基質を埋める炭酸塩)、一部に白色の炭酸塩結晶 (試料 6) が観察された。

試料 8. 化石散在部の塊状コンクリーション部の泥質砂岩の基質を埋める炭酸塩。

試料 9, 10. 異なる 2 か所から採取した化石密集部の塊状コンクリーション部の泥質砂岩の基質を埋める炭酸塩。

試料 11, 12. *Conchocele* の貝殻内層 (試料 12) と貝殻の外側に晶出した針状結晶 (試料 11)。

試料 13, 14. 直径約 40 mm のパイプ状生痕に沿って発達した白色炭酸塩部 (試料 13) と、その外側の泥質砂岩コンクリーション部の基質 (試料 14)。

測定結果と考察

(1) 炭素同位体比:

測定結果を Fig. 12 に示す。貝殻 (試料 12) を除くと、測定した炭酸塩の $\delta^{13}\text{C}$ は $-48.82 \sim -62.79\text{‰}$ という非常に低い値を示した。 $\delta^{13}\text{C}$ の測定結果から、コンクリーションが形成された当時、この場所にメタンを含む湧水があったことは間違いない。

本研究における炭酸塩コンクリーションは泥質砂岩の間隙を埋める微晶質のもの (Fig. 12: micrite) とパイプ状構造や貝殻の内側に析出した顕晶質のもの (Fig. 12: acicular) に分けることができる。

化石産地 1 のコンクリーションの $\delta^{13}\text{C}$ は、これまで測定された現生群集や化石群集に伴うコンクリーションの同位体比と比較しても非常に低い。また、測定試料間における炭素

Fig. 9. Mode of occurrence of shells and concretions at loc. 1. A : Pipe-like concretions and fossil bivalves in the tunnel at loc. 1. Note that white calcite is precipitated on the inner wall of the pipes (white arrow). These pipes probably originated as burrows. B : An enlarged picture of bivalves cemented by carbonate, on the ridge-side exposure at loc. 1 (Fig. 6B).

Table 1. The percentage of individuals of the three species in the tunnel at loc. 1.

Species	Number of individuals	Percentage of each species
<i>Lucinoma aokii</i>	37	7%
<i>Conchocele disjuncta</i>	484	89%
<i>Acharax tokunagai</i>	20	4%
Total	541	100%

同位体比の大きな差異は認められなかった。

Beauchamp and Savard (1992) はカナダの Ellef Ringnes Island と Prince Patrick Island で発見された白亜紀後期の化学合成化石群集に伴う炭酸塩鉱物を 8 種類に区分し、それらの炭素と酸素の安定同位体比が大きく 2 つのグループに分けられることを示した。彼等は、同位体比の異なりと炭酸塩鉱物の組成から異なる炭酸塩形成ステージがあったと考えた。また、平ほか (1993) は三浦層群池子層のシロウリガイ類化石密集層で観察された方解石セメントを、微晶質、細粒顕晶質、および顕晶質の 3 種類に区分し、それぞれの同位体比が明確に異なることを示した。彼らは、これらの同位体比の異なりを、最も初期に形成された微晶質セメント

が、地下水の影響を受けて細粒顕晶質セメント、顕晶質セメントとして順次再結晶した結果、同位体比が変化したと考えた。本研究で測定した下部露頭の炭酸塩には 2 種類の晶出形態が認められたが、その同位体比に違いはなかった (Fig. 12)。したがって、下部露頭のコンクリーションを形成した炭酸塩の同位体比からは、炭酸塩の晶出ステージを区分することはできず、また、これらの炭酸塩が二次的な風化や続成作用の影響を受けた証拠も見いだせなかった。

Conchocele の貝殻内層 (試料 12) の $\delta^{13}\text{C}$ は -6.23‰ という値を示した (Fig. 12)。この値は湧水の影響を受けない海水に生息する二枚貝の貝殻の値 $-2\sim 2\text{‰}$ (Rio et al., 1992) より低い。Rio et al. (1992) はメタン酸化合成細菌と共生する二枚貝の貝殻の炭素同位体比について次のように考えた。

二枚貝が貝殻を形成する際、貝殻と軟体部の間にある外套液中の炭酸イオンを用いる。外套液中の炭酸イオンは海底面上の海水由来のものと軟体部が放出する呼吸由来のものが混合している。メタン酸化合成細菌と共生する二枚貝の軟体部はメタンの $\delta^{13}\text{C}$ を反映するため通常の海水に生息する二枚貝に対し非常に低い $\delta^{13}\text{C}$ を示し (メタン酸化合成細菌と共生する二枚貝: $-60\sim -80\text{‰}$; 通常の二枚貝: $-10\sim -20\text{‰}$)、放出される呼吸の $\delta^{13}\text{C}$ も低い。したがって、それらと海水 ($\delta^{13}\text{C}=0\text{‰}$ 前後) が混合した外套液の $\delta^{13}\text{C}$ は通常の二枚貝より低くなり、形成された貝殻の $\delta^{13}\text{C}$ も低くなる

Table 2. The percentage of articulated bivalves at loc. 1.

Outcrop	Articulated Disarticulated			Total	Percentage of articulated bivalves
	bivalves	bivalves	Unknown		
upper part	182	35	0	217	84%
lower part	525	29	20	574	91%

Fig. 10. A schematic diagram showing angles of bivalve shells measured at the outcrop (Fig. 11).

($\delta^{13}\text{C} = -2 \sim -8\text{‰}$). 本研究で得られた二枚貝の殻の $\delta^{13}\text{C}$ もこれと同様の理由で低い値を示したと考えられる。

(2) 酸素同位体比：

測定結果を Fig. 12 に示す。 $\delta^{18}\text{O}$ は $2.8 \sim 4.12\text{‰}$ という値を示した。

酸素同位体比から古水温を推定した。増田 (1975) に引用された Craig の温度スケールを用いて計算した結果、 $1.8^\circ\text{C} \sim 6.2^\circ\text{C}$ という値を得た。この温度を現在の外洋の水深 100～200 m の水温と比較すると、三陸沖の水温 ($1 \sim 6^\circ\text{C}$ 程度：Terazaki et al., 1986) にほぼ一致する。一方、現在の房総半島沖や相模湾の水深 100～200 m では、 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ の水温を示し (野島崎沖, Murano et al., 1976；相模湾, 広田ほか, 1982；勝浦沖, 日本海洋学会沿岸海洋研究部会, 1990；相模湾, Miya and Nemoto, 1991), 本研究で得られた温度と異なる。この結果は、露頭の炭酸塩形成時の古水温が現在の房総半島沖や相模湾よりも低かったことを示唆している。

一方, Ritger et al. (1987) は、湧水現象が起きている堆積物中の間隙水と底質上の海水では同位体比が著しく異なっている可能性があることを指摘した。したがって、化学合成群集に伴うコンクリーションの $\delta^{18}\text{O}$ から古水温を直接求めるには問題があるかもしれない。

Fig. 11. Shell alignments at outcrops. Measured angles are given in Fig. 10. Note that nearly all of the articulated shells (A and C) are preserved in life position, with beaks pointed nearly upward. Disarticulated shells show very different alignments between the lower (D) and upper parts (B) of the outcrop; the former are vertically and the latter horizontally. The disarticulated shells are predominantly arranged in convex-down positions (B) in the upper part of the outcrop.

化学合成化石群集の認定

種構成と密集度

既に述べたように、*Conchocele*, *Lucinoma*, *Acharax* は、化学合成細菌と共生する (Reid and Bernard, 1980；Felbeck et al., 1981；Reid and Brand, 1986；太田, 1993)。これらの二枚貝は懸濁物食も行うが、それだけでは露頭で観察される多数の個体は維持できないであろう。したがって、これら大型二枚貝類が自生状態で密集していることは、化学合成群集が利用する化学物質の供給、すなわち湧水がこの場

Fig. 12. A scatter diagram of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of the shells and the carbonates in the tunnel at loc. 1. Note extreme ^{13}C depletion of carbonates, evidently indicating a methane influence.

所にあったという以外に説明がつかない。

炭酸塩コンクリーションの $\delta^{13}\text{C}$

化石密集部に発達する炭酸塩コンクリーションの $\delta^{13}\text{C}$ は、著しく低く (Fig. 12), 明らかにこの場所にメタンが存在していたことを示す。

化石密集部の配列

化石産地 1 は下部露頭と上部露頭が、ほぼ垂直な方向に 2 段に重なる。また、化石密集部に含まれる大型合弁二枚貝はいずれも自生的な産状を示す。化石密集部の垂直方向への配列と合弁個体の自生的産状は、この場所に化学物質を含む湧水現象が断続的に起こっていたことを強く示唆する。

以上の 3 つの事実から、化石産地 1 の化石群集は原地性化学合成化石群集であると認定した。

化学合成化石群集の堆積過程

Fig. 13 に化石産地 1 の化学合成化石群集の堆積過程を示した。化学合成化石群集は以下のような過程で堆積したと考える。

ステージ 1 (Fig. 13-1)

貝化石と堆積相から推定したように、化石群集が生息していたのは外側陸棚であった。外側陸棚では、主に泥が堆積し、ときおり暴風や地震などによって、浅海から砂が供給される。生物活動が活発な陸棚では、これらの泥と砂は生物擾乱により塊状化し砂質泥あるいは泥質砂として堆積する。

ステージ 2 (Fig. 13-2)

地下からメタンの供給が開始される。それに伴って、*Conchocele* や *Lucinoma* などの化学合成を行う二枚貝が生

息し始めた。

メタンの供給経路については、Kondo et al. (1992) によって、化石産地 1 と 2 の化学合成群集の分布方向と房総半島東部の断層系の方向が一致することから、断層に沿った湧水の可能性が示唆されている。またメタンの供給源の可能性として、地下にメタンハイドレート (Kvenvolden, 1988; 松本, 1995 など) や天然ガス・石油のような炭化水素のリザーバーが存在し (Kuznetsov et al., 1987; Hovland and Thompson, 1987; Kennicutt et al., 1988, 1989; Gage and Tyler, 1991), メタンはそこから供給されていたのかもしれない。

ステージ 3 (Fig. 13-3)

メタンを含む湧水の量が増加するとメタン酸化細菌の活動が活発になり、堆積物のコンクリーション化が起きた。化石密集部は全体的に基質がコンクリーション化している (Fig. 7)。化学合成を行う二枚貝が最も密集している場所は、二枚貝にとって最も生息条件がよかった、つまりメタンの供給量が最も多い部分であったと推定される。そこではメタン酸化細菌の活動も活発で、周囲の堆積物を全体的にコンクリーション化したと考えられる。また、二枚貝の密度が比較的低い部分は、メタンの供給量が相対的に少なかったであろう。そのためメタン酸化細菌も基質全体をコンクリーション化するほど活発には活動しなかったと考えられる。その結果、基質の一部が散在的にコンクリーション化を起したり、メタンがパイプ状生痕の内部などを通して供給され、巣穴に沿ってコンクリーション化が起きたと思われる。

下部露頭の合弁と離弁二枚貝の殻配列 (Fig. 11 C, D) は、これらの二枚貝が殻頂を上に向けた自生状態で化石化したこ

Fig. 13. Schematic diagram showing a sedimentary model of the fossil chemosynthetic community at Kawayatsu. This community was deposited in the following sequence: 1) Initial stage. An outer shelf environment made up of the sediments transported by turbidity or geostrophic currents, with strong bioturbation. 2) The beginning of methane seepage. Bivalves with chemosynthetic bacteria began to live here and the carbonate precipitated by bacterial activity partially cemented the sediments. 3) First stage of major seepage. The rich methane supply caused a dense colony of the shells to form at the center of the seepage. 4) Temporary decrease of the methane supply. The colony of molluscs declined. 5) Second stage of the major seepage. The methane supply increased again and increased the population of bivalves. However, the bivalves flourished in the shallower part of the substrate, probably due to an overgrowth of carbonate cement, an overpopulation of shells, or a decreased influx of sediments. As a result, dead shells were reworked onto the sediment surface and scavenged by buccinid gastropods.

とを示唆している。しかし合弁二枚貝の配列を見ると、殻頂を上（0°から180°の範囲）に向けてはいるものの、その方向には著しい変異が存在し、一部の個体はほとんど水平方向に配列している。この配列の変異の原因として、次の2つの要因が考えられる。

(1) 死後に被った生物擾乱の影響

化学合成群集はそれ自体一つの生態系を構成する群集であり多様な生物で構成される。現在は化石として保存されていないものの、これらの大型二枚貝を堆積物中である程度移動させた生物（大型二枚貝自身や巣穴を形成した生物も含め

て)が存在していたのではないだろうか。

(2) 元々の生息姿勢の変異

Conchocele や *Lucinoma* は、深潜没者である (Kauffman, 1969; Stanley, 1970; Kondo, 1990; 菅野, 1993)。生物擾乱は堆積物表層で最も激しく、表層から深くなるにつれて弱くなり、ある深度に達すると生物擾乱はほとんど起こらなくなる (Bromley, 1990)。これら大型二枚貝の堆積物表層からの潜没深度は不明であるが、もし、これまで言われていたような表層から深い深度で生息していたとすると、死後の生物擾乱の影響を考えることの合理性が失われる。また、堆積物が一定の量で供給されていたとすると、これらの二枚貝は、下方から進行してきた炭酸塩コンクリーションの形成領域に死後速やかに吞み込まれた可能性がある。この場合も生物擾乱の死殻への影響は考えにくい。

次のステージ4の説明の中で議論するように、これら化学合成を行う二枚貝にとっては、栄養となる湧水が周囲にあれば良く、他の濾食や堆積物食の潜没性二枚貝のように摂食様式の必然性から殻の方位を重力方向に対して(底質表面に対して)きちんと配列することは、あまり重要ではなかったのかもしれない。

下部露頭の離弁二枚貝の接合面の多くは層理面に対して垂直な方向に配列する傾向を示す。この理由としては、二枚貝が生息姿勢を保ったまま死亡した後、生物擾乱などの営力で離弁化したが、貝殻はあまり方位を変えなかったため、合弁個体の配列傾向をそのまま反映しているか、あるいは、本来は合弁である殻の片方だけが露頭面に露出していたため、離弁個体のように見えた、などが考えられる。

いずれにしても、貝化石の配列から、下部露頭の大型二枚貝類はほぼ自生状態を保っており底質表面に殻が露出したことはなかったことが推定できる。

ステージ4 (Fig. 13-4)

メタンの供給が一次的に弱くなった。トンネル内部の密集部と尾根上の密集部の間には貝化石の密度の低い層準が観察される(トンネルの天井部)。堆積物の供給量が一定だったと仮定すると、この層準の形成時にはメタンの供給量が低下し、一時的に群集が衰退していたと考えられる。

ステージ5 (Fig. 13-5)

メタンの供給が著しく活発になったか、あるいは堆積物の供給量が減少したために再び貝が密集して生息するようになった。上部露頭の貝殻配列の著しい特徴は、自生状態を示す大量の合弁個体と、水平に配列し凸面を下にした(convex down)離弁個体である(Fig. 11 A, B)。このうち、離弁個体の配列様式は、殻の接合面をほぼ垂直に配列している下部露頭と著しく異なる。

貝殻が離弁化し水平に配列する最も一般的な過程は、水流作用などにより洗い出され、底質の表面に配列することである。しかし、水流などによって洗い出された離弁二枚貝は、殻が流れの力によって浮遊しない限り凸面を上にして(convex up)再配列する傾向があり(Kidwell and Bosence, 1991)、露頭での観察結果と矛盾する。また、もし、浮遊して流されても殻の凸面を上にしたものと下にしたものの比は

よそ半分になり(Kidwell and Bosence, 1991)、凸面を下にしたものが75%をしめる露頭のデータと矛盾する。

このような凸面を下にした離弁殻の配列は現生のシロウリガイ類群集の死殻の配列に良く似ている。現生シロウリガイ類群集の観察によると堆積物表面上の死殻は凸面を下にした状態で配列しているものが多い(太田, 1993)。このような死殻の配列は、殻の後端を堆積物から露出させて生息しているシロウリガイ類が自然死したり甲殻類などに捕食され、堆積物表層で離弁化した結果であると説明されている(太田, 1993)。上部露頭の離弁殻も同様な過程で再配列したのではないか。実際、上部露頭からは腐肉食者であるエゾバイ科巻貝が観察された(Fig. 8の黒矢印)。これらの巻貝の産出は上部露頭の堆積時に二枚貝が堆積物表層域に分布し、その死体が彼等の食糧となっていたことを示唆する。

シロウリガイ類は表層ないし表層に殻を露出させて生活しているため、殻が表層にもたらされる現象は容易に起こりうると考えられるが、*Conchocele* や *Lucinoma* は深潜没者と考えられているため、殻が表層に持ち出された理由を説明しなくてはならない。この理由として、少なくとも上部露頭では、これらの二枚貝が比較的浅い潜没深度で生活していたと考えるのが最も合理的である。それではなぜ深潜没者と考えられる、これらの二枚貝が浅い潜没深度で生活していたのであろうか。考えられる3つの理由を以下に述べる。

(1) 貝殻の過度な密集化

現生シロウリガイ類の非常に密集した群集では、死骸が堆積物表層に押し出されることが知られている(太田, 1993)。現生シロウリガイ類は浅潜没者であるため単純に比較できないが、*Conchocele* や *Lucinoma* などの二枚貝も、生息空間は変化せずに殻の密集度が増加した場合、一部の個体が堆積物表層近くまで生息する可能性が考えられる。露頭面での比較であるが、上部露頭の二枚貝の殻の密集度(110 個体/m²)は下部露頭(91 個体/m²)よりも大きい。

(2) コンクリーションの形成深度の上昇

堆積物が供給されず、メタン供給が増えた場合、コンクリーションの成長速度は堆積物の供給速度を追い越し、より浅いところでコンクリーションが形成されることになるであろう。もしこのようなことが起こると、二枚貝の生息空間は、コンクリーション形成深度の上昇により、堆積物表層近くに制限されると考えられる。したがって、深潜没性二枚貝といえども堆積物の表層近くに生息せざるを得なかったのではないか。

(3) 湧水域の *Conchocele* や *Lucinoma* は、あまり深く堆積物に潜っていなかった

既に述べたように、これらの二枚貝は深潜没性といわれているが、彼等が深く潜没しているのは、湧水現象のない、還元的な堆積物が表層から深い深度にある場所である。メタンを含む湧水が存在し、堆積物の表層まで還元物質が上昇している場所では、これらの生物が堆積物中に深く潜没する必然性は薄かった可能性がある。シロウリガイ類の形態は冷湧水域も熱水域もほとんど変わらないにもかかわらず、冷湧水域に生息するシロウリガイ類は殻を堆積物に浅く潜没させて生息

し、熱水域に生息するシロウリガイ類は玄武岩類の隙間に横たわって生息している (Gage and Tyler, 1991). 化学合成細菌を共生している生物は、還元物質さえあれば、生息場所や殻の成長姿勢に対してルーズな可能性がある。したがって、冷湧水域の *Lucinoma* や *Conchocele* がもともと堆積物表層近くに生息していたと考えても必ずしも不合理とはいえない。Stanley (1970) は実験的観察に基づき殻の形態と生息深度に関連があることを指摘した。これに基づき、菅野 (1993) は湧水域に生息したと推定される大型の *Lucinoma* や *Conchocele* の化石が非常に殻の膨らみが強いことに着目し、これらの二枚貝は浅く潜没して生活していたと推定した。ただし、この可能性は下部露頭の殻の配列を説明できないという弱点を持つ。

以上の (1), (2), (3) の理由のいずれか、あるいは、これらの要因が複合して、上部露頭の二枚貝類は堆積物の比較的浅い深度で生息していたと推定した。その結果、殻は容易に堆積物表層にもたらされ、エゾバイ科巻貝類などにより摂食され離弁化し、殻の凸面を下にして配列したと考えられる。

橋本ほか (1995) は、遠州灘金洲ノ瀬の水深 270~300 m で現生冷湧水性化学合成群集を発見し、*Lucinoma spectabilis* の死殻が凸面を下にした状態で散乱していることを示した。彼等によるとこの群集近辺には炭酸塩が海底表面に露出しており、*Lucinoma spectabilis* の生貝はそのような炭酸塩周辺の堆積物中に 10~15 cm の深さに生息していたという。この群集の産状は本論で推定したステージ 5 の状態に良く似る。

謝 辞

和田秀樹教授 (静岡大学)、近藤康生助教授 (高知大学)、大出 茂助教授 (琉球大学) には粗稿を読んでいただき、有益な助言とご批判をいただいた。増田富士雄教授 (京都大学)、菊池知彦助教授 (横浜国立大学) には有益な助言をいただいた。和田秀樹教授 (静岡大学) には炭酸塩の安定同位体比を測定していただいた。中島 礼氏 (筑波大学)、館由紀子氏、赤松 太氏、成瀬浩祐氏 (以上横浜国立大学) には日頃からゼミなどで本研究について議論してくださった。

藤原ナチュラリスト振興財団学術研究助成金 (「房総半島産シロウリガイ化石の生息環境」: 研究代表者間嶋 隆一) と文部省科学研究費 (総合研究 (A) 「化石底生動物群の群集構造: その安定性と変革」: 研究代表者鎮西清高京都大学教授) を調査経費の一部として使用させていただいた。

以上の方々と関係各位に心から感謝致します。

文 献

- Aoki, N. and Baba, K., 1982, Molluscan assemblages of the lower Pleistocene Kokumoto and Kakinokidai Formations, Boso Peninsula. *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, no. 8, 57-61.
- 馬場勝良, 1990, 関東地方南部, 上総層群の貝化石群. 慶応義塾幼稚舎, 東京, 445 p.
- Beauchamp, B. and Savard, M., 1992, Cretaceous chemosynthetic carbonate mounds in the Canadian Arctic. *Palaio*, 7, 434-450.
- Bromley, R.G., 1990, *Trace fossils, biology and taphonomy*. Unwin Hyman Ltd., London, 280 p.
- Campbell, K.A., 1992, Recognition of a Mio-Pliocene cold seep setting from the Northeast Pacific convergent margin, Washington, U.S.A. *Palaio*, 7, 422-433.
- Felbeck, H., Childress, J.J. and Somero, G.N., 1981, Calvin-Benson cycle and sulphide oxidation enzymes in animals from sulphide-rich habitats. *Nature*, 293, 291-293.
- Fiala-Medioni, A. and Pennec, L.P., 1989, Adoptive features of the bivalve molluscs associated with fluid venting in the subduction zones off Japan. *Palaogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 71, 161-167.
- Fujioka, K. and Taira, A., 1989, Tectono-sedimentary settings of seep biological communities—A synthesis from the Japanese subduction zones—. In Taira, A. and Masuda, F., eds., *Sedimentary facies in the active plate margin*. TERRAPUB, Tokyo, 577-602.
- Gage, J.D. and Tyler, P.A., 1991, *Deep-Sea Biology: A Natural history of organisms at the deep-sea floor*. Cambridge University Press, 504 p.
- Gaillard, C., Rio, M., Rolin, Y. and Roux, M., 1992, Fossil chemosynthetic communities related to vents or seeps in sedimentary basins: The pseudobioherms of southeastern France compared to other world examples. *Palaio*, 7, 451-465.
- 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.
- 波部忠重・小菅貞男, 1967, 標準原色図鑑全集 3 貝. 保育社, 大阪, 223 p.
- 橋本 惇・藤倉克則・藤原義弘・谷島恵美・太田 秀・小島茂明・葉 信明, 1995, 遠州灘金洲ノ瀬におけるオオツキガイモドキとハオリムシ類を共優占種とする冷水湧出帯生物群集の観察. JAMSTEC 深海研究, no. 11, 211-217.
- Hashimoto, J., Ohta, S., Tanaka, T., Hotta, H., Matsuzawa, S. and Sakai, H., 1989, Deep-sea communities dominated by giant clam, *Calymene sotoyae*, along the slope foot of Hatsushima Island, Sagami Bay, central Japan. *Palaogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 71, 179-192.
- 服部陸男・蟹江康光・大場忠道, 1995, 三浦半島の葉山層群産炭酸塩岩と化学合成動物群集の化石. 横須賀市文化財調査報告書, no. 29, 横須賀市池上地区シロウリガイ類化石調査団編, 89-96.
- 肥後俊一・後藤芳央, 1993, 日本及び周辺地域産軟体動物総目録. エル貝類出版局, 八尾, 凡 3 p.+目 22 p.+693 p.+文献 13 p.+索引 148 p.
- 平田大二・松島義章・浅賀正義, 1991, 三浦・房総半島に見られる化石シロウリガイ類の分布と産状. 月刊地球, 13, 47-52.
- Hirayama, K., 1958, On *Lucinoma aokii*, a new Pleistocene lamellibranch from Chiba Prefecture, Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N.S., no. 31, 231-236, pl. 33.
- 広田祐一・根本敬久・丸茂隆三, 1982, 相模湾におけるおきあみの季節変動と水平分布. 日本プランクトン学会報, 29, 37-47.
- Hovland, M. and Thompson, E., 1987, Hydrocarbon-based communities in the North Sea. *Sarsia*, 74, 29-42.
- Ito, M., 1992, High-frequency depositional sequences of the upper part of the Kazusa Group, a middle Pleistocene forearc basin fill in Boso Peninsula, Japan. *Sediment. Geol.*, 76, 155-175.
- Ito, M., 1994, Compositional variation in depositional sequences of the upper part of the Kazusa Group, a middle Pleistocene forearc basin fill in the Boso Peninsula, Japan. *Sediment. Geol.*, 88, 219-230.
- 菅野三郎, 1993, 池子産シロウリガイ化石群について (第二報). 池子横浜防衛施設局編「シロウリガイ類化石調査最終報告書」, 123-161.
- Kasuya, M., 1990, Fission-track ages of tuff layers related to the Plio-Pleistocene boundary on the Boso Peninsula, Japan. *Quat. Res.*, 33, 86-93.
- Katsura, Y., 1984, Depositional environment of the Plio-Pleistocene Kazusa Group, Boso Peninsula, Japan. *Sci. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, Sec. B, 5, 69-104.
- Kauffman, E.G., 1969, Form, function, and evolution. In Moore, R.

- C., ed., *Treatise on invertebrate paleontology*. Part N, 1 of 3, N 129-205.
- Kennicutt, M.C., Brooks, J.M., Bidigare, R.R. and Denoux, G.J., 1988, Gulf of Mexico hydrocarbon seep communities—1. Regional distribution of hydrocarbon seepage and associated fauna. *Deep-Sea Res.*, 35 A, 1639-1651.
- Kennicutt, M.C., Brooks, J.M., Bidigare, R.R., McDonald, S.J., Adkinson, D.L. and Macko, S.A., 1989, An upper slope cold seep community : Northern California. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 635-640.
- Kidwell, S.M., and Bosence, D.W.J., 1991, Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. In Allison, P.A. and Briggs, D.E.G., eds., *Taphonomy : releasing the data locked in the fossil record*. Plenum Press, New York. 116-209.
- Kondo, Y., 1990, Preserved life orientation of soft-bottom infaunal bivalves : Documentation of some Quaternary forms from Chiba, Japan. *Nat. Hist. Res.*, 1, 31-42.
- Kondo, Y., Matsui, S. and Chinzei, K., 1992, Taphonomy and Paleocology of the Pleistocene molluscs in the Boso Peninsula. In *29th IGC Field Trip Guide Book vol. 2 : Island Arcs : Cenozoic stratigraphy and tectonics of Japan*. Geological Survey of Japan, 99-108.
- 黒田徳米・波部忠重・大山 桂, 1971, 生物学御研究所編 相模湾産貝類 丸善, 東京, 和 741 p+121 pls.+英 489 p+索 59 p
- Kuznetsov, A.P., Galkin, S.V. and Rass, Th.S., 1987, A new benthic community based on both photo- and chemosynthetic food (energy) sources. In Kuznetsov, A.P. and Sokolova, M.N. eds., *Feeding of marine invertebrates and its significance in formation of communities*. Academy of Sciences of the USSR, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, 6-15 (In Russian).
- Kvenvolden, K., 1988, Methane hydrate—a major reservoir of carbon in the shallow geosphere. *Chem. Geol.*, 71, 41-51.
- Lonsdale, P., 1977, Crustering of suspension - feeding macrobenthos near abyssal hydrothermal vents at oceanic spreading centers. *Deep-Sea Res.*, 24, 857-863.
- 間嶋隆一・棚瀬節子・内村竜一・本目貴史, 1992, 房総半島南端新第三系からシロウリガイ (*Calyptogena* sp.) の発見. 地質雑, 98, 373-376.
- 間嶋隆一・館由紀子・柴崎琢自, 1996, 横浜市の上総層群から発見された現地性化学合成貝化石群集. 化石, no. 61, 47-54.
- 増田富士雄, 1975, 酸素同位体比法による古水温の推定. 地学, 84, 336-358.
- 松本 良, 1995, 炭酸塩の $\delta^{13}\text{C}$ 異常の要因と新しいパラダイム「ガスハイドレート仮説」. 地質雑, 101, 902-924.
- 松居誠一郎・磯 政道, 1990, 成長線からみた深海相中の共生的二枚貝の生態 (予報). 日本古生物学会 第139回例会 講演予稿集, 23.
- 三梨 昂, 1959, 千葉県養老川・小櫃川の上総層群の層序—養老川・小櫃川流域地質調査報告一. 地調月報, 10, 83-98.
- 三梨 昂, 1977, 層厚変化による堆積相の区分単位とその基盤運動—南関東地区を例として—. 藤岡一男教授退官記念論文集, 249-260.
- Miya, M. and Nemoto, T., 1991, Comparative life histories of the meso- and bathypelagic fishes of the genus *Cyclothone* (Pisces: Gonostomatidae) in Sagami Bay, central Japan. *Deep-Sea Res.*, 38, 67-89.
- Murano, M., Marumo, R., Nemoto, T. and Aizawa, Y., 1976, Vertical distribution of biomass of plankton and micronecton in the Kuroshio Water off central Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 23, 1-12.
- 日本海洋学会沿岸海洋研究部会, 1990, 続・日本全国沿岸海洋誌. 東海大学出版会, 東京, 839 p.
- 新妻信明, 1976, 房総半島における古地磁気層位学. 地質雑, 82, 163-181.
- Niitsuma, N., Matsushima, Y. and Hirata, D., 1989, Abyssal molluscan colony of *Calyptogena* in the Pliocene strata of the Miura Peninsula, central Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 71, 193-203.
- Ogasawara, K., Hisada, K. and Kitada, N., 1994, Early Miocene *Calyptogena* from the Aokiyama Formation, Hota Group, Boso Peninsula, Japan. *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, no. 20, 33-37.
- 太田 秀, 1987, 地球を食べる深海生物—テクトニクスが支える生物群集—. 科学, 57, 308-316.
- 太田 秀, 1993, 現生シロウリガイ類その他熱水湧水性二枚貝の生活型について. 横浜防衛施設局編「池子シロウリガイ類化石調査最終報告書」, 223-243.
- Paull, C.K., Hecker, B., Commeau, R., Freeman-Lynde, R.P., Neuman, C., Corso, W.P., Golubic, S., Hook, J.E., Sikes, J.E. and Curray, J., 1984, Biological communities at the Florida Escarpment resemble hydrothermal vent taxa. *Science*, 226, 965-967.
- Paull, C.K., Chanton, J.P., Neumann, A.C., Coston, J.A., Martens, C.S. and Showers, W., 1992, Indicator of methane-derived carbonates and chemosynthetic organic carbon deposits : Examples from the Florida Escarpment. *Palaios*, 7, 361-375.
- Reid, R.G.B. and Bernard, F.R., 1980, Gutless bivalves. *Science*, 208, 609-610.
- Reid, R.G.B. and Brand, D.G., 1986, Sulfide-oxidizing symbiosis in Lucinaceans : Implication for bivalve evolution. *The Veliger*, 29, 3-24.
- Rio, M., Roux, M., Renard, M. and Schein, E., 1992, Chemical and isotopic features of present day bivalve shells from hydrothermal vents or cold seeps. *Palaios*, 7, 351-360.
- Ritger, S., Carson, B. and Suess, E., 1987, Methane-derived authigenic carbonates formed by subduction induced pore-water expulsion along the Oregon/Washington margin. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 98, 147-156.
- 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, 98, 350-365.
- Sakai, H., Gamo, T., Ogawa, Y. and Boulegue, J., 1992, Stable isotopic ratios and origins of carbonates associated with cold seepage at the eastern Nankai Trough. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 109, 391-404.
- 佐藤時幸・高山俊昭, 1988, 石灰質ナンノプランクトンによる第四系化石帯区分. 地質学論集 (日本の第四紀層の層序区分とその国際対比), no. 30, 205-217.
- Sato, M., 1992, Litho- and biofacies of mudstone in the Pliocene-Pleistocene Kazusa Group, Boso Peninsula, Central Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. Miner.*, 57, 1-31.
- Stanley, S. M., 1970, Relation of shell form to life habits of bivalvia (Mollusca). *Geol. Soc. Amer., Mem.*, no. 125, 1-296.
- Suess, E., Carson, B., Ritger, S.D. Moore, J.C., Jones, M.L., Kulm, L.D. and Cochrane, G.R., 1985, Biological communities at vent sites along the subduction zone off Oregon. *Bull. Biol. Soc. Washington*, 6, 475-484.
- 鈴木正男・杉原重夫, 1983, フィッシュントラック年代から見た上総層群の鮮新・更新統境界. 日本第四紀学会演旨, 13, 69-70.
- 平 朝彦・江藤哲人・蟹江康光, 1993, シロウリガイ類化石層の堆積環境と深海底湧水現象. 横浜防衛施設局編「池子シロウリガイ類化石調査最終報告書」, 65-96.
- Terazaki, T., Kitagawa, D. and Yamashita, Y., 1986, Occurrence of *Euphausia pacifica* Hansen (Crustacea : Euphausiacea) with Spermatophore in the vicinity of Otsuchi, Northeastern Japan. *Bull. Japanese Soc. Sci. Fisheries*, 52, 1355-1358.
- 徳橋秀一・檀原 徹・遠藤秀典・磯田邦俊・西村 進, 1983, フィッシュントラック法を用いた若い年代試料測定の試みと問題点—房総半島上総・下総層群中の火山灰層を対象として—. 地調月報, 34, 241-269.
- 渡辺真人・檀原 徹, 1996, 房総半島上総層群のフィッシュントラック年代. 地質雑, 102, 545-556.
- Walker, R.G., 1984, Shelf and shallow marine sands. In Walker, R.G., ed., *Facies models*. 2nd ed., Geoscience Canada, Toronto, 141-170.
- Von Bitter, P.H., Scott, S.D. and Schenk, P.E., 1992,

Chemosynthesis : An alternate hypothesis for Carboniferous biotas in bryozoan/microbial mounds, Newfoundland, Canada. *Palaios*, 7, 466-484.

横浜防衛施設局, 1993 編, 「池子シロウリガイ類化石調査最終報告書」. 横浜防衛施設局, 470 p.

横須賀市池上地区シロウリガイ類化石調査団編, 1995, 三浦半島, 葉山層群の断層破碎帯から見つかった化学合成生物群. 横須賀市文化財調査報告書, no. 29, 100 p.

逗子市教育委員会, 1991 編, 逗子市池子のシロウリガイ化石. 逗子市文化財調査報告書, 逗子市教育委員会, 87 p.

(要 旨)

柴崎琢自・間嶋隆一, 1997, 中部更新統上総層群柿ノ木台層外側陸棚相の化学合成化石群集. 地質雑, 103, 1065-1080. (Shibasaki, T. and Majima, R., 1997, A fossil chemosynthetic community from outer shelf environment of the Middle Pleistocene Kakinokidai Formation, Kazusa Group in Boso Peninsula, Chiba Prefecture, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 103, 1065-1080.)

外側陸棚堆積物の上総層群柿ノ木台層が分布する千葉県君津市川谷から化学合成化石群集が産出する。ここでは化学合成細菌と共生すると考えられる二枚貝の *Conchocele*, *Lucinoma*, *Acharax* が自生状態で密集している。周囲の堆積物は炭酸塩によりコンクリーション化しており、その炭素同位体比は著しく低くメタンの存在を示唆する。よってこの化石群集はメタンを利用する化学合成群集であるといえる。化石群集の離弁殻の産状は露頭の上部和下部において異なる。下部の離弁殻は咬合面を層理面に垂直に配列しており生息姿勢を反映していると考えられる。上部の離弁殻は凹面を下に向け層理面に水平に配列し、堆積物表面で配列したことを示唆する。これより本来深潜性である二枚貝が個体数の増加や生息空間の減少などのために次第に堆積物直下に生息するようになり、離弁殻が堆積物表面にもたらされるようになったと推定した。