

四万十累層群の生痕化石起源の炭酸塩類コンクリーション
－三浦半島と房総半島の葉山・保田層群産へそ石・
静岡県と高知県の瀬戸川層群と室戸半島層群産鉄丸石－

Carbonate concretions ichnofossil-origin of the Shimanto Supergroup:
“Hesoi-shi” from the Hayama-Hota Group of the Miura-Boso Peninsula and “Tetsugan-seki”
from the Setogawa Group of Shizuoka Prefecture and Muroto-hanto Group of Kochi Prefecture

蟹江康光¹⁾・服部陸男¹⁾・和田秀樹²⁾・池谷仙之³⁾

Yasumitsu KANIE¹⁾, Mutsuo HATTORI¹⁾, Hideki WADA²⁾ & Noriyuki IKEYA³⁾

Abstract. We study inner structure and origin of carbonate concretions, namely the “Heso-ishi” from the Hayama and Hota Groups (correlated to approximately 18 to 14 Ma) in the Miura Peninsula and Boso Peninsula, the “Tetsugan-seki” from the Setogawa Group (22 to 20 Ma) in the basin of the Ashikubo River of Shizuoka Prefecture and from the Muroto-hanto Group (56 to 23 Ma) of Kochi Prefecture. Based on the morphology, color, density, cutting surface and X-ray diffraction analysis (XRD) of the specimens, Heso-ishi and Tetsugan-seki, had been formed under similar condition, but paleo-temperature was different in accretionary wedges. The concretions of Heso-ishi and Tetsugan-seki are carbonate rocks presumed by sulfate reduction with acetic acid or methane that contained in cold seep-water from subbottom deposits of the subduction zones in forearc basins. The Heso-ishi is mainly composed of Mg rich calcite, clay mineral and quartz and occasionally siderite. The Tetsugan-seki is usually composed of siderite. Concretions occurred as floated pebbles. Rounded margin of the concretion hollows as umbo. Inner structure is formed of tube connecting top to bottom, and parallel laminae spreading perpendicular to the direction of the tube and outer margin. A part of the material in a tube fillings of the Tetsugan-seki had been turned into pyrite crystals by recrystallization. We observed mode of occurrence of the Tetsugan-seki of the Muroto-hanto Group as an ellipsoidal body expand to downward. Quartz is identified in Heso-ishi and much quartz in Tetsugan-seki. The concretions originated from ichnofossils of deep-sea animal, *Tasselia ordamensis*. Density of the concretions from the Miura Peninsula vary 3.0 to 2.5 (g/cm³), and those from the Ashikubo River, vary 3.3 to 2.7 and 3.3 to 3.0 from Muroto Peninsula. The Heso-ishi are light surface-color than those of the Tetsugan-seki. Differences of density reflects amounts of clay minerals, quartz, siderite and pyrite. These difference presumably diagenesis by paleo-temperature and constitute zones, etc.

Key words: concretion, Hayama Group, Hota Group, Setogawa Group, Muroto-hanto Group, Shimanto Supergroup, tracefossil

1. はじめに

三浦半島と房総半島で報告されたへそ石及び静岡県と高知県の鉄丸石は、河川や海岸の転石として見られる。丸みを帯び、重量感があり、球面の一部がへその様な凹みをもつなど、共通の特徴をもつ炭酸塩類のコンクリーションである。へそ石の名称は神奈川県・千

葉県、鉄丸石の名称は静岡県・高知県などでも水石の同好者に知られている。「へそ」状の凹みは、コンクリーションの両側に見られることが多く、鉄丸石の表面は、鉄酸化物の色である赤褐色～茶色～黒色など、へそ石の場合は灰色～褐色～茶黒色となっている。へそ石をノジュールと呼ぶ場合もあるが、ここではコンク

¹⁾ 三浦半島活断層調査会
〒238-0042 横須賀市汐入町 3-23 (事務局)
Research Group for Active Faults in the Miura Peninsula
3-23 Shiiori-cho, Yokosuka, Kanagawa 238-0042, Japan
蟹江康光 : okinaebis@mac.com

²⁾ 静岡大学理学部地球科学科
Department of Geosciences, Shizuoka University

³⁾ 2010 年 11 月 4 日逝去, 元 NPO 静岡自然史博物館ネットワーク
2010. 11. 4 deceased. NPO Network for Shizuoka Prefectural
Museum of Natural History

リーションに統一する。へそ石と鉄丸石のへそは、コンクリーションの中央を貫いているチューブの両端に観察できる。この穴はコンクリーションを貫通し、チューブ状構造の中身は二次的充填物によって満たされている。これらのコンクリーションは、外形の形態的特徴により、神奈川県・千葉県ではへそ石と呼ばれている。しかし、静岡県の安倍川流域や四国の四万十累帯で類似の形態を示す岩石では、明瞭なへそがないコンクリーションを含めて、鉄丸石と呼ばれている。

へそ石は、最初に三浦半島の数か所から転石として産出が報告され、葉山層群の泥岩から由来した可能性が示された（蟹江, 1978; 蟹江, 1985）。希に露頭から見つかることはあるが、明瞭な地層からでなく、地すべり性の破碎粘土や断層破碎帯で産出することもある。房総半島では保田層群の分布域からも見つかったり。

同様なコンクリーションは高知県から始新統の室戸半島層群から報告され（Katto, 1965）、中尾賢一博士によれば、漸進統～中新統の奈半利川層からの産出情報を得た。岐阜県的美濃帯の泥質岩からもコンクリーションとして産出する。このような産状から、四国から中部地方、関東地方に分布する室戸半島層群、瀬戸川層群、葉山層群、保田層群を含む四万十川累層群のような付加体泥質岩に普遍的に見られる特徴かもしれない。

へそ石と思われる石が *Tasselia* という名前で、ベルギーの更新統下部の地層から生痕化石として報告されている（Haenzschel, 1975; Nara and Ikari, 2010）。

蟹江（2009）は静岡新聞の記事として静岡県産の鉄丸石を執筆したが、報告した内容は紙面に限りがあった。著者等はこれまでに現世を含めた地質時代の、冷湧水起源の炭酸塩類の生成環境について研究をしてきた（服部ほか, 1996）。へそ石と鉄丸石も研究の一環としてとらえて生成環境等の解明を目的として、調査している。今回の調査により新たに鉄丸石の試料を得たので、へそ石と鉄丸石についてこれまで判明したこと

を整理し、分析結果を加えて報告する。高知県産については、当初、文献と私信によるものであったが、現地調査で地層中のコンクリーション産出状態を観察でき、若干のサンプルと室戸ジオパーク推進協議会所蔵の標本を検討することができた。

2. 三浦半島と房総半島産へそ石

(1) 三浦半島

三浦半島で、いままでに見つかったへそ石の産地を図1に示す。へそ石は岩石コレクターには奇石として知られている、大きさ10～20 cmの丸い石である。形はドーナツ型から亜球形、楕円形、円筒形（チムニー形）など変化に富む。

三浦半島中西部では、ほとんどの産地は中新統の葉山層群の泥岩の分布域内にあり、海岸や川原の転石として見つかっており、その多くは地すべり地域にある。一方、北下浦（長沢）海岸では、岩石コレクターにより嵐の後に海岸で転石として採集されていたので、海底に露出する葉山層群の分布域から洗い出された可能性が高いと判断される（図1のNagasawa）。北下浦海岸北東部の野比海岸西部で一か所だけ破碎の著しい泥岩中から産出したが、地層中からか転石かは判断できなかった（図1のNobi）。野比海岸地域に分布する葉山層群の放散虫化石年代は、中新世中期の16～14 Maである（鈴木, 2012）。葉山町の長者ヶ崎（図1のChoujagasaki）、横須賀市の久留和（図1のKuruwa）海岸でも、嵐の後などに多くのへそ石が採集されている。

へそ石は、下面と上面に穴状の窪みがあるコンクリーションである。この上下のへそを貫通するチューブ状の内部構造があり、チューブは二次的充填物によって満たされ、チューブの周囲には外縁へ「押し広げる」構造を観察できる。さらにチューブ状の構造を取り巻く充填物質が存在する。これらの充填物質はコンクリーションの周囲までで、外側の泥岩の葉理（ラミナ）



図1. 三浦半島産へそ石の産出地点。地形図は国土地理院2005年発行の5万分の1地形図（横須賀）を使用。
Fig. 1. Locality map of the “Heso-ishi” from the Miura Peninsula.

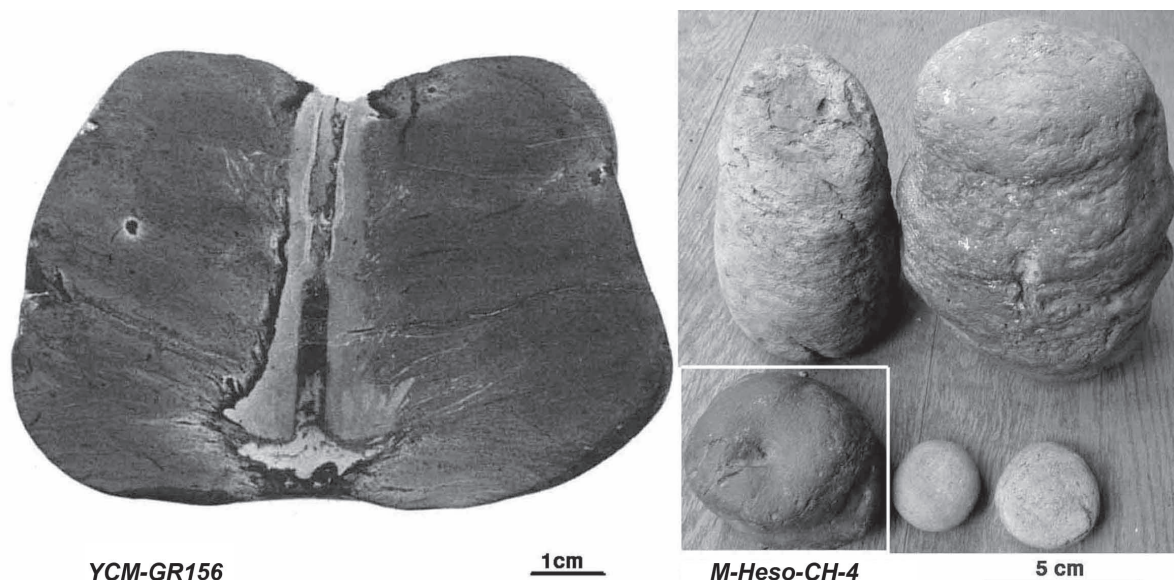


図2. ヘそ石の内部構造（左）と XRD 分析に使用した標本および三浦半島産ヘそ石の外形（右）。内部構造は、1) チューブ、2) チューブを取り巻く部分、3) コンクリーションの主部をつくる葉理層を観察できる。標本番号 YCM-GR156。図5の1a, 2aと図11のMG1-aの断面標本とを比較されたい。右図の左下、白枠内のヘそ石はXRD分析（図9の下部）に使用した標本（Kuruwa-HESO-12-4）で、褐色を呈しているが、ほとんどのヘそ石は灰色である。ヘそ石の外形は、Takeuchi *et al.* (2001, Fig. 2-2. チムニー形, Figs. 2-4. ドーナツ形) が現世の黒島海丘から報告されたものに、それぞれ似ている。室戸半島産生痕化石標本の断面にも明瞭なチューブがある（図12）。
Fig. 2. Inner structure of “Hesoishi” (left) and shape of “Heso-ishi” from the Miura Peninsula showing samples used for XRD (X-ray diffraction) analysis (Right). Refer for Figures 5, 9, 11 and 12.

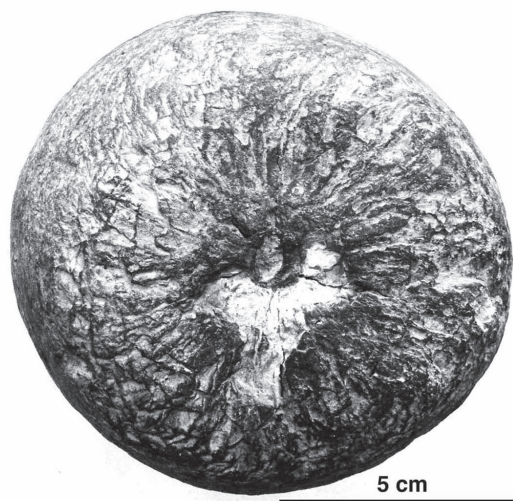


図3. ヘそ石の底面に存在する形態。底面は剥がれており、葉理面に沿って渦巻き状の構造の広がり、上部に向かって次第に小さくなっていることも観察できる。標本番号 YCM-GR158。

Fig. 3. Morphology of spiral lamina-structure at bottom of “Heso-ishi”.

はチューブのところで収斂するかのように消えている（図2）。すなわち、ヘそ石の内部構造は、1) チューブ、2) チューブを取り巻く部分、3) コンクリーションの主部をつくる葉理層、からなる。ヘそ石の底面には、葉理に沿って渦巻き状の構造が認められ（図3）、その広がりには上部に向かって小さくなっている。ただし、細粒物質でみたされたチューブがあるだけで、それ以外の内部構造をもたない、均質なコンクリーションもある。

ヘそ石の上下判定は確定できていないが、後述の室戸半島で現地性の鉄丸石では底部が大きく、頂部で小さくなっている（図8、中尾賢一・有田正史両博士の私信と蟹江の野外観察に基づく）。ここでいう上下は、その考えに基づいている。

(2) 房総半島

房総半島にヘそ石があることに気付いたのは1977年で、横須賀愛石会の展示場で「房総の貧乏石」の展示品であった。出品者からの聞き取りで、千葉県鴨川市金束本郷の川原からの採集品であることが判明した。ヘそ石は、現地調査で保田層群の泥岩から風化分離した転石と推定できた（蟹江, 1978）。

房総半島のヘそ石は、南房総市和田町や富山町で保田層群から化学合成動物群集と共産するヘそ石産地の報告がある（伊藤・高橋, 2008）。軽く感じる石は灰色であり、重いものは褐色になり、稀に暗褐色まで多彩である。

3. 静岡県足久保川と高知県室戸半島の鉄丸石

(1) 足久保川の鉄丸石～密度と色彩

静岡県安倍川の支流、足久保川の川床（図4）に鉄丸石と呼ばれる水石が知られている。鉄丸石は、その名の通り、ずっしりと重い（密度2.71～3.27）、濃褐色の鉄塊状で、直径は10cmほどの丸い石である。色彩も灰色～茶色～黒褐色と多彩である。石の表面には「ヘそ」のような小さな窪みや膨らみがあり、その「ヘそ」は反対側にもある。この「ヘそ」に沿って石を切断すると、「ヘそ」はチューブ状につながっていることが多く、チューブ内は明らかに周囲と異なる物質で充填されている（図5）。

足久保川からみつかると鉄丸石は、河床の転石である。しかし、黒色頁岩中に鉄丸石が含まれている転石（図6）があることから、この鉄丸石の一部は、産地付近に分布する瀬戸川層群の黒色泥岩に由来したと推察される。足久保付近の瀬戸川層群の年代は、Ibaraki (1984) によると、挟まれる石灰岩中の浮遊性有孔虫化石群集から始新世中期から後期に対比された。一方、瀬戸川帯南部の泥岩中から産した有孔虫化石はすべてが砂質

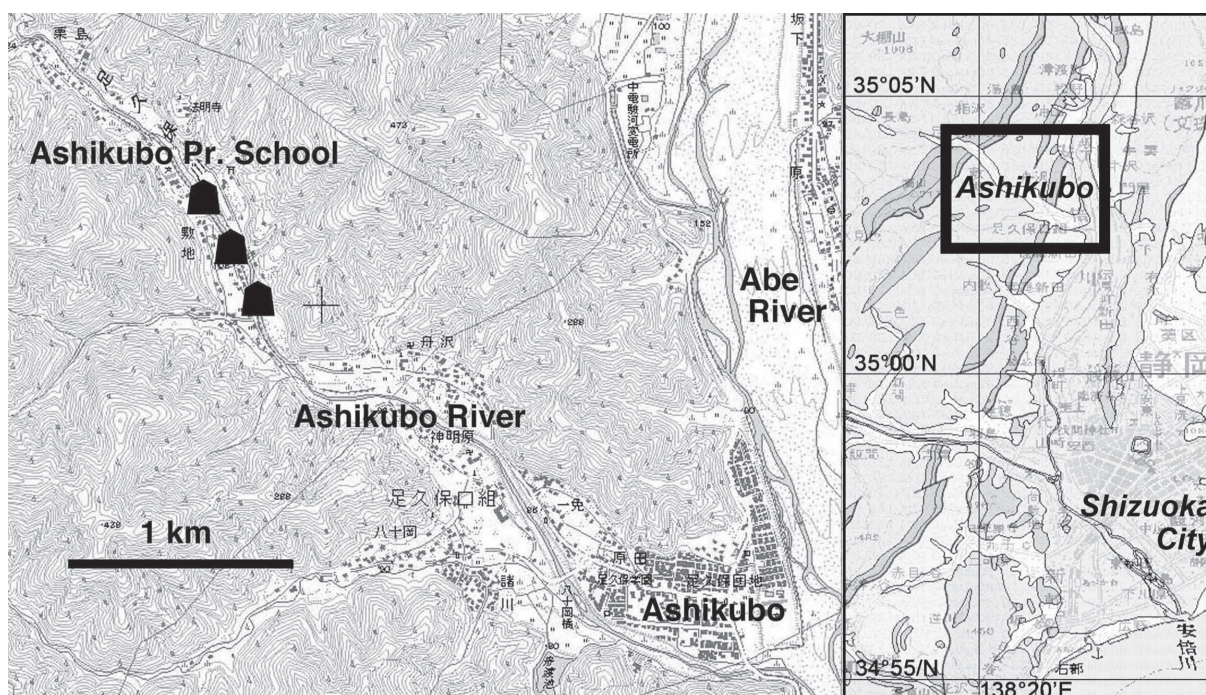


図4. 足久保川流域における鉄丸石の産出地点▲。地形図は国土地理院 2005 年発行の 2.5 万分の 1 地形図(牛妻図幅, 2008 年発行), 右の地質図は産業技術総合研究所地質調査総合センター(編) 20 万分の 1 日本シームレス地質図データベースを使用。
Fig. 4. Locality map of the “Tetsugan-seki” in the basin of the Ashikubo River.

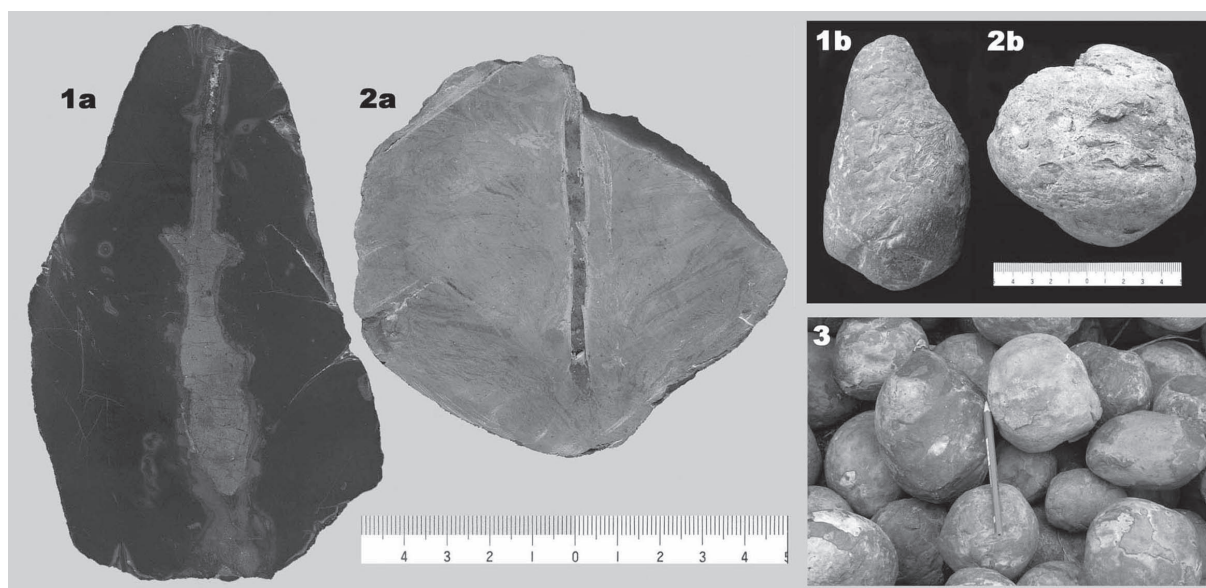


図5. 足久保川産の鉄丸石(Ashikubo R-1)の外形と内部断面の構造。鉄丸石には、多様な外形態と色彩がある(3:明石園で撮影)。そのうち、1aと2aに内部構造を、1bと2bに外形態を示す。標本:NPO 静岡県自然史博物館ネットワーク。

Fig. 5. Various form of the “Tetsugan-seki” from the Ashikubo River and structure of half-cut section.

有孔虫群集であり、炭酸カルシウム補償深度 (CCD) 以深の深海性群集であるとされた(北里, 1980)。また、泥岩中の放散虫化石群集は、*Cyrtocapsella tetrapera* 帯あるいは *Stichocorys delmpontensis* 帯に対比され、中新世前期のものとされた(北里, 1980)。杉山(1992)は、始新世の有孔虫化石年代から瀬戸川付加コンプレックスの一部を、中新世の放散虫化石年代から瀬戸川層群本来の 22 Ma ないし 20 Ma を示すとした。

(2) 室戸半島の鉄丸石～密度と色彩

Katto (1965) は、高知県の室戸半島層群の室戸層と奈半利川(なばかりかわ)層を構成する砂岩泥岩互層中の泥岩に含まれる黄鉄鉱のコンクリーションを記載した。それによれば、コンクリーションは黄鉄鉱形、卵

形、横長卵形、長方形などに分けられ、いずれも“へそ”をもっていることが、共通する特徴である。“へそ”の部分は黄鉄鉱で充填され、側方に延長する横断面に見られる形態は、卵型の断面が地層の上方向に位置することから、硫化水素ガスの放出によるものと解釈された(Katto, 1965)。室戸層は、始新世とされたが、その後には漸新世と考えられている(中尾賢一博士の私信)。

蟹江は、室戸市平尾にある道の駅キラメッセ室戸の海食台(33°18'20.4"N, 134°06'34.0"E)を調査した。露出しているのは、始新統の室戸層とされており、赤褐色のコンクリーションを観察することができた。地層面にほぼ直立し、へそ穴を観察でき、底部まで掘り出せなかったが、下部へ太くなる楕円体(図7)と推定した。

中尾賢一博士によれば、鉄丸石は始新世の室戸半島層群の奈半利川層と室戸層、そして漸進世後期～中新世前期の菜生（なばえ）コンプレックスを構成する菜生層、それぞれの地層中から産出する。博士から提供していただいた菜生コンプレックス層からの産状写真を図8に示す。

なお、この奇妙な石は江戸時代から知られており、木内石亭の「雲根誌」に「瓜石」の名前で記述されている（中尾, 2008）。

4. 炭酸塩類コンクリーションの密度と色彩

炭酸塩コンクリーションであるへそ石と鉄丸石の産地、色彩、密度の測定結果とXRD分析による鉱物の同定結果を表1と図9～11に示す。

三浦半島産15標本の密度は3.0～2.5、褐色～灰色である。

静岡県足久保川産11標本の密度は3.3～2.7、褐色～暗褐色である。

高知県室戸半島産3標本の密度は3.3～3.0、赤褐色

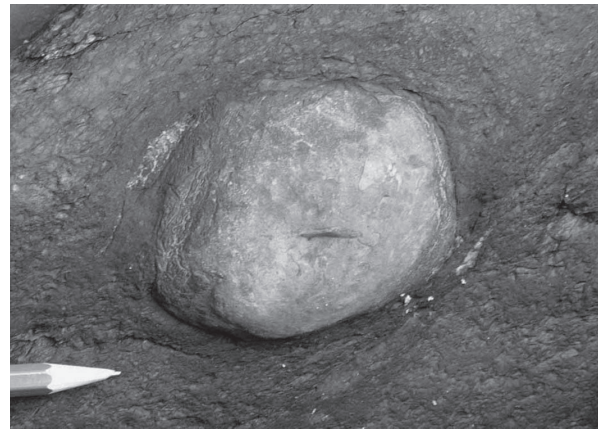


図6. 鉄丸石が含まれている黒色泥石。黒色泥岩は破碎されている。鉄丸石コンクリーションの表面には黒色泥岩片が付着しているが、自生かは確認できていない。安倍川水石の明石園で撮影。

Fig. 6. Black shale including the “Tetsugan-seki” concretion.

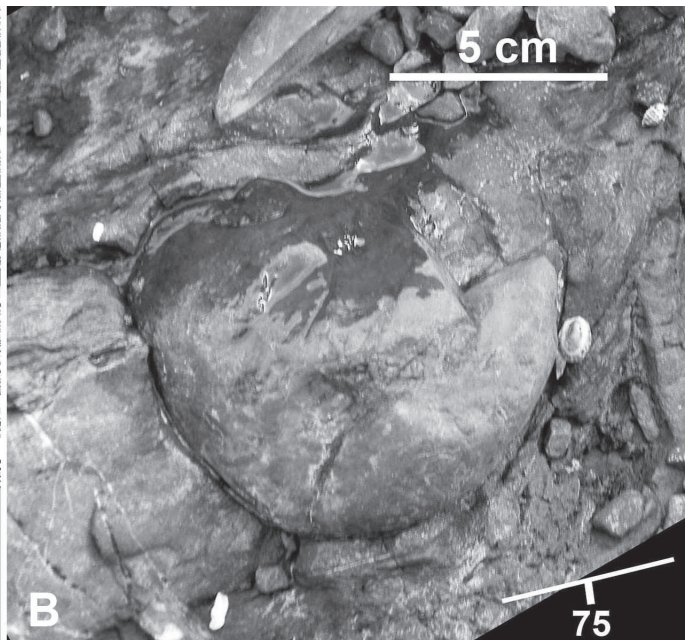


図7. 室戸市平尾の道の駅キラメッセ室戸の下海食台に露出する室戸半島層群の室戸層。A. 露頭の位置 ($33^{\circ}18'20.4''N$, $134^{\circ}06'34.0''E$) の位置。コンクリーションを観察できる。国土地理院の2.5万分の1地形図「羽根」を使用。B. 室戸層産鉄丸石の産状。鉄丸石は赤褐色を呈し、ハンマーでたたくと火花が飛ぶことと、塩酸で発砲しないので珪質かもしれない。

Fig. 7. A. Locality map of the Tetsugan-seki around Kira-messe, Muroto City, Kochi Prefecture. B. Mode of occurrence of the Tetsugan-seki.

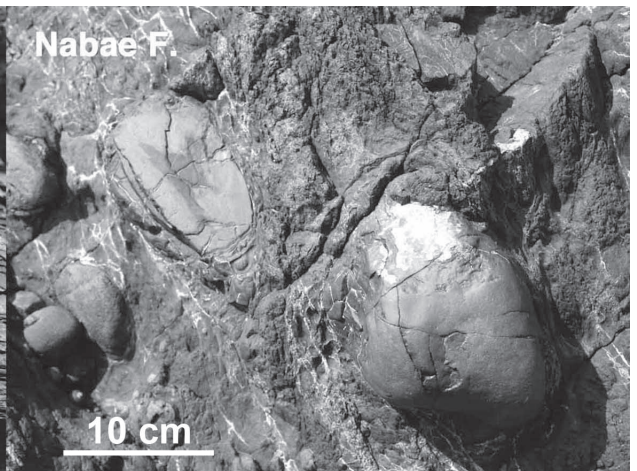
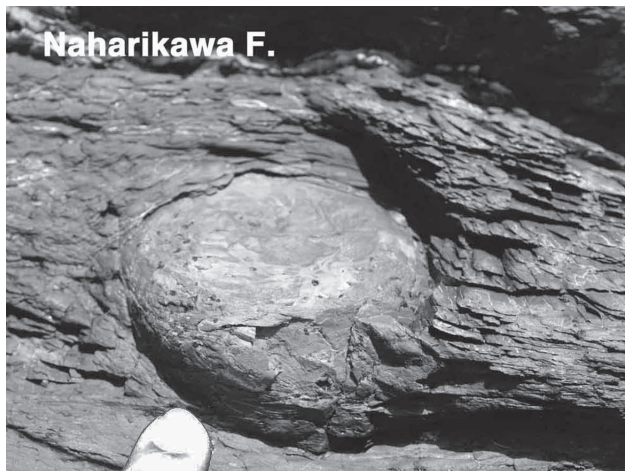


図8. 室戸市羽根岬北の海食台に露出する、室戸半島層群の菜江コンプレックスの菜生層（漸新世後期～中新世前期）産鉄丸石の産状。室戸半島の鉄丸石は、泥岩層中から見つかり、その産状から鉄丸石の外形態は上部に小さい。写真提供 中尾賢一博士。

Fig. 8. Two type of Tetsugan-seki from the Oligocene-Miocene deposits in the Muroto Peninsula, Shikoku.

～黒色である。

密度は、三浦半島、足久保川、室戸半島標本の順に大きくなる傾向が認められた。色彩は、上記地域で灰色～褐色～暗褐色～黒色に変化する傾向が認められる。静岡県 Ashikubo, R TETSU-12-5 と高知県の MG1 標本の密度は 3.3、断面の周囲はほとんど黒色で、肉眼で黄鉄鉱と思われる結晶が多量に認められた。

5. 炭酸塩類コンクリーションの構成鉱物と成因の推定

(1) 炭酸塩類コンクリーションの構成鉱物

へそ石と鉄丸石の構成鉱物の解析は、X 線回析計 (XRD: X-ray diffractometer、機種 Rint 2000、リガク製。線源は Cu K α 。静岡大学機器分析センター所属) を使用した。試料は、コンクリーションの表面からドリルで直接採取するか、半裁し、その一部を粉末にしたものである。

へそ石は主として高マグネシウム質カルサイトで、稀に炭酸第一鉄 (FeCO_3) である菱鉄鉱 (シデライト) もある (図 9)。

三浦半島の久留和産 M-Heso-CH-4 標本は、表面が濃い黄褐色を示し、鉄丸石に近い外見であるが、密度は 2.7 で大きくない。分析値は化学組成の幅が広い炭酸第一鉄 (FeCO_3) である菱鉄鉱が主成分である (図 9 の下部、表 1)。しかし、M-Heso-CH-1 や M-Heso-CH-3 などの長者ヶ崎産は、カルサイトの $29.5^\circ \sim 30^\circ$ にかけてピーク幅の広いマグネシウムを含む鉱物組成である。カルサイト質のうち 1 個は計算値がない。しかし、マグネシウムの量が比較的多かった。この測定試料ではドロマイトを確認できなかった。

南房総市和田町五十蔵 (ごじゅうくら) の保田層群産 MBC1-a 標本は褐色を呈している。主成分が高 Mg 質カルサイトで、石英を少量含んでいる (図 10)。標本 MBC1-b では、石英とともに菱鉄鉱と高 Mg 質カルサイトが検出された (表 1)。南房総市平久里中 (へぐりなか) 関沢の MBC1-c 標本は褐色。主成分は高 Mg 質カルサイトで、石英を少量含んでいる (表 1)。

静岡県足久保川の鉄丸石 Ashikubo.R-1 標本は、菱鉄鉱と鋭いピークを持つ石英からなることが判明した。チューブ状充填物質には、最大径 13 mm の黄鉄鉱結晶を肉眼で観察できる (図 9 の上部、表 1)。

高知県室戸市の鉄丸石 MG-1 と MG-2 標本は断面中央部が黄鉄鉱からなり、主部は菱鉄鉱を多量に含み、石英も多い。MG-3 標本の断面中央部 (へそ) は黄鉄鉱 (FeS_2) からなり、主部は菱鉄鉱である (図 11、表 1)。いずれも茶褐色ないし黒色である。

(2) 炭酸塩類コンクリーション成因の推定

主成分が炭酸塩類 (カルサイトあるいは高マグネシウム質カルサイト) であり、中央に貫通部のあるコンクリーションは、南海トラフ (Sakai et al., 1992)、八重山諸島沖の黒島海丘 (町山ほか, 2001) 等から報告されている。黒島海丘のサンドチムニーやドーナツ型の炭酸塩類は、へそ石に形態的に類似し、同一起源であることが推定される。サンドチムニーはドロマイトで、ドーナツ型はカルサイトであり、メタンに富む冷湧水起源、すなわち冷湧水中のメタンによる硫酸還元によ

り生成したものであることが、炭素の同位体分析により明らかにされている (Takeuchi et al., 2001)。

三浦半島の長者ヶ崎および久留和から葉山層群転石のチムニー型とドーナツ型のへそ石を示す (図 2 右)。灰褐色～褐色のカルサイト質のへそ石と黒褐色の菱鉄鉱質のへそ石が転石として、見いだされた。また、横須賀市池上の葉山層群中には化学合成動物群集に伴って、メタン起源のカルサイトを主成分とする炭酸塩類のコンクリーションが報告 (服部ほか, 1995) されており、へそ石と同一層群中に冷湧水環境の存在が知られている。

また、房総半島については、南房総市富山町荒川の採石場では、シロウリガイ類ほかを含む化学合成動物群集を産する (倉持ほか, 1999)。房総半島のへそ石については、伊藤・高橋 (2008) は、富山町の上記と同じ露頭とされる泥岩中にへそ石や玄能石が産することや南房総市和田町の川産へそ石の観察から、メタン起源によることを推定している。Teichert and Luppold (2009) は、玄能石 (Glendonites) が冷湧水環境に伴うメタンの酸化により生成するとされるイカイト (Ikaite) の仮晶であることから、冷湧水環境と密接な関係にあることを示唆した。イカイトは鉱泉水からも報告されている (Ito, 1996)。

以上に述べた形態の類似と産状から、へそ石は炭素同位体の分析は行っていないが、メタンを含む冷湧水が湧出する海底で、メタンによる硫酸還元により生成された炭酸塩類コンクリーションであると、推定できる。

なお、海底で冷湧水に由来する $\delta^{13}\text{C}$ 値が大きなマイナスの値をもつメタンから炭酸塩類が生成する過程は下記の化学式で説明されている (増澤・半田, 1989)。

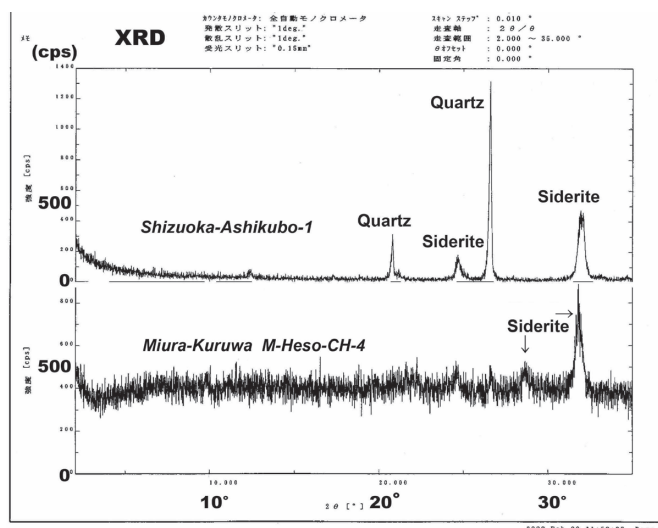


図 9. 静岡県足久保川の瀬戸川層群産鉄丸石と三浦半島の葉山層群産へそ石の構成鉱物。XRD 分析で、足久保川標本 (Shizuoka-Ashikubo River A=Ashikubo-1) は石英 (Quartz) と菱鉄鉱 (Siderite) からなる。三浦半島秋谷久留和標本 (Miura-Kuruwa M-HESO-CH-4) は化学組成の幅が広い菱鉄鉱を主成分とする。

Fig. 9. XRD- chart of the concretion from the Hayama Group, Miura Peninsula and that from the Setogawa Group, Shizuoka Prefecture. The former composed of siderite, and the later of high content of quartz and low one of siderite.

表 1. ヘそ石・鉄丸石の産地, 色彩, 密度および鉱物組成.
密度は, 葉山・保田層群, 瀬戸川層群産の順に大きく, 色彩は濃くなる傾向が認められる.
Table 1. Specimens, localities, colors, density and mineral composition of the carbonate concretions.

試料番号 Specimen	採取地 Locality	色彩 Color	密度 Density	XRD線解析鉱物 XRD-Mineral
Branch Maeda R.	横須賀市秋谷前田川支流	褐色 Brown	3.02	
Choujagsaki HESO-12-2	横須賀市秋谷長者ヶ崎	褐色 Brown	2.83	
YCM-GR156	横須賀市長沢海岸	暗灰色 Dark brown	2.83	
Choujagsaki HESO-12-7	横須賀市秋谷長者ヶ崎	褐色 Brown	2.82	
Choujagsaki HESO-12-12	横須賀市秋谷長者ヶ崎	褐色 Brown	2.78	
M-Heso-CH-4	横須賀市秋谷久留和	表面鉄さび Surface iron-rust	2.70	Siderite
M-Heso-CH-3	横須賀市秋谷長者ヶ崎	灰色一部黄褐色 Gray	2.67	High Mg-Calcite
Choujagsaki HESO-12-3	横須賀市秋谷長者ヶ崎	褐色 Brown	2.66	
Choujagsaki HESO-12-10	横須賀市秋谷長者ヶ崎	褐色 Brown	2.66	
Choujagsaki HESO-12-6	横須賀市秋谷長者ヶ崎	褐色 Brown	2.63	
YCM-GP158	横須賀市長沢海岸	灰色 Gray	2.60	
Choujagsaki HESO-12-9	横須賀市秋谷長者ヶ崎	暗褐色 Dark brown	2.56	
Choujagsaki HESO-12-11	横須賀市秋谷長者ヶ崎	褐色 Brown	2.56	
Choujagsaki HESO-12-5	横須賀市秋谷長者ヶ崎	褐色 Brown	2.51	
Choujagsaki HESO-12-1	横須賀市秋谷長者ヶ崎	灰色 Gray	2.46	High Mg-Calcite
M-Heso-1	横須賀市秋谷久留和	薄い灰色 Light gray		High Mg-Calcite
M-Heso-CH-1	横須賀市秋谷長者ヶ崎	灰色 Gray		High Mg-Calcite
MBC1-a	南房総市和田町五十蔵7	褐色 Brown		Mg-Calcite>Quartz
MBC1-b	南房総市和田町五十蔵7	褐色 Brown		Quartz>Siderite>Mg-Calcite
MBC1-c	南房総市平久里中関沢	褐色 Brown		Mg-Calcite >Quartz
Ashikubo R. TETSU-12-5	静岡市安倍川支流足久保川	暗褐色 Dark brown	3.27	
Ashikubo R. TETSU-12-1	静岡市安倍川支流足久保川	暗褐色 Dark brown	3.15	
Ashikubo R.-1(=A)	静岡市安倍川支流足久保川	暗褐色 Dark brown	3.13	Quartz>Siderite
Ashikubo R.-B	静岡市安倍川支流足久保川	暗褐色中軸黒色 Dark brown	3.13	
Ashikubo R. 10	静岡市安倍川支流足久保川		3.04	
Ashikubo R. 11	静岡市安倍川支流足久保川		3.00	
Ashikubo R. 5-1	静岡市安倍川支流足久保川		2.96	
Ashikubo R. TETSU-12-4	静岡市安倍川支流足久保川	暗褐色 Dark brown	2.94	
Ashikubo R. 5-2	静岡市安倍川支流足久保川		2.91	
Ashikubo R. TETSU-12-3	静岡市安倍川支流足久保川	褐色 Brown	2.83	
Ashikubo R.-C	静岡市安倍川支流足久保川	灰色 Gray	2.71	
MG1-a	室戸市ジオパーク1a	褐色 Brown	3.26	Quartz>Pyrite
MG1-b	室戸市ジオパーク1b	褐色 Brown	3.26	Siderite>Quartz
MG2-a	室戸市ジオパーク2a	黒色 中軸も Black	3.02	Pyrite
MG2-b	室戸市ジオパーク2b	黒色 Black	3.02	Quartz>Pyrite=Siderite
MG2-c	室戸市ジオパーク2c	黒色 Black	3.02	Quartz>Siderite
MG3-a	室戸市ジオパーク3a	黒色 Black	2.96	Pyrite
MG3-b	室戸市ジオパーク3b	黒色 Black	2.96	Quartz>Siderite
MG3-c	室戸市ジオパーク3c	黒色 Black	2.96	Quartz>Siderite

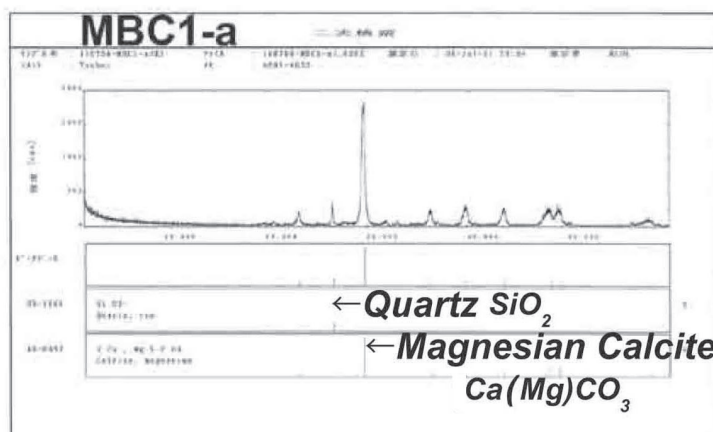
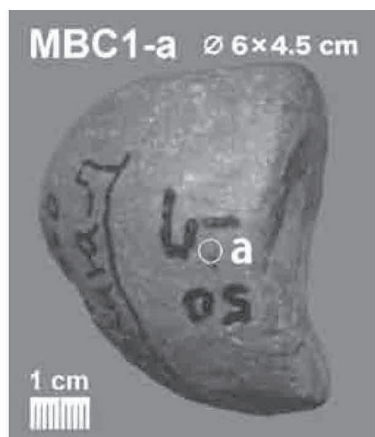


図 10. 房総半島の保田層群産ヘそ石 (試料 MBC1-a) の構成鉱物. 主成分は高マグネシウム質カルサイトで, 少量の石英を含む.
Fig. 10. Heso-ishi from the Hota Group, Boso Peninsula contains of high-magnesian calcite and a small quantity of quartz.

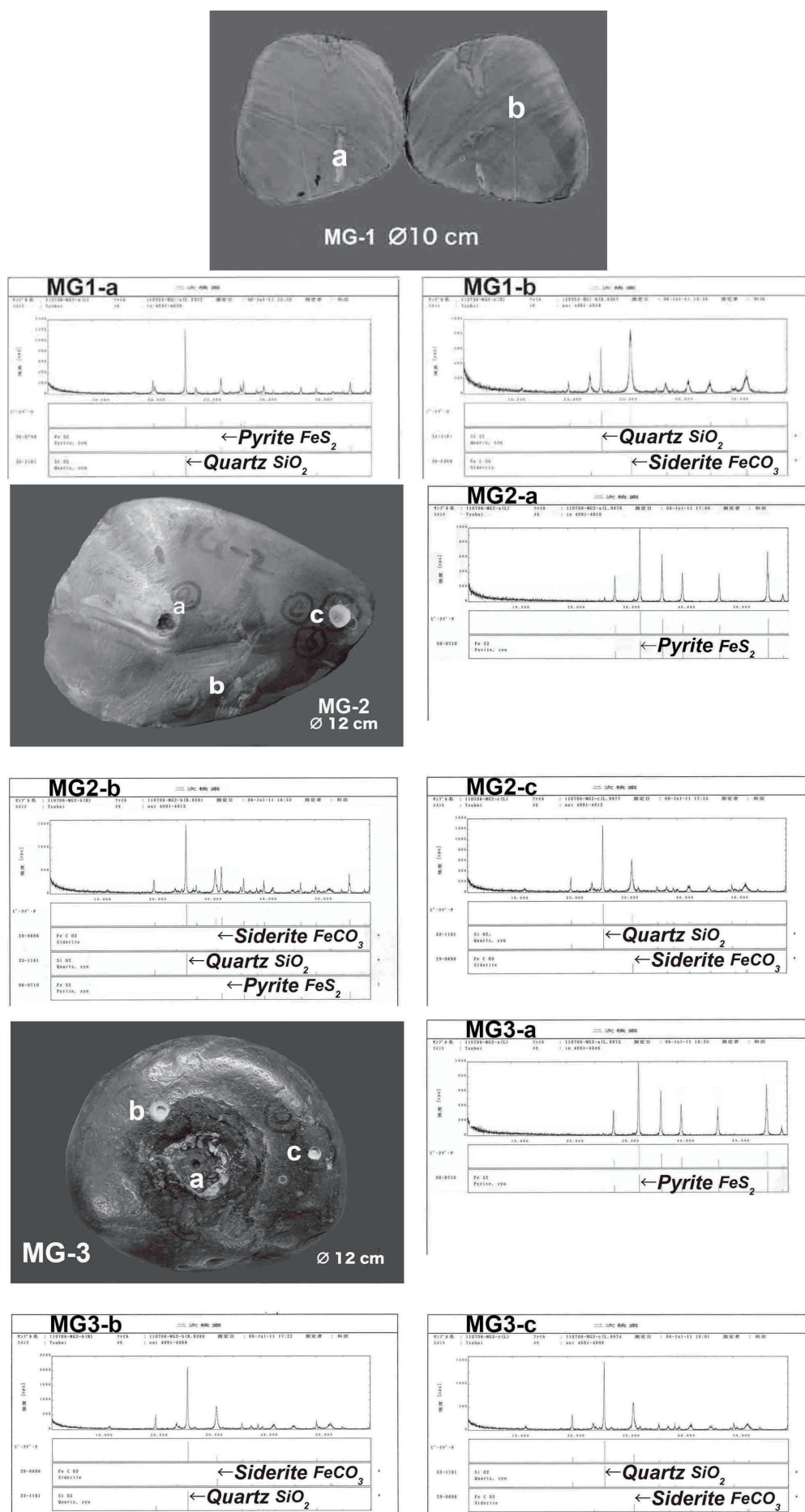
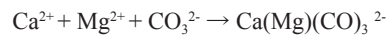


図 11. 高知県室戸半島の室戸半島層群産 3 標本の鉄丸石（試料 MG-1, MG-2, MG-3）の XRD 分析による構成鉱物。3 試料とも菱鉄鉱を主成分とする。中軸部の MG-1a は黄鉄鉱を伴い、MG-3a は黄鉄鉱からなる。
Fig. 11. Three specimens are composed of siderite, but median tube contains pyrite.

ドロマイト (Dolomite) あるいは高 Mg 質カルサイト



菱鉄鉄 (Siderite) $\text{Fe}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{FeCO}_3$

メタンは、海底の冷水水に伴って地下深くから湧き出し、海底生物の巣穴などのチューブを通過している。その時にチューブを中心として、硫酸還元細菌やメタンによる硫酸還元作用により発生する CO_3 を材料として炭酸塩鉱物を沈殿させると考えられる。しかし、現世や中新世以降の冷水水環境に伴う炭酸塩類の報告にはカルサイトやドロマイトのみで、菱鉄鉄が見あたらないことから、菱鉄鉄の鉄丸石やへそ石の生成環境については、後の続生作用も考慮して検討する必要がある。

(3) 生痕化石としてのコンクリーション

へそ石と鉄丸石は、中心を貫くチューブの周りに形成された炭酸塩類のコンクリーションであると考えられる。チューブをつくっていたのは泥質の海底に生息する生物で、たとえば多毛類やチューブワームの巣穴もチューブの対象として考えられる。すなわち、へそ石と鉄丸石は生痕化石の一種であると考えられる。室戸半島の鉄丸石では、葉理面に沿って多量の海綿の骨針化石が含まれる (故有田正史博士の私信)。

同じような内部構造をもつコンクリーションは、ベルギーの更新統でも見つかり、海底生物 (*Tasselia ordamensis* の学名がつけられている) のすみ跡の化石として報告されている (Haenzschel, 1975)。Nara and Ikari (2010) は、室戸市羽根町の羽根岬北方から *T. ordamensis* のコンクリート化した断面写真を掲載している。しかし、印刷された写真では生痕化石としての内部構造は不鮮明であるが、提供された原図では明瞭である (図 12)。下部に太くなるチューブは、コンクリーションの底部まで達せず、底部はやや粗粒堆積物で後に充填されたことを観察できる。

6. へそ石と鉄丸石の考察

(1) 鉱物組成

前弧海盆に堆積する有機物を含んだ堆積物に伴う断層や破碎帯などで、メタンの湧出が知られており、海底堆積物の表層近くでは、硫酸還元細菌やメタンによる硫酸還元により炭酸塩類や硫化物が沈殿する。このような表層堆積物中で形成される炭酸塩類は、カルサイト・ドロマイト・アラゴナイトなどで、間隙水の化学的性質の違いを示しており、現世の黒島海丘などのチムニー、葉山層群のカルサイト質を成分とするへそ石はこの過程で説明可能である。いっぽう、鉄丸石の炭酸塩は菱鉄鉄であり、中軸チューブ周りの空間は、後に黄鉄鉄で充填又は置換されたと考えられる。堆積当時、間隙水中の化学反応によって泥中に菱鉄鉄その中心部に黄鉄鉄が充填又は置換して黄鉄鉄の結晶が形成されたと推定する。しかし、後の続成作用により炭酸塩類が、菱鉄鉄に置換された可能性も考えられる。

日本の各地で現生と白亜紀以降の化学合成生物群集の生息域には、軽い炭素同位体をもつカルサイト・ドロマイト・アラゴナイトから成る炭酸塩コンクリーション

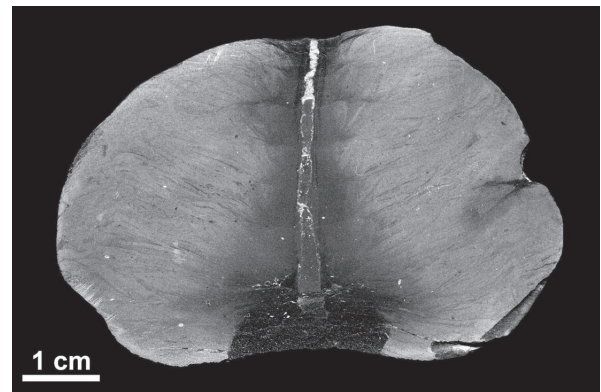


図 12. *Tasselia ordamensis* の生痕がコンクリーション化した断面 (高知大学標本)。その下部から上部に向けての中軸が上方に細くなるチューブ充填物質を観察できる。故有田正史氏は中軸が底部に到達しないスケッチメモを示された。写真では底部に到達していないようで、コンクリーション内部と異なる堆積物と解釈することができる。羽根岬北方の室戸半島層群奈半利川層。図 2 の標本 YCM-GP156 でも類似の内部構造を観察できる。中軸の充填物質が周縁の上部に拡散する葉理もある。内部は灰色であるが、周縁部は風化して黄褐色を呈する。写真提供 奈良正和博士。

Fig. 12. Concreted trace fossil of *Tasselia ordamensis*. Refer to Figure 2.

を伴い、冷水水環境に伴うメタンに由来する証拠とされている。現生のコンクリーションでは、黒島海丘からドロマイトが報告されている (Takeuchi *et al.*, 2001)。しかし、菱鉄鉄を含むコンクリーションの報告はない。

(2) 密度と色彩

三浦半島の葉山層群標本と足久保の瀬戸川標本を比較すると、前者の色彩が淡く、密度が 3.0 ~ 2.5 で、後者の色が濃く密度が 3.3 ~ 2.7 と、いくらか大きくなる傾向が認められる。黄鉄鉄の結晶は足久保標本の一部に観察できた。室戸半島層群コンクリーションの密度は 3.3 ~ 3.0 で、中軸は黄鉄鉄からなる。鉄丸石の名称のように、赤褐色~褐色~黒色を呈する。室戸半島の標本では、Katto (1965) が、コンクリーションは黄鉄鉄からなると報告した。三瓶ほか (2009) は、付加体前弧海盆堆積物 (房総半島新の第三系、瀬戸川層群の東部と西部、高知県南部) の発生炭化水素量 (TOC 濃度) の含有量と最大古地温を報告している。房総半島新第三系の TOC 濃度は 0.3% で多く、最大古地温は付加体で 130 ~ 70° C である。瀬戸川層群東部の TOC 濃度は 0.1 ~ 0.4%、最大古地温は 230° C であり、西部での含有量は 0.6 ~ 0.9% である。これらの中で、三浦 - 房総地域の古地温は最も低い。このことが葉山・保田層群のコンクリーションが、瀬戸川層群のものより比重がいくらか小さく、コンクリーションの色彩が淡いこと、すなわち、菱鉄鉄を主成分とするへそ石が少ないことは、古地温の相違と関係があるかもしれない。

密度の参考値として、カルサイトの比重は 2.7、菱鉄鉄は 3.7、黄鉄鉄は 5.2 である。

(3) 生痕化石としてのへそ石と鉄丸石

三浦半島のへそ石および足久保川と室戸半島の鉄丸石は、中軸があり、側縁に拡がる葉理がある、同一の内部構造をもつ。このような内部構造は *Tasselia ordamensis* の生痕がコンクリーションとして化石化したと解釈できた。

7. まとめ

- 1) 三浦半島の葉山層群 (16 ~ 14 Ma) と房総半島の保田層群 (約 18 Ma) の泥岩から見つかる炭酸塩類コンクリーションはへそ石、静岡地区足久保川の瀬戸川層群 (22 ~ 20 Ma) と高知県の室戸半島層群 (56 ~ 23 Ma) のものは鉄丸石と呼ばれている。
- 2) へそ石と鉄丸石は付加体中で、古地温は異なるが、類似の条件のもとで形成された。
- 3) へそ石と鉄丸石は、海底下で硫酸還元バクテリアの活動やメタンの湧出でつくられた炭酸塩類コンクリーションかもしれない。主な構成鉱物は、マグネシウムを含むカルサイトと菱鉄鉱である。その一部 (チューブ内) の物質が黄鉄鉱の結晶に充填又は置換された。へそ石には粘土鉱物や石英が、鉄丸石には多量の石英が認められた。
- 4) コンクリーションは深海底生物の巣穴の周りに形成された、生痕化石の周りに炭酸塩化した固化物と推定される。コンクリーションの内部構造は、上下の孔を結ぶチューブ、そのまわりに広がる構造、外縁部に拡がり葉理構造からなる。生痕は *Tasselia ordamensis* に同定される。
- 5) コンクリーションの密度は、三浦半島標本が 3.0 ~ 2.5、足久保川標本が 3.3 ~ 2.7、室戸半島標本が 3.3 ~ 3.0 で、鉄丸石の方がへそ石よりいくらか大きくなる傾向がある。色彩は、へそ石より鉄丸石の方が濃色。3 地域で密度と色彩の相違は、主として成分の違いで説明できるが、古地温など形成の場による続成作用が異なっていたのかもしれない。

謝辞

池谷仙之博士は、本報告書の完成を待たずに他界された。報告書作成するにあたり、次の方々に厚く感謝する。足立京子氏は足久保川で鉄丸石産地の案内、故有田正史博士は室戸の鉄丸石に関する情報、中尾賢一博士 (徳島県立博物館) は室戸の鉄丸石と瓜石に関する情報、柴田伊廣博士 (室戸ジオパーク推進委員会事務局) は室戸鉄丸石資料の提供、吉倉 紳一博士と奈良正和博士 (高知大学理学部) は室戸鉄丸石の情報の提供、松崎健一氏 (三浦半島活断層調査会) は足久保川で鉄丸石の採集、齊藤恵子氏 (三浦半島活断層調査会) 及び Emma Longhorn E. 氏はへそ石産地の情報とサンプルの提供、鈴木 進氏 (三浦半島活断層調査会) は葉山層群の放散虫化石年代の提示、蟹江由紀氏は比重の測定、静岡大学理学部の柏木麻美・大越真理恵・坪井辰哉の各氏は X 線回折の測定、安倍川水石の明石園、横須賀市自然・人文博物館の柴田健一郎学芸員は、この報告書を作成するにあたって討論して下さった。

引用文献

- Haenschel W., 1965. *Tasselia. Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W, Miscellaneous, supplement 1, Trace Fossils and Problematica*: W114. Geol. Soc. America & Univ. Kansas.
- 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, (29): 89-96.
- 服部陸男・蟹江康光・大場忠道・秋元和實・菅野三郎, 1996. 相模湾および陸上の沈み込み帯の冷水環境に伴う炭酸塩類と独立栄養動物群集の生成環境. JAMSTEC 深海研究, 12: 117-132.
- Ibaraki M., 1984. Middle-Late Eocene planktonic foraminiferal faunas from limestones of the Setogawa Group, central Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, (135): 401-414, pls. 77-79.
- 伊藤 剛・高橋秀介, 2008. へそ石. 鉄丸石鉱物コレクション入門, pp. 122-128. 築地書館, 東京.
- Ito T., 1996. Ikaite from cold spring water at Shiowakka, Hokkaido. *Japan. Jour. Min. Petr. Econ. Geol.*, 91: 209-210.
- 蟹江康光, 1978. 三浦半島および房総半島産へそ石 (コンクリーション) の産出層準について. 横須賀市博物館報, (24): 28-30.
- 蟹江康光, 1985. 横須賀の地質. 横須賀文化財シリーズ, (2). 100pp. 横須賀市教育委員会.
- 蟹江康光, 2009. 海底生物の生活跡?, 鉄丸石 (へそ石). しずおか自然史, 108. (静岡新聞 2009 年 10 月 4 日)
- Katto J., 1965. A notes on some concretions from the Muroto Formation (Eocene) of Kochi Prefecture, Shikoku, Japan. *Res. Rept. Kochi Univ., Nat. Sci., I.*, 14 (2): 7-18.
- 北里 洋, 1980. 瀬戸川層群からの深海性底生有孔虫化石群集. 四万十帯の地質学と古生物学. 甲藤次郎教授還暦記念論文集: 219-225, pls. 26, 27.
- 倉持卓司・蟹江康光・秋元和實・本間千舟・本間峰子, 1999. 房総半島保田層群より産出したシロウリガイ属二枚貝. 横須賀市博研報 (自然), (46): 55-56.
- 町山栄章・新城竜一・服部陸男・岡野真治・松本 剛・木村政昭・中村 衛・富山元進・岡田卓也, 2001. Dolphin-3K 南沖縄トラフ・黒島海丘潜航調査 (NT0005 航海) の概要. JAMSTEC 深海研究, 18: 5-30.
- 増澤敏行・半田暢彦, 1989. 重錘打ち込み式コアラーによる相模湾初島沖海底生物群集からの砂質堆積物コアの採取と間隙水の化学組成 (「しんかい 2000」第 380 潜航). 海洋科学技術センター試験研究報告, (5): 23-29.
- 中尾賢一, 2008. 鉄丸石. 館蔵品紹介. 徳島県立博物館ニュース, (73): 1.
- Nara M. and Ikari Y., 2010. Deep-sea ichnology and paleoecology of the Paleogene Muroto-hanto Group, southwestern Japan. *In* Field excursion guidebook, Joint Meeting of the Korean and Japanese Geological Societies. -Muroto Geopark-, pp. 35-47.
- Sakai H., Gamoh T., Ogawa Y., and Boulegue J., 1992. Stable isotopic ratios and origins of the carbonates associated with cold seepage at the eastern Nankai Trough. *EPSL*, 109: 391-404.
- 三瓶良和・田中孝典・大澤一久・徳平太一・中村隆之, 2009. 四国～房総半島に分布する白亜系～新第三系付加体～前弧海盆堆積物の有機物タイプと発生炭化水素量の見積り. 地質学会第 116 年学術大会講演要旨: 96.
- 杉山隆一, 1992. 西南日本前弧域の新生代テクトニクス - 静岡地域のデータを中心にして. 地質調査所月報, 43(1-2): 91-112.
- 鈴木 進, 2012. 神奈川県東部の三浦半島に分布する中新統葉山層群の放散虫化石年代. 神奈川県立博物館調査研究報告 (自然科学), (14): 65-74. 神奈川県立生命の星・地球博物館.
- Teichert B. M. A and Luppold F. W., 2009. Glendonite formation in Early Jurassic dark shales - Evidence for methane seepage in northern Germany. *Goldschmidt Conference Abstracts 2009*: A1319. Davos, Switzerland.
- Takeuchi R., Machiyama H. and Matsumoto R., 2001. The formation process of the cold seep carbonate at Kuroshima Knoll. *JAMSTEC. J. Deep Sea Res.*, (19): 61-75.