

島田市牛尾山の瀬戸川層群に産出する
ノジュールについて（速報）

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-11-27 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松本, 仁美, 楠, 賢司, 青木, 克顕, 富安, 輝正, 和田, 秀樹 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00026040

島田市牛尾山の瀬戸川層群に産出する ノジュールについて (速報)

松本仁美¹・楠 賢司²・青木克顕³・富安輝正⁴・和田秀樹¹

はじめに

2016年6月、国土交通省静岡河川事務所島田出張所は、大井川河道拡幅工事中に島田市牛尾の牛尾山(図1)で多数のノジュールを発見した。その連絡を受けた静岡県地学会中部支部は、同年8月と12月に同出張所と共同で現地を調査した。開削された露頭は、瀬戸川帯瀬戸川層群の黑色泥岩、凝灰質砂岩、礫岩などが混在して堆積し、小断層がいくつか認められた。ノジュールは、露頭下部の礫混じりの破碎された泥岩層に存在した。一般的にノジュールは、堆積岩中に産する球状、板状、不規則状など様々な形態をした岩塊で、微生物などの働きにより間隙水中の炭酸イオンや鉄イオンなどが堆積物中に濃集し膠結したものとされている(平林, 1975; 公文, 1996; 金井, 2009; 田崎ほか, 2015)。しかし、その生成過程については未解決な部分が多い。ノジュールの成因の解明には、ノジュールの形態や構成鉱物種、それを含む地層の堆積構造の特定など広範囲な視点からの調査解析が不可欠である。

ノジュールは、県中部地域においては本地点以外に、静岡市葵区富厚里や牧之原市萩間では地層中から、静岡市葵区足久保川や藤枝市岡部町玉取では転石として産出する(久保田, 2009; 蟹江ほか, 2012; 松本・青木, 2013; 佐藤, 2017)。この内、足久保川産については、既に蟹江ほか(2012)によって詳しい報告がなされており、牛尾山産と同様に瀬戸川層群の地層から産出するといった共通点を有する。そこで、本研究では、速報的に今回発見された牛尾山産ノジュールに関する知見を得ようと考え、牛尾山産と足久保川産ノジュールの薄片観察及び密度測定を行った。足久保川産との違いから明らかとなった牛尾山産ノジュールの特徴を提示する。



図1. 牛尾山産と足久保川産ノジュールの試料採取地点。国土地理院の地理院地図(電子国土Web)を引用・加筆。

1 静岡県地学会中部支部

2 静岡大学技術部

3 静岡科学館

4 国土交通省静岡河川事務所島田出張所

地質概説

牛尾山付近は、前期中新世瀬戸川帯瀬戸川層群の砂岩、泥岩、砂岩泥岩互層、礫岩、緑色凝灰質泥岩などが分布している(杉山ほか, 2010)。瀬戸川帯は、赤石山地の最東部に南北に分布する堆積層で、中期始新世から前期中新世(およそ4800万~2000万年前)にかけて海溝付近に堆積したものと考えられている(杉山・下川, 1989)。瀬戸川帯の中核をなす瀬戸川層群は、スレート劈開の発達する泥岩、砂岩、砂岩泥岩互層を主体とする地層で、その他に付加体堆積物であるチャート、石灰岩、玄武岩、超塩基性岩などが分布する(狩野ほか, 1986; 唐沢・狩野, 1992; 杉山・下川, 1989; 松本ほか, 2015)。今回、ノジュールが発見された牛尾山では、前述したように破碎された黒色泥岩、凝灰質砂岩、礫岩などが混在して堆積し、それらの地層を切る小断層が複数確認された。このことから牛尾山の地層は、杉山・下川(1989)や佐藤(2017)が報告しているようにメラングジュ堆積物と考えられる。

試料

試料は、牛尾山から採集したノジュール16個と静岡市葵区足久保川の川原から採集したノジュール15個を用いた。試料採取地点を図1に示す。

(1) 牛尾山産ノジュール

本研究に供した試料の特徴を表1に示す。試料は、長径10~20cmのものが大半で、5~20mm程

表1. 牛尾山産と足久保川産ノジュールの長径、短径、重量、体積、密度の測定結果。*: 半裁値。

牛尾山産							
試料番号	短径 / cm	長径 / cm	縦横比 (短径/長径)	重量 / g (平均, N=3)	体積 / cm ³ (平均, N=3)	密度 / g cm ⁻³ (平均, N=3)	備考
US-1	6	8	0.75	240	88	2.73	紡錘形, 細粒砂岩, 葉理有り
US-2	7	7	1.00	310	110	2.82	球形, 灰緑色泥岩, 葉理有り, 長柱状の結晶
US-3	7	11	0.64	620	230	2.70	紡錘形, 粗粒砂岩
US-4	9	9	1.00	630	240	2.63	球形, 粗粒砂岩
US-5	9	16	0.56	1190	450	2.64	紡錘形, 粗粒砂岩, 内部は灰白色, 巢穴状の模様
US-6	9	10	0.90	920	350	2.63	球形, 粗粒砂岩
US-7	12	14	0.86	2357	880	2.68	球形, 中粒砂岩, 内部は灰白色, 割れ目に方解石
US-8	15	16	0.94	2140*	790*	2.71	球形, 細粒砂岩, 葉理有り, 割れ目に方解石
US-9	15	16	0.94	2330*	880*	2.65	球形, 粗粒砂岩, 内部は灰白色
US-10	17	17	1.00	2760*	1050*	2.63	球形, 粗粒砂岩, 内部は灰白色
US-11	15	23	0.65	3750*	1400*	2.68	紡錘形, 粗粒砂岩, 内部は灰白色
US-12	19	21	0.90	5310	1970	2.70	球形
US-13	19	21	0.90	4650*	1750*	2.66	球形, 粗粒砂岩, 内部は灰白色
US-14	20	21	0.95	5460*	2053*	2.66	球形, 粗粒砂岩, 内部は灰白色
US-15	16	17	0.94	3520	1330	2.65	球形, 粗粒砂岩, 内部は灰白色
US-16	18	19	0.95	4220*	1590*	2.65	球形, 粗粒砂岩, 内部は灰白色
平均±1σ			0.87 ± 0.14			2.67 ± 0.05	
足久保川産							
試料番号	短径 / cm	長径 / cm	縦横比 (短径/長径)	重量 / g (平均, N=3)	体積 / cm ³ (平均, N=3)	密度 / g cm ⁻³ (平均, N=3)	備考
AS-1	8	11	0.73	1487	480	3.10	黒色泥岩, 葉理有り, へそ無し
AS-2	3	8	0.38	660	220	3.00	へそ無し
AS-3	3	7	0.43	590	190	3.11	黒色泥岩, 葉理有り, へそ無し, 黄鉄鉱有り
AS-4	7	10	0.70	1600	537	2.98	へそ有り
AS-5	4	6	0.67	667	230	2.90	へそ無し
AS-6	4	8	0.50	960	320	3.00	へそ有り
AS-7	6	7	0.86	1153	380	3.04	黒色泥岩, 葉理・へそ有り, 筒状の模様, 黄鉄鉱濃集
AS-8	7	11	0.64	2153	690	3.12	へそ無し
AS-9	6	11	0.55	1710	567	3.02	へそ無し
AS-10	6	14	0.43	2217	720	3.08	へそ無し
AS-11	4	6	0.67	440	150	2.93	へそ無し
AS-12	5	8	0.63	900	310	2.90	へそ無し
AS-13	6	8	0.75	1427	450	3.17	黒色泥岩, 葉理・へそ有り, 筒状の模様, 黄鉄鉱濃集
AS-14	7	10	0.70	1830	580	3.16	へそ無し
AS-15	6	9	0.67	1590	540	2.94	へそ無し
平均±1σ			0.62 ± 0.14			3.03 ± 0.09	

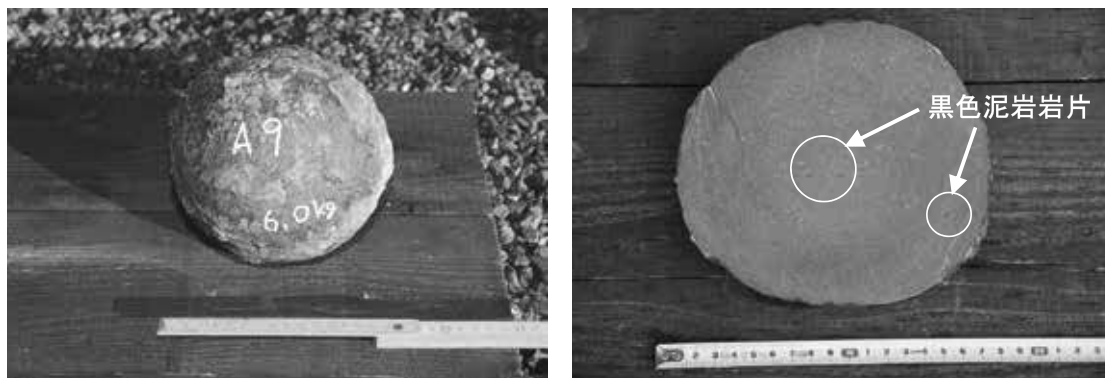


図2. 牛尾山産ノジュール (US-9) (左図) とその断面 (右図).

度の砂岩や黒色泥岩の岩片が表面に認められた。ノジュールの短径を長径で除して縦横比を求めてみると、平均値 ($\pm 1\sigma$) は 0.87 ± 0.14 であった。縦横比が0.9以上のものを球形、それ未満のものを紡錘形とすると、球形は16個中12個 (US-2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16)、紡錘形は16個中4個 (US-1, 3, 5, 11) であった。このように本研究に供した牛尾山産試料は、球形に近いものが比較的多かった。

球形ノジュールの内部は、US-2とUS-8を除き、0.5~3mm程度の黒色泥岩の岩片を含む灰白色の粗粒砂岩からなっていた (図2)。US-2は、灰緑色の泥岩からなり、幅1mm、長さ1cm程度の長柱状の結晶が外殻部分に中心から外側に向かうように放射状に並んでいた。US-8は、暗灰色の葉理を持つ灰色の細粒砂岩からなっていた。一方、紡錘形ノジュールの内部は、US-1、US-3及びUS-5において葉理が観察された。この内、US-1は灰色の細粒砂岩からなり、US-3は灰色の粗粒砂岩、US-5は灰白色の粗粒砂岩からなっていた。同じ紡錘形のUS-11の内部は、灰白色の粗粒砂岩からなっていたが、葉理は認められなかった。

(2) 足久保川産ノジュール

研究に供した試料の特徴を表1に示す。試料は、長径が5~15cm程度で褐色から暗褐色を呈していた。表面は、厚さ1~2mm程度の暗褐色の層で覆われ、その層間には黒色薄層が認められた。暗褐色の物質は、内部にも観察され、1mm程度の楕円形のものや3mm程度の針状のものなど様々な

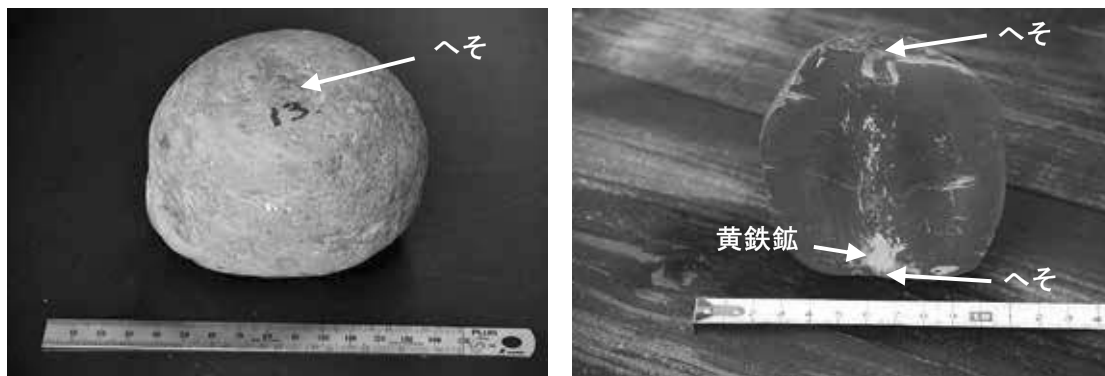


図3. 足久保川産ノジュール (AS-13) (左図) とその断面 (右図).

形で存在した。AS-1, AS-3, AS-7 及び AS-13 の内部は、黒色泥岩からなり葉理が認められた。この内、AS-3, AS-7 及び AS-13 は、内部に黄鉄鉱を含んでいた。また、蟹江ほか (2012) が報告した「へそ」状の窪み (以後、「へそ」とする) は、AS-4, AS-6, AS-7 及び AS-13 で観察された。中でも、AS-7 と AS-13 は、「へそ」と「へそ」を貫く筒状の模様が中心部に観察され、そこには黄鉄鉱が濃集していた (図 3)。この模様の部分は、周囲の葉理を切っていた。蟹江ほか (2012) によると、足久保川産ノジュールの主要構成鉱物は、石英と菱鉄鉱である。

測定方法

密度 (見かけ密度) は、アルキメデスの原理を利用して測定した。即ち、天秤を用いて空気中の試料重量及び空気中の試料重量と水中の試料重量との差を 3 回ずつ測定し、前者の平均値を後者の平均値で除し、その値に水の比重 (比重 1 とした) を掛け合わせることによって密度を算出した。ただし、空気の密度は無視した。重量計測には、エー・アンド・デイ社の SJ-12K デジタル秤を使用した。この天秤は、0.1~12kg までの範囲が測定でき、0~10kg の範囲は 0.01kg 単位で、10~12kg の範囲は 0.02kg 単位で表示される。各試料の密度の繰り返し測定 ($n = 3$) による相対標準偏差 (RSD) は、2.2% 以下であった。

結果と考察

(1) 薄片観察

牛尾山産ノジュールは、球形のもの (US-16) と紡錘形のもの (US-1) を偏光顕微鏡下で観察した。その結果、US-16 は、不定形な炭酸塩鉱物及び 0.5~1mm 程度の周囲が角張った石英が卓越し、0.5~1mm 程度のカリ長石がしばしば観察された (図 4a, b)。この内、炭酸塩鉱物については、他の結晶の周囲を取り囲むように発達したり、他の結晶と結晶の間を充填したりするものもあった。その他、0.2mm 程度の斜長石や不透明鉱物などがわずかに観察された。一方、US-1 は、不定形の炭酸塩鉱物及び 0.1~0.2mm 程度の角張った石英が卓越し、0.05~0.1mm 程度のカリ長石や不透明鉱物などが観察された (図 4c, d)。この内、炭酸塩鉱物については、US-16 と同様に他の結晶の周縁部を取り囲んだり他の結晶間を充たしたりしていた。以上のように、US-16 及び US-1 の薄片中には炭酸塩鉱物が普遍的に存在することから、牛尾山産ノジュールは炭酸塩ノジュールであると推察される。また、US-16 と US-1 は、鉱物粒度は異なるが構成鉱物が類似していることから、ノジュールを形成している砂の供給源は同一であると考えられる。

足久保川産ノジュールは、「へそ」を持つ AS-7 を鏡下観察した。AS-7 には、0.1~0.2mm 程度の黄鉄鉱の自形結晶が観察された (図 4e, f)。その他、0.01mm 程度の石英や岩片が多数認められた。また、脈状や球形状の空隙は石英によって充填され、それらの周囲を炭酸塩鉱物を取り囲んでいるといった様子も観察された。これら以外の結晶については、微細なため鉱物を同定することは不可能であった。

(2) 密度

牛尾山産と足久保川産の測定結果を表 1 及び図 5 に示す。牛尾山産は、 $2.6\sim 2.8\text{ g cm}^{-3}$ の値をとり、

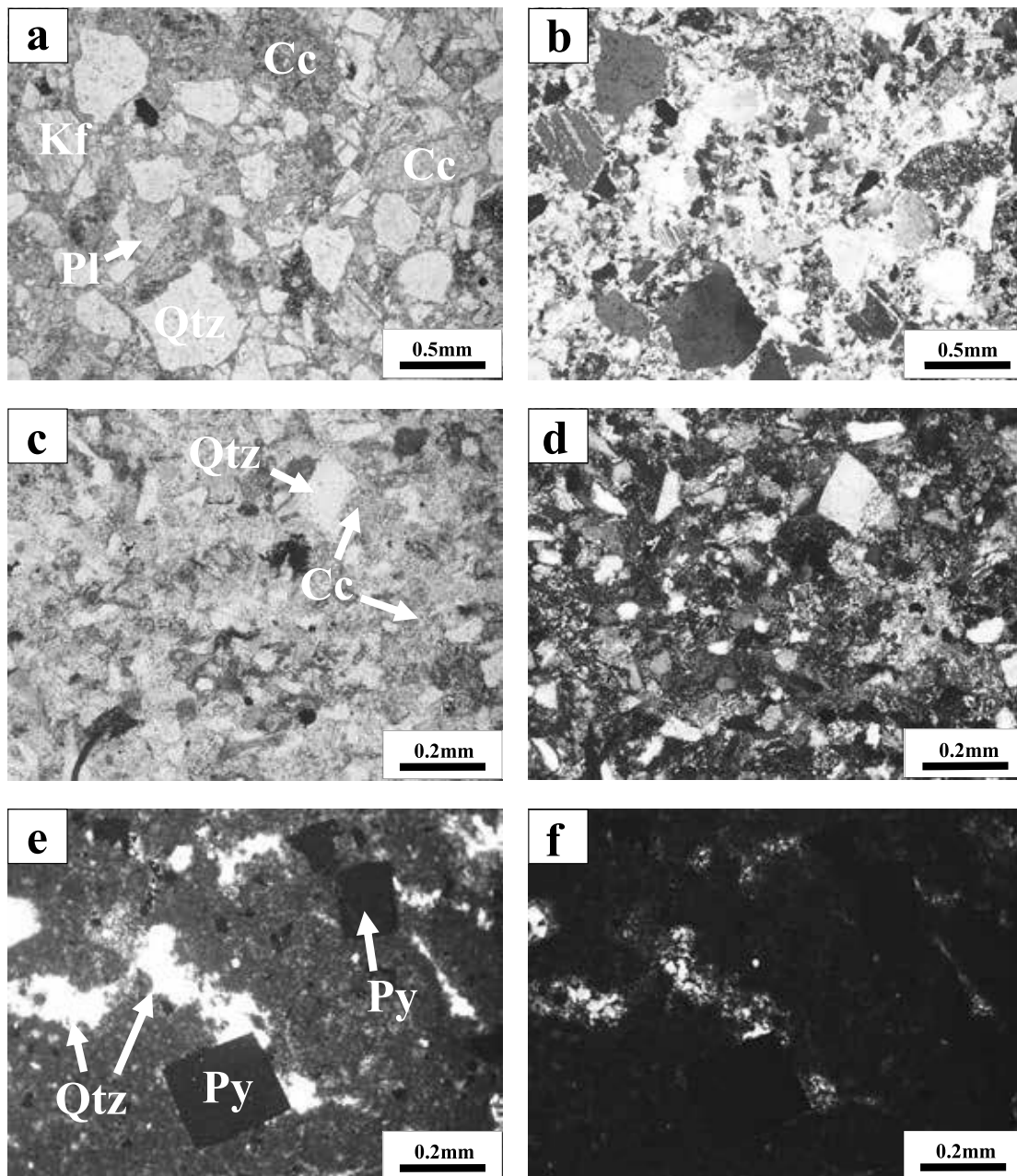


図4. 牛尾山産 (US-16 : a, b と US-1 : c, d) 及び足久保川産 (AS-3 : e, f) ノジュールの薄片写真 (a, c, e : 開放ニコル. b, d, f : 直交ニコル). Cc : 炭酸塩鉱物, Qtz : 石英, Kf : カリ長石, Pl : 斜長石, Py : 黄鉄鉱.

平均 ($\pm 1 \sigma$) は $2.67 \pm 0.05 \text{ g cm}^{-3}$ であった。一方、足久保川産は、 $2.9 \sim 3.2 \text{ g cm}^{-3}$ の値をとり、平均 ($\pm 1 \sigma$) は $3.03 \pm 0.09 \text{ g cm}^{-3}$ であった。牛尾山産の密度は、足久保産より有意に小さいことが認められた ($P < 0.01$, Tukey-Kramer ; 図6)。これは、牛尾山産には、足久保川産と比べて軽い鉱物が

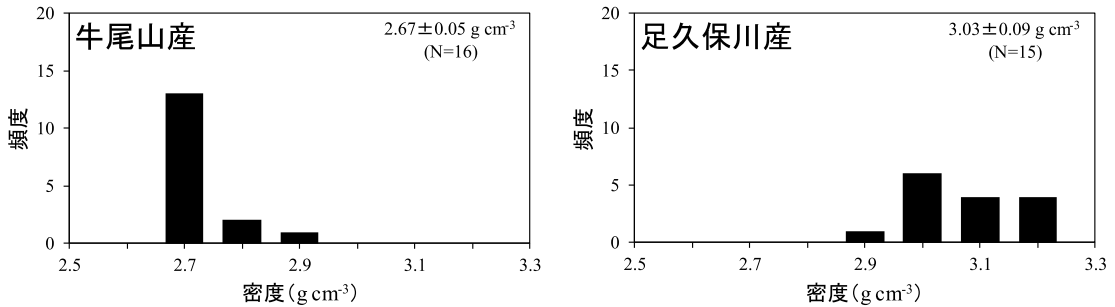


図 5. 牛尾山産と足久保川産ノジュールの密度の頻度.

卓越して含まれていることを示唆する。なお、本研究で得られた足久保川産の密度範囲 ($2.9\sim 3.2\text{g cm}^{-3}$) は、蟹江ほか (2012) による測定値範囲 ($2.71\sim 3.27\text{g cm}^{-3}$) 内であった。

前項の薄片観察で牛尾山産の主要構成鉱物は、石英、カリ長石及び炭酸塩鉱物であることが示唆された。この内、石英及びカリ長石の比重は、それぞれ 2.7 及び 2.6 であり (国立天文台, 2016)、密度の結果からも、石英及びカリ長石が牛尾山産の主な構成鉱物であることが支持される。また前項の薄片観察により、牛尾山産は炭酸塩ノジュールであることが示唆された。炭酸塩ノジュールを構成する炭酸塩鉱物 (茂野ほか, 2004; 上田ほか, 2005; 相澤・松本, 2012; 蟹江ほか, 2012; 松井, 2013; 田崎ほか, 2015) の比重は、方解石が 2.7, アラレ石が 2.9, 苦灰石が 2.9, 菱鉄鉱が 4.0 である (国立天文台, 2016)。このことと牛尾山産の密度測定結果とを照らし合わせると、牛尾山産薄片で認められた炭酸塩鉱物は、方解石、アラレ石及び苦灰石のいずれか、または、それらの鉱物が幾つか組み合わさっている可能性が考えられる。菱鉄鉱については、牛尾山産に含まれていないか、含有していても少量であると推察される。

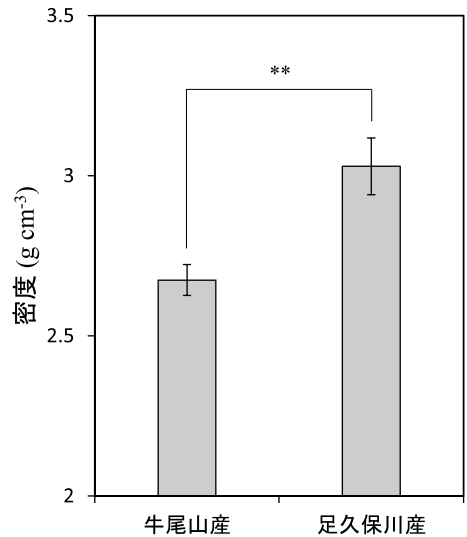


図 6. 牛尾山産と足久保川産ノジュールの密度の比較. **: $p < 0.01$ (Tukey-Kramer).

足久保川産は、菱鉄鉱が主要構成鉱物である (蟹江ほか, 2012)。足久保川産を肉眼及び顕微鏡観察したところ、黄鉄鉱 (比重 5.0; 国立天文台, 2016) が多数認められた (表 1, 図 3, 図 4e, f)。牛尾山産から黄鉄鉱が確認できなかったことを合わせて考えると、足久保川産が牛尾山産より密度が大きい理由は、前者が後者に比べて菱鉄鉱及び黄鉄鉱を多量に含んでいるためと推察される。

(3) ノジュールの生成環境

海洋堆積物中の有機物は、主に微生物によって酸化分解され、その際使われる酸化剤は、 O_2 、硝酸イオン、マンガ氧化物、鉄酸化物、硫酸イオンである。これらの酸化剤は、この順に段階的に消費され、酸素還元、硝酸還元、マンガ還元、鉄還元、硫酸還元と呼ばれる (増澤, 2005)。足久保川

産で認められた黄鉄鉱は、この内の硫酸還元によって生成される鉱物である。このことから足久保川産は、堆積層下部の比較的還元性の高い環境下で生成されたと考えられる。蟹江ほか (2012) は、足久保産がメタン湧水に伴う硫酸還元作用により生成された可能性を指摘している。一方、牛尾山産は、肉眼及び顕微鏡観察で黄鉄鉱を確認できなかった。また、密度の面からも牛尾山産は、それを含有していないことが示唆された。これらのことを踏まえると、牛尾山産は、足久保川産より酸化的な浅部堆積層で形成されたものと推察される。

おわりに

本稿では、薄片観察及び密度から牛尾山産ノジュールの構成鉱物に関する情報が得られた。より確度の高い鉱物学的知見を得るには X 線回折 (XRD) や電子線マイクロアナライザー (EPMA) などの測定機器を用いた分析が必要である。さらに、安定同位体測定や微量元素の分析などを通してノジュールの成因に迫ることが期待される。

まとめ

- ・牛尾山産ノジュールの密度 ($2.67 \pm 0.05 \text{ g cm}^{-3}$) は、足久保川産ノジュールの値 ($3.03 \pm 0.09 \text{ g cm}^{-3}$) より小さかった。
- ・牛尾山産ノジュールは、炭酸塩ノジュールと推察され、その内部には炭酸塩鉱物の他、石英、カリ長石、斜長石及び不透明鉱物が含まれていた。
- ・牛尾山産ノジュールは、内部に黄鉄鉱が確認できないことから、足久保川産ノジュールより酸化的な浅部堆積層で形成されたものと推察された。

謝辞

静岡大学教育学部の延原尊美教授にはノジュールの形態や成因について、静岡聖光学院中学校・高等学校の佐藤弘幸教諭には露頭の構成物や構造について議論していただき、論文の向上に役立てることができた。国土交通省静岡河川事務所島田出張所並びに島田市役所の方々には、現地調査に際し特別な計らいをいただいた。これらの方々に厚くお礼を申し上げる。

引用文献

- 相澤省一・松本 良 (2012) : MD179 調査航海で採取した炭酸塩ノジュールの鉱物及び化学組成. 石油技術協会誌, 77, 460-465.
- 平林憲次 (1975) : 炭酸塩コンクリーションの成因について—炭素同位体を中心として—. 堆積学研究会報, 10, 4-11.
- 金井 豊 (2009) : 自然が作る奇妙な形 (その1). 地質ニュース, 661, 42-51.
- 蟹江康光・服部睦男・和田秀樹・池谷仙之 (2012) : 四万十累層群の生痕化石起源の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岩石—. 神奈川博調査研報 (自然), 14, 93-102.

- 狩野謙一・村松 武・廣田 豊 (1986)：四万十累層群の変形様式—赤石山地南部の上部白亜系に見られる例—。静岡大学地球科学研究報告, 12, 89-114.
- 唐沢 讓・狩野謙一 (1992)：赤石山地東部の四万十帯, 瀬戸川層群中のスレート帯の形成とその変形過程, 地質学雑誌, 98, 761-777.
- 久保田 実 (2009)：静岡県の GEO DATA C006 ノジュール (静岡市葵区富厚里)。静岡地学 100, 23.
- 公文富士夫 (1996)：新版地学事典。地学団体研究会編, 平凡社, p996.
- 増澤敏行 (2005)：海と湖の化学 微量元素で探る。藤永太郎監, 宗林由樹・一色健司編, 京都大学出版会, 175.
- 松井智彰 (2013)：鹿児島県喜界島産層状石灰質コンクリーション。鹿児島大学教育学部研究紀要, 自然科学編, 64, 35-42.
- 松本仁美・青木克顕 (2013)：静岡県 GEO DATA (8) C23 石灰質ノジュール (子生まれ石) 榛原郡相良町西萩間。静岡地学 107, 口絵.
- 松本仁美・和田秀樹・楠 賢司 (2015)：美和高山ピクライト玄武岩の産状と起源。静岡大学地球科学研究報告, 42, 51-61.
- 国立天文台 (2016)：理科年表。小澤一仁監修, 丸善出版, 89, 652-663.
- 佐藤弘幸 (2017)：牛尾山のノジュールと大興寺子生まれ石—中部支部巡検会報告—。静岡地学 115, 1-8.
- 茂野 潤・次重克敏・藤田将人・東 洋一・後藤道治・狩野彰宏・地下まゆみ・柴田正輝・川合達也 (2004)：富山県上市地域および立山地域に分布する手取層群赤岩亜層群の土壌性堆積物と体積相による古環境解析。福井県立恐竜博物館紀要, 3, 1-22.
- 杉山雄一・水野清秀・狩野謙一・村松 武・松田時彦・石塚 治・及川輝樹・高田 亮・荒井晃作・岡村行信・実松健造・高橋正明・尾山洋一・駒澤正夫 (2010)：20 万分の 1 地質図幅「静岡及び御前崎」(第 2 版)。産業技術総合研究所.
- 杉山雄一・下川浩一 (1989)：赤石山地四万十帯における前期中新世付加体 (瀬戸川帯) の形成過程。構造地質, 34, 173-188.
- 田崎和江・赤木三郎・高村嘉子・四ヶ浦 弘 (2015)：石川県金沢市の田畑におけるノジュールの形成。河北潟湖沼研究所報, 18, 29-42.
- 上田庸平・ジェンキンス, ロバート G・安藤寿男・横山芳春 (2005)：常磐堆積盆外側陸棚におけるメタン起源の炭酸塩コンクリーションと化学合成群集：茨城県北部中新統高久層群九面層の例。化石, 78, 47-58.