

2. 遠州灘のガーネットサンドの起源

ー特にざくろ石と共存する磁鉄鉱の起源と運搬堆積過程についてー

静岡県立磐田南高等学校 地学部地質班・理数科課題研究地学班

川井陸 他 11 名

1 研究の目的・動機

私たちは、昨年度までに遠州灘（図 2）で発見したガーネットや磁鉄鉱を大量に含む濃集砂（図 1）を日本で初めて「ガーネットサンド」と命名し、研究を行ってきた。この結果、ガーネットサンドは 4

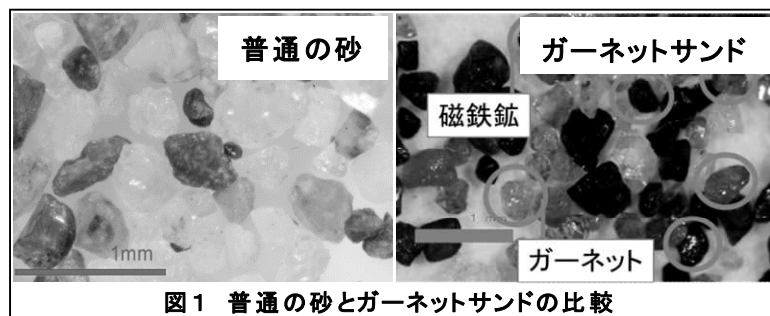


図 1 普通の砂とガーネットサンドの比較

つのタイプに分類され、ガーネットは天竜川上流の領家帯の花崗岩、磁鉄鉱は三波川帯・御荷鉾帯の蛇紋岩が起源であることを明らかにした。

しかし、遠州灘鮫島海岸の鉄鉱物は磁石に反応するものの本当に磁鉄鉱であるかの確証はなかった。また、なぜ領家帯の花崗岩からは磁鉄鉱が供給されていないのかについても不明であった。そこで、本年度は、鮫島海岸の鉄鉱物が磁鉄鉱であることの確認と、領家帯からは磁鉄鉱が供給されにくい原因を明らかにすることにした。もし遠州灘鮫島海岸の鉄鉱物が本当に磁鉄鉱であると確認でき、かつ領家帯から磁鉄鉱が供給されない理由が明らかになれば、鮫島海岸の砂の起源や運搬堆積過程が解明されるため、鮫島海岸で現在進行している海岸侵食への対策の提言も可能である。

2 調査地域

調査地域は駿河湾から遠州灘までの海岸と、ガーネットサンドの産出が確認されている山口県の瀬戸内海にある周防八島である（図 2）。

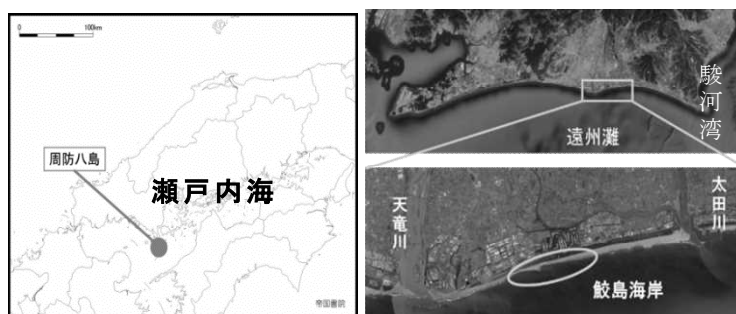


図 2 調査地点

3 調査方法

方法は鉄鉱物の特徴の比較、ガーネットサンド中の磁鉄鉱の確認を行うテルミット反応実験、成層型ガーネットサンドの再現実験、遠州灘沿岸でのガーネットサンドの分布調査、遠州灘鮫島海岸と山口県周防八島のガーネットサンドの比較である。

名称	磁鉄鉱	チタン鉄鉱	クロム鉄鉱	赤鉄鉱	磁鉄鉱	名称	褐鉄鉱	針鉄鉱 (磁鉄鉱)	黄鉄鉱	菱鉄鉱
化学組成	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$	FeTiO_3	FeCr_2O_4	Fe_2O_3	$\text{Fe} \cdot \text{XS}$	化学組成	$\text{FeO}(\text{M}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe}(\text{OH})$	FeS_2	FeCO_3
色	黒	黒または灰色	黒	鉄黒色	ブロンズ色	色	暗黒色	褐色	黄銅色	黄褐色
光沢	金属光沢	金属光沢	金属光沢	金属光沢	金属光沢	光沢	無	金属光沢	金属光沢	ガラス光沢
磁性有無・強弱	有、強	有、弱	有、弱またはほとんど無	無	有、強から弱まで様々	磁性有無・強弱	無	無	無	無
へき開	無	無	無	無	無	へき開	無	一方向に完全	無	三方向に完全
結晶系 (形)	等軸晶系、正八面体	三方晶系	等軸晶系	三方晶系	六方晶系または単斜晶系	結晶系 (形)	土塊状	斜方晶系	等軸晶系	三方晶系、結晶面は湾曲
その他	天然磁石になることも	砂鉄 (磁鉄鉱) と混在	鉄と銅が混在することもある	鉄が Al に置き換わるとコランダム		その他	赤鉄鉱や粘土鉱物、酸化マンガン (II) などを含む不純物として含む	褐鉄鉱の主成分	結晶性鉄よりも硬い	亜マンガン鉄、亜苦土鉱と固溶体を形成
鉱物グループ	スピネルグループ	チタン鉄鉱グループ	スピネルグループ	赤鉄鉱グループ		鉱物グループ	天然の鉄			方解石グループ

図 3 鉄鉱物の特徴

4 鉄鉱物について

図3に様々な鉄鉱物の特徴をまとめた。このうち磁性をもつ鉱物には、強磁性の磁鉄鉱や弱磁性のチタン鉄鉱などがあることから、磁石に反応するだけでは磁鉄鉱とは断定できないとわかる。

5 ガーネットサンド中の磁鉄鉱の確認

まず、鮫島海岸の磁性を持つ砂が、本当に磁鉄鉱(Fe_3O_4)であるかを確認した。方法は、テルミット反応と双眼実体顕微鏡による形状の観察である。テルミット反応とは、酸化鉄とアルミニウムから鉄を取り出す方法で、化学反応式を以下に示す。

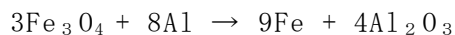


図4は実験装置、図5は反応の様子で閃光と高熱を放って激しく反応し、銀白色の金属光沢を持つ球形をした物質が生成され、磁石にも強く反応した。このことから生成された物質は鉄であることが確認できた。次にこの砂を双眼実体顕微鏡で観察すると、侵食運搬作用のため丸味を帯びている粒子が多いが、磁鉄鉱の特徴である等軸晶系で正八面体に近い自形結晶も多数含まれていた。よって、磁性を持つ砂は確かに磁鉄鉱であることが確認できた。

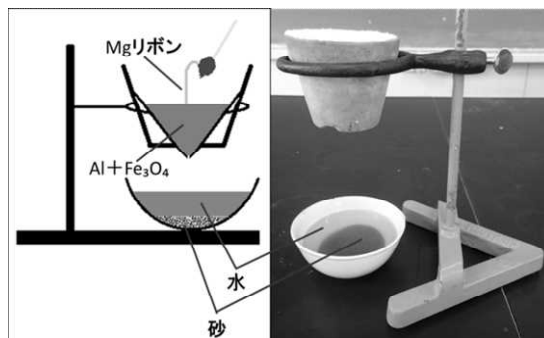


図4 テルミット反応実験装置



図5 テルミット反応の様子

6 成層型ガーネットサンドの再現実験

成層型ガーネットサンドを実験により再現するために、水槽に鮫島海岸の砂を入れて波を発生させる水路実験を行った。実験は斜面の傾斜角度を 9° 、 18° 、 33° に分けて行った。図6はその結果を示す。海岸の傾斜角度が大きい場合は、波は打ち寄せても砂が運搬されにくく、陸側では堆積は起こりにくい。しかし、傾斜角度が小さい場合は、波

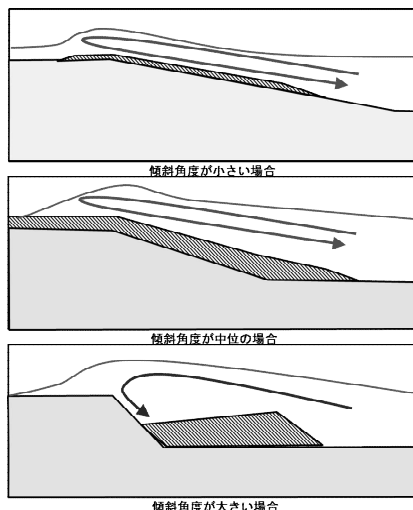


図6 再現の結果の模式図

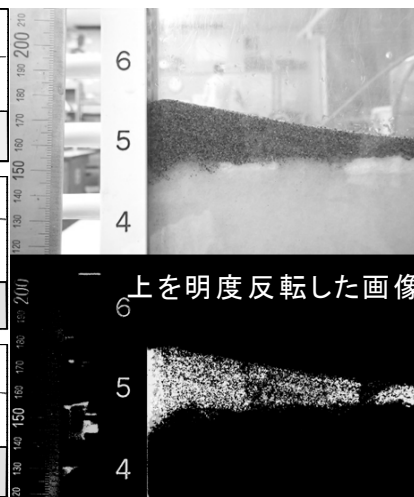


図7 生成された成層型ガーネットサンド

は遡上して陸側では砂の堆積が進むことがわかった。図7は陸側斜面にできた磁鉄鉱を含む成層型ガーネットサンドで、水路実験でも成層型ガーネットサンドの形成に成功した。再現実験の結果と野外の成層型ガーネットサンドの産状を比較すると、野外の産状ではストームの後に平坦な後浜でも標高の上昇が確認されたことから、ストーム時に汀線より海側の外浜での砂の堆積・侵食と、陸側の前浜・後浜での砂の移動という2つの現象が複雑に絡み合って成層型ガーネットサンドが形成されることが考えられる。

7 遠州灘海岸の海浜砂中の磁鉄鉱

鮫島海岸以外の遠州灘の海岸では磁鉄鉱がどのように分布しているかを調べた。方法は、駿河湾内の大井川河口から御前崎を経て、遠州灘西端の渥美半島伊良湖岬までの約 140 km の海浜砂を 5 km ～ 10 km ごとに、合計 23 箇所採取した。次に磁鉄鉱を強力 U 字型アルニコ磁石で抽出し、海浜砂 50 g 中に含まれる磁鉄鉱の質量を電子てんびんで測定した。図 8 はその結果である。図 8 から磁鉄鉱の割合が天竜川河口に近づくにつれて高くなることから、遠州灘海岸の磁鉄鉱は天竜川から供給されることがわかった。また、天竜川河口の西側より東側の方が磁鉄鉱の割合が高い。これは、遠州灘沖には西から東向きの沿岸流が流れており、この沿岸流により磁鉄鉱が東側に運ばれたと推定される。このことは図 9 の衛星写真でも、天竜川河口から流出した土砂が東側に運ばれていることで確かめられる。以上より、磁鉄鉱は天竜川から供給されていることがわかる。

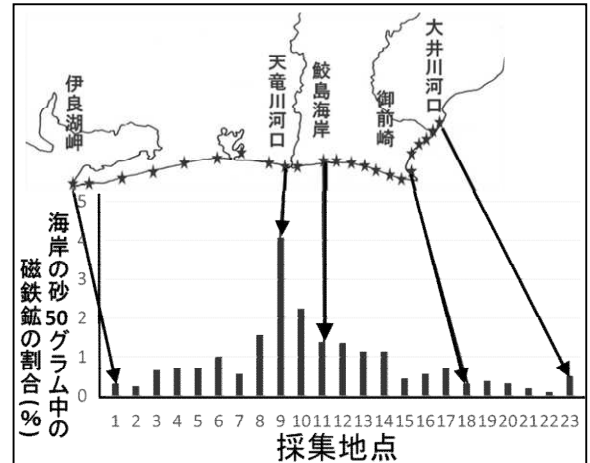


図8 遠州灘の磁鉄鉱の質量変化



図9 天竜川河口周辺の衛星写真

8 山口県周防八島のガーネットサンド中の磁鉄鉱との比較

産業技術総合研究所地質総合センターの岩石学者である中島隆先生に、鮫島海岸以外の日本のガーネットサンドの産出地域を伺ったところ、山口県周防八島でガーネットサンドを見たことを教えて頂いた。そこで、鮫島海岸のガーネットサンドと比較対照させるためにこの島で調査を行った。調査の結果、島の北西部の砂浜で、図 10 左のガーネットサンドを発見した。色を比較すると周防八島のガーネットサンドは赤い色をしているのに対して、図 10 右の遠州灘鮫島海岸のガーネットサンドは赤黒い色をしている。この理由は図 11 の鉱物組成からもわかるように、周防八島のガーネットサンドは透明度の高い赤いガーネットや透明な石英が多く含まれているのに対して、鮫島海岸のガーネットサンドには黒い磁鉄鉱が多く含まれているためである。

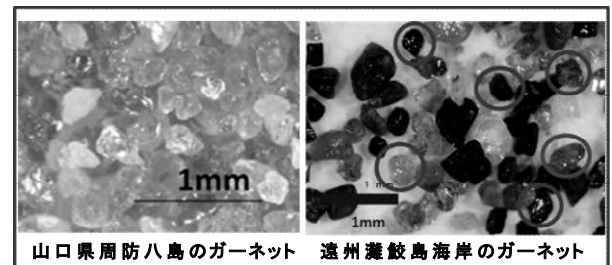


図 10 ガーネットサンドの顕微鏡写真による比較

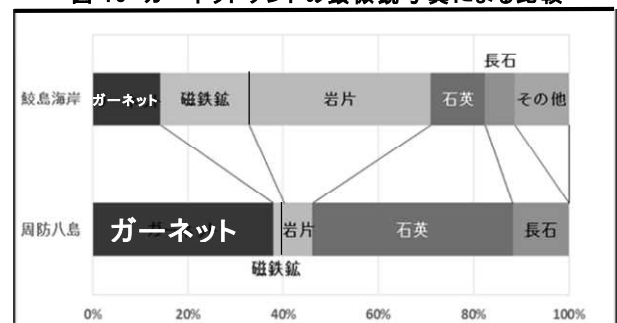


図 11 2地点のガーネットサンドの鉱物組成での比較

この鉱物の違いの原因は、山口県周防八島には天竜川上流と同じガーネットを含む領家帯が分布するが磁鉄鉱を多く含む三波川帯・御荷鉾帯がないためである。このように同じガーネットサンドでも後背地の地質により砂の色や構成鉱物に違いが生ずる。

9 花崗岩中の鉄鉱物の分類による検討

領家帯の花崗岩には磁鉄鉱が少ない理由について文献をもとに考察した．Ishihara (1977) は花崗岩が，含有する鉄鉱物によってチタン鉄鉱系列と磁鉄鉱系列の2タイプに分類されることを明らかにした．これによると，磁鉄鉱系列の花崗岩は磁鉄鉱を含むが，チタン鉄鉱系列の花崗岩は磁鉄鉱を含まない．また，図12のIshihara (1977) の日本の花崗岩の分類図より天竜川流域や周防八島に分布する領家帯の花崗岩は，チタン鉄鉱系列のマグマ由来の花崗岩であることがわかる．よって，領家帯の花崗岩が分布する天竜川上流や周防八島には磁鉄鉱が少なく，これは野外の観察や鉱物分析の結果とよく対応している．

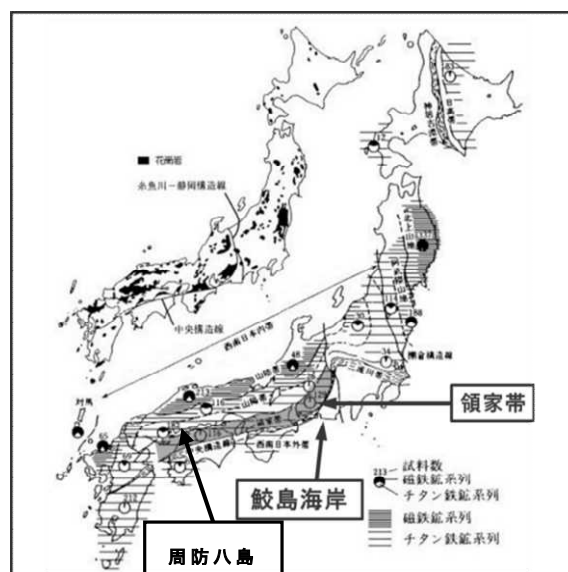


図12 日本の花崗岩の分類による分布

Ishihara (1977) より引用

10 結論

この研究によって，以下のことを明らかにした．

- ① 駿島海岸の黒色をした鉄鉱物は結晶系やテルミット反応より確かに磁鉄鉱である．
- ② 駿島海岸の磁鉄鉱は，天竜川支流の阿多古川から供給された後，天竜川本流により運搬されて遠州灘沖に流出する．その後，東向きの沿岸流により駿島海岸沖の外浜まで運ばれる．最後に，台風や高潮などの波浪により後浜に打ち揚げられ，流水や風，重力によって4タイプのガーネットサンドとして濃集・堆積する．
- ③ 砂浜海岸では，外浜の斜面の傾斜角度が大きすぎると後浜に砂が堆積しにくい．
- ④ 領家帯から磁鉄鉱が供給されない理由は，領家帯に分布する花崗岩がチタン鉄鉱系列のマグマ由来であり，磁鉄鉱を含まないからである．

11 今後の課題

現在行っている海岸微地形の測量より，駿島海岸は長期的には徐々に標高が低下し，海岸侵食が進行していることがわかっている．そこで，このような海岸微地形の変化や海浜砂の移動を，水準測量や風を用いた空撮に長期的に観測し，現在遠州灘海岸で問題になっている海岸侵食の対策に提言したい．

12 謝辞

この研究を行うにあたり，ざくろ石や磁鉄鉱の堆積過程については名古屋大学教授竹内誠先生，名古屋大学教授足立守先生，筑波大学教授久田健一郎先生に助言を頂きました．駿島海岸以外のガーネットサンドの産出地点については産業技術総合研究所地質総合センターの中島隆先生に助言を頂きました．蛇紋岩と磁鉄鉱の関係については静岡大学教授道林克禎先生より丁寧なご指導を頂きました．また，静岡県水産試験場浜名湖分場，福田漁業協同組合の皆様には採泥器や船の借用にご協力を頂きました．以上の方々に厚く御礼申し上げます．

13 参考文献・ホームページ

参考文献

- ・Ishihara, S. (1977). "The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks". 鉱山地質 27: 293 - 305.
- ・斎藤正次, 1952, 5 万分の 1 地質図幅「三河大野」, 通産省地質調査所
- ・斎藤正次・磯見博, 1955, 5 万分の 1 地質図幅「秋葉山」, 通産省地質調査所
- ・植村武・山田哲雄, 1988, 日本の地質 4 中部地方 I, 共立出版株式会社
- ・山下昇・紺野義夫・糸魚川淳二, 1988, 日本の地質 4 中部地方 II, 共立出版株式会社
- ・黒田吉益・諏訪兼位, 1983, 偏光顕微鏡と岩石鉱物第 2 版, 共立出版株式会社
- ・新妻信明, 2006, 日本地質地方誌 4 中部地方, 日本地質学会
- ・秀敬, 1977, 三波川帯, 広島大学出版研究会
- ・鮫島輝彦ほか, 1978, フィールドワーク静岡の地学, 社団法人静岡県出版文化会
- ・宇野木早苗・岡見登, 1985, LANDSAT 画像から見た駿河湾・遠州灘の流動, 水産海洋研究会報第 47- 48 号
- ・服部昌太郎・鈴木隆介・佐藤敏夫, 1974, 遠州海岸中央部の海浜変形と漂砂, 海岸工学講演会論文集 Vol.21 P127-133
- ・近藤寛・森下浩史・辻健太郎, 2006, 教育実践総合センター紀要, 5, pp.211-226;2006, 長崎の浜砂に含まれる砂鉄と鉄を取り出す実験
- ・海上保安庁流系図「遠州灘沖」
- ・海上保安庁海底地形図「御前崎西方」
- ・松田時彦ほか, 2006, 高等学校教科書地学 I 改訂版, 啓林館, p44
- ・原田賢治・今井健太郎・Tran The Anh・藤木悦史, 2011, 津波斜面遡上による陸域での堆積砂形成に関する水理実験

参考ホームページ

- ・独立行政法人産業技術総合研究所のシームレス地質図ダウンロードページ
<https://gbank.gsj.jp/seamless>
- ・鉱物の画像
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%A3%81%E9%89%84%E9%89%B1>
<http://www.weblio.jp/content/%E3%83%81%E3%82%BF%E3%83%B3%E9%89%84%E9%89%B1>
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hematite-1.JPG>
- ・テルミット反応実験 PDF
www.osaka-c.ed.jp/kate/rikal/h20kensyuu/tyouki/thermit.pdf
- ・花崗岩の分類
<https://kotobank.jp/word/%E7%A3%81%E9%89%84%E9%89%B1%E7%B3%BB%E5%88%97-783489>
http://blogs.yahoo.co.jp/kawakatu_1205/56027852.html
- ・かんらん岩が蛇紋岩化する過程
株式会社 N T O 井戸掘りのすすめ