

## 開聞岳のかんらん石

内村公大・浦嶋幸世

〒 890-0065 鹿児島市郡元 1-21-30 鹿児島大学総合研究博物館

### ■ はじめに

開聞岳は鹿児島県指宿市の薩摩半島南端に位置し、標高 924 m (三角点の値は 922.2 m: 国土地理院発行 2 万 5 千分の 1「開聞岳」地形図参照) の円錐形の山で、霧島錦江湾国立公園の区域内にある (図 1-2)。この山の別称は薩摩富士で、三国名勝図会 (五代・橋口, 1905) や日本百名山 (深田, 1964) に選ばれた景勝地である。開聞岳は平安時代まで活動していた活火山で、歴史的にも人と深い関わりをもつ。開聞岳とそれを巡る広い分野の話題は開聞町郷土誌改訂版 (開聞町, 1994) に詳しい。

開聞岳の岩石はかんらん石 (olivine: オリビン) を含んでおり、開聞岳周辺の海岸にはオリビン・サンドと呼ばれる海岸砂が分布している。このかんらん石は国内外の地学関係者に知られており、筆者の一人浦嶋は 1977 年に地質見学地点と決めて来た金沢大学理学部学生を、1987 年に海外研究者の希望から太平洋縁辺部会議の地質見学で現地を案内した。また、鹿児島の自然について書かれた出版物 (例えば、浦嶋, 1989; 大木, 2000 など) に掲載されているほか、海岸砂についての研究報告もある (山元, 1954 など)。近年は、Web ページでもかんらん石が紹介され、地学関係者以外にも知られるようになった。このように開聞岳のかんらん石がよく知られるようになった一方で、どの研究報告が開聞岳周辺の海岸砂にかんらん石が含まれ、これをオリビン・サンドと報

告したのか、あまり知られていない。また、指宿市開聞町川尻の海岸砂は調べられているが、その他の海岸砂についてはあまり詳しく調べられていない。

ここでは開聞岳のかんらん石の全体像をまとめ、かんらん石が火成岩の生成、海岸砂と後背地 (海岸砂の供給源と考えられる地層の分布地) の地層との関係、海流の堆積物運搬などのほかに、地球内部や宇宙物質にも関連するものであることについて述べたい。

なお、オリビン・サンドは、一般にはかんらん石の一種であるダナイト (dunite) を破碎・製粒したものを指し (岡野・平野, 2003)、工学的な名称である (長沢・Kuzvart, 1989)。

本文に示した標本と写真は鹿児島大学総合研究博物館所蔵である。

### ■ 開聞岳火山について

#### 1. 開聞岳の噴火史

開聞岳は、約 10 万年前の阿多カルデラの火山活動後、約 4000 年前から平安時代まで複数回噴火を繰り返している若い火山で、揖宿カルデラ (阿多カルデラ) 内の火口丘の一つと考えられている (Matsumoto, 1943)。約 4000 年前の最初の噴火は水が関与した噴火で、浅海域の海底噴火と考えられていたが (田中, 1954)、最近では海岸近くで水蒸気マグマ噴火が起こったと考えられている (藤野・小林, 1992, 1997, 1999; 小林, 2010)。約 4000 年前の噴火後、開聞岳は平安時代まで噴火を繰り返し、複数の溶岩やテフラ (火山灰や軽石などの火山碎屑物の総称) を噴出して開聞岳山腹から山麓に見られる長い裾野をもった成層火山の山体を、平安時代の西暦 874 年 (貞観 16 年) には鉢窪火口 (桑代, 1966, 1967) を、西暦 885 年 (仁

Uchimura, K. and Y. Urashima. 2013. The Olivine from Mt. Kaimondake in Kagoshima Prefecture, Japan. *Nature of Kago-shima* 39: 191-202.

✉ KU: The Kagoshima University Museum, 1-21-30 Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan (e-mail: neogene@jm.kuas.kagoshima-u.ac.jp).

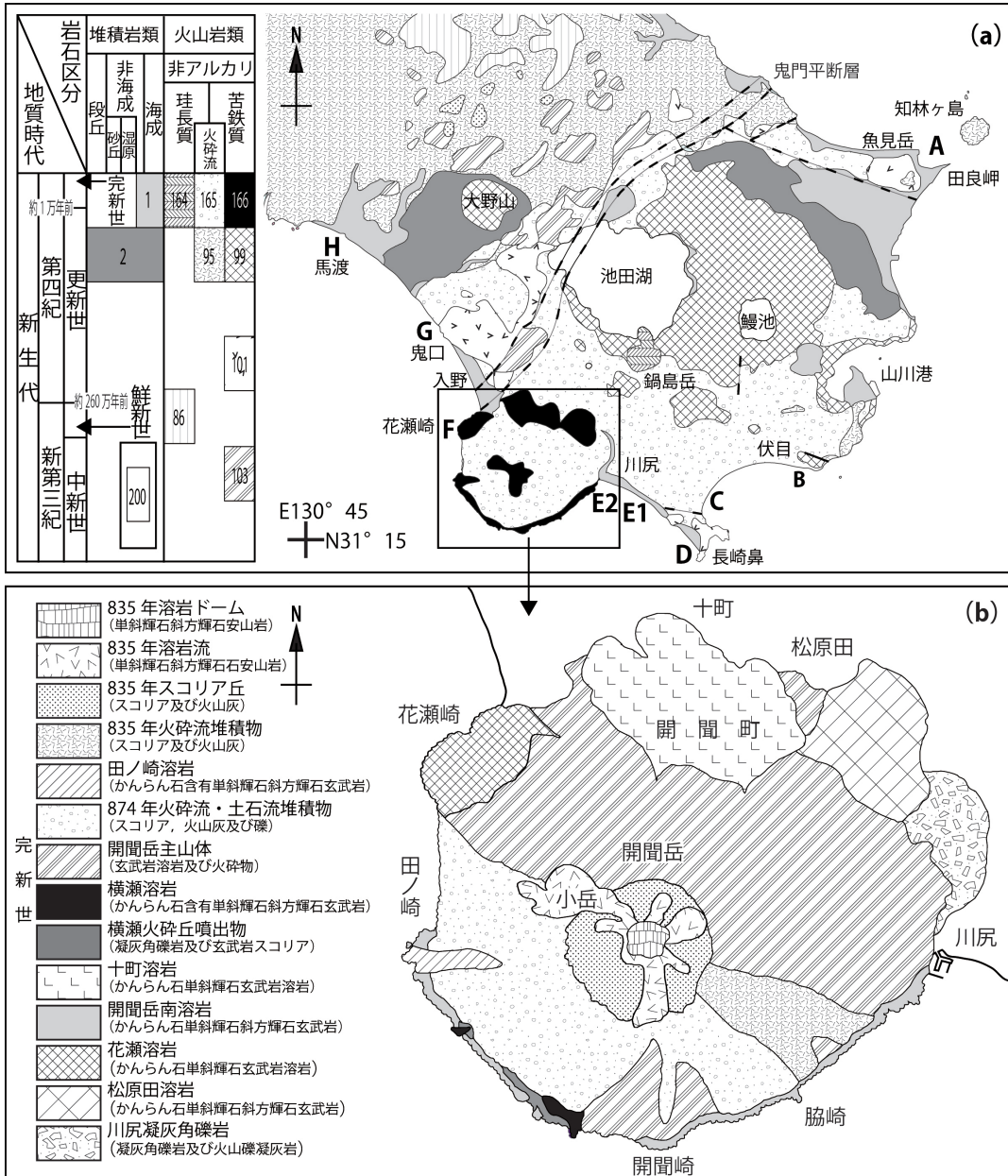


図1. 薩摩半島南西端 (a) と開聞岳火山 (b) の地質図。(a) 20万分の1地質図幅「開聞岳及び黒島の一部」(川辺ほか, 2004) に加筆。(b) 5万分の1地質図幅「開聞岳及び黒島の一部」(川辺・阪口, 2005) に加筆。

和元年)には開聞岳山頂の中央火口丘を形成した(中村, 1971; 藤野・小林, 1997, 1999; 川辺・阪口, 2005; 小林, 2010)。

指宿市の橋牟礼川遺跡では、開聞岳から噴出した複数のテフラの重なりから縄文時代と弥生時代の新旧関係が明らかにされている。また、874

年の貞観噴火とその噴出物であるテフラによって倒壊・埋没した平安時代の住居跡が発掘、展示されている(成尾, 1997)。

最近の開聞岳に関連した地学現象として、1967(昭和42)年8月5-8日に地震が群発、2000(平成12)年12月12日から12月下旬に山頂から噴





図2. 開聞岳. 指宿市開聞町(手前の海岸は花瀬崎)とその北東の砂浜. 1987年9月1日, 浦嶋撮影.

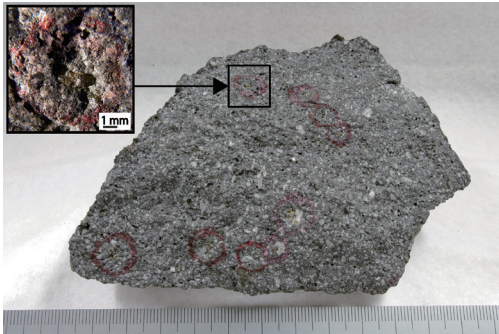


図3. 開聞岳の溶岩中のかんらん石. 開聞岳山麓自然公園. 1977年8月, 浦嶋採取. スケール1mm.

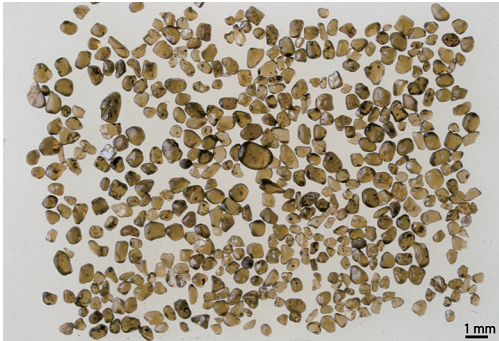


図4. 開聞岳北北西の入野海岸の海岸砂のかんらん石. 1977年3月24日, 浦嶋採取. スケール1mm.

気が上がったことが報告されている(気象庁編, 2005).

## 2. 開聞岳の地質とかんらん石を含む岩石

開聞岳の地質については村田 析や小藤文次

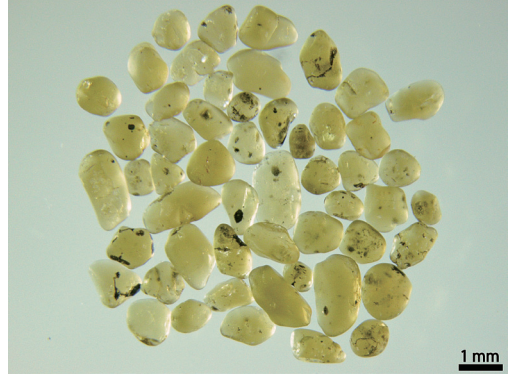


図5. 川尻海岸の海岸砂(地点E1)のかんらん石. 2011年8月6日, 内村採取, かんらん石を透過光で撮影. スケール1mm.

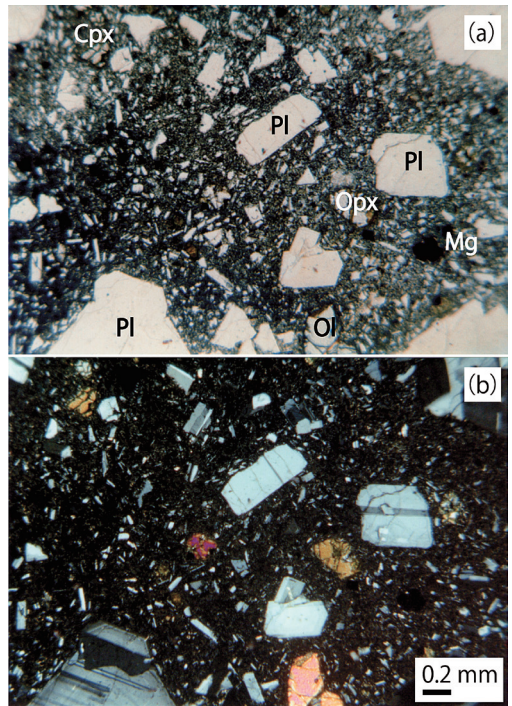


図6. 開聞岳田ノ崎の溶岩の薄片の顕微鏡写真. 平行ニコル(a), 直交ニコル(b). Ol:かんらん石, Cpx:単斜輝石, Opx:斜方輝石, Pl:斜長石, Mg:磁鉄鉱. 内村採取, 撮影. スケール0.2mm.

郎らの調査報告があるが, 公表されていない. その後, 井上(1907, 1910, 1912), 著者無記名(1911), 永淵(1916)および松本(1935, 1938)が, 開聞岳の地形地質とそれを構成する岩石について報告し, この中で井上(1912)がはじめて海門岬(開

聞崎?)に露出する溶岩をかんらん石含有両輝石安山岩と報告した. 永淵(1916)は鉢窪火口以下を構成する岩石を古い順に7つに分け, そのうちかんらん石を含む玄武岩や安山岩の溶岩を5つ列記し, 鉢窪以上はかんらん石をわずかに含む紫蘇輝石安山岩と報告した. また, 松本(1938)はかんらん石を含み玄武岩に近きものと報告した. その一方で, 輝石安山岩とする例もあった(井上, 1907, 1910; 鹿児島県地質図編集委員会, 1990).

近年の研究報告は, 先述した噴火史や溶岩やテフラの岩石についてまとめている. 溶岩は開聞岳山麓や山頂の中央火口丘に分布し, 山麓の岩石はかんらん石含有両輝石玄武岩(太田, 1966は, かんらん石含有両輝石安山岩), 山頂の岩石は両輝石安山岩である(太田, 1966; 宇井, 1967; 中村, 1971; 川辺・阪口, 2005; 小林, 2010; 図1b). 岩石の化学組成によると, 開聞岳山麓の岩石のSiO<sub>2</sub>成分は51-53%で玄武岩などの塩基性岩に, 中央火口丘の岩石のSiO<sub>2</sub>成分は54-57%で安山岩などの中性岩に分類される(中村, 1971; 川辺・阪口, 2005).

テフラは主に降下火砕物(スコリアや火山灰)と火砕流堆積物からなり, それより古い地層(池田火砕流堆積物: 池田湖に相当する池田カルデラ起源のテフラ)からの異質礫や輝石安山岩のような類質礫, 火山豆石や植物化石を含む. このテフラは「コラ」とも呼ばれ(花井, 1952a-c; 桑代, 1966, 1967), 古い順に黄・灰・暗紫・青・紫ゴラに分けられた(成尾, 1984, 1986; 藤野・小林, 1992). また, 花井(1952c)はテフラ(=コラ)に含まれる輝石安山岩にかんらん石が含まれることを, 成尾(1991)は開聞岳起源のテフラなどの噴出物にかんらん石が含まれることを報告した.

開聞岳西山麓の花瀬崎(地名由来は成尾, 2010)の溶岩(花瀬溶岩)は, 溶岩が流れたときにできた模様が縄状に見えることから縄状玄武岩(門田, 1950, 1954は縄状溶岩と記載)と呼ばれ, 鹿児島県の天然記念物(1954年5月24日)に指定された. しかし, 本来のハワイ島の溶岩(パホイホイ溶岩)に見られる表面の縄模様(あるいは縞模様)とは異なる.

門田(1954)は開聞岳周辺の川尻や脇浦の海岸砂に「オリビン・サンド」が含まれていることを記載した. その後の研究報告は, 海岸砂に含まれるかんらん石の特徴や他の鉱物との量比, 化学組成について報告した(山元, 1954; 竹上, 1983; 久野, 1987a-b; 山切, 1990; 内村・請園, 1996; 須藤・有田, 2005; 桑水流, 2008; Matsui, 2011).

## ■ かんらん石の性質

### 1. 肉眼的性質

開聞岳火山に供給されたマグマは, フィリピン海プレートが琉球海溝から日本列島の下に沈み込み, 地下約100 kmのところの部分熔融を起してできると考えられている. この時のマグマは玄武岩質マグマで, マグマが固化するときにはじめにできる鉱物がかんらん石で, 一般に超塩基性(岩石中のSiO<sub>2</sub>成分<45%: かんらん岩)~塩基性(45-53%: 玄武岩)の火成岩に含まれる. 鹿児島では玄武岩や一部の輝石安山岩に含まれていることが多いが, 比較的透明で見つけにくい. 開聞岳の玄武岩溶岩には, 肉眼で見つけやすいほど多く含まれていることがある(図3). その容量はおおよそ1.7%で, かんらん石の長径は3 mmに及ぶこともある(中村, 1971).

岩石が浸食され, 風化せずに残ったかんらん石は硬度が6.5-7.0, 比重が3.5程度と大きいので, 流水でも残留し, オリーブ色(成尾, 1991ではビール色)で見つけやすいが, 海岸砂中のかんらん石には摩耗して丸みを帯びた粒子が多く, 結晶面が分かりにくい(図4-5).

### 2. 顕微鏡的性質

岩石の薄片(厚さ0.03 mm)を偏光顕微鏡で観察する(図6)と, かんらん石の屈折率(約1.7)は周りの鉱物より大きいので浮き上がって見える. 直交ニコルでは, 結晶の延長方向とそれに直交する方向で消光(直消光)し, 複屈折率が高く, 赤色, 黄色, 青色, 紫色や藍色の鮮やかな色調(干渉色)を示す. 輝石類なども干渉色を示すが, へき開(直線的割れ目)があるため, 見分けられる.

### 3. 化学組成

かんらん石は珪酸塩鉱物に属し、化学式は  $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_5$ 、少量の Mn, Ni, Ti を含む。また、この鉱物は  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  (苦土かんらん石: forsterite, 緑色) と  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  (鉄かんらん石: fayalite, 褐色) を端成分とする固溶体である。鉱物群名のかんらん石には  $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$  (テフロ石: tephroite) や  $\text{CaMgSiO}_4$  (モンチセリ石: monticellite, 灰色) も含まれる。開聞岳のかんらん石は、岩石中のかんらん石の化学分析 (中村, 1971) と、川尻海岸の海岸砂中のかんらん石の X 線マイクロアナライザー分析 (Matsui, 2001) によると  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  成分が 70–74% の苦土かんらん石である。

#### ■ 開聞岳以外のかんらん石の産地の例示

##### 1. 鹿児島県のかんらん石の産地

宮久・大迫 (1970), 大迫・宮久 (1970), 丸野 (1988) 及び久野 (1990) は鹿児島県内のかんらん石の産地をまとめている。鹿児島県内で、かんらん石は玄武岩や一部の輝石安山岩中に含まれることが多い。主な玄武岩は薩摩川内市平山・城山～鹿児島市八重山の川内玄武岩 (太田, 1971: 命名), 垂水市牛根麓の牛根玄武岩 (小林ほか, 1977: 命名), 始良市蒲生町米丸の米丸玄武岩 (通商産業省資源エネルギー庁, 1979: 命名), 鹿児島市吉野台地の平松玄武岩・白浜玄武岩・寺山玄武岩 (大木・早坂, 1970: 命名) などである。かんらん石を含む輝石安山岩は多く、その一部を上げると垂水市牛根麓の牛根安山岩 (小林ほか, 1977: 命名), 始良市蒲生町良久の良久安山岩 (内村ほか, 2007: 命名) があり、霧島火山, 桜島火山, 硫黄島・口永良部島・諏訪之瀬島・悪石島や横当島の活火山 (島) の火山噴出物のかんらん石を含む輝石安山岩 (一部, 玄武岩～玄武岩質安山岩) である。鹿児島県内の地質は日本の地質「九州地方」編集委員会編 (1992) の「日本の地質 9, 九州地方」や日本地質学会編 (2010) の「日本地質地方誌, 8 九州沖縄地方」にまとめられており、かんらん石を含む岩石を調べることができる。

玄武岩や輝石安山岩以外では霧島市隼人町清水の清水流紋岩 (大塚・西井上, 1980: 命名) や

垂水市咲花平 (松原, 2010 では早崎) の牛根流紋岩 (小林ほか, 1977: 命名) の空隙に、鉄かんらん石が含まれている (丸野, 1988; 久野, 1990)。この鉄かんらん石の産状は玄武岩中のかんらん石とは異なり、珪酸鉱物と共存する。また、奄美大島大和村の大和鉱山にはチョコレートマンガン鉱物があり、これをバラ輝石とテフロ石質マンガン鉱物の細脈が貫入している。(吉村, 1952)。テフロ石はマグマ中の生成鉱物ではない。

開聞岳付近に分布し、開聞岳よりも古い地質時代に形成された南九州市頴娃町大野岳山頂のかんらん石単斜輝石斜方輝石玄武岩溶岩 (井上, 1910; Matsumoto, 1943), 指宿市池田湖南部の鍋島岳溶岩ドームにもかんらん石が含まれている (宇井, 1967; 太田, 1966; 奥野・小林, 1991; 川辺・阪口, 2005)。

##### 2. 日本のかんらん石の産地

佐賀県高島の玄武岩にはかんらん石の団塊が含まれ、これはマントル上部から由来したと考えられている (加藤, 1973)。

兵庫県豊岡市の「玄武洞」はかんらん石玄武岩からなり、富士山の溶岩の岩石も玄武岩で、富士山などの関東西部の火山起源の関東ローム層にもかんらん石も含まれている。

北海道日高山脈南端のアポイ岳の幌満かんらん岩は地球内部の上部マントルの物質が持ち上げられたものである (新井田, 2010)。玄武岩は苦鉄質 (岩石中の有色鉱物の量比で表される色指数 70–40) 岩石であるが、これは超苦鉄質 (色指数 > 70) 岩石である。北海道大学予科記念碑は幌満かんらん岩で、重厚で美しい (勝井, 2004)。このかんらん岩はオリビン・サンドとして鑄物砂や炉材に使われたが、今は骨材に利用されている (八幡, 2010)。オリビン・サンドに利用されたかんらん岩の産地として、福島県石川町沢井の南羽鉱山, 愛媛県松山市土居町・新居浜市別子山の東赤石鉱山がある (地質調査所, 1960)。

海岸砂にかんらん石を産する例は東京都の八丈島 (和田, 1904) や三宅島 (加藤, 1973) に知られている。



### 3. 海外のかんらん石の産地

ハワイ島は玄武岩の火山島で、ブラックサンドビーチのほかに、ハワイ島南端部には、グリーンサンドビーチ（青木，2012；Robert et al., 1987）があり、これはかんらん石が主体で、お土産として売られている。

美しい緑色のかんらん石は、例えばエジプトに産するものは、ペリドット（ペリドート：peridot）と呼ばれ、8月の誕生石である（Bonewitz, 2007）。

### 4. 宇宙物体のかんらん石

筆者の一人浦嶋は、ニール・アームストロング（2012年8月25日死去）ほか1969年にアポロ11号で月から持ち帰った岩石を日本公開展示前に見せてもらったが、ガラス越しで離れていたため、構成鉱物を確認できなかった。その試料やその後月から採取された玄武岩にかんらん石が含まれている（古在，1979）。

隕石、例えば南極で採取された隕石にかんらん石が含まれている（矢内，1994）。かんらん石は輝石とともに、石鉄隕石や石質隕石の主要構成鉱物の一つで、原始太陽系星雲から最初に結晶化した鉱物である。

## ■ 海岸砂の鉱物組成、かんらん石の特徴とその割合について

### 1. 研究方法

海岸砂の鉱物組成、かんらん石の特徴とその割合について調べた。試料は東から指宿市東方田良岬（地点A）、同市山川町伏目（地点B）、同市山川町浜兎ヶ水（地点C）、同市同町長崎鼻（地点D）、同市開聞町川尻1・2（地点E1・2）、同市同町花瀬崎（地点F）、南九州市穎娃町鬼口（地点G）と同市同町馬渡（地点H）で採取した海岸砂である（図1a）。海岸砂は海浜の高潮線の下、約5cm掘り下げたところを採取した。山川町伏目（地点B）の海岸砂は磁鉄鉱が濃集した部分を採取した。また、開聞町川尻1（地点E1）の試料は満潮のため海岸に降りて海岸砂を採取することができず、堤防に打ち上げられた海岸砂を採取

した。この海岸砂は、2011年8月6日に鹿児島大学総合研究博物館が主催した第11回自然体験ツアー「薩摩焼のカオリンと指宿ジオサイトめぐり」で、川尻海岸に立ち寄った際に採取した試料である。

海岸砂の鉱物組成を定量的に調べるため、メスシリンダーでほぼ一定の体積にした（約21ml）。体積測定後、乾燥した海岸砂の質量を計測し、密度を求めた。鉱物組成は実体顕微鏡を用い、鉱物鑑定を行いながら鉱物粒子を計測した。鉱物粒子径にバラツキがあると鑑定しにくいいため、篩（粗粒な順に > 2 mm : > -1φ, 2-1 mm : -1-0φ, 1-1/2 mm : 0-1φ, 1/2-1/4 mm : 1-2φ, 1/4-1/8 mm : 2-3φ, 1/8-1/16 mm : 3-4φ, < 1/16 mm : < 4φ）を用いて各粒径に分けた。さらに、各粒径の海岸砂の質量を計測し、その割合をもとに粒度分析を行い、粒度指標である中央粒径値（Mdφ）、平均粒径値（Mz）、淘汰度（So）と歪度（Sk）を求めた。各粒径の海岸砂を観察すると、2-1 mm, 1-1/2 mm の粒径は鉱物を含む岩石片が多く、鉱物粒子が少ない。また、> 2 mm, 1/8-1/16 mm と < 1/16 mm の粒径は鉱物鑑定を行うには量が少なかったことから、鉱物組成を調べるのに十分な量があった1/2-1/4 mm の粒径を鉱物組成を調べるのに用いた。鉱物組成を調べた粒子数は葉さじで無作為に取り出した量で、穎娃町馬渡（地点H：計973個）を除き各地点とも500個前後であった。

### 2. 海岸砂の密度と粒度分析結果

各地点の海岸砂の質量（g）、体積（ml）と密度（g/ml）を表1に示す。各地点とも2.50 g/ml

表1. 海岸砂の質量、体積と密度。

	質量 (g)	体積 (ml)	密度 (g/ml)
A 指宿市東方田良岬	51.54	21.00	2.45
B 指宿市山川町伏目	62.11	21.00	2.96
C 指宿市山川町浜兎ヶ水	50.56	21.00	2.41
D 指宿市山川町長崎鼻	53.83	21.00	2.56
E1 指宿市開聞町川尻1	51.80	21.00	2.47
E2 指宿市開聞町川尻2	49.16	21.00	2.34
F 指宿市開聞町花瀬崎	54.09	21.00	2.58
G 南九州市穎娃町鬼口	48.02	22.00	2.18
H 南九州市穎娃町馬渡	61.62	21.00	2.93

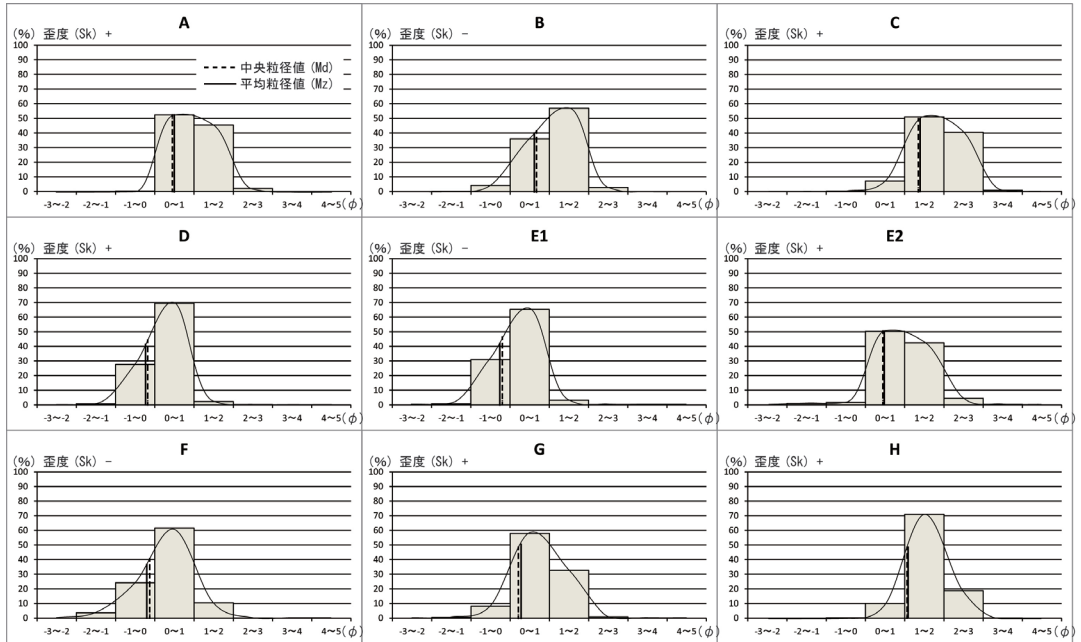


図7. 海岸砂の各粒径のヒストグラムと累積粒度曲線.

前後の値で、山川町伏目（地点B）と穎娃町馬渡（地点H）の海岸砂は2.96 g/mlと2.93 g/mlの高い密度であった。

海岸砂の各粒径の乾燥質量（g）を表2に、その割合（%）を図7に示す。さらに、各地点の粒度分析結果を表3に示す。

川尻1（地点E1）と花瀬崎（地点F）の中央粒径値（-0.18、-0.20と-0.13）と平均粒径値（-0.24、-0.27と-0.20）は粒径が粗い（極粗粒砂）ことを示す。それに比べて他地点の海岸砂

の中央粒径値(0.21-1.34)と平均粒径値(0.28-1.34)は粒径が細かいことを示し、とくに浜児ヶ水（地点C）と馬渡（地点H）の海岸砂は粒径が細かい（中粒砂）。

各地点の海岸砂の淘汰は良く（淘汰度：0.50-0.63）、これは粒径が揃っていることを示す。

伏目（地点B）、長崎鼻（地点D）、川尻1（地点E1）や花瀬崎（地点F）はモード（最も頻度の高い粒径値）が中央粒径値より粗粒の方に偏っている（負の値）ことから粗粒な海岸砂が多く含

表2. 海岸砂の各粒径の質量.

	礫		砂				泥シルト
	細礫 4-2 mm (-2~-1 φ)	極粗粒砂 2-1 mm (-1-0 φ)	粗粒砂 1-1/2 mm (0-1 φ)	中粒砂 1/2-1/4 mm (1-2 φ)	細粒砂 1/4-1/8 mm (2-3 φ)	極細粒砂 1/8-1/16 mm (3-4 φ)	粗粒シルト 1/16-1/32 mm (4-5 φ)
A 指宿市東方田良岬	0.01	0.14	26.95	23.40	1.04	0.00	0.00
B 指宿市山川町伏目	0.09	2.54	22.38	35.36	1.74	0.00	0.00
C 指宿市山川町浜児ヶ水	0.02	0.13	3.65	25.83	20.50	0.42	0.01
D 指宿市山川町長崎鼻	0.38	14.84	37.35	1.21	0.05	0.00	0.00
E1 指宿市開聞町川尻1	0.37	15.96	33.82	1.60	0.05	0.00	0.00
E2 指宿市開聞町川尻2	0.47	0.82	24.69	20.88	2.16	0.14	0.00
F 指宿市開聞町花瀬崎	1.96	13.10	33.35	5.67	0.01	0.00	0.00
G 南九州市穎娃町鬼口	0.24	3.90	27.80	15.67	0.38	0.03	0.00
H 南九州市穎娃町馬渡	0.00	0.13	6.15	43.75	11.57	0.02	0.00

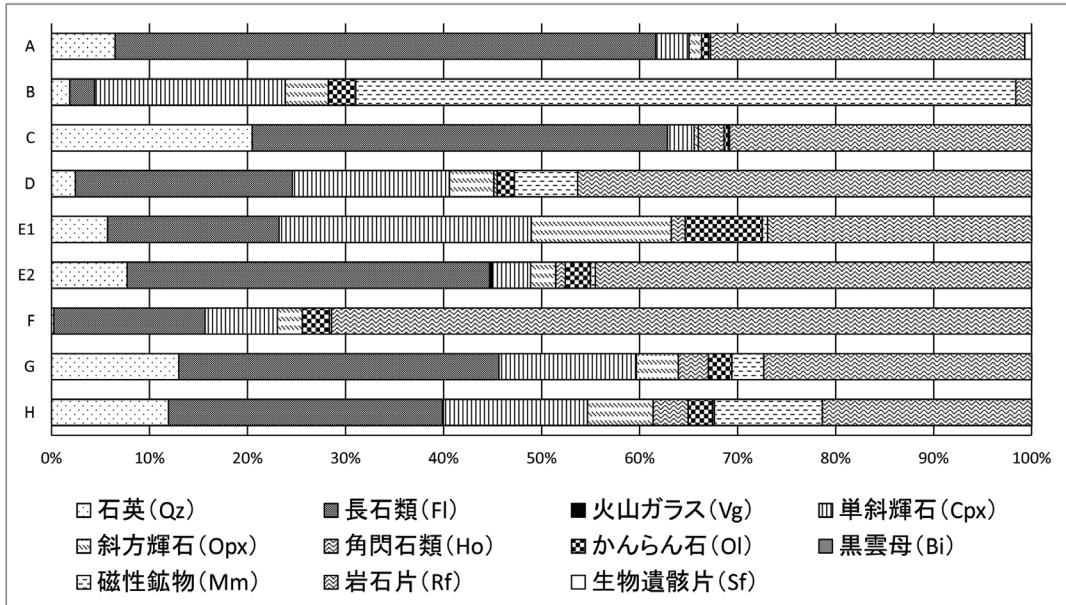


図 8. 海岸砂の鉱物組成の割合.

まれることを示す. 一方, 他地点はモードが中央粒径値より細粒の方に偏っている (正の値) こと

から細粒な海岸砂が多く含まれることを示す. とくに浜児ヶ水 (地点 C) と馬渡 (地点 H) は細粒の方に偏っている.

表 3. 海岸砂の粒度指標.

	中央 粒径値 (Md φ)	平均 粒径値 (Mz)	淘汰度 (So)	歪度 (Sk)
A 指宿市東方田良岬	0.45	0.48	0.58	0.08
B 指宿市山川町伏目	0.68	0.61	0.61	-0.18
C 指宿市山川町浜児ヶ水	1.34	1.37	0.62	0.06
D 指宿市山川町長崎鼻	-0.18	-0.24	0.52	-0.22
E1 指宿市開聞町川尻 1	-0.20	-0.27	0.47	-0.44
E2 指宿市開聞町川尻 2	0.44	0.49	0.61	0.11
F 指宿市開聞町花瀬崎	-0.13	-0.20	0.63	-0.18
G 南九州市顚娃町鬼口	0.21	0.28	0.61	0.14
H 南九州市顚娃町馬渡	1.06	1.08	0.50	0.11

粒度指標の計算式: Folk and Ward (1957).

### 3. 海岸砂の鉱物組成の特徴と量的対比

各地点の海岸砂の鉱物組成結果を表 4 に, その割合を図 8 に示す. 各地点の海岸砂は, 主に石英 (無色透明で粒状), 長石類 (無色~白色で長柱状, 長軸方向の劈開が顕著), 単斜輝石 (淡黄色~黄褐色で短・長柱状, 微小な磁性鉱物が付着), 斜方輝石 (淡~濃緑色で短・長柱状, 微小な磁性鉱物が付着), かんらん石, 磁性鉱物 (黒色で金

表 4. 海岸砂の鉱物組成 (鉱物は略名).

	石英 (Qz)	長石類 (Fl)	火山 ガラス (Vg)	単斜 輝石 (Cpx)	斜方 輝石 (Opx)	角閃 石類 (Ho)	かん らん石 (Ol)	黒雲母 (Bi)	磁性 鉱物 (Mm)	岩石片 (Rf)	生物 遺骸片 (Sf)	合計 (個数)
A 指宿市東方田良岬	36	306	0	19	7	0	4	4	1	178	0	555
B 指宿市山川町伏目	8	11	0	84	19	0	12	0	291	7	0	432
C 指宿市山川町浜児ヶ水	142	294	0	19	3	18	3	0	1	214	0	694
D 指宿市山川町長崎鼻	14	127	0	92	26	2	10	0	37	266	0	574
E1 指宿市開聞町川尻 1	32	98	0	144	80	8	44	0	3	151	0	560
E2 指宿市開聞町川尻 2	48	230	2	24	16	6	16	0	3	277	0	622
F 指宿市開聞町花瀬崎	1	67	0	32	11	0	12	0	1	310	0	434
G 南九州市顚娃町鬼口	76	191	0	82	25	18	14	0	19	160	0	585
H 南九州市顚娃町馬渡	116	272	1	143	65	35	24	0	107	208	2	973



属光沢、粒状、主に磁鉄鉱)と岩石片(灰黒色～黒色の火山岩、灰色～赤褐色のスコリア)からなる。角閃石類(黒色で長柱状)は田良岬(地点A)、伏目(地点B)と花瀬崎(地点F)を除く地点の海岸砂に含まれていた。また、火山ガラス(無色で繊維状)は川尻2(地点E2)と馬渡(地点H)、黒雲母(金属光沢で層状)は田良岬(地点A)、生物遺骸片は馬渡(地点H)の海岸砂に含まれていた。地点Hの生物遺骸片には底生有孔虫が1個体含まれていた。

田良岬(地点A)や浜児ヶ水(地点C)は灰色～灰白色の海岸砂からなるが、この海岸砂には無色鉱物の石英・長石類、あるいはその両方が多く含まれていた。長崎鼻(地点D)、川尻1(地点E1)、川尻2(地点E2)や花瀬崎(地点F)の海岸砂は黒色で、地点A・Cに比べて有色鉱物の単斜輝石・斜方輝石・かんらん石、岩石片が多い。鬼口(地点G)と馬渡(地点H)は灰色～灰黒色で、無色鉱物と有色鉱物を平均的に含んでおり、あまり特徴はない。伏目(地点B)は地点D・E1・E2・Fのように黒色であるが、海岸砂の大部分が磁鉄鉱からなり、石英や長石類が少ない。海岸砂の色調は水中あるいは湿度が高いと黒くなる傾向がある。上で述べた色は乾燥状態下の海岸砂の色である。

かんらん石は全地点の海岸砂に含まれ、川尻1(地点E1)の海岸砂に多い(7.86%)。地点E1より西の海岸砂(地点E2, F, G, H)は2.60%前後を、地点Bを除いて地点E1より東の海岸砂には1.0%以下の割合を示す。地点Bと地点Fは2.78%と2.76%のほぼ同じ割合であった。

#### 4. かんらん石を含む海岸砂の形成過程について

伏目(地点B)と馬渡(地点G)は、他地点の海岸砂と比べて密度が高い。地点Bの海岸砂は大部分が主に磁鉄鉱(比重5.2)の磁性鉱物であることから、密度が高くなったと考えられる。また、地点Hの海岸砂の鉱物組成は70%以上が磁鉄鉱などの鉱物粒からなり、他地点に比べて岩石片や生物遺骸片が少ない。そのため、密度が高くなったと考えられる。岩石片の多くは多孔質なス

コリアや火山岩の石基部などであり、鉱物粒に比べ比重が小さいと考えられる。

全地点の海岸砂は外洋の強い波によって分級が起り、粒径が揃えられたため、淘汰が良い(ほぼ同じ粒子径)結果になったと考えられる。

長崎鼻(地点D)、川尻1(地点E1)と花瀬崎(地点F)の海岸砂は粗粒砂が多いため、粗い粒径に偏っている。他地点の海岸砂は中粒砂が多く、細粒砂が含まれているため、地点D・E1・Fに比べて細かい粒径に偏っている(図7)。伏目(地点B)の海岸砂は細粒砂より細かいものが少なく、粗粒砂など粗い粒径を含んでいるため、歪度が粗い粒径に偏ったと考えられる。地点D・E1・Fは開聞岳の溶岩やテフラが露出した岩石海岸の近くにあり、波食によって破碎された粗粒な砂が堆積し、細粒な砂は波の作用によって堆積せずに運搬されていると考えられる。底層の流れを反映する中央粒径値をみても地点D・E1・Fの値は小さく、これらの地点は強い波の影響を受けていると考えられる。そのほかは比較的細かい粒径を含み、中央粒径値も正の値であることから、地点D・E1・Fに比べて波の影響を受けていないと考えられる。

同じ海岸に位置する地点BとC(伏目と浜児ヶ水)、地点E1とE2(川尻)、地点GとH(鬼口と馬渡)では、地点C・E2・Hの方が粒径が細かい。第十管区海上保安本部(2013)によると鹿児島湾外の開聞岳より南の沖合では南東方向の沿岸流(0.4-1.2 km程度)が卓越していることが報告されている。地点C・E2・Hでは沿岸流の逆流によって粒径の細かいものが集積しているためと考えられる。また、地点C・E2・Hの沖合には波消しブロックや防波堤があり、これら人工物の影響を反映している可能性も高い。

#### 5. かんらん石を含む海岸砂と周辺の地質の関係

かんらん石を特徴的に含む海岸砂は、鹿児島県内でも稀少である。かんらん石は開聞岳起源の溶岩やテフラに含まれており、これら開聞岳の噴出物が海岸砂中のかんらん石の供給源と考えられていた(成尾, 1991)。海岸砂中のかんらん石が

溶岩やテフラ起源であることを明らかにするには、かんらん石の化学組成を調べ、比較する方法がある。すでに、Matsui (2000) が X 線マイクロアナライザーを用いて川尻海岸の海岸砂中のかんらん石の化学成分と、かんらん石に含まれる赤鉄鉱や珪酸塩メルト包有物（マグマ溜りで取り込まれた珪酸塩の溶融物）の化学成分を報告している。今後、溶岩やテフラ中のかんらん石とその包有物の化学組成を調べ、海岸砂中のかんらん石の化学組成と比較することで海岸砂と供給源の関係が明らかになると考えられる。

開聞岳から比較的遠い田良岬(地点 A)、鬼口(地点 G) や馬渡(地点 H) の海岸砂にもかんらん石が含まれていたが、これは開聞岳の溶岩やテフラから供給され、沿岸流によって運搬された可能性、あるいは開聞岳を中心として指宿市街地まで陸域に広く分布するテフラから供給されたと考えられる。さらに、地点 G・H に近い大野岳火山の溶岩や鍋島岳の溶岩ドームが供給源の可能性もある。

長石類、単斜輝石、斜方輝石や磁性鉱物は開聞岳の溶岩やテフラに多く含まれている鉱物であり、かんらん石と同様に溶岩やテフラ起源の鉱物と考えられる。

開聞岳周辺の海岸砂(地点 D, E1, E2 と F) には石英を除いて火山ガラス、角閃石類や黒雲母が少量含まれている。これらの鉱物を含む地層群は内陸部の池田湖とその周辺に分布している。開聞岳周辺の海岸には内陸部の礫や砂を運搬する河川が小さく、数も少ないため、海岸砂の大部分は開聞岳とその沿岸の溶岩やテフラに含まれている鉱物から構成されているものと考えられる。開聞岳から離れた東の田良岬(地点 A) や西の鬼口(地点 G) や馬渡(地点 H) の海岸砂には石英、火山ガラス、角閃石類や黒雲母が比較的多く含まれるようになる。

山川町伏目(地点 B) や浜児ヶ水(地点 C) の海岸には池田カルデラ起源の池田火砕流堆積物が露出しており、固結度も低いことから波食によって池田火砕流堆積物中の石英、長石類や角閃石類が海岸砂に供給されているものと考えられる。池田火砕流堆積物には火山ガラスが含まれている

が、海岸砂には僅少である。これは火山ガラスの比重が小さく、波の作用で沖合に運ばれているためと考えられる。

今回の調査地域外であるが、桑水流(2005) は南大隅町根占大浜海岸の海岸砂中のかんらん石が含まれることを報告している。筆者の一人内村もそのかんらん石を認めている。このかんらん石は開聞岳周辺から沿岸流で運搬されたものか、開聞岳起源のテフラ起源か、あるいは大隅半島に点在する輝石安山岩中に含まれているか、現在のところよくわからない。今後の課題である。

## ■ おわりに

今回探索した文献で、はじめて門田(1954) が川尻・脇浦海岸の海岸砂に含まれるかんらん石を「オリビン・サンド」と報告したことがわかった。この報告は鹿児島県指定の天然記念物になった開聞岳花瀬崎の「縄状玄武岩」についての調査報告書である。また、かんらん石の供給源と考えられる開聞岳の岩石中のかんらん石が含まれることについて報告したのは井上(1912) である。しかし、今回調査できなかった村田や小藤らの文献もあるため、最初の記載者とする断言は避けたい。

かんらん石は地球表層、地球内部の地殻や地球外の月や隕石の岩石の造岩鉱物であり、装飾品や工業材「オリビン・サンド」として利用されている身近な鉱物である。

鹿児島県内にはかんらん石を含む玄武岩や一部の輝石安山岩が内陸部に分布しているが、開聞岳周辺の海岸砂のようにかんらん石を特徴的に含む海岸砂の報告はない。開聞岳周辺の海岸砂は、鉱物組成や粒度分析の結果から、開聞岳とその周辺に分布する複数のかんらん石含有の溶岩やテフラが浸食、沿岸流によって運搬され、波の作用によって川尻海岸などに履き寄せられたと考えられる。今回は、海岸砂中のかんらん石が、開聞岳の溶岩やテフラ起源であることを証明をすることができなかった。今後、海岸砂、溶岩やテフラ中のかんらん石の鉱物分析を行って、その化学成分を調べ、対比を行いたい。

## 謝辞

この報告を公表する機会を与えてくださったこと、また、鹿児島県自然愛護協会研究助成金が与えられたことを記し、鹿児島県自然愛護協会の皆様方に深謝する。

## 引用文献

- 青木たまな. 2012. ハワイ島の本: Big Islandのいいところ ぜんぶ. 大和書房, 東京. ii + 166 pp.
- Bonewitz, R. L. (青木正博訳). 2007. 岩石と宝石の大図鑑: 岩石・鉱物・宝石・化石の決定版ガイドブック. 誠文堂新光社, 東京. v + 355 pp.
- 地質調査所鉱床部非金属課. 1960. オリビン・サンド. 地質ニュース, 67: 2-7.
- 著者無記名. 1911. 開聞岳火山地方の地質. 地質学雑誌, 24: 32-34.
- 第十管区海上保安本部. 2013. 平成22年度鹿児島湾流況観測報告書. 第十管区海上保安本部, 鹿児島. 10 pp.
- 藤野直樹・小林哲夫. 1992. 開聞岳起源のコーラの噴火・堆積様式. 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), 25: 69-84.
- 藤野直樹・小林哲夫. 1997. 開聞岳火山の噴火史. 火山, 42: 195-211.
- 藤野直樹・小林哲夫. 1999. 池田カルデラ・開聞火山. pp. 122-139. 高橋正樹・小林哲夫(編). 九州の火山. 築地書館, 東京.
- 深田久弥. 1964. 日本百名山. 新潮社, 東京. ix + 535 pp.
- 五代秀亮・橋口兼柄. 1905. 三国名勝図会, 第23巻. 山本盛秀, 東京. ii + 86 pp.
- 花井七郎兵衛. 1952a. 薩摩半島南部に分布する“こら”層に関する研究(第1報), 化学的組成について. 鹿児島大学農学部研究報告, 1: 29-41.
- 花井七郎兵衛. 1952b. 薩摩半島南部に分布する“こら”層に関する研究(第2報), 遊離珪酸, アルミナ, 鉄及び色素率について. 鹿児島大学農学部研究報告, 1: 42-48.
- 花井七郎兵衛. 1952c. 薩摩半島南部に分布する“こら”層に関する研究(第3報), 鉱物成分について. 鹿児島大学農学部研究報告, 1: 49-56.
- 久野 武. 1987a. 鹿児島県鉱物略記, 補遺1(手記). 58 pp.
- 久野 武. 1987b. 鹿児島県鉱物略記, 補遺2(手記). 60 pp.
- 久野 武. 1990. 鹿児島県産出鉱物一覧. pp. 297-302. 浦島幸世教授退官記念会(編). 浦島幸世教授退官記念論集, 地球のめぐみ. 浦島幸世教授退官記念会, 鹿児島.
- 井上禧之助. 1907. 開聞岳(雑). 地学雑誌, 19: 141.
- 井上禧之助. 1910. 20万分の1地質図幅「加世田」説明書. 地質調査所, 東京. iv + 168 pp.
- 井上禧之助. 1912. 櫻島及開聞岳, 地質調査所明治四十三年度事業報告. 地学雑誌, 23: 558-561.
- 鹿児島県地質図編集委員会. 1990. 鹿児島県の地質. 鹿児島県企画部企画調整課, 鹿児島. iii + 117 pp., 地質図5葉.
- 開聞町郷土誌編集委員会. 1994. 開聞町郷土誌改訂版. 開聞町, 鹿児島. xxvi + 1245 pp.
- 加藤 昭. 1973. 櫻井鉱物標本. 櫻井欽一博士還暦記念事業会, 東京. ii + 105 pp., 72 pls.
- 勝井義雄. 2004. 上部マントルの石, かんらん岩—北海道大学予科記念碑の石材—, p. 23. 北海道大学予科記念碑建立期成会(編). 北海道大学予科記念碑建立記念誌, 札幌.
- 川辺禎久・坂口圭一・斎藤 眞・駒澤正夫・山崎俊嗣. 2004. 20万分の1地質図幅「開聞岳及び黒島の一部」. 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 茨城. 8 pp., 地質図1葉.
- 川辺禎久・坂口圭一. 2005. 開聞岳地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 産業総合研究所地質調査総合センター, 茨城. vi + 82 pp., 地質図1葉.
- 気象庁(編). 2005. 日本活火山総覧(第3版). (財)気象業務支援センター, 東京. xvii + 635 pp.
- 小林哲夫. 2010. 開聞岳. pp. 279-281. 日本地質学会日本地方地質誌九州・沖縄地方編集委員会(編). 日本地方地質誌, 8九州・沖縄地方. 朝倉書店, 東京.
- 小林哲夫・岩松 暉・露木利貞. 1977. 始良カルデラ壁の火山地質と山くずれ災害. 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), 10: 53-73.
- 古在由秀. 1979. 現代天文学講座(2), 月と小惑星. 恒星社厚生閣, 東京. ii + 253 pp.
- 公文富士夫・立石雅昭(編). 1998. 新版碎屑物の研究法. 地学団体研究会. x + 399 pp.
- 桑代 勲. 1966. 新时期ームのうち(A)開聞火山噴出物について—薩摩半島中南部の火山噴出物(2). 知覧文化, 3: 85-106.
- 桑代 勲. 1967. 新时期ームのうち(A)開聞火山噴出物について—薩摩半島中南部の火山噴出物(3). 知覧文化, 4: 73-94.
- 桑水流淳二. 2008. 鹿児島県本土の海浜と海岸砂. 鹿児島県立博物館研究報告, 27: 109-121.
- Matsui, T. 2001. Olivine sand from Kawashiri Beach in Kagoshima, Japan. Bulletin of the Faculty of Education, Kagoshima University (Natural Science), 52: 45-53.
- 丸野伊勢夫. 1988. 鹿児島県産鉱物について. 鹿児島県地学会誌, 60: 16-35.
- 松原 聡. 2010. 鉱物ウォーキングガイド, 全国版. 丸善, 東京. v + 167 pp.
- 松本唯一. 1935. 揖宿火山の輪廓. 地質学雑誌, 42: 316-318.
- 松本唯一. 1938. 揖宿火山概説. 地質学雑誌, 45: 499-500.
- Matsumoto, T. 1943. The four gigantic Caldera volcanoes of Kyushu. Japanese Journal of Geology and Geography, 19: 1-57.
- 宮久三千年・大迫陽一. 1970. 鹿児島県産鉱物目録. 地学研究, 21: 439-450.
- 門田重行. 1950. 佐多及池田湖地方の地質. pp. 123-129. 内藤 喬(編). 鹿児島県国立公園候補地学術調査報告(前編). 鹿児島県, 鹿児島.



- 門田重行. 1954. 開聞村花瀬崎の繩状玄武岩. pp. 31-37. 鹿児島県教育委員会. 鹿児島県文化財調査報告書, 2. 鹿児島県教育委員会, 鹿児島.
- 永淵正紘. 1916. 開聞火山及附近地質調査概報. 東洋学藝雑誌, 417: 442-451.
- 長沢敬之助・Kuzvart. M. 1989. 工業原料鉱物資源. 修学館, 東京. vii + 280 pp.
- 中村真人. 1971. 開聞岳火山の岩石学的研究. 地質学雑誌, 77: 359-364.
- 成尾英仁. 1984. 開聞火山噴出物と遺跡の関係 — 特に初期噴出物の関係について —. 鹿児島考古, 18: 193-215.
- 成尾英仁. 1986. 開聞岳と遺跡. 隼人文化, 18: 47-60.
- 成尾英仁. 1991. 指宿市・開聞町地域. pp. 160-174. 鹿児島県地学会(編). 鹿児島地質のガイド(上). コロナ社, 東京.
- 成尾英仁. 2010. 開聞岳山麓の花瀬という地名. 鹿児島県地学会誌, 96: 19-23.
- 成尾英仁・永山修一・下山 寛. 1997. 開聞岳の古墳時代噴火と平安時代噴火による災害. 月刊地球, 19: 215-222.
- 日本の地質「九州地方」編集委員会(編). 1992. 日本の地質9, 九州地方. 共立出版, 東京. x + 388 pp.
- 日本地質学会日本地方地質誌九州・沖縄地方編集委員会(編). 2010. 日本地質地方誌, 8九州沖縄地方. 朝倉書店, 東京. xxiii + 619 pp.
- 新井田清信. 2010. 幌満かんらん岩体. pp. 158-163. 日本地質学会日本地方地質誌北海道地方編集委員会(編). 1日本地方地質誌, 北海道地方. 朝倉書店, 東京.
- 奥野 充・小林哲夫. 1991. 鍋島岳火山の地質. 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), 24: 23-35.
- 大木公彦. 2000. 鹿児島湾の謎を追って, かがしま文庫61. 春苑堂書店. xv + 223 pp.
- 大木公彦・早坂祥三. 1970. 鹿児島市北部地域における第四系の層序. 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), 3: 67-92.
- 岡野武雄・平野英雄. 2003. オリビンサンド. p. 187. 地学団体研究会新版地学事典編集委員会(編). 2003. 新版地学事典. 平凡社, 東京.
- 大迫陽一・宮久三千年. 1970. 鹿児島県内産地別鉱物一覧. 鹿児島県地学会誌, 36: 25-33.
- 太田良平. 1966. 鹿児島県指宿地方地質調査報告. 地質調査所月報, 17: 129-139.
- 太田良平. 1971. 川内地域の地質, 5万分の1地質図幅および説明書. 地質調査所, 東京. ii + 28pp.
- 大塚裕之・西井上剛資. 1980. 鹿児島湾北部沿岸地域の第四系. 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), 13: 35-76.
- Robert I. T. Christina H. and Thomas L. W. 1987. Eruptions of Hawaiian Volcanoes: Past, Present and Future. United States Geological Survey, Denver. 36 pp.
- 須藤定久・有田正史. 2005. 砂と浜の地域誌(2) 鹿児島県薩摩地方の砂 — 吹上砂と緑砂そして不思議な貝殻 —. 地質ニュース, 609: 53-62.
- 竹上 寛. 1983. 鹿児島県における海岸砂の鉱物組成と環境地質条件との関係について. 岩石鉱物鉱床学会誌, 66: 122-136.
- 田中純雄. 1954. 開聞岳火山は海底噴火か?. 鹿児島県地学会誌, 1: 10-12.
- 通商産業省資源エネルギー庁. 1979. 昭和53年度広域調査報告書, 北薩・串木野地域. 通商産業省資源エネルギー庁, 東京. ii + 92 pp.
- 内村公大・請園智一. 1996. 海岸砂の研究 — 海岸砂中のかんらん石の分析を通して —. 鹿児島県地学会誌, 74: 1-6.
- 内村公大・大木公彦・古澤 明. 2007. 鹿児島県八重山地域の地質と鮮新統郡山層の層序学的研究. 地質学雑誌, 113: 95-112.
- 宇井忠英. 1967. 鹿児島県指宿地方の地質. 地質学雑誌, 73: 477-490.
- 浦島幸世. 1989. 川尻のオリビン・サンド. p. 44. 鹿児島県保健環境管理課(編). 鹿児島のすぐれた自然. (財)鹿児島県公害防止協会, 鹿児島.
- 和田維四郎. 2001. 復刻版日本鉱物誌. 東京大学出版会, 東京. ii + 281 pp.
- 八幡正弘. 2010. かんらん岩. p. 432. 日本地質学会日本地方地質誌北海道地方編集委員会(編). 日本地方地質誌, 1北海道地方. 朝倉書店, 東京.
- 山切美澄. 1990. 鹿児島県本土の海浜砂の粒度及び構成鉱物について. 鹿児島県立博物館研究報告, 9: 34-36.
- 山元武義. 1954. 川尻の砂. 鹿児島県地学会誌, 2: 18-21.
- 矢内桂三. 1994. 南極隕石の発見 — その3 隕石の見分け方と隕石の種類 —. 地質ニュース, 481: 53-61.
- 吉村豊文. 1952. 日本のマンガン鉱床. マンガン研究会, 福岡. vii + 567pp.