

論文

山陰海岸西部のポケットビーチの特徴と元素組成からみた成熟度

石賀 裕明*・小坏健太郎*・佐野絵里香**

Characteristics of pocket beaches in the western San'in coast, southwest Japan, and evaluation of geochemical maturity of beach sand

Hiroaki Ishiga*, Kentarou Koakutsu* and Erika Sano**

Abstract

The characteristics of beach sand in the western San'in coast are examined in relation to beach shape, grain size distribution, and geochemical compositions. The area examined covers the 82 km long coastline from Ohda to Masuda in western Shimane Prefecture, Japan. Thirty-two identical beaches occur along the coast. The longest of these is Mochiishi beach (12.5 km), situated in the western part, and is characterized by seven composite sub-beaches. The average length of all beaches examined is 1.24 km. Seventeen beaches are less than 1 km in length, indicating that relatively small pocket beaches dominate in the western area. Radian values (arc length of the beach / the radius; ℓ/r) of <1 characterize short and concave pocket beaches. Thirteen beaches have ℓ/r values $\ell/r > 1$. Sand samples were collected from the shorelines in the foreshores of 32 beaches in March and April, 2010. Median grain size (d_{50}) ranges from -0.31 to $2.15(\phi)$, and sorting is generally less than 0.35. SiO_2 contents range from 70.66 to 89.50 wt%, with most samples containing more than 80wt%. SiO_2 contents show negative correlation with sorting values. Al_2O_3 contents vary from 4.54 to 16.46 wt% and exhibit strong negative correlation with SiO_2 . Zr contents range from 55 to 100 ppm. Beaches less than 1 km in length (L) have relatively higher ℓ/r values of over 1.0. Their ℓ/r ratios show weak negative correlation with both SiO_2 content and $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ ratios, suggesting significant sorting of quartz grains in small pocket beaches.

はじめに

山陰海岸は日本海の北西季節風により強い浸食作用を受けて形成され、複雑な地形をなす岩石海岸となっている。また、一方では河川の運搬した堆積物によって海岸平野が形成されている場合には砂浜海岸が発達している(福本, 2004)。しかし、山陰では流域面積の大きな河川が少なく、堆積物の供給量が少ないため比較的小規模な砂浜海岸が多い。

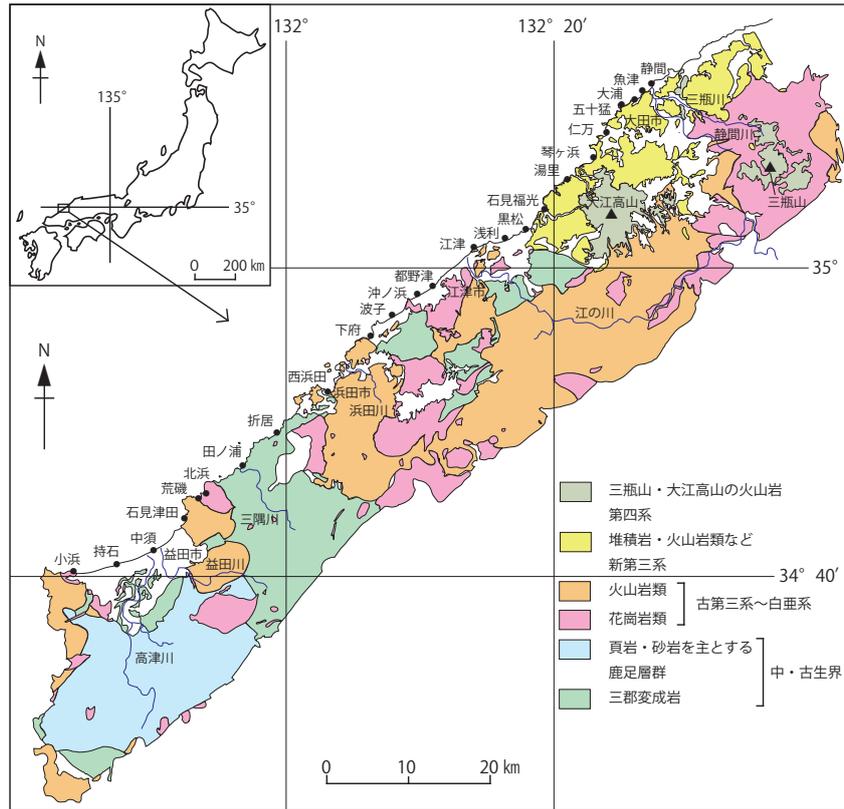
海浜の形状についてはこのような海岸平野の発達との関係について注目されている。特に西南日本内帯の海岸とそれ以外の地帯の海岸の形状の相違について地質構造区分との関係が指摘されている(田中, 1980)。すなわち、東北日本や西南日本外帯では河川の流域面積が大きく、広い沖積平野を形成している。そのため、この2地帯の海岸では数10 kmに及ぶ長大な海浜が発達する。一方で、西南日本内帯では延長数kmのポケットビーチが多いことが指摘されている。日本海沿岸の主な海岸は太平洋に面する海岸に比べ海浜延長が短いことは地形図を見ても明らかである。島根県出雲市より西方において海岸はほぼ北東—南西に直線的に伸びている(第1図)。

この海岸線に沿って多数の海浜が発達する。それらの規模は様々であるが海浜延長が10 kmを超えるものは少ない。また、航空写真では対称的な弧状の海岸地形が特徴的で、海浜延長が1 km以下のポケットビーチが多数認められる。中国山地の地質が花こう岩質の岩石が優勢であることからこれらの海浜の砂は石英に富み白色を呈する*。大田市仁摩町馬路の琴ヶ浜では鳴き砂が分布する。これは前浜においてよく分級され、粘土分が含まれないためである。このことは海浜延長の短いポケットビーチが安定性の高い海浜であることを示す。ポケットビーチの安定性は海浜砂の成熟度に影響を与えると考えられる。もちろん後背地の地質との関連は重要である。これまで島根県の中部から西部にかけて発達する多くの海浜について系統的な研究はなかった。そこで、本論では海浜の規模と形態、前浜の砂粒子の粒度組成およびその元素組成について報告する。なお、前浜と後浜は地形の変化により区分されることが多いが、本論では、はいり波によって砂が供給される範囲を前浜の上限としている。

<脚注>

* 須藤他(2002)では砂試料を標本として作成しスキャナーで記録することが記述され、山陰海岸の多くの砂が紹介されている。

* 島根大学総合理工学部地球資源環境学科
Department of Geoscience, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan
** 島根大学総合理工学研究科特別プログラム地球資源環境学専攻
Graduate Course In Earth Science And Geoenvironmental Science,
Shimane University, Matsue 690-8504, Japan



第1図 山陰海岸西部の位置図及び検討した海浜とその名称を示す図。地質図は新編島根県地質図編集委員会(1997)より作成。
Map showing the western San'in coast, Japan and locations of the beaches examined. Geological map modified from New Geological Map of Shimane Prefecture

海浜の形状について

今回検討した海岸は島根県大田市から益田市まで、約82 kmの範囲である(第1図)。ここでは32の海浜が区分でき、それらについて海浜延長とその形状を示した(第1表)。海浜延長については浜の両端の岬の直線距離(L km)、浜の弧に沿った長さ(l km)を計測した。海浜の形態については模式図(第2図)に示すように、岬から岬までの間に形成される海浜を識別してその形態を記述した。その多くがポケットビーチとなっており、汀線が弧を描いている。そこでこの弧を円の一部としてその円の半径(r km)を示した。 l/r はラジアンとなる。複数の岬によって小規模の海浜に区画されている場合には、そのそれぞれをA, B, C-と命名した。海浜の調査は晴天時に行った。

海浜延長が1 kmを超える海浜は15である(第1表, 第3図a, b)。ただし、持石海岸については7区分しているが、すべてを合計すると12.5 kmとなる。海浜延長(L)の平均は1.24 kmである。また、弧の半径の平均は1.99 kmである。海浜延長(L)が1 km以上の浜は15あり、それらの平均値は2.02 kmである。また、1 km未満の海浜は17個あり、それらの平均海浜延長は0.56 kmである。 l/r は一例(魚津)を除いて0.29から2.62である。 l/r が1以上のものは12あり、平均値は0.66である。従って検討した海浜では小規模なポケットビーチが多いことを示す。また、海浜の地形断面については2010年9月19日

(月齢10, 満潮時9時45分, 潮位62 cm)に、波子, 持石, 浅利, 都野津, 黒松など代表的な浜で測定を行った(第4図)。この日はやや風が強く4月にみられたビーチカスプは消滅して、打ち上げ波が強かった。以下に浜の記述を行う。

静間

大浦から湊, 魚津, 鳥井までは3海浜が連続して配置する。湊と魚津の岬で海浜が区分される。これは魚津から和江の岩礁までの海浜である。三瓶川が浜の中央部に流入し、この河口で河口州が発達する。三瓶川には下流で静間川が合流する。後浜は平坦である。離岸堤がありカスプが発達する。静間川の後背地は主に新第三系川合・久利層の流紋岩, デイサイトおよび古第三系花コウ岩である。三瓶川の後背地は同様の花コウ岩と三瓶火山岩類(デイサイト質)である。

魚津

静間の西隣の岩礁の間の小規模な海浜である。消波ブロックがあり海浜の凹凸がある。海浜砂は石英が目立つ。

五十猛

湊から魚津の岬までの海浜である。中流～粗粒砂からなる。やや円磨された石英粒子が目立つ。前浜は小さく、後浜が大きい。

第1表 山陰海岸西部の海浜の名称と海浜の延長(L), 弧長(ℓ), 半径(r) から ℓ/r (ラジアン)を示す表.
Lengths (L), arc lengths (ℓ), radius (r) and radians (ℓ/r) of beaches on the western San'in coast.

名称	L (km)	ℓ (km)	r (km)	ℓ/r
静間	1.35	1.40	1.68	0.84
魚津	0.11	0.11	0.02	6.43
五十猛	1.25	1.30	2.65	0.49
大浦	1.33	1.38	2.20	0.63
仁万	0.50	0.53	0.75	0.70
琴ヶ浜	1.25	1.45	1.23	1.18
湯里	0.28	0.28	0.68	0.41
石見福光	0.74	0.78	0.60	1.29
黒松A	0.80	0.88	0.75	1.17
黒松B	1.00	1.05	0.90	1.17
黒松C	0.76	0.78	0.66	1.17
浅利	2.39	2.53	2.73	0.93
江津	0.95	0.98	2.39	0.41
都野津	4.55	4.80	8.15	0.59
波子	3.80	3.98	5.05	0.79
下府	1.10	1.15	1.14	1.01
西浜田	1.43	1.78	0.88	2.03
折居A	0.70	0.71	0.68	1.06
折居B	0.28	0.30	0.40	0.75
田ノ浦海岸	0.91	0.93	2.18	0.43
北浜海岸	0.28	0.33	0.16	2.00
荒磯	0.31	0.43	0.16	2.62
石見津田A	0.28	0.30	0.20	1.50
石見津田B	0.69	0.71	0.75	0.95
持石海岸A	2.53	2.88	3.65	0.79
持石海岸B	1.55	1.55	5.28	0.29
持石海岸C	3.55	3.64	7.58	0.48
持石海岸D	1.08	1.10	1.55	0.71
持石海岸E	0.78	0.78	1.98	0.39
持石海岸F	0.98	1.00	1.66	0.60
持石海岸G	2.09	2.28	4.85	0.47
小浜	0.15	0.18	0.09	2.00
平均値	1.24	1.32	1.99	0.66

大浦

大浦から湊までの海浜である。海浜の途中に小規模な岩礁がある。前浜勾配は緩傾斜で、後浜は大きい。

仁万

野浦浜と呼ばれる。西側に堤防がある。500 m以下の小規模な海浜である。

琴ヶ浜

西は鶴の島から東は松ヶ鼻の岬まで浜は1.25 kmとやや長い。くぼみの大きな湾をなす。海浜延長が1.25 kmで半径が1.23 kmである。鳴き砂で知られ、石英が目立つ。淘汰のよい砂である。河川の流入はない。南東部背後は更新統デイサイト(アダカイト質)の大江高山(499.4 m)である。

湯里

岩礁に挟まれ、湾入の著しい、小規模なポケットビーチである。前浜の傾斜はやや大きい。後浜は平坦である。海浜砂は石英砂が目立つ。構成粒子ではデイサイト粒子が識別される。湯里川が流入する。後背地には新第三紀の川合・久利層の流紋岩-デイサイトがあり、その南部には更新統デイサイトからなる大江高山がある。

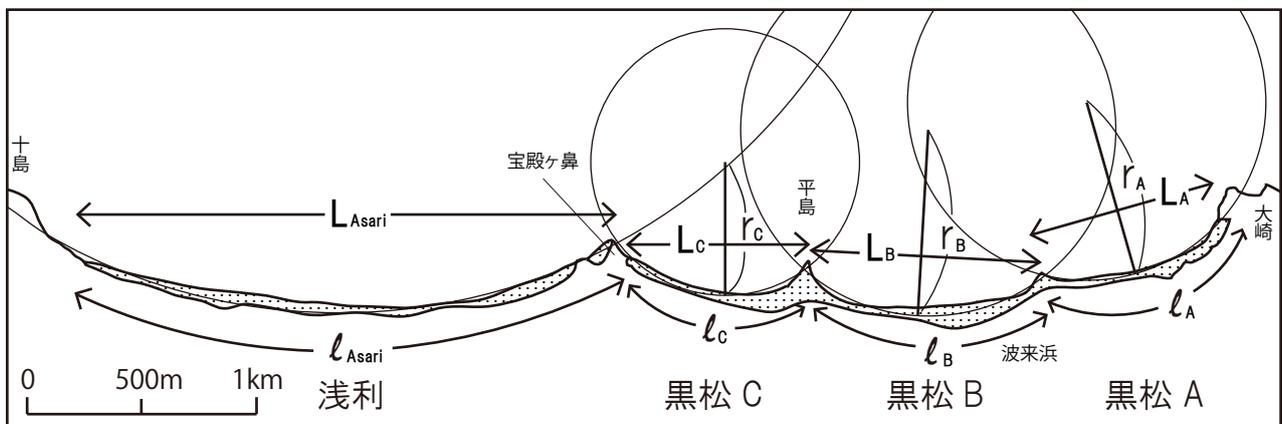
石見福光

浜は西に向いている。南北両端に存在する岩礁の間に浜が形成され、浜のくぼみは大きい。

福光川が流入している。後背地には新第三紀の川合・久利層の流紋岩-デイサイトがあり、その南部には更新統デイサイトからなる大江高山がある。

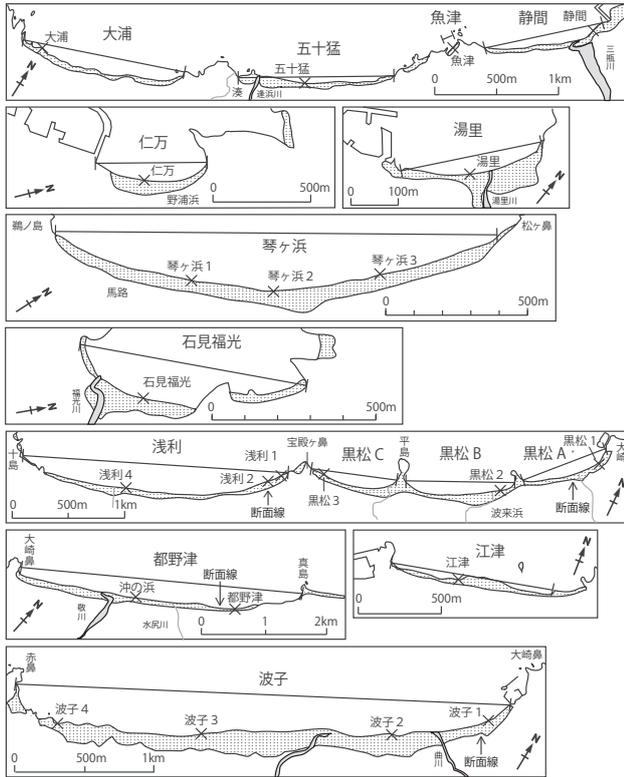
黒松

西隣の浅利とは宝殿ヶ鼻で区分した。東端は大崎で、浜の中に平島と波来浜に岬があり、3海浜に区分できる(第3図a)。

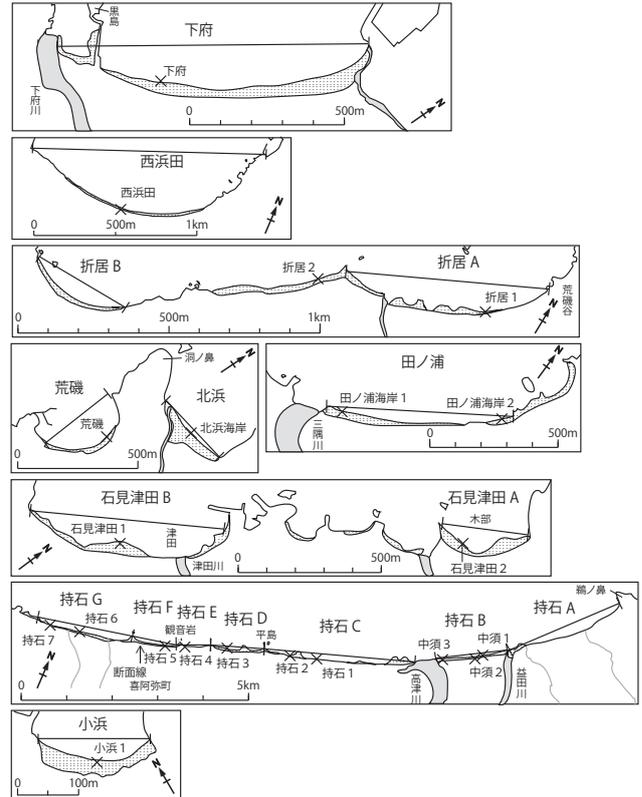


第2図 山陰海岸西部のポケットビーチの形状を記述する説明図。海浜の延長(L), 浜の湾曲を円弧に対応させ、弧長(ℓ), 半径(r) から ℓ/r (ラジアン)を求める。
Characteristics of the shape of pocket beaches, using the parameters length of the beach (L), arc length of the beach (ℓ), radius of approximated circle and radian (ℓ/r).

a. 大田市から江津市



b. 江津市から益田市



第3図 a, b 山陰海岸西部の海浜の平面図。各浜の名称および浜の延長(L), 試料採取地点を示す。
 Figures a, b showing outline of beaches, L, and sample localities.

3海浜の延長合計は約2.56 kmである。海浜はそれぞれ弧状をなす。浜の幅は30 mで前浜の上部で波の打ち上げによるクレストが発達する(第4図)。前浜は水平距離で6.1 m, 勾配は8度である。後浜は急傾斜の砂丘へ移化する。海浜中央の波来浜の海浜砂丘やその背後の青波には石英砂(珪砂)が産する。前浜はせまく、緩傾斜である。後浜は広い。やや石英砂の目立つ海浜砂である。

浅利

西端の十島から東の宝殿ヶ鼻までの2.39 kmの海浜が発達する。宝殿ヶ鼻の沖合には大島がある。前浜勾配はやや緩い部分と強い部分がある。部分的には浜崖が生じている。浜崖断面では磁鉄鉱粒子の濃集部が認められる。

黒松と同じく前浜上部にクレストが形成されている(第4図)。前浜は水平距離で5 m, 勾配は11度である。後浜は10 m以下で短く、傾斜のある砂丘につながる。ここでは植生が認められる。海岸には風力発電の風車が設置されている。海浜の中央より西に河川の流入がある。

江津

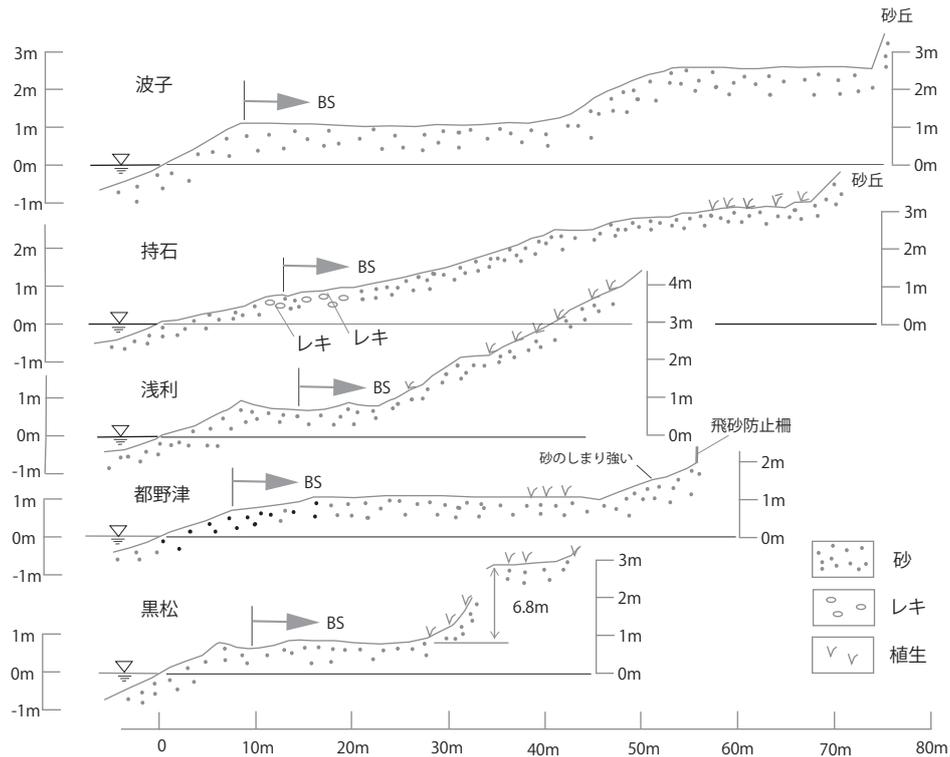
江の川の河口東方の海浜である。離岸堤があり、前浜傾斜が大きく離岸堤に向かってカスプが発達する。

都野津

海浜は大きく(L=4.55 km)三日月状の平野を伴う。西は大崎鼻、東は真島と呼ばれる崖で挟まれている。海浜の中央より西で敬川が、中央で水尻川が流入する。敬川河口付近はハンレイ岩、閃緑岩が分布するが、上流域では三郡変成岩、古第三系火山岩が分布する。石英砂の目立つ海浜砂である。前浜はせまく、後浜が広い。レキ浜が発達する部分もあり、ビーチカスプをつくる。浜の幅は45 m程度である。前浜は水平距離で6 m, 勾配は6.5度である(第4図)。後浜は平坦で後方では植生がある。後浜は砂丘へつながり、飛砂防止柵が設置されている。

波子

持石を除くと、東に隣接する都野津に次いで長い海浜である(L=3.8 km)。東は大崎鼻、西は赤鼻がありこの両者の間の海浜である。前浜勾配はやや大きい。後浜は広い。海浜砂は石英の目立つ細粒砂である。陸沖方向に70 mにおよぶ広い幅をもつ浜である。前浜は水平距離で6.3 m, 勾配は10度である(第4図)。後浜の中央付近で傾斜の変換点があり、それはおそらく古い浜崖であると判断される。この浜崖の前・後部の浜は平坦である。



第4図 山陰海岸西部の波子, 持石, 浅利, 都野津, 黒松の各海浜の地形断面図。矢印から右手のBSは後浜を示す。前浜と後浜の境界は炭質物や漂流して到達した木片などの有無により推定した。

Cross-sections of selected beaches. BS indicates backshore environment, as identified by presence of wood fragments, floating material, and other parameters.

下府

東側は漁港, 西側は黒島につながる堤防があり, この間に海浜が発達する。西端に下府川が流入する。前浜はせまいが, ビーチカスプが発達する。後浜は広い, 海浜砂は粒度のそろった細粒砂である。海浜の東部で小河川が流入する。

西浜田

現在では浜田港として地形変化がなされている。この浜の東西ともに堤防と埋め立て地で区切られる。本来, 西側は大島, 東はクロ島の対岸の岬までの湾入した海浜であった。

折居

西端は船島の東の岬から東は荒磯谷の岬付近まで続く。海浜中央沖合に鞍島があり, これにつながる小規模な沈水島がある。中央部は堤防が設置されている。消波ブロックや岩礁がある。前浜勾配はやや強い。レキ浜の発達がある。レキは流紋岩, デイサイト, 閃緑岩, 安山岩, ホルンフェルス(泥質片岩), チャート, 石英などがみられる。

田ノ浦

三隅川河口が西端で東は岬となっている。海浜はレキ浜が卓越する。海岸には基盤の三郡変成岩(泥質片岩)や酸性岩が露出している。三隅川の後背地は古第三紀の火山岩類で流紋岩, デイサイト, 安山岩等を主とする。

荒磯および北浜

長さ1kmの海岸の中央で洞ノ鼻(岬)により区分されている。奥行き深いポケットビーチである。西側の海浜(荒磯)はさらに岬により区分される。西側の海浜は堤防が整備され前浜勾配はやや大きい。レキ浜が発達する。東側(北浜)は300m程度の長さを持つが, 半円形の弧を描く。ここでは前浜勾配がやや強い。

石見津田

岩礁により2分される。南西側(津田)には津田川が流入する。北東側(木部)は漁港と岩礁である小規模な海浜である。

持石海岸

島根県西部では最も長い海浜である(東端を鷲ノ鼻とし西端を小浜の東とするとL=12.5km)。高津川と益田川が流入し, 海岸平野である益田平野が発達し, この前面に海浜が形成されている。両河川に挟まれる砂州(中州, L=1.55km)が海岸平野と連続して低地をなす。小浜の東の西部海浜では前浜勾配がやや強い。レキ浜が発達する。高津川から西方喜阿弥の海浜は, 観音岩と平島を含む岬と島により, 1km前後の3ポケットビーチとなっている。平島より東方では3.55kmの海浜となる。前浜勾配がやや強く, 後浜もせまい。全地域でレキ浜が多い。離岸堤が設置されているところではカスプの発達とともに, トンボローを形成する。持石海岸の浜

は70 m前後で広い。西端の浜の計測した断面では68 mある。前浜の水平距離は10.3 mで、勾配は3.5度で緩い(第4図)。前浜の上部にレキが分布し、海岸に平行する2列のレキの高まりをなす。高まりの間はくぼみがあり、砂がみられる。後浜は緩く海側に傾斜している。後浜の中央よりやや後方で傾斜の変換する地点があり、かつての浜崖と推定される。後浜の後径浜には植生がある。

海浜砂は淡黄灰色で、レキは閃緑岩、デイサイトが卓越し、チャート、頁岩も認められる。

中州ではレキ浜が卓越するか、海浜砂にレキが混じるところが多い。砂は細粒砂である。

小浜

持石海岸の西隣の岩礁で区切られた小規模な海浜(L=0.15 km)を区分した。前浜勾配が緩い。海浜砂には石英砂が目立つ。

緩いビーチカスプが発達してクレストの頂部が盛り上がる。

分析 方法

試料採取は2010年3月16日(晴天)および4月3日(晴天)、4日(晴天)に行った。試料は汀線で500 g程度採取し、乾燥後(110°C, 24時間)、4分割して粒度分析、元素分析用試料として用いた。汀線で採取したのは、前浜の堆積物は砂やレキが分級され泥質物を含まないためである。粒度分析は島津SALD-3000Sを用いた。また、元素分析は試料を粉碎したのち蛍光X線分析装置(リガク電気 RIX 2000)により主元素(ガラスビード法)および微量元素(粉末プレス法)を定量した(第2表、第3表)。主元素の分析は強熱減量(1050°C, 1時間)を測定した後、溶材を用いてガラスビードを作成して求めた。

第2表 山陰海岸西部の海浜の前浜汀線における砂の主元素組成と粒度組成。
Major element analyses of sands from the shorelines of beaches on the western San'in coast.

海浜の名称	sample	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	d ₅₀	Sorting
静間	Shizuma	77.71	0.35	11.29	3.10	0.13	0.90	2.43	2.14	1.90	0.05	0.64		
魚津	Uozu 1	76.95	0.19	12.52	1.85	0.06	0.63	3.09	2.42	2.24	0.05	1.28		
五十猛	Isotake	81.51	0.15	10.75	1.30	0.04	0.47	1.70	2.05	1.97	0.04	1.24		
大浦	Ohura	75.56	0.17	13.42	1.59	0.05	0.52	3.05	2.63	2.96	0.05	1.46		
仁万	Nima	76.63	0.30	12.16	2.68	0.09	0.77	2.99	2.37	1.96	0.05	1.01		
琴ヶ浜	Kotogahama 1	83.49	0.07	9.22	0.70	0.01	0.16	1.77	1.71	2.84	0.02	1.35	1.30	0.28
琴ヶ浜	Kotogahama 2	89.50	0.05	6.44	0.42	0.01	0.10	0.74	1.20	1.54	0.01	0.75	1.34	0.26
琴ヶ浜	Kotogahama 3	84.23	0.21	8.32	1.91	0.05	0.44	1.16	1.63	2.00	0.05	1.08	1.10	0.25
湯里	Yusato	81.05	0.18	10.74	1.62	0.03	0.39	2.21	2.40	1.32	0.05	0.99		
石見福光	Iwamifukumitsu	71.07	0.26	16.46	2.13	0.04	0.64	1.95	2.97	4.44	0.04	2.35	1.79	0.31
黒松A	Kuromatsu 1	80.02	0.17	11.84	1.26	0.03	0.34	1.01	2.17	3.13	0.02	1.12	1.55	0.32
黒松B	Kuromatsu 2	82.63	0.16	9.89	1.24	0.03	0.32	1.02	1.91	2.78	0.02	0.86	1.29	0.30
黒松C	Kuromatsu 3	80.46	0.53	9.61	2.93	0.08	0.52	1.37	1.80	2.66	0.03	0.80	1.32	0.39
浅利	Asari1	84.08	0.31	8.54	1.80	0.05	0.39	1.10	1.53	2.18	0.02	0.64	1.08	0.35
浅利	Asari2	83.58	0.20	9.11	1.31	0.04	0.26	0.95	1.70	2.83	0.02	0.51	1.01	0.29
浅利	Asari4	82.70	0.12	9.91	0.92	0.03	0.21	0.86	1.95	3.27	0.02	0.71		
江津	Gohtsu	87.11	0.08	8.01	0.58	0.02	0.16	0.45	1.50	2.08	0.01	0.97		
都野津	Tunozu	88.82	0.27	6.38	1.25	0.04	0.26	0.56	1.11	1.31	0.01	0.73		
都野津	Okinohama	87.74	0.70	5.80	2.64	0.08	0.29	0.69	0.87	1.17	0.02	0.42		
波子	Hashi 1	86.87	0.12	7.62	0.85	0.03	0.24	0.77	1.56	1.94	0.02	0.89	1.06	0.27
波子	Hashi 2	86.86	0.11	7.54	0.84	0.03	0.21	0.77	1.47	2.16	0.02	0.57		
波子	Hashi 3	84.25	0.09	9.22	0.74	0.02	0.18	0.77	1.81	2.89	0.02	1.02		
波子	Hashi 4	80.60	0.15	11.14	1.05	0.03	0.34	1.06	2.42	3.19	0.02	1.27	1.28	1.11
下府	Shimokou	77.59	0.17	12.73	1.36	0.04	0.43	1.53	2.52	3.61	0.03	1.27	1.56	0.36
西浜田	Nishihamada	70.66	0.40	7.40	2.87	0.05	1.24	14.36	1.68	1.22	0.11	11.44	1.86	0.32
折居A	Orii 1 no.1	80.17	0.41	8.11	3.14	0.07	1.28	3.65	1.53	1.60	0.05	2.03	1.39	0.26
折居	Orii 2	76.49	0.25	9.72	2.16	0.05	0.97	6.23	1.91	2.18	0.05	4.65	-0.31	0.82
田ノ浦海岸	Tanoura 1	86.55	0.64	5.26	3.06	0.07	0.75	1.73	0.88	1.02	0.03	1.43	1.23	0.95
田ノ浦海岸	Tanoura 2	84.96	0.39	5.88	2.57	0.07	0.83	3.02	1.08	1.19	0.04	2.45		
北浜海岸	Kitahama	87.29	0.21	4.54	1.16	0.03	0.33	4.61	0.92	0.88	0.03	5.05	1.28	0.40
荒磯	Araiso	54.38	0.15	4.80	1.41	0.04	1.57	35.35	1.21	1.00	0.10	22.59	1.35	0.32
石見津田A	Iwamitsuda 1	82.07	0.20	9.46	1.83	0.04	0.45	1.60	1.52	2.79	0.04	2.08	2.15	0.30
石見津田B	Iwamitsuda 2	82.52	0.18	8.62	1.72	0.03	0.45	2.29	1.58	2.58	0.04	2.84	2.14	0.31
持石海岸C	Mochiishi 1	83.87	0.20	8.68	1.83	0.04	0.45	0.96	1.63	2.28	0.05	1.49		
持石海岸C	Mochiishi 2	85.01	0.19	8.03	1.68	0.04	0.40	0.87	1.45	2.27	0.04	1.45	1.68	0.61
持石海岸D	Mochiishi 3	85.37	0.11	7.77	1.21	0.02	0.29	1.20	1.32	2.67	0.02	1.72	1.73	1.00
持石海岸E	Mochiishi 4	85.06	0.19	7.96	1.82	0.04	0.40	0.96	1.48	2.04	0.05	1.25		
持石海岸F	Mochiishi 5	85.55	0.19	7.63	1.79	0.04	0.40	1.06	1.40	1.90	0.05	1.36		
持石海岸G	Mochiishi 6	86.30	0.15	7.06	1.50	0.03	0.34	1.09	1.42	2.06	0.04	1.62		
持石海岸G	Mochiishi 7	87.45	0.06	7.01	0.64	0.01	0.14	1.21	1.34	2.12	0.02	1.45		
持石海岸B	Nakasu 1	87.05	0.26	6.93	1.64	0.04	0.39	0.87	1.22	1.58	0.03	1.64	1.57	0.36
持石海岸B	Nakasu 2	87.04	0.29	7.38	1.67	0.04	0.37	0.80	0.93	1.45	0.03	1.53	1.72	0.34
持石海岸B	Nakasu 3 no.3	85.07	0.41	7.63	2.24	0.06	0.49	0.98	1.17	1.92	0.04	1.31	1.84	0.27
小浜	Kohama 1	85.91	0.18	7.45	1.20	0.03	0.27	1.75	1.16	2.03	0.02	2.60	1.84	0.35

結 果

1. 粒度分析

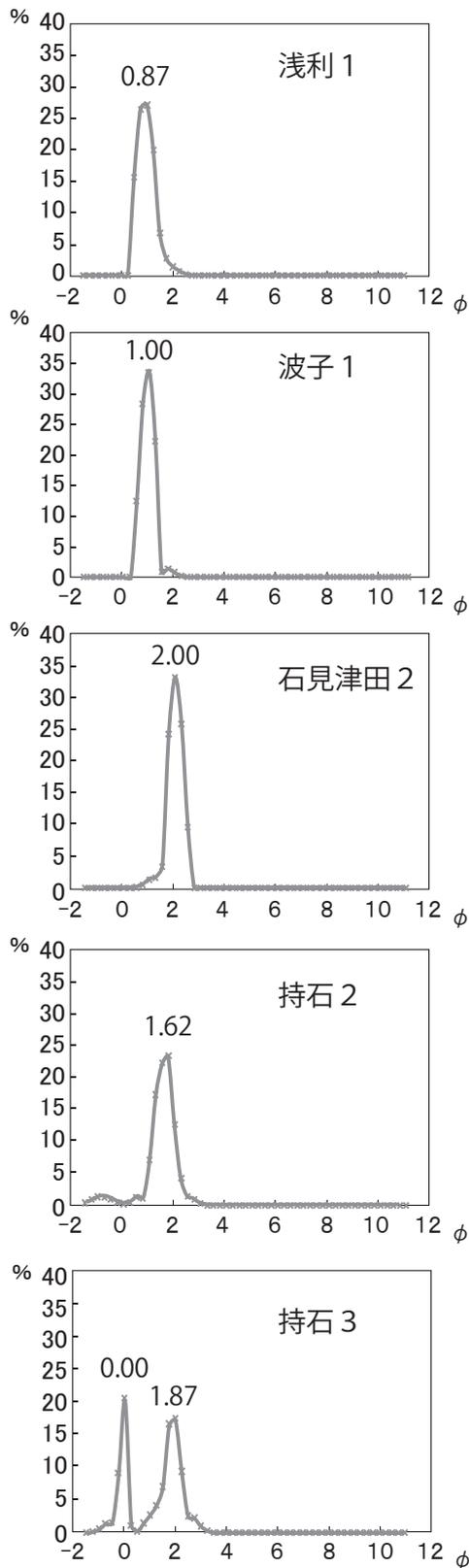
試料のうち中粒砂以下のもの(26試料)について島津SALD-3000Sを用いて粒度組成の検討を行った。中央粒径(d_{50})は $-0.31\sim 2.15(\phi)$ の範囲にある。平均値は1.43であ

る。淘汰度(Folk and Ward, 1957による)は0.25~1.11の範囲にある。淘汰度が0.35以下のものは17試料ある。粒度分布を第5図に示した。淘汰の悪い試料は粒径が異なる2つのモードを持つものである(第5図)。それらのモードは、黒松3($-0.62, 1.13\phi$), 折居2($-0.50, 1.25\phi$), 田ノ浦1($-0.62, 1.25\phi$), 持石3($0.00, 1.87\phi$, 第5図)である。

第3表 山陰海岸西部の海浜の前浜汀線における砂の微量元素組成。空欄は定量限界以下を示す。
Orii 1 no.2, no.3はno.1とほぼ同じ場所で採取した。

Trace element analyses of sands from the shorelines of beaches on the western San'in coast. Blank: not detected.

sample	As	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	V	Sr	Y	Nb	Zr	Th	Sc	TS	F	Br	I	Cl
Shizuma	14	54	85	6	9	28	38	327	13	4	87	3	5	373		6	17	
Uozu	16	33	55	5	6	20	9	395	13	2	78	3	4	510	194	5	29	11
Isotake	14	25	51	5	7	18	7	303	14	2	80	3	1	688	50	10	24	4234
Ohura	20	26	45	4	7	15		402	15	2	79	2	2	502	164	9	22	492
Nima	13	43	60	6	4	22	27	401	13	3	81	3	8	407	240	6	17	
Kotogahama 1	20	13	12	2	5	11		225	14		64		1	439	271	6	18	
Kotogahama 2	16	13	8	2	6	15		157	11		56	2	1	421	102	6	31	
Kotogahama 3	19	13	10	2	4	21		150	12		55	1	1	482		7	31	785
Yusato	7	15	43	5	5	20	9	555	8		68	3	1	508	4	9	25	2018
Iwamifukumitsu	17	20	59	5	5	14	12	231	22	3	81	4	6	521	116	10	15	789
Kuromatsu	12	19	43	3	6	17	14	157	19	2	77	2	2	480	168	9	28	898
Kuromatsu 2	10	16	34	3	5	19		139	16	2	76	4	2	428	116	7	29	648
Kuromatsu 3	8	17	47	6	5	29	69	143	18	4	93	5	4	376	26	5	23	
Asari 1	8	16	39	3	6	32	29	127	16	3	83	4	4	329	185	4	31	
Asari 2	6	16	28	3	6	24		120	16	2	71	3	1	275	142	3	29	
Asari 4	6	16	24	3	5	19		124	17	1	65	3		409	62	8	24	119
Gohtsu	3	14	16	3	7	25		87	14	1	57	3		799	22	13	37	7591
Tunozu	5	15	29	4	7	23	40	101	14	3	75	3	5	581	89	8	31	3236
Okinohama	5	13	31	4	5	33	103	80	13	5	97	4	3	349	168	4	24	
Hashi 1	6	14	26	6	8	22		117	13	1	66	3	1	588	3	10	32	3841
Hashi 2	7	13	23	3	4	16		119	14	1	64	3	3	374	146	6	29	
Hashi 3	6	15	19	2	6	15		124	16	1	65	2		370	9	6	26	
Hashi 4	8	18	31	4	6	18	1	162	18	2	72	3	2	831	36	14	30	7493
Shimokou	10	17	36	3	7	15		216	19	2	77	3	2	588	168	11	27	2984
Nishihamada	14	10	55	5	6	25	19	642	13	2	56	2	20	1162	31	9	5	2512
Orii 1 no.1	11	16	33	12	10	25	18	226	14		98	4	15	620	76	7	23	241
Orii 1 no.2	11	15	38	9	14	59	58	188	15	1	100	3	22	637	274	8	23	1671
Orii 1 no.3	11	14	34	11	11	35	52	185	15	1	98	5	18	756	223	9	20	4530
Orii 2	10	15	33	10	8	25	26	328	15		97	5	11	1088	166	12	21	6208
Tanoura 1	8	13	41	9	14	46	95	103	12	4	73	4	12	438	38	4	22	
Tanoura 2	8	13	35	8	15	38	49	168	12	2	78	3	9	582	283	6	27	980
Kitahama	10	10	20	2	3	25	9	309	9		82	2	8	1179		9	29	5371
Araiso	11	8	15	3		11		1126	8			2	19	3398	159	11		9959
Iwamitsuda 1	22	15	43	4	8	25	6	125	22	3	68	5	4	484	62	7	23	
Iwamitsuda 2	21	14	39	7	8	21	5	156	20	2	69	6	4	702	75	11	21	3124
Mochiishi 1	23	14	34	5	10	27	5	96	21	3	73	7	2	603	274	7	29	1599
Mochiishi 2	21	14	30	5	11	26	12	86	20	3	69	7	1	599	113	7	35	2028
Mochiishi 3	18	14	23	4	7	25		101	21	2	59	5	2	510	155	7	30	583
Mochiishi 4	23	14	29	5	11	28	7	95	19	3	75	7		426	89	4	35	
Mochiishi 5	23	15	26	4	10	24	8	90	19	3	72	7		500		6	33	921
Mochiishi 6	22	13	23	4	9	22		91	18	2	67	5	1	628		10	35	3642
Mochiishi 7	23	14	32	5	13	29	4	106	19	3	79	7	1	427	140	5	30	
Nakasu 1	15	14	40	6	10	41	30	85	19	5	81	6	2	809		9	35	6416
Nakasu 2	18	14	51	6	10	44	51	85	20	6	74	5	4	372	89	3	34	
Nakasu 3 no.1	16	16	39	3	9	35	7	76	19	4	65	6	2	524	35	8	25	1236
Nakasu 3 no.2	15	15	38	5	9	37	10	79	20	3	64	6	2	563	89	9	33	1602
Nakasu 3 no.3	18	13	43	6	11	45	28	77	19	6	72	7	3	415		6	27	
Kohama 1	18	14	27	2	5	23	5	141	20	4	77	5	2	754	30	9	29	5145



第5図 山陰海岸西部の浅利1, 波子, 石見津田2, 持石2, 持石3の粒度分布図。

Grain size distributions of beach sands finer than fine sand collected at the shorelines of selected beaches on the western San'in coast.

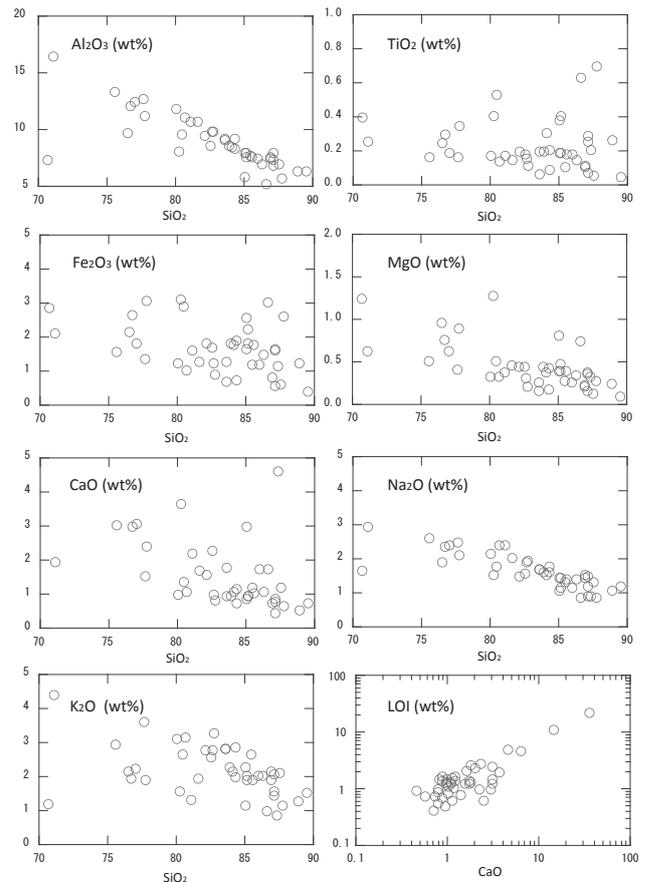
2. 元素分析

a 主元素

SiO₂は荒磯の試料を除いて70.66から89.50 wt%の範囲にある(第6図)。多くは80 wt%以上で80 wt%以下のものは生物起源の石灰質物質が含まれるためである。Al₂O₃は4.54から16.46 wt%と変化する。SiO₂が80 wt%以上の試料ではSiO₂とAl₂O₃はよい負の相関を示す($r=-0.37$)。SiO₂とTiO₂およびFe₂O₃には相関がない。SiO₂とMgOは弱い負の相関を示す。Na₂Oは0.87から2.97 wt%の範囲にある。K₂Oは0.88から4.44 wt%の範囲にある。Al₂O₃とNa₂O($r=0.95$)やK₂O($r=0.77$)の間にはよい相関がある。CaOの高い試料は生物起源の炭酸塩を含んでいるので、強熱減量(L.O.I.)との相関が認められる。

b 微量元素

Asは3 ppmから23 ppmの範囲にある。Pbは8 ppmから54 ppmの範囲にある。静岡, 仁万, 魚津など検討した地域の東の方でやや高い値を示す。Znは8 ppmから85 ppmの範囲にある。Cuは多くの試料で10 ppm以下である。NiもCu同様低い。Crは11 ppmから59 ppmの範囲にある。Srは76



第6図 山陰海岸西部の前浜の汀線の海浜砂の主元素の相関を示す図。SiO₂とAl₂O₃は負のよい相関を持つ。SiO₂とNa₂Oは負のよい相関を持つ。詳しい説明は本文参照。

Major element variations in sands from the shorelines of beaches on the western San'in coast.

ppm から 642 ppm の範囲にある。荒磯の試料で 1126 ppm に達するが、これは生物起源である可能性がある。Nb は多くが 5 ppm 以下である。Zr は 55 ppm から 100 ppm の範囲にある。Th は 10 ppm 以下である。Sc も 7 試料を除くと 10 ppm 以下である。TS は 275 ppm から 3398 ppm の範囲にある。F は変化に富み 22 試料が 100 ppm 以上で最大 283 ppm である。I はおおむね 20 ppm 前後の試料が多い。Cl は試料ごとに変化に富む。

Fe₂O₃ は Zn や Cr とよい正の相関を持つ。Zr は Cr や Th とは相関を示さないが、Nb とは弱い正の相関を示す (第 7 図)。

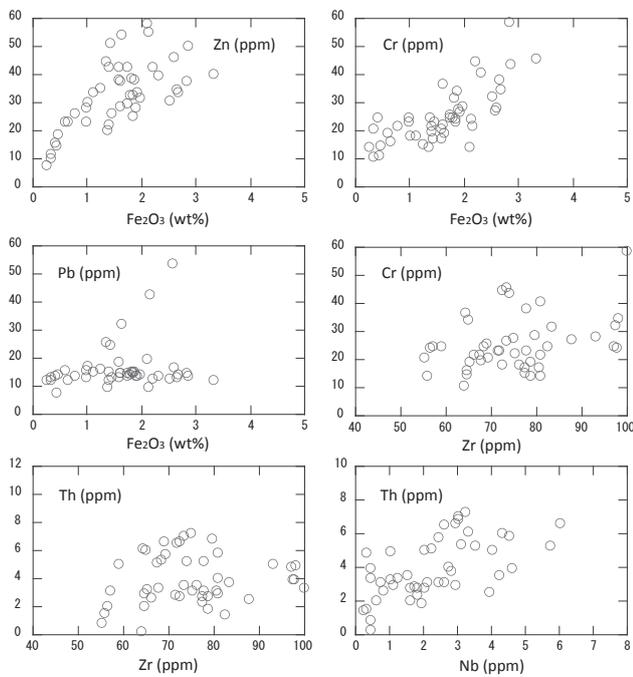
討 論

1. 海浜の形状と砂粒子の粒度組成

浜の形状について l/r と L の関係をみると、L が 1 km より短くなると l/r (ラジアン) は大きくなるものがある (第 8 図)。 l/r と淘汰度では 4 例を除いて淘汰度が 0.4 以下であるので、両者に明瞭な相関はみられない。d₅₀ と SiO₂ は 2 つのグループに分かれ、それぞれが負の相関を持つ。淘汰度と SiO₂ は 4 例を除くと負の相関を持つ。これは淘汰がよくなるに従い石英粒子が増加することを示す。

2. 海浜の形状と砂粒子の地球化学的特徴

海浜の形状と砂粒子の元素組成、特に SiO₂ は分級の程度に関連すると言える。 l/r と SiO₂ の関係では図に示すように負のよい相関を持つ試料がある (第 8 図)。これらは比較



第 7 図 山陰海岸西部の前浜の汀線の海浜砂の微量元素の相関を示す図。Fe₂O₃ と Zn, Cr は正の相関を持つ。詳しい説明は本文参照。

Trace element variations in sands from the shorelines of beaches on the western San'in coast.

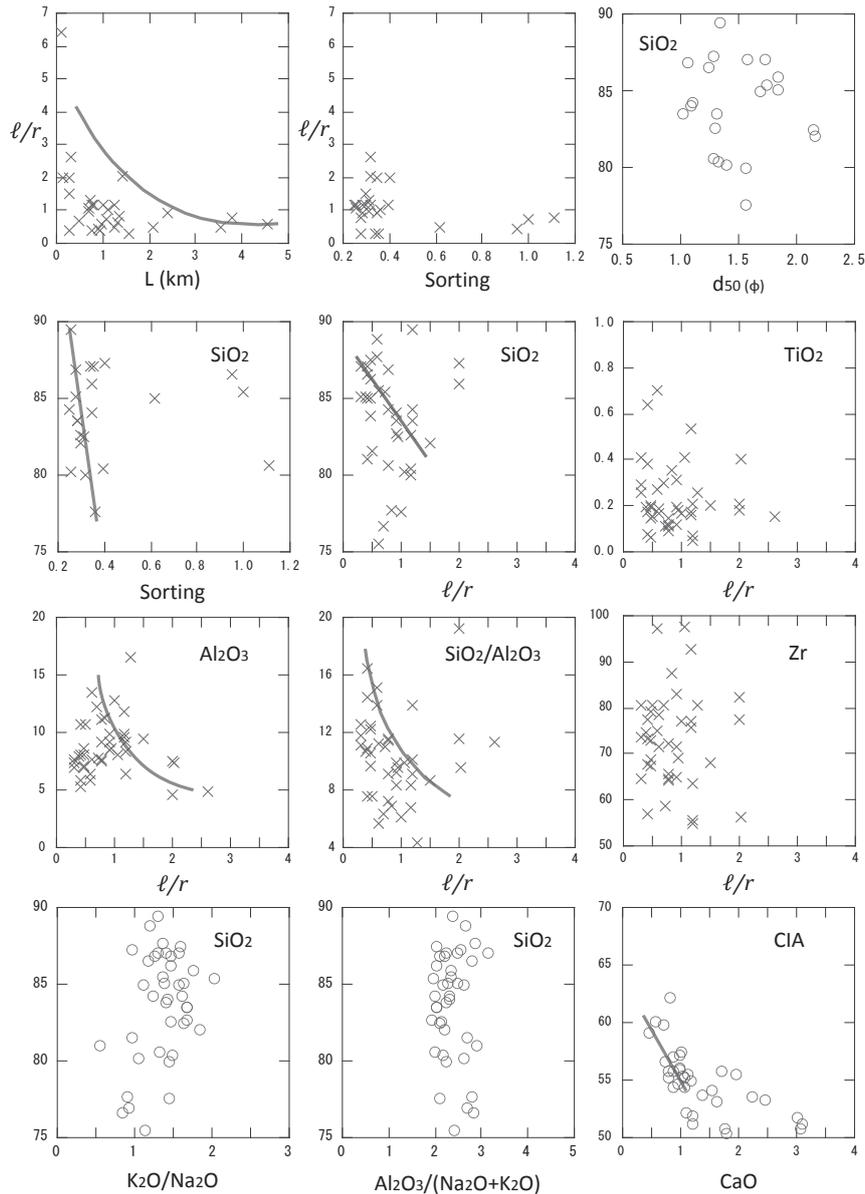
的小さなポケットビーチでの石英の分級の良さを示す。 l/r と TiO₂ との関係では両者ともに低い範囲に集中している。TiO₂ はルチルやチタン鉄鉱に含まれる。試料は汀線で採取した砂であるのでこのような細粒な粒子が試料中に含まれることはまれであろう。TiO₂ は鉄鉱物に含まれるものと思われる。 l/r と Al₂O₃ の関係では分散しているが、一部は図に示したように弱い正の相関を持つ。SiO₂ と Al₂O₃ は先に示したようによい負の相関があるので、石英の分級が高まるに反比例して Al₂O₃ で代表される長石の含有量は低下することを示す。 l/r と SiO₂/Al₂O₃ 比の関係では、 l/r が 1 以下で SiO₂/Al₂O₃ が 10 以上の高い値を持つ。 l/r と Zr は相関を示さない。浜のサイズに関係なく Zr の含有量が変化する。Zr を含むジルコンのような重鉱物はシルトサイズの粒子に含まれ易いので、試料中にはほとんど含まれないことを示す。

3. 海浜砂の分級と風化

堆積岩の風化については様々な指標が考案されている。これらの多くは風化作用により長石が分解され粘土鉱物となることを評価している。CIA 値は Al₂O₃/(Al₂O₃+Na₂O+CaO+K₂O-10/3×P₂O₅) をモル比で示したもので、長石の風化の度合いを評価する (Fedo et al., 1995)。また、風化作用によるイオンの溶脱を考慮しているものもある。SiO₂ と K₂O/Na₂O では SiO₂ の値の変化に関わらず K₂O/Na₂O 比はほぼ 1~2 の範囲にあることが分る (第 8 図)。このことは砂粒子のカリ長石の組成が一定であるか、風化の程度の差が小さいことを示す。また、SiO₂ と Al₂O₃/(Na₂O+K₂O) でも同様に 2~3 の範囲にあり、長石の風化の程度がほぼ一定であることを示す。SiO₂ と CIA 値では 1 例を除いて CIA 値が 60 以下にプロットされる。CaO は 1wt% より大きなものがあり、生物起源の炭酸塩の寄与が考えられる。しかし、K₂O/Na₂O や Al₂O₃/(Na₂O+K₂O) が一定の値を示すこととあわせて考慮すると、長石の風化の程度は低いと言える。CIA-CaO について CaO が高くなる試料は生物起源の寄与が十分考えられる。このグラフにおいて直線に近似する試料群は両者の間により負の相関があり、長石の風化の程度が 55~60 にあることを示す。従って、山陰西部のポケットビーチの前浜では長石の風化の程度はほぼ一様に低いことを示す。より細粒化した粒子や化学的な風化を受けた粒子は波に運搬され分級をよく受けていることを示す。

4. 海浜砂の後背地について

山陰地域には広く花こう岩類や酸性火山岩類が分布する (第 1 図参照)。従ってこれらの分布する後背地から河川を通して珪長質物質が供給される。前浜の砂は波のエネルギーの最も高いところで形成されるため、砂粒子は分級され粘土などの細粒画分は失われる。結果的にはここに示したように石英の含有量の高い (SiO₂ > 80 wt%) 砂が形成される。微量元素を用いた後背地の推定には Th や Sc が用いられる (Taylor and McLennan, 1985; Condie, 1993; McLennan et al., 1993)。Th は 10 ppm 以下である。Sc も 7 試料を除いて 10 ppm 以下である。細粒画分の少ない試料では Th/Sc 比を用いた後背地



第8図 山陰海岸西部の海浜の形状と前浜の汀線の砂粒子の粒度組成、元素組成の相関を示した図。詳しい説明は本文参照。
 Figures showing the relationship of characteristic shapes of pocket beaches and selected parameters for the sands such as grain size and geochemical compositions, western San'in coast.

の評価は難しいが、Th/Sc比が1以上の試料(Th/Sc=1.07~8.67)は23ある。このことは砂粒子に珪長質物質が含まれることを示す。

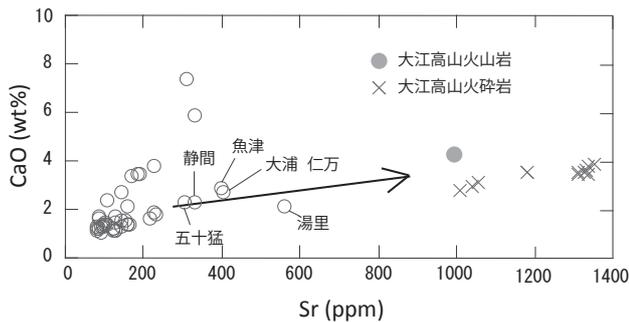
Srが高い試料についてはCaOとの相関を検討した(第9図)。この図ではSrに対してCaOが高い値を示すものと両者が正の相関を持つものに区分される。正の相関を示すものは湯里、大浦、仁万、魚津、静間、五十猛等の試料で三瓶山や大江高山を後背地として持つ特有の組成を示す。すなわちこれらの単成火山はアダカイトと呼ばれる火山岩や火砕岩からなるので(Morris, 1995), Srは1000 ppm以上と高くなる。Srは斜長石のCaを置換して結晶に入るの、Srはこのような岩石の寄与を評価する上で重要である。この図に示したトレンドはSrおよびCaOの低い領域からSrの高い組成へ

向かう組成線を示す。三瓶川、静間川、湯里川等がこれらの後背地からの碎屑物を供給するといえる。琴ヶ浜は仁万と湯里の間に位置するので同様の傾向が認められると予想されるが、Srは低い(Sr=225, 157, 150 ppm)。また、この浜の試料のK₂O/Na₂O比は1.66, 1.28, 1.23でK₂Oが高くなっている。琴ヶ浜に流入する河川がないことを考慮すると前浜での分級により斜長石が失われていると考えられる。

ま と め

山陰海岸西部の海浜は延長が1 km以下のポケットビーチが多い。海浜の形状を示す試みとして、浜の曲線を円弧に対比させ、円周を求めた。この弧長(l)と半径(r)からl/r(ラ

ジアン)を求めた。 ϕ は1以上のものが多く、浜は短くくぼみの大きな弧状であることが示される。前浜の汀線で海浜砂を採取して粒度分析、元素組成を分析した。多くの試料で粒度は1.15 ϕ ~1.51 ϕ と良く分級されている。SiO₂は80 wt%以上のものが多く、石英に富む。SiO₂は淘汰度と負の相関を持つ。風化の指標であるCIA値は55~60にあり長石はあまり風化していないことを示す。このことは前浜での波の影響の大きい砂粒子の分級作用を反映する。



第9図 山陰海岸西部の前浜の汀線の海浜砂(○)のSrとCaOの相関図。生物起源の炭酸塩を含むものはSrに対してCaOが高くなる。湯里、仁万、大浦、魚津、静間等は大江高山や三瓶山の火山岩の寄与があり、Srが高くなる。大江高山の火山岩(●)、火砕岩試料(×)を比較のため示した(未公表)。Relationship Sr and CaO in sands from the shorelines of beaches on the western San'in coast. CaO contents related to biogenic carbonate may show higher values in comparison with Sr contents. Sr derived from adakites at Mt. Sambe and/or Oe-Takayama may show higher Sr contents relative to CaO. Compositions of volcanic rocks and pyroclastic material (crosses) from Mt. Oe-Takayama (unpublished) are shown as representative of adakitic source material.

謝 辞

島根マテリアル株式会社島田勝博氏には浅利、黒松地域の海浜砂について情報を頂いた。地球資源環境学科の酒井哲弥准教授には粒度分析に当たり便宜を図っていただくとともに、粒度組成について意見を頂いた。同教室林 広樹准教授には山陰海岸の海浜砂と成熟度の関連について議論を頂き本論を読んでいただいた。また、英文は同学科 Barry Roser 准教授に校閲を頂いた。記して感謝します。

引用文献

- Condie, K. C., 1993, Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface and shales. *Chem. Geol.*, **104**, 1-37.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W. and Young, G. R., 1995, Unravelling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, **23**, 942-924.
- Folk, R. L. and Ward, W., 1957, Brazos river bar; a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.*, **27**, 3-26.
- 福本 紘, 2004, 日本の海浜地形, CDブック, 海青社, 32p.
- McLennan, S., Hemming, S., MacDaniel, D. K. and Hanson, G. N., 1993, Geochemical approach to sedimentation, provenance and tectonics. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, **284**, 21-40.
- Morris, P. A., 1995, Slab melting as an explanation of Quaternary volcanism and aseismicity in southwest Japan. *Geology*, **23**, 395-398.
- 新編島根県地質図編集委員会, 1997 新編島根県地質図(20万分の1), 島根県.
- 須藤定久・有田正史・谷田部信郎, 2002, スキャナーによる砂の観察—試料の作成から観察・保存まで—. *地質ニュース*, **580**, 32-37.
- 田中宣男, 1980, 海岸工学に立った我が国海浜の地域区分. 土木学会, 第27回海岸工学講演会論文集, 211-215.
- Taylor, S.R. and McLennan, S. M., 1985, *The Continental Crust: Its composition and Evolution*. Oxford: Blackwell. 312p.

(受付: 2010年9月30日, 受理: 2010年10月6日)