

日本の鳴り砂

Musical Sands in Japan

川村 國夫 (かわむら くにお)

金沢工業大学教授 工学部土木工学科

佐久間 敏昭 (さくま としあき)

運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所 調査課長

船越 晴世 (ふなこし はるよ)

運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所 所長

髭本 裕昌 (ひげもと ひろまさ)

真柄建設機技術研究所

1. はじめに

「鳴り砂」(または、「鳴き砂」で、Musical Sandとか Singing Sand) と呼ばれている砂がある。この砂は手でならしたり、その上を摺り足で歩くと、キュッ、キュッとか、クイツ、クイツと心地良い音がする。最近の調査によって、この魅力的な砂浜は日本に20箇所程度分布することを明らかにした。周知のように、この鳴り砂は、環境の変化に非常に敏感であり、少しの汚れでその妙音を奏でなくなる。折しも、環境への意識が高まっている今日、建設(開発)と環境保全との調和を求める声は根強い。筆者らは、自然の遺産であり、土質工学的にも貴重な財産ともなるこの鳴り砂を取り上げ、全国90箇所あまりの海岸を調査した。

本報告は、この調査結果として、鳴り砂海岸の分布とそれらの地形、地質、さらに、いくつかの鳴り砂の粒子特性と鉱物組成、そして発音特性などについて述べる。

2. 鳴り砂の音

実際に海岸でキュッとかクイツと鳴る鳴り砂と、そうでない普通の砂との相違を示してみたい。鳴り砂として感度の良い島根県仁摩町は琴ヶ浜の砂と、鳴り砂ではない石川県羽咋市のなぎさドライブウェイ(千里浜)の砂とを用意し、音の波形について比較した。

図-1, 2の(a), (b)は、それぞれ砂の鳴り音に関する時間軸波形とスペクトル特性を示したものである。測定方法は、砂を

乳鉢に入れ、上から乳棒で突いて発音させ、サウンドレベルメーターから音圧を、FFTアナライザー(高速フーリエ変換器)からスペクトル特性をそれぞれ検出している。

図-1, 2の(a)図から、琴ヶ浜の波形は、規則的で振幅は大きく、継続時間も長いことから、明らかに発音しているのに対して、千里浜の波形は振幅がほとんどなく、発音しているとは言いがたい。また、図-1, 2の(b)図から、琴ヶ浜には、明確な卓越周波数が見受けられ、その最初のピーク値が周波数約800 Hzで、音圧55 dBで示される。そして、その倍数の周波数付近で、2番目、3番目のピーク値が現れており、これは、後述のほかの鳴り砂にも同様に見受けられるスペクトル特性である。このような特性は、主に楽器などの発音と相似し、心地良い鳴り砂の音の正体はここにある。これに対し、千里浜の砂は卓越した周波数と呼べるものはない。実際に耳

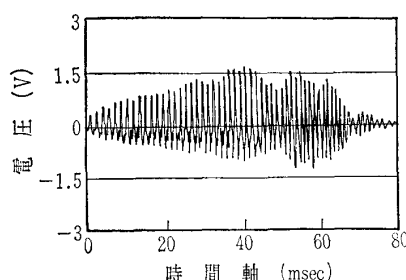


図-1(a) 琴ヶ浜時間軸波形

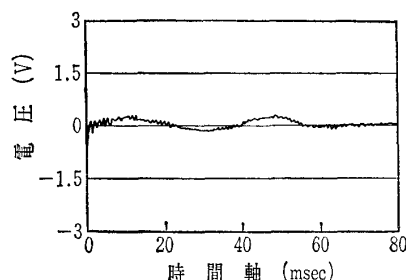
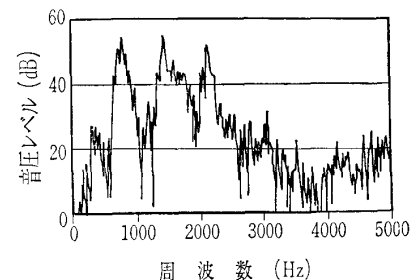
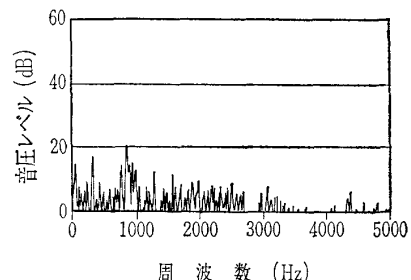


図-2(a) 千里浜時間軸波形



(b) 琴ヶ浜スペクトル解析



(b) 千里浜スペクトル解析

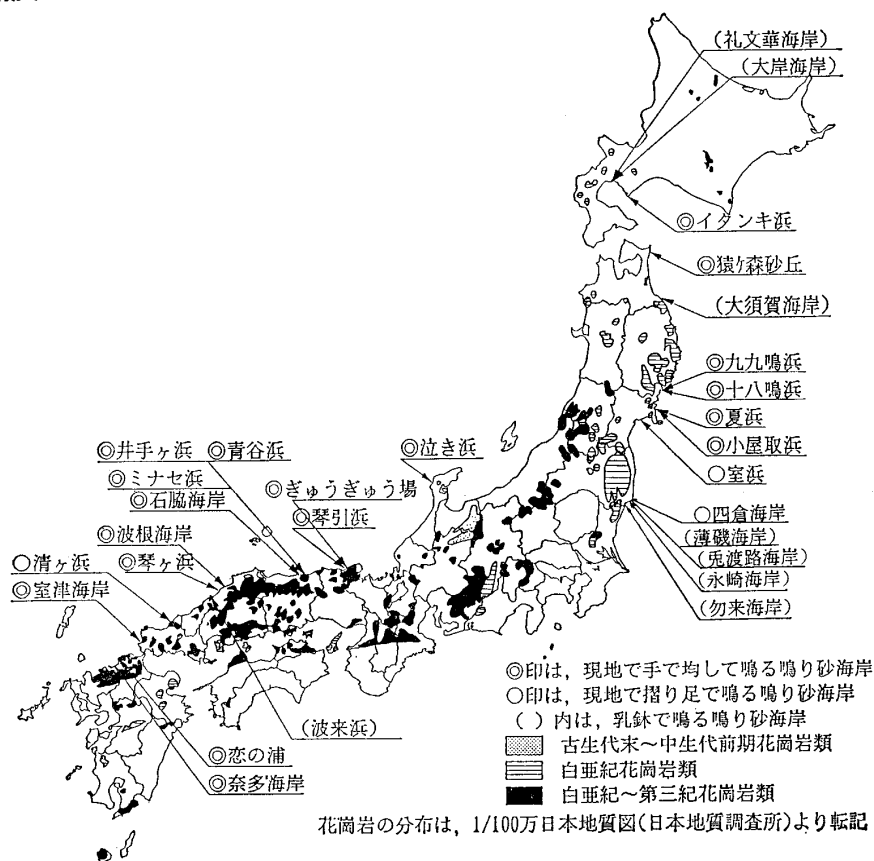


図-3 全国鳴り砂海岸の分布と花崗岩類分布図

で聞いてもかすかにノイズのような音がする程度である。

3. 全国の鳴り砂海岸

3.1 鳴り砂海岸の分布

全国の鳴り砂海岸の分布調査は、文献^{1)~12)}に基づいて、90箇所余りの鳴り砂海岸とその周辺海岸に出向き、現地にて、鳴り砂の感度や海岸周辺の地形、地質を踏査し、供試体や資料を収集している。

図-3は、筆者らが1992年12月~1993年9月に行った現地調査の結果である。日本の鳴り砂海岸は主に、北陸から山陰地方そして北九州にかかる日本海側と、東北地方の三陸海岸を中心とする太平洋側に多く分布している。

鳴り砂海岸の現地における鳴り砂の感度は、いずれも晴天時に、以下の三つの方法で判断した。

- ① 砂の表面を手でならしただけで鳴る→高感度
- ② 摺り足で歩いて鳴る→中感度
- ③ 乳鉢に砂を入れ、乳棒で突いて鳴る→低感度

今回の調査では、現地にて、高感度(図中の◎印で示す海岸)と中感度(○印で示す海岸)の鳴り砂海岸は、全国で21箇所を数えた。さらに、乳鉢で鳴

る低感度(○)で示す海岸)の海岸も含めると29箇所になる。今までに鳴いた鳴り砂海岸は、文献調査などによれば、60箇所程度が確認されており、この数の減少には驚きを禁じ得ない。

これらの鳴り砂海岸は、季節、天候の変化によっても鳴いたり鳴らなかったりする。石川県門前町琴ヶ浜の4年間の追跡調査¹³⁾によれば、春季が最も良く鳴り、その後、季節を追って鈍くなる。また、雨で砂が濡れてしまうと鳴り音を聞くことはほとんど不可能になる。

3.2 鳴り砂海岸の地形

今回、中感度以上で鳴る鳴り砂海岸21箇所について、その海岸地形を調査した。

図-4は、鳴り砂海岸の海岸線長の分布状況を示したものであり、海岸線長2000mまでのものが多く、海岸線が比較的短いことがわかる。図-5は、それら海岸の湾曲度の形状係数として、入り江奥行き W を入り江間距離 B で除した(W/B)の分布を示したものである。湾曲度は形状係数(W/B)0.20~0.30が多く、鳴り砂海岸は、適度に湾曲していることがわかる。適度に湾曲した海岸では、砂の移動は汀線方向が卓越し、波のエネルギーも適度に増幅されるため、砂が流出しにくく、鳴り砂の研磨や洗浄作用も優れているといえる。

3.3 鳴り砂海岸と地質

鳴り砂の粒子は主に石英粒である^{14), 15)}。このため鳴り砂海岸周辺に、この石英の母岩と考えられる花崗岩類などが分布しているか現地調査した。調査

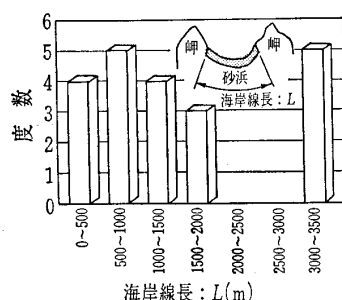


図-4 鳴り砂海岸の海岸線長

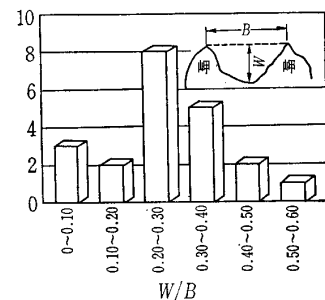


図-5 鳴り砂海岸の形状係数

は、鳴り砂海岸周辺の地質や風化度、石英粒の大きさや分布、そして河川の存在などを対象項目とした。

図—3 には、全国鳴り砂海岸と周辺地質の概略を見るための花崗岩類の分布を併記している。花崗岩類とは、花崗岩、花崗斑岩、花崗閃緑岩など石英を多く含む母岩を指す。

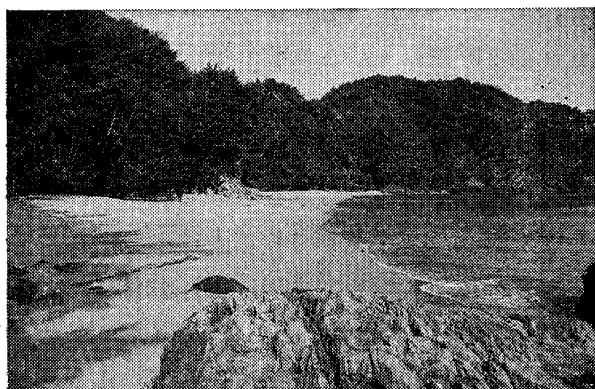
図—3 より、北陸、山陰、北九州にかけての日本海側および東北地方南部の太平洋側の鳴り砂海岸は、それぞれ後背地に、白亜紀から古第三紀にかけての花崗岩類地帯やまさ土地帯が目立つ。これら石英粒を多く含んだ岩石やその風化物が風化、侵食の繰返しを受け、その結果、硬い石英粒だけが残る。これが河川によって海岸に運搬、供給され、鳴り砂海岸を形成していったと考えられる。したがって、これらの地方の鳴り砂を目視観察すると、石英粒の多さから、砂全体が白色か、淡い黄褐色をしている。

一方、東北地方北部の青森県や北海道南部の後背地では、花崗岩類の分布より、むしろ、第三紀の安山岩類が多い。今のところ、後背地からの石英粒の供給ではなく、南からの沿岸流に乗って、他の地方（東北地方三陸海岸など）から運搬、そして堆積したと推定している。ここの鳴り砂は黒色の砂鉄を多く含み、砂浜の色が灰色っぽく見える。

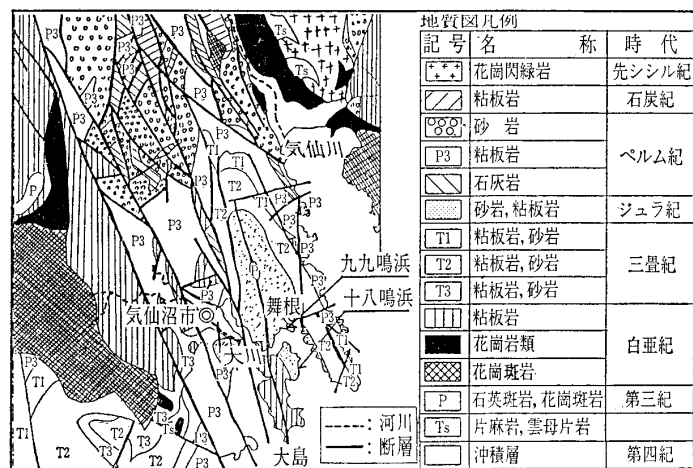
4. 代表的な鳴り砂

4.1 十八鳴浜

十八鳴浜（写真—1）は、宮城県気仙沼市大島北東部にあり、その鳴り音であるキュウ、キュウ、つまり、九九と鳴るため、十八鳴浜と名付けられた。海岸線の長さは約200m、幅は約20mであり、砂浜



写真—1 宮城県気仙沼市大島北東部の十八鳴浜



図—6 気仙沼市大島周辺地質図 (1/40万)

の色は白黄色である。また、砂浜の両端は岬になっており、海岸は緩やかに湾曲している。

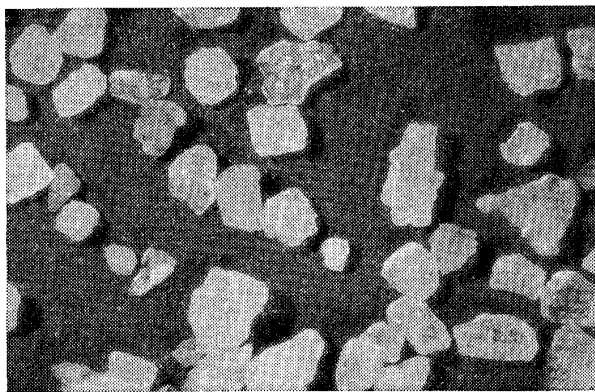
(1) 地質状況

図—6 に大島とその周辺の地質図を示す。島全体は、白亜紀以前の古い堆積岩（砂岩、粘板岩）で構成され、それらを観察してみると、透明な石英粒や白色がかった石英塊を多く含む。そして、大島の対岸の気仙沼市付近では、多くの断層が走り、これらの古い堆積岩に混じって、やはり白亜紀以前からの花崗岩類も分布する。このことから、分布する堆積岩に石英を多く含むことは納得できよう。特に、島の北東部から対岸の舞根地区付近に分布する舞根層は、1mm以下の石英粒を含む白色粗粒花崗岩質砂岩と黒色頁岩の互層から成るジュラ系の地層であるため、ここの鳴り砂の源泉と考えられる。この舞根地区には、やはり感度の良い鳴り砂海岸で九九鳴浜を見つけることもできる。

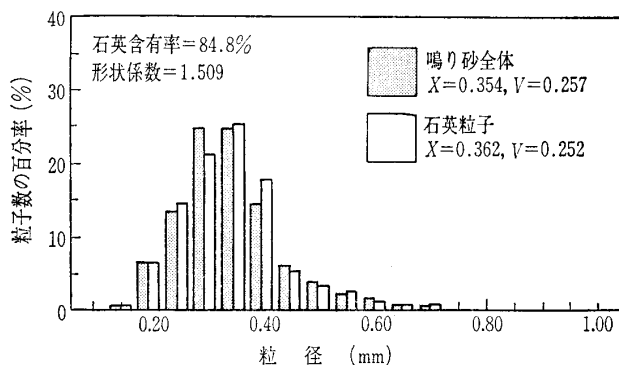
(2) 鳴り砂の粒子

現地で採取した鳴り砂の粒子特性を画像処理で検討した。画像処理は、鳴り砂の顕微鏡画像をテレビカメラで処理機能（プロセッサ）に取り込み、粒子の大きさ（ふるい通過径）や分布、形状、それに石英の含有率などを計測している。この処理の分解能は（512×480）個の画素の識別に基づいており、（三次元の粒子の）二次元処理とは言え、高精度が期待できる。

写真—2 は、十八鳴浜の砂粒の顕微鏡写真（約21倍）を、図—7 は、画像処理から得た鳴り砂とそこに含まれる石英粒の粒径（ふるい通過径）の分布（粒子数の百分率）を示す。この石英粒は鳴り砂の発



写真—2 十八鳴浜の砂粒の顕微鏡写真（約21倍）



図—7 十八鳴浜粒度分布

音にとってきわめて重要であり、その粒子特性（粒径、粒度、形状および含有量）によって鳴り音は大きく変化する¹⁴⁾。このため、鳴り砂から石英粒だけでも抽出し、計測している。なお、いずれの計測とも20回以上を繰り返し、その平均値を採用した。

十八鳴浜の鳴り砂および石英粒の粒径はそれぞれ平均 X 0.35 mm 程度で、全国の鳴り砂とその石英粒の平均径が各々 0.31 mm～0.62 mm を示す中では、比較的小さい方である¹⁴⁾。また、粒径の分布を示す変動係数 V はともに 0.25 程度と、やはり全国の鳴り砂および石英粒が 0.17～0.30, 0.17～0.28 の値をもつ中では逆に大きい方にある¹⁴⁾。石英の含有率は 84.8% と高く、今までの計測で得た鳴り砂としての条件値 65% を十分に満足している¹⁴⁾。さらに、石英粒の形状は、以下に定義される形状係数で 1.51 と

かなり角張った、細長の形を示している（写真—2）。一般に、この形状係数は円形粒子で 1 となるが、顕微鏡による目視からは、1.4 以下の値であれば、粒子に丸みを帯びた様子が確認できる。

$$\text{形状係数(丸み度の指標)} = \frac{(\text{粒子最大長})^2 \times \pi}{4 \times (\text{粒子面積})}$$

(3) 鳴り音の波形

図—8 に十八鳴浜の時間軸波形とスペクトル特性を示す。十八鳴浜の鳴り砂は、図—8(a) より、発音の継続時間が長く、約 80 msec であるが、50 msec 付近以降から、振幅の乱れが現れている。また、図—8(b) のスペクトル特性は、最初の卓越周波数が約 500 Hz と低く、その倍数となる周波数付近に 2 番目、3 番目、さらに 4 番目の卓越した周波数があり、その音圧はいずれも約 55 dB である。実際に、耳で聞く音はキュッ、キュッという音だが、波形の乱れが示すように、雑音も少々含んでいる。

4.2 琴引浜

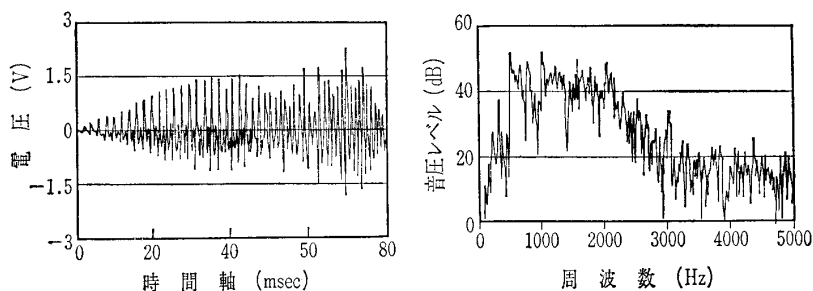
琴引浜は、京都府丹後半島の網野町にある砂浜である。海岸は、太鼓浜と呼ばれる小さな岬を中心に左右に弧状を成し、砂の色は淡い黄色である。海岸線の総延長は約 1.8 km、幅は最大 50m で、最大級の鳴り砂海岸の一つである。

(1) 地質状況

図—9 に琴引浜周辺の地質図を示す。琴引浜のすぐ背後には、網野砂丘が三津から浅茂川まで分布する。そして、この砂丘の後背地に宮津花崗岩と呼ばれる白亜紀の斑状黒雲母花崗岩や角閃石黒雲母花崗岩が広く分布している。現地調査によれば、この宮津花崗岩の表面が風化し、大粒で光沢を持つ石英粒を琴引浜の海岸線近くから島津地区まで、いたるところで観察でき、琴引浜への石英の供給を裏付けている。また、琴引浜付近には、間人地区で、ぎゅうぎゅう場と呼ばれる小さな鳴り砂海岸も確認できる。

(2) 鳴り砂の粒子

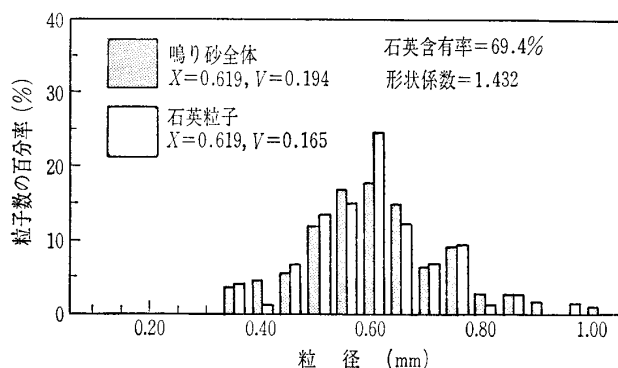
写真—3 に琴引浜の顕微鏡写真、図—10 に粒子測定の結果をそれぞれ示す。それらから、まず気がつくことは、琴引浜の鳴り砂は石英粒を含めて非常に粒径が大きく（粒径の平均値はともに 0.62 mm）、そして形状は全体的に丸みを呈している（形状係数 1.43）ことである。



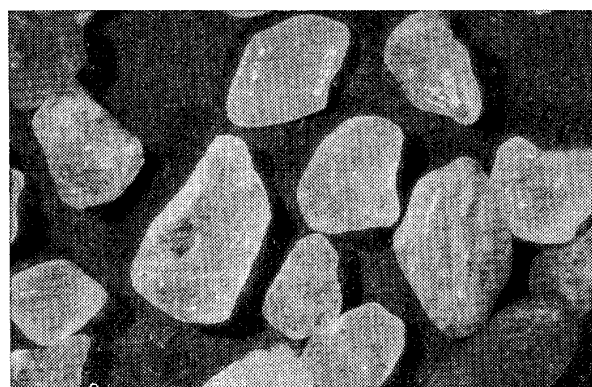
図—8(a) 十八鳴浜時間軸波形 (b) 十八鳴浜スペクトル解析



図—9 琴引浜周辺地質図 (1/30万)



図—10 琴引浜粒度分布

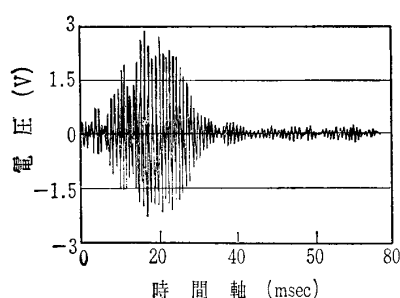


写真—3 琴引浜の砂粒の顕微鏡写真 (約21倍)

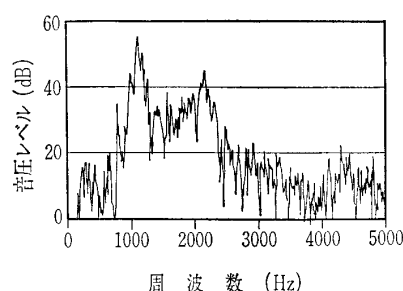
石英の含有率は70%であるが、粒径分布の変動係数 V が0.16と小さく、大きな粒揃いの石英で構成されていることが特徴になっている。

(3) 鳴り音の波形

図—11(a), (b)に琴引浜の時間軸波形とスペクトル特性を示す。図—11(a)より、発音の継続時間



図—11(a) 琴引浜時間軸波形



(b) 琴引浜スペクトル解析



図—12 琴ヶ浜周辺地質図 (1/40万)

は、約45 msec と、十八鳴浜、琴ヶ浜のそれに比べて短い、きれいな正弦波を示し、振幅も大きい。そして、図—11(b)からは最初の卓越周波数が約1000 Hz、2番目が約2000 Hzにあるが、3番目のピーク値は持たない。実際に、グッ、グッと鳴り音は低く聞こえるが、波形の特徴からほかの鳴り砂より大きい音がする。

4.3 琴ヶ浜

琴ヶ浜は島根県の海岸線はほぼ中央部の仁摩町にある。海岸の長さは約2 km、幅は約50mで、入り江状になっており、琴引浜同様、有名な鳴り砂海岸である。砂浜の色は淡い黄色である。

(1) 地質状況

図—12に琴ヶ浜周辺の地質図を示す。まず、琴ヶ浜近傍に顕著な花崗岩類は見当たらない。むしろ、この一帯は、久利層や川合層と呼ばれる第三紀中新世以降の流紋岩質火砕岩が存在する。この流紋岩にも石英は確認できるが、注目すべき

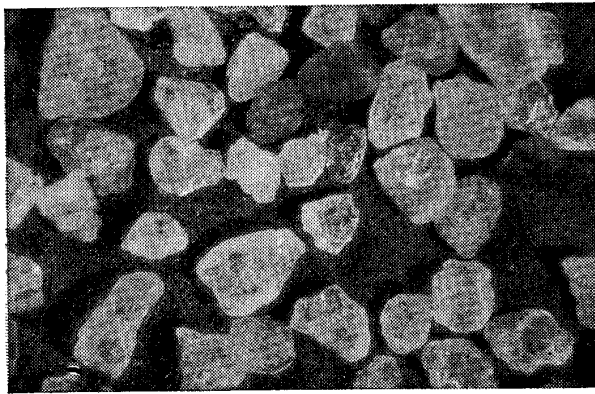


写真-4 琴ヶ浜の砂粒の顕微鏡写真(約21倍)

ことは、流紋岩地帯の背後地域に断層を挟み、さらに古い時代(白亜紀から古第三紀中期に至る)の黒雲母花崗岩を中心とした花崗岩類が分布していることである。したがって、流紋岩や火砕岩が形成される以前から、琴ヶ浜周辺へ花崗岩地帯からの石英粒が供給されていたと推定できる。

(2) 鳴り砂の粒子

琴ヶ浜の顕微鏡写真と画像処理による粒径分布をそれぞれ写真-4と図-13に示す。

琴ヶ浜の鳴り砂は、そこに含まれる石英の粒子特性が粒径の平均値 X 0.37 mm, 変動係数 V 0.19, そして、含有率76.3%, 形状係数1.46といずれも前述の十八鳴浜と琴引浜の中間値をとっていることにある。したがって、写真からもわかるように、角張った粒子と丸みを持つ粒子両方が確認できる。

(3) 鳴り音の波形

図-1(a), (b)にも示したとおりである。鳴り音は非常に感度が良く、クイツ、クイツと混じり気のない澄んだ音を発する。

5. ま と め

全国の鳴り砂海岸を調査し、その地形や地質、鳴り砂の粒子、特に、石英粒の粒子特性や含有率などを画像処理を使って計測した。その結果、約20箇所余りの鳴り砂海岸が分布し、そのほとんどの周辺には白亜紀を中心とする花崗岩類地帯の存在が確認できた。また、これら鳴り砂に含まれる石英粒は、いずれも含有率が65%以上で、平均径0.31 mm~0.62 mm, 粒径の変動係数0.19~0.28の範囲にあった。加えて、鳴り音は、時間軸波形で最大音圧55 dB以上、継続時間50 msec以上をもち、いずれの卓越周波数も1000 Hz以下で、その倍数値に第2,

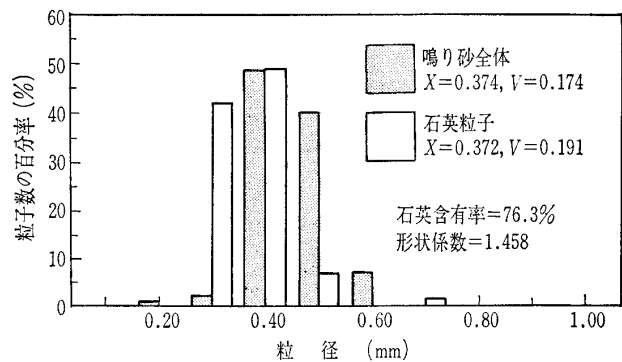


図-13 琴ヶ浜粒度分布

第3の卓越値を示した。

このような鳴り砂のもつ特徴が十分活かされる対策こそが、今後の鳴り砂海岸の保全に強く望まれよう。なお、本報告のとりまとめには、金沢工業大学小寺基氏を始め、多くの研究生に御尽力いただき、研究費の一部を1993年度文部省科学研究費一般研究(C)にて御援助いただいた。ここに記して、深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 三輪茂雄：鳴き砂，土と基礎，Nol. 31, No. 1, pp. 117~122, 1983.
- 2) 三輪茂雄：鳴き砂幻想，ダイヤモンド社，1982.
- 3) 山下信夫：鳴り砂分布図，1986.
- 4) 橋本万平：鳴り砂のなぞをとく，科学の実験，13巻6号，pp. 24~30, 1962.
- 5) 橋本万平：鳴り砂を求めて，探検，pp. 47~49, 1966.
- 6) 岡本正豊：昔ここに貝ありき，九州の貝，19巻20号，pp. 47~55, 1983.
- 7) 星見清晴：鳥取県下に分布する鳴り砂について，郷土と博物館，37巻2号，pp. 1~6, 1992.
- 8) 萩市史，第3巻，pp. 24~28, 1987.
- 9) 新帯国太郎：宮城県大島の鳴り砂について，東北研究，10巻11号，pp. 9~14, 1960.
- 10) 金尾宗平：福岡地方の地学的新事実，地球，11巻1号，pp. 44~46, 1929.
- 11) 渡津俊行・松井整司・田原敬次：鳴り砂の発音機構について，島根県立大田高校研究紀要，第3号，pp. 11~24, 1972.
- 12) 宮城県鼎ヶ浦高校地学クラブ：宮城県・福島県に分布する鳴り砂海岸の地学的研究，科学技術館，80巻11号，pp. 8~10, 1970.
- 13) 川村國夫・西本俊晴・筒井弘之・小寺 基：能登門前町の鳴り砂，土と基礎，Vol. 42, No. 4, pp. 73~74, 1994.
- 14) 川村國夫・村山秀幸・髭本裕昌：画像処理技術による鳴き砂の粒度と鉱物組成，第37回土質工学シンポジウム発表論文集，pp. 53~60, 1992.
- 15) 川村國夫・村山秀幸・小寺 基：全国の鳴き砂(鳴り砂)の土質工学的性質，第28回土質工学研究発表会講演集，pp. 179~180, 1993.

(原稿受理 1993. 9. 27)