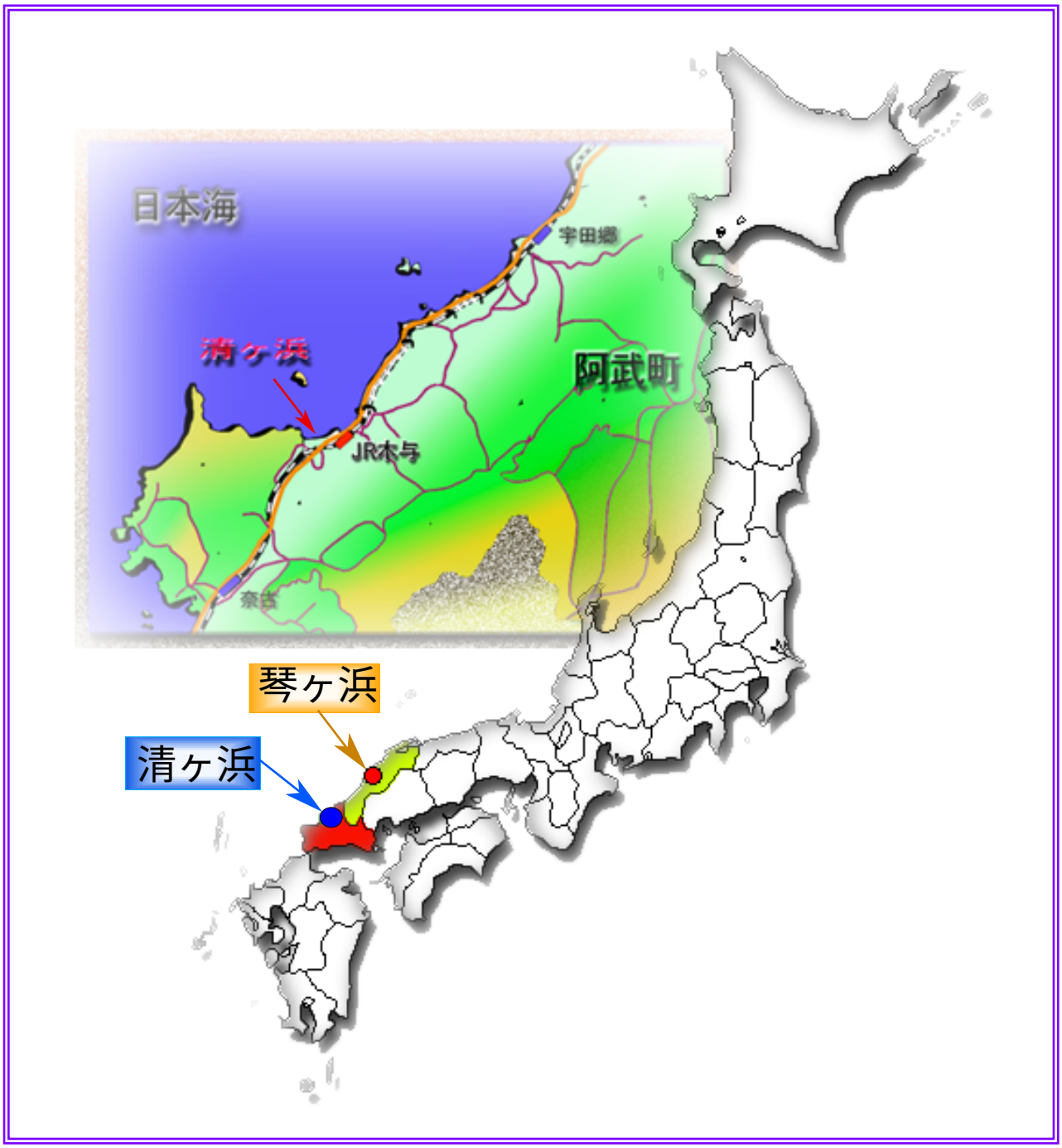
清ヶ浜の鳴り砂調査報告書

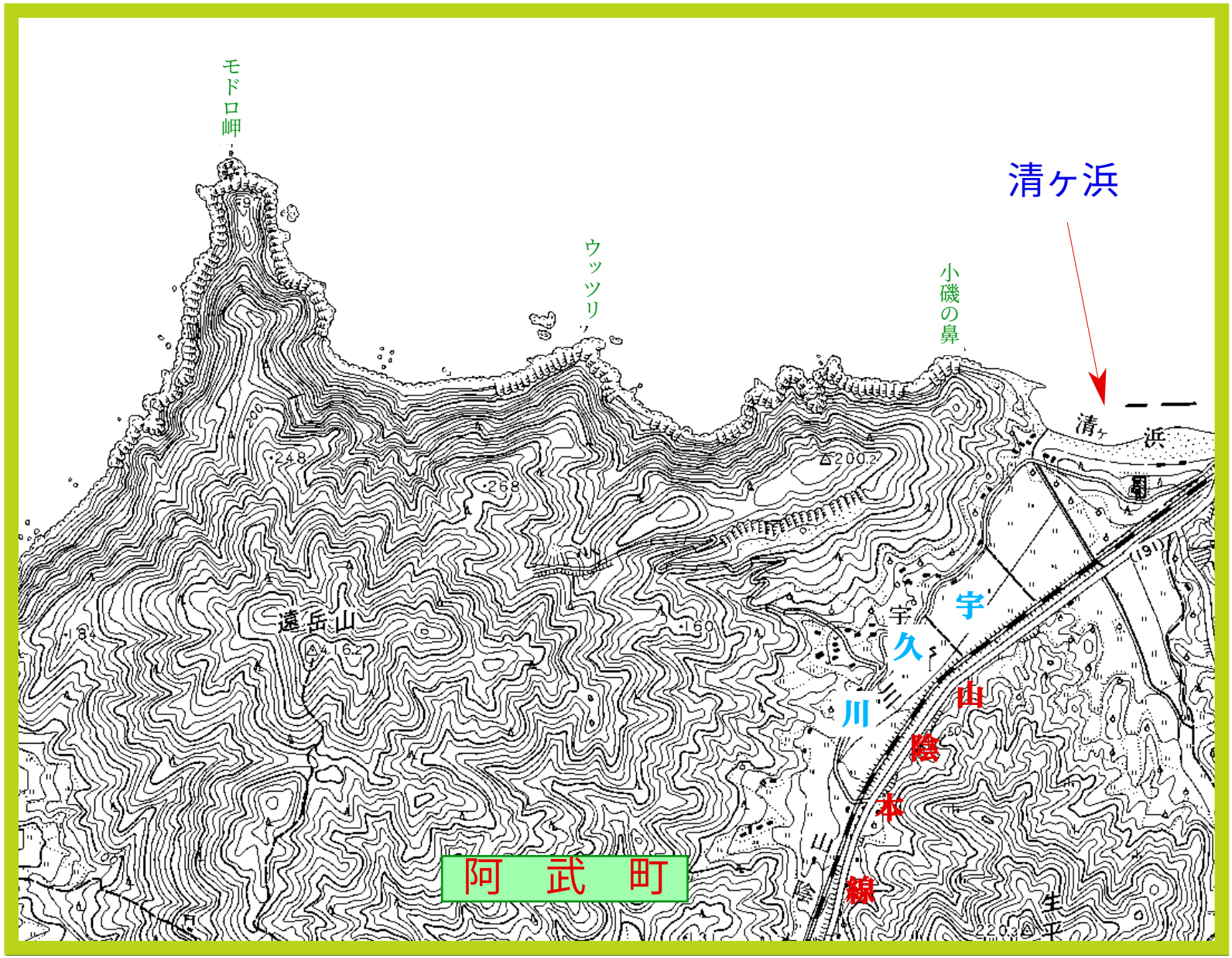
山口県阿武郡阿武町

-山口県阿武郡阿武町役場依頼-



仁摩サンドミュージアム：志波靖麿

調査日：2000 年 7 月 4 日



モドロ岬
ウッツリ
小磯の鼻
清ヶ浜
清ヶ浜
遠岳山
宇
久
川
宇
山
陰
本
線
阿　武　町

目　　次

[１] 調査概要
１．調査目的 …… 2
２．調査方法と対象地域（サンプル） …… 2
２-１．清ヶ浜調査 …… 2
２-２．他所との比較 …… 2
３．調査項目
３-１．砂の特性解析項目 …… 2
３-２．地形的観察 …… 3
[２] 鳴り砂の基本性質
１．粒度分布の構成 …… 3
２．粒子の形状 …… 3
３．成分組成 …… 3
４．粒子の表面 …… 4
５．音の特性の季節的変動（現地） …… 4
６．鳴り砂の音 …… 4
[３] 鳴り砂の生成に必要な自然の条件
１．粒度分布 …… 5
２．砂の成分 …… 5
３．汚染 …… 5
４．砂の洗浄 …… 5
[４] 調査内容と考察
１．鳴り砂の粒度分布 …… 6
２．粒子写真（形状および鉱物の判定） …… 6
３．安息角 …… 6
４．化学成分 …… 7
５．鳴り砂音の特性 …… 7
６．地形的考察 …… 8
[５] 今回の調査の総合的考察
１．粒度分布の変化 …… 8
２．化学成分 …… 8
３．粒子の観察 …… 9
[６] まとめ …… 9

付記：倉江浜の鳴り砂の発見、2000.7.4. …… 9

表-１．各地の鳴り砂の粒度分布測定の結果 …… １０
表-２．各地の鳴り砂の化学成分分析値の結果 …… １１
表-３．鳴り砂の粉体物性まとめ …… １２
図-１．鳴り砂の粒度分布（対数正規確率紙） …… １３
図-２．迅速安息角測定器（両端排出法：志波式） …… １４
図-３．各地の鳴り砂の音特性 …… １５
写真-鳴り砂の光学顕微鏡写真 …… １９
写真-鳴り砂の電子顕微鏡写真 …… ２３
鳴り砂の標本 …… ２７
調査地の風景 …… ２８

清ヶ浜の鳴り砂調査

[1] 調査概要

1．調査目的

貴重な鳴り砂の復活のために、鳴らなくなった原因を調査し、その対策の為の研究をする。

2．調査方法と対象地域（サンプル）

2-1．清ヶ浜調査

1）現地に行って、浜の状況を視察しながら、20 年前からの浜の状況を伺う。
2）砂の鳴る状態を現地でチェックする。
3）その砂浜の砂を採取して、3-1.項の調査項目の砂特性を分析した。

2-2．他所との比較

1）1983 年の清ヶ浜（仁摩サンドミュージアムの保存サンプル）
2）清ヶ浜二ヶ所
　・中央
　・右端（海に向かって）
3）食江浜　-----　清ヶ浜近隣の鳴り砂の浜
4）小原浜　-----　清ヶ浜近隣の鳴り砂の浜
5）琴ヶ浜二ヶ所
　・舟津　　---　　海に向かって左端
　・網屋（砂外れ）---　海に向かって右端

鳴り砂の代表として、仁摩町の琴ヶ浜の砂についても同様の砂特性を分析した。

3．調査項目

3-1.　砂の特性解析項目

1）粒度分析---ふるい分け方による砂の粒度分析
2）化学成分---砂の構成を化学的に分析し、組成の変化を調べる。
3）粒子写真（光学写真）による粒子の形状および表面の観察

４）粒子写真（電子顕微鏡）による付着物の有無の観察・分析
５）音特性---コンピューター解析による発音特性の分析

３-２．地形的観察

１）ゴミの漂着状況を周辺の地形観察
２）テトラポットの配置状況

[２] 鳴り砂の基本性質

１．粒度分布の構成

鳴り砂の海岸の砂は

平均径 d_{50}：0.2mm～0.6mm
幾何標準偏差 σ_g ：1.125～1.425（分布の広がりを表す）

これらの値は、その浜の特有の値であり、地形が決まれば、大きく変わるものはないと考えられる。すなわち、自然淘汰されてその浜の砂の粒度分布が形成される。

人工的に作られた鳴り砂は、平均径が 0.1mm～0.8mm 程の鳴り砂もある。

２．粒子の形状

粒子の形は、長い時間研磨された結果として、一般的に丸みを帯びている。現在では、粒子の形状を数値化する術がないので、数値化していないが、今後の鳴り砂とその形状指数との関係の研究が待たれる。（その表現方法は、種々の表現方法がある）

３．成分組成

自然界の鳴り砂は、石英の化学成分が 80%以上が大半である。石英に富む海岸は、最初から石英質の高い砂で出来た砂浜であったり（そのような海岸は外国に多い）、長い時間のうちに花こう岩などが淘汰されて、堅く安定している石英が残って砂浜となったものなどが考えられる。

粒度構成と同じように、石英質が富む方向へ進むことが必要であり、少なくとも成分が安定していることが、重要である。

４．粒子の表面

当然ながら、砂の表面は奇麗でなければならない。奇麗とは、化学的な奇麗さと物理的な奇麗さに分けられる。
化学的には、現代の未処理の工場廃水や家庭排水などが代表的なものである。物理的には、粘土などの微粒子の付着が挙げられる。微粒子が付着した状態を、ベアリング効果と呼んでいる（志波）。
実験室では、砂を洗浄する水の性質が変わるだけで、鳴り砂の発音特性が、急激に悪くなることが知られている。

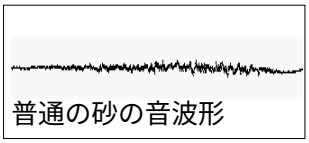
５．音特性の季節的変動（現地）

この原因は、上記４項のいずれかの特性が変化するからであると考えられる。したがって、鳴り砂を現地調査した時点で鳴らなかったから、「鳴り砂の浜では無いとか、浜が悪くなった」などの結論を急ぐべきではない。少なくとも、一年以上詳細な調査（このような調査は、地元の人の意見が特に有用である）をしてから結論を出すべきである。

６．鳴り砂の音

視覚的に音を見ると、鳴り砂の波形は規則的な振動をしているのが特徴である。その音は、倍音構造であり、楽音に分類される。

鳴り砂の音波形


普通の砂の音波形

普通の砂は、振動波形が不規則であり、いわゆる雑音波形である。

[３] 鳴り砂の生成に必要な自然の条件

どうしてそこに鳴り砂の浜があるのか。この単純な疑問の答えは、簡単である。
「その砂浜の砂は、何百万年もいやそれ以前の昔からその浜に溜まっていて、今日まで休むことのない波の動きによって洗浄され、砂同士の研磨が起こり、化学成分的かつ粒度的に淘汰され続けてきた。一度、地形が形作られると、波の動きは（自然系の全てが）安定し領域に入り、長い時間の鳴り砂の生成過程がその場で営まれ続ける。それゆえに砂は鳴り砂になり、鳴り砂の砂浜が誕生する」と、考える。
これまでの調査によると、先にも述べたように、粒度や砂の成分、洗浄条件などがある条件に一致しないと、その系体が壊れてしまい、鳴り砂の特性が失

われ、鳴らなくなってしまうことが分かってきた。

鳴り砂の浜が維持されるために必要な条件は、次のようなことが維持され、営まれていなければならない。

１．粒度分布

自然の動きが、砂浜の粒度分布を変えるような状況に合ってはならない。

・テトラポット
・河川上流の造成
・近隣の開発などの影響

２．砂の成分

鳴り砂の成分は、石英の成分が高くなければ鳴り砂にならないと言われている。この成分構成が崩れると鳴り砂は音を発しなくなる。陸地からの土砂の流入などがあってはならない。当然、波の動きによっても構成が変わってくる。
・テトラポット
・河川上流の造成

３．汚染

人為的な要因で、海が汚れてしまうならば、言うまでもなく鳴り砂は音を発しなくなる。天変地異の為に、異物が流れ込んだら、回復するまで時間がかかるでしょう。
・洗浄水の汚染---海、河川上流の汚染、近隣の港の汚染
・観光施設---海水浴場、キャンプ場、リゾートその他観光施設
・人口の増加　---　浄化設備の充実

４．砂の洗浄

海浜の砂は、力強い一定の動きの波で洗われていなければならない。鳴り砂の浜の砂は、長年の間、同じところで洗浄され続けているものであると考えられる。いわゆる、悠久の年月日が経過してその地に溜まった砂であり、移動することなくその地にあり、洗浄されてきた砂が鳴り砂となっている。鳴り砂が出来るメカニズムは、そのように、浜という大きな洗浄容器で常に洗い続けられているという構造である。
したがって、その為には

・洗浄力の低下をさせない---テトラポットの影響

[４] 調査内容と考察

１．鳴り砂の粒度分布

現状砂と 17 年前のサンプルについて

17 年前の砂が、仁摩サンドミュージアムに幸運にも保存されていて、その粉体特性と音特性が測定できた。このことは今回の清ヶ浜の鳴り砂の調査には貴重なデータである。

その相違を一覧表に現したのが表-1 である。グラフにしたのが、図-１である。今回の調査での清ヶ浜の粒度は、

・中央：247 μm
・右端：297 μm
・１７年前の清ヶ浜：225 μm

これらは、鳴り砂の浜の平均的な値である。

２．粒子写真（形状および鉱物の判定）

・低倍率の光学顕微鏡写真--- ｐ．１９～２２
・高倍率の電子顕微鏡写真--- ｐ．２３～２６

光学顕微鏡写真：清ヶ浜の砂の形状は、他の浜の砂に比べて、少し角張っている。砂浜の砂は、小さくなると形は角張ってくる。そのために 1983 年の清ヶ浜の砂は、角張っている。琴ヶ浜舟津の砂には小さい砂粒でも丸みの有るのが特徴である。長年絶え間ない洗浄がなされていることを物語っている。

電子顕微鏡写真：電子顕微鏡写真より、清ヶ浜の中央（写真-２）と右端（写真-3）の粒子表面に小さな白い角ばった付着物が観られるが、これは塩の結晶？である。

３．安息角

安息角は、種々の要因で変わる特性値であるが、鳴り砂は一般的に普通の砂より高い山を形成する（角度が大きい）のが特徴である。

表-３に今回調査した鳴り砂の浜の砂の安息角を示した。ここでは清ヶ浜の安息角が他のものに比べて高く出ている。砂浜の特性の一つとして見るべきであり、この値が高いから、良い鳴り砂であるとはいえない。琴ヶ浜の網屋の安息角は低いが、良い鳴り砂であり、鳴り砂の音特性と比較して見ると安息角が高いから良い鳴り砂であるというのは、誤りであることが理解できる。しかし、安息角が高いと、良い鳴り砂であることも事実である。同じ条件では、安息角が高くなると摩擦係数が高いことを示し、これは鳴り砂特性の重要な条件の一つである。

なお、安息角は、測定の方法、測定装置、砂の粒度分布、砂の形状、砂の水分、砂の化学的および物理的な汚染の程度などで変わる特性である。

測定は、一般に用いれている排出角法の改良型（図-２）で、実験室で測定した。

４．化学成分

鳴り砂海岸の砂の成分は、SiO_2 に富んでいるのが特徴である。
表-２は、調査した地点の化学分析の結果である。いずれも 75%以上の SiO_2 の含有量である。高感度の鳴り砂である琴ヶ浜の場合は、他の浜より高いシリカ成分である。それに比べて、清ヶ浜の現在の砂は、いずれも低い値になっている。

５．鳴り砂音の特性

現地調査からも、また実験室での鳴り砂の音特性からも、現状（2000.7.4 現在）の清ヶ浜の鳴り砂の音は悪くなっており、全くといってよいほど鳴り砂の特性を呈していない。

音の分析は、SoundEdite16 v2-J、Microsoft Excel、KaleidaGraph を用いて行った。その結果を図-３に示した。

鳴り砂の特徴は、先にも述べたように、

１）規則正しい波形を示す。Ｐ.４の図を参照。
２）その音は、楽音であり、倍音構造をしている

その代表が、1983 年の清ヶ浜や琴ヶ浜の砂である。

音の周波数は、周波数スペクトル解析の第一ピーク（基音）の値が当てられる。

この結果、鳴り砂と認められるのは、1983 年の清ヶ浜と琴ヶ浜である。現地では小原浜、倉江浜そして清ヶ浜右端が幽かに音を発していた。そのいずれも以前は誰でもが認める鳴り砂の浜であったと思われるが、いずれも発音特性を無くしてしまっている。

６．地形的考察

現在の清ヶ浜には、波消しブロックが浜に横たわっている（写真ｐ 28、写真１，３参照）。陸側は、右の方はコンクリートの壁になっているが、左の方は草むらになって、少しずつでも泥が浜に流れ込んでいると思われる。このテトラポットは、砂がサンプリングされた 1983 年ころから工事が始まって設置されていったという。

写真から分かるように、テトラポットの効果が現れ、トンボロ曲線が浜に形成されている。テトラポットにより波は消され、砂が陸から次第に海側に堆積していることがわかる。その部分は、波が掛かりにくくなり砂の動きが制御され、鳴り砂への砂の洗浄力が弱くなっていることを現している。）

[５] 調査の総合的考察

なぜ現在の清ヶ浜がならなくなったのか。鳴り砂の条件を考慮しながらその原因を述べる。

１．粒度分布の変化

１９８３年１０月１４日の砂が、清ヶ浜のどの位置か、左端なのか中央なのかなど分からないので、今回のものとの比較には正確性を欠くが、粒度分布が変わっている。

現在の清ヶ浜は、1983 年の砂に比べて、

１）平 均 径 --- 粗くなっている。
２）分布の幅 --- 広くなっている。

この結果は、砂浜の変化が有ることを物語っている。この特性値の変化のために発音特性をなくした可能性は大きい。

２．化学成分

シリカに注目すると、現在の清ヶ浜の砂は、シリカ成分が低くなっている。鳴り砂は、この成分が高いほうが鳴りやすいことが研究の結果分ってきている。これも鳴り砂の発音特性を失った原因である。

３．粒子の観察

現物の砂標本を示したが（ｐ．27）、明らかに現在の砂は、貝殻の破片らしきものが多く有ることが認められる。これらの物質は、軽くしかも壊れやすく鳴り砂には悪い影響を与える。光学顕微鏡写真（ｐ．１９，写真２，３）からも分かる通り、透明感のある石英粒子が少ない。また、光沢のある粒子も少ない。

電子顕微鏡の拡大写真に写っている食塩の結晶らしき白色の斑点の汚れも気になる結果である。

[６] まとめ

１）砂の粒度構成および化学成分が変わている。そのために鳴り砂が発音特性を失ったと考えられる。原因の一つは波消しブロックの設置であると考えられる。

２）海水の汚染は、今回は調査していないが、ここに流れ込む川、宇久川は、調査した時は、写真からも分かるように、透明な水が流れ込んでいて、川からの汚染はまず、無いであろうと思われる。しかし、汚染は、近隣の、海流の上流の汚染でも影響するので、よく検討することが必要である。（写真ｐ．２９，写真-４）

３）陸側の土手から今も尚、少しずつではあると考えられるが、泥が流れんでいると思われる。この泥が、自然淘汰されるのであるが、ブロックにより波の動きが抑えられているので、その作用が弱くなっていると考えられる。壊れた貝殻など軽い粒子も、小さな粒子と同じような挙動を示すために、浜に残りやすくなる。

現在清ヶ浜が発音特性を無くした第一の直接的な原因は、波消しブロックに因るものが大であると思われる。

付記：倉江浜の鳴り砂の発見、2000.7.4.（写真ｐ 30，写真５，６）

萩市にある小原浜も鳴り砂の浜として知られているが、今回、念願であった小原浜を調査でき、案内してもらった。ところが、撮った写真と、仁摩サンドミュージアムにある写真とがどうも一致しなく、ミュージアムの写真を送って、確認してもらったところ、それは小原浜ではなく、倉江浜であることが分かった。

それがここ倉江浜が鳴り砂の浜である発見につながった。調査したその倉江浜は、実験室では、鳴り砂の音であるとは言えないが、現地では浜の中央付近が幽かに音を発し鳴り砂の浜であることが発見できた。

表-1.各地の鳴り砂の粒度分布測定の結果

清ヶ浜 1983 年 10 月 14 日の砂		
目開きμm	格段Δ%	積算Σ%
1190	0	0
840	0	0
500	0	0
420	0.5	0.5
350	1.8	2.3
250	27.4	29.7
125	69.8	99.5
74	0.5	100
計	0	100

清ヶ浜中央 2000.7.4		
目開きμm	格段Δ%	積算Σ%
1190	0	0
840	0.5	0.5
500	1.8	2.3
420	1.8	4.1
350	5.7	9.8
250	34.7	44.5
125	55.2	99.7
74	0.3	100
計	0	100

清ヶ浜右端,2000.7.4		
目開きμm	格段Δ%	積算Σ%
1190	0	0
840	0.5	0.5
500	1.8	2.3
420	1.8	4.1
350	5.7	9.8
250	34.7	44.5
125	55.2	99.7
74	0.3	100
計	0	100

小原浜,2000.7.16		
目開きμm	格段Δ%	積算Σ%
1190	0	0
840	0	0
500	0.6	0.6
420	2.9	3.5
350	7.6	11.1
250	41.0	52.1
125	47.6	99.7
74	0.3	100
計	0	100

倉江浜,2000.7.4		
目開きμm	格段Δ%	積算Σ%
1190	0	0
840	0.6	0.6
500	4.9	5.5
420	2.9	8.4
350	6.9	15.3
250	39.8	55.1
125	44.9	100
74	0	100
計	0	100

琴ヶ浜,舟津 2000.7.3		
目開きμm	格段Δ%	積算Σ%
1190	0	0
840	0.3	0.3
500	0.8	1.1
420	2.0	3.1
350	9.9	13
250	69.8	82.8
125	17.2	100
74	0	100
計	0	100

琴ヶ浜,網屋,2000.7.3		
目開きμm	格段Δ%	積算Σ%
1190	0	0
840	0.3	0.3
500	22.4	22.7
420	26.7	49.4
350	27.3	76.7
250	21.5	98.2
125	0.6	98.8
74	0.3	99.1
計	0.9	100

表-2．各地の鳴り砂の化学成分分析値の結果

清ヶ浜、1983.10.14	
成分	成分値 [%]
SiO_2	80.6
Al_2O_3	7.21
Fe_2O_3	0.571
K_2O	3.86

清ヶ浜、中央,2000.7.4	
成分	成分値 [%]
SiO_2	78.4
Al_2O_3	6.90
Fe_2O_3	0.58
K_2O	3.97

清ヶ浜、右端,2000.7.4	
成分	成分値 [%]
SiO_2	76.3
Al_2O_3	6.66
Fe_2O_3	0.478
K_2O	4.22

小原浜、2000.7.16	
成分	成分値 [%]
SiO_2	80.2
Al_2O_3	6.74
Fe_2O_3	0.780
K_2O	3.85

倉江浜、2000.7.4	
成分	成分値 [%]
SiO_2	84.1
Al_2O_3	6.39
Fe_2O_3	0.876
K_2O	3.25

琴ヶ浜、舟津 2000.7.3	
成分	成分値 [%]
SiO_2	86.5
Al_2O_3	7.21
Fe_2O_3	0.571
K_2O	2.71

琴ヶ浜、網屋,2000.7.3	
成分	成分値 [%]
SiO_2	88.9
Al_2O_3	5.41
Fe_2O_3	0.620
K_2O	2.01

表-3．鳴り砂の粉体物性まとめ					
地　　域		平均径 d_{50}[μm]	15.9%径 $d_{15.39}$[μm]	幾何標準偏差 σ [-]	安息角 θ [°]
1	清ヶ浜 1983.10.14	225	290	1.289	-
2	清ヶ浜 中央 2000.7.4	247	320	1.296	41.0
3	清ヶ浜 右端 2000.7.4	297	420	1.414	400
4	小原浜 2000.7.16	265	350	1.321	39.0
5	倉江浜 2000.7.4	280	360	1.333	36.5
6	琴ヶ浜 舟津 2000.7.3	300	380	1.267	39.0
7	琴ヶ浜網屋 2000.7.3	419	540	1.289	37.0

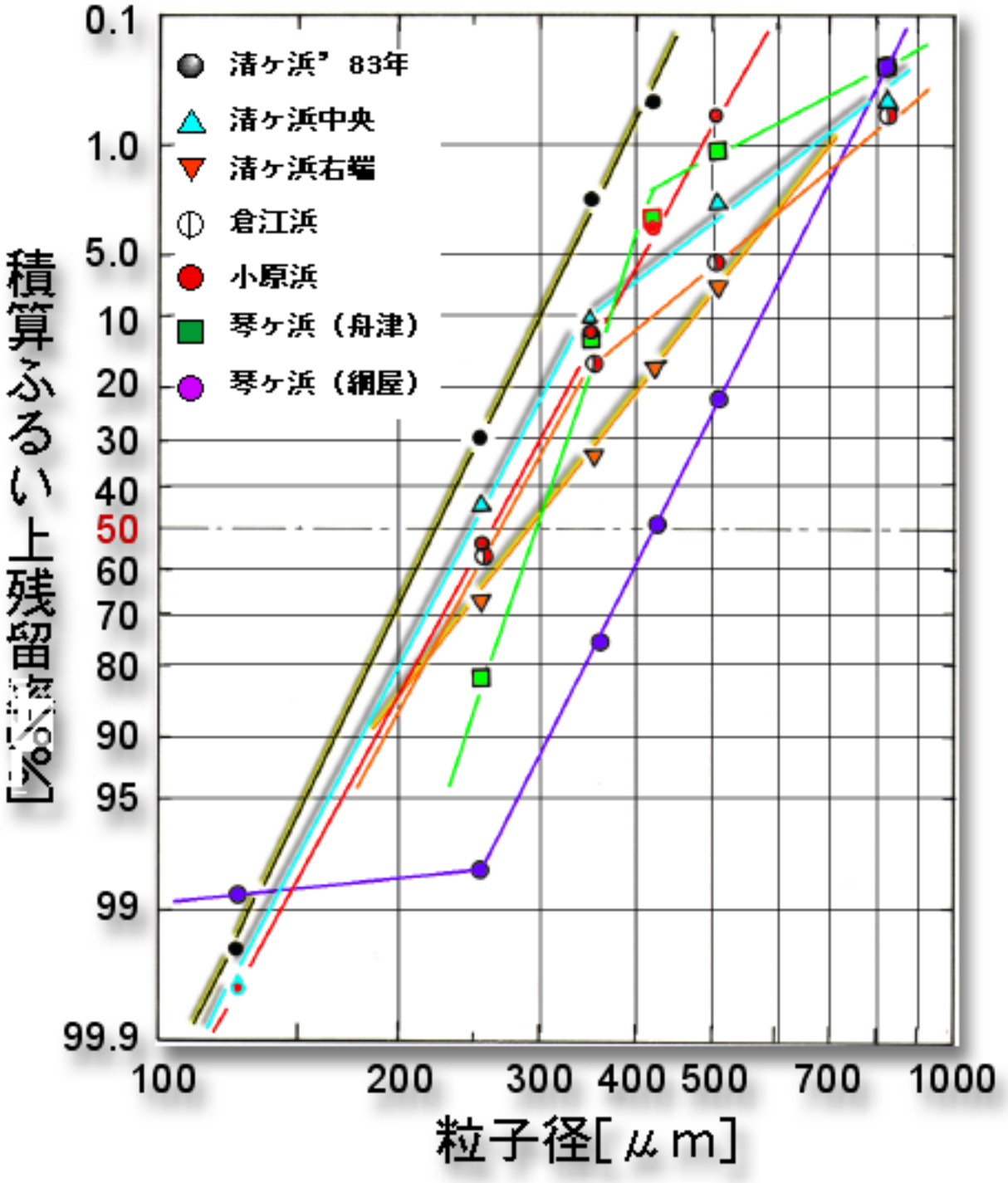


図-1．鳴り砂の粒度分布（対数正規確率紙）

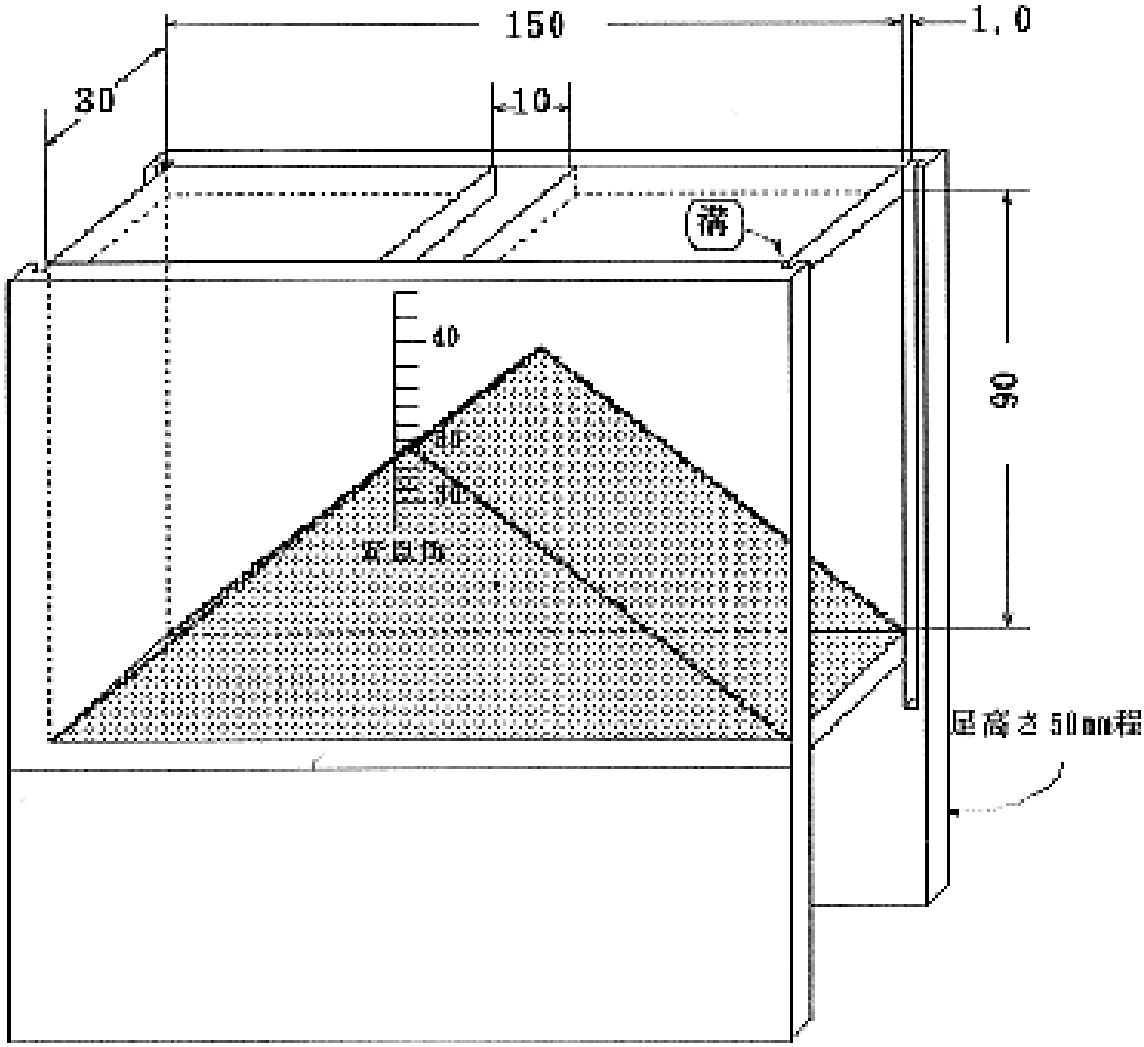


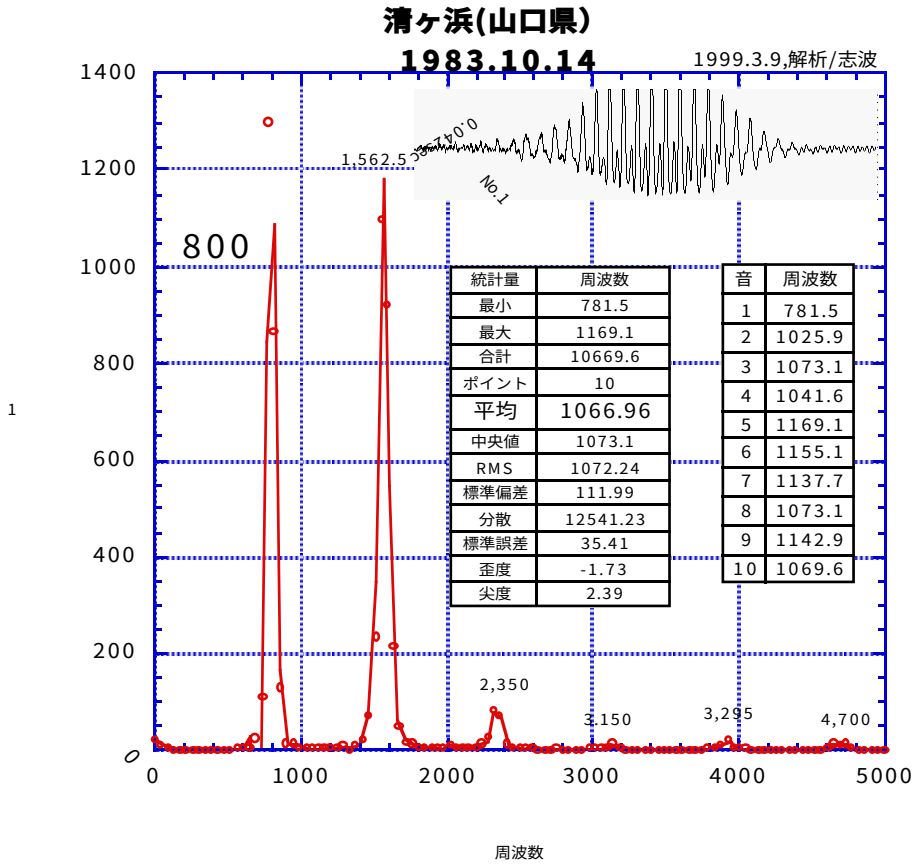
図-２．迅速安息角測定器（両端排出法：志波式）

図-３．各地の鳴り砂の音特性

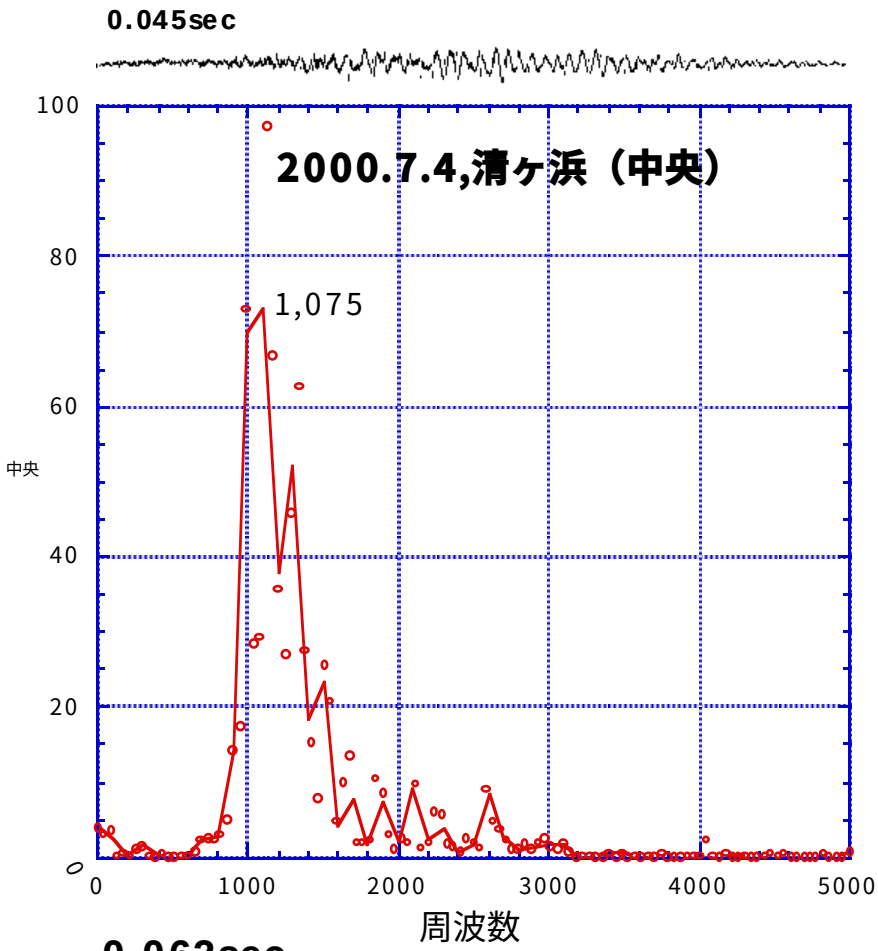
１）1983年１０月１４日の清ヶ浜の保存サンプル（仁摩サンドミュージアム）
２）2000年７月４日清のヶ浜中央付近（志波採取）
３）2000年７月４日清のヶ浜海に向かって右端（志波採取）
４）2000年７月１６日の小原浜（出羽氏、茂刈氏採取）
５）2000年７月４日の倉江浜（志波採取）
６）2000年７月３日の琴ヶ浜、舟津（志波採取）
７）2000年７月３日の琴ヶ浜、網屋（志波採取）

表-4.各地の鳴り砂の基音

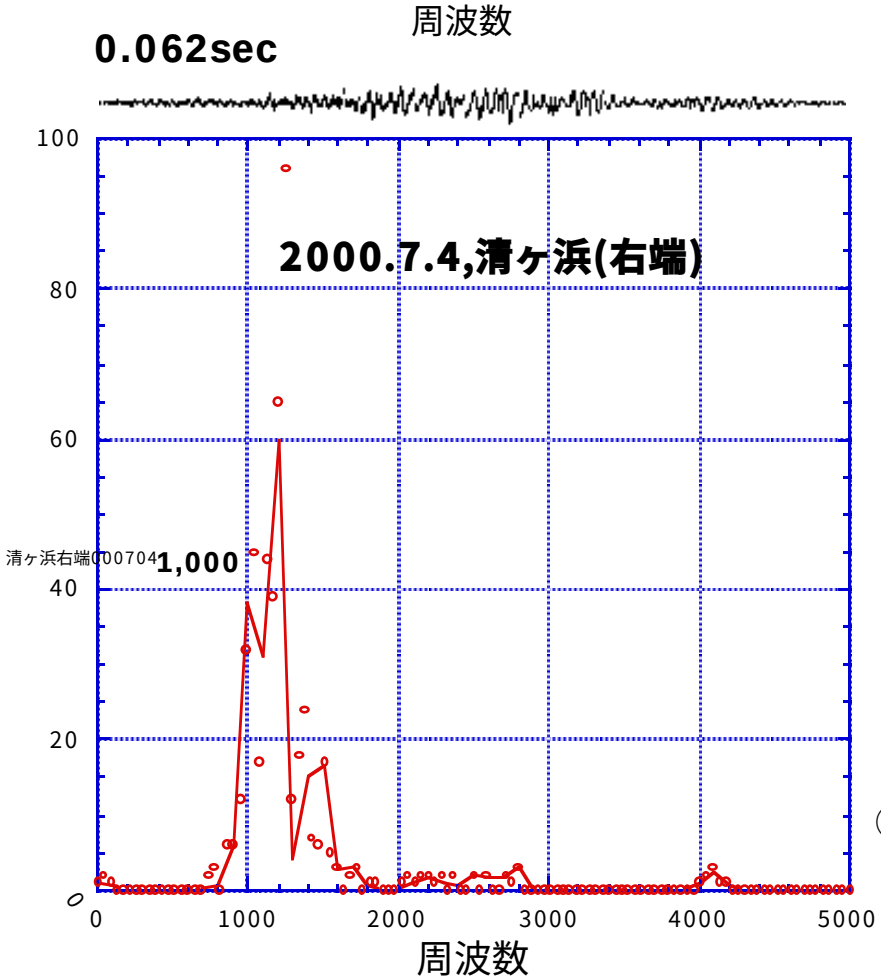
鳴り砂	周波数 [Hz]
清ヶ浜1983	800
清ヶ浜/中央	1075
清ヶ浜/右端	1000
小原浜	1000
倉江浜	910
船津	450
網屋	425



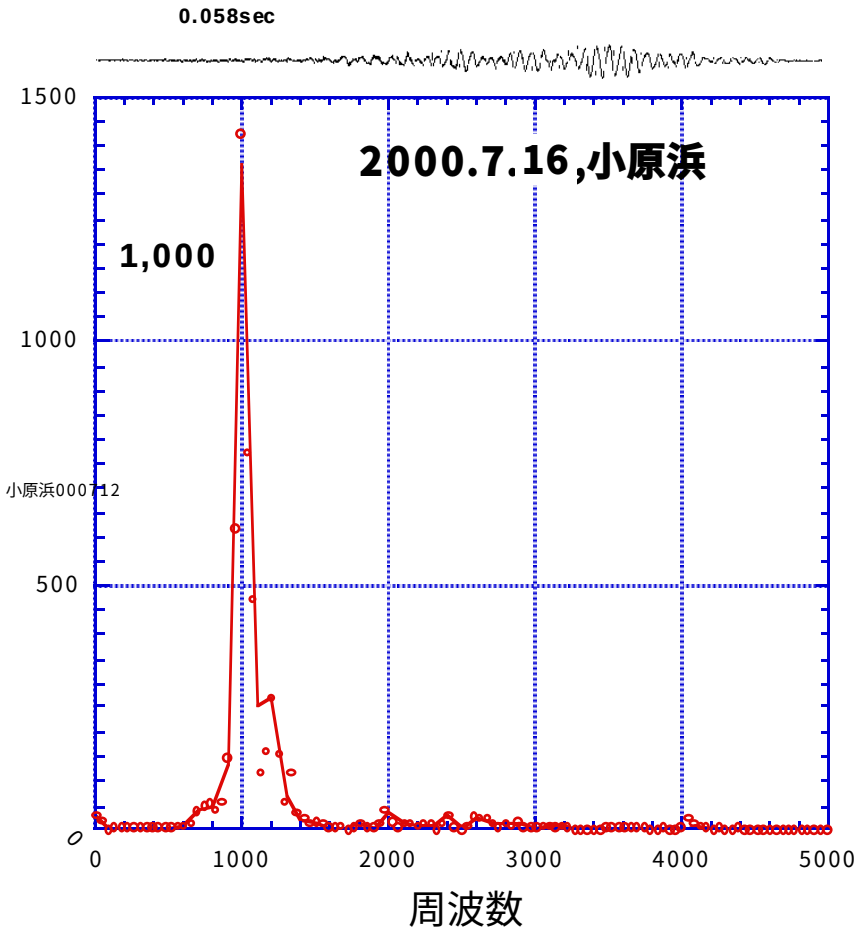
① 1983年清ヶ浜



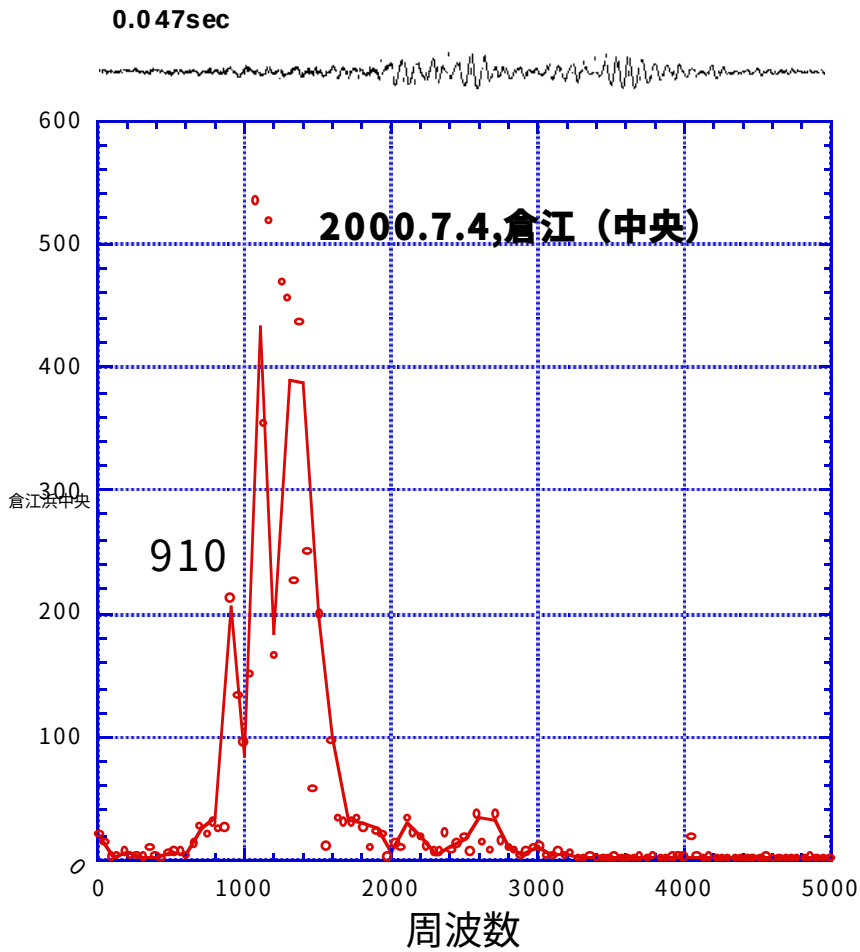
②年清ヶ浜（中央）
2000.7.4.



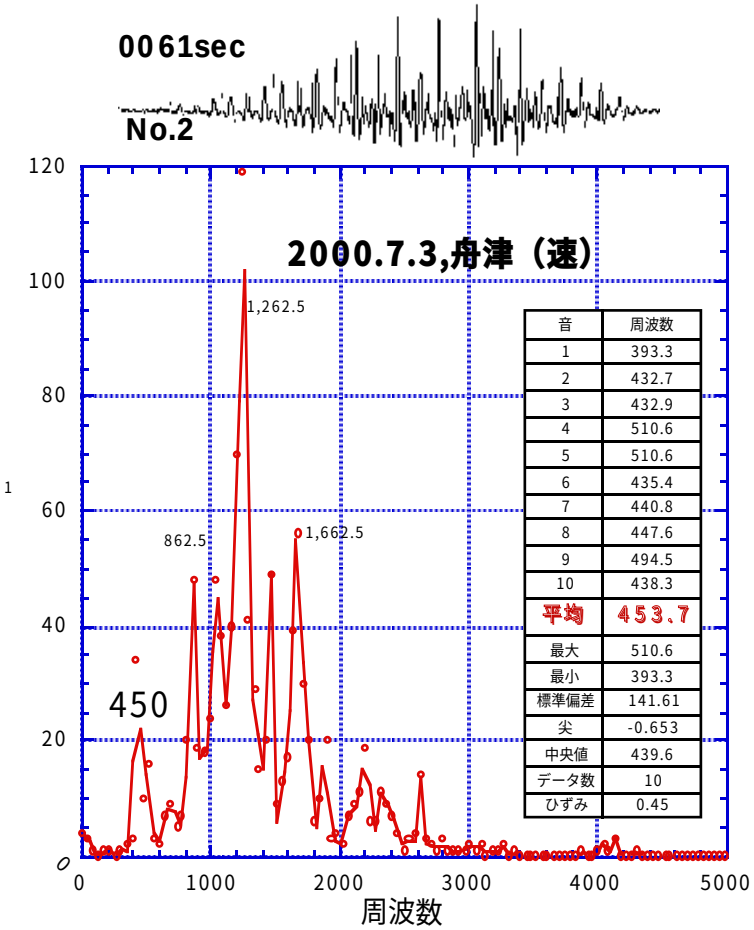
③年清ヶ浜（右端）
2000.7.4.



④小原浜
2000.7.16.

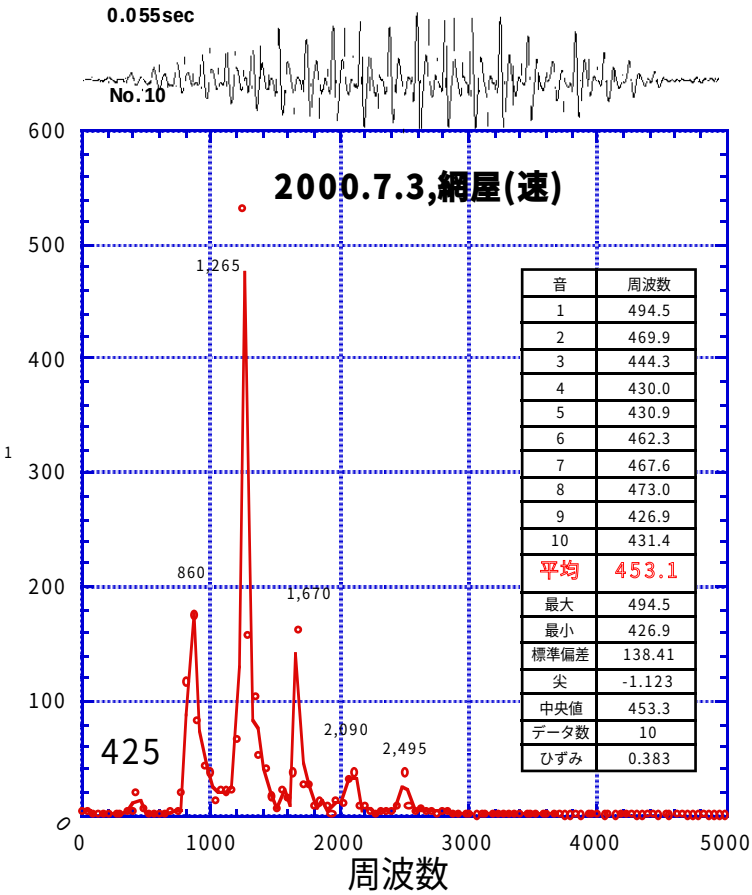


⑤倉江浜
2000.7.4.



音	周波数
1	393.3
2	432.7
3	432.9
4	510.6
5	510.6
6	435.4
7	440.8
8	447.6
9	494.5
10	438.3
平均	453.7
最大	510.6
最小	393.3
標準偏差	141.61
尖	-0.653
中央値	439.6
データ数	10
ひずみ	0.45

⑥琴ヶ浜（舟津）
2000.7.3.



音	周波数
1	494.5
2	469.9
3	444.3
4	430.0
5	430.9
6	462.3
7	467.6
8	473.0
9	426.9
10	431.4
平均	453.1
最大	494.5
最小	426.9
標準偏差	138.41
尖	-1.123
中央値	453.3
データ数	10
ひずみ	0.383

⑦琴ヶ浜（網屋）
2000.7.3.

清ヶ浜の鳴り砂調査報告書

調査日　　2000 年　7 月　4 日
発行日　　2000 年１２月２６日
作成者　　志波靖麿
財団法人　仁摩町シルバーランド進振興事業団