

§ 4 . 鳴り砂の不思議現象

琴ヶ浜（島根県仁摩町）を中心に鳴り砂の調査・研究をしていると、数々の不思議な現象を体験する．そしてそれは鳴り砂の本質である鳴り砂の音とはどのようなものであるかというテーマを考えさせるネタとなる．分からないから”不思議な現象”ということで筆者が体験した主なことを列挙した．今後の研究テーマの一つにもなればと思う．

1) 鳴り砂の音はどんな音

「鳴り砂とは何ですか」という問いには「砂に急激な力を加えると”キュッキュッ”

と音がする砂のことです」と応える．しかし、例えば容器で何回も砂を突いてみると次第に「キュッキュッ」という音が「サクッサクッ」というような音に変わってきしまう．この音は砂場やグラウンドの砂の音である．これは鳴り砂とは言わない．

では、どのような音までを鳴り砂とするのかというとまだ定義が無い．周波数分析すると倍音構造がでるのが鳴り砂であると言われているが（図-1 のようなスペクトル）、良く鳴っているのが聞き取れるのに、倍音構造を示さない場合もある

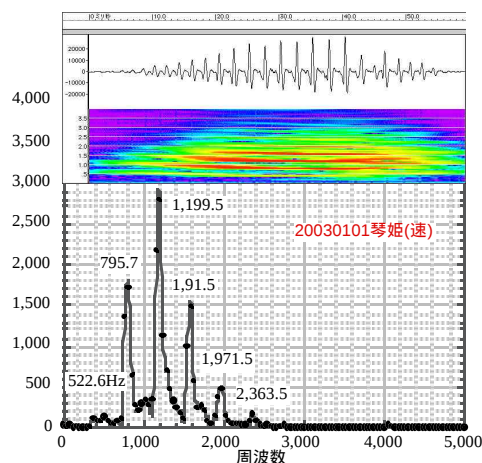


図-1.ポットで鳴らした音

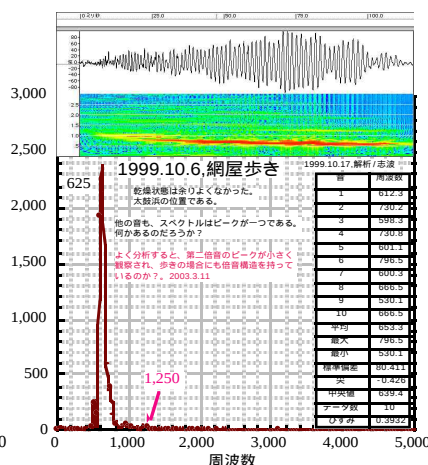


図-2.浜を歩いた音

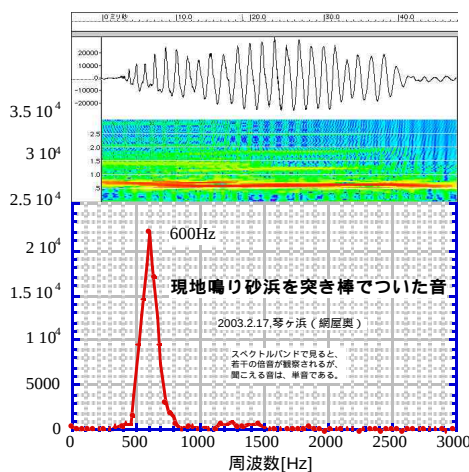


図-3.浜を突き棒で突いた音

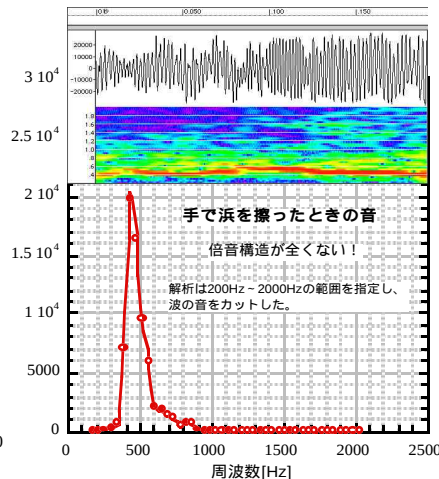


図-4.浜を手で磨った音

ことが分かってきた（図-2～4）．しかし、小さな容器に入れて鳴らした音は、倍音構造を示すことも分かってきた（図-1）．

そこで鳴り砂とは「容器に入れて硬い棒で突いたときの音のスペクトル解析で倍音構造を有する砂である．ただし、聞いていて明らかに鳴り砂の音と思われる音でも、物質または鳴らし方によっては倍音構造が現われない場合もある」という砂であると言えよう．



写真-1. 布袋に入れた
鳴り砂発生の様子

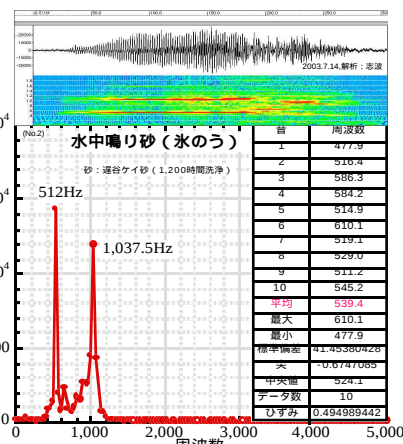
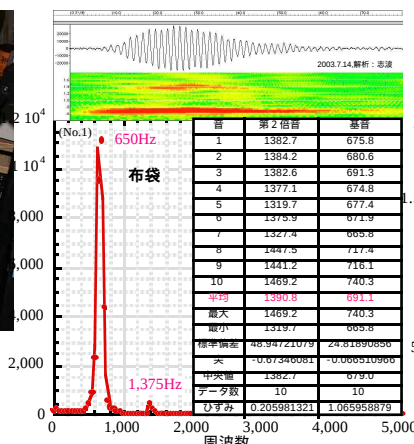


図-5. 布袋で鳴らした音 図-6. 氷のうでの水中鳴り砂音

いろいろな鳴らし方でその音のスペクトル解析をした結果を示した。

実際の鳴り砂の浜を歩いてみると、足の裏から振動を感じながら鳴り砂の音が聞えてくるが、その音を解析すると顕著な倍音構造は得られない(図-2)。さらに、浜を巨大な容器だという考えで、直径 20 mm の硝子棒で突いたときの音は、全くといっていいほど倍音構造は現われない。しかし、波形を見ると規則正しい音が発生していることが分かる(図-3)。また、砂浜の表面を大きな円を描くようにして手のひらで擦って鳴らすと、素晴らしい音を体験できるが、その音は規則正しい波形は得られず、また倍音構造も出来ない(図-4)。

鳴り砂を写真-1のような三角形の布袋に入れて両手でその両角を強く押して鳴らすとキュッと音が発生する。その時の音は基音が強調された音になり、鳴り砂の特徴である規則正しい波形を示している(図-5)。同じような方式で、氷のうを用いて、水中鳴り砂として鳴らした音の結果が、図-6であるが、この場合は倍音構造の結果が得られている。また、自然界の鳴り砂には見られないたくさんの倍音構造

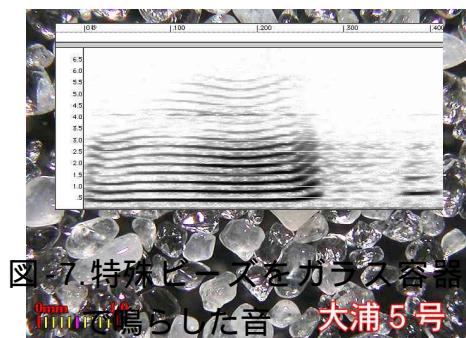
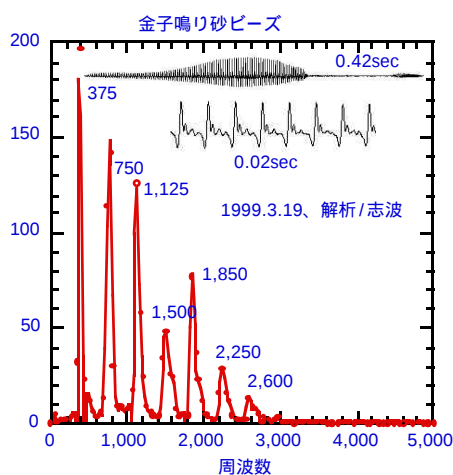


写真-2. 長時間洗浄した砂
(大浦：4,000 時間/巡回洗浄)

を示す物もある(図-7)。

鳴らし方によって、スペクトルにいろいろなタイプがあることが分かってきた。

2) 鳴り砂の周波数変化

自然界の鳴り砂の平均的な周波数(基音)は、鳴らし方にもよるが、350Hz～700Hz の範囲にある。ところが、石英砂を水だけで長時間摩擦洗浄して作った鳴り砂の音は、高い周波数の音を発するようになる(図-11(左))。自然界の砂を何回も突いている

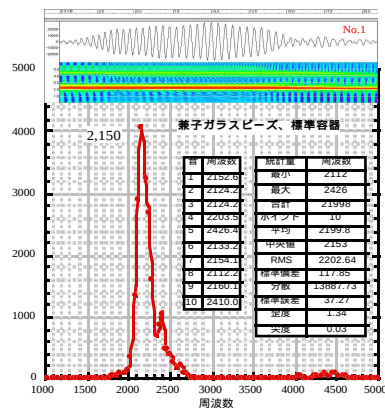


図-8.ガラスビーズの解析

と、次第に高い音になり、且つ倍音構造を失ってくるような雑音的な音ではなく、突いた最初から高い音を発し鳴り砂の波形を有した発音特性を示す。

高感度の良い鳴り砂は、低い周波数を発するといわれるが、この考えからするとこの長時間洗浄した砂は、悪い砂であるということになる。ところが、砂の顕微鏡写真を見ると、鏡面になっており素晴らしくきれいな透明な砂である（写真-2.、大浦5号砂、大石田鉱山：山形県北村山郡大石田町大浦中ヶ袋）。長時間摩擦洗浄した鳴り砂はガラスのように透明になり、その発音特性は高い周波数を発するようになることが分かってきた（図-11）。

そこでガラスビーズを洗浄して鳴らし解析してみると（図-8）、やはり高い音を発し、石英砂を長時間洗浄した発音特性に似ていることが分かった。何故そのようなことが起こるのであろうか。粒子形状や表面状態などが何らかのファクターになっていると考えられる。

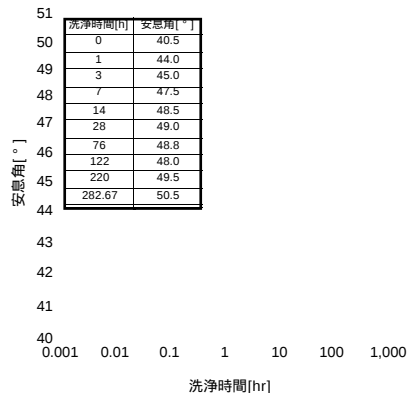


図-9.洗浄時間と安息角（志波）

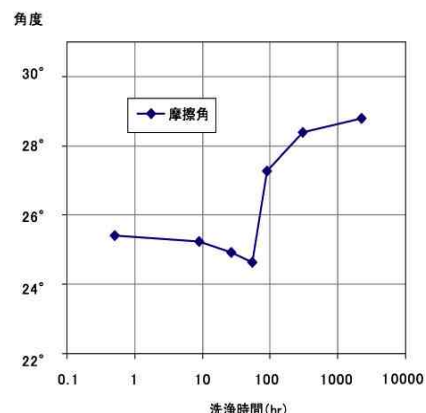


図-10.洗浄時間と剪断摩擦角

3) 砂の洗浄時間と安息角・剪断抵抗

鳴り砂は一般に普通の不鳴り砂と比較して、安息角が高いのが特徴でもある。石英成分の高い砂を水スラリーとして摩擦洗浄していくと、次第に表面は研磨され丸みを帯び、同時に安息角は次第に高くなるが、ある時間から急激に高くなり鳴り砂の発音特性を示すようになる。粒子同志の摩擦係数が高くなったためであり、摩擦係数がどれだけになったら鳴り砂の性質になるか詳しい研究はまだないが、鳴り砂になるときに安息角に変化があるのは興味深い。図-9は100時間の洗浄の頃から鳴り砂の音を発するようになった例である。また、洗浄時間と剪断摩擦角を測定した結果（図-10）の報告（宮田雄一郎，高下昌也；地質学雑誌 vol.109, No.1(2003) ”鳴り砂と粒子間摩擦”）によると、洗浄の初期には摩擦角の変化は小さかったが、60～90時間を過ぎたところから急激な増加を示し、やはりこの時間を境に鳴り砂の発音特性を示してきたと報告している。安息角や内部摩擦角のそのような現象のとき鳴り砂の発音特性が現れることは興味深い。その原因は全く不明である。

4) 乾燥の相違が鳴り砂の発音特性を変える？

鳴り砂を乾燥する際に、十分な水切りをしないと、真に近い発音特性（”真”とは定

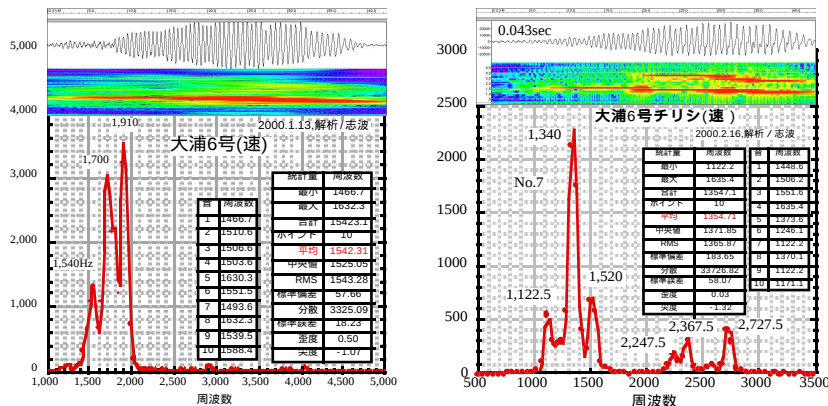


図-11.大浦けい砂 4,000 時間洗浄砂 (写真-2)
-右: コピー用紙, 左: キッチンペーパー-

義があるわけではない)を示さない場合がある。図-11は、洗浄した砂をコピー用紙の上で乾燥した場合と、キッチンペーパーの上で乾燥した場合の鳴り砂のスペクトル解析結果であるが、明らかにキッチンペーパーで乾燥したほうが倍音構造が現れ、鳴り砂の本質を示していることが分かる。これは洗浄した水の中に、鳴り砂の音を悪くする何らか

の微量の物質が入っていて、それが砂の表面に残留したためであると考えられる。残留極微量の汚染物質(?)で鳴り砂の発音特性が変えられてしまう興味ある現象である。

5) 水中鳴り砂の水質の影響

水中鳴り砂を作っているときの現象である。水中鳴り砂は、長時間の摩擦洗浄をした砂を、一度沸騰したお湯で数回洗うと水中でも「グーグー」と唸るような音を立てて良く鳴る。1,000 個ほどの水中鳴り砂を作ったとき、お湯で洗浄する為のお湯が一台の電気ポットでは間に合わず、新しいポットを購入した。お湯ならばどれでも同じであろう。まして、新しいポットならきれいであろうと、ポットの中を簡単に水洗いして次の水を沸騰させた。そのお湯を使って洗浄し、スラリーがまだ温かいときには良い音を発していた。これでは作業はかどった。200 個程を作ったところで一休み。出来上がった中鳴り砂を鳴らしてみたところ、音を発しないではないか!新しいポットのグループのもののすべてがだめで、古いポットのものは冷えていても良く鳴った。データはないが、新しいポットから、何かの物質がお湯の中に溶け込んだと判断した。

ここでの疑問点は

(1) 水質によってスラリー砂が温かいときには鳴って、冷えると鳴らなくなるのは何故か。

(2) 新しいポットだとどうしてダメなのか。ということである。

鳴り砂のイオン交換等の表面科学の問題で、粉体工学の最先端の問題かもしれない。電子部品を洗浄する超純水で最後に洗浄し乾燥した砂はどのような発音特性を示すのか興味ある研究である。



写真-3. フェルト付き, 棒の様子

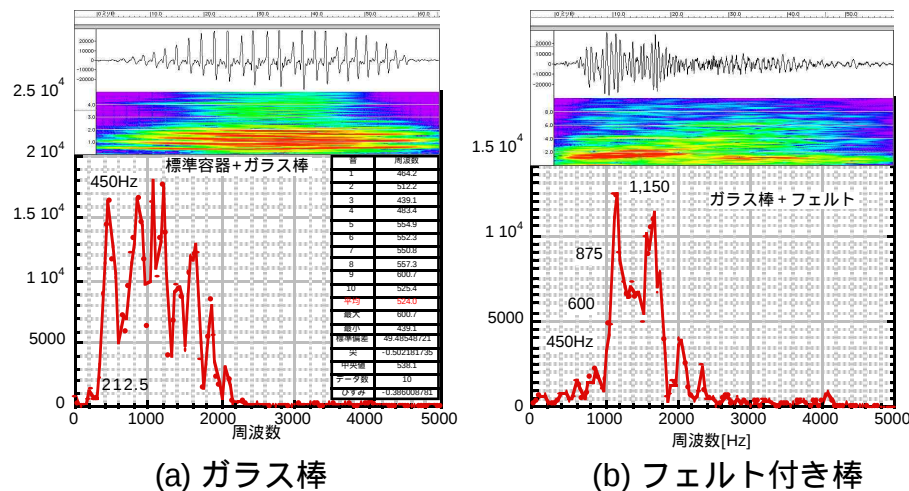
6) 粒度の鳴り砂への影響

鳴り砂は、表面科学の問題であろうということは先述した通りである。おなじ表面を

作することは難しいことであろうが、鳴り砂の粒度があまりにも小さくても大きくても鳴り砂の音を発しなくなるという経験がある。自然界の鳴り砂の粒度は、平均径で $200\ \mu\text{m}$ から $600\ \mu\text{m}$ 程度のものが大半である。大浦けい砂 4 号砂は、 $1\ \text{mm}$ 程であるが、原砂は鳴らないが 4,000 時間洗浄した砂は、発音を発する。更に大きな砂は鳴るのであるか興味あるところである。表面だけの問題なら、大きくても小さくても音を発してもいいと考えれるが、何故その範囲を越えると鳴り砂の音を発しないのであろうか。2004 年 3 月友人からポルトガルの Santa Cruz の砂が入手できたが、それは $3 \sim 4\ \text{mm}$ もあるサイズの砂（砂の定義の領域を越えている）で、丸みのある光沢の表面を有している。そのままでは何の音もしないが、化学処理すると独特の音を発した。

岩のようなものが擦れ合って音を発しても良いはずである。大浦けい砂のような光沢のある岩が作れ流動できたらどんな音がするであろうか？

7) 突き棒の影響



(a) ガラス棒

(b) フェルト付き棒

図-12. ガラス棒とフェルト付き棒の音の相違

琴ヶ浜のある仁摩町馬路の地元の人の話で、「靴よりも下駄で歩いたほうが良い音がするね」という話を良く聞く。わたしは下駄で歩いたことはないのですがその違いが分からない。今度下駄を買って実験してみることにする。

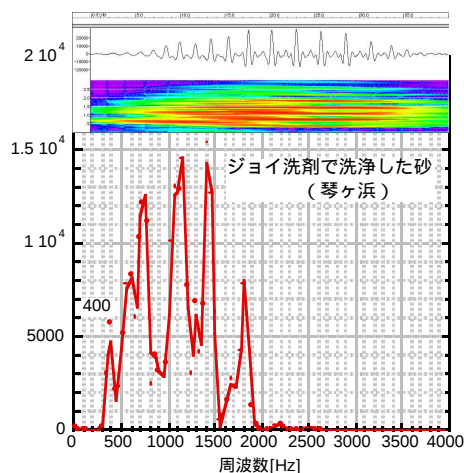


図-13. 洗剤で洗った砂の音解析

そこで実験室で突棒を変えてやってみた（写真-3）。ガラス棒では素晴らしい鳴り砂の音を発した砂が、ガラス棒に消しゴムやフェルトを貼り付けて鳴らしてみると、全く鳴り砂の特性を示さない。ガラス棒とフェルトを貼り付けた棒で鳴らした音のスペクトル解析結果を見てみてもその違いが良く分かる（図-12）。ガラス棒で突いた場合は、波形は規則正しい波形を示し、倍音構造も正しくでている（図-12 (a)）。一方、ガラス棒にフェルトを貼り付けて鳴らすと、その音は雑音に似た「サクッ、サクッ」という音であり、音波形も不規則な波形を示し、倍音構造の波形ではないことが分かる（図-12 (b)）。

棒で突いていると容器の中で砂は両者とも同じように良く動いているように見えるが、硬い棒の場合

とフェルトを付けた場合では微妙な動きの違いがあると考えられ、音の相違として表れているといえよう。地元の方の話の意味がここにあるようである。今後の興味ある研究課題である。

8) 温度の影響

感度の良い鳴り砂は、150～180 の砂の温度でも鳴り砂の音を発するが、感度の悪い鳴り砂は、そのような高温の時は音を発しない。しかし、常温に冷えてくるとそれなりの鳴り砂の発音特性を示してくる。琴ヶ浜の砂は、非常に採取した状態でも感度が良く鳴り砂の音を発するが、煮沸洗浄すると更に高感度の鳴り砂の音を発するようになり、ヒーターで乾燥している際、高温状態でも良い鳴り砂の発音特性を示す。勿論、常温に冷えたときは、最高に良い音を発するようになる。

温度が、鳴り砂の発音特性にどのように影響しているのか。そして高温状態で砂のどのような性質が鳴り砂としての良し悪しに影響を及ぼすのであろうか。

9) 洗剤は鳴り砂を殺すか

台所洗剤は鳴り砂をダメにするという報告が何件もある。報告書を見るとなるほど使用する濃度が多くなるにしたがって音が悪くなっている。しかし、台所洗剤は家庭ではたくさん使われているし、実に油のついたお皿はきれいになる。私は鳴り砂のメカニズムを「台所洗剤でお茶わんを洗ったとき、キュッキュッというでしょう、あれと同じことが砂の表面で起こっているんですよ」と説明している。洗剤がお皿に悪影響をするなら、皿は、キュッキュッと音はしないはずである、とふと思った。

そこで琴ヶ浜の鳴り砂を食器洗剤を使って洗い、良く水切りして乾燥し、音を解析したところ、非常に良い鳴り砂となった。図-13 がその解析であるが、鳴り砂の特徴である波形やスペクトル解析結果の倍音構造が特徴的に非常によく現われている。元の砂よりも良くなっていると思われる程である。洗剤は鳴り砂をきれいにするとと言える。



写真-4. 大気に曝された砂の洗浄上澄み液

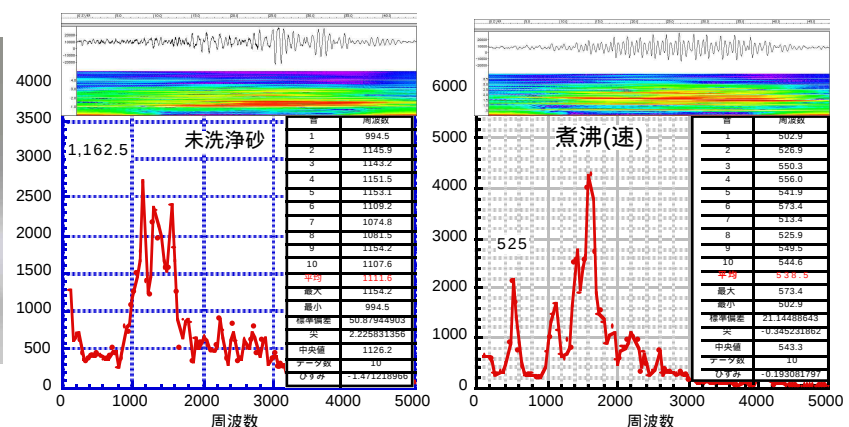


図-14. 大気に曝した砂とその砂の洗浄後の音解析

10) 悪い鳴り砂は沸石の役目？

各地の鳴り砂を煮沸洗浄しているとき、良い鳴り砂はポコポコと音を立て鍋が動いていくほどであるが、悪い鳴り砂はその現象が全くない。沸石は多孔質の石を使うと言うことを考えると、良くない鳴り砂はクラックの入った砂や多孔質の砂粒が含まれると考えればこの現象が説明できる。「悪い鳴り砂は沸石の役目をしている」と言えよう。

1 1) 環境と鳴り砂

鳴り砂の問題を考えると、海が汚染されてきたために鳴り砂が音を発しなくなったということは良く耳にすことである。大気の場合はどうだろうかと、国道沿いに長期間風雨に曝して置いた琴ヶ浜の鳴り砂を水で煮沸洗浄してみた。すると真っ黒い上澄み液が得られ（写真-4）、砂の表面はひどく汚れていることが分かった。そのままではもちろん、鳴らない（図-14(a)）。煮沸洗浄し乾燥した後の砂は素晴らしい鳴り砂に回復した（図-14(b)）。

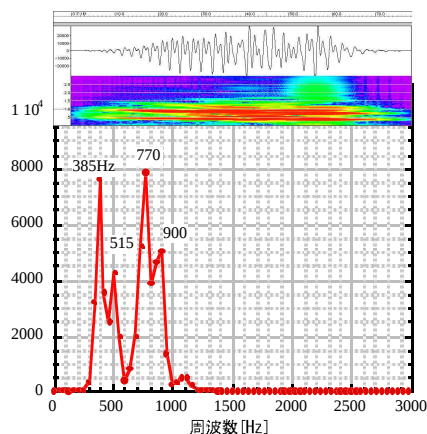


図-15．角閃石鳴り砂の音解析

1 2) 鳴り砂の成分は石英砂？

鳴り砂の成分を調べると、石英の成分が高いのが特徴である。山形県飯豊町のけい砂や大浦けい砂などシリカ成分の高い砂や、珪石を粉碎して鳴り砂の粒度に揃えた砂を人工的に長時間洗浄すると、自然界にないほどの素晴らしい鳴り砂になることから、鳴り砂になるには石英成分が高いほうが良いということが分かり、良く言われていることと一致する。

鉱石を研究している友人が、角閃石の砂を洗浄していたら鳴り砂のような音がしたと言ってその音を送ってきた。解析してみるとなるほど、立派な鳴り砂の特性を示した（図-15）。また、図-7 に示したような特殊なピーズ（石英砂ではないことまで分かっている。鳴り砂として最高の音を発していると筆者は思っている）のようなものもある。鳴り砂は、石英砂である必要はないということの一例である。鳴り砂は粒子同志の摩擦振動によるものであるといわれているが、鳴り砂のメカニズムを研究するには、砂の物性の研究も必要であると思われる。

おわりに

鳴り砂は、これまでいろいろな研究者が研究しているが、まだ解明されていない問題がたくさんある。鳴り砂を研究するには、粉体工学の分野、音響学、土質力学、地質学、海洋学（海流の流れ）、流体力学、環境学、表面科学などさまざまな分野に関係し、それらの学問がいずれも絡み合っているテーマである。

海浜の砂浜を歩いていると、いろいろなことが分かってくる。自然が教えてくれるし地元の老人や若者が浜のことを教えてくれる。自然を感じ話を聞いていると鳴り砂は少しずつ消えているようである。海の汚染という場合もあるし、海流の動きの変化による場合もある。また大気汚染が原因であるとも考えられる。琴ヶ浜の海に入ると岩の間から、場合によっては海底の砂場から冷たい水が湧きだしているのに遭遇する。「あ～、山からのわき水がでているんだ。山の水はちゃんとろ過されているだろうか」と心配になる。鳴り砂浜の消滅の原因はいずれも人工的な力が加わったものばかりであると思う。

鳴り砂がわれわれに何をもたらすかと考えたとき、何もないようにも思える。自然の現象に興味を抱くことは人間として生き甲斐になるものである。鳴り砂の魅力に引かれる方が増え、鳴り砂が科学的に解明されことを期待する。