海浜の鳴き砂と沙漠のブーミングサンドの対比

三 輪 茂 雄*

Shigeo MIWA

1. まえがき

環境庁は1996年に日本の音100選として京都府網野町の琴引浜と島根県仁摩町の琴ヶ浜を指定し、建設省が本庁の正面フロアで鳴き砂の展示を行うなど、鳴き砂に対する関心はわが国では高いが、諸外国ではほとんど無関心である。欧米では19世紀初頭以来、鳴き砂に関する報告がある。しかし現在では建設工事などで鳴き砂自体が失われたためか、それを熱心に追う研究者もほとんどない。わが国でも筆者が調査しはじめた頃、現地へゆくと砂が鳴くのは当然のこととし、それが大切だとは誰も考えなかった。

1991年、島根県仁摩町に世界一巨大砂時計を目玉にした鳴き砂の博物館（仁摩サンドミュージアム）が開設され¹⁾、世界鳴き砂調査団が発足して以来、仁摩町ほか網野町や同志社大学の参加も得て通算10次にわたる調査が行われた。その最大の関心事は日本にないブーミングサンドと海浜に存在する鳴き砂との関連であった。両者はいずれも石英（ SiO_2 ）を主成分とする1mm～100 μm の砂粒から構成される砂であり、構成鉱物は類似している。いずれも外力の作用で砂が動くときに発音特性を示す。しかしその生成条件も存在状態も著しく相違する。新雪を踏むときに音がするように、海浜の鳴き砂もブーミングサンドも砂の上を歩けば同じく発音する。大規模に存在すればブーミングサンドは砂の雪崩（avalanche）が起ってしばしば大音響を発生する。そこで雪の研究者も表層雪崩に関連して注目したことがある。雪崩も沙漠のブーミングサンドも巨大な現象であって、実験室での再現は困難である。本報ではそのモデル実験の可能性を示唆する興味深い現象が発見されたので報告する。

表1 琴引浜と琴ヶ浜の鳴き砂の鉱物組成（個数%）

	琴引浜	琴ヶ浜
石英	42	50
カリ長石	34	22
堆積岩片	15	9
斜長石	6	14
火山岩片	2	0.5
貝殻片	1	1
角閃石		2
単斜輝石		1

2. 現在の日本の海浜に存在する鳴き砂

鳴き砂は従来石英砂とされてきたが、正確には石英が多い、あるいは SiO_2 リッチというべきで、表1に示すように鉱物組成分析結果（京都・益富地学会館に依頼）は、石英はせいぜい50%でその他の鉱物も含んでいた。現在の日本の海浜に存在する鳴き砂の大部分が海水浴場など観光目的に利用されているので、現地を訪ねても感激するような発音特性には稀にしか遭遇できない。しかし運よく遭遇できた人には忘れがたい印象を与える。筆者がはじめて鳴き砂に出会ったのは1970年代初頭であったから、至る所で感激することができた。その後発音特性が失われても、それは各種の汚れが原因だから、汚れさえ除去すれば発音特性は回復すると考えられ勝ちである。そこで洗浄についてあらゆる方法を試みたが、洗剤や各種薬品、超音波洗浄などすべて無駄だった。なによりも砂を蒸留水で煮沸するのが最も効果的だった²⁾。煮沸して回復する砂は現地の住民の努力によって回復の見込がある。

3. 海浜の鳴き砂は水中で発音する事実

現在のわが国の海浜では鳴き砂は十分乾燥した条件でしか発音特性を示さないが、本来鳴き砂は水中でも発音特性を有する。この事実をはじめて体験したの

1998年5月26日受付

*同志社大学名誉教授

〒611-0014 宇治市明星町1-13-18

TEL 0774-23-1481

図1 イギリスのEigg島

は Rio De Janeiro の海岸の砂においてだった (1980 年採取試料)。この砂が発音特性を有することは C.R. Darwing がビーグル号航海記に書いているが、水中で鳴いたのは驚きだった。しかし 1992 年に現地を訪ねたときには完全に発音特性を失っていた。その原因は当時 TIME 誌で取り上げられたように Rio De Janeiro 付近の海岸への未処理生活排水流入が激しかったことによるのであろう^{3) 注1)}。現地駐在日本領事館も現地住民も鳴き砂を全く知らなかった。この砂は現在も証拠として保存している。その後オーストラリア・Cairns の北方約 200 キロの人跡未踏の地 (原住民アボリジニ特別保護区) Cape Flattery でも同じ現象を体験した。

外国の文献で水中鳴き砂の記述は唯一イギリスの Brown, A.B⁴⁾ である。"The frequency analysis of this note shows only a small displacement of the peaks obtained when dry sand is struck" (1964 年) そして音波解析データを示している。試料は 1858 年に天才 H.Miller が感激した鳴き砂研究の発祥地、イギリス Eigg 島の砂であった (図 1)。ピーク周波数は 1000 前後でかなり高周波数である。なお彼の論文は広汎でわが国の鳴き砂研究の先輩達、土橋正二、橋本万平、坪井誠太郎などの名も含む世界の文献を詳細に参照している。

注1) : "Rio : Soiled Gem" Those beaches have lost much of their appeal to tourists, because the ocean water is polluted and because beach-goers are vulnerable to the crime wave that has overtaken Rio in recent years. The pollution problem is grave: some 400 tons of untreated sewage are dumped in Guanabara Bay every day TIME, JUNE 8, 1992.

表 2 山形県飯豊町遅谷産ケイ砂の鉱物組成

	含有個数%
石英	98
堆積岩片	2

図 2 山形県飯豊町遅谷の鮮新世

(黒丸は主な日本の鳴き砂の所在地)

4. 人工の鳴き砂

わが国の海岸にある鳴き砂も長時間洗浄すれば、乾燥後多少は発音を回復するが発音特性はそれほどよくない。石英の含有率が小さいためである。

洗浄によって驚くほどその特性が回復したのは新潟県巻町の農業排水による汚染砂だった。また山形県西置賜郡飯豊町遅谷産の普通山砂と呼ばれている SiO₂ 98% のケイ砂がある (表 2)。現在はガラス原料用に採取されている。この砂は、鮮新世 (500-300 万年前) の地層に粘土に混じって産出する。この砂は古日本海に存在した鳴き砂である図 2。長い年月の荒波による洗浄で粒子は丸みを帯びている。これを長時間 (500-1000 時間) かけて機械洗浄すると発音特性を回復する⁵⁻⁷⁾。機械洗浄だが、攪拌羽根は磨耗が激しく使えない。もっとも容易な方法は図 3 のように水平円筒容器内で水とともに回転させる。このような方法は粉末冶金やケイ石など特殊な粉碎に使われている。石英はこの操作でアモルファスシリカが生成することが知られている。約 100 時間で泥が除去されて、洗浄

図3 洗浄装置

図4 蛙砂セット

水の赤濁りは消えて、乳白色になってくる。さらに時間が経過すると乳白色は蛍光を発するようになる。アモルファスシリカは水溶性であるので、鳴き砂生成には沙漠でも夜間に結露する空気中の微量の水分が関与するといわれるゆえんである。後述するが中国でもアメリカでもブーミング砂丘の近辺には沙漠ながら必ず近くに湖が存在する。

筆者は220mmφ、10lの広口ポリエチレン試薬瓶を洗浄容器として利用した(図3)。回転速度は60r.p.m.で行ったのであるから周速は0.691m/sであり、緩速粉碎のいわゆる石臼の速度である。1000時間では激流を約2488km、水とともに砂を旅させたことになる。これをdistance of travelという(ちなみに信濃川の長さは367km、ミシシッピ川の場合は3780kmである)。このような水流速度を利用して、海浜での波浪によるメカノケミカル洗浄への近似を目指した。

その砂を乾燥すれば普通の海浜の鳴き砂と同じ発音特性を示す。さらに洗浄を継続するとやがて水中でも発音特性を示すようになる。その水中での鳴き音は蛙の声に酷似しているので、アクリルパイプを加工して水と一緒に封じ込んだ小道具(蛙砂セット図4)を作った⁸⁾。封じ込めているので展示に便利で、仁摩サンドミュージアムなどでは鳴き砂の展示に利用してい

図5 クフ王の秘密の部屋から出た砂

る。しかし接着加工なので強いショックで水漏れが起こりやすい。

純粋なケイ石の粉碎物でも同様の発音特性が得られることから、従来海岸の砂からの類推で、粒子が円磨されていること(粒子形状)が鳴き砂の前提条件にされがちだったが、これは否定された⁶⁾。さらにケイ石でなく、生物起源(放散虫化石)のチャート粉碎物からも鳴き砂が生成することが分かっている。

5. 沙漠のブーミングサンドも水洗で復活する

沙漠に存在するブーミングサンドは古代から不思議な現象として沙漠を旅するひとびとによって記録されて来た。シナイ半島のアルツールの砂山は旧約聖書の鐘の鳴る山でありモーゼの十戒の記述に関わるという有力な説が聖書考古学に存在する⁷⁾。モーゼの十戒のころのシナイ半島の沙漠は現代からは想像もできないが、それより古い4500年前のエジプトの沙漠の砂が発見されたことがあった。ピラミッドの吉村作治先生(早稲田大学)が超音波探査で秘密の部屋を発見した。その場所を目がけてフランスの探検隊がボーリングしたところ、砂が出てきた。これではピラミッド崩壊の恐れありと、作業は中止された。その砂ひとつまみを私のところへTBSの取材班がもってきた。私はそれを顕微鏡で見て驚いた(図5)。まぎれもなく鳴き砂と断定した。放送とは別に取材班が参考のため持参したピラミッド周辺の砂はゴツゴツした岩の塊が多かったが、それを鳴き砂の粒度の部分だけに整粒すると、秘密の部屋から出た砂とまったく同じだった。現在は荒れ果てているが、その頃は一面にこのような鳴き砂に囲まれていたらしい。鳴き砂だから貫入抵抗が大きい。それが巨大な石を支えるのに利用できたと考えれば、環境考古学の証拠物件になる。このことは1993年11月25日にエジプト学研究会で正式に報告した。

図6 中国の鳴き砂およびブーミングサンド所在地

また中国・敦煌の鳴沙山は轟音に因んだ大雷音寺が現地にあり、すでに前漢代から知られていたことが文献で確認できる⁹⁾。かってどこの沙漠でもこのような現象が見られたはずだが、現代では人跡未踏の地でなければ体験できない。そのため報道されることさえ稀であり、真相はほとんど知られていない。

図6は中国のブーミングサンドと鳴き砂(厦門)の所在地である。とりわけ敦煌は有名で紀元880年に書かれた『敦煌録』という古文書にいわく、「悉く純沙聚起。この山、神異ありて峰は削成せるが如し。その間に井あり。沙それを蔽う能わず。盛夏に自鳴す。人馬これを踐めば声数十里を震わす。風俗端午の日、城中の子女皆、高峰に躋り一斉に踐下せば、その声吼えて雷の如し。曉に至ってこれを看れば、峭嶽は旧の如し」¹²⁾。この表現は決して誇張ではないことは、1990年に現地で壮大なイベントが行われ⁹⁾、敦煌テレビが取材したビデオを中国・蘭州沙漠研究所で見た。これが中国全土にくり返し報道されて鳴沙ブームをひき起し、各地の鳴沙の地(銀肯沙湾や沙坡頭)が観光地化し、どこの沙山も不鳴化していた。筆者らが訪ねたときの鳴沙山も特別立ち入り区域でようやく録音に成功した。なお鳴沙山の名称はすでに紀元前の前漢代の古文書に出ており、沙漠の中で不涸の月牙泉も存在したことが記されている。これは鳴き砂に関する世界最古の記載である。

木壘(Mori)はウルムチの西方約300キロ、さらにそこから約200キロ北の地点で現地遊牧民の案内で

図7 発音試験用特殊ガラスポット

調査した。中国の沙漠研究所も知らなかったところで、当時の人民日報の記事「カザフ遊牧民が鳴沙山群を発見。砂は蛙の音を出す。」を頼りに現地調査した。そこは遊牧民の聖地らしい。遊牧民だった親爺の指図で息子が運転するジープで行く。文字通り人跡未踏。山頂では手で砂を跳ねると蛙の音がするという記事の通りで、沙山の麓でも簡単に砂を発音させることができた。普通のビデオカメラだったので録音は音が歪んで不可だった。もち帰った砂の試料は海岸の砂の発音テストに使う特製ガラスポット(図7)で発音した(図8(a))。

もう一つ、内モンゴル自治区の巴丹吉林(Badain-jaram)沙漠、ここは一般観光客の立入り禁止区域であり、軍の許可が必要で、現地調査は監視付きだった。現地までのルートは車が入れないから沙漠の道を遊牧民の案内で野性の駱駝との旅。ようやくここでブーミングサンドの発音音の録音に成功した^{10, 11)}。この砂をもち帰って顕微鏡で覗いて驚いた。粒子の表面に曇りが一切なくピカピカ光っている。中国の沙漠の砂は黒ずんでいるから黒光りで表面に微粒子がまったく付着していない。この沙漠では、走る車の後ろに砂塵がなかったのはこのように完全な脱塵が行われていたためだった。

図9はその音の周波数と波形である。低周波でしかも唸り(beat)である。この唸りすなわちウンウンと響くのが特徴で、これは鐘の音を聞くのに似ている。人々に感動を与えるのはその音の神秘性のためかも知れない。沙漠研究所はいずれこの場所を開放して観光客を呼ぶであろうが、そうなれば他の場所と同じく音なし山になるであろうことは明らかである。

蘭州沙漠研究所に依頼して鳴沙山のもっとも汚染が少ないと思われる場所から採取した砂5kgを郵送してもらって、水洗する実験を行った。水洗前は全く発音しなかったが、1000時間の水洗で十分な発音特性が確認できた(図8(b))。これで沙漠の鳴き砂の復活

注2) : NHKのシルクロード特集でも山が鳴くのは風が切る音だと間違ったことを伝えた。

図8 (a) 木畳の砂の発音試験結果

図8 (b) 鳴沙山の水洗砂の発音試験結果

図9 巴丹吉林沙漠のブーミング音特性

表3 巴丹吉林沙漠の砂の鉱物組成

	個数%
石英	50.5
堆積岩片	26.2
カリ長石	12.3
斜長石	7.1
火山岩片	3.0
ジルコン	0.3
緑レン岩	0.3
不透明鉱物	0.3

にも水洗が十分効果的であることが確認できた。

6. アメリカ・ネバダのサンドマウンテン¹⁰⁾

ネバダ沙漠にはブーミングサンドのサンドマウンテンがある。1992年2月23日にここを訪ねた。現地の状況をかつてここを調査したヒューストンの月面科学研究所 Criswell 教授に聞いたところ、1970年代に行ったが今の状況はわからないという。ところが現地に住む日本人の案内で、行って見て驚いた。デューンバギーが群がっていてももちろん砂は発音の気配もない。景色がよく、砂がきれいだから、遊びには最高だ。彼等は誰もこの砂山がブーミングサンドとは知らないの、現地の博物館関係者はこのことを残念がっていた。もともとこの山はアメリカ原住民の霊地だったから今でも黒人はこの山へは絶対に登らないという。

後日この地方の BLM (Bureau of Land Management) 宛てに風船爆弾のイラスト入りで抗議文を航空郵便で出したが、折り返し返事が来て、「この場所の開放当時にデータがなかった。今後環境保全に留意するので情報を送れ」とあった。この手紙は現地の博

物館へも出したので、そこから全米へ発送された。Criswell 教授は紙風船をメタリックと勘違いして「全米の通信網がだめになる。危険だ。よせ」と言ってきた。この手紙はミシガン大学の Bretz 教授へもとどき、彼は「貴殿に同調してわれわれもワシントンへコピーを送る」と言ってきた。これが縁で現在も同大学と電子メールで交流している¹²⁾。

7. ブーミングサンドのモデル実験とスケール効果

ブーミングサンドの現地はどこでも本来は俗世離れた絶景である。真夏でも日陰なら最高の避暑地でもある。この景色と迫力ある神秘的な音は、バーチャルリアリティの絶好の題材である。日本でもそれを実現したいものだ。それには日本の鳴き砂との何かの関連づけが必要になる。意外なことに前述の蛙砂は最高の条件を達成すればブーミングと同じ特性の特殊音を発する事実がある。図4の蛙砂セットをゆっくり傾けると、水中で安息角をなしている砂の表面で表層砂流が発生する。これは表層雪崩のミニチュアでもある。そのときヒー (hea) というかすかな音を発する。その

(a) 小蛙砂

(c) 大蛙砂

(b) 中蛙砂

(d) 最小5gのピーカーテスト

図10 蛙砂のスケール効果

音は小さいとはいえ、注意して聴けば2m位離れていても聞き取ることができる。スケールを大きくすると発生周波数は小さくなる傾向が見られる(図10)。その音響特性である音の周波数も波形もそっくりである。現在までに砂約5gから10kgまで実験した。島根県仁摩町で1分計砂時計を1年までスケールアップして1tonの砂を人力で回転させている。さしあたり次の実験は1tonが目標である。なお、このヒー音がアクリル容器の共鳴ではないことは、フラタリーの現地の浜でそれに似た音を聞いたし、ガラス製ピーカーで最小限乾量約5gの砂で開放状態でも十分聞き取れる程度の音が出ることから確認できる(図11)。

最後にここでは述べなかった世界および日本国内の

図11 ピーカーテストでの音発生

鳴き砂に関する存在位置を図12、13に示した。

図12 日本の鳴き砂地図（現在は完全に失われた浜*印も含む）

図13 日本および中国を除く世界の鳴き砂所在地
（黒丸は現地調査済白丸は文献など外部情報による）

8. 結 言

沙漠の巨大なブーミングサンド現象と海浜の鳴き砂現象とはまったく違う場での現象であるが、スケールの相違こそあれ本来同一の現象であり、生成条件も共

通していることを示した。

謝辞：国外各国の調査にあたって、島根県仁摩町および京都府網野町の方々には多大の協力をいただいたことに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 三輪茂雄：“巨大砂時計のスケールアップ” 化学工学, **60**, No. 3, 166-169 (1996)
- 2) 三輪茂雄, 西尾尚士：“鳴き砂本来の発生音評価による海水汚染の検討”, 日本砂丘学会誌, Vol. 42, **2**, 11-18 (1995)
- 3) TIME, June 8, 1992
- 4) Brown, A. E.: “The Singing Sands of the seashore” Phil. Soc. Proc., Ser. A., 217-230 (1961), 1-17 (1964)
- 5) 三輪茂雄, 日高重助, 下坂厚子：“洗浄による鳴き砂の精製について” 同志社大学理工学研究報告, 24巻, 4号, 48-58 (1984)
- 6) Miwa, S., Hidaka, J.: “Musical Sand” KONA, No. 1, 64-72 (1983)
- 7) 三輪茂雄著：『鳴き砂幻想』（ダイヤモンド社, 1982）第2章
- 8) 三輪茂雄：“太古の蛙を呼ぶ” 化学工学, Vol. 57, **10**, 759-760 (1993)
- 9) 王 勇, 志波靖磨：“敦煌の名所と旧跡-鳴沙山” 粉体工学会誌, 巻30, No. 8, 593-596 (1993)
- 10) 三輪茂雄, 尾崎都司正：“中国およびアメリカにおけるブーミング砂丘の発音特性低下について” 日本砂丘学会誌, Vol. 42, **1**, 20-29 (1995)
- 11) 三輪茂雄, 尾崎都司正, 屈 建軍：“環境モデルとしての巴丹吉林沙漠のブーミング砂丘” 日本砂丘学会誌, **43**, No. 1, 16-21 (1996)
- 12) ノリ, F. ショルツ, M., M. 三輪茂雄訳：“ほえる鳴き砂” 日経サイエンス, **28**, No. 2, 100-108 (1998)
- 13) 日本ナショナルトラスト：“全国鳴き砂（鳴り砂）調査報告書”（平成9年3月）
- 14) <http://www.yo.rim.or.jp/~smiwa/> “Musical Sand” 鳴き砂のホームページ