

なぜ石によって音の響きが違うのか パート2

静岡市立長田西小学校

6年 島田 勇太

1 【動機】

僕は小さいころから家の近くの安倍川や、用宗、三保の海岸でよく石を拾って集めていた。河原の石は色や模様が色々違ったり、面白い形があるので大好きだ。小学三年の時から石の自由研究をしているが、昨年からは、石の音を研究している。自由研究の時や遊びに行った時に河原を歩いていると、石と石がぶつかって色々な音がする。手に取ってたたくとキンキンと高い音やゴンゴンと低い音など石によって音が違うのが不思議だなと思っていた。

昨年の研究で分かったことの一つは、耳で聞くと一つの音に聞こえる石の音が、実はたくさんのHzで構成されていることが分かりとても驚いた。人工的ではない自然の音は複合音ということも知った。二つ目は、河原の石は、形が音に大きく影響していて、細長く薄い形の石が良く響き、その形は短径：長径：厚さが1：2以上：1/2以下という共通した条件にあてはまること、そして、よく響く石の音はスペクトラムアナライザのグラフの形がいか所飛び出した尖った山の形をしている事が分かった。三つ目は、石によって形に特徴があることだ。砂岩や頁岩は細長い石や厚さの薄い石まで色々な形があるが、閃緑岩や安山岩、蛇紋岩で細長い石や薄い石は見つけることができなかった。これは石の出来方やその石を作っている鉱物が関係していると考えられる。今年は、昨年わかった1：2以上：1/2以下という条件が、広く当てはまるのか、石の形と音の関係をもっと詳しく調べることと、石を構成している鉱物の大きさや並び方が音に影響しているのかを調べたい。

2 【方法】

2-1 石の採取

安倍川河口で15メートル四方をビニールテープで囲い、その範囲の中で、安倍川の河原に多く存在していて、かつ判別が付きやすい頁岩、砂岩、閃緑岩を採取した。(最初3m四方で石を採取しようとしたが、閃緑岩の数が少なかったため、15m四方に範囲を広げた)

(1) 閃緑岩 224 個 2021.8.11 15:00~17:30 安倍川河口広野にて採取

15m四方の中ですべての閃緑岩を拾いそのうちの厚さの薄い石トップ30個を選び持ち帰り、石にNo.1~No.30までナンバリングする。閃緑岩は厚い石が多く、厚さ15mm以下のものは見つからなかった。これは石の硬さや性質が関係していると思う。

(2) 砂岩の採取 砂岩 196 個 2021.8.13 8:45~9:45 安倍川河口広野にて採取

安倍川はほとんどが砂岩と泥岩、頁岩なので15m四方の中から全部拾い出すことは出来ないで、出来るだけ厚さの薄い石を選んで採集した。196個の中から薄い石トップ30個を選びナンバリングした

(3) 頁岩の採取 頁岩 224 個 2021.8.13 9:45~10:45 安倍川河口広野にて採取

頁岩も15m四方の中の個数がとても多いので、出来るだけ厚さの薄い石を選び、その中から薄さトップ30個を選びナンバリングした。

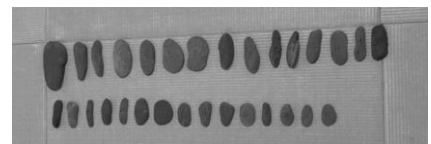


図1 左：採取した頁岩224個 右：ナンバリングした頁岩30個

2-2 石の採寸

採取した石の長径、短径、厚さをデジタルノギスで測定する。石は形がいびつなので、短径、厚さは長径の中点を通る長さとした。

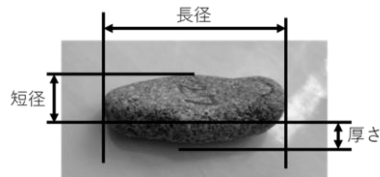


図 2 左：石の採寸位置

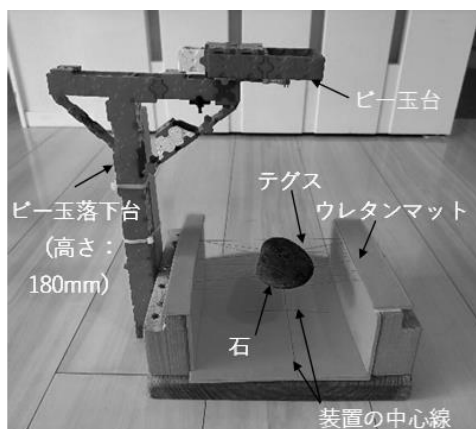
右：ノギスで測定しているところ



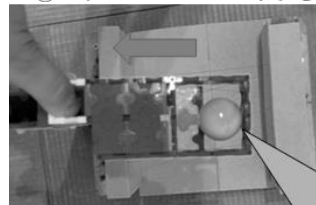
2-3 実験装置について

昨年作った石をたたくための装置（設計図参照）は、テグスを張ったネットの上に石を置き、マレットに石を括り付けた物を使い、決められた高さから振り下ろして、手でたたくという方法だったが、この方法だとたたく力が一定にならないと考え、今年は、装置を改良し、LaQ でビー玉落下装置を作製した。（写真参照）

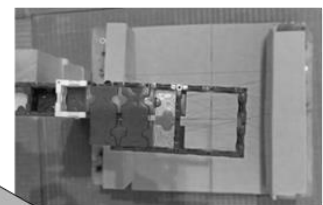
この装置はビー玉落下レバーを引くと、ビー玉を乗せているストッパーがスライドして、ビー玉が落下する仕組みになっている。石を乗せる台には、落下したビー玉が当たって音がしないように、ウレタンシートを貼った。石は長径と短径の中点に十字の印をつけ、その石の中心線が、装置の中心になるようにセットした。



②ストッパーがスライドする



①ビー玉落下レバーを引く



ビー玉（材質：ガラス、直径：25.3mm、重さ：21g）

図 3 自作したビー玉落下装置とその仕組み

2-4 音の測定

スマホに音を測定するスペクトラムアナライザのアプリ「Spectroid Carl Rinke」をダウンロードした。そのスマホをビー玉落下装置の柱のところに固定し、落下したビー玉と石のぶつかった音を測定した。測定結果のグラフのピークである周波数（Hz）とその大きさ（dB）をその石が持つ音とした。測定は誤差が出ることを考えて、一つの石に対して5回ずつ行った。5回測定したうちの一番高い周波数と一番低い周波数を除いた3回の周波数（Hz）とそれらの音の大きさ（dB）の平均値をその石が持つ固有の音の周波数と大きさとした。

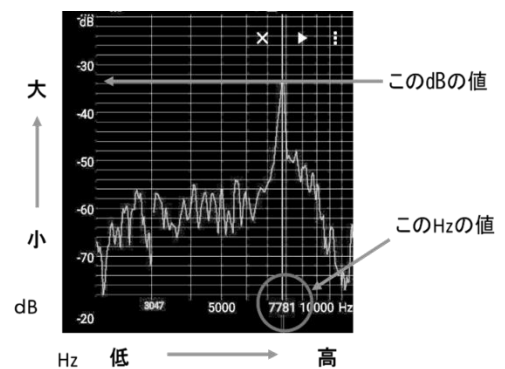


図 4 音の測定結果

2-5 体積の測り方について

石の密度を測るために、体積を測定する方法を調べた。

- (1) はかりに水の入った容器を乗せ、0 表示にする。
- (2) 石に紐をかけたまま水中につるした時の値（V）を測る。石が底に触れたり、水面から出ないように気を付ける。

(3) Vは質量を測定したが、石の体積に相当する。

(4) 石の密度を求める式は

石の密度＝重さ÷体積

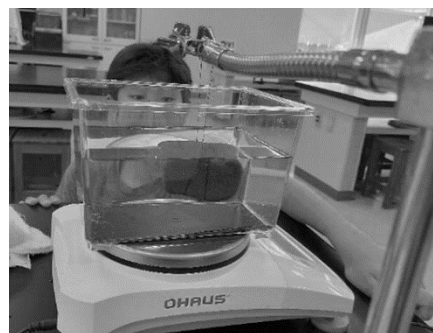
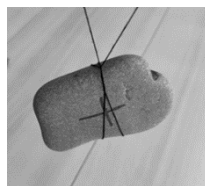


図 5 左：石に紐をかけたところ
右：体積を測っているところ

3 【結果】

3-1 石の採寸結果

採取した石(閃緑岩、砂岩、頁岩)の長径、短径、厚さの計測結果を示す。

表 1 閃緑岩、砂岩、頁岩の採寸表

No	閃緑岩			砂岩			頁岩		
	長径(mm)	短径(mm)	厚さ(mm)	長径(mm)	短径(mm)	厚さ(mm)	長径(mm)	短径(mm)	厚さ(mm)
1	154.68	68.39	43.05	178.00	69.48	30.10	132.48	66.29	20.58
2	147.25	63.75	33.8	139.12	59.89	31.76	102.80	38.66	15.67
3	122.88	60.60	26.24	113.19	57.00	24.36	96.33	28.31	14.07
4	109.83	66.73	30.67	109.83	46.80	19.00	99.20	50.55	16.40
5	108.00	63.72	27.00	112.10	44.33	22.31	90.51	40.69	12.99
6	107.50	53.37	22.08	106.06	41.71	20.02	87.26	55.28	16.56
7	98.79	44.73	27.98	100.02	27.81	24.37	86.93	37.31	10.04
8	87.78	56.56	23.44	93.48	53.45	27.74	86.83	35.79	18.28
9	80.17	60.07	18.02	99.99	43.61	20.30	86.88	35.70	13.53
10	86.72	40.64	24.39	97.14	36.44	18.46	87.77	27.98	12.56
11	83.02	32.52	25.29	93.28	62.29	22.89	83.87	28.38	18.26
12	71.44	39.70	22.33	92.10	79.94	23.64	78.66	28.90	13.24
13	52.61	48.67	19.79	90.33	49.72	16.30	77.96	35.83	7.42
14	60.17	47.10	17.22	90.21	38.25	16.64	76.92	21.76	9.25
15	76.97	36.16	23.58	84.45	22.30	15.59	74.92	33.61	13.55
16	80.50	38.31	30.09	72.57	36.72	12.27	74.87	22.58	14.57
17	68.05	39.70	20.94	77.37	39.69	11.39	70.67	28.53	8.92
18	63.83	43.01	17.26	71.03	35.49	19.25	72.37	18.80	6.26
19	75.12	33.03	18.65	68.42	48.90	13.13	70.25	26.52	14.7
20	78.91	28.63	21.20	70.47	22.35	16.27	68.37	21.16	5.55
21	58.02	21.53	17.79	66.96	43.76	15.50	68.49	39.11	9.46
22	64.54	29.18	18.00	64.93	48.83	13.23	61.29	50.24	9.80
23	38.88	32.74	21.85	71.08	25.28	9.11	59.50	34.06	8.70
24	59.02	43.35	18.32	64.46	30.99	15.11	60.56	29.16	9.62
25	65.30	36.72	13.22	61.27	33.01	10.91	57.03	35.13	9.02
26	61.13	32.96	17.35	59.22	30.88	12.22	54.34	37.81	8.54
27	64.01	28.48	17.33	58.63	21.73	14.33	55.19	21.62	10.45
28	52.89	37.19	16.10	57.15	16.79	15.43	50.22	31.18	13.93
29	49.21	28.49	13.54	46.35	20.75	11.89	49.93	26.28	6.18
30	52.54	22.35	17.00	39.40	31.48	9.49	49.21	33.19	6.01

3-2 音の測定結果

採取した石(閃緑岩、砂岩、頁岩)の音(周波数、大きさ)の測定結果を、表2(砂岩)に示す。閃緑岩、頁岩の測定結果表はスペースの関係で掲載を省略する。

表2 砂岩 音の測定表

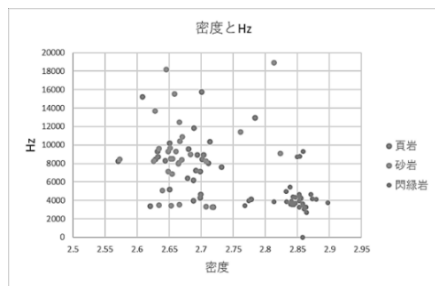
	1回目		2回目		3回目		4回目		5回目		平均	
	周波数(Hz)	大きさ(dB)	周波数(Hz)	大きさ(dB)	周波数(Hz)	大きさ(dB)	周波数(Hz)	大きさ(dB)	周波数(Hz)	大きさ(dB)	周波数(Hz)	大きさ(dB)
1	5062	-50	5062	-49	5109	-45	5109	-50	5109	-50	5093	-48.3
2	7125	-55	7125	-50	7125	-47	7125	-44	7125	-52	7125	-49.6
3	9000	-53	8906	-52	9094	-51	9094	-50	9094	-48	9062.6	-51.3
4	8250	-39	8250	-45	8250	-46	8250	-44	8250	-48	8250	-45.0
5	9281	-50	9281	-48	9281	-50	9281	-48	9281	-49	9281	-49.0
6	7031	-43	6562	-40	6844	-38	6844	-40	6938	-49	6875	-42.3
7	9656	-52	9656	-50	9375	-49	9656	-49	9562	-52	9625	-50.3
8	3469	-68	3141	-58	3281	-64	3328	-59	3328	-60	3312	-61.0
9	8906	-46	8906	-47	8906	-50	9094	-50	9094	-50	8969	-47.6
10	9656	-42	9656	-44	9656	-48	9656	-50	9656	-48	9656	-44.6
11	3234	-56	3750	-58	3234	-60	3703	-55	3281	-60	3406	-58.3
12	3422	-51	3469	-54	3047	-57	3000	-55	3328	-55	3266	-54.3
13	10500	-45	10406	-44	10406	-46	10406	-47	10406	-40	10406	-45.0
14	12562	-40	12469	-42	12469	-39	12469	-42	12469	-42	12469	-41.0
15	11438	-47	11438	-41	11344	-43	11438	-43	11438	-38	11438	-42.3
16	9281	-40	9281	-44	9281	-35	9281	-42	9281	-40	9281	-40.6
17	10875	-38	10875	-38	10875	-48	10875	-40	10875	-45	10875	-41.0
18	9000	-62	8344	-62	8344	-60	8531	-60	8719	-62	8531	-60.6
19	3094	-60	3891	-54	3656	-60	3562	-60	3188	-56	3469	-58.6
20	8250	-52	7969	-56	8344	-60	7781	-64	7781	-59	8000	-55.6
21	8625	-52	7875	-54	8438	-56	8531	-54	8531	-56	8500	-55.3
22	13688	-40	13688	-44	13688	-46	13688	-46	13688	-49	13688	-45.3
23	8062	-33	8062	-36	8062	-36	8062	-34	8250	-34	8062	-35.3
24	3375	-64	3656	-59	3797	-60	3281	-64	3328	-62	3530	-65.3
25	15562	-40	15562	-40	15562	-44	15562	-42	15562	-40	15562	-40.6
26	18938	-38	18938	-38	18938	-43	18938	-38	18938	-45	18938	-39.6
27	8531	-46	8531	-55	7688	-55	8344	-55	8344	-53	8406	-54.3
28	18469	-44	18188	-43	18188	-44	18188	-40	18188	-43	18188	-42.0
29	8531	-46	8156	-50	8812	-48	8344	-43	8438	-48	8438	-45.6
30	8344	-44	8156	-46	8156	-45	8156	-45	8531	-48	8219	-45.0

3-3 密度は石の音に関係しているか？

表 3 石の重さ、体積、密度測定表

	閃緑岩			砂岩			頁岩		
	重さ	体積	密度	重さ	体積	密度	重さ	体積	密度
1	770	269.86	2.853331	600.17	227.43	2.638922	287.66	105.32	2.731295
2	580.1	203.55	2.849914	533.79	201.56	2.648293	95.59	35.39	2.701045
3	321.45	112.44	2.858858	317.56	112.47	2.823508	60.64	22.43	2.703522
4	446.98	157.31	2.841396	170.49	62.97	2.70748	122.25	57.34	2.13202
5	311.88	109.33	2.852648	216.77	81.86	2.648058	75.03	28.54	2.628942
6	271.24	94.74	2.862993	130.18	49.04	2.654568	121.15	45.07	2.688041
7	226.55	79.27	2.857954	105.8	40.17	2.633806	95	35.3	2.691218
8	218.98	76.92	2.846854	292.67	108.09	2.707651	96.61	33.84	2.854905
9	190.53	66.64	2.859094	110.43	41.16	2.682945	64.68	24.01	2.693878
10	153.44	53.69	2.857888	129.24	48.74	2.651621	44.86	17.04	2.632629
11	124.77	45.08	2.767746	169.61	63.94	2.652643	70.14	26.77	2.620097
12	96.3	33.83	2.846586	219.86	80.91	2.71734	49.65	18.78	2.64377
13	97.62	34.22	2.852718	142.86	53.58	2.666293	42.43	15.84	2.678662
14	106.27	37.41	2.840684	90.38	33.9	2.666077	32.64	12.7	2.570079
15	106.24	37.14	2.860528	50.69	18.36	2.760893	56.41	21.28	2.650846
16	127.56	44.54	2.863943	46.45	17.46	2.660367	46.71	17.23	2.710969
17	76.09	26.26	2.897563	47.83	17.91	2.670575	35.86	13.53	2.650407
18	56.75	20.17	2.813585	73.87	27.82	2.655284	15.16	5.64	2.687943
19	79.06	27.52	2.87282	63.08	23.95	2.63382	35.97	13.23	2.718821
20	81.42	28.36	2.870945	38.47	14.44	2.664127	16.3	6.04	2.698675
21	35.27	12.45	2.832932	85.49	32.23	2.652498	43.04	15.86	2.713745
22	54.77	19.02	2.8796	62.52	23.79	2.627995	53.81	20.08	2.679781
23	37.2	13.08	2.844037	27.05	10.15	2.665025	28.34	10.54	2.688805
24	68.66	24.75	2.774141	47.59	17.85	2.666106	30.32	10.89	2.784206
25	54.72	19.18	2.852972	33.97	12.78	2.658059	30.86	11.11	2.777678
26	54.26	19.11	2.839351	35.59	12.65	2.813439	30.34		#DIV/0!
27	45.38	15.99	2.838024	29.87	11.19	2.669348	19.94	7.39	2.698241
28	52.99	18.57	2.853527	24.92	9.42	2.645435	29.85	11.06	2.698915
29	24.99	8.79	2.843003	18.96	7.37	2.572592	14.19	5.44	2.608456
30	28.44	10.04	2.832669	18.43	7.02	2.625356	16.8	6.22	2.700965

密度は、閃緑岩は2.76～2.89、砂岩は2.57～2.81、頁岩は2.57～2.85だった。火成岩である閃緑岩の方が密度は高いことがわかった。



縦軸を周波数、横軸を密度で散布図を作って見ると、閃緑岩はプロットが集中しているが、砂岩、頁岩は散らばっていた。このデータからは密度が周波数に影響していることを見ることはできなかった。

図 6 密度と周波数の関係

4 【考察】

4-1 石の形と音の関係

音の測定結果のグラフは、ピークが一つではっきりしている石(タイプA)と、ピークが複数ではっきりしない石(タイプB)があった。タイプAの方がタイプBより音(dB)が大きい石が多く、グラフの形も純音に近いので、よく響く石と言える。実際に耳で聞いても、タイプBは鈍い曇ったような音がした。

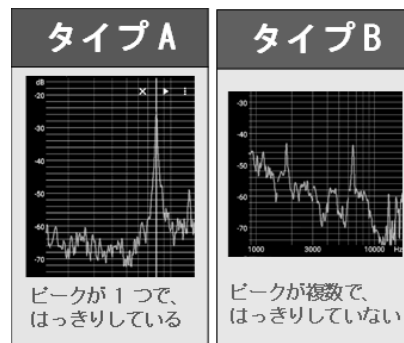


図 7 音の測定結果のグラフ

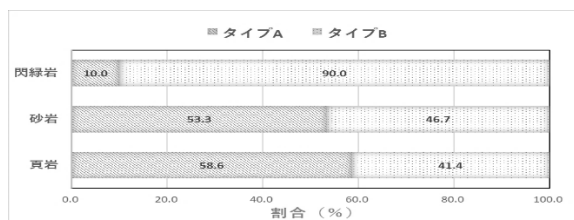


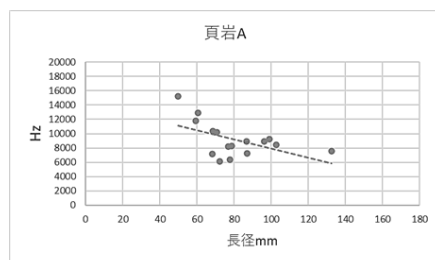
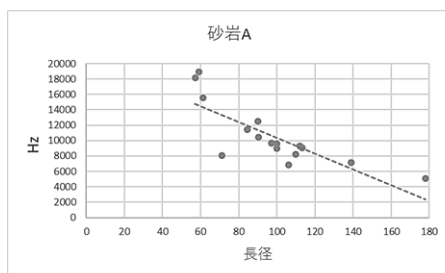
図 8 閃緑岩、砂岩、頁岩の音のタイプの割合

種類別でみると、タイプAは閃緑岩では10%しかなかったが、砂岩と頁岩では50～60%もあった。このことから、砂岩と頁岩の方が良い音がする石が多いと考えられる。

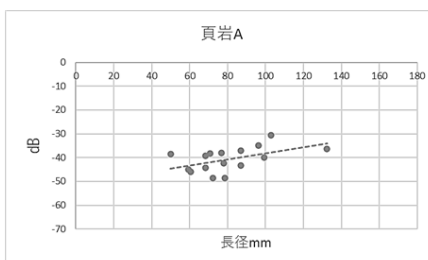
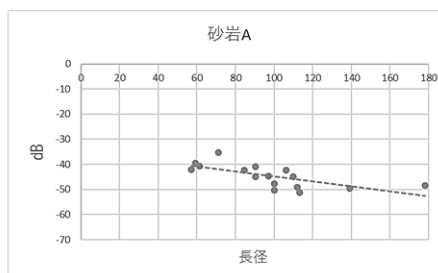
タイプAの砂岩と頁岩の結果をエクセルの表に入力しグラフ(散布図)を作る。散布図とは、縦軸と横軸の二つの項目で量や大きさなどを計測し、データを当てはまる所にプロットをしたグラフのこと。プロットとは、点を描くことを指す。2つの変数に関係があるかどうか(相関の有無)を、点の散らばりから確認する手法。さらに関係性の傾向を分かりやすくするために、近似曲線を出して、形と音の関係性を調べる。

4-1 (1) 石の長さ(長径)と音の関係

<石の長さと音の高さ(Hz)の相関>



<石の長さと音の大きさ(dB)の相関>

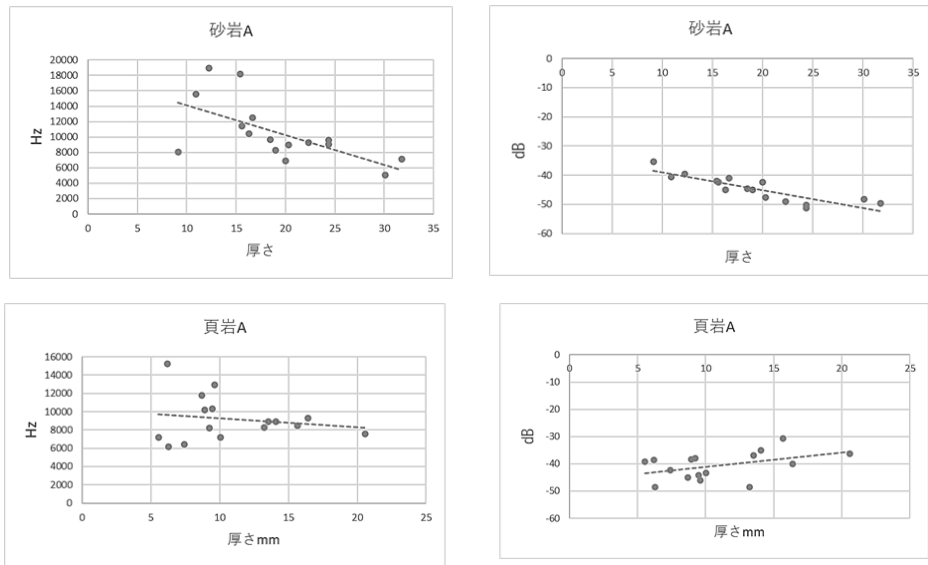


石の長さ(長径)は音の高さ周波数(Hz)と音の大きさ(dB)と関係性があると考えられる。砂岩も頁岩も、長径が長いほど周波数が小さくなる(音が低くなる)。砂岩は長いほど音が小さくなり、頁岩は長いほど音が大きくなる傾向がある。

図 9 上;砂岩の相関グラフ 下;頁岩の相関グラフ

4-1 (2) 石の厚さと音の関係

＜石の厚さと音の高さ(Hz)の相関＞ ＜石の厚さと音の大きさ(dB)の相関＞



厚さは音の大きさ(dB)と関係していることがわかる。砂岩は厚いほど音は低く、小さくなる。また、頁岩は厚いほど音が大きくなる。厚さと音の高さ(Hz)の間に相関は見られなかった。

図 10 上；砂岩の相関グラフ 下；頁岩の相関グラフ

表 4 石の長さと言の大きさ・高さの関係 表 5 石の厚さと音の大きさ・高さの関係

石の長さ	音の大きさ		音の高さ	
	砂岩	頁岩	砂岩	頁岩
長い	小さい	大きい	低い	低い
↕	↕	↕	↕	↕
	大きい	小さい	高い	高い

石の厚さ	音の大きさ		音の高さ	
	砂岩	頁岩	砂岩	頁岩
厚い	小さい	大きい	低い	
↕	↕	↕	↕	相関なし
	大きい	小さい	高い	

4-2 スペクトラムアナライザの波形と石の形の関係

タイプAとタイプBの石を観察すると、タイプAは細長く薄い石が多かった。昨年の研究でわかった「よく響く石の条件」短径：長径：厚さ＝1：2以上：1/2以下 に当てはまっているのではないかと考え、確かめた。タイプAを○タイプBを×でプロットし、よく響く形の比率1：2以上：1/2以下、つまり、横軸の厚さ÷短径が0.5以下、縦軸の長径÷短径が2以上の範囲を水色で示した。

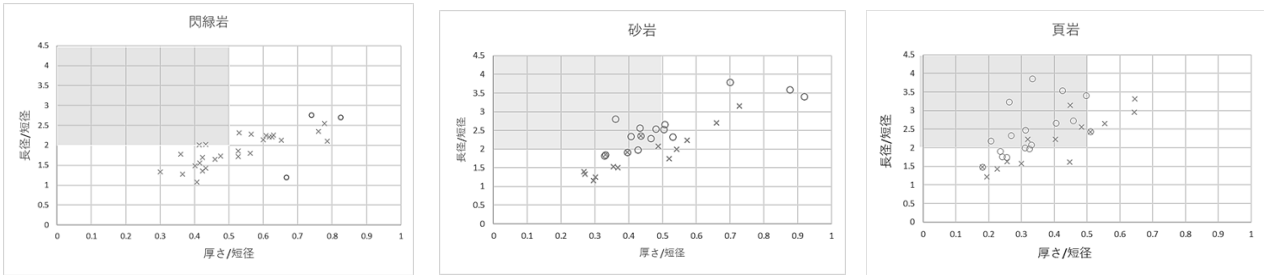


図 11 タイプA・Bの形の比率のグラフ

砂岩と頁岩のタイプAの石は、1：2以上：1/2以下の水色の範囲と重なっている石が多い。つまり、タイプAの石はよく響く形をしている確率が高いことが分かる。閃緑岩は一致していなかった。

4-3 鉄琴、木琴を使つての立証

砂岩、頁岩の長さが長いほど音は低くなることを、立証するために鉄琴と木琴の鍵盤の長さと音の周波数を測定し比較する。

表6 静岡市立長田西小学校 音楽室の木琴と鉄琴の実測値

鉄琴	ド	レ	ミ	ファ	ソ	ラ	シ	ド	レ	ミ	ファ	ソ	ラ
長さ	287	279	271	262	255	247	239	231	223	215	207	199	191
厚さ	10.3	10.3	10.3	10.4	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
幅													
Hz	264	296	334	352	394	445	498	527	592	662	703	785	891
dB	-32	-34	-32	-32	-32	-25	-22	-26	-20	-20	-18	-17	-16

木琴	ド	レ	ミ	ファ	ソ	ラ	シ	ド	レ	ミ	ファ	ソ	ラ
長さ	301	292	284	276	266	258	249	241	231	223	214	206	196
厚さ	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
幅													
Hz	527	592	662	703	785	879	984	1043	1172	1312	1395	1547	1758
dB	-28	-28	-27	-29	-29	-24	-30	-30	-29	-30	-30	-27	-25

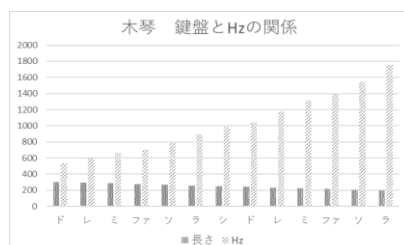
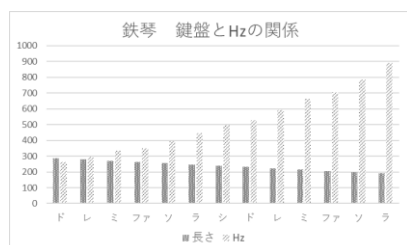


図12 左；鉄琴 右；木琴の鍵盤長さとはzのグラフ

鉄琴、木琴は鍵盤の長さに対して音の周波数(音の高低)が反比例の関係になっていた。石だけでなく、鉄琴、木琴も長さの違いによって音の高低が変化していることが分かった。

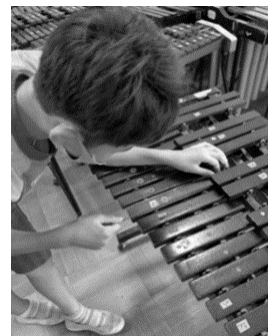


図13 木琴の採寸

4-4 石の粒の大きさと音の関係

サヌカイトのように、石の粒が小さく均一な石の方が良い音がするという仮説を検証するため、先ず閃緑岩、砂岩、頁岩を耐水ペーパー（＃240, 400, 600, 800, 1000, 1500）で磨き、それら3種の石を構成している粒を実体顕微鏡（NIKON MIZ46）で観察した（図14）。その結果、構成している粒の大きさは、大きい順に閃緑岩、砂岩、頁岩であった（図15）。このように頁岩が最も石を構成している粒が小さかった。

図14 左；石を耐水ペーパーで磨いている様子

右；石を構成している粒を実体顕微鏡（NIKON MIZ46）で観察している様子

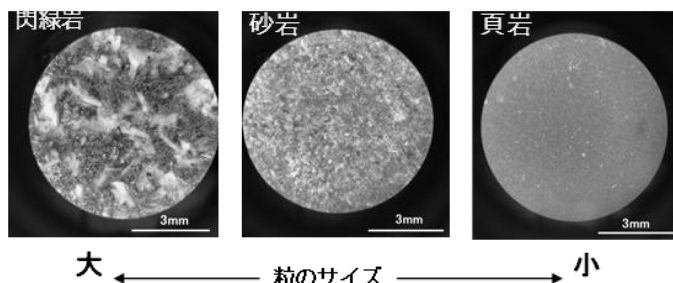


図15 石を構成している粒の実体顕微鏡（NIKON MIZ46）写真

音を測定した時にグラフのピークがはっきりしているタイプAを示す閃緑岩、砂岩、頁岩の音の大きさ（dB）を比較すると、頁岩は閃緑岩と砂岩より音の大きな石が多かった（図16）。このことから、頁岩は閃緑岩と砂岩より音の響きが良い石が多いと考えられる。

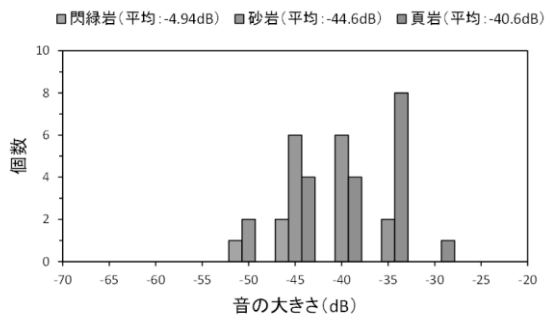


図 16 タイプ A の閃緑岩、砂岩、頁岩の音の大きさの柱状グラフ

以上の二つの結果から、石の粒が小さく均一な石は音の響きが良いと 言える。

5 【まとめ】

(1) 石の長さ(長径) と音の関係

石の長さ(長径)は音の高さ周波数(Hz) と音の大きさ (dB) と関係性があると考えられる。【考察 4-1 (1)】

砂岩も頁岩も、長径が長いほど周波数が小さくなる(音が低くなる)。

砂岩は長いほど音が小さくなり、頁岩は長いほど音が大きくなる傾向がある。

(2) 石の厚さと音の関係

石の厚さは音の大きさ (dB) と関係している【考察 4-1 (2)】

砂岩は厚いほど音は低く、小さくなる。また、頁岩は厚いほど音が大きくなる。厚さと音の高さ (Hz) の間に相関は見られなかった。

(3) グラフのピークの形と石の形の関係

砂岩、頁岩において、スペクトラムアナライザのグラフのピーク数が 1 つの石はよく響く形をしている確率が高い。【考察 4-2】

(4) 石の粒の大きさと音の関係

良い音が響く石は、石を構成している粒が小さく、均一である。【考察 4-4】

7 【感想と謝辞】

石の音を測定し、そのデータをグラフ化した時に、それまでバラバラに思っていた石の音が、グラフの中で一直線に並んだ時は、とても驚いた。自然の石の形と音の関係が少しだけでも分かったことが一番うれしかった。この研究を進めるにあたり、静岡科学館くるくの「理数大好き教室」で、科学的思考とはどんなものかということや、自由研究の進め方、実験の基礎を教えていただいた。谷先生には音と振動の関係のヒントを頂いた。また、石の体積を測る際、機材などサポートして頂いた。坂田先生には石の体積の測り方の他、様々な相談に乗って頂いた。静岡 STEM アカデミーの STGE1.5 では、静岡大学の楠 賢司先生に実験の進め方や、グラフを用いての比較の仕方、データの解析方法を教えて頂いた。青木克顕先生には論文の書き方をアドバイスいただき、たくさん励ましを頂いた。僕の研究がここまで進んだのは多くの先生方に支えていただいたおかげです。本当にありがとうございました。

8 【参考資料】

- ・『河原の石ころ図鑑』 渡辺一夫著 ポプラ社
- ・『子供の科学★サイエンスブックス集めて調べる河原の石ころ』 渡辺一夫著 誠文堂新光社
- ・『大地丸ごと大研究 1 川・石ころの大研究』 監修：平田大二 文/写真：渡辺一夫 ポプラ社
- ・<https://macasakr.sakura.ne.jp/decibel.html> (小学生でもわかるデシベル)
- ・<https://info.shimamura.co.jp/digital/knowledge/2014/03/1926> (音とは？周波数とは？いまさら聞けない用語シリーズ)
- ・「常葉大学地学ノート」より 岩石の密度測定
- ・kaizen-base.com/column/32240
- ・<https://backlog.com/ja/blog/what-is-scatter-plot/>