第 4 章　ポリゴノーラの音階

弦の振動で出てくる整数倍音からドレミの音階ができることを第 1 章で述べました。倍音の数字を入れる音階を作ってくれる式があります（付録 3 参照)。式に頼らずに同じ音階を作る方法は付録 7 に記しました。付録 3 の式に円盤で観測された非整数倍音の数字を入れると、円盤の音階ができます。しかし、どの非整数倍音を何個選ぶかで計算される音階が異なります。弦の場合は入れる数字は一通りの 1、2、3、4 という整数値だけです。しかし、円盤の場合は表 4−1 にあるようにたくさん数字があります。

この表は、（0　1）の振動比を 1.000 としたときの、それぞれの振動数（音）の比をまとめたものです。音階を作るためにこの数字のどれを何個選べばよいのでしょうか。たたく場所により出る音の組み合わせが変わります。

	ドーナツ節線										
ピザ節線	m = 0	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5	m = 6	m = 7	m = 8	m = 9	m = 10
n = 0	−	1.000	4.231	9.642	17.222	26.969	38.883	52.963	69.210	87.623	108.203
n = 1	0.278	2.216	6.545	13.043	21.708	32.540	45.537	60.702	78.032	97.529	119.193
n = 2	0.779	3.726	9.159	16.750	26.503	38.421	52.505	68.754	87.169	107.751	130.498
n = 3	1.499	5.514	12.069	20.760	31.606	44.613	59.784	77.120	96.621	118.287	142.119
n = 4	2.437	7.574	15.270	25.069	37.013	51.113	67.374	85.797	106.385	129.137	154.055
n = 5	3.594	9.899	18.757	29.675	42.722	57.918	75.272	94.785	116.461	140.301	166.305
n = 6	4.969	12.487	22.525	34.572	48.730	65.027	83.475	104.081	126.847	151.776	178.867
n = 7	6.564	15.334	26.572	39.759	55.033	72.435	91.983	113.683	137.542	163.560	191.741
n = 8	8.377	18.437	30.894	45.231	61.629	80.142	100.792	123.590	148.543	175.654	204.925
n = 9	10.410	21.795	35.488	50.987	68.516	88.144	109.901	133.800	159.849	188.054	218.417

表4-1　周辺が自由に振動する円盤の共鳴周波数比の理論値
n はピザモードの節線の数、m はドーナツモードの節線（節円）の数を表す。
n=0、m=1 の時の振動数比＝１を基準としている。

図4-1　不協和度曲線を使った音階の作成
倍音に弦の整数倍音1.00～9.00を入れて計算しグラフにした。谷の音の高さを順にとれば音階ができる。ただし、9倍音までででは、ド#とシができない。

最初にドレミの音階が式でできるか試しました（図 4－1)。曲線を描くために使った整数倍音は 9 個です。縦軸は耳障りの悪さをとったもので不協和度と定義されています。横軸は最初の音（ド）に対する音の高さの比です。

このグラフの場合は 2 倍まで、すなわち 1 オクターブ上のドまで示しました。振動比でドの 1.5 倍のソが最も不協和度が低い（谷が深い）ので、ドとソがよく協和することがわかります。谷を選ぶと、ドレミの音階ができます。また、ソの不協和度を示す数字は、10 です。1 オクターブ上のドは、元のドとよく混じりあうので不協和度の数字は 0 に近くなっています。つまり谷の深さは元のドと協和する程度を示すといえます。もちろんこの理論は近代のもので、古代の人は知りません。昔の人は感覚だけでこの原理に近い音を選びドレミの音階を作り上げたのでしょう。

1　ドーナツ音階

次に図 4−2 では円盤のドーナツ様式の音階を作るために、ドーナツモードの非整数倍音の数字 9 個を式に入れて不協和度を計算しました。使用した非整数倍音 9 個は表 4−2 に示しました。このグラフと計算で出た谷を拾い出して音階を取ると、表 4−2 右の列のようになります。

音階番号 1 の円盤と番号 18 の円盤を同時にたたくと、番号 1 の第 2 倍音（4.23）と番号 18 の基音（4.23）が協和します。18 番目の 4.23 という音高は、最初に計算をするために入れたドーナツモードの（0　2）と同じ数字が表れますので、音階はここで止めました。ドーナツだけの振動様式の数字を入れて計算すると、不協和度の低い音階ができます（図 4−2）。

表4-2　ドーナツモードの音階の作成

ドーナツモード	使用倍音比	音階番号	音階比
(0　1)	1.00	1	1.00
(0　2)	4.23	2	1.27
(0　3)	9.64	3	1.31
(0　4)	17.22	4	1.36
(0　5)	26.97	5	1.44
(0　6)	38.88	6	1.57
(0　7)	52.96	7	1.65
(0　8)	69.21	8	1.79
(0　9)	87.62	9	1.96
		10	2.26
		11	2.28
		12	2.57
		13	2.80
		14	3.08
		15	3.25
		16	4.03
		17	4.07
		18	4.23

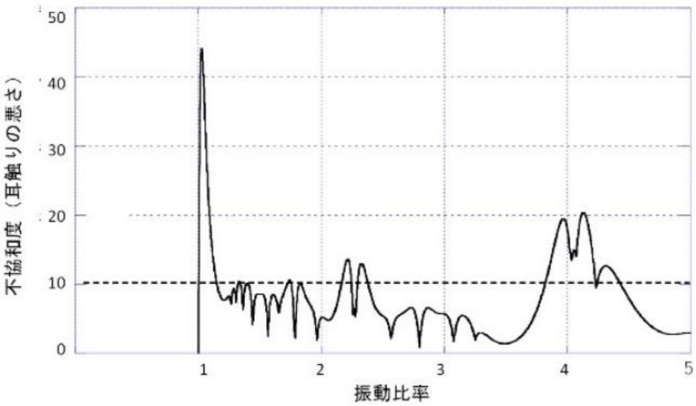

図4-2　円盤のドーナツ様式（0　1~9）の理論値を入れて計算した不協和度曲線

たとえば基音から振動比 5 までのほとんどの音階（谷の位置）の不協和度は 10 以下です。図 4－1 に示した不協和度はソがかろうじて 10 くらいです。ドレミの音階（図 4－1）では、ソ以外の不協和度はすべて 10 以上です。円盤のドーナツ様式からできる音階は、振動比 3 倍までは不協和度がすべて 10 以下で、この音階は互いによく協和する響きを約束してくれそうです。ところがここにひとつ大きな難点があります。それは、円盤を叩いて出る実際の非整数倍音の数です。図 3－5 で示しましたように、最もドーナツ様式の振動が出やすい、中心をたたいたときでさえ、(0　4）までですなわち 4 本くらいしか出ません。図 4－2 では（0　9）まで 9 個の数字を使いましたが、実際に出ているのは（0　4）までです。

それで、実際に出ている(0　4)の数字、17.22 より少し多めの数字をあと 2 個(26.988 と 38.883）使って不協和度を計算すると図 4－3 になります。ずいぶん谷の数が減ったことがわかると思います。しかも、基音の 2 倍音までに音階が 3 個しかありません。さらに 1 番目（1.00）と 2 番目（1.44）の間がかなり開いています。ドレミならこの間に、レ・ミ・ファと 3 音が入ります。　ドーナツ様式だけの非整数倍音で音階を作ると、不協和度は低いけれど、間隔の広い音階ができます。それはそれでよいのかもしれません。

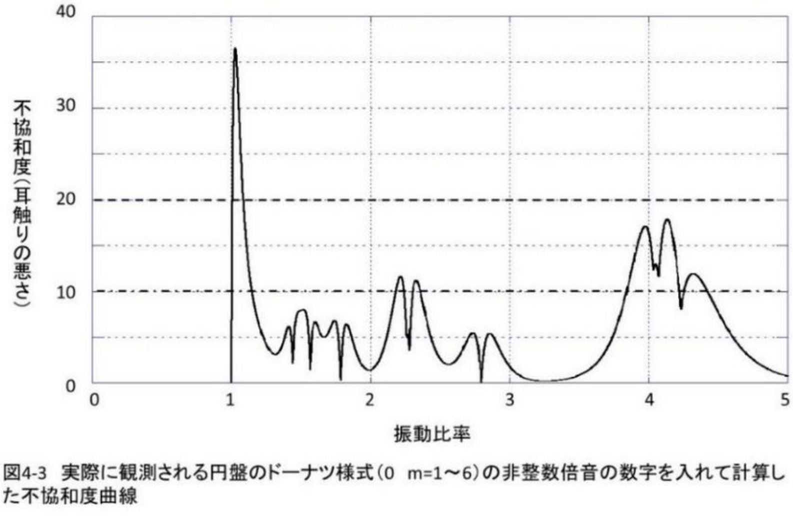

図4-3　実際に観測される円盤のドーナツ様式（0　m=1～6）の非整数倍音の数字を入れて計算した不協和度曲線

２　ピザ音階

次に、ピザ様式だけの倍音列で音階を作りました（図 4－4)。ピザ振動様式は（2　0）から（9　0）までの 8 個の数字を用いました。ピザ様式は円盤の端をたたくと出る非整数倍音です。用いた非整数倍音の数字は表 4－3 に示しました。

ここでは（2　0）を基準（1.00）にしました。この数字を入れて不協和度を計算すると図 4－4 のようになりました。その谷を拾うと表 4－3 の右の列に示した音階ができます。

表4-3　ピザモードの音階の作成

ピザモード	使用倍音比	音階番号	音階比
(2　0)	1.00	1	1.00
(3　0)	1.92	2	1.24
(4　0)	3.13	3	1.25
(5　0)	4.61	4	1.32
(6　0)	6.38	5	1.38
(7　0)	8.42	6	1.47
(8　0)	10.76	7	1.59
(9　0)	13.37	8	1.63
		9	1.68
		10	1.83
		11	1.92

11 番目の音は 1 番目の音の 1.92 倍の音です。音階 11 番の基音は、1 番目の円盤の第 2 倍音（3　0）と一致します。このことは 1 番目と 11 番目の円盤を同時にたたくとよく協和するということです。ピザ様式だけで音階を作った場合は、1.92 が新しいオクターブになると考えられます。振動比が約 2 倍までに音階は 11 できました。

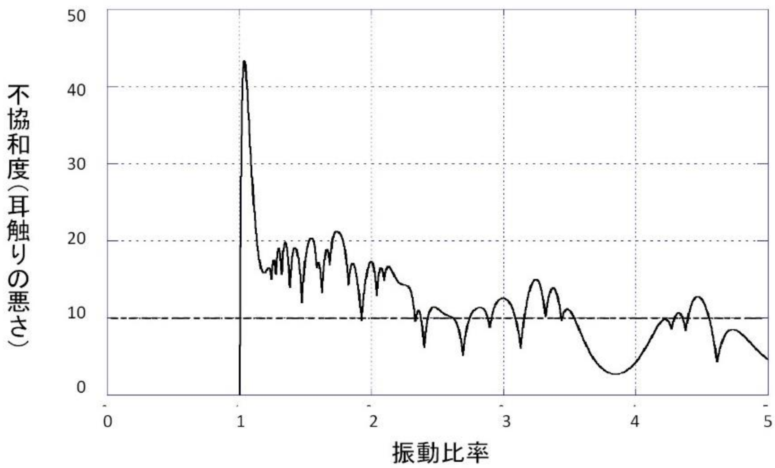

図 4 -4　円盤のピザ様式（n=2～9）の振動から出てくる非整数倍音の数字を入れて計算した不協和度曲線

この場合２番目（1.242）と３番目（1.246）の音階の間隔が狭すぎるのが気になります。1.24 と 1.25 はわずか 0.3％しか離れていません。平均律の半音の間隔は 5.95％ですので、0.3％は半音の１／20 です。

また、不協和度の値がドーナツ様式の音階より高いのも気になります。例えばドーナツ様式では振動比が２倍まではすべて不協和度が 10 以下ですが、ピザ様式では振動比２倍までのほとんどすべての音階が 10 以上です。つまりピザ様式の音階の不協和度はドーナツ様式より高くて少し不協和な音階となります。

ドーナツ様式の音階は不協和度が低いが間隔が広く、ピザ様式は音階の間隔は狭いが、不協和度が高い音階ができました。また実際にたたいてもドーナツ様式の高次の倍音は出にくいので使える数字が少ないこともわかりました。

３　混合音階

そこで、円の節がひとつだけできて、ピザの線が増える様式を採用することにしました（n　1)。表示すると（0　1)、(1　1)、(2　1)、(3　1）……　です。

表4-4　混合モードによる音階の作成

混合モード	使用倍音比	音階番号	音階比
(0　1)	1.00	1	1.00
(1　1)	2.22	2	1.18
(2　1)	3.73	3	1.20
(3　1)	5.51	4	1.23
(4　1)	7.57	5	1.26
(5　1)	9.90	6	1.31
(6　1)	12.40	7	1.37
(7　1)	15.33	8	1.48
(8　1)	18.44	9	1.55
(9　1)	21.80	10	1.68
		11	1.80
		12	1.86
		13	2.03
		14	2.22
		15	2.49
		16	2.66
		17	2.78

この様式は円盤の真ん中にひとつ円ができ、縦に線が 1、2、3 本と入っていきます。計算に使った非整数倍音の比は表 4－4 に示しました。この非整数倍音は中心以外をたたくと必ず全部出ていました(例えば図 3－6)。不協和度を計算すると図 4－5 のようになりました。この図の谷をとってできた音階を表 4－4 の右の列に示しました。

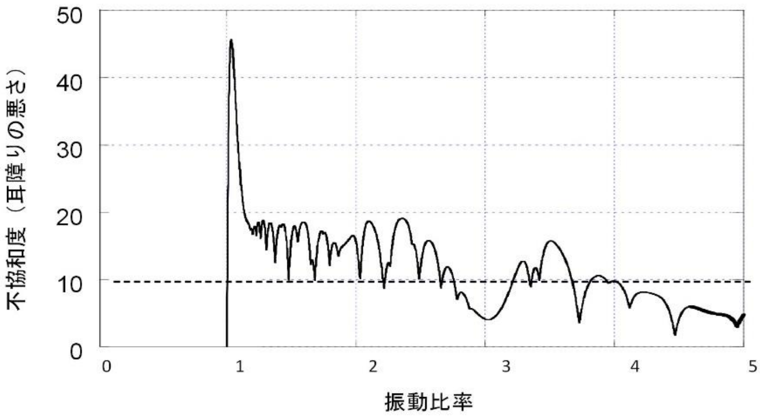

図4-5　円盤のピザとドーナツの混合様式（n=2〜9 1）の振動から出る非整数倍音の数字を入れて計算した不協和度曲線

この音階でも 14 番目の音階は最初の円盤が出す第 2 倍音（2.22）と一致します。それで、音階の 1 番目の円盤と 14 番目の円盤を 2 枚同時にたたけば協和します。この音階の協和度は振動比 2 倍まで、すべて 10 と 20 の間に入っています（図 4−5)。

ここまで述べてきた円盤の音階の特徴を振動様式別にまとめると、次のようになります。

	様式	音程間隔	不協和度
1	完全ドーナツ様式	間隔広い	低い
2	完全ピザ様式	間隔狭い	高い
3	ピザ･ドーナツ混合様式	間隔適度	適度

完全ドーナツ音階は不協和度の低い、つまりよく協和した音階ができますが、音程間隔がまばらです。完全ピザ音階では音程間隔は狭い音階ができますが、協和が良くありません。ピザ・ドーナツ混合では、その中間の音階ができました。

これらの不協和度を比較するために 3 つの不協和度曲線を重ねました（図 4−6)。ドーナツ様式の音階は、数は少ないのですが、その不協和度は振動比 3 倍までは非常に低いです。つまりよく協和する音階です。振動比 2 倍までは混合様式のほうが完全

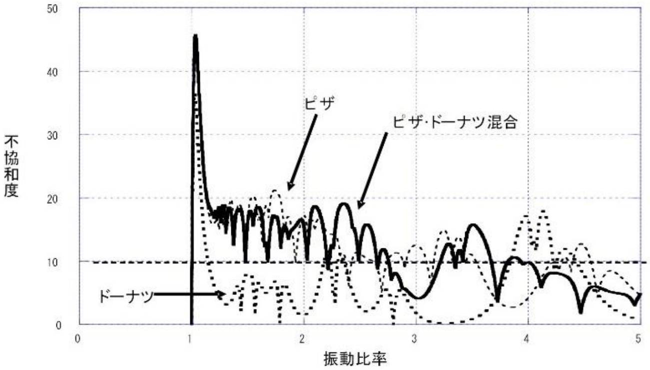

図4-6　円盤のドーナツ（0　1~6）、ピザ（2~9　0）とピザ・ドーナツ混合様式（2~9　1）の不協和度曲線の比較

ピザ様式より不協和度が低いことがわかります。これら 3 つの振動様式からできた音階は一長一短がありました。それらをドレミの音階と同じ土俵で比較することを次に考えます。

4　協和度から見た各音階の比較（協和度表）

3 つの方法（ドーナツ、ピザ、混合）でできた音階が音階同士でどれくらい協和するかを、比較することにしました。このために協和度表を作りました（詳しい説明は付録 4)。まず、ドレミの音階の協和度を示します（表 4－5)。

表4-5　平均律（ドレミ）の協和度表（9倍音まで）

音名	倍音列									一致数
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ド	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	8
ド#	1.059	2.119	3.178	4.238	5.297	6.357	7.416	8.476	9.535	7
レ	1.122	2.245	3.367	4.490	5.612	6.735	7.857	8.980	10.102	7
レ#	1.189	2.378	3.568	4.757	5.946	7.135	8.324	9.514	10.703	7
ミ	1.260	2.520	3.780	5.040	6.300	7.560	8.819	10.079	11.339	7
ファ	1.335	2.670	4.005	5.339	6.674	8.009	9.344	10.679	12.014	7
ファ#	1.414	2.828	4.243	5.657	7.071	8.485	9.899	11.314	12.728	7
ソ	1.498	2.997	4.495	5.993	7.492	8.990	10.488	11.986	13.485	7
ソ#	1.587	3.175	4.762	6.350	7.937	9.524	11.112	12.699	14.287	7
ラ	1.682	3.364	5.045	6.727	8.409	10.091	11.773	13.454	15.136	7
ラ#	1.782	3.564	5.345	7.127	8.909	10.691	12.473	14.254	16.036	7
シ	1.888	3.775	5.663	7.551	9.439	11.326	13.214	15.102	16.990	6
ド	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	18.000	6
								協和度比率		86.54%

ここでは左の列に音名を次の列に振動比を掲げました。ドから始まり、次がド♯です。ド♯は、ドより 1.059 倍（5.9％）振動数が高いです。音階番号 13 番の数字は、ちょうど 2.00 ですが、これは元の音の振動数のちょうど 2 倍高い音という意味です。すなわち 13 番目の 2.00 は、1 オクターブ上のドとなります。

行は倍音列（1～9）を示します。ここでは整数倍音列なので 1.00 の 2 倍 3 倍はそのまま 2.00（1.00×2）、3.00（1.00×3）となります。次の 2 列目のド♯では音階は元のドの 1.059 倍です。ド♯の第 2 倍音は 1.059 の 2 倍音なので 1.059×2＝2.119 となります。第 3 倍音は 1.059×3＝3.178 となります。これを進めていくと第 9 倍音は 1.059 の 9 倍で、9.535 となります。

このようにそれぞれの音階の倍音列を第 9 倍音まで書き出すと、表 4－5 が出来ます。ドの第 2 倍音は 2.000 ですが、この値は音階番号 13 番（1 オクターブ上のド）の基音である 2.000 と一致しています。この表は、表計算ソフトで簡単に作れます。

ソの比は平均律では 1.498 で完全に 1.500 ではありません。これは純正律と平均律の違いです。ここではこれ以上詳しくは述べません。両者の差はわずか 0.13％の違いです。平均律の半音は上にも述べましたように 5.946％です。ですから 0.13％は半音の約 50 分の 1 にあたります。この 2 音を別の音と区別できる人はほとんどいません。どれくらい離れれば 2 音を異なる音と認識できるのでしょうか。これを本書では 1.487％にしました。この値は半音の 1／4、すなわち 1／8 音に当たります。この基準は、モーツアルトの少年のころの逸話からとりました。彼は半音の 1／4 を聞き分けたといわれています。一般の人はこれ以内の 2 音のずれはわからないことにします。すると、表 4－5 の色づけができるようになります。

同じ色はどこか別の音階の、何番目かの倍音と協和するということを示しています。例えば、ドの 4 倍音は 4.000 ですが、ファの 3 倍音は、4.005 です。両者の違いはわずか 0.125％で 1.487％よりも小さいので、協和していることにします。このようにして、それぞれの音階が別の音階の倍音とどれくらい協和しているかを合計したものを協和度（％）と定めました。一番右下の数字はこの協和度を％であらわしたもので、86.54％となります。86.54％とは、ある音あるいはその倍音がそれ以外に 1 つ以上の

表4-6 ドーナツ様式（上段）とピザ様式（下段）から作られた音階の協和度表

	倍音列									
音階	1	2	3	4	5	6	7	8	9	一致数
1	1.00000	4.23100	9.64200	17.22200	26.96900	38.88300	52.96300	69.21000	87.62300	7
2	1.44200	6.10110	13.90376	24.83412	38.88930	56.06929	76.37265	99.80082	126.35237	2
3	1.56600	6.62575	15.09937	26.96965	42.23345	60.89078	82.94006	108.38286	137.21762	3
4	1.78600	7.55657	17.22061	30.75849	48.16663	69.44504	94.59192	123.60906	156.49468	4
5	2.27800	9.63822	21.96448	39.23172	61.43538	88.57547	120.64971	157.66038	199.60519	5
6	2.79700	11.83411	26.96867	48.16993	75.43229	108.75575	148.13751	193.58037	245.08153	4
7	4.03300	17.06362	38.88619	69.45633	108.76598	156.81514	213.59978	279.12393	353.38356	5
8	4.23100	17.90136	40.79530	72.86628	114.10584	164.51397	224.08645	292.82751	370.73291	0
								協和度比率		46.88

	倍音列								
音階	1	2	3	4	5	6	7	8	一致数
1	1.00000	1.92400	3.12900	4.61400	6.38100	8.42800	10.75600	13.36600	7
2	1.24200	2.38961	3.88622	5.73059	7.92520	10.46758	13.35895	16.60057	3
3	1.27700	2.45695	3.99573	5.89208	8.14854	10.76256	13.73541	17.06838	3
4	1.32000	2.53968	4.13028	6.09048	8.42292	11.12496	14.19792	17.64312	4
5	1.38300	2.66089	4.32741	6.38116	8.82492	11.65592	14.87555	18.48518	3
6	1.47400	2.83598	4.61215	6.80104	9.40559	12.42287	15.85434	19.70148	3
7	1.58600	3.05146	4.96259	7.31780	10.12027	13.36681	17.05902	21.19848	2
8	1.62600	3.12842	5.08775	7.50236	10.37551	13.70393	17.48926	21.73312	4
9	1.68400	3.24002	5.26924	7.76998	10.74560	14.19275	18.11310	22.50834	2
10	1.82600	3.51322	5.71355	8.42516	11.65171	15.38953	19.64046	24.40632	4
11	1.92400	3.70178	6.02020	8.87734	12.27704	16.21547	20.69454	25.71618	3
							協和度比率		49.35

音と協和している、という割合が全体で 86.54％ということです。この平均律のドレミの協和度表で特徴的なことは、第 7 倍音の約半分の音階はほかの音と協和しないことです。そのため、第 7 倍音の列の後半は白くなります。

一方、ドーナツ様式の倍音列を 9 つまで採用したときの音階の協和度を調べた結果は、表 4−6 上段に示しました。ちょうど音階番号 1 の第 2 倍音が 4.231（赤色）なので、音階として 4.231 が出てくる第 8 番目までの音階を使って計算してみました。その協和度は 46.88％と平均律に比べると大きく劣ります。

ピザ様式の倍音列を 8 つまで採用したときの音階の協和度は表 4−6 の下段に示しました。この場合、基音の第 2 倍音（1.924、赤色）が音階に出てくる第 11 番目の音階までを使って計算しました。その結果、右下に示した協和度の数字は 49.35％となりドーナツ様式より少しだけ上です。

表4-7 ドーナツ・ピザ混合モードから作られた音階の協和度表

	倍音列										
音階	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	一致数
1	1.00000	2.21600	3.72600	5.51400	7.57400	9.89900	12.48700	15.33400	18.43700	21.79500	9
2	1.18200	2.61931	4.40413	6.51755	8.95247	11.70062	14.75963	18.12479	21.79253	25.76169	4
3	1.20200	2.66363	4.47865	6.62783	9.10395	11.89860	15.00937	18.43147	22.16127	26.19759	4
4	1.22800	2.72125	4.57553	6.77119	9.30087	12.15597	15.33404	18.83015	22.64064	26.76426	4
5	1.26100	2.79438	4.69849	6.95315	9.55081	12.48264	15.74611	19.33617	23.24906	27.48350	5
6	1.30700	2.89631	4.86988	7.20680	9.89922	12.93799	16.32051	20.04154	24.09716	28.48607	5
7	1.37300	3.04257	5.11580	7.57072	10.39910	13.59133	17.14465	21.05358	25.31400	29.92454	5
8	1.47900	3.27746	5.51075	8.15521	11.20195	14.64062	18.46827	22.67899	27.26832	32.23481	7
9	1.54900	3.43258	5.77157	8.54119	11.73213	15.33355	19.34236	23.75237	28.55891	33.76046	6
10	1.68100	3.72510	6.26341	9.26903	12.73189	16.64022	20.99065	25.77645	30.99260	36.63740	6
11	1.79500	3.97772	6.68817	9.89763	13.59533	17.76871	22.41417	27.52453	33.09442	39.12203	5
12	1.86100	4.12398	6.93409	10.26155	14.09521	18.42204	23.23831	28.53657	34.31126	40.56050	6
13	2.03100	4.50070	7.56751	11.19893	15.38279	20.10487	25.36110	31.14335	37.44555	44.26565	7
14	2.21600	4.91066	8.25682	12.21902	16.78398	21.93618	27.67119	33.98014	40.85639	48.29772	8
									協和度比率		64.29

最後に、ピザ･ドーナツ混合モードの倍音列を 10 個採用したときの音階の協和度を表 4−7 に示しました。その協和度は 64.29%で完全ドーナツ、完全ピザ様式よりも高いです。しかし、平均律には劣ります。

このように作られた新しいオクターブ内で協和する割合を比べると平均律の音階が、円盤で作られたどの音階よりも優れていることがわかります。しかし、円盤の音階の一致数（表の一番右の列）を見ると、どの音階もどれか 1 つ以上の別の音階のどれかの倍音と必ず協和しています。ですから、いわゆる和音という組み合わせが、円盤の音階でも実現できます。

例えば、完全ドーナツ音階（表 4−6 上段）で言いますと、音階番号 1 の第 4 倍音は、17.222 ですが、これは音階番号 4 の第 3 倍音（17.21883）および音階番号 7 の第 2 倍音（17.06362）とほぼ一致しています。このことは音階番号、1、4、7 の 3 つの円盤を同時にたたくと、3 者は協和することを意味しています。

また同じく音階番号 1 の第 5 倍音は、26.988 ですが、これは音階番号 3 の第 4 倍音（26.96965）音階番号 6 の第 3 倍音（26.96588）とほぼ一致します。このことは、音階 1、3、6 の円盤を同時に叩けば協和することを意味しています。

このことから、例えば、音階番号 1、3、4、6、7 の 5 つの円盤を同時にたたくと、これら 5 つの音が互いに協和する可能性を秘めています。

５　新しいオクターブ　（循環音階）

音階の作成の前節で何度も出てきましたが、ヘルムホルツの不協和度計算で谷間から出した音階には、偶然か必然か必ず元の音の第 2 倍音が含まれます。そこでこれを新しい折り返しとして、その上にさらに音階を積み上げました。

平均律のドレミでドの音の 1 オクターブ上の音はドですが、1 オクターブ上のレは次のようにして求めます。ドが 1.000 ならば 1 オクターブ上のドは 2 倍の 2.000 でした。レはドの 1.12246 倍の振動数の音なので、1.12246 を 2 倍すると 2.24492 倍となります。これで 1 オクターブ上のレができました。このように平均律では 1 オクターブ上のドの上に同じ比率で音を積み重ねて次の音階を作っています。

そこで同じようにピザ･ドーナツ混合様式の音階の 2 オクターブ目の音階を作りました。1 オクターブ上の音は 2.22 でした。そこで音階番号 2 の数字 1.18 に 2.22 を掛けます。すると 2.62 という数字が得られます。これが 15 番目の音階となります。これを繰り返すと、表 4－8 になります。

表4-8　循環音階の作成

音階番号	第1音階	第2音階	第3音階
1	1.00	2.22	4.93
2	1.18	2.62	5.83
3	1.20	2.66	5.92
4	1.23	2.73	6.06
5	1.26	2.80	6.21
6	1.31	2.91	6.46
7	1.37	3.04	6.75
8	1.48	3.29	7.30
9	1.55	3.44	7.64
10	1.68	3.73	8.28
11	1.80	4.00	8.87
12	1.86	4.13	9.17
13	2.03	4.51	10.01
14	2.22	4.93	10.94

全部で 3 つ列がありますが、左から 2 番目の列が元の音階で、3 番目の列がひとつ上の音階です。4 列目がもう一つ上の音階です。これを続けていけば、無限にこの音階を繰り返せます。2 オクターブの中に 2７個の音がありますが、これで協和度をもう一度計算してみます。比較のために平均律のドレミも 2 オクターブで協和度を計算しました（付録 5)。

その結果、平均律の 2 オクターブの協和度は全体で 96.0％と 1 オクターブのときより若干増えました。ピザ･ドーナツ様式の音階は 2 オクターブの音階では全体の協和度が 88.0％と飛躍的に向上しました。

以上の検討から、円盤の代表的な音階はピザ･ドーナツ混合様式の音階を 1 オクターブを 2.22 として重ねて作ることにしました。本当は “オクターブ”には 8 という意味が含まれています。ドレミファソラシドは全部で 8 音あるので 8 を意味するオクタというギリシャ語が使われているからです。

ここで示した音階は同じ比で積み重なっていきますので、循環音階ともいえます。表 4－8 の右の列の音階は第 2、第 3 循環音階というべきでしょう。

６　オクターブ（音階の折り返し）は 2.00 を越えてよいのか

ピザ･ドーナツ混合様式の循環音階の折り返しは 2.22 としました。平均律では 2.00 です。2.00 ではない 2.22 という比が、円盤楽器の新しいオクターブ（音階の折り返し）になります。これは音階の区切りとしてよいのでしょうか？

アメリカ･ウィスコンシン大学のセザレス教授は、2005 年に面白い実験結果を発表しています。セザレス教授は 2 つの音を作りました。1 つは、450 Hz を基音にして、上にその整数倍音である 900、1350、1800 Hz の音を含む音、2 つ目は 900 Hz を基音にして、上に 1800、2700 Hz の整数倍音を含む音、この 2 つの音をシンセサイザーで作りました。整数倍音が含まれている 2 つの音を一緒に被験者に聞かせると被験者は全員、「900 Hz の音は 450 Hz の 1 オクターブ上の音」と認めました。次に 450 Hz の振動音のみ、900 Hz のみの振動音だけを人工的に作り（弦で作ると自然に整数倍音が含まれてしまうのでシンセサイザーで人工的に作ります)、被験者に両者を聞かせると、被験者は 900 Hz は 450 Hz と合っていないと判断します。900 Hz から少しずつ音を上げて、「どこが合いますか」と尋ねると、945 Hz（基音 450 Hz の 2.1 倍）の音が、整数倍音をふくまない 450 Hz の 1 オクターブ上の音と認めることを明らかにしました。彼はこれをもって、「オクターブは死んだ」と言っています。

このなぞは次のように説明できます。450 Hz の音を弦で作ると整数倍音が自動的に出るので、その音は 900、1350、1800 、2250、2700 Hz の音を自動的に含みます。そこでこの音を、同じく整数倍音を含む 900 Hz（倍音に 1800、2700 Hz を含みます）の音と一緒に聞かせると、2 つの音は協和しているように聞こえるのです。なぜなら 450 Hz の第 2 倍音 900 Hz はまさに、900 Hz の基音と一致しています。900 Hz の第 2 倍音 1800 Hz は 450 Hz の第 4 倍音と重なります。900 Hz の第 3 倍音は 450 Hz の第 6 倍音（2700 Hz）と一致します。

ところが 900 Hz や 1350 Hz の<u>整数倍音を含まない 450 Hz</u> の音を作り、同様に<u>整数倍音を含まない 900 Hz</u> の音を作り、両者を聞かせると、私たちの耳には 1 オクターブとは判断できないのです。つまり私たちが当然と思っていた 1 オクターブという絶対的な音階の区切りは、「整数倍音を含む音にだけあてはまる」ことをセザレスは述べています。逆に言いますと、これまで述べてきた基音の 2.216 倍の音を一区切りとする循環音階は、ヒトの脳が一区切りと判断すればそれでよいといえます。しかし、ヒトの脳はそんなに簡単に新しい区切りを受け入れることができるのでしょうか？

脳のある部分に振動数地図が存在することが知られています。ラット（ネズミの一種）の実験ではありますが、脳の振動数地図が学習によって書き換えられることが示されています（ワインバーガー、2005)。つまり、音の高さの捉え方は、学習や習慣によって変化することを示しています。この結果は、人の脳でも整数倍音しか受け付けないのではなく、それ以外の音（非整数倍音あるいはそれを基にした音階）も受け入れる可能性を示しているといえるでしょう。ただ、普段からどういう音に囲まれていて、どの音に注意を向けているかが重要であることを示しています。ベトナムのゴングの音階に 2.00 倍のオクターブがないことは、弦ではなく平面楽器を使っているからかもしれません。しかし、現代のベトナムの若い人は整数倍音の音楽に囲まれています。

また、ヒトが音の高さを判断するのは左脳の側頭部らしいのですが（Ball、2010)、もともと絶対音感を持っている人は 100 人に 1 人くらいで、ヒトは相対的な音の高さには敏感です（Powell、2011)。したがって、どのような音階でも、相対的な音の高さ

の並び方が重要です。必ずしも 2 倍高い振動数を 1 オクターブとする音階を作る必要はないかもしれません。

表 4－3 に示したピザ・ドーナツ混合様式の音階は、各音階の間隔が平均律のように均一ではありません。複雑です。平均律では各音階の間隔はすべて前の音の 1.05946 倍となっており単純で均一です。

この章の最後に、新しい音階を用いて PAD で作られた音楽が聴ける QR コードありますが、これを聴いてドレミではない音階で作られたことに気づく人はどれくらいいるでしょう。何の違和感もなく受け入れられるかもしれません。

7　ポリゴノーラの材質と設計について

最後にポリゴノーラの楽器の性質について述べたいと思います。ポリゴノーラには以下の 4 点が重要です。

① 素材
② 厚さと大きさ
③ 支持
④ 演奏する道具

以下にこの順番で解説します。

① 素材

ポリゴノーラの素材には、金属、ガラス、木材、プラスチックなどがあります。また金属でも、鉄、銅、青銅、真鍮、アルミなど多数ありますが、どのような響きを求めるかで素材が決定します。その要因は、響き（余韻）と音色です。それぞれの素材について簡単に記します。

1．金属

鉄：　普通の鉄（軟鉄）は響きが悪いです。これは鉄が結晶構造をしていないことと関係しているかもしれません。鉄は粘りがあり強靭なので、ギターやピアノの弦として使われています。しかし、軟鉄は硬くはないのです。そのためか、円盤にしてたたいてみても余韻に乏しいです。ステンレスや炭素含量の高い「鋼鉄」は響きがよくなります。しかし普通のステンレス（SUS304 など）では、少し単純な倍音構成となる傾向があります。そのため音色が単純で、くすんだようになります。炭素含量の高い鋼鉄製の円盤では余韻は長いのですが、隣接した共鳴ピークが融合せず個別に振動するので、隣接したピークから生じる唸りなどが気になることがあります。

銅：　全くポリゴノーラに向いていません。余韻がないのは軟らかいためと思われます。また軟らかいので、たたくと変形します。そのため基本的にはポリゴノーラに向いていません。

真鍮：　真鍮は銅と亜鉛の合金です。いろいろな硬さがつくれます。硬いので伸び率が銅よりも低いです。オーケストラで使われる多くの金管楽器やシンバルは真鍮で造られています。円盤にしてたたくと、音色が少しにごります。あまり硬くはないので、たたいていると変形します。ジャズなどで使われる、シンバルは真鍮で作られていますが、たたいたり、伸ばしたり、裏返したりして、表面が硬くなるように作られています。

青銅：　青銅は銅と錫（スズ）の合金で硬いです。最近ではリンを少し加えて腐食しないリン青銅が利用されています。リン青銅でポリゴノーラを作ると理論通りの振動（音）がすべて出ます。また余韻は長く、音色としては豊かです。薄いポリゴノーラを作るのは、鋳造では難しいでしょう。隣接した共鳴ピークが融合する傾向があるので、鉄とは異なり、唸りの少ない澄んだ響きがします。昔から、青銅が銅鐸、お寺の

鐘の材料として使われたのもうなずけます。

アルミ： 余韻が短く、響きはよくありません。また、変形に対しては強くないので、薄い円盤にはできません。アルミの合金でアルミより硬いジュラルミンならポリゴノーラができる可能性はあります。

2　ガラス： ガラスにもたくさんの種類がありますが、普通のガラスでは 3 ミリ以下ではたたくと割れやすいです。パイレックスでは 5 ミリくらいの厚さなら普通のマレットで十分たたけます。ただし、響き（余韻）はありません。ガラスはその構造が結晶ではないからかもしれません。また、ポアソン比（物質の性質を表す指標の一つ）は大方の金属（0.30～0.35）より低く，0.23 です。不思議なことに、ガラスの円盤は中心をたたくとほとんどドーナツ様式だけが出て、端をたたくと、ほとんどピザ様式だけが出ます。そのため中心を外してたたくと、中心よりも低い音［(20）様式の音］が主に出て、中心をたたいた時に出る基音よりも極端に低い音が出ます。たたいた音は木琴に近いので、余韻の少ない音です。特殊な楽器として使える可能性はあります。しかし、たたいて割れた時のことを考えるとポリゴノーラとしてガラスを採用するのは現実的ではないでしょう。

3　木： 金属に比べて硬くないためか、振動様式の種類が少ないです。そのため単純な響きがします。また余韻が短いです。ただし、樹種によって硬さに大きな差があります。例えば、カシ（樫）はキリ（桐）の 3 倍の硬さがあります。硬い木はポリゴノーラ楽器としてかろうじて成立するでしょう。全般的に木はプラスチックよりやや硬いです。

4　プラスチック：木と同じでやわらかいプラスチックは全くポリゴノーラに向きません。硬いといわれるポリカーボネートや、アクリル樹脂でも金属に

は、はるかに及びません。

5　サヌカイト：香川県に世界に唯一存在するといわれるサヌカイトという石があります。わずかに水を含む石で、厚さ 1 センチくらいの円盤にするとよい音がします。ガラスに似た音がして、余韻はそれほど長くありません。金属とガラスの中間といった音色がします。

これらのことから、ポリゴノーラの素材として金属が向いているのではないかと考えられます。そこでこれらの素材の性質を図 4−7 にまとめました。縦軸の伸び率は、素材を引っ張って、切れるときの最大の伸び率で、伸びやすさを表します。横軸の引っ張り強さは、引っ張りに耐える強さを示します。

リン青銅には銅と錫の配合率によりいろいろな種類があるので、それらをまとめて楕円で囲った点で表しています。この位置を見ると、リン青銅は伸び率が低く、引っ

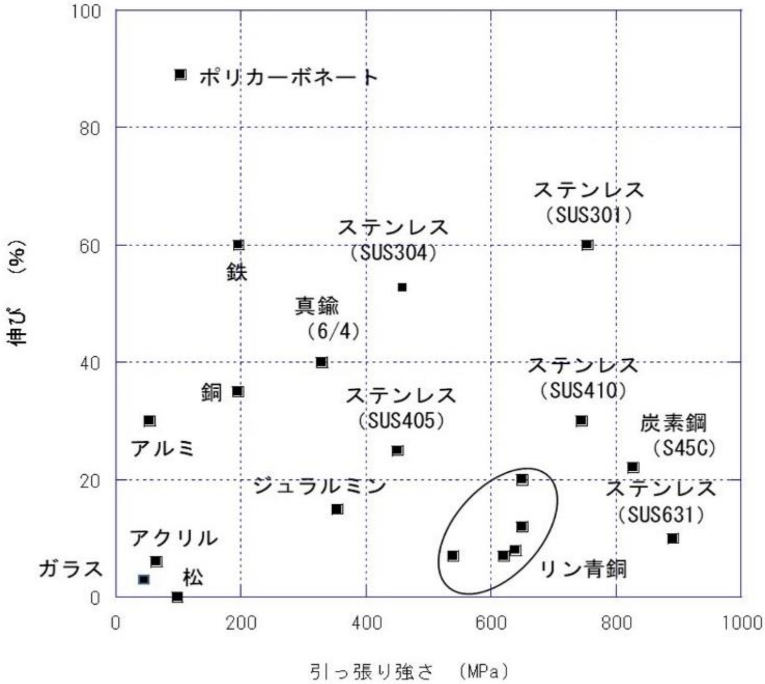

図4-7　いろいろな素材の引っ張り強さと伸び率

張り強さではステンレスなどのグループと同じくらいの高い値を持っています。リン青銅の引っ張り強さは普通の鉄の 3 倍ほどあります。昔から銅鐸やお寺の鐘に青銅が使われていたことは、偶然ではないと思われます。

引っ張り強さで見るとアルミ、銅、鉄などは金属なのに、ガラス、ポリカーボネート、アクリルに比べ高々2 倍程度の強さしかありません。それに比べ真鍮やジュラルミンは引っ張り強さが鉄などに比べてさらに 2 倍強いです。リン青銅、炭素鋼、ステンレスの 3 種類の金属はジュラルミンよりさらに 2 倍以上強いです。傾向としてはやわらかい銅、鉄は伸びやすく、硬い青銅、炭素鋼、一部のステンレスは伸びにくい傾向があります。

リン青銅には錫の配合率の違うたくさんの種類がありますが、どれも鉄の 3 倍、ジュラルミンの 2 倍ほどの強さがあります。リン青銅は伸びが少なくたたいてもあまり変形しない利点もあります。それで、昔から打楽器としては青銅が評価されてきたのでしょう。青銅以上に硬くて伸びにくい金属、例えば炭素鋼やステンレスは昔はありませんでした。

倍音の出方は金属では本質的に変わりません。試した材質ではガラスとサヌカイトが、少し別の音色がします。本書で示したいろいろなポリゴノーラのデータはリン青銅（合金番号 C5191、質別 H）で作ったポリゴノーラでとられたものです。結局、リン青銅の腐食しにくく、硬くて伸びにくい性質がよい音色と余韻を生むのでしょう。

②　楽器の厚さと大きさ（円盤の場合）

円盤の厚さは倍音構成に影響を与えます。直径に対する円盤の厚さの比が大事です。

実際の円盤楽器を作るときは、音の高さを決めるうえで、厚さだけでなく円盤の直径も考えねばなりません。円盤の直径は次の式で計算できます。

$$\text{円盤直径} = \frac{2\times\lambda}{\sqrt{2\pi f}}\left\{\frac{Eh^2}{12\times\rho\cdot(1-\sigma^2)}\right\}^{(1/4)}$$

ここで、λは振動様式の固有値と呼ばれるもので、この場合は基音の様式の振動数を目標振動数にしますので、(0　1) 様式の固有値 (3.019) を代入します。f は目標振動数 (Hz) です。例えば、ド (C4) を目標とすれば、261.63 を代入します。E は素材のヤング率です。青銅の場合、110×10^{9} (Pa) の値です。h は円盤の厚さ、ρは密度、σはポアソン比と呼ばれるものです。ポアソン比は正確に測ることは難しく、大体の値 0.33 を用います。

この式を音の高さでまとめると以下のようになります。

$$\mathrm{f}=\frac{h}{D}\times\frac{2\lambda^{2}}{\pi^{2}}\sqrt{\frac{E}{12\times\rho\ (1-\sigma^{2})}}$$

f が音の高さ (周波数)、h が厚さ、D が円盤の直径です。

この式から 2 つのことが分かります。

(1) D (直径) 分母にあるので、直径が大きいほど低い音がでる

(2) h (厚さ) が分子にあるので、同じ直径でも厚さが薄いほど低い音が出る

(1) については、ピアノの一番左の鍵盤はラ (27.5 Hz) の低い音を出しますが、これと同じ音を出すためにはリン青銅の円盤なら厚さ 2 ミリなら直径が 96 センチと計算できます。

(2) については、例えば同じ直径が 10 センチの円盤でも厚さが 2 ミリなら 1265 Hz の音 (ミ) が出ますが、厚さが 10 ミリならその 5 倍の 6323　Hz の音が出、これはピアノの最も右の鍵盤 (4186 Hz) よりさらに高い音となります。

直径と厚さの比はポリゴノーラの音色に大切です。同じ厚さで大きな円盤と小さな円盤を作ると、小さな円盤の方が厚さに対する直径の比が小さくなります。この場合小さな円盤からは倍音に乏しい音色が出ます。したがって直径が小さな円盤で豊かな倍音を出すには厚さを薄くする必要があります。厚さと直径の比は、大体 100 くらいがよいと思われます。厚さが 2㎜ なら直径は 200 ㎜です。直径が 100 ㎜なら厚さは 1 ㎜です。

③　円盤の支持の方法

第 3 章 3 節でも述べましたが、ポリゴノーラが楽器としてすばらしい音を発することができたのは、円盤の支持の仕方に大きく依存します。中心を棒で止めてしまうと、ドーナツ様式の音がまったく出ません。

ポリゴノーラ円盤をガムランのボナンと同様に 2 本のロープで支えてみました。ある程度の音はしますが、余韻がよくありません。振動する円周部分にロープがさわるからでしょう。3 本の針の上に円盤を支持してみましたが、針と円盤の間でビビリが生じます。また針で支えるということはそこに重さが集中するので、特定の振動様式の振動を強く抑えるので使えませんでした。そこでいろいろなスポンジを試しましたが、どれも音がくすみ、よくありません。昔、お風呂で体をこするのに使ったヘチマも試しました。これはかなりうまくいきましたが、「激落ちくん」にはかないませんでした。

「激落ちくん」は白いスポンジのような形をしています。お掃除道具の一種としてお店で売っています。「激落ちくん」は、メラミン樹脂を泡状（フォーム）にしたものです。「激落ちくん」を高さ 1.5 センチ、直径 2 センチくらいの円柱状に切って、3 本のアルミ円柱の上に置きポリゴノーラを乗せるといい音がします。中心をたたいても端をたたいても、余韻の長い澄んだ美しい音色がします。

また厚さ 1 センチ、縦 20 センチ、横 10 センチほどの長方形の木板を十字型に組み、十字の上 4 か所に「激落ちくん」を両面テープで貼り付けてポリゴノーラをおく方法もあります。アルミの棒の上でも、木の板の上でも、机から 10 センチほど離すことが重要です。あまり机に近いと、音がこもります。

「激落ちくん」を使う方法には、ひとつだけ難点があります。大きくて、重いポリゴノーラは、たたいても動かないのですが、小さくて軽い円盤はたたくと動き、最悪の場合は下に落下します。小さいポリゴノーラは重量が軽いので、たたくと「激落ちくん」の上で跳ねるのです。

たたいてもポリゴノーラが落ちないように、糸でつるす方法があります。実際に円盤の端にひとつ穴を開け、糸で吊るしてたたくと、いい音がするのですが、一度たたくと円盤がくるくる回り2回以上たたけません。そこで、第3章5節で説明した、円の節円の位置に注目することにしました。中心から 0.679 離れた位置の円状の位置に正方形の頂点で４つ穴を開け、糸でつるしてたたいてみました（図4−8)。この場合、0.679の位置に糸を通しているので、基音の振動（0　1）は保証されます。

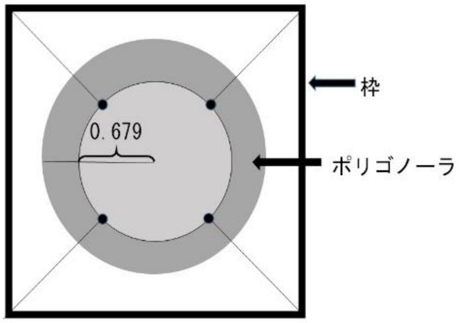

図4-8　円盤を糸で吊るす方法
　中心から半径の0.679離れた所に正方形の頂点を置き、穴をあけて糸で吊るした。

また、4 点で支えているので、n＝1、2 の振動は保証されます。ですから（0　1)、（1　1)、(2　1) の振動は妨げられません。ただ、図3−6 と比べると、(1　1) (2　1) など、0.679 のところに円が1つできる様式が、少し増強されます。

※激落ちくん®　はレック株式会社の登録商標です。

④　演奏する道具の選択

たたく道具としては、マリンバやビブラホンで使われる、毛糸などが先に巻いてある撥（マレット)、祭囃子で使われる鉦をたたく小さな鹿の角、仏具の鉦をたたくための撞木（一心など)、あるいは木魚をたたく撥などがあります。ポリゴノーラは、たたくものに応じて音色が変わります。硬いものでたたくと、高い倍音が出やすいです。軟らかいものでたたくと、高い倍音が抑えられ軟らかい音がします。これは、面が軟らかいとたたいた瞬間に撥の打面が広がるので、細かい振動様式、つまり高い音が出にくいからと思われます。

細かい振動様式とは、たとえば (10　0) のようなピザ振動様式です。この場合は円盤に 10 本の直線が現れます。直径が 10 センチの円盤では、節線と節線の間隔は中心

から 1／4 のところでわずか 4 ミリです。軟らかいものでたたくと、この節線を 1 本以上同時にたたいてしまいます。そこでこのピザ様式の高い音が出にくくなります。一方、硬いと尖ったものでたたくとこのピザ様式の高い音は、はっきり出ます。つまり高い音がたくさん出ることになります。音色としてはキンキンしたハードな音がします。逆に軟らかい物でたたくと高いのピザ倍音が出ないので、ソフトな軟らかい音がします。

また面が軟らかい物でたたくと、音が高くて振動が速い場合、次の振動が起こっても、まだ表面にたいたものが接触したままの可能性があります。硬いものならすぐに跳ね返りますが、軟らかいものは、たたいた直後の短い時間、振動面に接触したままになります。これも、高い倍音が出にくくなる原因です。たとえば金属、木、ゴムでたたいた場合は、この順番に音がソフトになります。たたくものが軟らかいと高い倍音の振動が妨げられるからと思われます。

最後に灰野敬二氏により発見された、たたいた後に見られる不思議な現象についてご説明します。円盤をたたいた後、手のひらを円盤の近く（1 センチ程度）にかざすと、手のひらに振動が伝わってきます。これを水平に動かすと、音にビブラートがかかります。手の指を広げるとその現象は起こりません。おそらくドーナツ様式の音が手のひらで干渉を受けているようですが、詳しいことはわかりません。これをはっきりさせるためには、放射される音を目で見えるようにしなければなりません。残念ながら空気中を伝わる音を目で見る方法はまだ発明されていません。

もうひとつ不思議があります。円盤の端をたたくと、（2　0）振動様式の音が強く出ます。この音は基音よりも低いですが、そのままでは大変聞き取りにくいです。ところが耳を円盤の水平面に近づけると低い音がはっきりと聞き取れます。（2　0）の音は、円盤の表面、裏面ではほとんど聞こえないのに、境面のごく狭い範囲だけで聞こえるのです（図 4−9）。

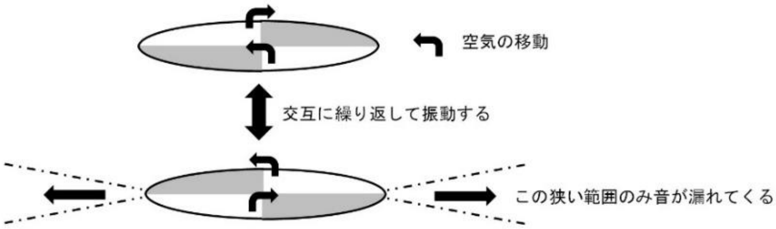

図4-9　（2　0）様式の音が円盤の上下方向で聞こえず、赤道面でのみ聞こえる理由
白い部分は上に持ち上がり、色の付いた部分は下に下がっている状態を示します。
円盤の表面と裏面では、振動が相殺されて音が出ません。

これはおそらく位相の問題です。つまり音を波と考えれば、山と谷が消しあうのではないかと思われます。これは次のように説明できます。

（2　0）では、図4−9の影に分けたところ1／4の面が上に振動した場合、その両隣の白い2面は下に振動し、もう一つの影の1／4は上に振動します。次の瞬間はこれが逆転するのですが、よく見ると隣同士が反対の振動を、つまり影が上なら白は下に振動します。そうするとその間では空気が押されたり引かれたりするだけで、振動として、つまり音として放射できません。しかし円盤の端では水平面で相殺されない音がわずかに漏れて、円盤の水平面に放射状に広がり、少し聞こえるのではないかと思われます。

水平面のわずかに聞こえる（2　0）の振動をしっかりと拾い取るために、円盤の端にピエゾ素子を貼り付けました。ピエゾ素子とは、振動を電圧に変えるもので、アコースティックギターなどに取り付けられています。

ピエゾ素子を円盤の端に取り付け、円盤の端をたたいて、その振動をアンプを通してスピーカーで聞くと、西洋の教会の鐘の音がしました。

円盤型のポリゴノーラでは端をたたくと西洋の教会の鐘のような音がし、中心をたたくと日本のお寺の鐘に似た音がすることがわかりました。日本のお寺の鐘は西洋の教会の鐘とは形が違います。西洋の鐘は先がラッパのように広がっていますが、日本の鐘は先端がそのままで円筒形です。日本の鐘は円盤をすぼめたような形をしています。円盤のポリゴノーラの端から1／4くらいをたたいた音が、日本の鐘に近いのかもしれません。日本の梵鐘については次の章に記します。

参考文献

ワインバーガー、N.M.（2005）脳を揺さぶる音楽、日経サイエンス 2005 年 3 月号

Ball, P. （2010）音楽の科学ー音楽の何に魅せられるのか？ー（夏目大訳）河出書房

Leissa, A. （1993） Vibration of Plates, Acoustical Society of America.

Powell, J.（2011）響きの科楽、（小野木明恵訳、早川書房）

Rossing, T. D. （1983） ティンパニーの物理学、楽器の科学、日経サイエンス

Sethares, W. A. （2005） Tuning, Timbre, Spectrum, Scale, Springer.

Taylor, C. （1992）音楽と楽器の科学ー音の不思議をさぐるー（佐竹淳･林大訳）
大月書店

コラム4　　ポリゴノーラの音を PAD に割り付ける

〜〜

これまで、ポリゴノーラをたたく場所、たたく道具によって、さまざまな音色が出ることを説明してきました。ポリゴノーラの音は実際に楽器をたたいて聞くのが一番ですが、青銅製の楽器は制作費が高くつくので、デジタル技術を使って、簡単にポリゴノーラの音が再現できないかを考えました。そこで最近のデジタル技術を利用して、MIDI パッドコントローラー（以下 PAD と略）に円盤のポリゴノーラの音階を割り付けてみました（下図)。そのためには、たたく場所とたたく道具を選ばねばなりません。

試しに採用した、たたく場所と、道具は次の通りです。

たたく場所：　中心から 3/4（端から 1/4）

たたく道具：　2 種類　　一心（材料　木製、仏具用）

マレット（材料　毛糸、マリンバ用）

表１　PAD用16音

音階番号	音高比率
1	1.00
2	1.06
3	1.12
4	1.17
5	1.23
6	1.29
7	1.31
8	1.36
9	1.41
10	1.47
11	1.53
12	1.59
13	1.65
14	1.71
15	1.81
16	1.87

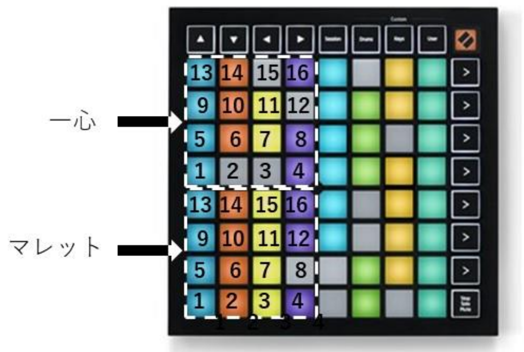

図1　PAD（Novation Launchpad Mini）への割り付け
左下の破線の16キーはマレットの音をサンプリングして作った音階。左上16キーは一心の音をサンプリングして作った音階。

たたく場所に選んだ中心から 3/4 という場所は、様々なモードの音がバランスよく出る場所です。たたく道具として選んだ一心とマレットは、それぞれ特徴のある音色を作ります。

音階は円盤ポリゴノーラの倍音を 15 個使って 16 音作りました。その

音階は、表 1 の通りです。音階の協和度は 86.6%でした。PAD への割り付けは図のようにしました。それぞれの音は、計算された音高に近い円盤ポリゴノーラの音をまずサンプリングし、そのあと音楽ソフトで音高を調節して決めた音高に合わせました。マレットはソフトな音色、一心はシャープな音色がします。本物の音に比べて、低音があまり聞こえない欠点はあります。

和音の組み合わせの例としては、

«1-14-16»　«1-5-8»　«2-4-6-12»　«3-5-13»　«3-9-11»

«2-15»　　«5-8»　«6-9»　«7-15»　«13-15»

などがあります。

下の QR コードから、PAD に振り分けた音を使って作曲された音楽（『PAD-Polygonola Demo I & II』作曲・演奏：一ノ瀬トニカ）が聴けます。これを聞くと、この音楽で使われているポリゴノーラの音階がドレミではないことにほとんど気づきません。

PAD-Polygonola Demo I　　　PAD-Polygonola Demo II