

## 第3章 平面楽器、ポリゴノーラの誕生

(ポリゴノーラの音源 QR コード)

### 1 ポリゴノーラの名前の由来

生物は時間とともに変化します。人間なら歳を取り、果物なら腐ります。しかし、金属や、乾かした木はなかなか朽ちません。オーケストラで見られる弦楽器や金管楽器は200~300年前の古いものがたくさんあります。そこで平面の楽器も木や金属で作ることを考えました。作ってみるとその音の高さは数百 Hz という人の耳にちょうどよい高さになりました。

まず円盤楽器から作り始めましたが、その後正三角形、正方形、正五角形、正六角形の平面楽器も作りました。だんだん種類を増やすに従い、その楽器に名前をつける必要が出てきました。正三角形はもっとも辺の少ない平面です。辺の数は正方形は4、五角形は5、六角形は6です。どんどん辺の数を増やしていくと、最終的には円になります。つまり”無限多角形”を円と考え、この平面楽器に総称として「ポリゴノーラ (Polygonola)」という名前をつけることにしました。Polygonとはギリシャ語で“多角形”を意味する言葉です。Olaというのはスペイン語で“波”を表します。“多角形”の平面楽器から音の“波”を出すので、Polygon-ola つまり「ポリゴノーラ (Polygonola)」を造語しました。

正三角形は、トリゴノーラ、と名づけてもいいでしょう。“三”は“Tri”なので“Trigonola”です。四角形 (Quadrangle) は、クアドローラ (Quadrola)、五角形 (Pentagon) はペンタゴノーラ (Pentagonola)、六角形 (Hexagon) はヘキサゴノーラ (Hexagonola) となります。円盤は、Disc なのでディスコーラ (Discola) です。

以下の節では、まず円盤が出す音について詳しく説明します。

## 2 円盤の振動の様式（クラドニ図形）

スイカを振動させたときに風船を上から押ししたり引っ張ったりしたように震えるという説明をしました。そこで、円盤をたたくとどんな音や倍音が出るのか、音が出る時円盤はどのように震えるかを調べました。このときに大いに役立つのが、クラドニという人が発見した方法です。

クラドニ (E. F. F. Chladoni, 1756~1827、ドイツの物理学者) は、平面の振動の様子が眼に見える方法を記しました。振動している平面に砂をまくのです。すると振動するところは砂が跳ねるのでその場所にとどまれません。振動しない場所があればそこに砂が移動して集まります。フライパンを使った実験を図3-1に掲げました。

フライパンの底に白い砂を敷いて底の一か所をきまった振動数(音)で振動させてみると、いろいろな砂の模様ができます。図3-1の(ア)では、1081 Hz という振動(音)でフライパンの底を振動させました。するとフライパンの縁に砂が集まり、白いドーナツのような環状の模様ができました。これはフライパンの周縁は振動していないが、まんなか付近が激しく振動して砂がそこから弾き飛ばされ縁に集まったこ

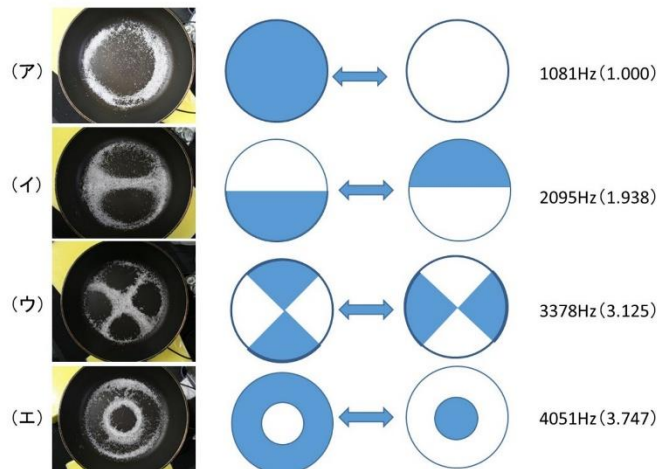


図3-1 クラドニの図 フライパンに砂を敷きフライパンの下から振動を与えた。

とを意味します。その様子を右の模式図に示しました。つまり（ア）では、ある時はフライパンが紙面の下にへこんだ状態ですが、次の瞬間には紙面の上に盛り上がっていることを示します。振動しているときはそれを交互に繰り返しています。ただしフライパンの周縁部は振動しません。

（イ）は、（ア）よりも高い振動数 2095 Hz で振動させた時のものです。砂はフライパンの外縁だけでなく、フライパンの中心をとおってまっすぐ水平線上に集まりました。これは、この砂の線の上側と下側は激しく震えていて、白い砂のある線では、ほとんど震えていないことを表しています。線の部分を節ふしといいます。弦の振動でも振動しないところを節ふしといいます。これを模式的に示したのが右の図です。円の下半分と上半分が塗り分けられています。これは、下半分が紙面の上にあるとき、上半分は紙面の下にあり、逆に下半分が紙面の下にあるときは上半分が紙面の上に出るといった動きを繰り返していること示しています。（ア）と（イ）の中間の振動数でフライパンを震わせても、このような模様は全く出ません。共振しないからです。1081 Hz と 2095 Hz の振動数を与えたときだけ、フライパンに撒いた砂が図の（ア）や（イ）のような模様を作ります。

（ウ）では、フライパンにまかれた砂は×印になっています。これは節が 2 本の線になっていることを示しています。右の模式図で説明すれば、×印で囲まれた 2 つの相対する上下の部分が紙面の下にあるときは左右の白い部分は紙面の上であり、次の瞬間にはその逆になっていることを示しています。

最後に、（エ）では、中心に小さいドーナツ状のもう一つ円ができています。この振動は右の模式図のように説明できます。中心の円が紙面の下にあるとき、外側の部分は上にあり、次の瞬間では、中心の円が紙面の上に飛び出し、外側の部分が下に沈むという振動です。2 つの円のうち、左では外側の色のついた円は紙面の下にへこんでいる様子を、右の白い円は紙面の上の盛り上がっている状態を示しています。

このようないろいろな振動パターン（模様）を振動様式びんどうようしきといいます。この様式には 2 種類あります。中心に“直線”が通る振動様式と、中心に“円”の模様がでける様式です。本書では便宜上、直線の節線が中心を通る様式はピザを切るときの様子と似

ていますので、ピザ様式 [(イ) と (ウ)]、節線が円状にできるのは、ドーナツに似ているので、ドーナツ様式 [(ア) と (エ)] と呼ぶことにします。(ア) (イ) (ウ) (エ) に共通しているのは、フライパンの外縁に、いつも砂がたまることです。これは、一番外側はいつも振動していないことを示しています。

このように砂の様子が綺麗にできるのは、特定の振動数でフライパンを振動させたときのみです。その振動数は、フライパンをたたいて発生する音とおなじです。

図 3-2 にはこのフライパンをたたいた時に見られる音のフーリエスペクトルを示しています。いろいろなピークが出ていますが、例えばそのピークのうち 1081 Hz のピークに注目してみましょう。先ほどの図 3-1 (ア) で示したドーナツ様式が出るのは、1081 Hz の振動数でフライパンを振動させたときです。2095 Hz にもピークが出ていますが、この振動数でフライパンを振動させると、図 3-1 (イ) のようなピザ様式が出ます。逆に言うと、この音が出ているときは、フライパンの底は、このような様式で震えていることとなります。

図 3-2 でみられるようにフライパンをたたくと、たくさんのピークが同時に出ていますが、たたいたときにはフライパンの底はいろいろな様式で振動しており、その



図3-2 フライパンをたたいた時に出る音の共鳴スペクトル  
フライパンをたたいてその音をマイクにとり、フーリエ解析にかけて共鳴スペクトルを取った。図3-4と比較するとそれ座俺のピークのすそ野が広がっている。

様式一つ一つがそれぞれの音と対応しています。したがって、図 3-2 からわかるように、フライパンを単純にたたくといろいろな音が混じって出ていることがわかります。この共鳴ピークも基音を 1081 Hz (1.00) とすると、ほかのピークは整数の比で並んでいません (1.94、3.12、3.75)。またフライパンの振動様式は下に述べるように周辺が固定された振動と呼ばれ、その周囲 (縁) は常に節になるのでいつも白い砂がたまります。

周辺が固定されている円盤と、周辺が固定されていない円盤では出る音が全く違います。音色が違います。どちらの円盤からも非整数倍音が出ますが、周辺が固定されている円盤と、自由に震える円盤はまったく違う倍音ができます。フライパンは周囲が固定されているとみなせます。いわゆるフライパンの外側についている“かえし”の部分は振動を抑制します。円周を固定した縁構造は太鼓やタンバリンにも見られます。たたく円盤の縁に何かついていたり、円盤の縁が何かに固定されたりしているのです。ボナン、ゴング、ティンパニーや和太鼓もそうです。余韻の少ない音がします。銅鑼 (大きなゴング) は、唯一の例外です。

以下に周辺が固定された円盤の振動と周辺が自由に振動する円盤の振動について説明します。

### 3 円盤の周辺固定と周辺自由振動

#### (1) 円盤の周辺固定振動

和太鼓に代表されるような打楽器の出す音はあまり音程感がありません。ティンパニーはある程度の音階が出せる楽器です。ティンパニーではたたく場所が膜の端と決まっており、中心をたたくと音程感のある音が出ません。また、ティンパニーの底はすぼまっています。この構造こそ音程感のある音を出す秘密です (Rossing, 1983)。それでもティンパニーでは 4~5 の音程しか出せません。

ゴングはベトナムで使われている円盤状の楽器ですが (コラム 2 参照)、これも縁がスカートのようになっているので、周辺の振動は、ある程度制限されていることが

分かりました。

太鼓やティンパニーの音は周囲が完全に固定された膜の振動から出ます。また、フライパンも周囲の振動が抑制されています。どれも面の振動で、弦ではありません。面の振動では整数倍音が出ません。面の振動で音程感のある音を出すことが難しい原因がここにあります。

この困難を克服したのがトリニダード・トバゴで発明された打楽器スチールパンです。棄てられたドラム缶の底をハンマーでたたいて滑らかな凹面を作り、そこにさらに多数のいろんな大きさの楕円形のふくらみをつけ、その楕円の大きさを変えてドレミの音程を出すように作られた楽器です。この技術は大変むつかしく、基音以外に3倍音を出すために特殊な技術が必要です。ドを基音とすれば、3倍音まで、つまりド、ド、ソがでると、スチールパンでドの音程が出ているように感じます。しかし、4倍音以上の整数倍音は出ませんが、逆にこれがスチールパン独特の音色を生みます。

周囲が固定された円盤の出す倍音の比率は計算で求められます (Leissa, 1993)。表3-1 (上段) に示します。

振動比率の理論値(上段)

n	m			
	0	1	2	3
0	1.000	3.893	8.722	15.484
1	2.081	5.954	11.754	19.486
2	3.414	8.279	15.056	23.758

上の表の(0 0)を1081とおいたときの計算値(中段)

n	m			
	0	1	2	3
0	1081	4208	9429	16738
1	2250	6436	12706	21064
2	3691	8950	16276	25683

フライパンの実測値(下段)

n	m			
	0	1	2	3
0	1081	4051		
1	2095			
2	3378			

表3-1 周辺固定円盤の振動数の比率 nは、縦の節の直線の本数; mは、円の節数の数。上段、円の節も縦の節の直線も無いとき(0 0)を、1.000とした。中段、上段の表の(0 0)の値に1081を入れたときの各振動様式の計算振動値。下段、実測されたフライパンの振動数

ここで  $n$  と  $m$  の表記がありますが、 $n$  は円盤を横切る節直線（ピザ）の本数、 $m$  は円の節線（ドーナツ）の本数とします。表し方は  $(n \ m)$  とします。周辺が固定される場合は図 3-1 のように白い砂がいつもフライパンの外縁部にたまります。そこで、その節は  $m$  には数えません。図 3-2 に示した (ア) ~ (エ) の振動様式はそれぞれ  $(0 \ 0)$   $(1 \ 0)$   $(2 \ 0)$   $(0 \ 1)$  とあらわせます。

この表 3-1（上段）によると、直線が横に 1 本だけの図 3-1（イ） $(1 \ 0)$  の振動数は、(ア)  $(0 \ 0)$  の 2.081 倍であると予測されます。

これが理由でなんとなく、オクターブの音が出ているような気がします。スチールパンでは、2 倍音を出すことは容易です。実際に基準の 1081 Hz を 2.081 倍すると 2250 Hz となり（中段）、観測された 2095 Hz（下段）に近いことがわかります。また同様に図 3-2（ウ）は  $n$  が 2、 $m$  が 0、すなわち  $(2 \ 0)$  なので 3.414 倍（上段）です。これは、整数倍音の 3 倍音からかなり外れるので、スチールパンで 3 倍音を作るには技術がいります。フライパンでは出ません。1081 Hz を 3.414 倍すると 3691 Hz となり（中段）、3378 Hz（下段）が観測されています。円の節線がもうひとつが現れる  $(0 \ 1)$  では 1081 Hz の 3.893 倍で、4208 Hz と出ていますが、これも実測値の 4051 Hz に近いです。周囲が固定された円盤では、1 倍、2.081 倍、3.414 倍、3.893 倍の倍音が元々出るので、スチールパンではそれを調整して、1、2、3、4 倍音が出るように調整しています。このように周囲を固定された円盤の共鳴振動数は理論的に計算できます。

## (2) 円盤の周辺自由振動

世の中で、どの面も自由に振動できる円盤楽器は銅鑼を除けば存在しませんでした。しかし、銅鑼には論理的な音階がありません。ガムランでも円形の銅鑼（ゴング）は使われますが、大きさの違う 2 種類の音程を出す銅鑼が主として使われます。そこで周辺が自由に振動する円盤楽器を作り、円盤楽器のための音階を作れば、新しい響きと音楽が実現するのではないかと考えられます。

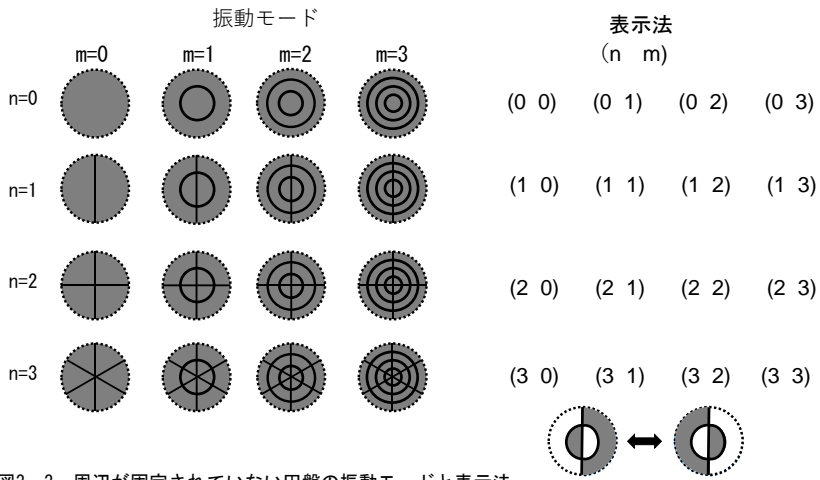


図3-3 周辺が固定されていない円盤の振動モードと表示法  
 nはピザモード、mはドーナツモード、と本書では呼ぶことにする。円盤をたたいて出る様子を  
 示すが、すべてが出るわけではない。円盤をたたくと(0 1)モードが最低音(基音)として出る。  
 右下の図は、n=1, m=1のモードの場合の振動を示している。青色の部分は紙面の下へ、白色の部  
 分は紙面の上に出ていることを示す。ある一瞬は左の状態、次の瞬間は右という風に、これを交  
 互に繰り返して振動する。

周辺が自由に振動できる円盤の振動様式は、図3-3のようになります。

振動の様式は、周辺固定の円盤の場合とほとんど同じです。ドーナツ様式や、ピザ様式があります。が、ただひとつ違いがあります。それは周辺がいつでも自由に振動するという事です。円周の外縁が節になることはありません。いつでも振動しています。そこで図3-3の円の周辺は実線でなく破線で示しています。これは周辺がいつも自由に振動していることを表しています。

図3-2の周辺固定のフライパンをたたいたときのスペクトルのピークのすそに注意してください。ピークのすそが広がっています。図2-2に示したボナンでもピークのすそが広がっています。一方、周辺自由振動の円盤のスペクトルを図3-4に示しました。ピークのすそはほとんど広がらず、非常に細くて鋭いピークがたくさんあります。すそが広がるということは、中心のピーク以外の振動、つまりそれより低い音や高い音が一緒に混ざり音がぼやけます。

周辺自由振動の円盤ではすその狭い鋭いピークがはっきり出ているので、音が鮮明に聞こえます。周辺固定と自由の大きな違いです。

円盤の周辺自由振動では倍音の強さも周辺固定と異なります。周辺が自由に振動



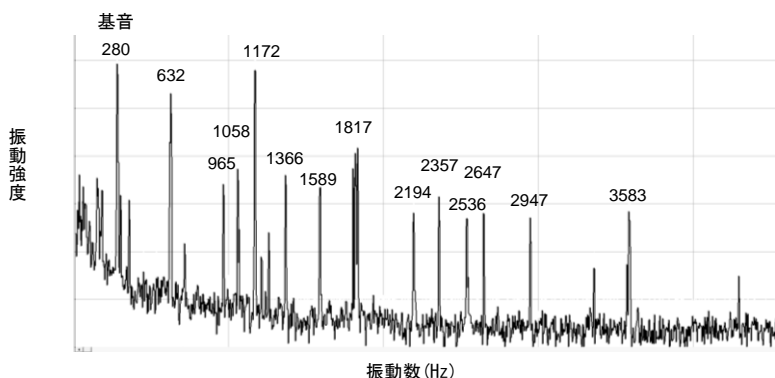


図3-4 周辺が自由に振動できる円盤をたたいたときの共鳴スペクトル  
一つ一つのピークは鋭く、ポナンやフライパンのようにすそが広がっていない。

する円盤では、音の強度（ピークの高さ）は基音（280 Hz）の約5倍の振動数のもの（1172 Hz）でも基音と同程度強く出ています。周辺が固定された円盤の場合（図3-2）は倍音は基音の7倍ほどまでで、そのピークの高さはどんどん低くなります。周辺自由振動の円盤は、たたいたときに出る基音や倍音のピークが鋭く音が鮮明です。その音は深く余韻が長く美しい音色がします。フライパンをたたいたときとはまったく別です。ポナンも余韻がほとんどありません。外周部のスカート縁の構造が自由な周辺振動を妨げるからと思われる。

このように円盤の振動には、周辺固定と、周辺自由な2つの振動があります。後者を周辺自由振動といいます。ポリゴノーラは周辺自由振動できる仕組みを持った新しい楽器です。ジャズで使うシンバルは中心が固定されており、端をたたくので全く違う音色がします。

次に分かったことは、周辺が自由に振動するためには、「円盤全体が自由に振動する支持方法」が非常に重要であるということです。

円盤を空中に浮かせれば理想的ですが、重力のある地球上では難しいです。ゲームセンターにあるサッカーゲームのように、台に小さな穴を開けて空気を噴出して、プラスチックの円盤を浮かせる構造も考えられますが、たたくたびに円盤が台に当たり、余計な雑音が入ります。

そこで、ポリゴノーラを支持するためにロープ、針、木、スポンジ、ゴム、ヘチマタワシを試しました。最終的にたどり着いたのが「メラミン樹脂」でした。商品名では「激落ちくん」として売られている白いスポンジ樹脂です。これを小さく切って並べ、その上に円盤を乗せます。たたくと余韻が長く、深く澄んだ音がし、クラドニ図形を作らせて調べると、円盤の振動がすべて出ており、妨げられていないことがわかりました。

しかし、机の上に小さな「激落ちくん」を置いてその上に円盤を乗せてたたいても、余韻はそこそこですが、音色があまりよくありません。円盤の下に向かう振動が机に吸収・反射されて、空間に広がらないからでしょう。幅 20 センチ、高さ 10 センチ、厚さ 1 センチほどの長方形の木の板 2 枚を十字型に組み合わせ、十字の上端に「激落ちくん」を置いてその上にポリゴノーラをおいたり、直径 1 センチ、長さ 10 センチのアルミの棒 3 本の上に「激落ちくん」を小さく切って乗せ、その上に円盤を乗せたりしました。こうすると余韻の長い、強くて美しい音色がすることがわかりました。

※激落ちくん® はレック株式会社の登録商標です。

## 4 周辺自由振動する円盤楽器

このようにメラミン樹脂で支持された円盤をたたいて、複数の共鳴振動数を決定し、その振動をひとつずつ別々に円盤に与えながらクラドニの図形を描くと図 3-3 のようになりました。この図は節線が実線でかかれています。いつも一番外の円周は破線であることに注意してください。つまり円の一番外の縁はいつも自由に振動しています。またドーナツのような丸が描かれている振動様式がありますがこれは中心が振動している模様です。シンバルのように中心が固定されていると、この模様は出ません。つまりこの音色はシンバルからは出ません。中心と周辺の自由振動を実現する楽器「ポリゴノーラ」の音色の特徴は、このドーナツ様式の音にあるといえます。

次に図 3-3 の右に書いてある括弧の数字を説明します。表 3-1 にも出てきましたが、 $n$  は中心を横切る直線（ピザ）の節線を表します。この節線が 0 本の場合が一番上の段の行になります。 $n=0$  の行です。ピザ節線が 1 本なら  $n=1$  となります。図 3-3 では上から 2 段目の行に相当します。2 段目の行は、ピザの節線が 1 本出ているものばかりを集めています。右に行くにしたがって、円（ドーナツ）の節線が 0、1、2 と増えていきます。

ドーナツの節線は  $m$  で表します。 $m=0$  はドーナツ節線が一つも出てこない振動様式です。図 3-3 では一番左の縦の列に相当します。ここではドーナツの節線は 0 で、下に行くに従いピザの節線 ( $n$ ) の数だけが増えていきます。カッコ内に書かれた数字では  $n$  が最初で、 $m$  を後ろに表記します。(0 0) はピザの節線もドーナツの節線もありません。(0 1) はピザの節線が 0 本で、ドーナツの節線が 1 本です。(1 0) は逆に、ピザの節線が 1 本で、ドーナツの節線が 0 本です。この表記を使えば、(2 3) のように、ピザ節線が 2 本でドーナツ節線が 3 本のような複雑な振動様式も簡単に表すことができます。

図 3-3 の右下に、円の振動と節の関係为例示しました。例は (1 1) の振動様式です。ピザの節線が 1 本、ドーナツの節線が 1 本です。ある瞬間は白の部分が紙面上で、色がついているほうが下だとすると、次の瞬間にはその逆になります。

重要なことは円盤をたたくとこれらの振動様式が同時に多数現れ、たくさんの音が同時に出ることです。振動様式によって出てくる音の高さは違います。 $n$  や  $m$  が増えるに従い、出てくる音の高さが高くなります。この時の、 $n$  と  $m$  の関係については付録 2 に詳しく述べました。

## 5 円盤楽器からでる多様な音色

たたく場所を中心から少しずつずらすとどうなるでしょうか。それを比較したのが、図3-5です。

一番上の段は中心をたたいたときのスペクトルです。2段目は中心から半径の1/4離れたところをたたいたスペクトルです。1/4をたたくと一番上では見えなかった新しいピークがたくさん出現します。たたく場所により、出てくる音が少しずつ増えます。中心をたたくとピークが8本、中心から1/4離れたところをたたくと21本、中心から1/2のところをたたくと27本、中心から3/4のところをたたくとピークが28本出ます。

中心をたたくと、ドーナツモードの振動が主で、出る音も少なく音色は単純です。しかし、たたく場所が端に行くに従い出る音の数が増え、ピザモードの振動（音）が増え、音色が複雑になります。

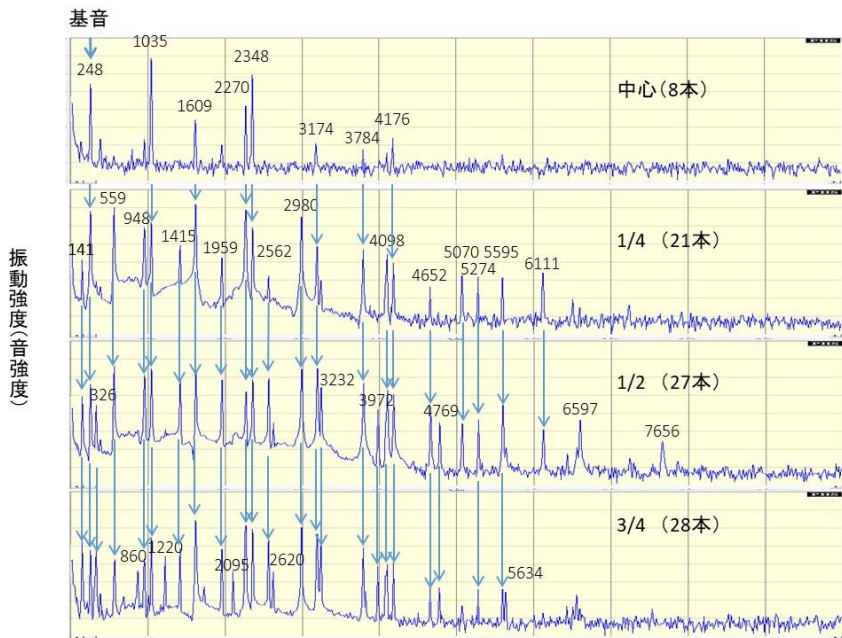


図3-5 青銅円盤(厚さ2ミリ、直径233ミリ)の、たたく位置を変えた時のスペクトル。図中の1/4、1/2、3/4の表記はそれぞれ中心から1/4、1/2、3/4の位置をたたいた時のスペクトル。( )内は主要スペクトルの本数。

中心から  $1/4$  の所をたたいた場合、中心と比べるとピザの数が多いです。ピザ様式の音が増えたことにより、ピークの数も中心の 8 本から 21 本に増えました。

図 3-5 の 3 段目のように中心から  $1/2$  のところをたたくと、さらにピークの数も 6 本増え、27 本になりました。4 段目のように中心から  $3/4$  はずれたところをたたくと、28 本のピークが出ました。

中心から  $3/4$ 、逆に言うと端から  $1/4$  をたたいたときの音色は、中心とずいぶん違います。中心はピザ様式の音が出ず、ドーナツ様式の音が主で単純な音色がします。端をたたくとピザ様式に由来する多くの倍音が出て音色が複雑になります。どこをたたいても、基音とした 248 Hz (0 1) の音は出ます。耳にはこの音高が残ります

このように、たたく場所によって音色が変わることは、円盤に最適な音階を作るときに重要なポイントとなります。これまでの円盤の倍音の結果を弦と比べると以下の 2 つのことがわかりました。

#### 1. 円盤は弦よりも複雑な倍音列を発生する

弦の時は、整数倍音しか出ません。また 2 章の図 1-5 で示したように、ピアノでは、せいぜい十数本しか出ていません。それに比べると、図 3-5 でみられる多数のピークから、円盤から出る音は、大変複雑であることを示しています。またその並び方は、非整数倍です。

#### 2. たたく場所により、倍音列の出方が変化する

図 3-5 に示したように、端をたたくと、中心よりたくさんのピークが出ます。これは、中心をたたいた時には出なかったピザ様式の音が多く出るからです。実際に端をたたくと、中心の音色とは全く違い音色がします。ギターで弦の真ん中を弾いたソフトな音色と、弦を止めているブリッジの近くを弾いた時のハードな音色の違いと原理的に同じです。

n	m				
	0	1	2	3	4
0		0.679	0.390	0.256	0.192
			0.841	0.590	0.441
				0.893	0.692
1		0.788	0.498	0.351	0.272
			0.872	0.645	0.499
				0.908	0.724
					0.928

表3-2 ドーナツの節線の中心からの位置  
 数字は、円の節線の位置を中心からの半径の比率であらわしている。0.500は中心と端の真ん中を通る節円を示す。

図 3-3 に出ている節線のちょうど上をたたくと、そこが強制的に震えることとなりますので、そこに節線を持つ振動様式が出にくくなります。たとえば、円盤のちょうど中心をたたくと、すべてのピザ様式の節は中心を通っていますので、ピザ様式の音が出にくく、だからドーナツ様式の音ばかりになります。図 3-5 で中心をたたいた時のピークが少ない理由がここにあります。それでは  $m=1$  の円の節線の真上をたたくとどうなるのでしょうか。

それを知るには (0 1) のときに出る円の節線が円盤のどこに出るかを知らねばなりません。それを計算で出したのが表 3-2 です。

これを見ると基音がでる振動様式 (0 1) では、節円 (輪線) は中心から半径の 0.679 倍のところにできるということがわかります。

$m=2$  の欄には数字が 2 つあります。ドーナツの節円が 2 つできるからです。2 つの節円のうち内側の円は中心から 0.390 離れており、外側の円は 0.841 離れているということです。 $m=1$  のときの節円の真上をたたくと (0 1) の音が出にくくなります。中心から 0.679 離れた所および端をたたいた時のスペクトルを比較しました (図 3-6)。

上段が中心を、中段が中心から半径で 0.679 離れたところをたたいた時のスペクトル、下段が端をたたいた時のものです。0.679 離れたところをたたくと (0 1) 様式

の振動に由来するピークのが出ないことがわかります。また (0 4) のピークが非常に小さくなりました(破線矢印)。これは、表 3-2 の  $m=4$  のところを見ると、3 番目に 0.692 という数字が見えます。0.679 の位置をたたくとこの 0.692 に近いので、(0 4) も出にくくなると思われます。中心から 0.679 のところをたたくと、(0 1) 様式に由来する音小さくなるので、基音が出にくくなり、音色が変わります。このように、たたく位置をほんの少し変えるだけで、音色が大きく変わるのがポリゴノーラの特徴です。

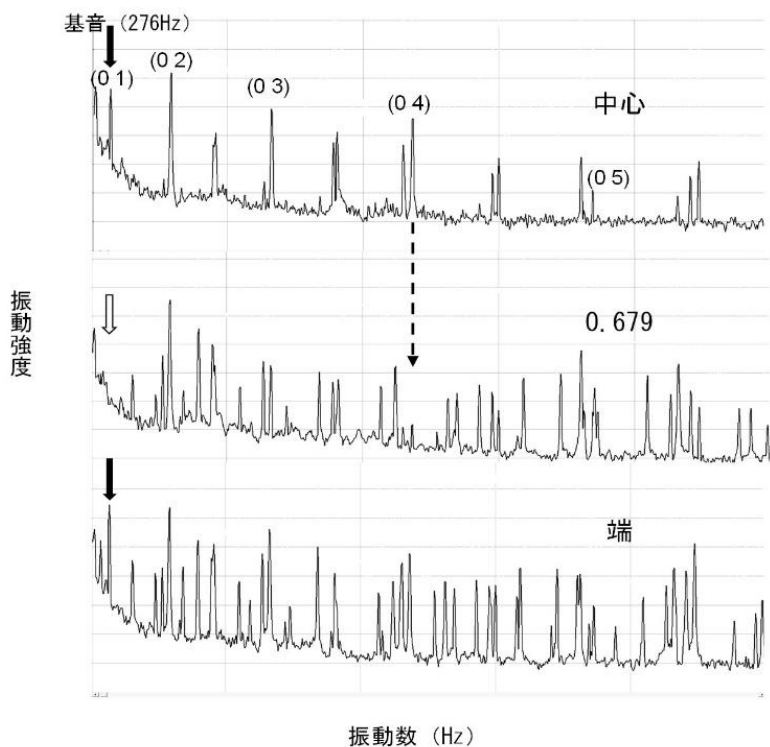


図3-6 中心、中心から半径で0.679離れた場所、端をたたいた時のスペクトル  
 黒矢印は、基音 (276Hz) を示す。中心から0.679離れた所をたたくと、その振動 (音) が出ない (白矢印)。また (0 4) のピークもほとんど出ていない。端をたたくと両方とも出る。カッコ内の数字は図3-3に示したモードを表す。中心をたたくと、ドーナツモード (0 m) の音の主となる。

## 6 余韻について

これまで説明したように、円盤をたたくといろいろな音が出ます。基音に対してその比を計算すると、いろいろな非整数倍音が出ていることがわかりました。また、たたく場所で非整数倍音の出方に違いのあることもわかりました。ここでは余韻すなわち時間的にもスペクトル（音色）に変化が起こることを説明します。

円盤をたたいた直後とあとでは、ずいぶんスペクトルの本数や相対的な強度が変わります（図3-7）。

上の段の4つの図はそれぞれ、中心、1/4、1/2、3/4の位置をたたいた直後のスペクトルです。下の段はたたいてから7秒後のスペクトルです。

例えば中心をたたいた時、最初は図3-5で説明したように8本のピークが見えますが、7秒後には2本が残るだけでそれ以外の6本は消えています。基音となる(0 1)のピークは7秒後にはかなり弱くなっています。つまり余韻の長い音が2個残り、それ以外の音はたたいた直後は鳴るけれども、すぐに消滅してしまうことを示してい

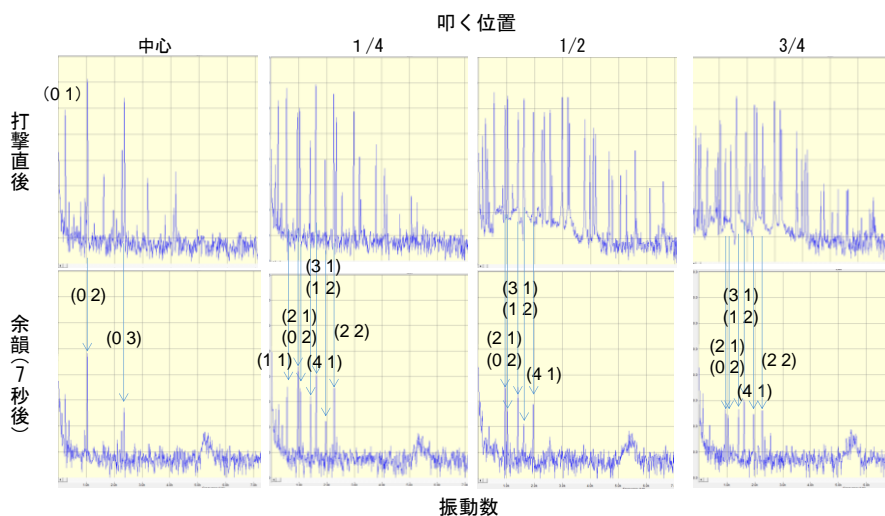


図3-7 余韻を示すスペクトル

上のスペクトルは円盤をたたいた直後のスペクトル。下は、たたいてから7秒後のスペクトル。( )内は余韻で残る主要な振動モードを示す。余韻はビザモードが長い。



ます。中心をたたいて7秒後に強く残るピークの2本は、振動モードであらわすと(0 2)と(0 3)です。

中心から1/4の距離のところをたたいた場合は、直後にはたくさんピークが出ていますが、7秒後には7本に減っています。それらは振動モードであらわすと(0 2)、(1 1)、(2 1)、(3 1)、(4 1)、(1 2)、(2 2)です。1/2のところをたたいた場合は7秒後には(0 2)、(2 1)、(3 1)、(4 1)、(1 2)の5本になります。3/4のところをたたいた場合は、(0 2)、(2 1)、(3 1)、(4 1)、(1 2)、(2 2)の6本になっています。これらのことから、たたく場所により、たたいた瞬間の音も違ふし、余韻も違ふことが分かります。このように円盤の音色は、たたく場所、たたいてからの時間によって変化します。

余韻とは時間がたっても鳴っている音のことを言います。そこで、グラフの書き方を変えてみます(図3-8)。このグラフは横軸が時間、縦軸は音の高さです。

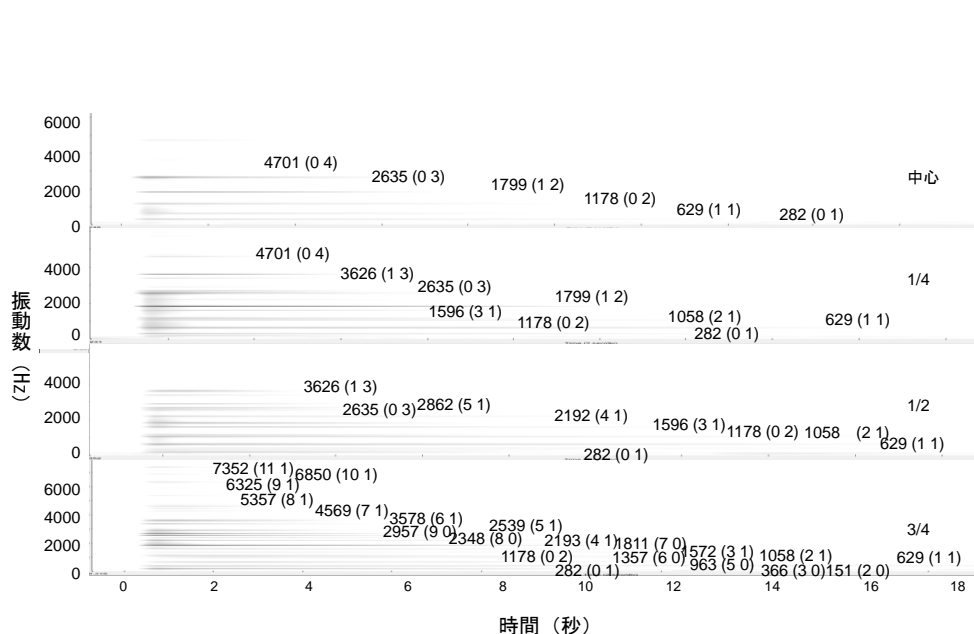


図3-8 余韻を示すグラフ  
上から中心、中心から1/4、1/2、3/4はなれた所をたたいたときの音の強さと振動数を示す。

音が出ると横線として表され、音の高さは横線の上下位置で、強さは線の濃さに出ます。図 3-8 にはたたく場所による余韻の違いを、振動数と様式で示しています。一番上が中心をたたいたときで、一番下が中心から  $3/4$  の場所をたたいたときのグラフです。数字は振動数で、余韻が終わったところに書いています。カッコ内は振動の様式表示です。

中心をたたいたときの一番上のグラフを見ると、特徴的なドーナツ様式の (0 1)、(0 2)、(0 3)、(0 4) の音が出ていて、282 Hz すなわち基音 (0 1) の音の余韻が弱いながらも一番長く出ている。それ以外の音は (1 1) と (1 2) ですが、(0 1) の音の余韻が一番長いです。ところが、中心から  $1/4$  はなれたところをたたくと事情が変わります。一番長い余韻は (1 1) の 629 Hz の音です。ドーナツ様式の (0 1)、(0 2)、(0 3)、(0 4) は出ることは出ていますが、いずれも余韻が短く弱くなります。その代わり、ピザ・ドーナツ混合様式の (1 1)、(2 1)、(3 1) が出ています。

中心から  $1/2$  はなれたところをたたくと、基音の 282 Hz (0 1) は余韻がさらに短くなり、混合様式の (1 1)、(2 1)、(3 1) の余韻が長くなります。混合様式は (5 1) まで出ています。一番余韻が長いのが、(1 1) 様式の 629 Hz の音です。

中心から  $3/4$  はなれたところをたたくと、(n 0) 様式の音が (9 0) まで出て、さらに、混合様式の (n 1) 様式も (11 1) まで出ています。時間が 10 秒以上でも、(n 0) と (n 1) の様式の音が出ており、ドーナツ様式 (0 m) の音は余韻としてはほとんどありません。

以上のことから、余韻はたたく場所により変わり、中心をたたいたときはドーナツ様式の音が余韻としてのこり、端をたたくと (n 0) や (n 1) のようなピザ様式の振動が余韻として残ることがわかりました。

重要なことは、ギターと同じで、ポリゴノールもたたく場所によって音色が変わるということです。

ポリゴノーラの多様な音色は下の QR コードから聞けます。



灰野敬二氏『Red Bull Music Academy Tokyo 2014』での講演と  
円盤ポリゴノーラの演奏



小沼純一氏のポリゴノーラの紹介文と神戸公演での  
三角ポリゴノーラの演奏（桜井真樹子氏）



灰野敬二氏の東京公演での円盤ポリゴノーラの演奏の一部



神田佳子、稲野珠緒両氏による東京公演での  
円盤ポリゴノーラの演奏の一部  
(『First Flight』作曲：一ノ瀬トニカ)

### コラム3 スチールパン



スチールパンはカリブ海の島国トリニダード・トバゴで 1930 年頃に作られ、20 世紀に作られた最も成功したアコースティック楽器のひとつといわれます。一説では、島がイギリス領であったころ、音楽を禁じられた人々が石油のドラム缶を水平に切り、底をへこませてたたいたことからスチールパンが生まれたそうです。へこませた底にさらに小さなサイズの異なる凹面を作ると、異なる音高が作れます。これを発展させてドレミの音階が出るスチールパンができました。周辺は固定されています。

内部に作られたへこみは完全な円ではなく、わずかに楕円形をしています。この形が、3 倍音すなわち基音がドとすれば 1 オクターブ高いソの音を生む秘密です。また小さく凹型にへこませた形が、2 倍音に近い音を出す秘密です。全部で 3 つの倍音（ド、ド、ソ）が出ます。楕円からはこの 3 つの倍音しか出ないので、我々の耳にはピアノのような、澄んだ音程感のある音色としては聞こえず、スチールパン独特の音色が聞こえます。

最近では、持ち運びに便利なハンドパンが広まっています。これは凸面を 2 つ重ねた、どら焼きのような形をしています。膝の上に置いて手指でたたいて演奏できるので、ストリートミュージシャンに人気です。



スチールパン

内部の楕円形の部分を撥でたたくと、大きい楕円は低い音、小さい楕円は高い音を出す。



ハンドパン

スチールパンを裏返しにしたような形をしており、膝の上に置いて演奏できる。下にも蓋がついており、全体としては、どら焼きのような形をしている。