

TSS文化大学一般教養講座
平成28年1月19日10:00～
於TSS新館9階スタジオ

ネットで「視て聴くドレミ」

小 方 厚

はじめに

2016年1月、TSS文化大学で「視て聴くドレミ」と題する講義を担当した。遡ること数年前には、「ドレミの科学」と題する文章をこのページに掲載していただいている(Link 1)。今回の講義の骨格そのものはこれと同じだったが、音楽の具体例としてオーディオ、ビデオを用いた。その材料は、Link 2に示した学生と共著の電子書籍「視て聴くドレミ」として阪大出版会から刊行したものであった。

この電子書籍上の音楽などの実例は、大部分が広島大学の学生によるものであるが、趣旨を同じくする動画がここ2-3年の間に、豊富にしかも無料で、パソコン・タブレット・スマートフォンで視聴できるようになった。そこで本稿では「視て聴くドレミ」の具体例を、ネットでアクセスできるものから選んで紹介することにする。

本稿でFig. …と番号付けられたものはただの図であるが、Link …と番号付けられた図は、その下のキャプションのURLから該当する動画等にリンクしている。



左 Link 1. http://www.geocities.jp/hirodai_ob/reports/TSS/gakusanpo_ogata.html

右 Link 2. <https://youtu.be/l43aZi6otBY>
<http://www.osaka-up.or.jp/books/ISBN978-4-87259-417-1.html>

リンクを示すだけなら著作権の問題から逃れることができる。それはいいのだが、もっぱら他人の禪で相撲を取っているわけで、いつ教材が削除されるかわからないという不安がある。もっとも拙文は永年にわたって残すべきものではなく、雑誌記事のように読み捨てていただくものと思っている。早晚リンク切れが出るのは明らかだが、そこはご勘弁いただきたい。

楽音

前置きが長くなってしまったが、本稿のテーマは音楽で使う音、「楽音」の数学と物理である。楽音には自然界の音、小川のせせらぎや風の音に比べると、際立った規則性がある。第一は倍音構造、第二は音高のデジタル化である。

Fig 1は「蝶々」をピアノのシングルトーンで弾いた時のソノグラムというもので、縦軸が周波数、横軸が周波数である。縦方向に等間隔に線が並ぶことは、個々のピアノ音が基本波・2倍波・3倍波…という整数倍波構造を持つことを示している。これは弦楽器・管楽器に共通の性質である。

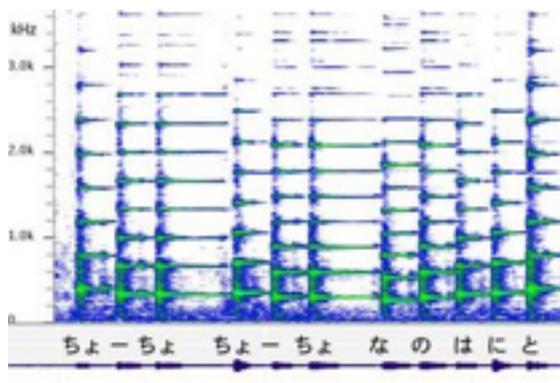


Fig 1

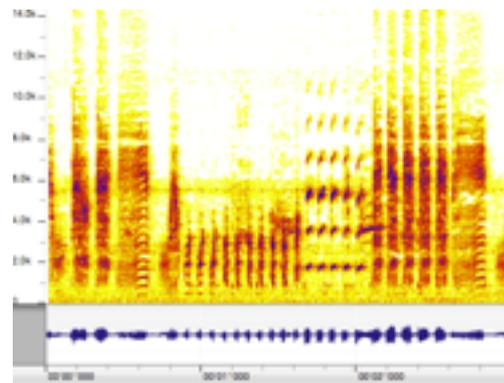


Fig 2

脱線するが、Fig 2は楽器のソノグラムではなく、じつは十姉妹のさえずりのソノグラムである。ジュウシマツはコシジロキンパラという野生種をペット化したものだが、ペットになれば喰うか・喰われるかという闘争から解放され、もっぱら異性を引きつけるために声に磨きをかける、倍音構造はその成果らしい。人間の音楽も同種の、余裕の産物であろう。

さて、楽音の第二の特徴は、音高がド・レ・ミ…と離散化(デジタル化)されることである。Fig 1の、例えば冒頭で「ちよーちよーちよーちよー」というメロディに連れてグラフが階段を下がるのはこのためである。このように離散化すると、異なる音高を同時に出したときに、互いにここちよく響きあうようにできる。

倍音構造

弦も、管楽器の中の空気も、Fig 3に示すように、その振動は一次元である。弦長・管長に対応する基本波の他に、2倍波・3倍波・4倍波…などの高調波が生じる。ちなみに人の声道も一種の管楽器である。

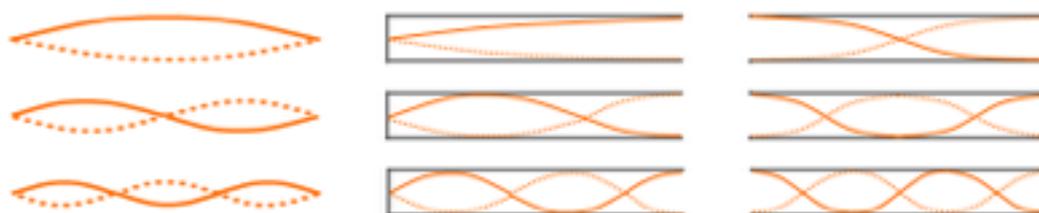


Fig 3

弦の振動はLink 3の動画で見ることができる。いっぽう管楽器中の空気の振動は閉管(一端が開いた管 Fig3中)と開管(両端が開いた管 (Fig 3右)とで異なり、Link 4で先生が教えてくれる。ただし英語である。



Link 3. <https://youtu.be/no7ZPPqtZEG>



Link 4. <https://youtu.be/N5Ch2NThFvY>

オクターブ

オクターブ離れた音とは、周波数が2倍離れた音である。オクターブ等価性という言葉があり、音質が異なると、オクターブ離れた2音が同じ音高を持つように錯覚することがある。カラオケの男女のデュエットでは、期せずしてオクターブ離れた高さで歌う。

Fig 4の楽譜ではオクターブ離れた音を多数同時に弾くことを要求している。計算機で実現して聞いてみると(数人で同時にピアノを弾いても良いはずである)、いつまでも上がり続ける音階が聞こえる。これを無限音階あるいはシェパードトーンという。Link 5ではエッシャーのだまし絵と連続電子音を組み合わせた、いつまでも下がり続けるシェパードトーンを鑑賞できる。

聴覚上の錯覚を錯聴と言う。無限音階はオクターブ等価性が関連する錯聴の一例である。

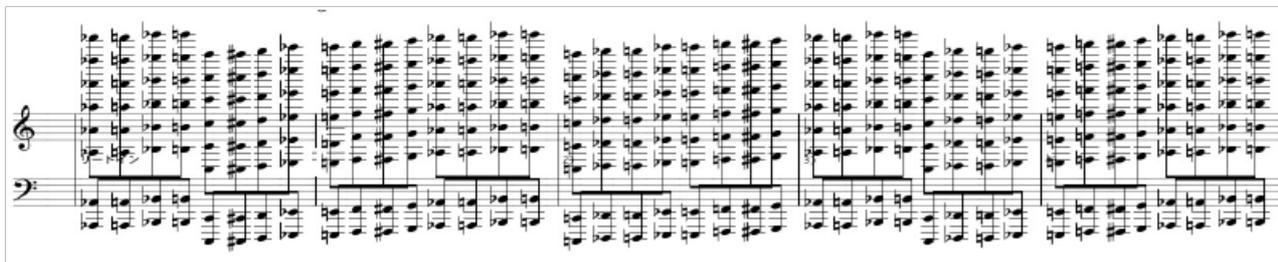


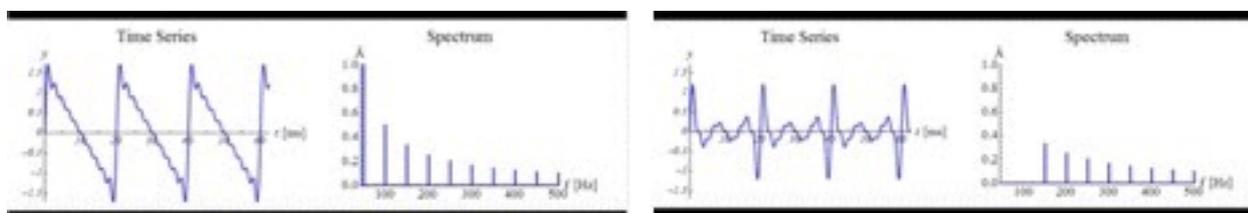
Fig 4



Link 5. http://vk.com/video-46172262_166230654?list=4160d624f24249ca0d

Missing Fundamental

Fig 3に示すように、楽器からは基本波も高調波も出ているのだが、基本波がなくても(Missing Fundamental, 日本語訳はない)、実はあまり気にならない。実際、アップライトピアノの左端、最低音に近い鍵盤を弾いても基本波はほとんど出ていない。基本波なしでどう聞こえるかが、Link 6のサイトに示されている。この動画はいささかぶっきらぼうだが、基本波・2倍波・3倍波と順番に落として行ったときの音を、波形とフーリエスペクトルを視ながら聴くことができる。この図では左が基本波も高調波も揃った場合、右は基本波と2倍波が欠落した場合である。



Link 6 <https://youtu.be/t-iWKvh6Fbw>

同じコード進行にかぶせて複数のメロディを同時に楽しむこともできる。Link 10は映画「五つの銅貨 The Five Pennies」の一場で、ダニー・ケイ、ルイ・アームストロング、スーザン・ゴードン(子役)が三つのメロディを同時進行させるところが視もの聴きものである。

18世紀にはコード進行という概念はなかったが、バッハの「蟹カノン」は事実上この概念に基づいて作曲されている。Fig 7は「音楽の捧げ物」の一部の楽譜だが、これが「蟹」と呼ばれる所以はLink 11の動画で明らかである。



図7



Link 11. <https://vimeo.com/69715960>

最後はいささかオタク的な話題に傾いてしまった。しかし、コード(和音)とはここちよく響きあう複数の音を選んで同時に、すなわち縦に並べたものであり、これを横に、すなわち時間的に順次に並べてこれに尾ひれをつけると、楽曲の骨組みが出来る…と考えることができそうだ。

純正律・平均律・…

オクターブを12に分割する方法はピタゴラス音律以外にも数多くある。現在の主流は平均律で、低い「ド」の周波数にある数を掛けことで音律を作る。「ある数」を12回掛けるとオクターブ高い「ド」になるので、「ある数」とは2の12乗根1.05946..である。人の声はもちろん、たいていの弦楽器・管楽器はある程度音高を変え、臨機応変に和音を美しく響かせることができる。しかし鍵盤楽器ではいったん決めた音高は変えることができない。平均律はこのような鍵盤楽器で和音をつくるための妥協あるいは合理化の産物と見ることができる。

Fig 8には三つの音律の各構成音の、ド音に対する周波数比を示した。Link 12のサイトではこれらの音律を単音あるいは和音でインタラクティブに比較することができる。ただしサイトの指示に従って、Wolfram CDF Player をインストールしなければならない。

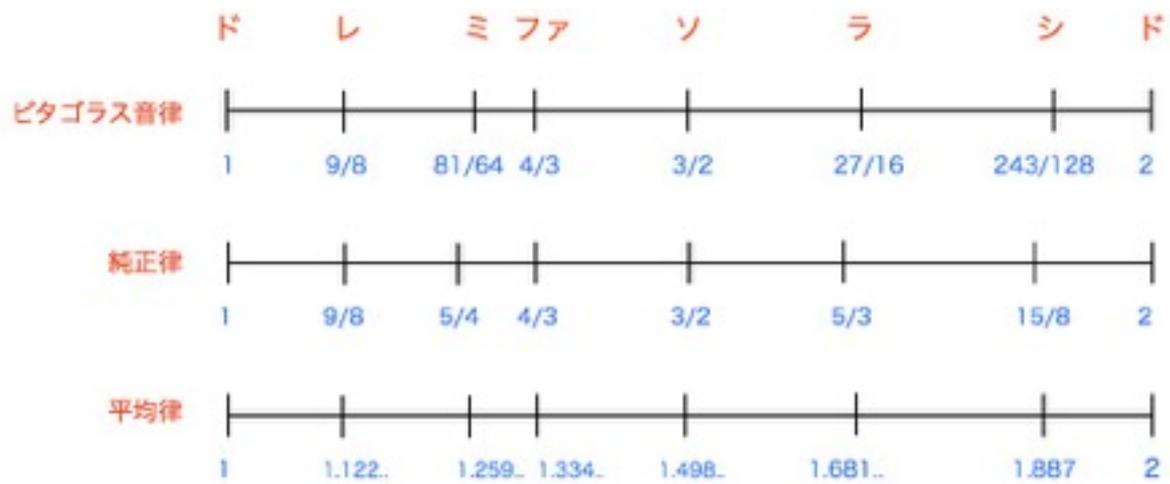
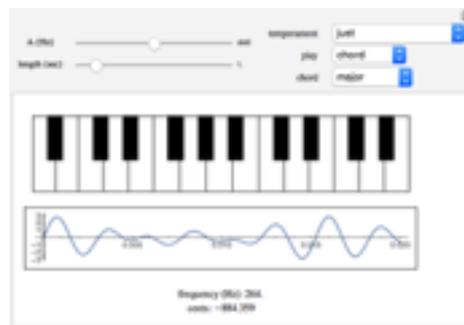


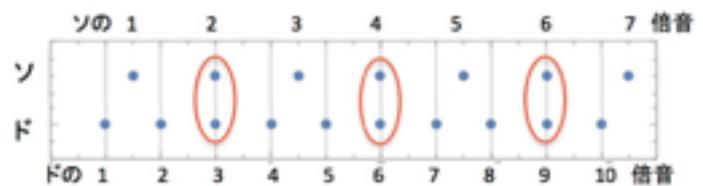
Fig 8



Link 12. <http://demonstrations.wolfram.com/ExploringMusicalTuningAndTemperament/>

うなり

周波数 f_1 と f_2 ($f_1 > f_2$) の二つの音を同時に鳴らすと、周波数 $f_1 - f_2$ の音が聞こえる。Link 13はこれを音叉で示している。



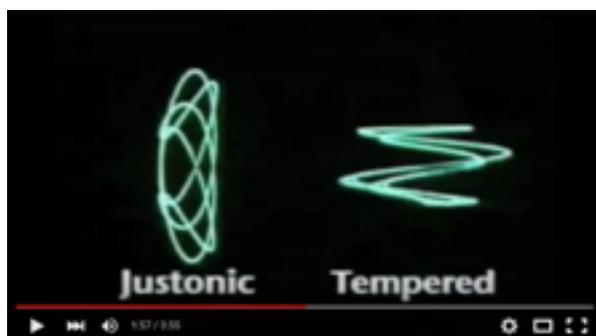
Link 13. <https://youtu.be/V8W4Djz6jnY>

Fig 9

Fig 9はドの倍音列とソの倍音列である。純正律とピタゴラス音律ではドの3倍波とソの2倍波の周波数はぴったり一致する。しかしFig 8が示すように平均律のソの周波数はドの基本波の1.498...倍だから、その2倍波はドの3倍波との間でうなりを生じる。こうした事態があちこちで起きるので、平均律は美しく響かないことになる。

リサージュ(リサージュ)とハーモノグラフ

2つの純音を作る和音を、ひとつを水平方向、他を垂直方向の振動とすれば、これらは2次元に作る図形(リサージュ)を作る。純正律ではリサージュは単純だが、ピタゴラス音律では場合によっては複雑になり、平均律ではもっと複雑で、これが平均律が美しく響かないことを示しているとも言える。Link 13は純正律と平均律を比較している。



Link 13.

<https://youtu.be/6NII4No3s0M>

ハーモノグラフはリサージュを複雑にしたもので、多くの場合描写面も振動させ、振動そのものは減衰させる。Link 14の動画はハーモノグラフのDIY制作法を示している。Link 15のサイトではの計算機プログラムによりバーチャルにハーモノグラフで遊ぶことができる。



Link 14. <https://youtu.be/HJYvc-ISrf8>



Link 15. <http://2008.sub.blue/projects/harmonograph.html>

2次元・3次元の振動

Fig 1の1次元の振動では線分を整数分割する点「節」が、共鳴周波数では動かない点となる、2次元の面の振動では点ではなく動かない線が出現する。板の上に粉体を撒いてこの板を下からスピーカーで振動させると、動かない部分に粉体が集まり、Link 16のクラドニ・パターンを生じる。周波数を変えるとパターンも変化する。



Link 16. <https://youtu.be/wvJAgRUBF4w> Link 17. <https://youtu.be/zlzGZ0sHRZs>

ピアノ、ハープ、箏などは長さの異なる弦を並べて楽器としたものだが、1次元を2次元に拡張すると、半径の異なる円盤を並べた楽器、Link 17で演奏されているポリノゴラとなる。その音階は、1次元振動を起源とするドレミ…とは全く異なるものである。詳しくはホームページ<http://oto-circle.jp>を参照していただきたい。

ガムラン

ガムランはインドネシアとその周辺の民族音楽の総称である。Fig 10はガムランで用いられる楽器のうちの二つ、ボナンとクンプルを示した。音源は管楽器弦楽器のように1次元でもなく、円盤のように2次元でもなく、3次元の広がりを持つ。ここで用いられる音階もまた、ドレミ…とは異なるものである。Link 18はガムランの演奏の一例である。

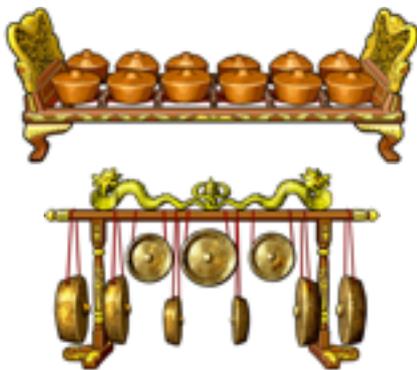


Fig 10

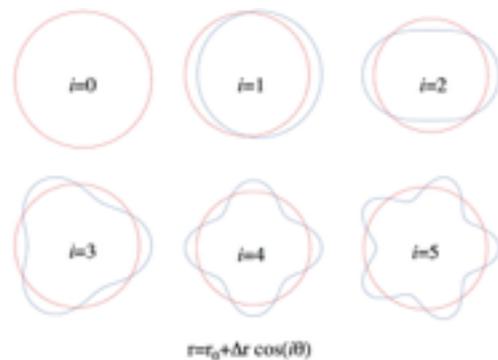


Link 18 <https://youtu.be/zPIZOBNdJb0>

グラスハーブ

宴席でコップの上縁をこすって遊んだ方もおられると思うが、Link 19は並べたグラスで奏でるバッハの「トッカータとフーガ ニ短調」である。こうなるとまさに芸術の領域である。グラスの音色のスペクトルを測定すると、整数倍音を持っていることがわかる。薄いガラス製のグラスでは上縁付近は振動できるが、下部は重くて振動できない。振動モードは縁だけで決まる。Fig 11のように上縁を輪、すなわち1次元の紐の両端を繋いだものと見なせば、グラスが整数倍音からなる高調波が発生することが理解出来る。

最後にクイズです。グラスに入れた水が多いときと少ないときでは、どちらが高い音が出るのでしょうか？ 答えは…実験してください。



Link 19. <https://youtu.be/aHRbTxazGX0>

Fig 11

まとめ

Link が多すぎていささか散漫になってしまったが、敢えて以上の記述をまとめてみると…

- 西洋音楽では主として弦楽器・管楽器を用いる。これらの楽音は倍音構造を持つ。
- 西洋音楽の音律(ピタゴラス音律・純正律・平均律…)は、弦楽器・管楽器の和音をこちよく響かせることを意識している。
- 和音構成音を同時に響かせるのではなく、時間的に順番につなぐことが、コード進行という形で楽曲の構成につながる。
- 2次元・3次元の構造を持つ楽器は、弦楽器・管楽器主体の音楽とは別な音律・音階を持ちうる。

(本稿は2016年1月19日に行われたTSS文化大学における講演の概要です)