

聴取(リスニング)

コンポジションは聴くことである

コンポジションは聴くことである。見ることができなければ描くことができないように、音を聴くことができなければ音をつくることはできない。コンポジションは、リスニングつまり音の聴き方の鏡である。しかし

私たちは耳に届いたものをそのまま聴いているのではない

物理的に同じ音でも、その文脈、すなわち時間(前後)関係や、重ね合せ方によって、その聴こえ方はさまざまに変貌する。いいかえれば、あるひとつの音だけを純粋に、単独で孤立したものとして聴くことは不可能である。すなわち、

音を聴くことは相互作用である

最初に定義した音響素材をもう一度聴き直してみる。

```
// 1つの点 (振幅:0.8、パン:中央)
~out = ~points;
~points.set(\amp, 0.8, \freq, 0.1, \pan, 0, \sustain, 1);
~points = \points;

// 点列 (振幅:0.8、周波数:10[Hz]、パン:中央、継続時間:10秒)
~out = ~points;
~points.set(\amp, 0.8, \freq, 10, \pan, 0, \sustain, 10);
~points = \points;

// 1本の線 (振幅:0.5、周波数:1000[Hz]、パン:中央、継続時間:10秒)
~out = ~line;
~line.set(\amp, 0.5, \freq, 1000, \pan, 0, \sustain, 10);
~line = \line;

// 1つの面 (振幅:0.5、パン:中央、継続時間5秒)
~out = ~plane;
~plane.set(\amp, 0.5, \freq, 0.1, \pan, 0, \sustain, 5);
~plane = \plane;
```

音を聴く際のポイント

音を聴く上で、注意しなければならないポイントが5つある。

1. 音の物理的な特性

物理的な振動としての音の特性と、人間の知覚(聴覚)の特性の双方(相互作用)に密接に関連している。一般に人間の可聴周波数域は、おおよそ20[Hz]~20000[Hz]である。注意しなければいけないのは、20[Hz]の音と20000[Hz]の音は1000倍も周波数が異なっていることだ。20[Hz]の音の波長は約17[m]、20000[Hz]の音の波長は1.7cmである。おおよそ波長400[nm](注)の赤から800[nm]の紫まで、2倍程度しか光の波長が異なる視覚とは大きく異なる。これだけ波長レンジが広がれば、その間の音波の物理的特性も大きく違ってくる。低周波音は音が回り込み(回折し)易く、高周波音は直進性が高く回り込み難い。

(注)1[nm]は100万分の1[mm]

2. 耳の聴覚的な特性

可聴域内でも、耳の感度や精度は音の大きさや周波数によって大きく異なる。音の聴こえ方は、音の物理的な特性と耳の聴覚的な特性とのインタラクションである。物理的なエネルギーとしての音の強さ(intensity)と感覚としての音の大きさ(Loudness)は一致しない。音源の前で頭を回したり、音源の周囲を移動するだけで、音の聴こえ方は変化する。低周波から高周波まで、大音量から微音量まで、音の聴こえ方はどう違うのか。さまざまな周波数や振幅のクリック、サイン波、ノイズの質感やテクスチャーを、たとえ音がそこになくても具体的に想像できるようにしなければならない。コード・コンポジションにおける絶対音感とは、楽音の高さを音名で識別できる能力ではなく、音の周波数と音の聴こえ方を具体的に結びつけられる能力というべきであろう。

3. 身体全体の振動特性

音は耳だけで聴いているわけではない。鼓膜ではなく頭蓋骨を直接振動させて音を伝える骨伝導のように、物理的な音波は身体全体に働きかけ、さまざまな作用を人に与える。人間の身体の各部位はそれぞれ固有の振動数を持っている。例えば、100[Hz]以下の低周波に関しては、人間のからだをバネやおもり、ダンパーからなる単純な系でモデル化することができ、そこから共振周波数を求めることができる。

膝	: 2~20[Hz]
肩	: 4~5[Hz]
腹	: 4~8[Hz]
背骨	: 10~12[Hz]
腕	: 16~30[Hz]
頭(上下運動)	: 約25[Hz]
眼球	: 30~80[Hz]
胸	: 約60[Hz]
手	: 50~200[Hz]

体全体としては、立っているときには3~6[Hz]で共振が起き、座っている場合、頭部では20~30[Hz]で共振が起こる。こうした人間の振動特性は、可聴域の下限あるいはそれより低い超低周波の知覚と深くかかわっている。

4. オーディオ装置の特性

音と耳のインタラクションには、空気の圧力変化という物理現象を発生させ、知覚/想像可能な音をつくりだすための装置としての、オーディオ機器の性能が深くかかわってくる。例えば人間の可聴音圧域は、(周波数によって異なるが)最大と最小でおおよそ100万倍(120[dB])もの幅(ダイナミックレンジ)がある。スピーカやアンプといった装置が生成できるのはどのくらいの周波数域の音なのか。最大の音量や装置のノイズはどのくらいなのか。生成した音の精度や品質はどうか。音の立ち上がりや余韻といった過渡特性はどうか。音を聴く場所の音響特性はどうか。スピーカを使うのかヘッドホンを使うのか。どのようなサイズのスピーカを使うのか。そのひとつひとつが、音の感じ方や聴こえ方に関係してくる。

5. デジタル表現の特性

4つめのポイントは、音がどのようにデジタル表現されているか、すなわちデータとしての音の構造である。この本では特にことわりのない限り、CDと同等のデジタル表現、すなわちサンプリング周波数44100[Hz](注)、量子化ビット数16ビットの表現をベースとする。サンプリング周波数や量子化ビット数というのは、いわばデジタル表現における音の解像度のことである。「調律」の項で述べたように、表現しようとする音の波形が、設定された解像度のもとで、どのように表現されるのかを知っておかなければならない。例えばクリックの場合、その持続時間はサンプリング周波数の逆数、すなわち1/44100秒であるし、4410[Hz]の音は1周期が10サンプルで表現される。

(注)サンプリング周波数の44100 ([Hz]) という数は、 $2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 5 \times 5 \times 7 \times 7$ と美しく素因数分解できる。その約数は、

```
44100.do{ |i| if((44100 % i) == 0, {i.post; ", ".post})};
```

の結果から0と1、44100を除いて、

```
[2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 14, 15, 18, 20, 21, 25, 28, 30, 35, 36, 42, 45, 49, 50, 60, 63, 70, 75, 84,
90, 98, 100, 105, 126, 140, 147, 150, 175, 180, 196, 210, 225, 245, 252, 294, 300, 315, 350, 420, 441,
450, 490, 525, 588, 630, 700, 735, 882, 900, 980, 1050, 1225, 1260, 1470, 1575, 1764, 2100, 2205, 2450,
2940, 3150, 3675, 4410, 4900, 6300, 7350, 8820, 11025, 14700, 22050]
```

と求められる。

ピッチ感覚

人間の音の高さの感覚は、物理的な周波数とは比例していない。感覚上の音の高さを表わす尺度として[mel]が定義されている。1[kHz]、40Hzのサイン波の高さを1000[mel]とし、人間がそのn倍の高さと感じる音の高さを $n \times 1000$ [mel]と定義する。

周波数f[Hz]におけるmel尺度の近似式は

$$(1000/\log_{10}(2)) * \log_{10}((f/1000) + 1);$$

から求められる。

```
11.do{ |i| i.post; "[kHz]: ".post; ((1000/\log_{10}(2)) * \log_{10}(i + 1)).post; "[mel]".postln};
```

```
1[kHz]: 1000[mel]
2[kHz]: 1584.9625007212[mel]
3[kHz]: 2000[mel]
4[kHz]: 2321.9280948874[mel]
5[kHz]: 2584.9625007212[mel]
6[kHz]: 2807.3549220576[mel]
7[kHz]: 3000[mel]
8[kHz]: 3169.9250014423[mel]
9[kHz]: 3321.9280948874[mel]
10[kHz]: 3459.4316186373[mel]
```

1[kHz]の2倍の高さに聴こえる2000[mel]の音は実際には3[kHz]、3倍の高さに聴こえる3000[mel]の音は7[kHz]であることがわかる。このmel尺度は、音楽的尺度のオクターブとは一致しない。聴覚における音の高さの感覚は、耳の蝸牛上の位置関係を反映していると考えられている。

▼エクササイズ：パラメトリック・リスニング

システマティックな組み合わせ

以下の音響素材のパラメータを順に組み合わせた音を聴いてみよ。

点列：

振幅(amp)：大(0.9)、中(0.5)、小(0.1)、極小(0.01)

周波数(freq)：極々密(11025[Hz])、極密(1470[Hz])、密(105[Hz])、中(21[Hz])、疎(1[Hz])

パン(pan)：左(-1.0)、中央(0.0)、右(1.0)

継続時間(sustain)：極長(300秒)、長(30秒)、中(3秒)、短(0.3秒)、極短(0.03秒)、極々短(0.003秒)

```
// 小さい点列：振幅=極小、周波数=中、パン=中央、継続時間=短の点列
~out = ~points;
~points.set(\amp, 0.01, \freq, 21, \pan, 0, \sustain, 0.3);
~points = \points;
```

・周波数が、44100[Hz](連続)、22050[Hz](1:2)、14700[Hz](1:3)、11050[Hz](1:4)だとどのように聴こえるか？

線：

振幅(amp)：大(0.9)、中(0.5)、小(0.1)、極小(0.01)

周波数：極高(11025[Hz])、高(4410[Hz])、中(441[Hz])、低(21[Hz])

パン(pan)：左(-1.0)、中央(0.0)、右(1.0)

継続時間(sustain)：極長(300秒)、長(30秒)、中(3秒)、短(0.3秒)、極短(0.03秒)、極々短(0.003秒)

```
// 短い線：振幅=中、周波数=超高、パン=右、継続時間=極短の線
~out = ~line;
~line.set(\amp, 0.5, \freq, 11025, \pan, 1.0, \sustain, 0.03);
~line = \line;
```

・同じ振幅、周波数の点列と聴き分けられるか？

```
~out = ~points;
~points.set(\amp, 0.5, \freq, 11025, \pan, 1.0, \sustain, 0.03);
~line = \points;
```

・同じ振幅、周波数の線が、継続時間によってどのように音の聴こえ方が変化するか？

```
// 最も短い線=1周期の線(線の点化)：(周波数=3675[Hz]、振幅=0.5、パン=中央、継続時間=12/44100秒)
~out = ~line;
~line.set(\amp, 0.5, \freq, 3675, \pan, 0.0, \sustain, 12/44100);
~line = \points;
```

・継続時間を最も短く(1/44100秒)するとどうなるか？

・線の周波数をどこまで高くすると聴こえなくなるか？

面：

振幅(amp)：大(0.9)、中(0.5)、小(0.1)、極小(0.01)

パン(pan)：左(-1.0)、中央(0.0)、右(1.0)

継続時間(sustain)：極長(300秒)、長(30秒)、中(3秒)、短(0.3秒)、極短(0.03秒)、極々短(0.003秒)

```
// 長い面：振幅=中、パン=左、継続時間=極長の面
~out = ~plane;
~plane.set(\amp, 0.5, \pan, -1.0, \sustain, 300.0);
~plane = \plane;
```

パラメータの遷移

2つのパラメータの状態を初期値と終値として遷移させ、音の状態変化を聴いてみよ。

点列：

振幅(amp)：大(0.9)、中(0.5)、小(0.1)、極小(0.01)

周波数(freq)：極々高(11025[Hz])、極高(1470[Hz])、高(105[Hz])、中(21[Hz])、低(1[Hz])

パン(pan)：左(-1.0)、中央(0.0)、右(1.0)

継続時間(sustain)：極長(300秒)、長(30秒)、中(3秒)、短(0.3秒)、極短(0.03秒)、極々短(0.003秒)

// 上昇する線(点の線化)：振幅=中→小、周波数=低→超々高、パン=右→左、継続時間=長の点列

```
~out = ~points2;  
~points2.set(\amp1, 0.5, \amp2, 0.1, \freq1, 1, \freq2, 11025, \pan1, 1.0, \pan2, -1.0, \sustain, 30.0);  
~points2 = \points2;
```

・freq2を44100[Hz]まで上げると途中で何が聴こえるか?、継続時間を短くするとどう変化するか?

線：

振幅(amp)：大(0.9)、中(0.5)、小(0.1)、極小(0.01)

周波数：極高(11025[Hz])、高(4410[Hz])、中(441[Hz])、低(21[Hz])

パン(pan)：左(-1.0)、中央(0.0)、右(1.0)

継続時間(sustain)：極長(300秒)、長(30秒)、中(3秒)、短(0.3秒)、極短(0.03秒)、極々短(0.003秒)

// 下降する線：振幅=小→大、周波数=中→低、パン=中央→中央、継続時間=短の線

```
~out = ~line2;  
~line2.set(\amp1, 0.1, \amp2, 0.9, \freq1, 441, \freq2, 21, \pan1, 0.0, \pan2, 0.0, \sustain, 0.3);  
~line2 = \line2;
```

・さらにfreq1とfreq2を下げていくとどのように聴こえるか?

・継続時間の変化=移動速度の変化によってどのように聴こえ方が変わるか?

面：

振幅(amp)：大(0.9)、中(0.5)、小(0.1)、極小(0.01)

パン(pan)：左(-1.0)、中央(0.0)、右(1.0)

継続時間(sustain)：極長(300秒)、長(30秒)、中(3秒)、短(0.3秒)、極短(0.03秒)、極々短(0.003秒)

// 移動する面：振幅=中→中、パン=右→左、継続時間=中の面

```
~out = ~plane2;  
~plane2.set(\amp1, 0.5, \amp2, 0.5, \pan1, 1.0, \pan2, -1.0, \sustain, 3);  
~plane2 = \plane2;
```

・継続時間の変化=移動速度の変化によってどのように聴こえ方が変わるか?

・大きさ(振幅)も変化させるとどのように聴こえ方が変わるか?

▼エクササイズ：ランダム・リスニング

偶然と発見

点(列)・線・面の3つの音響素材のパラメータをランダムに選択し、その音を聴いてみよ。

```

// TaskProxyの定義
x = TaskProxy.basicNew;

// ランダムに設定された初期値と終値、継続時間による点列を聴く。選択されたパラメータも出力する。
~out.awake = false;
~out = \points2;
x.play;
(
var a1, a2, f1, f2, p1, p2, s;
x.source = {
loop {
a1 = 0.5.rand.postln;
a2 = 0.5.rand.postln;
f1 = 11025.0.rand.postln;
f2 = 11025.0.rand.postln;
p1 = 1.0.rand2.postln;
p2 = 1.0.rand2.postln;
s = 10.0.rand.postln;
~out.spawn([\amp1, a1, \amp2, a2, \freq1, f1, \freq2, f2, \pan1, p1, \pan2, p2, \sustain, s]);
"wait".postln; (s * 2).max(3).wait;
}
}
)
x.stop;
~out.awake = true;

// 設定された初期値と終値、継続時間からランダムにパラメータが選択された線を聴く(パラメトリック・リスニングのランダム版)。
~out.awake = false; // プロキシにアサインしてもすぐに音を出さないように設定しておく
~out = \line2;
x.play;
(
var a1, a2, f1, f2, p1, p2, s;
x.source = {
loop {
a1 = [0.9, 0.5, 0.1, 0.01].choose.postln;
a2 = [0.9, 0.5, 0.1, 0.01].choose.postln;
f1 = [11025, 4410, 441, 21].choose.postln;
f2 = [11025, 4410, 441, 21].choose.postln;
p1 = [-1.0, 0.0, 1.0].choose.postln;
p2 = [-1.0, 0.0, 1.0].choose.postln;
s = [30, 3秒, 0.3, 0.03, 0.003].choose.postln;
~out.spawn([\amp1, a1, \amp2, a2, \freq1, f1, \freq2, f2, \pan1, p1, \pan2, p2, \sustain, s]);
"wait".postln; (s * 2).max(3).wait;
}
}
)
x.stop;
~out.awake = true;

```

▼エクササイズ：マイクロダンス

体で聴く音

可聴周波数以下の低周波音が引き起こす、心拍数や血圧の増加、視認力の低下、呼吸障害や不快感といったいくつかの生体反応は、これまで振動障害や低周波公害として、その負の側面だけが強調されてきた。しかしながら、前掲の身体全体の振動特性からもわかるように、低周波音によって、骨や皮、筋肉や内臓からなる身体という物体そのものを揺振ることが可能である。実際人間の振動感覚も、水平振動、垂直振動共に、4[Hz]あたりで最も感度が高くなる。

低周波音を再生することができる高性能なサブウーハーを用意し、低周波音によるコンポジションを行うことで、外的なリズムに合わせて身体をリズミカルに動かす通常のマクロなダンスの枠組とは逆の、体のパーツが強力な低周波音に共振して機械的に動かされながら身体の状態がしだいに変化し始める「マイクロダンス(ミクロなダンス現象)」をつくりだすことができる。

・ 2~200[Hz]の大音量の線を生成し、それを低音表現能力のすぐれたオーディオシステムで伝達することで、身体のマイクロダンス状態を確認せよ。

▼エクササイズ：音を思い出すこと

記憶とイメージ

コンポジションする際に、音を聴くことと並んで重要なのが「音を思い出すこと」である。例えば「クリック」ということばから、どのような音が思い出されるだろうか。音を明確に記憶することは難しい。いわゆるメロディーやリズムはともかく、音色を記憶したり、それのことばをあてはめるのは特に難しく、使用される語彙もあまり多くはない。

以下の音の響きを思いだしてみよ。

- ・ 1つの大きな点
- ・ 35[Hz]の大きな線
- ・ 15[Hz]の点列
- ・ 非常に小さい面
- ・ 非常に短い面
- ・ しだいに大きくなる12000[Hz]のサイン波(線)
- ・ 10000[Hz]から50[Hz]まで急激に低くなる線