

# KRYNA 科学通信

この通信は KRYNA が提供するオーディオ技術とその背景をご紹介します。冊子です。

Written by Dr.Nishimura @ KRYNA INC. TEL 0120-924-422

email [dr.nishimura.lab@gmail.com](mailto:dr.nishimura.lab@gmail.com)

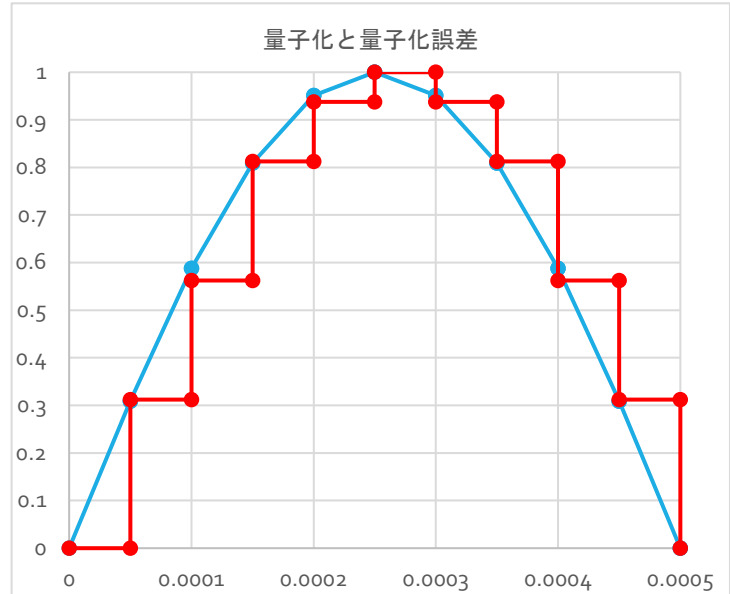
## 雑音の原因あれこれ

インシュレータについて長々と説明してきましたので、そろそろ、話題を変えましょう。ところで、超音波ってご存じですね。と言っても多分聴いたことはないでしょう。何故なら、可聴音（人間が聞こえる音）より高い周波数の音のことですので、可聴音ではないのです。ま、通常、20kHz 以上の周波数の音と言われていますが、蛾や蝙蝠はもっと低い周波数を使っているようです。以前、近くに古い家が立ち並ぶテニスコートで、夕方テニスをしていると、風も吹いていないのに、電線が風で揺れているような「ビョンビョン」といった音が聞こえて不思議に思ったことがあります。この時、空には沢山の蝙蝠が飛んでいて、蝙蝠の「超音波探査」だと思ったことがあります。実は、超音波を聞いて声や音楽として認識していることがあります。美術館や博物館など、展示品の前に来ると説明が聞こえるがそれから離れると聞こえなくなるという経験はありませんか？そこでは超音波が使われ、超音波そのものを聞くのではありませんが、超音波に乗せて運ばれてきた音声信号などを聞いているわけです。となると、超音波も場合によっては聞こえる音になる、ということになります。オーディオ機器では、超音波領域の雑音は聞こえないから気にしないでよと思っておられませんか？実はそうはいかないのです。AM ラジオが声の情報を、高い周波数(1000kHz 前後 (中波帯))の電波で送って聞けるのと同じことが、オーディオ機器の中でも起こる可能性があるのです。アンプなどの増幅のメカニズムを見ると、音楽信号に、ボリュームなどで調整した増幅率  $m$  をかけて出力しています。アンプの入力から出力にかけて、数段にわたって増幅素子を通して出力されます。増幅素子は直流バイアスの下で、動作点が定められてそれを中心に信号に対して増幅するのですが、このバイアス電圧が変動すると、増幅率が揺らいでしまいます。

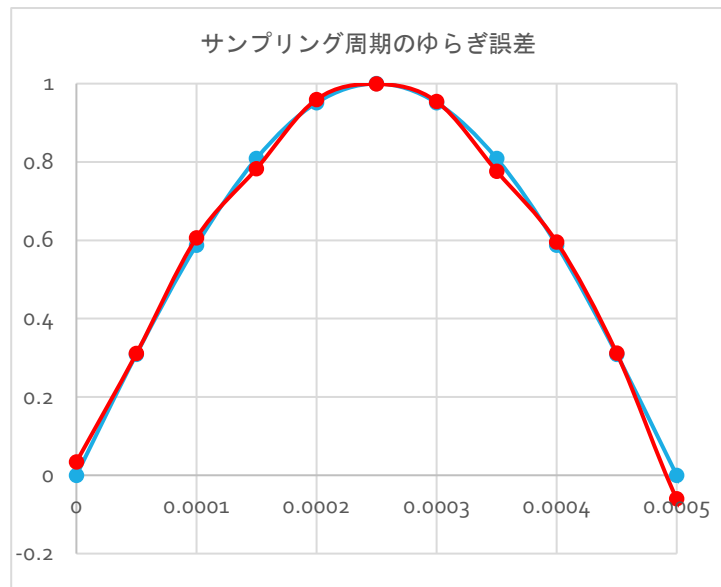
では、このゆらぎの原因は何処にあるのでしょうか？それは、アンプの電源部にあります。ソリッドステートでは数十ボルト、真空管では数百ボルトの直流電圧を供給しています。貯水タンクのようなものです。この電源からエネルギーを供給するわけですが、増幅する信号の大小で、流れ出る電流（タンクでいうと水量）が変化します（ただし、交流ですから出たり入ったりで平均的にはご破算ですが）。この変化によって、微小にですが、電圧が変化します。この変化が動作点に揺らぎを与え、増幅率を揺

らがせてしまうわけです。この電源電圧が変動する原因は電源の内部抵抗です。通常、バイアス電圧はAC100Vの電源からトランスなどで電圧を変換し、整流素子で整流し直流電源を作ります。この過程で、脈動電圧となるので、平滑回路を通して変動を取り除きます。この時点で、直流電源にはなっていますが、電圧は揺らいでいます。AC電源に50Hz（関西で60Hz）のみの正弦波成分が含まれていると仮定しても、整流することで、偶数次の高調波成分が発生します。両波整流では基本周波数は100Hz（関西で120Hz）となり、その整数次の高調波が発生し、その大きさはほぼ次数の自乗分の一になります。例えば、次数が10なら、1000Hzでその大きさは1/100、10000Hzの歪は1/10000になります。これをデシベルで表すと、それぞれ-40dBと-80dBとなります。さらに、トランスの非線形による高調波も発生します。このような高調波歪を持つ電圧を平滑回路で、高周波成分を落としてゆくわけです。この揺らぎをできるだけ小さくし、かつ、増幅素子に電力を供給しても変動しないよう、大容量のコンデンサが使われます。通常、 $\pi$ 型平滑回路などコンデンサと抵抗もしくはチョークコイルで高周波成分を低減するわけです。しかし、この平滑回路、高周波除去性能は、周波数10倍で6dB減衰とか、12dB減衰とかと思ってください。平滑回路で、低減された結果、1000Hzで-46dB、10000Hzで-92dBなどようになっていく訳です（以上はざっくりとした計算です）。このように、平滑回路を通して出たとしても、完全な一定電圧とはなっていません。で、問題なのはこれからですが、平滑回路には抵抗成分が含まれます。コンデンサの間に数百オームの抵抗とか、チョークコイル（直流抵抗数十 $\Omega$ ）とか。また、その前の電源トランスにも抵抗成分が含まれます。これらを電源回路の内部抵抗と見ます。数オームから数十 $\Omega$ はあると考えてよいでしょう。しかも純粋な抵抗ではありません。コンデンサがあるので、コイル成分と打ち消し合っただけでほぼ抵抗成分だけとして概略考えましょう。ここで、音楽信号を増幅する過程として、1000Hzの信号を増幅したとします。すると、増幅回路に1000Hzの電流が流れます。この電流により、電源回路の出力電圧は、内部抵抗 $\times$ 出力電流分、電圧が低下します。増幅回路は、この変動がないことを前提に設計されていますので、これによって動作点がずれてしまいます。動作点がずれると増幅率が変化します。その変化はそんなに大きくはないのですが、数百分の一程度はあるようです。この変動は、信号系の電圧情報すべてに掛け算で聞いてきますので、三角関数の積が生じます。この掛け算効果は、増幅回路に入ってくるすべての信号に影響しますので、超音波領域の雑音であっても、増幅率の変動周波数あたりの可聴域の雑音として現れてくるわけです。厳密には、増幅率の変動周波数と増幅される相手の周波数との差と和それぞれの二分の一の周波数成分（側波帯）が新しく発生するわけです。特に差の成分（下側波帯）が、これが可聴域に出てくることがあるのです。非線形性を持つアンプの場合はもっと複雑な構造で側波帯を生成し、超音波領域から可聴域に、雑音を生成するメカニズムが生じるわけです。ちょっと複雑な話になりましたが、単純に考えると、最初に言ったAMラジオの原理です。

それでは、超音波領域の雑音ほどのように発生するのでしょうか？CD やネットオーディオなどのデジタル音源では、連続的な音響信号（アナログ信号）をサンプリング周期ごとに数値化してデジタル信号に変換します。アナログ信号の分解能がどの程度かは別として、デジタルに変換するとき、階段状のとびとびの電圧値に割り振ります。ここで、ランダムに量子化雑音が発生します。右の図はその模式図です。振幅 1 V 青色の正弦波を正值の部分のみ 4 ビットで量子化した場合の比較です。デジタル信号は、赤い線のように階段状になっていますが、左側の点です。青の点に対して、赤の点は少しずれています。これが量子化誤差です。この誤差は 16bit の場合実際には -96dB 以下になります。ハイレゾの 24 ビットでは -144dB になる計算です。これくらい少ないとほぼ聴覚でも検出できなくなって来ます。



しかしもう一つ、サンプリング周期のゆらぎが問題になります。通常サンプリング周期（CD では 1/44100 秒）は一定で揺らがないと仮定されますが、水晶発振器の振動数は揺らいでいますので、サンプリング周期も揺らいでしまいます（通常このゆらぎは温度が低いほど少なくなるので、ペルチエ素子などで冷却して一定温度にすると安定させることができます）。このゆらぎがランダム雑音が発生させます。右の図（サンプリング周期のゆらぎ誤差）に模式図を示します。



正確なサンプリング周期で得られる青色の正弦波が、サンプリング周期のランダムな揺らぎで、赤い線のように微妙にズレてきます。このずれがランダムな雑音（ホワイトノイズ）になります。ただし、量子化雑音もサンプリング周期のゆらぎによる雑音も、超音波領域の雑音ですので本来は聞こえないはずですが、音楽を再生すると、先程の増幅率の変動に影響されて可聴域での雑音に現れてくるわけです。特に、サンプリング周期の揺らぎを抑えると、雑音はぐっと減ります。そういった意味では、LP などのアナログではデジタル特有の雑音がない分スッキリ聞こえる面は強いと思います。とはいえ、

もともとホワイトノイズ成分を広い周波数範囲で持っていますので、超音波領域といえども、雑音対策は必須になります。そこで Helca の登場です。次回をお楽しみに。



## Tea Break

今日はちょっとティーブレイクをティーブレイクにし、お茶から離れた話をしてみましょう。ブログの方でも少し触れたことがあります。HGS を楽しめる音源としてアニメをよく見えています。録画して何度も見返えす場合いもしばしばです。結構奥が深く、一度見ただけでは真意を理解しえず、何度か見てやっと、あ、そういう意味だったのか、このシーンの布石が前回・前々回に出ていた、など、結構面白いものです。先日、録画したアニメ 13 回を通して観ました。以前放火事件（2019年7月）で話題になった京都アニメーションの作品です。2018年1月から放送された「ヴァイオレット・エヴァーガーデン」。フランス人形を並べたようなきれいな絵柄ですが、苦しみ・悲しみ・絶望など多くの艱難を乗り越え、一生懸命に生きることによって人を愛することがどんなことなのかが分かってくる。もともと、人を殺すのが目的の殺人鬼として育った少女が、軍の上官・少佐によって育てられ、心持つ少女へと変えられていく。終戦後、手紙を代筆する仕事を始めることによって、人の心を理解して文章に表すことが出来るようになる。その人生の中で、少佐が最後に言った「愛する」の意味が何であるかを探し求めていく。次第に依頼人の心情を深く理解できるようになり、依頼人に寄り添って支え、(仕事ではあるが)心から仕えてゆく。人と接するとき、その人の言動にその人の内にある愛が表れてくる。相手のことを思いやり、その人のための言葉を綴っていく。決して自分のための言葉でなく。人を貶める言葉でもなく。人の心に温かさ喜びを与える、そんな言葉を綴れるようになる。人のために、自分の信念のため命までも惜しまず差し出す(もともと死を恐れない兵員だったこともあるかも)芯の強い人。この少女に、私は部分的にキリストを重ねてしまう。人を愛するがゆえに、自分の身を犠牲にしてまで人を救う。究極には、神の怒りから人を救うための十字架の死に至るまで、人を愛して人のために生きてこられた方。アニメでは、主人公なのでどんな危険をも潜り抜けてハッピーエンドを迎えますが…。私が子供の頃に見たアニメは、ゲラゲラ笑って一時の楽しみを与えてくれるものだったが、年を経て見始めたアニメは意外と深い感動を与えてくれる。このアニメ、涙なくして見るのできないアニメなので、めったに見ることはしないが、いつ見ても感動を与えてくれるアニメの一つです。

他にも、最近のアニメは、いろんな音を画面の範囲を超えて(画面の外側迄)配置しているので、意外性があって面白いです。今期のアニメでは、例えば「君は冥土様」のオープニングテーマは、最初、モノラル?って思うほど中央に集中しながら、途中から画面の外側迄広く広がるとか、アニメの中でも、横の音は横から、空からの音は上から、といった具合に、スピーカの存在を無視して散りばめてあります。他にもいっぱいこのようなアニメはあります。ぜひ、HGSでテレビ放送を楽しんでみてください。

## 今月の音楽

JVC WORLD SOUNDS PREMIUM

六段・春の海/箏曲の神髄



装置から雑音を取り除かれると、音質のせいでいまいち聞く機会が少なくなっていた様な盤も登場の機会が増えてきます。より内容本意で楽しめる様になるのです。

中能島欣一編曲・演奏の「新ざらし」は20分に及ぶ大作ですが一瞬たりとも気を抜けません。

凡百のインプロビゼーションの類いを全く寄せ付けない、人類の宝。

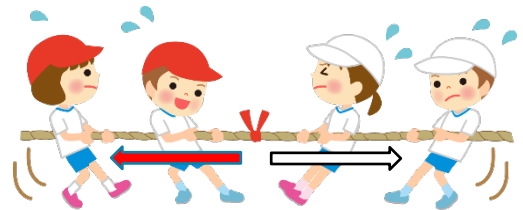


## オーディオと物理

### 第8回 運動の法則

やっと、ニュートンの運動法則をまともに扱えるようになりました。運動の法則は3つからなり、第1法則 慣性の法則、第2法則（運動方程式）、第3法則 作用・反作用の法則です。単純な話ですが、力が加えられなければ状態は変化しない（第1法則）。力が加えられ

ると物体の状態が変化し、その変化は加速度となって現れ（第2法則）るわけです。また、物体に加えられた力に対し物体は同じ大きさの力で押し返す（第3法則）ということですね。これは法則ですから従わざるを得ません。法則は3つありますが、1と3は2の条件を与えているようなもので、では、この法則、どのように使えばよいのでしょうか？第2法則を使って運動の説明をしてゆきます。



第2法則：物体に加えられた力=物体の質量×物体に生じる加速度

となりますが、加えた力によって物体に加速度が生じ、状態が変化してゆきます。つまり加速度が生じる方向に時間とともに移動してゆき、位置が変化してゆくわけです。実際の運動は、位置と向きで状態を説明しますので、位置の表現で  $x-y-z$  の3次元、向き（位置の座標軸に対する角度）の説明で  $\alpha-\beta-\gamma$  の3次元、計6次元での標記となります。簡単のため質点の直線運動（1次元の運動）で話を進めます。 $x$ -軸上の直線運動を考えると、質点に加えられた力  $F$  により質量  $m$  の質点に加速度  $\alpha$  が生じます。加速度は、 $\alpha = d^2x/dt^2$  ですから力が加えられることによる位置の変化やその速度を  $\alpha$  から求めることができます。

例えば、質量  $m$  の質点に一定の力  $F$  を  $T$  秒間加えたのちの時刻  $t$  での質点の位置  $x$  を求めよ。

という問題では、 $t$  が  $T$  より小さいときは  $F$  による加速度が生じていますが、 $t$  が  $T$  より大きくなると加速度は 0 となり、等速運動に変わり、位置の求め方が変わります。つまり、

- 1)  $t < T$  の時:  $\alpha = d^2x/dt^2 = F/m, v = \int \alpha dt = (F/m)t, x = \int v dt = (F/m)t^2/2,$
- 2)  $t = T$  の時:  $\alpha = d^2x/dt^2 = F/m, v = \int \alpha dt = (F/m)T, x = \int v dt = (F/m)T^2/2,$
- 3)  $t > T$  の時:  $\alpha = d^2x/dt^2 = 0, v = \int \alpha dt = (F/m)T, x = \int v dt = (F/m)T^2/2 + v(t-T),$

となり、どのような運動をするかが計算できます。この世が、原子や分子などの物質でできているなら、すべての粒子の初期条件が分かれば、未来も含めてどの時刻でどうなるかを計算して求めることが出来るという「ラプラスの悪魔」の話になっていく分けですね。(余談ですが、「青春豚野郎はバニーガール先輩の夢を見ない」第4話の9分過ぎの物理実験準備室でのシーンで、その説明が出てきます。アニメって色々教養を与えてくれますよ。) 結局、短い時間内では働く力が一定であることを前提に微分概念で力のつり合いを説明しているわけです。あくまでも、力のつり合いです。質量に力を加えると、力に比例した加速度が質量に発生する。つまり、質量の速度が変化するときには質量には質量と速度の変化率(速度の微分)の積に比例した力が生じているとも見ることが出来ます。力のつり合いです。同じ釣り合いは、電磁気学でも言えます。力学での重力場が電場、磁場に置き換えられ、質量が電荷や磁荷に置き換えられ、同様な理論が展開されます。

さて、あとはこのニュートンの運動法則を問題にどのように当てはめ、問題に与えられている条件と結び合わせるかです。実は、このところが難しいといえます。つまり、力のつり合いがどのようになっているかを解析せねばなりません。前回のクレーンのように一次元で力が働いていればいいのですが、壁に立てかけられた棒のように、壁と床に力がかかっている場合、どの力とどの力が釣り合うのかを探り当てねばならないところが難しいですね。私も苦手です。壁に立てかけた棒が動くか否かは静止状態での力がどのように働くかで決まってくるので、基本はニュートンの運動方程式以前の問題になります。で、動くとなると、どのように倒れるかを考えるときにニュートンの運動方程式が役立つわけです。

今はニュートンの運動方程式を使う話ですので、例えば、「高さ  $hm$  の位置から水平に質量  $mkg$  のボールを初速  $v_0m/s$  で打ち出したときの落下地点  $dm$  と落下時の速度  $vm/s$  を求めよ。」という問題があったとします。

ここでは、水平 ( $x$ ) 方向と鉛直 ( $y$ ) 方向の2次元で考える必要があります。加速度が働くのは  $y$  方向のみなので、鉛直方向に力  $f_y = -mg$  が働き、水平方向は  $f_x = m \cdot 0$  となります。つまり水平方向は初速  $v_0$  のまま地上に到着する時刻  $t_s$  まで水平方向の距離  $d$  ほど飛び続けます。ここで、高さ  $h$  から地上までの距離  $h$  を落下するに必要な時間は、水平方向で落下するまでの時間  $t_s$  と同じなのでまずこれを求めます。鉛直方向の移動距離は  $f_y = mg = md^2y/dt^2$  を2回積分して求めます。ここで、上方向を正として  $y(t) = -g/2t^2 + v_{0y}t + h$  が得られます(速度は  $v_y = -gt$ )。鉛直方向の初期速度  $v_{0y}$  は 0 ですので、

時刻での鉛直方向の位置は  $y(t) = -gt^2/2 + h$  となります。この値が地上つまり  $y(t) = 0$  となる時刻を求めると、 $-gt^2/2 + h = 0$  より、 $t = (2h/g)^{0.5}$  を得ます。これを、 $x = v_0 t$  に代入すると水平方向の距離  $d = v_0 \times (2h/g)^{0.5}$  が得られます。また、落下時の速度は  $x$  方向の速度と  $y$  方向の速度のベクトル和となるので、 $v = (v_0^2 + 2gh)^{0.5}$  となります。途中で、鉛直方向の速度を求めておく必要があります。

今回は、直線運動の実の話でしたが、回転運動も同じように考えることができます。これについてはエネルギー（仕事）の話の後に考えてみましょう。

☆西村博士の物理ラボ 活動情報はここから

◆西村博士連載ブログ [https://kryna.jp/report/nishimura\\_blog/](https://kryna.jp/report/nishimura_blog/)



◆西村博士の物理ラボ X アカウント [https://twitter.com/dr\\_nishimlab](https://twitter.com/dr_nishimlab)



◆法人向けコンサルティング [https://kryna.jp/biz\\_consulting/](https://kryna.jp/biz_consulting/)

