

KRYNA 科学通信

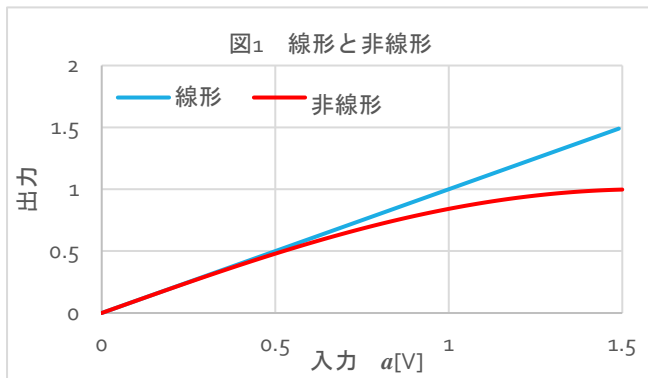
この通信は KRYNA が提供するオーディオ技術とその背景をご紹介します。冊子です。

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

email dr.nishimura.lab@gmail.com

非線形・非定常性のメカニズムがどう雑音に影響するのか

通常、オーディオシステムは入力大きさに比例し、常に一定した増幅率で出力する定常・線形システムとして扱われます。完全に定常・線形なら問題ないのですが、厳密には完全に定常・線形なシステムは存在しません。つまり、少々の非定常・非線形特性は定常・線形システムと扱うわけです。今日はこのオーディオシステムの非線形・非定常性（と言っても1/1000程度のごくわずか）がどのようなメカニズムで、雑音に影響するかのメカニズムを考えてみます。



昔、3極管のアンプで、出力を大きくすると歪んだ音になりましたが、そこまで酷いものでなく、もっと小さな歪や増幅率の変動を対象にします。分かり易くアンプの増幅率を考えてみましょう。線形の場合、入力と出力の関係は 出力 = 増幅率 × 入力 (増幅率は一定の定数) となります。非線形の場合は、この増幅率が入力

の大きさによって変化します。単純な非線形システムのモデルでは、出力 = 増幅率 × 入力²、とか、出力 = 増幅率 × 入力³などのようになりますが、図1の青い線のように、オーディオの場合もともと線形ですので、非線形と言っても赤い線のように、大きな入力に対して増幅率が低下して出力が大きくなりきれないという意味合いでの非線形特性を考えれば妥当かと思います。また、非定常な場合とは、増幅率が一定ではなく時間的に変動します。増幅率の変動は、増幅回路の動作点の変動により起こります。通常、直流バイアスが一定ならば動作点は変動しません。つまり、音楽を再生していないときは、直流バイアスが変動しないので増幅率も安定します。しかし、音楽を再生すると音楽信号の変動に合わせて増幅回路が消費する電力（スピーカや次段のシステムを駆動する電力）が変動するため、直流電源から増幅回路への電流（電力供給量）が変動します。この変動は、

電源回路の内部抵抗の影響により、増幅回路のバイアス電圧の変動を生じ、増幅素子の動作点が揺らいでしまいます。動作点の変動により、増幅率がわずかに揺らぎ非定常性を示す訳です。

それでは、まず非線形の影響はどのように現れるか見てみましょう。

今、入力を正弦波として、 $a \sin(\omega_s t)$ 、通常バイアスを加えて増幅回路に入力するので、入力信号は $u(t)=a\{1+\sin(\omega_s t)\}$ 。ここで、入力の2乗に比例した出力を出す非線形の場合、出力信号は $out_s(t)=u^2(t)=a^2\{1+\sin(\omega_s t)\}^2=a^2\{1.5+2\sin(\omega_s t)-0.5\cos(2\omega_s t)\}$ となり、2次高調波 ($2\omega_s t$ 成分) が出てきます。

また、図1のような頭打ちの特性として入力の0.5乗に比例した出力を出す非線形の場合、出力信号は3次近似で $out(t)=u^{0.5}(t)=a^{0.5}\{1+\sin(\omega_s t)\}^{0.5}=a^{0.5}\{15/16+35/64\sin(\omega_s t)+1/16\cos(2\omega_s t)-1/64\sin(3\omega_s t)+\dots\}$ となり、2次高調波、3次高調波が生じます。

ここまでは増幅率を1として一定と考えました。

次に、増幅率が時間とともに変動する場合を考えましょう。

例えば、周波数 ω_s の信号を増幅することにより、増幅率が周波数 ω_m で変動したとし、増幅率を $m=M(1+\sin(\omega_m t))$ としましょう。

この時出力は $out(t)=mu(t)=M(1+\sin(\omega_m t))\{1+\sin(\omega_s t)\}=M\{1+\sin(\omega_m t)+\sin(\omega_s t)+\sin(\omega_m t)\times\sin(\omega_s t)\}=M\{1+\sin(\omega_m t)+\sin(\omega_s t)-0.5\{\cos((\omega_m+\omega_s)t)-\cos((\omega_m-\omega_s)t)\}\}$ となります。

つまり増幅している信号の周波数と増幅率の変動の周波数の和と差の成分および増幅率の変動成分が余分に生じます。これが雑音=元の信号にない成分として加わる雑音成分になります。

非定常の影響は、信号とは無関係にバックグラウンドに存在する雑音にも影響しますので、可聴域のみでなく、超音波領域の雑音にも影響して可聴域の雑音を発生させる要因になるわけです。

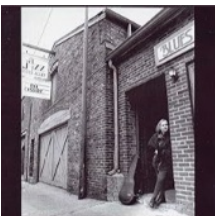
今日は、複雑な数式が出てきて難しかったかもしれませんが（高校の数学で習う三角関数ですが…、 $\omega_s t$ を x 、 $\omega_m t$ を y と置き換えると分かり易いかも）、非線形性や非定常性で信号以外の成分が発生することをご理解いただければと思います。次回は本題に戻って、HGS実現のための対策方法について説明しましょう。



Tea Break

ダーズリンは最も有名な紅茶ですが、ヒマラヤの麓、低い位置から高度3000mあたりまでの広い範囲で栽培されています。日照時間、霧のかかり方、土地などの

影響により、茶園ごとに香りや味わいが大きく異なっています。それがまた楽しみです。さらに、春茶（ファーストフラッシュ）、夏茶（セカンドフラッシュ）、秋茶（オータムナルフラッシュ）と年に3回新芽が芽吹く季節があり、それぞれに味わいが変わってきます。なんとなく思うのですが、春茶や夏茶は暑さをしのぐ、秋茶は冬に向けて暖かさをくれるそんな感じですが、特に春茶は、すっきりとした味わいに出すことが出来、涼しさを呼ぶ一杯に仕上げる事が出来ます。高地産のお茶の特徴として、タンニンが多く、キレが良くすっきりとしながら香りも味も深い味わいを醸し出します（特に春茶）。ストレートで頂くのが良いかと思えます。夏や秋のお茶はどっしりとした感じになりますので、好みに応じてミルクと合わせるのもおすすめです。茶葉は大きめで、その分抽出時間は長めとなりますが、最適な時間は、個々に選定する必要があります。例えば、芽を含んでチップーな（白っぽい茶葉）場合は6分かそれ以上、短いと、香りはある程度出ますが、渋み系の味ができません。普通の^{ほぼほぼ}略略黒っぽい大きさの揃った茶葉の場合3から4分半といったところで、渋みや香りを引き出すことが出来ます。長すぎると、渋みが出すぎて、タンニンが強くなりすぎますので、茶の葉に合わせて調整が必要です。また、多くの場合タンニンが多いので、オンザロックでのアイスティーは時間がたつと白く濁り渋くなりざらざら感が出ます。水出しでアイスティーにするのがおすすめです。茶園もたくさんあり、「キャスルトン」、「リシハット」、「マーガレットホープ」、「タルポー」…。それぞれに特徴があり、香りや渋み、キレの良さなどに大きく違いがあり、土壌や日当たり、産地の高度などいろいろな要因で決まってきます。好みで選ぶしかありません。ただ最近ドンドン値段が上がってきて、気楽に飲めなくなっているのが残念です。



今月の音楽

Live at Blues Alley

Eva Cassid

よくオーディオファオル向けに録音が良いけれど、内容がいまいちな物とかが紹介されていたりして、高音質盤として紹介されている物に対しては疑心暗鬼になっていたりするのですが、このエバの生前最後の作品は音も内容も抜群です。音（録音）が良い。と言っても KRYNA では3次元的な音場を捉えている物をよしとしますので、やれドラムの迫力がとか、ここ弦の響きがとか、そこだけの物は高い評価にはなりません。（とは言え、ホログラフィックサウンドを突き詰めていけばそこも良くなっていくのですが♪）このライブ盤は KRYNA 的に◎の高音質盤でございます。



オーディオと物理

第4回 速度と速さ、力と圧力…何が違う？ ベクトルとスカラーの違い

速さ[m/s]の定義、速度[m/s]の表現、力[N=kg m/s²]と圧力の単位

前回、速度や加速度は3次元空間では大きさ方向をもつことを話しました。

一次元では右か左といった感じで簡単ですが、3次元では、前後・左右・上下の各方向にどれだけの大きさで動くかを表現する必要があります。このように、大きさと向き（方向）を持つ物理量はベクトルと呼ばれます。一方質量などのように大きさしか持たない物理量をスカラーと呼びます。

ベクトル…大きさと方向を表現（図示、座標） スカラー…大きさのみ

例えば、質量はスカラーで大きさしかありませんが、重力加速度の働きにより、地球の中心に向かう力：重力を生じます(図1)。

これは質量×重力加速度の大きさを持ち、重力加速度の向きと同じ向きに働く物理量になります。では、図2のように二つの力：力1と力2で m を持ち上げると

しましょう。二つの力はそれぞれ大きさと向きが異なります。 m を持ち上げるには二つの力で、 m の重力と同じ大きさで逆向きの力を作る必要があります。

ここで、図3に示すようにそれぞれの力の上下方向成分と水平方向成分を考えます。水平方向成分は左右逆向きで同じ大きさ、つまり、互いに打ち消す力です。

一方、上下方向成分は、どちらも上向きで、二つの成分の和が重力と同じ大きさになるような成分を生じる力の向きと大きさが必要となります。この図3が力のベクトル合成を表しています。

力1と力2の大きさが決まれば、上記の条件が成り立つようそれぞれの力の向き (θ_1 と θ_2) が決まります。つまり、 $力1 \times \sin \theta_1 + 力2 \times \sin \theta_2 = m$ をつるす力となります。また、左右の力も釣り合う必要があります、 $力1 \times \cos \theta_1 = 力2 \times \cos \theta_2$ も成立します。

(ベクトルの和、差、内積、分解 (x方向とy方向成分))

さらに、ベクトルには、内積と外積という演算があります。数学でも学びますが、内積は図4に示すように、二つのベクトル A と B の大きさの積にそれらのなす角の余弦をかけたものです。

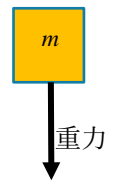


図1 重力

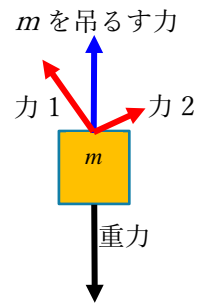


図2 力の合成

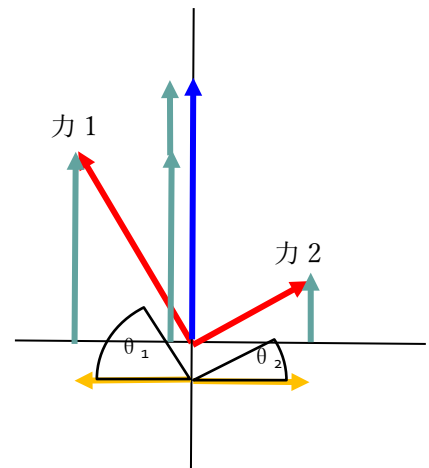


図3 力の成分

言葉で書くと分かりにくいですね。数式語で書くと $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = |\mathbf{A}||\mathbf{B}|\cos\theta$ 、ただし θ は \mathbf{A} と \mathbf{B} のなす角です。 $|\mathbf{B}|\cos\theta$ は \mathbf{B} の \mathbf{A} 方向成分ですので、内積は、 \mathbf{B} の \mathbf{A} 方向成分を \mathbf{A} の大きさ倍した量で、これは大きさだけなのでスカラーになります。一方、外積は図5に示すように、二つのベクトル \mathbf{A} と \mathbf{B} を二辺とする平行四辺形の面積を大きさとし、この平行四辺形に直交するベクトルでその向きは \mathbf{A} を \mathbf{B} に重なるように回転させたときにねじが進む（右ネジの法則）向きになります。数式語で書くと $|\mathbf{A} \times \mathbf{B}| = |\mathbf{A}||\mathbf{B}|\sin\theta$ の大きさを持ち \mathbf{A} と \mathbf{B} に直交するベクトルです。内積で、ベクトル \mathbf{A} の大きさを1とすると、内積は \mathbf{B} の \mathbf{A} 方向成分を抽出する演算になります。また、外積は前回お話した、やりの回転と姿勢の安定性に関係し、やりの長さ方向の軸周りに回転させることにより、軸の中心からやりの各部分の質量までの距離ベクトルと回転力のベクトルの外積として中心力が与えられ、この中心力はやりの軸に一致するものとなります。これが姿勢を安定させる力となります。ちょっと難しい話になりましたが、もう少し、ベクトルの合成について、次の問題を考えてみましょう。

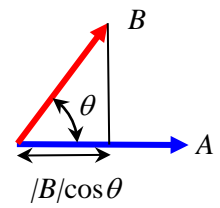


図4 内積

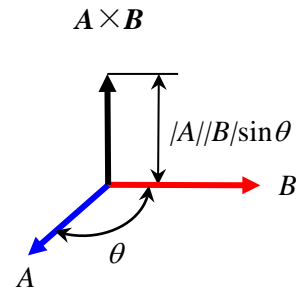


図5 外積

・地上で水平方向に初速 v_0 でボールを投げた場合、2秒後、 t 秒後のボールの速度はどうなるでしょうか？

地上で（重力加速度 g ）水平方向に初速 v_0 でボールを投げると、空気の抵抗が無視できるなら2秒後、水平方向の速度は v_0 のまま、鉛直方向の速度は $gt^2/2=2g$ [m/s]、ボールの速さは $(v_0^2+4g^2)^{0.5}$ 、進む方向は水平に対して $\tan\theta=2g/v_0$ となる角度 $\theta(\theta=\tan^{-1}(2g/v_0))$ ほど下方向を向く。 t 秒後には、ボールの速さは $(v_0^2+t^2g^2)^{0.5}$ 、進む方向は水平に対して $\tan\theta=gt/v_0$ といった具合に、時々刻々運動の方向が変わることが説明できます。

今回は、ベクトル合成に関係し、ちょっとフライングをして加速度の話までしましたが、次回は加速度 0 の運動についてお話しします。

☆西村博士の物理ラボ 活動情報はこちらから

◆西村博士連載ブログ 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



◆法人向けコンサルティング https://kryna.jp/biz_consulting/

