

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。

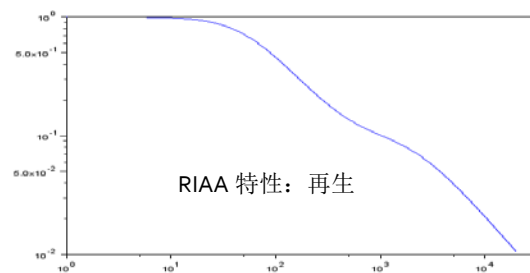
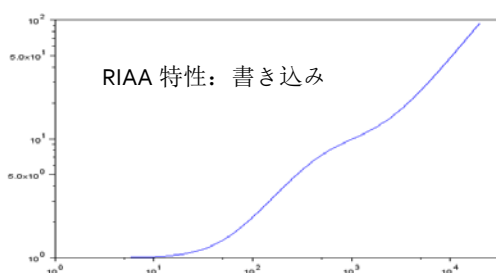
Written by Dr.Nishimura @ KRYNA INC. TEL 0120-924-422

email dr.nishimura.lab@gmail.com

オーディオの基礎…イコライザーは何してるの？

イコライザーの名をよく耳にするのはアナログレコードを再生するときですね。これはアナログレコードに刻まれている溝に与えられている周波数特性を補正するに必ず必要なものですが、カートリッジの種類によって変わってきます。MM・MC カートリッジではその特性から振動の速度特性の影響を受けますので、その補正も含まれます。一方、最近出てきた光を使った変位検出では、レコード盤での特性の補正のみとなり、補正回路が異なります。一般に、イコライザーは、周波数特性を調整する回路で、1/3 オクターブやもっと狭い周波数範囲で信号レベルを調整します。コンサートや講演会などでは、会場特有の音響特性を補正して、聞こえやすく、ハウリングなどの不具合を発生させないように、グラフィックイコライザーを用いて会場の音響特性に合わせた細かな周波数特性の補正を行います。このように、信号の周波数特性を細工する道具がイコライザーです。

さて、アナログレコードの場合、音楽信号の時間変化と同じ波形が刻み込まれていますが、溝を刻み込むとき、溝を刻むヘッドの質の影響を受けて高い周波数ほど、溝幅が小さくなってしまいます。雑音対策のため高い周波数の信号を増強するようにしてヘッドの特性を補正し、同じ大きさの信号が周波数に関係なく同じ溝幅で刻み込めるよう、信号の周波数特性を補正しています（アメリカ・レコード工業会 (RIAA:Recording Industry Association of America) によって規格化されています）。この RIAA 特性は（伝達関数として： $f(s)=(1+T_1s)(1+T_3s)/(1+T_2s)$ ）与えられていますので、周波数特性を計算した図が下に示す図です。横軸は周波数で縦軸はゲインです。レコード作成



時の書き込みヘッドの動特性を補正する周波数特性が左側の図（書き込み特性）で、レコードから信号を読みだして元の波形に戻す周波数特性が、書き込みの逆特性の右側の図（再生）になります。つまり、レコード再生にはレコードから読みだされた信号に右の図の周波数特性をかける必要があります。これがフォノイコライザーに備えられる特性になります。詳細は以下の Web ページを参照ください：[アナログ・レコード再生に使われる RIAA イコライザとは | CQ 出版社 オンライン・サポート・サイト CQ connect](#)。さらに、カートリッジの動特性を補正する必要があります。MM カートリッジや MC カートリッジは、磁界の変動によりコイルに電圧を発生させる機構を取っています。この発電メカニズムは、発電機と同じで、ファラデーの法則に基づいています。MM カートリッジでは磁石の振動速度、MC カートリッジではコイルの振動速度に比例した電圧が出力されます。すると、レコードに刻み込まれているのは RIAA 特性をかけた音楽信号の波形そのもので、それをトレースすることで発生する電圧は、波形の時間微分になります。つまり、波形が振幅で書き込まれているので、カートリッジの出力電圧は波形振動の時間微分（速度）に比例することとなり、音楽信号に角周波数（周波数 $\times 2\pi$ ）をかけたものとなってしまいます。従って、再生された信号は RIAA（書き込み）の逆特性をかけるとともに $1/(\text{周波数} \times 2\pi)$ 倍する必要があるわけですね。これがイコライザー回路となります。カートリッジが振幅に比例した電圧を出力するのなら、後半の $1/(\text{周波数} \times 2\pi)$ 倍は不要になります。したがって、カートリッジからの出力信号はイコライザーを通さなければ、高域音が強調された音になってしまいます。



Tea Break

夏本番に向けてたっぷり汗をかいた後にのどを潤すのが…ビール…ではなく、アイステイーで如何でしょうか？アイステイーに大事なのはスッキリ感、サッパリ感でしょうか？そのためには切れの良い茶葉が欲しいですね。アイスコーヒーでは体験しえないのどの潤いが得られます。といっても、意外と難しいのです。キリっとした感じにはタンニンが付きものですが、タンニンは温度が下がると結晶してざらざら感が出てきます。ダージリンなど特にタンニンが多い紅茶では、キリっとした締り感を演出してくれるのですが、飲み頃を過ぎて温くなるといやな渋みやザラっとした感触に変わります。これはタンニンが晶出してきたためで、こんな時は少しお湯を注げば元に戻ります。アイステイーの場合、もっと顕著にこの現象が起こり、白濁に至ります。このようなことにならないため、もともとタンニンの少なめな茶葉を使う方法があります。ニルギリなどはそういった面で使いやすいでしょう。しかし、ダージリンファーストフラッシュのアイステイーほど絶妙に美味しいものではありません。キレの良さを演出しきれません。そこで、ダージリンファーストフラッシュのキレの良さや香りを保ったままのアイステイーを作る方法を紹介

します。この方法は、高級な茶葉ほどよいのではないのでしょうか？それは、水出しです。コーヒーでも水出しがありますが、キレが悪くなってしまい、すっきりとした珈琲にはなりません。それは高温の水にしか溶けださない成分が抽出できないからです。紅茶も同じようなものですが、質の良い茶葉ほど水でも抽出がうまくいきます。熱湯で出すほどにはいきませんが…。で、ケチな私は水出しした後の茶葉に、熱湯を注いで、二番だしを取ります。これは、タンニンが少なくなっているので、自然と室温に戻った後冷蔵庫で冷やしても白濁しませんし、結構渋みも残っていて意外と良いアイスティーが作れます。

さて水出しの方法ですが、茶さじ 1 杯に水 150cc を目安に茶葉と水をポットに入れそのまま 8 時間程度冷蔵庫に保存し（私の場合夜冷蔵庫に入れて翌朝）茶葉を濾して貯蔵用の容器に移します。その後、2 番だしを取ります。高級茶葉ならおいしく出せます。私は質の良いダージリンファーストフラッシュを使います。他にたとえば、キレの良さは望めませんがアールグレイを少し薄めに抽出してそのまま冷やしてアイスティーにするのもいいですね。アイスティー、チャレンジしてみませんか？ティラミスや冷たいプリン、ケーキ類にうってつけです。

（前回の問題の答え：「ガンダムはロボット」が間違いです。ガンダムはマニピュレータです。ロボットは自己判断で動作しますがマニピュレータは人間が操作します。ガンダムはロボットとされていますが、私が見たアニメの限りでは人間が乗って操作するアーマースーツといった感じで、ロボットとは言えませんでした。その点、ドラエモンはロボットです。また、全自動運転の自動車は行き先を指示するだけで人間の操作不要で目的地まで行ってくれますのでロボットです。）

こんな時、こんな音楽 …

さて 7 月になりましたが、7 日は七夕（シチセキ）の節句（別名：笹竹の節句など）、一年に 5 つ節句がある中の 4 番目で星まつりが行われます。織姫と彦星の伝説に由来するとありますが、乙女が着物を織って棚に備えて神にささげる行事と結びついているようです。こんな七夕を思い起こすと頭をよぎるのはこの曲「星めぐり」（西島三重子）で、最近昔を懐かしんで購入したスーパーベストコレクションに収められている曲です。夜空の星を眺めながらあこがれている人の後について行く、流れ星を見つけたら思いを伝えたい、心に余裕があったなら…。

さて、七夕を過ぎるといよいよ夏本番へと突入していきませんが、夏休みを直前にこの夏何をしようかと思いを巡らせておられることでしょう。山へ行こうか？海へ行こうか？高原ですがすがしい風のなかテント張り。ひと汗かいた後にグツといくビールは爽快ですね。夜はファイアーBBQ ここでもビールがおいしい。それとも、海辺でキャンプ。ギラギラの太陽が照り付ける中のひと泳ぎ。浜辺のビーチパラソルの下サマーベットに横たわり優雅に頂くブルーハワイ。心のもやもやも洗い流される一時。

こんな時、アルバム「ロングヴァケーション（今は亡き大瀧詠一）」を聴いてみませんか？やはり夏は「ロングヴァケーション」でしょ。曲想がいかに夏という音楽が揃っている。第1曲目の「君は天然色」はさわやかなビーチに直結。「唇をつんととがらせた」可愛い彼女がちょっと小悪魔的にいたずらをたくらむ。海に入るとふいに水を浴びせかけるのか？いいえ、サヨナラの言葉。2曲目の「Velvet Motel」もちょっとマッタリした感じで夏の気怠さをちょっとばかり感じさせる。3曲目の「カナリア諸島にて」、日差しをキラキラとはじき返すコバルトブルーの海が目につく。全てを放り出してちょっと旅行でもしてみたいくなる。こんな曲を集めたアルバム、如何でしょうか？

そういえば学生の頃、研究室の合宿でひと気のない砂浜でキャンプしたときの事です。夜8時ごろでしょうか？海に向かって浜辺を進んでいったのですが、足が水に浸るころから足元がキラキラ光るのです。遠く沖合にイカ釣り船でしょうか漁火を煌々と焚いていたので、その光が反射しているのかと思いながら進んでゆき、ついに泳ぎだしたのですが、手を前に伸ばすと、伸ばした手に引きずられるようにキラキラが伸びてゆくのです。これはもう沖の漁火ではない。ふと思いついたのが、夜光虫。生まれて初めて夜光虫を見ました。とても神秘的で美しい光景で、ほぼ半世紀弱経った今でも忘れることのない思い出です。空には満天の星。都会では見ることが出来ない「天の川」、まだ流れてますよね？

今月の音楽

Hawaiian Nisei Songs

A Musical Cocktail of Japanese American Songs in 1950's Hawaii



細野晴臣や久保田麻琴にも影響を与えたと言われるエキゾチックミュージックのレア盤です。日系ハワイアン2世の人々による演奏で、日本の民謡や歌謡曲、アジアの楽曲を実にエキゾチックなアレンジで聞かせてくれます。音質は1950年代の録音で時代感がありますが殊更古くさくもありません。演奏によっては演奏会場（ホール）の音響状態や空間の広がり再現されて実に自然で、色々と手を加えていないそのままな感じが👍再生装置がしっかりしてくると高音質盤と言われる物でなくても存分に楽しめます。好きな物を聴きましょう。



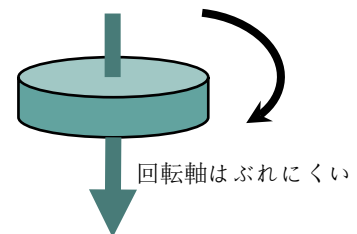
オーディオと物理

第 16 回 特殊な運動のエネルギー：回転運動と振動

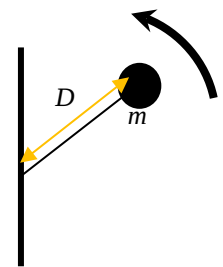
回転運動や振動のエネルギー：質量×速度²/2[kg (m/s)²]？

回転運動は、物体がある軸を中心に回転する運動です。その軸が自分自身に含まれる場合もあるし、自分の外にある場合もあります。例えば、コマは円盤に回転軸が取り付けられ、その軸を中心に回転します。月はどうでしょう？地球を中心に回転しています。この地球と月も太陽の周りをまわり、さらに、銀河の中心の周りをまわっています。この銀河さえ、宇宙の中心の周りをまわっているようです。回転運動は面白い力を作り出します。コマは回転軸を中心に安定して回ります。軸がぶれないように回ります。このため円盤は安定に水平を保つことが出来るのです。これは、自転車をこぐと良く分かります。速く走れば走るほど姿勢が安定します（重心のふらつきは別ですが…）。さて、月と地球はお互いに回転しあっているのです、回転の中心は地球の中心からずれていきます。これを共通重心と呼びます。

では回転している物体のエネルギーはどうなっているでしょう。コマなど回転している物体は位置を移動することが無くても運動エネルギーをもちます。回転も運動です。細かく見ると、コマを構成する部分は回転軸周りに運動していますので、 $mv^2/2$ に相当する運動エネルギーを持つわけです。ではそのエネルギーはどのように求め



られるでしょうか？定義からすると、まず、物体の速度を求める必要があります。速度は回転の中心からの距離によって変わりますので、中心からの距離が r で幅 dr が非常に狭い領域を仮定し、この領域の物体は速度が一定と考えます。ここで、コマの回転速度が問題となります。回転ですので、1 秒間に何回転するかでその回転速度を決めることが出来ます。1 回転の角度は 360 度 = 2π ラジアン(rad)で、半径が D なら円周の長さが $2\pi D$ となるので、1 秒間

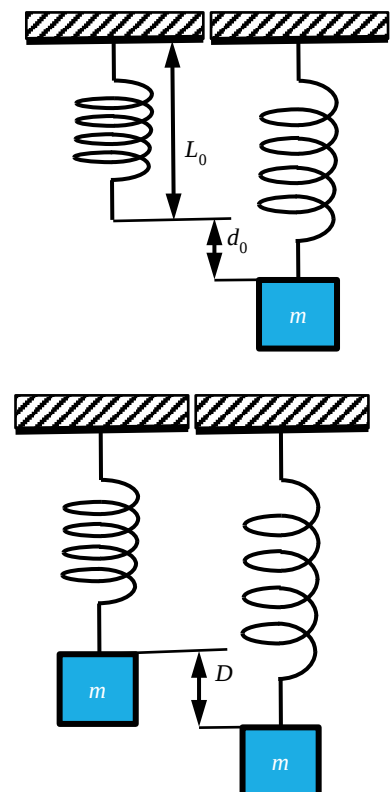


に n 回転するなら回転速度は 1 秒間の移動距離 $2\pi nD$ となります。同じ回転数でも中心軸からの距離によって速度が変わり不便なので、このあたりをスッキリさせるため 1 秒間の回転角度を $360 \times n = 2n\pi$ ラジアンとし、 $2n\pi = \omega$ とおいて角速度と呼びます。単位はラジアン/秒 (rad/s) です。すると半径 D の位置の速度は半径に角速度をかけて $D\omega$ で求められます。今簡単な例として、回転軸からの距離 D の位置にある質量 m の質点が角速度 ω で回転しているときの運動エネルギーは、接線

方向の速度が $D\omega$ となるので $m(D\omega)^2/2$ となります。また、コマのように半径 R 、厚さ t の円盤が中心軸周りに角速度 ω で回転しているときの運動エネルギーを、定義に従って求めると $E = \pi R^2 t \rho R^2 \omega^2 / 2 = mR^2 \omega^2 / 2$ となります（ ρ ：コマを形作る物質の密度、 $\pi R^2 t \rho$ ：コマの質量）。ここで回転運動を直線運動と同様に質量と速度でとらえるなら、速度は角速度 ω 、質量は mR^2 に相当することが分かります。これを慣性モーメントと呼びます。 mR^2 となるのは半径 R 、質量 m の均質な円盤の場合です。これは自転の場合ですが、太陽をまわる地球も回転運動をしていることになり、同様に回転エネルギーを持つわけで、先程の半径（太陽からの距離） D の位置にある質量（地球の質量） m の物体の運動エネルギーとして求められます。この場合、回転半径は地球と太陽の距離になります。

さて、それでは問題です。地球に対する太陽の引力はいかほどでしょうか？これを求めるには、地球の公転半径と質量、角速度 ω が分かれば求められます。まず ω ですが、365 日で 360 度回転するので、これを 1 秒間の値に直すと $\omega = 2\pi / (365 \times 24 \times 60 \times 60) = 2 \times 10^{-7} \text{ rad/s}$ となります。地球の質量は $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$ 、地球の公転半径は楕円軌道なので、短半径 $1.47 \times 10^{11} \text{ m}$ 、長半径 $1.52 \times 10^{11} \text{ m}$ を考慮し、単純な円軌道の半径を $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ として計算してみます。遠心力は質量 $\times$ 回転半径 $\times$ 角速度の 2 乗で得られますので、遠心力と釣り合うためには、太陽の引力 $= (6.0 \times 10^{24} \text{ kg}) \times (1.5 \times 10^{11} \text{ m}) \times (2 \times 10^{-7})^2 \text{ rad/s} = 36 \times 10^{21} \text{ N}$ となります。これがどれだけの力か想像できません。ちなみに、万有引力の公式を用いて求めると引力 $= GMm/r^2 = (6.67 \times 10^{-11}) \times (1.99 \times 10^{30}) \times (6.0 \times 10^{24}) / (1.5 \times 10^{11})^2 = 35.4 \times 10^{21} \text{ N}$ となり、先程求めた値とほぼ一致します。

振動現象はどうでしょう？振動とはどのような運動でしょうか？例えば、バネにぶら下がった質量 m を考えましょう。質量 m をぶら下げるとバネがある長さ伸びたところで止まりますよね。それから質量 m を少し動かして手を離すと静止位置を中心に上下に運動します。静止位置がエネルギー的に安定状態で、それからずれると安定状態へ戻ろうとします。これが振動現象です。東京の科学博物館にあるフーコーの振り子の運動（こちらを参照ください：日本館 B1F 「フーコーの振り子」動画の動画 37:1037 分 10 秒 日本館 B1F 「フーコーの振り子」動画）も振動現象と見なせます。静止しているときには、運動エネルギーはゼロで、位置エネルギーのみ持ちます。コマが回転していないときと同じです。バネにぶら下がった状態ですので、バネによる位置エネルギーを持つと考えられます。バネに物体が吊り下がっていないときのバネの長さ（バネの自然長 L_0 ）に対し、物体を吊り下げて静止しているときの伸びを d_0 とすると、静止している状態での位置エネルギーは $kd_0^2/2$ となりますが、これ



はまた、重力場での位置エネルギーの変化 $mg d_0$ と等しくなります。さて、バネに吊り下げられた物体には、この静止状態からずれると元に戻ろうとする力が働き、運動を始めます。静止位置を原点 0 とし、それからの位置のずれを x とします。物体を手で引っ張って D 程動かし、静止させて手を放すと元の静止位置（原点）に戻ろうと運動を始めます。手を放す瞬間に働く力は kD でバネの位置エネルギーは $kD^2/2$ となります。バネが伸びるとバネの位置エネルギーが増加し、重力による位置エネルギーが減少します。引っ張った後手を離すとバネの力または重力によって運動を始め、原点に向けて（バネまたは重量により）加速していきます。ここで、質量 m が受ける重力の影響はバネの伸び d_0 によって相殺されていることを忘れずにいてください。今質量の位置が x の時の速度を v とすると、運動エネルギーが $mv^2/2$ 、バネによる位置エネルギーが $kx^2/2$ となります。 D 程引っ張ったときのエネルギーはバネによる位置エネルギー $kD^2/2$ であり、このエネルギーは運動中他から力を加えない限り（損失を 0 として）増減しませんので、 $kD^2/2 = mv^2/2 + kx^2/2$ が成り立ちます。これより、 $v^2 = k/m (D^2 - x^2)$ となり速度の大きさが求められます。位置が原点 ($x=0$) の時速度が最大で、変位が上下に最大 ($x=\pm D$) の時速度が 0 となります。ここで、 k/m は固有角振動数の 2 乗になります。この固有角振動数は、バネ定数と質量の比となっていますが、質量が 1kg であれば、 1000kg であれば、同じようにバネが 1000 倍硬くなれば周囲から見た動きは同じ（同じ固有振動数）になるということです。

実は回転運動と振動には深い関係があります。透明な円盤でできたコマを想像してみてください。コマの端に印をつけて回し真横から見ると、印が回転とともに左右に往復するのが見えるはずです。この往復がバネにぶら下がって上下する質量と同じ動きをします。この動きのことを単振動と呼びます。中心から印までの横方向の距離 $x(t)$ は回転半径を R 、角速度を ω 、時刻を t とすると $x(t) = R \sin(\omega t)$ で与えられます。

回転運動と振動如何でしたか？どちらも日ごろの生活の中で慣れ親しんでいますね。ところで、ウィンドブレードも始まりましたが、テニスボールも回転をフルにかけるトップスピンや回転があまりかからないフラット打ちなどいろいろ打ち方がありますね。同じ速さで飛んでくるボールの場合、運動エネルギーは $mv^2/2$ で同じですが、トップスピンでは回転エネルギーが加わる分エネルギーが大きくなるはずですね。ですが、フラットだから弱いという感じはありません。実際打ち合うと、きちんと体重を乗せて打つ人のボールの方が重く威力があります。体重を乗せると言いますが、そのあたり良く分かりませんね。といったところで、次回は摩擦によるエネルギー損失を考えてみましょう。

☆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/



◆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/

