

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。

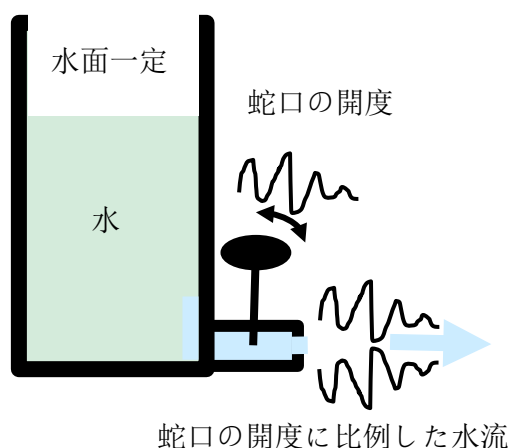
Written by Dr.Nishimura @ KRYNA INC. TEL 0120-924-422

email dr.nishimura.lab@gmail.com

オーディオの基礎から理解するアクセサリーの影響力…アンプ

オーディオ機器は、信号源からの音楽情報を出力装置によって人に伝える装置と言えます。信号源は、LP、磁気テープ、CD、DAT、ネット配信、さらに DVD や BD など映像を伴う音源まで含めて種々あります。LP や磁気テープなどは音楽信号がその波形そのまま記録されていますが、CD 以降のメディアではデジタル信号として提供されています。一方、出力装置のスピーカやヘッドホンはアナログ信号で駆動されるので、どこかの時点で、DA 変換が必要になります。デジタルアンプを除いて、音源から得られた信号は DA コンバータを通してアナログ信号に変換され、以降、アナログ信号の増幅を行い、音として放射しています。今回はアンプに注目して、その構造と動作についてみてみたいと思います。

アンプは音響信号を増幅してスピーカなどの出力装置を駆動できるよう駆動電力を作り出す装置つまりアンプリファイアーです。電力は電圧×電流で、エネルギーですので、ほぼ電圧変化（±1V 程度の交流信号）として提供される信号に対して電圧増幅と電流増幅を行って大きな電力にします。この電力を作り出す素子は真空管とトランジスタに大別されます。それぞれに特徴はありますが、基本的には大容量の電源（タンク）から信号の大小に応じて電気を取り出す仕事をしています。まあ、図に示すように水道の蛇口を細かく

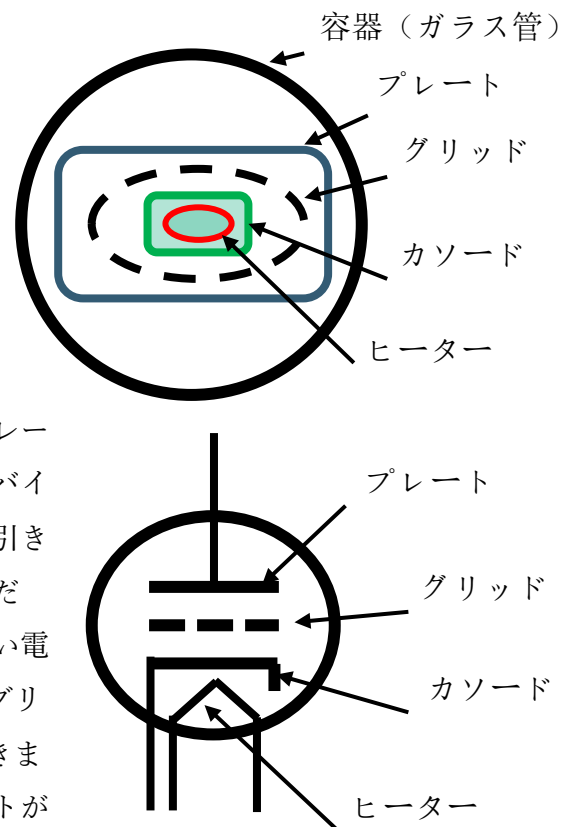


く回しながら水量を調整していると思って下さい。この水量に応じてスピーカが前後に振動して音にすると感じた感じです。そういえば、インスブルックだったでしょうか？町中にシャワーがあるのですが、そのシャワーの下に傘を差して入るとシャワーの水で音楽が聞こえる、そんなシャワーがありました。これは、タンクの水に大きな圧力をかけ、音楽信号に応じて吹き出しの圧力を変化

させて音楽と同じ圧力（もしくはエネルギー）変化を作っているのです。オーディオでも同じで、アンプでスピーカを駆動する力（エネルギー）を作り出すわけですが、真空管でも、トランジスタでも、デジタルでも、すべて、この水のプレーヤと同じように、一定の圧力のタンク（直流電源）から音楽信号に合わせて電気エネルギーを取り出す仕事をしているのです。真空管とトランジスタはタンクの電圧が違っただけで、音楽信号の実体（音楽の変動と同じ電圧変動）をもとに音楽信号と同じ変化を作りだしています。一方、デジタルアンプでは、音楽信号の情報（数値：符号化された情報、デジタル信号）を用いて直流電源から音楽と同じ変動の電力を作り出します。単純に言うと DAC の許容電力を 100W 程度まで大きくし、サンプリング周期を非常に短くして可聴域より非常に高い領域以上で雑音が生じるように作り替えたアンプです。このように見ると、デジタルアンプは DAC もプリアンプも必要ない超シンプルなアンプだといえますね。直流電源から音楽信号を作り出すときのデジタル雑音を対策すれば最も合理的なアンプなのかもしれません。

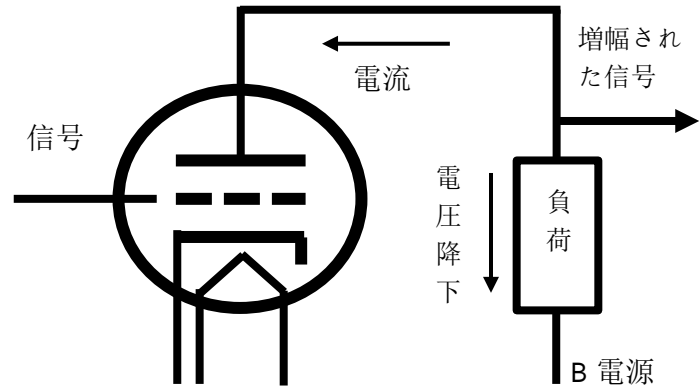
手始めに真空管のアンプについて見て行きましょう。右の図は真空管の構造を示しており、ガラス容器の中に電極が詰め込んであります。真空管というのでガラス管の中はほぼ真空です。この中を電子が飛び交って（電流が流れて）、増幅します。真空管の中の電極は、基本的にはカソード、グリッド、プレートで構成されます。カソードはヒーターで加熱されて熱電子を放出します。放出された電子を飛ばすための力を作るためバイアス電圧をカソードとプレート間に与えます。プレートはプラスの高い電圧（バイアス電圧）にすると、電子はプラス電極に向かって引き寄せられ、プレートに向かって飛んでゆきます。ただし、その途中にあるグリッドにカソード電圧より低い電圧（カソードが 0V ならグリッドはマイナス電圧、グリッドが 0V ならカソードはプラス電圧）をかけておきます。そうしておかないと、電流が流れすぎてプレートが真っ赤になってしまいます。グリッドの配線が外れてい

るとそうなります。カソードとプレートの間に置かれたグリッドにカソードより低い電圧をかけると、プレートに向かって飛んで行く電子の量が減少します。つまりグリッドの電圧で流れる電流を制御して、信号に比例した電流を流せるようにするわけです。上の図は真空管を記号で描いたもので、回路図にはこの図が使われます。ここに示したものは 3 極管ですが、グリッドがない 2 極管



(整流管)、グリッドが2つある4極管、グリッドが3つある5極管などあります。他にも、7つの電極を持つ周波数混合管、一つの管の中に3極管が二つが封入された双3極管などなどいろいろです。

アンプでは、右の図のように負荷をつないで直流電源 (B 電源) をつなぎ、グリッドに信号を入力することで信号を増幅します。右の図は真空管の使い方の一例ですが、グリッドの電圧が信号によって変化すると、プレートからカソードに向かって流れる電流が変化し、負荷での電圧降下が変化し、その変化が増幅され



た信号として取り出されます。具体的には、プレートに接続した負荷（抵抗やインダクタンス）に信号に応じた電流が流れて、B 電源（これがエネルギー源のタンクです）の電圧より負荷の上側の電圧が低くなります。この電圧の変化が元の信号の変化 $\pm 1V$ より大きな変化となり、真空管によって数十倍に増幅されるわけです。この電流の変化は、先程の小さな力で蛇口を開閉することによって水の流れを制御して大きな力を得るように、電気的な大きなエネルギーの変化を作り出すわけです。真空管には通常数百 V の電圧をかけますのでそのままスピーカにつなぐわけにはいきません。スピーカをつなげる場合は、負荷として電圧を変換するトランスを用い、トランスの2次側にスピーカに繋がります。

一つ例を見てみましょう。 $\pm 1V$ の信号電圧を真空管アンプで増幅して 15W の出力を得るとします。出力トランスの1次側が $3k\Omega$ 、2次側が 8Ω (8Ω を2次側に接続して1次側から見たインピーダンスが $3k\Omega$ になるトランスで、1次と2次の巻数比が $19.3:1$ になる) とします。この時真空管のバイアスが 300V (最大で $\pm 150V$ の信号 (実効値で約 100V)) なら、 8Ω のスピーカを 15W で駆動すると 1.37A の電流が流れ、真空管側で 71mA の電流が流れ、スピーカ側の電圧は 7.8V となります。この例では、入力信号に対して、電圧増幅が 150 倍、電流増幅は DAC の出力にもよりませんが、100 倍以上でしょう。実は真空管は電圧で駆動されるので、入力電流は意識しません。それで、電圧増幅 150 倍に着目すると、出力管が3倍の増幅率を持つなら、それまでに 50 倍の電圧増幅をする必要があります。例えば、12AX7 は 70 倍程度の増幅率を持ちますので、十分ですが、12AU7 は 20 倍弱ですので足りません。それと、出力管のカソードバイアスにも関係して決める必要があります。出力管がかの有名な 300B の場合、カソードの電圧がグリッドより 60V 程度高くして使いますので 50 倍程度以上に増幅する必要があります。一方、6L6 などではバイアスが 15V ないし 20V 程度ですので、20 倍程度の増幅で使えます。つまり、300B なら 12AX7、6L6 なら 12AU7 でとりあえず駆動できる計算になります。

真空管は信号の電圧で制御しますが、トランジスタは電流で制御します。トランジスタも基本的に、3つの電極、エミッタ、コレクタ、ベースで構成されます。コレクタ（プレート）とエミッタ（カソード）の間に電圧をかけ、ベース（グリッド）に入力を与えることで、コレクタ-エミッタ間に流れる電流を制御するわけです。ほぼ真空管と同じ動作ですが、真空管では数百ボルトの電源を使いますが、トランジスタでは数十ボルトの電源です。ただ、同じ電力を作り出しますので、電流の大小が逆転します。動作原理で根本的に違うのは、真空管は真空中を電子が移動しているのに対し、トランジスタは半導体で作られますので半導体の固体の中を電子が移動して電流が流れます。半導体は石英を構成するケイ素の結晶に不純物を混ぜて作りますので、基本的に石ですね。ということで、これまではトランジスタアンプは固い音がするというイメージを持っていました。ところが、最近、SONYのV-FETを使ったアンプを聴いて間違っていたことを実感しました。



Tea Break

まだまだ暑い日が続きますが、湿度が下がって過ごしやすい季節にはなってきましたね。田んぼは色づき始め、実りの季節が近づいています。早稲の田んぼではもう稲刈りが始まったりもしていますね。夏休みが終わって、学校も始まり、昔なら運動会の季節と言ったところでしょうが、最近は暑くなる前に運動会をする学校も多いようで、如何なのでしょう？

この暑さの中、まだまだビールやアイ스티ーは手放せないですね。私も毎日、アイ스티ーのお世話になっています。アールグレイやニルギリ、セイロンも。こんな中でも季節は移り変わっていくものですね。里芋（子芋）があったので、白ネギと豚肉で炊いてみました。味付けは、醤油と味噌のみ。少し多めのなたね油で子芋とネギを軽く炒め、それに豚肉を入れる。少し炒めて、みりんと醤油で味付け。水も入れず、弱火でほぼ水分が無くなるまでじっくり煮詰める。これ白ワインやカバ（スペイン産のスパークリングワイン）によく合います。当然日本酒にも。それと、ブランドーにもいいかも。試してみてください。

こんな時、こんな音楽 …

さて9月、夏が過ぎて少し落ち着いてくる季節。コウロギや鈴虫、キリギリスなどがうるさいとも思える季節ですね。秋と言うには少し早いけど、夕方になると少しは涼しくなってくれるかなと

言ったところですね。しかし、現実には厳しく、まだまだだるさの残る夏が猛威を振るっています。ビールから逃れることが出来ませんね。

こんな時、ビール片手に、井上陽水のアルバム「ハンサムボーイ」は如何でしょうか？私と同世代の方々に好まれた「少年時代」も入っています。雑味のない澄んだ声で、ちょっと冷たさも感じる。この感触が、けだるさの中で、涼しさを与えてくれる。そんな歌声。4 曲目の「最後のニュース」では、アコースティックギターのスチール弦の響きがいかにアコギといった音ですし、そうかと思うと 5 曲目の「ギャラリー」のギターはまるでガット弦かのようにまろやかな響きを奏でています。6 曲目の「少年時代」は有名ですね。このアルバム、全体的に、澄んだ音で「凜」とした響きに満ちているように思います。晩夏の夕暮れ時、夕立の一雨を期待しながら、このアルバムで涼を取ってみては如何でしょうか？

あ、そうそう、「凜」という言葉で思い出したのが、今季放映中のアニメ「薫る花は凜と咲く」です。見た目や人の評価で引っ込み思案になっている主人公。でもそんな見た目ではなく、自分が感じたその人を信じて話しかけてくるもう一人の主人公。その人のもつ優しさが接する人を変えていく。そんなアニメです。これもいいですよ。

今月の本 New!

「スーパーマリオブラザーズ」の音楽革命

近藤浩治の音楽的冒険の技法と背景

アンドリュー・シャルトマン(著)



世間では大ブームだった為か、少年期にそんなにゲームにどっぷりではでなかった私でもほぼコンプリートで口ずさめるのがスーパーマリオブラザーズのサウンド・トラックだったりするのですが、本書によってそんな事の端緒が論理的に紐解かれています。こういう事が詳しく知りたかったわけでもなくたまたま Amazon で AI におすすめされたのがきっかけでの購入ですが、結果としてなんだかとても満たされました 😊 これまた偶然、時を同じくして何かのテレビ番組（NHK？）で植松伸夫さんがファイナルファンタジーのサウンドトラック（大好きです ❤️）を解説しているのをお見かけしまして 8 月はゲーム音楽について造詣を深める月となりました。

本書を読む前に映画『ザ・スーパーマリオブラザーズ・ムービー』をご覧になると面白いかもしれません。何故舞台がブルックリンなのか？何故マリオという名のイタリア系アメリカ人なのか、そんな秘密も本書で明かされています。



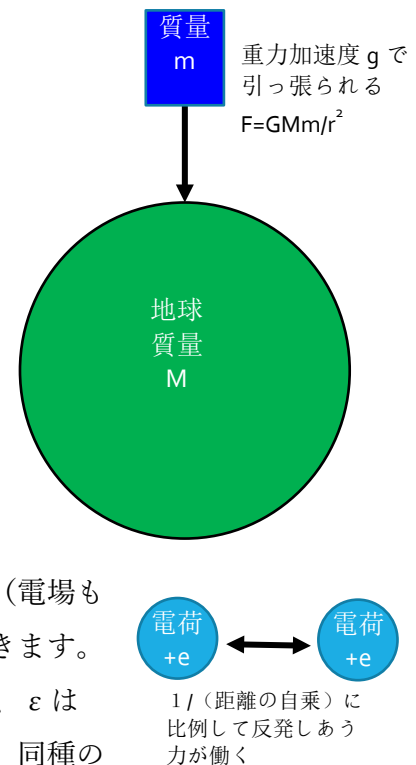
オーディオと物理

第 18 回 電気現象と力

ミクロの世界での力の釣合と場の概念：重力と似た感じ

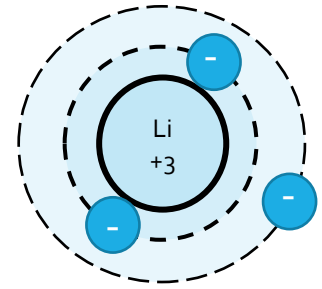
今回から電気現象について見ていきましょう。電気現象と言っても基本的には釣り合いを考えればよく、力学と同じように扱うことで考え、解析することが出来ます。ただ、力が電圧、速度が電流、バネが容量、質量がインダクタに置き換わっているところが違う点と言えます。また、プラスの電荷とマイナスの電荷が存在します。力学での質量は正の値のみです。そのあたりも違いますね。

さて、力学では万有引力法則（引き合う力＝万有引力定数×質量 1×質量 2÷両者の距離の自乗： $F=GMm/r^2$ ）がありましたね。簡単な形で書きましたが、質量の微小部分ごとの関係なので厳密には二重積分の形になります。これは、質量と質量が引き合う力で、一方の質量に依って重力場が形成され、場の中の質量が場から力を受けるという構図ができます。地球と地球上の質量の間にも場が形成され、地球が大きく重たいので、地球上の物質に共通した重力場が作られて、その係数が重力加速度 g ということになっています。地上の個々の質量は地球に比べて非常に小さいので、相互の引力は無視でき、相互に引き合う力は計算に入れられていません。さて、電気現象では、電荷同士が相互に力を及ぼします。片方の電荷がもう片方の電荷の位置に重力と同じように場（電場もしくは電界）を作ります。その電界によって片方の電荷に力が働きます。空気中だとその大きさは $F=e_1e_2/(4\pi\epsilon r^2)$ で与えられます。ここで、 ϵ は誘電率です。重力では引力のみですが、場の中に置かれた電荷は、同種の電荷なら斥力（反発力）、異種（プラス電荷とマイナス電荷同士）では引力が働きます。この辺りが重力とは違います。



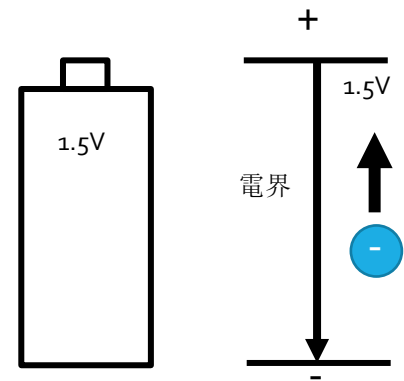
ここで、電荷についてみてみますと、ミクロな話になりますが、原子核の周囲を回る電子が関連してきます。（ミクロに見ていくと電子という固体があるのではなさそうです。水蒸気の塊もしくは雲的なものがなんとなく原子の周りのある距離隔てた辺りに存在している？しかしそんな話にな

ると本筋から離れますので、マクロの世界で進めていきます。) 原子が安定でいるためには、最外周の軌道に定められた電子が存在する必要があります。例えば、外周軌道が一つしかない水素は電子が1個しかないので不安定ですが、ヘリウムは2個あるので安定で、他の原子と結合することはありません。一方、水素は外周軌道にもう一つ電子を取り込みたいので、水素同士で共有して原子2個で一つの分子を構成し、安定状態を保っています。しかし、ヘリウムほど安定ではありません。上の図に示す蓄電池でおなじみの原子番号3のリチウム Li は陽子の電荷が+3 で、周囲に電子3個を持っています。内側の軌道に2個、外側に1個の電子が存在します。特に、金属の結晶では、多くの原子が集まって固体を形成していますが、最外殻の電子を共有しあいながら安定化しています。金属の場合は共有結合と呼ばず、金属結合と呼びます。そして、結合の中で、電子が隣から隣へと移動できる性質を持っています。この性質により、金属には電気が流れやすいのです。高分子材料などの共有結合ではこのような性質は出てきません。導体と絶縁体の違いです。



このような電子の移動により物体に電荷が蓄積されます。これを帯電と呼びます。帯電の仕方については触れませんが、摩擦や接触による電荷の移動によります。電荷が移動することにより、電子が集まった物体は負電荷に、電子が逃げ去った物体は正電荷に帯電します。この両者の間に力 $F=Q_1Q_2/4\pi\epsilon_0r^2$ が生じます。 ϵ_0 は真空の誘電率、 Q_1 と Q_2 は各物体に帯電した電荷の量で、 r は電荷 (物体) 間の距離です。

よく電圧という言葉を目にすると、電圧は、電場の中で単位電荷を移動させるために必要な仕事として定義されています。2つの電荷の間に力が働きますが、地球の重力場と同じように、一方の電荷によって電場 (電界) が作られ、その場の中にもう一方の電荷があって、重力と同じように力を受けると見ることができます。たとえば、1.5V の電池は、マイナス電極からプラス電極へ電荷を動かすが 1.5 あるということです。+ と - の間に作られた電界によって力が電子に働いて流れていく分けです。この時、電子が流れるための導線が必要です。電圧は大きいほど大



きな力を持ちます。一方、流れる電流は水量のようなものです。細い管と太い管では、流れの抵抗 (流れやすさ) が異なって流れる量が変わるように、電圧とは別に流れやすさが関係して電流が決まってきます。これが抵抗になります。この辺りは電磁気学の話でちょっと難しいので、次回からは電気回路の内容にワープしましょう。

☆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/

