

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紹介する冊子です。

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

email dr.nishimura.lab@gmail.com

二年目に入りました

二年目に入りました。昨年は KRYNA の技術の基礎について説明してまいりましたが、これからしばらくは、これらの技術がオーディオにおいてどの様に効果を生じるかをご理解いただくための基礎として、オーディオ技術の基礎を復習していこうと思います。「既に知っているよ」とお思いでしょうが、意外と KRYNA の技術とオーディオシステムの基本との関りは意外とすぐには結び付きにくいものです。

オーディオも一種の機械ですので、個性・特徴を持っています。よく言われる「周波数特性」「入力・出力インピーダンス」「出力・能率」「入力感度」などで特徴を説明しています。これらの値がどんな値ならよいのでしょうか？悩ましいところですね。

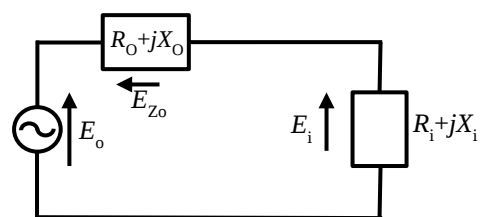
それでは、主な用語についてみていきたいのですが、その前に、音がどんなものかについて簡単に説明しておきましょう。音は空気の振動で、振動というからには周期（振動（往復運動）に要する時間）または周波数（振動周期の逆数）を特徴として持ち、その違いにより音の高低や音色が変わってきます。音の特徴は、大きさ、音高、音色の三つで表現されます。音の大きさは空気の圧力変化の大きさに関係し、圧力の単位 Pa になるのですが、変動幅（ダイナミックレンジ）が大きいので、dB で表されます。聞こえる大きさの範囲は、0dB から 130dB と言われ、130dB はオーケストラの最大音量あたりです。通常は、20dB 程度以上を聴くことが出来ています。音高は周波数に関係し、聞くことのできる周波数範囲（可聴域）は、20Hz から 20000Hz と言われています。が、加齢とともに 10000Hz 程度が限界となってきます。音楽で使われる音階は、例えば、「ラ」の音を 440Hz と決めて、880Hz までの 1 オクターブの間を同じ音程差と感じる 12 の音階に分けています。このあたりは、いろいろあり、もともとはピタゴラス音律、純正律などをたどって、平均律にたどり着いて 12 等分して来たという経緯があります。それは置いておいて、各音程の音には倍音が含まれ、その含まれ方で「音色」が決まってきます。楽器の音の違いは、この倍音の含まれ方が異なるせいです。倍音は、基音（例えばド（131Hz）の音）の周波数の整数倍の周波数の音の集まりです。第 8 倍音は 1048Hz で 3 オクターブ上の「ド」、第 16 倍音は 2096Hz で 4 オクターブ上の「ド」になります。これらの倍音の基音に対する比率が変化する

と音色が変わってきます。例えば、クラリネットとオーボエは形や大きさはよく似ていますが、出てくる音色は、クラリネットは暗い感じで、オーボエは明るい音となります。これは、音を作り出すリードの構造の違いに依っていて、クラリネットは偶数倍音が出にくく奇数倍音が主な構造になっています。そのためくらい音色になるのです。一方、オーボエは奇数倍音も偶数倍音も同様に出るため明るく華やかな音色になります。

このように、オーディオシステムは種々の周波数の信号を扱う必要があるため、その特徴としてまず、「周波数特性」についてみましょう。これはアンプやスピーカの特徴の一つですが、一定の大きさの信号が入力された時に出力の大きさが、入力信号の周波数によってどのように変化するかを表しています。先程述べたように、一つの音でもいろんな周波成分を含んでいますので、入力された音は、周波数特性の影響を受けて出力されます。出力される音の音色が変化しないためには、アンプの場合、どの周波数でも均一に増幅しなければならないし、スピーカの場合もどの周波数でも同じ音圧で放射せねばなりません。これが色付け（音色を変化）しない再生につながるわけです。「周波数特性」は、各アンプやスピーカが個々に持つこのあたりの特徴を表す資料となっています。ということで、周波数特性はフラットなものが良いということになりますね。確かにそうですが、ちょっと待ってください。音色には影響しませんが、音像の定位に関する情報が実はこれからだけでは分かりません。通常「周波数特性」は、アンプの増幅率やスピーカの放射音圧（大きさ）特性です。しかし、音像定位に必要な情報はこれだけでなく位相情報が必要となります。実は、ほとんどの機器の特性表には位相に関する周波数特性が省力されています。特にスピーカでは、振動板（コイル、コーン紙やドーム）など質量があるものを動かすため、音楽信号に対して振動板が動いて音圧を作るには時間的遅れ（位相の遅れ）が発生します。このあたりは、物理の基礎で以前お話したかもしれませんね。すると、音像定位がボケたりずれたりしてきます。一つの楽器から出た音の倍音成分の位相がずれると直接聞くのと音色に変化はなくても、位置情報に影響してくると思われます。

次に、インピーダンスについてみてみましょう。インピーダンスは、動きにくさを表す指標で、同じ力でも軽く動いてスピードが出るかそうでないかを表し、負荷の重さに相当すると考えてよいでしょう。電気的には、同じ電圧をかけた時どれだけ電流が流れやすいかです。電圧が同じ場合、電流が大きいほど電力消費が大きくなります。アンプの場合、信号の受け口でのインピーダンスと出口でのインピーダンスがあります。電子機器同士の信号授受は電圧ですので、出す側は

インピーダンスを低くし、受け取り側はインピーダンスを高くします。すると、テブナンの定理により、送り側のインピーダンス Z_o と受け取り側のインピーダンス Z_i 、送り側の電圧情報 E_o としたとき、受け側で受け取れる電圧情報の大きさ E_i は、テブナンの定理より、 $E_i = E_o \cdot Z_i / (Z_o + Z_i)$ となり、 Z_o が低く Z_i が高いほど $E_i = E_o$ となります。さらに、 Z_o の影響がなくなって周波数特性の変化を抑制できます。受け取り側のインピーダンスが、送り出し側より低い場合は送り出し側のインピーダンス Z_o の

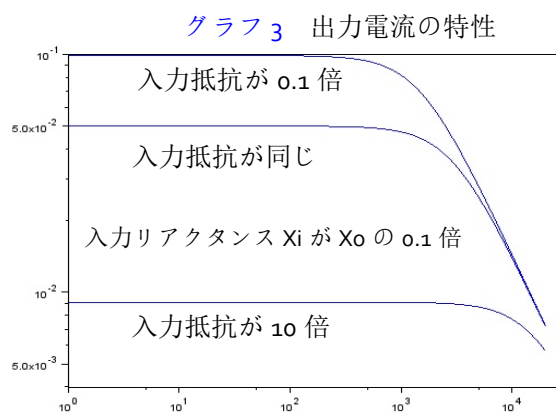
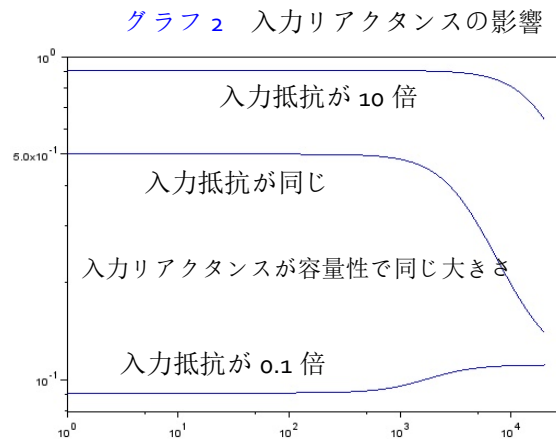
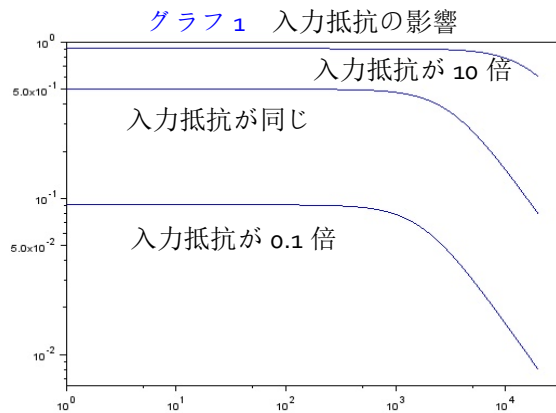


$$E_i = E_o (R_i + jX_i) / (R_o + R_i + j(X_o + jX_i))$$

図1 出力インピーダンスと

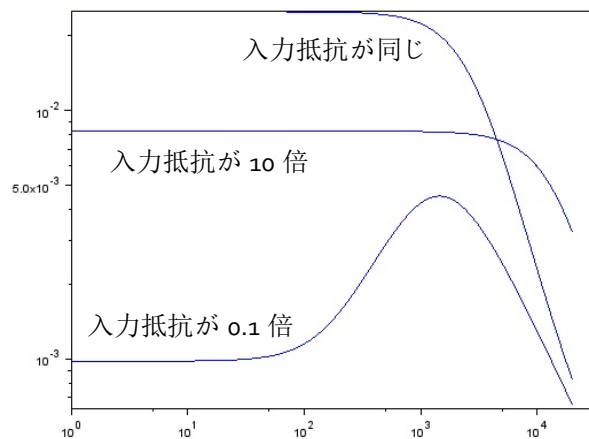
入力インピーダンスの影響

影響を受けやすくなり、周波数特性が変わってしまう可能性が高くなります。ここで、シミュレーションによって特性がどのように変わるか見てみましょう。**グラフ 1** に示す例は、CD プレーヤの出力アンプの純抵抗 R_i で受ける場合で、CD 側の出力インピーダンスを $Z_o=R_o+jX_o$ ($R_o=10$ 、 $X_o=0.01$) として、 R_i の大小で E_i がどのように変わるかを示しています。縦軸は信号出力電圧に対する受け側での電圧の倍率を示します。すると、 $R_i=R_o$ では 2000Hz 辺りまで $E_i=0.5E_o$ ですが、 $R_i=100R_o$ では 10000Hz まで $E_i=0.8E_o$ 、5000Hz 辺りまでは $E_i=0.9E_o$ となっています。ところが、 $R_i=0.1R_o$ の場合、800Hz あたりまで $E_i=0.09E_o$ ですがそれ以上の周波数では、 E_i はどんどん小さくなり、10000Hz では 100Hz での値の 1/10 になってしまいます。このように、受け側のインピーダンスが小さいほど周波数特性において、高域の減衰が大きくなってしまいます。言い換えるとキレの悪い音、低域に偏った音になってしまうといえます。さらに、受け側が純抵抗でなく容量性のリアクタンスを出力側のリアクタンスと同じ大きさで持っている場合を **グラフ 2** に示します。受け側の入力抵抗が大きいほど、忠実に伝送されることが分かります。**グラフ 3** は受け側の抵抗の値により、送り側の出力電流がどのように変わるかを見ています。縦軸が、出力電流の倍率です。受け側の抵抗が小さい場合、出力電流が大きくなりますので、これが許容電流を超えないようにする必要があります。音質の変化や、機器の破損の可能性も生じます。ここに示したのはあくまでもどの様な傾向になるかを示したシミュレーションで、実際の出力インピーダンスや入力インピーダンスとは一致していませんので、厳密には測定値を入れてシミュレーションする必要があります。



一方、アンプとスピーカとの関係は異なります。スピーカは振動板を動かし音を放射するという仕事をしますので、アンプから最大エネルギーを受け取る必要があります。アンプの出力電圧とインピーダンスを E_o 、 Z_o とし、スピーカのインピーダンスを Z_s としますと、スピーカに伝えられる電力 P_s は、スピーカに流入する電流 I_s と Z_s の積で与えられます。 $I_s = E_o / (Z_o + Z_s)$ であるので、 $P_s = Z_s \cdot I_s^2 = E_o^2 \cdot Z_s / (Z_o + Z_s)^2$ となります。これを Z_s で微分して 0 と置くと (P_s の最大値を求めるため) $Z_s^2 = Z_o^2$ という条件が得られます。これがインピーダンスマッチングの条件となり、8 オーム出力のアンプの端子には 8 オームのスピーカをつなぐことが推奨されるわけです。では、8 オーム以外のスピーカをつなぐとどうなるのでしょうか？それを示したのが**グラフ 4**です。入力抵抗が 0.1 倍の場合、0.8Ωのスピーカをつないだこととなりますが、その場合、グラフの一番下の曲線のように、ある周波数で強調されます。電流もグラフ 3 のように多く流れますので、アンプ出力にリミッタがかかったりする可能性が生じます。一方、インピーダンスが大きい場合は、出力が小さくなるだけで、電流値は小さくなるためアンプへの影響は少なくなります。**グラフ 4**では、入力抵抗が 10 倍の場合、音量が 10dB 以上低減しますが、高域までの伸びはよくなっています。あくまでも、シミュレーションですが…。

グラフ 4 スピーカでの影響



Tea Break

3 月も終わり、4 月に入ろうとするこの季節、世界では、ディンブラ、ヌワラエリアなどのセイロン茶、ニルギリなどのインド茶、台湾のウーロン茶、日本茶、インドのダージリンなど新茶が出始める季節ですね。基本的に茶の木は同じものですが、とれる場所の土壌や気候、季節によって大きく味わいが変わるのは楽しいですね。お茶の楽しみ方も様々ですが、やはり新茶となるとお茶そのものを楽しみたいですね。そろそろ、ニルギリの新茶、セイロンのディンブラ・ヌワラエリアが市場に出回り始めます。それに伴って、去年のお茶が安くなるので、高くて手が出なかった高級なお茶も購入できるチャンスですね。

さて紅茶に限らず、そのお茶の神髄を引き出すのは結構面倒で、茶葉の量と湯の量、湯の温度、抽出時間などは基本として、急須をしっかりと温める、しっかりと沸騰した湯を使うなど気を遣うべきことが結構多いものです。そのため、私も紅茶は好きなのですが、あまり入れて飲むことはしていません。そうしているうちに 1 年がたち、新茶の季節になってきたのですが、紅茶ストックに

はまだ、2024 年のダージリンファーストフラッシュやニルギリ、それ以前のものが残っていて、「あー飲まなきゃ」といった状態になってしまいました。そこで、簡単に飲む方法に切り替えることにしました。お茶の特徴は十分引き出しながら、おいしく飲むわけです。方法的には日本茶の要領です。茶葉の量・湯の量と温度・抽出時間・ポットの温め・保温といった紅茶を入れる基本を守りながら簡単に入れるのです。通常、ポットは 2 個用意し、抽出用と抽出したお茶を入れるポットの 2 個を使いますが、1 個で済ませます。アニメなどでも見かけますが、ポットに茶葉を入れて湯を注いでおいておく（中国の食事でも飲むお茶も同様です）のですが、ここは茶葉と湯の量及び時間を測り抽出したお茶をティーカップに全て注ぎ切るところが違います。英国式では、できるだけたくさん作るほうが平均化されておいしい的に、数杯分のお茶を一気に作り、そのままポットに置いておきます。日本茶では、1 回ずつお茶を注ぎ切ります。それで、2～3 回は抽出します。一方、紅茶は通常 2 番だしはしません。日本茶のだし方とは異なって、抽出時間が長いため、ほぼ出し切ってしまうからです。しかし、良い茶葉は 2 番だしでも耐えてくれます。当然、1 番だしより味や風味は落ちますし、そのお茶の悪いところ（臭さ）がでます。それでも、たくさん飲みたい時などには我慢できる出方をしますし、夏などは冷蔵庫などで冷やしてアイスティーにするのもよいと思います。ダージリンファーストフラッシュなどはオンザロックのアイスティーにすると白く濁り、ざらざらした味わいになり、飲みにくくなります。その点、2 番だしは、主要なタンニンが抽出された後なので、白く濁ったりしません。なんかけち臭いですけど、1 回出しただけで捨てるのはもったいなく思われ、まじめに入れた時でも私は 2 番だしを取っています。ただし、高級な茶葉に限ります。そうでないものは、キレが悪く、香りもなくなってしまいますので、2 番だしはお勧めできません。高級な茶葉でもこんな感じで気楽に入れて飲むのもお茶を楽しむ方法です。ただし、抽出し終わった後の茶の葉の片づけが面倒ですね。セイロンやニルギリのブロークンタイプ（茶葉が細かく砕かれているもの）は、お茶パックに入れて抽出するのも手です。ただし、ほんとによい茶葉はきちんと入れましょう。私の場合、正規に入れても切れの良い出方をしない茶葉は、それでよいかなと思っています。今日は、久々にお茶の話に戻りましが、堅苦しくなく、煎茶や番茶を入れるような感覚で気楽に飲んでみてはいかがでしょうか。あっ、そうそう、キレの良し悪しはオーディオにも言えます。音と味覚は共通する部分が多いといえますね…。

こんな時、こんな音楽 …

午後のティータイム、ダージリンファーストフラッシュの相手にイチゴのショートケーキをいただく。春の暖かさを通り越して少し汗ばむひと時、ヘンデルの「水上の音楽」は如何でしょう？華やかな金管楽器とオーボエ・フルートの掛け合い、弦楽器の美しい調べと底を流れる通奏低音。ゆったりと流れる川のように、穏やかな時間を過ごすのにはうってつけの一曲。私の好きな演奏は、ジャン・フランソワ・パイヤールの演奏。今入手できるのは 1968 年の録音ですが、それ以前の盤の方が好みです。

今月の音楽

TCHAIKOVSKY: 1812 OVERTURE(DORATI)

MERCURY LIVING PRESENCE-QUALITY USED LP VG+



あなたのオーディオでこの大砲の音がどこまで再現できるか！？

となるのかもしれませんが、どっこい曲が素晴らしい👍

一曲目終盤で訪れるめくるめく音響スペクタクルはビートルズ顔負けです。



オーディオと物理

第 13 回 圧力と力

圧力というと気圧を測る水銀柱を思い出すのではないのでしょうか？（水銀柱：水銀の浴槽に長い試験管に水銀を満たして口を浴槽の中に浸けて倒立させる。水銀は約 76cm の高さまで下がって止まる。つまり、水銀の水面上 76cm の水銀柱となる。水銀の水面に働くのは気圧であり、約 $1\text{kg}/\text{cm}^2 = 10\text{t}/\text{m}^2$ で水銀を下方に押し下げようとする。試験管中の水銀は 76cm より上には空気がなく真空状態となるが、水銀の重力でそれ以上高くはならない。つまり、水銀の比重 $13.6\text{g}/\text{cm}^3 \times \text{高さ cm} = \text{試験管断面の水銀水面高さでの圧力}$ となる。これが釣り合っている。）水の場合は $(1\text{g}/\text{cm}^3 \times 1000\text{cm} = 1\text{kg}/\text{cm}^2)$ 約 10m となります。血圧の正常値は、130-80 と言われますが、水銀柱の高さ（130-80mmHg）で評価しています。

圧力と力とは何が違うのでしょうか？力はいまでも見てきたように、質点に働いて物体をある方向に移動させようと作用するもので、それによって物体に変位・速度・加速度が生じて運動に変化を生じさせます。また、方向を持ちますのでベクトルとして扱われました。では圧力は力と何が違うのでしょうか？そうですね、圧力は潜在力のようなものではないでしょうか？この潜在力は面があって初めて具現化されます。つまり、圧力は面に対して作用し、面に垂直な方向に力（押すまたは引

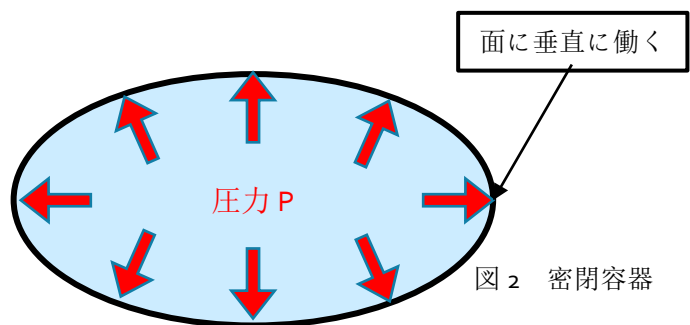
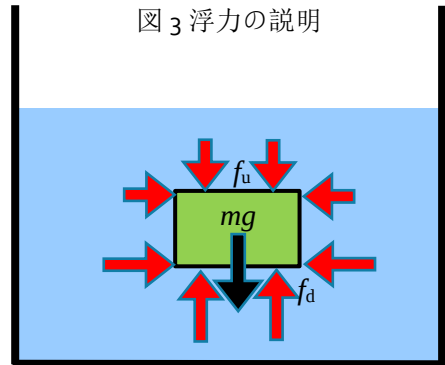


図 2 密封容器

く)を生じます。このことはパスカルが実験で確かめていますね。それと、同じ力が面全体に加わる場合、面積が広いほど圧力は小さくなります。砂浜に指先で穴を掘るのにそんなに力は要りませんが掌で押して穴をあけるのには大きな力が要ります。指先に比べて掌の面積が大きいからです。圧力が面に働くことを浮力の例で考えてみましょう。図3に示すように水槽中に物体があるとします。簡単のため物体は直方体とします。物体の上面に加わる力 f_u は、上下面の面積を S とし、上面の水位での水圧を p_u として大きさ $f_u = S \times p_u$ で下向きとなります。横向きの力は左右同じ大きさで向きが逆で打ち消し合いますので考える必要はありません。一方、底面に働く力 f_d は、底面の水位での水圧を p_d として $f_d = S \times p_d$ の上向きとなります。この差 $f_d - f_u$ が物体に働く浮力になります。この浮力が物体に働く重力より小さければ物体は沈みます。

例えば、物体の形状を縦・横・高さが $5\text{m} \cdot 4\text{m} \cdot 2\text{m}$ としましょう。水の密度を $1000\text{kg}/\text{m}^3$ とします。今、底面が水深 10m にあるとします。底面での水圧は $10\text{t}/\text{m}^2$ で（厳密にはこれに重力加速度をかけて $9.8 \times 10\text{t}/\text{m}^2$ とする必要がありますが以下の計算では省略して進めます）、底面が受ける力は上向きに $f_d = 5 \times 4 \times 10 = 200\text{t}$ となります。これに対し、上面に加わる力は、上面での水圧が $8\text{t}/\text{m}^2$ となるので、 $f_u = 5 \times 4 \times 8 = 160\text{t}$ となります。この差は 40t （ $40 \times 9.8\text{kN}$ ）です。物体の体積は $5 \times 4 \times 2 = 40\text{m}^3$ ですので、これは物体の体積分の水の質量と同じになります。つまり、浮力は物体の体積と同じ体積の水（流体）の質量（物体が押しのけた流体の質量）と同じになります。物体が 40t 以上の質量であれば沈みますが、それより軽ければ、水面上に浮かび上がります。どれだけ浮かぶかは、[水に浸かっている物体の体積] $\times$ [水の密度]と物体の質量が等しくなる深さとなります。

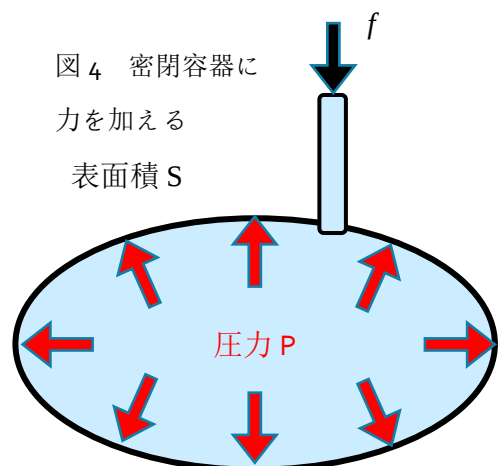
図3 浮力の説明



空気のような気体ではボイル・シャルルの法則によると、温度が一定な場合、圧力と体積の積は一定となります。一方、水などの液体では温度が一定な場合、体積の変化は起こらないと考えます。気体の場合と液体の場合は、挙動が異なりますので、別々に考えることが必要です。その原因は分子間の距離に関係します。ここで、気体の場合は「熱力学」の問題で扱われますので、ここでは触れず、液体で考えましょう。

例えば、 100kg の荷物を1人で持つと一人あたり 100kg の荷重ですが、5人で持てば一人あたり 20kg となります。

それと同じように 100 リットルの水を底面の面積が 1 平方メートルの水槽に入れると 1 平方メートルあたり 100kg の荷重がかかるわけですが、底面の面積が 5 平方メートルの水槽に入れると 1 平方

図4 密閉容器に力を加える表面積 S 

メートル当たり $100 \div 5 = 20 \text{ kg}$ の荷重となり、五分の一に減ります。この場合、水槽の水の深さも五分の一になっていますね。図 4 で、細い管を通して、密閉容器の流体に力 f を加えるとします。密閉容器の表面積を S とすると、 f によって生じた内部の圧力 P は $f = PS$ となります。細い管の断面積を S_p とするとパイプ内の圧力は $P_p = f / S_p$ となりますが、この圧力が容器内全てに生じ、 P_p ほど圧力が増加します。容器内では、液体の重量による圧力も生じますので、ここで考えるのは、力を加えることによって増加（あるいは減少）した圧力です。

ここで図 5 に示すようなジャッキを例に考えてみましょう。

今、左側の細い管（断面積 S_p ）の液面を h_p ほど押し下げたとします。この時、太い管（断面積 S_j ）の液面は上昇します。上昇する高さ h_j は、押し上げられた液の体積と押し下げられた液の体積が等しくなる大きさで、 $S_p h_p = S_j h_j$ となります。

す。これは、基準液面（青の破線）から太い管の液を h_j 上昇させる力（つまり体積 $S_j h_j$ 分の質量を持ち上げるに必要な力）を働かせたことになります。両方の管にふたをしてその上に重りを載せると、ふたの質量は無視できるとして、細い管を押し下げるに必要な力はふたに載せた荷重と押し上げられた液体の重量の和となります。

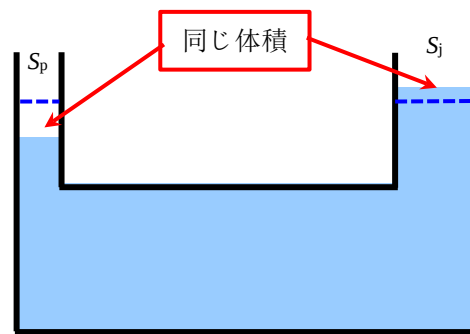
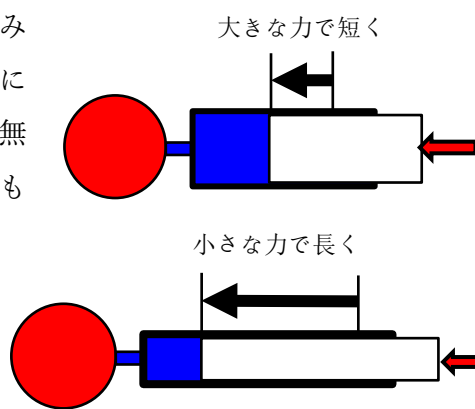


図5 ジャッキの原理

ついでに、自転車のタイヤに空気を入れるポンプを考えてみましょう。注射器も同様ですね。空気を送るホースとタイヤにつなぐノズルは同じ断面積とします。ノズルでの流れ抵抗は無視できるとします。シリンダーの断面積が大きく行程が短いものと断面積が小さくて行程が長いものとではどちらの方が小さな力で空気を入れることが出来るでしょうか？注入される空気の量が同じなら圧力の増加も同じですので、 ΔV ほど注入する間圧力が一定だったとします。すると、ピス



トンに加わる反力は[圧力]×[ピストンの断面積]になりますので、ピストンの断面積が小さいほど反力は小さくなります。しかし行程当たりの注入量が少なくなりますので、その分長い距離動かす必要が生じます。これを仕事の概念を用いて説明しますと、注入される空気の量が同じなら圧力の増加も同じですので、 ΔV ほど注入するに要する仕事はどちらも同じになります。仕事＝力×距離ですので、同じ容量であることを考慮すると、断面積が小さい方が行程つまり距離が長くなり、その分力は小さくなります。つまり、細い空気ポンプほど小さな力で注入できるわけです。

仕事については次回の話題にしましょう。

☆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/

