

目次

1	浸透圧について	2
1.1	力とは	2
1.2	作用・反作用の力	4
1.3	注目物体から見える力	4
1.4	圧力とは	6
1.5	半透膜と全透膜	7
1.6	浸透圧が発生する原因	8
1.7	細胞外液とは	10
1.7.1	高張液	10
1.7.2	等張液	10
1.7.3	低張液	11
1.8	動物細胞では	11
1.8.1	高張液のとき	11
1.8.2	低張液のとき	12
1.9	植物細胞の場合	13
1.9.1	高張液の場合	13
1.9.2	低張液の場合	15

1 浸透圧について

浸透圧を考えるためには、実は「力」や「圧力」についての概念をきちんと理解しておかなくてはなりません。では「力」を扱うのがメインの「物理」選択者は簡単に理解できるかというところでもありません。

残念なことにこの力の理解が不十分なために、「物理」すら理解できない状況にあります。どの参考書にも書いてないF_Masterによる「作用・反作用の考え方」から、どうやって「力」を見るのか、さらには、圧力とは何か？最後に浸透圧を考えるにはどうすればよいかというテーマについて説明していきます。

1.1 力とは

力とは何でしょう？...いきなり難しい質問ですが、しかしこのイメージから出発すべきなのです。さあ考えてみてください。

力とは物体を動かすことのできるものです。では、その力は一体どういうときに発生するのでしょうか？まずは図1をご覧ください。

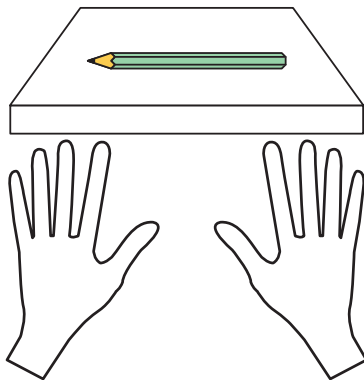


図 1: 念を送る手

念を送っています...これが3時間ほど送り続けると...何と台の上のエンピツが触れてもいないのに!!!...何て絶対に動くはずないんです。そうです！つまり離れていては力は働かないのです！

つまり力は接触してはじめて働くものなのです。いいですか？もう一度言いますよ？力は接触点に働くのです。

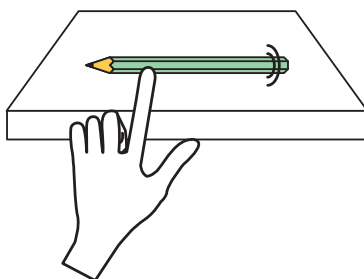


図 2: 直接触れると...

図2のように直接エンピツに接触するとエンピツが動きますよね。この瞬間に手からエンピツに力が働いているのです。

では今度はエンピツを小球に変えて考えてみましょう。図3では力はどちら方向へ働くのでしょうか？



図 3: 力の働く方向を考える

まずは力がどこに発生しているのかを考えてみてください。力が働く場所は**接触点**でしたよね？だから図 4 のところとなります。



図 4: 力の働く場所

力の方向はその接触点から、物体に対して垂直な方向となります。ですから

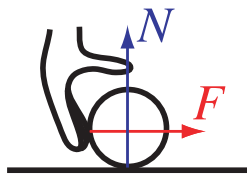


図 5: 力の働く方向

図 5 のようになります。右方向に手による力 F と地面から上方向に「垂直抗力」という力 N が働いています。...ところで賢明な皆さんだったら気付いたでしょうか？先ほど言いましたよね？力とは「**物体を動かせるものだ**」と。

物体には右方向に F の力が働いているので、これで右に動くことは簡単に理解できます。しかし上方向にも N の力が働いていますので、このままでは上にも動いてしまいますね。...しかし日常生活における感覚により、ただ横に押すだけでは絶対に上に動くことがないことは分かると思います。そうです。**何か接触していないにも関わらず下向きにかかっている力がある**ということです。

でもこの力は今まで生きてきた中で何度も耳にしていますよね。「**重力**」ですね。

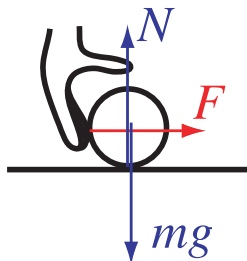


図 6: 重力も書き込む

とりあえず小球の質量を $m[\text{kg}]$ とすると、重力は mg と書くんだなぁ...程度で結構です。重力は力の例外で、**接触しなくても働きます**。方向は常に地球向きです。通常は地面方向ですね。以上で「浸透圧」を考えるのに必要な力の描き方は終了しました。でもまだ続きますよ～

1.2 作用・反作用の力

作用反作用の力って知ってますか？昔小学生の頃に習ったでしょうか？何やらあやふやなままに放置してたりしませんか？ここでしっかりと理解しましょう！

まずは先ほどの小球とそれを押す手を考えて見ましょう。



図 7: 力はどこに発生しているか？

さて、図 7 において力はどこに発生しているのでしょうか。先ほどは小球に注目しましたが、実は手にも力が働いています。今回はそれも描いてみましょう。

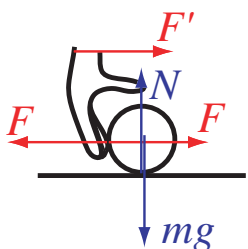


図 8: 手に働く力も図示

手にはおおもと（体）から力 F' が出ていますが、そんなことは今回はどうでも良いのです。それよりも物体との接触面を見て下さい。物体に力 F が及ぼされている点から、手の方向へちょうどそれと同じ大きさの力 F が出ていますね。この F と小球の方へ出ている F の関係を作用・反作用の関係とといいます。

つまり、物体が接触して相手に力を及ぼすときは、及ぼした力 F と同じ大きさで反対方向へ「**反作用の力**」を受けるといことです。

まあここまでは感覚で理解してもらえます。しかし、ここからが問題なんですね。

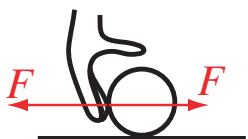


図 9: 作用・反作用の力

横方向だけ考えてみましょう。図 9 のように何と言っても皆さんは「作用・反作用の力」が**どちらとも見えています**から**総じて働いている力は 0** としてしまうんです！でも当然これは間違いですよ！力を加えると相手から反発されたから全く力は働いてないと思える！...そんなわけがありません。ではこれをどうしたらいいのか、次のセクションで見えていきましょう！

1.3 注目物体から見える力

このセクションで今から書く内容はどの参考書にも載っていません。だから、ここでしっかりと身に付けてください。

まず働く力を考えるためには、**どの物体に注目するのか**を考えなくてはなりません。図 10 において**小球**に注目してみましょう。

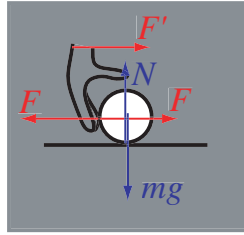


図 10: 全ての力を表記

ここからがとても大事なお話ですが、注目物体を決めてしまうと、その物体から見える力は**受ける力のみ**だということです。ですから、図 10 が小球に見える力ではありません。図 11 に表されるのが小球に働く力です。

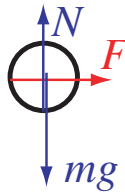


図 11: 小球に働く力のみを表示

いいですか？もう一度言いますよ？その注目物体に見える力は「**受ける力**」のみです。与える力は見えません。与える力は見えないのに見ようとするから痛いことになるのです。先ほどの図 10 で手に注目すると手から見える力は

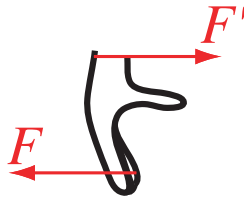


図 12: 手に働く力

です。もう一つ例を出しておきますか？

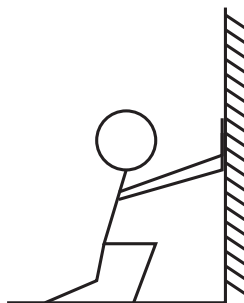


図 13: 壁を押す人

図 13 で人に見える力はどのような力でしょうか？もちろん

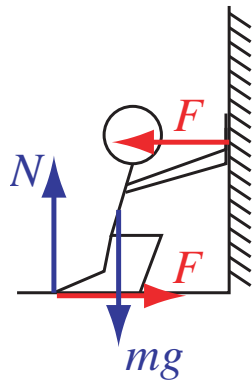


図 14: 人から見える力

人が壁を押していると感じている力は、実は壁から押されている力なのです。人が押している力は壁しか認識できません。それを図 15 に示します。

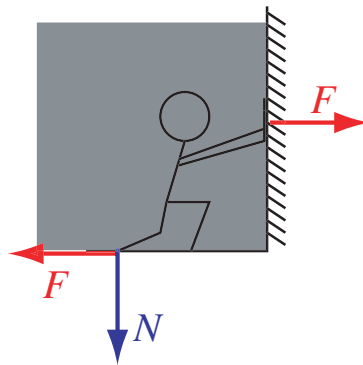


図 15: 壁から見える力

暗くなっているところは壁には何がいるかわかっていません。でも何か力 F が加わっているのです。それが実際は人が押す力なのです。

さて、物体に働く力をどのようにして見つければよいのか、理解していただけただけでしょうか？

1.4 圧力とは

圧力の説明は軽めにしますね。

圧力と力は別物です。

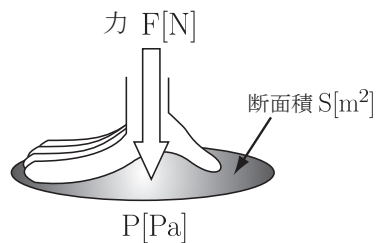


図 16: 圧力

図 16 に示しましたように、力 $F[\text{N}]$ が働く領域が断面積 $S[\text{m}^2]$ だとします。そうすると、圧力 $P[\text{Pa}]$ は

$$P = \frac{F}{S} \quad (1)$$
$$[\text{Pa}] = \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

と表されます。つまり圧力は式 (1) のように表され、断面積あたりの力、すなわち $1[\text{m}^2]$ あたりどれくらいの力がかかっているかを表しています。力の密度のようなものですね。同じ力を加えても、その力がかかる面積が小さいと、とても大きな圧力になるというわけです。

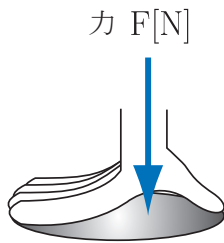


図 17: 広い面へ



図 18: 狭い面へ

図 17 と図 18 にはともに同じ力を加えます。広い面へ力を加えた図 17 よりも狭い面へ力を加えた図 18 の方が面積が小さい分、式 (1) より圧力が大きくなります。指圧を考えると簡単にイメージができますね。

1.5 半透膜と全透膜

半透膜は小さな穴が沢山開いていて、溶媒や小さい溶質を通す膜です。イメージでは図 19 のようなものです。

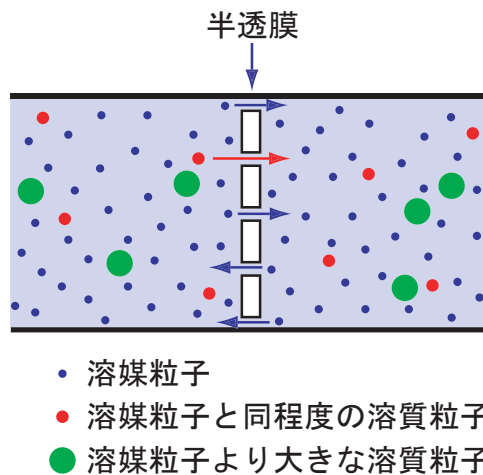
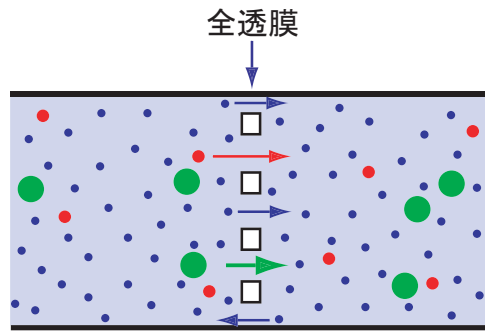


図 19: 半透膜

溶媒と同程度の溶質までは通せますが、それ以上の大きな溶質粒子は半透膜を通り抜けることができません。

では全透膜とはどのような膜なのでしょう？...その名の通り溶媒も溶質もどちらも通してしまう膜です。



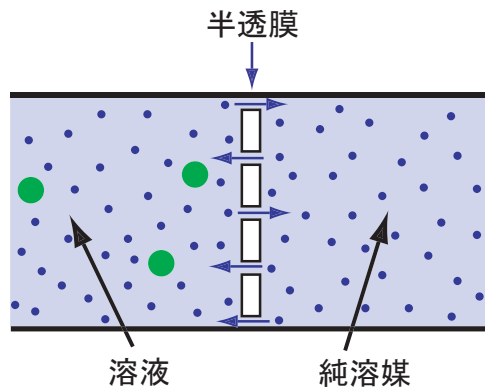
- 溶媒粒子
- 溶媒粒子と同程度の溶質粒子
- 溶媒粒子より大きな溶質粒子

図 20: 全透膜

全部通すのなら膜の意味がないと思うかもしれませんがね。しかし、溶媒・溶質を全て通してしまうけれどもその膜があるおかげで形を保つことができるのです。何の形でしょう?...細胞の形ですね。存在場所としては植物における細胞壁になります。

1.6 浸透圧が発生する原因

半透膜における溶媒や溶質粒子の移動の様子を見てみましょう。溶液と純溶媒を半透膜で区切ります。溶液（溶媒 + 溶質のことを溶液と言います）には溶媒と同程度の大きさの溶質は溶けていないとします。



- 溶媒粒子
- 溶媒粒子より大きな溶質粒子

図 21: 半透膜で純溶媒と溶液を区切る

図 21 では、溶媒粒子は半透膜を通り抜けることができますが、左の溶液内の溶質粒子は半透膜を通り抜けることができないでいますね。実はこのことが浸透圧が発生させる原因となっているのです。ではもうすこし拡大してそれぞれの言い分を聞いて見ましょう。

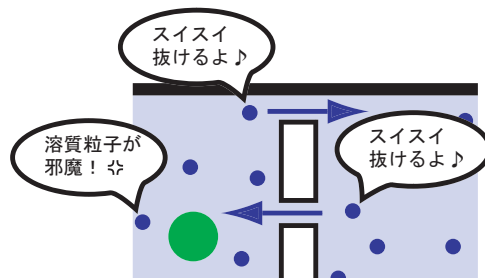


図 22: 溶媒の言い分

どうやら溶液側の溶媒にとって溶質は邪魔な存在のようです。本来溶液側の溶媒粒子も、純溶媒側の溶媒粒子も同じ移動度（移動のしやすさ）を持っています。しかし、溶液側の溶媒粒子は同じ溶液中の溶質が邪魔になって、純溶媒側へ移動するのを妨げられてしまいます。そのため、結果として純溶媒側からの溶媒粒子の移動が多く行われることとなります。

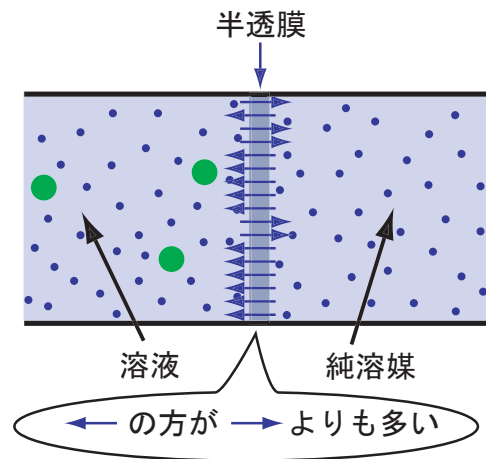


図 23: 移動度の違いの様子

図 23 をご覧ください。全体的に見たかったので、半透膜を今までよりもアバウトに描いています。半透膜には当然溶媒は通しますが溶質は通さないような小さな穴があると考えてください。そうすると、純溶媒から溶液側へ移動する溶媒粒子の方が、溶液側から純溶媒へ移動する溶媒粒子よりも多いですね。この差が浸透圧を生み出します。つまり移動度の差が圧力となって現れてくるのです。

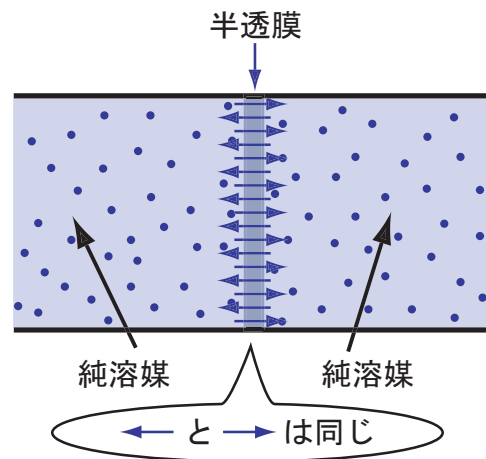


図 24: 溶媒同士を半透膜で区切る

純溶媒同士を半透膜で区切っても当然移動度は同じですから、浸透圧は生じません。つまり浸透圧とは密度の異なる溶液同士（もちろん溶液と純溶媒も可）を半透膜をはさんで接することによって生まれるものなのです。このとき図 25 の溶液の浸透圧は

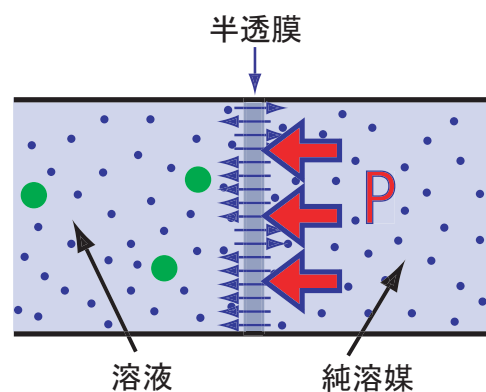


図 25: 浸透圧の定義

図 25 のように**溶液に入ってくる方向へ** $P[\text{Pa}]$ と定義します。いいですか？もう一度言いますよ！溶液の浸透圧は「**その溶液に入ってくる方に** $P[\text{Pa}]$ と定義します」。方向も忘れないで下さいね。

1.7 細胞外液とは

細胞外液とは単純に細胞の外の溶液のことです。この細胞外液と細胞内液との濃度（密度）の違いによって浸透圧が発生する方向が変わります。浸透圧が発生する原因のページでもやりましたが「**濃度が薄い方から濃い方へ**」溶媒が移動するんでしたね。まずは**細胞外液の種類**を見てみましょう。

1.7.1 高張液

高張液とは細胞内液よりも濃度が濃い溶液のことです。その細胞外液と細胞内液を仕切っている細胞膜は**半透膜**で出来ています。

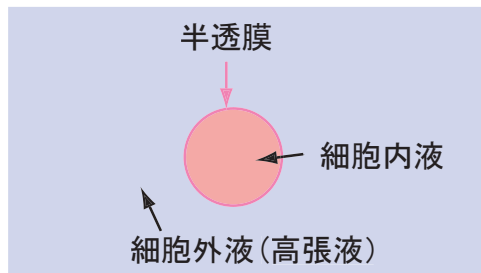


図 26: 高張液

細胞膜の外の溶液の方が濃度が濃いわけですから、**溶媒**の移動は細胞内液側から細胞外液側への移動の方が多く起こります。つまり**浸透圧は内液から外液方向**となるわけです。

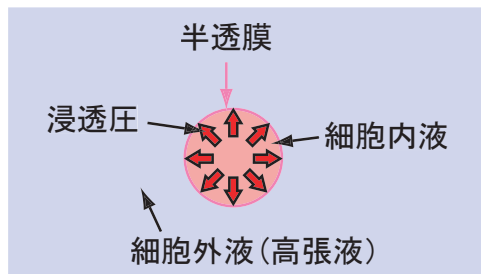


図 27: 浸透圧の方向

1.7.2 等張液

等張液とは細胞内液と濃度が等しい溶液のことです。ですから細胞内液側から外液側への溶媒の移動と、細胞外液側から内液側への溶媒の移動が等しく起こり、全体的に**まるで変化が無いように見えます**。

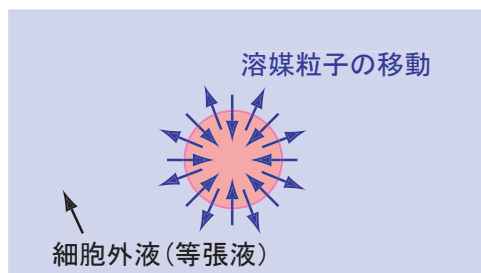


図 28: 溶媒粒子の移動の様子

つまり浸透圧は発生しません。

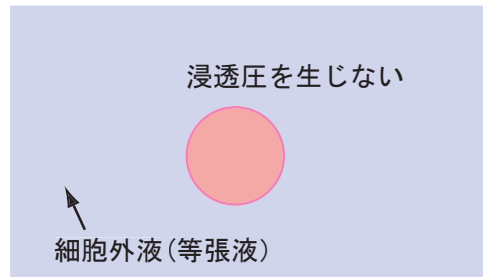


図 29: 等張液における浸透圧発生の様子

1.7.3 低張液

低張液とは細胞内液よりも濃度が薄い溶液のことです。

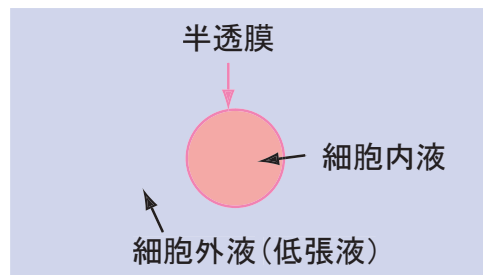


図 30: 低張液

細胞膜の内の溶液の方が外の溶液よりも濃度が濃いわけですから、**溶媒**の移動は細胞外液側から細胞内液側への移動の方が多く起こります。つまり**浸透圧は外液から内液方向**となるわけです。

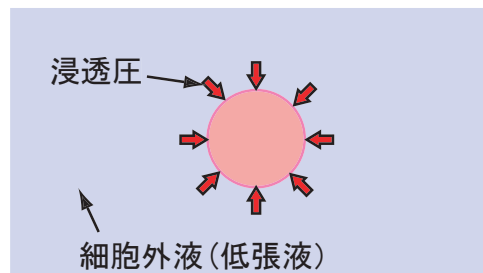


図 31: 低張液における浸透圧の方向

1.8 動物細胞では

動物細胞の代表例として赤血球を扱います。

1.8.1 高張液のとき

高張液のときは、「細胞外液」のページでもご説明しましたように、細胞外液の方が濃度が濃いので、**浸透圧は細胞内液側から細胞外液側へ**とかがっています。

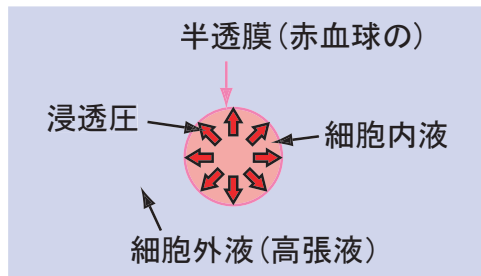


図 32: 高張液における浸透圧

浸透圧とは溶媒の移動の割合のようなものです。大きければ大きいほどたくさん溶媒が移動します。この場合の溶媒とは水ですので、つまり浸透圧とは水を移動させる力のようなものということになります。

細胞内部から水を外液へ移動させたら赤血球はどうなるでしょう？簡単に想像がつかますね。

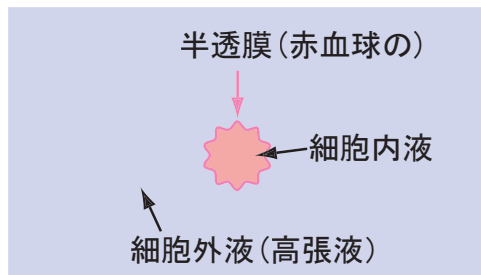


図 33: しわしわになって縮む赤血球

水が外へ移動するため、半透膜を移動できない溶質が残り、結果としてしわしわになって小さくなります。もちろんなくなったりはしませんよね。

1.8.2 低張液のとき

では低張液のときはどのようになるでしょうか？今度は細胞内液の方が細胞外液よりも濃度が濃いわけですから、赤血球の膜である半透膜を通して、細胞外液中の溶媒（水）が赤血球内に入り込めます。

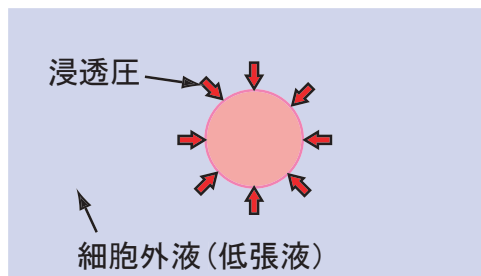


図 34: 低張液における浸透圧の方向

そうすると、どうなるかコレも簡単にイメージできるはずですよ。そう、どんどん膨らんでいきますね。

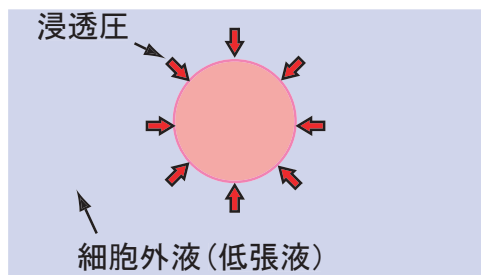


図 35: 水を吸収しどんどん膨らむ赤血球

そして赤血球を取り巻く細胞膜がその膨張に耐え切れなくなると...もちろん割れます。それが溶血です。

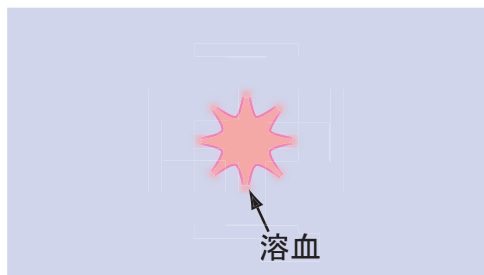


図 36: 膨張に耐え切れなくなって溶血

案外簡単ですね。等張液の場合は変わらないので、あえて説明したりはしません。ではこれらのイメージを持ったまま植物細胞の浸透圧を考えていきましょう。

1.9 植物細胞の場合

植物細胞は細胞壁と細胞膜に包まれた細胞によって構成されています。

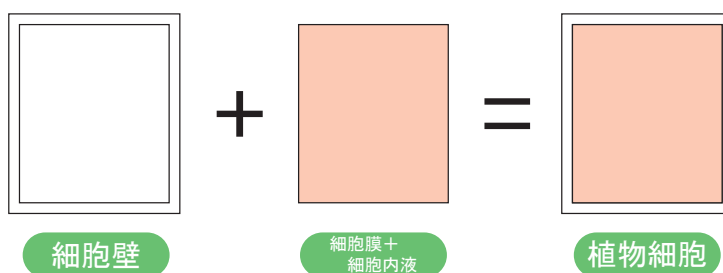


図 37: 植物細胞の構成図

ではこの植物細胞を各溶液に浸したときにどのような現象が起こるかを考えていきましょう。

1.9.1 高張液の場合

もう何度目かわかりませんが、もう一度...高張液とは細胞内液よりも濃度が濃い溶液のことを言います。そうすると当然浸透圧は細胞内液から細胞外液向きにかかります。

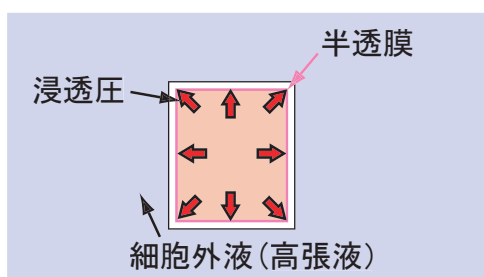


図 38: 高張液に入れた植物細胞にかかる浸透圧

浸透圧とは水（溶媒）が移動する方向とその移動力のようなものを表すんですね。ですから、細胞内部からどんどん水（溶媒）が抜けていきます。そうすると、どうなるでしょう...。

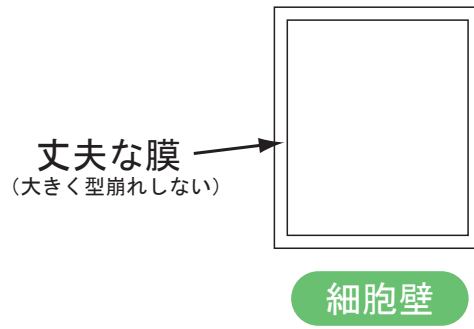


図 39: 細胞壁の構造

細胞壁はしっかりとした型崩れしにくい構造をしたものですので、水が細胞内から抜けていっても当然形は変わりません。全透膜ですので全ての粒子を素通りさせ、形が崩れる要素もありますが…。ではその細胞壁内に存在する細胞は水（溶媒）が抜けることでどうなるのでしょうか？動物細胞を高張液に浸したときのことを思い出してください。

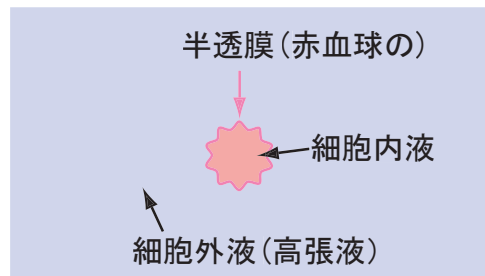


図 40: 動物細胞を高張液に浸した様子

図 40 のようにしわしわになって小さく縮んでいたことを思い出していただけたでしょうか？これは当然植物の場合にも起こります。

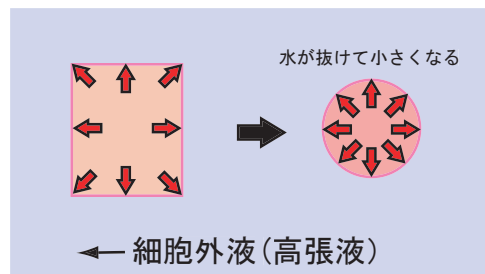


図 41: 高張液に浸した様子（細胞壁内部）

ですから、植物細胞を高張液に浸すと次の図 42 のようになります。

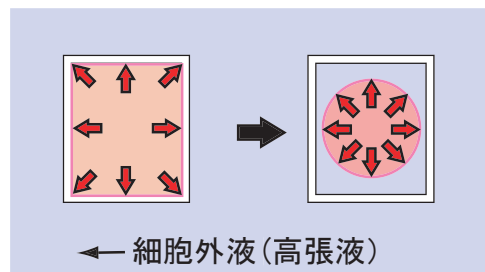


図 42: 植物細胞を高張液に浸した様子

このように細胞壁から、細胞壁内部の細胞膜が離れて縮むことを**原形質分離**と呼んでいます。

1.9.2 低張液の場合

次に低張液の場合を考えてみましょう。(この植物細胞を低張液に浸したときの浸透圧の様子を説明したくて「生物」に手を出したようなものです。)

まず、一番最初に注目して欲しいのが、低張液における圧力を考える**目線**です。目線...!?なんて思った人もいると思います。教科書等にも書いてなかったし...(だから私が書いているんですけど)。この辺は公式で「吸水力 = 浸透圧 - 膨圧」だと思っていたし...。なんて人も多いかと思います。

学問全般においてそうですが、**公式暗記は全く使えない知識**です。頭の回転力がよければ大学に入学するまではどうにか行けるでしょう。ですが、そこから先に全くついて行けません。公式を考えた人々は急に公式を「あっ...閃いた!」なんて感じで作っているわけではありません。たくさんの実験結果や計算の後に、「ああこのイメージってこんな感じで一般化できるなあ」という感じでイメージもしくはデータに合致する形で公式を作っています。だから大学入試も公式をどうこうするのではなく、その**公式を使うイメージや原理を出題してきます**。難関大ほどその傾向が顕著です。ですから、公式暗記ではなく、**原理解**を中心に学習していきましょう!

脱線しましたが、圧力を考える**目線**とは一体...という感じですが、「注目物体から見える力」のページでもご説明しましたように、働く力(この場合圧力)を考えるためにはまずその力(圧力)が働く**注目物体**を決めなくてはなりません。何に働くか決めてないのに力の議論なんて出来ないからです。ここで「生物」の「植物細胞」における「浸透圧」の問題を最初に考えた人はきっと注目物体を「**細胞壁**」にしています。(と私が言っているだけです...原理的に考えると絶対そうです。)

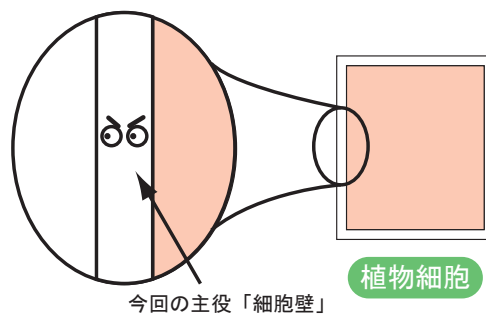


図 43: 圧力の見張り番ヘッキー

では圧力を見る視点を「細胞壁」にして、話を進めて行きましょう。まず植物細胞を低張液に浸します。当然細胞内液の方が細胞外液よりも濃度が薄いわけですから**浸透圧は細胞外液から細胞内液の方向**となります。つまり**水はその方向へ入り込んでくる**のでしたよね。その様子を細胞壁を取り除いた形で図 44 に示してみます。

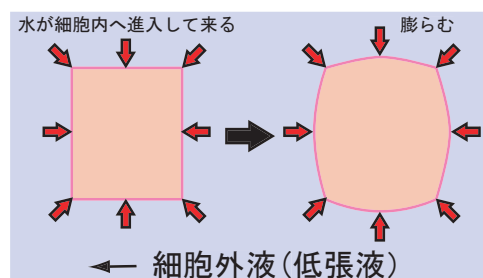


図 44: 細胞壁内部だけと仮定したときの様子

しかし実際はその仮定とは違い、**細胞壁**が存在します。ではその細胞壁のコメントを時間を追ってお聞きください。

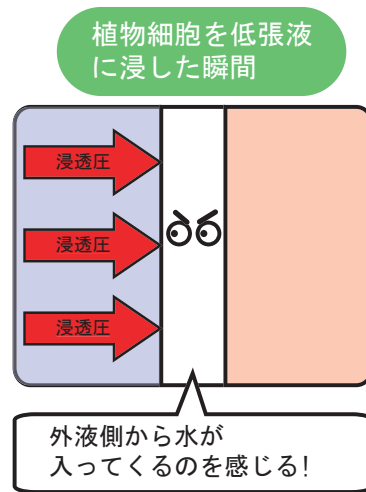


図 45: 植物細胞を低張液に浸した瞬間の図

植物細胞を低張液に浸した瞬間では当然細胞壁内部の細胞は膨張していません。つまり見える圧力は細胞壁を細胞外液側から内側へ水を浸入させようとするものだけとなります。

しかし細胞内へ水が浸入しだすとすぐに図 44 のように細胞が膨れだします。そのときの「細胞壁」のコメントをどうぞ。

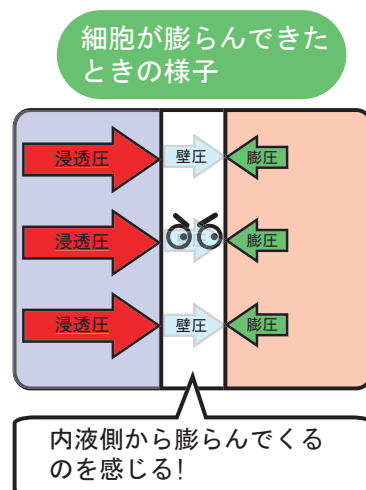


図 46: 細胞に水が浸入して膨らみだしたときの様子

細胞が膨らみ出したので、内側から細胞が膨らもうとする「膨圧」が発生します。もちろん「作用・反作用の力」のところでご説明しましたように、その膨圧に対する反作用の力「壁圧」も生じますが、それは細胞壁が出している力なので細胞壁には見えません。つまり細胞壁には「浸透圧」と「膨圧」だけが見えている状態になります。(当然のことながら、実は浸透圧に対する反作用の力も図 46 に向かって左向きに発生していますが、教科書等でも問題視していないので今回は説明を割愛しました。教科書等で「膨圧」の反作用の力(圧力)である「壁圧」は言うのに、何故「浸透圧」の反作用の力には注目しないのかと、ここまでしっかり読んでいただいた皆さんは思うかも知れませんが、それはきっとこの植物細胞の「浸透圧」に注目した先生方はあくまで中心は細胞であり、外を取り巻く細胞外液に及ぼされるような「浸透圧の反作用の力」は考えなくてよいと思われたからでしょう。)

結局細胞壁の両側にかかる圧力を図示するとこのような形になります。ではこの図 46 を見ていただければわかるでしょうが、この状態だとまだ水は細胞内へ入り込みますね。何故かって、それは力(圧力)が左右で釣り合っていないからです。つまり細胞壁のコメントを聞いてみますと

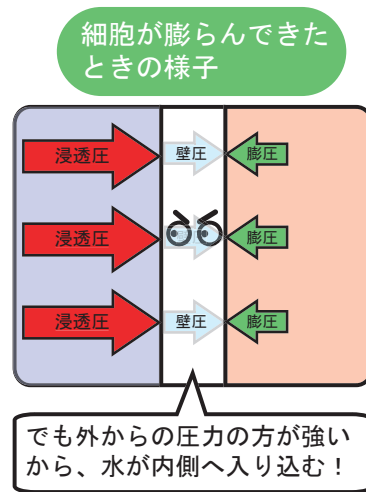


図 47: 両側の圧力の差を見て細胞壁のコメント

この圧力差のことを「**吸水力**」と呼んでいます。

$$\text{吸水力} = \text{浸透圧} - \text{膨圧}$$

つまり公式がこのように定義してあった理由は、このようにイメージした結果なのです。では一体いつ細胞内への水の浸入が終わるのでしょうか。もちろん分かりますよね？

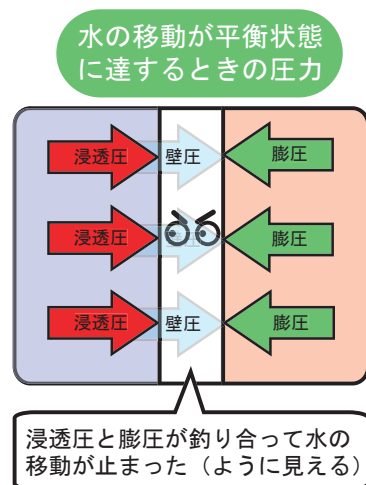


図 48: 水の移動が平衡状態に達したとき

水がどんどん浸入すると植物細胞はどんどん膨らんでいき膨圧が上がります。当然反作用である壁圧も上がりますが、それは細胞壁には見えていないので問題ありません。浸透圧は濃度差によって生じるものなので、細胞内液が薄まると若干小さくなってしまいます。ですから図 48 の浸透圧は図 47 の浸透圧よりも小さくなっています。そして、どんどん水が浸入しすぎると、とうとう**下がってきた浸透圧**と**上がってきた膨圧**が等しくなって、水の浸入が見かけ上止まったように見える状態になります。（実際には外液側からの水の移動と内液側からの水の移動が等しくなっている状態です。）この状態が吸水力 0 の状態となります。

最後に皆さんはこんな図を目にしたことがありますよね。

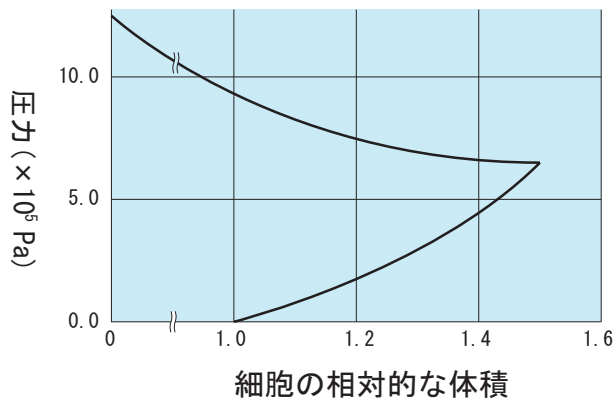


図 49: 植物細胞の体積と各圧力の関係

きっとここまで力(圧力)の働く方向や大きさを理解した皆さんならきっと今までと違った見方が出来ると思います。ではこのグラフの説明を...する前にちょっとこのグラフについて私の私見を述べておきますね。このグラフは次の二つのグラフを重ねたものです。

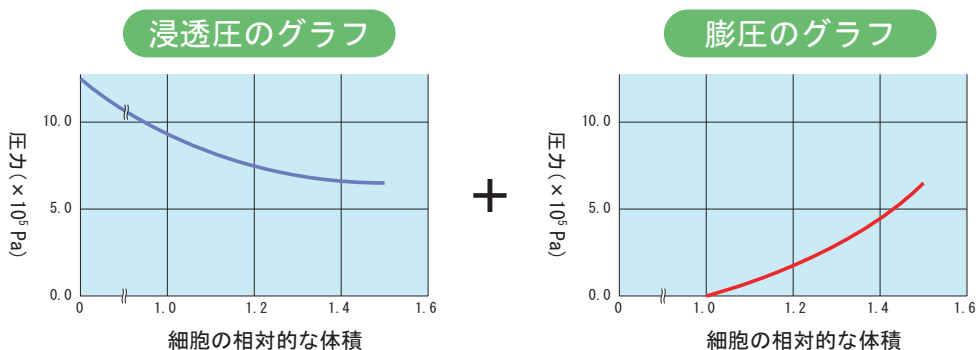


図 50: グラフの重ね合わせ

ひとつのグラフにまとめたのは、きっと面倒というか、同時に示すことで吸水力もわかるでしょ? という研究者の意図があったのですが、それが逆に初学者にはわかりにくい要因となっています。ではちゃんと別々のものだという認識をしてもらって図 51 をご覧下さい。

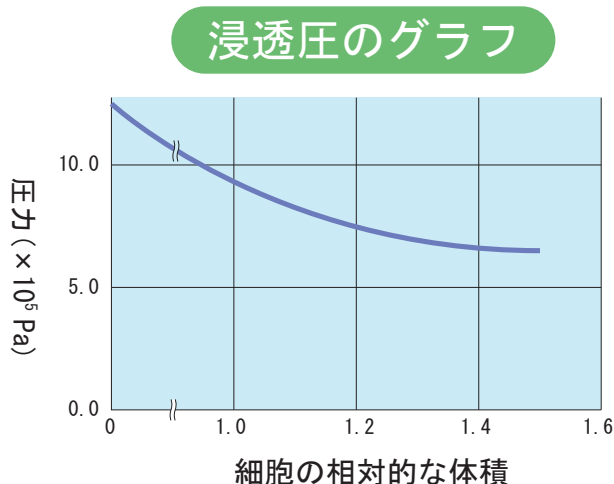


図 51: 浸透圧のグラフ

横軸は「細胞の相対的な体積」を表していますので、1.0 の値のときは、「**限界原形質分離**」の状態です。細胞壁から細胞膜が剥がれるか剥がれないかの状態ですね。吸水して体積が増加すると細胞内液が水によって薄まりますから、多少浸透圧が小さくなります。ところで膨圧の図も見てください。

膨圧のグラフ

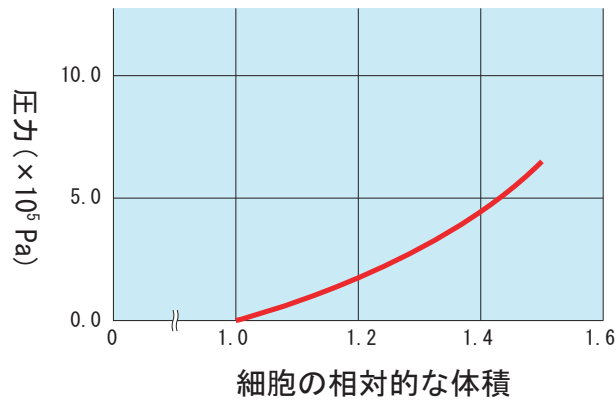


図 52: 膨圧のグラフ

膨圧は細胞壁から見たときの圧力で、吸水した細胞膜が膨らむことによって生じるものです。つまり「**限界原形質分離**」状態にある体積 1.0 から体積が大きくなると発生します。ではこの 2 つを合わせた図をもう一度ご覧下さい。

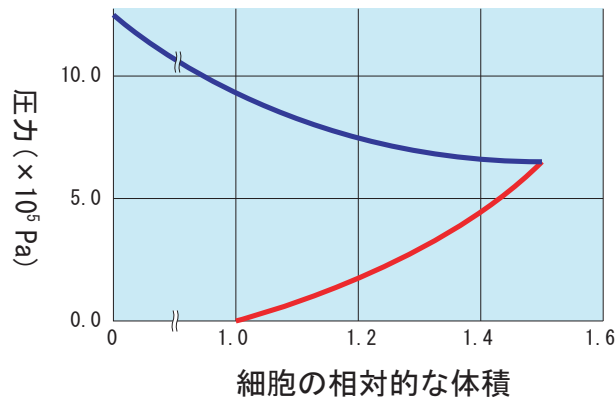


図 53: 植物細胞の体積と各圧力の関係

このグラフには**吸水力も示されています**。だからわざわざ二つのグラフを合わせたわけです。ではその吸水力はどこに表されているのでしょうか?...**吸水力 = 浸透圧 - 膨圧**でしたね。ですから

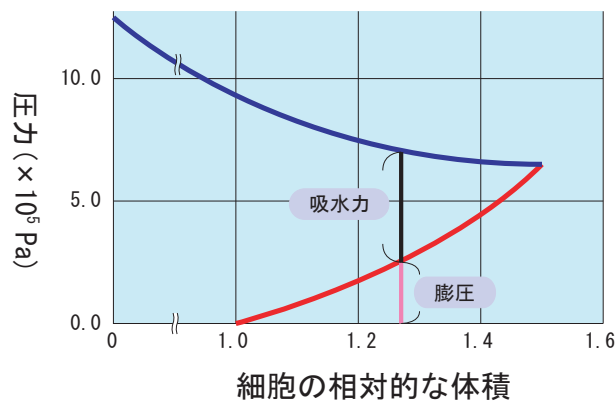


図 54: 吸水力を表現する

このように図 54 の浸透圧から膨圧を引いた差分のところ吸水力になります。このグラフで見ると、相対的に体積が 1.5 倍くらいになると、吸水力が 0 となってしまいますね。つまり、このグラフの実験では**体積が 1.5 倍になると浸透圧が膨圧と釣り合ってしまう**ということです。