

# 医療従事者のための 基礎物理学

高 塚 伸太郎  
西 村 生 哉 共著  
井 上 雄 介

コ ロ ナ 社

# ま え が き

物理学は、私たちの世界の仕組みと法則を理解するための学問です。自然現象、物体の運動、エネルギー、光、電気、音などの出来事が、私たちの世界においてどのような法則に基づいているのかを理解するためのものです。

一般的な物理学の教科書では、力学、エネルギー、波、電気などの物理現象ごとに章立てされています。しかし、その中に物理現象を説明する式の意味や、それらが現実社会でどのように活用されるかについて詳しく触れる教科書はほとんどありません。しかし、本書では、医療従事者の方々が日常的に使用する医療機器の名前を目次に掲載し、例えばパルスオキシメーターや電気メス、X線撮像装置などの具体的な医療機器に焦点を当てています。

医療従事者としての実務経験を積む際、これらの医療機器がどのような物理現象に基づいて機能しているかを理解することはきわめて重要です。本書は、筆者自身が学生時代に、なぜこれらの知識が将来の実務で役立つのかに疑問を抱いた経験から生まれました。そのため、本書はこれらの疑問に答えつつ、物理学の実用的な応用例を提供し、その原理を説明する形式で読者に物理学を学んでいただくことを目指しています。

医療従事者として、患者の診断、治療、ケアに責任を負う皆さんにとって、物理学の理解は不可欠です。物理学の知識を活用することで、正確な診断を行い、患者の病状を理解し、治療法を選択する際の判断材料となります。また、医療機器の正確な操作やトラブルシューティング、安全な環境での作業が可能になります。物理学は単なる学問ではなく、医療の現場で実践的に活用される知識です。本書を通じて、物理学の基本原則とその医療分野への応用方法を学ぶことは、未来のあなたが患者の健康と安全を保護するための大きな一歩となるでしょう。

本書は、高校で物理学を学んでいない学生でも理解できるように記述していますが、物理学を学ぶためには数学的アプローチや物理学的な概念の理解が必要です。本書では、数学的概念や物理学の原理をやさしく説明し、章末問題を通じて物理現象の理解を深める機会を提供します。高校までの学習は問題を解くこと自体に重点を置いて学習していたかもしれませんが、本書では問題解決を通じて物理現象を理解する能力を養っていただくことを目指しています。医療現場での安全性と実務スキルを向上させるために、読者が実践的なスキルを磨くのに役立つ情報を提供しています。

最後に、本書の執筆に貢献していただいた多くの方々に感謝申し上げます。また、本書が医療従事者としての素晴らしいキャリアを築くための助けになることを願っています。

2024年2月

高塚伸太郎・西村生哉・井上雄介

# 目 次

## 0. 物理学を簡単にするために

0.1 物理量の次元と単位	1
0.2 物理量の精度	4
コラム 質量が保存されるからではありません	8
0.3 SI接頭語と指数を使った表現	9
0.4 微分積分	11
0.5 ベクトルとスカラー	15
章末問題	19

## 1. 遠心分離機 ～力とは何か～

1.1 遠心分離機と運動	20
1.2 ニュートンの運動法則	21
1.3 物体の運動	24
1.4 いろいろな力	26
1.5 回転運動	29
1.6 遠心力	33
コラム コップの水が溶けると水面はどうなる？	35
章末問題	37

## 2. エアバッグ ～運動量とエネルギー～

2.1 運動量と力積	39
2.2 エネルギーの定義	42
2.3 運動エネルギーと位置エネルギー	44
2.4 エネルギー保存の法則	48
2.5 エアバッグとの衝突	52
コラム 缶ジュースを凍らせるとゆっくり転がる？	53
章 末 問 題	55

## 3. 骨 折

3.1 弾 性 体	56
3.2 応力とひずみ	59
3.3 有 限 要 素 法	63
3.4 応力-ひずみ曲線	64
3.5 さまざまな変形	66
3.6 弾性エネルギーと骨折	67
コラム 単位のない物理量	70
章 末 問 題	71

## 4. ドップラー血流計 ～波とその物理量～

4.1 波	72
4.2 音波と超音波	74
4.3 波 の 物 理 量	75
4.4 ドップラー効果	77

4.5 ドップラー血流計	79
コラム 普通の波は特殊	82
章 末 問 題	83

## 5. 超音波診断装置 ～音の反射とエネルギー～

5.1 音で距離を測る	84
5.2 波 の 反 射	85
5.3 音のエネルギーと聞こえ方	87
5.4 超音波診断装置	89
コラム ヘリウムでなぜ声が変わる	92
章 末 問 題	93

## 6. ファイバースコープ ～光の反射と屈折～

6.1 光	94
6.2 屈折率とスネルの法則	95
6.3 光ファイバー	98
6.4 ファイバースコープ	101
コラム 波の重なりを利用したチューニング	102
章 末 問 題	103

## 7. パルスオキシメータ ～光の色と吸収～

7.1 波 の 吸 収	104
7.2 色	106
7.3 ヘモグロビンの吸光度	106
7.4 パルスオキシメータ	110

コラム ガラスは何色	113
章末問題	114

## 8. 非接触体温計

8.1 温 度	115
8.2 熱	118
8.3 熱の伝わり方	120
8.4 体 温 計	122
コラム 1カロリーは1カロリー？ それとも1キロカロリー？	125
章末問題	126

## 9. 電 気 メ ス

9.1 電気メスの原理	127
9.2 電気を持つエネルギー	128
9.3 キルヒホッフの法則とオームの法則	132
9.4 直列回路と並列回路	134
9.5 ジュール熱	136
9.6 電気メスが狙ったところだけ切れる理由	137
コラム いろいろなメス	140
章末問題	141

## 10. ペースメーカー

10.1 生体内の電気	144
10.2 クーロンの法則	145
10.3 電場と電束密度	148

コラム パースメーカーの歴史	150
10.4 電気のエネルギーが蓄えられる仕組み (コンデンサ)	152
10.5 コンデンサに蓄えられたエネルギー	155
10.6 細胞が電気を起こす仕組み	157
章 末 問 題	159

## 11. 感 電

11.1 感 電 と は	161
11.2 交 流	162
11.3 交流での電圧と電流の関係	164
11.4 交流の複素表現	166
11.5 電気メスで感電しないのはなぜか	170
コラム 電磁血流計	170
章 末 問 題	173

## 12. フィルタ回路

12.1 フ ィ ル タ	176
12.2 ス ペ ク ト ル	177
12.3 重ね合わせの理	178
12.4 ローパスフィルタ	179
12.5 いろいろなフィルタ	181
コラム フィルタいろいろ	182
12.6 受動素子と能動素子	184
章 末 問 題	185



### 13. 電子レンジ

13.1 電気と磁気	186
13.2 電気から磁気, 磁気から電気	188
13.3 電磁波	190
コラム 電子レンジの思い出	190
章末問題	192

### 14. 放射線

14.1 原子	194
コラム 放射能	194
14.2 崩壊	198
14.3 X線	200
章末問題	201

### 15. MRI

15.1 体内を知るためには	203
15.2 光の放出とゼーマン効果	205
15.3 MRIの画像化の原理	208
コラム 見えないが強い作用をおよぼす強磁場	215
章末問題	216
参考文献	217
章末問題解答	218
索引	229

# 0

## 物理学を簡単にするために

物理学をとっつきにくいと感じる人は多い。それは身近ではないいくつかの概念が登場するからである。微積分やベクトル、次元などである。ただこれらのことは物理学を難しくするものではなく、逆に簡単に表現するためのものだけであることを知る必要がある。

### 0.1 物理量の次元と単位

物理学ではいろいろな物理量が登場する。この物理量を理解することが物理学を理解する近道である。例えば、長さや質量は単なる数値ではなく、何らかの基準が定義されその基準がいくつ分存在するかを表した量である。したがって何らかの基準が変われば同じものを表す物理量でも表現方法が変わる。例えば図0.1(a)のように1メートルは約3.3フィートである。1メートルも3.3フィートもどちらも同じ量の「長さ」であるがその基準が異なるために数値が変わる。この「長さ」などの物理量の種類を表したものを次元といい、「メートル」や「フィート」などの基準を表したものを単位という。

また図(b)のように、コップ1杯でも「体積」という次元といえる。「コップ〇杯」が単位ということである。もちろんコップ何杯という物理量は物理学の中では登場しないが、それは単位の精度の問題で精密な計算では扱われないのであって、これも物理量であることには変わりはない。単位には歴史的な経緯などがあるため、身近な物理量にはいろいろな単位が存在する。「年」「時間」「分」や「秒」は時間という次元の単位であり、「キログラム」「貫」や

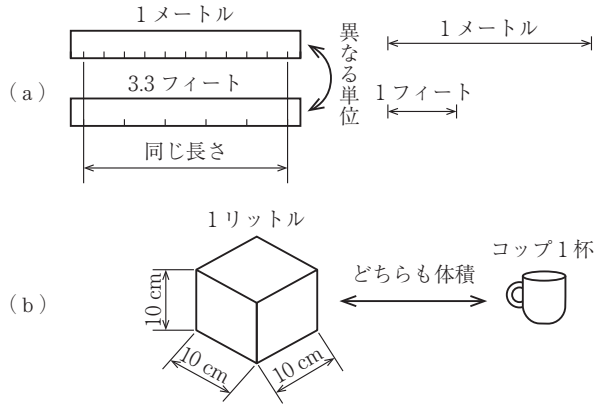


図 0.1

「ポンド」は質量という次元の単位である。

物理量の計算は単に数値を計算すればよいわけではなく、次元や単位をきちんと考えることが重要になる。以下に物理量を扱う上でのいくつか基本的なルールを示す。

- ① 図 0.2 のように足し算・引き算は式を立てる段階で同じ次元でなければならない。その上で数値を足し算・引き算で一つにまとめるためには同じ単位同士でなければならない。まとめた項は元の単位を維持する。

次元が異なるので計算できない

$$6 \text{ kg} + 2 \text{ m}^3$$

(質量) (体積)

次元が同じなので計算できる

$$1 \text{ 分} + 20 \text{ 秒} = 60 \text{ 秒} + 20 \text{ 秒} = 80 \text{ 秒}$$

(時間) (時間)      ↑      ←元の単位

一つの項にするには  
同じ単位であることが必要

図 0.2

- ② 図 0.3 のように掛け算・割り算は別の次元でも式を立てることができるが、その計算結果の次元は元の次元によって決まり、計算結果の単位は計算前の単位を掛け算・割り算したものになる。

$6 \text{ kg} \div 2 \text{ m}^3 = 3 \text{ kg/m}^3$ <small>(質量)      (体積)      (密度)</small>
$6 \text{ m} \div 3 \text{ 秒} = 2 \text{ m/s}$ <small>(長さ)      (時間)      (速さ)</small>
$6 \text{ km} \div 2 \text{ 時間} = 3 \text{ km/h}$ <small>(長さ)      (時間)      (速さ)</small>

図 0.3

- ③ 単位換算する場合はまず換算前と換算後の単位の等式を考えて計算する。図 0.4 のように 2 バレル + 100 リットル を計算する場合、1 バレル = 159 リットル というような等式をまず用意する。

$1 \text{ バレル} = 159 \text{ リットル} \rightarrow 1 = \frac{159 \text{ リットル}}{\text{バレル}}$
$2 \text{ バレル} + 100 \text{ リットル}$
$= 2 \cancel{\text{バレル}} \times \frac{159 \text{ リットル}}{\cancel{\text{バレル}}} + 100 \text{ リットル}$
$= 318 \text{ リットル} + 100 \text{ リットル} = 418 \text{ リットル}$

1 を掛けても式は  
↓  
変わらない

図 0.4

- ④ 物理学の式は基本的に次元を表している。例えば、一定の速さ  $v$  で  $t$  の間進んだときの距離  $x$  は、 $v$

$$x = vt \tag{0.1}$$

と表すことができるが、この  $t$  は時間であり、「秒」でなければ式が成立しないというわけではない。仮に  $t$  が秒で  $x$  をメートルで計算すれば、 $v$  は  $\text{m/s}$  となり、時間とキロメートルなら  $\text{km/h}$  (時速キロメートル) に変わるだけである。

これらの理解は非常に重要である。式の意味は単に計算させるものではな

く、何を計算しているのという物理意味を示しているからだ。例えば「長さ」の次元の量を「時間」の次元の量で割り算したのならば、答えは必ず「速さ」の次元の量になる。「長さ」÷「時間」の式が出てきたら、あとはそれが「何の」速さなのかを考えればよいだけなのである。

## 0.2 物理量の精度

物理量は実際の値を扱うものなのでピッタリその値ということは存在しない。(例外として3回繰り返した。などはピッタリ3といえる。) 例えば、体重計で50.0 kgと表示されたからといって、小数点何桁までも0が続く、ちょうど50 kgであるとはいえない。基準となる質量の定義がそれほど高い精度で決められているわけでもなく、体重計もそれほど高精度に測定できるわけではない。それゆえ数学のように数値がピッタリであることはそれほど重要ではない。

図0.5のようにはかりの計測によってある物体が1.0 kgであったとする。この1.0 kgの物体を三等分した1個当たりの重さは数学では $1/3$  kgと表すが、物理ではそのようには表さない。この計測でわかることは物体の重さ(もちろん計測器によって誤差はあるが)は0.95 kg ~ 1.05 kgの間にあるということ

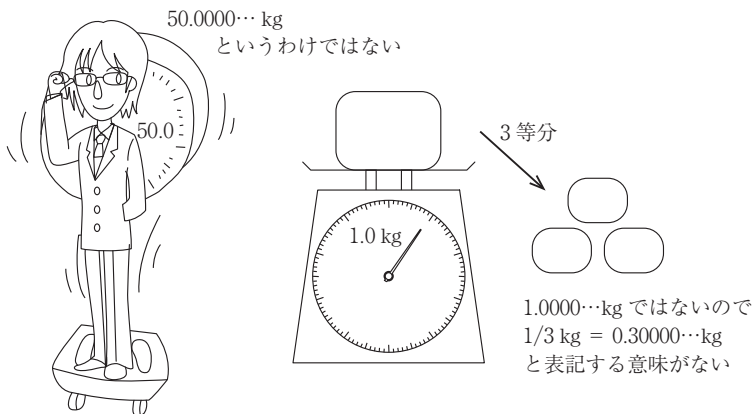


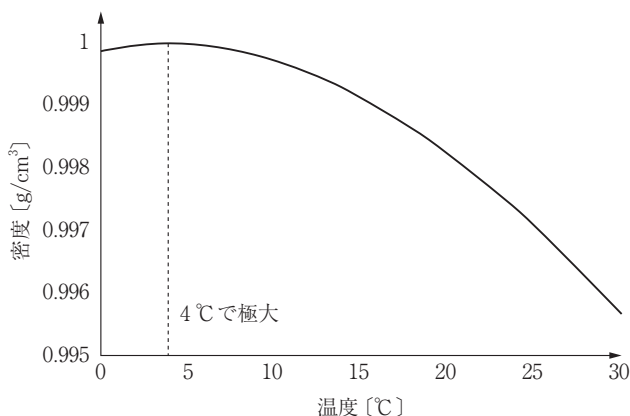
図0.5

であるので、この1.0 kgの物体を三等分した1個当たりの重さは0.32 kgくらいから0.35 kgくらいの値となる。なので、0.333 333… kgと表記することは無意味であるし、もしかしたら超高精度の測定をしたのかという誤解を与えかねない。そこで物理では数値計算する場合は有効数字を使って表記するのが普通である。有効数字は計測の誤差はなるべく簡単に扱うための方法でその計算方法にはいろいろな手法がある。誤差を考えて目的に合う方法を使用できればよい。上の例では1.0 kgが有効数字二桁なので、三等分した量も有効数字二桁で表すというのがもっとも簡単な考え方である。つまり $1.0 \text{ kg} \div 3 = 0.33 \text{ kg}$ という具合である。

さて、物理学が進歩していくにつれて、高精度の物理計算が重要になる。物理量を高精度で扱うためにはその基準の精度が重要となる。つまり単位の定義を高い精度で行う必要がある。

例えば、1 kgの定義は1790年には「10 cm×10 cm×10 cmの体積の水の質量」であった。しかし水といっても何かが混ざっていれば当然質量に違いが生じる上、**図0.6**のように温度によっても密度が変化する。そこで1799年には「10 cm×10 cm×10 cmの体積の4℃蒸留水の質量」に修正された。

この修正もすぐにうまくいかないことがわかる。気圧、つまり圧力によって



**図0.6** 水の密度と温度の関係

# 索 引

	<b>【あ】</b>				
$\alpha$ 崩壊	198	潜 熱	120	$E = \frac{1}{2}mv^2$	46
アンペールの法則	188	<b>【た・て】</b>		$E = hv$	205
<b>【い・う】</b>		縦波と横波	73	$e = L \frac{dI}{dt}$	189
位置エネルギー	47	電 荷	129	$E = mc^2$	199
インダクタンス	164, 189	電気容量	154	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$	150
インピーダンス	168	電 束	148	<b>【ね】</b>	
運動エネルギー	44	<b>【ね】</b>		$f' = f \frac{c \pm v_o}{c \pm v_s}$	77
<b>【お】</b>		熱容量 (比熱)	118	$\vec{F} = k\vec{x}$	57
応 力	61	<b>【は・ひ・ふ・へ】</b>		$\vec{F} = m\vec{a}$	21
オームの法則	133	反発係数	50	$F = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r$	35
音響インピーダンス	86	ひずみ	61	$\vec{F} = Q\vec{E}$	130
<b>【か】</b>		プランク定数	205	$I = 2\pi rH$	188
可視光	106	$\beta$ 崩壊	198	$mgh$	47
慣性力	33	<b>【や】</b>		$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$	117
$\gamma$ 崩壊	199	ヤング率	62	$Q = CV$	154
<b>【き・け】</b>		<b>【ら・れ】</b>		$Q = \frac{\epsilon S}{d} V$	153
吸光度	108	ラーモア周波数	209	$v = f\lambda$	75
キルヒホッフの第一法則	132	レンツの法則	189	$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$	157
キルヒホッフの第二法則	133	<b>【数 式】</b>		$W = QV$	130
顕 熱	120	$D = \frac{Q}{4\pi r^2}$	149	$\vec{\sigma} = E\vec{\epsilon}$	62
<b>【し・す・せ】</b>		$D = \epsilon E$	149	$\vec{\sigma} = \frac{\vec{F}}{S}$	61
遮断周波数	180	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^2}$	150		
シャルルの法則	116				
スネルの法則	97				

— 著者略歴 —

高塚 伸太郎 (たかつか しんたろう)

2001年 北海道大学工学部システム工学卒業  
2003年 北海道大学大学院工学研究科修士課程  
修了(システム情報工学専攻)  
2007年 北海道大学大学院工学研究科博士課程  
修了(システム情報工学専攻)  
博士(工学)  
札幌医科大学助教  
2017年 札幌医科大学講師  
現在に至る

西村 生哉 (にしむら いくや)

1985年 北海道大学工学部精密工学卒業  
1987年 北海道大学大学院工学研究科修士課程  
修了(精密工学専攻)  
日本電子株式会社入社  
1990年 北海道大学助手  
1999年 博士(工学)(北海道大学)  
2007年 北海道大学大学院助教  
現在に至る

井上 雄介 (いのうえ ゆうすけ)

2007年 北海道大学大学院情報科学研究科修士課程修了(人間情報科学専攻)  
2011年 東京大学大学院医学系研究科博士課程修了(生物物理医学専攻)  
博士(医学)  
2012年 東京大学大学院工学系研究科特任研究員  
2015年 東北大学加齢医学研究所助教  
2020年 旭川医科大学講師  
2021年 旭川医科大学准教授(兼務:東京大学工学部講師, 東北大学加齢医学研究所講師)  
現在に至る

## 医療従事者のための基礎物理学

Basic Physics for Medical Professionals

© Takatsuka, Nishimura, Inoue 2024

2024年4月26日 初版第1刷発行



検印省略

著者 高塚 伸太郎  
西村 生哉  
井上 雄介  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来 真也  
印刷所 萩原印刷株式会社  
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10  
発行所 株式会社 コロナ社  
CORONA PUBLISHING CO., LTD.  
Tokyo Japan  
振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)  
ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-06670-8 C3042 Printed in Japan

(森岡)



JCOPY

<出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。