

まえがき

海の波は風によって発生し、沖合から次から次へと進んできて、波打ち際で白いしぶきを見せながら砕けます。静かな池にカエルが飛び込むと、カエルが落ちた場所の水が沈んで周囲の水面が盛り上がり波となり同心円状に広がります。これらの波は目で見ることができますが、目に見えない波もあります。

音は目には見えませんが、耳には聞こえる波です。私たちが「ああ」と叫ぼうと口を開け声帯を振動させると、声帯の振動が口腔内で共振して空気の粗密が発生、音波となって空気中を伝わります。音波は近くにいる人の耳の鼓膜を振動させて「ああ」という音として認識させます。地震の波も見ることにはできませんが、地殻を伝わるので震源から近い場合はその振動を感じることができます。紫外線や赤外線は見ることにはできませんが、これらは電磁波という波です。人体からは赤外線が出ているので、照明のついていないトイレに入ると赤外線センサが働いて照明がつきます。光（可視光線）も電磁波の一種で、見かけは波のようには見えませんが、空が青く見える理由も夕焼けが赤く見える理由も光が波であることで説明できます（その内容については本書で触れていませんが、『空気のはなし—科学の眼で見る日常の疑問』では詳しくのべています）。私たちが日ごろ認識している色は、電磁波の波長が違う情報を網膜にある視細胞で感知しているためです。電波も電磁波の一種で見ることも感じることもできませんが、電波が届くお陰で私たちはテレビを見たり、携帯電話で話すことができます。

このように、波にはいろいろ性質の違うものがありますが、波長、振動数、振幅、速度などを持っていて、同じ波動の式で表せるという点で共通しています。また、波には反射、屈折、干渉などがあるという点でも共通しています。

第1章は、波の基本的な性質と式を示し、波に共通な点を紹介します。第2章は水面波で、波の生成、発達、消滅までの波の一生、また波の高さ、速さなどの決まり方などについて紹介します。第3、4章は、地震の発生の仕方、地震波の解析による地球の内部構造の決定方法、東日本大震災および阪神淡路大震災の発生原因と被害、今後予想される東南海地震や首都直下地震の被害想定も紹介します。第5、6章は音波と超音波で、音や超音波の出方、人の声や楽器の音色、魚群探知機や超音波診断の仕組みなどを紹介します。第7章は電波で、ラジオ、テレビ、携帯電話、レーダーの仕組みなどを紹介します。第8章は赤外線で、赤外線カメラ、赤外線通信、

放射温度計の仕組みなどを紹介します。第9章は可視光線で、可視光線しか見えない理由、光や色の3原色、白熱電球、蛍光灯、LED照明の仕組みなどを紹介します。第10章は紫外線で、紫外線の健康被害や殺菌作用、UV印刷などを紹介します。第11章はX線とガンマ線で、それらの性質と医療への応用を紹介します。

本書は疑問形で書かれた問題に関して解説していますが、初めから順に読み進めてもよいし、関心がある話題について拾い読みしてもよいようになっています。したがって、どこから読み進めても結構です。また、解説の終わりには「まとめ」を数行で書いています。疑問形で書かれた問題に関する回答を自分で考えて「まとめ」と比較するのもよいし、解説を読んで自分が理解した内容を「まとめ」と比較してみるのもよいかも知れません。

若者の読書離れ、理科離れが言われる今日、日常の何気ない現象に目を留め、「なぜ？」という疑問を持つこと、そして子どもが発信してくる疑問に大人が答えることができることが求められます。その答え方しだいで子どもたちは自然や身近で経験する現象に対する関心を深め、好奇心を広げ、世界の広がりや奥深さを感じるに違いありません。

人生には波があるとよく言われます。波…調子の良いときと悪いとき、運の良いときと悪いときはだいたい交互にやってきます。サッカーの試合で、こぼれ球が相手にばかり拾われるときもあれば、味方の足元にばかり転がってくるときもあります。問題は、嫌な流れのときを耐え抜いて、いい流れのときを得点に生かせるかどうかです。ウインドサーフィンは波を乗りこなすスポーツです。腕の立つサーファーは自分が乗れる波と乗れない波を見極めます。彼は危険な波には乗らず、次にくる波が自分にとって良い波であるかどうかを判断します。そして、自分にとって最高の波を乗りこなす楽しさを味わうのです。人生にはどん底のときもありますが、そのときをじっと耐え抜く心の強さがあるかどうか問われます。どん底のときでも将来への希望を持ち続けられる人は強い人です。そういう人は、やがてやってくるチャンスを生かすことができるでしょう。

本書で扱う「波」にはいろんな種類の波があります。読者の皆さんには、自分が興味を持ってそうな「波」から読み進められることをお勧めします。そして、その「波」を理解したときに、別の「波」も読もうとする意欲が湧いてくることでしょう。そして、読み終わって自分に得られるものがあつたと思うとき、その人の興味と関心が広がり、いろんな事柄に挑戦しようとする意欲が湧いてくるに違いありません。何かに挑戦しようとする意欲…これは人がどんな年齢、どんな境遇であっても持つ

ち続けるべき課題であります。

「科学の眼で見る日常の疑問」という視点は、筆者が転職して千葉大学教育学部に勤務しはじめた当初から教員を目指す学生に求めた視点でした。当時の稲場研究室に属した学生諸君の一部には卒論でも自ら疑問を見出し、それについて調べて発表してもらいました。本書を出版することができたのは、当時の研究室での議論での問題意識が基礎になっています。当時の共同研究者であり現在千葉大学教育学部准教授の林英子さんおよび当時の学生諸君に感謝したいと思います。

本書の出版を認めくださり有益なコメントをいただいた技報堂出版（株）編集部長の石井洋平氏および直接編集に携わってくださり有益な助言をいただいた同社編集部の伊藤大樹氏に深く感謝したいと思います。

2018年11月

稲場秀明

《iv》

《著者紹介》

稲場 秀明 (いなば・ひであき)

1942年 富山県滑川市生まれ
1965年 横浜国立大学工学部応用化学科卒業
1967年 東京大学工学系大学院工業化学専門課程修士修了
同 年 ブリヂストンタイヤ(株)入社
1970年～ 名古屋大学工学部原子核工学科助手, 助教授を経る
1986年 川崎製鉄(株)ハイテク研究所および技術研究所主任研究員
1997年 千葉大学教育学部教授
2007年 千葉大学教育学部定年退職

工学博士

主な著書

温度と熱のはなし—科学の眼で見る日常の疑問, 大学教育出版, 2018
色と光のはなし—科学の眼で見る日常の疑問, 技報堂出版, 2017
水の不思議—科学の眼で見る日常の疑問, 技報堂出版, 2017
エネルギーのはなし—科学の眼で見る日常の疑問, 技報堂出版, 2016
空気のはなし—科学の眼で見る日常の疑問, 技報堂出版, 2016
水はなぜ水に浮かぶのか—科学の眼で見る日常の疑問, 丸善, 1998
携帯電話でなぜ話せるのか—科学の眼で見る日常の疑問, 丸善, 1999
大学は出会いの場—インターネットによる教授のメッセージと学生の反響,
大学教育出版, 2003
反原発か, 増原発か, 脱原発か—日本のエネルギー問題の解決に向けて,
大学教育出版, 2013

趣味はテニスと囲碁

千葉市花見川区在住 (hsqrk072@ybb.ne.jp)

目 次

第1章 振動と波 1

-
- 1 話 波とは? ----- 2
 - 2 話 縦波と横波はどう違うか? ----- 4
 - 3 話 波の振幅, 波長, 速度は? ----- 6
 - 4 話 波が衝突したらどうなるか? ----- 8
 - 5 話 波の反射はどのように起こるか? ----- 10
 - 6 話 波はなぜ屈折するのか? ----- 12
 - 7 話 いろんな種類の波の特長は? ----- 14
 - コラム 波をつくるエネルギー ----- 16

第2章 水と波 17

-
- 1 話 波は水面にどのように発生するのか? ----- 18
 - 2 話 水面波はなぜ縦波でも横波でもないのか? ----- 20
 - 3 話 海の波はどのように発達し減衰するか? ----- 22
 - 4 話 海の波は深さが違うとどのように影響するのか? ----- 24
 - 5 話 海の波は海岸にどのように押し寄せるか? ----- 26
 - 6 話 波の高さはどのように決まるか? ----- 28
 - 7 話 波の速さはどのように決まるか? ----- 30
 - コラム 砕 波 ----- 32

第3章 地震波と地球の内部構造 33

-
- 1 話 地震波はどのように発生するか? ----- 34
 - 2 話 地震波で地球の固有振動がどのようにわかるか? ----- 36
 - 3 話 地震波の屈折からどのような情報が得られるか? ----- 38
 - 4 話 地球の内部構造はどうなっているか? ----- 40
 - 5 話 地球内部の温度・圧力と力学的性質は? ----- 42
 - コラム 地震波トモグラフィー ----- 44

第4章 地殻変動と地震・津波

45

-
- 1 話 地殻とマントルはどのように変動しているか？ ----- 46
 - 2 話 プレートテクトニクスとは？ ----- 48
 - 3 話 地震はどのようにして起こるか？ ----- 50
 - 4 話 津波はどのようにしてやってくるか？ ----- 52
 - 5 話 阪神・淡路大震災はどのようにして起きたか？ ----- 54
 - 6 話 東日本大震災はどのようにして起きたか？ ----- 56
 - 7 話 東日本大震災ではどのような津波が襲ったか？ ----- 58
 - 8 話 首都直下地震はどのように想定されているか？ ----- 60
 - 9 話 東南海地震はどのように想定されているか？ ----- 62
 - 10 話 地震による液化化現象とは？ ----- 64
 - 11 話 制震と免震の方法は？ ----- 66
 - コラム 首都直下地震のときあなたはどうか？ ----- 68

第5章 音 波

69

-
- 1 話 音叉を弾くとどうして音が聞こえるか？ ----- 70
 - 2 話 稲妻が光った後になぜ音が遅れて聞こえるか？ ----- 72
 - 3 話 音色は何によるか？ ----- 74
 - 4 話 楽器はどのようにして特徴的な音を出すか？ ----- 76
 - 5 話 人の声はどのようにして出るか？ ----- 78
 - 6 話 人はどのようにして音を聞き分けているか？ ----- 80
 - 7 話 補聴器でどのようにして音を聞き取れるか？ ----- 82
 - 8 話 スピーカーとマイクロフォンの仕組みは？ ----- 84
 - 9 話 騒音とその対策は？ ----- 86
 - 10 話 遮音, 吸音, 消音とは？ ----- 88
 - 11 話 人の声はどのようにして録音・再生できるか？ ----- 90
 - 12 話 山びこの声はどうして戻ってくるか？ ----- 92
 - 13 話 救急車が通り過ぎると音が変わるのなぜか？ ----- 94
 - コラム コンサートホールの音響 ----- 96

第6章 超音波

97

-
- 1 話 超音波とは？ ----- 98

2 話	魚群探知機の仕組みは？	100
3 話	超音波探傷器の仕組みは？	102
4 話	超音波診断の仕組みは？	104
5 話	超音波洗浄機の仕組みは？	106
6 話	超音波溶接・溶着の仕組みは？	108
7 話	超音波を用いた手術とは？	110
8 話	コウモリはどのように超音波を利用しているか？	112
9 話	イルカやクジラはどのように超音波を利用しているか？	114
コラム	超音波モータ	116

第7章 電 波

117

1 話	電波とは？	118
2 話	直進する電波がなぜ地球の裏側に届くか？	120
3 話	アンテナはどのように働くか？	122
4 話	ラジオ放送の仕組みは？	124
5 話	テレビ放送の仕組みは？	126
6 話	携帯電話の仕組みは？	128
7 話	レーダーの仕組みは？	130
8 話	気象レーダーの仕組みは？	132
9 話	盗聴の仕組みは？	134
10 話	電子レンジの仕組みは？	136
コラム	電波時計	138

第8章 赤 外 線

139

1 話	赤外線とは？	140
2 話	赤外線カメラの仕組みは？	142
3 話	赤外線通信とは？	144
4 話	赤外線レーザーとは？	146
5 話	放射温度計とは？	148
6 話	赤外線サーモグラフィとは？	150
コラム	赤外線を用いた警備・防衛システム	152

第9章 可視光線

153

- 1 話 ヒトはなぜ可視光線しか見えないか？ ----- 154
- 2 話 光がプリズムでなぜ7色に分かれるか？ ----- 156
- 3 話 光の3原色とは？ ----- 158
- 4 話 色の3原色とは？ ----- 160
- 5 話 白熱電球の光はなぜ赤みがかって見えるのか？ ----- 162
- 6 話 蛍光灯はどのように光るのか？ ----- 164
- 7 話 発光ダイオードはどのように光るのか？ ----- 166
- 8 話 発光ダイオードはどのように利用されるのか？ ----- 168
- コラム 光と色を感じる仕組み ----- 170

第10章 紫外線

171

- 1 話 紫外線とはどんな光か？ ----- 172
- 2 話 紫外線の健康被害は？ ----- 174
- 3 話 紫外線の殺菌作用は？ ----- 176
- 4 話 紫外線式火災報知器とは？ ----- 178
- 5 話 UV印刷とは？ ----- 180
- コラム 日焼け ----- 182

第11章 X線と γ 線

183

- 1 話 X線とは？ ----- 184
- 2 話 X線の医療への応用は？ ----- 186
- 3 話 γ 線とは？ ----- 188
- 4 話 γ 線の医療への応用は？ ----- 190

第 1 章

振動と波

海の波は目に見えるが、見えない波もある。音波は見えないが耳には聞こえる波、地震波は振動を感じる波、電波は感じることはできないが有用な波、光には見える波と見えない波があり、X線や γ （ガンマ）線はエネルギーの大きな波である。この章では、種々の波に共通な波動の式を波長、振幅などを使って表現し、さらには波の反射、屈折、干渉など波に共通した性質を紹介する。

1 話 波とは？

波といえば、私たちは海の波を思い浮かべる。海を眺めていると、沖合から次から次へと波が進んできて波打ち際で砕ける。また、静かな池に小石を投げ込むとそこから同心円状に波が発生する。波ができるためには発生源が必要で、海の波はほとんどの場合は風、池の波の場合は小石が発生源である。

これらの波は目で見ることができるが、目に見えない波もある。音は目には見えないが耳には聞こえる波である。太鼓を叩くと、太鼓の皮が振動し、空気の粗密が発生する。空気の粗密は、音波（空気の粗密波）となって空気中を伝わり、耳の鼓膜を振動させ、聴覚器を経て脳の聴覚野で認識する。

地震の波も見ることにはできないが、地殻を伝わるのでその振動を感じることができる。

電波や紫外線、赤外線は電磁波という波である。これらは見ることも感じることも普通はできない。しかし、電波が届くお陰で、携帯電話で話すことができる。人体から出ている赤外線を赤外線センサが感知して照明がついたりする。

光（可視光線）も電磁波の一種で、波のように見ることはできないが、空が青く見える理由も夕焼けが赤く見える理由も光が波であることで説明できる。

図 1-1 のように上部に固定されたバネについた重りを引っ張ると、重りはバネの自然の位置（平衡点）を中心として振動を始める。このような振動を単振動と言う。このとき、重りの位置の変位 y を縦軸に時間 t を横軸にとると図 1-2 に示すような正弦波で近似できる。また、一端が固定された長い紐の

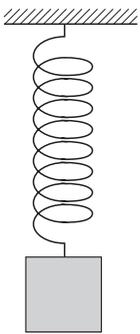


図 1-1 バネの振動

反対側の端を持って上下の往復運動をさせると図 1-2 のような波の形が現れる。そのとき、ある時間における変位 y の紐の方向の位置 x の変化も、ある紐の位置における時間 t における変化も同じように図 1-2 に示すような正弦波で表せる。

図 1-2 の $y-x$ グラフにおける山と山の間の距離を波の波長 (λ) といい、山の高さを振幅 (A) という。 $y-t$ グラフにおける山と山の間の距離を波の周期 (T) という。1秒間に f 回正弦波中の1点が現れると振動数 f は、 $f=1/T$ と定義される。 f の単位は 1/秒であるが、Hz も同じ単位である。波の波形における位置 x と時間 t と、その地点での変位 y の

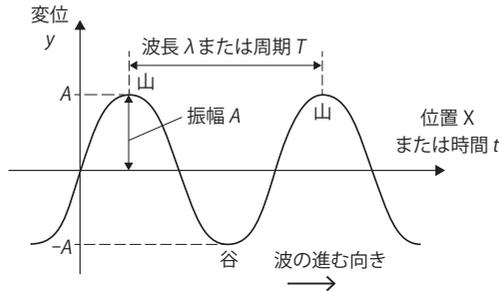


図 1-2 波の変位とその位置または時間変化

関係は次式で表せる。

$$y = A \sin \{ 360^\circ (t/T - x/\lambda) \} \quad (1-1)$$

図 1-2 または式 (1-1) で表されるような周期的に変化する現象において、全過程中の位置を示す量を位相と言う。式 (1-1) での位相は $\{360^\circ(t/T - x/\lambda)\}$ である。

波の位相は 360° で 1 周するが、1 周するのに時間では T 秒かかり、距離では λ だけ進むのに相当することをこの式で確かめることができる。波には海の波から音波、超音波、地震波、X 線、紫外線、可視光線、赤外線、電波などいろんな種類があるが、式 (1-1) で示すような波長、振動数、振幅などで記述できる点では共通している。

③④⑤ 波は振動源があつてそれが媒質中を伝わって行くものである。波には海や池の波だけでなく、音波、超音波、地震波、紫外線、可視光線、赤外線や電波などもある。波には見える波も見えない波もあり、性質はさまざまであるが、振幅、波長、振動数などを持っていて同じ波動の式で表せるという意味では共通である

波のはなし

科学の眼で見る日常の疑問

定価はカバーに表示してあります。

2019年1月10日 1版1刷発行

ISBN978-4-7655-4484-9 C1040

著者 稲場 秀明
発行者 長 滋彦
発行所 技報堂出版株式会社
〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-2-5
電話 営業 (03) (5217) 0885
編集 (03) (5217) 0881
F A X (03) (5217) 0886
振替口座 00140-4-10
U R L <http://gihodobooks.jp/>

日本書籍出版協会会員
自然科学書協会会員
土木・建築書協会会員

Printed in Japan

©Hideaki Inaba, 2019

装丁：田中邦直 印刷・製本：愛甲社

落丁・乱丁はお取り替えいたします。

JCOPY <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, e-mail:info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。