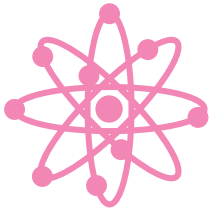
超高效學習！精準掌握搶分關鍵

中學物理總整理



永野裕之／著　陳識中／譯

為什麼天空是藍的？　～通往物理的門扉～　前言

你知道全世界的人們在Google上最常搜尋的「**why is ~（為什麼）**」是什麼嗎？答案是

Why is the sky blue?（為什麼天空是藍色的？）

根據2019年的數據，完全相同的問題每年大約會被搜尋360萬次[1)]。如果連問法稍有不同但內容相同的問題以及英文以外的語言也一併算入，搜尋次數應該還要多得多。

實際上，小孩子經常對父母拋出「為什麼天空是藍色的？」或「為什麼海是藍色的？」這類單純的疑問，而被問到這個問題的多數家長大概都被問倒，才跑去上網搜尋。順帶一提，天空是藍色的原因跟大海是藍色的原因不一樣。前者是因為**光的散射**（第87頁），後者是因為**光的反射**（第53頁）導致（詳細內容之後會解釋）。

多虧**艾薩克・牛頓**（1642－1727）等人的研究，人類才得以弄清光的這些性質（散射和反射），而這是17世紀後半發生的事。然而，在這之前的時代，小孩子們理應也會萌生「為什麼天空是藍色的？」的疑問。那麼，當時世界各地的家長們又是怎麼對孩子解釋的呢？答案說不定是「因為藍色是對眼睛有益的顏色」、「因為白雲最相襯的就是藍天」、「因為藍色在自然界很稀有，所以被神明獨占了」……等等羅曼蒂克的回答呢。

要指出這些科學家在發現光的性質之前時代的答案是「錯誤」的很容易。然而，我認為當時人們出於詩意，或是出於想帶給孩子夢想的父母心，而用浪漫的方式理解周遭事物的感性，不應被全盤否定。

1）根據Keyword Tool（https://keywordtool.io/）調查。

類似的例子還有以下這樣的猜謎問題。

> **【問題】**請在下面（　）中填入恰當的詞彙。
>
> **冰塊融化會變成（　）。**

如果這是理化課的考試，那答案當然是「水」。然而，如果這是猜謎的話，那**「春天」**這個答案不僅更巧妙也更有詩意，似乎是比「水」更好的答案[2)]。

●萬物一致的美

所謂的**物理學**，就是一種盡可能**用最簡潔且普遍的方式來解釋自然現象的學問**。比如，使用牛頓發現的萬有引力，不論是蘋果從樹上掉下來的運動，還是月球繞地球公轉的運動，都能用同樣的數學算式來說明。這就是物理的醍醐味。

無論是天空的藍色、大海的藍色、彩虹的七色，全部都可以用光的「波性質」來統一理解。冰塊融化變成水，也只是物體得到熱後從固體變為液體的狀態變化一例而已。

我們眼前發生的自然現象，有時會跟個人經驗產生共鳴，有時會創造我們一輩子也忘不了的特殊時刻。而用詩意的、浪漫的方式表達這些獨一無二的個人體驗，是一件非常美好的事情。

另一方面，我認為了解能更統一解釋森羅萬象的學問，也是另一種認識這世界之美的重要方法。

希望透過接下來將介紹的「物理總整理」，也能讓各位感受到大自然的美麗之處。

2）這個問題和「春天」的答案，在朝日新聞的「天聲人語」和產經新聞的「產經抄」上也出現過，是相當有名的謎語，相信應該很多人聽過。

CONTENTS

為什麼天空是藍的？～通往物理的門扉～ 前言 2

●萬物一致的美 3

第1章 聲音是什麼

寫在本章開始之前…始於畢達哥拉斯某次散步的探尋之旅 14

聲音傳遞的路徑

透過「某種東西」傳遞 14

確定了聲音不會在真空中傳遞的實驗 16

可惜！我們聽不見「宇宙之音」 16

音波

聲音作為一種波　～聲音是如何傳遞的？～ 17

2種波　～橫波和縱波～ 18

縱波就是「密」和「疏」的反覆交替 19

聲音的三要素

音高、音強、音色 20

〈音高〉～高低由振動頻率決定～ 20

〈音強〉～不是「強、等於、大」的概念～ 22

〈音色〉～純粹的聲音是漂亮的波形～ 24

單弦樂器

弦樂器的原理 26

在散步途中聽到的聲音 27

音階的發明 29

聲音的速度

比音速更快的協和號客機 29

音速會隨氣溫改變 31

將砝碼和彈簧的關係套用到空氣上思考 31

在液體和固體中傳遞時的音速 34

都卜勒效應

救護車行經時的鳴笛聲、火車內聽見的平交道警鳴 35

都卜勒效應的原理 37

雖然克里斯蒂安．都卜勒的猜想落空…… 39

Column 1 雷聲 40

●自然的雷電難以當成能源的原因 41

第2章 光是什麼

寫在本章開始之前…無論是中文的「光」，還是英文的「light」 44

發光的原理

2種原理　～熱輻射和冷發光～ 44

冷發光難以解釋 46

光的直進性

光最基本的性質 47

燈泡的光是擴散光線，太陽光是平行光線 48

影子的形成

點光源與面光源、本影與半影 49

除了「月全食」和「月偏食」外還有「半影月食」 51

所謂的「看見」是怎麼回事？

紙本和電子書 51

以為是眼睛射出東西的亞里斯多德 52

光的反射

入射角永遠等於反射角 53

正反射和漫反射 53

鏡子與成像

鏡中成像跟實物的位置關係 54

鏡中反射的可見範圍 56

鏡子需要多長才能映出全身？ 57

光的折射

碗底的硬幣像浮在水中？ 58

為什麼會發生反射？ 59

不同介質的折射率 61

牛頓與光的色散　～彩虹的光帶「光譜」～ 62

凸透鏡

凸透鏡的3種作用 64

「球面透鏡」與「非球面透鏡」 66

凸透鏡與光的行進方式　～畫圖計算成像位置與大小～ 68

〈例1：當物體正好在2倍焦距上時〉 69

〈例2：當物體在比2倍焦距更遠處時〉 69

〈例3：當物體在比焦距更遠，但比2倍焦距更近處時〉 70

〈例4：當物體在比焦距更近處時〉 71

〈例5：當物體正好在焦距上時〉 72

【發展】用計算導出透鏡的公式 72

凸透鏡的注意點①（如果用布蓋住一半透鏡……） 78

凸透鏡的注意點②（實像的成像方式） 81

針孔相機
失焦的原因 82
不論放在哪裡都不會失焦！ 83
在江戶時代的浮世繪和書物中也有出現 85
Column 2 尋找彩虹的方法與天空的顏色 86
●如何在雨過天青後尋找彩虹？ 87
●天空是藍色的原因 87
●雲是白色的原因 90

第3章 電是什麼

寫在本章開始之前… 不織布口罩的祕密 92
靜電
質子和電子的電量 93
塑膠墊板與頭髮的絕佳組合 94
「電 electricity」的語源來自希臘語的「琥珀 elektron」 95
電流、電壓與電阻
伏打的假說、格雷的實驗 96
（1）電流　～單位是「安培」～ 98
（2）電壓　～單位是「伏特」～ 99
（3）電阻　～單位是「歐姆」～ 100
電阻與電阻率
導線愈細長的話 100
常導與超導 103
電路與歐姆定律
學看電路圖 104
蓋歐格．歐姆的發現 105
乾電池的原理與性質 107
歐姆定律的「物理學意義」 107
串聯與並聯 109
電燈泡的原理與性質 111
〈燈泡串聯時〉 112
〈燈泡並聯時〉 113
〈乾電池串聯時〉 114
給搞不懂電流與電路問題的讀者 117
密不可分的物理與數學，兩者決定性的差異 118
〈乾電池並聯時〉 119
整理4種排列方式 122
短路
短路是常見的火災原因 123
電線發生「短路」的原理 125
各種電路的計算
〈基本的電路〉1個乾電池、1顆燈泡 127
〈複雜的電路①〉1個乾電池、3顆燈泡 128
〈複雜的電路②〉1個乾電池、4顆燈泡 130
焦耳熱（消費電力）
詹姆士．焦耳的功績 133
關於瓦（W）這個單位 135
焦耳熱的理論背景 136
電熱線
說到電熱線就想到鎳鉻合金，但銅線也可以 138
〈電熱線的串聯〉 138
〈電熱線的並聯〉 140
Column 3 什麼是負電荷的移動？ 142
●是否該避提負（minus）的概念？ 142
●用錢的概念來想就很簡單 142
●假設的定義沿用至今 143

第4章 磁鐵是什麼

寫在本章開始之前… 磁鐵是「慈鐵」？ 146
各種各樣的磁鐵
日本是「磁鐵王國」 147
如何表現看不見的磁力 148
（1）磁場的方向 148
（2）磁力線 148
為什麼鐵會被磁鐵吸住 149
磁化　～鐵釘摩擦過磁鐵後產生磁性的原理～ 151
人造的永久磁鐵歷史尚淺 153
棒狀磁鐵的性質　～正中央無法吸起鐵釘的原因～ 154
電磁鐵
電磁鐵　～厄斯特的發現～ 156
右手定則　～安培的發現～ 158
線圈 159
（1）線圈的磁力線 159
（2）線圈的磁極 159

放大電磁鐵磁力的3種方法 160
電磁鐵的特徵　～整理：跟棒狀磁鐵比較～ 162
（1）N極跟S極可以對調 162
（2）磁力可以調控至接近零 162
（3）磁力大小可控 163
（4）可以創造比永久磁鐵更強的磁鐵 163

地球就是一個大磁鐵

羅盤的祖先　～指向南方的「指南魚」～ 164
為什麼會有地磁存在？ 165
2種「北」　～「正北」和「磁北」～ 167

電磁感應

法拉第的舉一反三 169
人類最早的發電機　～法拉第帶來的「現代」～ 170
冷次定律 171
自然偏好穩定，不喜歡變化和不自然 173
勞侖茲力與左手定則 173

馬達與發電機

電流會受到來自磁場的力 176
法拉第的電磁旋轉裝置 178
比起科學更愛課稅的英國首相 179
馬達的原理 180
交流電與發電機 183
日本列島 東西不同之謎 184
馬達也能化身發電機　～源自操作錯誤的意外發現～ 185
手搖發電機 186

Column 4　詹姆斯・尤因的功績 188
●作為外勞來到日本 188
●磁飽和與磁滯現象 188
●尤因埋下的「磁鐵王國」種子 190

第5章 彈簧與槓桿的原理

寫在本章開始之前… 物理學中的「力」　～2種意義～ 192

彈性體的代表性存在「彈簧」

虎克定律　～在有限範圍內有效的關係～ 193
虎克沒有留下肖像畫的原因 195
接觸力　～關鍵在於界面～ 195
作用在彈簧上的力　～該看整體，還是看兩端的點～ 196
如果把彈簧橫放會如何 198
【補充】繩索張力的真面目 199
常見的誤解　～兩端都有砝碼的情況～ 201

作用在多個彈簧上的力（前篇）

1 將2條相同彈簧串聯時 203
2 將2組彈簧跟砝碼的組合串聯時 204
3 將2條不同種類的彈簧串聯時 206

槓桿的3點　～支點、施力點、抗力點～

阿基米德的豪語 209
力矩　～使物體旋轉的能力～ 212
3種槓桿　～依照什麼點在中央來分類～ 215
〈第一類槓桿〉　～支點在中央～ 215
〈第二類槓桿〉　～抗力點在中央～ 216
〈第三類槓桿〉　～施力點在中央～ 217

槓桿靜止的條件

思考用兩手轉動汽車方向盤的情況 218
左右的「力臂長×砝碼重量」相等時…… 219
〈各種各樣的槓桿①〉　～有3個砝碼的槓桿～ 221
〈各種各樣的槓桿②〉　～支點在末端的槓桿（彈簧秤登場）～ 222
〈各種各樣的槓桿③〉　～沒有支點的槓桿（2個彈簧秤）～ 223
〈各種各樣的槓桿④〉　～棒子彎曲成逆ㄟ字形的槓桿～ 226

作用在多個彈簧上的力（後篇）

4 2條相同彈簧並聯的情況（砝碼在中央） 228
5 2條相同彈簧並聯的情況（砝碼不在中央） 229
6 2條不同種類彈簧並聯的情況 230

Column 5　接觸力還是非接觸力，橫跨世紀的爭論 234
●超越高中物理　～稍微跨入大學程度的物理～ 234
●發現萬有引力後引發的爭論　～重力如何傳遞～ 234
●庫侖力的發現　～與萬有引力一模一樣～ 235
●跟「百年常識」唱反調的法拉第 236
●相隔一世紀的解答時刻　～因波的傳遞屬於接觸作用而分出勝負～ 236
●「手指 VS. 槓桿」的悖論　～如果有一根不會彎曲的棒子!? ～ 237

第6章 滑輪與輪軸的物理學

寫在本章開始之前… 自古便伴隨人類左右的「機械」滑輪與輪軸 …… 240

滑輪

便利無比的滑輪們　～滑輪的定義與種類～ …… 241
定滑輪　～滑輪本身不動～ …… 241
動滑輪　～跟貨物一起移動的滑輪～ …… 245
省力一半，但移動距離變成2倍 …… 246
能與功（量） …… 248
費曼對「能量」的解釋 …… 248
何謂功？　～物理學上的定義～ …… 249
定滑輪與槓桿＆力平衡 …… 251
動滑輪與槓桿＆力平衡 …… 253
滑輪組（複合滑輪） …… 254
多個動滑輪連在同一條繩索上的情形 …… 255
多個動滑輪並非連在同一條繩索上的情形 …… 258
有時還需要考慮動滑輪的重量 …… 259

輪軸

輪軸的優點 …… 261
我們身邊的輪軸　～開闔、調節等等～ …… 265
稍微聊點題外話　～腳踏車的歷史～ …… 267

腳踏車齒輪的物理學

思考摩擦力　～剛起步時最費力～ …… 269
後輪齒輪較大時（半徑20cm） …… 270
後輪齒輪較小時（半徑5cm） …… 273

日本中學入學考例題

【問題1　惠泉女學園中學】 …… 275
【問題2　聖望學園中學】 …… 278

Column 6 關於力的單位 …… 280

●運動的三大定律 …… 280
●力的單位「N（牛頓）」 …… 281
●國際單位制（SI） …… 281
●重力加速度 …… 282

第7章 密度、壓力、浮力的物理學

寫在本章開始之前… 聰明小孩測量大象體重的故事 …… 284

密度

鐵跟棉花哪個比較重？ …… 286
各種物質的密度與浮沉的關係 …… 287
水的密度與質量的標準變遷 …… 288
水的狀態變化與密度 …… 290
2種相反作用互相抗衡，正巧落在4℃ …… 292
物質三態　～固體、液體、氣體～ …… 292
氣體的體積因條件而異 …… 294

壓力

圖釘、鎖上的門、大氣壓 …… 296
帕斯卡原理與流體 …… 299
【補充(1)】帕斯卡原理的數學證明 …… 301
【補充(2)】大學物理課會學到的「應力」思維 …… 305
【補充(3)】流體的正確定義 …… 307

水壓

由此開始要考慮重力 …… 308
【補充】水壓只由深度決定的證明 …… 311
複雜形狀容器的水壓 …… 312
計算／不計算大氣壓的影響　～絕對壓力與錶壓力～ …… 314

浮力

久等了！終於輪到浮力 …… 316
計算浮力的大小 …… 318
【補充】用代數式計算浮力 …… 320
食鹽水的濃度與物體的浮沉　～用生雞蛋做實驗魔術～ …… 321
可以躺在水上讀書的湖 …… 324
食鹽水與浮力 …… 326
浮在液體上之物體所受的浮力　～冰山的一角是幾%？～ …… 327
彈簧秤與台秤的受力　～挑戰中學入學考題～ …… 329
【其他解法】把「燒杯＋水」與「砝碼」分開 …… 331
作用力與反作用力定律 …… 332

Column 7 帕斯卡的說服藝術 …… 334

●「定義」「公理」「論證」三大台柱 …… 334
●「定義」很重要，但不能太死腦筋 …… 334
●「公理」不是「定理」 …… 335
●「論證」的3個規則　～任何人都能進行邏輯議論～ …… 337
●影響帕斯卡的歐幾里德《幾何原本》 …… 337

第8章 物體的運動原理

寫在本章開始之前… 日晷、水鐘、擺輪鐘 340
●使用游絲的惠更斯「擺輪鐘」 341

單擺

單擺的基本性質 344
單擺等時性的「極限」 345
單擺的週期是由什麼決定的？ 348
【補充】用數學式表示單擺的週期 350
單擺運動的對稱性 351

日本中學入學考例題

【問題：開成中學】（筆者改題） 353
實驗1 （問題1） 354
實驗2 （問題2） 355
解答 （問題1） 356
（問題2） 357
（永野的感想） 359

物體的落下

亞里斯多德認為「物體愈重，落下愈快」 360
自由落體的落下速度與落下距離 362
運動與能量 366
力學能守恆定律 367
【發展】位能與動能的數學表現 370
〈位能〉 371
〈動能〉 372
〈速度〉 374
〈移動距離〉 375
當單擺的擺錘撞上木片 376
【補充】推導木片的「移動距離」 380

Column 8 從伽利略到牛頓的近代科學精神 382
●這2人被譽為近代科學之父的原因 382
●學習理科的必要性與日俱增 383

結語 384
參考文獻 387
索引 388

第1章

聲音是什麼

寫在本章開始之前

始於畢達哥拉斯某次散步的探尋之旅

人類對「聲音」的研究，可以說早在科學萌芽之時便已開始。

一切的起點始於西元前6世紀，**畢達哥拉斯**（西元前582－前496）的某次散步。某天，畢達哥拉斯在散步時經過一間鐵匠鋪，他發現鐵匠用鐵鎚捶打金屬的聲音中，有些很美麗又和諧，而有些卻不是如此。畢達哥拉斯對此感到很奇怪，便前往鐵匠鋪，借了店內的各種鐵鎚研究起來。結果，他發現那些可以敲出美麗聲響的鐵鎚，其重量差剛好是簡單的整數比。

當他們發現人類天生感到美麗的聲響中其實潛藏著整數比時，那種感覺一定就像是發現了神明偷偷藏在大自然中的惡作劇，令他們感到無比興奮。因為，他們發現了理性與感性並非相反的2個極端，而是一體的兩面，**美感的背後也有其道理**。

實際上，在那之後他們便開始埋頭研究「聲音與協調」。由於畢達哥拉斯跟他的學生們熱心的啟蒙活動，古希臘人後來將宇宙的根本原理稱為「mousikḗ」，將和諧稱為「harmonia」。而「mousikḗ」和「harmonia」就是英文的「music」和「harmony」。

那麼，下面就讓我們一起來看看刺激人類開始研究科學之前身的「聲音」的真面目吧。

聲音傳遞的路徑

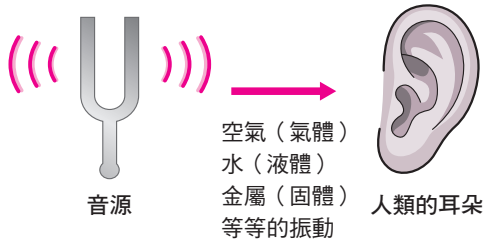
透過「某種東西」傳遞

按壓鋼琴的鍵盤，鋼琴就會發出聲音。這是因為連接著鍵盤的琴槌敲打琴弦，使琴弦振動。而敲打太鼓時，太鼓的蒙皮也會振動，所以會發出聲音。還有用沾濕的手指摩擦玻璃杯的杯口時之所以會發出聲音，也是因為濕手指跟玻璃摩擦，使玻璃發生振動。

換句話說，**聲音是由物體的振動產生的**。

當這種振動藉由空氣傳到耳朵的鼓膜，使鼓膜發生振動，我們就會感覺到聲音。反過來說，如果沒有「某個東西」幫忙傳遞振動，那麼我們就無法感知到聲音。

由物體振動產生的聲音，除了可在空氣等**氣體**中傳播外，也可以通過水之類的**液體**，或金屬之類的**固體**傳播。



在游泳池內潛水時依然能聽到聲音，相信這樣的經驗每個人都體驗過。生活在海中的海豚會利用超音波[1]這件事眾所皆知，鯨魚也會用歌聲跟身在遠處的同伴溝通。這些例子都顯示了聲音可在液體中傳播。

還有，把耳朵貼在大樹的樹幹上，也可能聽得到水在樹木中流動的聲音，以及風吹過枝梢[2]的聲音。古時候有句成語叫「隔牆有耳」，意思是要小心祕密被他人聽到。實際上，如果你試著把耳朵貼著牆壁，會發現的確可以清晰聽到隔壁人家的聲音。

把耳朵貼著樹幹或牆壁時之所以能聽見聲音，就是因為固體的振動通過頭骨傳遞到了鼓膜深處的器官。這稱為「骨傳導」。順帶一提，貝多芬在20多歲罹患重聽後之所以還能繼續作曲，據說就是靠著把短棒的一端含在嘴裡，另一端抵著鋼琴，利用骨傳導來聽見琴聲。

1）頻率在2萬赫茲以上，人耳聽不見的音波。第21～22頁會介紹。
2）樹枝的尾端部分。

確定了聲音不會在真空中傳遞的實驗

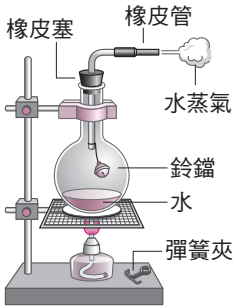
歷史上有個很有名的實驗確定了聲音不會在真空中傳遞，這個實驗就叫**「真空鈴」**。

真空鈴的實驗步驟如下。

首先加熱**右圖**的裝置，使燒瓶內的水沸騰。接著燒瓶內的空氣會被水蒸氣擠出，令瓶內充滿水蒸氣。

接著熄掉酒精燈，用彈簧夾夾住橡皮管。接著，燒瓶內的水蒸氣會在冷卻後變回水，使燒瓶內變成接近真空的狀態。

等燒瓶完全冷卻後，你可以晃動燒瓶看看能否聽見鈴聲。我想你應該會發現鈴聲非常地微弱。



充分加熱後，
用彈簧夾夾住橡皮管

如果是完全真空，理論上將完全聽不見鈴聲，但這個實驗無法讓燒瓶完全變成真空，而且也無法完全避免鈴鐺的振動順著鐵絲傳遞，所以還是能聽見微小的鈴聲。

可惜！我們聽不見「宇宙之音」

順帶一提，即便是太空也並非完全真空。太空中存在著俗稱電漿的離子化[3]氣體。而這個「氣體」可以傳遞宇宙中發生的物理現象（天體的撞擊或爆炸等）的「聲音」。

但是很遺憾地，由於這些「宇宙之音」的頻率都遠低於人耳可聽見的最低頻率（略低於鋼琴的最低音），所以實際上我們是無法聽見的。根據NASA（美國太空總署）公布的報告，位於英仙座星系團中心的黑洞所產生的「聲音」，是比鋼琴的中央「Do」低57個八度又大二度的「B」音[4]。

3）原子或分子失去數個電子後的狀態。
4）這是迄今為止人類偵測到的聲音中最低的音，1次振動的時間長達1961萬年。

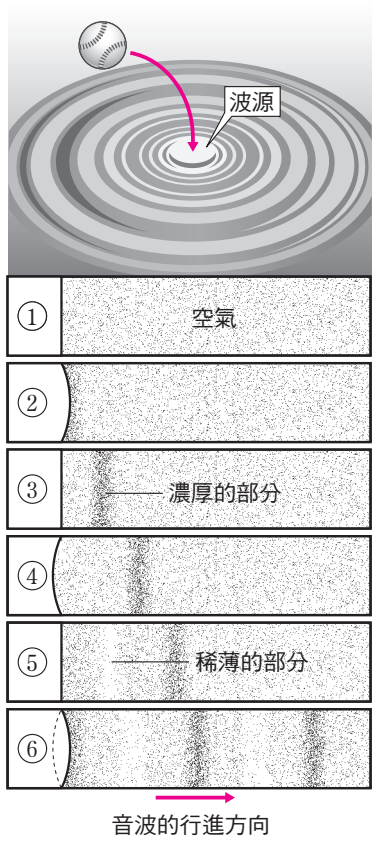
音波

聲音作為一種波　～聲音是如何傳遞的？～

往平靜的泳池水面扔出一顆球，水面會泛起一道道以球的落水點為中心的同心圓狀波紋。

像這種**以某點為中心產生的振動逐次向外傳遞的現象**就稱為**波**[5]。而泳池的水這種負責傳遞振動的物質稱為**介質**，球的落水點等振動的起始點則稱為**波源**。

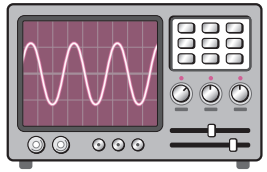
當物體在空氣中振動時，空氣會產生比較濃厚的部分和比較稀薄的部分，而這兩者會在周遭的空氣中傳播（參照**右圖**）。當**音源**（波源）物體振動時，會使四周的空氣密度[6]出現疏密差異，而這個疏密差會依序往外擴散，這也屬於「振動逐次向周圍傳播的現象」，因此**聲音傳遞的現象也是一種波**。這種波的專有名稱為**音波**。



音波的行進方向

5）也稱為「波動」。
6）每單位體積（$1m^3$或$1cm^3$）的質量。密度濃厚的部分可以想像成氣體分子緊緊縮成一團，而密度稀薄的部分可以想像成氣體分子彼此分散開來的狀態。

♧2種波　～橫波和縱波～

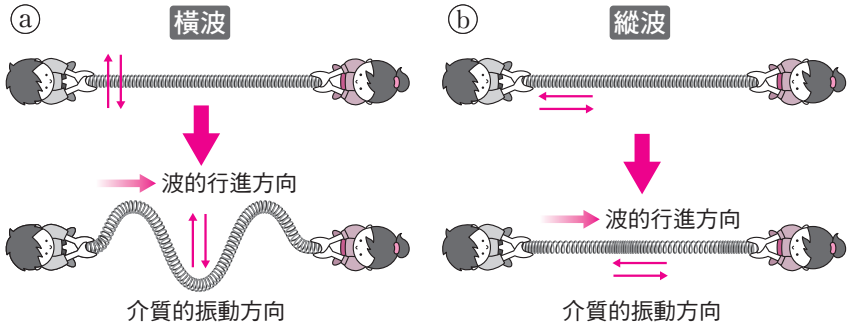


順便問一下，各位有聽過一種叫**示波器**的設備嗎（參照**右邊**插圖）？

將麥克風插上示波器，再輸入聲音，示波器的螢幕上便會顯示出波形。示波器會將麥克風捕捉到的空氣振動（密度的濃淡）轉換成電壓變化，並顯示成畫面[7]。

示波器畫出的波形看起來很像水面上的波，但音波實際上真的是這種形狀的「波」嗎？其實不是的。

一般來說，波大致分成2個種類。一種稱為**橫波**，另一種則稱為**縱波**。



把一條又輕又長的彈簧筆直放在沒有摩擦力、非常光滑的地板上，然後像上圖ⓐ，抓住彈簧的一端往垂直於彈簧的方向甩動，產生的**波動方向將跟波的行進方向垂直**。這種波就是**橫波**。

另一方面，假如像圖ⓑ那樣，抓住彈簧的末端往平行於彈簧的方向甩動，產生的**波動方向將跟波的行進方向平行**。這種波就是**縱波**。

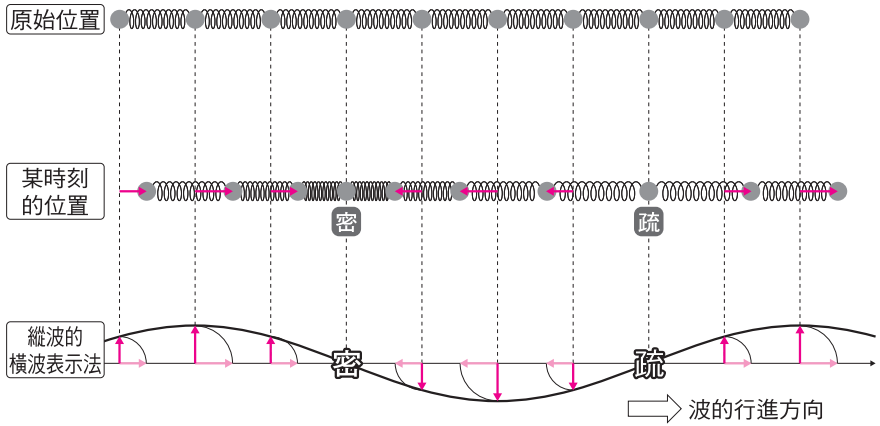
不過，橫波和縱波的差異光用敘述和插圖很難理解，所以有空的話建議直接到YouTube等影音平台搜尋「橫波與縱波」。直接看影片的話應該會更容易理解。

7）近年有些手機App上也推出了完全相同的功能。有興趣的讀者可以在App商店試著搜尋「示波器」。

♧縱波就是「密」和「疏」的反覆交替

這裡再稍微詳細說明一下縱波的部分。

縱波產生時，介質的各點會順著行進方向的前後振動。這就使得介質出現各點集中緊縮、密度比周圍更高的區域。這個部分稱為**「密」**。而密的前後部分稱為**「疏」**，這裡的各點相距較遠，密度比周圍更低。而因為縱波是靠著這種密與疏的狀態反覆變化來行進，又被稱為**疏密波**。



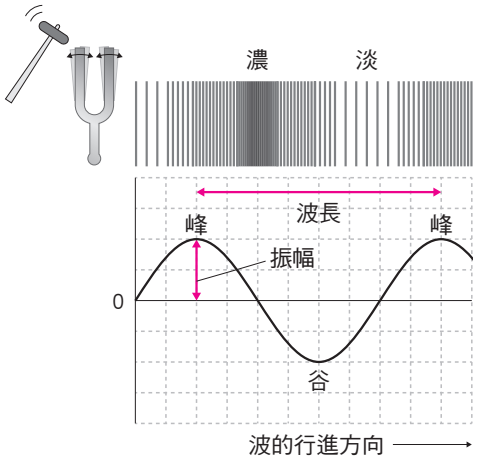
然而，由於縱波的介質振動方向跟波的行進方向相同，所以無法像橫波那樣看見波形。因此，有時我們會用箭頭來表示介質各點的位移（與原先位置的距離），再把箭頭逆時針旋轉90度，將縱波畫成類似橫波的形狀（參照上圖）。這稱為**縱波的橫波表示法**。

如此一來，我們便能清楚看出**「密」點和「疏」點本身其實沒有位移，位移最大的反而是密點與疏點正中間的點**。

至此有些敏銳的讀者可能已經發現了，音波也是透過空氣等介質密度之濃厚（密）與稀薄（疏）的變化來傳播，因此也是一種疏密波。換言之**音波屬於縱波（疏密波）**。

而示波器顯示的波形，其實是把原本是縱波的音波轉換成橫波。

將音波畫成如示波器顯示的橫波圖時，波圖上波峰到波峰（或者波谷到波谷）的距離稱為**波長**，波峰的高度（或波谷的深度）則稱為**振幅**。而物體**1秒鐘內振動的次數**稱為**頻率**[8]。



聲音的三要素

音高、音強、音色

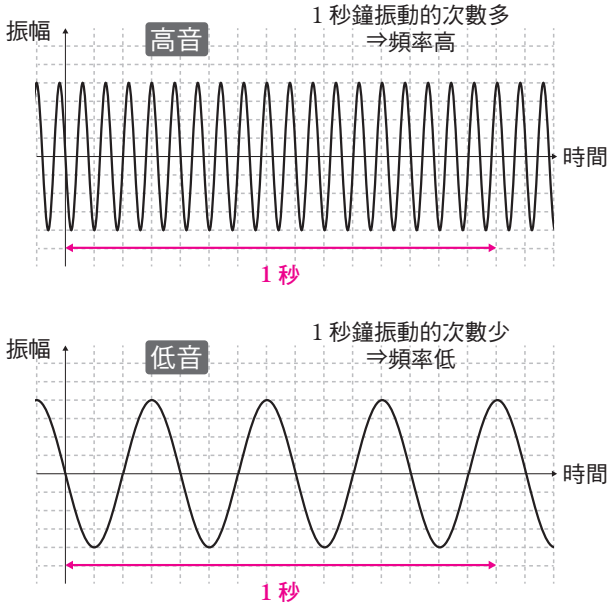
音高、**音強**、**音色**這三者合稱**聲音的三要素**。

〈音高〉　～高低由振動頻率決定～

雖然人類自古希臘時代便熱中研究聲音，但直到17世紀以後，人類才對聲音有了更深入的認識。

在「音高」方面，**伽利略・伽利萊**（1564－1642）發現了**「聲音的高低是由頻率決定」**。所謂的**高音就是頻率較高的音**。

8）又稱為「周波數」。



目前頻率的單位是**Hz（赫茲）**[9]。1秒鐘振動100次的音源，頻率便是100Hz。

據說嬰兒剛誕生時的哭聲，不分性別和地區，普遍都是**440Hz**左右（參照次頁的圖），而440Hz的聲音（相當於Do Re Mi的La音）常用於樂器或管弦樂團的調音（依照演奏內容可能稍高或稍低一些）。另外，日本NHK報時的「嗶、嗶、啵——」的「嗶」音也是440Hz，而「啵——」音是880Hz。由於頻率增加1倍，音高就會上升1個八度，所以「啵——」其實是比「嗶」高1個八度的「La」。

已知人類耳朵可聽見的音頻範圍在**20Hz～2萬Hz**。頻率在此範圍內的聲音俗稱**可聽音**。而平時說的**超音波**，指的就是頻率比可聽音音域（聽閾）更高的聲音。

不過，可聽音的範圍存在個體差異，尤其當年齡增長，會愈難聽見高頻率的聲音。順帶一提，已知人耳敏感度最好的音域是4000Hz前後的聲音。女性的尖叫聲、蟬鳴、家電產品的警示音等都是這個音高。相反地，當頻率

9）紀念德國物理學家海因利希・赫茲（1857 － 1894）。