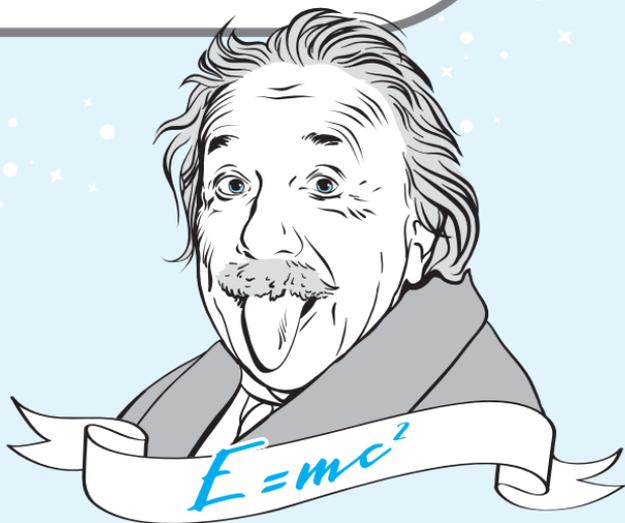


連文科生也能
輕鬆讀懂劃時代理論

相對論 超入門

Yobinori Takumi / 著
陳謙中 / 譯



前言

目前，我正在YouTube上經營一個名為「予備校のノリで学ぶ『大学の数学・物理』（用上補習班的心情學大學數學・物理，簡稱：YOBINORI）」的頻道，為理科的大學生或考生製作物理學的授課影片。至今發表的影片數量在2019年11月的現在已超過350部，頻道訂閱者也突破20萬人。

我在頻道上發表的影片每支長度大約10分鐘，都是能利用零碎時間輕鬆看完一個單元的短片。然而，在數學和物理的世界，仍有一些需要好好坐下來花上半天時間研讀才能大幅提升理解度的單元。

其中之一，就是前作《鍛鍊你的「微積感」！：連文科生都能一小時搞懂的微積分》。

而這次第2本著作所挑選的主題，則是「相對論」。相對論是20世紀初葉由阿爾伯特·愛因斯坦提出的一個非常有名的理論。相信就連大多數文科畢業的學生也應該「聽過這名字」。

相對論從根本上顛覆了我們在日常生活中對「空間和時間」的概念。

換言之，學習相對論，就等於是學習我們所生活世界的「真實面貌」。

藉由學習並理解相對論，你眼中所看見的世界將會變成截然不同的

風貌。

我自己也是，在第一次接觸到相對論的時候，也感受到了自己眼前的世界彷彿嘩啦啦地瞬間崩場的震撼。

在拿起本書的讀者中，也許有不少人都會擔心「要讀懂相對論應該要具備數學和物理學的高深知識吧？」。

不過，經過本書的詳盡解說，你會發現要搞懂相對論其實只要有「國中數學」程度的知識就沒有問題了。當然，你完全不需要具備積分方面的知識。

本書是以對物理和數學一竅不通的社會人為目標讀者而設計的60分鐘課程。

相信你看完本書的內容之後，一定會大嘆「我從來沒有看過這麼簡單易懂的相對論解說！」。

如果能夠透過本書讓這世上多一個人的「理科腦」覺醒，就是我最大的榮幸了。

Yobinori Takumi

相對論超入門： 連文科生也能輕鬆 讀懂劃時代理論

目錄

CONTENTS

前言	3
----------	---

HOME ROOM 1

為什麼你應該要學習相對論？	12
---------------------	----

HOME ROOM 2

只要用「國中數學」就能理解相對論！	14
-------------------------	----

HOME ROOM 3

狹義相對論的 3 個重點	20
--------------------	----

HOME ROOM 4

搞懂相對論，就能理解這世界！	26
----------------------	----

HOME ROOM 5

要搞懂相對論最重要的一件事	31
---------------------	----

第 1 章 / 什麼是「光速不變原理」？



LESSON 1

相對論到底厲害在哪裡？	34
-------------------	----

LESSON 2

解開「光」的「巨大謎題」的 愛因斯坦	36
-----------------------------	----

LESSON 3

「移動中物體」之速度的計算方法	39
-----------------------	----

LESSON 4

什麼是「慣性系統」？	45
------------------	----

LESSON 5

光從「所有慣性系統」看來速度都一樣	48
-------------------------	----

LESSON 6

以光速移動時不能「自拍」？	55
---------------------	----

LESSON 7

狹義相對論的指導原理	58
------------------	----

第2章
什麼是
「同時性的相對性」？

LESSON 1

「時間」和「空間」其實不是「絕對的」？ 62

LESSON 2

為什麼「時間」會變慢？ 65

LESSON 3

明明是「同時發生」卻不是「同時」 72

LESSON 4

所以說，「同時性的相對性」到底是什麼意思？ 75

第3章
什麼是
「時間膨脹」？

LESSON 1

我們每個人都活在不同的「時間軸」？ 82

LESSON 2

所以說，「時間膨脹」到底是什麼意思？ 110

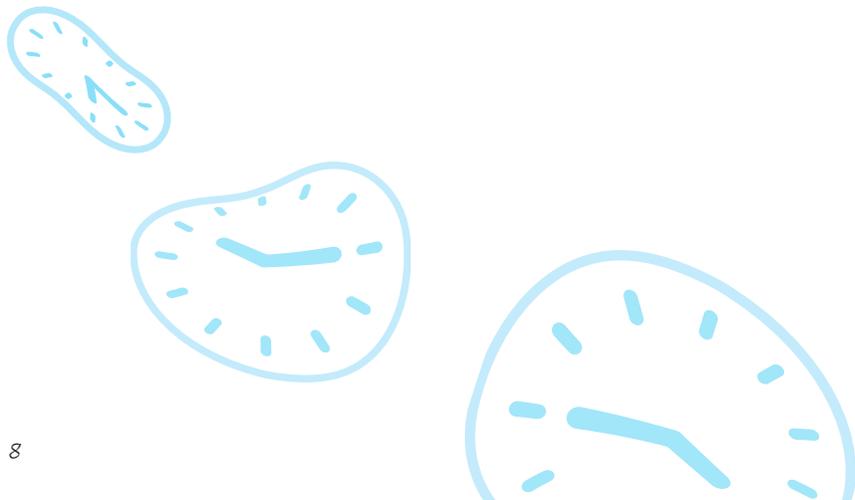
第4章
什麼是
「長度收縮」？

LESSON 1

相對論中的「空間」是什麼？ 118

LESSON 2

所以說，「長度收縮」到底是什麼意思？ 129



LESSON 2

解開「光」的 「巨大謎題」的 愛因斯坦

🕒 相對論的關鍵在「光速」

 光速？你說的光，就是我們眼睛看得到的光嗎？

 沒錯！
眾所周知，光會以非常快的速度前進對吧。

 提到網路時，也常常會聽到人說「因為是光纖網路，所以很快速！」之類的呢。

 我想妳可能也有聽說過，光的行進速度是**每秒30萬公里*** (30萬 km/秒)。

 咦!?30萬公里？每秒!?

 是的(笑)。這個速度差不多等於1秒鐘能繞地球7圈半。不過，這是在真空中的速度。包含我們家用網路所使用的光纖等，光在通過其他物質時，速度會稍微變慢一些。

 就算這樣也還是很快耶！
那麼，這也是愛因斯坦發現的嗎？

 不，光速並不是他發現的。
愛因斯坦提出的論點，是「**光在真空中總是以相同速度前進(光速不變)**」這件事。

🕒 描述「誰眼中的速度？」的相對速度

 光總是以相同速度前進？
這不是理所當然的嗎？

 事實上，光以等速前進這件事，是用馬克士威方程組推導出來的。然而，假設有2個以不同速度運動的觀測

* 嚴格來說應該是299,792,458m/秒，但本書簡化為「30萬km/秒」。

者，那麼兩人眼中看到的光速究竟有多快，卻始終是一個難解之謎。

 那，愛因斯坦的學說有什麼創新之處嗎？

 愛因斯坦的主張是「**不管由誰來觀測，光的速度都保持不變**」。

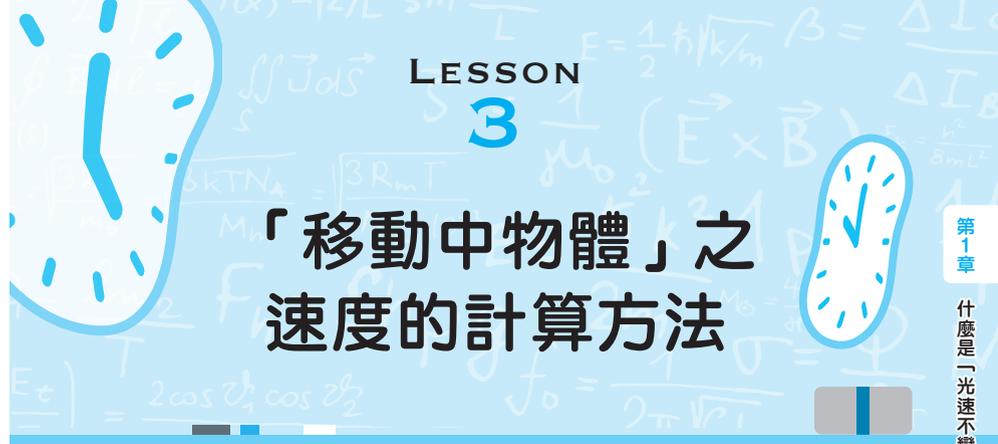
 不管由誰來觀測是什麼意思？

 也就是說，不論是在靜止不動的人眼中，還是在持續以相同速度移動的人（等速直線運動的人）眼中，光永遠是以 30 萬 km/ 秒的速度前進。

 原來如此……。可是，這個主張又有什麼特別的嗎？

 「光速不變原理」的特別之處，在於它**推翻了人們對「相對速度」的認知**。

所謂的相對速度，是日常生活中十分常見的現象。這可以用簡單的計算來算出，下一節我們會詳細說明！



如何計算「相對速度」

 唔嗯，就算你突然告訴我「光速不變」，我也搞不太懂這有什麼意義……。

 那麼，為了幫助妳了解光速跟普通物體的速度有何不同，讓我們先來聊聊相對速度吧。

 這是上一節出現的「物理術語」呢……。

 所謂的相對速度簡單來說，就是「**運動中的人觀察另一個運動中的人所感覺到的速度**」。

 嗯——，好複雜……。

打個比方，想像我們坐在一輛時速 100km 的汽車上。此時，旁邊剛好有一輛時速 300km 的新幹線和我們並駕齊驅，請問這輛新幹線的速度看起來會比實際上更快？還是更慢呢？

呃呢，因為我們坐的汽車是以 100km/小時的速度前進，所以……應該會更慢？

沒錯。2 個運動中的物體，在彼此眼中看到的速度就叫做「相對速度」。

若兩者朝同方向運動的情況下，那麼雙方眼中彼此的速度可用下面的數學式表示。

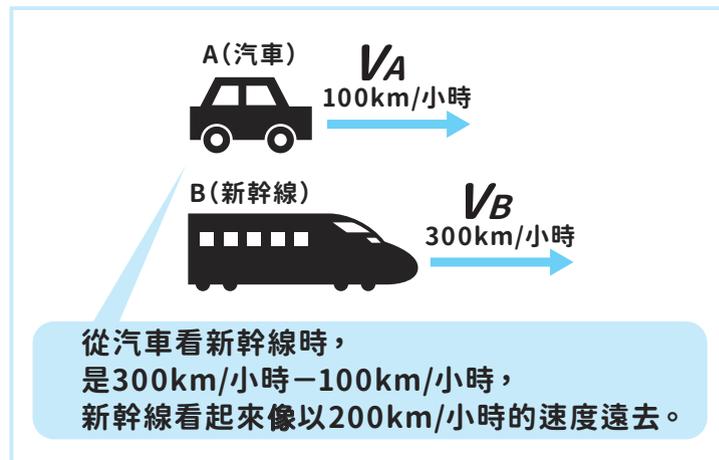
假設有 V_B (新幹線)、 V_A (汽車)，則

$$\text{相對速度} = V_B - V_A$$

換言之，當新幹線以 300km/小時、汽車以 100km/小時的速度移動時，汽車上的人看到的新幹線，根據右頁的計算，是以 200km/小時的速度移動。

$$300\text{km/小時} - 100\text{km/小時} = 200\text{km/小時}$$

原來如此。所以看起來會比實際更慢呢。



🕒 「相對速度」是以「自己」為基準

相反地，坐在新幹線上觀察汽車時，汽車的速度如下。

$$100\text{km/小時} - 300\text{km/小時} = -200\text{km/小時}$$

換言之，汽車看起來是「以時速200km的速度往後退」。

 意思是汽車看起來反而是在往後退嗎？

 妳在現實中搭新幹線的時候，有沒有看過汽車被新幹線超車的景象呢？

 有有有！

 乘新幹線的時候從窗戶往外看，是不是會有種「自己靜止不動，窗外的風景和汽車不斷往後飛逝」的感覺？
當汽車跑得比較慢時，從新幹線看起來汽車就像是在往後移動。

 原來如此！
以時速負200km/小時移動是指這個意思啊！

以相同速度朝同方向和朝反方向前進時

 那麼，當2輛汽車都以100km/小時的速度並肩行駛時，兩者在彼此看來會是什麼樣子呢？

 呃呃，應該看起來就像靜止不動吧？
雖然我只是用想像的！

 答對了！用數學式表示的話，就像下面這樣。

$$100\text{km/小時} - 100\text{km/小時} = 0\text{km/小時}$$

換言之，時速0km，看起來就一如字面上的「靜止不動」。

 那如果反過來以100km/小時的速度錯身而過的話，又會是什麼樣子呢？



朝反方向運動的時候，只要在速度前面加上負號就沒問題了。

由於對方是以 -100km/小時 朝我方靠近，

$$\begin{aligned} & -100\text{km/小時} - 100\text{km/小時} = \\ & -200\text{km/小時} \end{aligned}$$

換言之，對方看起來就像是以 200km/小時 的速度朝反方向前進。



$-100\text{km/小時} - 100\text{km/小時} = -200\text{km/小時}$
看起來就像以 200km/小時 的速度靠近。

LESSON 4

什麼是「慣性系統」？

🕒 「光的相對速度」永遠不變



那麼，這個相對速度跟相對論有什麼關係呢？

……話說回來，兩者都有「相對」2個字呢（笑）。



惠理，妳發現了一件非常重要的事情喔。

其實相對論這個理論，可以說就是為了研究「**光的相對速度**」才誕生的也不為過。



什麼意思？



讓我一步步慢慢說明。

首先，當觀測者處在一個靜止不動，或者以固定速度朝同一方向持續移動（等速直線運動）的物體上時，我們就稱其處在一個「**慣性系統**」中（※若要使用更正確的

術語，則是慣性坐標系)。

譬如把球放在一輛保持等速前進的電車上，那顆球是不會滾動的。

還有，假如無視摩擦力的話，一旦推動那顆球，則那顆球將保持初始的速度永遠滾動下去。

總而言之，只要不施加外力，一個物體將永遠處於靜止或等速直線運動的狀態，這個定律就叫「**慣性定律**」。而當一個特定環境中的物體運動符合慣性定律時，這個環境就是慣性系統。



意思是在加速中的電車上，慣性定律就不成立了嗎？



沒錯。譬如在電車剛起步的時候，假如地板上原本放著一顆靜止的球，那顆球就會朝電車前進的相反方向滾動。

這種情況稱為「非慣性系統」。而在本書我們只討論「慣性系統」的部分。

● 慣性系統



● 非慣性系統



光從 「所有慣性系統」 看來速度都一樣

🕒 所有人看到的光速都一樣快

 那個「慣性系統」，又跟光有什麼關係呢？

 光的速度可以用電磁學的馬克士威方程組推導算出。然而，科學家們卻一直無法確定「光速是否在任何人看來都一樣快」。

然而，愛因斯坦卻主張「**光在所有慣性系統中都以 30 萬 km/ 秒的速度行進**」，以此前提建立了相對論。

 嗯，果然一加入專門術語就聽不太懂了！

 簡單來說，愛因斯坦認為「**即使 2 個人以不同速度移動，他們看到的光速也一樣快**」。

 以不同速度移動……用剛剛的例子來說，就像是一個人坐在新幹線上，另一個人坐在汽車上嗎？

 正是如此。也就是說「一個人不論坐在新幹線上，還是坐在汽車上，所看到的光速永遠不會改變」。

 噢？換句話說，剛才學到的「**相對速度**」公式對光速完全沒有意義嗎？

 簡單來說就是這樣！

剛剛我們說過光速是 30 萬 km/ 秒。

我想惠理妳應該把這個速度想成跟新幹線或汽車的時速一樣，是「靜止不動的人看到的速度」吧。

 一般來說所謂的速度不就是那樣嗎……。

 然而，光速卻是**不論是靜止不動的人，還是高速移動的人，看起來都是 30 萬 km/ 秒**。

⌚ 無論以多快的速度發射，光速永遠不變

 另外，不論用多快的速度發射光線，也無法讓光跑得更快。

 咦!?這又是什麼意思!?

 譬如，假如有個人從一輛以時速 100km 前進的汽車上，用時速 100km 的球速往前投出一顆球。
此時，在旁邊靜止不動的人看來，這顆球的速度會是時速 100km 加時速 100km，以時速 200km 的速度飛行。

 就跟剛剛的相對速度是一樣的算法呢！

 沒錯。
那麼，假如從一架以 10 萬 km/ 秒的速度移動的火箭上發射一道光，請問這道光的速度會是多少呢？

 30 萬 km/ 秒加 10 萬 km/ 秒……是 40 萬 km/ 秒！

 可惜！妳答錯了！

 咦，為什麼!?

 我們說過，光「不論從哪個慣性系統中觀測，永遠是以 30 萬 km/ 秒的速度行進」。

然而，由於光永遠保持相同速度，所以就算是朝相同方向前進，不論發射點原本的速度有多快，光也永遠只會以 30 萬 km/ 秒的速度移動。

這就是狹義相對論的前提「光速不變原理」。

 「不論以多快的速度移動，觀測到的光速也永遠不會改變」，這件事好難想像喔……。

 是啊。因為這與我們平時對物體運動的感覺有極大差異，所以大多數人應該都無法想像。

 這也就是老師你前面提過的「違背日常感覺的事實」對吧。

🕒 「光速」如此「特別」的原因

👧 順便問一下，這世上存在比光更快的東西嗎？

👦 目前還沒有發現比光更快的東西。同時，光速也被認為是宇宙中所有物體的速度極限。

👧 意思是，光速就是最快的，是嗎？

👦 差不多就是這個意思。更精準地說，是「**30萬 km/秒**就是這個宇宙的速度極限」，而光可以用這個速度移動。

👧 原來速度還有極限啊？

👦 這部分稍微牽涉到專業的領域。以物理學的說法，所謂的「質量」就是「使物體發生運動的困難程度」。而因為「光」的質量是「零」，所以才會出現這樣的特例。故一般認為對於「質量不為零的物體」，不論再怎麼接近光速，也不可能以光速移動。

《光速不變原理》

搭乘秒速10萬km的火箭與光並行……



搭乘秒速10萬km的火箭與光逆行……



保持靜止的狀態面對光線……



➔ 光速永遠保持秒速30萬km!

🕒 首先接受這個事實

👧 光速是最快的意思，就是說「不存在比30萬 km/秒更快的速度」對吧。