

圖說科學技術史(下)

平田寬 著・陳秀蓮 譯



諾貝爾化學獎得主李遠哲先生說：「真正健全的科學教育，除了本行的專業訓練之外，科學哲學、科學歷史或科學社會學的通識都非常重要。」在目前國內一片高倡科技聲中，一部簡明扼要、深入淺出的科學技術史，是迫切需要的。本書以數百幀珍貴的圖片為主軌，將科學家的事蹟、貢獻，以及重要的科學概念、原理、發明，介紹給您。擁有本書，是知識與智慧的象徵！

牛頓文庫

牛頓文庫

圖說科學技術史

(下)

牛頓出版社

圖說科學技術史(下)

發行人 / 高源清

總編輯 / 劉君祖

科學主編 / 陳育仁

科學編輯 / 張鳳惠・蕭素芬

文字編輯 / 萬愛珍

美術主編 / 洪家輝

美術編輯 / 方紫雲・彭靜容・陳敏雀

原作者 / 平田 寬

原出版社 / 朝倉書店

譯者 / 陳秀蓮

出版 / 牛頓出版社

地址 / 臺北市和平東路二段107巷25號之1一樓

電話 / 7059942・7061976・7061977・7062470

郵撥 / 0731188-1牛頓出版社

製版 / 大象彩色印刷製版有限公司

印刷 / 江淮印刷廠

定價 / 200元

初版 / 中華民國76年4月30日

出版登記證 / 局版臺業字第3139號

法律顧問 / 林樹旺律師

●版權所有，翻印必究●

本書如有缺頁、破損、裝訂錯誤，請寄回本社更換。

Printed in Taiwan R.O.C. 1987



〔近代科學之起航〕

新科學之第一位偉大的代表者，• 且康（請參閱頁 1）的未來大著「學問之友革新」(Instauratio magna) 之第一部「新機關」(Novum organum, 1620 年) 之封面，極具啟發性。從圖中可知，科學之船已越過代表舊世界邊界的希臘式圓柱（直布羅陀海峽），揚帆起航正邁向新的海洋而去。二支柱子間的下方所寫文字，引用自「丹慈爾」(2 章 1 節)，意為「到處調查萬物以增進知識」(Multi percursabant & angustabant seculum)。科學研究上，以前曾傳頌著一句「越此則無」(Non plus ultra)，相對的，且康也有「同象徵性名詞」更上一層：「Plus ultra」，因此，由此圖看來似乎也透露著他的「知也無涯」的見解哩！

序

所有的歷史都是以人類為主角，這部「圖說科學技術史」所敘範圍自古代至十九世紀，以中亞和歐洲為中心，當然也是由科學家和技術者擔任要角。本書中出現的科學家和技術者，都是達成目的而且留下深遠影響的一羣人，他們的成功往往是從社會大眾的不諒解或一而再、再而三的實驗中獲得的，那份成就與光榮也就格外值得敬佩。然而，在此我必須強調的是，大家千萬別忽略了為數更多、卻很遺憾未能留名青史的科學家與技術者之研究和努力。科學技術的進步乃是知識累積的結果，倘若沒有這批無名人士一點一滴的小貢獻，相信歷史上著名的發明與發現不是根本無法達成，就是得再延後數年。在與科學技術歷史做正面接觸之際，我們務必深深銘記這些事實。

本書的書名之所以採用「科學技術」一詞，乃因從古代到中世紀，科學與技術各有不同的意義，直到文藝復興時代以後，兩者才逐漸緊密地結合。在此之前，科學（自然科學）是將從自然現象發現的普遍性法則整理成體系化知識的客觀產物（更簡單的說法是研究原因）；技術則是為實現目的而將自然物加以改良、加工的主觀性與有價值性產物。文藝復興時代以後，公認技術性要素較強的科學便被歸納入「技術」項下。至於上、下冊中各章節的時代區分只是權宜變通下的產物，並沒有明確的界線。圖版類的說明中儘可能加註出處，以及收藏圖版的大學、圖書館、博物館、研究所名稱等。

本書對二十世紀的部分略而不談，有兩大理由，其一是筆者本人專攻古代、中世紀前後的科學與技術歷史，其一脈相傳的文藝復興時代及十八、十九世紀的科學技術亦稍有涉獵，但是要探討二十世紀後半期多采多姿、瞬息萬變的科學技術成果，便遠超出筆者的能力範圍。同時，二十世紀的科學技術與現代人日常生活關係密切，目前尚難給與歷史性的評價。另一個理由是二十世紀的科學技術朝複雜、多樣化的方向進展，倘若要循本書風格配合圖片與文字加以解說，恐怕光是二十世紀就得追加一冊，工程必然浩大且艱鉅，故不敢輕言嘗試。

科學技術的善用與惡用僅一線之隔，我們時時得擔心其均衡會有被破壞的一天；倘若再進一步想到「破壞比建設容易」這個道理時，更會對未來感到不樂觀。不過，可以斷言的是「科學技術乃是人類在長遠的歷史洪流中創造出來的，因此，也唯有人類可以控制科學技術的善用與惡用。」其理由可以借科學史家薩東（George Alfred Leon Sarton, 1884~1956）的名言來說明，那就是「沒有愛的知識和沒有知識的愛，都是毫無價值且危險的」。

目 錄

XI. 科學革命的形成(約1550年~1650年).....	1
XI-1 奠定革命的基礎.....	3
XI-2 學會的成立.....	10
XI-3 伽 利 略.....	16
XI-4 刻 卜 勒.....	26
XI-5 數 學.....	34
XI-6 物 理 學.....	38
XI-7 從煉金術到化學.....	49
XI-8 博 物 學.....	57
XI-9 醫 學.....	62
XI-10 科學技術與產業.....	71
 XII. 以牛頓爲中心的時代(約1650年~1750年).....	74
XII-1 牛 頓.....	75
XII-2 數 學.....	84
XII-3 天文與宇宙.....	87
XII-4 物 理 學.....	94
XII-5 化 學.....	98
XII-6 博 物 學.....	100
XII-7 醫 學.....	103
XII-8 科學技術與產業.....	105

XII. 啓蒙時代(約1750年～1800年).....	107
XII-1 數學與天文學.....	108
XII-2 物理學.....	111
XII-3 化學.....	119
XII-4 博物學.....	132
XII-5 醫學.....	139
XII-6 科學技術與產業.....	142
 XIII. 工業革命時代(約1800年～1850年).....	 148
XIII-1 數學.....	149
XIII-2 天文學.....	154
XIII-3 物理學.....	158
XIII-4 化學.....	173
XIII-5 博物學.....	184
XIII-6 醫學.....	191
XIII-7 科學技術與產業.....	196
 XIV. 迎向科學技術高度發展的二十世紀(約1850年～1900年).....	 220
XIV-1 數學.....	223
XIV-2 天文學.....	225
XIV-3 物理學.....	227
XIV-4 化學.....	240
XIV-5 博物學.....	260
XIV-6 醫學.....	271
XIV-7 科學技術與產業.....	279

XI. 科學革命的形成 (約1550年~1650年)

文藝復興末期，哥白尼和維薩留斯卓越的功績，使科學革命踏出第一步，緊接著從十六世紀後半至十七世紀間，科學革命的浪潮經由法蘭西斯·培根 (Francis Bacon, 1561~1626)、笛卡兒 (Rene Descartes, 1596~1650)、伽利略 (Galileo Galilei, 1564~1642)、刻卜勒 (Johannes Kepler, 1571~1630)、波以耳 (Robert Boyle, 1627~1691)、哈維 (William Harvey, 1578~1657) 等人在科學各領域中努力研究，奠定了近代科學不可動搖的基礎。

何謂科學革命？在此簡單介紹其背景與意義。

1555年 奧古斯堡宗教會議召開。
1558年 英國的伊莉莎白一世即位。
1564~1616年 英國名劇作家莎士比亞。
1580年 法國倫理學家蒙田 (Michel de Montaigne, 1533~1592) 的「隨筆」(Essays) 出版。
1590年 莎士比亞完成「亨利六世」(Henry VI)。
1592年 發掘義大利龐貝城的遺跡。
1600年 英國成立東印度公司 (~1874年)。
1601年 利瑪竇建教堂於北京。
1602年 荷蘭成立東印度公司 (~1800年)。
1603年 日本德川家康建立江戶幕府。
1605年 塞萬提斯 (Miguel de Cervantes Saavedra, 1547~1616) 的「唐吉訶德」(Don Quixote) 出版。

1616~48年 規模最大也是近代最後的宗教戰爭——三十年戰爭爆發。
1626年 英國國會提出權利請願書。
1635年 法蘭西科學院創立。
1636年 哈佛大學創設。
1637年 笛卡兒的「方法論」(Discourse on Method) 和末應皇的「天工開物」(三卷) 刊行。
1639年 日本發布鎖國令。
1642年 清教徒革命。
1643年 法國國王路易十四即位 (~1715年)。
1648年 三十年戰爭結束，簽訂西發里亞和約 (Treaty of Westphalia)。

十六世紀前半，天主教教會的聖俗權威逐漸瓦解，馬丁路德（Martin Luther, 1483~1546）等人方得以掀起宗教改革的狂飈。在思想界方面，煩瑣哲學（scholasticism，或稱經院哲學）一派的亞里斯多德體系，或神祕的思想，根據不充分感覺所做的臆測等也開始遭受抨擊與批判，釀成了歐洲社會宗教與思想的危機。劃時代的傳播法——活版印刷術的發明，不僅使知識迅速普及，對新思想或新世界觀的啟發更有舉足輕重的影響力。

不僅印刷術，一般人對技術也開始有了新的評價與認同。就經濟立場來說，十六世紀到十八世紀間屬於資本主義生產模式確立前的製造工業時代，也是積極引進機械技術以提高生產力的時期。於是，技術與生產之間的關係益形密切，科學革命帶來的科學觀與科學方法的結合也更為堅強。

一言蔽之，科學革命的本質就是在研究自然時，捨棄先入為主的觀念或偏見，親自觀察對象或加以實驗，再用歸納法使結果體系化。做實驗之際，必須要有機械的、粒子的物質觀，亦即應有力學上的以及數學上的認識。從科學革命時代眾多具體的事例之中，我們當可看到現代科學最原始（也可稱為最健全）的原形。

XI-1 奠定革命的基礎



1. 法蘭西斯·培根

法蘭西斯·培根（Francis Bacon，1）是一位哲學家兼政治家，父親是英國皇室的重臣。早年攻讀法律，學成後曾任職律師、下院議員和艾色克斯伯爵戴佛瑞（Robert Devereux, 1567～1601）的顧問。然而，他與生俱來的強烈權勢慾以及為達目的不擇手段的無節操性格，使他極力逢迎國王及有權勢者，期望能抄捷徑揚名立萬於世。一五九七年刊行的「隨筆」（Essays）使他聲名大噪，榮獲騎士勳爵，一六一八年更晉陞為大法官。後因賄賂案而被監禁於倫敦塔，不但被課罰了鉅額罰金，一切榮華富貴也隨之飄逝。無奈之餘只得隱居郊外宅邸專心寫作，在一次雪夜中實驗電的防腐作用時受寒病倒，不久去世，享年六十六歲。

儘管以世俗的眼光看來，他的性格遭人非議，但是在學問、思想的領域中，他卻有值得敬佩的偉大貢獻。在一六〇五年發表的「學問的精進」（Advancement of Learning）中，他提出神祕主義、魔術、靈魂的研究對人類無益，主張科學研究應該以人類明確感受到的事實為對象。在未及完成的著作「學問的大革新」（Instauratio magna, 1620年）第二部「新工具」

（*Novum organum*, 1620年）中，他介紹了解開自然之謎、運用知性的更正確方法，希臘以後的科學均為批評對象。根據他的說法，「知識就是力量」，所以科學意味著推動自然進步的手段。正因如此，科學應該先順從自然，廢棄過去的演繹法，藉由以經驗（或實驗）出發之歸納法獲致的形相（*forma*）來支配自然，才是最理想的途徑。

首先，必須破除一切先入為主的觀念，亦即他所謂的偶像（*idola*）。他認為偶像有四種，第一種是「種族偶像」（*idola tribus*），這是人類本性中根深柢固的部分；第二種是「洞穴偶像」（*idola specus*），這是人類具備固有且特殊之本性的原因；第三種是「市場偶像」（*idola fori*），人類藉語言溝通、交流而產生的部分；第四種是「劇場偶像」（*idola theatri*），並非與生具有，而是來自於謬誤的理論或體系。

他從政壇退隱之後，曾寫了一部未完成的烏托邦式著作「新亞特蘭提斯」（*Nova Atlantis*, 1622～1624年），書中的主題是科學繁榮的夢想和「所羅門之家」研究所。書中並未批判現實，反而強調科學與生產力帶給人類的幸福。此書後來促使英國創設皇家學會（*Royal Society*，參考XI-2）。

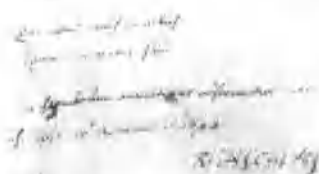
然而，培根的這些功績並非完美無缺。首

先，他根本不想去了解當時科學家有那些貢獻；其次，當他做研究時，常把自己主張的原理或方法拋置一旁，陷入他曾大力攻擊的錯誤之中。事實上，他並沒有任何自然科學方面的發明或發現。數學的應用，是科學研究得以成功不可或缺的要素，培根對數學重要性的忽視可謂其功績中最大的缺憾。他的歸納法僅限於事實的蒐集與目錄的製作，這也算是缺憾之一。許多親自實驗的科學家常有創造性直覺在腦海中靈光乍現的情形，很遺憾的是培根從來沒有享受過這種快樂。



生於法國土倫（Touraine），貴族出身的笛卡兒（René Descartes, 2），是位出色的哲學家、數學家兼自然學者。當時學術界仍廣泛使用拉丁文，所以他留下了許多拉丁文的簽名（Renatus des Cartes, 3），今天我們所見的「笛卡兒哲學理論」（Cartesianism）、「笛卡兒坐標」（Cartesian coordinates）等都是由其拉丁文名字而來。

2. 笛卡兒，SCHEM SCHÖNHAUSEN 及 BUEHLER



3. 笛卡兒的書信，大英博物館藏，
簽名的版本

笛卡兒體質孱弱，遺傳自在他一歲時病逝的母親，自幼即深受慢性咳嗽之苦，但因聰明伶俐，學校特准他躺著上課，後來他的許多成就也大多是在床上完成的。青年時代曾在法國的陸軍中待過數年（沒有實際參戰），接著遷居公認是當時自由思想家之鄉的荷蘭，後應瑞

典克莉絲汀娜女王 (Queen Christina, 1626~1689, 在位1632~1654) 之邀前去講學，卻不幸罹患肺炎客死他鄉，遺體葬於法國。

打從少年時代起，他最感興趣的就是數學，他的數學才能對其哲學及自然科學上的成就可謂助益良多。

他的哲學徹底排除既存的繁瑣哲學傳承，從對各種知識的疑問出發以探究內心深處，同時提倡大家應該有不懷疑經過證明之事實——即使自己對此事實存疑——的精神。換句話說，就是「我思故我在」(Cogito, ergo sum, I think, therefore I am)。後來，他將神、神所支持的兩個有限實體(具思維屬性的精神與具延長屬性的物質)三者加以區分，提倡以神為中心的物神二元論。這個理論成為近代機械式自然觀的基礎，使得自然學、人類學、倫理學等紛紛從神學中獨立出來。另外，他基於空間的根元概念來考量「延長」與「運動」，留下一句名言：「只要給我延長和運動，我就可創造出萬物。」從這一點看來，我們實在不能否定他的思想中含有抽象及演繹的成分。

他的著作有自傳式的「方法導論」(Discourse on Method, 1637年)、「沈思錄」(Meditations on First Philosophy, 1641年)、「哲學原理」(Principles of Philosophy, 1644年)、「情



6 漩渦宇宙論，「哲學原理」，1644年

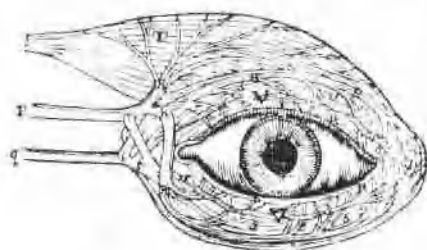
的宇宙論一直受到世人承認。事實上，該「宇宙論」（Le monde）就是「哲學原理」中談及的漩渦宇宙論（6）。圖中的點S、E、A和ε（中央）即漩渦的中心，僅存在於中心的粒子做急速的回轉運動，其中心便成為發光體，也就是星體。眾多小圓點所構成的圓，乃是形成漩渦、永遠不停回轉的粒子流路徑。漩渦中心S周圍的點是行星，分別隨漩渦流動方向在軌道上運轉。橫切過圖上方的粗線是彗星，其路徑固然是從一個漩渦進入另一個漩渦，然而所經之處的漩渦流動極為緩慢，也就無法畫出連續的圓形軌道。此圖外側的空間裏尚有其他漩渦，而每一個漩渦分別表示哥白尼宇宙論的太陽系。



7 人類心臟的模型圖（笛卡爾）

笛卡兒的機械式自然觀也適用於包含人類在內的所有動物，換言之，動物體的活動也可用自動機械裝置系統來表現。例如，動物的心臟是動物機械中最有活力的馬達（7）。哈維在一六二八年時發現了血液循環的現象，笛卡兒便是第一個聲援承認的人；一六六一年義大利解剖學者馬皮吉（Marcello Malpighi, 1628～1694）發現微血管，他應該也是很快就注意到的。

笛卡兒認為人類與其他動物不同，除了肉體（其屬性是延長）外還擁有精神（屬性是思維），肉體與精神兩者在腦中小小的松果腺



8. 笛卡兒關於眼睛的精確解剖圖解。左眼圖中，肌肉a是與眼睛肌肉，b是虹膜神經，而c是位於虹膜中央的瞳孔。虹膜a和b的結合使虹膜能又鬆又緊，以調節光的強度。虹膜c能調節光的強度。



9. 顯示光線如何由外部物體之影像傳到眼睛。左眼圖中，光線由外部物體之光線入眼，在虹膜上成像。基於眼睛的光學特性，虹膜上，光線由外部物體之光線傳到虹膜後成像。虹膜由虹膜上成像傳到虹膜上。

(glande pinéale) 處接觸。也就是說，他以為僅人類有松果腺，其他動物卻付諸闕如，來自眼睛的神經(8)刺激傳至松果腺後，再傳達給肌肉(9)。



10. 笛卡兒(1596-1650)

笛卡兒將重點置於數學及機械方法的自然觀，可謂適足以補重視經驗、實驗與歸納法的法蘭西斯·培根之缺失，從而奠定了近代科學的本質基礎。

並未直接參與科學革命，卻以著作「新舊優劣論」(Digression sur les anciens et les modernes, 1688年)來支持進步說，帶給笛卡兒理性論極高權威的人便是百歲人瑞馮登涅爾(Bernard Le Bovier de Fontenelle, 1657~1757，