

天下文化

混沌

不測風雲的背後

Chaos

by James Gleick

林 和 譯



社會人文①⑥

混沌

——不測風雲的背後

Chaos

by James Gleick

葛雷易克 著 林和 譯

混沌：不測風雲的背後 / 葛雷易克(James
Gleick)原著；林和譯．--第一版．--臺北
市：天下文化出版；黎銘總經銷，1991[民80]
面： 公分．--（社會人文；16）
ISBN 957-621-131-X（平裝）
譯自：Chaos

1. 科學－哲學，原理

301

80002234

社會人文 ⑩

混沌——不測風雲的背後

原 著 / 葛雷易克

譯 者 / 林 和

編 輯 / 鄭懷超

美術編輯 / 李錦鳳

封面設計 / 吳毓奇

社 長 / 高希均

發行人 / 王力行

顧 問 / 尹 萍

副主編 / 符芝瑛

法律顧問 / 陳長文律師

出 版 / 天下文化出版股份有限公司

地 址 / 台北市 10428 松江路 87 號四樓

電 話 / (02)507-8627

直接郵撥帳號 / 1326703-6 號 天下文化出版股份有限公司

電腦排版 / 天宇電腦專業設計

製版廠 / 利全美術製版股份有限公司

印刷廠 / 鴻展彩色印刷股份有限公司

裝訂廠 / 台興裝訂廠

登記證 / 局版台業字第 2517 號

總經銷 / 黎銘圖書有限公司 電話 / (02)981-8089

本著作中文版係經大蘋果股份有限公司授權出版發行。

版權所有・不准翻印

著作完成日期 / 1991 年 5 月 1 日

出版日期 / 1991 年 7 月 31 日第一版

1992年1月31日第12次印行

定價 / 220 元

原著書名 / Chaos

by James Gleick

Copyright © James Gleick, 1987

All rights reserved.

Published by Penguin Books.

Translation Copyright © 1991 by Commonwealth Publishing Co., Ltd.

ISBN 957-621-131-X(英文版 ISBN: 0-14-009250-1)

特約主編

尹萍

新聞工作者兼翻譯工作者。少年時代喜歡看星星，追問天為什麼是藍的，雲為什麼是白的之類的問題。曾經夢想做一個天文學家，後來因為數學沒學好而放棄。工作十餘年之後，愈來愈覺得身為現代人而不懂科學，未免是一種殘缺，像是生命中少了一扇開向青山碧水的落地長窗。同時也愈來愈不相信科學就只是教科書裏那些令人望而生畏的方程式，與現實的生活、其他的學科相去那麼遙遠。於是到圖書館中去搜尋「好看的」科學書，想拿來與平日人文方面的閱讀相印證，卻總也搜尋不著。直到有一天，當她在天下文化出版公司工作的時候，一位科學家拿了一本英文書來說：「喂，這是一本很有趣的科學書，跨越科際，探索人類終極的問題。我們何不把它翻譯出版？」

總策畫

林 和

第一代台灣人，生於上海，三個月後，被紅塵席捲，橫渡黑水溝。

幼時體弱，與書相伴，渾然不知世事，人格發育遲緩。

實小、建中、台大、麻省理工學院（大氣、行星、物理海洋學系）。履行讀書人的宿命，常飄泊於兩種心靈之間，率性、身不由己的旁觀者。

幸好，還會彈「一」首莫札特的「小」奏鳴曲。

策畫

牟中原

一九四九年出生於基隆市，十五歲到台北念建中，受制於聯考，開始拼命唸書，卻因此養成愛讀書的習慣，進了大學則有幸交了些愛書的朋友。一九七〇年畢業於台大化學系，一九七五年獲華盛頓大學化學博士，一九七八年返台大任教至今，曾經在一九八五年訪問比利時布魯塞爾自由大學一年。

除了財經企管的書之外，幾乎什麼書都看。專長是理論化學，興趣是科學教育。

策畫

李國偉

一九四八年出生在南京。是一個失意、陰霾、心神不安的家庭裏惟一的孩子。他用艱巨的思想與貪婪的閱讀，去填補童年的寂寞焦慮，因此使他成爲一個心靈上的早熟兒。在建國中學的六年裏，他最先醉心於文學的感性情境，繼而沈迷於科學的真理世界，最後經數學、邏輯而嚮往哲學的天地。

一九七〇年他從台大數學系畢業，服完一年兵役後，赴美國杜克大學留學。於一九七六年獲數理邏輯博士學位，隨即返回中央研究院數學研究所任職。在高中的時候，他曾將自己創作的數學定理，寄給中研院數學所的所長指正，但是石沈大海了無音訊。誰料到在中學畢業後的第二十一年，他挑起了數學所所長的重擔。

在回國後的十五年中，他曾在淡江數學系、交大數學系、交大計工系、清大歷史所，開過離散數學、計算理論、數學史等方面的課程，但就是沒教過數理邏輯。雖然目前他的專業研究重點是離散數學，不過他最夢寐以求的境界，是在知識的世界裏，當一個無國籍的自由人。

策畫

周成功

一九四九年出生於台北眷村的一角。從國語實小，成淵中學，師大附中到中原理工學院，在重重聯考的關卡下，辛苦掙扎著過關。偶然在大學接觸到一門課——生物化學，突然間死板板的知識似乎有了新的意義，「生命是什麼」的問題隨即陪伴著他研究生涯的成長迄今。從美國愛因斯坦醫學院取得學位後返國，分別在中央研究院、榮民總醫院與陽明醫學院從事研究與教學。生命系統中的訊號傳遞是他目前最主要的研究興趣。如何培養中國下一代科學研究的接棒者，則是他爲教育付諸心力最終的理想！

作者簡介

葛雷易克 (James Gleick)

曾任職紐約時報，為著名科技專欄作家。

譯者簡介

林和

出生上海，台大大氣系畢業、麻省理工學院大氣行星物理海洋系博士，美國國家大氣研究中心研究員，現任台大大氣系教授，專長流力、紊流。

代譯序 遙念勞倫茲

林和

「老人家心裏在想什麼？」

還不到四點，天空愈來愈狹窄，雲層逼近港口，從十五樓俯視，街道已隱沒入地平線，到處堆滿白色、黑色、冰凍的和潮溼的雪塊。窗玻璃顫動，大氣深處似乎悸動不安。收音機說，雪暴肆虐緬因州。

老人家又忘了開燈，研究室一片闇黑，冷冷淡淡的天光，剪下他的輪廓，很遙遠，像銀河被人遺忘的角落……。

也許，他腦海裏飄浮著那隻巴西雨林的蝴蝶。

老人家並不老，至少，清晨時分，那雙比孩子還要澄明的眼睛，還很湛藍。無邪又

犀利。但是，當黃昏降臨，一整天過度思索後，老人的臉漸漸乾涸、變皺。惡魔的天空已經吸光他的精力，他像一盆脆弱的植物。

老人家一定很喜歡這主意！身為人，必須和人打交道，這實在是難以忍受的負擔。老人家極度害羞，七十幾歲的人了，動不動就臉紅，碰上陌生人，低著頭微笑，稚氣十足。

他的沉默很有名氣，講完該講的話——老人家的語調又快又密，音域不超過一度半——就此打住，三分鐘、十分鐘的耗下去、微笑、謙虛極了，不止一打著名的學者，被嚇哭了。

老人家很矮很瘦，乍看之下，張臉醜得漂亮，像巴黎屋簷的Gargoyle，或者石灣陶的羅漢，跡近冷酷。可是，禁不起笑，一笑就洩底了。笑起來像兔寶寶，門牙閃出一道裂縫，又天真又溫暖。系上籃球隊送給他一件球衣，背後繡著「快足阿迪」(Fast Eddy，迪斯耐卡通片裏善跑的兔子)，他好得意，穿著走來走去。

海頓以前拉著莫札特的手，沿著維也納街頭散步，逢人就说，莫札特會是歷史上最偉大的音樂家，那時候莫札特還不到十歲。老人家也是如此，當他還很年輕的歲月，就有人做了類似的預測。

據說，預言的人是小勃克霍夫（Birchhoff），倘若傳言是真，小勃克霍夫的眼力委實夠瞧的。劍橋這地方，別的不去說，聰明人倒不少，那個人不是諾貝爾獎得主呢？（至少也是候選人！）老人家貌不出眾，語不驚人，事實上，比語不驚人還糟糕，從來沒有人聽過他囉嗦什麼。

你必須仔細觀察，好像監視一位外星間諜，也許能看出些許蛛絲馬跡。偶爾，從一言半句，你會猜想，這人蠻聰明的，再回味一番，是啊！十分聰明，又過一會兒，你會發現，聰明這樣的字眼並不貼切，他「僅僅」曉得每件事的答案而已！似乎不花費他任何力氣，輕輕巧巧，答案自己會跑出來，最奇怪的是，每次答案都很經用，過了十年二十年，總會證明是正確的，從來不曾失手過。

有些醫學專家宣稱，自閉症來自特異的腦神經結構。老人家的內在稟賦，顯然和他的人格特質相關，當然，有些人會認為和「非」人格特質相關，這樣想想，一切都得到完滿的解釋，大家也會過得舒服些。

天氣更加惡化，他的臉像一層白臘。書桌上，出現一行行簡潔的公式，老人家就是那種「逢山開路，遇水造橋」的科學家，不管碰上什麼困難，總會弄出一些辦法解決。別人也幫不上手，老人家的電腦程式研究生偷偷瞧過，幾千行指令，居然不分段落，不加

說明。一副天機難洩的模樣。

終於，滿天風雪傾瀉而下，老人家好像睡著了，他在想什麼呢？或許是這星球上最高的山？老人最喜歡爬山，登上一些人跡罕見的峯頂，有一次，他帶我找到一條冰河，冰面上布滿紅色黴菌。

愛德華·勞倫茲想使我長成有用的科學家，這是他少數澹淡的失算，但是我常懷念他。

譯本經過兩年半完成，最早，現在就讀普林斯頓大學的陳正達弄出一些初稿，經過宋偉航、蘇白宇、湯麗明修修改改，讓我終於下定決心，從頭到尾逐字逐句的翻譯一遍，其中引用了不少他們的妙文，尤其在第一章正達留下最多痕跡，中間幾章，偉航的貢獻很大，雖然他們的努力可能大部分被我的筆觸所遮蓋，但這些奠基的工作，不斷的刺激，喚醒我對文字新鮮的感覺。中文譯本應該是我們沈默爭辯的結果。

第 一 章
第 二 章
第 三 章
第 四 章
第 五 章
第 六 章
第 七 章
第 八 章
第 九 章
第 十 章
第 十 一 章

譯序

前言

蝴蝶效應

革命

生活中的起伏

自然的幾何學

奇異吸子

普遍性

實驗家

混沌的面貌

動力系統集團

內在的韻律

混沌及超越

383 349 309 277 245 201 157 107 77 45 15 1 I

1. 導 論

1.1. 當 n “甚大”時，正整數變數之函數 $f(n)$ ；或者，當 x “甚大”或“甚小”或“幾乎等於 a ”時，連續變數 x 之函數 $f(x)$ ；其“大的等級”或“小的等級”之概念，甚至在數學分析的最基本階段都是極其重要的*。吾人知道， x^2 隨著 x 趨近無限大，且 x^2 之趨近無限大快於 x ，即比值 x^2/x 亦趨近無限大；同樣， x^3 之趨近無限大快於 x^2 ；如此可無止地類推下去。於是吾人導至一個由函數 $x, x^2, x^3, \dots, x^n, \dots$ 所構成的“無限大之標度”（ x^n ）的概念。這標度可因插入 x 之非整數乘幂而得以補充且因之在某種程度上算是被完成。但是有些函數增加之變率，在吾人的標度，甚至後來被完成的標度上都無法加以測度。就如， $\log x$ 之趨近無限大慢於 x 之任意乘幂，而 e^x 則較快；同時， $x/(\log x)$ 之趨近無限大慢於 x ，但卻較快於次數小於 1 之 x 之任意乘幂。

當吾人更進一步深入於分析，而接觸到它近代的發展，通常如，傅立氏（Fourier）級數論，整函數論，或解析函數之特異點的理論等時，這些概念的重要性就愈來愈大。對這些概念做有系統的研究，對其有關的一般定理的查證與處理此等概念之簡便方法，即為 Paul du Bois-Reymond 所著“無限大的計算”這本書的主要內容。

1.2. 吾人設 f 與 g 為，連續變數 x 之函數，且定義於某一數值 x_0 以上*之所有數值 x 上。進一步，吾人假設 f 與 ϕ 為正值的，連續的，穩定地遞增的，且隨 x 趨近無限大；於是，吾人考察， $x \rightarrow \infty$ 時，比值 f/ϕ 之狀況。吾人可區分為四種情形。

(I) 若 $f/\phi \rightarrow \infty$ ，則吾人將稱 f 之等級（order）（或遞增的速率（rate of increase），或遞增（increase））大於 ϕ 之等級，而記為

$$f \succ \phi$$

* 如參見 Hardy I, 360。

* 表大於或等於 x_0 。

混沌浮現

一九七四年，在美國新墨西哥州羅沙拉摩斯（Los Alamos）小鎮的警察，常常注意到鎮上的一個人，他總是被人發現在夜裏徘徊，叼著香菸，沿著後街走，紅而熾熱的菸頭在黑暗中飄浮搖曳。他常常這樣走上幾個小時，沒有特定目標，漫步在高地稀薄空氣的星空下。其實並不只是警方注意到這件事情，一些國家實驗室裏工作的物理學家，也覺得他們的新同事好像在過一天有二十六小時的生活，作息時間慢慢地和時間脫節，同他們的生活步調若即若離。這種情形即便是在理論部門裏也算得上怪誕的。

自從歐本海默（J. Robert Oppenheimer）爲了原子彈的計畫，選擇了這個遠離塵囂的新墨西哥州的小地方，三十年以來，羅沙拉摩斯國家實驗室在這個荒涼的高原上蓬勃迅速地發展起來，同時也帶來了粒子加速器、氣體雷射、化學設備、數以千計的科學家、行政人員、技術人員以及世界上最集中的超級電腦羣。有些老科學家可能還記得一九四〇年代那些在懸崖邊不斷擴充的木造房子，但對大多數在羅沙拉摩斯衣著隨意的年輕男女而言，那些最初製造原子彈的人已經是過去式了。實驗室最精粹的理論部門是思想中心所在，也稱做T部門，就如同C部門是計算的地方，而X部門負責武器部份。

樣。上百個物理學家和數學家在丁部門內工作，每個人都擁有豐厚收入並且免除了學校裏教書和刊登論文的壓力，這些科學家經常被別人認為是天才橫溢或特立獨行，很難有什麼事情能讓他們感到驚訝。

但密歇爾·費根堡（Mitchell Feigenbaum）是個不尋常的例外。他僅僅只有一篇論文刊出過，看起來通常都在做些漫無邊際的研究。有一頭凌亂不整的頭髮，從寬大的額頭向後腦勺梳攏，一副德意志作曲家半身塑像的派頭，眼睛慧黠而熱情，當他用慣常的快速度說話時，往往會漏掉些冠詞和代名詞，並且帶著一絲中歐腔調，雖然從小生長在紐約布魯克林。而當他做研究的時候，則像個工作狂般認真拚命；當不工作時，就散步和沈思，不管白天或是晚上，而晚上尤其佳妙。一天二十四小時的循環對他而言似乎是種束縛。他也嘗試過率性式的起居週期，導致每隔數天必須要在黃昏時刻起床，後來他發現實在吃不消了而中止實驗。

二十九歲時他已經成為學者中的學者，是位當其他科學家束手無策時，可以求教的特別顧問，當然那是在他們可以找到他的時候。有天傍晚，他剛到工作崗位上，實驗室的主持人艾格紐（Harold Agnew）正要離開。艾格紐是位大人物。身為歐本海默的嫡傳弟子，曾經陪伴伊諾拉蓋號，在廣島上空拍下實驗室第一件產品的「送貨」過程。

艾格紐向費根堡說：「我知道你非常聰明。如果你真的那麼聰明的話，為什麼你不去解決雷射核融（laser fusion）的問題。」

甚至費根堡的朋友也懷疑他是否打算研究出一些自己的成果，他似乎對任何可能有結果的問題都不太起勁，不過卻仍可以對他們提出的問題提供即席魔術般的回答。他思索氣體及液體中產生的紊流；他思索時間；時間是不是一直向前平順地滑過或是像一張張卡通電影底片一樣分格地跳動著？他思索在物理學家所熟知如量子萬花筒般換檔的宇宙中，人類眼睛觀察前後一致顏色和形狀的能力；他從飛機的窗口或從實驗室上方思索拖曳的雲朵形跡，直到一九七五年，他的科學飛行特權因為過度使用被正式吊銷為止。

在西部山區，雲朵並不像美國東部充滿了陰暗朦朧的濃霧，瀰漫在低層空氣中。羅沙拉摩斯位於巨大火山的背風處，飄過天空的雲朵往往以隨意的方式形成，但也有些並不是隨意的，它們滯留在天上，就如同大小齊一的花穗一樣，或像大腦皮質的摺折一般規律地起伏著。在山雨欲來，天氣即將變壞的午后，天空微微透著光，同時可以感覺到閃電伴隨而來的震動，雲朵在三十里外，陽光忽隱忽現，使得整個天空的景象十分壯觀，像是對物理學家欲言又止的責難。雲代表了自然界中被物理學主流研究所忽略的一面，一個有時模糊不清，有時卻歷歷在目，有時結構明確，有時卻又難以預測的部

份。費根堡正在靜靜地思索這樣的事情，並不特別期待有什麼結果。

對一個物理學家來說，製造雷射核融是個恰當的問題；設法解出微小粒子的轉動、顏色和特性是個恰當的問題；尋找宇宙起源的時間也是。而了解雲則是屬於氣象學家的事情。費根堡像其他的物理學家一樣，使用一種低調、強硬的語言來衡量這類問題。他會說，一個經由任何熟練之物理學家以適當思索及計算後，能夠了解的這類可以明顯描敘的工作，並不會博得眾人尊敬或是獲得諾貝爾獎。對那些如果沒有長期觀察宇宙內部就無法獲得解答的高難度問題，物理學家則保留一些字眼。例如「深奧」。在一九七四年，儘管他的同事中很少人知道，但費根堡正為一個深奧的問題而孜孜不倦地工作著，這個問題叫做「混沌」(Chaos)。

重塑科學面貌

混沌出現，古典的科學便終止了。因為長久以來世界各地的物理學家都在探求自然的秩序，而對於無秩序如大氣、騷動的海洋、野生動物數目的突兀增減及心臟跳動和腦部的變化，卻都顯得相當無知。這些大自然中不規則的部份，不連續而且無規律，在科學上一直是個謎，甚至可說是光怪陸離。