

# The 華爾街 的物理學 Physics *of* Wall Street

by James Owen Weatherall

A Brief History of Predicting the Unpredictable

魏瑟羅——著 陳以禮——譯



天下文化

# The 華爾街 的物理學 Physics *of* Wall Street

by James Owen Weatherall

A Brief History of Predicting the Unpredictable

魏瑟羅——著 陳以禮——譯

## 各方推薦

一本重要的著作，舉證詳實，  
捍衛數理模型在金融市場的地位，  
所有同意科學方法可以改善人類生活的讀者，切勿錯過。

—— 布朗（Michael Brown），微軟前財務長，那斯達克前主席

魏瑟羅預先看見「金融業該如何更正確的制定操盤策略」  
的劃時代大轉型，向我們說明這個轉型是怎麼開始的，  
對於現代金融又具有什麼意義。

—— 蓋里森（Peter Galison），哈佛大學教授，

《愛因斯坦的時鐘，龐卡赫的地圖》作者  
文字優雅、思路清晰、簡單易懂，少見的遼闊視野，  
即便不認為物理學在金融市場扮演重要角色的人  
也能夠徜徉其中，從這本生動有趣的書中獲得啟發。

—— 史蒂格勒（Stephen M. Stigler），芝加哥大學統計學教授

這本書將讓你重新檢視  
自己過去對金融市場自以為是的觀點，  
也說明了為什麼經濟學家該好好傾聽物理學家長期以來  
想告訴他們些什麼的原因。

—— 莫瑞爾（Bill Maurer），加州大學爾灣分校IMTFI中心主任

魏瑟羅擁有「用容易理解的方式描述複雜事務」的少見才能，  
他在這本書裡把這項天賦發揮到極致，  
向我們說明物理學、數學在金融市場所扮演的角色。  
如果你認為金融創新會造成難以預料的後果，  
這本會是讓你想要深入一探究竟的書。

—— 施莫林（Lee Smolin），《物理學的困惑》作者

魏瑟羅筆下，用科學知識賺錢的有趣故事，  
跟我們每個人都息息相關，  
他的描述擺脫了科學怪人般的刻板印象，  
論證數理模型才是奠定更明智發展的基礎。

—— 龐士東（William Poundstone），《天才數學家的祕密賭局》作者

不論是從粒子運動的原理、還是從在金融市場的操作方式  
做為切入點，這本書為我們揭開金融圈物理學的神祕面紗，  
帶領我們進入一趟充滿閱讀樂趣的旅程。

—— 哈渥森（Hans Halvorson），普林斯頓大學哲學系教授



前言

## 資金操盤手與破壞金融市場的怪獸

失去信心的牛頓留下這麼一句話：

「我可以計算出天體運行的軌跡，

卻算不出人性的瘋狂。」

### 全球最優秀的資金操盤手是誰？

巴菲特並不是世界上表現最好的資金操盤手，索羅斯和葛羅斯兩位也不是。世界上績效最優秀的資金操盤手的名字，你可能連聽都沒聽過，除非你是物理學家或數學家；即便如此，你大概也沒辦法立刻想起他的名字：西蒙斯（James Harris Simons）。

西蒙斯跟他的老師陳省身，一起建構弦理論（string theory）最重要的一塊基石——精妙的數理模型Chern-Simons 3-form。這是一個抽象、深奧難懂的玩意兒，有些人認為它實在太過抽象、太不切實際了；但是這個模型卻讓西蒙斯成為活生生的傳奇人物，在科學界的地位，足以讓哈佛大學物理系或普林斯頓大學物理系上的人，提到他的名字時必須壓低聲調，以示敬意。

西蒙斯的打扮就跟一般大學教授沒什麼兩樣，頂著一頭稀疏的白髮，蓄著一嘴參差不齊的山羊鬍，在極少數公開露面的場合中，經常穿著凌亂的襯衫和運動外套。這個造型跟大多數股市操盤手重視門面、西裝革履的裝扮，可說是八竿子也打不著。西蒙斯甚至還不常穿襪子呢。

然而，西蒙斯對物理與數學的貢獻大到難以形容，主要是探討複雜幾何形狀的分類方法。但是我們很難說他是個對數字特別敏銳的人；如果你能一窺他用抽象概念所建構的殿堂，你就會發現，數字或其他傳統數學的表達形式都已經派不上用場了。總而言之，你絕對想像不到這樣一號人物，居然會是在翻騰股海中表現最優異的對沖基金（Hedge Fund，又稱避險基金、或套利基金）經理人。

不過，千萬別懷疑，西蒙斯不折不扣是超級成功的文藝復興科技（Renaissance Technologies）公司的創辦人。他在1988年跟另一位數學家亞克斯（James Ax）設立該公司私募的代操基金「大獎章（Medallion）基金」。大獎章基金的名稱是用來紀念他們兩人，分別在1960與1970年代獲頒卓越數學獎章的事蹟。這筆基金成立十年之後，投資報酬率是誇張的2,478.6%，表現遠遠超越當時所有浮上檯面的對沖基金。

讓我們看一下這個表現有多麼精采絕倫吧：索羅斯的量子基金（Quantum Fund）是同一段時間內表現第二佳的對沖基金，投資報酬率遠遠落後，只有1,710.1%。大獎章基金在接下來十年的表現一樣維持高檔，這筆基金從設立開始後的總平均年報酬率將近40%，扣除代操費用後的績效表現是同業的兩倍——對比巴菲特從1967年開始將波克夏·海瑟威（Berkshire Hathaway）轉為投資公司之後，一直到2010年為止的總平均年報酬率是20%。

如今，西蒙斯已經是全世界最有錢的富豪之一。根據2011年《富比士》雜誌公布的全球富豪排名資料顯示，西蒙斯財富總值高達106億美元，亦即西蒙斯一個人戶頭上的財力，就跟某些最能呼風喚雨的投資公司一樣不相上下。

文藝復興科技公司聘用將近兩百位員工，絕大多數是在紐約東塞托奇（East Setauket）長島鎮，堡壘般的企業總部中任職。公司裡有三分之一的員工擁有博士學位，不過都不是財經科系的博士學位，而是像西蒙斯一樣擁有物理、數學或統計學相關的博士學位。根據麻省理工學院數學家辛格（Isadore Singer）的說法，文藝復興科技公司才是全世界最優秀的物理與數學系所——而這也正是西蒙斯跟其他人認為，該公司之所以如此成功的原因。

文藝復興科技公司刻意避免聘用任何帶有一絲一毫華爾街氣息的求職者，不只是財經相關科系的博士，就連從其他傳統投資銀行或是



對沖基金展開職場生涯的交易員，也都不用浪費時間去投履歷。西蒙斯成功的祕訣在於跟財經專家劃清界線，看起來還滿有用的。財經專家反倒認為像西蒙斯這樣的人物，根本不應該在翻騰的股海中存活。

就理論上而言，西蒙斯完成了一項不可能的任務：準確預測到無法預測的局勢，從中大賺了一筆！

## 期貨是什麼？

對沖基金的運作原理，建立在維持平衡的資產組合上。用最簡單的話來講，就是在買進某項資產的同時，賣出另一項資產以做為付款擔保；在這些供作交易的資產中，最常見的就是衍生性金融商品

（derivative）。衍生性金融商品是針對其他證券，像是股票、債券或是大宗物資契約所開發的交易合約，比方說，有一種衍生性金融商品就叫做期貨契約（future contract）。

假設你針對，嗯……稻穀，買了一張期貨契約，意味著你同意在未來某個特定時點，用現在敲定的價格買進稻穀。稻穀期貨的價值，與稻穀的價格息息相關：如果稻穀的價格走揚，則你持有的稻穀期貨的價值也會跟著水漲船高，因為你當初預購的稻穀價格是比較低的，扣除持有時間的成本之後，仍可能是有獲利的。但如果稻穀的價格走跌，那麼你就會被這張期貨契約套牢，因為你承諾在未來合約到期日時，用高於市場行情的價格買進稻穀。通常（不是絕對）期貨契約到期時，不用真的交易稻穀，只要用現金將當時市場現貨價格與你承諾支付價格之間的價差填平，就可以了。

近年來衍生性金融商品相當受到矚目，特別是針對其負面影響而言。但是這項產物可一點也不新鮮，誕生在地球上的時間起碼超過四千年，古代美索不達米亞（Mesopotamia，相當於現今伊拉克一帶）出土的泥板上，就有蘇美人（Sumerian）期貨契約的記載可供憑證，只不過當時使用期貨契約的目的很單純：減少不確定性。

假設蘇美人的莊稼漢希尼迪，育有安南跟納南兩個兒子，他們正盤算著要在田裡種大麥或其他作物；而女祭司伊塔尼不但確定自己來年秋天需要大麥做為存糧，同時也知道這段期間大麥價格波動的情況難以預料。有一天，安南跟納南兩兄弟在附近熱鬧的市集找到了伊塔尼，向她提議用期貨契約的方式，購買兩兄弟生產的大麥，也就是兩兄弟同意：伊塔尼在大麥收成後，可以用事先談定的價格，購買一定數量的大麥。如此一來，安南跟納南兩兄弟既然已經先找好買主了，自然可以放心去種大麥；而伊塔尼也確定自己用固定的價格，就能買到足夠數量的大麥。

在這個例子中，衍生性金融商品不但降低了賣方生產貨品的風險，同時也保障買方免於遭受價格無預警波動之苦。不過，這個例子當然還是無法避免希尼迪的兩個兒子無法如期交貨的風險，比方說，要是發生旱災或是病蟲害的話；或許到時候，安南跟納南兩兄弟就須從其他人那邊買進大麥，再依照事先約定的價格，轉賣給伊塔尼。

對沖基金使用衍生性金融商品的方式，跟古代美索不達米亞的居民大同小異。買進股票、同時賣出股票期貨，就好比種大麥的同時，已賣出大麥期貨。賣出股票期貨形同先買張保險，以免未來遭受跌價損失。

### 對沖基金的經理人——寬客

二十一世紀的頭十年，可以說是對沖基金的年代，而且交易規模遠非希尼迪的兩個兒子所能企及。對沖基金通常是由操盤手經營控管，形成華爾街一股新興的菁英勢力。這些基金操盤手的英文暱稱叫quants。〔中文版注：quants是quantitative analysts的縮寫，意思是計量分析師、金融工程師。中文比照駭客（hacker）的譯法，譯為寬客。〕

寬客多半擁有財經科系相關的博士學位，受過最頂尖學術理論的訓練（高學歷在以前可不是華爾街謀生的先決條件）。另外還有一群



寬客屬於不同圈子，通常是數學或物理科系畢業的局外人；但這些人懂得設計各種方程式，用以判斷衍生性金融商品的價格該如何跟背後所依附的證券掛勾，他們利用世界上最先進、運算速度最快的電腦，計算出這些方程式的答案，釐清對沖基金本身要承擔多少風險，進而讓自己操盤的基金維持穩健的投資組合。不論面臨什麼狀況，對沖基金的操盤策略都應該要能擠壓出微幅的獲利，基本上，遭受重大損失的機率微乎其微——或者我們起碼可以說，這就是當初設立對沖基金想要達成的目標。

不過2007年8月6日星期一，當金融市場開市之際，彷彿就像是鬼門關被打開了一樣。根據對沖基金原本的設計原理，不論採取什麼樣的投資組合，都應該要能夠獲利才對。可是那詭異的一天，原本預期該上揚的部位卻走跌了；更奇怪的是，原本預設在其他部位走跌時該上揚的部位，居然也跟著走跌了！結果幾乎幾檔主要的對沖基金都遭受到打擊，災情慘重。不論是在股票市場、債券市場、匯率市場、還是大宗期貨市場中，寬客慣用的策略在一瞬間統統都失效了，以百萬美元為單位的財富，就這樣全都一去不復返。

隨著時間流逝，這場詭異的金融危機更加惡化，而且居然沒有任何一位訓練有素又學有專精的對沖基金經理人，能夠弄清楚到底發生了什麼事。災情在星期三攀上高峰，摩根史坦利（Morgan Stanley）一檔名叫Process Driven Trading的大型基金，在一天之內損失了三億美元，另一檔名叫Applied Quantitative Research Capital Management的基金，損失金額更高達五億美元。高盛（Goldman Sachs）有一檔鮮為人知的大型基金Global Alpha，在整個8月上旬的總損失金額，更是上看十五億美元。

然而，道瓊工業指數（INDU）在這段期間內，居然走揚了150點，亦即對沖基金看壞的個股反倒全面上漲。顯然有某個環節發生非常、非常、非常嚴重的錯誤。

高盛在那個星期的尾聲，挹注額外三十億美元的資金，穩住了局勢。這個舉動有效遏止住嚴重失血所引起的短期恐慌，讓金融市場的動盪逐漸平息——起碼足以平穩度過8月剩下的日子。

不過，消息靈通的財經記者沒多久還是嗅到了對沖基金虧損的訊息，大家各憑本事推論這場危機的根本原因。雖然高盛的緊急措施有效撐過眼前的難關，但是大家對危機的成因仍舊各說各話；對沖基金經理人誠惶誠恐的回歸正常運作模式，由衷盼望如同煉獄般的那個星期只是莫名其妙中了邪，而且這場暴風雨已經遠離了。

有些人回想起更早之前一位物理學家說過的話——十七世紀英格蘭股市用大科學家牛頓無法理解的方式崩盤，血本無歸、失去信心的牛頓留下這麼一句話：「我可以計算出天體運行的軌跡，卻算不出人性的瘋狂。」（I can calculate the movements of stars, but not the madness of men.）

結果，對沖基金用跌跌撞撞的方式撐過2007年（8月份那場災難分別在11月和12月陰魂不散，再度上演）。有些對沖基金設法在年底前把帳面虧損攤平，但並不是每一檔基金都能做到這一點；2007年對沖基金總平均報酬率大約是10%，比很多其他投資管道都要來得遜色，更別提要跟其他精打細算的投資計畫相提並論了。值得一提的是，儘管一樣遭受8月份金融市場莫名波動的打擊，西蒙斯大獎章基金的年度報酬率仍然高達73.7%。

隨著2008年逐漸拉開序幕，所有寬客都希望把最糟的情況留在前一年度，只可惜依舊是事與願違。

### 都是寬客惹的禍？

我在2008年秋天開始構思這本書的撰寫，美國經濟在這一年的對沖基金危機之後，緊接著陷入死亡螺旋當中。成立超過一百年的老字號投資銀行，譬如貝爾斯登（Bear Stearns）、雷曼兄弟（Lehman Brothers）都在金融市場崩盤後宣告破產。我跟許多人一樣都無法接受



金融市場崩解的消息，無時無刻搜尋著相關訊息。一則又一則的報導，像是讓我對為數眾多的寬客進行閱兵一樣。

突然間，我在眾多報導中發現了一個不尋常的現象：來到華爾街的物理學家跟數學家，已經把這個金融重鎮給徹頭徹尾改造了。此一現象的意涵非常清楚，華爾街這群物理學家不啻是金融海嘯的禍首。就跟希臘神話的伊卡魯斯（Icarus）一樣，這群物理學家飛過頭後，重重摔下，他們那對蠟做的翅膀是借用自物理學「複雜的數理模型」。這套工具在學術殿堂裡，可以許給他們無窮的名利，可是在華爾街瞬息萬變、血淋淋的考驗下，根本不堪一擊，導致我們現在每個人都要為這個苦果付出代價。

構思這本書的時間點，恰巧是我取得物理學與數學博士學位的時候，也因此，當我意識到物理學家竟然是促成金融海嘯的推手時，自己都感到十分難以置信。我當然知道某些從高中到大學一路攻讀物理或數學的人，在日後轉行成為投資銀行家，我甚至聽過某些研究生受不了華爾街榮華富貴的誘惑而放棄學業，不過我也認識幾位主修哲學跟文學的銀行家，因此我假定：受過物理或數學專業訓練的人，之所以比較受到投資銀行青睞，是因為他們不但具有良好的邏輯思考能力，同時對數字的敏銳度也夠高。我從不認為物理學家是因為真的懂些物理學知識，所以在華爾街比較吃香。

這感覺就有點奇怪了，物理跟金融怎麼會扯在一起呢？被金融海嘯吞噬的基金，沒辦法解釋為什麼物理學跟物理學家能夠在全球經濟體系中呼風喚雨，也沒有人想過我們究竟是憑哪一點，硬把物理學概念套用在金融市場上。如果說我們到目前為止能夠從中得到些許教訓的話，那就如暢銷書《黑天鵝效應》的作者塔雷伯（Nassim Taleb）與部分行為經濟學家所提倡的說法：想要用精緻複雜的數理模型預測金融市場走向，根本是愚不可及，因為人終究不是夸克（quark，組成質子、中子的基本粒子）。

只是這樣一來，反而讓我更困惑了：難道華爾街精明的金融鉅子如摩根史坦利跟高盛，也會被數千名手上拿著電子計算機的騙子給唬弄了嗎？我們可以這麼簡單，就把金融海嘯歸咎給那些不當操作規模高達數十億美元的對沖基金的物理學家跟寬客嗎？

如果這個結局真的源自於一個顯而易見的蠢問題，那麼這些物理學家和數學家最初被委託操盤的原因又是什麼？當初一定有某些具備生意頭腦的人，認為這些寬客真的有兩把刷子。而這正是在各式各樣報導中被忽略的部分，也是我想要打破沙鍋問到底的部分。

### 為什麼物理學家成為華爾街的要角？

這就是本書發想的起點。身為物理學家，我認為找出第一批想到利用物理學分析金融市場的人，會是個不錯的起點。我希望藉此探究最初認為物理跟金融有關的原因是什麼，同時釐清為什麼這個想法站得住腳，使得物理學家成為華爾街的要角。

我探索的旅程包括二十世紀初的巴黎、二戰期間政府的研究機構、拉斯維加斯的賭桌，以及太平洋沿岸的雅痞社區，結果發現：現代金融市場理論（或者廣義的稱之為經濟學）與物理學掛勾程度之深，超乎想像。

這本書的主角是金融界裡的物理學家，談論他們的故事免不了牽涉到近幾年的金融危機，不過危機本身並不是本書的探討主題。這並不是一本研究金融海嘯的作品——相關的著作已經汗牛充棟了，其中不乏專門描寫寬客在金融危機中的角色、以及他們之後如何因應金融危機的書籍。

這本書想要**採取更寬闊的視野探討寬客誕生的過程，並試圖了解「複雜的數理模型」如何成為現代金融市場的骨幹**，更重要的是，我希望這本書能夠**指出未來金融市場發展的方向**，說明為什麼我們應該借用物理學相關領域的新觀點，去解決世界各國不斷遭遇到的經濟問

題。這本書將告訴我們：**以後要如何用不同的思維模式，看待經濟政策。**

### 正本溯源，了解物理學家的推理思路

書中記載的史料讓我相信，物理學家跟他們採用的模型並不是當前經濟問題的禍首——希望你在看完這本書之後，也能夠同意這一點。

不過，這不表示用數理模型詮釋金融市場的做法毫無瑕疵。其實早在金融危機來臨前的那幾年，就已經有許多想法能夠避免危機發生（我會在書裡面舉證相關的例子），只可惜不論是投資銀行、對沖基金、還是政府監管機構，都沒有採信物理學家的建議趨吉避凶。就連算盤打得最精的對沖基金，都只依靠第一代、第二代的科技理論做決策，渾然不覺第三代、第四代的新工具早就已經問世了。

如果華爾街要繼續使用物理學預測金融市場走勢、一如這三十年來一貫做法的話，我們就必須對目前使用工具有哪些致命的缺陷，更加瞭如指掌，還要曉得有哪些新工具可以幫助我們改善現有的缺失。

如果你看待金融市場模型的方式，跟引進它們的物理學家的看法一致，這個前提就不難達成——金融市場再怎麼說，也還是跟所有理工科系一樣，都必須謹慎看待目前主流的理論會不會隱藏著致命的缺失。真正的危機在於**我們廣泛使用物理學的概念，卻忘了以物理學家的思考方式看待問題。**

所幸，在紐約還是有一群沒有忘本的人，也就是文藝復興科技公司，一家絕不聘用金融專家的資產管理公司。2008年的金融海嘯襲擊了為數眾多的投資銀行跟代操基金，除了貝爾斯登跟雷曼兄弟直接宣告破產外，包括保險業巨人AIG、數十檔對沖基金、上百家銀行，不是被迫關門大吉，就是在災難的邊緣搖搖欲墜，就連操作規模高達數百億美元的對沖基金巨擘——城堡投資集團（Citadel Investment Group）也無法倖免。老派的投資作風也一樣遭殃：波克夏·海瑟威



在那年面臨有史以來最大的虧損，每股帳面價值（股票淨值）折損一成，股價也同時腰斬。

不過這一年也不是沒有贏家，西蒙斯的大獎章基金無視身旁傾圮的金融產業，在2008年的獲利達到80%。顯然物理學家在金融領域還是吃得開的。

## 第一章

# 開創一片新天地的種子

巴楔利耶呈現了如何用數理模型詮釋金融市場的做法。

經濟學大師薩孟遜百思不得其解：

自己怎麼會從來沒聽過這號人物呢？

時間拉回到十九世紀末的美好年代（Belle Époque），日新月異的景象，讓巴黎這座城市充滿活力。

在城市的西邊，艾菲爾（Gustave Eiffel）為1889年世界博覽會打造的鐵塔，正逐漸完工；直到今天，艾菲爾鐵塔還是讓居住在它陰影底下的巴黎人，瞧著不頂順眼。在城市的北邊，蒙馬特丘陵的山腳下，一家名叫紅磨坊的新夜總會才剛開張，精采的節目讓英國王儲威爾斯親王也都忍不住，跨海來一探究竟。在城市的中心地帶，那座宏偉、新穎的歌劇院裡，種種無法解釋的現象正透過耳語流傳——從巴黎歌劇院墜落的大吊燈，已經至少造成一個人不幸罹難，民間流言一致認為歌劇院裡有陰魂不散的鬼魂出沒。

從巴黎歌劇院往東走幾個街廓，就會抵達驅動法蘭西帝國運作的心臟地帶：巴黎證券交易所（Paris Bourse）。巴黎證券交易所位於一座稱為布隆尼亞爾宮（Palais Brongniart）的宮殿式建築裡，是拿破崙興建來膜拜貨幣之神所用，四周圍繞著掌管其他領域神祇的雕像，包括司法、商業、農業、工業。恢弘的新古典式圓柱把守著宮殿大門，裡頭巨大的大廳足以容納好幾百位券商經紀人跟交易員，讓他們每天花一小時的時間，在極為奢華的浮雕與充分的日照下，交易固定收益型政府長期公債（rentes），而這筆債款已經為法國成為全球強權的企圖心，挹注資金長達一世紀之久。威風凜凜、氣派非凡的巴黎證券交易所，不但是這座城市的地理中心，同時也是推動世界運轉的中心。

**巴楔利耶走入輝煌燦爛的賭場**

這就是巴楔利耶（Louis Bachelier, 1870-1946）在1892年第一次踏進巴黎證券交易所時，映入眼簾的景象。當時的他才二十出頭，是一個從其他省分來到巴黎謀生的孤兒。巴楔利耶一服完義務役就直接來到巴黎，想要進入巴黎大學接續未完成的學業。他希望自己有朝一日能夠成為數學家或物理學家，不論前途有多麼艱難（家鄉裡還有一個未出嫁的姊姊、跟沒幾歲的弟弟，等著他扶養呢）。

巴楔利耶不久前才剛出售了祖傳的小事業，一時片刻還不用為錢傷腦筋，但是坐吃山空總不是長遠之計，因此當他的同學可以心無旁騖投入學業之際，巴楔利耶卻得半工半讀。所幸巴楔利耶不但有一顆數字敏銳的頭腦，還具備若干商場上的實戰經驗，讓他得以在巴黎證券交易所覓得一職。他暗暗對自己發誓，這只是階段性的權宜做法，金融市場可以占去他的白天，但夜晚時分他就要專心研讀物理學了。情緒緊繃的巴楔利耶，用這種方式說服自己，朝著通往巴黎證券交易所的臺階踏出第一步。

大廳裡滿是鬧烘烘的吵雜人聲。巴黎證券交易所基本上是透過嘶吼的方式進行交易，聚在布隆尼亞爾宮大廳裡的交易員跟經紀人，喊破了喉嚨傳遞買進或賣出的指令，如果不幸被其他人的聲浪淹沒，那就只能透過手勢了。大廳裡還有一群忙進忙出的職員負責確認訂單、傳遞合約跟帳單、處理競標或出售股票及債券等事務性工作。巴楔利耶不但懂得法國金融體系的運作原理，而且知之甚詳；原本一個沉默的大男生、或是一位擁有學者氣息的數學家，待在巴黎證券交易所裡，都會顯得有些格格不入，但是巴楔利耶已經沒有回頭路了。他告訴自己，這就是人生的賭局。

機率論，或者說是用數學方式表達運氣（用更口語的表達方式來講：賭博）這件事，一直是巴楔利耶感到很有趣的課題；如果他能夠把法國金融市場想像成一間輝煌燦爛的賭場，而自己即將從中學習各種賭盤的遊戲規則的話，這份工作看起來似乎也沒那麼不堪了。



所以當巴楔利耶推開交易所大門，走進人群中的時候，口中喃喃複誦著這句話鼓勵自己：「不過是用另一種精心設計的方式賭賭運氣罷了」。

### 巴楔利耶是何許人也？

「這一號人物到底是誰啊？」短短幾分鐘之內，這個問題已經在薩孟遜（Paul Samuelson, 1915-2009，諾貝爾經濟學獎1970年得主）腦海中浮現了兩次。現在時間來到1955年左右，薩孟遜坐在麻省理工學院經濟系的辦公室內，攤在他眼前的是一份半世紀前、由一位法國學者完成的博士論文。薩孟遜非常確定自己從未聽過這位學者的名字；呃，聽起來像是巴切洛、巴歇勒之類的發音吧。薩孟遜翻回論文封面再次確認，噢，原來是巴楔利耶啊。只不過薩孟遜對這個名字還是感到異常陌生。

儘管這本論文的作者是個無名小卒，但是論文的內容卻讓薩孟遜讚嘆不已。在這本五十年前就完成的論文中，巴楔利耶呈現了如何用數理模型詮釋金融市場的做法。薩孟遜看完後的第一個念頭是：自己過去幾年來研究的主題、原本將成為他某位學生博士論文的內容，已經失去開創先河的地位了。不過更讓人感到震驚的還在後頭；巴楔利耶這號人物顯然早在1900年，就已經把最近這幾年只有薩孟遜跟他的學生，才懂得如何運用到經濟領域的數學，都摸透了！

薩孟遜一直認為這些是很晚近才發展出來的數學工具，而且他本人對於一般公認是想出這些數學概念的數學家、以及他們的數學工具，也都能如數家珍，像是韋納過程（Weiner process）、科摩哥洛夫方程式（Kolmogorov's equations）、杜布鞅論（Doob's martingale）等。薩孟遜認為，這些都是發展至今最多不超過二十年的先進數學工具，想不到這些工具全都出現在巴楔利耶五十年前的博士論文中。薩孟遜百思不得其解，自己怎麼會從來沒聽過這號人物呢？

幾天以前，薩孟遜收到了好友薩維奇（Leonard Jimmie Savage, 1917-1971）寄來的一張明信片，這才頭一次聽到巴楔利耶的名字。時任芝加哥大學統計系教授的薩維奇，剛完成一本機率與統計的教科書。薩維奇在寫書過程中，開始對機率理論的歷史感到興致勃勃。當他在大學圖書館蒐羅二十世紀初的機率學研究成果時，無意間發現一本1914年出版、之前從未注意過的教科書。薩維奇隨手翻閱這本教科書之時，很快明白這本書不但包含一些最前衛的機率學理論，其中還有幾章的篇幅專門探討作者自稱為「投機」的課題；精確一點的說法，應該是「應用在市場投機行為的機率理論」。薩維奇接著推論，如果自己以前從來沒看過這本著作的話，他的經濟系同僚應該也不會看過（他猜得一點也沒錯），所以他向各方先進寄送明信片，詢問是否有人曾經聽過巴楔利耶這個人。

薩孟遜雖然從來沒有聽過這個名字，但是他對數理金融很感興趣，他期許自己正在開創一門新的學科，所以他很想要看看這位法國人究竟提出過哪些高論。結果麻省理工學院數學系圖書館裡，竟然沒有這本1914年出版的冷門教科書，不過薩孟遜倒是找到另一份讓他感興趣的作品：巴楔利耶以〈投機論〉（A Theory of Speculation）為標題所撰寫的博士論文。薩孟遜隨即興沖沖的把這篇論文借回辦公室詳加閱讀。

### 卡丹諾首創「賭徒的數學」

巴楔利耶當然不是第一位想到運用數學概念理解**機遇賽局**（game of chance）的人，這份榮耀屬於文藝復興時代的義大利人卡丹諾

（Gerolamo Cardano, 1501-1576）。卡丹諾在十六世紀初，出生在義大利米蘭，他原本是那個時代最富盛名的醫生，就連教皇跟許多國王都期盼能得到他的醫療諮詢。多產的卡丹諾寫了好幾百篇論文，探討主題從醫療、數學到神祕主義，無所不包，不過賭博才是他真正感興趣的活動。卡丹諾嗜賭的項目五花八門，從骰子、撲克牌到西洋棋等，

無一不賭。他在自傳裡透露，自己每天都在賭博，就像是吃飯、睡覺一樣。

中世紀和文藝復興時代的賭博，只是很粗糙的依照「勝算」(odds)派發賭金，跟現代賭馬的簽賭方式相當類似。假設由你坐莊找其他人對賭，你必須用一對數字公告賭局的勝算，譬如說是「10比1」或「3比2」，而這對數字也顯示出：你認為某個事件不可能發生的機率有多高。以「10比1」的賭局為例，代表你花1元的賭金下注；如果對賭的結果由你勝出，你不但可以收回這1元的賭注，對方還要付給你10元當彩金；如果不幸賭輸的話，你只需要把這1元賭注雙手奉上就行了。

不過，這種賭法的本質是建立在莊家片面、主觀認定的賭局結果上，卡丹諾認為一定可以用更嚴謹的方法詮釋賭局，至少可以詮釋一些稀鬆平常的小賭局。為了滿足自己嗜賭的性格，卡丹諾想要把當時的數學概念，套用在自己最喜愛的活動中。

1526年，還只有二十多歲的卡丹諾，寫了史上第一本系統性說明機率理論的著作。卡丹諾在書中專門針對賭骰子進行分析，他首先假定，骰子擲出後出現任一面的機率相等，接下來只要用計數的方式，就可以把各種可能發生的結果統統條列出來。換句話說，擲出一個標準的六面骰子後，只有一種可能會出現5點的那一面，用數學方式表示的話，出現5點的機率是六分之一（在那個年代，賭局的勝算就應該寫成「5比1」）。那麼，擲出兩個骰子後，點數總和是10的機率呢？擲出兩個骰子總共會發生 $6 \times 6 = 36$ 種狀況，其中只有三種狀況的總和是10，所以擲出點數總和為10的機率，就是三十六分之三（在那個年代，賭局的勝算就應該寫成「33比3」）。

以現代的眼光來看，這差不多是小學生程度的分析，其實就連十六世紀的人，也不認為這些結論有什麼好大驚小怪的。任何一位沉迷賭博夠久的賭徒，都會培養出解讀骰子賭局的直覺。不過再怎麼說，



這都無損於卡丹諾成為史上第一位用數學語言詮釋「勝算」這個慣用詞彙的祖師爺。

卡丹諾自己並沒有發行這本著作。也對啊，誰會沒事把自己最佳的下注方式，昭告全世界呢？不過這本書的手稿在卡丹諾過世後，連同其他論文一起被找了出來，因此在卡丹諾完成寫作後超過一個世紀，終於發行成冊。這時已經是1663年了，在這個年代，已經有很多其他人分別陸續提出更進步的機率理論，其中最值得注意的是另一位賭徒的探究。

### 帕斯卡與費馬奠定機率理論基石

這位賭徒是法國作家，名叫德梅雷（Chevalier de Méré, 1607-1684，這是他冒充貴族所使用的假名）。德梅雷對很多問題都有涉獵，但他最渴望弄懂的是，該用什麼策略去玩自己最愛的骰子賭局。賭局內容是猜猜看，連續擲出同一顆骰子會產生什麼樣的結果，比方說，你可能會下注同一顆骰子擲出四次當中起碼會出現一次6點的賭局。當時的人普遍認為，這是一個完全碰運氣的公平賭局。不過德梅雷直覺認為：從頭到尾一直下注一定會出現6點的結果，似乎可以些微的贏多輸少；這就是德梅雷所採取的策略，他也真的因此贏了不少錢。

德梅雷還有第二條下注策略：在同時擲出兩顆骰子的賭局中，永遠下注二十四次內起碼會出現一次同時6點的情況。他以為這個策略應該跟第一條策略一樣穩居上風，不料結果卻讓他槓龜收場居多。德梅雷非常想要弄清楚，這條策略究竟出了什麼問題。

德梅雷的作家身分，讓他時常有機會出席巴黎的藝文沙龍。這種場合的氣氛介於雞尾酒會跟學術研討會之間，是法國上流知識份子的聚會。受過各種教育訓練的巴黎人，對藝文沙龍趨之若鶩，其中當然也包括數學家，因此德梅雷就藉由藝文沙龍這樣的社交場合，向與會的數學家請教他的疑惑。沒有任何一位數學家能解答德梅雷的疑惑，

或者說，沒有人有興趣去找出答案，直到德梅雷請教帕斯卡（Blaise Pascal, 1623-1662）相同的問題為止。

帕斯卡從小就是個天才兒童，會自己動手畫圖，解決許多經典的幾何學問題。等到快二十歲時，帕斯卡已經是當時最有名、由耶穌會教士梅森（Marin Mersenne）主持的藝文沙龍的常客了。德梅雷就是在這個藝文沙龍中認識帕斯卡，雖然帕斯卡當下也無法答覆德梅雷的問題，不過他對這個問題很感興趣，特別是他也同意德梅雷的說法，認為這種問題應該可以用數學解答才對。

帕斯卡旋即投入相關的研究工作，並邀請另一位數學家一起找出答案。那位數學家就是鼎鼎大名的費馬（Pierre de Fermat, 1601-1665）。本業律師、精通六種不同語言的費馬，是一位博學之人，是那個年代數學界的第一把交椅。不過費馬住在距離巴黎六百多公里遠的土魯斯（Toulouse），因此帕斯卡並不認識費馬本人，而是透過梅森教士的藝文沙龍得知這一號大人物。接下來，帕斯卡跟費馬兩人在1654年透過長時間的通信，總算解決了德梅雷的問題，而這一連串的魚雁往返，也奠定了現代機率學理論的基礎。

帕斯卡跟費馬兩人在通信過程中，算出讓德梅雷感到困擾的那種賭局究竟有多大贏面（卡丹諾的分析方式也可以算出這種骰子賭局的獲勝機率，可是在德梅雷對這個問題百思而不得其解的時候，卻沒有人知道這一點）。

帕斯卡跟費馬兩人可以明確指出德梅雷的第一條策略是正確的，因為連續擲出同一顆骰子四次、起碼出現一次6點的機率，的確高於百分之五十；更精確說，是51.7747%。可是，德梅雷的第二條策略就真的不甚高明了，因為同時擲出兩顆骰子二十四次當中起碼出現一對6點的機率，確實只有低於百分之五十的49.14%，那就意味著第二條下注策略會讓德梅雷輸多贏少，不像第一條策略可以輸少贏多。

兩位頂尖數學家的分析結果，對德梅雷來說可真是如獲至寶，讓他從此以後完全依賴第一條下注策略，行走江湖。

起碼對德梅雷來講，帕斯卡跟費馬用數學詮釋的機率很有實用價值。但是這些機率、百分比的數字本身，有什麼意義呢？很多人會直觀的認為，這些數字代表某些事件將會發生的機率，但是背後其實還有一個哲學問題，值得深入思考。

假定擲一枚銅板出現人頭的機率是百分之五十，基本上就表示如果我連續不斷擲銅板的話，其中大概會有一半的次數出現人頭。可是這並不表示，出現人頭的次數恰恰好就是一半！如果擲銅板100次，出現人頭的次數當然有可能會是51次或是75次，甚至也有可能出現100次人頭；亦即從0到100，都是人頭可能出現的次數。

既然如此，德梅雷有必要這麼看重帕斯卡跟費馬算出來的機率嗎？他們兩人甚至沒辦法保證第一條策略能夠穩賺不賠——就算下注連續擲出同一顆骰子四次起碼出現一次6點的贏面超過一半，但德梅雷還是有可能從今以後都只根據第一條策略下注，卻從來沒贏過。這種詭辯聽起來有點荒誕不經，但是機率論（或者再加上物理學）確實沒辦法否定這種情況存在的可能。

如果機率論沒辦法保證某些事件會多常發生，那麼，機率存在的意義是什麼？如果德梅雷心血來潮想到這個問題的話，他可就要等上另一段更長的時間，才能得到答案了。多長呢？半世紀以後。

### 白努利，努力有成

第一位想出「該怎麼詮釋機率數字與事件發生頻率之間的關係」的人，是瑞士數學家白努利（Jacob Bernoulli, 1654-1705）。

時間來到1705年，距離白努利告別人世的日子已經沒多遠了，不過他還來得及告訴我們，如果擲銅板出現人頭的機率是百分之五十的話，那麼只要你擲銅板的次數愈多，則實際上人頭出現的頻率跟百分



之五十之間的差異就會愈來愈小；換句話說，擲一百次銅板出現人頭的頻率，會比只擲兩次銅板出現人頭的頻率，更接近百分之五十。

然而，白努利的說法本身還是隱藏了一個漏洞，因為他還是「用機率的概念」詮釋機率；如果你已經看出這個問題的話，表示你的眼界已經高於白努利了。白努利並不覺得這種說法有何不妥（說老實話，完全克服這個漏洞已經是二十世紀的事情了），而且這個說法基本上已經足以證明：當銅板出現人頭的機率是百分之五十、而你又擲了無限次銅板的話，則其中一定有一半的次數出現人頭。

把這個結論套進德梅雷的第一條策略來看，則只要他在無限次賭局中，都下注「每擲骰子四次起碼會出現一次6點」的話，他大致上可以確信自己有51.7747%的機率可以賭贏。

這就是我們經常聽到的**大數法則**（law of large number），是用來詮釋機率論的最重要概念之一。

帕斯卡本身並不嗜賭，可是賭博這件事卻讓他有機會為數學做出最重要的貢獻，說起來還真有點黑色幽默的色彩。更諷刺的是，他用自己下注的一場賭局，居然是他最廣為人知的事蹟之一。1654年底，帕斯卡不曉得受到什麼感召而改變了人生志向，從此不再埋首於數學研究，改為全心投入詹森主義（Jansenism，十七世紀在法國興起、飽受爭議的宗教運動，強調原罪與救贖的觀念）的宣傳活動，完成許多神學方面的著作。現在我們稱為「帕斯卡賭注」（Pascal's Wager）的推論，就是他在那時期思辯宗教思想所留下的筆記內容。

帕斯卡說，人可以用賭局的型態選擇要不要信奉上帝：用自己的個人信仰，下注對賭上帝到底存不存在，而在下好注、離手之前，賭徒們都有權利先弄清楚賭贏跟賭輸的代價是什麼。帕斯卡的推論如下：如果你賭上帝存在、並且選擇遵守戒律過日子，要是你賭對了，你就能在天堂獲得永生；要是賭錯了，在一了百了之後，其實也不用付出什麼代價。相同的道理，如果你賭上帝不存在、並且棄宗教戒律

如敝屣，就算你賭對了，在人生走到盡頭時，也不會有什麼後續發展；萬一你真的不幸賭錯了，代價可就是萬劫不復了。

帕斯卡認為如果用這種方式思考，要不要信奉上帝這個決定就很簡單了——無神論者遭天譴的代價，實在太可怕了。

### 巴楔利耶拜入龐卡赫門下

雖然巴楔利耶對機遇有一番獨到的見解，但是他一輩子卻總是時運不濟；儘管他為物理、金融跟數學貢獻了許多深具潛力的觀點，但是他卻沒辦法讓這些想法得到學術界最起碼的尊重。每當有任何好兆頭即將降臨在巴楔利耶的身上時，這些好運總會在最後一刻從他指尖溜走。

巴楔利耶於1870年，誕生在法國西北部充滿活力的海港城市勒阿弗爾（Le Havre）。求學階段就看得出是一位前途無量的學生，數理資優的表現，讓他在1888年10月輕易以最優秀的成績自高中畢業，而他的成績單也足以讓他申請進入法國最頂尖的菁英學院（grandes école）——相當於美國長春藤聯盟之類的頂尖大學，專門培育法國的公務員與知識份子。巴楔利耶來自中產階級家庭，經商的背景讓他們家時常有機會跟業餘的學者及藝術工作者往來。如果能進入菁英學院就讀的話，巴楔利耶將踏進專業的知識殿堂，一圓父母親與祖父母輩無法完成的夢。

然而造化弄人，巴楔利耶的雙親在他開始申請學校前雙雙過世，留下一位尚未出嫁的姊姊跟三歲大的弟弟讓他照顧。接下來兩年，巴楔利耶接手掌管父母親留下的酒廠生意，直到1891年受召入伍為止。一年後巴楔利耶退役返回民間，這才有機會重新開啟自己的求學生涯。此時的巴楔利耶已經是一位二十多歲、沒有家庭資助的青年，這導致他的選擇空間相當有限。超齡的他已經無法進入菁英學院就讀，只好退而求其次，進入學術聲望有相當落差的巴黎大學就讀。

巴黎大學是法國當時少數幾所允許教授不授課、專心做研究的學術機構，巴黎大學的教授其實也包含不少當時巴黎最有智慧的學者，因此學生在課堂上還是能得到第一流的教學內容。再一次，巴楔利耶很快在同儕中脫穎而出；雖然他沒有拿到第一名的成績，但是當年極少數成績比他優秀的同學，如郎之萬（Paul Langevin）、黎納（Alfred-Marie Liénard），都是近代物理學史上的著名人物，能有這樣相互砥礪的同儕，自是好事一件。

大學畢業後，巴楔利耶留在巴黎大學攻讀博士學位，他的學術表現吸引當時許多知名學者的注意。之後他開始提筆撰寫博士論文，也就是薩孟遜之後找到的那篇有關金融市場投機行為的博士論文。巴楔利耶的指導教授是龐卡赫（Henri Poincaré, 1854-1912），差不多是法國當時聲望最卓越的數學家與物理學家。

龐卡赫非常適合擔任巴楔利耶的指導教授，不論是純數學、天文學、物理學、還是工程學，龐卡赫都能在這些領域做出具體的學術貢獻。雖然龐卡赫是在菁英學院完成大學學業，不過就跟巴楔利耶一樣，龐卡赫也是在巴黎大學攻讀博士。除此之外，龐卡赫也以採礦員的身分，在學術界以外工作過一陣子；更準確來說，龐卡赫一生中大部分的時間都是一位專業的採礦工程師，最後還當上法國礦業集團的首席工程師。或許就是要類似龐卡赫這種背景的人，才懂得應用數學的重要性，就算應用領域是那個年代並不常見的金融業。反過來講，要不是有像龐卡赫這樣博學的學者給予指導，巴楔利耶大概也很難有機會完成博士論文。更重要的是，多才多藝的龐卡赫已經是法國政界與文化界馬首是瞻的人物，就算學生的研究成果無法被當時的學術界接受，他也有非常充分的影響力替自己的學生主持公道。

### 巴楔利耶「值得推崇」的博士論文

就這樣，巴楔利耶在龐卡赫的指導下，逐步撰寫博士論文，最終在1900年完稿。該篇博士論文的基本論點是：我們可以用機率論，即

十六、十七世紀經由卡丹諾、帕斯卡、費馬等人聯手創造的數學領域，理解金融市場；換句話說，**我們可以把金融市場看成一個規模龐大的賭局**。我們現在當然可以接受股市跟賭場沒什麼兩樣的想法，但是這種說法就等於一再替巴楔利耶獨到的觀點，做見證一樣。

巴楔利耶的博士論文，不論採用哪種學術觀點來衡量，都稱得上是曠世巨著——暫且不管之後發生了什麼事情，這篇論文顯示巴楔利耶已經能充分掌握這個領域的相關知識。可是這篇論文在當時的學術環境卻根本難登大雅之堂，問題當然是出在讀者。巴楔利耶的研究成果，即將開啟接下來的一場學術大變革。想想看，他可是憑一己之力開創數理金融的新領域啊！只可惜沒有任何一位跟他同時期的學者，能夠充分理解他的貢獻究竟有多大。由於欠缺想法相近的學術圈與巴楔利耶相互呼應，巴楔利耶的研究內容只好任由數學家跟偏重數學推論的物理學家進行評斷；現在的數學家跟物理學家，當然能和巴楔利耶的想法產生共鳴，但這已經是後話了。

1900年歐陸的數學家普遍認為，數學這門學科好不容易才從1860年代的學術浩劫中浴火重生（有許多知名的數學定理在那段期間被證明有誤，讓當時的數學家深恐這門學科竟然是建立在不穩固的基礎上），因此深受內省式的保守觀點影響，尤其特別關注能否用嚴謹的方式，適當完成推論的問題。當時的數學家竭盡全力，要確保在學術期刊上發表的眾多新研究成果，不會再像以往一樣隱含重大的瑕疵。

可是，數學界對嚴謹與制式標準的要求過了頭，使得當時主流數學家永遠用懷疑的眼光看待新的研究成果，連帶使應用數學、甚至是物理數學的領域一併遭殃。結果，想要把數學應用到新領域的想法，便是離經叛道得可怕，想要借用金融市場開發新的數學領域，當然是更不受歡迎的做法。

雖然龐卡赫的影響力足以在論文答辯時，替巴楔利耶加持，但是龐卡赫也不得不同意，巴楔利耶的論文主軸實在不是法國當時數學界



的主流，因此沒辦法給予他最頂級的學術評價。巴楔利耶的博士論文最終給評斷為「值得推崇」（honorable），而不是更高一級的「備受推崇」（trés honorable）；由龐卡赫執筆的口試評鑑書上面，雖然載明他對巴楔利耶在拓展新數學領域與深入分析金融市場運作模式，這兩方面研究成果的高度認可，但是以當時的評鑑標準而言，這篇數學博士論文的內容並不是學界探究的主要課題，所以實在沒辦法獲得最高等級的評價。一旦博士論文失去「備受推崇」的光環，巴楔利耶想要成為專業數學家的夢想，也隨之破滅。

在龐卡赫的資助下，巴楔利耶繼續留在巴黎尋找機會，從巴黎大學和其他獨立基金會取得幾筆小額的研究獎金，也讓巴楔利耶在巴黎過著還算愜意的生活，甚至在1909年初取得在巴黎大學授課的資格——只不過這是一份沒有固定薪水的非正式教職。

命運之神在1914年給予巴楔利耶最嚴酷的考驗。巴黎大學委員會在那一年的年初，准許理學院院長替巴楔利耶設立一份專任的常設教職；經過多年的奮鬥，巴楔利耶這一生夢寐以求的職務總算近在咫尺了。想不到在巴楔利耶走馬上任之前，機運來了一個大轉彎：德國軍隊在8月穿越比利時，入侵法國。法國政府下達動員令，全面應戰。9月9日，已經四十四歲、用眾人沒有察覺的方式改變金融市場的數學家巴楔利耶，就這樣應召入伍了。

### 「隨機漫步」理論登場

想像陽光透過窗戶，照進一間滿是灰塵的閣樓。如果從適當的角度加以觀察，你將會看見細小的塵埃粒子在那道光線中，上下舞動，就好像懸浮在空氣中一樣。如果觀察得仔細一點，你將會看到這些時而上升、時而下降的塵埃，位置變動得非常劇烈。如果再更靠近一點觀察，比方說，透過顯微鏡好了，我們就會看見這些粒子沒有一時片刻是處於靜止的狀態。

依照羅馬詩人盧克萊修（Titus Lucretius）在大約西元前60年所寫下的記載，這些看似隨機的移動，代表背後一定有無法以肉眼辨識的更細小微粒——他稱之為「初始元」（primordial bits），從四面八方撞擊塵埃粒子，才導致塵埃在空氣中不定向的到處飄動。

兩千年後的愛因斯坦（Albert Einstein, 1879-1955），依據現代物理學的原子說，提出了類似的推論，不過這套說法比盧克萊修的更加深入：如果真的是因為被其他更小微粒碰撞，才導致塵埃不定向飄動的話，愛因斯坦自認可以透過數理模型，精確推算出塵埃移動的軌跡。

過了六年之後，法國物理學家皮蘭（Jean-Baptiste Perrin, 1870-1942）提出一套在流體內定位懸浮微粒的實驗方法，驗證了這些粒子移動的軌跡，確實如同愛因斯坦所預測的一樣。這些實驗結果總算讓世人不再懷疑原子的存在與否，不過這個時候大概也沒有人還記得，盧克萊修早在幾千年前就已經提出類似的假設了。

愛因斯坦深入研究的粒子軌跡，其實是布朗運動（Brownian motion）的一種形式。布朗運動一詞是因為蘇格蘭植物學家布朗（Robert Brown）在1826年觀察到農作物的花粉，會在水中隨機漂浮而據以命名。數學界多半會用**隨機漫步**（random walk）來描述布朗運動，有時甚至會用**醉漢走路**（drunkard's walk）這種更容易想像的陳述。

假定有個醉漢從墨西哥坎昆市的酒吧大門走了出來，任憑褲子後口袋裡那瓶沒蓋上的防曬油邊走邊滴。他先往前直走了好幾步，然後就開始走得左搖右晃了，就算他之後能稍微抓回重心，但是一定很快就故態萌發。基本上，起碼在這位醉漢搞清楚自己接下來要去什麼地方之前，他往左或往右搖擺的可能性是隨機的；如果在他踉蹌走回旅館之前的這段路（或者就只是朝著某個方向一直前進的話），都一直

維持這樣子左搖右晃的話，則沿路滴下防曬油所形成的軌跡，看起來就會像是在陽光中飄動的塵埃粒子一樣。

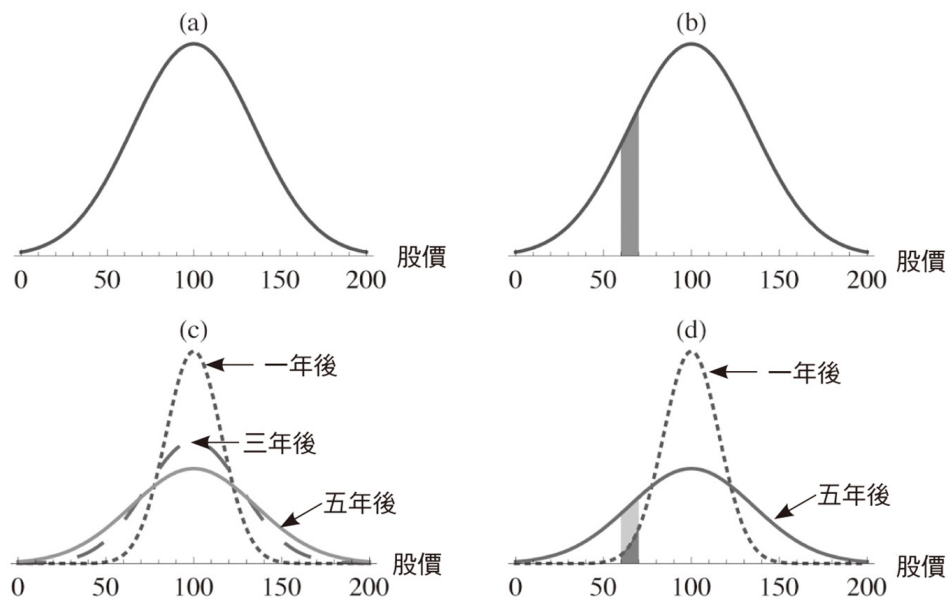
由於皮蘭是根據愛因斯坦在1905年所發表的論文，才開發出之後的實驗方法，因此物理學界與化學界都公認愛因斯坦是第一位用數學模式詮釋布朗運動的科學家。然而事實上，愛因斯坦卻比巴楔利耶整整晚了五年。在1900年所提出的論文中，巴楔利耶就已經用數學式描述了隨機漫步的原理，但是跟愛因斯坦不同的是，巴楔利耶並不怎麼在意被原子撞擊的塵埃微粒會如何隨機移動，他更關心是股票價格的隨機移動。

再想像一下，這位坎昆醉漢終於回到下榻的旅館，並從載客電梯走了出來。現在，在他眼前的是一條往左右延伸的長廊，其中一端是700號房、另一端是799號房，而站在長廊中間某處的他，卻不知道自己該往哪邊走，才能回到自己的房間。他繼續踉踉蹌蹌的前後移動，時而往長廊的某一邊走過去，時而完全朝反方向移動。現在出一個有關隨機漫步的數學謎題，請你回答：假設醉漢踏出的每一步，會有百分之五十的機率讓他朝長廊一端的700號房前進，另外也會有百分之五十的機率讓他朝長廊另一端的799號房前進，那麼在他踏出一百步，或者是一千步之後，他站在某一指定房門前的機率是多少？

我們可以透過這一類的數學謎題，理解金融市場的運作模式。你可以假定股價就跟坎昆醉漢一樣，不論什麼時候，股價都有可能會起起落落，而或漲或跌的兩種機率，則可以直接類比成醉漢在長廊上踉蹌的往700號房或往799號房移動。因此，用數學語言重新詮釋這個問題後，就會變成：如果某支股票從某一成交價開始進行隨機漫步式的波動，則經過一段期間之後，該股票在另一特定價格成交的機率會是多少？或者這樣說，該股票經過一百次、一千次踉蹌的波動後，會停在哪一號房門前面？

這就是巴楔利耶要在論文中回答的問題。他指出：當股價經歷一段給定時間的隨機波動後，變成其他成交價的機率會呈現出眾所周知的**常態分布**（normal distribution）曲線的樣子，也就是所謂的鐘型曲線（bell curve）。望文生義，鐘型曲線指的是一條頂端圓、底部寬，形狀像是一口鐘的曲線。這條曲線的最高點以初始價格為中心，意思是波動後的價格很有可能跟初始價格相去不遠；從曲線中心高峰處愈往外延伸，曲線高度會急遽下降，意思是股價不太容易產生激烈的變動。如果股價經歷隨機波動的時間愈久，則曲線覆蓋範圍不但會變得愈來愈寬，整個高度也會跟著下降，顯示經歷的時間愈久，最終股價跟原先價格有所差異的機率就會隨之增加。此時最好能有一張讓人一目了然的圖示，所以請參照圖一的說明吧。

巴楔利耶模型的機率分布曲線



圖一：只要股價經歷一段時間的隨機波動後，巴楔利耶發現，我們可以用常態分布曲線，推算未來股價成為某特定價位的機率。以股票現價是100元為例，接下來就用左邊這四張圖做為說明。

(a)圖就是用來推算未來股價的常態分布曲線，在此假定是五年以後好了，五年後股價落於



某個特定區間的機率，就是這條曲線之下的特定面積。

所以，(b)圖的陰影區域就代表五年後股價介於60元至70元之間的機率。曲線外觀會隨著你所定義未來時間的長短而改變。

(c)圖中的虛線表示未來一年可能的分布情況，長截線與實線則分別表示三年後與五年後的情況。

你會看見如(d)圖所顯示的，只要時間拉得愈久，曲線就會變得愈平緩，代表未來股價跟目前100元價位不同的機率愈來愈大。(d)圖實線下方的陰影區域，表示五年後股價介於60元至70元之間的機率，明顯比虛線下方用來表示「未來一年股價介於60元至70元之間的可能性」的陰影面積，來得大些。

令人難以置信的是，把股價波動比喻成隨機漫步，其實是相當晚近的想法，而巴楔利耶則是史上第一位提出這個概念的人。就某種程度來講，這個概念聽起來還滿瘋狂的（這或許解釋了為何之前沒有任何人提出過吧）。

這並非無的放矢，譬如你可能就會這樣反駁：我相信數學推論的結果，如果股價真的是隨機波動的話，隨機漫步理論確實是個既完整又有創意的說法，但是我們怎麼可以假定股價會隨機波動呢？股價走勢當然會受利多消息刺激而漲，或隨著利空消息而跌，這可一點也稱不上是隨機。因此，巴楔利耶以「股價在一段時間內的上漲機率，完全等同於下跌機率」做為基本假設，根本就是胡說八道。

### 提出「效率市場假說」的第一人

其實巴楔利耶並沒有迴避這樣的想法。本身就非常熟悉巴黎證券交易所如何運作的巴楔利耶，當然也很清楚市場訊息對各種證券價格的影響有多麼強烈。回顧歷史上的任一片段，我們都能夠輕易指出當時市場走勢與利多、利空消息之間的連動關係，不過巴楔利耶有興趣想要了解的是：如何用機率估算未來的股價，因為你我都無法預知未來會受哪些訊息影響。

我們的確可以根據目前已知的事物，推測出未來可能發生的某些事件，就好像特別善於利用體育賽事或選舉結果下注贏錢的賭徒一樣，這形同針對這些偶發事件的不同結果，做出正確的預測。那麼，市場交易行為難道不會受**可預測性**（predictability）的影響嗎？巴楔利

耶的說詞如下：所有可以被預測到的未來事件，其實都已經反映在當前股票或債券的交易價格上了。換句話說，如果你有理由相信未來發生的某些事件會推升微軟（Microsoft）的股價，比方說是開發出一種新的軟體，或者是贏得某個重要的專利權訴訟案；既然你已經預期未來股價會繼續走揚，相對於那些不認為這些利多消息會發生的投資者而言，你應該會願意在當下，花更多錢買進微軟股票。所以，未來的利多消息很有可能推升現在的股價，而未來的利空消息也很有可能打壓現在的股價。

如果巴楔利耶這套推論方式是正確的，則股票價格走勢一定是隨機的。想像一下在某一特定價格成交，代表什麼意思？這代表兩個人（一個是買方，一個是賣方），總算在這個關鍵時刻對成交價格達成協議。此時買賣雙方不但都檢視過可取得的資訊，也各自在心目中標定出該股票應有的價值。更不能忽視的是：買方之所以會願意用成交價買進股票，根據巴楔利耶的推理邏輯，是因為他認為未來股價可能會繼續走揚；另一方面，賣方之所以也願意用成交價出脫持股，則是因為他認為未來股價可能會開始下跌。

再把這個推論往前延伸：如果市場是由許許多多掌握資訊的投資者所組成，而每分每秒都有投資者對當下的成交價格達成協議的話，則任何一支股票的現價，都相當於把未來各種可能都考慮在內的價格。在這個價格下（假定每個人只買賣一張股票），掌握資訊看好未來股價上漲的投資者人數，恰好跟掌握資訊卻看衰未來股價的投資者人數一樣多；換句話說，任何一個時點的股票現價都表示，在當下所有可取得的資訊都指出，未來股價上漲或下跌的機率一樣是50%。

如果正如同巴楔利耶的論證，市場運作模式一定是這麼一回事的話，則隨機漫步的假設非但一點也不瘋狂，甚至還是維繫市場運作的必備因素。

巴楔利耶看待市場的方式，也就是我們現在所謂的**效率市場假說**（efficient market hypothesis），其基本觀點是：市場價格既然已經整合了所有可取得的資訊，因此一定會反映出交易標的之真正價值。

雖然巴楔利耶是有史以來第一位提出這個見解的人，但是就跟他對於金融市場的其他深入洞見一樣，並沒有多少讀者了解這個概念有多麼重要。之後芝加哥大學經濟學家法馬（Eugene Fama, 1939-，諾貝爾經濟學獎2013年得主）在1965年再次提出效率市場假說時，可就獲得廣大迴響了。時至今日，這當然還是一個充滿爭議的假說。一部分經濟學家，特別是所謂**芝加哥學派**（Chicago School）的學者，堅信這個假說毫無疑問是市場運作的基本原則。

但是我們不用深入思考，就會發現這實在不是一個可靠的想法。譬如說，這個假說成立的其中一個結果就是：市場上將不會再有投機炒作，因為投機炒作的行為只有在某些商品價格不再反映出它們實際價值的時候，才會發生。但只要你還記得二十世紀1990年代末到二十一世紀初的網路公司（dot-com）榮景與泡沫，或者是你從大約2006年起，想要在美國賣房子的話，你就會知道市場價格的變動，不會像芝加哥學派想要告訴我們的那麼理性。說實在的，我所認識的大多數專做當日沖銷的營業員，都把這個想法當作笑話看待。

不過話又說了回來，就算市場運作得不是那麼有效率（這點應該毫無疑問），就算商品價格有時候跟交易標的之實際價值差了十萬八千里（這倒是經常發生），效率市場假說仍舊提供想要了解市場如何運作的研究者，一探究竟的依據。

效率市場假說是一個理想化的假設，就好像高中物理只能在一個沒有摩擦、沒有重力的理想世界中運作一樣。這樣的世界當然不是真實的世界，但是簡化的假設卻有助於我們深入探索，解決現實狀態下難以處理的棘手問題。一旦你有辦法處理簡化過後的難題，接著你就可以開始探討這些簡化假設有多偏離現實。例如，你想知道兩個冰上

曲棍球的橡皮圓盤，在溜冰場上互相碰撞之後會發生什麼事，無摩擦力的假設並不會帶給你多大的麻煩；相反的，要是你根據無摩擦力、無重力的假設而放心從腳踏車上跌下來的話，等著你的可就是傷痕累累了。

這就好比試著建立金融市場的模型一樣：巴楔利耶先以類似效率市場假說的概念起步，並做出令人讚嘆的推論。接下來，巴楔利耶留給後代想要了解金融市場研究人員的工作是：

第一、弄清楚效率市場的假設會在什麼情況下失靈；

第二、當效率市場的假設失靈時，要找出其他能夠了解金融市場的新方法。

### 薩孟遜何以慧眼識英雄

事後來看，薩孟遜教授大概是收到薩維奇的明信片後，唯一真的花時間去認識巴楔利耶的收件人。所幸薩孟遜不但高度認可巴楔利耶的想法，也有足夠的影響力推廣他的新發現。巴楔利耶探討投機行為的論文，全部成為薩孟遜麻省理工學院學生們必讀的教材，巴楔利耶也透過薩孟遜師生的傳播，開始廣為人知。

當薩孟遜的同僚庫特納（Paul Cootner, 1930-1978）在1964年彙編《股票價格的隨機性》一書時，開宗明義把巴楔利耶博士論文的英譯稿列為第一篇文章後，就此奠定了巴楔利耶在相關領域開山祖師爺的地位。在庫特納彙編的論文集問世之前，已有許多學者各自提出金融市場隨機漫步假說的精進想法，然而庫特納毫不含糊的把所有功勞歸給巴楔利耶。依照庫特納的說法：「（巴楔利耶的）研究成果如此傑出，使得價格投機性的概念在剛萌芽時，就綻放出掩飾不了的光芒。」

我們可以從很多角度，說明薩孟遜是挖掘巴楔利耶的想法、並且能有效傳播的理想人選。在1970年獲頒第二屆諾貝爾經濟學獎的薩孟遜，是二十世紀最有影響力的經濟學家之一，諾貝爾獎評選委員推崇



薩孟遜「提升經濟學做為一門科學的分析水準，將數學嚴謹的特性導入經濟學中」，一針見血點出薩孟遜的貢獻。

薩孟遜就讀芝加哥大學和哈佛的研究所時，專攻的都是經濟學。但是他在哈佛當研究生時，遇見了物理數學家兼統計學家威爾森（Edwin Bidwell Wilson, 1879-1964），開始深受威爾森數理思路的影響。當時威爾森正在哈佛公共衛生學院教授「生命統計」（vital statistics），之前已經以物理學家及工程學家的身分，在麻省理工學院度過學術生涯的頭二十年了。

威爾森本人則是美國物理數學學界最偉大學者吉布斯（Josiah Willard Gibbs, 1839-1903）的閉門弟子。1863年自耶魯大學畢業的吉布斯，成為美國第一位工程學博士，最重要的成就是替後人奠定熱力學與統計力學的研究基礎，使我們可以用微觀方式，說明尋常事物如水盆裡的水、或是汽車引擎內部的運作模式。

在威爾森的指導下，薩孟遜也成為吉布斯學派的一員，從他在1940年廣泛引用吉布斯統計熱力學概念完成的博士論文，就可以看出他想用數學語言重新詮釋經濟學的企圖心。熱力學其中一個主要目標，是描述組成常見事物的微小粒子，如何總和成較大規模的物體，主要分析方式是釐清溫度、壓力這些個別粒子不應受其影響的變數，為什麼反而可以用來描述諸多微小粒子集合後所呈現的集體特徵。

薩孟遜指出，經濟學的本質頗有異曲同工之妙：經濟體建立在每個人日常生活中瑣碎的經濟決策上，想要了解大規模的經濟體，也就是總體經濟學，就要先界定描述整體經濟特徵的變數有哪些，比方說通貨膨脹率，然後再找出這些變數和組成經濟體的每一個人會產生什麼樣的交互作用。

薩孟遜隨後於1947年，把在哈佛發表的博士論文寫成一本經典著作，也就是我們所熟知的《經濟分析之基礎》。

薩孟遜的這本書在學術界，發揮了當年巴楔利耶未曾達到的震撼效果；在巴楔利耶求學的時候，經濟學甚至還沒被當成一門正式的學科看待。十九世紀的經濟學，基本上只是當成政治學的一個分支，數理論證直到1880年代才開始出現在經濟領域，而且只是用來比較世界各國的經濟表現。因此在巴楔利耶撰寫博士論文的時候，基本上還沒有一個正式的經濟學領域，可以讓他大顯身手。即便那時候有極少數的經濟學家，大概也沒有任何一位能看懂巴楔利耶數學知識的精妙之處。

經過四十多年的發展後，經濟學逐漸成為一門正式學科，早期為了衡量總體經濟表現的計量分析，也逐步演變成用更精確的模型，追蹤不同經濟變量關連性的學問。這得歸功給美國第一位經濟學家、同時也是吉布斯在耶魯大學的另一位學生費雪（Irving Fisher, 1867-1947）。

美國的經濟學研究在二十世紀頭十年，其實並不盛行，要不是第一次世界大戰期間，各國政府為了制定能夠提高生產力的政策，美國經濟學界這才獲得歐洲各國政府些許的研究資助。直到1930年代初期有效對抗經濟大蕭條的表現，才讓經濟學開始綻放耀眼的光芒。那時候，橫跨大西洋兩岸的歐美政治領袖，發覺世界經濟局勢朝衰退、惡化的方向發展，開始積極尋求經濟學家的意見做為對策，致使經濟學的研究經費在短時間之內迅速暴增，連帶在政府部門與學界創造了不少職缺。薩孟遜就是在這股看重經濟學的新浪潮蓬勃到極致之際，來到哈佛，所以當《經濟分析之基礎》發行問世的時候，已經有為數不少的經濟學者，都看得懂書裡談論的內容有多重要。這本書跟後續改編成的教科書，也跟著成為史上銷路最好的經濟學書籍，從而讓其他人有機會好好品味巴楔利耶早在半世紀之前，就提出來的真知灼見。

### 巴楔利耶的貢獻所在

讓我們用比較現代的語彙，詮釋巴楔利耶博士論文的貢獻。巴楔利耶建構了一個用來理解股價如何隨時間變動的模型，姑且稱為「隨機漫步模型」好了。

**模型**（model）這個物理數學字眼，在1930年代隨著丁伯根（Jan Tinbergen, 1903-1994）從物理學界轉往經濟學界發展，而逐漸成為經濟學慣用術語。（薩孟遜是第二屆諾貝爾經濟學獎得主，那麼第一屆呢？丁伯根就是其中一位。）

不過，「模型」在物理學界早就是耳熟能詳的詞彙，意指某些成熟度還不足以真正成為物理學**理論**（theory）的概念。以物理學的標準來看，所謂理論必須要能夠精確、完整描述出現象的特徵；只能概略描述物理過程或是系統運作方式的，就叫模型。丁伯根把模型一詞轉介至經濟學領域，用意也相去不遠，只不過丁伯根專門用模型說明各種經濟變數之間的關係，譬如利率水準與通貨膨脹率之間的關係，或單一企業內薪水級距跟整體生產力之間的關係（丁伯根曾經說過，如果一家企業薪資待遇最高與最低之間的差距超過五倍的話，該企業的生產力就會降低；這是今天很多企業遺忘了的金科玉律）。不像物理學家通常會汲汲於提出論述完整的理論，數理經濟學家幾乎鎮日都只跟模型為伍。

庫特納在1964年彙編出版《股票價格的隨機性》之時，經濟學界已經普遍接受市場價格隨機漫步的特性，很多經濟學家也都同意巴楔利耶才是這個想法的始祖。但是，隨機漫步的特性其實並不是巴楔利耶博士論文想要獲致的結論，那只是他想要推導出最終目標「選擇權訂價（option pricing）模型」的先期作業而已。

選擇權是一種衍生性金融商品，擁有選擇權的人可以在未來的某個時點〔以美式選擇權為例，在到期日（expiration date）之前的任一時點皆屬之〕，依照一個預先設定好的價格——履約價格（strike price），買進或是賣出股票、債券之類的特定證券。當你購買一個選

擇權的時候，你並不是直接買下標的證券，你只是買了一個讓你用現在先講好的價格，在未來交易證券的權利。換句話說，選擇權的價碼應該跟未來買進（或賣出）某種證券的權利的價值有所關連。

即使是1900年投入金融市場的人，也都知道選擇權的價碼一定跟標的證券的現值、以及未來的履約價格有關。我們以當前熱門的Google股票為例，如果Google每股股價是100美元，而我擁有的選擇權可以讓我以每股50美元的代價購買Google股票，則這份合約對我的價值至少是每股50美元，也就是我立即執行合約、用折扣價買進Google股票，再去市場拋售套利的價差。反過來說，如果我所擁有的選擇權是用150美元一股的履約價格買進Google股票，則這項權利對我來說就毫無價值了，除非Google的股價可以攀升到150美元以上，那就另當別論了。

### 初探「選擇權訂價模型」

行筆至此，提醒一下各位讀者，我們能夠像這樣掌握現在跟未來兩種股票價格的差異，只是基於假設。回歸現實的話，我們究竟該如何認定，未來的某種權利可以換算成多少現值？

巴楔利耶告訴我們，可以依據公平賭局的方式，設定選擇權價格。依照機率論的定義，所謂公平賭局，代表每個參與的玩家可以獲得的平均報酬率是「0」，也就是當賭局不停重複進行下去之後，每位玩家總平均下來，應該只能夠損益兩平。至於所謂不公平賭局，則代表其中有某位玩家，長期下來注定要陷入只輸不贏的處境。巴楔利耶認為選擇權本身就是一場賭局，賣出選擇權的人要賭：在賣出選擇權至到期日為止的這段期間內，標的證券的價格會低於履約價格。賣方賭贏的意思是：因為賣出選擇權而獲利。相對的，選擇權買方要賭：標的證券的價格在到期日之前的某一天，會高過履約價格，這樣買方就能立即執行選擇權，並將標的證券拋售套利。

這樣一來，選擇權到底該值多少錢？按照巴楔利耶的說法，選擇權的價碼應該要讓這兩種賭法，形成一個公平的賭局才行。

要釐清一個賭局是否公平，通常我們需要先知道各種結果的機率，還要知道各種結果造成的利得（損失）會是多少。選擇權的利得（損失）很容易估算，也就是標的在證券市場的價格與履約價格之間的價差。另一方面，以隨機漫步模型為基礎，巴楔利耶也能估算出標的證券的市場價格在到期日之前高過（或低於）履約價格的機率。只要把這兩個元素放在一起，巴楔利耶就能算出選擇權的合理價碼該是多少。好啦，大功告成！

還有一個值得注意的重點。我們通常會聽到「證券市場隨機漫步的特徵，使得市場走勢難以預估」的說法，這種說法很符合直覺，巴楔利耶自己也清楚知道這一點。隨機漫步模型告訴我們：某檔股票究竟會漲會跌、某種投資組合能否獲利，都是沒辦法預測的；但是反過來說，正因為市場價格會隨機波動，因此我們可以精確預測某些市場的特徵。

市場的隨機性，讓我們可以依據大數法則（也就是白努利發現的機率與頻率之間的數學關係），使用巴楔利耶的模型進行預測，從而得知市場長期的走勢為何。這種預測無法遂行市場上直接的投機行為，沒有辦法讓投機者掌握哪幾檔股票會漲、哪幾檔股票會跌。但是這並不意味，統計預測對投資人一點用處也沒有；投資人應該牢記，巴楔利耶的選擇權訂價模型是建立在「標的證券的市場價格會隨機波動」的假設上。

這表示，儘管選擇權訂價的算式無法讓你直接賺到翻掉，但是你還是能透過相關資訊進行投資決策，進而在金融市場中掌握先機。可惜巴楔利耶沒有清楚告訴我們，選擇權訂價模型跟後續的交易策略有什麼關連，這大概就是巴楔利耶的博士論文重出江湖之後，選擇權訂價模型受到經濟學家注意的程度，遠不如隨機漫步模型的原因之一。



另一個原因是選擇權在他完成博士論文後很長一段時間，都不是盛行的交易標的，以美國為例，二十世紀大多數時間的選擇權都屬於非法交易，因此就算1950、60年代的經濟學家已開始注意到隨機漫步模型，但是選擇權訂價模型依舊被打入冷宮。這個問題要等到1960年代末、70年代初，由其他人推動的兩波改革，才讓巴楔利耶的選擇權訂價模型，成為奠定財富基礎的金雞母。

### 巴楔利耶領先當代太多了

巴楔利耶之後在第一次世界大戰中倖存，並於1918年12月31日自軍中除役。不過，等他回到巴黎後，卻發現巴黎大學的職缺已被取消了。儘管如此，巴楔利耶的總體運勢在戰後，仍舊開始有所翻揚。

由於很多前程似錦的年輕數學家都在戰役中陣亡了，各大學的教職都亟需補充新血，巴楔利耶從退伍後的第一年（1919年）開始、一直到1927年，就不斷在各大學擔任客座教授，從法國東部的貝桑松、第戎，一直到西北部的雷恩，都有他前往授課的足跡。雖然這些地方的大學在學術界都不算特別具有聲望，不過巴楔利耶卻能因此獲得當時在法國並不常見的給薪教職。

巴楔利耶在1927年，終於獲得貝桑松大學正式的教授聘書，他也就在當地一直任教到1937年。從教職退休後，巴楔利耶用他一生中的最後九年，回過頭重新審訂、發表自己早年學術生涯的著作，不過他一直都沒再發表任何新的觀點。從晉升為正式教授一直到過世為止，巴楔利耶在這段期間只有發表過一篇新的論文而已。

有一起發生在巴楔利耶教職生涯尾聲的事件，值得一提。這起發生在1926年（也就是巴楔利耶成為正式教授的前一年）的事件，讓他最後幾年的教職生涯蒙上一層陰影，或許可以說明為什麼他從此之後幾乎不再發表新的論文。

巴楔利耶在那一年，向已經任教多年的第戎大學申請常任教職。在審查作品的過程中，一位被巴楔利耶所使用數學符號給弄得頭昏腦

脹的同僚，堅信自己找到巴楔利耶研究上的漏洞，並把巴楔利耶的論文寄給另一位更年輕、更知名的法國機率論學者萊維（Paul Lévy, 1886–1971）評斷。收到來信的萊維，只看了對方宣稱有誤的那一頁論文，就同意這位第戎大學的數學家說得沒錯。此舉導致巴楔利耶成為第戎大學的黑名單。

得知自己的申請是因為萊維而被打回票的巴楔利耶，怒不可遏，旋即寫了一封信批評萊維根本沒弄懂自己的論點，就惡意斬斷了自己的學術生涯。雖然巴楔利耶一年後就在貝桑松獲聘為正式教授，但是這起事件的傷害已經造成，質疑巴楔利耶治學能力的聲浪並未因此平息。

所幸天無絕人之路，萊維在1941年讀到了巴楔利耶所發表的最後一篇、主要探討布朗運動的論文。布朗運動也是萊維當時正在鑽研的主題，而這篇論文精采的論述，讓萊維驚為天人。萊維一方面立刻提筆寫信給巴楔利耶，另一方面也回過頭去看巴楔利耶早年的作品，這才發現不是巴楔利耶的論文有誤，而是他自己把當年的問題給搞錯了；雖說巴楔利耶所使用的數學符號與非正式語法，也的確讓那篇論文不太好懂，但整個推論基本上是正確的。收到萊維來信的巴楔利耶，最後也跟對方一笑泯恩仇，這時候大概是1942年了。

## 大師——亮相

巴楔利耶的作品在二十世紀初期，受到許多鑽研機率論的知名數學家引用。不過根據他跟萊維之間往來的信件來看，很多跟巴楔利耶同時代最具影響力的法國學者，甚至包括不少研究領域跟巴楔利耶專長類似的數學家，要不根本沒聽過這號人物，要不就是認為他的作品無關緊要，甚至是錯的。

如今，我們已經可以看出巴楔利耶的想法有多麼重要了，顯然巴楔利耶的研究成果超越他所屬年代太多了，因此他的想法要等到他過世後不久，才由薩孟遜跟他的學生群端上檯面；或者是由其他像巴楔

利耶這樣、從別的領域跨進經濟學的學者，將之發揚光大，比方說是數學家曼德布洛特（請見第三章）跟天文物理學家奧斯本（請見下一章）。

時局大不同了，學術界跟金融市場兩方面的進展，已經讓這些晚近的大師，可以享有巴楔利耶生前從未擁有過的高知名度。

## 第二章

# 逆流而上的鮭魚

奧斯本採用不同的時間尺度，  
研究鮭魚逆流而上的過程，  
他突然想到金融市場就是另一個兼具兩種波動的系統。

奧斯本（Matthew Maury Osborne, 1916-2003）的媽媽是一位閒不下來的園丁，也是一位勤儉持家的媽媽。住在美國維吉尼亞州諾福克市的她，會到住家附近的牧場收集馬糞，為花園施肥，而不是花錢購買化學肥料。在她眼中沒有遊手好閒這一回事，凡是有哪個孩子被她逮到無所事事、在一旁偷懶，她一定有辦法馬上指派新的工作給他們：去陽臺刷油漆呀、去剪草坪，去挖地、把土壤鬆一鬆。

奧斯本小時候還滿喜歡這些勞動工作的。刷油漆跟挖地鬆土都很有趣，除草之類的工作雖然比較無聊，但是小奧斯本還是認為總比晾在一旁不知道該做什麼，來得好玩。所以只要他覺得無聊的時候，他都會去問媽媽有什麼需要幫忙的。小奧斯本的媽媽也從沒讓他失望，一定有辦法讓他忙得不可開交。

有一天，小奧斯本的媽媽看到屋外有一匹馬，拉著一輛賣冰淇淋的小推車經過；換句話說，朝小推車反方向、沿路找回去的話，一定可以找到許多新鮮的馬糞。「你去路上把馬糞收一收，回家後用水混合攪一攪，再拿去花園澆在菊花上面！」媽媽簡單明瞭的交代完任務。

不過這回，小奧斯本可有點不情願了。這時候差不多接近正午時分，小奧斯本的朋友都在住家附近玩耍，看到沿路收拾馬糞的小奧斯本，讓那些小傢伙樂不可支，大聲嘲弄他。小奧斯本儘管羞紅了臉，還是盡職的把沿路的馬糞裝進桶子帶回家，再依照媽媽的指示，拉條水管來製作天然肥料。攪動馬糞的小奧斯本，原本就已經被這個臭烘烘的粗活搞得老大不爽，結果桶子裡的馬糞居然濺得他一身髒，這一

刻就是小奧斯本人生重要的轉折點：滿身爛馬糞的小奧斯本下定決心，從此以後絕對不再問其他人自己該做什麼，他要找自己有興趣的工作，自己做自己的。

### 奧斯本跨領域自主研究

長大後踏上科學研究這條路的奧斯本，沒有忘了小時候的誓言。他一開始先接受成為天文學家的專業訓練，致力於計算出行星跟彗星的軌道，不過他並沒有因為所學領域而劃地自限。

在美國正式參與第二次世界大戰之前不久，從研究所畢業的奧斯本，進入美國海軍研究實驗室服役，專門研究水下聲納與爆破的相關問題。儘管跟原先所受的天文訓練八竿子也打不著，不過卻是奧斯本自己相當感興趣的領域。直到戰爭結束為止，奧斯本也的確完成了好幾項不同的研究計畫，譬如1944年他就寫了一篇探討昆蟲翅膀空氣動力學的論文。話說昆蟲拍動翅膀的升力，看似無法支撐軀體的重量，而在海軍服役的奧斯本這次也學乖了，反正自己多的是時間，那就先斬後奏，自己主動研究起昆蟲飛行的問題好了。奧斯本還真的研究出了個名堂：他成為第一位把昆蟲拍動翅膀所產生的升力與阻力一併納入考慮的研究者，這樣就可以充分解釋昆蟲為什麼會飛、如何控制飛行方向的問題了。

第二次世界大戰結束後，奧斯本研究的課題愈來愈多。他有一次直接找上海軍研究實驗室的頂頭上司，劈頭告訴對方，每個研究人員每天只要花兩個小時，就能把政府的交辦事項搞定。你可以想像，這對主管來說是多麼狂妄的語氣，沒想到奧斯本還接著加足油門繼續說，以他的水準來講，就算只花兩個小時處理日常公務，都還嫌太多，所以他想要把時間用在研究自己感興趣的問題上。奧斯本還跟上司表明，自己新的研究課題可能跟海軍感興趣的領域一點關係也沒有，但是無論如何，他還是想要爭取自己的研究自主性。令人難以置信的是，奧斯本的老闆只有淡淡回了一句：「那你就放手去做吧。」



奧斯本最終待在海軍研究實驗室幾乎整整三十年。自從上述那段跟老闆的對話後，他確實只全心全意研究自己感興趣的課題，範圍包括廣義相對論、量子力學、深海洋流等。雖然海軍多半無法應用，或者說是無法直接應用他的研究成果，但是海軍研究實驗室從未間斷資助奧斯本的研究生涯。其中，奧斯本最廣為人知、最具有影響力的研究成果，是另一個完全不同領域的課題：1959年發表一篇以〈股票市場的布朗運動〉為標題的論文。雖然巴楔利耶早在六十年前，就針對同一主題寫了一篇博士論文，不過巴楔利耶的著作對這個年代大多數物理學家跟金融業者來講，仍舊相當陌生（當然不包括與薩孟遜有交集的一小群人），因此奧斯本在這篇論文主張物理現象跟金融市場有所關連的觀點，就顯得相當新穎，很快吸引了學術界跟華爾街金融圈的注意。

### 股票市場的布朗運動

不論從哪個角度來看，巴楔利耶的博士論文都無愧為天才之作。以物理學的角度來看，巴楔利耶預測出五年後愛因斯坦的一部分最有名的研究成果，即探究布朗運動的論文——之後被用來證明原子確實存在，從而開啟了科學技術的新紀元；以數學的觀點來看，巴楔利耶提出完備的機率論與隨機過程的理論，讓其他數學家足足要花上三十年，才追得上他；以金融市場數理分析師的角度來看，巴楔利耶的表現更是鶴立雞群，無人能及。

我們很難在其他領域找到一位前不見古人、只靠自己就能把理論架構得如此完備的例子。如果天理昭彰的話，巴楔利耶在金融圈的地位，應該要相當於牛頓之於物理界的地位。只不過巴楔利耶終其一生命運多舛，而且居然還是因為學術界無法欣賞巴楔利耶無限創意的緣故。

過了幾十年之後，在政府轄下實驗室工作的奧斯本，卻能夠盡情發揮，只鑽研讓自己感興趣的議題。與巴楔利耶一生困頓的處境大不

相同，凡是自己想要深入研究的課題，奧斯本都能夠擺脫外在環境的束縛。不過他們兩人還是有許多共通點：兩個人的創造力都高到令人難以置信，都有能力用前人所未見、具有原創性的觀點思考問題，而且都能夠展現妥善處理研究課題的技巧。差別只在：奧斯本碰巧一頭栽入巴楔利耶博士論文的主題（也就是如何預測股票價格），並在最後提出高度近似的研究成果時，整個學術圈的大環境已經不一樣了。

〈股票市場的布朗運動〉確實是一篇少見的論文，不過1959年的美國已經很能接受類似的觀點，甚至還相當鼓勵奧斯本這類物理學家，針對類似的問題進行研究。理由很簡單，正如同奧斯本自己提到的：「物理學家基本上不會胡說八道。」究竟是什麼原因，造成大環境的改變呢？

### 尼龍的啟示

美國女性在1939年紐約世界博覽會中，第一次看到尼龍。過沒多久，尼龍就成為世界上最暢銷的商品之一：一年後的1940年5月15日是尼龍絲襪在紐約正式開賣的第一天，結果一天之內就創下七十八萬雙的銷售佳績，一個星期後的總銷售量衝上了四千萬雙。根據發明尼龍並加以量產的杜邦（Du Pont）公司統計，截至1940年底為止，光是在美國就賣出了六千四百萬雙尼龍絲襪。尼龍不但張力強韌又輕盈，還能夠防水並有效隔離汙漬，這些特性都跟早些年主要用來生產襪子的蠶絲纖維很不一樣，更別說尼龍的價碼比蠶絲和羊毛都便宜多了。在此引用當年《費城紀要》（*Philadelphia Record*）日報的評價：尼龍問世的革命性影響，甚至比火星入侵地球更加可觀。

尼龍的革命性效果，並不局限於女裝時尚或是戀物癖的收藏品。杜邦公司發明尼龍的研究方式，以及許多於1930年代在企業內部推動研究計畫的其他公司，包括奇異（GE）、南加州愛迪生（SCE）、斯培瑞陀螺儀（Sperry Gyroscope）等公司，再加上史丹福大學、加州大

學柏克萊分校這類頂尖學術機構，已經悄悄在美國帶來一股新的研究風潮。

1920年代中期的杜邦公司，採取的是鬆散的組織架構，幾個大型部門各自獨立營運，每個部門都有自己所屬的研究單位。雖然企業總部本身也有一個小規模的研究單位，不過只能算是杜邦公司草創時期遺留下來的產物而已。這個小型研究單位的負責人是史汀（Charles Stine），眼看公司到處都有大型、各有專長的研究單位，可以應付各部門的營運所需，是否還需要額外保留企業總部的小型研究單位，就成為史汀的頭痛問題。如果要存活下去的話，史汀就要能明確指出這個單位存在的意義是什麼。

史汀在1927年終於想到一個解決方案，得以在企業總部建立一支由優秀人才組織成的堅強研究團隊。當時杜邦公司各部門研究單位的主要任務，是以該部門立即的營運需求為導向；史汀這支團隊則打算著重於長期、遭到其他單位忽略的研究計畫，期望研究成果能滿足產業界未來的需求。史汀還從哈佛大學延攬化學家卡羅瑟斯（Wallace Carothers, 1896-1937），擔任這支研究團隊的主持人。

卡羅瑟斯帶領一群由年輕博士組成的研究團隊，在接下來三年不辭辛勞，努力研究、記錄各種聚合物（polymer）的特性。聚合物是把許多單一化學結構，稱為單體（monomer）的分子，串連起來所組成的新物質。研究團隊在這個初期發展階段，可以完全不用在意商業上的考量，易言之，杜邦企業總部研究單位的運作方式，就跟單純的學術性實驗室沒什麼兩樣。

1930年，卡羅瑟斯的研究團隊完成了兩項重大的突破：他們先發明了合成橡膠**紐普韋**（neoprene），同一個月內又發明了世上第一種百分之百的人造纖維。史汀的這支重視基礎研究的團隊，這下子居然也有機會替公司賺錢，而且是大賺特賺。杜邦公司的管理階層注意到這

兩項研究成果，旋即把史汀升任為公司執行董事會的一員，並指派波頓（Elmer Bolton）接任原本史汀的職務。

波頓原本是有機化學部門的研究主管，作風跟史汀大不同，他對於無法立即找到應用方式的研究項目興趣缺缺。波頓上任後不久，就以對橡膠掌握度較高、較有經驗為考量，把紐普勒移交給他原先帶領的研究團隊接手，並鼓勵卡羅瑟斯團隊集中火力研究合成纖維。最初發表的人造纖維，品質還有很大改善空間：低溫就可以讓纖維熔化，碰到水的時候也會溶解。卡羅瑟斯在新老闆的指示（壓力）下，於1934年終於把聚合物的穩定度，提升到足以做為紡織原料的程度。五個星期後，卡羅瑟斯團隊中的一位成員，正式生產出世上第一條尼龍纖維。

杜邦公司在接下來五年，採用顛覆性的做法，打造這種新纖維的商業化量產平臺，讓尼龍從「集當時最先進的化學知識結晶而成、單純實驗室的尖端科技」，迅速搖身一變成為高度工業化、具有商業價值的商品。這個轉換過程的速度前所未見，創新程度就跟尼龍本身之於聚合物化學領域一樣；杜邦公司把基礎研究商業化的模式，其挾帶的創新意涵就跟完成新發明一樣重要，主要特徵如下：

首先，這個過程需要企業總部學術導向的科學家，跟其他部門研究單位工業化導向的科學家緊密合作，還要再加上化學工程師負責新廠房的設立及後續的量產工作。不同背景的團隊聚在一起，逐一克服流程中所面臨的各種難題，不但打破了傳統區分基礎研究與應用研究的藩籬，就連研究單位跟工程單位的隔閡，也都消失了。

其次，杜邦用同步進行的方式，把量產聚合物的環節一併完成，這代表杜邦在這個過程中，並不是等第一階段的研究團隊徹底摸熟新發明（譬如說，弄清楚新的化合物有哪些化學反應）之後，才由下一階段的工作人員接手（譬如說，找出如何把新化合物紡製成布料的方法）。所有團隊一起面對量產轉換過程中的各種問題，每個團隊都先

用「假定的方式」看待其他單位的成果，認定其他人一定能夠用某種未知的方式，完成該有的進度。

由於這種運作模式難以區分什麼是初期的基礎研究，什麼是後端量產商業化的階段，反而又回過頭刺激不同領域的科學家跟工程師，更加密切合作，才能讓整個過程順利同步進行。最後，杜邦只專注於開發一種單一商品：女用絲襪。尼龍問世後，的確有其他人利用這種新纖維開發內衣、地毯等各種不同的商品，但那是好幾年以後的事情了。杜邦公司透過單一商品的想法，讓內部不同職位的每個人，都能專心致力、聚精會神，因此才能在1939年首度公開新商品後，隔年立即有能力生產出夠多的商品，應付市場需求。

### 曼哈頓原子彈計畫

有關尼龍的故事，讓我們看見杜邦公司的研究作風有什麼改變：最初的小幅度發展，在1930年代成為天翻地覆的變革，讓純理論跟應用面的工作緊密連結，一起發光發熱。

可是這跟沒有待過杜邦公司的奧斯本，又有什麼關係呢？當尼龍在美國成為暢銷商品時，歐洲各國已經開始陷入另一場範圍不斷擴大的戰爭——第二次世界大戰。美國政府也逐漸明白，自己可能無法再置身事外了。愛因斯坦在1939年寫了一封信警告羅斯福總統，德國有可能發展出核武器，促使羅斯福總統下定決心與英國合作，啟動新的研究計畫以便找出鈾元素的軍事用途。

日本在1941年12月7日攻擊珍珠港，四天之後，德國正式向美國宣戰，讓美國核武器相關的研究必須加快腳步。針對鈾的研究持續進行的同時，加州大學柏克萊分校另外一群物理學家，也正在研究一種新的元素——鈾。鈾元素也可以當核武器的原料，而且就理論上而言，比鈾元素更容易量產。

1942年初，諾貝爾物理獎得主康普頓（Arthur Compton, 1892-1962）以芝加哥大學冶金實驗室的名義，祕密召集一群物理學家研究



銻元素，試圖找出如何用銻元素生產核武器的方法。

冶金實驗室在1942年8月生產出幾毫克的銻元素，下個月美國政府就正式啟動曼哈頓計畫（Manhattan Project），指派美軍工兵團格羅夫斯（Leslie Groves）將軍主持這項核武研究。格羅夫斯將軍很快找來冶金實驗室的要角、負責許多重要實驗估算的柏克萊物理學家歐本海默（J. Robert Oppenheimer, 1904-1967）管控相關的研究進度。曼哈頓計畫是史上規模最大的單一科學研究計畫：聘用人數在最高峰時達到十三萬人，總共耗費二十億美元（加計通貨膨脹等因素後，相當於現今的兩百二十億美元），讓美國整個物理學界快速動員應戰。絕大多數知名大學的研究單位，或多或少都參與了曼哈頓計畫，還有不少物理學家被祕密派遣至羅沙拉摩斯（Los Alamos）創建新的研究設施。

格羅夫斯將軍儘管手中握有充分的資源，但是首要難題還是要設法把冶金實驗室僅能生產那幾毫克銻元素的水準，擴大成為足以生產核武器的規模。這個任務艱巨的程度，筆墨難以形容，最後竟然要投入六萬人，相當於曼哈頓計畫將近半數的人力，才能完成銻元素的量產。當格羅夫斯將軍在1942年開始推動曼哈頓計畫時，石偉工程

（Stone and Webster Engineering）公司已經依約承包在華盛頓州漢福特（Hanford）地區，興建大型銻元素提煉廠的工程，不過當時還在主持冶金實驗室的康普頓，懷疑石偉工程是否有能力依約完工。格羅夫斯將軍得知康普頓的顧慮後，也同意石偉工程並不具備相關的施工經驗，但是那個時候上哪兒去找另一家能夠興建大型工廠的承包商，並且在時效壓力下，把幾毫克全新的、最尖端的物質擴產到數以噸計的規模呢？

### **跨越了傳統科際藩籬**

1942年9月底，格羅夫斯將軍邀請杜邦公司，以石偉工程的顧問身分，參與曼哈頓計畫。杜邦公司在兩星期後同意了，而且還自告奮勇承擔更多工作：杜邦公司將一手包辦漢福特銻元素量產廠的設計、興

建與營運工作。杜邦公司憑什麼誇下海口呢？他們打算全面複製之前量產尼龍的成功經驗於鈾元素上。剛以杜邦企業總部研發主管身分，在尼龍量產計畫打下漂亮一役的波頓，連同幾位並肩作戰的戰友，一起接下了新任務的主管職務，之後的結果就跟尼龍一樣，量產鈾元素的計畫獲致難以想像的成功。波頓的團隊只花兩年又多一點點的時間，就把鈾元素的產量提升了數百萬倍！

波頓光是企圖複製量產尼龍的策略，就已經不是一份簡單的工作了，更別提這次還要面對更多外在因素的掣肘。想要量產鈾元素，首先需要興建一座核反應爐，這可是在1942年之前從來沒人興建過的大工程（雖然那時候，前期計畫的工作都差不多完成了），換句話說，鈾元素比尼龍更接近基礎研究階段產生的新科技，而且重點在利用漢福特廠實現量產的計畫——這又表示冶金實驗室的物理學家會認為自己更了解這項計畫，杜邦公司「只需要」扮演好工程師的角色就行了。這群核物理學家認為自己站在人類知識領域最高處不勝寒的位置，因此從他們的角度來看，在產業界工作的科學家跟工程師就沒那樣頂尖；這些核物理學家偶爾出現一些不服指揮的現象，也就不足為奇了。

因此，真正核心的問題在於：最優秀的物理學家會輕忽工程師試圖讓漢福特廠完工運轉的努力。他們認為杜邦公司專注於團隊運作、落實計畫的做法，會沒由來的限制住自己的研究工作。不過出乎眾人意料的，解決這個問題的方法，居然是讓物理學家擁有比工程師更多的主導權：康普頓要求杜邦公司讓芝加哥大學的物理學家，審視工程師的興建藍圖，並簽名副署以表認同。結果是，當他們看到規模龐大的工程藍圖後，馬上明白後續的工程問題有多麼複雜，對工程師的敬意也就油然而生，有些人甚至開始對複雜的工程問題感到興趣。

經歷這番波折後沒多久，科學家與工程師之間就建立起緊密的合作關係，而且就如同杜邦公司透過尼龍量產計畫所推動的文化變革

（消弭了以往企業內部科學研究與工業工程之間的疆界），在漢福特廠一起工作的物理學家跟工程師，也很快跨越了傳統科際間的分野。杜邦公司很成功的在興建漢福特廠的過程中，輸出了新的研究文化；受到新文化醍醐灌頂的，是一群在理論端與實驗端都深具影響力的物理學家，而這群物理學家在戰前跟戰後的主要工作場合都是學界，不是業界，這也讓這場文化變革持續發揮作用，讓美國戰後的物理學界更習慣從不一樣的角度，看待純理論跟應用面之間的關係。到了那時候，就算最頂尖的物理理論大師要研究現實世界的問題，也都不會招來異樣的眼光。更重要的是，如果想要讓基礎研究工作「變得有趣」，物理學家就必須運用可能的實際應用方式，說服周遭同僚。

杜邦公司的尼龍量產計畫，並不是唯一在1930年代促成研究文化改變的計畫。漢福特廠跟冶金實驗室，也不是第二次世界大戰期間，唯二讓物理學家跟工程師緊密合作的政府研究機構。當時還很多其他地方，都基於類似的理由，讓研究風氣改頭換面，像是羅沙拉摩斯國家實驗室、美國海軍研究實驗室、加州大學柏克萊分校、麻省理工學院的輻射實驗室（研究雷達和微波），或是全美各地為了因應產業需求而做出變革的公司，就連軍隊也都能感受到這股氣氛，促使當時的物理學家得用新觀點看待問題。

等到第二次世界大戰結束時，物理學界已經徹底完成轉型的過程，科學家再也不能像十九世紀末、二十世紀初那樣，風度翩翩的活在自己不食人間煙火的假象中。這個階段的物理研究已經進入大規模、所費不貲的年代，純物理跟應用物理之間的界線，幾乎已經完全失去了意義。

### 奧斯本走上研究之路

1916年出生的奧斯本特別早熟，十五歲就已經完成高中學業。父母親不想讓他太早讀大學，因此奧斯本接下來花了一年時間，待在讓

他痛苦不堪的大學先修班，之後才進入維吉尼亞大學，主修天文物理。

奧斯本有天生的好奇心，從小就顯露有能力在各種科學範疇獨自鑽研的性格。比方說讀完大一課程後，奧斯本認為自己已經學得差不多了，於是在某一天結束麥考密克天文臺（McCormick Observatory）的暑期工讀後，決定休學。奧斯本告訴父母親，與其下學年再回到大學讀書，他寧可選擇花更多時間從事勞動工作。奧斯本的父母親很清楚，要勸阻他打消念頭，倒不如安排他去西維吉尼亞朋友家的農場工作。

奧斯本原本預計去農場工作一年，結果那一年的聖誕節就被遣送回家，農場女主人還附上一張向他父母親抱怨已經受夠了奧斯本的紙條。奧斯本那個學年的剩餘時間，都在諾福克公立特殊教育學校，協助物理教育主任「利用教材」進行教學。說穿了，就是幫忙推手推車而已。這一年付出勞力的工作，終於讓奧斯本相信學術生涯似乎也不是多糟糕的選擇，所以在9月份，就乖乖回到維吉尼亞大學繼續學業。

大學畢業之後，奧斯本前往加州大學柏克萊分校的天文研究所深造，在物理系跟一群智商特高的人互相砥礪，其中就包括歐本海默。1939年歐洲爆發第二次世界大戰時，奧斯本還在柏克萊讀書，等到1941年春天來臨時，包括歐本海默在內的很多物理學家，都開始思考如何在這場戰爭中貢獻一己之力，也思考使用核武器的可能。

奧斯本在學校公欄看到政府單位的徵人啟事，認為自己符合徵選資格，便自告奮勇前往應徵。無奈他那副厚重的眼鏡，導致了落選的結果（戰爭初期的動員徵選可是相當嚴格的），因此奧斯本只好把目標改成海軍研究實驗室，並在聲納部門得到一份職務。接下來，奧斯本就在美國政府最鼓勵創新與跨科系研究的期間，收拾行囊回到維吉尼亞老家，開始替美國政府轄下的實驗室工作。

## 奧斯本描繪股價變動模式

奧斯本完全是基於實驗性的想法，來構思〈股票市場的布朗運動〉這篇論文。依照他自己的說法，「想像一位算得上受過一點天文學訓練，但是對金融市場完全外行的統計學家，某一天翻閱《華爾街日報》上面記載紐約股市交易資訊的版面。」

奧斯本開始關注股市的時間點是1956年，他的太太（也是天文學家）在那一年稍早，剛產下家裡的第二對雙胞胎——排行第八、第九的兩個孩子，奧斯本因此覺得該是時候注意一下股市，為家裡未來的經濟狀況預作準備了。

我們就來想像一下吧：奧斯本某一天走進店裡，隨手挑了一份《華爾街日報》帶回家，然後坐在餐桌旁邊，把報紙翻到前一天股市交易紀錄的那幾頁，他在這邊可以找到數以百計、甚至上千則的數據資料，依照欄位分門別類。只可惜自己看不懂每一欄上方詭異且莫名其妙的術語，究竟代表什麼意義。

這位受過天文學訓練的統計學家，儘管不曉得每個欄位的基本定義，更不用提該如何詮釋手上的數據，不過這不會是個大問題，這些數據資料嚇不倒他的。別忘記，他之前看過的可是一頁又一頁、記錄夜間天體運行的龐大數據呢！他需要克服的只是找出不同數字之間的關連性，釐清某些數字提供的資訊會如何影響其他的數字，最後再看看自己有沒有辦法，利用手上的數據做出預測，就行了。

奧斯本實際上要做的，就是根據一堆實驗數據，建構一套理論模型。類似的經驗早就累積不下數十次之譜，因此他推了推眼鏡，捲起袖子就一頭栽進金融市場了。

喏，規律性就擺在眼前：各種股價透露的資訊，不就跟流體裡一堆隨機移動的粒子一樣嗎？奧斯本憑藉以往的經驗，已經看出股價的變動就跟灰塵所呈現的布朗運動相去不遠。

奧斯本對金融市場最初、也是影響最深遠的貢獻，乍看之下有如重新複製巴楔利耶的博士論文，不過兩者論述的內容可就天差地遠

了。巴楔利耶指出，股價在任一時間間隔內上揚或下跌的機率是一樣的，因此他認為股價的變動將會呈現常態分布。奧斯本則完全無法接受這種說法（薩孟遜也沒接受這一點，甚至還說這是巴楔利耶提出最荒誕無稽的說法）。

想要檢驗未來股價走勢是否會依照常態分布曲線運作，最簡單的方法就是隨機挑出幾檔股票，再把它們的股價走勢畫成一張圖表。如果巴楔利耶的假設是對的，我們應該可以看到一張類似鐘型曲線的圖。當奧斯本真的用畫圖的方式驗證時，他發現這張圖根本就和常態分布曲線毫無瓜葛！換句話說，只要真的去看股價資訊，就會發現巴楔利耶的觀點根本站不住腳！

（在此也要替巴楔利耶講句話，他的理論確實也有實證數據支撐，只可惜是建立在金融市場裡性質比較特殊的固定收益型政府長期公債上。這種金融商品的價格不但變動得很慢，而且也從來不會大幅變動，這才導致巴楔利耶的理論這麼禁不起股價數據的檢驗。）

### 對數常態分布曲線

那麼，奧斯本實際畫出來的圖形呈現什麼樣的分布狀況？看起來就像是一個駱駝的駝峰，其中一端拉出一條長長的尾巴，另一端則幾乎像個斷崖一樣直直落下。這個圖形看起來絕對不會像是一口鐘，但是奧斯本卻感到相當熟悉。

你大概已經猜到了，如果股價本身不會呈現常態分布的話，或許個股的**投資報酬率**（rate of return）才會呈現常態分布。投資報酬率怎麼計算？我們可以拿股票在任一時間點的成交價，去除以股票的初始購入價格，算出當下的投資報酬率（以百分率為單位）。累積大量這些數據，就能描繪出投資報酬率的分布曲線。

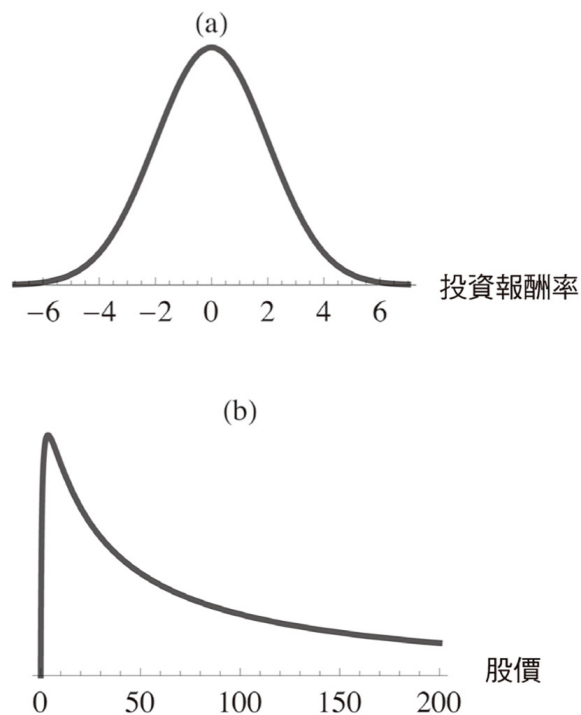
至於實質投資報酬率的正負基準，該怎麼認定呢？假設你手上有200美元，其中100美元寄存在銀行，另外100美元則用來投資股票。經過一年以後，一方面由於銀行戶頭一定會產生利息，另一方面則要看



你投資的股票究竟是漲是跌，因此你手中的資產很可能不再是200美元了（多賺一點或賠掉一些的可能性都有）。這時候，你大可假定銀行必須支應的存款利率水準，就是你衡量個股的實質投資報酬率是正是負的基準：唯有投資報酬率高過存款利率，才表示你投資股票的實質報酬為正值。

我們可以運用「對數」這項數學運算工具，來呈現個股投資報酬率與股價之間的關係，因此如果投資報酬率呈現常態分布的話，個股股價可能的分布狀況就應該趨近於所謂的**對數常態分布**（log-normal distribution）的圖形，如同圖二所示。

奧斯本模型的機率分布曲線



圖二：奧斯本指出，投資報酬率才會呈現常態分布，股價則不會。由於股價跟投資報酬率之間具有對數關係，因此股價在奧斯本的模型中將呈現對數常態分布的圖形。這兩張圖顯示某檔現值為10美元的個股，經過一段時間後，如何呈現兩種不同機率分布的情況。

(a)圖是投資報酬率呈現常態分布的曲線圖。

在投資報酬率呈常態分布的前提下，(b)圖則是該個股的股價將呈現對數常態分布的曲線圖。你可以看見，就算投資報酬率有可能是負的，該個股的股價永遠不會是負的。

對數常態分布曲線是一個有趣的單尾駝峰造型，跟奧斯本追蹤實際股價所畫出的圖形差不多，這就證明了真正呈現常態分布的是投資報酬率，而不是股價本身。

這個推論解決了巴楔利耶模型相當致命的一個漏洞。如果股價走勢呈常態分布，而且時間拉得愈久、愈有可能遠離初始股價的話，則依照巴楔利耶的觀點，任何個股只要經過一段夠長的時間，股價都有可能變成負的。這當然是不可能發生的事：股票投資人再怎麼認賠出場，最多也只是把原先投資的股本賠光而已。奧斯本的模型堵住了這個漏洞：不論個股的投資報酬率負到什麼程度，股價永遠不會變成負的，頂多只會愈來愈接近0而已。

### 好的模型不能忽略投資大眾的心理

奧斯本還找到另一個理由，舉證真正會隨機漫步的是投資報酬率，不是股價本身。他說，股票投資人其實不太在意股票價格的絕對變化值，他們真正在意的是股價變動的比率。

假設你投資一檔單價10美元的股票，只要股價上漲1美元，你獲得的投資報酬率就是10%。現在假設你投資另一檔單價100美元的股票，也漲了1美元——投資獲利當然值得高興，但是你高興的程度很有限，因為這樣的投資報酬率才只有1%而已，儘管你在這兩種假設狀況的絕對利得是無分軒輊的1美元。

如果買進個股的初始價格是100美元，這檔股票得持續上漲到110美元，才能讓投資人感受到10美元個股上漲到11美元的滿足感。對數運算可以充分顯示這種相對評價的落差： $\log 10$ 與 $\log 11$ 之間的差異（ $\log 10 = 1$ ， $\log 11 = 1.04139$ ），等於 $\log 100$ 與 $\log 110$ 之間的差異（ $\log 100 = 2$ ， $\log 110 = 2.04139$ ）。這點正是對數運算獨有的特徵，亦即對數運算可以描繪出10美元個股上漲1美元的投資報酬率，等於100美元個股上漲到110美元的情況。用統計學的術語來講，股價的對

數具有「區間均等」的性質：兩個股價的對數差，可以反映出兩個股價賺或賠所造成的心理認知差異。

上兩段話就是奧斯本在〈股票市場的布朗運動〉這篇論文中的主要論證。你可能已經注意到其中的精妙之處：奧斯本認為我們應該看重股價的對數，因為這個數據比較能夠反映出投資人對於賺錢或賠錢的感受；換句話說，股價變動這種客觀數據並不重要，重要的是投資人對於這種變動的反應是什麼。

奧斯本其實是基於心理學中通稱為**韋伯—費希納定律**（Weber-Fechner Law）的原理，刻意挑出股價對數，做為模型中的主要變數。韋伯—費希納定律是十九世紀韋伯（Ernst Weber, 1795-1878）與費希納（Gustav Fechner, 1801-1887）兩位心理學家所提出，用來描述受試者如何對不同外在刺激採取反應的理論。韋伯在一系列實驗中，要求被矇住眼睛的受試者托住一盤砝碼，然後韋伯會逐漸增加更多的砝碼到托盤上。照理來講，受試者應該能夠感受到手中的托盤變重了，結果唯有一開始只托住比較輕的砝碼（幾公克重而已）的受試者，能感受到重量的增加；如果受試者一開始就托住比較重的砝碼，他就沒辦法察覺到之後托盤的重量又多了好幾公克。

這個實驗結果顯示：所謂可以觀察到的最細微變化，會跟初始狀態具有一定的比例關係。也就是說，心理認知外在的刺激變化，並不取決於絕對的變化幅度，而取決於相對於初始狀態的變化幅度。

所以奧斯本觀察到的現象——「投資人在意變動比率的程度高於變動的絕對值」，的確是相當普遍的大眾心理反應。最近這幾年，很多人批評分析金融市場的數理模型只會一股腦套用物理學理論，無視市場是由許許多多的人、而非由夸克或滑輪組成的事實。用物理學探討撞球、探討傾斜面，甚至是興建核反應爐或是去太空旅行，都不是問題，但是如同牛頓早就告訴我們的，物理學無法預測人性的瘋狂。

這類批評主要來自行為經濟學，該領域的學者試圖透過心理學與社會學分析經濟現象。順著他們的觀點來看，市場的本質就是各種難以克服的人性弱點，當然沒有辦法簡化成數學或是物理學的公式。

光憑這一點，就足以凸顯奧斯本的觀察深具歷史意義，我甚至不反對給予歷久彌新的評價。奧斯本的做法顯示：金融市場的數理模型不僅要與投資大眾看待市場的心理反應一致，而且最好的數理模型還要能向奧斯本看齊，把這些心理因素納入考慮，避免犯下巴楔利耶的錯誤。

不過，就算是用1959年的標準來看，我們都無法否認奧斯本所使用的心理分析非常粗糙（奧斯本借用的是已經提出超過一世紀的韋伯—費希納定律，這段期間有許多後續研究，已經進步到可以分析受試者如何感受到差異的存在）。現代經濟學也已引用遠比韋伯—費希納定律更加精緻的心理學理論，這本書之後也會舉幾個例子，說明這段演進過程。

引用心理學或其他相關領域見解的目的，在於強化我們建構出更可靠的數理模型以分析金融市場的能力，因為這樣做不但能讓我們提出更務實的假設，也有助於我們找出現行各種理論模型究竟會在什麼情況下失靈。

### 奧斯本不盲從權威

奧斯本與同時期的知名物理學家多有往來，在他的字典裡沒有「權威」這兩個字，如果他針對某個問題提出了解答，或者他認為自己已經能具體掌握某些知識時，他會用盡全力捍衛自己的觀點。

在此舉一則1946年的故事為例。奧斯本在那一年的年初，開始對相對論感到興趣，為了更清楚了解相對論是怎麼一回事，他直接拜讀愛因斯坦的著作《相對論的意義》。愛因斯坦在這本書中提到宇宙究竟存在多少暗物質（dark matter）的問題。望文生義，暗物質意指宇宙中既不發光、也不會反射光線的物質，也就是我們沒辦法直接觀測的

物質。暗物質的概念在1930年代首次被提出來，主要是因為研究人員注意到，星系的旋轉似乎受看不見的暗物質所影響。如今科普物理的愛好者都知道，暗物質是所有宇宙論中最難解的謎題之一，在觀測其他星系的過程中，總會發現宇宙似乎有無數看不見、無法用我們已知物理理論加以解釋的物質。

愛因斯坦提出一個估計宇宙中暗物質總量下限的簡單算法，他認為宇宙中暗物質的總平均密度，應該至少跟某個星系內部的密度一樣（或者跟一群星系所組成的星系團的內部密度一樣）。奧斯本認為這是錯誤的推論，其中一個原因是：他認為愛因斯坦做出一連串錯誤的假設，最糟糕的是忽視了1946年已經有人發現「大多數暗物質都會局限在星系內部特定區域」的證據，所以暗物質基本上不存在於星系以外的太空中（這一點至今似乎仍舊是對的）。如果要修正愛因斯坦的假設，我們應該認定「星系中暗物質的密度」會高於「宇宙中暗物質的總平均密度」才對。

讓我們把時間拉回1946年，那時候如果有人對愛因斯坦提出的相對論、天文物理學有不同意見的話，通常會先懷疑自己是否誤解了愛因斯坦的想法，畢竟愛因斯坦已經成為這個領域的權威象徵。奧斯本當然不會這樣想，一旦他掌握某些知識的時候，他絕對不會只是說說而已，聲望、權威這些詞彙對奧斯本來說如同無物，所以奧斯本直接寫了一封信給愛因斯坦，很禮貌的指出愛因斯坦的推論並不合理。愛因斯坦在回信中只複述一遍書裡面的論證，這讓奧斯本又寫了一封信再次請教。

這一回愛因斯坦讓步了，他承認原本的論證或許有些問題，不過基於最終結論似乎沒有太大問題，因此他提供另一種不同的論證。奧斯本當然還是沒有接受愛因斯坦的說法，兩人就這樣一來一回寫了六、七封信。在這個過程中，愛因斯坦顯然沒有被奧斯本說服，奧斯本也深信愛因斯坦在書裡面的說法是錯的，而且愛因斯坦並沒有能力

提出更完善的論證。（我想，現在大多數物理學家在看過這些往來書信後，應該都會同意奧斯本的說法比較合理。）

奧斯本研究經濟議題的態度沒有什麼不同，他並不在意自己欠缺經濟或金融的相關背景，只憑藉工程師的一股自信心，便大膽放手研究。〈股票市場的布朗運動〉一文發表於《作業研究》（*Operations Research*）期刊上，雖然這並不是經濟學領域的學術期刊，所幸還是有夠多的經濟學家、以及具有經濟學概念的數學家看到這篇論文，使得奧斯本的研究成果迅速獲得關注。其中有些是正面的評價，但是卻少有公開的讚揚，畢竟奧斯本發表第一篇探討金融市場的論文時，他並不知道巴楔利耶或是薩孟遜這兩個人，也不認得任何一位已經用不同方式探討股價隨機漫步特性的經濟學家。

所以有很多經濟學家認為，奧斯本的第一篇論文缺乏原創性。批評聲浪高到奧斯本不得不在幾個月後補上第二篇論文，一方面在新作中推崇巴楔利耶是提出相關想法的第一人，另一方面也更積極捍衛屬於自己的想法。

奧斯本相當堅持自己的立場，而且他也有充分理由這麼做。姑且不論他的論文跟早期的作品有什麼關連性，奧斯本在論文中探討股價隨機性的想法還是相當獨到；雖然薩孟遜跟他的學生在同一時間，也正在研究如何改良現代版的隨機漫步假說，但是薩孟遜還是把這份功勞歸給奧斯本。

更重要的是，奧斯本是以實證科學家的態度，完全採用具體數據資料建構理論模型，他自行開發並運用一連串統計檢定，以佐證論文中的布朗運動模型禁得起考驗。其他研究人員，比方說統計學者肯德爾（Maurice Kendall）在1953年，也是用經驗數據印證股價或上或下移動的隨機性；但是奧斯本絕對是舉出金融市場運作符合對數常態分布的第一人，也是率先用數理模型清楚說明股市的隨機性、以及如何用隨機性推導未來股價（當然還包括投資報酬率）之機率的第一人。



奧斯本的這些論證，都建立在讓人信服的數據資料上，尤其是他所提出的市場模型確實能夠反應股市真正的行為，因此經濟學家雖然一開始對奧斯本論點的原創性有所質疑，沒多久就公認他所提出的理論跟證據絕對是前所未見的。

當麻省理工學院的庫特納在1964年，把所有探討股價隨機漫步假說的重要論文彙編成書時（當中包含巴楔利耶博士論文的第一版英譯稿），他也收錄了兩篇奧斯本的論文，第一篇是1959年探討布朗運動的論文，另一篇則是把早期觀點擴充與廣義化的論文。

### 過不了關的博士論文

奧斯本開始思考金融市場的問題之時，他已經在美國海軍研究實驗室任職達十五年，在物理學相關領域發表過十五篇論文，並且跟二十世紀中葉最優秀的物理學家並駕齊驅了（有的彼此就是工作伙伴，有的則是透過信件往來交鋒）。

不過，奧斯本直到這個時候都還沒取得博士學位，不論是在物理學或是其他領域；因為1941年奧斯本在完成研究所課業前，就投筆從戎前往海軍研究實驗室任職。奧斯本雖然一直沒有取得博士學位，卻無礙於他在物理學界充分發揮，也不曾有人因為學位問題質疑過他的研究水準。他的表現已經足以說明一切，因此博士學位對奧斯本的人生歷練，只會有錦上添花的效果。儘管如此，他還是選擇在四十多歲時繼續完成學業。能夠換來在海軍研究實驗室的職位升遷，至少是其中一部分的理由，因此他追隨其他海軍研究實驗室同僚的選擇，前往馬里蘭大學的物理系攻讀博士。該校地利之便，可以讓奧斯本保有原本的工作職務，直到完成學業為止。

奧斯本提交第一篇博士論文的研究主題是天文學（博士生通常會先提交論文研究大綱，結果奧斯本根本沒注意到這項規定，就直接把博士論文寫完了），當他帶著博士論文拜會物理系主任時，對方毫不猶豫就否決讓奧斯本進入口試階段的可能，因為這個領域有太多研究

者，而且奧斯本的論文並沒有提出創新的觀點。奧斯本只好根據自己對金融市場的研究心得，撰寫第二篇博士論文。這次，物理系主任一樣沒有接受，因為這個主題跟物理無關。

日後奧斯本回顧這段經歷的時候說：「博士生總被要求要提出具有原創性的論點，一旦博士生真的提出具有創意的想法時，校方反而根本弄不清楚學生在想什麼。」

政府的研究機構很看重各式各樣能實際應用的研究，因此政府機構所屬的物理學家，或許會認同金融市場的研究價值，但是傳統學術界還是無法把相關的研究成果當成「物理學」看待。儘管奧斯本已經比巴楔利耶得到更多學術界的認可，但是他在許多人眼中，仍舊是撈過界研究金融數理模型的異類。

### 鮭魚返鄉的歷程，就像金融市場的波動

接連兩篇博士論文遭否決，並沒有讓奧斯本灰心喪志，他一方面把〈股票市場的布朗運動〉寄給《作業研究》期刊，另一方面也開始著手撰寫第三篇博士論文。這次他探討的對象回歸到研究金融市場之前的主題：研究鮭魚的遷徙效率。

鮭魚一生中大部分時間都待在海裡，直到繁殖季節來臨，才會返回出生地產卵，然後死亡。鮭魚通常要從海洋逆流而上好幾千公里，才會回到出生地，而且只要一離開海洋就不再進食；因此奧斯本認為，只要能找出鮭魚逆流游了多遠，還有這段旅程總共損失了多少油脂，就能進一步算出鮭魚遷徙的效率。這個想法相當於把鮭魚看成一艘遠距航行、途中不再加油的船隻一樣。

等到他把第三篇博士論文提交出去後，迎接他的還是那種半冷不熱的回應，因為校方實在說不準第三篇論文到底有沒有比前一篇「更物理學一點」。不過第三篇論文最後還是通過了審查，因為當時校方正在申請一項大型的生物物理學研究補助（生物物理學是研究生態系呈現出什麼物理現象的一門學科），因此希望能多取得一些具有相關

領域專業知識的證據。就這樣，在進入海軍研究實驗室工作將近二十年之後的1959年，同時也是〈股票市場的布朗運動〉論文刊登在《作業研究》期刊的同一年，奧斯本終於取得了博士學位，同時獲得海軍研究實驗室當之無愧的職位升遷。

你可能想像不到，之前金融市場的研究成果，居然也可以連結到鮭魚遷徙效率的研究上。奧斯本採用許多不同的時間尺度，以研究鮭魚逆流而上的過程，包括鮭魚在短時間內受河流水勢等因素影響後，可以在短距離內逆流多遠；還有另一種現象雖然沒辦法在鮭魚游動幾英尺的距離內觀察出來，但是放大尺度到整個迴游過程、以一千英里為單位觀察時，就會看得很明顯。

第一種短時間、短距離內的現象，可以稱為鮭魚遷徙效率的「快速」波動，第二種長時間、長距離才能觀察到的現象，則是「緩慢」的波動。困難處在於我們可以輕易取得「緩慢」波動的資料——要估算大概有多少鮭魚在某個時點游過某個定點，當然簡單多了，但是要想知道每隻鮭魚頂著各種不同水勢，還能有多強的逆流能力……，這可就棘手太多了。

奧斯本想要提出可以同時解釋快、慢兩種波動的理論模型，還要能夠說明兩者間的互動關係，當然還要附上檢驗理論可信度的方法。其中一種做法如同前面提到的，就是盡力取得每一隻鮭魚短距離逆流的資料。不過這種做法實在太難了，難到就連奧斯本也不知道該如何著手。第二種可行辦法是先找出另一個同時包含奧斯本想要研究的快、慢兩種波動的系統，然後套用同一個理論模型，再檢驗在不同系統內是否一樣具有解釋力。

第二種做法看起來比較可行，不過奧斯本得先找出另一個可以相互對照的系統才行。

就在他靜思《華爾街日報》上的股價是怎麼一回事的時候，他突然想到金融市場就是另一個兼具兩種波動的系統。有些瑣碎的市場力

量，可以在一個交易日內，不斷影響股價表現，譬如交易員彼此間的互動與敲定買賣的效率等。這就好比鮭魚在返鄉途中，要面對不同水流所帶來快速波動的挑戰一樣。但是另一種市場力量，譬如說是經濟景氣循環或是政府採取的利率政策等，就需要我們放大時間尺度，保持一點距離感，才能掌握確切的影響力，也就是緩慢的波動。這樣看來，數據資料龐大的金融市場，不就是一個可以用來檢驗奧斯本理論模型中，兩種波動如何相互影響的理想參考系統嗎？

奧斯本的第三篇博士論文，後來也一樣用在不容易想得到的地方。奧斯本以金融市場的股價做為參考資料，並努力修改模型架構，讓股價資訊更具有說服力、更容易驗證。最終順利完成研究鮭魚遷徙效率的論文之後，他竟然能夠把相關結論套回物理學的課題上。奧斯本後來建立了一個新的模型來模擬深海洋流，既成的結論讓他可以具體說明：為什麼水分子的隨機運動（套用鮭魚那篇論文的詞彙：快速波動），可以促成洋流這種層級的大尺度變動現象（緩慢的波動）。對奧斯本來講，物理學跟金融市場這兩種不同領域的跨界研究，似乎在本質上是完全可以相通的。

### 成交量有玄機

奧斯本的研究成果，受歡迎的程度跟直接影響力非常驚人，我們之後會看到，他的想法如何在金融市場造成一股革命風潮。不過，他的想法並沒有立即發揮在華爾街投下震撼彈的效果，而是要等到不久後，藉由其他研究人員之手把他的想法加以改良，才促成改變的力量。

奧斯本是轉型時期的象徵。在他所屬年代，他的論點已經在學術界廣為流傳，一部分重視理論的業界人士也看過他的著作，但是整個金融產業還沒準備好要全盤接受奧斯本的觀點。奧斯本根據模型指出金融市場的隨機性，讓我們無法預知單一個股在一段時間後的走勢，或許是其中一個原因。此外，奧斯本也沒有像巴楔利耶那樣，把研究

成果跟選擇權掛在一起（巴楔利耶起碼透過金融市場的統計特性，告訴我們如何判斷選擇權訂價的合理性）。

這個說法並非無的放矢，任何人只要看過〈股票市場的布朗運動〉跟奧斯本其他晚期的論述，大概會認為從股票市場獲利的說法是天方夜譚。股價是無法預測的，在股海殺進殺出的投機行為，只能換來平均報酬率是0的結果；如此一來，投資還有什麼意義嗎？

要到後來，金融研究人員才學會用樂觀的角度，看待奧斯本的研究成果。如同巴楔利耶早就說過的，一旦你知道股價基本上隨機變動的特性，你就可以根據這個性質，找出選擇權跟其他衍生性金融商品應有的價值。奧斯本只是沒有把研究成果導向這個領域而已；起碼要等到1970年代末期，其他人都已經往類似的思路前進了，奧斯本才有進一步的動作。

不過，這時期的奧斯本卻是耗費大量精力，想要找出一個股價**不是**隨機變動的例子。換句話說，他在宣告股市猶如「無可救藥的精神病院」（unrelieved bedlam，這是奧斯本原本的用詞，大量出現在他的論文裡），讓自己置身在充滿爭議的境地之後，現在居然極其認真的掉頭轉向，試圖尋找股價有沒有一絲一毫的可預測性。

改變信仰的研究成果沒有多大進展，不過奧斯本卻觀察出成交量（在一段時間內實際完成的交易數量）並不穩定的現象，這動搖了股價變動完全依照布朗運動進行的假設。股市的成交量會在任一交易日的開盤跟收盤兩個時段衝上高峰，同樣的情況也可以類推到一個星期成交量的分布狀況，甚至是一個月內成交量的分布狀況。這種變動現象無巧不巧，又跟奧斯本研究鮭魚遷徙的「緩慢波動」相互印證，只是適用對象不是股價，而是成交量。

奧斯本把成交量的這種變化，歸因於金融市場另一個心理特徵：投資人只用有限的時間跨度來關注股市。當投資人注意到一檔個股時，他們會在短時間內提高警覺、快速買進，連帶使得成交量衝高，

之後他們會愈來愈提不起勁去關心這檔股票，成交量自然會下降。如果你同意成交量會隨時間變化的說法，你就必須調整隨機漫步模型的基本假設，然後得到一個能夠更精確說明股價如何變動的模型，也就是奧斯本稱為**布朗運動擴充版**（extended Brownian motion）的數理模型。

### 數理模型需要不斷修正

奧斯本跟另一位研究同仁在1960年代中期，證明股價在不同時點上揚的機率未必等於下跌的機率。你應該還記得布朗運動的基本假設是：股價上揚或下跌的機率是一樣的。但是奧斯本證明當股價略微上揚後，接下來回跌的機率會比繼續上揚還高；相同的道理，如果股價一開始走跌，下一波交易就很有可能會抬升股價；換句話說，隨著時間經過，金融市場交替往反方向移動的可能性，高過持續往同一個方向移動。

請注意，奧斯本的推論還沒講完：如果股價已經朝同一個方向移動兩次的話，則接下來繼續往同一個方向移動的機率，就比之前只有單次移動的可能性高。令人想像不到的是，奧斯本認為交易所的硬體設備是導致股價失去隨機性的主因，他之後還提出新的數理模型，把這個特性納入考量。

這就是奧斯本研究生涯的一個獨特印記，不難看出為什麼他在物理史上跟金融史上都是一號響叮噠的人物。在奧斯本版本的效率市場假說中，「股價往上或往下的機率相等」這個假設曾經是很重要的前提，甚至是奠定他最初版本的金融市場數理模型的核心假設；可是一旦發現這個假設站不住腳，他就立即動手修正模型，把真正市場運作的觀察心得、把更接近真實狀況的假設，都納入考慮。早年研究天文學及流體力學的理論時，奧斯本就奉這套方法論為圭臬；因為大多數天文學跟流體力學的問題都沒辦法一次找到答案，研究的第一步反而是要先從數據判讀出發，利用簡化的假設建立簡單的模型，接著仔細



驗證這些簡化的假設會不會與事實矛盾——這一步同樣要建立在數據資料上，然後再釐清錯誤的假設會對模型的預測能力造成多大的影響。

奧斯本提出最初版本的布朗運動模型時，也沒忘了表明自己的理論包含哪些假設，同時指出自己的理論在假設發生錯誤的情況下，自然會失靈。對奧斯本與很多物理學家而言，假設失準造成模型說服力不足，並不代表「模型一定是錯的」，這只代表我們需要投入更多精力加以改善。在提出一個模型後的下一步驟，就是檢驗這些假設什麼時候會失準，造成的後果有多嚴重；如果原本的假設經常失準，或者在特定條件下會失準，我們就得一併找出造成模型失靈的方式跟原因。（例如，奧斯本就證明出股價的變動不是獨立變數，特別是在崩盤時，一連串的下跌很有可能導致股價不斷探底；一旦投資人集體感染上這股恐慌性賣壓，就連奧斯本「布朗運動擴充版」的模型，都會失去參考價值。）

建構模型的過程，其實是一連串依照新事證不斷進行模型最佳化的工作；也就是，要在研究過程中逐步累積一點一滴的進展，不論研究的主題是細胞、颱風，或者是金融市場。

並不是每個研究金融市場數理模型的人，都像奧斯本一樣這麼看重方法論的重要性，這就是為什麼數理模型有時候會導致金融市場崩潰的主要原因之一。如果你渾然不覺自己依據的模型，它的基本假設已經跟事實背離了，你還拿這套數理模型在金融市場上做決策，完全沒進行任何修正，賠錢的結果也就沒什麼好意外的了。這當然不能全歸咎於模型出了問題，這就好像你硬要把汽車引擎安裝到飛機上，然後對飛不起來的結果大失所望一樣。

## 洞悉熱門個股

雖然奧斯本觀察出股價變動的模式，但是他仍舊相信世上沒有一種可靠的預測方式，可以看穿未來的市場反應，從中獲利——只除了一種例外狀況。說來讓人有點哭笑不得，這個例外狀況跟奧斯本提出的

任何一種精密的數理模型都沒有關係，而是他看穿了股市交易行為背後的心理動機，使他對於從中獲利，抱持很樂觀的看法。

奧斯本注意到，一般投資人非常喜歡在整數關卡進行交易，譬如說是10、11美元這種數字；另一方面，美國股票的計價單位是1/8美元（0.125美元）。如此一來，交易員要是從手上的交易紀錄，看出很多人想要在10美元入場買進一檔個股的話，他就可以用10.125美元搶先買進。反正有那麼多人打算在10美元這個門檻承接，至少該檔股票在當天不會跌到10美元以下。因此，要是搶進後股價沒往上漲，交易員最多只損失0.125美元，但要是該個股真的開始走揚，那就會大發特發了。

反過來看，要是交易員看出很多投資人打算在11美元出脫持股的話，他就可以放心用10.875美元的價位搶先賣出，就算股價最終是走揚而不是下跌的話，最大損失也一樣只有0.125美元。

這個現象表示，如果我們觀察美國股市一整天的交易狀況，並把其中跟整數價位相差正負0.125美元的個股挑出來，我們就會得到專家所看中的「熱門個股」——這些都是背後有很多投資人等著交易的個股。

理財專家看中的熱門個股，也就是股市走勢的重要指標。這比奧斯本的任何一個研究成果，都還更具有代表意義。奧斯本利用這個觀察結果，寫了第一套可以讓電腦自動執行交易的程式。這個時候是1966年，當時還沒有人會用電腦，輔助進行決策。因此奧斯本的先進想法（以及其他人的類似想法），還要再等好幾十年，才會在現實世界中落實。

## 第三章

## 海岸線悖論跟大宗棉花價格

大宗棉花價格的走勢，  
比較像是酒後開槍的班兵，而不是酒醉的觀光客。  
曼德布洛特覺得這實在太有趣了。

曼德布洛特（Benoît Mandelbrot, 1924-2010）的叔叔佐列姆．曼德布洛特（Szolem Mandelbrojt, 1899-1983）是非常擅長**數學分析**（又稱高等微積分）的知名現代數學家。

佐列姆在巴黎讀書時，就已經跟其他最優秀的人才齊名了，例如皮卡（Emile Picard）和勒貝格（Henri Lebesgue）這兩位著名的法國數學家。佐列姆同時也是以布爾巴基（Nicolas Bourbaki）為名、共筆發表文章的數學學會創辦人。布爾巴基學會是由一群法國數學家組成，致力於提升數學分析的抽象性與嚴謹度，他們集體完成的作品，為接下來兩世代的數學家奠定了發展基礎。

佐列姆是一位不苟言笑、認真工作的學者，也是十九世紀末知名數學家阿達馬（Jacques Hadamard）的得意門生。當阿達馬從頗負盛名的法蘭西學院退休時，院方旋即力邀佐列姆接替老師的職位。

或者我們可以換個方式，來講他的故事：要不是他的姪子曼德布洛特一直打擾他的話，佐列姆就可以更專注於研究工作上。時間拉回到1950年，這時候的曼德布洛特，正在佐列姆的母校巴黎大學攻讀博士學位，（佐列姆以為曼德布洛特）想要追隨出類拔萃的叔叔，踏上學術這條路。當第一次聽到曼德布洛特想以數學為終生職志時，佐列姆高興到說不出話來。可是後來，佐列姆逐漸懷疑曼德布洛特到底能不能說到做到。雖然求學過程不乏叔叔熱心的指導，但是曼德布洛特似乎對當時極度強調嚴謹的數學提不起勁，做研究時總是欠缺佐列姆賴以成功的謹慎態度，更麻煩的是，曼德布洛特對於幾何學的領域特別感興趣。當時很多自負的數學家都知道，幾何問題已經受忽視超過

一個世紀了，他們認為幾何學等同於玩物喪志——真正的數學家怎麼可以只懂得畫圖呢？

曼德布洛特的父親一手帶大自己的弟弟佐列姆，要不是他不斷資助弟弟完成學業，佐列姆的人生恐怕會有完全不一樣的發展。因此，與其說佐列姆把曼德布洛特當成姪子看待，倒不如說兩人的關係更像是一對兄弟，而且佐列姆也認為自己有義務持續付出心血，幫助曼德布洛特。可惜佐列姆對於曼德布洛特感興趣的學科，也只能鞭長莫及，畢竟曼德布洛特就是這麼喜歡幾何。佐列姆認為曼德布洛特在數學領域的才華，絕對不下於其他人，可是卻始終弄不懂，他為什麼非堅持走上幾何學這條路不可。

### 從詭異的齊夫定律出發

有一天，曼德布洛特又在佐列姆的辦公室裡，高談闊論自己博士論文的瘋狂想法。受夠了的佐列姆，只好去垃圾桶翻出一張廢紙——如果曼德布洛特真的這麼喜歡研究垃圾問題，我這邊多得是無聊又不重要的學術論文呢！「喏，拿去吧，」佐列姆沒好氣的說：「這上面有你最喜歡的笨問題。」

佐列姆滿心以為，自己情緒化的演出，可以讓這位年輕的姪子有所頓悟，卻怎麼也想不到這個舉動的結果，完全出乎自己意料之外。曼德布洛特看著廢紙上的內容，發現那是針對哈佛語言學家齊夫

（George Kingsley Zipf, 1902-1950）新著作的書評，就帶回家仔細研究了。

齊夫這號人物，素以古怪著稱，沒有多少人會認真看待他的想法，他一輩子都主張有一條共通的定律，可以串連物理學、社會學和語言學三個領域的現象，也就是所謂的**齊夫定律**（Zipf's law）。如果你把屬於自然界某個分類項目的所有物品，列成一張清單，比方說是所有的法國城市、或是世界上所有的圖書館，然後依照大小排序（城市的大小可以用人口數為基準，圖書館則可以用館藏數量衡量）；根

據齊夫定律的說法，你將會發現：每一張類別清單中，各個物件的大小規模都跟排序的名次有關，例如排第二位的規模大概都是第一位的一半，排第三位的大概都是第一位的三分之一，以此類推。

曼德布洛特在廢紙上看到的書評，就是在探討齊夫定律中的一種特殊形式：齊夫把不同文本中各種常見的字彙挑出來，然後把這些字彙出現在某篇文章的次數依序排列，結果還真的發現了最常用到字彙出現的次數，大約是第二常用字彙的兩倍、第三常用字彙的三倍；其他字彙出現的次數比例關係，也大致符合齊夫定律的預測。

齊夫的論述會讓曼德布洛特感興趣，這一點佐列姆猜對了，但是他以為齊夫定律是垃圾問題，可就大錯特錯了——至少不該把它貶得一文不值。齊夫定律雖然很詭異的結合了名門正派的「估計」方法和旁門左道的「數術」奇巧，齊夫本人也的確是個怪咖，但是這本新書裡卻隱藏著一顆珍珠：找出特定字彙在一本書裡會出現幾次的計算公式，而且再根據齊夫定律的排序比例，我們就可以算出一本書裡各種字彙現身的次數。

### 「碎形幾何」開山祖師

曼德布洛特很快就找到改良計算公式的方法，還發現這條公式具有一些原本沒預料到的有趣特質。接下來，儘管自己沒有追隨叔叔的腳步，抵死不投入當時數學界最耀眼的領域，曼德布洛特還是以齊夫定律及其應用方式為主題，完成了博士論文。這篇博士論文沒有掛上任何一位指導教授的姓名，曼德布洛特全憑自己帶著論文，打通學校裡授予博士學位的每個環節，成為非常、非常少見，僅憑一己之力取得博士學位的案例。

曼德布洛特的一生，的確充滿各種不尋常的紀錄，跳進冷門的數學領域成為學界孤鳥，當然也是其中之一。儘管當時絕大多數的數學家都專注於研究「平滑」的結構，也就是可以用玩具黏土做出來的構造，但是曼德布洛特的重大發現，卻是以**碎形幾何**（fractal geometry）

來命名，是在探討鋸齒狀、破碎的圖形，譬如說山坡地的表面或是一片碎玻璃。

這些碎形結構讓曼德布洛特發現，大自然裡有各種多采多姿的隨機模式，精采程度絕非永無止境擲銅板得到的隨機模式所能比擬。我們幾乎可以在所有數學、科學領域裡，窺見大自然的隨機模式，金融市場當然也不例外。

曼德布洛特是知識界的革命性代表人物，就算他最重要的論文已經發表了好幾十年，他的想法直到今天來看，依舊相當前衛激進。不同領域的主流科學家，迄今仍舊對他的觀點爭論不休。對經濟學界來講，衝擊尤其劇烈：曼德布洛特的核心思想是一顆難以下嚥的苦藥，如果曼德布洛特的理論成立，則幾乎所有傳統經濟學家對市場的觀察，根本上都是錯的！

不論是身在科學界或庶民社會，特立獨行的曼德布洛特總是不輕言妥協，從來不會向學術圈的壓力低頭。他自己常有高處不勝寒的感受：雖說受人尊敬，但是卻不及他應享有的推崇。

曼德布洛特的行事風格跟獨樹一幟的研究成果，確實不斷招來批判跟冷漠的眼光。但是經過了四十多年、華爾街跟科學界都面臨新一輪似乎難以克服的挑戰之後，大家愈來愈能感受到，曼德布洛特對隨機性的研究，充滿真知灼見，也就愈來愈有必要去理解他的學說了。

### 曼德布洛特不懂乘法

1924年，曼德布洛特出生在波蘭華沙的一個立陶宛籍、猶太裔家庭，他的父親經商，兩位叔叔（包括佐列姆）都是學者。依照曼德布洛特的說法，父系家族的成員都是一群「聰明人」，雖然沒有固定職業，但卻是不同團體的領袖人物，彼此之間會互通有無，相互提攜。曼德布洛特的母親也是一位受過專業訓練的醫師，因此曼德布洛特小時候就覺得自己背負著家族期待，不論所學領域為何，都要踏上學術



這一條路。倒是曼德布洛特的父親希望他挑一些比較具有實務性質，像是工程或應用科學之類的學術領域。

雖然在這樣一個重視教育的家庭中長大，但是曼德布洛特小時候的學習過程卻跟大多數人不同。他們家的第一個孩子、曼德布洛特的姊姊，在很小的時候就死於一場肆虐華沙的瘟疫，讓曼德布洛特的母親從此對孩童間的傳染病深感恐懼，想盡辦法保護另外兩個小孩，以免他們重蹈姊姊的命運。因此曼德布洛特沒有上小學，而是由母親聘請舅舅擔任他的私人家教。

曼德布洛特的舅舅雖然不是父系家族的成員，卻具有非常鮮明的類似特質：受過良好教育、沒有固定職業、博學多聞。曼德布洛特的舅舅厭惡死板的教育方式，他沒有教曼德布洛特算術、拼字之類的世俗知識〔這不是開玩笑的，在領取沃爾夫物理學獎（Wolf Prize for physics）發表致詞感言時，曼德布洛特坦承，他還搞不清楚乘法到底要怎麼算，這輩子也從來沒有背過乘法表〕，反而鼓勵他朝向創意思考與廣泛閱讀的領域發展，此外，西洋棋跟地圖判讀，也是另外兩項讓曼德布洛特耗費大量時間的活動。

之後華沙深陷經濟大蕭條的泥沼，經濟衰退的情況比西歐、美國都來得嚴重。曼德布洛特父親經營的成衣事業，在1931年無以為繼，只好隻身一人前往法國，希望西歐稍微好一點的經濟狀況能夠讓他賺到足夠的錢，維持妻小溫飽。在華沙落地生根的曼德布洛特大家族，跟華沙這座城市的關係密不可分，因此他們希望曼德布洛特的父親總有一天，能夠回到華沙另起爐灶。

可是隨著1930年代的日子一天天過去，華沙的經濟局勢卻不見好轉，整個波蘭變得愈來愈不安定，種族或政治面的衝突時有所聞。猶太裔的曼德布洛特一家人，開始發覺華沙或許不再是長治久安的住所。曼德布洛特的母親便把所有家當打包，動身前往巴黎與丈夫團聚。在當時做出搬到巴黎的決定，需要相當大的勇氣，不過事後看來

反倒救了曼德布洛特一家人的性命。第二次世界大戰之前，有超過三百萬猶太人住在波蘭，在納粹的種族大屠殺之後，倖存者只剩幾十萬人而已。

佐列姆在1919年就以另一種不同形式的難民身分，早曼德布洛特的父親一步，在巴黎定居。第一次世界大戰結束後不久，主導波蘭數學界發展的是一位名叫謝爾賓斯基（Wacław Sierpiński）的年輕數學家，專長領域為集合論。謝爾賓斯基對不同的數學領域愛恨分明，而且也有足夠權威，可以獨斷每一位華沙數學研究生的前途。佐列姆日後對曼德布洛特憧憬幾何的想法看似嚴苛，不過當時謝爾賓斯基對佐列姆又更為嚴苛，不願意投入謝爾賓斯基指定研究領域的佐列姆，只好流亡到主流思潮跟自己對數學的看法比較一致的巴黎數學界。反諷的是，謝爾賓斯基本人創造出少見的幾何圖形「謝爾賓斯基三角形」（Sierpiński triangle），這也是最早期的碎形圖形。

直到抵達巴黎之後，那年十一歲的曼德布洛特，終於有機會跟他在數學界享有盛名的叔叔一起生活；雖然這兩人日後的研究領域大不相同，但是兩人一開始的互動堪稱是如膠似漆。曼德布洛特受限於法文程度不足，只能用比應屆學齡降兩級的方式入學就讀。為了鼓勵曼德布洛特發揮天分、有志於學，佐列姆開始灌輸他各種數學知識，這段期間的影響也奠定了曼德布洛特朝向數學領域發展的志向。儘管外在的政經局勢仍舊艱困，但是曼德布洛特在佐列姆悉心的指導下，還是找到了在新故鄉的生活樂趣。

只可惜這種日子並沒有維持很久，1940年德國入侵法國，曼德布洛特一家人只能再次輾轉流離。

## 海岸線悖論

英國本島的西海岸線有多長？這個問題乍看之下很簡單。我想，每個人都可以回答說：「派一組專家去調查就知道了。」不過，這個問題隱含了一個難解的課題，也就是所謂的**海岸線悖論**（coastline

paradox），所以並沒有表面上看起來那麼簡單。要知道海岸線的長度，總得透過某種量測方法，比方說用尺量好了，而你需要選用多長的尺，正是這個難解課題的關鍵。假設你先用一把大到不像話的尺，從蘇格蘭最北端的憤怒角，一路拉到康瓦耳郡西南端的彭贊斯，就可以得到一段海岸線長度的估量值。

這個答案當然不夠理想，海岸線畢竟不是一條條直線。英國本島的西海岸線，在布里斯托灣、愛爾蘭海兩處都往內彎，在威爾斯則往外突，只用一把大尺當然沒辦法量出精確的數字。想要量得更精確一點，你得用短一點的尺，一把可以讓你隨心所欲把每個半島、海灣長度都算進海岸線的尺。如此一來，你可以把彭贊斯到布里斯托、布里斯托到威爾斯的聖戴維斯，再從聖戴維斯到威爾斯西北端的卡梅爾角……等各處的海岸線統統算進來；新的海岸線總和，會比第一次測量到的結果還長，卻也是比較正確的結果。

依此類推，你可以不斷發展出新的量測模式；但是，即使你選用的尺愈來愈短，類似第一次用大尺度造成低估的誤差依然會發生，譬如第二次那把比較短的尺，還是忽略了卡迪根灣，更別提還有十多處坐落在康沃爾、威爾士海岸線的小港灣，也被忽略了。這幾處曲折的海岸，會讓海岸線長度變得更長，你需要用另一把更短的尺，才量得出來。即便如此，相同的問題還是會重複發生。事實上無論你用多長的尺去量，量出來的結果永遠比真正的海岸線還短；換句話說，只要能選用另一把更短的尺，你就一定能夠量出更長的海岸線來。

矛盾的地方就在這兒了。理論上，運用更精密的器材，永遠能讓你得到更準確的結果，譬如把手指頭伸進一壺水中，可以感受到水有多燙，用酒精溫度計可以量出實際的溫度，用高科技的數位溫度計，甚至可以量到小數點後一位。這意味著不夠精密的器材，總是會造成量測誤差；器材愈精密，就愈能接近真正的溫度。可是在測量海岸線長度的時候，不論你選用的器材有多精密（亦即，不論你選用的尺有

多短），量到的結果永遠比真正的海岸線還短，這就表示真正的海岸線量不出長度；或者說，沒辦法像量測一條直線或一個圓形那樣，量出真正的長度。

曼德布洛特在1967年以海岸線悖論為主題，發表一篇震撼學界的論文，同時也是第一次試圖描述出碎形的概念——雖然海岸線的形狀確實是一種碎形，但是曼德布洛特一直到1975年，才正式使用碎形這個字眼。

以數學的觀點來看，海岸線以及其他碎形**自相似性**（self-similarity）的特質，相當值得深入研究。所謂自相似性，意指組成一個物品的零件，其外觀跟整體外觀相似，而這個零件本身也是由其他外觀跟整體相似的更小零件所組成，以此無窮類推下去。好比以英國本島西海岸線為例，把這條海岸線切成好幾段之後，你會發現每一小段跟原本的西海岸線相似，都還是具有海岸線的外觀，每一小段海岸線一樣具有半島、海灣的結構。如果你把這一小段海岸線再切成好幾段，你還是會發現，再小的片段都一樣具有跟原本整條西海岸線相同的構造。

在初步認識何謂自相似性之後，你大概會發現，這種特質在大自然中隨手可得：一座山的山巔看起來就像是整座山脈的縮小版，一段樹幹分支看起來就像是包含所屬更小分支的一棵小樹，一條大河的水系也是由更小的河流跟河口所組成。

這個原理就連延伸到人文社會也一樣適用。如同曼德布洛特在日後的研究中指出，一場戰役是由許多小規模的戰鬥所組成，而一場戰爭則是由許多戰役所組成。你可以把每一場戰役，都當成整場戰爭的縮影來看待。

## 在戰火中求生存

第二次世界大戰爆發後，認為戰亂局勢會失控的曼德布洛特一家人，選擇逃離巴黎，前往法國科雷茲省（Corrèze）蒂勒小鎮避難。曼

德布洛特這家人再一次展現出獨到的遠見與無比幸運：他們一家人在1939年底離開巴黎，幾個月後德國就入侵法國了，結果遠在巴黎南邊的蒂勒鎮，反而成為他們家最睿智的選擇，該地不久之後，也成為法國維琪政府（Vichy）所管轄的非淪陷區。

維琪政府跟德國維持一定程度的合作，但是在法國南方的反猶太主義，遠不及德國占領區來得嚴重。至少，曼德布洛特還有幾年的時間，可以在蒂勒鎮完成中學課程。到這個時候，已經是德國全面控制法國領土的1942年，此時曼德布洛特的法語程度已經流利到，讓他能夠迅速趕上其他同年齡同學們的學習進度。

然而，戰爭歲月讓曼德布洛特總是活在被遣送到集中營的恐懼中，維琪政府從1940年開始重新審查1927年以後，才取得法國籍的移民身分，進而取消大約一萬五千人的公民資格，其中大部分是猶太人。這個舉動被視為將遣送這些人去德軍集中營的前置作業，雖然避居蒂勒鎮的曼德布洛特一家人尚未受到波及，不過生存的威脅已經迫在眼前了。

1942年的情況更加惡化。英美聯軍在1942年11月8日攻克法屬北非，德軍預判同盟國將從北非攻入歐洲大陸，於是併吞法國南部，備戰因應。緊接著，德國祕密警察蓋世太保和德軍裝甲部隊開始出現在法國南部，就連蒂勒鎮也都成為戰場的一部分。雖然當時的蒂勒鎮不過是數千人居住的小鎮，但傳統上一直是科雷茲省的省會。隨著德軍在法國南部的活動日益頻繁，不論對殘存的維琪政府或是對法國反抗軍而言，蒂勒鎮的戰略價值都跟著與日俱增，使得曼德布洛特一家人再也不能利用這座邊陲小鎮，獲得安全保障。

雖然沒有仔細談論細節，但是曼德布洛特曾在自傳跟訪談中提到戰爭對他求學過程的影響。1942年完成中學課程後，生活中處處受限的曼德布洛特知道，自己已經跟菁英學院無緣了（這個無法進入菁英學院的經歷，跟巴楔利耶相互呼應）。我們只知道曼德布洛特日後用

「非常、非常、非常艱困」形容自中學畢業後的一年半歲月，還說自己這段期間「好幾次在千鈞一髮之際，躲過了不幸的災難。」

既然沒有繼續就學的可能性，同時也為了維持低調的生活，曼德布洛特只好避開城鎮，居無定所。他跟一群幫助自己藏匿的反抗軍住在一起，做過好幾份工作，試圖把自己偽裝成一個普通的法國鄉下人。曼德布洛特當過好幾個月的馬夫，之後還擔任過法國鐵路局工匠的學徒，不過他對經商這件事不太靈光。雖然戰爭期間沒辦法讓曼德布洛特在學術界討生活，不過他還是保持手不釋卷的習慣，只要一逮到機會，就埋頭苦讀——想要隱姓埋名當馬夫的話，最好別這樣做。

起碼有一次，曼德布洛特就差點被送去集中營（若是被關進去，大概就只能準備去見死神了），所幸他還是設法避開德軍的耳目。根據曼德布洛特的敘述，他父親也碰過這種生死交關的場面；有一次他父親被抓進蒂勒鎮附近的戰俘營，反抗軍過沒多久也攻進戰俘營，舉白旗投降的警衛就釋放了所有戰俘。火力不足的反抗軍沒打算死守戰俘營，所以他們警告這群戰俘，趕快在德軍增援之前逃到別處去。

不曉得該往哪邊逃才能獲救的戰俘們，決定先結夥前往鄰近的大城利摩日（Limoges）再做打算。離開戰俘營後沒多久，曼德布洛特的父親突然發覺這個想法糟糕透頂：一大夥人就這樣毫無遮蔽的在主要幹道上前進，被發現的機率實在太高了！可是他沒辦法說服其他人，只好孤身一人想辦法回家。

曼德布洛特的父親先鑽入一旁的森林，小心翼翼的盤算該如何回到被逮捕的地方，跟家人團聚。就在孤身穿越荒野的時候，他聽到後方傳來死神的召喚——在幹道上發現戰俘的德軍，對那一夥民眾展開無情的砲擊。

### 隨機現象不如想像中常見

戰爭期間什麼事情都說不準，品瓊（Thomas Pynchon）在小說《萬有引力之虹》裡面，描述德軍在第三帝國即將垮臺之際，用V2火



箭轟炸倫敦；一位名叫麥克西科的統計學家，負責追蹤火箭的落點。一般人大概會假定，V2火箭砸在倫敦任何角落的機率是一樣的，麥克西科卻發現，彈著點呈現某種特殊的統計分布。

麥克西科身旁聚集一群想盡辦法求生的人，希望能躲過德軍漫無目標的轟炸。對這群旁觀者來講，麥克西科的圖表能夠揭露某些參考模式，可以用來判斷下一波轟炸的區域。

根據麥克西科的圖表，倫敦某些區域看起來似乎經常挨轟，其他地區被炸的次數則少之又少。然而光憑這點資料，要推論下一波火箭的落點，就猶如轉輪盤賭徒自信滿滿宣告「滾珠接下來一定會停在哪個數字上」一樣。麥克西科深知這是站不住腳的推論，但是自己也覺得這些數據相當吸引人。重點是，只要你別剛好站在下一波火箭會擊中的大街上，就行了。

以數學的觀點分析，V2火箭落點的隨機性並不夠強烈。它的轟炸模式符合一定的系統分析：一天之內會發射幾次、大略瞄準倫敦的哪個位置。研判有多少火箭會落在聖保羅大教堂、或是漢默史密斯區，就跟研究滾珠會停在「25」這一格多少次，差不多意思。很多常見的隨機模式，的確類似這種情況，多到讓我們在不知不覺中，以為所有隨機事件就跟擲銅板或是簡單的賭局一樣。

許多現代金融理論就是建立在同一個假設上，你可以回想巴楔利耶如何把股價長期走勢模擬成隨機漫步的形式。股價在每個時點走揚或下跌一點點的機率，就好像是上帝擲銅板決定的，如果這個模型說得通，巴楔利耶認為股價走勢將呈現如同常態分布的鐘型曲線。然而，奧斯本認為這個說法不太對，應該是上帝每一次擲銅板時，股價是上揚或下跌一定的百分比，而非上揚或下跌一定的數值，才比較接近實情；在這個修正過的觀點中，呈現常態分布的是投資報酬率，而股價走勢將呈現出對數常態分布的圖形。

## 柯西分布曲線

大自然隨處可見常態分布的狀態。如果你隨機挑中某個人口聚集地，依序把該地所有身高160公分、165公分、170公分.....的總人數畫成一張圖表，你就會得到一張常態分布曲線圖。如果你隨機挑一千支溫度計，量測自己的體溫，量測值構成的圖形看起來也會是常態分布曲線。如果你玩擲銅板的遊戲，只要出現人頭就可以得到一元、出現反面就損失一元的話，當你玩的次數夠多，獲利（和賠錢）的機率曲線也會長得像是常態分布曲線。

這些現象沒什麼不好，常態分布就是這麼容易理解與運用。譬如說，某件事屬於常態分布，而你取得的樣本數也夠大的話，樣本平均數就會收斂成某個特定的數字。就平均而言，白人的身高大約是175公分；除非你生病發燒，否則一千支溫度計的平均讀數會是攝氏37度；至於擲銅板遊戲的平均獲利大概也只會是0。

這些道理可歸因於機率分布裡的大數法則，這是白努利發現的通則，可以把機率跟長期事件發生的頻率串連在一起。根據大數法則，只要某件事符合某種機率分布，好比男性的身高符合常態分布的時候，一旦你取得夠多的樣本，再多取樣一次也不會對平均值造成多大的影響。換句話說，當你已經取得某地區夠多的男性身高樣本時，再多增加一位男性身高的資料，並不會對平均身高產生顯著的影響。

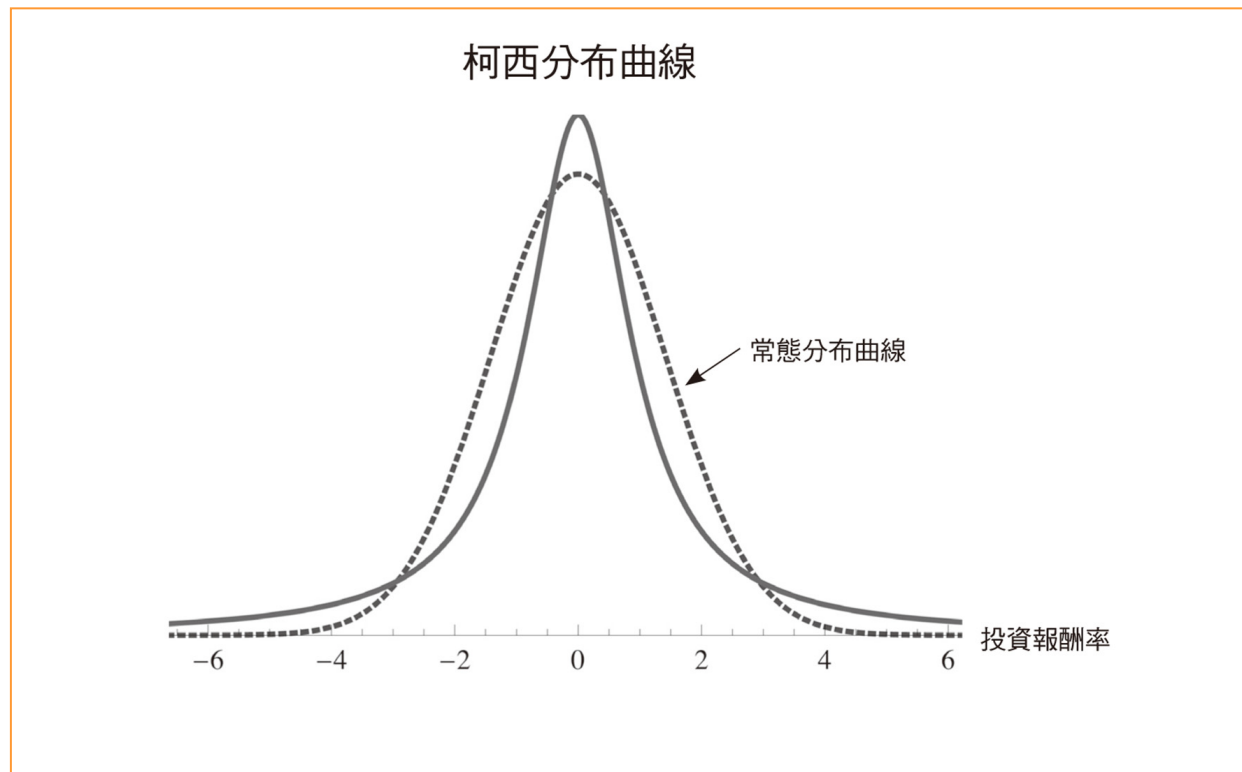
然而，並不是每種機率分布都適用大數法則。在坎昆度假那位醉漢的走路方式，可適用於大數法則，因為他隨機漫步亂走一通，所以就平均而言，他再怎麼走都會留在起點，就好像擲銅板的平均獲利等於0一樣。

如果把這個問題的主人翁，從晃晃悠悠想要走回旅館房間的醉漢，換成一位酒後胡亂開槍的班兵呢？這位班兵手上拿著一把步槍站在定點，前方是一堵牆（為了順利完成接下來的論證，假設這堵牆的長度是無限長），正如同坎昆的醉漢，這位班兵拿起步槍、東搖西晃朝不同方向瞄準的機率，都是一樣，所以等到他穩住身形、扣下扳機

的時候，子彈有可能飛往任何方向——有可能直接打在班兵眼前的牆面，也有可能朝班兵右手邊一百公尺外的地方飛過去（當然也有往不是牆的那一面開槍，不會在牆面上留下彈孔的可能）。

再假設這位班兵胡亂開槍，總共射出一千發子彈好了。如果你把牆面上的彈著點全都記下來（沒打在牆面上的可以忽略），你就可以把這個資料當成「任一發子彈打在牆上任一部位的機率分布」，再把這個機率分布跟一般的常態分布進行比較後，你就會發現兩個圖形並不相同。喝醉的班兵直接朝眼前牆面中線開槍的次數最多，事實上，次數甚至會多到超出常態分布預測的頻率。此外，子彈往牆面兩端遠處飛去的頻率也非常高，同樣也比常態分布曲線預測的次數，高出很多很多。

這個機率曲線就是**柯西分布**（Cauchy distribution）的圖形。由於柯西分布曲線左右兩端趨近0的速率，不像常態分布曲線那麼快（因為子彈經常會打在遠端的牆面），因此我們說，柯西分布曲線「尾端肥大」。請參考圖三的柯西分布曲線。



圖三：坎昆喝醉酒的觀光客，想要走回房間的移動軌跡屬於常態分布。然而並非所有隨機過程都屬於常態分布，比方說喝醉酒的班兵朝牆面開槍的彈著點，就屬於另一種不同的分布型態：柯西分布。（在此要強調一點，儘管酒醉班兵開火的角度屬於常態分布，但是牆面上的彈著點卻屬於柯西分布！）柯西分布曲線（圖中的實線）在中間值的位置，比常態分布曲線（圖中的虛線）瘦一點也高一點，而且兩個尾端下降的速率也比較慢。亦即柯西分布產生遠離中間值事件的頻率，高過常態分布曲線的預測值。這個特徵使得柯西分布被稱為「尾端肥大」的分布曲線，曼德布洛特把分布情形屬於尾端肥大的現象，叫做「狂野的隨機」——這表示極端狀況比一般認為的更常發生。

不遵守大數法則，是柯西分布曲線其中一個最引人矚目的特徵：酒醉班兵的平均彈著點，永遠不會趨近於某個固定的數字。在他發射出一千發子彈後，你可以用這一千發子彈的落點，算出一個平均值，做法就跟算出擲銅板遊戲的平均獲利一樣。但是這個平均值很不穩定，只要這位班兵發射下一發子彈前多轉了幾度，讓子彈幾乎朝著與牆面平行的方向飛去，最後落在好幾百公里外的話（這把槍根本是神兵利器！），老實說，只要子彈飛得夠遠，當你把最新的彈著點納入計算的時候，新的平均值就會跟原本的數字天差地遠。由於柯西分布曲線「尾端肥大」的特性，我們其實無法預測這位酒醉班兵長期累積的平均彈著點。

### 狂野的隨機

根據曼德布洛特的描述，在維琪政府統治下的法國，有很大一片區域長時間不受戰爭影響，特別是戰爭剛爆發的頭兩年，接下來則是一段時間「受到風暴肆虐」的影響，然後再回到另一段平靜的歲月。

或許這種人生經歷，足以解釋為何曼德布洛特對於這種爆發式、無法類比成單調賭局的隨機過程特別感興趣。為了與隨機漫步這種平凡無奇、溫和的（mild）隨機性質有所區別，曼德布洛特把符合柯西分布的事件，稱為**狂野的隨機**（wildly random），並投注大量精力進行研究。當曼德布洛特開始專注在這個課題時，絕大多數統計學家認為，世界上充斥著各種常態分布事件，柯西分布或其他尾端肥大的分

布曲線只能算是少見的例外。這就讓曼德布洛特有機會向世人證明，所謂的例外到底有多常發生。

現在讓我們回過頭，看看英國本島西海岸線的問題。如果你想要算出岬灣、或是向海面延伸出去的露頭平均有多長，你可能會先從可以量出長度的礁岩或防波堤下手，然後把這些地點的平均長度算出來。光是這樣還不夠，因為這些地點都只是小半島中的一部分而已，所以猶如走進《愛麗斯漫遊奇境》場景的你，又得把量測儀器拿出來，開始測量半島的長度。英國本島西海岸線的半島不多，但是每一個都比剛才的礁岩和防波堤大得多，所以新的平均值跟第一輪量測的結果大不相同。不過就算是這樣，你還是沒有把康瓦耳這種更大的區塊算進來，甚至換成地質學的角度來看，整個英國本島西海岸就是歐亞大陸板塊的露頭。

還有，既然你現在已經站在英國本島西海岸了，你也必須考慮其他更小的結構——為什麼只把幾公尺寬的礁岩算進來，卻對幾公分寬的石塊視而不見？

只要你換上不同的量尺，平均值就一定會劇烈變動，根本沒辦法趨近某個單一數字。海岸線上的各種地質特徵，也沒有可以掌握的平均值，看不到盡頭的測量工作真是令人沮喪。

這就是碎形的自相似性發展出來的普遍特徵，從某個角度來看，這個特徵的規律性讓人讚嘆，但是從另一個角度來看，就是狂野的隨機了。如果碎形如曼德布洛特所想的一樣俯拾皆是，這個世界反而會充斥著極端事件，我們習慣接受的平均值或是常態性，反而是例外中的例外。

### 曼德布洛特的求學生涯

雖然從未提到過細節，但是曼德布洛特經常提到1943年底，跟一群法國反抗軍躲躲藏藏時所發生的可怕經歷。從此之後，保護曼德布

洛特的反抗軍認為他不適合繼續留在蒂勒鎮，便設法讓他以研究生的身分，前往法國東南部的里昂安身，進入一所預備中學就讀。

要曼德布洛特搬到里昂，是一個很冒險的決定。納粹親衛隊軍官、素有里昂屠夫之稱的巴比（Nikolaus Barbie），在里昂市中心設置一座蓋世太保基地（巴比因為遣送近一千名里昂周遭猶太人去集中營的惡行，戰後遭到戰犯罪論處）。因此對猶太人跟反抗軍的支持者而言，位於法國東南方的里昂，在當時是最危險的城市之一；何況這兩種身分，曼德布洛特兼而有之。

由於曼德布洛特的行為舉止，實在不像是一位會在鄉間出賣勞力的莊稼漢，保護曼德布洛特的反抗軍只好想辦法，幫他找一個不會讓人起疑的藏身處。送他去預備中學，自然而然成為最佳的選項。因為曼德布洛特不但怎麼看都帶點書卷氣，歲數上也符合進學校讀書的年紀，所以曼德布洛特就被安排以假身分就學，待在學校宿舍裡避人耳目。雖然註冊過程掩飾得很好，但是曼德布洛特從此以後就不能再冒險離開學校。他的學生身分其實也跟囚犯沒什麼兩樣。

為了不啟人疑竇，曼德布洛特就乖乖待在教室裡面，倒也沒人期待他會專心聽講。這所預備中學專門招收一些最被看好能夠進入菁英學院的學生，教他們如何應付棘手的入學測驗。學校的空氣中瀰漫著相互較勁的氣息，步調緊湊。不消說，自從1942年春天起、一直到1944年初都沒好好讀過書的曼德布洛特，自然從入學開始就再次遠遠落後給其他同學，想要追上這群才華洋溢又充滿企圖心的同學，恐怕是天方夜譚吧。

故事一開始的發展並不出人意料，偽裝成學生的曼德布洛特靜靜坐在教室一角，什麼也聽不懂。這個情況持續了好幾星期，有一天，曼德布洛特聽到，老師點名班上同學回答抽象代數的問題，而且還要大家彼此競爭、用最快的方法找到解答，好為將來菁英學院計時的入學測驗預作準備。這次曼德布洛特當然還是一樣有聽沒有懂，他可以



大概猜到題目在問什麼，但是卻不知道該如何解答，同學們討論的各種解題方式離他更是遙遠。

可是突然間，故事有了戲劇化的發展。曼德布洛特的腦海中浮現了一幅圖像，讓他不知不覺舉手發問。這次老師也很例外的注意到他的反應。曼德布洛特問：「這個題目是不是等於在問，這兩個平面會不會相交？」一邊說，一邊描繪出他腦海中兩個物體的外觀。老師同意這個問題確實可用曼德布洛特的觀點詮釋，但是也同時提醒他：重點在於用最快的方式作答，而不是換成幾何的觀點看問題。

這一頓搶白，讓曼德布洛特又靜靜坐回位置上。不過當老師問下一個問題時，曼德布洛特還是忍不住繼續在腦海中構思相關的空間概念，而且還轉換得非常快。曼德布洛特這才發現自己在這一方面還頗有天賦，因此他在多年後也不排斥用「鬼才」這個字眼，形容自己把抽象代數看成具體幾何的才華。

不過正如同老師的提點，光是用幾何觀點詮釋問題，並無助於入學測驗。因此，曼德布洛特開始思考如何活用這項難得的天賦。雖然他不知道如何用與生俱來的幾何直覺解題（起碼不是依照老師希望的方式），但他總是能夠很快猜到正確答案大概是什麼。所以不久之後，儘管曼德布洛特入學測驗的準備功夫還是一樣糟糕透頂，上學經歷也不足，但是他還是順利融入同儕之間，找到歸屬感。

同盟國在1944年夏天帶來了自由，曼德布洛特在同一年8月就搬回巴黎。雖然他只待在里昂六個月、上過一學期的課，但是這段經歷已經足以改變他人生的道路。這段期間不但讓他學到很多東西，也發現自己獨到的天分，更重要的是，他終於又回到了教育體系。

回到巴黎後，曼德布洛特決定接續預備中學的課程，準備報考菁英學院，因此他進入巴黎其中一所最著名的預備中學就讀。之後在入學測驗也表現得不錯，一口氣得到好幾所菁英學院的入學許可，包括篩選條件最嚴格的高等師範學院。

曼德布洛特在高等師範學院才待了兩天，就決定要跟象牙塔的生活告別。戰時離開學校的歲月，讓他對現實世界的問題特別感興趣，所以他很快就轉學到另一所比較注重實務與科學導向的菁英學院——巴黎綜合理工學院。

轉學的決定就像是預告曼德布洛特日後的學術性格：每一次面對純理論或是應用科學的選擇時，曼德布洛特永遠選擇後者。這種作風讓曼德布洛特可以套用「鬼才」般的幾何天分，解決以往大家認為遙不可及、太過困難的應用問題。就好像前輩巴楔利耶一樣，曼德布洛特會利用自己的數學天分，提出一些前人未曾發現的問題。而他所給的答案，還會更進一步改變科學家看待世界的觀點。

### 巴瑞圖80-20法則

多年以後，曼德布洛特回顧自己精采的學術生涯時，總會認為兩件事對他的影響最大。

首先，就是他不尋常、經常被迫中斷的求學過程。曼德布洛特最終還是拿到菁英學院的博士學位，不過，如果他沒經歷過先前那段曲折又艱困的過程，只遵循傳統學術路線發展的話，大概也很難激發出臨機應變又獨立自主的研究精神。

其次，就是一連串無心插柳的意外發現，讓他接觸到各式各樣要靠腦力激盪，才能解開的謎題。他叔叔很不屑的從垃圾桶翻出齊夫定律的書評，就是其中一個例子。另一個值得一提的例子發生在好幾年後，那時的曼德布洛特已經取得博士學位了。

雖然「沒有指導教授也能獨力完成博士論文」這件事，讓曼德布洛特深感自豪，但是這個紀錄在求職時可不會加分，因此他一開始只好先到美國的普林斯頓高等研究院，從事博士後研究的工作，偶爾抽出點時間回到歐洲，替法國政府的國家科學研究中心（CNRS）研究熱力學課題。曼德布洛特在這段期間，始終無法取得專任教職，原本期待能徜徉數學世界的理想徹底幻滅。當IBM在1958年提供曼德布洛

特，一份以科學家身分在研究部門工作的機會時，雖然他自己認為「那個時候能被IBM錄取，沒什麼大不了的」，他還是毫不猶豫選擇跳槽。IBM也是一家善於把物理知識產業化的企業。

當時IBM研究部門的主要任務之一，是替公司最新型的電腦開拓市場。曼德布洛特的工作是研究經濟數據，主管們希望曼德布洛特能藉此向經濟學界展示電腦的妙用，進一步爭取銀行或是投資機構採購IBM大型電腦。要說得更精確一點的話，曼德布洛特的研究領域是社會整體所得分配的狀況；銀行對這個課題不見得會感興趣，但重點是利用曼德布洛特的研究成果做為佐證，讓銀行瞧瞧IBM大型電腦在處理龐大金融數據時的能耐。

所得分配並不是一個新穎的研究課題，這個領域早期最知名的學者，是十九世紀義大利工程師兼產業鉅子暨經濟學家的巴瑞圖

（Vilfredo Pareto, 1848-1923）。巴瑞圖深信自由放任的經濟理論，全盤接受自由市場運作機制跟資本累積的效用，渴望理解人要怎樣才能富有、由誰掌控財富，以及如何用市場力量進行資源配置等課題。為了分析上述種種問題，巴瑞圖蒐集了大量跟財富、所得相關的數據資料，內容五花八門，包括不動產交易、歐洲各國的個人所得、課稅的歷史紀錄等等，然後用一條坐標軸標記財富跟所得的水準，另一條坐標軸標記不同所得水準的總人數，他用自己想出來的精妙圖形，分析手上各種資料。

透過手中繁雜的數據資料，巴瑞圖發現有個現象不斷重複發生。巴瑞圖指出，在任何國家內，百分之八十的財富都掌握在百分之二十的人手上，這就是**巴瑞圖法則**，也是我們俗稱的「80-20法則」。那個時候的巴瑞圖跟齊夫一樣，認為這個現象是一種「社會定律」：社會中的財富不會隨機分配，市場跟社會的結構一定是由某種神祕力量塑造出來的。巴瑞圖後來觀察到這個現象幾乎無處不在，公司百分之八十的業績通常來自於百分之二十的顧客，百分之八十犯罪行為的線索

會指向百分之二十的罪犯，諸如此類。就算到了現代，巴瑞圖法則在很多地方都一樣適用，譬如說是美國病患消耗掉醫療資源的比例關係。

### 巴瑞圖分布也是一種碎形模式

根據曼德布洛特的觀點，巴瑞圖的研究成果最有趣的地方，當然不是指出社會現象符合某種數學定律，而是點出「整個國家的財富分配」跟「其中一部分人口的財富分配」之間的特殊關係。巴瑞圖指出，80-20法則可以概略說明整個國家的財富分配。我們根據這個法則來做個延伸，如果你把問題稍微修改一下：在全國百分之二十最富有的人口當中，他們財富分配的情況又是如何？

想不到，80-20法則還是適用於修改過的問題，就算你把問題限縮在全國最富有的那群人身上，其中百分之八十的財富一樣掌握在其中百分之二十的人手上；在更富有的那群人當中，財富分配不均的情況，就跟他們相對於一般人的比率一樣，而且這個現象可以無限制推論下去——非常有錢的人百分之八十的財富，還是一樣掌握在百分之二十特別有錢的人手上……沒有終點。

相信你現在已經很熟悉這種特殊關係了。財富在社會的分配狀況，呈現出一種自相似性，或說是一種碎形模式。事實上，巴瑞圖觀察到的分配狀況，就叫**巴瑞圖分布**（Paretian distribution），也是一種尾端肥大的分布曲線，可以用來說明所得分配隨機性的狂野，只是狂野之勢還不及於酒醉班兵開槍後的彈著點。

當曼德布洛特在IBM分析數據資料時，他還沒有完整提出碎形的理論，大概還要再等十年，才會發表關於海岸線悖論的論文。但是他就跟半世紀前的巴瑞圖一樣，對所得分配的慣常模式嘖嘖稱奇，讓他回想起，自己在博士論文中探討過的齊夫定律。（齊夫發現字彙使用頻率的分布模式，也呈現出一種奇特的自相似性。）

### 霍撒克的大宗棉花價格研究

雖然曼德布洛特已經離開學術界一段時間了，但是他替IBM研究所得分配的成果，吸引不少主流經濟學家的注意，讓他有機會應邀在學術研討會上擔任講者。時間來到1961年，就在某次即將上臺演講之際，第二次無心插柳的意外發現，登場了。

這是一場哈佛經濟系舉辦的研討會，不久後要上臺發表演說的曼德布洛特，先前往拜會該校的一位經濟學者霍撒克（Hendrik Houthakker, 1924-2008）。當他走進霍撒克的辦公室後，曼德布洛特的眼光馬上聚焦在黑板上的一張圖，看起來就跟待會演說中要用來說明所得分配、巴瑞圖法則的圖形一模一樣。曼德布洛特推測，霍撒克大概對所得分配之類的問題也有所著墨，便想藉這個機會跟他交換研究心得。沒想到，霍撒克根本不了解曼德布洛特的研究內容。

尷尬的曼德布洛特試著用不同方式解釋自己的觀點，沒多久就發現自己可能猜錯了；他挺起身指著黑板上的那張圖問：「這張圖是描述所得分配的圖形嗎？」搞不清楚狀況的霍撒克說，那張圖是稍早跟研究生討論時留下來的，當時他們正在探討大宗棉花價格的歷史紀錄，圖形描述的是大宗棉花市場每天的報酬率。

霍撒克接著說，他從事大宗棉花的研究已經有一段時間了，可是卻發現這些資料跟理論不符。話說到了這個年頭，巴楔利耶已經重見天日，經濟學家也開始接受巴楔利耶跟奧斯本的觀點，認為市場價格會隨機漫步式的移動。霍撒克想從歷史交易資料中，驗證這個假說正確與否，如果隨機漫步假說是對的，不論時間單位是每天、每星期、還是每個月，我們應該都可以看到許多大宗棉花價格的小幅波動，而劇烈的波動應該少之又少。

然而霍撒克所掌握的資料，卻顯示出與理論不符的結果：他的確看到許多小幅度的價格波動，但是也看到許多劇烈的價格變化；更糟糕的是，明明巴楔利耶的理論指出商品價格會在某個平均值附近波動，但是霍撒克卻連算出大宗棉花的平均價格都做不到！每次只要霍

撒克蒐集到一筆新資料，算出來的平均價格就會不一樣——通常會天差地遠；換句話說，大宗棉花價格的走勢，比較像是酒後開槍的班兵，而不是酒醉的觀光客。

曼德布洛特覺得這實在太有趣了，在取得霍撒克的同意後，他仔細看了一些相關的數據。霍撒克甚至告訴曼德布洛特，如果需要的話，這些資料統統都可以轉手給他，反正霍撒克已經打算放棄這個研究主題了。

回到IBM後，曼德布洛特召集一小群程式設計師，一起把霍撒克裝箱的大宗棉花數據資料拆開來看，巨細靡遺的用各種角度加以分析。他們很快就碰上讓霍撒克百思不得其解的問題：這些資料似乎顯示「平均」報酬率並不存在。大宗棉花的價格確實會隨機變動，但是巴楔利耶跟奧斯本理論中的統計工具卻派不上用場，其中一定大有文章。

### 萊維穩定分布曲線

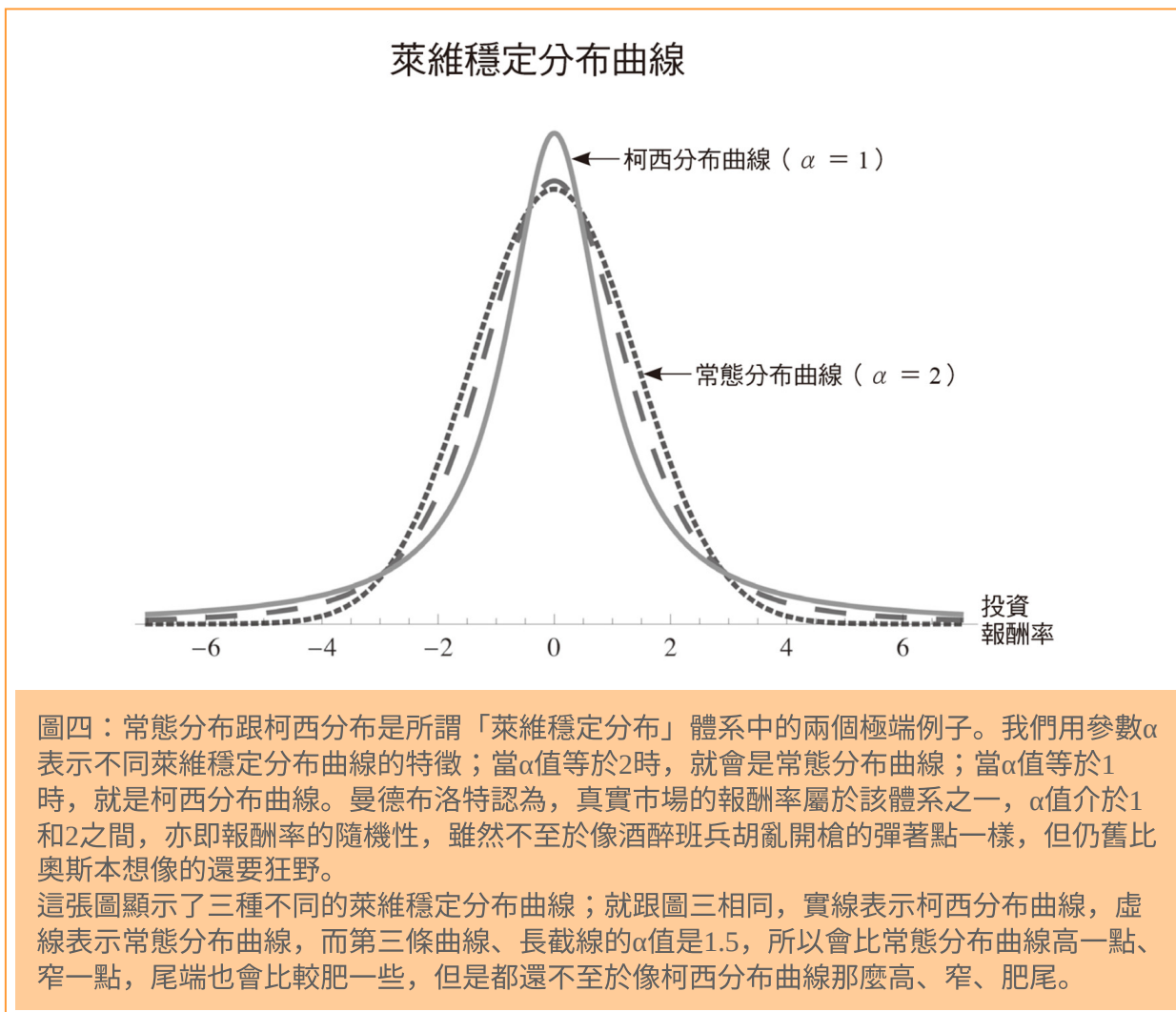
曼德布洛特之前曾經看過這種不尋常的分布曲線。除了研究齊夫跟巴瑞圖的分布理論外，曼德布洛特對於第三種分布型態也不陌生；那是他在巴黎求學時，由一位萊維教授所提出的。

這位萊維就是我們在第一 chapter 提過的，只憑巴楔利耶一小部分論文就認為他寫錯的那位萊維（見第58頁），他在多年以後承認是自己犯了錯誤，並向巴楔利耶道歉。重拾對隨機過程與機率分布的興趣，是促使萊維回過頭去檢視巴楔利耶論文的一部分原因。很諷刺的是，萊維自己晚年的研究成果也已經不如早期一般受人矚目，讓他研究生涯在走向尾聲之際，顯得孤單又失去光彩。

深入隨機過程的研究，讓萊維提出一整套稱為**萊維穩定分布**（Lévy-stable distribution）的理論。常態分布與柯西分布是萊維穩定分布中的兩個特例，除此之外，這個體系還包含許多其他不同形式的分布曲線（這表示，還有很多比柯西分布更狂野的隨機過程）。我們通



常會用參數 $\alpha$ ，來描述隨機過程的狂野程度，以及分布曲線尾端的特徵（請參閱圖四）。常態分布曲線的 $\alpha$ 值是2，柯西分布曲線的 $\alpha$ 值是1； $\alpha$ 值愈小，隨機過程就愈狂野，曲線尾端當然會跟著變肥。 $\alpha \leq 1$ 的分布曲線，並不遵循大數法則，甚至沒辦法讓我們定義什麼叫做平均值。 $\alpha$ 值介於1與2之間的分布曲線，雖然有平均值，但是卻很難確定平均值的變異性——統計術語叫**波動率**（volatility）或**變異數**（variance），意味著我們很難從經驗數據中，算出確切的平均值。



霍撒克身為經濟學家，不太有機會接觸到萊維晚期的研究成果，但是曼德布洛特可是萊維學派的門徒之一，所以能夠在看到霍撒克詳盡的數據資料後，觸類旁通。霍撒克說得沒錯，大宗棉花的價格並不

是常態分布；不過也不是柯西分布，而是介於兩者之間的一種隨機分布， $\alpha$ 值是1.7。沒有錯，大宗棉花的價格是隨機的，但是隨機性狂野的程度，已經不是巴楔利耶或是奧斯本所能想像的了。

曼德布洛特利用萊維穩定分布，舉證棉花市場的隨機性，成功打響了第一炮！然後他接著想：如果大宗棉花價格的隨機性是狂野的，難道其他市場價格不會比照辦理嗎？

所以，曼德布洛特很快開始蒐集各種不同的市場資料，包括黃金跟石油等大宗物資、股票、債券等等，並且在每個市場都發現相同的情況：這些市場的價格分布曲線， $\alpha$ 值都小於2，幾乎無一例外。這就表示，巴楔利耶跟奧斯本有關隨機漫步與常態分布的理論，碰上大關卡了。

### 兩大學派之爭：釘子 vs. 螺絲

曼德布洛特在1960年發表論文，說明巴瑞圖分布跟萊維穩定分布之間的關連性（奧斯本在一年前，才剛發表第一篇探討金融市場的論文），之後又在1963年，專文論述有關大宗棉花價格的研究成果，恰好來得及讓麻省理工學院的經濟學者庫特納，在彙編論文集時，把曼德布洛特扼要說明不同隨機性的論文，與巴楔利耶、奧斯本的論文並列在一起。這個決定猶如在向眾多經濟學者和金融專家，宣揚巴楔利耶跟奧斯本傑出成就的同時，暗示說，簡單隨機漫步的模型還不足以說明一切。

時間來到1965年，那時的金融專家或許還沒意識到，他們正站在面臨抉擇的轉捩點上：到底要追隨奧斯本這一派，主要以物理學為基礎，使用傳統統計工具分析股市投資報酬率的做法，還是要追隨曼德布洛特這一派，正視傳統統計工具雖然用起來比較得心應手，但是卻克服不了脫離現實的致命缺陷呢？

支持傳統做法的人認為，追隨奧斯本這一派，才能建立簡單易懂的理論模型。但是曼德布洛特這一派，卻有強烈的數據資料做為後

盾。

學術界後來選擇了奧斯本。庫特納在1962年出席**計量經濟學**（econometrics，針對經濟數據進行的統計研究，金融界的數據資料也是關注的領域之一）研討會的時候，針對曼德布洛特大宗棉花價格的研究成果，提出了他的看法：

曼德布洛特就跟邱吉爾首相一樣，從沒承諾過要帶我們進入烏托邦，反而用更多差事讓我們流血、流淚和流汗。如果曼德布洛特是對的，幾乎我們所有已知的統計工具都要被淘汰.....過去計量經濟學的研究成果，也幾乎毫無例外會失去意義。既然如此，在把幾世紀以來累積的研究成果化為灰燼之前，我們當然要找到更多證據，才能證明過去的努力都是徒勞無功。

很多同行中人抱持與庫特納相同的觀點。儘管（溫和的）隨機漫步假說在那個時候也還算新穎，但是正如庫特納的直言不諱，有愈來愈多學者得靠這個研究主題維生。庫特納的評論或許可以簡單歸類為「保守派眼見後進學者提出過去的研究有誤（所謂過去，其實也不過是幾十年的歲月而已）的顛覆性觀點，於是試圖加以打壓」。曼德布洛特就是這樣認為，自己的主張受到了打壓。

時至今日，不論是實務界還是學院派也都不得不承認，研究尾端肥大分布曲線，是相當重要的。近來有些人（除了曼德布洛特本人外），最著名的是對沖基金經理人、紐約大學多元技術學院教授兼暢銷書《黑天鵝效應》的作者塔雷伯，認為金融界在1965年無視真實金融市場變化多端的隨機性、只停留在溫和隨機的假設上，就已經走錯道路了。

然而這些批評忽略了一個重點：金融知識的發展進程。傳統統計學在1960年代已經發展出各種完備的研究工具，而當時曼德布洛特只能提出一些概述跟修正假設的建議。那個年代如果放棄了傳統統計學

的研究工具，基本上就不可能依循奧斯本、薩孟遜以及其他計量經濟學者與金融學者的研究進路。

簡單來說，要弄懂曼德布洛特的研究成果並不容易，這就好比當木匠手中只有鐵鎚、其他人也還沒有發明螺絲起子之前，告訴他螺絲比釘子更耐用一樣。所以儘管知道用螺絲建造的房子會比較堅固，木匠們還是得繼續使用鐵鎚跟釘子，而且還得用上好一陣子。

相同的道理，儘管曼德布洛特跟早期追隨他的學者利用碎形的自相似性，研究出一定的成績，但是繼續使用比較簡單、隨手可得的工具，似乎還是比較合理的選擇。你總得先從最簡單的理論入門，然後不斷更進一步探索，才有辦法看出建立知識體系的理論基礎有什麼問題。學術界對於這整個過程都了然於心。

回到曼德布洛特這個例子，一旦你同意股價走勢具有某種隨機性（直觀上來講並不難理解），接下來就是假設股價會用最簡單的隨機方式移動，也就是假設股價會遵循隨機漫步的方式移動——這正是巴楔利耶踏出的第一步。

緊接著，奧斯本指出這個假設不太正確，否則就表示股價有可能變成負的，因此他把理論架構稍微調整一下，假設股市的投資報酬率會隨機漫步，並證明新的假設能夠比巴楔利耶原本的理論，解釋得更詳盡。

然後輪到曼德布洛特登場。他指出奧斯本的假設也不盡然都對，因為只要仔細觀察既有的價格資訊，就會發現數據資料顯示的模式跟奧斯本所想像的不同。其實曼德布洛特觀察到的價格變動模式，也沒有太戲劇化的不同，他觀察到的模式仍然是隨機變動，只是隨機變動的形式跟奧斯本所想的，略微不一樣。

話又說了回來，儘管我們無法忽視奧斯本跟曼德布洛特兩種理論的差異，但也只有在發生極端事件時，才會凸顯這項差異的重要性。

因此，在不容易看到極端事件的太平盛世裡（兩種理論都認為極端事件並非常態），你可能就會忽略兩種理論有什麼不同了。

### 夠好的假設，是理論的起點

因此，當有興趣研究金融市場的經濟學者，試著以庫特納彙編的論文集為基礎深入探索，透過統計工具，並利用股票價格的隨機性預測衍生性金融商品的價格、計算投資組合可承擔多少風險的時候，他們多半會從具有解釋效力的簡單理論中擇一使用，而不是挑一個既複雜又困難，而且只有在特定時點才能展現更佳解釋效力的理論（相同狀況在接下來幾章的故事會不斷出現）。

由淺入深還是比較符合人性，如果你能從夠好的假設，完成有效的推論，通常就能解決其他人弄不懂的問題。而且就算有些小瑕疵，你還是能得到夠精確的答案。從頭到尾你當然都知道，自己的假設沒有那麼理想（市場當然沒那麼有效率，會隨機漫步的是報酬率而不是股價），但這總是個起步。

此外，我們也不能說，曼德布洛特在發表大宗棉花價格的論文後，就遭學術界冷落了幾十年。雖然大多數經濟學家追隨奧斯本的理論，進行市場價格隨機性的相關研究，但還是有一群深入議題的數學家、統計學家跟經濟學家，會用更詳細的資料、更高深的數學工具，來驗證曼德布洛特的理論。其中有很多高深的數學工具，甚至是受到曼德布洛特「真實市場價格的隨機性相當狂野」的假設所影響，專門用來研究這種情況的後續演變。這群人的研究成果也證實曼德布洛特的基本論點：常態分布或對數常態分布，並不足以描述市場真實數據的統計特質；投資報酬率屬於尾端肥大的一種分布曲線。

這個故事的後頭還有文章。曼德布洛特在1963年宣稱，金融市場的價格走勢屬於萊維穩定分布曲線的一種，而除了常態分布曲線外，各種萊維穩定分布曲線都算不出波動率或變異數，因此大多數的標準統計工具都沒辦法分析這些分布曲線的特性。（這就是庫特納含蓄說

出「如果曼德布洛特是對的，幾乎我們所有已知的統計工具都要被淘汰」這句話的弦外之音。)

但如今，我們也有充分證據顯示，當年主張算不出變異數就無法套用標準統計工具的說法，是錯的。經過五十多年的研究，學界已經取得「報酬率曲線確實尾端肥大，但卻不屬於萊維穩定分布曲線」的共識。如果這種說法是正確的，一如許多浸淫在這個領域的經濟學家與物理學家的想法，那麼就算常態分布或對數常態分布這項最簡單的假設不成立，標準的統計工具還是可以派上用場。

評估曼德布洛特的主張正確與否，絕對不會是一份輕鬆的工作。主要是因為跟其他最接近的理論相互比較時，曼德布洛特的理論只有在極端狀況時，才會顯現差異；而取得極端狀況的數據資料，就是一項很困難的挑戰。就算是到了現在，該如何詮釋我們手上的數據資料，也都還莫衷一是。

總而言之，曼德布洛特的主張太過具有侵略性，使得我們很難評估他究竟留下多少東西給我們。有些學者至今依然堅稱，要不是曼德布洛特沒能完成所有的研究工作，否則他的觀點將可以解決這個世界所有的問題。

雖然這種說法讓人不敢恭維，卻也帶有幾分啟示意味。現實世界發生極端狀況的頻率，遠比巴楔利耶跟奧斯本兩人想像的還頻繁，我們也絕對無法運用常態分布，來描述金融市場瘋狂的樣貌；想要理解金融市場如何運作、建立更可靠理論模型的話，這些都是我們無法迴避的事實，而曼德布洛特毫無疑問，是指出巴楔利耶跟奧斯本兩人理論缺陷的代表性人物，同時也是發展出必要數學工具並深入研究的創新者。想要把所有問題都釐清，是一項永無止境的挑戰。我們絕對不能認為，改善數理模型的過程會有走到終點的那一天。以此觀之，曼德布洛特踏出關鍵一步的重要性，絕對值得記上一筆。

**曼德布洛特在許多領域發光發熱**



花了十年左右的時間、探討金融市場的統計性質後，曼德布洛特決定放棄用其他萊維穩定分布取代常態分布的革命性做法。這個時候，他對隨機性與失序的看法，已經在其他不同領域找到應用的空間，範圍從宇宙論、一路涵蓋到氣象學，而這些領域才是曼德布洛特應用數學、物理數學領域展開研究生涯的起點。IBM是曼德布洛特待了一輩子的工作場所，他在1974年獲選為IBM院士，讓他從此可以充分規劃自己感興趣的研究主題，讓他的工作形式猶如一般學界的研究人員一樣。

隨著自己的觀點在很多不同的學科開花結果，曼德布洛特的研究功夫也逐漸受到肯定。他在1975年的著作中，開始向廣大的讀者提到碎形這個術語。那本書之後經過多次的再版、修訂，終於在1982年集大成，書名取為《大自然的碎形幾何》（*The Fractal Geometry of Nature*）。這本渲染力很強的書，讓曼德布洛特開始成為公眾人物。

到了1990年代初期，他已經獲頒一連串重要的獎章及榮譽職務，包括在1990年獲選為法國榮譽軍團勳章的受勳人，在1993年獲頒沃爾夫物理學獎等。曼德布洛特從1987年起，開始在耶魯大學擔任兼職的數學教授，之後在1999年總算取得終生教職，當時的曼德布洛特已經七十五歲了。在這一生當中，曼德布洛特四處演講、提出原創研究的工作從未間斷過，一直到他在2010年10月14日撒手人寰為止。

曼德布洛特在1990年代初期，感覺到該是自己重拾金融研究的時候了。經過三十多年的歲月，他所提出的理論益加完備成熟，這得要歸功於這些想法在其他應用領域不斷發光發熱。擁有更多運用自如的數學工具，也使得這次回歸經濟領域的研究成果，獲得廣大迴響。另一方面，金融市場的樣貌也不一樣了，愈來愈多在華爾街或其他商場實戰的人，已經懂得如何運用曼德布洛特獨到的見解，促成尾端肥大的分布曲線在這個時候，成為金融界公認的主流論點。

故事說到這邊，進度已經有些超前了。讓我們回過頭去見識一位擅長玩21點、無緣成為物理學家的業餘愛好者，如何發揮橋梁的功能，充分利用巴楔利耶、奧斯本、曼德布洛特等人的真知灼見，在另一個場合把金融市場的知識發揚光大。

## 第四章 擊敗莊家

索普根據巴楔利耶跟奧斯本兩人的理論，  
輔以自己在賭場累積的經驗，  
創造了現代的對沖基金。

時間回到1961年，地點是拉斯維加斯，6月中旬的某個星期六夜晚。儘管太陽已經下山了，當地的氣溫依舊高達攝氏38度左右，不過賭場裡面完全不受影響。現在，拉斯維加斯正走上它在二次大戰後的黃金歲月，數十家國際級度假飯店在此形成聚落，著名的拉斯維加斯大道正在成形，北起撒哈拉賭場酒店，南至熱帶花園賭場酒店。

來自各地的觀光客聚集在喧囂、煙霧瀰漫的賭場大廳裡，希望能在賭桌上試試自己的手氣，不然起碼也可以邂逅一些知名人物。這裡上演著「瞞天過海」、「教父」、007系列「金剛鑽」的電影場景，也是貓王、鼠幫、利伯洛斯、馬克思兄弟等巨星的表演舞臺。

### 史上最成功的基金經理人之一

轉輪盤的賭桌坐著一位頂著平頭、看起來還未滿三十歲的瘦弱男士。他的眼睛直視前方，厚重黑框眼鏡的臉孔不帶有一絲情緒；身旁擠滿興高采烈下注的賭客，對他來說彷彿不存在一樣。雖然不清楚他在想什麼，不過看得出來這位男士專心一志、心無旁騖，隨著時間一分一秒流逝，其他賭客不禁好奇，他是不是忘了要下注了？

就在莊家要喊「下好離手」的關頭，他終於把籌碼押在看似隨機的幾個數字上：第一輪是黑29、紅25、黑10跟紅27，下一輪是黑15、紅34、黑22和紅5。身旁的人都覺得他瘋了。

轉輪盤的賭徒通常有一套非常穩定的下注模式，就跟買彩券的方式雷同：要嘛一直買自己生日的那幾個數字，要嘛一直買女朋友電話號碼的那幾個數字；如果想要玩小一點的話，只要下注會開出黑色還

是紅色就好了。但是這位男士下注的數字一直變來變去，難不成有人正在悄悄告訴他，等一下會開出什麼結果嗎？

無論如何，這個畫面看起來就是十分詭異，特別是——他還贏了不少錢！

這位男士的大名是索普（Edward Thorp, 1932-），史上操盤最成功的對沖基金經理人之一。不過在1961年6月的時候，他還只是才從研究所畢業沒多久的小毛頭，剛獲聘為新墨西哥州立大學數學系的助理教授，專長是量子力學。索普本人對各種博弈都很感興趣，特別是包含策略元素的賭局，像是21點、梭哈、百家樂，甚至是中國的圍棋。不過他在1961年那個悶熱的夜晚，玩的卻是轉輪盤。這一點的確不尋常，因為轉輪盤開出的結果只能一翻兩瞪眼，賭賭運氣，而且這一輪開出的結果跟下一輪也沒什麼相關性，沒有什麼策略操作的空間。

鏡頭拉回到轉輪盤的賭桌。索普身旁走過大口喝下劣質威士忌的一對男女，另外一桌的歡呼聲，是在替來自愛荷華州狄蒙市大賺一票的賭客喝采。稍微分心的索普抬頭環顧四周，剛好來得及看到身旁那位女士一臉驚訝的神情。索普的手迅速把耳朵遮起來，幾個用心觀察他的旁觀者，卻已經注意到他的動作，並順著他的手瞥見……嗯？那是什麼？單耳的耳機？這時候索普已經站了起來，一隻手把贏來的籌碼統統塞進口袋，另一隻手還是壓在耳朵上，匆匆穿越熙攘的人群，快步走出賭場。

### 對沖基金的祖師爺——索普

我們在前幾章，已經見識到巴楔利耶、奧斯本如何用源自物理學隨機漫步的想法，提出觀察與理解金融市場的獨到見解，也看到曼德布洛特如何用具體事證加以補強，他們三位的想法對金融市場的研究都帶來革命性的影響，獲得眾多經濟學者的推崇。

但是，他們三位也從沒離開學術界安逸的環境。巴楔利耶曾在巴黎證券交易所上班，不過卻沒有證據顯示，他曾經把對金融市場的想

法運用在證券工作上，而且他這一生從未大富大貴過。奧斯本雖然曾想利用金融市場多賺些錢養家活口，但是在金融市場這個「無可救藥的精神病院」無利可圖，卻是他最終的結論。而曼德布洛特呢，也一樣，對經商這檔事一點也不靈光。

更重要的是，巴楔利耶、奧斯本、曼德布洛特三位提出的想法，不只是在經濟學領域發光發熱，就連很多在金融市場進出的交易員也深受他們影響。譬如1973年普林斯頓大學經濟系教授墨基爾（Burton Malkiel）所著《漫步華爾街》（中文版由天下文化出版）一書，就成為各路投資業者必讀的經典，只是很多讀者大概不知道，奧斯本的觀點對這本書的影響有多大。

不過，物理學家如何以學者身分提出隨機漫步假說，如何不斷加強相關理論以塑造現代金融市場，只是故事的其中一面；物理學家直接以投資人身分進入金融市場，所發揮的影響力或許還更有過之而無不及，索普就是一個活生生的例子。索普實現巴楔利耶跟奧斯本想像不到的壯舉：物理學家或數學家真的可以在金融市場有所表現。

索普根據巴楔利耶跟奧斯本兩人的理論，輔以自己在賭場累積的經驗，創造了現代的對沖基金——構想來自通稱為**資訊理論**

（information theory）的新興領域，也就是整合了物理數學與電子工程的新學門。資訊理論在1960年代的拉斯維加斯一戰成名，索普也因此替我們打通了任督二脈，讓我們終於能夠把市場價格的統計分析，實際轉換成在華爾街大富大貴的方法。

索普誕生於1932年8月14日，大蕭條最嚴重的年代。他的父親是一位退役軍官，曾經參加過第一次世界大戰。索普出生的時候，雖然他父親很幸運的在銀行找到警衛職缺，但是家裡的經濟狀況還是相當拮据，讓索普在小時候就培養出節儉的習慣，並擁有對財經領域的敏銳直覺。

小索普很有生意頭腦，他知道花5美分買來的果汁粉，可以泡成六杯果汁汽水，所以他就用一杯1美分的售價，兜售給聯邦政府工作救濟單位的勞工。他也會找雜貨店的老闆打賭，說自己結帳的速度比收銀機還快，賭贏的結果讓他得到一支免費的霜淇淋。

有一天，他的表哥帶他去住家附近的加油站玩吃角子老虎，還告訴他，那臺機器的設計有問題，只要能技巧的拉動手把，就一定能小賺一筆。這件事讓他留下深刻印象。

### 索普想方設法賺學費

第二次世界大戰爆發之後，索普一家人搬到美國西岸，在國防工業中尋找新的工作機會。舉家搬到加州洛杉磯南邊的洛密達

（Lomita）後，索普的父母親都找到新的工作，白天都不在家。小索普只好想辦法照料自己的日常生活，讓他發現有些事情比心算來得更好玩：用化學實驗搞些爆破場面。

小索普先從父母親送給他的兒童實驗玩具玩起，等到讀中學時，就已經在家裡的車庫弄出一間科學狂人似的實驗室。當他的父母親在兵工廠忙得不可開交的時候，索普已經學會製造土製炸彈的方法：他曾經用硝化纖維素（無煙火藥），把人行道炸出一個洞。之後他的實驗精神一路推廣到其他領域，像是望遠鏡、手持無線對講機之類的電子設備。

小索普愛惡作劇搞爆破的嗜好，意味著背後隱藏渴望追求科學知識的熱忱，讓他一路學會了大量物理、化學的相關知識。1948年，高中二年級的索普報名參加南加州化學競試，優勝者可以獲得前往加州大學就讀的獎學金。當他把參加競試的計畫告訴高中化學老師後，化學老師不認為他有機會獲勝，因為索普比其他競試者小了一歲，何況其他競試者早就為了大學獎學金準備多時。不過化學老師的顧慮，在看到索普完成自己安排的模擬測驗後，便化為烏有了，因為索普雖然還沒辦法應答自如，但是他已經展現出不錯的能力。化學老師就在那



年暑假，建議索普詳閱三本參考書籍，並安排一連串模擬測驗，讓索普能夠熟能生巧。

化學競試的結果，索普在所有競試者中排名第四。這是一個相當不錯的成績了，但是索普知道自己還可以表現得更好。那一年競試中有一項往年不曾出過的題目：滑尺。索普只有一把10美分買來的滑尺，長度不夠、也不夠精緻，量出來的數字總是不太精確，導致索普在計算時出了差錯。索普深信如果自己有一把更好的滑尺，則優勝者非他莫屬。

隔年，已經參加過化學競試的索普不能再參賽，他便改報名參加物理競試。這一次他真的成為優勝者，並獲得前往加州大學洛杉磯分校就讀的獎學金，讓以往在自家後院搞爆破的經驗，變成了打開大學之門的敲門磚。

既然自己是因為物理競試，才獲得前往加州大學洛杉磯分校就讀的機會，物理也就順勢成為索普大學四年的主修科目。大學畢業後，索普留在同一所大學攻讀研究所。雖然索普有志於學，但是家境並不優渥的他，陷入困難的抉擇。當初要不是獲得物理競試的獎學金，索普大概沒機會讀大學，現在已經二十一歲的他，在經濟上更是捉襟見肘。索普每個月生活費的預算是100美元（相當於2012年的850美元），其中一半是繳給房東的租金。缺錢的索普開始想方設法，要用最省力的方式多賺一些錢，試圖重現童年賣果汁汽水的那種光榮事蹟。

要怎樣用最省力的方式多賺一些錢，幾經思考，讓索普第一次想到要靠轉輪盤的賭博發財。1955年春天，索普即將取得物理碩士學位的時候，他和一群朋友在學校宿舍的餐廳，熱烈討論利用轉輪盤賭博來發財的可能。當年拉斯維加斯第一家賭場就快落成了，賭博自然成為當時最熱門的話題。索普的一位朋友說，賭博的確是一條致富的捷徑，其他朋友立即提出反駁，因為問題出在賭客們多半是賠錢收場。

接下來大家七嘴八舌討論，有沒有哪一種賭博方式可以讓賭客占上風（亦即讓賭客有機會取得贏多輸少的局面），最後留下轉輪盤這個選項。

可是，索普多數朋友並不看好利用轉輪盤迅速致富的可能。理由是：或許輪盤的設計有問題，會讓某些數字開出的頻率高過其他數字，但是拉斯維加斯大型賭場裡的輪盤，一定會精準到讓你找不出可以用來賺錢的瑕疵，因此開出來的數字會很接近隨機產生的結果。既然沒有看穿規律性的祕技，想要賺錢可就沒那麼容易了。

索普並不反對這段論述的前提，但是他認為朋友們的結論有問題。索普的理由如下：再怎麼說，物理學家就是最擅長預測轉輪盤結果的一群人。如果賭場輪盤真的製作得毫無瑕疵，如果滾珠一開始停在這格或那格數字，用這樣或那樣的速度開始在輪盤上滾動，那麼光是憑藉高中物理，不就已經足夠預測滾珠最後大概會停在哪一格了嗎？要預測轉輪盤的結果，甚至不必用到量子物理或是太空科學呢！事實上，輪盤製作得愈完美，反而愈有幫助：這樣既不用擔心製作不完美的輪盤造成計算上的誤差，而且不管去哪一桌轉輪盤，都應該可以得到相似的結果。

索普又開始做實驗，驗證自己的假說。他先完成基本的計算工作，然後買了一組便宜的、一半大小規模的輪盤，把滾珠在輪盤上滾動的過程拍成影片，一幕又一幕仔細觀察轉輪盤到底是怎麼一回事，同時思考要如何落實自己的想法。

大型賭場在啟動滾珠後，還會接受賭客下注，那就表示在你下注之前，滾珠初始位置跟初速是已知的，而這兩項資料已經足以讓你算出滾珠可能的落點。索普甚至開始幻想，自己擁有一臺可以迅速算出結果的機器，但是這個念頭並沒有真的發展下去，因為即便拉斯維加斯的輪盤可以做得完美無瑕，但他買來的那組輪盤根本是一場鬧劇。仔細看過影片後的索普，確定這組輪盤沒辦法印證自己的假說，而大

型賭場使用的專業輪盤要價1,000美元，等於他10個月的生活費；對一位缺錢的研究生而言，這是一筆不可能進行的投資。

索普只好放棄利用轉輪盤致富的想法，起碼得先擱下一陣子。取得碩士學位的索普繼續攻讀博士，原本打算繼續讀物理，可是他很快明瞭，自己的數學程度還不足以應付物理學界最新的課題。因此他列出一張需要預先補強的課程清單，其中大多是當時最熱門的泛函分析（functional analysis）。

索普發現，把這些課程都學透的話，已經有資格成為數學博士了，卻才剛踏進物理學的殿堂而已，所以他決定轉往數學的道路發展。索普在這段期間從沒打消要靠轉輪盤發財的想法，他相信只要能取得足夠的資源，也就是一組專業等級的輪盤跟適當的計算工具，想要發財就不再只是夢想而已。

### 向農發明一次性金鑰加密

取得數學博士學位後不久，索普也取得麻省理工學院知名的摩爾講師資格——十多年前取得這項資格的是納許（John Nash, 1928-，諾貝爾經濟學獎1994年得主），也就是小說家娜薩（Sylvia Nasar）在《美麗境界》這本書中生動描繪的數學大師。

因此，索普跟太太兩人從南加州搬到了麻州劍橋。但他們兩人在美國東岸只待了兩年，就又搬回西岸的新墨西哥州，不過這兩年的經歷，已經讓他們的人生轉往另一條道路：索普在麻省理工學院結識了向農（Claude Shannon, 1916-2001）。

向農可能是二十世紀唯一有資格，宣稱自己創立全新科學領域的人，他所開創的領域——資訊理論，基本上就是引爆數位革命的數學理論，奠定了包括資訊科學、現代通訊、密碼學等學科在內的基礎架構。這個領域最基本的研究課題是資料，亦即資訊的位元（bit，向農發明的詞彙）。

研究光線如何在大氣中行進，或是研究人類如何透過語言溝通，都是年代久遠的學門，向農的創見在於資訊本身就是值得研究的課題，例如從各種物體反射出的光波，帶給你的視網膜哪些訊息，或是交談中某個人告訴對方什麼樣的內容；這些訊息和內容都是可以和光波、文字區隔開來獨立對待的課題。對現代社會而言，這個想法的重要性不言可喻。

資訊理論源自向農在第二次世界大戰期間的研究計畫。當時向農是貝爾實驗室（Bell Labs）的科學家；貝爾實驗室是AT&T設在紐澤西州莫瑞山（Murray Hill）的研究機構。向農的研究計畫目標是：開發一套加密過的電話系統，讓位在前線的將軍可以跟後方的中央指揮體系祕密對談。

這可不是一項簡單的任務。數學上只有一種編碼系統無法破解：**一次性金鑰加密**（one-time pad）。你寫了一封信給朋友，而你不希望任何人看到這封信的內容，假設這封信包括空格在內，總共有100個英文字母好了。如果要把這封信加密到沒人可以破解的程度，你要準備一組100個數字（根據這封信所包含的字母數而定）的隨機序號，也就是所謂的**金鑰**（key），然後把這100個數字「加到信裡面」。

舉例來說，如果這封信開頭第一個字母是D（像是Dear John這樣的問候語），而金鑰的第一個數字是5，把D加上5的意思，表示往後移動5個字母順序，所以在加密過的信件中，第一個字母變成I，以此類推。如果你的朋友想把加密過的信件還原，他一定要知道金鑰全部的數字順序，才有辦法把加密過的字母依序還原成原貌。如果這把金鑰的數字真的是隨機產生的，由於原本的訊息會因此被加密成亂數型態，因此除了知道金鑰內容的人以外，其他人都沒有辦法把這封信的密碼解開。

實務上，剛剛所描述一次性金鑰加密的問題，癥結點在於發信端、收信端都要取得同一把金鑰。這個想法看起來很簡單，但是要把

一次性金鑰加密套用在電話交談中，可就困難重重了。電話裡沒有辦法按照一個又一個的字母加密，更別提要怎樣用金鑰解碼還原了。電話裡只有對話的聲音，而且是透過電話線（1944年可沒有行動電話這種玩意）從很遙遠的另一端傳來的，任何人只要能從戰場上將軍的那一端，一直到後方大本營之間的任何地點接觸到電話線的話，他想要怎麼竊聽都不成問題。

貝爾實驗室的團隊認為，一次性金鑰加密的本質是針對「訊號」（也就是所要傳遞的訊息）的模式，用各種隨機的「雜訊」（也就是由亂數組成的金鑰）加以干擾。所以不論是透過什麼媒介傳遞訊息（在電話裡就是聲音），就是要設法加上完全隨機產生的東西，這樣別人就無法掌握加密過的訊息。

在電話這個例子中，「雜訊」可不是比喻用的詞彙；如果你在吵雜的吸塵器轟轟作響的時候，試圖跟其他人對話，就算你能聽到對方的聲音，你也沒辦法搞清楚對方想要表達的意思，這就是向農跟他的同事共同開發出安全語音系統SIGSALY的基本運作原理。只要想辦法把前線將軍說的話加上夠多雜音，就能保證沒人聽得懂這段訊息，然後華盛頓那一端只要知道同一段隨機雜音的內容是什麼，就可以把加密過的訊息解碼，讓將軍原音重現。

這套安全語音系統可說是工程界的奇蹟。讓電話兩端都知道金鑰的雜音內容，只是最基本的工作而已，之後還要費一番功夫才能完成必要的訊號處理，過濾掉雜音。向農的團隊最終成功讓這套系統上線運作，讓五角大廈的羅斯福總統、關島的麥克阿瑟將軍、北非的蒙哥馬利將軍、倫敦賽佛里奇百貨公司地下室祕密基地的邱吉爾，彼此之間能夠放心交談。

### 向農開創資訊理論

思考訊號與雜訊關係的向農，因此提出他最重要的看法。這不但奠定了資訊理論的基礎架構，甚至引發資訊革命。

我們舉例來說明資訊理論的本質。假設你正在高速公路上開車，跟坐在旁邊的朋友交談，就在你滔滔不絕的時候，一輛超大型聯結車從旁邊呼嘯而過，聯結車的聲響讓你的朋友只能間歇聽到你說的話；在這種情況下，你的朋友能不能聽懂你在說什麼？

答案視情況而定。如果你是在習慣性抱怨洛杉磯寸步難行的交通狀況，因為你的抱怨已經讓人耳熟能詳了，你的朋友對你的慣用字也了然於心，因此只要有幾個關鍵字，像是「工地施工」、「流氓駕駛」、再加上幾聲咒罵，大概就可以讓你的朋友掌握你對洛杉磯交通火力全開的批判；即便身邊坐的是不了解交通狀況的陌生人，透過幾個關鍵字，還是可以感受到你想要表達的意思。但是，如果當時你的話題是剛看過的新電影的劇情細節呢？這時候聽到每個字就會非常重要，如果對方只能聽到「……導致……是……綠色……」這幾個字的話，可能就完全不清楚你在說什麼了。

因此，向農指出，一則訊息包含多少資訊量，取決於接收端要花多少精神才能理解；換句話說，就是看這則訊息有多麼出人意表。這表示你對交通狀況的抱怨，並沒帶有多少資訊，因為很容易猜得到；然而你對電影劇情分析所包含的資訊量，就會多一點了。這，就是資訊理論的本質。

換一種方式或許更能說明，為什麼向農對資訊含量的判斷是有意義的。所謂資訊，表示原本你對於某些事物不太確定的感覺會因此變得確信；能夠取得資訊，就表示你對這個世界的了解又多了些。譬如，假定你一開始就認為洋基隊每年勝率都會過半，可是卻不認為月亮上有外星人。套用向農的觀點，如果你之後知道、並有十足把握月亮上真的有外星人，則你得到的資訊顯然比知道洋基隊今年勝率真的過半，還要來得多。

為什麼？根據向農的分析，月亮上有外星人的機率，比洋基隊勝率過半的機率，小非常非常多（好啦，如果你很討厭這支邪惡帝國的

球隊的話，你也可以換成其他球隊）。把訊息中隱含的機率，跟資訊互相連結，就是量化資訊的關鍵步驟。換句話說，向農藉由資訊與機率之間的關連性，發明了用數字表示訊息中資訊含量的做法。這可是建立資訊數學理論最重要的第一步。

發表資訊理論讓向農瞬間爆紅，至少在電子工程、數學跟物理學的世界裡，達到無人不曉的地位。資訊理論的應用空間無邊無際，戰後的向農繼續待在貝爾實驗室工作十多年，直到之後前往麻省理工學院任教為止。

### 莊家必勝的21點賭局

索普在取得博士學位後一年（1959年）來到麻州劍橋。當時向農應麻省理工學院數學系與電子工程系聯聘之邀，擔任客座教授。向農最重要的學術論文讓大家爭相拜讀，影響力傳得又快又遠，可以說1950年代末期的向農，根本是學術界的超級巨星。那時具有權威形象的向農，有充分的權力制定自己在麻省理工學院的遊戲規則：要跟誰碰面、要開哪些課、要花多少時間做研究等。

向農的辦公室不是可以隨便讓人探頭探腦的，特別是對一位沒沒無名的講師而言。索普想要跟向農見上一面，得先預約，預約時還得先準備好值得討論的話題。向農的祕書日後告訴索普：「向農教授不會浪費時間在不感興趣的主題（或是對象）上。」

所幸向農認為索普想要討論的話題夠有趣。話說在搬到麻州之前幾個月，索普跟太太兩人第一次去拉斯維加斯度假，主要是因為這趟行程看起來夠划算：離洛杉磯夠近、到處都找得到廉價旅館、有得吃也有得玩，此外還有一個關鍵因素——索普終於有機會一睹專業等級的轉輪盤了。結果轉輪盤並未成為索普這趟旅行最大的收穫，在索普夫婦即將動身前往拉斯維加斯之前不久，索普的同事傳給他一篇刊在《美國統計學會期刊》上、剛發表不久的學術論文，主要談論的是黑傑克、亦即21點的玩法。



21點是一種歷史非常悠久的賭博遊戲，甚至比轉輪盤還要古老許多。經典小說《唐吉訶德》的作者塞萬提斯（Miguel de Cervantes Saavedra），十七世紀初就在西班牙玩過類似的牌局，還在另一部小說中，描寫主角如何在賭局中成為出老千的高手。

21點是由一副或多副標準撲克牌構成的賭局，一開始要先下注，然後先發兩張牌給每位玩家跟莊家，接下來每位玩家可以自行決定要牌與否，直到他們認為點數夠了，或是「爆」了——也就是點數累積超過21點的時候。數字牌的點數就依照2到10的數字計算，大頭牌J、Q、K的點數都是10點，Ace的點數可以是1點或11點，任憑玩家決定。遊戲獲勝的方式是在沒有爆掉的前提下，拿到最大的點數。在賭場裡，每位玩家都是直接跟代表賭場的莊家互比點數，因此要在沒有爆掉的前提下，拿到比莊家更多的點數，才能贏錢。如果贏了，你可以拿回下注的籌碼，並從莊家那邊獲得等額的彩金，要是你頭兩張牌就是21點的話，彩金額度還要乘以1.5倍。

賭場的莊家總是採用同一套遊戲策略：只要莊家的點數小於17點，就會多要一張牌；要是莊家的點數大於或等於17點的話，就開始跟所有玩家比大小；要是莊家先爆掉的話，所有還沒爆掉的玩家都算贏。在賭場裡，21點好玩的地方在於：所有玩家的牌都是掀開的，但是莊家卻有一張牌是蓋著的，所以在莊家開牌之前，玩家們不會知道自己手上的點數夠不夠大。不曉得對手實力如何，會讓玩家謹慎思考是否該多要一張牌。

21點一直以來都是每個賭場的必備項目，也是賭場賺錢的工具之一；換句話說，雖然還沒有絕對明確的證據，但21點的賭局似乎對莊家有利。為什麼不容易證明呢？因為21點是一種策略性的遊戲，不像轉輪盤只能一翻兩瞪眼。21點賭局的玩家可以自行決定：到底什麼時候該多要一張牌？拉斯維加斯在1950年代早期開始設立賭場，一直沒有人知道玩家是否有一條可以擊敗莊家的必勝策略，但是所有人都可

以強烈感受到，不論玩家採用哪一種策略，最後贏錢的都會是莊家。這個模糊的感受很難具體證明，背後要算出各種不同狀況下，每個人手上各種可能牌形的相關機率，恐怕怎麼算都算不完。

### 索普初遇向農大師

不過卻有一群軍方研究人員，在1953年開始著手驗算了起來。經過三年時間，軍方總算由computer（這個英文字在1950年代初期如果不是指「計算師」，就是指簡單的「加法電子計算器」）算出幾乎各種可能牌形的機率，整合出他們認為「最佳」（optimal）的21點策略。他們把研究成果發表在《美國統計學會期刊》上，看過這篇論文的索普決定去拉斯維加斯驗證一番。

「最佳」策略並不等於「贏錢」的策略。根據美軍的研究，就算你依照他們提供的最佳策略參與賭局，依舊改變不了「莊家蓋住的那張牌的不確定性，會影響玩家判斷力」的結果，所以莊家仍然保有優勢，只是莊家領先的優勢相當有限。如果你準備了1,000美元下場，按照美軍建議的策略依樣畫葫蘆，跟莊家對賭21點，經過一整天的廝殺後，你的口袋平均而言可望保有994美元；如果去玩吃角子老虎的話，大概只會剩800美元。

看起來，美軍研究的21點賭局最佳策略，頗具有參考價值。問題在於整套策略相當複雜，複雜到索普必須把各種可能的機率弄成一張小抄，帶到賭桌上，邊賭邊參考。

索普果然輸了，而且還輸得很快。他準備10美元的籌碼進場，不到一小時就輸到剩下1.50美元，其他玩家輸得更是淒慘。索普輸光籌碼離開賭桌時，他已經可以肯定，美軍的研究成果還真有那麼一回事，而且他認為自己可以制定出更好的策略。

索普已經看出美軍研究成果的問題所在：他們把每一回合的賭局，都當成獨立事件看待，也就是假設每一回合都用一副新的撲克牌進行賭局，可是現實生活中卻不是這麼一回事，特別是在1958年的時

候（那一年之後，在索普摸透21點的贏錢策略後，賭場被逼著稍微修正了21點的遊戲規則）。那時只要手上的撲克牌還夠用，莊家會在下一回合開始之前，直接把剩下的牌重新洗過，緊接著玩下去。

這個與假設不符的現象，改變了美軍預測的結果。玩家從一副新牌拿到一張Ace的機率是 $4/52$ （一副撲克牌有52張，其中有4張是Ace）。假設第一回合總共用掉10張牌，其中2張是Ace，則進入第二回合的時候，玩家拿到Ace的機率，變成小很多的 $2/42$ 。因此，既然玩家的策略跟拿到各種不同牌形的機率有關，而且玩家也有擊敗莊家的企圖心，則玩家必須把哪些牌已經發過了納入考量，並跟著同步調整對賭的策略，這就是所謂的「算牌」。

索普認為，只要完成算牌的工作，玩21點擊敗莊家的機率就會比美軍算出來的還要高。回到麻省理工學院後，索普利用當時一款大量生產的電子計算機IBM 704，算出只要用簡單的算牌技巧改良美軍研究出的最佳策略後，玩家真的會有贏錢的可能。索普把這項研究心得寫成一篇論文，希望能得到向農的提點與認可，幫助他把這篇論文刊登在學術期刊上。

當與向農會面的那天來臨時，索普感受到莫名的壓力來襲。他已經把想要跟向農交談的重點，反覆咀嚼了好幾遍，現在就要看向農對這個議題感不感興趣了。

事實證明索普多慮了，向農當下就看出索普研究心得有趣的地方。在經過幾回合嚴苛的質疑與挑戰後，向農已經認定索普確實是一號人物。向農提供索普一些文章編排上的建議，同時建議他換一個比較低調的標題，把〈黑傑克的致勝策略〉換成〈21點的有利策略〉

（A Favorable Strategy for Twenty-One），然後就署名向《美國國家科學院研究彙刊》（*Proceedings of the National Academy of Sciences*）推薦索普這篇論文。《美國國家科學院研究彙刊》已經是有可能發表這

篇論文的諸多學術期刊中，最有名望的一本了（只有美國國家科學院的院士，才有資格投稿或推薦）。

接下來，當索普準備起身告辭的時候，向農不經意的詢問索普，還有沒有其他跟賭博相關的研究計畫？索普想了一下（顯然這種明確又有趣的應用數學知識，正對向農的胃口），略帶促狹的往向農的方向微微彎身：「還有一個，這個研究計畫跟轉輪盤有關……」

### 商業大亨找上門

現在，麻州劍橋這邊下著雪，時間是某個燈光昏暗的冬天傍晚，一輛黑頭轎車在街上繞來繞去，最後慢慢停在索普他們家的公寓大門口。車門打開後，車子兩側立刻出現兩位漂亮的年輕女士，兩人的肩膀都披著貂皮大衣；她們往車子旁邊退了一步，讓路給第三位乘客下車，那是一位六十出頭、身形略矮的男士。

此人是基梅爾（Manny Kimmel），他以「金尼泊車」（Kinney Parking）為招牌經營的停車場與殯葬業務，都辦得有聲有色，正打算公開發行該公司的股票。金尼泊車集團接下來十多年，在基梅爾的兒子凱薩，基梅爾（Cesar Kimmel）跟傳奇執行長羅斯（Steve Ross）兩人聯手經營下，事業版圖迅速擴張：首先跨足商業大樓清潔與設備租賃業務，之後轉往媒體界發展。金尼泊車集團在1969年購併華納兄弟工作室，做為企業轉型的第一步棋，之後一路發展成聲望如日中天的時代華納（Time Warner），現在世界上最大的媒體集團。

不過這些都是好多年以後才會有的榮景，在1961年的時候，基梅爾賺錢的方法很老派：賭與酒。傳說中，基梅爾第一座位於紐澤西州紐華克市金尼街上的停車場，就是在一場賭注高到不像話的擲骰子賭局中贏來的。而金尼泊車集團早期發跡的原因，也跟基梅爾的副業有關：替地下賭場的賭客，提供大型豪華轎車的泊車服務。在美國禁酒令生效的年代（1920年至1933年），基梅爾也曾經和兒時玩伴、猶太幫派份子齊維曼（Longy Zwillman）合夥，由齊維曼負責從加拿大走

私黑麥威士忌到美國，然後就藏匿在基梅爾位於紐澤西的倉庫中，等待偷偷銷售。

也正是賭博這個話題，才有可能讓基梅爾挑在那個寒冷的2月星期天傍晚，前往索普家一探究竟。索普在幾個星期前，才應美國數學學會之邀，前往參加該學會在華盛頓舉行的年度大會，並針對發表在《美國國家科學院研究彙刊》上的論文，進行公開演說。這一次，索普故意挑選了一個聳動的演說題目「致富密碼：21點的必勝策略」。所以除了21點之外，索普也替自己的演說找到一個能成功吸引媒體目光的策略。

這場演說的聽眾擠爆了會場，沒有多久，包括美聯社在內的新聞媒體，爭先前來訪問索普。幾天之後，索普的故事開始出現在全國性的主流媒體上，比方說《華盛頓郵報》和《波士頓環球報》。美國數學學會枯燥乏味的年度大會，很少能這樣吸引新聞媒體的矚目；但是麻省理工學院的一位數學家，居然誇口能讓拉斯維加斯的賭場吃驚，這種新聞絕對有賣點啊！

在短時間內爆紅，讓索普開始有點飄飄然。他的電話開始接個沒完，全都是記者想要安排專訪的邀約，或是嗜賭之徒想要來跟索普學上一招半式。索普向記者們誇口，如果有人願意資助他到拉斯維加斯的旅費，他就能向世人證明，自己的理論禁得起實際檢驗。拉斯維加斯大型賭場之一的撒哈拉賭場酒店，抓住這個噱頭做宣傳，公開宣稱願意提供索普一間無限期入住的客房，隨他高興住多久都可以！撒哈拉賭場酒店認為：索普能夠贏錢的理論，大概跟之前數百位誇下海口的傢伙一樣，充其量只是痴人說夢話罷了。

撒哈拉賭場酒店僅提供住宿，並不會資助索普任何賭本。對年薪只有7,000美元的索普來說，要籌到充分的賭本，顯得有些困難。因為賭場每一回合都有最低下注額度的基本消費，如果口袋不夠深的話，

一上場連輸幾回合，可就要被趕下賭桌了。就算你說把時間拉長後，你贏錢的機會比較大，也不會有人再理睬你。

這就是基梅爾找上門的原因。有些人的嗜好是醇酒或昂貴的雪茄，其他人可能是名車、運動競技或是藝術品，賭性堅強的基梅爾則是掌握有利賽局的行家。當他讀到索普21點贏錢策略的報導後，基梅爾直接提筆寫信給索普，告訴他自己願意出資100,000美元，贊助他去拉斯維加斯做實驗，前提是親眼看看索普的理論在實戰中的成效。結果索普回信給基梅爾，同意這個交換條件。於是，基梅爾就從紐約一路坐車過來。

一陣寒暄之後，基梅爾向索普介紹身旁兩位年輕美眉是他的姪女；索普卻急著向基梅爾說明自己的研究方法跟證明方式。不過，基梅爾對這些話題一點興趣也沒有，反倒直截了當從口袋抽出一副撲克牌，跟索普對賭起來。對基梅爾來說，所謂贏錢策略，必須用眼見為憑的方式，才能得到他的認可。他們整個晚上都在對賭，隔天又接著繼續開戰，接下來幾個星期，換索普定期開車到紐約，跟基梅爾和基梅爾的事業伙伴韓德（Eddie Hand）對賭。韓德也有意出資贊助索普這趟挑戰賭城的壯舉。

這段過程持續了一個月，才讓基梅爾相信索普的計畫真的可行，不是紙上談兵的數理模型，而是真的能在賭場擊敗莊家的贏錢策略。出發往賭城前，索普告訴基梅爾，100,000美元的贊助金實在太多了，他堅持讓基梅爾只需出資10,000美元就夠了。索普認為賭太大、太過張揚的話，恐怕會招來不必要的麻煩。另一方面，基梅爾也認為拉斯維加斯太過招搖，而且有太多人認得出他是誰，所以索普和基梅爾挑在麻省理工學院放春假的時候，一樣由兩位年輕美女陪同，前往內華達州雷諾市（拉斯維加斯崛起之前的賭城）的大型賭場，現場操作索普的贏錢策略。

結果他們贏翻了！他們玩遍一家又一家的賭場，直到沒去過的賭場都聽過這對搭檔的名聲為止。他們兩人、再加上韓德，只花了三十小時的工時，就把10,000美元的賭本變成21,000美元。要不是有天傍晚，基梅爾不顧索普太累沒法專心算牌的示警，還堅持玩下去的話，他們的賭本甚至會上看32,000美元。索普日後把這段經歷寫成《擊敗莊家》（*Beat the Dealer*）這本書（書中分別用X先生和Y先生兩個化名，代表基梅爾與韓德兩人），告訴讀者如何運用自己的策略，讓賭場的莊家回家吃自己。

### 贏錢的基本策略

隨著21點的牌局進行，莊家手上所剩撲克牌也會不斷變化。索普針對這些狀況，已研究出好幾種方法，可推算賭局接下來的各種發展。透過這些更深入的分析，索普可以明確掌握，玩家跟莊家分別可以在什麼情況下占上風。

假設你現在正在賭21點，然後突然察覺莊家手上剩下的牌對你稍微有利，這時候你該怎麼做？

21點真的是一種異常複雜的賭博方式，為了簡單說明這個問題，以下我們先從比較簡單的擲銅板開始探討。現實生活中的擲銅板，出現人頭或反面的機率大致相同，不過我們還是可以想像得到：某一枚銅板出現其中一面的機率比較高（刻意製造的整人玩具就更不用提了）。

現在，就假定出現人頭的機率高過反面好了。接著你開始用這枚重量不均的銅板和其他人對賭，而對方並不曉得這枚銅板有問題，只要你坐莊他就跟著下注，直到你不想玩（或是你輸光錢）為止。換句話說，如果你押1美元賭本而且賭贏了，對方就會跟著給你1美元；要是你賭輸了，你押的1美元賭本就要歸對方所有。既然這枚銅板出現人頭的機率略高於反面，只要玩得時間夠久，彩金的流向一定會偏向某一邊（流向你的口袋，因為你知道只要一直賭人頭，猜對的機率將會



超過一半）。現在，假設你的對手無條件接受任何規模的下注金額：隨便你要押1美元、100美元還是10,000美元的賭本，他都會跟著下注。你的口袋裡是有些錢可以賭，一旦輸光可就一無所有了，那麼，你每一回合應該押的賭本，是多少？

其中一種賭法是盡可能讓你的獲利極大化，最佳做法就是一口氣把你口袋裡的錢統統押下去，孤注一擲。那麼，只要你賭對了，光是一回合就可以讓你的獲利倍增。可是這種賭法有個大問題：這枚重量不均的銅板代表你通常可能會贏，可並不代表你每一把都能贏。如果採用孤注一擲的策略，萬一出現反面，你就一無所有了。所以雖然這是讓你獲利極大化的策略，但是讓你賭錯賠錢的風險也非常高，不保證你最後不會兩手空空。（說實在話，只要玩的次數夠多，這條策略保證你終將一無所有。）這種賭到最後兩手空空只能下賭桌的情況，就是所謂的賭徒末日（gambler's ruin）。

另一種策略是讓你破產機率盡可能極小化的策略，這也很簡單明瞭：根本不要玩賭局。不過這個選項跟上一種策略，幾乎一樣糟糕，因為這樣一來，就算你知道這枚有問題銅板對你有利，結果你居然沒辦法從中牟取任何利益。

很顯然，你真正該採取的做法會落在兩種極端之間。只要你發現自己處在一個對己方有利的賭局，你應該要想辦法找出破產機率最小、而且就長期而言能獲得最大利益的做法，這樣才能贏得最多的籌碼。你需要做好資金管理，才能在賭局中撐得夠久，直到長期收益落袋為安為止……嗯，說的比唱的還好聽。

### 凱利運用資訊理論賭馬

至少當索普頭一次想把算牌的功力，轉換成贏錢的策略時，他心裡頭是這樣嘀咕的。所幸向農有辦法為索普帶來解答。當索普對向農提到資金管理的問題時，向農建議索普去看他貝爾實驗室同事凱利

（John Larry Kelly Jr., 1923-1965）發表的一篇論文。凱利這篇論文很

巧妙的把資訊理論跟賭博掛勾，最後還成為索普投資致富的成功心法。

來自德州的凱利是一位愛玩槍、菸不離手、到處跑趴的風流人物。取得物理學博士學位之後，原本想把所學運用在原油探勘的工作，但是沒多久就發現能源產業不是自己可以發揮專長的地方，所以轉換跑道到貝爾實驗室上班。住在紐澤西郊區的時候，許多舉止莊重的鄰居莫不對個性鮮明的凱利另眼相待，因為凱利甚至會對著客廳牆壁射擊空氣槍，以取悅客人。凱利在二次大戰期間，曾經是頂級的飛行員，一次駕機從喬治華盛頓大橋下方穿越的瘋狂之舉，讓他在當地惹來不少負評。

除了這些荒誕不經的事蹟外，凱利也是AT&T最有成就的科學家之一，也是最多才多藝的一位，研究範圍從量子物理的高深理論、到電視訊號的編碼，再到利用電腦準確合成語音等，無一不包。凱利現在被公認最著名的研究成果、同時也是讓索普最感興趣的課題，就是利用向農的資訊理論去賭馬。

假設人在拉斯維加斯的你，正下注遠方紐約愛爾蒙地區所舉行的賽馬——貝蒙錦標賽。賭場在貴賓觀賽室裡架設偌大的投注表，上面寫著三匹馬的投注狀況（勝算）：瓦倫泰「5比9」，寶瑞弗「14比3」，艾琵塔夫「7比1」。這些數字的組合顯示：預期瓦倫泰率先衝過終點線的機率大約是64%，寶瑞弗和艾琵塔夫分別是18%與13%。（算法是將「賭注（賭輸將付出的錢）」除以「彩金（賭贏將獲取的金額）加上賭注」，以瓦倫泰為例，「5比9」的預期獲勝機率相當於 $9/(5+9)$ 。）

在二十世紀上半葉，每個投注站獲知賽馬的結果會有時間差，有時候當賽馬統統抵達終點後，遠方的投注站卻還可以讓賭客繼續下注。如果你在這個時候，有比投注站更快的消息來源，你就可以在投注站封關前得知最後的結果。不過凱利是在1956年完成這篇論文，這

時候想再利用時間差的方法賺錢，已經行不通了：電話跟電視轉播，可以讓拉斯維加斯的投注站跟紐約愛爾蒙當地人幾乎同步得知賽馬結果。但現在，我們先把這些科技產品都擱在一旁，想像你在愛爾蒙安排一名內線，在第一時間把貝蒙錦標賽的即時戰報傳遞給你，而且傳遞速度快過投注站。

如果你從私人電報系統得到的訊息百分之百可靠，反正你都已經知道比賽結果了，大可把所有籌碼都押在跑贏的那匹馬上。不過凱利研究的方向略有不同：如果內線傳來的消息絕對可靠，但是卻受到雜訊干擾的話，該怎麼辦？如果內線傳來的消息完全被雜訊覆蓋的話，你沒有辦法據以做出任何判斷，只好被迫依照投注表上的原始勝算，假設瓦倫泰率先衝線，一如你沒有得到內線的情報一樣。但如果內線傳來的消息中，包含一個明確的發音去，這時你也等於掌握一部分資訊了：既然寶瑞弗的發音中沒有去的音，你知道率先衝線的不會是這匹馬。受限於時間壓力，你可能會下注給最有可能獲勝的瓦倫泰，但是另一匹馬艾琵塔夫也有可能是贏家，所以你不想把所有籌碼都押給瓦倫泰，免得到時候陰溝裡翻船。

此時，你可以大概計算一下獲利的機率：因為投注站原本認為寶瑞弗還有18%左右的預期獲勝機率，顯然會因此低估瓦倫泰跟艾琵塔夫的預期獲勝機率，所以只要你適當分配籌碼，同時押給瓦倫泰跟艾琵塔夫兩匹馬，你就一定能賭對其中一匹，贏得彩金。這表示片段的資訊，還是足以讓你決定最佳的下注模式。

向農的理論告訴我們：一則訊息被干擾後還有多少可信度，或者說是，哪種程度的雜訊干擾可以避免原本的訊息外洩。因此就算無法百分之百還原內線傳來的賽馬結果，我們根據向農的理論，還是可以從確實掌握的部分資訊，算出適當的下注策略。

這個結果是凱利算出來的，讓你可以在長期操作後，把原先的賭本極大化。在上述例子中，如果你只聽到去的聲音，光是這樣的資

訊，就已經可以讓你擊敗投注站了。預期獲利的算法是把彩金（如果某匹馬的勝算是「 $b$ 比1」的話， $b$ 就是賭贏將獲取的彩金）乘以你根據片段資訊認為可能獲勝的機率 $p$ 後，減去你（同樣根據片段資訊）認為可能賭輸的機率 $q$ （ $q = 1 - p$ ）。接下來，要算出該如何適當分配手頭上的賭本時，只要把預期獲利除以彩金就可以了。

這個計算方法，就叫做**凱利準則**（Kelly criterion）或**凱利下注比率**（Kelly bet size）。你應該依照下面這個公式算出的比率，來分配賭本：

$$\text{下注比率} = \text{預期獲利} / \text{彩金} = (bp - q) / b$$

如果某匹馬的預期獲利是0（甚至有可能是負的！），凱利認為千萬別下注。反之，只要依照凱利準則算出來的比率，去分配賭本，就能保證讓你表現得比採用其他策略（像是孤注一擲或是縮手不玩）的賭客都來得好。凱利還證明，如果你在賭馬的時候不斷得到片段資訊的話，只要一直按照他理論中的公式下注，在理想的狀況下，你賭本成長的比率就會跟取得資訊的比率一樣。這個不可思議的現象，是這篇論文最讓人感到驚訝的地方之一。資訊就是金錢啊！

當向農提出參考凱利論文的建議之後，索普總算找到21點贏錢策略的最後一塊拼圖。算牌其實就是「不斷從莊家手上剩下的牌取得資訊」的過程：每一回合，你都能推算莊家手上還有哪些牌，取得計算預期獲利的最新資訊，而且正如凱利在論文中提到的，取得愈多資訊，就能贏得更多錢。

### 到賭城進行轉輪盤實驗

就在索普準備和基梅爾前往雷諾的大型賭場一顯身手的時候，他也正在跟向農一起研究該如何實現轉輪盤的賺錢計畫。向農一聽到索普對轉輪盤的想法，就興致勃勃，主要是基於這個想法把靠賭致富的理論，跟向農畢生熱愛的事業（開發各種機器）串連在一起，因為索

普轉輪盤計畫中的核心元素，是一臺可以幫玩家完成各種必要計算工作的隨身計算機。

他們先模擬轉輪盤賭局各種可能發生的真正狀況，驗證預測滾珠落點的演算法是否還有改善空間。他們也認為，光靠一個人沒辦法執行整套策略，因為一個人沒辦法一邊集中精神輸入計算轉輪盤結果的必要資訊，一邊還要搶在滾珠開始減速、莊家喊「下好離手」前完成下注。所以他們設計出一種兩人合作的模式，其中一位站在輪盤旁邊仔細觀察，最好隨便做點其他事情，以避人耳目。這個人要把一臺小型計算機戴在身上，大小跟一包香菸差不多，並且透過隱藏在鞋子裡的按鈕，不斷輸入資料。按照計畫，這個觀察輪盤的人要在滾珠開始啟動的時候，踩一下按鈕，當滾珠全速轉動的時候，再踩一下，這樣就能啟動程式，同步追蹤滾珠的移動方式。

另一個人在這個時候已經坐上賭桌，耳朵戴著連結到計算機的耳機。只要計算機能夠順利抓到滾珠的初速跟轉速，這個人就可以接收到該怎麼下注的計算結果。雖然光靠這些設備絕對不足以精算出，滾珠最後究竟會停在哪一個數字，但是輪盤通常會區分成八個區塊（英文的專業術語叫做octant），每個區塊中只有包含四、五個數字。這些數字對於沒有硬記輪盤外觀的一般賭客而言，有如隨機排列的結果，然而索普跟向農反覆試驗的結果，發現他們大多數時間，都能準確算出滾珠最後會落在哪一個區塊，把滾珠的落點從三十八個空格縮小到四、五個空格。小型計算機會向第二個人發出訊號，指出滾珠落在哪一個特定區塊的機率，會高過隨機的結果，收到訊號的人就可以趕快在該區塊的數字上下注，而且還能根據凱利準則算出來的結果，依比率分配賭本。

小型計算機在1961年夏天完工，索普和向農兩對夫妻就起程前往拉斯維加斯了。除了把訊號線踩斷、跟那天晚上不小心被發現耳機外，這趟旅程算是成功的實驗，只是收穫有限。技術上的限制，讓索

普和向農兩人還不能夠通殺莊家，不過已經可以證明這臺計算機的表现符合預期。在向農的幫助之下，又一次，索普擊敗了莊家。

這趟旅程還證明了一件事：沒必要去承擔進場賭博的壓力。就算賭場魁梧的保全人員沒有三不五時突然在你眼前現身，光是下注的壓力，就已經夠受的了。此外，當他們正在拉斯維加斯做實驗的時候，索普已經收到新墨西哥州立大學的聘書了。儘管這趟旅程多少還賺到一點錢，但是當他們準備回家的時候，索普跟向農兩人都知道，這個計畫已經劃下句點了。

對索普來講，這沒什麼好可惜的，在21點跟轉輪盤兩種賭具都能擊敗莊家的經驗，已經可以讓索普放手去玩另一種更大規模的賭具：股票市場。

### 索普投資白銀失利

索普在1958年第一次買股票，那個時候他還沒取得博士學位。不過在加州大學洛杉磯分校擔任講師的薪水，已經足夠支應他日常生活開銷，因此他把每一分省下來的錢投入股市，投資自己的未來。可是隔年，他的投資慘遭腰斬，之後才又慢慢回到原本的股價。索普在經過將近一整年雲霄飛車式的洗禮後，選擇在損益兩平時，出脫持股。

1962年，已經在21點一戰成名、可以靠教人算牌那本書收取版稅的索普，決定再次進場，這一次他的投資標的是白銀期貨。1960年代初期，市場對白銀的需求十分旺盛，白銀價格高到美元硬幣裡所含的白銀價值都超過了硬幣面額。既然把25分幣或是1美元的銀幣熔化，都可以在市場上賣到更好的價錢，投資白銀期貨的風險應該不大。為了極大化自己的獲利，索普還向經紀人商借資金，權充投資白銀期貨的保證金。雖然白銀在1960年代的大多數時間都走揚，但是價格走勢並非一成不變，索普開始投資後沒多久，白銀價格就忽然短暫劇烈下跌一陣子。看壞後續走勢的經紀人，打算跟索普追討借款，得知索普沒有能力償還現金後，經紀人索性把手上的白銀拋售給索普抵帳，讓索

普現損6,000美元。這是個災難性的結果，這個金額已經超過1962年助理教授年薪的一半了。

連續兩次鎩羽而歸的刺激，讓索普開始嚴肅看待金融市場。再怎麼說，索普也已經是一位世界知名的博弈數學家了，而且股市相較於賭場或是賽馬場，也沒多大差別：一樣要根據對未來狀況的部分資訊，決定投資標的，賭對了就能獲得金錢報酬，甚至可以把股價走勢看成「莊家」公告的賭局勝算——只要能夠掌握部分相關資訊，進一步比較市場現有走勢與未來真正走勢之間的差異，就可以算出獲利，從中牟利，一如玩21點一樣。

現在索普該做的工作，就是想辦法蒐集資訊。索普在1964年夏天開始認真研究股市，參考對象正是《股票價格的隨機性》這本收錄巴楔利耶、奧斯本、曼德布洛特等人重要研究成果的論文集。索普很快就接受奧斯本跟其他學者在這本書中的看法：仔細觀察股價的統計資料，就會發現股價走勢真的是隨機的，正如同巴楔利耶和奧斯本指出的，任何時點的股價都已經涵蓋當時所有已知的資訊了。

暑假過後，索普碰到了瓶頸；如果奧斯本是正確的，索普想不出有什麼方法，可以算出超越市場的獲利。

新學年繁重的教學工作，讓索普沒有多餘的時間研究股市，只好先把心裡頭的疑惑擱下，等來年的暑假再重新來過。

墨西哥州立大學在這個學年也變得不一樣了，研究其他領域的數學家愈來愈多，這批數學家的實力已經足以主導數學系的走向。這批人敦促索普另謀出路，還好索普恰好得知加州大學正規劃在洛杉磯南方約八十公里處、橘郡的中央設立分校，所以他就向新學校「加州大學爾灣分校」申請教職，並獲得錄用。他便舉家遷往爾灣分校，開始新的教職。看情形，利用暑假研究股市的計畫大概又要泡湯了，光是再搬一次家、適應新環境，就夠索普忙了。

**把認股權證看成一種賭博**



儘管如此，索普並沒忘記研究股市這件事。學年期間，索普偶爾會翻閱理財雜誌的廣告，一本《RHM認股權證導覽》（*RHM Warrant Survey*）的雜誌映入他眼簾。認股權證是某種股票選擇權，由那些「將自家股票以選擇權形式交易」的公司直接供應，基本上很像一般的**買權**（call option），允許持有認股權證的投資人，在到期日之前，用事先約定好的價格購買公司股票。

二十世紀中葉時，股票選擇權這項衍生性金融商品，在美國還不普及，認股權證因此成為最類似選擇權的投資標的。《RHM認股權證導覽》宣稱，認股權證交易是創造無窮財富的可行管道，只要投資人搞得懂認股權證交易是怎麼一回事的話。

言下之意就是，大多數人根本不知道認股權證的來龍去脈；而這正是索普最喜歡追求的挑戰。因此儘管自己恐怕沒有太多時間閱讀，他還是開始訂閱了這份刊物。

當新墨西哥州立大學春季課程接近尾聲的時候，即將搬家到加州的索普，終於有幾個星期的空檔，可以迅速翻閱《RHM認股權證導覽》的內容。《RHM認股權證導覽》裡的文章作者，基本上把認股權證當成一種樂透彩券：賣得很便宜、通常賺不了錢；不過如果該公司股價上漲了，而且湊巧超過認股權證設定的履約價格時，你就可以大賺一筆了。

可是，索普卻把認股權證看成一種賭博，賭的是該公司股價在一段時間內的表現。認股權證的定價，反映出市場對投資人賭贏機率的普遍看法；而既然投資人能否在認股權證變值錢時獲得淨利，取決於一開始要花多少錢買入認股權證，那就代表認股權證反映的也是一種勝算的問題。

去年整個暑假，索普才研讀過《股票價格的隨機性》論文集。趁著記憶猶新，索普拿出紙筆開始計算；他順著巴楔利耶的思路推理，

但採納了奧斯本股價走勢呈對數常態分布的論點。過不了多久，索普已經列出一條用來判斷認股權證到底該值多少錢的方程式。

如果索普這條方程式稱不上前無古人，也算得上是價值連城了，更何況索普還有一張王牌，是巴楔利耶跟奧斯本從來沒有想過的。根據過去五年出入賭場的經驗，索普知道算出認股權證「真正的」價格，就好像算出每匹賽馬「真正的」勝算一樣，那就表示索普在數理模型中串連股價跟認股權證價格的方式，可以讓他擷取一部分的市場資訊——這是可以讓他占上風的資訊，不是直接來自於股票市場，而是來自於相對應的認股權證市場。這一部分的資訊，正是索普可以套進凱利準則、追求長期最大獲利的資訊。

### 認股權證是沒有獲利的投資？

研究認股權證的工作，讓索普更加神采奕奕，似乎預告他終於找到萬無一失的方法，可以把以往在賭場累積的經驗，轉換到真實世界最大的賭場殺進殺出。

接下來問題來了，當他把方程式輸入電腦（索普已經沒辦法用人力算出他一手打造的致富公式，不過這種工作只要交給電腦算出最後的結果就行了）、帶入一些數據算出最終結果後，他發現：購買認股權證是沒有獲利的投資選項，也就是沒辦法靠投資認股權證獲利的意思。凱利準則已經明白告訴我們，這種情況下千萬別投資！如果要用白話一點的方式說明，這表示索普研究的那些認股權證都不划算、都賣得太貴了。想不到在《RHM認股權證導覽》打廣告、價格低到讓人不屑一顧的認股權證，居然還是賣太貴了。

如果你把投資當成賭博的話，買進一檔股票表示你賭股票將會上漲，反之，賣出股票就表示你認為股價將會下跌。索普就跟前輩巴楔利耶一樣，認為股票（或是選擇權）「真正的」價格代表「看漲買家賭贏的機率」等於「看跌賣家賭贏的機率」，不過以往傳統的交易方式會造成一種不對稱的現象。投資人隨時都可以進場買股票，但是除

非你已經先買入某一檔股票，否則你根本沒有股票可賣；易言之，要看跌一檔股票之前，一定要先經過看漲它的過程。

這一點跟賭場的原理也很接近：以轉輪盤為例，賭客一定很希望能夠下注，賭哪一個數字不會開出來！反過來看，賭場（莊家）的賭法就是賭哪個數字不會開出來，所以能夠完全掌握長期的獲利。但是，別鬧了，有哪一家賭場會同意你在玩21點的時候，賭自己輸呢？

可是在投資世界裡，卻是有可能實現的。如果你想賣出某檔未持有的股票，你只要找到不想出脫持股、又願意先借你一陣子的持股人就行了，然後你就可以先賣出借來的股票，規劃好將來什麼時候買回等量的股票，再還給原本的持股人，就仁至義盡了。如此一來，要是股價在你賣出股票後真的下跌，你將來就可以用更低的價格把股票買回來，賺取兩者間的價差。至於暫時借你股票的持股人，則無關痛癢，反正他本來就打算抱股過日子。

實務上，這種投資操作叫做**賣空**，一開始是一種見不得人的勾當，起碼可以追溯到三百年的歷史。為什麼我們知道歷史至少有三百年？因為十七世紀的英格蘭，明令禁止過這種行為。（相對的，買進一檔股票的行為，有時候稱為「長期」持有，這是用來對比賣空操作者只在「短期」持有股票的現象，因為賣空的英文就叫short selling。）

如今，賣空已經是非常普遍的操作方式，不過在1960年代卻被看成是一種高風險，甚至是惡毒、以鄰為壑的做法，實務上也的確充斥許多不光彩的賣空紀錄。賣空的人往往被視為惹人厭的投機者，只會賭股價走勢，卻不願意投入資本促進產業成長。更扯的是，這群人只對金融市場的壞消息感興趣，因此很多從事賣空的投資人都遭到歧視。

金融市場對賣空的看法，在1970、80年代逐漸改觀，除了受到索普和其他實際操作者的影響外，芝加哥經濟學派的興起，也扮演了一

定的角色。當時芝加哥學派的經濟學者認為，賣空的行為或許不高尚，但是卻也為社會帶來關鍵的公共財：讓市場的運作更有效率。如果只允許持有股票的投資人賣股票的話，掌握對公司不利消息的人，通常沒有任何辦法可以影響股價，形同股價無法反映已知訊息的現象。為了避免掌握資訊的人無法將訊息反映到市場上，賣空是不得不的必要手段。

### 索普的巧思：風險對沖

不管社會的觀感和態度如何改變，賣空確實要面對非常高的風險。當你買進一檔股票時，你可以確定自己會虧損的額度最多是多少。持股人不必負擔他所投資的公司的債務。因此當你用1,000美元買進AT&T的股票，結果AT&T的股價卻一路下滑的話，最多最多也只會讓你損失1,000美元。

但是，股價上漲的空間卻有可能是無限的，要是你賣空失利的話，你無法預知自己最多會虧損多少錢。譬如你選擇在1,000美元開始放空AT&T，等到真的要把股票買回來、歸還給原持股人時，股價可能已飆漲到數千美元了，你可能需要一筆遠超出1,000美元的資金，才能買回足額的股票還給原持股人。

總而言之，索普還是找到一位願意幫他處理相關交易流程的經紀人，解決問題的第一道關卡，也就是：至少現在已經知道哪裡可以套用凱利準則了。接下來，就算索普可以無視社會普遍瞧不起賣空行為的態度（他也真的沒把這種壓力當成一回事），操作失利可能導致無限損失的風險，仍舊是無法迴避的課題。但是再一次，索普又展現了他最富創意的洞見，解決了難題。

透過對認股權證的研究，讓索普可以把認股權證跟股票的價格掛勾在一起：如果賣空認股權證的同時，也買進標的股票，這樣就可以減少認股權證價格飆升的損失。因為根據索普的估算，當認股權證漲價的時候，標的股價也應該跟著走揚，可以抵消賣空認股權證造成的

虧損。此外索普還發現，除非股價的變動太過劇烈，否則只要找到認股權證與股票的適當組合，就可以確保獲利。

我們把這個策略稱為**風險對沖**（delta hedging），可以廣泛適用於其他「可轉換」的證券。（可轉換意指：類似選擇權、可以替換成其他不同種類證券的交易性質。譬如，將債券或特別股轉換成一般股。）

風險對沖的操作策略，讓索普從此每年穩定獲利達20%以上，長達四十五年之久，至今這項紀錄仍持續中（2008年確實是索普投資表現最糟糕的一年，那年的投資報酬率只有18%）。

### 擊敗市場！

1967年，索普和另一位對相關課題也頗有研究的加州大學爾灣分校同事，一起把風險對沖的操作方式，寫成《擊敗市場》（*Beat the Market: A Scientific Stock Market System*）一書。

《擊敗市場》裡面提到的觀念，奇特到跟當時的實務做法差距太大，所以沒有在華爾街激起太多迴響。很多交易員直接忽略了這本書，看過的交易員要不是根本沒看懂，要不就是沒看出其中的奧妙。

但是有一位讀者叫利根（Jay Regan），是證券經紀商，他看出索普天才的地方，立即聯絡上索普，提出兩人合夥共組「對沖基金」的建議。〔對沖基金的英文hedge fund，原本指的是「雙邊下注」的基金（hedged fund），當利根向索普提出合夥建議的時候，這個詞彙出現在市場上的時間，已經超過二十年了。由於現在大多數對沖基金都是採用索普風險對沖的策略進行操作，所以把利根、索普兩人視為這個詞彙的祖師爺，也說得通。〕

利根提議：由他負責所有索普不喜歡經手的工作，像是：四處宣傳基金的績效、找到認購的買主並提供服務、跟金融市場的經紀商打交道、完成證券的交易手續等。索普只要專心找出適當的投資標的，並規劃出股票跟其他可轉換證券之間的投資組合，看準時機買進、賣

出就可以了。索普甚至不用離開美西，利根很樂意在紐澤西州代勞經營資產管理的工作。留在加州新港灘的索普，就去想辦法招募一支由數學家、物理學家、資訊科學家組成的團隊，緊盯有利可圖的交易項目，就成了。

利根的提議完善到幾乎讓人難以置信，索普當然很快就點頭答應了。

索普與利根兩人共同創立的公司，一開始叫做「可轉換對沖合夥」（Convertible Hedge Associates）公司，之後在1974年改以「普林斯頓—新港合夥」（Princeton-Newport Partners）為名。合夥公司很快打響第一炮，在第一個完整的經營年度，就在扣除各項費用後，替投資人帶來13%的投資報酬率（同年市場的整體績效表現是3.22%）。

從一開始就加入合夥公司的投資人，當中有好幾位赫赫有名的大人物。其中一位最早加入的投資人，是加州大學爾灣分校研究學院的院長傑拉德（Ralph Gerard），當然也可以說是索普的頂頭上司，那時他剛繼承一大筆遺產。傑拉德長期以來的資產管理人，打算轉往其他領域發展，讓他想要替這筆閒錢找到新的投資標的。索普的新公司看來是個可以考慮的對象，不過在投入資金之前，傑拉德希望索普先去拜會自己的財產老管家、一位傑拉德信得過的朋友，請他先仔細審核索普的操作方式是否得宜。

索普同意這項安排，挑了個下午，跟太太兩人驅車沿著太平洋海岸公路，一路開了好幾公里，來到財產老管家位於拉古納海灘的住處。他們打算邊玩橋牌邊談天說地，好讓老管家能夠清楚認識索普是怎麼樣的一號人物。

閒談中，索普知道這位老管家打算告別資產管理的工作，去挑戰新的事業：重建一家歷史悠久的紡織公司。這位老管家用協助他人管理資產的方式，賺進了人生的第一桶金，現在該是用他自己的錢開創

一番事業的時候了。索普這天下午的大多數時間，都在和這位老管家探討機率論的話題。

在玩橋牌的時候，老管家提到一種非遞移骰子（non-transitive dice）的特殊狀況；一共有三顆非遞移骰子（中文版注：若骰子A關係到骰子B、且骰子B關係到骰子C，則骰子A關係到骰子C；若有這樣的關係，就叫遞移關係），每一面的點數都不一樣，特別的地方是當你同時擲出第一、第二顆骰子時，第二顆骰子出現較大點數的機率較高，同時擲出第二、第三顆骰子的時候，第三顆骰子點數大於第二顆骰子的機率較高，可是如果同時擲出第一跟第三顆骰子的時候，反倒是第一顆骰子點數較大的機率比較高。

對各種博弈遊戲跟相關機率向來很感興趣的索普，當然對非遞移骰子知之甚詳，因此這個話題很快讓他跟老管家成為莫逆之交。索普在開車回新港灘的路上，告訴太太，他預期這位老管家總有一天會成為世界上最富有的人。這個預言在2008年實現了！

喔，對了，這位老管家的名字叫巴菲特。

取得巴菲特的加持與肯定後，傑拉德也就成為索普新公司最早一批的投資人。

### 眼看他樓起樓塌

普林斯頓—新港合夥公司很快就成為華爾街最成功的對沖基金公司。但是天有不測風雲，人有旦夕禍福，普林斯頓—新港合夥公司之後也用非常戲劇化的過程，下臺一鞠躬。

1987年12月17日，將近五十名聯邦調查局（FBI）與財政部菸酒槍炮及爆裂物管理局（ATF）的幹員，聚集在公司門口，旋即突襲查扣公司跟不久後被指控為垃圾債大王的米爾肯（Michael Milken）之間，所有相關的交易紀錄跟錄音帶。起因是合夥公司的離職員工海爾（William Hale）向聯邦大陪審團作證指出，利根跟米爾肯兩人涉嫌用假交易（stock parking）的方法逃漏稅。



假交易是衝著一項稅務上的差異而來：長、短期持有部位的資本利得稅不一樣。所以儘管同時買進股票、賣空認股權證的做法，可以將損益對沖攤平，但是法律上卻不允許私人企業就這樣逕自把應扣稅額一併攤平。利根為了隱藏真正長期持有的部位，以便少繳一點稅，就把一部分的股票用假交易的方式，掛在米爾肯公司帳上。表面上這些股票已經交易過戶給米爾肯了，但是他們兩人卻私下約定，利根將來可以不管當時的市場行情，直接用先前講好的價格，把股票買回來。這種做法雖然還不至於十惡不赦，但卻是法律明令禁止的作為。而且承辦此案的檢察官朱利安尼（Rudy Giuliani，1994年至2001年擔任紐約市長），也不斷向普林斯頓—新港合夥公司施壓，好取得更多事證，起訴米爾肯。

索普對這整個假交易的過程一無所知，直到涉案的醜聞見報之前，他完全不知道美東那頭的合夥公司從事過任何非法勾當；索普從未因此遭到起訴，當然更不可能被判處任何罪名。

無端被捲入醜聞風暴的索普，想要聯絡利根時，對方已經委託律師打點一切事務，拒絕再跟索普有任何接觸。隔年，已被司法程序徹底摧毀商譽的普林斯頓—新港合夥公司，經營得相當吃力，之後在1989年就宣告結束營業了。普林斯頓—新港合夥公司在二十年的時光裡，平均每年報酬率高達19%，扣除相關費用後報酬率為15%，這仍是史無前例、空前優異的表現。

普林斯頓—新港合夥公司關門大吉後，索普沉潛了一段時日才用自己的名義Edward O. Thorp Associates，重整旗鼓東山再起，這是一家由他自己出資獨立經營的資產管理公司。索普早就不再以替人操盤為業，這家新的資產管理公司迄今仍以索普的自有資金維持營運。

而這段期間，想要仿效普林斯頓—新港合夥公司成功經驗的對沖基金，已經來來去去不下數百檔了，見證了《華爾街日報》在1974年

的一篇報導：索普已經用計量分析與電腦運算的方式，開創了資產管理的新領域。

誰能想到這一切的改變，居然都是來自當初的資訊理論呢？

## 第五章

**物理學進占華爾街**

布雷克才是真正將財務計量分析觀念導入市場的推動者，他真正讓物理學的深厚根底，成為投資銀行的決策工具之一。

布雷克（Fischer Black, 1938-1995）博士論文的指導教授歐庭吉（Anthony Oettinger），在1961年2月寫了一封信給哈佛大學高階學位委員會，上頭提到：「有關於（布雷克的）學科表現，雖然我認同他的才華與獨立研究的渴望，但是我擔心興趣太過廣泛，會讓他失去專注力。」

兩個星期後，歐庭吉擔任一場口試的主席，討論布雷克是否有資格進入撰寫博士論文的階段。布雷克通過了這次審核，不過附帶一個不容妥協的條件：在1962年1月以前，必須繳交一份「清楚、有條理的博士論文大綱」。

又一個星期過後，布雷克因為參與哈佛廣場的學運抗爭，而遭到收押。等到哈佛大學校長幫忙辦妥交保手續後，憤世嫉俗的布雷克，既然已經槓上警察機關、不顧哈佛的校規，當然也沒打算聽從指導教授的意見。所以布雷克的博士論文大綱，直到1962年1月時還是一片空白，這個結果自然換來哈佛大學的退學通知書。

**布雷克—休斯—莫頓選擇權訂價模型**

可是如今，布雷克卻已是金融史上鼎鼎大名、家喻戶曉的人物，用來計算選擇權如何訂價的**布雷克—休斯模型**（Black-Scholes model），有時亦稱為**布雷克—休斯—莫頓模型**（Black-Scholes-Merton model），是他最主要的貢獻，也是計算其他所有衍生性金融商品價位的標準工具。

布雷克的兩位研究伙伴，休斯（Myron Scholes, 1941-）跟莫頓（Robert Merton, 1944-），在1997年憑藉布雷克—休斯—莫頓模型獲

頒諾貝爾經濟學獎。可惜的是布雷克在1995年已經離開人世，無法成為獲獎人之一（諾貝爾獎還沒發生過追贈的案例），不過諾貝爾委員會卻罕見的願意在得獎公告中，公開表揚布雷克對相關研究的貢獻。

美國財務學會每兩年會頒發布雷克獎，給四十歲以下、研究成果「最能在金融實務領域彰顯布雷克原創研究精神」的年輕學者，這是金融學界最富聲望的獎項之一。此外，麻省理工學院的史隆管理學院也以布雷克為名，設立客座教授一職，受邀的講者名單還在不斷增加中。

在金融市場遼闊的物理學史中，布雷克可能是推動轉型過程的最佳代言人。受物理學訓練的布雷克，從來沒有成為一位真正的物理學家，主要是因為他涉獵的領域實在太廣泛，導致他的研究工作失去重心。雖然布雷克比較為人所知的身分是財務經濟學家，但是他在這個行業中也沒待很久；就連讓他功成名就的研究成果，也很快讓他感到厭倦，隨後就帶著懷疑論者的精神，轉而研究其他新的想法。

即便如此，正是這種人格特質（歐庭吉早就認為會讓布雷克失去專注力的人格特質），才能讓布雷克巧妙的把兩個長期渴望互動的不相干領域，給串連起來。做為物理學家，布雷克有足夠的本事，仿效巴楔利耶和奧斯本提出深入的觀點；做為經濟學家，他也有足夠能力用其他經濟學家聽得懂的方式，表達個人的觀點——從這個角度來看，布雷克有點像是薩孟遜，只是學術表現遠遠不及；不過布雷克說服了華爾街投資客、銀行家認同物理學新觀念將會改變金融實務運作，這成效已遠遠超越了薩孟遜。

「想出方法利用巴楔利耶、奧斯本隨機漫步假說實現獲利」的第一個人是索普，但是他需要透過普林斯頓—新港合夥公司，才能發揮影響力。索普本身和金融圈的關係，其實非常疏離，反倒布雷克才是真正將財務計量分析觀念導入市場的推動者，他真正讓物理學的深厚

根底，成為投資銀行的決策工具之一。因此我們可以說，是布雷克成功的率領物理學進占華爾街。

### 布雷克執意走自己的學術路

布雷克在1955年進入哈佛大學就讀，當時年方十七。如果被問到為什麼要讀哈佛而不是其他學校，布雷克會告訴你，愛唱歌的他看上的是哈佛合唱團。

從入學報到開始，布雷克就已經下定決心，要打造一條屬於自己的學術道路，學校老師指派的功課對他來說，恍如不存在一樣，他只針對自己感興趣的課題繳交報告。經過幾學期入門性質的課程後，布雷克已經打定主意要念研究所了。當時他挑上一門叫做「社會關係」的跨領域課程，授課內容包含各種不同社會科學的學門，而且布雷克居然用自己親身實驗的方式，驗證所學內容。比方說，他改變自己的作息時間，調整成醒四小時、睡四小時交替進行的模式，同時仔細觀察自己的生理反應，留下非常可觀的摘要紀錄。此外，他也學著嗑藥，就連迷幻劑之類的毒品也來者不拒，用這種方法追蹤藥品在他身上發揮了什麼作用。這時他所結交的朋友，多半都已是研究所的學生。

布雷克在快要升大三的那一年，開始對主修科目三心兩意了起來。社會關係這門課雖然夠有趣，但是布雷克希望將來能從事學術研究工作。他就跟奧斯本、索普一樣，是天生的科學家——一輩子都在做實驗，隨時都有新理論要驗證；但是布雷克卻看不出來社會關係這門課，將來能否提供他類似的工作機會。所以他開始轉向冷冰冰的自然科學，在迅速嘗試過化學跟生物學之後，布雷克暫時在物理學的領域停下腳步。

基礎理論的研究工作是他的最愛，所以大四那年他已經開始申請研究所，一樣還是非哈佛不讀，目標直指理論物理的博士學位。布雷克在這段期間，獲得美國國家科學基金會頗具聲譽的研究生獎學金，

哈佛校方也認可他的才華，所以打從1959年秋天開始，布雷克已經在物理研究所展開新一輪的學習。

上完研究所第一年的課程後，布雷克又開始心有旁騖了。最後他只選了一門物理方面的課，其他時間都浸淫在電子工程、哲學、數學等其他領域。布雷克雖然覺得任何事情都很有趣，可是有趣程度卻都沒辦法讓他保持長時間的專注力。又過了幾個星期後，布雷克就從物理研究所轉讀應用數學研究所了；然而隔年春季班，布雷克卻是把所有時間都花在麻省理工學院的人工智慧課程上，這門課的指導教授是鼎鼎有名的閔斯基（Marvin Minsky, 1927-）。等到1960年秋天開學之際，布雷克居然又回到了社會科學，只挑兩門心理學的課程修習。

千萬別以為布雷克什麼東西都學不來，只能說他選課的方式前所未見。另一方面，他的學業成績確實也是一片滿江紅，就連物理課也沒能及格。不過以研究所第二年其中一門被當掉的心理學為例，這門課強調的是行為學派方法（behavioral approach），而認為自己屬於新近蔚為風潮的認知學派（cognitivist school）信徒的布雷克，自然很難有所表現。

然而，學藝不專、成績難看，這些都無法否定布雷克確實是哈佛大學智商最高的學生之一。就讀研究所第一年的布雷克，曾經參加過一項公開競賽，成功解開數學系教授所出的一道難題，因此讓他取得就讀第二年的獎學金。從來沒有人質疑過布雷克的才華，但是指導教授歐庭吉擔心的理由也顯而易見：經過兩年研究所課程的洗禮後，布雷克拿不定主修科目的狀況，就如同大學生一樣——硬要說有所差異的話，大概就是 he 轉換科系的速度愈來愈快了。

布雷克倒是認為自己只是太有好奇心罷了，而且不願意被學校刻板僵化的規定給綁住。因此，他任由別人評判自己學業表現好或不好，就算這代表著自己可能被哈佛逐出校門，也無所謂。

**在顧問公司初試啼聲**

經過許多波折、峰迴路轉之後，布雷克終究還是取得應用數學的博士學位。

話說哈佛校方將布雷克退學之後，他在一家位於劍橋附近的高科技顧問公司BBN（Bolt, Beranek and Newman）找到工作。BBN看上布雷克的電腦功力，因此進入職場後的布雷克花了大多數時間，在處理圖書館資源委員會委託的計畫：電腦資料檢索系統。這項計畫其中一部分工作，要布雷克使用形式邏輯（formal logic）寫出可以回答簡單問題的電腦程式，譬如當有人輸入「羅馬尼亞的首都叫什麼？」這個問題後，電腦要能根據儲存在資料庫的一串已知事實，推論出正確的答案。這項計畫主要以處理簡單的問答為出發點，試圖逆推出發問者的實際身分。布雷克的研發工作對早期的**計算語言學**（computational linguistics）頗有貢獻；所謂計算語言學，是在研究如何讓電腦能夠了解人類的語言和造句。

布雷克在BBN公司的優異表現，很快傳遍了整個劍橋，1963年的春天來臨時，閔斯基也已經對布雷克的答題程式略有耳聞。這項成果讓閔斯基留下深刻印象（而且他也有足夠的影響力），因此閔斯基以布雷克代表人的身分，回過頭找上哈佛校方，商討讓布雷克重新註冊的辦法。協商結果，這一次由哈佛教授費雪（Patrick Fischer）擔任布雷克名義上的指導教授，而實際負責布雷克學業表現的則是閔斯基本人。隔年，布雷克直接把他在BBN顧問公司開發「演繹式答題系統」的工作經驗，寫成博士論文，並且在1964年6月通過口試，總算取得了博士學位。

完成博士學業後，布雷克已經受夠了學術界，至少在短期內不會繼續待在這個環境了。他為了博士論文，被綁在單一計畫的時間已經夠久了，他可沒有想把一輩子的時間，都奉獻給人工智慧。接下來，布雷克開始嘗試往作家之路發展，著手撰寫非小說類的著作，也曾考慮過電腦銷售業務，後來甚至也不排斥申請博士後獎學金，繼續留在



哈佛大學，扮演科技領域與社會科學之間媒介訊息的角色——這是二次世界大戰後，各種新科技衍生出的新主題。

當然，這些生涯規劃最後沒有一個能落實，所以布雷克只好再次向顧問業投履歷。布雷克認為，起碼他在這個領域可以參與各種不同的專案，而且用硬底子解決問題這件事，還頗能維持他的注意力。

不過這一次布雷克沒有選擇回到BBN顧問公司，而是前往當地另一家「理特諮詢」（Arthur D. Little）公司的作業研究部門上班。一開始，布雷克的主要工作內容是解決電腦問題，譬如說，大都會人壽（MetLife）雖然擁有一臺極為先進的電腦，但是該公司卻一直認為電腦運算能力表現得不盡如人意，於是委託理特諮詢公司評估是否有必要再買另一臺電腦。布雷克跟兩位同事一起研究後發現，問題不是出在只發揮百分之五十運算能力的電腦，而是出在電腦資料的儲存設備上：大都會人壽只用八組磁碟而不是三十組磁碟應付每天的工作量。所以布雷克團隊提供的解決方案是：利用既有的所有設備，規劃出最佳化的使用方法。

布雷克在理特諮詢公司工作將近五年，這段經歷改變了他的人生。剛到任的時候，他是一位只懂作業研究跟資訊科學的毛頭小子，雖然擁有不尋常的廣泛興趣，但是金融財務似乎從來不是布雷克感興趣的選項。可是當他在1969年離職的時候，他已經建立了布雷克—休斯模型的基礎架構。

至少在某些圈子裡，布雷克已經被視為正在嶄露頭角的財務專家了。因此富國銀行（Wells Fargo）在1969年毫不猶豫委託布雷克，協助研究該集團的投資交易策略。

### 楚雷諾發明資本資產訂價模型

這段轉型的過程，在布雷克剛到理特諮詢公司上班、遇見作業研究部門稍微年長的同僚楚雷諾（Jack Treynor）時，就開始了。

從哈弗福德學院（Haverford College）畢業的楚雷諾，原本打算主修物理，可是卻發現該校在物理方面的表現不甚理想，因此改以數學做為主修科目。大學畢業後，楚雷諾進到哈佛商學院深造，之後在1956年進入理特諮詢公司上班，年資比布雷克多了十年左右。楚雷諾跟布雷克在理特諮詢公司共事的時間不長，因為美林證券（Merrill Lynch）在1966年就把楚雷諾給挖走了；但是他們兩位思想獨特的數學家一相遇之後，很快就成為好朋友。

布雷克非常欣賞楚雷諾的思考模式，對他以風險管理、對沖基金績效評估跟資產訂價等為主的工作內容，也很感興趣。雖然楚雷諾同樣沒有受過正規財務理論訓練的背景，但是在哈佛商學院學到的知識，已經讓他能夠妥善處理工作上的各種疑難雜症，所以他在理特諮詢公司工作時的往來對象，不乏各式各樣的金融機構。除此之外，協助解決理特諮詢公司客戶實際遭遇的問題，也總是讓經常負責理論性研究專案的楚雷諾，感受到較多樂趣。

當布雷克開始在理特諮詢公司上班的時候，楚雷諾已經發展出一套看待風險、機率與期望值的全新觀點，我們現在把這種觀點稱做**資本資產訂價模型**（Capital Asset Pricing Model, CAPM）。資本資產訂價模型的基本論點，建立在風險應該也能被訂價的觀念上；模型中所謂的風險，代表不確定性或是波動性，因此可以認定某些型式的資產，比方說美國國庫長期債券，就是屬於低風險的投資。這些特定資產總有一定的報酬率，亦即購買美國國庫長期債券（Treasury bond, T-bond），就必定可賺取一個數字固定的投資報酬率。

然而大多數的投資都帶有風險，因此楚雷諾認為，除非能夠賺取平均而言比低風險投資還要高的報酬率，否則投資任何帶有風險的項目，都是不理智的行為。楚雷諾把多出來的投資報酬率稱為**風險溢酬**（risk premium），用來表示投資人在願意進場購買高風險資產之前，

所追求的額外收益。資本資產訂價模型讓我們可以對風險溢酬的成本效益進行分析，進而把投資報酬率與相對應的投資風險連結起來。

第一次聽到資本資產訂價模型的布雷克，馬上就迷上了這套理論，他認為用這麼簡單的概念，來描述不確定性與利潤之間的關係，很有說服力。資本資產訂價模型是強調大原則的理論，採用抽象概念描述風險在理性決策中扮演的角色。布雷克日後指出，自己深受資本資產訂價模型中一個特殊的性質所吸引：**均衡理論**（equilibrium theory，這是他自己定義的）。布雷克在1987年的一段文字中寫道：「均衡的概念將我引入金融與經濟的世界。」

資本資產訂價模型的均衡概念，在於把風險與報酬之間自然平衡的關係，賦予經濟價值。而這個世界習慣朝向均衡方向移動的現象，深深觸動了布雷克做為物理學家的那一面：在物理學的世界裡，複雜體系內的小幅度變動，最終都會傾向回復成穩定的狀態，由於這種穩定狀態表示來自各方的影響因素都達到平衡，所以在物理學上就稱為**平衡態**（equilibrium state）。

從此布雷克下定決心，要把楚雷諾有關金融財務的知識都學起來，因此當共事一年的楚雷諾要離開理特諮詢公司時，最適合接替楚雷諾的職位、率領理特諮詢公司金融顧問團隊的人選，也就非布雷克莫屬了。

而且，布雷克也是更進一步改善楚雷諾理論的最佳人選；甚至可以說，布雷克之後所有的研究工作，幾乎都是建立在資本資產訂價模型的基礎上。

### 休斯與布雷克攜手

如果楚雷諾是啟動布雷克朝向財務經濟學家轉型的推手，休斯就是讓轉型過程最終能開花結果的關鍵人物。

休斯在1968年9月備妥芝加哥大學剛頒贈的博士學位證書，來到劍橋。行前，芝加哥大學研究所的同窗友人簡森（Michael Jensen）建議

休斯，到了劍橋要找布雷克聊聊；在簡森眼中，「布雷克是一個有趣的傢伙」。抵達劍橋的休斯，很快跟布雷克取得聯繫，他們兩人有一些共通點：第一、年輕，當時休斯才二十七歲，布雷克則是三十；第二、兩人都還沒有做出一番豐功偉業，雖然麻省理工學院剛聘休斯為助理教授，象徵他是頗值得期待的學者。

兩人約在理特諮詢公司橡實園區裡，尋常的員工餐廳中共進午餐。想不到兩位名不見經傳人物的午餐會，竟然就此譜出一頁新的歷史，布雷克與休斯兩人初次會面建立的友誼，從此改變了日後金融市場的發展方向。

可是，布雷克跟休斯兩人也有很多天南地北的差異：第一、布雷克沉默寡言，甚至到了容易害羞的境界，急性子的休斯卻相當直率；第二、布雷克雖然腦海中都是抽象的理論，但是卻偏好能實際應用的工作，休斯則剛完成厚重、實證分析的博士論文，裡頭引用大量的數據資料，檢驗效率市場假說——這假說是奠定新古典經濟學派中心思想的重要概念。我們很難想像這兩人初次見面時到底如何互動，總之，改變歷史的契機已經開始了。

他們兩人之後一直不斷碰面，很快就建立起一輩子的交情和智識上的伙伴關係。休斯邀請布雷克出席每週在麻省理工學院舉行的金融研討會，成為布雷克踏入金融學界的初體驗。

不久之後，富國銀行先找上休斯，請他協助建立一支諮詢團隊，幫助該公司學習運用類似資本資產訂價模型這種金融學界的新觀念。休斯認為自己恐怕沒時間親力親為，不過他倒是有一位理想的口袋人選，可以推薦給富國銀行。這就是布雷克爽快答應接手富國銀行委託工作的緣由。

因此在1969年3月，就在布雷克、休斯兩人初次的見面餐會後大約半年的時間，布雷克就向理特諮詢公司遞出辭呈，並開始創業經營新的顧問公司「金融聯盟」（Associates in Finance）。富國銀行就是新

公司的主要客戶，由布雷克跟休斯兩人一起協助富國銀行，開發新穎又高段的投資策略。

布雷克在這個時候開始構思，如何把資本資產訂價模型延伸到各種不同資產跟各種不同的投資組合，比方說，他試圖利用資本資產訂價模型推算：什麼才是人生當中最適當的投資配比？有歲數的人是否應該參照大多數人的建議，調整投資曝險的程度？

布雷克的研究成果是：不！既然我們在某一時點都曉得要多角化投資不同股票，以分散風險，換成人生不同的階段，當然也要保持多元分散的觀點，降低被超長期時運不濟打擊到一蹶不振的風險。

使用資本資產訂價模型估算選擇權該如何訂價，只是布雷克在這段期間諸多研究項目中的一個，當1969年夏天來臨時，布雷克已經取得一定程度的進展，為日後布雷克—休斯模型中，金融聯立方程式之間的關係打下基礎。

### 布雷克的策略：動態避險

布雷克首創的想法，大致如下：在任何時點，都有可能將股票及其選擇權這兩種資產，組合成低風險的投資方式。看起來有點似曾相識，因為這個想法跟索普風險對沖操作策略的核心概念雷同；索普明白選擇權價格跟後頭的股價有某種關連，只要能找出適當的組合，就能控制風險。差別在於：索普的風險對沖策略企圖在股價沒有劇烈變動的情況下追求獲利，對於風險只採取管控的態度，並不追求低風險。（其實，如果資本資產訂價模型推論正確的話，我們就不可能一方面消除風險，另一方面又維持獲利。）

布雷克的做法，則是找出選擇權與股票適當的投資組合，達到低風險的目的，然後再引用資本資產訂價模型，計算出這種低風險的投資組合會產生多少投資報酬率。我們現在把布雷克這種選擇權與股票搭配成低風險投資組合的操作方式，叫做**動態避險**（dynamic hedging）。

布雷克也看過庫特納的《股票價格的隨機性》論文集，所以他也很清楚巴楔利耶、奧斯本兩人對金融市場的隨機漫步假說。這假說讓布雷克可以模擬股價如何隨時間因素而波動，所以可更進一步算出選擇權價格該如何一起跟著時間因素而波動，來建立選擇權價格與股價之間的關連性。一旦布雷克找出這兩種資產的價格關係，也知道低風險的投資報酬率是多少之後，接下來要算出選擇權真正的價值，就只是把兩種資產的風險溢酬套入方程式中，進行代數運算就可以了。

想不到的是，他居然碰上一道跨不過的門檻：若想要完成整個代數運算，必須先解出一道複雜的微分方程式——選擇權價格瞬時變化率相對於股價瞬時變化率之間的微分方程式。雖然布雷克具有物理學跟數學的背景，但是在那個時候，他也只能對這個複雜的微分方程式徒呼負負。

試了幾個月之後，心灰意冷的布雷克打算放棄了。他既沒有向任何人提過這道算不出的難題，也沒告訴任何人自己的進展有限。直到1969下半年，休斯提到自己在麻省理工學院有一位碩士班學生，對選擇權訂價模型很感興趣，休斯詢問布雷克：不知能否用資本資產訂價模型解決這位學生的問題？這時候，布雷克才從抽屜中，把讓自己百思不得其解的微分方程式拿出來。

此後，布雷克跟休斯兩人就一起努力解這道微分方程式，直到1970年夏天，總算大功告成。7月時，就利用休斯在麻省理工學院舉行富國銀行贊助的研討會場合，正式提出布雷克—休斯的選擇權訂價模型。

大約在同一段時間，休斯在麻省理工學院的同僚莫頓（他是工程背景出身，之後取得經濟學博士學位）也從另一個完全不同的出發點，算出同一道微分方程式一模一樣的解答。既然從不同領域出發都得到了同樣的結果，布雷克、休斯、莫頓三人這下子相信，自己真的完成一件了不起的成就了。

## 芝加哥大學網羅布雷克

布雷克和休斯算出解答後不久，就把研究成果投稿到《政治經濟學期刊》，這是相關領域裡頗重要的一份學術期刊，結果他們的論文很快就在沒有具體說明是何原因的情況下，遭到退回了（顯示該期刊的編輯委員並沒有認真看過這篇論文）。所以他們轉向《經濟與統計評論》投稿，結果一樣沒有得到具體回應，就被退稿了。幸好同一時間的莫頓，也沒有急著發表自己從不同角度算出來的研究成果；這使得布雷克跟休斯兩人，仍得以享有這項重大進展的適當評價。

雖然一開始嘗試投稿的結果不順利，但是當時學術界不論是金融財務或是政治領域的要角，都很看重布雷克和休斯兩人的研究成果，這才避免讓這篇論文成為遺珠之憾。在連續兩次被退稿之後，幾位學術界的權威學者，包括聲勢一路看漲的芝加哥學派領導人、也是當時最有影響力的兩位經濟學家法瑪（Eugene Fama）與米勒（Merton Miller），也積極運作，成功說服《政治經濟學期刊》的編輯委員，重新審查布雷克與休斯兩人的論文。這篇論文終於在1971年8月審查過關，經過來回修改後，於1973年5月正式發表在《政治經濟學期刊》上。

早在論文發表之前，芝加哥大學就已經開始密切注意布雷克這號人物了。芝加哥大學的經濟學者很清楚布雷克跟休斯兩人的表現，不論是選擇權訂價模型，還是替富國銀行進行的諮詢服務。這些經濟學者不只是在富國銀行贊助的研討會上，親眼目睹布雷克的研究功力，其實早在1967年，布雷克與楚雷諾兩人造訪芝加哥大學、向他們簡報雙方的合作計畫時，就留下深刻印象了。芝加哥大學的經濟學者只要跟對方接觸過，就能摸清楚對方真正的實力，並不需要倚賴學術期刊的審查，才能評價新進學者的才華。他們很確定布雷克就是芝加哥大學要網羅的人才，所以在1971年5月，就邀請布雷克加入他們的陣營。



那時候布雷克已經離開學術界七年了，中間只發表過四篇論文，其中僅有兩篇跟金融財務有關；而且布雷克的博士資格也來自另一個不相干的領域。不過這些都不重要，他就是芝加哥大學需要的人才！

芝加哥大學並不是憑直覺認定，布雷克的研究成果總有一天會變得舉足輕重。事實上，他們那時候已經掌握一些內部訊息了：選擇權真的快要成為真正的投資選項了，能夠讓投資人算出選擇權訂價的方程式，當然也會變得奇貨可居。除此之外，以芝加哥大學為圓心、推動美國跟國際政經局勢的兩項重大改變，也對衍生性金融商品產業發揮了推波助瀾的效果。能夠爭取到布雷克這樣的專家加入陣營，絕對是有益無害的一件事。

第一項重大改變發生在1971年10月14日、布雷克前往芝加哥大學就職後幾個星期而已。美國證券交易委員會（SEC）在那一天，同意芝加哥選擇權交易所（CBOE）開辦業務，成為美國史上第一家專門經營選擇權交易的市場。

選擇權的歷史已經有數百年之久，只是打從十九世紀中葉起，選擇權在美國都改成以認股權證的形式進行交易，從來沒有在市場上公開發行和交易。芝加哥學派的經濟學者已經花好幾年的時間，促請美國證券交易委員會移除選擇權公開交易的市場障礙，並且好不容易才在1969年說服芝加哥期貨交易所（CBOT）設立一個委員會討論可行性，並由芝加哥大學商學院的教授洛里（James Lorie）出任該委員會主席一職。洛里之後跟米勒一起撰寫一篇選擇權公開交易的衝擊評估報告，成為芝加哥期貨交易所在1971年3月交給美國證券交易委員會的提案主軸。

布雷克跟休斯兩人投稿的論文，跟芝加哥選擇權交易所的命運交疊，好像一對雙胞胎。美國證券交易委員會同意開辦芝加哥選擇權交易所之前兩個月，布雷克跟休斯兩人的論文通過期刊編輯委員的審

查；兩年後，芝加哥選擇權交易所開始正式營運，只比布雷克跟休斯兩人的論文正式發表的時間早一個月。

1973年4月26日是第一個營業日，芝加哥選擇權交易所總共有九百筆，針對十六檔股票的選擇權完成交易，隨後成交量就以驚人的幅度迅速成長：1973年總計有一百萬多筆交易紀錄，1974年10月的每日平均交易筆數已經超過三萬筆，甚至在某一天創下單日交易達四萬筆的紀錄。十年之內，當日交易筆數已經成長到五十萬筆。

其他各地的選擇權交易所，也如雨後春筍般迅速成長：首先是美國證券交易所（AMEX）宣布要跟進成立，接著是費城與太平洋證券交易所（中文版注：2007年併入那斯達克）；1977年1月，阿姆斯特丹也以芝加哥選擇權交易所為參考範本，設立歐洲選擇權交易所

（EOE）。選擇權交易迅速成為最熱門的行業，當時的投資大眾非常亟於想要了解這項新的理財工具有什麼特性。布雷克、休斯、莫頓三位很快就在金融界成為家喻戶曉的人物。

### 廢止布列敦森林體系協議

第二項對布雷克生涯影響深遠的重大政策改變，幾乎跟芝加哥選擇權交易所的創辦，發生在同一時點，只是對布雷克的影響來得比較慢一些。

這項改變一樣又是由芝加哥學派具有影響力的經濟學者，特別是知名的貨幣學派專家傅利曼（Milton Friedman, 1912-2006）所發起。尼克森在1968年當選美國總統，此時傅利曼寫了一封信建議尼克森，廢除布列敦森林體系（Bretton Woods System）。所謂布列敦森林體系是指1944年7月在新罕布夏州布列敦森林鎮上，商討出第二次世界大戰結束後所要採行的國際貨幣協議；而成立國際貨幣基金（IMF）與國際復興開發銀行（現在是世界銀行的其中一部分）也是布列敦森林會議獲致的成果。其中，世界主要貨幣將基於布列敦森林體系的協議，對美元採取固定的匯率（最終的兌換標的是黃金，因為對其他各國政

府而言，他們擁有無條件持美元兌換黃金的權利）。在布列敦森林體系協議的規範下，各國匯率變動的頻率很低，而且要透過冗長的外交程序進行協商。

在傅利曼寫信給尼克森的1968年，布列敦森林體系協議已經顯現運作不良的情況，主要的問題在於：世界上就是沒有那麼多黃金，可以為二次世界大戰後迅速成長的國際貿易，提供支應準備。當時美國雖然持有全世界絕大多數的黃金供應量，但是黃金仍舊是公開市場上，價格波動頻繁的交易商品；如果美國跟盟邦有辦法在公開市場，維持布列敦森林體系所協議的黃金價格，那就不會造成任何問題，一旦公開市場的黃金價格飆升，一如當時不斷成長的需求超過有限供應後的必然結果，美元價格就會有崩盤的危險（亦即造成大量拋售美元以換取黃金的現象），其他各國政府也可以用固定匯率向美國兌換黃金後，再到公開市場上拋售套利，最終必然造成金本位體系全面崩潰。

崩潰的現象在1967年底也的確發生過，成為傅利曼在隔年用公開信向尼克森喊話的原動力。以傅利曼這種思想卓越的大師眼光來看，布列敦森林體系從一開始就是一項錯誤：我們根本不應該期待政府能夠維持固定的匯率，唯有在公開市場自由交易，才有可能決定匯率的合理價位。

不過尼克森一開始並沒有聽從傅利曼的建議，直到1971年越戰的開銷成為美國沉重的財政負擔後，債務問題已經成為尼克森不得不面對的難題。緊接著，西德跟日本都宣布不再遵守布列敦森林體系的協議，不再堅持馬克、日圓要以固定匯率兌換美元。眼見全球經濟崩潰在即的尼克森政府，再也不能坐視不管，總算下定決心，宣布不再履行美元兌換黃金的承諾，廢止了布列敦森林體系的協議。接下來幾年，固定匯率制逐漸被浮動匯率制所取代，逐步建立在公開市場上決定各種貨幣相對匯率的機制。

## 催生外幣期貨市場

芝加哥另一期貨市場——二十世紀初期從芝加哥期貨交易所分割、自立門派的芝加哥商品交易所（CME），也在董事長梅拉梅德（Leo Melamed, 1932-）的帶領之下，看到全球財政政策破冰後的商機。

梅拉梅德聽從傅利曼的建議，在1972年5月自行創立新的交易市場——國際貨幣市場（IMM），進行外幣期貨契約的交易。在布列敦森林體系尚未廢除之前，各國貨幣間的匯率只能透過耗費精力的公開過程，才有調整的空間，使得外幣期貨市場門可羅雀。一旦採行浮動機制，讓市場公開決定匯率的話，外幣期貨市場的重要性就不言而喻了，特別是從事國際貿易的公司、大型銀行，便可以透過外幣期貨的操作，避免自家因為無預期的匯率波動而蒙受損失。

舉個例子，假設有一家美國製鞋公司跟英國公司簽約，同意對方用英鎊支付牛仔靴的貨款，由於簽約時間跟商品送到英國碼頭的時間不一樣，因此英國公司聲明在收到商品後才付款。如果英鎊在商品出貨到英國的期間內貶值，則美國公司的獲利（換算成美元）就會比簽約時所設算的還低。

為了避免這類突發狀況，美國公司可先把商品送抵英國時可望收到的英鎊款項，以期貨的方式出售，這樣就能有效避免匯率無預期變動造成的無謂損失。

國際貨幣市場要怎樣利用布雷克跟休斯提出的選擇權訂價公式呢？這兩件事情乍看之下毫無關連，不過幾年後，國際貨幣市場將業務擴張到以貨幣為主的新衍生性金融商品，其中當然也包括選擇權。由於匯兌風險對於任何一筆國際貿易都影響甚巨，貨幣的衍生性金融商品很快成長，成為推動全球經濟發展的主角，使得布雷克—休斯模型繼芝加哥選擇權交易所的成功經驗後，再次成為國際貨幣市場每日交易的計價基礎。更重要的是，布雷克跟休斯兩人指出，這個訂價模型可以擴大適用到其他衍生性金融商品的合約，恰好符合其他業者為

了避免匯兌風險的需求，而更加快速的推升了國際貨幣市場各項新業務的成長。

從芝加哥選擇權交易所、一路發展到國際貨幣市場都適應良好的情況，已經讓布雷克與休斯看見，自己的新觀點如何創造出一個全新的財經世界了。

### 銀行設計選擇權商品的工具

布雷克、休斯、莫頓三人所發現的選擇權訂價模型，在本質上跟索普於1965年提出的認股權證訂價方式一樣，差別只在索普是直接透過電腦程式把結果算出來，不像他們三位是推導出清楚明確的方程式（並冠以自己的姓氏）。

不過，這兩種途徑背後的論述方法卻大異其趣。索普的觀點源自於巴楔利耶：所謂選擇權的合理價位，應該要讓該選擇權的交易成為一場公平的賭局。索普從這個觀點出發，算出選擇權應有的價格是多少，並假定股價走勢符合奧斯本所指稱的對數常態分布曲線；只要能夠算出選擇權「真正該有的」價位，索普就能找到選擇權跟股票之間適當的組合比例，進行風險對沖的策略操作。

布雷克跟休斯的論述方式恰好相反。他們從避險策略做為出發點，認為一定有辦法找到低風險的股票與選擇權投資組合，然後套用資本資產訂價模型，算出這樣的組合該有多少的投資報酬率，也就是風險最低的投資報酬率，之後再回推出：該如何根據股價，算出能維持低風險報酬的選擇權價位。

這兩種角度的差別，看起來似乎無關緊要（反正兩種論證方式都從不同途徑，走到同一個選擇權的訂價結果），但是這兩者在實務上的差異可就重要了，因為布雷克—休斯模型動態避險的基本概念，可以做為投資銀行設計選擇權商品的工具。

以銀行想要向客戶推銷選擇權這項商品的立場來看，賣出選擇權等於讓客戶有權利用預先設定好的價格，買進或賣出某一檔股票，理

論上，銀行不會讓自己涉入這場賭局的風險中；銀行的主要利潤來自於賣出選擇權所收取的抽佣，而不是建立在投機行為上。換句話說，當銀行賣出選擇權的時候，他們應該會找到一種方式，來抗衡股票變得太過值錢的可能，同時避免選擇權變得一文不值時所造成的損失。

布雷克與休斯兩人提出的動態避險策略，可以讓銀行完完全全達到這個目的：銀行可以透過布雷克—休斯模型，在賣出選擇權的時候，買進其他資產，起碼在理論上達成避免承擔風險的結果。這才有可能讓選擇權成為一種金融商品，一種銀行可以主動規劃、設計並銷售的商品。

### 布雷克成為第一代寬客

布雷克在芝加哥大學待到1975年，直到麻省理工學院邀請他回到劍橋為止。對於布雷克來說，學術界曾經有段時間是最理想的工作場所，可以盡情研究自己感興趣的課題，比方一開始浸淫在以交易為基礎的選擇權研究中，總讓他隨時有新的發現。鴻運當頭的他，從事各種研究都無往不利。這時候的布雷克，在學術界可說是第一流的人物，崇高的地位象徵著聲望與自由自在的研究空間。

可是，布雷克的私領域卻是災難一場：他的第二任太太討厭芝加哥的生活方式，這也成為布雷克回到劍橋的考量因素之一，好讓太太能夠住得離家人近一點。只可惜搬家的決定並沒發揮多大成效，跟家庭愈來愈疏離的布雷克，只好全心投入研究工作中，朝向新的領域尋求突破。

這時期的布雷克，想利用一般化的資本資產訂價模型，解釋景氣循環的成因：如果這世界是基於理性在運作的話，為什麼只要成長一段時間之後，就一定會跟著一段時間的衰退？這個疑惑將布雷克引導進入總體經濟的領域，也就是他心目中的「一般均衡」狀態。他也同時向會計界提出批判性的觀點；他眼中的會計界是一個幫不了投資者、還會扯後腿的領域。

只可惜這些往其他領域轉型的成果，並未受到青睞，彷彿在提出那篇選擇權論文與後續一系列探討金融市場衍生性金融商品的研究後，布雷克就已經江郎才盡了。他對總體經濟的看法，更是完全跟不上時代的腳步。

從1970年代到1980年代之間，有關財經法規跟貨幣政策的爭論，持續不斷上演，分別由芝加哥學派與偏好政府干預經濟事務的凱因斯學派，擔任兩陣營的主力。布雷克在這個時候提出一般均衡理論，無異於用毫不相干的論述，硬是在兩陣營勢同水火的戰場上攪和。

布雷克很快發現，自己的觀點遭到嗤之以鼻，然後就被忽略了——同時被兩個陣營忽略了。再也沒有學術期刊願意刊登他的論文，學術圈的同僚也開始沒把他放在心上。短短不到十年的時間，布雷克從一位局外人搖身一變成為當紅炸子雞，然後又變回了局外人。1980年代初期的布雷克，已經感受到學術界的人情冷暖，去意已堅。

1983年12月，一起提出布雷克—休斯模型的老伙伴莫頓，已經身為高盛投資機構的顧問，工作內容就和布雷克、休斯兩人在1970年代提供給富國銀行的服務一樣：把學術界的新觀點帶進公司，設法找出可以實務運用的方式。為了達到這個目標，莫頓向高盛股票部門的主管魯賓（Robert Rubin）建議，延攬一位學術界的理論大師進駐高階職位，才有可能讓新觀點在公司內部風行草偃。魯賓接受了這項建議，莫頓隨即回到麻省理工學院，一一拜會過去的同僚，希望找到一位適當人選，推薦給高盛接管重要職位。

當莫頓向布雷克提到這項獵人頭計畫、想聽聽對方有什麼好建議的時候，布雷克給了他一個充滿驚喜的答案：他本人願意接受這項工作。

三個月後，布雷克離開學術界，前往高盛就任新職，在股票部門中建立一支計量策略小組，布雷克也成為第一代寬客——這是投資銀行



新增的職位，需要具備大量計量分析與科學訓練的背景，有意願開發創新的模型，執行大筆投資買賣。

從此之後，華爾街的樣貌跟以前再也不一樣了。

## 物理學的急景流年

時間拉回1957年10月4日，蘇聯發射第一枚人造衛星旅伴號（Sputnik）進入地球軌道的創舉，震撼了美國。艾森豪總統立即要求：在還不成熟的太空計畫中，插進發射美國人造衛星的安排，時間訂在同年12月6日。

12月6日很快來到，當天的發射過程透過電視，進行全美現場聯播，美國科學家試圖藉機證明，自己的能力並不輸給蘇聯的科學家。數百萬守在電視機前的觀眾，目睹美國第一具太空飛行器在發射臺點火後準備升空，結果在往上飛行一小段距離後，說得更精確一點的話，大約是飛了1.2公尺之後，整具飛行器就摔落地面，解體爆炸了。這個結果對美國所有科學機構而言，都是一項莫大恥辱。

四年後的蘇聯依舊表現得比美國更搶眼，不但成功發射第一艘太空船，同時還把第一位太空人加加林（Yuri Gagarin）送進了地球軌道。此時的美國總統甘迺迪，要求航太總署（NASA）在幾星期內提出一項美國可以勝出的挑戰，做為回應，隨後在1961年5月25日宣布，美國將要領先全世界，達成把人類送上月球的目標。

美國從第二次世界大戰開始，就在物理學界有不小的進展，在受到蘇聯旅伴號人造衛星發射成功的刺激之後，發展的速度更是日新月异。1958年時，美國每年取得物理博士學位的人數約為五百名，這個數字在1965年成長到約一千名，等到1969年的時候，已經超過一千五百名了。愛國主義自然是導致物理博士人數快速成長的原因（做為一位研究太空的科學家，有的是機會報效國家），不過暴增的預算恐怕才是更重要的因素。航太總署年度預算在1960年代中期最高峰時候，幾乎達到1958年剛成立時的七十倍！航太總署在1966年支出約60億美

元用於發展基礎科學，占當年聯邦總預算4.5%，其他政府部門如能源部、國家科學基金會獲得的經費，也相當可觀（跟航太總署相較之下，當然是小巫見大巫）。當時的物理學系成為最搶手的科系，因為物理系碩士生或博士生畢業後，幾乎都可以在科學領域找到工作，不是出任學校的教授，就是擔任政府機構的研究人員。

1969年7月20日，太空人阿姆斯壯（Neil Armstrong）和艾德林（Buzz Aldrin）成為頭兩位踏上月球表面的人，這個成果讓美國及盟邦大受鼓舞。美國終於在太空競賽取得領先地位了；只是物理學相關的就業市場，也立刻跟著崩盤了。

就在從太空競賽迎頭趕上的同時，美國參與越戰的態勢也愈來愈明顯。阿波羅十一號成功登陸月球後，讓尼克森總統有充分理由，把原本投注在航太總署與其他研究機構的預算，轉往整軍備戰之用。航太總署的預算（以實質金額估算）在1971年縮減到1966年的半數以下，同時受戰後嬰兒潮趨緩的影響，大學生的註冊人數也開始減少。等到最後一波屬於嬰兒潮的學生畢業之後，大學也不再招聘新教授了。

南非裔的物理學家德爾曼（Emanuel Derman）對於這種經費雲霄飛車式的暴起暴落，有第一手的觀察體驗。德爾曼在1966年美國科學預算最充裕的年份，進入哥倫比亞大學研究所就讀，因此儘管他所學專長是粒子物理實驗，完全不是航太總署關切的核心領域，但是他一樣成為政府大力資助物理學發展的受益者。可是接下來幾年，德爾曼跟其他大多數研究生一樣，工作時數長、又只能依靠微薄的獎學金苦撐度日。他剛入學時認識的研究生，那時候都已經在全美各地的大學覓得教職；可是等到1973年德爾曼畢業的時候，就再也沒有長久穩定的工作機會了。

德爾曼跟其他優秀的物理學家畢業後，只能屈就一連串短期的研究工作，賺錢餬口。他先在賓州大學待了兩年，然後到牛津大學再待

兩年，之後在紐約的洛克斐勒大學又是兩年；這樣的日子過了快十年後，德爾曼已經打算放棄物理學、考慮轉往醫學領域發展了，不過最後還是決定前往貝爾實驗室，擔任電腦程式設計師。

德爾曼在1970年代，過著游牧民族逐水草而居的日子，同時美國授與物理博士學位的人數，也逐漸下滑到每年一千人左右。雖然這個數字已經跟1968年高峰期的水準，有一段顯著差距，但仍舊遠遠超出一灘死水般的就業市場所能消化的數量。這就表示當布雷克在1983年前往高盛工作的時候，就業市場裡還有數以千計從物理系與相關領域畢業的優秀人才，不是還在努力找工作，就是靠打零工過日子。

### 暮氣沉沉的債券市場改變了

布雷克到高盛就任的時機點，還發生了另一件巧合的事情。選擇權在1983年成為熱門事業，因此像布雷克這種背景的人，在華爾街相當受到歡迎；但是當時已是金融市場重要支柱之一的債券市場，正處於巨變之中。

美國經濟在1970年代末期的卡特政府任內，遭逢高通膨、低成長的景況，這景象在日後被稱為**停滯性通膨**（stagflation）。為了解決嚴重的經濟困局，從1979年起擔任美國聯邦準備理事會（聯準會）主席、直到1987年卸任的沃爾克（Paul Volcker），大幅拉升利率，就連相當於銀行同業拆款利率的基本利率，都攀升到史無前例的21.5%新高，消費者取得貸款的利率自然就更高了。此舉讓沃爾克有效降低通貨膨脹，慢慢在1983年回歸正常水準。

但是利率巨幅的波動，已經永遠改變了以往暮氣沉沉的債券市場。如果銀行間的拆款利率高過20%，由於債券的風險高過銀行間的同業拆款，企業或政府發行的債券勢必得支付更高的利率才行。1970年代選擇了債券的交易員，以為進入的是一個最不刺激的金融市場，現在卻要面對波動程度最厲害的市場了。

〔沃夫（Thomas Wolf）所寫的暢銷小說《走夜路的男人》（*Bonfire of the Vanities*）中，衰事不斷的反派要角麥考伊，就是一位1980年代的債券交易員。經歷債券市場橫跨1970到1980年代的變化，狂妄自大的麥考伊認為自己無所不能，私下甚至自封為「宇宙主宰」，這個稱號從此就跟華爾街脫不了關係。現在「宇宙主宰」常用來泛指華爾街各種形形色色的交易員。〕

布雷克—休斯模型在1970年代，成功詮釋各種衍生性金融商品的成績，讓經濟學者好奇：債券市場能否比照選擇權市場一樣，套用類似的模型加以分析？包括布雷克在內的這群經濟學家，很快發現：債券本身就可以視為一種以利率為標的資產、很單純的衍生性金融商品。接著，他們開始根據利率會隨機漫步變動的假設，用改良過的布雷克—休斯模型，替債券訂價。

所以當布雷克來到華爾街的時候，衍生性金融商品與相關的分析模型，都用布雷克想像不到的方式，變得愈來愈重要。布雷克在高盛成立的計量策略小組，就跟其他主要銀行的類似單位一樣，早就在許多投資銀行、尤其是債券部門的交易員，還不知道該怎樣發掘問題的時候，即已提出具體的解答。

這個時候的就業市場裡，也已經有一大堆無法學以致用的物理學家，準備追隨布雷克的腳步，進入金融市場大顯身手。只要大量高竿或半吊子的物理學家，開始向華爾街投石問路，只要布雷克從理論發展出的想法，能夠在實務領域發揮得淋漓盡致，已經開啟的水門就再也關不上了。華爾街開始用數以百計的規模，聘請物理學家加入投資理財的陣容。

德爾曼在貝爾實驗室工作了五年，從1983年就不斷接到代表投資銀行的獵人頭公司的挖角電話。在貝爾實驗室工作得不盡如意的德爾曼，很認真看待這些職缺，不過當他收到來自高盛的邀請時，他卻聽從一位曾經在高盛工作過的友人建議，婉拒了對方的邀請。

世事難料，隔年德爾曼再也受不了貝爾實驗室的工作環境，當華爾街在1985年再次向他招手時，他已經做好跳槽的打算了。他決定無論如何都要去高盛闖一闖，旋即在1985年12月轉換跑道，新的職務隸屬於金融服務小組，目的是協助高盛的債券交易員提升業績。

當德爾曼剛進入高盛的時候，布雷克早已經是業界的傳奇人物了。

### 大股災：1987黑色星期一

索普和布雷克兩人的選擇權模型，都建立在奧斯本的隨機漫步假說上，認為投資報酬率會呈現常態分布曲線的模樣。現在的你或許已經有所警覺了，曼德布洛特在1960年代就已提出質疑，認為以常態分布與對數常態分布建立的模型，在發生極端事件、市場價格隨機性狂野的時候，會失去解釋力。雖然曼德布洛特主張「投資報酬率屬於萊維穩定分布曲線，沒有辦法具體定義波動率」，但今日大多數經濟學家都認為這想法是錯的；不過，分布曲線呈現尾端肥大的想法，並沒有問題。

選擇權訂價模型根據的是「股價可能高過或低於某個特定門檻（也就是履約價格）的機率」，來設定選擇權價格。然而，要是金融市場變動的程度超乎奧斯本想像的話，不論是用索普還是布雷克的模型，都沒辦法很正確的替選擇權訂價，特別是他們的模型都低估了在市場激烈變動時才需要履約的選擇權價格——也就是低估了履約價格與現貨價格有大幅差距的**遠價外選擇權**（far-out-of-the-money option）。未來要設計更務實的選擇權訂價模型，就一定要把數據資料呈現尾端肥大的現象，給納入考慮。

曼德布洛特在1960年代末期離開金融領域，之後在1990年代初期又重出江湖。復出的原因之一是，很多金融界的實務派要角開始正視布雷克—休斯模型的缺陷，這是1987年黑色星期一股市大崩盤所引發的省思。在那個黑色星期一，全球金融市場的市值毫不誇張的，一夕

之間蒸發了20%以上。建立在布雷克—休斯模型跟選擇權上的新奇金融商品「投資組合保險」（portfolio insurance），遂被視為這場股災的主因。

投資組合保險的設計理念與廣告宣傳，都主打可以讓投資人避免巨額的損失。基本避險原理是在買進股票的同時，到期貨市場上賣空；如此一來，要是股價不巧走跌的話，期貨市場也會跟著下跌，此時投資人持有的賣空部位，就可以減少整體損失。除此之外，這種投資策略也不主打在期貨市場的賣空操作，以免股票上漲時，會因為賣空的部位過多而侵蝕獲利。在正常情形下，電腦自動交易程式會在行情下跌時，慢慢出脫持股，並且在期貨市場上少量賣空，直到能夠攤平股價的損失後收手。

1987年股災來臨時，每一種投資組合保險商品都一如事先設定的，想要在同一個時間點出脫持股，問題出在沒有買家——所有人都是賣方！電腦執行自動交易的結果，導致每一位採用投資組合保險策略的投資人，都用比原先設定還要低很多的價格，才能出脫持股，使得期貨端謹慎而少量的賣空，根本失去保護投資人的效用。（其實，採取投資組合保險策略的投資人所承受的股災，還是比沒採取這種交易策略的投資人來得輕。不過市場上公認，投資組合保險自動出脫持股的交易程式，加速了股災當天的拋售過程，也因為投資組合保險策略的運作成效實在太好，反而導致哀鴻遍野的慘劇發生。）

### 布雷克—休斯模型有致命缺陷

以布雷克—休斯模型為基礎設計出的投資組合保險策略，沒辦法預期到任何崩盤的可能，因為隨機漫步假說是建立模型的理論基礎，而股價自由落體式下滑的這種極端事件，恐怕一百萬年才會發生一次。

這場股災也為金融市場帶來一些啟示。首先，很多實務界的人開始質疑隨機漫步模型在統計學上的預測能力。這種質疑來得理所當

然：如果一個模型告訴你某件事情不可能發生，或者是幾乎不可能發生，結果卻真的發生了，此時就是該回過頭檢視模型的時候。金融市場在這場股災後，也回復了理智；在股災來臨前的過去那幾年，雖然用布雷克—休斯模型在各種不同衍生性金融商品市場設定選擇權價格的做法，幾乎沒發生過問題，但是這場股災也終於凸顯這個模型本身被稱為**波動微笑**（volatility smile）的缺陷。波動微笑這個詞彙，源自布雷克—休斯模型的缺陷所展現的圖形特徵（中文版注：簡化來說，訂價公式若是正確的、市場若是很有效率的，波動率會是一條水平線；但是實證研究卻發現，布雷克—休斯模型推算出來的選擇權價格，波動率呈現的卻是U形曲線）。這是在1990年代初期突然冒出來後，旋即讓金融工程界普遍意識到、卻一直無法參透的大難題。像是德爾曼，他有辦法修正布雷克—休斯模型、以應付波動微笑現象，這已經是很了不起的成就了；但他還是沒辦法具體說明，為何布雷克—休斯模型會失靈。

反倒是曼德布洛特的研究成果，可充分解釋波動微笑現象，其中一種說法是當波動微笑現身的時候，表示市場上價格變動的幅度，遠遠超出布雷克—休斯模型的基本假設。這種說法也是曼德布洛特長久以來的主張：投資報酬率是尾端肥大的機率分布曲線，顯示出極端事件發生的頻率，遠比常態分布來得高。既然如此，價格在市場各種作用力的綜合影響下，應該表現得更貼近曼德布洛特的理論才對。所以從1980年代末期開始，投資銀行愈來愈把曼德布洛特的說法，當成一回事看待。

此外，還有一則較少被提到的軼事，也跟布雷克—休斯模型的起起落落有關。芝加哥非常低調的歐康納合資（O'Connor and Associates）是率先採計量策略評估衍生性金融商品的主要公司。歐康納合資公司成立於1977年，是歐康納兄弟在穀物期貨市場致富後，邀請曾在兩兄弟經營的選擇權交易公司「第一選擇」（First Options）效



力過的風險經理人格林鮑姆（Michael Greenbaum），一起創辦的公司。

進入第一選擇工作前的格林鮑姆，就讀於以色列理工學院數學系，數學方程式對他來說並不困難。格林鮑姆同時也是意識到芝加哥即將開辦選擇權交易所、意味著商機無限的第一批人——只要你數學程度夠好的話，就有辦法從中獲利。所以格林鮑姆在跟歐康納兄弟討論過後，便一起出資成立歐康納合資這家專門經營選擇權交易的新公司。

接下來的故事就不再贅述了。不過那時候很多人以為，歐康納合資也不過是一家「懂得早點利用布雷克—休斯模型，以創造獲利」的公司而已。其實不然，格林鮑姆打從一開始就知道，布雷克—休斯模型的假設並不完美，會在碰上極端事件時失靈。所以，格林鮑姆找來一群風險經理人與數學家組成研究團隊，設法提出布雷克—休斯模型的改良版本。

歐康納合資找來的第一批員工當中，有一位年僅十八歲的天才，名叫斯特魯夫（Clay Struve）。他就讀麻省理工學院期間，曾當過布雷克的研究助理，暑期工讀的時候也曾在第一選擇，和格林鮑姆共事過。格林鮑姆、斯特魯夫跟一小群最早期的寬客，從1977年一直研究到1978年，終於找出方法，把價格在短時間內異常變動、導致投資報酬率呈現尾端肥大的情況，納入布雷克—休斯模型的改良版本中。

從一開始的選擇權、到之後的各種衍生性金融商品，歐康納合資的表現都非常傑出。不容否認，改良後的版本表現得比布雷克—休斯原本的模型更優秀，是其中一部分的原因。更值得注意的是，斯特魯夫表示：歐康納合資很早就注意到波動微笑現象，時間就在1987年股災來臨之前，他們已經發現布雷克—休斯模型與市場真實的價格存在不一致的情況，雖然差異不大，但卻是值得探究的。這些先見之明，讓歐康納合資在1987年股災來臨的時候，倖存下來。

## 金融市場牽一髮動全身

1987年的股災，也讓世人更深入省思布雷克及其追隨者，所引發的金融市場革命。之後幾年陸續傳出的金融危機，尤以2008年的金融海嘯為甚，更加凸顯這些反省聲浪的難能可貴。

在2008年發生金融海嘯的時候，任何再高明的投資者，譬如說是自認為回收貸款萬無一失的銀行，似乎都太過輕忽金融商品的潛在風險，因此沒料到用來設計低風險金融商品的模型，也會失靈，徹徹底底的失靈！

市場瞬息萬變，以致數理模型反應措手不及的例子，不勝枚舉。長期資本管理公司（LTCM）的故事，或許是最有名的例子。長期資本管理公司是一家小型的私募投資公司，進行操盤布局的團隊包括休斯本人與其他高手，結果一樣難逃破產的命運。這家公司從1994年創立開始的表現，一直都相當優異，不料1998年夏天，卻踩到俄羅斯國家公債無法履約的地雷，導致公司在短短四個月內損失高達46億美元，並在9月份面臨破產的命運。

長期資本管理公司大量投資衍生性金融商品，融資對象包括世界所有的大銀行，負債金額總計達一兆美元之譜，結果等到1998年9月22日當天交易截止後，長期資本管理公司的市值僅僅剩下五億美元，跟幾個月前的盛況完全不可同日而語，而且也完全不足以清償該公司所積欠的債務。

金融市場牽一髮動全身，一個不小心，就有可能導致數千億美元憑空消失，進而引起全球財經局勢的動盪，造成社會恐慌。於是把政府捲入風暴中，讓政府不得不出面用全體納稅人的錢，去解決金融危機。

## 數理模型的效力，取決於假設是否成立

動態避險策略的數理模型絕非完美，更廣義的衍生性金融商品交易當然也是一樣，從巴楔利耶、奧斯本一路發展到曼德布洛特的經

驗，恰足以印證這一點。他們三位的原創模型，再加上後人陸續改良的版本，都建立在嚴謹的推論上，照理說不應該會有失誤的空間。可是再合理的數理模型，也會有遭到誤用的時候，尤其是在不經意間，就埋下錯誤的種子。

為了有效觀察金融市場複雜的運作方式，不論是巴楔利耶、奧斯本、索普或是布雷克，都會用符合特定假設、理想狀態的觀點，來詮釋市場行為，就連曼德布洛特也不例外。不過就如奧斯本特別強調的，**這些數理模型的效力，取決於假設是否成立**，有時候看似無往不利的假設，一旦碰上不一樣的市場局勢，就會在瞬間崩解得無影無蹤。

很多歷史學家認為：無法預測的性質，導致1987年讓金融市場天翻地覆的股災，這是無法避免的！深受布雷克—休斯模型影響的金融市場從業人員，不可能預期到這種結果，尤其是日後研究發現的波動微笑神出鬼沒的現象，更被視為原本運作良好的布雷克—休斯模型會在突然間失靈的證據，也讓所有倚重市場模型的投資公司蒙上不被信任的陰影。

如果一個原本運作正常的模型，會在沒有跡象、無法解釋的情況下突然失靈，我們還有什麼理由相信華爾街的物理學家比較高明？

可是這項質疑並不正確，災難並非無法避免，這些前因後果也更加凸顯歐康納合資公司的重要性。他們很早就從最簡單的模型仔細檢視起，一路因應愈來愈複雜的現實狀況，而把模型改良（基本上就是把分布曲線尾端肥大的情況納入考慮），歐康納合資成功預期到，會讓布雷克—休斯模型失靈的因素，並採取有效對策，讓自己在1987年的股災中全身而退。

### **金融數理模型一直是個不斷演進的過程**

到目前為止，這本書從巴楔利耶講到了布雷克，這段漫漫長路顯示，金融數理模型一直是個不斷演進的過程，不論是數學家、統計學

家、經濟學家、或者是最常見的物理學家，都試圖找出最佳模型的缺點，並提出解決之道。如此說來，金融數理模型就跟工程界或科學領域普遍的數理模型一樣，都會有失準的時候，只是有時候會有格林鮑姆、斯特魯夫這樣的高手，可以提前預見模型失靈；或是，有時候只能在模型崩解後的一片狼藉中，尋找失靈的原因，重新出發。

這就表示，當我們用新理論建立模型、並付諸執行時，必須更小心謹慎，而且就連使用舊有的模型，也一樣不能含糊。如果過去這三百多年的歷史，能讓我們學到一點教訓的話，那就是：**推動科學進步的基本方法論，在金融市場裡一樣適用**。如果我們只因為數理模型不完美，就將它們棄之如敝屣，那才真的叫做愚不可及。

既然金融數理模型一直是個演進的過程，從這個立場延伸下去，不難想見，修正既有模型缺陷的新方法，在這一路上會不斷被提出來，這才引領我們走到今天這個境界。用曼德布洛特對極端事件的觀察，去修正布雷克與休斯運用在金融實務界的數理模型，只是其中一個例子。這個故事只能算是個起頭，當你看完這本書之後，你將會發現，主流金融界以外的數理模型如何持續進步，讓物理學家可以把更新、更高明的想法，導入經濟與財經領域，釐清既有模型的潛在問題，並找出解決的方法。

布雷克用數理模型重新塑造了華爾街的風貌，但是他的想法只是華爾街金融創新年代的開端而已。

## 第六章

## 從天氣預報，到預測股市

在複雜系統或金融市場中，  
都會看見尾端肥大的分布曲線、狂野的隨機性，  
法默和派卡德就擅長處理這兩種統計特徵。

聖塔菲拓荒徑（Santa Fe Trail）的歷史，可以追溯到1822年，從當時美國最西端的密蘇里州獨立市為出發點，穿越印第安卡曼其族（Comanche）的領土，一路前行至當時仍屬於墨西哥的新墨西哥州。這條拓荒路徑穿越現今科羅拉多州東部的高原，經過洛磯山脈最南端桑格雷德克里斯托山上的格洛列塔（Glorieta）廊道，直抵最西南端的終點——墨西哥在格蘭德河以北的權力中心、聖塔菲市的總督府為止。總督府前是聖塔菲市的中央市集，走過拓荒徑的美國商人，會在這邊兜售各種商品。在第一批美國拓荒者留下足跡後的二十年，美國軍隊也開拔至此，經過格洛列塔廊道一役後，戰勝的美軍就把聖塔菲市以及周邊領土，統統劃歸成德州所管轄的範圍。

過了一個半世紀之後，這條拓荒徑已經被路途更長的跨州高速公路所取代。兩位即將邁入四十歲的壯年人，坐在拓荒徑終點附近開設的沙龍，啜飲著龍舌蘭酒，身旁圍繞著一群七嘴八舌的年輕人。沙龍外，熙來攘往市集廣場上的公園，在夏季尾聲一場大雨的洗刷下，更顯翠綠。繼續往前走，就會看到當年的總督府依舊坐落在原址，現在已是北美洲仍在使用的最古老公共建築。市集廣場周邊都是紅棕色系、帶有西班牙民族風情的低矮建築，一如美軍在1846年所看到的一樣。

沙龍裡的這些人是新一代的交易員，個個都想在聖塔菲古色古香的商業特區，寫下自己的一頁。從市集廣場出發，沿著葛利芬街往下走，可以看見一棟一層樓高的泥磚平房，裡頭有幾部先進的電腦，正

依照這群交易員下班到沙龍小酌前所下的指令，高速運轉中。現在的時間是1991年，這是一則有關預測未來的商業故事。

## 預測未來

那兩位德高望重的壯年人士，是法默（James Doyne Farmer）和派卡德（Norman Packard）。依照他們過去用十五年時間，創立非線性（nonlinear）動態分析與混沌（chaos）理論的貢獻而言，「德高望重」這個稱呼，可以說是當之無愧。

法默前不久還在政府所屬、以曼哈頓原子彈計畫總部聞名於世的羅沙拉摩斯國家實驗室，擔任複雜系統研究小組（Complex Systems Group）的召集人。派卡德則剛從伊利諾大學主校區專任助理教授一職退了下來。沙龍中其他年輕人不是碩士就是博士，都打算跟隨法默和派卡德兩人，進行一場新的拓荒旅程。

新拓荒旅程的目的，是成立一家之後取名為「預測公司」的新公司（Prediction Company，當這群人還在聖塔菲市集廣場旁的沙龍聚會的這個下午，他們還沒決定新公司要叫什麼名字），他們想要完成一項不可能的任務：預測金融市場的行為。如果世上真的有人可以做到這一點，那也非他們這群人莫屬了。其中，法默和派卡德兩人已經累積三十年非線性預測的功力。這是屬於物理學與應用數學的領域（在其他領域的重要性也愈來愈高），目的是在顯然由隨機亂數所構成的現象中，找出可以預測的模式；用派卡德的話來講，是在「混沌邊緣」抓住極為短暫的瞬間，找到混沌發展過程中足以辨識的架構和秩序，進一步推測整個系統接下來會往什麼方向發展。

他們開發的研究工具，可以用來預測紊亂的流體流經狹窄管道時的行為。然而在聖塔菲聚會的這一刻，包括法默、派卡德和身邊五、六位助手在內，都相信自己能夠預測更不平凡的東西。

## 時間拉回麥卡錫主義時代

身為曼哈頓計畫的主要推手，歐本海默顯然是定居在羅沙拉摩斯的家族成員中，最重要的一位。這個家族出類拔萃，歐本海默的弟弟法蘭克·歐本海默（Frank Oppenheimer）也是一位知名物理學家。當歐本海默致力於開發原子彈的時候，法蘭克先是在加州勞倫斯柏克萊國家實驗室工作，接著轉到田納西州的橡樹嶺國家實驗室，最後也來到新墨西哥州，加入哥哥的團隊。

法蘭克比他聲名遠播的哥哥小八歲，抵達羅沙拉摩斯的時間剛好可以協助推動人類史上第一場核試爆「三一試爆」（Trinity test）的整合工作。試爆地點選在新墨西哥州圖拉羅薩盆地，時間是1945年7月16日。二次世界大戰結束後，歐本海默成為《時代》、《生活》等雜誌的封面人物，之後成為美國冷戰時期軍事科學的發言人，對自己開發的核武技術採取限用的主張。同一時期的法蘭克雖然沒有那麼顯眼，但是參與軍事研究的資歷，仍舊讓他在明尼蘇達大學物理系覓得一份教職。

歐本海默在1947年出任普林斯頓高等研究院院長一職；普林斯頓高等研究院可說是世上最高等級的科學研究機構，愛因斯坦晚年就在這裡任職。歐本海默同時也兼任新成立的原子能委員會主席，聲望達到最高峰。

但也就在那一年，《華盛頓時代先鋒報》卻在報導中指控，法蘭克曾經於1937至1939年間，加入過美國共產黨。被揭露曾經是共產黨員的事，讓一心追隨哥哥腳步成為核物理學家的法蘭克，從那時起變得舉步維艱。他一開始全力否認媒體的指控，看似有機會全身而退；可是兩年後，美國社會籠罩在恐懼蘇聯核武進展的氣氛、以及原子彈機密外洩疑雲中，使得法蘭克遭到眾議院惡名昭彰的「非美活動

（Un-American Activities）調查委員會」傳訊。這次在不願違背作證誓詞跟國會議員的壓力下，法蘭克坦承自己跟太太曾經在大蕭條時期，採取比較極端的政治立場，加入共產黨大約三年半的時間。



法蘭克的招認，是新聞媒體夢寐以求的爆炸性事件：美國科學救世主的弟弟，竟坦承自己是共產黨！雖然法蘭克從不認為自己有犯罪行為，也沒有證據顯示他真的犯了洩密罪，但是在非理性麥卡錫主義（McCarthyism）鋒頭最熾的年代，稍微跟共產黨沾上邊，就足以列入黑名單中，無論你哥哥是什麼人。結果法蘭克被迫離開明尼蘇達大學，之後超過十年的時間，都不得接觸物理研究，淪為只能靠遺產度日（說來也悲哀，法蘭克居然得把父親留給他的梵谷名畫拍賣掉，才能維生）。法蘭克只好跟太太在科羅拉多州買下一座農場，靠著經營畜牧業，重新展開另一階段的人生。

麥卡錫主義的熱潮，直到1959年才逐漸退燒，法蘭克在好幾位諾貝爾獎與美國國家科學獎章的得主背書之下，終於能夠重回研究型大學教物理。法蘭克是在科羅拉多大學找到新職位，可是當時物理學的進展已經把法蘭克遠遠拋在後頭了，所以法蘭克只能局限在比較冷門的領域進行研究，譬如科學教育。

### 老頑童俱樂部封殺英格森

法蘭克在科羅拉多大學，遇上一位年輕的研究生英格森（Tom Ingerson）。在德州長大的英格森，大學期間就讀於加州大學柏克萊分校物理系，之後到科羅拉多大學從事廣義相對論的研究。廣義相對論是愛因斯坦在1915年提出的重力理論，顛覆了古典物理學的牛頓理論。雖然廣義相對論帶給愛因斯坦名聲與財富，不過廣義相對論的光彩卻比不上最先進的量子物理學，能夠得到的關注度跟研究經費都相形見绌。然而這些因素都不是英格森考慮的重點；英格森也是一位意志堅定、獨來獨往的人，只研究能夠讓自己喜歡的科目。

英格森在1964年開始想要在物理學界找工作。在1960年代的時候，物理學界非常像是一群老頑童所組成的俱樂部，頂尖大學的職缺非常有限，只保留給最知名學校畢業的最優秀物理學家，而且還要有知名人士的推薦信（得按照一定格式、巨細靡遺的撰寫），才有進一

步的面試機會。所謂「最優秀的物理學家」泛指普林斯頓、哈佛、密西根大學的博士，只有他們能夠獲得最好的工作機會。資歷稍差一點的人，就要看自己就讀學校的聲望跟推薦信夠不夠力了。

儘管如此，只要透過人脈關說，多半還是可找到一份工作，特別是在這個軍事—科學—工業三位一體同步進展的年代。科羅拉多大學雖然稱不上頂尖，但是起碼具有一定聲望，該校畢業生照理來講都還是可以擁有一份不錯的工作，除非像英格森一樣，不幸委由一位被點名做記號的教授幫忙推薦。

多年以後，英格森終於知道，由法蘭克擔任推薦人猶如搬石頭砸腳的這段祕辛。當時環顧物理學界，幾乎沒人考慮英格森的資歷，這對英格森而言簡直不可思議。沒有任何一位雇主在收到他的履歷後給予回應，直到快要畢業的時候，位於新墨西哥州的一所古老的教學大學——剛改制的西新墨西哥大學，才給了英格森唯一的回應。就這樣，英格森這一位年輕聰明、能夠獨立思考的物理學家，來到新墨西哥州白銀市，成為當地大學物理系唯一的教授。

位於北美洲大分水嶺上的白銀市，是典型西部靠礦業崛起的城鎮，傳統上是阿帕契族（Apache）領土的地理中心。大量湧入開採白銀的人，讓整座城鎮醒了過來。可是不論是交通狀況還是經商條件，都既艱困又危險，三不五時就會遭到當地部落以及流寇的襲擊。1873年，當時還只是十來歲小孩的傳奇槍擊犯比利小子（Billy the Kid），跟媽媽、哥哥一起在白銀市定居。比利小子也就是在這裡第一次被捕，時間是1875年，罪名是偷乳酪。不過他在年底的時候，從白銀市監獄中成功脫逃，從此展開亡命天涯的人生，成為白銀市警局緝拿的對象。

等到英格森抵達白銀市的時候，牛仔和印地安人交織的西部故事，早就已經結束了，但是白銀市仍舊是一座民風剽悍的城鎮。英格

森到職後，竟又因為自己在當年還不明白的原因，被莫名其妙辭退，使得他必須找到其他辦法，在白銀市當地繼續過日子。

### 英格森提攜法默與派卡德

英格森一開始，先以志工身分加入當地的童軍服務隊，或許這份工作可以發揮自己曾經當過老師的經驗。這個緣故讓英格森在抵達白銀市的同一年，遇上矮矮壯壯、當時才十二歲的法默。白銀市的礦業吸引許多工程師前來謀生，而以理論見長的科學家在當地卻算是稀有動物；當時的法默雖然還不清楚物理學家到底是怎麼一回事，不過卻能清楚感受到英格森的魅力，讓小法默在初次遇見英格森後就下定決心，不管物理學的內容是什麼，只要英格森是研究物理的，法默就一定要跟著見賢思齊。

捨不得跟英格森告別的法默，之後一路跟到對方家裡去。就這樣，小法默用實際行動昭告天下，自己已經找到人生志向的新目標了。

這是一段看似不可能的友誼，不過英格森和法默兩人卻成為志趣相投的好朋友。兩人所持的理由或許不同，但是他們都能在遠離科學界心臟地帶的區域，堅持走下去。法默對英格森而言，不只是一位排遣寂寞的好伙伴，聰明的法默已經有辦法認真學習各種不同的科學主題；而對法默而言，英格森無疑是他的心靈導師，改變了他的一生。

英格森不久後，組織一支名叫「114號探險隊」的小團體，把自己家當成團員的活動基地。114號探險隊是隸屬於美國童子軍的其中一個分支，目的是讓較年長的小孩從實際操作中學習新知識。法默當然成為英格森探險隊的天字第一號成員，很快的也有其他隊員加入英格森的陣營。114號探險隊在某種程度上，仍保有童子軍的性質，城鎮附近的荒野是他們露營、健走的好去處，只是他們真正重要的任務是，自己動手做些像是手持無線對講機或是越野腳踏車之類的玩意兒。

嚴格來講，加入114號探險隊的成員都要年滿十四歲以上，不過1966年某天，卻有一位未滿十四歲的小孩，受邀成為英格森探險隊的一員，而且這位新成員還會向大家簡介最新的無線電技術。顯然大家都對他的專業知識，持肯定立場——才十二歲的派卡德，就這樣以新來的電子怪傑身分，被114號探險隊其他成員當成自己人看待。

派卡德跟法默有些不同，他從小時候起就立志要成為物理學家，同時不斷充實自己各種相關知識。派卡德早熟的专业技能是加入探險隊的敲門磚，之後也很快跟法默成為好朋友。

英格森之後在白銀市多住了兩年，直到在愛達荷大學找到新工作才搬走。在白銀市的四年，已經讓英格森成功替將來兩位世界級的物理學家，打下扎實的基礎。英格森搬走的時候，法默已經是十六歲的高中生（派卡德則是十四歲）。厭倦白銀市的生活、又亟於追隨英格森探索新領域的法默，打算提早一年申請進入愛達荷大學就讀，想不到他真的收到了入學許可。還沒完成白銀市高中課業的法默，接下來搬到愛達荷州莫斯科市，正式踏上成為物理學家的學習之路。

一年過後，法默有機會更上一層樓，遂在1970年轉學到史丹福大學就讀，一本初衷繼續攻讀物理學，為日後改變科學與金融市場運作軌跡的職涯，埋下基石。

### 勞倫茲投身氣象學研究

法默和派卡德研究工作的核心概念，是由大名鼎鼎的前輩勞倫茲（Edward Lorenz, 1917-2008）率先開創的。勞倫茲小時候夢想成為數學家，他也確實擁有相當的數學天分，因此在進入達特茅斯學院就讀時，也毫無疑問選擇數學做為主修科目。

1938年大學畢業的勞倫茲，進入哈佛大學深造，打算一路攻讀到博士學位為止。不料第二次世界大戰打亂了他的學習計畫：1942年勞倫茲進入美國空軍服役，工作任務是替盟軍飛行員進行天氣預報。雖然軍方是看上他的數學背景，才指派他負責這項工作，不過那個年代

的數學卻沒有多少預報天氣的功效，基本上飛行員還是憑感覺、經驗法則和純然的運氣，去預判天氣變化。勞倫茲認為應該有比較好的方法，亦即用更精確的數學工具進行預報，所以等到1946年從軍中退役之後，勞倫茲開始投身氣象學，想要把自己以往的種種經歷，化為有生產力的實際應用。

勞倫茲之後進入麻省理工學院攻讀氣象學博士，從此以後再也沒離開過這個領域（從研究生、氣象局的研究專員，一直到最後成為專任教授）。勞倫茲的研究項目包括許多氣象學者關注的主流課題，特別是在他早期的生涯階段；除此之外，他也嘗試過一些較少見的課題，其中包括從服役期間就保持高度興趣的天氣預報。天氣預報在勞倫茲當時的同僚眼中，是不需要浪費時間進行研究的課題，那時候的預報技術還很落後，讓很多人認為只有腦袋不靈光的人，才會把天氣預報當一回事。

勞倫茲還有一件異於常人的事蹟值得一提。在1950和1960年代，科學家普遍認為，電腦充其量不過是一臺有點水準的加法運算機而已，而勞倫茲居然認為電腦可以在科學領域大展身手，尤其是針對大氣這種複雜系統的研究工作。更精確來說，勞倫茲認為一臺功能夠強的電腦，只要搭配夠仔細的研究架構，就有可能用來計算可模擬風暴、氣流的方程組，推算天氣變化的過程。換句話說，透過電腦就可以即時找到方程組的解答，搶在未來天氣來臨前的一小步，發布正確的預報，並且不斷重複相同的步驟預報下去。

勞倫茲的同事不太相信這一套，為了說服這群同事，勞倫茲只好先設計一個模擬氣流的簡單模型，好讓其他氣象學專家不至於認為自己瘋了。勞倫茲根據真實世界的氣流變化，設計出一個高度理想化的模型：模型中的氣流必須依照十二條規則流動，季節變化、日夜溫差和下雨的影響都先排除在外。勞倫茲用早期的電腦（第一臺設計成放在桌上、由單人操作的電腦Royal McBee）撰寫程式，來解模型的方程

組，吐出一大堆數值資料，用來代表模型中的氣流會隨時間演變而產生吹往什麼方向、多強的盛行風（prevailing wind）。

雖然這個模型距離預報天氣還差得遠，比較接近模擬大氣現象的氣候玩具箱，但是已經足以讓勞倫茲的一部分同事相信，天氣預報是值得深入研究的課題。從此之後，每天都有研究生跟年輕教授光顧勞倫茲辦公室，對他虛擬的氣候世界品頭論足，甚至是一起猜測未來幾天模型內的風會往南往北吹、或是變強變弱，以此打賭為樂。

到目前為止，勞倫茲的模型純粹只是印證基本概念的實驗品，甚至只有一點點非常有限的預測能力——確實有些模式不斷重複產生，可以讓訓練有素的氣象學家掌握到足夠的規律性，以對照現實的氣象資料；但是後續的重大發現，則完全出自於一場意外。

### 勞倫茲發現混沌現象

有一天，勞倫茲在檢視模型數據時，突然想到要進一步驗證某段時間的天氣變化，所以就動手修改程式，並輸入那段特定期間的初始風力參數。如果沒有意外的話，電腦運算的結果應該會跟已經看過的數據一模一樣。完成設定工作的勞倫茲，輕鬆走出辦公室，打算讓電腦好好跑上一整個下午。

幾小時後，回到辦公室的勞倫茲很快就發現事情不對勁了。即便輸入的初始條件都一樣，但是這次電腦運算出的新數據，竟然跟他第一次看到的模擬數據天差地遠。勞倫茲再一次檢查自己有沒有輸入錯誤——數據都對啊，報表上明明白白顯示著同一組數字啊！嘗試幾種其他的推論都說不通之後，勞倫茲只好認定這是電腦故障造成的結果。

之後又過了一段時間，勞倫茲才總算弄明白問題出在哪裡。他使用的電腦最多可以儲存六個位數的數字，也就是勞倫茲虛擬的氣象世界是用小數點後共六位數的數字做為參數，譬如說是0.452386。不過為了節省報表用量、達到更容易閱讀的效果，勞倫茲設定列印時只印出前三位數，所以原本的0.452386在報表上就變成0.452而已。當他重

新設定電腦重新進行模擬的時候，他只採用小數點後的三位數做為參數，其餘部分四捨五入，而不是使用完整的小數點後六位數。

這類四捨五入的做法，通常不會造成什麼問題。以高爾夫球的推桿為比喻，雖然球洞只比高爾夫球稍微大一點而已，要是你推算路徑偏了2公分，出桿的力道稍微沒拿捏準，或者沒有推在球的正中心，即便最後沒能把球給推進洞，你還是可以預期高爾夫球會滾到洞口附近。又好像投手在投球的時候，就算揮臂的軌跡跟你原本的預期有些落差，或者是球出手時，手指頭稍微滑了一下，你還是可以穩穩把球丟給本壘板那頭的捕手。

畢竟這才是物理世界的運作方式：如果兩個物體從大致相同的初始狀態出發，它們就會有大致相同的運動模式，然後都在非常接近的位置停下來。我們生活的世界總是如此這般，具有一定的規律和秩序。或者，我們現在可以說，在勞倫茲意外發現混沌現象之前，每個人都是用這個角度看待所處的世界。

勞倫茲本人並沒有使用**混沌**這個詞彙，要等到之後另外兩位物理學家約克（James A. Yorke, 1941-）和李天岩（Tien-Yien Li, 1945-）共同發表〈週期三意味混沌〉（Period Three Implies Chaos）論文時，才讓混沌一詞浮上檯面。勞倫茲則是說，自己發現了「對初始條件的敏感性」，雖然看起來土裡土氣的，但卻是刻畫混沌行為最寫實的描述。

儘管勞倫茲虛擬的氣象世界可以完全由參數控制，氣流完全依照勞倫茲設定的十二條規則流動，但是只要設定的初始狀態有一點點微小的差異，經過系統內部運作一段時間後，很快就會發展成完全不一樣的結果。

勞倫茲的這項模擬研究，可說是最早使用電腦模擬科學問題的研究之一，沒想到會出現異於常態的結果。不過，勞倫茲隨後用鐘擺、



水車之類更簡單的系統，也是每個人都可以在車庫或地下室進行的實驗，印證了同樣的「對初始條件的敏感性」現象。

## 蝴蝶效應

混沌的基本概念，可以用勞倫茲另一件意外貢獻來總結，也就是所謂的**蝴蝶效應**（butterfly effect）。蝴蝶效應這個名詞，取材自勞倫茲1972年向美國科學促進協會發表的論文題目〈可預報度：在巴西的蝴蝶拍動一下翅膀，會不會造成美國德州的龍捲風？〉

（Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?）；勞倫茲沒說這是他想出來的標題，他說自己在投稿時忘記附上標題，結果研討會的主辦單位就直接幫他取了這個標題。

勞倫茲從來沒有直接講出標題的答案是什麼，不過他想要表達的意思很清楚：稍微調整初始條件，就會對後續一連串事件造成重大衝擊。而背後真正的寓意是：就連混沌系統也都是可以人為設定的，亦即原則上，只要在任何時點都能掌握到無限精確的數據的話，就能夠得到精確的預測結果；只是我們掌握的數據不可能達到無限精確的程度罷了。

我們沒有能力取得全世界所有蝴蝶總共拍動多少下翅膀的精確數據，而只要其中有一點點微小的誤差，就會很快發展成完全不一樣的結果。換句話說，就算可以用數理模型預測天氣變化，但因為我們連蝴蝶的各種精確參數都無法掌握，所以天氣變化才會看起來好像是隨機的。

## 法默與派卡德進軍賭場

雖然法默的大學求學過程不是太順利，轉學後第一年的成績甚至差到被留校察看的程度（要是不幸遭退學的話，法默已做好去舊金山賣冷飲、或是靠走私摩托車為業的打算），1973年法默還是順利從史丹福大學物理系畢業，而且在畢業那年做足準備，獲得為數不多的天

文物理研究所的入學許可。可是自從去了加州沿岸旅行之後，法默已經決定要去新成立的加州大學聖克魯茲分校深造。同一時期的派卡德，則在奧勒岡州波特蘭的里德學院就讀，這是一所以學風自由而聞名的學校。

1975年夏天來臨時，派卡德即將進入大學階段的最後一年，法默則剛完成研究所二年級的課程。這時候他們兩人不約而同，想利用暑假期間去賭場試試自己的手氣。他們分別去找可以讓自己短期致富的辦法，法默參考摩爾希德（A. H. Morehead）所寫的《撲克贏家完全攻略》，派卡德則挑上索普撰寫的《擊敗莊家》。法默和派卡德兩人都有一顆擅長分析的頭腦，兩人也都沒把社會規範當一回事，所以兩人對賭博這檔事都躍躍欲試，認為這是不用付出勞力也能夠輕鬆賺錢的方式；至少他們有把握在21點的賭桌上，表現得比其他人更好。

多麼浪漫的想法啊！可是問題卻出在執行面。

派卡德仔細研究完索普分析的21點賭局後，馬不停蹄找上里德學院的朋友拜爾斯（Jack Biles），一起前往拉斯維加斯一試身手。他們謹慎記錄每一場賭局的輸贏，發現自己的勝率高得出奇。派卡德和拜爾斯每天結算的戰績都是有不少淨利的，不斷累積的賭本讓他們有資格坐上賭注更大的桌檯，讓他們有機會用更快的速度累積獲利。但這時候，怪事發生了：不論他們賭贏多少次，之後一定會碰上一段逢賭必輸的低潮期，讓他們把先前的獲利統統吐還給莊家，搞到最後，總是落得一個不賺不賠的結果。

等到暑期賭場之旅快結束的時候，他們終於發現，原來是被賭場設局了。自從索普公開發表算牌的技藝後，變得更精明的賭場也很快學會及認出哪些賭客會算牌的方法，想辦法加以干擾。通常最簡單的辦法就是出老千。

至於把摩爾希德的攻略謹記在心的法默，之前從來沒有涉賭經驗，所以就算他知道碰上什麼樣的牌形該採取什麼樣的策略，但是對

洗牌、下注等基本功卻是一竅不通，賭桌上的他，看起來就像是幼稚園的小朋友一樣。沒想到這副拙樣，反倒成為法默的最佳掩護：怎麼看都像是一顆很好下手的軟柿子。坐在蒙大拿州米蘇拉市的賭場中，法默用「新墨西哥的克萊姆」為代號，和一位來自愛達荷州、名叫布朗恩（Dan Browne）的朋友，聯手打垮了米蘇拉賭場的各路英雄好漢。布朗恩是法默共謀走私摩托車的同夥，不像法默那樣涉世未深，他之前曾靠出入華盛頓州斯波坎市的賭場，為自己籌措大學學費。布朗恩這一回也不得不對法默的出奇制勝，嘖嘖稱奇。

暑假很快就結束了，法默和派卡德找時間聚在一起，討論去賭場冒險的心得。法默的看法比較樂觀：只要依照書上的說法，按部就班執行下去，靠賭博致富是有可能的。派卡德的經驗當然不是這麼一回事，不過撇開21點的經驗不談，他還想到另一個更有趣的提議：另一種賭博贏錢的新方法。受到索普藏在《擊敗莊家》尾聲那段後記的影響，派卡德認為用另一種賭具，會比21點更容易擊敗莊家，而且也更容易被賭場盯上使詐。

就跟前輩索普一樣，派卡德也把腦筋動到了轉輪盤上。

### 「幸福企業」團隊

法默一開始對派卡德的想法半信半疑，不過派卡德堅持己見終歸讓法默買單，甚至最後還成為同夥之一。法默、派卡德和拜爾斯用三天的時間，一起討論轉輪盤會碰到的各種問題，興致盎然的初步規劃該如何執行這個挑戰賭場的最新計畫。此時就算法默的加州大學聖克魯茲分校開學在即，三人繼續落實相關計畫的企圖心卻不受影響，還打算開發一臺電腦，專門對付轉輪盤。

法默在1975年秋天回到學校，繼續研究所三年級的課程，這個階段應該是他確定博士論文主題、並致力於天文物理學研究的時候了，結果他卻跟布朗恩在轉輪盤上不斷做實驗，玩得不亦樂乎。這組輪盤

是他跟布朗恩從雷諾市的保羅賭具公司買來的，據說雷諾跟拉斯維加斯賭場所使用的制式輪盤，都是由保羅賭具公司提供的。

法默的論文指導教授是布魯門薩（George Blumenthal），很喜歡幻想自己也坐在拉斯維加斯算牌的模樣，所以法默研究轉輪盤的計畫居然讓他有些樂不可支，並且用不同角度看待法默的學術表現。布魯門薩甚至在審視過法默的計算結果後告訴他，或許轉輪盤的過程也隱含一個值得研究的物理課題。

另一方面，回到波特蘭的派卡德和拜爾斯，則致力於打造一具可以準確計算滾珠滾動時間的電子計時器。邊製作計時器、邊完成大學課業的派卡德，也到了要申請研究所的時候了，加州大學聖克魯茲分校自然成為他的第一志願。派卡德在這個階段雖然已知道索普曾有過挑戰轉輪盤的想法，但是整個團隊卻沒人知道當初索普的計算方式，也沒人知道索普跟向農在拉斯維加斯用來計算的電腦，長成什麼樣子。這一組人馬只得從零開始，重新設計挑戰轉輪盤的方法。

這個學年在1976年的春天結束了，四個賭徒組成的團隊，聚在聖克魯茲分享彼此的工作進度，並規劃暑假期間的后續計畫。第一項任務是替團隊取個名字。法默想到前不久翻字典的時候，看見一個新單字「eudaemonia」，根據古希臘哲學家亞里斯多德的定義，這個單字表示人生無往不利的理想狀態，所以這個轉輪盤團隊自此就以「幸福企業」（Eudaemonic Enterprises）為名，團隊中的每個人都以希臘語「Eudaemons」自稱，意指神采奕奕的人。

他們在暑假向一位教授租房子，在裡面打造一間實驗性質的工作坊，持續組裝各種電子設備，進行轉輪盤的實驗。這群「神采奕奕的人」，自行摸索出當初索普和向農採用的基本策略：兩人一組，一個負責計算滾珠滾動的時間，另一個負責下注。幾年前英格森留給法默和派卡德的價值，在此顯現：沒有他們做不出來的東西，幸福企業就

好像是成年版的114號探險隊。（英格森在幸福企業這支隊伍前往賭城學以致用的時候，還繼續提供不少幫助。）

原本由四個人組成的幸福企業，很快有新的伙伴加入：一位是名叫博伊德（John Boyd）的科學家，一位是法默讀大學時認識的朋友羅頓（Steve Lawton）。羅頓是一位人道主義者，對理想國烏托邦的文學作品無一不曉，所以由他負責替團隊成員導讀相關的政治小說。從此之後，這一群人就有了非搞出一番革命事業不可的心態。

幾年之後，愈來愈多人加入這支研究轉輪盤的隊伍，包括賭客、物理學家、電腦程式設計師、愛幻想的社會主義者。雅痞是霍夫曼（Abbie Hoffman）等人在1967年推動的反主流文化運動，試圖用他們稱為「格魯喬·馬克思主義」（Groucho Marx 是美國著名諧星）、無法無天的惡搞行徑，打破僵化的社會現狀。幸福企業這群「神采奕奕的人」認為自己就是一群雅痞，轉輪盤計畫就是用來打敗既得利益者、劫富濟貧的方法。他們還打算用賺來的錢，去華盛頓州沿岸建立屬於自己的社會主義小天地。

### 混沌系統的神奇吸子

索普和向農挑戰轉輪盤的過程並不很順利，不但玩得提心吊膽，還把電子器材給弄壞了。謀定而後動的幸福企業，用五年的時間克服這些技術問題，提出更好的解決辦法。

這並不表示幸福企業的硬體設備萬無一失。以取代索普單耳耳機的器材為例，幸福企業傳遞資訊的第一代產品，是一塊綁在下注者身上、可以蓋在衣服下面的振動磁鐵，結果有一天，法默身上的振動磁鐵老是出狀況，只要一接受到訊號，就會把法默燙得受不了，只好每十分鐘用「唉，我得去一趟洗手間」之類的藉口，找機會開溜到廁所止痛。不斷上演這種尿遁場面，當然會被賭場工作人員給盯上，下一局就看到賭場保鏢直接坐到法默身邊，壓力大到讓法默當晚草草收工了事。

不過各項設備在1978年暑假的時候，都沒出什麼問題了。這支隊伍就帶著自己的新發明，前往拉斯維加斯，開始賺錢。

就在幸福企業不斷改良設備的時候，包括法默、派卡德在內的一些團隊成員，開始深入思考這個研究計畫的核心物理課題。他們找出一組可以推測滾珠落點的方程式，接下來打算把這套公式運用在更普遍的問題上。轉輪盤其實可以算是一個表現形式很特殊的動態系統，而且別忘了，滾珠落點絕對跟初始位置密切相關！這些特性，跟勞倫茲在虛擬氣候世界觀察到的現象一樣。利用電腦算出微分方程、以預測滾珠落點的工作，讓法默與派卡德無意間，踏進了最先進混沌理論的研究領域。

法默的指導教授說的沒錯，預測轉輪盤的滾珠落點確實可以寫成一篇博士論文，只是就連指導教授也沒想到，這篇論文的內容會站在開創物理學新世紀的浪頭上吧。

幸福企業的物理學家，除了法默和派卡德兩人以外，還有一位名叫克洛區菲（James Crutchfield）的大學生，和另一位較為年長的研究生蕭氏（Robert Shaw）。他們在1977年開始組織一個非正式的研究小組，以「動態系統共同體」、「混沌幫」為名。

蕭氏為了全心研究混沌理論，甚至放棄了即將完成的博士論文。法默則正式離開了天文物理學界。

有關混沌的理論，在1970年代末期有了長足進展，勞倫茲找出許多混沌現象的基本原理，據以建立一些簡單的混沌系統，從中描述混沌的行為模式。勞倫茲也指出，混沌系統還是有一定的秩序：如果把物體依照微分方程的運動軌跡描繪出來，就可以觀察到裡頭所包含的規律，由於這些規律的模式似乎可以補抓物體運動的軌跡，因此也稱為**吸子**（attractor）。

以轉輪盤為例，所謂的吸子就是輪盤上不同的數字槽：不論滾珠運動軌跡如何變化，最終一定會在某個數字槽中恢復穩定狀態。轉輪

盤算是比簡單的混沌系統，其他混沌系統內的吸子當然複雜多了；混沌理論另一個主要貢獻就是發現，任何混沌系統的吸子都是高度複雜的碎形結構。

儘管有上述的基本結論，混沌理論仍舊是一個非常新穎的領域，所有研究工作都帶有草創色彩，學術界也還沒有成立一處真正針對混沌理論的研究中心。通常，物理學的研究工作是由一群研究生、幾位年輕的博士後研究人員、再加上一位指導教授通力完成，但是混沌理論新穎到沒有辦法組成這樣的研究團隊。那個時候找不到一間可以攻讀混沌理論的研究所，動態系統共同體想要用一個拉一個入夥的方式，解決這個問題。加州大學聖克魯茲分校一開始並不支持這種有違傳統的做法，所幸該校物理系並不是老科系，很樂於擁抱新穎的想法，也有夠多教授支持讓動態系統共同體的四位創始成員對自己的研究工作負責，直到他們四位一起取得混沌理論的博士學位為止。

### 複雜科學的研究重鎮：聖塔菲研究院

成立動態系統共同體的初衷是研究轉輪盤，**預測**這檔事自然成為他們最感興趣的工作，而且用預測的角度看待混沌系統，也是相當新潮的觀點，因為大多數人會覺得混沌有趣的地方，就在於看起來根本無從預測它的發展。動態系統共同體在1980年發表一篇最重要的論文，指出只要使用一連串的資料，比方說在水管中間安上一個偵測器補抓水流的流動狀況，就能夠重建這個系統可能具備的吸子。一旦你能掌握混沌系統的吸子，掌握了理解混沌系統如何隨時間演變的基本要素之後，接下來就有可能針對混沌系統進行預測。

以往，吸子都被當成一種理論工具，是一堆方程式計算出來的產物，但是法默、派卡德、克洛區菲和蕭氏四人，卻硬是計算出吸子在實證應用上的重要特徵，可用來觀測混沌系統實際的行為模式。

動態系統共同體總共維持了四年的時間，期間針對混沌理論提出許多有見解的先進觀點，也成功把多年來想要挑戰轉輪盤的努力，轉



化成受人矚目的科學成果。不過幸福企業這群「神采奕奕的人」總有畢業離開學校的一天，法默1981年畢業後，旋即前往羅沙拉摩斯國家實驗室上班，慢一年畢業的派卡德前往法國，覓得博士後研究的工作機會。幸福企業確實從轉輪盤賭局中贏了一點錢，但終歸是智識上的創舉，沒辦法當成謀生的事業。

離開學校的時候，法默和派卡德都還不到三十歲。法默和派卡德兩人能留在學術界工作，可以說是奇蹟，因為在1980年代早期，還沒有多少物理學家能夠完全弄懂動態系統的新理論指的是什麼東西，認為這個領域值得深究的人就更少了。

羅沙拉摩斯國家實驗室就跟加州大學聖克魯茲分校一樣，走在時代前端，幸運的法默才知道，自己其實是處在最新研究領域的關鍵位置。派卡德的運氣也不遑多讓，在法國度過一年博士後研究的歲月，就在普林斯頓高等研究院和伊利諾大學複雜系統研究中心找到工作，這兩個研究機構是當年另外兩個孕育複雜系統研究的搖籃。

法默在1984年後，更是鴻運當頭，因為羅沙拉摩斯國家實驗室裡有一群資深的科學家，創立了一所專門針對複雜系統的研究中心，其中當然也包括研究混沌現象。這個新成立的研究中心就叫聖塔菲研究院；雖然物理學是聖塔菲研究院的骨幹，但是聖塔菲研究院的成立宗旨，卻指向跨領域的研究。複雜系統和混沌現象涉及的不只是物理學，就連氣象學、生物學、電腦科學，再加上聖塔菲研究人員很快就注意到的經濟學領域，都可以是他們的研究範圍。

### 研討「國際金融的複雜系統」

1980年代早期，複雜系統和混沌現象的其中一個研究主題是：小尺度結構如何經由某些基本過程，匯聚成大尺度結構，而且**突現**（emerge）出原本的小尺度結構不具備的特性來。

以大氣物理學為例，我們知道在極小的尺度下，空氣是由許許多多彼此碰撞的粒子組成的；然而當我們放大尺度來觀察時，這些無足

輕重的粒子，居然有辦法組織成大規模的風暴！而風暴的特性是尺度拉大後「突現的」，你在審視那些無足輕重的粒子時，根本無從知道。

生物學也有類似的現象，一隻螞蟻的行為看起來非常簡單，到處尋找食物來源、循著費洛蒙的軌跡探索、找到地方築巢等，可是這些簡單的行為經過互動整合後，會形成一個群落，不像是原本個別的簡單行為加總後，就能得到的結果。而且這一整個螞蟻群落還能因應外在環境、或是個別螞蟻的死亡做出調整。

當這些延伸到物理學以外的想法，成為聖塔菲研究院的共識後，研究人員很快就會想到：一個國家的經濟運作、或是金融市場的行為，是否也可以看成個別行動整合成集體現象的結果，帶有某些突現的特性？

聖塔菲研究院在1986年舉辦第一場探討經濟課題的研討會，取名為「國際金融的複雜系統」。這時候，法默的身分已經是羅沙拉摩斯國家實驗室複雜系統研究小組的召集人，他是少數受邀上臺發表專題演講的科學家。這也是法默第一次跟經濟領域有所接觸。其他講者來自不同的銀行和商學院，當站在講臺上的銀行業者滔滔不絕，向聽眾解釋他們用來操盤的理論模型後，臺下的科學家聽得有些呆掉了。

想到實務界的金融模型居然簡陋到那種程度，不禁讓科學家感到莞爾。不難想像，銀行業者對於研討會的內容所知都非常有限，不過當他們離開的時候，卻覺得自己好像聽見能夠預知未來的天籟，因此熱切期盼聖塔菲研究院能再多辦一場相關的研討會，並邀請頂尖大學經濟系的學界泰斗與會。

催生第二場研討會的想法很簡單，如果金融業者聽不懂物理學跟電腦科學最先進的知識，經濟學者想必可以應對自如。可惜人算不如天算。第二場研討會上，包括法默、派卡德以及幾位聖塔菲研究院的

科學家，都上臺發表專題演講，邀請來與會的經濟學家也有上臺報告的時段，可是兩邊陣營的互動非常有限。

第二場研討會的兩大陣營，有著根深柢固的文化差異，各自都有太多被圈內人視為理所當然的想法；物理學家認為經濟學家把事情想得太簡單，經濟學家則認為物理學家只會打高空，所以沒有產生原本預期跨領域交流後，會激盪出的絢爛火花。

聖塔菲研究院再接再厲，選在1991年2月，舉辦第三場研討會。這一次就不勞駕經濟學家了，改邀請銀行、投資公司具有實務經驗、真正能對全球金融市場發揮影響力的業者與會，研討會也改採務實的想法為基調，聚焦在如何開發新的模型、如何驗證模型效力、如何用模型設定更有效的操盤策略上。

業界人士的防衛心態不若經濟學者，所以這場研討會最後讓兩個陣營都非常欣賞對方所提出的見解，特別是法默、派卡德已經對實務上的操盤投資策略了然於心，也深信自己能夠表現得更加優異。

一個月之後，法默、派卡德兩人分別向自己的主管表示，該是投入金融市場大顯身手的時候了。

### 籌資創立「預測公司」

創立公司不比製造收音機或摩托車引擎，也不是利用電腦挑戰轉輪盤，不過有些共通的技巧還是一樣適用：要有遠見看出如何用新的方式，把各種元素整合在一起，在達成目標前要有耐心反覆不斷修補補，更重要的是要保持孜孜矻矻的毅力。

創造新事物會讓人上癮，這或許解釋了為什麼這麼多創業家不是工程師就是科學家。

法默和派卡德兩人從身為幸福企業「神采奕奕的人」開始，就強烈反對封建式、形式主義的社會既有文化，所以新公司也不想就這樣一頭栽入金融市場——金融市場只是後續延伸計畫中的一部分。比起光是西裝筆挺的在華爾街殺進殺出，他們總認為自己的聰明才智與企圖

心是不同層次的水準。新公司的創立精神很接近當初研究轉輪盤的動機，是一群雅痞的冒險遊戲，想要找回不受限制的純粹研究文化。譬如，法默在1991年3月與新公司成員第一次正式聚會的時候，身上就穿著一件寫著「讓富人吃癩」（Eat The Rich）的T恤。

可是新公司牽涉到的人事物，已經跟研究轉輪盤的歲月不一樣了。法默和派卡德希望新事業的計畫能夠成功，他們也認為商場上的實戰經驗會有幫助，所以兩人邀請以物理學家身分創業成功的麥基爾（Jim McGill）做為第三位創業伙伴。麥基爾在1978年成立數位音效公司（Digital Sound Corp.），專門生產可處理電子樂器、麥克風等數位資訊所不可或缺的微晶片，之後還把事業版圖延伸到語音信箱的各種設備。起碼在名義上，麥基爾要扮演好這家「預測公司」的執行長角色，要代表其他老是穿休閒鞋、牛仔褲的事業伙伴，撐起公司的門面。法默和派卡德老是想著新公司的集資規模可以達到，嗯，好幾億美元的水準，然後麥基爾就要想辦法，把這些願意出資的對象給找出來。我們可以說，要不是有麥基爾的話，預測公司就只會是幸福企業的翻版而已。

事實證明，找出預測公司潛在金主的工作，並不像幾位創辦人一開始設想的那麼困難。法默和派卡德在聖塔菲研究院舉行的經濟研討會上，已經累積了一定的知名度，當他們兩人要從學術界轉戰華爾街的風聲迅速傳出，許多有力人士都會嚴加注意他們的一舉一動。法默替自己買了一套新西裝，好讓自己在拜訪美國銀行（BOA）、所羅門兄弟（Salomon Brothers）的時候，能夠看起來像樣一點。

《紐約時報雜誌》在這個時候以〈古老的刀劍轉變成新時代的鋤犁〉為題，用封面故事的篇幅說明，物理學家受二次大戰影響、大量投入國防工業的年代已經終結了。報導中提到法默在羅沙拉摩斯國家實驗室的經歷，當然也提到預測公司。這篇報導來得很是時候！雜誌

一上架後，新公司的業務進展得相當順利，數以百計的金融業者爭先來電詢問合作的可能，其中包括石油大亨跟華爾街的銀行業者。

獲得金主青睞並不是問題，問題在於幾位潛在金主開出來的交換條件。早就有些來自華爾街的業者深切盼望，能用預測公司的概念設立一檔新的對沖基金。但是跑遍全美國到處集資，並非法默和派卡德兩人理想的工作型態；他們只想要好好完成操盤任務，認為募到一筆種子基金，讓他們能夠專心研究操盤的學問，才是最理想的狀態。

有些公司打算把預測公司整個買下來。這對於剛下定決心要脫離上班族行列、親自到商場闖一闖的這群人而言，這個提議當然不列入考慮。還有一些公司願意單純出資，換取一定獲利比率的抽佣，不過這些公司想要的不只是金錢報酬，譬如前哥倫比亞大學資訊科學教授、在1988年自立門戶成立德劭（D. E. Shaw）對沖基金的大衛·蕭（David Shaw），就想出資換取預測公司若干年份的智慧財產權。

當然還是有不少值得考慮的合作案，只是法默和派卡德兩人一直猶豫不決，總覺得每個提案都有無法忽視的缺點。可是光靠他們幾個人名下的財產，又不可能繼續撐住新投資公司的營運開銷。當1992年3月預測公司成立一週年的時間點慢慢逼近，做決定的壓力也愈來愈大了。

### 預測公司運用的策略：統計套利

聽到法默、派卡德和預測公司的合夥人「用混沌理論預測市場行為」或其他類似的說法，很能讓人眼睛為之一亮。大多數人也的確用這個角度看待這家公司，可是這種說法不太正確。事實上，法默和派卡德兩人並沒有像氣象學家或物理學家一樣，直接用混沌理論解決問題；他們並不是要設法找出市場裡隱含的碎形幾何，也沒有試圖推導出能夠駕馭金融市場的黃金定律。

比較正確的說法應該是這樣：十五年研究混沌理論的經驗，讓法默和派卡德對複雜系統的運作方式，有著前所未見的掌握能力（以

1991年的水準而言）；對於電腦和數學工具的熟稔，也不是訓練有素的經濟學家（甚至是大多數物理學家）所能企及。這些與混沌理論有關的經驗，讓他們能夠看出隱藏在隨機形態裡的規律模式——真正具備預測能力的規律模式。

過去累積的經驗讓法默和派卡德懂得，如何運用統計工具找出真正能用來預測的規律模式，如何用數據資料比對模型與市場的實況；更重要的是，讓他們可以發現所使用的模型在什麼情況下會失效。不論是在物理學的複雜系統、還是在金融市場中，都會看見尾端肥大的分布曲線和狂野的隨機性，而法默和派卡德的專長就是處理這兩種統計上的特徵，也就表示：曼德布洛特讓傳統經濟學家感到難以處理的風險概念，反而是他們兩人可以輕鬆解決的問題。

對於預測公司而言，市場是否屬於混沌現象並非重點，重點是市場行為一定具有或多或少的隨機性。市場行為可能會遵照一些簡單的定律，也有可能依循非常複雜的原理，甚至會在不同的運作模式中變換，速度快到讓人完全無法察覺。預測公司要處理的只是從大量雜訊中，萃取出非常有限的關鍵資訊。這種尋找規律性的做法，其實跟一般投資人想做的事情一樣：利率和失業率這類總體經濟數據會如何影響市場？在某一個市場發生的變化，會怎樣衝擊到另一個市場？不同產業間又會產生何種交互作用？

預測公司運用的策略叫做**統計套利**（statistical arbitrage），看重的是某些股票在短暫失去一些統計特徵後，會不會再次回復原貌。**配對交易**（pairs trading）又稱價差交易，就是一種統計套利的典型做法。操作配對交易之前，要先觀察某些公司的股票價格之間，是不是經常保有高度的**連動性**——統計學的術語叫**相關性**（correlation）。

以可口可樂和百事可樂兩檔股票為例，除非是只跟單一公司有關的新聞，否則所有影響百事可樂的訊息都會對可口可樂造成程度相仿的影響，因此會讓這兩檔股票的價格走勢亦步亦趨；只是這兩檔股票

的價格不一定會在相同的時間點開始變動，導致股價的連動性會短暫跟長期走勢脫勾。假設百事可樂的股價開始上漲，而可口可樂的股價卻有違常理的文風不動，這時候你就有充分的理由相信：兩檔股票的價格很快就會再次糾纏在一起，也就應該趕快搶進可口可樂、並出脫百事可樂。

配對交易並不是法默和派卡德的創舉，而是摩根史坦利的天文物理學家塔達格利亞（Nunzio Tartaglia）和資訊科學家班博格（Gerry Bamberger）兩人在1980年代提出的想法。不過法默和派卡德兩人的確用更嚴謹、更細緻的原則，尋找這一類投資標的，並加以驗證，因此把統計套利的做法提升到另一個更高的層次。

引用物理學研究工具，是法默和派卡德提升金融模型嚴謹度的方法。試舉一例如下。法默身為物理學家，通曉許多先進電腦程式的運作原理，其中一種叫做**基因演算法**（genetic algorithm，演算法是用一組指令，讓電腦處理特定問題的方法）。

假設你想要找出執行某項實驗的最佳條件，傳統的做法需要花很長時間的研究，才能找到最佳的答案；研究過程的形式可能會不一樣，但都是以單刀直入的方式深入問題核心。採用間接方式處理問題的基因演算法，並不是這樣做；你可以先從一大堆可能的答案著手，一次列出各種可能的實驗環境的條件，然後呢，就讓這些條件彼此競爭，如同動物世界弱肉強食一樣。其中最有可能成功的實驗環境會脫穎而出，並重新組合成第二代的實驗環境，接著再進行下一回合的競爭。

這樣的步驟重複幾次之後，適者生存，最後留下來的環境參數就會是最佳化的標準，可以讓實驗達到最好的效果。透過許多困難的物理學實驗證明，基因演算法確實是找出最佳化，或者說最接近最佳解答的方法之一。



大多數物理學家都有能力比照基因演算法的概念，針對不同任務、用不同方式設計出各種尋求最佳化的演算法，法默和派卡德的功力更是不在話下。他們設計的演算法，就像是搜捕規律性的警犬：耙梳大量的資料，一次檢測數百萬種推論，從中找出能用來預測市場走勢的訊號。

## 黑盒子模型

從演算法的角度出發，市場是否具有特定的物理現象，就不重要了。演算法可以運用的範圍太廣泛了，金融市場只是其中之一。譬如你發現，日幣現貨市場跟稻米的期貨市場在統計上有一種莫名的連動性，似乎只要日幣上漲，稻米的期貨價格就會跟著上漲，所以你只要再次觀察到日幣開始走揚，就該趕快去期貨市場搶進稻米了。你也可以把配對交易當成另一個例子，就好像先前提到的百事可樂和可口可樂。

在這些例子中，基本的操盤策略並不深奧，問題在於可以套用這種策略的投資組合，有太多種可能了，想要在其中找出真正適用的投資標的，就必須弄清楚兩種金融商品的價格連動性究竟有多高，隨市場環境變化的幅度有多大；甚至你還需要更進一步知道，在什麼時間點進行多少買賣，才能讓獲利極大化。

只是要在眾多訊息中，把這麼多變數的互動關係找出來、並做到最佳化，不只需要耗費大量時間，過程也絕對不輕鬆；你不但可能永遠無法得知自己的發現是否正確，甚至連出手的時間點都會在這個過程中悄然流失。除非你懂得運用基因演算法做為輔助工具，讓上千種互動關係彼此競爭，迅速標定其中類似日幣與稻米期貨連動性的投資標的，才有可能在短時間內找到最佳化的操盤策略、或者是最接近最佳化的操盤策略。這是一種另類的預測方式，與其說是用整套混沌理論補抓市場的運作模式，倒不如說是用拼湊的方式找出市場的規律。

預測公司的另一特點，是在同一時間測試許多不同的模型，每個模型涉及的資產類型都不相同，背後統計特徵的簡化假設也不相同。法默和派卡德設計的演算法，可以讓這些各異其趣的模型「自行投票」決定最佳的投資標的。唯有這些模型的投票結果能夠取得可能成功的共識，兩人才會採取這最佳化的操盤策略。「投票」乍聽之下似乎跟物理學一點關係也沒有，不過卻是法默和派卡德研究複雜系統後的心得。

用很多模型投票選出最佳操盤策略？這方法聽起來還滿粗糙的，因為它似乎沒有去仔細比較各個模型的擅長之處。不過找出大而化之的最佳操盤策略，跟找出複雜系統的吸子，反倒有異曲同工之妙，因為混沌現象的吸子也跟初始條件無關——不管你從何處邁開步子，最終的落腳處就是在那裡。

金融界通常把這種用演算法找出最佳策略的操盤模式，叫做**黑盒子模型**（black box model）。布雷克—休斯模型及其他後續版本的運作方式，不只清楚明白，通常也能讓我們掌握模型為什麼（應該）有用的原因；但是黑盒子模型完全不是這麼一回事，我們無法掌握黑盒子模型的運作方式，算出來的結果也讓人用得不太安心，尤其是使用者不明白：這些結果到底是怎麼算出來的？該憑哪一點相信這策略有用？黑盒子模型在預測公司創立前，只有少數使用者偶一為之，但是預測公司卻把所有經營基礎建立在黑盒子模型上，採用全新的觀點思考投資獲利的方式。

### 金主背後還有大金主

這一群老搭檔成立新公司之後，幾乎整整一年都沒有任何收入。欠缺營運資金的投資公司，要拿什麼去投資呢？法默、派卡德、麥基爾再不想辦法找到金主的話，光靠自己的存款恐怕也無以為繼了。

為了讓這群由研究生、電腦高手組成的經營團隊，繼續在葛利芬街共聚一堂，他們從1991年7月起就已經四處借錢，燒錢燒了八個多

月，現在已經很難再對金主挑三揀四了。他們不想這麼快就把公司賣掉，因此，成為其他公司旗下一檔對沖基金，似乎成為可以考慮的選項。如此一來，他們至少能取得營運資金，公司也能多多少少保有自主性。他們花了幾個月的時間，逐一和有可能的合作對象會談。到這個節骨眼，似乎沒有其他更值得考慮的選項了。

奇蹟在1992年3月初發生了。法默應邀參加一場資訊科學年會，並在會場上發表演說。要不是看在會場上可能遇到願意無條件挹注資金的矽谷投資人，否則法默還真不想出席這場研討會。法默演說的主題是探討電腦在預測未來所扮演的角色，這次演說獲得聽眾熱烈的迴響，在會後收拾投影片的時候，一位西裝筆挺的人走向法默，向他自我介紹。

這個人名叫海馬克（Craig Heimark），是歐康納合資的合夥人之一。歐康納合資公司就是在格林鮑姆、斯特魯夫帶領下，成功修正布雷克—休斯模型忽略尾端肥大分布曲線的缺點，進而大賺一票的投資公司。歐康納合資在1991年已經晉升為芝加哥商品交易市場最大的玩家之一，集中火力用高科技操作衍生性金融商品。公司內部有六百位員工，操作金額高達數十億美元。歐康納合資沒有採用非線性預測這項工具，預測公司也沒打算進入衍生性金融商品的市場，不過這兩家公司的性格很接近。有一位剛進歐康納合資的員工，還曾經是法默和派卡德在求學期間的朋友跟研究伙伴。

和海馬克打過照面後，法默在幾天後接到歐康納合資另一位合夥人溫柏格（David Weinberger）的電話。溫柏格也是最早一批的寬客，原本是耶魯大學以作業研究為專長的教授（作業研究屬於應用數學的一支），在1976年轉往高盛任職，比布雷克到任的時間還早。溫柏格在1983年轉換跑道到歐康納合資，任務是在愈來愈多公司採用布雷克—休斯模型進行操盤的時候，替歐康納合資想出新的交易策略。1991

年的時候，溫柏格已經是一位能用實際交易高度影響市場走向，同時也能用科學家的語言跟預測公司對話的少數人士之一。

溫柏格星期五下午才從芝加哥打電話給法默，星期六早上就已經坐在預測公司位於葛利芬街的辦公室了。

會談結果，歐康納合資正是預測公司想要合作的對象。一大部分原因在於：歐康納合資能夠理解法默、派卡德有能力做好自我評量績效表現的想法。在雙方最後達成的協議中，預測公司保住了自主性，負責出資的歐康納合資有權獲得大部分獲利，不過要先替預測公司墊錢支付員工薪水、採購電腦設備，解決燃眉之急。

與歐康納合資的合作案，看似預測公司當時的最佳選擇，想不到之後的進展還超乎他們的預期。當歐康納合資前往拜會預測公司時，他們已經跟有將近一百五十年歷史的瑞士銀行（SBC）建立長期合作關係。1992年當歐康納合資和預測公司簽訂合作案後沒多久，瑞士銀行就公開宣告購併歐康納合資的計畫，所以預測公司原本以為自己的合作對象是性質相仿的歐康納合資，想不到後頭又來了一位口袋更深的金主。併購案生效後，溫柏格接任瑞士銀行最高管理階層的職位，並繼續擔任瑞士銀行和預測公司之間最主要的聯繫管道。對預測公司而言，新的局勢有如簽中樂透一樣，整體朝向更理想的方向發展。

之後瑞士銀行在1998年跟瑞士另一家大銀行「瑞士聯合銀行」，合併成瑞銀集團（UBS），躋身世上最大銀行財團的行列。合併之後，瑞銀集團大多數重要的管理職缺，還是由前瑞士銀行的人馬出任，與預測公司之間的合作關係完全不受任何影響。

預測公司秉持歐康納合資一貫維持低調、神祕、高科技公司的傳統，從來不會公開自己營運績效的具體數字。不論我訪問的對象是前公司要角或是現任的董事會成員，他們都必須遵守保密協定，不得公開具體營運數字。這不免讓人懷疑：既然都經營有成了，還有什麼是不能公開的？不過這種現象在華爾街倒是很常見，因為成功的經驗會

招致模仿，如果有很多公司群起效法、採用同一種操盤策略，每家公司的獲利空間都會打折扣。

但我們還是可以從其他指標，旁敲側擊出預測公司到底有多成功。一位接受我專訪的前董事會成員說，預測公司經過十多年的營運，至今仍是瑞銀集團旗下的活躍分支機構；另一可靠的消息來源告訴我，預測公司成立之後的前十五年「風險調整後之報酬率」（risk-adjusted return），幾乎達到同時期標準普爾500指數（S&P 500 Index）上漲率一百倍的水準。

法默在預測公司待了十年左右，直到從事研究的熱情又把他帶回學術界為止；他從1999年起，成為聖塔菲研究院的全職研究員。派卡德留在預測公司的時間比較久，在2003年以預測公司執行長的身分卸任，自己又創立一家新公司ProtoLife。在他們兩位離開預測公司的時候，他們都已經成功證明了一件事：一家公司懂得緊盯統計數字，會從物理學引用一些創新工具的話，就會表現得比較傑出。現在該是他們兩位去處理新問題的時候了。

### 績效是檢驗模型成敗的唯一標準

黑盒子模型和愈來愈多「演算法下單」的做法，在2007、2008年金融海嘯後，成為批評計量金融的主要目標。輿論的負面評價其來有自，就算黑盒子模型通常行得通，但是根據當初的設計原理，我們無法明確指出它為什麼行得通，也不能清楚判斷它什麼時候會失靈。換句話說，擅長使用黑盒子模型的寬客，也沒辦法看出模型的假設在什麼時候成立、什麼時候會失效。

在這種前提下，黑盒子模型必須不斷使用統計檢定，才能確定下一步的操盤策略會是什麼。這就讓黑盒子模型看起來滿是風險；要是使用者不察的話，仰賴黑盒子模型真的是風險非常高的操作方式。因為我們很容易根據成功經驗，認為黑盒子模型是個神奇的裝置，既然

以前行得通，以後當然也行得通，因此很容易忽略外在環境的變化，濫用黑盒子模型。

然而，事實勝於雄辯。就算（黑盒子除外的）數理模型具有非常穩固的理論基礎，最終還是要用實際的績效判斷模型良窳；運作機制再怎麼透明的模型，也一定要像黑盒子模型接受的檢定一樣，進行反覆不斷的統計檢定。為什麼呢？布雷克—休斯模型在1987年股災後，才被發現無法處理波動微笑的局限，就是一個最明顯的例子。有理論支撐的模型就如同一把雙面刃：一方面有助於讓使用者找出模型局限的所在，另一方面也容易帶給使用者沒來由的過度自信——只要能在理論上修正模型的缺陷，改良後的模型一定是正確的。

只可惜這並不是科學進展的方式，而且有理論支撐的數理模型的缺點，正好凸顯了黑盒子模型的相對優勢：必須用真正的績效，才能衡量用黑盒子模型操盤的成果，而不是用個人主觀看法相信黑盒子模型就是行得通。

除了難以理解黑盒子模型的葫蘆裡頭到底賣什麼藥之外，黑盒子模型還有另一項論點值得探討。到目前為止，從巴楔利耶一直到布雷克為止的物理學家，都認為市場行為是純然的隨機，無法預測，歧見只在於隨機性的本質為何、是否可以用常態分布曲線加以詮釋。從早期巴楔利耶和奧斯本提出市場行為無法預測的看法之後，這個建立在效率市場假說的觀點，一直是主流金融理論奉為金科玉律的教條。

可是不光是預測公司，還包括少數追隨他們、深諳黑盒子模型的寬客，卻認為短期的市場行為在特定條件下是可以預測的。起碼我們知道：預測公司從來不操作衍生性金融商品，他們的模型原本就打算直接預測市場行為，挑戰很多經濟學者（還有很多投資業者）認為不可能完成的任務；而且重點是，他們成功了。

投資致富總是會帶點運氣成分，所以我們還是有理由對預測公司的成就抱持懷疑態度。「市場是隨機的」不只是經濟學系的傳統智

慧，事實上也有大量的統計數據可以證實這一點，所以我們可以再次強調：由於假設市場能有效率的反映資訊，所以市場行為應該是隨機的；股票價格會根據各方的所有訊息迅速調整，反映出該檔個股未來的績效表現。

不過，這種說法不必然會跟預測公司的成功有所衝突。看似有點矛盾嗎？讓我們回過頭檢視什麼叫做效率市場假說。正統的說法不外乎：假設你帶著一些內線消息進出股市，亦即你有可靠的消息來源，可以預測未來的股價走勢，接下來你一定會想辦法用內線消息套利。譬如說，某地股市會在5月的最後一星期走揚，會在巨人隊贏球後的星期一下跌；只要高明的投資人一發現這個固定模式，他就一定會在5月底出脫持股，並且在巨人隊贏球後的星期一進場買股票。一旦有愈來愈多投資人注意到這個模式、並採取行動之後，反而會導致該地的股市在5月底翻黑，並且在巨人隊贏球後的星期一翻紅，以致毀掉了原本固定模式的預測能力。

的確如此，每當經濟學家發現市場行為有異常模式的時候，市場的交易行為往往會在經濟學家進一步研究、確認之前，就修正了這些異常模式。

不錯，這樣的推論會讓你自然而然認為，就算偶有脫序現象，透過市場內部的運作流程，很快就會把市場行為拉回常軌。（我們當然也不能否認，投機炒作甚至是市場崩盤，都能反映出效率市場假說有嚴重漏洞的問題。這種大規模的市場失序、價格如脫韁野馬一樣的現象能否預測，是下一章的討論重點。在此我們先把範圍局限在效率市場假說如何處理小規模的失序現象。）那麼，什麼是「內部的運作流程」？當然是指能夠很快看出市場固定模式的高明投資人，透過各種買賣交易進行套利的過程。根據效率市場假說的正統說法，是這些高明的投資人，才能促成市場的隨機性，而他們這些反應又是因為看見市場裡頭可預期的固定模式而來。雖然可預期的固定模式會在倏忽之



間消失，要是你是第一位注意到這種模式的投資人，效率市場自我修正的正統說法顯然對你就不適用了。

### 最高明的投資人

這又說明了什麼？這表示就算你百分之百信奉效率市場假說，高明的投資人還是有靠預測市場行為獲利的空間。只是，獲利只會屬於最高明的投資人——唯有能掌握市場各種運作模式、並擁有最先進運算工具的投資人，才有辦法根據可以預測的模式套利。誰會是最吻合這些條件、最高明的投資人呢？擁有從混沌系統萃取資訊的數十年經驗、再加上滿屋子的超級電腦，應該會有所幫助，這也就說明了：預測公司有辦法經常站在市場上最高明投資人的地位，絕非僥倖。

其實也不是每個人都相信市場有效率的說法，法默就是頭一個，他經常批評市場無法預測的說法。憑藉著預測市場行為所獲得的財富，他絕對有資格這樣講。而且「狂野的隨機」也算是混沌現象的特徵之一，或許有違常理，卻也顯示我們通常有足夠的資訊可以進行有效的預測。無論你對市場抱持哪一種觀點，先知先覺的投資人一定都有活動的空間，因此也就不難理解為什麼有其他投資業者，想要追隨法默和派卡德極具開創性的做法了。

自從第一臺電腦送達葛利芬街123號之後二十年來，黑盒子模型已經在華爾街取得一定的地位，成為德劭基金、堡壘投資集團操作對沖基金的主要工具，讓預測市場成為一種貨真價實的產業了。

## 第七章

# 不是黑天鵝，而是龍王

索耐特用來預測市場泡沫跟崩盤的方法，  
也可以反轉過來預測他所稱反泡沫的現象。

索耐特說：你可以聽見龍王逐漸逼近的聲音。

索耐特（Didier Sornette, 1957-）拿起手上的資料再看一次，揉了揉額頭，細細思量。這個趨勢應該錯不了，有事情快要發生了，而且是很嚴重的事情。雖然預測未來從來都是困難至極的任務，索耐特還是很確定這一點。他挺了挺身，靠在椅背上，從加州大學洛杉磯分校地球物理研究所的辦公室望向窗外；這項重大發現的後續效應會非常可觀，那麼該問的是，接下來該怎麼處理呢？應該向社會大眾示警嗎？有人會相信他嗎？而且，就算有好了，那又能怎麼樣呢？

直到1997年即將入秋的晚夏時分為止，索耐特已花了好幾年時間研究這項理論，只是該如何把相關成果運用到現實世界，還是最近才開始有的進展。過去一段時間以來，他已經花很多時間用歷史資料加以驗證，只要有重大事件快要發生的時候，他都能觀察到相同特徵的模式，無一例外。這個模式看起來就像海浪，而且起伏的速率愈來愈快，每個浪頭也愈來愈接近，彷彿急著想要擠成一團一樣。索耐特發現其中的關鍵是，不論就理論分析或實例驗證而言，這個模式已經可以做出預測，預告前方不遠處就會碰上臨界點。這種模式散布在各種領域：在地震發生之前、在雪崩來臨之前、在某種物質爆開之前。更重要的是，這一次不太一樣，因為索耐特是在事前就清楚掌握到這個模式。

「認為預測是可能的」（這種想法不用負擔風險）和「真正做出預測」，畢竟是兩碼子事。不過這一次，索耐特很有信心認為自己的預測是對的。

索耐特馬上撥了電話給一位同事勒端（Olivier Ledit）。勒端是剛進入加州大學洛杉磯分校安德森管理研究院的年輕教授。索耐特告訴勒端自己的發現，用資料向他證明臨界點就在前方不遠處，而且恐怕是天翻地覆式的大變動！

雖然索耐特是地球物理研究所的教授，不過他這麼說，只是在形容事情的嚴重性，不是指地殼真的會大變動。索耐特指的是很有可能一口氣毀掉整個全球金融市場的重大事件。索耐特甚至可以大膽預言臨界點會發生在什麼時候——根據他的估算，大概不出10月底，剩下不到幾個月的時間了。

### 利用賣權大賺一筆

雖然索耐特已經累積好幾年研究金融領域的經驗，但是他畢竟仍是地球物理學家；勒端才是真正了解金融產業的行家，可以協助索耐特規劃下一步該怎麼走。

他們兩人商討出的計畫如下：首先，他們要把警報內容交給有關當局，由索耐特和加州大學洛杉磯分校的另一位地球物理學家暨經濟學家、博士後研究員約翰森（Anders Johansen）共同執筆一份警示報告，寄給法國專利局。那時候當然不會有人相信他們的預言，因為那時候還沒有任何一種分析金融市場的傳統理論模型指出危機在即。可是要是他們等到危機發生後才出手的話，一樣也不會有人相信他們，因為到時候就會有成千上萬的經濟學家跟投資業者跳出來，堅持自己早就預見金融風暴，聲浪之大肯定會淹沒他們實實在在的真知灼見。

索耐特事先將警示報告送交法國專利局，形同是在買保險，藉以證明他們真的在事發之前一個月，就提出示警的證明。他們是在1997年9月17日完成送件，在文件中預告金融市場崩潰的時間點就在同年10月。

第二步呢？想辦法賺錢囉。要在市場一片欣欣向榮的時候賺錢並不困難，而在市場崩盤的時候，更是有各種創造出驚人獲利空間的手

段，前提是你要有辦法預知崩盤的時候快到了。在各種利用股市崩盤賺錢的方法中，最簡單的一招當屬敲進**賣出選擇權**（put option，賣權）。

本書之前提到的選擇權都是**買入選擇權**（call option，買權），意指你花錢買下在未來某個時間點、以固定價格買進股票的一項權利。這個固定價格也稱做履約價格，如果股票市場的現貨價格高於履約價格的話，因為你擁有用履約價格買進股票的買權，所以你可以把用買權買來的股票，轉手賣到現貨市場，用賺取價差的方法獲利。要是股票現貨價格低於履約價格呢？那也沒關係，你只不過花費一筆購買買權的支出而已，不用強制依照履約價格購買股票。

賣權的概念大致上剛好反轉一百八十度，亦即你買下用特定價格（履約價格）賣出股票的賣權。根據這個條件，如果股票現貨價格跌到履約價格以下的話，因為你可以從現貨市場買進股票後，再用較高的履約價格轉賣，因此一樣可以利用兩種價格間的價差，賺取獲利。

還記得「千金難買早知道」的遠價外選擇權（只會在市場劇烈震盪時，才會顯現出價值嗎？由於市場產生劇烈震盪的機會微乎其微，遠價外選擇權的成交價格通常非常低（因為賣出遠價外選擇權的交易員，不認為自己需要承擔什麼風險），一旦市場真的嚴重崩盤，初始成本微不足道的遠價外選擇權，可就要變成金雞母了。所以只要你確切知道市場崩盤在即，擁有金雞母的你，不但能在這場災難中毫髮無傷，甚至可以在非常短的時間內（通常只要幾天的時間就夠了），累積出一筆難以想像的財富，而且需要承擔的風險也很有限。

敲進賣權的做法，顯然比買進並持有股票的做法更有賺頭，可是最困難的問題當然還是在於：如何準確預測不可知的未來。

## 氣球爆裂

有過吹氣球的經驗嗎？一開始在你手上的只是一塊皺巴巴的橡皮，還沒充氣的氣球具有延展性，隨便你怎麼戳、怎麼刺都不太容易

弄破。就算你用原子筆的筆尖去刺，除非你先用力扯住這塊橡皮，否則筆尖也很難把氣球直接戳破，即便換成大頭針也不大容易。

現在，開始向氣球吹氣，只需要吹幾口氣，就會讓氣球開始膨脹，氣球內部的空氣壓力會由內往外撐開氣球表面，讓氣球開始有個球體般的外觀。不過，這時候的氣球還是很能承受外部的破壞，端視內部究竟充了多少氣而定。一把鋒利的小刀有可能劃開球體表面，但是就算氣球被割破，也還不至於直接爆開，只會開始漏氣而已，不會產生什麼震撼效果。

若是你繼續不斷往氣球內部吹氣，氣球對外部刺激的反應會變得愈來愈敏感，一顆完全充飽氣的氣球，可能被樹枝或是其他堅固的物體碰一下就爆掉；在大頭針上碰一下，也一定會爆掉。要是你又不停向氣球吹氣、吹到某個程度之後，光是用手指頭碰到氣球或是再多吹一口氣，也會讓氣球爆掉。等到氣球鼓脹到一個程度之後，不需要花多少力氣，就能創造出驚人的變化：氣球爆成碎片的速度，甚至比你聽到爆破的聲音還快。

到底是什麼原因讓氣球爆掉？說是外部因素造成的，也不為過：樹枝、大頭針、甚至是抓住氣球時的手指頭壓力，都算是。可是在大多數情況下，相同的外部因素只會對氣球造成不痛不癢的影響；氣球必須先充氣，甚至是要充過頭之後，外部因素才能真的讓氣球爆掉。換句話說，特定的外部因素並不是重點，氣球有沒有充滿氣，才是讓氣球爆掉的最主要因素。我們甚至可以說氣球根本不是因為外部因素爆掉的，而是氣球內部壓力過大、不穩定性過高了，才讓氣球處於隨時會爆開的狀態。

爆掉的氣球是諸多破裂現象中的一種。任何物質被施壓到極致的時候，都會破裂，也就是「壓垮駱駝的最後一根稻草」現象發生的時候：物質承受壓力，譬如說是過高的內部壓力（具體的例子像是充滿

氣的氣球，用力搖過、滿是氣泡的汽水罐，駱駝背上累積的重量）導致不穩定狀態，最終使該物質極容易產生爆裂的結果。

爆裂就是一種破裂，有時也稱為**臨界事件**（critical event）。就跟氣球爆掉的時候一樣，即將破裂的物質會在短時間內改變原本的狀態，並在改變的過程不斷釋放能量。其他事件造成的反應不如臨界事件來得激烈，有如用針去戳還沒有充飽氣的氣球；但是這些事件的效果也有可能逐漸累積，接下來造成更大的破壞。

### 索耐特涉獵十來個學術領域

索耐特大概是對破裂現象最能深入了解的一個人。索耐特研究的產出量非常驚人，才剛過五十歲的他，已經在三十年內發表超過450篇科學論文，另外還寫了四本書：一本的主題是物理學，另外兩本在探討金融領域的相關課題，還有一本專門研究齊夫定律——也就是讓曼德布洛特一見傾心、描述大小規模跟排名有關的奇特分布現象。

在產出量之外，更值得注意的是索耐特的研究範圍。大多數物理學家，就算是最有成就的幾位，也只能深入研究幾個高度相關的領域。成為某個領域的專家並不容易，大多數人窮其一生能在一、兩個領域有獨到見解，就已經很了不起了。但是索耐特說話有分量的領域，卻多達十來個，橫跨材料科學、地球物理學、決策理論（經濟學跟心理學的一個分支）、金融市場和神經科學（索耐特有幾篇重要的論文在探討癲癇症的病因與預防措施）。他把自己視為廣義的科學家，把各種科學領域當成一個整體來進行研究。

索耐特在年輕的時候就開始讀物理學，主要不是因為他想為物理學奉獻一輩子，而是因為他把物理學當成科學之母。索耐特很喜歡引用笛卡兒寫在巨著《方法導論》（*Discourse on Method*）裡的一句話：「整個科學就像是一棵大樹，形而上學是樹根，物理學是樹幹，剩下的就是枝繁葉茂的其他科目了。」（現在索耐特對自己的所學比較謙虛了，他認為物理學的背景讓他預先做好處理各種問題的準備，

但是經濟學、生物學困難的程度，起碼比物理學的問題高出一個等級以上。）雖然涉獵範圍甚廣，但是索耐特的研究主題都跟找出複雜系統裡特有構造的模式有關，或者是用這些特定模式做出更進一步的預測，包括破裂、震盪，或者是崩潰。

### 火箭壓力槽的裂縫，藏有玄機

索耐特早年的研究計畫，包括研究克維拉（Kevlar）破裂的現象。克維拉是1965年由杜邦公司發明的人造纖維（是杜邦公司繼第二章描述的尼龍之後，又一劃時代的發明），以強韌度著稱，不但是警方、軍方生產防彈背心的主要材質，甚至可取代鋼筋做為吊橋的纜線。克維拉在極低溫的狀態比室溫更強韌，在極高溫的時候也多半能維持一段時間的穩定狀態，可以說是現代化學工業的奇蹟之一。

上述種種特性，讓克維拉成為各種高科技應用端相當受歡迎的材質，其中包括航太科技領域，這也是索耐特開始切入研究克維拉的領域。發展航太科技一開始只是美蘇兩大強權的禁臠，幾個西歐國家的領導人在1960年代中葉，開始體認到未來歐洲在太空中的經濟、軍事、科學利益不能光靠兩大強權略施小惠，因此也踏出發展航太科技的第一步。歐洲國家剛開始的發展步調既緩慢又凌亂，直到1975年才把許多發展得不成熟的單位，整合成現在的歐洲航太總署（ESA）。此時，美蘇兩大強權考量到後續航太科技的發展會非常昂貴，因此逐漸放慢腳步，這就讓歐洲航太總署能夠藉機快步趕上，在航太產業占有一席之地。歐洲航太總署在這個時候的發展主軸，是用一系列亞利安號（Ariane）先進火箭系統，做為發射衛星的載具。

歐洲航太總署在1983年，開始發展新型的亞利安四號火箭，做為發射商業通訊衛星之用。這型火箭後來運作得非常成功，總共載運了將近全球半數的商業衛星進入地球軌道。亞利安四號火箭是由法國國家太空研究中心（CNES）負責設計，並外包給私人企業進行生產，



其中一家叫做法國航太（Aérospatiale）的承包商，開啟了索耐特研究克維拉的機緣。

包含亞利安號在內的各型火箭，在發射升空時都需要用到很多耐高壓的材料，火箭的液態燃料通常存放在壓力槽內。所謂壓力槽，簡單來講就是一顆必須維持住高壓、卻又不會因壓力而破裂的高科技水球。跟索耐特接頭的法國航太研究人員，當時正在研究亞利安四號火箭將採用的壓力槽的特性，這個壓力槽正是由克維拉製成的。克維拉壓力槽通常很堅固，就算在高壓環境也撐得住，問題出在有時候會無預警爆裂，因此法國航太的研究人員試圖解開克維拉在哪些條件下會爆裂的謎題。

前面已經說過，當氣球充滿氣的時候，隨便被尖銳的大頭針戳一下都會爆掉。不過要找出其他材質破裂的原因，可就沒這麼簡單了。類似克維拉這種材質的破裂，一定肇因於高壓環境，但是要精確說出處在高壓環境多久、為什麼最後會撐不住的緣故，卻顯得異常困難。克維拉之類的材質在一定程度的壓力下，會開始產生微小的裂縫，有時候這些微小的裂縫會聚集成稍微大一點的裂縫，稍微大一點的裂縫有時候又會變成更大的裂縫，如此這般，直到最後產生一個導致爆裂的大裂縫。這些裂縫展現出一種我們已經見識過的模式——碎形：最小的裂縫看起來跟稍大一點的裂縫相似，稍大一點的裂縫看起來又跟更大一點的裂縫相似。

但是微小的裂縫不會對壓力槽造成任何影響，而最後那道大裂縫卻會造成臨界事件，帶來災難性的後果。如此一來，要怎樣釐清大小裂縫之間的差異，就變得很棘手了，起碼不能再用「反正壓力槽破裂一定是裂縫造成的」輕鬆帶過真正的原因。由於大裂縫一定是由小裂縫不斷累積而來，所以大到導致破裂的裂縫，在本質上跟無關緊要的小裂縫並無二致。

要如何釐清大小裂縫之間的差異，讓火箭科學家百思不得其解。通常在一般環境下很穩定的克維拉，誰也說不準一條平凡無奇的小裂縫，會不會自動發展成足以摧毀火箭的大裂縫。這就表示任何再細小的裂縫，都有可能成為火箭爆炸的元凶。

### 自我組織，威力巨大

當索耐特加入研究團隊時，其他科學家已經束手無策了。如果真的要使用克維拉做成的壓力槽，就一定要找出安全無虞的使用方法；也就是說，火箭科學家需要確定符合哪些條件，才不會導致破裂的結果。而火箭科學家認為這是不可能的任務，因為讓克維拉破裂的原因看起來似乎就是這麼簡單：隨機而已！

直到索耐特觀察到一種模式為止。

正常來講，壓力槽任一部分彼此間都沒有關連，就好像十九世紀還不懂得集體跟資方談判的勞工一樣缺乏組織。譬如你隨便踢壓力槽一腳，壓力槽殼可能會有些振盪，但是振盪幅度很快就會消散，甚至就算你有辦法一腳把壓力槽踢出一個凹痕（已經是天方夜譚了），壓力槽的其他部分還是毫髮無傷。相同的道理，只要小裂縫也是處在這種「只被踹一腳，其他部分毫髮無傷」的狀況，就不會造成壓力槽破裂。就好比你去戳一個沒有充飽氣的氣球，就算是用筆尖去戳，也不會爆裂。

有時候，壓力槽各部分材質會一起串連反應，形成**羊群效應**

（herding effect），又稱為**從眾效應**。導致羊群效應的原因有很多種，像是溫度、壓力，或是一些其他的外部因素，這個時候壓力槽各部分材質就好像組成了工會，踢在某個部位的效果會像漣漪般擴散至其他部位，使得局部性的影響被放大成大規模的反應，如同充滿氣的氣球只被針戳中其中一個點，就整個爆掉一樣。這種串連效果就叫做**自我組織**（self-organization）。自我組織不受物質原本隨機或不相干的狀態影響，只要處於自我組織的狀態下，物質內部就會整合出共同

反應——任一部位受到壓力，都會逐漸發展成全體受到壓力後才會有的反應。

雖然索耐特完成許多相關研究並提出完整的理論，無人能出其右，但是他並沒有提出自我組織一詞，反而用不同的角度看待此一現象。透過對克維拉的研究，索耐特終於了解小規模的罷工跟災難式的罷工有何不同。

任何罷工一定都會有導火線：嚴重的工安意外、惡意解雇跟減薪等，可是我們很難想像這些因素為什麼會演變成全國性的集體罷工。大規模罷工看起來，應該是小規模罷工因為某種因素停不下來，所導致的結果，如同小裂縫在某種條件下，最終演變成讓材質破裂的大裂縫，因此不能光用上述的導火線來解釋大規模罷工。全國集體性的罷工背後，一定要有高度整合、有能力執行大規模抗爭行動的勞工運動組織做為支撐，這需要建立系統性回饋跟宣傳放大的機制，才有辦法使得小規模罷工演變成大規模罷工。

換句話說，想要預知會不會有大規模罷工的觀察重點，不在於罷工的導火線是什麼（這些問題一直都存在），要看的是工會的反應，要注意是否出現了會吐露玄機的自我組織模式。與其說是局部的騷動引發了大動盪，不如說是背後隱藏了你沒注意到的整合機制，才導致了臨界事件。

索耐特就是靠著這一點真知灼見，大膽投入金融市場。

## 從壓力槽到地震預測

索耐特出生於巴黎，在法國南部蔚藍海岸的德拉吉尼昂市（Draguignan）長大。德拉吉尼昂市距離富豪集聚、優美的地中海度假勝地聖特羅佩（Saint-Tropez）大約一小時車程，高中時代的索耐特經常從聖特羅佩搭遊艇出海玩風浪板。高中畢業後，索耐特前往尼斯一所專門應付菁英學院入學測驗的預備中學就讀（曼德布洛特在二次世界大戰期間，為了躲避納粹迫害，在尼斯北邊數百公里遠的里昂，

也是就讀於類似的學校）；索耐特後來入學測驗的成績相當優異，因此進入最有名的菁英學院——高等師範學院就讀。

1981年，才二十四歲的索耐特，就已經取得博士學位，並且在尼斯大學獲得專任的教授職位。剛進入學術界的索耐特，專攻凝體物理（condensed matter physics），這是物理學的一支，專門研究固體和液體具有的一些共通性質、以及物質處於極端狀態下的特性。不過隔年，索耐特就服兵役去了。接下來幾年，索耐特在軍方供應商湯姆生辛特拉（Thomson-Sintra）的廠區工作（同時間一直保有尼斯大學的教職）。就是在這段替軍方從事研究工作的期間，索耐特開始接觸到混沌理論和複雜系統等課題，為他日後投入跨領域的研究奠定基礎。

索耐特在1986年和另一位年輕的地球物理學家索虹（Anne Sauron）結婚。索虹當時在法國中北部的奧爾良，攻讀地球物理學博士學位，婚後便隨著索耐特搬到位於尼斯的新房。索耐特之後不但替太太申請到一筆研究獎金，還直接出任她的博士論文指導教授，讓她成為研究團隊的一員。他們兩人專注於連結彼此的研究成果，設法用地層的破裂現象解釋地震的成因。

雖然索耐特在名義上是索虹的指導教授，不過他們的關係更接近不同專業背景的研究伙伴。索耐特在兩人一起共事之前，對地震一竅不通，索虹則完全不懂什麼是物質破裂，可是索耐特的學習速度很快，沒多久就提出該如何運用碎形幾何研究地殼板塊的做法（板塊是覆蓋在地球表面、緩慢移動的幾片大地殼）。

**板塊構造**（plate tectonics）最早是用來證明不同大陸曾經連結在一起的說法，譬如有些特殊植物只出現在南美洲西部跟澳洲東部，這說明南美洲西部跟澳洲東部很久以前是連成一塊的。而現在，板塊構造則被認為是地震（兩個板塊相互碰撞擠壓或摩擦的結果）、山脈（板塊相互擠壓而隆起的部分）、火山（板塊交界處、或是地殼較薄處，從地底噴出岩漿的結果）和海溝（與山脈相反，是板塊受擠壓而

沉降的部分)等等地質現象的成因。索耐特的研究工作，是試圖了解如今亞洲大陸跟印度大陸交界處地質構造的形成過程。這交界處有橫跨美國國土那麼長，包含高聳的喜馬拉雅山脈跟其他一連串比較小的山脈。這個區域的地形特徵是歐亞大陸板塊和印度板塊，數百萬年來彼此擠壓造成地層隆起的結果，也是地殼碰撞摩擦造成許許多多次地震所形塑的結果。

凡是地球內部構造的各种課題，都是地球物理的研究範圍，其中比較熱門、比較容易獲得研究經費的領域是預測地震、火山之類的天然災害。因為不論是就人道救援或是科學進展的立場而言，地震預測都是最為重要的一項，所以雖然預測地震的困難度盡人皆知，但是科學家和早期的哲學家、星象術士都從來沒有放棄過各種嘗試。古羅馬歷史學家埃里亞努斯（Aelianus）相信動物具有準確預知地震的能力，他宣稱蛇、鼯鼠在希臘赫里克城周遭地區被地震摧毀的前幾天，就知道大難臨頭而四處逃竄。古印度星象術士暨數學家伐羅訶密希羅（Varahamihira）甚至認為，只要觀察雲朵的特定形式，就能做出地震預測。

美蘇兩大強權從1960年代一直到1970年代，不斷投入地震預測的研究工作（中文版注：真正目的是為了監測對方的地下核試爆，請參閱《地震與文明的糾纏》一書），帶給地球物理學家源源不絕的研究經費。各種研究計畫陸續指出，從電磁風暴、到增強的放射性、再到地震頻率的突然減緩，都是預測未來重大震災的徵兆。不過直到1980年代中期為止，各種研究成果大概也沒有比西元前373年預測赫里克城即將被地震毀滅的水準，高明到哪邊去。老實說，就連現今的研究計畫中，也還是不乏觀察動物行為或地震雲的老掉牙研究。想要精確做出地震預測，仍舊像是聖杯一樣，遙不可及。

**索耐特能夠預測臨界事件**

索耐特在1989年開始跟法國航太合作研究，他跟索虹也在同一年發表有關自我組織的研究論文，內容是將破裂理論的概念延伸應用在地震的現象。地殼和克維拉兩者之間的類比相當貼切：地殼也是一種會破裂的物質，所以用來解釋克維拉破裂原因的理論，大致上也能用來解釋岩塊的破裂。最關鍵的重點在於：災難式的大地震是否等同於板塊交界處發生破裂的臨界事件？這篇論文還沒有把自我組織達到臨界時的現象跟地震連結在一起，但是也相去不遠了。這篇論文顯示索耐特認為自己參與的兩項研究計畫——壓力槽和地震預測，在本質上相當接近。

索耐特在兩年後的1991年，找出連結兩者的說法。這時候他已經發展出裂縫如何擴大、貫穿整塊材質的詳細模型，可以算出自我組織（或整合）到什麼程度，才會把不起眼的小裂縫放大成一發不可收拾的爆裂效果。索耐特透過這些模型發現：當材質內每一部分都處於逼近臨界事件、快要破裂的情況下，裂縫就會被放大成整塊材質破裂的結果；亦即在破裂發生前，一定會有諸多進入加速模式的小規模事件，而這些小規模事件的時間間隔會以一定的對數比率愈縮愈短，因此他把這種加速模式稱為**對數週期**（log periodic）。

由於加速模式只發生在系統快要破裂的階段，因此可以做為預測臨界事件的徵兆。也由於加速模式跟時間有關，只要先觀察到一連串小規模事件發生的頻率是否具有對數週期的特徵，也就是小規模事件發生的時間間隔愈來愈短，就可以推估之後一個又一個小規模事件發生的時間點，直到最後臨界事件爆發的時間點為止。

索耐特一開始先用壓力槽檢驗自己的理論正確與否，果然在破裂之前觀察到壓力槽的振動模式符合對數週期：由於壓力槽的振動會伴隨著音洩（acoustic emission）現象，一旦壓力槽出現小裂縫，就會有隆隆聲傳出來，如果隆隆聲的間歇出現符合對數週期，發生壓力槽破裂的臨界事件就為期不遠了。法國航太旋即把這項預測火箭壓力槽爆

裂的方式申請專利，直到今天都還是用來檢測壓力槽安全性的方法之一。

壓力槽的成功經驗只是開端，如果索耐特能夠順利把物質破裂跟地震預測連結在一起的話，這項發現就會有數不清的應用方式。引發小型地震的因素非常多，不妨將之等同於造成克維拉小裂縫的原因，如果災難式的大地震也如同索耐特所言，是一種破裂（臨界事件）的話，我們就可以根據地球物理學的資料，觀察是否有對數週期的特徵，進而做出預測。

長久以來，一直有人相信小規模地震是大規模地震的前兆。如果這種說法屬實的話，那麼運用索耐特的理論，就可以把這些小規模地震當成預測工具，用來預測臨界事件等級的災難式大地震，也就是會造成山崩地裂、夷平城市的大地震。雖然索耐特的理論只適合預測這種等級的大地震，可這不正是我們最懼怕、最需要獲得預警的大災難嗎！

傳說中的聖杯，似乎已經現身了。

### 以逸待勞，等待股市崩盤

1997年9月過後，索耐特和勒端開始進場買進遠價外賣權。他們兩人都沒有多少錢可以投資，還好這種選擇權很便宜。他們成天緊張兮兮的盯著世界各主要股市的指數，和其他悠然不知股災將至的投資大眾，完全是截然不同的心情。

索耐特對自己的研究理論深具信心，願意用自己的所有資產賭在最理性的科學結果上。只是現代社會金融市場崩盤的例子並不多見，誰敢保證他觀察到的小裂縫加速模式不會出錯呢？這時候的索耐特，不論就財務面或是就理智面來看，其實都走在沒有退路的鋼索上。

10月中旬很快就過去了。索耐特的預言不可能百分之百精確——理論顯示市場將大幅震盪崩潰的時間點大概在10月底，但是很難具體指出究竟是哪一天。隨著日子一天天過去，崩盤的機率就會愈來愈高



（如果還沒發生的話），而崩盤的現象也有可能不會持續太久（這雖然機率不大，但是理論上臨界點還是有可能只產生遠低於預期的波動）。

又一個星期過去後，時間已經來到10月24日的週末，崩盤的現象還是沒有發生。現在局勢有點傷腦筋了，整個10月就只剩下一個星期了，而索耐特還是沒有看到任何即將崩盤的跡象。

終於，1997年10月27日星期一，股市崩盤了。道瓊工業指數在這天創下史上第六大的單日跌幅，共跌掉554點，那斯達克

（NASDAQ）和標準普爾500指數的跌幅也相去不遠。紐約證券交易所更是史上頭一遭，為了避免持續不斷下探的賣壓，被迫提早休市；一天之內，紐約金融市場蒸發掉超過六千五百億美元。世界各主要股市的表現也一樣淒慘，包括倫敦、法蘭克福、東京股市都劇烈下跌，隔天的香港恆生指數也跌掉14%。

至於索耐特和勒端呢？他們的獲利率高達400%！他們在11月前往美林證券辦完交割手續，落袋為安。股市崩盤真的如索耐特所預測的一樣，說來就來。

歷史學家現在把1997年的全球股市崩盤，視為一種強力反彈的效應。1997年初，泰國政府放棄緊盯美元的匯率政策，導致泰銖重貶。而在泰銖貶值前，泰國政府又已經背負沉重的外債，泰銖貶值的後果讓泰國幾乎形同破產。泰國惡化的經濟局勢，很快擴散到亞洲鄰近國家，被波及到的東南亞經濟體無一倖免，區域內各國紛紛嚐到貨幣貶值和股市不振的苦果，形成所謂的「亞洲金融風暴」。這些問題增加了全球經濟發展的不穩定因素，在證券市場造成價格不尋常的波動，當較早開市的亞洲金融市場在美國時間10月26日晚上開始崩潰，在美國的投資大眾旋即用更強力的反應，放大股市的災情。

10月27日股災中最值得注意的是，紐約金融市場幾乎都在隔天全面反彈，這也是現在公認這只是一場「小崩盤」的原因。等到紐約證

券交易所28日收盤的時候，道瓊工業指數從前一天的重挫回升了60%，而且相較於前一天被迫提早休市的慘狀，28日的反彈也成為紐約證券交易所所有史以來，成交量衝破十億股門檻的第一天。

這種戲劇化的上沖下洗說明了一件事：既然崩盤跟反彈的綜合效果並沒有顯著改變金融市場的價格，顯然效率市場假說已經無法說明價格變動的原因。根據效率市場假說，任何一檔個股的股價變動，都跟該公司的實際價值脫離不了關係，如果股價暴跌了，就代表該公司的實際價值一定要大幅下修，可是事實卻不是這個樣子。崩盤後的10月29日，多數個股的股價大致都回到股災前、10月26日的水準，顯示大多數投資人並不認為這些公司的體質出了什麼問題，反倒襯托出這場股災只是市場內部的不穩定性所導致的結果。

根據索耐特研究團隊的說法，許多股災都可以觀察到對數週期的特徵。索耐特總會不厭其煩指出：正統經濟學認為市場如果已經存在泡沫的話，最後的結局一定是由震撼力十足的消息，促使上市公司的股價被重新估價，進而發展成崩盤的結果；而經濟學家根據過去股市崩盤的經驗，也都認為不太可能明確指出究竟哪一則震撼力十足的消息，才是直接因素。股市崩盤當然是受到利空消息的影響，但是我們也很難說「極端事件」這種與公司營運無關的外部因素，會因此改變一家公司的股票價值。

這個想法很有啟發性，特別是針對習慣處理物理學臨界現象的人而言。因為就算某些消息會直接導致崩盤的結果，但是在那之前的市場狀態，才是決定市場會整個崩盤、還是下修一些點數的關鍵。索耐特以壓力槽的破裂現象為例指出：就算你無法預知哪一則利空消息是主因，你還是可以辨認出市場是否已經處在危機邊緣——只要觀察看看有沒有對數週期的特徵，就可以了。

### 臨界現象十分普遍

臨界現象通常符合物理學家所稱的**普適**（universal）性質，意指兩種看起來完全不相關的物質，好比克維拉壓力槽跟地球板塊這兩種八竿子打不著關係的物質，儘管在顯微鏡下的細部結構完全不同，可是只要處於某些特殊環境，就會展現完全一樣的大規模反應。兩者都會在長時間受壓力下破裂，就是其中一例。

你若仔細觀察破裂發生的過程，就會發現這兩種物質在顯微鏡下的差異根本不重要，兩種本質上截然不同的物質也會發生幾乎相似的反應模式。世界上有很多普適性質都可以套用統計模型來分析，因此不妨把普適性質當成整合不同部分、產生集體反應的定律，無關乎被整合的部分原本是什麼性質。這種普適性質讓索耐特跟研究伙伴一起提出的想法，可以找到非常廣泛的應用空間，或許在不同領域的應用細節會有所差異，但是基本的原理並無二致，不論是雪崩、森林大火、政治改革、或是癲癇症的發作都帶有臨界現象的色彩。

索耐特在1994年跟另一位法國物理學家布梭（Jean-Philippe Bouchaud）共同撰寫的一篇論文，成為他初次踏進經濟學領域的體驗。索耐特跟布梭兩人在1994年共同成立名為「科學與金融」

（Science & Finance）的研究公司，之後在2000年與巴黎對沖基金「首都基金管理」（CFM）合併。時至今日，布梭仍然擔任首都基金管理的董事長與首席科學家（布梭另一項正式頭銜是巴黎綜合理工學院的物理學教授，巴黎綜合理工學院也就是位於巴黎近郊、曼德布洛特曾經讀過的那所菁英學院；索耐特則在1997年選擇離開科學與金融研究公司），而且首都基金管理目前已經成為法國最大的對沖基金代操公司。

索耐特和布梭當年共同聯名發表的論文，旨在探討：當某檔個股的股價並未依循布雷克與休斯隨機漫步的假設變動時，該如何替相關的選擇權訂價。這篇論文成功的運用更完備的模型，說明價格變動的方式，其中也包括尾端肥大的機率分布曲線，讓選擇權訂價理論可以

運用的範圍更加寬闊了。（歐康納合資已經先一步修正了布雷克—休斯模型的缺陷，但是知道的人並不多。）

索耐特發表這篇論文之後，就迷上經濟學，接下來花了好幾年時間，大量閱讀傳統經濟學的學術著作，增加自己處理選擇權訂價與風險問題的能力。學會用經濟學家的角度思考，是索耐特感到相當自豪的成就。早年索耐特都是跟布梭一起從事經濟學的研究工作，當時的布梭幾乎已經把所有時間，都投在金融市場的操作上。

索耐特對地震的研究成果，讓加州大學洛杉磯分校在1996年延攬他為地球與太空科學系的兼任教授，其餘時間就讓他在地球物理暨行星物理研究所進行研究。然而索耐特在這段期間，至少投注半數以上的心血從事金融研究，同年就和布梭、博士後研究員約翰森一起發現自己原本的地震預測跟破裂現象的研究成果，也可以沿用到預測市場崩盤。他們三人一起在某本物理學期刊中發表研究心得，索耐特也無巧不巧的在幾個月後注意到可以預告股市崩盤的對數週期特徵。1997年10月成功預測股災，讓他深信自己的確研究出了些名堂，從此之後又花更多精神在經濟與金融模型上。

索耐特把股市崩盤當成臨界事件看待的中心思想，建立在材料破裂與地震的相關理論上，背後的假設是集體行動，或說是羊群效應，因此也就不難理解索耐特認為市場崩盤跟傳統的群眾心理學有關了。

### 著名的鬱金香狂熱

蘇格蘭文人馬凱伊（Charles Mackay）在1841年寫了一本包羅萬象的書，其中他把經濟泡沫稱為「社會大眾不尋常的幻想與群眾瘋狂的行為」。馬凱伊根據許多歷史經驗指出，當整個國家集體陷入一種狂熱狀態，就會產生投機泡沫，此時市場上的價格已經跟交易商品原本的價值完全脫勾了。

最有名的例子應該是十七世紀初期的荷蘭，當時投機炒作的商品是鬱金香球根。鬱金香原產於土耳其，在十六世紀中葉經由奧地利傳

往整個西歐世界，亮眼的花型受到西歐貴族階級高度的讚揚，而真正值錢的商品就是鬱金香球根，不但可以種植成花，還可以繁衍出新的球根。鬱金香後來成為荷蘭國力的象徵，當時荷蘭一批透過東印度公司、西印度公司交易而致富的新商階級，會用華麗的花園宣揚權力和威望，鬱金香也就順理成章成為花園中的主角了。

鬱金香球根開始成為昂貴的商品，有多貴呢？鬱金香球根的價格在1630年代快速攀升，光是一顆球根就已經在1635年創下2,500荷蘭盾的歷史紀錄（相當於現在的90萬台幣），平常一顆球根要價也大約落在1,500荷蘭盾左右；相較之下，一位手藝熟練的工人一年才只能賺到約150荷蘭盾的報酬。雪上加霜的是，荷蘭境外的投資客也看上這一波熱潮，挹注更多熱錢想要分一杯羹，荷蘭人則誤以為其他歐洲國家也看好鬱金香的投資價值，更放心加碼搶進市場哄抬，讓整個鬱金香球根的炒作風氣一發不可收拾。社會大眾開始拍賣家當、抵押房地產、花光所有積蓄，也要跟上鬱金香球根的投機市場。

鬱金香通常是在秋天種植，待到隔年晚春才是花期，因此冬天就成為一部分舊球根已經種下，而新球根與花卉還無法收成的階段，也是潛在投資者最難摸清楚來年的供應量、最適合哄抬炒作的黃金時段。

1636年跨入1637年的冬天是**鬱金香狂熱**（tulip mania，現在已經是專有名詞了）衝上頂點的時候，當時一顆鬱金香球根居然要價5,200荷蘭盾（相當於現在的台幣185萬元以上）！

隔年2月某一天，原本在荷蘭哈倫市一如往昔舉行的鬱金香球根拍賣會，卻突然沒人競標了，顯然沒有人願意再當鬱金香狂熱的下一隻白老鼠。結果當天原本人人競逐的鬱金香售價，慘跌到前一天的零頭而已，市場崩盤的恐慌迅速蔓延，幾天之內鬱金香的售價就跌回歷史高點的1%以下。原本一夜致富的傳奇，在清晨來臨時只剩下夢醒時分的惆悵，整個荷蘭經濟陷入泥沼，最終迫使政府不得不出面干預。

羊群效應或其他類似的現象，也就是導致經濟泡沫的各種行為，似乎是人類心理永遠無法根除的情結。沒有人想被群體遺棄，所以我們會彼此模仿；雖然依照常理，人類還是跟旅鼠不同，就算我們會參考其他人的行為做榜樣，但我們也不會盲目到照單全收。所以該問的問題是：人類究竟在什麼狀況下，才會讓羊群效應全面取代理智？類似鬱金香狂熱的現象到底是怎麼形成的？什麼時候人會理智斷線，不惜花光所有積蓄，就為了搶一顆鬱金香球根？

雖然索耐特提出的模型可以預測，哪些環境會讓羊群效應發揮得淋漓盡致，但是上述這些問題他也答不上來。索耐特還可以告訴我們的是：羊群效應在什麼時候會取代理智。而這可以用來衡量某特定市場的投機泡沫是否成形，進而預測泡沫在某個時間點（所謂的臨界點）破滅的機率有多高。

儘管索耐特在金融領域的產出非常豐富，但是他並不認為自己「轉往」經濟領域發展。2006年索耐特在蘇黎世聯邦理工學院成立企業風險評估專業課程，並擔任主任一職（這才是他第一個與金融相關的學術職位），不過他仍是加州大學洛杉磯分校地球與太空科學系的兼任教授、蘇黎世聯邦理工學院物理系全職的地球物理學教授。直到現在，索耐特還是會同時撰寫地球物理和金融這兩個不同領域的論文，指導的研究生也一樣來自這兩個不同領域。雖然索耐特自1990年代中期起才算是踏進金融領域，但是如果問他如何調適這兩個不同領域的研究方法，他一定會用疑惑的神情回答，說自己一向對這些研究主題很感興趣，沒有調適的問題。說起來，索耐特或許認為這個世上的各種課題都值得研究吧。

索耐特當然對金融、經濟課題保有一份特殊的情感。很多人投入科學領域的動機，是渴望了解這個世界的各種運作原理，但是索耐特認為物理學只是整個世界的一部分，而他有興趣知道、或許是**更有興趣知道**人文社會的世界是怎麼一回事。萬有引力可以讓星球維持在軌

道上運轉，但是就如同音樂劇《小酒館》序曲中吟唱的，「金錢推動世界運轉，」金融市場就是決定金錢流向的場域。

索耐特將金融市場比喻為「見過大風大浪的女皇」，擁有掌控一切的無上權力。不論每個人對金融市場在全球地緣政治扮演的角色抱持何種立場，索耐特深信：金融市場本身和參與其中運作的人，確實具有相當的社會影響力。光是這個理由，就足以吸引人對金融市場保持高度的關注。

### 索耐特預測泡沫與反泡沫

自從1997年10月發出第一次市場崩盤的預警後，索耐特維持一貫準確的崩盤預告。2008年9月金融海嘯發生前，他也一樣觀察到對數週期模式，做出準確的時間預測。索耐特宣稱，就連1998年長期資本管理公司（LTCM）隨著俄羅斯盧布重挫而破產，也都有跡可尋：雖然大多數人並沒有料到1998年夏天，俄羅斯公債違約風波會引發嚴重的市場震盪，但是在崩盤前，其實已經可看到羊群效應所導致的對數週期模式，這就表示當年不論盧布是否重挫，都不會影響之後崩盤的結果。因為氣球裡面已經充滿氣了，俄羅斯公債違約只不過是一根大頭針而已。

索耐特陸陸續續預測到好幾次金融市場的崩潰，另一個著名的例子是2000年發生的網路泡沫。1990年代末期，高科技公司的股價不斷飆漲，光是從1998年到1999年之間，標準普爾500指數中的科技成分類股就上漲了四倍，同時期的整體指數也不過上揚50%而已；針對高科技公司所設的那斯達克指數，從1998年到2000年初也漲了三倍，引發諸多分析師暢談所謂的「新經濟將由電腦公司和倚賴網際網路從事策略布局的企業主導」。對這些高科技公司而言，以往所有的財務準則都不適用，譬如說，公司本身賺不賺錢並不重要，就算呈現虧損狀態也無所謂，因為大家相信高科技公司未來前景可期，也就是所謂「本夢比」很低，所以這種公司的股票還是相當值錢。



這股熱潮就跟幾十年前的投機行為互相呼應：比方說1920年代的投資人就已經高唱過「新經濟」這個字眼，而當時最熱門的高科技公司，不過是AT&T和奇異電器（GE）罷了。

索耐特在1999年底，開始注意到那斯達克指數顯現對數週期的震盪模式。等到2000年3月10日，那斯達克指數衝上歷史高點的日子，他已經掌握夠多的證據，預測崩盤在即，甚至能夠指出崩盤發生的時間點，是在同年3月21日到5月2日之間。果不其然，從4月10日開始的一星期內，那斯達克指數就重挫了25%，高科技公司的股票也避免不了，踏上當年鬱金香球根崩盤的覆轍。

索耐特用來預測市場泡沫跟崩盤的方法，也可以反轉過來預測他所稱**反泡沫**（anti-bubble）的現象，指出股價遭到人為刻意壓抑的情況。舉例而言，1999年1月25日索耐特在一篇線上物理學論壇的文章中提到，根據自己從市場數據觀察到的對數週期現象分析，當時的日經股價指數正處於反泡沫的格局，同時還大膽預言接下來的發展：日經股價指數到年底的漲幅上看50%。

由於日本金融市場十四年來一直欲振乏力，1999年1月5日更是跌到谷底，使得索耐特這則預言特別令人印象深刻。當時所有指標都顯示日本股市將持續在低檔盤桓，大多數經濟學家亦如是說，包括諾貝爾經濟學獎得主、《紐約時報》專欄作家克魯曼（Paul Krugman）。克魯曼在1月20日的文章中，批評日本經濟幾乎已經藥石罔效，最根本的原因出在欠缺足夠的需求，來帶動復甦。

最後，時間證明索耐特才是對的。1999年底，日經股價指數已經脫離年初的谷底，上漲幅度不多不少，正是索耐特所預測的50%。

### 你可以聽見龍王逐漸逼近的聲音

曼德布洛特的研究成果，讓經濟學家相信金融市場帶有狂野的隨機性，因此會呈現巴楔利耶、奧斯本無法想像的走勢。雖然曼德布洛

特理論中的細節未必正確，但卻不影響他指稱金融市場受尾端肥大分布曲線影響的正確性。

金融市場會受極端事件影響並不是新鮮事，極端事件不但不是例外現象，反而是正常的。更麻煩的是，極端事件隨時都有可能發生，與一般正常狀況無異。所謂市場難得的大規模崩盤，說穿了，也就是常見的小規模崩盤一直無法止血的結果。

如果曼德布洛特這套理論說得通，我們應該會認為預測股災是不可能的任務。自我組織是臨界現象相關理論的重點之一，通常也的確會隨尾端肥大分布曲線而現身，使得預測金融市場極端事件變得困難重重。在1987年提出自我組織一詞的三位物理學家巴克（Per Bak, 1948-2002）、湯超（目前為北京大學定量生物學中心講席教授）、韋森菲爾德（Kurt Wiesenfeld）認為：這個研究成果可以證明，就算極端事件確實存在，基本上也很難跟其他一般事件做出區別。換句話說，他們認為預測金融市場的極端事件，只會徒勞無功浪費精神而已。

這個想法符合對沖基金經理人塔雷伯反對用數理模型詮釋金融市場的核心觀點，塔雷伯在所著《黑天鵝效應》一書中，用黑天鵝象徵極端事件，他說極端事件遠非標準的常態分布曲線所能描述，沒道理拿常態分布曲線來模擬比較。極端事件在本質上無法預測，而且只要一發生極端事件，就會改變所有的遊戲規則。

塔雷伯的說法沿襲曼德布洛特的論點，認為極端事件會帶來最天翻地覆的結果，而且出現頻率比任何一種理論模型的估算都還要高。所以當我們處於一個狂野的隨機性系統時，採信任何一種數理模型都是不智之舉，因為這些數理模型早就排除了金融市場最重要的一種現象：災難性崩盤。

索耐特近來也用一個專有名詞說明極端事件：不叫黑天鵝，而叫**龍王**（dragon king）。

還記得巴瑞圖法則嗎？巴瑞圖指出，在任何國家內，百分之八十的財富都掌握在百分之二十的人手上，這就是俗稱的80-20法則。巴瑞圖分布也是曼德布洛特所觀察到的一種尾端肥大的分布曲線。而索耐特稱呼極端事件為龍王，這個「王」字，意義就源自巴瑞圖法則：在一個君主國家中，唯有國王的所得不符合巴瑞圖的80-20法則！國王擁有的財富，遠遠超出一般的分配比率，甚至超出尾端肥大分布曲線的標準；就連財富僅次於國王的超級富豪，也無法逸出80-20法則的規範，只有國王才能真正超脫凡規。

至於「龍」，是在任何正常生物圖鑑都找不到的物種，代表極端事件無與倫比的特質。無論是基於什麼原因，停不下來的小規模地震會導致較大規模的地震，雖然索耐特的理論無法預測這種等級的地震，但是當連串較大規模的地震導致龍王級、毀天滅地式的大地震時，就是索耐特能夠預測臨界事件來臨的時候了。這就跟材料破裂一樣，需要同時具備天時、地利、人和等各種條件配合，才能準確預言。

巴黎的城市規模就是說明何謂龍王等級的一個好例子。法國的城市規模基本上都符合齊夫定律的比率，較大的城市往往比次一級城市大上許多，而且大小數量也很符合尾端肥大分布曲線。不過要是你依照齊夫定律的做法，把法國所有城市依照人口多寡排列之後，就會看到巴黎的規模實在大到不像話，遠遠超出齊夫定律的規範。

塔雷伯認為在發生黑天鵝效應的時候，進出金融市場會面對難以想像的後果。龍王對金融市場的衝擊也不遑多讓，超脫凡規的龍王不受任何拘束，但是龍王跟黑天鵝有一點不一樣：你可以聽見龍王逐漸逼近的聲音。

索耐特並不認為所有黑天鵝都是龍王偽裝的，也不認為所有市場崩盤都是可以預測的，不過他認為很多看似黑天鵝神出鬼沒的現象，其實都可以在事前找到跡象，而且大多數會以對數週期的模式呈現。

這些跡象只會在正回饋與放大過程相輔相成的時候出現，如果再配上自我組織的結構，就會產生爆炸性的後果，難以善了。

### 市場比你想像的更容易走極端

預測公司跟索耐特分別從兩個角度，補強標準的布雷克—休斯模型在理論上的缺陷。

預測公司屬於局部性的做法，試圖在全球金融市場數據每次透露出短暫可預測性的時候，找出有利可圖的操作策略。全球金融市場可預測的模式飄忽不定，預測公司必須抓住短暫的機會之窗，才能創造獲利。預測公司從局部性的做法出發，開發出許多必要工具，在各種模式失去預測力之前完成效力評估。因此我們可以說，預測公司的做法比較保守謹慎，你只要從「什麼因素會增進市場效率」的角度，就很容易看懂該公司的操作原理。

索耐特的做法恰恰相反，他採用全面性觀點尋找臨界事件、尋找最嚴重災難出現之前的規律模式，並利用這種規律模式做出預測。索耐特的想法承繼自曼德布洛特的觀察，認定極端事件發生的頻率超過常態的隨機漫步，甚至認為極端事件發生的頻率比曼德布洛特所設想的還高——就算用尾端肥大的分布曲線，也還不足以描述極端事件的發生頻率。索耐特直觀認定這些規律模式背後有某種機制在運作，常會把小規模事件不斷放大、終至釀成最嚴重的災難。

索耐特並不明白背後的機制，他只抓住表象上的規律模式，他的假說和立論可說是相當大膽、充滿風險。不過他的假說卻也是可以反覆檢驗的，而且似乎到目前為止都還禁得起考驗。

如果你認為，曼德布洛特的研究成果指出前人對市場隨機性的假設為何失效、以及如何失效，進而改寫了早期的數理模型，那麼索耐特的想法就是更進一步的改良版本。索耐特告訴我們，就算市場的隨機性很狂野，動不動就上演極端事件，但是只要我們懂得觀察市場數據的方法，起碼能夠預測一部分的極端事件。

超脫凡規的龍王可以攪亂全世界的金融市場，但是龍王現身的過程卻是可以研究的課題。龍王確實不容易理解，但也絕非只是傳說中的生物而已。

## 第八章 新曼哈頓計畫

施莫林和韋恩斯坦的計畫很簡單：

找來一群天才齊聚一堂，讓他們看清楚經濟學的問題，  
一起努力提出新經濟學理論。

又要辯論了！馬蘭尼（Pia Malaney）嘆了一口氣，把身體往前傾，雙手撐在桌上，聚精會神聆聽未婚夫韋恩斯坦（Eric Weinstein, 1963-）打算說什麼。

韋恩斯坦是麻省理工學院博士後研究員，前不久才從哈佛大學取得數學博士學位。他們兩人坐在麻州劍橋的一家酒吧裡，韋恩斯坦正滔滔不絕闡述要如何在馬蘭尼的博士論文中，引用他博士論文的觀點。可是韋恩斯坦博士論文的研究主題是抽象幾何在物理數學上的應用，而馬蘭尼要寫的卻是經濟學博士論文，這兩個課題看起來一點關係也沒有。她的嘆氣帶有一絲諷刺意味——在把韋恩斯坦拉進經濟領域之前，要辯贏他是多麼輕而易舉啊！

馬蘭尼和韋恩斯坦相識於1988年，當時韋恩斯坦是研究生，馬蘭尼則在緊鄰波士頓的衛斯理女子學院主修經濟。那時候的韋恩斯坦對經濟學懵懵懂懂，就跟他數學系所裡的朋友一樣，認為不可能光用經濟學裡那些簡單的數學理論，就想完整描述人類複雜的行為。要是韋恩斯坦跟一群經濟系的朋友聚在一起，他一定會用倨傲的姿態說：經濟課題不過是「雞尾酒會上閒聊的話題」而已，很不切實際、也了無新意！韋恩斯坦會樂意坦承自己不太懂經濟學，因為說穿了，經濟學裡也沒有多少需要了解的內容。

馬蘭尼很不欣賞未婚夫三不五時流露出這種輕蔑的態度，花了好幾年的時間，一再反駁韋恩斯坦的論點，不斷捍衛自己和同儕在經濟學上的努力。

之後有一天，馬蘭尼發現自己說服未婚夫了。韋恩斯坦突然不再取笑她經濟學沒什麼值得投入的，反而告訴她可以一起合作深入研究。從此韋恩斯坦滿腦子都在想，自己受過數學和物理的專業訓練，馬蘭尼則有經濟學的專長，彼此合作一定可以解決過去困擾經濟學者多年的各種問題。以前辯論重點是設法讓未婚夫多去看些經濟學資料，好了解理論背後要闡述的主題，現在馬蘭尼卻反而被要求要一腳踩進物理數學的世界，這可不是她原本唇槍舌戰想要的結果。

### 攜手研究經濟指數問題

不過馬蘭尼真的無法否定兩人合作的成績確實相當可觀。他們集中精力研究所謂的**指數問題**（index number problem），試圖把世界上複雜的資訊，譬如各種財貨的成本與品質，轉換成一個清楚易懂、可供比較的數字，用來衡量一個國家的經濟發展是否健全，或是進行經濟發展的跨期比較。常見的金融市場指數，包括道瓊工業指數、標準普爾500指數等；一般公認美國股市裡頭各種複雜的資訊，都已經濃縮在這兩個指數中。另一個常見的指數是**消費者物價指數**（Consumer Price Index, CPI），一般公認美國城鎮普遍的生活水準，包括食物跟居住的花費等，都可以透過消費者物價指數一目了然。

指數在經濟政策上具有非常關鍵的地位，可以做為不同時期或是不同地區經濟狀況的比較基礎。例如，《經濟學人》雜誌認為，世界各地麥當勞銷售的大麥克漢堡，基本上應該是等價的商品，因此提出另一個相當直接的物價指數——大麥克指數（Big Mac Index），用來比較世界各國貨幣在不同時間的價值。

馬蘭尼和韋恩斯坦引用了物理數學領域的**規範理論**（gauge theory），一起提出解決指數問題的新方法。現代規範理論早期的數學基礎多半是由西蒙斯奠立的。西蒙斯就是本書一開頭提到的「全世界績效最優異的資金操盤手」，他在1980年代從物理數學家搖身一變，成為文藝復興科技公司的創辦人，專門操盤對沖基金。



規範理論正是韋恩斯坦的博士論文主題。規範理論使用幾何概念，來比較性質差異明顯、且無法在同一個標準下相提並論的物理量（physical quantity）。馬蘭尼和韋恩斯坦認為，這種特質恰好可以正面回應指數問題，只是要處理的不是長度、質量、溫度之類的物理量，而是各種不同的經濟變數。

在經濟領域引用規範理論是少見的高難度做法，這讓馬蘭尼感受到些許壓力，不曉得其他不熟悉如此高階數學分析的經濟學家會如何反應。在跟指導教授討論過如何把這個主題寫成博士論文之後，她才毅然決然著手開始相關的研究工作。這位指導教授不是別人，正是哈佛大學經濟系超級巨星麥斯金（Eric Maskin, 1950-，他在指導馬蘭尼之前，即已完成的「機制設計理論」，讓他後來贏得2007年的諾貝爾經濟學獎）。

麥斯金認為馬蘭尼的想法值得稱許，相信她有能力在一個長年涉及政治與經濟的重要領域中，取得重大突破。馬蘭尼在1996年夏天完成博士論文，之後開始應徵頂尖大學的專任教職。基於一方面完成這麼有開創性的博士論文，另一方面又有巨星級指導教授的協助，馬蘭尼有很好的理由相信，自己是應徵這些理想工作的優秀候選人。她開始幻想往後美好的學術生涯。

### 錢，到底值多少錢？

錢（貨幣）值多少錢呢？很奇怪的問題，對吧？對大多數人而言，錢本身並沒有價值，錢的價值取決於人的使用方式。錢大概沒辦法讓你買到愛情，但是卻可以用來購買柳橙汁、褲子或新車子。

隨著時間流逝，通常商品的價格會愈來愈貴（如果只看商品價格標籤的話），用來購買柳橙汁、褲子或新車子的金錢數量也會跟著不一樣。全世界的祖父母都會告訴你，以前一條巧克力棒或是一張電影票有多便宜；老一輩的人會告訴你，1950年代的5美分可比現在好用了。這種錢變得愈來愈薄的現象，就是俗稱的**通貨膨脹**（inflation）。

所以我們該如何衡量通貨膨脹？畢竟不同商品在不同國家的售價，不會以固定比例調整，而且就算大部分商品的價格愈來愈貴，還是有某些商品變得愈來愈不值錢。以第一批大量生產的個人電腦蘋果二號為例，配備運作效能最高可達1MHz的處理器，外加容量48KB的記憶體，1977年剛上市的時候，標價是2,638美元一臺。經過三十多年後，現在隨便一臺桌上型電腦的處理器，都比蘋果二號快上三千倍以上，記憶體的容量更是以數十萬倍起跳，售價卻只是蘋果二號的零頭而已，大概幾百美元就可以入手了。雖然現在的巧克力比起1970年代貴了不少，但是現在的電腦價格相較之下，就跟賤價出售沒什麼兩樣。

經濟學家處理這個問題的其中一個方法是：觀察一整組商品在不同國家的價格變化，追蹤所謂的一**籃子標準商品價格**（price of a standard market basket）：在一部想像中的購物車，擺上各種雜貨跟家庭日用品，除了要包括汽油、燃油等有形物質外，也要再加上教育、醫療跟居住等無形的服務商品。我們通常會用這一籃子的標準商品價格計算消費者物價指數，本質上相當於算出購物車內各種商品的總平均價格。只要購物車內有許多商品的價格有所變動，我們就能大略得知現在的美元（或者是歐元、日圓、台幣）跟以前比起來變薄了多少。汽油的價格可能在幾個月內大幅上揚，電腦的價格可能會在幾年後逐漸下滑，因此被選進購物車內的一籃子商品，必須能夠代表：消費力如何隨時間變化的相對穩定指標。

既然消費者物價指數是計算通貨膨脹的關鍵數據，取得正確資訊的重要性不言可喻，只可惜這並不是一件簡單的工作。比方說，到底哪些商品該挑進購物車內？生活型態不同的人，通常花錢的項目也會有所不同：在紐約州鄉下養育小孩的家庭需要購買的商品（像是冬天的外套跟暖爐燃油），大概不會跟住在南加州的單身漢一樣（少不了衝浪板吧）；愛荷華州的農夫跟西維吉尼亞州的煤礦工，應該也會有

不同的需求和偏好。光靠一籃子的標準商品，要反應各種不同生活型態的所有變數，實在有些天方夜譚，因此美國負責計算消費者物價指數的勞工統計局，通常會依照產業不同、居住地區不同等差異性，提供許多不同種類的物價指數。

### 消費者物價指數的毛病

人各有所好的現象，還隱含另一個更棘手的問題。如果我們購買的商品會隨每個家庭的狀況、所居住的地區等因素而有所差異，這種偏好當然也有可能隨時間流逝而改變。

時間因素的偏好可大可小，1950年距離行動電話、個人電腦問世的時間點還很遠，當時能夠進入大學就讀的人比較少，能夠全家搭飛機出遊的例子也不多，如果用當年的一籃子標準商品搭配現今的商品價格，得到的結果大概不太能夠代表我們現在真正生活水準的開銷。

就算改用比較短的時間尺度，來觀察一個人的消費模式，也一樣會碰到相同的問題。譬如，大學剛畢業的社會新鮮人所需要的一籃子標準商品，跟幾年後有穩定工作、論及婚嫁的需求會不一樣；等再過幾年、家裡有小孩之後，一籃子標準商品的內容又會不一樣。想要綜合不同的文化差異、出身背景和科技進展，以取得一個簡單的通貨膨脹或是生活水準開銷的變化數據，似乎是不可能的。這也正是指數問題最難克服的障礙：如何跨越不同時間，比較生活型態不同的人會有什麼不一樣的價值取向？

消費者物價指數是一個不甚理想的工具，幾乎所有經濟學界的人都同意，應當要找到能補強它的方法。更何況消費者物價指數是計算通貨膨脹的關鍵，會連帶影響所有的預算編列，當然會對政策制定有舉足輕重的影響。美國差別稅率的門檻，就與政府公告的通貨膨脹率有關，政府雇員的薪資調幅、社會保險的開銷也都會受到通貨膨脹的影響。上述計量數字，每一年都要根據前一年度的通貨膨脹率重新計算，根據生活開銷水準的變動做出修正。

美國參議院在1995年6月，成立專門研究消費者物價指數的諮詢委員會。為了紀念曾經擔任過諮詢委員會召集人的史丹福經濟系教授波斯金（Michael Boskin），該委員會通常也叫做波斯金委員會。之後另一位在參議院擔任金融委員會召集人、沒多久就因為性醜聞案而狼狽辭職的參議員派克伍德（Bob Packwood），一時心血來潮，要求波斯金委員會提出更好的辦法計算消費者物價指數，再進一步算出美國的通貨膨脹率。

波斯金委員會這項任務對馬蘭尼和韋恩斯坦來說，猶如天上掉下來的禮物。參議員指派的任務正是他們兩人研究的主題，可以利用他們的專長解決問題，讓他們兩人立即擁有大展長才的機會；而且影響層面不只是在經濟學的領域而已，只要波斯金委員會有任何進展，派克伍德都打算立刻採用，所以馬蘭尼和韋恩斯坦的研究成果也有可能對公共政策帶來不少影響。此外，其中一位受指派的委員會成員喬根森（Dale Jorgenson），也是來自哈佛大學經濟系的教授，這或許可以為馬蘭尼和韋恩斯坦兩人帶來一些幫助。

### 時間拉回外勒與愛因斯坦的年代

時間拉回到1913年，年方二十七歲的外勒（Hermann Weyl, 1885-1955）得到蘇黎世聯邦理工學院（正是索耐特目前任教的大學）數學系的聘書，讓剛從哥廷根大學畢業的他，動身前往瑞士蘇黎世就任。哥廷根大學在1920年代初期，是引領世界數學研究的一所德國大學，外勒的指導教授是當時公認最具有影響力的數學家希爾伯特（David Hilbert, 1862-1943）。身為希爾伯特學生的外勒，也就形同置身於數學世界的中心一樣。

蘇黎世可就不是這麼一回事了。蘇黎世聯邦理工學院雖然具有不錯的名聲，但是學校發展的歷史還很短，1911年才從以往注重工程的師範學校背景，改制成理工大學，開始招收研究生。同城市的另一所

蘇黎世大學雖然是瑞士規模最大的大學，但是也完全無法跟哥廷根大學相提並論。

蘇黎世聯邦理工學院除了聘任外勒，也招募了其他新血。學校改制之後，也得為物理系增聘師資，其中一位耀眼的年輕物理學家，就是曾經就讀該校大學部的校友愛因斯坦。從蘇黎世聯邦理工學院畢業後，愛因斯坦前往蘇黎世大學繼續深造，於1905年取得博士學位。不可思議的是，愛因斯坦也是在同一年，一口氣發表了五篇論文，其中有三篇堪稱震古鑠今：第一篇提出光電效應的理論，這項成就讓愛因斯坦獲得1921年的諾貝爾物理獎；第二篇是詮釋布朗運動的數學論文（搶在愛因斯坦之前發表相似論點的，當然就是巴楔利耶了）；第三篇是影響深遠的狹義相對論，包括著名的能量公式 $E=mc^2$ 。

不過，若干年前愛因斯坦剛從蘇黎世大學畢業時，尚未綻放光芒，他也只能在一百五十公里以外的伯恩，找到一份專利審查員的工作，再加上偶爾在伯恩當地大學兼兼課而已。

物理學界後來逐漸了解，愛因斯坦在1905年發表的論文有多重要，讓他開始累積一定的聲望。布拉格的德文查理大學在1911年聘請愛因斯坦前往任教，隔年輪到愛因斯坦的母校出手挖角。再回到蘇黎世聯邦理工學院的愛因斯坦，已經是物理學界耀眼的新星了。他的聲望在短短幾年內迅速暴增，當然待在蘇黎世的時間也不會太長；1914年他獲任命為威廉皇帝研究院的物理所所長後，便動身前往柏林了。不過跟外勒共事的這段期間，已經足以改變外勒之後的研究生涯。

外勒一開始只完全陶醉在數學的世界裡，之後迷上了愛因斯坦的相對論，尤其是他們兩人一起討論的過程，也讓愛因斯坦了解到，在相對論中引用高階現代幾何的重要性。

廣義相對論的基本觀念涉及物質（譬如汽車、凡人、星星之類的尋常物體）如何改變時空的幾何性質，造成彎曲的時空，而彎曲時空的幾何性質又會回過頭決定物體運動的方式。大質量天體穿越彎曲時

空的運動方式，就是我們平常所定義的重力，也就是讓我們可以穩穩站在地球表面、讓地球維持橢圓形軌道繞行太陽的物理現象。廣義相對論的概念跟古早的牛頓重力理論大不相同；在牛頓的重力理論中，時空是靜態的，本質上跟散布其中的物質無關，也無須解釋萬有引力究竟如何在相隔兩地的物體之間發揮作用。

### 體驗彎曲的空間

在愛因斯坦的廣義相對論中，是用曲率（curvature）的觀念來解釋時空的彎曲。物理學家或數學家提到的「彎曲」，跟一般人所想到的意思相同，一張桌面、一張白紙是平的，一顆籃球、一筒紙巾卷是彎曲的。

不過從數學的觀點來看，籃球跟桌面的差別當然不在於籃球會滾而桌面不會，也不是因為站在桌面比站在籃球上簡單。如果要用數學語言描述曲率的特性的話，那就是：當你在某個表面移動的同時，還要維持指向相同方向的困難度有多高。如果某個物體是平的，完成這個動作將會輕而易舉，如果做不到的話，就表示該物體是彎曲的。

不得不承認這種說法怪怪的，不過若用實際上的操作，了解這個說法並不困難。首先想像你站在紐約曼哈頓的人行道上，當地的街道大致呈現棋盤式規劃。接下來，你打算以順時針方式繞行某個街廓，一邊繞還要一邊維持面向同一個方向的姿勢，比方說，面向北邊的布朗克斯好了。一開始你可以朝上城區大步向前，走到街角後，改朝右手邊移動，也就是往東邊走。不過轉過街角的你不能轉身，這樣才能一直維持原本面向北邊的姿勢，所以現在你得用橫移的方式沿著街道走。到了下一個街角，就該往南邊前進了，不過依照規定，這回你得用倒退的方式走。如果順時針繞行的過程你都依照規定沒有轉身，等走回出發點的時候，你就會發現自己面北的方向始終沒有改變過。

沒什麼好驚訝的吧，因為你本來就沒轉過身，所以你怎麼可能不會面向同一個方向呢？

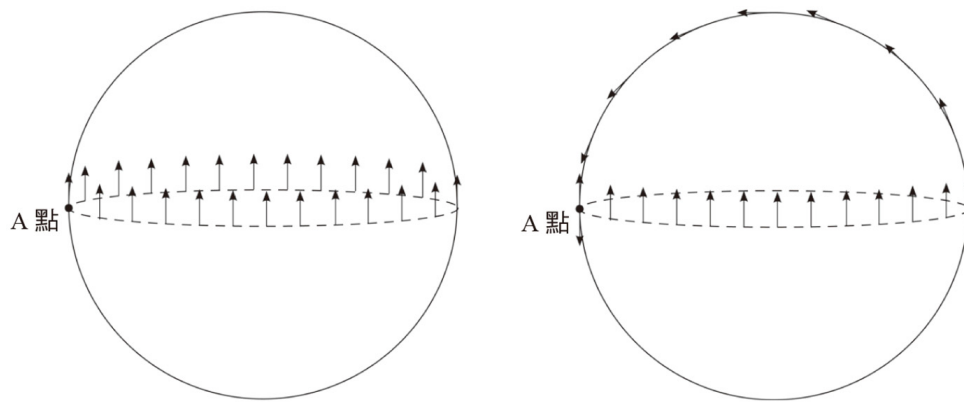
現在，讓我們想像另一趟比較長的旅程，這次要繞行的不是街廓，而是要繞地球一圈，同時想像你還是要維持面向同一個方向的姿勢，就繼續請你面向北邊好了。從紐約開始出發，以面向北邊的姿勢繞地球一圈，第一步要往東跨過大西洋，直到抵達歐洲為止。經過法國後，還要繼續維持這種螃蟹走路的姿勢進入亞洲，這樣才符合維持面向北邊的規定。橫著走一段很長的時間後（應該也不會是什麼輕鬆的旅程），你終於抵達太平洋了。跨過太平洋之後會到加州，然後再一路回到紐約。只要你在這段過程中都沒有轉身，你應該會一直面向北邊，沒有改變過。

現在用相同的規定換一條路線走，而且起點跟終點一樣都是紐約。跨出的第一步同樣是往東，等你抵達哈薩克之後，就不再往中國前進，而是直直往北邊，走向俄羅斯（終於可以大步向前了）。接下來一路往北進入北極圈，抵達北極之後，你會發現紐約就在正前方——要記住千萬不要轉身，才符合規定。所以你面朝相同的方向，進入加拿大北方，一路沿著哈德遜河走回紐約。不過這次當你回到起點的時候，你會發現自己居然是面向南邊！

怎麼回事？這段旅程遵守規定的你，並沒有轉過身，可是到最後回到出發點的你，居然面向跟出發時完全相反的方向，也跟前次繞地球一圈後的結果完全相反。

第二次繞行地球面向相反方向的結果，說明地球表面是彎曲的（請參閱圖五），而紐約的街廓則是平的（如果忽略誤差不計的話——既然城市的街廓附著在地球表面，當然也會是彎曲的，只是我們在短距離內不會感受到曲率的影響）。





圖五：如果在彎曲的表面移動圖中的箭頭，同時緊盯箭頭，讓它永遠指向某個方向。箭頭經移動後會指向哪個方向，跟所選擇的路徑有關，數學家稱這種彎曲表面的特質為「受路徑影響的平行位移」。

圖中有兩條不同繞行球體的路徑：第一條路徑從A點出發，沿著赤道線移動，再回到A點，沿這條路徑移動的箭頭，最後指向的方向跟出發時一模一樣。第二條路徑一樣從A點出發，不過只繞半個球體，接著直接從另一端往上移動，經過北極端再回到A點；在走完這條路徑後，箭頭所指的方向恰恰跟出發時完全相反。外勒根據這個原理，認為有可能建構一套物理理論，證明不只箭頭方向會路徑相依，甚至就連箭頭長度也是路徑相依。現實生活當然跟外勒的理論世界不一樣，但是自從外勒率先提出這個想法（他稱為「規範理論」）之後，很多物理學家跟數學家都運用外勒的理論和數學工具，去解答其他各式各樣的問題，也獲致不少成果。

假設你想像一隻螞蟻要在餐桌面上嘗試相同的實驗，你發現牠不論怎麼走，都會面向相同的方向，這就是數學家據以認定某個表面、某個外型是平的定義：呈現「不受路徑影響的平行位移」（所謂平行位移，意指在移動過程中維持面向相同方向的要求）。相反的，能否在彎曲的表面維持相同的指向「會受到路徑的影響」（path dependence，路徑相依），不同的路徑最後的結果可能都不相同。

如果你不是數學家，大概會對路徑相依與曲率的關連感到陌生，不過路徑相依的基本概念卻唾手可得，日常生活中多的是路徑相依或是與路徑無關的例子。例如開車去店裡買牛奶回家，買多少瓶牛奶跟路徑無關，不論你沿哪條路開車回家，都不會造成影響；但是油箱裡面會剩多少汽油，就是路徑相依的例子，因為直接開車回家通常會比開車繞遠路看風景，省下多一點的汽油。會受路徑影響的平行位移，

只是諸多路徑相依的其中一個例子，顯示有些時候、有些事不但會受起點、終點的位置影響，也會受到移動過程走哪條路的影響。

## 規範理論登場

愛因斯坦的廣義相對論認定時空是彎曲的，所以採取平行位移會受路徑影響的觀點，不過外勒認為這個說法還不夠大膽。在廣義相對論中，從某地開始沿著某條路徑移動箭頭、再回到原點後，箭頭所指的方向可能會不一樣，但是箭頭的長度不會改變。外勒認為這個看法太過武斷而且欠缺物理意義，所以提出另一套理論，認為箭頭的長度也會受路徑影響，也就是：在能走回到原點的兩條封閉路徑移動一把尺的話，這把尺回到原點後的長度可能也會不一樣，端視移動過程所走的路徑而定。

外勒把這個新的想法稱做**規範理論**。這個詞彙前所未見，基本概念建立在世界上並沒有普適的、一以貫之的方式，來「規範」

（gauge）或測量一把尺的長度。假設你跟鄰居一大早從同一條車道開車出來，如果你們開的是同一款車子，上班地點也一樣，抵達公司停車場後，你等鄰居也來到後，正準備一起走進辦公室。這時有同事問你，哪一輛車開到辦公室比較省油時，你該怎麼回答他？你可能會先瞄一眼自己車上的油量表（oil gauge），看到上面顯示油箱還是接近滿的，然後問鄰居他的油箱還剩多少汽油，經比較後，就告訴同事答案。

不過單憑這樣的資訊，其實是不能回答同事的問題的。因為光是你跟鄰居開車去公司的路徑一不一樣，就會有不同影響：或許你直接往公司開去，你的鄰居卻在逛大街；或許你的鄰居走快速道路，而你在平面道路上走走停停。無論你們屬於上述哪種情況，在你們抵達辦公室後，車子油箱還剩多少油、哪一輛車比較省油之類的問題，一定跟開車上班的路徑有關，所以要在路徑相依的情況下比較數量，當然無法用直觀的方式回答。

這個概念就跟外勒的規範理論所謂「沒有普適的方式，可用來規範或測量一把尺的長度」類似，因為我們沒有「與路徑無關的方式」可以比較分處兩地的尺哪把長、哪把短。不過外勒認為這是可以解決的問題：如果想要比較芝加哥、哥本哈根，甚至是在火星上三把尺的長度，只要把這三把尺都搬到同一個地方，就可以在相同的基準上逐一比較。這個方法雖然還是會有路徑相依的問題，不過只要我們能算出尺的長度在移動過程中產生多少變化，就能夠加以解決。

外勒知道規範理論需要克服的問題，是找出一個可以互相比較長度的數學標準——相當於從基準點出發，「連結」其他不同位置的辦法，如此一來就算尺的長度會受到路徑影響，我們還是有辦法排除外在干擾因素，加以比較。外勒在數學上的貢獻是找出方法，將兩個無法比較的數量搬到共同標準上，直接針對兩者的特性（以尺為例的話，該特性就是長度）進行比較。

外勒的理論不算成功，愛因斯坦很快看出規範理論的說法跟許多知名的實驗結果不一致，因此規範理論沒多久就被掃進科學史的灰燼中。不過，外勒關於「規範」的基本觀念，亦即「要比較兩個物理量是否相同，首先要能找到一個足以解決路徑相依問題的比較基準」，卻比規範理論本身發揮了更大的效用。

規範理論直到1950年代，才又透過布魯克哈芬國家實驗室（Brookhaven National Laboratory）另兩位年輕研究員之手，再次活躍。這兩位物理學家就是楊振寧（1957年與李政道共同獲得諾貝爾物理獎）和米爾斯（Robert Mills, 1927-1999）。他們聯手把外勒的理論再往前推一步：如果有可能針對長度的量測，建立一個路徑相依的理論，是否也有可能針對其他物理量，建立路徑相依的理論？楊振寧和米爾斯認為這種做法行得通，因此聯手用廣義的架構，提出超越外勒想像、更複雜的規範理論。

現在我們用**楊—米爾斯理論**（Yang-Mills theory），統稱楊振寧和米爾斯改良過的規範理論，影響深遠到有時候物理學家會用「規範革命」的角度視之，因為很多基本物理學從1961年開始，依照規範理論的想法重新改寫——這個過程促成楊振寧在1960年代過後，和西蒙斯一起合作，找出楊—米爾斯理論與現代幾何之間的連結。

由於規範理論能夠用一致標準，探討不同物理理論裡的量化差異，很自然能提供各種物理理論「一統」的基礎，因此在物理學上扮演相當重要的角色。1973年更發展到將粒子物理的三大基本作用力——電磁力、弱核力和強核力，一統在規範理論形式的單一架構下，成為粒子物理的標準模型（Standard Model），直到今天都還是所有物理學領域中，唯一最禁得起驗證的理論，可說是近代物理的最核心理論。

### 馬蘭尼前途未卜

學術界的工作，尤其是人人嚮往的專任終身職教授職位，需要依照固定的時程提出申請。每年夏天快結束的時候，即將完成博士論文的研究生，必須選定下一學年要應徵的職缺；如果此時博士生跟指導教授認為，博士論文的完成度已經夠高了，該博士生就可以開始準備相關的申請文件，包括就學單位所提供的推薦信、博士論文中的成果摘要，以及該博士生從事研究的志向評估報告等。

進入秋天後，需要增聘師資的系所，會開始發布職缺公告，通常會明訂11月底截止申請。如果夠幸運的話，提出申請的博士生可獲得機會前往應徵單位進行面試；如果面試過程相談甚歡，接下來就能受邀一覽應徵單位的校內環境，並開始深入討論博士論文的內容。很多學術單位把討論博士論文的步驟稱為「惦惦看有幾兩重」（going on the market），用來形容初試啼聲的求職者，倒是相當貼切的用語。這是個充滿壓力的過程，一試定江山，沒有任何其他事務能夠相提並論。能否成功在交談中展現自己的學術實力，會直接影響自己將來的職場生涯如何發展。

應徵者的研究經歷跟博士論文品質，是能否獲得學術工作的關鍵因素。不過在所有考量因素中，最重要的其實是原就學單位附上推薦信的肯定強度。如果有一位知名、備受推崇的教授，願意出面替應徵者研究工作的品質與重要性背書，求職結果可能會變得完全不一樣。

哈佛大學經濟系每一年都會邀集全系教授，開會討論當年度畢業的博士生中，誰有資格獲得該校經濟系所教授一致肯定的推薦。他們在會議中逐一檢視每位博士候選人，由指導教授向其他人說明該生的研究實力與未來展望。由於這是一場閉門會議，所以只有與會的經濟系教授，才知道開會過程發生了哪些事；不過會議結束之後，總是有幾位博士候選人可以嗅到不尋常的氣味，知道自己前往求職單位面試時，可以得到哈佛經濟系高規格的背書。其他人可就沒有這項優勢了。

馬蘭尼研究主題的重要性無庸置疑，再加上指導教授的強力支持，讓她覺得自己的求職過程應該會相當順遂，無往不利。不過在10月的哈佛經濟系閉門會議過後，馬蘭尼跟指導教授麥斯金討論未來的就業選項時，她已經得知閉門會議對她的評價。情勢看起來似乎不大妙了。

麥斯金在閉門會議中，試圖說服其他教授認同馬蘭尼的研究主題，然而並非每位與會人士都願意買帳，其中一位更是明顯持保留態度：喬根森，哈佛經濟系參與波斯金委員會的兩位代表之一，同時也是研究指數問題的專家。馬蘭尼的研究主題恰好是波斯金委員會想要取得突破的領域，馬蘭尼也已經用相當精妙的數理模型，針對問題提出解決辦法，因此當初在得知喬根森受指派參與波斯金委員會後，馬蘭尼就想盡辦法拜會喬根森。馬蘭尼用興奮的語氣說明自己的研究計畫，告訴喬根森如何運用規範理論來處理這個重要的課題，結果喬根森不留情面的回給她一句：「鬼扯！」隨後就把馬蘭尼轟出辦公室了。

馬蘭尼當下相當氣餒，不過她沒有因此放棄；可是初次拜會喬根森就讓對方留下不好的印象，接下來該怎麼辦呢？所幸麥斯金相當欣賞她的想法，願意擔任她的指導教授。

時間自會證明，馬蘭尼的研究成果將來一定會慢慢浮現出價值；可是在馬蘭尼畢業之際、開始求職的時候，她未來的前景卻變得十分模糊。喬根森在哈佛經濟系閉門會議貶抑馬蘭尼博士論文的理由，要等到幾個月後波斯金委員會對外公告研究成果時，才會逐漸明朗。

### 韋恩斯坦研究寇斯定理

馬蘭尼花了好幾年的時間，才說服韋恩斯坦把經濟學當成一回事。她之前試過各種方法：告訴他知名經濟學家的故事，替他說明這些經濟學家最重要的理論，描述重要的實驗成果。不過，韋恩斯坦並沒有那麼容易被說服，他始終相信經濟學的數學太簡單，討論的課題太複雜了，所以是一門不值得投入、半吊子的學科。就在馬蘭尼快要放棄說服韋恩斯坦的時候，她端出了最後的壓箱法寶：她向韋恩斯坦出了一道難題，這道難題的解答相當於經濟學非常經典的**寇斯定理**（Coase theorem）。

寇斯（Ronald Coase, 1910-2013，諾貝爾經濟學獎1991年得主）是一位英國的經濟學家，不過卻在美國芝加哥大學度過大部分的職場生涯，畢生投入**社會成本**（social cost）的研究課題。

社會成本是什麼呢？假定你是某個農村的村長，有兩位農夫請你替他們之間無止境的爭端做出仲裁，其中一位是飼養牛群的酪農，另一位是與酪農比鄰而居、專門種植大豆的農夫。酪農的牛群是爭議的核心，因為牠們習慣走進另一位農夫的大豆田裡破壞莊稼；最近這起事件愈演愈烈，因為倒楣的農夫得知酪農打算再擴大規模、多養幾頭牛，結果勢必讓莊稼的損失更為惡化。請問村長該如何處理這起爭議？

寇斯在思考這類社會成本問題的解決之道時，得到一個讓人拍案叫絕的結論。寇斯說，就長期而言，只要符合以下三個條件：第一、任何一方受到的損失一定可以適當量化，第二、雙方的財產權必須毫無爭議的釐定清楚，第三、雙方進行協調時不用付出代價；那麼，無論村長做出什麼仲裁，都無關緊要。

怎麼說呢？假設村長宣告：酪農有權利隨他高興要養幾頭牛就養幾頭，但酪農必須為牛隻對鄰居造成的所有損害做出賠償。這個裁決形同增加酪農飼養牛隻的額外成本，既然要賠償牛隻造成的損害，酪農就好像是付錢給鄰居收購遭破壞的莊稼，才能多養幾頭牛；如果酪農真的如實支付賠償金，隔壁的農夫就沒必要區分收入是來自於自己到市場販賣大豆的所得，或者是直接來自酪農支付的賠償——甚至可以把酪農當成一位無論莊稼被破壞得多慘，都願意付錢收購的客戶。如此一來，這兩位農夫一定會達成究竟該養多少頭牛的共識，同時讓雙方的獲利都達到極大化。

如果村長做出不同裁決呢？即便是宣告種大豆的農夫要付錢給酪農，請他看管好牛隻的活動範圍，使得自己的大豆收成無虞；不難想見雙方會接著展開類似的協商，看怎樣做才會互蒙其利。寇斯定理指出，不論從哪個立場出發，最終的協商成果都一樣：雙方最終達成的共識，都會讓彼此的獲利極大化。

馬蘭尼這個問題，讓韋恩斯坦研究得相當投入，他先做出一些簡單的數學假設（這跟寇斯做過的一樣），然後很快得到答案（還是跟寇斯想到的答案一樣）。兩者相似度之高，讓韋恩斯坦感到不可思議，起碼這次經濟學裡的簡單數學真的派得上用場，而且算出來的結果雖然非常違反直覺，卻有極高的價值。感覺起來，就像在物理學研究中使用數學那般親切，都是透過簡化的假設，套入數理模型，深入別人覺得棘手的問題核心，尋求解答。更重要的是，如果有人在韋恩斯坦親自計算過寇斯定理之前，向他提到這個概念的話，他一定會認



為這個答案根本是以政治考量做為著眼點，用簡單數學帶給人嚴謹的印象做掩護，倡導政府應減少干預的意識型態；現在韋恩斯坦發現事情的背後，似乎大有文章。

### 借用規範理論解決指數問題

馬蘭尼成功挑起韋恩斯坦對經濟學的興趣，讓他開始尋找其他引用數理模型獲致有違直覺的經濟分析案例。韋恩斯坦的收穫不少，布雷克—休斯模型就是其中一個例子，使用極為精緻的數理模型徹底解決選擇權該如何設計、如何交易的問題。

另一個例子是**社會選擇理論**（social choice theory）中，非常著名的**亞羅不可能定理**（Arrow's impossibility theorem），其基本論點是：一群人如果想從三、四個選項中挑出一項，則沒有任何一種投票機制可以讓群體的偏好排序，完全符合其中每個人的偏好排序。

韋恩斯坦知道自己以往對經濟學的批評並不公允，他現在相信用數學理解經濟問題，是頗有生產力的思考方式。這個發現讓他如獲至寶，因為這代表有數學才華、有物理學背景的他，有機會推動經濟學更往前進，所以他不再探索其他數學已經帶給經濟學正向影響的例子，開始和馬蘭尼一起尋找其他沒有建立數理模型的經濟課題——如果要保守一點的話，那就是找出數學基礎還不穩固的例子。他們兩人後來發現，指數問題是個切入點，用來計算消費者物價指數的數學，簡單到讓人無法置信，卻要用這個數字涵蓋消費者對金錢採取什麼價值觀的高難度問題。這真是馬蘭尼和韋恩斯坦絕佳的立基點。

就觀念上來說，外勒的創新在於找出一套數學理論，去衡量無法用其他方式比較的量化資料。外勒的規範理論中，無法比較的量化資料是所處位置不同的尺到底有多長，他的做法是把這些尺都移到同一個位置，在相同基礎上逐一比較每把尺孰長孰短。

如果把重心移到指數問題上，主要任務一樣牽涉到不同事物間的差異，特別是難以比較的量化資料。兩個金錢價值觀不同的人，要如

何相互比較？更何況他們兩人生活型態完全不同的話？在1950年看似合理的一籃子標準商品，會跟1970年合理的一籃子標準商品相同嗎？能跟2010年的一籃子標準商品相比較嗎？

馬蘭尼和韋恩斯坦一開始也認為這些問題基本上無解，不過在外勒跟後繼者所建立的數學基礎上，至少有一個解決辦法漸漸浮現。現在，馬蘭尼和韋恩斯坦需要完成的是找出兩種人，比方說1950年的伐木工人和1995年的電腦工程師，把他們放在相同的環境中，直接比較他們的偏好與價值觀的差異。這個想法的確有些詭異，因為光是要讓伐木工人和電腦工程師直接對話，就已經很罕見了；不過在外勒數學理論的世界中，這反而是再平常不過的事情。馬蘭尼和韋恩斯坦認為要解決指數問題的話，經濟學就必須借用規範理論的概念。

### 從物理學，跨到經濟學

2005年底的某一天，施莫林（Lee Smolin, 1945-）收到一封不尋常的電子郵件，看起來似乎跟經濟學有關。施莫林是一位物理學家，對經濟學一無所知，會收到這封信有點出乎他意料之外。施莫林過去的研究領域，一直都是很先進的**量子重力**（quantum gravity），主要是設法把二十世紀早期物理學界兩項革命性、影響深遠的創新理論——以原子、電子等微觀的物理系統為研究主題的量子力學，還有愛因斯坦詮釋超大物體如行星、銀河系的重力理論，給結合在一起，建立條理一貫的理論架構。這些研究工作跟經濟學一點關係也沒有，至少施莫林在心目中如此認定。

收到電子郵件的前幾個月，施莫林在著名的物理學雜誌《今日物理》發表一篇文章。《今日物理》旨在向物理學家說明當前物理學的最新進展；畢竟每位專家的專長都不一樣，隔行如隔山。施莫林試圖在文章中說明，量子重力的領域為何出不了一位愛因斯坦等級的研究者，還沒有哪一位學者可以跳脫既有框架、成功提出革命性觀點。這篇文章同時也是施莫林新書《物理學的困惑》中的序文，施莫林在文

章和新書中都提到物理學，更精確的用字是量子重力，正在遭受嚴重的社會問題。有一群物理學家專注於弦理論的發展，想要結合量子物理跟重力物理，以解決量子重力裡的基本課題。由於這種研究角度主導了量子重力的領域，當這些弦理論專家所屬物理系所想要聘用新的師資，或是要分配研究經費的時候，他們往往優先考慮同樣專精於弦理論的學者，排擠其他採用不同角度研究量子重力的專家。

這篇刊在《今日物理》的文章，促發這封意外的來信，寄件人是一位對沖基金經理人，同時也在曼哈頓擔任財務顧問，他就是韋恩斯坦。基於自己分別待過哈佛與麻省理工學院從事物理數學研究的經歷，韋恩斯坦不但認同施莫林對物理學界的評斷，同時還想指出另一個更嚴重的問題：學術界的生態環境會扭曲研究進展，其實是很多學門的普遍現象。韋恩斯坦認為，物理學界的社會問題根本就是小兒科，這類問題在經濟學的領域更是嚴重。

施莫林想要多了解一些韋恩斯坦的想法，遂邀請韋恩斯坦造訪自己的工作所在地，位於加拿大安大略省滑鐵盧的「理論物理周邊研究所」（Perimeter Institute for Theoretical Physics）。理論物理周邊研究所是拉札里迪斯（Mike Lazaridis）在1999年出資成立的研究機構，拉札里迪斯另一個身分是開發黑莓機的行動研究公司（Research in Motion）的創辦人。

孕育基本物理的研究工作，是理論物理周邊研究所的宗旨，素以開放性對話討論基本問題的做法而聞名，這種組織文化很大一部分要歸功於施莫林在研究所創建初期所發揮的影響力。就某種意義上來說，理論物理周邊研究所存在的目的，就是為了解決施莫林在文章和新書中所提到的社會問題。對於韋恩斯坦這種以物理學背景為出發點，試圖用新視角處理經濟理論的人來說，理論物理周邊研究所是一個相當理想的工作場所。

## 經濟學界的曼哈頓計畫

韋恩斯坦在2006年5月造訪理論物理周邊研究所，以自己和馬蘭尼過去幾年的研究成果為基礎，發表一場強調用規範理論建立新經濟理論有多麼重要的演說。雖然施莫林跟其他研究所工作人員都認為韋恩斯坦的演說相當有說服力，但是最終似乎沒有產生足夠的迴響，畢竟理論物理周邊研究所並不是真正需要被說服的一群人。

倒是韋恩斯坦之後跟施莫林開始密切的聯繫。施莫林後來也到紐約拜會韋恩斯坦，和馬蘭尼與他們兩人的小孩見了面。施莫林開始研究一些基本的經濟問題，想要更深入了解韋恩斯坦所描述的課題；跟韋恩斯坦在一起的時間愈久，施莫林對經濟學就愈感興趣。在施莫林的眼中，韋恩斯坦不但聰明又具有創造力，涉獵領域之廣，少有人能及；他們兩人的對話內容往往會延伸到各種不同的領域，像是演化生物學與天擇、當代數學、或者是十九世紀的物理學。

施莫林也在這段期間，開始跟其他想把物理學觀念引進經濟領域的研究人員往來，包括微軟第一任財務長、那斯達克管理委員會前主席布朗（Michael Brown），在美國證券交易委員會服務、深具影響力的會計學教授龐洛絲（Zoe-Vonna Palmrose），以及在法默和派卡德創辦預測公司之前、和他們一起在聖塔菲研究院從事複雜系統研究工作的考夫曼（Stuart Kauffman）等人。

韋恩斯坦在2008年9月，第二次前往加拿大的理論物理周邊研究所，參加一場探討二十一世紀科學發展的研討會，會議主題聚焦在研究經費來源的改變、研究成果的新傳播方式如部落格與線上論壇，再加上應可在哪些研究領域執行新想法，以及如何讓理論物理周邊研究所、聖塔菲研究院這類機構成為傳統大學以外的學習與研究重鎮。

不過韋恩斯坦在那個9月，完全沒把心思放在未來的科學進展。就在第二次去理論物理周邊研究所發表演說後一星期，全美國第四大的投資銀行雷曼兄弟，在營運一個半世紀後宣告倒閉。幾乎在同一時間，公開交易量排名全球前二十大的美國國際集團（AIG）也被調降債

信評等，要不是美國政府出面干預的話，或許AIG會因此淹沒在這場流動性危機裡。2008年9月上旬，全球經濟體系危如累卵，韋恩斯坦身為對沖基金經理人和財務顧問，自然會全神關注這場突如其來的財經大恐慌。據韋恩斯坦所知，沒有任何人能在事前預見這場金融海嘯的來襲。（我們知道索耐特除外，不過他並沒有把示警內容公開昭告天下。）

韋恩斯坦認為，美國金融體系被金融海嘯打得措手不及、遭逢戲劇化災難性的失敗，只是更加證明該是為發展現代經濟跨出下一步的時候了，是時候反省到底出了什麼問題，才會產生當時人人避之唯恐不及的不良證券。就好像上一代物理學家曾經努力過的，經濟學家或許也需要新的研究工具，才能繼續往前進。經濟學家需要擴充自己的理論基礎，把更多種變化無常的現象納入考量，經濟學也需要增加新一代的理論與模型，才能具體詮釋現代社會的複雜性。

韋恩斯坦將這場危機視為：把過去經濟、財務各種不同研究方式去蕪存菁的大好機會。他想結合經濟學家、物理學家和其他領域的研究人員，共同發起一場大規模的合作計畫，如果成功的話，按照韋恩斯坦的說法，這會是經濟學界的曼哈頓計畫。

### 如何彌補社會安全制度的財務缺口？

「社會安全制度」技術上相當於美國聯邦政府提供給老年人、戰場傷兵、殘障人士的保險制度，是小羅斯福總統為了終結經濟大蕭條所推出新政的其中一部分，自1935年起立法生效。社會安全制度帶有刺激民眾消費的效果，通常也被看成是美國的社會福利體系，因為聯邦政府可以依法提供救濟經費，給年長者、失去雙親的未成年兒童以及失去工作能力的成年人。這個制度採用跟其他投保方案一樣的自給自足設計理念，一方面向就業人口強制徵收稅金，另一方面用這筆款項支應社會安全制度的開銷。

這是一項高度爭議的政策，一推出就成為最高法院多次的訴訟重點（反對該政策的力量最終失敗了），只是隨著推行的時間愈來愈久，下一代美國人的勞動付出開始對計畫款項有所挹注，大多數美國人也樂得把社會安全制度當成退休或是傷殘給付的制度看待。進入1960年代後，社會安全制度已經成為美國人生活的一部分，即將退休的勞工多半把社會安全制度當成應得的退休津貼。可是隨著美國走進高通膨、低經濟成長率的1970年代之後，社會安全制度已成為難以解決的政治問題。不論是政治人物或經濟學家都知道，社會安全制度再經過幾十年、等到史上最大一批嬰兒潮世代屆齡退休的時候（其實也就是這批人開始意識到問題的嚴重性），提供退休津貼的支出，將迅速榨乾社會安全制度可取得的經費來源，宣告破產。

更困難的問題出在因應措施非常有限，政治人物一提醒社會安全制度的問題，就會像捅到馬蜂窩一樣，形同政治自殺。解決問題的兩個做法，不外乎減少津貼、以及調高強制稅率，兩者同樣非常不受到歡迎。社會安全制度已經成為政治上投鼠忌器的兩難問題，直到參議院金融委員會兩位要角莫伊尼漢（Daniel Patrick Moynihan）和派克伍德在1990年代，才一起想出一條妙計：如果想要在神不知、鬼不覺的狀況處理高達一兆美元的財務缺口，最好的辦法就是調整一下貨幣的價值。

他們想到的辦法如下：未來支應社會安全制度的成本，要建立在預期的通貨膨脹上，會跟著消費者物價指數變動。莫伊尼漢和派克伍德認為，如果下修政府公告的通貨膨脹率，就等於把社會安全制度強制徵收的稅金相對提高，而讓執行政策的各種行政開銷相對下跌，綜合效果跟提高稅率、減少津貼是一樣意思。他們打算透過貨幣的實質購買力動手腳，以收避人耳目之效。

現在的癥結點就剩下：提出一套可行的論述，說明為什麼通貨膨脹率的計算基礎需要修訂。接下來，這就是波斯金委員會的工作了。



## 怎麼知道通貨膨脹率該下修1.1%？

想出這種偷天換日的做法，還真是不簡單。為了讓社會安全制度繼續運作下去，莫伊尼漢認為，大約有一兆美元的缺口需要填平，所以和派克伍德一致決定要將通貨膨脹率下修1.1%。

根據西北大學經濟學家、同時也是波斯金委員會五位成員之一的戈登（Robert Gordon）的筆記，喬根森這位讓馬蘭尼吃排頭的哈佛大學經濟學家，在委員會成立伊始，就向與會者表明要在十年內解決社會安全制度一兆美元的預算缺口，所以委員會要想辦法找到不得不的理由，下修通貨膨脹率。

隨後委員會分成兩組人馬，分別用不同方式去考量有哪些偏好和生活水準的變動，可以影響消費者物價指數。然後，戈登跟同組的另一位成員算出一個數字，喬根森、波斯金等另一組人馬算出另一個數字，之後當委員會兩組人馬互相比較研究成果後，就「莫名其妙的」（戈登直接使用somehow這個字眼）得到通貨膨脹率需要下修1.1%如此精確無比的建議。

波斯金委員會的結論，隨即引來各方批評。同樣根據戈登日後的記載，這項研究工作執行得很倉促又草率，他跟同組另一位成員直到委員會要向參議院報告前沒幾天，才完成計算。不論是物理學家還是數學家都認為，委員會「猶如在信封背面隨手寫些算式」，就算出通貨膨脹的調整幅度，看起來比非正式估計，也高明不到哪裡去。

委員會把報告提交給參議院之前，並沒有先經過同儕審查，兩組人馬不但沒有質疑對方的數字是怎麼算的，甚至也從沒驗算過己方的數字是怎麼算出來的——天曉得這些質疑的答案竟是那麼的難以啟齒！

波斯金委員會的建議，最後在美國退休者協會等單位的遊說下，大多數被棄為敝屣。大約五年後，美國國家科學院和勞工統計局重新探討該如何計算消費者物價指數的問題，採用了更嚴謹的學術標準，才算出更細緻、更讓人信服的結果。



馬蘭尼在波斯金委員會成立後沒多久，就帶著她跟韋恩斯坦解決指數問題的想法去見喬根森，就算喬根森同意他們兩人看待問題的想法夠深入，甚至認為他們提出不錯的解決方案，但是總免不了懷疑他們的研究成果會逼使波斯金委員會，不得不採取更嚴謹的數理新模型，讓委員會成員不能打馬虎眼、一定要算出更精確的數字才行。

為了遂行委員會當初成立的政治目標，最簡單的做法當然就是：直接把馬蘭尼和韋恩斯坦兩人攆出辦公室大門！

### 新曼哈頓計畫尚未成功

想要把規範理論或是其他物理學概念引進經濟領域，直到現在都還是非常困難的任務。韋恩斯坦想得沒錯，如果有人想要改變經濟學家看待世界的方式，同時改變經濟學界本身所處環境的話，2008年底確實是獨一無二的機會。金融海嘯不但震撼很多金融界、經濟學界的人，就連世界各地的一般社會大眾，也都被嚇到了，很多人原本以為自己了解的事情，現在已變得不再可靠。

其他領域，特別是來自物理學界和數學界的專家，則發現自己有機會提供一臂之力，協助遭受重擊的經濟學界度過難關。這些學者認為，金融海嘯過後應該重新檢視經濟學的原理與傳統研究方法，藉此機會建立現代新經濟學。這類想法觸動了許多人的心弦，包括施莫林和其他幾位在理論物理周邊研究所工作的物理學家。

之前經常利用空閒時間閱讀經濟學的施莫林，開始想到更進一步的可能。施莫林整理過去自己針對不同經濟課題所做的摘要筆記，包括他對馬蘭尼和韋恩斯坦企圖修正指數問題的看法，寫成一篇報導文章，發表在物理學家經常用來宣告新研究成果的線上資料庫。這篇文章發揮類似翻譯字典的功能，向其他經濟門外漢的物理學家解釋基本的經濟學概念，同時讓他們知道：物理學家早就相當嫻熟的想法，該如何運用到陌生的經濟學領域中。

另一方面，施莫林和韋恩斯坦開始籌畫，在理論物理周邊研究所舉行一場研討會，時間訂在2009年5月，主旨是邀請不同經濟學派的代表人物，一起和背景互異、非經濟主流的團體，共商如何藉由金融海嘯這場危機，推動經濟學再往前進。除了施莫林跟韋恩斯坦是當然的與會者外，包括法默與德爾曼兩人，也都成為研討會的座上嘉賓。受到邀請的主流經濟學家，包括紐約大學的魯比尼（Nouriel Roubini）、詹姆斯麥迪遜大學的羅瑟（Barkley Rosser）、哈佛大學的費里曼（Richard Freeman）和塔雷伯等人。一位知名的演化生物學家亞歷山卓（Richard Alexander）也應邀在研討會上說明，生物學和人類行為學能為經濟學提供哪些資訊。

施莫林和韋恩斯坦的計畫很簡單：找來一大群天才齊聚一堂，讓他們每個人清楚看見經濟學有哪些顯而易見的問題，並說服他們一起努力提出新的經濟學理論。換句話說，施莫林和韋恩斯坦把這場研討會，視為新曼哈頓計畫的啟動儀式。

研討會本身辦得很成功。這一群背景差異頗大的專家，包括物理學家、生物學家、經濟學家、財經專家等在研討會的對話，激盪出不少火花。可是當研討會閉幕之後，這些研究人員也就這樣分道揚鑣了。施莫林事後總結研討會成果，認為就連這一群想要合作改善經濟學的門外漢當中，也有不少頑固至極的人；雖然大家都同意經濟理論真的出了問題，但是就連要建立定義問題的共識都做不到，遑論要更進一步解決問題了，很多與會者（連同其他來自經濟、財務領域的評論者）甚至不認為有必要耗費精力改善經濟模型的精緻度和嚴謹度。

除了這些表層問題外，研究經費如何分配又是另一個大家沒有明說的問題：如果改善經濟學的計畫得到研究贊助經費，那麼參與其中的研究人員該如何分配這筆款項？這個考量讓很多與會者小心翼翼，避免提出大型的研究計畫，以免到時候為了分食大餅，鬧到不可開交。

因此，儘管研討會當初希望由跨領域專家組成一個新社群，採用共同的新方針處理經濟學的問題，最終還是失敗了。施莫林在幾個月後不再過問經濟學的課題，一心一意回歸物理學的老本行，如果工作之餘有幾分鐘空檔的話，他寧願多多關注氣候變遷的問題。施莫林認為經濟學已經不值得他費心研究了——並不是因為他對經濟學失去興趣，而是因為經濟學界似乎還沒打算對新思潮採取開放態度。韋恩斯坦說得沒錯：經濟學的社會問題比物理學的社會問題，嚴重超過十倍以上。

馬蘭尼和韋恩斯坦直到現在，還在努力擴充經濟理論的數學基礎；索耐特還在不斷研究他的預測工具；早已回到聖塔菲研究院的法默，致力於發展複雜系統與經濟模型之間的新連結。雖然有這幾位傑出人才繼續默默奉獻，但是世界經濟仍舊處於七零八落的狀態，尚未完全從2007、2008年嚴重失血的大崩潰中恢復元氣……我們有辦法讓全球經濟重拾光彩嗎？

## 結語

# 正確看待金融市場，就代表更多的獲利

文藝復興科技公司沒有忘記：

用物理學家的態度思考問題，懂得質疑模型的假設，  
不停尋找數理模型有何缺漏之處。

我在2008年秋天、金融海嘯四處肆虐的時候，開始構思本書內容。那時候離我完成博士論文的時間，大概還有八個月左右。經過幾星期的研究，我和指導教授討論初步獲得的成果，他的反應讓我大吃一惊：根據我援引前人使用物理學概念詮釋金融市場的例子，他同意我的觀察，也接受物理學與金融市場確實具有強烈連結的想法（我之後發現大多數物理學家都同意這一點），但是他並不認為這是一個值得深入的話題，因為就算金融市場再怎樣受物理學影響，我們還是不可能在華爾街進行科學研究。

指導教授的評語可以用以下的角度說明：科學研究並不等於知識本體，而是一種認識世界的方法，科學研究是不斷重複「發現、驗證、修正」的輪迴過程。我的指導教授主要是從社會學的觀點，判定華爾街不可能產生這個過程，因為投資銀行和對沖基金通常都會保持低調、維持神祕色彩；換句話說，這些機構很少大張旗鼓宣告任何新的發現，也不會比照科學界針對新的突破公開辯論。

當物理學家或生物學家有新的想法後，他會把研究心得投稿到專業的期刊，進入同儕審查的階段（所有新的科學觀念在正式付印之前，都得經過其他科學家的審查）；如果這篇論文過了這關，得以公開發表，接下來還會有更多科學界的專家在看到論文後，對論文內容品頭論足，所以科學界多的是各種禁不起檢驗的新觀點——要不是沒機會公開發表，要不就是被其他專家認為不值一哂。就算某些特別有用的想法受到科學界普遍認同，也絕對不會因此就當成是不可侵犯的聖

牛，反而會當成下一代理論模型的墊腳石，等著總有一天被取而代之。

所以，採用物理學家的思考方式，跟單純借用數理模型、物理理論的做法，是截然不同的兩回事，看待理論價值的態度更是天差地遠。

### 金融模型家的宣言

1980、1990年代曾經在高盛與布雷克共事過的物理學家德爾曼，在2009年初，和成立牛津大學財務計量專業課程的威墨特（Paul Wilmott）聯名發表了〈金融模型家的宣言〉（Financial Modelers' Manifesto），一方面捍衛以數理模型奠定思考經濟、財務問題基礎的立場，一方面批評「財務老師」居然反客為主，誤以為金融市場的行為必須符合數理模型的規範。

德爾曼和威墨特指出，「數理模型只是彰顯思考內涵的底層工具」而已，從來就不是顛簸不破的真理；數理模型只能建立在不可能完全實現的假設上，有時候那些假設甚至完全與現實狀況脫節，因此在使用任何一種數理模型時，都必須保持警覺，把模型的局限謹記在心。

依照這份宣言的說法，用來分析金融市場的數理模型，就跟所有其他的工具一樣，就好比大鐵鎚是鋪設鐵軌的好工具，但是我們應該要知道，不能用大鐵鎚去釘畫框是一樣的道理。

我相信這本書回顧的歷史故事，足以密切呼應〈金融模型家的宣言〉。我們應該把數理模型當成實現特定目的的工具，並體認這些工具只是模型反覆改良過程中的階段性成果，需要更進一步解決模型會在什麼時候、因為什麼因素、失靈到什麼程度等的諸多問題，所以下一代的模型才會比前一代的模型更為實用。

延續相同的想法，我們可以說：巴楔利耶是踏出第一步的祖師爺，率先嘗試使用統計物理的新觀念，處理完全不同領域的課題。巴

楔利耶用革命性觀點，奠定日後看待金融市場的方法，可惜他的研究成果漏洞百出，薩孟遜與奧斯本認為巴楔利耶最大的問題出在：用常態分布的角度看待股價的波動方式——這是唯有在巴黎證券交易所這個特殊場合，才會普遍存在股價變動幅度有限的現象。

奧斯本為了修正這個問題，用投資報酬率呈常態分布的假設取而代之。不過曼德布洛特認為，不論是常態分布或是對數常態分布，都無法完全描述金融市場的隨機性，因此支持曼德布洛特這一派的學者認為，很多金融理論的基礎都預先排除了金融危機發生的可能性。的確，曼德布洛特是第一批舉證奧斯本隨機漫步假說行不通的學者。然而，現在大多數經濟學家、以及對經濟議題有興趣的物理學家，也認為曼德布洛特的論點有漏洞。這個結果清楚顯示，改良模型的另一波浪潮正反覆進行當中。

索普和布雷克則告訴投資人，如何將巴楔利耶、奧斯本、曼德布洛特三位開發的工具，運用在日常的交易上。這兩位科學家透過的是更高深的物理學知識。**索普和布雷克或許可以說是：本書最重要的兩位人物**，不但都成功扮演把最先進理論帶進實務界應用的關鍵角色，同時也都可以做為「在既有模型上建立新模型」的示範案例。但是，索普、布雷克、休斯三位以奧斯本版的隨機漫步模型為基礎，提出新的選擇權訂價模型，當中並未考慮曼德布洛特隨機性狂野的問題，這就表示他們三位的選擇權訂價模型先天上就帶有應用範圍受限的問題。以物理學或工程師的觀點來看，他們選擇奧斯本的模型做為基礎也很合理，因為奧斯本的模型不但遠比曼德布洛特的理論淺顯易懂，而且只要套上現實生活的投資報酬率、稍稍修正，就可以找到適當的切入點，處理異常困難的問題。

只是根據曼德布洛特的理論，索普、布雷克、休斯三位提出的初階選擇權訂價模型，打從一開始就帶有注定會失靈的缺陷：一旦金融市場發生極端事件，他們的選擇權訂價模型將導出錯誤的訂價結果。

不過，謹慎的投資業者如歐康納合資的格林鮑姆與斯特魯夫，卻反而有辦法利用自己對布雷克—休斯模型缺陷的理解，創造了獲利，更重要的是保護自己從1987年的股市崩盤全身而退。（值得一提的是，布雷克似乎就跟其他人一樣，不避諱談論自己模型的缺陷。他在1988年以〈布雷克—休斯模型的陷阱〉為標題發表文章，公開指出布雷克—休斯模型採用了哪些不切實際的假設，來建立計算公式，並且推論這些假設分別會造成哪些問題。）

直到目前為止，改良模型的過程仍舊在持續進行中，下一階段由預測公司的科學家和索耐特兩個例子領銜主演，顯示如何運用物理學新知，修正布雷克—休斯模型基於市場效率假說而採用隨機漫步假說的問題。

預測公司的方法是使用黑盒子模型，找出金融市場局部、短期失去效率的空窗期，用最快的速度完成交易，賺取價差——也就是讓物理學搖身一變，扮演起金融市場最高明投資人的角色。

索耐特則是以曼德布洛特的想法做為出發點，認為金融市場的隨機性很狂野，大崩盤之類的極端事件才是市場走向的主導力量，進而探求預測金融市場災難性崩盤的可能。索耐特引用地震學的研究工具，不但能告訴我們如何遠遠就看見超脫凡規的龍王逐漸靠近，而且他的理論還頗禁得起時間考驗，具有很高的參考價值。

寫歷史的人通常會在不自覺中包山包海，捨不得放棄每一個歷史片段，最後拼湊成瑣碎的長篇累牘；上述扼要說明本書各章節內容的回顧，應該已經夠了；但是千萬別以為故事到這邊，就要劃下句點了。在布雷克—休斯模型至今仍具有主導地位的情況下，預測公司跟索耐特這兩個例子，自然而然會給冠上改革者的光環。儘管這兩種方式都夠成功，但是它們絕對不是改良金融數理模型的終點站，只能說是兩個在金融市場殘酷考驗下，還能創造可觀獲利的成功例子。這仍



然無法改變預測公司和索耐特的觀點同樣需要持續仔細檢驗與分析的事實。

我們現在完全無法預知，金融數理模型下一個重大進展會是什麼——或許是認識、預測極端事件的新方法，或許是計算預測模型在金融市場不確定的本質下還剩多少「可靠度」的新方法，也或許是從金融市場數據資料中找出混沌模式的突破性做法……我們只能夠確信，一定會有下一波的重大進展，有可能是當我們發現索耐特的預測會失靈的時候，也有可能是當預測公司黑盒子模型失靈的時候。而且屆時我們一定能夠比現在，更了解金融市場到底是如何運作的。

### 切忌把優異的金融模型當成真理

如果說，物理學家成功促進我們對金融市場的認識，那也是因為他們採用新的方法處理問題。物理學界（和工程領域）在方法論上習以為常的深入見解，幾乎可以轉化成所有研究工作的基礎。

這本書裡，用了許多實際例子強調方法論的實用性：以簡化的假設做為複雜問題的切入點，從中尋求初步的解答。如果發現初步的解答行得通，接下來就可以進入反覆驗證的階段，並觀察不同的假設條件會有什麼影響。有時候我們會發現，初步的解答太過倚賴假設條件，而失去實用價值。有時候我們會發現，初步的解答雖然具有實用性，但是還有其他更簡單的推論，可以達到相同目的。也有時候我們會發現，初步的解答在特定條件下非常好用，不過還需要更進一步思考特定條件不存在的時候，該如何修正。

物理學家當然不是唯一用這個角度認識周遭世界的一群人，這種建立理論模型的方法論，在經濟學或其他科學領域也都很常見，而且大多數重大經濟理論的進展，當然還是出自經濟學家之手，只是物理學家習於（或者說是特別擅長）這種方法論的思考邏輯，所受專業訓練又特別有助於解決特定的經濟問題，因此不會像偶爾需要背負政治立場或學術倫理包袱的經濟學家，那樣綁手綁腳。再加上物理學家能

用與經濟學家不同的知識體系與背景處理問題，因此物理學家有時候比較能夠用全新的觀點，看待經濟學的問題。

當我提到科學是不斷改良的過程，特別是應該用階段性里程碑看待金融模型的時候，並不表示提出金融模型的人都走在科學發展的最前緣，隨時準備提出可以徹底分析金融市場的「終極理論」。在金融市場引用科學觀點的目的，不在於找到能夠針對各種問題提供正確解答的終極理論，我想強調的是謙虛的態度，認清我們只是不斷找出一些能在特定環境下，提供正確答案的計算公式，了解這些公式什麼時候才派得上用場。

德爾曼和威墨特在〈金融模型家的宣言〉中清楚提到這一點：切忌把優異的金融模型當成「真理」。金融市場會因應外在環境演化是最重要的原因，包括現實的經濟環境、新法規等，都會改變金融市場，尤其不能忽視創新的力量，布雷克—休斯模型徹底改變選擇權交易的形式，就是一個例子——意思是同樣使用布雷克—休斯模型詮釋金融市場的人愈來愈多，最終反而讓市場的運作改頭換面，直到1987年的崩盤，才讓大家看見這個反饋迴路。

社會學家麥肯齊（Donald MacKenzie）曾說過：「金融模型既是推動市場運作的引擎，同時也是補抓市場樣貌的相機。」這就表示金融模型補抓到的是移動中的物體。

這麼說的目的，絕非貶抑金融模型詮釋市場的功能。金融市場不斷演化的事實，反而更襯托出先前提到不斷改良模型的重要性。假設索耐特預測市場崩盤的模型非常適用於目前的市場結構，即便如此，我們還是要對索耐特的模型抱持懷疑態度，例如若全世界投資人都一窩蜂使用索耐特的模型預測市場何時會崩盤的話，結果會怎樣？這樣有機會避免崩盤的結局嗎？還是反而會造成更嚴重的崩盤？或者是更難預測崩盤的時間點？

我不認為有人知道上述哪一個答案才正確，而這正是值得深入研究、找出模型潛在缺陷的重點。要是以為眼前看到的模型可完全掌握市場狀態的話，無疑是引用金融數理模型的人所面對的最大危機。

### 福利經濟學的新課題

馬蘭尼和韋恩斯坦的故事，跟本書其他主角略有不同。其他章節談論的主題，不是金融市場就是數理模型，當中的主角都把注意力集中在統計資料上，諸如股價、市場趨勢、年報酬率……等，試圖預測這些數字之後會如何改變。金融市場如何運作的細節，當然跟這些預測有關。我們也不難發現，具有物理學背景的人特別有辦法掌握這些統計資料，一如奧斯本的親身經歷。但是馬蘭尼和韋恩斯坦受物理學啟發後，關注的課題卻是**福利經濟學**（welfare economics）的新理論，他們的研究計畫顯然更具有企圖心，卻也是更不容易有進展的課題。

如果能夠正確理解物理學和金融市場之間的關連性，想引用物理學觀念推動經濟學各方面的進展，就會是自然而然的想法。這並不是說，金融市場跟物理學的某個主題有密不可分的關係，也不是說，物理學跟數學特別適合處理經濟學的數據資料（雖然金融市場的確充斥著各種數據資料），然後對其他主題就只能束手無策。重點是物理學家能夠順利把看待真實世界的思考邏輯，帶進某些經濟學領域，這樣的研究態度應該也可以在其他經濟主題中發揮功效，而且物理學早就對其他經濟領域伸出援手，譬如經濟學家早就開始用數理模型，處理與金融市場毫無瓜葛的各種經濟課題。透過馬蘭尼和韋恩斯坦的故事就會發現，數學工具早已廣泛運用於不同的經濟領域，包括政策制定（所以波斯金委員會的草率行事，當然會遭致各方非議，形成災難一場）。

馬蘭尼和韋恩斯坦的故事也告訴我們，使用更扎實的數理模型，以取代對人類行為與市場行為的過多假設，可以帶出多種改良金融模型的方法。雖然我們不排除「套用規範理論的想法最終會走進死胡

同」的可能性，但是沒有理由從一開始就排斥對規範理論進行深入的研究。畢竟，規範理論已經在物理學界體認到有必要提出新世代理論的時候，發揮過成效，或許也有機會在經濟學界達到同樣的成果，而且馬蘭尼、韋恩斯坦和施莫林三位，也已經用具體行動顯示其可行性。

「物理學方法對於經濟學研究有幫助」這個想法固然值得重視，正視「經濟學家 and 政治人物沒有給予馬蘭尼和韋恩斯坦公平機會表達想法」的問題也一樣重要。原本有機會讓我們更能掌握「通貨膨脹」此一重大經濟課題的重要新發現，居然就這樣被學術界的生態與資源分配問題給硬生生扼殺，這個結果當然值得我們深思。

從公眾的角度出發，韋恩斯坦提出新曼哈頓計畫的目的，不是在替投資人開發新工具，我們也不應該投入公眾資源替少數業者打造可以創造獲利的新選擇權模型；新曼哈頓計畫其實是讓主流經濟學能夠迎頭趕上現代物理與現代數學的提案，避免專斷的政治考量與研究經費的分配結果，扭曲掉經濟學這個學門該有的走向。

### 讓經濟學走上創新之路

美國最高法院大法官布瑞南（William Brennan）在1965年，針對一項言論自由的判決，提出「觀念之自由市場」的說法，指出最有洞察力的想法終將在社會大眾公開、透明的談論中脫穎而出。如果這個說法成立，經濟學界最優秀的新想法應該能浮上檯面，就算最權威的經濟學家也無法橫加阻擋才對。

這個說法或許很容易在金融圈獲得印證，因為正確看待金融市場的想法，就代表更多的獲利，因此本書最後三章提到的物理學家法默、派卡德和韋恩斯坦，在無法受到經濟學家青睞後、都轉往金融市場發展的現象，就很有趣了。能夠賺錢的想法反映出本身的重要性，可惜很多經濟學家不願正視這個結果，包括協助政府制定政策的經濟學家在內。

如果把這個結果套進布瑞南觀念自由市場的說法來看，顯然這個非常欠缺效率的經濟學觀念市場，對我們每個人都造成了損害。施莫林認清主流經濟學家沒興趣傾聽他的想法後，就轉往其他領域發展，就連總是不厭其煩用主流經濟學家聽得懂、感興趣的方式介紹自己想法的索耐特，也很難得到經濟學界的認同，使得索耐特的聽眾往往以金融實務界的人士居多。

我並不清楚該如何改變經濟學界的生態環境，不過我認為，韋恩斯坦提倡科際整合的大型研究計畫，是個不錯的出發點（如果有政府單位或重要的研究機構，出面打造這個研究社群，並設定工作目標的話）。

原本的曼哈頓計畫是一項製造原子彈的軍事行動，但是卻改變了物理學家看待物理學的觀點，促成日後革命性的發展。要是政府或是主要的非營利機構，願意基於類似信念、建立新世代經濟模型的話，應該也能得到同樣革命性的重大進展。經歷這幾年不景氣、欲振乏力的經濟發展後，經濟學亟需灌輸更新、更深入的觀點，該是讓經濟學走上創新之路的時候了。

### 正確看待金融數理模型

當韋恩斯坦首次提倡用新曼哈頓計畫重新活絡經濟學的觀點時，批評數理模型與物理學家不應該在金融市場攪和的同一批聲浪，很快吞噬他的意見。

自從2008年金融海嘯過後，質疑物理學家在金融與經濟領域扮演何種角色的聲浪，紛至沓來。寬客、衍生性金融商品、數理模型這些字眼，或多或少都隱含負面評價；但是在看完本書提到的歷史故事和相關想法的初衷之後，這些批評是否得當，也值得省思。我認為，如果能用正確方式看待金融數理模型的話，這些一頭熱的批判根本是搞錯對象！由於這些批判意見反映出「為什麼我們更應該慎重考慮韋恩斯坦提案」的理由，因此值得逐一剖析其中的奧妙。

反對金融數理模型最常見的說法，源自於心理學與人類行為學，認為運用在金融市場的物理學，把市場當成由夸克、滑輪組構成的場所，因此注定會失敗。用物理學研究撞球、斜面運動都很恰當，用在太空旅行或核反應爐也不成問題，但是牛頓自己也說過，物理學算不出人性的瘋狂。行為經濟學的領域不時發出這類批評，認為應該從心理學、社會學的角度探討經濟課題，金融市場在他們的眼中充滿人性的各種缺點，所以不能簡化成物理、數學的計算公式。

行為經濟學的看法不能說錯。了解人與人之間、人與市場整體如何互動，很明顯是理解經濟如何運作的基礎；但是從這個角度批判數理模型，卻是誤會一場。

把物理學當成新觀念、導入金融領域，並不表示要把人看成夸克或鐘擺。前面章節用來建立金融數理模型的物理學觀點，都沒有這樣做。有些物理學家像是奧斯本、曼德布洛特，只是簡單利用自己對統計方法的熟稔，採取新觀點思考市場資訊與風險評估，就對認識金融市場發揮了很大的作用。其他像是法默和派卡德兩位，則是利用物理學專長，從充滿雜訊的資料中萃取資訊，從中選定能透過交易賺取價差的局部模式。布雷克、德爾曼、索耐特這三位物理學家，則是綜合自己對市場行為的仔細觀察，以及本身的物理學專業知識，透過數學語言描述可以觀察到的特徵（像是股價、波動幅度）和比較不明顯的特徵（像是選擇權價格和即將發生的崩盤）之間有何關連性。沒有一個例子把市場上的投資大眾看成一群夸克，或是把企業的行為看成會爆炸的恆星。

而且更深入分析還會發現，使用數理模型研究金融市場或是研究更廣泛的經濟課題，不必然會跟認真研究人類行為的結果產生衝突。早期預測股價的數理模型，甚至還相當倚重心理學的韋伯—費希納定律；奧斯本正是透過這則定律，說明股價為什麼會呈現對數常態分布、而不是常態分布的走勢。後來，索耐特也證明：人類心理學很重

要的概念之一，同時也是行為經濟學支柱的羊群效應，結合了數學工具，就能夠準確預測災難性的崩盤。這些例子在在顯示，更了解心理學反而是設計及改良數理模型的關鍵因素，因此我們應該可以看出：心理學、人類行為學的研究，其實跟處理經濟課題的數理模型，具有共生的關係。

## 我們只能做出有限度的預測

第二種常見批評聲浪的主要發難者是塔雷伯，他在暢銷書《黑天鵝效應》中提到物理學家無法掌握市場狂野不羈的性質。你或許還記得黑天鵝代表沒有前例可循、根本無法預測的事件。塔雷伯認為黑天鵝才是問題的核心，因為我們現有最好的數理模型都無法預見黑天鵝的蹤影，只能任憑牠對金融模型形成致命的打擊。塔雷伯在書裡面跟很多公開發表的文章中，提到物理學住在一個「後果不嚴重」

（Mediocristan）的世界，金融市場卻處在一個「後果非常嚴重」

（Extremistan）的世界；前一個世界中的隨機性謹守分寸，可以用常態分布加以描述，但是常態分布在後一個世界只會導致嚴重的誤判。塔雷伯因此認定只有腦袋不靈光的人，才會把物理學觀念應用在金融市場。

塔雷伯的說法在某種程度上是正確的——依靠數理模型在真實世界做決策的人，絕對有必要銘記在心。我們絕對沒辦法無所不知，採取謹慎的態度並借重基本常識，往往能讓我們有效活用各種模型。但是體認到**我們只能做出有限的預測、不應該把模型預測結果奉為真理**這一點，一直是我強調用物理學家的角度進行思考的意思，這種態度可以避免我們用自負的態度，看待模型的推論。而且話說回來，試圖預測黑天鵝在奧斯本隨機漫步模型中的潛在蹤跡，正是促成索耐特找到龍王的源頭。當然不是所有黑天鵝都是龍王偽裝的，我們也不應該放棄深入了解各種黑天鵝可能事件的努力，任憑黑天鵝來無影去無蹤。



塔雷伯想要表達的不僅於此，他相信即便在金融市場以外，所有的數理模型都有黑天鵝埋伏在其中，光是找出龍王的蹤跡，或是用尾端肥大的分布曲線描述「極端事件發生的頻率遠比常態分布的機率高」，都還不能說明黑天鵝的現象，因此數理模型在本質上是不值得信任的。我承認所有模型都有缺陷，而且這些缺陷通常在剛提出模型的時候，就已經清楚呈現了；不過若將這個說法，延伸到提出金融數理模型的投資公司都注定失敗，恐怕就是過度詮釋了。

試想：建構、修正模型的遞迴過程，其實是所有理工科系的基本方法論，是我們用來理解世界最好、最基本的工具。我們用數理模型剪裁出相同尺寸的衣服、用來興建橋梁、用來設計飛機引擎、用來設計配電網路和發射太空船。所以，指出這些數理模型背後的方法論有缺陷，能說明什麼？就因為數理模型不能預測所有可能發生的情況，所以要全面放棄上述的成果嗎？

如果塔雷伯看待數理模型的觀點是正確的，我們就不應該開車經過華盛頓大橋或是胡佛大壩。天曉得什麼時候會有一場前所未見、超出當初防震設計等級的大地震來襲，使得上面多一輛汽車的重量都會導致橋塌壩崩的結果呢？所以我們也不應該興建摩天樓，以免高樓被隕石砸中。還有，千萬記得別搭飛機，免得哪個引擎裡的黑天鵝突然發作起來，導致墜機的災難。

塔雷伯或許認為，金融數理模型不能跟土木工程或是航太科技的數理模型相提並論，因為金融數理模型更難預測，預測失靈的後果也更嚴重。可是，我們實在看不出差別的理由在哪裡。只要是災難事件，就會用無法預警的方式發生，生命中的每一個階段都有可能碰上。這當然不表示，我們應該放棄盡力釐清風險與探究未知領域的努力。區分「不可能出現」和「很難出現」之間的差異，非常重要。

沒有人懷疑，掌握金融風險是極度困難的工作；索耐特應當會說，這項工作的困難等級遠在解決物理問題之上。但是我在書中描述

的金融數理模型發展史，已經是我們目前面對最嚴苛挑戰的最佳解決方案了，當然不能輕易棄而不顧。

### 衍生性金融商品的功與過

我們有時候會聽到，針對金融數理模型的第三種更深入的批判聲浪。由巴菲特提出這樣的論點，當然能獲得廣大迴響。巴菲特警告我們：別被「炫麗的計算公式」所迷惑，金融創新會更加提升金融市場與生俱來的風險，造成更大的危機；本世紀以來，不夠了解自己所作所為會對真實世界造成什麼衝擊的物理學家與數學家，提出了各種金融數理模型，之後投資銀行為了追求利潤，大膽鼓勵寬客瘋狂濫用，就是2008年金融海嘯四處肆虐的根本原因。

這個批評很有道理，包括選擇權在內的衍生性金融商品，都是由人刻意設計、威力強大、唯利是問的金融產品。過去四十年來，財務工程師不斷發展出更有創意、連動性更強的衍生性金融商品，以便在每一種差異頗大的金融環境下，都能創造獲利。布雷克—休斯模型採用動態避險的操作策略，就是這類追求創新的銀行普遍採用的基本工具，試圖採用規避風險的方式，銷售旗下的金融商品。隨著銀行愈來愈重視新金融商品的發行，一旦支撐這些金融商品的數理模型失靈了，後果當然會更加嚴峻。這些創新的金融商品也的確是引爆2008年金融海嘯的震央，所以批評物理學家、數學家讓銀行承擔新型態的風險，導致我們每個人都嚐到苦果，確實說得一點也沒錯。

不過我們也別忘了，股市崩盤與投機泡沫並不是新的現象，1929年才是現代社會最嚴重的一次股市崩盤，而衍生性金融商品在那個年代根本無足輕重。除此之外，過去這四十多年來，特別是金融創新的重要性日益升高之後，金融服務業已經成為撐起西方經濟的支柱了。

以美國為例，金融服務業在這段期間的成長速度是整體產業的六倍。在金融服務業快速成長的時候，其他產業如製造業，要不是日漸凋零，就是只能賺取蠅頭小利。金融創新就跟其他科技創新一樣，是

過去三十年來，以美國為首的西方經濟體的主要動力。更重要的是，經濟學家普遍的共識是：發展良好的金融部門通常都能帶動其他經濟部門的成長，或起碼可以提供一定程度的助力。雖然現在有些證據顯示，金融部門已經變得太過龐大（這個觀察也許沒有錯），已經開始對其他部門帶來負面影響，但背後的原因，仍舊是金融部門對其他產業擁有太多的影響力。

這些論點我都同意，所以我們也有理由啟動金融改革，但是在倒洗澡水的時候，千萬別把嬰兒一起倒掉了：不論從哪個觀點做為切入點，經濟成長總是好事，而且擔心美國、歐洲的金融部門太過發達，也不需要否定衍生性金融商品的創立初衷。布雷克—休斯模型的本意，當然是為了追求成長而不是毀滅。要是金融實務界從1975年起就停止成長的話，全球經濟局勢一定會比我們現在所看到的更加落後。

我想表達的意思是，金融創新帶有許多不同的面向。有些刺激經濟成長的衍生性金融商品會遭受批評，主要是因為利用本身複雜、難以理解的操作方式，將影響力四處蔓延。而弦外之音說的是：有些衍生性金融商品根本是故意設計得朦朦朧朧，甚至用詐欺的手段吸引不求甚解的投資客上鉤，比方某些建立在消費性貸款上的衍生性金融商品，如**擔保債權憑證**（Collateralized Debt Obligation, CDO）就是導致2008年金融海嘯的關鍵因素。這類金融商品將抵押品或其他債權重新包裝銷售，理論上應該謹慎估算過風險與報酬率之間的關係；但是這類債權憑證飽受非難的其中一部分原因是，包括主要投資銀行在內的買家，都沒警覺到債權的價值迅速縮水，成為讓美國與歐洲銀行遭受重擊的不良資產。

擔保債權憑證的風險，遭嚴重忽略的很大一部分原因是：個別投資人沒有能力自行衡量參與其中的風險，穆迪、標準普爾等債信評等公司又給予這些擔保債權憑證不應享有的低風險評價。更糟糕的問題，正如同美國證券交易委員會對高盛的指控：不應讓鮑爾森對沖基

金公司（Paulson & Co.）有介入擔保債權憑證交易的空間，如此一來，這些擔保債權憑證的價值當然有可能不再符合原本的評價，讓鮑爾森對沖基金可以用放空高風險擔保債權憑證的操作手段獲利。

鮑爾森對沖基金的放空牟利，毫無疑問有道德瑕疵，卻也顯露出衍生性金融商品在實務上具有高風險的本質。不過這則故事其實跟衍生性金融商品本身，並沒有直接關連——就好比藝術品兜售者不用透過擔保債權憑證，照樣可以欺瞞藝術品投資客，是一樣的道理。

對我而言，最好是把包括擔保債權憑證在內的衍生性金融商品當成各種工具，一如用來設計這些金融商品的數理模型。穀物期貨幾千年來，都是讓農夫可以在作物成長的空窗期，取得融資並規避風險的重要工具。近代的外幣期貨，也有效降低國際貿易的匯兌風險、促進全球經濟發展的優點。任何一種工具都有多種用途，一把鐵鎚可以用來敲釘子，也能用來砸爛汽車車窗；一把槍在警察手上，（起碼一般公認）能發揮維護社會秩序與強化治安的功能，要是落入其他入手中，恐怕就不是這麼一回事了。從制定法律的立場來看，想辦法適度規範衍生性金融商品，當然重要，但是背後的思考邏輯應當跟規範其他的問題一樣。

### 銀行發生擠兌怎麼辦？

就算把衍生性金融商品和相關的設計模型，當成需要妥善處理的工具看待，但也還是無法避免另一種顧慮。

有些工具本身，比方說是氫彈（如果你願意把氫彈看成一種工具的話），危險性高到這個世界如果沒有這種工具，反而會過得更好。衍生性金融商品在巴菲特的眼中，也是「大規模毀滅性的金融武器」，這種工具不論善用或誤用，都無法避免破壞力十足的本質，任何經濟成長都無法承擔其風險，任何經濟成長也都抵消不了一旦金融秩序遭破壞時所要付出的代價。或許你已經想到2008年的金融海嘯，就是金融市場引用數理模型所導致的一連串災難性後果，但是我認為

這種說法有誤，只要回過頭仔細檢討2007年至2008年間，金融市場究竟發生過哪些事情，就可以找到答案。

在1946年的經典電影「美滿人生」（*It's a Wonderful Life*，又譯為「風雲人物」）中，主角貝利是一位經營存放款業務的銀行業者，經營模式和一般銀行沒啥不同：存款人到銀行開戶存錢，既可保全資產又能賺取利息，銀行收到存款後會轉身尋找放款對象，通常會以房屋貸款或是企業融資的方式，借錢給需要的人。只要不急著提領存款的人夠多，這個機制就可以順暢運作。可是貝利在結婚那天，與太太兩人開車經過銀行時，卻看見一群人擠在大門口高聲嚷著要衝進去，因為有人傳言貝利的銀行營運不善，因此鎮上的居民不約而同，想從貝利的銀行拿回存款。

貝利急忙從車上跳下來，很快弄清楚自己的銀行正被擠兌。他走進銀行，向群眾說明他們的錢已經不在這棟建築物裡了，而是成為他們鄰居的房子、鎮上小店的營運資金，如果大家急著把存款領走的話，由於銀行手頭上沒有那麼多資金可供提領，最後整個金融體系就會徹底崩潰。

就在群眾自私性格即將造成悲劇時（這種情況經常發生），貝利突然發現，自己手中還有一筆資金可以周轉，那是原本要去蜜月旅行的基金。貝利因此決定先讓某些人順利將存款提走，這個動作也緩和其他人急於領走存款的焦慮感。貝利用來應急的金額不多也不少，雖然銀行當天結束營業的時候，保險箱只剩下一美元，但是已經可以讓他們拉下大門，撐過被擠兌到倒閉的風暴。當然，代價就是貝利泡湯的環遊世界蜜月旅行。

經濟大蕭條的時候，經常可以看到銀行擠兌的畫面，在十九世紀的時候，更是屢見不鮮。擠兌跟金融恐慌息息相關，這段期間經濟局勢看起來充滿不確定性，沒人知道有哪些銀行能夠度過危機，某家銀行一旦沾上營運困難的負面報導，實務上就幾乎等於保證一定破產。

自從美國政府在1934年設立聯邦存款保險公司（FDIC）擔保所有消費性存款後，現在美國已經不再有銀行擠兌的問題了。就算你的往來銀行營運不下去，也沒必要急著去把存款領回家，反正聯邦政府無論如何都會出面，擔保你的存款無虞。

### 影子銀行系統幾近崩潰

我在本書〈前言〉曾經提到一場金融危機：發生在2007年8月的某個星期，當時所有對沖基金的操盤策略統統無緣無故失靈，這是全球金融市場即將全面崩潰的第一個信號。背後的原因究竟是什麼？

事實上，對沖基金只不過是同年7月一場大規模金融恐慌的早期受災戶而已，這波恐慌潮之後，總共持續蔓延超過十五個月，不過牽涉其中的不是美國聯邦存款保險公司擔保的消費性存款，而是美國在過去三十多年來，逐漸發展成形的**影子銀行系統**（shadow banking system）。影子銀行系統的功能跟一般銀行差不多，只是規模放大了好幾倍，而且不受監管與法規限制。影子銀行系統其實就是銀行與銀行之間、銀行與大型企業之間的借貸管道。

如果某家企業手上有一筆資金，規模高達幾億美元上下，那就要和每個人一樣，找個地方存放這筆錢，否則這筆閒錢不會孳息，企業會平白承受通貨膨脹的損失。這家企業有時候會把這筆錢寄放在其他公司手上，換取一些擔保品，基本上很類似銀行與企業之間短期融資的操作形式。

其中最標準的擔保品是：基本上沒有風險、但是利息有限的政府公債。可是，美國政府在全球發行公債的數量終究有限，很多買家（其他國家的政府機構）也都用長期持有的方式，取得美國政府公債，如果需要找地方存錢的企業愈來愈多，影子銀行系統就會有強烈誘因，將其他資產重新打造成某種型式的擔保品。

另一種擔保品是企業債券，本質上和政府債券類似，只是由私人企業擔任發行單位。由於企業債券的價值往往跟股價連結，自然沒有

人願意接受這麼容易波動的擔保品，更何況透過股價變化就可以直接「操作」企業債券做為擔保品的價值，因此不足以成為優質的擔保品。

易言之，參與影子銀行系統的企業希望找到一種類似債券、但不容易受公開資訊影響其價值的新資產，做為擔保品，因此他們把目標投射在消費性貸款上，包括房屋貸款、助學貸款、信用卡債等等。

消費性貸款原本也不能算是優質的擔保品，只要觀察個人的信用紀錄，就可預測還不出貸款的可能性。所以影子銀行系統不能赤裸裸把消費性貸款直接轉化成擔保品，而是要用「證券化」的方式重新包裝，意思是把各種貸款匯集在一起，再從中切分、挑選、重組，構成資產池，以此為基礎發行證券。這種精心設計的新資產（包括擔保債權憑證在內），雖然風險高出政府公債不少，仍可權充政府公債的角色，而且有配息，可抗衡資產貶值。

2007年8月的金融危機，是消費性貸款在影子銀行系統內運作不良的第一個訊號。這一套體系建立在美國不動產價格不會下跌的假設上，可是美國不動產行情從2006年開始走下坡，整套體系就開始寸步難行了。當不動產價格在2007年加速下滑後，金融恐慌開始成形。之後，陸續傳出消費者繳不出房貸的消息，這些違約者原本就被認定是次級房貸的高風險族群。突然飆高的違約率，讓建立在次級房貸上的擔保債權憑證迅速貶值，因為大家再也無法相信這類擔保債權憑證可以支付原訂的殖利率。

再之後，部分對沖基金被要求提供更多擔保品，才能為旗下投資項目取得充分的融資。如此一來，便正式啟動了這一場金融危機。這些融資追繳令，逼使部分對沖基金要盡快出脫手中各種證券，換取現金；再加上很多對沖基金都採取類似的操盤策略，意味著他們經常持有非常近似的投資組合，所以當某一檔對沖基金開始將證券變現的時候，相當於把大家手中所有的資產價值同步壓低，就連原本被當成買



保險的投資項目，也無法倖免於一起貶值的命運。出乎意料之外的快速損失，讓其他對沖基金一起加入賣方的行列，這個惡性循環的結果，讓所有參與其中的投資人都賠了一大筆錢。（這倒是用來說明索耐特羊群效應會導致崩盤結果的好例子。）

這場金融危機和它的殺傷力，在2007年底才正要開始顯現。下一位受害者是成立八十五年的投資銀行貝爾斯登，時間是2008年3月。貝爾斯登一直是影子銀行系統的主要成員，用證券化的做法將許多貸款包裝成擔保品。當房屋貸款出現前所未見的高違約率時，貝爾斯登的存款人開始人心惶惶，有些大客戶從3月中旬開始陸續要求領回存款。首先是文藝復興科技公司的西蒙斯，一口氣領走了50億美元，接著另一檔德劭對沖基金也領走了50億美元，接下來就是典型的銀行擠兌，每個人都急著提領寄放在貝爾斯登的存款。為了遏止更嚴重的失血，貝爾斯登不得不在政府出面斡旋下，同意由另一家投資銀行摩根大通（J. P. Morgan）接管業務。

此時金融危機才正在登場呢！整個局勢真正的高潮，出現在2008年夏天快結束的時候，擔綱演出的主角是另一家聲望卓越的老牌投資銀行雷曼兄弟，在9月中宣告破產。美國政府這一次沒有介入攄困協調，使得恐慌的情緒加速蔓延。

同樣在9月中旬，另一家苦撐待變的投資銀行美林證券，被美國銀行收購；保險業鉅子AIG也已經處在破產邊緣。

在這個時間點，所有銀行都不敢再放款，特別是放款給其他終日惶惶的銀行同業。整個影子銀行系統如同遭到凍結一般，金融海嘯就在諸多壓力下成形。等到10月的時候，美國股市四成的市值，就這樣蒸發得無影無蹤。

### **寬客、銀行、政府都有責任**

誤用數理模型當然是引發金融海嘯的主因。次級房貸是依照統計學家李祥林（David X. Li）設計的模型，證券化成為類似債券的新商

品。〔中文版注：華裔統計學家李祥林於2000年，在學術刊物《固定收益期刊》上，發表了一篇探討違約相關性的論文，他提出可用「高斯聯結相依函數」（Gaussian copula function）來為「信用衍生性商品」估價的方法。華爾街的寬客如獲至寶，旋即利用這個方法，為擔保債務憑證訂出價格。〕

而李祥林的模型也一樣帶有缺陷：基本上假定單一房貸違約不會提高房貸全面性違約的風險係數。這個假設在違約率維持於低檔的時候，不會產生問題（少數違約個案當然不會對整體房市帶來多大影響），一旦違約率像2006年一樣不尋常攀升，李祥林模型的假設基礎不再，自然就行不通了。因為很多人同時付不起房貸時，出現大量違約戶的社區，不動產價格會明顯滑落，然後造成更多的違約。更何況違約率攀升，其實只是反應深層經濟問題的一個指標而已。

如果把金融海嘯的責任，都歸咎於李祥林的模型或是證券化的消費性貸款，那也不太公允。金融數理模型失靈，只是促成金融海嘯的其中一部分原因；更關鍵的因素是，許多精明的金融機構沒有採用物理學家的思考方式，忘了在某些條件下運作順暢的模型，一旦失去假設基礎，就會全面失靈。有權力在風險管理做出決策的重要人物，忘了看清楚李祥林的模型會在什麼條件下失效，大家都急於賺錢，各種警告全都成了馬耳東風。

但如果以為這就是金融海嘯的成因，也不完全正確；政府政策與法規失靈，也同樣推了金融海嘯一把，這一點亦是我們無法忽視的事實。最終全面停擺的影子銀行系統，基本上不受監管，也沒有立法者能夠掌握事態發展的嚴重性，並不曉得系統性風險的存在，只是一個勁兒的相信金融產業會糾正自己犯下的錯誤。所以說，2008年的金融海嘯是多種因素綜合在一起，才導致的嚴重崩盤。

行筆至此，有必要再強調一次：歐康納合資在1987年的股災中，只不過比其他人多用一點心，改進了操盤策略的模型，就毫髮無傷、

全身而退了。而西蒙斯的文藝復興科技公司，在2008年金融海嘯時的投資報酬率，仍舊高達80%！西蒙斯一樣是基於比競爭者再精明一點的緣故。

究竟文藝復興科技公司和其他對沖基金有何不同？差別在於文藝復興科技公司做到了我博士論文指導教授認為不可能做到的一件事：**在華爾街實踐了科學研究的必要過程**，只是沒有公開發表研究成果而已。要論神祕、低調，文藝復興科技公司絕對榜上有名，但是該公司的成員沒有忘記**用物理學家的態度思考問題**，要懂得**質疑模型的假設條件**，**不停尋找操盤策略的理論模型有何缺漏之處**。文藝復興科技公司的競爭力，建立在一群素質優異的工作伙伴上，若要用最簡單的方式形容這些人的話，不外乎就是比其他對沖基金的寬客更精明一點。然而，文藝復興科技公司的運作結構，更是不能忽略的重點：這一支規模龐大的研究團隊，每星期都有四十小時的時間，可以全心投入自己感興趣的研究項目，而鼓勵他們這樣做的公司主管，完全放手不加干預。換句話說，文藝復興科技公司跟其他對沖基金最大的差異，在於沒有忘了自己的根，這讓他們可以永保活力，不會落入僵化的窠臼。

透過文藝復興科技公司的經驗，我們可以清楚看見精緻的數理模型不是禍源，而是解藥。

### **投入研究資源，避免經濟災難再發生**

我在2012年初寫完這本書，此時全球經濟局勢仍未全面從2008年的金融海嘯中復甦，看起來彷彿正走向另一場崩盤的道路，而且沒有人認為能夠在短時間之內，解決經濟欲振乏力的困境。歐巴馬政府預測到2012年底為止，美國的失業率大概會在8%徘徊，同時間GDP的成長幅度也不會多亮眼。美國兩大黨只會重複執行上一世代「嘗試之後才發現錯誤」的政策方案。

離開美國來到南歐，也會看到大多數國家正瀕臨政府破產、公債違約的危機邊緣。儘管德國已經盡量伸出援手，但是歐元區的未來依舊前景不明。就連中國和印度，也都釋出成長趨緩的信號。這個時候全球經濟局勢的前景一片黯淡，最嚴重的問題還在於：幾乎所有人都只能眼看著局勢惡化下去，束手無策。

我不免想到一句拉丁古諺：「想醫治重症就必須下猛藥」

(Extremis malis extrema remedia)；面對困境的時候，兵行險著，才能有出奇制勝的效果。我們現在最需要的就是廣開言路，聽取各種經濟新觀點，這就會把我們帶回韋恩斯坦提倡的方案：一項大規模、跨科系的新研究計畫。過去我們曾經動員美國與歐洲的科學界改變世界，基於本書舉出許多物理學在金融市場成功運用的紀錄，再考量馬蘭尼和韋恩斯坦的研究方向確實深具意義，我認為複製當年成功經驗的時候到了，只是這一次的目標不是研發新武器，而是提出一套可以妥善運作世界經濟體系的新工具。

過去幾十年，即便最拙劣的銀行與投資企業，也都跑在美國政府與主要監管單位的前面，在橫跨2007、2008年的金融危機期間更是如此，真正的創新者也早就把政府單位遠遠拋在腦後。所以當銀行無法承擔債權證券化的風險，讓金融體系邁向崩潰之路時，沒有人能指出影子銀行系統已經開始搖搖欲墜，國會一定要等到崩潰發生後，才會提出新法案收拾殘局；而且就算走到這步田地，新法規也只是針對昨日發生的風險，去做出前天就該反應調整的政策動作而已。

我們應該徹底扭轉這種情況。我們都願意付出高昂的代價，厚植知識基礎或是對抗恐怖主義，2008年的金融海嘯猶如金融體制和經濟體系的911事件，所以我們應該比照保護自己免於其他危機的想法，投入等量資源，以避免經濟災難再次發生。舉凡美國聯邦準備理事會、美國證券交易委員會、或者是世界銀行，都有最優秀的人才，可以扮演推動變革的主要角色。要是這些機構無法完成任務，那就表示：我

們真的需要建立從事經濟研究的跨科系新組織，為他們指引方向。負責推動全球經濟運作的人，應該要表現得跟文藝復興科技公司一樣好才行，甚至應該要能夠超越他們才行。

〔中文版注：西蒙斯於2009年底退休，他在1988年創立的大獎章基金，二十二年下來，年化報酬率為35%。〕

## 誌謝

這本書得力於親朋好友在我決定動筆後的四年間，不斷提供我相關建議，因此我要特別感謝這一群用實際行動支援我的人，不論是提供了寶貴的觀點或是給予我莫大的鼓勵：Illya Bomash、Bianca Bosker、Peter Byrne、Erik Curiel、David Daniel、Nic Fillion、Sam Fletcher、David Grand、Hans Halvorson、Justin Harvey、Ian Jackson、Leslie Jamison、Kent Johnson、Mary Kate Johnson、Tor Krever、Garrett Lisi、Inna Livitz、Sarah Keller Loveday、Pen Maddy、John Manchak、George Musser、Eoghan O'Donnell、A. J. Packman、Rick Remsen、Chris Search、Kyle Stanford、András Tilcsik、Giovanni Valente、Elliott Wagner、Ken Waters、Thomas Weatherall、Matt Weinstock、Scott Wells 以及Amy Wuest。

我還要特別感謝John Conheeney，因為他對衍生性金融商品的歷史瞭如指掌，這才帶給我踏出寫這本書的第一步動力。

另外要感謝願意為這本書接受我訪問的人，以及協助我跟書中主角及其家人取得聯繫的朋友：索耐特、斯特魯夫、索普、法默、馬蘭尼、韋恩斯坦、施莫林、Sally McClenaghan、Joe Murphy、Holly Osborne、Peter Osborne，謝謝你們！

特別值得一提的是，馬蘭尼、Holly Osborne、Melita Osborne、Peter Osborne、索耐特、索普和韋恩斯坦這幾位，不但替我校閱與他們相關的章節初稿，同時還提供我許多有用的建議，讓我能更精確描繪出故事主人翁精采的人生故事。

我的朋友與研究伙伴，不但在寫書的過程中，提供我許多寶貴的見解，他們也協助我完成初稿校閱，告訴我他們的讀後心得；他們每一次的想法，都能非常實際的改善本書的品質：Jeff Barrett、Chris Clearfield Bennett Holman、John Horgan、Clay Kaminsky、David Malament、Matt Nguyen以及Erin Pearson，謝謝你們！

要不是經紀人Zoë Pagnamenta的協助與鼓勵，我大概沒有辦法完成整本書的寫作。從最初的發想、到之後完成手稿的過程中，她一直給予我寶貴的建議，能與她共事是我的榮幸，不只是因為她幫忙把這本書推薦給我所知最傑出、也是最有耐心的編輯Amanda Cook（本書所有生動有趣的元素，都應該歸功給她），也是因為她就像是我的守護天使一樣，讓整本書的寫作過程充滿樂趣。

當然也要謝謝本書的出版者Bruce Nichols，謝謝他在Amanda Cook離開Houghton Mifflin Harcourt出版社之後，自始至終都扮演著掌舵者的角色。另外也要感謝Ashley Gilliam，謝謝她這一路上從未停止給予我協助。

我的家庭在寫書的過程中充分支援我，我應該好好向家人們表達我的感謝之意。我要謝謝我妹妹Katie和我妻子的姊妹Tara、Lauren、Clayton，謝謝你們多次用意外的驚喜，讓我得以喘口氣（還有，Clayton很抱歉，沒有依約和你一起前往約書亞樹國家公園一遊）。謝謝岳父Dennis O'Connor在交談中，提供我各種有趣的想法，謝謝岳母Sylvia O'Connor幫我度過初下筆時的徬徨無助。至於Mo，在眾多記憶中，我要特別感謝你在艾琳颶風來襲期間，幫我一起搭建避難小屋，讓我在沒有停電的後顧之憂中，完成結語的撰寫。

當然還要感謝我的父母親Jim和Maureen，沒有他們就不會有眼前的所有成果；我還記得我媽在2010年7月來到爾灣看我，用她無可救藥的樂觀態度鼓勵我，要不是在那天得到母親的支持，我可能已經放棄寫這本書的計畫了。還有2011年9月某個傍晚，父親在第一次讀完了完整初稿後，找我去Saporito一起用餐，那個傍晚大概是我人生中最快樂的一段時光。

在向上述多位親朋好友表達謝意之後，最後我要感謝我的妻子Cailin。她不辭辛勞，逐字看遍這本書的每一篇草稿，包括最初的寫作



計畫和最後的參考文獻。我想再也沒有任何人比她更適合做這件事，因為這本書的每一個字都是為她而寫的。

## 參考資料

- Aelian, Claudius. 1959 (200a.d.). *On the Characteristics of Animals [De animalium natura]*, ed. A. F. Scholfield. London: Heinemann.
- Ahrens, Frank. 2007. "For Wall Street's Math Brains, Miscalculations." *Washington Post*, August 21.
- Akerlof, George A. 2009. *Animal Spirits: How Human Psychology Drives the Economy, and Why It Matters for Global Capitalism*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Allegre, C. J., J. L. Le Moule, and A. Provost. 1982. "Scaling Rules in Rock Fracture and Possible Implications for Earthquake Predictions." *Nature* 297: 47–49.
- Allen, R.G.D. 1975. *Index Numbers in Economic Theory and Practice*. Piscataway, NJ: Transaction Publishers.
- Allen, Robert Loring. 1993. *Irving Fisher: A Biography*. Cambridge, MA: Wiley-Blackwell.
- Allison, David K. 1985. "U.S. Navy Research and Development Since World War II." In *Military Enterprise and Technological Change: Perspectives on the American Experience*, ed. Merritt Roe Smith. Cambridge, MA: MIT Press.
- Altman, Nancy. 2005. *The Battle for Social Security: From FDR's Vision to Bush's Gamble*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Anderson, P. W., K. Arrow, and D. Pines. 1988. *The Economy as an Evolving Complex System*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Anifrani, J. C. 1995. "Universal Log-Periodic Correction to Renormalization Group Scaling for Rupture Stress Prediction From Acoustic Emissions." *Journal de Physique I* 5 (6): 631.
- Ansbacher, Max. 2000. *The New Options Market*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Ariely, Dan. 2008. *Predictably Irrational*. New York: HarperCollins.
- Arthur, W. B., S. N. Durlauf, and D. A. Lane, eds. 1997. *The Economy as a Complex Evolving System II*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Atiyah, M. 2003. "Hermann Weyl: November 9, 1885–December 9, 1955." *Biographical Memoirs National Academy of Sciences* 82: 320–35.

- Bachelier, Louis. 1900. "Théorie de la spéculation." *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure* 19: 21–86.
- . 1914. *Le jeu, la chance et le hasard*. Paris: Ernest Flammarion.
- . 1937. *Les lois des grands nombres du calcul des probabilités*. Paris: Gauthier-Villars.
- . 1941. "Probabilités des oscillations maxima." *Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, May, 836–38.
- Baggott, Jim. 2009. *Atomic: The First War of Physics and the Secret History of the Atom Bomb: 1939–49*. London: Icon Books.
- Bak, P. 1996. *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality*. New York: Springer-Verlag.
- Bak, Per, Chao Tang, and Kurt Wiesenfeld. 1987. "Self-Organized Criticality: An Explanation of the  $1/f$  Noise." *Physical Review Letters* 59 (4, July): 381–84.
- Baker, Dean, ed. 1998. *Getting Prices Right: The Debate Over the Consumer Price Index*. New York: M. E. Sharpe, Inc.
- Baker, Dean, and Mark Weisbrot. 1999. *Social Security: The Phony Crisis*. Chicago: University of Chicago Press.
- Baldwin, Roger R., Wilbert E. Cantey, Herbert Maisel, and James P. McDermott. 1956. "The Optimum Strategy in Blackjack." *Journal of the American Statistical Association* 51 (275): 429–39.
- Barcellos, Anthony. 1985. "Benoît Mandelbrot." In *Mathematical People*, ed. Donald J. Albers and G. L. Alexanderson. Boston: Birkhäuser.
- Barnett, W. A. 2012. *Getting It Wrong: How Faulty Monetary Statistics Undermine the Fed, the Financial System, and the Economy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Barnett, William A., and Marcell Chauvet. 2010. *Financial Aggregation and Index Number Theory*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Bass, Thomas A. 1985. *The Eudaemonic Pie*. Boston: Houghton Mifflin.
- . 1999. *The Predictors: How a Band of Maverick Physicists Used Chaos Theory to Trade Their Way to a Fortune on Wall Street*. New York: Henry Holt.

- Batterman, Robert. 2002. *The Devil in the Details: Asymptotic Reasoning in Explanation, Reduction, and Emergence*. Oxford: Oxford University Press.
- Beland, Daniel. 2005. *Social Security: History and Politics From the New Deal to the Privatization Debate*. Lawrence: University Press of Kansas.
- Bernstein, Jeremy. 2010. *Physicists on Wall Street and Other Essays on Science and Society*. New York: Springer Business + Media.
- Bernstein, Peter. 1993. *Capital Ideas: The Improbable Origins of Modern Wall Street*. New York: Free Press.
- . 1998. *Against the Gods: The Remarkable Story of Risk*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Bhat, M. R. 1981. *Varahamihira's Brhat Samhita*. Delhi: Motilal Banarsidass.
- Billingsley, P. 1995. *Probability and Measure*. New York: John Wiley and Sons.
- Bird, Kai, and Martin J. Sherwin. 2005. *American Prometheus: The Triumph and Tragedy of Robert Oppenheimer*. New York: Random House.
- Black, Fischer. 1987. *Business Cycles and Equilibrium*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- . 1989. "How We Came Up With the Option Formula." *Journal of Portfolio Management* 15 (2): 4–8.
- . 1992. "The Holes in Black-Scholes." In *From Black-Scholes to Black Holes: New Frontiers in Options*, 51–56. London: Risk Magazine.
- . 2010. *Exploring General Equilibrium*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Black, Fischer, and Myron Scholes. 1972. "The Valuation of Option Contracts and a Test of Market Efficiency." *Journal of Finance* 27 (2): 399–418.
- . 1973. "The Pricing of Options and Corporate Liabilities." *Journal of Political Economy* 81 (3): 637–54.
- . 1974. "From Theory to a New Financial Product." *Journal of Finance* 19 (2): 399–412.

- Blume, L. E., and Steven N. Durlauf, eds. 2006. *The Economy as an Evolving Complex System III: Current Perspectives and Future Directions* (Santa Fe Institute Studies in the Science of Complexity). New York: Oxford University Press.
- Bookstaber, Richard. 2007. *A Demon of Our Own Design: Markets, Hedge Funds and the Perils of Financial Innovation*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Boskin, Michael J., E. Dullberger, R. Gordon, Z. Griliches, and D. Jorgenson. 1996. "Towards a More Accurate Measure of the Cost of Living." Final Report to the Senate Finance Committee, December 4.
- . 1998. "Consumer Prices, the Consumer Price Index, and the Cost of Living." *Journal of Economic Perspectives* 12 (1, Winter): 3–26.
- Bosworth, Barry P. 1997. "The Politics of Immaculate Conception." *The Brookings Review*, June, 43–44.
- Bouchaud, Jean-Philippe, and Didier Sornette. 1994. "The Black-Scholes Option Pricing Problem in Mathematical Finance: Generalization and Extensions for a Large Class of Stochastic Processes." *Journal de Physique* 4 (6): 863–81.
- Bower, Tom. 1984. *Klaus Barbie, Butcher of Lyons*. London: M. Joseph.
- Bowman, D. D., G. Ouillion, C. G. Sammis, A. Sornette, and D. Sornette. 1998. "An Observational Test of the Critical Earthquake Concept." *Journal of Geophysical Research* 103: 24359–72.
- Broad, William J. 1992. "Defining the New Plowshares Those Old Swords Will Make." *The New York Times*, February 5.
- Brooks, David. 2010. "The Return of History." *The New York Times*, March 26, A27.
- Brown, Mike, Stuart Kauffman, Zoe-Vonna Palmrose, and Lee Smolin. 2008. "Can Science Help Solve the Economic Crisis?" Available, with a response from Weinstein, at [http://www.edge.org/3rd culture/brown08/brown08 index.html](http://www.edge.org/3rd_culture/brown08/brown08_index.html).
- Brown, Robert. 1828. "A Brief Account of Microscopical Observations Made on the Particles Contained in the Pollen of Plants." *Philosophical Magazine* 4: 161–73.

- Bruck, Connie. 1994. *Master of the Game: Steve Ross and the Creation of Time Warner*. New York: Simon & Schuster.
- Bufe, Charles G., and David J. Varnes. 1993. "Predictive Modeling of the Seismic Cycle of the Greater San Francisco Bay Region." *Journal of Geophysical Research* 98 (B6): 9871–83.
- Buffett, Warren. 2002. "Annual Shareholder Letter." Available at <http://www.berkshirehathaway.com/letters/2002pdf.pdf>.
- . 2008. "Annual Shareholder Letter." Available at <http://www.berkshirehathaway.com/letters/2008ltr.pdf>.
- . 2010. "Annual Shareholder Letter." Available at <http://www.berkshirehathaway.com/letters/2010pdf.pdf>.
- Cadbury, Deborah. 2006. *Space Race: The Epic Battle Between America and the Soviet Union for Dominion of Space*. New York: HarperCollins.
- Cardano, Girolamo. 1961 (1565). *The Book on Games of Chance [Liber de ludo aleae]*, trans. Sydney Henry Gould. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- . 1929 (1576). *The Book of My Life [De vita propria liber]*, trans. Jean Stoner. New York: E. P. Dutton.
- Casella, George, and Roger L. Berger. 2002. *Statistical Inference*. 2nd ed. Pacific Grove, CA: Duxbury.
- Cassidy, John. 2007. "The Blow-Up Artist." *The New Yorker*, October 15, 56–69.
- . 2010a. "After the Blowup." *The New Yorker*, January 11, 28–33.
- . 2010b. *How Markets Fail*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Cervantes, Miguel de. 1881. *The Exemplary Novels of Cervantes*, ed. Walter K. Kelly. London: George Bell and Sons.
- Chalmers, Alan. 2009. *The Scientist's Atom and the Philosopher's Stone: How Science Succeeded and Philosophy Failed to Gain Knowledge of Atoms*. New York: Springer-Verlag.
- . 2011. "Drawing Philosophical Lessons From Perrin's Experiments on Brownian Motion: A Response to van Fraassen." *British Journal of the Philosophy of Science* 62 (4): 711–32.

- Chapman, Toby. 1998. "Speculative Trading: Physicists' Forays Into Finance." *Europhysics Notes*, January/February, 4.
- Cirillo, Renato. 1979. *The Economics of Vilfredo Pareto*. New York: Frank Cass and Company.
- Coase, Ronald H. 1960. "The Problem of Social Cost." *Journal of Law and Economics III*, October, 1–44.
- Cole, K. C. 2009. *Something Incredibly Wonderful Happens: Frank Oppenheimer and the World He Made Up*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt.
- Collins, Martin. 1999. *Space Race: The U.S.-U.S.S.R. Competition to Reach the Moon*. Rohnert Park, CA: Pomegranate Communications.
- Compton, Arthur Holly. 1956. *Atomic Quest*. New York: Oxford University Press.
- Conant, Jennet. 2005. *109 East Palace: Robert Oppenheimer and the Secret City of Los Alamos*. New York: Simon & Schuster.
- Cone, Edward. 1999. "Got Risk?" *Wired* 7 (12).
- Cont, R. 2001. "Empirical Properties of Asset Returns: Stylized Facts and Statistical Issues." *Quantitative Finance* 1: 223–36.
- Cootner, Paul, ed. 1964. *The Random Character of Stock Prices*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Cottingham, W. N., and D. A. Greenwood. 2007. *An Introduction to the Standard Model of Particle Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Courtault, Jean-Michel, and Youri Kabanov. 2002. *Louis Bachelier: Aux origines de la finance mathématique*. Paris: Presses Universitaires Franc-Comtoises.
- Cox, John C., and Mark Rubinstein. 1985. *Options Markets*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Dash, Mike. 1999. *Tulipomania: The Story of the World's Most Coveted Flower and the Extraordinary Passions It Aroused*. New York: Three Rivers Press.
- David, F. N. 1962. *Games, Gods & Gambling: A History of Probability and Statistical Ideas*. New York: Simon & Schuster.



- Davis, Mark, and Alison Etheridge. 2006. *Louis Bachelier's Theory of Speculation: The Origins of Modern Finance*. Princeton: Princeton University Press.
- Davis, Monte. 1984. "Benoît Mandelbrot." *Omni Magazine* 6 (5): 64.
- Davy, P. H., A. Sornette, and D. Sornette. 1990. "Some Consequences of a Proposed Fractal Nature of Continental Faulting." *Nature* 348 (November): 56–58.
- Derman, Emanuel. 2004. *My Life as a Quant*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- . 2011a. "Emanuel Derman on Fischer Black." Available at <https://www.quantnet.com/emanuel-derman-fischer-black/>.
- . 2011b. *Models Behaving Badly*. New York: Free Press.
- Derman, Emanuel, and Iraj Kani. 1994. "The Volatility Smile and Its Implied Tree." Goldman Sachs Quantitative Strategies Research Note.
- Derman, Emanuel, and Nassim Nicholas Taleb. 2005. "The Illusions of Dynamic Replication." *Quantitative Finance* (4): 323–26.
- Derman, Emanuel, and Paul Wilmott. 2009. "The Financial Modelers' Manifesto." Available at Social Science Research Network (SSRN), <http://ssrn.com/abstract=1324878> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1324878>.
- Devlin, Keith. 2008. *The Unfinished Game: Pascal, Fermat, and the Seventeenth-Century Letter That Made the World Modern*. New York: Basic Books.
- Dimand, Robert W., and Hichem Ben-El-Mechaiekh. 2006. "Louis Bachelier." In *Pioneers of Financial Economics*, vol. 1, ed. Geoffrey Poitras. Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.
- Divisia, François. 1925. "L'Indice monétaire et la théorie de la monnaie." *Revue d'Économie Politique* 3: 842–64.
- Duffus, R. L. 1972. *The Santa Fe Trail*. Albuquerque: University of New Mexico Press.
- Dwork, Deborah, and Robert Jan van Pelt. 2002. *Holocaust: A History*. New York: W. W. Norton.

- Eichengreen, Barry. 2008. *Globalizing Capital: A History of the International Monetary System*. 2nd ed. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Eichenwald, Kurt. 1989a. "Jury Selection Begins Today in Princeton/Newport Case." *The New York Times*, June 19.
- . 1989b. "Six Guilty of Stock Conspiracy." *The New York Times*, August 1.
- Einstein, Albert. 1905a. "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt." *Annalen der Physik* 17: 132–48.
- . 1905b. "Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen." *Annalen der Physik* 17: 549–60.
- . 1905c. "Zur Elektrodynamik bewegter Körper." *Annalen der Physik* 17: 891–921.
- . 1905d. "Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energiegehalt abhängig?" *Annalen der Physik* 18, 639–41.
- . 1946. *The Meaning of Relativity*. 2nd ed. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Falconer, Kenneth. 2003. *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*. 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Fama, Eugene. 1964. "Mandelbrot and the Stable Paretian Hypothesis." In *The Random Character of Stock Prices*, ed. Paul Cootner, 297–306. Cambridge, MA: MIT Press.
- . 1965. "The Behavior of Stock Market Prices." *Journal of Business* 38 (1).
- Farmer, J. Doyne, and John J. Sidorowich. 1987. "Predicting Chaotic Time Series." *Physical Review Letters* 59 (8): 845–48.
- Figlewski, Stephen. 1995. "Remembering Fischer Black." *The Journal of Derivatives* 3 (2): 94–98.
- Financial Crisis Inquiry Commission. 2011. *The Financial Crisis Inquiry Report, Authorized Edition: Final Report of the National Commission on the Causes of the Financial and Economic Crisis in the United States*. New York: Public Affairs.

- Fischel, Jack R. 1998. *The Holocaust*. Westport, CT: Greenwood Press.
- Forbes, Catherine, Merran Evans, Nicholas Hastings, and Brian Peacock. 2011. *Statistical Distributions*. 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Forbes magazine. 2011. "The World's Billionaires 2011." Available at [http://www.forbes.com/lists/2011/10/billionaires\\_2011.html](http://www.forbes.com/lists/2011/10/billionaires_2011.html).
- Forfar, David O. 2007. "Fischer Black." Available at [http://www.history.mcs.standrews.ac.uk/Biographies/Black\\_Fischer.html](http://www.history.mcs.standrews.ac.uk/Biographies/Black_Fischer.html).
- Fox, Justin. 2009. *The Myth of the Rational Market*. New York: Harper Business.
- French, Craig W. 2003. "The Treynor Capital Asset Pricing Model." *Journal of Investment Management* 1 (2): 60–72.
- Galison, Peter. 1997. *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago: University of Chicago Press.
- . 2003. *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time*. New York: W. W. Norton.
- Galison, Peter, and Bruce Hevly, eds. 1992. *Big Science*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Gebhard, Louis A. 1979. *Evolution of Naval Radio-Electronics and Contributions of the Naval Research Laboratory*. Washington, DC: Naval Research Laboratory. NRL Report 8300.
- Geroch, Robert. 1981. *General Relativity From A to B*. Chicago: University of Chicago Press.
- Girlich, Hans-Joachim. 2002. "Bachelier's Predecessors." Available at <http://www.mathematik.uni-leipzig.de/preprint/2002/p5-2002.pdf>.
- Glansdorff, Paul, and Ilya Prigogine. 1971. *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*. London: Wiley Interscience.
- Gleick, J. 1987. *Chaos: Making a New Science*. New York: Viking.
- . 2011. *The Information: A History, a Theory, a Flood*. Toronto: Pantheon Books.
- Goldgar, Anne. 2007. *Tulipmania: Money, Honor, and Knowledge in the Dutch Golden Age*. Chicago: University of Chicago Press.

- Gordon, Robert J. 2002. "The Boskin Report vs. NAS At *What Price*: 'The Wild vs. the Mild.'" Slides presented at the 2002 Conference on Research in Income and Wealth. Available at <http://faculty-web.at.northwestern.edu/economics/gordon/BoskinvsNAS.ppt>.
- . 2006. "The Boskin Commission Report: A Retrospective One Decade Later." *International Productivity Monitor* 12 (June): 7–22.
- Gorton, Gary. 2010. *Slapped by the Invisible Hand: The Panic of 2007*. New York: Oxford University Press.
- Gray, Robert M. 2011. *Entropy and Information Theory*. New York: Springer-Verlag.
- Greenlees, John S. 2006. "The BLS Response to the Boskin Commission Report." *International Productivity Monitor* 12 (June): 23–41.
- Greer, John F. Jr. 1996. "Simons Doesn't Say." *Financial World*, October 21.
- Groves, Leslie R. 1962. *Now It Can Be Told*. New York: Harper & Row.
- Guckenheimer, J., and P. Holmes. 1983. *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcation of Vector Fields*. Berlin: Springer-Verlag.
- Hacking, Ian. 1975. *The Emergence of Probability*. New York: Cambridge University Press.
- . 1990. *The Taming of Chance*. New York: Cambridge University Press.
- Hájek, Alan. 2012. "Interpretations of Probability." *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Spring 2012 edition, ed. Edward N. Zalta. Palo Alto, CA: Center for the Study of Language and Information. Available at <http://plato.stanford.edu/archives/spr2012/entries/probability-interpret/>.
- Hald, Anders. 2003. *A History of Probability and Statistics and Their Applications Before 1750*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Handa, Jagdish. 2000. *Monetary Economics*. New York: Taylor and Francis.
- Handley, Susannah. 2000. *Nylon: The Story of a Fashion Revolution*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Hastings, Charles Sheldon. 1909. *Biographical Memoir of Josiah Willard Gibbs 1879–1903*. Washington, DC: National Academy of Sciences.

- Haug, Espen Gaarder, and Nassim Nicholas Taleb. 2011. "Option Traders Use (Very) Sophisticated Heuristics, Never the Black-Scholes-Merton Formula." *Journal of Economic Behavior and Organization* 77 (2): 97–106.
- Hendry, David F., and Mary S. Morgan. 1996. "Obituary: Jan Tinbergen 1903–1994." *Journal of the Royal Statistical Society: Series A* 159 (3): 614–18.
- Hoddeson, Lillian, Laurie Brown, Michael Riordan, and Max Dresden. 1997. *The Rise of the Standard Model: Particle Physics in the 1960s and 1970s*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hopkins, W. Wat. 1991. *Mr. Justice Brennan and Freedom of Expression*. New York: Praeger Publishers.
- Hounshell, David A. 1992. "Du Pont and the Management of Large-Scale Research and Development." In *Big Science*, ed. Peter Galison and Bruce Hevly. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Hounshell, David A., and John Kenly Smith Jr. 1988. *Science and Corporate Strategy: Du Pont R&D, 1902–1980*. New York: Cambridge University Press.
- Huang, Y., H. Saleur, C. Sammis, and D. Sornette. 1998. "Precursors, Aftershocks, Criticality and Self-Organized Criticality." *Europhysics Letters* 41: 44–48.
- Hull, John C. 2011. *Options, Futures, and Other Derivatives*. 8th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Hunsaker, Jerome, and Saunders MacLane. 1973. *Edwin Bidwell Wilson: 1879–1964*. Washington, DC: National Academy of Sciences.
- Illinski, K. 2001. *The Physics of Finance: Gauge Modelling in Non-equilibrium Pricing*. New York: John Wiley and Sons.
- Isaacson, Walter. 2007. *Einstein: His Life and Universe*. New York: Simon & Schuster.
- Johansen, A., and D. Sornette. 2000. "Critical Ruptures." *The European Physical Journal B — Condensed Matter and Complex Systems* 18 (1): 163–81.
- Johansen, Anders, Didier Sornette, Hiroshi Wakita, Urumu Tsunogai, William I. Newman, and Hubert Saleur. 1996. "Discrete Scaling in

- Earthquake Precursory Phenomena: Evidence in the Kobe Earthquake, Japan." *Journal de Physique I* 6 (10): 1391–1402.
- Jones, Vincent C. 1985. *Manhattan, the Army and the Atomic Bomb*. Washington, DC: Government Printing Office.
- Jovanovic, Frank. 2000. "L'origine de la théorie financière: Une réévaluation de l'apport de Louis Bachelier." *Revue d'économie politique* 110 (3): 395–418.
- . 2006. "A Nineteenth-Century Random Walk: Jules Regnault and the Origins of Scientific Financial Economics." In *Pioneers of Financial Economics*, vol. 1, ed. Geoffrey Poitras. Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.
- Jung, Jayne. 2007. "The Right Time." *Risk Magazine*, September 1.
- Kahn, David. 1967. *The Code-Breakers: The Comprehensive History of Secret Communication From Ancient Times to the Internet*. New York: Scribner.
- Kaplan, Ian. 2002. "The Predictors by Thomas A. Bass: A Retrospective." This is a comment on *The Predictors* by a former employee of the Prediction Company. Available at <http://www.bearcave.com/bookrev/predictors2.html>.
- Karlin, Samuel, and Howard M. Taylor. 1975. *A First Course in Stochastic Processes*. 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press.
- . 1981. *A Second Course in Stochastic Processes*. San Diego, CA: Academic Press.
- Katzmann, Robert A. 2008. *Daniel Patrick Moynihan: The Intellectual in Public Life*. Washington, DC: Woodrow Wilson Center Press.
- Kelly, J. Jr. 1956. "A New Interpretation of Information Rate." *IRE Transactions on Information Theory* 2 (3, September): 185–89.
- Kelly, Kevin. 1994a. "Cracking Wall Street." *Wired* 2 (7).
- . 1994b. *Out of Control: The Rise of Neobiological Civilization*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Kendall, M. G. 1953. "The Analysis of Economic Time-Series, Part 1: Prices." *Journal of the Royal Statistical Society* 116 (1): 11–34.
- Khandani, Amir E., and Andrew W. Lo. 2011. "What Happened to the Quants in August 2007? Evidence From Factors and Transactions

- Data." *Journal of Financial Markets* 14 (1): 1–46.
- Kindleberger, Charles P., and Robert Aliber. 2005. *Manias, Panics, and Crashes*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Kolmogorov, Andrei. 1931. "Über die analytischen Methoden in der Wahrscheinlichkeitsrechnung." *Mathematische Annalen* 104: 415–58.
- Krige, J., A. Russo, and L. Sebesta. 2000. *The Story of ESA 1973–1987*, vol. 2 of *A History of the European Space Agency 1958–1987*. Noordwijk: ESA Publications Division.
- Krugman, Paul. 2008. *The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008*. New York: W. W. Norton.
- . 2009. "How Did Economists Get It So Wrong?" *The New York Times Magazine*, September 6.
- Krugman, Paul, and Robin Wells. 2009. *Economics*. 2nd ed. New York: Worth Publishers.
- Lahart, Justin. 2007. "Behind the Stock Market's Zigzag." *The Wall Street Journal*, August 11, B1.
- Laing, Jonathan R. 1974. "Playing the Odds." *The Wall Street Journal*, September 23, 1.
- Lamaignère, Laurent, François Carmona, and Didier Sornette. 1996. "Experimental Realization of Critical Thermal Fuse Rupture." *Physical Review Letters* 77 (13, September): 2738–41.
- . 1997. "Static and Dynamic Electrical Breakdown in Conducting Filled-Polymers." *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 241(1–2): 328–33.
- Lehmann, Bruce N., ed. 2005. *The Legacy of Fischer Black*. New York: Oxford University Press.
- Lehmann, P. J. 1991. *La Bourse de Paris*. Paris: Dunod.
- . 1997. *Histoire de la Bourse de Paris*. Paris: Presses Universitaires France.
- Li, David X. 2000. "On Default Correlation: A Copula Function Approach." *Journal of Fixed Income* 9 (4): 43–54.
- Li, Tien-Yien, and James A. Yorke. 1975. "Period Three Implies Chaos." *The American Mathematical Monthly* 82 (10): 985–92.



- Lim, Kian-Guan. 2006. "The Efficient Market Hypothesis: A Developmental Perspective." In *Pioneers of Financial Economics*, vol. 2., ed. Geoffrey Poitras. Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.
- Lintner, John. 1965. "The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets." *Review of Economics and Statistics* 47: 13–37.
- Lorenz, Edward. 1993. *The Essence of Chaos*. Seattle: University of Washington Press.
- . 2000. "Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?" In *The Chaos Avant-Garde: Memories of the Early Days of Chaos Theory*, ed. Ralph Abraham and Yoshisuke Ueda. Singapore: World Scientific Publishing.
- Lowenstein, Roger. 2000. *When Genius Failed: The Rise and Fall of Long-Term Capital Management*. New York: Random House.
- Lucretius. 2008 (60b.c.). *Nature of Things [De rerum natura]*, trans. David R. Slavitt. Berkeley, CA: University of California Press.
- Lux, Hal. 2000. "How Does This Prize-Winning Mathematician and Former Code Breaker Rack Up His Astonishing Returns? Try a Little Luck and a Firm Full of Ph.D.s." *Institutional Investor*, November 1.
- Mackay, Charles. 1841. *Extraordinary Popular Delusions and the Madness of Crowds*. London: Richard Bentley.
- MacKenzie, Donald. 2006. *An Engine, Not a Camera*. Cambridge, MA: MIT Press.
- MacLean, Leonard C., Edward O. Thorp, and William T. Ziemba. 2011. *The Kelly Capital Growth Investment Criterion*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Maddy, Penelope. 1997. *Naturalism in Mathematics*. New York: Oxford University Press.
- . 2001. "Naturalism: Friends and Foes." *Philosophical Perspectives* 15: 37–67.
- . 2007. *Second Philosophy*. New York: Oxford University Press.
- Mahwin, Jean. 2005. "Henri Poincaré. A Life in the Service of Science." *Notices of the AMS* 52 (9): 1036–44.

- Malaney, Pia. 1996. "The Index Number Problem: A Differential Geometric Approach." Dissertation defended at Harvard University.
- Malevergne, Y., and D. Sornette. 2006. *Extreme Financial Risks: From Dependence to Risk Management*. Berlin: Springer-Verlag.
- Malkiel, Burton G. 1973. *A Random Walk Down Wall Street: The Best Investment Advice for the New Century*. New York: W. W. Norton & Company.
- Mallaby, Sebastian. 2010. *More Money Than God: Hedge Funds and the Making of a New Elite*. New York: Penguin Press.
- Mandelbrot, Benoît. 1964. "The Variation of Certain Speculative Prices." *The Random Character of Stock Prices*, ed. Paul Cootner, 307–32. Cambridge, MA: MIT Press.
- . 1967. "How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension." *Science* 156 (3775) : 636–38.
- . 1975. *Les objets fractals: Forme, hasard et dimension*. Paris: Flammarion.
- . 1977. *Fractals: Form, Chance, and Dimension*. San Francisco: W. H. Freeman.
- . 1982. *Fractal Geometry of Nature*. New York: W. H. Freeman.
- . 1987. "Exiles in Pursuit of Beauty." *The Scientist*, March 23, 19.
- . 1997. *Fractals and Scaling in Finance: Discontinuity, Concentration, Risk*. New York: Springer-Verlag.
- . 1998. "Personal Narrative Recorded by Web of Stories." Video available at <http://www.webofstories.com/play/9596>.
- . 2004a. "A Maverick's Apprenticeship." In *The Wolf Prize in Physics*, ed. David Thouless. Singapore: World Scientific Publishing.
- . 2004b. *Fractals and Chaos: the Mandelbrot Set and Beyond*. New York: Springer-Verlag.
- . 2010. "Interview with bigthink.com." Video available at <http://bigthink.com/ideas/19207>.
- Mandelbrot, Benoît, and Richard L. Hudson. 2004. *The Misbehavior of Markets*. New York: Basic Books.
- Mankiw, Gregory. 2012. *Principles of Economics*. 6th ed. Mason, OH: South-Western, Cengage Learning.

- Mantegna, Rosario N., and H. Eugene Stanley. 2000. *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*. New York: Cambridge University Press.
- Markham, Jerry W. 2002. *A Financial History of the United States*. Armonk, NY: M. E. Sharpe.
- Marrus, Michael R., and Robert O. Paxton. 1995. *Vichy France and the Jews*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- McKale, Donald M. 2012. *Nazis After Hitler: How Perpetrators of the Holocaust Cheated Justice and Truth*. Plymouth, UK: Rowman & Littlefield.
- McLean, Bethany, and Joe Nocera. 2010. *All the Devils Are Here: The Hidden History of the Financial Crisis*. New York: Portfolio/Penguin.
- Mehrling, Perry. 2005. *Fischer Black and the Revolutionary Idea of Finance*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Melamed, Leo. 1993. *Leo Melamed on the Markets*. New York: John Wiley and Sons.
- Merton, Robert C. 1973. "Theory of Rational Option Pricing." *Bell Journal of Economics and Management Science* 4 (1): 141–183.
- Merton, Robert C., and Myron S. Scholes. 1995. "Fischer Black." *Journal of Finance* 50 (5): 1359–70.
- Michie, Ranald C. 1999. *The London Stock Exchange: A History*. New York: Oxford University Press.
- Mishkin, Frederic S., and Stanley G. Eakins. 2009. *Financial Markets and Institutions*. 6th ed. Boston, MA: Pearson Education.
- Misner, Charles W., Kip S. Thorne, and John Archibald Wheeler. 1973. *Gravitation*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Mitchell, Melanie. 1998. *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Morehead, Albert H. 1967. *Complete Guide to Winning Poker*. New York: Simon & Schuster.
- Morgan, Mary S. 1990. *The History of Econometric Ideas*. New York: Cambridge University Press.

- . 2003. "Economics." In *The Cambridge History of Science*, 275–305. New York: Cambridge University Press.
- Morley, Henry. 1854. *The Life of Girolamo Cardano, of Milan, Physician*. London: Chapman and Hall.
- Moynihan, Daniel P. 1996. *Miles to Go: A Personal History of Social Policy*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Nasar, Sylvia. 1998. *A Beautiful Mind: The Life of Mathematical Genius and Nobel Laureate John Nash*. New York: Touchstone.
- Ndiaye, Pap A. 2007. *Nylon and Bombs*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Niederhoffer, Victor. 1998. *The Education of a Speculator*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Niederhoffer, Victor, and M.F.M. Osborne. 1966. "Market Making and Reversals on the Stock Exchange." *Journal of the American Statistical Association* 61 (316): 897–916.
- Nocera, Joe. 2007. "Markets Quake, and a Neutral Strategy Slips." *The New York Times*, August 18, C1.
- O'Connor, J. J., and E. F. Robertson. 2005. "Szolem Mandelbrojt." Available at [http:// www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Mandelbrojt.html](http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Mandelbrojt.html).
- O'Raifeartaigh, Lochlann. 1997. *Dawning of Gauge Theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Ore, Øystein. 1953. *Cardano, the Gambling Scholar*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Oreskes, N., and H. Le Grand. 2003. *Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth*. 2nd ed. Boulder, CO: Westview Press.
- Osborne, M.F.M. 1951. "Aerodynamics of Flapping Flight, With Applications to Insects." *Journal of Experimental Biology* 28 (2): 221–45.
- . 1959. "Brownian Motion in the Stock Market." *Operations Research* 7: 145–73.
- . 1961. "The Hydrodynamical Performance of Migratory Salmon." *Journal of Experimental Biology* 38: 365–90.

- . 1962. "Periodic Structure in the Brownian Motion of Stock Prices." *Operations Research* 10 (3): 345–79.
- . 1967. "Some Quantitative Tests for Stock Price Generating Mechanisms and Trading Folklore." *Journal of the American Statistical Association* 62 (318): 321–40.
- . 1973. "The Observation and Theory of Fluctuation in Deep Ocean Currents." *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift* 8 (13): 1–58.
- . 1977. *The Stock Market and Finance From a Physicist's Viewpoint*. Minneapolis, MN: Crossgar Press.
- . 1987a. "Autobiographical Recollections of M. F. Maury Osborne." Courtesy of the Osborne family.
- . 1987b. "Osborne Family History: Recollections of M.F.M. Osborne." Courtesy of the Osborne family.
- Osborne, M.F.M., and Albert Einstein. 1946. Unpublished correspondence. Courtesy of the Osborne family.
- Packard, N. H. 1988. "Adaptation Toward the Edge of Chaos." *Dynamic Patterns in Complex Systems*, ed. J.A.S. Kelso, A. J. Mandell, and M. F. Shlesinger. Singapore: World Scientific Publishing.
- . 1990. "A Genetic Learning Algorithm for the Analysis of Complex Data." *Complex Systems* 4 (5): 543–72.
- Packard, N. H., J. P. Crutchfield, J. D. Farmer, and R. S. Shaw. 1980. "Geometry From a Time Series." *Physical Review Letters* 45 (9): 712–16.
- Pais, Abraham. 1982. *Subtle Is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press.
- . 2006. *J. Robert Oppenheimer: A Life*. New York: Oxford University Press.
- Patterson, Scott. 2010. *The Quants*. New York: Crown Business.
- Patterson, Scott, and Anita Raghavan. 2007. "How Market Turmoil Waylaid the 'Quants.'" *The Wall Street Journal*, September 7, A1.
- Paxton, Robert O. 1972. *Vichy France: Old Guard and New Order, 1940–1944*. New York: Knopf.
- Peltz, Michael. 2008. "James Simons." *Absolute Return + Alpha*, June 20.

- Poitras, Geoffrey. 2006. *Pioneers of Financial Economics*, vol. 1. Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.
- . 2009. "The Early History of Option Contracts." In *Vinzenz Bronzin's Option Pricing Models*, 487–518. Berlin: Springer-Verlag.
- Poundstone, William. 2005. *Fortune's Formula: The Untold Story of the Scientific Betting System That Beat the Casinos and Wall Street*. New York: Hill and Wang.
- Poznanski, Renée. 2001. *Jews in France During World War II*, trans. Nathan Bracher. Hanover, NH: Brandeis University Press.
- Prigogine, I., and G. Nicolis. 1977. *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*. New York: John Wiley and Sons.
- Pynchon, Thomas. 1973. *Gravity's Rainbow*. New York: Viking Press.
- Radelet, Steven, and Jeffrey D. Sachs. 2000. "The Onset of the East Asian Financial Crisis." In *Currency Crises*, ed. Paul Krugman, 105–62. Chicago: University of Chicago Press.
- Rajan, Raghuram G. 2010. *Faultlines*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Reinhart, Carmen M., and Kenneth Rogoff. 2009. *This Time Is Different: Eight Centuries of Financial Folly*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Rhodes, Richard. 1995. *The Making of the Atomic Bomb*. New York: Simon & Schuster.
- Rogers, Simon. 2010. "NASA Budgets: US Spending on Space Travel Since 1958." *The Guardian*, February 1. Available at <http://www.guardian.co.uk/news/datablog/2010/feb/01/nasa-budgets-us-spending-space-travel>.
- Rossel, Seymour. 1992. *The Holocaust: The World and the Jews, 1933–1945*. Springfield, NJ: Behrman House.
- Rukseyer, Muriel. 1988. *Willard Gibbs*. Woodbridge, CT: Ox Bow Press.
- Saichev, Alexander, Yannick Malevergne, and Didier Sornette. 2010. *Theory of Zipf's Law and Beyond*. Berlin: Springer-Verlag.
- Saleur, H., C. G. Sammis, and D. Sornette. 1996a. "Discrete Scale Invariance, Complex Fractal Dimensions, and Log-Periodic

- Fluctuations in Seismicity." *Journal of Geophysical Research* 101 (B8): 17661–77.
- . 1996b. "Renormalization Group Theory of Earthquakes." *Nonlinear Processes in Geophysics* 3 (2): 102–9.
- Salmon, Felix. 2009. "Recipe for Disaster: The Formula That Killed Wall Street." *Wired*, 17 (3, October).
- Sammis, C. G., D. Sornette, and H. Saleur. 1996. "Complexity and Earthquake Forecasting." In *Reduction and Predictability of Natural Disasters*, ed. J. B. Rundle, W. Klein, and D. L. Turcotte, 143–56. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Samuelson, Paul. 1947. *Foundations of Economic Analysis*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- . 1948. *Economics*. New York: McGraw-Hill.
- . 2000. "Modern Finance Theory Within One Lifetime." In *Mathematical Finance: Bachelier Congress 2000*, ed. Helyette Geman, Dilip Madan, Stanley R. Pliska, and Ton Vorst. Berlin: Springer-Verlag.
- Sauron, Anne Sornette. 1990. "Lois d'échelle dans les milieux fissures: Application à la lithosphère." Dissertation defended at University of Paris-11.
- Scholz, Erhard. 1994. "Hermann Weyl's Contributions to Geometry in the Years 1918 to 1923." In *The Intersection of History and Mathematics*, ed. J. Dauben, S. Mitsuo, and C. Saski. Basel: Birkhäuser.
- Schultze, Charles, and Christopher Mackie, eds. 2002. *At What Price? Conceptualizing and Measuring Cost-of-Living and Price Indexes*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Schwager, Jack D. 2012. *Market Wizards: Interviews With Top Traders*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Seed magazine. 2006. "James Simons: The Billionaire Hedge Fund Manager Discusses the Impact of Mathematics on His Former Life in Academia and His New One in Finance." *Seed*, September 19.
- Sepinuck, Stephen L., and Mary Pat Treuthart, eds. 1999. *The Conscience of the Court: Selected Opinions of Justice William J. Brennan Jr. on*



- Freedom and Equality*. Carbondale, IL: Southern Illinois University Press.
- Sewell, Martin. 2011. "A History of the Efficient Market Hypothesis." University College London Department of Computer Science Research Note. Available at [http://www-typo3.cs.ucl.ac.uk/fileadmin/UCL-CS/images/Research\\_Student\\_Information/RN\\_11\\_04.pdf](http://www-typo3.cs.ucl.ac.uk/fileadmin/UCL-CS/images/Research_Student_Information/RN_11_04.pdf).
- Shannon, Claude Elwood, and Warren Weaver. 1949. *A Mathematical Theory of Communication*. Champaign: University of Illinois Press.
- Sharpe, William. 1964. "Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk." *Journal of Finance* 19 (3): 425–42.
- Sheehan, Frederick J. 2010. *Panderer to Power: The Untold Story of How Alan Greenspan Enriched Wall Street and Left a Legacy of Recession*. New York: McGraw-Hill.
- Shiller, Robert J. 2005. *Irrational Exuberance*. 2nd ed. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- . 2008. *The Subprime Solution: How Today's Global Financial Crisis Happened, and What to Do About It*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Simons, James. 2010. "Mathematics, Common Sense, and Good Luck: My Life and Careers." A talk delivered at MIT on December 9. Video available at <http://video.mit.edu/watch/mathematics-common-sense-and-good-luck-my-life-and-careers-9644>.
- Siraisi, Nancy G. 1997. *The Clock and the Mirror: Girolamo Cardano and Renaissance Medicine*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Skyrms, Brian. 1999. *Choice and Chance*. 4th ed. Belmont, CA: Wadsworth.
- Smalley, R. F. Jr., and D. L. Turcotte. 1985. "A Renormalization Group Approach to the Stick-Slip Behavior of Faults." *Journal of Geophysical Research* 90 (B2, February): 1894–1900.
- Smolin, Lee. 2005. "Why No 'New Einstein'?" *Physics Today* 6: 56–57.
- . 2006. *The Trouble With Physics: The Rise of String Theory, the Fall of a Science, and What Comes Next*. New York: Houghton Mifflin.

- . 2009. "Time and Symmetry in Models of Economic Markets." Available at <http://arxiv.org/abs/0902.4274>.
- Sornette, Didier. 1996. "Stock Market Crashes Precursors and Replicas." *Journal de Physique I* 6: 167–75.
- Sornette, Didier. 1998. "Gauge Theory of Finance?" *International Journal of Modern Physics* 9 (3): 505–8.
- . 2000. *Critical Phenomena in Natural Sciences: Chaos, Fractals, Self-Organization and Disorder: Concepts and Tools*. Berlin: Springer-Verlag.
- . 2003. *Why Stock Markets Crash: Critical Events in Complex Financial Systems*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- . 2009. "Dragon Kings, Black Swans and the Prediction of Crises." *International Journal of Terraspace Science Engineering* 2 (1): 1–18.
- Sornette, A., P. Davy, and D. Sornette. 1990a. "Growth of Fractal Fault Patterns." *Physical Review Letters* 65 (18, October): 2266–69.
- . 1990b. "Structuration of the Lithosphere in Plate Tectonics as a Self-Organized Critical Phenomenon." *Journal of Geophysical Research* 95 (B11): 17353–61.
- Sornette, Didier, and Anders Johansen. 1997. "Large Financial Crashes." *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 245 (3–4): 411–22.
- Sornette, Didier, and Charles Sammis. 1995. "Complex Critical Exponents From Renormalization Group Theory of Earthquakes: Implications for Earthquake Predictions." *Journal de Physique I* 5 (5): 607–19.
- Sornette, A., and D. Sornette. 1990. "Earthquake Rupture as a Critical Point: Consequences for Telluric Precursors." *Tectonophysics* 179 (34): 327–34.
- . 1996. "Self-Organized Criticality and Earthquakes." *Journal de Physique I* 6: 167–75.
- Sornette, Didier, and Christian Vanneste. 1992. "Dynamics and Memory Effects in Rupture of Thermal Fuse." *Physical Review Letters* 68: 612–15.

- . 1994. "Dendrites and Fronts in a Model of Dynamical Rupture With Damage." *Physical Review E* 50 (6, December): 4327–45.
- Sornette, D., C. Vanneste, and L. Knopoff. 1992. "Statistical Model of Earthquake Foreshocks." *Physical Review A* 45: 8351–57.
- Sourd, Véronique Le. 2008. "Hedge Fund Performance in 2007." EDHEC Risk and Asset Management Research Centre.
- Spence, Joseph. 1820. *Observations, Anecdotes, and Characters, of Books and Men*. London: John Murray.
- Stewart, James B. 1992. *Den of Thieves*. New York: Simon & Schuster.
- Stigler, Stephen M. 1986. *The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty Before 1900*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Stiglitz, Joseph E. 2010. *Freefall*. New York: W. W. Norton.
- Strasburg, Jenny, and Katherine Burton. 2008. "Renaissance Clients Pull \$4 Billion From Biggest Hedge Fund." *Bloomberg*, January 10.
- Strogatz, Steven H. 1994. *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Cambridge, MA: Perseus Books.
- Sullivan, Edward J., and Timothy M. Weithers. 1991. "Louis Bachelier: The Father of Modern Option Pricing Theory." *The Journal of Economic Education* 22 (2): 165–71.
- Swan, Edward J. 2000. *Building the Global Market: A 4000 Year History of Derivatives*. London: Kluwer Law International.
- Taleb, Nassim Nicholas. 2004. *Foiled by Randomness*. New York: Random House.
- . 2007a. *The Black Swan*. New York: Random House.
- . 2007b. "Black Swans and the Domains of Statistics." *The American Statistician* 61 (3, August): 198–200.
- Taqqu, Murad S. 2001. "Bachelier and His Times: A Conversation With Bernard Bru." *Finance and Stochastics* 5 (1): 3–32.
- Thaler, Richard H., ed. 1993. *Advances in Behavioral Finance*, vol. 1. New York: Russell Sage Foundation.
- , ed. 2005. *Advances in Behavioral Finance*, vol. 2. Princeton, NJ: Princeton University Press.

- Thompson, Earl. 2007. "The Tulipmania: Fact or Artifact?" *Public Choice* 130 (1): 99–114.
- Thorp, Edward O. 1961. "A Favorable Strategy for Twenty-One." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 47 (1): 110–12.
- . 1966. *Beat the Dealer: A Winning Strategy for the Game of Twenty One*. New York: Vintage Books.
- . 1984. *The Mathematics of Gambling*. Secaucus, NJ: Lyle Stuart.
- . 1998. "The Invention of the First Wearable Computer." *Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers*, 1998, 4–8.
- . 2004. "A Perspective on Quantitative Finance: Models for Beating the Market." In *The Best of Wilmott 1: Incorporating the Quantitative Finance Review*, ed. Paul Wilmott, 33–38. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- . 2006. "The Kelly Criteria in Blackjack, Sports Betting, and the Stock Market." In *Theory and Methodology*, vol. 1 of *The Handbook of Asset and Liability Management*, ed. S. A. Zenios and W. T. Ziemba. Amsterdam: North Holland.
- Thorp, Edward O., and Sheen T. Kassouf. 1967. *Beat the Market*. New York: Random House.
- Treynor, Jack. 1961. "Towards a Theory of Market Value of Risky Assets." Unpublished manuscript.
- Triplett, Jack E. 2006. "The Boskin Commission Report After a Decade." *International Productivity Monitor* (12): 42–60.
- Turvey, Ralph. 2004. *Consumer Price Index Manual: Theory and Practice*. Geneva: International Labour Organization.
- U.S. Securities and Exchange Commission. 1998. "Trading Analysis of October 27 and 28, 1997." Study available at <http://www.sec.gov/news/studies/tradrep.htm>.
- . 2010a. "Goldman Sachs to Pay Record \$550 Million to Settle SEC Charges Related to Subprime Mortgage CDO." Press release available at <http://www.sec.gov/news/press/2010/2010-123.htm>.
- . 2010b. "SEC Charges Goldman Sachs with Fraud in Structuring and Marketing of CDO Tied to Subprime Mortgages." Press release

- available at <http://www.sec.gov/news/press/2010/2010-59.htm>.
- van Fraassen, Bas. 2009. "The Perils of Perrin, in the Hands of Philosophers." *Philosophical Studies* 143: 5–24.
- Vanneste, C., and Didier Sornette. 1992. "Dynamics of Rupture in Thermal Fuse Models." *Journal de Physique I* 2: 1621–44.
- Vere-Jones, D. 1977. "Statistical Theories of Crack Propagation." *Mathematical Geology* 9: 455–81.
- Voight, B. 1988. "A Method for the Prediction of Volcanic Eruptions." *Nature* 332: 125–30.
- Wald, Robert M. 1984. *General Relativity*. Chicago: University of Chicago Press.
- Walker, Donald. 2001. "A Factual Account of the Functioning of the Nineteenth- Century Paris Bourse." *European Journal of the History of Economic Thought* 8 (2): 186–207.
- Wallis, Michael. 2007. *Billy the Kid: The Endless Ride*. New York: W. W. Norton & Company.
- Wang, Zuoyue. 2008. *In Sputnik's Shadow: The President's Science Advisory Committee and Cold War America*. Piscataway, NJ: Rutgers University Press.
- Weinstein, Eric. 2006. "Gauge Theory and Inflation: Enlarging the Wu-Yang Dictionary to a Unifying Rosetta Stone for Geometry in Application." A talk delivered at the Perimeter Institute on May 24. Video is available at <http://pirsa.org/06050010/>.
- . 2008. "Sheldon Glashow Owes Me a Dollar (and 17 Years of Interest): What Happens in the Marketplace of Ideas When the Endless Frontier Meets the Efficient Frontier?" A talk delivered at the Perimeter Institute on September 11. Video is available at <http://pirsa.org/08090036/>.
- . 2009. "A Science Less Dismal: Welcome to the Economic Manhattan Project." A talk delivered at the Perimeter Institute on May 1. Video is available at <http://pirsa.org/09050047/>.
- Weron, Rafal. 2001. "Lévy-Stable Distributions Revisited: Tail Index  $> 2$  Does Not Exclude the Levy-Stable Regime." *International Journal of Modern Physics C* 12 (1).

- Wheeler, John A. 2011. Letter to Dave Dennison, January 21, 1956. In *The Everett Papers Project*, ed. Jeffrey Barrett, Peter Byrne, and James Owen Weatherall. UCISpaceThe Libraries. Available at <http://ucispace.lib.uci.edu/handle/10575/1164>.
- Wheeler, Lynde Phelps. 1988. *Josiah Willard Gibbs: The History of a Great Mind*. Woodbridge, CT: Ox Bow Press.
- Willoughby, Jack. 2008. "Scaling the Heights: The Top 75 Hedge Funds." *Barron's*, April 14.
- . 2009. "The Hedge Fund 100: Acing a Stress Test." *Barron's*, May 11.
- Wilson, E. B. 1901. *Vector Analysis*. New York: Charles Scribner's Sons.
- . 1912. *Advanced Calculus*. Boston: Ginn and Company.
- . 1931. "Reminiscences of Gibbs by a Student and Colleague." *Bulletin of the American Mathematical Society* 37 (6).
- Wolf, Thomas. 1987. *Bonfire of the Vanities*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Wood, John Cunningham, and Michael McClure. 1999. *Vilfredo Pareto: Critical Assessments of Leading Economists*. London: Routledge.
- Wu, Tai Tsun, and Chen Ning Yang. 1975. "Concept of Nonintegrable Phase Factors and Global Formulation of Gauge Fields." *Physical Review D* 12 (12, December): 3845–57.
- Wyner, A. D., and Neil J. A. Sloane, eds. 1993. *Claude Elwood Shannon: Collected Papers*. Piscataway, NJ: IEEE Press.
- Yahil, Leni. 1987. *The Holocaust: The Fate of European Jewry, 1932–1945*. Tel Aviv: Schocken Publishing House.
- Zandi, Mark. 2008. *Financial Shock: A 360 Look at the Subprime Mortgage Implosion, and How to Avoid the Next Financial Crisis*. Upper Saddle River, NJ: Financial Times Press.
- Zimmerman, Bill. 2009. "James Simons and C. N. Yang: Stony Brook Masters Series." Joint interview performed as part of the Stony Brook Masters Series. Video available at <http://www.youtube.com/watch?v=zVWlapujbfo>.
- Zimmermann, Heinz, and Wolfgang Hafner. 2006. "Vincenz Bronzin's Option Pricing Theory: Contents, Contribution and Background." In

- Pioneers of Financial Economics*, vol. 1., ed. Geoffrey Poitras.  
Northampton, MA: Edward Elgar Publishing.
- Zolotarev, V. M. 1986. *One-Dimensional Stable Distributions*. Providence,  
RI: American Mathematical Society.
- Zuckerman, Gregory. 2005. "Renaissance's Man: James Simons Does the  
Math on Fund." *The Wall Street Journal*, July 1, C1.



# 華爾街的物理學

原 著 — 魏瑟羅 (James Owen Weatherall)

譯 者 — 陳以禮

科學叢書總監暨責任編輯 — 林榮崧

封面設計 — 張議文

版型設計 — 江儀玲

---

出版者 — 遠見天下文化出版股份有限公司

創辦人 — 高希均、王力行

遠見．天下文化．事業群 董事長 — 高希均

事業群發行人／CEO — 王力行

出版事業部總編輯 — 許耀雲

版權部經理 — 張紫蘭

法律顧問 — 理律法律事務所陳長文律師

著作權顧問 — 魏啟翔律師

社址 — 台北市104 松江路93 巷1 號2 樓

讀者服務專線 — (02) 2662-0012

傳真 — (02) 2662-0007 ; 2662-0009

電子信箱 — cwpc@cwgv.com.tw

直接郵撥帳號 — 1326703-6 號 遠見天下文化出版股份有限公司

---

排版廠 — 極翔企業有限公司

製版廠 — 東豪印刷事業有限公司

印刷廠 — 柏皓彩色印刷有限公司

裝訂廠 — 精益裝訂股份有限公司

登記證 — 局版台業字第2517 號

總經銷 — 大和書報圖書股份有限公司

電話／ (02) 8990-2588

出版日期 — 2014 年2 月26 日第一版第1 次印行

---

Copyright © 2013 by James Owen Weatherall Complex  
Chinese Language Edition Copyright © 2014 by  
Commonwealth Publishing Co., Ltd., a member of  
Commonwealth Publishing Group  
Complex Chinese language edition published in agreement  
with The Zoë Pagnamenta Agency, LLC, through The  
Grayhawk Agency.  
ALL RIGHTS RESERVED

---

定價 — NTD450

書號 — CB519

ISBN — 978-986-320-398-8

天下文化書坊 — <http://www.bookzone.com.tw>