



譯/蕭如珀、楊信男

大約 1961 年 1 月：羅倫茲（Edward Lorenz）和蝴蝶效應

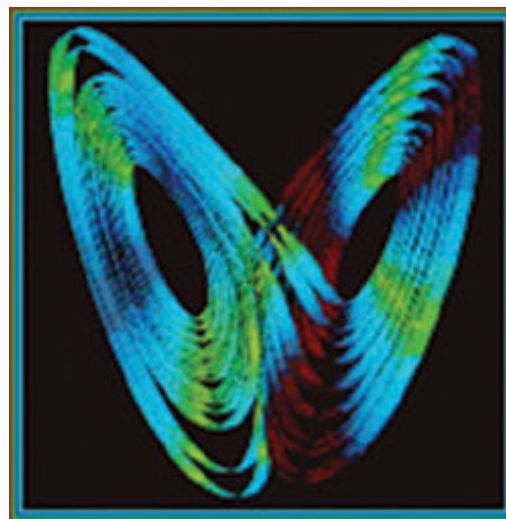
（譯自 *APS News*，2003 年 1 月）

對於一般門外漢來說，渾沌的概念帶給他們的是一種完全任意性的印象，但對於科學家來說，它卻是表示在因果系統中的隨機行為，也就是說，系統對於測量太敏感，以致於產生的結果雖然有著根本的秩序，但看起來卻很隨機。這個表面上很矛盾的觀點是一位由數學家改行成為氣象學家的愛德華·羅倫茲（Edward Lorenz）所提出的，他在一次意外發現了此現象，隨即孕育出現代渾沌理論的領域，並永遠改變了我們檢視像天氣等非線性系統的方式。

羅倫茲小時候就對天氣非常著迷，常在康乃狄克州西哈特福父母家的屋子後面觀察著溫度計，記錄氣溫的高低；他也對數學感興趣，經常和父親一起解數學難題。1938 年，羅倫茲自達特茅斯大學畢業後，計畫步入數學領域，但爆發了第二次世界大戰，他在陸軍航空兵擔任氣象預報員，使得他的計畫出現了變化。後來，他決定就此鑽研氣象學，發表過一般大氣

循環等議題的文章，所以很早就成名。

羅倫茲對氣象預報特別感興趣，當時的預報雖能藉助於科學儀器，但大部分仍是直覺性的猜測工作。由於電腦的問世，羅倫茲看到了將數學和氣象學結合的機會，所以他開始建造一個氣象的數學模型，利用微分方程式來代表氣溫、氣壓、風速……等的變化。1960 年代初期，羅倫茲用了 12 個微分方程式建立起



一個氣象系統的架構；他持續地在極原始的電腦上模擬天氣的變化，每分鐘可以算出虛擬一天的天氣。此

蕭如珀 自由業

楊信男 台灣大學物理系

E-mail: snyang@phys.ntu.edu.tw

系統在模擬天然發生的天氣型態所算出的資料相當成功，完全不會重複，但卻清楚地有著潛在的秩序。

1961 年的一個冬日，羅倫茲想要檢視一個特定演變的詳細內容，但是他決定抄捷徑。他不想整個重頭算起，想從中途開始，所以就直接輸入電腦先前得到的結果做為初值。之後他下走廊去喝咖啡，當他一小時後回來，卻有了意想不到的發現。電腦並未重複之前的計算，新結果顯示出虛擬的天氣和先前的型態很快地就出現了差異，以致於在短短幾個虛擬的「月」中，兩個型態中的相似度就完全消失了。

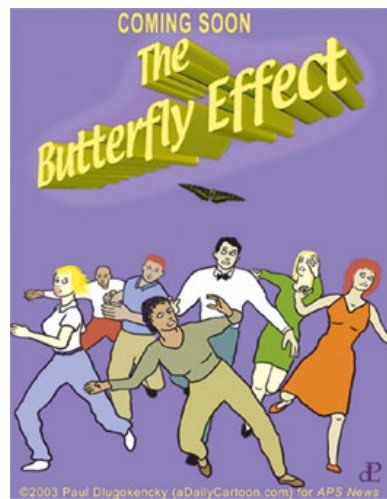
羅倫茲起先以為電腦的真空管變差了，那是一部 Roy McBee，以現在的標準來說速度極慢，又簡陋。但令他驚訝的是，電腦的功能沒問題，問題是出在他所輸入的數字上。電腦的記憶體中儲存的數值到小數點後面六位數字：.506127，但為了印出節省空間，只顯示出三位數字：.506，羅倫茲輸入的是小數點後面三位數字，他以為捨掉了千分之一的差別是不重要的。

這似乎是合理的假設，科學家所被灌輸的教育常常是，初始的小變動在任何一個物理系統中只會導致行為上的小變化，甚至到目前為止，通常氣溫都沒有量到小數點第三位。羅倫茲的電腦使用了有純粹因果性的方程式系統，因此輸入一個特定的初值，「天氣」就會每次都以完全相同的方式演變；使用些微不同的初值會讓天氣的演變有一點點不同。羅倫茲認為一個數字上很小的差異就像一小陣風，是不可能實際影響重要、大規模的天氣特性的。但在羅倫茲所採用的這一特定的方程式系統中，卻證明如此小的錯誤引發了巨大的改變。我們現在知道此現象是對初始狀態的高度依賴。羅倫茲隨即將他的發現稱之為「蝴蝶效應」，說明決定天氣的非線狀方程式對於初始狀態有著驚人的敏感性，以致於在巴西的蝴蝶拍動翅膀就可能在美國德州引發龍捲風。所以他下結論說，長期的氣象預

報注定會失敗的。

在過去，像這種觀察到的行為，即從完全具因果性的方程式組所出現的隨機波動，都會被當成是單純的計算錯誤而丟棄，羅倫茲是第一位認定這種不規律的行為不是錯誤，而是源自於隨機而無可否認的秩序。這不僅是第一個清楚地證明天氣模型對初始狀況的敏感依賴，而且羅倫茲還說明此現象會發生於簡單且與實際情況相關的模型中。

之後，羅倫茲建造了一套三個非線狀微分方程式的新系統，這是一個簡化的對流模型，被稱為「羅倫茲吸子」(Lorenz Attractor)。羅倫茲以為他的運動模型所創造出來的圖像會在達到平衡後停下來，或變成一個循環，最後會折返、重來，顯示出反覆的型態。但事實並非如此，他的圖像顯示出無限的複雜性，總是停在特定的範圍內，但卻絕不重複。它形成一個獨特的雙螺旋形，很巧妙地與蝴蝶的兩個翅膀相似。



自從羅倫茲的發現後，電腦模型成功地將氣象的行業由藝術轉變成科學，但若是超過兩、三天的話，即使是全球最好的預測都仍是推測的，若是超過一星期，那麼這些資料就毫無價值可言。這個謎團就是渾沌。

進一步閱讀資料：James Gleick (Viking Penguin, 1987), “Chaos: Making a New Science”