

# 混沌、複雜、隨機中的秩序

「淨從穢生」的科學演繹

1980 年代以來，有一個新科學面向逐漸成熟，不但贏得媒體熱切關注，也逐漸在理論與應用取得重要成就。這個面向不妨統稱為複雜科學，涉及到概念可謂五花八門：「碎形」、「耗散結構」、「混沌」、「奇異吸引子」、「非線性」、「複雜」、「演化」、「突現」、「相變」、「資訊」、「隨機」、「演算法」、「網絡」、「幕次率」、「自組織」、「自相似性」、「普適性」等等。說這個潮流與物理學尖端概念、達爾文演化論，打造上一輪的科普盛世，一點也不為過。

簡而言之，複雜科學處理數量龐大、看似混亂的互動系統中，如何與為何出現驚人的結構（秩序）與彈性（演化）。科學家感興趣的複雜系統至少有生態系、人類社會、生物體、大腦四種，每個方向都有快速的發展。

這個從邊緣逐漸邁向主流的新典範（Brockman 所謂的「第三種文化」），充滿許多曲折的成長史。以混沌為例，就歷經幾次「再生」。1980 年代，混沌橫掃科學文化界。Gleick 的《混沌》讓人注意到源自天體力學的動力系統理論，但只有很少人知道龐卡赫早在百年之前，即已掌握混沌的關鍵特徵：同宿與遍歷。這個研究傳統曾在美國茁壯，卻在史梅爾（S. Smale）所處的 1950 年代完全沉寂。即使史梅爾「重新」發現混沌樞紐的馬蹄鐵詮釋，動力系統仍然是數學的小學門。數學系的微分方程課忽略這方面的材料，許多人完全不知初始條件的敏感依賴性，以為是計算發生錯誤。以致於李天岩和 J. Yorke 在 1973 年，因緣際會從氣象學家 E. Lorenz 的疑問，發現「週期三蘊含混沌」，並被生物數學家 R. May 宣揚到全世界，才真的讓混沌火紅起來，帶起動力系統的能見度。當時動力系統工具已逐漸成熟，開始影響其他數學領域。此後不但重要數學期刊開始刊登動力系統的重要成果，而且陸續獲得費爾茲獎的認可：1994 年的 J.-C. Yoccoz（2016 年 9 月剛過世）、2010 年的 E. Lindenstrauss、2014 年的 A. Avila。另外 1998 年的 C. McMullen 和 2014 年 M. Mirzakhani，則是

將動力系統運用到低維拓樸而獲獎。巴西純粹與應用數學研究院（IMPA）更因為動力系統研究獨步全球，成為第三世界國家數學研究成就的典範。

\* \* \*

國立臺灣大學科學教育發展中心（CASE）自臺大化學系陳竹亭教授擊建以來，推動科學教育不遺餘力。尤其每年兩期的探索系列講座，範圍跨越數學、物理科學、生命科學、地球科學、應用科學，是 CASE 的重要推廣活動。本期感謝現任中心主任臺大物理系高涌泉教授協助，將 2016 年第 15 期探索講座《秩序與複雜的華爾滋》書面化，邀請當初的演講人將演講內容擴充改寫，成為本次的專題。由於文章篇幅較長，分成上下期刊出。本期偏重這個主題的數學面，下期將再刊出應用面的文章。

專題第一篇陳國璋的〈從天體力學到混沌理論的形成〉帶我們回到混沌理論的起點，也就是龐卡赫在瑞典國王徵獎天體力學論文中出現的美麗錯誤。班榮超的〈簡單通往複雜之路〉，談的是混沌理論的現代起源，探討簡單機制如何產生複雜模式，並以 R. May 的成長模型與分歧圖，探討各種混沌的定義。莊重的〈螢火蟲的數學習題〉探討在龐大的紊亂系統中，為何會出現同步的秩序，引介了同步現象的歷史和數學理論。楊穎任為陳志強執筆的〈心臟與大腦中的秩序與混沌〉，則從另一角度探討混沌中的秩序，介紹龐大非線性神經元系統中，出現的幕次律與自相似性。

本刊特譯史梅爾知名的〈在里約海灘發現馬蹄鐵〉，補足混沌再生故事中的另一拼圖。這篇文章完成於混沌熱正喧囂的 1988 年，不但回顧了混沌理論的曲折歷史，也兼及 1960 年代美國政治社會的衝突。

另外，本期的 Quanta 選文〈統一隨機性的定理〉，介紹了最近隨機理論的重大發展，正好配合本期複雜與秩序的母題，讓讀者一窺隨機幾何學發展的進度。（編輯室）