混沌邊緣與冪律

主要資料來源：《複雜》沃德羅普(M. Mitchell Wsldrop)著，齊若蘭譯，天下文化，1994

演化的結果總是令事物比演化前更複雜、更精巧、更有架構。似乎學習和演化總是慢慢、不可遏止的把作用體拉向混沌邊緣，同時也把作用體沿著「混沌邊緣」，帶向愈來愈複雜的發展方向，為什麼呢？

在生物學中很難說明什麼是「進步」。當我們說這個生物比那個生物先進，是什麼意思？例如，蟑螂已經在地球上生存了幾億年，比人類的歷史還要久遠，牠們可是對「怎麼當蟑螂」非常的拿手。我們人類真的比牠們先進嗎？還是只是不同而已？6500萬年前，靈長類的祖先要比恐龍先進嗎？還是只是僥倖逃過彗星襲擊地球的劫難而已？

科學家們目前還沒有辦法以數學術語清楚的定義「複雜」和「突現傾向」，使得這些字眼還只是模糊的形容詞。這個現象就像在1820年代科學家對待「熱」，當時大家知道存在一種叫做熱的東西，大多數德高望重的科學家都相信，燒得紅通通的鐵棒中密布著一種叫做「熱素」的無重透明液體，只有少數人認為熱可能代了鐵棒中的原子某些細微的運動。後來的知識證明少數人才是正確的。一直到1850年代時，科學家才能以清晰的數學形式說明熱力學第一定律(能量不滅)及第二定律(熱量由高傳低且不可逆)，也能對熱的程度加以精確測量。所以，不能排除二、三十年後複雜也將會有一套真正的理論。

那麼什麼又是「混沌邊緣」呢？它就是一種介於混沌與秩序之間的狀態，是一種動態平衡。在此混沌與秩序的交界，雖然離散震盪、狂亂騷動，卻也潛力無限、生機盎然。它是自成體系的特殊區域，是能找到近似生命複雜行為的地方。

物理學家巴克(Per Bak)和同事在研究「電荷密度波」的神秘凝態現象時，發現了自我組織的臨界性。最好的例子就是沙堆崩潰，我們想像桌上有堆沙，新的沙粒如濛濛細雨般的不斷落下。沙堆得愈來愈高，直到再也無法堆得更高。此時，隨著新的沙粒落下，舊沙開始從沙堆旁邊流瀉而下。他們以電腦和實際實驗，結果完全一樣，沙堆會從二側崩潰，直到所有多餘的沙全都掉落。當沙堆處於臨界狀態時，表面上的沙粒非常不穩定，微細的沙粒表面也是以各種可能的組合方式相互鎖定，但隨時可能鬆手。所以當一粒沙掉落的時候，很難說會發生什麼狀況，有可能什麼動靜也沒有、有可能只是引起幾粒沙移動、也有可能引起連鎖反應導致沙堆全面崩潰。這和處於臨界質量狀態的鈽大同小異，連鎖反應一觸即發，徘徊在核爆的邊緣。巴克說，這些狀況都會不時發生，全面的大崩潰很少發生，但小崩落則屢見不鮮。但是，穩定掉落的沙粒總會引起規模不一的沙崩，形成可以用數學分析的「冪律(power-law)」行為，也就是：特定規模的沙崩頻率是與其規模的某些冪次(或稱次方)呈反比。

巴克說，重點是冪律行為在大自然中非常普遍，無論是太陽黑子的活動、銀河的光、通過電阻的電流，以及河水流動的過程都會出現這種現象。大脈動得少見，小脈動屢見不鮮，但無論大小，發生的頻率都符合冪律。這個現象給我們以下的啟示：穩定的輸入能量或水或電子，會驅使大自然中許多系統自我組織達到臨界狀態，就好像隱定落下的沙粒會驅使沙堆自我組織達到臨界狀態。它們變成剛好在臨界边緣、相互糾纏的次系統，不時發生大小不一的沙崩，重組為恰好足以在邊緣維持平衡的狀態。

再看看地震，住在地震帶的人都知道，微震發生的頻率要遠多於轟動世界的大地震。地質學家的研究指出這些地震事實上都遵循冪律：在任何區域中，每年釋放出某些能量的地震數和能量的冪次呈反比，冪次數大約是1.5。人們在不同的領域中不斷找到自我組織臨界性的其他例子，如股價的波動、山體的滑波、颱風的形成、戰爭的發生……等等，只是目前還沒有任何理論能對特定的臨界崩潰提供資訊。因為，了解不等於預測，科學家預測地震或許成功過，但卻不是因為自我組織的臨界性。了解了冪律行為對預測毫無幫助，就算科學家詳細測量沙堆周邊的沙粒，也無法預測什麼時候這些沙粒會崩落，因為整體行為並不是靠局部細節決定。已達臨界的也無法讓它不崩潰，加裝支架、穩定結構只是把崩潰的地點轉移到其他地方而已，整體的冪律仍然是維持不變的。

蘭頓認為，二級相變對混沌邊緣而言格外重要。例如，不論以哪一種大小的尺度來看，物體都有微觀的密度擾動現象，尤其是在相變發生的時候，這種密度擾動現象也是依循冪律行為。混沌邊緣和自我組織的臨界狀態總是存在於秩序狀態和混沌狀態的交界之處，可是這二種相變的觀念如何相互呼應，仍然有待研究。