

量子生物學的實與虛

評論《解開生命之謎：運用量子生物學，揭開生命起源與真相的前衛科學》

作者：鄭原忠

鄭原忠現為臺灣大學化學系副教授。研究領域為理論物理化學。



(三采文化提供)

認真關心科普的讀者應該會發現，在每年出版的眾多科普書籍裡面，關於量子力學以及生命科學相關的題材，是最常出現的，而這也不難理解，因為量子力學的奇異特性以及生命現象裡面的種種謎團，總讓這兩個領域蒙上一層朦朧的面紗，讓人想親近卻又難以一窺全貌，也使得相關的問題成為科學上最引人入勝，也引起最多爭議的題材。在這樣的背景之下，《解開生命之謎》這本科普讀物的兩位作者在「量子生物學」這個新興的科學領域取材，令人不由得眼睛為之一亮。的確，若是量子力學違反常識觀點的神奇現象可以用來解釋生命的複雜真相，那將會是科學上多麼振奮人心的一項突破！

不過請讀者先不要放入太多想像，本書後半部討論到諸如物種演化、意識成因、及生命起源與量子力學關係的部分，容筆者稍後再評論。

絕對精彩的前半部書

在本書前半部，作者描述了量子生物學近年來的研究成果。一開始從知更鳥如何感應地球磁場的謎團引出主題，接著依序探討酵素作用中的量子穿隧效應、光合作用系統中的量子相干性現象、嗅覺受體的分子振動理論、再回到知更鳥感受地球磁場的三重態量子糾纏模型。這些內容，兩位作者做足了功課，不僅為讀者做了完善的歷史回顧，更全面性的將量子生物學過去十年來的突破性發展做了完整的綜述。

筆者覺得特別有意義的是，作者把主要篇幅放在對實驗細節的描述以及理論邏輯的反覆論證，很有說服力的提出量子現象在生物系統扮演重要功能的證據。此外，透過娓娓道來的故事，以及非常生動的類比，作者出奇成功的解釋了諸如穿隧效應、量子退相干、量子糾纏等複雜的量子力學現象。這些內容讀來令人著迷，諸如「吉他是量子樂器」、「讓郵差騎重量不同的腳踏車來量測城市的地貌」等生動的比喻，直指概念的核心，讓抽象的觀念變得容易理解。就這一點而言，筆者很佩服作者的想像力以及駕馭文字的功力，能夠舉重就輕用日常生活的概念說明複雜的量子力學現象。就算是作為一本解釋量子體系奇異行為的科普讀本來看，本書也是十分成功的。

特別令人印象深刻的是，作者善於利用具象化的情境，引領讀者體驗微觀現象的巧妙之處。這可以從本書第三章中寫得非常精彩的一個段落來說明：作者在此想說明膠原酶分子在微觀尺度的運作，因此帶領讀者想像自己從巨觀的蝌蚪尾巴出發，逐漸在尺度上縮小，從組織、肌肉纖維、細胞……一直到微觀尺度，觀察單一個膠原酶分子的行為。過程就像一齣電影的運鏡，讓讀者似乎親眼目睹，膠原酶透過非常優雅而精確的分子舞蹈，解開膠原纖維的螺旋結構，剪掉連結的肽鍵，達到分解膠原纖維的目的。同時，膠原酶分子置身於一個「忙碌又擁擠的分子池塘」，不停受到「隨

機紊亂的分子活動」所影響。這一段敘述從生物學跨越到化學再到物理學，最後呈現出的生動圖像，彰顯了量子生物學最基礎的問題：「在生物系統中量子效應的角色為何？」

傳統觀念認為，複雜生物體中的隨機紊亂運動會迅速破壞量子相干性，量子效應既不存在，於是探討生物系統的現象，就只需要用到牛頓力學。這樣的思考在生物學界一直是主流，也因此早期的量子生物學家常常被邊緣化。就算有紮實的實驗證據支持，用量子力學原理解釋生物問題的模型也常常沒受到應有的重視。這種情況一直到 2007 年才出現突破性的改變。正如本書第四章所描述，這一年筆者躋身其中的弗萊明 (G. Fleming) 實驗室，在《自然》雜誌上發表了一篇論文，提出光合作用系統在低溫下可以觀測到激子間維持了長時間量子相干性的證據。隨後類似的實驗方法，更在室溫下觀測到相當的量子相干性。這一系列論文打破了傳統生物系統快速去相干的窠臼，為運用量子原理解釋生物問題打開了一扇大門。一時之間，引起學術界極大的興趣與反應，有人更稱這段時間是「量子生物學的黎明」。

細觀本書章節的安排，也可看出作者的功力，以及獨具匠心的巧思。一開始，本書用知更鳥的遷移以及磁場感應能力為引。接下來卻先談其他問題，看似一段信手捻來的回顧，其實是由簡入繁，替讀者建立量子力學的諸多重要觀念。最後才在第六章，回到磁場感應的問題，介紹快速三重激發態化學反應的量子模型。這個模型依賴兩個電子自旋態間的量子糾纏，達到對磁場傾角非常敏感的化學探針。「量子糾纏」可說是量子力學中最難以用常識解釋的觀念，連愛因斯坦都對它感到困惑。因此，知更鳥的磁感應器可以說是量子生物學裡，最經典、最難以用古典力學解釋的系統。

在第六章裡，我們更看到了科學家的堅持與性格對其科學成就的影響。在知更鳥感應地磁的研究上，威爾茲柯夫婦 (W. & R. Wiltschko) ① 兩人不畏孤獨，以數十年堅持的實驗為研究奠定基礎，再加上舒爾特 (K. Schulten) 提出大膽的理論模型與預測，終於為一個科學上的難解之謎提出合理的解答。雖然相關研究仍在進行，磁感應是否由隱花色素機制來達成也尚未蓋棺論定，但相關理論對於設計更靈敏的人工磁感應器已經有所啟發。舒爾特不僅是快速三重激發態反應的先驅，在光合作用系統的分子模擬與研究上也有卓越的貢獻。他在 2015 年發表的紫色細菌光合作用色素胞的分子模擬工作，建構一個含有一億個原子的模型，計算紫色細菌光合作用的詳細過程，是目前世界上做過最大的分子模擬計算之一。舒爾特在 2016 年去世，不過他的研究成果深深影響了分子生物學的發展。

後半部書需要慎讀

本書到上述第六章的部分，作者都遵循嚴謹的科學脈絡與實驗證據，闡述量子生物學的進展。不過，從第七章開始，作者的敘述方式似乎做了一個巨大的「量子躍遷」。第七章談論量子測量導

① 本書後面譯為「威爾奇科夫」，譯法未能統一，略顯瑕疵。

致的基因突變可以推動生命的演化；第八章提到離子通道的量子效應，以及由大腦電磁波所產生的神經發射的同步性，或可用來解釋意識的本質；第九章描述藉由量子疊加態進行的量子演算法，可能解釋生命的起源。針對這部份內容，筆者必須很明確指出，在目前真正嚴謹的科學研究中，還沒有任何的實驗能為這些理論提供證據。在這幾個章節，作者的論證邏輯似乎遵循一樣的套路：因為古典力學現在沒有辦法解釋的現象，而量子力學可以，所以應該就是量子力學在背後主宰這些現象。這樣的論證顯然值得懷疑。

其實讀者若仔細檢視這幾章內容的邏輯與論述，可以發現許多漏洞，甚至明顯違反實驗結果之處。筆者試舉幾個例子：在基因突變上其實還應考慮許多其它的機制，而且最新的計算結果顯示，鹼基對中的質子量子疊加效應實際上有穩定鹼基對的效果。這跟作者提出因量子測量導致基因突變的模型互相違背。在離子通道模型上，目前的實驗結果完全都可用古典力學解釋，沒有觀測到量子相干性。另外，目前沒有實驗證據支持大腦電磁波影響神經發射的猜測，畢竟從基礎物理學觀點，電磁波跟離子的耦合非常微弱，極不可能直接影響神經訊號的傳遞。最後，原初生命的合成是經由分子疊加態的量子搜尋達成的臆測，不管是從時間尺度、空間尺度，或者抵抗退相干效應的影響上來看，都很難以令人信服。

話說回來，試圖聯繫量子現象與生命之謎，大膽推論量子力學可用來解釋重要生命現象的假說，並不是最近才出現的。從量子力學巨擘薛丁格（E. Schrodinger）的著作《生命是什麼？》（*What is Life?*）、潘洛斯（R. Penrose）著名的《皇帝新腦》（*The Emperor's New Mind*）與《意識的陰影》（*Shadows of the Mind*），甚至本書作者麥克法登幾年前出版的《量子演化》（*Quantum Evolution*），都試圖討論量子力學與生命本質的關係，但是也都引起很大的爭議。其中面臨的根本問題跟本書後面幾章一樣，在討論演化、意識、生命起源這些問題的量子模型時，不得不依賴巨觀量子疊加態的存在。

然而正如兩位作者在本書所闡述，生物系統的複雜性肯定導致「隨機紊亂的分子活動」，快速造成退相干，使整體系統迅速失去量子性質。事實上，前面所述量子生物學的嚴謹研究中，酵素作用、光合作用系統、嗅覺、鳥類的磁場感應受體等生物系統裡的量子行為，依賴的都是微觀尺度的量子疊加態。目前，沒有任何科學證據支持巨觀量子疊加態存在是可行的。因此筆者認為本書後面幾章的內容，都只能算是大膽的臆測，還不能歸類到量子生物學的科學範疇。不過，相較於先前的著作，《解開生命之謎》這本書前六章的內容，忠實呈現了近幾年量子生物學的發展過程，整體而言仍然是一本內容非常豐富而且有紮實科學基礎的著作，可說是討論量子力學與生命科學關係的科普著作裡，科學濃度最高的一本。

此外，本書中譯本的譯文流暢，譯者對專有名詞以及物理觀念解釋的掌握也很到位^②，看得出譯者的專業與用心，筆者認為這本中譯本是中文科普書中優質的譯作。

量子生物學的現況

2006 年到 2009 年，筆者在加州大學柏克萊分校的弗萊明實驗室從事博士後研究，躬逢其盛，

親身參與在光合作用系統內觀察到量子拍頻訊號的突破性進展，這個令人激動的科學發現帶動整個領域的狂飆。在那段時間，同儕相聚就天馬行空的高談新穎的科學理論，是一段非常特別的經驗。也因為筆者身歷其境，知曉一些書中沒有提到的細節。

光合作用系統吸收光並把能量轉移到反應中心進行能量轉換，這個過程依賴一個非常複雜的葉綠素網絡來傳遞能量，但效率卻非常高。前述弗萊明 2007 年發表在《自然》上的論文，研究的就是這個能量傳遞過程。那篇論文的第一作者因格爾（G. Engel）在論文最後一段，提出一個大膽的假設，指出觀測到的量子相干性可以幫助光合作用系統執行量子搜尋演算法，所以光合作用系統才有那麼高的能量傳遞效率。正是因為這個論述，一時之間「光合作用分子是量子電腦」的說法大行其道，引起許多量子資訊學與量子計算領域的專家重視，甚至還一一投入量子生物學這個領域，這些過程在本書中皆有敘述。

不過實際情形是，除了一派樂觀的學者認定量子演算法在光合作用功能上扮演重要的角色，大多數研究光合作用的學者還是抱持著懷疑的態度，相關的爭辯也一直持續。到了 2012 年左右，新的實驗以及理論研究都指向 2007 年論文的量子電腦解讀可能是有問題的，這一點甚至在弗萊明後來的論文中也做了修正。目前學界公認的圖像是，量子相干性的確存在於光合作用系統，也的確影響能量傳遞的效率。但是量子漫步或量子芝諾效應這類機制應該是不存在的，當然也對效率沒有貢獻。事實上，多位當初熱情擁護光合作用系統是量子電腦的學者，目前都漸漸離開這個領域。

論文的假設被推翻，看似學術上的挫敗，但是筆者認為這個過程，其實彰顯了科學方法的成功之處：在激烈的科學爭辯之後，符合實驗結果的理論被保留，真相得以浮現。不能把光合作用系統看成量子電腦可能令人有些失望，但是我們對光合作用的複雜過程與能量轉移機制也得到更深刻的了解。更何況這些知識已實質應用於設計新穎的人工光合作用材料上。當熱情褪去，排除過度浮誇的學說以後，科學家能夠更認真審慎的檢視實驗結果，量子生物學其實是持續往前發展的領域。在弗萊明論文發表十年後回顧這段歷程，顯得格外的有意義。

若是以量子生物學的實質內涵，來理解本書作者「生命航行在量子 and 古典的邊界」這句話。我們可以這樣詮釋：演化確然驅動生物體利用量子效應來達到適應優勢，可以在微觀尺度退相干還沒完全發揮之前，利用量子力學的奇異特性來達到有用的功能性目的，而且微觀尺度量子效應的影響還可以被放大，顯現在巨觀生物體的古典行為上。這樣的圖像或許沒有「大腦產生電磁波達到神經發射的同步」那麼革命性，但是也足以令人讚嘆不已了。科學的進展常常是漸進式的，跳躍式的革命並不是常態。在新興的科學領域，大膽假設固然是驅動快速發展與創新的重要因素，但是科學方法要求任何學說假設需要受到檢驗，唯有透過嚴謹的理論與實驗驗證，科學才能實際發展。量子生物學這個領域還有許多奇妙的現象等待研究，虛實之間，未來應該還有更精采的篇章等待發掘。請讀者持續關心、拭目以待吧！☺

② 書中翻譯仍有些許小瑕疵，例如「電子光譜的二維傅立葉轉換」應譯為「二維傅立葉轉換電子光譜」。