

探索內心的小宇宙： 談大腦的理論與模型

教學發展中心

<http://case.ntu.edu.tw/blog/?p=14711>

撰文 | 郭冠廷



「我追尋十幾年的天文物理、我的宇宙。
竟然在我的大腦裡面有一個小宇宙。從那一刻起，
我開始對神經科學另眼相看。」

人腦有多少神經細胞？

過去科學家普遍認為，大約有一千億到兩千億個神經細胞。這個答案讓熱愛天文的中泉老師相當震驚，因為銀河系大約有兩千億到四千億的恆星。原來讓老師從十二歲立志當天文學家以來，尋覓已久的宇宙，就存在我們的大腦當中。

但是這個數字怎麼來的呢？早期的資料已經無法考究。老師請我們思考，我們該如何估計大腦中神經細胞的數目？或者換一個角度切入，我們該如何估算一個大廣場上的總人數呢？我們可以利用取樣估算的方式來獲得答案。但就如同不同區域的群眾密度不同，若分布不均便會嚴重影響細胞數目的估算。

於是，巴西科學家想出一個大膽的實驗方式：把大腦打碎，將神經細胞核染色，變成均勻溶液。再搖一瓢取樣，細數樣品的神經細胞數目。最後我們得到的最新數值是約八百六十億個神經細胞。

神學與科學的時代

西元前四世紀，亞里斯多德（Aristotélēs）主張神經元源自心臟。西元二、三世紀，蓋倫（Aelius Galenus）^[1]認為血管源自於心臟、神經源自於大腦，而神經傳導精神（spiritus）至全身各處。

十七世紀的笛卡爾（René Descartes）提出另一個解釋。這個時代人類開始發展機械，對流體力學有相當的研究。笛卡爾主張「機械性」的反射。我們的神經可能是由眾多「閥門」所構成。每當閥門打開，此時和思考有關的氣體就會衝出來。

神經與電的關係

1791年路易吉·伽伐尼（Luigi Aloisio Galvani）^[2]因為意外得知電可以刺激青蛙腿的活動，而發現生物電性（bioelectricity）。伽伐尼指出：青蛙腿來自腿部肌肉，內含有特殊電力產生。但是亞歷山德羅·伏打^[3]（Count Alessandro Volta）卻不這麼想，他認為：電流傳導是通過用來連接神經和肌肉的金屬線所產生的。兩人為電力的源頭和成因爭吵不休。伏打還特地為此於1800年發明「伏打電池」，用來推翻對手的「動物電流質」理論。

從此，神經科學的研究大爆發。研究發現「神經衝動」是「脈衝波」。而1850年赫爾曼·馮·亥姆霍茲（Hermann von Helmholtz）^[4]測量出神經訊號傳導的速度是每秒24.6-38.4公尺。神學家受到的衝擊非常大，因為我們思考的速度不再是無限快的，人的心智活動有極限，且是可以被量化。

神經衝動的數學方程式

神經細胞因為膜內外帶電離子的濃度不同而造成電位差，而細胞膜上的離子通道可讓特定離子通過，當帶電粒子通過時，就形成膜電流。有了神經傳導和電有密切關係這樣的認知，科學家便得以寫下數學方程式。

另一方面，科學家也發現：細胞膜上電位的改變與我們輸入的電流有關。

然而，當輸入神經細胞膜上的電流達特定「閾值（**threshold**）」的時候，神經會突然「發火（**Neuron Fires**）」，然後遽增的電流，便會順著神經纖維傳導下去；反之，若電流小於閾值，神經細胞無論如何都不會把訊號傳出去。

神經的傳導是「脈衝波」的概念相當重要！這就好比電腦程式撰寫，是採取非0即1的二進位方式。數位與類比的差別，就在於數位可以抵抗雜訊。類比就好比影印機，我們把一張DM重複影印數次，很快就會失真。但假如是由電腦數位輸出，不論重複輸出幾張，訊號都不會改變。假設我們今天要傳遞的數值是1，因為雜訊，對方接受到的訊息會變成1.25，但是基於數位傳訊方式，會自動校正回1。但如果是類比傳遞，由於雜訊的累加，就直接接受1.25。

而這個數位的概念，就類似神經傳遞的「閾值」，只有達到「閾值」以上的電流，才會傳遞到下一個神經。可以有效的抵抗雜訊，避免不必要的神經衝動產生。

十九世紀末，電容電阻的知識已經有相當發展，此時的神經科學家會用電路模擬神經細胞膜上的現象，1907年路易·拉畢格（**Louis Lapicque**）^[5]就寫出一條**Leaky Integrate-and-Fire Neuron Model**數學方程式。

神經元是大腦功能的基礎元件

在十九世紀時，所有的實驗多集中在周邊神經系統。進行生物實驗時，切下的大腦組織也不甚清晰。直到染色法的發現，才讓大腦神經細胞的研究有了突破性發展。

1906年第六屆諾貝爾醫學獎，就頒給了義大利生理學家 **Camillo Golgi** 卡米洛·高爾基¹⁶ 和西班牙組織學家聖地亞哥·拉蒙·卡哈爾 **Santiago Ramón y Cajal**。高爾基發明了染色法，可以讓我們清楚看見大腦組織；而卡哈爾是一個狂熱的畫家、藝術家和運動員，他秉持優異的技術，系統性地將腦神經觀察結果繪製下來，沿用迄今。他們發現神經元是大腦功能的基礎元件，是一個一個細胞，不是連成一串的網狀物體。

神經元，可以分成三個部分：樹突（**Dendrites**）、細胞本體（**soma**）、軸突（**Axon**）。樹突，是神經細胞的天線，負責接收上游神經細胞傳來的訊息；接著訊息傳到細胞本體，如果訊號夠強，就會產生神經衝動，從軸突往下游細胞傳遞下去。

記憶的生成

「我們如何記住法國首都是巴黎？」我們腦袋瓜中的神經有好幾個，有「法國」、「中國」、「臺灣」、「美國」等。首都也有好幾個「上海」、「臺北」、「紐約」、「巴黎」等。當今天我們接收到「法國首都」的訊息時，其實「上海」、「臺北」、「紐約」、「巴黎」每一個神經元都會亮燈。但當老師告訴我們「法國首都是巴黎」，「巴黎」的神經元就會變得特別亮。如此的過程重複幾次後，「法國」和「首都巴黎」的連結便會愈來愈強。

小世界理論

人類大腦中神經網絡的連結十分縝密。但怎麼得知的呢？試想，人類大腦的神經細胞多達八百六十億個，假如神經訊號是依序傳遞，各神經元之間的傳遞時間是十毫秒。人類需要至少「八千六百秒」才會對外界的刺激有所反應。

「神經細胞之間的連結，就好像我們的社交網路一樣。」中泉老師提到一個社會學的理论：「小世界理论（Six Degrees of Separation）」^[7]這個理论告訴我們，平均只需要六個人，就可以聯繫任何兩個互不相識的美國人。在我們的大腦當中，也具有這樣的關係，神經細胞只要先傳遞到某個「集線器（HUB）」上面，就可以直接傳到遠方的神經元，大量節省傳遞的時間。

值得一提的是，「神經細胞的外型非常多樣化，例如小腦中的神經細胞（Purkinje cell）^[8]，就好像灌木叢一樣。」中泉老師放出一張非常複雜的神經細胞照片，並點出小腦的神經細胞數目，其實比大腦還要多。「大腦負責認知思考，理應是最複雜的器官。可是最多的神經細胞反而是集中在小腦。」這個問題迄今科學界都還沒獲得一個解答，有志於此的同學可以加以努力。

電子計算機

電腦工程師的紀錄簿，發現造成電腦當機的原因是「臭蟲」。
The First Computer Bug(圖片來源：U.S. Naval Historical Center Online Library Photograph NH 96566-KN)

1936年，英國數學家阿蘭·圖靈（Alan Mathison Turing）^[9]提出一種計算模型「圖靈機^[10]」。被稱為現代電腦與人工智慧之父。自此開始，電腦的世代來臨。

早期的電腦是將卡片一張張地送進計算機運算，一臺電腦往往就要一間具大的房間。哈佛的馬克一號（Mark I）^[11]是美國第一部大尺度的自動數位電腦，可以儲存72個數字，乘法耗時6秒，除法耗時15.3秒。也因為早期的電腦程式是寫在打卡的紙帶上，因此，只要有一隻飛蛾（或臭蟲）掉在卡帶上，就會造成電腦當機，也就是現在所稱的「程序錯誤（BUG）」^[12]。

另外，因為是採用在卡紙上打洞的關係，所以電腦的運算主要是採用「二進位」而非「三進位」或「四進位」。

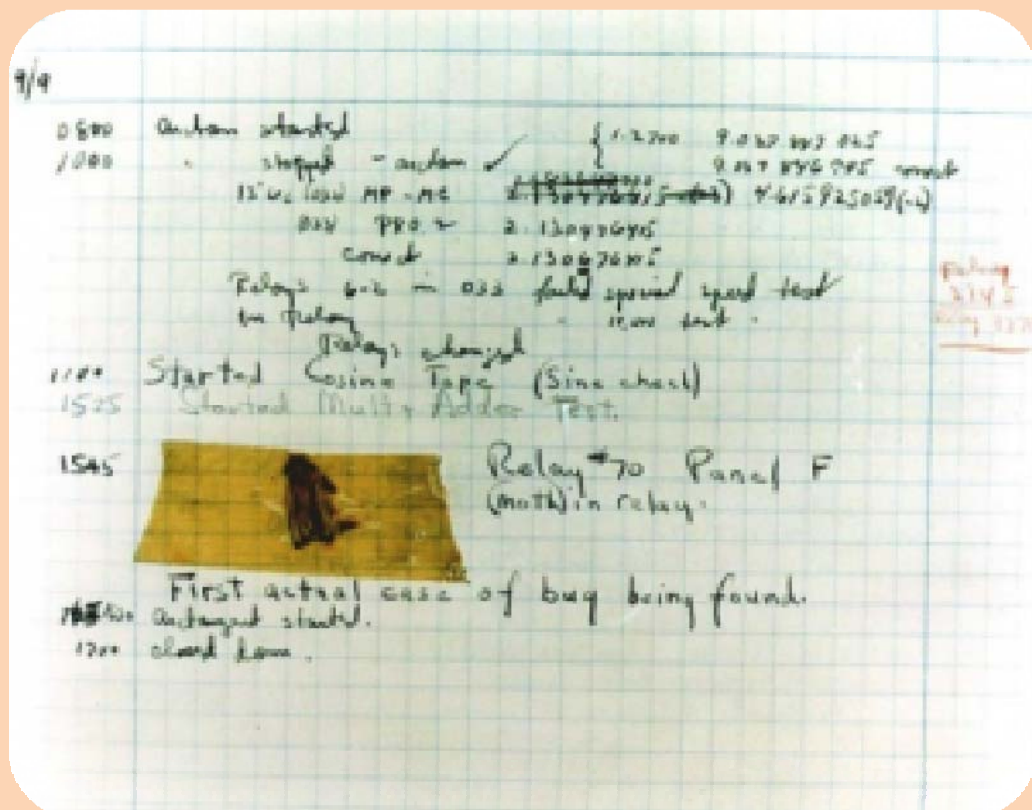
人腦與電腦的異同處

馮紐曼號稱是二十世紀最聰明的數學家。他建立的馮紐曼架構（von Neumann architecture）[\[13\]](#)奠定了當代電腦的基礎。他將電腦分成三大部分：記憶體（Memory）、控制單元（Control Unit）、邏輯運算的單元（Arithmetic Logic Unit）。

電腦與人腦的相異處有幾項。一、電腦的邏輯運算單元與記憶體是分開的，而人腦並沒有分開；二、電腦運算相較於人腦可說是相當的精確。三、人腦具有高度可塑性。四、人腦能夠高度容錯。五、人腦不用序列運算可以進行高度平行運算。

腦科學研究的趨勢

腦科學研究是當代顯學。不論是美國政府今年發起大腦研究計畫「Brain Initiative」或歐盟的「Human Brain Project」。還有臺灣也致力於果蠅「Flycircuit」的研究。中泉老師也呼籲，我們不要小看果蠅，果蠅是神經科學研究的基礎。



- [1] <http://zh.wikipedia.org/wiki/盖伦>
- [2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Luigi Galvani](http://en.wikipedia.org/wiki/Luigi_Galvani)
- [3] <http://zh.wikipedia.org/wiki/亞歷山德羅·伏打>
- [4] <http://zh.wikipedia.org/wiki/赫尔曼·冯·亥姆霍兹>
- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/Louis Lapicque](http://en.wikipedia.org/wiki/Louis_Lapicque)
- [6] <http://zh.wikipedia.org/wiki/卡米洛·高尔基>
- [7] <http://zh.wikipedia.org/wiki/六度分隔理论>
- [8] [http://en.wikipedia.org/wiki/Purkinje cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Purkinje_cell)
- [9] <http://zh.wikipedia.org/wiki/阿兰·图灵>
- [10] <http://zh.wikipedia.org/wiki/图灵机>
- [11] <http://zh.wikipedia.org/wiki/馬克一號>
- [12] <http://zh.wikipedia.org/wiki/程序错误>
- [13] <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/冯·诺伊曼结构>

責任編輯：Vita Chen