



「人與自然」科普寫作桂冠獎

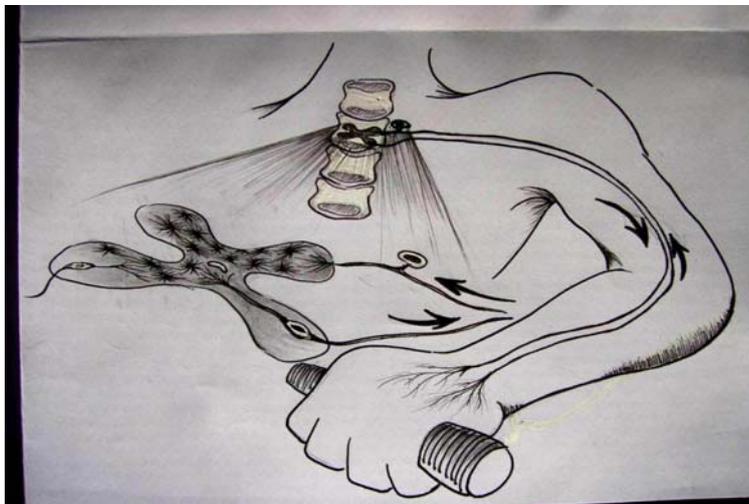
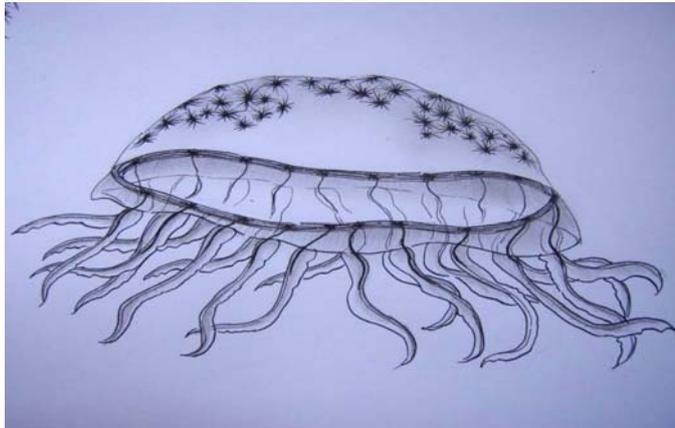
主題：脊椎動物神經細胞的自述：我們的奮鬥

三
獎

作者：呂宗信

創作理念：

刺絲胞動物雖具有最簡易的神經體系，但已具備現有神經系統的雛形。因此本文想以刺絲胞動物的神經體系為基礎，介紹神經體系的建構過程，並試著討論神經系統對脊椎和節肢這兩大類動物，在演化方向上所造成的影響力。本文也嘗試藉由上述的比對過程，突顯我們腦部的特色，或是稍微想像腦部可能的運作模式。



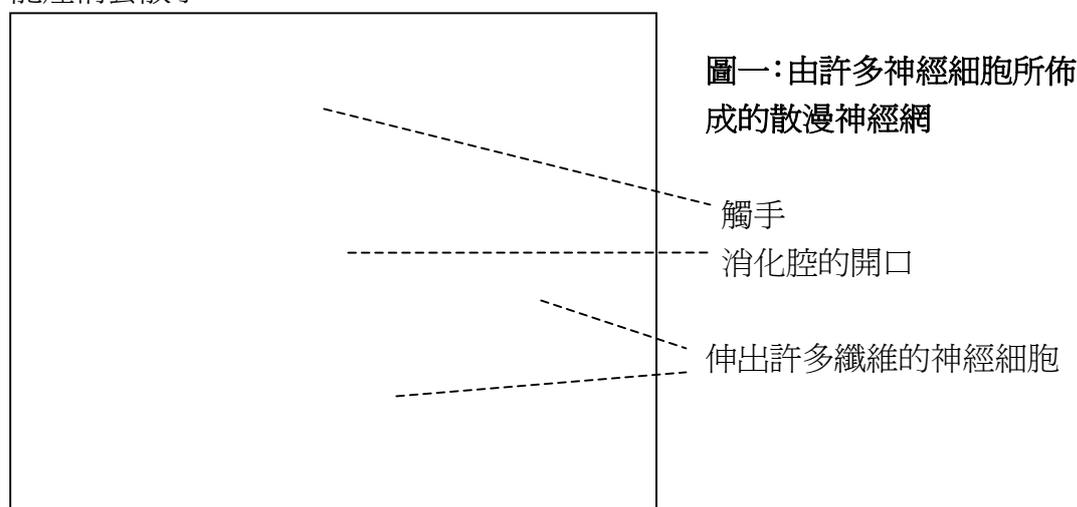
脊椎動物神經細胞的自述：我們的奮鬥

引言

話說數億年前，一堆單細胞生物結群成黨，聚成多細胞動物，這樣做到底有何生存利益呢？應該是有助於圍捕獵物。相同的，百萬年前人類的小部落為何凝聚？恐怕也是因應圍捕獵物的需要。數億年前整合一群細胞進行圍捕行動，靠的是神經；數億年後策動一群思緒複雜的人類，彼此合作展開獵捕行動的，還是神經。神經體系歷經數億年的演化，更有自己的主張，也看到了自己的奮鬥史！

神經的發跡：反應外界刺激的散漫神經系

海葵和水母是最早出現神經細胞的生物。它們的體表佈置了許多發射毒刺的細胞和一叢觸手，在這叢觸手的底部就設了消化腔的開口，若有獵物誤觸這個陷阱，暗藏的毒刺就能癱瘓獵物，然後從容地用觸手將美食拖進嘴巴裡。可惜這套看似完美的計謀並不怎麼靈光，因為控制這個陷阱的神經系統，其實搞不清楚獵物從何而來，任憑你怎麼對待它，左打也好右搖也罷，它都只會千篇一律的執行發射毒刺和縮回觸手的反應。在我們的眼光看來，這樣的神經系統相當低階，和捕鼠器的反應沒有兩樣，所增添的功能只是當沒逮到獵物時，負責收縮的肌肉細胞會認份的舒展觸手，耐心等待下一次矇到獵物的機會！海葵這套神經體系，沒有固定的傳遞方向，像是專職散播流言的網絡（圖一），當身體某部份接收到刺激，這套系統就四處放送消息，擴大受刺激的強度，試圖在體內引起一場軒然大波，只是肌肉和毒刺細胞未必每次都會接受神經的建言，而所散佈的訊號也就只能煙消雲散了。



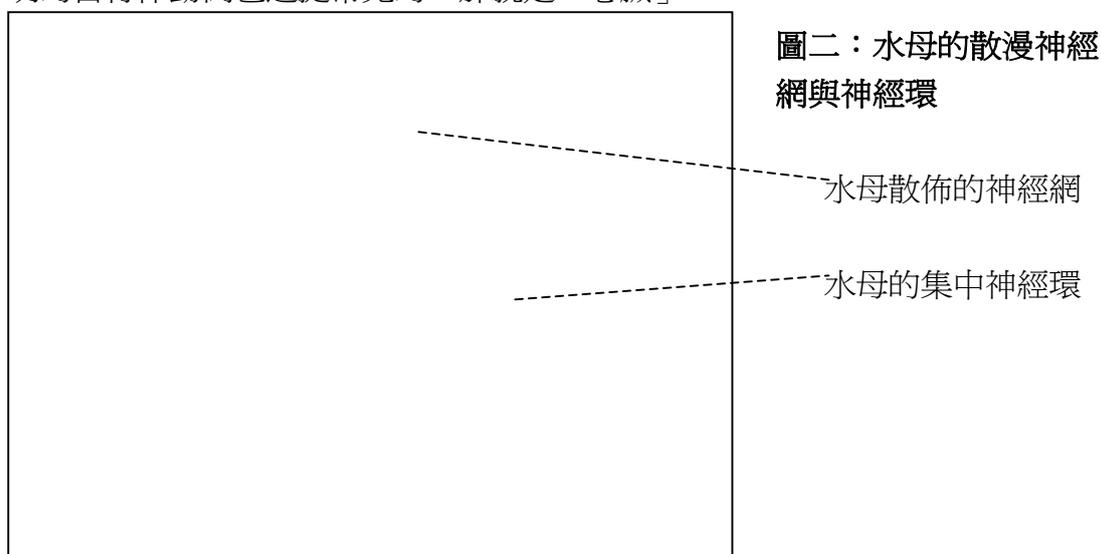
圖一：由許多神經細胞所佈成的散漫神經網

事實上，海葵遇到較弱的外界刺激，局部的毒刺細胞就能自行發射，用不著神經訊號來提醒。所以對這套原始的神經系統而言，收到訊息後努力擴大事端，並強力說服其他部位的細胞，願意一起發射毒刺和合力縮回觸手，正是這套系統初期努力的方向。至於多大的刺激才值得全面回縮觸手？哪個部位受到刺激才應該擴大反應？則是整體細胞群往後要慢慢磨合溝通的事項。

能抒發自己意見的神經節

有時我們爲了簡要說明神經系統的功能，常會說：「神經系統的功能在於感應外界的刺激，並做出反應的行動」。這樣的說法常常會使人忽略神經還有自主發訊的能力。部分神經細胞聚在一起後，能自行發出一陣一陣的訊號，而外界的刺激對這群神經細胞的影響，往往只能調整訊號發出的強度或節律，和海葵相比，水母就多了這套自發性律動的神經體系。

一陣一陣的縮緊觸鬚，就是水母給人的鮮明印象。引起水母這樣規律性的收縮，並不是來自外界的刺激，而是水母自身的神經細胞團。生物學上常把一群神經細胞團稱爲「神經節」，水母體內具有數個自行發訊的神經節（或圍成了神經環（圖二）），每次收縮並非每個神經節都會加入，但越多的神經節參與發訊，水母的收縮就會越起勁，彷彿律動的強度就是神經節聯合決議的成果。其實這樣簡明的自行律動倒也還挺常見的，那就是「心臟」。



解剖過青蛙的人幾乎都親眼看過，心臟在被剪下後還能撲通撲通的跳，然後就會傳來同學的驚呼聲：「哇！心臟怎麼還活著？」。雖然所有的生物老師在解剖課前，都會先預告這一幕，但一顆離體還持續搏動的心臟，每次都能成功的引起人們的驚嘆聲！心臟能離體搏動的原因，源於右心房附近有一個自行發訊的區域，稱爲節律點。節律點雖屬於肌肉而非神經，但就和水母的神經節一樣，它也能自行發出搏動的訊號，若只著眼於神經的調控機制，心臟和水母的律動其實是很類似的現象，毫無疑問，水母是活的，所以離體的心臟也可以被看成是活的。對心臟而言，身上的神經訊號、激素或是體溫等因素，都僅是節律點調整心搏的參考意見，節律點才是心臟的主腦，這樣的情況也讓心臟好像是體內的自治區。

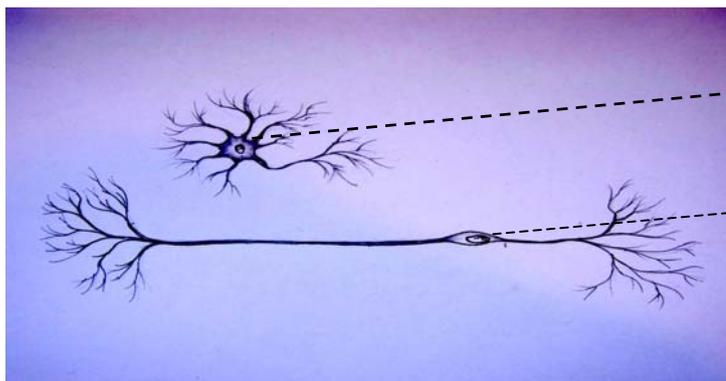
節律點有自己的意見，我們中樞神經裡的腦幹、間腦以至於大腦，當然也有自己的意見，而不是僅對外界的刺激做出一五一十的回應。想像我們在沙發上枯坐冥想時，極度無聊、陷入沉思、一籌莫展……最後可能起身去公園散散心。這起身去散步的決定，絕大多數是腦部神經細胞交換意見的結果。又如多數情況下的夢境，體內或外界環境並沒有輸入訊息至大腦中，此時睡夢中產生的意識雖

然微弱，但幾乎全是腦內神經迴路所自行引發的。水母神經節和心臟節律點所發出的訊號雖然簡單，但這已是神經系統能抒發已見的雛型。

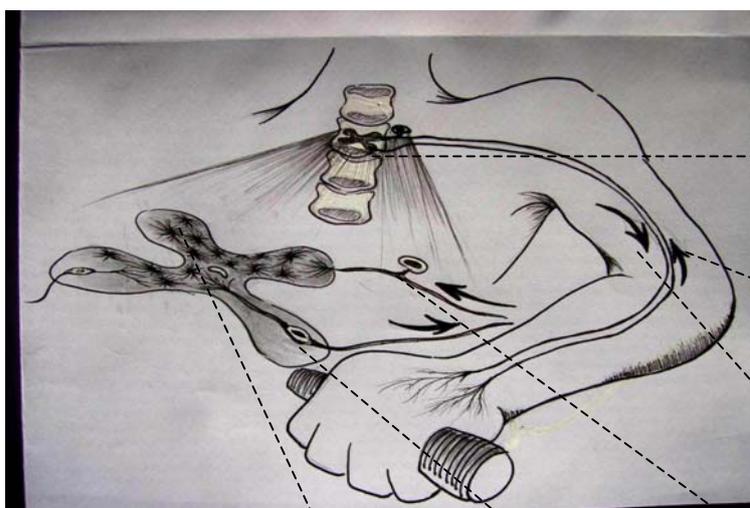
神經細胞的變身

初期的神經細胞和一般細胞相似，是一顆一顆的模樣，但啟動發育流程後，就會拉出許多細絲。我們通稱神經細胞為「神經元」，而神經元拉出的細絲就稱為「神經纖維」，神經元有了纖維後，可加快傳訊，也便於交換意見。

海葵的神經元像是爆出一堆纖維的「多極神經元」(圖三)，這類原始的神經元，傳遞方向複雜，本身四處蒐集訊號，也努力散播訊號，極適合散佈流言和放大訊號的角色，也就靠著這樣的特色，建構出散漫神經網。在神經體系較進步的水母身上，出現了傳訊方向穩定的「雙極神經元」(圖三)，神經元具備了這種明顯的主軸，不但傳訊方向穩定，速度也快了許多。以脊椎動物的神經系統來做比對(圖四)，這類傳訊方向穩定的神經元，主要成為周圍神經系中的感覺和運動神經元，適合把外界的訊息，忠實而快速的傳至中樞神經，或是傳達出中樞神經所做的決定。多極神經元雖較早出現，但由於它的型態易於交換意見，所以就成為了中樞神經系裡的要角。



圖三：
多極神經元及細胞核
雙極神經元及細胞核



圖四：中樞及周圍神經系

脊椎背側的中樞神經(脊髓)

輸入訊號的周圍神經(感覺神經元)

輸出訊號的周圍神經(運動神經元)

中樞神經(脊髓)內的多極神經元

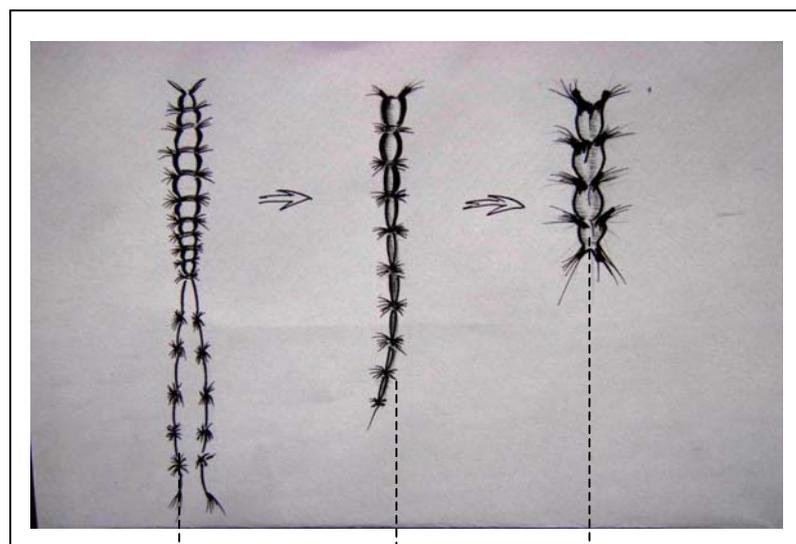
運動神經元

感覺神經元

水母體內的神經節，即是多極神經元的聚集，這樣的結構雖稱不上中樞神經，但也沾上了邊。神經節的型態很像把海葵的散漫神經網縮到一個很小的空間裡，然後讓這群多極神經元，好好的 talk、talk，等談出個結論後，再讓雙極神經元把決議傳出去。這些多極神經元聚在一起聊了數十萬年或數百萬年後，也演變出較有效率的資料搜索、學習記憶或決議模式，然後逐漸升格為可靠的中央決策單位。

一樣目標兩樣方法，走出不一樣的演化道路

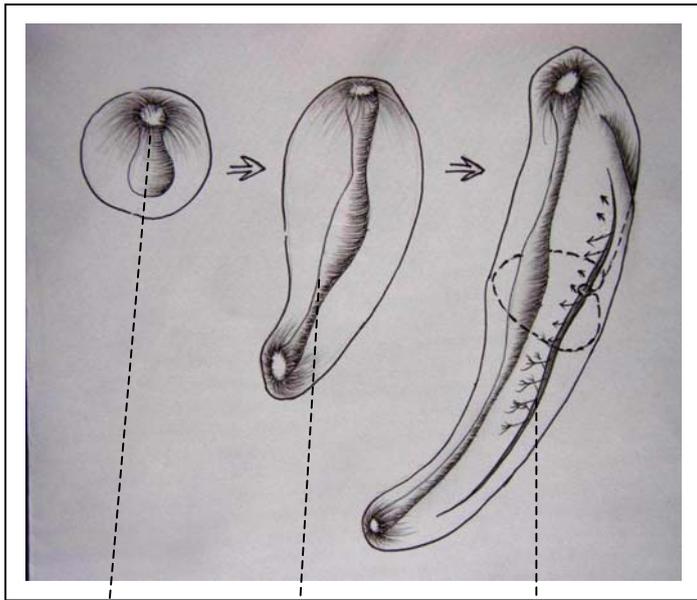
在陸地的生物中，節肢和脊椎動物算是較優勢的兩門生物，兩大類動物都分別演化出中樞與周圍神經系統，但方法卻截然不同。由胚胎發育和演化過程來看，節肢動物收編原本散置的神經元，然後逐漸聚成數個神經節和數條神經索，接著再整併成更粗大神經索，在這樣合併而成的神經索上，仍布著許多鮮明的神經節（圖五）。至於脊椎動物的神經發展模式，則是先在消化道的背側凹陷出一條較細的神經管（圖六），然後再擴大規模，在擴大規模的同時，也逐步伸出許多周圍神經，以控制日漸擴展的身體結構。一個是整併而得的中樞，另一方則是先形成中樞再逐漸發展，這樣相異的方式，一樣完成中樞神經的建設，但讓這兩大生物走出不一樣的演化步調。



雙鏈型 → 單鏈型 → 癒合型

圖五：節肢動物中樞神經的演化

較原始的甲殼與昆蟲類節肢動物具有雙鏈型中樞神經，稍為進化的中樞會併成單鏈型，更進步的類型會減少神經節的數量，形成癒合型的中樞



圖六：：脊椎動物
中樞神經的發源

中樞神經源於背側的外層細胞，外側細胞凹陷後於體內形成背神經管，背神經管再向兩側延伸出周圍神經。

原口形成→消化管形成→背神經管形成，並向兩側伸出周圍神經

以五億三千萬年前的化石來進行比對，節肢動物已出現三葉蟲和近似蝦子等附肢眾多的動物。這些節肢動物靠著迅速整併得來的神經節，對複雜的附肢進行有效的控制，但這些分散的神經節讓頭部的神經節顯得一點也不突出；在此時的脊椎動物中，較進步的海口魚（*Haikouichthys*）或盲鰻，整體的神經發育並不如節肢動物，外型上也沒有長出傲人的附肢，只是神經管明顯偏愛於頭部的發育。默默安於頭部發展的脊椎動物，約是忍了一億多年以後才開始發展附肢，而初期的附肢，也不過是一些突出的鰭，僅像是潛水艇邊控制水流的舵；相較之下，節肢動物的附肢像是能互助的機械手臂，其控制的精密程度是鰭所遠遠不能相提並論的。附肢的優勢主要還是顯現在陸地上，在嘗試登陸之初，脊椎動物僅能用著不發達的附肢，將笨重的頭胸部抬出水面，就這樣又撐了一億多年才上了陸地，此時的節肢動物早已在陸上活躍了約一億五千萬年。托著笨重的頭部固然辛苦，但這項裝備卻讓脊椎動物秀出了一場大器晚成的傳奇。

由於節肢動物的中樞是整併而成，所以在登陸後，它們的附肢也搭配中樞的合併趨勢，減少數量並增加多樣性。但部分神經索或神經節仍保有較多的主見，甚至可能還保有學習記憶的能力，這讓前端一丁點大的腦部活像是「相忍為國」的君主，只盼著這些分散在各地的開國功臣們能安定社會，不敢奢望群臣們能再交出其他的權限給這一國之君。相對於脊椎動物的神經系統，雖然起步較慢，但在中樞神經穩扎穩打的經營策略下，總能在提升周邊設施的同時，也發展出足以匹配的控制能力。這樣的發展模式在天擇與體內眾細胞的認同下，讓腦部一點一滴的累積掌控實力，也在登陸後一億年的歲月裡，脊椎動物挾著神經系統帶來的優勢，迅速的攻城掠地，迫使不少節肢動物縮小體型，朝向小型而數量眾多的方

向發展。在此並非認為小型昆蟲就不優勢，而是闡述後進的脊椎動物，造成了原本絕對優勢的節肢動物，需改變演化方向以求生存的事實。

我們的腦：巨型、密集卻有效率的散漫神經系

回顧神經系統的起家，源於散漫的多極神經元，無序又愛擴大事端。在那當時，結群成黨的細胞兄弟們，比較相信彼此拋出的化學訊息，所幸多極神經元雖愛聊八卦談是非，但不是放羊的孩子。在之後細胞們彼此學習適應下，多極神經元因傑出的表現，被送進神經節中專司議事，雖然多極神經元仍不改愛閒聊的本色，但努力學習有效議事的本事，就在這樣的情況下，神經體系不斷提升議事的效率與規模。

同樣是多極神經元，但在節肢動物體內求發展的神經體系們，因為急切合併做大，現今仍無法協調出和我們相提並論的神經議事規模。我們的腦已是數千億神經元和議的場所，雖看似散漫，但能再幾百毫秒內，發動上億的細胞進行會議、達成結論和解散會議，然後又再幾百毫秒內，發動另一場完美的會議。多極神經元已經很習慣這樣的趕場會議，或是同時進行數場會議。因為若沒有找到適任或足量的細胞展開大型會議，我們的大腦可能會失去意識和決斷力，這就是多極神經元的日常工作。在意識清醒時，即便大腦無聊發呆不做任何決斷，多極神經元還是要不斷的進行會議和消耗能量，對多極神經元而言，不做出決議的會議，也是一場會議，『沒有決議』的情況，也是一種決議。

以上文章是某群多極神經元，對先賢先烈們的奮鬥史，所討論出的會議紀錄