

超越 記憶與編碼

專訪 美國波士頓大學教授 錢卓

腦科學專家錢卓近年以記憶編碼方面的研究，廣受矚目，同時也回到母校華東師範大學組建腦功能基因組學研究所，大力促進科學研發。其實他早在1999年「聰明鼠」的研究，就已經獲得《科學》選為該年的十大科學成就。在本次《科學人》越洋採訪中，錢卓暢談研究記憶的重要性，以及對華人世界科學研究的期許。

採訪／龐中培

科：您的「聰明鼠」研究，引起許多媒體的報導，這些報導對於您往後的科學研究，帶來哪些好或不好的影響？

錢：挺有意思的一個問題。對於聰明鼠這方面的研究，大家比較感興趣。媒體的採訪，對我自己搞科學、教學方面當然有些影響。當時有很多記者到實驗室拍照、錄影，把實驗室搞得像攝影棚，那時的實驗確實受到一定的影響。雖然採訪工作給我們增加了負擔，但是由於我們實驗室的主要經費來自美國國家衛生研究院，這是納稅人的錢，因此我們科學家有義務、也應該對公眾進行科學宣傳、教育等工作。

科：那麼您現在有關於記憶編碼的研究，是從「聰明鼠」延伸過來的嗎？

錢：是的，在2001年就想在這方面做些工作，剛開始要建立一系列的系統，花

了很久的時間。包括記錄方式、電極等，都需要去摸索，我們在摸索過程中，投入了很多精力、人力和財力。由於我們使用的數學方法從未應用於神經編碼方面的研究，因此也需要我們進行系統的摸索與評估，並對其結論用不同數學方法進行反覆論證，以確保我們結論的準確性。

記憶能讓生物適應環境變化

科：您在對小鼠的實驗中，使用到了類似地震的事件，測試小鼠記憶固定的過程。請問您是如何挑選產生記憶的事件？

錢：記憶有幾種。像是別人給你一個電話號碼，你打完以後轉個身就忘記了，那種是短期記憶。很多重要的記憶都是長期記憶，譬如你從樓上掉下來，這是很強烈的記憶，會令你終生難忘。許多事件發生的長短都差不多，像是剛才說的電話號碼，撥打一下大概需要兩、三秒鐘，一般不容易記住，而同樣經歷兩三秒鐘的地震，大腦中的地震記憶卻可能是永久的。對生物來說，長期記憶所選擇的資訊通常是更為重要的，大腦需要通過對這類重要事件的提取來形成知識與經驗以便指導它今後的行為。日常生活中發生的事情很多，像是從家中去上班，你開車也好、搭乘公共汽

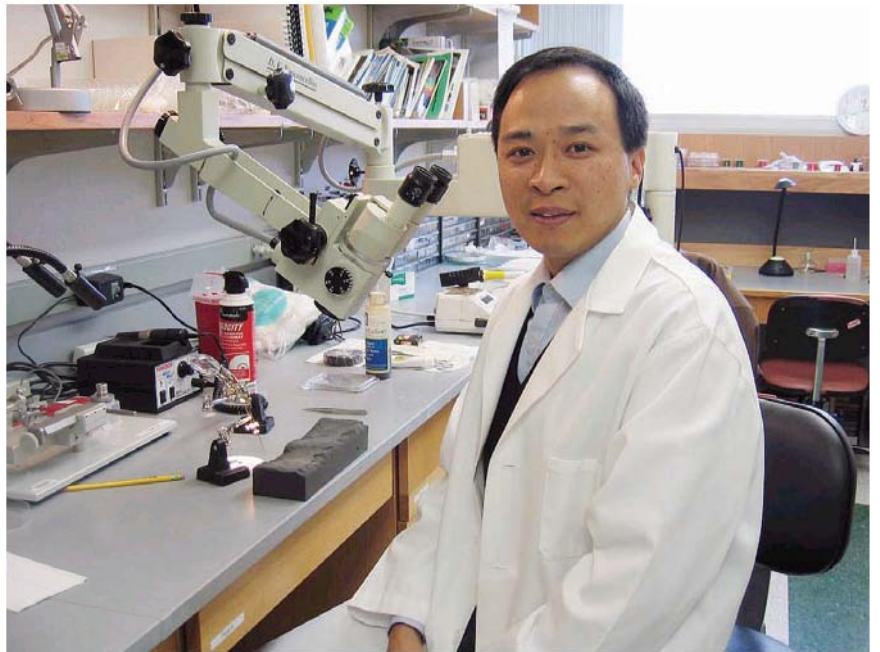
車也好，不會把路邊每棵樹記住的，路邊的樹有50棵還是51棵，不是很重要。但是在開車的過程中，如果看見大車禍，就會記得很清楚，這種情節對於生物環境適應是很重要的；我們用了同樣的思路設計了類似地震、高樓墜落等重大事件來研究大腦是如何對這類重大事件進行編碼的。

大腦記憶並非單純的記住每一事件的所有細節，其主要功能是把以前的經驗轉化成抽象的知識儲存起來，有了這種抽象知識，就可以有泛化作用（generalization ability）從而使生物體能適應複雜多變的環境。我在〈記憶的0與1〉中提到床的例子，譬如說你到某一個城市出差，到旅館的房間的床，形狀、風格雖然和你家裡的床都不一樣，但是你會睡在這張床上，而不是睡在洗澡盆。我在文章也提到了大腦是如何對概念進行編碼的，例如，我們發現老鼠的海馬細胞具有對「窩」的抽象概念進行編碼的功能。有趣的是，這些腦細胞通過對物體的功能（而非形態進行編碼），來判別該物體是否能做窩。

問：請問這種類似地震的衝擊造成長期記憶的過程，與短期記憶轉換成長期記憶的過程是一樣的嗎？

錢：在文章中我們所闡述的記憶重覆啟動（pattern replay）很可能就是短期記憶轉化成長期記憶的關鍵。對地震這類事件，大腦會通過下意識、自發的重複啟動來形成長期記憶，而枯燥的電話號碼則需要有意識的、重覆背誦來轉化成長期記憶。

但是在回答短期記憶和長期記憶相關問題之前，最好能研究出一種方法來說明記憶到底是什麼？是一種什麼物質形式？是否能用生理、數學的形式來描述它？如果解答了這些問題，那麼今後就能夠更深入地研究短期記憶與長期記憶了，因為這兩者之間的關係應該是很密切的。我剛才舉過電話號碼的例子，如果是一個不重要的人的電話號碼，你可能懶得花心思去記，但如果是一個重要人士的電話號碼，就不



一樣。假設你是一個追星族，大明星的電話號碼，就會記得很清楚；如果是路邊推銷員的，你都不會願意去記得那個電話號碼，或者打過以後就忘掉了。因此，一個事件能否進入長期記憶，在很大程度上取決於情緒、感情的因素，以幫你來判斷哪個重要、哪個不重要。不重要的大腦就不處理。如果是很重要的或是自身認為很重要的，那麼就會轉成長期記憶。

以數學的形式說明記憶

科：用生理、數學的形式描述記憶，是什麼意思？

錢：就是以數學的形式來描述生理的活動規律及表現形式。比如說你知道地球繞著太陽旋轉，你可以用一個公式來描述。許多對記憶的描述，從古至今，基本上使用了心理學上的術語，例如查字典，上面說記憶是「訊息的儲存」，可是這並不是科學的描述。因此，我們非常希望用科學、特別是用數學的語言來描述記憶。雖然還不知道能不能描述得好，但是如果每一個環節，都可以用數學的語言來描述的話，這就是真正的hard science（硬科學），而不是傳統的心理學。生物學發展到了一定

**大腦需要
通過記憶，
來提取知識
與經驗，
以指導行為。**

程度的時候，就應該像現在的物理一樣，可以用數學的語言來描述，那麼就可以發展得比較成熟、完整。如果光是用文字來描述的話，那麼soft（軟）的成份就比較多了。就像心理學，它把大腦定義成一個黑盒子，對面發生了什麼事情，並不進行研究，而是對它的輸入和輸出進行研究，然後用一種語言來描述它。當然，心理學對神經科學的發展奠定了很好的基礎。

科：研究出記憶編碼方式之後，可以進行哪些應用呢？

錢：研究記憶的編碼在幾個方面有應用價值。第一，其本身就可滿足我們對於大腦的好奇，它的工作原理是什麼？人是如何認識世界的？人的世界觀、人生觀和價值觀是怎麼形成的？第二，在分子水平上的研究進展可能就成為治療腦疾病的契機，像是老年癡呆症分子藥靶的發現可用來開發新的藥物。而記憶編碼的描述可用於對新藥的有效性進行更精確的評估。第三，臨床上對各種腦疾病進行更精確的早期診斷。第四，可以運用大腦的編碼設計原理，在智慧電腦、智慧型網路與智慧型機器人上進行一些全新的嘗試。所以，它的影響會比較廣泛，遠遠超出大腦的研究，甚至對於工程、訊息與軍事上都有作用。

科：軍事上的應用？是指哪些方面呢？

錢：現在各種的訊息非常多，衛星、雷達、聲納等，各種各樣的，但是機器不會自行做出判斷，這需要人，但是訊息太多，人都來不及判斷，這個時候就需要智慧電腦來做初步的判斷。如果智慧電腦加上智慧型網路系統（其計算方法與大腦相似的話），那麼這個智慧中央網路系統就能進行比較積極的思惟，可以判斷各類事件與物體是否具有相關性，是否對其形成威脅、是否需要採取相應行動。我想這種類似人腦操作的智慧電腦中央網路系統，在國防軍事上很有應用價值。因為我們現在使用的電腦系統基本是在1950年代的原則指導之下發展起來的，如果現在把大

**生物學發展到了
一定程度的
時候，就應該
可以用數學
的語言來描述，
那麼就可以
發展得比較
成熟、完整。**

腦的原理應用於新一代電腦，那麼這種新型的智慧電腦就會非常powerful（強大）。

科：科學家做的研究上新聞版面，表面看起來很拉風，其實過程是很辛苦的，可否請您談談其中的甘苦？

錢：其實從事任何一個職業都是很辛苦的。當科學家，首先要對自己研究的領域與科目有極大的興趣和熱情，這是最重要的。同時還要有鍥而不捨的研究精神和比較樂觀的態度。如果沒有這種精神，不然寫的論文被人家彈回來了，這種打擊也是很大的。比如說，我們大腦記憶編碼的第一篇論文被《科學》主編未經審稿即退回後，最終轉發於《美國國家科學院學報》（PNAS），我們在實驗室便將PNAS戲稱為Paper Not Accepted in Science。

當然，如果你擁有自己的實驗室，也需要一定的組織能力，特別是判斷領域中的研究方向是否重要？發展的趨勢又是如何？另外，還需要能夠申請到充足的科研經費，沒有經費是比較頭疼的，平日三分之一的時間用於籌備經費。

科：那麼當初有什麼轉折，讓您進入這個領域中呢？

錢：我做了這麼多年，也是一步步走來，我以前本科就是做簡單的電生理，後來讀博士的時候，就對神經的分子水平很感興趣。博士畢業後，到了和學習行為有關的研究室中做博士後研究。後來我一直從事於這方面。由於我的學習背景比較寬廣，從分子、電生理、行為和遺傳工程各方面，能夠用在一起，這可能也是一種特色。研究課題的時候，提的問題往往是受限於你的知識。知識與背景會影響你提什麼樣的問題，或者你看問題的方法和角度。我覺得我從本科開始，到做完博士後研究的十幾年，還是非常重要的。我從不同的背景，看同樣的一個問題，這樣的話，對我自己的研究風格來說，非常有意思，而不是僅僅限於分子生物學，或是傳統的行為心理學。

中西方科學研究的差異 在於體制不同

科：目前您身兼數個研究單位的領導人，有很多事情要處理，而且這些研究單位還橫跨太平洋兩岸，請問如何分配時間？

錢：我也不能算是什麼領導人啦！我只是追求自己的興趣，我的精力大部份還是在美國的實驗室。上海華東師範大學是我的母校，在那邊我沒有自己的實驗室。但是在國家科技部、教育部、上海市政府和母校領導的大力支持下，我在華東師範大學組建了一個腦功能基因組學研究所。我的想法是，通過建立這樣的研究所，能為對生物學有興趣的學生創造一個優秀的學術環境。

我花了很多時間為上海那邊培養年輕的科學家，他們先到美國來培訓，短期或長期的，這樣他們再回到研究所工作，溝通起來就非常容易。我們有共同的術語，作業方式都比較了解，事情就比較好辦。當然我在上海也有非常得力的合作夥伴，由他們進行具體的科研和管理工作。

科：您覺得在中國與西方，科學研究的風氣有什麼差異？

錢：我覺得其實人都是差不多的，總會有優秀的科學家。最大的差別其實還是科研體制的問題。美國、西方相較來說比較成熟有效率，經費也比較充足。比如在體制上，經費的分配與評估，以及有濃厚的學術氣氛。同時美國（西方）科學家數量相對來說比較多，因此評審過程中相對能做出比較公平的判斷。科學也有所謂的critical mass（臨界人數），達到了一個規模以後會比較穩定，比較不會受到其他非科學因素的影響。不會因為一個校長助理的更換，使得學校對實驗室資源的分配就受到影響。國內相對來說，比較嚴重些，不過目前國內進行的一系列改革使這方面有了很大的起色，所以我對中國的科學事業發展還是充滿信心的。

科：這一點台灣的情況也滿類似的，行政部門掌握了比較多資源，科學家有時候手腳施展不開來。就您的經驗，怎樣才能招攬科學家回到家鄉發展呢？

錢：我想大陸也好、台灣也好，已經有很多優秀的科學家回來服務。像是李遠哲先生放棄了西方很好的環境回到台灣，領導中央研究院。回去以後他能夠利用西方體制上比較好的經驗，進行一步步的改革。中國也有很多優秀的科學家，像目前中國科技部部長萬鋼、衛生部部長陳竺，都是留過學的優秀科學家，回國後做得非常成功。還有楊振寧、姚期智等依然活躍，他們是華裔科學家的楷模。我想他們也會把成功的經驗運用於體制的改革。大家都知道一個體制要進行改革，不是一兩天的事情，它是比較漫長的，但是經過了十幾年或幾十年的努力，就會有非常大的進展。

科學的發展當然也受到經濟條件的發展限制。當初中國很窮的時候，也搞不起大規模的科學研究。科學早期的時候，本來就是奢侈品，是屬於不愁吃不愁穿的貴族興趣活動。而現在的科學也不再是貴族的興趣，而是現代經濟發展所必須的。各國政府都發現科學技術對於經濟的發展是非常重要的，所以各方面都在競爭，包括人才的競爭。美國在這方面是比較成功的，不光是有錢，還在各方面都鼓勵創新。

一個國家的科學水平需要一代一代的累積，因為科研需要花非常長的時間，不是說三、四年就能做成的。可是政府通常四年就換屆了，科研方向政策也可能隨之而變。所以不光是經費的問題，而是在法律上要保障科學研究。還有如何評估的問題，光追求發表在哪些期刊上面，或SCI期刊文章的數量，也是不健康的。片面追求拿諾貝爾獎，從某種程度上說，也是一種滿足虛榮心的表現，而不是很成熟的社會的表現，因為得獎不是目的，通過提高科學技術來促進社會的進步與發展，改善人類的生活質量才是真正的目標。 SA

中西方人
都是差不多的，
都有優秀的
科學家，
最大的差別
其實還是
科研體制。