

天賦數感・大腦可塑

嬰兒天生有數感，知道一加一等於二。然而，大腦何以能形成抽象的數學概念？如何應付書寫的文字和數字？當共通的基本認知能力和後天文化建構而成的能力相互競爭時，大腦有何策略？《科學人》特別專訪以研究數感成名的法國認知神經科學家狄昂。

採訪／許碧純



科學人：我們的第一個問題是關於你在1997年出版的《數字感》（*The Number Sense*）這本書，它應該是認知心理學中第一本有系統描繪人類數學認知的書籍。

狄昂：這是很好的起頭，因為我剛好就在今年夏天開始修訂《數字感》，預計明年4月出版。新版會新增一個很長的結尾篇章，內容包含了過去15年的研究進展。

這真是太好了！我們的讀者可以得到第一手資訊。其實這也跟我們的問題有關，你在這本書中對數感天賦論舉出許多實驗證據，特別是對於大腦如何處理數量訊息，提出了概算和精算兩種策略，並證實負責這兩個處理歷程的神經機制。這些年來在大腦數學認知方面有什麼新發現或突破嗎？

狄昂：據我所知，其實有很多新的進展和突破。其中最重要的是如同過去行為實驗結果所預期的，動物腦中有負責辨別數量的神經元。這是由德國杜賓根大學的奈德（Andreas Nieder）和他在美國麻省理工學院的合作者進行的一項出色研究，顯示動物腦中的神經元對特定的數量有很大的反應。美國伊利諾大學的羅伊特曼（J. D. Roitman）、杜克大學的布賴農（E. M. Brannon）與普萊特（M. L. Platt）這組

關於狄昂（Stanislas Dehaene）

狄昂是法蘭西學院實驗認知心理學教授、巴黎國家衛生暨醫學研究院認知神經造影研究部主任，主要的研究是數字認知、閱讀的神經機制以及雙語學習。他原主修數學和資訊科學，因為不想成為一名研究數學的學者，卻發覺數學思考是大腦最奇特的心理歷程之一，於是轉攻認知科學，師承知名認知科學家也是《天生嬰才》的作者梅勒（Jacques Mehler）。狄昂在2005年以40歲年紀獲選為法國科學院院士，2010年獲選為美國科學院院士。發表專業論文之外，也著有多本科普書，他目前最有興趣的研究議題是意識。



「數」雖然是很抽象的概念，但認知心理學家很早就已證實嬰兒有簡單的算術能力，只是數不過三，研究顯示，這項運算最多只達到四。

元有適應轉變的特性，以功能性磁共振造影（fMRI）技術來顯示人類大腦和動物一樣，都有對數量變化特別敏感的神經元。

整體說來，我們對於大腦概算數量的神經迴路已有相當的了解。現階段最大的挑戰是去了解人類大腦如何在與生俱來、負責處理數字感的神經迴路上，建立學習數學的神經系統。

頂葉與數學能力之謎

你方才提到的突破之一是兒童的概算能力與他們未來學習算術的能力相關。有任何關於數字認知的理論可以解釋為什麼有些人天生對數學很在行而有些人碰到數學就豎起白旗？擁有優異數學能力的孩子是因為他們天生就有較好的數字感嗎？

狄昂：這是很好的問題，但是我對這種說法抱持非常謹慎的態度。一篇發表在《自然》的論文指出，概算能力與孩子早期在學校學習算術的能力有相關，反之亦然，皮亞查和我的研究也顯示，被診斷為有計算障礙的兒童在概算能力與數量知覺的作業上表現

人的研究則顯示，動物腦中的神經元會隨著數量的變化而有遞增或遞減的反應。這些研究最令人著迷的地方在於思考如何用數字感的理論去解釋這些神經元的運作，它們分別說明了動物有數感，也有概算數量的能力。

另一個重要的突破是研究者試圖了解兒童如何發展出數字感。美國哈佛大學史培基（Elizabeth S. Spelke）的研究指出，數感這項嬰兒天生就有的能力，跟他們長大後在學校學習算術的能力有很高的相關性。我們也有許多直接的研究證據說明，數字感如何在兒童學習算術的早期發展過程中提供學習的鷹架。

在這個領域裡，有很多研究取向是從動物身上得到初步結論後，再放到人類去做重複驗證，或是反過來進行。我和義大利特倫托大學的皮亞查（Manuela Piazza）利用神經

異常，而且他們在概算非數字符號呈現的點（dot）時，也會出現困難。有許多研究證據顯示，人類對於非數字符號的數量處理與學習高等數學的能力有關。還有一個發表在《美國國家科學院學報》的腦造影研究顯示，數學能力的發展和頂葉與額葉之間的神經連結程度有很高的相關。這些研究的共同問題是，實驗結果只顯示了數學能力好與不好的人之間腦部的差異，我們仍然不知道數學能力發展和頂葉與額葉的神經連結之間是否有因果關係。

不過，如果大腦頂葉在出生前就有損傷，那麼似乎會導致發展性計算障礙，英國倫敦大學的艾薩克斯（Elizabeth Isaacs）在2001年的研究發現，頂葉灰質數量比正常發展的嬰兒還少的早產兒，長大後會有發展性計算障礙，研究中所指的頂葉正是一般人用來處理數學相關作業的腦區。

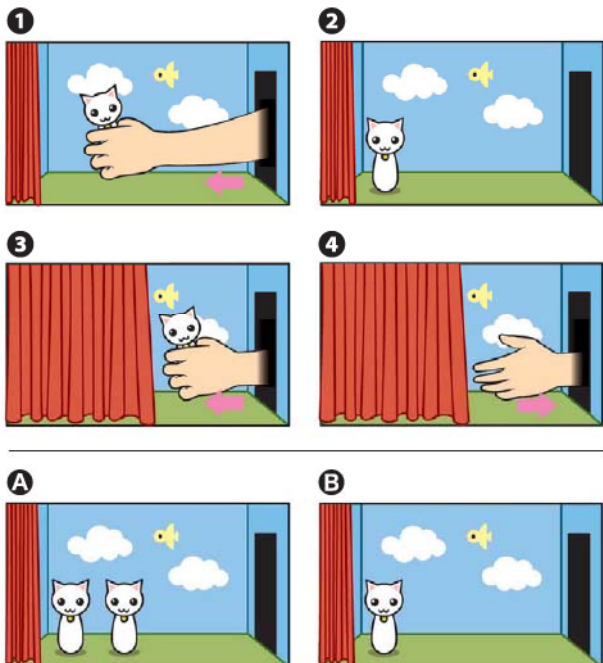
同樣地，因染色體缺失導致透納氏症候群的孩子也無法執行某些算術作業。

對於部份（我必須特別強調並非所有）的兒童而言，我們相信大腦頂葉與數學能力的學習是有因果關係的。但這一類發展性研究必須面臨的共同問題是因果螺旋關係，而這正是我們需要更進一步去理解的，意思是說，從生物學角度來看，個體最初的極小遺傳差異，雖會導致往後發展的極大困難，但教育的介入可以使那些數學學習困難的孩子得到很有效的協助。基因或許扮演了一些角色，但單憑基因並不足以構成數學天份的基礎。

〔經典實驗〕

嬰兒天生會數數

美國耶魯大學心理學教授溫恩1992年發表在《自然》上的經典研究顯示，四、五個月大的嬰兒會期待一加一等於二。在這個小玩偶戲台上，首先研究人員將一個玩偶放在舞台上空手離去，留下玩偶在舞台上（**1**和**2**），然後幕布打開，再放進第二個，空手離開（**3**和**4**）。當幕布打開時，有時舞台上呈現兩個玩偶（**A**），有時則只有一個（**B**另一個由研究人員偷偷取走），結果顯示，嬰兒理解一加一等於一的時間要比一加一等於二所花的時間長；研究者也進行另一組實驗二減一，結果也發現嬰兒理解二減一等於二所花的時間要長於二減一等於一。



嬰兒認知能力的研究在過去20年突然增加許多，你認為引發新一波嬰兒研究的原因是什麼？是因為有了更好的研究工具和方法？有更好的理論讓研究者以此為基礎去問更多問題？還是有更健全、更完整的嬰兒大腦發展資料庫可以驗證許多研究假說？

狄昂：我想上述原因都成立，但我認為更重要的是對智識來源的追尋。認知科學領域的一個核心問題在於試圖了解人類從哪裡來？我們為何可以形成抽象概念？特別是數學概念的產生是一個很奧妙的現象，例如我們有直線或平面的概念，但它們卻是我們無法從外在世界體驗到的絕對抽象概念。這是從柏拉圖就開始探尋的古老哲學問題。令人興奮的是，透過研究嬰兒的大腦及其行為，我們可以開始用實證的方式重新探索這個議題。

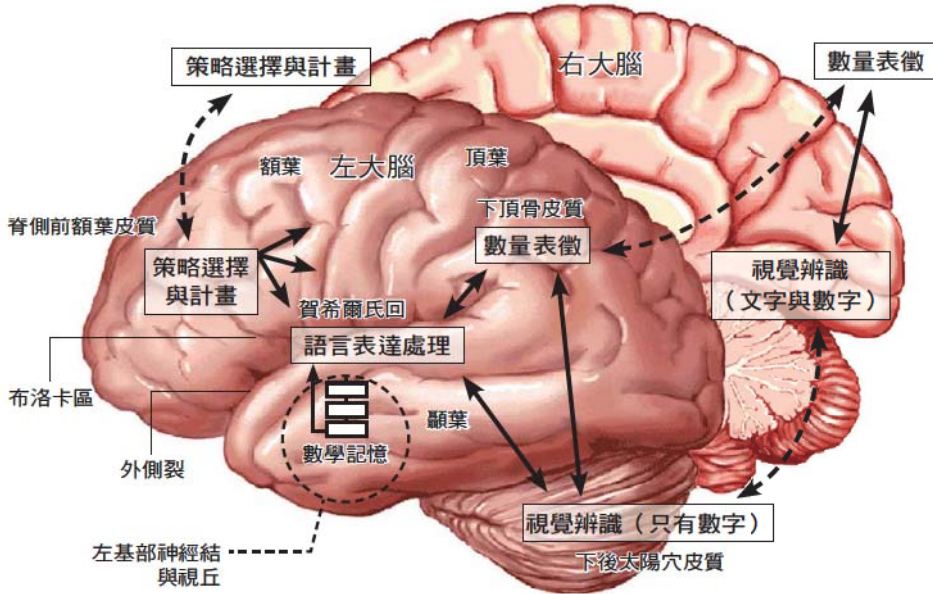
另外，我認為這些研究背後的主要動力在於，我們雖然擁有很多關於成人大腦的知識，但對於嬰兒的大腦卻一無所知，一旦有技術可以進行嬰兒大腦的研究，是讓每個研究者都感到非常興奮的。就在幾個月前，法國國家科學研究中心伊瑟德（Véronique Izard）的研究顯示，出生幾個小時的新生兒就可以經由視覺和聽覺的配對，得知物體或聲音所表達的數量訊息。我們不斷從嬰兒行為中發現他們所擁有的能力，這是令人非常興奮的，那表示我們呱呱墜地來到這個世界時，便具有一些基本的認知能力，而它正是柏拉圖過去猜想也宣稱的論點。

來自初生嬰兒的神經造影證據

在我們訪問之前，曾經寄給你賈布尼克的文章，其中提到嬰兒可以從接收到的刺激中發掘規律性變化，你對於這種統計學習理論有何看法？它與你所稱的嬰兒天生的認知能力是否有關聯性？

狄昂：針對後面的那個問題，我的答案是否定的。有研究顯示嬰兒可以很快速地學習新的事物，這是毫無疑問的。不僅是人類，即使是動物腦中的神經系統都能有效地提取外在環境中的規律性變化，並以此對外在世界可能的變化做出預測。當我們聽一連串短暫的語音，我們的大腦可以發掘其中的規律性，並以此預測將來可能的變化，這是事實，的確是我們所擅長的，它因此讓研究者形成有趣的推測，認為人類大腦會去預期一些具有規律性的機率，並從中做出推論。但是大腦提取規律性的能力並不足以解釋大腦如何形成數量、空間和時間的表徵或擁有語言的能力，

數感從何而來？



60年前德國神經學家發現，左下頂骨皮質如果受損可能導致計算力缺失和書寫困難等障礙，狄昂和合作者柯恩（Laurent Cohen）在一些左下頂骨皮質受損的病患身上也看到喪失數字感的相同情形，而此區很可能就是與生俱來數感的地方。在此圖中，左右大腦都具有數量概念和阿拉伯數字的辨識能力，但只有左大腦有數字的語言表達。

因為嬰兒接觸到的刺激不足以讓他們學習。

前面提到的發展性研究，受試嬰兒才出生幾個小時，我不認為他們有足夠的經驗，讓他們可以從環境中形成抽象的數量表徵。比較可能的解釋是，嬰兒腦中原本就存在著一個有組織的神經系統，讓他們很早就開始有數量的概念。的確，我和我的太太吉絲蘭（Ghislaine Dehaene-Lambertz，狄昂 - 林巴狄斯）一起研究嬰兒大腦的神經連結發現，這些連結並非隨機形成，腦區間連結的組織性也比我們想像的更強，因此我們認為數量表徵或語言能力是來自大腦中系統性的連結，而不只是因為提取規律性的統計學習能力。

我最喜歡舉的例子是同時刊登在《自然》上的兩篇研究，英國倫敦大學的勃吉斯（Neil Burgess）以及挪威科技大學的穆瑟（Edvard Moser）兩個獨立研究團隊分別透過老鼠腦細胞的研究發現，幼鼠在還不太能走

大腦提取規律性的能力並不足以解釋大腦如何形成數量、空間和時間的表徵或擁有語言的能力，因為嬰兒接收到的刺激不足以讓他們學習。

動時，場所細胞（place cell）、網格細胞（grid cell）及頭部方位細胞（head orientation cell）就已經存在腦中了。他們的研究最精采之處在於顯示這些尚未開始在空間中進行探索的幼鼠，其大腦就已經展現系統性的神經組織，雖然還不是很完善，但這些細胞如同腦中的指南針一般，讓老鼠知道自己正朝著什麼方向移動。因此這些幼鼠並不是因為學習，而是腦中與生俱來的神經系統讓牠們具有方向感。

我不認為我們應該過份強調「與生俱來」這一點，但如同美國耶魯大學溫恩（Karen Wynn）所說，我們似乎天生就具備了一些基本能力，如數字感和空間感。從這個立基點開始，人類當然還有非常特殊的學習能力，其中之一是使用符號，例如以阿拉伯數字

計算物體的個數，也因為具備了這些基本能力，人類發展出比其他動物更高等的認知功能。基本能力是存在的，沒有必要否認。

你提到了語言的基本能力，你也與狄昂 - 林巴狄斯使用fMRI來研究嬰兒語言習得的歷程，能否請你談談這方面的最新發展？

狄昂：這類實驗的進行是非常困難的，你可以想像：包括找小嬰兒來當受試者、只能在晚上做實驗、如何讓他們在儀器中頭不會亂動……我們要解決許多這類的問題。雖然我們在2002年發表了第一篇論文，但仍然有很多困難需要解決，例如嬰兒移動頭部的問題。

不過，還是有一些有趣的研究進展，其中之一是我們非常清楚地在兩個月大嬰兒的腦中觀察到，從左顳葉、布洛卡區開始一路延伸到額葉的神經迴路，都對語音有活化反應。不僅如此，這條神經迴路的組織方式與腦區對語音活化的反應速度有關，活化反應最快的是賀希爾氏回（Heschl's gyrus），接著是顳葉，最慢的是布洛卡區，這又是一個顯示腦功能具有組織特性的例子。

另一個新實驗顯示，兩個月大嬰兒的左側賀希爾氏回對語音的活化反應較大，而右側則對音樂的活化反應較大。這與過去行為實驗說明嬰兒可以分辨言語與音樂的結論是

一致的，而且我們觀察到外側裂（perisylvian）周圍語言區的神經網絡在嬰兒牙牙學語之前就啟動了。

這些研究結果意味著這條神經迴路在嬰兒出現言語行為之前，就已經是處理言語的專化系統，然而我們還不確定這個神經系統是為了語言而演化出來，還是為了一般的聽覺處理而演化出來，然後被重新用來處理語言的刺激？這是未來要解答的問題。

再現大腦可塑性： 人臉與文字辨識共爭同一腦區

Scientific American-Mind 今年初針對你剛出版的 *Reading in the Brain* 做了篇你的專訪。有趣的是，你在《數字感》中強調嬰兒與生俱來的數量概念，但是在 *Reading in the Brain* 裡，卻從腦的觀點探討非自然的閱讀行為。你能否從腦部發育的角度，比較數學和閱讀在學習歷程上有何異同之處？

狄昂：這是一個很棒的問題！我認為學習數學和閱讀的共通點在於，它們一部份是立基於基本認知能力，一部份是後天文化建構出來的。以閱讀為例，我們的大腦並非為了學會閱讀而演化來的，文字在5000年前才發明出來，直到最近幾個世紀前，還只有少部份的人有機會識字，在這麼短的時間內，閱讀行為並不能導致基因或大腦結構的改變，但是閱讀會對發育中的大腦帶來改變。為了閱讀，我們將原本負責物體辨識的神經系統轉而做為辨識字母形狀的系統。

我們驚訝地發現，人類在閱讀中文、法文或從右到左的希伯來文時，無論是閱讀拼音字母還是意符文字，都在同一個腦區出現活化反應，也就是視覺字形區（visual word form area）。這個腦區成為我們學會文字與說話的連結之後的介面，我們發現它也對簡單形狀，像是交叉形狀、類似桌角或人類的腳，以及膝蓋部位的L形或T形都有活化反應。我認為它是動物共有的物體辨識神經系統，而因為這個系統具有可塑性，能適應並處理不同的新形狀，人類大腦便將它轉為處理

對大腦正在發育的學齡兒童來說，學校教育取代了演化的角色，不需要透過基因改造，在短短幾週或幾個月內，就為孩子的大腦帶來改變。



大腦為因應閱讀這個後天文化建構出來的能力，而將原本負責物體辨識的視覺神經系統轉為辨識字母形狀，顯示大腦的可塑性，也證實了學會閱讀帶給大腦的改變，對大腦正在發育的學齡孩童尤為重要。

與辨識文字的系統。

就在兩週前，我們有一篇研究文盲大腦的論文被《科學》接受。我們比較了會閱讀與不會閱讀的人的大腦，發現這兩組人在大腦中展現的主要差異正是在視覺字形區，這個區域活化的程度會隨著閱讀經驗而增加，而它對非文字形狀（如棋盤狀）的刺激，以及對人臉的刺激，反應都有下降的趨勢，這似乎暗示著不同種類的刺激在同一腦區的競爭關係。

我們認為這是因為文字辨識與人臉辨識運用了大腦皮質中非常相近的區域，當這個腦區被用來處理其中一種刺激時，就會降低對另一種刺激的活化反應。雖然這個現象造成的效果量很小，但仍具統計的顯著性。這個發現的意義在於證實大腦會挪出皮質的資源，來支援學習新的文化能力，學會閱讀這件事明顯改變了我們的大腦。

在上述的專訪中，你提到認知發展的生物性限制（biological constraint），它指的是遺傳、神經亦或行為層

次的限制？能否請你針對「大腦神經元的重新利用」(neuronal recycling) 多做解釋並舉例說明？

狄昂：古爾德 (Stephen Jay Gould) 對物種演化提出了外推 (extrapolation) 的想法，即一個原本為了某種功能而演化出來的系統，後來可能轉而負責另一個功能或目的，典型的例子是熊貓的拇指。我的理論也用了相似的概念，但是不涉及基因的改變，如同之前所言，閱讀行為的發生時間不足以導致基因的改變，實際的情況是，對一個大腦正在發育的學齡兒童來說，學校教育取代了演化的角色，不需要透過基因改造，在短短幾週或幾個月內，就對孩子的大腦帶來改變。

人類大腦的特殊之處在於能利用原有的神經系統發展出新的功能，人類文化的建構就是在這個過程中產生的。我想強調的是，許多文化發明其實是重新利用原有的系統進而創造出新功能的結果。以面具為例，法國尼寇研究中心的斯波伯 (Dan Sperber) 認為，在所有的文化中都可以發現面具或化妝等文化產物，這是因為人腦中有個處理人臉的刺激的神經模組，於是我們經常創造出一些超常刺激來興奮這個神經模組。漫畫中人物誇張的臉部表情對於這個神經模組也有同樣效果，不過作用不如一張實際的人臉來得好。我們在這些超常刺激中得到樂趣，同時也使得這種新的產物在文化中被保留下來。

我認為閱讀行為也具有相似情況，我們重新利用視覺系統，讓它以有效率的方式和言語系統形成連結，而因為學會識字這件事會有很多用處，因此能夠穩定地成為文化的一部份。

假設不同文化下的嬰兒大腦都同樣有與生俱來的能力，你認為針對嬰兒的認知能力進行跨文化比較的重要性為何？

狄昂：準確地說，我們的目的是區分什麼是共同的基本認知能力，什麼又是後天文化建構的結果？讓我們回頭來談數量認知的研究。我們曾在亞馬遜河流域進行一系列心理學實驗，當然是行為實驗，因為那裡沒有任何腦造影儀器。亞馬遜孟杜魯古人 (Mundurucu) 的特別之處在於，他們不僅沒有到學校念過書或學過算術，在他們語言中也沒有詞彙用來表示超過五的數字，我們試圖研究這些人如何表徵數量概念，有兩個有趣的發現。

首先，即使他們沒有詞彙表達六以上的數量，他們跟我們一樣可以概算30~40個點的數量，顯示概算能力是人類共有的基本能力。其次，我們也觀察到文化間的具體差

亞洲文化具計算優勢？

有些研究指出，文化與語言在數學能力上發揮重要的作用，例如中文和日語。以中文來說，最重要的因素是中文數字詞彙的語法結構可以直接對應到十進位的結構，同時也對應到阿拉伯數字的書寫格式，中文數字符號系統只有13個獨立符號，即數字「一」至「九」，以及「十」、「百」、「千」、「萬」；也因此，使用者比較容易學習十進位制。

另一個文化差異是利用算盤所做的訓練，算盤是相當有趣的工具，它利用可移動的算珠來模擬計數的概念，是一種非符號的表達方式，是數學教學上很好的輔助教材。由狄昂實驗室開發的一套「數學競賽」(Number Race) 軟體，已經有多國語版，可以幫助兒童發展數字感、學習數量和空間對應關係、數量符號，以及學習十進位的結構，而靈感正是來自於算盤。(文/許碧純)

異，對我們而言，數字具有線性的特性，「1」接下來是「2」，「2」的下一個是「3」，它們之間是等距的。也就是說，「1」和「2」的間距與「8」和「9」的間距相等，因此數量可以用來測量空間。但是孟杜魯古人沒有線性數量的概念，對他們來說，「1」和「2」之間的距離比「8」和「9」之間的距離遠，意即「1」和「2」是不同的數量，但「8」和「9」則是相似的數量。顯示線性數量的概念其實是來自文化的建構。我認為這是一個很好的例子，可以說明什麼是人類共有的基本認知能力，什麼又是文化帶來的差異。 SA

許碧純是《科學人》雜誌特約記者。

本文感謝陽明大學神經科學研究所乙組學生洪意惠的協助。

延伸閱讀

《數字感》，狄昂 (Stanislas Dehaene) 著，王麗娟譯，先覺出版，2000年。

〈陌生的一、二、三、四、五……〉，《科學人》，2009年3月號。

Numerical Values Leave a Semantic Imprint on Associated Signs in Monkeys, Ilka Diester, Andreas Nieder. *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 22, page 174-183; January, 2010.

Monotonic Coding of Numerosity in Macaque Lateral Intraparietal Area, Jamie D. Roitman et al. *PLoS Biology*, Vol. 5, Issue 8, e208; August, 2007.

Non-symbolic Arithmetic Abilities and Mathematics Achievement in the First Year of Formal Schooling. C.K. Gilmore et al. *Cognition*, Vol. 115, 394-406; March, 2010.

Individual Differences in Non-verbal Number Acuity Correlate with Maths Achievement. Justin Halberda et al. *Nature*, Vol.455, page 665-668; October 2, 2008.

How Learning to Read Changes the Cortical Networks for Vision and Language. Stanislas Dehaene et al. *Science*, November 11 (online), 2010.