

漢字閱讀，腦中現形記.....曾志朗

一九六八年，考古人類學者在上埃及尼羅河東岸的勒克索城 (Luxor) 找到一份古老羊皮製的手抄本，記載著公元前三〇〇〇~二五〇〇年之間的一些外科手術，根據後來進一步的考證，這份手抄本抄自另一份更古老的抄本。從艱澀的譯文中，我們似乎可以得到一個印象：在遠古的年代裡，有些醫生已經探知失語症和腦部的病變有關。到了公元前四〇〇年，從希臘的文獻裡又發現針對各種不同形態的失語症有更直截了當的描述。而且這些觀察也隱約指出，右邊身體的癱瘓和語言失常往往有連帶關係。

對腦神經的研究來說，一八六五年是個極為重要的年代。那一年，法國一位名叫布羅卡 (Pierre-Paul Broca) 的醫師，在檢視至少八個以上的失語症病人後，從屍體解剖的證據上看到相當一致的腦傷部位，因而下了一個大膽的結論：「我們都是用左大腦半球說話！」九年之後，德國醫師威尼奇 (Carl Wernicke) 發現另一類型的語言失常，病人的受傷部位集中在左腦後區。這兩個發現，奠定了人類的語言是由左腦來處理的解剖基礎。

過去一百多年來，腦斷層掃描的影像技術不斷改進，現在我們已經可以利用核能反應的影像技術，譬如電腦斷層掃描 (CAT scan)、正子斷層掃描 (PET scan)、功能性磁共振造影 (fMRI)、腦磁圖 (MEG) 等，在正常人說話與認字的瞬間，即時捕捉其左腦神經運作的血液動態。

文字不同，腦組合不同？

在腦各部位的功能研究上，對於「學習閱讀某一種文字會不會導致腦功能組合的重整」這個問題，一直有學者持不同的看法。有人認為學會閱讀的人和文盲的腦神經組合是不同的，更有人認為學會閱讀拼音文字和學會閱讀漢字的讀者，其腦神經對文字的理解過程也是很不一樣的。這些論點並沒有足夠的實驗證據支持，但因為漢字與拼音文字的表面結構確實很不相同，所以，想當然耳的推論就層出不窮，加上媒體的助興炒作，使得這些不正確的觀點更廣泛地流傳。有鑑於此，一群在台灣的科學家便努力以科學證據，來打破這「文字不同，導致腦不同組合」的迷思。

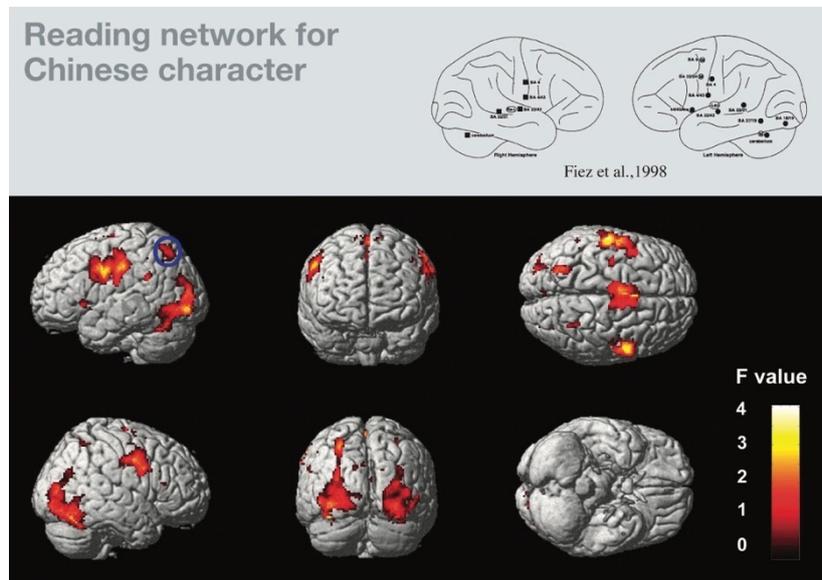
台北榮總的腦造影醫療團隊，搭配了陽明大學認知與神經科學的研究人員 (包括教授與博士生)，首先對漢字閱讀的腦神經機制展開一系列的實驗。他們讓正常的大學生默讀一串不相干的漢字，然後以功能性磁共振的顯影技術，將讀者在閱讀時的腦活動登錄下來，把這些部位的活動量拿來和讀者看非文字圖形時的活動量作比對，再經過仔細的統計運算後，找出有顯著差異的部位。結果發現，漢字閱讀的歷程主要還是靠左腦半球在處理，並且是分布在左腦的各部位，包括負責發音的布羅卡區 (Broca' s area)、整理字形規則的下顳區 (inferior temporal)、尋找意義的威尼奇區 (Wernicke' s area)，以及位在頂葉 (parietal lobe) 專責把形、音、義做適當整合的角回區 (angular gyrus)。

這些腦的活動在圖一的磁共振影像中，可以讓我們一目了然，紅色顯示的部位，表示閱讀時不同腦部的活動量（含氧血濃度較高）。有趣的是，實驗結果指出，漢字閱讀的腦部活動與拼音文字閱讀的結果「幾乎」是完全相同的。在圖一右上方的兩張小圖，是美國匹茲堡大學（University of Pittsburgh）學習研究發展中心的飛茲（Julie A. Fiez）以閱讀拼音文字所做的實驗結果，黑點所標示的位置正是腦活動的分布圖，和漢字閱讀的腦活化部位比起來，確是大同小異。也就是說，各種不同的文字，雖然表達的形式有差別，但腦在把文字碼轉換成意義碼的過程卻是有一定的普遍規律。

二十年前我們從腦傷病人的閱讀缺陷中，就已經推論出這樣的看法，如今高科技所帶來的造影技術，讓研究者能即時看到正常人閱讀時認知作業那一瞬間的腦活動影像。從前的臆測與推論，終於有了「眼見為憑」的影像證據了！

形、音、義的細膩取捨

跨語言的研究讓我們看到了腦在閱讀認知活動上的普遍原則，但是在「大同」之外，我們也必須關心「小異」的特殊狀況。誠然，仔細比對圖一的兩種文字表現，左上角的功能性磁共振造影影像圖中由藍色小圈所標示的紅色部位，在飛茲的圖中都沒有出現，這個位在左腦前頂葉靠近肌能運動區的部位，可能是處理漢字筆順移動的地區。漢字認識，除了字形之外，筆劃空間方位的書寫運動碼（graphomotor code）是非常特殊的表徵，當我們想不起某一個字時，或想分辨兩個字形相似的字時，「書空咄咄」的動作，反映的就是這個非常特殊的認字方式。這一點值得以後的研究者再去細細探究其腦中的機制。

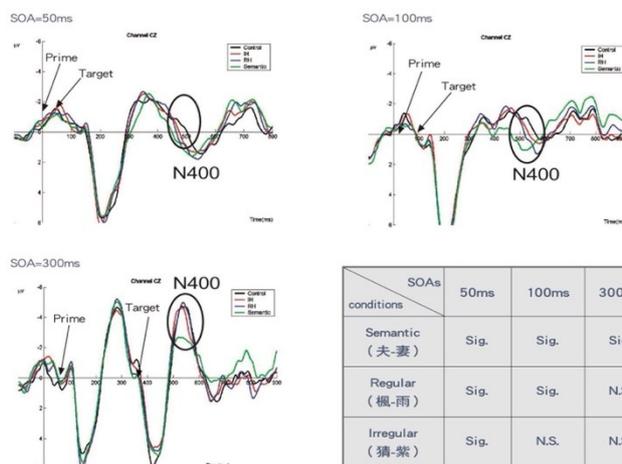
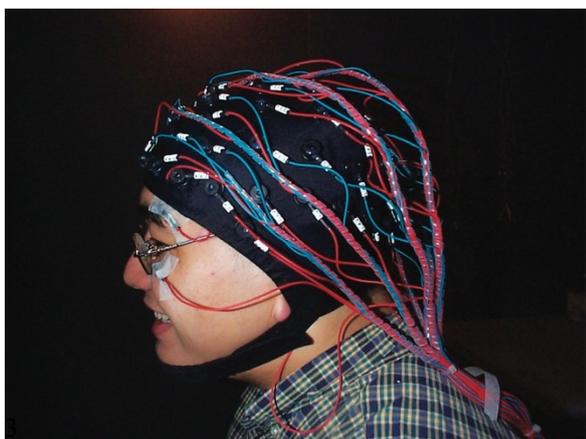


漢字是由不同的筆劃部件組合而成，而這些部件通常也有特定的含義，例如義旁（如提手旁、草字頭等等）和聲旁（如錶、裱等等的表）。一般的讀者看到一個漢字，必須拆解部件，再組合各部件的含義，形成一整體的認知。近年來的腦功能測量，確實反映了這個「拆解、辨義、組合、理解」的過程。最近一個利用腦波儀測量方法所完成的誘發電位（evoked

potential) 實驗，也顯示了漢字認字時的部件拆解與意義整合的動態歷程，確實是令人耳目一新。圖二所呈現的漢字「時」中的「寺」是個聲旁，但它本身也有意義，當我們的眼睛接觸到「時」字的那一瞬間，我們會唸「寺」的音，但我們的腦會登錄與「寺」的語意相關的「廟」字嗎？



研究者讓大學生戴上測量腦電圖 (EEG) 的電極帽 (圖三) ，只計算事件相關的電位 (event-related Potentials, ERP) ，然後觀測文字出現在電腦螢幕上四百毫秒之後的負電位波 (N400) 。過去文獻上已經建立了 N400 的意義，即語意相關的字 (如夫、妻) 不會引起太大的負波，但語意不相關的字 (如很、車) 則會引發較大的負波。在漢字的實驗中，「夫、妻」等相關的字確實是沒有引發太大的 N400，但不相干的「很、車」就有顯著的負波，證實了前人的說法。有趣的是，「楓」 (聲旁唸 / 風 /) 和「雨」一起出現，及「猜」 (聲旁唸 / 青 / ，與「猜」不同音) 和「紫」一起出現，也都沒有顯著的負波 (圖四) ，表示聲旁的語意是有在腦裡激發的。但是因為「風」與「楓」同音，所以被激發的語意可以維持到一百毫秒以上；而「青」與「猜」不同音，它的語意只維持五十毫秒就不再有作用了。換句話說，被拆解開的部件，其語義在腦中的處理受到了語音的牽制且隨時間而有變化。腦神經對語文資訊處理的細膩，以及對形、音、義三種訊息的取捨，在時間點的拿捏是如此準確，真是令人動容！



開闢更多樣也更寬廣的窗口

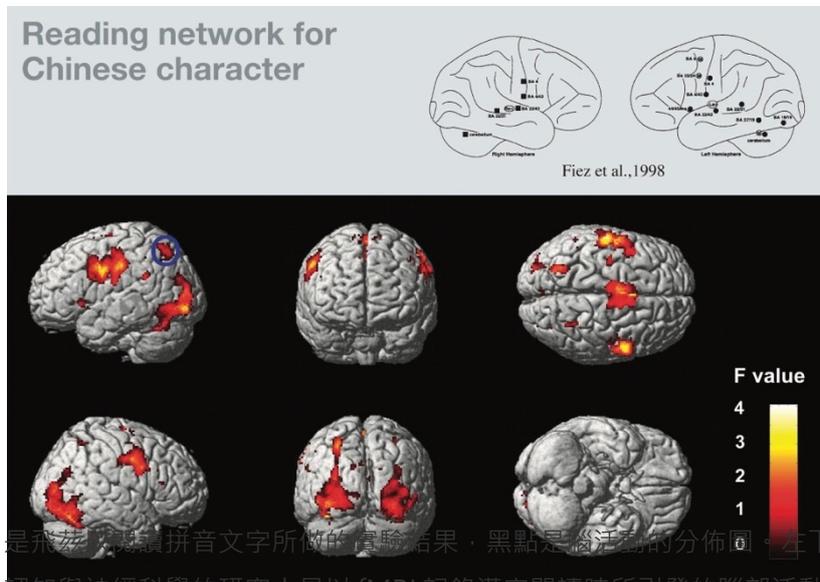
語言是透視人類靈魂的窗口，而文字是人類文明表現的動能。如今，經由高科技的整合，加上實驗操弄的精心安排，我們可以讓腦在閱讀時的心路歷程即時現形。這些影像、這些波紋，一一在為心、物之間的神秘解謎，但要填補兩者之間的鴻溝，目前看來仍有一段很長的路。

腦科學研究在台灣經費不足的困境中，已經跨出一些腳步，但我們需要有更好的時間解析度的 MEG 儀器，搭配有良好空間解析度的 fMRI 儀器，去解讀腦各部位在每一毫秒的動態，包括哪一種訊息在哪一部位輸入、哪一部位輸出？哪一部位負責統合計算到最後的理解？我們必須投入更多的努力，才可能開闢更多樣也更寬廣的窗口，使我們對腦中如何有情、腦內如何會有男女有別的演化過程有所了解。近代有些研究者認為腦的演化是沿著社會組織的型態持續的在做調整，因此，他們把整個腦神經的運作稱為社會性的腦 (social brain) 。

說人類文明的歷史就反映在我們腦的各項運算中，實在是相當貼切的比喻！

(本文刊登於 *Scientific American* 中文版《科學人》雜誌，二〇〇三年一〇月)

圖一：Reading network for Chinese character



右上方的兩張小圖，是飛茲以閱讀拼音文字所做的實驗結果，黑點是腦活動的分佈圖。左下六張腦部影像則是台北榮總和陽明大學認知與神經科學的研究人員以 fMRI 記錄漢字閱讀時所引發的腦部活動，紅色顯示的是閱讀時不同腦部的活動量，他們發現，漢字閱讀主要還是靠左腦半球處理，且分佈在各部位，和飛茲的實驗結果相較，兩者大同小異。「大同」證實了各種不同的文字，雖然表達形式

有所差別，但腦在閱讀認知活動上，是有一定的普遍規律；「小異」在於藍色小圈所標示的紅色部位，可能是處理漢字筆順移動的地區，對漢字來說，除了字形，筆劃空間方位是其非常特殊的表徵。

圖二



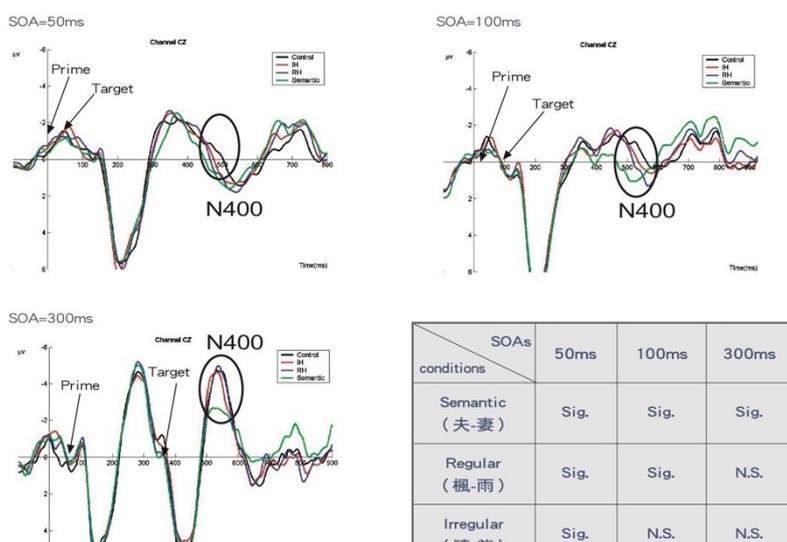
漢字「時」中的「寺」是個聲旁，但它本身也有意義，當我們的眼光接觸到「時」字的那一瞬間，我們會唸「寺」的音，但我們的腦會登錄與「寺」的語意相關的「廟」字嗎？

圖三



研究者讓大學生戴上測量腦電圖 (EEG) 的電極帽，進行漢字閱讀的腦神經機制的實驗，只計算事件相關的電位 (ERP)，然後觀測文字出現在電腦銀幕上 400 毫秒之後的負電位波 (N400)。

圖四



SOA (Stimulus onset asynchrony) 指的是呈現兩個刺激字的時間差。在漢字的實驗中，語意相關的字 (如夫、妻) 不會引起太大的負波 (綠色線條)，但語意不相關的字 (如很、車) 則會引發較大的負波 (黑色線條)。「楓 (聲旁唸風)、雨」 (藍色線條) 及「猜 (聲旁唸青)、紫」 (紅色線條) 也都沒有顯著的負波出現，表示聲旁的語意是有在腦裡激發的，但因為「風」與「楓」同音，被激發的語意可以維持到 100 毫秒以上；而「青」與「猜」不同音，語意只維持 50 毫秒就不再有用。