

用神經科學的手術刀，剖開經濟學的黑盒子

——神經經濟學淺談

王道一*

一、何謂神經經濟學？

台灣的小學每學期都會舉辦遠足，有時候去郊外踏青，有時候去不同的地方參觀。我印象中最深刻的一次小學遠足，是參觀製造養樂多的工廠。對小學生而言，最期待的，當然是參觀之後，工廠請大家試喝他們做出來的養樂多。但在那之前，大家還得乖乖進入工廠，把養樂多製造的流程從頭到尾瀏覽一遍，才能品嚐飲料。走進工廠，從一個個巨大的玻璃櫥窗往裡面望去，我們看到自動化的機器如何把原料輸入、混合，製造出養樂多，再裝進瓶子，封上蓋子，然後一組一組裝箱、放上卡車準備運往各地。看著成箱的養樂多運出工廠，我們也走到出口，終於可以喝到期待已久的養樂多了。

因為才剛剛參觀完製造的工廠，這時候啜飲著免費的養樂多，感覺跟平常喝的時候很不一樣。也許沒有人奢望回家後就能自己製造養樂多，但大家總自認對養樂多已經有更深的了解。比起參觀之前的瞎猜，現在至少對養樂多的製造流程有一個基本的概念。

神經經濟學所做的事情，跟小學生參觀養樂多工廠很像，因為神經經濟學就是透過各種神經科學的工具，觀察人們做經濟決策的過程，希望更了解這些決定如何產生，進而預測人們的經濟行為。正如小學生期待最後的免費飲料，神經經濟學最關心的仍然是人們最後的經濟決策。但是，神經經濟學透過各種儀器，打開大腦的黑盒子，讓我們像小學生參觀工廠一樣，從這些「櫥窗」一窺人們決策的過程。也許每一個單獨的工具都只是瞎子摸象，不能全盤掌握人類的行為模式，但是比起亂槍打鳥，透過許多不同的工具和許

* 作者為國立臺灣大學經濟系助理教授

多研究者一步步的努力，我們能夠慢慢建立起對於人類行為正確的認識。光是這樣講可能很抽象，讓我們來看幾個例子。

二、滑鼠軌跡追蹤

早在九〇年代初期，哥倫比亞大學商學院的實驗經濟學家強生（Eric Johnson）等人，就開發出在 DOS 環境下追蹤滑鼠軌跡的 MouseLab 程式，可以追蹤滑鼠移動與點擊的位置，用以觀察人們的決策過程。舉例來說，強生等人（Johnson et al. 2002）研究的是三階段談判（three stage bargaining）。在這種有限階段的談判賽局中，賽局論預測人們必須用逆推法（backward induction）來求解，因為只有用逆推法解出來的均衡才是完全的（subgame perfect）。

但是，當強生等人在實驗中要求受試者：必須用滑鼠打開某些格子，才能看到每個階段談判的相關資訊時，他們發現有人並非使用逆推法來做決定。因為這些人，即使最終的談判行為很像使用逆推法，但是他們根本沒有打開逆推法所必備、關於第三階段談判的資訊，因此不可能使用逆推法。另外也有不少用滑鼠打開資訊的順序，與逆推法所預測的順序剛好相反，代表他們也不是用逆推法來解，因為當強生等人教導另一批受試者逆推法之後，他們用滑鼠打開資訊的順序，就完全按照逆推法所預測的方式來進行。

加州大學聖地牙哥校區經濟系教授柯萊弗（Vincent P. Crawford）所帶領的研究團隊，則在 Costa-Gomes and Crawford（2006）一文中，用同樣的技術觀察人們如何在雙人選美結果預測賽局（two-person guessing game, aka beauty contest game）中做決定。這個預測賽局是由兩人分別在各自可以選擇的範圍內猜一個數字，所猜數字越接近對方數字乘上某個已知的倍數，分數就越高。賽局論預測，這個預測賽局的均衡解會出現在某人可選範圍的上限或下限（視雙方的「倍數」相乘大於或小於一而定）。舉例來說，如果兩者的選擇範圍都是 0 到 100，但是一個人的倍數是 0.7，另一個人是 1.5 倍，則均衡是「1.5 倍的人」選擇其上限 100，另一個人選擇 70。柯萊弗等人利用人們點擊滑鼠、獲取選擇範圍的上下限與倍數資訊的順序，來區分不同的決策規則：採用一次次去除最差策略（iterative deletion of dominated strategies）的 Dk 法則和採用多層次思考（level-k thinking）的 Lk 法則等等。

三、正子斷層造影

神經科學的技術在最近十幾年突飛猛進，使得實驗者能夠透過不同儀器來觀察人們的生理心理反應與腦部活動。最早成熟的腦部成像技術，是需要先行施打放射性顯影劑的正子斷層造影 (positron emission tomography, PET)。正子斷層造影的原理，是將類似葡萄糖的顯影劑注射進受試者的血液中，等到擴散一個小時後，再透過正子斷層造影觀察顯影劑出現在哪些腦部組織，進而推論這些腦區正在消耗大量葡萄糖，表示人們正在使用該腦區。

因此，當人們做經濟決策的時候，正子斷層造影能同時觀察人們的腦部活動，並據以推論該決策需要使用哪些相關腦區。於是普林斯頓大學心理系的寇衡 (Jonathan D. Cohen) 教授帶領山斐 (Alan G. Sanfey) 等人的研究團隊，利用正子斷層造影研究人們在最後通牒談判賽局 (ultimatum game) 中如何做決定。最後通牒談判是一個簡單的談判模型，敘述兩個人如何分配桌上的 100 元。這兩個人一個是提議者 (proposer)，另一個是回應者 (respondent)。提議者提出分配方案，比如說 90-10 或 80-20 等等，而回應者只能選擇接受或不接受 (正如接到最後通牒的國家，只能在接受屈辱談條件，和開戰之間二選一)。如果回應者接受所提方案，那桌上的 100 元就會按照該方案分配給雙方；如果回應者不接受，則雙方都一無所獲。賽局論的預測是回應者應該接受任何與 0 元相當或稍好的方案，因此提議者應該提出最不公平的方案，例如 99-1 或 100-0。

可是實驗經濟學的結果卻顯示，有一大半的提議都是 50-50 對分，因為愈不公平的提議，被回應者拒絕的可能性就愈大，80-20 或更低的方案則幾乎全部遭到拒絕。這和賽局論預測：回應者應該接受任何不公平方案完全不同。山斐 (Alan G. Sanfey) 等人在 Sanfey et al. (2003) 一文則透過腦部正子斷層造影告訴我們，當回應者看見不公平的方案、考慮是否拒絕時，他們大腦中和情緒反應相關的前腦島 (anterior insula) 與權衡利害的背側前額葉皮質 (dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC) 會有反應，而且當不公平的提案被拒絕的時候，情緒反應的腦區活動特別劇烈。這表示，經濟學家用來解釋最後通牒談判實驗結果的不公趨避 (inequality aversion) 偏好，的確跟人們的情緒反應有關，且有神經科學上的證據。

四、穿顱磁刺激

由於正子斷層造影只是單純觀察腦部活動，因此找到的腦區只有相關性，不能確定是否真的與所觀察到的行為有因果關係。但後來蘇黎世大學的實驗經濟學家菲爾（Ernst Fehr）帶領納爵（Daria Knoch）等人的研究團隊，利用穿顱磁刺激（transcranial magnetic stimulation, TMS）研究山斐等人所找到的腦區，發現如果重複使用低頻的穿顱磁刺激，干擾右腦的背側前額葉皮質（DLPFC），則會使回應者在明知不公平的狀況下，仍然甘願按照自利的動機接受不公平的方案。這表示，右腦的背側前額葉皮質（DLPFC）對回應者是否真的會拒絕不公平方案，具有決定性的影響（Knoch et al., 2006）。穿顱磁刺激，是從頭部外面用短暫的強力磁場刺激特定腦區，人為地產生神經傳導電流，進而達到改變該腦區活動的目的。通常重複性的低頻穿顱磁刺激能夠阻斷該腦區的活動，暫時達到如同該腦區受損的結果，而改用高頻的刺激則能增益該腦區的活動，進而強化其功能。這兩者都具有因果性，而且恰好與純粹觀察現象的各種腦部造影技術相輔相成——穿顱磁刺激可以針對各種腦部造影技術所觀察到的特定腦區進行干擾或增強，作因果關係的驗證；而造影技術的觀察則能對於穿顱磁刺激應該嘗試哪些腦區提供最好的指引。

五、功能性磁振造影

由於正子斷層造影必須先施打顯影劑，屬於侵入性檢查，因此，漸漸被功能性磁振造影（functional magnetic resonance imaging, fMRI）所取代。功能性磁振造影，是利用含氧血與不含氧血在核磁共振儀下會產生不同的反應，來觀察含氧血在腦內的分布（BOLD signal），進而推論含氧血所在的腦區活動較為劇烈（因此才需補充更多氧氣）。由於功能性磁振造影不需施打任何藥物，儀器也不需進入受試者體內，因此成為近年來最受矚目的神經科學技術，廣泛應用於各種不同的研究上。

舉例來說，哈佛大學經濟系的萊布森（David Laibson）教授與前述寇衡團隊的麥柯爾（Sam M. McClure）等人合作，利用功能性磁振造影研究，當人們進行跨期選擇的時候，哪些腦區和「當下」或「未來」有關。在 McClure et al. (2004) 一文中，他們發現當人們考慮含有「當下立即回報」選項的問題，例如「你想要今天得到 90 元禮券還是明天得到 100 元禮券？」，這時候大腦裡的邊緣系統（limbic system），主管情緒性行為的腦區（例如 paralimbic

cortex) 會有含氧血反應 (BOLD signal)。同樣的區域在人們考慮不包含當下選項的問題時 (像是「你想要明天得到 90 元禮券還是後天得到 100 元禮券?」) 就沒有反應。相對地, 當人們考慮任何跨期選擇的問題, 不論有沒有包含「當下」, 主管認知與高層次思考的前額葉皮質與頂葉皮質的部分腦區 (更精確地說, 是 lateral prefrontal cortex 和 posterior parietal cortex) 則有含氧血反應, 而且當這些腦區的含氧血反應越大, 人們越傾向選擇延遲較久、但報酬較高的選項。

這個發現, 提供我們改良跨期選擇模型的神經科學基礎。目前總體經濟學使用的跨期選擇模型, 通常是指數折現偏好 (exponential discounting) 理論。這種偏好符合「跨期偏好一致 (dynamically consistent)」: 這樣的人在第一期所做關於未來的決定, 到了第二期以後, 並不會改變主意 (除非得到新的資訊)。舉例來說, 如果你選擇後天得到 100 元禮券, 而非明天得到 90 元禮券, 那麼到了明天, 你應該還是覺得隔天拿到 100 元禮券, 比當時拿到 90 元禮券要來得划算, 使得你對明天和後天的決定, 不因時序來到明天就改變。如果到了明天, 你卻改變主意, 決定還是當場拿到 90 元禮券比較好, 那你就是跨期不一致 (dynamic inconsistent)。

為了解釋總體經濟學上跨期不理性的行為, 萊布森教授使用「半雙曲折現偏好 (quasi-hyperbolic discounting)」理論來建構他的總體模型。這種跨期選擇理論認為人們對於當下的折現率 (通常用 $\beta * \delta$ 來表示) 和對不同未來之間的折現率 (通常用 δ 來表示) 有不同的想法。因此, 人們過度短視近利的問題只限於「當下」與「未來」的比較, 但在不同「未來」之間的比較則是完全理性的。回到剛剛的例子, 如果你對未來的折現率 δ 大於 0.9, 比如說 0.95, 那你應該放棄明天拿 90 元禮券的機會, 選擇後天拿 100 元禮券, 因為 $100 * \delta = 95 > 90$ 。但是如果你對當下有額外折現率 $\beta = 0.8$, 那麼到了明天, 你會覺得當天拿 90 元禮券比隔天拿 100 元禮券划算 (因為 $100 * \beta * \delta = 76 < 90$), 進而改變你今天的決定。

萊布森教授所使用的模型, 只是許多能解釋跨期不理性行為的模型之一, 但是功能性磁共振造影的觀察結果, 讓我們得以區分出與「當下」有關的 β 腦區。這個結果符合萊布森教授的模型所做的預測, 但是其他模型就很難做出同樣的預測。因此, 神經經濟學的證據說明, 萊布森教授的模型也許真的比其他模型更能做出好的預測、更能逼近真實的人類行為。

六、腦傷病患資料庫

由於功能性磁共振造影和正子斷層造影一樣，所找到的腦區只能證明有相關性，不能決定因果關係，因此也需配合其他的神經科學工具進行研究。舉例來說，加州理工學院的實驗經濟學家開莫勒（Colin F. Camerer）教授帶領許明（Ming Hsu）等人的研究團隊，利用功能性磁共振造影尋找「模糊趨避（ambiguity aversion）」傾向的相關腦區時，就遇到這個問題。所謂的模糊（ambiguity），指的是人們不確定某個事件（比如說明天下雨）發生的機率。這種連發生的機率都不曉得的情況，是芝加哥學派的奈特（Frank Knight）教授所說的不確定性（uncertainty），有別於機率已知時，人們所面對的風險（risk）。

經濟學研究風險與不確定性，通常假設當機率未知的時候，人們會主觀地賦予每個事件不同的主觀機率，因此機率的不確定性並不是問題，也不會影響人們的行為。但是在實驗經濟學中，很早就發現人們有「模糊趨避（ambiguity aversion）」的傾向——人們厭惡不確定的機率，不喜歡賦予主觀機率。舉例來說，許明等人的研究 Ming et al. (2005) 所使用的一個「比較模糊」的問題，是詢問人們是否願意下注預測「1981年一月份杜尚貝市（Dushanbe）的平均氣溫低於某度」是否為真，還是直接拿到某個固定金額。對照組中「比較不模糊」的問題，則把美國人多半沒有概念的杜尚貝市（塔吉克的首都）改成他們熟悉的紐約市。與「比較不模糊」的問題相比，人們面對「比較模糊」的問題時，選擇直接拿固定金額的可能性比較高，表示他們的確有模糊趨避的傾向。

利用功能性磁共振造影，許明等人發現當問題愈「模糊」的時候，大腦中和恐懼有關的杏仁核（amygdala）以及和連結情緒反應與認知理性思考有關的視覺額葉皮質（orbitofrontal cortex, OFC）就愈有含氧血反應，但是與預期報酬有關的紋狀體（striatum）則愈沒有反應。為了證明因果關係，他們就利用外插法預測，當視覺額葉皮質完全沒有活動時所對應到的行為（最沒有模糊趨避傾向），然後從愛荷華州立大學的腦傷病患（lesion patient）資料庫中，找到該腦區受傷的病患進行同樣的實驗，發現與他們的預測完全吻合——這些人真的最沒有模糊趨避的傾向。這表示有一些神經網絡與模糊趨避的傾向有關，例如對未知的恐懼等等，與一般經濟理論假設人們會直接賦予每個事件主觀機率有出入。

這樣的實驗結果並沒有完全否定經濟理論，只是指出經濟理論忽略不計「賦予主觀機率」所需的成本，這樣的忽略並不正確。畢竟人們面對未知的情况，如果需要搜尋一些資訊才能賦予主觀機率，的確需要額外付出搜尋成本。而且人們對未知的情况多少還是有些恐懼，克服這樣的恐懼也要付出一些心理成本。

七、經濟理論如何回應神經經濟學的挑战？

正如小學生參觀完養樂多工廠後，就會對養樂多的製作過程有概念，看完這些神經經濟學的研究，也許你也開始對人們的決策過程有一點概念。但神經經濟學真正的貢獻，在於它對經濟理論所提出的挑戰——我們能不能發展出新的理論來解釋所看到的這些腦內現象？過去幾十年，我們看見契約理論（contract theory）、代理人模型（agency model）等現代的廠商理論打開了生產廠商的黑盒子，使我們除了「廠商追求最大利潤」之外，能夠對於公司內部的組織管理、公司治理等新興議題進行更多討論。那麼當神經科學的最新技術打開了大腦的黑盒子，如果我們也能發展出新理論來描述黑盒子裡的部分如何運作，因而產生神經經濟學所看到的這些行為，我們就能在「消費者追求最大效用」之外，對人們內心的衝突、有限理性等議題進行更深入的探討。

其實已經有不少理論經濟學家接受這個挑戰，提出不同的模型來解釋神經經濟學所發現的現象。舉例來說，哈佛大學經濟系的傅登堡（Drew Fudenberg）教授和聖路易華盛頓大學經濟系的樂維因（David K. Levine）教授，在 Fudenberg and Levine（2006）一文中，提出一個「長期的自己」跟許多「短期的自己」之間進行的重複賽局模型，用來解釋人們針對「當下」過度短視近利的現象。由於類似的「雙系統」理論如雨後春筍般發展，咸信未來一定有更多的經濟理論能夠解釋神經經濟學得到的結果，進而更準確地描述人類的行為。

八、後記：台灣的神經經濟學相關研究

儘管神經經濟學的研究需要學習先進技術，進入的門檻不低，但是台灣本地的研究者並沒有在世界級的舞台上缺席。舉例來說，台灣大學經濟系的黃貞穎教授所帶領的國際研究團隊，就利用功能性磁振造影，研究人們在進

行合作賽局與非合作賽局實驗時腦部的不同反應，據以驗證大腦在進行經濟決策時是否真的靠「直覺」與「分析」的「雙系統」來運作。再者，筆者參與開莫勒教授的研究團隊，改進原有的滑鼠軌跡追蹤技術，引入原本在神經語言學上，研究閱讀的眼球軌跡追蹤技術（或稱眼動儀），用來研究人們在溝通賽局（sender-receiver game）中負責傳話，卻與被告知的一方有利益衝突時，會不會講真話。另外，政治大學經濟系的陳樹衡教授所帶領的研究團隊，則開始探索代理人基模型如何與神經經濟學結合。期盼這些本地的努力能夠帶來更多研究成果，增進我們對人類行為的了解與認識。

參考文獻

- Johnson, Camerer, Sen and Rymon (2002), "Detecting Failures of Backward Induction: Monitoring Information Search in Sequential Bargaining," *Journal of Economic Theory*, 104 (1), 16-47
- Costa-Gomes and Crawford (2006), "Cognition and Behavior in Two-Person Guessing Games: An Experimental Study," *American Economic Review*, 96 (5), 1737-1768.
- Sanfey, Rilling, Aronson, Nystrom, Cohen (2003), "The Neural Basis of Economic Decision-Making in the Ultimatum Game," *Science*, 300 (5626), 1755-1758.
- Knoch, Pascual-Leone, Meyer, Treyer and Fehr (2006), "Diminishing Reciprocal Fairness by Disrupting the Right Prefrontal Cortex," *Science*, 314 (5800), 912-915.
- McClure, Laibson, Loewenstein and Cohen (2004), "Separate Neural Systems Value Immediate and Delayed Monetary Rewards" *Science* 306 (5695), 503-507.
- Hsu, Bhatt, Adolphs, Tranel and Camerer (2005), "Neural Systems Responding to Degrees of Uncertainty In Human Decision Making," *Science*, 310 (5754), 1680-1683.
- Fudenberg and Levine (2006), "A Dual-Self Model of Impulse Control," *American Economic Review*, 96 (5), 1449-1476.
- Kuo, Sjöström, Chen, Wang, and Huang (2009), "Intuition and Deliberation: Two Systems for Strategizing in the Brain," *Science*, 324 (5962), 519-522.
- Wang, Spezio and Camerer (2009), "Pinocchio's Pupil: Using Eyetracking and Pupil Dilation To Understand Truth-telling and Deception in Sender-Receiver Games," *American Economic Review*, forthcoming.