

**這20年**來，整合不同專業知識的認知神經科學在國外風起雲湧，除了新的研究發現不斷，新的技術不停翻新，新的領域整合也陸續開展，神經經濟學、神經犯罪學，甚至神經政治學都成了熱門話題。

今年4月，《科學》雜誌刊登了一篇由台灣大學經濟系教授黃貞穎和陽明大學神經科學研究所郭文瑞兩位研究員合作的論文，他們利用功能性磁共振造影（fMRI）技術，從經濟學的賽局理論出發，探討心理學議題中直覺與推理思考決策的大腦神經機制。兩人合作契機起於陽明大學認知神經科學實驗室所舉辦的「台灣地區認知神經科學暑期學校」，一個是講員，一個是學員，上課結束後，一通電話開啟這項跨校、跨系的合作關係。《科學人》特別專訪他們特殊的合作經歷，並請他們將研究成果寫成科普版文章以饗讀者。

暑期學校的概念與雛型，始於認知神經科學開創者之一葛詹尼加（Michael Gazzaniga）在30多年前的推動，從美國到保加利亞、到德國，再至台灣，這條路為何如此艱辛漫長？一個大學實驗室為什麼要成立全國性的暑期學校，鋪造跨領域合作的平台？借鏡他山之石，在台灣建立與開展這門新興科學，也需要有步驟、有策略嗎？要如何才能與國際團隊競逐？《科學人》也專訪了台灣暑期學校的催生者曾志朗。

文／許碧純





# 解開直覺的 大腦密碼

日常生活中，很多時候我們難以解釋自己的選擇，於是往往歸因於「直覺」。莫非，我們的大腦真有不理性的時候？什麼是直覺？它在腦中如何形成？直覺和推理所仰賴的神經機制有何不同？

撰文／郭文瑞、黃貞穎、許碧純

**關**於人類決策行為的研究，傳統經濟學發展已久，其中不乏令人激賞的理論及預測能力，但終究多半局限於數學理論模式的思考框架。直到1970年代，心理學家將心理研究領域的觀察與成果，帶入經濟學的分析理論中，而有了巨大突破，他們以實證研究指出，人類行為（尤其是在不確定情況下的判斷與決策）可能並非單一理性模型可以完全涵蓋。

由於這類研究的主要標的為「判斷」和「選擇」，因此多可用來解釋人們在投資和消費時的行為。例如，美國普林斯頓大學心理學教授卡尼曼（Daniel Kahneman）在1979年提出了展望理論（prospect theory），認為個人在充斥不確定性的環境下制定風險決策時，會因參考點（reference point）的不同而改變偏好態度，該理論成為行為經濟學的基石，卡尼曼也因此獲得2002年諾貝爾經濟學獎。又例如，研究也發現，相同事件經由不同的陳述或表現手法，就會影響並導致決策者做出不同的選擇，這就是著名的框架效應（framing effect）。

近年來，在各種腦造影儀器的輔佐下，認知神經科學蓬勃發展，而結合了行為經濟學的神經經濟學也受到關注。研究者開始了解，必須匯聚心理學、經濟學和神經科學這三個層面的研究能量，直接探詢人類決策形成時的腦部中樞機制，或是以大腦神經網絡的反應激發，來推敲、解釋決策行為的成因，才能更進一步了解經濟行為或控制經濟行為的神經機制，進而利用這些發現來導引並建立經濟學模式。例如，情緒如何影響消費行為及偏好？什麼因素使我們信賴

影像來源：達志影像

並進而將個人財務信託於他人？為什麼我們即使知道某種行為將帶來不良後果（諸如成癮），仍然會去做？時間的即刻性如何影響我們的決定，你會選擇馬上得到100元還是明天得到110元？以上種種，都是目前研究者關注的議題。

## 難以言喻的直覺

我們合作的研究則是從經濟學賽局理論出發。賽局理論對人類決策行為提供了清楚的描述，在希望能夠得到個人最高酬賞的前提下，研究人類對策略的理性選擇，例如在眾所周知的「囚犯的兩難」賽局中，兩名囚犯在無法溝通的狀況下，各自推論、計算出對自己較佳的選擇，而結果是雙方都做出招供的決策。

多數賽局反映的是這樣一個可以進行理性分析的情況，在一群可能的策略中，決策者一步步推理、尋求能夠產生個人最大報酬的均衡點，其中一類稱為「優勢可解賽局」（dominance-solvable game），它的推理過程有基本步驟可以依循，思考過程通常相對緩慢，但不易受到情緒影響，屬於心理學研究中的推理型思考。

另有一類賽局，光仰賴推理無法做出好的決策，而常須以直覺方式決定，其中一類這樣的賽局稱為「協調賽局」（coordination game）。2005年諾貝爾經濟學獎得主謝林（Thomas C. Schelling）指出，在某些策略互動中，決策雙方必須在缺乏溝通的前提下做出相同的選擇，這類仰賴心理學中直覺型思考的賽局，關鍵就在於如何依循直覺，找出決策雙方關注的「焦點」（focal point），才有可能做出相同選擇。然而，在複雜的環境中，要如何才能成為焦點？謝林進一步說明，焦點訊息具有一些特性，可以是知覺顯著，也可以是具有文化特性。這類思考過程通常相對快速，但較容易受到情緒的影響。

以往的研究多數聚焦於可以進行數學分析的賽局，例如「優勢可解賽局」。研究

**焦點訊息具有某些特性，可能是知覺顯著，也可能具有文化特性。**

## 囚犯的兩難

博弈理論中著名的兩難賽局，從互動關係的賽局中，研究決策者之間的衝突和合作，是由理論數學家、現代電腦創造者馮紐曼（John von Neumann, 1903~1957）提出。

它假設兩名犯罪同黨被關在兩個獨立且無法互通訊息的牢房，進行審訊。倘若兩人都保持沈默，將因證據不足而獲判一年；若其中一人供出同黨，招供者將被釋放，而遭出賣的同夥則被判20年；如果兩人都招供，則各被判5年。

對雙方最佳的策略是保持沉默，則只會各判一年。但因兩名囚犯無法溝通，基於亞當史密斯的利己理論，選擇坦白反而是個人的最佳策略。因為如果自己招供，而對方保持沉默，自己將可獲得釋放；即使對方也招供了，最多坐牢5年，兩種結果都好過自己保持沉默卻遭對方出賣而被判20年。

結果也指出，我們確實具有理性的推理能力，而能逐步演繹出對雙方行動最佳的決策。相對來說，「協調賽局」的決策過程比較少人研究，主要是因為這類研究較難進行，決策者很難描述「為什麼」，無法清楚地自省並說出決策形成的過程，只能依憑所謂的「直覺」。

但從謝林和其他研究者的實驗清楚顯示，面對「協調賽局」時，受試者可以成功做出相同的選擇，其機率遠高於隨機。例如，請受測者任選一個顏色、數字或年份，但必須和他人相同。結果顯示，40%以上的人會選擇紅色、1、2009年（當下的年份）。詢問受試者為何做此選擇，他們的回答通常是「直覺」。人們經常要跟他人「協調」，原來不一定得透過言語才能達成共識，然而受試者所謂的「直覺」究竟是什麼？

其實，在日常生活中，有很多時候我們很難對自己的選擇或決策過程說明白，於是往往就歸因於直覺，難道大腦中樞決策系統真有不理性的時候嗎？還是生物系統已經累積、鋪陳了一些進行決策的「捷徑」，而這些捷徑是理性系統較不熟悉或不認同，在無計可施的情況下，就放任並倚賴它形成決策？令我們好奇的是，直覺在腦中如何表現？直覺型的決定又是如何形成？因此我們利用功能性磁共振造影（fMRI）技術，試圖探究進行兩種賽局時的大腦神經機制。

## 照見腦中賽局

近20年來，fMRI技術對認知神經科學的發展貢獻卓越，除了驗證以往臨床神經觀察的結果，也開發出許多檢驗認知心理歷程與大腦之間對應關係的有效方法，最清楚例子是描繪視覺視野與大腦枕葉、頂葉之間的對應與分佈關係。

由於fMRI的基本運作原理是倚賴人體內血流、血氧改變和神經元活化的關係，當神經元活化時，會促使附近微血管增加血

流來補充代謝所需要的氧氣，使得活化區域的腦血流改變，局部血液中的去氧與帶氧血紅素濃度以及腦血管積也隨之改變，造成磁場的局部擾動，進而反映在磁共振造影影像訊號強度的變化上。因此藉由心理實驗設計，我們可以重複呈現與思考、動作或其他心理經歷有關的實驗刺激，最後再以影像訊號處理及統計方法，判斷哪些腦區在過程中出現訊號變化，進一步推論哪些腦區與執行這些思考、動作或心理經歷相關。

因應fMRI實驗，必須清楚地以電腦化呈現每一個賽局給受測者，同時也為了精確記錄受試者的行為，例如反應時間以及答案選項，所以我們設計了以數字或圖形方式所呈現的不同類型賽局，這些設計有別於傳統經濟學的報酬矩陣（payoff matrix），但仍保有賽局的精神，而且更容易明白，讓我們能即時且精確記錄賽局過程的行為及大腦的反應。

造影實驗前，我們先在課堂中進行紙筆測驗，取得多數人對於不同賽局的反應型態，進而得出個體對照群體時的反應分數，以便進行fMRI實驗時可以針對受試者的表現給分。為了避免事先對賽局有經驗而造成影響，我們徵求的受試者皆為沒有賽局經驗的大學生，每位受試者必須執行「優勢可解賽局」和「協調賽局」各40題不同類型的題目，在實驗過程中，不同類型的數字或圖形賽局會隨機出現（見右方〈優勢可解賽局vs.協調賽局〉）。

不同於其他磁共振造影研究，在解任何一個賽局時，我們都沒有限制時間，直到受試者做出反應後，才進入下一個題目，利用這樣的實驗安排，我們得以記錄到受試者最真實的反應，並成功取得21位受試者的腦部影像及資料。

反應時間的資料顯示，受試者對於「協調賽局」的反應遠快於「優勢可解賽局」，符合預期結果；也就是說，在進行以直覺為主的賽局，受試者的反應時間

## 優勢可解賽局vs.協調賽局

因應fMRI實驗的特性，研究者必須清楚地以電腦視覺呈現每一個賽局，我們設計了不同類型的賽局，並以數字或圖形的方式隨機出現，受試者必須選擇按下其中一個數字或方格。在「協調賽局」（上排圖）中，受試者必須和對方同時做出選擇，如果兩人的選擇相同，則可以達到雙贏。在「優勢可解賽局」（下排圖）中，受試者要選擇最接近「對方+1」的數字、對方則選擇最接近和受試者相同的數字，如果兩人的選擇符合目標，則可以達到雙贏。

你：0 1 2 3  
對方：0 1 2 3

你：和對方相同  
對方：和你相同

	1	2	3
A			
B			
C			

你：和對方相同  
對方：和你相同

你：0 1 2 3  
對方：0 1 2 3

你：對方+1  
對方：你

	1	2	3
A			
B			
C			

你：對方+1  
對方：你

會少於以推理才能解開的賽局。從選項的結果來看，在「優勢可解賽局」中，約有80%受試者的選項具有一致性，在「協調賽局」則有將近70%；參照於更大樣本的課堂同學表現，「優勢可解賽局」有67%的選項一致，「協調賽局」則是46%；相較於機率表現，則分別約只有21%與19%。所以，受試者對兩種賽局的決策選擇與群體多數的行為選擇較符合。

### 邏輯推理的幫手

我們的研究結果有幾點發現。首先，受試者在進行「優勢可解賽局」時，大腦皮質前額葉及頂葉（fronto-parietal）區域被誘發的神經活化程度較高。

這個觀察並不意外，在面對這類賽局時，會需要支持一般智力運作的認知能力，例如工作記憶（working memory），所以這兩個支持工作記憶運作功能的腦區必然會較活化（見56頁〈推理與直覺的神經機制〉上圖）。

#### 關於作者



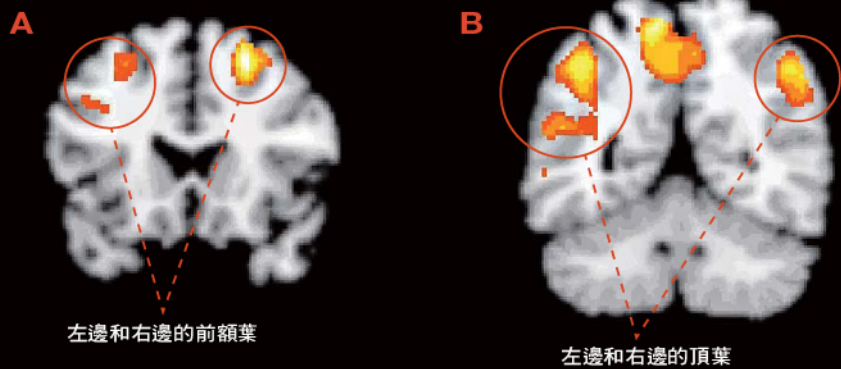
郭文瑞（左）是陽明大學認知神經科學研究所助理教授，也是認知神經科學實驗室的研究員，研究專長為利用功能性磁共振造影（fMRI）探討閱讀中文字時的大腦神經機制。黃貞穎（右）是台灣大學經濟學系副教授，研究專長為個體經濟學、個體理論，曾獲國科會95年度吳大猷先生紀念獎。

當推理型思考越困難，大腦頂葉的活化程度也越高；然而，當直覺型思考較為容易時，腦島活化程度反而提高。

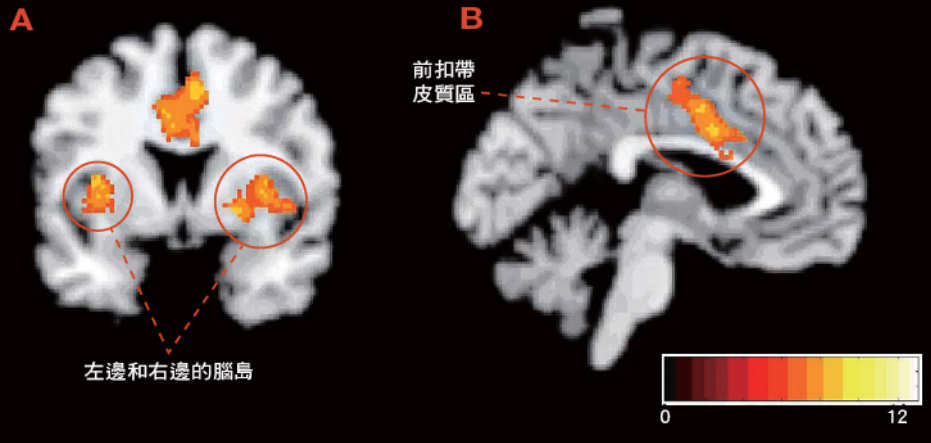
## 推理與直覺的神經機制

不同類型的賽局，啟動的是不同的思考方式。以fMRI掃描受試者腦部影像可以發現，進行「優勢可解賽局」時，受試者的大腦皮質前額葉（A）及頂葉（B）區域被誘發較高的神經活化（上排圖，顏色越深代表活化程度越高）。這是因為受試者必須不斷進行推理，牽涉到訊息編碼、儲存、提取、評估與比對等歷程，因此支持工作記憶（working memory）功能的這兩個腦區較為活躍。然而，當受試者進行「協調賽局」時，腦島（A的兩側）及前扣帶迴皮質（B）則出現較活躍的神經活動（下排圖），也就是說，偏向直覺型的思考歷程比較倚賴這兩個腦區的運作活動。

### 思考「優勢可解賽局」的腦部反應



### 思考「協調賽局」的腦部反應



## 河內塔問題與心像旋轉

河內塔（Tower of Hanoi）問題為遞迴函數解題，假設有3根木樁和n個直徑均不相同的穿孔圓盤；一開始，n個圓盤都套在木樁A上。如何以最少次數，藉著B木樁做橋梁，將A樁上的圓盤全部移到C木樁上，而且搬動時必須遵守下列規則：盤子可任意搬動，但每次僅能移動一個，而且小圓盤永遠置於大圓盤上。

心像旋轉（mental rotation）指的是每個個體旋轉腦中圖像的能力，屬於視覺影像轉換能力的一種。研究者呈現兩個複雜的立體幾何圖形，要求受試者判斷兩個圖形是否相同，並記錄他們的反應時間。受試者為了正確辨認圖形，必須在心中轉動其中一個圖形，直到足以判斷兩個圖形是否相同為止。

從過去的文獻也可看出，參與這類歷程所倚賴的神經網絡，和常見的「問題解決」（例如河內塔問題或心像旋轉）相關的神經基礎雷同。進行「優勢可解賽局」時，參與者必須不斷進行階段性的推理，刪去不佳的、留下具優勢的選擇，直到達成均衡，所以每一次推理皆可能牽涉到訊息編碼、儲存、提取、評估、比對和選擇等歷程，當推理過程進入下一階段時，這

些歷程就會不斷重複。因此，支持這些歷程的前額葉及頂葉腦區也就會比較活躍。

由於我們所設計的賽局難易程度不同，當推理難度提高時，受試者必須增加來回的推理步驟，以刪除比較不理想的選擇。除了必須耗費較多的時間，大腦頂葉活化程度也會隨著困難度增加而升高，這結果更強化並支持了這兩個腦區的活動運作是推理過程所倚賴的神經基礎。

## 靈犀相通有跡可循

針對「協調賽局」，我們觀察到受試者的腦島（insula）及前扣帶迴（anterior cingulate cortex）皮質區的神經活動相對活躍；也就是說，偏向直覺型的思考歷程比較倚賴這兩個腦區的運作活動（見左頁〈推理與直覺的神經機制〉下排圖）。

最近其他腦功能研究也指出，這些大腦區域與人類諸多社會行為相關，例如人們在解析與合作、信任、同理心，甚至是與愛情有關的訊息處理時，這兩個腦區的血氧濃度變化都會比較大，顯示其相關程度較高。

根據謝林的理論，進行「協調賽局」時，參與者必須快速體會、察覺賽局中的焦點。那麼，這和人們在決定是否相信某人時，有何相似之處？我們認為彼此之間有一個共通點，即偵測顯著性（salience detection）。「協調賽局」中需要偵測顯著的焦點訊息，以便與對方做出相同的選擇；在判斷他人是否值得合作或信任時，也需要從錯綜複雜的因素中，偵測到一些顯著的線索，以便做出抉擇。

我們設計了許多「協調賽局」，每一個賽局的可協調性也不盡相同。透過與多數

人的反應做比較後，可以發現，如果受試者對某一個賽局的可協調性得分比較高，則腦島的反應也比較強，兩者有顯著的正相關。也就是說，在進行「協調賽局」時，腦島似乎扮演著偵測與決定訊息顯著性的角色，顯著性越高，腦島的活動程度也越高。

簡而言之，我們的研究結果指出，當推理型思考困難程度提高時，大腦的頂葉活化程度也會提高；然而當直覺型思考較為容易時，大腦的腦島活化程度反而提高。此一結果再次顯示，這兩種思考歷程在本質上有著極大差異，大腦皮質的活動與推理的難易度呈正相關，卻與直覺的難易度呈負相關。

生活在充滿複雜交錯訊息的環境中，我們時時得迅速做出一些決策，以適當地反應，「協調賽局」的心路歷程似乎就反映了這個過程。在過去的經濟學研究當中，由於它很難以數學量化的方法去描述，所以相關的討論並不多，然而這類直覺型思考卻是人類社會行為中，相當重要且獨特的思考模式，並大量使用於諸多策略互動中。縱使其過程難以理論化，但了解其神經機制，仍有助於我們明白社會行為的成因及其生物性的意涵。 SA

## 愛情全憑直覺？

最近的腦功能研究指出，腦島與前扣帶迴皮質區和人類許多社會性的行為息息相關，例如信任，甚至是愛情。由於這類社會行為也需要從複雜交錯的因素中，偵測顯著的線索，以便做出回應，研究者因此推論，它與受試者在進行「協調賽局」時，必須快速運用直覺找出焦點所在，有著相當程度的雷同。



# 態度，決定這次跨界合作

採訪／許碧純、李名揚 整理／許碧純 攝影／張錯乙

**科學人（以下簡稱科）：**什麼因緣促成兩位的合作關係？

**黃貞穎（以下簡稱黃）：**我本來就對行為經濟學很有興趣，近年來，結合經濟學與認知神經科學的神經經濟學也慢慢起步，我曾跟國外神經科學領域的教授合作，不過不太順利。2006年，我在台大醫院做實驗時，有人告訴我，陽明大學有個營

隊（編按：台灣地區認知神經科學暑期學校），如果對fMRI有興趣可以去看看，所以我就去報名參加。郭文瑞老師是講員之一，他的研究主要是運用fMRI。研習結束後，我主動打電話問他，可不可以跟他學資料分析、一起合作。我們完全不認識，他只是莫名其妙接到一個陌生人的電話，但他很快就答應了。