DOI: 10.6277/TER.202304_51(2).0003

機率資訊不確定下之決策

翁明宏・徐亦祁*

本研究以功能性腦造影實驗探索機率資訊不確定對風險決策之影響。我們發現在兩選項間機率差距小之機率判斷作業中, 參與者普遍趨避機率資訊模糊之選項, 並且違反複合風險下之轉換公理。雖然兩效應之間並無關聯, 但參與者展現之模糊趨避程度, 卻與其在樂透選擇作業中, 偏好固定報酬選項之傾向有強烈連結。而腦造影分析結果除觀察到模糊趨避與複合風險效應背後有不同之神經迴路之作用; 也發現越模糊趨避之參與者, 其上頂葉在機率判斷與樂透選擇作業中, 皆相對越不活化, 或爲本實驗中不同作業下類似趨避行爲之共同來源。

關鍵詞: 模糊趨避, 複合風險之轉換公理, 功能性腦造影實驗, 上頂葉
JEL 分類代號: D81, D87, D91

1 前言

傳統期望效用理論認爲複合 (Compound) 與簡單樂透 (Simple Lottery) 雖以不同形式呈現樂透, 但若最終機率及獎酬值相同, 應視爲等價之樂透, 此謂複合樂透之「轉換公理」(Axiom of Reduction of Compound Lotteries, ROCL) (von Neumann and Morgenstern, 1944)。若一簡單樂透有0.25之中獎機率可得 Y 金額, 相較於另一複合樂透中獎亦可得 Y 金額, 但需經歷

*作者分別爲國立成功大學經濟學系助理教授與研究生。翁明宏爲通訊作者 (mhweng@mail.ncku.edu.tw)。作者感謝科技部經費協助 (MOST103-2420-H-006-004-; 104-2420-H-006-007-), 國立成功大學心智影像研究中心、龔俊嘉、吳仕煒、鄭任唐於研究過程提供之服務、諮詢與協助, 以及匿名評審的寶貴意見。

經濟論文叢刊 (*Taiwan Economic Review*), 51:2 (2023), 207–250。
國立台灣大學經濟學系出版

臺灣大學學術期刊資料庫

兩次, 每次中獎機率皆爲0.5之風險; 因其機率相同 ($0.5 \times 0.5 = 0.25$), 公理成立下, 理性決策者應對兩樂透偏好無異; 然而, 相關行爲實驗並不全然支持其公理。

Kahneman and Tversky (1979) 首先提出兩階段風險可能造成此公設違反; 而其著名之展望理論, 認爲決策者評斷機率會有扭曲狀況, 於機率高時低估, 而機率低時高估, 亦隱含轉換公理不會成立。Harrison, Martínez-Correa, and Swarthout (2015) 實證結果發現於某些情況下決策似乎違反此公理, 並且發現使用比序效用模型 (Rank-Dependent Utility model) 解釋人類行爲可能比期望效用理論更貼切。Kaivanto and Kroll (2012) 以負近因效應 (Negative Recency Effect) 解釋轉換公理不成立之原因, 其概念與賭徒謬誤 (The Gambler's Fallacy) 類似, 認爲複合樂透須經過兩階段, 因此參與者心理上認爲中獎一次後, 再中一次的機率就沒那麼高了, 即使相較於簡單樂透之機率相同, 決策者仍較趨避複合樂透。

另一方面, 當決策者不清楚樂透背後的機率資訊時, Ellsberg (1961) 提出了經典例子來闡釋決策者可能因此額外風險而產生的模糊趨避 (ambiguity aversion) 心理。Halevy (2007) 與 Abdellaoui, Klibanoff, and Placido (2015) 則利用能讓參與者給出其對樂透真實評價之實驗方式, 來證實決策者普遍存在複合風險趨避與模糊趨避, 並發現其與一般風險趨避間存在顯著且特定之關聯。

相對於前述實驗以傳統經濟樂透呈現明確機率或完全未有機率資訊, 生活中或許更常見的是決策者雖未精確知悉所面臨風險之機率, 但對事件發生之可能性或有主觀之評估, 或其期望值符合客觀機率之均值分配 (mean preserving spreads) (Rothschild and Stiglitz, 1970)。[1] 由於對事件發生可能性之評估取決於參與者過去經驗或主觀認知 (Fox and Tversky, 1995; Hsu et al., 2005), 其差異性或難以爲實驗者所掌握; 爲提供參與者客觀可控之機率資訊, 本實驗透過點圖呈現來模糊化樂透之機率資訊, 一方面能掌握資訊之模糊程度, 另一方面也能透過腦造影即時監測參與者在機率評估過程上之差異。文獻中亦有相關機率呈現方式之實驗: Liu et al. (2016) 爲讓參與者不致在實驗過程中察覺實驗者之意圖, 利用動態視

[1] 分佈離散程度可能亦取決於決策者之主觀評量。

臺灣大學學術期刊資料庫

覺作業呈現簡單與複合樂透, 並以行爲實驗檢視決策者之抉擇, 結果亦支持較趨避複合樂透之現象。此不以傳統經濟樂透清晰呈現機率之方式, 類似 Wu, Delgado, and Maloney (2011) 以動作作業 (motor task) 之方式來呈現風險樂透。實驗參與者對所面對風險情境之掌握, 繫於過往共同素材之認識與學習, 故僅有模糊不精確之資訊, 應能更貼近現實中決策者評估風險情境之狀況。而該研究對參與者風險態度、主觀加權機率之衡量, 亦間接支持決策者並非等同看待複合與簡單樂透。

雖然機率資訊模糊化與複合風險, 皆讓決策者較無法掌握所面對的不確定情境, 似乎帶來類似影響, 但並未有太多的研究探究其中之關聯; 相對於 Halevy (2007) 發現參與者對資訊模糊樂透之評價與對複合風險之評價中間存有強烈正向關聯, Abdellaoui, Klibanoff, and Placido (2015) 則有較爲不一致之觀察。而欲理解面對不同型態風險下心智過程之差異, 或進一步確認選擇與趨避背後之原因, 我們希望透過功能性磁振造影 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 實驗在此議題研究上有所貢獻, 協助探索此兩效應之可能異同與其原因。

雖然複合樂透之神經經濟學相關研究相對較少, 但文獻上已有許多關於風險與樂透抉擇之腦造影研究。一般風險決策過程隱含報酬與機率之評估、整合、與抉擇等許多心智過程, 勢必活化許多腦區與極大範圍之神經網路, 但 Mohr, Biele, and Heekeren (2010) 整理過往相關研究與文獻 (Meta-Analysis) 發現, 當參與者所面對不確定性程度愈高時, 其腦島前緣 (Anterior Insula, aINS) 都有相對活化之情況, 如選擇具風險選項相對於確定值之選項時 (Paulus et al., 2003), 如面對較大變異數或事件發生機率接近0.5時 (FitzGerald et al., 2010; Grinband, Hirsch, and Ferrera, 2006; Huettel, Song, and McCarthy, 2005; Preuschoff, Bossaerts, and Quartz, 2006; Preuschoff, Quartz, and Bossaerts, 2008); 另外, Burke and Tobler (2011) 以報酬之偏態 (Skewness) 爲衡量不確定性之指標, 亦發現偏態程度愈大, 腦島前緣活化程度愈劇; 而在互動中, 面對有賴事前默契或溝通方較能確定結果的協調賽局 (coordination game), 相對於能以邏輯推演出應選策略的賽局 (dominance solvable game), Kuo et al. (2009) 亦觀察到腦島區域顯著較活化。除熟悉的風險概念外, 人們生活上某些相關習性或也與此有關,

臺灣大學學術期刊資料庫

譬如 Default Bias 指人們多偏向於熟悉與習慣事物, 而較不願意輕易轉向陌生或嶄新物品; Yu et al. (2010) 從磁振造影實驗發現若轉換至新事物之次數愈多, 腦島前緣活化程度相對愈低。另一方面, 當面對模糊風險, 或對事件發生機率不能確定時, 研究上則有不同發現; Huettel et al. (2006) 觀察到實驗參與者之後側額下溝、腦島前緣、與後頂葉在面對典型模糊情境下相對較面對純粹風險時活化; 而 Hsu et al. (2005) 則在有關機率資訊經驗與訊息相對匱乏的模糊情境中 (Fox and Tversky, 1995) 觀察到參與者眼眶額葉與杏仁核相對活化。由於本實驗設計與前述兩者仍有差異, 我們除希望能透過腦造影實驗與分析從另外角度了解機率呈現方式或機率資訊不確定所帶來影響, 也期許能探索之間可能的交互作用。

本文後續結構如下, 第 2 節將介紹本研究之實驗設計與方法, 第 3 節提供實驗結果之行爲資料分析, 而第 4 節則討論腦影像資料分析之發現並於第 5 節提供結論。

2 研究方法

2.1 實驗流程

本研究使用功能性磁振造影之方式進行實驗。先於特定網站上張貼招募廣告, 有意願且條件符合者填寫表單後, 經由助理核對資訊, 以電子信件進一步告知填寫者是否錄取, 並附上實驗當天須填寫之表格與注意事項。廣告中除了詳列實驗時間、地點、報酬等基本資訊, 也明確告知本實驗除行爲實驗外, 符合資格者, 將於磁振造影室中進行正式磁振造影實驗, 故報名表單中也讓填寫者再次確認身心狀況是否適合進行本實驗, 並於實驗當日另外填寫同意書與檢查表, 交與現場放射師核對後方可進行實驗。磁振造影實驗當天, 參與者先花半小時解說、觀看事先錄製之實驗說明影片, 並確認明瞭實驗流程後, 才開始躺入磁振造影儀器, 進行實驗。我們運用 Matlab (TheMathWorks Inc., Massachusetts, USA) 平台結合心理學工具程式集 Psychtoolbox (Kleiner et al., 2007) 所設計之視覺刺激, 透過鏡像將螢幕投射呈現於參與者面前。本實驗經過國立成功大學人類研究倫理審查委員會審核通過後, 並使用國立成功大學心智影像研究中心之 3T 核磁共振

臺灣大學學術期刊資料庫

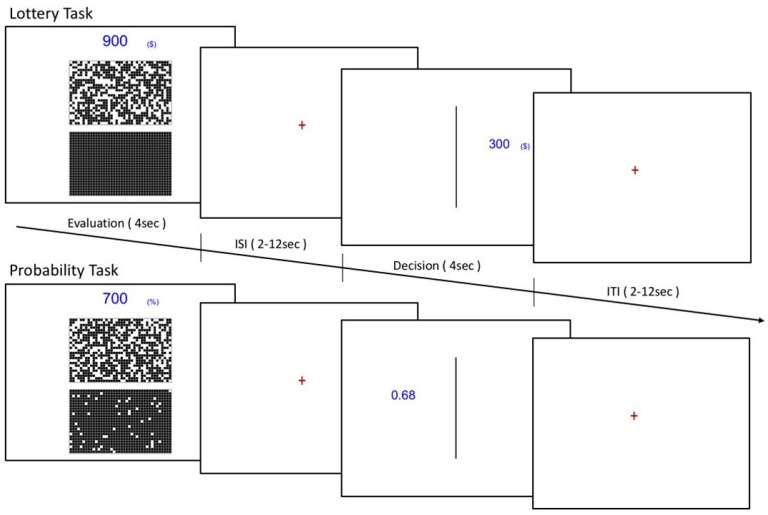


圖 1: 實驗流程圖 — 上方以簡單 (simple) 機率呈現之樂透選擇 (lottery task) 作業爲例, 下方則爲以複合 (compound) 機率呈現之機率判斷 (probability task) 作業

儀 MRI750, 共招募 34 位志願者 (20 位男性, 均齡 22.53 歲, 均酬新台幣 555.88 元) 參與實驗。

參與者於正式磁振造影實驗前所進行之行爲實驗, 約花 1 小時, 爲兩次類似於正式實驗的行爲訓練實驗, 以建立以點圖資訊判斷機率之能力以及熟悉實驗作業; 而訓練與正式實驗不同日期, 且採用不同實驗數據, 避免因疲勞或重複而影響實驗結果。

2.2 實驗設計

正式實驗時每位參與者皆面臨相同設計與順序、須在兩選項中擇一、總數 120 次的試驗。其中半數爲如圖 1 下方, 以百分比符號 (%) 表示之機率判斷作業 (probability task); 參與者須在以點圖 (graphical dots) 或數字表示機率之兩選項中正確選擇機率較高者, 才能獲得螢幕上方所示之報酬; 而另一半如圖 1 上方在另一半如圖 1 下方以金錢符號 ($) 表示之樂透選擇作業 (lottery task) 中, 參與者則必須在以點圖表示獲得上方獎項機率之風險樂透 (lottery) 與以數字顯示固定報酬之兩選項中選擇其偏好者。值得注意

臺灣大學學術期刊資料庫

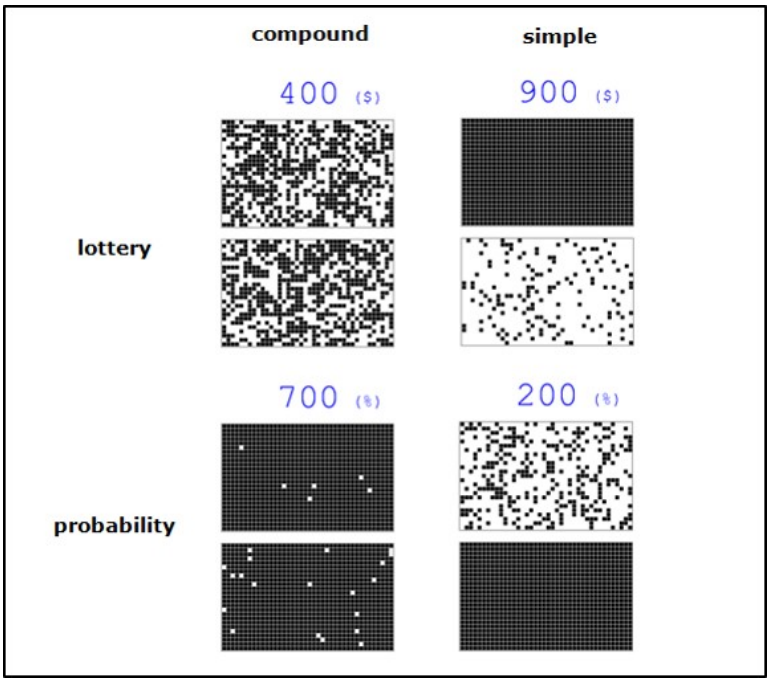


圖 2: 依樂透選擇/機率判斷 (縱軸) 與複合/簡單 (橫軸) 兩因子所構成之四種實驗情境

的是, 機率判斷作業因兩選項具有相同報酬, 參與者選擇機率較高者之決策過程, 本質上仍可視爲在選擇自己所偏好之樂透。

實驗過程中, 每項試驗皆會先揭示以點圖表示機率之第一選項, 參與者有 4 秒鐘衡量其機率與可能之報酬金額, 稱爲評估階段 (evaluation); 經額外 2 至 12 秒不等之凝視點等待 (Inter-Stimulus Interval, ISI) 後, 第二選項之固定報酬或數字機率將隨機出現於螢幕右或左側, 而第一選項代表位置則爲另一側, 參與者須於接續四秒內依其所欲選項之位置, 按壓相對按鍵以完成選擇, 稱爲決策階段 (decision); 最後在另外 2 至 12 秒的凝視點 (Inter-Trial Interval, ITI) 後進行下次試驗。

此外, 無論是機率判斷或樂透選擇作業, 實驗中點圖選項之機率資訊, 皆以複合 (compound) 或簡單 (simple) 方式來呈現, 且各佔一半題數。圖 2 顯示兩種作業下, 不同機率呈現方式之第一選項示意圖; 參與者必須由中

臺灣大學學術期刊資料庫

間兩方格之點圖判斷其隱含之機率資訊, 而黑點佔各方框之比例即表示個別風險之通過機率。故第一選項之機率資訊, 則爲高低兩格之黑點佔各方框比例之乘積, 或稱之爲點圖機率; 相對而言, 隨後以數字表示之第二選項機率, 則稱爲數字機率。易言之, 我們統一以複合機率模式來呈現所有第一選項之機率資訊, 以避免簡單與複合呈現方式之差異造成其他心智過程之影響。故簡單機率可視爲其特例, 因其中一方格爲全黑, 代表通過機率爲 1, 使該選項機率完全取決於另一方格之機率; 而本文所謂複合機率, 則單指上下兩個別風險機率皆小於 1 之情況。必須說明的是, 本實驗特意設計以點圖呈現機率資訊, 主要是爲了不讓參與者精確掌握個別風險之機率, 避免其洞悉簡單與複合呈現, 背後可能隱含相同之機率。此概念與設計類似於 Wu, Delgado, and Maloney (2015) 與 Liu et al. (2016) 之設計。而爲了提升參與者對點圖機率判斷之精確度, 我們仿效 Wu, Delgado, and Maloney (2011) 之動作實驗訓練, 讓其先經歷兩次與正式實驗相仿之行爲實驗; 在過程中, 電腦針對參與者答對或答錯會發出不同聲響之回饋, 以提升其對點圖機率判斷之精確度。不過, 爲避免學習效果影響實驗作答, 正式實驗中並無任何聲響提示, 亦無其他中獎與否之回饋資訊。

樂透選擇作業中, 參與者將面對 100 或 300 兩種固定報酬之第二選項; 而第一選項之樂透之數據設計如表 1, 其獨立正交 (orthogonal) 之設計, 讓樂透報酬 (reward) 與機率 (prob.) 之變化具有獨立關係。其中, 樂透中獎金額有 400、600、900 元三種可能; 而表 1 上側樂透選項數據組合之設計乃對應到固定報酬爲 100 之第二選項, 而下側則對應到 300 之固定報酬。同時, 爲了讓參與者選擇樂透和固定報酬之比例接近以利分析 (假設參與者多數爲風險趨避者), 我們使用 0.133、0.19、0.31、0.39、0.59、0.91 等六組機率數值, 使表 1 上下側各對角線樂透組合之預期報酬值接近其對應固定報酬之 120%; 愈接近其左下角, 期望值愈低於此比例; 反之, 越往右上走, 期望值則越高於此比例。實驗時, 上下表中對角線上的每個樂透組合皆出現 3 次, 非對角線之各 6 個樂透組合則僅出現 1 次, 形成樂透選擇作業中 30 個以簡單機率呈現的第一選項。

而在機率判斷作業中, 參與者則須於評估階段衡量點圖選項之機率, 並與決策階段顯現之數字機率比較; 而若正確選擇較大機率者, 可獲得螢幕

臺灣大學學術期刊資料庫

表 1: 樂透之數據設計

	400	600	900	
0.310	124	186	279	
0.190	76	114	171	vs. $100
0.133	53.2	79.8	119.7	
	400	600	900	
0.910	364	546	819	
0.590	236	354	531	vs. $300
0.390	156	234	351	

說明: 表上下兩部分顯示各分別對應固定報酬 100 元與 300 元之樂透組合數據, 縱軸爲樂透機率, 橫軸爲樂透報酬, 內部值爲機率與報酬相乘之樂透期望報酬, 對角線樂透期望值約爲固定報酬之 120%。

頂部揭示之 200 或 700 元兩種報酬。爲避免機率不同形成兩作業型態差異之額外來源, 我們沿用表 1 之六組機率作爲機率判斷作業下第一選項點圖之機率, 並事先設計與點圖機率呈現差距小 (±0.03) 或大 (±0.08) 兩種可能之第二選項數字機率。比方若點圖機率爲 0.19, 則數字機率可能爲 $0.19+0.03 = 0.22$ 或是 $0.19-0.08 = 0.11$ 等數值, 依此設計機率判斷作業下之 30 道試驗。值得注意的是, 在機率作業中, 點圖或數字機率孰大、機率呈現模式、與選項間機率差異, 此三種操弄間皆互爲正交。

因本實驗欲檢驗以簡單或複合方式呈現機率之可能影響, 故我們在另外一半之試驗中, 保留前述 60 道試驗之設計, 僅將每道試驗中原以簡單方式呈現之第一選項機率, 另外以等值之複合方式呈現。例如簡單機率若呈現爲 $0.19 \times 1 = 0.19$, 複合機率則可能以該簡單機率之開根號相乘, 即 $0.4359 \times 0.4359 = 0.19$, 或是轉化爲 0.95 與另一機率之乘積, 如 $0.2 \times 0.95 = 0.19$。簡而言之, 參與者將在另外 60 道試驗中, 面對與前述 60 道試驗等值設計之第一選項機率、報酬、及與第二選項完全相同之固定報酬或數字機率, 而兩組試驗之差異唯有機率呈現方式之不同。如此設計讓我們預期能透過比較參與者在兩組試驗的選擇行爲, 來間接探討複合或簡單機率呈現方式帶給參與者之衝擊, 或從機率判斷結果上間接得知風險形式不

臺灣大學學術期刊資料庫

同對機率評估之影響。附錄 1 呈現樂透選擇之實驗設計數據, 對應 100 元與 300 元固定報酬之樂透平均期望報酬爲 127.873 元及 381.933 元。爲檢測參與者是否有認真作答, 我們視 12 個樂透預期報酬比固定報酬小之試驗爲捕捉試驗 (Catch Trials), 若參與者在半數以上捕捉試驗中選擇樂透, 我們即剔除其數據, 不納入資料分析。

此外, 我們透過誘因設計以讓參與者在機率判斷作業中選擇機率較高者, 並在樂透選擇作業中選擇其偏好者。參與者在行爲訓練實驗及腦造影實驗完成後, 皆會得到兩種報酬。完成行爲訓練可得到基本報酬新台幣 100 元, 並會自訓練資料中隨機抽出一次試驗以決定額外報酬; 若抽中樂透選擇, 且該參與者選擇固定報酬選項, 則給予固定報酬之一半作爲額外報酬; 而若其選擇樂透, 則會根據該樂透所示機率隨機決定是否中獎, 中獎時亦可得到樂透顯示金額之一半, 反之則無額外獎勵; 而若抽中機率判斷作業亦類似, 唯有答對時會依據該試驗右上所示金額的一半作爲額外報酬。正式實驗時由於參與者須進入磁振造影室, 我們提供更高之誘因: 基本報酬調整爲新台幣 300 元, 額外報酬之決定方式雖與前述相同, 但中獎金額, 無論選固定或高風險金額或機率答對時皆給予螢幕上呈現之完整金額。

實驗將所有試驗均分於六個回合 (run) 進行, 每回合長度皆固定爲六分二十秒, 盡量包含相近數量之各種組合與類型之作業。同時, 我們使用 Optseq2 軟體 (Dale, 1999) 調整各種情況之隨機順序及等待時間長度, 以提高參與者作答時之專注程度並提升實驗設計之統計效力。

3 行為資料分析

本實驗共招募 34 位志願參與者。其中十一號參與者未達捕捉試驗標準, 二十號參與者則有 29 次試驗未做選擇, 因此皆不納入分析。此外, 爲了與磁振造影影像資料對照, 任一回合內頭動幅度超過 3mm 之參與者也不納入分析, 因此最後留下 29 筆參與者之選擇資料分析。

3.1 機率判斷作業

參與者於機率判斷作業之目標爲從以數字與點圖兩不同方式呈現機率資訊之選項間選擇機率較高者; 而因爲兩選項報酬相同, 理論上, 其應仍是

臺灣大學學術期刊資料庫

類似一般風險決策下選擇機率較高者, 而不受個人主觀偏好左右, 即不應該因爲機率較高選項爲數字或點圖的差異而影響選擇。不過, 由於數字機率選項確切地呈現其機率資訊, 而相對地, 參與者必須由點圖機率選項評估其隱含之機率; 此評估過程所造成心態上之差異是有可能促成其偏好前者, 以趨避從後者判讀機率所衍生之不確定性。爲檢驗此傾向是否顯著, 我們先將機率判斷作業試驗依點圖機率較高或數字機率較高分成兩大類 (各30次試驗), 各自計算每位參與者在兩類型下正確選擇較高機率選項之比例。圖3左側描繪參與者間正確率之分布 (中位數) 情況與標準誤, 若參與者選擇不受個人偏好影響, 此兩分類下之選擇應無差異; 然而, 運用無母數雙樣本中位數差異檢定 (Wilcoxon signed-rank test, 以下簡稱符號排序檢定),[2] 我們的確觀察到, 在選擇點圖機率爲正確, 即點圖機率爲兩選項中較高者時 (DotPb), 參與者之正確率, 顯著低於數字機率較高情境下 (NumPb) 之正確率 ($Z = -2.087$, $p = 0.037$), 顯示正確選項爲何, 的確左右參與者之選擇, 且暗示參與者可能相對趨避點圖機率選項。我們首先排除參與者在機率評估過程中若相對未投入心力便相對不選擇點圖機率選項的可能性; 若果, 則其反應時間與選擇點圖比例將成正相關, 但兩者間斯皮爾曼等級相關係數爲 $\rho = -0.047$, $p = 0.810$。我們應該也能排除參與者完全依偏好選擇之可能性; 否則, 其應在某類別下有百分百正確性, 而在另一類別之正確率爲0; 而參與者即使在答題表現較好的數字機率較高類別, 其正確選擇之比例, 亦顯著低於100% ($Z = -4.644$, $p < 0.001$)。故可能的解釋是其由心裡的偏好與客觀的資訊共同決定其理想的抉擇: 在部分試驗中, 其相對能夠正確判斷並選擇; 而在部分試驗中, 其相對較無法正確判斷而傾向選擇自己偏好之選項, 而上述行爲資料的結果則支持其有趨避點圖機率選項之傾向。舉例而言, 若有80%的試驗參與者爲憑其對機率資訊的評估、判斷而作答, 而其正確率70%, 則此部分可累積56%之正確率。面對另外20%的試驗, 若其相對無法判斷而訴諸主觀偏好決定, 則數字機率高類別可完全拿到這20%, 但點圖機率高類別在這20%則完全回答錯誤; 最終, 兩類別各自有76%與56%的答題表現, 符合資料所呈現

[2]針對本實驗資料 (29位參與者) 於本節所述之各種符號排序檢定分析, 我們亦曾以成對 t 檢定 (paired t-test) 進行類似檢定, 皆得到與內文所述一致之結果。

臺灣大學學術期刊資料庫

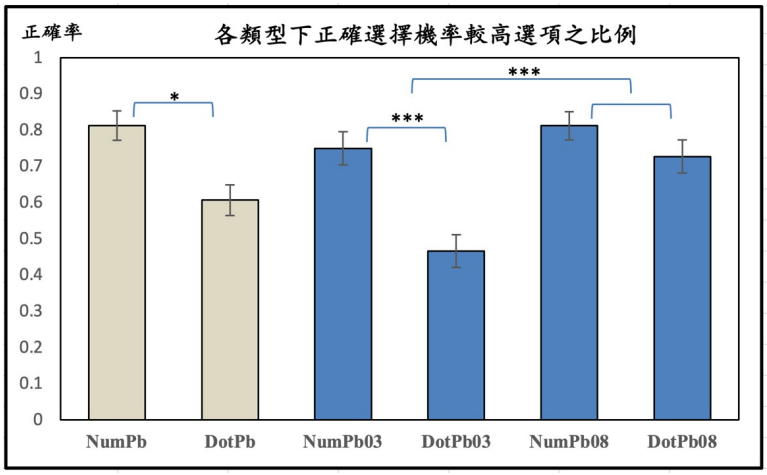


圖 3: 機率判斷表現在點圖機率較高 (DotPb) 時顯著較數字機率較高 (NumPb) 時爲差 (左), 顯示偏好影響判斷, 且此趨避傾向在選項間機率差距從 0.08 變爲 0.03 時更形顯著 (右)。(∗: $p < 0.05$; ∗∗: $p < 0.01$; ∗ ∗ ∗: $p < 0.001$; 長條圖與誤差線各自標示各組之中位數及標準誤) (右至中)

之情況。易言之, 兩類試驗間的正確率差異, 可能反映參與者相對較不能客觀判斷作答的部份, 也是其訴諸主觀偏好決定的部份, 而行爲資料顯示其是顯著存在的。

若前述點圖趨避現象肇因於評估機率過程之不確定性, 則當兩選項間之機率差距變小時, 除了難度增加造成參與者依客觀機率資訊進行選擇部分之正確率降低外, 其決策上亦應有較大比例轉而訴諸個人偏好。此時, 若參與者較偏好數字機率選項而趨避點圖, 則在應選前者的此部分試驗中, 其正確率將相對提升, 而應選後者之正確率則相對降低, 故兩類資料間選擇正確率之差距將擴大; 且前者正確率提升越多者, 後者之正確率應相對降低, 反映其越訴諸偏好決策。相反地, 若參與者較偏好點圖機率選項, 則其在此部分的應選點圖試驗中之正確率將相對提升, 而應選數字類之正確率則降低, 兩類資料間選擇正確率之差距仍將擴大, 且亦存在負相關。爲檢視上述推論, 我們將每位參與者機率判斷作業之資料在應選數字與應選點圖兩大類下, 進一步依照各試驗中點圖與數字兩選項間機率差距小 (0.03) 和大 (0.08) 再分爲兩類, 並計算其在此四分類下之選擇正確率, 結果呈現

臺灣大學學術期刊資料庫

於圖 3 右側: 參與者在應選擇點圖與應選擇數字機率此兩類資料間正確率之差距, 確實隨著機率差距由大變小而顯著擴大 ($Z = 3.028$, $p < 0.001$), 且主要肇因於應選點圖類資料在機率變化時正確率之下降 ($Z = -4.294$, $p < 0.001$)。此顯著之交互作用, 支持前述參與者趨避點圖之傾向可能來自於對機率評估之不確定性之推論, 故在機率差距由大變小時, 除本身決策品質下降, 亦有更多的選擇比例是訴諸偏好, 而此偏好亦證實爲數字選項。另一方面, 統計結果亦顯示參與者在點圖機率較高與數字機率較高這兩類資料的正確率之間, 存在著高度負相關, 且在機率差距小時尤爲顯著 (斯皮爾曼等級相關係數分別爲 $\rho = -0.565$, $p = 0.001$ 與 $\rho = -0.729$, $p < 0.001$), 亦從另一角度反映出參與者在機率差距由大變小時, 更訴諸偏好決策而趨避點圖之應有結果。

行爲分析結果 1: 參與者普遍趨避以點圖呈現機率之選項, 且此傾向隨選項間機率差距變小而更顯著。

參與者在本實驗中所展現偏好數字機率選項之現象, 應可視之爲一種因資訊不足而產生之模糊趨避。但必須說明的是, 不同於典型模糊趨避研究之文獻中, 參與者對選項機率全然無知之情境 (Abdellaoui, Klibanoff, and Placido, 2015; Ellsberg, 1961; Halevy, 2007), 本實驗透過點圖呈現相關選項之機率資訊, 相對較類似於 Heath and Tversky (1991) 以及 Fox and Tversky (1995) 所描寫之情況, 即參與者對所面臨風險之機率分配, 雖然未能精確知悉, 卻有一定程度之認識, 能以經驗或相關資訊形成評估。但與其不同之處在於, 參與者在本實驗中必須透過現場觀察, 才能產生對選項機率之評估, 故亦將受到資訊呈現狀況所影響。因此, 本研究之貢獻除了驗證此類現實中對機率評估之不確定性亦可能導致模糊趨避效應, 也突顯了此類趨避行爲可能發生影響力之背景: 唯有當機率資訊之不確定性, 足以左右結果時, 相關偏好, 方能在決策過程發揮影響力。再者, 相關文獻多讓參與者對機率型態與性質有所差異的同一樂透各自進行一次性評價, 而本研究則透過讓參與者在一系列僅客觀機率有所差異之樂透中從事二選一的決策, 此設計應能更貼近相關決策之現實情況。此外, 參與者在本實驗中, 可能因爲數字機率選項提供了明確機率資訊以爲對照基準, 從而

臺灣大學學術期刊資料庫

使其傾向趨避模糊機率選項, 這也再次驗證了 Fox and Tversky (1995) 所提的比較性忽略原則 (comparative ignorance principle)。

由於在本實驗中之機率呈現模式、與前述點圖與數字機率孰高、及選項間機率差距等三種設計間互爲正交, 允許我們另外獨立檢驗機率呈現模式對參與者決策之可能影響。但必須注意的是, 由於實驗中點圖與數字剛好爲互斥之兩選項, 故在前述以選擇點圖或數字之分類方式下, 參與者之偏好與其回答正確率兩者間, 必然存在特定之正或負相關。然而, 若以簡單或複合機率呈現模式來分類所有試驗, 則參與者對選項之選擇偏好與其回答正確率兩者間, 將不存在如前述分類下之關聯。此故, 分別探討兩指標之變化, 對協助了解機率呈現模式之影響, 有其必要性。因此, 我們重新將所有機率試驗依照呈現方式差異分成簡單 (SimPb) 與複合 (CmpPb) 兩大類, 再分別計算參與者之選擇點圖比例與選擇正確率, 並以圖 4 上、下欄左側之淺色部分描述其分配概況。雖然以符號排序檢定的結果顯示, 不論是選擇偏好與正確率, 機率呈現方式對參與者之影響, 皆不夠顯著 (分別爲 $Z = -1.119$, $p = 0.231$ 與 $Z = -1.892$, $p = 0.059$), 但若進一步細分機率差距小 (0.03) 和大 (0.08) 兩群後, 再分別比較, 則可發現一些有趣的交叉影響: 首先, 在機率差距大時, 圖 4 上欄右側顯示複合機率呈現 (SimPb08 vs. CmpPb08), 反而顯著減緩參與者之點圖趨避傾向 ($Z = -3.054$, $p = 0.002$), 以致下欄圖中對應之正確率相對較高; 而另一方面, 當機率差距小時, 雖然參與者之點圖趨避傾向未受機率呈現模式所影響, 但其選擇正確率卻在面對複合機率呈現時顯著惡化 ($Z = -2.615$, $p = 0.009$)。

行爲分析結果 2: 複合機率呈現模式使參與者在選項間機率差距大時, 較簡單模式下更偏好點圖選項; 而當機率差距小時, 則使其選擇正確率顯著較低。

轉換公理認爲, 若選項背後機率與報酬相同, 即代表等值之樂透或風險, 簡單或複合之機率呈現模式, 不應造成決策上之差異。然而, 由於複合機率需多一次的評估與機率的整合, 特別是在本實驗中, 點圖選項之機率資訊不甚明確, 參與者判斷上之敏銳度與整合能力肯定受其影響, 從而可能造成參與者決策違反轉換公理。相對於模糊趨避效應一邊降低參與者在應選點圖機率選項時之正確率, 並一邊提升其在應選數字機率選項時之正

臺灣大學學術期刊資料庫

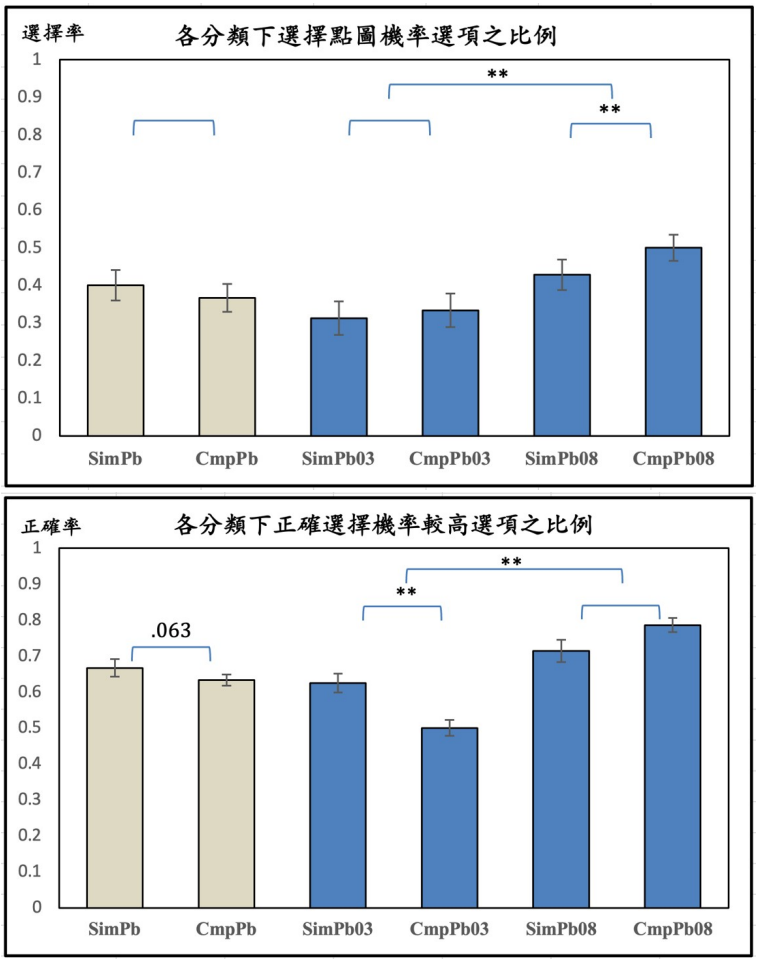


圖 4: 參與者有違反轉換公理之傾向: 複合機率在選項間機率差距大時, 顯著增加參與者選擇點圖之比例 (上圖右側); 而在機率差距小時, 使參與者表現顯著較差 (下圖中)。

確率; 違反轉換公理在本實驗中雖可在機率差距大時改善參與者本身偏好數字選項的決策偏誤, 亦會降低其在機率差距較小時之正確率。其背後凸顯出模糊趨避與違反轉換公理之重要差異: 前者導致選擇性犯錯, 反映其與偏好之強烈連結; 而違反複合機率呈現並非造成決策者特意趨避某選項, 故稱之爲複合風險效應或許較爲合適。

臺灣大學學術期刊資料庫

相較於 Halevy (2007) 從決策者普遍賦予複合樂透較等值簡單樂透更低之評價來證明違反轉換公理, 本研究則從決策者將等值簡單與複合機率相比於數字機率選項的決策差異中, 證實了複合風險效應之存在, 並展示其可能帶來的不同類型影響, 而接續我們則將探索兩效應間可能之關聯。

由於兩效應皆在兩選項間機率差距較小時方爲明顯, 因此, 我們以參與者在機率差距小而點圖選項機率較高時, 其卻選擇數字機率選項的比例 (1-DotPb03), 來反映其模糊趨避傾向。易言之, 若此應選點圖下之選擇錯誤比例越大, 則參與者展現出更強烈之模糊趨避效應。另一方面, 兩選項間機率差距小時, 參與者在面對複合機率時之正確率顯著較面對簡單機率時降低, 故此時其在兩呈現模式下選擇錯誤比例之差異 (SimPb03-CmpPb03), 應能適切反映參與者受複合機率呈現之影響程度。不過統計結果顯示此兩衡量不同效應指標間之相關係數僅 $\rho = 0.034(p = 0.862)$, 反映參與者在行爲上所受兩效應之影響, 並無顯著關聯之存在。[3]

另一方面, 由於複合機率呈現與機率差距變小同樣都使決策過程更不容易, 使我們好奇機率呈現模式是否亦如機率差距變小般對模糊趨避帶來交互作用。我們重新將數字機率高與點圖機率高兩大類下資料下, 各自再分成簡單與複合機率呈現兩組, 並分別計算參與者之選擇正確率之後再進行分析。不過, 我們亦未發現機率呈現模式與點圖趨避行爲之間具有顯著之交互作用 ($Z = -1.021$, $p = 0.307$), 反映參與者在兩種機率呈現模式下之趨避點圖傾向, 未有顯著差異; 而因爲複合機率呈現與機率差距變小爲模糊趨避帶來不同之交互作用, 也凸顯前述兩者爲參與者帶來之影響, 並不類似。

行爲分析結果 3: 參與者之模糊趨避傾向, 及其所受複合風險效應影響之間, 並未有顯著相關。

雖然 Halevy (2007) 比較決策者在各情境下之樂透評價之發現模糊趨避與複合風險效應之間具有正向連結, 但我們認爲這不代表兩效應之間互相影響, 反而可能反映背後有共同的源頭。若檢視本實驗中機率差距小時,

[3]若以所有機率差距下之兩機率模式呈現下之差異作爲衡量指標, 或以類似方式定義模糊趨避指標, 兩指標間相關性亦皆不顯著。

臺灣大學學術期刊資料庫

參與者應選點圖卻選擇數字選項之比例, 與複合機率呈現下之正確率此兩指標之關係, 亦可發現兩者間存在類似之正相關 ($\rho = 0.321$, $p = 0.090$), 但我們認爲其可能源自於 Fox and Tversky (1995) 的比較性忽略原則。相對於決策者在 Halevy (2007) 研究中將模糊與複合樂透之評價皆定錨至簡單樂透再分別予以折扣, 以致兩樂透評價間呈現高度正相關; 本實驗的決策者則因爲無論在簡單或複合機率呈現下, 皆須與數字機率比較而作出抉擇, 同樣無法避免模糊趨避的現象, 故與該效應呈現高度之正相關。若複合風險效應乃衡量機率呈現方式差異帶來之衝擊, 則參與者在兩種機率呈現下行爲之差距, 應較能適切反映其影響, 而前述分析也支持其與模糊趨避之間應無顯著關連性存在。此外, 前文提到模糊趨避導致決策者選擇性犯錯, 激發其展現個人偏好, 而違反轉換公理則是類似作業與處理過程上的複雜度造成參與者之非受迫性失誤, 兩效應在心智過程上之可能差異, 或許亦是兩者間未有顯著關聯之原因, 更是我們冀望由腦造影分析獲得更多訊息與可能解釋之處。

本節就機率判斷作業之行爲資料進行分析, 發現參與者在面對報酬相同, 僅機率有所差異的選項間選擇時, 展現出模糊趨避與複合風險效應, 下文將繼續討論在選項報酬與機率皆有所差異的樂透選擇作業中, 其決策是否仍受到類似偏好之影響。

3.2 樂透選擇作業

參與者在樂透選擇作業中, 面臨在固定報酬與以點圖顯示機率的樂透之間進行抉擇, 合理預期其亦可能因評估點圖機率樂透過程之不確定性, 而趨避前者, 以致對固定報酬選項有較強之偏好; 而當樂透期望值相對較固定報酬高, 使得選擇前者相對合理時, 我們或許越能觀察到此類影響。爲檢驗此推論, 我們先依照每個樂透選擇作業中兩選項之期望值孰高, 將其分爲樂透期望值較高與固定報酬較高之兩互斥資料群, 隨後計算每個參與者在兩群試驗中選擇較高期望值選項之比例。理論上, 若期望值爲樂透選擇之唯一考量, 則當樂透期望值高於固定報酬時, 參與者選擇樂透選項之比例 (DotLT), 理應接近於固定報酬較高時, 其選擇固定報酬之比例 (NumLT)。然而, 運用符號排序檢定, 我們發現在樂透期望值較高時, 參與者選擇樂透

臺灣大學學術期刊資料庫

選項之比例, 顯著低於在固定報酬較高時, 其選擇固定報酬之比例 ($Z = -4.704$, $p < 0.001$)。

雖然由於實驗設計之故, 參與者在固定報酬與樂透間之抉擇, 尚存在著傳統趨避風險樂透而選擇無不確定性之固定報酬之考量; 但由於樂透期望值於本實驗設計下平均高於固定報酬 20%以上, 此懸殊之選擇比例差異, 反映出參與者對固定報酬選項之偏好, 極可能也源自於其欲趨避由點圖評估機率所產生之不確定性。

爲了檢驗上述可能性, 我們分別計算參與者在固定報酬較高, 與樂透期望值較高兩組資料中, 選擇固定報酬選項之比例 (1-DotLT 以及 NumLT), 並檢視其與模糊趨避傾向之關係。有鑒於參與者在前述機率差距小時, 方展現較明顯之模糊趨避, 故我們以機率判斷作業中, 機率差距小且點圖機率較高時, 其選擇數字機率選項之比例 (1-DotPb03) 來衡量參與者趨避模糊機率之傾向。結果如圖 5 所示: 模糊趨避傾向較高者, 無論面對選項中固定報酬或樂透期望值孰高, 其選擇固定報酬選項之比例, 皆有相對提高之趨勢 (分別爲 $\rho_{(NumLT)} = 0.444$, $p = 0.016$ 與 $\rho_{(1-DotLT)} = 0.618$, $p < 0.001$), 且在樂透期望值較高時尤爲明顯; 同時, 其選擇固定報酬選項比例在兩組資料間之差異, 亦相對較小 ($\rho_{(NumLT-1+DotLT)} = -0.558$, $p = 0.002$, 即圖 5 中兩類比例之差異)。這些結果反映出本實驗中參與者在面對樂透時所展現之一般風險偏好, 與其在機率判斷作業中所展現之模糊趨避傾向之間, 存在緊密之關係; 特別是在參與者理應選擇樂透時, 尤其顯著, 暗示趨避點圖樂透與模糊趨避具有類似之心理基礎。

行爲分析結果 4: 參與者普遍偏好固定報酬選項; 而若其在機率判斷作業中有越高之模糊趨避傾向, 於樂透選擇作業中亦將較偏好固定報酬選項。

針對決策者之一般風險態度與其模糊趨避偏好之關聯, 本文得到的結果與 Halevy (2007) 一致: 即越模糊趨避者, 亦越排斥一般風險樂透, 或給予越低之評價。由於本實驗資料來自於參與者在兩情境下之一系列決策, 其結論應較前述文獻中決策者一次性之評價更爲穩定, 顯示兩種偏好可能的確具有相似之心理基礎; 而參與者在機率判斷與樂透作業中同時趨避點圖機率選項, 凸顯其相比於數字機率或固定報酬選項之資訊不確定性, 或

臺灣大學學術期刊資料庫

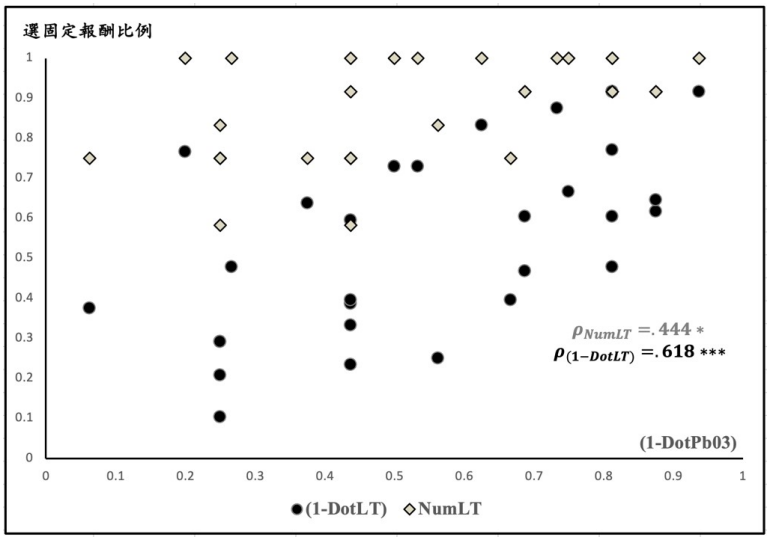


圖 5: 選擇固定報酬選項之比例, 無論是樂透期望值較高時 (1-DotLT) 或固定報酬較高時 (NumLT), 皆與參與者之模糊趨避傾向 (1-DotPb03) 呈高度正相關, 且以前者爲甚

許正是決策者感受類似風險的來源, 從而讓我們觀察到兩類趨避行爲之間的高度連結。

最後我們聚焦在機率呈現方式對樂透選擇之可能影響。首先, 若比較複合或簡單兩種機率呈現方式下參與者選擇固定報酬之比例, 我們並未發現其中有顯著差異 ($Z = -0.954$, $p = 0.340$); 由於參與者此時必須在選項間進行報酬與機率之綜合比較, 報酬差異的考量, 可能相對降低了機率呈現差異的影響力; 此外, 由於簡單與複合樂透同樣是以點圖方式呈現機率, 兩情境下類似之模糊趨避效應, 亦可能淡化了機率呈現對參與者之影響。

有鑒於機率判斷作業下, 複合風險在機率差距小時造成參與者選擇正確率顯著下降, 我們進一步依照樂透與固定報酬間期望值差距大小將資料分爲兩組, 結果發現當選項間期望值差距小時, 複合呈現下參與者選擇樂透的比例顯著比簡單呈現時更高 ($Z = 2.004$, $p = 0.045$)。[4] 此結果除呼

[4]當差距大時, 複合或簡單的機率呈現方式, 對選擇樂透比例並無顯著影響 ($Z =$

臺灣大學學術期刊資料庫

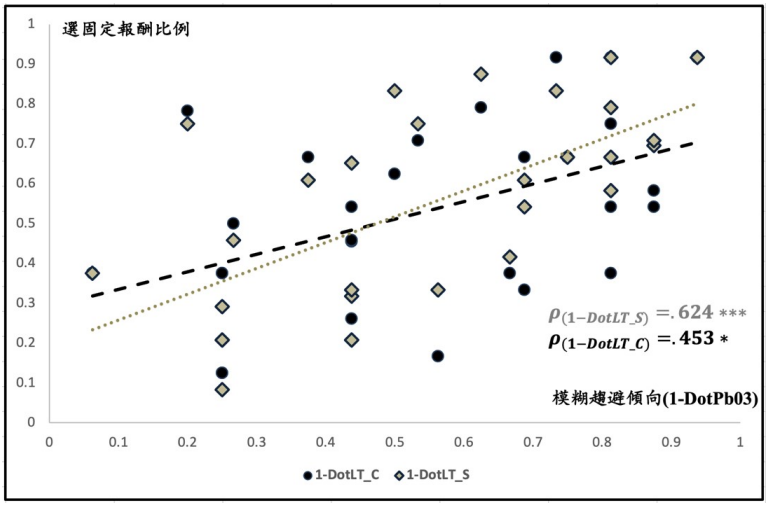


圖 6: 在樂透選項期望值較高之試驗中, 複合樂透相對較簡單樂透下減弱了參與者風險趨避與其模糊趨避傾向之相關性, 反映其使參與者較不受模糊趨避傾向之影響

應複合機率呈現模式在選項間差異相對小時, 的確可能扮演左右決策的角色, 也再次突顯複合風險效應與其他偏好影響之可能差異: 相對於模糊趨避等效應使決策者偏向保守, 面對複合風險時, 決策者可能反而更愛好風險, 或偏離原本的偏好型決策。

爲確認此傾向, 我們聚焦在樂透選項之期望值較固定報酬高, 即參與者相對依偏好決策時, 檢視機率呈現差異帶來之影響。如圖 6 所示, 橫軸描述參與者之模糊趨避傾向 (1-DotPb03), 與縱軸描述其在簡單呈現下選擇固定報酬的比例 (1-DotLT_S), 相比於複合呈現下 (1-DotLT_C), 的確有相對較緊密之正相關 (相關係數分別爲 $\rho = 0.624$, $p < 0.001$ 與 $\rho = 0.453$, $p = 0.014$)。此外, 複合呈現亦造成參與者間風險態度差異之相對縮小: 從簡單到複合機率呈現模式, 參與者在樂透選擇中展現之風險偏好與其模糊趨避傾向之相關趨勢線, 相對轉爲平緩, 亦即參與者之行爲更趨於一致, 反映其相對受較小之模糊趨避影響。

-0.501, $p = 0.616$)。

臺灣大學學術期刊資料庫

行爲分析結果 5: 複合機率呈現相對降低參與者在樂透選擇中受模糊趨避影響之程度, 尤其是當樂透選項期望值較固定報酬高時。

上述結果除了呼應前述期望值差距小時, 複合機率呈現造成參與者更愛好風險的影響, 也再次凸顯了複合機率呈現方式不同於其他偏好影響之處。相對於模糊趨避與一般風險趨避之間的類似性質與高度的關聯性, 從簡單到複合機率呈現, 機率複雜化或讓決策者越需花心力在機率資訊之評估, 或使其越不能掌握機率資訊, 並削弱模糊趨避與一般風險趨避中間之連結, 以致參與者較偏離原本之偏好型決策模式。

4 腦影像資料分析

4.1 影像資料的取得與處理

本研究使用之磁振造影儀器爲成功大學心智影像研究中心之 GE MR750 3T scanner (GE Medical Systems, Waukesha, WI), 參與者頭戴八通道腦部陣列線圈 (eight-channel brain array coil) 透過鏡像反射之視覺刺激了解每個試驗之資訊, 並以右手按鍵進行決策。透過快速破壞梯度迴訊 (fast spoiled gradient echo, FSPGR) 方式先取得高解析度之解剖影像 (T1-weighted image), 共有 166 張 (TR = 7.7 ms, TE = 3.3 ms, flip angle = 12^o, 224× 224 matrices, slice thickness = 1mm), 之後透過迴訊平面造影取得全腦的功能性影像 (interleaved $T2^*$ weighted echo-planar (EPI) sequence, TR = 2000 ms, TE = 33 ms, 64× 64 matrices, slice thickness = 3 mm, no gap, flip angle = 76^o, 40 axial slices covering the entire brain)。

4.1.1 前處理 (preprocessing)

本研究透過腦影像分析軟體 BrainVoyager QX 2.6 (BVQX, Brain Innovation, Maastricht, the Netherlands) 進行腦影像資料處理, 資料分析及呈現則是使用 NeuroElf (www.neuroelf.net)。整體流程先進行頭動校正 (three-dimensional rigid-body motion correction), 再將功能性影像對齊初始回合 (Alignment), 接著每位參與者之結構性影像與功能性影像進行對位 (Coregistration), 並考量參與者彼此間腦部結構差異, 將資料轉換及標準化 (Nor-

臺灣大學學術期刊資料庫

malization, 3 × 3 × 3 mm) 於 Talairach 平面 (Talairach and Tournoux, 1988) 後以方便群體分析。

4.1.2 影像資料分析方法

研究分析使用一般線性模型 (General Linear Model, GLM), 在隨機效果 (Random Effect) 設定下, 估計解釋變數對於腦部血氧濃度訊號 (BOLD signal) 變化之影響。解釋變數設定上首先將兩種作業下之評估與決策階段區分開來, 並視分析需要而進一步細分各種條件, 建立不同模型 (見附錄2之 GLM 模型設定), 以協助了解決策背後之心智歷程; 此外, 部分模型中也使用參數調節分析 (Parametric Modulation Analysis), 以探究血氧濃度在特定條件下是否會隨著實驗設計之重要連續型變數變化, 如機率、價值、效用等, 而有相對程度上之變化, 即該變數之交乘項效果。相關交乘項在估計前皆先經過標準化, 故對於該特定條件與其他條件下所估計得之原效果並無影響; 而所有模型在估計前, 亦皆會先考量血氧濃度之典型變化 (hemodynamic response function, HRF), 將各條件進行卷積 (convolution)。分析上, 除依實驗設計以各條件相減 (contrast) 以探討血氧濃度在不同條件下是否有顯著差異, 亦利用個體相關分析偵測參與者之行爲參數或決策傾向, 是否與特定腦區之活化差異有所關連。最後, 本文所呈現之顯著活化腦區, 皆爲未校正前顯著性達 $p = 0.005$ 之腦影像分析結果, 並呈現於參與者之平均腦圖上; 爲避免大腦樣本數過多可能產生的僞陽性, 我們使用 NeuroElf 內建之 alphasim 程式進行多重比較校正 (Multiple Comparison Correction), 並滿足其以10,000次蒙地卡羅方式模擬計算出, 在顯著性爲0.05之下, 應有之最少相鄰活化 voxel 數目或門檻 (k-threshold)。

4.2 影像資料分析結果 — 機率判斷作業

行爲資料顯示參與者偏好選擇數字機率選項, 故在應選點圖機率時相對有較差之表現; 合理預期其於選擇後者時, 可能經歷類似風險趨避之心智過程。爲驗證此可能性, 我們在模型 GLM1 (見附錄2) 中先將機率判斷之決策階段分爲數字機率較高或點圖機率較高之兩互斥作業群組; 並針對其中點圖機率較高之群組, 再依參與者本身之決策進一步分類爲選擇點圖機

臺灣大學學術期刊資料庫

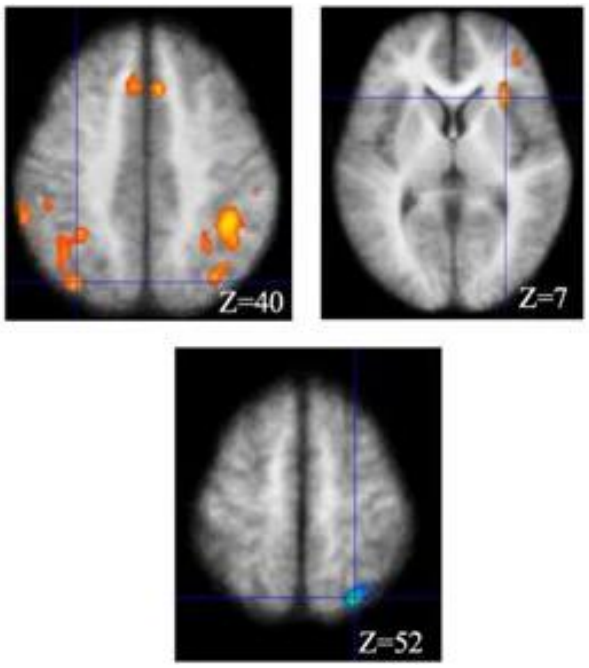


圖 7: 當點圖機率較高時, 越趨避點圖機率者, 其頂下葉、內側前額葉 (上左) 與前腦島 (上右) 於選擇點圖機率選項時越相對較選擇數字機率選項時活化; 整體機率判斷作業中, 越趨避點圖機率之參與者, 其後側上頂葉, 則相對較不活化 (下)。(相關大腦活化之彩色圖, 請至經濟論文叢刊網頁下載參閱。)

率 (dcspb_dot_O, 即選擇正確) 與選擇數字機率 (dcspb_dot_X, 即選擇錯誤) 兩個情境以了解其中可能差異。首先, 我們並未觀察到有任何腦區之平均活化程度在此兩情境間存在顯著差異, 反映作業過程本身對參與者而言, 應極爲相似。但有趣的是, 若參與者選擇數字機率選項之比例越高,[5] 其頂下葉 (Inferior Parietal Lobule, IPL)、腦島前緣和內側前額葉 (Medial Frontal Gyrus, MFG) 等腦區 (圖7上), 於選擇點圖機率選項時, 皆有較其選擇數字機率選項時更活化之現象。此行爲傾向與大腦活化高度正相關之結果, 輔以兩情境間大腦未有顯著差異, 暗示參與者之趨避行爲可能源於

[5]由於腦造影資料分析多建立在所有機率判斷作業上, 故此時之分析皆以參與者在點圖機率較高時卻選擇數字機率選項之比例爲其模糊趨避指標。

臺灣大學學術期刊資料庫

個人判斷過程或偏好上之差異性。由於在典型的模糊趨避實驗中, 參與者在面對模糊選項時相關腦區亦相對較活化 (Huettel et al., 2006); 且一般受試者在選擇較具風險選項時有相對活化之現象, 或被證實其活化情況與參與者之風險趨避程度呈正相關 (Paulus et al., 2003; Platt and Huettel, 2008), 顯示本實驗中參與者之模糊趨避傾向與一般風險趨避行爲之間具有高度之相似性。

由於行爲資料分析顯示參與者趨避模糊之傾向在機率判斷作業中極爲普遍, 我們推測其決策之心智過程中應與行爲指標間有顯著關連。在 GLM2 (附錄 2) 中, 我們重新將機率判斷之決策階段依照機率差距大小與呈現方式區分爲四個情境, 以協助了解不同情境下之大腦差異; 而我們也的確發現, 當參與者有較高之點圖趨避傾向時, 其右後側上頂葉 (Superior Parietal Lobule, SPL; $X = 24, Y = -67, Z = 52, k = 46$) (圖 7 下) 在四個情境下之平均活化程度則相對較低, 暗示該腦區活動與參與者在機率判斷作業之行爲傾向有之密切連結。

影像分析結果 1: 機率判斷作業中, 越趨避點圖機率之參與者, 其右側上頂葉, 則相對較不活化; 此外, 當點圖機率較大時, 其頂下葉、腦島前緣與內側前額葉等腦區, 則於選擇點圖機率選項時, 相對較選擇數字選項時更顯著活化。

既有文獻普遍發現頂葉在數學與計算的認知功能上扮演重要角色 (Andres et al., 2011; Arsalidou and Taylor, 2011; Harvey et al., 2013), 而後側上頂葉之活化, 則特別與處理數量資訊的注意力、感知與認知過程息息相關 (Berteletti, Man, and Booth, 2015; Dehaene et al., 2003)。由於機率判斷作業中參與者皆須先就點圖進行機率評估, 再與數字機率進行比較; 決策時段後側上頂葉之活化程度與行爲的相關, 可能反映出個人將評估階段點圖機率資訊加以處理之能力, 亦可能與比較兩機率之能力有關。而若與後者有關, 則其活化應與參與者之判斷正確率有緊密聯結, 但無論是在機率差距大或小之情況下, 兩者間皆未觀察到顯著相關。

另外, 前文提及參與者在選項間機率差距小時, 有相對較機率差距大時顯著之趨避點圖行爲; 若頂葉之活化與趨避點圖有關, 亦應反映類似之變化。我們進一步分別分析該腦區在機率差距小、大時, 其活化程度與參與

臺灣大學學術期刊資料庫

者模糊趨避之關聯性, 得到相關係數分別爲 −0.769 與 −0.643, 也的確支持在機率差距小時, 上頂葉活化與趨避行爲之間較機率差距大時有更強的連結。

此故, 結合前述影像與行爲分析結果, 我們對參與者模糊趨避的可能解釋是: 當機率資訊以點圖方式呈現時, 參與者較不容易有精確之評估, 而相對不擅處理點圖機率者, 即上頂葉在機率判斷過程中較不活化者, 可能從此感受到較高之資訊不確定性, 而在選擇點圖時會萌生較高風險感受, 以致相對壓抑自己選擇點圖選項之作爲, 相對亦啟動較多相關的認知控制, 進而讓自己傾向選擇心理上比較保險的選項, 即數字機率選項。

另一方面, 前述行爲分析觀察到, 參與者在複合與簡單機率呈現下之表現在點圖與數字機率差距大時, 並未有顯著差異; 但是當機率差距變小時, 其在複合呈現下之表現則顯著較簡單呈現下爲差。爲解析機率呈現方式與選項機率差距兩因素間交叉影響之心智歷程, GLM2 將機率判斷評估與決策階段之試驗各自分爲複合與簡單呈現兩類後, 再將決策階段細分爲機率差距小 (0.03) 與大 (0.08) 兩個群組, 以各自比對其在不同機率呈現下之腦部活化差異。圖 8 上欄顯示當機率差距較大時, 參與者之頂下葉、顳中回、額中回與額下回等腦區 (附錄 4), 在面對複合機率呈現時相對較面對簡單呈現時更爲活化; 而當機率差距小時, 圖 8 下欄顯示僅參與者之腹內側前額葉 (ventromedial prefrontal cortex: $X = -21$, $Y = 20$, $Z = -14$, Cluster size: 105) 與相鄰區域之活動顯著較機率差距小時壓抑。

影像分析結果 2: 面對複合機率呈現, 參與者之頂下葉與額中回等腦區在機率差距大時較簡單呈現時活化; 而腹內側前額葉與相鄰區域反而在機率差距小時較簡單呈現時壓抑; 且其尾狀核在複合機率呈現下, 並未若簡單機率呈現下能確實掌握點圖機率變化。

面對複合機率選項時, 參與者需要比面對簡單機率時作更多的機率評估並進行更複雜的整合過程, 圖 8 上欄中多數腦區所處的中央執行網路 (Central Executive Network) 的相對活化, 此時便能提供大腦更多資源、並協助處理較複雜的資訊與作業 (Chen et al., 2013; Sridharan, Levitin, and Menon, 2008)。相較於模糊趨避傾向與參與者個人之大腦活化差異具有強烈關聯, 但未導致選擇點圖與數字機率選項的大腦平均活化程度上有顯

臺灣大學學術期刊資料庫

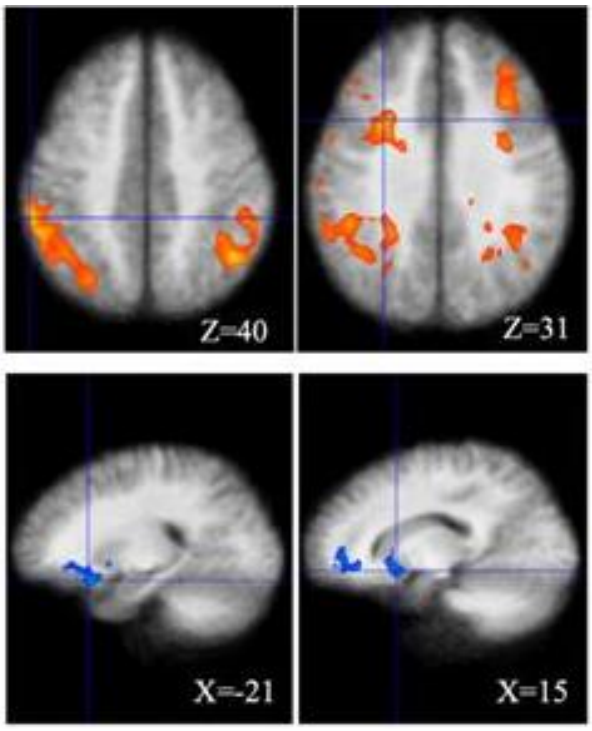


圖 8: 機率差距大時 (上), 頂下葉與額中回等區域普遍在面對複合機率呈現時較簡單呈現時活化; 但當機率差距小時, 腹內側前額葉與鄰近區域之活動卻相對較爲壓抑 (下)。

著差異; 複合機率呈現帶給所有參與者的是作業難度之普遍提高, 兩者間實有殊異。另外值得注意的是, 雖然上欄之複合呈現所平均活化腦區與越模糊趨避之參與者其相對活化腦區有部分重疊, 但卻未見腦島前緣與內側前額葉所處警覺迴路 (salience network) 的相對活化。由於相關區域普遍亦被視爲是情感相關迴路, 或許這也反映模糊趨避的過程中有較多個人情緒與私人偏好的參與, 而相對地, 複合機率下則主要伴隨大腦一般被視爲處理理性資訊重心的執行網路的相對活化 (Hytönen et al., 2014), 而這或許也是在機率差距大時, 參與者在面對複合呈現下, 相對較不趨避點圖選項之原因。

另一方面, 當機率差距小時, 圖 8 下欄則顯示截然不同的相對變化; 面

臺灣大學學術期刊資料庫

對複合機率, 此時反而是腹內側前額葉與相鄰區域之活化相對較面對簡單機率下壓抑。由於此區域除了在大腦從事偏好型決策相對活化 (Paulus and Frank, 2003), 也負責處理與評估決策選項的各類價值 (Chib et al., 2009; Hare et al., 2008; McNamee, Rangel, and O'Doherty, 2013; Paulus and Frank, 2003), 更與決策時之信心有關 (Lebreton et al., 2015); 其在價值評估上的重要性, 使我們懷疑此觀察可能反映簡單呈現下機率差距變小之影響, 而非機率呈現方式。的確, 我們在 GLM2 下另外確認腹內側前額葉 ($X = 9$, $Y = 20$, $Z = -8$, peak T: 4.331, Cluster size: 63) 亦是簡單呈現下、機率差距小較差距大唯一相對活化之區域, 呼應前述參與者在簡單呈現下, 由於機率差距變小而更依賴個人偏好決策, 或需對機率差異更敏銳注意的觀察。然而, 同樣在機率差距小, 又從簡單機率轉而面對複合機率時, 參與者除了未能依賴頂葉等腦區之活化以有效處理較複雜訊息, 亦無直覺觀察的偏好決策爲輔, 或許只能相對訴諸隨機決策, 以致造成該情境下較差之表現。

另外值得注意的是, 若進一步以 GLM3 (附錄 2) 進行參數調節分析, 以探索大腦活動與機率值變化之關聯, 可發現在評估階段時, 只有在面對簡單機率時, 參與者左側尾狀核 (Caudate, $X = -12$, $Y = 11$, $Z = 1$, peak T: 4.936, Cluster size: 101) 之活化與點圖機率變化呈高度正相關; 而在複合機率下則無。由於此區域對於決策標的物的評估扮演重要角色, 而資訊變化的掌握又對決策扮演重要角色, 顯示大腦雖在複合機率下有較多腦區活化以協助處理更複雜資訊, 但僅在簡單機率下能對機率變化有較多掌握。

4.3 影像資料分析結果 — 樂透選擇作業

在樂透選擇作業中, 當點圖樂透期望值較高, 相對應選樂透時, 參與者若仍偏好選擇固定值, 反映其選擇時相對給予期望值較低之權重, 心理上可能有較趨避樂透之傾向或較偏好固定報酬選項。由於前述行爲分析發現參與者趨避樂透之比例與其在機率判斷時之模糊趨避傾向十分類似且兩者間有高度正相關, 於是我們延續機率判斷作業時之分析模式, 先將樂透選擇之決策階段分爲樂透期望值較高與固定報酬較高兩種互斥情境, 隨後再

臺灣大學學術期刊資料庫

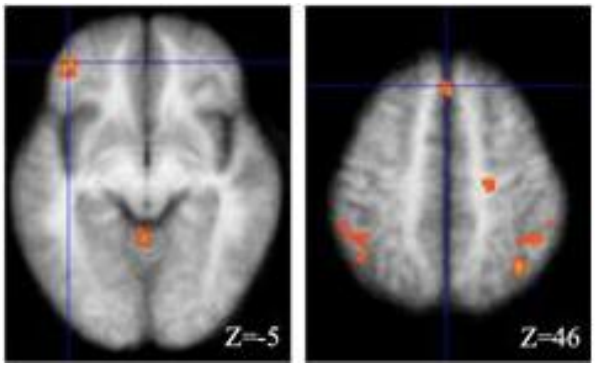


圖 9: 當點圖樂透期望值較高時, 越趨避點圖樂透者, 其選擇點圖樂透時有相對較選擇固定報酬時越高之眼眶額葉皮質 (左)、內側前額葉與頂下葉 (右) 之活化

將樂透期望值較高之情境依參與者選擇細分爲選擇樂透與選擇固定報酬兩類試驗 (GLM1), 並分析兩類試驗間血氧濃度訊號差異與參與者趨避樂透傾向之關係, 以瞭解其趨避樂透的心智過程。結果如圖 9 所示, 越趨避點圖樂透之參與者, 其眼眶額葉皮質、內側前額葉與頂下葉等腦區在選擇樂透時, 相對較其選擇固定報酬時活化 (附錄 5)。由於此結果與前述模糊趨避頗爲類似, 我們也進一步利用 GLM2 探索在樂透選擇時大腦活動與模糊趨避傾向之連結, 發現若參與者在機率判斷作業中有較高之點圖趨避傾向, 在樂透選擇的決策階段時, 與前述發現重疊的右後側上頂葉 (SPL; $X = 27, Y = -67, Z = 52, k = 29$) 之平均活化程度亦相對較低。

影像分析結果 3: 越趨避樂透者, 當樂透期望值較高時, 其左側眼眶皮質、內側前額葉、和頂下葉等腦區, 於選擇樂透選項時, 較選擇固定報酬時更活化; 此外, 機率判斷作業中越模糊趨避之參與者, 其右側上頂葉, 在樂透選擇作業中, 亦相對較不活化。

雖然觀察趨避樂透與機率判斷中模糊趨避的機制類似, 即大腦執行網路與警覺網路同時在選擇樂透時相對較其選擇固定報酬時更活化, 但其中亦有些許差異: 越趨避樂透之參與者雖未觀察到顯著腦島前緣活化, 但相對則有較強烈的左側眼眶皮質之活化。由於風險決策研究普遍發現若參

臺灣大學學術期刊資料庫

與者越趨避風險, 其眼眶皮質在進行風險決策時亦相對活化 (Mohr et al., 2010; Tobler et al., 2007), 而腦島前緣在不同風險、報酬的比較中則未必如此; 我們推測在機率判斷中, 機率是選項間唯一的差異, 造成較明顯的風險對比、使選擇點圖引起較立即的風險感受, 而激發較強烈的腦島反應; 相對地, 樂透選擇中, 點圖選項與固定報酬同時在機率與報酬上有所不同, 對比的機率差異與風險感受被淡化, 同時也需要參與者較多的心力投入數值評估, 故造成前述兩作業中類似機制下之大腦活化差異。不過更值得注意的是, 在機率判斷之決策階段活化程度與參與者之模糊趨避傾向強烈負相關的上頂葉腦區, 此時在樂透選擇作業中, 其活化程度亦同樣與參與者之模糊趨避傾向呈強烈負相關, 此結果顯示該腦區活動與本實驗中參與者普遍展現的模糊趨避及風險趨避行爲之間有密切連結。由於參與者在所有作業中皆需透過評估點圖機率並與數字機率或固定報酬比較以完成決策, 上頂葉腦區活化可能與點圖機率的評估表現有關, 透過對兩作業下之決策類似的影響, 造成本實驗兩種行爲傾向間的高度正相關。易言之, 這可視爲 Fox and Tversky (1995) 比較性忽略原則的一種展現, 而透過腦造影分析, 本研究提供此不同情境之行爲間具有高度關聯性的一種可能解釋。

本研究的另一個重點是探索機率呈現之影響, 有鑒於行爲分析觀察到固定報酬與期望值之差異絕對值小時, 複合機率呈現對選擇樂透比例有顯著影響, 爲解析可能原因, 我們將試驗依兩選項期望值之差異絕對值分爲差異絕對值大或小兩大類, 再細分爲複合或簡單機率呈現兩組, 並分別檢視其差異 (GLM2)。結果類似機率判斷時之發現, 即在期望值之差異絕對值大時, 中央後回 (Postcentral Gyrus)、額中回、下頂葉、顳上回 (Superior Temporal Gyrus, STG) 等處在複合相較於簡單樂透顯著較活化 (附錄 6), 反映面對複合樂透時, 可能相對運用較多過往學習建立的快捷運算方式 (van der Ven et al., 2016) 或與腦島前緣有較多功能性連結 (Chang, Lee, and Metcalfe, 2018) 以整合相對較複雜之機率與價值資訊, 以形成主觀評價並與固定報酬比較; 而在差異絕對值夠大下, 並未導致參與者在面對不同機率呈現之行爲上有顯著歧異。然而, 當差異絕對值小時, 除額下回以外, 我們同樣觀察到參與者之顳上回等腦區反而普遍在複合樂透下較不活化 (附錄 6)。圖 10 顯示相同位置之顳上回在機率差距大、小兩情境下, 由

臺灣大學學術期刊資料庫

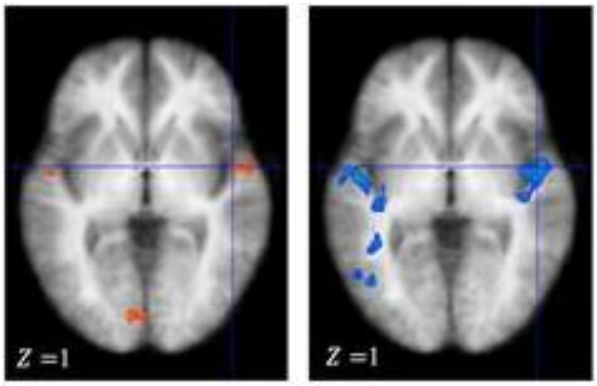


圖 10: 相同位置之顳上回 ($X = 48, Y = -1, Z = 1$) 在樂透期望值差距大時, 於複合機率下較簡單機率下活化 (左); 卻在期望值差距小時, 相對較不活化。

複合機率呈現所帶來截然不同影響。由於該腦區在資訊整合扮演重要角色 (Binder et al., 2004; Ozker, Yoshor, and Beauchamp, 2018), 推測複合機率下但差異絕對值小時, 參與者反而無法整合樂透之機率與價值資訊並與固定報酬比較, 也因而產生較面對簡單樂透時不一致之行爲。

最後, 我們也試圖了解爲何參與者在面對複合樂透時, 相對能擺脫模糊趨避或風險趨避之影響。透過聚焦在樂透期望值較高, 也是其決策最受模糊趨避影響時之分析 (GLM1), 我們發現在樂透期望值較高時, 若參與者受到機率呈現較多影響, 即因樂透由簡單到複合, 而提升較多樂透選擇者, 其中央前回、額下回等腦區 (圖 11 與附錄 7) 在選擇樂透相對較其選擇固定報酬時有越不活化之情況。由於相關區域在自我控制與行爲抑制扮演重要角色 (Hare, Camerer, and Rangel, 2009; Hayashi et al., 2013), 反映出模糊趨避或偏好型決策者, 可能運用了更多的自我控制; 而相對受複合機率呈現影響者, 反而因爲更專注在資訊處理上而相對有較少的自我抑制, 以致偏離原來的偏好型決策模式。

影像分析結果 4: 樂透期望值與固定報酬差距大時, 顳上回等腦區在面對複合樂透時較面對簡單樂透時活化; 但差距小時, 顳上回等腦區則更見壓抑。此外; 參與者受複合機率影響程度與其中央前回、額下回等腦區活化成

臺灣大學學術期刊資料庫

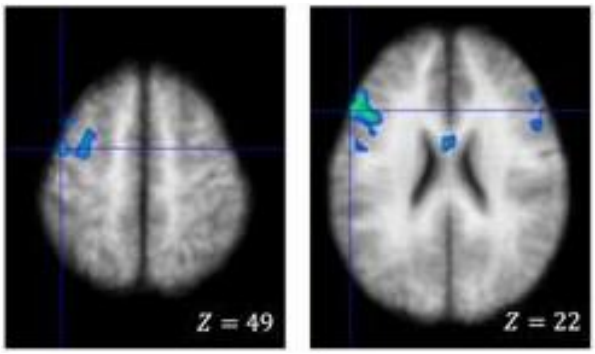


圖 11: 受複合機率影響而增加樂透選擇比例越多之參與者, 其中央前回、額下回等腦區, 在選擇樂透時較選擇固定報酬時相對不活化

反比。

5 結論與建議

本文以功能性腦造影實驗探索機率資訊不確定性, 與不同機率呈現方式如何影響決策者以及兩者間可能之交互作用。

相對於確定的數字機率資訊, 機率資訊不確定性使參與者明顯趨避以點圖顯示機率資訊之選項, 而造成其答題表現隨著正確選項不同而有顯著差異, 而這模糊趨避傾向亦會隨著選項間機率差距變小而更凸顯。另一方面, 複合機率的呈現方式, 在機率差距大時, 讓參與者較不受模糊趨避影響, 而在機率差距小時, 則會使其表現進一步變差。

在面對樂透選擇時, 參與者亦有趨避點圖樂透而偏好固定報酬之傾向; 而其風險趨避傾向與機率判斷之模糊趨避傾向呈高度正相關, 呼應 Fox and Tversky (1995) 所提的比較性忽略原則。有趣的是, 我們觀察到複合樂透造成參與者增加樂透選擇之比例, 亦與其模糊趨避傾向呈正相關, 顯示其削弱模糊趨避之影響。

在腦造影分析結果上, 若參與者趨避點圖機率選項較嚴重, 其上頂葉在機率判斷與樂透選擇中皆較不活化, 反映點圖機率評估表現與趨避傾向之可能連結。其中, 中前額葉與腦島前緣等腦區在選擇點圖時若較選擇數字機率時越活化, 則參與者亦有較強烈之趨避點圖機率傾向; 而眼眶額葉與

臺灣大學學術期刊資料庫

中前額葉等腦區在選擇樂透時較選擇固定報酬時越活化, 則參與者趨避樂透選項之比例亦越高。

機率呈現方式之影響則相對多元, 雖然在面對複合機率且選項間機率差距大時, 大腦可藉由下頂葉等腦區活化來處理較複雜資訊, 但在選項間機率差距小時, 相關腦區反而在面對複合機率較爲壓抑, 反映參與者表現受限的可能原因。此外, 若參與者在樂透期望值較高時, 因爲機率呈現由簡單到複合而提升較多樂透選擇, 其中央前回、額下回等腦區在選擇樂透時則相對較其選擇固定報酬時較不活化。此結果反映模糊趨避或偏好型決策者, 可能運用了更多的自我抑制; 而複合機率反而讓其專注在資訊處理上而相對展現較少的自我抑制, 以致偏離原來的偏好型決策模式。

臺灣大學學術期刊資料庫

附錄

附錄 1: 樂透選擇作業之正式實驗數據 (表中上側為對應固定報酬為 100 之樂透, 而下側則為對應固定報酬為 300 之樂透)

NT 100						
Simple			Compound			
p	m	ev	p1	p2	m	ev
0.310	400	124	0.3263	0.95	400	124
0.190	400	76	0.4359	0.4359	400	76
0.133	400	53.2	0.14	0.95	400	53.2
0.310	600	186	0.5568	0.5568	600	186
0.190	600	114	0.20	0.95	600	114
0.133	600	79.8	0.3647	0.3647	600	79.8
0.310	900	279	0.3263	0.95	900	279
0.190	900	171	0.4359	0.4359	900	171
0.133	900	119.7	0.14	0.95	900	119.7
0.310	400	124	0.5568	0.5568	400	124
0.310	400	124	0.3263	0.95	400	124
0.190	600	114	0.4359	0.4359	600	114
0.190	600	114	0.2	0.95	600	114
0.133	900	119.7	0.3647	0.3647	900	119.7
0.133	900	119.7	0.14	0.95	900	119.7
	Mean	127.8733			Mean	127.8733
	SE	5.31E+01			SE	5.31E+01
NT 300						
Simple			Compound			
p	m	ev	p1	p2	m	ev
0.910	400	364	0.9540	0.9539	400	364
0.590	400	236	0.6211	0.95	400	236
0.390	400	156	0.6245	0.6245	400	156
0.910	600	546	0.9579	0.95	600	546
0.590	600	354	0.7681	0.7681	600	354

續接下頁

臺灣大學學術期刊資料庫

承接上頁

NT 300

Simple	Compound					
p	m	ev	p1	p2	m	ev
0.390	600	234	0.4105	0.95	600	234
0.910	900	819	0.9539	0.9539	900	819
0.590	900	531	0.6211	0.95	900	531
0.390	900	351	0.6245	0.6245	900	351
0.910	400	364	0.9579	0.95	400	364
0.910	400	364	0.9539	0.9539	400	364
0.590	600	354	0.6211	0.95	600	354
0.590	600	354	0.7681	0.7681	600	354
0.390	900	351	0.4105	0.95	900	351
0.390	900	351	0.6245	0.6245	900	351
	Mean	381.9333			Mean	381.9333
	SE	155.9691			SE	155.9691

說明: 每列代表相對於固定報酬之一樂透設計: 左邊爲簡單樂透, 右邊則爲等值之複合樂透; p 爲簡單樂透之機率、m 爲報酬、ev 爲其期望值, p1/p2 則爲複合機率下之個別機率, 相乘積應等於 p。ev 有底線數字之試驗之期望值低於固定報酬, 我們視之爲捕捉試驗, 參與者若面對此類試驗時有半數以上選擇樂透將不列入分析。

臺灣大學學術期刊資料庫

附錄 2: 腦造影分析之各種線性模型設定

	stage	GLM1	GLM2	GLM3
Prob task	Evaluation	evpb_cmp evpb_sim	evpb_cmp evpb_sim	evpb_cmp evpb_cmp× dotpb evpb_sim evpb_sim× dotpb
	Decision	dcspb_num dcspb_dot_O dcspb_dot_X	dcspb_cmp03 dcspb_cmp08 dcspb_sim03 dcspb_sim08	dcspb_cmp dcspb_cmp× numpb dcspb_cmp× (numpb/dotpb) dcspb_sim dcspb_sim× numpb dcspb_sim× (numpb/dotpb)
Lottery task	Evaluation	evltr_cmp evltr_sim	evltr_cmp evltr_sim	evltr_cmp evltr_sim
	Decision	dcsltr_certain dcsltr_dot_lottery dcsltr_dot_certain	dcsltr_cmp_sEVdiff dcsltr_cmp_lEVdiff dcsltr_sim_sEVdiff dcsltr_sim_lEVdiff	dcsltr_cmp dcsltr_cmp× certain dcsltr_cmp× (certain/ltrEV) dcsltr_sim dcsltr_sim× certain dcsltr_sim× (certain/ltrEV)
	missing/other time interval excluded from analysis	other	other	other
	fixation	null	null	null

GLM1:

evpb_cmp: 機率判斷之評估階段_複合機率

evpb_sim: 機率判斷之評估階段_簡單機率

dcspb_num: 機率判斷之決策階段_數字機率較高

dcspb_dot_O: 機率判斷之決策階段_點圖機率較高, 且選擇點圖

dcspb_dot_X: 機率判斷之決策階段_點圖機率較高, 但選擇數字

evltr_cmp: 樂透選擇之評估階段_複合機率

evltr_sim: 樂透選擇之評估階段_簡單機率

dcsltr_certain: 樂透選擇之決策階段_固定報酬期望值較高

dcsltr_dot_lottery: 樂透選擇之決策階段_點圖樂透期望值較高, 且選擇

臺灣大學學術期刊資料庫

樂透
dcsltr_dot_certain: 樂透選擇之決策階段_點圖樂透期望值較高, 且選擇固定報酬
other: 參與者未作答或其他不感興趣階段
null: 試驗間隔階段 (Inter-Trial Interval, ITI)

GLM2: (**僅列出不同於上述模型之變數**)
dcspb_cmp03: 機率判斷之決策階段_複合機率且機率差距小 (0.03)
dcspb_cmp08: 機率判斷之決策階段_複合機率且機率差距大 (0.08)
dcspb_sim03: 機率判斷之決策階段_簡單機率且機率差距小 (0.03)
dcspb_sim08: 機率判斷之決策階段_簡單機率且機率差距大 (0.08)
dcsltr_cmp_sEVdiff: 樂透選擇之決策階段_複合機率且期望值差距小
dcsltr_cmp_lEVdiff: 樂透選擇之決策階段_複合機率且期望值差距大
dcsltr_sim_sEVdiff: 樂透選擇之決策階段_簡單機率且期望值差距小
dcsltr_sim_lEVdiff: 樂透選擇之決策階段_簡單機率且期望值差距大

GLM3:
evpb_cmp× dotpb: 機率判斷之評估階段_複合機率× 點圖機率
evpb_sim× dotpb: 機率判斷之評估階段_簡單機率× 點圖機率
dcspb_cmp× numpb: 機率判斷之決策階段_複合機率× 數字機率
dcspb_cmp× (numpb/dotpb): 機率判斷之決策階段_複合機率× (數字機率/點圖機率)
dcspb_sim× numpb: 機率判斷之決策階段_簡單機率× 數字機率
dcspb_sim× (numpb/dotpb): 機率判斷之決策階段_簡單機率× (數字機率/點圖機率)
dcsltr_cmp× certain: 樂透選擇之決策階段_複合機率× 固定報酬
dcsltr_cmp× (certain/ltrEV): 樂透選擇之決策階段_複合機率× (固定報酬/樂透期望值)
dcsltr_sim× certain: 樂透選擇之決策階段_簡單機率× 固定報酬
dcsltr_sim× (certain/ltrEV): 樂透選擇之決策階段_簡單機率× (固定報酬/樂透期望值)

臺灣大學學術期刊資料庫

附錄 3: 機率判斷之決策階段且點圖機率較高時，選擇點圖機率與選擇數字機率選項之差異，與參與者模糊趨避傾向顯著相關之腦區

	TAL coordinates			Cluster size	
Region	X	Y	Z	(voxels)	Peak R
LH Parietal Lobe	−33	−70	40	209	0.7505
RH Parietal Lobe	−24	−52	1	238	0.7431
R/L H Medial Frontal Gyrus	6	23	40	126	0.7400
RH Insula	30	20	7	40	0.7170
LH Precentral Gyrus	−30	5	28	80	0.6710

說明: Region 爲活化與模糊趨避相關腦區, TAL coordinates 爲該腦區相關程度最高之點座標, Cluster size 爲通過統計檢定顯著之腦區大小, Peak R 則爲該腦區活化與行爲指標相關係數最高點座標之相關係數。

附錄 4: 機率判斷之決策階段時，機率差距大時，複合機率下較簡單機率小更活化之腦區

	TAL coordinates			Cluster size	
Region	X	Y	Z	(voxels)	Peak T
LH Inferior Parietal Lobule	−57	−37	40	317	6.047
RH Inferior Parietal Lobule	42	−55	40	294	5.933
LH Precentral Gyrus	−27	11	31	110	5.193
RH Middle Frontal Gyrus	33	20	31	64	5.006
LH Middle Frontal Gyrus	−42	32	28	151	4.938
RH Inferior Frontal Gyrus	48	32	1	73	4.868
LH Cingulate Cortex	−24	−43	31	103	4.855
RH Middle Temporal Gyrus	33	−55	7	41	4.672
LH Cuneus	−21	−76	1	61	4.455
RH Precentral Gyrus	33	−1	31	110	4.275
RH Superior Temporal Gyrus	39	−28	1	26	4.031
RH Cuneus	9	88	16	54	3.853

說明: Peak T 則爲該腦區最爲活化點座標之 t 值, 其他說明同附錄 3。

臺灣大學學術期刊資料庫

附錄5: 樂透選擇之決策階段且樂透期望值較高時，選擇點圖與選擇固定報酬選項之差異，與參與者選擇固定報酬比例顯著相關之腦區

	TAL coordinates			Cluster size	
Region	X	Y	Z	(voxels)	Peak R
LH Orbitofrontal cortex	−39	44	−5	46	0.754
LH Medial Frontal Gyrus	0	23	46	31	0.698
LH Supramarginal Gyrus	−42	−49	37	111	0.692
RH Inferior Parietal Lobule	36	−61	45	62	0.676
LH Culmen	0	−43	−2	25	0.660
RH Cingulate Gyrus	18	−16	46	20	0.598

附錄6: 樂透選擇之決策階段，複合機率下較簡單機率下更活化之腦區

(1) 選項間期望值差距大時

	TAL coordinates			Cluster size	
Region	X	Y	Z	(voxels)	Peak T
RH Postcentral Gyrus	57	−10	13	225	6.055
LH Middle Frontal Gyrus	−42	32	25	35	4.968
RH Inferior Parietal Lobule	36	−37	43	72	4.845
LH Supramarginal Gyrus	−57	−34	37	36	4.772
LH Precuneus	−24	−64	31	29	4.683
LH Precentral Gyrus	−54	−1	34	36	4.624
RH Middle Frontal Gyrus	36	50	16	49	4.557
LH Inferior Parietal Lobule	−33	−46	43	52	4.514
LH Superior Temporal Gyrus	−54	−4	4	44	4.351
LH Cuneus	−9	−82	−2	28	4.141
LH Inferior Frontal Gyrus	−51	14	19	21	4.043

臺灣大學學術期刊資料庫

(2) 選項間期望值差距小時

Region	TAL coordinates X	Y	Z	Cluster size (voxels)	Peak T
LH Inferior Frontal Gyrus	−51	8	19	41	4.4020
LH Superior Temporal Gyrus	−39	−37	7	72	−6.0430
RH Insula	42	−7	−2	231	−5.7240
LH Superior Temporal Gyrus	−33	−31	13	59	−5.6620
LH Cingulate Gyrus	−6	−46	49	51	−5.6010
LH Superior Temporal Gyrus	−57	−7	4	175	−5.3990
RH Cingulate Gyrus	15	−22	40	55	−5.3870
LH Cingulate Gyrus	−15	−22	37	36	−4.8260
RH Claustrum	33	−1	−11	22	−4.5720
RH Precuneus	18	−49	49	93	−4.4550
RH Caudate	33	−31	−5	22	−4.4070
LH Precentral Gyrus	−36	−16	61	37	−3.9160
LH Cingulate Gyrus	−3	−1	34	23	−3.8488

附錄 7：樂透選擇之決策階段且樂透期望值較高時，選擇樂透與選擇固定報酬選項之差異，與參與者因簡單至複合呈現所增加樂透選擇比例顯著相關之腦區

Region	TAL coordinates X	Y	Z	Cluster size (voxels)	Peak R
LH Precentral Gyrus	−45	−1	49	76	−0.763
LH Inferior Frontal Gyrus	−54	20	22	104	−0.752
LH Middle Temporal Gyrus	−57	−52	−8	34	−0.743
RH Inferior Frontal Gyrus	45	17	25	28	−0.718
LH Precuneus	−9	−61	37	28	−0.713
LH Cingulate Gyrus	−3	2	22	27	−0.661
LH Claustrum	−30	8	1	28	−0.630
LH Inferior Frontal Gyrus	−48	35	10	21	−0.611

臺灣大學學術期刊資料庫

參考文獻

Abdellaoui, Mohammed, Peter Klibanoff, and Laetitia Placido (2015), "Experiments on Compound Risk in Relation to Simple Risk and to Ambiguity," *Management Science*, 61(6), 1306–1322.

Andres, Michael, Barbara Pelgrims, Nicolas Michaux, Etienne Olivier, and Mauro Pesenti (2011), "Role of Distinct Parietal Areas in Arithmetic: An fMRI-Guided Tms Study," *NeuroImage*, 54(4), 3048–3056.

Arsalidou, Marie and Margot J. Taylor (2011), "Is 2+2 = 4? Meta-Analyses of Brain Areas Needed for Numbers and Calculations," *NeuroImage*, 54(3), 2382–2393.

Berteletti, Ilaria, G. Man, and James R. Booth (2015), "How Number Line Estimation Skills Relate to Neural Activations in Single Digit Subtraction Problems," *NeuroImage*, 107, 198–206.

Binder, Jeffrey R., Einat Liebenthal, Edward T. Possing, David A. Medler, and B. Douglas Ward (2004), "Neural Correlates of Sensory and Decision Processes in Auditory Object Identification," *Nature Neuroscience*, 7(3), 295–301.

Burke, Christopher J. and Philippe N. Tobler (2011), "Reward Skewness Coding in the Insula Independent of Probability and Loss," *Journal of Neurophysiology*, 106(5), 2415–2422.

Chang, Ting-Ting, Pei-Hong Lee, and Arron W. S. Metcalfe (2018), "Intrinsic Insula Network Engagement Underlying Children's Reading and Arithmetic Skills," *NeuroImage*, 167, 162–177.

Chen, Ashley C., Desmond J. Oathes, Catie Chang, Travis Bradley, Zheng-Wei Zhou, Leanne M. Williams, Gary H. Glover, Karl Deisseroth, and Amit Etkin (2013), "Causal Interactions between Fronto-Parietal Central Executive and Default-Mode Networks in Humans," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(49), 19944–19949.

Chib, Vikram S., Antonio Rangel, Shinsuke Shimojo, and John P. O'Doherty (2009), "Evidence for a Common Representation of Decision Values for Dissimilar Goods in Human Ventromedial Prefrontal Cortex," *Journal of Neuroscience*, 29(39), 12315–12320.

Dale, Anders M. (1999), "Optimal Experimental Design for Event-Related fMRI," *Human Brain Mapping*, 8(2–3), 109–114.

Dehaene, Stanislas, Manuela Piazza, Philippe Pinel, and Laurent Cohen (2003), "Three Parietal Circuits for Number Processing," *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 487–506.

臺灣大學學術期刊資料庫

Ellsberg, Daniel (1961), "Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms," *Quarterly Journal of Economics*, 75(4), 643–669.

FitzGerald, Thomas H. B., Ben Seymour, Dominik R. Bach, and Raymond J. Dolan (2010), "Differentiable Neural Substrates for Learned and Described Value and Risk," *Current Biology*, 20(20), 1823–1829.

Fox, Craig R. and Amos Tversky (1995), "Ambiguity Aversion and Comparative Ignorance," *Quarterly Journal of Economics*, 110(3), 585–603.

Grinband, Jack, Joy Hirsch, and Vincent P. Ferrera (2006), "A Neural Representation of Categorization Uncertainty in the Human Brain," *Neuron*, 49(5), 757–763.

Halevy, Yoram (2007), "Ellsberg Revisited: An Experimental Study," *Econometrica*, 75(2), 503–536.

Hare, Todd A., Colin F. Camerer, and Antonio Rangel (2009), "Self-Control in Decision-Making Involves Modulation of the Vmpfc Valuation System," *Science*, 324(5927), 646–648.

Hare, Todd A., John O'Doherty, Colin F. Camerer, Wolfram Schultz, and Antonio Rangel (2008), "Dissociating the Role of the Orbitofrontal Cortex and the Striatum in the Computation of Goal Values and Prediction Errors," *Journal of Neuroscience*, 28(22), 5623–5630.

Harrison, Glenn W., Jimmy Martínez-Correa, and J. Todd Swarthout (2015), "Reduction of Compound Lotteries with Objective Probabilities: Theory and Evidence," *Journal of Economic Behavior and Organization*, 119, 32–55.

Harvey, Ben M., Barrie P. Klein, Natalia Petridou, and Serge O. Dumoulin (2013), "Topographic Representation of Numerosity in the Human Parietal Cortex," *Science*, 341(6150), 1123–1126.

Hayashi, Takuya, Ji Hyun Ko, Antonio P. Strafella, and Alain Dagher (2013), "Dorsolateral Prefrontal and Orbitofrontal Cortex Interactions During Self-Control of Cigarette Craving," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(11), 4422–4427.

Heath, Chip and Amos Tversky (1991), "Preference and Belief: Ambiguity and Competence in Choice under Uncertainty," *Journal of Risk and Uncertainty*, 4(1), 5–28.

Hsu, Ming, Meghana Bhatt, Ralph Adolphs, Daniel Tranel, and Colin F. Camerer (2005), "Neural Systems Responding to Degrees of Uncertainty in Human Decision-Making," *Science*, 310(5754), 1680–1683.

Huettel, Scott A., Allen W. Song, and Gregory McCarthy (2005), "Decisions under Uncertainty: Probabilistic Context Influences Activation of

臺灣大學學術期刊資料庫

Prefrontal and Parietal Cortices," *Journal of Neuroscience*, 25(13), 3304–3311.

Huettel, Scott A., C. Jill Stowe, Evan M. Gordon, Brent T. Warner, and Michael L. Platt (2006), "Neural Signatures of Economic Preferences for Risk and Ambiguity," *Neuron*, 49(5), 765–775.

Hytönen, Kaisa, Guido Baltussen, Martijn J. van den Assem, Vasily Klucharev, Alan G. Sanfey, and Ale Smidts (2014), "Path Dependence in Risky fMRI Choice: Affective and Deliberative Processes in Brain and Behavior," *Journal of Economic Behavior and Organization,* 107(Part B), 566–581.

Kahneman, Daniel and Amos Tversky (1979), "Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk," *Econometrica*, 47(2), 263–291.

Kaivanto, Kim and Eike B. Kroll (2012), "Negative Recency, Randomization Device Choice, and Reduction of Compound Lotteries," *Economics Letters*, 115(2), 263–267.

Kleiner, Mario, David Brainard, Denis Pelli, Allen Ingling, Richard Murray, and Christopher Broussard (2007), "What's New in Psychtoolbox-3," *Perception*, 36 ECVP Abstract Supplement, 1–16.

Kuo, Wen-Jui, Tomas Sjostrom, Yu-Ping Chen, Yen-Hsiang Wang, and Chen-Ying Huang (2009), "Intuition and Deliberation: Two Systems for Strategizing in the Brain," *Science*, 324(5926), 519–522.

Lebreton, Mael, Raphaelle Abitbol, Jean Daunizeau, and Mathias Pessiglione (2015), "Automatic Integration of Confidence in the Brain Valuation Signal," *Nature Neuroscience*, 18(8), 1159–1167.

Liu, Pang-Jung, Chun-Chia Kung, Kai-Han Tseng, and Ming-Hung Weng (2016), "Aversions against Compound Lotteries-Lessons from Experimental Results of Visual Motion Tasks," *Taiwan Economic Review*, 44(3), 511–541.

McNamee, Daniel, Antonio Rangel, and John P. O'Doherty (2013), "Category-Dependent and Category-Independent Goal-Value Codes in Human Ventromedial Prefrontal Cortex," *Nature Neuroscience*, 16(4), 479–485.

Mohr, Peter N. C., Guido Biele, and Hauke R. Heekeren (2010), "Neural Processing of Risk," *Journal of Neuroscience*, 30(19), 6613–6619.

Mohr, Peter N. C., Guido Biele, Lea K. Krugel, Shu-Chen Li, and Hauke R. Heekeren (2010), "Neural Foundations of Risk-Return Trade-Off in Investment Decisions," *NeuroImage*, 49(3), 2556–2563.

臺灣大學學術期刊資料庫

Ozker, Muge, Daniel Yoshor, and Michael S. Beauchamp (2018), "Converging Evidence from Electrocorticography and Bold fMRI for a Sharp Functional Boundary in Superior Temporal Gyrus Related to Multisensory Speech Processing," *Frontiers in Human Neuroscience*, 12(141), 1–13.

Paulus, Martin P. and Lawrence R. Frank (2003), "Ventromedial Prefrontal Cortex Activation Is Critical for Preference Judgments," *NeuroReport*, 14(10), 1311–1315.

Paulus, Martin P., Corianne Rogalsky, Alan Simmons, Justin S. Feinstein, and Murray B. Stein (2003), "Increased Activation in the Right Insula During Risk-Taking Decision Making Is Related to Harm Avoidance and Neuroticism," *NeuroImage*, 19(4), 1439–1448.

Platt, Michael L. and Scott A. Huettel (2008), "Risky Business: The Neuroeconomics of Decision Making under Uncertainty," *Nature Neuroscience*, 11(4), 398–403.

Preuschoff, Kerstin, Peter Bossaerts, and Steven R. Quartz (2006), "Neural Differentiation of Expected Reward and Risk in Human Subcortical Structures," *Neuron*, 51(3), 381–390.

Preuschoff, Kerstin, Steven R. Quartz, and Peter Bossaerts (2008), "Human Insula Activation Reflects Risk Prediction Errors as Well as Risk," *Journal of Neuroscience*, 28(11), 2745–2752.

Rothschild, Michael and Joseph E. Stiglitz (1970), "Increasing Risk: I. A Definition," *Journal of Economic Theory*, 2(3), 225–243.

Sridharan, Devarajan, Daniel J. Levitin, and Vinod Menon (2008), "A Critical Role for the Right Fronto-Insular Cortex in Switching between Central-Executive and Default-Mode Networks," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(34), 12569–12574.

Talairach, Jean and Pierre Tournoux (1988), *Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain: 3-Dimensional Proportional System — an Approach to Cerebral Imaging*, New York: Thieme Medical Publishers.

Tobler, Philippe N., John P. O'Doherty, Raymond J. Dolan, and Wolfram Schultz (2007), "Reward Value Coding Distinct from Risk Attitude-Related Uncertainty Coding in Human Reward Systems," *Journal of Neurophysiology*, 97(2), 1621–1632.

van der Ven, Frauke, Atsuko Takashima, Eliane Segers, Guillén Fernández, and Ludo Verhoeven (2016), "Non-Symbolic and Symbolic Notations in Simple Arithmetic Differentially Involve Intraparietal Sulcus and Angular Gyrus Activity," *Brain Research*, 1643, 91–102.

臺灣大學學術期刊資料庫

von Neumann, John and Oskar Morgenstern (1944), *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton: Princeton Univeristy Press.

Wu, Shih-Wei, Mauricio R. Delgado, and Laurence T. Maloney (2011), "The Neural Correlates of Subjective Utility of Monetary Outcome and Probability Weight in Economic and in Motor Decision under Risk," *Journal of Neuroscience*, 31(24), 8822–8831.

——— (2015), "Gambling on Visual Performance: Neural Correlates of Metacognitive Choice between Visual Lotteries," *Frontiers in Neuroscience*, 9(314), 1–13.

Yu, Rongjun, Dean Mobbs, Ben Seymour, and Andrew J. Calder (2010), "Insula and Striatum Mediate the Default Bias," *Journal of Neuroscience*, 30(44), 14702–14707.

投稿日期: 2017年1月26日, 接受日期: 2021年11月2日

臺灣大學學術期刊資料庫

Decision Making with Uncertain Probability Information

Ming-Hung Weng

Department of Economics, National Cheng Kung University

I-Jeng Hsu

Department of Economics, National Cheng Kung University

The present research examines how uncertainty in probability information may shape decision making when facing risk with an fMRI experiment. In a probability evaluation task where the probability differences between binary choices is insignificant, we find participants usually avert the options with ambiguous probability information and violate the axiom of reduction of compound lotteries (ROCL) . Although the two effects are not related, the exhibited tendency of ambiguity aversion is closely linked to the participant's preference towards the constant reward when choosing between that and a lottery. In addition to identifying the distinct neural networks underlying ambiguity aversion and the violation of ROCL, the brain imaging analyses from both the probability evaluation and lottery choice task find decreased brain activity in the superior parietal lobule for participants with a stronger tendency for ambiguity aversion and suggest a possible common source for the similar aversive behavior.

Keywords: ambiguity aversion, axiom of reduction of compound lotteries, fMRI experiment, superior parietal lobule

JEL classification: D81, D87, D91

臺灣大學學術期刊資料庫