

國立政治大學資訊管理學系研究所

碩士學位論文

以社群網路分析探討雙系統大腦決策機制

Dual Process Theory of Decision Making:

A Social Network Analysis

指導教授： 梁定澎 博士

周彥君 博士

研究生： 劉家宏 撰

中華民國 一零七年 七月

摘要

我們日常生活中的行為、決策都深受著我們思考模式的影響，近年來在資管領域中，也越來越多的學者開始研究軟體專案經理在不同情況下進行專案決策時背後的決策思考機制。過去在研究人類決策與思考機制的學者，提出了一套雙系統理論(Dual Process Theory)，將人類的決策機制分成兩種不一樣的系統。系統一的決策機制屬於較自動化、依靠情感與直覺；系統二的決策屬於非自動化、依靠邏輯與證據分析。近年來有許多大腦思考模式的相關研究，透過功能性磁振造影(Functional Magnetic Reasoning Imaging, fMRI)來更深入了解不同決策機制下的腦區反應機制，但由於實驗的情境不同與大腦本身的複雜性，使得各個研究的腦區反應結果不盡相同，讓後續學者更難以解讀實驗結果腦區與決策機制的關聯性。

本研究整理近年來與雙系統思考模式相關文獻的實驗結果，並透過Social Network Analysis(SAS,社群網路分析)來分析實驗結果，探討雙系統不同思考模式下，腦區資料的差異以及兩個系統的相關腦區在決策時的關聯性。

關鍵字：社群網路分析、功能性磁振造影、決策科學、認知神經科學、雙系統決策理論

Abstract

Human behavior and decisions are deeply influenced by our thinking mechanisms. In recent years, scholars have investigated the decision making mechanism under different circumstances. A few theories have been proposed. One of which is the dual systems theory of the brain that divides human decision process into two subsystems: one is faster and intuitive while the other is slower and reasoning. System 1 is more automatic and heuristics-based, while system 2 is more deliberate and logical. A number of prior studies have revealed that these two systems coexist and are employed in different decision tasks. Cognitive theories called the dual process theories are also developed based on the dual systems model of the brain.

A large volume of papers in business and decision sciences have been published based on the dual process theories. However, most of them are behavioral in nature that derives interpretations from questionnaire survey or experimental data. Recent development in cognitive neural science has allowed us to further examine how different brain areas are activated through the use of special instruments such as functional magnetic reasoning Imaging (fMRI) to better understand this dual systems model. Many research results under different contexts have been reported, but different experimental settings and the complexity of the human brains often result in inconsistent observations that are hard to see the complete picture.

The purpose of this study is to conduct a meta-analysis on existing studies that adopted the dual systems theory to develop a better understanding of how these two subsystem works. We collected experimental results of published literatures and aggregated their findings with the social network analysis, which is a data mining technique used for finding relationships among objects. The circuits of both subsystems are derived and evaluated. The result allows us to better understand the collaboration of brain areas in these two systems.

Keywords: social network analysis, dual process theory, fMRI, Cognitive Science

謝 辭

終於兩年的研究所旅途劃下了句點，中間受到了很多人的支持與幫助，才能順利完成研究所學業。首先想感謝梁定澎老師，在這兩年間給我很多的意見與幫助，不僅是在研究、學業以及人生觀都讓我獲益良多，非常慶幸自己能夠成為梁老師的學生，也非常感謝共同指導教授周彥君老師在研究分析上的幫助，讓我能夠順利突破研究過程中的難關。

本論文研究期間獲得國家科學委員會補助梁定澎教授的研究計畫，以及教育部頂尖大學計畫補助電子商務與網路社會頂尖研究中心計畫，讓研究的進行能夠更加順利，在此表示十分的感謝。

另外非常感謝學長姊—玉雯、張菀庭、張杰、彭仁伯、蔡宛庭、余曉雯，在論文以及實驗上的大力協助，才能讓研究順利完成。感謝侯曉琪、傅品甄學長姊在研究所課業上的幫助與建議，感謝老師的助理—李昀，在許多行政事務上的強力協助，讓我們更能夠集中在學業與論文上。還有感謝一起打拚的實驗室夥伴們—柯典佑、黃冠傑、熊梗得，以及好友劉智鈞在這兩年間的幫助，覺得很幸運能夠在研究所的旅途中遇到這麼一群好友。

最後，非常感謝爸爸與媽媽，以及摯友高怡蓁在研究所求學過程中的支持與陪伴，有你們的支持與陪伴，才能讓我渡過每個困難的時刻，也才有今天的我，在此致上我最深的感謝。

劉家宏 謹記

國立政治大學資訊管理學所

一〇七年七月

目次

第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的與問題.....	3
第三節 研究流程.....	4
第二章 文獻探討.....	5
第一節 雙系統理論.....	5
一、 雙系統認知處理過程.....	5
二、 認知神經科學發展.....	8
三、 雙系統決策機制之認知神經科學發展.....	9
第二節 社群網絡分析.....	11
一、 社會網絡中心性.....	11
二、 子群體分析(sub-group).....	12
第三章 研究方法.....	13
第一節 資料篩選與整理.....	13
第二節 資料分析方式.....	16
一、 網路中心性分析.....	16
二、 子群體分析(Sub-groups).....	17
第四章 研究分析與結果.....	19
第一節 系統一決策路徑網絡分析.....	19
一、 中心性分析.....	19

二、 子群體分析.....	21
第二節 系統二決策路徑網絡分析.....	26
一、 中心性分析	26
二、子群體分析	28
第三節 雙系統決策路徑判別.....	33
一、 計分機制與判別方式	33
二、樣本內計分機制驗證	36
三、 計分機制應用	36
第五章 結論與建議.....	39
第一節 研究結果.....	39
第二節 研究貢獻.....	41
第三節 研究限制.....	42
第四節 未來規劃與研究方向.....	42
參考文獻.....	43
附錄一、實驗分類結果.....	57
附錄二、計分機制樣本內驗證結果.....	64

表目錄

表 1-1 對雙系統理論不同認知處理過程的解釋彙整	6
表 1-2 雙系統理論不同認知處理過程屬性群集.....	7
表 4-1 系統一決策路徑社群網絡分析結果	23
表 4-2 系統二社群網絡分析結果	30
表 4-3 系統一與系統二腦區差異比較	32
表 4-4 系統一決策路徑各腦區之腦區分數	33
表 4-5 系統二決策路徑各腦區之腦區分數	35
表 4-6 樣本內計分機制驗證	36
表 4-7 繼續專案決策者腦區與系統別分數	37
表 4-8 不繼續專案決策者腦區與系統別分數	38

圖目錄

圖 1-1 研究流程	4
圖 3-1 分析資料篩選整理流程	15
圖 3-2 社群網絡範例圖	16
圖 4-1 系統一決策路徑的加權程度中心性分析結果網絡圖	20
圖 4-2 系統一決策路徑的居間中心性分析結果網絡圖	21
圖 4-3 系統一子群體分析分群結果網絡圖	22
圖 4-4 系統二決策路徑的加權程度中心性分析結果網絡圖	27
圖 4-5 系統二決策路徑的居間中心性分析結果網絡圖	28
圖 4-6 系統二子群體分析分群結果網絡圖	29



第一章 緒論

第一節 研究背景與動機

我們日常生活中的行為、決策都深受著我們思考模式的影響，了解人類如何思考與決策一直是過去的學者們不斷探討的議題，近年來在資管領域中，也越來越多的學者開始研究軟體專案經理在不同情況下進行專案決策時背後的決策思考機制。

古典決策理論中認為，人的思考與判斷皆為理性，在不同的環境與條件下都能進行合理的決策，不會受到自身情緒與偏見的影響(Edward, 1954)，然而在1982年，(WernerGüth et al)進行了一項非常有名的實驗，最後通牒賽局，研究人們在遇到不公平的情況時會如何進行決策，實驗結果發現人類的決策行為並非全然理性的，與古典決策理論的論述不符，因此引發後續學者們開始研究人們在不同環境與條件下會如何進行決策。

在1984年，Evans提出雙系統決策機制理論，將人類的大腦決策機制分為兩套不同的系統，系統一和系統二；系統一類型的思考過程較自動化、依賴直覺，且和自身情緒有很大的關聯，而系統二類型的思考過程則是比較慎重、依賴邏輯推理。由於該理論對於過去很多非理性行為偏差提出了很好的解釋，使得後續學者開始不斷地將這個理論應用在不同領域上。在後續許多決策相關理論也採用這樣的論點，並成為普遍被接受的想法。例如，在諾貝爾獎學者Kahneman的「快思慢想」一書中也大量介紹這個理論，而推敲可能性模式(Elaboration Likelihood Model)也是基於這樣的觀點所提出的理論。這些理論也已經大量被實證研究發現與人類的決策行為吻合。不過，由另一方面來看，雖然行為的實驗結果基本上顯示有兩類不同的行為，但是真正要建立堅強的理論基礎，仍然需要實際上能夠觀察到大腦實際的運作。

最近由於醫療科技的進步，許多先進的影像儀器讓實際觀察腦部的運作成為可能。功能性磁振造影(Functional Magnetic Resonance Imaging)、正子造影(positron emission tomography,PET)等技術的發展，讓我們能夠從大腦神經系統結構與活化反應來解釋認知功能，也為雙系統理論提供了認知神經科學上的支持。例如:2003年Goel和Dolan進行了一項信念偏誤與邏輯推理相關的實驗，實驗結果發現，當受測者能夠抑制信念偏誤並準確完成邏輯推理任務時(系統二類型思考)，右下前額皮層(right Inferior Prefrontal Cortex)會有明顯活化，相反的，當受測者受到信念偏誤影響而無法準確完成邏輯任務時(系統一類型思考)，腹內前額皮層(ventral medial prefrontal cortex)會有明顯活化，驗證了兩個思考系統在神經機制上的不同。

近年來，越來越多領域的學者透過認知神經科學去解釋一些現象發生原因或特定行為背後思考模式，不論是在心理、經濟、社會科學、資管等領域，都可以看到各式各樣的相關研究與實驗。例如：彭仁伯(2016)利用功能性磁振造影儀器研究資訊管理專案中承諾升級現象，研究發現選擇繼續投入專案的人在直覺與情感相關腦區有較強的活化程度，而選擇不繼續專案的人則在推理與理性相關腦區有較強的活化。

然而，由於研究實驗設計與實驗情境的不同，使得各項研究實驗發現的關聯腦區不盡相同，造成後續學者在解讀腦區與思考模式關聯上的困難。如何將這些性質不同的實驗進行整理，解讀大腦的神經機制與複雜的行為背後的運作機制是一件相當困難的事(Akil et.al.,2011)。目前的神經科學研究整理方式都是以敘述行的方式去歸納整理文獻內容，並提出自己的解釋，如:Helion & David(2015)整理了近幾年來情緒與道德評斷相關的研究，根據這些研究的結果去推斷情緒如何影響人的道德評斷。這樣的方式費時且不夠精確，因此需要對這些決策機制相關的文獻與研究結果作更進一步的歸納與彙整。而最近人工智

慧與資料探勘的技術正可以為進一步分析過去研究的成果，並彙總成更可靠的結論。

第二節 研究目的與問題

基於上一節的研究背景與動機，本研究的主要研究目的為彙整現有雙系統決策機制相關研究的實驗結果，透過社群網絡分析技術，以網絡關係圖的方式去實現以下三個目的：

1. 探討在不同決策路徑下腦區活化的差異
2. 探討在不同決策路徑下腦區間連結關係
3. 讓其他 fMRI 決策實驗結果能參照本研究社群網絡分析結果，來判斷實驗操弄較可能觸發的系統決策路徑

本研究希望能夠為後續學者帶來雙系統思考神經機制更全面的樣貌，並給進行相關研究的研究者一個更精確的參考依據。

第三節 研究流程

本研究的研究流程如圖1-1所示，先對相關研究背景進行探討並確立研究動機與研究目的，接著蒐集整理決策fMRI實驗相關文獻，進行分類與資料編碼整理，再以社群網絡分析方式進行分析，並嘗試從分析結果中探索雙系統機制的輪廓，最後提出研究結論與建議。

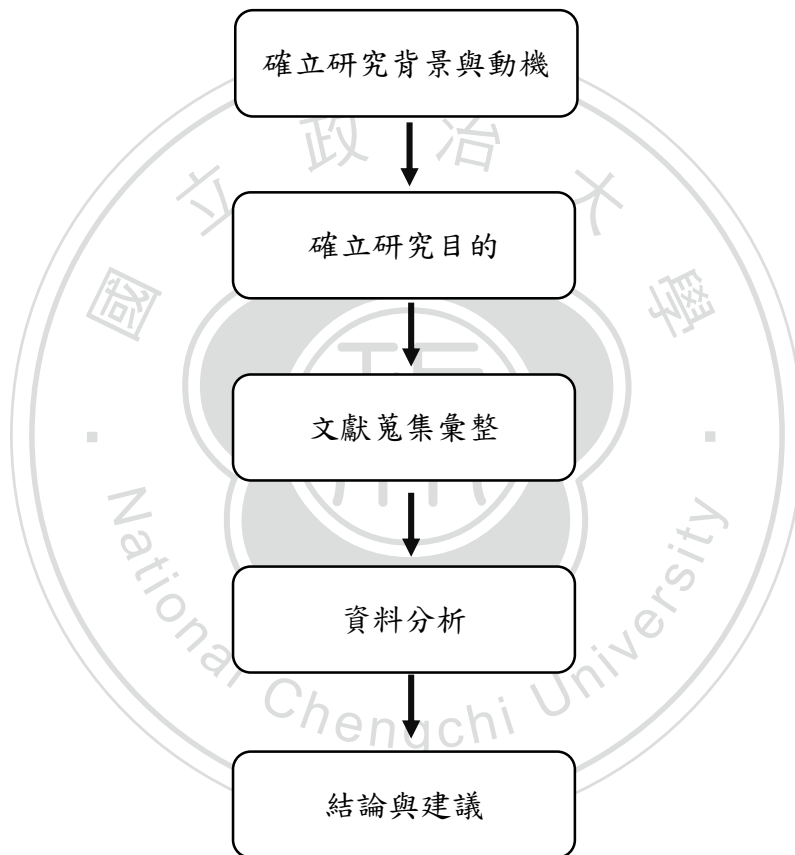


圖 1-1 研究流程

第二章 文獻探討

第一節 雙系統理論

一、雙系統認知處理過程

在過去分析探討人類決策行為時，研究人員提出各式各樣的框架來概念化環境的訊息如何被人類整合並進而去影響我們所做的每個決定，雖然這些框架的範圍各不相同，但都試圖去描述感官所接收到的訊息如何轉化為我們的思考與行動(Heekeren, et al., 2008)。

雙系統理論在心理學上有非常長的歷史，大部分的理論都將人類認知處理過程分為兩套不同的子系統，系統一和系統二。系統一機制的認知處理過程較自動化、依賴直覺，且和自身情緒有很大的關聯，系統二機制的認知處理過程則是較慎重、依賴邏輯推理(Kahneman, 2003)。近年來，許多研究者相繼提對雙系統理論模型中不同的認知處理過程提出不同的名詞與解釋，這也提高了彙整這些解釋的難度及複雜度，讓我們很難對雙系統理論有更全面的理解(Evans 2008)。

Evans(2008)將過往與雙系統理論有關的文獻進行了彙整，首先他將過去討論雙系統的文獻中對於兩路徑不同的解釋彙整出一個總表，如表1-1所示，並針對這些文獻中的描述分成四個不同的群集，如表1-2所示，我們可以從這兩個表中了解兩個路徑的區別以及兩路徑的輪廓與概觀。此外他也提到，雖然表中學者並未在其文獻中提到情緒處理相關的敘述，但依舊可以肯定的是情緒處理是屬於系統一的處理過程而非系統二(Evans,2008)。

表 1-1 對雙系統理論不同認知處理過程的解釋彙整(資料來源:Evans, 2008)

文獻	系統一(System1)	系統二(System2)
Fodor (1983, 2001)	Input modules	Higher cognition
Schneider & Schiffrin (1977)	Automatic	Controlled
Epstein (1994), Epstein & Pacini (1999)	Experiential	Rational
Chaiken (1980), Chen & Chaiken (Heuristic	Systematic
Reber (1993), Evans & Over (1996)	Implicit/tacit	Explicit
Evans (1989, 2006)	Heuristic	Analytic
Sloman (1996), Smith & DeCoster (2000)	Associative	Rule based
Hammond (1996)	Intuitive	Analytic
Stanovich (1999, 2004)	TASS(the set of autonomous subsystems)	Analytic
Nisbett et al. (2001)	Holistic	Analytic
Wilson (2002)	Adaptive unconscious	Conscious
Lieberman (2003)	Reflexive	Reflective
Toates (2006)	Stimulus bound	Higher order
Strack & Deustch (2004)	Impulsive	Reflective

表 1-2 雙系統理論不同認知處理過程屬性群集

系統一決策路徑	系統二決策路徑
群集一(意識)	
Unconscious (preconscious)	Conscious
Implicit	Explicit
Automatic	Controlled
Low effort	High effort
Rapid	Slow
High capacity	Low capacity
群集二(進展)	
Evolutionarily old	Evolutionarily recent
Evolutionary rationality	Individual rationality
Shared with animals	Uniquely human
Nonverbal	Linked to language
Modular cognition	Fluid intelligence
群集三(功能特色)	
Associative	Rule based
Domain specific	Domain general
Contextualized	Abstract
Pragmatic	Logical
Parallel	Sequential
Stereotypical	Egalitarian
群集四(個人差異)	
Universal	Heritable
Independent of general intelligence	Linked to general intelligence

Independent of working memory	Limited by working memory capacity
-------------------------------	------------------------------------

除了探討系統一與系統二的在功能上區別，許多學者也認為此兩條路徑並非完全相互獨立，而是兩個系統彼此間會交互影響作用。在探討雙系統交會作用的眾多文獻中，預設與干預模型(default- interventionist model) (Kahneman and Frederick 2004, 2005; Evans 2006, 2008)是近年來最多人用來探討兩系統交互作用的模型，此模型認為系統一決策路徑是決策制定的預設系統，系統二決策路徑則是會依據情境與環境的不同去啟動並干預系統一的機制，但即使系統二決策路徑啟動，系統一決策路徑也不會完全被關閉，我們仍然會持續著系統一決策思考模式，只是在決策過程中系統一決策路徑的影響程度相對較弱。近年來許多決策機制的研究結果也都與此模型的描述一致(Farmer, Anderson & Spivey, 2007; Resulaj et al., 2009;)，也讓雙系統理論的研究有了新的發展方向。

二、 認知神經科學發展

傳統行為研究使用問卷或觀察法對大腦認知功能與決策機制進行研究所面臨到的最大問題，就是沒辦法給出直接的證據去證明決策行為背後的機制 (Daniel Gilbert,1999)。

隨著醫療科技的發展，科學家們開始發現特定腦部區域的活動會造成人們出現特定行為反應，功能性磁振造影(FMRI,functional magnetic resonance imaging)、正子造影(positron emission tomography,PET)等非侵入式顯影醫療技術的出現，讓神經科學以及認知科學這些不同領域的研究人員得以合作，發展出認知神經科學(Cognitive Neuroscience)這個嶄新的領域(Tai ,2006)，研究範疇包括腦部結構與功能、感覺系統與動作系統的運作、注意力、記憶、語言、高級認知功能(如：推理、學習等)以及情緒及意識等主題。其研究方式主要可以分為兩類，其一是臨床型研究，主要透過腦部損傷或疾病的部位回推其可能負責

的功能，其二則是透過行為實驗去了解在特定情境下受測者腦部區域活化的特定模式，進而去推測其腦部區域負責的功能。

隨著大腦研究越來越多，我們對腦部功能的了解也越來越清晰，大腦從結構上可以分為四大區塊，額葉(Frontal Lobule)、顳葉(Temporal Lobule)、頂葉(Parietal Lobule)、枕葉(Occipital Lobule)，額葉主要負責思考相關的功能，顳葉含有聽覺皮層，為處理聽覺訊息的中樞，且部分區域與語意理解有關。頂葉為處理各類感覺訊息（包括痛覺、觸覺等）的中樞，同時也與語言、記憶等功能有關，枕葉則是與視覺相關。

近幾年來認知神經科學逐漸被不同領域運用，發展出許多新的研究領域，如從經濟學角度探討決策生理機制的神經經濟學(Neuroeconomics)中，Plassmann & Rangel 在 2007 年透過 fmri 實驗發現眼眶額葉皮質(orbitofrontal cortex, OFC)這個腦區與經濟上的支付意願有密切關聯；以及探討資訊科技使用相關腦部運作機制的神經資訊系統(Neuro Information Systems)，Riedl et al. 在 2014 年透過 fMRI 實驗討論人機互動時的信任和信任議題。

三、雙系統決策機制之認知神經科學發展

Matthew Lieberman (2007)整理過去相關認知神經科學實驗，針對系統一與系統二的腦區做整理。系統一系統的認知處理過程有關的腦區有杏仁核(amygdala)，基底核(basal ganglia)，側顳葉(lateral temporal cortex, LTC)，腹內側前額葉皮層(ventromedial cortex, vmPFC)和背側前扣帶迴皮質(dorsal anterior cingulate cortex, dACC)等腦區。Amygdala被認為與情感、恐懼調解以及自動反應社會認知有關(Adolphs, 2010; Bechara, Damasio & Damasio, 2003; Cardinal, Parkinson, Hall, & Everitt, 2002; Costafreda, Brammer, David, & Fu, 2008; Davis, 1992; Pape & Pare, 2010; Phelps & LeDoux, 2005)，basal ganglia屬於前腦基部的區域，與認知、行為上的自動反應有關(Brown, Schneider, & Lidsky, 1997; Grahn, Parkinson, & Owen, 2009; Graybiel, 1995; Marsden & Obeso, 1994; Utter &

Basso, 2008; Yin & Knowlton, 2006)，LTC在語意不明確的情況下會有明顯激活(Crinion, Lambon-Ralph, Warburton, Howard, & Wise, 2003; Rissman, Eliassen, & Blumstein, 2003)，而vmPFC與直覺社會認知有關(Bechara, Tranel, & Damasio, 1997)，ACC相關區域則是在自我衝突會有明顯活化(De Martino, 2006)，這些區域的活化都與直覺、自動反應和快速認知處理有關聯，反應過程快速。

而在Matthew Lieberman(2007)的整理中，系統二的認知處理過程則與外側前額葉皮層(lateral prefrontal cortex, LPFC)、後頂葉皮質(posterior parietal cortex, PPC)、海馬回(hippocampus)、內側顳葉(medial temporal lobe, MTL)、喙部前扣帶迴皮質(rostral anterior cingulate cortex, rACC)等腦區的活化有關，LPFC參與了許多高階認知處理流程，如：工作記憶(指個體在進行認知學習作業的過程中，對訊息的「暫存」(storage)與「處理」(process)能力)的形成，目標實現規劃，自我控制等(Cabeza & Nyberg, 2000; Curtis & D'Esposito, 2004; Sakagami & Watanabe, 2007; Tanji & Hoshi, 2008; Tanji, Shima, & Mushiake, 2007)，PPC與邏輯運算、認知控制等功能有關(Bucci, 2009; Cabeza & Nyberg, 2000; D'Argebeau, et al., 2007)，MTL和hippocampus則是和記憶的形成與提取有關(Brewer, Zhao, Desmond, Glover, & Gabrieli, 1998; Wagner, et al., 1998)，這些區域的活化與邏輯推理、記憶存取、目標規劃等功能有關。

除了研究不同系統決策思考模式的差異，許多學者也透過認知神經科學探討兩系統間交互作用，如：Farrell, et al (2014)在一項經濟決策fMRI實驗中，發現到大部分決策的情況都與系統一相關的腦區有關聯，但當決策的情境、條件不同時，會額外觸發系統二相關腦區的活化。

第二節 社群網絡分析

社群網絡分析(Social Network Analysis)是一種用來分析不同物件之間關連性的資料探勘技術，主要由三個要素構成，行為者(actor)、關係(relationship)、及連結(linkages)。網絡中的節點代表行為者，關係則是指行為者之間相互連結，不同的關係型態會使網絡有不同的樣貌，而連結則是行為者透過路徑(path)直接或間接建立關係(Bian,1994)。社會網絡分析主要用於研究行為者與行為者之間彼此的關係模式(Wellman, 1992)。

近年來社群網絡分析應用的領域相當多元，如：Giuliani & Bell (2005)研究酒商公司內組織知識的分享情況、Borgatti & Li(2009)研究社群網絡分析在供應鏈上的應用等，應用於越來越多的領域。除了顯示連結關係之外，這個技術可以分析幾個重要概念：

一、 社會網絡中心性

社會網絡中心性主要是用來衡量網絡中個體對網絡的影響力，以及個體在控制、取得網絡中資源的可能性，(Freeman, 1979)將社會網路中心性可分為三大類型：程度中心性 (degree centrality)、居間中心性(betweenness centrality)以及接近中心性(closeness centrality)。程度中心性主要是透過個體其相鄰其他個體的數量，來衡量個體在網絡中的中心程度。接近中心性是用來判斷一個個體與其它個體間的接近程度，主要衡量個體是否容易接收到訊息的程度。居間中心性是衡量一個個體位於任兩節點或社群之間路徑上的重要程度。Kim和Hastak在2018年利用社群網絡分析研究美國路易斯安那州(Louisiana)水災過後，各大社群平台(如Facebook、Twitter等)水災訊息傳遞狀況，研究中透過程度中心性發現訊息傳遞的中心是在路易斯安那州的巴頓魯治(Baton Rouge)，以及發現到居間中心性最高的區域德克薩斯州(Texas)，扮演著訊息中樞的角色，將在路易斯安

那州發生的狀況傳遞給其他州的民眾，讓其他州的民眾能夠幫助水災的受災戶重建家園。

二、子群體分析(sub-group)

子群體分析主要目的是嘗試從龐大的網絡中發現其中節點間的特殊關係，讓我們能透過發現這些特殊關係來更了解網絡的內部運作情況。分析方法主要是自原始完整網絡中根據密度(Density)分離出各個不同的子社群，密度越高的子群體代表節點關係越密切，也代表著此子群體內的節點因為某種的關聯而形成一個社群(W.D.Nooy, 2005)。Nerur et al.(2005)研究和CACM有關期刊間的引用關係，透過子群分群和排名後，結果顯示和CACM有關的27本期刊，共可細分為歐洲期刊、北美洲期刊、人工智慧、科技中心以及電腦科學五大類別，成功透過子群體分析歸納出期刊間的關聯性。

人類的大腦其實可以視為是一個分工合作的網絡，不同的大腦區域視為這個社群網絡中的節點，扮演不同的功能性，針對不同的決策需求，相關功能的腦區會被活化來加入工作，經常共同被活化的腦區則形成大腦網絡中為解決該問題所形成的網絡，因此我們透過社會網絡分析可以探討腦區間為解決特定問題的連接模式(Bullmore, 2009)，如：Xiaohui et.al(2011)成功透過社群網絡分析分析fmri受測資料，發現了可能造成癲癇的一些異常腦區關聯，這項研究也證實了社群網絡分析能在神經科學研究上發揮重要作用。

第三章 研究方法

第一節 資料篩選與整理

本研究採用次級資料分析的研究方法，透過ScienceDirect、Neurosynth、Google Scholar、PubMed這幾個網站來蒐集雙系統決策實驗文獻資料。

首先使用與系統一或系統二決策路徑特性相關的詞彙，如:heuristic、intuitive、logical、analytic、emotional、reflexive、reflective等，結合 decision making 和 fmri 來做為文獻搜尋之關鍵字(如:heuristic decision making fmri。)，總共搜尋出1258篇相關文獻。

接著針對搜尋出的文獻進行兩步驟篩選，來找出最適合做為本次研究之文獻樣本。第一步驟主要透過閱讀文獻的標題及摘要來篩選，篩選標準如下：

- 1.使用fmri技術進行全腦掃描實驗
- 2.實驗情境必須是決策相關情境

總共篩選出113篇有使用FMRI進行決策實驗的文獻。

再來對第一步驟選出的這113篇實驗每篇做全文閱讀來進行第二步驟篩選，依照下列標準篩選出決策實驗內容與雙系統決策路徑相關之文獻：

1. 實驗分析人數大於10人
2. 決策實驗操弄必須與雙系統決策相關，如:”heuristic or analytic”、”emotional or non-emotional”等(參考表1-2)

總共篩選出32篇文獻，由於有文獻進行了兩種不同的實驗操弄，32份文獻中總共整理出41份fMRI實驗分析結果，我們使用這41份實驗結果做為本次社群網路分析之樣本。

我們對論文進行全文閱讀，根據Evans(2008)所彙整的雙系統相關的描述(參考表1-1、1-2)，作為對各文獻中實驗操弄所產生的結果可能活化的腦區是經由

系統一或系統二的決策路徑分類基準，來將實驗結果腦區進行分類。資料整理的過程由兩名學者採用獨立編碼的方式，各自對這41份實驗結果進行分類，整理出兩份分類結果，其中有3份實驗結果編碼不一樣，我們對分類結果相異的地方進行共同討論，最後整理出一份兩位學者皆取得共識之分類結果。作為本研究社群網絡分析之樣本，實驗分類與整理結果請參考附錄一。



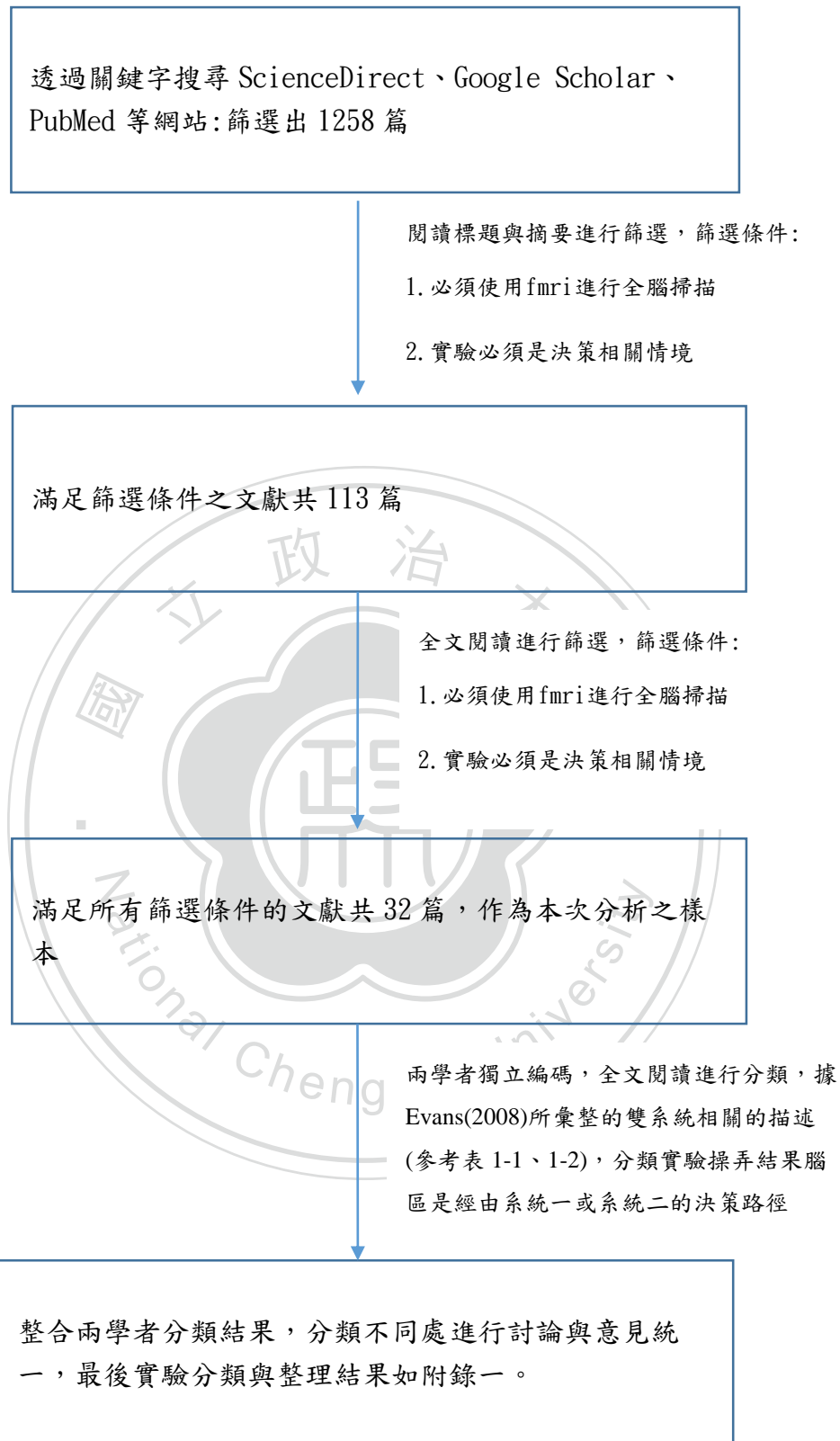


圖 3-1，分析資料篩選整理流程

第二節 資料分析方式

本研究主要利用Gephi社群網絡分析軟體對系統一、系統二決策路徑相關實驗結果腦區進行社群網絡分析，其中網絡中的節點(node)代表不同的腦區，網絡中的連結(link)代表腦區在同一個實驗中同時出現，而連結出現次數代表該連結的權重(weight)。

透過軟體找出網絡中的連結與中心性等結果，判斷重要腦區，並透過子群體分析探索腦區間的合作機制。分析主要涵括以下兩個部分：

1. 網絡中心性分析，包含程度中心性、居間中心性三種指標
2. 子群體分析

以下將依序進行說明。

一、 網路中心性分析

本研究透過加權程度中心性、居間中心性這兩個指標來衡量腦區節點在網絡中的重要性，以下將針對這兩個中心性指標分別進行說明。

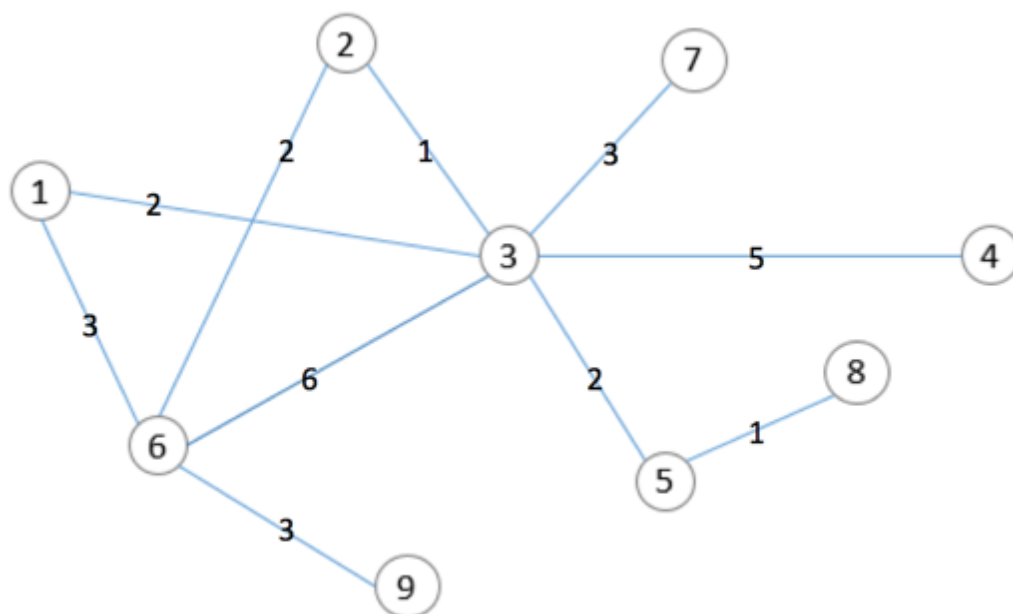


圖 3-2 社群網絡範例圖

1. 加權程度中心性(Weighted Degree Centrality)

由於我們有將網絡中節點間連結出現次數(權重)納入考慮，因此採用加權程度中心性，來衡量一個節點在社會網絡中的重要性以及其影響程度，越高的加權程度中心性代表節點在網絡中的重要性以及對其他節點的影響程度越高。

計算方式是將該節點所有的連結權重進行加總，得出的結果即為該節點的加權程度中心性，以圖3-2的網絡為例，節點3的加權程度中心性為： $1+3+2+5+6+2=19$ 。

2. 居間中心性(Betweenness Centrality):

居間中心性主要用於衡量某節點在於任兩節點或社群之間路徑上的重要程度，計算方式如下：

$$C(n_i) = \frac{\sum_{j < k} a_{jk}(n_i) / a_{jk}}{[(n-1)(n-2)/2]}$$

n_i 代表節點 i ， a_{jk} 代表節點 j 到最短路徑的數量， $a_{jk}(n_i)$ 代表節點 i 在 j 到 k 所有最短路徑的出現次數， n 為節點總數，以圖 3-2 的網絡為例，節點 3 的居間中心性為： $16/28 = 57\%$ ，為居間中心性最大的節點，代表節點 3 位於最多節點間的中間位置，意味著它佔據著節點間訊息流動的關鍵位置。

二、子群體分析(Sub-groups)

本研究採用的子群體分析演算法為 Vincent et,al.在 2008 年提出的社群網絡分群演算法，演算法步驟如下：

1. 先將網絡中的每個節點視為一個獨立的子群體
2. 將節點 i 移動至鄰近的子群體 j ，並計算其模組度變化值 ΔQ ，計算方式如下，其中 Σ_{in} 為子群體 j 內部連結權重總和， Σ_{tot} 為所有與

子群體 j 內節點相連之所有連結權重總和， k_i 為節點 i 所有連結權重之總和， $k_{i,in}$ 為節點 i 與子群體 j 內所有節點連結權重之總和，

$$\Delta Q = \left[\frac{\sum_{in} + 2k_{i,in}}{2m} - \left(\frac{\sum_{tot} + k_i}{2m} \right)^2 \right] - \left[\frac{\sum_{in}}{2m} - \left(\frac{\sum_{tot}}{2m} \right)^2 - \left(\frac{k_i}{2m} \right)^2 \right]$$

m 為網絡中所有連結權重之總和。

3. 如果 ΔQ 為正，則將節點 i 納入該子群體，反之則維持原本之分配
4. 持續重複步驟一到三，直到所有節點的移動無法再產生正的 ΔQ 為止。
5. 將分群結果的每個子群，視為一個新的網絡節點，並將新節點連結起來，新節點間連結的權重為上一個分群結果子群間所有節點之權重總和，組成一個新的社群網絡
6. 對新的社群網絡重新進行步驟一到四的分析
7. 重複執行步驟一到六，直到分群結果無法再產生任何新的社群網絡（步驟五無法執行）為止。

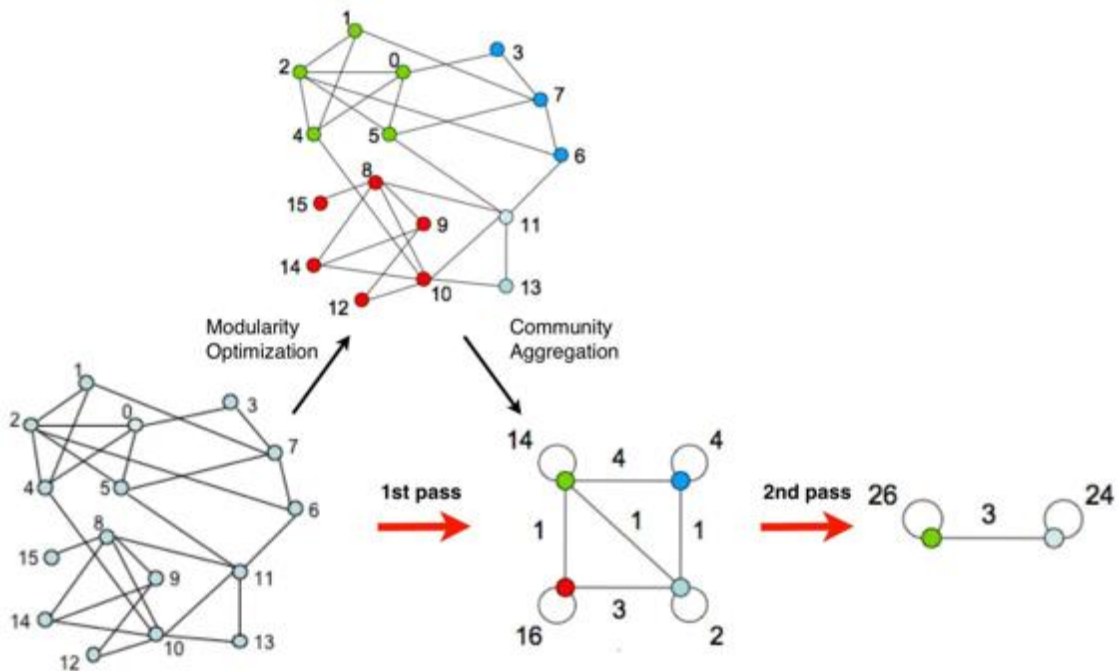


圖 3-3 子群體分析演算法步驟圖(Vincent et.al.,2008)

第四章 研究分析與結果

第一節 系統一決策路徑網絡分析

一、中心性分析

(一) 加權程度中心性

圖4-1為系統一決策路徑的加權程度中心性分析結果，圖中節點的大小以及顏色深淺代表其加權程度中心性的高低，越大、顏色越深的節點其加權程度中心性越高，越小、顏色越淺的節點則越低；圖中連結的粗細代表腦區連結同時出現的次數(權重)，越粗的連結代表同時出現的次數越高，連結權重越高，越細則同時出現次數越低，連結權重越低。

透過加權程度中心性分析我們可以發現在系統一的決策路徑中下列幾個腦區與其他腦區的連結較強，ACC、precuneus、Amygdala、PCC、insula、Medial Frontal Gyrus等腦區，這些加權程度中心性較高的腦區代表其在與系統一決策路徑相關的實驗操弄中，出現次數較高以及與較多的腦區有合作關係，因此可以推測這些腦區在我們進行系統一決策路徑的思考模式有高機率激活，且佔有相當重要的功能。

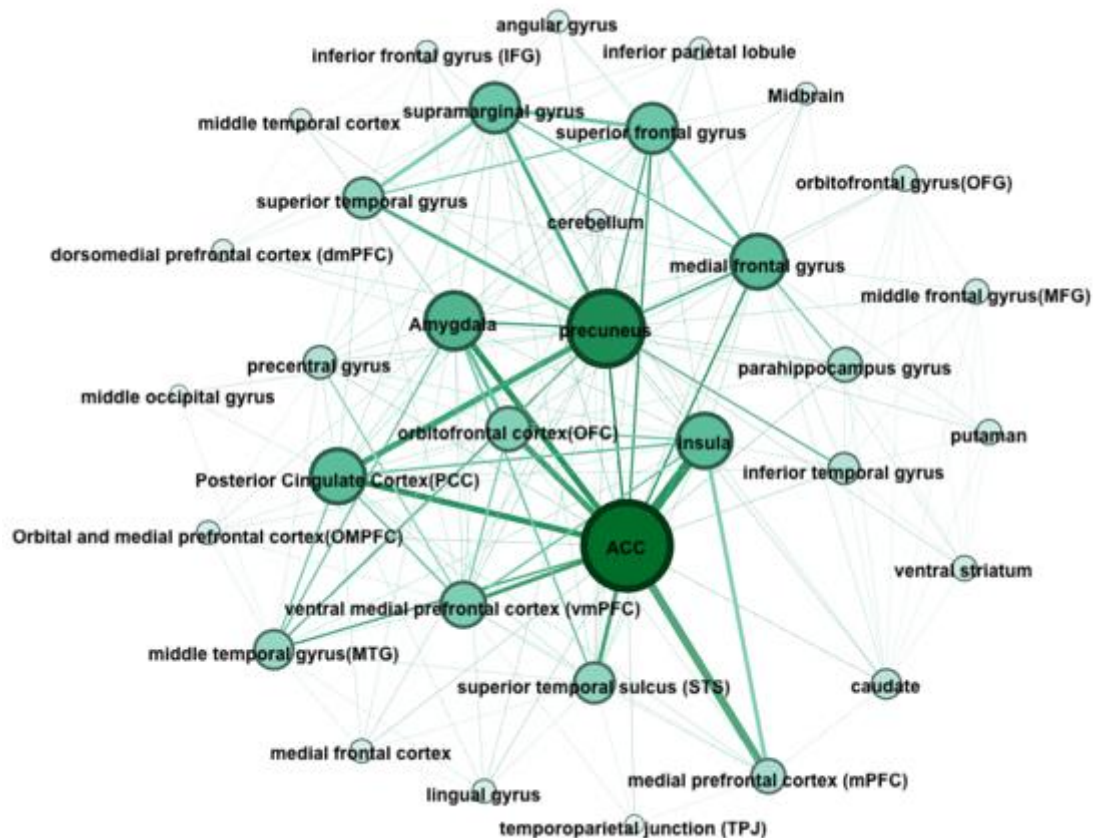


圖 4-1 系統一決策路徑的加權程度中心性分析結果網絡圖

(二) 居間中心性分析

在系統一的居間中心性分析中，我們發現Precuneus這個腦區的居間中心性遠大於其他腦區，表示這個腦區在系統一決策路徑的網絡中訊息流動佔有關鍵地位。根據過去文獻，此腦區牽涉到許多大腦不同的功能，如：自我意識、情節記憶(特定時間或事件的記憶)、在心中進行空間相關之想像等等，過去也有學者透過社群網絡分析證明其在佔據parietal和prefrontal central區域的樞紐位置，參與許多腦區間的合作(Bullmore, E., & Sporns, O., 2009)。

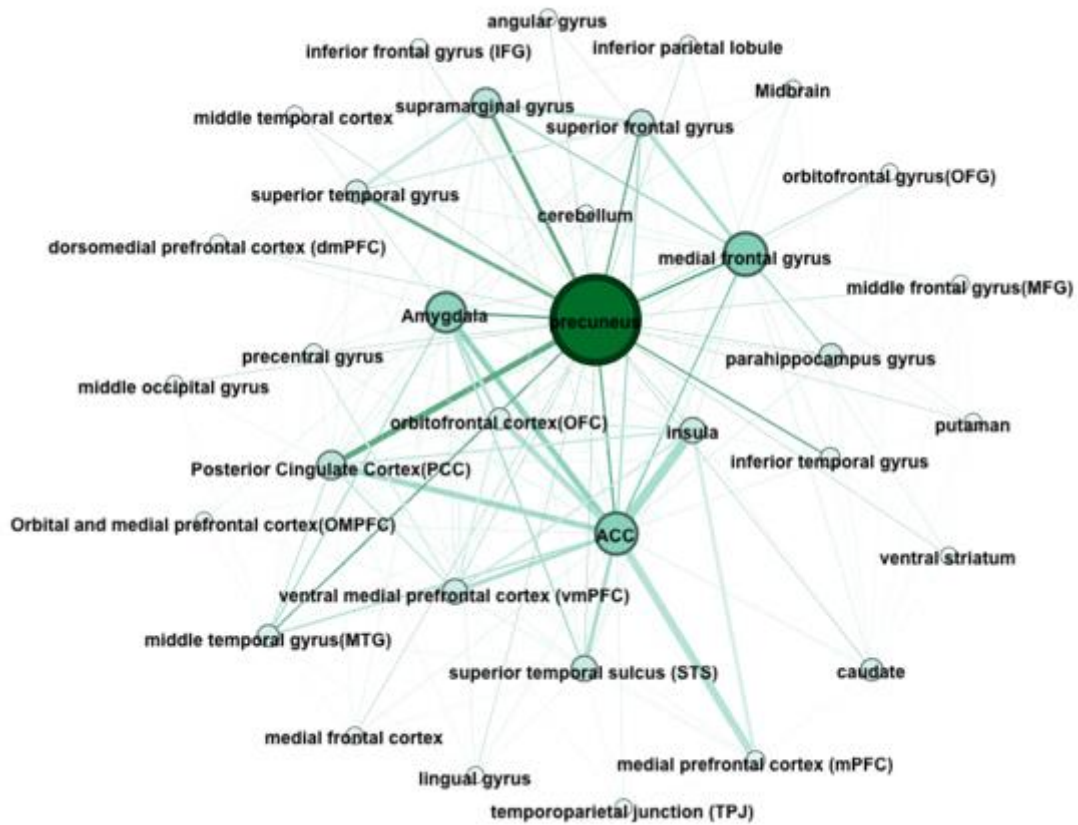


圖 4-2 系統一決策路徑的居間中心性分析結果網絡圖

二、子群體分析

子群體分析的分群結果分出三個子群，其網絡圖可參考圖4-3，不同顏色分別代表不同的子群體，節點圓圈大小代表其程度中心性大小，線條粗細代表連結強度(Weight)。以下將依照分群結果對各個子群進行說明。

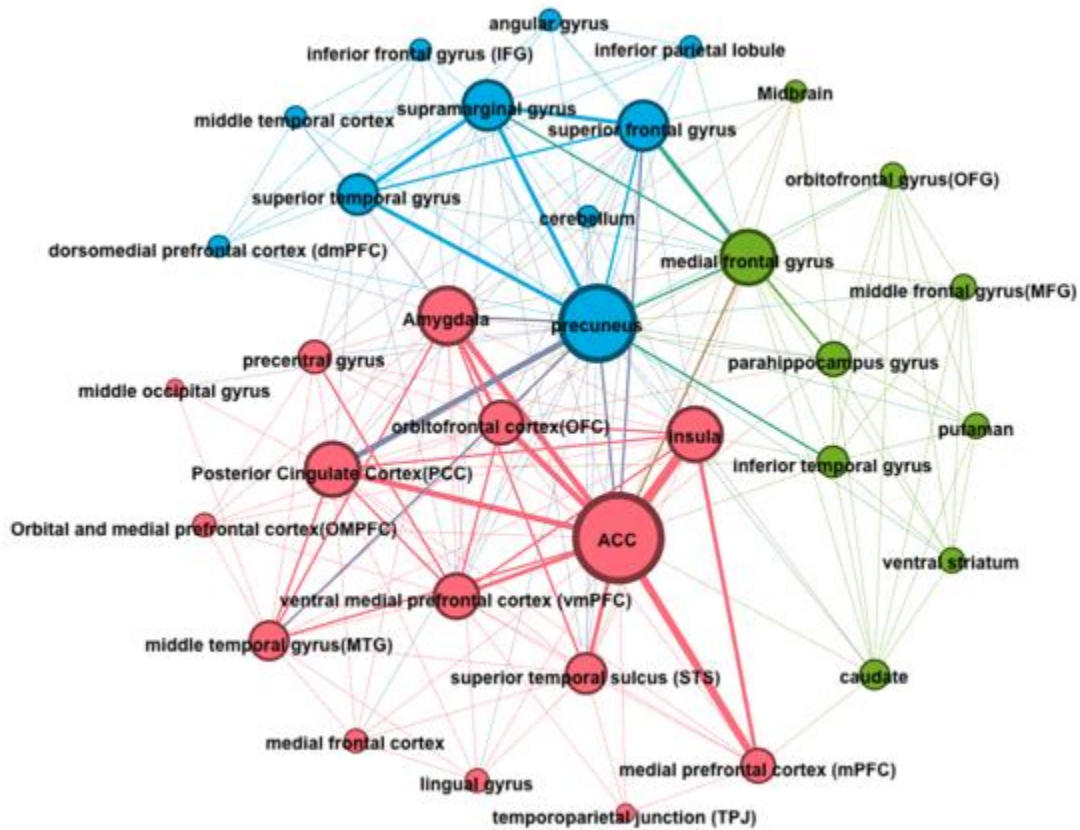


圖 4-3 系統一子群體分析分群結果網絡圖

子群體中最大的一群為第1類子群體（圖4-3中紅色部分），其中根據腦區
 的加權程度中心性我們可以發現此子群體重要腦區為ACC、Amygdala、Posterior
 Cingulate Cortex(PCC)、insula、orbitofrontal cortex(OFC)、ventral medial
 prefrontal cortex (vmPFC)以及superior temporal sulcus (STS)，這些腦區在處理社
 會情感與相關任務時（如：了解他人與自我的情感狀態、道德觀等），會有更
 高程度的激活（Andrews-Hanna et.al., 2012；Mars et.al., 2012），且ACC、PCC這
 兩個腦區，我們根據其同時出現的實驗情境發現，這些實驗情境皆含有情感訊
 息的操弄。而第1類子群內的連結強度與平均程度中心性也較其他兩個子群來
 的高，根據此分群結果我們推斷第1類為整個系統一決策網絡中的主要架構，根據
 不同的狀況去與第2類與第3類子群體中的腦區進行協作。

第2類子群體(圖4-3中綠色部分)，根據腦區有加權程度中心性，其重要腦區為Medial Frontal gyrus、 parahippocampus gyrus、inferior temporal gyrus。Medial Frontal gyrus主要執掌什麼功能並不明確，雖有學者指出其與決策事情該做或不做有關(Talati, 2005)，但仍需更進一步的調查；parahippocampus gyrus主要與記憶的儲存與提取有關(Ferreira et.al.,2003)，而inferior temporal gyrus與視覺處理(如物體和人臉識別)有關(Haxby et.al.,2000)。第2類子群體的腦區彼此間連結相較於其他兩個模組較弱，主要的三個腦區功能也都沒有太大的關聯，因此較難推斷此子群在整個系統一決策路徑中所扮演的角色。

第3類子群體(圖4-3中藍色部分)根據腦區有加權程度中心性，其重要腦區為Precuneus、Supramarginal gyrus、superior frontal gyrus、Superior temporal gyrus，其中Supramarginal gyrus、superior frontal gyrus、Superior temporal gyrus這三個腦區根據過去文獻我們發現它們與感官訊息處理有密切關係，如Supramarginal gyrus與語言訊息處理、肢體語言理解有關(Gazzaniga and Mangun, 2009; Carlson, 2012)，Superior temporal gyrus與聽覺處理，特別是語言聽覺(將聽到的聲音轉換成語言)有關，Superior frontal gyrus也被發現其與自我意識和感官訊息間的互動有關；此外，這三個腦區我們根據其同時出現之實驗情境發現，在含有個人偏好操弄的實驗情境(ex:品牌商品選擇)中出現的機率較高，因此推斷這個子群在系統一中可能負責著與偏好情感有關的處理。

表 4-1 系統一決策路徑社群網絡分析結果

腦區名稱	加權程度中心性	居間中心性	子群體類別
ACC	48	42.087829	1
Amygdala	29	38.474893	1
insula	27	14.015019	1
Posterior Cingulate Cortex(PCC)	27	19.446353	1

ventral medial prefrontal cortex (vmPFC)	21	13.100365	1
orbitofrontal cortex(OFC)	20	6.901456	1
superior temporal sulcus (STS)	18	14.328208	1
middle temporal gyrus(MTG)	17	8.281143	1
medial prefrontal cortex (mPFC)	14	2.805556	1
precentral gyrus	13	2.655929	1
lingual gyrus	7	0	1
Orbital and medial prefrontal cortex(omPFC)	7	0	1
medial frontal cortex	7	0	1
temporoparietal junction (TPJ)	4	0	1
middle occipital gyrus	3	0	1
medial frontal gyrus	27	44.010737	2
parahippocampus gyrus	14	10.793917	2
inferior temporal gyrus	12	4.48289	2
caudate	11	8.519039	2
middle frontal gyrus(MFG)	8	0	2
ventral striatum	8	0	2
orbitofrontal gyrus(OFG)	8	0	2
putamen	8	0	2

Midbrain	6	0	2
precuneus	40	116.218987	3
superior frontal gyrus	24	15.06956	3
supramarginal gyrus	24	20.854553	3
superior temporal gyrus	18	8.953567	3
inferior parietal lobule	6	0	3
inferior frontal gyrus (IFG)	6	0	3
cerebellum	6	0	3
dorsomedial prefrontal cortex (dmPFC)	6	0	3
middle temporal cortex	6	0	3
angular gyrus	6	0	3

第二節 系統二決策路徑網絡分析

一、中心性分析

(一) 加權程度中心性

圖4-4為系統二決策路徑的加權程度中心性分析結果，圖中節點的大小代表其程度中心性的高低，越大的節點其程度中心性越高，越小的節點則越低；圖中連結的粗細代表其腦區同時出現的次數，越粗的連結代表同時出現的次數越高，越細則越低。

透過加權程度中心性分析我們發現系統二決策路徑中加權程度中心性較高的腦區與系統一決策路徑有明顯的差異，系統二決策路徑中較重要的腦區為dlPFC、middle frontal gyrus、ACC、inferior frontal gyrus等腦區，系統一則是Precuneus、ACC、Amygdala、medial frontal gyrus、PCC等，顯示系統二決策路徑與系統一決策路徑大腦的運作機制是相當不同的。

對比系統一與系統二決策路徑，有些腦區在系統一與系統二中分別獨立出現，獨立出現的腦區比較可參考表4-3；有些腦區則在系統一與系統二中共同出現，雖然這些腦區在兩系統間共同出現，但其出現次數與重要性在兩網絡中皆有明顯差異。

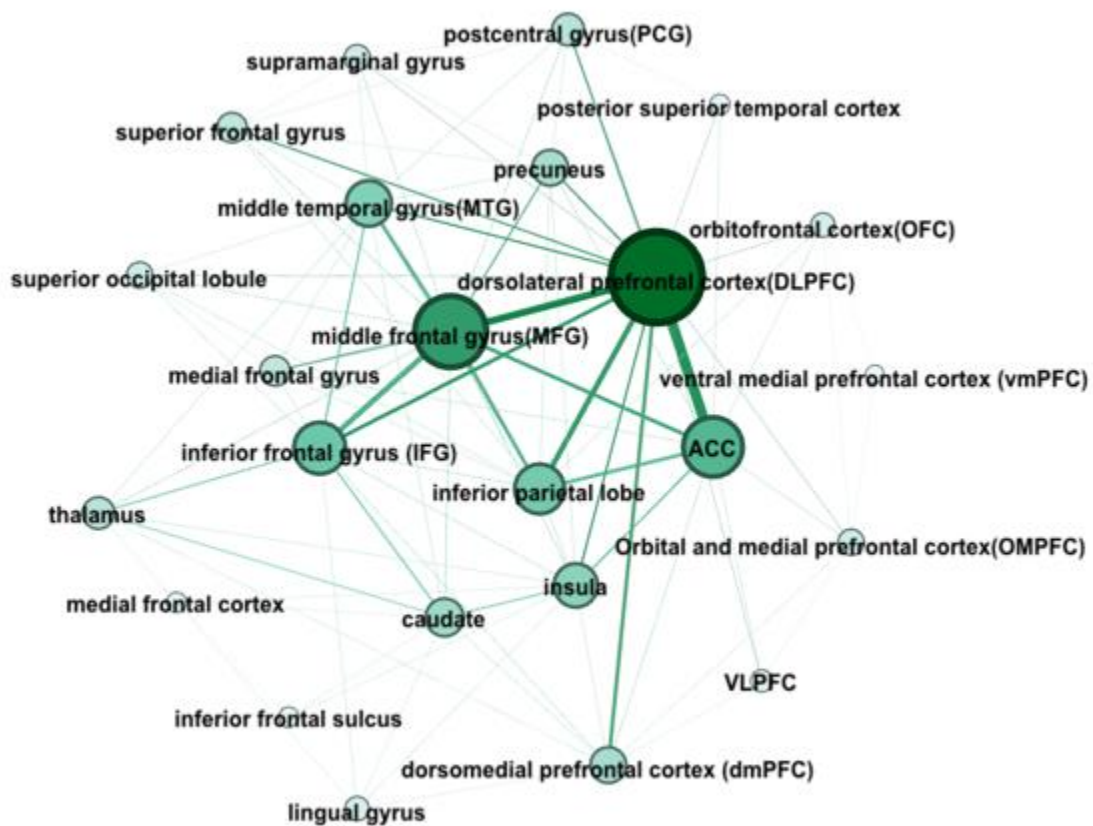


圖 4-4 系統二決策路徑的加權程度中心性分析結果網絡圖

(二) 居間中心性分析

系統二決策路徑中居間中心性最大的腦區為dlPFC，而根據過去文獻，dlPFC已經被證實其參與許多大腦高階思考與推理規劃的過程，特別是我們在進行需要使用到短期記憶(working memory)相關任務(如推理、計算)時，會有明顯活化反應(Elliott,2003; Monsell,2003; Chan et.al. 2008)，因此推論dlPFC在系統二決策路徑中可能為訊息中樞，並協調著各個腦區來完成推理與規劃任務。

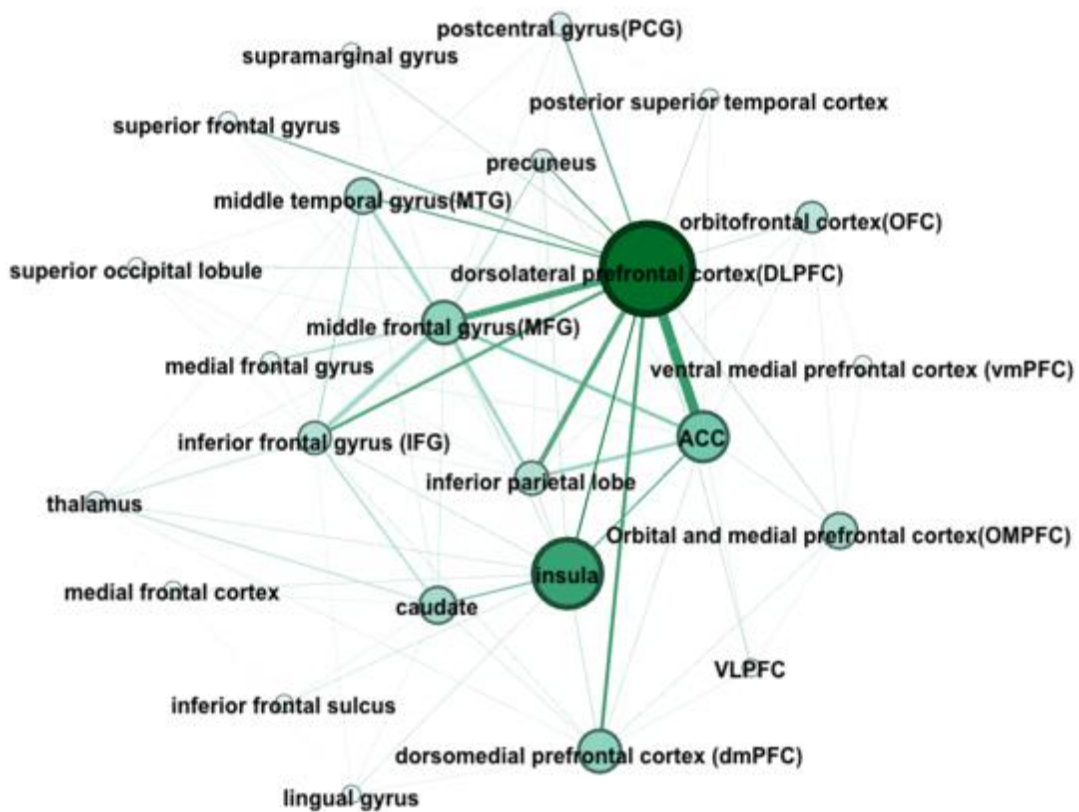


圖 4-5 系統二決策路徑的居間中心性分析結果網絡圖

二、子群體分析

子群體分群結果分出三個子群，其網絡圖可參考圖4-6，不同顏色分別代表不同的子群體，節點圓圈大小代表其程度中心性大小，線條粗細代表連結強度(Weight)。

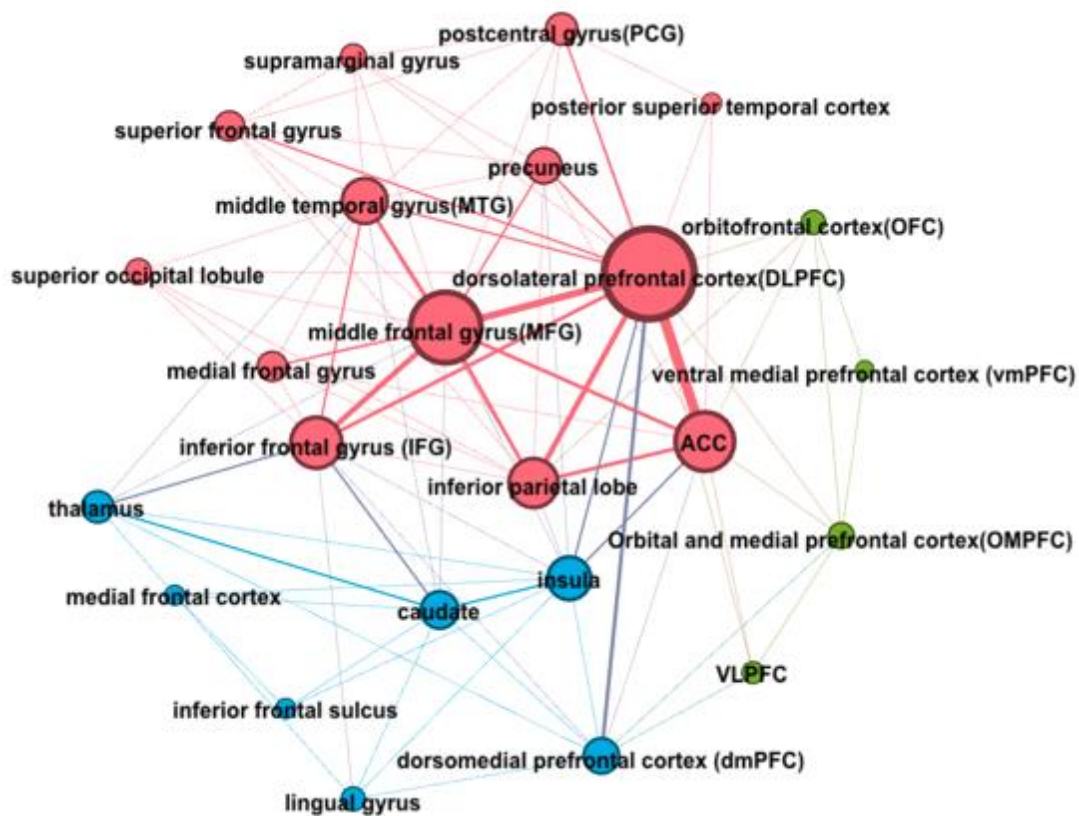


圖 4-6 系統二子群體分析分群結果網絡圖

系統二決策路徑網絡中最大的子群體為第 1 類子群體(圖 4-6 中紅色部分)，其中根據腦區的程度中心性我們可以發現此子群體重要腦區為 dorsolateral prefrontal cortex(dlPFC)、middle frontal gyrus(MFG)、ACC、inferior frontal gyrus (IFG)、inferior parietal lobule，而第 1 類子群體內的連結強度與平均程度中心性也較其他兩個子群來的高，且過去許多研究證實這些腦區的協作與人們問題解決能力、推理能力有密切關係(Elliott, 2003; Prado and Noveck, 2007)，此外，我們也發現 dlPFC 和 middle frontal gyrus 在決策難度較高的實驗情境中(如高風險、道德衝突、訊息模糊等)，時常共同活化。根據此結果以及過去文獻，我們推斷第 1 類子群這個子群應該為整個系統二決策網絡中的核心。

第 2 類子群體(圖 4-3 中藍色部分)，根據腦區的加權程度中心性，其重要腦區為 Insula、caudate、thalamus、dmPFC，第 2 類子群體的腦區彼此間連結相較於

其他兩個模組較弱，重要腦區間在功能上也都沒有太大的關聯，因此較難推斷此子群在整個系統二決策路徑中所扮演的角色。

而系統二決策路徑網絡中第3類子群(圖4-6中綠色部分)，我們發現其腦區大部分與系統一決策路徑網絡中，最核心的子群體(系統一的第1類子群)許多的腦區有所重疊，如orbitofrontal cortex(ofc)、vmPFC、mPFC、omPFC，也再次驗證在第二章文獻探討所提到的default- interventionist model，系統一決策機制是決策制定的預設系統，系統二決策機制則是會依據情境與環境的不同去啟動並干預系統一的機制，但系統一的決策模式並不會完全停止，仍有許多系統一的腦區在系統二中共同作用。

表 4-2 系統二社群網絡分析結果

腦區名稱	加權程度中心性	居間中心性	子群體類別
dorsolateral prefrontal cortex(dIPFC)	39	52.495163	1
middle frontal gyrus(MFG)	29	17.954845	1
ACC	23	23.036813	1
inferior frontal gyrus (IFG)	19	10.583167	1
inferior parietal lobule	18	11.21685	1
middle temporal gyrus(MTG)	16	12.627672	1
precuneus	11	3.270946	1
postcentral gyrus(PCG)	9	3.183333	1
medial frontal gyrus	8	0.583333	1
superior frontal gyrus	8	0.366667	1
supramarginal gyrus	6	0	1

superior occipital lobule	6	0	1
posterior superior temporal cortex	3	0	1
insula	15	36.431793	2
caudate	12	13.658558	2
dorsomedial prefrontal cortex (dmPFC)	11	17.679645	2
thalamus	9	1.632368	2
lingual gyrus	5	0	2
medial frontal cortex	3	0	2
inferior frontal sulcus	3	0	2
Orbital and medial prefrontal cortex(omPFC)	6	12.78837	3
orbitofrontal cortex(OFC)	5	9.490476	3
VLPFC	4	0	3
ventral medial prefrontal cortex (vmPFC)	2	0	3

表 4-3 系統一與系統二腦區差異比較

單獨存在於系統一的腦區	單獨存在於系統二的腦區
Amygdala	dIPFC
precentral gyrus	postcentral gyrus(PCG)
Parahippocampus gyrus	thalamus
medial prefrontal cortex (mPFC)	VLPFC
superior temporal gyrus	inferior frontal sulcus
Orbitofrontal gyrus(OFG)	superior occipital lobule
putaman	
ventral striatum	
temporoparietal junction (TPJ)	
cerebellum	
middle temporal cortex	
Midbrain	

第三節 雙系統決策路徑判別

為了幫助未來學者進行決策相關之神經科學研究，我們依照此次社群網絡分析的結果發展了一套計分機制，這套計分機制能幫助未來的學者判別 fMRI 實驗結果是偏向於系統一決策路徑還是系統二決策路徑。

一、計分機制與判別方式

首先，我們先對系統一和系統二決策路徑網絡中的每個腦區，個別為其計算在所屬系統決策路徑的網絡中的腦區分數，由於加權程度中心性能夠很好的描述網絡中節點在該網絡的重要性，因此我們用腦區的加權程度中心性佔整體網絡程度中心性總和之百分比做為腦區分數，來衡量該腦區佔網絡的重要性。系統一決策路徑和系統二決策路徑網絡中的所有腦區分數計算結果如表 4-3、4-4。

腦區分數計算方式如下：

$$\text{腦區分數} = (\text{該腦區加權程度中心性} / \text{全網絡加權程度中心性總和}) * 100\%$$

表 4-4 系統一決策路徑各腦區之腦區分數

腦區名稱	腦區分數
ACC	9.49
Amygdala	5.73
insula	5.34
Posterior Cingulate Cortex(PCC)	5.34
ventral medial prefrontal cortex (vmPFC)	4.15
orbitofrontal cortex(OFC)	3.95
superior temporal sulcus (STS)	3.56
middle temporal gyrus(MTG)	3.36
medial prefrontal cortex (mPFC)	2.77
precentral gyrus	2.57

lingual gyrus	1.38
Orbital and medial prefrontal cortex(omPFC)	1.38
medial frontal cortex	1.38
temporoparietal junction (TPJ)	0.79
middle occipital gyrus	0.59
medial frontal gyrus	5.34
parahippocampus gyrus	2.77
inferior temporal gyrus	2.37
caudate	2.17
middle frontal gyrus(MFG)	1.58
ventral striatum	1.58
orbitofrontal gyrus(OFG)	1.58
putaman	1.58
Midbrain	1.19
precuneus	7.91
superior frontal gyrus	4.74
supramarginal gyrus	4.74
superior temporal gyrus	3.56
inferior parietal lobule	1.19
inferior frontal gyrus (IFG)	1.19
cerebellum	1.19
dorsomedial prefrontal cortex (dmPFC)	1.19
middle temporal cortex	1.19
angular gyrus	1.19

表 4-5 系統二決策路徑各腦區之腦區分數

腦區名稱	腦區分數
dorsolateral prefrontal cortex(dlPFC)	14.44
middle frontal gyrus(MFG)	10.74
ACC	8.52
inferior frontal gyrus (IFG)	7.04
inferior parietal lobule	6.67
middle temporal gyrus(MTG)	5.93
precuneus	4.07
postcentral gyrus(PCG)	3.33
medial frontal gyrus	2.96
superior frontal gyrus	2.96
supramarginal gyrus	2.22
superior occipital lobule	2.22
posterior superior temporal cortex	1.11
insula	5.56
caudate	4.44
dorsomedial prefrontal cortex (dmPFC)	4.07
thalamus	3.33
lingual gyrus	1.85
medial frontal cortex	1.11
inferior frontal sulcus	1.11
Orbital and medial prefrontal cortex(omPFC)	2.22
orbitofrontal cortex(OFC)	1.85
VLPFC	1.48
ventral medial prefrontal cortex (vmPFC)	0.74

最後將功能性磁振造影實驗結果腦區分別在系統一及系統二所得到的腦區分數進行加總，加總後得到分數較高的系統，代表實驗結果腦區在該系統決策路徑的更為重要，就是此次實驗較可能觸發的系統決策路徑。

二、樣本內計分機制驗證

為了確保計分機制的正確性，我們對樣本內 41 份決策實驗結果進行計分，計分結果請參照附錄 2。計分結果顯示，其中 39 份實驗判斷正確，實驗操弄路徑為系統一路徑的實驗，系統一腦區分數總分皆大於系統二，而實驗操弄路徑為系統二路徑的實驗，系統二腦區分數總分皆大於系統一，準確度達 95.12%，證明此計分機制在判別決策路徑系統有一定的準確度。

表 4-6 樣本內計分機制驗證

實際路徑 判別路徑	系統一	系統二	合計
系統一	20	1	21
系統二	1	19	20
合計	21	20	41

三、計分機制應用

在驗證計分機制的準確性後，我們將此計分機制應用到樣本論文之外，資管領域決策相關的 fMRI 實驗，來進行實際應用。我們採用彭仁伯(2016)使用 fMRI 進行軟體專案承諾升級現象的實驗結果，作為本研究計分機制應用案例。承諾升級現象主要是描述，當軟體專案決策者接收到專案負面評估資訊時，仍

繼續不斷投入資源到專案中，沒有選擇停止專案(Keil and Mann, 1997;Keil et.al., 2000)。我們將研究結果的腦區，分別對照系統一與系統二網絡的腦區分數(參考表 4-4、4-5)，並進行加總，結果如(表 4-6、4-7)。

表 4-7 繼續專案決策者腦區與系統別分數

繼續專案決策者		
活化腦區	系統一 腦區分數	系統二 腦區分數
Insula	5.34	5.56
Inferior Parietal Lobule	1.19	6.67
Parahippocampa Gyrus	2.77	0
Sub Gyral	0	0
Extra Nuclear	0	0
Superior Temporal Gyrus	3.56	0
Postcentral Gyrus	0	3.33
Anterior Cingulate Cortex	9.49	8.52
Precuneus	7.91	4.07
Cingulate Gyrus	0	0
Medial Frontal Gyrus	5.34	2.96
Transverse Temporal Gyrus	0	0
Middle Temporal Gyrus	3.36	5.93
Paracentral Lobule	0	0
Precentral Gyrus	2.57	0
Superior Parietal Lobule	0	0
總分	41.53	37.04

表 4-8 不繼續專案決策者腦區與系統別分數

不繼續專案決策者		
活化腦區	系統一 腦區分數	系統二 腦區分數
Inferior Parietal Lobule	1.19	6.67
Superior Frontal Gyrus	4.74	2.96
Medial Frontal Gyrus	5.34	2.96
Extra Nuclear	0	0
Superior Parietal Lobule	0	0
Angular Gyrus	1.19	0
Middle Frontal Gyrus	1.58	10.74
Inferior Frontal Gyrus	1.19	7.04
總分	15.23	30.37

根據加總結果，我們可以發現選擇繼續專案的決策者，其決策過程活化的腦區較偏向於系統一決策路徑(41.53 > 37.04)，顯示其決策過程可能較直覺、情緒化，而選擇不繼續專案的決策者其活化的腦區較偏向於系統二決策路徑(30.37 > 15.23)，顯示其決策過程可能較慎重、依賴邏輯推理，而過去資管領域的研究也顯示選擇繼續專案的決策者，在過去資管領域研究中，選擇繼續專案的決策者(承諾升級現象發生)，通常被認為其決策過程較感性，偏重於直覺與情緒判斷，相對的選擇不繼續專案的決策者，其決策過程較理性，經過較多的推理與仔細推敲最後才做出決策，而我們的計分判別機制在這個實驗的判斷上，也顯示出相同的結果。

第五章 結論與建議

第一節 研究結果

依據加權程度中心性分析結果(圖 4-1、圖 4-4)，系統一決策路徑中重要的腦區為 precuneus、ACC、Amygdala、PCC 與 Medial frontal gyrus，系統二決策路徑中重要的腦區為 dorsolateral prefrontal cortex、middle frontal gyrus、ACC、middle temporal gyrus 與 inferior frontal gyrus。居間中心性分析結果發現，在系統一決策路徑中掌控腦區間訊息溝通的腦區，為 precuneus，而在系統二決策路徑中則是 ACC。

子群體分析結果(圖 4-3、圖 4-6)讓我們找出系統一與系統二中各腦區間的合作關係，發現如下：

- 系統一決策路徑，總共找出三個子群體：
 1. 最大的子群體為第 1 類子群，重要腦區有 ACC、Amygdala、Posterior Cingulate Cortex(PCC)、insula、orbitofrontal cortex(OFC)、ventral medial prefrontal cortex (vmPFC)以及 superior temporal sulcus (STS)，根據這些腦區的功能，推斷系統一決策路徑的第 1 類子群可能負責社會情感相關功能
 2. 第 2 類子群，重要的腦區有 Medial Frontal gyrus、 parahippocampus gyrus、inferior temporal gyrus。Medial Frontal gyrus，但其共同負責的功能則較不明確
 3. 第 3 類子群，重要的腦區有 Precuneus、Supramarginal gyrus、superior frontal gyrus、Superior temporal gyrus，根據腦區功能推斷根據可能在系統一中共同負責感官訊息處理，且根據實驗情境，此子群體也可能在系統一中負責著情感偏好相關的訊息處理。

- 系統二決策路徑，總共找出三個子群體：
 1. 第 1 類子群體為最大的子群，重要的腦區有 dorsolateral prefrontal cortex(dlPFC)、middle frontal gyrus(MFG)、ACC、inferior frontal gyrus (IFG)、inferior parietal lobule，根據這些腦區的功能，推斷系統二決策路徑的第 1 類子群可能負責目標規劃與邏輯推理相關功能，且 dlPFC、middle frontal gyrus 在決策難度較高的情境中，經常共同活化。
 2. 第 2 類子群體，重要的腦區有 Insula、caudate、thalamus、dmPFC，重要腦區間在功能上也都沒有太大的關聯，因此較難推斷此子群在整個系統二決策路徑中所扮演的角色。
 3. 第 3 類子群(圖 4-6 中綠色部分)，大部分與系統一決策路徑網絡中第 1 類子群許多的腦區有所重疊，也再次驗證在第二章文獻探討所提到的預設干預模型(default- interventionist model)描述相似，證明系統一的決策模式在系統二決策過程中並不會完全停止。

最後本研究依據腦區的加權程度中心性，發展了一套計分辨別機制，用此來判斷其他 fmri 決策實驗可能觸發的是系統一決策路徑還是系統二決策路徑。本研究先透過樣本內驗證，確定計分判斷機制有達 95.12% 的正確性後，本研究將其應用到彭仁伯(2016)使用 fMRI 進行軟體專案承諾升級現象的實驗結果，測試其可行性，驗證結果如表 4-11 與 4-12，判斷結果顯示在選擇繼續專案的決策者腦區其決策路徑偏向系統一決策路徑，而選擇不繼續專案的決策者其腦區較偏向系統案決策路徑，判斷結果與資管領域學者對承諾升級現象的解釋相同，證明了計分機制的可行性。

第二節 研究貢獻

過去較少雙系統理論在大腦中作用機制相關的文獻整理，導致學者在解釋決策行為 fMRI 實驗結果的困難，僅能參考少數幾篇文獻來進行系統決策路徑的判別。本研究彙整了 32 篇過去學者進行決策相關的功能性磁振造影(Functional Magnetic Resonance Imaging)實驗，依據其實驗操弄可能觸發的決策系統路徑對實驗結果活化的腦區進行雙系統路徑分類，並將這些分類好的腦區進行社群網絡分析，本研究研究結果對於學術上的貢獻能歸納成以下幾點：

1. 透過加權程度中心性分析區分出不同系統決策路徑中重要的腦區
2. 透過居間中心性找出不同系統決策路徑中訊息中樞腦區
3. 透過子群體分析找出不同系統決策路徑中各腦區間的合作關係。
4. 根據提出一套計分辨別機制，讓後續學者能夠依照此機制去驗證實驗研究的腦區結果是偏向啟動系統一決策路徑或是系統二決策路徑。

綜和以上幾點，讓未來學者在以雙系統理論解釋決策行為時，有個數據化的依據與參照，也能對雙系統決策路徑的大腦機制有個更全面的認識。

第三節 研究限制

本研究在研究過程中力求嚴謹，但仍有難以克服的難點，主要的研究限制有以下兩點：

1. 本研究樣本蒐集的過程為人工蒐集，能蒐集與分類的文獻有限，且許多決策實驗的實驗操弄因子較為複雜，較難以判別其操弄期望觸發的系統決策路徑，使得社群網絡分析樣本數量偏少，可能造成研究結果在精準度上有些許落差。
2. 本研究的文獻整理過程採用人工校閱的方式，雖然本研究已採用兩人獨立編碼的方式進行彙整，編碼結果相同的文獻才納入文獻樣本，但仍可能造成人為判斷上的偏誤。

第四節 未來規劃與研究方向

根據上一節研究限制所談到的編碼彙整問題，隨著近年來文本分析與人工智慧技術的進展，本研究未來可以結合這兩項技術將蒐集、分類樣本的工作自動化，讓我們能夠蒐集更多的樣本來進行分析，使分類結果更加準確可靠。

此外，除了探討雙系統理論決策過程中大腦作用機制，其他與決策相關的理論(如：框架效應)近年來也受到越來越多領域學者的重視，未來也能將本文的研究方法應用到不同理論的決策實驗，比較在不同理論決策中各腦區間活化差異，從更多元角度了解大腦決策機制，最後綜合這些研究結果提出一些準則，讓決策者能夠根據這些建議，規避一些常造成決策偏誤的狀況，進而改善我們在不同情境決策品質。

參考文獻

一、中文部分

彭仁柏 (民 105)。軟體專案承諾升級的研究—自我辯護理論與框架效應 (未出版之碩士論文)。國立政治大學，臺北市。

梁定澎 (民 101)。資訊管理理論。新北市：前程文化。

二、英文部分

Adolphs, R. (2010). What does the amygdala contribute to social cognition?. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191(1), 42-61.

Akil, H., Martone, M. E., & Van Essen, D. C. (2011), "Challenges and opportunities in mining neuroscience data," *Science (New York, NY)*, 331(6018), 708.

Andrews-Hanna, J. R. (2012). The brain's default network and its adaptive role in internal mentation. *The Neuroscientist*, 18(3), 251-270.

Bakalash, T., & Riemer, H. (2013). Exploring ad-elicited emotional arousal and memory for the ad using fMRI. *Journal of Advertising*, 42(4), 275-291.

Bassett DS, Bullmore ET. 2009. Human brain networks in health and disease. *Curr Opin Neurol* 22:340–347.

Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275(5304), 1293-1295.

Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2003). Role of the amygdala in decision-making. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 985(1), 356-369.

Borgatti, S. P., & Li, X. (2009). On social network analysis in a supply chain context. *Journal of Supply Chain Management*, 45(2), 5–22.

- Botvinick, M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 402(6758), 179.
- Brewer, J. B., Zhao, Z., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (1998). Making memories: Brain activity that predicts how well visual experience will be remembered. *Science*, 281(5380), 1185-1187.
- Brown, L. L., Schneider, J. S., & Lidsky, T. I. (1997). Sensory and cognitive functions of the basal ganglia. *Current opinion in neurobiology*, 7(2), 157-163.
- Bucci, D. J. (2009). Posterior parietal cortex: An interface between attention and learning? *Neurobiology of Learning and Memory*, 91(2), 114-120.
- Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 1-38.
- Bullmore, E., & Sporns, O. (2009). Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(3), 186.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 1-47.
- Cardinal, R. N., Parkinson, J. A., Hall, J., & Everitt, B. J. (2002). Emotion and motivation: the role of the amygdala, ventral striatum, and prefrontal cortex. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(3), 321-352.
- Carlson, N. R. (2012). *Physiology of Behavior* 11th Edition. Pearson. pp. 83; 268; 273-275
- Causse, M., Péran, P., Dehais, F., Caravasso, C. F., Zeffiro, T., Sabatini, U., & Pastor, J. (2013). Affective decision making under uncertainty during a plausible aviation task: An fMRI study. *NeuroImage*, 71, 19-29.

- Chan, R. C., Shum, D., Touloupoulou, T., & Chen, E. Y. (2008). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of clinical neuropsychology*, 23(2), 201-216.
- Chang, H. J. J., O'Boyle, M., Anderson, R. C., & Suttikun, C. (2016). An fMRI study of advertising appeals and their relationship to product attractiveness and buying intentions. *Journal of Consumer Behaviour*, 15(6), 538-548.
- Coricelli, G., & Nagel, R. (2010). The neural basis of bounded rational behavior.
- Costafreda, S. G., Brammer, M. J., David, A. S., & Fu, C. H. (2008). Predictors of amygdala activation during the processing of emotional stimuli: a meta-analysis of 385 PET and fMRI studies. *Brain research reviews*, 58(1), 57-70.
- Crinion, J. T., Lambon-Ralph, M. A., Warburton, E. A., Howard, D., & Wise, R. J. (2003). Temporal lobe regions engaged during normal speech comprehension. *Brain*, 126(5), 1193-1201.
- Curtis, C. E., & D'Esposito, M. (2004). The effects of prefrontal lesions on working memory performance and theory. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 4(4), 528-539.
- Davis, M. (1992). The role of the amygdala in fear and anxiety. *Annual review of neuroscience*, 15(1), 353-375.
- D'Argembeau, A., Ruby, P., Collette, F., Degueldre, C., Balteau, E., Luxen, A., et al. (2007). Distinct regions of the medial prefrontal cortex are associated with self-referential processing and perspective taking. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(6), 935-944.
- De Martino, B., Kumaran, D., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2006). Frames, biases, and rational decision-making in the human brain. *Science*, 313(5787), 684-687.

- Delgado, M. R., Frank, R. H., & Phelps, E. A. (2005). Perceptions of moral character modulate the neural systems of reward during the trust game. *Nature neuroscience*, 8(11), 1611.
- Delgado, M. R., Miller, M. M., Inati, S., & Phelps, E. A. (2005). An fMRI study of reward-related probability learning. *Neuroimage*, 24(3), 862-873.
- Deppe, M., Schwindt, W., Kugel, H., Plassmann, H., & Kenning, P. (2005). Nonlinear responses within the medial prefrontal cortex reveal when specific implicit information influences economic decision making. *Journal of Neuroimaging*, 15(2), 171-182.
- Edwards, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological bulletin*, 51(4), 380.
- Eldaief, M. C., Deckersbach, T., Carlson, L. E., Beucke, J. C., & Dougherty, D. D. (2011). Emotional and cognitive stimuli differentially engage the default network during inductive reasoning. *Social cognitive and affective neuroscience*, 7(4), 380-392.
- Elliott, R. (2003). Executive functions and their disorders: Imaging in clinical neuroscience. *British medical bulletin*, 65(1), 49-59.
- Epstein, S. 1994. Integration of the cognitive and the psychodynamic unconscious. *American Psychologist* 49 (8): 709–724.
- Evans, J. 2005. Insight and self-insight in reasoning and decision making. In *The Shape of Reason: Essays in Honour of Paolo Legrenzi*, edited by Girotto, V., and P. Johnson-Laird, 27–48. London, U.K.: Psychology Press.
- Evans, J. 2006. The heuristic-analytic theory of reasoning: Extension and evaluation. *Psychonomic Bulletin and Review* 13 (3): 378–395.
- Evans, J. 2008. Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition. *Annual Review of Psychology* 59: 255–278.

- Evans, J. S. B., & Stanovich, K. E. (2013). Dual-process theories of higher cognition: Advancing the debate. *Perspectives on psychological science*, 8(3), 223-241.
- Evans, Jonathan (1984). "Heuristic and analytic processes in reasoning". *British Journal of Psychology*. 75: 451–468.
- Ferreira, N. F., Oliveira, V. D., Amaral, L., Mendonça, R., & Lima, S. S. (2003). Analysis of parahippocampal gyrus in 115 patients with hippocampal sclerosis. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 61(3B), 707-711.
- Fox, M. D., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Corbetta, M., Van Essen, D. C., & Raichle, M. E. (2005). The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(27), 9673-9678.
- Freeman, L.C., 1979. Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification. *Social Networks*, 1, 215-239..
- Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B. and Mangun, G.R., *Cognitive Neuroscience, the Biology of the Mind*, third edition, 2009, W.W. Norton, publishers. pgs. 395–401
- Giuliani, E., & Bell, M. (2005). The micro-determinants of meso-level learning and innovation: Evidence from a Chilean wine cluster. *Research Policy*, 34(1), 47–68.
- Goel V, Dolan R J. Explaining modulation of reasoning by belief. *Cognition*, 2003, 87: 11~22
- Grahn, J. A., Parkinson, J. A., & Owen, A. M. (2009). The role of the basal ganglia in learning and memory: neuropsychological studies. *Behavioural brain research*, 199(1), 53-60.
- Greene, J. D., Nystrom, L. E., Engell, A. D., Darley, J. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural bases of cognitive conflict and control in moral judgment. *Neuron*, 44(2), 389-400.

- Güth, W., Schmittberger, R., Schwarze, B. (1982). An experimental-analysis of ultimatum bargaining. *J. Econ. Behav. Org.* 3 (4), 367–388.
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in cognitive sciences*, 4(6), 223-233.
- Heekeren, H. R., Marrett, S., & Ungerleider, L. G. (2008). The neural systems that mediate human perceptual decision making. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(6), 467-479.
- Helion, C., & David, A. P. (2015). Beyond Dual-Processes: The Interplay of Reason and Emotion in Moral Judgment. In J. Clausen & N. Levy (Eds.), *Handbook of neuroethics*(pp. 109–125).
- Hsu, M., Bhatt, M., Adolphs, R., Tranel, D., & Camerer, C. F. (2005). Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making. *Science*, 310(5754), 1680-1683.
- Hutchinson, J. B., Uncapher, M. R., & Wagner, A. D. (2009). Posterior parietal cortex and episodic retrieval: Convergent and divergent effects of attention and memory. *Learning and Memory*, 16, 343-356.
- Kahneman, D., and S. Frederick. 2004. Attribute substitution in intuitive judgment. In *Models of a Man:Essays in Memory of Herbert A. Simon*, edited by Augier, M., and J. March, 411–432.
- Kahneman, D., and S. Frederick. 2005. A model of heuristic judgment. In *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*, edited by Holyoak, K., and R. Morrison, 267–294.
- Keil, M., & Mann, J. (1997). The nature and extent of it project escalation: Results from a survey of IS audit and control professionals. *IS Audit and Control Journal*, 40-49.

- Keil, M., Mann, J., & Rai, A. (2000). Why software projects escalate: An empirical analysis and test of four theoretical models. *Mis Quarterly*, 631-664.
- Khader, P. H., Pachur, T., Meier, S., Bien, S., Jost, K., & Rösler, F. (2011). Memory-based decision-making with heuristics: evidence for a controlled activation of memory representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3540-3554.
- Kirk, U., Downar, J., & Montague, P. R. (2011). Interoception drives increased rational decision-making in meditators playing the ultimatum game. *Frontiers in neuroscience*, 5, 49.
- Krawczyk, D. C., McClelland, M. M., Donovan, C. M., Tillman, G. D., & Maguire, M. J. (2010). An fMRI investigation of cognitive stages in reasoning by analogy. *Brain research*, 1342, 63-73.
- Lieberman, M. 2007. Social cognitive neuroscience: A review of core processes. *Annual Review of Psychology* 58: 259–289.
- Mars, R. B., Neubert, F. X., Noonan, M. P., Sallet, J., Toni, I., & Rushworth, M. F. (2012). On the relationship between the “default mode network” and the “social brain”. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 189.
- Marsden, C. D., & Obeso, J. A. (1994). The functions of the basal ganglia and the paradox of stereotaxic surgery in Parkinson's disease. *Brain*, 117(4), 877-897.
- Mohr, P. N., Biele, G., & Heekeren, H. R. (2010). Neural processing of risk. *Journal of Neuroscience*, 30(19), 6613-6619.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in cognitive sciences*, 7(3), 134-140.
- Murch, K. B. (2010). Dual process models of decision making: an fMRI investigation of framing effects and individual differences (Doctoral dissertation).
- Nerur, S., Sikora, R., Mangalaraj, G. & Balijepally V., 2005. Assessing the Relative Influence of Journals in a Citation Network, *Communications of The Acm*, 48(11), 71-74.

- Newman, M. E. J., "Modularity and community structure in networks," PNAS (103:23), 2006, pp.8577-8582.
- Newman, M., "The Structure and Function of complex Networkss," SIAM Review (45:2), 2003.
- Newman, S. D., Carpenter, P. A., Varma, S., & Just, M. A. (2003). Frontal and parietal participation in problem solving in the Tower of London: fMRI and computational modeling of planning and high-level perception. *Neuropsychologia*, 41(12), 1668-1682.
- Nooy, W.D., *Exploratory Network Analysis with Pajek*, New York: Cambridge University Press, 2005.
- Pape, H. C., & Pare, D. (2010). Plastic synaptic networks of the amygdala for the acquisition, expression, and extinction of conditioned fear. *Physiological reviews*, 90(2), 419-463.
- Pérez Álvarez, F., & Timoneda Gallart, C. (2007). An fMRI Study of Emotional engagement in decision-making. © Transaction advanced research, 2007, vol. 2, p. 45-51.
- Phelps, E. A., & LeDoux, J. E. (2005). Contributions of the amygdala to emotion processing: from animal models to human behavior. *Neuron*, 48(2), 175-187.
- Rampl, L. V., Opitz, C., Welp, I. M., & Kenning, P. (2016). The role of emotions in decision-making on employer brands: insights from functional magnetic resonance imaging (fMRI). *Marketing letters*, 27(2), 361-374.
- Rissman, J., Eliassen, J. C., & Blumstein, S. E. (2003). An event-related fMRI investigation of implicit semantic priming. *Journal of cognitive neuroscience*, 15(8), 1160-1175.

- Sakagami, M., & Watanabe, M. (2007). Integration of cognitive and motivational information in the primate lateral prefrontal cortex. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1104, 89-107.
- Spreng, R. N. (2012). The fallacy of a “task-negative” network. *Frontiers in psychology*, 3, 145.
- Sylcott, B., Cagan, J., & Tabibnia, G. (2011, January). Understanding of emotions and reasoning during consumer tradeoff between function and aesthetics in product design. In *ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (pp. 165-176). American Society of Mechanical Engineers.
- Talati, A., & Hirsch, J. (2005). Functional specialization within the medial frontal gyrus for perceptual go/no-go decisions based on “what,” “when,” and “where” related information: an fMRI study. *Journal of cognitive neuroscience*, 17(7), 981-993.
- Tanji, J., & Hoshi, E. (2008). Role of the Lateral Prefrontal Cortex in Executive Behavioral Control. *Physiological Reviews*, 88(1), 37-57.
- Tanji, J., Shima, K., & Mushiake, H. (2007). Concept-based behavioral planning and the lateral prefrontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(12), 528-534.
- Utter, A. A., & Basso, M. A. (2008). The basal ganglia: an overview of circuits and function. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32(3), 333-342.
- Vogt, B. A., & Laureys, S. (2005). Posterior cingulate, precuneal and retrosplenial cortices: cytology and components of the neural network correlates of consciousness. *Progress in brain research*, 150, 205-217.
- Weissman, D. H., Gopalakrishnan, A., Hazlett, C. J., & Woldorff, M. G. (2004). Dorsal anterior cingulate cortex resolves conflict from distracting stimuli by boosting attention toward relevant events. *Cerebral cortex*, 15(2), 229-237.

- Wellman, B. "Which Types of Ties and Networks Give What Kinds of Social Support?"
Advances in Group Processes 9 (1992): 207-35.
- Westen, D., Blagov, P. S., Harenski, K., Kilts, C., & Hamann, S. (2006). Neural bases of motivated reasoning: An fMRI study of emotional constraints on partisan political judgment in the 2004 US presidential election. *Journal of cognitive neuroscience*, 18(11), 1947-1958.
- Yin, H. H., & Knowlton, B. J. (2006). The role of the basal ganglia in habit formation. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(6), 464.
- Zander, T., Horr, N. K., Bolte, A., & Volz, K. G. (2016). Intuitive decision making as a gradual process: investigating semantic intuition-based and priming-based decisions with fMRI. *Brain and behavior*, 6(1).
- Zhang, X., Tokoglu, F., Negishi, M., Arora, J., Winstanley, S., Spencer, D. D., & Constable, R. T. (2011). Social network theory applied to resting-state fMRI connectivity data in the identification of epilepsy networks with iterative feature selection. *Journal of neuroscience methods*, 199(1), 129-139.
- Zysset, S., Wendt, C. S., Volz, K. G., Neumann, J., Huber, O., & von Cramon, D. Y. (2006). The neural implementation of multi-attribute decision making: a parametric fMRI study with human subjects. *Neuroimage*, 31(3), 1380-1388.

研究樣本文獻：

- Bakalash, T., & Riemer, H. (2013). Exploring ad-elicited emotional arousal and memory for the ad using fMRI. *Journal of Advertising*, 42(4), 275-291.
- Bolla, K. I., Eldreth, D. A., Matochik, J. A., & Cadet, J. L. (2005). Neural substrates of faulty decision-making in abstinent marijuana users. *Neuroimage*, 26(2), 480-492.

- Bush, G., Vogt, B. A., Holmes, J., Dale, A. M., Greve, D., Jenike, M. A., & Rosen, B. R. (2002). Dorsal anterior cingulate cortex: a role in reward-based decision making. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(1), 523-528.
- Causse, M., Péran, P., Dehais, F., Caravasso, C. F., Zeffiro, T., Sabatini, U., & Pastor, J. (2013). Affective decision making under uncertainty during a plausible aviation task: An fMRI study. *NeuroImage*, 71, 19-29.
- Chang, H. J., O'Boyle, M., Anderson, R. C., & Suttikun, C. (2016). An fMRI study of advertising appeals and their relationship to product attractiveness and buying intentions. *Journal of Consumer Behaviour*, 15(6), 538-548.
- Coricelli, G., & Nagel, R. (2012). The neural basis of bounded rational behavior. *Revista Internacional de Sociología*, 70, 39-52.
- De Martino, B., Kumaran, D., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2006). Frames, biases, and rational decision-making in the human brain. *Science*, 313(5787), 684-687.
- Deppe, M., Schwindt, W., Kugel, H., Plassmann, H., & Kenning, P. (2005). Nonlinear responses within the medial prefrontal cortex reveal when specific implicit information influences economic decision making. *Journal of Neuroimaging*, 15(2), 171-182.
- Delgado, M. R., Frank, R. H., & Phelps, E. A. (2005). Perceptions of moral character modulate the neural systems of reward during the trust game. *Nature neuroscience*, 8(11), 1611.
- Eldaief, M. C., Deckersbach, T., Carlson, L. E., Beucke, J. C., & Dougherty, D. D. (2011). Emotional and cognitive stimuli differentially engage the default network during inductive reasoning. *Social cognitive and affective neuroscience*, 7(4), 380-392.

- Ernst, M., Nelson, E. E., McClure, E. B., Monk, C. S., Munson, S., Eshel, N., ... & Blair, J. (2004). Choice selection and reward anticipation: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 42(12), 1585-1597.
- Farrell, A. M., Goh, J. O., & White, B. J. (2014). The effect of performance-based incentive contracts on system 1 and system 2 processing in affective decision contexts: fMRI and behavioral evidence. *The Accounting Review*, 89(6), 1979-2010.
- FitzGerald, T. H., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2009). The role of human orbitofrontal cortex in value comparison for incommensurable objects. *Journal of Neuroscience*, 29(26), 8388-8395.
- Grabenhorst, F., Rolls, E. T., & Parris, B. A. (2008). From affective value to decision-making in the prefrontal cortex. *European Journal of Neuroscience*, 28(9), 1930-1939.
- Greene, J. D., Nystrom, L. E., Engell, A. D., Darley, J. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural bases of cognitive conflict and control in moral judgment. *Neuron*, 44(2), 389-400.
- Greene, J. D., Sommerville, R. B., Nystrom, L. E., Darley, J. M., & Cohen, J. D. (2001). An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science*, 293(5537), 2105-2108.
- Hare, T. A., Camerer, C. F., & Rangel, A. (2009). Self-control in decision-making involves modulation of the vmPFC valuation system. *Science*, 324(5927), 646-648.
- Hsu, M., Bhatt, M., Adolphs, R., Tranel, D., & Camerer, C. F. (2005). Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making. *Science*, 310(5754), 1680-1683.

- Khader, P. H., Pachur, T., Meier, S., Bien, S., Jost, K., & Rösler, F. (2011). Memory-based decision-making with heuristics: evidence for a controlled activation of memory representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3540-3554.
- Kim, J., & Hastak, M. (2018). Social network analysis: Characteristics of online social networks after a disaster. *International Journal of Information Management*, 38(1), 86-96.
- Kirk, U., Downar, J., & Montague, P. R. (2011). Interoception drives increased rational decision-making in meditators playing the ultimatum game. *Frontiers in neuroscience*, 5, 49.
- Knutson, B., Westdorp, A., Kaiser, E., & Hommer, D. (2000). fMRI visualization of brain activity during a monetary incentive delay task. *Neuroimage*, 12(1), 20-27.
- Krawczyk, D. C., McClelland, M. M., Donovan, C. M., Tillman, G. D., & Maguire, M. J. (2010). An fMRI investigation of cognitive stages in reasoning by analogy. *Brain research*, 1342, 63-73.
- Mohr, P. N., Biele, G., & Heekeren, H. R. (2010). Neural processing of risk. *Journal of Neuroscience*, 30(19), 6613-6619.
- Murch, K. B. (2010). Dual process models of decision making: an fMRI investigation of framing effects and individual differences (Doctoral dissertation).
- Prado, J., & Noveck, I. A. (2007). Overcoming perceptual features in logical reasoning: A parametric functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(4), 642-657.
- Pérez Álvarez, F., & Timoneda Gallart, C. (2007). An fMRI Study of Emotional engagement in decision-making. © Transaction advanced research, 2007, vol. 2, p. 45-51.

- Rampl, L. V., Opitz, C., Welpe, I. M., & Kenning, P. (2016). The role of emotions in decision-making on employer brands: insights from functional magnetic resonance imaging (fMRI). *Marketing letters*, 27(2), 361-374.
- Rolls, E. T., Grabenhorst, F., & Parris, B. A. (2010). Neural systems underlying decisions about affective odors. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(5), 1069-1082.
- Sanfey, A. G., Rilling, J. K., Aronson, J. A., Nystrom, L. E., & Cohen, J. D. (2003). The neural basis of economic decision-making in the ultimatum game. *Science*, 300(5626), 1755-1758.
- Shad, M. U., Bidesi, A. S., Chen, L. A., Thomas, B. P., Ernst, M., & Rao, U. (2011). Neurobiology of decision-making in adolescents. *Behavioural brain research*, 217(1), 67-76.
- Sylcott, B., Cagan, J., & Tabibnia, G. (2011, January). Understanding of emotions and reasoning during consumer tradeoff between function and aesthetics in product design. In *ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (pp. 165-176). American Society of Mechanical Engineers.
- Westen, D., Blagov, P. S., Harenski, K., Kilts, C., & Hamann, S. (2006). Neural bases of motivated reasoning: An fMRI study of emotional constraints on partisan political judgment in the 2004 US presidential election. *Journal of cognitive neuroscience*, 18(11), 1947-1958.
- Zysset, S., Wendt, C. S., Volz, K. G., Neumann, J., Huber, O., & von Cramon, D. Y. (2006). The neural implementation of multi-attribute decision making: a parametric fMRI study with human subjects. *Neuroimage*, 31(3), 1380-1388.

附錄一、實驗分類結果

文獻名稱	作者與年分	系統決策 路徑	腦區
The Effect of Performance-Based Incentive Contracts on system 1 and system 2 Processing in Affective Decision Contexts: fMRI and Behavioral Evidence	Farrell et.al, 2014	系統一	Insula, inferior temporal gyrus, posterior cingulate, ACC,precuneus
		系統二	middle frontal gyrus, inferior frontal gyrus, thalamus,caudate middle temporal gyrus
An fMRI study of advertising appeals and their relationship to product attractiveness and buying intentions	Chang et.al, 2016	系統一	Middle temporal gyrus, Middle occipital gyrus, Posterior cingulate, Precuneus
		系統二	Anterior cingulate, Medial frontal gyrus, Middle frontal gyrus
Exploring Ad-Elicited Emotional Arousal and Memory for the Ad Using fMRI	Bakalash & Riemer, 2013	系統一	Amygdala, superior temporal sulcus
Perceptions of moral character modulate the neural	Delgado et.al, 2005	系統一	Caudate,Precuneus, medial frontal gyrus,

systems of reward during the trust game			ventral striatum ,parahippocampus gyrus, ofg,middle frontal gyrus,inferior temporal gyrus ,putaman
Interoception drives increased rational decision-making in meditators playing the ultimatum game	Kirk & Montague, 2011	系統一	ACC,insula,medial frontal gyrus,superior frontal gyrus,superior temporal sulcus ,supramarginal gyrus,cerebellum
		系統二	ACC,postcentral gyrus (PCG), dlPFC ,posterior superior temporal cortex (pSTC)
Frames, Biases, and Rational Decision-Making in the Human Brain	De Martino et.al, 2016	系統一	ACC,Amygdala
		系統二	Orbital and medial prefrontal cortex (omPFC), VMPFC ,OFC
Dual Process Models Of Decision Making: An fMRI Investigation of Framing	Murch, 2010	系統一	Amygdala,Insula middle temporal gyrus ,ACC,VMPFC,

Effects and Individual Differences			precentral gyrus, orbitomedial prefrontal cortex,OFC
		系統二	omPFC,ACC,VLPFC, dmPFC,DLPFC
Neural Bases of Motivated Reasoning: An fMRI Study of Emotional Constraints on Partisan Political Judgment in the 2004 U.S. Presidential Election	Westen et.al, 2004	系統一	ventromedial prefrontal cortex, anterior cingulate cortex, posterior cingulate cortex, insula,orbital cortex(OFC)
An fMRI investigation of cognitive stages in reasoning by analogy	Krawczyk et.al, 2010	系統二	IFG, MFG, dlPFC
UNDERSTANDING OF EMOTIONS AND REASONING DURING CONSUMER TRADEOFF BETWEEN FUNCTION AND AESTHETICS IN PRODUCT DESIGN	Sylcott et.al, 2011	系統一	Midbrain, Orbitofrontal Cortex(OFC), Parahippocampal Gyrus,Amygdala,ACC Medial frontal gyrus ,SFG
		系統二	dlPFC,ACC

Emotional and cognitive stimuli differentially engage the default network during inductive reasoning	Eldaief et.al, 2012	系統一	dmPFC,precuneus Supramarginal gyrus, middle temporal cortex, inferior frontal gyrus, superior temporal gyrus, amygdala
		系統二	dmPFC, inferior frontal gyrus, lingual gyrus, caudate, thalamus, insula
An fMRI Study of Emotional Engagement In Decision-Making	Pérez & Timoneda, 2007	系統一	PCC,ACC, mPFC
Neural Processing of Risk	Mohr& Heekeren, 2010	系統二	dmPFC,dIPFC
The neural basis of bounded rational behavior	Coricelli & Nagel, 2012	系統一	medial prefrontal cortex (mPFC),ACC, superior temporal sulcus, temporoparietal junction (TPJ), vmPFC
The Neural Bases of Cognitive Conflict and Control in Moral Judgment	Greene et.al, 2004	系統一	Amygdala,medial frontal cortex,Middle temporal gyrus,ACC Superior temporal

			<p>sulcus,Lingual gyrus</p> <p>Precuneus,PCC</p>
		系統二	<p>ACC, dlPFC, middle frontal gyrus, precuneus, inferior parietal lobe, insula</p>
Neural Systems Responding to Degrees of Uncertainty in Human Decision-Making	Hsu et.al, 2005	系統一	Amygdala,OFC
Affective decision making under uncertainty during a plausible aviation task: an fMRI study	Causse et.al, 2013	系統二	<p>dlPFC,superior frontal gyrus,middle frontal gyrus,middle temporal gyrus, postcentral gyrus, precuneus, Supramarginal gyrus</p>
The role of emotions in decision-making on employer brands: insights from functional magnetic resonance imaging	Rampl et.al, 2016	系統一	<p>Superior temporal gyrus, Angular gyrus, Inferior parietal lobule, Superior frontal gyrus, Medial frontal gyrus, Precuneus, Supramarginal gyrus,</p>
Memory-based Decision-making with Heuristics: Evidence for a Controlled	Khader et.al, 2011	系統二	<p>dlPFC,superior frontal gyrus,inferior parietal lobule</p>

Activation of Memory Representations			
The neural implementation of multi-attribute decision making: A parametric fMRI study with human subjects	Zysset et.al, 2006	系統二	medial frontal cortex,inferior frontal sulcus, insula,caudate
Nonlinear Responses Within the Medial Prefrontal Cortex Reveal When Specific Implicit Information Influences Economic Decision Making	Deppe et.al, 2005	系統一	superior frontal gyrus, PCC,precuneus, VMPFC,supramarginal gyrus,superior temporal gyrus, precentral gyrus
		系統二	dIPFC,Inferior frontal gyrus,middle frontal gyrus,medial frontal gyrus,middle temporal gyrus,superior occipital lobule,inferior parietal lobe
An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment	Greene et.al, 2001	系統一	PCC,medial frontal gyrus
Neurobiology of decision-making in adolescents	Shad et.al, 2011	系統一	ACC,OFC,MPFC

From affective value to decision-making in the prefrontal cortex	Grabenhorst et.al, 2008	系統一	MPFC,insula
Self-control in decision-making involves modulation of the vmPFC valuation system	Hare et.al, 2009	系統二	dIPFC,vmPFC
The role of human orbitofrontal cortex in value comparison for incommensurable objects	FitzGerald et.al, 2009	系統二	ACC,dIPFC
Dorsal anterior cingulate cortex: A role in reward-based decision making	Bush et.al, 2002	系統二	ACC,Middle frontal gyrus,inferior parietal lobule
The Neural Basis of Economic Decision-Making in the Ultimatum Game	Sanfey et.al, 2003	系統二	insula,dIPFC,ACC
Choice selection and reward anticipation: an fMRI study	Ernst et.al, 2004	系統二	dIPFC,ACC, inferior parietal lobule,OFC
Neural systems underlying decisions about affective odors	Rolls et.al, 2010	系統一	MPFC,ACC,insula
fMRI Visualization of Brain Activity during a Monetary Incentive Delay Task	Knutson et.al, 2000	系統一	ACC,insula, caudate, MPFC
Neural substrates of faulty decision-making in abstinent marijuana users	Bolla et.al, 2005	系統二	dIPFC, Inferior frontal, Middle Frontal gyrus

附錄二、計分機制樣本內驗證結果

文獻名稱	系統決策 路徑	腦區	系統一分 數	系統二分 數
The Effect of Performance-Based Incentive Contracts on system 1 and system 2	系統一	Insula, inferior temporal gyrus, posterior cingulate, ACC,precuneus	30.45	18.15
Processing in Affective Decision Contexts: fMRI and Behavioral Evidence	系統二	middle frontal gyrus, inferior frontal gyrus, thalamus,caudate middle temporal gyrus	8.3	31.48
An fMRI study of advertising appeals and their relationship to product attractiveness and buying intentions	系統一	Middle temporal gyrus, Middle occipital gyrus, Posterior cingulate, Precuneus	17.2	10
	系統二	Anterior cingulate, Medial frontal gyrus, Middle frontal gyrus	16.41	22.22
Exploring Ad-Elicited Emotional Arousal and	系統一	Amygdala, superior temporal sulcus	9.29	0

Memory for the Ad Using fMRI				
Perceptions of moral character modulate the neural systems of reward during the trust game	系統一	Caudate,Precuneus, medial frontal gyrus, ventral striatum ,parahippoca mpus gyrus, ofg,middle frontal gyrus,inferior temporal gyrus ,putaman	18.97	22.21
Interoception drives increased rational decision- making in meditators playing the ultimatum game	系統一	ACC,insula,medial frontal gyrus,superior frontal gyrus,superior temporal sulcus ,supramarginal gyrus,cerebellum	34.4	22.22
	系統二	ACC,postcentral gyrus (PCG), dlPFC ,posterior superior temporal cortex (pSTC)	9.49	27.4
	系統一	ACC,Amygdala	15.22	8.52

Frames, Biases, and Rational Decision-Making in the Human Brain	系統二	Orbital and medial prefrontal cortex (omPFC), VMPFC ,OFC	9.48	4.81
Dual Process Models Of Decision Making: An fMRI Investigation of Framing Effects and Individual Differences	系統一	Amygdala,Insula middle temporal gyrus ,ACC,VMPFC, precentral gyrus, orbitomedial prefrontal cortex,OFC	35.97	24.82
	系統二	omPFC,ACC,VLPFC, dmPFC,dIPFC	12.06	30.73
Neural Bases of Motivated Reasoning: An fMRI Study of Emotional Constraints on Partisan Political Judgment in the 2004 U.S. Presidential Election	系統一	ventromedial prefrontal cortex, anterior cingulate cortex, posterior cingulate cortex, insula,orbital cortex(OFC)	28.27	16.67

An fMRI investigation of cognitive stages in reasoning by analogy	系統二	IFG, MFG, dlPFC	2.77	32.22
UNDERSTANDING OF EMOTIONS AND REASONING DURING CONSUMER TRADEOFF BETWEEN FUNCTION AND AESTHETICS IN PRODUCT DESIGN	系統一	Midbrain, Orbitofrontal Cortex(OFC), Parahippocampal Gyrus,Amygdala,ACC Medial frontal gyrus ,SFG	33.21	16.29
	系統二	dlPFC,ACC	9.49	22.96
Emotional and cognitive stimuli differentially engage the default network during inductive reasoning	系統一	dmPFC,precuneus Supramarginal gyrus, middle temporal cortex, inferior frontal gyrus, superior temporal gyrus, amygdala	17.6	17.4

	系統二	dmPFC, inferior frontal gyrus, lingual gyrus, caudate, thalamus, insula	11.27	26.29
An fMRI Study of Emotional Engagement In Decision-Making	系統一	PCC,ACC, mPFC	17.6	8.52
Neural Processing of Risk	系統二	dmPFC,dIPFC	1.19	18.51
The neural basis of bounded rational behavior	系統一	medial prefrontal cortex (mPFC),ACC, superior temporal sulcus, temporoparietal junction (TPJ), vmPFC	20.76	9.26
The Neural Bases of Cognitive Conflict and Control in Moral Judgment	系統一	Amygdala,medial frontal cortex,Middle temporal gyrus,ACC Superior temporal sulcus,Lingual gyrus Precuneus,PCC	38.15	21.48
	系統二	ACC, dIPFC, middle frontal gyrus,	25.51	50

		precuneus, inferior parietal lobule, insula		
Neural Systems Responding to Degrees of Uncertainty in Human Decision-Making	系統一	Amygdala,OFC	9.68	1.85
Affective decision making under uncertainty during a plausible aviation task: an fMRI study	系統二	dIPFC,superior frontal gyrus,middle frontal gyrus,middle temporal gyrus, postcentral gyrus, precuneus, Supramarginal gyrus	22.33	43.69
The role of emotions in decision-making on employer brands: insights from functional magnetic resonance imaging	系統一	Superior temporal gyrus, Angular gyrus, Inferior parietal lobule, Superior frontal gyrus, Medial frontal gyrus, Precuneus, Supramarginal gyrus,	28.67	18.88
Memory-based Decision-making with Heuristics:	系統二	dIPFC,superior frontal gyrus,inferior parietal lobule	5.93	24.07

Evidence for a Controlled Activation of Memory Representations				
The neural implementation of multi-attribute decision making: A parametric fMRI study with human subjects	系統二	medial frontal cortex,inferior frontal sulcus, insula,caudate	8.89	12.22
Nonlinear Responses Within the Medial Prefrontal Cortex Reveal When Specific Implicit Information Influences Economic Decision Making	系統一	superior frontal gyrus, PCC,precuneus, VMPFC,supramarginal gyrus,superior temporal gyrus, precentral gyrus	33.017	9.99
	系統二	dIPFC,Inferior frontal gyrus,middle frontal gyrus,medial frontal gyrus,middle temporal gyrus,superior occipital	12.66	50

		lobule,inferior parietal lobule		
An fMRI Investigation of Emotional Engagement in Moral Judgment	系統一	PCC,medial frontal gyrus	10.68	2.96
Neurobiology of decision-making in adolescents	系統一	ACC,OFC,mPFC	16.21	10.37
From affective value to decision-making in the prefrontal cortex	系統一	mPFC,insula	8.11	5.56
Self-control in decision-making involves modulation of the vmPFC valuation system	系統二	dIPFC,vmPFC	4.15	15.18
The role of human orbitofrontal cortex in value comparison for incommensurable objects	系統二	ACC,DLPFC	9.49	22.96
Dorsal anterior cingulate cortex: A role in reward-based decision making	系統二	ACC,Middle frontal gyrus,inferior parietal lobule	12.26	25.93

The Neural Basis of Economic Decision-Making in the Ultimatum Game	系統二	insula,dIPFC,ACC	14.83	28.52
Choice selection and reward anticipation: an fMRI study	系統二	dIPFC,ACC, inferior parietal lobule,OFC	14.63	31.48
Neural systems underlying decisions about affective odors	系統一	mPFC,ACC,insula	17.6	14.085
FMRI Visualization of Brain Activity during a Monetary Incentive Delay Task	系統一	ACC,insula, caudate, mPFC	19.77	13.52
Neural substrates of faulty decision-making in abstinent marijuana users	系統二	dIPFC, Inferior frontal gyrus, Middle Frontal gyrus	2.77	32.22