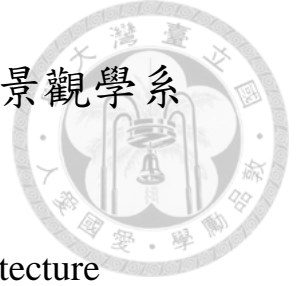


國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系



碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bio-Resources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

以功能性磁振造影分析景觀設計創造力之腦區反應

Neural Correlates of Landscape Design Creativity:

An fMRI Study

蔡宇平

Yu-Ping Tsai

指導教授：張俊彥 博士

Advisor: Chun-Yen Chang, Ph.D.

中華民國 104 年 6 月

June, 2015

國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

以功能性磁振造影分析景觀設計創造力之腦區反應  
Neural Correlates of Landscape Design Creativity:  
An fMRI Study

本論文係蔡宇平君 (R01628311) 在國立臺灣大學園藝暨景觀學系、所完成之碩士學位論文，於民國 104 年 06 月 14 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

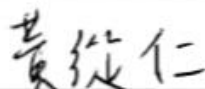


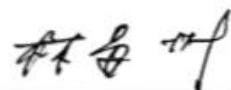
(簽名)

(指導教授)









## 謝誌



感謝研究所期間協助我的所有人，不論是指導過我的師長、一同奮鬥的同學、協助實驗的行政及操作人員、給予我鼓勵的朋友或支持我的家人，因為有你們，才得以有這本論文的成果。

謝謝張俊彥老師總是不斷刺激我們思考，讓我在求學的期間逐步了解研究的意義；謝謝黃從仁老師不厭其煩地替我釐清實驗上的細節，耐心地指導我這位 fMRI 實驗的新手；謝謝歐聖榮老師從大學到研究所這段時間的教導及提攜，讓我在過程中不斷進步與成長；謝謝 Dr. Sullivan 每年不辭辛勞地來臺灣研究交流，肯定我研究上的努力並給予精闢的建言；謝謝林晏州老師從碩一的研究方法開始扎下根基，並在口試時點出研究的不足之處，使論文能更完整；謝謝造園館指導過我的陳惠美老師、鄭佳昆老師及蔡厚男老師，在研究所的日子傳授我專業知識與給予研究上的建議。

特別感謝在 fMRI 實驗過程協助我的筠安學長、雅芝和家瑋學長，幫我一起想辦法克服儀器上的限制及分析上的困難；謝謝倫理審查委員會的朱家嶠研究員，在申請倫理審查的過程中高效率的回覆我的疑問，使實驗能順利快速地進行；謝謝嘉榮、東原和芝帆在客製化實驗工具中的協助，實驗所使用的桌子及雙面反射鏡你們是最大的功臣。

謝謝 204 所有的夥伴，學長姐八塊、立智、宜君、珮怡、浚淦、詩涵、怡廷、小嫻和牙齒痛給我許多研究上的建議，和蕙雙、惠曦、東東討論研究總是能協助我思考，與嘉儀在 fMRI 實驗與國外研討會之旅的過程中互相扶持度過難關，欣恬、佳靜、瑜芸、喬安、琳絢、Mia、俊宏協助口試進行，謝謝你們！

謝謝所有的實驗參與者，因為你們的配合與協助，實驗得以順利完成。

在研究遇到挫折時，謝謝嘉榮、俞淵、姝蓉、佳容和怡君你們的陪伴，不論是給予我心靈上的支持、傳授專業知識和經驗、一起腦力激盪討論或只是單純地當我情緒抒發的出口，這些都是支持我繼續下去的動力。

最後，謝謝我的家人，因為爸爸媽媽的鼓勵、支持與付出，才能有機會有這本論文的成果，也謝謝弟弟在重要時刻總會替我加油打氣，謝謝你們！

宇平 謹誌，2015



## 摘要

景觀設計過程中，「創造力」是項不可或缺的能力，不同階段所涉及的創造力思考方式不盡相同，而最重要的即是發展構想時的發散性思考過程，將會影響到這個設計的創新與否。因此，本研究著重在發散性思考的過程，使用一接近真實環境的實驗設計，讓實驗參與者在 fMRI 實驗掃描過程中實際動筆畫下其設計內容，研究結果發現，設計過程相較於只是描繪一既有的平面圖，在左額中回 left middle frontal gyrus (left prefrontal cortex) 產生活化反應，此結果印證了 Geol (2014) 提出的設計過程中前額葉偏側假設，景觀設計精煉、細節呈現過程與左前額葉有關。

**【關鍵字】** 景觀設計、創造力、發散性思考、前額葉皮質、功能性磁振造影

## Abstract

“Creativity” is an important ability in landscape design. During landscape design process, there are different stages of thinking. Divergent thinking process is the most important stage during the development of the concept. Therefore, this study focuses on the process of divergent thinking. It propose an experimental design, which is more real-life situation, so that the participants can actual doing design in the fMRI scanning process. According to our finding, that the design process compared to just depict an existing plan activate left middle frontal gyrus (left prefrontal cortex). It is correspond to Geol’s (2014) “Frontal Lobe Lateralization Hypothesis” that landscape design refinement and detailing stage are related to left prefrontal cortex.

Keywords: Landscape design, creativity, divergent thinking, prefrontal cortex, functional magnetic resonance imaging (fMRI)

# 目錄



第一章	緒論	1
第一節	研究動機	1
第二節	研究目的	1
第二章	文獻回顧	2
第一節	創造力	2
一、	創造力概念	2
二、	創造力的評估方法	4
三、	創造力的腦神經反應	6
第二節	景觀設計	8
一、	景觀設計過程	8
二、	設計過程的腦神經反應	8
第三節	相關領域的創造力腦神經研究	10
一、	寫作的創造力	10
二、	音樂創作的創造力	11
第四節	小結	13
第三章	研究方法	14
第一節	景觀設計創造力研究架構	14
第二節	景觀設計創造力研究變項	15
一、	景觀設計創造力過程	15
三、	腦神經反應	15
第三節	資料收集工具與流程	16



第四節	景觀設計創造力統計分析方法 .....	26
一、	fMRI 資料分析 .....	26
第四章	研究結果與討論 .....	29
第一節	樣本特性分析 .....	29
第二節	研究假設驗證 .....	29
一、	合理性檢測(Sanity check) .....	29
二、	景觀設計創造力與腦區反應 .....	34
三、	小結 .....	36
第五章	結論與建議 .....	37
第一節	結論 .....	37
第二節	後續研究建議 .....	38
參考文獻	.....	39
附錄	.....	42
附錄一、	行為與社會科學研究倫理審查核可證明 .....	42
附錄二、	研究參與者同意書 .....	43
附錄三、	實驗安全問卷 .....	47
附錄四、	前置檢查問卷 .....	48
附錄五、	實驗題本內容 .....	49
附錄六、	原文附錄 .....	55

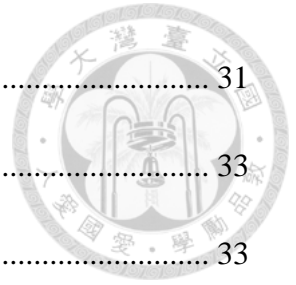
## 圖目錄



圖 2-1、Hawthorne et al.的創造力定義 .....	2
圖 2-2、ATTA 圖形反應題目 .....	5
圖 2-3、大腦結構.....	6
圖 2-4、前額葉皮質 .....	7
圖 2-5、Goel 提推論之設計過程與對應的腦神經反應 .....	8
圖 2-6、寫作創造力反應腦區位置-1.....	11
圖 2-7、寫作創造力反應腦區位置-2.....	11
圖 2-8、音樂創造力反應腦區位置.....	12
圖 3-1、景觀設計創造力研究架構圖 .....	14
圖 3-2、(左)既有景觀平面圖；(右)幾何圖示發想圖.....	15
圖 3-3、實驗工具-3T 磁振造影儀、桌子、反射鏡.....	17
圖 3-4、桌子尺寸.....	17
圖 3-5、fMRI 實驗流程圖 .....	20
圖 3-6、景觀設計創造力實驗流程圖 .....	25
圖 3-7、fMRI 資料分析步驟.....	26
圖 3-8、Realign 處理之結果示意圖 .....	27
圖 4-1、動作相關腦區(motor cortex).....	29
圖 4-2、繪置既有平面圖時動筆腦區(冠狀切面).....	31



圖 4-3、繪置既有平面圖時動筆腦區.....	31
圖 4-4、繪製景觀設計圖時動筆腦區(冠狀切面).....	33
圖 4-5、繪製景觀設計圖時動筆腦區.....	33
圖 4-6、景觀設計發想過程腦區.....	34
圖 4-7、景觀設計繪圖過程腦區.....	35



## 表目錄



表 3-1、實驗刺激物.....	21
表 4-1、繪置既有平面圖時動筆腦區.....	30
表 4-2、繪製景觀設計圖時動筆腦區.....	32
表 4-3、景觀設計發想過程腦區.....	34
表 4-4、景觀設計繪圖過程腦區.....	35



## 第一章 緒論

### 第一節 研究動機

創造力不論是在工作或日常生活中都扮演重要的角色，各領域的人才皆非常重視這項能力，有創造力才能針對未知問題找出解答。功能性磁振造影 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 技術提供景觀研究一個新的觀點，除了行為、心理反應之外，透過了解腦神經的反應，可以更直接的探討景觀與人的關係。

對於景觀設計人員，在學習過程及操作實務工作時，「創造力」亦是項不可或缺的能力，但景觀研究顯少針對創造力討論，如何構思並發展出耳目一新的景觀設計，在腦神經反應中尚是一個未知的過程。因此本研究欲藉由 fMRI 了解景觀設計創造力，以更進一步了解景觀創造力與大腦間的關係。

### 第二節 研究目的

本研究試探討景觀設計的創造力過程，運用功能性磁振造影技術的腦神經觀點來看景觀設計與腦區反應間的關係，以了解景觀設計過程中腦神經反應的情形。



## 第二章 文獻回顧

依研究目的，本章將藉由探討創造力是什麼、創造力的測量方式、創造力的腦神經反應及如何設計一符合研究需求的 fMRI 實驗，以擬出本研究的架構，內容包含創造力、景觀設計過程與不同領域創造力 fMRI 研究。

### 第一節 創造力

#### 一、創造力概念

Sternberg and Lubart (1996)認為創造力的定義為兼具新穎和有用的行為或產品，Sternberg and Lubart (1999)也指出創造力是一項能產出新穎（原創、非預期的）和適宜（有用、符合條件限制）產品的能力。Hawthorne et al. (2014)更詳細的將創造力細分為三個連續性面向，(1)既有-新穎，(2)線性-整合，(3)無意義/無價值-有意義，並以三軸座標來呈現其定義的創造力，認為創造力是一種組織新的連結並產出有意義的成果的個人技能，若產出的成果越新穎、越有意義及整合性，則創造力越高(圖 2-1)。

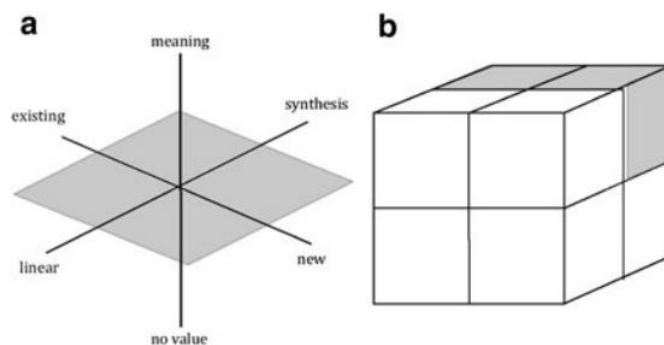


圖 2-1、Hawthorne et al.的創造力定義(Hawthorne et al., 2014)

創造力可區分為發散性思考(divergent thinking)和收斂性思考(convergent thinking) (Guilford, 1956)，發散性思考是一種問題解決的過程，在面對開放性思考的問題時，不像收斂性思考有一個正確的答案，而是產出許多不同的可能結




果，可依照流暢性(fluency)、原創性(originality)、精進性(elaboration)以及變通性(flexibility)四個面向去評估(Torrance, 1968; Ward, 1994)。

Wallas (1926)指出創造力歷程包含四個過程：準備(preparation)、孕育(incubation)、豁朗(illumination)和驗證(verification)。一個具創造力的人，需要有相關的知識背景或技能，才能發展有創意的想法並產出創意的產品，獲得這些知識或技能的階段為「準備階段」。舉例來說，一個音樂家要先有旋律、節奏等知識，也可能需要會彈奏樂器的技巧，才有辦法創作；一個藝術家要知道如何調色或塑型，才能在創作時知道如何達到他們想要的顏色或形狀，若他們想創造新穎、創新的作品，他們也可能需要知道哪些創作形式或作品是已經存在的，這些知識與技能即屬於準備階段。

孕育階段是指無意識思考(unconsciously think)的過程，並沒有一直著眼於思考問題，當經過一段時間的沉澱，產出的想法通常更具創造力。在一段有意識或無意識的思考時間後，當人突然想到一個創意的解決方案，這個時間點稱為豁朗階段，亦有人稱之為「啊哈!(Aha!)」，當思索一複雜的問題時，若找不到解決方案，把這個問題放在心中，但不去費心尋找解答，當某一刻腦袋裡的燈泡突然一亮時，答案自然浮現出來，且可能是原先意想不到的結果。最後在驗證階段經過收斂及發展出創意的結果或想法後，即可產出創新，如科學家發現生活中的問題或一個有趣的研究題目，需要經過一連串的假設驗證，才能確定其研究成果，作家、音樂家、畫家等也需要花時間將腦中的想法轉化為文字、音符、圖形等去呈現他們的「產品」。

Mednick (1962)提出「創造歷程的聯結理論(associative theory of the creative process)」，他指出新穎的創意是透過不斷連結而來的，剛開始的想法通常較不具原創性，且是一般容易聯想到的結果，原創的想法需要耗費心力想了無數的可能性、經過多次的聯結之後才會產出，意即原創想法需在不斷聯結過程的後段才會出現，因此他主張有創造力的人較能產出遠端的想法。



簡而言之，創造力為經過準備(preparation)、孕育(incubation)、豁朗(illumination)和驗證(verification)等過程後，產出新穎且有用的行為或產品，過程中需要以發散性思考各種可能性，可以透過不斷的聯結產出新想法，並在最後收斂產出產品，為日常生活或不同領域帶來突破與創新。

## 二、創造力的評估方法

常用的創造力評估方法有交替用途測驗(Alternative Use Task)、陶倫斯創造力測驗成人適用精簡版(Abbreviated Torrance Test for Adults, ATTA)及遠距聯想測驗(Remote Associates Test, RAT)，其背後的理論基礎概念與測驗方式分述如下。

Guilford (1956)提出的發散性思考概念，並發展出交替用途測驗(Alternative Use Task)，受測者須針對一尋常的物品提出各種不同的使用方式（例如：磚塊、迴紋針、報紙），以流暢性(fluency)、原創性(originality)、精進性(elaboration)以及變通性(flexibility)四個面向去評分。

後續有關創造力思考測驗的發展也以這四個面向為主軸進行評估，如常用的陶倫斯創造力測驗成人適用精簡版(Abbreviated Torrance Test for Adults, ATTA) (陳長益, Goff, & Torrance, 2006)。流暢性是指產生想法的數量多寡，在一定的時間內，創造出越多的想法，其流暢性程度越高；原創性為非一般、新的、獨特的想法，不同於一般人思考的方式；精進性為細節的呈現，不只思考到主體的核心概念，亦留意到細節資訊的內容；變通性為想法的多樣化程度，在相同刺激條件下，呈現越多種類別的想法其思考彈性越大。題目包含語文反應及圖形反應，語文反應題目如：想像你能不借助任何工具在空中翱翔，你可能會碰到什麼問題？圖形反應則是給予未完成的圖形，請受測者發想完成圖畫（圖 2-2）。

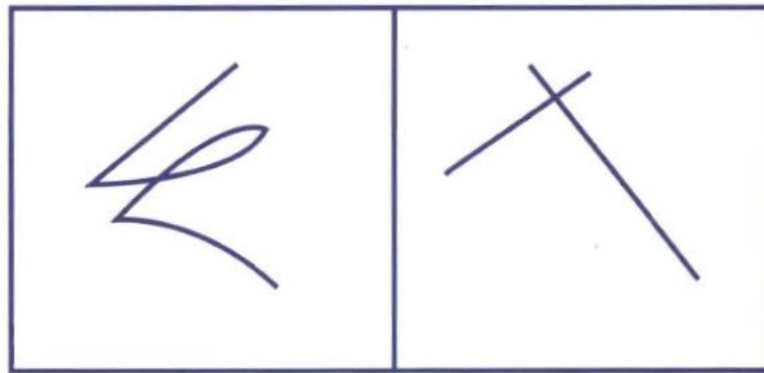


圖 2-2、ATTA 圖形反應題目

Mednick (1962)依據創造歷程的聯結理論(associative theory of the creative process)，發展出創造力思考測量工具「遠距聯想測驗(Remote Associates Test, RAT)」，題目包含三個看似無關的東西名詞與一個空格，受測者需要回答出空格的正確答案，此答案與前面三個字詞都有關聯，例如：falling, actor, dust, \_\_，答案為 star，答案與前三個字皆有關係 falling star, movie star (actor), stardust。題目有難易之分，大部分的人可以回答出簡單的題目，少數人能正確回答困難的題目，藉由此測驗來評估創意潛能，但其可能受到語文能力的表現影響，語文能力程度較佳的人在 RAT 會有較佳的表現。

由上述內容可知，交替用途測驗及陶倫斯創造力測驗屬於發散性思考概念，而遠距聯想測驗則較近似收斂性思考，且會受到其他因素影響其測驗結果，並非單純的創造力概念。創造力的測驗常使用想法的內容及多寡作為客觀測量的指標，呈現手法以文字或圖畫為主。



### 三、創造力的腦神經反應

過去研究發現，額葉、顳葉、頂葉皆是主要與創造力相關的腦區(Heilman, Nadeau, & Beversdorf, 2003) (圖 2-3)，其中，前額葉皮層(prefrontal cortex, PFC)在洞察解決方案和發散性思考(divergent thinking)時似乎扮演著種要的角色(Dietrich, 2004; Dietrich & Kanso, 2010) (圖 2-4)。Dietrich (2004)認為，背外側前額葉皮質(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)的活動可能支持一種深思熟慮的創造力，而自發性的創造力與顳枕頂葉有關。他透過認知與腦神經科學領域的文獻歸納，指出創造力需要不同的認知功能來產生，包含工作記憶(working memory)、持續注意力(sustained attention)或認知變通性(flexibility)，而這些認知功能是由額葉(frontal lobe)主宰的。前額葉皮質可以在意識中被動的處理大量的訊息，也可以執行聚焦於注意力於特定資訊，它參與「啊哈」之後有意識的覺察，能去評估某特定想法是否具有創造力。

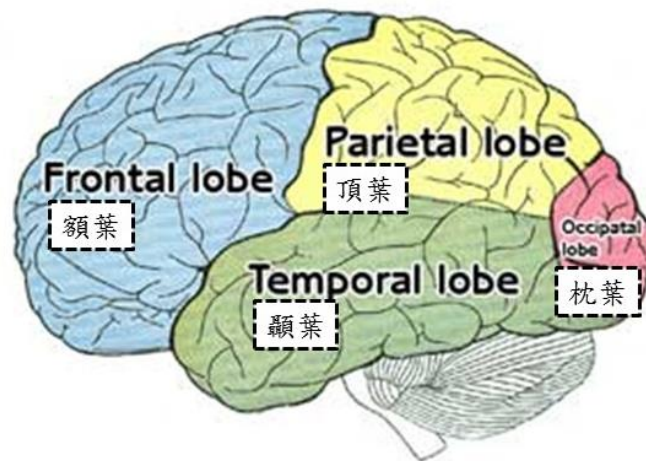


圖 2-3、大腦結構

([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0e/Lobes\\_of\\_the\\_brain\\_NL.svg/300px-](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0e/Lobes_of_the_brain_NL.svg/300px-)

Lobes\_of\_the\_brain\_NL.svg.png)



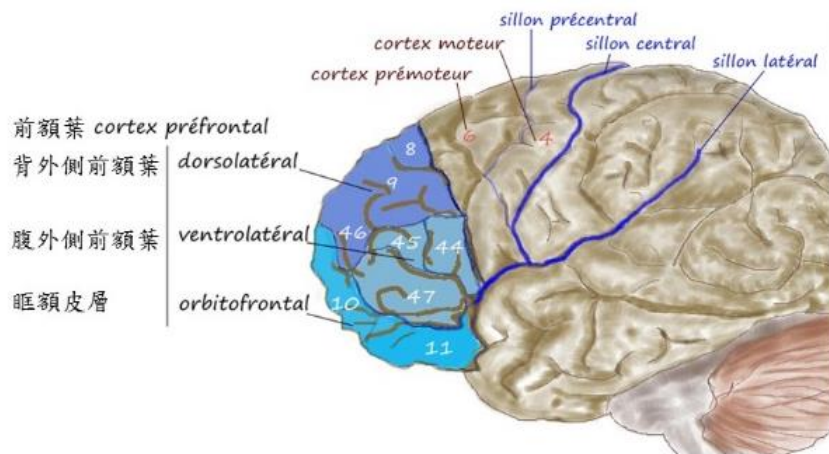


圖 2-4、前額葉皮質

(<https://nplus1.ru/images/2015/05/29/27067591235be69a771a9122b3ac82ee.jpg>)

雖然有些研究認為創意的問題解決方案主要是由右腦支配(Finkelstein, Vardi, & Hod, 1991; Miller, Boone, Cummings, Read, & Mishkin, 2000; Miller et al., 1998; Miller, Ponton, Benson, Cummings, & Mena, 1996; Murai et al., 1998; Rotenberg, 1994)，但有越來越多的研究指出，左右腦的相互配合在創造力的過程中是重要的(Atchley, Keeney, & Burgess, 1999; Aziz-Zadeh, Kaplan, & Iacoboni, 2009; Kwong et al., 1992; Lindell, 2011)，因此，位於大腦中間負責聯結左右腦的胼胝體(corpus callosum)可能在創造力中亦扮演著重要的角色。

由此可知，創造力與額葉、顳葉、頂葉腦區相關，其中又與前額葉的功能有著密切的關係，創造力過程中需要不同的認知功能一起參與，且不偏重由某一大腦半球負責，而是左右腦聯合工作的結果。



## 第二節 景觀設計

### 一、景觀設計過程

許多創造力相關的研究著眼於發散性思考的概念，但在設計的過程中，只以發散性思考來解釋是不足的。在設計過程中，問題解決方案是經過許多步驟才獲得，包含問題定位(problem scoping)、初步構想(preliminary solutions)、精煉(refinement)到細節呈現(detailing)。在初步構想階段，解決方案是模糊的、曖昧不清的、不確定的，經由聯想不斷提出各種可能方案，屬於發散性思考；經過精煉到呈現細節的步驟，才得到一個明確、具體的結果，透過收斂性思考評估，選出一個最適可行的做法(Goel, 2014)。

### 二、設計過程的腦神經反應

針對設計過程發散與收斂思考的雙重機制，Goel (2014)提出相對應的腦神經反應假設——額葉偏側假設(Frontal Lobe Lateralization Hypothesis, FLLH)。左右前額葉皮層(prefrontal cortex)在真實世界的問題解決過程中有不同的功能，右側前額葉皮層(right PFC)參與發展抽象、模糊、概要的表現，因此對應到設計過程中的問題解決步驟，屬於初步構想階段；左側前額葉皮層(left PFC)則協助具體、明確、實際的資訊，屬於設計過程後段的精煉與細節呈現階段(圖 2-5)。

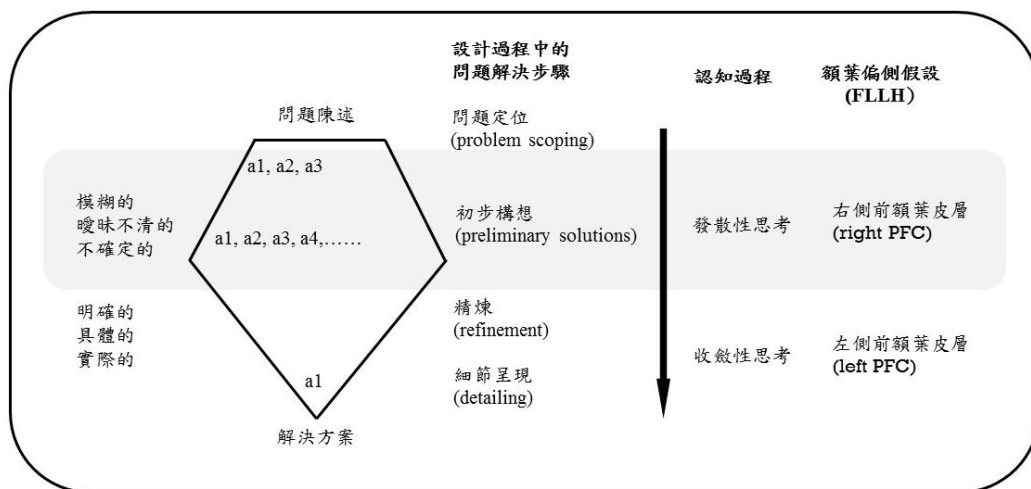



圖 2-5、Goel 提推論之設計過程與對應的腦神經反應(修改自 Goel, 2014)



雖然 Goel 提出額葉偏側假設來解釋設計過程中腦神經反應的對應關係，但尚無實證研究去驗證，其假設與一般認知的創造力腦區有相同的概念，需要前額葉左右腦共同協助參與創造力的過程，而是否不同的設計過程階段能在腦區反應中看到偏側的結果，是值得研究探討的。因此本研究欲以 Goel 之推論為基礎，試探究景觀設計過程的腦神經反應結果，是否符合前額葉偏側假設。



### 第三節 相關領域的創造力腦神經研究

創造力是許多領域所感興趣的議題，對於不同專業者，創造力皆是影響其工作表現的重要因素，由於缺少景觀創造力的相關研究，藉由參考不同領域在創造力與腦神經研究的操作模式，可以供實驗設計時參考。

創造力研究時常需要透過文字和紙筆請實驗參與者寫下或畫下他們的想法，但腦神經研究工具的實驗環境限制，使實驗參與者無法使用手繪或手寫方式來進行測驗（如：實驗參與者在 fMRI 儀器中是仰躺著），因此很多創造力在腦神經領域的實驗使用口述的方式來進行；另一個方法則是在實驗中將使用創造力的過程（腦區反應）和圖像文字記錄下的過程（產出的圖像文字）分開，如

Bhattacharya and Petsche (2005)在腦神經實驗(EEG)的過程中，請實驗參與者在觀看一座白牆的同時，用想像的方式在心中畫下圖像，完成腦神經實驗之後再請他們用筆畫在紙上。但不同領域對其創造力的定義不同，文字創作、音樂創作、圖畫創作等其創作的內容與方式皆不同，針對不同專業領域應有其定性的創造力評定方法(Amabile, 1996)。以下舉例說明在不同領域中，如何設計運用 fMRI 的創造力實驗。

#### 一、寫作的創造力

Shah et al. (2013)在寫作領域研究創造力與腦之間的關係有重要的貢獻，他們運用了不同於一般嚴謹控制各變項的實驗設計方法，提出了一個更接近真實環境的操作方式，藉由訂做一可放進 fMRI 的桌子，他們讓實驗參與者在 fMRI 實驗掃描期間，真的動筆寫下一個新的故事，並觀察他們在發展新的故事時腦區活化的情形。其實驗設計主要欲了解創作一段新的文字內容與抄寫既有的文字，在腦區反應中的差異。從研究的結果可以發現，寫下新故事與抄寫一既有的文字內容所涉及的腦區反應不同，創造新的故事相較抄寫文字更產生活化的區域在雙側海馬(bilateral hippocampi)、雙側顳極(bilateral temporal pole) (BA38)及雙側後扣帶皮

質(bilateral posterior cingulate cortex)，這些腦區參與情節記憶的提取、自由聯想和語意整合的處理，確實反應了創造新故事與抄寫文字的差異（圖 2-6、圖 2-7）。

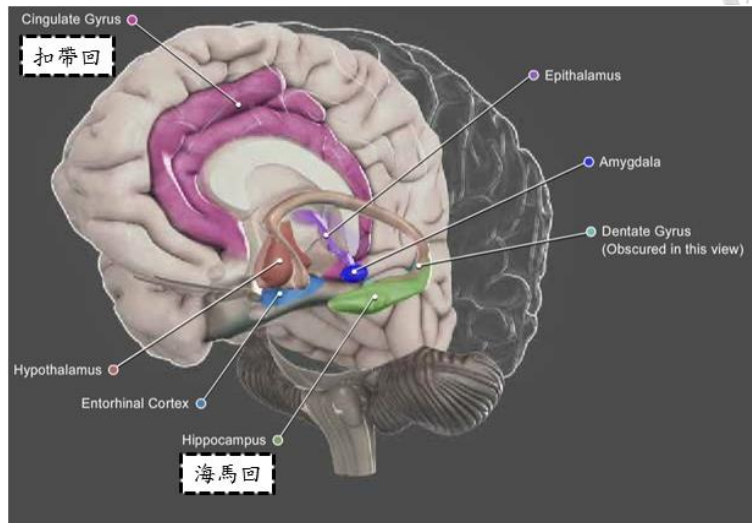


圖 2-6、寫作創造力反應腦區位置-1

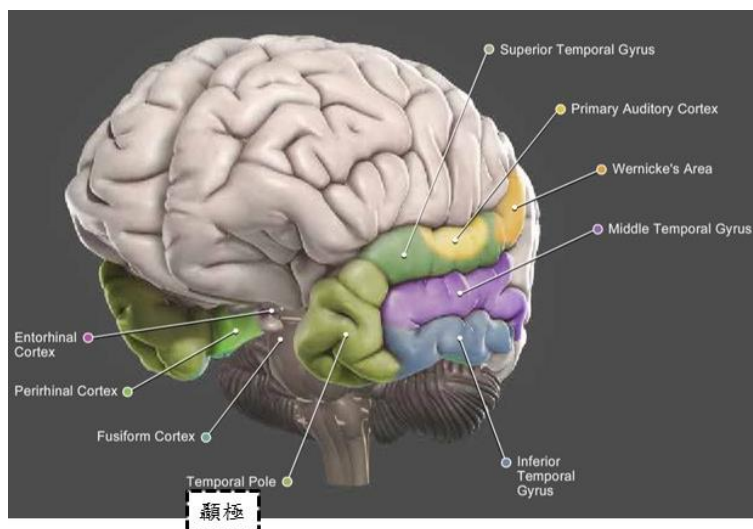


圖 2-7、寫作創造力反應腦區位置-2

## 二、音樂創作的創造力

Limb and Braun (2008)的研究團隊在音樂創作上亦藉由實際在 fMRI 中彈奏琴鍵，比較彈奏既有的曲子及即興創作在腦神經反應上的不同，其研究結果發現，即興創作在前額葉(prefrontal cortex)產生變化，背外側前額葉(dorsolateral prefrontal)和 lateral orbital region 在即興音樂創作時的反應較彈奏既有曲子時不活化，而內側前額葉(medial prefrontal cortex)則是處於較活化的狀態，反應即興創作



時的心理歷程，與自我監測、意識控制表現等有關（圖 2-8）。

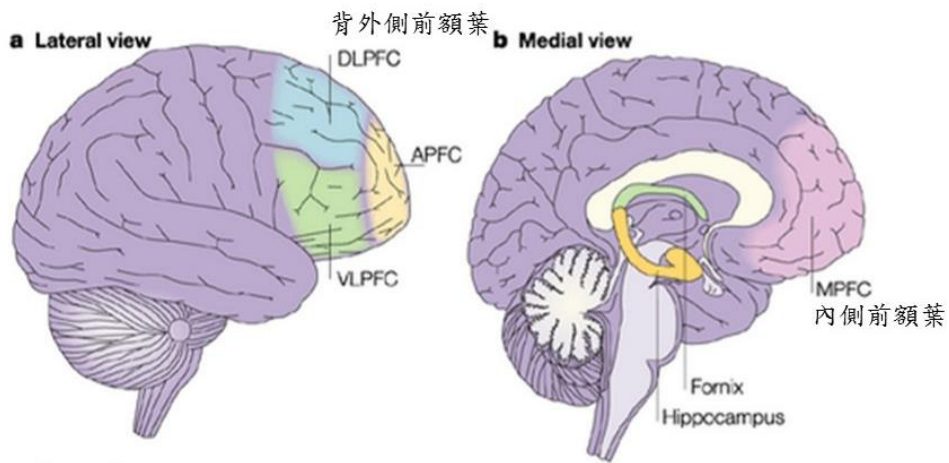


圖 2-8、音樂創造力反應腦區位置

([http://www.nature.com/nrn/journal/v4/n8/fig\\_tab/nrn1178\\_F1.html](http://www.nature.com/nrn/journal/v4/n8/fig_tab/nrn1178_F1.html))

fMRI 實驗可以藉由人在做不同作業時，比較其腦中血氧濃度變化的差異，因此可以發現在創造力實驗設計時，會有兩種作業條件(condition)的設定，而此兩種作業條件彼此之間除了欲探究的依變項之外，其他條件會相同/類似。如 Shah et al. (2013)的實驗欲探究寫作創造力，則兩種作業條件皆為寫文字，不同的是一個不需利用到創造力，只需抄寫，而另一個作業條件才是需要自己創作；同樣的，Limb and Braun (2008)的實驗在探究音樂創作，兩種作業條件皆是彈奏樂器，差異在於一種作業條件為已習得的旋律，而另一作業條件則是即興創作，利用這樣的實驗設計來得到感興趣的創造力反應腦區。



#### 第四節 小結

創造力的核心在提出「新的」想法，需要經過準備(preparation)、孕育(incubation)、豁朗(illumination)和驗證(verification)的過程，才能得到有用的產品。由於創造力孕育、豁朗等階段的有意識與無意識思考轉換的過程需要一段時間的醞釀，實驗過程受到時間的限制而難以進行，因此常著重在發散性思考的概念，評估其想法的多樣性與原創性。

透過過去文獻可發現設計過程中的創造力包含不同的層面，有發散性思考與收斂性思考，其相對應的腦區亦有假設，唯欠缺更多的實證研究去驗證。在景觀設計過程當中，會經過問題定位(problem scoping)、初步構想(preliminary solutions)、精煉(refinement)到細節呈現(detailing)的不同階段，每個階段會需要一些時間沉澱醞釀，根據 Geol 提出的假設，在不同階段可能由不同的腦區所負責。因此，本研究將利用接近真實環境的實驗設計方式，讓受測者於 fMRI 中實際動手畫圖設計，探究景觀設計過程中有哪些腦區參與其中。

### 第三章 研究方法



#### 第一節 景觀設計創造力研究架構

本研究主要目的在藉由功能性磁振造影(fMRI)探究景觀設計過程中腦神經反應機制，了解哪個區域是主宰景觀設計的腦區，以及景觀設計創造力的高低在腦神經反應上的差異。研究架構如圖 3-1。

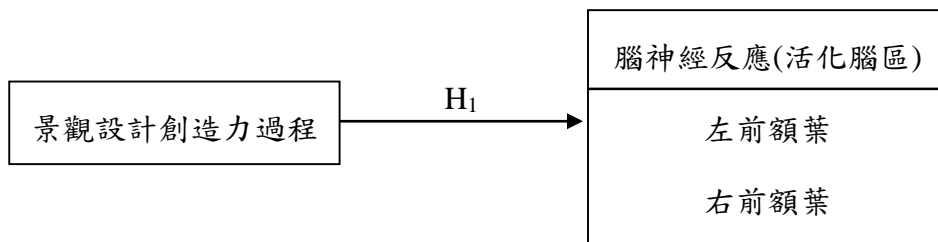


圖 3-1、景觀設計創造力研究架構圖

依據文獻，雖然創造力腦區尚無定論，但可發現前額葉可能在創造力過程扮演著重要的角色，因此預期在景觀設計創造力的過程中能看到前額葉腦區反應。又依陶倫斯創造力測驗所提出的定義及評分方式，區分景觀設計創造力發散性思考程度高低，比較其對腦區反應的結果，預期在主宰發散性思考的右腦會有不同的結果。研究假設如下：

假設：景觀設計創造力過程會在前額葉(prefrontal cortex)產生活化反應

1. 初步構想(preliminary solutions)階段會在右前額葉皮層產生活化
2. 精煉(refinement)到細節呈現(detailing)會在左前額葉皮層產生活化





## 第二節 景觀設計創造力研究變項

### 一、景觀設計創造力過程

針對景觀設計創造力過程進行討論，設計不同 condition 以進行分析，比較當人在繪製既有的景觀設計圖與構思設計一新的景觀空間時，腦區反應的不同。為避免手動影響欲探討的過程，兩種 condition 再細分為有無動筆的狀況，分別為 (A-1) 閱讀景觀平面圖，(A-2) 描繪既有景觀平面圖，(B-1) 想像發展景觀空間，(B-2) 畫下所想像發展之景觀空間。既有景觀平面圖與幾何圖示發想圖如圖 3-2。



圖 3-2、(左) 既有景觀平面圖；(右) 幾何圖示發想圖

### 三、腦神經反應

由於創造力在腦區的哪個位置是無定論，但可發現前額葉皮層(PFC)似乎扮演重要角色，又有 Goel (2014) 提出的設計過程與腦神經反應相關假設，因此會著重觀察此區腦區的反應情形。



### 第三節 資料收集工具與流程

#### 一、研究工具

研究以功能性磁振造影(functional magnetic resonance imaging, fMRI)進行，fMRI 的原理為大腦接受到訊號刺激後，會引發特定腦神經元的活化，其所需的能量從腦中血液裡血紅素的氧取得，使血紅素變成去氧化，而造成大量帶氧血紅素進入血管中補充。因去氧血紅素(Deoxyhemoglobin)為順磁性(Paramagnetic)，帶氧血紅素(Oxyhemoglobin)為逆磁性(Diamagnetic)，fMRI 利用外加磁圈，測量帶氧血紅素與去氧血紅素的比值，活動的腦會產生較高的比值，而形成腦部影像上的不同。由於 fMRI 是藉由偵測血紅素濃度變化產生的訊號來判定執行不同作業時的反應腦區，因此腦部定位是以 MRI 的 BOLD (blood oxygenation level dependent) 訊號是否會有差異，而達到統計上的顯著性。

研究地點於臺大永齡生醫工程館的磁振造影實驗室，使用 SIEMENS MAGNETOM Prisma MRI，外加磁場強度為 3 Tesla，配有頭部體積大小的匝道 (coil)，另外配戴耳機，可播放實驗指示聲音。除既有的實驗室設備，因研究需求另配置一壓克力材質的桌子及雙面反射鏡，桌子最高高度 32 公分，桌面傾斜角度 54 度，可置於實驗參與者平躺時的腰部位置，讓實驗參與者在 fMRI 儀器中進行掃描時可畫圖作答。透過置於頭部體積大小匝道上的雙面反射鏡，可讓實驗參與者看到題本以及其所畫的內容 (圖 3-3、圖 3-4)。



圖 3-3、實驗工具-3T 磁振造影儀、桌子、反射鏡

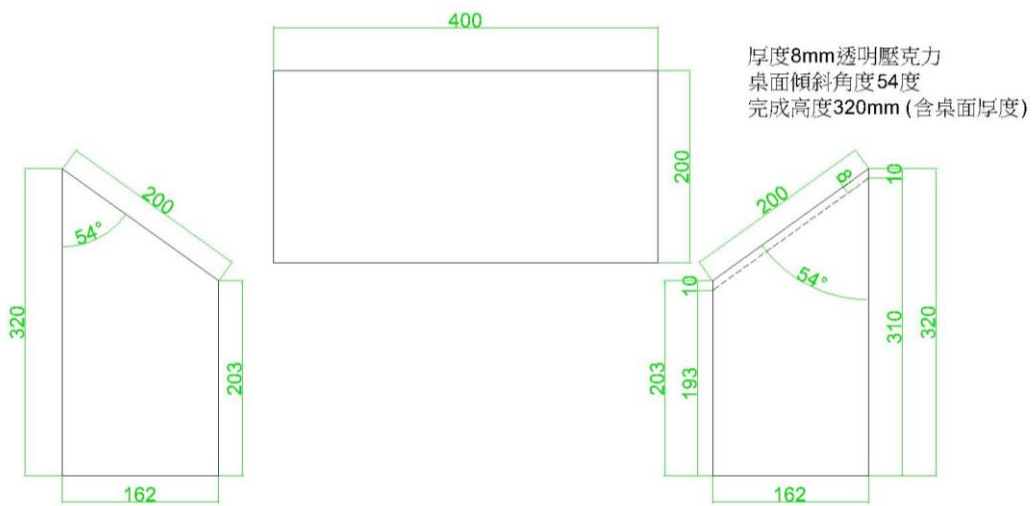


圖 3-4、桌子尺寸



## 二、研究對象

本研究對象以 20 至 30 歲身心健康且非孕婦的設計相關科系背景的學生為主，其視力（經矯正過後）及聽力皆正常，對狹小空間不會感到恐懼，無精神疾病病史，可忍受實驗進行時頭部須固定不動，長時間維持同一平躺姿勢，並可接受噪音干擾者為實驗對象。

基於使用 fMRI 儀器的安全性考量以及研究內容的需求，研究參與者選擇有一定的標準與限制。研究參與者須符合以下條件：

- (1) 20 歲~30 歲的設計相關科系背景的學生，身體、心理健康狀況良好
- (2) 受測期間非妊娠及非哺乳期間
- (3) 視力及聽力正常，非色盲可辨識紅色與綠色
- (4) 過去沒有大腦損傷、腦神經疾病、心血管疾病等病史
- (5) 過去沒有精神疾病的病史
- (6) 體內沒有植入永久金屬(如鋼釘、人工關節等)
- (7) 體內沒有心律調整器或其他植入之藥物注射器
- (8) 體內沒有任何暫時性金屬(如牙套或假牙)
- (9) 身上沒有刺青，需無腦傷病史且視力經過矯正、身心健康，過去沒有任何精神疾病，體內無任何金屬。

實驗招募文宣中將詳述上述條件，並於實驗前要求研究參與者填寫：(1) 研究參與者同意書，讓研究參與者了解即將參與的實驗流程、個人資料隱私與相關權利、可能有的風險與利益及實驗中研究參與者自願退出時將採取的步驟（附錄二）；(2) 實驗安全問卷，確認其身心狀況可以參與 fMRI 實驗（附錄三）；(3) 前置檢查問卷（附錄四），再次確認研究參與者身上沒有金屬製品、了解並同意參與實驗，以安全順利完成實驗。研究參與者相關的個人資料，本研究單位將會予以妥善保存，保障實驗參與者之隱私與權利。



### 三、實驗設計

#### (一) fMRI 實驗設計

實驗前進行結構性掃描(anatomical image)後再執行功能性掃描(functional image)。一次全腦結構性掃描會得到 45 張腦部切面影像，在此階段實驗參與者不需要做任何作業；功能性掃描則是在研究參與者進行作業時，快速掃描並記錄大腦的資訊。結構性掃描設定值：回訊時間(echo time, TE) = 103 ms，重複時間(repetition time, TR) = 9530 ms，角度(flip angle)為 150 度，每次實驗掃描張數為 45 張(slices)，視野(field of view, FOV)為  $192 \times 192 \text{ mm}^2$ ，x-y voxel size 為  $0.66 \times 0.5 \text{ mm}^2$ ，掃描厚度 3 mm；功能性掃描設定 TE = 30 ms，TR = 3000 ms，角度(flip angle)為 90 度，視野(field of view, FOV)為  $192 \times 192 \text{ mm}^2$ ，matrix size  $64 \times 64 \times 45 \text{ mm}^3$ ，影像解析度 voxel size 為  $3 \times 3 \times 3 \text{ mm}^3$ ，影像切面取樣方式為由下往上交叉取樣(bottom-up, interleaved)。

實驗設計為區組實驗設計(block design)，分為兩輪(run)進行實驗掃描，使一組的實驗掃描時間控制在 10 分鐘內。實驗設計參考 Shah et al. (2013)的寫作創造力實驗方法，包含不須使用創造力及需要使用創造力的兩種情況，實驗過程中會出現兩種測驗類型，測驗 A（不需使用創造力）為先觀看一景觀平面圖並想像身處在這個環境中(Reading condition)，緊接著在描圖紙上描繪此平面圖(Copying condition)；測驗 B（需使用創造力）為先觀看一幾何區塊圖示，想像發展出一景觀空間(Brainstorming condition)，緊接著才在紙上畫下所想像發展出的景觀空間內容(Creative Drawing condition)。一組實驗掃描時間為 558 秒，包含 4 個測驗，每個 condition 持續 60 秒，每個實驗參與者會掃描兩組影像。為避免 order effect，兩輪的實驗 condition 出現順序為 counterbalancing，為 ABAB BABA 或 BABA ABAB（附錄五）。

fMRI 實驗流程參見圖 3-5：

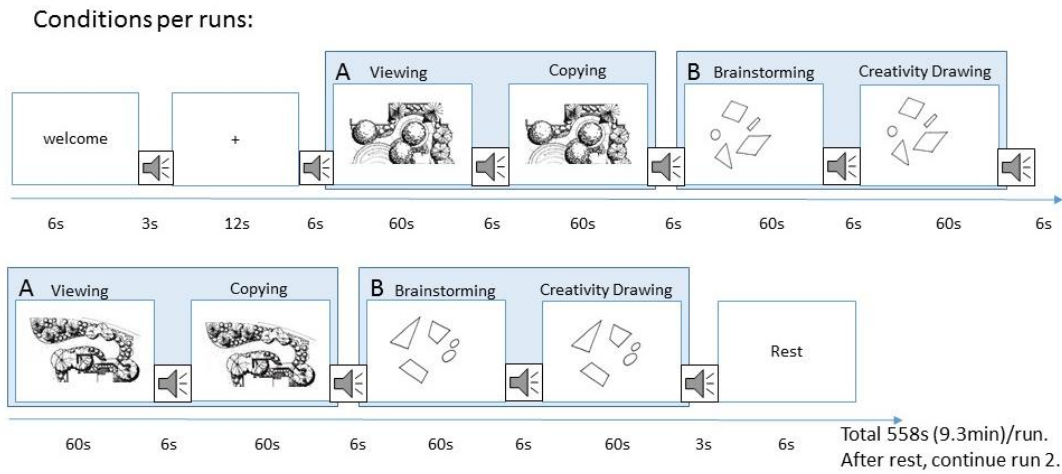


圖 3-5、fMRI 實驗流程圖

## (二) 實驗刺激物

既有的景觀平面圖取自 *From concept to Form: In Landscape Design* 書中，選擇筆觸、繪圖風格相似的不同圖面，其線條不能太過繁複或有太多細節，在 fMRI 中透過反射鏡看題本時才不會看不清楚。

幾何圖示發想圖參考臺灣大學 104 學年度碩士班招生考試園藝系景觀休憩組景觀設計科目的試題，利用不同幾何圖區塊圖示，讓受測者發想一景觀空間，此種題目設計內容與陶倫斯創造力測驗的圖形測驗相似，沒有標準答案，讓受測者開放性作答。每題的幾何區塊圖示皆由 5 個幾何圖案組成，筆觸風格相似（參見表 3-1）。



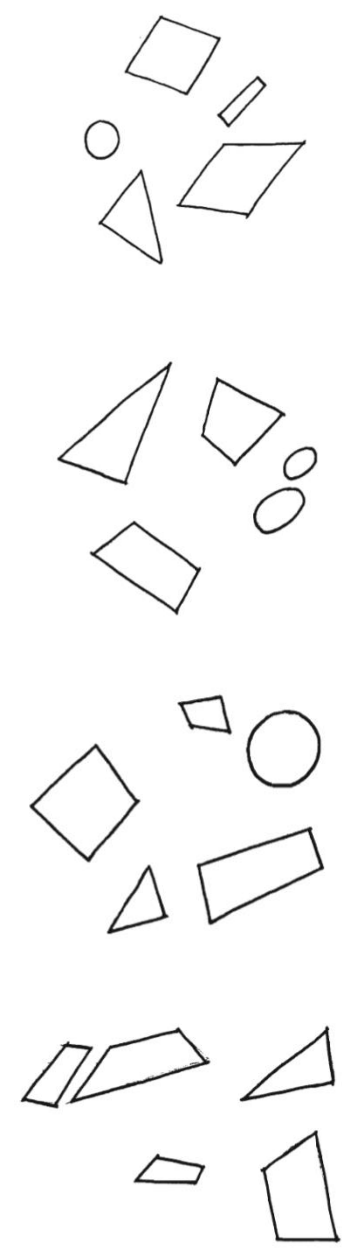
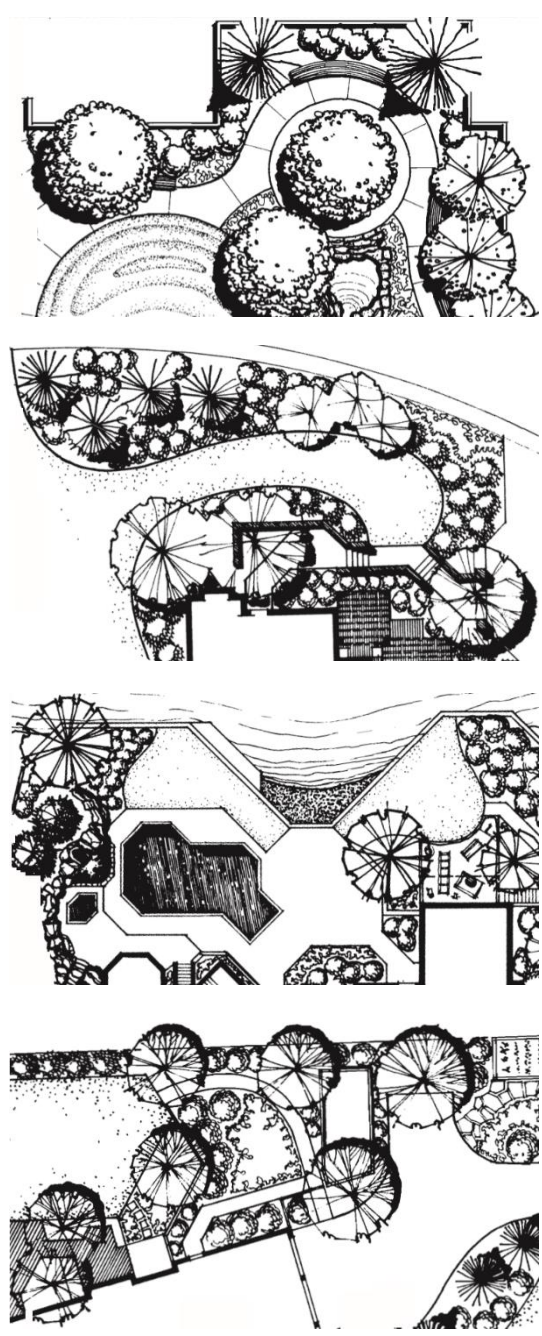
表 3-1、實驗刺激物



既有景觀平面圖

幾何

圖示發想圖





#### 四、實驗流程

實驗主要由本研究室的人員向實驗參與者進行說明，惟 fMRI 儀器操作部份將由核磁共振光譜實驗室的專業儀器操作人員協助。實驗流程如下：

##### (1) 說明實驗流程

實驗開始前請實驗參與者閱讀實驗安全問卷與研究參與者同意書，口頭再次說明實驗流程及回答實驗參與者任何疑問，確認實驗參與者健康狀況符合要求，最後雙方於同意書上簽名。

##### (2) 測驗練習

為確定實驗參與者了解整個測驗的流程及操作方式，於進 fMRI 儀器前先進行練習的測驗，說明後續會看得的測驗的題型，並請實驗參與者進行填答，有任何疑問實驗參與者能隨時提出並獲得解答。

實驗參與者將會看到與實際題型相似的簡版題本，內容包含在實際實驗中會出現的兩類題型，一種為既有的景觀平面圖題組，另一種為基本幾何圖形發想題組。

實驗參與者將依電腦播放出的翻頁提示音進行翻頁，題本內容依序為：歡迎詞、既有景觀平面圖題組、基本幾何圖形發想題組、感謝詞。首先會出現一景觀平面圖，請實驗參與者想像身處在此種環境空間中，時間為一分鐘；聽到翻頁提示音之後，翻至下一頁，實驗參與者將會看到與剛剛相同的平面圖，不同的是此頁上面附有描圖紙，透過描圖紙，實驗參與者可以輕易看到描圖紙底下的圖形並進行描繪，描繪的時間為一分鐘；聽到翻頁提示音之後，翻至下一頁，題本上會有一些基本幾何圖形，實驗參與者有一分鐘的時間利用這些幾何圖形進行發想，創造出一景觀空間，此階段僅想像但不實際動筆畫下其所發想出的空間樣貌；聽到翻頁提示音之後，再翻至下一頁，實驗參與者會看到與剛剛相同的幾何圖形，在一分鐘的時間內用筆在題本上畫下剛才所發想出的景觀空間圖示，表現方法不拘，平面、剖面、示意圖等皆





可；聽到翻頁提示音之後，表示一分鐘時間已到，翻至下一頁，實驗參與者會看到「實驗結束，謝謝您的參與」的字樣，表示完成練習測驗。

透過測驗的練習，可以讓實驗參與者對實驗流程有所了解，知道作答的方式，並對一分鐘的做題時間有個概念，實驗說明人員也可利用此過程來確定實驗參與者對實驗流程的了解程度，發現實驗參與者操作錯誤或不清楚的地方可以馬上給予協助，進一步說明或回答實驗參與者的問題。

### (3) 前置檢查

確認實驗參與者對實驗內容無疑問後進行前置檢查，包含身上已無攜帶戒指、手錶、信用卡等金屬或磁性物品，安全問卷及個人資料核對無誤。

### (4) 休息五分鐘

請實驗參與者放鬆心情及先行如廁，避免實驗需中途停止。

### (5) 儀器架設及確認慣用手

進入 fMRI 實驗室中，配帶儀器及固定腦部，同時囑咐實驗參與者盡量維持不動，輕微的移動都會造成實驗誤差，儀器運轉過程會有高分貝噪音，也請實驗參與者先有心理準備並且佩戴耳塞與耳機，確認慣用手後給予安全球，如實驗過程中有任何不適的地方便按下安全球，實驗人員及儀器操作員會立即協助停止實驗。

由於此實驗在 fMRI 儀器掃描過程中會需要請實驗參與者動手翻閱題本及用筆畫圖，很容易會不小心動到頭部而造成 fMRI 影像無法進行後續分析，因此會特別再次叮囑實驗參與者一定要保持頭部固定不動，且為了使手移動的範圍不要太大而不小心牽動頭部，實驗參與者躺在 fMRI 內時，會在其上臂下方墊一軟墊，使實驗參與者的手可以輕鬆得靠著即可達到桌面高度，畫圖時僅需移動小手臂，減少因上臂移動而造成的頭動情形。實驗說明人員及儀器操作員會在一旁協助實驗參與者調整反射鏡、桌子及題本的位置，直到實驗參與者確定可透過鏡子看到題本內容並能舒服的動手在題本上畫圖。確認



實驗參與者沒有其他問題之後，開始進行 fMRI 實驗。

(6) 進行 fMRI 實驗

實驗參與者進入 fMRI 儀器後需先進行儀器校正與腦部定位，時間約 20 分鐘，正式實驗時會告知實驗參與者實驗即將開始，確定實驗參與者準備好才開始實驗。實驗主要分為兩個階段，兩個階段題型相同，中間會有 2 分鐘的時間讓實驗參與者稍作休息，實驗過程中，實驗參與者將依耳機播放的提示音進行題本翻頁及填答的動作，實驗內容與前述測驗練習相似，每一階段會出現既有景觀平面圖題組與基本幾何圖形發想題組各兩組，實驗參與者依照題本上出現的內容做答即可。

(7) 確認實驗參與者身心狀況

fMRI 實驗結束後，詢問實驗參與者在作答時的狀況，身體有無不適情形，稍作休息後給予實驗參與補償，感謝實驗參與者的參與。



圖 3-6、景觀設計創造力實驗流程圖



## 第四節 景觀設計創造力統計分析方法

### 一、fMRI 資料分析

fMRI 實驗使用的分析軟體為 Statistical Parametric Mapping version 8 (SPM 8; Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, UK)，需要在 MATLAB 下執行，分析方法為先將數據進行前處理後，再進行腦區定位分析，把每位受測者之分析結果一起進行群體分析，找出在執行某項認知功能時統計上共同產生反應的腦區。利用在 SPM 得到的統計結果，可以 xjview 8.4 版軟體來呈現，以圖像化的方式來表示腦區產生活化反應的差異程度，亦可獲得產生差異腦區的位置資訊（圖 3-7）。

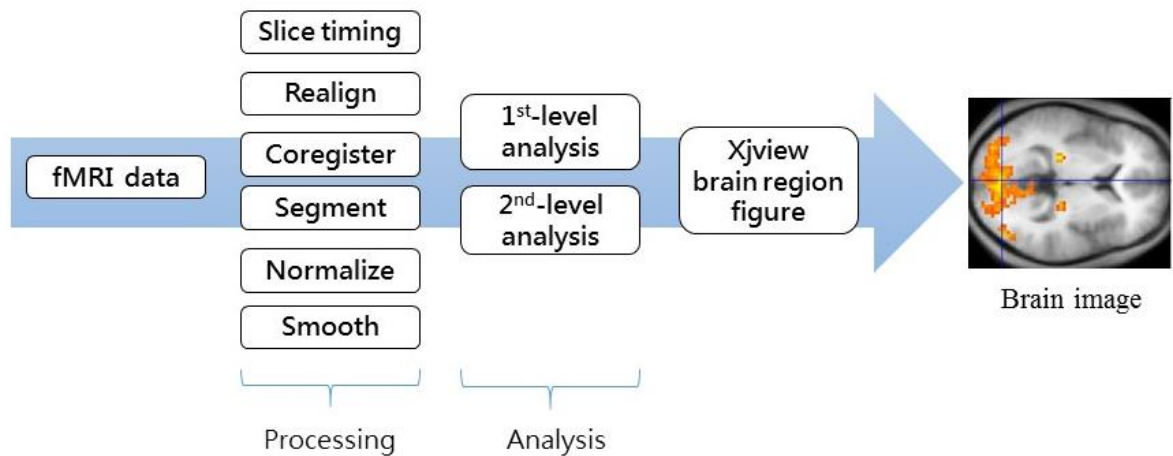


圖 3-7、fMRI 資料分析步驟

由 fMRI 取得的影像資料，主要需要經過轉檔、前處理及分析三大步驟，才能得到反應腦區的位置，詳細的操作步驟詳述如下。

#### （一）轉檔

由 fMRI 得到的影像資料屬於醫院臨床用的 DICOM 檔案，無法直接分析，需先利用 SPM 將檔案轉換成神經影像可讀取分析的 NIFTI 檔案格式。



## (二) 前處理(processing)

前處理包含六個步驟，slice timing、realign、coregister、segment、normalize 及 smooth，個處理步驟的功能分述如下。

### (1) Slice timing

由於取得完整一個腦的量體(volume)需要花費 3 秒的時間( $TR=3$ )，所以其實在這個 volume 內的各切面其實影像不是同時取得的，每張切面影像都是在不同時間點產生，當 TR 越長，取得第一張根最後一張切面影像的時間差距越大。又當影像取樣方式為交叉取樣時，時間差距比較嚴重，因此需要以 slice timing 的校正方式，把 volume 裡各切面都對準到某一特定時間點。

### (2) Realign

此步驟在處理影像對位，因為掃描過程中難免會有頭動，而使不同時間點上的影像位置產生誤差，所以需透過 realign 步驟來校正 xyz 軸位移(translation)和轉動(rotation) (圖 3-8)。根據 SPM，可接受的移動範圍為  $\pm 5\text{mm}$ ，轉動範圍為  $\pm 5$  度，若頭動超過此幅度，則此筆資料不宜分析。

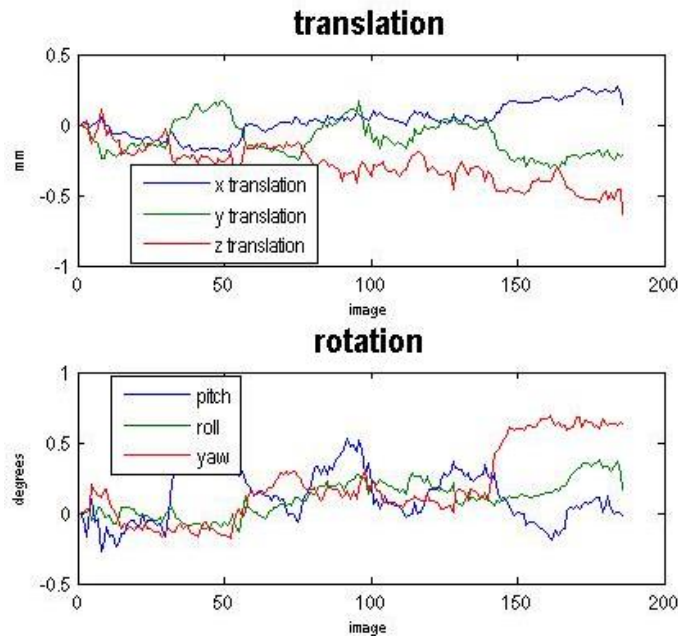


圖 3-8、Realign 處理之結果示意圖



### (3) Coregister

不同影像間的對位，由於功能影像的是快速掃描，強調每個時間點的變化情形，相較於結構影像較不清晰，因此可將個人的功能影像與結構影像對位。

### (4) Segment

使大腦灰白質影像更清晰，可便於解讀影像。

### (5) Normalize

每個人的腦大小不同，因此需將個人的腦對到標準腦上，才能在群體分析時有準確的結果。

### (6) Smooth

平滑化，藉由提高訊雜比強化訊號並消除雜訊，將腦區結果呈現出的各個點透過此步驟呈現為區塊狀，以便於解讀腦區影像的結果。

## (三) 統計分析

針對所得到的腦影像資料的每個 voxel，比較其在執行不同認知作業時，MRI 的 BOLD (blood oxygenation level dependent) 訊號是否有差異並達到統計上的顯著性。分為個人分析(1<sup>st</sup>-level analysis)和群體分析(2<sup>nd</sup>-level analysis)，先將每個受測者的 fMRI 資料於個人分析定義要比較的不同認知作業的階段，再將所有受測者的結果進行群體分析，找出執行某種認知功能時統計達顯著性的反應腦區。

## 第四章 研究結果與討論



### 第一節 樣本特性分析

研究獲得 24 個樣本，女性 14 人，男性 10 人，平均年齡 23.29 歲（標準差 =1.73），受過景觀專業訓練的時間平均為 4.17 年（標準差=1.97）。所有的受試者慣用手皆為右手。

### 第二節 研究假設驗證

#### 一、合理性檢測(Sanity check)

進行本研究所關注的景觀設計創造力分析前，為先確認所收取之腦區反應資料是否正確，因此先以兩種測驗有動筆的情形與其無動筆的情形相減，確認是否主要為動作相關腦區參與此過程的作業（圖 4-1）。由於實驗參與這在 fMRI 儀器中參與作業的實際情形是無法控制的，有些實驗參與者可能不會依照指示進行實驗、發呆或不小心睡著等，所以藉由有無動筆兩種情況下，實驗參與者所做的作業內容相同，差別只在有無動筆畫下圖，來進行資料正確性的檢查。

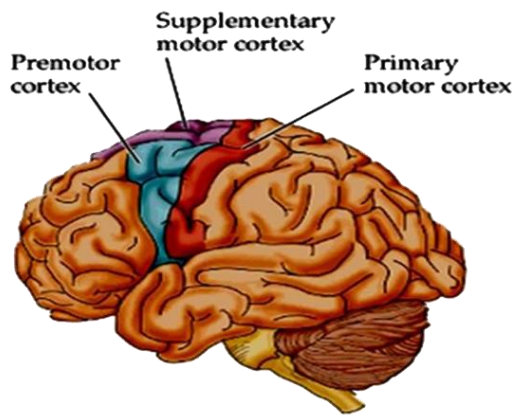


圖 4-1、動作相關腦區(motor cortex)

(<https://classconnection.s3.amazonaws.com/284/flashcards/1920284/jpg/picture21349572062989.jpg>)



(一) 繪製與觀看既有平面圖之腦區反應差異

以  $p\text{-value} < 0.05$  之顯著水準檢定 (FEW corrected, number of voxels  $> 20$ ) 繪製與觀看既有平面圖之腦區反應差異的結果如表 4-1 及圖 4-2，主要產生活化的區域在左中央前回 (Left Precentral Gyrus) (圖 4-3)，此區是控制主運動皮質，且為左腦產生反應，與實驗參與者為右撇子的情況相符，整體來說結果確實反映繪製與觀看既有平面圖時的預期差異。

表 4-1、繪置既有平面圖時動筆腦區

反應腦區	位置(x, y, z)			t	P <sub>FWE</sub>	Number of voxels
(L) Precentral Gyrus	-32	-18	50	15.40	0.000	5100
(R) Cerebellum Anterior Lobe	14	-52	-16	14.72	0.000	2393
(L) Inferior Frontal Gyrus	-56	8	24	12.10	0.000	463
(R) Inferior Frontal Gyrus	56	8	26	10.63	0.000	306
(R) Superior Parietal Lobule (BA7)	18	-56	60	10.29	0.000	1430
(R) Frontal Lobe Sub-Gyral	24	-2	54	9.64	0.000	238
(L) Precentral Gyrus (BA6)	-48	-4	6	7.38	0.003	25
(L) Inferior Temporal Gyrus (BA37)	-48	-68	-2	7.13	0.006	98
(R) Middle Temporal Gyrus (BA37)	52	-58	-6	6.80	0.010	50





圖 4-2、繪置既有平面圖時動筆腦區(冠狀切面)

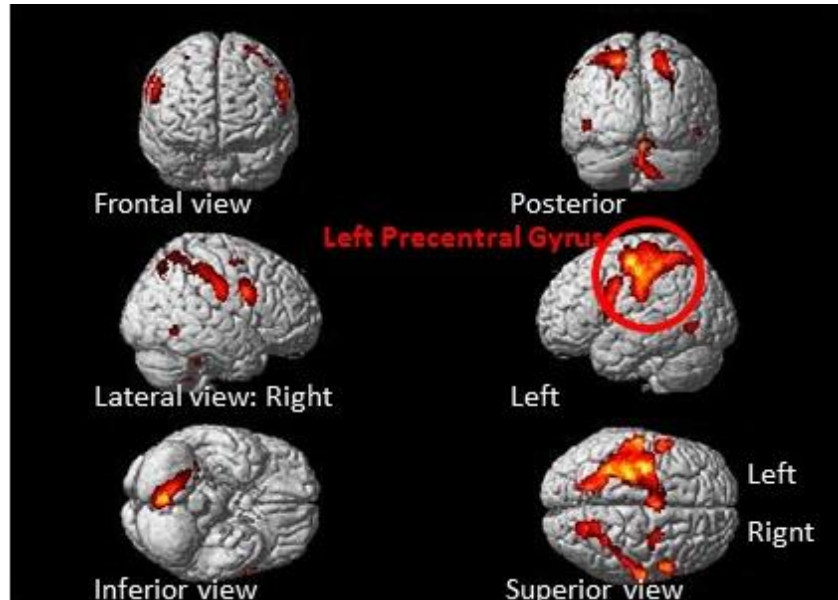
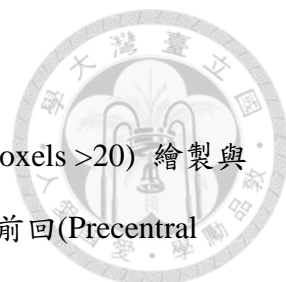


圖 4-3、繪置既有平面圖時動筆腦區



(二) 繪製與發想景觀設計圖之腦區反應差異

以  $p\text{-value} < 0.05$  之顯著水準檢定(FEW corrected, number of voxels  $> 20$ ) 繪製與發想景觀設計圖之腦區反應差異的結果如表 4-2 及圖 4-4，中央前回(Precentral Gyrus)腦區亦有產生活化(圖 4-5)，此區是控制初級運動的區域，且為左腦產生反應，與實驗參與者為右撇子的情況相符，右手的動作是由左腦所控制；Cerebellum Posterior Lobe 為小腦，與運動控制有關，整體來說結果確實反映繪製與發想景觀設計圖時的預期差異。又此兩階段的檢查可發現，實驗參與者在作業填答時是依實驗設計的指示進行的，所獲得的資料可用以探討研究問題，做進一步的分析。

表 4-2、繪製景觀設計圖時動筆腦區

反應腦區	位置(x, y, z)	t	P <sub>FWE</sub>	Number of voxels
(R) Cerebellum Anterior Lobe	6 -66 -16	15.65	0.000	4443
(L) Precentral Gyrus	-30 -24 58	15.54	0.000	8190
(R) Inferior Frontal Gyrus	56 8 26	14.69	0.000	653
(R) Precuneus	16 -56 58	12.57	0.000	1723
(R) Middle Occipital Gyrus (BA19)	50 -58 -8	9.46	0.000	682
(L) Middle Occipital Gyrus (BA37)	-44 -70 0	8.76	0.000	245
(L) Inferior Occipital Gyrus	-38 -86 -6	8.47	0.001	70
(L) Thalamus	-12 -18 8	6.69	0.013	22

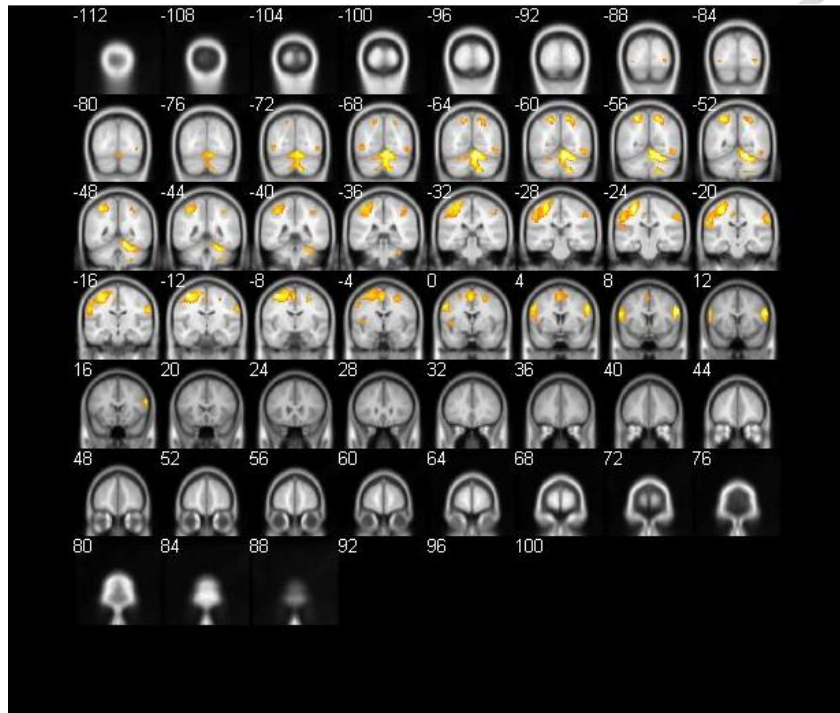


圖 4-4、繪製景觀設計圖時動筆腦區(冠狀切面)

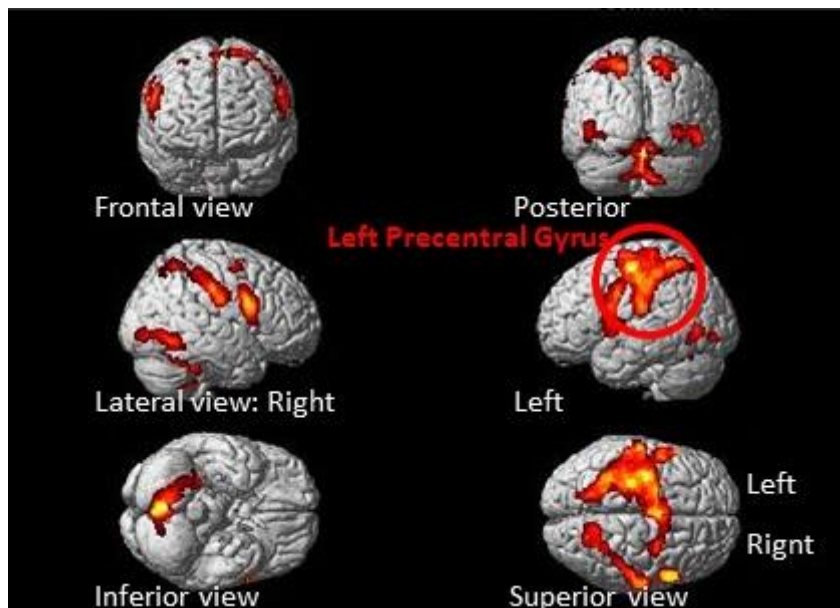


圖 4-5、繪製景觀設計圖時動筆腦區



## 二、景觀設計創造力與腦區反應

假設驗證欲探究景觀設計創造力過程是否會在前額葉(prefrontal cortex)產生活化反應，其中又細分為兩個階段：

1. 初步構想(preliminary solutions)階段會在右前額葉皮層產生活化
2. 精煉(refinement)到細節呈現(detailing)會在左前額葉皮層產生活化

### (一)發想景觀設計過程與觀看既有景觀平面圖之腦區反應差異

假設一：初步構想(preliminary solutions)階段會在右前額葉皮層產生活化

以  $p\text{-value} < 0.05$  之顯著水準檢定(FEW corrected) 發想景觀設計過程與觀看既有景觀平面圖之腦區反應差異結果如表 4-3 及圖 4-6，產生活化的區域在右側腦室(Lateral Ventricle)。側腦室中包含許多腦脊隨液，可以在頭部受到撞擊時扮演緩衝的角色以保護大腦，亦協助營養循環與排除廢物的功能，但非負責特定認知功能腦區，假設一並無得到驗證。

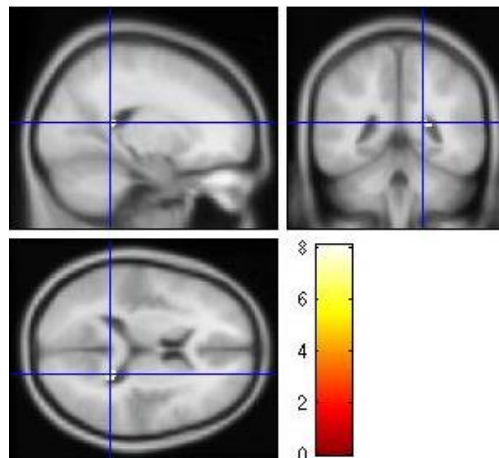


圖 4-6、景觀設計發想過程腦區

表 4-3、景觀設計發想過程腦區

反應腦區	位置(x, y, z)			t	$P_{FWE}$	Number of voxels
(R) Lateral Ventricle	20	-44	14	8.09	0.002	29



(二)景觀設計繪圖過程與繪製既有景觀平面圖之腦區反應差異

假設二：精煉(refinement)到細節呈現(detailing)會在左前額葉皮層產生活化。

以  $p\text{-value} < 0.05$  之顯著水準檢定(FEW corrected)景觀設計繪圖過程與繪製既有景觀平面圖之腦區反應差異結果如表 4-4 及圖 4-7，產生活化的區域在左額中回(Middle Frontal Gyrus)。額中回屬於背外側前額葉皮質(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)，此區負責執行功能，包含工作記憶、認知機動性和規劃。結果與預期相符，創造力思考與前額葉皮質(PFC)有密切的關係，假設二得證。對照到 Goel (2014)的額葉偏側假設，本實驗過程中在將景觀設計圖畫下來時，的確屬於精煉到細節呈現階段，與 Goel 指出左側前額葉參與設計過程的後半段階段的假設一致。

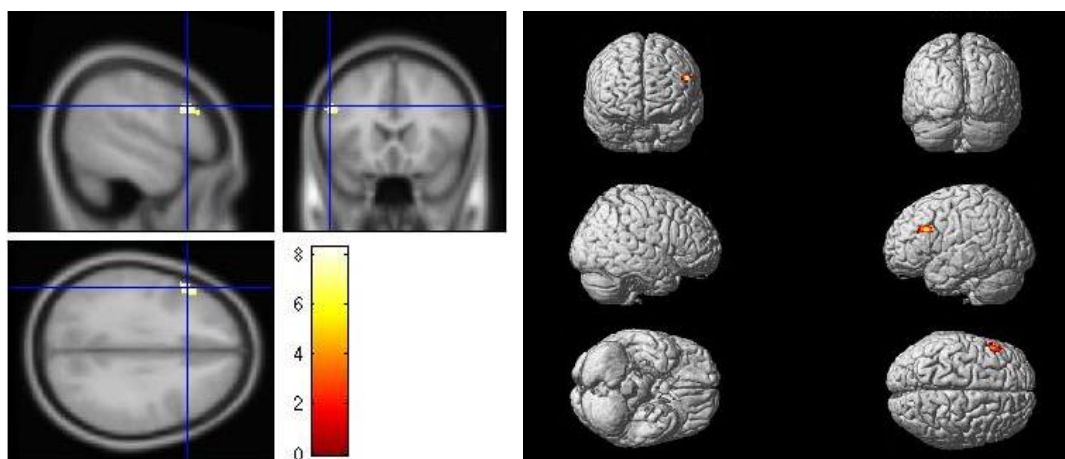


圖 4-7、景觀設計繪圖過程腦區

表 4-4、景觀設計繪圖過程腦區

反應腦區	位置(x, y, z)			t	$P_{FWE}$	Number of voxels
(L) Middle Frontal Gyrus	-52	20	30	8.28	0.001	100

### 三、小結

經過了資料品質的確認，再驗證本研究假設，雖在假設一景觀設計發想過程中並無看到預期的結果，但在假設二景觀設計繪圖過程中，發現左額中回（位於左側前額葉之中）參與了景觀創造力歷程，表示景觀設計創造力與前額葉間確實有關係，並證實了 Goel 的額葉偏側假設，設計過程精煉到細節呈現階段的腦區反應在左腦前額葉皮質。



## 第五章 結論與建議



### 第一節 結論


本研究目的在探討景觀設計創造力過程中腦神經反應的情形，利用 fMRI 的技術，以非侵入性的方式一窺大腦如何運作。由於使用的儀器限制，過去通常以口頭描述或僅以想像的方式操作創造力測驗，但其與真實狀況還是會有些差異，尤其景觀設計過程中，動手繪圖是幫助思考的重要過程，因此，本研究藉由設計一接近實際景觀設計情形的實驗，讓受測者於 fMRI 中真的動手畫圖，如一般在景觀設計過程中邊想邊畫的狀態，去探究這個過程中哪些腦區負責參與作業。

研究結果發現，左額中回(Middle Frontal Gyrus)參與景觀設計繪圖過程，此區即屬於前額葉皮質(prefrontal cortex, PFC)，普遍認為前額葉在洞察解決方案和發散性思考(divergent thinking)時扮演著種要的角色(Dietrich, 2004; Dietrich & Kanso, 2010)，它可以在意識中被動的處理大量的訊息，也可以執行聚焦於注意力於特定資訊，因此對於創造力歷程中的孕育(incubation)、豁朗(illumination)或驗證(verification)階段有重要的主導地位，能去評估某特定想法是否具有創造力。

由於在景觀設計過程當中，邊想邊畫、邊畫邊想較符合實際情形，利用紙筆繪圖有助於景觀設計思考(graphic thinking)，有可能因為這個原因，所以在繪圖階段才看到前額葉皮質參與創造力過程的結果，並應證景觀設計創造力過程會在前額葉(prefrontal cortex)產生活化反應的假設。

左右前額葉在創造力過程中有不同的功能，Goel 根據腦半球特化的概念提出應用到設計過程的前額葉偏側假設，試圖說明設計過程與腦神經反應間的關係，透過本研究的結果，可以應證在設計過程後段的精煉與細節呈現階段，左前額葉確實參與其中。未來若可直接刺激腦部發展而達到訓練特定能力的效果，研究之結果可以提供景觀創造力腦區的位置，便可針對此區進行能力提升。





雖然由實驗的結果，驗證了左額中回參與景觀設計創造力歷程，但不能肯定沒有其他腦區參與其中，大腦功能運作的方式是聯合的，創造力這項特別的認知能力更可能涉及到其他情緒、記憶、經驗等影響，有關景觀創造力的歷程值得更深入研究。

## 第二節 後續研究建議

第二階段研究將針對找出的景觀創造力腦區進行更進一步的比較，利用受測者實際畫下的景觀設計圖面行為資料，去探討景觀設計創造力程度與腦區反應間的關係。藉由參考陶倫斯創造力測驗的創造力指標，給予受測者景觀創造力評值，並對照到腦區反應資料，除了探討景觀創造力與腦神經反應間的關係之外，也希望能發展出一景觀創造力評分標準。



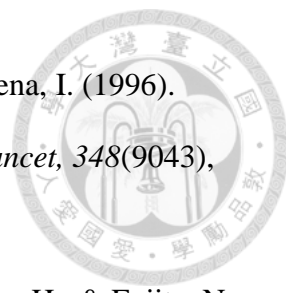
## 參考文獻



1. 陳長益。Goff, K., & Torrance, E. P. (2006)。陶倫斯創造力測驗成人適用精簡版: 指導手冊。台北市: 心理。
2. Amabile, T. M. (1996). *Creativity in Context: Update to the Social Psychology of Creativity*. Boulder: Westview Press.
3. Atchley, R. A., Keeney, M., & Burgess, C. (1999). Cerebral hemispheric mechanisms linking ambiguous word meaning retrieval and creativity. *Brain and Cognition*, 40(3), 479-499.
4. Aziz-Zadeh, L., Kaplan, J. T., & Iacoboni, M. (2009). "Aha!": The Neural Correlates of Verbal Insight Solutions. *Hum Brain Mapp*, 30(3), 908-916.
5. Bhattacharya, J., & Petsche, H. (2005). Drawing on mind's canvas: Differences in cortical integration patterns between artists and non-artists. *Hum Brain Mapp*, 26(1), 1-14.
6. Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(6), 1011-1026.
7. Dietrich, A., & Kanso, R. (2010). A Review of EEG, ERP, and Neuroimaging Studies of Creativity and Insight. *Psychological Bulletin*, 136(5), 822-848.
8. Finkelstein, Y., Vardi, J., & Hod, I. (1991). Impulsive Artistic Creativity as a Presentation of Transient Cognitive Alterations. *Behavioral Medicine*, 17(2), 91-94.
9. Goel, V. (2014). Creative brains: designing in the real world. *Front Hum Neurosci*, 8.
10. Guilford, J. P. (1956). The Structure of Intellect. *Psychological Bulletin*, 53(4),

267-293.

11. Hawthorne, G., Quintin, E., Saggar, M., Bott, N., Keinitz, E., Liu, N., & et al. (2014). Impact and Sustainability of Creative Capacity Building: The Cognitive, Behavioral, and Neural Correlates of Increasing Creative Capacity. In L. Leifer, H. Plattner & C. Meinel (Eds.), *Design Thinking Research* (pp. 65-77): Springer International Publishing.
12. Heilman, K. M., Nadeau, S. E., & Beversdorf, D. O. (2003). Creative innovation: Possible brain mechanisms. *Neurocase*, 9(5), 369-379.
13. Kwong, K. K., Belliveau, J. W., Chesler, D. A., Goldberg, I. E., Weisskoff, R. M., Poncelet, B. P., & et al. (1992). Dynamic Magnetic-Resonance-Imaging of Human Brain Activity during Primary Sensory Stimulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89(12), 5675-5679.
14. Limb, C. J., & Braun, A. R. (2008). Neural Substrates of Spontaneous Musical Performance: An fMRI Study of Jazz Improvisation. *Plos One*, 3(2).
15. Lindell, A. K. (2011). Lateral thinkers are not so laterally minded: hemispheric asymmetry, interaction, and creativity. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 16(4), 479-498. doi: 10.1080/1357650X.2010.497813
16. Mednick, S. A. (1962). The Associative Basis of the Creative Process. *Psychological Review*, 69(3), 220-232.
17. Miller, B. L., Boone, K., Cummings, J. L., Read, S. L., & Mishkin, F. (2000). Functional correlates of musical and visual ability in frontotemporal dementia. *British Journal of Psychiatry*, 176, 458-463.
18. Miller, B. L., Cummings, J., Mishkin, F., Boone, K., Prince, F., Ponton, M., & Cotman, C. (1998). Emergence of artistic talent in frontotemporal dementia. *Neurology*, 51(4), 978-982.

- 
19. Miller, B. L., Ponton, M., Benson, D. F., Cummings, J. L., & Mena, I. (1996). Enhanced artistic creativity with temporal lobe degeneration. *Lancet*, *348*(9043), 1744-1745.
  20. Murai, T., Hanakawa, T., Sengoku, A., Ban, T., Yoneda, Y., Fujita, H., & Fujita, N. (1998). Temporal lobe epilepsy in a genius of natural history - MRI volumetric study of postmortem brain. *Neurology*, *50*(5), 1373-1376.
  21. Rotenberg, V. S. (1994). An Integrative Psychophysiological Approach to Brain Hemisphere Functions in Schizophrenia. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *18*(4), 487-495.
  22. Shah, C., Erhard, K., Ortheil, H.-J., Kaza, E., Kessler, C., & Lotze, M. (2013). Neural correlates of creative writing: An fMRI Study. *Hum Brain Mapp*, *34*(5), 1088-1101.
  23. Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1999). The concept of creativity: Prospects and paradigms. *Handbook of creativity*, *1*, 3-15.
  24. Sternberg, R. J., & Lubart, T. J. (1996). Investing in creativity. *American Psychologist*, *51*(7), 677-688.
  25. Torrance, E. P. (1968). *Torrance tests of creative thinking*: Personnel Press, Incorporated.
  26. Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York: Harcourt, Brace and Company.
  27. Ward, T. B. (1994). Structured Imagination - the Role of Category Structure in Exemplar Generation. *Cognitive Psychology*, *27*(1), 1-40.

## 附錄



### 附錄一、行為與社會科學研究倫理審查核可證明

## 國立臺灣大學 行為與社會科學研究倫理委員會

Research Ethics Committee  
National Taiwan University  
No. 1, Sec. 4, Roosevelt Rd., Taipei, Taiwan 10617, R.O.C  
Phone: 3366-9956 Fax: 2362-9082

### 計畫變更核可證明

核可日期：2015年4月28日

倫委會案號：201411HM024

計畫名稱：以功能性磁振造影看景觀設計空間創造力與腦區反應

校/院/系所/計畫主持人：國立臺灣大學/生物資源暨農學院/園藝暨景觀系/張俊彥教授

變更之計畫文件及版本日期：【研究計畫書，2015年4月25日】、【知情同意書，2015年4月7日】

上述計畫之變更業於2015年4月28日通過國立臺灣大學行為與社會科學研究倫理委員會審查，符合研究倫理規範。本委員會的運作符合國立臺灣大學行為與社會科學研究倫理準則與規範及政府相關法律規章。

本案需經研究經費補助單位核准同意後，該計畫始得執行。

本審查核可證明之有效期限自2015年4月28日起至2015年12月31日止，計畫主持人應於到期前的6週內提出持續審查申請表，本案需經持續審查，方可繼續執行。

在計畫執行期間，若有計畫變更或嚴重不良反應事件，計畫主持人須依國內及國立臺灣大學相關規範通報本委員會。

行為與社會科學研究倫理委員會主任委員 謝世忠 

## Ethical Review Approval of Research Protocol Amendment National Taiwan University

Date of approval: April 28, 2015

NTU-REC No.: 201411HM024

Title of protocol: Neural Correlates of Landscape Design Creativity: An fMRI study

University/College/Department/Principal Investigator: National Taiwan University/College of Bio-resources and Agriculture/Department of Horticulture and Landscape Architecture/Professor Chun-Yen Chang

Version date of documents:【Research Protocol, April 25, 2015】、【Informed Consent Form, April 7, 2015】

The amendment of protocol has been approved by the Research Ethics Committee of National Taiwan University and remained expedited on April 28, 2015. The committee is organized under, and operates in accordance with, Social and Behavioral Research Ethical Principles and Regulations of National Taiwan University and governmental laws and regulations.

Approval by funding agency is mandatory before project implementation.

The duration of this approval is from April 28, 2015 to December 31, 2015. Continuing Review Application should be submitted to Research Ethics Committee no later than six weeks before current approval expired. The investigator is required to report protocol amendment and Serious Adverse Events in accordance with the National Taiwan University and governmental laws and regulations.

Chairperson Shih-chung Hsieh  
Research Ethics Committee

Handwritten signature of Shih-chung Hsieh in black ink.

## 附錄二、研究參與者同意書

國立臺灣大學研發處版權所有 Copyrights© All rights reserved  
2013 年 8 月 30 日國立臺灣大學行為與社會科學研究倫理委員會第 21 次會



# 國立臺灣大學行為與社會科學研究倫理委員會 研究參與者知情同意書

歡迎您參與本研究！此份文件名為「研究參與者知情同意書」，它將詳述您本研究之相關資訊及您的權利。在研究開始進行及您簽署本同意書之前，研究主持人或研究人員會為您說明研究內容，並回答您的任何疑問。

### 研究計畫名稱

中文：以功能性磁振造影看景觀設計空間創造力與腦區反應

英文：Neural Correlates of Landscape Design Creativity: An fMRI study

研究機構名稱：國立台灣大學/生物資源暨農學院/園藝暨景觀系

經費來源：行政院國家科學委員會 National Science Council

研究計畫主持人：張俊彥

職稱：教授

研究計畫協同主持人：洪詩涵

職稱：專任助理

研究計畫協同主持人：董芝帆

職稱：專任助理

研究計畫協同主持人：蔡宇平

職稱：碩士生

※研究計畫聯絡人：蔡宇平

電話：(02)3366-4859

### 一、研究目的：

對於景觀設計人員，在學習過程及操作實務工作時，「創造力」是項不可或缺的能力，但景觀研究顯少針對創造力討論，如何構思並發展出耳目一新的景觀設計，在腦神經反應中尚是一個未知的過程。因此，本研究欲探討景觀設計的創造力過程，運用功能性磁振造影技術的腦神經觀點來看景觀設計與腦區反應間的關係，以了解景觀設計過程中腦神經反應的情形。



## 二、參與研究之條件與限制：

### 納入條件

您必須符合以下所有條件方能參加本研究：

- (1) 20歲~30歲的設計相關科系學生，身體、心理健康狀況良好
- (2) 受試期間非妊娠及非哺乳期間
- (3) 視力及聽力正常，非色盲可辨識紅色與綠色

### 排除條件

若有下列任何情況者，**不能**參加本研究：

- (1) 過去有大腦損傷、腦神經疾病、心血管疾病等病史
- (2) 過去有精神疾病的病史
- (3) 體內有植入永久金屬(如鋼釘、人工關節等)
- (4) 體內有心律調整器或其他植入之藥物注射器
- (5) 體內有任何暫時性金屬(如牙套或假牙)。
- (6) 身上有刺青

## 三、研究方法與程序：

受試地點為國立臺灣大學校總區電機系舊館一樓之磁振造影實驗室，即您目前所在之位置，實驗的進行主要由本研究室的人員向您說明，fMRI 儀器操作的部分會由磁振造影實驗室的專業儀器操作人員協助。您進入 fMRI 儀器後，前 20 分鐘為儀器調整，您可以閉眼休息，不需要進行任何作業；而後實驗操作人員將會告知您即將開始進行 fMRI 實驗，此階段約 20 分鐘，請您依照耳機所播放的指示音翻閱題本，並進行觀看、想像或畫圖；完成 fMRI 實驗出來後，需請您在您所畫的內容加上簡單的文字說明。您作答的內容將匿名處理，且只供研究使用。實驗全程總花費時間約為一個小時。本研究預計招募研究參與者約 30 位。

## 四、參與研究時之禁忌、限制及應以配合事項：

在實驗過程中頭部不能移動，輕微的移動都會造成實驗誤差，且在儀器運轉過程中會有高分貝噪音，請您先有心理準備。本研究中您不必負擔研究時所需之額外費用。

## 五、研究潛在風險、發生率及救濟措施：

本研究不涉及藥品或醫療技術及器材，磁振造影對您也不會有任何副作用或危險。只有極少數的人會因關閉在磁場內而產生恐慌，或因躺臥太久而感到

不適，若遇上述情況您可隨時按下手邊求救球告知實驗操作人員，實驗操作人員將會立即中止實驗，並提供適當的協助。若因實驗時間冗長，讓您身心感到不適，請隨時與研究主持人或其他研究人員連絡，尋求說明或協助。您也可隨時提出退出本研究，我們將會尊重您意願。

#### **六、研究效益與對研究參與者之益處：**

本研究探討景觀對腦區反應的影響，實驗純為學術性研究，對您本身疾病與診斷並無益處。完成全程實驗提供您車馬費 500 元 7-11 商品卡以感謝您的協助，待 fMRI 實驗及題本填寫完成後支付該費用。

#### **七、研究可能衍生的商業利益及其拓展應用之約定：**

本研究並無任何商業利益。

#### **八、研究材料保存期限、運用規劃及機密性：**

研究計畫主持人將依法把任何可辨識您身分之紀錄與您個人隱私之資料視同機密處理，絕對不會公開。將來發表研究結果時，您的身份將被充分保密。凡簽署了知情同意書，即表示您同意各項原始紀錄可直接受監測者、稽核者、研究倫理委員會及主管機關檢閱，以確保研究過程與數據，符合相關法律和各種規範要求；上述人員承諾絕對維繫您身分之機密性。

#### **九、損害補償或保險：**

無。如依本研究所訂臨床試驗/研究計畫，因而發生不良反應造成損害，由計畫主持人負補償責任。但本受試者同意書上所記載之可預期不良反應，不予補償。

您簽署本知情同意書後，在法律上的任何權利不會因此受影響。

#### **十、研究之退出方式及處理：**

您可自由決定是否參加本研究，研究過程中不需要任何理由，可隨時撤回同意或退出研究。如果您拒絕參加或退出，將不會引起任何不愉快，或影響日後研究計畫主持人對您的評價，更不會損及您的任何權利。若您決定撤回同意或退出研究，可立即告知計畫主持人或實驗相關操作人員，計畫主持人將會同意撤回同意或退出研究。研究計畫主持人或研究計畫贊助或監督單位，也可能於必要時中止該研究之進行。

### 十一、研究參與者權利：

- (一) 本研究已經過國立臺灣大學行為與社會科學研究倫理委員會審查，審查內容包含利益與風險評估、研究參與者照護及隱私保護等，並已獲得核准。委員會係依規範運作，並通過中央目的事業主管機構查核認證之審查組織。若您於研究過程中有任何疑問，或認為權利受到影響、傷害，可直接與國立臺灣大學研究倫理中心聯絡，電話號碼為：(02)3366-9956、(02)3366-9980。
- (二) 研究計畫主持人或研究人員已經妥善地向您說明了研究內容與相關資訊，並告知可能影響您參與研究意願的所有資訊。若您有任何疑問，可向研究人員詢問，研究人員將具實回答。
- (三) 研究計畫主持人已將您簽署之一式兩份同意書其中一份交給您留存。

### 十二、研究計畫主持人/研究人員簽名

研究計畫主持人或研究人員已詳細解釋有關本研究計畫中上述研究方法的性質與目的，以及可能產生的危險與利益。

研究人員簽名：\_\_\_\_\_

日期：□□□□年□□月□□日

### 十三、研究參與者簽名同意

本人已詳細瞭解上述研究方法及其可能的益處與風險，有關本研究計畫的疑問，已獲得詳細說明與解釋。本人同意成為本研究計畫的自願研究參與者。

研究參與者簽名：\_\_\_\_\_

日期：□□□□年□□月□□日





### 附錄三、實驗安全問卷

核磁共振影像試驗是一種在高磁場下進行之特殊實驗方法，為了保護您的人身安全與提高實驗精準度，請您務必慎重回答下列各項問題，在以下每一個選項後方打勾確認。

1. 是否有心律調整器 是 不是 不確定
2. 是否人工心臟瓣膜 是 不是 不確定
3. 是否曾接受過動脈瘤手術且使用止血夾 是 不是 不確定
4. 是否曾遭受外傷或砲彈傷且在體內，尤其是體內可能留有殘餘金屬碎片  
是 不是 不確定
5. 是否在可能沾染大量金屬粉塵碎屑處所長期停留 是 不是 不確定
6. 是否有下列任一情況：人工耳蝸、ICV filter、Swan-Ganz 導管、胰島素體內注射器、體內電極、刺激器、神經刺激器、植入之藥物注射器  
是 不是 不確定
7. 是否曾接受過手術 是 不是 不確定  
若有為何種手術\_\_\_\_\_
- 過去手術是否有利用鋼絲縫合或鋼片鋼板固定 是 不是 不確定
8. 是否曾裝置人工關節、金屬性假牙或鑲牙 是 不是 不確定
9. 是否曾處於封閉的空間並感到害怕 是 不是 不確定
10. 是否在近期內感到壓力甚大 是 不是 不確定



#### 附錄四、前置檢查問卷

請在實驗人員協助與確認下，確實將以下物品留置於測試區外，並一一勾選已經確認完全項目，請務必詳實填寫，以免發生意外。感謝您的配合。

1. 假牙套

已經確認完成

2. 手錶、手套、筆與筆記本

已經確認完成

3. 髮夾、別針

已經確認完成

4. 衣物上之金屬鈕扣皮帶頭、拉鍊、裝飾品與其他金屬製品

已經確認完成

5. 耳環、戒指、項鍊、手鐲、腳環與其他金屬手飾

已經確認完成

6. 助聽器、義肢與其他人工器官

已經確認完成

7. 各種磁性卡片，如電話卡、IC 卡、信用卡、提款卡

已經確認完成

8. 其他金屬製品

已經確認完成

9. 實驗參與者之聲明同意書確認無誤

已經確認完成

10. 安全宣導有確實說明

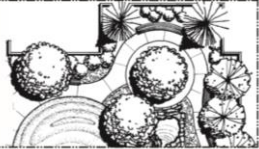



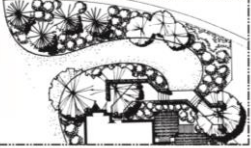

已經確認完成

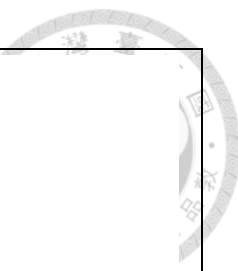
受測者編號:\_\_\_\_ 檢查人員簽名:\_\_\_\_\_ 日期:\_\_\_\_年\_\_\_\_月\_\_\_\_日 時間:\_\_\_\_\\_\_\_\_







附錄五、實驗題本內容


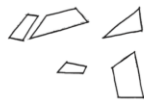
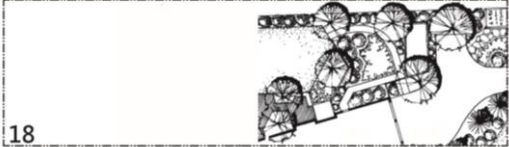



題本一：ABAB BABA

<p>歡迎參加景觀空間創造力實驗</p>	<p>1</p> <p style="text-align: center;">+</p>
<p>2</p> 	<p>3</p> 
<p>4</p> 	<p>5</p> 
<p>6</p> 	<p>7</p> 


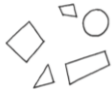






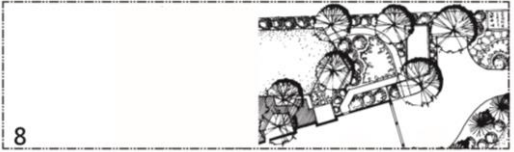
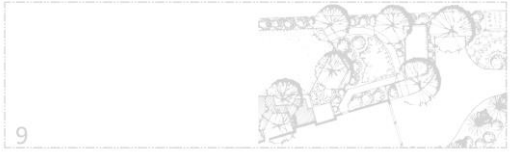
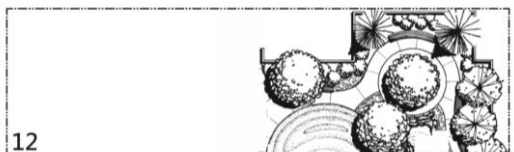
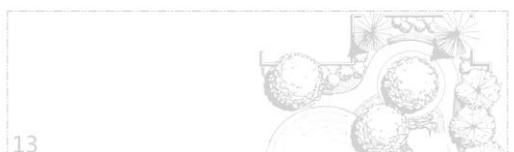
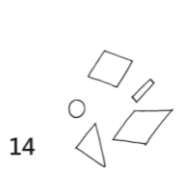
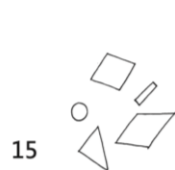
8 	9 
10 <p>現在請您休息一下 (請在第二階段實驗開始後·聽到翻頁提示音再翻至下一頁)</p>	11 <p>+</p>
12 	13 
14 	15 





<p>16</p> 	<p>17</p> 
<p>18</p> 	<p>19</p> 
<p>20</p> <p>實驗結束 謝謝您的參與</p>	

題本二：BABAABAB



<p>歡迎參加景觀空間創造力實驗</p>	<p>1</p> <p>+</p>
<p>2</p> 	<p>3</p> 
<p>4</p> 	<p>5</p> 
<p>6</p> 	<p>7</p> 

<p>8</p> 	<p>9</p> 
<p>10</p> <p>現在請您休息一下 (請在第二階段實驗開始後·聽到翻頁提示音再翻至下一頁)</p>	<p>11</p> <p>+</p>
<p>12</p> 	<p>13</p> 
<p>14</p> 	<p>15</p> 

<p>16</p> 	<p>17</p> 
<p>18</p> 	<p>19</p> 
<p>20</p> <p>實驗結束 謝謝您的參與</p>	



## 附錄六、原文附錄



---

Sternberg, R. J., & Lubart, T. J. (1996). Investing in creativity. *American Psychologist*, 51(7), 677-688.

Creativity is the ability to produce work that is both novel (i.e., original or unexpected) and appropriate (i.e., useful or meets task).

---

Hawthorne, G., Quintin, E., Saggarr, M., Bott, N., Keinitz, E., Liu, N., & et al. (2014). Impact and Sustainability of Creative Capacity Building: The Cognitive, Behavioral, and Neural Correlates of Increasing Creative Capacity. In L. Leifer, H. Plattner & C. Meinel (Eds.), *Design Thinking Research* (pp. 65-77): Springer International Publishing.

We define creativity as “a state of being and adaptation of personal skill sets that enables an individual to synthesize novel connections and express meaningful outcomes”. This definition captures the intersection of three different axes. To determine how creative a person, deliverable or process is, these components can be rated along three continuums from – (a) existing to new/novel, (b) linear to synthesizing, and (c) no value/meaning to meaningful. We propose a visual illustration of these continuums with three axes. A deliverable or process with high novelty, meaning, and synthesis is considered highly creative and so is the person responsible for this deliverable or process. This person, the deliverable, or the process falls within the upper right and back zone of the three-dimensional space created by these three axes. This definition of creativity focuses attention to the person and their skills as opposed to process and outcomes as more traditionally

---

---

defined. The intention of this focus is to better align the skill of creativity to indications that go beyond the possession of creativity into the ability to exercise/apply it.

---



Guilford, J. P. (1956). The Structure of Intellect. *Psychological Bulletin*, 53(4), 267-293.

In convergent thinking, there is usually one conclusion or answer that is regarded as unique, and thinking is channeled or controlled in the direction of that answer. In tests of the convergent-thinking factors, there is one keyed answer to each item. Multiple-choice tests are well adapted to the measurement of these abilities. In divergent thinking, on the other hand, there is much searching or going off in various directions. This is most clearly seen when there is no unique conclusion. For the measurement of such abilities, completion tests are almost a necessity. The distinction is not so clear in some problem-solving tests, in which there must be and usually is some divergent thinking or search as well as ultimate convergence toward the solution. But the processes are logically and operationally separable, even in such activities

---

Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York: Harcourt, Brace and Company.

"The first in time I shall call Preparation, the stage during which the problem was 'investigated ... in all directions'; the second is the stage during which he was not consciously thinking about the problem, which I shall call Incubation; the third, consisting of the appearance of the 'happy idea' together with the psychological events which immediately preceded and accompanied that appearance, I shall call Illumination. And I shall add a fourth stage, of Verification ..." .

---



---

Mednick, S. A. (1962). The Associative Basis of the Creative Process. *Psychological Review*, 69(3), 220-232.

The greater the number of associations that an individual has to the requisite elements of a problem, the greater the probability of his reaching a creative solution. This variable is not independent of the preceding one since an individual with a high concentration of associative strength in few associative responses is not likely to have a proliferation of associations. The more associates which are evoked by a requisite element of a problem, the more likely it is that an associate will exist which will serve as a mediating bridge to another requisite element, facilitating combination. It seems likely that this variable will not be related to speed of creative solution since it may take a good deal of time to get to the mediating links.

---

Heilman, K. M., Nadeau, S. E., & Beversdorf, D. O. (2003). Creative innovation: Possible brain mechanisms. *Neurocase*, 9(5), 369-379.

A high level of general intelligence, domain-specific knowledge and special skills are necessary components of creativity. Specialized knowledge is stored in specific portions of the temporal and parietal lobes.

Developing alternative solutions or divergent thinking has been posited to be a critical element of creative innovation, and clinical as well as functional imaging studies suggest that the frontal lobes are important for these activities.

---

Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(6), 1011-1026.

---

Creativity requires cognitive abilities, such as working memory, sustained attention, cognitive flexibility, and judgment of propriety, that are typically ascribed to the prefrontal cortex. Not surprisingly, the central role the prefrontal cortex must play in creativity has been stressed by other investigators.

---



Goel, V. (2014). Creative brains: designing in the real world. *Front Hum Neurosci*, 8.

Design problem-solving is typically characterized as a multistep process involving problem scoping/framing, generation of preliminary ideas, refinement, and detailing. Each phase differs with respect to the type of information dealt with, the degree of commitment to generated ideas, the level of detail attended to, the number and types of transformations engaged in, the mental representations needed to support the different types of information and transformations, and the corresponding computational mechanism. As one progresses from the preliminary phases to the detailing phases, the problem becomes more structured.

I have argued for a dual mechanism cognitive account of realworld problem-solving. The question now is whether there is any support for such a model at the neuropsychological level. I will suggest that there is evidence for anatomical dissociations corresponding to the cognitive dissociations identified in the previous section. To this end I propose the Frontal Lobe Lateralization Hypothesis (FLLH). FLLH: Left and right prefrontal cortex make differential contributions (in terms of the structure of representations and types of transformations) to real-world problem solving. The right PFC supports abstract, vague, ambiguous, indeterminate representations of the world, while the left PFC abhors uncertainty and tries to

---

---

automatically fill in the gaps with concrete, determinate, unambiguous, specific information.

---

Shah, C., Erhard, K., Ortheil, H.-J., Kaza, E., Kessler, C., & Lotze, M. (2013). Neural correlates of creative writing: An fMRI Study. *Hum Brain Mapp*, 34(5), 1088-1101.

To investigate the different aspects of the creative writing process, we used functional magnetic resonance imaging while 28 healthy participants performed a new paradigm related to creative writing: “brainstorming” (planning a story) and “creative writing” (writing a new and creative continuation of a given literary text), as well as an additional control paradigm of “reading” and “copying.”

Episodic memory retrieval, free-associative and spontaneous cognition, and semantic integration were observed in a right lateralized activation pattern in bilateral hippocampi, bilateral temporal poles (BA 38), and bilateral posterior cingulate cortex in a “creative writing” minus “copying” comparison.

---

Limb, C. J., & Braun, A. R. (2008). Neural Substrates of Spontaneous Musical Performance: An fMRI Study of Jazz Improvisation. *Plos One*, 3(2).

Abstract To investigate the neural substrates that underlie spontaneous musical performance, we examined improvisation in professional jazz pianists using functional MRI. By employing two paradigms that differed widely in musical complexity, we found that improvisation (compared to production of over-learned musical sequences) was consistently characterized by a dissociated pattern of activity in the prefrontal cortex: extensive deactivation of dorsolateral prefrontal

---

---

and lateral orbital regions with focal activation of the medial prefrontal (frontal polar) cortex. Such a pattern may reflect a combination of psychological processes required for spontaneous improvisation, in which internally motivated, stimulus-independent behaviors unfold in the absence of central processes that typically mediate self-monitoring and conscious volitional control of ongoing performance.

---

