

## 二、文獻探討

本研究根據學生空間能力與空間認知能力的個別差異，設計在 Google earth 三維空間搜尋系統中的搜尋任務，探討兩種能力的個別差異是否會造成學生搜尋上也產生影響。即是希望能提供改善學生個別差異的參考與設計三維空間搜尋系統時的考量，使得學習更有意義與效率。因此，以下針對空間能力、空間認知與三維空間搜尋系統加以探討，以提供本研究重要的理論基礎。

### 2.1 空間能力

#### 2.1.1 空間能力的定義

空間能力屬於個體心智操作心像的能力，有些學者將空間能力解釋為空間感，但是空間感的定義不是很明確，因此，本研究以採用空間能力不以空間感為名。有關空間能力的研究，常因研究者的觀點不同，而對空間能力有不同的定義。早期像 Kelly (1928) 認為空間能力為操控心像的能力，並將空間能力分為辨識及操控兩類。到了 McGee (1979) 則認為空間能力包括空間視覺 (spatial visualization) 和空間定位 (spatial orientation)。

Lohman (1984) 卻認為空間能力是具有架構關係的不同能力所組成，包括了類化、保留、轉換抽象視覺圖像的能力。另外，Pellegrino & Hunt (1991) 認為空間能力是視覺圖像的推理能力，將空間能力又增加一個新的定義。本研究整理各學者對於空間能力定義如表格 2-1。

表格 2-1 空間能力定義表

研究者（時間）	定義
Kelly(1928)	對視覺形式的認知及記憶，或是對視覺形狀之心理操作。
Thurstone(1938)	能在心中記住一個空間圖象，並在腦海中扭轉、移轉或者旋轉這個圖象至一個新的位置，再將此變動過的圖象與研究者所提供的圖象進行比對。
Guilford & Lacey(1947)	能夠在心裡想像物體的旋轉，及在平面上想像物體被展開後的平面圖或摺起後的立體圖形，或是瞭解空間中物體位置改變之關係的能力。
French(1951)	能夠瞭解物體在三度空間中移動之圖象的能力。
Shepard & Metzler(1971)	能夠透視圖象變化的能力。
Lohman(1979)	能夠類化、保留及轉換抽象視覺圖象的能力。
Linn & Petersen (1985)	表達轉換、類化和回憶象徵性非語言資訊的技巧。
Lohman (1984)	是一種非單一的能力，該能力也包括上下架構關係之能力的組合。
Vigil (1988)	指個體內在的抽象認知過程
Moir & Jessel (1989)	指將東西轉化為圖形且顯示於腦海，此意味著能將形狀、位置、地理位置、大小比例轉換等作正確的轉換，他們也認為空間能力是男女性別最大的差異。
Pellegrino&Hunt(1991)	對視覺圖象之推理能力。
孫士雄 (2001)	指個體因人而異之揣想或思考三度空間以及依據圖解或圖案在心理上想像或作物體旋轉或移動及改變方向和位置的抽象能力。
康鳳梅、戴文雄 (2001)	包含認知能力，超越了如記憶、複製或配對等認知能力，另外還包含感觀、記憶、邏輯思考及創造性空間思考之能力。

資料來源：本研究整理

綜合上述文獻對空間能力的定義，本研究的空間能力是指個體將物體轉換為圖像顯示於腦海的能力，也就是說能將物體作上下架構關係、形狀、位置、地理位置、大小比例、旋轉等作正確三維圖形轉換的抽象思考能力。

## 2.1.2 空間能力的因素

因為空間能力的定義有所不同，因此，研究者在分析空間能力便提出不同的分析向度。Lohman (1979) 探索數個主要研究的資料，嘗試建構出一組共同的空間因素，這些因素包括：

- (1) 空間定位 (方向性)：從另一個視點想像物件的二維表徵。
- (2) 空間關係：在心理旋轉過程的速度及正確性。
- (3) 空間視覺化：關於平面折疊及攤開的工作，不屬於速度測驗，是較複雜的難度測驗。

各研究者對於空間能力分析向度的整理如表格 2-2，大致說來，雖然部分名詞定義不同，但空間能力的內涵大致包含視覺化、空間關係和定位等成份。

表格 2-2 空間能力向度分析表

研究者 (時間)	空間因素項目	定義
Thurstone & Thurstone(1949)	空間因素 I	想像固定物體整體移動的能力。
	空間因素 II	想像固定物體之組成元素在空間中移動的能力。
Thurstone & Thurstone(1949)	1.靜態空間能力 2.動態空間能力	以圖形之靜態與動態特質區辨空間因素 I 與空間因素 II。
French(1951)	1.空間因素	能夠正確辨識並比較空間圖形的能力。
	2.空間定位	某空間圖形做各種角度變位時，能夠不受定位點的影響，辨認出圖形的能力。
	3.空間想像	能夠在三度空間中想像物體的移動，或想像性地操弄該物體的能力。
Guilford & Lacey(1947)	1.空間關係	決定空間中不同安置下的刺激與反應關係的能力，以及瞭解視覺圖形之元素安排的能力。
	2.空間透視	包含了想像物件旋轉、平面圖形與立體物相互折摺、以及預視物體在空間中相對位置改變的能力。
Piaget & Inhelder(1969)	圖畫式思考能力	辨認靜止圖形的能力。
	操作性思考能力	移動或者操控圖形與物件的能力。

Lohman (1979)	1.空間關係 2.空間定位 3.想像透視	編碼、配對、旋轉簡單圖形的能力。 能從不同的定位點去想像物體形狀的能力。 是一個能將平面圖想像成立體圖形的能力。
McGee (1979)	空間因素 (S)  視覺化因素 (Visualization)	對視覺刺激型式內部安排的理解,及不受方位改變混淆的能力。 能在心理操作、旋轉或扭轉以視覺呈現的刺激物之能力。
Pribyl & Bordner (1985)	空間視覺(Spatial Visualization)  空間方位 (Spatial Orientation)	心理操作動態圖象刺激的認知、保留、與記憶之能力。 個體對改變方向之圖象保持清晰的能力。
康鳳梅 (2004)	空間定位能力(spatial orientation)  空間關係能力 (spatial relation)  空間感觀能力 (spatial perception)  空間視覺能力 (spatial visualization)  空間組織能力 (spatial organization).	能從不同的角度想像物體或圖形在空間的旋轉變化,能迅速和精確想像其以2D或3D旋轉的能力。 能夠想像在空間將不同的物體面互相關聯起來,並想像操弄物體摺合,展開或旋轉組合與分解的能力。 能夠正確辨識物體相接合外觀所形成的線,且對所觀看的物體能夠形成精確影像的能力。 能夠經由心理旋轉、移動,而將相對位置改變的物體操作或轉換其空間模式的能力。 能夠組織經由觀察物體不同方向之空間影像,而揣想其另一方向之影像或立體的能力。

資料來源：本研究整理

## 2.2 空間能力的評量

空間能力是智力的一種,其與數學學習成就的關係,在許多研究都發現在各年級兩者呈正相關的現象(Clements & Battista, 1992),因此空間能力為心理學家與數學教育心理學家共同關心的主題。在心理測驗研究裡(psychometric research),心理學者對空間能力測試的指標大致分為三部份(Montello 等, 1999):

(一)空間視覺 (spatial visualization):指由視覺轉換為心智現象的處理過程,如

判別 2D 或 3D 圖形的能力，心理學上常用紙筆測驗檢視受測者對於這一方面的能力。

(二)空間方向感 (spatial orientation)：解釋視覺因子配置、排列 (arrangement) 的能力，例如：方向感測驗、圖形排列。

(三)空間相關性 (spatial relation)：指對空間分佈關係的解釋能力。係指受試者能夠想像在空間將不同的物體面互相關聯起來，並想像操弄物體摺合、展開或旋轉組合與分解的能力。

過去研究針對空間能力有不同的測量方法，一般使用紙本測量空間能力，如圖 2-1、2-2。也有一些為測量作業測驗，即透過實際操作機械或工具表現來測量其空間能力。目前已有發展不少電腦化空間能力線上測驗系統，例如：康鳳梅(2004)的空間能力線上測驗系統【[附錄 A](#)】，其施測對象為高職生。本研究的對象為國中生，因此以路君約、盧欽銘、歐滄和 (1994) 的《多因素性向測驗》中的「空間關係」與「抽象推理」來測量受試者的空間能力。

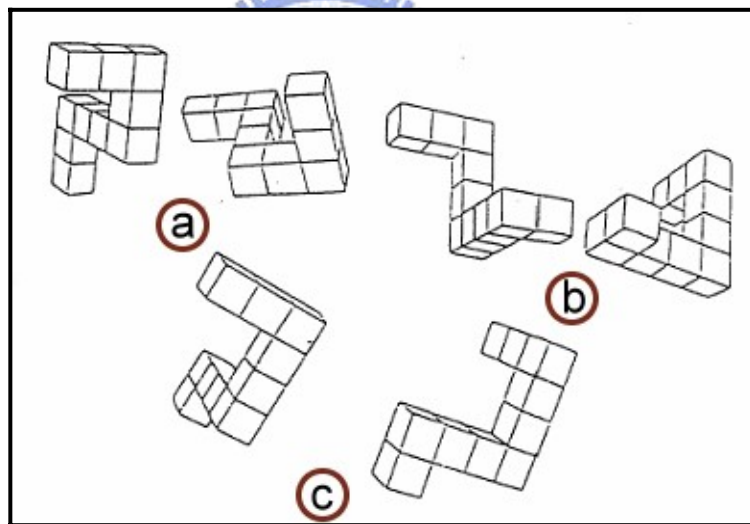


圖 2-1 三度空間心理旋轉作業圖例 (引自 Kosslyn, 1985)

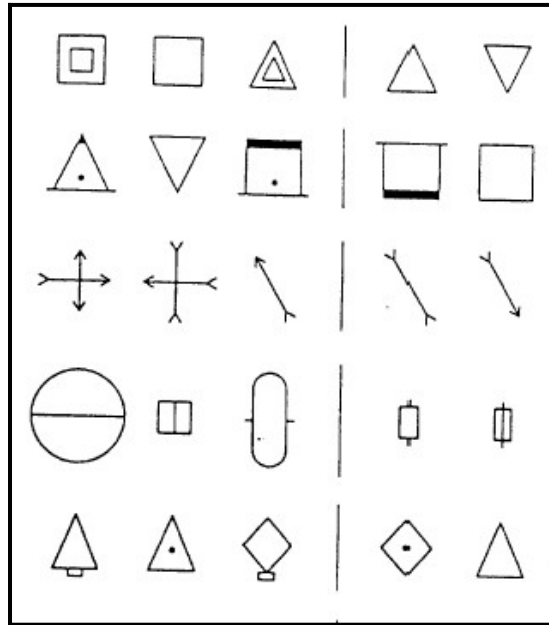


圖 2-2 Sternberg 幾何圖形類比推理作業圖例 (引自 Sternberg, 1977)

## 2.3 空間認知能力

Montello (1999) 認為空間認知能力指的是在真實世界中大範圍空間尺度裡地圖使用、環境探索、文字空間描述的能力。每人都有一種潛在的抽象心智能力，逼使我們去吸收(透過接觸、看、聽、聞和嚐，即直接的經驗)、組織、儲存和處理有關的環境信息(environmental information)，這些能力依年齡(或發展)和利用(學習)而改變，依賴每天的空間行為為基礎，慢慢累積而成，稱為空間認知能力(歐陽鍾玲, 1999)。又因為空間認知受到個人經驗及背景知識的影響，每個人的空間認知能力也有所差異。這種能力能使我們能理解空間環境，並且成功地在其中間行進(Andrew, 1992)。

因為空間認知能力的發展與年齡、經驗、學習有關，所以，對於空間認知的發展，學者便提出不同空間認知發展階段的理論【附錄 B】。近來有關空間認知發展階段的理論，最常被提起的當屬皮亞傑空間認知發展的三個階段理論。皮亞傑認為人的空間認知發展是具有階段性的，隨著年齡成長逐漸成熟，並不是只靠學習即可提昇空間認知的能力。他將空間認知發展分為三個階段，階段與階段間具有一些共同的特徵：(1) 階段出現的先後次序不變、(2) 每一階具有獨特之整體結構特徵、(3) 前一階段納入後一階段形成連續的過程，不同階段的學童，自然有不同的認知能力發展。由空間認知發展理論可知，人類對環境空間認知的發展，大致上是由點 (declarative knowledge)、線 (procedural knowledge) 到面 (survey knowledge)。

皮亞傑將空間認知發展分為：拓樸(Topological)空間概念、投影幾何(Projection

geometry)概念、平面幾何(Euclidean geometry)概念三個階段。最後階段為平面幾何(Euclidean geometry)概念階段，這個階段年齡約 7~11 歲，屬於具體運思期。但若探討 11 歲以上學童的空間認知發展，則因已進入形式運思期，其空間認知能力當已可使用符號和抽象概念來表示空間環境，將有能力形成更大更統合的認知圖。

本次研究對象為國中一年級學生，其年齡約十三、四歲，已進入形式運思期。本研究參考Downs Stea(1973)在「Image and Environment」一書中討論到心智圖、空間行為與態度，及個人獲得的空間資訊如何影響其行為，所畫出學童的空間認知心智表(如表格 2-3)，表中說明學童空間認知心智的發展狀況。

表格 2-3 兒童空間認知心智發展表

15	青春	形式操作期 (抽象智慧期)	形式操作						
10	國小學童	具體操作期 (具體智慧期)	具體操作	拓空間 ↑ 影空間 ↑ 平面空間	自我為中心的 ↑ 系統	固定參考系統 ↑ 系統	測量圖式 ↑ 路		
5	學前	前操作期 (直覺智慧期)	前操作				行動空間 ↑ 圖式		
1	嬰兒	感覺運動期 (實用智慧期)	感覺運動						
	年齡層分組	一般智能	空間關係類型	空間認知發展類型	參考的架構	拓樸的描繪方式			

資料來源：整理自歐陽鍾玲(民 72)。

由表格 2-3 可知(表中灰色斜線區塊)：本研究對象為國中一年級階段的兒童，其空間認知心智的發展狀況在一般智能層面係處於抽象智慧期，在空間和組織水準層面為形式操作空間，而以平面空間為主的空間關係類型，其參考架構為統合參考系統為主，並以測量圖式為主要的拓樸描繪方式。

## 2.4 認知地圖

### 2.4.1 空間認知與認知地圖的關係

人們透過他們的認知過程而對一地方環境產生編碼及識覺，此即為環境認知的過程。而認知地圖(Cognitive map)就是人們對環境認知後在腦中產生之空間意象的呈現，因此，認知地圖常用來判斷繪圖者對空間認知的能力。本節將就何謂認知地圖(Cognitive map)及認知地圖何以能呈現一個人的空間認知能力說明。

段義孚(1977)認為繪畫地圖無疑的是具有概念性空間關係能力的證據。將留在認知層面的整體空間關係轉化在物質性的媒體上就是地圖。也就是說認知地圖塑造了人們對地方環境的看法，因此，認知地圖提供一個了解人們對週遭環境認知的途徑，利用認知地圖可以建構一個人內在認知的世界。同時也可以窺見其空間認知的能力及發展階段。

地理學者在研究環境和人之間的關係時，多半是利用認知地圖的方法來反應人類對於空間環境的吸收、組織、儲存、回憶和處理所得的知識和概念(Downs, 1977)。因此，本研究擬以認知地圖作為個人內在空間認知能力的外顯表徵。即以認知地圖的類型判斷個人空間認知能力的發展階段。



### 2.4.2 認知地圖的定義

每一個人腦中皆存有一個對空間認知的圖像，將這個內在世界上顯出來的圖，即所謂的認知圖(林靜怡, 2003)。在環境心理學的研究及著述中 Cognitive map 通常被翻譯為「認知地圖」。而國內地理學者蘇永生(1992)在有關兒童環境認知之地圖學研究中，也是將 Cognitive map 譯為「認知地圖」。但另一位學者歐陽鍾玲(1981)則將 Cognitive map 譯為「心智圖」。但其研究內容同樣是以兒童手繪地圖做為探討學童空間認知的工具，兩者內容並無不同，只是在翻譯名詞上有所差異。本研究主要探討學生空間認知之差異，所以，將 Cognitive map 統一以「認知地圖」稱之。

歐陽鍾玲(1981)認為心智圖(cognitive map)為人們將所吸收、組織、儲存和處理有關的空間環境信息累積成的潛在心智能力表象出來的圖。換句話說，認知地圖可以提供環境的有效模型，認知地圖可能是詳盡或概略的；它們的範圍可能大到整個地球或小至個體房間。無論如何，認知地圖就如同個人所認知的情况去呈現世界(Matlin, 1989)。換句話說，認知地圖(Cognitive map)是個人對環境的心理表徵(Mcandrew,



1993)。認知地圖是存在個體心智中的空間意像和環境特徵，來源是由各種生活體驗、感受、長期累積的經驗所組成，包括：從地圖閱讀中的資訊、個人實際經驗，也包括圖片、傳說等 (Dent, 1996)。

Wakabayashi (1989) 將認知地圖的形成過程分為五個階段：1. 接觸環境 (contact with environment)，2. 編碼 (encode)，3. 記憶儲存 (memory storage)，4. 解碼 (decode)，5. 再生 (reproduction)。由圖 2-1 可以得知，人獲得空間資訊的來源主要來自兩方面：直接接觸環境或是間接獲得的環境資訊，例如：地圖、語言等 (Wakabayashi, 1989、Montello, 1999)。而由直接接觸環境取得的空間知識在編碼的過程中，是程序性的知識 (概念陳述)，但是由地圖獲得的空間知識在編碼的過程中是屬於調查性知識 (圖像式)。這些空間知識經過旋轉、排列等處理後儲存在人的記憶裡，而儲存的方式為階層性結構，當在需要使用到空間知識時，則透過內在的縮尺推理取出所需的資訊，而表現出來的方式可能是估算距離或繪製一張認知地圖。

這種認知過程的編碼儲存方式與三維空間搜尋系統或網站架構相似，都是以階層性結構，這種結構方便使用者提取或是搜尋資料。

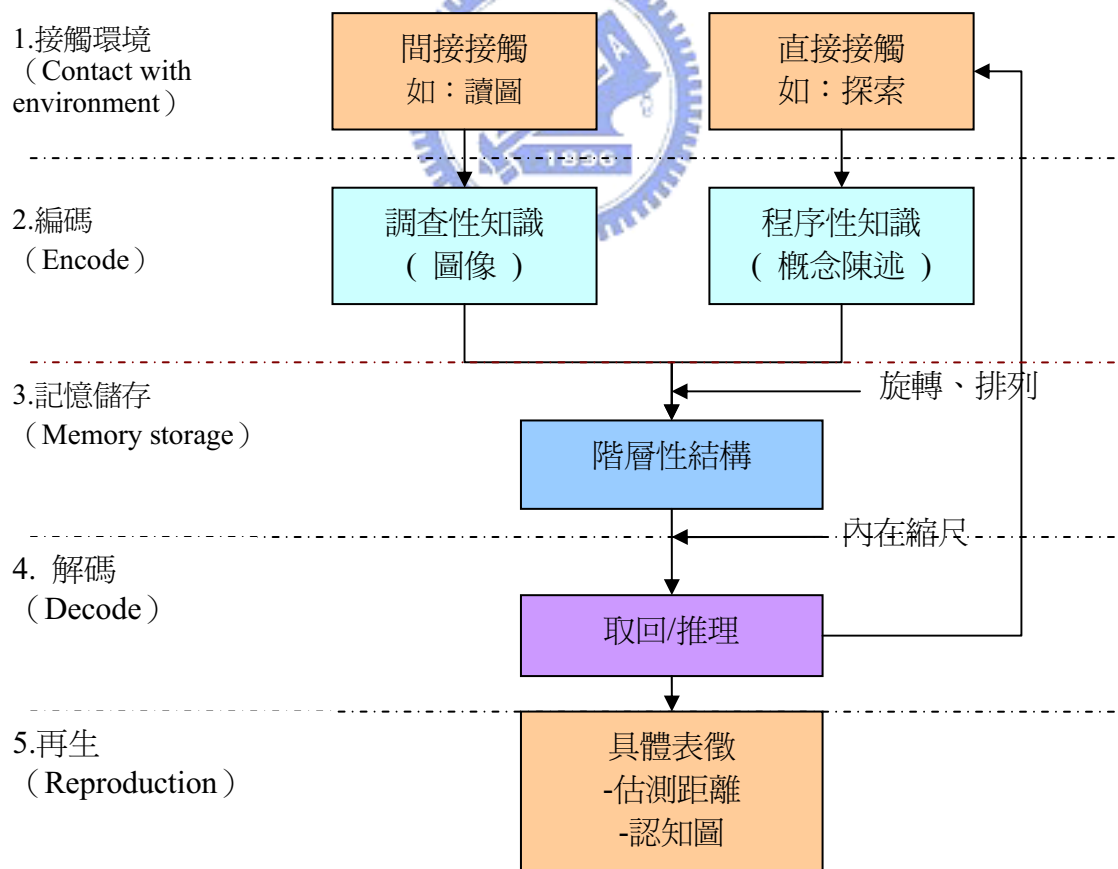


圖2-3 空間認知形成過程概念圖 (conceptual scheme)  
(轉繪自 Wakabayashi, 1989)

### 2.4.3 認知地圖的分析

綜合以上相關文獻資料之分析與探討，發現「空間認知」係包括：空間要素、空間組織能力與空間表現形式等三層面，而國內外學者之研究多採以兒童繪製相關路線圖或住家(或學校)附近的地圖即認知地圖，來作為分析兒童在各個不同階段之空間能力的重要參考依據，如表格 2-4。因此，兒童的認知地圖的評量包括三大層面：1. 空間要素的分析：依據兒童所畫內容(符號、圖例、文字說明)進行分析。2. 空間組織能力的評量：依據兒童所畫內容(方向、方位、比例、距離、面積、位置、次序與分離與道路)進行分析。3. 空間表現形式(參考架構與表象模式)的分析。

表格 2-4 認知地圖相關研究的資料分析

研究者(時間)	分析項目
Ladd (1970)	(形式和要素) 1.四個類型 2.面積的估計 3.街道數 地圖的組織 5.物體的識別和位置 6.地圖的正確性。
Matthews (1980)	1.資訊和完成度 2.外型 and 形式 3.地圖形式 4.正確性。
歐陽鍾玲 (1982)	1.空間要素 2.空間組織能力 3.空間表現形式。
Matthews (1984)	1.地方的資訊 2.地圖的完成度 3.地圖的正確性 4.地圖形式。
蘇永生、石慶得 (1992)	街道結構及範圍：道路結構分為六個類型，單一式、叉式、十字式、單格式、棋盤式、多條平行式。
呂玉琪 (1995)	1.方位及方向的正確性 2.路徑距離比較。
許育齡 (1999)	1.空間要素 2.空間組織能力 3.空間表現形式(參考歐陽鍾玲方式)。
林靜怡 (2003)	路網結構分析(參考蘇永生方式)：1.直線直角路網 2.直線斜角路網 3.多街廓斜角路網 4.曲線斜角路網 5.路徑型路網。
張文賢 (2003)	1.認知數量 2.認知扭曲程度。
許秀桃 (2004)	1.空間要素 2.空間組織能力 3.空間表現形式(參考歐陽鍾玲方式) 分為十二項目分析。
蘇國章、黃國鴻 (2005)	1.數值變項：空間要素 2.類別變項：空間要素(分向)、空間組織、空間表現形式(參考歐陽鍾玲與石慶得方式)

【資料來源：本研究整理】

## 2.5 三維空間搜尋系統

三維空間系統又稱 3D 空間。一般在描述空間中平面的方位，至少需要兩個參數值，一個是平面的傾斜度(slant)，一是傾斜的方向(direction-of-slant)(Pani et al., 1996; Sedgwick, 1986)。即描述平面的方位可解釋為一個垂直穿透平面的法線，所組成的球座標系統。這樣的系統與人所習慣認知的方位概念相當類似，若比喻人所站立的垂直軸為極座標軸(polar axis)，此時手臂平舉則代表水平面，隨著身體的左右旋轉與兩手臂的高舉與低放，亦形成了一個空間的球座標。

本研究所稱的三維空間系統是指在電腦中呈現虛擬三維空間環境，而在電腦的三維空間中，對於空間的定義，則顯然與球座標不同，其由 X、Y、Z 三個軸所構成。就是指在使用電腦程式以特定的表現法則在電腦螢幕上製造出虛擬三維空間的 2D(二維空間)平面圖像。受限於需以螢幕的 2D 平面來表達 3D 的物體，僅定義兩個軸，以圖學所慣用的第三角法方式呈現。其呈現的形式與特點有別於傳統的二維空間系統在視覺上只有 X 及 Y 軸的二度平面空間，對應到電腦螢幕上即是只具有水平軸與垂直軸的操控範圍，三維空間系統在製作與呈現方面就如同真實的世界一樣同時具有 X、Y、Z 三維空間的模式，其概念就比較接近以幾何圖形所呈現的虛擬實境三維空間環境的技術。

在虛擬三維空間的環境中，常用第一人稱視角與第三人稱視角來模擬呈現環境事物。第一人稱視角所表達的畫面如同使用者親身參與的效果，畫面顯示使用者所看見的視野，因此，三維物件的呈現也以使用者平視角度所見為設計目的，製造使用者彷彿參與空間互動的虛擬效果。第三人稱視角的虛擬情境，表現的畫面以俯視 45 度，或者使用其他第三者視角觀看視野為主，畫面所顯示的是虛擬空間整體配置，如圖 2-4 所示。兩者不同的虛擬實境視角表達方式各有其特色。本研究操作環境 Google earth 系統的虛擬實境為第三人稱視角，以 90 度俯視角度呈現三維空間環境，讓使用者模擬上帝或是太空人所觀察到的地球空間環境。

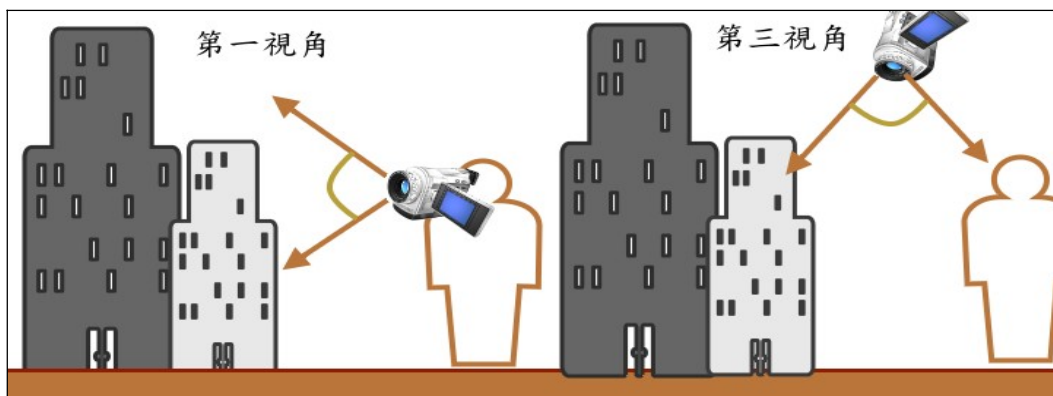


圖 2-4 第一人稱與第三人稱視角的比較圖

至於三維空間搜尋系統，指的是在三維空間系統中具有讓使用者執行搜尋功能的操作環境。因此，系統環境不僅要具有三維空間虛擬環境，還要能讓使用進行搜尋的工作。本研究所使用的 Google earth 搜尋系統就是具有三維向度的虛擬空間環境，其上下、左右、高低即代表 X、Y、Z 三個維度。

