

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

女生科學學習的觀念雛形、認知歷程及社會影響的動態歷程研究--發展早期女生科學思考雛形及其教育意涵研究：
素樸實驗觀念與統計觀念的萌芽
研究成果報告(精簡版)

計畫類別：整合型

計畫編號：NSC 96-2629-S-431-001-

執行期間：96年11月01日至97年10月31日

執行單位：佛光大學心理學系(所)

計畫主持人：王震武

計畫參與人員：碩士級-專任助理人員：林慧慈

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 98年01月21日

發展早期女生科學思考雛形及其教育意涵之研究

——素樸實驗觀念與統計觀念的萌芽

(第一年成果報告)

王震武

佛光大學

本研究要研究的是女生在發展早期是否擁有科學思考的雛形——她的思考是否已經具備某些成熟科學思考所需的要件。而所謂的「發展早期」，指的是科學啟蒙之前的階段，也就是小學低年級階段。在諸多可能的科學思考要件中，本研究要觀察的是設計科學實驗所需的思考要件，以及關於資料之思考所需的要件。前者包括關於(1)獨立變項；(2)依變項；(3)變項混淆；以及(4)獨立變項與依變項的共變，四方面的思考之研究。後者包括關於(1)舉證責任歸屬；(2)資料取得方式；(3)樣本數大小；(4)資料變異程度等四方面的思考。本研究第一年的工作是發展適合兒童的實驗材料，並進行關於獨立變項與依變項思考的實驗。實驗結果顯示：(1)小學二年級階段的兒童，已經知道只有「有變異」的現象才可能顯現因果關係；(2)這個階段的兒童，還不能了解「獨立變項在觀察上必須是個變項」，才可能成為另一個現象的可辨識成因；(3)因此可以推知，小二階段正是科學思考雛形正在成形的階段；(4)此一發展顯然沒有性別差異。

Jean Piaget的認知發展理論有一個眾所皆知的說法：達到認知發展最高階段的人，能設計不混淆的實驗，以釐清變項與變項間的關係，比如說，釐清鐘擺長度、擺錘重量與擺動週期之間的關係(Inhelder & Piaget, 1958)。用現代流行的語言來說，發展到形式運思期的人如果不是真正的科學家，至少是「直觀科學家」(intuitive scientist)。所謂直觀科學家，按照一般的說法，意指「思考方式跟科學家相似的人」。然而，所謂「科學家的思考方式」卻是個不容易釐清的問題。同樣的，心裡學家在使用「直觀科學家」這個字眼時，也就蘊含各種廣狹不同的語意。

根據Deanna Kuhn (1989)的分析，將兒童或一般成年人比方成科學家，可以有兩層意義：第一，兒童或一般人，能構作科學理論，用以理解他們的世界；第二，兒童或一般人在認知上對世界進行探索，其方式與科學家類似。根據Kuhn的看法，如果僅從第一個層面來看，兒童確實可以稱為直觀科學家。因為現有的研究證據顯示，兒童確實擁有某些素樸、直觀的看法，可用以說明世界為什麼會是這個樣子，並以這樣的方式運行(Carey, 1985a, 1985b, 1986; Champagne & Klopfer, 1984; DiSessa, 1983; Gentner & Gentner, 1983; Larkin, 1983; McCloskey, 1983; Vosniadou & Brewer, 1987; West & Pines, 1985)。同時，他們也像科學家一樣，隨著認知的發展，會進行觀念的重構(restructuring)，就如同科學史的發展常伴隨激烈的觀念重構一般。然而，如果從第二個層面來看，稱兒童或一般人為「直觀科學家」，卻是個誤導性的比方。

Deanna Kuhn認為，專業科學思考的核心在於理論與數據的調配（the coordination of theories and evidence）。科學家一方面用理論來解釋數據，另一方面則根據數據去修正理論。就這點來說，兒童及一般成年人對世界的思考顯然不是這個樣子。比如說，六年級的兒童會無視於數據，而對於實驗者的問題一再地給予「基於理論的反應」（theory-based response）。Kuhn將論述的重點放在兒童身上，因此用以支持其論述的數據，大體上為從兒童實驗中獲得的數據，而這些數據也清楚地顯示兒童與科學家的思考確實有明顯的差異。

然而，Deanna Kuhn的論點有兩個問題：首先，晚近有更多的實驗數據顯示，年齡比Kuhn的受試者小很多的兒童，能夠根據變項之間的隨因關係（contingency）或共變關係，乃至於根據條件機率，做正確的因果推論（例如，Gopnik, Sobel, Schulz, & Glymour, 2001; Harris, German, & Mills, 1996; Kushnir & Gopnik, 2005, 2007; Schulz & Gopnik, 2004），幼兒甚至對混淆與不混淆的狀況會有不同的反應（Schulz & Bonawitz, 2007）。關鍵差異也許在於Kuhn要他的受試者說出因果關係，而其他的實驗要受試者做選擇（選擇可以觸發結果的事物），或直接以行動去展現因果關係（促成「因」以便讓「果」出現）。因此，Gopnik, Sobel, Schulz, & Glymour (2001)推測，兒童可能擁有認知能力去內隱地進行因果推論，卻缺乏足夠的後設認知能力（meta-cognitive capacity）去有意識地決定怎樣的證據足以證明因果假說（頁621）。

其次，如果所謂的「直觀科學家」指的是「思考方式類似於專業科學家的人」，則Kuhn的說法自然不為無據。然而，如果一般所謂的「直觀科學家」並不著眼於此，則Kuhn的論斷便有商榷的餘地。顯然，所有使用「直觀科學家」這個字眼的人，都不會期待兒童的思考能達到專業科學家的水準。他們真正想表達的是：兒童的思考型態已經有了專業科學思考的雛形。於是，怎樣才可以稱為「雛形」，便是下一個不易解答的問題。然而，更重要的也許是：「直觀科學家」這個字眼意味著，從這樣的起點出發，每個人都有成為真正科學家的潛能。

用這樣的眼光看待孩童，顯然與Piaget對認知發展的觀點一致。Piaget視嚴謹的科學思考模式為認知發展的極致，然而，這個發展卻不依賴有計畫的教導，而是兒童透過與環境的互動便可能達成的發展。從而，Piaget的認知發展觀點便有了從「雛形」到「成熟型態」的意涵。嬰兒在許多方面與大人有很大的差異（比如說，不會說話），嬰兒卻是大人的雛形。因此，「雛形」一詞並不意味著高度相似，或在關鍵地方相似。只要目前狀態將導致目標狀態，且與目標狀態有某種類似，就可稱為雛形。

假如我們將「直觀科學家」視為「科學家的雛形」，則關於兒童是否為「直觀科學家」的研究，便可以著眼於兒童能發展為真正科學家的潛能。更具體地說，研究者可以追問的是，兒童是否擁有發展為真正科學家的必要條件。很顯然的，並不是所有兒童都能發展為科學家，這些未能發展為科學家的兒童顯然並不具備成為科學家的充分條件，包括興趣、機會，以及某種類型的教育，諸如此類的「非關心智潛能」的各種條件。然而，如果我們假設，人類之所以能發展科學，是因為人類心智具備了發展科學思考所需的必要條件，則除了生理異常者外，所有人的心智應當都擁有進行真正科學思考的基礎。換句話說，科學思考用到的認知機制是所有正常人共同擁有的（Dunbar, 2002）。

從發展的角度看科學思考的萌芽

說人類心智擁有成為科學家心智的必要條件，意思是說，人類思考擁有某些特質或要件，可以成為科學心智的組成要件。這些要件也許從未經動機、環境等因素的調節而組織起來，成為科學思考機器，但是這些要件卻依然存在，甚至可以在嬰幼兒身上找到。因此，研究上只要能先確定科學思考包括哪些必要條件，再去觀察嬰、幼兒或兒童是否具備這些要件，便可以確定科學思考是在怎樣的心智基礎基礎上發展起來的。這類研究的附帶效果自然是，讓我們可以得知，兒童心智在多大程度上類似真正的科學家，稱兒童為「直觀科學家」到底是什麼意思。另一個重要效果則是，讓我們得以根據對「科學家雛形」的了解，設計出好的科學教育。

然而，從發展的角度來看，這類研究卻有個問題。打個比方來說，假如我們研究一粒樹木種子，我們不可能看到它發展成為一棵大樹的許多必要條件。發展是個歷程，最終階段的發展所需的條件，常常在最初的狀態中隱沒不彰。比如，開花所需的要件大部分存在于含苞狀態中，卻不見於種子中。從這個角度來看，即使有許多研究顯示，嬰兒擁有許多關於世界的知識（例如，Saxe, Tzelnic, Carey, 2007; Springer & Keil, 1991; Wellman, Hickling, & Schult, 1997），但是研究科學思考的萌芽，卻不易從嬰兒研究中獲得足夠的啟發。Piaget認為，科學思考能力要到青春期中後才會發展起來（Inhelder & Piaget, 1958）。後續的研究雖不一定支持這麼晚期發展的觀點，然而，學者們大體上同意，科學思考能力的發展較晚，甚至直到成年階段都還有不少人不具備明顯的科學思考能力（Kuhn, Amsel, O'Loughlin, Schauble, Leadbeater, & Yotive, 1988）。

根據現有的教育制度，科學思考的啟蒙教育被置於小學階段，特別是有「自然科」之後。此一體制既已行之有年，且很少受到質疑，自然表示：根據歷來的教育實踐，在小學中、高年級階段進行科學啟蒙教育，適合兒童的認知發展進程。準此而論，則小學低年級階段的心智狀態，應該已具備科學思考萌芽所需的要件，足以讓往後的科學啟蒙教育成為可能。只有在這些要件的基礎上，經驗（包括教育經驗）才能讓心智能開始理解科學知識。比如說，理解為什麼一個看起來非常平坦的地球實際上是球形的，或理解下雨之前天空為什麼會變黑。這個階段的心智必然具備足以理解這些科學想法的要素。不僅如此，某些較晚出現的思考方式，比如Piaget所設想的，那些以實驗釐清變項關係的思考，其要件也可能在小學低年級這個「前科學啟蒙期」已經出現。

前述的想法決定了本研究的觀察對象：小學低年級學生。

科學思考的必要條件

有了選定的觀察對象後，接下來要問的自然就是：觀察些什麼？顯然，科學思考包括許多不同的心智活動，可以列出一長串清單，包括邏輯推理、選擇觀察的變項、類比推論、形成假說、從複雜的現象找出規律性、關於如何檢驗假說的思考、從資料產生結論等等心智活動。原則上，這些都是工具性的，科學家憑藉這些工具性的心智活動得以進行科學研究、產生科學知識。讓這些心智活動最佳化顯然是科學訓練的重要目標。然而，缺乏這種訓練課程的古代科學家卻只能在某些本有的心智能力基礎上，發展其科學思考。換句話說，必然有某些自然發展出來的人類思考偏向（human bias），讓古代科學家傾向於以某種方式思考，並在這個偏向的基礎上，發展出成熟的科學思考方式。這種思考偏

向類似於動物行為研究上的學習預備度 (preparedness) (Seligman, 1970) —— 老鼠比較容易學會食物的味道 (而非同時經驗到的電擊) 與生病的關係 (Garcia & Koelling, 1966), 鵝鶉比較可能從飲水的顏色 (而非味道) 找到致病的線索 (Wilcoxon et al, 1971), 這些偏向都成了思考 (或心智演算) 的基礎。

以Piaget感興趣的「設計實驗以釐清真相」的思考為例, 正式的科學訓練課程自然包括「獨立變項的操弄」、「依變項的測量」、「混淆變項的控制」、「資料的整理分析」等。這些訓練有的只能從特定學門的實際研究經驗中學習, 有些則有專門的課程, 比如實驗設計、問卷設計等課程。然而, Piaget顯然主張, 其中有許多可以在自然發展中發展出來。順著這樣的思路, 於是有兩個問題會接著浮現出來。其一是, 這些思考上的發展是建立在哪些人類思考偏向上? 其二是, 這類的思考偏向約略會在那個年齡出現?

既然科學思考包括許多不同類型的心智活動 (演繹推理、類比推論等), 因此, 要追問人類在科學思考上有哪些天然偏向, 自然需從不同的心智活動分別去探討。如此看來, 當然沒有任何一個研究可以畢其功於一役。原則上, 有幾類心智活動在科學思考上扮演較關鍵的角色, 包括: 演繹推理、類比推理以及因果推理。後二者因為不像演繹推理一樣, 有明確的規則可循, 通常被歸類為歸納推理的一部份。而所謂的因果推理的思考活動, 在現代的科學實務上, 則表現在兩方面: 為推定因果關係在觀察上所做的選擇與規劃, 以及從觀察結果產生結論的思考。前者的典型代表是實驗規劃與設計, 後者則是統計推論或基於統計觀念的推理。因此, 如圖1所示, 在科學思考中, 最主要的心智活動包括: 演繹推理、類比推理、實驗或其他觀察的規劃與設計、統計推論。

在這四類主要的思考活動中, 由於類比推理涉及一些研究者難以掌握的變項 (例如, Chen, 2002; Gentner & Markman, 1997; Halford, 1992; Keane, 1997; Novick, 1988; Reeves & Weisberg, 1994; Ross & Kilbane, 1997), 而且不易在實驗室中加以觀察, 因此不是本整合型研究計畫能探討的。其他三類思考活動的研究, 均為本整合型研究計畫中關於「科學思考的雛形狀態與發展傾向研究」的一部份。兒童的演繹推理能力是子計畫三 (「演繹邏輯思考的萌芽、學習、發展與兩性差異」) (林文瑛、王震武) 的研究主題, 本研究則致力於兩類因果推理 (「觀察的規劃與設計」與「基於統計觀念的推理」) 的研究。更具體地說, 本研究要探究的是, 兒童科學思考中的實驗觀念與統計觀念雛形。

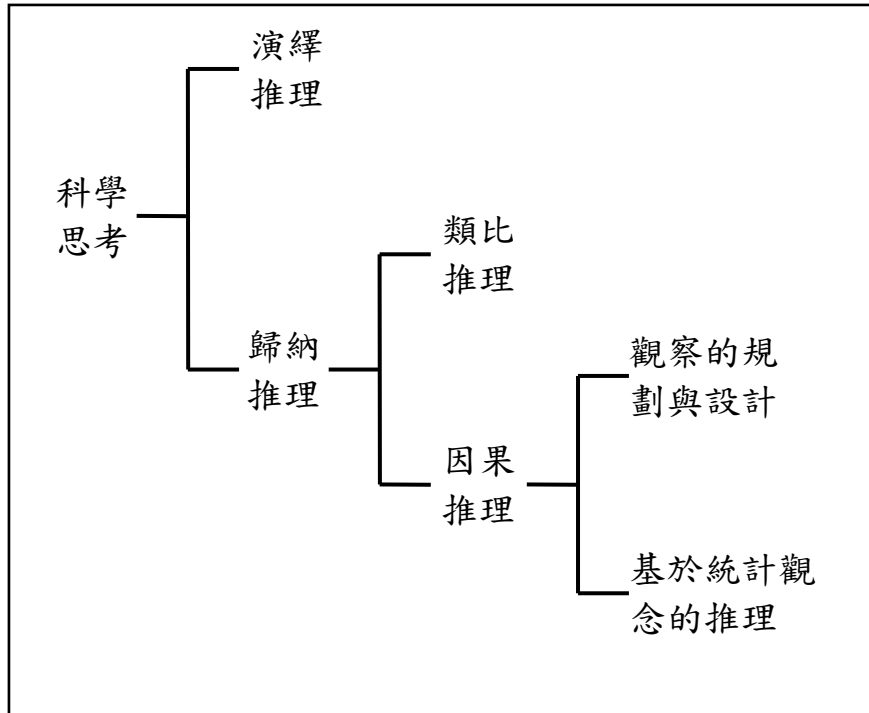


圖 1 科學思考中的主要心智活動

實驗思考的雛形

如前所述的，科學上的因果推理包含的第一類重要思考是，選擇作哪些觀察以及在什麼情況下做觀察。這類思考的代表性典範是，思考如何做一個可以顯示因果關係的實驗。從實驗的要素來看，這些思考顯然必須是關於獨立變項、依變項與混淆變項三方面的思考。對於專業科學家而言，關於獨立變項與依變項的思考，包括哪類獨立變項是值得觀察的、如何操弄選定的獨立變項、可以觀察那幾個依變項、如何觀察或測量依變項等等，這些都與專業知識息息相關。因此，關於獨立變項與依變項的思考，大部分是領域特定的

(domain-specific) 的思考，跟研究領域的專業知識有十分密切的關係，不易從領域知識裡抽離出來，成為一門獨立於學術領域的學問。反觀關於混淆變項的思考，情況就完全不同。雖然哪些變項容易造成混淆，是隨領域而變的（比如，觀察對象的個別差異在心理學研究上是重要的混淆變項，在物理學研究上就不是，因為個別差異通常不存在——比如，所有的鐵球都一樣。）。然而，如何控制混淆變項，卻有跨領域的共同原則在——如隨機化、對抗平衡等原則。正因如此，實驗設計才能成為獨立於專業領域的學問。

然而，獨立變項與依變項的選擇也有非常一般性的（非領域特定的）一面，而正由於它們是一般性的思考，因此可能反映人類思考上的特定偏向。舉例來說，當我們觀察現象時，很容易注意到有變異的變項以及這類變項之間的關連（比如注意到每個人的聰明程度不同，而他們父母的聰明程度也不同，因而進一步思考其間的關連），也很自然的會忽略沒有變異的變項（在思考「為什麼人的智力會有不同」時，不會注意到每個人都有眼睛）。這些思考傾向如果非經教導而得，自然可能是人類本有的思考偏向。

因此，要知道兒童是不是擁有可藉以發展出「用實驗來釐清真相」的思考

之要件，顯然可以從四個方面加以觀察：

- ◇ 在關於獨立變項的思考方面，兒童是否（自覺或不自覺地）知道，必須有不同的地方可以比較（或有比較基準），才值得觀察，或才會有結論？
- ◇ 在關於依變項的思考方面，兒童會不會傾向於去觀察有變異（因之可藉以區辨原因）的依變項？
- ◇ 在關於變項混淆的思考方面，兒童知不知道有混淆時便無法下結論？
- ◇ 在關於獨立變項與依變項的關係方面，兒童是否能預期，當兩者有因果關係時，將會看到兩者之間的共變？

統計思考的雛形

因果推理包含的第二類重要思考，是關於如何從資料產生結論的思考。今天的科學社群對於如何從資料獲致結論，已經有了共同遵守的原則，此即「統計決策法則」。然而，現代統計理論的基礎理論「機率論」卻遠比人類的科學探索晚了幾千年才出現。在那個漫長的「前統計時代」，人類卻已對諸如氣候的季節循環、壽命的預期等深受隨機因素影響的現象，做了許多探索。因此，很難想像那個時代的古人完全沒有關於隨機變異、平均趨勢等方面的素樸統計概念。而這類概念之所以會出現，顯然不只是經驗的影響，還要有可用以整理經驗的人類思考偏向。

假如某種先天的思考偏向加上對隨機現象的經驗，就能產生素樸統計觀念，則素樸統計觀念應該出現得很早。Jean Piaget很早就注意到「隨機」觀念的發展問題，根據他的實驗，這種觀念大約從7歲左右開始發展。7歲以下的小孩雖然知道，對於隨機抽撲克牌、輪盤指針停的位置等隨機事件，自己無法預測其結果，他們卻以為那是可以預測的。然而，從7歲到10歲，相關的觀念會陸續發展出來。比如說，10歲的小孩就知道，只要嘗試的次數夠多，輪盤指針就可能停在以前沒有停過的位置，而其機會與嘗試次成正比。

自然，科學思考所涉及的統計觀念不只這些，因此，值得觀察的素樸統計觀念也就不只這些。Nisbett, Krantz, Jepson, & Kunda (1983)曾以實驗探討大學生（其中約有85%沒修過統計學）用於日常生活中的素樸統計概念。他們觀察的重點包括：（1）關於資料的同質程度（同一群體在某一特質上彼此相似的程度）之信念會不會影響受試者從樣本對群體所做的推測？（2）樣本的隨機性會不會影響從樣本所得結論的強度？（3）對特定領域知識的了解，能否因為有助於了解相關事件的不確定性，而有助於受試者採取統計性的解釋？他們的實驗結果給予前述所有三個問題肯定的答案。

Nisbett等人認為，統計觀念的產生主要的是來自於文化的薰陶。在現代文化裡，統計觀念處處可見，從保險到醫療事務都充斥著統計觀念，這些都會讓處於現代文化中的人受到統計知識的薰陶。根據這樣的想法，越是活在歷史前期的人，其統計或機率知識越少。因此，Nisbett等人不認為中世紀歐洲的兒童能表現得像Piaget的受試者那麼好。自然，我們已不可能再去測試中世紀兒童的統計觀念。然而，如果現在7歲或更小的兒童能表現一系列的統計概念（而不僅是「隨機」的概念），文化薰陶說便相當可疑，因為根據Piaget的實驗結果，文化薰陶應在7歲以後才會開始發生功效。在這個情況下，統計觀念建基於「人類思考偏向」的觀點，便有可能是對的。更重要的也許是：不論統計觀念的來源

為何，對小學低年級兒童統計觀念的測試，足以讓我們了解兒童科學思考的雛形狀態是怎樣的狀態。

自然，要了解兒童科學思考的統計面，應該觀察哪些觀念，是個有待考究的問題。原則上，值得觀察的素樸統計概念應該是專業統計概念中的某些基本概念。這些基本觀念未必被明白地寫在統計教科書中，卻可能是統計學理背後得預設。比如說，所有的統計方法均預設資料具有某種「隨機性」。再比如說，統計假說檢定預設，任何未經檢驗的說法應予拒絕（預設 H_0 為真）。此外，幾乎所有的統計公式都蘊含符合常識的基本觀念。比如說，t檢定公式以標準誤為分母，蘊含資料變異程度越大（同質性越低），越無法獲致可靠的結論，而樣本數越大，越可能獲致清晰的結論。這些基本觀念很可能就是建基於人類思考偏性的素樸統計觀點，因此，要觀察統計思考的雛形，自然應從這些方面入手。根據這樣的想法，本研究準備對國小低年級生就下列幾個方面進行觀察：

- ◇ 兒童是否知道任何新的說法都需要證據，否則只能存疑？
- ◇ 兒童是否知道資料的取得方式受主觀因素的影響越小（越隨機），其結論的可信度越高。
- ◇ 兒童是否知道樣本數越大結論越可信。
- ◇ 兒童是否知道資料的變異程度越小，其結論越可信。

性別的向度

提起女生的科學教育，很容易想到一些常見的現象：大學理工科的教授與學生黏性顯著多於女性；男性在科學與數學的學業成就上似乎略優於女性；與科學或數學知識關係密切的產業（如工程業、電子業），其從業人員也男多於女。這些現象的產生到底是由於先天的差異、偏頗的制度性因素或偏差的社會心理造成的，自然會是個極大的爭論。近年一個關於兩性嬰兒注意偏向的研究（Connellan, Baron-Cohen, Wheelwright, Batki, & Ahluwalia, 2000），更令這個議題廣受矚目。根據這個研究的結果，對於並列的活人與同樣大小的物體，男嬰會花較長時間看物體，女嬰則以較多時間看人。Baron-Cohen (2003)據此主張，男性生而傾向於探索物體及物體間的機械互動關係，女性則偏好探索人以及人與人之間的情感性互動。由於兩性的先天差異本來就是個備受關注的議題，此一研究結果及其引伸的結論，自然廣受矚目。

根據Elizabeth Spelke (2005)的觀察，包括前述的觀點在內，近年來在兩性先天差異的議題上，共有三種較重要的看法：（1）男性生而對物體及其動力系統感興趣，女性女性生而對人、人的情感以及人際關係感興趣（Baron-Cohen, 2003; 亦見Browne, 2002）；（2）男性擁有在數學推理方面具優勢的認知能力組態，因此兩性之間的差異乃是根源於基因的差異（Geary, 1998; Kimura, 1999）；（3）數學能力的天賦上，男性的變異較女性大，因此，數學天賦特佳的男性多於女性（Benbow & Stanley, 1983; 亦見Benbow, 1988; Nowell & Hedges, 1998）。Spelke針對這些觀點就現有的文獻加以探討。她的結論是：

關於男性與女性認知能力發展的研究，並未能支持「男性在數學與科學方面有較多天賦」的主張。男女嬰在數學與科學的基礎認知能力上沒有差異，他們有相同的對物體、數字、語言、空間的表徵與認識能力。男女兒童以相同的方式、在相同的發展時段駕馭這些能力，

以掌握初級數學的觀念及運算。雖然較大的男孩及女孩顯現稍有不同的認知組態，然其差異是複雜而微妙的（不是諸如「女性是語言的，男性是空間的」那樣）。這些差異通常都很小，而且是源於對解題策略的不同選擇。總括來說，這些不同的組態並未累積為男性或女性學習進階數學的優勢。高中男生在SAT-M分數上，平均分數與變異程度均較高，但高中與大學男女生在數學課上卻是同等優異，在一般學生或最具天賦的學生群中，均可匹敵。（頁956）

本研究基本上認同這些觀點，因此，在性別向度上，並不預期會發現兩性差異。然而，即便如此，兩性的比較依然有助於：（1）再度確認前述Spelke的結論；（2）釐清女生在反應方式、注意力分配、興趣、動機、自信心等非關認知能力方面的特質。根據這樣的考量，本研究將觀察男生和女生，並進行性別間的比較。

教育意涵

這樣一個關於科學思考雛形的研究，探討的是科學啟蒙教育前女學生的科學思考雛形，其目的自然不僅是為了滿足研究者的好奇心，也不僅是為了探求科學真相，而是為了能有助於當前的科學教育。學生不論閱讀科學教材或聽老師講解科學知識，都需要將他們所讀、所聽的知識與他們已有的知識產生連結，才能獲得了解（Carey, 1986）。根據同樣的義理，除非我們知道學生腦中已有怎樣的科學思考雛形，否則無法有效地教導學生學會科學思考。這個看法是Susan Carey所謂的科學教育的認知理據（cognitive rationale），是相對於傳統的動機理據（motivational rationale）而說的。換句話說，科學教育的關鍵不僅在於學生的學習動機，更在於學生的認知歷程。用Susan Carey（1986）的話來說：

我們面臨一個兩難：要理解文章或口語，必須將之關連到藉以了解世界的基模（schemata），但是科學教育的目標卻在傳授理解用的新基模，此一基模並不存在於學生原有的基模清單中。從而，學生要如何去理解教導（科學）新知的教材與課程？這個兩難是真實不虛的，而未能充分理解這點，正是當前科學課程中許多問題的根源。（頁1123-1124）

這個兩難正是本研究的最終關切所在。正因如此，所以本研究試圖釐清女學生在接受科學啟蒙教育時，擁有怎樣的思考基模清單。而研究結果自然能讓人了解，科學啟蒙教育是在怎樣的認知基礎上進行的。這是本研究最後半年的主要任務。此一工作除了以本研究及其他子計畫的研究結果為基礎外，還得分析現有國小科學教育的教材內容、教學方法以及學校提供的整體學習環境。根據這些分析所得的結果，再結合其他子計畫的研究成果，得以對當前國小教育作一個「受教育者導向」的檢討，並提出切合受教育者需求的改進建議。

三年期的研究計畫

本研究預備以三年的時間完成八個實驗，並針對實驗的結果作教育意涵的分析，提出教育措施上的具體建議。根據此一規劃，本計畫（第一年）的工作是，發展適合國小低年級兒童的實驗材料，並進行關於「獨立變項」與「依變項」的「實驗觀念雛形」之實驗。

實驗一：「兒童關於獨立變項的思考」

實驗一的目的在探討：兒童能否了解「獨立變項在觀察上必須是個變項」，才能探討它與依變項的因果關係。一般而言，連未經訓練的成年人都可能在這方面有思考缺陷。比如說，有些為人父母者會說：「我一向用體罰管教小孩，結果他們都很長進，可見體罰是較有效的教育方式。」在這樣的例子中，其實體罰這個「獨立變項」在觀察上是個常數，而非變項。顯然，連某些成年人在這方面的思考也不合科學思考的基本要求。然而，本研究假設，雖然而統沒有「獨立變項」的概念，他們應該還是能在直覺反應上顯示，他們（不自覺地）知道，要探討因果關係時，任何變項若只有一個觀察值，就不可能被認定為某事的原因。

方法

針對前述的假說，實驗一以一個假想的情境去測試參與者的思考，看他們在獨立變項只有一個觀察值的情況下，所做的因果判斷是否不同於有兩個觀察值的狀況。

獨立變項：「獨立變項有幾個觀察值」（「一個觀察值」與「兩個觀察值」兩種實驗狀況）。

實驗設計：受試者間設計。

實驗材料與實驗程序：實驗者口述如下的假想情境，然後要參與者就該情境中所述的小朋友之生病原因作判斷。在「一個觀察值」的假想狀況中，所有可能用來做為「原因」的因素都只有一個值，而在「兩個觀察值」的假想狀況中，「吃餅乾」的狀況有兩個值（「吃」或「沒吃」）。實驗採個別測試，參與者做口頭反應，再由實驗者記錄其反應。

「一個觀察值」狀況假想情境：

最近，一間國小一年級某班，有十幾位小朋友，放學回家後肚子痛了起來。生病的小朋友上學時都好好的。中午都在學校吃營養午餐，而且班上很多人都吃了一位小朋友帶去的餅乾。

「兩個觀察值」狀況假想情境：

最近，一間國小一年級某班，有十幾位小朋友，放學回家後肚子痛了起來。生病的小朋友上學時都好好的。中午都在學校吃營養午餐，而且班上很多人都吃了一位小朋友帶去的餅乾。但是，沒有吃餅乾的小朋友都沒生病。

依變項：參與者的因果判斷。參與者以「是」、「不是」、「不一定」或「不知道」對下列問題作反應：「那些小朋友肚子痛，是因為吃的餅乾有問題嗎？」

參與者：國小二年級兒童65人，其中男生34人，女生31人。

結果及討論

在本實驗的假想情境中，只有「兩個觀察值」的狀況可以有明確的因果推論。在此狀況下，參與者的反應若為「是」（認定「那些小朋友肚子痛，是因為吃的餅乾有問題。」）即為正確反應。但同樣的反映出現於「一個觀察值」

的狀況，則非正確反應。由於參與者人數較少，為方便進行統計分析，參與者的反應被重新歸類為「是」與「其他」兩類。實驗結果如表一。由表一可以看出，兩組參與者的反應沒有顯著差異。因此，實驗一的結果顯示，整體而言，小二兒童尚未發展出關於「獨立變項」的科學思考雛形。表二是男女生在兩個實驗狀況下的反應統計。由表二可以看出，不論在那個實驗狀況下，兩性的反應並沒有顯著差異。

總結來說，實驗一的實驗結果顯示，小二階段的兒童普遍尚無關於「獨立變項」的思考雛形，而此一情況並沒有性別上的差異。

表一 參與者在實驗一中的反應

	是	其他	總和
一個觀察值組	22	10	32
兩個觀察值組	25	8	33
總和	47	18	65

* Fisher精確檢定 $p=.587$ (雙尾)

表二 男女生在兩個實驗狀況下的反應

		性別		
		男生	女生	合計
一個觀察值組*	是	11	11	22
	其他	7	3	10
	合計	18	14	32
兩個觀察值組**	是	11	14	25
	其他	5	3	8
	合計	16	17	33

* Fisher精確檢定 $p=.446$ (雙尾)

** Fisher精確檢定 $p=.438$ (雙尾)

實驗二：「兒童關於依變項的思考」

實驗二的目的在探討：兒童會不會傾向於去觀察有變異（因之可藉以區辨原因）的依變項？實驗的方式與實驗一類似，都是由實驗者敘述假想的觀察情境，再請參與者判斷那個依變項值得觀察，並實際就假想的觀察結果作因果判斷。

方法

獨立變項：「依變項有無變異」。

實驗設計：受試者間設計。

實驗材料與實驗程序：實驗者口述如下關於「東島」與「西島」的假想情境，在「無變異」狀況下，兩個島嶼的人在所有已知的特徵上均相同；在「有變異」的狀況下，東島人穿長褲，西島人穿短褲。參與者在聽完假想情境的描述後，須做有關因果判斷的四個反應。

『無變異』狀況假想情境：

南太平洋有兩個島，一個叫東島，一個叫西島。東島人皮膚很黑；每家都拜祖先；男女都穿長褲。西島人的皮膚很也黑；每家都拜祖先；男女都穿長褲。這兩個島的北方還有一個北島，北島本來沒人，現在的居民不知道是從東島還是西島搬過來的。

『有變異』狀況假想情境：

南太平洋有兩個島，一個叫東島，一個叫西島。東島人皮膚很黑；每家都拜祖先；男女都穿長褲。西島人的皮膚很也黑；每家都拜祖先；男女都穿短褲。這兩個島的北方還有一個北島，北島本來沒人，現在的居民不知道是從東島還是西島搬過來的。

依變項：參與者關於如下四個「因果判斷」問題的反應：

- (1) 如果你想知道北島人是從東島或西島搬過來的，你應該注意什麼？皮膚黑不黑 拜不拜祖先 穿不穿長褲？
- (2) 如果北島人皮膚黑，你認為他們來自那個島？東島 西島 不知道
- (3) 如果北島人每家拜祖先，你認為他們來自那個島？ 東島 西島 不知道
- (4) 如果北島男女都穿長褲，你認為他們來自那個島？ 東島 西島 不知道

參與者：國小二年級兒童65人，其中男生34人，女生31人。

結果及討論

在實驗二的假想情境中，只有在「有變異」的情況下，觀察北島人褲子的長短，才可能釐清該島人士究竟來自於東島或西島（問題（1））。若北島人男女都穿長褲，則他們應來自東島（問題（4）），此外，他們的黑色皮膚與拜祖先的行為均無助於推測他們的來源（問題（2）與（3））。因此，前述問題（1）的答案是「穿不穿長褲」；問題（2）的答案是「不知道」；問題（3）的答案也是「不知道」；問題（4）的答案則是「東島」。由於參與者人數較少，為了便於統計分析，實驗二如同實驗一，在資料處理上，先將不正確的反應全部歸為一類。

表三、四、五、六是兩組參與者對四個問題的反應。從表三與表六可以看出，絕大部分的有變異組參與者，能利用假想情境中「褲子長度」的變異，做正確的因果推論，因此他們對問題（1）與（4）的正確反應率遠高於無變異組。對這兩題的反應之組間差異均高度顯著。顯然，實驗二的結果顯示，小二的兒童已經懂得注意有變異的變項，並能藉之進行正確的因果推論。

反過來看表四與表五。既然不論在有變異或無變異的情況下，對問題（2）與（3）的正確反應均為「不知道」，因此兩組的正確反應率應無差異。表五的

資料確實顯示，參與者對問題（3）的反應符合這個預測。然而，表四的資料卻顯示，參與者對問題（2）的反應與預測不符。然而，他們對無變異變項的反應留下一個待解釋的問題。仔細檢視表四與表五，可以看出，兩組參與者對這兩題的反應均有相當高的錯誤率，對問題（2）的反應（表四）錯誤率尤高，而「有變異組」的參與者，在這兩題的反應上，正確回答「不知道」的人數均有高於「無變異組」的趨勢，只是其中一個反應的差異不顯著而已，若兩組樣本數能適度提高，也許就會出現顯著差異。準此，則對問題（2）、（3）的實驗結果，一個合理的解釋是：當參與者無從判斷因果時，會傾向逾越出已知的條件自行猜想，因此，兩組參與者對問題（2）、（3）的反應錯誤率均高。然而，既然有變異組能從「褲子長度」的變異做出「不依賴猜測」的因果判斷，他們便可能比較不會「依賴猜測」，使得他們較可能做出「不知道」的正確反應。

表三 參與者對「如果你想知道北島人從哪來，你應該注意什麼？」的反應

	長短褲	其他	總和
無變異組	1	32	33
有變異組	24	8	32
總和	25	40	65

* Fisher精確檢定 $p=.000$ （雙尾）

表四 參與者對「如果北島人皮膚黑，你認為他們來自那個島？」的反應

	知道	不知道	總和
無變異組	23	10	33
有變異組	14	18	32
總和	37	28	65

* Fisher精確檢定 $p=.046$ （雙尾）

表五 參與者對「如果北島人每家拜祖先，你認為他們來自那個島？」的反應

	知道	不知道	總和
無變異組	18	15	33
有變異組	12	20	32
總和	30	35	65

* Fisher精確檢定 $p=.216$ （雙尾）

表六 參與者對「如果北島人男女都穿長褲，你認為他們來自那個島？」的反應

	東島	其他	總和
無變異組	12	21	33
有變異組	30	2	32
總和	42	23	65

* Fisher精確檢定 $p=.000$ (雙尾)

表七、八、九、十是男女生對四個問題的反應之統計。顯然，兩性參與者對這四個問題的反應均無顯著差異。此一結果支持了本研究「兩性無差異」的假設。

表七 男女生對「你想知道北島人從哪來，你應該注意什麼？」的反應

		性別		
		男生	女生	合計
無變異組*	長短褲	0	1	1
	其他	17	15	32
	合計	17	16	33
有變異組**	長短褲	11	13	24
	其他	6	2	8
	合計	17	15	32

* Fisher精確檢定 $p=.485$ (雙尾)

** Fisher精確檢定 $p=.229$ (雙尾)

表八 男女生對「如果北島人皮膚黑，你認為他們來自那個島？」的反應

		性別		
		男生	女生	合計
無變異組*	知道	10	13	23
	不知道	7	3	10
	合計	17	16	33
有變異組**	知道	6	8	14
	不知道	11	7	18

		性別		
		男生	女生	合計
無變異組*	知道	10	13	23
	不知道	7	3	10
	合計	17	16	33
	知道	6	8	14
	不知道	11	7	18
	合計	17	15	32

* Fisher精確檢定 $p=.259$ (雙尾)

** Fisher精確檢定 $p=.476$ (雙尾)

表九 男女生對「如果北島人每家拜祖先，你認為他們來自那個島？」的反應

		性別		
		男生	女生	合計
無變異組*	知道	9	9	18
	不知道	8	7	15
	合計	17	16	33
有變異組**	知道	6	6	12
	不知道	11	9	20
	合計	17	15	32

* Fisher精確檢定 $p=1.000$ (雙尾)

** Fisher精確檢定 $p=1.000$ (雙尾)

表十 男女生對「如果北島人男女都穿長褲，你認為他們來自那個島？」的反應

		性別		
		男生	女生	合計
無變異組*	東島	8	4	12
	其他	9	12	21

	合計	17	16	33
有變異組*	東島	15	15	30
	其他	2	0	2
	合計	17	15	32

* Fisher精確檢定 $p=.282$ (雙尾)

** Fisher精確檢定 $p=.486$ (雙尾)

綜合討論

綜而言之，本研究的兩個實驗結果顯示：

- (1) 小學二年級階段的兒童，已經知道只有有變異的現象才可能顯現因果關係。
- (2) 這個階段的兒童，還不能了解「獨立變項在觀察上必須是個變項」，才可能成為另一個現象的可辨識成因。
- (3) 因此可以推知，小二階段正是科學思考雛形正在成形的階段。
- (4) 此一發展顯然沒有性別差異。

參考文獻

- Baron-Cohen, S. (2003). *The essential difference: The truth about the male and female brain*. New York: Basic Books.
- Benbow, C. P. (1988). Sex differences in mathematical reasoning ability in intellectually talented preadolescents: Their nature, effects, and possible causes. *Behavioral & Brain Sciences*, 11, 169–232.
- Benbow, C. P., & Stanley, J. C. (1983). Sex differences in mathematical reasoning ability: More facts. *Science*, 222, 1029–1030.
- Browne, K. R. (2002). *Biology at work: Rethinking sexual equality*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.
- Carey, S. (1985a). Are children fundamentally different kinds of thinkers and learners than adults? In S. Chipman, J. Segal, & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills* (Vol. 2, pp. 485 – 517). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carey, S. (1985b). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41, 1123 – 1130.
- Champagne, A., & Klopfer, L. (1984). Research in science education: The cognitive psychology perspective. In D. Holdzkom & P. Ludz (Eds.), *Research within reach: Science education* (pp. 171–189). Washington, DC: National Science Teachers Association.
- Chen, Z. (2002). Analogical Problem Solving: A Hierarchical Analysis of Procedural Similarity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 28, 81-98.

- Connellan, J., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Batki, A., & Ahluwalia, J. (2000). Sex differences in human neonatal social perception. *Infant Behavior & Development*, 23, 113–118.
- DiSessa, A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 15–33). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dunbar, K. N. (2002). Understanding the role of cognition in science: The science as category framework. In P. Carruthers, S. Stich, & M. Siegal (Eds.). (2002). *The cognitive basis of science*. (pp. 154-170). New York: Cambridge University Press.
- Garcia, J., & Koelling, R. A. (1966). Relation of cue to consequence in avoidance learning. *Psychonomic Science*, 4, 123-124.
- Geary, D. C. (1998). *Male, female: The evolution of human sex differences*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Gentner, D., & Gentner, D. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 101–129). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gentner, D., & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52, 45-56.
- Gopnik, A., & Schulz, L. E. (2004). Mechanisms of theory-formation in young children. *Trends in Cognitive Science*, 8, 371–377.
- Gopnik, A., Sobel, D. M., Schulz, L. E. & Glymour, C. (2001). Causal learning mechanisms in very young children: Two-, three-, and four-year-olds infer causal relations from patterns of variation and covariation. *Developmental Psychology*, 37, 620-629.
- Halford, G. S. (1992). Analogical reasoning and conceptual complexity in cognitive development. *Human Development*, 35, 193–217.
- Harris, P. L., German, T., & Mills, P. (1996). Children's use of counterfactual thinking in causal reasoning. *Cognition*, 61, 233-259.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking: From childhood to adolescence*. (Translated by Parsons, A. & Milgram, S.). New York, NY, US: Basic Books.
- Keane, M. T. (1997). What makes an analogy difficult?: The effects of order and causal structure on analogical mapping. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 946–967.
- Kimura, D. (1999). *Sex and cognition*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96, 674-689.
- Kuhn, D., Amsel, E., O'Loughlin, M., Schauble, L., Leadbeater, B., & Yotive, W. (1988). *The development of scientific thinking skills*. San Diego, CA: Academic Press.
- Kushnir, T. & Gopnik, A. (2005). Young children infer causal strength from probabilities and interventions. *Psychological Science*, 16, 678-683.
- Kushnir, T., & Gopnik, A. (2007). Conditional probability versus spatial contiguity in

- causal learning: Preschoolers use new contingency evidence to overcome prior spatial assumptions. *Developmental Psychology*, 43, 186-196.
- Larkin, J. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 53–73). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McCloskey, M. (1983). Naive theories of motion. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 299–324). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Nisbett, R. E., Krantz, D. H., Jepson, C., & Kunda, Z. (1983). The use of statistical heuristics in everyday inductive reasoning. *Psychological Review*, 90, 339-363.
- Novick, L. R., (1988). Analogical transfer, problem similarity, and expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 14, 510-520.
- Nowell, A., & Hedges, L. V. (1998). Trends in gender differences in academic achievement from 1960–1994: An analysis of differences in mean, variance, and extreme scores. *Sex Roles*, 39, 21–43.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1975) *The origin of the idea of chance in children*. (Translated by Leake L. et al). Oxford, England: W. W. Norton.
- Reeves, L. M. & Weisberg, R. W. (1994). The role of content and abstract information in analogical transfer. *Psychological Bulletin*, 115, 381-400.
- Ross, B. H., & Kilbane, M. C. (1997) Effects of principle explanation and superficial similarity on analogical mapping in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 23, 427-440.
- Saxe, R., Tzelnic, T., Carey, S. (2007). Knowing who dunnit: Infants identify the causal agent in an unseen causal interaction. *Developmental Psychology*, 43, 149–158.
- Schulz, L. E., & Bonawitz, E. B. (2007). Serious fun: preschoolers engage in more exploratory play when evidence is confounded. *Developmental Psychology*, 43, 1045–1050.
- Schulz, L. E., & Gopnik, A. (2004). Causal learning across domains. *Developmental Psychology*, 40, 162-176.
- Schulz, L. E., Gopnik, A., & Glymour, C. (2007). Preschool children learn about causal structure from conditional interventions. *Developmental Science*, 10, 322–332.
- Seligman, M. E. (1970). On the generality of the laws of learning. *Psychological Review*, 77, 406-418.
- Sobel, D. M. (2004). Exploring the coherence of young children’s explanatory abilities: Evidence from generating counterfactuals. *British Journal of Developmental Psychology*, 22, 37–58.
- Sobel, D. M., & Kirkham, N. Z. (2006). Blickets and babies: The development of causal reasoning in toddlers and infants. *Developmental Psychology*, 42, 1103–1115.
- Spelke, E. S. (2005). Sex differences in intrinsic aptitude for mathematics and science?: A critical review. *American Psychologist*, 60, 950–958.
- Springer, K., & Keil, F. C. (1991). Early differentiation of causal mechanisms

- appropriate to biological and nonbiological kinds. *Child Development*, 62,767-781.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educational Research*, 57, 51-67.
- Wellman, H. M., Hickling, A. K., & Schult, C. A. (1997). Young children's psychological, physical, and biological explanations. In H. M Wellman & K. Inagaki (Eds.). (1997). *The Emergence of Core Domains of Thought: Children's Reasoning about Physical, Psychological, and Biological Phenomena*. (pp. 7-25). San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- West, L., & Pines, A. (Eds.). (1985). *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, FL: Academic Press.
- Wilcoxon, H. C., Dragoin, W. B., & Kral, P. A. (1971). Illness-induced aversions in rat and quail: Relative salience of visual and gustatory cues. *Science*, 171, 826-828.