

日常科學思考的培養

楊芳瑩

國立臺灣師範大學 地球科學系

摘要

本文主旨在論述日常思考與科學思考在認知策略上的共通性，及訓練日常科學思考的可行方法。結構鬆散之日常問題與領域特定問題有很大的不同。即便如此，思考者在解決不論是領域廣泛或領域特定問題時，均是利用了 Baron (1994)所提之‘搜尋-推演架構’來達成問題解決或決策之目的。‘搜尋-推演架構’在科學研究的範疇來說，主要是假說測試。因此，科學思考在認知策略上提供了有效解決日常問題的步驟。

訓練日常科學思考的課程必須考慮脈絡情境之因素。本文也將以目前盛行的幾個學習理論來探討脈絡情境對思考的影響，進而建議日常科學思考培養的課程設計。

關鍵字：日常思考、科學思考、脈絡情境

壹、前言

面臨日異變遷，資訊氾濫的 21 世紀，當今教育者已開始自問一個問題：“學校應幫學生獲得什麼能力來面對日益變化的社會？”針對這個問題，目前沒有明確絕對的答案，因為不同角度產生不同的看法。然而，大部分的人會同意，教育除了知識傳授外，還必須幫助學生建立正向的自我價值系統及信仰，因為價值觀及信仰影響一個人的知識應用(Bybee, 1993)。此外，我們也期望教育的結果是一群有見地、具批判思考之個體 (a critical thinker)。這樣的個體才有能力在面對人生中無可預期之問題時，仍有冷靜的洞察力。然而，學校教育應該如何培養學生具備上述之思考能力呢？本文將試著從心理，認知，建構，及社會性學習等角度分析日常科學思考的定義及養成。

貳、日常思考的機制

過去在談科學日常思考訓練時，鮮少用學理的角度來探索此問題，其一重要原因在於目前尚未有成熟統一的日常思考理論系統 (Puckett and Reese, 1993)。日常生活所面臨的問題在本質上與特定領域問題有很大的不同。特定領域問題經常是結構嚴謹且定義明確，使用特定知識領域所定義之問題解決方法。相反地，日常生活問題之結構鬆散，使用的問題解決策略經常必須具備跨領域之能耐。基本上，日常生活問題有四個主要特性：首一，問題解決之標準複雜，且定義較不明確。第二，問題解決所需之資訊無法從問題本身中完全取得，而且所需資訊的內容或種類也很模糊。第三則是問題解決之方式經常不只一種。第四，問題內容經常與自身利益有關，而且解決問題經常不是最終目的，而是為其他目標提供中間步驟 (Simon, 1978;

Galotti, 1989)。在這樣的狀況下，要解決結構鬆散之問題，就必須借用“廣泛性策略”(general strategies)，例如爬坡法(hill climbing)、模式化(modeling)，類比(analogy)，方法目的分析(means-end analysis)等等。理論上來看，這些“廣泛性策略”的功能是在於幫助思考者搜尋自身問題空間(problem space)中，可行之問題解決路徑以求減除目標狀態和問題起始狀態間之差距(Newell 1980)。

最近幾年，愈來愈多的心理及認知學者開始嘗試探討日常思維的背後機制。其中，Rips (1989) 提出「命題性推論」(propositional reasoning)來解釋日常思考。他認為一般人是使用心智演譯法則(mental deduction rules)來運思日常問題，也就是說，思考者的腦海裡有著可能是與生俱來的演譯法則。此心智演譯法則屬前向演譯；推演結果由連接詞如“如果”(if)，“或者”(or)，“和”(and)來完成(Evans et al. 1993)。Rips基本上認為日常思考與形式思考(Formal reasoning)沒有不同，然而，心智演譯法則卻無法解釋常見的日常思維邏輯錯誤。Perkins及其同儕(1991)則與Rips有完全不同的看法。他認為日常思考是思考者基於個人知識及信念或信仰建構“情境模型”(situation models)，並依此來推理結論。而為了減低認知負擔(cognitive load)，“缺陷”(incompleteness)和“偏見”(bias)便成了日常思考的定律之一，此與形式思考的機制完全不同。John-Laird及Byrne(1991, 1996)以為，面對日常思考問題時，思考者根據對問

題中各前提的了解，建構前提的心智模型(mental models)來作結論推演，並由前提之另外可能心智模型(alternative mental models)的建構來查驗是否會產生不同的推論結果，整個過程重複進行直到所有的模型均指向同一結果。在此過程中，先備知識及經驗將影響模型的建立。此點與建構主義不謀而合。Pennington等人(Pennington and Hastie, 1993)提出類似心智模型理論的“以闡述為基礎的思考決策”(the explanation-based decision making)之看法。他們從研究陪審團的思考行為中發現，思考者會建構已知事實的合理故事或模型，同時推論種種結論，再利用演譯法則來檢視各結論(alternative conclusions)與故事模型的一致性。這些心智模型理論學者基本上同意日常思考與正式思考間有共享之機制。Kuhn(1991)則認為日常思考是為了自我明瞭(make sense)，所以思考者會很自然地接受與自己看法相同的意見，而不考慮其他可能性，這就是“自我明瞭方法論”(make-sense epistemology)。基本上，Kuhn也相信日常思考雖不見得與形式思考有一樣的機制，兩者之間卻有相同的認知策略。

總結以上學者之看法，在面對日常問題時，思考者通常會以自我之先備知識及自我看法來解讀問題呈現之前提，接著建構前提的心智模型或創作連結已存事實的故事，然後依據模型來推理結論，或依故事情節來考量結果。因此，推論結果合理與否，將視心智模型或故事的完整性而定。換句話說，思考者必須對問題的各個角度有較深入的了

解，以期建構較完整的認知模型，作為推理之依據。此外，Perkins, Kuhn 及 Baron (Garnham and Oakhill, 1994) 等學者也發現，思考者的個人信念和價值觀會影響其持續思考其他可能模型或故事之意願。

參、日常思考與科學思考

日常思考推理是否為可歸屬於科學思考？要探討這個問題，首先必須要明確定義“科學思考”的範疇。從文獻之整理可以發現，假設測驗 (hypothesis testing) 是科學活動中主要的一個面向 (Popper, 1975; Kuhn, 1970; Baron, 1994; Garnham and Oakhill, 1994)。結合許多知名學者之看法後，Baron (1994) 表示，

“假設測驗是主動開放思想活動中非常重要的一部份，因為以證據來檢視個人的價值觀及信仰。假設測驗的過程本身需要思考者以開放的心胸面對所有可能推翻自我觀點之看法，並能主動地挑戰自己的想法，而非被動地等待相反觀點的出現。”

無庸置疑地，對領域特定問題而言，假設測驗所牽涉到的通常是特定領域知識 (domain-specific knowledge) 之應用及相關證據的衡量。倘若將範圍擴大，我們把“假說”視為是各種可能的情況，並把假說測驗當成是以對問題的深度了解來思考並檢試各種可能情況之合理性的心智活動，則整個思考過程就符合了合理的、不必受領域限制的思考推理架構，也就是 Baron (1994) 所提的「搜尋 - 推演架構」(search-inference framework)。這樣的推理活動提供一種高效

率之問題解決思考習性。換句話說，若只考慮思考及認知技巧的共通點，假說測驗思考模式實可廣泛運用於解決日常問題及決策。由此，假說測驗模式在日常問題解決上的應用應可被視為“廣義科學思考”。

肆、日常科學思考技巧的展現

事實上，學校教育早就在推廣“假說測驗”的思考形態，只不過這樣的訓練多限於領域特定環境中。在一般的課堂上，大部分科學或自然老師最常傳授的技能是科學過程技能 (science process skills)。大致來說，科學過程技能包括：假說建立，觀察，分類，操縱變數，解釋，推論，普適 (generalize) 等等。這些技巧的使用經常是在實驗室中呈現。然而，沒有人能否定一件事：我們經常在有意無意中，或多或少地運用這些技巧來作思考。就如 Millar (1989) 指出，從某一種角度而言，科學過程技能其實反映了一些人類自然推理的面向。

科學過程技能或許能顯現某一部份的推理思考面向，然而要描述較完備的廣義科學思考，不能忽略的是其他可能說法或論點之找尋 (the search for alternatives) 以及證據和假說或論點之整合 (coordinating evidence and hypothesis)。我們可以從科學哲學家的著作中看到，在科學活動中，找尋其他可能性與整合觀點與證據是科學知識進步的重要步驟。從理性革命論到無政府、混沌論 (Popper, 1975; Lakatos and Musgrave, 1970; Kuhn, 1970; Feyerabend, 1993)，不同理論的互相競爭是知識進步的推動力，而競爭結果則取決

於論點與證據間是否達成一致性，以及論點是否能合理解釋現象，甚至預測未來情況。認知心理學者基本上同意認知發展與科學知識發展間的類比性很高。認知研究指出，學習者概念改變之條件在於學習者本身要能意識到新知識 (alternative conceptual framework) 的存在，以及了解新知相對於已存之舊概念的優越處 (Carey, 1986)。類似的道理可用於解釋日常思考的推理過程。根據心智模型論學者的觀點，日常推理的合理性是經由思考者對問題的前提建立不同心智模型，也就是對證據或已知事實的不同解讀，來檢視是否不同心智模型會達到一致的結論；或者是由假設不同結論來衡量已存事實 (也就是證據) 與各證據間之合理關係 (Johnson-Laird and Byrne, 1991; Pennington and Hastie, 1994)。因此，找尋其他可能觀點和整合觀點與證據是討論廣義科學思考定義時不能遺漏的二個項度。而 Kuhn (1988) 在研究科學思考發展的一連串研究中發現：整合觀點理論與證據是一種廣泛被使用的，跨領域的思考技巧。

從前面的敘述，我們可以歸納出較為完整的日常生活推理技巧：包含基本的科學過程技能、其他觀點之尋找，和整合觀點與證據。在筆者探討高三學生使用上述日常思考技巧來評量核能科技的應用及其對社會的影響 (Yang, 2001, Yang and Anderson, 2002) 時發現，許多思考偏好傾向社會認知的學生 (也就是說這些學生於經歷問題決策過程時，會考慮較多社會或個人面向)，在執行一些科學性思考技巧，如尋找證據，整合證據

與觀點和邏輯解釋，表現比傾向科學認知(思考時考慮較多科學性的訊息)的學生差。這些思考技巧本身呈現領域特定性可能是社會認知性的學生無法靈活使用這些科學思考技巧的主要原因。因此，科學思考技巧的使用，似乎是在與個人知識背景熟悉之領域有所結合的情境中才流暢。

伍、從學習理論及認知研究看日常科學思考的培養

我們已經看到思考技巧的運用與個人及問題本身知識層面有關。這意味著若要促進廣義科學思考力的發展，必須考慮知識本體與相關思考技巧間之連結。問題是，施教者如何提供學習者有效的訓練日常科學思考之學習環境呢？雖然日常思考理論尚未成熟，從主流學習理論裏，我們仍可找出一些指標。目前，最受推崇的的學習理論為認知學習理論 (cognitive learning theories)、建構理論 (constructivism)、以及社會情境學習理論 (learning in the social context)。認知理論的訊息處理觀點把人類的思考工具，也就是大腦，比喻成電腦。就如電腦的硬碟與處理器，人的記憶分為長期記憶 (long-term memory) 及工作記憶 (working memory)。長期記憶是由知識和訊息基模所組成，其存取能力尚無法測量；工作記憶則是訊息處理中心，它的處理資料能力非常有限 (Newell and Simon, 1972)。在資料處理過程裏，長期記憶中的知識基模會被提取出來，當做新訊息的解碼工具。建構後的知識，將會被存放於長期記憶區，作為對未來訊息的解碼依據。因此，不

論學習或思考，個人先備知識 (prior knowledge) 的品質，是決定知識建構是否成功的主要因素 (Flavell, 1992; Osborne and Wittrock, 1983; Chi, Glaser and Rees, 1982)。

最近，更有學者從神經學的觀點來探討知識的結構與建構。根據神經生物學者的研究，人的大腦基本上由功能區域葉 (functional lobes) 所組成，不同區域葉協調不同的大腦活動 (Diamond, 1991; Bisiach, 1992)。除了區域組織外，延伸廣泛、不受嚴格形體區域限制的腦細胞纖維會相互連結，形成機動且可塑性強的功能基模。這樣的基模，協調特殊神經功能運作，使中樞神經系統展現高度適應能力。雖然中樞神經系統在結構上分層分級，它的基本功能份子是可機動彈性地交互連結，互惠影響，以期達到功能上的穩定，並能執行平行與序列的資訊分析。由此說來，思考和推理活動發生時，許多不同功能的神經基模或單位，會受刺激而同時運作。除此之外，神經生物學家也發現，當訊息由感覺神經往中樞神經傳遞時，訊息會在傳遞的過程當中不斷的被中樞神經所傳來的訊號修改。也就是說，我們的大腦是隨時嚴陣以待的等待訊息輸入，並用已經存在的知識模組不斷修改輸入之訊息。輸入之訊息也會對大腦神經訊號有所回饋，這樣的互動回圈，正可用來合理解釋知識建構的過程。再者，知識建構時所依附的情境脈絡 (context)，會影響知識建構的結果，而知識提取時所面對的情境脈絡，同樣會影響到知識的重新建構型態 (Anderson, 1997)。

上述的神經學觀點，剛好與建構理論相

互對應。由皮亞傑認知理論為基礎的建構理論觀點指出，學習者是主動不斷地建構知識，而非被動的接受知識。知識傳遞受到學習者的重新建構後，經常與所期望的相反或不同，主要就是因為學習者用已有的先備知識來解讀並架構新資訊。倘若在學習的過程中，學習者沒有意識到自己先備知識與外來資訊的差異，知識的建構就會產生誤差。因此，建構教學模式提倡以學生為中心，老師必須轉而變成為提供有效知識建構環境的輔導或帶領者，以期知識建構能真正發生於學習本體。

社會式學習理論是由俄國心理學家，Vygotsky，首先提出。他也同意知識建構論的說法。不同的是，Vygotsky (1962) 相信社會文化的影響作用是促進知識建構的主要動力。例如，兒童初期的語言學習，就是透過與大人的互動，了解詞彙的各種意義的。因此，社會文化與個人的交互作用就是學習與思想發展的原動機制。另外，他也提出了“潛能發展域” (the zone of proximal development) 的觀點。所謂“潛能發展域”就是學習者目前的心智發展程度與由前輩帶領或合作學習下所能達到的心智發展程度之差距 (Vygotsky, 1978)，是一個等待開發的心智向度。在這樣的觀點下，教育不僅僅是要幫助學生達到目前本身能力可行之事，還可以在社會、文化、人際間的互動下，刺激學生發展潛在的能力。

從以上這些理論來分析，我們可以試著歸納出合宜的促進日常科學思考發展之課程架構。從訊息處理的認知觀點來談，學習者

長期記憶中的知識基模會影響知識建構。而從前面介紹過的神經認知學之角度來看，影響知識儲存與讀取的重要媒介是知識儲存與讀取之時所附著的情境脈絡。此外，我們從研究中發現，學生的假說測試思考力會受到自身對問題相關知識的了解所影響。因此，要提高思考能力，學習環境首先應考慮呈現給思考者明確的知識情境脈絡，例如利用明確的思考問題來帶出相關知識的運用。事實上，在課程的設計中加入情境脈絡因素已經是教育先知們積極推動的教學理念，因為這樣的課程提供有意義的學習機會，利於知識建構。最近幾年，類似的課程設計理念已經擴展到情境認知學習理念上 (Bencze and Hodson, 1999)。

陸、日常科學思考之教學策略建議

前面已經談過，針對豐富資訊的日常議題之決策，思考者必須以自己對問題的了解來建構心智模型。而心智模型成功的建構取決於思考者是否能在外來種種訊息與個人內在的先備知識的對抗中取得平衡 (Chapman, 1993)。一個有效的學習環境就是能夠提供真實的情境來促進個人知識與外在訊息相互刺激競爭。可惜的是，過去與思考有關之課程多與情境脈絡脫離 (Segal et al. 1985; Chipman et al. 1985; Bruer, 1995)，學習效果不佳是可預期的。由於不同知識領域提供不同的思考技巧以及各思考技巧所能運用的範圍，訓練科學推理的學習環境就應該是真實、有意義地與知識訊息的情境脈絡結合。這樣的環境才能夠讓思考者慢慢地學習到何

時、何地、如何運用不同的思考技巧，也就是引導他們運用後設認知力。當學習環境經常提供不同的知識情境脈絡時，學習者就有機會探索不同的思考技巧。

基於這樣的理由，社會科學性議題便是很有價值的思考課程設計資源。所謂的社會科學性議題 (socio-scientific issues) 是指社會議題中涵蓋科學科技的運用。此種議題之定義源於 STS 教學策略發展。STS 教學的首要目標是提昇社會責任感，因為基本上在現今的環境裏，不論個人或社會的發展均與科學科技應用有不可分割的關係。基於這樣的理由，學校教育理應提供讓學生了解科學、科技、社會間關係的學習機會，以便為未來執行公民權鋪路 (Bybee, 1993; Solomon and Aikenhend, 1994)。STS 教育研究學者提出兩種不同的 STS 教學策略。一類是在教材設計中，以科學科技對社會的影響作主題；另一類是在課程中，以科學科技的本質出發，直接探討科學的社會面 (Rosenthal, 1992)。許多研究指出，STS 所提供的學習模式，符合建構學習理論 (Cheek, 1992)，確實提升學生的概念學習、技能運用、創造思考，也幫助學習者對科學科技與社會有較深入的看法 (Mackinnu, 1991; McComas, 1989a, 1989b, Myers, 1988; Yager, 1996)。針對日常科學思考的訓練，我們建議可以利用 STS 的第一類教學法，因為，如前面所提，訓練科學推理的學習環境應該是真實、有意義地與知識訊息的情境脈絡結合，而社會科學性議題恰有此特質。

社會科學性議題種類繁多，例如：從全

球性的角度來看：人口過剩、人類健康及疾病問題、第三世界貧困問題、世界資源問題、環境問題如酸雨，臭氧層破壞，雨林銳減，溫室效應、戰爭科技、土地使用、能力不足、核能使用、基因工程等 (Bybee, 1993; Fraser and Walberg, 1995)，都是科學科技應用下引發的社會問題。而從區域來看，台灣本身也有許多社會議題與科學科技運用相關，如美濃水庫興建、基隆河整治、核四廠興建，等等。這些議題的政策決定，需要我們對科學科技的本質、科學科技的應用、經濟、政治、道德、文化差異、及其他各類的社會因素，有深度的考量。因此，統合不同領域知識成為利用社會科學性議題來發展教學活動的必要條件。

利用社會議題當作思考訓練資源是值得鼓勵的。然而，倘若整個活動過程沒有針對學習者的認知狀態及風格作設計，則以議題為主之學習活動的成效將是一個問號。在利用議題設計思考學習活動時，建議考量以下幾種活動：個人推理、小組討論，以及論壇或辯論。前兩個活動設計主要是根據知識建構中個人認知狀態的重要性以及基於以激發潛能為目標的社會情境學習理論來建議。而論壇或辯論的特殊性，則要借用 Chapman (1993) 的觀點來說明。我們在前面已經提過日常問題的四個特徵。針對日常思考與形式思考之機制有所不同的問題，Chapman 曾提出：日常思考與形式思考的生態發展之社會根源不盡相同。形式思考的發展來自於個人內在對正式邏輯方法的了解與學習，沒有問題內容與情境脈絡的考量，和教授者之間的

溝通交流單純。而日常思考則起源於人與人之間對有形問題的論辯 (interpersonal argumentation)。因此，Chapman 認為論辯是日常生活的一種形式。這種形式主要是為說服他人同意自己的看法，或是對內在自我看法的省思。換句話說，日常人與人之間的溝通論辯牽扯到的是對不同理由的考量，也包含對不同觀點非正式的、加入個人價值觀、信仰與意圖的推論。Chapman 和 Vygotsky 的看法非常類似，都是強調社會性交互作用對人心智成長的重要性。此外，有研究指出，個人根深蒂固觀念之改變需要透過社會性的交互作用力量來完成 (Puckett and Reese, 1993)。無獨有偶地，Kuhn (1993) 提出論辯是科學思考的一種形式，因為基本上，科學知識發展的歷史告訴我們，科學知識的形成經常必須經過科學社群的討論與認可 (Kuhn, 1970)。從功能的觀點來看，科學思考的論辯與日常思考的論辯非常一致。

由建構的角度而言，論壇或辯論在議題學習活動中的意義是讓學生有機會將個人或小組的思考物化表達出來，與其他可能觀點作比較，以引起更多有利知識建構與挑戰自我或群體價值的認知衝突。而由認知心理學家們的論點來看，因為認知事件必須發生於學習本體，既然論辯是日常思考的一部分，讓學生於思考訓練時有機會經歷這樣的過程，就等於讓他們的知識建構的內在過程外顯。藉由思考過程的外顯藉情靜脈絡的配合，學生將較易了解何時、如何、為何使用某些思考技巧。這便是所謂的後設認知能力。近年來，多項度 (multidimensional) 的

教學方式的已受到越來越多的重視。從各個學習理論來看，多項度學習機會使學習者能依據他們自己的認知狀態以及偏好來建構知識，並能提供多元的知識學習情境脈絡，便利學習者的知識儲存與提取 (Anderson, 1997)。針對思考訓練而言，多項度的資訊接觸則能刺激思考者運用不同的思考技巧。這裡特別要強調的是，一個思考技巧的最初學習情境脈絡對不同的人來講不見得相同。因此，不同的思考者或許需要不同的情境脈絡來刺激某一個思考技巧的出現。社會科學性議題在本質上已具備多面向性，經由對一個問題的多元接觸及了解，預期思考者將會激發出不同的思考項度及技巧應用。

然而有一點須要釐清的是：當教學的目的著重於科學思考的訓練時，論壇或辯論的目的不應在於「形成最終決策」或「選擇出問題解決途徑」。也就是說，倘若我們過於將論壇或辯論活動重心落於學生是否能制定出完美的政策或選出某一問題解決方式，則這樣的走向將偏離了我們所不斷論述強調的思考歷練過程。事實上，許多議題並無唯一的解決之道；此外，因為時間上的限制及專業涵養不足的情況下，議題的探討也經常不可能太過深入。如此一來，政策制定或選擇問題解決途徑意義不大。針對科學思考的訓練，我們強調的重點應該是在於學生是否在論壇或辯論的過程中經歷了自我或與他人對話與溝通的機會，將想法具體化，以刺激知識及想法的建構。這一點可能與一些 STS 的教學目的不盡相同，然而就是因為目的不同，我們必須採用不同的教學策略，這也指

出了教師在運用各式教學策略時應不斷反思教學活動設計之目的。

最後要強調的是：由於後設認知能力是控制高階思考，如科學思考，的主要機制，因此，一個人是否能夠靈活地運用科學思考力取決於此人是否具有後設認知之能力 (Kuhn, 1999 ; Chipman, 1991; Flavell, 1979)。也就是說，除非能夠清楚明白地知道何時、何地、及如何使用科學思考力，思考者無法活用科學思考技巧。情境脈絡依附之學習環境便是讓學習者能經歷真實的時空條件，了解各思考技巧的功能，而教師的主要角色就是要協助學生理解情靜脈絡的特質。總而言之，科學思考於日常生活中的展現是可以學習訓練的。而學習成功與否將取決於是否能將適切的情境脈絡 (context) 因子加入教學活動設計，並讓學生清楚看見此情境脈絡的特質，進而思考並嘗試了解知識運用的範疇。而要能體會知識的範疇，達到思考訓練的目的，在學習歷程中就必須讓學習者經歷「個人建構」及「社會建構」兩種學習歷程。

參考文獻：

- Anderson, O. R. (1997). A neurocognitive perspective on current learning theory and science instructional strategies. *Science Education*, 81, 67-89.
- Baron, J. (1994). *Thinking and Deciding*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bencze, L. and Hodson, D. (1999). *Changing practice by changing practice: toward more authentic science and science curriculum deve-*

lopment. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 521-539.

Bisiach, E. (1992). Understanding consciousness: Clues from unilateral neglect and related disorders. In A. D. Milner and M. D. Rugg (Eds.), *The Neuropsychology of Consciousness*. London: Academic Press, 113-137.

Bruer, J. T. (1995). *Schools for thought*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Bybee, R. W. (1993). *Reforming Science Education: Social Perspectives and Personal Reflections*. NY: Teachers College Press.

Carey, S. (1986). Cognitive Science and Science Education. *American Psychologist*, 41(10), 1123-1130.

Cheek, D. W. (1992). *Thinking Constructively about Science, Technology, and Society Education*. NY: State University of New York Press.

Chapman, M. (1993). Everyday reasoning and the revision of Belief. In J. M. Puckett and H. W. Reese (Eds.), *Mechanisms of Everyday Cognition*. NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 95-113.

Chi, M. H., Glaser, R., and Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. Sternberg (Ed.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence v. 1*. NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Chipman S. F. (1991). The higher-order cognitive skills: What they are and how they might be transmitted. In T. G. Sticht, B. A.

McDonald, & M. J. Beeler (Eds.), *The Inter-generational Transfer of Cognitive Skills* (Norwood, NJ: Ablex Publisher Corp.), 128-158.

Diamond, A. (1991). Frontal lobe development in cognitive changes during the first year of life. In K. R. Gibson and A. C. Peterson (Eds.), *Brain Maturation and Cognitive Development*. NY: Aldine de Gruyter.

Evans et al. (1993). *Human Reasonings: The Psychology of Deduction*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates.

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring. *American Psychologist*, 34(10), 906-911.

Flavell, J. H. (1992). Cognitive development: Past, present, and future. *Developmental Psychology*, 28, 998-1005.

Feyerabend, P. (1993). *Against Methods*. London: New Left Books.

Fraser, B. and Walberg, H. (1995). *Improving Science Education*. Chicago: The National Society for the Study of Education.

Galotti, K. M. (1989). Approaches to studying formal and everyday reasoning. *Psychological Bulletin*, 105, 331-351.

Garnham A. and Oakhill, J. (1994). *Thinking and Reasoning*. Cambridge: Blackwell

Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. (1996). Reasoning b model: the case of multiple quantification. *Psychological Review*, 96(4), 658-673.

Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. (1991).

Deduction. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions* (2nd ed.). Chicago: The University of Chicago Press.

Kuhn, D. et al. (1988). *The Development of Scientific Thinking Skills*. Orlando, FL: Academic Press.

Kuhn, D. (1993). Science as argument: implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77, 319-337.

Kuhn, D. (1999). A developmental model of critical thinking. *Educational Researcher*, March, 16-25.

Lakatos, I. & V. Musgrave (Eds.). *Criticism and the Growth of Knowledge*. NY: Cambridge University Press.

Mackinnon, A. (1991). *Comparison of Learning Outcomes between Classes Taught with a STS Approach and a Textbook Oriented Approach*. Unpublished Doctoral Dissertation. University of Iowa, Iowa City.

McComas, W. F. (1989a). The application of scientific knowledge: The results of the 1987-88 Chautauqua workshops. *Chautauqua Notes*, 4, 1-2.

McComas, W. F. (1989b). Science process skills in STS workshops. *Chautauqua Notes*, 4, 1-3.

Myers, L. H. (1988). *Analysis of Student Outcomes in Ninth Grade Physical Science*

Taught with a Science Department Science/Technology/Society Focus versus one Taught with a Textbook Orientation. Unpublished Doctoral Dissertation, University of Iowa, Iowa City.

Millar, R. (1989). What is 'scientific method' and can it be taught? In Wellington, J. (Ed.), *Skills and Processes in Science Education, A critical Analysis*. London/NY: Routledge.

Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. Prentice-Hall.

Newell, A. (1980). Physical Symbol System. *Cognitive Science*, 4, 135-83.

Osborne, R. J., and Wittrock, M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science Education*, 67, 489-508.

Pennington, N. and Hastie, R. (1993). A theory of explanation-based decision making. In G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, and C. E. Zsombok (Eds.), *Decision Making in Action: Models and Methods*. Norwood, NJ: Ablex, 188-201.

Pennington, N. & Hastie, R. (1994). Reasoning in explanation-based decision making. In P. N. Johnson-Laird & E. Shafir (Eds.), *Reasoning and Decision Making*. (pp. 124-163). Cambridge, MA: Blackwell.

Perkins, D. N., et al. (1991). Everyday reasoning and the roots of intelligence. In J. F. Voss, D. N. Perkins and J. W. Segal (Eds.), *Informal Reasoning and Education*. Hillsdale,

NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Popper, K. R. (1975). *Objective Knowledge*. Oxford: Clarendon Press.

Puckett, J. M. and H. W. Reese (1993). (Eds.), *Mechanisms of Everyday Cognition*. NJ: Lawrence Erlbaum Associates

Rips, L. (1989). The psychology of knights and knaves. *Cognition*, 31, 85-116.

Rosenthal, D. B. (1992). Two approaches to science-technology-society (STS) education. *Science education*, 73, 581-589.

Segal et al. (1985). *Thinking and Learning Skills, V. 1: Relating Instruction of Research*. Lawrence Erlbaum Associates.

Simon, H. A. (1978). Information-processing theory of human problem solving. In Estes, W. K. (Ed.), *Handbook of Learning and Cognitive Processes*, v. 5, *Human Information Processing*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Soloman, J., & Aikenhead, G. (Eds.) (1994). *STS Education: International Perspectives on Reform*. NY: Teachers College Press.

Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and Language*. Massachusetts, CN: The MIT Press.

Yager, R. E. (Ed.). (1996). *Science/Technology/Society as Reform in Science Education*. Albany, NY: State University of New York Press.

Yang, F. Y. (2001). An analysis of adolescents' cognitive orientation and associated reasoning behavior in STS decision-making situations. *Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based society (E.S.E.R.A.)*.

Yang, F. Y. & Anderson, O. R. (2002). Senior high school students' preference and reasoning modes about nuclear energy use. Accepted by *International Journal of Science Education*.