

奈米專家對於奈米相關議題 實施於國小教學適切性之研究

潘文福^{1*} 游可如²

¹ 國立東華大學教育行政與管理學系

² 國立東華大學附屬國民小學

* s1210@mail.ndhu.edu.tw

(投稿日期：2011.2.23；修正日期：2011.4.13；接受日期：2011.4.21)

摘 要

本研究的目的是針對國小實施奈米教學的適切性，從奈米專家觀點歸納他們的看法。研究採用德懷術方法，針對台灣的奈米專家進行調查(第一次 49 位、第二次 20 位、第三次 18 位)，並用 Kendall's ω 檢驗專家前後三次看法的一致性。結果顯示專家看法頗為一致，有 86.21% 的奈米專家認為有必要將奈米科技融入國小 3-6 年級課程，有過半數專家認為奈米主題教學應該要掌握的原則依序為：提高奈米探究興趣與動機、讓學生習得奈米知識、培養主動探究奈米的能力。也有過半數專家認為適合在小學階段學習的奈米主題是大小與尺度、不同大小屬性特徵、奈米與社會。本研究透過德懷術的諮詢，同時也歸納出適合小學 3-6 年級學生學習的奈米科技主題概念圖，並就後續教學應用提出建議。

關鍵字：奈米科技、科學教育、概念圖

壹、研究動機與目的

對於奈米科技(nanotechnology)，很多民眾都會很迷惑但是在生活中又常常聽到。到底奈米科技是什麼呢？奈米的英文是 nanometer，字首 nano 在希臘文原文是「侏儒」的意思，它是一種長度的單位，數學符號為 nm，在數學尺度上，代表的是十億分之一米，或者也可以說是三到四個原子所串起來的長度(馬遠榮，2003)。

物體在奈米大小的尺度下(nanometers)，其特性與常態下所觀測的結果非常不同，例如銅可以被穿透、炭可以導電、鋁可以燃燒、黃金是紅色的...等，奈米科技之所以被重視，其主要原因正是因為物質在 100 奈米尺度以下具有許多特殊的機械、光學、電磁等物質特性(Orgill & Crippen, 2009)。奈米科技已成為各國爭相較勁的尖端科技，奈米科技看起來像是強烈風暴，即將引起下一場工業革命(Holley, 2009)，哪一國家能先掌握奈米先進技術，便能主導未來奈米產業的競爭優勢。台灣早在 2003 年經相關單位(經濟部、工研院、中研院、教育部科技顧問室等)合力推動下正式成立奈米科技計畫，行政院在 2008 年將奈米科技列為國家發展重點計畫，並斥資 160 億成立工研院奈米中心，成立「產業奈米技術應用促進會」服務產業界，工研院除在院內推動跨所、中心的整合研發外，也積極結合中科院等研發機構，成立「法人研發機構聯盟」，以期發揮眾志成城的功效。2003 年成立的奈米科技計畫當中也包括了奈米人才培育計畫，並分為台灣北區、中北區、中南區、南區和東區等五個區域中心與策略聯盟學校一起合作發展奈米課程教材，到了 2009 年，第二期奈米科技計畫則改由國科會負責 K-12 奈米科技人才培育，延續原先教育部顧問室主導的 K-12 奈米人才培育計畫，更有系統地全面落實奈米科技教育推動之成效(科技政策研究與資訊中心，2009)。

奈米科技的發展必須仰賴專業人才的培訓，當今學校教育也應該為公民具備未來知識而作準備，因此有必要善用各種策略來強化奈米概念的學習(Ernst, 2009)。重視學生的認知發展與生活經驗是推展奈米融入小學課程的重要原則，生活當中各種媒介所傳播的奈米訊息，正是學童認識奈米的最佳催化劑。由於奈米這個名詞已經常常出現在我們生活的四周，尤其在電視的廣告中經常標榜他們的產品具有奈米級的特性，例如奈米級光觸媒口罩即為實例，由於光觸媒口罩表面佈滿比病毒還小的奈米光觸媒，因此具有防禦的效果；其他應用如藥

物可透過奈米科技做成更細的顆粒，讓藥性作更好的吸收，甚至未來可利用奈米技術將抗癌藥物化為極小的奈米顆粒，加上電磁效果，服用後只要用磁鐵放在癌細胞部位，藥物就不會擴散，造成對人體的傷害(陳志豪，2003)。此外，根據葉辰楨、王國華與蔡明致(2010)的研究，利用概念圖作為探究學習的輔助鷹架，可以促進學生對探究活動的計畫監控，也可以促進學生的自我反思與評價能力。有鑑於此，從生活中找到令兒童好奇且能引起其探究興趣的奈米議題，都是小學融入奈米課程的重要原則，而且要進一步將奈米議題透過概念圖來呈現，如此才能有助於學生反思批判能力的習得，因此若要將奈米科技融入小學中高年級的教學之前，實在有必要先釐清幾個問題，諸如「是否適合在小學 3-6 年級的正式課程中介紹奈米科技?」、「適合將哪些奈米科技概念主題融入小學課程呢?」，以及「當小學實施奈米教學時，首先應當要注意哪些原則呢?」，因此本研究即希望透過德懷術方法，由台灣各大學的奈米領域專家學者對於奈米科技融入小學 3-6 年級科學課程的適切性，提出他們的專業看法與協助建構小學適用的奈米知識概念圖，最後希望能將適合小學 3-6 年級學生學習的奈米科技主題知識概念圖，提供作為小學教師實施奈米科技主題教學之參考。具體而言，本研究之主要目的有以下四點。

- 一、探討小學 3-6 年級奈米科技融入正式課程的必要性。
- 二、探討小學 3-6 年級適合學習的奈米科技概念主題為何。
- 三、探討小學 3-6 年級若實施奈米教學時應該要注意哪些原則。
- 四、將適合小學 3-6 年級學習的奈米概念圖提供作為奈米教學之參考。

貳、文獻探討

一、台灣的 K-12 奈米科技人才培育計畫

早在 2000 年，美國國家科學基金會(National Science Foundation [NSF])即已開始透過競爭經費補助的方式，補助奈米科技的基礎研究和應用研究，以及各類奈米研究中心的設立(Meyyappan, 2004)；在 2001 年，美國柯林頓總統宣布在聯邦政府下成立奈米科技國家先導計畫(National Nanotechnology Initiative, NNI)，由國家科學技術委員會(National Science and Technology Council [NSTC])奈米科學工程科技小組(Nanoscale Science, Engineering and Technology [NSET])

負責推動。主要的目標是發展奈米教育資源、專業技術人力、基礎設施和工具儀器，並將奈米科技定義為科學、工程和科技等奈米相關物質的瞭解與控制(the science, engineering, and technology related to the understanding and control of matter) (Foley & Hersam, 2006, p. 10)。日本自 2000 年起，將奈米科技/材料定為四大優先產業之一，往後奈米研發的支出逐年增加(李濬、李沛鏞、蘇信寧，2008)。德國與丹麥同時在 2004 年起規劃生活奈米前瞻計畫(Nanoscience and Nanotechnology Foresight Project, NNFP)，重點在於發展奈米生醫系統、奈米電子/光電、奈米材料等前瞻產業(Luther, 2004)。而南韓、中國、新加坡和瑞士也有不少投資與努力(Foley & Hersam, 2006)。

在各國競相投入奈米科技的同時，台灣在 K-12 奈米科技教育方面不落人後，早在 2003 年國科會以及相關單位(經濟部、工研院、中研院、教育部科技顧問室等)合力推動的奈米科技計畫正式成立，其中也包括了人才培育計畫，並分為北區、中北區、中南區、南區和東區等五個區域中心與聯盟學校一起合作發展奈米課程教材，人才培育計畫第一期(2003-2009 年)由教育部顧問室奈米科技 K-12 人才培育計畫推動小組與審議委員會負責推動(Lee, Wu, Liu, & Hsu, 2006)，到了 2009 年第二期則改由國科會負責 K-12 奈米科技人才培育，第二期仍延續原先第一期奈米科技計畫之 K-12 人才培育計畫的執行成果，更有系統地全面落實奈米科技教育推動之成效，其具體實施策略如下：1.整合區域 K-12 奈米教育發展中心資源；2.整合區域性奈米科技前瞻人才培育中心資源；3.強化奈米科技數位學習課程平台；4.辦理國際奈米週暨人才培育嘉年華會；5.辦理奈米國際交流活動，宣導執行成果；6.結合社會資源推廣奈米科技教育(Science and Technology Yearbook, 2009)。當時負責推動人才培育計畫的台大應力所教授吳政忠認為，奈米產業將在 15 到 20 年間爆發，因此在高等教育體系和 K-12 階段必須同時推動奈米科技教育，而種子師資的培育在奈米科技教育剛推動時又顯得更為重要(許碧純，2003)，在 2003-2008 年的第一期計畫中，共有將近一萬名的種子教師和將近十萬名的 K-12 學生，參與台灣五分區的 K-12 奈米科技教育發展中心所舉辦之活動，各地的種子教師透過教材、教案、動手操作活動的設計，將艱深的學科知識轉化為學生得以理解的內容(奈米國家型科技人才培育計畫辦公室，2009)。

二、奈米科技課程內涵與學程的規劃

教師必須在他們對奈米內容知識感到有信心把握的情況下才能設計出深化學習的奈米科技課程，因此有必要對教師進行奈米科技課程的專業知能研習，而在許多提供奈米科技專業知能研習的機構當中，尤其以美國的國家奈米科學工程教與學中心(National Center for Learning and Teaching of nanoscale science and engineering education [NCLT])最為知名(Greenberg, 2009)。美國國科會 NSF 補助成立的 NCLT 分成五個核心任務：1.學習研究；2.奈米概念、課程和學習技術開發；3.專業訓練；4.資源傳播、建立網絡和社群；5.評鑑和評估。NCLT 規劃 7-12 年級奈米科學學習的目標概念為：1.大小與尺度(size and scale)；2.物質的奈米特性(properties of matter)；3.主導力量(dominant forces)；4.物質的奈米結構(particulate nature of matter)；5.工具(tools)；6.建立模型(modeling)；7.奈米科技與社會(technology and society)；8.自組裝現象(self-assembly)。另外，NCLT 規劃 13-16 年級奈米科學學習的目標概念則為：1.大小與尺度(size and scale)；2.比表面積(surface-to-volume ratio)；3.奈米尺度特性(size-dependent properties)；4.主導表面的行為(surface-dominated behaviors)；5.量子力學(quantum mechanics)；6.工具/儀器/表徵(tools/instrumentation/characterization)；7.模型和模擬 (models and simulations)；8.社會影響/公共教育(societal impact/ public education)；9.自組裝現象(self-assembly) (Greenberg, 2009)。7-12 年級的 5-8 項目標概念可以一對一延伸到 13-16 年級的 6-9 項目標概念，顯示其介紹內涵具有前後連貫的一致性(Wansom, Mason, Drane, & Light, 2007)。Chao 和 Hsiung 曾於 2010 年分析台灣在 2003-2008 年第一期奈米科技計畫期間所產出的各種奈米教材，發現六年期間發展之奈米科技主題教材在大小與尺度、物質的奈米結構和物質的奈米特性等三個目標概念呈現高出現頻率，以及較高的關連性，但是對於奈米科技對社會影響性的目標概念，出現的教材反而較少，該研究也建議應該多發展關於奈米對於社會各層面造成正負影響的反省思考教材(Chao & Hsiung, 2010)。

Wansom 等人(2007)引用波音和史丹福 SRI 中心對奈米科技能力需求的調查結果，指出流程(processing)、奈米結構(nanostructure)、特性(properties)和應用(applications)等簡稱 P-N-P-A 的四項奈米學程規劃層面，提出大學的奈米學程規劃時應該注意以下五項原則：1.應兼顧 P-N-P-A 的奈米課程內容；2.應加強學科之間的整合；3.增加結合先進儀器操作的實驗課；4.課程應兼顧理論與產業需求；5.應闡述社會影響、公共安全、倫理等議題內容。

三、奈米科技融入科學教育之探討

聖克萊拉大學(Santa Clara University)位於美國加州的矽谷，該大學的電機工程提供 2 學分 11 週的奈米博士學分課程，由於有部分學生來自矽谷當地的公司員工，知識背景不同，所以他們在談到奈米科技的專有名詞時，同時呈現學術術語，以及產業現場中的名稱，由於市面尚未有合適的教科書，所以上課時老師採用圖例、學術研究報告，以及書中有關的部分內容，作為討論閱讀的教材。第一週老師會指定一個專題，接下來 10 週學生需完成一份大約 10-15 頁專題報告與 15 分鐘的口頭報告(Meyyappan, 2004)。美國太空總署艾姆斯教育辦公室(NASA Ames Education Office)執行大學生奈米計畫(Undergraduate Student Research Program, USRP)以及中學生奈米研究計畫(High School Student Research Program, HSRP)，以增加學生對於奈米實習課程的實務經驗。這個課程接受全美學生申請，學生被分組參與奈米科技的各種觀點討論和見習，分組原則依靠他們的興趣和學科領域，奈米科技實習顧問團由 60 位科學家所組成。到了最後一週，成員必須在全體成員的討論會中口頭報告，以培養學生收集整理、分析評價與口語表達的能力，多數學生都能與他們的顧問合作發表文章出版，而且回到原學校參與奈米研究，當一些學生選擇奈米科技作為職業發展方向時，這些課程可以提供作為學生研究或職業發展之準備。在全球化的世代下，奈米科技從業人員需具備跨學科與跨文化進行學習、溝通與適應的能力，因此，美國國科會補助的奈米非官方科學教育計畫(Nanoscale Informal Science Education, NISE)鼓勵學生走出教室，透過網路連結科學博物館和其他非官方科學教育組織進行交流與學習。

整體而言，美國從 NNI 計畫、國科會與奈米科技研究大學的主導下，大學教授、博士後研究生、碩士生、大學生、K-12 師生、博物館和非官方中心等共同合作，運用整合且跨領域的方法，發展學生中心之探索導向問題解決活動，讓美國持續在奈米科技人才培育方面，一直維持領先的地位(Foley & Hersam, 2006)。

國內關於小學階段奈米課程概念構圖的研究，主要以奈米科技國家型計畫所推展的產出結果為主，吳宗明(2011)主持的台灣中區奈米人才培育計畫中指出，小學階段的奈米核心概念應該以奈米定義、奈米科技發展、奈米材料、奈米特性與奈米的自然現象等作為架構主題；葉孟考(2011)主持的中小學奈米科

技教育發展及科普教育推廣研究當中，也指出小學階段的奈米核心概念應該以定義、自然現象、生活應用、可能危害與奈米標章等為主軸。前兩個計畫在奈米定義與奈米自然現象方面看法相同，其他主軸也頗為相似。而黃台珠(2011)參與的奈米科學教育整合計畫研究當中，則是以 2006 年 NCLT 的架構為基礎所發展而成，小學適合的概念主軸包括有奈米與社會、大小與尺度、模式與模擬等三項。反思前三項計畫研究，吳宗明與葉孟考的研究比較像是奈米教材設計架構，黃台珠的研究較能符合奈米內涵的概念圖取向，值得本研究參考。

除此之外，張政義(2008)以及曾國鴻與陳沅(2005)的研究則屬於小學奈米教學的實證研究。張政義的研究主要著眼在如何有系統的規劃奈米科技融入國小自然與生活科技課程，研究中結合學校自然與生活科技學習領域老師與行政人員共同組成教學研究群，成立奈米科技教師工作坊定期開會，共同分析文獻與相關檔案資料。透過持續收集和實地觀察的場記、非正式晤談和師生對話的錄音轉譯，以及學生的札記、奈米設計作品等文件之整理歸納，獲得構築融入教學活動之架構基礎。該研究透過漸進分化之融入教學發現，奈米科技融入教學可以運用簡化、導向、啟發、預測、組織統合與程序法則的系統思維，以學習者為中心進行教學，從產生基本概念出發，進而達成發展想像力之深化教學。而曾國鴻與陳沅的研究較為偏向融入自然課程的意願調查，該研究以台灣南部 1984 位教師與 1852 位國小高年級學生為研究對象，透過問卷調查以瞭解老師與學生對奈米科技的熟悉程度、學習需求與融入課程的意願。研究結果發現，科技新知落實在國小自然課程的教育是可行的，然而教師能清楚界定奈米科技的卻少於 20%，但老師們願意透過適當的學習來認識奈米科技，並將奈米概念融入相關的課程與教學；相對而言，該調查指出學生對奈米科技的學習需求比教師群體還高，而且隨著接觸奈米課程時間的增長，學生的奈米科技學習需求也越顯增加，但是學生希望奈米科技的內容應該有所取捨與簡化。此結果顯示奈米科技融入課程的確有其必要性，但應該在符合學生認知發展的前提下，選擇適性的教學策略、教材與時機來實施。

奈米科技已是科學教育的新議題之一，要將之融入科學課程，可能有老師會認為自然科學課程的內容已經過度擁擠，怎麼容納得了奈米科技的內容(Healy, 2009)，而且對一位自然科學教師來說，要在教室營造具有學習樂趣的奈米活動，這過程中仍需要透過專業研討的協助，才能設計出寓教於樂的有趣活動(Greenberg, 2009)。Greenberg (2009)認為，奈米科學應該考慮獨立成為一門學科，或者是在跨學科整合下融入正式課程，研究者認同 Greenberg 融入課程的看

法，而且傾向將奈米科技融入到七大學習領域來教學。從前面文獻的回顧來看，奈米科技看起來似乎前景光明，但是仍須仰賴教師設計適性的奈米教材或實務活動，才能深化學生的學習概念，未來奈米教育亟待克服的挑戰之一是要做好教師的奈米科技專業成長研習教育，或是在師資培育階段先行加強奈米科技的素養教育；除此之外，由於奈米科學的新發現極為快速，教材的生命週期可能隨著技術發展而隨時落伍過時，身為奈米科技的課程融入教師，必須隨時能掌握奈米科技的脈動，持續發展能夠吸引學生參與體驗或操作的課程活動，以培養足以適應未來奈米世代的新一代公民。

參、研究方法

一、德懷術專家調查對象的選定

本研究採取德懷術(Delphi)研究方法，透過問卷向奈米專家進行適合小學奈米教學的概念主題諮詢，專家諮詢名單乃從國科會的人才資料庫篩選出各大學奈米相關領域學者共 100 位，作為第一次專家諮詢的對象，礙於篇幅，所以調查對象僅列出較為精簡的資訊(參見表 1)。

表 1 第一回合奈米專家學者諮詢的區域和領域人數

| 區域 | 人數 | 奈米專業領域(人數) | 所屬學校 |
|-----|-------|---|-----------------|
| 北區 | 40 位 | 奈米物理(8)、奈米化學(8)、奈米生醫(8)、 奈米材料工程(8)、奈米機電工程(8) | 台大、清大、交大 |
| 中區 | 20 位 | 奈米物理(4)、奈米化學(4)、奈米生醫(4)、 奈米材料工程(4)、奈米機電工程(4) | 中興、中正 |
| 南區 | 25 位 | 奈米物理(5)、奈米化學(5)、奈米生醫(5)、 奈米材料工程(5)、奈米機電工程(5) | 成大、中山、南台科大 |
| 東區 | 15 位 | 奈米物理(3)、奈米化學(3)、奈米生醫(3)、 奈米材料工程(3)、奈米機電工程(3) | 東華、宜大、東大、 慈濟 |
| 4 區 | 100 位 | 5 個領域，每個領域 20 位 | 12 所大學 |

為能徵求更多元的回饋，本研究在第一回合的諮詢問卷最後，同時調查與徵詢專家學者們繼續參與後續諮詢的意願，最後徵得 20 位教授的繼續接受後續諮詢的意願。分析這 20 位教授分別來自北(3 位)、中(4 位)、南(9 位)、東(4 位)等區域，在諮詢教授的區域代表上，雖呈現南部略多於北部的現象，然由於本研究主要考量奈米專業知識領域的平衡及參與教授接受諮詢的意願，審視上述 20 位諮詢教授的條件均能符合本研究的目標，因此將其全部列為後續第二與第三回德懷術分析的諮詢名單(參見表 2)。

表 2 第二與第三回合願意參與奈米問卷諮詢的專家學者名單

| 奈米專業領域 | 諮詢教授 | 諮詢教授服務學校單位 | 所屬區域 |
|--------|--------|-----------------|------|
| 奈米物理 | 11 何孟書 | 中興大學奈米科技研究所 | 中區 |
| | 12 李明威 | 中興大學奈米科技研究所 | 中區 |
| | 14 蔡民雄 | 中山大學物理系 | 南區 |
| | 20 張文固 | 東華大學材料科學與工程學系 | 東區 |
| 奈米化學 | 28 呂志鵬 | 交大材料與工程學系 | 北區 |
| | 29 蔡毓楨 | 中興大學化學工程系 | 中區 |
| | 34 梁蘭昌 | 中山大學奈米科技研究中心 | 南區 |
| 奈米生醫 | 51 周正中 | 國立中正大學生物醫學研究所 | 中區 |
| | 56 許藝菊 | 南台科技大學奈米科技研究中心 | 南區 |
| | 60 劉哲文 | 慈濟大學醫學系 | 東區 |
| 奈米材料工程 | 64 黃國柱 | 清華大學化學系 | 北區 |
| | 73 黃志青 | 中山材料所 | 南區 |
| | 74 曾百亨 | 中山材料所 | 南區 |
| | 76 周明奇 | 中山材料所 | 南區 |
| | 80 邱泰嘉 | 國立台東大學應用科學系 | 東區 |
| 奈米機電工程 | 81 李世光 | 台大應用力學研究所 | 北區 |
| | 93 李旺龍 | 成大奈米科技暨微系統工程研究所 | 南區 |
| | 96 林哲信 | 中山大學機電系 | 南區 |
| | 97 潘正堂 | 中山大學機電系 | 南區 |
| | 98 張瑞雄 | 東華大學資工系 | 東區 |

二、德懷術調查問卷編製

本研究之研究工具以研究者自行編製之「適合國小 3-6 年級學習之奈米科技主題概念調查問卷」，作為德懷術第一次問卷；第二、三次問卷則呈現前次調查結果並請專家就概念之命題敘述逐項檢核修正，問卷之說明分為研究說明函、填答方式與題目信效度等部分。

(一) 研究說明函

第一回合的研究說明函旨在向德懷術專家諮詢之對象說明本研究相關事宜，內容包含研究目的、德懷術的實施方法、程序進度、相關名詞說明與諮詢成員的任務等；第二、三回合的研究說明函則是歸納前一回合之問卷統計情形，並針對適合小學之奈米概念，修正筆者根據 NCLT 之奈米概念描述所擬定的初稿，以及協助確認構圖化之後的奈米知識圖初稿。

(二) 填答方式與題目信效度

本研究有三個主要問題，第一題是小學實施奈米教學的必要性，此題為單選題，分為有必要融入、符合認知發展原則下可以融入、不反對、不需要等四個程度的選項；第二題是適合小學奈米教學實施的重點原則，此題為複選題，重點原則分為提升奈米探究興趣與動機、培養學生習得奈米知識、培養主動探究奈米的能力、培養邏輯思考奈米的能力、培養解決奈米問題的能力與培養對奈米批判思考的能力等六項；第三題從美國 NCLT 歸納的中學階段奈米學習八大核心議題，讓專家挑選(可複選)其中適合小學階段的奈米科技議題有哪些？選項包括大小與尺度、物質的結構、不同大小屬性特徵、力學、自組裝現象、工具與儀器、模式和模擬、奈米與社會等八項，所挑選出的核心議題，筆者將 NCLT 對議題之描述詮釋，翻譯為中文初稿以及構圖為知識圖初稿，第二與第三回合除了會附上前一次問卷的次數分配結果供參考外，亦將概念詮釋與知識圖初稿交由專家進行詮釋上的修正與協助概念構圖的調整，以建構具有專家效度之適合小學教學的奈米知識概念圖。本研究的信度方面，採取評分者一致性信度，透過肯德爾和諧係數(Kendall's ω)，以瞭解奈米專家對於前述問題之前後三次看法，是否達到 .05 顯著水準之一致性與穩定性。三個题目的信度值依序為：1.000、.994 和 .989，皆達到 .05 的顯著水準。

三、德懷術專家調查的實施

本研究德懷術之實施分為三次，於 2009 年 9 月開始實施，而於 2010 年 1 月底完成，從編製問卷到前後三次調查，約費時 5 個月，過程分為四個步驟：1.問卷編製與諮詢名單確定；2.進行第一回合德懷術調查問卷寄送與回收；3.進行第二回合德懷術調查問卷寄送與回收；4.進行第三回合德懷術調查問卷寄送與回收。

第一次的諮詢問卷於 2009 年 9 月 9 日發出 100 份，回收至同年 10 月 7 日止，一共回收問卷 57 份，有效問卷有 49 份(49%)；第二次的諮詢問卷於 2009 年 10 月 21 日發出 20 份，回收時間至同年 11 月 30 日止，一共回收問卷 20 份，有效問卷 20 份(100%)；第三次諮詢問卷於 2009 年 12 月 5 日發出 20 份，回收時間至 2010 年 1 月 31 日止，有效問卷 18 份(90%)。

四、德懷術專家調查資料分析

本研究德懷術調查問卷主要以 SPSS 軟體作為統計分析工具，統計方法有次數分布與百分比、肯德爾和諧係數。

(一)次數分布與百分比

本研究問卷主要有三大題，包括奈米融入的必要性、教學時的重要原則，以及奈米學習主題概念等，調查結果皆以得票數轉換成次數分布、排序和百分比來處理。

(二)肯德爾和諧係數

本研究透過 SPSS 軟體之肯德爾和諧係數(Kendall's ω)統計方法，作為評分者一致性的信度考驗值，以瞭解奈米專家對於三項問題之前後看法是否達到 .05 顯著水準。

肆、研究結果與討論

一、奈米融入國小教學的必要性分析

本研究透過德懷術問卷，瞭解國內奈米領域專家對於國小 3-6 年級階段，是否適合將奈米科技的內容融入正式課程。結果如表 3 所示，表中顯示三次調查後的票數、排序、平均次數與百分比，其中專家們認為有需要融入者佔 17.24%，而支持在符合認知發展原則下可以融入者佔 68.97%，換言之，我們若將前兩者百分比相加，則顯示贊成奈米科技融入正式課程者總共有 86.21%，顯示奈米領域專家學者對於國小 3-6 年級將奈米科技融入正式課程的看法頗具共識，此外從表 4 的肯德爾和諧係數考驗結果亦可得知此項評估具有 .05 顯著水準之評分者一致性信度。多數奈米專家學者希望奈米科技融入教學時，能夠優先考量在符合學生認知發展程度的原則下進行，因此，如何從眾多奈米的概念知識中，掌握到適合小學階段介紹的內容與教學原則，應該是小學階段實施奈米教學的首要任務之一。

表 3 國小 3-6 年級奈米科技融入正式課程之必要性調查結果

| 統計類型 | 意見選項 | | 符合認知發展原則下可以融入 | 不反對 | 不需要 |
|---------------|------|--------|---------------|--------|-------|
| | 需要融入 | | | | |
| 第一次 (N=49) | 票數 | 8 | 33 | 6 | 2 |
| | 排序 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| 第二次 (N=20) | 票數 | 3 | 15 | 2 | 0 |
| | 排序 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| 第三次 (N=18) | 票數 | 4 | 12 | 2 | 0 |
| | 排序 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| 平均次數(N=29) | | 5 | 20 | 3.33 | 0.67 |
| 平均百分比 | | 17.24% | 68.97% | 11.48% | 2.31% |

表 4 奈米專家對小學融入奈米教學之看法一致性考驗

| 項目 | 數值 |
|----------------------------|-------|
| 個數 | 3 |
| 肯德爾和諧係數 Kendall's ω | 1.00* |
| 卡方 | 9.00 |
| 自由度 | 3 |
| 漸進顯著性 | .029 |

* $p < .05$

二、國小 3-6 年級階段適合奈米教學之重點原則

研究者認為有必要更清楚瞭解哪些原則是小學奈米教學應該把握的重點，此資訊可以提供作為規劃適合小學階段奈米教學之參考。本研究透過德懷術問卷進而調查國內奈米領域專家對於國小 3-6 年級階段奈米教學應注意重點原則之看法，在可複選的情況下調查結果如表 5 所示，表中顯示三次調查後的票數、排序、平均次數與百分比，其中專家們認為「提高探究興趣與動機」是教學時最應該把握的原則，佔了 100%，也就是全部認同此一原則的重要性。其次有過半數專家同意應該要掌握的原則依序為「讓學生習得奈米知識」(70.12%)、「培養主動探究奈米的能力」(51.72%)；而專家們比較不同意在小學階段的奈米教學過於重視「培養邏輯思考能力」、「培養問題解決能力」和「培養批判思考能力」。透過表 6 的肯德爾和諧係數考驗，亦可瞭解專家對此問題的看法頗為一致，且具有評分者一致性信度(信度值為 .994，具 .05 的顯著水準)。

表 5 國小 3-6 年級階段適合的奈米教學重點原則調查結果

| 統計類型 | 重點原則 | 探究興趣 | 學生習得 | 培養主動 | 培養邏輯 | 培養問題 | 培養批判 |
|---------------|------|------|--------|--------|--------|-------|-------|
| | | 與動機 | 奈米知識 | 探究能力 | 思考能力 | 解決能力 | 思考能力 |
| 第一次 (N=49) | 票數 | 49 | 29 | 23 | 14 | 1 | 1 |
| | 排序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 第二次 (N=20) | 票數 | 20 | 17 | 11 | 4 | 1 | 0 |
| | 排序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 第三次 (N=18) | 票數 | 18 | 15 | 11 | 4 | 0 | 0 |
| | 排序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 平均次數(N=29) | | 29 | 20.33 | 15 | 7.33 | 0.67 | 0.33 |
| 平均百分比 | | 100% | 70.12% | 51.72% | 25.29% | 2.30% | 1.15% |

表 6 奈米專家對小學適合奈米教學重點之看法一致性考驗

| 項目 | 數值 |
|----------------------------|--------|
| 個數 | 3 |
| 肯德爾和諧係數 Kendall's ω | .994* |
| 卡方 | 14.903 |
| 自由度 | 5 |
| 漸進顯著性 | .011 |

* $p < .05$

根據調查結果，小學的奈米教學應以生動活潑而有趣味性作為首要原則，如此才能提高學生探究奈米的興趣和動機。筆者建議教學者可以配合分組合作學習的競賽搶答、參與貓捉老鼠(貓進不了鼠洞)的遊戲，或是觀賞「格列佛遊記」、「驚異大奇航」或「親愛的，我把你變小了！」等類似介紹大小尺度概念的影片，以提升學生融入奈米主題情境的意願。

三、適合國小 3-6 年級階段學習的奈米科技概念主題

本研究以美國國家奈米教學中心歸納之中學階段(7-12年級)奈米學習的八大議題為基礎(Wansom et al., 2007)，請國內奈米專家就這些主題選出適合小學階段介紹的奈米科技主題，在可複選的情形下三次調查結果如表7所示，其中有過半數奈米專家贊成適合在小學階段介紹的主題有三項，依序為：「大小與尺度」(93.10%)、「不同大小屬性特徵」(79.31%)、「奈米與社會」(64.38%)。透過表8的肯德爾和諧係數考驗，亦可瞭解專家對此問題的看法頗為一致，且具有評分者一致性信度(信度值為 .989，具 .01的顯著水準)。

表 7 適合國小 3-6 年級階段學習的奈米科技概念主題調查結果

| 統計類型 | 重點原則 | 大小與 | 物質的 | 不同大小 | 力學 | 自組裝 | 工具 | 模式和 | 奈米 |
|----------------|------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-----|--------|
| | | 尺度 | 結構 | 屬性特徵 | | 現象 | 與儀器 | 模擬 | 與社會 |
| 第一次 (N=49) | 票數 | 43 | 21 | 35 | 1 | 5 | 6 | 0 | 27 |
| | 排序 | 1 | 4 | 2 | 7 | 6 | 5 | 8 | 3 |
| 第二次 (N=20) | 票數 | 20 | 3 | 18 | 0 | 0 | 1 | 0 | 15 |
| | 排序 | 1 | 4 | 2 | 6 | 6 | 5 | 6 | 3 |
| 第三次 (N=18) | 票數 | 18 | 4 | 16 | 0 | 0 | 1 | 0 | 14 |
| | 排序 | 1 | 4 | 2 | 6 | 6 | 5 | 6 | 3 |
| 平均次數 (N=29) | | 27 | 9.33 | 23 | 0.33 | 1.67 | 2.67 | 0 | 18.67 |
| 平均百分比 | | 93.10% | 32.17% | 79.31% | 1.14% | 5.76% | 9.21% | 0% | 64.38% |

表 8 奈米專家對小學適合之奈米學習主題看法一致性考驗

| 項目 | 數值 |
|----------------------------|--------|
| 個數 | 3 |
| 肯德爾和諧係數 Kendall's ω | .989** |
| 卡方 | 20.770 |
| 自由度 | 7 |
| 漸進顯著性 | .004 |

** $p < .01$

在黃台珠(2011)參與 K-12 奈米融入式教材概念圖研究當中，她認為小學階段適合的主題為奈米與社會、大小與尺度、模式和模擬等三項，此與本研究調查結果：奈米與社會、大小與尺度等兩項吻合，但其中有一項差異，筆者認為不同大小屬性特徵也是很重要的概念，奈米尺度就是因為有許多特殊的屬性，才會讓眾人願意研究這些屬性以及後續如何發展應用，而對於模式和模擬主題，個人認為 NCLT 把這個主題定義為將科學研究的實體現象透過電腦模擬來呈現，這種技術性的軟體操作當然不適合小學階段。黃台珠(2011)的研究，可能是透過教師團隊討論，而把模式和模擬當作是一種教學時可以運用的奈米教學比喻策略來看待，並以比喻方式增進對奈米的理解；此部分觀點可能與 NCLT 當初的定義不同。

四、符合國小 3-6 年級學生學習之奈米核心概念知識圖

一張概念圖是由許多命題(propositions)所組成，而每個命題包括概念與概念間的連結語，因此一張概念圖描述著某一知識內容中概念間的相互連結關係(張國恩、林水成、潘宏明、陳世旺，1998)。本研究將奈米專家大都贊成適合在小學階段學習的「大小與尺度」(93.10%)、「不同大小屬性特徵」(79.31%)與「奈米與社會」(64.38%)等三項主題，同時在德懷術發展過程中，請奈米專家針對前三項主題概念的命題加以評估修正，原始初稿乃是由研究者將 NCLT 對主題之英文翻譯為中文初稿而產生，在第二與第三回合諮詢時，將奈米主題概念命題敘述與知識圖初稿交由專家進行詮釋上的修正與概念構圖調整的協助，以建構

具有專家效度而且適合小學生學習的奈米知識概念圖，最後建構產出的結果如以下三項所陳述。

(一)「大小與尺度」之命題敘述與概念圖

在大小與尺度的學習主題當中，經諮詢的結果包含了大小、結構、物理性質、化學性質等重要概念，最終的命題敘述為「當物體的大小與結構改變時，其物理、化學性質亦可能隨之而改變」。最後畫成的主題概念圖如圖 1 所示，可供作為小學奈米教學之參考，亦可作為發展更為深化之概念內容的基礎。

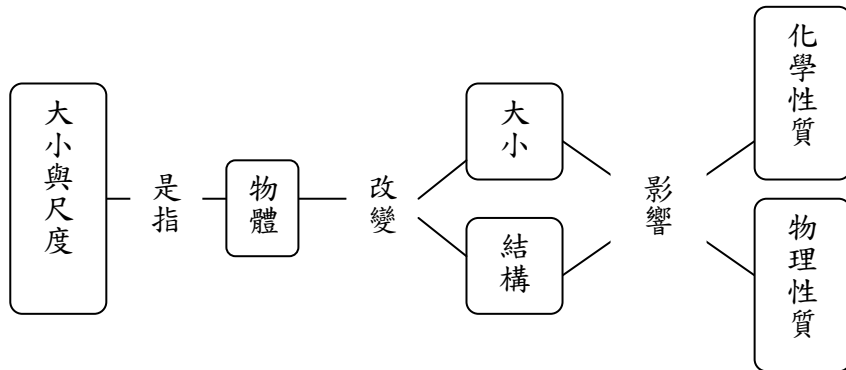


圖 1 適合小學生的奈米學習概念主題—大小與尺度

(二)「大小屬性的特性」之命題敘述與概念圖

在大小屬性特性的學習主題當中，經諮詢的結果包含了物質特性、大小規模、結構、特性、奈米尺度等重要概念，最終的命題敘述為「物質結構改變可能會改變物質特性，特別是大小規模趨近於奈米尺度時，可能會展現不同的屬性及功能」。最後畫成的主題概念圖如圖 2 所示，可供作為小學奈米教學之參考，亦可作為發展更為深化之概念內容基礎。

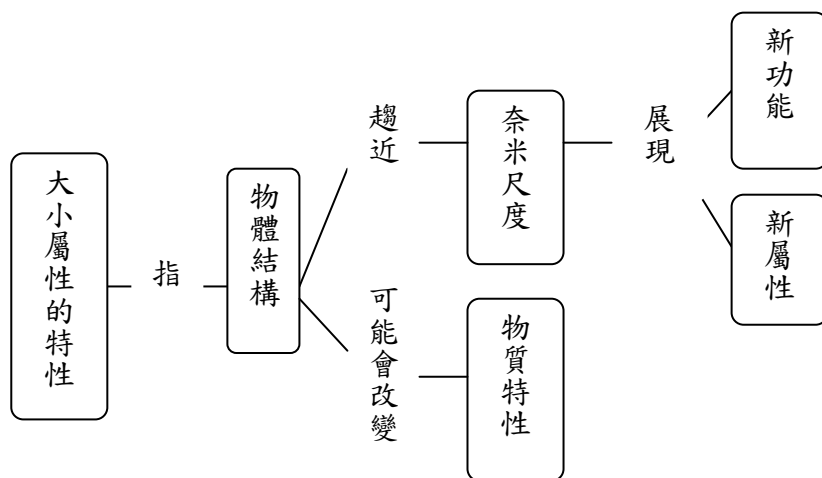


圖 2 適合小學生的奈米學習概念主題—大小屬性的特性

(三)「奈米與社會」之命題敘述與概念圖

在奈米與社會的學習主題當中，經諮詢的結果包含了奈米科技、社會衝擊、正向、負向、面對、關心等重要概念，最終的命題敘述為「奈米科技進展，導引出許多社會問題與衝擊，不論正、負向的衝擊，均值得我們一同去面對與關心」。最後畫成的主題概念圖如圖 3 所示，可供作為小學奈米教學之參考，亦可作為發展更為深化之概念內容基礎。

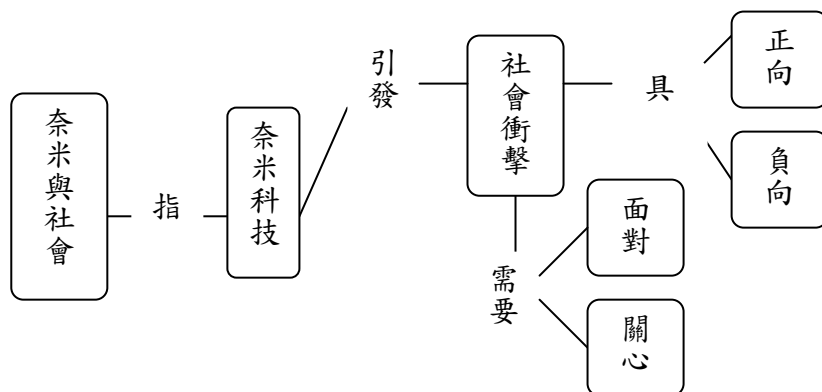


圖 3 適合小學生的奈米學習概念主題—奈米與社會

吳宗明(2011)主持的台灣中區奈米人才培育研究認為，小學階段的奈米核心概念應該以奈米定義、奈米科技發展、奈米材料、奈米特性與奈米的自然現象等作為介紹主題；葉孟考(2011)主持的中小學奈米科技教育發展及科普教育推廣研究當中，也指出小學階段的奈米核心概念應該以定義、自然現象、生活應用、可能危害，與奈米標章等為主軸；前兩者在奈米定義與自然現象方面相同，其他也頗為相似，但是與本研究的三個核心概念明顯不同，筆者認為前兩者的核心概念比較像是教師教學觀點的教材概念圖，反而不像是描述奈米科技內涵的核心概念主題。黃台珠(2011)參與成功大學的奈米科學教育整合計畫研究，與本研究的發展趨向較為相符，都是以 2006 年 NCLT 的架構為基礎所發展而成，黃台珠的研究結果與本研究調查結果有關於奈米與社會、大小與尺度等兩項是互相吻合的，但仍有一項有差異，筆者認為專業性較高的奈米模擬，比較不適合小學階段來介紹，本研究專家諮詢結果也是如此反映。

國民教育階段的學校教育是推廣國民對奈米科技認識的最佳場所，學校可透過奈米課程規劃來達成推廣目標。在九年一貫課程總綱的綱要中強調，學校教育應以學生為主體，以生活經驗為重心，培養國民基本能力為目標。為了培養學生對奈米科技的知能、興趣動機與探究能力，教師在教學規劃方面，可依據適合學童之奈米概念主題循序漸進，奈米科技既然是未來舉世矚目的尖端科技，因此在培養此方面人才或推動全民普及教育時，實有必要在九年一貫正式課程當中加以融合，介紹奈米科技時，教師可就其概念之難易程度，分布融入在合適的各個學習階段中，依學生的認知發展作有層次的安排，以設計適性合理的教學活動。歸納言之，關於教師在 3-6 年級階段的奈米科技教學，筆者建議可透過以下幾項重點來規劃：1.以奈米科技主題的概念架構融合七大學習領域做最佳時機的統整切入；2.教師可以收集有趣而生動的教材資源，依據能夠吸引學生好奇探究與興趣動機的原則來營造奈米學習情境，以促進學習過程的有意義理解；3.採用多元化的教學資源，不拘泥於正式課程或短期主題活動，例如：引進社區奈米人力資源、網路結構化的動態媒體輔助理解、營造校園實體學習環境與虛擬情境；4.從實際操作中反思，並從思辯過程理解奈米對社會各層面的正負面影響。

伍、研究結論與建議

本研究發現，面對奈米新興科技在生活中的許多應用，奈米專家學者大致認同奈米科技有必要在小學 3-6 年級階段開始實施，但是需以提高奈米探究興趣與動機作為首要原則，而大小尺度、奈米特性、奈米對社會的影響等議題，是小學生首先應該學習的重點，由前述三項重點議題所建構的奈米概念圖，可以提供作為奈米教學應用之參考，本研究具體的結論與建議分述如下。

一、研究結論

- (一) 有 86.21% 的奈米專家認為奈米科技融入國小 3-6 年級正式課程有其必要性，而其中 68.97% 專家支持在符合學生認知發展的原則下可以融入。
- (二) 過半數奈米專家認為小學 3-6 年級階段的奈米主題教學應該要掌握的原則依序為：「提高奈米探究興趣與動機」(100%)、「讓學生習得奈米知識」(70.12%)、「培養主動探究奈米的能力」(51.72%)，比較不同意在小學階段的奈米教學過於重視「培養奈米的邏輯思考能力」、「培養解決奈米問題的能力」和「培養對奈米批判思考的能力」。
- (三) 奈米專家大多贊成適合在小學階段學習的主題包括「大小與尺度」(93.10%)、「不同大小屬性特徵」(79.31%)、「奈米與社會」(64.38%)等三項。
- (四) 奈米專家對國小 3-6 年級是否有必要融入奈米科技課程之看法，前後三次調查具有一致性信度(.05 顯著水準)，奈米專家對國小 3-6 年級階段適合的奈米教學重點原則，前後看法頗為一致，達 .05 的顯著水準；奈米專家對小學 3-6 年級階段適合之奈米學習主題，前後看法也頗為一致，達 .01 的顯著水準。

二、研究建議

- (一) 本研究產出的三個奈米學習主題概念圖，可以當作小學老師介紹奈米概念的引導架構，應用在學生探究歷程中作為引導指南，讓學生比較他們想出來的奈米主題概念結構與專家思考的奈米概念圖有何不同，從中啟發更多後續探究的次主題與高層次思考。

- (二) 本研究建議小學教師以三個奈米學習概念圖為基礎，將之以數位化方式呈現，從中不但可以利用超連結伸縮的特性，讓學生更容易理解整體與細部概念之間的關連性，也可以在適當的連結點，連結各種有助於理解的奈米教材或影像，讓教學內容變得更加具體活潑，使學生更容易在腦海建構奈米知識的結構化圖像，達成符合學生認知發展的有意義學習。
- (三) 本研究屬於奈米科技教育之基礎研究，主要的產出內容為奈米科技的知識結構概念。為滿足此一目標，研究所選擇的德懷術諮詢專家主要是從國科會的奈米專家資料庫中選出。未來在應用本研究結論於科學教育現場時，宜先透過科學教育專家提供概念轉化成教學方案的諮詢過程，使得課程的執行能夠更貼近兒童本位，增進學生的知識與理解。

致謝

本研究係由行政院國家科學委員會經費補助 (NSC 98-2120-S-259-001-NM)，在此特致謝忱，亦同時感謝審稿委員的悉心指正。

參考文獻

- 吳宗明(2011, 1月)。國小階段應具有奈米科技核心概念之概念圖。論文發表於奈米國家型科技人才培育計畫之自由整合型計畫期中諮詢會議，國科會奈米國家型科技人才培育計畫辦公室。
- 李濬、李沛鏗、蘇信寧(2008)。奈米科技發展之國家策略願景—日本、德國、丹麥奈米科技前瞻施行概況。科技發展政策報導，2，75-79。
- 奈米國家型科技人才培育計畫辦公室(2009)。奈米國家型科技人才培育計畫專刊。2011年4月16日，取自：http://nano-1.colife.org.tw/js/files/e044c921-a9e2-4ef2-8767-0f2eee4c38bd/NHRD_奈米人培計畫專刊.pdf
- 科技政策研究與資訊中心(2009)。2009 Science and Technology Yearbook。2011年4月16日，取自：<http://yearbook.stpi.org.tw/pdf/2009/2009e.pdf>
- 馬遠榮(2003)。奈米科技。臺北市：商周出版。
- 張政義(2008)。奈米科技融入國小自然與生活科技課程之教學研究。物理教育學刊，9(1)，109-122。

- 張國恩、林水成、潘宏明、陳世旺(1998)。屬性化概念圖的模糊評量。**科學教育學刊**，6(1)，81-94。
- 許碧純(2003)。往下紮根的奈米教育。載於**奈米特刊(科學人雜誌特刊)：全觀奈米新世界**(25-27頁)。臺北市：遠流出版社。
- 陳志豪(2003年4月5日)。神奇奈米...衣服防水、不會髒。**聯合報**，B3版。
- 曾國鴻、陳沅(2005)。國小師生對奈米科技之熟悉度、學習需求及其融入課程研究。**科學教育學刊**，13(1)，101-120。
- 黃台珠(2011，1月)。**K-12 奈米科技融入式教材概念圖**。論文發表於奈米國家型科技人才培育計畫之自由整合型計畫期中諮詢會議，國科會奈米國家型科技人才培育計畫辦公室。
- 葉辰楨、王國華、蔡明致(2010)。後設認知鷹架策略融入科學探究教學之探討。**科學教育研究與發展季刊**，58，1-32。
- 葉孟考(2011，1月)。**國小階段奈米科技概念圖**。論文發表於奈米國家型科技人才培育計畫之自由整合型計畫期中諮詢會議，國科會奈米國家型科技人才培育計畫辦公室。
- Chao, Y. C., & Hsiung, C. T. (2010, January). *A content analysis of K-12 nano education teaching materials in Taiwan*. Paper presented at the 6th International Conference on Science, Mathematics and Technology Education, Hualien, Taiwan.
- Ernst, J. V. (2009). Nanotechnology education: Contemporary content and approaches. *The Journal of Technology Studies*, 35(1), 3-8.
- Foley, E. T., & Hersam, M. C. (2006). Assessing the need for nanotechnology education reform in the United States. *Nanotechnology Law & Business*, 3(4), 467-484.
- Greenberg, A. (2009). Integrating nanoscience into the classroom: Perspectives on nanoscience education projects. *ACS Nano*, 3(4), 762-769.
- Healy, N. (2009). Why nano education? *Journal of Nano Education*, 1(1), 6-7.
- Holley, S. E. (2009). Nano revolution-big impact: How emerging nanotechnologies will change the future of education and industry in America (and more specifically in Oklahoma) an abbreviated account. *Journal of Technology Studies*, 35(1), 9-19.

- Lee, C. K., Wu, T. T., Liu, P. L., & Hsu, S. k. (2006). Establishing a K-12 nanotechnology program for teacher professional development. *IEEE Transactions on Education*, 49(1), 141-146.
- Luther, W. (2004). *International strategy and foresight report on nanoscience and nanotechnology*. Düsseldorf: VDI Technologiezentrum.
- Meyyappan, M. (2004). Nanotechnology education and training. *Journal of Materials Education*, 26(3-4), 311-320.
- Orgill, M., & Crippen, K. J. (2009). What's so big about being small? *The science Teacher*, 76(2), 41-48.
- Wansom, S., Mason, T. O., Drane, D. L., & Light, G. (2007). *Recommended features for an NSE degree program: Common features identified from three studies*. Retrieved November 4, 2010, from <http://www.nclt.us/grg/30830.pdf>

On the Applicability of Nanotechnology Teaching in Elementary Schools: The Viewpoints from Experts

Wen-Fu Pan^{1*} Kao-Zu Yu²

¹Department of Educational Administration and Management, Dong Hwa University

²Experimental Primary School of Dong Hwa University

*s1210@mail.ndhu.edu.tw

Abstract

The purpose of this study is to investigate the appropriateness of the implementation of Nanotechnology teaching in elementary schools by summarizing the viewpoints proposed by several Nanotechnology experts. Delphi technology was used as the main research method for data collection (In the beginning, forty-nine Nanotechnology experts were inquired, twenty for the second inquiry and eighteen for the third inquiry). Through Kendall's ω test, we found a consistency, indicated the similar ideas these Nanotechnology experts possess. 86.21% of the experts think it necessary to list Nano-related topics in the curriculum of 3rd-6th grades. The following are the principles that more than half of them think necessary when designing Nano-based teaching: (1) Increase students' interest and motivation in exploring Nanotechnology; (2) help students' acquire knowledge related to Nanotechnology and (3) cultivate the ability of active exploring Nano-relevant topics. The following are Nano-related topics that more than half of them suggest appropriate for elementary students: (1) Size and Scale; (2) Properties of Matter; and (3) Nanotechnology and Society. At the same time, through Delphi consultation, we concluded Nano topics and concept map suitable for 3rd-6th graders and made suggestions for future teaching.

Keywords: Nanotechnology, science education, concept map