

運用 SOLO 分類法探討科展活動之建模的類型 ——以八年級物理科展為例

鐘建坪、邱美虹*

模型與建模為科學實務的中心工作，而中小學科學展覽為最近似科學家的建模活動。本研究採用事後回溯法（Ex Post Facto Study）探討 2 位立意取樣之八年級學生歷經物理科展建模活動後所建構的模型表徵類型與其表徵模型階層。研究工具主要整合自模型表徵類型（Boulter & Buckley, 2000）與觀察學習表現架構（Structure of the Observed Learning Outcome, SOLO）（Biggs & Collis, 1982）分類階層形成模型種類與階層表。研究結果顯示學生在實驗室情境下建構模型的類型與其發展順序，包括：(1)在相同探究時期，學生可以建構出具體、動作、視覺、語彙與數學等多種具有目的性的模型；而在不同探究時期，學生主要從具體與動作表徵模型開始，接著建構視覺、語彙與數學模型的動態建模歷程，並依據先前建構的表徵模型從單一結構逐漸提升至延伸抽象結構；(2)學生經由不同的探究階段逐漸掌握科展主題探索的變因，包括纏繞物的種類、纏繞圈數、懸掛重量以及摩擦力等而形成自身對於科展主題的概念架構，並向外發展形成各種表徵模型。最後文末依據學生表徵模型建構次序，建議教師在設計實驗為主的探究相關活動時，應著重在具體與動作表徵模型的介紹，再逐步形成視覺與語彙模型表徵模型，最後形成數學模型。

關鍵詞：事後回溯法、建模、科學展覽、模型、SOLO 分類法

* 鐘建坪：國立台灣師範大學科學教育研究所博士

邱美虹：國立台灣師範大學科學教育研究所教授

mhchiu@ntnu.edu.tw

Using SOLO Taxonomy to Explore the Levels of Representation Models in Scientific Inquiry Activities: An exploration based on 8th Grade Physics Fair

Jing-Ping Jong & Mei-Hung Chiu*

Models play a core role in science. Engaging students in science exhibitions is a way to involve them in modeling activities similar to those practiced by scientists. This study adopted the ex post facto method to investigate the types and hierarchical levels of modeling processes which were present in the scientific inquiry activities of eighth grade students. The authors integrated a typology of models proposed by Boulter and Buckley (2000) and Structure of the Observed Learning Outcome (SOLO) taxonomy by Biggs and Collis (1982) to evaluate the typology of models used. The results revealed that (1) within the same inquiry phase, students constructed different types of representational models, including concrete, gestural, visual, verbal, and mathematical, each with a specific purpose. In other phases they constructed the same types from models that are uni-structural to ones that are extended and abstract. (2) Through various inquiry phases, the students gradually understood the variables of the project they worked on in order to develop a variety of corresponding representation models. Accordingly, school teachers are recommended to provide a progression of inquiry-based science activities that emphasize on introducing concrete and gestural representational models, forming visual and verbal models, and constructing mathematical models.

Keywords: *ex post facto method, modeling, science fair, SOLO taxonomy, typology of model*

* Jing-Ping Jong: Doctor, Graduate Institute of science Education, National Taiwan Normal University

Mei-Hung Chiu: Professor, Graduate Institute of science Education, National Taiwan Normal University

運用 SOLO 分類法探討科展活動之建模的類型 —以八年級物理科展為例

鐘建坪、邱美虹

壹、研究背景與動機

科學教學必須讓學生有機會進行真實世界問題的探究，藉以提供完整的科學建模歷程（e.g., 教育部，2003；Blanchard et al., 2010；National Research Council [NRC], 2000）。學生實際參與科學展覽活動即是學習科學建模的最佳機會。學生在歷程中會不斷地透過實驗結果以及語彙的描述建立暫時模型，並且修正與精緻化所提出的概念架構。然而目前建模的相關研究仍多著重科學家所建構的表徵類型（e.g., Dunbar, 1995；Giere, 1988；Nersessian, 2002；Nersessian & Patton, 2009）與如何在課室中提供學生實體模型為主（e.g., Harrison & Treagust, 2000；Saari & Viiri, 2003；Schwarz et al., 2009；Schwarz & White, 2005；van Driel & Verloop, 1999），很少針對學生實際在非課室情境中所建構表徵模型的發展情形作出探討。有鑑於此，本研究目的主要探討參與科學展覽探究的學生所建構表徵模型的類型與階層。研究問題為八年級物理科展探究歷程中，(1)不同探究階段個案學生所建構表徵模型的種類與階層發展順序為何？(2)個案學生所建構概念與表徵模型發展關係為何？

貳、理論架構與相關文獻

本文理論架構主要植基於科學建模的意涵，探討 2 位八年級學生歷經相似真實性探究的科展活動之後，學生所建構表徵模型的類型與階層。文獻探討先說明科學實務中建構的表徵模型與發展順序，接著介紹評量關係類別的觀察學習表現架構（Structure of the Observed Learning Outcome, 簡稱 SOLO）（Biggs & Collis, 1982）分類法，最後說明本研究之研究架構。

一、探究學習三階段論

許多學者曾對探究學習的歷程提出階段性的分割方式(e.g., 周金城, 2002; Bybee, 1997; Doherty & Evans, 1983; Schwarz & White, 2005)。學習環模式的探究學習階段分割主要是以探究的動作做區分，例如：Bybee (1997) 提出 5E 探究學習環，透過參與、探索、解釋、精緻化以及評鑑方式讓學生獲得科學概念，而 Schwarz 和 White(2005) 則將科學探究的學習步驟區分成問題、假說、研究、分析、模型以及評鑑等歷程；以學習環探究模式的區分方式多以直線模式進行，彷彿科學探究的歷程會以直線的方式進行問題即可獲得，然而實質上並非如此。部分學者提出的探究階段主要以時間區段做出分割，例如：Doherty 和 Evans (1983) 曾對於類似進行科展活動之獨立研究的階段設計提出三階段論，分別包含教師引導階段、獨立研究階段以及專題討論階段，而此三階段的設計無非是希望獨立研究者能夠透過不同階段的設計，引導其在探究過程中逐步達成探究的目標；而周金城 (2002) 依據科展學生的真實科學研究歷程將科學探究依據時間序列區分為三個時期，包括：選擇與評估期、解決與執行期以及結果評估期。其中選擇評估期主要的工作在確認研究問題；當研究問題確認之後開始進行持續地假設驗證為解決與執行期；而將所獲得結果與理論證據作一整合判斷是為結果評估期。以時間作為探究階段的切割時，會因為時間切割的方式差異而造成學生探究行為類別的不同，因此以時間作為切割時，宜考量實際情境做出分割。

二、自然情境下模型的建構

(一) 銘刻 (inscription) 與建模的意涵

科學知識建構的歷程即是進行銘刻的行為，而建構的結果可以視為銘刻的產物 (Latour, 1987)，對外產生外顯表徵，對個體內部產生心智表徵 (Roth & McGinn, 1998)。事實上，科學家進行知識建構不僅單純產生個別圖像表徵，而是嘗試說明模型內變因間所形成的關係，因此銘刻不僅是一項建構表徵模型的行為，亦是科學活動的成果。精確地說，銘刻即為建構模型的歷程，而其產物即為建構的外顯表徵模型 (Nersessian, 2002)。

(二) 表徵模型的類別

表徵可以是任何一種符號形式 (Boulter & Buckley, 2000)，而模型意指組成物件與

物件之間的關聯 (Giere, 1988)，表徵模型即指任何符號形式用以說明物件與物件之間的關係。科學家建構模型歷程顯現的表徵類型包括具體器材組織與操作等具體表徵與動作表徵、提出的圖與表等視覺表徵，數學方程式等數學表徵，以及過程中作為溝通與解釋的文字即為語彙表徵 (Dunbar, 1995；Latour, 1987, 1990；Nersessian & Patton, 2009)。

對於表徵模型種類的分類，Boulter 和 Buckley (2000) 曾以雙向細目表的型式建立了一個模型的分類學架構，其中一個向度依據表徵的模式 (mode)，分為單一模式以及混合模式，內容再依據具體材料 (concrete)、視覺／圖像 (visual)、語彙／寫作／口語 (verbal)、姿勢 (gestural) 以及數學方程式 (mathematical) 做細分項目，而另一個向度是依據表徵的屬性 (attributes)，區分成質性與量化的性質，內容再依據靜態或動態再做細分。舉例來說，解釋波以耳定律 ($PV=K$) 時，會利用半充氣的氣球置入水中 (動作表徵)，觀察其膨脹收縮的情形，再利用具體的保麗龍球 (具體表徵) 去表徵不可見的分子，用以說明分子在氣球中碰撞器壁 (語彙表徵)。

其餘表徵形式即是上述的混合模式，如視覺混合模式 (visual mixed)，即包含有語言或數學等的視覺模型類型。例如：附有詮釋的心臟結構圖。可惜的是，這樣的分類雖然能夠提供模型的分類進而知道模型的類型，但是卻無法了解所建立模型內部概念間的關聯與其階層性。

(三) 表徵模型的建構與發展順序

目前科學模型的建構歷程主要為假說演繹法，透過理論為基礎的思考架構進行科學研究，從現象中找出數據模型再進展到理論關係的演示，再透過理論進行遷移預測出數據模型與可能發生的現象 (Chinn & Malhotra, 2002；Giere, 2010)。然而，中學生不像科學家一樣具備完整的科學理論知識 (Krajcik, Czerniak, & Berger, 1998)，因此科展研究主要在特定典範下進行實證性的歸納實驗 (周金城, 2002)，雖然文獻說明學生能從現象觀察中進行資料收集，組織器材、操作實驗、繪製圖與表格、進行說明與解釋研究成果甚至嘗試建構或修改數學關係式 (NRC, 2000)，但是對於如何透過探究行為的操作發展以形成特定的表徵模型卻付諸闕如。

三、強調物件關係的一種評量架構：觀察學習表現架構 (Structure of the Observed Learning Outcomes, SOLO)

SOLO 分類法主要以結構的方式設定學習目標以及評斷學習成效，區分為(1)前結

構（Pre-structural）階段，強調學生無法理解與表達所欲解答的內容；(2)單一結構（Uni-structural）階段，強調學生只反應單一相關的事實；(3)多重結構（Multi-structural）階段，強調學生反應產生多個相關的事實，但彼此之間無銜接關係；(4)相關性（Relational）階段，強調學生能將多的事實聯結形成一個整體，以及(5)延伸抽象（Extended Abstract）階段，強調學生能夠產生抽象的律則，解釋事實（Biggs & Collis, 1982）。目前 SOLO 分類法已經廣泛使用在教育領域領域的評量（e.g., 毛松霖、張菊秀, 1997；張志康、邱美虹, 2009；Minogue & Jones, 2009）。SOLO 的分析架構不同於 Bloom（1956）評量的分類方式，主要著重在個別物件與物件間的關係，而這與模型描述特定範圍內物件與物件間的關係相符。因此，本研究以學生實際建立的表徵類型作為學生實質建構模型的成果，探討學生實質建立的模型種類，並透過 SOLO 分類法區分出所建構模型的階層性。

四、研究架構

科展活動實質上為常態科學的解謎活動，而解謎即典範下的科學活動，學生透過操作、實驗數據的操作與數據模型的證成藉以幫助學生進行解謎活動達到解謎任務的學習（周金城，2002；Milner-Bolotin, 2012）。如圖 1 所示，本文作者修改 Giere 所提出建構特定表徵的觀點（Giere, 2010），即科展建構模型過程中，行為人（此指學生）可以經由特定目的，使用特定的表徵模型去呈現出某種特定的現象。將科展個案學生欲呈現的模型類型依據表徵特徵的差異形成具體、動作、視覺、語彙以及數學模型。舉例來說，學生在實驗活動中所使用的器材即屬於具體表徵模型，而當學生因為特定的目的組織或裝配這些實驗器材時即屬於動作表徵模型；當學生收集數據、彙整數據形成二次座標關係圖則形成視覺模型，透過解釋說明關係圖的意義形成語彙模型；最後建立數學關係式形成數學模型。同時為符合學生科展實際探究歷程本研究修改 Doherty 和 Evans（1983）以及周金城（2002）所提出的三階段論的精神，以不同的時間區段為主而非以探究的動作做切割，作為科展解謎活動時間發展順序如表 1 所示，以探討區段時間內科展學生的所有行為。

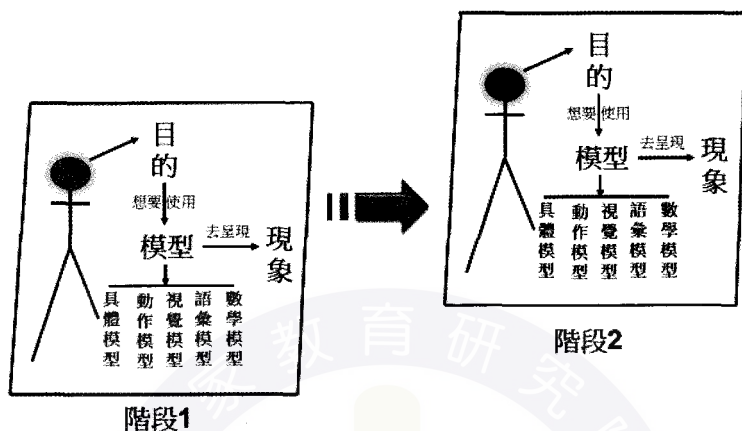


圖 1 學生在不同探究階段使用特定表徵模型呈現特定現象（修改自 Giere, 2010）

綜上所述，本研究針對實驗為主的八年級物理科展解謎活動進行探討。欲以探究歷程中參與者所形成的模型類別為經，SOLO 分類法的結構評量為緯形成本研究之評鑑表，提供一個模型種類與層次的評量架構，以事後分析法分析兩位實際參與科展比賽的八年級學生，在常態科學的典範下探討不同探究階段所建造模型種類與階層。

表1 綜合比較探究工作三階段內容

	獨立研究三階段論 ^a	探究工作三階段論 ^b	本研究之三階段論
階段 1	教師引導階段：引導學生尋找主題以及訓練學生的研究能力。	選擇與評估期：確認研究問題	初始階段：學生剛開始參與探究活動、尋找題目、完成初步的實驗架構規劃。
階段 2	獨立研究階段：訂定主題、擬定研究計畫、進行研究以及提出成果。	解決與執行期：持續地進行假設驗證。	執行階段：依據不同的變因更換，學生規則性地操作與紀錄數據、將結果製作成表或圖，尋找數據中規則性的趨勢。
階段 3	專題討論階段：提供學生討論的機會與擬定新的研究計畫。	結果評估期：將所獲得結果與理論證據作一整合判斷。	完成階段：比較結果找出研究的限制、整理資料以及進行報告寫作。

資料來源：a. Doherty 和 Evans（1983）；b. 周金城（2002）

參、研究方法

一、研究對象與情境

本研究對象為立意取樣之新北市立某國中參加 96 學年度縣賽科學展覽競賽之 1 組參賽人員，共 2 位學生。其中 1 位是男生，另一位是女生，2 位同學在此活動之前皆無參與過任何科展活動。本研究之第一作者即為本科展作品的指導老師，學生探究活動從尋找題目至校內初賽至市賽結束為期 1 年 3 個月。學生科展作品的發想來自於卡通影片經驗泰山在森林中進行擺盪而不掉落的情境。作品內容探討不同實驗變因包括：管徑大小、管徑接觸面材質、纏繞物的材質以及懸掛物之重量與所能承受之最大負載重量的關係（見圖 2）以模擬泰山在森林中擺盪的情形。

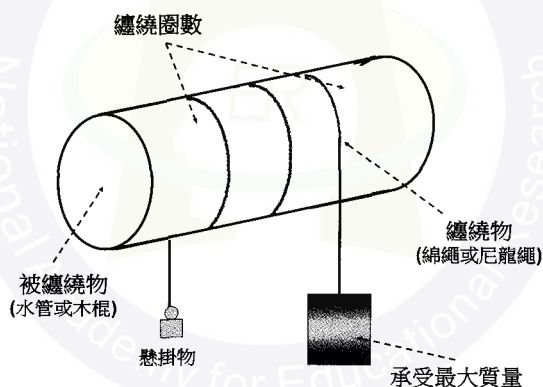


圖 2 學生作品實驗裝置圖

二、研究設計

本研究為了使學生能夠自在與老師進行互動，減少研究者的干預，因此採用事後分析法，在學生完成科展活動之後，再透過訪談方式了解學生對於不同探究階段所建立的模型種類與階層發展順序。因為事後訪談會因為學生記憶而造成誤差與落差，為達有效性，本文作者除了在科展建模活動結束之後進行訪談之外，亦針對學生的科展報告進行分析，作為相互佐證的依據。

三、研究工具與發展

欲達到前述的研究目的，本研究設計模型種類與階層評鑑表、半結構性之訪談問題，以檢測學生參與物理科展活動時，在不同階段所建立的模型種類與階層。

(一) 模型種類與階層評鑑表

科展過程中學生建構的表徵類型如表 2 所示，本研究依據學生在科展實驗中建構的表徵類型做出分類，例如具體表徵模型視為實驗過程中具體的材料物質；動作表徵模型是指操作實驗器材；視覺表徵模型是指依據實驗結果所繪製之圖或表；語彙表徵模型是指文字或口語描述實驗結果與發現以及公式或方程式是可以鑲嵌在學科語言中；而數學表徵模型則是公式或數學方程式，物理性質或過程可以被表徵為描述相關概念的數學方程式。再參考 SOLO 分類法 (Biggs & Collis, 1982) 與模型種類的分類架構 (Boulter & Buckley, 2000) 形成本研究之模型種類與階層評鑑表 (見表 3)，其中一個向度依據 SOLO 分類法的結構層次區分出表徵模型的層級，分別為單一結構、多重結構、相關性以及延伸抽象層級；而另一個向度為表徵模型的種類，包括具體的、動作的、視覺的、語彙的以及數學的表徵模型。表 3 為本研究所設計之模型種類與階層評鑑表，經由 2 位具有物理背景之科教博士及 2 位具有帶領學生做科展經驗的國中教師進行專家審查，提供意見作為修正建議，最後完成評鑑表。

表 2 本研究科展活動表徵模型類別說明

模型類別	定義	科展活動內容舉例
具體模型	實驗器材	● 不同的棉繩、木棍、砝碼等器材
動作模型	操作實驗器材	● 將不同的棉繩、木棍、砝碼等器材組織起來
視覺模型	形成數據表或將數據繪製成關係圖	● 測量養樂多瓶滑落瞬間的重量所記錄的數據表格 ● 將紀錄的數據表格繪製成二維關係圖
語彙模型	解釋圖、表或是數學關係式的意義	● 說明所記錄的數據表格的意義 ● 說明繪製成關係圖的意義 ● 說明繪數學關係式的意義
數學模型	數學關係式	● 數學關係式，例如： $T/T_0 = e^{\mu\theta}$

(二) 半結構性訪談

表3 模型種類與階層評鑑表

模型的種類		具體模型 (Concrete) (實驗器材)	動作模型 (Gestural) (實驗操作)	視覺模型 (Visual) (圖或表)	語彙模型 (Verbal) (文字敘述)	數學模型 (Mathematical) (方程式運算)
SOLO 階層	意義					
單一結構 (Uni-structural)	表達的模型只停留在簡單、單一的聯結。	能呈現固定不變之變項實驗器材，例如：固定圖數與特定懸掛砝碼數量的器材	操作固定單一變項實驗，例如：操作固定圖數與特定懸掛砝碼數量的器材	單一數據表，例如：在記錄簿上紀錄固定圖數與特定懸掛砝碼數量之實驗數據	說明單一數據表的結果與意義，例如：固定圖數與特定懸掛砝碼數量，而另一端掉落所需重量的結果與意義	單一變項，例如：懸掛砝碼變項 T_0 ；纏繞圈數 θ
多重結構 (Multi-structural)	表達的模型涵蓋許多成份而非只有單一內容，然而其內容的呈現仍是相互分離的或是質性關係。	能呈現不同變項實驗器材，例如：固定圖數，並改變懸掛砝碼數量的器材	操作不同變項實驗，例如：固定圖數，並改變懸掛砝碼的數量	將數據做成單一 Excel 圖，例如：透過 Excel 工具將固定圖數，並改變懸掛砝碼的數量的數據繪製成單一直線圖	說明單一 Excel 圖的結果與意義，例如：固定纏繞圈數但是不同懸掛砝碼數量，而另一端掉落所需重量的結果與意義	兩個變項之間的關係，例如：掉落所需之最大質量 T 與懸掛砝碼 T_0 成正比，即 $T \propto T_0$ 。
相關性 (Relational)	表達的模型展現許多成份並且能夠整合形成整體。	能呈現不同變項間的實驗器材的配置，例如：不同圈數以及不同懸掛砝碼數量	操作不同變項間的實驗，例如：不同纏繞圈數以及不同懸掛砝碼的數量	合併多個實驗 Excel 圖，例如：透過 Excel 工具將多組數據合併繪製成多個直線圖	說明合併多個實驗 Excel 圖的結果與意義，例如：不同纏繞圈數以及不同懸掛砝碼的數量，另一端掉落所需重量的結果與意義	將各個變項組合成一個方程式，並能詮釋方程式的意義，例如： $T = T_0 * e^{\mu \theta}$ ； $\ln(T/T_0) = \mu \theta$ (μ 在此為木棍與棉線間之最大靜摩擦力係數)
延伸抽象 (Extended Abstract)	表達的模型能夠概念化實驗所獲得的事實，同時能夠達到遷移性的理解。	藉由外延，類推所欲探討實驗之實驗器材，例如：探討彈性或是接觸面所需之器材	藉由外延，類推所欲探討的實驗結果之操作，例如：探討彈性、接觸面對 C' 因素的影響	以多個實驗 Excel 圖做出外延的結果，例如：推估 4.5 圈時養樂多瓶落下之重量	對多個實驗 Excel 圖做出外延並說明其結果與意義，掉落所需重量的結果與意義	外延、修正方程式或提出新的方程式，例如： $T = T_0 * e^{\mu \theta + C'}$ (C' 在此為截距，受到繩子的彈性以及接觸面的性質影響)

訪談大綱內容依據探究三階段（見表 1）與模型種類與階層評鑑表（表 3）所設計。訪談問題首先依據初始、執行與完成階段做出區分，其中初始階段指學生從學生剛開始參與探究活動、尋找題目、完成初步的實驗架構規劃。而執行階段為依據不同的變因更換，學生規則性地操作與紀錄數據、將結果製作成表或圖，尋找數據中規則性的趨勢。完成階段為比較結果、整理資料以及進行報告寫作。其次各階段再依據表 3 中表徵模型的分類詢問學生所建構的表徵模型的種類，包括：實驗器材（具體模型）及其使用（動作模型）、描述實驗結果與發現（語彙模型）、實驗結果的圖與表（視覺模型）以及所運用與理解的數學關係式（數學模型）。訪談大綱初步邀請一位曾經帶過科展的國中現職科學教師進行訪談，以了解初擬大綱的適切性並進行初步的修改，之後，再請上述之具有物理背景之科教博士進行修正，形成訪談大綱，內容如附錄一所示。

四、資料收集與編碼

本研究資料主要來自學生晤談口語資料以及學生科展作品。每位學生晤談時間約莫 45 分鐘，晤談時間為新北市科展市賽結束之後兩星期內晤談完畢。並將晤談資料轉錄成文字資料，再以模型種類與階層評鑑表為依據而找出類別。編碼內容如表 3 所示，編碼方式以兩個代號組合區分，前一個代號有 C、G、Vis、Ver 以及 M 分別表示具體模型（concrete）、動作模型（gesture）、視覺模型（visual）、語彙描述模型（verbal）以及數學模型（mathematical），而後一個代號 U、M、R、E 則分別表示單一（uni-structural）、多重（multi-structural）、相關（relational）以及延伸抽象（extended abstract）結構。編碼時以兩階段進行，首先以表徵類型進行編碼，例如當學生在操作實驗器材，則編碼為動作表徵模型（簡寫 G），若學生繪製數據表格則編碼為視覺表徵模型（簡寫 Vis）。確認學生建構的表徵模型類型之後接著再依據表徵模型牽涉的變因進行結構層次的編碼，例如：學生對於器材的操作（學生實質上已經建構出動作表徵模型）只是在測試器材是否可行而未考慮不同器材間的可能關係，則編碼為動作表徵模型-單一結構（簡寫 G-U）；若學生操作器材時已經考慮到兩種器材間的組織關係則編碼為動作表徵模型-多重結構（簡寫 G-M）。同樣地，如果學生建構出視覺表徵模型只呈現出單一行列的數據而無法透過數據說明數據間的關係，則編碼為視覺表徵模型-單一結構（簡寫 Vis-U），若數據呈現出兩個變因之間的關係，則編碼為視覺表徵模型-多重結構（簡寫 Vis-M），如果數據表格能夠呈現出三個變因之間的關係時，則編碼為視覺表徵模型-相關結構（簡寫 Vis-R），而數據表格能夠呈現修正數學關係式

或實際進行預測則編碼為視覺表徵模型-延伸抽象結構(簡寫 Vis-E)。以 S1 學生為例：

T：在初始階段的時候，你如何去組織、裝配或配置你要用的實驗器材？

S1：先把基本的實驗器材買好，然後做最開始的那幾組實驗，剛開始的時候是用架子把木棍固定住，後來發現到後面的時候，架子會滑，後來就改成用椅子，然後用兩個腳，把它夾住的方法，然後把它固定住。(C-U、G-U)

T：在這個階段裡頭，初始階段裡頭，你做了哪些實驗？

S1：開始的時候只有把木棍(管徑大小)跟砝碼的克數改變(C-M、G-M)，然後之後做比較多的時候才開始改變圈數，之後才又做了幾個不同的實驗器材，像養樂多罐並排，還有下面掛著鐵圈的實驗器材。(C-R、G-R)

當學生進行纏繞相同圈數的數據收集時，因為是動手操作屬於動作表徵模型，因此先編碼為 G，接著再依照實驗變因操作的數量進行編碼，如果只有單一變因的討論，則編碼為 G-U，若是額外再進行另一個變因，即兩個變因，但未討論兩個變因間的關係，則編碼為 G-M，若將兩個變因關係共同討論，則編碼為 G-R，若是探討到方程式的限制與侷限時，則編碼為 G-E。學生科展作品也是以相同方式進行編碼。學生範例中，S1 剛開始進行實驗操作只能確認出個別實驗器材的功能(用架子把木棍固定住...)，因此編碼為 G-U。之後學生進行兩個變因的探討(木棍、管徑大小跟砝碼的克數改變)，因此編碼為 G-M。接著說明改變纏繞圈數時操作器材的情形(開始改變圈數，之後才又做了幾個不同的實驗器材)，因此編碼為 G-R。

由於事後回顧，當 S1 學生說明實驗器材時同時間也包括對實驗器材進行操作，因此當固定木棍的動作即包括具體模型(C)以及動作模型(G)，而學生只說明固定單一木棍，尚未組織其他器材因此歸為單一結構，分別編碼為 C-U 以及 G-U；接著學生開始著手討論木棍與砝碼數量的改變時，說明兩個變因的器材與操作，因此編碼為 C-M 與 G-M；再改變纏繞木棍圈數時編碼為 C-R 與 G-R。編碼效度部分，商請前述 2 位物理背景之科教專家進行審查；信度部分，研究者依據模型種類評量表先自行評定口語資料，再商請一位科教所博士班在學學生隨機評定 30%的訪談資料內容，計算出兩者的評分者一致性為 80%。

肆、研究結果

下述研究結果依據對應之研究問題以及不同學生在不同探究時期做出說明。

一、對應研究問題(1)：不同探究階段個案學生所建構表徵模型的種類與階層為何？

(一) 事後訪談之模型種類與階層分析

1. S1 學生逐步建構具體、動作，逐漸形成視覺、語彙以及數學表徵模型，並且從單一結構逐漸提升至延伸抽象結構

從口語資料，我們發現科展學生 S1 在初始階段時，開始嘗試組織實驗器材。剛開始先固定木棍再開始改變其他變因，例如：木棍粗細、懸掛砝碼重量以及纏繞的圈數，也就是說 S1 透過實驗器材的找尋以及操作產生具體模型和動作模型。當確認器材可行的時候，S1 接著開始紀錄單一變因的實驗數據，並將數據結果繪製關係圖（例如：改變纏繞圈數與承受最大重量）形成視覺模型。在此時間，S1 所建構的具體模型、操作模型、視覺模型以及語彙模型，都從單一變因的單一結構向上延伸至兩個變因之間的相關結構。但是 S1 對於數據結果的解釋多以質性詮釋呈現，並未以數學方程式描述兩個變因之間的關係，因此語彙以及數學模型是停留在多重結構（對話如下，底線部分呈現重點及其相對應的編碼內容）。

初始階段（男生編碼為 S1）：

T：在初始階段的時候，你如何去組織、裝配或配置你要用的實驗器材？

S1：先把基本的實驗器材買好，然後做最開始的那幾組實驗，剛開始的時候是用架子把木棍固定住，後來發現到後面的時候，架子會滑，後來就改成用椅子，然後用兩個腳，把它夾住的方法，然後把它固定住（C-U、G-U）。

T：在這個階段裡頭，你做了哪些實驗？

S1：開始的時候只有把木棍跟砝碼的克數改變（C-M、G-M），然後之後做比較多的時候才開始改變圈數（同時改變懸掛砝碼質量），之後才又做了幾

個不同的實驗器材，像養樂多罐並排，還有下面掛著鐵圈的實驗器材（C-R、G-R）。

T：你們在這些研究結果上有什麼發現？

S1：剛開始是有發現，好像木棍的號數愈大的時候，懸掛物的重量也會愈大（Ver-M、M-M），還有圈數改變，圈數愈多的時候，懸掛物的重量也會愈來愈大（Ver-M、M-M），還有砝碼克數增加，懸掛物重量也會跟著變大（Ver-M、M-M）。

T：初始階段的時候，你製作了哪些與實驗相關的圖或表？

S1：1 到 5 號的木材，還有同一個克數之下的圖表（Vis-U、Vis-M），還有同一個木材，不同克數的圖表。（Vis-U、Vis-M）

S1：（使用電腦說明）剛開始是做這一種的，還有這一種的，還有把這一行的平均值跟這個的平均值，然後就 5 個木棍的全部用在一起，然後去求。（Vis-R）

到了執行階段 S1 學生已經能夠針對實驗器材自行組織與操作，並且能夠依據收集的數據繪圖，探討變因之間的關係，但是對於結果的描述仍著重在質性描述而非量化關係的呈現，因此 S1 學生在此階段所建構的具體模型、動作模型、視覺模型以及語彙模型已經達到相關階層，而視覺模型則同時涵蓋多重階段以及相關階層，然而數學模型仍停留在多重階段。

執行階段：

T：你在這一階段裡，你如何組織實驗器材的？

S1：這階段開始，改變它的圈數（同時改變懸掛砝碼質量），然後看做出來的實驗結果（C-R、G-R），它的關係圖還有趨勢圖。

T：那在這個（執行）階段裡頭，你做了哪些實驗？

S1：改變圈數吧（同時改變懸掛砝碼質量）...1.5 圈、2.5 圈、3.5 圈，全部做出來之後（C-R、G-R），發現有一些木棍還有棉線會撐不住，木棍有一些會變形，棉線有一些會斷掉。

T：在這個階段的時候，你們研究上有什麼發現？

S1: 開始接觸公式，然後 $\ln(T/T_0) = \mu\theta$ 的那個地方還沒懂（未達 M-R），然後前面的正向作用力和摩差力那個地方，就都懂了（M-M），然後我們就知道不只有這三個因素會改變它的實驗研究數據，那時候還有發現彈性。

T: 在這一個執行的階段，你製做了哪些跟實驗相關的圖或表？

S1: 把 1.5 圈（Vis-M）、2.5 圈（Vis-M）、3.5 圈（Vis-M）的每一個都抓出來，就是說同一個克數、同一個木棍，然後把它抓出來去比較，然後就做前面的那兩種圖表，然後之後再把 1.5 圈、2.5 圈、3.5 圈做出來的三張，全部疊在一起，然後再一起比較（Vis-R）...從圖 36（Vis-R）可以看出來，3.5 圈的這一條線它沒有像 1.5 圈、2.5 圈那麼緩，然後它的那條線比較靠近 y 軸，然後這兩條線比較靠近 x 軸，這也可以看出他們的差距比較大，第 5 個是因為做不到，因為木棍快要斷掉而線有一些已經斷掉了（Ver-R）。

T: 在這個階段裡，你們所理解到或運用到的數學運算式有哪些？

S1: 理解到正向作用力與摩差力 $F = \mu R$ 吧（M-M），然後那個東西已經理解，然後後面 $\ln(T/T_0) = \mu\theta$ 的那個地方，基本上大家都還是有點不懂（未達 M-R）。

最後完成階段時，S1 學生發現關係圖會趨向一點而非平行線，因此開始比較實驗數據與理論公式的結果差異，提出並討論差異的可能因素可能來自於纏繞物的彈性以及被纏繞物表面材質的特性，以修正理論公式，此階段所有的模型種類都達到延伸抽象階段。最後將 S1 學生初始、執行以及完成階段之建構表徵模型類型與階層繪製成圖 3。

完成階段：

T: 說明一下在這個階段的時候，你如何去組織你的實驗器材？

S1: 在這個階段的時候，我們做出來的 $\ln$ 圖，三個不同圈數做出來的 $\ln$ 圖，就全部都趨於一點（Vis-R），和我們一開始想的有一點落差，所以我們就去改變它的膠帶面性質還有它的彈性，然後再去做一次實驗，我們改成沒有彈性的是尼龍繩（C-E、G-E），然後尼龍繩的那一張圖是趨於平行的（Vis-R），然後膠帶面那一張也是比一開始的那一張要趨於平行（Vis-R），所以就可以從這裡看出這兩個（條件）也是影響它的因素之一。

T：在這個完成階段的時候，你有去補做哪些實驗，怎麼做的呢？

S1：有做 4.5 圈的砝碼，4.5 圈的那一組（C-M、G-M），因為是要去驗證推估出來的數據。

T：在完成階段，研究上有什麼發現？

S1：發現原來改變的因素不只克數、圈數、木棍號數，還發現，更確定張力差，還有棉線的性質，還有接觸面的性質。

T：這些性質的關係是什麼？

S1：我們從參考資料中得到的 $\ln(T/T_0) = \mu\theta$ ，然後我們在後面加一個 C' ，然後它的意思應該是那一段的截距，然後把那個 C' 扣掉之後，因為截距會變小，所以它們（不同組的趨勢線）會比較趨於平行。（Ver-E、M-E）

T：在這個階段的時候你們製作了哪些和實驗相關的圖或表？

S1：就是把尼龍繩還有膠帶面的都做出來（Vis-R），還有把張力差的圖都扣一扣（Vis-R），還有把其他的實驗 $\ln$ 值全部都求出來（Vis-R、M-R）。

S1：...像 2 號和 3 號（木棍），就可以看出來，扣除張力差，它就比較接近平行（Ver-R）...

S1：然後這是尼龍繩做出來的，就是跟我們想的一樣，把 C' 的因素用掉之後，它就比較趨於平行（Ver-E），然後就變這一個圖（Vis-R），然後這上面好像沒有數據，就是把它的圈數，按照同一個圈數，然後把它的那個 $\ln$ 值做出來（M-R），然後做那個圖表（Vis-R）...還有就是膠帶面的（圖）（Vis-R），然後也沒有像前面那個那麼聚集（Ver-E），然後這個也是圈數改變，然後把它的 $\ln$ 值做出來（M-R），然後去做這個...

T：在完成階段，你們所理解到或所運用到的數學運算式有哪些呢？

S1：我們那個時候把 $\ln(T/T_0) = \mu\theta$ 理解完之後，然後又做了其他實驗，又在後面加了一個 C' ，然後去把我們的關係式變的更完整，因為 $\ln(T/T_0) = \mu\theta$ 沒有那麼完善，然後我們去更正它。（M-E）

T：你怎麼判斷那個是 C' ？

S1：它的線比較趨於平行，代表摩擦力係數比較接近，所以就代表它的...

就是從摩擦力係數可以看出它是同一根木棍，然後我們就可以從這裡發現跟之前 In 的摩擦力係數比較之後，就可以發現，之前的落差比較大，然後當我們把 C' 的因素加進去之後，摩擦力係數落差會比較小。(Ver-E、M-E)

T：所以 C' 是怎麼樣的情況下，你們會覺得說應該會有 C' 的東西存在。

S1：我們再去推的時候，就是推（測）4.5 圈的時候（Vis-E），我們之後又做了一次 4.5 圈的（實驗）時候（C-M、G-M），有加 C' 的跟做出來的實驗數據差比較少，然後沒加的就差很多（Ver-E）。

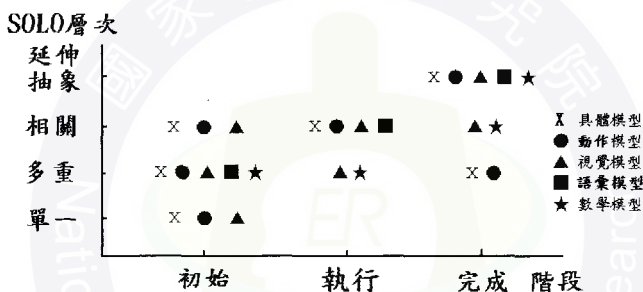


圖 3 科展學生 (S1) 之模型種類圖

2. S2 學生建構之表徵模型與 S1 具有相似的發展

科展學生 S2 類似於 S1 具有相似的圖樣，但內部亦具細微的差異。在初始階段，S2 開始找尋欲操作的實驗器材，並以懸掛砝碼質量為開始實驗的變因，之後再改變木棍粗細、纏繞圈數做為後續變因的操作。接著依據所記錄的實驗數據以試算表繪製成關係圖，以質性的方式說明懸掛砝碼、木棍粗細以及纏繞圈數與承受最大負載重量的關係。量化數學關係的詮釋，仍在學習理論數學式的意義，尚未能對所做結果進行說明。因此 S2 學生在此時期建構具體模型及動作模型達到單一以及多重階層，視覺模型及語彙模型則達到多重階層，而數學模型在此階段相同於 S1，達到多重階段。

初始階段（女生編碼為 S2）：

T：你怎麼把這一些實驗器材組裝起來的？

S2：我們用上次那個組員想出來的方法，然後找尋可以用的器材，然後我們找到木材做它懸掛圈數的東西，我們再用架子把他架起來。(C-U、G-U)

S2：我們用線纏繞它（木棍），然後改變砝碼，滴管滴（水），看它的實驗（結果）（C-M、G-M）有沒有不一樣的地方。

T：找什麼樣的不一樣呢？

S2：木材粗細對它的影響（C-M、G-M），還有線纏繞圈數（C-M、G-M）和另一端砝碼的重量（對它的影響）。（C-M、G-M）

T：在初始階段做了哪些實驗？是怎麼做的？

S2：我們用了三個變因，第一個是改變它的砝碼，然後做各個木材不同粗細它的結果以及它的關係（C-M、G-M）；然後第二個是木材的粗細對它的影響（C-M、G-M）；第三個是它的纏繞圈數（C-M、G-M）

T：說明一下你們在這一個階段的時候，有什麼樣的研究發現？

S2：克數越大的話，養樂多瓶掉下來的質量也要越大（Ver-M、M-M），然後，纏繞圈數越多的話，需要越大的質量，才能掉下來。（Ver-M、M-M）

T：你們做了哪些跟實驗相關的圖跟表呢？

S2：三種變項的各個報告的圖，改變克數（Vis-M）、改變圈數（Vis-M），得到的一個 Excel 的圖。

T：請說明在這一階段你們所理解或運用到的數學運算式有哪一些呢？

S2：我們從國外的網站上找到了討論的理論公式，然後由老師講解，我們先將它（接觸面）設為非常小，所以接觸面只有一點，然後到後面再把這些點連加起來，用積分的方式求出它的結果。

T：剛開始的時候理解到的公式的層面有多少呢？

S2：接觸的弧長設為非常小，那麼它的力量（會集中）在一點，（再拆成）相互垂直的分力。

在執行階段時，S2 學生主要以纏繞圈數、懸掛重量以及木棍粗細等變因組成具體與動作模型，並分別達到單一、多重階層，而視覺模型及語彙模型則達到相關階層，而數學模型仍屬於多重階層但與初始階段比較之下，對理論公式的理解已有進展。

執行階段：

T：此時你如何去組織、裝配或是配置實驗器材的？

S2：因為我們做的砝碼克數越來越大，它掉下來的質量光是一個養樂多瓶的水是不夠的，所以我們改了另外三種的養樂多瓶...第一個是原始的只有一個，第二個是兩個連在一起兩個一起用，第三個是下面再用一個架子，然後可以把大支的鐵餅放下去（C-U、G-U）。

T：在這個階段裡頭你做了哪些實驗呢？怎麼做的呢？

S2：像是 20g 的砝碼，（選）用養樂多瓶 3（號）或 2（號）是比較好的，它的纏繞圈數越大的話，掛砝碼也更大的話（C-M、G-M），（20g 砝碼）建議是用 3 的話，會比較恰當（C-M、G-M）。

T：在這一階段裡頭，研究上有什麼樣的發現？

T：你可以看（科展）報告沒有關係。

S2：摩擦力在 $\ln(T/T_0)$ 的關係表（Vis-R）

T：請圈出來好了，所以開始計算 $\ln(T/T_0)$ 的關係表，這個意思是指？

S2：（計算）摩擦力。

T：你們在這個階段有什麼發現？

S2：它的實驗的關係會更準確。

T：更準確是指說？

S2：（Excel 圖）趨勢會略呈直線（Ver-R）。

T：在這個階段，你製作了哪些和實驗相關的圖或表？

T：可以請你圈出來嗎？

S2： $\ln(T/T_0)$ 的圖（Vis-R），還有（從 Excel）求出它的 μ 值。

T：在執行階段的時候，你們所理解或所運用到數學運算式有哪些？

S2：把它之前求的那個點連加起來，在曲面的限定範圍，利用公式求出它往後延。

T：可以準確的指出來嗎？

S2: $T = T_0 \cdot e^{\mu\theta}$

T: 這時候你大概理解到全部公式的幾成？

S2: 8 成（未達 M-R，編碼為 M-M）...有些地方不是很了解。

T: 譬如說哪些地方？

S2: $\ln(T/T_0)$ 為什麼等於 $\mu\theta$ 。

最後完成階段，S2 學生主要設計實驗說明實際實驗數據與理論關係之間差異的原因，包括相關的實驗器具、操作、實驗紀錄、說明以及修正數學關係式，皆透過四個組成的變因（纏繞圈數、砝碼克數、木棍大小、摩擦力）說明理論關係式的修正，因此使得相對應之具體模型與動作模型、視覺模型、語彙模型以及數學模型皆達延伸抽象階段。最後將 S2 學不同階段之建構表徵模型類型與階層繪製成圖 4。

完成階段：

T: 你如何去組織、裝配或是裝置實驗器材的？

S2: 克服張力差的部份（C-E、G-E）。

S2: ...在科展初審裡，評審老師有提出張力差的問題，我們開始尋找張力差的變項。

S2: 就可能（不同）砝碼的重量拉力有可能影響它的緊繃程度，造成摩擦力的大小有改變，所以呢，另一端掉下來的瓶子裡面的重量也會被影響（Ver-R）。

T: 為什麼要扣除張力差呢？

S2: 因為它的拉力緊繃程度會有影響，所以我們必須把它的拉力做到的緊繃程度增加的克數要減掉（Ver-R）。

T: 在完成的階段，你補做了哪些實驗？怎麼做的？

S2: 膠帶面（C-E、G-E）、然後扣除張力差（C-E、G-E）。

T: 為什麼想到補做這兩個實驗呢？

S2: 因為我們後來更改了公式，找出了它的變因，我們目前發現有這兩組結果的變因是會影響它的，所以我們根據這兩個結果做了實驗（C-E、G-E）。

T：你們在研究上有什麼樣的發現？

S2：我們已經找出它可以計算的部份，然後也求出、推估它的 4.5 圖的結果 (Vis-E)，然後實驗發現多了 C' 的公式算出來之後，跟實際做 (4.5 圖的結果) (C-M、G-M) 和推估出來的會比較接近 (Ver-E)。

T：比較接近是指？

S2：養樂多瓶水的質量和算出來的會比較接近。

T：這樣代表的意義是？

S2：加了 C' 比原先公式算出的，較更為準確 (M-E)。

T：你們在完成階段的部份，你們製作了哪些跟實驗相關的圖跟表呢？

S2：我們先把它變項有關的代進去之後再重新製圖，它的公式 $y=ax+b$ ，因為 b 是截距，當我們扣除截距之後， R^2 會更準確。

T：哪些圖呢？

S2：膠帶面的地方 (Vis-R)，還有沒有彈性的尼龍繩的部份 (Vis-R)。

T：此時你們所理解或運用到的數學運算式有哪些呢？

S2：我們更改了方程式變成 $\ln(T/T_0) = \mu\theta + C'$ (M-E)。

T：這個的意義是什麼？

S2：就是加入了更多的變項，然後求出它變項扣除的差之後，求得更準確的 μ 跟砝碼所需要的質量 (Ver-E)。

T：所以這時候你所理解的數學運算式有哪些？

S2：題目講的 $\ln(T/T_0) = \mu\theta + C'$ (M-E)。

T：那你所運用到的數學運算式呢？

S2：就是後來修正的方程式。

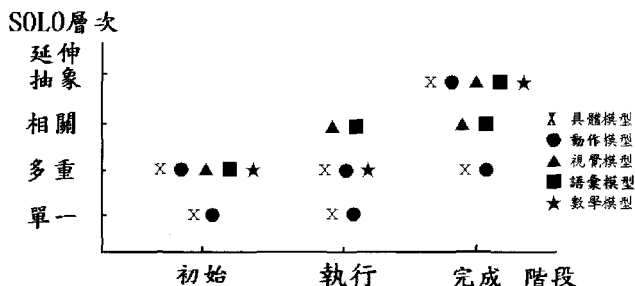


圖 4 科展學生 (S2) 之模型種類圖

(二) 科展報告之模型種類與階層分析與學生事後回溯結果相似

經由口語訪談資料的分析，兩位學生模型建立的主要順序為具體/動作、視覺、語彙描述最後是數學，依循逐漸由具體的實驗器材配置與操作，轉至具體/抽象的數據圖表，最後再以數據圖表說明或推論抽象的數學模型。由於訪談時間已是學生比完新北市賽之後，因此為求模型建立的準確性，本研究繼續對兩位科展學生所完成的科展報告內容依據模型評鑑表做相同形式的分析，結果如圖 5 所示。透過圖 5，我們可知在初始階段所有種類的模型都達到多重階層，沒有單一階層，與訪談資料差異的原因可能為口語訪談中較有時間順序，學生也較能依照科展的時間順序作回答，而且科展報告內容是重點的呈現，因此容易忽略掉基礎的層次階段；在執行階段所有的模型都達到多重階段，而視覺模型、語彙模型以及數學模型已達延伸抽象階段（如圖 6、7），其中數學模型的階層與兩位學生經由口述方式所建立的數學模型階層（見圖 3、圖 4）差異甚大，可能的原因是科展報告是資料轉化後的結果呈現，並非完全依照探究的時間順序，此點與 Latour（1987）認為科學的報告內容隱含科學家的操弄類似。口語資料顯示學生在執行階段時對於理論公式並未完全理解，但是科展報告是整體研究完成之後所呈現的表述，因此數學模型才會形成口語描述內容與科展報告不同階層的差異；最後完成階段與兩位科展學生的語彙模型類別與階層相似的包括具體模型、動作模型、語彙模型以及數學模型，四種模型種類都達到延伸抽象階段，而視覺模型則仍屬於相關階段，與兩位學生五種模型都達到延伸抽象階段有所差異，原因與熟悉階段的情況相似，其中屬於延伸階層的纏繞 4.5 圈外延計算的視覺模型，兩位都依照時間順序其歸類在完成階段，而科展報告在執行階段已經顯示。

科展報告分析與訪談資料的分析都顯示出學生所建立的模型在不同的階段具有

不同的層次結構，在初始階段達到多重層次結構，在執行階段達到相關層次結構，最後完成階段達到延伸抽象層次結構，再從訪談資料中更得知要達到高層次的結構，必須建立在低層次結構的達成。

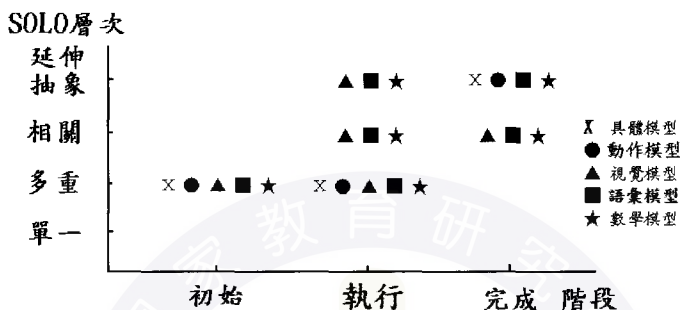
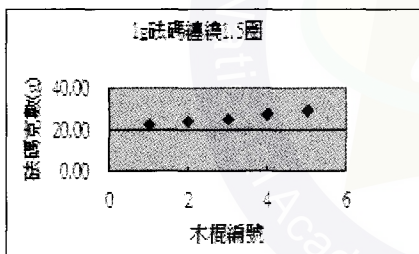


圖 5 本研究科展報告內容之模型種類圖



以其預測懸掛 1g、2g、5g、10g 與 15g 的砝碼，纏繞 4.5 圈時瓶子落下瞬間之總質量的理論值。依據 $\ln(T/T_0) = \mu\theta - C'$ ，化開成為 $T/T_0 = e^{\mu\theta - C'} \Rightarrow T = T_0 * e^{\mu\theta - C'}$ ，以懸掛 1g、2g、5g、10g 與 15g 的砝碼纏繞 4.5 圈代入上述式子，求得分別為 771.7g、1538.1g、3119.4g、4285.9g、5938.7g。

圖 6 科展報告之視覺模型 (Vis-M) 舉例 圖 7 科展報告之數學模型 (M-E) 內容舉例

二、對應研究問題(2)：個案學生所建構概念與表徵模型發展關係為何？

(一) S1 學生逐步確認科展探索的變因並發展相對應的具體、動作、視覺、語彙以及數學表徵模型

科展學生在探究歷程中主要以四個變因（纏繞圈數、砝碼克數、木棍大小、摩擦力）影響最大支撐重量作為自身概念模型建構的主軸。學生 S1 概念發展與建構表徵類型的關係如圖 8 所示，初始階段以 1 長 1 短線標示，執行階段以長實線標示，完成階段以多短點標示。在初始階段（見圖 8 長短線區分之白底表徵模型）S1 從獨自不相關的砝碼與木棍建構出砝碼克數、木棍圈數與最大支撐重量的關係，同時再增加至不

同纏繞圈數與最大支撐重量的關係，最後再透過三個變因（木棍、砝碼與纏繞圈數）的建立發展出相對應的具體、動作、視覺、語彙以及數學表徵模型，例如：S1 學生在此階段透過具體的組織實驗器材（具體表徵模型）與實際操作實驗器材（動作表徵模型）建構出砝碼、木棍與最大支撐重量間的關係，依據數據表格的資料（視覺表徵模型）進行數據意義的解釋（語彙模型）與說明變因間的關係（數學模型）。在執行階段（見圖 8 長實線區分之白底與淺灰色底表徵模型）時部分建構的表徵類型在初始階段已經建立，因此部分建構的表徵類型相同。此時 S1 藉由初始階段建構的變因關係（砝碼、木棍與纏繞圈數）為基礎，持續進行組織與操作實驗的工作，並發展出三個變因的結果解釋（語彙模型）。同樣地在校內競賽之後的完成階段（見圖 8 短點線區分之白底、淺灰與深灰色底表徵模型）部分建構的表徵類型在先前階段已經建立，此階段學生開始著手思考實驗結果與理論關係式的差異，並增加摩擦力的變因納入影響最大支撐重量的因子，在此學生藉由四個變因的概念內容（砝碼、木棍、纏繞圈數與摩擦力）組織實驗器材（具體模型）與操作實驗器材（動作模型），收集數據繪製關係圖（視覺模型），並解釋摩擦力影響的原因（語彙模型）與修正的數學關係式（數學模型）。

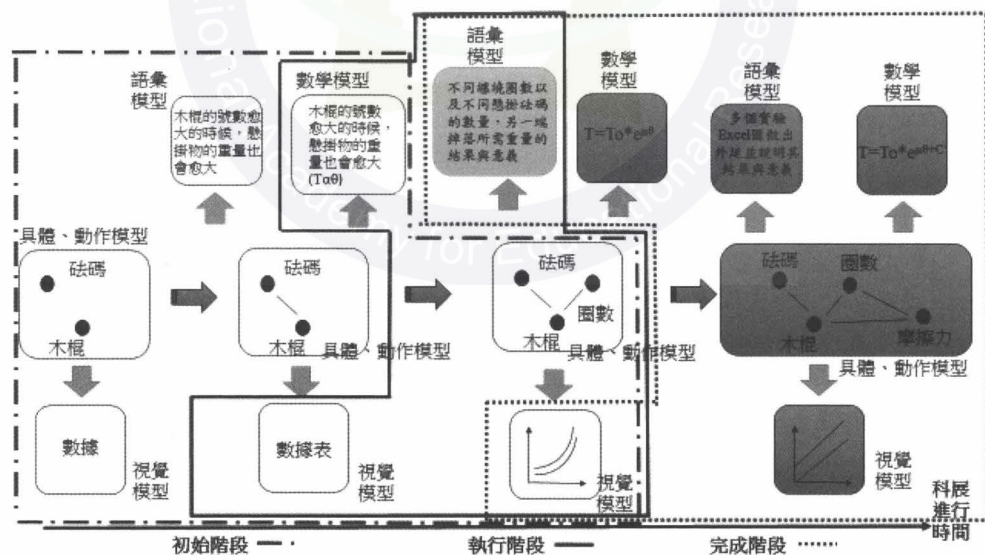


圖 8 S1 學生概念與表徵模型發展關係圖

(二) S2 學生概念模型與建構之表徵模型與 S1 具有相似的發展

學生 S2 概念發展與建構表徵類型的關係如圖 9 所示，初始階段以 1 長 1 短線標示，執行階段以長實線標示，完成階段以多短點標示。在初始階段（見圖 9 長短線區分之白底表徵模型）S2 從獨自不相關的砝碼與木棍建構出砝碼克數、木棍圈數與最大支撐重量的關係（兩個變因間的關係），但未再增加至三個變因（砝碼克數、木棍圈數與纏繞圈數）與最大支撐重量的關係，此階段中透過二個變因的建立發展出相對應的具體、動作、視覺、語彙以及數學表徵模型。在執行階段（見圖 9 長實線區分之白底與淺灰色底表徵模型），S2 藉由初始階段建構的二個變因關係（砝碼、木棍）為基礎，持續進行組織與操作實驗的工作，並發展出三個變因的視覺、語彙以及數學模型，例如：S2 學生此階段實際透過組織砝碼克數、木棍大小以及纏繞圈數的實驗器材（具體表徵模型）並實際進行操作（動作表徵模型）建構出砝碼、木棍、纏繞圈數與最大支撐重量間的關係，依據數據表格的資料（視覺表徵模型）進行數據意義的解釋（語彙模型）與說明變因間的關係（數學模型），同時 S2 在此階段已經開始著手進行摩擦力影響理論關係式的結果差異，並發展出摩擦力如何影響理論關係式的解釋（視覺模型）與數學關係式（數學模型）。在校內競賽之後的完成階段（見圖 9 短點線區分之白底、淺灰與深灰色底表徵模型），學生更加確認校內競賽之前的實驗結果與理論關係式的差異，強化摩擦力的變因如何影響最大支撐重量的因子，學生藉由四個變因的概念內容（砝碼、木棍、纏繞圈數與摩擦力）繪製關係圖（視覺模型），並解釋摩擦力影響的原因（語彙模型）與修正的數學關係式（數學模型）。圖 9 中 S2 學生三個變因的建立（砝碼、木棍與圈數）未出現在學生口與資料中（圖 9 中央淺灰漸層具體與動作模型），顯示事後訪談學生遺漏的部分，但是完成階段時學生即從四個變因（砝碼、木棍、圈數與摩擦力）中建構出各種類型的表徵模型。

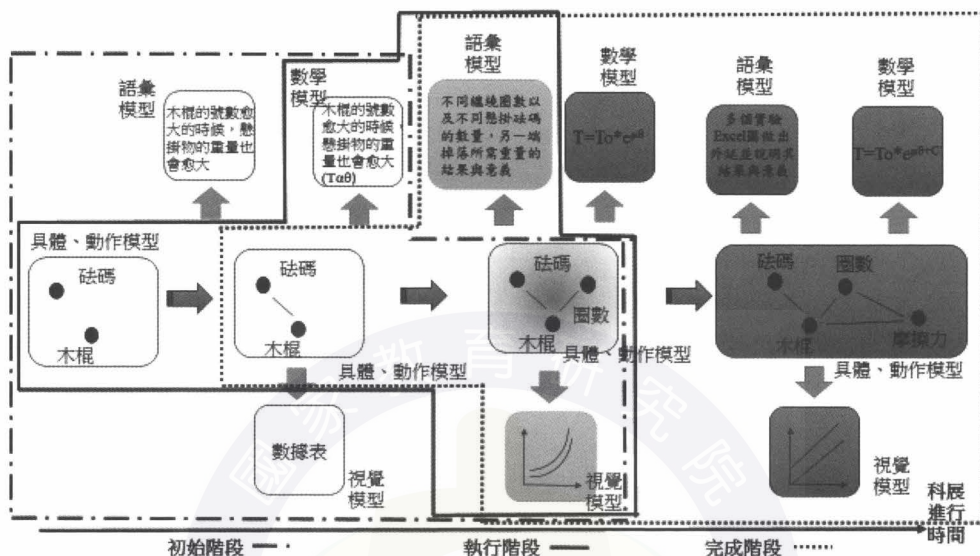


圖 9 S2 學生概念與表徵模型發展關係圖

伍、討論

一、學生依據不同目的使用特定表徵建構出特定表徵模型

本研究結果與對科學家的研究相似 (Giere, 2010; Nersessian & Potton, 2009)，個案科展學生隨著時間的進程會依據特定目的逐步建構出特定的表徵模型，然而科學家與個案學生建構表徵模型的目的並不相同，其中科學家主要強調建構出模型的解釋與預測功能 (Chinn & Malhotra, 2002)，而個案學生主要按照歸納法的解謎順序進行模型表徵的建構以說明模型內部變因之間的關聯性。

二、表徵模型的建構依據先具體而抽象的順序

個案科展學生建構表徵模型的次序與實證性科學研究或科展研究的發展順序相似 (周金城, 2002; Prins, Bulte, van Driel, & Pilot, 2008)，主要從現象中找出問題、設計

實驗之後開始收集數據資料，並從數據資料中建構出暫時性的解釋模型，再與理論關係式比較數據模型的差異藉以找出可能的影響因子。然而不同於科學家對於的表徵的運用自如（Dunbar, 1995；Latour, 1987；Nersessian & Potton, 2009），個案學生缺乏理論背景知識，因此學生建構表徵模型強調的是變因數量與關係逐漸增加（例如：砝碼克數、木棍大小、纏繞圈數與摩擦力等）時伴隨建構的成果，包括具體、動作、視覺、語彙以及數學表徵模型，即從具體的器材組織與操作逐漸轉向抽象的數學方程式的建構。

三、表徵模型的發展序列

本研究修改 Boulter 和 Buckley 所分化的表徵模型類型（Boulter & Buckley, 2000），將科展個案學生可能建構的表徵模型類型化約成 5 種類型，包括具體、動作、視覺、語彙以及數學表徵模型。從學生口語資料中的確可以依據表徵的類型做出區隔，例如：當學生說明實際操作器材時即代表當下學生正在建構具體模型表徵，同時藉由組織過程將器材依據想法進行操作則視為動作模型。然而不可否認地，相同的表徵模型可能具有多種表徵形式，例如：當繪製關係圖的時候，通常學生會解釋關係圖的意義，因此呈現出來的關係圖會同時具有視覺表徵與語彙表徵的意義。本研究編碼時一律將不同的表徵形式分割成不同的表徵模型類型，而透過化約的過程亦可看出五種基本表徵模型的發展序列。

四、不同探究階段區分方法之適切性

本研究依據 Doherty 和 Evans（1983）所提出三階段論以及周金城（2002）針對科展學生探究歷程階段論進行修改。主要以探究的時間歷程，再加上個案學生對科展題目以及實驗操作的熟悉與執行程度作區分而形成初始階段、執行階段以及完成階段。初始階段與執行階段的差異主要在學生能夠確定研究方向，開始進行特定變因的實驗操作，例如：S1 學生確定纏繞圈數為實驗變因時，S1 從纏繞 0.5 圈做至 2.5 圈。而執行階段與完成階段的切割點在學生著手書寫研究報告時，當學生開始書寫研究報告表示科展活動即將結束，而在此階段所進行的實驗工作通常是提供整份研究達到融貫的重要訊息。然而是否尚有別種探究時間歷程的切割方式呢？不容否認地答案是肯定的，然而不同的時間切割點會得到不同但是相似趨勢的結果。也就是說即使使用不同的切割點，所獲得的結果差異只會在所建構模型相對次數的分析上，在模型建立的種類與發展順序因為是相同受試者，其結果並不影響。

五、模型種類與階層分類法的使用

Boulter 和 Buckley (2000) 的分類架構只能說明類型而無法區分所建立模型階層高低，本研究額外輔以 SOLO 分類法作為分類依據的優點是能夠依照變因以及關係數量做出不同結構層次的區分。然而缺點是層次 3—關係階層相較而言較容易達成。容易達成的主要原因是當學生說出變因之間的因果關係時，即涉及兩個變因以及變因之間的屬性關係，然而若依此作為分類時結果時可能會高估學生的學習表現，因此本研究在歸類變因之間的關係時，將質性關係與量化關係描述以 SOLO 分類法的階層層次區分開來做比較。另外本研究減少混合模型的使用，單純將表徵型態直接作為學生可建立的模型類型，也就是說若學生單純說明結果則以語彙模型稱之，若解釋時涉及數學關係式，則同時歸類數學模型以及語彙模型。在分類上減少學生建立的表徵模型類型，但是卻可更簡易地看出學生建模的表徵模型為何，減少評鑑表部分細格 (cell) 類型的空缺，達到本研究設計之模型種類與階層分類法實際應用的價值。

陸、結論與建議

一、結論

學生透過探究主動建構之模型，能夠架構科學理論與學生經驗之間的隔閡，能夠讓學生階段性地逐步理解並詮釋其所建立的模型，並且能夠協助對於實驗過程的記憶與解釋，比起教師直接提供的方式更有效率。科展個案學生所建構的模型種類，包括具體、動作、視覺、語言描述以及數學，都可以視為個人思考的方式之一，並且不斷地在探究歷程中確認與修正，因此，對於模型建構的進展是逐漸的，先透過簡單的、具體的模型操作再進展至複雜的、具挑戰性的模型類別。不同探究階段的模型建構是從具體的實驗器材的擺設先進行，再對器材進行操作，獲得數據之後整理成數據表，再從試算表中觀看數據資料趨勢，以此驗證或修正數學模型，因此探究的模型建構是從具體到抽象，再從層次低到層次高。

(一) 相同探究時期，建造不同種類的模型

本研究經由訪談資料可以證實個案學生皆能夠在探究的初始階段即開始確認或

建立具體、動作、視覺、語彙描述以及數學模型，到了執行階段以及最後完成階段仍不間斷地建立其模型架構。由此得知，透過探究歷程的學習，學生可以建構多種的具有目的性的模型。

（二）不同探究時期，建造相同種類不同層次結構的模型

本研究之兩位科展學生在探究的初始階段所建立的模型，包含具體、動作、視覺、語彙描述以及數學模型其層次結構多屬於多重層次，到了執行階段建立的模型架構已經能夠達到相關性層次，而最後探究的完成階段，皆能達到延伸抽象階段。

綜上所述，科展學生進行表徵模型的建造是一個動態的建模歷程，不斷地進行表徵模型的建立與提升層次的歷程，本文從學生的模型建造分類，發現學生建造模型時按照不同時期，具有不同種類的模型階層，而高階模型的基礎是由低階模型的支持建造而得。

二、教學建議

本研究結果提供相關科學性社團或是科學實驗活動的建議如下：

（一）依據學生的先前經驗、依據不同探究歷程階段，逐次引導學生建立與主題相關的模型架構

本文經由實證獲得在實驗的探究歷程中，學生會在初始的歷程階段即開始建立不同的模型架構，而這些模型架構又是往後階段建立高層次結構的基礎，因此，在初始階段即要讓學生能夠科學性地操作與思考整個探究的主題與面向，從一開始即建立往後高層次結構的基礎模型概念。

（二）協助學生建立模型時，應先以具體後抽象的策略出發

本研究發現透過探究過程的引導，學生能夠在不同階段依序建構出不同型態的表徵模型。建議教師協助學生進行模型建構時，應從具體的實驗器材的擺設開始，再對器材進行操作，獲得數據之後整理成數據表，再從試算表中觀看數據資料趨勢，以此驗證或修正數學模型，探究的模型建構從具體模型逐漸到抽象模型，再從層次低到層次高。

三、研究限制與未來工作

相較於強迫性的課室教學活動，每間學校實際完整參與縣市科展活動的學生並不

多，而科展建模的種類與階層會因為學科特質與作品主題而有所差異，因此本研究僅據以 1 組物理科做出探討。同時為找出學生原始建模類型與階層，參與對象之前皆無參加過任何的科展競賽的訓練，並考量減少研究者的干預，於是採用事後分析法。然而可能會因為學生忘記內容或是重新組織而非學生實際當下的建模成果。因此需要歷程分析的方式以補差異。相關歷程分析的科展研究工作目前正在進行中。模型發展和認識與社會互動的元素密不可分 (Harrison & Treagust, 2000)，尤其是一般程度以及低年級的學生，特別需要教師從旁協助引導。本研究雖然針對科展活動進行探討，然而仍只著墨在師生共構的結果表現，而非探討教師與學生或學生與學生之間如何進行互動以及互動的模式類型而進行社會建構。因此未來工作將著重在探究過程中，教師在模型建造與模型認識的歷程中所扮演的角色，以及不同背景的成員如何透過社會協商的方式提出全體共同接受的模型。

誌 謝

本文作者對科技部科教發展與國際合作司（前國科會科教處）經費補助（NSC 99-2511-S-003-024-MY3、NSC 102-2511-S-003-006-MY3）、匿名審查者與期刊編輯群的具體建議，以及研究過程中提供協助的所有師生，在此一併致謝。

參考文獻

- 毛松霖、張菊秀（1997）。「探究式教學法」與「講述式教學法」對於國中學生地球科學—氣象單元學習成效之比較。科學教育學刊，5（4），461-497。
- 周金城（2002）。以孔恩的常態科學探究高中師生科學社群中科學探索活動的歷程—參與科學展覽活動之得獎個案分析（未出版之博士論文）。國立臺灣師範大學科學教育研究所，台北。
- 張志康、邱美虹（2009）。建模能力分析指標的發展與應用—以電化學為例。科學教育學刊，17（4），319-342。
- 教育部（2003）。國民中小學九年一貫課程綱要：自然與生活科技學習領域。台北：作者。

- Biggs, J., & Collis, K. (1982). *Evaluating the quality of learning: The SOLO taxonomy*. New York, NY: Academic Press.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives, the classification of educational goals. Handbook I: Cognitive Domain*. New York, NY: McKay.
- Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 41-57). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Doherty, E. J. S., & Evans, L. C. (1983). *Primary independent study*. Connecticut, CT: Synergetics.
- Dunbar, K. (1995). How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 365-395). Cambridge, MA: MIT Press.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Giere, R. N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172(2), 269-281.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*. 22(9), 1011-1026.
- Krajcik, J., Czerniak, C. M., & Berger, C. F. (1998). *Teaching children science: A project-based approach*. Boston, MA: McGraw-Hill.
- Latour, B. (1987). *Science in Action: How to follow scientists and engineers through society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Latour, B. (1990). Drawing things together. In M. Lynch & S. Woolgar (Eds.), *Representation in scientific practice* (pp. 19-68). Cambridge, MA: MIT Press.

- Milner-Bolotin, M. (2012). Increasing interactivity and authenticity of chemistry instruction through data acquisition systems and other technologies. *Journal of Chemical Education*, 89(4), 477-481.
- Minogue, J., & Jones, M. G. (2009). Measuring the impact of haptic feedback using the SOLO taxonomy. *International Journal of Science Education*, 31(10), 1359-1378.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In Carruthers, P., Stich, S. & Siegal, M. (Eds.), *The Cognitive Basis of Science* (pp. 133-153). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Nersessian, N. J., & Patton, C. (2009). Model-based reasoning in interdisciplinary engineering. In A. Mcijers (Ed.), *Handbook of the philosophy of technology and engineering sciences* (pp. 687-718). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Prins, G. T., Bulte, A. M. W., van Driel, J. H., & Pilot, A. (2008). Selection of authentic modelling practices as contexts for chemistry education. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1867-1890.
- Roth, W. M., & McGinn, M. K. (1998). *Review of Educational Research*, 68(1), 35-59.
- Saari, H., & Viiri, F. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1333-1352.
- Schwarz, C., & White, B. (2005). Meta-modeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., ... Krajcik, J. (2009). Designing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal for Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modeling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.

投稿收件日：2013 年 8 月 5 日

接受日：2014 年 6 月 6 日

附錄一 科展建模類型與層次之半結構訪談大綱

1. 初始階段對於科展的主題的想法。

- (1) 請問在初始階段你如何裝配要做的實驗器材？
- (2) 請說明在初始階段你做了哪些實驗？怎麼操作？
- (3) 請說明在初始階段你們研究上有何結果或發現？
- (4) 請說明在初始階段你製作了哪些與實驗相關的圖或表？
- (5) 請說明在初始階段你們所理解或運用到的數學運算式？

2. 執行階段對於科展的主題的想法。

- (1) 請問在執行階段你如何裝配要做的實驗器材？
- (2) 請說明在執行階段你做了哪些實驗？怎麼操作？
- (3) 請說明在執行階段你們研究上有何結果或發現？
- (4) 請說明在執行階段你製作了哪些與實驗相關的圖或表？
- (5) 請說明在執行階段你們所理解或運用到的數學運算式？

3. 完成階段對於科展的主題的想法。

- (1) 請問在完成階段你如何裝配要做的實驗器材？
- (2) 請說明在完成階段你做了哪些實驗？怎麼操作？
- (3) 請說明在完成階段你們研究上有何結果或發現？
- (4) 請說明在完成階段你製作了哪些與實驗相關的圖或表？
- (5) 請說明在完成階段你們所理解或運用到的數學運算式？