

高中一年級生物分類與演化單元建模教學課程設計

張玲齡* 夏季晨 邱美虹

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

108 課綱實施以來，自然領域的必修課程「自然科學探究與實作」強調培養學生「發現問題」、「規劃與研究」、「論證與建模」、「表達與分享」以因應科技時代人才的需求。其中「論證與建模」對大多數的自然科教師而言較為陌生，雖然課綱中已列出學習內容的項目與細項，但是，如何將抽象的課綱條目轉化為實際課程的設計與教學實踐，仍然存在頗大的距離。此外，提到「論證與建模」，一般連結的實施科目多為專題及探究與實作，然而，若能將此概念擴大應用在一般的科學教材內容上，對於此概念的推廣與深化，相信會有極大的幫助。

高一生物第三章「演化」單元中，脊椎動物「支序圖」的重建過程歷經建構、使用、評估、修正四階段，是一段非常完整的建模過程，適合作為「論證與建模」的教材實例，茲將這份教學設計的依據、理念與實施方法整理如下，以提供科學教師們教學設計的參考。

壹、整合後設建模知識的科學建模學習進程

模型(model)常被視為是一個物件、事件、想法或現象的表徵(Gilbert, Boulter & Elmer, 2000)。是由與現象相關的概念元素以及元素間在現象中所呈現的關係、運作方式、作用規則所組成的符號系統(Lesh & Doerr, 2003; Schwarz et al., 2009)。

建模(modeling)是產出模型的過程，為一動態的歷程(邱美虹與劉俊庚，2008)。在產出模型的實作過程中，透過從現象中搜集到的資料，摘要其中的關鍵因子、因子與因子間的作用機制以及因果關係後，將現象相關的因子與關係簡化為一個抽象的符號系統，模型於焉建立。因此，模型應與從現象中搜集到的資料一致，且具有說明、解釋、預測科學現象的功能。此外，根據模型對此現象所產生的預測，可進一步透過此一現象所收集的新資料驗證預測的真偽(Schwarz et al., 2009)，若驗證後與預測的結果不符，則需再次修正模型，是故，科學模型亦具有動態的本質。解析上述建模相關的實作過程後，可知「建構」、「使用」、「評估」、「修正」模型是建模的實作過程中四個主要的組成元素(Harrison & Treagust, 2000; Lehrer & Schauble, 2006; Lesh & Doerr, 2003)。

以下稱之為建模的「實作元素」。說明如表 1：

*為本文通訊作者

表 1：建模的實作元素與內涵

實作元素	說明
建構	學生建構與證據、理論一致之模型，並根據模型說明、解釋並預測現象
使用	學生使用模型說明、解釋並預測現象
評估	學生比較、評估模型間對於現象呈現的正確性、解釋力及預測新現象的能力
修正	學生參考更多的證據修正模型以增加其解釋力與預測能力

(資料來源：Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991; Snir, Smith, & Raz, 2003; Spitulnik, Krajcik, & Soloway, 1999; Stewart et al., 2005)

與建模實作的原理及規範相關，屬於科學本質的知識稱為後設建模知識 (metamodeling knowledge) (Schwarz & White, 2005)。Schwarz et al. (2009) 在參考各家的觀點後，將後設建模知識分為模型的本質、模型的目的、評估與修正模型的標準等三個向度，有關各個向度的詳細說明如表 2 (Schwarz et al., 2009)：

表 2：後設建模知識的向度與內涵

向度	組成
模型的本質	模型能呈現抽象的過程和特徵
	不同的模型有不同的優點
	模型有其局限性
	隨著理解的增加，模型也會跟著改變
	模型有許多種形式
模型的目的	模型是使知識意義化的工具
	模型是傳達理解與知識的溝通工具
	模型可幫助預測新的可能，所以是發展新理解的工具
	模型可用來說明、解釋、預測現象
評估和修正模型的標準	模型的建構須以證據為基礎
	模型只包括與目的有關的概念

(Schwarz et al., 2009)

根據表 2 的整理可知，後設建模知識的學習可使學生掌握建模實作的原理與規範，除了有利於了解並認可科學運作的方式以及科學知識產生的動態本質、指引實踐的方向外，亦可幫助學習者有意義地參與建模的實作 (Lederman, 2007)。因此，後設建模知識的學習與建模的實作，二者有相輔相成的效果。

既然後設建模知識與建模實作彼此相輔相成，那麼在進行建模教學時，將後設建模知識與建模實作整合進行較各自獨立分開教學會有更佳的功效。因為，當二者分開各自進行時，學生易流於機械性地操作建模步驟，難以同步整合每一個步驟的意義；即使努力完成特定模型的建構但仍不了解這些模型特徵的重要性。上述這種簡要去脈絡化的科學學習，易造成學習者對於科學實作視野的狹隘與片段化。若後設建模知識與實作元素二者整合，

學生建模的同時有後設建模知識的引導，對於他們做了什麼，為什麼這麼做便有了更多的理解，在引導學生有意義的參與建模過程上效果較佳(Schwarz et al., 2009)。

Schwarz et al. (2009) 在建模能力的發展上即以整合後設建模知識與建模實作的方式提出了科學建模的學習進程，除了可以作為教學者對學生建模能力達到精熟之可能路徑的參考 (Duncan et al., 2009)，也可作為評量建模能力發展的基礎 (Smith, Wiser, Anderson, & Krajcik, 2006; Wilson, 2009)。模型的「建構」、「使用」、「評估」、「修正」作為建模實作過程中四個主要的組成元素；並將後設建模知識中原有的三個向度：模型本質、模型目的、評估與修正模型，拆解重組為二個向度，其一為「理解科學模型是預測和解釋的工具」另一為「當理解改善，模型也隨之改變」。前者是「建構」與「使用」模型之實作元素與模型之「本質」與「目的」相關之後設建模知識的整合；後者則是「評估」與「修正」模型之實作元素與後設建模知識中模型之「本質」與「評估和修正模型的標準」的結合。

除了整合後設建模知識與建模實作外，Schwarz et al. (2009) 提出之科學建模學習進程亦著重模型意義化與溝通的功能；強調模型能夠幫助學習者產生新的理解，亦能與他人溝通傳達自己的理解。意義化為個人或群體正在形成模型的過程，處於釐清、說明、取得共識的階段。而溝通則為學習者已準備好與他人分享觀點並取得他人認同的階段。溝通模型傳達觀點的同時，除了展示模型的正确性，亦可為發現問題、修正模型作準備。當建模實作與後設建模知識同步進行時，意義化或溝通的過程便隨之發生，茲將其科學建模學習進程中實作元素、後設建模知識、意義化與溝通的相互關係呈現於圖 1。

為了掌握學生對於科學建模的核心概念(big idea)隨著時間發展的情形以作為課程及教學的參考，Schwarz et al. (2009) 提出科學建模學習進程的二個向度（理解科學模型是預測和解釋的工具、當理解改善，模型也隨之改變）後，再依每個向度核心概念發展的過程各自提出四個層級的發展階段，建立學生隨著時間「從對某一個概念或主題的粗淺認識到精熟理解」之學習成長歷程的模式 (Berland & McNeill, 2010; Schwarz et al., 2009; Duncan et al., 2009)，如表 3。

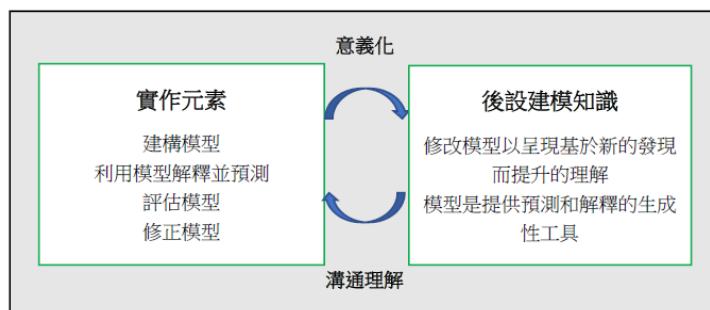


圖 1：實作元素、後設建模知識、意義化與溝通的相互關係 (Schwarz et al., 2009)

表 3：後設建模知識二面向之學習進程的發展層級

後設建模知識二面向	層級	學習進程
理解科學模型是預測和解釋的工具	4	*學生主動建構並使用模型幫助自身思考 *學生根據各種模型思考世界如何運作 *學生建構並使用模型對於既存現象產生新的問題
	3	*學生建構並使用多元模型解釋和預測有關現象的多元向度 *學生視模型為協助他們思考現存以及新現象的工具 *學生建構模型時會基於對不同模型具有之解釋與預測能力好壞分析的結果做選擇
	2	*學生建構並使用模型做示例並解釋現象如何發生，且解釋的內涵需與現象相關的證據相符 *學生視模型為溝通他們對現象理解的工具而非協助其思考
	1	*學生建構並使用模型顯示單一現象字面涵義的說明 *學生視模型為顯示他人看待現象的方法，而非產生新知的工具
當理解改善，模型也隨之改變	4	*學生在獲得證據支持改變之前就已考慮改變模型以增加解釋力 *模型的改變被認為是去發展能被測試與現象證據不同的問題 *學生評估競爭的模型並考慮結合模型中能增進解釋力與預測力的部分
	3	*修正模型以改善解釋力 *學生分析比較模型間，各個組成如何不同，模型中呈現的關係與證據相符的程度、在現象上是否提供一個更具有機械論（因果）的解釋
	2	*學生修正模型是基於權威的訊息而非從現象收集到的證據或新的解釋機制而來 *學生在模型上進行細節改善、釐清、加入新訊息等的調整，不是考量改善模型解釋力以及與實驗證據的相符程度
	1	*學生不期待模型會隨著新的理解而改變，他們以正確或錯誤答案這個絕對的字眼談論模型 *學生以比較模型複製現象的好壞來評估模型

在表 3 學習進程的第一個向度「理解科學模型是預測和解釋的工具」中，對於模型的本質與功能的認知與能力發展，從視模型為說明現象的方式，轉變為模型是根據證據解釋現象的表徵，再深化為評價模型的優劣以其解釋與預測能力的好壞為依據，最後具備主動建構模型以協助思考、產生新問題的能力。而模型在這個向度之意義化與溝通功能的發展上，從初期視模型為他人看待現象的方法，轉變為與人溝通對現象的理解，進一步以模型是協助自身思考現存及新現象的工具(Schwarz et al., 2009)。

在表 3 學習進程的第二個向度「當理解改善，模型也隨之改變」中，主要是聚焦在模型的動態本質與評估。從初期認定模型是正確或錯誤答案的呈現，並以模型複製現象的好壞來評價其優劣後；漸漸在認知上轉變為模型的修正是基於權威訊息而非從證據或新的解

釋機制而來；而後，開始修正模型以改善解釋力並據以比較模型的優劣；最後了解修正模型、增進模型解釋力的目的是擴展對現象的理解，同時還能評估競爭的模型並考慮結合模型中能增進解釋力與預測力的觀點(Schwarz et al., 2009)。上述每個階段皆有意義化與溝通的過程，二者彼此相關、互相支持且常同時發生。

根據上述學習進程的設計理念，Schwarz et al. (2009)設計了五階段的建模教學步驟對應之，其流程依序為主題現象定錨、建構模型、實證測試並評估模型、以其他想法測試並修正模型、使用模型預測並解釋。其做法同時涵蓋了科學建模之實作元素、後設建模知識以及呈現模型意義化與溝通功能。茲詳細說明如表 4

表 4：建模教學五步驟

順序	說明
1.主題現象定錨	*介紹探究的問題與具特殊概念的現象 *選定一個必須用模型去呈現的現象
2.建構模型	*創造一個初始模型藉以表達一個想法或假說 *討論模型的本質與目的
3.實證測試並評估模型	*研究被模型預測和解釋的現象 *比較實驗的發現與模型的一致性 *評估與修正模型
4.以其他想法測試並修正模型	*針對理論、定律利用模型測試之 *根據新證據改變模型 *比較相互競爭的模型並建構出具共識的模型
5.使用模型預測並解釋	*應用模型去預測並解釋其他的現象

(Schwarz et al., 2009)

在表 4 中，主題現象定錨的目標是選定主題現象或說明與主題現象相關之特殊概念以為後續建模做準備。至於接下來的四個步驟則涵蓋了建模實作四元素，包括建構、使用、評估、修正模型；且在實施的同時搭配與此步驟相關的後設建模知識活動，將建模實作與後設建模知識整合在一起。而這些後設建模知識活動進行過程中又會幫助學習者產生新的理解，並創造出與他人溝通的機會。是故，Schwarz et al. (2009)的教學過程反映科學建模學習進程的目標與特性。

貳、教學理念與目標

建構模型是進行探究與實作課程的核心架構，學生若能了解建構模型過程中，自己在「做什麼」、「為什麼這麼做」，將能增進建模實作的意義感與方向感，進而提升學習成效。後設建模知識的引入即能協助學生達成此一目的，因此，教師在建模教學中搭配後設建模知識的介紹是我們想達成的第一個目標。此外，豐富建模教學的深度與廣度是我們想挑戰的第二個目標。以往有關建模的教學，多停留在利用模型說明現象並解題，模

型的高階功能如預測現象的發生，分析、比較、評估競爭模型進而修正模型、提出新的問題等少有機會嘗試。若能加入高層次的學習經驗，學生對於科學知識的建構歷程將能更加立體且完整。

Schwarz et al. (2009) 根據知識理論與實證結果提出科學建模的學習進程即是以建模實作元素與後設建模知識整合、著重模型具有意義化與溝通的功能為宗旨 (Smith, Wiser, Anderson, & Krajcik, 2006; Wilson, 2009)。與我們期待在建模教學中加入的內涵一致。因此，我們選擇參考 Schwarz et al. (2009) 的學習進程與教學步驟作為教學設計的藍本。然而，考量教學時間的限制，無法將進程中各個層級的細項全數轉換為教學目標實施。故僅就其所提出之四層級概念中被納入此次教學計畫預定達成的目標項目列出，如表 5：

表 5：後設建模知識二面向之學習進程的發展層級—演化教學選用項目

後設建模知識 二面向	層 級	學習進程
理解科學模型 是預測和解釋 的工具	4	*學生建構並使用模型對於既存現象產生新的問題
	3	*學生建構模型時會基於對不同模型具有之解釋與預測能力好壞分析的結果做選擇
	2	*學生建構並使用模型做示例並解釋現象如何發生，且解釋的內涵需與現象相關的證據相符
	1	*學生建構並使用模型顯示單一現象字面涵義的說明
當理解改善，模 型也隨之改變	4	*學生評估競爭的模型並考慮結合模型中能增進解釋力與預測力的部分
	3	*修正模型以改善解釋力

(Schwarz et al., 2009)

細究 Schwarz et al. (2009)發展的學習進程內容，屬於科學建模概念發展的一般性描述(domain general)，但在以分類演化單元內容進行建模教學時，我們是以特定領域知識切入 (domain specific)，為使二者能夠銜接得更為流暢，我們將表 5 選定的層級目標項目逐一改寫為適合此主題的教學目標並給予適當的編碼，如下表 6。

評估教學成效，評量學生學習成果是完整教學規劃不可或缺的一部分，而學習進程即可作為評量建模能力發展的基礎 (Smith, Wiser, Anderson, & Krajcik, 2006; Wilson, 2009)。由於表 6 之學習進程是整合後設建模知識而來，其下的四個層級亦是依據後設建模知識概念發展的歷程而訂，故學習進程的目標即為後設建模知識的發展目標。此外，在教學進行的過程中，藉由學生模型的建構、意見的發表、提問的內容亦可依據學習進程的層級目標同步進行學習成效的評量。綜上可知，學習進程除了是教學目標，亦是後設建模知識的學習目標，也可作為學習評量的重點。評量的進行方式直接與教學設計的流程同步進行，教學完成，評量亦隨之完成。

表 6：後設建模知識二面向之學習進程的發展層級—演化版

後設建模知識二面向	層級	學習進程
理解科學模型是預測和解釋的工具	4	1-4 學生能根據已建構的分類模型提出有意義的問題。
	3	1-3 學生能比較組間或組內不同階段分類模型的預測和解釋能力。
	2	1-2 學生能根據分類模型解釋分類生物的觀點或生物演化的歷程。
	1	1-1 學生能運用文字或圖表建立生物的分類模型。
當理解改善，模型也隨之改變	4	2-4 學生能選擇各組分類模型的優點並改進自己的模型。
	3	2-3 學生能根據新的證據修正模型以增進解釋力。

(參考資料：Schwarz et al., 2009，作者根據教學內容自行改寫)

參、教學活動設計與流程

Schwarz et al. (2009) 科學建模的學習進程著重在科學實作而非科學想法。是故，教學設計的主力亦不在科學知識的探討，而是模型建構、使用、解釋、預測、評估、修正等動態歷程的活動參與及相關後設知識的學習。

高一演化單元中分類結果的呈現，是一種想法或現象的表徵系統，可視為模型的一類。而單元中鳥類親緣關係樹重建的過程除了可以完整涵蓋建模實作四元素：建構、使用、評估、修正外，亦可在每個步驟中導入適合的後設建模知識，因此，是詮釋 Schwarz et al. (2009) 後設建模知識的絕佳教材。是故，我們決定以此主題設計建模教學活動，並透過學生在課間的建模與討論，教師將每一個段落相關的後設建模知識再次彙整、澄清並回饋，以聚焦學習目標。

另外，在每個實作主題中，幾乎都包括了小組討論、組間分享、溝通模型的過程，此即屬於 Schwarz et al. (2009) 提出之科學建模學習進程的另一個特色：著重於模型具有意義化與溝通的功能；強調模型能夠幫助學習者產生新的理解，亦能與他人溝通傳達自己的理解。

在教學流程的規劃上，我們將鳥類重建親緣關係的歷程，搭配 Schwarz et al. (2009) 的五步驟如表 4，依序推演進行，詳細描述如下：

1. 小組畫出二分法分類模型

- (1) 介紹分類概念的演進：由單純以構造進行分類轉變為兼具表示親緣關係遠近的分類方式。
- (2) 以上課同學為例，說明二分法建構分類模型的方式。
- (3) 提供化石或解剖證據（四足、乳腺、羽毛、羊膜、翅膀、體內外受精、卵生、

尾骨、心臟二房二室)，請學生從中挑出對分類有意義的特徵，利用二分法將魚類、二生類、爬蟲類、鳥類、哺乳類進行分類。(學習進程 1-1)

- (4) 給予四類動物（蝶螈-二生類、蜥蜴-爬蟲類、企鵝-鳥類、鴨嘴獸-哺乳類）測試各組分類模型的有效性，若有需要可修正之。(學習進程 1-3)
- (5) 小組說明並觀摩彼此採用的策略，比較評估各組的強項與弱項，改進自己的模型(學習進程 1-2)(學習進程 1-3)(學習進程 2-4)。
- (6) 教師透過提問統整此活動中建構的後設建模知識。

上述步驟(1)(2)為介紹分類的相關概念與二分法的操作原則以為之後的學習活動做準備。屬於表 4「主題現象定錨」步驟中介紹具特殊概念的現象的範疇。步驟(3)教師提供各類化石與解剖證據讓學生以二分法原則做出他們具有共識的模型，此屬於表 4「建構模型」步驟中創造一個初始模型藉以表達一個想法或假說的範疇。步驟(4)(5)為評估與修正模型，屬於表 4「實證測試並評估模型」的步驟。

2. 以新資訊修改模型

- (1) 教師提出羊膜、四肢、羽毛、乳腺、心臟分隔在脊椎動物從水生到陸生環境適應過程中的意義。
- (2) 學生根據新資訊整合、修改原分類模型。(學習進程 2-3)
- (3) 小組說明分類模型的設計概念及修改原來模型的原因，同時觀摩並比較各組採用的策略。(學習進程 1-2)(學習進程 2-4)
- (4) 教師透過提問統整此活動中建構的後設建模知識。

3. 比較同組二階段模型之解釋力

- (1) 請各組比較二次活動建構的分類模型，說出各階段的變化評估其優劣(學習進程 1-3)。
- (2) 教師歸納各組說法，統整此活動中建構的後設建模知識。

上列 2、3 二項的操作方式為根據新證據改變模型及比較相互競爭的模型以建構出具共識的模型，屬於表 4「以其他想法測試並修正模型」的步驟。

4. 提出新證據並根據修正模型引發有意義的問題或預測新的可能

- (1) 教師提出始祖鳥的化石證據，並請學生根據修正後的模型提出此動物該歸為那一類？教師觀察各組討論情形隨時接受學生提問並引導其思考（例如：(a)是否引發他發現衝突待解的問題？(b)預測是否有尚未發現的生物存在，他的特徵會是什麼？）

- (2) 教師邀請小組分享其疑問與看法並統整此活動中建構的後設建模知識(學習進程 1-4)
5. 承 4，根據預測與新問題的出現，提供科學家以目前最新的化石證據建構出的分類模型作為回應，讓學習者體驗模型的預測與發現新問題之功能對科學發展的意義。
 - (1) 提供有羽毛的恐龍化石證據(學習進程 2-3)。
 - (2) 將此證據連結活動 4 提出的預測與新問題。
 - (3) 提出因新證據的出現後被廣為接受的修正模型說明預測與發現新問題之功能對科學發展的意義。

上列 4、5 二項具有應用模型去預測並解釋其他現象的含義，屬於表 4「使用模型預測並解釋」的步驟。

6. 學習單書寫如附件一
 - (1) 發下學習單作為最後課程的延伸與收斂。
 - (2) 1-5 題是各項活動的延伸思考，第 6 題則是自評後設建模知識建構的情形。

肆、評量重點

教學流程依照表 4 所列之五步驟依序進行。根據教學進程不同層級的內容作為教學目標與評量重點。茲將各步驟的評量重點說明如下：

1. 定錨主題現象

此步驟為教師介紹分類概念的演進與二分法的分類方式，為下一階段的學生活動做準備。

2. 建構模型

教師提供脊椎動物相關特徵資料（四足、乳腺、羽毛、羊膜、翅膀、體內外受精、卵生、尾骨、心臟二房二室），請學生從中挑出對分類有意義的特徵利用二分法將魚類、二生類、爬蟲類、鳥類、哺乳類進行分類，此乃模擬早期分類學家根據外部型態與解剖構造為主進行分類的過程，當各組自行選擇特徵完成分類時，便代表其已達成學習進程 1-1 的教學目標--學生能運用文字或圖表建立生物的分類模型，亦代表教師完成評量。

預期的結果是：學生可能會依選取的特徵不同而出現不同的分類結果，例如圖 2 與圖 3 教師除了邀請學生說明各組分類的想法外，學生亦可看到各組分類的異同，進而了解到同一種現象，可以有不同的分類模型。

3. 實證測試並評估模型

教師透過 4 種動物（蝶螈-二生類、蜥蜴-爬蟲類、企鵝-鳥類、鴨嘴獸-哺乳類）來檢測各組訂定之分類模型的有效性。在刻意的設計下，鴨嘴獸往往會凸顯不同模型有效性的差異。因其哺乳類且卵生的特性，以圖 2 檢索時無法找到最後的分類歸屬。但若使用圖 3 檢索時，則能順利查出其為哺乳動物的身份。

預期的結果是：學生經由上述的活動比較出不同的分類模型，其有效性有優劣之分，而經過組間觀摩、組內討論，便有了修正模型的方向。在教師統整提問的階段時，教師除了再次強調不同模型，解釋力可能不同外，亦可進一步針對各組修正模型的方式提醒學生反思，為什麼這樣的修正方式能增加模型的有效性？是否意味著，此修正因子在建構分類模型中扮演著關鍵的角色？

在上述階段完成後，代表學習進程 1-2 學生能根據分類模型解釋分類生物的觀點或生物演化的歷程、1-3 學生能比較組間或組內不同階段分類模型的預測和解釋能力、2-4 學生能選擇各組分類模型的優點並改進自己的模型之學習目標與評量重點亦已達成。

4. 以其他想法測試並修正模型

在步驟 3 所埋下的伏筆至此正式浮上檯面，教師針對羊膜、四肢、羽毛、乳腺四特徵說明其對生物適應陸生環境的重要性；並要求學生在分類模型中加入脊椎動物間親緣關係遠近的呈現，請學生再次調整模型。

預期結果是：學生根據教師提供的新資訊，採用與原先不同的構造特徵，整合、修改原分類模型，例如圖 4 與圖 5。比較二者的分類模型可知，雖然皆選擇一致的構造特徵作為分類的依據，但因使用特徵的順序不同，因此呈現不同的演化觀點。以圖 4 為例，魚類沒有四肢，故與其他有四肢的脊椎動物分別步入不同的演化路徑；緊接著羊膜的出現又讓沒有羊膜的二生類與其他脊椎動物分道揚鑣；羽毛是鳥類的特徵，所以依據羽毛的有無，鳥類又與沒有羽毛的爬蟲類與哺乳類分開；最後，乳腺是哺乳類所特有，可以據此再與爬蟲類區分。由於與爬蟲類最後分開的是哺乳類，所以，爬蟲類與哺乳類的親緣關係比爬蟲類與鳥類近。

圖 5 初期與圖 4 相同，先以四肢與羊膜分別區隔出魚類與二生類，但之後選擇以乳腺將哺乳類與爬蟲類、鳥類分開來；再以羽毛將鳥類與爬蟲類區別出來。根據圖 5 的分類模型，與爬蟲類最後分開的是鳥類，所以，爬蟲類與鳥類的親緣關係比爬蟲類與哺乳類近。

完成上述模型後，除了各組依然須說明該組的觀點，觀摩比較各組採用的策略外，亦須評估同組在獲得新知前後二階段模型之優劣。過程中，學生經由教師的統整與引導後將理解到，分類模型在演化、親緣關係的概念注入後，模型的有效性提升，豐富性提高；而分類特徵的選擇與使用時機代表建模者的演化觀點。

學習進程 1-2 學生能根據分類模型解釋分類生物的觀點或生物演化的歷程、1-3 學生能比較組間或組內不同階段分類模型的預測和解釋能力、2-3 學生能根據新的證據修正模型以增進解釋力、2-4 學生能選擇各組分類模型的優點並改進自己的模型等四項皆在步驟 4 的活動中達成。

5. 使用模型預測並解釋

學生在步驟 4 建立兼具分類功能與演化概念的模型後，教師提出新證據—始祖鳥的化石，請學生根據步驟 4 的模型推測此動物該歸為那一類？觀察各組討論情形隨時接受學生提問並引導其思考（例如：(a)是否引發他發現衝突待解的問題？(b)預測是否有尚未發現的生物存在，他的特徵會是什麼？）。

預期的結果是：學生可能出現的想法有：既然始祖鳥同時具有鳥類與爬蟲類的特徵，牠們二者的關係只會有三種可能：鳥類屬於爬蟲類、鳥類是爬蟲類的祖先、爬蟲類是鳥類的祖先。

若鳥類屬於爬蟲類，那麼我們需要具羽毛特徵的爬蟲類化石證據的支持；如果爬蟲類是鳥類的祖先，那麼需有過渡期鳥類的爬蟲類特徵隨時間逐漸減少的證據出現。而始祖鳥是爬蟲類的祖先，那麼我們應該要能發現鳥類特徵逐漸減少，爬蟲類特徵隨時間逐漸增加的生物，甚至，始祖鳥自成一個分類群。當大家把各種預測與問題提出時，學習進程 1-4 學生能根據已建構的分類模型提出有意義的問題也就達標了。

經過各組提出始祖鳥在演化上的各種可能後，教師接著呈現有羽毛的恐龍化石被發現的事實—即我們陸續發現了具羽毛特徵的爬蟲類。而此發現傾向支持的觀點是：鳥類屬於爬蟲類。

原來圖 4 中鳥類因具有羽毛而與爬蟲類與哺乳類分開，與新發現的證據不符，需修正之。至於圖 5，就現有的證據顯示，較圖 4 的解釋力高。以上活動，達成學習進程 2-3 學生能根據新的證據修正模型以增進解釋力。

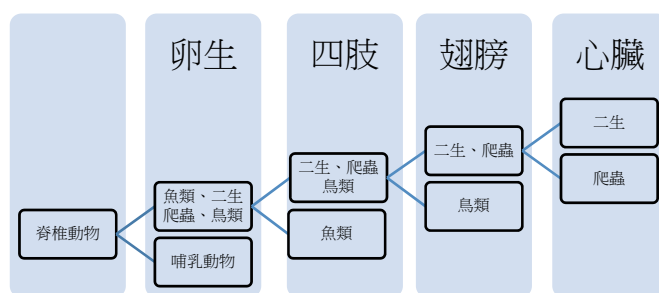


圖 2：學生建構模型—選取卵生、四肢、翅膀、心臟四特徵

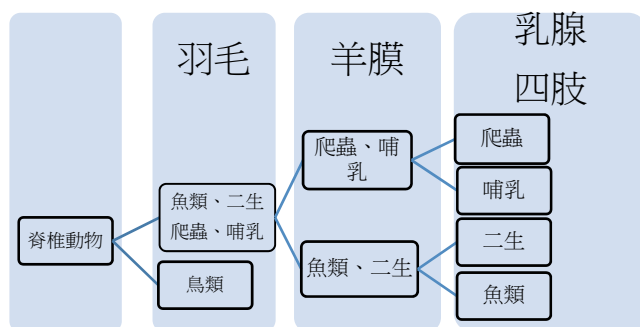


圖 3：學生建構模型—選取羽毛、羊膜、四肢、乳腺四特徵

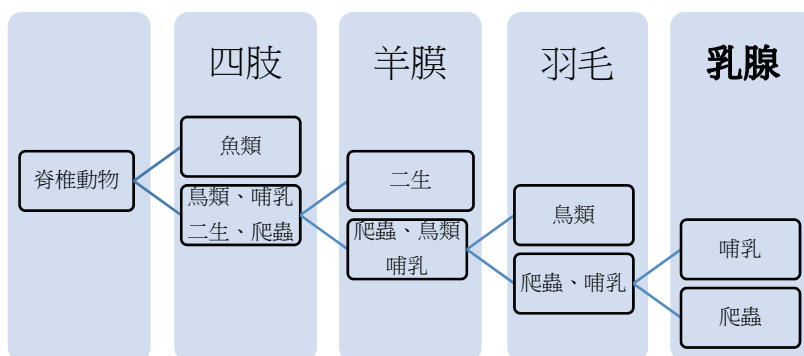


圖 4：學生根據新的觀點修正模型—羽毛先於乳腺出現

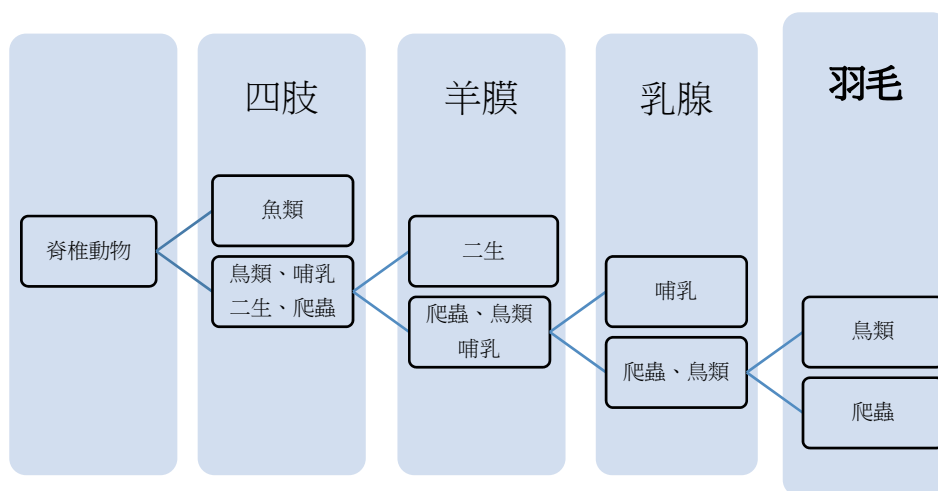


圖 5：學生根據新的觀點修正模型—乳腺先於羽毛出現

五、教案統整

茲將以上之建模步驟、教學目標、教學流程、評量重點彙整如表 7

表 7：高一生物分類與演化單元建模教學課程教案設計

教學對象		高一或高二	時間	二節課
科目	高一生物第三章演化 高二探究與實作		教具	彩色筆、學習單(附件一)、PPT、白紙
建模步驟	教學流程	教學目標	評量重點	科學建模學習進程
定錨主題現象	1. 介紹分類概念的演進：由單純以構造進行分類發展為兼具表示親緣關係遠近的演化概念 2. 以上課同學為例，說明二分法建構分類模型的方式			
建構模型	1. 提供化石或解剖證據（四足、乳腺、羽毛、羊膜、翅膀、體內外受精、卵生、尾骨、心臟二房二室），請學生從中挑出對分類有意義的特徵利用二分法將魚類、二生類、爬蟲類、鳥類、哺乳類進行分類	1-1 學生能運用文字或圖表建立生物的分類模型。	1. 小組挑出對分類有意義的特徵利用二分法畫出分類模型	1-1
實證測試並評估模型	1. 給予四類動物（蟾蜍-二生類、蜥蜴-爬蟲類、企鵝-鳥類、袋鼠-哺乳類）測試各組分類模型的有效性，若有需要可修正之 2. 小組說明並觀摩彼此採用的策略，比較評估各組的強項與弱項改進自己的模型 3. 教師透過提問統整此活動中建構的後設建模知識	1-2 學生能根據分類模型解釋分類生物的觀點或生物演化的歷程。 1-3 學生能比較組間或組內不同階段分類模型的預測和解釋能力。 2-4 學生能選擇各組分類模型的優點並改進自己的模型。	1. 給予各類動物測試小組畫出分類模型的有效性 2. 小組說明並觀摩彼此採用的策略，比較評估各組的強項與弱項改進自己的模型	1-2 1-3 2-4

以其他想法測試並修正模型	1. 教師提出羊膜、四肢、羽毛、乳腺、心臟分隔在脊椎動物從水生到陸生環境適應過程中的意義。 2. 學生根據新資訊整合、修改原分類模型。 3. 小組說明分類模型的設計概念及修改原來模型的原因，同時觀摩並比較各組採用的策略。 4. 教師透過提問統整此活動中建構的後設建模知識 5. 請各組比較二次活動建構的分類模型，說出各階段的變化評估其優劣 6. 教師歸納各組說法，統整此活動中建構的後設建模知識	1-2 學生能根據分類模型解釋分類生物的觀點或生物演化的歷程。 1-3 學生能比較組間或組內不同階段分類模型的預測和解釋能力。 2-3 學生能根據新的證據修正模型以增進解釋力。 2-4 學生能選擇各組分類模型的優點並改進自己的模型。	1. 學生根據新資訊整合、修改原分類模型。 2. 小組說明分類模型的設計概念及修改原來模型的原因，同時觀摩並比較各組採用的策略。 3. 請各組比較二次活動建構的分類模型，說出各階段的變化評估其優劣	1-2 1-3 2-3 2-4
使用模型預測並解釋	1. 教師提供始祖鳥的化石證據，並請學生根據修正後的模型提出此動物該歸為那一類？ 2. 教師觀察各組討論情形隨時接受學生提問並引導其思考（例如：(1)是否引發他發現衝突待解的問題？(2)預測是否有尚未發現的生物存在，他的特徵會是什麼？） 3. 教師邀請小組分享其疑問與看法並統整此活動中建構的後設建模知識 4. 提供有羽毛的恐龍化石證據將此證據連結活動 4 提出的預測與新問題提出因新證據的出現後被廣為接受的修正模型說明預測與發現新問題之功能對科學發展的意義。 5. 發下學習單作為最後課程的延伸與收斂	1-4 學生能根據已建構的分類模型提出有意義的問題。 2-3 學生能根據新的證據修正模型以增進解釋力。	1. 教師提供始祖鳥的化石證據，並請學生根據修正後的模型提出此動物該歸為那一類？ 2. 教師觀察各組討論情形並邀請小組分享其疑問與看法 3. 提供有羽毛的恐龍化石證據請學生回應其可能的解釋	1-4 2-3

參考文獻

- 邱美虹, & 劉俊庚. (2008). 從科學學習的觀點探討模型與建模能力. *科學教育月刊*, (314), 2-20.
- Berland, L. K., & McNeill, K. L. (2010). A learning progression for scientific argumentation: Understanding student work and designing supportive instructional contexts. *Science Education*, 94(5), 765-793.
- Duncan, R. G., & Hmelo-Silver, C. E. (2009). Learning progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(6), 606-609.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In *Developing models in science education* (pp. 3-17). Springer, Dordrecht.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C.L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799 – 822.
- Harrison, A.G., & Treagust, D.F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026.
- Lederman, N.G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831–879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Scientific thinking and science literacy: Supporting development in learning in contexts. In W. Damon, R.M. Lerner, K.A. Renninger, & I.E. Sigel (Eds.), *Handbook of child psychology* (6th ed., Vol. 4). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Lesh, R., & Doerr, H.M. (2003). Foundations of models and modeling perspective on mathematics teaching, learning, and problem solving. In R. Lesh & H.M. Doerr (Eds.), *Beyond constructivism: Models and modeling perspectives on mathematics problem solving, learning, and teaching* (pp. 3 – 33). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Schwarz, C.V., & White, B.Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165–205.
- Smith, C. L., Wiser, M., Anderson, C. W., & Krajcik, J. (2006). FOCUS ARTICLE: implications of research on children's learning for standards and assessment: a proposed learning progression for matter and the atomic-molecular theory. *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective*, 4(1-2), 1-98.
- Snir, J., Smith, C.L., & Raz, G. (2003). Linking phenomena with competing underlying models: A software tool for introducing students to the particulate nature of matter. *Science Education*, 87(6), 794 – 830.
- Spitulnik, M.W., Krajcik, J., & Soloway, E. (1999). Construction of models to promote scientific understanding. In W. Feurzeig & N. Roberts (Eds.), *Modeling and simulation in science and mathematics education* (pp. 70–94). New York: Springer-Verlag.
- Stewart, J., Cartier, J.L., & Passmore, C.M. (2005). Developing understanding through model-based inquiry. In M.S. Donovan & J.D. Bransford (Eds.), *How students learn* (pp. 515–565). Washington, DC: National Research Council.
- Wilson, M. (2009). Measuring progressions: Assessment structures underlying a learning progression. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(6), 716-730.

附件一

生物分類與親緣關係學習單

一年_____班 座號： 姓名：

1. 請將本堂課中小組最後討論出的生物分類與親緣關係模型畫下來。(25%)
2. 從此模型中你發現魚類、兩生類、爬蟲類、鳥類和哺乳類間有什麼樣的關係?(20%)
3. 給予新的化石證據後你們的模型有哪些修正?(15%)
4. 根據新的考古化石證據，出現了些我們從未想像過的生物，例如：始祖鳥。請說明這些動物和已知的生物類別有哪些關係?(20%)
5. 呈上題，思考看看未來有可能從考古中發現具有那些特徵的動物？並根據本課的親緣關係模型解釋你的想法。(20%)
6. 上完本節課後，請你根據目前你的概念照實勾選下列評估表。

最不同意 1 2 3 4 5 最同意

- | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| (1)我知道如何建立生物分類模型。 | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| (2)生物分類模型能解釋不同生物間的演化親緣關係。 | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| (3)不同生物學家提出的生物分類模型不會有一個統一的樣貌。 | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| (4)生物分類模型會隨著新資訊的出現進行改變。 | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| (5)生物分類模型可預測不同生物演化間尚未發現的過度生物。 | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| (6)建立生物分類模型後我感覺還有很多未知的問題需要解決。 | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |