

發現式CAL軟體之設計與發展

——以國中力學為例

洪榮昭

國立台灣師範大學工業教育研究所

劉明洲

國立花蓮師範學院數理教育系

摘要：本文以國中力學為例，介紹發現式學習(Discovery Learning)的電腦輔助學習(Computer Assisted Learning, CAL)軟體之製作與發展，並分別就主題選擇、知識分析、劇情編製、實際製作加以探討。冀望此結合科學教育理念、電腦教學理念以及軟體工程(Software Engineering)的科學教學軟體製作，可為科學教育的推展提供另一便利而有效的管道。

關鍵字：電腦輔助學習、發現式學習

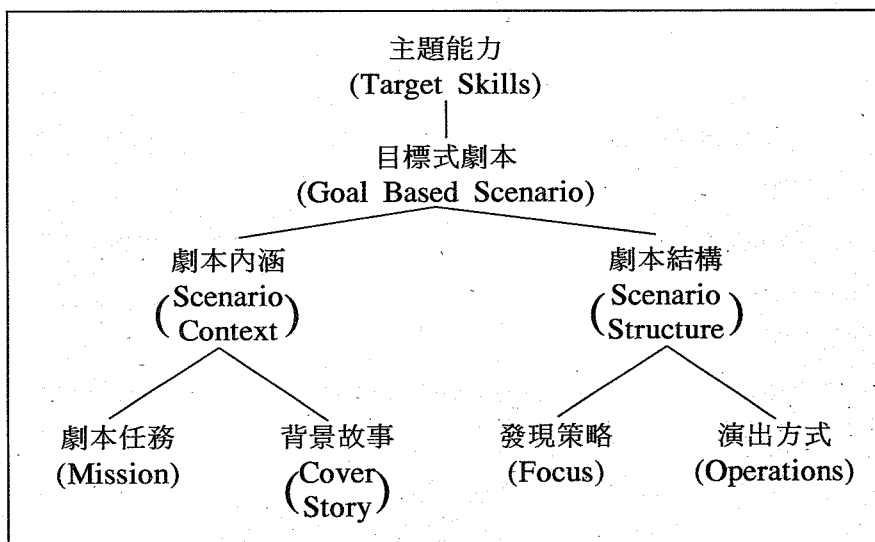
一、發現式學習(Discovery Learning)

傳統的課堂教學所使用的方式是教師對於原理與規則的說明、舉例、加上練習，然而依布魯納(Bruner, 1986)的認為，經由發現或創造的學習(Learning by discovery or inventing)比較能提供學習者應用歸納與思考的能力，在學習的過程中建構自己的知識體系與內涵。換言之，教學設計應由以老師為中心轉為以學生為中心，而不再是『老師教、學生學』的模式(表一)，應該提供學生動手做(doing)的機會，使其從外界環境中培養思考與感應的能力。

表一 教學方法的演進(修改自Keegan, 1995, p.298)

教學方法	問者	答者	軟體設計方式
說教(DIDACTIC)	教師	教師	呈現(PRESENTATIONAL)
問答(SOCRATIC)	教師	學生	練習(DRILL)
探究(INQUIRY)	學生	教師	資料庫(DATABASE)
發現(DISCOVERY)	學生	學生	劇本(SCENARIO)

發現式學習策略的應用，可以分為兩種，一為目標式(Goal-oriented discovery)，一為引導式(Guided-oriented discovery)(Reiber, 1992)，前者指在教學的歷程中不給予任何的暗示(hint)，後者則在歷程中之適當處給予適時的引導。圖一顯示建構發現式學習的情境應先考慮學習者應習得之主題能力(Target skill)，再據以發展學習之劇本(Scenario)，學習者乃依此劇本進行學習。劇本包含二主要部份，一為劇本內涵(Scenario context)，包括劇本之任務(Mission)與背景故事(Cover story)，任務乃此劇本卻培養學生具備之能力，此能力不僅在此劇本情境中會應用，並且會應用到以後實際生活所遭遇的相似情境中；背景故事之演出乃希望在故事中隱含(Embedded)教學之主題，並且故事應取材自學習者之周遭生活。另一主要部份為劇本結構(Scenario structure)，包括教學劇本所採用的發現策略(Focus)，例如要學習者去設計、診斷、發現或控制某一情境；以及劇本之演出方式(Operations)，包括一對一、團體學習、戶外教學或室內教學、靜態或動態的活動方式等。



圖一 目標式劇本之發展(Schank, 1993/1994)

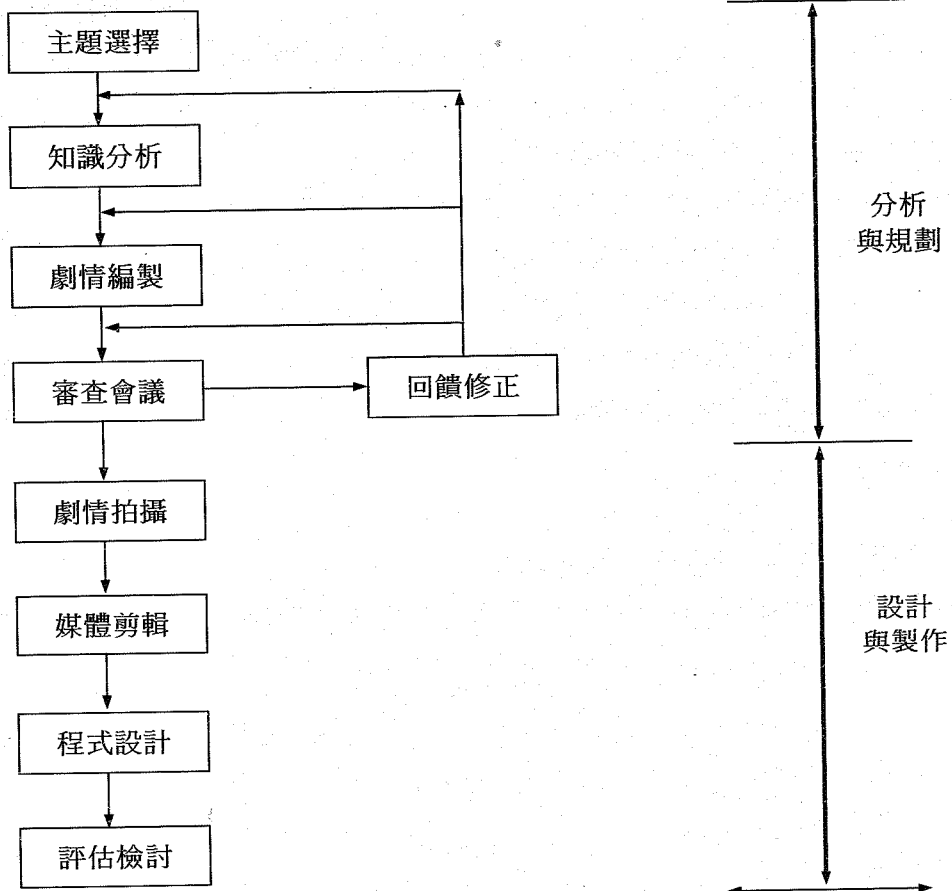
教學與實際的生活需要相結合(Teaching concept from real life needs)是教育演進的潮流之一(UNESCO, 1991)，發現式學習告訴我們教學活動設計可以由傳統的規則條列式改為角色扮演方式，上課場地可以由教室走向戶外，知識不僅僅存在於書本中，也存在我們的生活週遭中。另外，借重電腦科技與多媒體技術的日益成熟，發現式學習的多媒體電腦輔助學習軟體可以更加促進學習的便利性，凡此種種，都會使未來學習的時

空、內涵、深度、意願等等更有彈性、更爲生動活潑、更加積極。發展一情境學習(Situated learning)的探究式電腦多媒體學習環境，以提昇學習者的學習意願與成效，在Bruner(1986), Heller(1990), Thornburg(1992), Mayer(1992)及Dillon(1993)的論述中早已被肯定。發現的過程中可以培養學生思考的能力，是傳統課堂教學所提供的感知(sensing)方式所欠缺的。一個學習者應能在學什麼(What to learn)及如何學(How to learn)之外，建立爲什麼學(Why to learn)的思考技巧，才能在往後的學習中無限開展。養成此種具體的科學價值與行爲，才是真正教學活動所欲追求的目標。

學習者欲順利獲致學習效果，達成知識遷移(Knowledge Transfer)，其歷程應具有以下特性：(Campione, Shapiro & Brown, 1995)

1. 廣泛應用的工具(Tools of wide applicability)：包括正確讀與寫的能力，能深入瞭解所接觸的知識領域，並吸收其內涵。不僅知識的陳述，尙包括知識的重新建構(Scardamalia & Bereiter, 1991)與溝通互動。學習者亦必須能善用技巧或工具，以獲得適當的學習輔助(Learning aids)。
2. 對領域內涵的深刻瞭解(Understanding within domain)：學習者能針對領域知識(Domain knowledge)，由大概念(macro-concept)而細概念(micro concept)逐步精緻化，並且能縱向與橫向緊密銜接，與生活經驗相互結合，並且要爲往後更深更廣的學習奠定基礎。
3. 推理思考的策略(Reasoning Strategies)：學習者必須善於掌握各種知識擴充(Knowledge-extending)與學習監督策略(monitored strategies)，整理、擴充以精緻化其認知體系。
4. 省思與闡釋(Reflection and other-explanation)：省思與討論所獲得的回饋與修正，亦可使認知體系更加精緻。

下圖表示發現式CAL的劇本軟體(Scenario software)製作過程。本文並就主題選擇、知識分析、劇情編製及其他製作細節，加以探討，以供參考。



二、主題選擇

本文選擇以國中理化教材之力學篇為教學軟體所包含的知識內涵，原因包括：

1. 該單元在國小高年級的課本教材便提及，但屬於簡單的概念介紹，譬如教小朋友知道應用槓桿可以省力。在國中理化時，則有較深入的槓桿類型與應用，輪軸、齒輪、斜面，合力與分力等應用。其知識體系由淺而深，從「知其然，不知其所以然」的 Know-what 到「告其然又知其所以然」的 Know why，有不同的階段層次，換言之，其知識體系包含有明確的知識 (explicit knowledge) 與隱示的知識 (implicit knowledge) 二種層次。
2. 該知識體系中的許多觀念應用，與吾人週遭的生活有密切關聯，譬如騎變速腳踏車及力學概念中輪軸概念的應用，使用剪刀、開罐器乃槓桿原理的應用…等等生活中的例子不勝枚舉，頗適合目前科學教育界很主觀的教學需要與實際生活相結合的理

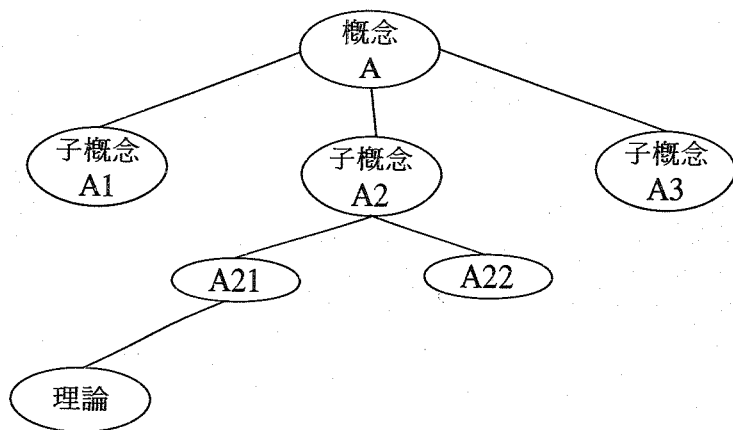
念。

3. 力學之應用，可包含有定性與定量兩種特質，前者譬如抗力點在中間的槓桿可以省力，輪軸可以改變力的方向；後者譬如計算施力多少方可以將重物抬起，計算動滑輪的個數可獲的最高的機械利益等。另外，有些問題，如兩人抬東西，則包含了定性與定量兩種特質值得加以研究分析。
4. 力學概念中包含許多迷思概念，譬如秤東西時，置於秤盤之外的東西沒有被秤到，在斜坡上人是垂直於斜坡，故易後仰；一公斤的鐵比一公斤的棉花重，若飛機的速度比子彈快，則機尾的人打不到機首的人。類似這些概念可以幫助錯誤型態 (error pattern)，思考技巧 (thinking skill) 與思考型態 (thinking pattern) 等之研究探討。

三、知識分析

依上述之理念，本文提出幾項設計原則如下：

1. 欲教授之領域知識 (Domain knowledge)，以樹狀 (Tree) 的結構表示時，如下圖：



準此，則最上層之概念即為電腦輔助學習軟體所欲教授之主題能力 (目標)，而每一概念由其下之子概念構成，欲懂該概念，則需瞭解其下之子概念。整個樹狀結構子結構之理念相同，直到最下層乃最簡單之基本原理介紹說明。電腦輔助學習軟體乃在提供使用者由上而下探索的路徑，對某一點之概念已瞭解，便不需往下繼續探索；若仍不懂，則繼續分解到下一層的呈現方式；探索的終點為最底層，乃基本原理說明介紹，可考慮在學生嘗試錯誤達三次時再告訴其原理與說明。

2. 在樹狀的知識結構中，透過一連串的劇情將之隱含於劇情中。劇本中可以有劇情不同但教學之任務卻一樣的部份；易言之，學習者可能選擇了不同的分支或路徑，但

卻是學習相同的概念或子概念，如此，學習者雖然有的劇情之點未走到，仍可以學習到整個完整的知識內涵，不致因為某些關鍵點未定到而阻礙了學習。

3. 大概念不同，則樹狀結構自然不同，而所謂一連串的情節，其情節的數目要夠，譬如要把石頭移開，同學申想到要叫起重機，但荒郊野外沒有電話；同學乙則拿出長竿與短竿，並顯示出操作與結果之異同；俟後出現了同學丙，在相同的問題情境下進行長短竿的選擇以檢驗知識是否已轉移成功。
4. 就樹狀的結構而言，吾人生活中的學習（即CAL軟體的教學順序）是上而下，即由大概念到子概念再到細概念，而教科書中的教學順序乃由下而上，由簡而難。

四、劇情編製

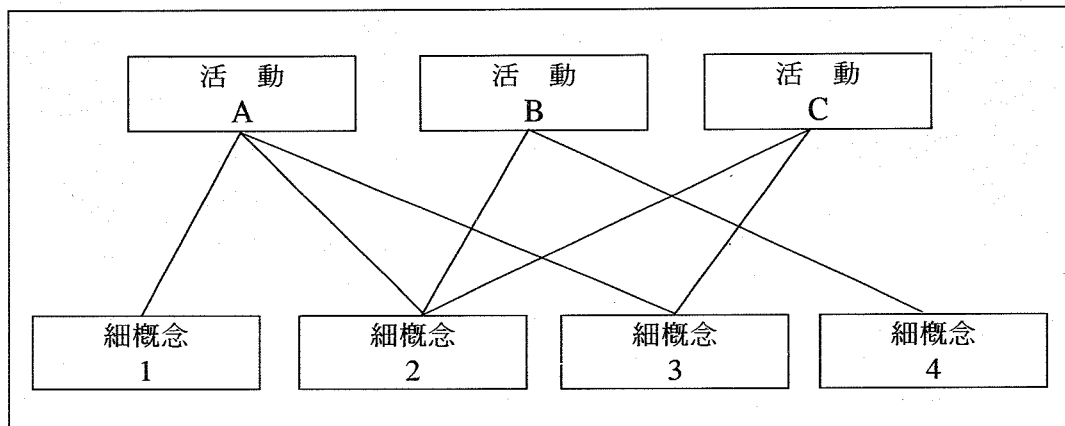
知識內涵選定之後，接著是從生活中找情境。讓操作者透過在情境中的操作以探索知識的內涵。不僅釐清迷思(misconception)及混淆(confusion)，也透過概念、原理、計算說明的三個步驟進行教學，由定性而定量的提昇教學層次。以力學之靜力平衡為例，每一個知識項目都應該有生活實例與之對應，如下表：

知 識 項 目		生 活 實 例
合 力	=0	桌上靜物
	≠0	斜面、滑梯、自由落體
合 力 矩	=0	天平秤物
	≠0	旋轉開關

以槓桿為例，包含有支點在中間、施力點在中間、抗力點在中間的三種槓桿；以輪軸而言，可以大輪帶小輪或小輪帶大輪，可以同心輪軸，可以不同心輪軸，故應發展類似下表的檢核表以檢查各活動內容與力學概念之間的對應關係，並保證軟體內涵的完備性。

力學應用 活動內容	槓 桿			輪 軸				...
	第一類	第二類	第三類	大輪帶小輪		小輪帶大輪		
				同心	異心	同心	異心	
抬石頭	V							
變速車（爬坡）							V	...
變速（下坡或平地）					V			...

由於不同的活動會應用到相同的子概念或細概念，此可由以下概念圖中看出，故其活動與概念之間是如下之結構關係：



故事的情節應與學習者的生活結合，例如以段述一群學生到郊外野營遭遇的各項待克服的問題，以及所使用不同的解決策略與方法。呈現的方式可以是正向或反向 (forward or backward) 的方式，可以連續也可以間斷。透過其中問題的呈現，學生由多媒體學習軟體中能夠學得力學中有關槓桿、輪軸、滑輪的概念，並具有將之實際運用之生活中解決問題的能力，譬如：

1. 有不同型的單車，了解輪軸的作用。(大/小輪，變速齒輪作用)
2. 上山、搭營帳有障礙，必須以槓桿原理排除。(木棍頂掉石頭，剪刀剪鐵絲或線)
3. 有不同的滑輪，瞭解並會應用以懸吊物品達成省力的目的。

另外，也可以考慮：

1. 劇情不必太感性，以免影響理性的學習。
2. 可考慮加入一頑皮人物擔任串場的角色。

五、製作階段

將各種情境及其操弄 (manipulation) 之結果的呈現畫面撰寫成腳本後，經由學科專家、程式設計人員、媒體專家所組成的專家會議討論之後，即可進行畫面內容的拍攝，然後由電腦人員將畫面剪輯成電腦檔案，以供程式設計人員設計成課程軟體，程式設計的主要工作是畫面流程控制，依劇本將各個點串接起來。

技術上的限制，主要來自記憶體空間的有限，由於影像、動畫之檔案太佔空間，所

以以抬石頭為例，可以將結果畫面限制在只有“抬得動”與“抬不動”二種，若空間仍然不足，可考慮僅用文字呈現的方式。此為受限於儲存媒體容量有限之變通作法，在媒體技術一日千里的發展趨勢之下，此缺點應可以很快被克服。

六、結語

發現式CAL所設計之教材，由於透過問題（互動式）來檢驗學生的學習狀況，決定劇本的下一步，故可改進傳統教學上僅培養學生關於 what 與 how 的知識，甚至在教學時間有限，為了趕進度，為了考試有好成績，跳過了 what 而只強記 how 的情形。本設計由 why → how → what 的由上而下分析 (Top-Down Analysis) 及仔細分析活動與概念之間的對映 (mapping) 關係，嵌入劇情的由下而上建置 (Bottom-Up Implementation) 方式，不僅符合軟體工程的理念，亦可培養學習者具備真正的解題能力。

七、參考資料

- Bruner, J. (1986). Actual minds, possible worlds. Cambridge, MA: Harvard Univ.
- Campione, J.C., Shapiro, A.M., & Brown, A.L. (1995). Forms of Transfer in a community of Learners: Flexible learning and understanding. In A. McKeough, J. Lupart, & A. Marini (Ed.), Teaching for transfer fostering generalization in learning. (35-68). Hove, UK: Lawrence Erlbaum.
- UNESCO (1991). Science curriculum for meeting real-life needs of younger learner. Bangkok: UNESCO. Principal Regional Office. for Asia & the Pacific. p.22.
- Dillon, P.J. (1993). Technology, economy and the environment education about the issues, In I. Mottier, J.H.Raat, & M.J. De Vries (Eds.), Preceeding of the sixth International PATT-conference (225-239). Breukelen, The Netherlands: PATT-Foundation.
- Heller, R.S. (1990, Summer). The role of hypermedia in education: A look at the research issues. Journal of Research on Computing in Education, 22(4), 431-441.
- Keegan, M. (1995). Scenario educational software: Design and development of discovery learning. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Pubs.

(下轉第19頁)