

利用 ISM 建立學習知識結構以提升教學效益

-以國中自然科二年級單元為例

廖冠博
國立臺中教育大學
教育測驗統計研究所
碩士生
windlaugh@hotmail.com

施淑娟
國立臺中教育大學
教育測驗統計研究所
教授
ssc@mail.ntcu.edu.tw

蔡清斌
國立臺中教育大學
教育測驗統計研究所
博士候選人
tsai.chenbin@msa.hinet.net

永井正武
國立臺中教育大學
教育測驗統計研究所
教授
nagai@kamakuranet.net.jp

摘要

詮釋結構模式 (Interpretive Structural Modeling, ISM) 是利用數理方式來分析整理單元內概念及各單元間概念的關係，並且形成整體的階層圖。而本研究是利用此法將國中理化科單元內有相關的概念做整合，並且形成關聯構造階層圖後再與教科書內容能力指標比較差異。而此結構也可提供教師判斷在教學中可以提供學生較佳的學習路徑，以預防學生產生太多迷思概念，達成有效教學的目標。也可提供教師在進行強化教學時針對學生主要的迷思路徑進行有效率的解釋與引導。

關鍵詞：詮釋結構模式、關聯構造階層圖、學習路徑、迷思概念、有效教學。

Abstract

ISM use mathematical manner to analyze the relation of concepts in the units, and link the concepts into a structurally hierarchical graph. This study use the method to integrate related concepts within the units of science subjects at junior high school and form the structurally hierarchical graphs to compare with the competence indicators of textbooks. This structure can also help teachers to judge better learning path for students in teaching to prevent students from producing too many misconceptions so that the aims of effective teaching can be achieved. For the main myth paths of students, it can also enable teachers to provide students with an efficient interpretation and guidance when strengthening their teaching effectiveness.

Keywords: ISM, structurally hierarchical digraph, misconception, learning path, effective teaching.

1. 前言

詮釋結構模式 (interpretive structural model, ISM) 是一種數理分析方法，可以將具有複雜關係的不同概念間轉換為關聯構造階層圖 (Tsai, Chen, Nagai, 2013; Tsai, Nagai, 2013)，方便確認不同單元間的關聯性與單元內的概念作橫向的聯繫並且整合成全面的內容架構 (永井正武、蔡清斌、陳姿良，2013)，而此模式被廣泛的應用於各種統計方法與學科上，如在工業設計的規劃 (王麗幸、謝玲芬，2009) 與觀光產業的發展或醫學技術上的整理都能夠有效地整理出所需要的資訊 (謝玲芬、黃婷筠、劉淑梅，2007; 張寧，2007; 石娟等，2007)，而應用在教學的學科上面也可以用來建構教師教學與學生學習知識概念構圖 (許天維等，2012; 許天維等，2012; 徐賢德，2004)。

從十二年國民基本教育推行下，學生具備全球化與國際化的競爭力與合作能力更是重要的指標，所以在學校教育內將學科理論與實際現象結合是重要的一環 (教育部網站-人才培育白皮書，2013)。在自然與生活科技領域中的理化科更是結合知識與實際現象的一門科目。而學生因為無法具有清楚的整體結構，往往在知識與現象的連結上產生迷思概念或片段知識 (邱韻如，2011)，所以教師在進行教學時必須呈現整體結構以便學生進行了解。 (邱韻如、蘇裕年、羅榮裕，2009; 余曉清、連文惠、蘇蘭雅，2000) 現今在國中自然科的理化教學上用的教材，通常是依照教育部編定的能力指標融合分章節而成，若能把一個單元內的概念內容加強橫向聯繫形成一個結構，與進一步在兩個以上相關單元間形成概念的整體架構，在教師的教學效益會有所幫助。而且也可檢驗學生的概念認知結構是否正確，進一步幫助教師在自編教材內容的修訂。

使用 ISM 來輔助建構一個單元內的概念認知結構圖 (許天維等，2012; Sheu, etc, 2013) 或利用 MSM 來建構相關單元間的完整教學結構分析圖是自編教材的重要事項。本研究的目的

在於利用軟體形成單元內或單元間的概念結構圖後可以提供教師兩個好處:其一,在教室教學時可以按照結構圖上與學生可以理解的現象貼近的上層概念來引導學生思考基本概念,或往上延伸思考高層次的概念,產生學習的跳躍;其二,在實施測驗後可以檢視學生學習問題的路徑,並且在補救教學時進行更有效率地引導學生掌握理想的學習路徑,較能清楚地掌握迷思並協助學生進行消除(J. N. Warfield,1982;蔡清斌等,2013)。

教學的現場面對的學生往往是異質化的,而且不同班級的學生學習狀態更是不同,若用同一方式與內容進行教學,一定會因為學生的不同反應而影響到進度與流程(廖焜熙,2001;劉佩雲,2009),所以如果可以應用此結構分析圖來進行教學,在學生的學習狀況的掌握程度一定會有所提升,也可以利用引導式教學讓學生更有興趣來學習。

2. 文獻探討

2.1 詮釋結構模式(ISM)

詮釋結構模式是由 J.N.Warfield 所提出的數理分析方法,是將複雜系統中,不同類型元素之間的關係,轉變為關聯構造階層圖的數理方法(。運用在分析上,係利用圖解理論(Graphic Theory)中的階層有向圖(Hierarchical Digraph),來描述不同類型元素之間的關係。如此可使複雜系統中片段、抽象化的不同元素,轉變為具體化、全面化的關聯構造階層圖。因此,在複雜的系統中可以將不同類型元素之間的關係,由片段、抽象化的要素,轉變為具體化、全面化的關聯構造階層圖,可以釐清複雜事態的結構。

運用 ISM 於行列式中時,必須排列各要素間的關係,以「1 和 0」的二值表示各要素相關或不相關,將事件中的所有構造要素,顯且易見轉變成關聯構造階層圖,而得到各構造要素的分佈位置。本文經由矩陣運算處理,將試題依照其概念進行分類排序,藉由 ISM 的圖型結構顯示概念試題學習的因果次序,成為鑑別概念試題學習路徑的新方法。

2.1 MSM (Matrix Based Interpretative Structural Modeling)定理

MSM 是由蔡清斌與永井正武於 2013 年提出,旨在延續 ISM 的方式而利用在分析不同系

統上,其系統與系統間的結構關係,其利用 MSM 系統下的可達矩陣,所形成的系統間的結構圖(Tsai, Nagai, 2013),本文利用自然科兩單元的詮釋結構圖,再經過 MSM 定理結構化與運算,做出兩單元間完整教學結構分析圖。

定義 1: MSM 定理

假設 MSM 的系統結構如下:

$$W = MSM(M, T, f) \quad (1)$$

其中, $M = \cup M_k$ 是一個因素集的聯合矩陣。設 T 為結構矩陣, $T = \cup_{r \in M} T_r$ 。f 是可達函數。

$$f: M \times M \rightarrow T,$$

$$M \times M = \{(m_i, m_j) | m_i, m_j \in M\},$$

$$f(m_i, m_j) = m_{ij} \in T_r.$$

由於 f 是可達的映射函數,則 f 滿足以下:

1. 自反律: $f(m_i, m_i) = 1 \Leftrightarrow m_i \rightarrow m_i \quad \text{for } \forall i$

2. 反對稱律:

$$f(m_i, m_j) = f(m_j, m_i) = 1$$

$$\Leftrightarrow m_i \rightarrow m_j, m_j \rightarrow m_i \Rightarrow m_i \leftrightarrow m_j$$

$$\Leftrightarrow m_i = m_j \quad \text{for } \forall i \neq j$$

$$f(m_i, m_j) = 1, f(m_j, m_k) = 1$$

$$\Rightarrow f(m_i, m_k) = 1$$

3. 傳遞律:

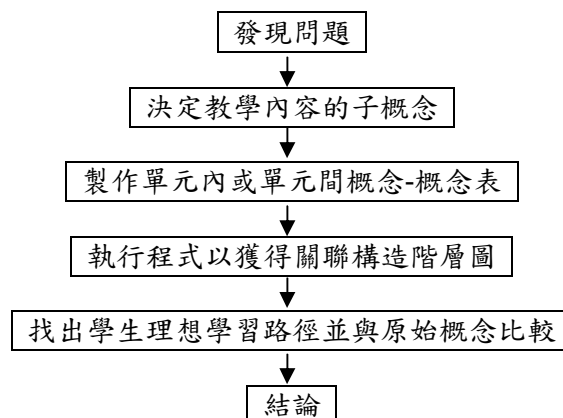
$$\Leftrightarrow m_i \rightarrow m_j, m_j \rightarrow m_k$$

$$\Rightarrow m_i \rightarrow m_k \quad \text{for } \forall i \neq j \neq k$$

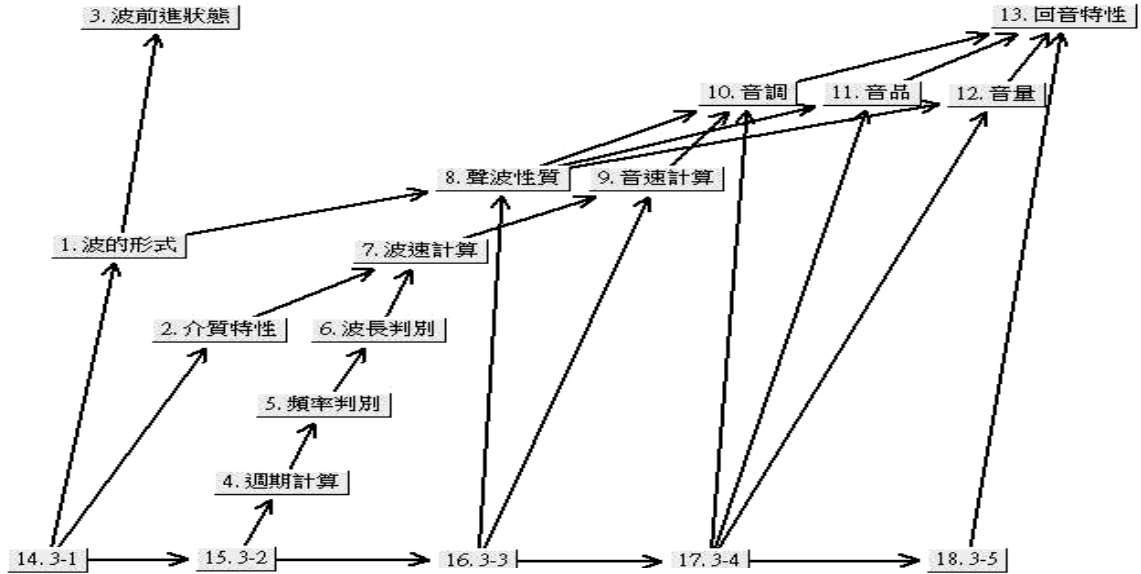
3. 研究方法

3.1 研究步驟圖

本研究設計應用 ISM 與 MSM 經程式建構出整體架構並經由教師與原教材概念作比較後,預期可以增加教學效益,研究步驟如圖一。



圖一 研究步驟圖



圖二 波動單元關聯構造階層圖

表五 波動與光兩單元概念-概念表

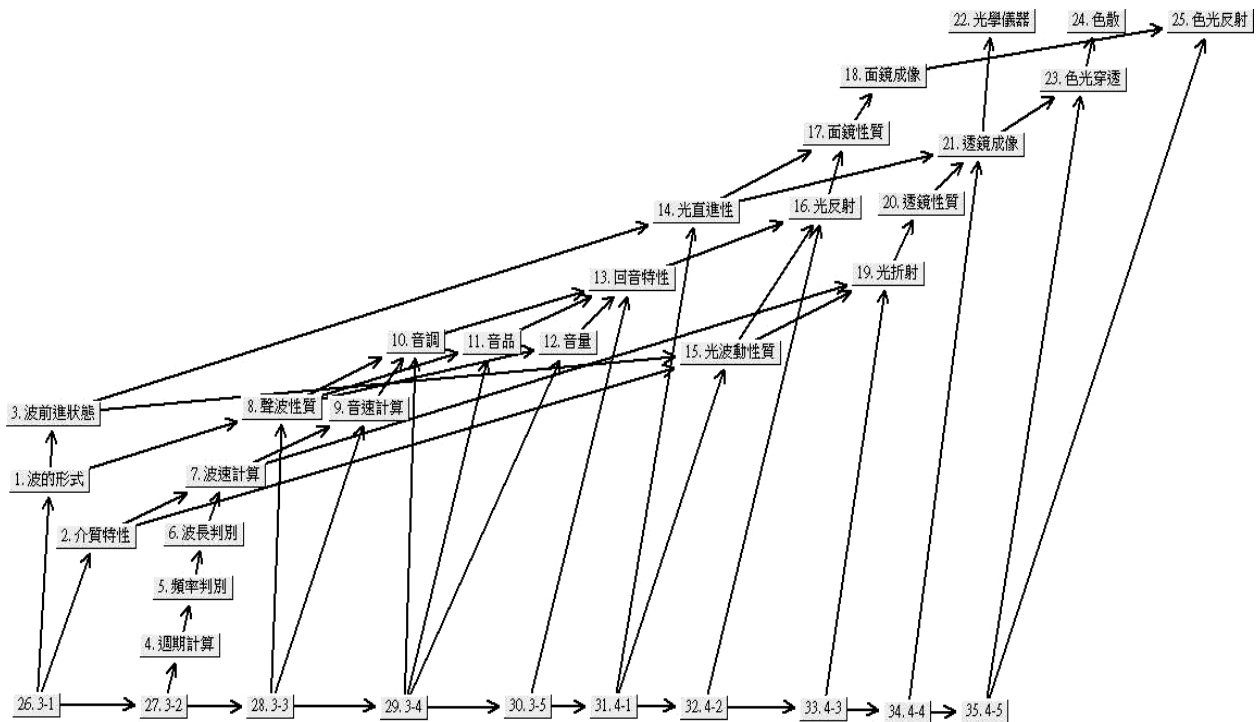
概念\概念	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	AA	AB	AC	AD	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	BA	BB	BC	
A1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A6	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
A7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
A8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	
B5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	
B6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
B7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	
B8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	
B9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
BA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
BB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
BC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	

3.3 製作 ISM 概念結構圖

關聯矩陣後利用 ISM 軟體進行計算得到如文中的結構關聯階層圖。透過由得到的關聯構造階層圖，教師在教學實施時可以兼顧章節順序與內容概念，也可將單元內的整體架構透

過教學讓學生獲得。

上圖二便是搭配表一經由程式繪製出來的波動單元關聯構造階層圖，在每個概念的關係之間都有方向性，其餘單元也可經由程式得到該單元的概念結構圖如附件。由於波動與光兩單元間概念也有關聯如表五，所以可以得到更大的架構圖如圖三。



圖三 波動與光兩單元關聯構造階層圖

3.4 發展學生理想學習途徑

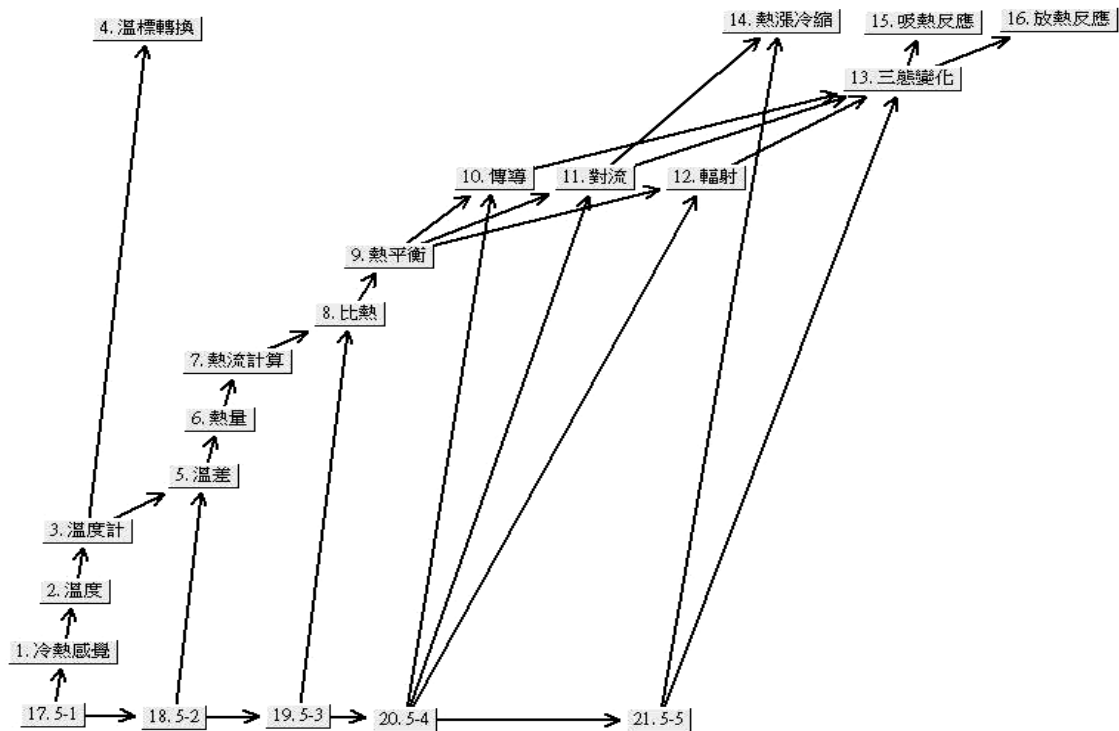
由圖二中可以規劃出學生在波動單元每個概念連接的途徑，可以發現對較高層次的概念通常不只一個路徑就可以讓學生理解，必須要兼有其他的概念才能使學生完整的學習，而教師的教學內容便可依各個路徑來進行設計。

教師在設計教學內容時也可直接將較高層

次的概念與日常現象結合來引導學生思考，讓學生自行建構出學習內容架構，如利用表六與圖四中熱單元中「熱平衡」的概念，此概念比較容易與學生的經驗作結合，但是「比熱」的概念卻比較難與現象做結合，若教師在設計教學流程時能依據此結構圖來設計，利用實際現象可以讓學生自行獲得比熱的概念，也可以讓學生進行跳躍思考獲得「傳導」、「輻射」、「對流」的概念，掌握單元內架構。

表六 熱單元概念-概念表

概念\概念	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG
C1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1
C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
C3	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
C4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
C6	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
C7	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
C8	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
C9	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
CA	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1
CB	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
CC	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1
CD	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
CE	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
CF	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0
CG	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1



圖四 熱單元關聯構造階層圖

4. 結果與討論

4.1 透過 ISM 與 MSM 可以達成的效果

由形成的單元內的概念結構圖所示，教師可以按照整體架構依序進行教學，學生也可以將此圖內概念的關係路徑當成理想的學習途徑，可以在教學完後對學生進行評量以評估學生的真實學習途徑關係。

4.2 將各單元的概念結構圖與概念表比較與分析

在教學現場上進行教學時，教師通常要根據不同的學生狀況與環境來設計教學內容，若只根據單元概念表所找出的概念項目依序進行教學，容易有兩個困難點，其一：學生學習時候若在某些概念不清楚，無法由單元概念表直接獲得比較清楚的解釋；其二：常常會遇到學生在單元的學習上沒有完整的概念架構的情況，而由本研究繪製而成的關聯階層圖可以提供幾個功能幫助教師在進行教學判斷的支持依據。

其一，可以提供學生學習單元內容的完整性，了解各個概念的學習途徑；其二，在根據教師教學經驗，可以由此圖觀察學生的學習過程可能會產生的迷思概念間關係，以便決定更有效益的教學方式；其三，提供教師以此圖檢

驗學生學習狀況並且掌握授課進度與教學時間的安排，避免學生容易有不熟或練習疲乏的現象產生。

5. 後續發展與討論

5.1 預期的效益

1. 依教學的學習概念與教學時間先後完成該單元學習知識結構可使教師更能掌握教學進度與改善教學策略。
2. 以相關的概念組成關聯構造階層圖以提供學生最佳的學習途徑。
3. 在學生產生迷思後教師可以清楚掌握學生學習迷思概念所在。

5.2 學生對理想學習途徑的認知的影響與發展

學生在進行學習的時候，如果能有預先了解自己即將學到的內容與架構，則會對自己的學習狀態有所提升，也可幫助學生增進後設認知的能力。所以提供給學生明確的學習途徑，不同概念間的關係就是很重要的一環。

5.3 後續的發展

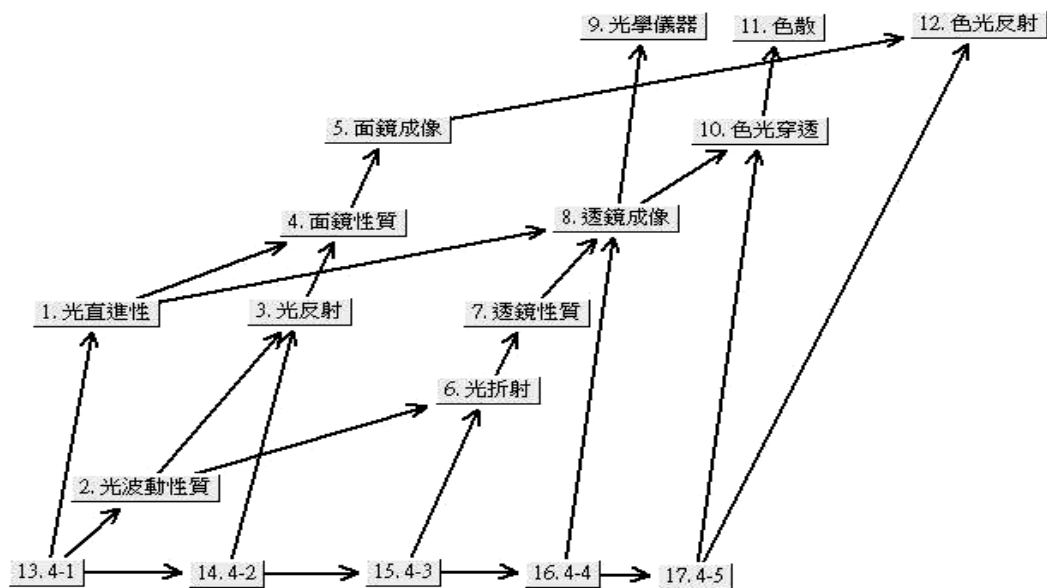
在完成教學後若要評估學生是否具有完整單元概念，可以由試題與概念間的關係去進行計算與評估。再加入學生與試題間的答題情形，

便可以得到學生在任一條學習途徑上的通過率情形，藉此了解此概念的難易程度與在強化教學上直接能針對學生的學習問題進行解決。這也是 ISM 可以繼續應用的部分。

參考文獻

- [1] Tsai, C. P., & M. Nagai, "Matrix Based Interpretative Structural Modeling." *International Journal of Kansei Information*, 4(3), pp. 159-174, 2013.
- [2] Tsai, C. P., Chen, T. L., & M. Nagai, "Structural Analysis Based on 5W1H and ISM Method." *International Journal of Kansei Information*, 4(2), pp. 55-66, 2013.
- [3] 永井正武、蔡清斌、陳姿良，"Matrix Based Interpretative Structural Modeling—從 ISM, FSM, GSM 的介紹以及 RSM 的提案"，**第五屆科技與數學教育國際學術研討會暨數學教學工作坊**。臺中市臺中教育大學，2013。
- [4] 王麗幸與謝玲芬，"結合 ISM 與 ANP 建構知識管理系統評估模式"，*管理與系統*，16(2)，pp. 219-241，2009。
- [5] 謝玲芬、黃婷筠、劉淑梅，"以顧客關係管理構建內外部顧客滿意度之評估模式—以台灣連鎖飯店業為例"，*績效與策略研究*，4(1)，pp. 49-70，2007。
- [6] 張寧，"從複雜到結構：詮釋結構模式法之應用"，*公共事務評論*，8(1)，1-28，2007。
- [7] 石娟、駱有庆、严晓素、陈卫平、蒋平，"应用解释结构模型分析松林系统对松材线虫干扰的响应"，*林業科學*，43(8)，pp. 85-90，2007。
- [8] 許天維、蔡清斌、曾建維、陳姿良、姜秀傑、劉維玲、永井正武，"以粗糙集探討學習迷思區之結構—以國中數學二元一次方程式為例"，**第十七屆灰色系統理論與應用暨第四屆感性工學聯合研討會**，pp. 326-334，2012。
- [9] 許天維、曾建維、蔡清斌、陳姿良、永井正武，"結合迷思序與結構分析法於學習迷思解析探討—以國中數學一元一次方程式為例"，**「2012 科技教育研究與發展學術研討會」發表之論文**。高雄市高雄師範大學，2012。
- [10] 徐賢德，"結構化的客家語教材以康軒版客家語第一冊為例"，*市師社教學報*，pp. 137-152，2004。
- [11] 教育部網站 - 人才培育白皮書 <http://www.edu.tw/pages/list.aspx?Node=1255&Type=1&Index=3&wid=45a6f039-fcaf-44fe-830e-50882aab1121>
- [12] 邱韻如，"掌握時機進行主題教學—以 2009 科學年為例"，*物理教育學刊*，12(1)，47-55，2011。
- [13] 邱韻如、蘇裕年、羅榮裕，"以問代答引導學生思考與探索—以擺與振主題教學為例"，*物理教育學刊*，10(1)，pp. 41-54，2009。
- [14] 余曉清、連文惠、蘇蘭雅，"中等學校實習教師之反省式科學教學行動研究"，*科學教育學刊*，8(3)，pp. 273-286，2000。
- [15] 許天維、曾建維、蔡清斌、陳姿良、永井正武，"以 GSP 表與 ISM 鑑別國中數學一元一次方程式單元學習困難點之研究"，**2012 資訊科技國際研討會暨第二屆網路智能與應用研討會 AIT/NCWIA 2012**。臺中市朝陽科技大學，2012。
- [16] Sheu, T. W., Chen, T. L., Tzeng, J. W., Tsai, C. P., Chiang, H. J., Chang, C. L., & Nagai, M., "Applying Misconception Domain and Structural Analysis to Explore the Effects of the Remedial Teaching," *Journal of Grey System*, 16(1), pp. 17-34, 2013.
- [17] 蔡清斌、許天維、曾建維、陳姿良、永井正武，"迷思概念診斷新模式—結合學習迷思區與迷思次序演算的應用"，**臺中教育大學學報：數理科技類**，27 (1)，pp. 1-19，2013。
- [18] 廖焜熙，"理化科學概念及過程技能之研究回顧與分析"，*科學教育*，pp. 2-11，2001。
- [19] 劉佩雲，"課室結構知覺對科學知識信念、學習成就與迷思概念的影響"，*課程與教學*，12(2)，pp. 135-159，2009。
- [20] J. N. Warfield, "Interpretive structural modeling (ISM) Group Planning & Problem Solving Methods in Engineering," (*New York: Wiley, 1982*).
- [21] 林小慧，"CISC 教學策略與國中生微粒概念學習成效之相關研究"，*教育心理學報*，39(4)，pp. 533-554，2008
- [22] 許良榮，"中小學生對於金屬之分類的迷思概念研究"，*科學教育學刊*，11(3)，pp. 277-296，2003。

附件



圖五 光單元關聯構造階層圖

表七 光單元概念-概念表

概念\概念	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	BA	BB	BC
B1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
B2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
B4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
B5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
B6	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1
B7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
B8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
B9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
BA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
BB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
BC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

表九 熱單元概念表

課本章節順序	概念名稱	概念代碼
5-1	冷熱感覺	C1
5-1	溫度	C2
5-1	溫度計	C3
5-1	溫標轉換	C4
5-2	溫差	C5
5-2	熱量	C6
5-2	熱流計算	C7
5-3	比熱	C8
5-2	熱平衡	C9
5-4	傳導	CA
5-4	對流	CB
5-4	輻射	CC
5-5	三態變化	CD
5-5	熱漲冷縮	CE
5-5	吸熱反應	CF
5-5	放熱反應	CG

表十 物質單元概念表

課本章節順序	概念名稱	概念代碼
6-1	純物質	D1
6-1	混合物	D2
6-1	元素	D3
6-1	化合物	D4
6-1	元素命名	D5
6-2	元素分類	D6
6-2	金屬性質	D7
6-2	非金性質	D8
6-2	元素型態	D9
6-2	反應性	DA
6-2	導電性	DB
6-2	延展性	DC
6-3	原子	DD
6-3	原子說	DE
6-3	粒子	DF
6-3	原子核	DG
6-3	原子結構	DH
6-4	週期表	DI
6-4	族	DJ
6-4	週期	DK
6-5	分子	DL
6-5	化學式	DM