

運用錯誤類型資訊建置即時反饋系統題庫之效益： 以微積分課程為例

張其棟¹ 陳穗碧² 魏傳昇^{1,*}

¹逢甲大學 應用數學系

²童綜合醫療社團法人童綜合醫院 資訊部

摘要

微積分是許多大學科系的必修課程，主要是介紹基本的數學概念和計算方法，由於題材豐富且涵蓋多元的計算技巧，部分學生會感到學習困難而失去學習動機，造成進度落後導致學習成效不佳。本研究運用錯誤類型(error pattern)資訊建置即時反饋系統(Interactive Response System, IRS)測驗題庫，融入微積分教學作為形成性評量(formative assessment)，以增進學生學習意願並提升學習成效。本研究採用Kahoot!作為即時反饋系統，研究對象為某私立大學跨科系四個班級修習微積分(一)課程共217位學生，研究流程為先運用錯誤類型資訊編製Kahoot!試題，教師依教學進度於課堂適時施測，再以問卷調查和期中與期末考成績蒐集學生回饋資料，最後針對量化與質性資料進行分析處理，獲得研究結果為：一、應用錯誤類型資訊編製IRS題庫，能有效引導學生修正錯誤概念。二、以IRS作為形成性評量，能促進學生於學習態度的正向改變。本研究亦提供具體的建議方案，可作為相關學者進行研究以及有意運用IRS融入教學的教師參考。

關鍵詞：Kahoot!、形成性評量、即時反饋系統、微積分、錯誤類型

壹、緒論

微積分(calculus)常是大學理工與商管學院相關科系的必修課程，主要是介紹基本的數學概念和計算技巧，應用於各個領域發展專業知識，因此在大學教育占有舉足輕重的地位(Muzangwa & Chifamba, 2012)。雖然微積分在專業知識的習得與進階技能的養成擔綱重要角色，卻也因其豐富的題材和多元的技巧導致部分學生在學習上遭遇困難。倘若

學生無法適時複習趕上進度，就會隨教材持續加深加廣形成累積效應，惡性循環之下導致學習成效低落。因此，分析學生的學習困難即為改善微積分教學的重要議題。

導致學生學習微積分成效不佳的主要因素之一，來自於對微積分的迷思概念(misconception)。迷思概念就是對專業知識的認知產生錯誤概念(Gilbert & Watts, 1983; Hancock, 1940)，可能發生的原因為生活經

*通訊作者：魏傳昇，cswei@fcu.edu.tw

(投稿日期：民國110年6月30日，修訂日期：民國110年12月14日，接受日期：民國110年12月14日)

驗、同儕文化、日常用語與科學符號的混淆(Gilbert & Watts; Head, 1986; Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994)。為提升學生學習微積分的成效，分析學習者可能產生的迷思概念即為重要的研究議題，以導數的乘法律(product rule)公式 $[f(x)g(x)]' = f'(x)g(x) + f(x)g'(x)$ 為例，部分學生會將其與導數的加法公式 $[f(x) + g(x)]' = f'(x) + g'(x)$ 產生連結得出 $[f(x)g(x)]' = f'(x)g'(x)$ 的錯誤結果，又例如對導數鏈鎖律(chain rule)公式 $[f(g(x))]' = f'(g(x))g'(x)$ 的應用流程不完整，而使用了錯誤的公式 $[f(g(x))]' = f(g(x))g'(x)$ (劉湘川等，2010)，因此偵測學生的迷思概念將有助於學生在微積分課程上的學習。

為得到學生可能產生的迷思概念，必須先瞭解對應的知識結構(knowledge structure)。知識的組織是透過具有關聯性的網路結構來達成，以概念為節點(node)，節點之間的連結代表概念之間的關係，由點與線交互連結而形成的網路即為知識結構(Morton & Bekerian, 1986)。分析專家與生手間知識結構的差異，有助於釐清學習歷程中可能產生的迷思概念，因此相關理論被應用於發展認知診斷評量(cognitively diagnostic assessment)測驗系統(Britton & Tidwell, 1995)。學習時所產生的錯誤認知與處理數學問題時所犯的錯誤常呈現系統性的因果關係(Radatz, 1980)，這些錯誤的原因會在學生作答時以不同的類型展現，我們將這些錯誤情況分類並稱之為錯誤類型(error pattern)。Ashlock (1990)指出分析錯誤類型能夠提升教學成效與學生的學習成果，若能引導學生發現自身錯誤進而產生認知衝突(cognitive conflict)，就能讓學生達到概念修正的效果(邱美虹，2000；張靜儀，2002)。因此，運用知識結構與錯誤類型資訊編製試題偵測學生的迷思概念，並藉由認知衝突的歷程促使學生進行概念修正，即為

提升微積分教學成效的可行辦法，在函數與極限(Denbel, 2014; Tall, 1994)、微分(劉湘川等，2010；Tall)及積分(Seah, 2005; Tall)等主題都有對應的探討。

上述利用知識結構與錯誤類型資訊編製試題原是應用於紙筆測驗，近年來則建置於電腦測驗系統，例如Appleby, Samuel與Treasure-Jones (1997)開發Diagnosys系統提供大學新生進行基礎數學技能的診斷，Chang, Liu與Chen (1998)設計測驗系統偵測學生於直流電路的迷思概念，郭伯臣(2003，2004，2005)則是建立國小學童的適性測驗系統。不過以上應用著重於學生的個人學習診斷，教師必須等待測驗完成後由系統平臺輸出的數據資料才能檢視學生學習成效，較難運用於課堂上以逐題的方式，透過施測、檢視全班作答結果，以及回顧重點和檢討的循環歷程，達到逐步修正學生迷思概念的效果。故本研究於微積分教學導入即時反饋系統(Interactive Response System, IRS) Kahoot!作為形成性評量(formative assessment)，使教師得以在課堂上彈性實施以偵測學生的迷思概念。IRS的運作方式為利用平臺系統將教師與學生進行連結，學生透過行動載具即時將回饋訊息傳遞至平臺，教師再藉由系統的統計分析結果瞭解學生的學習狀況，作為教學策略與進度調整的參考依據(Wang, 2015; William, Christy, Katherine, & Valerie, 2007)，亦可藉此增進教師與學生的互動機會(Chuang, 2015; Heaslip, Donovan, & Cullen, 2014)。

基於以上論述，本研究的特色為結合知識結構和錯誤類型相關理論與IRS，發展對應的試題編製與課堂教學策略，先應用知識結構與錯誤類型資訊建置IRS題庫，再於課堂靈活運用IRS施測作為形成性評量，逐題落實偵測學生迷思概念、回顧重點和檢討的循環歷

程，達到修正學生錯誤觀念的目標，並探討對應的教學成效與學生態度展現，因此設定的研究問題如下：

- 一、應用錯誤類型資訊編製IRS題庫，能否有效引導學生修正迷思概念？
- 二、以IRS作為形成性評量，能否引發學生學習態度的正向改變？

貳、文獻探討

本研究依據研究動機與研究問題，先對大學微積分之迷思概念與學習困難之相關研究進行探討，再闡述運用知識結構與錯誤類型資訊編製試題偵測學生迷思概念的可行性，接下來是分析IRS融入課堂教學的成效，最後則是論述運用知識結構與錯誤類型資訊建置IRS題庫之價值與影響。

一、大學微積分之迷思概念與學習困難之研究

微積分承擔銜接高等教育相關數學課程的重責大任，後續包含機率論、最佳化、微分方程和分析等課程(Muzangwa & Chifamba, 2012)，並廣泛運用在科學、工程、經濟學和管理學等領域。然而不少學生在學習微積分的過程適應不良，除了自身在認知上的落差，也跟學生一旦疏於學習便難以跟上進度有關；也有研究指出微積分的初學者大都只是片面的學習計算，對理論卻沒有深入的瞭解(Aspinwall & Miller, 1997; Orton, 1983a, 1983b; Tall, 1994)，以上皆可能導致學生產生錯誤概念，使得微積分的學習成效不佳。學生發生學習困難的因素大多來自對專業知識的認知產生錯誤概念，意即在理解上存在所謂的迷思概念(Gilbert & Watts, 1983; Hancock, 1940)。迷思概念的發生可歸因於日常生活經驗與觀察、同儕文化、日常用語與科學符號

混淆等(Gilbert & Watts; Head, 1986; Wandersee et al., 1994)。針對微積分學習者的迷思概念與學習困難，相關文獻的回顧整理與重點摘要如表1。

由上述可知，學生對於概念性的理解有認知上的誤謬，學習上偏向程序性的計算，因此記憶新公式時常與過往的基礎公式產生不當連結，或是未能完整執行公式的計算流程，導致學習時陷入困境。故本研究將學生使用公式時常見的錯誤類型(如表1鎖鏈律公式之誤用)納為IRS試題編製之誘答選項，讓學生即時發現自身錯誤並更正迷思概念，以利後續學習。

二、運用知識結構與錯誤類型資訊編製試題的理論與實徵研究

知識結構於學理方面的闡述，Morton與Bekerian (1986)主張將知識結構區分為「語意網路理論」(semantic networks theory)與「基模理論」兩類，其中語意網路理論認為大腦記憶中對於知識的組織方式是透過具有關聯性的網路結構來達成，此網路結構以概念為節點，節點與節點之間的連結線則代表概念之間的關係，由點與線交互連結而形成的網路即為知識結構，亦是本研究主要探討及採用之觀點。由於專家的知識結構並非唯一且絕對，不同成員可能討論出不同結果，建立時考量的原則應包含：每一個知識節點是否為單一概念、上下位節點的次序性是否明確合理、節點的敘述是否清楚明確等(吳慧珉, 2006)。在知識結構相關的實徵研究中，釐清專家與生手之間的知識結構差異即為探討的主要焦點之一，例如Azzarello (2007)分析修習護理學後不同學習表現者之間的知識結構差異；Boldt (2001)比較教師、碩士生及大學生在會計學之知識結構的相近程度；Schoenfeld與Herrmann (1982)探討專家與生

表1：微積分之迷思概念與學習困難之相關研究

研究者	研究結果摘要
Tall (1994)	1.學生對極限概念有認知上的困難，例如：對於「極限」、「趨向於」、「接近」、「任意地小」等術語在口語上的意義與正式的數學概念產生衝突。 2.較關注於可遵循的微分與積分公式運算，一旦問題稍微超過學生的學習經驗，便覺得困難。
Seah (2005)	學生在解積分問題時所面臨的困難： 1.未能理解定積分的意義，不清楚函數圖形圍成的區域面積與積分範圍。 2.當函數圖形位於x軸下方時，學生便無法正確算出圖形所圍成的區域面積。 3.無法理解求不定積分相當於求反導函數，常忽略不定積分答案後方的常數C。 4.將微分公式誤用在計算積分的問題上。
劉湘川等 (2010)	學生使用微分公式所產生的錯誤類型，依型態可歸納成三大類：迷思、迷失及錯置： 1.迷思為學習者產生不該有的錯誤關聯，如使用錯誤公式： $[f(g(x))]' = f'(g'(x))$ ，或受加法、乘法律的影響而誤用公式等。 2.迷失為缺少正確的關聯，如缺乏正確的運算法則： $[f(g(x))]' = f'(g(x))$ ，或忽略對稱性、交錯性和必然性等。 3.錯置是指學習者忽略公式執行之先後順序而產生的失序(或流程不完整)，如 $[f(g(x))]' = f(g(x))g'(x)$ ，或順序錯誤，或將公式錯誤混搭等。
Denbel (2014)	學生把所求的極限值視為一個動態的過程，而不是一個靜態的結論，並且認為極限值會等於函數在該點的函數值，意即極限可透過直接代入求得。

手在解數學問題時，對於問題結構分類的方式；Chi, Feltovich與Glaser (1981)則研究專家與新手對物理問題分類的差異。國內的研究則有游森期與余民寧(2006)分析不同學力程度的國小學生，在數學科於知識結構的差別。

綜合上述，學生(生手)與學科領域(專家)的知識結構存在著差異，因而學習上容易有錯誤的認知與理解，意即具有迷思概念。Radatz (1980)指出學生在面對數學問題所犯的錯誤有其因果關係，且通常是有系統性的。Resnick等(1989)則將學生錯誤演算的原因歸納為兩種，一種是來自於對過去演算規則的類化，並外推到目前的情況，另一種則是不熟悉目前的演算公式或忽略其規則的限制。不論錯誤的原因為何，皆在學生作答時以不同類型的錯誤情況呈現，我們將這些錯誤情況分類並稱之為錯誤類型。若能將錯誤類型加以分析，則有助於改善教師的教學成效與學生的學習成果(Ashlock, 1990)，唯有引導學生在學習上發現自身的錯誤，進而產生認

知衝突才有機會改正學生的錯誤觀念，達到概念改變的效果(邱美虹，2000；張靜儀，2002)。因此，如何有效及準確診斷學生的迷思概念，一直是專家學者所關注的議題。關於運用知識結構與錯誤類型資訊編製試題之實徵研究，整理文獻回顧如下：Appleby等(1997)開發Diagnosys系統，針對大學工科的人學生進行基礎數學技能的診斷，系統的建置除了利用專家知識與學生知識結構的階層性編製試題以達到省題的效果之外，亦具有立即回饋訊息的功能；Chang等(1998)則以直流電路的主題為例，設計診斷學生迷思概念的測驗系統，並以學生的迷思概念作為答題選項，系統會根據受測者作答之選項決定下一題的題目，以達到個別化的適性效果；郭伯臣(2003，2004，2005)則利用順序理論(ordering theory)、試題關聯結構理論(item relationship structure)分析國小學生在數學科領域的知識結構，並依結果建立測驗系統，除了提升省題效果及診斷精確度之外，系統亦提供學童適性測驗及立即回饋的功能。

三、應用IRS融入課堂教學的方法與實徵研究

由於資通訊科技(information and communication technology)的快速發展，IRS被應用於許多教學場域，IRS也稱為按按樂(clicker)、教室即時評量系統(classroom gauge system)、教室溝通系統(classroom communication system)或是學生回饋系統(student response system) (蔡文榮，2014)，主要是透過線上平臺將教師與學生進行串聯，提升師生與同儕的課堂互動，近年更因為無線網路的廣泛建置讓IRS發揮最大效益，操作方式為學生透過智慧型手機或平板電腦等行動載具將訊息即時回傳平臺，再利用系統的統計分析功能將對應資料傳給教師，讓教師得以依照學生回饋結果調整其教學方式(Wang, 2015; William et al., 2007)，增加課堂師生互動(Chuang, 2015; Heaslip et al., 2014)，輔助學生合作學習(Chuang; McDonough & Foote, 2015)，以及促進低學習成就學生學習知識的機會(Virvou, Katsionis, & Manos, 2005; Wang)。李瑞敏、李宏隆、李青燕、陳昌助與羅亦斯(2020)的研究則指出不論是專業或非專業課程，運用IRS會有較佳的教學成效，且專業課程的效果大於非專業課程。雖然課堂上運用IRS能為教學帶來正向效益，不過也存在對應的使用限制，教師必須於課前安裝並測試軟硬體(Wang)，需具備資訊素養或參加教育訓練以熟悉操作方式(李瑞敏等；Wang)。

近年常使用於課堂上的IRS為Kahoot!系統，教師先在平臺編製試題並設定作答時間，施測時學生點選於行動載具顯示的選項回答問題，每題作答結束後會立即顯示學生的目前積分與排名資訊，極富遊戲性與趣味性。研究結果顯示相較於傳統教學，將Kahoot!導入課堂活動可以使學生展現最佳的

成績表現(牛惠之，2019；Ares, Bernal, Nozal, Sánchez, & Bernal, 2018; Bawa, 2019; Boboc, Stoica, Orzan, & Niculescu-Ciocan, 2018; Hung, 2017a, 2017b; Tsihouridis, Vavougiou, & Ioannidis, 2018)，Ares等更指出使用Kahoot!頻率越高的班級會有更佳的通過率。在教育科技的課程中，Ranieri, Raffaghelli與Bruni (2021)的研究顯示使用Kahoot!的教學成效整體而言相較傳統教學會有顯著的改善，不過細部分析則發現於理論相關的主題使用Kahoot!會比傳統教學的成效更好且有顯著性，但是於實作相關的主題則沒有顯著差異。Wichadee與Pattanapichet (2018)在大學英文課分別於兩班的課堂結尾使用Kahoot!和紙本測驗進行教材回顧，發現以使用Kahoot!班級的學生有較佳的成績表現。Nicolaidou (2018)在大學四門課程探討學生的Kahoot!測驗與學期成績之相關性，得到中度至高度正相關的結果。研究也顯示在課堂融入Kahoot!活動可以改善課堂氛圍，增進師生與同儕之間的互動，並提高學生的學習動機和課堂參與率(張其棟、楊晉民，2016；Aktekin, Çelebi, & Aktekin, 2018; Hung; Wichadee & Pattanapichet)。

四、運用知識結構與錯誤類型資訊建置IRS題庫之價值與影響

藉由上述文獻回顧，可知運用錯誤類型資訊編製電腦測驗系統題庫，可以有效偵測學生迷思概念，並透過認知衝突導正學生錯誤，不僅能夠達到診斷精確的目標，更具備適性測驗和省題的效果。但是以上電腦測驗系統的運作模式是以學生個人為主體進行施測，教師必須等待測驗完畢後，才能透過系統平臺的統計報表瞭解個別學生的學習成效，在課堂上運用有其限制。故本研究導入IRS融入課堂教學，先應用知識結構與錯誤

類型資訊建置IRS題庫，再善用IRS能營造良好課堂氛圍的優勢，讓學生同時上線施測，使教師得以參考系統平臺即時輸出的統計數據，利用逐題施測、檢視全班作答結果，以及回顧重點和檢討的循環歷程，採用螺旋漸進式的教學策略逐步修正學生的迷思概念，以達到提升教學成效的目標。雖然已有許多研究指出IRS (或Kahoot!)能提升學生的學習表現，但是對於IRS的試題編製方式與其帶來的效益沒有太多著墨，因此本研究選定Kahoot!作為IRS，發展其運用知識結構與錯誤類型資訊建置題庫的有效策略，以探討不同族群學生參與Kahoot!的作答成績、學習成效與態度展現，為IRS與知識結構和錯誤類型相關理論相結合的研究領域，提供具體可行的參考依據。

參、研究方法

一、研究設計

本研究為實徵研究，主要是探討運用知識結構與錯誤類型資訊編製IRS測驗試題作為形成性評量於不同學生族群的學習表現與成效，依變項是學生於IRS的作答歷程和測驗成

績、期中與期末考試的填答狀況和成績，以及期末問卷填答結果，透過分析不同變項之間的關聯性回答設定的研究問題。

二、研究對象與研究場域

本研究的主要對象為2018年某私立大學修習微積分(一)課程的四個班級學生，對應的教學內容與學生背景如表2，包括工學院不同學系的A、B、C班與商學院的D班。工學院與商學院的課程分別以統籌方式實施，同學院的班級有共同指定的教科書與進度，期中與期末考試採取集中會考，所有修課學生皆作答同一份試卷。本研究之研究對象涵蓋不同族群的學生，除了商學院D班大多為高中社會組背景的學生，工學院A、B、C班的學生背景亦相當多元，包括高中自然組、高中社會組與高職生不同比例的組合。由於資料蒐集的需要，本研究將目標對象限制於完成微積分(一)課程的修課學生，亦即完成期中與期末考試的學生，於A、B、C和D班分別有53人、45人、50人和69人。

本教學實驗的授課教師亦為研究者之一，具備豐富的微積分課程教學經驗，曾編製多種課程講義與數位教材，對於試題編製

表2：微積分(一)課程之教材與學生背景分析結果

學院	授課主題	學系	學生背景	學分數	每週節數	每週實習 課節數	完成修課 人數
工學院	極限、導數及其應用、積分及其應用、超越函數	A班	大部分為高中自然組	3	4	2	53
		B班	多為高中自然組、部分為高中社會組	3	4	2	45
		C班	多為高中自然組、部分為高職生	3	3	2	50
商學院	極限、導數及其應用、積分	D班	大部分為高中社會組、少部分為高中自然組	2	2	1	69

與評量亦相當熟稔。本研究的主要場域為實體課堂教室，學生可使用教師提供的線上數位教材輔助學習。

三、研究流程

本研究的研究流程包括運用知識結構與錯誤類型資訊建置IRS測驗題庫、進行教學實驗，以及資料蒐集與分析等階段，圖1為對應之流程圖。

四、研究工具

本研究所使用的研究工具包括Kahoot!平臺、期末問卷，以及課程的期中與期末考試，並藉此蒐集量化與質性資料，分述如下。

(一)IRS：Kahoot!測驗

本研究採用Kahoot!平臺作為IRS，並利用知識結構與錯誤類型資訊編製試題作為形成性評量，以快速施測、問題簡潔明瞭，以及檢測結果精準為原則，因此題庫建置是以檢測基本概念為目標，流程分為以下兩個階段。

1. 建立知識結構圖確認核心概念

第一階段為建立知識結構圖確認核心概念，並釐清各節點之間的脈絡與上下階層關係建立微積分專家知識結構，再依據各節點的核心概念設計試題。以積分及其應用主題的部分單元為例，其知識結構圖如圖2，表3則是對應的核心概念。圖2中概念B指向概念

C的箭號，說明必須先認識定積分的定義才能瞭解微積分基本定理第一部分的內容，而該定理闡述積分函數 $F(x) = \int_a^x f(t)dt$ 為被積分式 $f(x)$ 之反導函數，故亦須具備反導函數之概念，因此有由概念A指向概念C的箭號。至於概念C指向概念D的箭號則說明微積分基本定理第二部分必須由第一部分的結果推導而來，在此雖然該定理的第二部分亦須反導函數作為前置概念，但是概念C已有前置概念A，故不再繪製由A至D的箭頭以簡化知識結構圖的視覺意象；概念E為積分代換法，包括不定積分與定積分兩種型式，其中不定積分的型式可以直接由反導函數發展而來，故有由概念A指向概念E之箭號，至於定積分的型式必須以微積分基本定理第二部分為基礎推導而來，因此亦有由概念D指向概念E之箭號。接下來則是依據各個核心概念設計對應的測驗試題，以概念D微積分基本定理第二

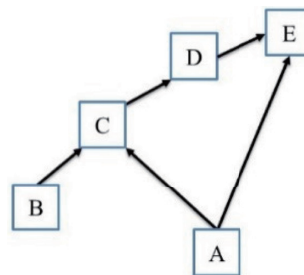


圖2：核心概念的知識結構圖。

註：代碼所對應的核心概念如表3。

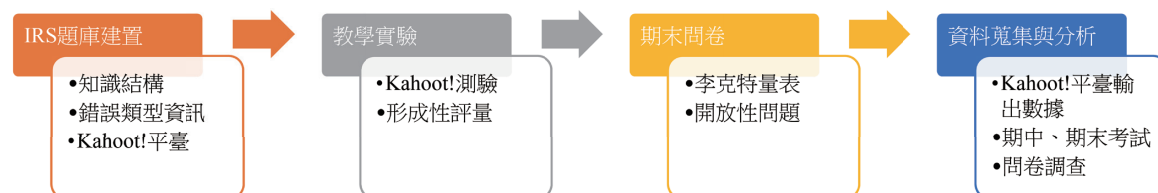


圖1：研究流程圖

表3：核心概念對照表與試題編製列舉

代碼	核心概念	說明 ^a	測驗題
A	反導函數	反導函數與不定積分的定義、基礎函數的反導函數公式。	Which one is an antiderivative of $f(x) = 4x^3 + 2x - 3$? 答案： $x^4 + x^2 - 3x - 7$
B	定積分	定積分的定義與基本性質(含線性性質)。	If $\int_3^6 f(x)dx = 7$ and $\int_3^{10} f(x)dx = 9$, then $\int_6^{10} f(x)dx =$ 答案：2
C	微積分基本定理 第一部分	定理：若 $F(x) = \int_a^x f(t)dt$ ，則 $F'(x) = f(x)$ 。	$\frac{d}{dx} \int_4^x \sec t dt =$ 答案： $\sec x$
D	微積分基本定理 第二部分	定理： $\int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a)$ ，在此 $F(x)$ 為 $f(x)$ 任一個反導函數。	If $F(1) = 5$ and $F(3) = 2$, then $\int_1^3 F'(x)dx =$ 答案： -3
E	積分代換法	不定積分： $\int f(g(x)) g'(x)dx = \int f(u)du$	Let $u = x^2 + 5$ and we get $\int 4x(x^2 + 5)^3 dx =$ 答案： $\int 2u^3 du$
		定積分： $\int_a^b f(g(x)) g'(x)dx = \int_{g(a)}^{g(b)} f(u)du$	If $u = 2x^3 + 1$, then $\int_0^1 12x^2 (2x^3 + 1)^7 dx =$ 答案： $\int_1^3 2u^7 du$

註：^a此欄位定理或公式中的函數需滿足連續或可微分的性質。

部分為例，為使問題呈現簡潔明瞭並減少計算負擔，讓學生專注於目標概念快速作答，是以給定函數值 $F(1)$ 與 $F(3)$ 的前提之下命題，檢測學生能否運用本定理 $\int_1^3 F'(x)dx = F(3) - F(1)$ 求出定積分，其他概念對應的測驗題亦依照相同原則進行設計。

2. 運用錯誤類型資訊設計誘答選項

第二階段為參考文獻資料，或分析歷年學生紙筆測驗答題所產生的錯誤類型資訊設計誘答選項。以導數及其應用主題的鏈鎖律為例(表4)，函數 $g(x) = (x^3 + 2x + 5)^7$ 之導數應利用鏈鎖律公式 $[f(h(x))]' = f'(h(x)) \cdot h'(x)$ 求得 $g'(x) = 7(3x^2 + 2)(x^3 + 2x + 5)^6$ ，學生作答時可能會與冪函數的導數公式 $(x^7)' = 7x^6$ 產生不當連結，獲得 $g'(x) = 7(x^3 + 2x + 5)^6$ 的錯誤結果(誘答選項二)，或是因為鏈鎖律公式的應用不完

整，使用錯誤型式 $[f(h(x))]' = f(h'(x))$ (誘答選項一) 與 $[f(h(x))]' = f(h(x)) \cdot h'(x)$ (誘答選項三) (劉湘川等，2010)，故將上述常見錯誤類型列於選項誘使學生選擇，讓學生透過認知衝突進行概念修正(邱美虹，2000；張靜儀，2002)。

本研究歷經上述階段共編製7份試卷，包括極限主題1份、導數及其應用3份、積分及其應用2份，以及超越函數1份，每份各有10題。測驗試題之認知領域層次分為理解、應用和推理，其中理解型的問題多為對定義和符號的認識，應用則是指能將定理和公式運用於特定情境，而推理則是指能根據已知條件獲得特定結論。至於試題難度估計則分為容易、中等和難，難度為容易的題目基本上可以立即判別出對應的正確選項，中等的試題可能需要簡單的紙筆運算，而歸類為難的題目則必須具備精熟的計算技巧。本研究編

表4：根據錯誤類型資訊於導數及其應用主題鏈鎖律單元所設計的題目

認知領域層次	☐ 理解	☒ 應用	☐ 推理
試題難度估計	☐ 容易	☒ 中等	☐ 難
題幹	If $g(x) = (x^3 + 2x + 5)^7$, then $g'(x) = \underline{\hspace{2cm}}$		
選項	內容		選項設計說明
誘答選項一	$(3x^2 + 2)^7$		將公式誤用為 $[f(h(x))]' = f(h'(x))$ 。
誘答選項二	$7(x^3 + 2x + 5)^6$		將公式誤用為 $[f(h(x))]' = f'(h(x))$ 。
誘答選項三	$(3x^2 + 2)(x^3 + 2x + 5)^7$		將公式誤用為 $[f(h(x))]' = f(h(x)) \cdot h'(x)$ 。
正確選項	$7(3x^2 + 2)(x^3 + 2x + 5)^6$		鏈鎖律公式： $[f(h(x))]' = f'(h(x)) \cdot h'(x)$ 。

製的試卷中理解層次的試題共計13題，難度占比為容易92.3%和中等7.7%；應用層次共56題，難度由容易至難分別占53.6%、44.6%和1.8%；推理僅1題，難度為容易。

(二)問卷調查

為探討學生於本課程參與Kahoot!測驗後的態度展現，研究者以李克特量表(Likert scale)編製期末問卷，選項設計是以非常同意、同意、中立、不同意和非常不同意為主，並搭配開放性問題蒐集質性資料，經過專家檢視修訂完成。

(三)期中與期末考試

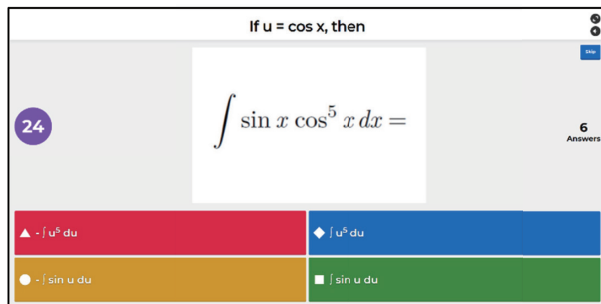
本研究採用課程的期中與期末考試檢測學生對微積分知識的理解程度，以集中會考的方式實施。工學院A、B、C班學生皆作答同一份試卷，與商學院D班的試卷不同，試卷由統籌單位委請具有豐富命題經驗的教師負責設計，並進行檢視審訂完成編製，故試卷具備專家效度。

五、教學實驗

由於微積分(一)的課程相當緊湊，本研究的Kahoot!測驗於課堂空檔彈性實施，以作為形成性評量，施測時間設定為15分鐘，每題作答時間為30秒，以便於課堂空檔快速施測。於期初即向修課學生告知本活動，要求

學生及時複習進度以隨時參與測驗，而在修課人數眾多、部分學生沒有行動載具，以及課程無法提供額外設備的限制之下，教師是以加分作為獎勵措施。學期成績的加分制度是採用多元評量，學生可以依個人喜好上臺示範解題，繳交額外的筆記作業，或是參與隨堂的Kahoot!測驗，而Kahoot!測驗的加分標準設定為答對6題即符合該次的加分資格，且參與Kahoot!測驗獲得的加分最多採計3分，藉此提升學生參與Kahoot!測驗的意願並維持學期成績的公平性。

課堂實施時，教師會依進度從題庫挑選已教授的主題進行施測，圖3(a)為對應的施測畫面：上方為簡潔的問題敘述，中間以放大置中的方式顯示數學式或圖形，使學生能快速理解、方便作答；下方呈現四個選項同步展示於學生的行動載具供學生選擇，左側數字為剩餘作答秒數，右側數字是已作答人數，每題作答結束後平臺會即時顯示正確答案與每個選項的對應人數。教師可依統計結果回顧重要內容並對迷思概念進行釐清，平臺也會不斷更新每位學生的累計積分，如圖3(b)。其中，每題積分最高為1,000分，答對選項且所需時間越少則積分越高，答錯則為0分，學生可以於行動載具觀看自己的累計積分，系統亦將目前累計積分前五名的學生排序顯示於螢幕上，藉此營造刺激有趣的



(a)



(b)

圖3：Kahoot!平臺的(a)施測畫面與(b)統計畫面

競賽氛圍。當測驗結束之後，學生可以由行動載具觀看自己答對與答錯的題數以及總積分，螢幕則會展示前三名的資訊表揚，教師亦提供文具用品給前三名學生作為獎勵。由於本研究是以課堂上彈性運用Kahoot!測驗作為形成性評量，故各班級的施測主題與次數會有差異。

六、資料蒐集與分析

本研究的資料來源有Kahoot!平臺後端系統輸出的數據資料，學生的期中與期末考試成績，以及問卷調查填答結果。資料處理包括量化與質性分析，量化部分有Kahoot!平臺輸出數據的統計分析，利用各班於每次施測的參與程度、答對題數和總積分瞭解不同學生族群的學習表現，並探討其與期中、期末考試成績的相關性，亦在指定的對應試題中比較學生於Kahoot!測驗與期中、期末考試的作答態樣，釐清能藉由Kahoot!測驗結果進行概念修正的學生比例；問卷調查的李克特量表則透過分數轉換的方式，分析學生參與Kahoot!測驗的學習行為改變。質性分析則針對期末問卷開放性問題的敘述進行歸類，探討學生參與Kahoot!測驗的態度展現。本研究將利用上述資料的分析結果進行三角驗證，以獲得更客觀完整的研究結果。

肆、研究結果

針對研究問題一，本研究先分析各班學生參與IRS之答題表現，再比較Kahoot!測驗與期中與期末考對應試題的學生作答結果，以瞭解應用錯誤類型資訊引導學生進行概念修正之成效；研究問題二則是藉由期末問卷的調查結果，分析學生參與IRS的態度展現，以瞭解IRS作為形成性評量是否能引發學生學習態度的正向改變。

一、不同學生族群參與IRS測驗之答題表現分析

本研究共編製7份Kahoot!測驗試題，工學院A、B、C班分別施測6次、5次和5次，而商學院D班僅施測2次。各班每次施測的學生參與率如表5，數據介於62.2%和91.1%之間，顯示在部分學生沒有使用行動載具或網路連線的限制之下，仍有超過六成的學生參與施測。以A班完成修課53人為例，6次測驗中最多有44人，最少則有33人參與。除此之外，工學院三個班級於最後一次測驗的參與率皆偏低，推論原因可能是該單元難度較深，使得部分學生自認無法達到加分門檻，或是已經透過先前的Kahoot!測驗取得最高3分的加分上限，因而放棄測驗所致。

除了測驗參與率，本研究亦分析各班於每次Kahoot!測驗的成績表現。以測驗4為例，四個班級成績分布的盒鬚圖如圖4，結果顯示雖然各班學生的來源背景不同，答對題數的分布仍然相當一致，僅有在總積分的分布呈現少許差異，這反應了答題速度的少量差距。

表6為各班於Kahoot!測驗的成績表現統計，結果顯示B班的參與率平均較低，其餘三個班級的參與率平均則約為70%。至於四個班級的答對題數平均位於5.36至5.96區間，總積分平均則落於4,663.89至5,514.73，沒有因為

學生背景不同而產生太大差異，推論原因為Kahoot!測驗的題庫編製是以檢測基本概念為原則，使得高中職沒有學習微積分經驗的學生，也能透過課程所學的內容正確回答問題，亦不會因為繁複的計算造成答題上的困難。

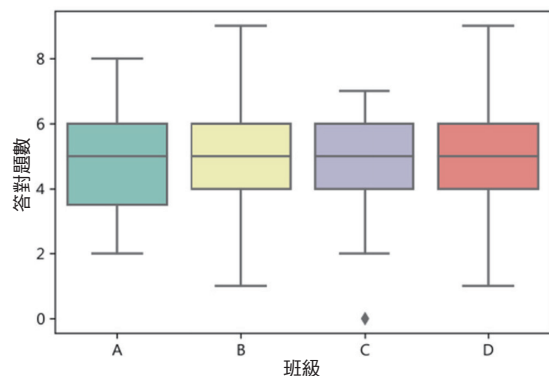
本研究也探討Kahoot!測驗成績與期中與期末考成績的相關性，篩選出至少參與一次Kahoot!測驗的學生，於A、B、C和D班的人數分別為53人、43人、49人和60人，計算其於期中與期末考試的平均分數，並求出Kahoot!測驗成績與該平均分數的相關係數(表7)。結果顯示各班級Kahoot!測驗的答對題數平均和總積分平均分別與期中與期末考平均

表5：各班於每次實施Kahoot!測驗的學生參與率

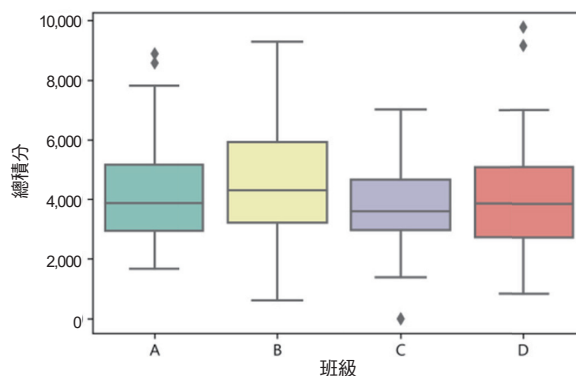
主題	測驗	工學院			商學院
		A班(53人)	B班(45人)	C班(50人)	D班(69人)
極限	測驗1	77.4%	64.4%	88.0%	69.6%
導數及其應用	測驗2	—	84.4%	76.0%	—
	測驗3	83.0%	91.1%	72.0%	—
	測驗4	81.1%	64.4%	82.0%	76.8%
積分及其應用	測驗5	75.5%	—	—	—
	測驗6	62.3%	—	—	—
超越函數	測驗7	64.2%	62.2%	64.0%	—

註：1. 白底欄位代表期中考範圍，灰底欄位代表期末考範圍。

2.—：該單元未施測。



(a)



(b)

圖4：各班級在測驗4於(a)答對題數和(b)總積分所對應的盒鬚圖

表6：各班Kahoot!成績表現分析結果

項目	工學院			商學院
	A班(53人)	B班(45人)	C班(50人)	D班(69人)
Kahoot!測驗參與率平均	71.52%	64.00%	69.45%	70.83%
Kahoot!測驗答對題數平均	5.55	5.96	5.61	5.36
Kahoot!測驗答對題數標準差	1.89	2.20	2.12	1.96
Kahoot!測驗總積分平均	4,663.89	5,514.73	4,942.49	4,814.92
Kahoot!測驗總積分標準差	2,072.61	2,773.12	2,365.80	2,212.88

分數呈現中度正相關，且皆達到顯著水準，與先前的研究相近(Nicolaidou, 2018)，說明Kahoot!測驗成績能部分反映期中與期末考成績，可作為初步的預警工具。

二、應用錯誤類型資訊引導學生進行概念修正之成效分析

為深入探討研究問題一，本研究整理出Kahoot!測驗與期中與期末考相對應的試題，以分析學生的答題表現。由於期中與期末考的計算題涉及多層次的解題步驟，涵蓋不同概念的組合，因此期中與期末考的對應題目是以填空題為主，以配合Kahoot!測驗的選擇題型式。經檢視後，工學院滿足上述的試題對應僅有測驗3與期中考的部分試題(表8)，其中概念P與概念Q分別為導數的乘法律與鏈鎖律。分析結果如下：學生在概念P作答表現的統計結果為表9，顯示三班於測驗3試題P1答錯的學生中，分別有高達71.4%、67.8%和76.0%的學生答對期中考的試題P2；對應於概念Q的學生作答表現為表10，顯示於測驗3試題Q1答錯的學生中，三個班亦分別有

61.5%、60.0%和52.6%的學生答對期中考的試題Q2。根據上述，可說明利用錯誤類型資訊建置Kahoot!測驗題庫作為形成性評量，能有效讓此三班原先答錯的大部分學生於期中考修正為正確答案，提升概念P和概念Q的學習成效。

至於商學院的Kahoot!測驗與期中與期末考之試題對應如表11，概念R和概念S分別是臨界點(critical point)和微分量(differential)。表12是D班學生於概念R的作答表現統計結果，於測驗4答錯試題R1的學生中有58.8%的學生於期末考答對對應的試題R2，說明縱使試題R2涉及更繁複的計算，學生在概念R的學習成效仍有大幅度的改善；表13則是D班於概念S的答題表現，結果顯示參與測驗4共53位學生中有高達40位學生答錯試題S1，當中更有39位學生填答選項(1) $6x^2$ ，這與將導數的概念直接類推至微分量，卻忽略後方 dx 的常見錯誤類型一致。不過藉由測驗4的答題經驗，其中36位學生答對期末考的試題S2，占原先答錯學生的90.0%，提升了D班於概念S的學習成效。

表7：各班期中與期末考平均分數與Kahoot!成績之相關係數

項目	期中與期末考平均分數			
	工學院			商學院
	A班(53人)	B班(43人)	C班(49人)	D班(60人)
Kahoot!測驗答對題數平均	.56 ($p < .001$)	.49 ($p = .001$)	.42 ($p = .003$)	.46 ($p < .001$)
Kahoot!測驗總積分平均	.52 ($p < .001$)	.50 ($p = .001$)	.43 ($p = .002$)	.47 ($p < .001$)

表8：測驗3與工學院微積分期中考之試題對照表

概念	測驗3	期中考
概念P (乘法律)	試題P1：If $f(x) = x \sin x$, then $f'(x) = \underline{\hspace{2cm}}$. (選項略) 答案：(3) $\sin x + x \cos x$	試題P2： $\frac{d}{dx} (x^2 \sin x) =$ 答案： $2x \sin x + x^2 \cos x$
概念Q (鏈鎖律)	試題Q1：If $g(x) = (x^3 + 2x + 5)^7$, then $g'(x) = \underline{\hspace{2cm}}$. (選項略) 答案：(4) $7(3x^2 + 2)(x^3 + 2x + 5)^6$	試題Q2：The derivative of $F(x) = (x^2 + 1)^{115}$ is $F'(x) =$ 答案： $230x(x^2 + 1)^{115}$

表9：A、B、C班學生於試題P1與試題P2的答題表現

試題	群組	期中考試題P2								
		A班			B班			C班		
		答對人數	答錯人數	總計	答對人數	答錯人數	總計	答對人數	答錯人數	總計
測驗3	答對人數	19	4	23	7	3	10	7	4	11
試題P1	答錯人數	15 (71.4%)	6 (28.6%)	21	21 (67.8%)	10 (32.2%)	31	19 (76.0%)	6 (24.0%)	25

表10：A、B、C班學生於試題Q1與試題Q2的答題表現

試題	群組	期中考試題Q2								
		A班			B班			C班		
		答對人數	答錯人數	總計	答對人數	答錯人數	總計	答對人數	答錯人數	總計
測驗3	答對人數	24	7	31	18	8	26	13	4	17
試題Q1	答錯人數	8 (61.5%)	5 (38.5%)	13	9 (60.0%)	6 (40.0%)	15	10 (52.6%)	9 (47.4%)	19

表11：測驗4與商學院微積分期末考之試題對照表

概念	測驗4	期末考
概念R (臨界點)	試題R1：The critical point(s) of $f(x) = x^2 - 2x$ is(are) _____. (選項略) 答案：(2) 1	試題R2：The critical point(s) of $f(x) = x + \frac{1}{x}$ is(are) _____. 答案： ± 1
概念S (微分量)	試題S1：The differential of $y = f(x) = 2x^3$ is _____. (選項略) 答案：(2) $6x^2 dx$	試題S2：The differential of $y = x^5 + 3x^2 - 7$ is $dy =$ _____. 答案： $(5x^4 + 6x)dx$

表12：D班學生於試題R1與試題R2的答題表現

試題	群組	期末考試題R2		
		答對人數	答錯人數	總計
測驗4	答對人數	11	8	19
試題R1	答錯人數	20 (58.8%)	14 (41.2%)	34

表13：D班學生於試題S1與試題S2的答題表現

試題	群組	期末考試題S2		
		答對人數	答錯人數	總計
測驗4	答對人數	11	2	13
試題S1	答錯人數	36 (90.0%)	4 (10.0%)	40

以上結果說明，在本研究不論是工學院或商學院的學生，在特定概念都能透過應用錯誤類型資訊所建置的Kahoot!測驗題庫，自我檢視學習成效並修正對應觀念，使其在期中與期末考有更佳表現。此結果和已知研究透過認知衝突讓學生進行概念修正相呼應(邱美虹，2000；張靜儀，2002；劉湘川等，2010；Ashlock, 1990；Radatz, 1980；Resnick et al., 1989)。

三、學生參與IRS的態度展現

運用Kahoot!測驗融入課堂教學作為形成性評量後，本研究利用期末問卷調查的李克特量表瞭解學生於活動參與和學習行為兩個面向的展現，以匿名方式於四個班共回收161份有效問卷。統計分析結果如表14，兩個面向的內部一致性Cronbach's α 係數依序為.85和.81，總量表Cronbach's α 係數為.90。於活動參與面向的問題1、問題2和問題5對應的平均分數分別為4.67分、4.58分和4.37分，顯示學生有極高的意願參與Kahoot!測驗，高達95.6%的學生認為Kahoot!測驗能讓課堂氛圍

變得活潑有趣，分別有93.2%和83.9%的學生願意持續參與Kahoot!測驗並期望能夠增加施測次數，這個現象與IRS能改善課堂氛圍，引發學生學習動機，提升學生專注力與課堂參與度，以及增進師生互動的研究結果相近(張其棟、楊晉民，2016；Aktakin et al., 2018；Chuang, 2015；Heaslip et al., 2014；Hung, 2017a, 2017b；Wichadee & Pattanapichet, 2018)。在學習行為面向的問題3和問題4對應的平均分數則是4.41分和4.39分，顯示86.3%的學生能利用Kahoot!測驗結果檢視自己現階段的學習成效，有86.3%的學生更採取積極的作為，針對答錯的題目進行對應單元的學習，說明參與Kahoot!測驗能帶來學生學習行為的正向改變。最後，細部分析發現工學院與商學院的學生於本份問卷的作答結果相近，沒有特別的差異。

除此之外，學生於期末問卷調查以複選方式選擇參與Kahoot!測驗的理由：

問題：吸引我參與Kahoot!線上測驗的理由有：(選填、多選)

表14：期末問卷調查中李克特量表之分析結果

面向	問題	選項					平均分數
		非常同意	同意	中立	不同意	非常不同意	
面向一：活動參與	1.實施Kahoot!線上測驗使課堂氣氛變得活潑有趣。	115 (71.4%)	39 (24.2%)	7 (4.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	4.67
	2.在有行動載具(如智慧型手機、平板電腦或筆記型電腦)並能連線上網的前提下，我願意參與Kahoot!線上測驗。	107 (66.5%)	43 (26.7%)	9 (5.6%)	2 (1.2%)	0 (0.0%)	4.58
	5.我希望增加課堂上實施Kahoot!線上測驗的次數。	89 (55.3%)	46 (28.6%)	23 (14.3%)	2 (1.2%)	1 (0.6%)	4.37
面向二：學習行為	3.我可以藉由Kahoot!線上測驗檢視目前的學習成效。	91 (56.5%)	48 (29.8%)	20 (12.4%)	1 (0.6%)	1 (0.6%)	4.41
	4.我會依據Kahoot!線上測驗的結果，加強答錯題目對應單元的學習。	86 (53.4%)	53 (32.9%)	21 (13.0%)	1 (0.6%)	0 (0.0%)	4.39

選項：a.爭取加分機會 b.檢視學習

成效 c.獲得文具獎勵 d.競賽刺激有

趣

依比例從高到低分別是爭取加分機會(83.2%)、檢視學習成效(77.6%)、競賽刺激有趣(49.7%)和獲得文具獎勵(22.4%)，說明爭取加分、評估目前的學習成效，以及刺激有趣的學習體驗是學生參與Kahoot!測驗的主要動機，這也和前面敘述中Kahoot!測驗能改善課堂氛圍並造成學生學習行為改變的結果相呼應。

另一方面，本研究將填寫期末問卷調查的學生依序由S001至S161進行編碼，將學生參與Kahoot!測驗的心得或感想等質性資料，根據活動參與和學習行為兩個面向進行整理，表15為列舉結果。檢視後發現大多數學生認為Kahoot!測驗能為課堂增添趣味性，也可藉此爭取加分機會並檢視學習成效，這與前面的推論結果一致，然而也有學生指出網路連線速度不足或時間不夠造成答題上的困難(S019、S074、S113及S160)，且不論是工學院或商學院皆有學生對Kahoot!測驗的公平性提出質疑(S019、S074及S151)，均為往後運用Kahoot!施測時必須改善或克服的地方。

伍、結論與建議

本研究導入知識結構與常見錯誤類型理論建置Kahoot!測驗題庫，歷經上述研究流程並分析量化與質性資料，對於運用IRS作為形成性評量的教學成效得到以下的結論與建議。

一、結論

(一)應用錯誤類型資訊編製IRS題庫，能有效引導學生修正錯誤概念

研究結果顯示工學院與商學院學生於Kahoot!測驗的成績表現相近，說明應用知識節點確立核心概念，能讓問題聚焦並降低計算所需的負荷量，有效減少學生因為知識背景所造成的落差。至於Kahoot!測驗與期中與期末考對應試題的學生答題分析結果，則說明利用常見錯誤類型資訊設計誘答選項，再搭配教師在施測時逐題檢討的教學策略，能增加學生產生認知衝突的機會，促使其修正錯誤觀念，這也和期末問卷能使學生主動針對答錯題目的單元加強複習之分析結果相呼應，達到以IRS測驗作為形成性評量的預期目標，有效提升期中與期末考的成績表現。

表15：學生回饋資料列舉

面向	學生回饋	
	工學院(A、B、C班)	商學院(D班)
面向一： 活動參與	1.有趣、腦力激盪、生動(S072) 2.實用、較活潑的上課方式、有趣(S107) 3.秒速太快、網路不給力、學長不公平(S019) 4.不喜歡，因為需要計算，但Kahoot!是需要搶快的遊戲，況且有些人可以藉由看朋友的答案得到較高的成績(S074)	1.非常酷、讓教學更生動(S133) 2.當作額外加分題還不錯(S139) 3.計算題秒數可以再多一點(S113) 4.要反應很快的同學才能玩(S160) 5.有三種人，真的有算才寫答案、用猜的、看別人的(S151)
面向二： 學習行為	1.訓練反應速度、檢視自我能力、瞭解不足地方(S008) 2.可以測驗自己對一個公式的熟練度、培養對公式的敏感度(S063)	1.能檢測自己會不會微積分(S128) 2.發現自己的問題(S142) 3.可以驗證自己的學習成效(S144)

(二)以IRS作為形成性評量，能促進學生於學習態度的正向改變

期末問卷調查的量化與質性分析結果皆顯示在微積分課程實施Kahoot!測驗能有效活絡課堂氛圍，不論是工學院或商學院學生普遍對參與Kahoot!測驗的經驗給予正面評價，認為這種競賽遊戲式的活動相當刺激有趣，翻轉學生對數學課堂的刻板印象，並能藉此檢視目前的學習成效加強複習，甚至希望可以增加施測次數持續參與，在課堂活動的投入與學習策略的調整都展現正向的改變，也為微積分的學習帶來正面助益。

二、建議

(一)運用知識結構與錯誤類型資訊編製IRS試題之注意事項與設計技巧

為有效偵測迷思概念，編製試題時應確認每一題僅針對一個知識節點(單一概念)設計題目，避免學生解題時必須使用多個概念而無法精確診斷，並可根據知識節點的上下位次序調配題目順序，依照概念發展的脈絡逐步引導學生進行概念檢測。在利用錯誤類型資訊設計誘答選項時，可以將出現率最高的答題錯誤類型放在前面選項，提升誘答效果以增進學生認知衝突機會，達到概念修正的目標。除此之外，問題敘述必須明確不會造成誤解，且在IRS作答時限的條件之下，題目呈現應以簡潔扼要為原則，並確認當中的數字容易計算，以減輕學生理解題意與執行計算的負荷量，也能提升學生自信，舒緩作答時所產生的壓力。

(二)留意學生的數位落差

使用IRS進行施測必須學生使用智慧型手機或平板電腦等行動載具方能達成，雖然現今行動載具已經相當普及，惟部分學生仍可能因為家庭背景的社經地位落差缺乏相關

設備。在此客觀條件之下，縱使可以尋求外部資源支持，學校或教師在充足設備方面仍力有未逮，尤其在人數眾多的大班授課班級，更難滿足學生人手一臺行動載具的施測需求。另一方面，網路連線的順暢度也與Kahoot!測驗的運作息息相關，因此學校能否提供足夠的網路服務讓學生順利參與IRS測驗也是重要因素。綜合上述說明，可以瞭解運用IRS融入教學時，必須克服學生數位落差的問題，以達到人人都能參加測驗的目標。

(三)提升IRS測驗的公平性

本研究實施Kahoot!測驗時，因為參與人數較多且學生散落於教室各處，加上礙於時間限制必須在短時間內施測完畢，故難以即時掌握每一位學生的作答行為。回饋資料說明部分學生有藉由觀看他人答案再作答的行為，此舉顯然造成IRS測驗公平性的疑慮，因此建議訂定明確的班級公約，以嚴格規範學生的作答行為。

(四)適度使用配分策略提升學生參與IRS測驗的意願

本研究結果說明學生參與Kahoot!測驗的主要因素之一為爭取加分機會，因此建議可適度運用配分策略提升學生參與IRS測驗的動機，例如列入學期成績的占比計算，確保參與率達到固定水準。不過仍需考慮學生的數位落差問題，讓每位學生都有平等的參與機會，因此建議採用多元評量，提供學生透過上臺示範解題、繳交作業，以及參與Kahoot!測驗等不同管道爭取成績，讓學生得以選擇最適合自己的學習表現方式。

(五)預先規劃課堂時段實施IRS測驗

由於微積分課程的題材豐富多元，再加上授課節數限制與放假停課的客觀條件，導致教學進度相當緊湊，因此本研究採取彈性

作法，即適時於課堂實施Kahoot!測驗。然而，此作法導致部分試題無法進行施測(表5)，沒有達到運用Kahoot!測驗作為形成性評量的最大效益。故建議可預先排定施測週次與課堂時段確保能如期執行，更可搭配翻轉教室等教學規劃增加活動的多樣性(張其棟、楊晉民，2016)，增加學生準時到課機會並提高IRS測驗的參與率和成績表現。

學生組合的背景差異頗大，故採取全面施測以瞭解不同學生族群的學習成效，在此建議可利用實驗組與對照組的教學設計，分析以IRS作為形成性評量，能為學生於學科能力的提升帶來多少實質效益，作為後續教學改善的參考。

誌謝

(六)利用對照組探討以IRS作為形成性評量的教學成效

本研究的實驗班級因為分屬不同科系，

本研究為教育部教學實踐研究計畫(PMS107020)之成果，特此感謝；也感謝審查委員提供之寶貴意見，使本研究更臻完善。

參考文獻

1. 牛惠之(2019)。評Kahoot隨堂考的遊戲化對通識課程中學生表現的功效。《通識教育實踐與研究》，26，49-98。
[Niu, H.-C. (2019). Analyzing the efficacy of gamification approach of Kahoot quiz on student performance in general education. *General Education: Practice and Research*, 26, 49-98.]
2. 李瑞敏、李宏隆、李青燕、陳昌助、羅亦斯(2020)。智慧校園利用智慧輔助教學系統提高學生學習成效之研究。《課程與教學》，23(2)，1-24。doi:10.6384/CIQ.202004_23(2).0001
[Li, J.-M., Lee, H.-L., Lee, C.-Y., Chen, C.-C., & Lo, Y.-S. (2020). A study on the effectiveness of an intelligent teaching system in improving students' learning outcome in an iCampus. *Curriculum & Instruction Quarterly*, 23(2), 1-24. doi:10.6384/CIQ.202004_23(2).0001]
3. 吳慧珉(2006)。以知識結構為基礎之適性測驗選題策略強韌性探究。《測驗統計年刊》，14(下)，1-15。doi:10.6773/JRMS.200612.0001
[Wu, H.-M. (2006). A study of exploring the robustness of knowledge structure based adaptive test. *Journal of Research on Measurement and Statistics*, 14(2), 1-15. doi:10.6773/JRMS.200612.0001]
4. 邱美虹(2000)。概念改變研究的省思與啟示。《科學教育學刊》，8(1)，1-34。doi:10.6173/CJSE.2000.0801.01
[Chiu, M.-H. (2000). Reflections and implications of research on conceptual change. *Chinese Journal of Science Education*, 8(1), 1-34. doi:10.6173/CJSE.2000.0801.01]
5. 郭伯臣(2003)。國小數學科電腦化適性診斷測驗(I) (NSC91-2520-S-142-001)。臺北市：行政院國家科學委員會。
[Kuo, B.-C. (2003). *Computerized adaptive diagnostic test for elementary school mathematics*

- (I) (Report No. NSC91-2520-S-142-001). Taipei, Taiwan: National Science Council, Executive Yuan.]
6. 郭伯臣(2004)。國小數學科電腦化適性診斷測驗(II) (NSC92-2521-S-142-003)。臺北市：行政院國家科學委員會。
[Kuo, B.-C. (2004). *Computerized adaptive diagnostic test for elementary school mathematics (II)* (Report No. NSC92-2521-S-142-003). Taipei, Taiwan: National Science Council, Executive Yuan.]
 7. 郭伯臣(2005)。國小數學科電腦化適性診斷測驗(III) (NSC93-2521-S-142-004)。臺北市：行政院國家科學委員會。
[Kuo, B.-C. (2005). *Computerized adaptive diagnostic test for elementary school mathematics (III)* (Report No. NSC93-2521-S-142-004). Taipei, Taiwan: National Science Council, Executive Yuan.]
 8. 張其棟、楊晉民(2016)。翻轉學習在大學微積分課程之實現與初探。臺灣數學教育期刊，3(2)，55-86。doi:10.6278/tjme.20161005.003
[Chang, C.-T., & Yang, J.-M. (2016). Flipping the classroom in a calculus course. *Taiwan Journal of Mathematics Education*, 3(2), 55-86. doi:10.6278/tjme.20161005.003]
 9. 張靜儀(2002)。科學迷思概念的研究與概念改變教學。屏師科學教育，16，49-56。
[Chang, C.-Y. (2002). Kexue misi gainian de yanjiu yu gainian gaibian jiaoxue. *Science Education of National Pingtung University of Education*, 16, 49-56.]
 10. 游森期、余民寧(2006)。知識結構診斷評量與S-P表之關聯性研究。教育與心理研究，29(1)，183-201。
[Yu, S.-C., & Yu, M.-N. (2006). The relationships among indices of diagnostic assessments of knowledge structures and S-P chart analysis. *Journal of Education & Psychology*, 29(1), 183-201.]
 11. 蔡文榮(2014)。探討即時反饋系統運用在大學「管理數學」之教學現況。教育科學期刊，13(2)，75-96。
[Tsay, W.-R. (2014). A study on IRS implementing in a management mathematics class in a public university. *The Journal of Educational Science*, 13(2), 75-96.]
 12. 劉湘川、白宗恩、鄭俊彥、黃玉臺、謝俊逸、陳建憲等(2010)。微分基本公式之錯誤類型。測驗統計年刊，18(下)，35-49。doi:10.6773/JRMS.201012.0035
[Liu, H.-C., Pai, T.-E., Cheng, C.-Y., Huang, Y.-T., Hsieh, C.-Y., Chen, J.-S., et al. (2010). The error type of basic differential formula. *Journal of Research on Measurement and Statistics*, 18(2), 35-49. doi:10.6773/JRMS.201012.0035]
 13. Aktekin, N. Ç., Çelebi, H., & Aktekin, M. (2018). Let's Kahoot! Anatomy. *International Journal of Morphology*, 36(2), 716-721. doi:10.4067/S0717-95022018000200716

14. Appleby, J., Samuel, P., & Treasure-Jones, T. (1997). Diagnosys—A knowledge-based diagnostic test of basic mathematical skills. *Computers & Education*, 28(2), 113-131. doi:10.1016/S0360-1315(97)00001-8
15. Ares, A. M., Bernal, J., Nozal, M. J., Sánchez, F. J., & Bernal, J. (2018). Results of the use of Kahoot! gamification tool in a course of Chemistry. In J. Domenech, P. Merello, E. de la Poza, & D. Blazquez (Eds.), *4th international conference on higher education advances (HEAd'18)* (pp. 1215-1222). València, Spain: Editorial UPV. doi:10.4995/HEAd18.2018.8179
16. Ashlock, R. B. (1990). *Error patterns in computation: A semi-programmed approach* (5th ed.). Columbus, OH: Merrill.
17. Aspinwall, L., & Miller, L. D. (1997). Students' positive reliance on writing as a process to learn first semester calculus. *Journal of Instructional Psychology*, 24(4), 253-261.
18. Azzarello, J. (2007). Use of the pathfinder scaling algorithm to measure student's structural knowledge of community health nursing. *Journal of Nursing Education*, 46(7), 313-318. doi:10.3928/01484834-20070701-05
19. Bawa, P. (2019). Using Kahoot to inspire. *Journal of Educational Technology Systems*, 47(3), 373-390. doi:10.1177/0047239518804173
20. Boboc, A.-L., Stoica, I., Orzan, G., & Niculescu-Ciocan, C. (2018). Gamification and game-based learning—A solution for Romanian education system? *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education*, 1, 242-248. doi:10.12753/2066-026X-18-033
21. Boldt, M. N. (2001). Assessing students' accounting knowledge: A structural approach. *Journal of Education for Business*, 76(5), 262-269. doi:10.1080/08832320109599646
22. Britton, B. K., & Tidwell, P. (1995). Cognitive structure testing: A computer system for diagnosis of expert-novice differences. In P. D. Nichols, S. F. Chipman, & R. L. Brennan (Eds.), *Cognitively diagnostic assessment* (pp. 251-278). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
23. Chang, K.-E., Liu, S.-H., & Chen, S.-W. (1998). A testing system for diagnosing misconceptions in DC electric circuits. *Computers & Education*, 31(2), 195-210. doi:10.1016/S0360-1315(98)00030-X
24. Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5(2), 121-152. Retrieved June 30, 2021, from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1207/s15516709cog0502_2
25. Chuang, Y.-T. (2015). SSCLS: A smartphone-supported collaborative learning system. *Telematics and Informatics*, 32(3), 463-474. doi:10.1016/j.tele.2014.10.004
26. Denbel, D. G. (2014). Students' misconceptions of the limit concept in a first calculus course. *Journal of Education and Practice*, 5(34), 24-40.
27. Gilbert, J. K., & Watts, D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative concep-

- tions: Changing perspective in science education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61-98. doi:10.1080/03057268308559905
28. Hancock, C. H. (1940). An evaluation of certain popular science misconceptions. *Science Education*, 24(4), 208-213. doi:10.1002/sce.3730240409
29. Head, J. (1986). Research into 'alternative frameworks': Promise and problems. *Research in Science & Technological Education*, 4(2), 203-211. doi:10.1080/0263514860040210
30. Heaslip, G., Donovan, P., & Cullen, J. G. (2014). Student response systems and learner engagement in large classes. *Active Learning in Higher Education*, 15(1), 11-24. doi:10.1177/1469787413514648
31. Hung, H.-T. (2017a). Clickers in the flipped classroom: Bring your own device (BYOD) to promote student learning. *Interactive Learning Environments*, 25(8), 983-995. doi:10.1080/10494820.2016.1240090
32. Hung, H.-T. (2017b). The integration of a student response system in flipped classrooms. *Language, Learning and Technology*, 21(1), 16-27. doi:10.125/44593
33. McDonough, K., & Foote, J. A. (2015). The impact of individual and shared clicker use on students' collaborative learning. *Computer & Education*, 86, 236-249. doi:10.1016/j.compedu.2015.08.009
34. Morton, J., & Bekerian, D. (1986). Three ways of looking at memory. In N. E. Sharkdy (Ed.), *Advances in cognitive science* (Vol. 1, pp. 43-71). Chichester, UK: Horwood.
35. Muzangwa, J., & Chifamba, P. (2012). Analysis of errors and misconceptions in the learning of calculus by undergraduate students. *Acta Didactica Napocensia*, 5(2), 1-10. Retrieved June 30, 2021, from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1054301.pdf>
36. Nicolaidou, I. (2018, October). *Turn your classroom into a gameshow with a game-based student response system*. Paper presented at the 12th European Conference on Games Based Learning. Sophia Antipolis, France.
37. Orton, A. (1983a). Students' understanding of differentiation. *Education Studies in Mathematics*, 14(3), 235-250. doi:10.1007/BF00410540
38. Orton, A. (1983b). Student's understanding of integration. *Education Studies in Mathematics*, 14(1), 1-18. doi:10.1007/BF00704699
39. Radatz, H. (1980). Students' errors in the mathematical learning process: A survey. *For the Learning of Mathematics*, 1(1), 16-20.
40. Ranieri, M., Raffaghelli, J. E., & Bruni, I. (2021). Game-based student response system: Revisiting its potentials and criticalities in large-size classes. *Active Learning in Higher Education*, 22(2), 129-142. doi:10.1177/1469787418812667
41. Resnick, L. B., Neshier, P., Leonard, F., Magone, M., Omanson, S., & Peled, I. (1989). Con-

- ceptual bases of arithmetic errors: The case of decimal fractions. *Journal for Research in Mathematics Education*, 20(1), 8-27. doi:10.2307/749095
42. Schoenfeld, A. H., & Herrmann, D. J. (1982). Problem perception and knowledge structure in expert and novice mathematical problem solvers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8(5), 484-494. doi:10.1037/0278-7393.8.5.484
43. Seah, E. K. (2005). Analysis of students' difficulties in solving integration problems. *The Mathematics Educator*, 9(1), 39-59.
44. Tall, D. (1994). Students' difficulties in calculus. In C. Gaulin, B. R. Hodgson, D. H. Wheeler, & J. C. Egsgard (Eds.), *Proceedings of the Seventh International Congress on Mathematical Education* (pp. 114-119). Québec, Canada: Les Presses de l'Université Laval.
45. Tsihouridis, C., Vavougiou, D., & Ioannidis, G. S. (2018). Assessing the learning process playing with Kahoot—A study with upper secondary school pupils learning electrical circuits. In M. E. Auer, D. Guralnick, & I. Simonics (Eds.), *Teaching and learning in a digital world: Proceedings of the 20th International Conference on Interactive Collaborative Learning* (vol. 1, pp. 602-612). Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-319-73210-7_70
46. Virvou, M., Katsionis, G., & Manos, K. (2005). Combining software games with education: Evaluation of its educational effectiveness. *Educational Technology & Society*, 8(2), 54-65.
47. Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York, NY: Simon & Schuster.
48. Wang, A. I. (2015). The wear out effect of a game-based student response system. *Computer & Education*, 82, 217-227. doi:10.1016/j.compedu.2014.11.004
49. Wichadee, S., & Pattanapichet, F. (2018). Enhancement of performance and motivation through application of digital games in an English language class. *Teaching English with Technology*, 18(1), 77-92. Retrieved December 12, 2021, from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1170635.pdf>
50. William, R. P., Christy, K. B., Katherine, M., & Valerie, M. C. (2007). Teaching with student response systems in elementary and secondary education settings: A survey study. *Educational Technology, Research and Development*, 55(4), 315-346. doi:10.1007/s11423-006-9023-4

Effectiveness of Applying Interactive Response System Based on Error Pattern Information: A Case Study on Calculus Courses

Chi-Tung Chang¹, Sui-Pi Chen² and Chuan-Sheng Wei^{1,*}

¹Department of Applied Mathematics, Feng Chia University

²Department of Information Technology, Tungs' Taichung MetroHarbor Hospital

Abstract

Calculus is the required course in most universities and covers basic mathematical concepts and calculation methods. Nevertheless, as a result of its abundant content and diverse calculation techniques, some students find calculus complicated and difficult to understand, and thus lose motivation to learn. This lack of motivation causes many students to fall behind schedule and perform poorly in learning. This investigation applies an Interactive Response System (IRS) based on error pattern information to calculus teaching as a method to improve student learning motivation. The IRS Kahoot! method was adopted and used among 217 students in a Calculus (I) course at a private university. First, investigators edited Kahoot! test questions based on error pattern information and then administered the test questions to the students according to a teaching schedule. Second, after administering the test questions to the students, investigators collected the data from the test questions and a questionnaire survey. Finally, investigators used quantitative and qualitative analyses to examine the collected data. Results indicated that (1) applying the IRS Kahoot! test questions based on error pattern information can effectively guide students to correct their misconceptions and (2) using Kahoot! IRS as a formative assessment method can positively affect students' learning attitudes. Finally, several suggestions for research and teaching are presented.

Key words: Kahoot!, Formative Assessment, Interactive Response System, Calculus, Error Pattern

* Corresponding author: Chuan-Sheng Wei, cswei@fcu.edu.tw