

新學習理論—學習反應動力學

黃武元

高雄師範大學資訊教育研究所

高雄市和平一路 116 號

wylwang@knuc.nknu.edu.tw

張宸彬

高雄師範大學資訊教育研究所

高雄市和平一路 116 號

chnbin@icemail.nknu.edu.tw

摘要

本研究提出一種學習動力與能量的模型，此一模型以科學方式剖析學習系統，其原理類似物理學中的牛頓動力學，因此稱此一模式為學習反應動力學。首先探討學習系統中學習動力與學習速率的關係，並且進一步推導學習能量的變化，然後以學習能量變化來預估學習成效的提升。我們的模型以學習者學習的反應資料（學習歷程）為依據，研究在時間軸上的學習速率變化，學習速率會受到不同動力影響，學習動力包含學習者的特質、教材特性與學習活動刺激等，如何利用不同的動力來影響學習者的學習意願，是學習成敗的重要因素之一。學習動力學的第一定律：學習速率的微分 = 學習加速度的淨值，其是探討學習速率與動力的關係。學習動力學的第二定律：學習位移 \times 學習系統力量淨值 = 學習能量淨值，其是探討學習能量（成效）提升。我們進一步推導第三、四、五學習定律，以深入瞭解並剖析學習過程。

此學習模式將學習系統的各項因素，轉化為可解讀的量化資訊，並推導這些因素的關係，讓學習系統的研究更具效率與科學。累積過去二年在遠距教學課程的實驗，利用資料探勘技術，從遠距教學的學習歷程資料挖掘學習資訊，然後利用這些資訊，推導並驗證上述的學習模式。

關鍵詞：牛頓動力學、學習歷程、學習動力、學習曲線、資料探勘

一、前言

非同步教學的方式和傳統教室教學的最大差異即在於「時間」與「空間」的自主性，然則就「教材的內容與設計」和「個別化的教學」而言，「時間」與「空間」的自主性無疑是一種障礙，因為時空的自主，造成學習時間與地點的不同，學習者遇到學習問題無法即時

反映給老師，獲得立即的回覆，另一方面，因為教師無法即時瞭解學習者的學習狀態，調整教學進度與內容，使得非同步教學的學習成效受到很大質疑。

然而傳統教育的研究方式，大都以專家訪談的主觀認定或問卷調查結果為依據，這樣方式往往會有很大的誤差發生[1]，所以教學者只好透過教學過程並觀察學生的反應，來調整教學進度與教學教材，不過這只是亡羊補牢罷了。這就是長久以來教育上較弱的一環，就科技教育輔具 - 電腦出現後，讓以往較難計量、記錄的學習者學習歷程可以精確的紀錄，這可以讓“科技”和“教育”有更進一步的結合。

非同步學習拜資訊科技之賜，可以客觀的記錄學習歷程的資料，再依據這些客觀的學習資料，讓適性化學習機制能有效率的實現，這乃是非同步學習的重要優勢之一。學習歷程是實行適性化學習系統的重要依據，它能日積月累地建構出一個龐大的學習資料倉儲（data warehouse），進一步利用資料探勘（data mining）的技術，從學習資料倉儲發掘有用的學習資訊。學習資訊可分為兩大類，即學習者的學習特質與課程的特性，學習特質包含學力、學習性向（aptitude）、學習形態（learning style）與認知形態（cognitive style），而課程特性包含教材的內容難度，學習活動，評量等。

有鑑於此，學習開始時，適性化教學的網站不僅必須依據個別的差異，選擇並提供適合每位學生的教材，同時在學習進行過程中，也應該隨時瞭解學生的學習狀況與回應，進一步適時地提供不同的教學策略與學習活動，因此，要隨時隨地針對個人提供適性的學習環境，傳統教學方式很難來達成這樣的要求，而非同步的學習利用“資訊科技”-資料庫與資料探勘技術，可以瞭解學習者特質與教材特性，進一步提供適性化的學習內容或學習活動，使非同步的學習更加完善有效率。

二、參考文獻

本文先探討學習者特質、學習時間與學

習成效之間的關係與數學函數，並準備以此關係與數學函數，科學化的逐步建構非同步學習理論。

學習時間函數

有關學習時間函數的研究，其實已有多位學者提出不同的看法[2][3][4][5][6]，在Carroll所提出的模型中，他認為當學生實際有效的投入時間和學習所需的時間達到一定比例時，學生即可達到熟練的程度[4]。所以他定義 model of school learning 的式子為：

$$\text{Learning} = F\left[\frac{\text{time actually spent}}{\text{time needed}}\right] \quad (1)$$

其中 time needed 指由於教學品質、學生的天資與能力上的不同，學生瞭解教學內容所需的時間也就不同。而 time actually spent 則是學生願意且有機會付出的學習時間。由此可知，Carroll 認為學生學習的深度是由性向、能力、教學品質、堅持和機會所構成的函數。

Johnston&Aldrige 所提出的指數學習模型[5]，主要納入了學習者個人的內在特質如：個人能力與個人學習動機，因此，學習成效可以由學生特質與投入時間量作表示與預估，如下式即為該模型的方程式：

$$L = 100[1 - e^{-k(t+t_0)}] \quad (2)$$

L = 學習成效

t = 時間

t₀ = 開始學習前對於該科目主題所花費的時間

k = cm，c：能力；m：動機

該函數導入了指數(exponential)的概念，亦即隨著學習時間量的增加，學習成效是呈現指數遞增的連續變動量，此即學習成效是時間、能力和動機的函數。在這個指數函數中，所隱含的意義是當學生的學習時間越多時，會使得學習的成效越良好。另外，影響動機變項 m 的各種因子，包含自我實踐、興趣、工作需求等定性因素。

Karweit 認為教學效果不僅與學習時間的密切相關，而且也認為學習系統是一種動力的關係[6]。Karweit 認為一般的時間與學習成效的關係，大部份均是假設學習時間增加一單位，在任何的時間點上都會產生相等的學習效果。換言之，在學習時間的歷程中，學習速度均為一固定常數。但是在 Karweit 的動力模型中，他認為即使教學每次所花的時間都相

同，也會因為對於不同的學生、不同的時機而有不同的學習成效。

$$L(t) = L_0 + \int_0^t R(t)dt \quad (3)$$

L₀ 是初始的學習程度

R(t) 是學生在時間 t 時的學習速率

依據上述 Karweit 的學習動力模型，表示學生在時間 0 到時間 t 之間所學到的學習成效應該是等於在不同的時間單位內，不同的學習速率所產生的學習成效總和。因為有這樣的一個結果，所以 Karweit 認為學習的成效應該依據學習速率的變動，適時提供不同的教學進度、教材與活動。所以學習的效果不應該只是單純地以線性關係表示之，而應該注意學習過程中學習率的動力變化關係。

學習成效不僅受到學習速率的影響，而且教材特性(如難度)也會影響學習成效，後續將探討學習成效受到學習速率與教材特性二個因素的影響，並修改校正 Karweit 的學習動力模型，推導更精確的學習成效公式。

影響學習的因素

依據前述各個理論模型所發現的結果，我們可以將會影響遠距教學學習的變數以及其對學習時間的影響方向說明如下：

- 教材難度：以色列學者 Salomon 認為當一個人覺得訊息越簡單時，越不會花心思去理解這個訊息的內容或來源，而這樣的推論也經過多項研究證實[7][8]。
- 疲乏：學生的學習不會恆久不衰，一本書或一門科目需要多久的期間能夠看完或學完，雖然不盡相同但終究有其極限，因此，任何一位學生都會因學習期間的冗長而感到學習疲乏。所以，當學習期間不斷拉長時，學生閱讀教材的時間亦相對減弱，最後為零。
- 態度：學習者的態度越正面，會使得學生對於教材的內容願意花較長的期間以及投如較多的時間去閱讀[9][10]，所以學習時的持久性較強，也就是對於學習疲乏有較大的抗力。所以，態度值越大的學生，對於學習時間的增加，會產生正面的效果。
- 能力：學生的能力使得學習時間產生截然不同的結果，一般而言，能力越強的學生對於同一份教材所需要投入的時間也越少，因此能力應該會對於學習時間產生反向的效果[11][12][13]。

三、研究動機

將上述影響學習的各項因素，轉化為可解讀的量化資訊，並推導這些因素的關係，我們藉由類似物理的牛頓動力學的觀念，將上述各項學習因素整合一起，提出一新的學習理論，讓學習系統的研究更具效率與科學。並且累積過去二年在遠距教學課程的實驗資料，利用資料探勘技術，從遠距教學的學習歷程資料挖掘學習資訊，然後利用這些資訊，推導並驗證我們所提出的學習理論。

四、研究方法—學習動力學

參考上述 Carroll 和 Johnston & Aldridge 的學習函數，結合影響學習的各種因素，非同步的教材特性公式被提出[14]，並且進一步推測非同步學習的學習成效，亦即針對非同步的學習環境，評估教材的特性與學習者的特質，並藉此預估學習者在遠距教學中的學習時間量與學習成效。

若課程只提供教材，教材特性公式即為學習者的學習速率，其為本研究所依據的理論，學習者的學習速率公式如下：

$$Q_{ijk}(T_j) = \frac{A_{ik}}{1 + e^{\theta_{ik} B_k [T_j - \alpha_{ik} (\frac{1}{B_k} - \theta_{ik})]}} \quad (4)$$

Q_{ijk} 可以解釋為學生 i 在第 j 時間單位對教材 k 的學習速率。

α_{ik} 學生 i 對閱讀教材 k 的用功程度 ($\alpha_{ik} > 0$)， T_j 第 j 個時間單位。

θ_{ik} 學生 i 對教材 k 的能力，若其值越大，完成研讀的所需時間就越少。

B_k 定義教材 k 的難度，其值越小，表示教材越難。

上述學習速率公式，乃是以教材之特性和學習者之特質為依據，推導學習速率。學習速率的單位為每一時間單位的閱讀時間量，其類似牛頓動力學的速率，一般的速率是指每小時幾十公里，例如：每小時 40 公里，而學習速率則是指每天的閱讀時間量，例如：每天閱讀 50 分鐘。這個學習速率公式中，與學習者個別差異有關，學習者的能力、興趣與用功程度會影響學習者的學習速率，同時教材的特性也影響學習者的學習速率，上述學習速率公式的曲線如圖一：

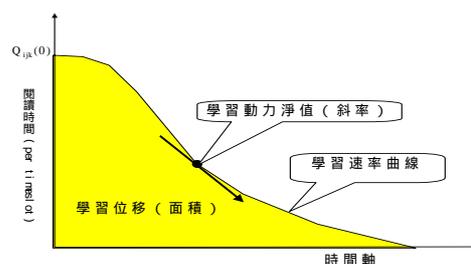


圖 (一) 學習速率曲線

學習者剛開始進入課程的教材時，有一學習的初始速率，如圖一所示，其值為：

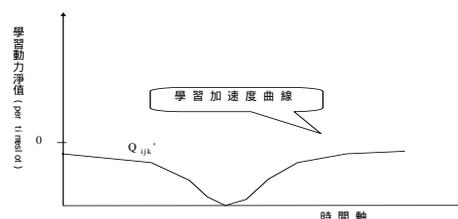
$$Q_{ijk}(0) = \frac{A_{ik}}{1 + e^{-\theta_{ik} B_k \alpha_{ik} (\frac{1}{B_k} - \theta_{ik})}} \quad (5)$$

而在學習進行當中，學習速率受到各種學習動力的影響而產生變化，學習動力分為二種，正向動力與負向動力，正向動力包含考試、作業、競賽活動或合作式學習等，負向動力包含學習疲乏、學習惰性、家庭負擔或工作負擔等。把正向動力與負向動力加總起來，得到學習動力的淨值，學習動力的淨值為正數時，會加速學習速率，若為負數，會減速學習速率。因此，學習動力的淨值會產生學習加速度 (acceleration)，學習加速度為學習速率的微分：

$$Q'_{ijk} = \frac{\partial Q_{ijk}}{\partial t} = \frac{-A_{ik} \theta_{ik} B_k e^{\theta_{ik} B_k [T_j - \alpha_{ik} (\frac{1}{B_k} - \theta_{ik})]}}{\left(1 + e^{\theta_{ik} B_k [T_j - \alpha_{ik} (\frac{1}{B_k} - \theta_{ik})]}\right)^2} \quad (6)$$

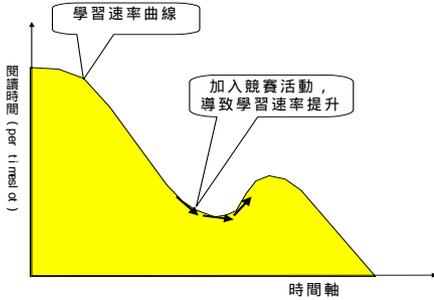
學習動力學第一定律：學習速率的微分 = 學習加速度

圖二的曲線為圖一中學習速率的加速率曲線，其值為負數，顯示動力的淨值為負值，為什麼會如此？因為剛開始時，學習者興趣很高，期待閱讀新章節的教材，前述提到學習的初始速率為 $Q_{ijk}(0)$ ，隨著日子增加，學習疲乏或惰性增加 (負向動力增加)，閱讀的熱度逐漸消退，即學習速率逐漸減少，若放任學習者獨立自行學習，學習速率會遞減至 0。



圖(二)學習動力淨值曲線(學習加速曲線)

若不要讓學習速率隨著日子遞減，必須在學習過程中加入其他的正向動力，如何加入正向動力？可以適時加入鼓勵型的學習活動，例如：評量或競賽，則學習正向動力增加(學習加速率)，導致學習速率增加，如圖三：



圖(三)競賽學習活動，提升學習速率

接著討論學習動力學的第二定律，首先，在時間軸上學習的速率所產生的面積，等於學生所花費的心力，我們定義為學習位移(shift)，學習位移 π 等於學習速率的積分：

$$\pi = \int_0^{\infty} Q_{ijk} dT = \int_0^{\infty} \frac{A_{ik}}{1 + e^{\theta_{ik} B_k [T - \alpha_{ik} (\frac{1}{B_k} - \theta_{ik})]}} dT$$

$$= \frac{A_{ik}}{\theta_{ik} B_k} \left[-(-\theta_{ik} B_k \alpha_{ik} (\frac{1}{B_k} - \theta_{ik})) + \ln(1 + e^{-\theta_{ik} B_k \alpha_{ik} (\frac{1}{B_k} - \theta_{ik})}) \right] \quad (7)$$

學習位移乘以學習系統的力量(force)淨值，可以得到學習能量(energy)提升的淨值，學習能量提升淨值也就是教材或學習活動對學習者所做的功(work)。

學習動力學第二定律：學習位移×學習系統的力量淨值 = 學習能量淨值

至於學習系統的力量(force)是什麼？類似物理的牛頓動力學原理，若以學習者研讀課程為例，此力量是促使學習者研讀課程教材的重要因素，若力量越大，則越能驅使學習者努力學習，此力量可以由課程教材或學習活動來產生。

若依據類似牛頓動力學原理，學習力量等於學習加速率(acceleration)與學習者的學習質量 M 的乘積，因此，可以推估學習力量 F_{ik} 如下：

$$F_{ik} = Q'_{ijk} M \quad (8)$$

請注意 Q'_{ijk} 為負值，為何 Q'_{ijk} 為負值？因為學習剛開始時，受到課程教材的正向動力影響，有一學習初始速度 $Q_{ijk}(0)$ ，然後加入學習惰性、學習疲乏、家庭負擔或工作負擔等負向

動力的影響而銳減，也就是減速率，最終學習速率會等於零，也就是學習結束。而學習初始速度 $Q_{ijk}(0)$ 是如何產生的？當然是課程教材或學習活動刺激學習者所得到的，也就是課程教材或學習活動的力量產生了學習加速率 Q'_{ijk} 。

至於學習者的學習質量 M 是什麼？學習質量 M 與學習者特質相關，其可以經過長期的追蹤學習者的學習歷程得到。

學習動力學第三定律：學習質量×學習加速率 = 學習力量

若學習力量淨值 F_{ik} 為定值(即不隨時間而變化)，則學習能量淨值 E_{ik} 等於學習位移乘以學習力量淨值，如下：

$$E_{ik} = \delta \pi F_{ik} \quad (\text{註：}\delta\text{值為定值，依學習者或群體的其他特性而定}) \quad (9)$$

然而從學習速率曲線變化得知，學習減速率隨時間變化，因此，學習力量淨值 F_{ik} 為時間的變數(非定值)，若學習力量為時間的變數，則學習能量提升的淨值 E_{ik} 等於學習速率乘以學習力量淨值的積分，如下：

$$E_{ik} = \left| \delta \int_0^{\infty} Q_{ijk} F_{ik} dT \right| = \left| \delta \int_0^{\infty} Q_{ijk} Q'_{ijk} M dT \right|$$

$$= \left| \delta M \int_0^{\infty} Q_{ijk} Q'_{ijk} dT \right| = \left| \delta M \int_0^{\infty} Q_{ijk} dQ_{ijk} \right| \quad (\text{Let } \frac{dQ_{ijk}}{dT} = Q'_{ijk})$$

$$= \left| \frac{1}{2} \delta [MQ_{ijk}^2 + c]_0^{\infty} \right|$$

$$= \left| -\frac{1}{2} \delta M \left(\frac{A_{ik}}{1 + e^{\theta_{ik} B_k [T - \alpha_{ik} (\frac{1}{B_k} - \theta_{ik})]}} \right)^2 \right|$$

$$= \frac{1}{2} \delta M \left(\frac{A_{ik}}{1 + e^{\theta_{ik} B_k [T - \alpha_{ik} (\frac{1}{B_k} - \theta_{ik})]}} \right)^2 \quad (10)$$

(註： δ 值為定值，依學習者的其他特性而定)

從上述公式得之，學習能量的提升淨值 E_{ik} 也可以由學習質量 M 乘以學習速率 Q_{ijk} 的平方求得。為何 E_{ik} 何為負值？因為雖然有學習的初始速度(教材或活動刺激所造成)，若放任學生自行閱讀，則負向力量總和大於正向力量總和，因此，學習力量的淨值為負數，造成學習速率逐漸遞減，所以積分得到的功為負值，然而，此積分得到的絕對值，正等於教材或活動刺激學生學習所造成的功(其值為正數)

學習動力學第二定律之衍生： $\frac{1}{2}$ × 學習質量 × 學習速率平方 = 學習能量提升

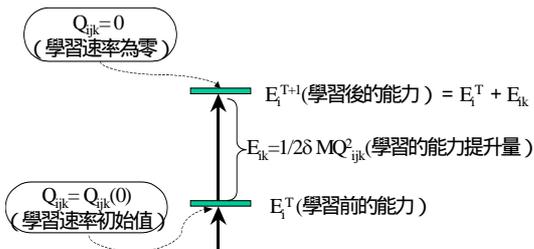
淨值

學習能量提升淨值 E_{ik} 就是學生 i 研讀教材 k 後的能力提升量，因此，學習能量提升淨值 E_{ik} 加上學前的學生能力（利用前測得知），便可推估學習後學生 i 對教材 k 的能力。若推估的能力與學生的學後實際能力相同，則學習後測驗就不需要了。若是推估的學後能力與學後實際能力接近，則推估值可以當做學習後測驗選擇試題的依據，讓測驗能夠更有效率。

同時可以再依據學後的能力推估值，進行下一階段的適性化學習，去除了一般適性化研究的需求--不斷測驗以取得學習成效，因此推導出學習動力學第四定律。

學習動力學第四定律：學前的能力 + 學習能量淨值 = 學後的能力

整理第二與第四學習定律，圖四解釋學習能力變化與學習速率間的關係。



圖（四）學習能力變化與學習速率間的關係
因此， $E_i^{T+1} = E_i^T + E_{ik}$

$$\begin{aligned} &= E_i^T + \delta \int_0^{\infty} Q_{ijk} F_{ik} dT \\ &= E_i^T + \frac{1}{2} \delta M Q_{ijk}^2 \end{aligned} \quad (11)$$

E_i^T ：學生 i 在時間 T 的學習能力

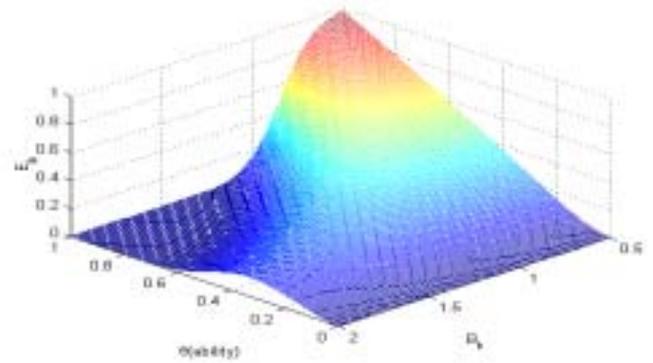
E_i^{T+1} ：學生 i 在時間 $T+1$ 的學習能力

E_{ik} ：學生 i 研讀教材 k 的能力提升量

上述的能力（程度）變化公式，對於 Karweit 學習動力模型所提的學習公式（公式 3）做修改，學習能力的變化，除了與學習速率相關，而且也與學習力量有關，因此，對學習速率與學習力量的乘積做積分，得到更精確的能力變化公式。為何能力變化公式與這二者相關？因為學習是一體兩面，學習是學習者與教材或活動之間的交互關係，學習速率是學習者每天的研讀時間，而研讀的內容就是教材，學習力量就是代表教材或活動特性的重要因素

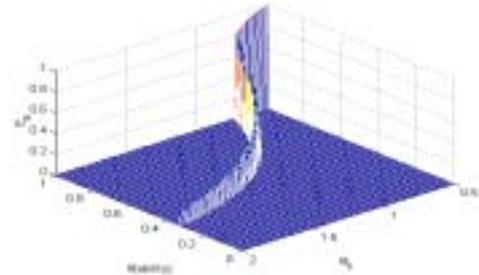
之一。

接著討論學習動力學的第五定律，首先，探討教材選擇的依據，所謂適性化的學習系統，就是以學習者為中心的學習系統，教材的提供必須根據學習者的特值來做決定，什麼樣的教材適合學習者，是依據那些學習特值呢？我們提出一觀念作為選擇教材的依據，此觀念是學習者的能力提升量做為選擇教材的依據，也就是若教材對學生的能力提升量最大，我們就選擇此教材當做學生的教學內容。利用學習動力學第二定律之衍生公式，探討能力 θ_{ik} 、難度 B_k 與能力提升量 E_{ik} 之間的關係，如圖五：



圖（五）能力 θ_{ik} 、難易度 B_k 與能力提升量 E_{ik} 之間關係圖 ($\alpha_{ik} = 10, M=1, \delta=1$)

由圖五中，得知每一個難度值 B_k 都擁有一最大的能力提升量 E_{ik} 值，此時可以對應於一能力值 θ_{ik} 。這就是難易度 B_k 的教材在能力值 θ_{ik} 時，可以有最大的能力提升量，我們把每一教材的難易度 B_k 與其對應能力值 θ_{ik} 的點連成一線，稱此線為黃金線[14]，如圖六：



圖(六)、難易度 B_k 與其對應能力值 θ_{ik} 所構成之黃金線 ($\alpha_{ik} = 10, M=1, \delta=1$)

學習動力學第五定律：對於一難度值 B_k 的教材而言，會擁有一最大的學習能量淨值 E_{ik} （學習能力提升量最大），此時有一對應的能力值 θ_i ，也就是難度 B_k 的教材在能力值 θ_i 時，可以

有最大的能力提升量。將教材的難易度 B_k 與其對應能力值 θ_i 的點連成一線，稱此線為黃金線。

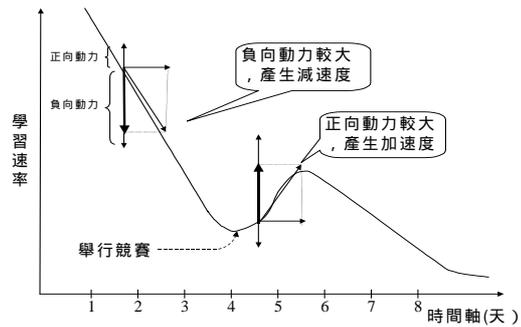
五、學習活動與學習速率之關係

學習動力的探討，如前所述分為二種，正向動力與負向動力，正向動力包含考試、作業、競賽活動或合作式學習等，負向動力包含學習疲乏、學習惰性、家庭負擔或工作負擔等。

非同步學習若僅提供教材，其學習速率曲線必然類似圖一所示，學習開始時，有一初始的學習速率，隨日子的增加學習速率遞減，而且遞減的相當快速，這種現象不是老師所期望的，因此，非同步學習不僅提供教材，還需要安排學習活動，刺激學習者以提升其學習動機。然而各式各樣的學習活動，會如何影響學習速率的曲線呢？值得我們深入去探討曲線。

各種學習活動對學習速率的影響，也類似教材一樣，會產生正向學習動力，例如：在學習者研讀教材的第四天時，公布學習競賽，其競賽的內容是讓學生去挖掘教材中的三個錯誤，前幾名先發覺三個錯誤的學生可以獲得獎勵。這樣競賽型的學習活動在其公布後，會刺激學習動機，對於學習速率曲線增加正向的學習動力，如圖七所示，如此，學習曲線更可以符合課程或教師的期許。至於各種學習活動對於學習速率曲線影響的量化比較，也是需要活動特性模式被提出，並加以模擬比較，其類似教材特性模式來模擬教材一樣，未來我們將一一探討各項學習活動特性，並且試圖提出模型來模擬學習活動。

若活動特性模式可以精確模擬學習活動對學習速率的影響，也可運用學習動力學的第二、三、四與五定律，來推估學習能力提升量，並進一步探討學習活動與能力間的對應關係，即學習活動的黃金線，因此，不僅教材的提供可以依據黃金線來因材施教，而且學習活動也可依據黃金線來適性提供給學習者。不僅如此，當課程的某章不只提供教材，而且也施行學習活動，則此施行的活動特性公式也可以與此章教材的特性公式結合，來推估學習速率曲線的公式，如此，儘管有多樣的學習活動施行於課程時，都可結合這些活動特性公式，來推估學習速率所受到的影響。



圖(七) 競賽型學習活動產生正向的學習動力

六、學習活動與學習速率之關係

本研究的資料來源是遠距教學課程，開課時間從 2000/7 至 2001/6，總共有四個梯次，每一梯次的時間均是三個月，開課時間與「套裝軟體」課程表如表(一)、表(二)所示，測試課程為「套裝軟體」、「電腦網路通訊」與「資料庫」，課程為十二週，每週的進度為一章，每章課程都有作業的學習活動，其方式是公布每一章的教材時，同時也公布該章的作業，且希望於公布後一週內完成該作業每章都有作業，完成作業才可晉級閱讀下一個章節。參與課程的學習者，都是國、中小各級學校的在職教師，他們通常都透過學校的網路閱讀線上教材，而且學習者分佈在全省各地。

表(一) 網際大學開課時間

梯次	時間	學生人數
1 (本島)	2000/7~2000/9	94
2 (離島)	2000/7~2000/9	54
3	2000/10~2001/1	63
4	2001/3~2001/6	77

表(二) 「套裝軟體」課程表

週次	單元名稱	附註	週次	單元名稱	附註
1	文書處理(一)	面授	7	影像處理(一)	✓
2	文書處理(二)	✓	8	影像處理(二)	✓
3	電子試算表簡介	✓	9	動畫製作	✓
4	編輯製作軟體	✓	10	網頁製作軟體介紹	✓
5	網路瀏覽器之介紹	✓	11	壓縮軟體原理及操作介紹	✓
6	電子郵件	面授	12	上網工具軟體操作	混授

七、實驗設計與系統建構

1. 實驗設計

本研究採用實驗研究法，學習者在閱讀線上教材時教學網頁伺服器會記錄其學習歷

程，之後採用 SQL Server 2000 資料轉換服務 (Data Transformation Service) 找出我們感興趣的資料(例如：閱讀時間等等)，彙整這些資料作為分析的依據，流程如圖(八)所示，蒐集到的資料就是每個學習者每一章的閱讀歷程，之後將每一章所有學習者閱讀教材的前兩週(第 1~14 日)的時間加總，即可獲得每梯次每章教材被閱讀的總時數，再將這些資訊套入學習速率曲線公式就可以求出每一章的學習速率曲線。



圖(八) 學習者學習歷程資料蒐集流程

2. 系統建構

為了分析學生的學習狀況首先要獲得學習者線上學習資料，同時彙整這些資料作為後端的分析，以此作為驗證學習狀態的反應模型，所以系統的平台可以分為三個部分，分別為：教學網頁伺服器、學習歷程分析模組、學習動力之模組，分述如下：

(1) 教學網頁伺服器

學習者藉由登入教學網頁伺服器可以在任何時間任何地點閱讀線上教材，而伺服器也會一五一十的將學習者的學習歷程記錄下來，之後可以透過學習歷程分析模組取得重要的資訊。

(2) 學習歷程分析模組

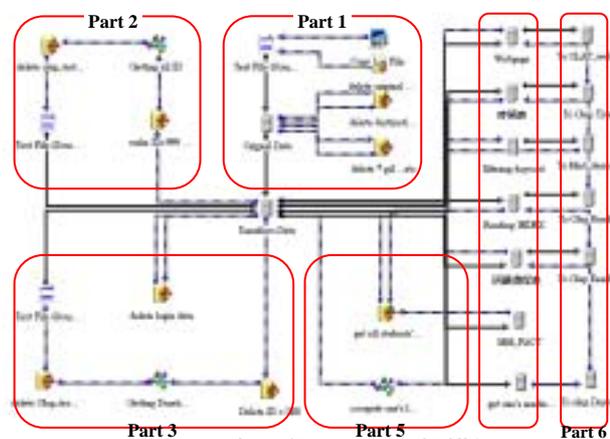
此模組最主要的功能是運用線上即時分析的方式，將學生在線上的閱讀時間，整理出其分佈概況，以作為後續研究的數據。為了確實得到研究所需要的數據，首先必須考慮到什麼樣的資訊，對於本研究是必須且有意義？

本研究共分為五個次元維度資料表和一個元素資料表，這五個次元維度資料表主要是為了彙整學生的線上閱讀狀態而設立的資料表。各個次元維度資料表的意義和用途如下：

- Stu: 記錄學生個人資料，包含等級、性別、姓名和學號等等。
- Time: 用來建立日期和星期幾之間的對應表。
- ReadIdx: 依據每日的閱讀次數對應一個索引值(亦即同一個學生在同一天內的不同次登錄會有不同的索引值)。
- Reading: 依據索引值記錄該次閱讀細部過程(例如讀了哪一個網頁、花多久時間等等)。
- Webpages: 建立每一個網頁的對應值，根據這個值可以記錄學習者閱讀

歷程。

元素資料表則是用來將這些維度整合起來的一個關鍵，也就是所有的估量值(measure value)。而次元維度資料表則是存放各個細部的相關資料或者是對映值，這樣才能夠依據元素資料表內所連結的每一筆資料計算其值。



圖(九) 學習歷程分析模組

整個學習歷程分析模組如圖(九)所示，共分為六個部分，各個部分功能簡述如下：

- Part 1: 刪除 log files 中不必要的資料。
- Part 2: 找出 log files 中所有學習者的資料。
- Part 3: 根據 Part 2 的資料找出所有學習者閱讀網頁時間。
- Part 4: 彙整學生的線上閱讀狀態。
- Part 5: 根據 Part 3 找出所有學習者各章閱讀時間。
- Part 6: 即時彙整學生的線上閱讀狀態並分析，給予學習者立即的反應。

(3) 學習動力模組

學生學習的狀態不能單以結果論斷，應該再考慮學習過程中的反應。學習動力之模組的功用在於讓老師能夠知道教材的特性以及學生的反應。一旦使用者的閱覽資訊透過「學習歷程分析模組」，得到的數據即可輸入到「學習動力模組」，經過模組內學習動力學模型之運算後，學習的歷程結果就產生了。因此，學習動力模組的功用便是藉由學生歷程分析模組所得到的數據，分析學生的學習速率、學習加速度、能量變化等，並以具體的方式呈現，以作為後續適性化教學的依據。

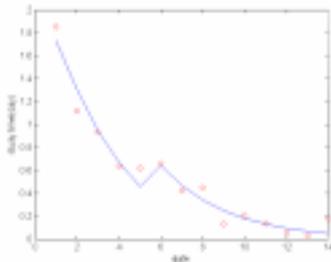
所以對教師而言，這個模組所呈現出來的結果不僅僅只是學生閱讀了多少的時間，更重要的是學生夠不夠用功、教材會不會太難等等。再者，針對非同步遠距教學上的教學方式，若能即時地由學生在線上的學習歷程加以分析並給予回饋，藉此判斷應施予什麼樣的學習激勵或活動，例如：即時資訊、電子郵件督

促學習、動態教材呈現等，即可作到「即時監督的適性教學」。

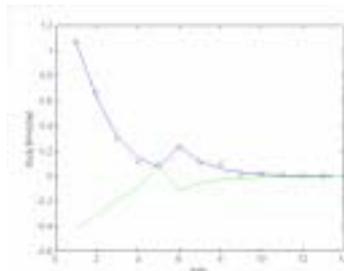
八、結果與分析

1. 學習速率曲線

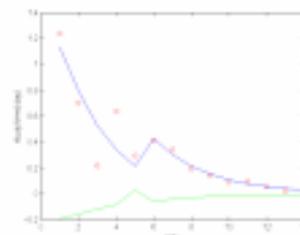
蒐集各科目各梯次的學習歷程資料之後，將之套入學習速率曲線公式就可以求出每一章的學習速率曲線與其相關的參數 B_k 、 θ_{ik} 與 α_{ik} ，如圖十所示，縱軸為學習速率，其單位為每天閱讀教材的時間總和 (days)，橫軸為第幾天，圓圈為樣本，曲線是利用非線性回歸所得到的學習速率曲線，收斂標準為 $\leq 1.0e-04$ 。各梯次各章所得到的曲線如附錄(一)所示，觀察這些曲線之後可以發現不同梯次，不同章節所產生的曲線趨勢都與圖(十)相似，顯示學習速率公式的推導是正確的。這些曲線顯示開始時，學生處於興趣較高的情形，但是學習加速度卻為負，顯示出學生學習速率漸漸減緩，直到提供學習活動時，學生才加緊學習。



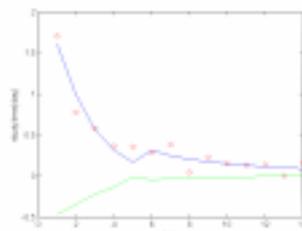
圖(十) 學習速率曲線



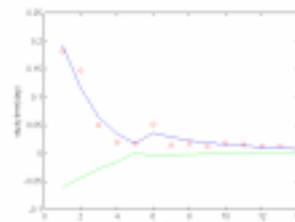
(a) 套裝軟體第三梯第五章



(b) 套裝軟體第四梯第五章



(c) 套裝軟體第四梯第八章



(d) 資料庫第四梯第三章

圖(十一) 學習加速度曲線

2. 學習加速度曲線

這四張圖都包含兩條曲線：上方曲線是學習速率曲線，下方是學習加速度曲線，綜合兩條曲線可以更精確的觀察出某一課程某章節的變化與走勢，以圖(十一 a)為例，我們可以發現在第一天到第四天之間學習速率下降的非常快速，而加速度曲線也反應出這種情形，這段期間負向動力驅使速率下降。而第五天到第六天學習加速度變大導致學習速率上升，這是因為繳交作業的壓力驅使學習者更積極閱讀教材，學習速率曲線也忠實的反應這個情形，之後學習速率與學習加速度漸減趨向於零。

因此透過學習速率曲線與學習加速度曲線可以更精確反應出學習者學習動機的變化。例如圖(十一 c)學習速率曲線在第五天到第六天上升的很緩慢，似乎學習活動沒有發生功用，但是在觀察其學習加速度曲線之後發現：學習速率上升的較少是因為速率本身下降不多，因此在學習者動機沒有減少很多的情況下，學習活動提昇學習動機的程度有限。

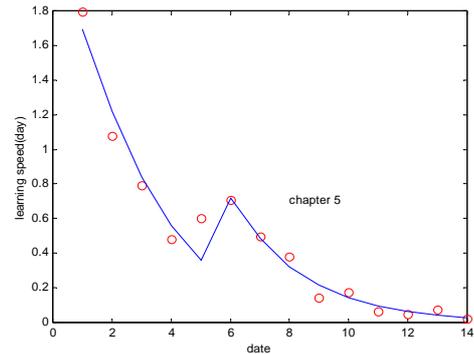
在這四張圖裡仍可以發現課程不相同的情況下曲線的走勢都很相似，教學者如果發現學習者的學習速率下降太多(也就是負向動力比往常更大)，則應該試著了解原因，安排適當的策略增加正向動力。

3. 各類學習活動的影響

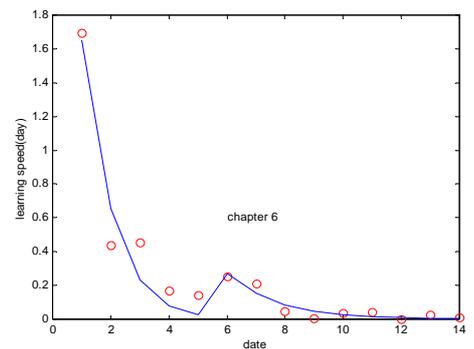
一般常用的學習活動包含作業、考試與合作式學習等，以下探討這些學習活動對學習速率的影響：

(1) **作業**：一般常用的學習活動，就是作業（評量活動也是學習活動的一類），教師指定作業題目，且希望學習者於指定的期限完成，這種指定題目且限期完成作業的活動，對於學習速率會有如何的影響呢？圖十二、十三分別為第五、六章的作業對學習速率曲線的影響。從圖十二中可以得知，第五章學習速率從一開始時就逐漸下滑，直到第五、六天時學習速率才開始回升，這是受到作業繳交期限快到的刺激，驅使學習者努力學習，同理在圖十三中也有類似的情形發生。不過圖十二與圖十三中仍可發現其中的差異，第五章的學習速率下滑比第六章較為緩慢，顯示第五章的教材有效地觸使學習者持續閱讀，而且第五章的作業也能有效地激起學習者的學習動機，使得學習速率能夠維持一定的水平要求，而第六章的學習速率下降快速且作業似乎僅些微的刺激學習動機，所以學習速率在第四天以後就相當的低。因此，第六章的教材或作業需要適當的修改，加強其學習動力，以使學習速率維持一定的水平，才能得到不錯的學習成效。

圖十二與圖十三是教材特性公式與作業特性公式的結合，利用非線性回歸所得到的學習速率曲線，作業特性公式也是類似教材特性公式，作業內容也有難度，而學習者的能力也影響作業完成所需的時間，因此，其參數也包含作業內容的難度與學習者能力。作業對於多數學習者而言，其顯著影響發生在作業繳交期限之前幾天，也就是作業繳交期限的前幾天，學習速率會有顯著的提升。

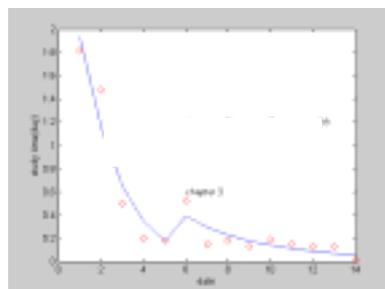


圖(十二) 第五章作業對學習速率曲線的影響

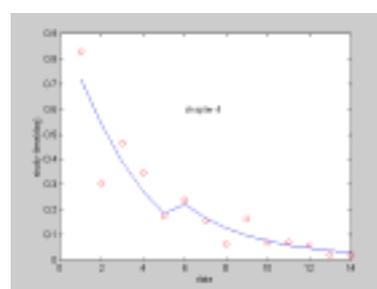


圖(十三) 第六章作業對學習速率曲線的影響

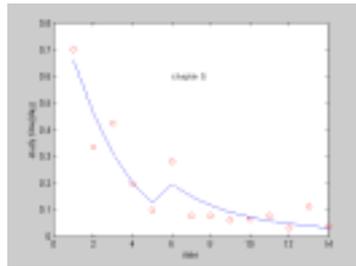
(2) **線上測驗**：資料庫課程七、八章的學習活動是線上測驗，其他章節則是完成作業即可，圖(十四)是資料庫第四梯次各章學習速率曲線：從提昇學習速率來看，不難發現線上測驗明顯優於作業，原因是學習者在考試前幾天積極閱讀教材，學習動機提昇至最高；而且七、八章的閱讀時間方面也高於其他章節，但是這是否代表線上測驗一定優於作業繳交呢？不盡然，因為學生在考試前幾天學習動機達到最高峰，考完試之後失去學習的誘因（考試），造成學生不再閱讀教材。



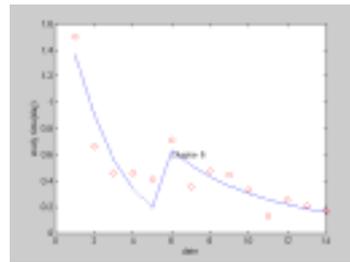
第三章



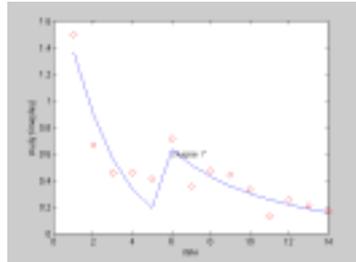
第四章



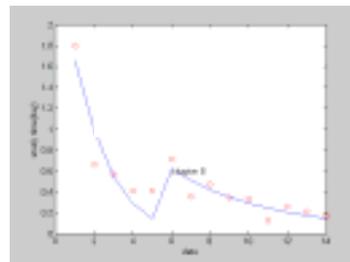
第五章



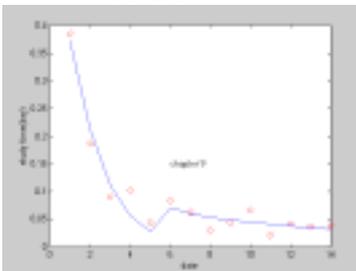
第六章



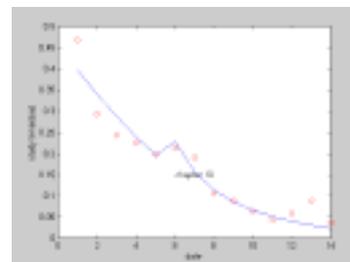
第七章



第八章

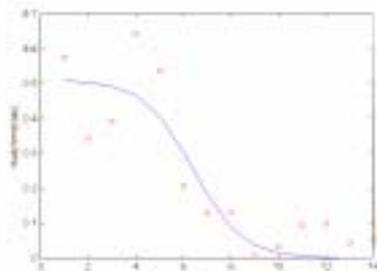


第九章



第十章

(3)合作學習：圖(十五)是第四梯電腦網路通訊第九章學習速率曲線，這張圖的曲線走勢與其他的圖形並不相同，原因是因為這章教材除了一般的作業之外還加上了分組合作的要素，因此所得到的數據會與其他科目的章節有所不同，因為在合作式學習方式之下學習者的行為有太多是教學網頁伺服器無法記錄到的。例如：學員利用 Email、電話甚至是小組會議。因為有很多無法記錄的資訊，所得到的曲線無法對應到簡單的學習動力公式。



圖(十五)第四梯電腦網路通訊第九章學習速率曲線

4. 學習能量與學後能力預估

從課程表中得知套裝軟體第六章的主題是電子郵件工具的使用介紹。在第六章開始

圖(十四)資料庫第四梯次各章學習速率曲線前，先對學習者進行測驗，得到第六章全部學習者的學習前平均能力值為 0.633，再根據學習動力學第二定律的衍生公式 $(1/2\delta MQ^2_{ijk})$ ，計算求得學習後平均能力提升量 $E_{ik}=0.0648$ ，因此根據第二定律的衍生公式得到學習後的能力為 0.6981 (0.633+0.0648)，而我們也進行學習後的測驗，得到學習後平均能力值為 0.6981，與第二定律衍生公式得到的值 0.6987 很相近。而第六章領先群的學習者們(19人)，其學習前平均能力值為 0.6677，學習後平均能力提升量 $E_{ik}=0.1286$ ，因此，由第二定律衍生公式得到學習後的能力為 0.7963，而進行學習後的測驗，得到學習後平均能力值為 0.794791，也與第二定律衍生公式得到的值很相近(衍生公式的 $\delta M=125$)

套裝軟體第十章的主題是網頁製作，介紹微軟 FrontPage 2000 的使用，所有學習者的學習前平均能力值為 0.56319，第二定律衍生公式所計算得到平均提升量 $E_{ik}=0.1081$ ，因此，由第二定律衍生公式估算的學習後平均能力值為 0.67129，而利用後測得到平均能力值為 0.700934，這二個能力值也相近，因此，我們提出的第二定律衍生公式得到初步的驗證，這對於測驗評量系統有重要貢獻，第二定律衍生公式所預估的學後能力值，可以當做測驗系統選擇試題的參考依據。

九、結論與建議

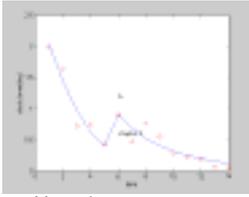
新學習動力學的理论被提出,並且以科學化和系統化的方式來推導學習過程,包含學習速率、學習動力(學習加速度),學習能量(學習成效),適性化的黃金線等,讓傳統的教育研究可以朝向有效率且科學化方向邁進一大步,我們依據類似牛頓動力學的原理,逐步推導學習動力學的幾個定律,並且進行課程實驗,實驗的結果驗證我們所提出的新理論--學習動力學。

在學習動力學的理论中,學習速率曲線扮演重要的角色,而學習速率曲線受到了各種學習活動或教材的影響,因此,活動特性公式或教材特性公式的推導相當重要,我們研究幾種簡單的學習活動,例如:作業,考試等。其他多變化或複雜的學習活動將在後續探討,例如:先繳交就加分的作業活動、群組專題或合作式學習等,都可以探討其對學習速率的影響,找出重要的相關因素,進而推導其特性公式。若所有活動的特性公式都有了,則教師可以依據學習的需要,並瞭解學習活動的特性公式,從中選擇適合的學習活動來施行,使學習能夠達成課程或教師的期望。

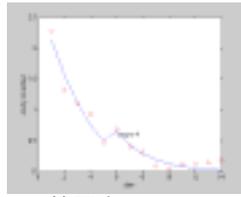
十、參考文獻

- [1] Moore, M. G., & Kearsley, G. (1996). Distance education: a system view. Belmont, CA: Wadsworth.
- [2] Bloom, B. S. (1968). Mastery learning. Evaluation Comment, 1(2).
- [3] Bloom, B.S.(1976).Human Characteristics and School Learning. NY: McGraw-Hill.
- [4] Carroll, J. B. (1963). A model of school learning. Teachers College Record, 64(8), 722-733.
- [5] Johnston, K. & Aldridge, B. (1985). Examining a mathematical model of mastery learning in a classroom setting. Journal of Research in Science Teaching, 22(6), 543-554.
- [6] Karweit, N. (1985). Time scales, learning events and productive instruction. Washington: DC
- [7] Salomon, G. (1984). Television is easy and print is tough: The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attribution. Journal of Educational psychology, 76(4), 647-658.
- [8] Salomon, G. & Leigh, T. (1984). Predispositions about learning from print and television. Journal of Communication, 34(2), 119-135
- [9] Sanderson, H. W. (1976). Student attitudes and willingness to spend time in unit mastery learning. Research in the Teaching of English., 10, 191-198.
- [10] McMillan, J. H. (1977). The effect of effort and feedback on the formation of student attitudes. American Educational Research Journal., 14, 317-330.
- [11] Wiley, D. E., & Harnischfeger, A. (1974). Explosion of a myth: quantity of schooling and exposure to instruction, major educational environment. Educational Researcher., 4, 7-12.
- [12] Fredrick, W. C., Walberg, H. J., & Rasher, S. P. (1979). Time, teacher comment and achievement in urban high schools. Journal of Educational Research., 73, 63-65.
- [13] Carroll, J. B. (1989), "The Carroll Model - A 25-year Retrospective and Prospective View ". Educational Research, 18(1), pp. 26-31.
- [14] Hwang W. Y. , Shiu R. L., Wu S. L. and Li C. C.,(2002) "An Exploration of Learning Ability Transition and Material Information", Journal of Educational Computing Research, 26.

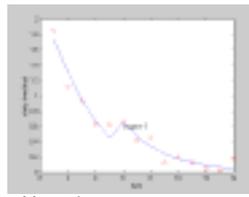
附錄一：



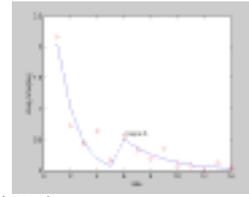
第三章



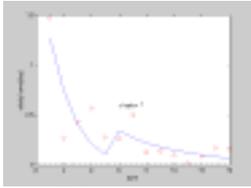
第四章



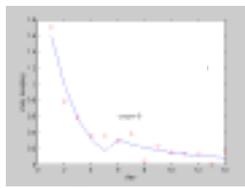
第五章



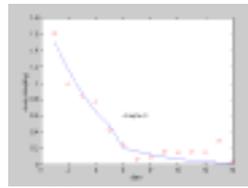
第六章



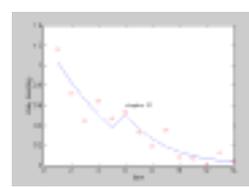
第七章



第八章

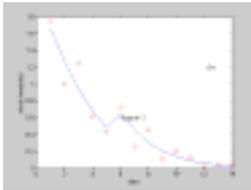


第九章

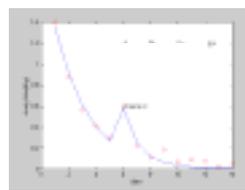


第十章

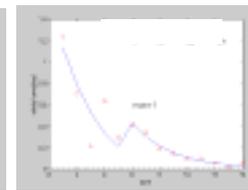
套裝軟體第一梯次各章



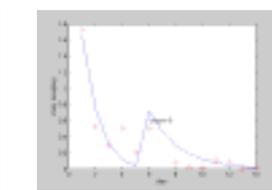
第三章



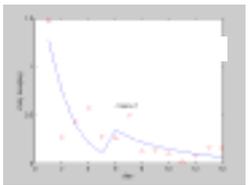
第四章



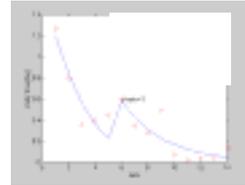
第五章



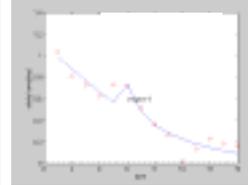
第六章



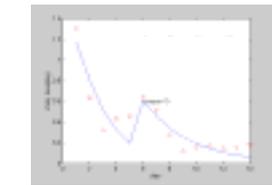
第七章



第八章

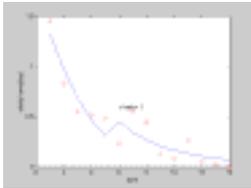


第九章

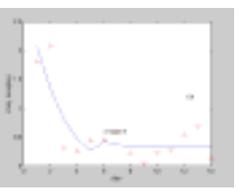


第十章

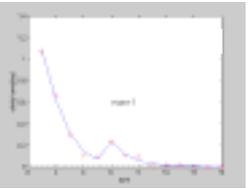
套裝軟體第三梯次各章



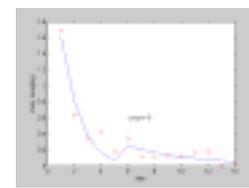
第三章



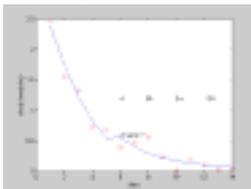
第四章



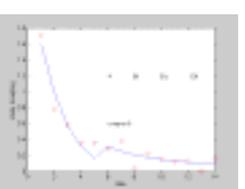
第五章



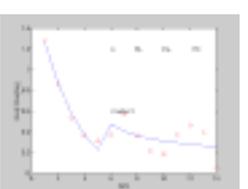
第六章



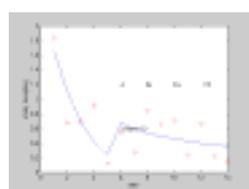
第七章



第八章

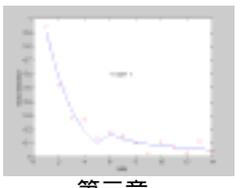


第九章

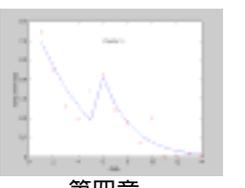


第十章

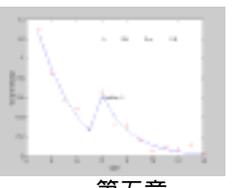
套裝軟體第四梯次各章



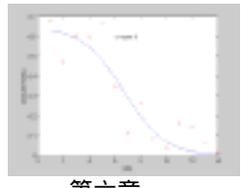
第三章



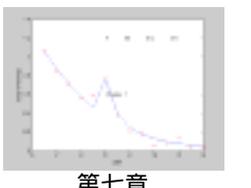
第四章



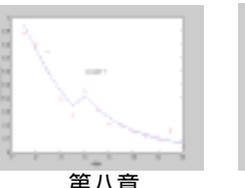
第五章



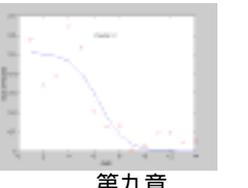
第六章



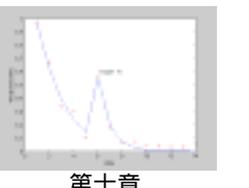
第七章



第八章



第九章



第十章

電電腦網路通訊第四梯次各章