國立台灣大學一〇三學年度第一學期
機械工程學系教師課程教學規劃表

一、課程基本資料

課程名稱	中文：混沌力學導論				
	英文：Introduction to Chaotic Dynamics				
課程類別	□必修 □知識領域選修 ■一般選修 ■大學部 ■研究所(組別：　)			班次	
授課教師	伍次寅			學分數	3
課程編號	522 U1660	每週上課時數	3	選修人數	30
上課時間	二 678	先修課程	工數、動態系統(非必需)	適修年級	大四、研一

二、課程教學目標與預期成效

課程教學目標：

教導學生明瞭渾沌系統之特性及渾沌運動所呈現之物理現象與形成機制；傳授學生描述與分析渾沌系統的方法與技巧，期使學生能將所學的知識應用於解釋與解決各個不同科技領域當中與渾沌相關的課題。

單元主題	預期教學成效	教學策略及方法	評量方式	養成核心能力
渾沌定義及現象簡介	瞭解渾沌運動之定義及其所呈現之行為特徵	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法 G 電視及多媒體教學法	a 考試 b 測驗 c 作業	U1,U2; G1
動態系統介紹及分析	對線性與非線性動態系統之特性及穩定性分析有基本之認識	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法	a 考試 b 測驗 c 作業	U1,U2,U4; G1,G2,G4
渾沌運動形成機制及途徑	明瞭非線性系統產生渾沌運動之原因及方式	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法	a 考試 b 測驗 c 作業	U1,U2,U4; G1,G2,G4
渾沌現象定量描述與時間序列分析	學習分析渾沌系統與時間序列的一些簡單的解析技巧與數值方法	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法	a 考試 b 測驗 c 作業 d 報告 e 專題	U1,U2,U4,U5; G1,G2,G4,G5
碎形介紹及應用	介紹渾沌與碎形理論之應用及自然界中所呈現之	A 講述教學法 C 示範教學法 E 問題或專題教學法	a 考試 b 測驗 c 作業	U1,U2,U4,U5; G1,G2,G4,G5

	渾沌現象與碎形幾何形體	G 電視及多媒體教學法	d 報告 e 專題	

三、課程教學大綱

INTRODUCTION TO CHAOS

1. Introduction:
   The name of the new science and origin of 'chaos'. Is chaos a generic or pathological phenomenon?
2. Phenomenology of chaos:
   three physical examples (and many others) demonstrating chaotic motions, bifurcations, 'strange attractors', fractals, metaphor of 'butterfly effect', universality of chaos.

DYNAMICAL SYSTEMS AND ANALYSIS

3. Dynamical systems and state-space dynamics: (in which chaos is dwelt)
   Topics include linear and nonlinear stabilities, bifurcations, phase portraits, qualitative theories of dynamical systems.

GENESIS OF CHAOS

4. Routes to chaos: (via which chaotic motions emerge)
   Topics include period-doubling bifurcation, quasi-periodicity bifurcation, intermittency, crises, chaotic transient (homoclinic bifurcation).

QUANTITATIVE STUDY OF CHAOS

5. Measures of chaos: (identifying and quantifying chaos)
   Fourier spectrum, correlation function, Lyapunov exponent, Poincare section, return-map method.
6. Iterated maps and their complicated dynamics: (a simple yet generic way to generate chaotic motions)
   quadratic map, renormalization theory, tent map, Baker's map, circle map, Henon map, Smale horseshoe map, mathematical definition of 'strong chaos', concept of 'topological equivalency', hyperbolic intersections and applications of symbolic dynamics, statistical description of chaotic trajectories.

FRACTALS AND APPLICATIONS

7. Fractals: (the most generic way the nature manifests its patterns)
   examples of mathematical fractals and physical fractals, self-similarity, fractal dimensions, correlation dimension, generalized dimension of fractal, mono- and multi-fractal, fractal basin boundaries, fractal attractors, Cantor set, Mandelbrot set, Julia set, fractals on everything at everywhere.
8. Advanced topics:
   embedding theory, state-space reconstruction technique, nonlinear time-series analysis, synchronization of chaotic motions, chaos control, multifractal, etc.

四、教科書及參考書目（書名、作者、出版者、出版日期）及輔助教材

教科書： (1) 'Chaos and Nonlinear Dynamics', 2nd ed., R. C. Hilborn, 2000, Oxford Univ. Press.
(2) 'Nonlinear Dynamics and Chaos', S. H. Strogatz, 2001, Perseus Books.

參考書： List of references will be distributed in class.

五、課程說明與進度

渾沌現象被一些科學家譽為 20 世紀物理界三大重要發現之一。渾沌到底是什麼東西？渾沌系統所呈現的行為有何特殊面貌？是什麼原因造成某些系統會產生渾沌運動？渾沌現象果真有令人嘆為觀止之處，還是科學家們溢美之詞？希望同學們修完本課程後會得到滿意的答案。

本課程將以深入淺出之方式介紹渾沌系統與運動。首先，我們以一些簡單的實例來展示及說明渾沌現象。接著，我們將定義所謂的渾沌運動及其所具備的物理特性。由於渾沌運動乃源自於古典力學當中之系統動力學，因此課堂當中會用相當比例的時間來探討線性及非線性動態系統之運動特性及其分析方式，並解釋渾沌運動與非線性動力學之間的關聯及形成渾沌運動的機制。除此之外，渾沌運動在狀態空間中所勾劃之軌跡往往具碎形之特徵，本課程也會對碎形理論及其應用做簡單的介紹。

在處理實際的問題中，系統之數學模式通常是未知的。在一般的情形下我們僅有少數甚或只有一組由實驗或觀察所取得之數據資料，此數據資料稱之為時間序列。因此分析時間序列是瞭解複雜系統行為的重要手段之一。本課程將另外介紹最近一些從系統動態學及渾沌理論所發展出的非線性時間序列分析數值方法及應用程式，俾使同學們除了吸收渾沌理論知識外，也能運用工具來分析處理一些與動態系統相關的實際問題。

近年來，拜電腦軟硬體快速發展之賜，渾沌運動及碎形得以藉由電腦模擬揭開其神秘的面貌。若時間允許，課堂中將會運用簡單的電腦模擬程式在螢幕上以動態方式實際展現出渾沌運動之軌跡及多種碎形幾何形體，以加深同學們的印象並增進對渾沌與碎形的認知。

若要嚴謹剖析渾沌系統及其運動行為需要應用到高深的數學知識及解析技巧。本課程將不會碰觸到這些高深的學問，僅傳授其中一些簡單的分析方法及其應用，目的是讓學生對解析渾沌系統的方法有粗淺的涉獵。渾沌理論應用的範圍非常廣泛。舉凡工程、數學、自然科學、生命科學、醫學、社會科學甚至人文藝術上，只要所欲探討的系統行為是由一群隨時間變化的變數及一些控制參數藉由彼此之間非線性的交互作用所掌控，就有可能會發現渾沌的影子。期待同學們修完本課程後會有所啟發，將課堂上的知識靈活應用至各個領域。

修完本課程後，同學若有興趣可繼續修習高等動力學課程，以獲取更進一步有關系統動力學方面的知識。

本課程 103 學年度第一學期各週之授課進度暫訂如下：

週次	講授內容概要	教科書章節

1	• Introduction — What is chaos? Definition of the 'deterministic chaos', chaos and nonlinear dynamical system, brief history of chaos	Ref. [AbSh1992] Ref. [Guli1992]
2	• Phenomenology of chaos — three examples of chaotic systems, period doubling phenomenon, bifurcation diagram, universal features of chaos	(Hilborn) Ch.1, Ch.2 Ref. [TuAR1992]
3	• Phenomenology of chaos — other chaotic examples, summary of analytic tools • State-space dynamics of dynamical systems — state space, standard form of dynamical system, autonomous and non-autonomous systems, no-intersection rule, attractor	(Hilborn) Sec.3.1~3.5
4	• 1-D state-space dynamics — fixed point and stability, linear stability analysis of fixed point, structural stability, dissipative system • 2-D state-space dynamics — linear stability analysis of fixed point, eigenvalues & eigenvectors of the Jacobian matrix, dynamics of fixed point	(Hilborn) Sec.3.6~3.9, Sec.3.10~3.14
5	• 2-D state-space dynamics — limit cycle, Poincare-Bendixson theorem, stability of limit cycle, Poincare map, Floquet multiplier, Lyapunov exponent, dissipative system in 2-D state space • Trajectories in 2-D state space — phase plane methods, phase portraits, conservative system	(Hilborn) Sec.3.15~3.16 (Strogatz) Ch.5, Ch.6
6	• Trajectories in 2-D state space — index theorem, gradient system, Poincare-Bendixson theorem, trapping of limit cycle, applications in Biology • Bifurcation — normal form of bifurcation in 1-D & 2-D systems, saddle-node bifurcation, transcritical bifurcation, pitch-fork bifurcation, Hopf bifurcation	(Hilborn) Sec.3.17~3.18 (Strogatz) Ch.6, Ch.7, Ch.3, Sec.8.0~8.2
7	• 3-D state-space dynamics — linear stability analysis of fixed point, Poincare plane, stability of limit cycle, quasi-periodic motion, torus • Nonlinear stability — hyperbolic fixed point, persistence of hyperbolicity, Hartman & Grobman theorem, Lyapunov function, Lyapunov stability theorem	(Hilborn) Sec.4.4~4.7, Sec.6.1~6.2 Ref. [Glen1994]
8	• Routes to chaos (through bifurcation) — via period-doubling, via quasi-periodicity, via intermittency, via crises, via chaotic transient (homoclinic bifurcation), homoclinic intersection, tangles and horseshoe map	(Hilborn) Sec.4.8~4.12

9	• Diagnostic tools for chaos — Fourier spectrum, auto-correlation function • Diagnostic tools for chaos — Lyapunov exponent for trajectories, return map	Ref. [BePV1984] Ref. [AlSY1997] (Hilborn) Sec.4.13, Sec.9.1~9.3
10	• 1-D iterated maps — Quadratic map, Feigenbaum constant, Li-Yorke theorem, Sarkovskii theorem, U-sequence, Schwarzian derivative & Singer's theorem, critical point and supercycle, boundaries of attracting regions in bifurcation diagram	Sec.5.1~5.5 (Strogatz) Sec.10.2~10.6
11	• 1-D iterated maps — size-scaling law, renormalization group theory, derivations of Feigenbaum's universal constants, composition law, intermittency and crises revisited	(Hilborn) Sec.5.6, Sec.7.1~7.3, Sec.7.6, Appendix F (Strogatz) Sec.10.7
12	• 1-D iterated maps — Tent map, symbolic dynamics, Baker's map and Bernoulli shift, concept of topological equivalency, Bernoulli shift and chaotic trajectory, definition of 'strong chaos', statistical description of deterministic chaos	(Hilborn) Sec.5.7~5.8, Sec.9.5 Ref. [Deva1992]
13	• 1-D iterated maps — Circle map, frequency locking, quasi-periodicity, Arnold's tongues, Devil's staircase • 2-D iterated maps — Henon map, fractal attractor, Smale's Horseshoe map, symbolic dynamics	(Hilborn) Sec.6.5~6.8, Sec.5.10~5.11 Ref. [Deva1992]
14	• quiz (暫定) • 2-D iterated maps — topological equivalency between Horseshoe map and Bernoulli shift operation, Horseshoe map and homoclinic intersection	Ref. [Deva1992]
15	• Fractals — fractals in Nature, self-similarity, fractal dimension • Fractals — capacity dimension, Cantor set, mathematical fractal sets, Hausdorff dimension, correlation dimension, Lyapunov dimension	Ref. [PGRV1990] Ref. [Mand1983] Ref. [Crow1995] (Hilborn) Sec.9.7~9.8 Ref. [Mand1983]
16	• Fractal basin boundaries — fractal basin boundaries for pendulum system, fractal basin boundaries for Henon map, Mandelbrot set, Julia set • Nonlinear time series analysis — embedding theorem, state-space reconstruction technique	Ref. [Mand1983] (Hilborn) Sec.10.1~10.3 Ref. [Abar1996] Ref. [Spro2003]
17	• Nonlinear time series analysis — implementation and application • Software and demonstration of computer simulation —	Ref. [Abar1996] Ref. [Spro2003] Websites
18	• Final term project presentation	

六、評分及考試

成績評量方式：

1. 作業報告(short report)(2~3 次) 佔 20~30%
2. 小考(quiz)(1 次) 佔 35~40%
3. 期末計劃(final term project) 佔 30~40%

七、授課教師與助教

授課教師：

伍次寅
工綜 618 室
電話 33662708
e-mail: tywu@ntu.edu.tw
Office hours: Tue. 12~2 pm

【註】：

本系大學部學生養成之核心能力如下：

U1.具備學理基礎及應用工程知識與技術之能力。

U2.具備設計與執行實驗，以及發掘、分析、解釋、處理問題之能力。

U3.具備設計系統、元件、製程及工程規劃與整合及創新之能力。

U4.具備執行工程實務之相關知識與技能以因應科技及工業發展的需求。

U5.認識當前與機械工程相關之先進科技與時事議題，並具備整合跨領域知識之能力。

U6.具備團隊合作之精神，有良好之表達溝通、運用外語及領導與管理之能力。

U7.具備端正之品行、健全的人格、熱心服務及重視專業倫理之精神。

本系研究所學生養成之核心能力如下：

G1.具備機械工程之專業知識與技術。

G2.具備策劃及執行專題研究之能力。

G3.具備撰寫技術報告及論文之能力。

G4.具備創新思考及獨立解決問題之能力。

G5.具備與不同領域人員協調整合之能力。

G6.具備國際觀及良好的外語能力。

G7.具備領導、管理及規劃之能力。

G8.具備終身自我學習成長之能力。

填表說明

一、課程教學目標

課程教學目標的定義為期望學生在教學結束後會有的行為表現之敘述（陳昭雄，1997）；為高度特定的目標，目的在溝通教學意向給學習者，以可觀察可測量的行為詳述學生的學習（黃光雄，2002）。

描述在課程結束想要達成的成果，包括學生在課程結束時所學到以及能夠運用的知識。教學目標有下列三項功能：

（一）能夠使教學有所依歸，而循序漸進，不致超過應該學習的範圍。

（二）使教學活動的設計有所依據，來加強學生的學習效果。

（三）使學習效果的評量有所依據，而評量的結果可以做為教學改進的指標。

＊課程教學目標以 100~300 字較為適宜，以免過於簡略或冗長。

二、教學成效（學生學習成果）

將課程之教學目標予以「精確說明」，分項具體敘述達成教學目標後，所預期的成效及改變。包括學生在課程結束後能夠獲得並展現何種知識與能力。

以「基本攝影」這門課程為例，可以列出的教學成效為：（陳昭雄，1997）

（一）認識各種照相機的特性、鏡頭尺寸、曝光速度、光圈的調整、以及顯像化學品的性質。

（二）以一般可攜帶的相機攝影，調和顯像用的化學藥液，沖洗黑白底片，接觸印像和放大印像。

（三）認識好的攝影作品。

三、教學策略及方法

敘述為達成課程目標及教學成效所需實施的活動、作業與歷程等。

今參考常見之教學策略及方法，共 11 項（陳昭雄，1997；黃正傑，2002）：

A. 講述教學法

講述教學法是一種以某個特定主題為中心所做的有組織、有系統的口頭講授。它使用口頭的溝通。利用黑板，或傳統投影片講授教材內容。

B. 討論教學法

討論教學的定義是一群學生在教師的指導之下，以各種討論形式，就學習上的問題參與創造性、建設性的思考，在彼此互相切磋，集思廣義之下，不但求點的切入，更求面的廣泛。在討論教學中，學生提供大部分的討論資料，教師再予匯集整理。

C. 示範教學法

教師在教學過程中，具體地解釋一個推導、操作或實驗的各項步驟。一般而言示範在科學原理、工具設備的運作，以及用手操作等技術方面的教學可以有效地使用。例如在課堂中說明建立模型，或是解題的各項步驟；或在實驗、實習中教師以行動代替講授。

D. 作業教學法

作業教學的活動是使學生在有目的、有計畫之下，進行手腦並用的學習活動。在這裡的學習活動，是學生利用所學之理論及技能，配合具體的物質材料、工具、及設備，在老師計畫實施之下，以完成某一項作品而達到學習的目的。作業的形式可以是書面，也可以是具體作品，或是指定題目的專題或報告。屬於單向之教學法。

E. 問題或專題教學法

問題教學是教師運用問題及發問的技巧以增加教學的效率。一般而言，單純的講述只是單向的溝通，問題教學是以有價值的問題，用系統的步驟引導學生解決問題，以增進學生的創造和解決難題的能力。例如專題之題目及內容由學生主動發掘、進行與完成。屬於雙向互動之教學法。

F. 角色扮演教學法

角色扮演教學就是設計或模擬工業界、企業界、社會和政府組織等各種真實的生活情境，有二個或二個以上的學生扮演情境中的各種角色，以實際去學習各行業職位的功能以及其人際關係，並尋找出具體的有關行業問題的解決方法。

G. 電視及多媒體教學法

每一次的電視教學首先都是課程單元的講解與示範，然後便是教室內教師的補充講解，學生運用和相互檢討等教學活動。例如影片播放、幻燈片、多媒體展示等均屬電視教學法。與講授教學法不同之處在於電視教學法具聲光效果，且教師僅負責補充講解。

H. 協同教學法

協同教學是兩個或兩個以上的教師，共同合作計畫，並根據個人的專長，將學生分成衣組或更多的小組，安排最適當的教學環境，從事教學活動。例如由數位不同專長之教師合開課程。

I. 創造教學法

創造教學乃是助長學生創造力所實施的教學。提供學生自動自發學習和獨立思考的機會。

J. 編序教學法

編序教學是將所需學習的教材分割成許多小步，然後再將這些小步所進行的文節，織成為一個按部就班的序列。編序教學運用編序教本，教學機或電腦以達成個別化教學的目的。

K. 電腦輔助教學法

電腦輔助教學是一種運用電腦為工具以幫助教師教學的方式。

＊填表時如有需要，請附加簡短文字說明教學方式，例如講述教學法是利用黑板或是傳統投影片。

四、評量方式

評量的策略包含了蒐集教學成果的歷程，採用何種方式評量，以及如何蒐集評量成果此外，評量方法的描述應包括如何運用評量的資料以有效改善教學。

a. 考試。例如期中考、期末考等。

b. 測驗。例如隨堂考、平時考等。

c. 作業(home work, assignment)。

d. 報告(report)。例如口頭或書面，個人或小組報告等。

e. 專題(term project)。例如口頭或書面，個人或小組專題等。

f. 實作。

g. 課堂討論。

h. 教授、助教觀察記錄。例如出席情形。

i. 其他。請簡單說明之。

＊填表時如有需要，請附加簡短文字說明評量方式，如考試為期中或期末考。報告為口頭或書面，個人或小組報告等。