

## 第四章

# 探究「系統」的思維與說出「系統」的語言： 系統典範與系統理論

### 壹、系統、系統典範、系統理論的對話

- 一、存有、思維、語言之關係
- 二、系統、系統典範、系統理論之研究現況

### 貳、探究「系統」的思維：系統典範

- 一、系統理論與社會科學中的系統理論
- 二、系統典範主要思維

### 參、說出「系統」的語言：「系統理論」之組成與內涵

- 一、信息論
- 二、控制論
- 三、一般系統論
- 四、耗散結構論
- 五、協同學
- 六、超循環理論
- 七、突變理論
- 八、渾沌理論
- 九、分形理論

### 肆、「系統」：屬性與辨識

- 一、系統的屬性與分類
- 二、系統的辨識

### 伍、讓認識融通：一種對「認識」的期許

## 壹、系統、系統典範、系統理論的對話

人類對存有的認識從簡單到複雜、從單調到多元、從部分到整體、從組成到關係、從靜態到動態、從單向到循環、從線性到非線性，這趨勢可以從不同典範在人類思維發展史中窺見。實證分析主義中主體客體二分，探求經淬練、可不斷驗證的真理；詮釋現象學裡的互為主體，尋求直觀、意義與理解；社會批判理論對主體與客體之中的霸權力量之察覺；後現代思潮彰顯矛盾衝突、抗拒、去中心之價值；目前，全球化議題蓬勃發展、永續經營議題與未來學研究正方興未艾。每一種觀點所產生的認識都有其當時存在的道理。

在人類認識存有的各種旨趣之中，系統典範（systems paradigm）是人類認識萬事萬物的其中一種選擇（黃譯瑩，2001a, 2001b, 2002c），在系統思維中，萬事萬物均為系統（systems）。二〇年代以來自然科學與數學領域不同學門中開始出現以對象為一系統、以關係結構、運作規律與演化型態為研究方法架構來探析存有的研究，這些定性定量的研究發現聚集、聯繫起來成為一理論體系，稱之為系統理論（systems theory）。系統典範雖非新興思維，然因二十世紀開始發展的系統理論研究成果，系統典範為自身取得了更充分的實證基礎。系統理論不僅使自然科學、數學研究有所突破，從德國學者 Luhmann 以一般系統論為基礎建立社會系統理論，傳播學門探究人類溝通時信息的傳遞、干擾、轉化與接收，或管理科學從耗散結構論、渾沌理論分析組織的創化與流變來看，系統理論也在人文社會科學各領域發揮不小的影響力。說系統思維是當前人類認識存有的一條重要出路並不為過。

不過，無論人類以什麼樣的旨趣來認識存有，總是「存有」、探究存有的「思維」，以及在定性定量研究發現中說出存有的「語言」三者，要同時對話，才会有察覺自身限制與突破之處的機會，從而，才可能避免限制、嘗試突破。對「系統」的認識也應同時認識探究系統的思維——系統典範、以及說出系統的語言——系統理論為首要之事。這是因為存有、思維與語言三者，可以同時是認識彼此的束縛、但也是創化彼此的轉機。

### 一、存有、思維、語言之關係

思維與存有、存有與語言、語言與思維之間關係密切，本書提出以下分析。

#### 1. 思維與存有

思維能力有其極限，再加上，任一存有傳遞自身信息的過程中，一定存在著某種干擾（Shannon, 1948），而存有也會演變，更使人類「思維」對此「存有」之整體，難以認識固定或充全。然而，正因人類思維能力的極限、干擾的必然出現、存有的動態演變，而使思維具有不斷突破的空間，對存有而言，雖然思維的理解能力有其極限，但卻可以進行推設想像，思維的推設想像若加上不斷的嘗試與鍛鍊，則其結果有可能可以增加對原存有的理解、轉變原存有、或創造新存有。

#### 2. 語言與存有

Heidegger（1993）認為「存有」是自我開展的，「存有」可以透過「語言」說出它自己，然說出的人類語言其語詞的意義

(meaning) 是由語詞的意涵 (sense) 場域中之最穩定區域、透過簡化與普遍化結果而來 (Vygotsky, 1990)。任一存有其整體性在人類語詞中找不到其對應物，而宇宙中存有的數量遠龐大於人類語言的數量，是以，以人類語言面對存有之時，有時說不盡、有時說不出——遇到了自身的限制。不過，語言也是動態發展的存有之一，限制之處正是發展的機會，如果觀察到說出某一存有的人類語言產生變化，那麼可能是此存有找到了「說不盡」、「說不出」那部分的語言，或是「存有」本身的性質與形貌起了變化。而新語言的出現，意味著新存有的形成。因此，若是人類嘗試對原語言加以轉變或產生新語言，也有可能轉變存有或創造存有。

### 3. 語言與思維

前面說明了思維對存有的認識、人類語言對存有的描述均有其限制，但也指出語言或思維的變化均是存有創化的機會，這是因為就成形與發展的因素來看，語言與思維本就是不可分割之現象，思維一動就遇到語言。Vygotsky (1990) 指出人類生命一開始其語言與思維的成形雖各有其源，但很快地就參與著彼此的演化、必須一起發育成長。「語言」是思維表達與溝通他（思維）自己的一種工具，反映人類認識存有時的「思維」，因此，思維的限制會帶來語言的限制，但是同時，人類「語言」又能同化、固形或形塑人類的「思維」（殷海光，1996），「思維」又是語言複製、穩定或變化他（語言）自己的工具，這時，語言的限制也會帶來思維的限制。換言之，變化一方將給出變化另一方的機會。

系統典範是人類探究系統的「思維」、而系統理論是以定性

定量的研究發現說出系統的人類「語言」。由存有、思維、語言三者之間的關係可知，若欲認識「系統」（先不論創化「系統」），就應對「系統典範」、「系統理論」有所認識；或更進一步地說，同時地探析三者、相互聯繫，將是人類融通對任一者之認識的重要關鍵。

## 二、系統、系統典範、系統理論之研究現況

綜觀台灣學術社群對此三者的研究，到目前為止情況如下：

### 1. 聚焦三者同時討論、以促使彼此融通的研究文獻很少。

雖然自然科學與數學之不同學門中對系統的研究自二〇年代就已經開始發展，然國內一直到前幾年才出現同時探究三者之研究：鄭芷人（2001 online available）對這些他稱之為「新興的科學領域」加以旨要的介紹，並從中引申、討論對中國傳統學術如陰陽五行、氣功、中醫之哲學思考。林財庫（1997）在比較機械化約觀與有機系統觀兩者之科學認識論及方法論的過程中，對系統理論體系中各理論、系統觀以及系統同時有精簡的討論與重整後的歸納。此外，聯合報系文化基金會與東海大學合作，於1999年邀請美國 University of Pittsburgh 榮休教授、中央研究院院士許倬雲與美國 University of Maryland 全球華人事務研究所教授許翼雲（2002 online available），為「知識系統」講座規劃了一系列的從系統理論與系統典範觀點進行的探析與對談，當時吸引了不少自然科學與人文社會科學領域的學者與學子的參與。

2. 觸及單只系統理論、系統典範或系統三者之其一的相關研究文獻也不多。

當然，系統理論相關的研究文獻會較常出現在自然科學與數學（系統理論源起）的研究領域中，這類研究也有時出現在社會與人文科學中，例如，謝長宏（1999）整理他在經營管理研究所之授課講義，以不涉及系統理論的討論為前提，針對系統觀點與系統概念作了深入淺出的說明。在國內社會與人文科學中與系統理論相關的文獻多是討論或應用系統理論體系其中一或二個理論（如，最常見的是討論一般系統論、耗散結構論、渾沌理論），此類研究的目的是以援引的理論作為詮釋其研究主題的基礎，例如，成戎珠（1994）、李麟（1994）、秦夢群（1995, 1998, 2001）、馮朝霖（1994, 2000）、臧國仁（1995）<sup>1</sup>等人的研究。又如，於民國六十八年創立的科際整合促進會，在三年後舉辦「一般系統論及其應用研討會」，其中王師復、楊維楨、張果為、葉學志、馬起華、楊孝榮、黃光國、蕭新煌等人發表的研究（中美文化經濟協會，1981）。

3. 對於系統、系統典範、系統理論的認識頗為紛亂，也出現某些誤解。

如聯繫自然科學與數學不同領域對系統之研究成果的「系統理論」，與匯聚 Marx（高宣揚，1995）、Parsons（Hamilton, 1990；Parsons & Shils, 1951）、Habermas（羅曉南，1993；

1. 國內社會與人文科學研究中研究主題中出現「系統理論」字樣的文獻，有的是指自然科學與數學領域各學門研究成果之匯聚的「系統理論」，有的是指社會科學中的「系統理論」、即「社會系統理論」，這裡舉例的文獻不包括後者。

Habermas, 1979)、以及特別是 Luhmann (1998 ; 盧政春, 1992 ; Kneer & Nassehi, Luhmann, 1982) 等人研究興趣與成果而成形的「社會『系統理論』」, 兩者之間雖有關係、但亦有明確的區別。然一般在自然科學與數學領域、以及在人文社會科學研究文獻中使用「系統理論」此語詞時, 比較少看到對雙方所指的「系統理論」之釐清, 或許是基於原本的研究興趣就不在釐清、或許是基於在各自學門中進行探究時常有以該領域大師的成果為開端的習慣, 以致於對開端的基礎(如社會系統理論的理論基礎——系統理論)進行跨領域探析的這類研究, 自然十分稀少, 雙方對話時就容易產生混淆。此外, 援引其中某一個理論(如一般系統論、耗散結構論、渾沌理論)作為詮釋某領域研究主題之文獻也出現將「系統」相關概念當作是一般用語使用(例如, 「系統」表示有條有理、清晰分明), 以致有簡化或誤解了此一作為一門研究領域中重要研究對象的現象: 模糊「系統」及相關概念之定性意義, 或是, 以一般日常生活中的語意、簡化、或過大的語意範疇來認識「系統」的屬性。

有鑑於上述現象, 本書針對三者同時探析其內涵與關係, 除了提供人類認識存有(例如, 就本書而言, 對象是「課程」)之另一種選擇之外, 也作為未來進行這方面相關研究時的參考。

## 貳、探究「系統」的思維：系統典範

過去自然科學與數學領域將存有簡化為「實物」以利進行探究: 一方面凸顯人類視存有為簡單、線性發展、可預測、可掌控的理想, 一方面反映了人類以自己為萬事萬物之尺度的態度。相對於「視存有為實物」的觀點, 系統典範並非新興思維, 早自

《內經》揭示「五藏受氣於其所生，肝受氣於心、心受氣於脾、脾受氣於肺、肺受氣於腎、腎受氣於肝」、以及「人與天地相應也、人與天地相參也」，老子論述「道生一、一生二、二生三、三生萬物，萬物負陰而抱陽，沖氣以為和」，Heraclitus 指出「土死則水生、水死則氣生、氣死則火生，反之亦然」的時代（王前、張卓民、康榮平與陳昌曙，1996），就存在著以整體、動態、有機、關係的觀點認識存有、以存有<sup>2</sup>自己為自己的尺度之旨趣。然相對於古代整體論的以直覺、感受、想像與思辯方式對系統整體運行所產生的瞭解，二〇年代興起、被科學界視為是繼量子力學與相對論之後又一波的科學革命的系統理論，更為系統思維提供來自自然科學與數學研究成果的基礎。系統理論本身原意不在成為一個哲學或主義，然卻直接促使「視存有為一系統」自古存在的觀點在近年來倍受重視，使人類對系統的認識快速地發展，為系統思維的外推或應用找到更充分具體的依據，系統典範不僅使自然科學、數學研究有所突破，也在人文社會科學領域逐漸發揮其影響力。因為易與社會科學中的系統理論有所混淆，因此，以下先簡要地比照作為系統典範之實證依據的系統理論與社會「系統理論」之異同，後續說明系統典範之重要內涵。

### 一、系統理論與社會科學中的系統理論<sup>3</sup>

「系統理論」與社會科學中的「系統理論」之間的關係可以就研究目的與對象兩方面來看：

2. 「存有」包括物質、能量、信息，信息是存有的基本屬性，本身是一種存有，既非物質、也非能量。在本書論述中，也用「事物」、「萬事萬物」稱呼「存有」。



1. 兩者均希望透過對存有中組成元素或子系統及其間交互作用的瞭解來認識研究對象——作為一個系統——其整體之結構、行為、目的與運作規律。然而，系統理論試圖找出的是或相似或不同系統之間普遍與特殊的演化型態與運作規律，而社會系統理論是將焦點放在人類社會系統的功能、結構與行為，探究人類社會中的組成之間、人類社會與其他系統之間的交互作用。

2. 兩者研究對象（即「系統」）的範疇大小不同。社會學學者 Luhmann 的社會系統理論誠然是受到八〇年代間與九〇年代初自然科學與數學領域中的系統理論之影響，但研究重心並不是對這些系統理論的內涵進行探析，而是在建構、完整其社會系統理論時，引用系統理論之各種實證發現與描述作為論證其理論的依據。他的對象是「人類社會」這個複雜系統，而系統理論從二〇年代至今，包括研究對象如雷射光場、對流、湍流、化學反應系統、生物大分子系統、大型機械等「簡單巨系統」，以及近年來的大氣系統、海洋系統、人工生命、仿生系統等「複雜系統」（見本章後續討論），以複雜系統作為對象的系統研究正日益增加。依此觀之，系統理論的研究與應用對象之範疇可以說比起社會系統理論來的廣。

## 二、系統典範主要思維

作為系統典範之實證依據的系統理論，研究對象包括從「簡

- 
3. 本章的焦點是對於系統、系統理論與系統典範整體概念進行討論與釐清，不再與社會科學研究中 Marx、Parsons、Habermas、Luhmann 的社會系統理論之細節進行比較，將留在未來進一步說明。這裡就這些社會系統相關理論之整體共相與系統理論進行對照，解釋雙方的主要聯繫。

單巨系統」到「複雜系統」，而作為一種思維與觀點的系統典範，認識對象卻是包含著從簡單到極度複雜的一切存有。以下四項論述是本研究整理系統理論與老莊哲學相關文獻後所浮現出的系統典範主要支架，一般而言，「視研究對象為一系統」的系統理論相關研究論述（王海山與王續琨，1998；魏宏森，1988；顏澤賢，1993；Bertalanffy, 1973; Briggs & Peat, 1984, 1989; Gleick, 1987; Jantsch, 1980; Mayr, 1997; Pagels, 1982; Prigogine & Stengers, 1984; Lovelock, 1979; Wilson, 1998）均能反映前三項思維，而中國老莊思想對系統典範的重要啟示是在第四項系統思維「以存有自己為存有自己之尺度」——反映的是一種「人類對自己為何要『視存有為一系統』」的根本省思（老子；莊子；黃譯瑩，2002a, 2002b, 2002c）。具體地說，在「視研究對象為一系統」（視任一存有為一「有機系統」，認識重點是此一系統的整體屬性、結構、功能、運作與目的）的系統理論文獻中，仍少有反映「以存有自己為存有自己的尺度」態度之研究者，這也暗示了系統理論科學對自身研究立場之反思的不足。系統典範主要思維如下：

1. 從有機的觀點視認識對象為一「系統」。

「有機」是指認識對象（某一層次的整體）與其內在組成有著「彼此聯繫、相互作用」之關係。系統是其組成之諸元素的複合體，所湧現的整體性特徵或統合現象，是諸元素、元素之間以及子系統之間彼此聯繫、相互作用的結果。

## 2. 從「整體」的觀點研究此系統的結構、功能、運作、目的與非加和性

這是指對系統的研究，是在認識其主要內涵與組成的基礎上來探索系統整體之結構、功能、運作與目的；亦即將系統組成放在其相互作用的關係、以及系統與更大整體的關係中考察，把對「關係」進行分析的結果加以統整。非加和性則是基於對複雜系統其「整體不等同於部分之和」的瞭解，認為聯繫元素的結構、以及元素之間與結構之間的交互作用將使系統具有「異於所有個別元素屬性之簡單加總」的特質。系統的整體性表現在空間上，是指系統具有區別於外部其它事物與內部個別組成成分的整體型態、整體特徵與整體邊界；表現在時間上，是指系統具有獨特的整體存續與演化過程。

## 3. 以建構系統「動態發展模式」的方式來模擬此系統之演化

從「動態」的觀點考察認識對象與環境之間其物質、能量與信息交換與轉化的活動，然後以建構「模式」（或模型）的方式來模擬此系統的結構、功能、運作、目的與非加和性，再進一步地探究系統的孕育、產生、發展、衰退、消亡的演化條件與機制。

## 4. 以「存有」作為存有自己之尺度

這是指以此「系統」（存有）自己作為系統自己存在、運作與演化的中心，而非以人類為其尺度；「人法地，地法天，天法道，道法自然」、以致於「以道觀之，物無貴賤」、「樸器相生，難易相成」就是一種以存有自己為存有自己之尺度的體現。人類

的認識能力有其限制，在大大小小、簡單與複雜系統動態發展、環環相扣的系統整體中，於探究與省思任一存有時，對存有的認識必定存在著黑箱區域，以系統典範觀點認識任一存有時，除了自前三項思維焦點出發之外，人類需要覺察的是以自己為宇宙萬物之中心的觀點（或 Bacon 所說的「種族假相」），需要提醒的是自己與其他所有存有具有的共同身份。「系統參與者」與「共同演化者」，需要試圖探究的是此存有在更大系統整體演化過程中之存在的目的與需求。人類以系統觀點研究存有其態度不應在「能夠精確地掌控」存有，而是希冀對存有「有更足夠的認識」、以促進「認識更新或啟蒙」。

這裡要特別指出的是，先系統理論而存在的系統思維，在二十世紀初開始發展的系統理論中獲得更充分的實證依據，而使系統思維中「視存有為一系統」的觀點於現代更加彰顯。然而，這並不意味著所有對系統的實證研究均以系統典範整體精神作為研究態度與立場，也就是：雖視對象為一有機系統，研究的焦點也在於對象的整體屬性、結構、功能、運作與目的，但仍可能是一種「以人類為「系統」之尺度」的態度、企圖「更精確地掌控對「系統」的認識、把人類的需求當作是「系統」的需求」。以社會系統理論為例，若是以系統典範整體精神作為給出論述的研究態度與立場，那麼，認識「社會」的焦點，將會在「以人類為社會之中心」觀點與「以社會作為社會自己之尺度」觀點之間躍遷，然後，再加上以「嵌含人類與社會之更大整體」觀點來認識人類社會的發展目的與規律，能從中覺察與反思人類社會的發展目的與規律，如何與大小其他系統與世界整體演化之道進行交互作用、並且共同演化。

## 參、說出「系統」的語言： 「系統理論」之組成與內涵

認識系統典範與系統理論的「關係」之後，要進一步對系統理論、及其對系統的研究發現有所瞭解。系統理論是信息論、控制論、一般系統論、耗散結構論、協同學、超循環理論、突變理論、渾沌理論、分形理論、複雜理論等以「系統」為研究對象的理論之聚集。這些理論從不同語言探究「系統」的運作規律而各有所發現，這些理論之間相互解釋、相互補充人類對「系統」的認識，深化與廣化了各自領域的概念，也交雜出新的邊緣科學與新的可能性，其聯繫密切而共同形成「有關『系統』研究」的「一個理論系統或理論體系」。相對於機械典範中還原論對存有進行組成成分的分析、尋求線性因果關係與精確的掌控，系統理論聚集各學科領域研究成果建構而成的理論體系，以系統思維觀之，這個「系統理論」的理論體系必然具有非其組成或部分（個別理論）可以展現完全的那種非加和整體性或演化目的。也就是：系統理論本身作為一個「有機系統」，其「行為」是通過對部分與整體嚴謹的考察與探索，再從整體的觀點來認識此理論體系的結構、行為，組成之間的交互作用關係、特殊與普遍運作規律。而此理論體系的「需求與演化目的」即是在這些對簡單巨系統的不同研究發現中、找到更多發現與發現之間的動態聯繫，在探索這些聯繫過程中，使「複雜系統」的普遍或特殊運作規律與演化形態之奧秘得以在這一個有機聯繫的層次中湧現。也因為存在著不同興趣、能力與需求的認識者，所以存有需要以系統理論中的各種（學科）語言說出自己、也就是「系統」。

以下探析自然科學與數學領域從不同角度對「系統」的認識，其研究發現之描述所說出的系統，包括信息論、控制論、一般系統論、耗散結構論、協同學、超循環理論、突變理論、渾沌理論、分形理論的意義與內涵，複雜理論則放在第肆部分加以說明。從個別理論的探討中可以發現，這些作為局部的各個理論均具有與整體（系統理論）之間的自相似性。

## 一、信息論

「信息」是存有存在或運動時所包含或展現的內容，是存有的一種普遍屬性，從有機世界到無機世界皆充滿信息及信息的運作。存有結構的可能性可以很多種，從各種可能性中，存有所展現的「信息」，是存有排除來自內外部不可避免的干擾，維持自己在某一種穩態結構而展現的此一穩態結構所具備的確定性質。信息賴以存在的條件首先是存有本身、再者是存有運動時必然具有的不確定性或偶然性。Shannon (1948) 首先定義信息為一種「不定性的消除」，提供信息定量的刻量，這一來使所有存有說出自己的內容（即信息）均具有統計特性。對人類而言，獲得信息可以說是一種知道了過去不知道、或知道了原先知道較少的人事物、而使可能性空間由大變小的過程。<sup>4</sup> 狹義的信息論主要是指有關電訊研究的問題；廣義的信息論（information theory）研究

4. 從熱力學與統計力學的觀點來看 與信息的關係（陳宜生與劉書聲，1996）：熵（entropy）是一系統可能擁有的微觀態數目的量度，系統微觀態數目愈多的狀態，出現的機率愈大，系統在隨機性支配下無法追溯初始出發點，系統對歷史的遺忘使自身混亂度提高，隨機性的提高也可以說意味著意識與關連等信息的缺少。Boltzmann 於 1887 年導出著名的波茲曼關

各種信息的計量、傳遞、交換、儲存、轉化與使用之規律。

以 Wiener (1961) 與 Shannon (1948) 研究為基礎，本研究分析信息的性質如下：

1. 信息先於人類、不依賴人類而能存在，而所謂的「知識」是經過人類意識活動後一種被賦予語義性質與效用性質的信息，「知識」這種信息可以說是人類社會的產物。

2. 信息雖非物質或能量，其運動過程必須透過物質或能量，但又能離開展現它的信源，透過其他載體、或藉助不同形式的能量以便再傳遞。例如，恐龍現在不存在，但有關恐龍的信息卻透過化石與化石出土處的地理環境而被人類認識，透過語言、文字、圖像、傳播媒體進行儲存與流通。

3. 因為在傳遞過程中必然存在著「干擾」，因此信息不定性只會增大，也就是信息量一定趨向衰減。例如，因物理教師對「力」的理解程度、語調表情、舉例技巧，或學生因教室外的噪音、疲累、分心，使「力」信息在教室教學的傳遞過程中，其「失真」程度更為加增。

4. 此外，信息經由獲得、選擇、反饋、放大等作用，對物質或能量之運作可起組織、轉化、調控、目的化等等能動作用。例如，經由媒體放大氣象局對可能通過當地的颱風所測得之信息，而使國家與個人產生防颱目的、開始進行各種防颱配套措施。

5. 信息有為人類「得知」的機會或可能性（亦即，有機會「知道了原先『不知道』的」），從人類與信息之間可能的關係來

---

係式，從微觀上給出了系統混亂度的量度，即熵，Shannon 則於 1948 年以波茲曼關係式為基礎由「不確定性的『消除』」觀點出發，找到信息與熵的關係（信息的信息量是信息熵的減少量）、及其定量化公式，信息量的單位是 bit。

看信息的種類，信息包括：

(1)「自始就存在或經交互作用而產生、但仍未被人類所覺察」的信息。

(2)「已為人類所覺察、但尚未出現能說出自身的語言」的信息（只具統計信息性質）。

(3)「經過人類認識活動、具有說出自己的語言」的信息，這部分的信息可以說就是一般所稱之「知識」（同具統計、語義與效用三者性質；如教師上課、股市變動、制訂規章、擲骰子、蜜蜂舞蹈、生命帶有遺傳物質 DNA 等等所包含或展現的信息）。

## 二、控制論

在「歧路之中、又有歧焉」的境況中很難找回走失的羊，歧路亡羊故事道出兩個現象：一是系統具有多種發展的可能性空間，一是系統的發展路徑具不確定性。這兩種自始存在的普遍現象是人類對控制（control）產生需求與興趣、進行研究與應用的起因。簡單地說，控制是一種使不確定性減少、或可能性空間縮小的運作。很明顯地，控制論和信息論的關係密切，「控制」有三個基本環節：（1）瞭解因系統自身因素與外部因素之變動所帶來的不確定性或可能性空間；（2）以可能性空間中的某些狀態為目的；（3）獲得、選擇、處理、儲存與傳遞信息以調節相關條件，從而促進、趨向或實現目的。Wiener 於 1948 年提出以動物與機械作為研究對象的控制論（cybernetics；Wiener, 1961；Wiener, 1978），探求系統中有關控制與通信（communication）的普遍運作規律，而生物控制、經濟控制、社



會控制、人工智慧等研究也隨後開展。以下進一步討論控制論中的兩個重要內涵：

### (一) 進行控制的機制

隨機控制、記憶控制、共軛控制、反饋控制都是進行控制的機制：

1. 隨機控制是指進行隨機的選擇與嘗試，直到找到目標的那次行動之後，可能性空間才會縮小（或說才得以控制）。例如，Miller 為找到氨基酸將甲烷、氨、氫、水蒸氣置於真空容器中，連續通電進行火花放電，使之隨機交互作用（金觀濤與華國凡，1983）。

2. 記憶控制是指對隨機控制的結果加以記憶，使下次的選擇能排除非目標的狀態，可能性空間在達到目標之前逐次縮小，例如，Edison 為尋找理想的燈芯而進行試驗，過程中排除不合適的材料，選擇其他未試用過的材料。

3. 共軛控制是指將直觀難以縮小其可能性空間的狀況變換成數學或語言，使信息轉以抽象符號表示、讓狀況易於獲得控制，例如，曹沖為求象的重量，將秤變換為水中的船、將象的重量變換成石頭的重量。

4. 反饋是指系統輸出的信息能傳遞至輸入端，從而影響再輸出的信息與再輸入的信息。負反饋控制是指系統一旦獲知與目標之間的差距、就會出現某種「減少目標差」的反應，系統不斷地進行比較並調節、結果能使目標差一次次減少，最後得以相當趨近或實現目的，這種控制機制普遍地存在於複雜系統中、也在人類世界裡得到廣泛地應用。例如，草叢中的豹注視著羚羊奔跑的方向，不斷地從眼睛接收到的信息進行判斷、且不時地調節自己

追趕獵物的速度與路徑，使自己與獵物之間的差距愈來愈小、小到可以及時地加上一個跳躍向前捕獲了獵物。又例如，紅外線導彈系統也依負反饋原則設計。負反饋控制是一種趨向目的的行為，而使目標差不斷擴大的正反饋作用通常使系統失控、愈來愈偏離目的，然正反饋作用之於系統演化也有其存在的價值。

## (二) 研究「控制機制」的方法

研究系統的控制與通信機制主要透過兩個方法，上面分析的幾種進行控制的方法，就是以功能模擬、黑箱辨識為研究方法的基礎：

### 1. 功能模擬

生命系統與非生命系統在組成、結構、能量型態、運動方式上不同，然而，這樣不同的兩種系統卻可以在功能與行為上找到相似處；控制論最初以動物系統與機械系統共同作為研究有關控制與通信機制的對象，就是希望找到兩者在控制與通信上某些共同的規律。功能模擬是指在不清楚一個系統的內部組成與構造時，用一個與它內部組成或結構不同的系統或人造模型來模擬此系統的功能與行為，以便在這個功能與行為相似的模型中找出此系統進行控制與通信的機制或規律。例如，Miller 為找到氨基酸、建造了一個具有如原始地球上電閃雷鳴之功能的模型（金觀濤與華國凡，1983）。

### 2. 黑箱辨識

黑箱是指一個系統的（或系統中某部分的）內部組成或結構無法直接觀測、功能與行為也難以確認；因此，只能在此系統外

部從其輸入、輸出、以及產生的變化來認識此系統的黑箱部分。黑箱辨識是指藉由觀測此系統的輸入、輸出以及產生的變化，提出某個模擬真實系統的模型，以便進行選擇、修改、檢驗與應用，從而確立模型，並進一步地研究系統內部的結構、規律、功能、行為；原子核的結構即以黑箱辨識的方法找到的較為合理的模型。

### 三、一般系統論

理論生物學領域中的機械論單純以物理化學原因解釋生命的種種現象與過程，活力論則相信生命現象與過程的出現是因為存在著一種神秘的、特殊的「活力」在運作。在一九二〇年代興起的有機主義思潮中，意識到機械論與活力論各自危機的 Bertalanffy，提出「有機整體」的論點，指出生物系統不能只歸結為原子與分子的分解與堆砌、或是化學作用的總和。在「有機整體」的思維基礎上，Bertalanffy 尋找各個學科之間的相似性、規律與表述形式的統一性，1968 年發表一般系統論（general system theory），將真實系統所獨具的屬性撇開，說明一般系統之間共有的一般模式、原理與規律（Bertalanffy, 1973）。一般系統論的研究對象（或理論中所指的一般系統）並不是所有存有，而是具有能對環境開放、交換物質、信息與能量之特質的系統，即開放系統。一般系統論有四個基本概念：

#### 1. 整體性

一般系統論研究系統之整體性，系統是相互作用的諸元素之集合，元素本身、元素之間、以及子系統之間的相互作用、相互

聯繫形成了系統的整體性。整體性表現在空間上，是指系統具有區別於外部事物與內部組成成分的整體型態、整體特徵與整體邊界；表現在時間上，是指系統具有獨特的整體存續與演化過程。

## 2. 有機性

系統具有整體性的基礎在於系統的有機性，也就是說系統內部各元素之間以及系統與外部環境之間必須存在著有機聯繫，系統與外界有物質、能量、信息的交換，有相應的輸出與輸入，系統中任一元素或子系統的變化均能影響系統整體，但又同時受到系統整體的制約；同樣地，系統整體的變化也將影響或制約其中的組成元素或子系統的變化。

## 3. 動態性

前述系統的有機關連性強調各組成之間空間的分佈，而動態性說明的是系統這種有機關連性在時間上的變化，系統動態性的呈現有消長、協作、競爭、分異化、中心化等多種方式。例如，系統整體的發展趨向各組成部分的強化，各個組成部分的相互作用會愈來愈小，之後固定在某種機能上，此即「漸進分異化」。又如在系統發展過程中出現某一部分開始對系統整體起支配作用，此部分的小變動會引起系統的大變動，是所謂「漸進中心化」。

## 4. 有序性

系統有機關連性表現出來的宏觀的結構與層次、以及系統動態性所表現出來的趨勢，使系統具有有序性，而且這種宏觀有序發展的程度與方向具有目的性，不僅受現實條件之制約、也受系

統演化的目的或最終狀態所影響。

#### 四、耗散結構論

熱力學第二定律指出熱量傳遞的方向總是從高溫物體傳向低溫的物體，功可以全部轉變為熱、而熱量卻不可能通過循環過程全部轉變為功，不可逆過程帶來熵（entropy）增，熵增使系統的能量「品質」衰退或降低（亦即，能貶值）、混亂度提高，系統熵的變化量＝獲得的熱／溫度（Rifkin, 1985; 馮端與馮步雲, 1997）。一個開放系統因為內部這種不可逆（如熱傳導、擴散、功轉變成熟）過程所帶來的熵增將使系統趨於無序，如果要讓自身維持原來宏觀的、動態有序的結構，系統需要不斷地與外界交換物質與能量，這種經由耗散、交換而得以維持或發展的結構稱之為耗散結構（dissipative structures; Prigogine & Stengers, 1984）。耗散結構具有流變整體（flowing wholeness）的形態，因為具耗散結構的系統可由系統內部產生自我組織的運作，因此耗散結構論又稱為非平衡系統的自組織（self-organizing）理論。一個開放系統若要自非耗散結構形成耗散結構，則必須達到遠離平衡態的非線性區，系統內部某個序參量的變化也需要達到一定的閾值（bias），才有可能通過漲落（fluctuation）、產生非平衡相變，使系統由原來的非耗散結構湧現耗散結構。形成與維持耗散結構的條件有四項：

##### 1. 開放是存在的基礎

Prigogine 認為任一耗散結構，只有在開放的條件下，不斷地與外界交換物質與能量才能維持自身於一定的動態穩定狀態，

可以說「開放」是耗散結構得以存在的基礎。一個在遠離平衡態非線性區的開放系統其總熵變化量（ $dS$ ），是系統內部不可逆過程產生的內熵變化量（ $dS_i$ ）、再加上系統在環境邊界或交接處的熵交換所造成的熵變化量（ $dS_e$ ）之和，也就是：

$dS$ （系統總熵變化量）=  $dS_i$ （內熵變化量）+  $dS_e$ （熵交換之變化量）

系統內部不可逆（如熱傳導、擴散、功轉變成熱）過程中內熵變化量（ $dS_i$ ）永遠大於等於零；在開放的條件下，系統在邊界上與外界有物質與能量的交換，這種交換伴隨著熵交換，是一種熵的輸運造成的熵變機制，熵交換可以使系統的熵增加（如系統吸熱）、也可以使系統的熵減少（如系統放熱），系統的熵交換變化量（ $dS_e$ ）可能為負、為正或為零。

## 2. 非平衡維持動態有序

開放是耗散結構存在的基礎，系統若具有開放的條件、但處於熱力學平衡態或線性非平衡態，仍將使系統趨於無序、無組織，這是因為熵增降低系統的有序度、組織度，而熱力學平衡態或線性非平衡態系統的總熵變化量必然趨於增加。唯有非平衡（遠離平衡）系統可以透過能交換物質與信息，使熵交換變化量為負，抵銷系統內部不可逆過程中必然增加的混亂度，讓系統整體處於動態穩定的低熵狀態，使系統得以繼續維持或發展耗散結構。以下分析系統於平衡態、線性非平衡態、遠離平衡態的非線性區中其有序度的各種變化情形：

（1）在熱力學平衡態中， $dS_i > 0$ ，而  $dS_e > 0$ ，因此  $dS > 0$ 。系統總熵變化量漸增，系統自發地走到熵極大的狀態，此時，內熵不再增加，系統呈現最無序無組織的狀態。

(2) 在線性非平衡態中， $dS_i > 0$ ，而  $dS_e = 0$ ，因此  $dS > 0$ 。系統一開始的有序度，漸漸因系統內熵增加、混亂度提高，而使系統最終趨於最靠近無序的有序，這將使各種對系統的偏離都會是暫時的，系統不會再進入一個更有序的新態，也可以說是無法自組織。

(3) 在遠離平衡態的非線性區、亦即非平衡態中， $dS_i > 0$ ，而  $dS_e < 0$ 。系統與外界進行物質與能量的交換<sup>5</sup>，使得熵交換變化量  $dS_e$  為負，如此，又有三種可能：

A.  $|dS_e| < dS_i$ ，因此  $dS > 0$ ；系統原結構雖朝向衰老或無序發展、但可以延緩衰亡的速度。

B.  $|dS_e| = dS_i$ ，因此  $dS = 0$ ；系統處於 A 與 B 之間的臨界狀態。

C.  $|dS_e| > dS_i$ ，因此  $dS < 0$ ；系統朝熵減——也就是降低無序、增加有序度——的方向而運作，因此使系統具備了形成、維持或發展新結構的條件。

### 3. 漲落觸發非平衡相變

開放與非平衡是形成耗散結構的條件，但唯有通過系統內部

---

5. 當 Schrödinger 在 1944 年針對生命為維持自身避免衰敗，而與外界進行物質與能量的交換時（如吃喝食物、呼吸），將這些物質與能量稱之為「負熵」、或甚至「秩序」（例如，食物是複雜程度不同的有機化合物，是相當有序的物質）；他也自知提出負熵這個概念已經遭到謹守熵之物理意義的物理學界同事的懷疑與反對，不過，他仍以 Boltzmann 關係式論證的關鍵（即信息量公式就等於「帶負號的」熵公式）、以及概念要使用傳達出信息的語詞為理由，說明以「負熵」與「秩序」描述概念的適切性（Schrödinger, 2000）。

的漲落才可能使開放與非平衡兩條件發揮作用；漲落是指系統中某個變量的行為對穩定性的偏離，它與系統的功能及結構之間相互影響、相互制約，可以發揮兩種作用。對平衡結構和近平衡結構而言，漲落帶來的干擾會很快地衰減以致消失，不太可能促使此兩者結構跳到另一種動態的穩定；對於遠離平衡態的開放系統而言，漲落所造成的偏離是觸發非平衡相變的契機，非平衡相變是指系統處於不穩態、系統內部隨機的漲落被迅速地放大而使系統躍遷到新的有序狀態。

#### 4. 非線性機制是發展之動力

耗散結構的存在與發展必須有內部相互聯繫的力量，這種相互聯繫機制就是來自於非線性作用。上述三項條件是形成耗散結構之必要條件，而非線性作用是形成耗散結構的充分條件；當開放系統內部各元素之間與子系統之間存在著不絕對獨立、均勻與對稱的非線性關係時，才可能產生協同、競爭、調節、消長等機制，系統也才有湧現整體性、結構性、層次性的可能，並具備繼續演化的能力。非線性機制的運作若以非線性微分方程呈現，可以在非線性方程中看到多個定態解、並且存在著分支的現象，這種路徑多重分支的不確定性指出系統形成新的有序狀態具有各種可能性空間與過程。

### 五、協同學

「協同」是有關「不同而『和』」的現象與作用（春秋晏嬰「五味調和可成美肴，諸音相濟乃成美樂」，孔子「君子和而不同，小人同而不和」）；協同學（synergetics; Haken, 1978）是有



關以定量的方法研究「大量（或大量不同）的元素或子系統如何在一定的條件下（通過閾值、非線性作用）、透過和諧協調作用而形成新的秩序」的理論。

### （一）協同作用的特性

從系統觀點來看，「協同作用」是系統內部大量子系統之間長程、廣泛、高度相互關連下所引起的集體運動或一致行動，例如，一種語言系統的形成與演化。具體而言有四個特性：（1）是大量（相似或不同）子系統相互作用的結果；（2）是子系統之間長程、廣泛、高度相關的結果（相互關連的持續時間長、範圍廣泛、相互作用程度高）；（3）是子系統之間協調一致、非破壞性（不因此導致系統崩潰）的行動；（4）是子系統之間差別與對立、相互依存與合作的結果。

### （二）協同作用的起因

當然，子系統之間的「協同作用」若是因為受到外部因素特定（或強加）信息的指導才得以產生或維持，則稱此時的協作過程是一種「他力組織」的結果，若不是因為外部因素特定信息的指導、而是來自系統內部信息（系統自身的特質、歷史、內部聯繫）的指導，則可稱此時的協作過程是一種「自組織」的結果。「他力」組織與「自」組織區別了子系統協同作用而產生的系統整體是否具有目的性。

### （三）協同作用的內容與性質

「協同作用」的內容包括物質流、能量流與信息流的協作，簡單系統以物質流與能量流協作為主，對愈複雜系統（如社會系

統)的演化而言，三種內容的協作不僅需要兼具、且信息流的協作愈顯重要。「協同作用」又可分互補性協作(例如，學術界與產業界之間協作)、以及競爭性協作(例如，幾個政黨為爭取資源而協作)兩類性質。

#### (四) 協同學的理論基礎

##### 1. 不穩定

在干擾必然存在的條件下，穩定性指系統維持自己在某一狀態的性質，相對於穩定性，不穩定性是指系統得以偏離且回不去原狀態的性質。不穩定是系統產生協同行動、出現自組織的前提，也是新舊結構得以不斷演替的媒介。例如，過飽和溶液就具有不穩定性。

##### 2. 支配

系統內部的諸參量可分為兩類變量，這兩類變量在臨界值時對系統有不同影響：快變量是指衰減得快的變量，對不穩定性發揮一種類似阻尼(damping)的作用，讓系統在受到快變量干擾、產生不穩性時，易於回到穩定態(例如，對語言系統而言，個人語言的變量是快變量)；慢變量是指衰減得慢的變量，對不穩定性產生一種類似無阻尼的作用，使系統受到慢變量干擾、產生不穩定時，易於離開穩態走向不穩態(例如，對語言系統而言，文化的變量是慢變量)。慢變量使系統脫離舊結構、快變量則使系統可以在新結構上穩定下來，快慢變量相互聯繫、相互制約，而慢變量還能對快變量產生支配作用。

### 3. 序參量

系統的序參量出現於存有相變為該系統之後，具有三個特點：（1）序參量是一種描述系統宏觀的結構、有序度、存在狀態與變化趨勢之宏觀參量；（2）序參量是一種表徵大量子系統之間協同作用的度量；（3）序參量支配子系統的行為、主導系統整體的演化方向。序參量是由對應的微觀參量通過概率與分布計算而得，一般的序參量可以是壓強、密度、熵、能量流、粒子流、信息流、表徵場等。例如，用密度（分子的平均距離）作序參量來標示氣體或液體的宏觀秩序。

## 六、超循環理論

研究自然整體、其中萬事萬物之循環發展的規律一直是科學研究中重要任務之一，Eigen 於 1970 年提出超循環理論目的就是在探究生命（尤其是，生命的信息）之起源與循環（Eigen & Schuster, 1979; Eigen, 1981），超循環理論統整了分子生物學、演化論、信息論、自組織概念，也結合了歷史與邏輯兩種研究方法。Eigen 指出：在無生命（化學）階段演化到生命（生物）階段的過程中存在著一個「大分子自組織」階段，具有統一遺傳密碼的原生細胞結構就是在大分子自組織過程中形成，這個自組織運作即是一種超循環（hypercycle），從「無生命」演化到「生命」的主要原因就是分子尺度上的自組織。

依據對分子尺度上組織運作的研究成果，循環現象依複雜度分反應循環、自催化循環、超循環：

（1）反應循環是在一組相互關連的反應中，其產物與前面某一步驟的反應物相同，這樣，任一中間物若有損失都可能得到補

償，因此，反應循環可以自我保持，此種循環本身可以說相當於一個催化劑。

(2) 自催化循環是反應物中含有一個以上（反應循環所形成的）催化劑的特殊反應循環，由於此循環至少有一個中間物能自我保持、還能催化其他反應，指導著反應物與中間物的複製，因此，自催化循環可以自我複製。

(3) 超循環指的是耦合若干自催化循環單元的循環，在超循環中，其中一個自複製循環系統  $I_1$  不僅能複製自我、又能催化下一個系統  $I_2$  中間物的產生， $I_2$  不僅複製自我、又能催化下一個系統  $I_3$  中間物的產生，以此類推。超循環中的各子系統或單元不僅能自我複製，並且還能自我選擇、自我優化，形成一種自組織的運作。Eigen 認為只有通過複雜的、複合的超循環形式，才有可能實現核甘酸形成核酸、氨基酸形成蛋白質、而蛋白質與核酸彼此協作發展出原核細胞之生命起源與演化，Eigen 同時推衍整個自然界也是通過超循環形式而發展。

Hegel 在其辯證過程中指出整個人類整體的思維發展是一種非直線的、近似螺旋曲線的、朝著回復到自身的循環的過程，每一種思維的產生與發展都可視為參與整體循環大圈中的一個小圈，每一小圈又由無數個別參與者的思維小小圈構成（沈小峰，1993）。這些對循環與超循環的研究發現，讓人類對因果、偶然與必然以及協同與競爭之間的關係有更豐富的認識。

### （一）原因與結果

探究事物的起源通常需要回答何者為先的因果問題，超循環理論結合對核酸與蛋白質相互關係以及類核酸與類蛋白（核酸與蛋白質的低級形式）之性質的考察，指出在一定條件下功能是信

息的結果，而在另一場合中功能又成了信息的原因，在因與果的多重交互作用之下，因與果每一次的轉換就構成了一個循環，循環一旦形成，何者為先就失去意義。超循環理論因此提出核酸與蛋白質均不可能先於另一者存在，而必須共同演化的結論，對因果出現的時間順序之注意力，應轉移至兩者的共同境況與彼此之間的關係。

## (二) 偶然與必然

Prigogine、Haken、Eigen 等人都認為生命的產生並非純粹偶然性的事件，Eigen 在超循環論中以一個隨機遊戲說明從中產生生命的必然性：A 箱中有  $n$  個不同顏色的球  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $\dots$ 、 $A_i$ 、 $A_j$ 、 $\dots$ 、 $A_n$ ，另一箱子 B 中有  $n$  種不同顏色（但有無限多個）的球，從 A 箱中隨機取出一個球  $A_i$  丟掉（代表死亡），然後再從 A 箱中隨機取出一個球  $A_j$  留下（代表受到偏愛），此時從 B 箱中找出一個與  $A_j$  顏色相同的球  $B_j$ ，同時將  $A_j$ 、 $B_j$  放回 A 箱中（代表再生或複製）。自此，凡在 A 箱中隨機取出是與  $A_j$  同顏色的球時，就從 B 箱中找同樣顏色的球複製，在 A 箱中隨機取出其他顏色的球時就丟掉，按此規律進行最後，A 箱中將只剩下與  $A_j$  同顏色的球：只要某種顏色受到偏愛，A 箱就會從原來顏色混雜的狀態發展到只有單一顏色的狀態。也因此從原則上來看，只要具備適宜的條件，從分子的隨機運動中出現選擇、自組織運作、以致演化出生命，在現實上是可能的、也是不可避免的。

## (三) 協同與競爭

一個包含全部基因組的 DNA 分子，其信息量高達  $10^{10}$  比

特、大分子序列具有  $10^3 \times 10^9$  次方種可能，承上面對於偶然與必然的討論，仍須進一步認識的是：在生物分子從自組織至演化的過程中，面對這麼多的可能性為何只選擇一種或幾種序列？即使如此，為何目前的生命系統卻還是出現繁複的多樣性？依超循環理論，這是因為在生物分子水平上的自組織過程中出現了競爭與協同作用所致。如果分子自組織過程中只存在競爭作用，那麼選擇的結果將只剩下一個優勝者，所能選擇的信息量也將只侷限於優勝者的信息量，在分子自組織的初期階段是允許的，不過之後一定會對此分子自組織系統的進一步演化形成限制。在一定條件下，只要此系統的組成之間開始交互作用，則將不可避免地出現協同作用，而只有在分子自組織過程中出現協同作用時，才有可能在此系統中出現非線性的選擇行為，從而豐富增長信息量，允許系統在分子自組織過程中往更複雜有序的方向演化。

## 七、突變理論

「量變」是指系統維持自己在某一性質穩態下、系統內部的組成與運動於數量上或程度上有所增減，但系統仍維持自身的性質；相對的，事物所表現出來的「質變」是指系統由一種性質穩態到另一種性質穩態的變化。Thom 的突變理論 (catastrophy theory) 就是一個透過對穩態結構的研究、揭示系統質變方式與系統內外條件變化之間關係的理論 (Thom, 1972)，廣義地解釋了為什麼有的系統其質態可以維持不變、有的逐漸變化、有的是驟然而變。

質變可以通過漸變與飛躍 (jump) 兩種方式而實現，漸變與

飛躍在語意上與漢語字面上雖有明顯的慢快意義之區隔，但就系統質變的觀點來看，判斷兩者之別的科学依據並不是在於變化的速度為何、而是在於「系統內部當時的穩定性」。如果系統歷經的中間過渡態是穩定的，那麼這種質變的方式就是一個漸變，如果中間過渡態是不穩定的（系統自身處於不穩定狀態），那麼它就是一種飛躍。要特別釐清的是：「突變理論」討論了飛躍與漸變兩種方式的質變，然而，當理論中使用「突變」一詞時仍是用來指「飛躍方式的質變」（這也比較呼應此詞一般字面上的語意）。

物理化學把具有相同成分相同性質的均勻部分叫相（phase），相變是指系統各相之間的相互轉變，相變是一種質變，水的氣液相變是常拿來說明突變的例子，水由液態變為氣態的過程，一般是在標準大氣壓下將水加熱到 100 °C 時變成水蒸汽的現象，加熱過中水達到 100 °C 時，發生沸騰現象，密度值一下子掉到氣態區域，這是一種飛躍的質變。如果，讓條件（溫度和壓力）的變化繞過氣液臨界點而繼續變化，那麼水的密度就會連續地逐漸降低，經由一系列的似水非水、似汽非汽的中間過渡態轉變為氣態，這種情況下，不存在沸騰現象，也找不到可以稱之為沸點的臨界點（或關節點）可以把水的液態與氣態分開，這類相變是一種漸變式質變，玻璃、石蠟、瀝青其液態在冷卻過程中先變為膠狀、再逐漸堅硬，也是質變以漸變方式而實現的例子。

Thom 的突變理論經過嚴密的數學推導證明：當條件變量小於四個時，自然界中的突變就會落在七種基本變化型態上：尖點型、折線型、燕尾型、蝴蝶型、雙曲型、橢圓型、拋物型；水的氣液相變曲面就是一種尖點型的突變模型（金觀濤與華國凡，1983）。

其實，日常生活中系統產生突變的例子很多：繩索在懸物重量剛剛達到限度之時未斷裂、而是載負荷不再變動之後斷裂（繩索此由原質態——一條繩索，變化到另一質態——兩截內部、外部或內外部產生變形的繩索）。一隻狗注視著挑逗牠的人的一切動作、直到人停止挑逗轉身離去之後狗突然跳起來咬了這人一口（狗兒由原質態——恐懼的狗，變化到另一質態——憤怒的狗）；學生學了好久都不能瞭解的概念、在停止學習此概念又一段時間之後突然懂了（學生的認知由原質態——此概念的意義模糊或聯繫無序，變化到另一質態——此概念的意義明顯或聯繫有序）。探究者從見山是山、見山不是山、到見山又是山的領悟（探究者由原質態——對探索對象之原有認識，變化到另一質態——對自己與探索對象產生異於先前的認識，再變化到另一質態——產生一種從嵌含自己與探索對象之整體來看兩者以及兩者之間關係的新認識）。

說明突變理論基本概念並舉例之後，以下歸納二個重點：

### （一）突變的條件

系統出現突變可以說與系統本身的性質、系統的歷史、系統內部的漲落、以及外部因素的變化相關，上面這些例子特別強調：外部因素的變化雖是重要條件，但系統本身的不穩定性、系統內部發生偶然干擾的必然性、系統內部因素的變化才是影響突變（飛躍）產生的根據（或直接動力）。

### （二）因變與自變的關係

從突變的條件再進一步討論隨外部因素變化而變化的「因變」，以及隨內部因素變化而變化的「自變」之間的關係：連續



的因變過程中包含著許許多多小幅度、某方面的局部自變，也可以說，外因不直接引起系統變化、而是等待接受外因變動後的內因自己推使本身產生變化，因變與自變兩者並非截然分開。

## 八、渾沌理論

耗散結構論與協同學研究開放系統如何從無序朝有序變化，渾沌就是這個有序系統繼續演化的方向或型態之一，渾沌理論（或渾沌學，chaology）是探討渾沌的特徵、性質、形成、控制與應用的一門學科（Briggs & Peat, 1984, 1989; Gleick, 1987）。

Prigogine 的研究中將系統的狀態分為兩大類，一是平衡態（包括近平衡態）、一是非平衡態（Prigogine & Stengers, 1984）。從熵增的觀點來看，孤立系統與封閉系統內部總是往微觀態數目增加<sup>6</sup>的方向演化，直到系統微觀態數目最大為止，微觀態數目最大的最可能狀態即是平衡態，處於平衡態（包括近平衡態）的系統，不會隨時間變化，呈現一種內部各點的溫度、壓強、濃度、化學勢均等的渾沌，這種「平衡渾沌」是一種熵值極大、亂度極高的現象或狀態，是由事先不能預料的外部隨機因素而引發的無規則運動。對平衡渾沌的研究起於十九世紀中期熱力學對平衡態的探討；隨後，二十世紀初統計力學和氣體動力論研究大量分子與原子在無規狀態下宏觀的熱運動，概率論從數量的角度找出大量隨機現象所服從的規律；從英語與漢語語意來看，「渾沌」

6. 一個分子的微觀態以分子的位置、速度與動量（即微觀量）表示出，系統微觀態則必須指明每個粒子的位置、動量以及粒子內部運動的各種細節；系統微觀態數目愈多，表示系統內部運動愈富多種可能性，熵愈大；反之，系統微觀態數目愈少，熵愈小（陳宜生與劉書聲，1996）。

常被解釋為雜亂無章，平衡系統的渾沌狀態可以說就是這種一般語意所指的渾沌。

自然科學自六〇年代開始正視對渾沌現象的探索，八〇年代至今逐漸成形的渾沌研究領域漸漸地集中以非平衡渾沌為對象，「非平衡渾沌」是指由處於非平衡態（也就是處於遠離平衡態的非線性區中）的系統所形成的渾沌，此種渾沌是由系統非線性作用所形成的內隨機性所引發。非平衡系統中出現各種振盪頻率，使系統的有序結構按一定方向不斷變化，這個過程是對稱性不斷破缺的過程，此對稱性破缺到極點轉變為非周期運動，這個非周期運動使系統的結構由原來的動態有序，轉變為另一種看起來混亂、其實是卻嵌著各種周期的窗口（周期解與非周期解交錯）、可能出現各種穩定的周期運動的渾沌——另一種有序，湍流（turbulence）即是一例。耗散結構論與協同學研究 order out of chaos，焦點放在 order 如何自 chaos 中形成與發展，而渾沌理論研究 chaos out of order，焦點放在 chaos 如何自 order 中形成與發展。對於非平衡系統而言，這些領域的研究發現共同說明了系統之有序與渾沌實相互轉變、彼此嵌含。

非平衡系統進入渾沌的路徑有三（沈小峰，1993；顏澤賢，1993）：

### 1. 倍周期分叉

在一定條件下，系統運動周期逐次倍加（ $T$ 、 $2T$ 、 $4T$ 、 $8T\dots$ ），最後喪失周期行為而進入非周期行為的非平衡渾沌狀態。以一維疊代方程說明倍周期分叉的過程：

$$X_{n+1} = \mu (1 + X_n) X_n \quad 0 < X_n < 1, \quad 0 < \mu$$

當  $0 < \mu < 1$  時，對於在  $0$  與  $1$  之間任意初始值  $X_0$ ，經過

若干次疊代之後，系統就會穩定在  $X_n = 0$  上；若使  $\mu < \mu_1$  ( $\mu_1 = 3$ )，系統仍將有一個穩定的疊代結果；當  $\mu$  再大於 3 一點點，就會產生兩個穩定的疊代結果，可以說是系統變化的第一個關節點（臨界點）；當  $\mu$  大於下一個關節點  $\mu_2$  ( $\mu_2 = 3.449489743$ ) 之時，系統就出現四個新的穩定值，以此類推，系統是經由一系列的關節點 ( $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ ) 而進入非平衡渾沌區域。1978 年，Feigenbaum 計算前後倍周期分叉的間距之比、即  $\mu_{n+1} - \mu_n$  與  $\mu_n - \mu_{n-1}$  的比值 ( $\delta$ )，以及分叉寬度的比值 ( $\alpha$ )，找到普適性常數  $\delta = 4.6692\dots$ ， $\alpha = 2.5029\dots$ 。費根鮑姆常數的發現說明了通過倍周期分叉進入非平衡渾沌是一種普遍的自然現象，而且任何系統通過倍周期分叉進入渾沌之時，都遵循此規律。

## 2. 陣發性振盪

系統中若有某些參數的變化達到臨界值時，系統在原來周期狀態與渾沌狀態之間隨機交替出現；若參數繼續變化、越過臨界點時，系統將進入完全的渾沌狀態。陣發性振盪與倍周期分叉是孿生現象，可以觀察到倍周期分叉的系統，原則上都可以發現陣發性振盪，也就是說陣發性振盪也是一種普遍的自然現象。然而，兩者發生機制不同：倍周期分叉在每個分叉點上出現兩個新的穩定分支之後，分叉點前的原分支就成為不穩定，而陣發性振盪中有所謂的切分叉，是指在分叉點的未來的那一側不存在著任何穩定或不穩定的周期。陣發性振盪渾沌證明了有序與渾沌之密切聯繫、相互轉化。

### 3. 多頻率耦合

通常也稱之為 Ruelle-Takens 道路，相對於倍周期分叉過程中周期逐漸倍增到極致、而進入渾沌狀態，這兩位研究者發現只要系統中有三個以上的頻率相互耦合，必然產生無窮多個頻率的耦合，系統於是出現渾沌狀態，老子哲學中的「道生一、一生二、二生三、三生萬物」在這條路徑上得到意想不到的定量體現。不過，目前對於此路徑進入渾沌時的臨界點行為，相關研究還不是很豐富。

在通往渾沌的路徑中，可以看到非平衡渾沌的五點主要特徵（沈小峰，1993；顏澤賢，1993）：

#### （1）具有內隨機性

非平衡系統具有非線性，也因此蘊含著內隨機性，使系統在渾沌區內的行為有隨機不確定的可能。

#### （2）對初始值敏感

具有內隨機性的系統對初始值敏感，使系統長時間行為無法預測。初始條件的些微偏差會使兩個靠得非常近的点發散開來，相距甚遠，也可以使兩個距離很遠的点，無限地靠近。Lorenz 所提出的蝴蝶效應（butterfly effect）——一種如「差之毫釐、失之千里」的現象——就是從氣象系統對初始值敏感的行為中發現。

#### （3）是一個奇異吸子

非平衡渾沌相當於一個奇異吸子（strange attractor），因為具開放性，所以系統外部物質、信息、能量朝著吸引子靠攏或被吸引，這種吸引作用反映了非平衡渾沌的某種「穩定」的性質，然一旦被吸引到此非平衡渾沌裡，內部運動又因內隨機性、以及對初始值敏感而相當「不穩定」，渾沌區中的任一點跳不出渾沌

區，但又自由遊蕩，無法預知其軌道。

#### (4) 具有普適性規律

費根鮑姆常數指出了非平衡系統往渾沌演化時所具有的共同規律，亦即、非平衡渾沌在結構上與層次上具有普適性規律，不因具體系統的特質或系統的運動方程而改變。

#### (5) 具有分形

分形是指一種其組成部分與整體以某種方式彼此相似的結構或形態，分維（分數維度）是描述分形其「形態或結構之複雜度」的特徵量，非平衡系統的渾沌具有以分維作為特徵量的分形結構或形態，渾沌區中這些自相似結構相互嵌合。

### 九、分形理論

分形理論中的研究對象是「分形」(fractal)、又稱為「碎形」，分形在自然領域與社會領域處處存在，舉凡溪流、浮雲或山脈的形狀、星雲、河川水系或血管的分佈、海浪的碎波、心臟跳動的頻率、歷史的演化、教育系統結構、股票價格的變動、決策的經過、學習的歷程、思維的運作等等均是分形的例子。古今哲人常揭示有關分形其局部與整體彼此相似、相互嵌合的思想，例如，「人法地、地法天、天法道、道法自然」，「一沙一世界、一花一天國」，「萬物負陰抱陽，負陽抱陰」均指出相異存有之間或不同尺度的存有之間蘊含著通性共相的現象。Mandelbrot (1982) 首先定義「分形」為一「組成部分與其整體以某種方式彼此自我相似 (self-similarity)」的結構或形態。「分維」(fractal dimension) 是用來描述分形存有其「形態或結構之複雜度」的特徵量，由於自然世界普遍客觀存在著破碎、粗

糙、扭曲、纏繞、糾結、斑痕或麻點的複雜結構，從前以幾何學的方式將這些不規則的形狀加以規則化時，雖然透過精確規則的處理，但實際上得到的是明顯不精確的結果，而分形理論則使這些自然存在的複雜結構得到解釋。簡單地說明分形概念，例如，海岸線、洋蔥、花椰菜、神經系統：以  $X_1$  為單位沿海岸線測量時得到  $Y_1$  長度，若以較小的  $X_2$  為單位時得到  $Y_2$  長度， $Y_2$  值必大於  $Y_1$ ，因為以  $X_1$  為單位時必然比以  $X_2$  為單位時忽略了更多實際海岸的曲折細節，以此類推，若以更小的  $X_n$ 、甚至以分子、原子為單位所測量而得的長度，必然得到「在某個範圍內的『無限長』」之答案。分形（如海岸線）展現了一種「雖是有限、但人類卻難以精確計數其細節」的性質；縱切一個洋蔥後，可以在剖面中觀察到從不同尺度來看局部與局部相似、局部與整體相似、局部的局部也與整體相似的現象；又如花椰菜、神經系統，兩者從其主幹到頂端之間不斷地分支的結構存在著「自我相似」的特徵。而前述無論是海岸線、洋蔥、花椰菜或神經系統均具有粗糙、不均勻的層次結構，無法以歐基理得數學空間中的經典維數（如長度、面積、體積）來作為分形的特徵量；以描述「英國海岸線」為例，其分維為 1.2618……，但「海岸線」的經典維度則是 1，或者，描述「人腦的表面」的經典維度是 2，而其分維介於 2.73…到 2.79…（Briggs & Peat, 1989）。

### （一）分形的性質

分形可大致分類為自然分形、社會分形、思維分形與數學分形，前述所列舉的各種例子是屬於自然、社會或思維分形之一，在鉅觀或微觀的世界中這三類分形幾乎處處存在，是一種自相似性隨機分佈、自相似層次有限的「無規」分形。而數學分形則是

疊代一組簡單規則而建立起來的一種自相似層次無限的「有規」分形，例如，康托塵——一條由沙塵般（不連續）的點所構成的「線」（分維是 0.6309...、科契雪花曲線（分維是 1.2628...）（Briggs & Pcat, 1984, 1989）。分形的性質可歸納為三點（王東生與曹磊，1995；張志三，1995；顏澤賢，1993）：

1. 分形的特徵量是分數維數，擁有某種範圍內難以計數的、精細的局部。
2. 分形在其整體與局部、局部與局部之間具有自相似性，這種自相似性可以指其形態、功能或信息等方面或某一方面的相似。因此，分形可以以實際形態、或是功能、信息為架構來建構其模型。
3. 視所選取的尺度或觀點而定，自相似性可以是完全相同、也可以是統計意義上的相似；因此，自相似性可以有程度上或層次上的差異。

## （二）「分形」與「系統」之關係

「系統」與「分形」兩者論點看似不同，實則彼此相互補充（顏澤賢，1993），「分形」強調的是局部與自相似性，「系統」強調的是整體與普遍運作規律：

1. 非封閉或非孤立系統的內部運作與結構不易以一般科學理論精確掌握或描述，常是複雜地交互作用、不規則、不均勻的存在，分形的自相似性質提供了系統從看似不規則的現象中，顯示「系統內部存在相似性規律」之重要依據。

2. 分形理論說明不同尺度下的局部間、局部與整體，在其形態、功能、信息、時間、空間方面具有統計意義上的相似性，因此整體可以反映局部的性質。同樣地，從局部亦可以找到整體所

具有的特徵，整體與局部之間的關係可謂「信息同構」。

3. 分形並非對系統組成元素進行還原分析、或簡化系統中不規則存在的複雜現象，而是在認同此存在事實的基礎上研究系統的「粗糙、破碎與複雜」。因此，以「分維」作為特徵量可使研究與描述系統的工具及方式更加真實。

4. 分維是一種標示存有之存在方式（結構與形態之複雜度）的特徵量，因此系統演化也將產生其分數維數的變化，系統在演化過程中發生相變時會出現「趨向分維」的臨界現象，亦即出現多層次、自相似的鑲嵌結構。探索「系統通往分形的因素」是研究系統其空間序列如何演化的重要問題。

#### 肆、「系統」：屬性與辨識

如前所述，「信息」是存有存在或運動時所包含或展現的內容，是存有的一種普遍屬性。而 Heidegger (1993) 認為「存有可以透過人類語言說出它自己」，先前語言與存有的關係可以補充為：雖然對於存有的信息，人類語言將「無法說得盡」，但存有仍試圖從人類語言中說出或說清自己。同樣地，「系統」正透過系統典範以及系統理論中不同學科研究發現的這些描述，試圖說出或說清自己。很明顯地，人類對系統的認識以及系統研究的未來發展，與目前這些說出系統的語言密切相關。

在信息的傳遞、交換、儲存與使用過程中，干擾必然存在，比起自然因素而引起的干擾，人類可以努力避免因人為因素的干擾所引起的信息傳遞不完全。人類對系統的認識與自然科學、數學、社會與人文科學各領域文獻中這些描述「系統」的語言息息相關，自然科學與數學研究領域中早期的系統研究者會為自己研



究對象所具有的屬性進行定性的描述，例如，開放、自組織、渾沌、非平衡、有序等等。不過，有趣的是：系統研究日益受到重視之後，在後續出現的系統理論論述中、或尤其是討論這些系統理論的當代研究文獻裡，常有系統研究者引述先前研究中的描述時，未能就後續出現相異的描述與先前的描述進行比較、釐清關係與異同，或不清楚原屬性其定性的意義，或以一般日常生活中的語意、或以簡化的語意、或以過大的語意範疇的來認識這些描述系統屬性的語言。例如，在論述中出現以「渾沌」表示「紊亂、無序、無組織」，以「有序」等同「有組織」，以「穩定」就是「靜態平衡」等等，而對一個「開放系統」就必然等同一個「自組織系統」也有所誤解。

又例如，魏宏森（1988）曾以無組織到有組織為 X 軸、簡單到複雜為 Y 軸，將系統劃分在四個象限：第一象限有組織複雜系統、第二象限無組織複雜系統、第三象限無組織簡單系統、第四象限有組織簡單系統。不過，在這樣的分類中會發現：在描述語言「有組織」、「無組織」之中無法說清其本身與「自組織」、「他力組織」、宏觀或微觀的「有序」與「無序」之關係。在國內與大陸的人文與社會科學領域中有關系統概念的文獻裡，可以發現時常交替混用前述語言的現象，使有關「系統」的信息容易失真。也因此，欲試圖融通對存有（也就是「系統」）之認識，需要在瞭解系統典範主要思維、系統理論體系中各理論主要內涵之後，進一步釐清容易混淆的描述「系統」的語言、辨識說出「系統」的信息彼此之間的關係；茲探析、統整如下。

## 一、系統的屬性與分類

以系統思維認識存有，先以存有為一有機系統、讓存有自己為自身的尺度，然後在各系統理論中瞭解了系統的各種運作機制：如，信息的傳遞、交換、儲存與使用，反饋與控制，整體與局部的自相似性，線性與非線性，協同與競爭，因變與自變，量變與質變，偶然與必然。以下說明系統的分類，藉此釐清每一種分類所描述的相對與相關的系統屬性：

### (一) 系統與外部之間的内容與流通程度：孤立、封閉與開放

依系統對環境輸入輸出的關係 (International Encyclopedia of Systems and Cybernetics, 2002 online available)，系統可分為三類：

(1) 孤立系統：無法與外界環境交換物質、信息、能量的系統 (系統與外界彼此的物質、信息、能量均無法互相流通或影響)。嚴格說，這種系統無法被任何觀察者知覺 (無信息交換)，只有宇宙整體可以直接稱為孤立系統 (系統無「外界」可供交換)，在熱力學第二定律中，在一孤立系統內部若有自發性的運動，則此系統的總熵變化量將日趨加增、達到最高，系統最終將從某種有組織有序向無組織無序的平衡態 (即系統內物質與能量均勻分佈的狀態) 終結。也有研究不採這麼嚴格條件的定義，認為與外界無物質與能量交換的系統稱之為孤立系統，因此除了宇宙整體之外，在溫度、壓力、濕度不變的外界條件下，無生命系統如石頭也可以說是一種孤立系統；令邊界為可以隔絕物質與能量之介質的系統也以孤立系統視之。

(2) 封閉系統：可與外界環境交換能量、信息 (系統與外界

彼此的能量、信息可以互相流通或影響），但無法交換物質的系統。以熱運動系統為例，若令系統邊界為隔絕物質交換、但可以導熱的介質，外界對系統施力加壓（輸入能量）使系統體積縮小時，分子碰撞頻率變大產生熱能向外界傳遞（輸出能量）；牛頓力學、電學研究中對研究對象的處理是以封閉系統視之，機械也是一種封閉系統。

（3）開放系統：可與外界環境交換物質、信息、能量交換的系統（系統與外界彼此的物質、信息、能量可以互相流通或影響）。例如，水池、Benard 對流、湍流、部落、經濟系統、教育系統、生命系統、思維系統。

## （二）系統之組成、結構層次與交互作用的複雜度：簡單與複雜

沈小峰（1993）依據系統學學者錢學森的觀點，以系統複雜程度將系統分為四大類：簡單系統、簡單巨系統、複雜巨系統、特殊複雜巨系統。不過，從文獻裡對後兩者的舉例來看（複雜巨系統包括如人體系統、生態系統；特殊複雜巨系統如社會系統），此二類各自的特殊性並不明顯，論述中也缺乏辨識兩者差異的有力說明，因此這裡不以為有分野之必要性，而國外研究複雜系統的文獻也未見複雜巨系統或複雜特殊巨系統之別。因此，本書將後兩類歸為一類、均稱之為複雜系統，依據元素或子系統數目、交互作用頻率、結構的層次、以及產生新質的可能性，將系統分為三類：

（1）簡單系統：子系統個數少、相互作用簡單、不分層次的系統，例如，牛頓力學系統、電學系統、晶體等。

（2）簡單巨系統：子系統數目多，相互作用較簡單，並至少

具有宏觀與微觀上兩個層次，系統會出現某些整體新質的系統，例如，熱力學系統、流體系統、湍流、化學反應系統、生物大分子系統、大型複雜的人造設備（如電腦）等。

(3) 複雜系統：子系統數目多，關係頻繁且複雜，出現多層次交互作用，各子系統出現新質，整體亦出現新特質，例如，人類個體、社會系統、教育系統、經濟系統、軍事系統、生物系統、生態系統等。

(4) 這裡還要特別釐清的是有關「複雜」的研究（複雜科學），以及有關「複雜系統」的研究（複雜系統理論）。美國新墨西哥州聖塔菲研究院（Santa Fe Institute）中頂尖科學家研究在無序有組織與有序無組織兩種狀態其邊緣之間交界處所發現的近似生命的現象以及湧現的新質，把這個交界叫「複雜」（complexity）（Waldrop, 1995），也就是「複雜科學」的研究對象。客觀世界中的自組織簡單巨系統、以及所有的複雜系統都具有「複雜」屬性，或者也可以說，這些系統就是從「複雜」這個交界處演化出來的；在複雜研究中所描述的「複雜性」反應的是一種組成、結構、適應能力與交互作用之規則多樣多變的性質，不過目前學界對「複雜性」尚無一致的定義。

而「複雜系統理論」顧名思義是以上述分類定義中的複雜系統為研究對象，研究複雜系統的結構、功能、運作規律、演化型態與機制。很明顯地，拿來作為複雜科學研究「複雜」的系統不只限於定義中的複雜系統，但複雜科學的研究成果可以貢獻於複雜系統理論、助以認識複雜系統。

### (三) 系統組成之間的聯繫程度：有組織與無組織

有組織、無組織是用來描述在微觀（分子或原子）尺度下，

系統組成之間的聯繫程度（組織度）。有組織是指系統的組成之間存在著某種規則的聯繫，無組織是指系統組成之間的聯繫沒有什麼規則，例如，鹽晶體是由鈉離子與氯離子按一定規則排列起來的，可以說是一種有組織的系統，人類更是一種高度有組織的系統。而處於平衡渾沌態的熱力學系統就是一種無組織的系統，非平衡渾沌的湍流，從微觀角度看其內部組成之間找不出規則，也是一種無組織的系統。

#### （四）形成系統內部聯繫的起因：自組織與他力組織

「組織」的起因或來自系統的外部、或來自系統內部，系統若是藉由系統外部信息的「指導」、或外界特定的干預來獲得時間的、空間的或功能的結構，則此過程稱之為他力組織，例如，機械系統、牛頓力學系統。不過，若在某種外部條件下，一個系統是藉由內部信息的指導來產生或維持系統具有時間、空間或功能的結構，則可稱之為自組織（Jantsch, 1980），例如，湍流、雷射光光場、思維系統、生命系統、教育系統。

#### （五）系統宏觀結構的動態變化程度：有序與無序

系統具有隨著時間空間變化，而呈現有規律周期性變化的宏觀結構，稱之為有序，例如，人體、湍流（湍流是一種非平衡渾沌，是一種有序無組織的系統）。若系統整體結構不隨時間空間變化而變化，則稱之為無序，例如，石頭、熱力學系統、晶體（晶體就可以說是一種無序有組織的系統）。

#### （六）系統維持宏觀結構的條件：耗散與平衡

系統透過耗散內部的物質、信息或能量，同時從外界獲得物

質、信息或能量，而使系統的宏觀結構得以持續，此種結構稱之為耗散結構，例如，社會系統、颱風、海洋系統、湍流、思維系統。系統維持其宏觀結構不需透從外界補充物質或能量、也不用耗散內部物質或能量，此種結構稱之為平衡結構，如機械系統、晶體、熱力學系統。

在分析信息論、耗散結構論與協同學論述過程中倒是發現：Prigogine 以系統能對外開放地「交換物質與能量」作為形成與維持耗散結構之條件，此條件並未包含「信息」的交換，且「交換物質與能量」條件也似乎未能涵蓋後來協同學研究中出現僅以交換「能量」就能進行自組織、維持宏觀有序的例子。雷射光的光場只透過「能量」交換來維持其整體結構（激光器在外界能源輸入的能量達到某一閾值時，發出單色、同方向性與協同性極佳的雷射光，這個光場處於非平衡的有序狀態，是一種耗散結構），除非，在此處以相對論中「質能互換」的觀點來看雷射光場中的光子與能量，才能符應 Prigogine 所說的具耗散結構之系統需與環境「交換物質與能量」。

### （七）系統的渾沌狀態：平衡渾沌與非平衡渾沌

平衡渾沌是指處於平衡態的系統所形成的渾沌，此種渾沌是一種熵值極大、亂度極高的現象或狀態，由事先不能預料的外部隨機因素而引發的無規則運動，例如，熱力學系統。非平衡渾沌是指由處於非平衡態的系統所形成的渾沌，此種渾沌是由系統非線性作用所形成的內隨機性所引發，出現一種看起來混亂、其實是另一層次的有序，例如，湍流。

## 二、系統的辨識

從上述七項分類的討論中可以發現，這七類對存有屬性的描述之間並不具有一般用語語意上想當然耳的因果關係：例如，「開放」不一定是「有組織」，一個開放系統不見得在微觀尺度上有組織，如湍流。「有組織」不一定具「耗散結構」，一個微觀尺度上有組織的系統不見得具有耗散結構，如晶體。複雜性與組織度的關係並不是雙向的正相關，一個系統的「複雜性」提高則其「組織度」也會提高，如思維系統的發展。提高組織度卻不一定會提高此系統的複雜性，如從一壺靜置的水、加熱過程中靜態的水產生對流。

欲辨別與認識系統具有什麼樣的分類或屬性，應先掌握下述辨識系統的大原則：

(1) 從本體論來看，對系統的分類與系統自有本有的屬性（存在的成因、組成元素、層次、交互作用之多寡等等）直接相關。

(2) 除了系統本身屬性之外，系統的分類也與系統外界條件有關，將同一系統放在不同的外界環境中，就可能使對此系統的分類之描述有所不同。例如，將生命個體從地球拿到外太空的環境中，這一個開放系統就成了一個封閉系統。

(3) 從認識論來看，系統的分類取決於相對應的認識能力、知識的選擇、以及進行研究與解釋之手段與工具的決定。例如，牛頓力學對研究對象的處理是將簡單巨系統與複雜系統視為簡單系統以利進行分析，又如同在同一外界環境下變化觀察的尺度：從整體形態看，湍流是一種有序的耗散結構，從微觀角度看內部組成之間的聯繫，湍流又是一種無組織的系統。

(4) 從系統觀點來看，在宇宙整體中，不同類別、不同屬性的系統實則層層疊套、彼此嵌含、相互作用。例如，在一個複雜自組織的人類生命系統中嵌含著如礦物質、化學物質等簡單系統，而人類（開放系統）又參與著宇宙整體（封閉系統）的發展。

本書勾勒圖 4-1 與圖 4-2，試以圖像簡要呈現前述對系統屬性、分類與辨識原則的討論。圖 4-1 以縱軸指出系統之組成、結構與交互作用的複雜度（從簡單到複雜），以橫軸指出系統其組成元素彼此間的微觀聯繫度（無組織到有組織）、系統宏觀結構的動態變化程度（無序、有序）之間的關係，並加以舉例。而圖 4-2 以縱軸指出系統的複雜度，以橫軸指出形成系統內部聯繫的起因（他力組織、自組織），以及系統維持宏觀結構的條件（平衡、耗散）之間的關係，並加以舉例。

## 伍、讓認識融通：一種對「認識」的期許

人類有許多認識存有的旨趣，系統思維其中一種選擇、也是目前人類尋找突破的一條重要出路，而對存有會有什麼樣的認識，又與認識存有的研究方法密切關連。系統典範的對象是從簡單到複雜的所有存有，系統典範的實證依據是自二〇年代以來自然科學與數學領域不同學門對系統展開定性定量研究獲得不少發現的系統理論，本書同時對「系統典範、系統理論、系統」之意義與內涵進行探究，以思維、語言與存有之間的密切關係為基礎所提出的一種認識「系統」的可能途徑。

如前所述，人類對存有會有什麼樣的認識，與人類認識存有的思維有關，此思維必須有相應的研究方法對對象進行深入探



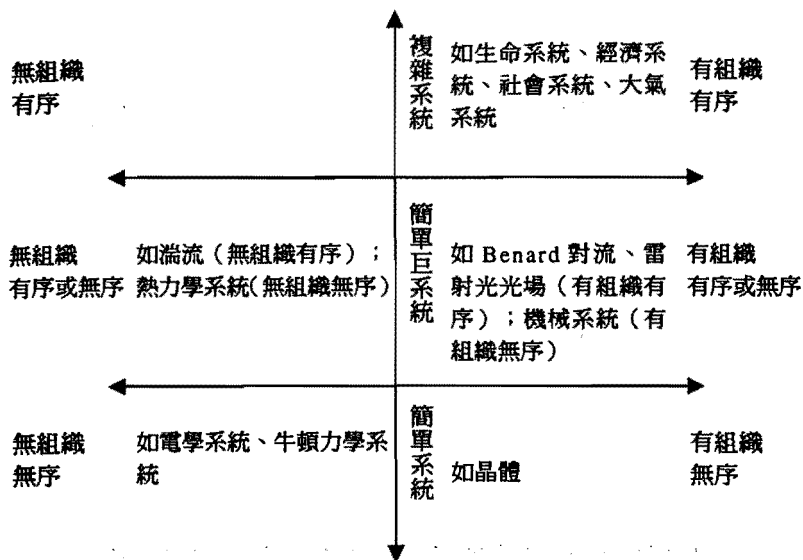


圖 4-1 系統複雜度，微觀尺度組成之間的聯繫程度，以及宏觀結構的動態變化程度

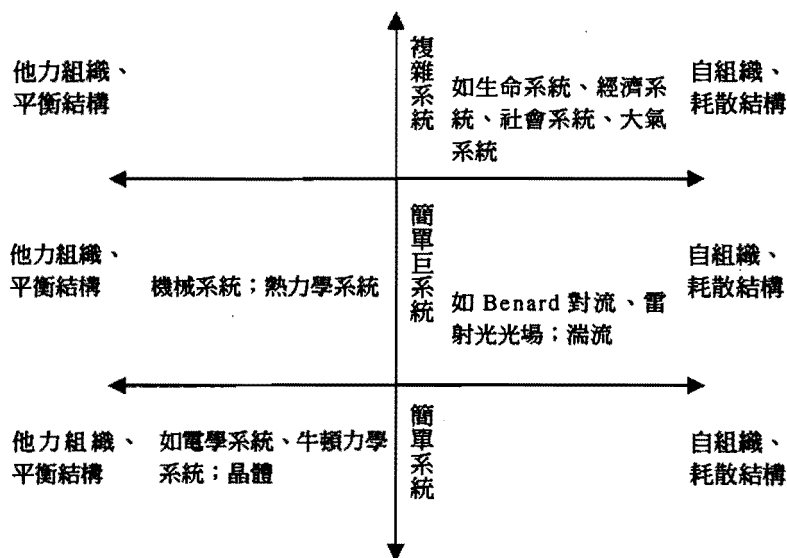


圖 4-2 系統的複雜度，組織形成的起因，以及維持宏觀結構的條件

析，描述研究發現，這些描述應該是在到目前為止存有所說出的他自己的語言範疇裡，因此，人類應該可以在理解這些語言的過程中修正、深化或拓展「對存有的認識」。很明顯地，當前人類需要認識「系統」、「系統典範」、「系統理論」，而能同時探析三者、相互聯繫，將是融通對三者之認識的重要關鍵。「尋求認識上的融通」是「認識」這個存有本身存在與發展的目的，要「精確地掌握」認識對象並不可能，但「持續地融通」對存有的認識，卻可以成為一種「認識」的努力，如此，在「融通」過程中所覺察語言與思維上的限制就可以盡量避免，所建立的有機聯繫就或許為人類對存有的認識帶來突破，這也是本書對「系統典範、系統理論、系統」之認識的期許。

以下第五章、第六章是以本書對「系統典範、系統理論、系統」的認識為基礎，對「統整課程之發展」的再認識，從中建構統整課程發展之「系統分形模式」，並論證統整課程發展理論。

## 第四部

### 對統整課程、課程發展之再認識