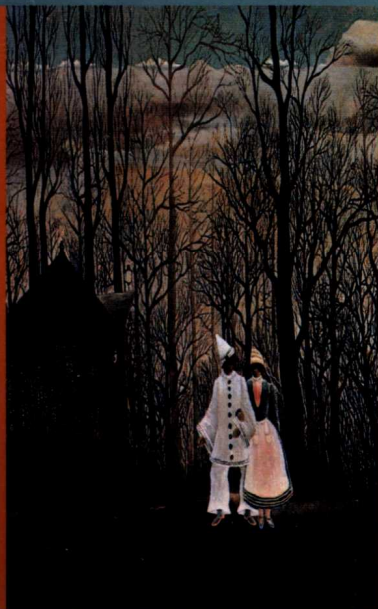


學術著作 ◆ 大專用書

系統動態學

陶在樸 著

五南圖書出版公司 印行



系統動態學

陶 在 樸 著

南華管理學院永續發展研究室專任教授

五南圖書出版公司 印行

1F87
系統動態學

作 者／陶 在 樸

出 版 者／五南圖書出版有限公司

登 記 號：局版台業字第 0598 號

地 址：台北市大安區 106
和平東路二段 339 號 4 樓

電 話：(02)27055066 (代表號)

傳 真：(02)27066100

劃 撥：0106895-3

網 址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：wunan@wunan.com.tw

發 行 人／楊 榮 川

中部門市／五南文化廣場

地 址：台中市中區 400 中山路 2 號

電 話：(04)2260330

製 版／和鑫照相製版有限公司

印 刷／容大印刷事業有限公司

裝 訂／一紘裝訂行

中華民國 88 年 3 月初版一刷

ISBN 957-11-1772-2

基本定價 8 元

(如有缺頁或倒裝，本公司負責換新)

System Dynamics

自序

zaipu

如果說學問是追求原理的東西，那麼原理不外兩則，一則是物與物互動的原理，另一則是事與事互動的原理。前一種原理，我們稱作物理，後一種原理怎樣稱呼呢？我看不妨簡稱為事理。

自有關於自然的學問以來，直到今天，一切大哉之問物理學差不多都給了較完滿的解釋，也許因此之故，才有霍根(J. Horgan)《科學終結》(The End of Science)一書之暢銷。

然而，關於事理的學問，直到今天，仍在朦朧之中。為什麼匯市牽動股市，股市牽動政事？為什麼十年河東，十年河西，今日張氏公司稱雄，明日李氏企業主霸？可以說事理的學問是最零碎的，沒有一家學說可以走南闖北，批發天下。什麼原因呢？因為太複雜，無從產生標準答案。

美國 MIT 的福雷斯特(Jay W. Forrester)教授別出心裁，獨創一套動態模擬的學問試圖突破事理之困難，這門學問就是本書的內容。彼得·聖吉(Peter M. Senge)的書《第五項修練》(The Fifth Discipline)據說賣得很成功，聖吉所謂第五項修練正是本書的各種案例。

我接受 System Dynamics 始於八十年代初，在西柏林工業大學(TU-Berlin)，那時最感興趣的是世界上最大的事理——為什麼經濟成長引誘了一切人？經濟是不知疲勞的永動機嗎？答案從梅多斯(D. L. Meadows)

FWH 1994/10

那裡找到，他是福雷斯特的學生，他作了一個「成長的極限」的世界模型，十分有名，有人當時罵他為新馬爾沙斯主義，可是正是這個「新馬」的世界崩潰模型，使我們今天掀起了永續發展的新思潮。

我講授「系統動態學」已有十多年，包括不同學科背景的研究生，有的學管理(四川科學技術大學企業管理所)，有的學理論經濟(維也納經濟大學國民經濟理論所)，有的學工程(維也納大學)。到了佛光大學南華管理學院之後，為亞太所、出版學所、生死學所開這門課，學生的知識背景大多是人文或社會學科。我實在怕他們缺乏興趣，意外的事發生了，他們不僅有興趣，而且很執著，他們覺得受益良多，遂而決心編一本針對文、社背景學生的教科書，然而，本人所知有限，此其一；時間較短，此其二。所以，書中錯誤難免，仍盼讀者不吝指正。

藉此機會衷心感謝蘇慧敏小姐日以繼夜地為本書打印和編輯，也謝謝支持本書出版的朋友們。

陶石橙

嘉義・南華管理學院・成均館

一九九九年三月

系統動態學 / 陶在樸著. -- 初版. -- 臺北市
：五南，民88
面；公分
參考書目：面
ISBN 957-11-1772-2(平裝)

1. 系統分析

494

88003375

作者簡介

陶在樸，奧地利籍，杭州市出生，畢業於東北大學採礦系，西柏林大學研習系統理論，定居奧地利前曾任廣州中山大學經濟系教授、中國未來研究會系統動力學中心主任、台港澳未來研究中心理事長、中華戰略研究所所長、大陸諸省市經濟發展顧問。也曾任維也納經濟大學國民經濟理論系教授及台灣中華經濟研究院客座研究員，現任佛光大學南華管理學院永續發展研究室專任教授。

主要論著有經濟發展的理論、渾沌理論在社會科學中的應用、經濟列強及國力、政黨競爭之模擬模型以及其他工程學專著。

五南經營管理類書簡目

- 1F01 工業工程與管理黃錦川 著
- 1F20 管理數學楊蓉昌 著
- 1F23 企業研究方法榮泰生 著
- 1F35 作業研究詹弘康、黃遵鉅 譯
- 1F37 商情預測賴明勇 等編著
- 1F38 作業研究高孔康、張緯良 著
- 1F43 品質管理陳耀茂 著
- 1F51 財務管理王文鈞 著
- 1F62 管理數學葉維彰 著
- 1F81 科技管理導論余序江 等著
- 1F83 策略管理蘇哲仁、林家五 譯
- 1F84 現代決策應用與方法分析陳湛勻 著
- 1F85 組織行為學榮泰生 著
- 1F88 人力資源發展與管理張添洲 著

System Dynamics

目錄

zaipu

1. 系統概論	■1
1.1 系統的基本概念	1
1.2 有沒有非系統	3
1.3 系統觀之一：個體與總體的統一	5
1.4 系統觀之二：描述性與規範性統一	10
1.5 系統觀之三：同一性 v.s. 變化	11
1.6 系統觀之四：因果互變性	13
1.7 系統觀之五：目的—方向性與吸引子	15
1.8 系統狀態變數：動態系統變數的解	19
1.9 相空間、吸引子	23
1.10 瞬態、定態、平衡態、穩定態	30
2. 系統的模式化	■35
2.1 模型的概念	35
2.2 模型與系統的關係	36
2.3 模型的實用性	39
2.4 模型構成的要素	42
2.5 模型的邊界和種類	43
2.5.1 模型的邊界	43
2.5.2 模型的種類	44
2.6 兩種主要的預測模型比較	46
2.7 社會經濟系統的特徵	50

2 系統動態學

2.7.1	系統的性能與功效不守恆	50
2.7.2	層次分析	52
2.7.3	時序的規律與分析	54
2.8	模型的侷限性	55

3. 系統動態模型入門 ■61

3.1	系統動態模型之緣起	61
3.2	因果關聯及其回饋環	63
3.2.1	因果關聯	63
3.2.2	因果網路與回饋環	65
3.2.3	回饋環的代數極性	69
3.2.4	回饋環的信息控制	70
3.2.5	回饋環的例子	76
3.3	你的第一個模型	84
3.4	存量與流量的區分	104

4. 圖表函數及外部函數 ■107

4.1	圖表函數	107
4.2	測試函數	115
4.2.1	脈動——PULSE	115
4.2.2	斜坡——RAMP	117
4.2.3	階梯——STEP	118
4.3	數學函數	118
4.3.1	絕對值——ABS	119
4.3.2	導數——DERIVN	119
4.3.3	乘方——EXP(〈expression〉)	120
3.4	整數——INT(〈expression〉)	120

4.3.5	常用對數——LOG10 ($\langle \text{expression} \rangle$)	121
4.3.6	自然對數——LOGN ($\langle \text{expression} \rangle$)	121
4.3.7	極大值——MAX	121
4.3.8	平均值——MEAN	122
4.3.9	平方根——SORT	122
4.3.10	和——SUM	122
4.4	三角函數	122
4.4.1	餘弦波——COSWAVE	123
4.4.2	正弦波——SINWAVE	123
4.5	邏輯函數	123
4.6	統計函數	124
4.6.1	常態分配——NORMAL	124
4.6.2	泊桑分配——POISSON	125
4.6.3	亂數——RANDOM	125
4.7	特殊函數	126
4.7.1	鋸齒循環——COUNTER	126
4.7.2	預測函數——FORCST	127
4.7.3	平滑函數——SMTH	128
4.7.4	趨勢——TREND	131
4.8	財務函數	132
5.	一階系統動態模型	135
5.1	回饋結構的基本概念	135
5.2	正回饋結構的系統特徵	138
5.3	負回饋結構的系統特徵	143
5.4	一端有回饋結構，另一端為常數流量的模型	149
5.5	產生 S 形成長的標準結構	152

6. 二階系統振動模型	■ 171
7. 高階系統與複雜行為	■ 187
7.1 意外行為	187
7.2 過載和崩潰的標準結構	194
7.3 石油資源耗竭模型	198
7.4 鹿群消失的模型	199
7.5 瑪雅文明消失的模型	201
8. 各種典型模型	■ 211
8.1 佛洛伊德心理學模型	211
8.2 《王子復仇記》模型	214
8.3 地質模型	217
8.4 水土流失模型	219
8.5 亞當斯密的資本主義經濟	222
8.6 經濟循環問題	229
8.7 組模型	237
9. 模型的建立與測試	■ 251
9.1 概念構思	251
9.1.1 模型的目的	251
9.1.2 模型行為的參考模式	252
9.1.3 模型的深度與廣度	253
9.2 存量與存量結構	254
9.2.1 存量的意義	254
9.2.2 存量的功能和類型	256
9.2.3 模型的存量結構	258

9.3	流量與流量結構	259
9.3.1	保有和非保有流量	259
9.3.2	單向和雙向流	261
9.3.3	單位相同或單位不同的轉換流	261
9.4	存量與流量的語法涵義	263
9.5	中間變量	264
9.5.1	與存量相關的中間變量	264
9.5.2	與流量相關的中間變量	267
9.6	系統行為的形成結構	269
9.6.1	複利式	269
9.6.2	排水式	270
9.6.3	生產型結構	272
9.6.4	協同流結構	274
9.6.5	由目標調整存量的結構	275
9.7	形成完整結構的回饋環	277
9.8	複雜的基礎結構	279
9.8.1	一階線性系統	279
9.8.2	S型成長	280
9.8.3	過載和崩潰	281
9.8.4	振盪	283
9.8.5	鏈結構	285
9.9	模型測試	287
9.9.1	機械錯誤測試	287
9.9.2	模型的結實性測試	287
9.9.3	敏感性和情景試驗	288
9.9.4	極端條件測試	289
9.9.5	回測	289

1. 系統概論

Introduction to System Theory

1.1 系統的基本概念

「系統」(System) 作為科學的術語或生活的用語，已被廣泛使用，可是究竟何謂系統，至今也沒有人給過令所有其他人滿意的定義。其實 System 這個詞源於希臘文 *sýstēma*，意思是「放在一起」，我們先來看看西方主要辭典的解釋。

德文 Duden 辭典說：「由許多部分組成而又被分割的整體 (Ganzes) 稱為系統。」¹

英文 Webster 大辭典的解釋是：「系統是相互關連形成一個單位或有機整體的事物集合。」²

以上兩種解釋被著名的美國系統學家戈登 (G. Gordon, 1978) 總結為「所謂系統是指互相作用、互相依靠的所有事物，按照某些規律結合起來的總和。」

因為研究系統問題最終以數學工具作為手段，故許多名家對於有關系統定義的描述受到數學思維的深刻影響。例如以建立一般系統理論 (General System Theory) 出名的奧地利學者貝塔朗非 (L. Von Bertalanffy, 1968)，他以數學概念對系統下定義。

Bertalanffy 定義：如果對象集 S 滿足「 S 中至少包含兩個不同對象」以及「 S 中的對象按一定方式相互聯繫在一起」兩個條件，則稱 S 為一個系統，

¹ Duden / Deutsches Universalwörterbuch, Dudenverlag, 1989, Seite 1506

並稱 S 中的對象為系統的元素。

根據貝氏的定義，可以說一個家庭、一個社會、一個國家是符合系統概念的一定系統；一隻鳥、一部機器，乃至一句話都是各具特點的一定系統。

是否利用數學概念才能使系統的定義準確？學界一直存在著爭議。例如 Angyal、Bahn、Phillips 等批評性指出，數學概念並不能在一切情況下表達一個不可分割的整體概念，同時，數學概念容易引導一種過分簡單的方程成為抽象符號的堆積³。其實，貝塔朗非本人並非不知道數學手段的極限性，他認為即使系統思想不能用數學表達，或自始至終只算是一種指導性原則，根本不是數學上的構思，它也具有獨立保持的價值⁴。

那波普德（A. Rapoport）是另一位著名的西方系統科學家，他提出的系統概念是非數學化的，儘管他也大量利用數學模型解釋各種系統現象，他說：「一個系統是世界的一部份，被看成一個單位，儘管內外發生變化，但它仍能保持其獨立性。」⁵

在東方，日本和中國大陸是討論系統概念和利用系統方法最早又最多的國家，但他們也沒有找到系統的更好定義。例如，日本工業標準（JISZ 8121）對系統的定義是：許多組成部分保持有機的秩序，向同一目標行動，這就叫做系統。⁶

在中國大陸，從 1970 年代起，著名的錢學森教授便提出系統科學論，1978 年起錢氏又組織大規模的研究。1981 年他提出「系統學」的設計（圖 1.1），他認為系統科學具有工程技術（包含系統工程、自動化技術、信息技術）與技術科學（包含運籌學⁷、控制學、信息學）兩大層次。

² Webster's/New World College Dictionary, Simon & Schuster, Inc 1996

³ 見 G. Niemeyer; System Simulation, Akademische Verlagsgesellschaft, 1973

⁴ L. Bertalanffy; General System Theory, Braziller, New York, 1968

⁵ A. Rapoport; General System theory, Abacus press, 1986

⁶ 秋山穰，西川智登：系統工程，中譯本，機械工程出版社，1983

⁷ 即 Operation Research

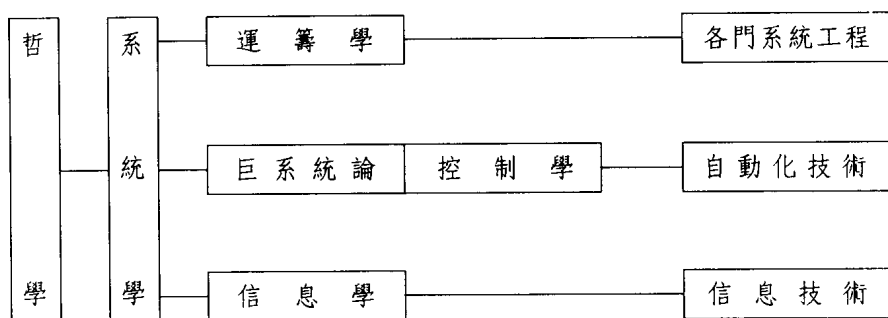


圖 1.1 錢學森的科学分類

資料來源：苗東升，系統科學精要，中國人民大學出版社，1998

但是，錢氏的設計受到許多人的質疑，王雨田（1995）便認為，系統科學作為學科未免缺乏根據，更有人對「系統科學界的泛泛而論」表示擔心，有人批評「系統科學本身並不系統」，甚至認為「系統科學是一個含糊的概念」，十多年的系統研究不過是一場「術語大戰」⁸。

儘管如此，國際學界對中國系統研究的結果仍給予很好的評價，乃因為系統的整體觀原本是中國哲學的特徵，更何況世界上許多微分動力系統的研究均出自中國數學家，而鄧聚龍教授的「灰色系統論」更具備中國人自己的特色。因此國際著名的「協同學」（Synergetics）創始人，德國的哈肯教授（H. Haken）說，中國是充分認識到系統科學巨大重要性的國家之一，並認為「系統科學」的概念是由中國學者較早提出的⁹。

1.2 有沒有非系統

既然很難精確地對系統下定義，也許換一種逆向思考的方式可以打通思

⁸ 見苗東升：系統科學精要 pp.2-10 中國人民大學出版社，1998

⁹ 見哈肯：協同計算機和認知，中譯本序，清華大學出版社，北京，1994

路，有沒有「非系統」的事或物呢？主張系統科學或系統方法獨樹一幟的學者幾乎都斷言，現實世界中恐怕找不出叫做非系統的東西。有人說，一張沒有寫字、沒有作畫的白紙，既無特色也無畫意，沒有符號、沒有表情難道也要冠以系統之名？又有人說，已經死去且被拖走的阿里山神木，孤零零地被冷落了，也要把它稱之為系統嗎？也許還有人說，一堆遺棄的垃圾也稱作系統未免小題大作。

其實不然，事物是否為一非系統並非根據用途、價值，而是依照以下方式予以定義。

非系統之定義：對象集合 S 如果滿足下列條件之一，則我們把 S 叫做「非系統」。

1. S 中只有一個不可再分的對象。

2. S 中的不同對象沒有相互關係。

上面提過的一張白紙、死去的神木以及垃圾都是我們所要研究的對象集合 S 。以白紙為例，雖然這個被研究的對象不具備各種文字或畫筆的集合，但卻是數量龐大的紙分子集合，而且每個不同的紙分子不斷地相互進行著化學、物理的作用，天長日久使紙發黃、變脆。所以從根本上說，白紙是一個系統，並不是非系統；如果我們研究的對象物是紙上的文章、符號，那麼白紙確實是文字符號的空集，在這種意義上，白字是一篇文章的非系統。由此而及，世界上只有相對的非系統，而不存在絕對的非系統。

其實，追溯系統思想的來源，正是來自物質概念的深化與發展。世間萬物都是互相聯繫的，宇宙內不存在絕對游離的物質，因此也就沒有不能構成物質系統的孤立物。一切生物、實體物質都屬於物質系統或實體系統，從最小的基本粒子起到無垠的太空；從最小的細胞開始到最複雜的生命，一切有生命和無生命的自然界都從屬於這個物質系統。

另一方面，那些以信息、思維為研究對象而組成的系統則稱非物質系統，比如語言、規則、密碼、思想等。這種系統中各成分間的關係大多可用數量表達，並可利用邏輯手段進行運算，因而也有人稱為形式系統。

如果研究的對象是行為方式、習慣與道德，那就是一種非物質、非形式