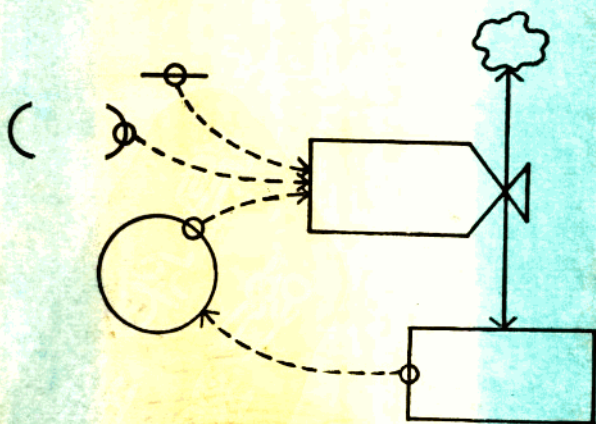


系統動態學方法

劉玉山編著



田 序

劉先生携本書原稿前來，囑為一閱並作序，我欣然從命！

台灣計畫管理的學術水準，近年來確實日新進步，也有不少年青的朋友們回國來參與教育及實務工作。套一句老話「突飛猛進」，已經不是太空泛的描述了！值得注意的是，由於學術界智識的蜕化式發展，社會的一般觀念，與學術水準二者之間的差距與鴻溝，似乎有加大加深的趨勢，這一點是十分值得注意的！

就系統科學一系列的知識而言，上述現象就很明顯。例如，系統分析正是一項十分響亮的學術科目，可是上自政府的決策者，下至大學三、四年級的管理學生，有多少人能真正的了解它的內涵是什麼，限度是什麼？

系統動態學，它的興起與發展只有十餘年的歷史，而在四、五年前國內研究所的學生，已經開始引用它來作為碩士論文的主題了。引入的時差，不能算是太長，但是其引用與為社會重視的程度，則太不能令人滿意。可以說，有不少管理學術界的，或是實務工作的人士，甚至尚沒有聽說過此一名詞，這點是非常令人感覺到詫異的！

自然，著者與我，都不會認為系統動態學是一項破天荒的「發明」；也不會認為捨棄它不用，就無法解決近代管理問題。這門學識，一如其他的管理知識一樣，有其使用限度，也有其缺點。但是，我認為以目前的台灣經濟社會結構而言，這門學識，應能加以推廣，所倡導的技術也應當能為我們現階段的資源調配問

題，提出不少具體的參考意見來！

如果拿O.R.的一般技術與系統動態學方法來作一比較，由於O.R.的重心結構是數學模式，這型模式在寫作之先往往需要大量的數據與資訊，才能使之正確有效。涉及問題的範疇愈廣，數據的累積、整理，與撰取就愈困難。台灣經濟成長的速率太快，因此數據與資訊十分缺乏，台灣O.R.有效的引用至今仍與局限於細節性的問題，原因在此。

系統動態學方法，在基本上是以模擬為主的，模擬與數學推演二者，自技術觀點來看，頗有差異。概略點說，在資料不十分充足的環境下，引用模擬較為合適。更進一步說，就目前台灣電腦技術水準，資訊系統情況，以及政府所面臨的一些迫切問題的範疇而論，系統動態學的方法應當更為切合，更值得在台灣推廣。

既然台灣有此需要，為什麼這門知識却會如此晦澀不為人知呢？我想主要的原因之一是缺乏一本中文書，劉先生默默的作了這項工作，可以說是深得我心！

全稿，我曾在短時間中拜讀過，文筆的流暢，是一般管理書籍所不及的，此外，章節與層次，也安排得十分得體，一般的知識分子，不拘主修那一行，應當都能接受。我認為這是一本頗為值得推廣流行的書。

原稿中，另一值得特別稱述的是都市及人口等例證的完整。劉先生現在行政院經濟設計委員會工作，因此較易於得到一些資料。他能以簡明的陳述，把一些繁複問題的輪廓，加以澄清說明，的確令人欽佩！

我十分希望我國的管理學者以及政府經建決策當局能抽點時間讀一讀這本書，我相信，即使對一位絕少閱讀中文管理書籍的學術工作者而言，這本書也是值得一看的！

田 長 模 六十六年六月九日

自序

系統動態學方法是研究系統動態行為的一種實驗方法，其主要目的在於探討系統的結構 (Organizational Structure)、政策 (Policies) 與時間滯延 (Time Delay) 等如何相互影響系統的成長與穩定。這種方法係於西元一九五六年由麻省理工學院 Alfred P. Sloan 管理學院 Jay W. Forrester 教授所發展出來的，其理論建立於以下四種基石上——(1) 情報回饋控制理論 (Information-feedback Control Theory) 的發展；(2) 決策理論 (Decision-making Theory) 的發展；(3) 模擬法 (Simulation Techniques) 的建立，及(4) 高速數值電算機 (Digital Computer) 的發展等。

系統動態學方法發展至今，雖僅有二十年之歷史，但其對社會、經濟、企業、生物、都市、國家乃至整個世界等系統動態行為之研究，提供一種嶄新的觀念。如最近轟動一時警世之名著——由羅馬俱樂部 (The Club of Rome)、波多馬克協會 (Potomac Association) 與麻省理工學院等合作研究的 *The Limits to Growth* 「成長的極限」一書 (國內有朱岑樓、胡薇麗合譯本，巨流圖書公司印行) 及其技術性研究報告 *Dynamics of Growth in a Finite World*，即應用系統動態學方法作為研究之工具。

本書之目的在於介紹系統動態學方法的原理及應用，在內容上分二篇凡十六章。

1 理論篇——旨在說明系統動態學方法的原理，共十三章：

第一章說明系統的基本觀念；第二章說明系統的動態行為；第三章探討如何以因果關係環來初步描述系統的組織，並舉都市人口及經濟成長環、都市人口及土地使用環等二例說明；第四、五及六章分別說明負回饋環、正回饋環、正負回饋合併環的S形成長結構等，對系統動態行為之影響；第七章說明模型與模擬；第八章探討系統的組織及其結構層次；第九及十章分別說明系統模型之程式、及其如何計算之邏輯、有關之單位名數與單位計算時距，第十一章說明如何以流程圖表示系統各部門之組織；第十二章說明DYNAMO編譯語言與第十三章說明有關之函數等。

2應用篇——根據上篇理論方面之說明，應用於三個不同模型，並分別探討在不同之政策實驗下，如何影響系統的成長與穩定：第十四章為「都市人口與住宅系統模型」；第十五章「企業生產銷售系統模型」與第十六章為「台灣地區綜合開發系統動態模擬模型——人口部門」。前二個模型係以假設的數值輸入，而最後一個模型則以實際資料輸入。

除上述二篇外，為說明如何將系統動態學方法所利用的DYNAMO程式，改寫成FORTRAN程式，以便在一般電算機進行模擬，特於本書附錄一，將第十四章有關都市人口與住宅系統模型之DYNAMO程式，改寫成FORTRAN程式，俾供對照參考。

本書引用之主要參考書籍，臚列如後，俾供讀者參考：

- 1 Jay W. Forrester, *Industrial Dynamics*. (1961)
- 2 Edwin E. Jarman, *Problems in Industrial Dynamics*. (1963)
- 3 Jay W. Forrester, *Principles of Systems*. (1968)
- 4 Jay W. Forrester, *Urban Dynamics*. (1969)

5. Jay W. Forrester, *World Dynamics*. (1971)
6. Michael R. Goodman, *Study Notes in System Dynamics*. (1974)

本書之出版，承蒙國立科學館田館長長模賜序，國立中興大學都市計劃研究所辛主任晚教、國立交通大學科學管理研究所謝副教授長宏及國立政治大學企業管理研究所劉副教授水深等惠賜寶貴意見，暨行政院經濟設計委員會都市規劃處張處長祖璿之指導及全處同仁之鼓勵，至為感激。此外，林光榮兄協助繪製插圖，許富美小姐、蔡培莉小姐、林玉襄小姐及游玉英小姐等協助校對及目次之編排，均極辛勞，謹在此一併深誌感忱。

編者學識淺陋，謬誤之處在所難免，敬祈專家先進暨讀者不吝賜正，是所至幸。

劉玉山 謹序
中華民國六十六年六月

系統動態學方法

目 次

I 理論篇

田 序

自 序

第一章 系 統..... 1

1.1 知識的組織..... 2

1.2 系統——開放與關閉系統..... 3

1.3 回 饋 環..... 5

第二章 動態行為 9

第三章 因果關係環 13

3.1 都市人口及經濟成長環 13

3.2 都市人口及土地使用環 15

第四章 負回饋環 23

4.1 一階負回饋環 23

4.2 二階負回饋環 39

4.3 時間滯延 46

第 五 章	正回饋環	49
5.1	正回饋環	49
5.2	倍 時	53
第 六 章	S 形成長結構	57
第 七 章	模型與模擬	63
7.1	模 型	63
7.2	模擬與數值分析	64
第 八 章	系統與組織	69
8.1	關閉界限	69
8.2	回饋環——系統的構成組件	70
8.3	積準與速率——回饋環內的基本變數	70
8.4	目標、系統情況、差異、行動——速率變數的次組件	72
第 九 章	方程式與計算	75
9.1	計算序列	75
9.2	變數與常數的符號	78
9.3	積準方程式	80
9.4	速率方程式	82
9.5	輔助方程式	83
9.6	常數與起始值方程式	85

第十章	單位名數與單位計算時距	87
10.1	單位名數	87
10.2	單位計算時距	88
第十一章	流程圖	95
第十二章	DYNAMO 編譯語言	101
第十三章	函 數	115
13.1	函數——不含積分性質	116
13.2	函數——含積分性質	126

II 應用篇

第十四章	都市人口與住宅系統模型	143
14.1	模型基本架構	143
14.2	因果關係環	144
14.3	流 程 圖	153
14.4	DYNAMO 程式	162
14.5	模型的動態行為與政策實驗分析	170
14.6	結 語	184
第十五章	生產銷售系統模型	185
15.1	基本模型架構	187
15.2	DYNAMO 程式	188

15.3	初步模擬結果·····	192
15.4	模型改進與政策實驗·····	195
第十六章 台灣地區綜合開發系統動態模擬模型——人口部門····· 203		
16.1	基本模型架構·····	203
16.2	生育率之動態變化·····	207
16.3	死亡率之動態變化·····	212
16.4	起始值與參數之決定·····	217
16.5	人口部門初步模擬結果分析·····	221
16.6	人口部門之政策實驗·····	228
附 錄 一 第十四章都市人口與住宅系統模型		
	FORTRAN 程式·····	257
附 錄 二 第十六章台灣地區綜合開發系統——		
	人口部門DYNAMO程式·····	267
參考書目·····		291
索 引·····		297

系統動態學方法

I 理論篇

第一章 系 統

人類對科學不斷的研究，竭力探討自然系統的奧妙，但儘管如此，主宰系統的行為仍未被廣泛的瞭解。

什麼叫做系統呢？簡單地說，系統（System）是一群組件的集合，這些組件運用在一起以達成一共同的目標。根據它的涵義，我們說汽車是一個系統，因為汽車是一群機件的組合，這些機件工作的結果以提供交通運輸服務；飛機與飛行員亦構成一系統，因為這二個組件配合運用的結果使得飛機在一定的高度飛翔；倉庫與裝卸月台亦構成一系統，因為這二個組件的構成使得貨物可搬到卡車上去。

從上述的飛機與飛行員構成一系統的例子裏，可知系統除實質的東西（飛機）外，也可包括人。例如，搬運工人係為倉庫系統的一個組件；學生為構成學校系統的一個組件。

系統，它遍佈在我們生活的週遭，但是何以系統的觀念却一直沒有很清楚地記載在可見的文獻呢？這是因為我們對於系統的基本性質或基本原理沒有瞭解的必要嗎？或是因為系統本身就沒有什麼原理可談呢？或是因為系統的原理太玄，我們只好躲避它

呢？

在原始的社會裏，所有存在的系統（尤其是指自然系統），不管是系統的本質或它的特性，常常被認為是神聖而不可侵犯，而且認為它是超越人類所能控制或所能理會的。因此，在那個社會裏，人只能調整他們自己來適應週遭的自然系統。此外，也得去適應他們家族或種族的社會系統，而這些社會系統係由逐步演變形成的，並不是經過預先設計而來的。所以，人一直學習著去適應環境（或說系統），而沒有感覺被強迫去瞭解系統。

工業革命以降，系統可說統御著整個工業社會，因為它很明顯地表露在週遭環境裏，如政治混亂、財務恐慌、失業、物價波動等，這是一錯綜複雜的社會系統，而且促成這種系統的行為又是如此混淆不清，以致希望獲得系統的一般原理似乎是一件不容易的事。但是，人類經過如此複雜社會系統的打擊後，不再一味地去適應這社會系統了，而且進一步想去瞭解促成這種系統的行為何在？他們的因果關係怎樣？然後提出如何挽救這種危險的局面。

1.1 知識的組織

如果我們不能很有組織地說明我們所觀察的系統，那麼我們對於這系統的瞭解就很有限。哈佛大學 Jerome S. Bruner 教授說過「抓住某一系統的組織，是瞭解這系統的主要方法……」，正如我們一直用物理學的法則以探討我們所觀察的自然世界，這種物理知識的組織，也就構成今日科學技術的基石。

在社會系統裏，它的組織遠比物理系統、生物系統複雜得多

，而「回饋」(Feedback)原理已成為我們觀察社會系統的組織所不可缺乏的觀念。

本書所將討論的系統原理，即根據回饋原理來組織我們所處的社會系統。

1.2 系統—開放與關閉系統

系統可分成二種，一種是開放系統(Open System)，另一種是關閉系統(Closed System)。

開放系統的最大特點是行為影響系統所產生行動的結果，沒有回饋再影響系統，換言之，這種系統的輸出(Output)沒有影響其輸入(Input)如圖 1.1 所示，這種開放系統並不考慮輸出對其系統本身的績效如何。

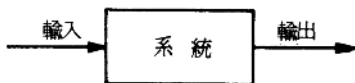


圖 1.1 開放系統

汽車是一種開放系統，因汽車本身無法控制它去過什麼地方，以及未來它要往什麼地方去。手錶也是一種開放系統，因手錶本身無法知道它是否走得準確，而調整快慢。

關閉系統亦稱為回饋系統(Feedback System)，這種系統的特點是具有一關閉環組織，如圖 1.2 所示，由系統的過去行動所產生的結果，再回到系統以控制未來的行動。



圖 1.2 關閉系統

在回饋系統中，控制下一步的行動係基於過去行動的結果。如室內的暖氣系統是由恆溫器所控制，其目的在於維持室內某一適當的溫度，所以它要放出熱量的多少係受室內現有溫度的影響，而形成一回饋系統；手錶及它的主人亦構成一回饋系統，因手錶表示準確的時間，主人看手錶的時間與標準時間相差的多少而予以調整其快慢；又如引擎加上一調速器後，則可調整引擎以獲得既定速度的目標，所以亦為一回饋系統。以上三個例子都說明系統有一追求的目標——如維持室內適當的溫度、使手錶的走時準確及獲得原定速度的目標等，我們稱這種系統為負回饋系統（Negative Feedback System）。另外有一種回饋系統，它並不在於追求某一既定的目標，而這種系統的成長過程，係由前一步的行動的結果，益發生更大的行動，如細菌的繁殖率，再增加更多的細菌，這種系統，我們稱為正回饋系統（Positive Feedback System）。

一個系統是屬於開放系統或關閉系統（回饋系統），並不是基於其系統內在的一群組件的集合，而是根據觀察者對於該系統所持的觀點而定。這句話是什麼意思呢？我們可由考慮一個汽油引擎系統為例，以下列觀察者所持的觀點來決定這個系統為開放

的或關閉的。

這個引擎如不裝調速器，而觀察者就速度調節的觀點來看，這引擎系統係為一開放系統；因此如裝上調速器後，就維持某一固定速度的目標而言，這系統變為一關閉系統。

但是假如這部引擎是屬於割草機的一部份，而觀察者從調整速度的目標移轉到割草的目標，就廣泛的割草這目標來看，割草機是一開放系統，因為它本身並不知道割怎樣的草或下一步應割什麼地方的草。但如割草機加上工人來操作它，就割草的觀點來看，它又變成一追求目標的關閉系統（或負回饋系統）。

又如果割草機與工人這一系統是屬於一服務公司的組件，為滿足客戶需要的觀點來看，割草機與工人屬於一開放系統，因為它並未受到這服務公司管理部門指示其工作的次序。因此，如果再加上管理機構後，經由客戶的需要所得到的指示做為工作的指導方針，適當地安排工作的次序目標，則割草機、工人與服務公司的老板即構成一關閉系統。

1.3 回饋環

回饋環（Feedback Loop）的基本結構如圖 1.3 所示，它是一個關閉的路徑，連接著幾個要素而形成一環路：決策、行動、系統的積準（Level）*、情報，又回到決策的一點。

* Level 表示系統在某一固定時間點的情況，如現在倉庫的存貨有 1000 單位，則在倉庫系統內現在存貨的 Level 為 1000 單位。倉庫的存貨量係由其起始值（起始計算時間的值）如 600 單位，經過一段時間內變量（進貨或出貨）累積的結果，所以 Level 係由起始時間的水平量，經過一段時間變遷的流量累積的結果，故將 Level 譯作「積準」。

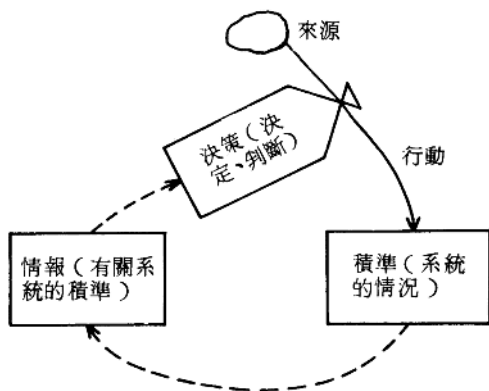


圖 1.3 回饋環

如圖 1.3 中，我們可看出有關系統積準的情報，無論在什麼時間均做為決策的基石。所謂情報 (Information)，如倉庫存貨的盤點記錄單或說明都市人口多少的戶籍資料等，這些情報做為我們在進出貨，以及希望都市人口增減等決策的基本數據。然後根據決策付諸行動；由於行動的結果，又改變了系統的積準，如進貨比出貨多則增加倉庫的存量；遷入的人口比遷出人口多，則增加都市的人數等，這些行動均改變原來倉庫系統的存貨或都市人口系統的人口數。

在這裏有一點必需澄清的，系統的積準與系統的情報兩者的不同，前者是系統真實的情況而後者是表示前者的情報，因此在時間上可能有所滯延 (Delay)。例如我們現在想知道台北市的人口，必須等一年或數個月後經過資料統計的結果才能得到，因此