

科學圖書大庫

模 控 學

譯者 杜清宇

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

模 控 學

譯者 杜清宇

徐氏基金會出版

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同把人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之成就，已超越既往之果積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人有無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本任務。培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如物理、數學、生物、化學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啟發指導，不斷進行訓練。從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啟導後學。旨趣崇高，至足欽佩！

科學圖書是學人們研究、實驗、教學的精華，明確提供科學知識與技術經驗，本具互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的收穫。我國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年所可苛求者。因此，本部編譯出版科學圖書，引進世界科技新知，加速國家建設，實深具積極意義。

本基金會由徐銘信氏捐資創辦，旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利。民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，返國服務者十不得一。另贈國內大學儀器設備，輔助教學頗收成效；然審度衡量，仍嫌未能普及，乃再邀承國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧鐸氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱。「科學圖書大庫」首期擬定二千冊，凡四億言，叢書百種，門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。從事翻譯之學者五百位，於英、德、法、日文中精選最新基本或實

II

用科技名著，譯成中文，編譯校訂，不憚三復。嚴求深入淺出，務期文圖並茂，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，有教無類，效果宏大。賢明學人同鑑及此，毅然自公私兩忙中，撥冗贊助，譯校圖書，心誠言善，悉付履行，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬菲薄，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，報國熱忱，思源固本，僑居特切，至足欽慰！

今科學圖書大庫已出版七百餘冊，都一億八千餘萬言；排印中者，二百餘冊，四千餘萬字。依循編譯、校訂、印刷、發行一貫作業方式進行。就全部複雜過程，精密分析，設計進階，各有工時標準。排版印製之衛星工廠十餘家，直接督導，逐月考評。以專業負責，切求進步。校對人員既重素質，審慎從事，復經譯者最後反覆精校，力求正確無訛。封面設計，納入規範，裝訂注意技術改善。藉技術與分工合作，建立高效率系統，縮短印製期限。節節緊扣，擴大譯校複核機會，不斷改進，日新又新。在翻譯中，亦三百餘冊，七千餘萬字。譯校方式分爲：(1)個別者：譯者具有豐富專門知識，外文能力強，國文造詣深厚，所譯圖書，以較具專門性而可從容出書者屬之。(2)集體分工者：再分爲譯、校二階次，或譯、編、校三階次，譯者各具該科豐富專門之知識，編者除有外文及專門知識外，尚需編輯學驗與我國文字高度修養，校訂者當爲該學門權威學者，因人、時、地諸因素而定。所譯圖書，較大部頭、叢書、或較有時間性者，人事譯務，適切配合，各得其宜。除重質量外，並爭取速度，凡美、德科學名著初版發行半年內，本會譯印之中文本，廢即出書，欲實現此目標，端賴譯校者之大力贊助也。

謹特掬誠呼籲：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者，與從事科學建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者。

主動地精選最新、最佳外文學名著，或個別參與譯校，或聯袂而來譯校叢書，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。祈學人們，共襄盛舉是禱！

譯 者 序

十年前偶然在書店裏，發現一本薄薄的名叫Cybernetics的書。當時毫無所知，翻閱之下，認為是數學一類的書籍，而且牽涉頗廣，遂購回細讀，豈知是此學創始人Wiener所著，其中敘述，錯綜複雜，多半是與人辯論的文章。談到的祇是結論，而無導引的說明。其大意是認為此學在學術上是一門綜合而綱領的學問。集合各科各類，置於同一整個的體系下，用同樣的方則，去處理它們，牽涉之廣，殊非始料所及，除一般自然科學，如物理，化學生物外，包含了統計，情報，回饋，電波，計算機，神經系統，宇宙觀，心理分析，語言表達，社會狀態，經濟情況，以及棋弈賭賽，莫不羅致在內，當時我認為奇說怪論，而又無閒暇追本尋源，仔細推敲，祇好棄之於舊書堆而已。

五十九年春，與范光陵博士閒談時，恰巧看到他收到一本Ashby所著的模控學，當時我就問：「難道這門學問，忽然又走時了嗎？」因為我從看過Wiener原著的書外，經過十年，既未在別處遇到這名詞，也未聽人家說過，以為這門科學，一定是煙銷灰滅了，不會再被別人注意了哩，經范兄談到現在電腦方面，用到模控學原則的地方很多，所以對這門科學研究的，漸漸的增加起來了，後來從范兄處借來一讀，發覺與Wiener所著的目標，完全兩回事，Ashby這本書，完全是啓蒙而寫的，並且是準備給一般對數學與電學無根柢的社會科學學者所讀的，非常淺顯而有秩序，另外每節差不多都附有若干問題，由淺而深，使讀者能以自行思考，按步前進，假如細心的逐章逐節，解答問題，則讀完本書後，一定有一個清晰的印象與了解，嗣後遇到實際繁複龐大的問題時，有所遵循，確是一本好書。

五十九年夏受徐氏基金會委託，代為譯述此書，但以課務繁忙，祇能在寒暑假中執筆，不覺拖延至十月之久，今屆脫稿，出版在即，對范光陵屬望之殷，與徐氏基金會敦促厚意，深致感謝，匆促逐譯，為求達意與連貫，與原文本之語氣前後，輕重，不盡相符，難以字字吻合，其中容或有言不盡意，及說理不週之處，希讀者不吝指教。

民國六十年四月 杜清宇 寫於台北

簡 介

模控學是什麼？原定義是：『對有意識的動物，與無意識的機械，研究他們之間，如何控制，如何聯繫的專門科學』。簡單的說：就是人與物的駕馭術而已。本書乃供有志研究控制原理與聯繫法則之學而寫。

原 序

很多生物學家，生理學家，心理學家，社會學家，現在都希望能用模控學，以解答他們的特殊問題。但他們對模控學的看法，認為是電子學與艱深數學的結晶，望之生畏，祇好放棄。

其實作者認為此觀念，並不準確。模控學之基本原理，非常簡單，並不需要電子學與數學。雖然在高深運用時，有時需要高深數理。但在一般情況下，並非必需，尤其是在生物學方面，祇需用簡單的技巧，即可深切瞭解原理的意義所在。作者的信念：如就已知的普通事實，謹慎的逐步研討，不信祇具有普通數理知識的人們，不能透徹瞭解模控學的基本原理，假如基本原理既然可以明瞭，則對特殊問題，自然知道如何選擇某種必需補充的特殊知識，而其不相干的知識，可以完全略去。

本書目的，即是從普通已知的觀念，逐步演繹，予以證實。然後再引伸至回饋（Feedback），平衡（Stability），調節（Regulation），穩定（Ultrastability），策略（Information），譯碼（Coding），噪音（Noise）等等、其他模控學的細目。本書敘述中，所用數理，全部未超出基本數學之運用，尤其不用微積分。其中說明與舉例，大部份取材於生物學，（避開物理學資料）。作者另一著作“腦神經之設計”與本書看似牽涉極少，可說是個別自成一體系，但實際是兩書關聯甚密，有時互相引證。

本書分作三部分：

第一部份敘述組織（Mechanism）之原理。其中包含：如何處理串變（Transformation）？什麼叫做平衡與回饋？在同一組織內有幾種各個獨立的型式？組織與組織如何結合？引伸此類簡單原則到大而且繁的組織，此種組織通常祇能用統計方法去推測，而模控學可直接計算。（例如，腦神經，社會組態等等）。更可引伸到吾人直接觀念不到的情況。（名之為謎匣原理 Black Box Theory）。

第二部份用以上方法，去瞭解所謂策略（Information）的意義。及如何經過組織而譯成符號（Coded）。運用這種方法去研討生物學上各種問題，並由此顯示模控學的效能，更進而導出桑農（Shannon）定理。（讀完此部份後，方能讀桑農原著，明瞭透徹。）

第三部份敘述組織與策略，對生物系統的調節與控制。現有的生理系統與求得的心理系統，都包括在內。顯示出調節者與控制者的等級不齊，次序複雜，及如何加強調節者的權能。因此對繁複調節系統，建立一項普遍定理的基礎。說明腦神經設計的觀念。一方面指出腦神經具有無上的調節權能，另一方面用此原理可以自行設計與腦神經功能相彷彿的機械。

本書雖為模控學之簡易導論，但並非僅僅空談而已，凡深欲瞭解此學而努力者，進而欲在某方面問題，獲得解決途徑者，本書亦指出其處理方針。故羅致很多容易解答之習題，按其難易排列次序，同時暗示方法，附有答案，祇須學者自己求精求進，可自行測驗所讀各節，以及瞭解之程度，更可訓練讀者之智慧。凡附☆號之習題，均需特殊技巧，始可解決。如因太難，可以省略，接讀下去，對進步不太妨礙。

為檢查方便起見，本書每頁均註明章節，如 S.9/14 即代表第九章第14節。圖表亦然，如圖 9/14/2 即代表九章 14 節之第二圖，至專門用語，則用粗字體示之。

作者對 Michael B. Sporn 深致謝意。因其核校本書各習題之答案也。同樣更感謝 Barnwood House 中諸長官及 G. W. T. H. Fleming 博士之支持，使本書所研究之例證，得以順利進行。本書範圍包括頗廣，但所涉獵者，仍屬少數。譬如本書末章，運用已知原理，例證一病患者，經過處理後，恢復正常機能時，其所用法則之繁複錯綜，已到驚人地步，但作者相信，不久的將來，可能有新的模控學知識，導致新的有效處理，因此類需求，甚為廣濶也。

目 錄

譯序	
第一章 新的學問	1
模控學的特性	1
模控學的應用	3

第一部份 組織

第二章 變	7
串變	8
重複的變	13
第三章 自動機體	20
第四章 有導源的機體	36
並聯系統	42
回饋	46
整個系統內的孤立份子	48
龐大的系統	53
第五章 穩 定	62
騷動	65
部份平衡與全部平衡	70
第六章 謎 匣	73
同模機	79
同型機	86
龐大的謎匣	93
資料不全的謎匣	96

第二部份 變異

第七章 變異量	103
變異	105
束縛	108
束縛的重要	111

VIII

	機體的變異·····	114
第八章	變異的傳遞·····	119
	倒譯·····	120
	系統間的傳遞·····	129
	經過狹道之傳遞·····	130
第九章	不間歇的傳遞·····	137
	馬可連鎖·····	139
	熵·····	147
	噪音·····	156

第三部份 調節與管制

第十章	生理系統之調節·····	165
	生存·····	166
第十一章	需要的變異·····	171
	定律·····	174
	管制·····	179
	幾種不同的面目·····	182
第十二章	為誤差所管制的調節器·····	184
	馬可式機體·····	188
	馬可機的調節·····	193
	決定性的自動調節·····	196
	加強功能·····	199
	賽局與謀略·····	200
第十三章	龐大系統之調節·····	204
	重複的擾亂·····	206
	設計調節器·····	209
	選擇的數量·····	213
	選擇與機械·····	216
第十四章	調節的加強·····	219
	加強器·····	219
	腦之加強·····	222
	智慧之加強·····	223
	索引·····	225

第一章

新的學問

1-1 模控學創始人章納 (Wiener) 給模控學的定義說：「凡動物與機械間，控制與溝通之科學也。」本書簡稱之為駕馭術。有術語如配位 (Coordination)，調節 (Regulation)，控制 (Control)等，都是生物學上最常見而有用之用語。

由模控學去研究組織，完全是一種新的看法，不同於一般的看法。所以在下章之前，必須有此章新的觀念養成，以免新舊混淆，無法瞭解。

1-2 模控學的特性 很多書名稱爲“機械原理”其中都是說明機件的，如槓桿齒輪等等。模控學也談“機械原理”，但不談機械中的機件，祇着重動作的方法。不問“這是什麼東西？”只問“這東西在做什麼？”例如模控學談到“某變數在經過簡諧波動 (Harmonic oscillation)”非常有用。而對轉輪某點在旋轉時的位置，或電路上的電位發動則甚少論及。所以模控學所指的機械原理，乃是作用和行爲，並非構造。

模控學常以每種物理學方法開始，但並不談到物理學的各種定律或是物性。祇談行爲的型態，如“有規律的”“有決定性的”或是“衍生性的” (reproducible)。關於物質方面，則無關重要，同時也不管是否符合物理通常定律。(在S 4-15中例題內說得很清楚。)所以說：「模控學的真理，並不是由其他科學引導而存在的」模控學有他自己的基礎。本書部分的旨意，亦即爲此說明。

1-3 模控學和實體機械(如電子設備，機械設備，神經系統，社會組織等)的關係，很像幾何學和實體空間的關係。過去時期，人們認爲幾何學所指的，不過是三度空間的物體，或是二度空間的圖形。但地球上萬千各種不同形狀的動植礦物，非幾種幾何學上簡單物體，所能賅括，那一時期，可說是普通物類空間包括了幾何學。

今日情況與過去大不相同，幾何學有他自己的權和能。他能準確的，連

續的形容各種圖形與空間，而宇宙間已有的空間中，並無此範例。所以說，今日之幾何學包括了現有的宇宙，而宇宙間事事物物，僅為幾何學中之特例，而宇宙則不能包括幾何學。

幾何學發展的成果，不便詳說，但幾何學主要工作是為所有宇宙間事物尋求他們的位置。然後才能探求他們之間的關係，由此才能加強管制他們的能力。

模控學和實體機械的關係，正與幾何學和實體空間的關係，完全一樣。模控學所討論的是所有可能存在的實體機械，不管是他們是有或無，也不管他們來自自然界，或是來自人類構造。模控學的主要工作乃在將個別機體，排列起來，找出他們間的關係，透徹的明瞭他們。

1-4 模控學有時所討論的機體，吾人並不能找出他們的實例，這一點不足為怪。正如理論物理學（*Mathematical physics*）所討論的體系，而在日常生活中並不存在，例如無質量的彈簧，有質量而無容積的微粒子，氣體漲縮是準確的與溫度成正比，與壓力成反比等等。雖然在現有環境間，吾人無法發現，但用此推論，其成果收效則極大。所以說，這些說法實際不存在是真的，但不能說理論物理學所談的都是荒謬，因為這些假定，在理論物理學家看來，是他們工作過程中所必需。

生物學家知道用同樣原則，去討論兩棲類或其他種類，其詳情會超出現有生活環境或經濟環境之外。

同理，模控學指出某種機體，在普遍原理中甚為重要，而現存的機體，是否有此例證則反不以為重。在精確研究機體與機體間關係後，其結論可用於某幾種科學問題示其特殊功能。

1-5 模控學法則，是綜合性與普遍性的。譬如某組織之處理並不問此時此地應當發生何種現象，而是問應當發生多少種不同可能的現象。

所謂策略原則，亦是綜合而全盤性的，它就是說一種可能狀態的集合（*Set*）。無論原始的資料，與終結的狀態，都應當羅列成集合形式，並非單指某一特殊個體的特殊變化。

新的觀點引出新的問題，譬如一顆精子進入白兔體內，舊的問題是：“為什麼這樣做？”“為什麼不停留於精子狀態？”那末我答出各種原因使牠變，同時也指出能量的來源，如脂肪氧化而生熱能，燐化其酵母素而發生新陳代謝，衍變生兔胎等等。無非以能量變化為其論點。

模控學處理觀點就不同了，凡精子一定具有能量與新陳代謝的能力，它會產生新生的生物，問題是“爲什麼祇變成兔胎，而不變成犬胎，魚胎或龜胎？”模控學羅列多種可能性機會成一集合，比實際情況多得多，然後問何以是這兔胎的狀態，完全爲上述的集合所限制，而能量問題，反不重要，祇知精子必有能量，不管牠是自發的或是由外來的，但重要的是幾種決定性的控制因素。所以沒有顯著機會（Event）的不同，它不會有策略選擇，而使一物變成另一物的決定因素。實際說“模控學是不問能力來源的，祇限於幾種策略選擇的一種研究系統”，所謂系統，乃受策略所限制者也（見9-19）

1-6 模控學的應用 經過上面本學的鳥瞰，應當有舉實例的必要，作者在本書中均取材於生物學，因用生物學來說，比較簡單而普遍，但實例繁多，有些此處可以簡述，有些則留待以後逐步引述，但此時有兩點模控學特性，解說如次：

其中一點，即用單一術語或一群觀念的簡單集合，可以代表廣大而各種不同的系統。例如自動組織（Servo-mechanism）可以說明大腦神經系統。同樣也可說明無人飛機，無線傳播器，自動生產機械，甚至於除蟲機器，雖然大腦神經系統，複雜得多，可是控制的因素，與策略的選擇，完全一致。模控學即是創立一種觀念，使各種大小繁簡，不同類，不同性質的組織，匯歸同一關繫的原則。

自過去科學界種種發明，熟知某一種科學的發現，常影響另一不相干之科學所進一步研究。更進一步，以第二種科學研究發現，又可影響第一種或第三種第四種等科學的發展，因此促成全部科學個體向前邁進，例如微積分之與天文學，病毒（Virus）之與蛋白分子，孢子染色體之與遺傳因素等等。其實某種科學原理或發明，並非另一種科學原理之直接證明，或套用，但幫助其解決某種問題，則效果實廣。詳情見S：6-8，作者要說明的是，機械，神經，社會可視爲一群平行進展的組織，在模控學而言，是可視同一類。所以用同一術語；施於各種不同的組織。

1-7 繁複系統 模控學另一點特性，是針對複雜而重要的系統，提供一種科學處理的法則。就吾人所知，生物界的系統，其複雜情況，即爲其例。

對簡單系統，模控學之法則，和已往人們所知的法則，並不神奇，但處理繁複系統時，其功效就顯出本學的權威。

今日的科學，有些地方，與已往不同，兩百年前，人們所研究的系統，

祇限於個體，或簡單的分組織，一百年前，人們討論原則，對有限系統，祇能“每次變幾個因素”。但此原則對複雜系統就根本行不通。直到 1920 年，費休（Fisher）在農田土壤實驗中，始知每次變換一個因素，不能解決問題。因為每變一因素，常引起其他因素，多數不同的變換，而變動中的諸因素，互相引發，互相再變換絕非用單獨變動一個因素，而能得一單純成果。晚近始用本學，使此類繁複問題，簡單化，標準化，使其趨向於可以解決的途徑。

就目前幾種已知之繁複系統而言，仍然不能完全解決。譬如生物的神經細胞系統，就是難於解決問題之一。本學遂未到這般程度，更何況老辦法的祇變換一個因素。所以直到今日，科學家仍感到有些問題，如變態心理病患者之無法治療；社會風氣之窳敗；經濟系統之徬徨無措等等；知道牠們問題的複雜和困難，就是束手無策。但今日科學，正針對這些問題，加以攻破，本學實居其首要。

模控學處理繁複問題方法之功效，極其顯著。但本學並不是取材於簡單的機械範例，如鬧鐘，自行車等，一般人人皆知的事實，就直覺地，武斷地推測一些非常繁複的系統的變換。本書前幾章，仍然是舉些一般眞理性及原則性簡單定理，但不是說，就直接用於繁複問題，不過在研究繁複系統時，加強牠們基本上廣大運用而已。既不是貿然推測，也不是援例應用。譬如神經系統的作用，不能以已有的範例去推測牠。

模控學提供希望去研究非常繁複困難系統之控制方法。這些已往人們，都認為不可能解決的問題，本學提供了普遍性探討策略，檢定特殊幾個繁複問題的一致性。同時提供主要方法，去對付，心理上的，社會上的，經濟上的，諸般病態，這些病態，正因牠們太複雜，所以使我們屈服，而遭受其害。本書最後部份，雖對繁複問題，有所指示，但不能說是很全美，不過試圖說明此種法則的基礎，而朝着正確方向去做而已。

第一部份

組 織

第二章

變

2-1 模控學基本觀念，是研究“區別”的，兩件事物，有時前後顯然不同，或是其中一件，隨時間逐漸變換，都稱之為“變”。其應用的範圍，暫時不論，容以後幾章慢慢申述。其隨時間而逐漸變換的差不多每樣事物都是一致，例如植物的成長，行星的年齡，機械的運動等等，不過人們不太注意而已，所以對“變”的概念，既要明晰，又得廣博，因為事物清楚的發展是要以人們所熟知的經驗方式，表達出來的。

“變”常是連續性，也就是說，分不清“變”的每一步驟。例如地球運行於太空，日光浴者的皮膚，時間愈久愈黑，在兩段時間內，可分成無數階段，處理這樣問題時，牽涉到數學，所以本書以避免此類艱深數理為原則仍以有限步驟去解釋，猶如銀行內的存款，最小單位：以一元，或一角，或一分起算，兩個最小單位間，不再分割，雖然隨時間變動，是自然現象，而階段的分割是人為的，可是運用起來，方便得多。複雜問題可以準確的，簡易的求得其答案，而無限階段時，常遇無限對無限之比，或是無限加無限，都不能簡易的解答。

從有限個數（discrete）變為連續，可以在圖形上，將個數，畫成點，點與點間距離極近，然後將各點連接起來，即成連續的曲線，所以用有限階段，事實上對處理上並無不便，如差數接近零時，亦即連續。故本書完全用有限階段，或個數，代替無限，使處理時，得到簡單而準確的答案，即或遇到連續情況，亦可用作圖法解答之（S 3-3 中并予說明）。

2-2 有幾個常用術語，先來說明一下，例如皮膚由白變黑，其原因是日光。白膚稱之為受變者（Operand）日光稱之為變因（Operator）；白膚變為黑膚稱之為申變（Transform），可用下圖示之

白膚→黑膚

稱之為轉換（Transition），