

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

赫伯·賽門的《人工科學》經典譯注計畫 (Herbert Simon,
《The Sciences of the Artificial》, 1996)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2420-H-004-006-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立政治大學經濟學系

計畫主持人：陳樹衡

共同主持人：孫麗珠

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 7 日

各位委員鈞鑑：

本計劃由於計劃期間之初版權問題未定，以致無法如期開始進行，至九二年末方接到國科會通知可開始進行。因此目前尚未完成所有報告，此份報告為目前已書寫之部份報告內容，容後再補上最後完整報告。

計畫主持人：陳樹衡

赫伯·賽門的《人工科學》經典譯注計畫 (Herbert
Simon, 《The Sciences of the Artificial》, 1996)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2420 - H - 004 - 006 -

執行期間： 92年 8月 1日至 93年 7月 31日

計畫主持人：陳樹衡

共同主持人：孫麗珠

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：

中 華 民 國 年 月 日

序言：賽門傳承	3
傳承之一：計算智慧.....	4
傳承之二：計算社會科學.....	4
人工科學：從電腦談起.....	6
群集生物智慧.....	8
人工科學：智慧系統.....	9
有限理性 (Bounded Rationality).....	10
人工科學：社會模擬.....	13
計算社會科學現況.....	14
網格運算與 NCeSS.....	14
自然計算.....	15

自從 Herbert Simon 建立人工智慧學門，並將其引用到經濟學的研究以來，人工智慧方法一直就是經濟學中對人的行為在古典理性之外的另一種假設，特別是從七 0 年代的組織理論，到八 0 年代的賽局理論再到九 0 年代的總體經濟學，人工智慧一直就在「有限理性」(Bounded Rationality) 這個方塊中扮演著很活潑的角色。然而，這個趨勢到了九 0 年代年代又因為幾方面學術的進展，顯得更加重要。第一，是實驗方法及心理學方法在經濟模型中的大量使用，並促使實驗經濟學、行為財務學學門的具體成形。第二、實驗室所觀察到的經濟行為又被進一步的在與日俱增的高速能計算中被模擬、驗證、與分析，形成了以代理人為主的計算經濟學 (agent-based computational economics)。第三，則是結合了生物、物理、腦神經學、資訊科學、認知科學、複雜系統等多學門所發展出來的計算智慧 (computational intelligence) 已替代原先依賴數理邏輯為主的古典符號 AI 成為人工智慧中的顯學。在這樣一個多元發展的學術環境下，人工智慧或計算智慧，對二十一世紀的經濟學 (含財務) 的研究將會提供什麼樣的機會，產生什麼樣的影響，以及可以運用的資源有多少，是一個值得在研究大方略上去思索與規劃的問題，而這分好奇正是促使我們寫這本導論的動力。

序言：賽門傳承

對初次接觸 Herbert Simon 這本書的讀者而言，最好心中有一些準備或期待：。這本書將開啟讀者一個跨科際思考的龐大空間。對一個依附在任何單一學科的讀者而言，這個空間的出現是震撼的。對那些深受傳統單一學科刻板教條影響或轄限的人而言，這個空間的出現更是釋放的、自由的。像是從霉氣已深的濕室出來，在陽光中呼吸到鮮活空氣般的鬆弛。

其次一點，讀者應該明白到，Herbert Simon 的這本書，雖然三版是完成在 1996 年，

但是多數的章節已在其一版成形，而它的影響也在這後來的歲月中逐漸浮現。因此，我們此時此刻讀這本書，不僅是讀這本書而已，我們也是在一個具有 Herbert Simon 傳承的學術時代中，來追溯它的首部曲。這個追溯讓我們一方面更能完整地感受到 Simon 思想體系的豐富，也能更有脈絡地看到人工智慧到計算智慧這個領域的發展。譬如說，在第四章中，Simon 用外科醫生診斷的例子來說明在記憶空間中搜尋相似經驗，進而對所接觸的外在訊息，加以歸類，並形成決策基礎的過程。這整套描述不正是今日許多計算智慧的模型所企圖要複製及甚或一般化的嗎？

眾所週知的，Herbert Simon 是人工智慧這個領域的開創者之一。他的學說的建立是從對人類智慧的觀察開始，以此為基礎，為一啟蒙，再進而發展出可以表現人類智慧的人工智慧來。我們讀這本書，正是可以往返於這從人類智慧到人工智慧的上、下游之間。這個來回的通道可能在許多人工智慧的現代講章中，被忽略了。這個忽略可能是因我們視現成之物太理所當然，或是因我們學養有限，無法有寬廣視野。無論何者，這些忽略讓人工智慧變成是一門非常技術性的學門，對很多人而言，生冷艱澀，以為是電腦高手的專利。對學人文的人而言，很容易地就以為它是化外之物，對其不是嗤之以鼻，也是敬而遠之。而以筆者在政治大學開授「人工智慧經濟學」十年的經驗而言，這種漠視感在國內更是普遍。所以，筆者在寫這本導論時，也多少以一種惋惜的心，來希望對這個學門做點補償性的努力。我們認為城市的美，絕對不只因為她的現代建築，其實往往使她成為觀光景點的正是那些被保留下來的古蹟。Herbert Simon 這本書正是將這種古今交錯的美與豐富呈現在他從人類智慧到人工智慧的心路歷程中。

這種想法使我們想寫的不僅是一個導讀，而且是一個有時代意義的導讀。讀者將不僅只是看到賽門本身的思想，而且也是看到他的深遠影響傳承。所以，賽門雖然已經辭世了，但是他所澎湃出的浪花與漣漪卻直至今日。因此，這本導讀也可以廣義地讀為「赫伯賽門的傳承」(the legacy of Herbert Simon)。筆者以自己有限的學養，考慮了有限幾個可以視為他傳承的所在。

傳承之一：計算智慧

首先，這使得這本導讀，也可以當做是一本對「計算智慧」這個領域淺顯的入門書。對那些對計算智慧有興趣，但卻又想太快就一頭栽入到繁瑣技術面的讀者而言，我們提供多方多面直觀性的探討與應用。

傳承之二：計算社會科學

第二、這本導讀也可以當成是一本「計算社會科學」的入門書。誠如前面提到的，國內多數唸社會科學的人普遍忽視計算的重要性，雖然這些情形在經濟學與財務學中要好

上一些，但是對於除了演繹(如數理經濟學、賽局理論)與歸納(如計量經濟學)之外的第三法，即由密西根大學政治學者 Robert Axelrod 所稱之為的「模擬」法，如代理人基計算經濟學(agent-based computational economics)，並不熟悉，甚至還尚未體會出它的必要性來。

Robert Axelrod 在一九九七在義大利山城 Cortona 舉辦的第一屆「社會現象之模擬」(Simulating Social Phenomena)會議中，即指出科學界應會逐漸接受「模擬」為除演繹與歸納之外的科學第三法，並進一步說明模擬與演繹、歸納兩法之間的緊密關係。最精彩的是，他在演說中強調：社會科學的本質就是「social」，而此意指的就人與人的互動，而互動可以是非常高計算量(computational intensive)的活動，因此它的本質就是計算性的，這些討論賦予社會科學的計算屬性。計算社會科學的出現也就順理成章，無需再費唇舌。

社會網路和一般交通網或通信網這些硬體為主的網路最明顯的不同，就是它是無需在外力介入下，會自形演化的。所以，它的現在、過去與未來是怎麼銜接的，本身就是一個值得研究的課題。而當我們從「功能」的觀點來檢視各種社會網路的結構及其動態變遷時，很重要的一點就是它所代表的「計算能力」，也就是說，網路所代表的，其實是某種形式的群集智慧(collective intelligence)。群集智慧的最引人注目的地方，就是它所呈現的「規模報酬遞增」(increasing returns to scale)現象，或是研究複雜系統的人常喜愛用的「綜合效益」(synergy effect)。簡單的說，就是 $1+1>2$ ，總和的效益超過了其所有組件各自效益的和。有關這點，群集生物，像是螞蟻、蜜蜂所展現的集體智慧或是群集生物智慧(swarm intelligence)，便是很好的例子。¹

神經網路(neural networks)是群集智慧另外一個很好的例子。雖然自然科學背景的人都習慣將神經網路所彰顯的「聯結論」(connectionism)，視為主要是來自神經心理學者 Hebb 的貢獻，並公推其為「聯結論之父」。但是學社會科學的人，很多可能並不知道海耶克(Friedrich August von Hayek)在 1952 年的那本著作「The Sensory Order」(感官秩序)，實際上是獨立地又一次地提出了「聯結論」。在這本附標題為「An Inquiry into the Foundations of Theoretical Psychology」(「對理論心理學之基礎的探索」)的書中，海耶克從觀察腦神經複雜的運作中，體認到其與市場運作之關聯，進而闡明訊息在分散式處理系統下的效率。這本書是我們要認識海耶克在「社會主義經濟計算之不可能性」論戰與論述中之重要基礎文獻。

「類神經網路」所彰顯的就是一種透過「平行分散」的計算方式來處理資訊的系統。在使用最為廣泛的「倒傳遞類神經網路」(Back-Propagation Network)中的「倒傳遞」學習，實際上就有著市場經濟中價量透過引申性需求所決定的想法。在這裏，組成類神經網路的各層，由前到後，就彷彿產業中的上、中、下游，而連結它們的網路就將那市場最終需求的變化，逐次從下游傳回到中游及上游，進而完成整個經濟上、中、下游產值結構的

¹ 有關這點，請參閱本書在第 7 節對「群集生物智慧」更深入的討論。

改變，進而完成為了應變所需要的調整。在「倒傳遞」過程，這些改變是藉著象徵著資源配置大小的「權重」來完成。它所運作的意涵，就好比是社會網路中「人際關係」厚薄的變化，相對影響力的變化。

然而和社會網路一樣，類神經網路也會因著需要而調整整個網路的結構或拓撲 (topology)。為了達成更好的績效，網路中的層數會增減，而各層的結點數也會改變，從市場的觀點來看，這象徵著從原料到成品中間加工的過程以及每個過程中協力廠商的數目也都因最終需求的變遷而改變，總而言之，透過這種平行分散處理的方式，類神經網路或社會網路發揮了群集智慧的功能，而完成資源有效分配所需要的計算。隨著時間經過，經濟學家逐漸認識到社會網路中群集智慧所代表的計算能力。這種認識到了 90 年代後葉，就更為深刻而普遍。

赫伯·賽門在他這本書的第一章中便談到了「模擬」在科學中所扮演的角色，他清楚地告訴我們，模擬何以可以成為知識的來源。以國內的社會科學家的學術生涯常軌來看，赫伯·賽門絕對稱得上是一個異數。他拿的是芝加哥大學的政治學博士，做的卻是高度跨領域，並牽涉到大量的計算，他的成就應對許身給社會科學研究的年輕人而言，有的那種「君子不器」的標榜。因此，這本導讀希望把大師的這個傳承也能為大家讀出來，並進而希望拋磚引玉，孕育國內研究計算社會科學的環境。

人工科學：從電腦談起

這本書名為「人工科學」(The Sciences of the Artificial)，顧名思義是講人工世界 (world of artifacts) 的運作法則，一如同自然科學研究的是自然世界的運作規律是一樣的。所以全書的起點就很關鍵地在對「人工」這兩個字的拿捏上。而本書的第一章就在對說明這兩個字的意義。

「人工」或「人造」這兩個字對大多數讀者而言應不需要再做太多說明，因為它幾乎就是我們今日文明的寫照。尚書中的「正德，利用，厚生」已不同程度的被實踐在生活的每一個角落中。風有人工的(電風扇)，水有人工的(人造雨、人造湖)，地有人工的(填海造地)，農產原料有人工的(人造纖維)，進而到人身上的器官也都有人工的(人工關節、人工呼吸器、人工心臟)。在今日舉凡是人工或人造的，不知道佔了一個國家 GDP 中多大的份額。然而，以上的這些人工用詞，雖然也都可以廣泛地被視為本書討論的對象，但其實本書要討論的人工卻很大的一部份是與電腦有關的，這當然包括了資訊科學中「人工智慧」，但也包涵了複雜科學中的「人工生命」(artificial life)與經濟學中的「人工市場」(artificial market)。也就是本書是以電腦做為探索人工科學的基礎，但全書所發展出來的格局，卻不是理工面向，而是有非常濃郁的人文社會科學色彩。

電腦有甚麼特殊的地位可以做為人工科學的基礎呢？就「人工」的意義而言，電腦就是「人工腦」(artificial brain)。²這是因為電腦的前身--計算理論(Computation Theory)—原來就是想要從「計算」這個最基本的行為來了解人的智慧(human intelligence)。因此，計算理論首要的問題就是：甚麼是計算？我們可以計算些甚麼？甚麼是計算的極限？這一系列的探討在 1936 年達到了一個重要的里程碑，即有名的 Church-Turing 學說。在這學說中，一部稱為萬能圖林機器(Universal Turing Machine)的電腦已經問世。只是它還只是紙上的藍圖，還沒有具體的建構。它的目的也不是用來協助我們處理繁瑣的計算。相反的，它的意義完全是抽象的，是理論的。它只是要藉此定義一種所謂的圖林可計算函數(Turing computable functions)的集合，並用此標示出計算的極限。一九八九，美國卡內基梅倫大學的經濟學教授 Steven Spear 就利用圖林可計算性(Turing computability)的概念證明理性預期均衡(rational expectations equilibrium)在一般狀態下是無法學習到的。³所以透過對這個「人工腦」的認識，我們可以間接猜測人腦的極限。這點自然與 Simon 在第二章要鋪陳的有限理性(bounded rationality)是有關聯的。

但是不像後來崛起的類神經網路(artificial neural networks)，圖林機器並不是根據我們對人腦結構的了解設計的，它其中主要的物件——一個無限長、無頭也無尾的讀寫帶，也很難與人腦以腦神經元的結構來比擬。而它的那個讀寫針所展現出的讀、寫、移動、與刪除動作，更無法想像是人類百億個腦神經元所構成的複雜網路下的互動過程。但是這些不像並不排除圖林機器成為「人工腦」的條件。

所以，甚麼是人工腦？我想最簡易的答案就彰顯在圖林自己提出來的「圖林測試」(Turing test)上。這個測試是一個受試者隔著一道幕簾，與幕後的機器互動。受試者並不知道幕後與其互動的究竟是人、還是機器。他所能做的只是靠著一序列的問題來試圖區別。如果在一連串「會話」之後，受試者仍無法確定幕後與其交談者究竟是人，還是機器，則我們便說該機器的仿真行為已通過了圖林測試。

所以從這個例子，我們可以看出「人工腦」的表現主要視其模仿能力：究竟它在表現出來的行為上像不像？至於它的設計是否是照著腦的組織結構而來，則並不是絕對必要的。這點原則也一樣應用在今天盛行的實驗經濟學(experimental economics)中。加拿大 Simon Fraser 大學的 Jasmina Arifovic 是最早用遺傳演算法(genetic algorithms)來建構「人工廠商」(artificial firms)，並進而將其所產生的總合價量行為拿來與真人實驗結果比較的經濟學家。她在一九九四年發表在 Journal of Economic Dynamics and Control 便以人工市場產生的行為與實驗市場相近而認為遺傳演算法可以用做「人工調適性決策者」(artificial adaptive agent)的調適性模型。在這裏，Arifovic 並沒有天真地認為遺傳演算法就是真實決策者的行為。

² 我曾多次與大陸學者有機會觸及到「computer」一詞的翻譯來。他們咸認為大陸的譯詞「計算機」太窄，無法表現出它真正的精髓，而在這方面，他們一致認為台灣這邊的譯詞「電腦」顯然是高明地多。

³ 有關計算理論在經濟學上後序的發展，比較有系統的介紹可參考

其次，雖然是仿真，但也不排除可以有其它更一般化、或更延伸性的企圖。這也會使人工的設計脫離真實的狀態而發展。「人工腦」不就是如此。它在很多地方，如自然語言上，雖然無法與人的智慧行為抗衡，但無庸置疑的是它的計算速度是遠超過人類的，伴隨它龐大的記憶量，更使得它在像下棋這樣的競賽中，幾乎是所向無敵。從這點觀察晚近一些計算智慧的發展也是如此。⁴

群集生物智慧

譬如說，螞蟻演算法雖然是受到昆蟲學中對螞蟻研究的啟蒙，但是螞蟻演算法中的螞蟻已大大不像真正的螞蟻。因為真正的螞蟻是有嚴重視障的，但是在計算智慧中的螞蟻，不僅可以看得見，而且可以看得遠。在記憶的能力上可能也比真實螞蟻了強了很多。而做為精髓真正保留在螞蟻演算法中的是那費洛蒙(pheromone)的機制。昆蟲學家對螞蟻的研究發現，嚴重視障而又只有二度空間感的螞蟻，竟然可以「三個臭皮匠」的群體智慧找到覓食的最短捷徑，其中一項關鍵因素就是從它們身上分泌的費洛蒙。因此，被啟蒙的螞蟻演算法便將這個核心機制(essence)萃取出來，置入後來建構的數學與計算模型中。至於剩下其它無關宏旨的螞蟻細節，自然大可不必墨守成規，而完全可依使用需要，定義不同類型的「人工螞蟻」。

當螞蟻算法學者用電腦來模擬螞蟻的群體智慧行為時，電腦的意義已不再是狹義的「人工腦」，它已經不再只限於對人類的智慧化行為的了解而已。事實上，「群集生物智慧」(swarm intelligence) 從九〇年代初期興起到本世紀初已成為計算智慧中的一隻主力。這個學門的興起，已大大地將我們長年來對智慧化行為的研究從「人」的焦點轉移到更一般性生物的觀點。在這裏，人工智慧已廣泛普遍地相應於自然智慧，「人」只是其中的一部份，而且也不再限制是「個人」，更多更有趣的研究實際上是以「群體」為主。這種疆界的擴展，無疑是更適合於社會科學本質的。譬如說，從組織、社會網路、到市場經濟，從亞當斯密那隻看不見的手到海耶克假說，都更容易地在這樣一個更廣義的人工智慧框架中來深入思考與研究。⁵

然而，疆界不管怎麼樣的遷移，「智慧」及「智慧行為」仍是研究的重心。而電腦在這裏便提供我們來思問、設計、模擬與測試這個課題的工具。因為令賽門長年來感興趣的課題，都與智慧有關，這就一點都不訝異訝，他的人工科學實際上就是以人工智慧及其相

⁴計算智慧是從我們在自然界中所觀察到的智慧化行為中，去研究它背後的運作機制(mechanism)，進而將這機制表現成數學模式。然而，這些數學模式多數都無法以解的方法來執行其運作，因此還要再賦予它們可以執行其計算的演算程式，而這就稱之為計算智慧。這些自然界中的智慧化行為涵蓋了很廣的層面。其中影響較為深遠的，有從人類使用自然語言溝通所啟蒙的模糊邏輯(fuzzy logic)，有由對腦神經研究所啟蒙的類神經網路，及有由對生物演化了解所啟蒙的演化性計算(evolutionary computation)。

⁵ 赫伯·賽門在書中第二章所引用的 Gode and Sunder (1993)的一篇研究，便是最好的一個例子。

關課題為中心，幅射而出的。

人工科學：智慧系統

也許對「智慧」存在很多種不同的定義，但晚近在許多學科的討論中，幾乎都非常重視「調適」(adaptation)這兩個字，經濟學就是一個很好的例子。在政大「人工智慧經濟學」的講章，我習慣地會羅列兩篇文章在這個課題上。其中一篇是 1987 年諾貝爾獎經濟學得主的 Robert Lucas，他在一個 1986 年由一群心理學家與經濟學家所組成的一個對話性的會議中，發表了一篇題名為「Adaptive Behavior and Economic Theory」的文章，在那裏，他對調適性經濟決策者(adaptive economic agents)的意涵做了一個輪廓性的描述，但是並沒有提到實際上操作的技术細節，而也因此在這方面對經濟學沒有產生甚麼巨體的影響。

直到 1991 年，密西根大學的 John Holland 與卡內基·梅倫大學的 John Miller 在「美國經濟評論」(American Economic Review) 上聯合發表了一篇題名就稱為「人工調適性經濟決策者」(artificial adaptive economic agents)的文章後，有關如何設計並應用「調適性經濟決策者」在經濟模型中的研究，才像雨後春筍般的出現。⁶在這篇文章中，作者建議用遺傳演算法做為「人工」設計調適性經濟決策者的工具。而遺傳演算法正是作者之一的 John Holland 在密西根大學花了他十年以上累積的研究，才嘔泣瀝血完成的大作。

John Holland 與赫伯·賽門雖然是一個從典型的理工資料的背景入門，一個從典型的政治管理入門，但兩人竟然在對「電腦」的真正涵義上，有著極其類似之處：**就是他們共同都不將電腦視為只是用來計算的盒子**，而正如我們在前一節講的，他們都將電腦視為是探索智慧及智慧化行為的鎖鑰。John Holland 從人工智慧的觀點，並延續著圖林測試的精神，不斷思索著甚麼是我們應該可以期待於電腦的。受到生物資料鼻祖 Von Neumann 的啟蒙，Holland 很早就將用生物的觀點來思考電腦，游走在「自然世界」與「人工世界」之間。

而他著名的遺傳演算法就是這「游走」後的成果。在資料史上，他首先提出了電腦程式自我演化的想法。這個想法可以分為兩個層次來講。首先，比較基礎一點的是，他認為如果我們要使電腦能夠成功的模擬人的智慧與智慧化行為，那它的角色必須從被動地只是執行「人腦」所想出來的程式。提昇到能夠主動地「寫出」可解決問題的程式來。舉個例子來說，如果天文學 Kepler 在長久觀察天文資料後，能夠提出他的 Kepler 定律。那麼，我們在輸入電腦相當數量的資料，這個號稱用來模仿人類智慧的「人工腦」是不是也有本事來「寫出」Kepler 定律呢？

⁶上面我們提到的加拿大經濟學家 Arifovic 的作品就是這個發展下的一例。

當然羅馬不是一天造成的，Kepler 總夠搞了十年才確立了他的定律，其中當然包涵了他對之前一些錯誤的修正。而我們的「人工腦」也未必一蹴可及，跟我們「人腦」一樣，它也會像在「迷宮」轉來轉去，最後才雲過天青，恍然知悟。在之間，它的「垃圾堆」當中，可能有成堆試過卻行不通的程式，在改來改去之後，才終於改出了那「欽定」的版本。這就是 John Holland 想法中比較進階的層次，即演化。「人工腦」不僅要能自己寫程式，而且可以不斷「修正」或「翻新」，一直到它找到最正確或最好的版本之前。而 Holland 就是利用遺傳演算法來描述這個「修正」或「翻新」的過程，而這一步也成為他後來所提出之「人工調適性經濟決策者」的基礎。這項工作可以他的「Adaptation in Natural and Artificial Systems」一書之出版而告一段落。

John Holland 與賽門在學術上的傳承，更多是反映在他之後所進行的工作上。賽門早年在專家系統 (expert systems) 上的工作，很早就吸引了 John Holland 的注意。Holland 所關心的仍是這專家系統上的「調適」問題。早年的專家系統，可以視為「古典 AI」的典型代表。它利用電腦對大量專業知識與經驗的儲存，可以在某種知識領域上，回答我們可能會像專家請教的問題。但是這種系統並不像專家一樣，會學習、會發現新知，也就是它們沒有甚麼創造力。而 Holland 感興趣，正是如何使這種系統不只是「背誦」，不只是處理繁索的「符號與邏輯演算」，而能夠有調適的能力。所以，在這裏我們又再一次的看出：調適力將機械行為中的智慧行為區別出來。

「智慧系統」(intelligent systems) 身為一個「人造物」便是將與調適力有關的元件 (components) 「植入」，使這些元件在整個「組織」運作下，可以展現出系統對應外在環境變遷下的適應力來。至於這些所需的元件是甚74？又是甚74樣的組織方式，則正是赫伯·賽門所謂「人工科學」研究的重點，也是他這本書花很大篇幅要討論的課題。而這個起點，正是從「經濟學」，也就是本書的第二章開始。

有限理性 (Bounded Rationality)

第二章的章名是有「有限理性」，它還帶著一個附標題，英文是「Adaptive Artifice」，直翻也許困難些，但是更貼切地譯，它可以直接譯成前面我們已經略有討論的「人工調適性決策者」(adaptive artificial agents)。從「人工科學」的角度出發，賽門認為傳統新古典經濟模型把行為人 (agents) 常想的太「聰明」，聰明到一個程度，他們已不像「自然世界」中血肉之軀的我們，這些行為人比起設計他們的主人，還要聰明，調適或學習在他們身上全是多餘的。⁷為了解決這之間過大的歧異，或縮短這兩造世界的距離，西門認為「有限理

⁷ 有關這點，我們前面的確提到，除了「模仿」以外，人工世界的產物為了服務人的需要，的確不必要一定拘泥在「肉身」的限制，它可以在某些方面做得比它在「自然世界」中的對應更好，這點在諸多工程上的應用都是說的通的。但是經濟學或一般社會科學所關心的是由諸多個人行為互動而成社會的或集體現象，因此除非我們所觀察的集體行為與個人行為無關，以上的限制，可以放寬到甚74程度，不定毫無顧忌的，造一點，

性」是我們做模型(「人工世界」)的人，所該有的概念。讓我們延續前面第一章導讀的作法，也從「賽門傳承」這個更寬廣的框架來看這一章。

「有限理性」幾乎可以說是在檢視經濟學從 1980 年代以來至今在理論基礎發展上影響範圍最大，程度最深的一個觀念。學術背景上而言，這個觀念可以視為對 60 年代誕生到 70 年代崛起的「理性預期」(rational expectations)或「理性預期革命」的一種反省。然而，從「人工世界」的觀點來講，這其實正是經濟學更深入地走向「人工科學」的一步。這點可以從理性預期總體經濟學大師 Thomas Sargent 在 1993 年所出版的 *Bounded Rationality in Macroeconomics* 一書，找到很好的說明。

Thomas Sargent 在「賽門傳承」的影響下，對「有限理性」賦予了一個操作性的定義。Sargent 認為所謂「有限理性」就是要使我們經濟模型內的決策者其行為表現得像「計量經濟學家」一樣，他們並不知道有關整個週遭環境的全部知識。他們或許知道結構為何，但並不知道結構中某些的參數值，或更有甚者，他們連結構也摸不著頭緒。因此，他們只能依賴「歸納式學習」(inductive learning)去從有限的觀察中，去「推估」(estimate)那些未知的參數或結構，用的方法，可以是以「古典統計」(classical statistics)或「貝氏統計」(Bayesian statistics)為基礎的正統計量方法，但也可以是一些務實，但不一定有甚麼紮實基礎的人工智慧方法。有關人工智慧⁸。不管是何種類型的計量經濟學家，當 Sargent 用這種定義來運作有限理性的概念時，他已經是從「自然世界」的行為人中去建構在「人工世界」中合適的對應了。

Sargent 在他自己的這本書中，雖然提到了以上三種類型的計量經濟學家，但是他整本書的創新之處正是在以大量篇幅來介紹人工智慧方法及其應用，其中包括了計算智慧兩支主要的領域：遺傳演算法與神經網路。這本書也是本人所知道的第一本將人工智慧題材引入到總體經濟的專書，也是開了人工智慧方法在總體經濟應用之先河。

而解碼問題用來表現甚麼呢？觀念取得(concept attainment)的實驗，可以視為一非監督學習(unsupervised learning)的例子。而在對這個實驗的說明過程中，我們卻可以見到粗糙集合(rough set)所扮演的角色。在這裏，我們看到粗糙集合變成是一個比機率論更自然、更基本的學習與模索工具。人可能對於特徵相互之間的一致性或矛盾性，較它們之間的或然性有更慣常的注意與反應。這個特質可能並不因是否有過機率論的洗滌而有明顯的改變。

在對觀念取得的實驗中，Simon 也注意到決策支援系統(decision support system)的重要性。事實上，他所看到的還更為基本：紙與筆。他點出這些基本工具都缺乏時，人

我們在本書的其它地方，還要反覆來看。

⁸ Sargent 在這裏還特別具體的提到「機器學習」(machine learning)這個名詞

的心算能力將因記憶的限制，而更加局限，也進而影響到學習的速度。Simon 的這個觀察對實驗經濟學家應該有一定程度的提醒。其實，實驗經濟學家也確實注意到一些這方面的問題，而在實驗設計中予以適當的處理，如大量使用電腦教室來做實驗，就已有這方面的防範。然而，對於決策支援系統在實驗經濟學中所扮演的角色與功能，仍缺乏比較一般性與系統性的研究。Chen and Tai (2004) 似乎是目前唯一一篇在方面有較深入探討的文獻。

從對紙、筆這些工具的付之闕如中，賽門也間接點明了有限理性的必要性：即使是從事後看起來很簡單的策略或法則，行為人也不見得能很快的便自我摸索出來，除非他們被提供適足的計算環境。

第四章的焦點在記憶 (memory)。賽門討論了幾個與記憶有關的面向，包涵了記憶的容量、速度、與保存記憶的形式。值得注意的是，他所觸及到的每一點都成為當今人工智慧或資訊科學的一個重要面向。賽門特別注意到記憶容量與記憶形式之間的關係，他指出記憶形式將可能有效地改變記憶的容量。所以，雖然說人的腦容量有一定的尺寸，但是他們儲存資料特定的形式，或許使得在有限空間中可以儲存的記憶卻是相當龐大的。

有關對記憶形式的問題，Simon 已經看到壓縮扮演的角色。這個壓縮是透過記憶儲存以一種列狀結構 (list structures) 的方式而形成。在這種列狀結構中，一筆一筆的資料是聯繫在許多關係 (relation) 上的。這種關係可以想像成一個複雜的網路⁹，它的存在使我們可以有效地壓縮資料。

這些對記憶行為的看法，幫助賽門建立了一個本章的中心思想，即簡單 (simplicity)。完整一點的說，賽門認為人的思考行為並不會因著外在環境的複雜而跟著複雜。然而，由於賽門並沒有引用任何對複雜度 (complexity) 的定義，因此對他所提出的這個核心議題，我們只能企圖將其揣測後，而用一些比較有些技術意涵的觀念來檢視它。

賽門在第四章不斷以「壓縮檔」的形式來看人的記憶。他甚至用這種觀點來看科學理論的發展，亦即重大的科學進展往往產生更有「威力」，更有涵蓋性的理論與原則 使得許多觀察都在這個「如來佛的手掌心」中。¹⁰如此般，當我們用其「解壓縮」時，它就能夠還原出大量原始資料來。這個想法很適合於用 John Holland 的砌磚 (building block) 來看，也許可以更具體地用 John Koza 遺傳規劃中的自我定義函數 (automatic defined function) 來表現。

當 Koza 在一九九四年提出他的 ADF (亦即 automatic defined function 之縮寫) 時，他的原始觸動之一，就是希望可以透過 ADF 將原本龐大複雜的程式做相當程度的簡

⁹ 或是認知圖 (cognitive map)。

¹⁰ 有關這點，我們僅引用他在九十二頁的一段話：There is a constant competition between the elaboration of knowledge and its compression into more parsimonious form by theories.

化。其實，說穿了，這只是個用複合函數或函數呼叫函數來重新表現函數的想法。被呼叫的函數就可看做是一個 Holland 世間中的一塊砌磚。從程式撰寫的眼光來看，這種呼叫就是把一些子程式(subroutines)納入主程式中，如此而來，主程式的長度將因此而縮短。而這些子程式便扮演著砌磚的角色。總而言之，以上的想法都不外乎是用砌磚來簡化或壓縮原有的複雜表現。

人工科學：社會模擬

雖然經濟學以大量的使用數量方法而著名，但是從「人工科學」的眼光來看，過往的數量經濟學並不處理社會模擬(social simulation)這樣的題材，因為經濟學的發展方法基本上是「由上而下」(top down)的。Robert Axelrod 所提的那種「社會應對」(social)中所牽涉的互動，在大多數經濟學門中是被忽略的，除了賽局理論(game theory)之外。所以，雖然總體經濟學從七零年代末期，就非常強調總體之「個體基礎」(micro foundation)，並認為爾後之總體現象必由這個個體的「加總」(aggregation)而得之，但是這個「加總」只是「線性加總」(linear scaling-up)，具有「互動」色彩的非線性加總，基本上在「同質性」的假設下，用「人同此心，心同此理」的方法，而簡化掉了。最後的結果造成總體經濟學並非得它的個體基礎，而是被個體所淹沒與替代了，正如其名的，就是那個所謂的「代表性個人」(representative agent)。我們當研究生時代所唸的總體經濟學，無非是在講整個國家經濟無非是這個「代表性個人」在追求她「最適化」下的結果罷了。

這個「最適化」讓經濟學十足地變成了一支「應用數學」，在七零到八零年代間，三支「最適化」求解的數學工具進入到經濟分析中，成為它的骨幹。這三支分別定變分學(calculus of variation)，最適控制(optimal control)與動態規劃(dynamic programming)。這些工具讓經濟學家可以盡性地來「打扮」他們心目中那位十足理性的代表性個人。在這套機械裝備下，這位代表性個人有「深謀遠慮」，也會「生涯規劃」，她未來每期該儲蓄多少，消費多少，該工作多長，休閒多長，該受教有多長，該如何投資已在今天都已決定了。以後，只是照表操課，拿出口袋裏的計劃來，付出執行就是了。那些過去曾經在人類歷史上出現過的數家，如 Euler, Potriyagi, 及 Bellman，可能都無法想像他們對人類的貢獻有這麼大。問題是有多少受教的經濟系學生好好想過「生涯規劃」是否可以放在「彈道」與「火箭軌道」那樣的環境中來進行。

賽門在他書的第一章，就巧妙地提到「作業研究」與「人工智慧」兩種方法在解決問題的差別。2004年十月二十六日，我在韓國釜山參加「第五屆模擬演化與學習(Simulated Evolution and Learning, SEAL)」的會議，會議的第一場主題講演是由來自伯明罕大學的姚新(Xin Yao)教授演講，姚教授講演演化計算究竟有甚麼優點，我剎那之間感受到這個內容

是這麼熟悉，賽門傳承出現在了釜山。賽門認為「作業研究」的優點在於它的嚴謹，精確，但相對地，它的限制是大的，為了要使它能夠為我們服務，我們可能犯上一點「削足適履」的毛病，讓問題來遷就工具，簡化問題，以致於人生的問題也不過一個導航或彈道的問題。

如同對其它先進科技的使用一樣，經濟學家總是走在其它社會學科的前面一樣，社會模擬也不例外。早在一九九六年三月，本人在美國加州聖地牙哥參加「第五屆演化規劃 (Evolutionary Programming)」會議時，遇上了愛荷華州立大學的經濟學教授 Leigh Tesfatsion，當時，她也正在苦思，如何為這個新興的研究領域命名，記得我們在一起用晚餐時，她就問我有關「代理人基計算經濟學」(agent-based computational economics)這個名字如何？很快的，她不僅用了這個名字，而且還為這個學門建了一個網站。

計算社會科學現況

世界各先進國家目前都陸續開始重視對計算社會科學的研究，在這節中我們將對此做一個整體性的簡介。我們將依學術研究中心，學術會議及期刊這三個層面，並依國家的順序來說明。

網格運算與 NCeSS

英國在經濟及社會研究委立員會(Economic and Social Research Council, 簡稱 ESRC)的支持下，在 2004 年成了國家級的 E 化社會科學研究中心(National Center for eSocial Science, 簡稱 NCeSS)。該中心成立的主要是想要了解在網格運算(grid computing)時代下，社會科學研究可能受到的影響，以及其可扮演的角色。

網格運算已被視為資訊科技革命下一波，它的概念可視為是網際網路的自然延伸。它的出現是為了處理複雜且資料量龐大的科學運算，主要的精神是將分散在不同地理位置的電腦組織成一個"虛擬的超級電腦"，其中每一台參與計算的電腦就是一個"節點"，而整個計算是由成千上萬個節點組成的網格共同合力完成。這樣做的背後，有一個「資源共享，分進合擊」的崇高想法：社會需要某些技術，好讓分散在各處的決策者，能透過某種可控制且管理良好的途徑，可以自我組織成某種具有規範的虛擬組織，以實現計算資源、存儲資源、資料資源、資訊資源、知識資源的全面共用。這是進一步落實「資訊」中「公共財」特徵的行動。

透過網格運算，我們能充分利用網上的閒置處理能力，結合網路上分散的電腦資源、儲存裝置及其他資源，來處理需要巨量運算資源的龐大問題，如生物資訊計算上的問題：基因解碼，疫苗、製藥、腫瘤等。使用者可以運用現有的伺服器、工作站、甚至是個人電腦，有效率的建立一個虛擬超級電腦，完全不必改變機器上所執行的軟體或現有設定。

很有趣的是網格運算的創始人之一的美國阿崗國家實驗室的數學及電腦科學部門副主任 Ian Foster 當初產生這個偉大構想的背後動機即是如何以運算工具來提昇人的智力。我們在稍早的地方曾經提到「群集生物智慧」及「演化計算」，這些技術本質都有「叢集計算」及「平行及分散式計算」的概念，而它們運作的過程其實所體現的也正就是「計算資源、存儲資源、資料資源、資訊資源、知識資源的分享使用」。¹¹

當然，這之間也存在一些差別，主要的地方在「網格運算」所定義的「社群」是開放而機動的，而一般「群集生物智慧」或「演化計算」所定義的「社群」是比較封閉的。

自然計算

New Mathematics and Natural Computing 是國際出版商 World Scientific 在 2005 年即將推出的新期刊，這也是國際學術界第二部以「自然計算」(natural computing)命名的期刊。¹²自然計算可以從兩個角度來看，第一個是將自然現象視為是一個計算現象，這個範疇當然包涵了社會現象或社會計算在內，諸如在六〇年代哈佛大學經濟學教授 Richard Goodwin 將市場動態視為一部計算機器一樣。第二個是將從自然現象中得到的啟發運用在我們人所設計的計算上，一般也稱為 nature-inspired computing

第二個其實是伴隨著第一個而來的，也就是當我們將自然現象以「計算」的框架來思考時，它其實就擴展了我們原有對計算的認識，那些襯托出「自然現象計算」背後的機制就提供了輔助我們在設計計算上的靈感。例如從認識「市場」是一個計算機器後，我們所萃取的機制經「人工化」後就變成了後來所謂的「以市場為基礎的計算」(market-based computation)。同樣的道理，當我們將生物的遺傳、演化用計算的框架來思考時，我們從其中所萃取的機制，諸如交配、突變就構成了後來的演化計算。其它不勝枚舉的例子還包括由分子生物學所啟蒙的「分子計算」(molecular computing)，量子力學啟蒙的「量子計算」(quantum computing)，腦神經科學所啟蒙的「神經網路」等。

所以，自然現象舉凡生命現象，生物、化學、物理、乃至社會現象都在計算科學這個不斷擴展的平台中而融合了。今後，我們仍將目睹在「計算科學」(人工計算)中的計算

¹¹ 其實，我們可以「網格運算」的實現來重新檢視「演化計算」的社會意義 (social meaning)。

¹² 第一部是 Kluwer 在 2001 年起開始發行的期刊“Natural Computing”。國際學術間以 natural computing 命名的研究中心有荷蘭的 Leiden Center for Natural Computing，其網址是 <http://www.lcnc.nl/index.html>

與自然計算」中的計算不斷地交互影響而豐富茁壯的過程。而本期刊就是為觀賞這一重大發展趨勢所搭建的舞台。我們誠摯歡迎您的投稿，投稿的訊息可參考期刊網站

<http://www.worldscinet.com/nmnc.html> 。

政治大學人工智慧經濟學研究中心特別負責該期刊中有關自然計算中人文與社會科學這一塊，舉凡經濟、財務、管理、組織、科技演化、政治、國家安全、考古、人類、人口、社會網路、心理、語言都是我們歡迎投稿的領域，其它有關資訊可參見人工智慧經濟學研究中心網站 <http://www.aiecon.org/advanced/journal.htm> 。