行政院國家科學委員會

獎勵人文與社會科學領域博士候選人撰寫博士論文成果報告

經濟學中的創新 — 代理人基計算建模

核 定 編 號 ：NSC 95-2420-H-004-070-DR
獎 勵 期 間 ：95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日
執 行 單 位 ：國立政治大學經濟學系
指 導 教 授 ：陳樹衡

博 士 生 ：池秉聰

公 開 資 訊 ：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 96 年 07 月 18 日

國立政治大學博士學位證書

政博字第九〇二五八五〇一 號

學生　池秉聰　生於中華民國　陸拾伍(西元1976) 年　參　月　拾柒　日

在本校　社會科學學院　經濟學系

修業期滿成績及格准予畢業依學位授予法之規定

授予　經濟學博士　學位

院長　高孝光

校長　吳思華

中　華　民　國　九十六　年　七　月

國立政治大學經濟學研究所

博士論文

指導教授: 陳樹衡博士

經濟學中的創新: 代理人基計算建模

研究生: 池秉聰

中華民國九十六年七月

誌謝

本研究得以有目前階段性的成果, 承蒙指導教授 陳樹衡教授在學生求知的過程中, 從觀念的啓發、方向的引導、整體研究架構及方法的確立, 及至論文內容的修正都給予辛勸的指導與幫助, 以身作則、身體力行的態度讓學生受益匪淺, 在此謹致上由衷的敬意與謝忱。另於論文口試期間, 承蒙輔仁大學 李天行教授, 高雄應用科技大學 潘正祥教授, 本校教育系 詹志禹教授, 中央大學 陳稼興教授在百忙中應允擔任口試委員, 費心審閱並提供諸多寶貴的意見, 使論文之完稿得以更臻嚴謹與完善, 特此致謝。

感謝家人的包容, 使個人得以全心專注於學業及研究而無後顧之憂。感謝所有愛護我的師長、學長姊、同學、學弟妹、所有在中心辛勤付出的人員和朋友們, 特別要感謝我的摯愛敬婷的鼓勵和支持。

承蒙行政院國家科學委員會博士論文獎經費補助,
NSC 95-2420-H-004-070-DR
感謝國家高速網路與計算中心提供軟硬體資源,
使本研究得以順利進行

池秉聰

2007年7月

目錄

摘要

1 緒論 **1**

1.1 研究動機 1

1.2 本文架構 4

2 文獻回顧 **5**

2.1 創新文獻 5

2.2 演化計算工具 9

2.2.1 遺傳程式 (GA) 10

2.2.2 遺傳規劃 (GP) 11

2.2.3 演化類神經網路 (EANN) 12

2.3 小結 13

3 商品與生產 **15**

3.1 元素 15

3.2 模組化 16

3.3 適應性函數與偏好 18

3.4 產能與成本限制 19

3.4.1 生產策略 21

3.4.2 行銷策略 21

3.5 小結 21

4 偏好 **23**

4.1 商品空間與偏好 23

4.1.1 商品空間 23

4.1.2 偏好表現 24
4.2 效用函數 26
4.3 模組相配 29
4.4 需求 32
4.5 市場過程 34
4.5.1 隨機搜尋 35
4.5.2 有目的之搜尋 36
4.5.3 折衷式的做法 38
4.6 討論與小結 38

5 創新 41
5.1 技術交易 41
5.2 技術創新與知識經濟 42
5.3 知識市場 44
5.4 小結 46

6 模型介紹 49
6.1 生產者參數 49
6.2 遺傳程式參數 51
6.3 消費者參數 52
6.4 模擬排程 54
6.5 報表呈現 57
6.6 討論與小結 59

7 生產者策略與創新 61
7.1 模組化與獨佔市場 61
7.1.1 基本模型 62
7.1.2 獨佔環境模擬樣本數 64
7.1.3 消費者福利與生產者表現 65
7.2 獨佔與寡佔 69
7.2.1 模擬樣本數 70
7.3 研發策略競爭 72
7.3.1 研究與發展比率競爭 72

7.3.2 研發訊息交換與變異能力競爭 75
7.4 定價策略競爭 77

8 消費者搜尋強度與生產者策略 81
8.1 模擬樣本數 82
8.2 模組化競爭 84
8.3 研發策略競爭 88
8.3.1 研究發展比率競爭 88
8.3.2 研發訊息交換與變異能力競爭 92
8.4 定價策略競爭 96

9 總體分析 103
9.1 獨佔環境 103
9.1.1 總體表現 103
9.1.2 技術生命週期 106
9.2 整體比較 107
9.2.1 生產者表現 107
9.2.2 消費者福利 109

10 結論與未來研究方向 111
10.1 結論 111
10.2 未來研究方向 113

參考文獻 117

摘要

創新一直是經濟學長久想要補捉的現象之一, 能夠成功地描述人類的創新, 就能解釋微觀的個體興衰以及巨觀的經濟成長。本研究嘗試建立一個以商品內涵爲中心的經濟體系, 包裝在生產者和消費者所組成的商品市場。個體是以軟體代理人 (software agent) 來建模, 其被賦予獨立的學習機制。藉由個體的市場互動模擬, 我們可以更進一步的瞭解創新所帶來經濟成長背後的底層結構。有別於過去的研究對商品的描述。我們使用的方法可以同時兼具商品的質與量, 換言之, 商品的異質與同質大量生產目的是爲了滿足各式各樣不同的消費族群。透過消費者對商品的篩選機制, 生產者的優勝劣敗於是產生。什麼樣的特徵具有較佳的存活機率, 什麼樣的組合結構會帶來較高的經濟成長 (即創新所帶來的福利效果), 便成爲我們積極想要探索的問題。

關鍵字: 創新, 軟體代理人, 學習機制, 品質導向生產, 數量導向生產

Abstract

Innovation has always been viewed as one of the phenomena economists ardently attempt to explain. Once the process of innovation is successfully identified, it can be applied to describe not only individual progress but also the economic development as a whole. In this study, a commodity market with producers and consumers is conducted. Each producer has been modeled as a software agent who can independently perform learning functions. The simulation of the market activities may foster our understanding of the base structure of economic development brought by innovation. Unlike past research, our approach takes into account both the quality and quantity of a manufactured good. In other words, in respond to the need of diverse consumers, a producer may choose to adopt quantity-oriented or quality-oriented strategy. Success is defined in terms of the popularity of goods. This paper aims to discuss the characteristics and commodity combinations of successful producers. By doing this, the benefit of innovation can therefore be unveiled.

Keywords: Innovation, Software Agent, Learning, Quantity-Oriented, Quality-Oriented

第 1 章
緒論

1.1 研究動機

科技透過創新和發明不斷地推展我們的生活方式。近代科學, 讓我們能從微觀的角度來看問題。從最基本粒子層次到不同尺度下的相變、生物中構成生命的分子、遺傳訊息驅使下自我組成的結構、模組化與階層性的組織到心智現象、社會互動所產生的文化表現。從細微到巨觀, 都存在著創新的本質。涵蓋範圍甚廣, 我們以有限的認識先做一個概括的詮釋, 將會涉獵各相關的學門, 異中求同後, 再來檢視所要討論的問題: **經濟學中的創新**。

在人類史上, 社會學家、考古學家、生物學家、腦神經科學家都試圖想要以一般性的理論來瞭解人類的命運。以演化思考來貫穿是其中一個方式, 從時間的角度來看演化是盲目而且漫長的, 藉著自然選擇或天擇 (natural selection) 與生存競爭的挑戰, 成王敗寇之下, 生命現象與環境緊密地配合。Darwin 早期受到 Malthus 的人口論影響, 將競爭壓力和適者生存的思維應用在進化的動力上。

經濟學和生物學又有何相關? 有一段時間經濟學家大量的使用生物學的隱喻來說明, 這些學家包括 Thorstein Veblen, Alfred Marshall, Friedrich Hayek 等。Alfred Marshall 的名言 "The Mecca of the economist lies in economic biology rather than economic dynamics." (Marshall, 1949, p. xii)。然而生物學和演化經濟學的連結仍有大量的爭議, 早期 Schumpeter 也曾不認同達爾文式的類比; 然而, 之後他重新看待演化的地位並且接納

> "The changes in the economic process brought about by innovation, together with all their effects, and the response to them by the economic system, we shall designate by the term Economic Evolution. Although this term is objectionable on

> several counts, it comes nearer to expressing our meaning than does any other, and it has the advantage of avoiding the associations suggested by the cognate term Progress, particularly the complacency the latter seems to imply." (Schumpeter, 1939, p.86)

既然這是一個類比, 我們取其精神並且仔細的區別, 以求在適用於經濟學時能夠找到一個合理的詮釋。

Darwin 的演化論在經濟學中扮演了一個重要地位。從經濟的發展和演進來看, 史前人類所從事的活動幾乎都是爲了應付生存而產生, 如: 狩獵和採集。演變到今日, 一個很重要的轉捩點, 生存已經不再是無時無刻的關鍵問題。一萬年前有一部分人類開始有農業, 有儲存多餘的糧食以供應社會上一些不事生產的專業人士。人們有更多的資源從事更高階的活動, 如: 藝術、文學創作、設計等 (Diamond, 1997)。這些活動背後的驅動力已經不再是天擇, 而是人擇。更明白的說, 好壞並不決定生存與否; 而是個人或社會的喜好。人們的主觀判斷或輿論力量開始成爲篩選的背後機制。這是經濟學在引用達爾文式思考的一點差別。

我們再回到生物最基本的元素「基因」來看。社會學家 Gerhard Lenski 在 1966 年指出訊息 (information) 的傳遞分成幾個階段。透過基因, 建立起人類各種不同的感官功能。當人類有了感官, 透過學習與經驗來傳遞訊息。接著, 人類會使用記號 (signs) 與發展邏輯。最後, 創造符號 (symbols), 發展語言和文字。溝通技術的精進使得政治與經濟體系都得以發展, 財貨分配、社會不均等問題於是產生。他基於技術水平、溝通方式與經濟體系, 區別出不同的社會, 包括: (1) 狩獵和採集; (2) 簡單農耕; (3) 先進農業; (4) 工業; (5) 各種專業。以上都是從最基本的訊息攜帶者「基因」出發; 換言之, 從微觀的角度, 生命的構成最基本要素是訊息, 即去氧核糖核酸 (DNA), 再加上 Diamond (1997) 主張的地理差異造成訊息傳播的難易, 天然稟賦的不同, 所推演出後續發展造就不同的社會文化、財富分配、科學與技術。

Lenski 的分類是從 Walter Goldschmidt 的分類改良而來, 他同時強調包括他自己在內沒有一種分類方式是完全的, 隨著時間的經過會一直有不同的社會形態出現。我們認爲最重要的因素就是**科技演進所帶來的改變**。歷史教科書通常會提到人類史上的重大變革, 一萬年前的新石器農業革命、16 世紀到 18 世紀發生於歐洲的農業革命 (工業革命的前身)、18 世紀的工業革命、20 世紀末的資訊革命、以及 21 世紀初的生化與奈米科技的進展。首先, 我們很自然地

觀察到這些重大的科技變革對人類的命運有著舉足輕重的角色 (路徑相依的特性), 接著這些重大變革發生的頻率愈來愈高 (訊息傳遞的速度加快)。

再根據 Diamond 的彙整, 技術史學家列舉出至少十四項因素來解釋創新。(1) 人類的預期壽命: 因爲個人的知識需要累積再連結, 如果時間愈長, 愈有機會激發出有用的創意; (2) 勞工及工資: 如果勞工缺乏, 工資高昂, 將有助於資本家設法改進生產方式; (3) 專利法和其他智財法律: 保障發明的成果, 有助於創新的動機; (4) 工業社會提供技術訓練的機會; (5) 資本主義的運作: 投資發展技術並且獲得回饋的強化機制; (6) 個人主義的興起; (7) 社會對冒險的態度; (8) 歐洲社會從文藝復興之後, 以科學觀點爲特色; (9) 多元觀點與故步自封的社會; (10) 宗教與技術創新的關係; (11) 戰爭; (12) 政府; (13) 氣候; (14) 資源。以上 (2) 到 (6) 是與經濟或社會組織有關, (7) 到 (10) 則涉及意識形態, 最後剩下的四項因素的影響則沒有 (1) 到 (10) 項來的明確, 可能因爲時空背景而有不同的說法。除了史學家的見解, Diamond 提出了科技歷史是自體催化的過程, 他強調複雜的發明通常是採借而來, 因爲傳播而來的遠比起自己發明快得多。透過「傳播」速率不斷的增加。一項技術能夠持續的保留並傳承, 然而這必須建立在良好的基礎下, 才能夠吸收並且加以發展。[1]

回到演化的內涵, 新的想法或觀念來自於「變異」加上「篩選」。變異有可能是環境的改變、外來傳入的訊息或是一時興起的點子; 而篩選要看社會文化的接受程度。Diamond (1997) 舉了許多的例子說明文化的差異, 有些社會樂於接受新的事物, 有些則否。而創新必須有別於過去的想法才有可能成爲**新的點子**, 變異的方式除了被動與主動的改變外, 常常是結合既有的觀念合併出新的主意, 這是一種漸進的方式, 也是最常被類比爲「創新」的精神 (Goldberg, 2003)。另一種方式是經由突變 (mutation), 通常是破壞性的點子, 但也有可能是革新性的想法, 端視篩選機制而定。因此 Goldberg (2003) 也將突變與篩選的結合類比爲改進 (improvement)。[2] 以演化思考的方式來類比人類的創新與進步想法相當多, 著名的例如 Popper (1963), Campbell (1960, 1965) 等, 他們對於科學理論的演進及知識認識論的描述上都有類似的見解。

然而, 創新和創造力的想法是大腦的產物, 我們想要瞭解創新並且加以建模, 對腦的神經機制更是一塊方興未艾的領域。神經科學家, Edelman (1987) 以

[1]請參考 Diamond (1997), Chapter 13。

[2]此處突變之所以用比較溫和的用字改進, 而不用改革 (revolution) 乃是在於其突變的部分通常很小。所以大部分的結構都是承襲過去累積的經驗而來, 故以改進稱之。

Lamarckism 的方式來描述腦神經連結的用進廢退。在此我們想要強調, 生理的構造受到遺傳的影響, 能夠改變的非常有限; 而腦神經的連結亦深受後天環境的影響, 其與環境互動後的效果, 常常產生令人意外的結果。Calvin (2005) 提到大腦皮質的區域, 在大部分的情況下, 一個區域增加, 許多區域都會同時受惠。他以投擲和搥擊爲例, 兩者可以有共同的神經機制, 任何一種動作熟練, 將使另一種動作更爲精確。心智尙在發育的時期, 特別是腦神經連結活躍的階段 (所謂的機會之窗), 其影響的是腦未來與外部環境的連結廣度與深度, 亦即發揮創意的能力。在 Jung-Beeman *et al.* (2004) 研究人類洞察神經機制的文章中, 使用測量創意能力的關聯詞彙測驗。因爲過去的研究顯示該測驗結果與人類創造力表現有顯著的關係, 所以 Jung-Beeman 等人的研究有助於釐清大腦的創造力機制。結果顯示, 大腦接觸到訊息之後會透過海馬回 (HIPP, hippocampus) 將訊息與經驗連結加上前扣帶回皮質 (ACC, anterior cingular cortex) 做控制協調訊息的流向, 後續的研究顯示 ACC 的機制能抑制強的連結與增進弱的連結, 讓答案以一種使自己驚豔的形式出現, 亦即所謂的啊哈 (Aha) 現象。

腦證據讓我們更深刻的體認創新機制無法獨立抽取出來分析的原因, 在傳統的經濟分析爲了解釋經濟發展, 常將無法解釋的變異視爲創新, 或直接將創新活動視爲外生的參數, 過去十多年來愈來愈多的研究將創新因素和人力資本、研究與發展 (R&D) 活動、遞增報酬現象、政府政策等變數連動, 促成許多在經濟成長的研究, 例如內生成長模型 (Romer, 1986; Romer, 1990; Lucas, 1988)。本研究與傳統研究的主要差別在於排除對總體代表性行爲的假設, 以學習式代理人 (learning agent) 來補足傳統程序式或數理式的表現。從基本單位: 個別代理人行爲出發, 並且賦予其生產及創新能力, 大部分的不確定性來自於模型底層的內生行爲。

1.2　本文架構

在研究呈現的編排上, 下一章將進入和創新相關的文獻回顧並且說明其可能的工具與我們所採用的方法; 第 3 章開始我們進入經濟模型的前奏商品與生產; 第 4 章是商品演化的動力來源偏好; 第 5 章是以知識市場爲核心概念的創新活動; 第 6 章正式進入代理人基計算模型的介紹; 第 7 章和第 8 章設計了一些基礎的實驗和結果呈現; 第 9 章呈現有別於個體競爭的總體表現結果; 最後一章進入結論和未來研究方向。

第 2 章
文獻回顧

2.1 創新文獻

經濟學或更廣義的社會科學無時無刻都在探討「創新」或「技術進步」, 然而還沒有一個具體的計算模型或工具來分析這個現象。雖然各個科學領域同時也以不同的角度在談技術, 例如: 生化、光電、工程領域, 我們仍然需要能一般化的科技表達能力 (general representation of technology), 基於此才能夠描述創新 (innovation) 以及研究其演化過程 (evolutionary process)。

關於創新和技術改革的動態面, Schumpeter 在 1911 年的德文發表中提到, 技術改革不僅導致所需要素的增產, 同時對市場與產業結構也造成影響。Schumpeter 的三部曲「發明–創新–擴散」描述了整個創新過程的時間結構。(1) 擴散對於創新的預期報酬及市場結構的影響; (2) 創新的擴散因產業而有所不同, 同時過程涉及路徑相依性及動態外部性; (3) 對於創新計劃的決策通常不是一勞永逸, 而是不斷的調整; (4) 此乃預測市場動向、技術發展與知識累積的不確定性過程 (Schumpeter, 1934)。

研究創造力的證據顯示出「與創新有關的神經生理機制」, 例如: 洞察 (insight) 的機制 (Jung-Beeman *et al.*, 2004), 皆是建立在過去累積的知識和經驗上。這也成爲理論建模上的一大限制, 因此該如何描述創新變成暫時無法碰觸的問題。過去經濟學家轉而屈就將技術相關的變數參數化, 在模型中研究這些變數的動態及各種條件的均衡情形, 來解釋經濟成長的因素 (Hicks, 1932; Harrod, 1942; Solow, 1969), 後來演變開始賦予技術創新的意涵。經過歷代經濟學家的改進, 從 Arrow (1962), Sheshinski (1967) 以及 Uzawa (1965), 逐漸將技術內生化, 引起技術發生改變的原因也開始有了多元化的觀點 (Romer, 1987, 1990; Aghion and Howitt, 1992; Grossman and Helpman, 1991)。

考慮有限理性及經驗學習的效果, Nelson and Winter (1982) 研究廠商的

創新過程及產業動態。他們的研究主旨包括了假設廠商行爲有限理性、R&D 爲創新的必要條件、創新能力是廠商的競爭優勢、篩選或評量廠商的表現是基於其創新能力。動態過程顯示廠商的創新行爲決定產業的結構和演化。這個開創性模型, 後續有許多學者跟進, 透過模擬的方法希望可以產生各產業及產業內的動態事實 (facts)。Dawid (2006) 整理了關於創新建模的文獻, 列出創新的特性包括: (1) 動態結構的過程; (2) 強調知識的特殊性, 並將其視爲創新最重要的投入; (3) 涉及大量的不確定性; (4) 經由廠商的知識量、使用與接受技術的能力與對技術改革的創新策略來展現異質性。

然而, 這些努力仍然無法瞭解技術的內在構造 (inner structure), 我們很難闡述技術參數量化的意義。而技術的內在構造即是**知識**。實證上說明知識的存量和創新有絕對的相關 (Dosi, 1988)。有些知識的傳導機制如內部的研發, 公司間非正式的資訊交換 (外溢效果), 或邊做邊學的效果都會造成知識的累積。因此目前的決策深受過去的經驗與知識累積的影響, 進而促成創新活動。知識累積的研究和實質資本累積有很大的不同。知識可以發展成交易的標的, 通常深植在個人或一群人 (隱含的知識) (Polanyi, 1966)。其複製幾乎不需成本並且可以經由多元的管道擴散。Arrow (2000) 指出, 知識成爲要素投入由來已久, 知識的創造與應用是早已存在的事實, 並非新名詞; 人類社會的演化, 可說就是知識發展史。然而知識並不容易定義, 例如要區別外顯的和隱含的 (tacit) 知識、或一般知識和特殊技藝知識就有困難。因此若沒有一個方法可以衡量技術水準, 僅能侷限在一些量化的資訊, 例如: R&D 投資比率、論文發表量、專利申請案與核發量、上網普及率等。即使有這些量化資料仍然難以滿足我們想要瞭解創新過程的結構本質。

爲了說明結構的本質, 圖 2.1 和 2.2 顯示鎚子 (hammer) 和武器 (weapon) 的演化過程。對於研究這樣的過程, 目前一般的分析工具和計算模型還付之闕如。Kerber and Saam (2001) 試圖以有限的維度來呈現技術, Ma and Nakamori (2002) 則使用 Kauffman 著名的 NK 模型和遺傳演算法來表現技術以及其演進過程。然而, 我們要強調的是技術應該是在一個無限的維度上。好比我們很難想像從文字模式的作業系統 (如: DOS) 到圖形式的視窗作業系統 (如: Windows), 僅僅是調整幾個有限維度裡的參數。[1]

[1]這個例子可以使我們容易理解創新並非簡單地微調參數就可以達成。根據 Baldwin and Clark (2000) 的 *Design Rules: The Power of Modularity* 書中, 記載了作業系統如何從文字形式進入到圖形式的環境, 其中包含了相容性問題 (與當時模組的可匹配性)、消費者接受度 (主流消費者的偏好態度)、程式開發人員的觀望 (系統軟體生產者的決策) 與最後全面普及。

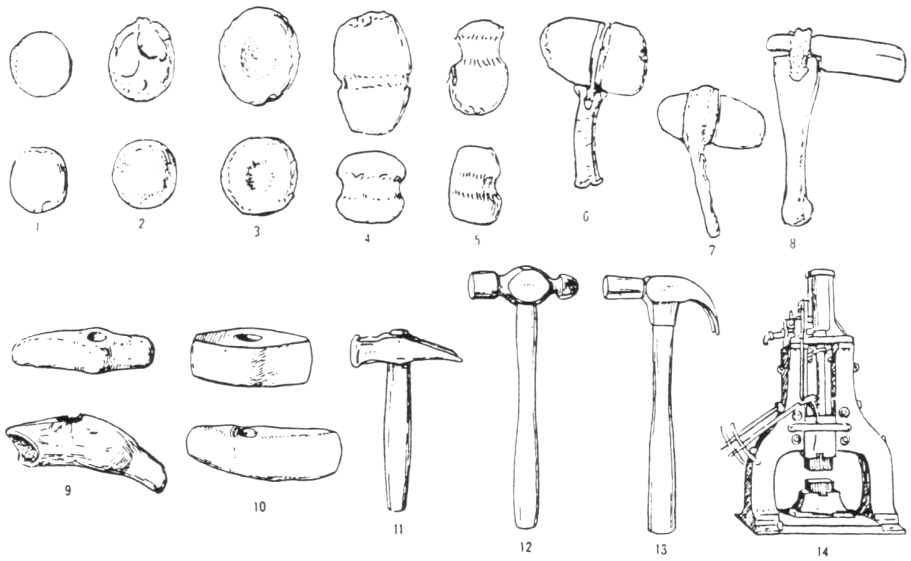

圖 2.1: 鎚子的演化 (圖片來源: Basalla (1988), Figure 1.4, p.20.)

雖然直接對創新建模有其困難性, 經濟學家對新古典經濟學所提出的典範性研究有著愈來愈多不同的看法。有一部分是對於古典模型無法處理或產生新穎性或稱爲浮現現象 (emergent property),[2] 因爲我們無法事先假設已知所有未來將被發明的商品和技術。因此, 符合理想的模型須保留空間給我們沒有看過的新事物。目前, Aoki (2002a, 2002b) 引入了 Zabell (1992) 的未預期知識 (unanticipated knowledge)。這個想法源自於群體遺傳學 (population genetics), 其所謂未預期知識可類比爲物種抽樣問題。在機率論和統計學中稱之爲接續法則 (law of succession), 例如: 如何描述給定在已經觀察到的物種爲條件下, 新抽樣的物種是前所未見的新物種機率爲何。Aoki 道破經濟學家在創新模型所遭遇的瓶頸, 另外, 根據群體遺傳學, 他所提出的 Ewens-Pitman-Zabell 歸納法仍然有其限制。基本上, 物種的多樣性和人類創造力的特性仍然有所不同 (Basalla, 1988)。人類的創造物「製品 (artifact)」通常是有跡可尋, 而非一種突然的發現。[3] 因此, 我們傾向於接受技術革新有其連續性的本質。

[2]浮現現象, 一般也譯爲突現現象, 指在複雜系統中, 強調個體的交互作用與其所導致的總體行爲之間可能存在非線性的關係。換言之, 個體行爲和總體行爲可能截然不同。用在我們對產品創新的解釋上, 我們借用此觀念來表達, 看似無關的低階砌磚, 可能組合出符合消費者心目中理想的高階商品。但是突然就達成正確的組合是有困難的。因此我們強調在過程中與經驗或知識累積的關係, 並將此現象譯爲浮現現象。

[3]Diamond (1997) 舉了許多歷史上的實例, 如: James Watt 在 1769 年發明蒸汽機, 教課書告訴我們這是因爲他看到燒開水產生的水蒸汽所得到的靈感。事實上, 當時蒸汽機已經發明了 57 年了, 發明人是英國人 Thomas Newcomen。而 Newcomen 的蒸汽機, 則是從 Thomas

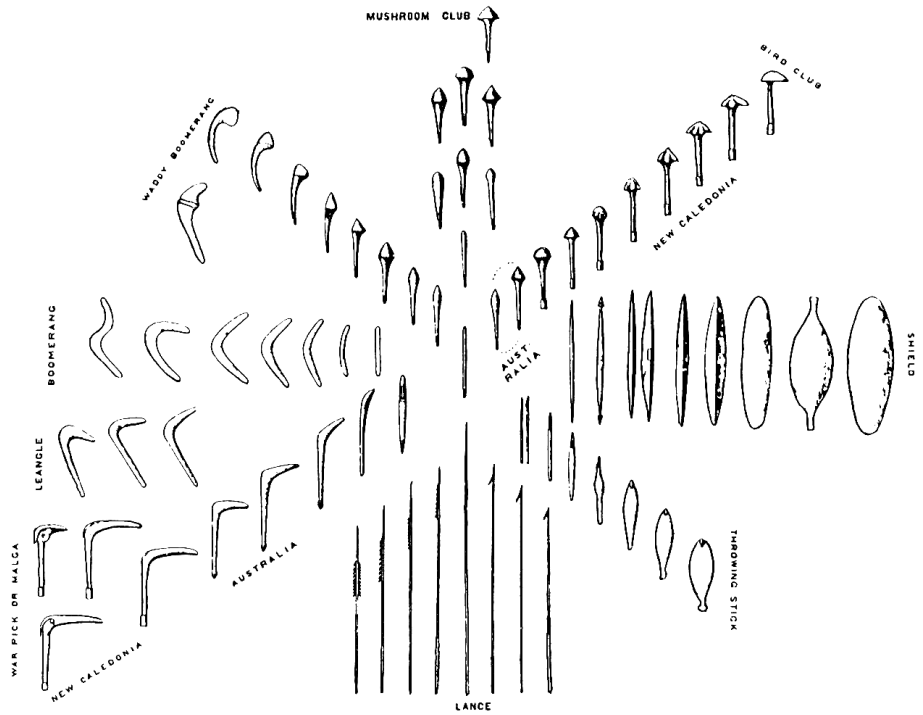

圖 2.2: 澳洲土著武器的演化 (圖片來源: Basalla (1988), Figure 1.3, p.19.)

經濟體系屬於複雜適應性系統 (complex adaptive system),[4] 浮現現象爲其重要的特徵。創新過程中, 爲了表現製品的演進是知識累積與浮現, 模組化爲研究者所欲補捉的重要特徵。最直觀的方式是將模組化與結構 (architecture) 做連結, 例如之前的鎚子與武器, 鎚子適應不同的功能需要在結構上有所改良, 武器則同時朝各種功能面方發展, 如防禦、射程、穿透力等。近代的研究則以產業爲對象, 在 Fixson (2003) 的技術報告中, 整理出截至當時與模組化相關的一百多篇文獻, 其中以特定產業或產品的研究居多數。換言之, 這個報告間接說明了模組化**高度專業**的一面。同樣的, 尋求模組化的**一般性表現法**亦是學者追求的聖杯。模組化的中心概念爲區別出複雜系統中的子系統以及子系統之間的交互作用 (Simon, 1962)。

然而, 要明確地分割個別子系統困難重重。近似可分割系統 (near decomposable system) 的條件較易達成, 因爲自然界中完全可分割的系統 (fully de-

Savery 的發明改良而來。Savery 的靈感則是來自於法國人 Denis Papin 的蒸汽機設計圖而來。Papin 的設計圖也不是獨創的產物, 他的點子是來自於荷蘭科學家 Christiaan Huygens 和其他人。因此 Watt 的貢獻像先烈一樣, 一點一滴的改良蒸汽機的設計, 而不是突然出現這麼一個複雜的機械。

[4]這是由聖塔菲研究院 (Santa Fe Institute, SFI), 的 John H. Holland, Murray Gell-Mann 及 Brian Arthur 等人所提出。

composable system) 是非常罕見的 (Simon, 1982)。[5] 此概念加上 Kauffman 的 NK 模型, 則可以將結構參數化成有限維度的矩陣, 最早由 Altenberg 實作在生物學上, 後來的學者陸續用來表現在如經濟學 (Frenken *et al.* 1999; Marengo *et al.* 2000; Baldwin and Clark, 2000), 管理科學 (Levinthal, 1997) 與複雜系統 (Ethiraj and Levinthal, 2005) 等。在學者的努力下, 近似可分割的問題可用設計矩陣來呈現。但是, 問題在於矩陣維度外的空間會怎麼產生或以什麼形式出現, 仍然有待克服。

2.2 演化計算工具

我們接著會從*演化計算工具* (evolutionary computation tools) 在科學、工程和商學上的成功應用來說明其擔任這個角色的適切性。首先, 對於創新, 我們偏向視其爲連續過程 - 演化 (evolution), 而較不傾向離散過程 - 革新 (revolution)。基於連續觀點, 新製品 (novel artifacts) 通常不會憑空出現, 而是由先前已存在的製品 (antecedent artifacts) 而來。Basalla (1988) 給了兩個鮮明的例子來看鎚子和武器的演進。由此觀點, 可以清楚瞭解我們是在尋求一個創新的演化模型。第二, 在連續性的論點, 我們假設創新是一個發展過程 (growing process), 例如, 將低階的砌磚 (low-level building blocks) 或特性 (features) 加以組合, 達成另一個高階的功能 (high-level functionality)。換言之, 新的主意 (idea) 乃是源自重組或篩選原有的主意 (砌磚)。*新觀念一旦出現, 有可能成爲新的砌磚*進而造就更新穎的觀念。事實上, 產品的演化過程可以由**功能性模組法** (functional-modularity approach) 來重現。所謂功能性模組法, 對經濟學家而言應該不陌生, Paul Romer 曾經提到 "Our physical world presents us with a relatively small number of building blocks – the elements of the periodic table – that can be arranged in an inconceivably large number of ways." (Romer, 1997)。每個功能性模組都可以拆解成最小的砌磚 (週期表中的基本元素), 之所以稱爲功能性模組, 代表每個能稱爲模組的區塊能獨立完成某些特定功能。此亦爲 Herbert Simon 所闡述的 (近似) 可分割子系統具體實踐, 或計算機用語中的例行程序 (routine)。細節請參考 Chen and Chie (2004, 2006)。

[5]所謂的近似可分割是指子系統間的交互運作顯著弱於子系統內部的交互關係。

2.2.1　遺傳程式 (GA)

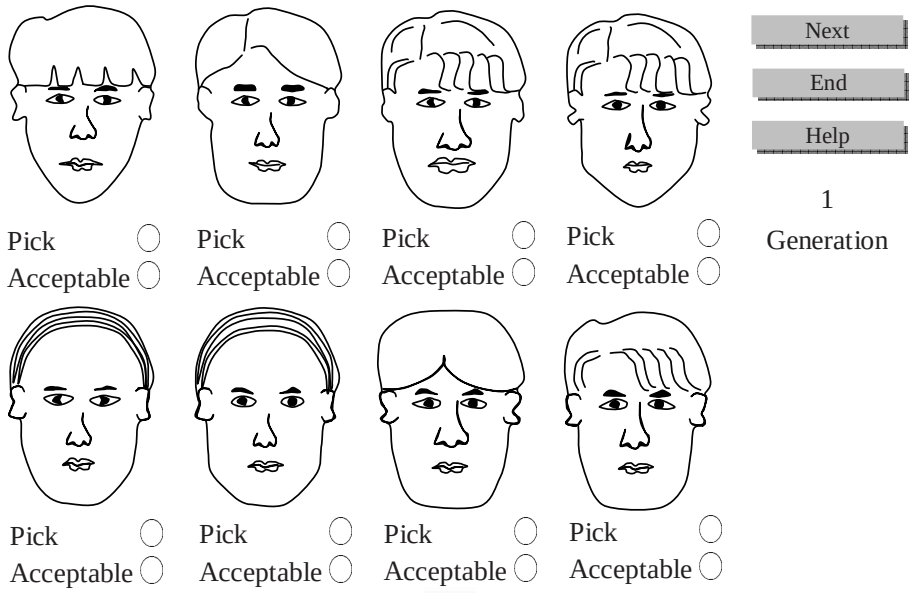

圖 2.3: GA 隨機初始產生的臉譜範例

遺傳演算法 (GA, genetic algorithm) 是一種搜尋最適或近似解的技術。其想法來自於生物在生存壓力下, 透過遺傳機制, 包括突變、交配 (有性生殖或基因交換) 再加上天擇機制, 在時間序列上不斷的調適。以代爲物種更新的單位, 以求生存下來的物種可以更適應於所處環境。其爲一種群演化的機制, 所以也被歸爲全域搜尋工具; 換言之, 只要掌握遺傳運作機制, 並賦予充分的表達能力, 其類似平行搜尋的能力可以找到 (近似) 全域解。

我們先利用 GA 用一個簡單的例子來介紹功能性模組法和科技演化的關係。圖 2.3 呈現的是應用 GA 來協助目擊者描繪嫌犯長像 (Caldwell and Johnston, 1991)。此應用有別於傳統僅依賴目擊者提供嫌犯的特徵給畫師。[6] 取而代之的是根據既有的模組 (module) 或砌磚 (圖 2.4) 自動產生出一組臉譜 (圖 2.3),[7] 目擊者根據這些臉譜帶來與嫌犯的相似性感覺勾選可接受 (acceptable) 或接受 (pick) 做爲適合度 (fitness value)。接著, GA 根據這些資訊來重組或變異這些

[6]心理學將人類的意識分爲兩種, 有意識的 (conscious) 與無意識的 (unconscious)。在情急或時間短暫的情況下, 有些刺激並不會進入意識界, 而是進入無意識界, 這樣的刺激人們並無法知覺也無法描述, 如果透過適當的引導將有助於擷取無意識的資料。

[7]根據遺傳學, 將遺傳性狀分爲顯性基因 (dominance gene) 和隱性基因 (recessive gene)。例如: 控制膚色的基因顯性爲分泌黑色素, 隱性爲抑制黑色素, 當控制該性狀的基因數足夠, 則可以表達出各種膚色的臉譜。圖 2.4 是以鼻型爲範例, 在顯性的類型裡採 4 位元編碼, 共可表現 16 種鼻型。

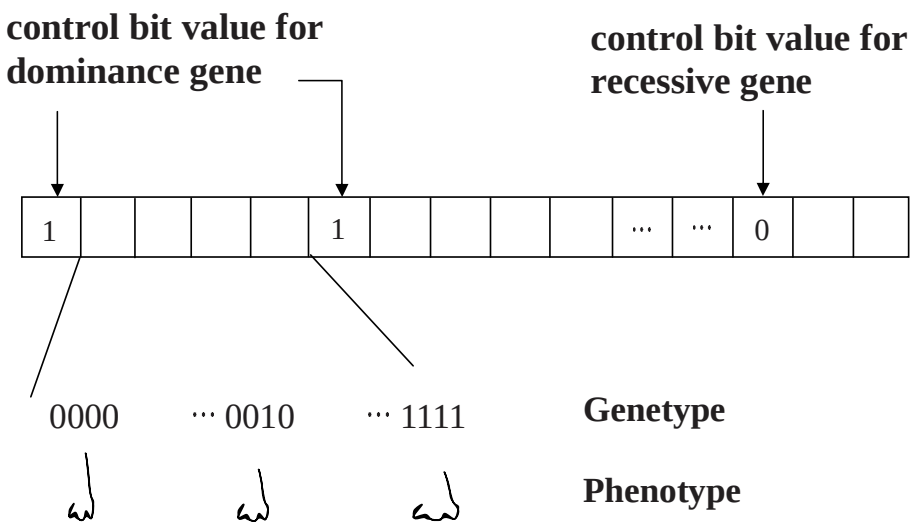

圖 2.4: 鼻型模組二位元編碼

臉譜。之後再產生一組新的臉譜給目擊者,[8] 目擊者反覆進行評價, 直到他認爲滿意爲止。

同樣的類比, 消費者在面對商品時, 也是不自覺的經由選擇表現出其內在的偏好。但是, 消費者無法明確知道自己想要什麼, 或者是知道理想的商品, 而自己沒有能力與技術來達成。因此, 這個運作原理可以很自然的適用到生產者對商品的重新組合與變異, 並讓消費者來篩選, 以求消費者更高的滿意度。

2.2.2 遺傳規劃 (GP)

1990 年代, 財務經濟學家已經開始使用功能性模組的 GP 來發掘新的交易策略。發掘交易策略的方式如下, 首先給定一些初始的砌磚或專家知識, 接著來看 GP 能否發掘一些具有獲利能力而且是前所未見的策略? 文獻上在外匯和股票市場已經執行了一連串的實驗 (Neely, Weller, and Dittmar, 1997; Neely and Weller, 1999; Allen and Karjalainen, 1999)。他們使用移動平均法 (MA rules, moving average rules) 以及壓力突破或支撐法 (trading range break-out rules) 等作爲砌磚 - 元素 (primitives)。[9] GP 的任務是重組這些元素以產生新的交易策略。接著研究者測試這些策略的獲利表現, 並且檢視這些策略的內容。GP 交易策略是否能夠告訴我們簡單技術交易法則以外的知識? 在外匯

[8]有鑑於心理學的證據, 人類對於價值的給定並沒有一個絕對客觀的標準 (Kahneman and Tversky, 1979), 在此 GA 只需要相對的評價即可區別, 因此這樣的應用仍然可以得到理想的要求。

[9]元素指 GP 所能使用的功能集合 (function set) 與終點集合 (terminal set) 而言。

市場, 已經獲得一些成功結果。我們小結 GP 的應用。第一, GP 能發掘有獲利能力的交易策略; 第二, 策略內容方面, GP 所發掘的策略相較於簡單的策略更爲豐富。在他們的研究中也討論 GP 策略的細節。因此, GP 展現了在技術交易策略上創新的過程, 結合低階的砌磚 (例如: MA, filter, 或 break-out 法則) 來發展成某種高階的功能 (獲利表現)。

除了財務之外, 另一個有趣且成功的應用爲 Koza 將 GP 用在 Kepler's law 的重新發現上。[10] 在此, GP 不僅僅重現了定律, 而且重現整個系統的進展。特別有趣的是在過渡時期的結果也看到和 Kepler 早期的結論相同 (Levy, 1992)。因此 GP 不僅得到最後的結果, 人類經歷的嘗試與錯誤 (trial and error) 或學習與探索 (learning and probing) 過程都有機會重現。因爲這些證據顯示 GP 確實是一個可以作爲描述或檢視科技創新連續性假說的工具。Koza 的另一方面著名的研究, 是將 GP 使用在類比電路 (analog circuits) 設計。研究結果發現有些透過 GP 演化出來的結果可以拿來和人類精心設計的電路媲美。因爲, 當 Koza 利用 GP 所設計出來的電路申請專利時, 審查中發現有 21 項已經是登記有案的設計 (Willihnganz, 1999)。

2.2.3　演化類神經網路 (EANN)

演化類神經網路 (EANN, evolutionary artificial neural networks) 爲演化計算與類神經網路技術的結合。類神經網路 (ANN, artificial neural networks) 乃是模擬生物的神經元運作, 透過不同的神經元結構 (architectures) 與每個連結之間連結強度 (connection weights) 的調整來達成特定的功能。至於連結強度的調整乃是透過學習法則 (learning rules) 來決定調整的方向和大小。但其最爲人詬病的是黑箱 (black box) 作業與容易落入局部解 (local optimal)。

因此, 引入演化計算, 以平行搜尋來決定神經元結構、連結強度、與學習法則等三個項目, 如此, 將有助於改善局部解的問題。雖然法國生物學家拉馬克 (J. B. de Lamarck) 認爲生物功能的用進廢退論 (theory of use and disuse) 已被證明不適用於生物型態上的改變; 但對於神經元的連結卻能適用。因爲神經元的靈活和彈性讓生物能夠學習、記憶、與累積經驗。這些都是透過上述三個項目的

[10] Johannes Kepler 根據 Tycho 的行星觀測記錄, 將 Plato 過去的等速圓周軌道天體運行, 修正爲變化速率的橢圖軌道。1609 年出版的新天文學 (*Astronomia nova*), 提出了前兩大定律。行星第一定律: 行星以橢圓軌道繞日運行, 太陽位於兩個焦點之一; 行星第二定律: 行星與太陽的連線在相同時間掃過相等的面積。十年後, 在 1619 年出版宇宙的和諧 (*Harmonices Mundi*), 定出行星的第三大定律: 行星週期的平方正比於平均距離的立方。

調整來達成。[11]

我們提出這個方法, 希望可以透過結構之間的自我連結主動形成模組的概念。然而, 這樣的想法仍然受限於類神經元數目遠不如生物的神經元數目, 例如一隻螞蟻的腦神經數目就可能高達 25 萬個神經元。所以類神經網路的模型多半只能執行相當特定的功能, 缺乏一般化的表達能力。但是在可見的將來, 量子計算機若能夠實現, 計算速度和容量將會大幅改善。屆時, 我們也許有機會可以用這個方法來模擬創新行爲。

2.3 小結

經由上列背景的描述, 我們對所要建構的創新模型應具有的特徵做一個小結。首先模型需具有演化能力, 亦即能夠有一個優良的表現方法可以展現變異及擇優。然而這樣仍太過籠統, 我們需要一個可實作的表現法來表達這個特徵, 這個表現法具有以下條件:

- **階層性** (hierarchy): 可以展現不同層次的構造, 從簡單到複雜的功能。像生物的組織可以從最小的化學層次、細胞、組織到各種器官、系統、乃至個體。同理, 人造物也可以歸納出這樣的紋理結構。

- **模組化** (modularity): 是屬於階層結構中的某一層次內, 不同物種之間, 所可以找到的共同構造, 我們稱爲模組。而相同的構造在不同的物種可能以不同的特徵展現, 這乃是因爲受到遺傳指令的催化時間不同或功能上有不同的用途所致。

- **延伸性** (scalability): 表現法不僅僅是展現既有的階層性, 需要能進一步與環境互動並調適擴展其層次的能力。

- **連結性** (connectivity): 這裡是希望可以類比大腦的神經連結機制, 如同 Calvin (2005) 所提出的觀念, 人類在從事各種不同的活動同時, 其它看似無關的活動也可能受惠。亦即所謂的觸類旁通的效果。因此, 前三點的表現只是一個概念, 如果要實踐需要許多精密的微調和參數。例如: 小嬰兒學習抓的動作, 生產的各種程序, 如: 車床的使用, 都需經過很多次的練習, 才有能力執行。而這個學習效果都記憶在腦神經的連結關係中。

[11]關於演化類神經網路的文獻回顧與介紹請參考 Yao (1999a)。

表 2.1: 演化表現法比較

項目	GA	GP	EANN
編碼單元	字串, 數值	字串、LISP 樹	人工神經元, 連結
編碼長度限制	受限制	受記憶體限制	受記憶體限制
適用問題	數值參數解	數值解、符號迴歸、策略問題、設計問題	數值解、函數逼近、記憶性問題
演化能力	有	有	有
學習型態	監督式學習	監督式學習	監督式、非監督式學習
與人互動	可	可	可
技術障礙	低	高	極高
階層性	有	有	有
模組化能力	有	有	視問題而定
延伸性	弱	有	有
連結性	無	無	有

資料來源: 本研究整理。

表 2.1 爲可能符合上述條件的表現法比較。我們比較常使用的演化表現法, 包括遺傳規劃 (GP)、遺傳程式 (GA) 與演化類神經網路 (EANN) 等, 並沒有一種可以完整表達上述四種特性的方法。EANN 雖然具備階層性、延伸性與連結性, 但仍受限於問題與採用的演化方法高度的相依性, 爲問題量身訂做的需求高, 使其難以一般化的表現所有特性 (Yao, 1999b)。GA 雖有模組化的功能, 但在其他特性上的擴充性就有困難。GP 可以同時具有階層性和延伸性, 再加入模組化的想法, 因此在應用上會優先考慮 GP, 並使其具有前三項條件。至於連結性的一般化表現與計算力限制, 是目前人工智慧領域所積極想突破的瓶頸, 此亦爲本研究的限制。將來突破這個限制的方法, 會考慮引用節點之間連結機率的概念實踐在 GP 表現法。如此一來, 就相當於在 GP 結構上有內生的自我組織能力, 強化並符合我們對創新表現的全面要求。

第 3 章
商品與生產

3.1 元素

前一章的例子說明 GP 能模擬功能性模組的連續 (演化) 創新過程。然而, 將 GP 運用在經濟學的創新模型, 或更精確的說代理人基計算經濟模型 (agent-based computational economic model), 立刻會面臨到比單純使用在知識發掘 (knowledge discovery) 或資料採礦 (data mining) 更複雜而且困難的問題。以下說明 GP 的術語要如何對應到創新模型。第一個挑戰, 什麼是初始的砌磚或元素 (primitives)? 這並不容易回答。這裡要闡明的是我們要將重點放在非常一般性或抽象的創新描述, 而非任何特定的創新。這是一個挑戰, 因爲經濟理論的商品並沒有實質的內容。很少會注意到商品的體積大小 (size), 形狀 (shape), 拓墣 (topology), 以及內部結構 (inner structure)。一般性的商品表現法並不受經濟理論的重視。造成表現經由既有商品浮現出新興商品 (emerging commodities) 的過程難以呈現, 同時也無法完整的在經濟理論中描述技術創新的結果。

由於有限的背景知識並無法提供我們選擇 GP 元素的線索。本研究的突破是首先將商品和生產過程連結。每一個生產過程可以描述爲一連串的處理 (加工) 程序 (processors) 和原料 (material) 的雇用。一般而言, 大部分生產序列 (sequence) 能再進一步分成多個平行的子序列 (subsequence)。[1] 相關程序所產生的商品也可以成爲進階的原料以促成更高階商品的生產。這樣的結構, 功能集合自然就是原始的程序 (primitive processors), 而終點集合則可以對應爲原生材料 (raw materials)。兩者可以分別定義如下,

$$\text{Function Set: } \Xi = \{F_1, F_2, ..., F_k\}, \tag{3.1}$$

$$\text{Terminal Set: } \Sigma = \{X_1, X_2, ..., X_\kappa\}. \tag{3.2}$$

[1]這個平行化的觀念即模組化 (Baldwin and Clark, 2000)。

每一個序列 (商品, 程序) 可以表達成 LISP S-expression 的型式或更直接地表現成解析樹。[2] 如此創新過程即能以 GP 來達成。理想上, 加上自動定義函數 (ADF, automatically defined function) 可以用來補捉演化過程中已經成熟廣爲使用的程序。此適應性的功能集合具有增加和刪除原始程序和 ADF 的能力。知識進展在任何一個時點便可以用適應性功能集合的複雜度 (complexity) 和商品多樣性 (diversity) 來衡量。

3.2　模組化

Herbert Simon 向來對複雜系統的形成有很高明的洞察, 當面對問題時, 發掘出其中穩定的元件, 對加速搜尋解答有很大的助益。在處理複雜系統, 利用演化子系統 (subsystems) 將比直接演化元件 (elementary parts) 更有效率 (Simon, 1973)。在 Holland (1975) 的遺傳程式 (GA) 中, 沒有特別強調模組化 (modularity) 的概念。但其砌磚假設 (BBH, building block hypothesis) 是支持遺傳程式得以運作的最有力主張。因此, GA 的應用已經有 BBH 完善的理論基礎。同樣是演化計算的技術 GP, Koza (1992) 透過 GP 有能力找到隱藏在觀察值背後的規律, 並且得以將有用的結構保留下來。然而, 對於 GP 的應用仍然有很多需要克服 (De Jong and Pollack, 2003)。可能是早期深受符號迴歸 (symbolic regression) 應用的誤導 (Chen and Kuo, 2002), 實際上, 只要問題再複雜, GP 找到解答的可能性幾乎是微乎其微。這也促使 Koza 在求解時需要動用大量平行處理的計算機以增加成功求解的機率。這樣的做法並不經濟, 也不符合實際。因此第二個挑戰, 要如何擁有模組化的能力以及尋求可能的解決之道。

在演化計算方興未艾的年代, 有許多學者洞察到模組化能力的重要性。Angeline and Pollack (1993) 提出在演化過程中萃取模組資訊的方法, 例如: 打包 (compress)、展開 (expand) 等運作元的使用, 可以將 Evolutionary Programming 與 Evolutionary Algorithms 所表現的解做更有效率的應用。他們在文中將螞蟻覓食問題以有限狀態機 (FSM, finite state machine) 來表現, 有模組化的幫助下, 搜尋時間明顯縮短。Koza (1994) 所提出的自動定義函數 (ADF, automatically defined function) 可以做爲 GP 演化過程中可見的砌磚。Rosca

[2]此樹狀的拓墣用在呈現商品的特徵上有可能會引起爭議, 因爲從結構的下而上代表商品的製程由原料加工以至商品。事實上消費者不可能看到完整的過程, 我們所表現的只是一個抽象但卻比以往經濟理論具體的概念。舉例來說, 這個樹狀所提供的是一套服務、財貨或兩者的混合, 消費者消費這項商品, 就是接受這一整套的服務, 可能是一個下午茶的場地、音樂、各項服務、點心以及咖啡。

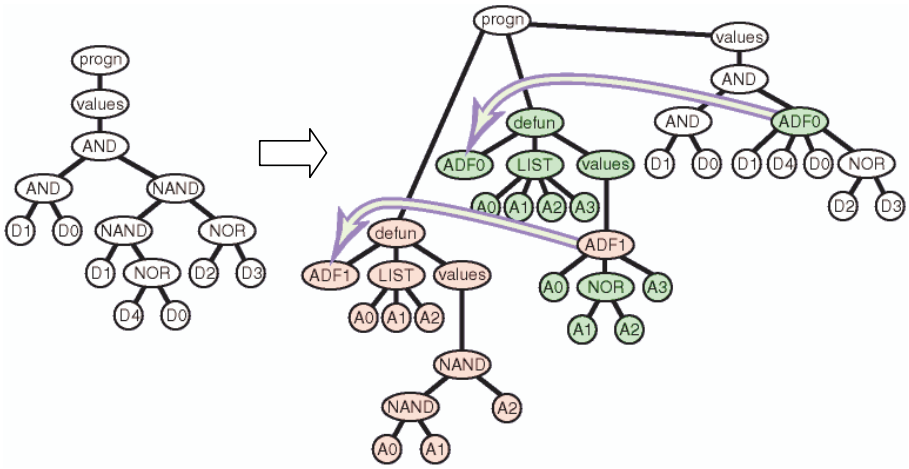

圖 3.1: 經由子程式創建元所定義的 ADF0 及 ADF1

and Ballard (1994) 承 Koza (1994) 的 ADF 再提出適應性表示法 (AR, adaptive representation),[3] 利用最小描述長度原則 (MDLP, minimum description length principle) 以自動化獲得功能性模組。

回顧 Koza (1994) 的做法, 其將標準化 GP 提升到模組化的層次。利用子程式創建元 (subroutine creation operation) 可將已有的結構以更有效率的方式包裝起來, 並自動定義出新的子程式以供後續使用。圖 3.1 爲 Koza 所舉的一個例子, 原來右子樹的程式 (NAND (NAND D1 (NOR D4 D0)) (NOR D2 D3)) 透過子程式創建元自動定義出 ADF0 和 ADF1 來結構性地表現右子樹。用 ADF 表現的新程式變成 (AND (AND D1 D0) (ADF0 D1 D4 D0 (NOR D2 D3))) 其中 ADF0 又會再呼叫 ADF1。[4] 類似的重覆性結構在 McKay *et al.* (2006) 的系列研究中下了不少功夫, 例如結合 L-System, 特別能夠處理含有遞迴語法的問題。[5] 然而, 這些方法也有其特殊用途的限制。例如, L-System 的引入只能針對特定的遞迴結構問題有幫助。

我們利用 Koza 的 ADF 概念, 在所要表現的商品空間上, 提出自動定義終點 (ADT, automatically defined terminal)。如同 ADF, 使用 ADT 有簡化 (simplification)、封裝 (encapsulation)、重覆使用 (reuse) 等優點。[6] 與 ADF

[3]這是從認知科學所借用的名詞, 在於說明人類的認知過程中如何表現空間、時間、色彩與其他的概念。如空間就是深受笛卡爾式 (Cartesian) 的表現法影響。這裡是指萃取 GP 功能性砌磚的方法。

[4]此爲 LISP 表現法, 更多的介紹請參考第 4 章。

[5]對 L-System 有興趣者可拜訪 http://algorithmicbotany.org/papers/。

[6]人類的語言也有同樣的特點。

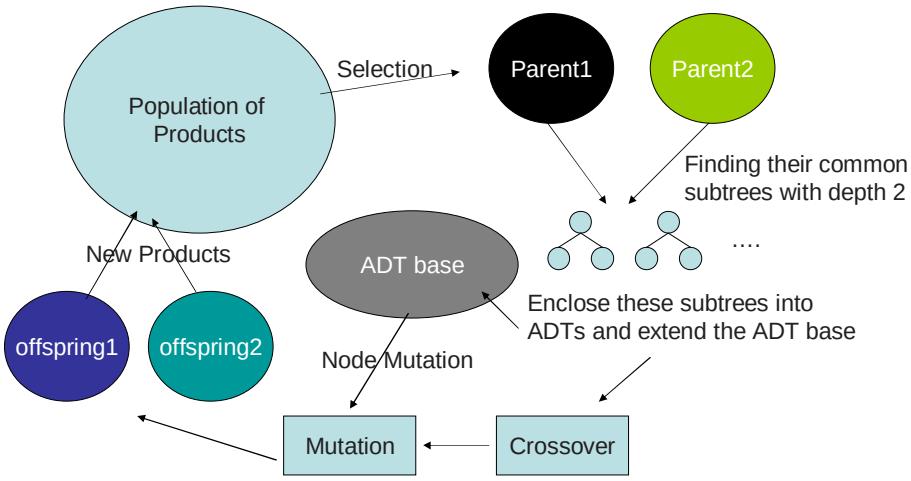

圖 3.2: ADT 擷取程序以及其與遺傳運作的關係

的差異是 ADT 本身並不演化, 而且所接的終點 (輸入) 固定不變。其基本結構爲深度爲 2 的二元樹。[7] 例如: $\mathrm{ADT}_0 = (F_1\ X_1\ X_2)$。圖 3.2 顯示整個 ADT 的擷取程序, 說明如下:

1. 在商品的創新階段, 生產者會先篩選出表現較佳的商品做爲新產品的參考依據。以競賽選擇法爲例, 生產者會先隨機選出一定數量的商品子集, 然後再取出適應度最佳的兩個商品, 進行重組和改進。[8] 在重組和改進之前, 生產者會先分析這兩個表現好的商品中有哪些深度爲二的共同元素。依序將這些深度爲二的子樹擷取成 ADT_i, i 爲 ADT 的流水號。

2. 檢查生產者新擷取的 $\{\mathrm{ADT}_i | i > \bar{i}\}$ 是否已存在既有的 $\{\mathrm{ADT}_i | i \leq \bar{i}\}$ 資料庫中, 若已經有相同的結構, 則捨棄該 ADT 並將商品結構與資料庫中相對應的部分用已存在的 ADT 取代。

3. 已經存在 ADT 資料庫的元素皆可再當作終點使用, 例如: $\mathrm{ADT}_3 = (F_1\ \mathrm{ADT}_0\ X_2)$, 其中 $\mathrm{ADT}_0 = (F_1\ X_1\ X_2)$。

3.3　適應性函數與偏好

第三個挑戰是適應性函數 (fitness function) 的選擇, 即指導技術進步的回饋機制。所有商品根據相關生產過程決定成本, 再依市場需求決定其收益, 最後的表

[7]本研究僅是簡化, 商品結構的表達並不一定要使用二元樹。
[8]商品子集的篩選比例、交換率與突變率請參考第 6 章說明。

現以利潤 (profit) 來評量。市場需求由消費者 (使用者) 主觀的偏好 (效用函數, utility function) 所導出。然而, 目前經濟理論還無法指導我們如何評量前述情況下消費所帶來的滿足感, 因爲消費者所面對的商品爲一連串的程序, 傳統理論從未處理過這種情形, 因此也無法提供有用的線索。在這個研究中, 可能的處理方法是提供良好定義的循規蹈矩的效用函數 (well-behaved utility function), 此函數滿足單調性 (monotonicity)、綜效性 (synergy)、以及一致性 (consistency) 的條件。效用函數可以用強類型 (strongly-typed) Kleene Star 來表示。[9] 更多細節將會在第 4 章呈現。本架構亦可以藉由消費者的偏好內生化及調適行爲來討論流行 (fashion) 的現象。[10]

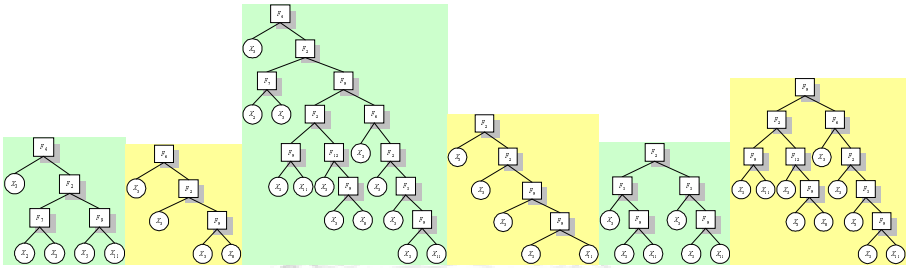

圖 3.3: 消費者偏好

註: 以上所顯示的僅是消費者無窮無盡的偏好樹某一個時間點揭露的部分

消費者的偏好可以表示成解析樹 (parse tree) 如圖 3.3。同時這個偏好可以解釋成理想的 (ideal) 或目標的 (targeted) 生產序列。這些解析樹分別代表不同消費者的異質偏好。一般而言消費者並無法具體地描繪出自己的偏好。然而, 如果提供給消費者的商品正好和其偏好完全相同, 那消費者將會感到非常地快樂。在這裡面對最爲複雜的議題爲偏好的數學操作。完整的討論會在稍後章節呈現。

3.4 產能與成本限制

一個成熟的代理人基模型 (ABM, agent-based model) 可能非常複雜。作爲這個研究的起始階段, 我們須先有架構, 由簡化的建模開始是目前的可行之道。我

[9]strongly-typed 是程式語言的用語, 指在型態上具有嚴格規範性, 什麼位置應該擺什麼型態的資料都有其規則。Kleene Star 則是由數學家 Stephen Cole Kleene 所提出的表示法。

[10]消費者偏好內生化, 係指偏好會因社會風氣的改變而有所改變; 但這個現象如果也考慮進來, 我們的模型有可能會失去焦點而無從分析和比較。

們首先假設一群固定數量的消費者 (以 n_c 表示), 其偏好是由外生決定的解析樹來表示, 稟賦 (所得, $I_i = I$) 也是外生給定。[11] 在生產方面, 經濟體裡有 n_f 個生產者提供財貨, 每個生產者皆有其初始化的營運資本 (initial operation capital) K_{i0}。透過初始資本, 生產者可以從要素市場購買原料及程序。初始時要素市場有兩種輸入, 分別爲原生材料 (raw-material) 和初階程序 (rudimentary processor)。爲了簡化, 我們假設兩種要素的供給爲彈性無限大, 並且對每種原生原料和初階程序皆鎖定在固定成本 (c)。

$$C_{X_1} = C_{X_2} = ... = C_{X_\kappa} = C_{F_1} = C_{F_2} = ... = C_{F_k} = c \tag{3.3}$$

有了要素之後, 生產者開始進行財貨的生產, 財貨的多樣性可以用不同的生產程序來表示。每個商品的成本即爲構成其本身的原料和程序數量的數量乘以 c。以 GP 的術語來表示爲解析樹節點複雜度 (node complexity) 的 c 倍。然而, 基於生產的規模效果, 應考慮相同的商品每單位額外的產出, 並反應在成本上。這個部分我們可以引入單調性遞減函數 $\tau(q)$, $0 \leq \tau(q) \leq 1$, 其中 q 表示第 q 個單位相同的財貨。每個額外單位產出的生產成本爲前一單位的成本乘以 $\tau(q)$。這樣的框架下, 對於一個完全專業生產 (fully-specialized) 的生產者產能限制式爲

$$K_0 \geq \sum_{q=1}^{\bar{q}} C_q, \tag{3.4}$$

$C_q = \tau(q)C_1$ 爲第 q 單位的生產成本, $\tau(1) = 1$。對於完全多樣生產的 (fully-diversified) 生產者, 其生產各樣的商品, 且每樣都只生產一個單位, 其成本限制式爲

$$K_0 \geq \sum_{m=1}^{\bar{m}} C_{m,1}, \tag{3.5}$$

$C_{m,1}$ 爲編號 m 的商品第一單位的生產成本。一般化而言, 生產者 i 的產能限制式爲

$$K_0 \geq \sum_{m=1}^{\bar{m}} \sum_{q=1}^{\bar{q}_m} C_{m,q}, \tag{3.6}$$

其中 $C_{m,q} = \tau_m(q)C_{m,1}$。

[11] 消費者偏好會在第 4 章再做詳細的介紹。

3.4.1 生產策略

在式 3.6, 包含了策略參數 $\bar{m}$, $\bar{q}$ 以及 $C_{m,q}$。要在市場上競爭和生存, 生產者必須要學習如何最佳化這些參數。$\bar{m}$ 可以視爲衡量多樣性生產的指標, $\bar{q}$ 可以用來衡量專業化程度。$C_{m,q}$, 第 q 個 m 財貨的生產成本, 也是一個影響行爲的變數。給定產能限制之下, 生產者可以選擇大量生產低階原始商品 (數量導向策略, quantity-oriented strategy), 或限制在高度精緻的商品生產 (質量導向策略, quality-oriented strategy)。因此, $C_{m,q}$ 的決定可以視爲品質水準的選擇。

3.4.2 行銷策略

市場行銷包括兩個主要的項目: 定價 (pricing) 與廣告 (advertising)。在定價部分, 生產者須決定一個加成率 (mark-up) 以 η 來表示, 例如: 預期商品的獲利率。假定 $\bar{C}_m$ 爲第 m 種商品的平均成本。

$$\bar{C}_m = \frac{\sum_{q=1}^{\bar{q}_m} C_{m,q}}{\bar{q}_m}$$

接著由相關的加成率 η_m 和成本決定商品的標價 (要價, ask) 爲

$$\text{ask}_m = (1+\eta_m)\bar{C}_m.$$

廣告的其中一種詮釋爲對消費者搜尋成本的補貼。這可用來增進消費者對自己所生產的商品認識。若沒有這筆支出, 消費者也許無法接觸到這項商品, 更不可能有機會購買。假設廣告策略是決定一筆金額支出 (lump-sum expenditure), 此一支出用來補貼消費者的部分搜尋成本。令 A_m 爲了推廣商品的廣告支出, 則生產者 i 的產能限制變爲

$$K_0 \geq \sum_{m=1}^{\bar{m}} A_m + \sum_{m=1}^{\bar{m}} \sum_{q=1}^{\bar{q}_m} C_{m,q}. \tag{3.7}$$

3.5 小結

商品與生產突破了數量思考的邏輯, 研究中的表現方法和實際的經濟環境仍然有很大的距離。隨著經濟運作、生產和消費行爲的演進, 我們的研究將有可能得到更多的發展空間。最主要的理由是網路的發展, 生產者幾乎可以虛擬的存在, 所有的商品皆以圖文並茂的型錄或網頁呈現在消費者眼前。[12] 因此, 在思考我們

[12]這個想法在 21 世紀已經落實在現實生活。網路商店的興起, 除了提供快速即時的服務, 有些還可以進行互動創造出個人化的產品。

的模型之前, 可以先想像一個自己熟悉的產業。將該產業的各種特性抽取出來成爲功能集合與終點集合。透過消費者對現在商品的選擇, 以成下一步改良的重要依據, 接著再以功能性模組化的 GP 組合出各式各樣不同新型商品, 可以先由公司內的專業人員先從事篩選, 或直接呈現在消費者面前, 讓消費者作主。[13]

[13]Patricia B. Seybold 2006 年的書 *Outside Innovation: How Your Customers Will Co-Design Your Company's Future*, 所指出的經營型態。

第 4 章
偏好

4.1 商品空間與偏好

4.1.1 商品空間

在介紹功能性模組到偏好之前, 我們先簡述一下傳統經濟理論所提到的效用函數。效用函數 $U(\cdot)$ 爲一個從非負的實數空間到實數空間的一般性對應 (mapping)。

$$U : \mathcal{R}_{+}^{n} \rightarrow \mathcal{R}$$

以上的對應有助於我們衡量**數量**的效用, 但對於要衡量我們所描述的商品 (一連串的程序) 十分有限。眞實的經濟環境, 商品對於消費者而言, **質量**的重要性可能超過數量。因此, 傳統的商品空間 $\mathcal{R}_{+}^{n}$ 需要替換成新的商品空間。我們稱這個空間爲 $\mathcal{Y}$。商品空間 $\mathcal{Y}$ 的表達可以用形式語言 (formal language) 的理論來建構, 例如: (BNF, Backus-Naur form) 文法。[1] 所以, $\mathcal{Y}$ 可以簡單的看成是所有表達的集合, 這些集合能由一個起始的符號 Λ 透過替代律 (substitution rule) 以及有限的原始程序 (Ξ) 和原料 (Σ) 來構成。亦即 $\mathcal{Y}$ 代表所有可以用 Σ 和 Ξ 來產生的商品集合。

$$\mathcal{Y} = \{Y | \Lambda \Rightarrow Y\} \tag{4.1}$$

如同圖 3.3 所見, 當每個 $Y (Y \in \mathcal{Y})$ 可以由運算式樹 (ET, expression tree) 來表示, 用基因表現程式 (GEP, gene expression programming) 可以更有效率的表達 (Ferreira, 2001)。在 GEP 裡, 個體皆編碼成固定長度的字串 (基因組, genome 或染色體, chromosomes), 這些字串再透過轉換還原成運算式樹的表現。這些關係可以是非線性的, 例如: 不同運算式樹的表現。正如 Ferreira (2001) 所示, 染色體和運算式樹表現在 GEP 意味著明確的轉換系統。Ferreira

[1]由 John Backus 與 Peter Naur 所引入的上下文無關 (context-free) 文法的形式語言。

(2001) 同時也指出 GEP 的一些優於遺傳規劃和遺傳演算法的討論, 包括其具有 DNA 和 RNA 的生物基礎、更有彈性的表達運算式樹、有效率的運用子樹 (副函式) 的概念、以及計算速度快且節省記憶空間等。使用 GEP, 商品空間可以定義成 Kleene Star 的子集, 表示成,

$$\mathcal{Y} = \{Y_n | Y_n \in (\Sigma \cup \Xi)^* | \text{GEP}\}, \tag{4.2}$$

其中 Y_n 爲長度爲 n 的字串,

$$Y_n = y_1 y_2 ... y_n, \quad y_i \in (\Sigma \cup \Xi), \quad \forall i = 1, ..., n. \tag{4.3}$$

我們必須要強調, 爲了滿足語法的有效性, $\mathcal{Y}$ 只存在於 Kleene Star $(\Sigma \cup \Xi)^*$ 的子集; 因此可以定義爲 $(\Sigma \cup \Xi)^* | \text{GEP}$。每個 Y_n 可以利用 GEP 轉換成解析樹。以上即爲我們對商品空間的描述。

4.1.2 偏好表現

不同於商品空間, 偏好空間無法表示成一群有限的字串, 因爲這樣無法滿足偏好的非飽和性 (non-saturation) 假設。經濟理論假設消費者永遠不嫌商品數量少, 例如: 一般在進行分析時邊際效用爲負的部分並不討論。

$$U'(y) \geq 0, \quad \forall y \in \mathcal{R}_+, \tag{4.4}$$

雖然我們強調質量維度勝於數量維度。式 4.4 的精神應該仍然維持, 因爲消費者的慾望無窮, 好永遠可以更好。如果消費者的偏好被表現成固定長度的字串, 則在一個時點上, 他們有可能達到完全的極樂狀態 (bliss point)。此時無論生產者如何改良他們的商品, 皆無法再讓消費者更滿意或更快樂。這肯定與我們一般所觀察到的行爲相違背。因此, 商品空間的形式無法直接拿來擴充成爲偏好空間的形式。

爲了滿足非飽和性假設, 偏好必須是一條無限長度的字串, 如

$$...u_1 u_2 ... u_l ... = ... U_l ...$$

然而, 透過 ∞ 符號的引進, 我們可以再將偏好重寫成有限長度的形式,

$$\infty u_1 u_2 ... u_l \infty = \infty U_l \infty = [U_l] \tag{4.5}$$

首先, 如同我們前面的描述, 消費者或許無法瞭解自己偏好的長相, 也不會在意是否知道。但是, 根據 Samuelson (1938) 的顯示性偏好理論, 我們知道消費者

偏好隱含性的存在。式 4.5 是以另一種方式來說明消費者偏好的隱含性。例如: 要我們寫出 30 世紀某一個消費者的偏好, 這似乎是一件不可能達成的任務。但是我們可以確定的是, 那時的偏好一定比現在已知的部分豐富。[2] 爲了能夠觀察偏好對技術進步的相互影響, 若考慮局部時間的偏好 (當前有限的偏好) 應可以滿足我們的研究要求。

第二, 式 4.5 可以瞭解偏好調適、演化及成長的可能性。未來 ∞ 的部分會展開出什麼偏好和現今消費者所接觸的新商品息息相關, 新的事物可能會進入消費者的偏好裡, 也可能不會, 需視整個經濟體的共演化來決定。這裡呈現的是高度路徑相依 (path dependence) 的現象, 舉凡經濟社會的消費習慣、社會網路連結的方式、以及制度和科學都會影響偏好未來的發展。

表 4.1: 模組偏好依深度 (d) 排序, 假設效用底數 ($z = 2$)

Depth (d)	Subtrees or terminals	$z^{(d-1)}$
1	$X_2, X_3, X_5, X_8, X_9, X_{11}$	1
2	$S_{2,1} = (F_7X_2X_3)$ $S_{2,2} = (F_9X_5X_{11})$ $S_{2,3} = (F_9X_3X_8)$ $S_{2,4} = (F_9X_5X_{11})$	2
3	$S_{3,1} = (F_{12}X_3(F_9X_3X_8))$ $S_{3,2} = (F_5X_3(F_9X_5X_{11}))$	4
4	$S_{4,1} = (F_2(F_9X_5X_{11})(F_{12}X_3(F_9X_3X_8)))$ $S_{4,2} = (F_2X_3(F_5X_3(F_9X_5X_{11})))$	8
5	$S_5 = (F_6X_3(F_2X_3(F_5X_3(F_9X_5X_{11}))))$	16
6	$S_6 = (F_9(F_2(F_9X_5X_{11})(F_{12}X_3(F_9X_3$ $X_8)))(F_6X_3(F_2X_3(F_5X_3(F_9X_5X_{11})))))$	32
7	$S_7 = (F_2(F_7X_2X_3)(F_9(F_2(F_9X_5X_{11})(F_{12}$ $X_3(F_9X_3X_8)))(F_6X_3(F_2X_3(F_5X_3$ $(F_9X_5X_{11})))))))$	64
8	$S_8 = (F_4X_3(F_2(F_7X_2X_3)(F_9F_2(F_9X_5X_{11})$ $(F_{12}X_3(F_9X_3X_8)))(F_6X_3(F_2X_3(F_5X_3$ $(F9X_5X_{11})))))))$	128

註: 有關偏好模組 (S) 與效用底數 (z), 稍後將會介紹。

[2]如果地球沒有遭遇到重大的天災, 如再度進入冰河時期, 或文明浩劫, 如重大戰爭。

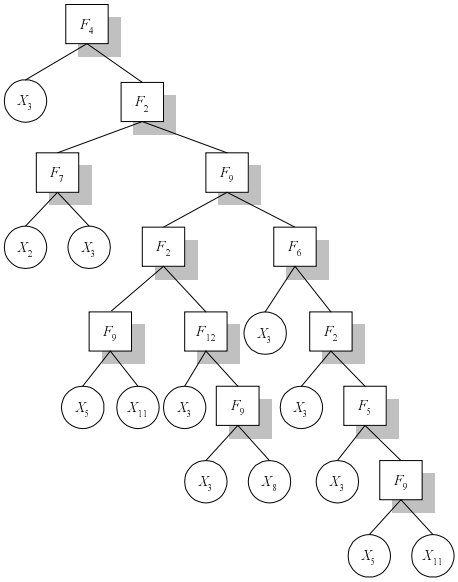

圖 4.1: 偏好: 解析樹表現

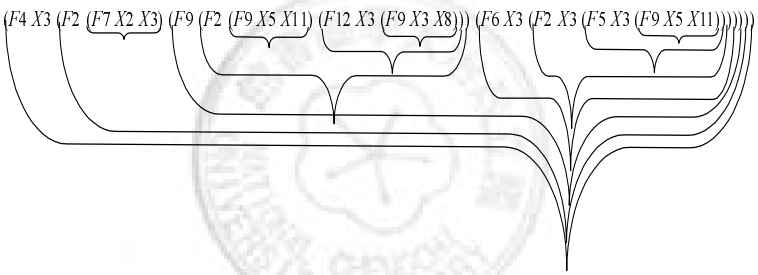

圖 4.2: 偏好模組: LISP 表現

4.2　效用函數

給定偏好 $[U_l]$, 令 $U|[U_l]$ 爲 $[U_l]$ 所導引出的效用函數。$U|[U_l]$ 爲強類型 Kleene Star 對應到正實數空間的對應。

$$U|[U_l] : \mathcal{Y} \to \mathcal{R}_+. \tag{4.6}$$

以簡捷及不致混淆的前提之下, 我們將用 U 來取代 $U|[U_l]$ 的表示。

偏好的模組化方法是考慮每個偏好模組化的階層性 (hierarchy of modular)。每個偏好模組都可以拆解成低階的解析樹或砌磚。例如: 圖 4.1 的偏好可以根據不同的深度 (depth) 再分解成偏好模組。圖 4.2 可以示意出這樣的關係。考慮 S_i 爲深度 i 的偏好模組。表 4.1 列出所有的偏好模組 S_i。從圖 4.2 和表 4.1, 很清楚看到低階的子樹 S_j 一定可以被包含於高階的子樹 S_i, 其中,

$i > j$。這個子序列 (subsequence) 的關係可以表達成,

$$S_i \sqsupseteq S_j, \quad S_i, S_j \in \sigma(U_l). \tag{4.7}$$

商品 Y_n 若和偏好模組 S_i 完全吻合, 我們稱爲相配 (match)。例如: 他們有同樣的 LISP 表現以及相同的樹。現在, 我們可以提出循規蹈矩的效用函數的第一個規範條件, 稱之爲單調性條件 (monotonicity condition)。

單調性 (*Monotonicity*)
給定偏好 $[U_l]$, 與其有關的效用函數 U 應滿足單調性條件, 若且唯若

$$U(Y_{n_i}) > U(Y_{n_j}) \tag{4.8}$$

其中 Y_{n_i} 與 Y_{n_j} 爲與 U_l 的偏好模組 S_i 與 S_j相配的商品, S_i 與 S_j 滿足式 4.7。

同理, 單調性條件可以再推廣成如下,

單調性 (*Monotonicity*)
給定偏好 $[U_l]$ 並令 $\{h_1, h_2, ...h_j\}$ 爲 $\mathcal{N}_+$ 的遞增子序列, 則其相關的效用函數滿足單調性條件, 若且唯若

$$U(Y_{n_i}) > U(Y_{n_{i-1}}) > ... > U(Y_{n_2}) > U(Y_{n_1}) \tag{4.9}$$

其中 $Y_{n_1}, ..., Y_{n_i}$ 爲與 U_l 的偏好模組 $S_{h_1}, ..., S_{h_i}$ 相配之商品, 且

$$S_{h_i} \sqsupseteq S_{h_{i-1}} \sqsupseteq ... \sqsupseteq S_{h_2} \sqsupseteq S_{h_1}. \tag{4.10}$$

如同式 4.7, S_j 爲 S_i 的子樹, 當 S_k 爲 S_i 的下屬分支 (branch), 則稱 S_k 爲 S_i 的最大子樹 (largest subtree)。我們用 $S_i \lhd S_k$ 來表示 S_i 和其最大成員 S_k 的關係。按照我們所使用的文法, S_i 最大的子樹可能不是唯一的。例如: 圖 4.1 的每一個偏好模組都有兩個最大子樹。一般而言, 令 $S_{h_1}, S_{h_2}, ..., S_{h_n}$ 爲所有 S_i 的最大子樹, 定義如下:

$$S_i = \sqcup_{h_1}^{h_j} S_k \lhd \{S_{h_1}, S_{h_2}, ...S_{h_j}\}, \tag{4.11}$$

其中 $\{h_1, h_2, ...h_j\}$ 爲 $\mathcal{N}_+$ 的非遞減子序列。請注意這些最大子樹之間並沒有式 4.7 的關係。然而, 他們可能有著不同的深度, 而 $\{h_1, h_2, ...h_j\}$ 序列即照著

遞增的深度排列。因此, S_{h_1} 爲 S_i 最大子樹中深度最小的分支, 而 S_{h_j} 則爲其深度最大的分支。

接著要引入第二個循規蹈矩效用函數的爲綜效性 (synergy)。

綜效性 (*Synergy*)
給定偏好 $[U_l]$, 與其相關的效用函數 U 須滿足綜效性, 若且唯若

$$U(Y_{n_i}) \geq \sum_{k=1}^{j} U(Y_{n_k}), \tag{4.12}$$

其中 Y_{n_i} 與 $\{Y_{n_k}; k = 1, ..., j\}$ 爲與 $[U_l]$ 的偏好模組 S_i 與 $\{S_{h_k}; k = 1, ..., j\}$ 相配之商品, 其中 S_i 與 $\{S_{h_k}; k = 1, ..., j\}$ 滿足式 4.11。

爲了方便表達, 我們也使用 $\sqcup_{k=1}^{j} Y_{n_k}$ 做爲商品集合 $\{Y_{n_k}; k = 1, ..., j\}$ 的綜效。根據 New Oxford Dictionary of English 的定義,「綜效爲兩種或以上的組織、物質、或其他代理人互動或合作所產生大於他們個別效果和的組合效果。」"the interaction or cooperation of two or more organizations, substances, or other agents to produce a combined effect greater than the sum of their separate effects." 正如 Aristotle (330 BC) 所說過的 "The whole is more than the sum of its parts." 這也是經濟價值創造的來源。欲成功地創造商業價值需仰賴這兩個條件: 模組 (modules) 及組合模組的平台 (platform)。再回顧圖 4.1 的消費者偏好爲例。要滿足他們, 所需的就是表 4.1 所列的各項模組。當技術已經來到 S_7 的水準, 如果知道要適當的用 F_4 來組合 X_3 和 S_7 將會給消費者帶來更高的滿足水準, 並且帶來更大的商業價值。這個部分的細節我們會留到第 5 章的知識市場再討論。

偏好模組在同一個偏好裡也許會重複出現。例如: 表 4.1 的 $S_{2,4}$ 在圖 4.1 出現兩次。在這種情況, 它可以同時成爲多個偏好模組的最大子樹。例如: $S_{2,4}$ 同時爲 $S_{3,2}$ 與 $S_{4,1}$ 的最大子樹。令 S_k 爲 $S_{h_1}, S_{h_2}, ...,$ 以及 S_{h_j} 的最大子樹。定義如下,

$$S_k = \sqcap_1^j S_{h_i} \triangleright \{S_{h_1}, S_{h_2}, ...S_{h_j}\}. \tag{4.13}$$

一致性 (*Consistency*)
給定偏好 $[U_l]$, 與其相關的效用函數 U 滿足一致性, 若且唯若

$$U(Y_{n_i} \mid S_k \triangleright S_{h_1}) = ... = U(Y_{n_i} \mid S_k \triangleright S_{h_j}), \tag{4.14}$$

其中 Y_{n_i} 爲與 $[U_l]$ 中的偏好模組 S_k 相配之商品, 在特定位置 $S_k \triangleright S_{h_i}, i = 1, ..., j$。

一致性條件等於是加深了綜效性。無論生產者如何努力地想藉由增加商品中 Y_{n_i} 的含量來試圖創造綜效, 這種勞力密集的貢獻價值仍然維持不變, 當考慮成本的因素時, 其甚至低於單獨的貢獻。

循規蹈矩效用函數 (*Well-Behaved Utility Function*)
給定偏好 $[U_l]$, 其相關的效用函數 U 爲循規蹈矩效用函數, 若且唯若滿足單調性、綜效性、與一致性條件。其所對應出的數值 $\{U(Y_{n_i})\}_{i=1}^{h}$ 爲 Y_{n_i} 與偏好模組 $S_{d,j}$ 相配所得出, 其中 $S_{d,j}$ 爲深度 d 的第 j 個偏好模組。

表 4.1 的效用值爲循規蹈矩效用函數的其中一個實例。這個實例是由圖 4.1 的偏好所導出。實際上, 這個特定的效用函數是由下面這個底數爲 z 的指數函數所產生。

$$U(S_{d,j}) = z^{d-1}. \tag{4.15}$$

式 4.15 的效用函數所闡述的綜效效果如同指數成長般的驚人。因此若非透過適當的組合知識, 原生材料或初階程序僅能滿足消費者偏好的部分十分有限。然而, 一旦經過正確的程序整合, 它們對消費者心目中的附加價值貢獻度非常高。這個例子用底數爲 2 的指數函數顯示效用以什麼樣的速度攀升, 也因此提供生產者極大的誘因使其勇於創新。當然, 所需的循規蹈矩效用函數 U 可以有不同的形式。唯一的考量在於是否能夠具備好的經濟直覺和涵意。

4.3 模組相配

現在是回答問題的好時機, 一個偏好爲 $[U_l]$ 的消費者在消費商品 Y_i 時的滿足感爲多少? 讓我們針對這個議題來抽絲剝繭, 從商品出發。首先, 我們定義簡單商品。所謂簡單商品, 係指給定偏好 $[U_l]$ 之下, 商品 Y_i 爲相對於偏好 $[U_l]$ 而言

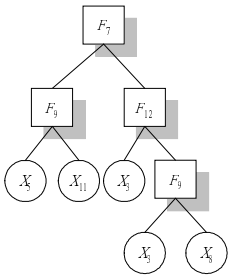

圖 4.3: 商品的範例: LISP 表現

爲簡單商品, 若其剛好與一個 $[U_l]$ 的偏好模組相配。如此一來很容易來衡量這個簡單商品, 如同之前在表 4.1 所例舉的。

然而, 並非所有的商品都這麼單純。Y_i, 整體也許無法與任何一個 $[U_l]$ 的偏好模組相配。相反地, 它也可以很接近或相似消費者的偏好而帶來許多滿足感。在這一節, 我們提出*相似性* (similarity) 或*近似性* (closeness) 爲依據的衡量方法。我們稱這個方法爲*模組相配* (module matching)。

表 4.2: 模組商品 ($\sigma(Y_i)$)

d	Subtrees or terminals
1	X_3, X_5, X_8, X_{11}
2	$Y_{2,1} = (F_9 X_5 X_{11})$
	$Y_{2,2} = (F_9 X_3 X_8)$
3	$Y_{3,1} = (F_{12} X_3 (F_9 X_3 X_8))$
4	$Y_{4,1} = (F_7 (F_9 X_5 X_{11})(F_{12} X_3 (F_9 X_3 X_8)))$

模組相配的方法是非常直接而且清楚的。首先, 每個商品皆爲不同深度的商品模組 (modular commodity) 所構成。例如: 圖 4.3 所表示的商品, 其所有的商品模組皆列在表 4.2。令 $Y_{d,j}$ 爲深度 d 的第 j 個商品模組。現在可以將商品呈現給偏好如同圖 4.1 的消費者。很明顯地, $Y_{4,1}$ 並沒有和表 4.1 的任何一個偏好模組相配。然而, 這個商品和消費者的偏好有近似性, 因爲其有一主要部分 $Y_{3,1}$ 和消費者的偏好模組 $S_{3,1}$ (表 4.1) 完全相配。因此, 當商品和消費者的偏好不同時, 此商品不一定不重要, 它還是有可能帶給消費者某種程度的滿足。

接下來, 我們將商品 Y_i 的 $Y_{3,1}$ 本身及其包含的子模組取走, 因此, 包括 $Y_{2,2}$, X_3, 與 X_8 在內。剩下的部分只有 $Y_{2,1}$ 這個商品模組 (圖 4.3)。這個部分和消費者的偏好模組 $S_{2,2}$ 相配。因此, 這個商品帶給消費者的價值增加。我們再將

$Y_{2,1}$ 從商品 Y_i 取走, 此時已經沒有留下任何商品模組。所以與 Y_i 相配的偏好模組爲

$$M_{Y_i:[U_l]} = \{S_{3,1}, S_{2,2}\}.$$

最後, 針對偏好 $[U_l]$ 商品 Y_i 所帶來的效用以底數 $z = 2$ 可以計算出

$$U(Y_i) = U(S_{3,1}) + U(S_{2,2}) = 4 + 2 = 6$$

根據這個例子引伸出一些十分關鍵的運作原則。首先, 過程不會從最小的模組開始進行模組相配, 像是 X_3, X_5, X_8 及 X_{11} 等 (表 4.1)。取而代之, 從最大的模組開始, 例如: 最大深度做爲指標。操作的方式是依照從大到小的遞減原則。第二, 一旦任何一個商品模組和相應的偏好模組相配, 此商品模組即不再有任何作用。這個稱之爲非冗餘原則 (non-redundancy principle)。在這兩個原則下, 自然排除了模組商品 $Y_{2,2}$, 因爲其也同時和偏好模組 $S_{2,3}$ 相配。

有這兩個操作原則的主要目地可以避免重複計算 (double-counting) 同時可以導出相應商品的最大價值。舉例而言, 如果我們從遞增順序開始作模組相配, 則在偏好與原生材料 X_3, X_5, X_8 與 X_{11} 相配之後, 就結束了。因此 Y_i 的效用變成只有4, 明顯沒有將綜效性考慮進來。

我們將模組相配的操作法則整理如下,

- 步驟1: 列出 Y_i 所有的商品模組, 收集成 $\sigma(Y_i)$, 接著依照模組深度分組, 例如由 $d = 1, 2, ..., d_{\max}$ 排列。

- 步驟2: 設定 $d = d_{\max}$。開始從 $Y_{d_{\max}}(= Y_i)$ 進行模組相配。如果相配成功, 則表示 Y_i 爲一個簡單商品, 接著設定

  $$U(Y_i) = U(S_{i,j}),$$

  其中 $S_{i,j}$ 爲與 $Y_{d_{\max}} = Y_i$ 相配的偏好模組, 跳到步驟7。若未與 $Y_{d_{\max}}(= Y_i)$ 相配, 則進行下一步驟。

- 步驟3: 將 d 減1, 接著爲商品模組 $Y_{d,j}, \forall j$ 進行模組相配。

- 步驟4: 對任何相配的模組 Y_{d,j^*}, 從 $\sigma(Y_i)$ 刪除該商品模組及其子模組。

- 步驟5: 所有相配的模組收集在 $M_{Y_i:[U_l]}$ 集合。

- 步驟6: 如果 $d = 0$, 或 $\sigma(Y_i)$ 變成空集合, 則計算

$$U(Y_i) = \sum_{S_{d,j} \in M_{Y_i:[U_l]}} U(S_{d,j});$$

  否則, 回到步驟3。

- 步驟7: 結束。

4.4　需求

以上介紹的架構雖然繁瑣, 但演變出的彈性是前所未見的。爲了方便說明商品需求的形式, 我們以一個簡化的例子來說明。某一特定商品的結構爲一深度爲 3 的完全二元樹, 其上每一個節點皆給定。爲了方便舉例說明, 設定如下:

1. 原始砌磚數目 (ρ) 爲 5;
2. 消費者偏好樹的結構如圖 4.4, 亦爲深度 3 的完全二元樹;
3. 消費者偏好爲完全異質的形態, 異質的表現方式爲隨機產生出符合第 2 點條件的完全二元樹;
4. 消費者偏好轉換效用底數, 設定爲 4 ;
5. 消費者願付價格與效用兌換率, 設定爲 5, 將效用轉換爲最高願付價格。

以上商品和偏好形式可以參考圖 4.4 所示。

透過以上的假設, 每個消費者均可依其偏好對於此一特定商品都決定其願付的最高價格。將之描繪出來, 可得個人消費者對於商品的需求線如圖 4.5 所示,

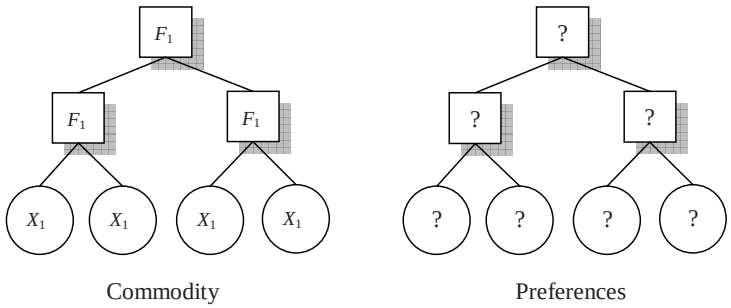

圖 4.4: 商品和偏好形式

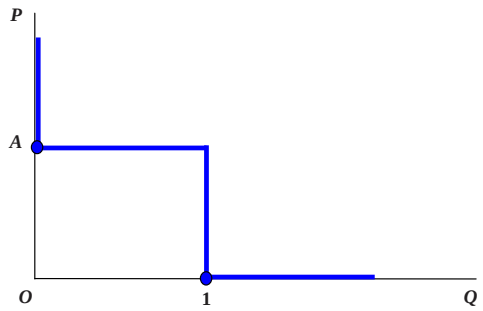

圖 4.5: 個人消費者對於圖 4.4 特定商品的需求線

爲一個門檻函數。當價格大於 A 點時, 個人需求量爲 0; 當價格小於等於 A 時, 個人需求量皆爲 1 單位。因此實際定價必須介於 $\overline{AO}$ 之間才會有需求發生。模擬社會的總需求, 爲所有個人需求線的水平加總。以上述五點假設爲例, 我們可以推論出社會的總需求線如圖 4.6 所示。橫軸表示需求量佔人口比例, 縱軸爲價格。從願付價格 80, 表示偏好的形式與商品完全相同, 所以願付最高價格爲 $5 \times 4^{(3-1)} = 80$。到願付價格爲 5, 表示偏好的形式與商品僅有一個節點相同, 所以願付最高價格爲 $5 \times 4^{(1-1)} = 5$。計算方式請對照表 4.3。當初始問題的砌磚數目增加, 表示生產者的搜尋空間增加, 消費者的偏好將愈難掌握, 需求線的形狀變得愈來愈陡峭。然而, 我們不應受這個問題所誤導, 初始的搜尋空間應該是非常有限。隨著時間的進展, 才會有愈來愈多的選擇, 使搜尋空間放大; 同時, 生

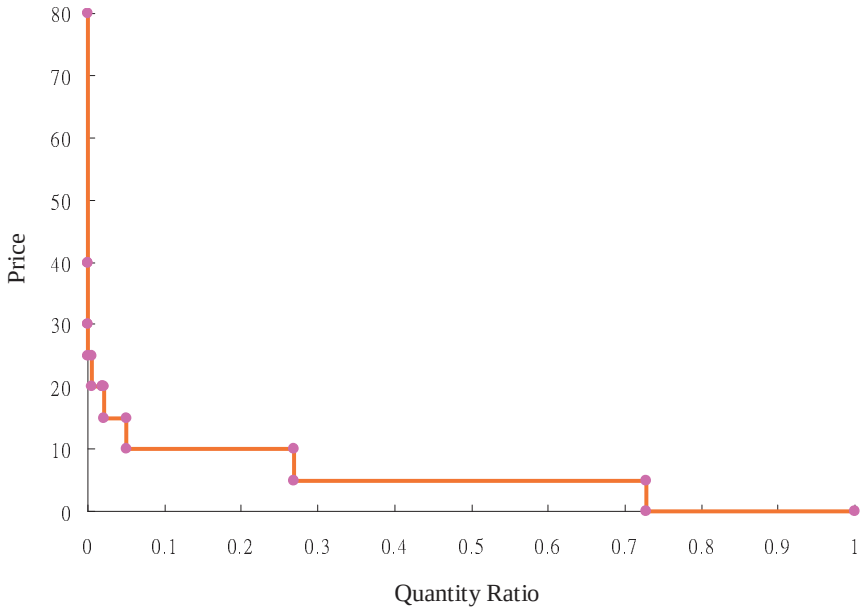

圖 4.6: 消費者對於圖 4.4 特定商品的需求線

表 4.3: 消費者需求表

願付最高價格	人數佔人口比例 (需標準化成總和爲 1)	說明
80	$C_1^1 \times (1/\rho)^7$	完全符合偏好形式
40	$C_2^2 \times (1/\rho)^6$	除了最上層的功能之外皆符合
30	$C_3^3 \times (1/\rho)^5$	同時符合兩深度爲 2 的子樹
25	$C_2^3 \times (1/\rho)^4$	同時符合一深度爲 2, 一深度爲 1 的節點
20	$C_1^2 \times (1/\rho)^3$	符合一深度爲 2 的子樹
20	$C_4^4 \times (1/\rho)^4$	同時符合四個深度爲 1 的節點
15	$C_3^4 \times (1/\rho)^3$	同時符合三個深度爲 1 的節點
10	$C_2^4 \times (1/\rho)^2$	同時符合兩個深度爲 1 的節點
5	$C_1^4 \times (1/\rho)$	同時符合一個深度爲 1 的節點
0	$C_4^4 \times (1-1/\rho)^4$	沒有符合任何一個深度爲 1 的節點

註 1: ρ 爲原始砌磚數目。

註 2: 此表爲簡化的範例, 初始時, 消費者的偏好爲圖 4.4 右的結構, 但節點的內容爲 Uniform 隨機變數。表示從 1 到 ρ 的節點, 隨機產生塡滿圖 4.4 每一個「?」。因此, 我們用 $1/\rho$ 來表現每個節點出現特定節點的機率。我們將各種可能的組合計算在第二欄, 若有符合較深的商品模組偏好, 也會同時符合深度較淺的商品模組, 這樣的情況在計算上應該予以排除。然而, 我們只是希望帶出需求的概念, 即使是重覆計算, 需求仍然存在, 唯須注意機率加總後會大於 1, 所以我們實際繪製圖 4.6 時, 才需將總和重新標準化成 1, 並以此代表需求人口比例。

產者進化出更有效率的模組化能力來掌握新的搜尋空間。甚至已經會預先篩選, 讓一些跟不上時代的元素正式被新的模組取代。另一可能影響需求線形狀的因素爲*消費者偏好的異質程度*。偏好愈異質, 需求曲線的梯形愈明顯; 反之則某一特定價格下的需求量會明顯佔大多數比例。

以上是利用這個簡化的例子來說明。實際上的情況, 我們會安排消費者之間有部分偏好是同質, 部分是異質, 盡量接近眞實世界中觀察到的現象。另外, 生產者的商品也是多樣的, 每一個生產者都可以管理多樣的產品, 以應付不同的需求。這些表現都是代理人基模型所能夠呈現的豐富多樣性和彈性, 也因此在此複雜的環境之下, 如果要觀察某些現象, 嚴格控制實驗參數並且經由大量的模擬數據及統計分析是此模型的一大特徵。

4.5　市場過程

引入市場機制有多種可能的選項, 而且對於經濟的影響並非單純。在後續的研究中, 我們需要很謹愼地來看待這個議題。在這個初始的階段, 我們先簡單提出兩種可能的消費者購物方案 (shopping scheme) 來決定市場價格。第一種方式

爲隨機撮合 (random matching) 或盲目搜尋 (blind search), 第二種方式爲有目的之搜尋 (purposive search)。當然, 第二種方式的計算量要比第一種來得吃緊一些。

4.5.1 隨機搜尋

一個市場日 (market day) 包含了數個交易回合 (trading round)。在一個交易回合 t, 每個消費者 i $(i = 1, 2, ..., n_c)$ 和生產者 j $(j = 1, 2, ..., n_f)$ 的一樣商品 $Y_{j,m}$ 隨機撮合。[3] 消費商品的效用, $U_i(Y_{j,m})$ 定義最高的保留價格 (reservation price), $B_i(Y_{j,m})$, 此爲個別消費者對此商品所願意支付的價格, 如:

$$\text{bid}_i(Y_{j,m}) = U_i(Y_{j,m}).$$

令 $q^d(Y_{j,m})$ 爲 $Y_{j,m}$ 商品在交易回合 t 時的總和需求,

$$q^d(Y_{j,m}) = \sum_{i=1}^{n_c} I_i,$$

其中 I_i 爲指標函數 (indicator function), 當 $I_i = 1$, 在 t 回合時, 消費者 i 連結到商品 $Y_{j,m}$ 且 $\text{bid}_i(Y_{j,m}) \geq \text{ask}(Y_{j,m})$; 其他情況, $I_i = 0$。同時, 令 $q^s(Y_{j,m})$ 爲 t 回合時可售數量。$Y_{j,m}$ 的交易價格在 t 回合將可以決定如下,

$$P(Y_{j,m}) = \begin{cases} \text{ask}(Y_{j,m}), & \text{if } \ q^d(Y_{j,m}) \leq q^s(Y_{j,m}) \\ \text{bid}_{i^*}(Y_{j,m}), & \text{if } \ q^d(Y_{j,m}) > q^s(Y_{j,m}) \end{cases} \tag{4.16}$$

其中 i^* 滿足下式

$$\text{Card}\{i \mid \text{bid}_i(Y_{j,m}) \geq \text{bid}_{i^*}(Y_{j,m})\} = q^s(Y_{j,m}). \tag{4.17}$$

其中 Card{.} 表示基數 (cardinal number), 即集合中的元素數目。[4]

式 4.16 和 4.17 的價格決定過程可以視爲不二價 (take it or leave it) 與英式競價 (English auction) 兩種方式的結合。賣家在同一個市場交易日僅是標示出售價 (不二價)。然而, 如果一個商品同時有很多需求, 賣家就讓買家自行決定最後的售價 (英式競價)。如此完成一個交易回合。所有在第 t 回合銷售完畢的商品就不會再出現在後續回合的架上了。撮合與交易結束的條件不外乎到達交易結束回合, 如: 最大交易回合 T 滿足, 或所有的消費者都已經沒有預算。消費者搜尋與市場過程的流程在圖 4.7 和圖 4.8。

[3]事實上, 這個做法除了精簡計算力的好處外, 已經不合時宜; 因爲現代消費者接觸商品資訊的能力一直不斷地進步。我們在此強調這只是一種可能的做法。

[4]例如: $\{1, 2, 3\}$ 與 $\{2, 4, 6\}$ 兩者雖然內容不同, 但基數都是 3。

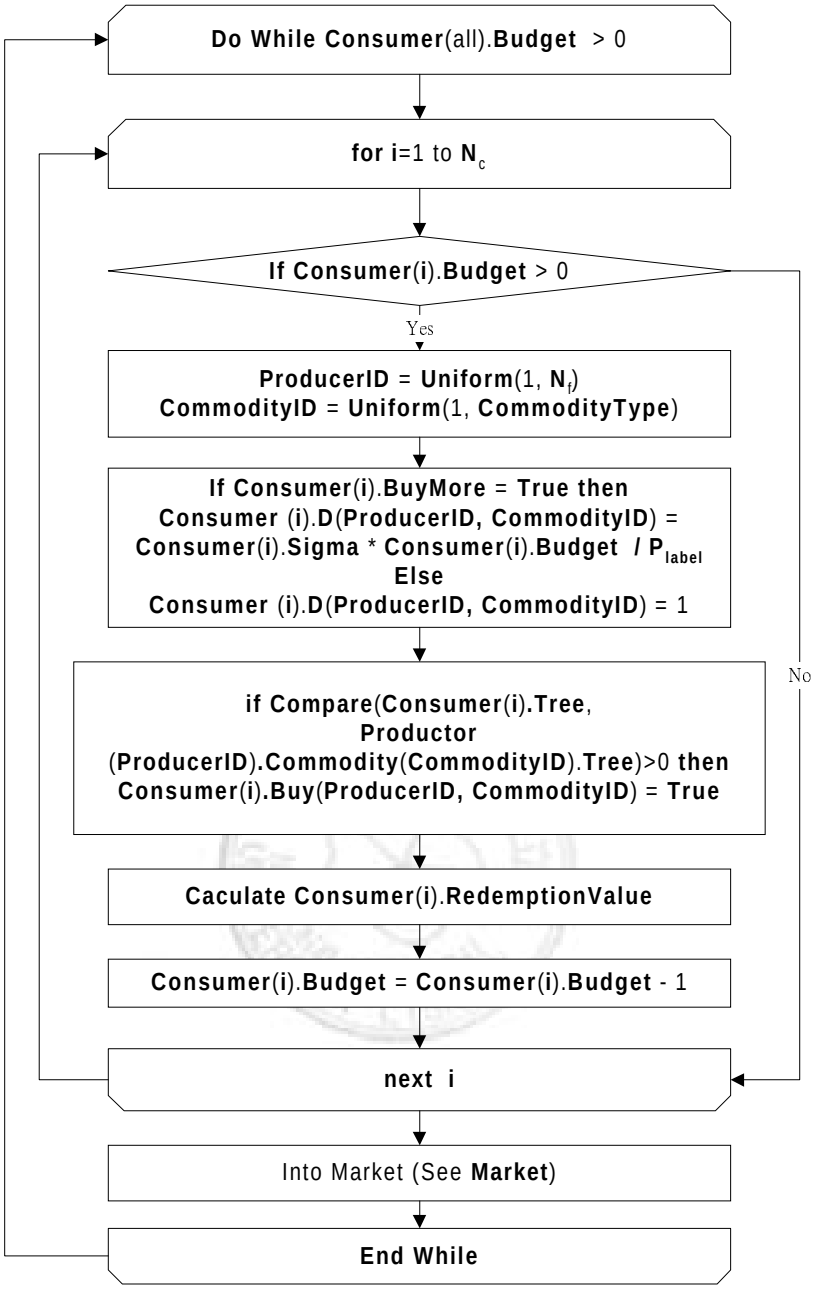

圖 4.7: 隨機搜尋流程

4.5.2　有目的之搜尋

有許多不同的交易機制, 例如: 消費者決定有哪些商品要放到他們的購物車, 他們可以事先試用或瞭解各種不同的商品。他們可以經由購物, 亦即對一些商品的抽樣來瞭解。然而, 這牽涉到購物活動的搜尋成本 (search cost)。試驗單一商品的搜尋成本爲 a。而且總搜尋成本應不致超過其總預算。消費者能衡量他們

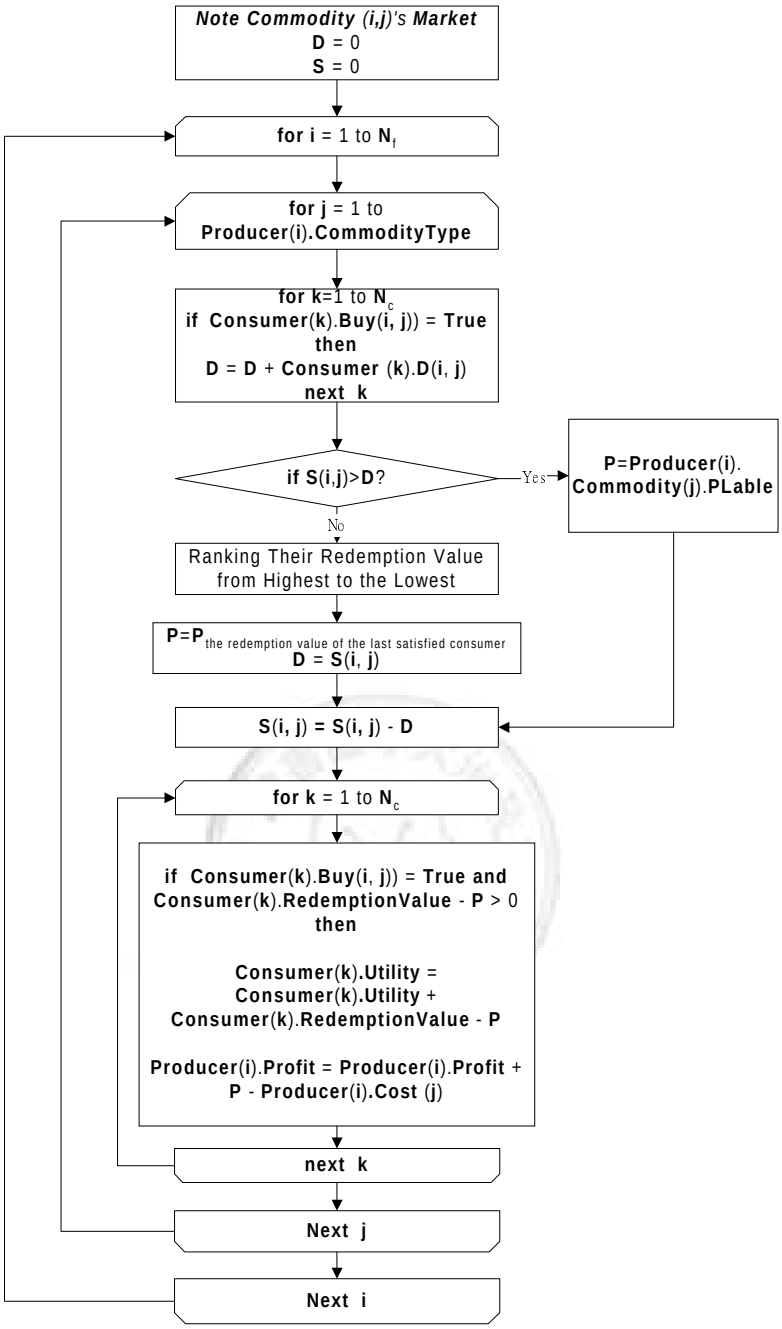

圖 4.8: 市場過程

抽樣商品的滿足感。藉由這個衡量, 他們可以決定每一個抽樣商品的保留價格。計算其保留價格和商品標價的差額, 即所有抽樣的商品都可以計算消費者剩餘 (consumer surplus), 並且將其排序。一個理性的消費者應該會從剩餘最高的商品開始購買接著依序遞減, 直到他的預算不足再買下一單位的商品爲止。因此,

消費者的預算限制可以寫成

$$Y \geq a \times S + \sum_{\tau} P_{\tau},$$

其中 Y 爲購買預算, S 爲商品抽樣大小 (搜尋強度, search intensity), 如: 消費者要獲得多少商品的知識就要作多少功課。P_{τ} 爲在消費者經驗中排序第 τ 個的商品價格。

4.5.3 折衷式的做法

以上兩種做法, 如果要適用於財務市場, 第二種集中競價的方式是一種理想的做法。然而, 商品的異質化程度可能非常高, 要消費者針對某一種特定商品進行喊價的機會相對降低。因此, 如果假設搜尋成本爲 0, 則很自然地表示消費者可以搜尋所有的商品。但是無限制的搜尋所有的生產者似乎不太可能, 所以模型以搜尋強度限制消費者所能接觸的生產者數目, 換言之, 消費者可以搜尋全數或部分的生產者, 是模型外生設定。一旦進入某一個生產者的賣場, 則可以完全搜尋該賣場的所有商品。

然而原先期望的喊價機制計算需求過高, 加上實際並不普遍適用於我們所觀察到的一般商品市場現象。所以我們採用商品標示出售價(不二價) 的方式, 提供給消費者。消費者進入市場的順序是隨機式的, 商品的提供是以先到先服務的方式提供。最後, 消費者只需比較各個商品所帶來消費者剩餘, 即可決定欲購買的清單, 再根據生產者當期的存貨量撮合成交, 得到每一交易回合的消費及消費者剩餘。

4.6 討論與小結

重新檢視消費者偏好與其搜尋的假設, 爲了討論科技的演化, 模型中的消費者與效用最大化的傳統模型沒有太大的差別, 差別在於生產者的技術在改變。然而, 眞實的消費者有許多限制, 例如: (1) 認知、學習與背景環境的差異, 消費者的選擇行爲未必完全理性 (Simon, 1955); (2) 消費者選擇經常會遭遇到衝突或無法比較的困難 (Tversky, 1972; Tversky and Kahneman, 1979); (3) 消費者的搜尋成本問題 (Bell *et al.*, 1998); (4) 消費者面對商品種類數目與篩選商家數目的關係, 研究發現商品的種類愈多, 會傾向減少商家的拜訪, 以節省搜尋成本 (Messinger and Narasimhan, 1997)。消費者行爲是一門涉及心理學、行銷

學與管理學的科學, 我們的研究若想進一步擴展來討論這方面的議題, 還需要非常多的努力。

目前, 模型能夠討論的消費者行爲乃是基於偏好中同時有異質與同質的一般化假設。在還沒有涉及偏好改變的前提下, 能夠同時兼顧主流偏好與多樣性的個人化風格。我們將有機會可以觀察到消費者的主流商品型態 (流行商品)、主流偏好被滿足的人口數 (流行帶動的消費群)、與個人化量身訂製 (特立獨行的消費者) 等發展。換言之, 以時間發展的觀點, 一開始預期可以觀察到同質的偏好喚起較廣泛的群體對特定種類商品的重視, 接著才會有愈來愈多的個人化特質服務。另外, 對於廣告、生產者對商品的描述、情境的導引等, 廣義的來說也是商品生產過程的一部分。重點是這整個過程可以掌握消費者偏好。

以下舉顧客關係管理 (CRM, customer relationship management) 做爲企業管理的應用。[5] 其貢獻來自於對知識的掌握與使用, 包括: (1) 對顧客的資料蒐集與處理; (2) 對資料進行分析與運用; (3) 有效分析重組以產生有用的知識; (4) 評估與回饋。所以資料是顧客知識管理 (customer knowledge management) 的基礎, 再加上與顧客完美的互動將有機會成爲理想的 CRM。我們將消費者偏好和 CRM 四個循環結合如下:

1. **知識發掘**: GP 可以負責功能性的改革, 透過新的功能來與消費者接觸; 而 GA 可以在樣式上作各種不同的組合來滿足消費者的感官神經, 迎合消費者對樣式的喜好。因此, 在知識的蒐集上, 必須仰賴最新的電子商務技術和消費者互動, 取得消費者最新的回饋資訊。接著生產者適當地將資訊透過人工智慧的計算方法重新利用和重組, 便成爲其自動創新能力的第一步。

2. **客群市場規劃**: 在創新和 CRM 中客群市場規劃的結合上, 我們可以將客群區分成兩大族群, 一類爲追隨者, 但又想彰顯自己獨特性格的客群; 另一類客群爲喜愛嘗試並且勇於接受新事物的先驅者。因此在知識的發掘上, 前者爲在既定功能下, 對新樣式有需求的消費者; 後者爲對新功能有需求的消費者。針對不同需求的客群, 他們可以進入到符合自己喜愛的界面下, 與將來發展出來的界面互動。界面的設計主要還是與消費者的視覺和聽覺接觸爲主, 未來的技術將可更深入滿足消費者對商品資訊的需求。

[5] CRM 的觀念是美國 Gartner Group 在 1997 年提出, 主要可以區分爲銷售 (Sales)、服務 (Service) 以及行銷 (Marketing) 等三個主要領域。

3. **顧客互動與回饋**: 上述兩個過程至少可能出現兩個問題。第一, 消費者無法從清單中找到自己喜歡的樣式; 第二, 生產者目前所提供的產品功能無法滿足消費者的需要。基於第一點, 可以提供消費者更大的自由, 讓消費者可以自己選擇要用來組合的元素。

   人機互動的觀念主要有, IGA (interactive GA) 與 HBGA (human-based GA)。IGA 的觀念是 Caldwell and Johnston (1991) 在設計如何讓計算機幫助人們指認嫌犯時所提出的。同樣的, 這種技術可以預先產生產品的樣式給使用者評分, 使用者只要輸入心目中主觀的感覺, 或挑出自己喜歡的樣式, 計算機蒐集這些線索之後即進入重組、改變, 然後再交由使用者來篩選, 最後的效果常會出乎意料的好, 此即發掘消費者偏好的途徑。

   HBGA 的觀念又比 IGA 進一步讓使用者介入, Cheng and Kosorukoff (2004) 發現 HBGA 更符合創新的涵意, 而且賦予使用者更大的權限。讓使用者不只是提供點的線索, 更進一步提供方向。因此, 在表現上, HBGA 可以比 IGA 更早得到滿意的結果。缺點是複雜的問題, 使用者變成無從決定遺傳運作的大小和方向, 其介入程度退化到和 IGA 一樣。同時兩者都有使用者疲勞的問題, 因此介面宜愈單純愈好。第二個問題, 需要對目前功能作出改革。問題在於不知道這個新功能的組成形式如何, 若消費者有能力可以將這個功能的預期輸入和輸出結果告訴計算機。接著由程式來演化新的功能, 其會以消費者的預期爲目標再加上目前的工業技術水準, 演化出新功能的商品。系統會建議出各式不同的新產品結果, 消費者只要篩選最接近自己需要的產品即可。

4. **反覆分析與修正**: 將透過客戶所建置出來的新產品互相比對, 不同的顧客可能彼此的需求有共同之處。藉由資料庫所儲存的大量客戶資訊, 在預算限制之下, 以計算機的運算優勢, 反覆分析並找出最可行的產品設計。

以上管理學和計算科學結合的應用, 是演化計算技術和眞實顧客的結合的一個例子。而顧客潛在的偏好經由導引才有機會顯現出來, 我們的模型相當於是預先虛擬客戶端的偏好存在, 經由市場互動, 討論技術演進 (商品改良) 可能出現的結果。

第 5 章
創新

5.1 技術交易

WIPO (世界智慧財產局, world intellectual property organization) 1977年對技術的解釋:「技術爲一種有系統的知識, 其目的是爲了產品的製造、製程的應用或提供服務。」然而, 無論是技術或是知識, 對於研究者而言, 乃然沒有一個明確統一的定義。本研究的表現方法可以呈現比較明確的思路。換言之, 商品的表達方式本身就具有技術的涵意。從原料經過各種加工過程到完整的商品, 整套的技術都呈現在商品裡。創新的來源就是技術的改良體現到商品上再透過市場反應到生產者的獲利和消費者的福利。而技術的改良方式又可分爲組織內和組織外。[1] 在組織內就是生產者本身的創新機制, 透過遺傳運作的內涵來改良商品。另一方面, 組織外的改良就需要尋求技術移轉或技術交易。

我們的模型可以透過一些變數的改變來表示不同的組織文化, 這些變數有研究發展比率 ($\gamma_{\mathrm{R\&D}}$)、突變率 (p_m)、交配率 (p_c)、是否採用自動定義終點 (ADT) 等。除了最後一項爲模組化的能力之外, 在意義上都是生產者求變的程度。然而, 廣大的消費者所形成的搜尋空間是無窮無盡, 任何一家生產者成功找尋所有的市場需求幾乎是不可能。因此在個別生產者各有其利基 (niche) 時, 若再加上技術交流, 將有效縮短創新的時程。[2] 在技術交流或交易, Williamson (1975) 指出技術移轉、技術授權、共同研發等的形式, 並歸納出以下步驟: (1) 搜尋交易對象; (2) 向對方傳遞期望交易及交易條件; (3) 談判; (4) 擬定合同; (5) 確認合同執行。

[1]我們暫且借用組織這個詞, 實際上我們還未正式討論到組織的問題。

[2]我們假設理想上應可獲得這個效果, 在 80 年代企管文獻上, 提出一些指標用以衡量技術移轉的績效, 主要是探討組織的接受能力和技術擴散的程度 (Satikarn, 1981)、成本和效益的分析 (Teece, 1981)。基本上這些看法都以組織的角度出發, 觀察的重點鎖定在組織的績效, 對於總體經濟的效果不易掌握。利用本研究的框架, 將有助於釐清個體和總體之間的關係。

技術如何成功交易是一個值得深入研究的課題; 然而, 達成交易之前, 在模型中表現技術的共同語言是首要的任務, 接下來才是進入到 Williamson 的步驟。因此, 以下我們將討論創新和經濟的關係。

5.2　技術創新與知識經濟

令 $\mathcal{Y}_t$ 爲 $\mathcal{Y}$ 的子集, 其爲在 t 時點所生產的商品集合。令

$$\tilde{\mathcal{Y}}_t = \cup_{j \leq t} \mathcal{Y}_j, \tag{5.1}$$

其爲直到 t 時所曾經生產的商品歷史, 換言之, 爲當時工藝水準的總和。在 $t+1$ 時的創新定義爲商品 Y_i, 其中 $Y_i \in \mathcal{Y}/\tilde{\mathcal{Y}}_t$, 例如: 該商品在過去從未出現過。有時, 人們會傾向假設創新在某種程度上一定是成功的。在那樣的情形, 我們可以透過一些表現來強調其成功, 例如: 產品壽命、佔有率、或累積利潤等。只有符合這些要求的商品可以被歸類爲本質上的創新 (essential innovation)。而其他的只能夠視爲持續性的嘗試和犯錯階段。

雖然沒有可以保證創新一定會獲利, 生存的壓力也許可以讓每個生產者選擇嘗試。本節將討論生產者的創新活動。某種程度上, 創新活動的表現與監督式學習下的知識發掘或資料採礦非常相似。消費者的偏好 $[U_l]_{i=1}^{n_c}$ 是生產者最感興趣的部分。因爲偏好是隱含的, 生產者又必須透過市場經驗來學 $[U_l]_{i=1}^{n_c}$ 的內涵, 如: 市場對生產者所製造的商品的回應。

令 $\mathcal{Y}_t^j$ 爲生產者 j 在 t 時點所提供的商品集合, 並且令 Ψ_t^j 爲 $\mathcal{Y}_t^j$ 的利潤數據 (profit profile)。

$$\Psi_t^j \equiv \{\pi_{m,t}^j\}_{m=1}^{\bar{m}_t}, \tag{5.2}$$

其中 $\pi_{m,t}^j$ 爲生產者 j 在 t 時點所提供第 m 個商品的平均利潤。令 t 時點的總利潤爲

$$\Pi_t^j = \sum_{m=1}^{\bar{m}_t} \pi_{m,t}^j. \tag{5.3}$$

以 $\pi_{m,t}^j$ 作爲適應度 (fitness measure), 我可以透過遺傳程式來模擬商品與科技的演化。然而, 我們仍然要小心的來看 GP 的適用性, 包括其經濟意義。因此, 我們無法直接地套用標準 GP。

首先, 產能限制式 5.4 在所有市場日必須被滿足。

$$K_{t+1}^j = K_t^j + \Pi_t^j \geq \sum_{m=1}^{\bar{m}_{t+1}} A_m + \sum_{m=1}^{\bar{m}_{t+1}} \sum_{q=1}^{\bar{q}_m} C_{m,q}, \tag{5.4}$$

在單純的設定下, 沒有外來的財務支援, 生產者不能出現預算赤字。因此, 無論商品有多新穎, 除非生產者自身財務建全, 否則無法實現生產。

第二, GP 的模擬通常需要許多次或數代 (generation)。然而, 因爲利潤 (適應度) 來自於未知的新技術 (商品), 直到其被銷售到市場。我們實際上也無法知道在第一代要如何做篩選 (selection)。[3] 這樣的情形, 如果學習被生產者自身的經驗限制, R&D 的空間亦將非常地受限, 這通常是指所謂個人式學習 (individual learning) 的代理人基計算經濟模型而言。因此, 這激起我們有動機來思考從群體知識學習的可能方法, 而社會式學習 (social learning) 似乎是很自然的思考方向。

社會學習基本上假設技術是公共財, 其共有的知識庫是由所有圈內的生產者共享。這個想法基本上並不會成功, 若我們考慮最高工藝 (state-of-the-art) 技術爲商業機密 (business secrets)。Harrald (2000) 的批判指出在代理人基計算模型裡, 社會式學習的適用性。我們相信這個批判在現在這個創新的議題非常的中肯, 社會學習機制在此並不能直接適用。然而, Chen and Yeh (2001) 年引入了一個學校 (school) 的機制也許可以派上用場。

學校機制存在於個人式學習和社會式學習之間。學校可以傳授一些模組技術 (商品模組), 這些模組有可能是成功的關鍵。學員可以支付學費來到學校學習這些模組。要吸引學員來註册, 學校一定也需要調適。Chen and Yeh (2001) 指出如何建立一個在代理人基股票市場裡的學校。這裡的應用有異曲同工之妙, 此時學校是在代理人基知識市場裡。

在任何的時點, 某些生產者會想要以一定的成本來取得技術, 此是已經在過去表現傑出的技術。另一方面, 有些生產者也會想要釋放他的竅門 (know-how) 來換取金錢的回報。最後, 浮現出來的交易環境就是知識市場。下節會再詳細的介紹。

令 $\mathcal{E}_t^j$ 爲 t 時點, 生產者 j 從另一個生產者 (或學校) 所購買的技術模組。因爲生產者不會去買他已經知道的 (模組), 所以這個情況爲

$$\mathcal{E}_t^j \cap \sigma(\mathcal{Y}_t^j) = \emptyset, \tag{5.5}$$

[3]在現代行銷學的研究, 消費者的需要是可以透過一些背景知識來初始化。這些知識包括文化、法律、競爭者、當今技術與經濟等, 再加上各種抽樣調查、產品推廣等努力達成所謂的市場需求分析, 接著再生產最可行的商品組合。我們之所以沒有這些過程, 主要原因是模型中的消費者偏好, 一開始是隨機給定, 並沒有任何如歷史文化、教育水準、民族性等涵意。而生產者初始的商品也是以隨機的方式來展現, 正如同對消費者偏好的一種調查。一旦得到一些回饋, 生產者自然可以建立自己的知識庫, 並且組合生產對自己有利的商品。

其中 $\sigma(\mathcal{Y}_t^j)$ 爲來自於 $\mathcal{Y}_t^j$ 所有的技術模組。[4] 在獲得 $\mathcal{E}_t^j$ 之後, 生產者 j 的知識集合, 定義出在 t 時點所有已知的技術模組, 定義爲 $\sigma(\mathcal{F}_t^j)$ 其中

$$\mathcal{F}_t^j = \mathcal{Y}_t^j \cup \mathcal{E}_t^j. \tag{5.6}$$

利潤數據現在也擴充成

$$\Psi_t^j \cup \Psi_t^\vartheta, \tag{5.7}$$

其中

$$\Psi_t^\vartheta \equiv \{\pi_{e,t}^j\}_{e=1}^{\bar{e}_t}. \tag{5.8}$$

$\pi_{e,t}^j$ 爲生產者 j 在 t 時點, 從知識市場所取得的第 e 個技術。$\bar{e}_t$ 爲生產者 j 在 t 時點, 所取得的總技術量。生產者 j 可以使用 $\mathcal{F}_t^j$ 作爲新的知識庫 (mating pool), 並且應用遺傳規劃對現在的技術模組 $\sigma(\mathcal{F}_t^j)$ 來重組以發展新的技術。

然而, 現在生產者所面對的產能限制式已經不是式 5.4。首先, 生產者需要支付從知識市場取得技術的成本。令取得技術 Y_e 的支出價格爲 $\tilde{P}_e$, 接著生產者 j 在技術取得的總支出或研究發展支出爲

$$\mathrm{RD}_t^j = \sum_{e=1}^{\bar{e}_t} \tilde{P}_e. \tag{5.9}$$

在另一方面, 生產者 j 可能也會是知識市場的供給者, 也因此會收到技術輸出的權利金 (royalty)。令 RY_t^j 爲 t 時點, 生產者 j 所收到的權利金, 最後產能限制式變爲

$$K_{t+1}^j = K_t^j + \Pi_t^j + \mathrm{RY}_t^j \geq \sum_{m=1}^{\bar{m}_{t+1}} A_m + \sum_{m=1}^{\bar{m}_{t+1}} \sum_{q=1}^{\bar{q}_m} C_{m,q} + \mathrm{RD}_t^j. \tag{5.10}$$

每個市場交易日的最後或下個市場交易日開始時, 許多新商品可以提供。這批商品的數量可以大致上視爲創新的統計。這個數量的時間序列也許是一個有趣的研究議題, 且可能有實證上的涵意。

5.3　知識市場

代理人基創新模型最複雜的部分莫過於接下來要談的知識市場。在上一節已經有稍微提到, 爲了促成創新過程, 生產者有動機需要和他人學習。當然, 並非所

[4]我們必須承認, 這個想法是知易行難, 所謂如何區別已經知道的模組, 從技術上而言, 並不是一件直覺的程序。目前一種候選的方案是利用專利機制, 將已經申請爲專利的技術定義爲已知的模組, 生產者如果使用了別人的專利技術, 會涉及取得該專利授權的程序, 否則非法使用將如同侵權或仿冒。

有的生產者都適合成爲被仿效的對象, 簡言之, 成爲學校的良師 (mentor); 因爲一般而言他們不會個個都成功。愈是在商品上獲得巨額利潤的生產者愈有可能成爲被仿效的對象。在演化程式 (evolutionary algorithm) 裡, 常使用的選擇機制稱爲輪盤法 (roulette-wheel selection scheme), 可以作爲選擇良師的程序。[5]

另一方面, 也並非所有的生產者都願以成爲良師 (被仿效的對象)。一旦他們的訣竅給某些生產知道, 他們的市場一定會被瓜分, 使利潤減少, 也培養了一群潛在的競爭者。由於此複雜的考量, 有些技術也許不會在知識市場上公開。所以先保護關鍵技術是維持自身利益最佳的策略。令 $\tilde{Y}_t$ 爲移除關鍵技術後的 (商品) 技術集合。明確地表示成 $\tilde{Y}_t \subseteq Y_t$。

此外, 使用輪盤選擇法, 令 Ψ_t 爲 $\mathcal{Y}_t$ 的利潤數據。

$$\Psi_t = \cup_j \Psi_t^j, \quad j = 1, 2, ..., n_f \tag{5.11}$$

我們假設 Ψ_t 爲公開資訊, 所有的生產者都能得知。在相應的 $\mathcal{Y}_t$, 我們也將焦點放在 Ψ_t 的子集合, 稱爲 $\tilde{\Psi}_t$。

假設生產者 j 尋找仿效對象的行爲是如下分配:

$$P_i^j = \frac{\exp^{\pi_i}}{\sum_{\{i:Y_i \in \tilde{\mathcal{Y}}_t / \mathcal{Y}_t^j\}} \exp^{\pi_i}} \tag{5.12}$$

P_i^j 表示生產者 j 選擇學習 $\tilde{\mathcal{Y}}_t / \mathcal{Y}_t^i$ 集合中第 i 個商品技術的機率。式 5.12 只適用於第一輪的選擇。因爲生產者 j 可能想要擷取更多的技術, 他可能會回到知識市場進行數次的學習。因此, 假設他對已經取得的技術不再有興趣, 我們需求對式 5.12 改良成抽樣不放回的形式 (sampling-without-replacement fashion)。

下個問題爲權利金的決定。有數種可能的方式來引入知識市場的價格機制。然而, 我們先以簡單的原則來適用: 學習的品質和生產者所支付的價格成正相關。付的愈多, 學得愈好, 我們稱爲值回票價原則 (deserving principle)。這個原則可以按照以下方式來實踐。

假定 Y_i 爲商品, 其相關的技術已被生產者 j 所取得。回顧 $\sigma(Y_i)$ 爲所有從 Y_i 所導出的技術模組集合。這些技術模組可以按照不同的深度 d 來分群, 例如: 表 4.2, $d \in [1, d_{\max}]$。我們稱 Y_d 爲生產者在支付權利金 $\tilde{P}$ 已習得的技術模組。接著根據值回票價原則, d 應與 $\tilde{P}$ 呈正相關: 若 $\tilde{P}$ 增加, d 也會增加。

$$d(\tilde{P}_1) \geq d(\tilde{P}_2), \quad \text{if} \quad \tilde{P}_1 \geq \tilde{P}_2. \tag{5.13}$$

[5]輪盤法和另一種競賽選擇法是演化計算篩選時常用的方法。前者有比較全域性搜尋的概念, 後者則較接近區域性搜尋。目前的研究趨勢已經考慮到網路的拓墣, 各種網路結構的擴充是未來模型的方向。

進而, 對於相同深度 d, 高獲利技術模組應該會比獲利較低的貴。

$$d_i(\tilde{P}) \leq d_k(\tilde{P}), \quad \text{if} \quad \pi_i \geq \pi_k. \tag{5.14}$$

因此式 5.13 與 5.14 同時定義了值回票價原則。此外, 考慮議價行爲可能會帶來價格與服務的不確定性, 我們提出值回票價原則的隨機版本 (stochastic version)。我們先標準化 d 到 0 與 1 之間, 根據下列轉換。

$$\delta = \frac{d-1}{d^*_{\max,t}-1}, \tag{5.15}$$

其中

$$d^*_{\max,t} \equiv \max\{d_{Y_i} : Y_i \in \mathcal{Y}_t\}. \tag{5.16}$$

然後有效的 δ 生產者 j 將依照下列 beta 分配隨機地取得技術。

$$g(\delta) = \frac{\Gamma(\tilde{P}+\pi)}{\Gamma(\tilde{P})\Gamma(\pi)}\delta^{\tilde{P}-1}(1-\delta)^{\pi-1}, \tag{5.17}$$

其中 $0 \leq \delta \leq 1$。在 beta 分配之下, 分配的偏態係數 (skewness) 用來描述學習的品質, 並且他是由生產者 j 所付的學費 ($\tilde{P}$) 和其可從此知識所獲得之潛在利益 (π) 共同決定。所需考慮的是 $\tilde{P}$ 和 π 的大小可能沒有辦法直接比較。如果這種情形發生, 標準化的程序應在 5.17 之前處理。一旦 δ 值被決定, 生產者 j 可以取得關於商品 $Y_{i,d'}$ 技術模組之一, 其中 $d' = \lfloor \delta \rfloor$。[6]

5.4　小結

圖 5.1 是小結代理人基計算創新模型的流程圖。這是一個跨科際的研究, 也是計算創新建模的一個先驅性研究。同時延續著代理人基建模的傳統, 和大多數的代理人基經濟與財務建模有著更進一步的應用。功能性模組法豐富了我們對經濟學核心的認識, 如商品、偏好、生產與技術等。我們相信這樣的豐富性可以大力促成知識基礎經濟 (knowledge-based economy) 的建模。對於經濟模組一些關鍵的概念及操作可以提供經濟理論及基礎重要的參考。

除了理論面之外, 模型同時也能爲實證研究及政策建模提供藍圖。以模組爲中心的經濟模擬將產生出大量的資料, 其中與眞實世界的關聯將是研究的重點。

[6] $\lfloor . \rfloor$ 爲下高斯符號。

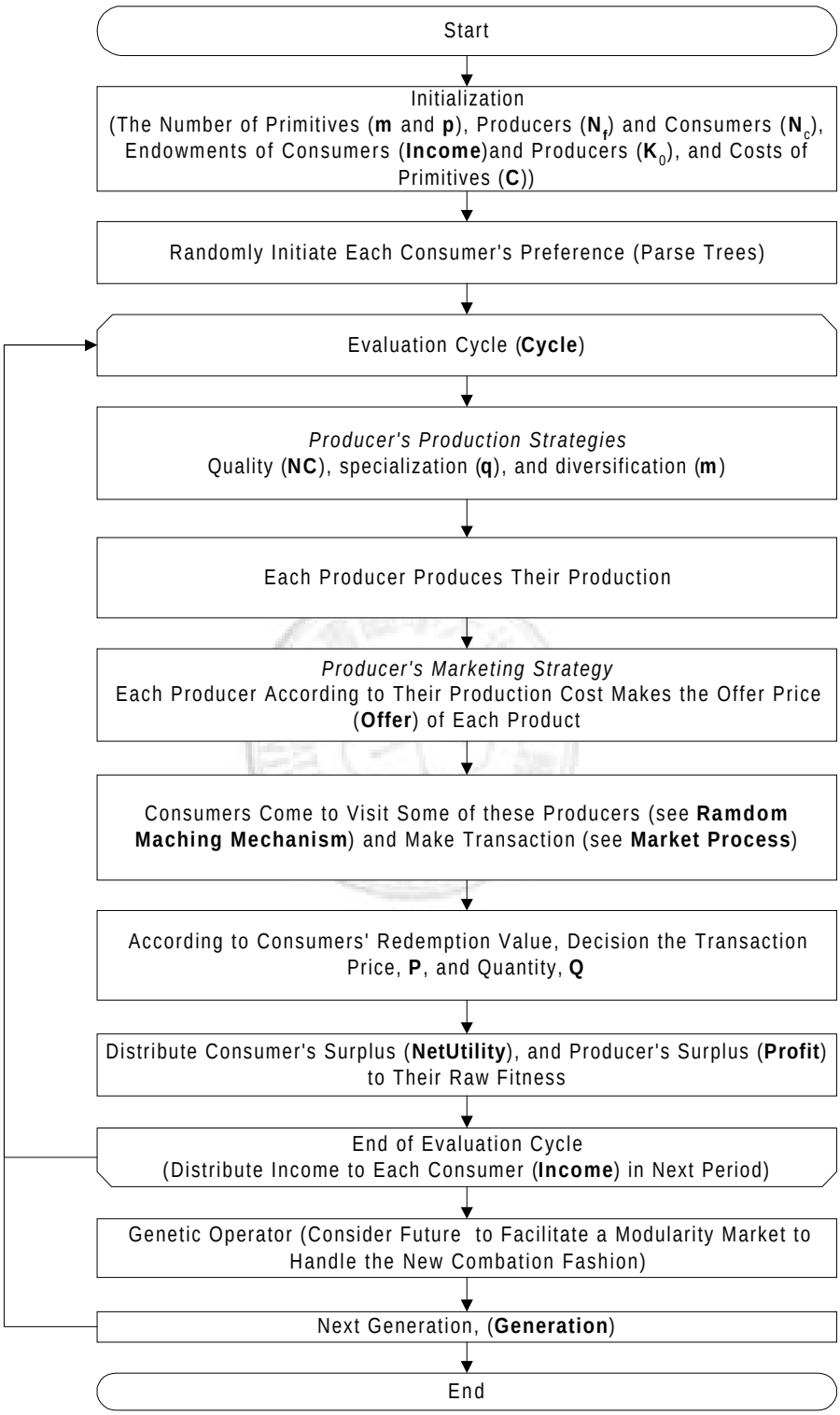

圖 5.1: 代理人基計算創新模型流程

國立政治大學 NATIONAL CHENGCHI UNIVERSITY LIBRARY

第 6 章
模型介紹

在前述章節中, 我們不難體會這個模型的複雜程度以及計算量的需求非常高。如果沒有適度的簡化, 實驗結果的分析將受到限制。因此, 務實的做法將由簡而繁, 先釐清一些基本的課題開始。

一開始, 生產者先不具備任何的自主能力, 一切行動依據外生給定的固定規則。消費者偏好短時間內不改變, 我們要來看生產者內部的創新引擎 (GP) 能不能夠發揮作用; 換言之, 是否能找到消費者所喜好的商品。

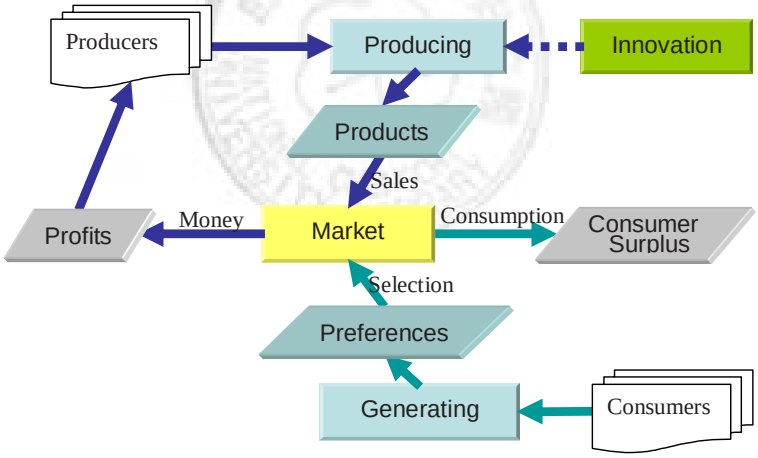

圖 6.1: 生產者與消費者互動結構

6.1 生產者參數

圖 6.1 顯示的重點是創新在模型中的角色, 即圖 6.1 中的 Innovation 。除了創新之外, 生產者沒有行爲的決定權。所有的行爲調控都是自動化反應,[1] 以下我們來說明生產者受哪些參數控制。

[1]如同人類的自主神經系統 (autonomic nervous system) 並無法藉由意識來控制, 如心臟搏動, 呼吸, 血壓, 消化和新陳代謝等。

1. **營運資本** (k, working capital): 每期投入資本額由外生給定。[2]

2. **存貨調整速率** (λ, inventory adjustment rate): 遵守適應性預期原則, 當生產者面對市場上的超額需求或超額供給時, 根據此一速率來調整, $\lambda \in [0,1]$, 當 $\lambda = 0$ 時, 表示下期存貨完全不調整; 當 $\lambda = 1$ 時, 下期初的存貨會調整至本期的實際市場需求。數學表示即爲 $Q_{t+1} = \lambda \mathrm{ED} + Q_t$, ED 表示超額需求量。[3]

3. **產品成本加成率** (η, mark-up rate): 產品售價爲 1 加上加成率再乘以平均成本而得, 亦即 $\mathrm{ask}_m = (1+\eta)\bar{C}_m$, $\bar{C}_m$ 爲 m 產品的平均單位成本。

4. **產品折價率** (r_d, discount rate): 生產者所生產的商品皆無法長期保存, 所以如果無法於一段時間內銷售, 則需報廢無法回收。因此爲了能部分回收成本, 生產者制定 $r_d \in [0,1]$ 爲針對原定售價在銷售期間內的折扣率, 此時商品定價變成 $\mathrm{ask}_m = (1-r_d)(1+\eta)\bar{C}_m$。

5. **研究與發展比率** ($\gamma_{\mathrm{R\&D}}$, R&D rate): 此爲存貨調整之後剩餘的營運資金有多少比率用於開發新產品。[4]

6. **研究與發展上限** ($\overline{\mathrm{R\&D}}$, R&D ceiling): 隨著累積資本愈來愈多, 研發比率固定下, 研發經費也會愈來愈多, 過多的新型商品很容易會成爲巨大的損失, 可能有拖垮生產者表現的疑慮, 故設此限。

7. **廣告支出比率** (r_a, advertisement rate): r_a 乘以扣除存貨調整成本及研發成本之後的營運資本, 即爲廣告支出。其目的是爲了增加與消費者連結的機會。目前在這個研究中, r_a 皆設定爲 0, 待有行銷課題時, 可以再做深入的討論。

8. **單位節點成本** (c, cost per node): 如第 3 章中所介紹的式 3.3, 在參數表中我們定義生產者使用元素所需的單位成本。目前單位節點成本都相同。

[2]由於我們研究的生產者並未涉及公司組織的形態, 所以並不強調初始資本, 即假設此爲獨資形態而且生產資源的組合成本爲零, 如購置機器設備、勞動雇用皆無需成本。當然, 這絕非一個無關的問題, 只是現階段焦點需有所取捨。

[3]λ 愈大表示生產者愈快速進入專業化生產的境界 因爲會有大量的營運資本用作補充現有存貨, 剩下可供研發的資金減少; 相反的, 存貨調整之後會留下愈多的資金將供作發展新產品, 此時生產者愈容易生產多樣化產品。因此, 我們相當於用這一個參數來控制生產者的專業與多樣化行爲, 降低參數過多的負擔。

[4]此爲商品創新的來源所在。

若將來考慮一般均衡模型而開放要素市場, 則各種節點的成本也應該要由其供需狀況來決定。

6.2 遺傳程式參數

以上這些參數應該由生產者來學習調整和適應。但是值得注意的是, 我們面對的問題爲多層次的調適性行爲。即使生產者現在看似無行爲能力, 可是實際上他的創新引擎已經啓動, 也就是生產者會以 $\gamma_{\text{R\&D}}$ 乘以存貨調整後之營運資本額會用來從事商品的研發。上層的演化是生產者行爲的演化, 目前先按兵不動, 由我們外生來給定參數。內層的演化爲商品演化, 已經使用到遺傳程式來負責演化。當然, 使用遺傳程式也是需要決定參數, 這些參數如下:

1. **初始化機制** (initialization): 一般而言, GP 在產生樹狀結構時有三種方式, 分別爲*成長法* (growth method)、*完全法* (full method) 和*混合法* (RHH, ramp half and half)。成長法爲樹的發展, 僅要有大於一的分支 (branch) 達到深度要求即可。完全法則要求所有的分支都要達到指定深度才停止。而混合法則爲折衷的作法, 標準的混合法爲成長法和完全法的概率爲 0.5。我們的消費者偏好和生產者初始商品則是採用標準混合法 (standard RHH)。

2. **原始砌磚數目** (ρ, number of primitive set): 這個參數由功能集合 (Ξ) 與終點集合 (Σ) 共用。因此, 在模擬中所使用的功能集合數與終點集合數皆爲 ρ, 亦即 $k = \kappa = \rho$。

3. **商品樹初始深度** (d_{ini}, initial tree depth): 在完全沒有市場資訊時, 生產者理性的做法應由生產簡單的商品開始,[5] 所以這個參數是用來規範生產者一開始的商品複雜度。

4. **商品樹最大深度** ($d_{\max}$, tree depth): 此爲演化或創新商品的極限, 我們必須做此限制, 主要是考慮計算機記憶量的限制, 同時此深度的設定應大於消費者偏好總深度。

[5]在沒有市場調查報告的情況, 初始的行爲如同進行市場調查, 會有較高的成本。

5. **競賽選樣比率** (r_{ts}, tournament size ratio):[6] 商品要能創新, 有一個先決條件, 就是多樣性的維持。所以競賽選擇法是一個可行的方案。r_{ts} 爲從生產者所擁有的商品樣式中挑出多少的比率來做競賽選擇, 這個比率愈高表示多樣性的可能愈小, 考慮極端的情況, 當 $r_{\mathrm{ts}} = 1$ 則每次選樣都無差異, 所篩選出來的親代也就無異了, 此時的多樣性就消失了。因此這個參數照理也應交給生產者自己決定, 但我們發現生產者將來要決定的參數太多, 將會等待我們較重視的參數釐清之後, 再來討論。

6. **交配率** (p_c , crossover rate): 爲競賽選出的兩個商品 (親代), 其子樹交換的機率。以此機制來表示商品重組的可能性, 當然重組後的商品不保證一定會更好, 但也可能是發現更高消費者剩餘的新商品。

7. **突變率** (p_m , mutation rate): 經過重組之後的商品, 再發生小變異的可能性, 這種可能性的機率即稱爲突變率。此亦與商品的好壞無關。

8. **樹突變比率** (r_{tm} , tree mutation ratio): 突變的方式一般有兩種, 點突變 (node mutation) 和樹突變 (tree mutation), 前者爲樹狀結構以節點爲單位, 發生突變的節點, 會變換成其他相對應的節點;[7] 這裡的比率, 只是兩種作法的分配方式, 所以樹突變比率爲 r_{tm}, 點突變的比率爲 $1 - r_{\mathrm{tm}}$。

9. **自動定義終點** (ADT, automatically defined terminal): 將這個機制也視爲一個參數, 我們可以比較有無模組化的表現差異。

6.3　消費者參數

生產者的部分包括生產者本身與遺傳程式 (創新引擎) 已經介紹完畢, 接下來我們描述消費者。消費者在模型裡扮演創新的來源, 這是建立在一個很強的假設之下, 所謂的需求拉動的創新, 一切來自於需求面的篩選, 然後才有優勝劣敗, 進

[6]篩選優劣的方法, 在遺傳演化計算最常見的方法有輪盤選擇法 (roulette-wheel selection) 和競賽選擇法 (tournament selection), 前者是根據適應度的優劣來成爲被篩選中的機率所以又稱適應度比例選擇法 (fitness proportionate selection)。也是最常用的方法之一, 但其常常抑制表現相對較差, 加強表現相對好的基因, 所以容易造成提早收斂的問題。在工程領域, 如果環境變數恆定, 此法常常可以運作的很好, 因爲只要環境不變, 所有相對差的基因本來就沒有存在的價值。相對的, 社會科學的應用, 常需要考慮互動行爲, 所以相當於處在環境高度變異的情況下, 相對的優劣可能只是暫時的, 所以競賽選擇法希望改善這個問題, 透過局部的、區域性的選擇, 保有基因的相對多樣性, 以適應崎嶇的環境。

[7]若選到終點則以終點集合中的節點來替換, 若是功能節點則以功能集合中的節點來替換。

而從勝出的產品再組合出更合適於消費者的商品。我們注意到這只是創新的其中一個觀點, 事實上, 供給面推動的創新亦同樣被討論, 兩種論點皆有依據。因此我們承認生產者和消費者皆可能同時爲商品的使用者與設計者。本研究爲了分析容易, 才將雙方的角色明顯的區別。消費者的設定如下:

1. **消費者所得** (I, consumer income): 每個交易日開始時, 外生給定每個消費者一筆所得, 可供購買商品。所得亦可依不同分配來給予消費者, 目前預設爲齊質性的設定。[8]

2. **總偏好深度** (d_p, depth of preference): 此爲每個消費者產生偏好樹的最大深度。這是計算機容量限制的考量, 實際上這個深度應不受限制。因爲根據假設, 偏好的演進是不斷展開的過程, 目前的應用則解釋爲消費者在某一段期間內可以潛在意識到的偏好範圍。

3. **共同偏好深度** (d_c, depth of common preference): 不同的消費者之間, 可能存在某一程度上的相同偏好。例如: 大部分的人可能都希望計算機的處理速度愈快愈好, 可以構成「快速」這個特性的結構, 就是潛藏於所有消費者心裡的偏好樹結構。

4. **偏好轉換效用底數** (z, base of Preference to Utility): 在第 4 章的第 4.15 式中, 說明了偏好如何透過指數函數轉換成效用值。在參數表中, 我們需要選擇此效用決定的底數, 通常以大於等於 2 的整數來設定, 以確保綜效性原則。

5. **願付價格與效用兌換率** (v, price to utility ratio): 將與某一特定商品完成相配的偏好模組轉成效用之後, 再乘上此兌換率即表示: 在特定偏好下的某一消費者針對某一特定商品所願付的最高價格。

6. **搜尋強度** (r_s, search intensity): 將所有的生產者數目視爲全體生產者, $r_s \in [0, 1]$, 當 $r_s = 100\%$ 時, 消費者不會錯過任何一個生產者, 在每個交易回合都會拜訪全部的生產者。當 $r_s < 100\%$ 時, 則表示消費者僅會部分

[8]如欲研究不同所得分配對創新的影響, 則可以配合消費者之間的網路連結, 換言之, 消費者之間會有互相學習和觀摩的效果。若建立這層互動關係, 表示消費者偏好不再固定, 而是會有所演化。此時, 所得的差異有可能形成階層式的從衆效應或潮流效應 (bandwagon effect), 高所得者可以購買起較精緻的商品, 逐漸地被大衆模仿並且接受, 待較低所得者儲蓄到可以購買起該商品時, 高所得者可能又開始試用更新潮的商品, 流行即內生化的在這個模型中展開 (Veblen, 1899)。

拜訪某幾家生產者。此時, 有一個內生的機制負責調控消費者會選擇哪幾位生產者來拜訪。這個機制爲簡單強化式學習 (reinforcement learning), 簡單意指我們只有計算成功與否的次數, 而不考慮消費者的滿足程度大小 (消費者剩餘), 一方面便於計算, 二方面不一定滿足愈大所能建立的關係愈深。因爲模型中的財貨屬於非耐久財, 消費者每日都要消費, 如果考慮滿足大小恐怕會太快陷入某些特定生產者的商品, 而失去其他生產者競爭的可能性。所以我們暫時不以消費者的滿足程度來加權, 未來可以再嘗試和加權的機制比較。目前的做法開始時所有的生產者皆有相同的機會被拜訪, 之後再根據實際歷史成交記錄來改變每位消費者對每家生產者下次被拜訪的機率分配。透過簡單強化式學習的機制, 當消費者成功搜尋到可成交的商品, 即會強化 (strengthen) 與該生產者的關係 (機率), 其他的生產者則相對被弱化 (weaken); 相反的, 對未成功搜尋, 則結果剛好相反。

6.4　模擬排程

在社會模擬的研究, 空間和時間是重要的客觀條件。空間可以是地理空間或是更高層次的網絡空間, 我們的模擬並沒有特別強調地理空間, 理由是在資訊發達的社會中, 地理空間已經不再是限制, 任何的交易都有可能透過網際網路在全球進行。網路和物流業成爲促成各種交易實現的主要功臣。因此我們並不擔心空間上的問題, 反而是時間的議題在模擬上仍然是一個挑戰。眞實世界中, 我們有共同的時間概念, 且個體對時間的支配完全獨立, 這乃是眞正平行處理的體現。然而, 在模擬中, 要實現平行處理需要平行處理的機器和高效率的程式撰寫。目前已經有平行處理的設備, 但技術上仍受限於編程能力, 所以我們的模型中使用的平行概念乃是指同步的概念。過去的社會模擬大多數都是循序處理的形式。[9]

圖 6.2 顯示模擬的排程, 整段模擬時間 (simulation time) 分成兩個層次, 分別爲代 (generation) 與交易日 (day)。模擬時間由數個代組成, 每代又由許多交易日構成。代數和交易日數皆爲外生控制參數。決定方式有幾個規則可循, 第

[9]我們在面對一個處理器要同時模擬多代理人的行爲, 計算資源的規劃爲排程。在概念上是以循序的處理器來模擬平行的架構。此處的差異我們說明如下, 中央處理器 (CPU) 單位時間能處理指令數, 一般而言是有限的, 我們使用每秒百萬指令 (MIPS, million instruction per second) 來定義。所以用循序來模擬平行時, 個體因爲個別計算需求的差異, 其所使用到的計算時間也不盡相同。因此, 概念上變成需要等待所有個體都計算完成才能互動。這就是同步 (synchronous) 的意思; 然而眞實的平行處理是可以允許非同步的 (asynchronous) 互動。

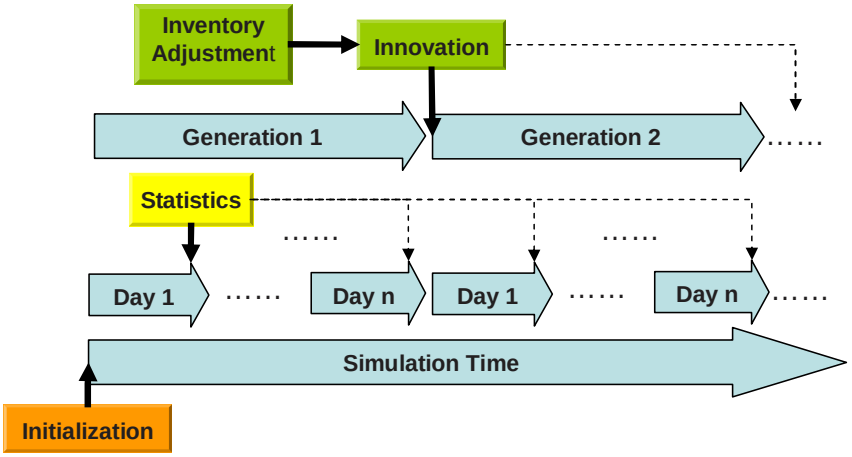

圖 6.2: 模擬時間排程示意圖

一, 代數的決定, 先以小代數進行測試, 觀察是否有收斂性質, 若所觀察的時間序列仍然未恆定 (non-stationary), 則再加大代數, 直到數列呈現穩定的狀態, 表示模擬已經處於一個相對均衡的情況。第二, 如果代數持續加大, 仍無法觀察到恆定的數列, 此時需考量系統的計算時間, 在可負擔的計算量之內停止。[10] 每代交易日的決定, 亦即評估代理人互動時間的長度。

在考慮代理人可以學習環境下, 關係到代理人學習方法的使用。因此, 必須在代的層次上再加一個層級, 我們稱爲*評估期* (evaluation period)。若代理人使用群演化的學習, 例如: GA, GP, EA (evolutionary algorithm) 與 ES (evolution strategies) 等, 這個參數的決定需配合生產者的策略數目, 此即群演化學習機制的母體 (population) 數來決定。目前模型尚未討論生產者參數的學習,[11] 在此開放一個空間來說明各種學習方法適用上的可能性。

以群演化的演算法爲例, 評估期會大於策略的母體數, 以確保每個策略在評估期內都有機會被評估。若代理人使用*強化式學習* (RL, reinforcement learning), 則評估期大小並非關鍵, 因爲每個市場過程的回饋都在改變策略的相對強度。另外值得一提的是結合群演化技術和強化學習機制的演算法: *學習分類者系統* (LCS, learning classifier system)。其可以保有群的觀念, 同時亦不需強

[10]我們的創新研究屬於這一類的決定方式。因爲不斷的創新, 隨時有新商品進入市場, 衝擊持續地發生, 要找到一個恆定的時間數列, 除非生產者已經找到消費者的完整偏好, 眞實世界不可能發生, 我們的模擬也是如此。

[11]可以考慮讓生產者學習的參數或稱爲策略包括: 研發比率、研發上限、存貨調整速率、產品成本加成率、交配率與突變率等。其中有些參數的學習頻率可能是在每個交易日發生, 例如, 產品成本加成率。

調評估期與母體數目的關係。因爲同一個時間點, 母體中的一群策略會透過一種連鎖反應的機制, 稱爲水桶大隊 (bucket brigade), 同時賦予多個策略相對的適合度。無論使用何種學習方法, 每代結束時爲存貨調整和商品創新的時點。若將來考慮不同的學習方法, 維持共同的評估期, 是達成各種不同學習機制下的比較基礎。

瞭解時間的排程後, 我們來看看其中安排哪些活動。在模擬之初, 初始化 (initialization) 是不可避免的, 這個階段會給定每個代理人所需的參數 (instance) 和行爲能力 (behavior)。接下來的時間就是上場互動。每個交易日, 消費者會擬定要拜訪的生產者清單, 進入市場找到清單上的生產者, 接著檢視生產者的商品, 或瀏覽型錄中所有商品, 購買心中最喜歡的 (消費者剩餘最高的) 商品樣式。[12] 這裡有兩個問題要討論, 首先是消費者進入市場的順序, 爲了要達到模擬平行的效果, 順序的因素必須透過隨機化的過程來排除。所以每日採用隨機不重覆的方式進入市場。同樣的也適用在被拜訪的生產者名單順序上。其次是爲什麼是瀏覽型錄而非商品, 因爲先來後到的關係, 有些商品可能實體已經不存在, 但其可能爲該消費者的首選。因此須從型錄或展示品來得知完整的商品訊息。若欲購買的商品已經缺貨, 則再考慮次喜愛的商品, 以此類推。同時, 若有缺貨的情況, 生產者也會記錄超額需求量, 以便成爲日後調整存貨的依據。一旦所有消費者都進入過市場後,[13] 稱爲完成一個交易日。我們會記錄每個交易日的個別生產者和全部消費者的數據資料以供分析。請容稍後再說明記錄及統計的資料內容。

數個交易日後稱爲一代, 每代的起始個別生產者和消費者都會被給予一筆稟賦。消費者的部分稱爲可支用所得。該所得是可以累積的, 所以如果剛好所面對預算不足以購買的商品, 可以累積數代的所得來完成想要的消費。[14] 生產者的部分, 會新增一筆固定金額的預算作爲營運資本 (working capital) 的一部分, 這筆資金原本應由生產者從原先的獲利內生決定出這一筆資金, 但目前的模型, 我們採外生注入 (相當於固定的孳息收入)。生產者依據前期獲利 (盈餘) 加上外生注入的資金以供執行存貨調整 (inventory adjustment) 與創新。

[12]這裡涉及到研究的一個限制, 一般而言, 消費者通常在未消費之前, 不見得能夠知道消費後的效用。在我們的研究中, 消費者並沒有這個限制, 其消費前後的消用一致。當然, 如果要考慮消費前後的不確定性, 則需有更複雜的操作方法, 如: 加入干擾因素, 目前我們則以簡化爲主。

[13]請注意這裡的所談購買行爲都是消費者的自願行爲, 議價程序在此先不討論。

[14]如果該商品還存在於市場上, 或甚至已經有更好的商品。資訊產品是一個典型的例子。

6.5 報表呈現

表 6.1: 模擬結果: 生產者報表

Gen.	Avg. Cost	Profit	Tot. Sold	Inv.	The Max. Profit Product			Product Types		Capital
					Price	Serial No.	Sold	Num.	Avg. Profit	
1	11.05	318	38	6	30	2	1	44	7.23	14
2	12.53	852	68	0	30	29	31	38	20.78	466
3	13.16	1316	100	0	30	29	61	40	29.95	1354
4	13.54	1801	133	0	30	29	92	42	38.72	2685
5	13.75	2338	170	0	30	29	125	46	45.57	4449
6	13.99	2938	210	0	30	29	161	50	52.52	6687
7	14.14	3605	255	0	30	29	200	56	57.81	9458
8	14.13	4333	309	2	30	29	244	68	57.59	12775
9	14.20	5295	373	0	30	29	296	78	61.62	16706
10	14.55	8091	600	83	30	84	299	90	44.30	17855
11	20.28	7443	600	489	54	95	480	17	10.72	14302
12	24.14	13676	600	152	54	95	576	24	-3.39	26174
13	25.52	15062	600	76	54	95	595	35	-2.34	41256
14	26.63	2869	600	509	54	151	480	36	-7.89	44537
15	26.37	10543	600	229	54	151	576	40	-6.37	55580
16	26.68	1743	600	549	54	214	480	35	2.54	57823
17	26.77	326	600	598	54	236	480	31	-5.24	58649
18	26.74	796	600	582	54	282	480	36	-5.10	59945
19	26.69	804	600	584	54	309	480	39	-5.19	61249
20	26.74	824	600	582	54	335	480	35	0.95	62545
21	31.71	6539	600	579	78	362	480	36	6.78	58084
22	35.50	18058	600	194	78	362	576	38	17.03	74322
23	35.65	715	600	531	66	408	480	36	7.21	80753
24	34.36	12129	600	207	66	408	576	24	-2.13	94554
25	31.48	-31	600	537	58	460	480	26	-0.54	99123

表 6.1 呈現某特定生產者每代的表現情形。其欄位包括 Gen. (代), Avg. Cost (平均成本), Profit (總利潤), Tot. Sold (總銷售量), Inv. (存貨), The Max. Profit Product (利潤最高商品表現), Product Types (商品種類), 與 Capital (營運資本)。其中利潤最高商品表現包括該商品的 Price (售價), Serial No. (商品序號), 與 Sold (銷售量)。商品種類包括其種類 Num. (數量) 與 Avg. Profit (平均利潤) 資訊。這些資訊展現出生產者的一些基本特徵和我們所關心的議題, 以下我們一一介紹每一個變數所代表的意義以及觀察的重點。

1. 平均成本: 其計算方式爲 $\frac{\text{TC}}{Q}$, TC 爲總成本, Q 爲總生產量。成本的高低直接關聯到生產技術的良窳, 因此爲生產者技術進步的指標之一。

2. 利潤: 爲 TR − TC, TR 爲總銷貨收入。生產者生存的指標, 根據這項資訊, 我們結合營運資本, 可以再進一步計算資本報酬率。

3. 總銷售量: 爲實際售出的商品數量。在多家生產者競爭的情況下, 此爲計算生產者市場佔有率的資訊。

4. 存貨: 未在當代售出的商品數量, 我們假設商品是無法儲存, 所以這些剩餘的商品都是生產者的損失。通常會導致存貨損失的主要來源爲創新商品, 因爲新商品未能獲得市場消費者的青睞, 即使繼續延續到下期銷售, 有非常高的機率仍然是無法出售。[15]

5. 最高利潤商品

   (a) 售價: 記錄獲利表現最佳的商品售價。

   (b) 產品序號: 以此來追蹤目前市面上主流商品的變化情形。序號數值愈大表示該商品是愈新的型號。

   (c) 銷售量: 如果此數量愈大, 代表生產者愈專注在主力產品的生產。

6. 商品種類

   (a) 種類數: 數目愈高表示生產者愈多樣化生產, 反之則表示生產者愈專業生產。

   (b) 平均利潤: 爲平均每一種類商品的利潤, 採用簡單平均, 沒有經過各種類商品數量的加權。

7. 營運資本: 每期的投入資金, 剩餘資金以及上期利潤的總和。

由於消費者人數衆多, 表 6.2 所能表達的資訊是以加總、平均和分位數統計量的方式來表現。呈現的訊息包括 Consumer Surplus (消費者剩餘) 的最低、最高、三個分位數和平均數資訊。另外記錄市場上總成交買家數與成交筆數, 最後則是社會總結餘預算。以下分別介紹。

1. 消費者剩餘: 這是整個社會福利的一個指標, 我們所提供的資訊可以呈現一個概觀, 讓研究者可以瞭解不同設定下, 創新對消費者福利的影響。

2. 成交人數與成交筆數: 這兩個指標的上限分別爲消費者總人數與消費者人數乘以每代交易日數, 若未達成上限, 表示生產者在數量上還有進步的空間。通常模擬的效果會讓這兩個值很快的達到上限, 接下來才是要看品質精進的效果對消費者剩餘的影響。

[15]將來的設計, 若考慮消費者的偏好也是透過市場互動和學習而來, 則可以考慮放寬存貨無法儲存的假設。另外, 也可以考慮使用折價率, 使產品降價求售, 可獲得較低的利潤或回收部分成本。但是, 如果考慮的是積極創新的生產者, 在評量哪些商品應該進入創新智庫時, 這些降價求售的產品應該予以排除。

表 6.2: 模擬結果: 消費者報表

Gen.	Consumer Surplus						Number		Total
	Min	1st	Median	3rd	Max	Avg	Buyer	Trade	Budget
1	0	0	0	0	3	0.17	38	38	999196
2	0	0	0	3	3	1.07	68	68	1997492
3	0	0	3	3	3	1.97	100	100	2994860
4	1	3	3	3	4	2.90	100	133	3991258
5	3	3	3	6	6	3.89	100	170	4986582
6	3	3	6	6	6	4.98	100	210	5980706
7	6	6	6	6	9	6.18	100	255	6973496
8	6	6	7	9	9	7.50	100	309	7964770
9	8	9	9	9	11	9.17	100	373	8954180
10	17	18	18	18	20	18.01	100	600	9936148
11	26	28	28	28	28	27.60	100	600	10906620
12	28	30	30	30	30	29.52	100	600	11874788
13	28	30	30	30	30	29.92	100	600	12842476
14	30	30	30	30	30	30.00	100	600	13810076
15	30	30	30	30	30	30.00	100	600	14777676
16	30	30	30	30	30	30.00	100	600	15745276
17	30	30	30	30	30	30.00	100	600	16712876
18	30	30	30	30	30	30.00	100	600	17680476
19	30	30	30	30	30	30.00	100	600	18648076
20	30	30	30	30	30	30.00	100	600	19615648
21	30	30	30	30	30	30.00	100	600	20571720
22	30	30	30	30	31	30.01	100	600	21525472
23	34	35	35	35	35	34.80	100	600	22484440
24	35	36	36	36	36	35.77	100	600	23444580
25	36	36	36	36	36	36.00	100	600	24408820

3. 社會總結餘預算: 此爲每期消費者的所得加上期結餘的所得。[16]

6.6 討論與小結

本章介紹了模型的基本參數以及未來擴充可能的方向。我們坦承 ABM 帶來了前所未有的彈性, 但也出現前所未見的問題。雖然爲初步模型, 我們已經發現參數非常的繁多。針對浮現出的問題在此作說明。第一, 這些參數該如何校準, 初始參數該如何設定的問題。因此, 在模型並無前例可循的情況之下, 一般的作法會先由實驗者測試一些參數組合。最後根據一些準則決定要適用的參數組合。在本研究的準則我們規範如下:

1. 消費者的所得要足夠能支付其每次的購買, 不會有想要消費而無預算購買的窘境。也因此生產者的創新不會因爲消費者預算不足而停滯。目前偏好樹爲 6 層的情況下, 當消費者遇到完美商品時, 所願付的最高價格爲 5 ×

[16]由於消費者所得來源爲外生給定, 所留下的問題還很多。包括如何將所得與生產者的勞動要素所得結合、消費者的儲蓄除了消費之外還可以投資、再加上貨幣供給與物價水準的問題, 成爲完整的一般均衡模型。目前我們專注在對社會福利增進的討論。在機制設計上, 尚未考慮貨幣供給與物價水準、投資與儲蓄、勞動市場與所得等問題, 消費者過多的所得除了可以繼續留用之外, 並沒有投資決策的問題也不會造成物價的上漲的問題。

$4^{6-1} = 5120$。我們設定每代所得爲 10,000 以確保交易進行使創新商品不會胎死腹中。

2. 消費者的偏好需能夠有一定的深度, 讓生產者在模擬期間內不會完全找到答案; 換言之, 在模擬期間生產者很難製造出完全符合消費者需要的商品, 因此生產者是持續的在進步。

3. 消費者願付價格與效用兌換率需大到足夠促成模擬開始時就有零星的交易產生。

4. 搜尋強度乘以生產者數目至少爲大於等於 1 的整數, 否則消費者將不會進入市場, 也不會有交易發生。

5. 模擬的排程方面, 要讓模擬的後期進入一個穩定的狀態。換言之, 除了創新之外的主要指標, 如: 獲利表現、市場佔有率都趨於穩定, 如此較能強化後續的分析與結論。

6. 生產者的營運資本需足夠製造出約略市場需求的數量。

7. R&D 的上限設計, 乃是爲了避免生產者將所獲得的利潤都犧牲在失敗的 R&D 商品, 在生產者的利潤會不斷累積的情況下, 如果沒有這個上限的設計, R&D 的比例雖然不變, 但實際金額會愈來愈高, 而拖累生產者的獲利表現。

8. 生產者人數的設定, 一旦設定即固定, 並沒有潛在的生產者會再加入, 當生產者的市場佔有率變成零, 表示其退出市場。所以一開始模擬主要以獨佔或兩家生產者的競爭做爲不同參數的對照比較。

9. 除了與上述有關的參數, 其他參數如: 突變率、交配率等遺傳程式運作的參數則參考一般 GP 應用的設定方式, 如高交配率, 低突變率的設定原則。這個部分也是我們後續發展模擬實驗所要觀察的重點之一。

第二, 在模型的分析上, 我們沒有分析解的結果來做爲模型的比較準則。主要是因爲分析解在這個架構之下並不可得。因此, 我們所面對的是一個統計抽樣問題, 就如同針對一個未知大小的母體的抽樣過程。我們想要透過抽樣來過濾掉不相關的干擾因素, 例如: 代理人的機運 (chance)。所以, 多少的抽樣數可以得到去蕪存菁的結果, 成爲決定模擬次數的主要依據。

第 7 章
生產者策略與創新

7.1 模組化與獨佔市場

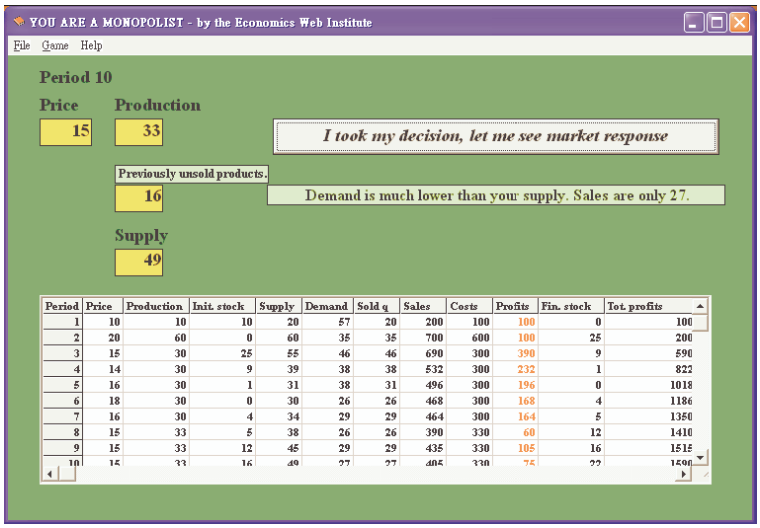

圖 7.1: 模擬獨佔者

註: 軟體畫面擷取自 http://www.economicswebinstitute.org/essays/monopolist.htm。

在教課書上, 獨佔也是造成市場效率無法充分發揮的原因, 亦即市場失靈的因素之一。社會福利因爲獨佔的定價而無法充分實現, 利用這個模型, 我們將有機會來討論生產者競爭與社會福利的關係。傳統上, 對市場失靈的討論焦點在定價的問題, 因爲獨佔定價往往造成社會無謂損失 (deadweight loss)。實際上獨佔者對於市場需求並非如理論介紹般那麼清楚透明 (Piana, 2002)。換言之, 市場需求是動態的, 而獨佔者仍然可以使用定價和產量來測試市場需求 (圖 7.1)。相對而言, Piana (2002) 的教學平台已經將市場需求的未知以及不確定性考慮進來, 其重點仍然是在教育獨佔者的定價能力; 然而, 獨佔者的創新效果難以單純反應在商品的價格和數量上。

表 7.1: 基本模型參數表

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
	生 產 者 參 數		
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	1
初始化資本	整數 (K_0)	$[1, \infty)$	500
每代注入營運資本	整數 (K)	$[1, \infty)$	500
存貨調整速率	實數 (λ)	[0, 1]	80%
產品成本加成率	實數 (η)	$[0, \infty)$	100%
產品折價率	實數 (r_d)	[0, 1]	0%
研究與發展比率	實數 ($\gamma_{\mathrm{R\&D}}$)	[0, 1]	1%
研究與發展上限	實數 ($\overline{\mathrm{R\&D}}$)	$[0, \infty)$	500
廣告支出比率	實數 (r_a)	[0, 1]	0%
單位節點成本	實數 (c)	$[0, \infty)$	1.0
	GP 運 作 元 參 數		
原始砌磚數目	整數 (ρ)	$[1, \infty)$	5
商品樹初始深度	整數 (d_{ini})	[1, 17]	5
商品樹最大深度	整數 (d_{max})	[1, 17]	11
競賽選樣比率	實數 (r_{ts})	[0, 1]	10%
交配率	實數 (p_c)	[0, 1]	90%
突變率	實數 (p_m)	[0, 1]	80%
樹突變比率	實數 (r_{tm})	[0, 1]	50%
自動定義終點	布林 (ADT)	T, F	T
	消 費 者 參 數		
消費者人數	整數 (n_c)	$[1, \infty)$	100
消費者每人所得	整數 (I)	$[1, \infty)$	10000
總偏好深度	整數 (d_p)	[1, 17]	6
共同偏好深度	整數 (d_c)	$[1, d_p]$	5
偏好轉換效用底數	整數 (z)	[2, 10]	4
願付價格與效用兌換率	實數 (ν)	$[0, \infty)$	5.0
搜尋強度	實數 (r_s)	[0, 1]	100%
	時 間 排 程		
每代交易日數	整數 (Day)	$[1, \infty)$	6
代數	整數 (Gen)	$[1, \infty)$	5000

7.1.1 基本模型

表 7.1 爲基本模型的參數設計, 其乃是依據第 6 章所討論的原則所設計。我們以接下來各項模擬的變數, 若未特別指定參數值, 將以表 7.1 爲參數的預設值。從基本模型出發, 模組化能力爲本節觀察的重點。因此, 自動定義終點 (ADT) 爲操弄的主要變數。我們使用 GP 來表現商品的目的在於其具有良好的階層性與

延伸性。加上 ADT 來表現模組化。因此, 爲了瞭解模組化的功能是否正常發揮, 我們分別測試幾種情境。包括獨佔、兩家寡佔兩種主要的市場結構。

表 7.2: 模組化模型參數表

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
	標準生產者		
自動定義終點	布林 (ADT)	T, F	(1) F
	模組化生產者		
自動定義終點	布林 (ADT)	T, F	(2) T

註: (1), (2) 爲生產者編號對應適用參數, 其餘參數同表 7.1。兩組實驗各獨立進行 50 次。

獨佔的安排如表 7.2, 兩生產者分別爲*標準生產者* (未使用 ADT) 與*模組化生產者* (使用 ADT 的生產者)。其餘的參數皆固定不變。這個設定之目的希望觀察創新活動進行的情況與模組化能力的關係。我們分別對兩組實驗設計獨立執行。每次實驗中, 消費者的偏好 (代表生產者所面對的市場環境) 皆保持不變, 維持一致的比較基礎。接著計算模擬結果的*消費者剩餘*與*生產者獲利*表現。最後將消費者偏好中共同的部分以視覺化的方式呈現, 並選出幾個典型的商品做比較, 如此一來, 可約略瞭解創新深入人心的程度。

消費者剩餘爲消費者在某一時點針對某一特定商品願付最高價扣除商品定價後之值, 消費者剩餘亦爲消費滿足感的引伸, 需要商品實際成交才得以實現。然而, 在不同的偏好下滿足感的定義會有所不同。爲了使不同的偏好設定與不同的實驗有共同的比較基礎, 我們在滿足感的計算上皆以標準化之後的數值來表示。標準化的方式是以*實現的消費者剩餘除以最大可能實現的消費者剩餘*。[1] 由於開始時此值通常很小, 所以我們再將標準化的數 (介於 0 到 1 之間) 值放大 1000 倍。因此若我們得到某一個消費者實現的滿足感爲 250, 則該消費者被生產者商品滿足的程度爲 $250/1000 = 25\%$。當滿足程度爲 100% 表示該消費者的偏好已經完全被發掘, 這是我們模擬要盡量避免的部分。

我們先來看消費者的偏好, 在表 7.1 中, 消費者的共同偏好深度爲 5, 總偏好深度爲 6。因此, 圖 7.2 顯示的爲深度爲 5 的共同部分, 其中最上面的功能 $\boxed{\text{F1}}$ 會再連結到更上一層的功能, 同時, 上一層功能也會有另一個深度爲 5 的子樹。因此, 若要將每個消費者的偏好列出來是有困難的。每個消費者需要圖 7.2 兩

[1]最大可能實現的消費者剩餘計算方式是假設消費者消費到與自己偏好完全相同的商品時, 其所能得到的效用計算出的願付最高價格再扣除該商品的售價。

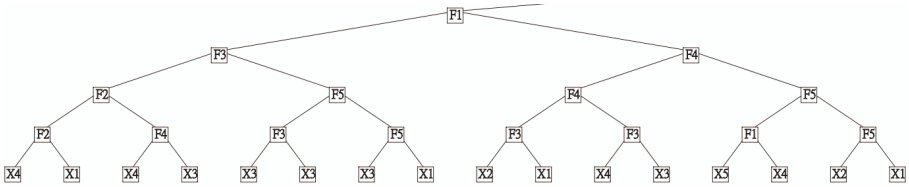

圖 7.2: 消費者共同偏好

倍大的空間, 總共有 100 位消費者, 就會有 100 種不同的偏好表現。因此, 我們僅在圖 7.2 顯示共同偏好的部分, 其餘的部分則需要依靠想像力來填補。[2]

7.1.2　獨佔環境模擬樣本數

爲了得到有效率的統計結果, 我們並非無限制的重覆執行模擬。計算機模擬所需的計算成本也應考慮進來。無疑地, 這跟我們所得到的初步樣本性質有關, 樣本變異數愈大, 若欲達到所需的統計精確性, 所需要的樣本量愈多; 相反的, 變異數愈小, 所需的樣本量愈少。Law and Kelton (1991) 的書中第 532 頁敍述樣本大小與信賴區間的抵換關係。我們可以期待不同的模擬環境將帶來不同的樣本變異程度。

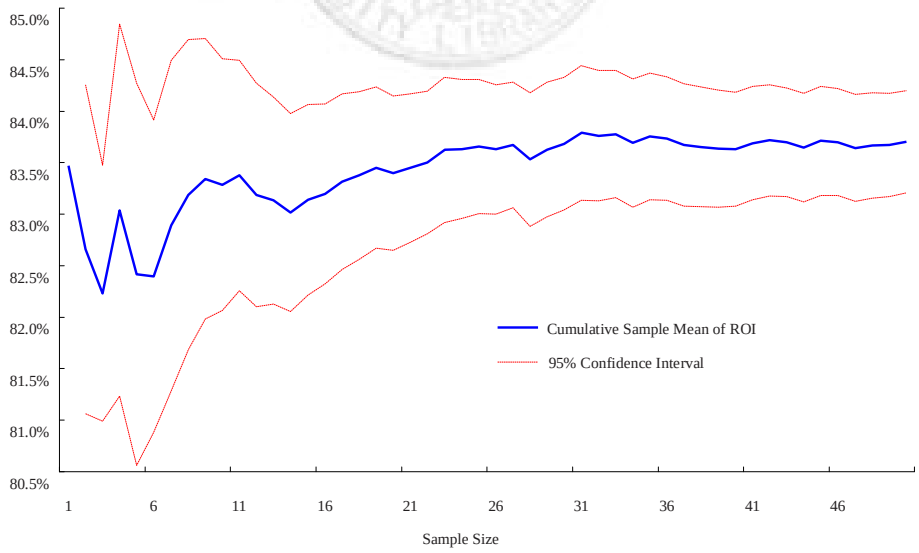

圖 7.3: 累積樣本期望值與樣本數

[2]這裡牽涉到一些技術性的細節, 在共同偏好的部分是採用完全法的方式來產生, 其餘的則是使用 RHH 方式產生。這是爲了避免共同偏好長出太過於歪斜的樹, 而使生產者所面對問題複雜度改變。

以獨佔的情況來說, 沒有競爭壓力, 而且消費者的偏好具有良好的特性。整個環境對獨佔者而言, 算是相當穩定, 因此預期需要的模擬樣本數不需太多。我們將每一次模擬 5000 代所得到的統計量做爲一個樣本點, 累積不同的模擬次數, 來觀察樣本平均的座落情況以及對母體變量估計的信賴區間。圖 7.3 的例子中, 顯示單獨一家模組化生產者的樣本累積平均投資報酬率 (ROI, return on investment), 隨著樣本數 (n) 增加, 我們可以觀察到平均投資報酬率的期望值有愈來愈穩定的趨勢, 同時 95% 的信賴區間 (confidence interval) 也隨著樣本數增加而縮小。信賴區間的計算方式爲 $\bar{x} \pm Z_{0.05/2} \times s/\sqrt{n}$, 其中 $\bar{x}$, s 爲樣本期望值和標準差。在初步 50 次的模擬中, 我們觀察各變數的累積樣本期望值與樣本數的關係, 當樣本數大於 35 時, 期望值對樣本數的敏感度變得非常小。95% 的信賴區間範圍已經縮小至正負 1% 以內。因此, 我們選擇模擬樣本數爲 50, 應可以合理估計模擬的母體行爲。

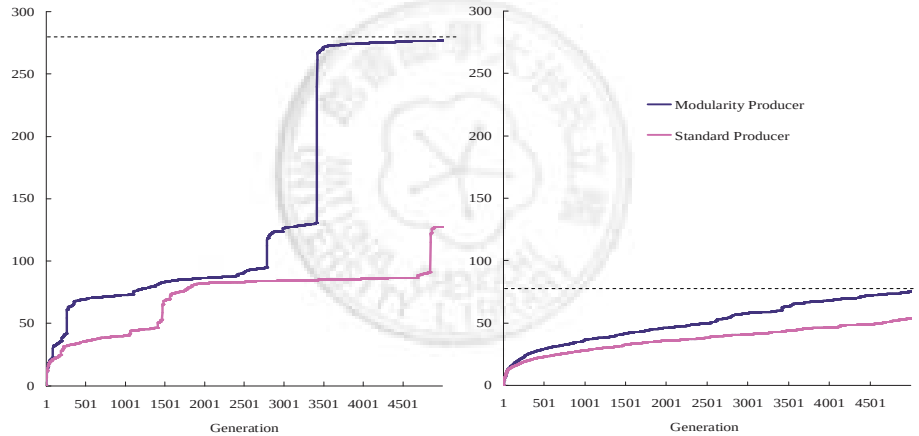

圖 7.4: 消費者福利滿足程度

註: 爲每代 50 次模擬平均值的極大值 (左) 與平均值的期望值 (右)。

7.1.3 消費者福利與生產者表現

消費者福利 圖 7.4 顯示兩種不同設定的實驗, 模組化生產者爲藍線與標準生產者的紅線在滿足消費者福利上的差異。極大值的涵意是所有消費者之中各期滿足感最高者的值。平均值則是 100 位消費者在各期的平均滿足感。50 次模擬會有 50 組時間序列圖, 因此每個記錄時間點有 50 個數值。圖 7.4 每期的數值爲 50 個數值的平均與極大值。從兩種生產者的表現反應在消費者的滿足程度可以推論出這個差異, 並肯定模組化生產者對消費者有較長遠的貢獻。

生產者表現　接下來我們觀察獲利表現, 本文所計算的投資報酬率以代爲計算單位, 以每代結束時計算當代獲利的結果。[3] 我們將各數值表現的結果整理在表 7.3 中, 其中投資報酬率的計算方式爲: 報酬率 = 利潤 / 當期投資總額。我們未使用資本報酬率做爲指標, 其原因是資本報酬率爲利潤除以營運資本, 然而, 在定義營運資本有困難, 因爲生產者每代所賺的利潤全數會再投入營運資本中, 不像一般企業會分配紅利、員工薪資、與場地租金等。我們的模型並沒有這些分配的機制, 每代的利潤都會全數累積下來, 使得資本額呈現單調成長, 而市場規模並沒有改變的情況下, 以其計算的報酬率將會有所偏誤。

表 7.3: 生產者獲利表現

生產者型態	平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末總資本額	存貨折損率
標準生產者	84.90%***	71,028*	32,533*	165,083, 133*	7.55%
	(1.63%)	(3,582)	(1,728)	(8,636, 988)	(0.83%)
模組化生產者	83.71%	66,551	30,193	153,390, 083	8.16%***
	(1.79%)	(2,975)	(1,306)	(6,524, 595)	(0.91%)
p-value	0.9927	0.9337	0.9087	0.9122	0.0001

註 1: 以上爲兩種生產者個別獨立 50 個模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0: 標準生產者變數平均數 $\geq$ 模組化生產者變數平均數。
註 2: 星號 *, **, *** 分別代表 10%, 5%, 以及 1% 顯著水準下, 變數期望值顯著較高。往後檢定皆比照此規則。

若我們將表 7.3 中的**平均銷售額**扣除**平均利潤**, 可以得到兩組生產者的**平均成本**, 分別爲標準生產者 38,495 與模組化生產者 36,358。我們發現模組化生產者平均利潤與成本皆較低。再加上圖 7.4 的線索, 不難拼湊出模組化生產者在 ADT 的幫助下, 較有能力生產出有意義的商品。因爲生產者採用成本加成定價, 若能節制商品的製造成本, 即相當於控制商品的定價。另外, 可以由存貨折損率來觀察, 模組化生產者的折損率顯著高於標準生產者, 表示其商品更迭的頻率相當高。所以我們試著以這些觀察來說明爲什麼在獨佔環境下, 模組化生產者的表現不佳的原因。一方面是製造成本較低以致定價較低, 最後導致其報酬率較低; 二方面表示其創新頻率較高。因爲一旦市場上有革新性的產品, 消費者會趨之若鶩並且放棄先前的商品, 導致原先已經量產的商品大量折損。反觀標準生產者商品一旦變得複雜, 因爲沒有模組化的概念, 其努力往往是徒增成本, 反

[3]除非經過校準, 這個結果並無法與眞實的時間單位, 例如, 對照日報酬率、月報酬率或年報酬率等。代理人基模型相對爲簡化的環境, 如: 成本面、行銷面等因素皆如此。

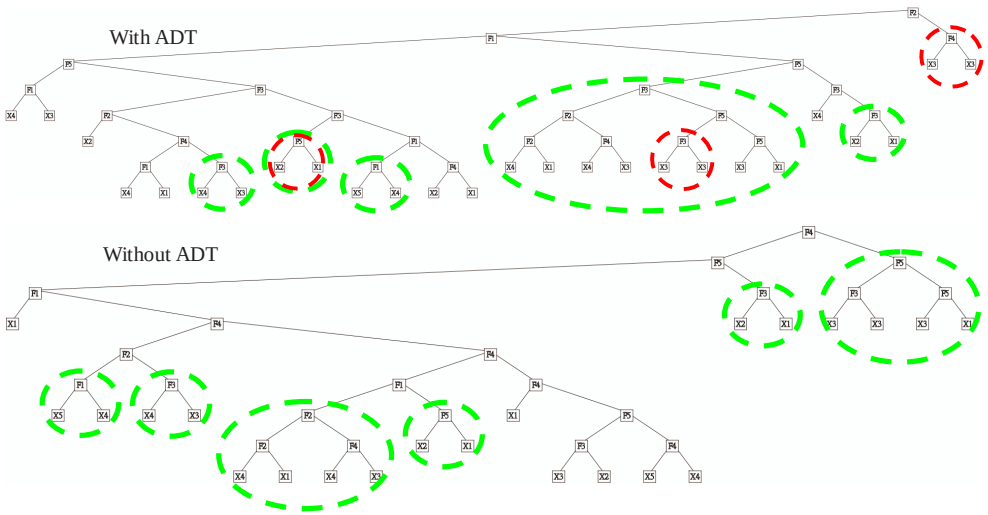

圖 7.5: 第 26 次模擬, 生產者獲利最高的商品

註: 第 1000 代, 上爲模組化生產者的商品, 下爲標準化生產者的商品。綠 (淺) 色虛線框的是與消費者共同偏好吻合的部分, 紅 (深) 色虛線框的是已經成爲 ADT 的部分。

應出來只是提高售價, 並非眞正提供消費者更高的滿足感。所以可以有較高的獲利同時存貨折損率也較低, 因爲創新的能力較低, 不容易再發現消費者更深層的偏好。

直覺地來看, 這裡兩組生產者是獨立分別模擬, 消費者沒有被賦予議價能力, 在沒有替代商品的情況下, 滿足程度雖然較低, 但只要低於願付價格一點點, 其仍然會購買。因此, 在沒有競爭者的環境下, 標準生產者沒有生存壓力, 生產的商品容易停滯在某一形式; 換言之, 標準生產者的產品僵化, 不易在組成刺激消費者的新產品。另一個角度來看, 兩個組生產者的商品有相同的加成率, 而模組化生產者的存貨折損率之所以會比較高, 乃是因爲其所推出的新商品較容易被市場接受, 所以導致商品過渡或存貨折損發生頻率較高, 間接使報酬率下降。[4]

我們再仔細來研究兩種生產者的投資報酬率, 根據生產者所制定的加成率 (100%), 其報酬率應爲 100%, 但實際上生產者的報酬率皆小於 100%。亦即投資額中約有 8% 會花費在研發無法回收的新商品上, 連同這部分原本如果賣出可以多帶來約 8% 的利潤, 來回共侵蝕約 16% 的報酬率; 換言之, 這主要是未出售商品所造成的損失。

[4]所謂商品過渡時期是指新舊商品共存的時期, 此時較少人購買舊商品, 甚至淘汰舊商品, 使得生產者的沈沒成本增加, 報酬率下降。這相當於是研究發展所導致的成本, 包括新商品上市不被市場接受的風險與舊商品被新商品取代時的轉換成本。

第 26 次模擬, 是我們隨機從 50 個模擬樣本中抽出的其中一次實驗結果。圖 7.5 是站在生產者的角度來看獲利最高的明星商品組成的內涵爲何。以模組化生產者的商品來看, 我們發現商品構成共有 51 個節點, 每個節點成本爲 1, 所以成本爲 51。考慮加成之後, 定價爲 $(1+1)\times 51 = 102$。另一方面, 還有一大半的偏好我們沒有辦法掌握。我們僅利用已知的共同偏好來推估消費者的願付價格, 願付價格最少爲 $5\times(4\times 4^{2-1}+1\times 4^{4-1}) = 400$,[5] 大於定價 (102), 因此這筆交易的生產者利潤爲 $102 - 51 = 51$。因此我們幾乎可以歸納出影響商品利潤高低的因素有二, 一爲商品的**複雜度**或成本, 其直接影響售價。如果加成率不變, 生產者在這個例子可以利用更複雜的商品來抬高成本 (價格) 使其提高到接近 200 (400) 都還能被消費者接受。因此, 增加成本 (價格), 生產者的利潤卻因此增加, 而消費者剩餘可能反而會減少。在競爭的環境下, 此種濫竽充數的行爲應不會獲得消費者的青睞; 但是, 在獨佔的情況, 消費者沒有替代選擇之下, 有可能發生這種窘境。這個結果與 Leibenstein (1966) 觀察到實證資料非常類似, Leibenstein 當時稱爲 X 無效率 (X-inefficiency), 其主要是因爲政治力保護或獨佔所造成的效率損失。他也試著提出原因來解釋無效率的來源, 很重要的原因就是競爭壓力與獨佔者本身的能力。如今, 利用這個模型可以讓我們看到內部的運作原理。

就競爭壓力而言, 我們臆測這部分可能和消費者的搜尋能力與生產者人數有很大的關係, 在我們的設定下, 消費者有無限的搜尋能力 (搜尋強度 = 100%), 表示其可以完全接觸到所有生產者的商品。所以生產者想拿粗糙的商品來蒙蔽消費者的情形會大大的減少; 目前的模擬由於獨佔的保護, 使得獨佔者可能會發揮複雜度 (價格) 的影響力, 如果商品能被消費者接受並購買, 又能盡量避免供過於求的情形, 則獨佔者就是在執行利潤最大化目標, 也就是我們所看到標準生產者 (能力不足者) 的行爲。至於模組化生產者 (能力強者) 則產生出能者多勞的表現, 不斷地更新產品來滿足消費者。

接著我們再回到消費面, 深入地瞭解這個商品帶給消費者的滿足程度。假設完美商品可以爲消費者帶來的願付最高價爲 $5\times(4^{6-1}-(1+1)\times(2^6-1)) = 4490$。[6] 而對於模組化生產者的商品所願付的最高價假設爲 400, 因此標準化滿

[5]這裡的意涵爲 4 個深度爲 2 的子樹與 1 個深度爲 4 的子樹, 加上表 7.1 中偏好轉換效用底數 $z = 4$ 以及願付價格與效用兌換率 $v = 5$ 計算而得。

[6]完美商品是指商品型態完全符合消費者心中的偏好, 在此偏好總深度爲 6, 所以完美商品計算時的 $d = 6$, $2^6 - 1$ 爲完美商品製造成本的上限。因爲我們沒有消費者完整的偏好樹, 所以採用上限來估計。在模擬中, 會自動使用正確的製造成本來計算。引入完美商品的概念是爲了

足度量爲 $1000 \times (400 - 102)/4490 = 66.37$。這個數值與圖 7.4 第 1000 代的模擬期望值比較接近。以模組化生產者而言, 在模擬的第 5000 代, 消費者的平均滿足程度僅到達 75, 平均最大值達 277, 而標準生產者平均和平均最大值僅爲 54 及 128, 相差十分懸殊。因爲在市場中只有一家獨佔的環境, 消費者可能因爲別無選擇而屈就。而生產者乃是根據個別類型的商品平均報酬高低來判斷, 並非從消費者心中的感覺出發。加上模型中並沒有潛在的競爭者, 所以特別是對標準生產者而言, 創新動機在獨佔環境並沒有那麼強。

然而, 模型中, 創新是生產者的本能, 能力上的差別, 在於模組化能力的有無。考慮有競爭對手的環境, 原本獲利情況良好的商品突然喪失客源, 可能有部分的銷貨會變成存貨損失。內生的創新 (改變) 機制需要產生符合消費者偏好的商品才有可能挽救局勢。舊的商品會因爲滯銷遭到下架的命運, 重新組合改變後的新商品, 再投入市場, 競爭消費者的目光, 生存壓力展開。另一方面, 獨佔者有創新的動機以保持獨佔的超額利潤, 這是站在深思熟慮與防範未然的想法, 機械化思考的獨佔者可能沒有這個遠見。他只是根據一些既定的機制來運作, 眞正的智慧則是突現在市場的福利面。現在的基本模型還沒有辦法回答競爭下的問題, 接下來我們先考慮競爭的環境, 慢慢的進入問題的核心。在未來的研究我們會將生產者的策略交由他自己來調適與學習, 進一步的觀察我們才有能力抽絲剝繭, 例如, R&D 的競賽是否可能出現。[7]

消費者如果可以選擇, 能夠貨比三家不吃虧, 當市場上同時出現不同類型的生產者一起競爭時, 生產者的獲利和消費者福利表現會如何呢? 在這裡我們將透過這個方法來檢視相關參數背後所代表的經濟意義。接下來我們要透過寡佔競爭的環境來測試有無模組化能力、突變率高低、交配率高低、不同成本加成率與研發率等在獲利與福利表現上的差異。

7.2 獨佔與寡佔

代理人基模型的其中一個挑戰是需要在複雜的模擬結果中尋找可能有用的線索。有別於古典的數理模型, 古典模型會仔細的定義和規範模型的複雜度, 一般而言是簡化成數理邏輯可行的程度, 再加以推導並得出模型的結論。在古典的精緻設

要標準化偏好的滿足程度, 使不同設定的偏好型態可以做比較。

[7]此即所謂的紅心皇后效果 (red queen effect)。在愛麗絲夢遊仙境中的紅心皇后告訴愛麗絲, 如果你想要待在原地, 那你必須愈跑愈快。此常被學者用來比喻共演化下, 生物爲了維持生存, 而不得不的演化競賽。現實生活上一個生動的例子如軍備競賽。

計下, 有可能出現無解的情形, 透過各種機率分配的假設下, 藉由機率模型的幫助, 仍可以得到完美的答案。然而, 當利用許多假設前提推論可能的結果以解釋所觀察到的現象, 是否表示眞的可以畫上完美的句點。所有的前提都只是其中一種可能性, 我們沒有理由認爲這些假設在眞實環境中都成立。Judd (2006) 描述代理人基模型能彌補古典模型的不足, 更多的可能性可以在模型中測試。然而, 這樣的做法遭遇變數維度組合爆炸的問題, 這包括模型本身所考慮的變數項目, 變數之間的組合可能性。在變數項目方面, 之前的章節是以定義我們的研究範圍來決定有哪些變數需要考慮。而變數的組合, 可以從研究者所關心的議題切入, 做出適當的設計。

針對獨佔者的模擬, 有許多的好處。第一, 可以得到生產者各項策略進入市場後最直接的效果; 第二, 不同策略的競爭力在此單純的設定下可以看出端倪, 經由觀察消費者的滿足程度, 可預測消費者選擇的結果; 第三, 總體表現的結果方便分析, 一家生產者的資訊就足以代表總體經濟。但是, 若換個角度思考, 獨佔爲一個高度控制的環境。因此, 同樣也存在一些缺點。第一, 潛在的競爭效果無法觀察, 不同的策略競爭可能會有意想不到的效果; 第二, 眞實環境能觀察到的獨佔產業十分有限, 隨著制度開放與資訊流通速度加快, 消費者選擇愈來愈多樣化, 獨佔模型適用的限制將日趨明顯。第三, 獨佔所產生的無效率, 可能會對總體的效果造成扭曲。基於這些考量, 我們的模型可以更有彈性的增加生產者人數, 可以設定不同參數的生產者, 以接近眞實環境的條件。之後, 我們考慮兩家寡佔生產者的模型, 來檢視各種策略的競爭效果。

表 7.4: 寡佔基本模型參數表 (低搜尋強度)

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	2
搜尋強度	實數 (r_s)	$[0, 1]$	50%

註: 其餘參數同表 7.1。

7.2.1 模擬樣本數

表 7.4 設定目的爲兩家生產者, 搜尋強度 50% 表示消費者只會選擇一家生產者進行拜訪。[8] 然後, 以拜訪後的成交情形來更新下一次拜訪各家生產者的機率。

[8] $2 \times 0.5 = 1$。

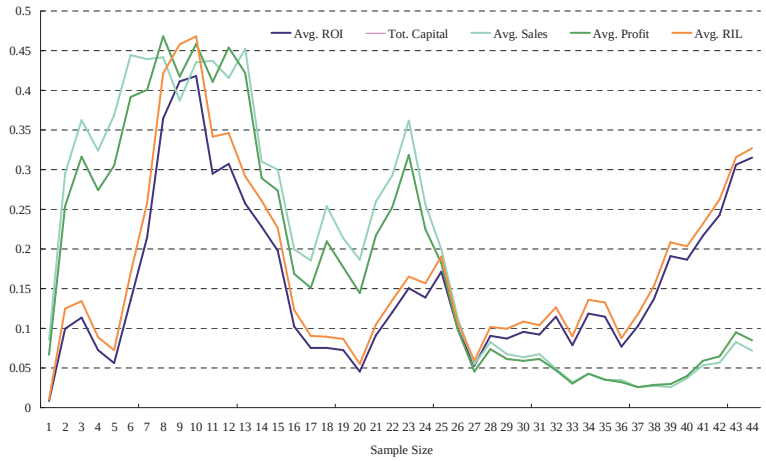

圖 7.6: 兩母體平均數差異檢定 p 值與樣本數

表 7.5: 生產者獲利表現

生產者型態	平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末總資本額	存貨折損率
生產者 (1)	63.63%	31,529	12,182	63,373, 110	18.20%
	(0.98%)	(1,778)	(742)	(3,709, 895)	(0.51%)
生產者 (2)	63.54%	30,942∗	11,950∗	62,213, 960∗	18.25%
	(1.04%)	(2,190)	(926)	(4,628, 069)	(0.74%)
p-value	0.3155	0.0723	0.0851	0.0852	0.3270

註: 以上包括 50 個獨立模擬。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 生產者 (1) 變數平均數 = 生產者 (2) 變數平均數。

舉例而言, 若第一次成功交易, 則原本 50% 的拜訪機率提升爲 $\frac{1+1}{2+1} = 66\%$, 反之則降爲 $\frac{1+0}{2+1} = 33\%$。連續二次成功交易則變爲 $\frac{1+1+1}{2+1+1} = 75\%$, 第一次成功, 第二次消費者沒有搜尋到理想的商品則機率變爲 $\frac{1+1+0}{2+1+1} = 50\%$, 以此類推。我們稱此機制爲簡單強化式學習。針對參數表 7.4 進行重覆模擬, 我們所得到的結果標準差相當小。表示兩家生產者面對的客源十分穩定, 雖然是兩家寡佔; 但實際上只是將市場瓜分爲二, 兩家生產者各自在自已得到的市場如同獨佔的地位。這樣的結果使得 t 檢定的 p 值反而變得更敏感。每新增加幾個樣本點, 皆可能使檢定結果有相當大的改變。但如果僅看每個變數的期望值, 我們發現相差的幅度非常小。換言之, 所有數值很快進入穩定水準。因此, 若在不同樣本數下檢定兩母體均數的差異, 我們得到圖 7.6 的結果。說明在搜尋能力受限的環境下, 我們認爲, 模擬樣本數 50 次應相當足夠。另外, 爲了精簡我們的計算資源, 我們採用 50 次模擬的結果並將顯著水準定在 5% 以下, 則兩相同設定下的生

產者表現無異。暗示模擬樣本數已經足夠消除兩生產者獲利表現上的運氣成分。模擬樣本數的討論到此告一段落, 接下來進入各種寡佔情境模擬的主題。

7.3　研發策略競爭

在 Agent-Based 建模, Silverberg and Verspagen (1994, 1995) 討論廠商對技術的搜尋能力, 包括廣度與深度搜尋的取捨 (trade-off) 以及創新擴散的速度。所依賴的最重要變數爲 R&D 額度。透過不同廠商間的競爭, 廠商的策略經由社會式學習逐漸調適, 並且觀察其與市場集中度的關係以及其對經濟成長的影響。因此, 研究發展策略的角色十分重要, 研發支出的比重自然爲研究者首先要考慮的觀察變數。然而, 研發支出的不確定非常大, 而且難以估計, 加上隨著產業不同, 研發效果也會有差異。實務上, 除非生產者有閒置的資金使然, 一般而言, 其並不輕易嘗試研發新的產品。另外, 在競爭的環境下, 生產者若不進行研究發展, 而其他的生產者卻開始進行, 則其未來存活的機率是否一定會降低? 換言之, 將來在演化的環境中, 紅心皇后準則是否會出現, 將是一個有趣的議題。

另外, 在模型中與研究發展直接相關的遺傳運作參數: 交換率與突變率也會納入觀察。在相同的研發支出比例之下, 如果組織內的交換率與突變率不同, 對生產者的生存力會帶來什麼影響。換言之, 組織內部對新事物接受的文化, 我們以交換率和突變率的不同來表示。我們若能先瞭解這些策略可能的演化方向, 對於未來共演化的分析將會有幫助。接下來, 我們先討論研究與發展比率的差異對生產者的表現有何影響。表 7.6 爲參數設計。

7.3.1　研究與發展比率競爭

表 7.6: 研究發展比率競爭參數表

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	2
搜尋強度	實數 (r_s)	[0, 1]	50%
研究與發展比率	實數 ($\gamma_{\text{R\&D}}$)	[0, 1]	(1) 0.01% (2) 1%

註: (1), (2) 爲生產者編號對應適用參數, 其餘參數同表 7.1。獨立進行 50 次。

表 7.7: 生產者獲利表現

生產者型態	研究發展比率競爭組 平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末總資本額	存貨折損率
低研究發展比率	63.71%	29,818	11,464	59,777,625	18.21%**
($\gamma_{\text{R\&D}} = 0.01\%$)	(1.09%)	(1,678)	(686)	(3,425,551)	(0.57%)
高研究發展比率	63.99%*	32,138***	12,458***	64,749,675***	18.02%
($\gamma_{\text{R\&D}} = 1\%$)	(0.80%)	(1,709)	(689)	(3,442,870)	(0.42%)
p-value	0.0696	0.0000	0.0000	0.0000	0.9707

註: 各觀察值皆包括 50 個獨立模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 低研發率生產者變數平均數 $\geq$ 高研發率生產者變數平均數。

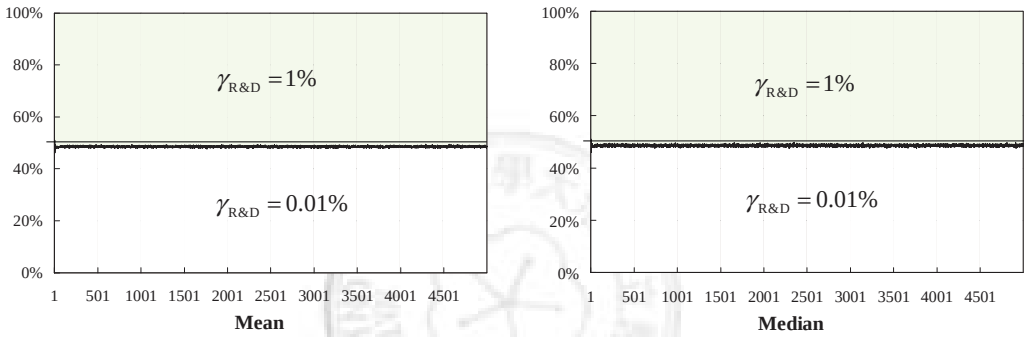

圖 7.7: 兩種生產者的市場佔有率

註: 總共獨立模擬 50 次, 圖爲 50 次按記錄時期的平均數 (Mean) 及中位數 (Median)。中線爲兩方市場佔有率相等皆爲 50%。

實驗結果　表 7.7 和圖 7.7 顯示高研發率生產者有較佳的表現。如果我們仔細觀察市場佔有率的情形, 會發現高研發比率的生產者在模擬開始前幾代已經佔有較高的比率, 大約 51.5% 左右。因此我們推論, 初始時低研發率生產者因爲沒有即時投入研發經費, 以致有客源流失, 即使後來研發能力趕上也無法挽回這些顧客。我們試著來分析這個動態過程, 生產者在初始時的產量主要受到初始資本的限制, 加上對消費者偏好並不熟悉, 所以能夠銷售出的商品非常有限。根據模擬所得到的數據, 大約在第 10 代之後, 市場的總銷售量才達到飽和, 在總量接近 600 的水準穩定波動。

產量的調整, 除了生產者本身對存貨調整的策略之外, 其與市場的需求有很大的關係。由於消費者偏好有很大的部分是相同的, 低研發率生產者可能因此有不錯的生存空間。因爲當消費者搜尋到特定生產者而一無所獲時, 在下一代, 轉向另一生產者購買的機率會提高。因此, 低研發率生產者一開始所得到的存貨

表 7.8: 兩標準生產者與研發率差異生產者前 15 代銷售量表現

Gen / Sales Qty.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Producer 1 High R&D rate	44	77	111	149	211	262	300	308	309	303	312	306	307	307	306
Changes in Qty.	44	33	34	**38**	**62**	**50**	**39**	**7**	**1**	**-6**	**9**	**-7**	**1**	**0**	**-1**
Producer 2 High R&D rate	42	74	108	145	189	242	290	292	291	297	287	294	293	293	294
Changes in Qty.	42	32	34	37	44	53	49	2	-1	6	-10	7	-1	0	1
Total Qty.	86	151	220	294	400	503	591	600	600	600	599	600	600	600	600
Producer 1 Low R&D rate	44	77	111	146	181	216	252	286	295	291	291	290	288	289	291
Changes in Qty.	44	33	34	**35**	**35**	**35**	**36**	**34**	**9**	**-4**	**0**	**-1**	**-2**	**1**	**2**
Producer 2 High R&D rate	42	74	108	143	186	244	295	303	305	308	304	307	307	305	305
Changes in Qty.	42	32	33	36	43	58	51	8	1	3	-4	3	0	-2	1
Total Qty.	86	151	219	290	367	460	547	589	600	599	595	597	595	594	596

調整訊息就可以派上用場。只要與高研發率生產者交易失敗的顧客都有很大的可能轉向低研發率生產者。但是問題在於, 低研發率的生產者前幾代只能專注生產幾種固定的樣式。而對手已經開始研發新型的商品。接著請看表 7.8, 其中揭露的資訊爲兩個模擬的前 15 代比較。第一爲兩基本參數設定生產者 (研發率都是 1%) 的競爭, 第二爲低研發率生產者與基本參數設定生產者競爭。表 7.8 中所呈現的各爲 50 次模擬的平均銷售量與每代銷售量的改變。

從前 3 代來看兩組實驗的結果完全沒有差異, 代表初始條件的控制得宜。[9] 由於兩組生產者一開始的規模有限, 皆無法完全服務所有市場的需求。一旦消費者得到滿足, 則其成爲常客的機率大增; 相反的, 無法得到滿足的消費者, 被推向另一個生產者的機率提高。因此在吸附力和排斥力的作用下, 還沒有得到滿足的消費者在兩生產者之間遊走。經由兩者銷售量的變化, 可以觀察兩組實驗 Producer 1 的表現, 第 4 代之後就可以看出明顯的差異, 如果 Producer 1 採用基本設定的參數, 研發能力已經開始發生作用, 吸附消費者的能力明顯比低研發能力的生產者強。比較兩者第 4 代到第 8 代銷售量的變化, 38, 62, 50, 39, 7 與 35, 35, 35, 36, 34。我們會發現前者有*加速度*的作用, 而後者成長的*速度幾乎是固定的*。這個差異正說明著研發所扮演的角色, 可以幫助生產者更快速的深入市場的飽和點。剛開始沒有研發能力的生產者在我們的模型中僅能以適應性預期的方式來增產即有樣式的產品。

此處隱約帶出了另一個可能影響成敗的策略, 數量調整的方法與速度。在模型中, 利用一個調整存貨速率的參數來控制。如果在市場爲資訊不發達或低搜

[9]包括消費者偏好與生產者初始化商品固定的控制。

尋強度的情境下, 數量調整速度可能是一個很關鍵的參數。甚至可能彌補研發能力不足的缺失。然而, 在眞實的環境下, 市場需求的不確定更是讓生產者難以掌握。我們的模型已經算是相當程度的簡化市場需求的過程。但經由以上的觀察, 可以說明初始的研發比率差異如何影響後來表現。

7.3.2 研發訊息交換與變異能力競爭

表 7.9: 遺傳參數競爭參數表

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
		交配率競爭組	
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	2
搜尋強度	實數 (r_s)	[0, 1]	50%
交配率	實數 (p_c)	[0, 1]	(1) 45% (2) 90%
		突變率競爭組	
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	2
搜尋強度	實數 (r_s)	[0, 1]	50%
突變率	實數 (p_m)	[0, 1]	(1) 40% (2) 80%

註: (1), (2) 爲生產者編號對應適用參數, 其餘參數同表 7.1。兩組實驗各獨立進行 50 次。

首先爲了解答參數設定的問題, 第 6 章我們已經討論過, 基於欲觀察的經濟現象, 理想的參數規範。在研發階段, 即有產品的訊息交換與變異是構成創新的過程。其中涉及遺傳運作的兩個基本的運作元, 交配與突變。之前, 對於 GP 的遺傳運作參數突變率與交配率的設定並沒有太多著墨, 現在以經濟的框架, 市場做爲舞台, 這些參數可以做爲作爲競賽的基礎。這兩個參數乃是 GP 運作的核心也是模型中生產者創新行爲的關鍵。如果要用隱喻來說明參數的概念, 如同生物最基本的遺傳訊息「基因」。不同的基因組合決定不同的性狀, 再往上層也會和經驗形成意識層次, 進而對行爲有影響; 換言之, 這些底層特徵不僅決定生物外表特徵, 還有其內在性格。[10] 其在決策上有一部分受此先天的特徵所指導。我們的研究除了想要瞭解不同參數對生產者生存表現的影響, 追根究底以另一種角度來看這些參數, 並取得重要的經濟意義。爲了瞭解這個效果, 在參數上改變如表 7.9:

[10]以一種比較接近唯物主義的想法, 目前的腦科學證據顯示人類的心智活動都可以歸因於大腦某些神經連結共同協調的結果。這些連結是先天的結構和後天的環境共同造就的結果。

表 7.10: 生產者獲利表現

交配率競爭組					
生產者型態	**平均報酬率**	**平均銷售額**	**平均利潤**	**期末總資本額**	**存貨折損率**
低交配率	62.53%	32,471***	12,408***	64,502, 891***	18.73%***
($p_c = 45\%$)	(1.22%)	(2,428)	(1,015)	(5,070, 047)	(0.62%)
高交配率	63.49%***	31,063	11,984	62,384, 517	18.28%
($p_c = 90\%$)	(1.07%)	(1,806)	(747)	(3,734, 106)	(0.54%)
p-value	0.0000	0.9993	0.9902	0.9903	0.9999
突變率競爭組					
生產者型態	**平均報酬率**	**平均銷售額**	**平均利潤**	**期末總資本額**	**存貨折損率**
低突變率	61.19%	31,055*	11,701	60,968, 110	19.43%***
($p_m = 40\%$)	(0.98%)	(1,432)	(577)	(2,884, 139)	(0.51%)
高突變率	63.34%***	30,665	11,812	61,522, 916	18.35%
($p_m = 80\%$)	(0.84%)	(1,285)	(514)	(2,571, 524)	(0.44%)
p-value	0.0000	0.9223	0.1551	0.1563	1.0000

註: 各觀察值皆包括 50 個獨立模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 低交配 (突變) 率生產者變數平均數 $\geq$ 高交配 (突變) 率生產者變數平均數。

實驗結果　這裡像上一小節沒有顯示如圖 7.7 的兩生產者市場佔有率情形, 因爲如果繪出市場佔有率圖, 不同交換率和不同突變率, 兩組的市佔率平均數和中位數情況都穩定在 50% 波動。[11] 也因此, 我們可以看到表 7.10 顯示出兩組生產者的獲利表現十分接近。雖然統計上有些顯著差異, 那表示兩者的變異數或標準差都很小, 市場幾乎是完全區隔, 兩生產者等於是獨自在子市場中扮演獨佔的角色。就投資報酬率來看高交配率與高突變率生產者的表現比較優秀。但是, 爲什麼低交配率和低突變率生產者的存貨折損率比較高呢? 之前, 我們討論過存貨折損率表示生產者創新的節奏, 愈勇於創新折損率愈高。所以, 直覺而言, 高變異率的生產者存貨折損率應較高, 因爲創新造成的產品更迭。

然而, 我們如果計算兩組模擬生產者的平均投入成本 (平均銷售額減平均利潤), 在交配率組, 低交配率生產者爲 20063, 高交配率生產者爲 19079。在突變率組, 低突變率生產者爲 19354, 高突變率生產者爲 18853。我們發現低變異率生產者平均投入成本皆較高。可能有兩個原因造成這個現象, 第一, 低變異率的生產者產品的變化小, 因此容易僵化以致於產品內有較多的無效率或非必要的

[11] 主要理由是消費者對商品的知識敏感度很低, 換言之, 商品只要能符合一點點消費者的偏好, 消費者就願意付相當不錯的價格來購買。詳細內容, 請參考下一小節對不同加成定價率的生產者所做的解釋。

元素存在, 這些都是成本較高的原因。[12] 成本較高, 透過加成定價, 所能得到的收益也較高。因此, 能夠再投入的資金也較多, 在市場飽和之後, 導致存貨折損較高。第二, 造成這樣的結果亦有可能在初期, 低變異率生產者在突變或重組產品的機率較低, 所以美名是研發, 實際上有很大的比例是增加既有商品的數量。所以等於是加快商品數量調整, 而既有商品, 有些已經被消費者接受, 在下一代就不會被淘汰, 生產者可以累積更多的資本; 而這些資本又是商品數量調整和研發的資金, 自然有較多的資金可以投入。所以低變異率生產者有較高的投入成本。然而, 第二種原因發生的可能性較低, 因爲其與存貨折損率較高的結果不符。

至於高變異率的生產者, 因爲產品變化較具彈性, 消費者的選擇會很自然地幫助生產者降低成本, 並使其收益也同比例減少。導致其累積的資金較少, 使其初期的投入也較受限。加上後期會有總研發投入的上限, 因此, 可能從某一代之後, 兩生產者的研發投入已經沒有差異。平均的差異只是反應初期的效果。而這個細微的差異就可能是導致後來平均存貨折損差異的原因。因爲市場已經飽和, 投入愈多的生產, 就有愈多的產品無法銷售。以上是我們根據結果提出的臆測, Agent-Based 模型不僅提供模擬的平台也讓我們可以有機會進一步來追蹤及驗證所提出來的假設。

7.4 定價策略競爭

生產者的定價策略直接會影響到消費者的決策, 如果兩商品, 品質完全一樣, 當我們有兩者的訊息時且交易成本相同之下, 沒有理由選高價者。這樣的概念引申爲經濟學中的一價定律 (law of one price), 或所謂的無套利條件 (no-arbitrage condition)。考慮了時間和空間之後, 同一種品質的商品, 淨價值應一致。然而, Varian (1980) 的模型指出了資訊不完全, 使市場上可能存在所謂的價格歧異 (price dispersion) 的現象。我們的模型能說明什麼現象? 如果產品沒有辦法將其資訊透明化至成本面, 消費者僅能以其意識到的主觀滿足感來評價商品。在這個模型並不需價格資訊不完全的假設下, 只要消費者的異質偏好, 仍然可以討論價格歧異。

更何況在創新的框架之下, 產品的異質度相當高, 目的爲了盡可能滿足各式各樣的消費者。所以是否定高價的生產者一定會被淘汰, 或者走薄利多銷的生產者可以成爲最後的存活者。在我們現階段的設定下, 並沒有得到價格決定論

[12]這與標準生產者的生產無效率類似。

表 7.11: 加成率競爭參數表

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
生產者人數	整數 (n_p)	[1, ∞)	2
產品成本加成率	實數 (η)	[0, ∞)	(1) 100% (2) 200%
搜尋強度	實數 (r_s)	[0, 1]	50%

註: (1), (2) 爲生產者編號對應適用參數, 其餘參數同表 7.1。獨立進行 50 次。

的結果。表 7.11 爲新的參數表。

表 7.12: 生產者獲利表現

	加成率競爭組				
生產者型態	平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末總資本額	存貨折損率
低加成率	63.30%	30,580	11,777	61,346,657	18.36%
($\eta = 100\%$)	(0.91%)	1,459	(618)	(3,087,719)	(0.46%)
高加成率	142.41%***	40,783***	23,874***	121,826,463***	19.17%***
($\eta = 200\%$)	(1.83%)	2,384	(1,426)	(7,127,463)	(0.62%)
p-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

註: 各觀察值皆包括 50 個獨立模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 低加成率生產者變數平均數 $\geq$ 高加成率生產者變數平均數。

實驗結果　市場佔有率的情況我們並沒有將圖顯示出來, 因爲兩家生產者的佔有率情況, 從模擬一開始到結束都維持在 50% 左右。顯示即使加成率高達 200% 仍然可以吸引來訪的消費者。對於消費者和生產者的連結關係是建立在消費成功與否, 在*願付價格與效用兌換率*高達 5 倍的情形下, 2 倍的加成率並不會讓消費者打退堂鼓。因此, 很直覺地我們會想到如果使用消費者剩餘來做爲消費者強化式學習的權重, 結果可能會有所改變。另外, 如果加成率再提高到某一個程度可能也會對這個情況下的市場佔有率造成影響。以上這兩點都是想要突顯某一部分*生產者競爭*的效果。這些都是可以在後續研究討論的課題。然而, 我們的模擬正好突顯出兩種極端的形態, 前面消費者搜尋強度 100% 的情況是競爭最激烈的情形; 後者搜尋強度降爲 50% 則爲極端保護生產者的情形。後者正好將市場分隔, 雖然消費者偶爾會流動; 但是整體而言, 剛好抵銷。所以生產者等於是在自己所得到的一半市場中穩定的經營。我們看到表 7.12 的結果顯示高加成率的生產者除了存貨折損率較高, 各方面的獲利表現均顯著地優於對手。

以上的結果驗證了我們之前的臆測, 高加成率的生產者得到的資訊更爲精確。雖然讓他折損更多的存貨, 但同時也爲他帶來更高的生產優勢。爲了證實這個想法, 我們再來比較這兩家生產者所帶來的消費者剩餘。在 50 次模擬中, 消費者剩餘達到最大的模擬爲第 17 次模擬。我們將該模擬最後一代的兩個生產者獲利最大的商品樹取出。

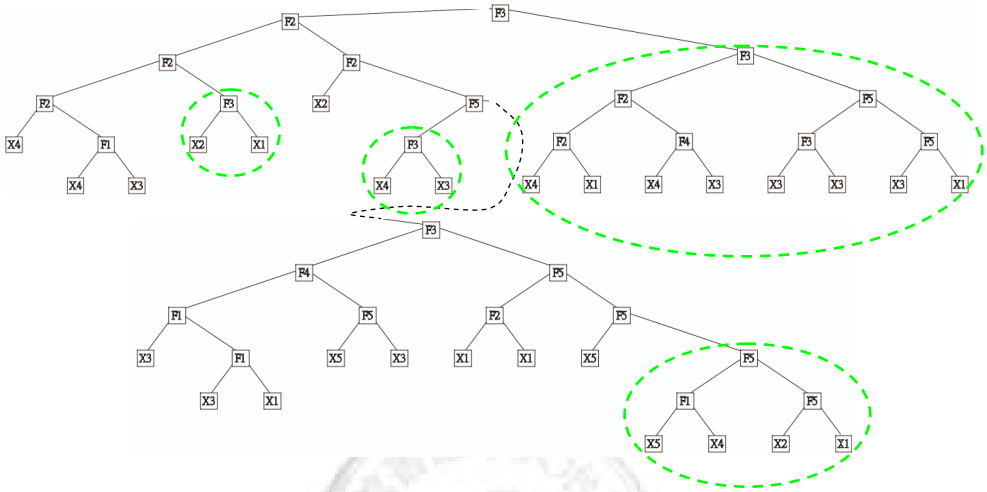

圖 7.8: 表 7.11 第 17 次模擬, 第 5000 代, 低加成率生產者獲利最高的商品

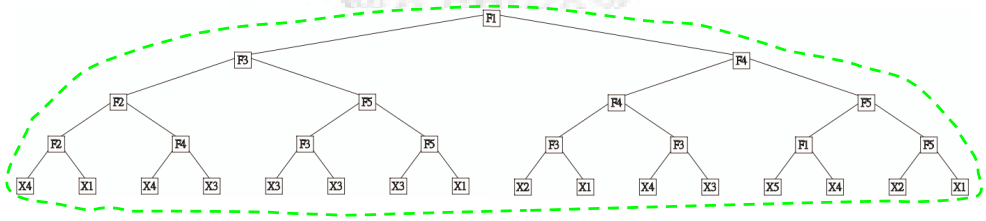

圖 7.9: 表 7.11 第 17 次模擬, 第 5000 代, 高加成率生產者獲利最高的商品

圖 7.8 中的商品, 生產成本爲 55, 按照低加成率的定價, 售價爲 $55 \times 2 = 110$。此商品的消費者願付最高價格爲 $5 \times (4^3 + 4^2 + 4 + 4) = 440$。因此, 這個商品所帶來的消費者剩餘爲 $440 - 110 = 330$。表 7.8 的商品, 生產成本爲 31, 照高加成率的定價爲 93。此商品的消費者剩餘爲 $5 \times 4^4 - 93 = 1187$。同樣的方法我們也檢視了 50 次模擬中消費者剩餘最低的模擬, 第 16 次模擬。計算出低加成率獲利最高的商品帶給消費者的剩餘爲 $5 \times (4^2 + 4^2 + 4 \times 4) - 47 \times 2 = 146$, 高加成率的爲 $5 \times (4^3 + 4^2 + 4) - 45 \times 3 = 285$。以上的願付最高價格都是按照消費者的共同偏好來估計, 所以實際上可能會有誤差。然而, 誤差值不會改

變我們所觀察的結果。高加成率的生產者在創新的環境中, 就平均值而言, 其將有更佳的表現空間。因爲合理的加成率須介於消費者可以接受的範圍內。所以在這個消費者資訊較不流通的情境下, 生產者只要能在一開始和消費者完成交易, 接下來的日子就不太需要擔心競爭對手所帶來的壓力。相反的, 若由極端的情形來看, 高加成率生產者的定價高到成本的 100 倍, 消費者大概很難接受, 也沒有能力消費這樣的商品。所以高定價生產者將永遠被消費者拒於千里之外, 此時, 其將失去優勢, 在市場上完全地消失。

第 8 章
消費者搜尋強度與生產者策略

前一章的結果是否穩健 (robust); 換言之, 當環境改變生產者存活力是否受到影響。在模型中, 部分參數與市場環境有關, 透過這些參數的設定, 可以讓我們來檢視環境改變的影響。接下來, 除了與生產者本質相關的參數之外, 我們把環境有關的部分挑選出來, 討論有哪些參數可能改變生存力, 以便進一步的驗證所得到的結論。

1. **生產者人數**: 這個參數直接與競爭壓力有關。第一, 單純的人數增加, 將使不確定性提高; 第二, 生產者策略族群的比例, 例如: 改變人數使交配率 (突變率) 競爭的生產者比例有所改變, 當高交配率 (高突變率) 的生產者比例減少, 他們的獲利表現是否還能夠維持顯著的優勢? 換言之, 社會中能夠容納多元性的生產者所佔的比例很小, 其存活性是否會受到仰制? 或者是檢驗社會看待冒險的態度對創新有何影響 (Diamond, 1997)?

2. **每代注入營運資本**: 如果沒有每期注入新的營運資本, 表示生產者必須完全使用自有資金, 或不斷累積利潤轉化成未來的營運資金。所以若無持續注入資金, 生產者一旦因資金不足而停業, 將完全沒有東山再起的機會。所以我們將這個參數做爲與金融市場的一個接口, 代表生產者的資金取得環境。

3. **消費者人數與消費者所得**: 這兩個參數共同構成市場的規模。因此, 相對於生產者人數, 此亦與競爭壓力有關。市場規模愈大, 生產者的人數不變下, 存活將愈容易。然而, 擴大市場規模無疑是增加計算機評估的時間。所以若要同時考量計算資源, 暫時不會考慮擴大市場規模。

4. **消費者偏好與願付價格**: 這裡涉及四個參數共同的效果, 包括總偏好深度、共同偏好深度、偏好轉換效用底數以及願付價格與效用兌換率等。假設其

它條件不變, 只有願付價格與效用兌換率改變, 以目前的參數值爲 5 倍, 相當於生產者若生產出符合消費者偏好的商品, 消費者除了以指數函數來計算效用並且再乘以 5 倍作爲願付價格。所以中間的議價空間其實相當大, 舉例來說, 若生產者的成本加成率僅爲 100%。表示生產者初始生產的商品, 不論品質如何, 只要不會太複雜而導致成本過高, 使售價高出消費者願付價格, 都有很高的機會成功銷售。因此, 這幾個參數可以詮釋爲**消費者對商品知識的敏感度**, 消費者的評價若愈能反映出商品的眞實價值 (成本), 則表示消費者的知識水準愈高。

5. **消費者的搜尋強度**: 當設定爲 50% 搜尋, 則失去市場佔有率的生產者將很難挽回失去的客源, 強者恆強與弱者恆弱的局面可能很難打破。第 7 章後半部, 顯示兩寡佔生產者不同策略下 50 次模擬的市場佔有率。當願付價格比成本明顯較高, 表示消費者對商品知識的敏感度並不高, 生產者有可能會濫竽充數, 如此一來, 整個篩選機制將會癱瘓。可能會導致無法明確比較生產者參數差異所帶來的表現。

我們選擇消費者搜尋強度做爲訊息流通程度的一個變數。之前章節的實驗都是以 50% 的搜尋強度來描述消費者, 換言之, 市場訊息的流通程度是受限的。事實上, 隨著資訊流通技術的進步, 消費者對商品訊息的掌握能力已經大幅改善。因此, 如果從放寬這個限制出發將可以讓我們瞭解, 訊息流通程度的改變對市場經濟有什麼影響。

8.1　模擬樣本數

表 8.1: 寡佔基本模型參數表 (完全搜尋強度)

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	2

註: 其餘參數同表 7.1。

我們已經討論過在獨佔環境與市場明顯區隔的寡佔環境所需的模擬樣本數。然而, 現在的環境跟之前相比, 正好是一個明顯的對比, 在兩家生產者的寡佔情況, 如果雙方沒有合作的可能, 加上市場區隔不明顯, 將具有最爲激烈的競爭行爲。因此, 我們懷疑 50 個模擬樣本數可能不足以突顯生產者的策略差異所帶來

的效果。回歸到最單純的想法, 我們以表 8.1 做爲出發點。消費者的強勢區辨能力, 可能讓兩家生產者很難有共存的局面。兩者所有的條件都一模一樣, 競爭的結果勢必帶來成王敗寇的下場。而運氣 (luck) 在這裡扮演了一個重要的角色。

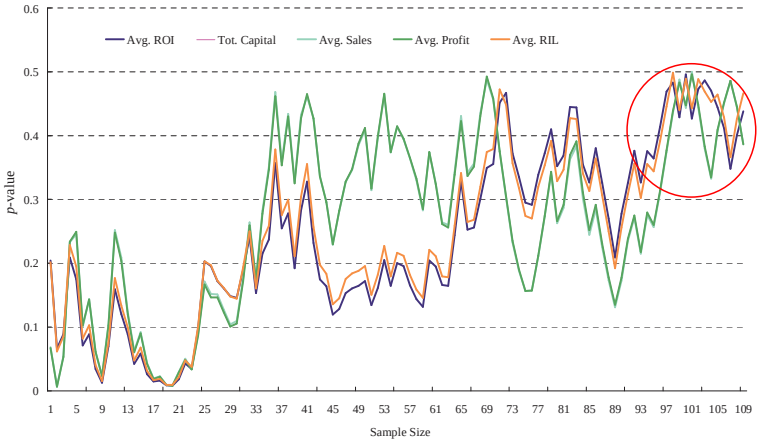

圖 8.1: 兩母體平均數差異檢定 p 值與樣本數

表 8.2: 生產者獲利表現

生產者型態	平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末總資本額	存貨折損率
生產者 (1)	34.62%	32,809	14,390	74,408, 458	34.16%
	(58.63%)	(24,351)	(11,380)	(56,873, 952)	(30.49%)
生產者 (2)	33.15%	32,702	14,324	74,081, 799	34.81%
	(57.11%)	(24,276)	(11,314)	(56,543, 161)	(29.73%)
p-value	0.4291	0.4876	0.4504	0.4838	0.4401

註: 以上爲 100 個獨立模擬的結果, 括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 生產者 (1) 變數平均數 = 生產者 (2) 變數平均數。

基於上述的觀察, 在進入正式實驗之前, 一個基本的問題: 需要多少模擬樣本數才能夠消除生產者的運氣所導致的差異? 圖 8.1 顯示在不同的樣本數下檢定兩個生產者差異的 p 值。當 p 值接近 0.5 表示兩觀察值來自於同一個母體的可能性愈高。換言之, 兩者的各項統計量愈接近, 將愈難區辨兩者。由圖 8.1 可以看出當樣本數大於 30 之後各觀察值的檢定結果都無法拒絕兩者無差異的假設, 當樣本數超過 100 時, 所得到的 p 值更介於 0.33 到 0.5 之間, 表示造成兩者差異的機運因素已經近乎排除。因此, 往後我們設定兩生產者有不同屬性時, 在樣本數 100 的情況下, 所有的統計推論將更具有說服力, 表 8.2 爲 100 個模擬樣本兩生產者的獲利結果。

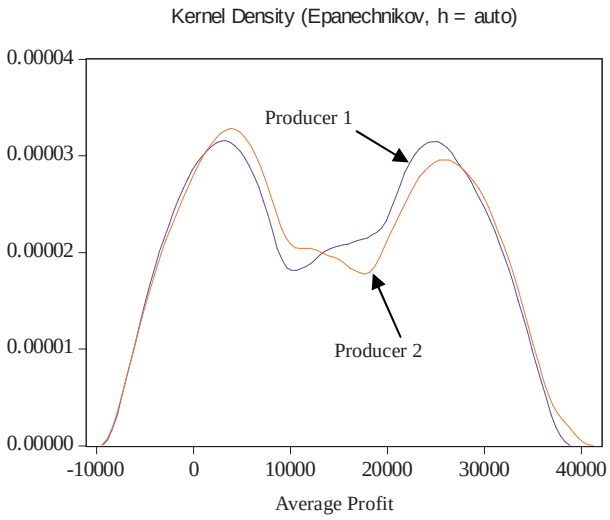

圖 8.2: 兩生產者平均利潤估計機率密度函數

圖 8.2 爲利用兩生產者 100 次模擬的平均利潤相對次數分配狀況, 利用 Epanechnikov 方法估計兩者的機率密度函數情形。我們觀察到很明顯的雙峰分配, 說明兩方激烈競爭下, 平均而言, 已到勝負難分的地步。左峰代表利潤低的情形, 和右峰代表經營成功的情形, 可觀察兩種狀況發生的機率非常接近。而中間凹陷的低谷, 正好說明兩者勢均力敵之下和平共處的情形是非常少見的。以下正式進入實驗設計及模擬結果。

8.2　模組化競爭

同一產業, 由兩家勢均力敵的生產者所組成的寡佔市場若未能成功勾結, 將具有高度互動的策略競爭行爲。因此, 除了價量的角度之外, 研究寡佔市場的競爭是豐富而且多面向的, 有趣的是我們現在可以有機會從另一個角度: *品質競爭* (quality competition) 來討論。

傳統理論上, 品質是研發成本投入的一個函數, 研發投入愈高則品質愈佳。如果再加入一些不確定因素, 例如品質的精進與否是服從某一隨機過程, 其所產生的效果則可類比眞實所觀察到的現象。*品質競爭*的文獻上, 品質設計可視爲特性、風格、與其它可以增進消費者使用或「效用」的生產屬性 (Fine, 1986)。Garvin (1988) 提出了品質維度 (dimensions of quality), 例如: 功能表現、耐久性、可靠性、與美感等可以作爲品質設計的維度依據。但這並未說明品質精進的眞正內涵, 因爲我們如果想要問爲什麼有人成功而有人失敗, 純粹是隨機或是

運氣因素嗎? 如果有更明確的線索讓我們明白成敗背後的因素, 代理人基模型肯定是研究者的好工具。

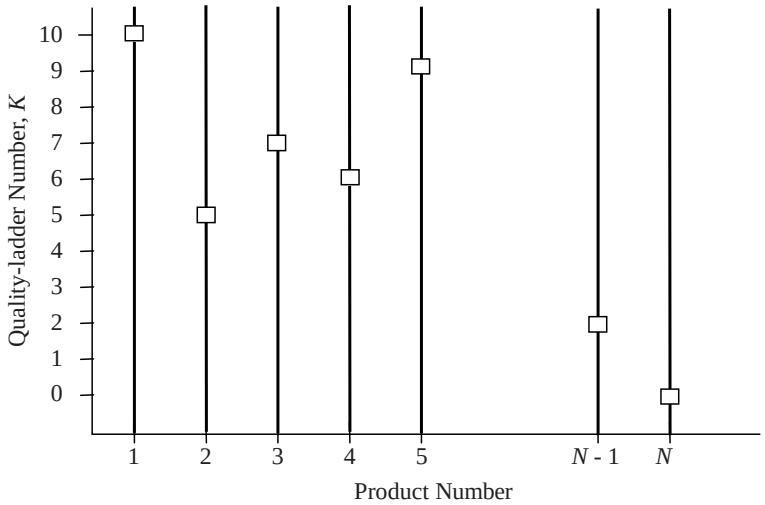

圖 8.3: 產品品質與種類 (Barro and Sala-i-Martin, 1995)

在總體分析方面, Barro and Sala-i-Martin (1995) 的模型強調透過 R&D 的投入提升產品品質。所著的經典教課書 *Economic Growth* 中, Chapter 7 企圖描述技術改變對增進產品品質的模型。從圖 8.3 顯示了兩個維度, 橫軸爲商品的種類, 縱軸爲商品的品質。每一種獨立的商品種類隨著時間的經過, 品質都有提升的機會。而在分析上, 要分析 R&D 的效果, 若要進行數理分析, 則要限制問題的複雜度, 例如假設商品的種類固定下, 分析品質精進的成長效果; 或不考慮品質, 僅以產品種類的擴增來表現中間財貨增加所造成的成本降低效果 (Grossman and Helpman, 1991)。

然而, 個體和總體之間聯繫的關鍵似乎無法同時討論。ABM 則可以同時觀察個體的表現和總體的行爲。所犧牲的代價爲簡潔有力的數學表現; 取而代之的是統計方法的抽樣理論。透過大樣本的模擬來展現個體互動到總體的效果。在模型表現的手法上, 傳統分析常引用的均衡狀態解有競爭性均衡解、計劃性最適均衡解等, 可以分析其中某一類均衡成立時, 後續導出各項總體變數的解。古典模型若加入不確定性, 再透過 Monte Carlo 模擬, 也可以得到解的分配形態。然而, 欲求得這些均衡解並不輕鬆, 而且實際上的用途卻很有限。我們都知道理想條件和眞實吻合, 幾乎是可遇不可求。而我們的表現方法會有差別嗎? 我們希望模型可以盡可能描述眞實現象背後的重要特徵, 這點和古典的想法一致。以下以模擬來說明如何貼近這樣的想法。

把品質維度視爲生產者的生產策略同時伴隨定價策略爲研究品質競爭的一個常見做法。因此, 這樣的做法必須將品質視爲某些特性的組合, 藉由改變這些組合來改變品質。不同的組合會改變商品的成本結構, 相當於是變相的價格競爭策略。較合理的做法將消費者的接受度 (偏好) 列入考慮, 同時也能反映不同特性組合的不確定性, 所以模型無法僅由價格競爭來解釋。

我們希望能夠透過代理人基模型再跨出一小步, 因爲這個模型正可以處理商品特性的組合爆炸效果 (combinatory explosion), 即眞正的品質維度是所有可能生產出來的商品特性。如此一來原先的品質特性由商品結構取代, 消費者的效用直接反映對商品結構的滿意程度。換言之, 不同的結構即反映不同的特性組合, 生產者能不能佔有更大的市場將由消費者來篩選。因此透過商品結構的表現間接呈現出商品的品質效果, 在生產者, 爲提升品質的能力, 在我們的設定下爲模組化思維。模組化象徵已經發明的物件不需再重新發明, 重點是能夠重覆利用, 創造溫故知新的效果。前面已經描述模組化生產者與標準生產者對消費者福利帶來的影響。兩種生產者如果在同一個市場競爭, 結果會如何? 我們將這個問題引伸爲品質差異的競爭。表 8.3 爲模型的參數表。

表 8.3: 模組化競爭參數表

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	2
自動定義終點	布林 (ADT)	T, F	(1)T, (2)F

註: (1), (2) 爲生產者編號對應適用參數, 其餘參數同表 7.1。獨立進行 100 次。

生產者績效與消費者福利　圖 8.4 驗證了我們之前的臆測, 一開始有 ADT 的生產者顯得弱了一點, 隨著時間的經過, 開始有了逆轉。差距逐漸拉大, 到最後的差距更是明顯。請注意圖中每個點都是 100 次模擬的平均或中位數的結果。針對這個結果我們也作了統計檢定, 平均數和中位數在統計上皆有顯著的差異。[1]然而, 這是大樣本的結果, 如果想要個別來看他們的成敗結果, 在有營運資本注入的模擬, 模組化生產者 100 次之中到第 5000 代時有 61 次市佔率過半, 換算爲成功率爲 61%。標準生產者成功率爲 39%。若我們更仔細的去計算 100 次模擬中 5000 代中銷售量大於 0 的總比率, 亦即正常營業時間的比率或存活率。模

[1]在虛無假設 H_0: $P_{ADT} \leq 0.5$, 對立假設 H_1: $P_{ADT} > 0.5$。兩生產者的 5000 個平均數與 5000 個中位數分別的檢定結果 p-value 皆接近 0。

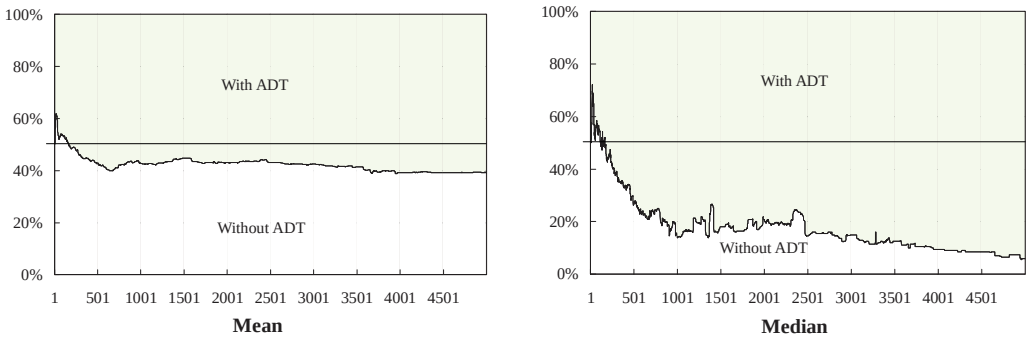

圖 8.4: 兩種生產者的市場佔有率

註: 總共獨立模擬 100 次, 圖爲 100 次按記錄時期的平均數 (Mean) 及中位數 (Median)。中線爲兩方市場佔有率相等皆爲 50%。

組化生產者爲 90%, 標準化生產者也有 89%。因此, 我們得到另一個重要的觀察, 有外生的營運資本不斷注入, 雖然能讓不良的生產者一直都能夠苟延殘喘; 然而, 市場佔有率和最後經營的成功率已經說明了模組化的優勢。

表 8.4: 生產者獲利表現

生產者型態	平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末總資本額	存貨折損率
標準生產者	30.09%	29,084	12,596	65,445, 150	36.59%**
	(51.15%)	(25,192)	(11,762)	(58,780, 241)	(27.00%)
模組化生產者	43.68%**	37,940***	16,803***	86,471, 322***	29.47%
	(54.22%)	(24,185)	(11,286)	(56,404, 229)	(28.60%)
p-value	0.0349	0.0060	0.0053	0.0053	0.9641

註: 各觀察值皆包括 100 個獨立模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 標準生產者變數平均數 $\geq$ 模組化生產者變數平均數。

表 8.4 顯示了兩生產者最後的綜合表現。除了存貨折損率爲負向的表現, 標準生產者顯著高於模組化生產者, 其餘正向表現的指標皆由模組化生產者勝出。另外和表 7.3 相比, 競爭的結果, 各項指標皆顯著變差。若觀察括號內的標準差, 兩者的變異程度也變大。特別是存貨折損率提高, 導致各項報酬指標降低, 背後原因正是消費者的篩選結果所致。若我們比較圖 8.5 與圖 7.4 則可發現消費者福利都明顯上升了, 相較於圖 7.4 中, 模組化生產者在最後一代所締造的消費者福利最高紀錄大約 275, 而在競爭下最高可接近 600。說明了市場競爭爲消費者福利所帶來的好處。之後, 我們再陸續進行幾個兩家生產者競爭的實驗, 下一章的最後再彙整實驗結果及總體積效。

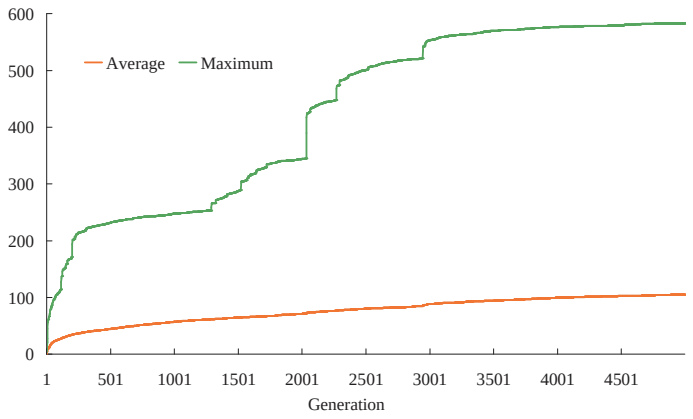

圖 8.5: 消費者福利滿足程度

註: 爲每代 100 次模擬平均值的極大值與平均值的期望值。

8.3　研發策略競爭

8.3.1　研究發展比率競爭

表 8.5: 研究發展比率競爭參數表

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	2
研究與發展比率	實數 ($\gamma_{\text{R\&D}}$)	$[0, 1]$	(1) 0.01% (2) 1%

註: (1), (2) 爲生產者編號對應適用參數, 其餘參數同表 7.1。獨立進行 100 次。

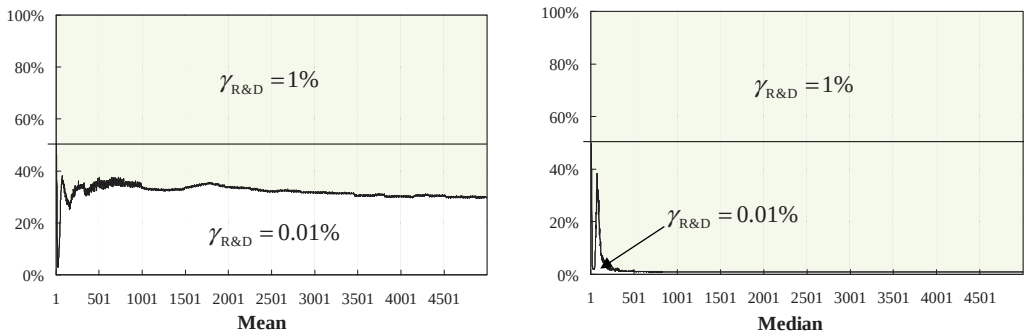

圖 8.6: 兩種生產者的市場佔有率

實驗結果　高研發比率生產者的績效是否較佳? 初步的參數探勘, 我們先觀察到一些線索。在模型中, 與研究發展有關的變數有二, 一爲 R&D 比率, 二爲

R&D 上限。R&D 比率的高低與生產者的初期表現有很大的關係。隨著營運資本的累積, R&D 經費 (R&D 比率 × 累積營運資本) 將會達到 R&D 的上限。屆時對上限相同的生產者而言, 只要持續存活在市場者, 他們的研發經費終將趨於一致。因此我們研究這組參數, 希望觀察到初期 R&D 的高低是否有路徑相依的效果, 導致後來的成敗。從實驗結果, 圖 8.6, 我們觀察市場佔有率, 兩生產者勝負幾乎已經確定。假設每期投入資本均能收回的情形下, 估算兩生產者研發支出的金額, 低研發率生產者爲 $0.0001 \times 500 \times \text{Gen} = 0.05 \times \text{Gen}$, 高研發率生產者爲 $5 \times \text{Gen}$。換言之, 低研發率生產者至少要到第 20 代才會開始研發新產品。低研發率生產者的起步落差, 將是注定未來積弱不振的源頭。

表 8.6: 生產者獲利表現

	研究發展比率競爭組 (1)				
生產者型態	**平均報酬率**	**平均銷售額**	**平均利潤**	**期末總資本額**	**存貨折損率**
低研究發展比率	7.85%	19,466	8,526	45,118,849	52.61%***
($\gamma_{\text{R\&D}} = 0.01\%$)	(65.46%)	(25,750)	(11,735)	(58,553,487)	(34.24%)
高研究發展比率	45.41%***	43,182***	19,246***	98,680,607***	28.42%
($\gamma_{\text{R\&D}} = 1\%$)	(58.46%)	(26,044)	(12,138)	(60,660,501)	(30.54%)
p-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

註: 各觀察值皆包括 100 個獨立模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 低研發率生產者變數平均數 $\geq$ 高研發率生產者變數平均數。

表 8.6 顯示兩生產者的獲利表現, 從平均數來看, 高研發比率的生產者在各項表現上都較佳。由此可見, 研發競賽在市場完全透明的情況下, 研發率主導市場初期的狀況, 即使低研發率生產者後期的研發支出追上來, 也難以挽回其競爭條件。兩家寡佔的市場將如同一家獨佔的局面, 因爲起步慢的生產者面臨非常嚴重的進入障礙。

如果將每次模擬 5000 代之中, 生產者銷售量大於 0 的比例計算出來, 再取 100 次模擬的期望值, 我們可以大致瞭解生產者的存活情形。低研發率生產者存活率的 95% 信賴區間爲 (62.62%, 77.78%), 高研發率生產者爲 (83.48%, 93.84%)。雖然兩者存活率有顯著的差別, 我們認爲若低研發率生產者的研發比率再提高, 是否有可能觀察到其後來居上的情形。因爲, 根據我們對 GP 的觀察, 到了後期, 成功搜尋消費者更深層的偏好次數愈來愈少, 加上模擬時每代都會額外賦予生產者一筆營運資本, 使得低研發率的生產者有東山再起的機會。

表 8.7: 生產者獲利表現

	研究發展比率競爭組 (2)				
生產者型態	**平均報酬率**	**平均銷售額**	**平均利潤**	**期末總資本額**	**存貨折損率**
低研究發展比率	20.09%	27,973	12,027	62,595, 434	38.65%***
($\gamma_{\text{R\&D}} = 0.2\%$)	(58.91%)	(22,422)	(10,404)	(51,996, 156)	(30.52%)
高研究發展比率	45.76%***	36,704***	15,973***	82,326, 876***	28.16%
($\gamma_{\text{R\&D}} = 1\%$)	(48.84%)	(21,957)	(10,314)	(51,544, 203)	(25.50%)
p-value	0.0055	0.0030	0.0038	0.0038	0.9955

註: 各觀察值皆包括 100 個獨立模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 低研發率生產者變數平均數 $\geq$ 高研發率生產者變數平均數。

表 8.8: 生產者獲利表現

	研究發展比率競爭組 (3)				
生產者型態	**平均報酬率**	**平均銷售額**	**平均利潤**	**期末總資本額**	**存貨折損率**
低研究發展比率	30.42%	30,743	13,419	69,556, 534	36.36%*
($\gamma_{\text{R\&D}} = 0.5\%$)	(57.57%)	(23,798)	(11,069)	(55,320, 370)	(30.10%)
高研究發展比率	40.82%*	34,413	15,056	77,737, 287	30.85%
($\gamma_{\text{R\&D}} = 1\%$)	(52.01%)	(23,170)	(10,806)	(54,003, 723)	(27.08%)
p-value	0.0908	0.1353	0.1456	0.1456	0.9125

註: 各觀察值皆包括 100 個獨立模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 低研發率生產者變數平均數 $\geq$ 高研發率生產者變數平均數。

早期的研發投入較容易有回報, 這個期間研發投入的多寡有明顯差異, 但不一定投入愈多愈有利, 我們臆測中間可能存在某個臨界值, 當小於這個臨界值時, 研發投入愈多愈有利; 反之, 大於臨界值時, 研發投入則是愈小愈有利。後者可能的情況爲早期低研發生產者研發投入較少, 但卻能保留較多的資本累積, 可以成爲後來長期抗戰的資本。因此, 我們分析這個顧慮的可能情境爲初期的研發資金如果能剛好滿足市場需求。換言之, 新研發的產品大部分能被市場接受, 只有少部分的存貨損失, 爲最理想的狀況。在這個狀況下, 如果研發資金太高, 將會造成太多的存貨損失; 相反的, 研發資金太低, 則會可能造成需求大於供給的情形, 讓對手有機可趁。如此複雜的動態下, 這個潛在的臨界值將也會嚴重受到交配率和突變率的影響。在生產者還沒有學習能力之前, 爲了初步瞭解是否有上述的動態過程, 我們再提高低研發率的生產者成爲 0.2% 和 0.5%, 再重新執行

這個模擬。因此, 表 8.7 和 8.8 可以讓我們進一步來看這個議題。

表 8.9: 生產者獲利表現

	研究發展比率競爭組 (4)				
生產者型態	**平均報酬率**	**平均銷售額**	**平均利潤**	**期末總資本額**	**存貨折損率**
高研究發展比率	34.62%	32,809	14,390	74,408, 458	34.16%
($\gamma_{\text{R\&D}} = 1\%$)	(58.63%)	(24,351)	(11,380)	(56,873, 952)	(30.49%)
高研究發展比率	33.15%	32,702	14,324	74,081, 799	34.81%
($\gamma_{\text{R\&D}} = 1\%$)	(57.11%)	(24,276)	(11,314)	(56,543, 161)	(29.73%)
p-value	0.5709	0.5124	0.5496	0.5162	0.4401

註: 各觀察值皆包括 100 個獨立模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 低研發率生產者變數平均數 $\geq$ 高研發率生產者變數平均數。

表 8.7 和表 8.8, 分別將低研發率生產者的研發比率提高爲 0.2% 與 0.5%。很明顯的在統計上的效果已經浮現, 隨著研發比率的愈來愈接近, 到了表 8.8 兩生產者的各項統計量已經無顯著的差異。再觀察他們的存活率情形, 在表 8.7 這一組, 低研發率生產者的 95% 信賴區間爲 (78.16%, 90.08%), 高研發率的生產者爲 (86.10%, 95.24%)。在表 8.8 這組低研發率和高研發率生產者的存活率則分別爲 (80.53%, 91.03%) 與 (84.68%, 94.54%)。經由這些觀察, 我們仍然對高研發率的生產者在各項表現以及存活的優勢抱著樂觀的態度。但隨著競爭對手也採取愈來愈接近高研發率生產者的策略則會出現愈來愈多的干擾。從表 8.7 與 8.8 的比較, 我們可以發現後者括號內的標準差值增加了。這顯示高研發率的生產者受到的挑戰程度愈來愈高。

最後, 表 8.9 我們再揭露兩者條件完全一樣的獲利表現。此時的變異程度都比表 8.7 和 8.8 還大, 但卻比表 8.6 小。我們將從市場佔有率的情形來解釋。圖 8.7 和圖 8.6 顯示出的形態有很大的不同, 從中位數的結果來看, 前者幾乎到後期都是接近 0 的水準, 而後者都在 50% 的水準附近。因此, 前著的情形是屬於不鳴則已一鳴驚人的姿態, 大部分的情形都是失敗的, 但仍然有少數的情形可以成功, 所以平均值的水準才有可能維持在 30% 左右。至於後來三組實驗的比較, 則是在兩生產者實力愈來愈接近的情形下競爭愈來愈激烈的結果。因此, 演化的情形會如何? 仍然需要進一步的觀察, 畢竟我們目前的實驗都是大樣本下的結果, 如果在實際的生存壓力下, 根據環境的回饋學習並且隨機應變可能更爲重要。所以現階段的結果可以做爲進一步實驗的參考。

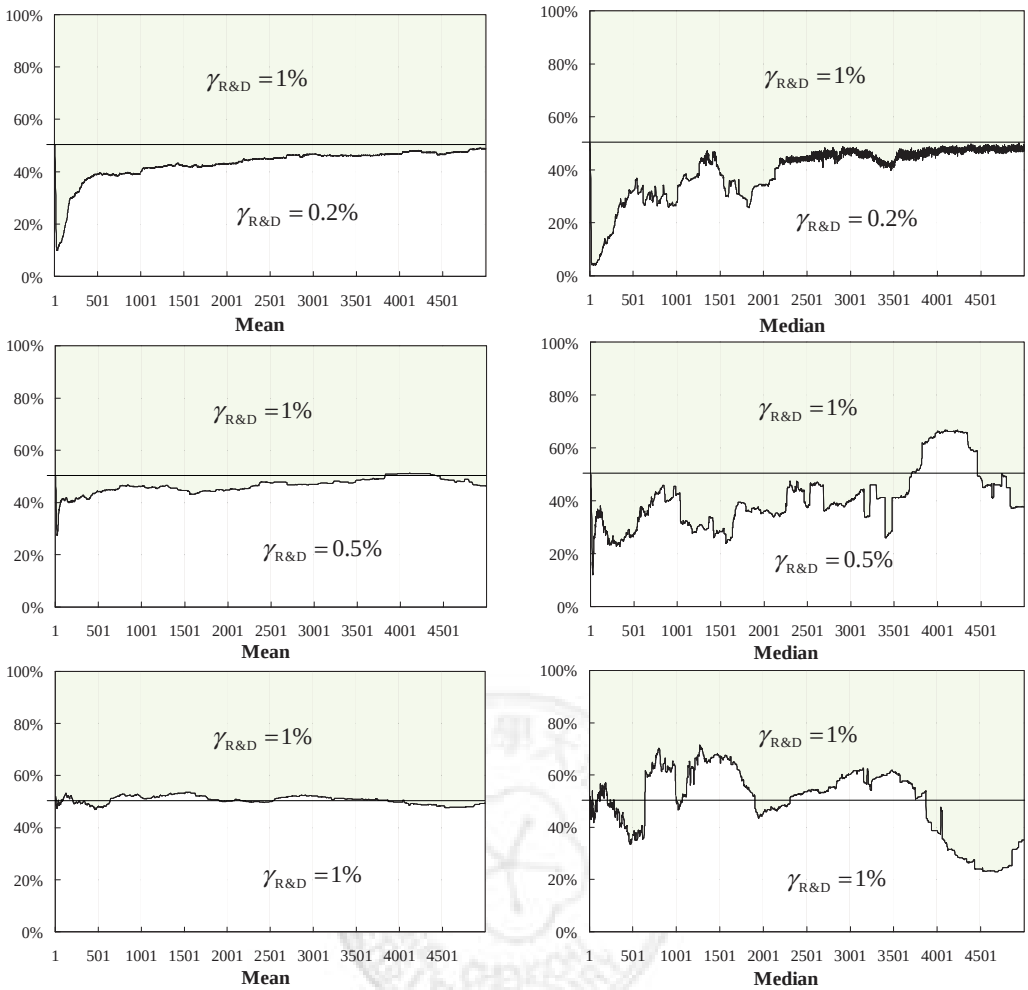

圖 8.7: 兩種生產者的市場佔有率

8.3.2　研發訊息交換與變異能力差異競爭

我們藉由這個實驗進一步對消費者的搜尋強度的影響做觀察。過去相對較封閉的環境可能易形成強者恆強, 弱者恆弱的現象。但 90 年代末期後, 有了很大的轉變, 經由網路的效果, 使得許多公司透過網路崛起, 也有許多公司因此而沒落。這個現象和我們目前從模擬結果觀察到的更替效果有某種程度上的相似性。因此我們很好奇, 在資訊相對較流通的環境下, 對生產者和消費者雙方的福利有何影響。兩組模擬參數如表 8.10 所示, 分別爲交配率競爭組與突變率競爭組。

消費者福利　圖 8.8, 接著檢視不同搜尋強度的消費者福利。分別由模擬的平均結果來看, 平均數顯示較高的搜尋強度有較高的消費者平均福利, 且統計上顯

表 8.10: 遺傳參數競爭參數表

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
		交配率競爭組	
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	2
交配率	實數 (p_c)	$[0, 1]$	(1) 45% (2) 90%
		突變率競爭組	
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	2
突變率	實數 (p_m)	$[0, 1]$	(1) 40% (2) 80%

註: (1), (2) 爲生產者編號對應適用參數, 其餘參數同表 7.1。兩組實驗各獨立進行 100 次。

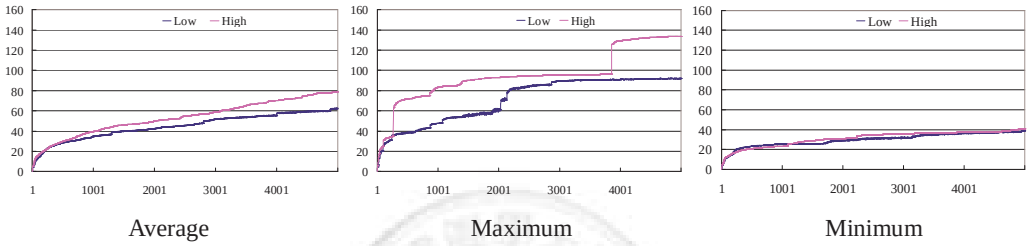

圖 8.8: 不同搜尋強度的消費者福利比較

著。[2] 在模擬資料中, 高搜尋強度組的極值爲 40.92 到 133.74, 低搜尋強度組的極值爲 39.05 到 92.31。因此, 這個結果突顯了之前的臆測, 高的搜尋強度將會帶來高的消費者福利。原因是高的搜尋強度, 可以讓消費者可以很明確的擇優, 加上我們的實驗設計, 每代都會挹注一筆資金給生產者, 即使中間有失敗, 只要有持續地研發, 都有東山再起的機會。反觀低搜尋強度, 代表消費者的忠誠度極高。因此, 若消費者不懂隨時更新商品資訊, 對於創新反而是弊多於利。

生產者表現　當消費者搜尋能力受限, 低交配率生產者的表現未必較差, 甚至反而較佳。我們在前一章已經分析過低交配 (突變) 率的生產者在平均收益與資本累積較佳的原因。因爲產品僵化的關係, 使其投入成本較高; 透過加成定價, 其產品售價較高, 資本累積較快。在市場飽合的情況下, 若投入較多的資金研發新產品, 其存貨折損也較高。圖 8.9 爲兩種搜尋強度的比較, 我們發現在搜尋能力較小的市場不會發生一面倒的情勢。因爲當搜尋能力有限時, 消費者會根據簡單強化式學習來形成其與生產者的關係。

[2]對低搜尋強度 50 個模擬和高搜尋強度 100 個模擬的第 5000 代消費者平均福利做 t 檢定, H_0: 低搜尋能力的消費者平均福利 $\geq$ 高搜尋能力的消費者平均福利。p-value $= 0.005$。

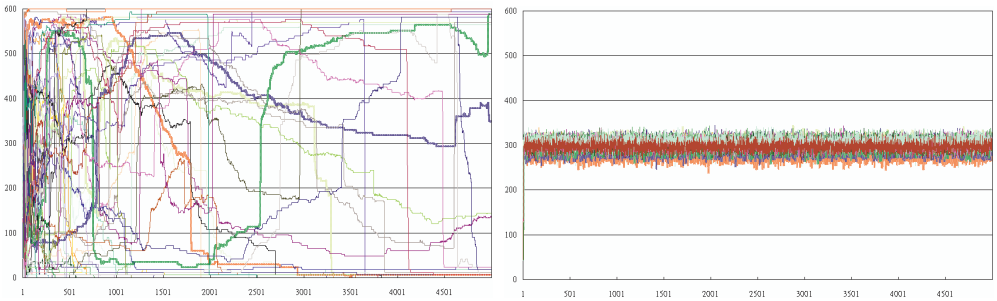

圖 8.9: 市場銷售量: 左爲完全搜尋強度, 右爲低搜尋強度

註: 交配率競爭組中, 在不同消費者搜尋強度下, 低交配率生產者各模擬回合的市場銷售量。

表 8.11: 生產者獲利表現

生產者型態	平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末總資本額	存貨折損率
			交配率競爭組		
低交配率	13.50%	24,899	10,534	55,146,993	45.20%***
($p_c = 45\%$)	(60.41%)	(23,073)	(10,591)	(52,927,550)	(31.26%)
高交配率	52.57%***	41,182***	18,238***	93,641,197***	24.39%
($p_c = 90\%$)	(48.75%)	(22,933)	(10,710)	(53,523,294)	(25.03%)
p-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
			突變率競爭組		
生產者型態	平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末總資本額	存貨折損率
低突變率	17.42%	27,216	11,551	60,228,066	43.18%***
($p_m = 40\%$)	(61.01%)	(24,785)	(11,328)	(56,615,899)	(31.66%)
高突變率	43.20%***	37,646***	16,612***	85,517,235***	30.03%
($p_m = 80\%$)	(51.82%)	(25,157)	(11,758)	(58,763,118)	(27.71%)
p-value	0.0007	0.0018	0.0011	0.0011	0.9990

註: 觀察值皆包括 100 個獨立模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 低交配 (突變) 率生產者變數平均數 $\geq$ 高交配 (突變) 率生產者變數平均數。

然而, 作爲篩選機制的消費者, 高搜尋能力有決定性的影響。因爲現在顧客見風轉舵的能力很強, 表現差的 (低交換率與低突變率) 生產者, 其存貨折損自然較高。和之前封閉的社會原因有很大的不同。也可以從表 8.11 和表 7.10 的結果發現其差別, 兩組實驗關鍵在於消費者搜尋強度的大小。當消費者搜尋能力最強時, 高交配 (高突變) 率生產者的表現有顯著優勢, 因爲低交配 (低突變) 生產者僵化的產品將有很高的機率會被鄙棄。

另外, 有趣的是, 如果環境改變, 生產者的適應性行爲應該要有所反應。因此, 以賽局的角度來看生產者的策略, 不論環境 (消費者搜尋能力) 如何改變, 維持

高的變異性 (交配率和突變率) 似乎是一個優勢策略。這說明了, 隨著資訊愈來愈容易取得, 生產者和消費者的接觸也變得更容易, 生產者的彈性和變異能力顯得更爲重要。

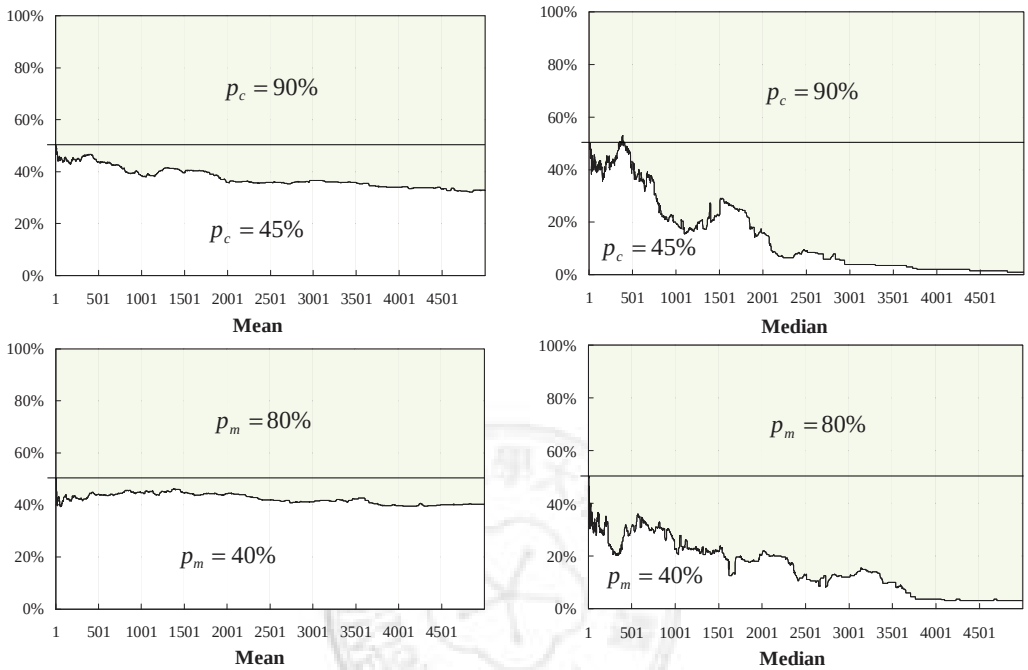

圖 8.10: 交配率競爭組與突變率競爭組市場佔有率

由表 8.11 與圖 8.10 的結果, 在經濟的框架下, 我們對於高訊息交換率與高產品變異率的表現給予正面的肯定。模型中的生產者, 大部分的獲利產品皆有量產的機制以保障生產者的收入無虞, 研發策略是挑戰未知消費者偏好的一個重要因素。差別就在於如何善用這個改變商品的能力, 是保守或是積極更新。如同一個組織內的文化, 能否包容更多元的意見與鼓勵不同部門之間的交流。此一創新機制也相當於生產者的風險態度, 目前的實驗設計產品的數量調整速度很快 (80%), 表示內部有一股很大的穩定力量可以支持生產者基本的營運。若數量調整速度很低, 則突變率和交配率的角色就兼任數量調整的角色, 因此, 變異的比率相對較低, 表示其愈強調保有固有的設計, 反之, 則愈勇於創新。我們目前的模擬, 基本上是相當保守的設計, 然而, 從生產者對產品額外的變異能力上, 已得到大樣本的結果, 具體地顯示積極改變是致勝的關鍵。

8.4　定價策略競爭

因爲消費者可以隨時接觸到兩組生產者, 只要發現哪一組生產者帶給他滿足程度高, 他就跟誰購買。價格並不是主要的考量因素, 眞正的考慮還是在於商品所帶來的滿足感。商品只要能帶來愈高的消費者剩餘, 就愈可能在市場上成功。因此, 定價會影響成功嗎? 或是影響創新能力? 以下爲我們的實驗設計 (表 8.12) 與模擬結果。

表 8.12: 加成率競爭參數表

參數名稱	型態 (變數)	資料範圍	設定值
生產者人數	整數 (n_p)	$[1, \infty)$	2
產品成本加成率	實數 (η)	$[0, \infty)$	(1) 100% (2) 200%

註: (1), (2) 爲生產者編號對應適用參數, 其餘參數同表 7.1。獨立進行 100 次。

表 8.13: 生產者獲利表現

	加成率競爭組				
生產者型態	平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末總資本額	存貨折損率
低加成率	34.65%	38,708	17,162	88,269, 321	33.59%
($\eta = 100\%$)	(63.80%)	(25,900)	(12,046)	(60,199, 592)	(32.62%)
高加成率	72.01%***	34,509	21,212*	108,516, 338*	43.99%**
($\eta = 200\%$)	(94.70%)	(33,501)	(21,343)	(106,677, 094)	(32.52%)
p-value	0.0006	0.1613	0.0502	0.0502	0.0125

註: 各觀察值皆包括 100 個獨立模擬的結果。括號內的數值爲標準差。p-value 爲 t 檢定的結果, 虛無假設, H_0 : 低加成率生產者變數平均數 $\geq$ 高加成率生產者變數平均數。

生產者獲利表現　表 8.13 的結果顯示高加成率組的平均表現皆較優秀, 然而, 括號內的標準差值更大, 以致除了平均報酬率, 其餘變數的表現在統計上並沒有達到 1% 的顯著水準。相同的邏輯, 我們也會好奇市場佔有率的情況, 隨著時間經過會怎麼改變。如果在每個時間點取 100 次模擬的平均數與中位數來觀察, 如圖 8.11 趨勢顯而易見。一開始高加成率的生產者並不受到市場的青睞, 但隨著時間的經過, 消費者又有 100% 的搜尋能力時, 只要高加成率的生產者有能力製造出好的產品, 消費者仍然會回頭來購買。一旦有生意上門, 兩生產者的平均銷售額很相近, 但是, 根據他們的定價策略, 定價高者將有高的獲利率,

可以帶來更高的研究發展資金, 成爲正向的循環。[3] 高加成率生產者的平均獲利率高達 60.53% (正常爲 $\frac{2}{1+2} = 66\%$), 而低加成率生產者爲 44.1% (正常爲 $\frac{1}{1+1} = 50\%$)。

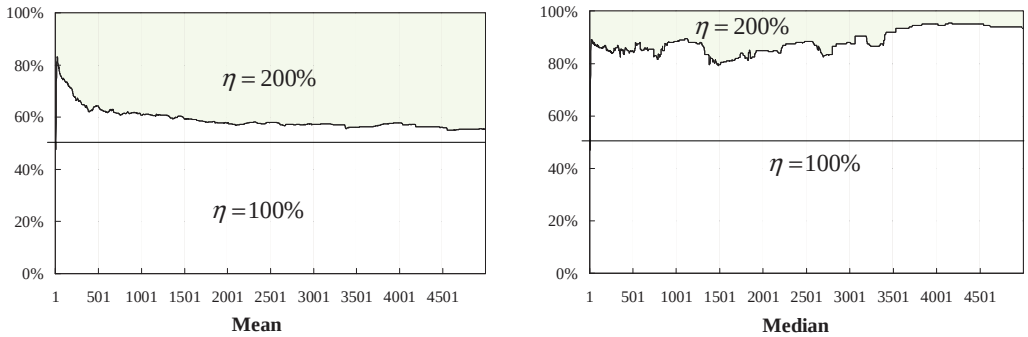

圖 8.11: 不同加成率生產者的市場佔有率

註: 總共獨立模擬 100 次, 圖爲 100 次按記錄時期的平均數 (Mean) 及中位數 (Median)。中線爲兩方市場佔有率相等皆爲 50%。

從兩生產者的市場佔有率來看, 平均而言高加成率生產者最後仍保有約 45% 的市佔率。從中位數來看, 模擬後期約有一半的次數市場佔有率都在 6.5% 以下, 而平均要能達到 45% 的佔有率, 表示有一半的次數市場佔有率大於 50%。所以變化情形相當的極端。若我們觀察兩者的存活情形, 銷售額大於 0 的時間比例。低加成率的生產者有 81.79%, 高加成率生產者有 81.95%。兩者的差異不大, 表示高加成率的生產者可以固定地保有一些客源, 而這些消費者就形成了上層的消費群, 固定以高額消費爲樂。因此, 我們可以推論高加成率的生產者所得到的消費人數較少, 但他提供更精緻的服務。

不僅是高加成率帶來的正面效果, 我們更仔細的將第 5000 代的商品發展滿足消費者偏好的程度來比較。發現高定價的效果有助於提供生產者更精練的線索。在消費者搜尋強度爲 100% 時, 我們從 100 次模擬中, 挑選出平均消費者剩餘最高的模擬, 第 9 次模擬。圖 8.12 顯示高加成率生產者第 5000 代獲利最高的商品。商品的發展已經可以滿足消費者共同偏好的兩個深度爲 4 的子樹。如果不考慮消費者其他的異質偏好, 此一商品最基本可以給消費者帶來 $(2\times4^{4-1}) = 128$ 的效用。換算成願付價格爲 $5 \times 128 = 640$。此商品有 37 個節點, 按高加成率的定價方式, 售價爲 $37 \times (1 + 2) = 111$。所以消費者剩餘爲 529。再依照 6.1.2 節的方式標準化後, 可以得到消費者滿足程度爲 $1000 \times \frac{529}{4490} = 117.82$。

[3]平均獲利率的表現可以由平均利潤除以平均銷售額獲得。

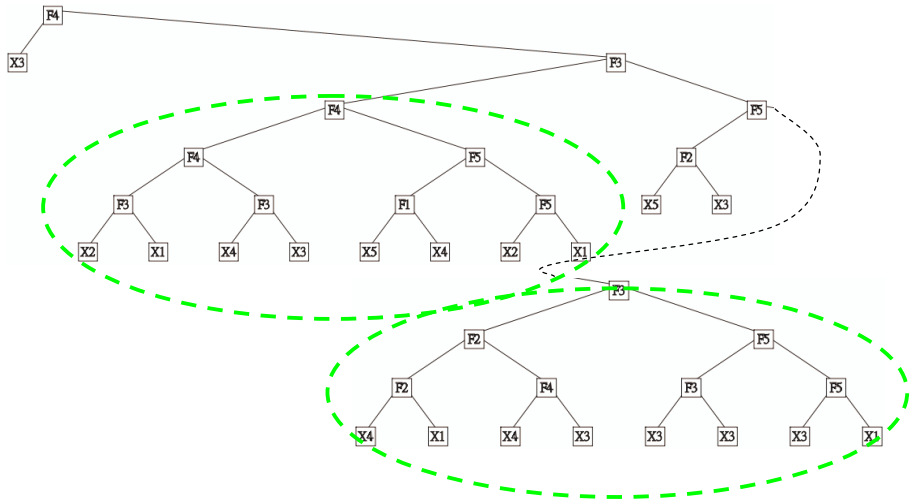

圖 8.12: 表 8.12 第 9 次模擬, 第 5000 代, 高加成率生產者獲利最高的商品

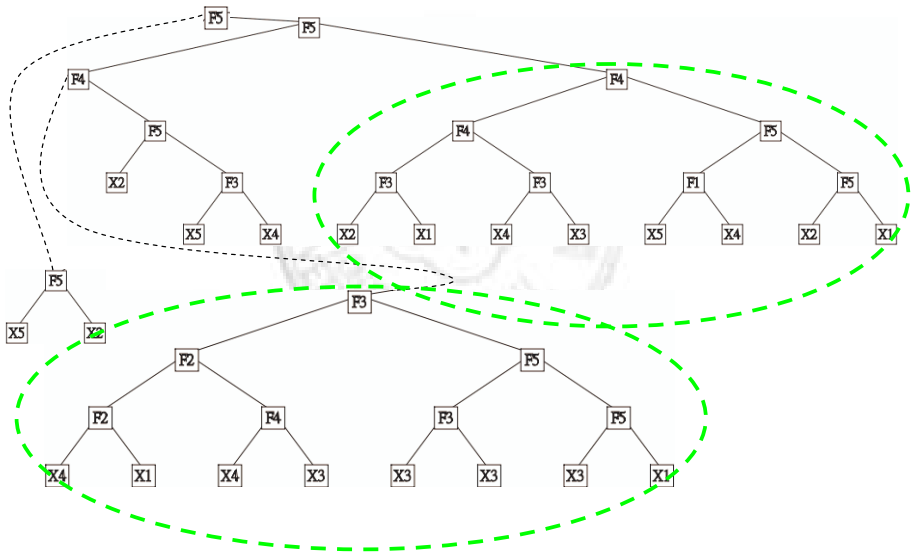

圖 8.13: 表 8.12 第 9 次模擬, 第 5000 代, 消費者剩餘最高的商品

我們同時觀察消費者之中, 可以爲某位消費者帶來最高消費者剩餘的商品。圖 8.13 顯示第 9 次模擬中, 最後一代獲得最高剩餘的消費者所消費的商品。除了共同偏好的兩個主要子樹的部分, 還有一些零星的子樹, 研判應和某一位消費者的異質偏好相配, 可以爲該消費者帶來最高的效用。

在第 9 次模擬中, 我們並沒有揭露低加成率生產者所生產的商品。原因是在這次模擬, 低加成率生產者的市場佔有率從 2063 代之後變成 0。之後雖然一直有從事研究與發展, 但始終沒有辦法將局勢逆轉。以這次模擬的情形, 我們再進

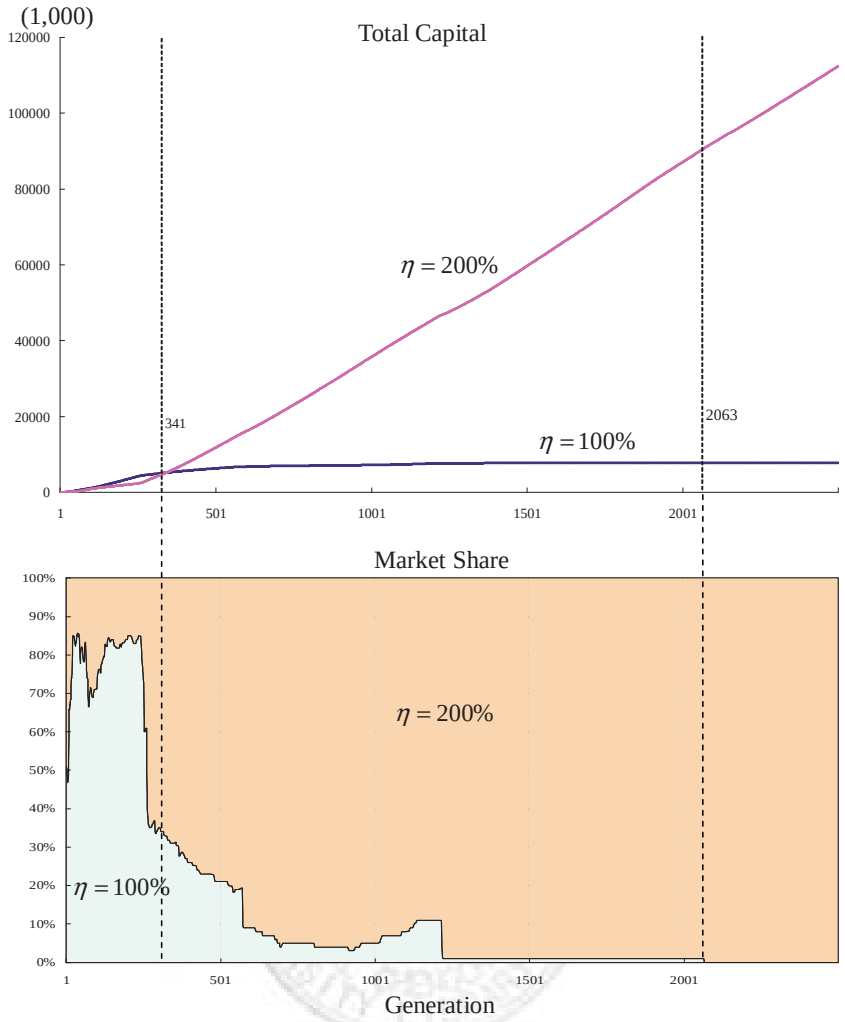

圖 8.14: 表 8.12 加成率競爭第 9 次模擬, 總累積資本與市場佔有率

一步深入的來討論兩家生產者成敗的原因。圖 8.14 揭露了這兩家生產者競爭前 2500 代的表現。圖 8.14 的上方是累積的總資本, 下方是市場佔有率。一開始低加成率的生產者取得優勢, 在資本累積和市場佔有率上皆佔有優勢。但是好景只維持到第 300 代左右, 市佔率突然減少了一大半。第 341 代之後累積資本更失去領先地位, 一路走下坡, 最後在 2063 代退出市場。

對於這種現象, 我們的解釋如下, 定價策略在品質固定相同或相似時, 是一項非常有用的武器, 正如模擬一開始兩家生產者都處於初始階段, 所有的技術都還不成熟, 兩家所生產出的商品技術水準相接近, 因此低加成率的生產者可以贏得大部分的市場。可是, 高加成率的生產者並沒有完全失去客源, 仍然留住一些消費者, 這些消費者之所以會消費, 是因爲商品符合消費者心目中較高的價值。換言之, 對他們而言可以帶來較高的剩餘。因此這些人所消費的商品更是精挑細

選的結果。成交的數量也較少, 且這些商品必須要能更精確地符合消費者偏好, 才能抵銷高價的效果。因此在這背後的機制爲*高加成率的生產者得到的資訊將比低加成率的生產者來得精確*。使得日後發展會有很大的轉變。

然而, 這只是第 9 次模擬的情形, 我們 100 次模擬中, 每次模擬初期情況都很相似, 在開始時低加成率的生產者先佔有優勢, 大約 300 到 500 代爲一段關鍵時期, 高加成率的生產者開始有機會可以逆轉市場, 之後, 發生逆轉的頻率會愈拉愈長。整體平均而言, 高加成率的生產者有大約 2000 代之後平均市場佔有率約爲四成五, 但中位數卻只有約 6.5%。表示兩生產者在市場上的市佔率相當極端, 將有一家生產者會被逐出市場或只佔有非常小的銷售額。因此, 模擬後期一家獨大的情況爲我們所得到的一個普遍現象。

此外, 高價反而帶來更多商機的實例, 在個案研究中經常可以見到。Starbucks 的經營方式爲有名的例子之一, 其將成本很低的咖啡售價提升到遠遠高於一般市場行情之上, 並且成功的經營。從 1971 年至今, 分店遍布全球各主要大城市。他們不僅提供咖啡, 輕鬆的氣氛、舒適的沙發、家的感覺與專業親切的服務都是整個商品的部分。然而, 這個研究說明*定價差異可以導致不同的服務品質*。現在的成功案例都是好的服務品質伴隨著較高的定價。因爲, 這些都已經爲事後結果, 與 Starbucks 同時競爭的對手可能還有幾家, 但是品質未能被消費者滿意, 經過市場的篩選而淘汰。所以存活的生產者才是能生產出與價格相匹配的商品。

同樣是在咖啡的消費市場, 大約在 2003 年創立的 85 度 C, 以低價的咖啡顯眼的銷售地點打進市場, 現今的營業額已經直逼 Starbucks 來台至今的營業額。在我們的實驗裡, 當消費者搜尋強度達 100% 時, 從生產者的獲利表現報表來看, 可以觀察到標準差非常大。和消費者搜尋強度 50% 的效果相差甚遠。所以 85 度 C 透過網路訊息的流通與強勢佔據顯眼的店面位置都有利其曝光, 將自己原本弱勢的地位, 透過改變消費者的搜尋強度, 提升自己的競爭力, 此乃是相當聰明的策略。實驗中的平均獲利表現與標準差, 除了告訴我們, 大方向的趨勢, 另一方面也暗示我們這中間的不確定性相當的大。勝負可能都還沒有確定, 特別是在 100% 搜尋強度的環境中。因此, 我們的實驗和所舉的例子都彰顯了消費者選擇的重要性, 模型可以讓我們早點看清**趨勢和不確定性**, 在正式交手前或中間過程可以有機會嘗試並且檢討不同的策略組合所帶來的成效。

最後, 回歸到問題的本質, 我們的市場背後就是*一分錢一分貨*的完全體現。既然定價這麼關鍵, 表示我們的交易機制如果改變也會帶來關鍵性的影響。利用思想模擬, 我們假設消費者現在面對的不再是固定的標價; 取而代之的是英

式集體競價 (English auction)。類似我們在第 4 章所描述的消費者的第二種搜尋方式, 有目的之搜尋。如果這樣可行, 那價格變爲浮動的價格, 隨著市場需求而調整。生產者所面對的資訊將更爲透明, 對於創新有更強的正向影響。然而, 眞實市場並沒有這樣做。喊價市場通常不會拍賣消費者完全沒有看過的新商品, 這樣對生產者而言風險太大, 因爲消費者既然沒有消費過, 自然無從鑑價。[4]除非, 透過網路與搜尋引擎, 能被立即搜尋到參考價格的新商品, 才會是熱門的拍賣標的物。如此拍賣的效果其實與固定標價幾乎無異。因此, 我們在喊價市場通常只能看到有明確參考價格的新商品、二手商品、古董、房地產或是本來就無參考價格的無形資產或經營權之類的商品,

[4]關於評價問題, 心理學及經濟學文獻對於人類評估價值的理性與否做了許多的探討, 在 Shafir and LeBoeuf (2002) 做了非常精采的介紹。

國立政治大學 NATIONAL CHENGCHI UNIVERSITY LIBRARY

第 9 章
總體分析

9.1 獨佔環境

9.1.1 總體表現

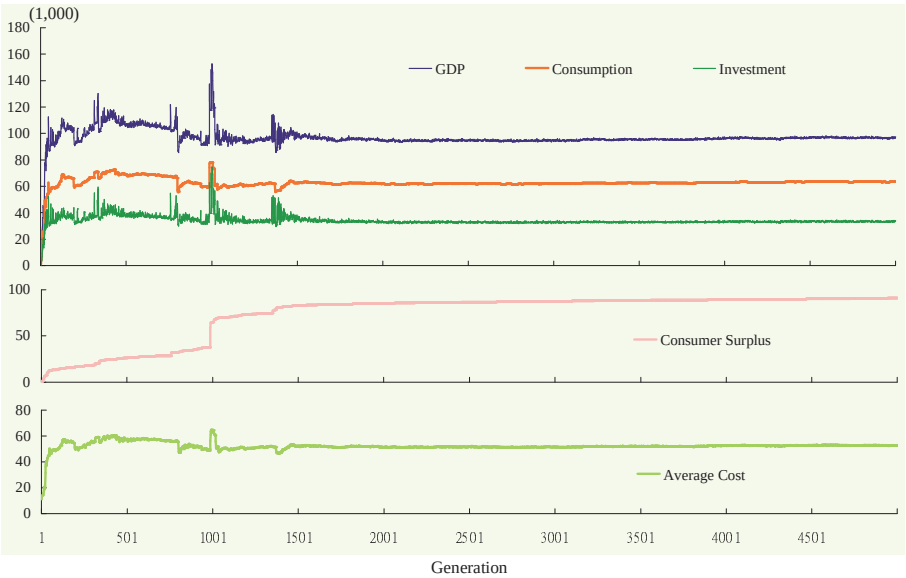

圖 9.1: 模組化生產者第 48 次模擬: GDP (國內生產毛額), Consumption (消費), Investment (投資), Consumer Surplus (消費者剩餘) 與 Average Cost (平均生產成本)

圖 9.1 顯示了第 7 章中獨佔模擬的一個典型結果。在這個封閉純私有的經濟體系, 國內總生產毛額爲投資加消費。投資的計算方式爲生產者的總投入成本, 消費剛好等於生產者的銷貨收入。我們觀察到幾個重點, 第一, 初期的快速成長, 後期幾乎呈現停滯狀態; 第二, 投資突然的增加, 然後逐漸減少, 並伴隨著消費者剩餘的提升; 第三, 平均成本和消費呈現亦步亦趨的關係, 且在後期也是幾乎停滯。

初期的快速成長, 與眞實世界所觀察到的經濟發展快速時期相似。在十分單純的模擬環境下, 最初的特徵展現消費者偏好受到新生產技術的啓發, 而打開新的消費紀元。由於消費者偏好固定不變, 除非生產者進一步再發掘消費者更深層的需求, 否則消費者無法再對無關的刺激有反應。除非當消費者接收到其偏好認爲是新鮮有趣的商品, 市場才會再出現反應, 其包括舊商品會被淘汰, 新商品開始量產, 生產者的投資成本會突然上升, 之後才逐漸調整成市場所需的數量。在這個例子的觀察中, 除了新舊商品轉換所帶來的成本, 我們還觀察到成本降低 (cost down) 的效果。在實務上, 這與生產者的製程優化有關, 一旦產品進入商業化階段, 維持競爭的優勢就是尋求更有效率的生產方式, 反應在數據上, 即成本的極小化。我們非常驚訝, 常被描述爲容易表現膨脹 (bloat) 的遺傳演算法,[1] 在市場框架下能有自我節制的表現。這要歸功於消費者的篩選機制, 只要成本較低, 根據目前機制會反應成較低廉的售價。低價的商品若能帶給消費者同樣的效用, 消費者剩餘會自然比較高, 也因此該商品較能得到市場的青睞。以圖 9.1 來看, 我們所觀察到最明顯的時點爲第 800 代左右的表現, 成本明顯下降並帶來消費者剩餘的提升。而第 1000 代左右的效果爲新商品的導入, 隨後也是成本下降的表現。因爲生產者採用成本加成定價法, 使商品售價和生產成本密切的連動, 而售價的提升對消費者而言, 如果沒有伴隨品質的提升, 消費者自然會選擇低價的產品, 自動抑制生產者的成本無限上升。這裡還發現一個有趣的關聯, 在成本下降的階段, 生產者的投資與消費者的支出也是處於下降的階段, 這導致 GDP 的下降, 但其背後的消費者福利仍然在提升。以第 500 代到 800 代這段期間爲一個典型的實例。

基於這樣的觀察, 我們很自然地要問, GDP 可用來衡量一個國家的生產表現, 但似乎沒有一個好的方法可以衡量福利表現。追逐 GDP 的成長, 是否眞的代表國民福利的提升是一個值得深思的問題。另外, 我們的模型, 沒有考慮人口成長率、一般均衡下勞動市場的回饋、金融市場的介入、消費者偏好的演變等等。這些因素未來可以考慮以合理的方式慢慢放進模型。現在所觀察的爲純粹創新對總體經濟影響的結果, 創新一直在模型中進行, 從消費者的福利改進可以被觀察到, 然而 GDP 卻常常不升反降, 或維持在一定的水準。這讓我們思考創新是不斷地發現消費者的偏好, 一旦沒有辦法更深一層的進入消費者心理, 結

[1]所謂表現膨脹是指 GP 在演化過程中依據其對環境的適應高低來調適, 常常會導致用冗長的符碼來表現簡單的答案, 或著是將不相關的雜訊也描述進來。兩者都會造成計算效率的下降, 後者甚至引發整個長期演化路徑的偏差, 導致陷入局部解的困境。

果將會達到停滯的狀態。這時成本下降是另一種契機, 因爲消費者樂於選擇同效用且低價的商品。而這個過程就是導致 GDP 下降的主因。因此, 我們希望強調消費者的選擇, 其在各時點下極大化消費者剩餘的效果爲總體現象主要驅動力。

圖 9.2: 模組化(上) 與標準(下) 生產者平均國內生產毛額與平均消費者剩餘

圖 9.2 顯示了整個 50 次模擬的平均結果, 初期的效果大約發生在 400 代以前, 歸因於技術創新所帶來的經濟成長, 後期的效果則主要可由製程改良來解釋。圖 9.2 所呈現的是一個平均的趨勢, 相當於這個經濟體系下的基本面。比較模組化生產者和標準生產者對總體經濟的表現, 我們發現他們有相似的初期效果。但是, 模組化生產者具有較明顯的製程創新效果, 大約 200 到 500 代之間最能明顯看出模組化生產者的努力, 使生產成本下降, 之後成本亦持續降低, 雖然後期的幅度愈來愈小, 但同時導致 GDP 下降的趨勢。相較之下, 對標準生產者而言在後期的效果較不明顯。

最後, 我們要澄清一個觀念, 製程創新不必然帶來 GDP 的下降。因爲在模擬過程中, 選擇了偏低的成本加成率, 使得消費者非常容易受到商品的吸引。幾乎在前 5 代, 消費者已經能全數獲得商品的購買。以致無法觀察到製程創新所帶來的替代效果, 此處所稱的替代效果爲觀念的借用, 因爲消費者只能選擇購買與否。所以, 若成本加成率再提高至接近消費者願意購買的門檻值, 開始時只會吸引部分感興趣的消費者來消費, 等商品改良使成本下降與售價下降, 才會吸引更多的顧客上門, 消費增加的效果將使 GDP 明顯提升, 而非目前所觀察到的不升反降。

9.1.2　技術生命週期

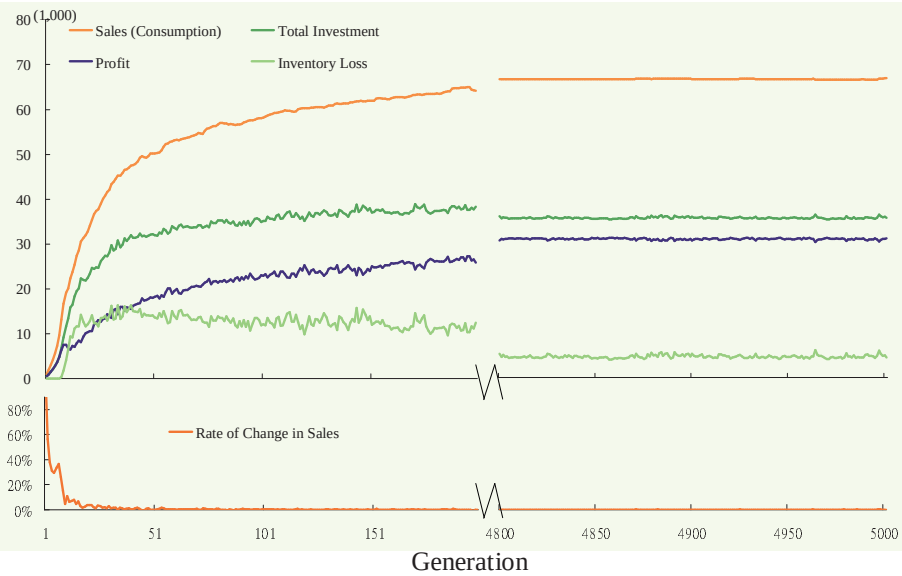

圖 9.3: 模組化生產者的技術生命週期

我們將圖 9.2 中的模組化生產者表現下的 GDP 再分解成消費和投資來看, 其中消費亦爲此獨佔生產者的銷售額, 同時也可以計算生產者的利潤和存貨損失。圖 9.3 所要關注的是初期技術演進的現象, 因爲平均而言, 之後的期間相當的穩定。對於銷售額的表現, 初期呈現加速成長 (大約在 10 代之前), 之後速度逐漸遞減的現象, 直到相當穩定的狀態。這裡呈現的是一個大樣本的趨勢, 若僅觀察個別模擬, 如同前述, 第 48 次模擬, 在個別模擬期間常會有些起伏; 但初期的成長趨勢卻是所有模擬共同經歷的現象, 這個現象在產業技術發展中也常被提及 (Christensen, 1992; Norman, 1998)。甚至發展成數量模型以供預測後續發展, 制定各階段的策略。

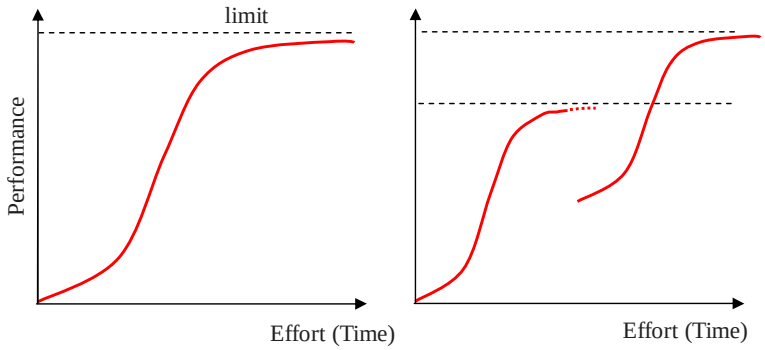

圖 9.4: 技術生命週期與 S 形曲線 (Foster, 1986)

最早有系統提出這個觀察的學者要推 Foster。他在 1986 年所提出的 S 曲線 (S-curve) 是經過許多個案觀察所得到的一個共通現象。他發現技術的表現在初期發展速度快, 到一段時間速度達到高峰, 接著速度遞減至接近零的穩定狀態或變成負值的衰退現象。圖 9.4 的左圖顯出一項技術演進過程最終會受物理及資源限制而呈現停滯。主要技術的發展過程, 其背後是由許多的子技術的改革與替代而來, 所以圖 9.4 的右圖顯示子技術的替代概念。這些概念與模擬初期的現象不謀而合, 對圖 9.3 的觀察, 大約 30 代左右存貨損失處於最大的階段, 之後存貨損失逐漸減少, 我們對大量的存貨損失詮釋爲舊技術被新技術所替代造成。到後期存貨損失量呈現穩定波動, 表示這部分的損失爲新研發的產品, 因爲, 舊產品技術已相當成熟, 技術趨於穩定, 不容易被新技術大量替代。

9.2 整體比較

9.2.1 生產者表現

生產者績效比較 以下我們對所有的模擬和基本參數設定下的生產者作一個總表。表 9.1 顯示各種設定下的生產者獲利表現。以期末資本額的表現來排序。首先我們觀察到獨佔的優勢, 其平均數最高與標準差值最小。第二, 在寡佔的部分主要可以分成完全搜尋強度和低搜尋強度的市場, 低搜尋強度的市場下, 生產者的平均表現普遍都較差, 但變異程度也較小。在完全搜尋強度之下, 研發比率的高低共有三組, 其顯示當對手研發率提高, 將使生產者面對的環境更爲嚴峻。至於排序結果並非要突顯哪一個參數的重要性, 因爲參數的設定值都是一時之選, 只要其有所改變, 結果也會跟著改變。如果排除低搜尋強度的四個模擬結果, 我們以寡佔和獨佔平均數的結果來做比較, 我們發現競爭之下的銷售額、利潤與

表 9.1: 生產者獲利表現: 基本參數設定模組化生產者

基本參數生產者與不同對手競爭後績效比較 ADT= T, $p_m = 80\%$, $p_c = 90\%$, $\eta = 100\%$, $\gamma_{\text{R\&D}} = 1\%$				
競爭對手型態	平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末資本額
		一家獨佔		
無競爭者	83.71%	66,551	30,193	153,390,083
	(1.79%)	(2,975)	(1,306)	(6,524,595)
		兩家寡佔		
低研發比率	45.41%	43,182	19,246	98,680,607
($\gamma_{\text{R\&D}} = 0.01\%$)	(58.46%)	(26,044)	(12,138)	(60,660,501)
低交配率	52.57%	41,182	18,238	93,641,197
($p_c = 45\%$)	(48.75%)	(22,933)	(10,710)	(53,523,294)
高加成率	34.65%	38,708	17,162	88,269,321
($\eta = 200\%$)	(63.80%)	(25,900)	(12,046)	(60,199,592)
標準	43.68%	37,940	16,803	86,471,322
(ADT= F)	(54.22%)	(24,185)	(11,286)	(56,404,229)
低突變率	43.20%	37,646	16,612	85,517,235
($p_m = 40\%$)	(51.82%)	(25,157)	(11,758)	(58,763,118)
低研發比率	45.76%	36,704	15,973	82,326,876
($\gamma_{\text{R\&D}} = 0.2\%$)	(48.84%)	(21,957)	(10,314)	(51,544,203)
低研發比率	40.82%	34,413	15,056	77,737,287
($\gamma_{\text{R\&D}} = 0.5\%$)	(52.01%)	(23,170)	(10,806)	(54,003,723)
低研發比率[a]	63.99%	32,138	12,458	64,749,675
($\gamma_{\text{R\&D}} = 0.01\%$)	(0.80%)	(1,709)	(689)	(3,443,870)
低交配率[a]	63.49%	31,063	11,984	62,384,517
($p_c = 45\%$)	(1.07%)	(1,806)	(747)	(3,734,106)
低突變率[a]	63.34%	30,665	11,812	61,522,916
($p_m = 40\%$)	(0.84%)	(1,285)	(514)	(2,571,524)
高加成率[a]	63.30%	30,580	11,777	61,346,657
($\eta = 200\%$)	(0.91%)	(1,459)	(618)	(3,087,719)

註: a: 消費者搜尋強度 = 50%。

資本額的數值都超過獨佔的二分之一。代表我們的基本參數設定下的生產者是目前所觀察到相對具有競爭力的一組參數設定。

然而, 眞正的動態結果目前並無法呈現, 當生產者透過參數的學習彼此競爭, 所要比較的觀點將不再是一組固定的參數。而是不同的學習法則, 例如: 無學習、貝氏法、模糊邏輯、演化計算、神經網路等等, 各種調適參數的方法在競爭。競爭和生存將有助於我們更爲瞭解動態現象。

表 9.2: 全體生產者獲利表現

生產者型態	平均報酬率	平均銷售額	平均利潤	期末總資本額
一家獨佔				
模組化生產者	83.71%	66,551	30,193	153,390,083
兩家寡佔				
加成率高低	53.33%	73,217	38,374	196,785,659
加成率高低[a]	102.86%	71,363	35,651	183,173,120
模組化有無	36.89%	67,024	29,399	151,916,472
交配率高低	33.04%	66,081	28,772	148,788,190
兩模組化生產者	33.89%	65,511	28,714	148,490,257
研發比率高低 (3)	35.62%	65,156	28,475	147,293,821
突變率高低	30.31%	64,862	28,163	145,745,301
研發比率高低 (2)	32.93%	64,677	28,000	144,922,310
研發比率高低 (1)	28.53%	62,106	27,452	142,292,184
交配率高低[a]	63.01%	63,534	24,392	126,887,408
研發比率高低[a]	63.85%	61,956	23,921	124,527,300
突變率高低[a]	62.27%	61,720	23,513	122,491,026

註: a: 消費者搜尋強度 = 50%。
平均報酬率的計算是採用兩生產者的平均, 其餘爲兩生產者的和。

生產者總產出表現 表 9.2 顯示生產者的總產出表現。首先加成率高低, 不論市場搜尋強度爲何, 其表現皆名列前茅。而研發比率在整體產值也扮演了重要的角色, 社會整體的研發比率愈高, 則帶來的生產者總利潤愈高。最後則是搜尋強度的區別, 消費者的自我設限直接影響了生產者的表現。在完全搜尋強度的市場中, 說明了競爭所造成的漏損, 表現在我們的模型裡爲無法銷售的存貨損失。而低搜尋強度的環境中, 則與消費者的擇優能力有關, 以下爲消費者的福利表現。

9.2.2 消費者福利

消費者表現 消費者的偏好是這個模型成長主要的驅動力。獨佔和競爭與否對消費者福利的影響關係到市場的體制。表 9.3 爲消費者滿足程度的統計量, 我們以較不受極值影響的中位數排序, 其中低搜尋強度的組別可能不適合在這個表中作比較, 因爲就追求消費者追求福利的努力程度上基準點已經不同, 所以這些組別的結果落在最後並不意外。所以排除低搜尋強度的模擬, 以中位數來比較, 模組化獨佔者爲基準下, 除了 1000 代的加成率高低組與 5000 代的突變率高低組與獨佔的結果相近, 競爭下所帶來的消費者福利幾乎都比獨佔的表現來得好。

表 9.3: 消費者福利表現

生產者型態	平均值	最小值	中位數	最大值
第 1000 代比較				
一家獨佔				
模組化生產者	36.50	21.18	35.17	72.78
標準生產者	28.03	21.12	27.53	40.14
兩家寡佔				
兩模組化	38.76	25.70	38.04	82.14
研發比率高低 (1)	37.28	13.51	37.95	73.20
交配率高低	39.64	23.34	37.47	85.02
研發比率高低 (3)	38.09	24.24	37.17	81.96
模組化有無	57.38	26.76	36.82	248.04
突變率高低	37.19	24.30	36.06	76.08
研發比率高低 (2)	37.20	23.22	35.70	78.54
加成率高低	39.00	23.78	34.86	89.46
交配率高低[a]	34.48	25.38	32.59	43.30
突變率高低[a]	34.43	22.44	32.54	59.00
研發比率高低[a]	34.20	24.47	32.13	57.40
加成率高低[a]	34.09	22.72	31.64	70.23
第 5000 代比較				
生產者型態	平均值	最小值	中位數	最大值
一家獨佔				
模組化生產者	75.69	36.84	80.10	276.90
標準生產者	53.65	34.08	45.54	127.50
兩家寡佔				
研發比率高低 (3)	80.79	42.06	85.80	277.26
研發比率高低 (1)	75.75	44.64	85.14	131.34
交配率高低	76.43	40.92	85.05	133.74
研發比率高低 (2)	79.73	42.54	84.94	280.20
兩模組化	75.98	44.34	84.60	133.68
加成率高低	78.72	43.44	84.21	271.21
模組化有無	105.38	43.32	83.46	583.32
突變率高低	73.08	42.84	79.83	283.32
研發比率高低[a]	75.25	40.36	72.79	152.12
加成率高低[a]	71.64	39.73	67.94	176.53
突變率高低[a]	67.45	38.22	66.40	93.48
交配率高低[a]	62.13	39.05	64.45	76.11

註: a: 消費者搜尋強度 = 50%。

第 10 章
結論與未來研究方向

在一開始時, 我們特別強調這是一門跨科際的研究, 因爲所要描述的生產不應該只是口說無憑。所以研究自然界及人造物的各種紋理與其共同之處, 便成了研究的基石。這個方向開拓出來的是一片極爲挑戰的疆域, 加上我們提出來的表現方法僅是目前可行的選擇之一, 還有很多的可能性等著被發展出來。本研究的精神比較接近初步的探勘。過程正如科技演化的精神, 還需要歷經時間的沈澱及後進的考驗。不斷地傳承並且加以改良演進。

然而, 所帶來的多元和豐富的現象已經讓我們覺得印象深刻。人文或社會科學的研究並不像自然科學可以有良好的實驗環境可以控制變數並且加以分析。數理邏輯分析固然有其優勢, 如同地圖一樣省略了大部分的細節, 保留了重要的資訊, 可以讓旅行者快速的得到方向。這是古典理論的一個完美類比。不過, 我們所要面對的問題絕對不像特定時點下靜態的地圖, 隨著時間經過, 圖上的商店、建築物、地標、街道、城鎮都會讓地圖產生改變。我們所面對的問題是複雜而多元的, 雖然看起來混沌難測, 但是只要有一個好工具, 社會科學的研究可以如同自然科學般在一個良好的環境下來測試。所謂的假設其他條件不變 (ceteris paribus) 不再是假設, 因爲我們做到了讓其他條件得到控制的效果。以下我們彙整研究發現與未來研究方向。

10.1 結論

經由模擬成功的看到了商品的進化過程與其如何改進人們的福利及社會的財富。同時, 也觀察到其對總體變數的影響。換句話說, 這如同一個新興的經濟知識平台。可以同時做爲研究、教育與實驗的空間, 研究者可以進行所感興趣的議題模擬, 學生經由這個平台的操作經驗增加對經濟模型及資料分析方法的知識。

透過市場競爭的模擬, 參數的可能演進方向經由大量的模擬得以確認。以下我們呈現初步過濾出的參數性質及方向彙整。

模組化　模組化 GP, 成爲我們初探的一個重點。然而, 如果想要精確的定義模組化似乎有困難。因爲, 模組化可能是一套流程, 內部包含許多可平行處理的子流程, 個別獨立運作, 並有良好的界面可以加以整合。實務上, 產生這些平行的子流程需要大量的知識累積。我們利用模型實踐模組化概念, 將累積的知識表現成商品樣式資料庫中所萃取出可獨立的流程, 並加以包裝成進階的原料模組。如此一來, 模組可免於受到破壞並且獨立地重覆使用。模擬結果說明自動化截取模組的過程將顯著地改善生產品質及競爭力。

研發策略　我們以研究發展的比率建立初始時生產者深入市場的速度。初期的投入多寡將會影響到日後的表現, 較晚跟進的生產者則會有較高的進入障礙, 成功的機率較低。在創新的策略研究上, 研發經費爲具有重要影響力的變數之一。其參數的方向上, 本研究初步得到高研發率將有較佳的存活率; 然而, 在其數值上, 仍然受到市場深度與 GP 的搜尋效率影響。研發率不太可能無限上綱, 低的研發率也不一定完全沒有競爭力。有可能在我們的模擬中將低研發率生產者刻意設得非常小, 以致表現差異可以很明顯地展現出來。如果兩者的差異縮小, 則不確定性最大, 勝負難分的結果是可預期的。

交換率　遺傳程式的重要參數如交換率和突變率適用的方向性, 在兩個生產者競爭的環境下, 較高的交換率或突變率, 以兩倍的差距來做比較, 對生產者有顯著的幫助。交換率原本在 GA 或 GP 中是取法自基因的有性生殖過程。目的是爲了保有基因的多樣性增加對環境的適應性。同樣的在生產者的經濟行爲裡, 代表了組織內部的資訊交流程度。這個動作的經濟意義並沒有辦法量化討論, 因爲我們很難對資訊交流程度與交換率之中取得一個對應的衡量準則。但是在組織中, 有些行爲可以類比於資訊交流程度的增加, 例如: 非正式的午茶交流、不同部門共同舉辦成果發表、內部知識庫的建置及分享等。我們的模擬結果間接說明了這些努力將會帶給企業較優異的競爭力。

突變率　基因的突變通常對適應性個體是有害的。我們對高的突變率有較佳的表現的解釋爲大部分的商品皆由存貨調整而生產, 相當於大量的成熟產品已經先保證其產量。只有少數新研發的商品可能會問市, 這些商品本來就不容易與現存商品來競爭。除非他們有特別的獨到之處, 能夠一枝獨秀。因此在相同的交換率之下, 高的突變率, 將有較大的機會搜尋到原先商品原型資料庫以外的資訊, 一旦成功搜尋就可能成爲下一代商品或更進一步奪得對手的部分市場佔有

率。反應在公司的行爲上, 突變率的展現需要仰賴驚人的創意, 因此靈活的聯想力、腦力激盪活動、與看似不合理的想法都應以正面鼓勵的態度來面對。

定價策略 同一品質的商品會有價格歧異的現象, 其主要來自於搜尋成本的差異或潛在的商譽所導致 (Baye *et al.*, 2007)。如果我們將搜尋成本視爲商品的減分, 商譽爲加分重新計算商品的價值, 我們會發現存活的商品反應了消費者選擇的結果。在模擬的設計上, 不同生產者採用不同的加成定價, 生存與否則由消費者選擇來決定。我們得到了有趣的發現, 在消費者對商品知識並非十分敏感的情形下, 只要定高價的生產者有少數商品可以通過消費者的考驗。加上模型的機制, 商品標價皆採用不二價的方式標價。因此高價而且能通過考驗的商品中有很高的成分可能吻合重要且關鍵的偏好模組, 這個情形下, 定高價的生產者反而有較佳的生存利基。這個利基主要來自於兩方面, 一方面獲得較精確的生產知識, 二方面可以得到較豐厚的獲利成爲新的研發資金。

10.2 未來研究方向

Dawid (2006) 指出要建構一個能夠產生各種產業與總體現象的模型並不容易。我們目前的工作提供了一個建模的骨架, 主要的目標爲建立一個生存力競爭的平台, 驗證各種學習代理人的存活情形並且分析產業與總體的現象。因此在模型中考慮融入不同的學習方法, 是將來要擴展的其中一項挑戰。另外爲了因應模型在將來考慮策略學習之下的彈性與更爲一般化的適用經濟模型, 有些限制必須加以克服。

生產者的加入與退出機制 生產者對市場環境的調適與學習之下, 涉及不同類型生產者族群的勝敗。因此生產者數目也會隨著族群的互動而有所改變。人數的動態調整, 技術上並不困難, 眞正挑戰的關鍵在於實驗設計。要賦予生產者哪些學習機制、資訊與互動方式值得我們仔細思考。另外, 策略參數的學習與否或可學習參數的數量, 是否會牽涉到學習效果。換言之, 並沒有準則告訴我們可調參數的數目。我們採用 KISS (keep it simple, stupid) 的原則, 從一個可調參數開始討論。可能的模擬情境可能會像, 兩家生產者的 R&D 比率在一個範圍內經由學習分類者系統調適。以上的幾個關鍵字改變, 例如: 兩家、R&D 比率與學習分類者系統等。可衍生出來的變化相當可觀, 依據研究子題再進一步討論各策略參數的角色將是未來的方向之一。

消費者所得內生化　目前模型的消費和投資完全獨立, 生產者創造的供給可以滿足市場上的消費需求; 或者換個角度, 消費者透過偏好選擇了每個人心目中的理想商品。消費者所得內生化, 除了消費者本身的角色外, 還需扮演勞動者或投資者。投資者需要考慮更複雜的資本市場, 暫時不會碰觸。勞動者則需要考慮勞動市場, 從最簡化的思考出發, 不考慮代理人的能力差異, 純粹平均分均生產者的獲利給消費者, 成爲消費者的所得。消費者的所得除了初始時是外生給定一筆稟賦, 之後則由生產者利潤分配而來。貨幣數量則是消費者的初始稟賦與生產者每期增加的資本量。在物價不變和固定增加的貨幣數量下, 名目國民所得 (物價乘以交易數) 將由貨幣數量和貨幣流通速度的乘積決定, 換言之, Fisher 的交易方程式 $MV = PT$ 可用來說明此封閉模型的現象。

然而, 目前的交易機制, 與貨幣流通速度有關的變數「每期消費者的交易次數」是模型外生決定。因此, 如何決定交易次數還是一個待解決的問題。因爲這牽涉到消費者的學習機制, 亦即消費者的消費決策。直觀上, 消費者的消費應僅受所得 (預算) 與對商品的滿足程度的影響, 所以簡化的做法上可以消費者的偏好爲藍圖, 讓消費者按照現行的選擇機制, 在預算限制下極大化其偏好的涵蓋以決定每期消費者所需要的商品。新的框架下, 將可以更有意義的來觀察國內生產毛額與社會福利的關係。

知識市場　在第 5 章時我們已經討論過知識市場的藍圖。然而, 建置上有其相當的難度。初步的構想, 我們延續模組化思考, 先在模型中設立專利局。該局只負責接受生產者登記新的模組並收取定期的專利維持費。爲了精簡計算資源, 生產者會以抽樣的方式檢查市場上的商品是否有使用到已經登記的模組。如果發現有競爭者在產品中使用到已申請專利的模組, 則必須支付權利金, 否則將不能使用該模組生產。權利金爲固定金額乘上生產商品的數量。如果上述機制能夠建立, 接著就可以來討論生產者知識的交易。換言之, 原本機械化的程序, 專利權利金爲被舉發的仿冒者所要支付的費用, 轉變爲追求進步的生產者主動尋求既有的專利模組。在生產者的動機上需要在未來研究進一步的思考。

社會網路與消費者偏好內生化　消費者偏好除了先天已經存在的需求外, 後天的學習亦有深遠的影響。生產者透過各種媒體對消費者的宣傳或教育, 社會不同階層 (如: 不同所得收入) 消費習慣的流動都是影響消費者偏好的來源。社會網路可能是研究消費者偏好改變的工具之一。Thomas Schelling 1970 年代的

Segregation Model 在二維棋盤空間上的代理人與其鄰居連結, 是最原始直觀的網路形式。加上對鄰居的偏好, 原本選擇鄰居的偏好, 在我們的模型換成了選擇商品的偏好。可以幫助我們從最基本的框架引入社會網路的概念。如果可以成功將這些概念引入, 則消費者偏好可從很少數幾種不同的偏好類型出發。然後觀察消費者自我形成的群落, 以及消費者與外界偏好的互動。同樣的, 生產者也可以是棋盤上的成員, 釋放其商品訊息給周圍的住戶。模型細節和表現形式與所欲表達的社會現象之間的關係都是將來要考慮的重點。

生產者之間的合作與競爭 企業講求專業化分工與面對國際競爭壓力之下, 如何自我組織形成有效的供應鏈管理 (supply chain management) 是非常自然的趨勢。然而, 在計算模擬的環境有什麼誘因可以讓生產者之間產生所謂的合縱連橫的複雜動態是一個挑戰。目前我們可以觀察到最明顯的誘因就是原料及勞動力的供給價格。例如, 中國大陸、印度、越南等提供廉價的勞工及充沛的原料, 以吸引資金投資。在我們的模型, 原料的單位成本固定, 勞動力完全不存在的假設, 就必須要打破, 並且需要建立勞動市場以及原物料市場。雖然模型與理想目標還有段距離, 但若能成功建立, 可以讓我們對目前的國際局勢有更深遠的洞察。

參考文獻

Aghion, P. and P. Howitt (1992). "A Model of Growth through Creative Destruction," *Econometrica*, **60**, 2, 323–351.

Allen, F. and R. Karjalainen (1999). "Using Genetic Algorithms to Find Technical Trading Rules," *Journal of Financial Economics*, **51**, 2, 245–271.

Altenberg, L. (1994). "Evolving Better Representations Through Selective Genome Growth," *Proceedings of The IEEE World Congress on Computational Intelligence*, 182–187.

Angeline, P.J. and Pollack, J. (1993). "Evolutionary Module Acquisition," *Proceedings of the Second Annual Conference on Evolutionary Programming*, MIT Press, 154–163.

Aoki, M. (2002a). "Open Models of Share Markets with Two Dominant Types of Participants," *Journal of Economic Behavior and Organization*, **49**, 199–216.

Aoki, M. (2002b). "Applications of Ewens–Pitman–Zabell Inductive Methods in New Economic Dynamics," *Proceeding of Sixth International Conference on Complex Systems*, 29–35.

Arrow, K. J. (1962). "The Economic Implications of Learning by Doing," *Review of Economic Studies*, **29**, 155–173.

Arrow, K. J. (2000). "Knowledge as a Factor of Production," *Annual World Bank Conference on Development Economics 1999*, 15–20.

Baldwin, C. Y. and K. B. Clark (2000). *Design Rules, Vol. 1: The Power of Modularity*, MIT Press, Cambridge, MA.

Barro, R. J. and X. Sala-i-Martin (1995). *Economic Growth*, McGraw-Hill.

Basalla, G. (1988). *The Evolution of Technology*, Cambridge University Press.

Baye, M., J. Morgan and P. Scholten (2007). "Information, Search, and Price Dispersion," in T. Hendershott, (ed.), *Handbook on Economics and Information Systems*, Elsevier, forthcoming.

Bell, D. R., T.-H. Ho, and C. S. Tang (1998). "Determining Where to Shop: Fixed and Variable Costs of Shopping," *Journal of Marketing Research*, **35**, 352–369.

Caldwell, C. and V.S. Johnston (1991). "Tracking a Criminal Suspect Through 'Face-Space' with a Genetic Algorithm," *Proceedings of Fourth International Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kauffman, 416–421.

Calvin, W. H. (2005). *A Brief History of the Mind From Apes to Intellect and Beyond.* Oxford University Press, Oxford.

Campbell, D. T. (1960). "Blind Variation and Selective Retention in Creative Thought as in Other Knowledge Processes," *Psychological Review*, **67**, 380–400.

Campbell, D. T. (1965). "Variation and Selective Retention in Socio-Cultural Evolution," in H. R. Barringer, G. I. Blanksten, and R. W. Mack (eds.), *Social Change in Developing Areas: A Reinterpretation of Evolutionary Theory*, Schenkman, Cambridge, MA.

Chen, S.-H. and B.-T. Chie (2004). "Functional Modularity in the Fundamentals of Economic Theory: Toward an Agent-Based Economic Modeling of the Evolution of Technology," *International Journal of Modern Physics B*, **18**, 2376–2386.

Chen, S.-H. and B.-T. Chie (2006). "A Functional Modularity Approach to Agent-Based Modeling of the Evolution of Technology," in A. Namatame, T. Kaizouji, and Y.Aruka. (eds.), *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, The Complex Networks of Economic Interactions,* **567**, Springer, 165–178.

Chen, S.-H. and C.-H. Yeh (2001). "Evolving Traders and the Business

School with Genetic Programming: A New Architecture of the Agent-Based Artificial Stock Market," *Journal of Economic Dynamics and Control*, **25**, 363–393.

Chen, S.-H. and T.-W. Kuo (2002). "Overfitting or Poor Learning: A Critique of Current Financial Applications of GP," *Genetic Programming, Lecture Notes in Computer Science 2610*, Springer.

Cheng, C. D. and A. Kosorukoff (2004). "Interactive One-Max Problem Allows to Compare the Performance of Interactive and Human-Based Genetic Algorithms," *Proceedings of Genetic and Evolutionary Computational Conference*, Seattle, Washington, USA, CD-ROM.

Christensen, C. M. (1992). "Explorin the Limits of the Technology S-Curve," *Production and Operations Management*, **1**, 334–466.

Darwin, C. (1887). *The Life and Letters of Charles Darwin, Including and Autobiographical Chapter*, in Francis Darwin, (ed.), 2nd ed., vol. 1, John Murray, London.

Diamond, J. (1997). *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies.* W.W. Norton & Company.

De Jong, E. D. and J. B. Pollack (2003). "Multi-Objective Methods for Tree Size Control," *Genetic Programming and Evolvable Machines*, Kluwer Academic Publishers, **4**, 3, 211–233.

Edelman, G. (1987). *Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection.* Basic Books, New York, NY.

Epanechnikov, V. A. (1969). "Non-Parametric Estimation of a Multivariate Probability Density," *Theory of Probability and its Applications*, **14**, 1, 153–158.

Ferreira, C. (2001). "Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems," *Complex Systems*, **13**, 2, 87–129.

Fine, C. H. (1986). "Quality Improvement and Learning in Production Systems," *Management Science*, **10**, 1301–1315.

Fisher, I. (1911). *Purchasing Power of Money.* Macmillan, New York, NY.

Fixson, S. K. (2003). "The Multiple Faces of Modularity - A Literature Analysis of a Product Concept for Assembled Hardware Products," Technical Report 03-05., Industrial & Operations Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.

Foster, R. N. (1986). *Innovation: The Attacker's Advantage*, Summit Books, New York, NY.

Frenken, K., L. Marengo, and M. Valente (1999). "Interdependencies, Near-Decomposability and Adaptation," in T. Brenner, (ed.), *Computational Techniques for Modeling Learning in Economics*, 146–165. Kluwer.

Garvin, D. A. (1988). *Managing Quality*, Free Press, New York, NY.

Goldberg, D. E. (2002). *The Design of Innovation: Lessons from and for Competent Genetic Algorithms*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.

Grossman, G. M. and E. Helpman (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press, Cambridge, MA.

Harrald, P. (2000). "Phenotype and Genotype Analogies in Evolutionary Economic Models," in S.-H. Chen (ed.), *Evolutionary Computation in Economics and Finance*, Physica Verlag.

Harrod, R. F. (1942). *Toward a Dynamic Economics: Some Recent Developments of Economic Theory and their Application to Policy*, London, Macmillan.

Hicks, J. (1932). *The Theory of Wages*, London, Macmillan.

Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor.

Judd, K. L. (2006). "Computationally Intensive Analyses in Economics," in Leigh Tesfatsion and Kenneth L. Judd (eds.), *Handbook of Computational Economics, Handbook of Computational Economics*, edition 1, volume 2, chapter 17, 881–893, Elsevier.

Jung-Beeman, M., E.M. Bowden, J. Haberman, J.L. Frymiare, S. Arambel-Liu, R. Greenblatt, P.J. Reber, and J. Kounios (2004). "Neural

Activity Observed in People Solving Verbal Problems with Insight," *Public Library of Science - Biology*, **2**, 4, e97.

Kahneman, D., and A. Tversky (1979). "Prospect Theory: An Analysis of Decisions Under Risk". *Econometrica*, **47**, 313–327.

Kauffman, Stuart A. (1993). *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford University Press, New York, NY.

Keber W. and N. J. Saam (2001). "Competition as a Test of Hypotheses: Simulation of Knowledge-generating Market Processes," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, **4**, 3, http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/3/2.html

Koza, John R. (1992). *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, MIT Press.

Koza, John R. (1994). *Genetic Programming II: Automatic Discovery of Reusable Programs*, MIT Press.

Law, A. M. and W. D. Kelton (1991). *Simulation Modeling and Analysis*, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, NY.

Leibenstein, H. (1966). "Allocative Efficiency vs. 'X-Efficiency'," *American Economic Review*, **56**, 3, 392–415.

Lenski, G. E. (1966). *Power and Privilege: A Theory of Social Stratification*, McGraw-Hill, New York, NY.

Levinthal, D. (1997). "Adaptation on Rugged Landscapes," *Management Science*, **43**, 934–950.

Levy, S. (1992). *Artificial Life: A Report from the Frontier Where Computers Meet Biology*, Vintage, New York.

Lucas, R. E., Jr. (1988). "On the Mechanics of Development Planning," *Journal of Monetary Economics*, **22**, 1, 3–42.

Ma, T. and Y. Nakamori (2002). "An Agent-Based Simulation on Dynamics of Design Spaces," *Proceeding of The Second International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems (AESCS'02)*, 135–142.

Marengo, L., G. Dosi, P. Legrenzi, and C. Pasquali (2000). "The Structure of Problem-Solving Knowledge and the Structure of Organizations," *Industrial and Corporate Change*, **9**, 757–788.

McKay, R. I., T.H. Hoang, D. Essam, and N. X. Hoai (2006). "Developmental Evaluation in Genetic Programming: The Preliminary Results," *EuroGP 2006, Lecture Notes in Computer Science*, 3905, 280–289, Springer-Verlag.

Messinger, R. P. and C. Narasimhan (1997). "A Model of Retail Formats Based on Consumers' Economizing on Shopping Time," *Marketing Science*, **16**, 1, 1–23.

Naur, P. (1960). "Revised Report on the Algorithmic Language ALGOL 60," *Communications of the ACM*, **3**, 5, 299–314.

Neely, C. and P. Weller (1999). "Technical Trading Rules in the European Monetary System," *Journal of International Money and Finance*, **18**, 429–458.

Neely, C., P. Weller, and R. Dittmar (1997). "Is Technical Analysis in the Foreign Exchange Market Profitable? a Genetic Programming Approach," *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, **32**, 4, 405–426.

Nelson, P. (1974). "Advertising as Information," *Journal of Political Economy*, **82**, 729–754.

Nelson, R. R. and S. G. Winter (1982). "An Evolutionary Theory of Economic Change," Belknap, Cambridge, MA.

Norman, D. (1998). *The Invisible Computer*, MIT Press, Cambridge, MA.

Piana, V. (2002). "You Are a Monopolist," http://www.economicswebinstitute.org/essays/monopolist.htm, Economics Web Institute. (last visited on March 24, 2007).

Polanyi, M. (1966). *The Tacit Dimension*, Anchor Books, New York, NY.

Popper, K. (1963). *Conjectures and Refutations*. Routledge, New York, NY.

Romer, P. M. (1986). "Increasing Returns and Long-Run Growth," *Journal of Political Economy*, **94**, 5, 1002–1037.

Romer, P. M. (1987). "Growth Based on Increasing Returns Due to Specialization," *American Economic Review*, **77**, 2, 56–62.

Romer, P. M. (1990). "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, **98**, 5, part II, S71–S102.

Romer, P. M. (1997). "In the Beginning Was the Transistor," *Hoover Digest*, **2**.

Rosca, J. P. and D. H. Ballard (1994). "Hierarchical Self-Organization in Genetic Programming," *Proceedings of the Eleventh International Conference on Machine Learning*, Morgan Kaufmann.

Samuelson, P. (1938). "A Note on the Pure Theory of Consumers' Behaviour," *Economica*, **5**, 61–71.

Satikarn, M. (1981). *Technology Transfer: A Case Study*, Singapore University Press, Singapore.

Schelling, T. (1971). "Dynamic Models of Segregation," *Journal of Mathematical Sociology,* **1**, 143–186.

Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development.* Harvard University Press, Cambridge, MA.

Schumpeter, J. A. (1939). *Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, McGraw-Hill, New York, NY.

Seybold, P. B. (2006). *Outside Innovation: How Your Customers Will Co-Design Your Company's Future*, Harper Collins, New York, NY.

Shafir, E. and R. A. LeBoeuf. (2002). "Rationality," *Annual Review of Psychology*, **53**, 491–517.

Sheshinski, E. (1967). "Optimal Accumulation with Learning by Doing," in Karl Shell, (ed.), *Essays on the Theory of Optimal Economic Growth*, MIT Press, Cambridge, MA, 31–52.

Silverberg, G. and B. Verspagen (1994). "Collective Learning, Innovation

and Growth in a Boundedly Rational, Evolutionary World," *Journal of Evolutionary Economics*, **4**, 207–226.

Silverberg, G. and B. Verspagen (1995). "An Evolutionary Model of Long Term Cyclical Variations of Catching up and Falling Behind," *Journal of Evolutionary Economics*, **5**, 209–227.

Simon, H. A. (1955). "A Behavior Model of Rational Choice," *Quarterly Journal of Economics*, **69**, 99–108.

Simon, H. A. (1962). "The Architecture of Complexity," *Proceedings of the American Philosophical Society*, **106**, 467–82.

Simon, H. A. (1973) "The Organization of Complex Systems," in G. Braziller Howard H. Pattee, (ed.), *Hierarchy Theory: The Challenge of Complex Systems*, 3–27. New York, NY.

Simon, H. A. (1982). *The Sciences of the Artificial*, 2nd ed. Cambridge, The MIT Press, MA.

Solow, R. M. (1969). "Investment and Technical Change," in Kenneth J. Arrow, *et al.*, (eds)., *Mathematical Methods in the Social Sciences,* Stanford University Press, Palo Alto, CA.

Teece, J. D. (1981). "The Market for Know-How and the Efficient Transfer of Technology," *Annuals of the American Academy of Political and Social Science*, **4**, 81–96.

Tversky, A. (1972). "Elimination by Aspects: A Theory of Choice," *Psychological Review*, **79**, 281–299.

Tversky, A. and D. Kahneman (1979). "Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk," *Econometrica*, **47**, 263–291.

Uzawa, H. (1965). "Optimal Technical Change in an Aggregative Model of Economic Growth," *International Economic Review*, **6**, 18–31.

Varian, H. R. (1980). "A Model of Sales," *American Economic Review*, **70**, 4, 651–659.

Veblen, T. (1899). *The Theory of the Leisure Class*, Allen & Unwin, London.

Williamson, O. E. (1975). *Market and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications*, Free Press, New York, NY.

Willihnganz, A. (1999). "Software that Writes Software," *salon.com*, WWW Article. http://www.salon.com/tech/feature/1999/08/10/genetic_programming/, (last visited on March 24, 2007).

Yao, X. (1999a). "Review of Evolutionary Artificial Neural Networks," *International Journal of Intelligent Systems*, **8**, 4, 539–567.

Yao, X. (1999b). "Evolving Artificial Neural Networks," *Proceedings of the IEEE*, **87**, 9, 1423–1447.

Zabell, S. (1992). "Predicting the Unpredictable," *Synthese*, **90**, 205–232.