

東海大學企業管理學系
高階企業經營碩士在職專班
碩士學位論文

以系統動態學討論波動度微笑曲線之研究

-以權益選擇權為例

The Study of Volatility Smile by System

Dynamics Methodology

– Using Equity Options As an Example

指導教授：胡次熙 博士

研究生：劉書銘 撰

中華民國一零二年五月

論文名稱：以系統動態學討論波動度微笑曲線之研究-以權益選擇權例

校所名稱：東海大學企管系高階企業經營碩士在職專班

畢業時間：2013年5月

研究生：劉書銘

指導教授：胡次熙 博士

論文摘要：

自從 1973 年，Black-Scholes 模型發明後在歐式股票選擇上獲得的重大突破之後，而近代的財務工程大都受此模型影響而發展。Black-Scholes 模型中的一個重要假設是資產報酬率為對數常態分配，若此假設成立，則同一時間點之不同的履約價對應出的隱含波動度需為單一常數，但實際上市場交易的結果發現波動度行為並非如此。實證結果發現，同一時點不同履約價對應波動度的關係圖並非理論上的水平線而是會依標的物種類的不同而呈現特定形式的不對稱偏移，此現象稱為波動度不對稱效果或波動率微笑曲線現象。在各種微笑曲線現象的研究和相關的文獻之中，權益選擇權的偏斜現象的成因探討最為特殊且複雜，不僅如此，不同研究的結論之間存在不同的見解但卻都有各自的實證資料支持各自的假說。由此推論，波動度之微笑現象的成因應屬於系統內生且為動態性複雜問題。本研究依照 Coyle 的系統動態錐形因果建模分析方法，先針對 Black-Scholes 模型之價平資訊內涵深入分析，其次以文獻中股價之因果關係圖推論波動度之實際行為，再以依市場供需觀點建立選擇權市場之因果環路模型，最後推論出權益選擇權的微笑現象是因投資者對企業系統風險的主觀評估所造成，並且與各文獻之相關實證見解得到統一的結論。

關鍵詞：隱含波動度、波動率偏斜、權益選擇權、系統動態學、財務工程

Title of Thesis: The Study of Volatility Smile by System Dynamics

Methodology – Using Equity Options As an Example

Name of Institute: Executive Management of Business Administration

(EMBA), Department of Business Administration, Tunghai

University. Graduation Time: May, 2013

Student Name: Shuming Liu

Advisor Name: Chishi Hu, Ph.D.

Abstract:

Since 1973, the Black-Scholes model invented has made a major breakthrough on European stock options. Most of the modern financial engineering leverage by the model. If the model is true, the implied volatility at different strike prices should be a single constant. However, the empirical result of volatility to strike price diagram is not a horizontal line, but performed as some specific types of curves. This phenomenon is called ‘volatility smile’. Among different types volatility smile, the reasons about equity option are most special and complex.

In the study, we take the process as the cone of influence diagrams by Coyle to modeling the trading behavior. The empirical is starting from the analysis of ATM information to modeling of the system. At the end, we realize the real causes of volatility smile by looking into the influence diagram made in the study.

Key Words: Implied Volatility, Volatility Smile, Equity Options, System Dynamics, financial engineering

謝誌

首先當然要謝謝爸媽放我三年大假來台中讀書，其次要謝謝指導教授胡次熙的精彩指導，除了本系任教的老師之外，我更要謝謝經濟系蕭志同老師的課外加持，沒有師長們的教誨，自然無法在學業上精進。當然也要謝謝我的好同學張肇榮，沒有這個因緣，我也不能進入東海這樣對我人生而言極度重要的校園生活。也要謝謝周瑛琪主任率領的系辦美女應援團，幫我這個迷糊老伯解決很多學務上的問題。

如同老師所說的，東海也是一個社會的縮影，形形色色的人都有，但這裡確是對一個很少離開天龍國的我一個很大的收獲，尤其從不到 25 公尺實力到橫渡日月潭外加蝶式 50 公尺，從獨來獨往到和大家完成舉辦球賽，這三年過的比我大學時代玩的還要盡興。這其中要謝謝秋明姐的照顧讓我很快適應台中，要謝謝清傑大哥的神算指引，還有信毅、宏茂、政煌的支援，當然要謝謝陪我打球的”老”同學文明和又新，和其他共同學習的同學們。也要謝謝幫我忙的學弟妹們，尤其是譯鴻和官德，他們讓我覺得現在的小孩其實都是很有才華的。

對我而言，在東海的日子豐富了我不惑之年的人生。深深感覺，人生經歷有如東海的地勢高低起伏，如校徑曲折彎延，如風景柳暗花明，如校園寬大深邃，如天空多晴且亮麗。林林種種，點滴銘心。

總之，要謝的事情太多，那就謝天吧！但要改的事情更多，卻不好再改天了！ 還好，論文寫完了．．．

劉書銘

東海大學企管系 EMBA

中華民國一〇二年五月

目 錄

第壹章	緒論.....	11
第一節	研究背景.....	11
第二節	研究問題.....	12
第三節	本研究之重要性.....	13
第四節	研究流程.....	15
第貳章	文獻探討.....	17
第一節	Black-Scholes 評價模型	17
第二節	各種波動度的評估方法.....	18
壹、	真實波動度.....	19
貳、	歷史波動度(historical volatility).....	19
參、	一般化自我迴歸條件異質變異數 (GARCH) 模型.....	20
肆、	隨機波動度.....	21
伍、	隱含波動度.....	21
第三節	隱含波動度相關現象研究及應用.....	22
壹、	隱含波動度之相關研究.....	22
貳、	恐慌指標 VIX	23
參、	波動度不對稱效果(微笑曲線現象).....	25
第三節	權益選擇權之微笑偏斜現象的討論.....	27
壹、	波動度不對稱之解釋.....	28
貳、	波動度微笑曲線的類型及應用.....	32
第四節	Black-Scholes 模型假設之討論	32
第五節	企業風險成因分析.....	35
第參章	研究方法.....	38
第一節	系統動態學介紹.....	38

壹、	系統動態學的基礎.....	38
貳、	系統動態學的應用.....	40
參、	系統動態學的研究步驟.....	40
肆、	建立因果迴饋環路圖質量率圖之基礎.....	42
陸、	因果錐形圖表介紹.....	59
第二節	系統動態學於財務相關領域之應用.....	62
壹、	財務規劃系統.....	62
貳、	股價預測系統.....	64
第肆章	實證結果與分析.....	65
第一節	Black-Scholes 模型內含資訊分析.....	65
第二節	各種波動度之系統比較.....	66
第三節	以系統動態觀點解釋波動度行為.....	69
壹、	波動度系統回饋模式.....	69
貳、	股價因果圖實證波動度行為.....	70
第四節	依供需機制建立選擇權之因果關係圖.....	73
壹、	供需調節環路的因果環路圖.....	73
貳、	系統各需求功能供需分析.....	74
第五節	微笑曲線與企業風險之因果關係.....	77
壹、	數學模型、時間領域和抽象化轉換.....	77
貳、	企業風險之因果關係分析.....	79
參、	微笑曲線成因分析.....	82
第伍章	結論與建議.....	85
第一節	結論.....	85
第二節	後續研究建議.....	86
參考文獻	87



圖目錄

圖 1-1 研究流程（本研究）	16
圖 2-1 波動度微笑曲線(volatility smile)《期貨與選擇權市場》	26
圖 2-2 負斜率波動度偏斜線(volatility skew)《期貨與選擇權市場》 ..	26
圖 2-3 正斜率波動度偏斜線(volatility skew)《期貨與選擇權市場》 ..	27
圖 2-4 企業風險圖（Ryan 1997）	36
圖 3-1 系統動能學設計步驟結構（Coyle,1996）	41
圖 3-2 因果關係鍵圖（Coyle,1996）	43
圖 3-3 正負向回饋環路圖例（Coyle,1996）	43
圖 3-4 積量流率圖 Stock and Flow Diagram（Coyle,1996）	44
圖 3-5 反應遲緩的調節環路因果圖《第五項修鍊》	45
圖 3-6 反應遲緩的調節環路模擬結果《第五項修鍊》	46
圖 3-7 成長上限的因果環路圖《第五項修鍊》	46
圖 3-8 成長上限環路模擬結果《第五項修鍊》	47
圖 3-9 捨本逐末因果環路圖《第五項修鍊》	48
圖 3-10 捨本逐末模擬結果《第五項修鍊》	49
圖 3-11 問題和副作用《第五項修鍊》	49
圖 3-12 目標侵蝕因果環路圖《第五項修鍊》	50
圖 3-13 目標侵蝕模擬結果《第五項修鍊》	51
圖 3-14 目標侵蝕的現象《第五項修鍊》	51
圖 3-15 惡性競爭之因果環路圖《第五項修鍊》	52
圖 3-16 惡性競爭模擬結果《第五項修鍊》	53
圖 3-17 富者愈富的因果環路圖《第五項修鍊》	54
圖 3-18 富者愈富模擬結果《第五項修鍊》	54
圖 3-19 共同的悲劇之因果環路圖《第五項修鍊》	56

圖 3-20 共同的悲劇的模擬結果《第五項修鍊》	56
圖 3-21 飲鴆止渴之模擬結果《第五項修鍊》	57
圖 3-22 成長與投資不足之因果環路圖《第五項修鍊》	58
圖 3-23 成長與投資不足模擬結果《第五項修鍊》	59
圖 3-24 因果錐形圖表 (Coyle,1996)	60
圖 3-25 企業經營活動因果關係圖 (韓潔茹 2002)	63
圖 3-26 股票價格系統主要因果關係圖 (袁利金 1994)	64
圖 4-1 價平之波動度機率模型 (本研究)	66
圖 4-2 各種歷史波動度系統(本研究).....	67
圖 4-13 抽象化理解過程 (本研究)	78
圖 4-14 風險與營運能力因果圖 (本研究)	80
圖 4-15 財務槓桿與企業營運關係圖 (本研究)	81
圖 4-16 毛利率之營業槓桿 (本研究)	82
圖 4-17 企業系統風險因果關係圖 (本研究)	83

表目錄

表 2-1 VIX 指數圖 (StockChart.com)	23
表 4-1 波動度特點整理 (本研究)	67



第壹章 緒論

第一節 研究背景

1973年4月26日世界上第一個期權交易所芝加哥期權交易所於美國成立，發展至今已有40年的歷史，在期間期貨選擇權的市場的快速的發展，而且全球之期貨選擇權的市場交易總量在2000年更正式超過了期貨市場交易總量，說明了期貨選擇權在衍生性金融商品的發展的重要性。

Black-Scholes 模型自1973被發表對選擇權的定價和避險有重大且深遠的影響，並對項財務工程的成長和成功扮演重要角色。其影響和應用範圍遍及了個股、選擇權、外幣、期貨、各類指數和許多新興的衍生性金融商品多半都以此模型為其評價基礎。在一般的理解上，衍生性金融商品是以商品本身的價值再以數學模型計算而產生的資產放大的槓桿操作行為，以此觀點來說，Black-Scholes 模型就是此槓桿行為的支點。

Black-Scholes 模型中有一個重要參數為波動度，波動度之數值為模型中唯一無法從市場中直接取得的參數，一般而言波動依推估方法不同分成歷史波度和隱含波動度二類，歷史波動度是指以過去資料來推估價格變化而隱含波動度是以市場價格代入評價模型計算出的股價變化數值。雖然隱含波動度是由理論評價模型求得，但有實務操作上卻有極高的重要性。舉例來說，著名的 VIX 指數是以選取一至二個月到期的重要權指選擇權的隱含波動度數值作加權計算而建立，統計結果證明，VIX 為景氣走勢的反向指標，因此實務上該指數是用來解釋投資人對未來市場的信心的判斷指標，因而 VIX 又稱為恐慌指數。而波動度微笑現象則是指在實務操作中發現於同一時間點不同履約價格所對應的隱含波動度理論值和市場實際求得數值產生之特定形式的誤差現象，此現象套利行為和投資評估都有重要且實質的意義。因此隱含波動度的研究在不論在理論上和實務上都有其相當重要的貢獻。

歷史波動度則是指以過去的資料分析計算而建立的波動度的函數或模型的各種方法，此類模型可以針對市場過去之經驗整理並成為預測市場價格的參考。然而，由於現實的世界中之交易，選擇權價格行為會因各種內外因素包含了理性和非理性行為、甚至市場效率問題和模型理論本身的誤差等因素交互影響，因此，依過去經驗做出的推估波動度的方法參考價值通常較隱含波動度為低。但一般而言，歷史波動度被認為是以過去經驗推估選擇權價格的重要工具，因此實務上可以作為避免市場上非理性行為造成之波動時採取錯誤投資策略的參考。

系統動態學有為研究動態性複雜的重要方法，其重要的特點是可以藉由分析系統內生之行為，擴大解釋現實世界之實際發生現象，系統動態模型較數學模型易於理解且具有彈性又較一般心智模型多出了嚴謹的數理科學客觀論證特性，因此近年來快速的被應用產業分析、管理科學、科技和工業的不同領域。實證結果指出，建立良好的系統動態模型有助於系統問題的分析、未來發展的預測和對實際現象的評估。結合以上立論基礎，本研究以採取系統動態學來建立財務金融中選擇權市場模型和解釋之權益選擇權的波動度微現象。

第二節 研究問題

Black-Scholes 模型中有八大重要假設，一般而言，這些假設通常過於理想化或必需有條件存在。當實際價格和模型數據產生誤差時，就必需由修正或調整假設條件來符合現實價格。在修正的過程中，又常因為數學模型存在於過於抽象的特性而使得修正的過於困難並且其新產生的結論只能片面解釋特定情況所發生的特定現象而缺乏整體觀點的解釋，而此結果使得數學模型在實際理解和應用上的範圍就變得更為局限。因此如何能夠建立一個可以有效接近現實發生現象且保有數學科學基礎的模型顯得相當重要。

Black-Scholes 模型所計算出的穩含波動度行為在實務上存在一個問題被持續的研究和討論著，此問題即著名的波動度之不對稱性或稱為微笑曲線現象 (volatility smile)。該問題之所以重要，是因為實務上發現不同標的物選擇的微笑現象會出現特定的特徵和形式，由於微笑現象具有特定發生的因果特質，該現象被發現以來，一直是套利行為重要的依據，因此，在後來的研究也針對該現象發展出許多不同的修正的方法。各種的微笑現象中，又以權益選擇權的微笑現象成因最為特殊且複雜，諸多的實證研究結論整理出不同甚至是相互衝突的見解，而且各有其實證數據支持也可解釋特定的市場行為，也因此該現象至今仍無法歸納出一個完整之共同論述。

基於以上觀察本研究提出兩個研究目的：

- 一、以系統動態觀點分析波動度的變化和選擇權市場。
- 二、建立權益選擇權之微笑現象之系統因果關係並依此論述現象之完整的成因。

第三節 本研究之重要性

如何正確金融市場的變化預測一向存在著理論和實務上的高度重要性。我們可以從大量的研究所產生出的各類預測市場的方法、技術線形和參考指標中得知一二。建立一個良好的模型除了具有重要的學術價值之外更可以創造出龐大的商業利潤。舉例來說，研究中提到的 Black-Scholes 評價模型的發明非但獲得了諾貝爾獎的學術地位肯定更使得金融市場因此快速的發展。

造成衍生性金融商品變化的成因具有複雜且動態的特質，由於其採取高槓桿度操作，因而一個細微的變化就可能造成巨大的影響。此觀點已經從雷曼兄弟破產造成長期性全球性的金融海嘯的巨大影響得到支持。然而其結果反映出一個嚴重的問題，在各種研究方法和預測模型發達的現代，並沒

有研究能預警了這個事件，而使得該事件造成的金融海嘯所造成的全球性的經濟問題到今日還無法完全的解決。

研究分析指出，金融方法常以數據的解析和數學的模型來做為預測和模擬的工具，良好的數理基礎雖可對某些特定因子做精確的細節性預估。但確無法對整個系統因子關聯連動效應做整體的預測，從這次如同「蝴蝶效應」的金融海嘯事件中得知，經過精密數學計算的金融商品雖然能在短期在數字的變化上快速的獲利。但其結果卻是因為些許的實際市場變動的誤差放大造成了全球性的災難。從事後討論分析發現，雷曼事件的形成原因是屬於系統內生性的問題而且其實是有機會可以預先得知並且避免該事件發生的。

雖然文獻中以系統動態學討論金融商品行為之文獻不多，但考慮系統動態學具有研究動態性複雜問題的特性，而且其也同時具備了以數學計算進行科學的量化分析能力和推論系統內部複雜成因相互影響的質性分析能力。若能正確建立出的良好系統模型除了可以對外在的外生刺激做出彈性的調整之外也可以擴大觀察的範圍來增加分析出的資訊內容，正確的因果環路模型也可以預先發現系統內生的潛在問題並取得槓桿解，而依此方式建立的系統模型也可以用計算機模擬進行預測。基於以上理由，本研究以先進行數學模型分析後依系統動態學的方法建立選擇權市場模型，再以系統內生觀點討論權益選擇權之微笑曲線現象，並由企業營運因果關係圖推論權益選擇權來自於投資者對企業風險評估，也同時解釋了實證中不同或衝突的見解也從不同的實證中得到證明。

本研究的重要性是，不同多數以數學模型和解析法來解釋特定情況所發生財務金融問題和現象，本研究實證系統動態模型可成為分析財務金融相關問題獲得完整解釋的科學方法，過程中的整理出的因果模型可以用於觀察系統內生因素產生的細微變化，而且依此方法建立的系統模型則具有其實際市場分析價值和未來數據預測的能力。

第四節 研究流程

本研究以 R.G Coyle 的因果關係錐形圖流程來進行研究，首先分析 Black-Scholes 模型數學模型之價平時的資訊含義來理解隱含波動度特性，再整理出各種歷史波動性之特性和應用範圍，之後以股價系統動態因果關係圖來測試股價模型是否具有效度，並依照此方法來建立選擇權市場系統動態模型，最後由企業運作中財務槓桿的因果關係來找出權益選擇權的系統成因。

本研究建立研究流程圖形圖 1-1 所示：



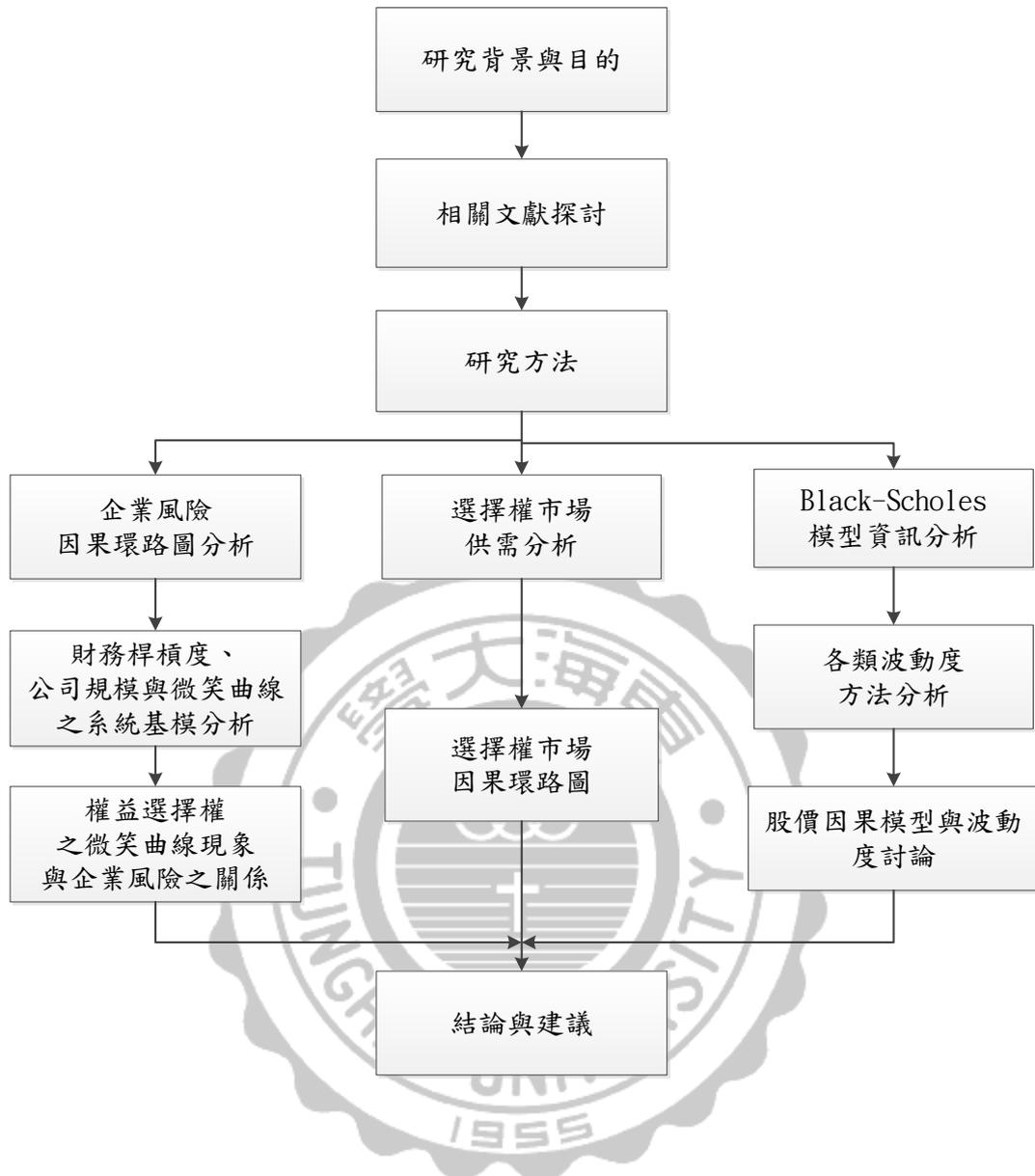


圖 1-1 研究流程（本研究）

第貳章 文獻探討

第一節 Black-Scholes 評價模型

Black-Scholes-Merton 評價模型，或稱為 Black-Scholes 評價模型，在衍生性金融商品有極為重要的角色，借由正確的評估標的現有價值和時間上的價值變化，商品的槓桿操作行為才可能產生。Black-Scholes 評價模型的發明，使得大多數金融商品有相同評價基準，不同的商品採用了共同評價的基準，新的金融商品便有交互發展的依據，因此 Black-Scholes 評價模型是造成商品市場快速成長的里程碑。

在衍生性金融市場發展過程中，1959 年 M. Osborne 首先使用幾何布朗運動 (geometric Brownian motion) 來做為具有風險性資產的模型。1965 經濟學家 P. Samuelson 利用機率方和隨機微積分的數學方法來研究金融的問題。基於以上背景，1973 年, Fisher Black、Myron Scholes 採用資產訂價模型，把選擇權的市場要求報酬率和股票的要求報酬率連結，Robert Merton 使用選擇權和標的物股票組成一個無風險投資組合，此組合在短期內所能得到的報酬率一定等於無風險報酬，而且更具普遍性。

結合以上的論述結論發展出為 Black-Scholes 評價模型。基於以上研究之結論，Black-Scholes-Merton 模型在推導選擇權訂價公式時使用了以下假設

1. 股價的變化是呈現對數常態分配
2. 無市場磨擦，無任何交易成本和稅賦且所有證券皆可以無限完全分割。
3. 選擇權期間，股票不發放任何股利。
4. 無風險套利機會完全不存在。
5. 證券交易是連續性的活動，價格隨時間不斷變動。

6. 投資者可以相同的無風險利率進行資金的借入或貸出。
7. 短期無風險利率 (r) 是固定常數。
8. 標的資產報酬變動符合幾何布朗運動(Geometric Brownian Motion)。

Black-Scholes 評價模型公式如下：

$$c = S \cdot N(d1) - Ke^{-rT} \cdot N(d2) \dots\dots\dots(1)$$

$$p = Ke^{-rT} \cdot N(-d2) - S \cdot N(-d1) \dots\dots\dots(2)$$

其中

$$d1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \dots\dots\dots(3)$$

$$d2 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} = d1 - \sigma\sqrt{T} \dots\dots\dots(4)$$

c 為買權價格，p 為買權價格，S 為標的資產的價格，K 為履約價，T 為到期時間，r 為無風險利率，σ 為波動度或稱標準差，N(x) 代表標準常態分配函數。

第二節 各種波動度的評估方法

波動度 σ 是指標的物價格的變化程度，在數學定義上即為統計中即為價格分佈之標準差。例如股價變化，期貨指數變化，匯率變化，都可以其統計方法計算其波動度，也就是說，波動度的目的在預測標的物的未來價格。

選擇權的理論價格可以用波動度代入評價模式來求得，因此正確的描述波動度為也就等於正確描述了選擇權的價格和變化。一般而言，估計波動度的方法不同，代入相同的評價模型解釋和應用的範圍是有差異的，因此在

選用波動度方法應依實際的需求和所需的應用代入合適的數學模型來計算。

各種不同之波動度計算方式之研究被提出討論，在此列舉以下數種並加以解釋。

壹、真實波動度

Andersen, Bollerslev and Diebold (2001)提出實現波動性模型，其模型表示如下

$$\sigma_{RV} = \sqrt{\sum_{i=1}^s u_{t,i}^2} \dots\dots\dots(5)$$

$$p \lim_{s \rightarrow \infty} \sigma_{t,s}^{RV} = \sigma_t \dots\dots\dots(6)$$

其中 $\sigma_{t,s}^{RV}$ 為第t日設定s個頻率下之實現波動性；s為日內報酬個數； $u_{t,i}^2$ 為第t日之第i個日內報酬。

當日內報酬設定頻率越高，即s無窮大時會收斂趨近於真實的波動性。

在適當的頻率下，實現波動性為真實波動性之具有不偏性、一致性與有效性的估計量，並具有緩慢且長期記憶的特性。

貳、歷史波動度(historical volatility)

該類波動度方法為給定現貨市場中標的資產的一組歷史價格序列，先計算其報酬率，然後算出標準差之類的方法。

以下列舉較常見二種方法：

一、簡單加權數移動平均法

相似於真實波動率而差異在於取樣期間的不同。歷史波動率是取過去固定一段期間的指數股價報酬之標準差，再以時間平方跟法予以年化(以一

年 252 個交易日計)。由於歷史波動的計算均給予觀察值相同的權重，公式表如下

$$\sigma_{HV} = \sqrt{\frac{252}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_{t-i} - \bar{r})^2} \dots\dots\dots (7)$$

其中 n 為取樣天數， r_{t-i} 表示過去 n 個交易日之報酬率， \bar{r} 表示 r_{t-i} 的平均數， σ_{HV} 表示 t-n 至 t-1 之歷史波動度。

二、指數加權數移動平均法

一般而言，距離目前較近的觀察值應該對其波動的程度有較大的影響，故歷史波動不擅長描繪報酬的群聚特性。因此產生其他改進方法如指數加權數移動平均法 (EWMA) 等。

參、一般化自我迴歸條件異質變異數 (GARCH) 模型

在許多實證結果顯示金融資產報酬率都具有波動聚集的特性，即小的波動跟隨著小的波動，大的波動跟隨著大的波動，代表波動度會因為時間經過而改變。相較於計量經濟模型中，一般皆假設殘差項的變異數為固定之常數。而 Engle (1982) 提出自我迴歸條件異質變異數 (Autoregressive Conditional Heteroscedasticity, ARCH) 模型，允許條件變異數為過去殘差的函數，打破了殘差項的變異數為同質變 (homoskedasticity) 的假設。Bollerslev (1986) 針對 ARCH 模型的條件變異數方程式提出修正，成為一般化自我迴歸條件異質變異數 (Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity, GARCH) 模型，允許過去的殘差及條件變異數加入條件變異數方程式中，使得條件變異數的遞延結構更具彈性及合理性，亦達到模型估計上參數的精簡性，且更能符合實際資料的特性。

GARCH(p,q) 之迴歸模型為

$$h_t = c + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j} \dots\dots\dots (8)$$

Akgiray (1989)指出 GARCH(1,1)足以呈現大部份財務領域上時間序列的特性，因而波動度常用 GARCH(1,1)來表示

常 GRACH(p=1,q=1)時

$$ht = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 ht - j \dots\dots\dots (9)$$

$$r_t = \bar{r} + \varepsilon_t \dots\dots\dots (10)$$

$$\varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim N(0, ht) \dots\dots\dots (11)$$

其中 $\alpha_0 > 0$ ， $\alpha_1 \geq 0$ ， $\beta_1 \geq 0$ ，三者是以最大概似估計法求得。

GARCH 模型對於波動現象是以對稱性 (symmetric) 呈現，但根市場對於好消息與壞消息存在波動性不對稱現象 (asymmetric)，且壞消息比好消息更容易引發下期較大幅度波動。在探討波動不對稱性現象時廣為研究者所使用的模型。

肆、 隨機波動度

$$dSt = (r - q)Stdt + \sqrt{V_t}Stdz(t) \dots\dots\dots (12)$$

$$dVt = \kappa(\theta - V_t)dt + \xi\sqrt{V_t}d\omega(t) \dots\dots\dots (13)$$

其中 r 為無風險利率， q 為股利率， κ 為均數回歸速率， θ 為長期的均數復歸值， ξ 為波動度的變異收，起始波動 $V_0 = \sigma^2$ ，考慮隨機波動下最低收益保證型商品。事實上 GARCH 模型也屬隨機波動模型。

伍、 隱含波動度

隱含波動度並不是依過去資料來推估選擇權的市場價格的，相對的，隱含波動度是以市場中實際的選擇權價格所求出的。其作法是，假設選擇權到期日 T ，履約價 K 且為歐式買權 (或賣權) 的成交價格，利用 Black-Scholes 的評價公式反推出 σ ，稱作“隱含波動率”(implied volatility)。

一般而言，相較於前述以時間序列建立的歷史或真實波動度而言，隱含波動度可反映較多市場中真實的資訊，其理由是假設選擇權市場具效率性且選擇權評價模型設定正確，選擇權價格則由市場的所有相關資訊，如交易成本、稅賦、流動性及買賣價差等不在評價模型假設上的各種因子所共同決定，因此相較於其他由歷史資料推估出的波動率而言，由隱含波動率具有向前看的特性。

第三節 隱含波動度相關現象研究及應用

壹、 隱含波動度之相關研究

Hull and White (1987) 指出，當波動率為一常數時，由 **Black-Scholes** 模型反推之價平選擇權隱含波動率會近似未來真實波動的期望值，也就是指若標的資產市場的資訊能效率地反應在選擇權市場上，則隱含波動率應未來真實波動度有正確預測性。

Poon and Granger(2003)提出計算隱含波動率時，最普遍被使用的是價平的選擇權契約，因價平選擇權最具流動性且衡量誤差最小。

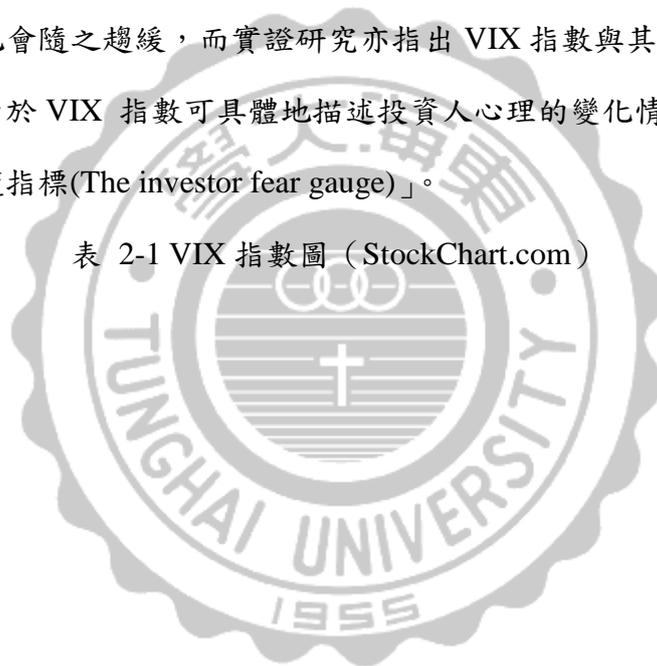
Harvey and Whaley(1991)指出，近月到期的價平選擇權契約最能反應出隱含波動率模型所內含的訊息。因價平選擇權包含最多波動率的資訊，而且對波動率的變動最為敏感。

市場上依以上隱含波動的特性為操作選擇權的重要依據，道當隱含波動無法接近或預測真實的波動度且出現偏高的情況下，則表示選擇權的市價普遍存在偏高的現象。則市場價格將呈現往下跌之趨勢，反之，當隱含波動度較低時則市場中權證之價格則較為穩定。

貳、 恐慌指標 VIX

芝加哥選擇權交易所(CBOE)於 1993 年推出 VIX 指數(波動率指數，Volatility Index)，利用 S&P 100 股價指數選擇權市價反推之隱含波動度建構而成，提供選擇權參與者更多元化的資訊。當投資人預期未來股價指數將有劇幅的波動時，投資人為了避險的需求會願意支付較高的權利金，因此 VIX 指數會急速飆高，顯示投資人對未來市場的不確定性感到極度恐慌，隨著市場的復甦，投資人害怕的意識逐漸減弱，則 VIX 指數便會下降，股價指數的波動程度也會隨之趨緩，而實證研究亦指出 VIX 指數與其標的走勢呈現負向關係。由於 VIX 指數可具體地描述投資人心理的變化情形，故又稱為「投資人恐慌指標(The investor fear gauge)」。

表 2-1 VIX 指數圖 (StockChart.com)



較於 VXO 指數而言，新的 VIX 指數擁有的市場資訊較為廣泛，也更為貼近整體市場的動態；此外，VXO 是由 Black-Scholes 選擇權評價模型推算而得，然而現實環境可能無法滿足模型的基本假設，導致模型使用上的缺失，而新的 VIX 指數的計算方法與選擇權評價模型無關(Model-Free)，因此沒有模型使用上的問題。新的 VIX 改以 S&P 500 股價指數為標的指數選擇權不僅是目前在芝加哥選擇權交易所所有交易的選擇權中擁有最大未平倉量及交易量的選擇權，也是衡量美國大型企業平均股價表現的重要指標之一。再者，S&P 500 指數選擇權為歐式選擇權，不同於 S&P 100 指數選擇權，不會有提前執行的問題。

參、波動度不對稱效果(微笑曲線現象)

波動度不對稱效果或稱為波動度微笑曲線現象是指同一個選擇權在同一個時間但不同的履約價格相對應的隱含波動度並不一致。理論上，若將同時時間點的隱含波動度和履約價格繪出其間之相關圖形應呈現單一常數之一水平直線關係。然而在實際的市場選擇權價格所求出的關係圖卻是依標的物的不同呈現特定形式偏斜的現象。

如圖 2-1，圖 2-2 和圖 2-3 所示，微笑曲線的現象出現在匯率選擇權，正斜率的偏斜線出現在商品類選擇權，負斜率的偏斜線出現在權益選擇權。從數學模型來推測其原因，一般認為是由於資產的報酬率並非對數常態分布所形成的模型誤差。匯率選擇權和的商品選擇權可以借由此理由得到解釋，但權益選擇權的微笑曲線成因則無法單由此原因解釋。事實上，實證研究發現權益選擇權的成因不只複雜，還受其他系統成因影響，無法以單一實證其解釋原因，雖然文獻中有許多對該問題的實證研究，但各實證之間常出現相反的見解，但卻都各有其實證資料支持，由此可知該現象的成因會因不同的

觀察條件和方法得出不同的見解，而且其成因並不為單一或少數變數決定，應屬於動態性複雜系統。

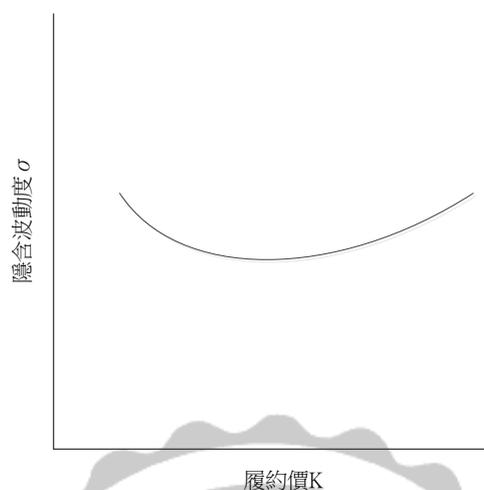


圖 2-1 波動度微笑曲線(volatility smile)《期貨與選擇權市場》

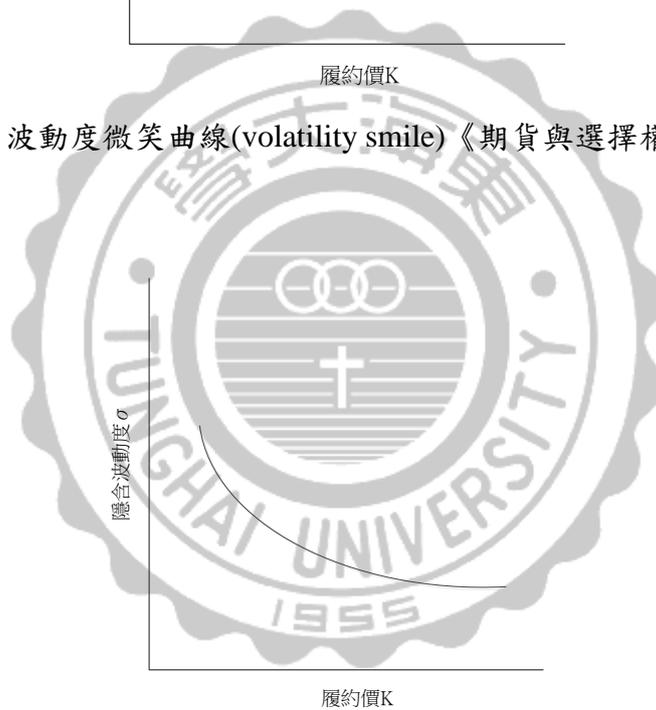


圖 2-2 負斜率波動度偏斜線(volatility skew)《期貨與選擇權市場》

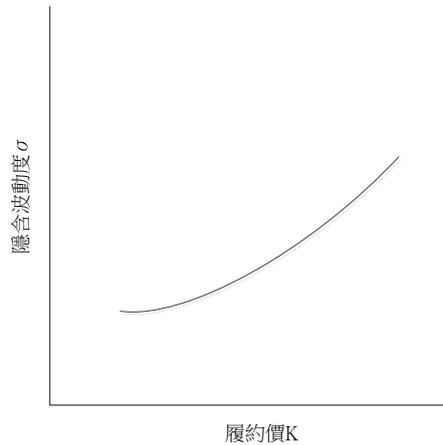


圖 2-3 正斜率波動度偏斜線(volatility skew) 《期貨與選擇權市場》

第三節 權益選擇權之微笑偏斜現象的討論

Black (1976) 針對道瓊工業指數之成分股研究，首先發現波動度不對稱之現象，即當價格報酬率低於預期時，會使得波動度增加，而當價格高於預期時，波動度會降低，並試著以槓桿效果來解釋不對稱效果。而 Christie (1982)、Schwert(1989,1990)均發現有此現象。

Cheung and Ng (1992) 研究 AMEX-NYSE 251 支股票，研究期間為 1962 年至 1989 年，並利用 EGARCH 來研究股價報酬變動與未來股價波動度之間的行為，實證發現確實存在波動度不對稱的效果，股價報酬和未來股價波動度間呈現負向關係。

Engle and Ng (1993) 選取日本的股票市場作研究，並同時使用 EGARCH、AGARCH、NGARCH、VGARCH 和 GJR GARCH 模型，發現日本股票市場確實呈現波動度不對稱的效果，且在反應不對稱效果上，以 GJR GARCH 模型最好。

Zakoian (1994) 以法國股票市場為研究標的，並利用 T-GARCH 模型研究，發現法國的股票市場確實呈現不對稱之情形，並且指出不對稱情形會因衝擊程度的大小不同而反轉。

Braun, Nelson and Sunier (1995) 使用 EGARCH 模型驗證美國市場，發現正向衝擊與負向衝擊，對於市場波動度的影響，確實有不對稱之情形。Koutmos and Saidi (1995) 以道瓊工業指數成分股為研究標的，研究期間為 1985 年至 1988 年，實證發現股價報酬波動度具有不對稱之現象，而當正負向衝擊量相同時，負向衝擊對波動度的影響約為正向衝擊的 2.13 倍。而 Koutmos (1998) 研究九國的的股票市場，以 T-GARCH 模型研究發現九國股票市場中，大部分的市場確實存在不對稱的情形。

Nam、Chong and Stephen (2001) 應用不同的 ANST-GARCH 模型研究發現美國市場投資人因反向操作的投資策略，使得市場產生強烈的不對稱性。而對於不對稱效果的研究，Rabemananjara and Zakoian (1993) 發現不對稱效果的幅度會因價格變動的幅度而有所改變，即對於波動度的影響，當變動為小幅度時，負向價格變動小於正向價格變動；但當價格變動為大幅度時，負向價格變動對波動度的影響將大於正向價格變動。

壹、 波動度不對稱之解釋

由於隱含波動度是市場上總合的資訊的反映出的數據結果，因此其中包含主客觀的不同因素且相關度和發生時間、條件都難以完全分析，在此提出一般文獻對微笑現象的幾種解釋：

一、 標的資產價格呈現跳空的現象

真實市場中，任何標的資產都無法無限分割，所以價格行為是不連續，有些資產價格行為常常因為重大訊息宣布、人為的操縱或股利發放產生跳空現象，此現象說明標的物價格報酬服從對數常態分配假設是不合理，因為跳躍現象使得標的資產報酬分配呈現厚尾現象 (fat tail)，Merton (1976) 企圖放

寬這個限制，提出跳躍-擴散 (jump-diffusion) 模型，但此模型需很精確地估計參數，求解亦非常困難，無法正確詮釋微笑現象。

二、 標的股價報酬為不對稱分配

Rubinstein (1994) 主張微笑現象的主要原因是「崩盤恐懼症」(crash-o-phobia)；從 1973 年 Black-Scholes 模型建立到 1986 年以前大致符合隱含波動率為一固定值，在 1987 年 10 月 19 日全球股市崩盤，投資人了解市場可能瞬間崩盤，因此願意花錢尋求保護，所以支付較高的價格購買價外賣權，來保護自己的資產，因為價外的賣權是最廉價、最好的保險，自此市場上隱含波動率函數開始有微笑或嘲笑的現象產生。

Bakshi et al. (2003) 提出偏態法則 (skew laws)，指出選擇權價格之隱含報酬機率分配呈現負偏態，且投資者為風險厭惡者，使標的股價報酬為不對稱分配，這種不對稱的分配現象，可能是導致隱含波動率產生微笑現象之原因。

三、 槓桿效果 (leverage effect)

槓桿效果(Leverage Effect)指的是市場上對公司權益的評價改變 因而影響公，司的資本結構，並反應在公司股價報酬的變異性 (volatility)。Black (1976) 年提出槓桿效果，用以解釋當期股票報酬與下期股票報酬波動呈現負向關係，認為當市場存在壞消息時，會使得公司的股價下跌與企業的價值下降，而在負債不變的情況下，權益資本相對於債務資本下降，而增加財務槓桿比率，對於持有公司股票的投资人而言，將因風險增大，而使得波動度增加；而在另一方面，好消息將使得公司的價值增加，財務槓桿比率下降，因而降低波動性。故一般將因消息面所造成之公司價值增減，透過財務槓桿來影響波動度不對稱之效果稱為槓桿效果。

Christie (1982) 亦使用 consol model 來說明股價波動與財務槓桿之間呈現正向的關係。

Cheung and Ng (1992)以美國公司的股票作實證，研究發現確實存在不對稱效果，且規模小之公司的不對稱效果大於規模大之公司。

Koutmos and Saidi 驗證公司的財務槓桿比率與公司規模對波動度不對稱程度間的關係，結果支持 Black (1976) 與 Christie (1982) 的推論，財務槓桿比率與波動度間呈現正向關係，而在另一方面實證所得到公司規模卻呈現大公司較小公司對於負向衝擊的反應敏感(雖然不顯著)，此結果則與 Cheung and Ng(1992)相反。

雖然以上研究實證指出財務槓桿造成波動率不對稱的現象，但也有其他實證研究並不支持此論點。

Schwert (1989)研究 1857 至 1987 年間 NYSE 股價指數波動度與實質及名目總體變數、經濟活動、財務槓桿及交易活動間的關係，實證發現利用公司槓桿解釋波動度不對稱之現象並不足夠。

Duffee (1995) 亦以實證結果證明財務槓桿不能解釋波動度與報酬不對稱之關係，而 Simon (1997) 亦在債券市場發現不對稱效果，故解釋不對稱效果，並非只由財務槓桿而來。

Figlewski and Wang (2000) 針對槓桿效果作實證研究發現三個問題。首先，隱含波動度偏斜的影響是歷史波動度的 3 至 4 倍。第二，負向報酬雖然確實會增加波動度，但正向報酬卻是不顯著降低波動度，甚至常常可能是增加波動度，且若槓桿效果確實存在，則對於波動度的影響，應該是永久性的，而實證卻發現槓桿效果會慢慢消失。第三，發行新股與新債所造成公司財務槓桿變化，並無顯著改變公司波動度，而只有在股票價格有變化，且為下降時，才會對波動度產生影響。也就是說槓桿效果只有在股價下降時才會呈現出來。

四、 波動率均數返還 (volatility mean reverting)

一般認為長期波動率會趨於一固定值，因此短期波動率超過或低於長期波動率時，會有返回長期平均波動率的現象，此說明雖然短期波動率不是固定值，但長期來看波動率仍會趨於固定值。

五、 波動率叢聚效應 (volatility clustering)

Fama (1965) 提出，金融市場中報酬率具有叢聚現象，也就是說大波動之後會伴隨大波動，而小波動也會伴隨小波動。

六、 波動率的隨機性 (stochastic volatility)

Hull & White (1987) 提出雙變數擴散 (bivariate diffusion) 模型，Duan (1995) 提出一般化自我迴歸條件異質變異數模型，兩者皆提出新模型來詮釋波動度具有隨機性的特質。

七、 其它

在選擇權評價模型中，假設市場為完全市場並不可能，很明顯的，在現實的市場交易中許多因子皆可能導致微笑現象的產生；例如 Peña et al. (1999) 發現交易成本與波動率微笑有顯著的關連性，Amin et al. (2004) 觀察到過去的股票市場表現確實會影響選擇權價格，Bollen & Whaley (2004) 認為投資者利用價外賣權規避市場下跌風險，使價外賣權的隱含波動率明顯高於價外買權。綜上所述，雖然 Black-Scholes 模型提供一個良好的數學評價模型，但由於過於理想化假設產生的各種誤差，這些可能都是導致隱含波動率產生微笑現象的原因。因此數學模型雖然提供了客觀的而且科學的評價方式，但要用來修正和解釋現實上觀察的誤差通常是困難甚至難有統一結論。

貳、波動度微笑曲線的類型及應用

由於波動度為投資市場的重要指標，各種不同波動度的適用範圍各有不同的研究結果。基於各研究結果對波動率微笑現象雖然有更深入的了解，然而各種不同的模型，於不同時間與不同市場模型的詮釋效果皆不盡相同，甚至無法確認模型是否有效。也因為如此，在各投資市場資訊來源充斥著利用微笑現象來獲利的投資策略，最常見的有：當微笑程度過高則隱含價外的買權價格被高估或價平之買權價格被低估，因此透過賣出價外買權並買入價平之買權，可以利；反之，微笑程度偏低時，則買入價外買權且賣出價平買權，但微笑程度高低的基準為何卻無一依據。

因此，若能有系統的了解波動度的系統成因，建立有效的模型，便可以借此理清微笑現象確切的適用時機和範圍。一般而言，針對不同的波動度不對稱的依其不同的標的物性質產生不同之現象，各種現象代表的含義和使用之時機和對應投資策略也不相同。

第四節 Black-Scholes 模型假設之討論

如前列章節討論中介紹，Black-Scholes 模型需符合七個基本假設之下方才能完全成立，一般而言，波動度的偏斜現象解釋都認為和這些假設有關係，當模型和現實數據不同時，則需探討假設所可能產生的誤差來符合現實數據，因此在本章節就文獻中對於相關假設之討論做相關介紹。

一、股價的變化是呈現對數常態分配

蕭義龍(2004)以股價機率分配模型研究 2003 與 2004 年台灣加權指數與八大類股共十七家公司之交易資料發現，對數常態分佈一般而言仍可以近似實際交易。

二、無市場磨擦，無任何交易成本和稅賦且所有證券皆可以無限完全分割

如前述文獻中所討論，現實條件市場交易必然存在磨擦且存在稅賦和交易成本且股價呈跳躍式分布，且模型修正會十分的複雜。

三、選擇權期間，股票不發放任何股利。

現實條件中，雖然可以在某些時間找到不發放股利的物，但在市場行為中確無法控制股票發放的行為，但此一假設可由數學方法修正。

四、無風險套利機會完全不存在

在現實的市場中，套利的機會會短暫的出現，而依市場機制回復到平衡。我們可以依照買權賣權恆等式來解釋選擇權的市場機制，在同一時間點，股價和買權需符合

$$c + Ke^{-rT} = p + S \dots\dots\dots(14)$$

其中 c 為賣權價格，K 為履約價，p 為買權價格，S 為股價，r 為無風險利率，T 為距離選擇權的到期時間。

我們可以解釋等號的左半部代表了是買權加上履約價折現後的整體價值，而右半部代代表了賣權和現股的整體價值。由於標的物相同，只有在二者相同時市場才能完成交易。當其中一方過高或過低時，即出現套利的機會。此時套利者就會進行套利交易，經過市場的機制運作，此一機會將會因供需平衡而消失。當然在實際的運作上，需要考慮其他相關交易成本造成數據上的差距。

五、證券交易是連續性的活動，價格隨時間不斷變動。

證券交易在交易期間雖然為連續性活動，但會交易日之間產生中斷，也就是所謂的隔夜效果和隔週效果。

六、投資者可以相同的無風險利率進行資金的借入或貸出

一般而言，愈開放的金融市場可符合此假設，但事實上每一行為都有其交易成本，有可能影響其交易的效率。

七、短期無風險利率 (r) 是固定常數。

無風險利率雖然不一定是固定常數，但在穩定的金融環境之下，變化有其一定的規律。

基於以上討論，現實上諸多的現實行為都會影響 Black-Scholes 模型的解釋能力，而在市場真實運作中存在許多人為或非理性的行為造成的干擾。由於干擾的變數和影響又隨著時間和環境發生情況產生交互作用。因此在前述的討論中，諸多的實證研究的結果無法有一致的結果，甚至是出現完全相反的論點。也就是說，由於數學模型雖然可以呈現客觀的數據分析，但由於其要求數理科學上的精確性因此缺乏可以彈性的解釋現實世界之運作模式的能力，而為了修正和現實交易數據的誤差，必需依其事後資料的分析統計推估預設的條件誤差來源的理由做出相對應的解釋，由於誤差來源並非少數，因此相關的實證研究只可由其擷取的相關數據分析出少數的因子，因此相關研究結論都解釋出部份的現象的原因。若不同研究擷取不同時間、不同市場或不同標的解釋相同現象，則會由於成因之間的動態性的交錯影響，也可能找出相反的結論或不同的成因。

由以上的分析了解，隱含波動度是以類似黑箱模式測試推算出在市場上對股市波動成因總合的方法，但也相對包含了太多市場中的非理性因素或系統外在雜訊干擾而使得結果失真度時常過大而產生解釋和應用上不困難。例如，有些投資建議認為以 VIX 指收的高低並無法預估股市的發展，相對而言 VIX 只是波動因市場資訊預測產生的變化度，應該只可以提供非理性範圍的參考，例如股市過於悲觀或過於樂觀之指標，而無法提供完全理性的指標參考。這也是有些投資建議採取以歷史波動度來做評估市場變化的原因，該類的投資建議者認為以過去實際發生的經驗來推測市場變化較隱含波動度法理性而不容易發生過於樂觀或過於悲觀的損失。

第五節 企業風險成因分析

企業所面臨的風險可以從企業的立場或投資者的立場來考量，由投資者立場而言可以分為非系統風險與系統風險(system risk)，一般又分別稱為企業獨特性風險(firm-specific risk)及市場風險(market risk)，其中企業獨特性風險可藉由投資組合分散，而市場風險則無法藉由投資組合分散。反觀由企業本身立場而言的風險可分為內部風險與外部風險，其中內部風險為企業可透過適當行動加以降低，例如營運風險、財務風險等；內部風險則為無法抗拒的外在因素，例如戰爭、天災、意外災害、總體經濟及政治因素等產生之風險。

早期探討系統風險有 Sharpe, Lintner, and Mossin (1965) 等人所提出的傳統資本資產訂價模型 (capital asset pricing model, CAPM)，該模型指出企業獨特性風險可透過投適當的資組合加以分散的情況之下，系統風險 β 則是影響資產定價與獲取風險溢酬的唯一因子。Rubinstein (1973) 指出可將系統風險分解成無風險報酬、營業風險及財務風險三者。Thompson (1978) 研究測試 43 個變數來解釋普通股的系統風險，而結果顯示股利 β 、盈餘 β

及盈餘乘數 β 是影響系統風險的三個主要因子。Mandelker and Rhee(1984) 又以營運槓桿度及財務槓桿度對市場模式推導出的普通股之系統風險解釋力的檢定，結果兩者係數都是正數、而其解釋力達 38~48%，且財務槓桿度對迴歸式的解釋能力遠大於營運槓桿度。Ryan (1997) 又提出營運風險 (operating risk)、營運槓桿度、財務槓桿度是影響企業系統風險的主要因子。至於國內市場之相關研究，陳原彬 (1996) 探討企業營運槓桿度、財務槓桿度、內部商業風險和系統風險的關係，將我國 58 家上市公司資料實證後之結果顯示其解釋力 22~33%，其中以財務槓桿度解釋力最大；邱垂昌 (2002) 實證結果也發現，在投資者方面而言，企業之財務槓桿度、總槓桿度及每股現金股利三者皆會正向影響系統風險，而在企業方面則可利用總槓桿度、財務槓桿度及股利之政策的操作，達到降低企業系統風險的目的。基於以上討論可知，營運風險、營運槓桿及財務槓桿等是影響企業系統風險的重要因子。



圖 2-4 企業風險圖 (Ryan 1997)

在此引用 Ryan 於 1997 提出之企業風險圖來解釋企業之風險。其中營運槓桿度和財務槓桿度在本研究採用定義如下

$$\text{營運槓桿度} = \frac{\text{利潤變動百分比}}{\text{銷貨數量變動百分比}} \dots\dots\dots(15)$$

$$\text{財務槓桿度} = \frac{\text{每股營餘變動百分比}}{\text{稅前息前純益}} = \frac{\Delta EPS/ EPS}{\Delta EBIT/ EBIT} \dots\dots\dots(16)$$



第參章 研究方法

第一節 系統動態學介紹

系統動態學(System Dynamic)或稱為系統動力學是由美國麻省理工管理學院 Jay W.Forrester 等人於 1956 年發展出來的。其主要基礎是結合了系統設計概念(System design concept)、資訊回饋控制理論(information feedback control theory)、決策理論(Decision theory)、模擬 (Simulation) 及數位計算機(Digital computer) , 用於研究高階非線性且多環路之動態性複雜系統。因為其理論兼具了有分析系統動態性成因的質性分析能力又具有以量化找到桿槓解的驅動能力, 因此在翻譯上若強調觀查和分析系統因為行為者可稱為系統動態學, 而強調其解決複雜問題的槓桿解的驅動能力者可稱為系統動力學, 為了避免和工程類的系統動力學產生混淆, 在本研究中統一採用系統動態學之翻譯。

壹、系統動態學的基礎

由於系統動態學是結合了五個重要的學說而演進出來的, 為了解系統動態學的應用範圍和發展必需對此五學說進行了解

一、系統設計概念：

設計一個系統需先建立目標再確定其組成份子和份子之間的相互關係。一個穩定的系統設計, 需能充份衡量各份子間暫態和穩態轉換過程, 若

誤差過大則會造成系統運作過程累積造成的崩解。也就是說，系統設計是以完成一個長期性目標為目的，但能提供短期時間內行動之參考依據的行為。

二、情報回饋控制理論：

Forrester 借由模控學(Cybernetics)和自動控制機制(Servo mechanism)之數理方法，應用於社會系統的解釋和推測。例如資訊可以透過放大器放大，時間會產生延遲，系統會出現雜因干擾，封閉環路的收斂和發散行為皆是。

三、決策理論：

決策理論發展於軍事上的需要，在戰爭上憑直覺做出決定的風險和代價過於龐大。因此借研究將軍們決策過程們在決定決策的經驗提供做為下決策的參考就形成了決策理論的濫觴。借由明確劃分政策 (Policy) 和決策 (Decision) 而採取行動 (Action) 即可有效掌握系統行為。而政策和決策的不同是，政策是組織為了達成目標而用以控制活動的規則，決策則是根據政策明規則依實際情況而產成的行動決定。也就是政策可以影響決策，而決策方針則產生了相對的行動。

四、模擬方法：

借由計算機運算過程來表現系統實際行為稱之為模擬。模擬的方法從1950年代運用於國防及工程上，由於電腦及資訊相關學理的相關發展，已經廣泛的應用於科學、工程、社會科學和企業管理等各領域。

五、數位計算機：

不容置疑的，數位計算機的快速進步使得各種相關學術快速的發展和傳播。其特點存在於快速，精確和無可取代的成本效益。

綜觀此五項基礎我們可以理解，系統動力學借由科學的方法將複雜的現實行為轉換成工程理論再進行數理運算。借由工程邏輯中的可重複性、可重複發生、可控制範圍、可完整運算且系統收斂等特點來提供社會、人文、管理類科學中個人主觀的模型解釋提供科學邏輯的辯證依據的重要學說。

貳、系統動態學的應用

由於系統動態學兼具了質化和量化研究的能力，因此廣泛的應用於各個領域，包含工程、政治、社會、經濟、商業、管理等，舉例如下。

1. 1961 年 Forrester 首先提出工業動態學(Industrial dynamics)，1969 年提出都市動態學(Urba dynamics)，1971 提出世界動態學(World dynamics)，1980 則提出國家經濟(National economy)模式。
2. Senge(1990)將系統動態學發展於組織學習領域。
3. Elidenberger & Flessa (1993) 研究坦尚尼亞的 AIDS 政策，模擬病情，醫療資源和經濟成長間的關係。
4. Coyle(1996)將系統動態學用於研究處理與時間有關的管理系統行為。
5. Ford(1997)分析美國電能產業長期發展之因果關係。
6. Ford & Streman(1998)以系統動態學模擬產品發展的生命週期。

而國內學者對於企業組織的研究、產業組織的行為發展、都市環境的發展、非營利組織與公共政策、教育領域等都有以系統動態學做出顯著的成就。

參、系統動態學的研究步驟

在此以 R.G. Coyle(1996)著作 System Dynamics Modeling 一書提出的五個段來解釋之

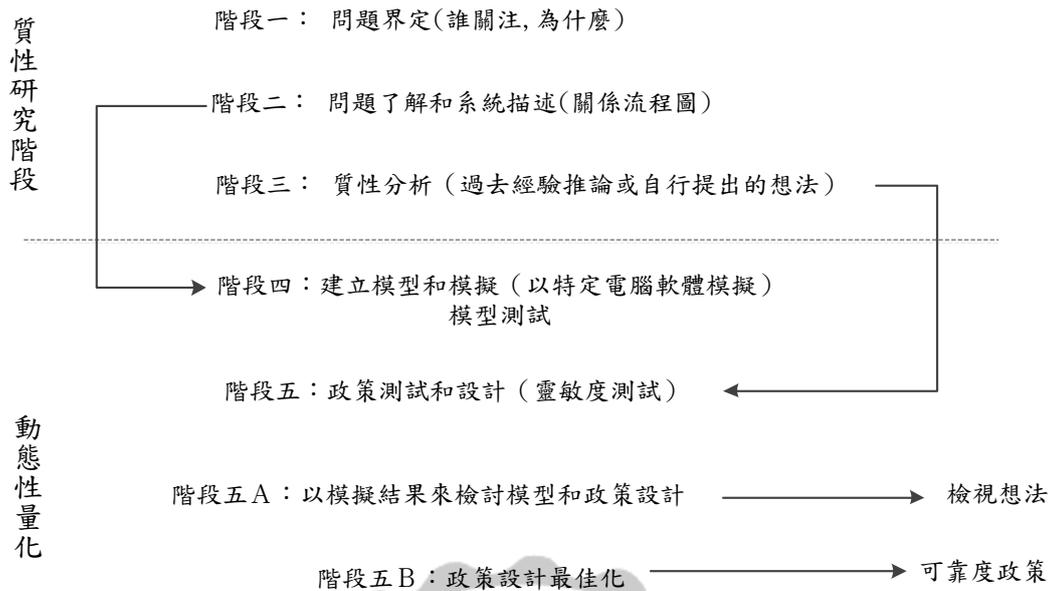


圖 3-1 系統動態學設計步驟結構 (Coyle,1996)

階段一：問題的界定

研究開始，要先界定出問題的本質是什麼，誰在面對這個問題，問題的發生情境是什麼？借由反覆的理解問題的本質，便可以找出相對應的問題解決方法。

階段二：問題了解和系統描述

在理解問題的背後結構之後，便可列舉組成系統內的各分子所代表的資訊和特質，再依其相互關連建立其因果關係，以描述出系統內部的因果回饋環路。

階段三：質性分析

借由前階段建立出的因果模型，反覆解釋真實世界的系統行為，此一階段為系統動態學為最重要的階段，在描述系統的因果過程若在此獲得重要

且明確的槓桿解則可以不需數據模擬階段而這行政策設計階段。相對的，在這個階段也可以解釋前二階段所建立的因果環路是符合過去的現實經驗或許是自己推論的片段性想法。

階段四：建立模型和模擬

在系統的槓桿因子不明確或者是由複雜的相關行為交互影響系統時，我們可以借由系統因果關係建立後變可建立其數質上的量度方程式，再由特定的軟體進行模擬，再依其模擬出來的結果，來分析系統中細微因素的影響。

階段五：政策設計和修正

由以上對各系統因子分析出的結果，便可做出相對應的政策或政策上修正的結論。在此階段中有二個反覆的進行的過程，第一個是借由量化後找出相關連的影響因子進行原來想法的檢示和修正系統的誤差。第二個則是有以上因素的因果關連或找出的槓桿解，便可建立新的政策，若有進行過量化過程可以將新的政策重新模擬以找出可使系統更可靠的對應政策。經由此反覆執行此二過程就能夠使整個系統趨近最佳化。

肆、 建立因果迴饋環路圖質量率圖之基礎

一般而言，因果圖形以箭號代其相互影響之主從關係，若能明確知道正負向影響則在箭號上標注「+」「-」。

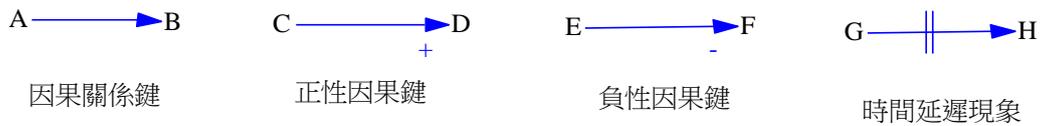


圖 3-2 因果關係鍵圖 (Coyle,1996)

正性因果鍵中 C 因素如增加則會造成 D 因素的增加，C 因素減少也會造成因素減少。負性因果鍵中 E 因素如增加則會造成 F 減少，而 E 減少 F 則會增加。而增加或減少的幅度並不具有一定的對稱性，而只知道相互間有交互影響而非單純增減量如圖 3-2 中 A 為 B 之因 B 為 A 之果者則不需標注正負號，但如欲分析其中明確作用則需以數理方程式描述其行為。若因的改變需要一些時間的積累後才會影響到果，則稱為有時間延遲或遞延關係。

基於以上基礎形在描繪因果關係圖時發現某從某因子出發後又回到該因子的現象稱之為產生因果回饋環路圖

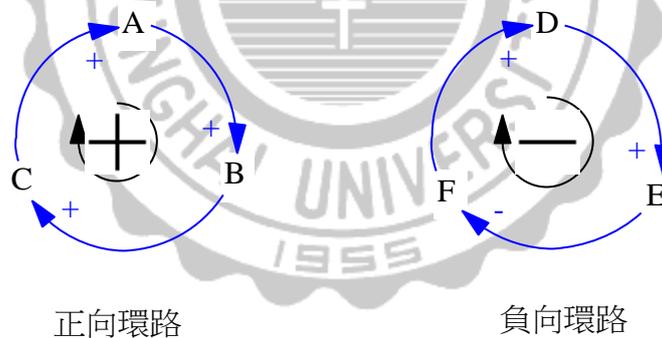


圖 3-3 正負向回饋環路圖例 (Coyle,1996)

若在組成的環路中沒有出現負向關係或出現了偶數個負向關係則稱該環路為正向環路，也稱為增強環路、滾雪球環路，其代表此環路行為為快速累加，減少，膨脹，崩潰等不穩定的發散現象。

相對的，若在環路中出現了奇數個負向關係則稱該環路為負向環路，也稱為調節環路或穩定環路。代表系統在相互作用一段時間後會呈現一個穩定的收斂結果。

由此可知，正負向環路具有結果的收斂或發散的必然性，在質性研究中可借由其得到明確的結果推論，但並非所有關係都可以明確的定義出關係間的正負向關係，又或者會因時間或地條產改變其正負向關係，此時則可以量化分析來推演模擬未來之可能發展。

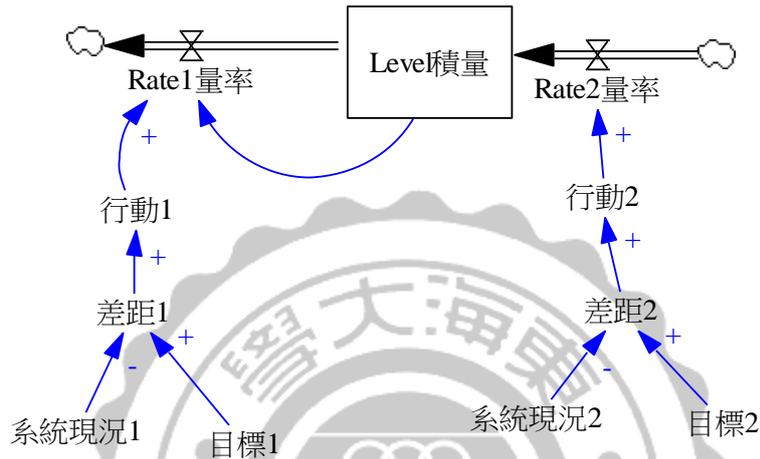


圖 3-4 積量流率圖 Stock and Flow Diagram (Coyle,1996)

在量化的過程中，Level 為積量變數與 Rate 評量變數乃構成系統動態學的兩大變數觀念，量率代表每單位時間控制流進流或流出積量的數值，而積量則代表量率經時間累積後的狀態，再由Wire 引線依其出入關係連結成 Flow diagram(流量圖)。

依謝長宏《系統動態學理論、方法與應用》中提出，一個決策環路中的評量變數需包含以下四概念

1. 明確的目標
2. 系統現況的觀察結果
3. 系統與顯現現況所存差距的表達方式
4. 根據所存差距而準備採取行動之說明

伍、系統基模介紹

Peter Senge 在《第五項修鍊》一書中，整理大部份複雜問題的結論後提出九個系統基模(archetype)的概念。系統基模的發明使得系統動力學從單純的分析模擬工具提升到哲學性的思考層次。實際應用在質化研究時，系統基模提供了快速分析系統中各相關因子的因果關係可能產生的系統整體結果變化的依據，使得從系統中分析出槓桿解的可能性大為增加。

一、反應遲緩的調節環路(balancing loop with time delay)

圖 3-5 為成績改善為例之反應遲緩的調節環路圖，持續改善的過程中會在一段時間的延遲之後才會反應到成績，而成績的目標會限制持續改善的行動而使系統呈現如圖 3-6 震盪後收斂的現象。

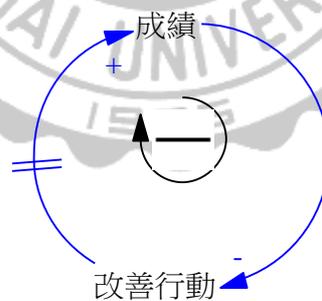


圖 3-5 反應遲緩的調節環路因果圖《第五項修鍊》

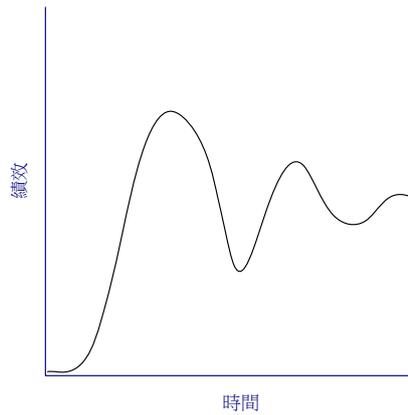


圖 3-6 反應遲緩的調節環路模擬結果《第五項修鍊》

二、成長上限(limits to growth)

當系統透過正向環路運作持續成長時，受到限制因素限制的穩定力量影響，產生遲滯或有可能衰退之現象。

圖 3-7 為成長上限的因果環路圖，由一個正向環路和一個負向環路組成，正向環路的發展受負向環路之限制，而負向環路會因限制因素的限制而隱定。

一般而言在限制因素為常數的情況下模擬結果如圖 3-8 所示。

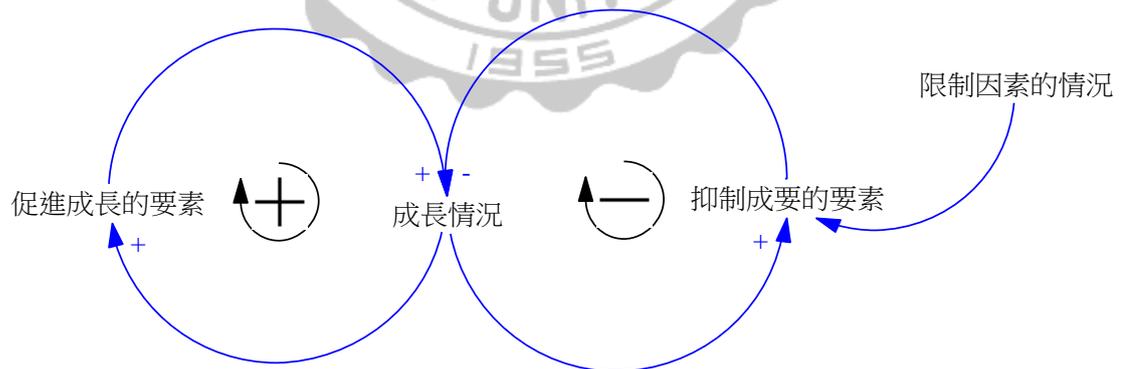


圖 3-7 成長上限的因果環路圖《第五項修鍊》

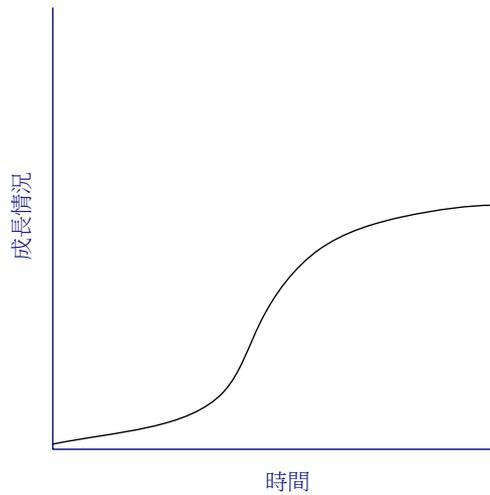


圖 3-8 成長上限環路模擬結果《第五項修鍊》

三、捨本逐末(shifting the burden)

當一個系統對一個問題的解決對策有不同的選擇時，其中包含需較長時間才能解決但無副作用的根本解和很快能解決但會產生副作用的症狀解，若選擇症狀解的方法運作一段時之後，系統問題會因副作用造成根本解的能力消失而使問題症狀無法再控制而快速崩潰。

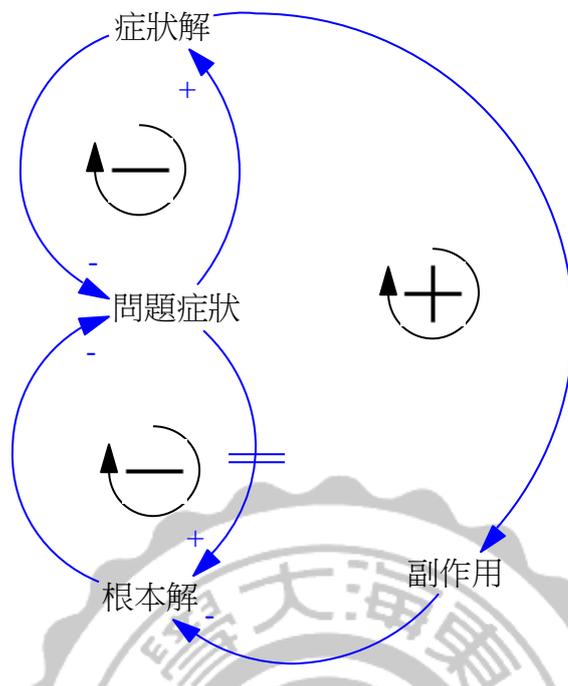


圖 3-9 捨本逐末因果環路圖《第五項修鍊》

圖 3-9 為捨本逐末的因果環路圖，結構有一個負向環路和另一個有遲滯反應的負向環路形成，而外最外圍由一個正向的環路形成，由圖 3-10 的數值分析可以理解，當根本解因為副作用的減少至 0 時，症狀解無法再抑制問題症狀而始問題快速擴大。圖 3-11 說明系統中雖然問題似乎因症狀解的作用而下降但副作用其實也同時在累積的現象。

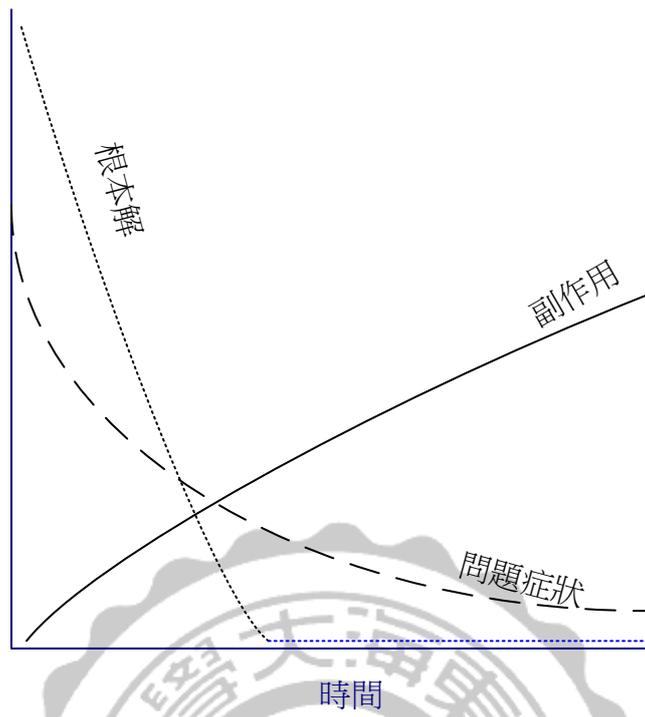


圖 3-10 捨本逐末模擬結果《第五項修鍊》

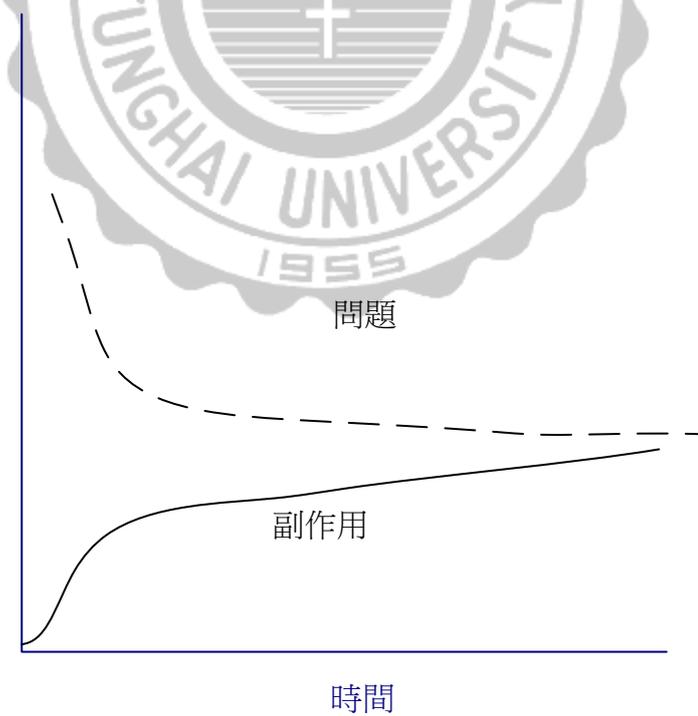


圖 3-11 問題和副作用《第五項修鍊》

四、目標侵蝕(eroding goals)

當改善的行動由於時間延遲反應時間太長而被執行認為是目標設定太高而無法完成時，則執行者會以降低目標來達成系統的平衡狀態。

圖 3-12 為目標侵蝕的因果環路圖，該圖由二個負向環路所組成，由於目標和實際的狀況之間有差距，由於下方環路有延遲效果，因此採用上面的環路會比下面的環路更快達到平衡，因而降低目標。

圖 3-13 為目標侵蝕的模擬結果，會由於目標的下降使的實際情況趨向穩。圖 3-14 為目標侵蝕發展趨勢的理解圖形，當目標下降後，系統會提前穩定在調降的目標。

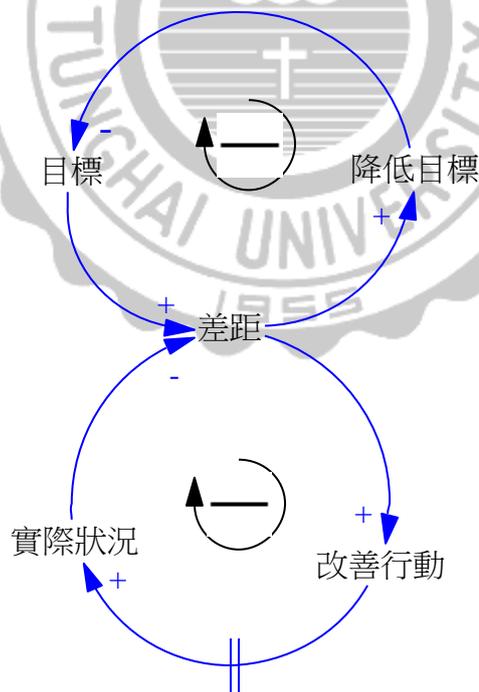


圖 3-12 目標侵蝕因果環路圖《第五項修鍊》

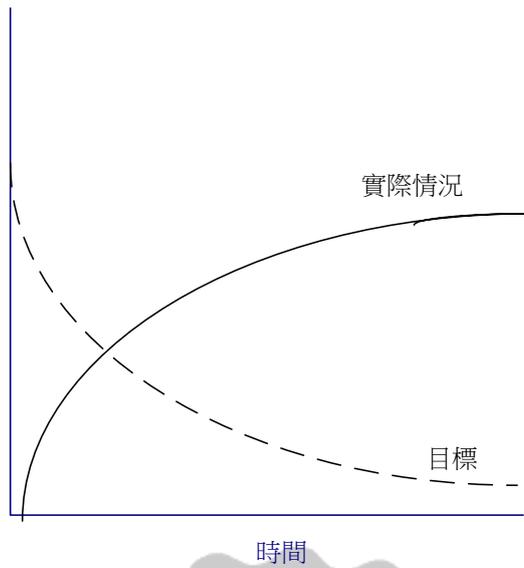


圖 3-13 目標侵蝕模擬結果《第五項修鍊》

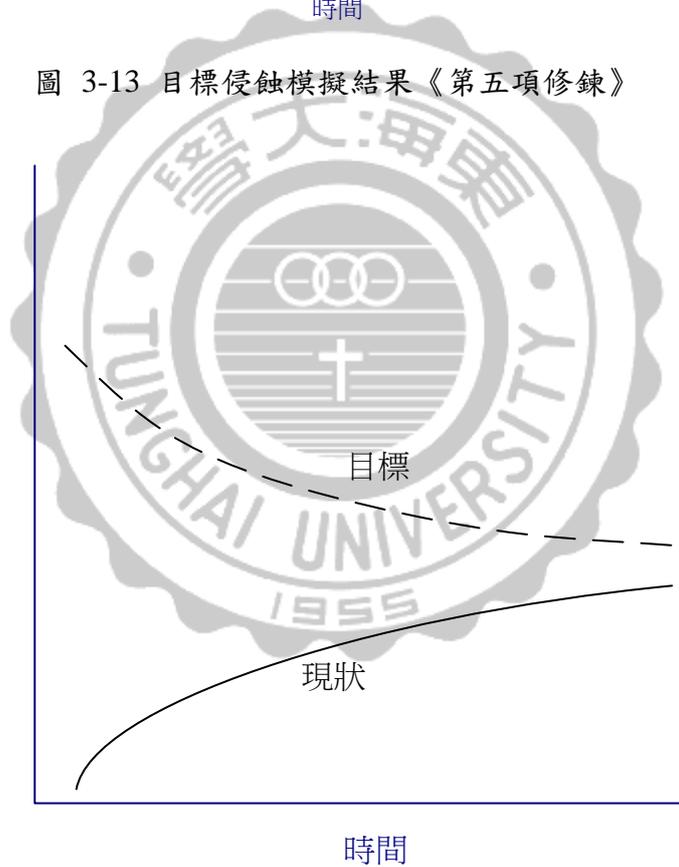


圖 3-14 目標侵蝕的現象《第五項修鍊》

五、惡性競爭(escalation)

在兩個競爭的情況下，一方的成果將變成另一方的威脅，為了解決威脅而提高自己的成果，而此成果則成了對方之威脅之來源而相互循環。

圖 3-15 為惡性競爭之系統環路圖，該圖由二個負環組成，此二個負環的外圍則形成了另一個正向環路，因而產生連動效果，二個負向環路雖然都想要穩定，向由於對方的動作造成了新的差異而不斷加強運作。

圖 3-16 為惡性競爭的模擬結果，雖然一般而言負向環路應該呈穩定且收斂是發展，但由於其間的相互影響而成了快速升高或降低的發散結果。

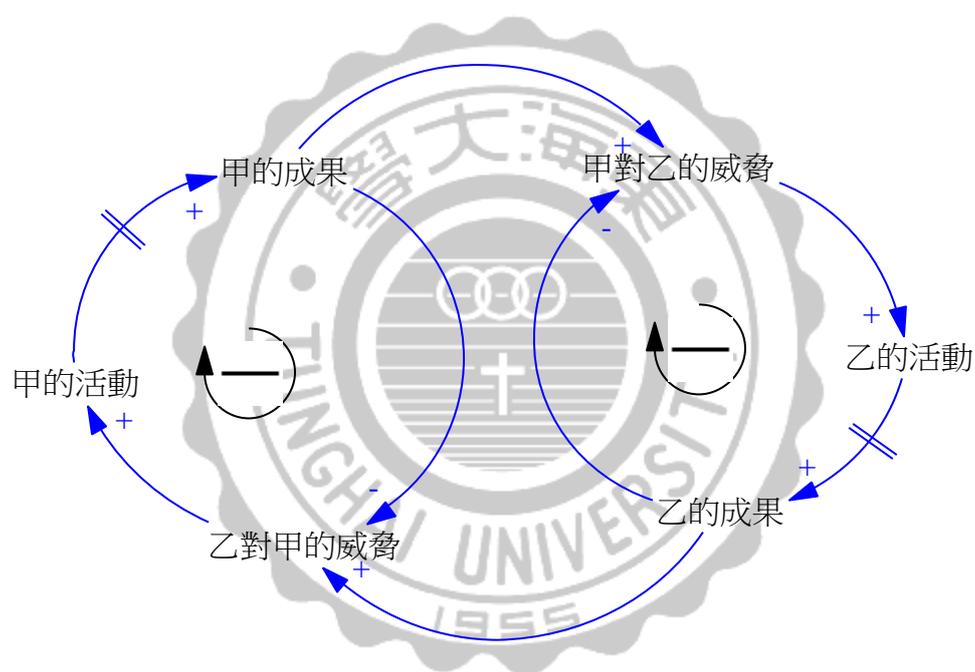


圖 3-15 惡性競爭之因果環路圖《第五項修鍊》

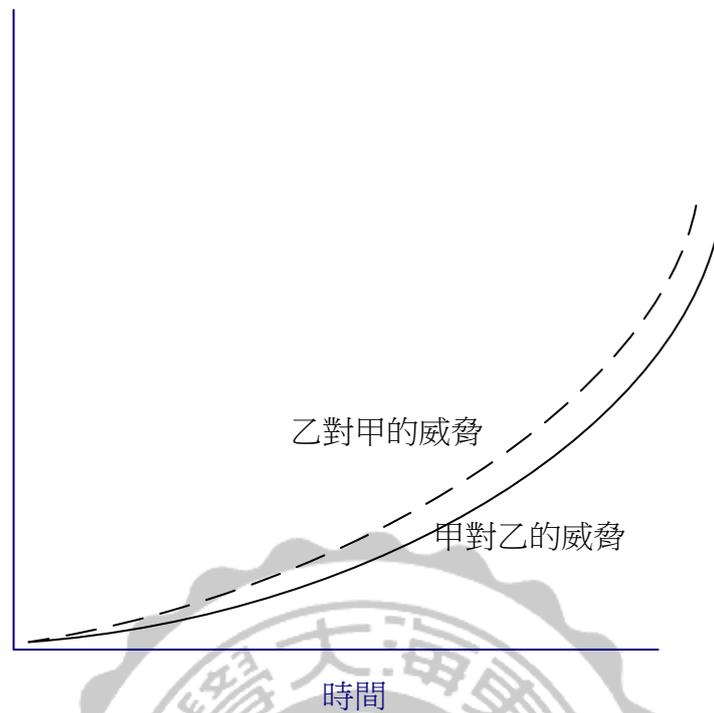


圖 3-16 惡性競爭模擬結果《第五項修鍊》

六、富者愈富(success to the successful)

當二個主體在爭奪有限資源時，其中一方因為較好的表現而取得較多的資源而發展快速，另一方則由於表現較差而發展緩慢。此現象發生於商業利益、天然資源等的相互競爭等情況。

圖 3-17 為富者愈富之因果環路圖，由兩個正向環路組成，雖然二者都想成長，但由於共有資源具有排他性而造成單方向的發展不均現象。

圖 3-18 為富者愈富之模擬結果，由於一方取得了較多的資源而造成另一方發展的限制。

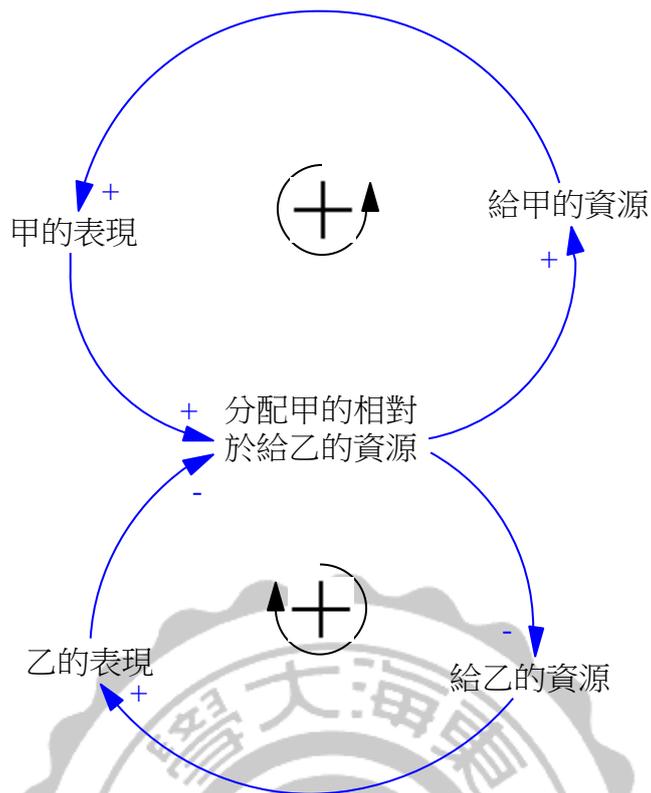


圖 3-17 富者愈富的因果環路圖《第五項修鍊》

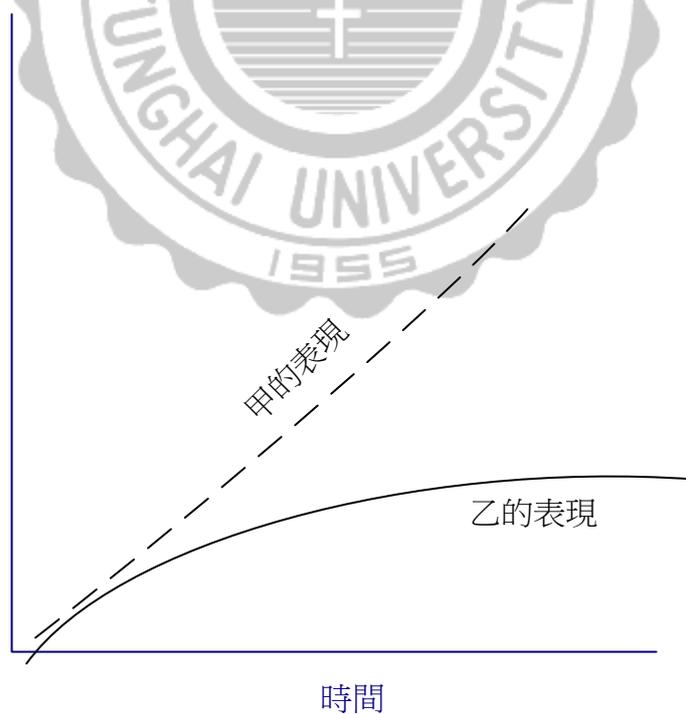


圖 3-18 富者愈富模擬結果《第五項修鍊》

七、共同的悲劇(tragedy of the commons)

當兩個部門在爭有限的資源時，會因為資源的耗盡而使兩個部門活動無法再進行。相較於富者愈富，共同悲劇考慮的資源為有限的，或不能永久持續供應的，而富者愈富的共同資源為可持續性的供應，或者說是在觀察期間可持續供應。

圖 3-19 為共同悲劇之因果環路圖，由二個正向環路的長成造成另外面的負向環路的收斂，而收斂的值決定於資源的極限。

圖 3-20 為共同悲劇之模擬結果，二個部門在資源足夠供給時快速成長，但隨著資源的消耗，二個活動將轉走向下而收斂。

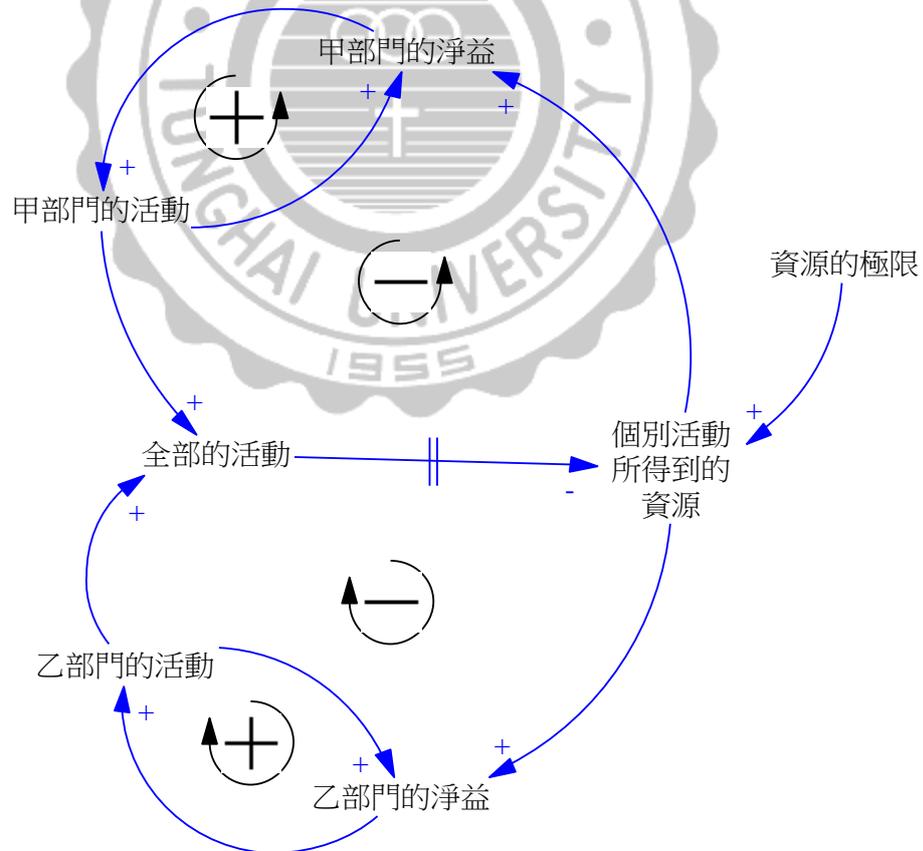


圖 3-19 共同的悲劇之因果環路圖《第五項修鍊》

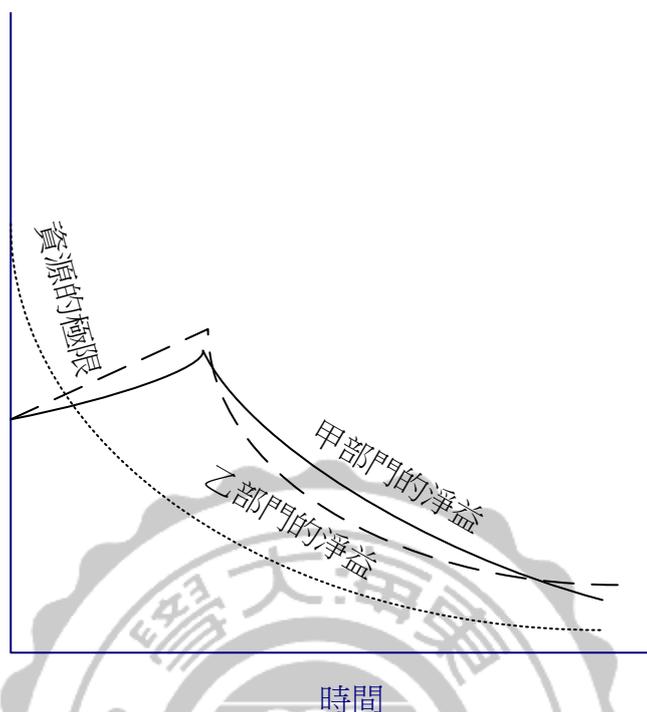


圖 3-20 共同的悲劇的模擬結果《第五項修鍊》

八、飲鴆止渴(fixes and fail)

飲鴆止渴和目標侵蝕類似，只是採取了更激進的解決方法而產生了副作用造成系統的破壞。

圖 3-21 為飲鴆止渴的因果環路圖，由一個負向環路和另一個正向環路所組成，由於對策產生了後遺症，在一段時間的延遲之後造成問題的快速擴大。

圖 3-22 為飲鴆止渴的模擬結果，當後遺症的結果出現後，問題會加乘擴大。

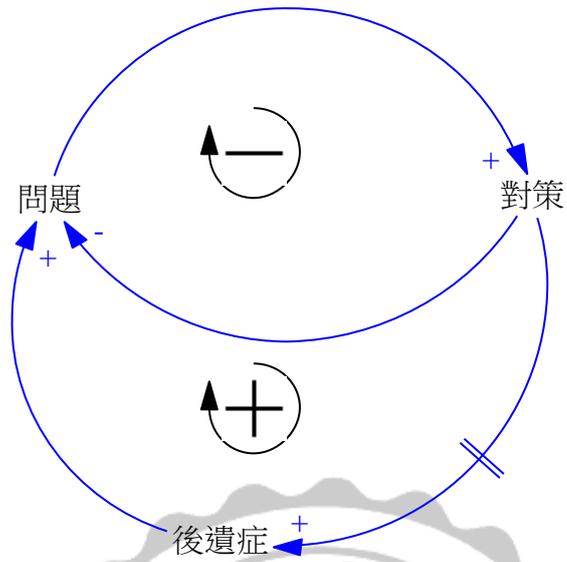


圖 3-21 飲酖止渴之因果環路圖《第五項修鍊》

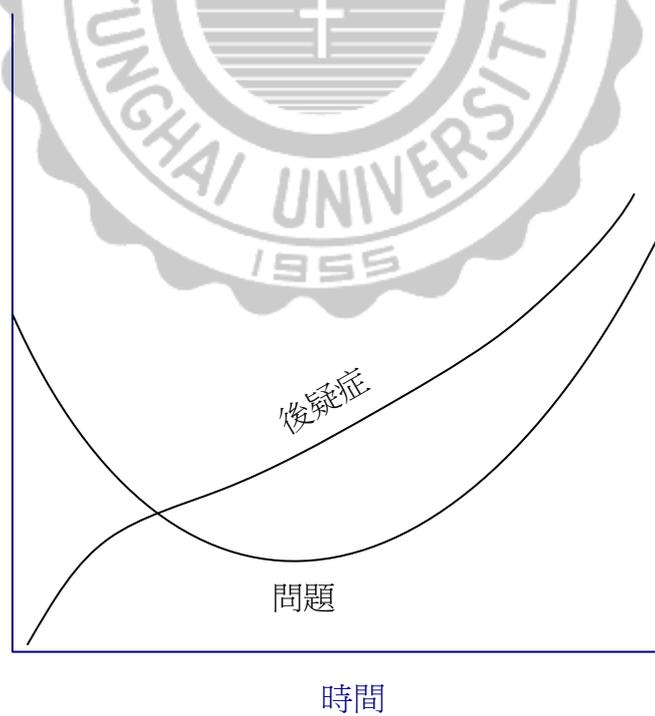


圖 3-22 飲酖止渴之模擬結果《第五項修鍊》

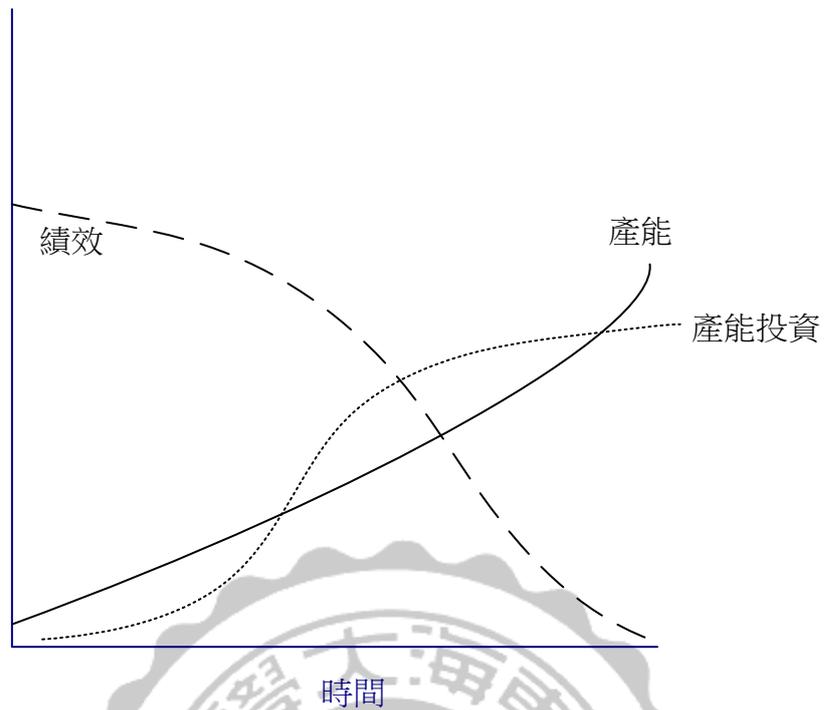


圖 3-224 成長與投資不足模擬結果《第五項修鍊》

陸、因果錐形圖表介紹

因果環路圖和現實的決策之轉換概念可以借由 R.G. Coyle(1996)著作 System Dynamics Modeling 中的因果錐形圖表來做一個整體的理解。

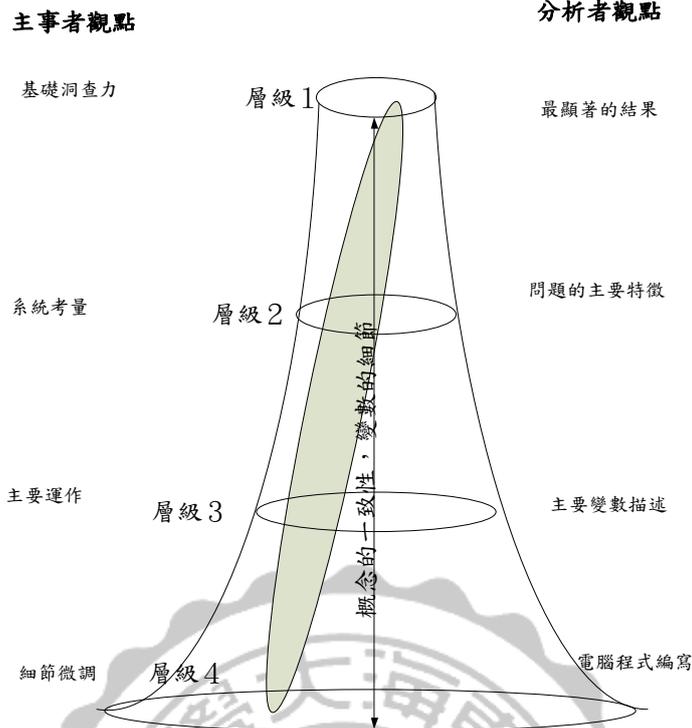


圖 3-25 因果錐形圖表 (Coyle,1996)

Coyle 將系統分成四個層級，每層的圓代表建議的因子的數量，主事者所在乎的是以實際運作的操作運行觀點，而分析者則以主事者的觀察進行對應之抽象化建模。雖然每層提供的因果概念有所不同，在對系統解釋的構面上可以不同的角度作相對應的理解。但整個系統的概念和變數的細節也需要能夠前後一致性並貫穿整個系統，但每一層的變數名稱並不一定相同。

在實際的案例子上，問題通常發生在第二階層，在主事者需要了解的是系統通盤考量，而分析者則提供因果關係的主要特徵，若能在此階段若能找影響統的規則可直接進入政策的調整和最佳化過程。如果其因果關係並不足夠提供評斷所需或者不夠顯著，則需要更進一步的做量化分析來判斷因果關係的含意，如此就需要進入第三和第四階層的量化和建模來推論出系統變化的數值模擬。而不管是單純的因果質性分析或完成量化研究，第一層中所代表的是對系統的因果假設是否正確立論，也就是研究的主觀立論是否具

備對系統的基礎洞查的能力。然而第一層的立論是否能正確貫通整個系統通常需要整個系統被分析驗證和現實發生現象完整比較後才能知道其是否產生了顯著的效果。

因此我們可以理解，系統動力學同時提供了質性研究和量化研究的彈性方法，但在實作的過程，需要考慮整個系統各個階段都具有前後一致邏輯完整性。兼具了高度的彈性和兼備了邏輯一致性，系統動態學因此有效且快速的應用於各個不同的領域的研究。

進一步的分析，相對一般的質性研究方法，系統動態的質性研究提供了向上符合邏輯的抽象化過程並且向下完成了可與實際現象比對的量化的延伸可能性的特殊性。再者，若考慮的因果情況被分析的足夠清楚，有時甚至可以在第二階斷時直接由質性研究階段求得系統槓桿解。對系統的洞查能力決定了系統建模是否能有效的與實際情況符合，若思考不夠完備或片面，在實作過程中則會出現整個系統被驗證完成才發現不具備現實事件的解釋能力而完全推翻，因此系統思考能力的培養則十分的關鍵。

相關於一般的質性研究的思考和推論方式，系統思考的雖然依然避免不了人為的主觀解釋，但在每一個階段的轉換過程都符合前後一致的邏輯性和整個系統的一致性，因此可從客觀的實際結果來衡量模型是否有效。由圖 3-24 中理解，不同的觀點造成選擇解釋剖面可能不相同，在每個階段解釋出的資訊規模和數量有可能不相同，但邏輯性則依然維持前後一致，這解決了一般質性研究和量化研究時常因論述基礎不同而產生各自表述而無法有效統一性的見解的情況。由此可知，精確的系統思考兼備了愈精確的系統解釋能力、預測能力、系統邏輯完整性、共同溝通的依據、減少人為偏好的所產生誤差和降低嘗試錯誤的成本的各種特性。

第三和第四層的量化研究，和其他量化研究一樣，需要經過信度和效度的檢驗過程以了解所分析的數據是否具有對系統具有足夠的解釋的能力以符合系統動態學以解釋現實現象為主要準則。

第二節 系統動態學於財務相關領域之應用

如前面章節所討論，系統動態學的基礎之一是計算機應用科學，並常做為決策支援系統應用於管理和系統預測等領域，由於本研究主旨討論財務風險和波動度之相關研究，在此列舉二與財務相關之研究並引用其論述過程和結論為實作基礎。

壹、財務規劃系統

黃加賜（2001）《企業動態性財務系統規劃》一文，即以系統動態學建立公司財務規劃的完整系統。其系統包含了「資產負債表次系統」、「損益表次系統」、「現金流量表次系統」、「財務分析次系統」、「目標差距次系統」、「現金流量絀餘調整次系統」。前三個次系統是將一般財務報表轉換為量化公式，而後三個則是由因果關係推論出的因果系統，其結論希望能以系統動態學模式模擬「試算出之財務報表，配合目標管理的作法與精神，嘗試設定企業營運目標，並依此建立企業監督機制的基礎，幫助企業適時適量地修正財務活動，達到企業經營效率提升、財務體質改善，以及永續經營與發展的終極目標」。

韓潔茹（2002）也以類似的方法提出《企業財務預測與財務診斷之動態性財務規劃模式》一文，「以企業財務預測、財務五力分析為基礎，融合財務診斷及系統動力學的學理，運用系統動力學模擬工具建構『企業財務預

測、財務分析與財務診斷之動態性財務規劃模式』，提供企業經營者，透過企業對市場變動狀況之觀察、經營決策、投資決策、融資決策等財務政策之設定」。其中提出企業經營活動因果關係圖如圖 3-26

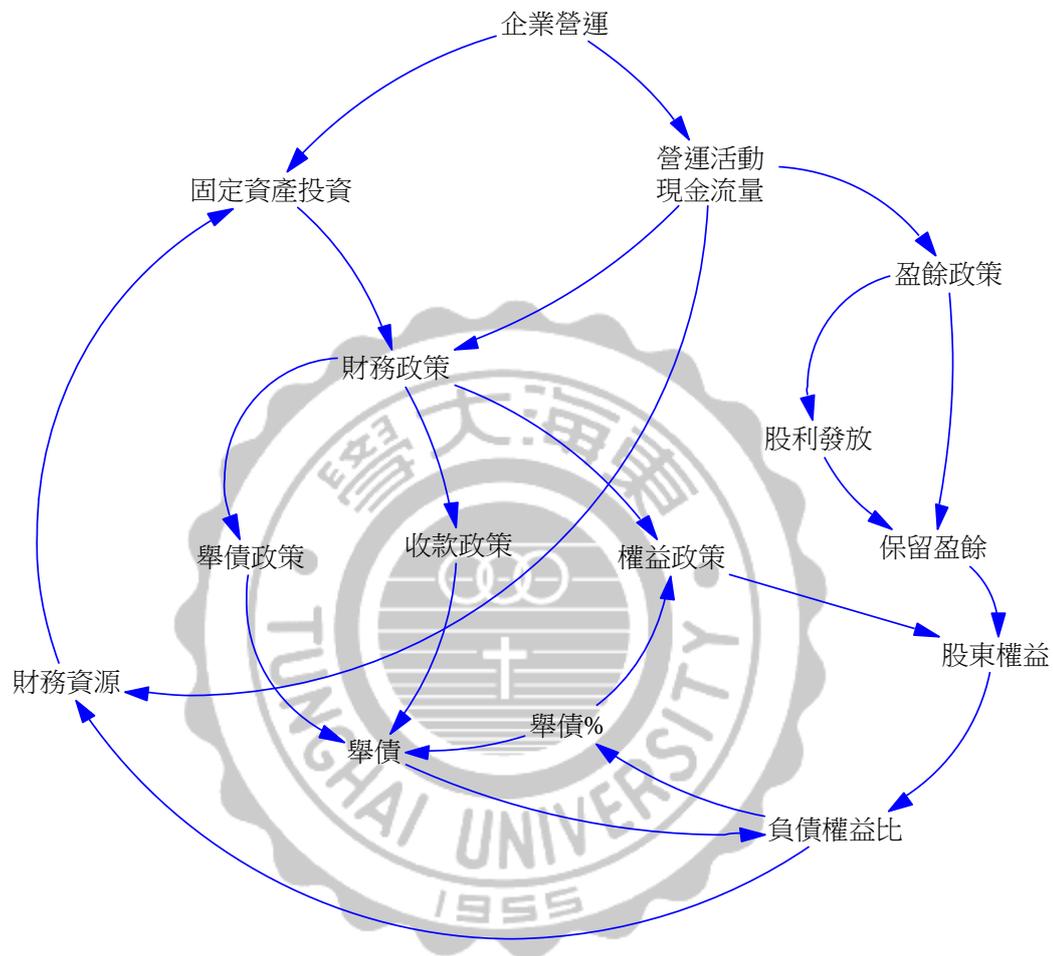


圖 3-26 企業經營活動因果關係圖（韓潔茹 2002）

綜觀而言，以系統動態學建立的決策支援系統可以依據所需考慮的範圍加以擴充。相較於公司內部財務變化，影響股價的因素涉及相關顯然較多且難以預測，也因為如此，若能藉由系統動態學的擴展因果分析的討論範圍再進行模擬分析，可以預期的一個更為精確的應用於財務工程決策支援系統能有可能。

貳、 股價預測系統

《1994，系統工程學報第 12 卷第 3 期，袁利金》提出《股票市場的系統動態模型研》使用系統動態方法研究了公司股票價和的動態變化趨勢，並進了量化模擬。其中分析股票價格系統主要因果關係圖 3-27 如下

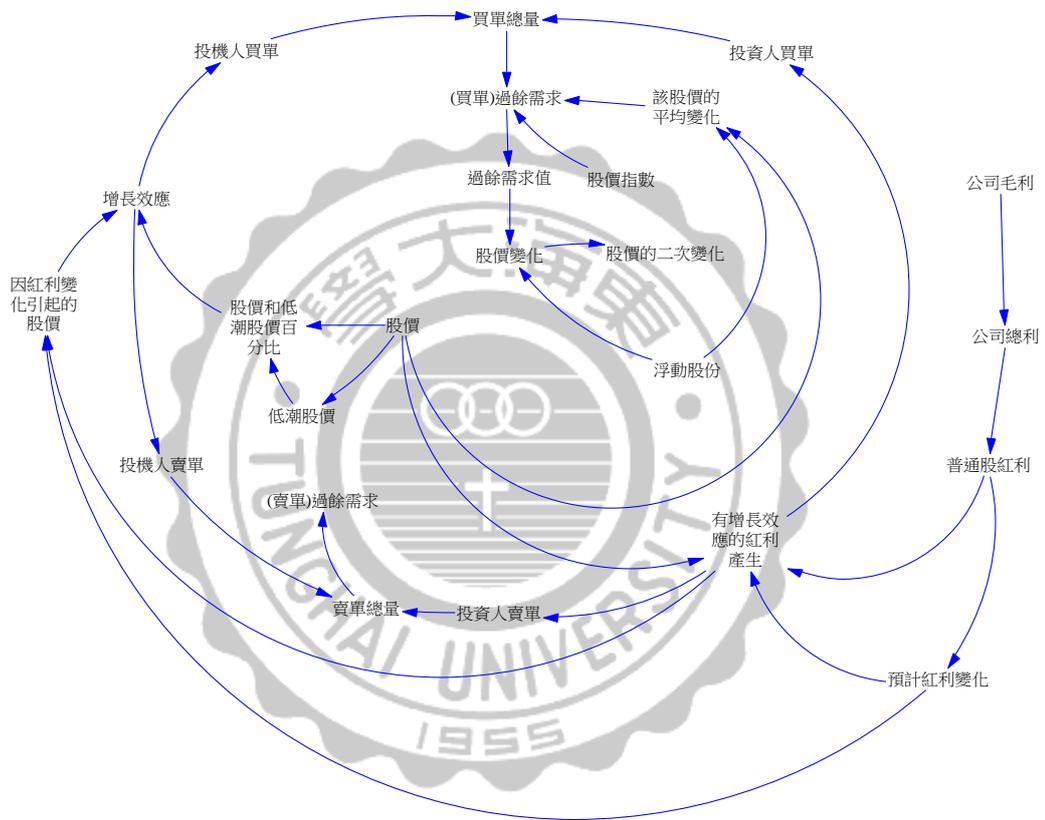


圖 3-237 股票價格系統主要因果關係圖（袁利金 1994）

其由數值變化由 DYNAMO 程式所作模擬，分析其和本研究相關之變量整理出，股價變化由股價變化由股價總變化由股價變化和股價的二次變化加總而成，而股價則為股價總變化對時間的積量。

第肆章 實證結果與分析

第一節 Black-Scholes 模型內含資訊分析

Black-Scholes 模型以很簡潔有效的方式建立了選擇權的評價公式，但以對常態機率分布所以描述的變數間的相互行為相較於真實交易市場中的資訊則需要具有特定數學抽象化概念才能理解其中資訊的實體表徵。系統動態學的特點在對真實現象的良好描述能力，雖然如此，如欲正確描述系統則，需在轉換成系統動態之因果關係之前，必先完整了解系統所包含的資訊和各自的含意。

在此以價平的履約價作為解析標的，主要的理由是價平的履約價包含了最多的市場資訊也最具有代表性。為了簡化模型內的複雜性，先假設無風險利率 $r=0$ ，則價則的履約價和市場的股價相等，式(1)和式(2)中因 $S=K$ 求得

$$c = p = S \cdot \left(N\left(\frac{1}{2}\sigma\sqrt{T}\right) - N\left(-\frac{1}{2}\sigma\sqrt{T}\right) \right) \dots\dots\dots(17)$$

以圖 4-1 表示其關係

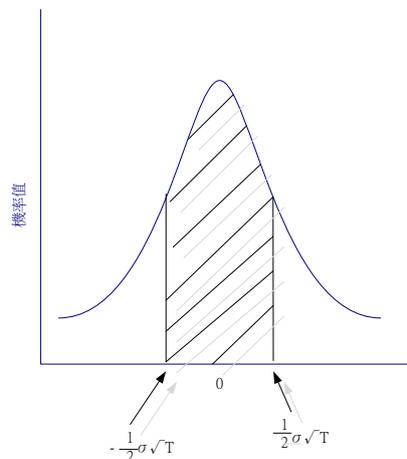


圖 4-1 價平之波動度機率模型（本研究）

若中 $T=1$ 年之時可得其為以年波動率之對數常態分佈之股價預測模型，若 T 接近為 0 時， $c=p=0$ ，此關係說明選擇權的價值會因為到期日的而下降，可用來說明選擇權具有的時間價值，當到該選擇權到期時間愈接近時，其履約價會愈接近市場價格，而買權和賣權的時間價值也會下降，因此價平的隱含波動度應該會接近歷史波動度。但實際市場中，即使到期選擇權都仍有高出理論值之價格，因而求出的隱含波動度都還是高於歷史波動度。以此觀點分析出的結論和前面文獻探討的結論相符。

再以此推論式（1）和式（2）中當無風險利率 r 不為 0 時，則之履約價格需考慮金錢的時間價值的換算即 Ke^{-rT} 。和考慮價平 K 偏移後的機率整體偏移量 $\frac{r}{\sigma\sqrt{T}}$ 。

以此基礎再討論價內買權和價外賣權情況即 $S>k$ 時 $\ln\frac{S}{k}>0$ 產生出之機率位移，和價內賣權和價外買權情況 $S<K$ 時 $\ln\frac{S}{k}<0$ 之機率分佈。

但由於不同履約價的所對應出的選擇權價格是由市場供需交易形成，在此推論除了價平的選擇權會因理性需求在接近到期日時接近歷史波動度，價內價外的買賣權都會因為市場各種資訊產生的預期心理而變化而發生波動度上的變化差異。

第二節 各種波動度之系統比較

從以上推論的過程中可以理解，選擇權波動度的預測作用和到期時間有很大的關係，再觀察第二章中對其他各種不同的波動度的模型的建立過程，如時間序列、指數平滑、自我迴歸等理論，都是希望借由時間和指數間權重分配，使得波動度的預測可更接近現實的股價變化。

整理第二節之各種波動度的特點如表 4-1 所

表 4-1 波動度特點整理 (本研究)

波動度模型	對時間的調整方式	特點
真實波動度	以每日抽取樣本分析	對資訊有一致性且具長記憶性效果
簡單加權數 移動平均法	平均除於交易天數	不能描述群聚效應和時間關係
E W M A	加上時間權重關係	效近的波動度權重較高
G R A C H	自我迴歸之時間序列	可描述市場群聚效應和微笑曲線現象
隨機波動度	討論報酬率模型	為 G R A C H 之通式

以此解釋相關歷史波動度的系統模型如下：



圖 4-2 各種歷史波動度系統(本研究)

由於股價、履約價、到期時間、無風險利率都是由市場取得，因此表 4-1 中各種波動度模型都是為了使評價模型計算出的理論買權價格和市場買賣權價格行為接近而達到預測的目的。

隱含波動度則是指市場中以各種不同市場資訊、非理性預測、人為操作、市場不效率並且包含了模型本身的誤差等種種主客觀因素所總合的數值呈現，如圖 4-3 所示，我們如果以系統分析的理论來看，隱含波動度可以認

為是一個市場可取得的現值代入模型反推而計算出的總結的結果，因此一般認為隱含波動度是包含了最多市場資訊的結果，事實上我們可以把隱含波動度視為對一個複雜的系統行為進行黑箱測試而取得的一個市場函數的實驗結果，由前述中理解，其中成因為複雜且具相互動態影響的關係所組成。



圖 4-3 隱含波動度系統（本研究）

討論系統是否能有效接近現實價格行為，由於除了隱含波動度之外，其他的波動度模型都是以線性方程式依歷史資料所建立，其預測結果也屬於線性變化。而事實上市場中股價的變化常會出現非線性的變化，隱含波動度因此也呈現非線性的變化。雖然一般而言，隱含波動度較能反映市場現實，但由於其中包含的因素太多且關係複雜，預測能力並不完全優於歷史波動度。事實上，在某些可取得的投資應用觀點中，投資者會以比較隱含波動度和歷史波動度之差異大小來評斷市場是處於理性或非理性的情況，其持理由是歷史波動度代表歷史數據所呈現的理性結果，而隱含波動度則包含了非理性或不可測得的預測因素，因而當隱含波動度大於歷史波動度則代表市場可能將處於非理性的情況。

在實務的市場和相關的研究中，許多研究的操作行為和研究結果經常不盡相同或是相反，其顯示以數理建立的模型雖然提供了數據客觀且中立的

表現，但對數據的變化趨勢則難以描述，而事實上，對數據變化趨勢的判斷，常較客觀的數據有更實質的重要性。

第三節 以系統動態觀點解釋波動度行為

壹、波動度系統回饋模式

若如同以上討論，歷史波動度可以代表理性的行為而隱含波動度代表理性、非理性和模型誤差三者的結果，若能以明確敘述系統中各子系統之因子和其相互之關係則可預期一個更具有解釋能力的波動度模型可被建立。

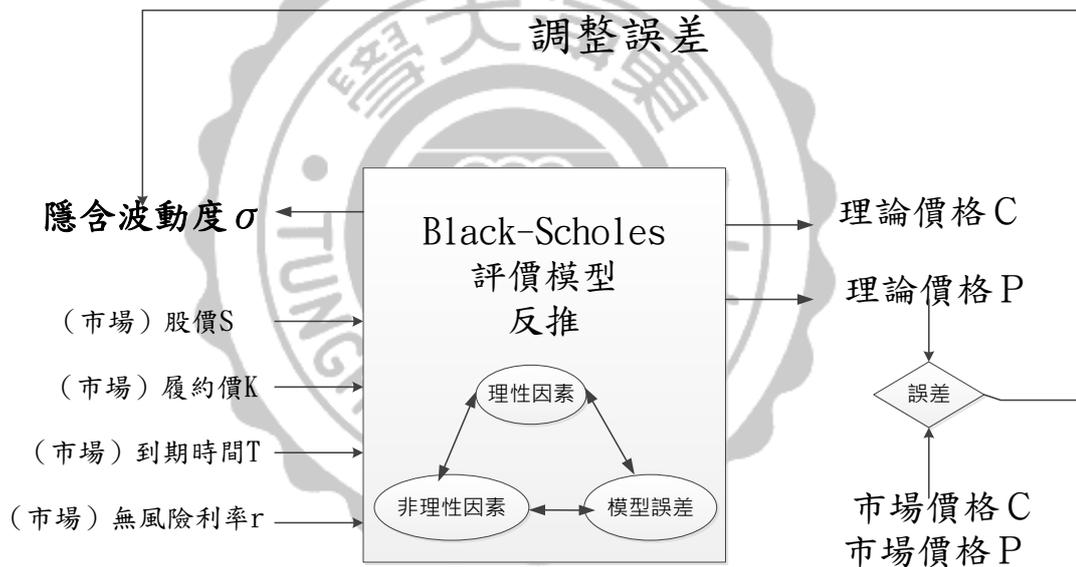


圖 4-4 系統動態學之波動度觀點（本研究）

系統動態學是以描述真實世界行為準則的方法論，若模型內各因子能夠建立正確則對現實世界的解釋能力則愈強，因此在此始用系統動態方法來完成推論波動度中理性因素、非理性因素和模型誤差三個子系統之間之因果關係，若模型正確性愈高則對波動度和相關行為之表現如波動度微笑曲線現象和市場實際行為能提供一致性的解釋。此外，系統動態學可以依現實觀察

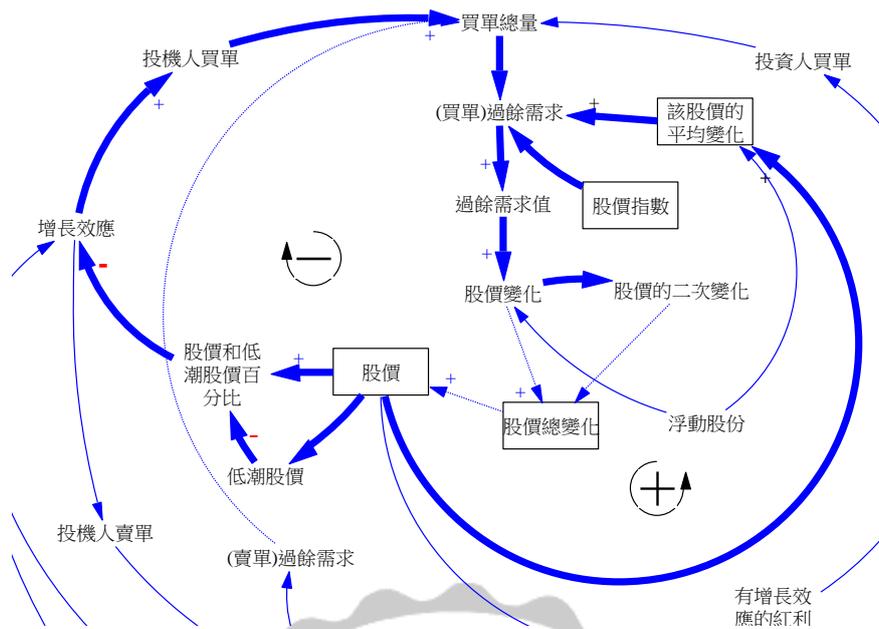


圖 4-6 股價變化主要原因分析 (袁利金 1994)

在股市上漲時，買單需求大於賣單需求，我們看到環路中出現一個股價增長的正向環路和一個受低潮股價限制的負向環路。觀察系統結構，股價的環路出現了「成長上限」的基模，因而從數值模擬的推測可以知道波動度會在上昇之後受到上漲壓力而縮小。

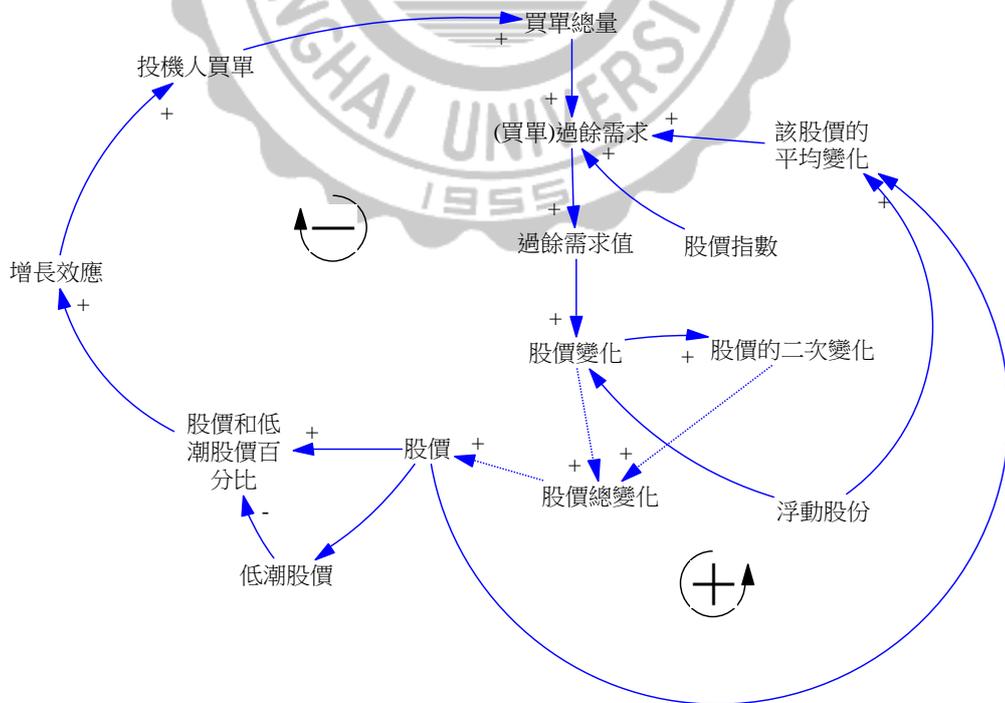


圖 4-7 上漲時時股價因果關係圖 (本研究)

當股市下跌時，賣單的總量高於買單的總量，但由於股價下降，因而限制股價的股價和低潮股價百分比也下降，股價的波動會比較快。但此時因為仍有投資者的買單支撐。

但若股價跌破低潮股價，原來限制的因素將消失。觀察系統結構發現，系統的基模由原本的「成長上限」變成了「富者愈富」，可由前章模擬結果可知股價將會快速下跌。

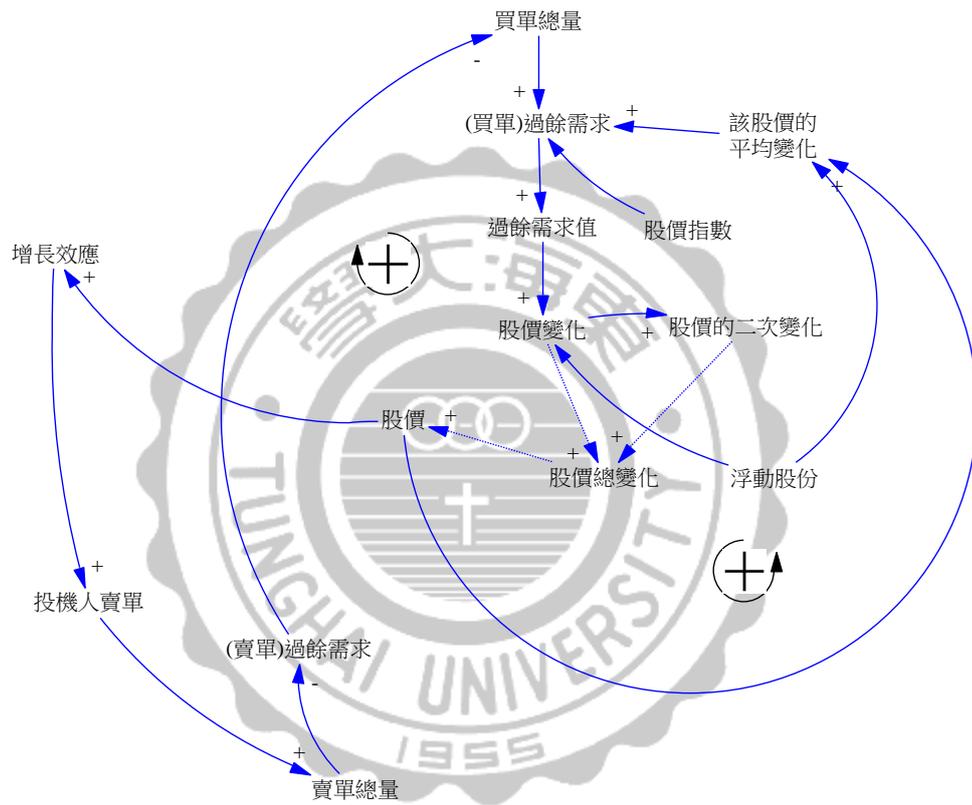


圖 4-8 下跌時股價因果關係（本研究）

因此我們可以由此因果關係圖推測，股市長期上漲的過程中，波動度會在短期內升高後隱定下降，若股市長期將下跌時波動度會持續增加，而在股價破底時則會出現恐慌性賣壓而快速飆高。此結果和波動度的現實變化呈現一致，證明此因果模型對於股價的預測應有其信度。

第四節 依供需機制建立選擇權之因果關係圖

由第三節的討論中得知系統動態學對於真實股價行為有良好的描述和解釋能力，因而在此試以此系統動態基礎建立選擇權之因果關係圖。由觀察得知，真實選擇權的價供是由市場供需關係來決定，本研究以供需和市場需求為建模之基礎。

壹、 供需調節環路的因果環路圖

市場上的價格是由供需的交互因果關係達成平衡的結果，因此以此關係敘述因果關係如下

左半部說需求的穩定環路，而右方則為供給之穩定環路。

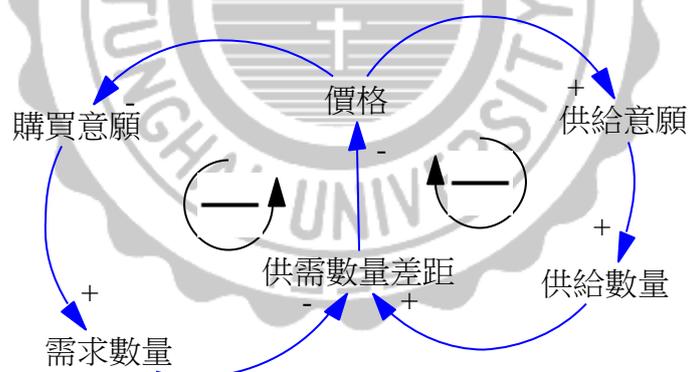


圖 4-9 供需平衡因果環路圖（本研究）

在選擇權市場中主要由買權和賣權的買賣供需行為所完成，因此分別建立其供需環路圖，買權和賣權會以履約價的價值和股價的現值做為交換，若買權加上履約價的折現值和賣權和股價市值發生落差且高於交易成本則可能發

生套利空間，套利者會進行套利行為，而經過市場機制調整後套利空間將會消失，系統回復穩定。描述其基本行為如下

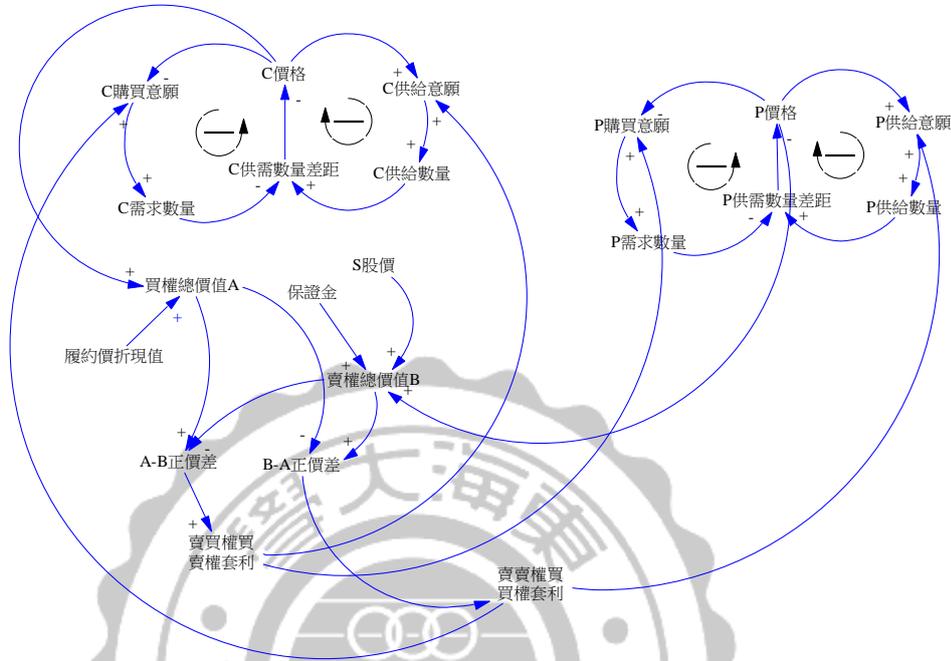


圖 4-10 選擇權市場平衡因果環路圖（本研究）

貳、系統各需求功能供需分析

再以投機者和投資者來描述供應之關係，以增加系統的完整性，由市場研究中知道選擇權市場中供需主要關係是由以下三種功能之需求者所建立。

一、槓桿操作者

選擇權的操作只須先支付小額權利金，相對低於信用資融資融交易所使用的資金，所以有以小搏大享有較大投資報酬的特性。此類的需求者的行為以買權和賣權之價差做短期買賣操作為主。

二、避險作用者

所有衍生性商品均具備避險的功能，選擇權自然也是不例外。當投資者不確定市場的發展走勢時，為了控制風險，確保獲利，便可以支付小額權利金而購入一選擇權的方式來從事避險操作。換言之，若錯估市場走勢，則投資人最多損失權利金的部份，若預測市場走勢正確，則獲利可能是無限的。以股票市場為例，當股市多空不明，市場看法分歧時，若投資人手中持有現股部位，為避免股市下跌而遭到資產損失，則可買入一賣權（Put Options）的方式來避險，未來若股市上漲，則現股部位將由股市中獲利，選擇權商品將不履約，最多的損失為權利金；而若股市下跌，則將執行此一賣權來彌補股市的損失。此類的需求者以價內賣權的買入且長期持有為主。

三、遞延投資決策者

由於選擇權的持有者有權於未來的一段期間之中決定是否執行買入或賣出標的物的權利，因此可給予投資者足夠的時間來觀察及判斷，避免於市場趨勢不明朗時做出錯誤的決策。其次，選擇權（美式）的持有者能於選擇權到期前任一天執行權利，因此持資者在資金不足時可先暫時不執行權利，對於投資人資金的調度較有利。此類的需求者以買權和賣權的買入為主但持有時間較前者短。

我們可以依此需求來建立市場的需求可來建立因果關係圖

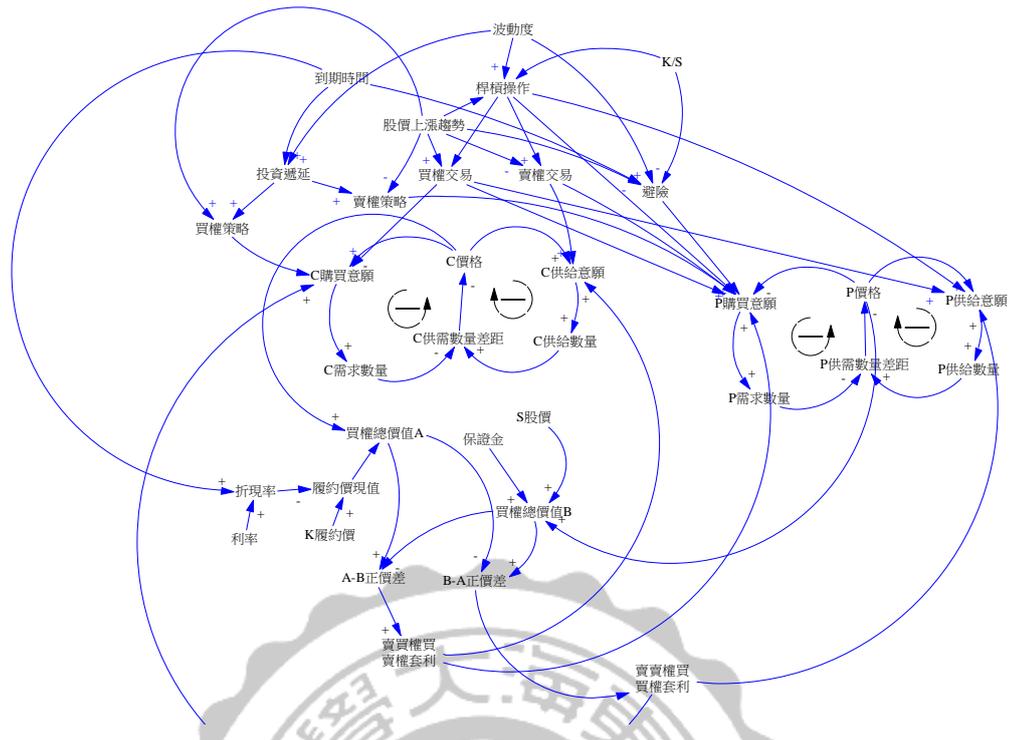


圖 4-11 選擇權供需因果環路圖 (本研究)

其中我們可以針對波動度，價內價外、股市預期的漲跌和市場需求者和供給者的比例來完成一個預測的模型。若模型內部因素考慮的愈接近市場則可預期預測結果可以愈接近現實，並了解微笑現象和時間的關係。

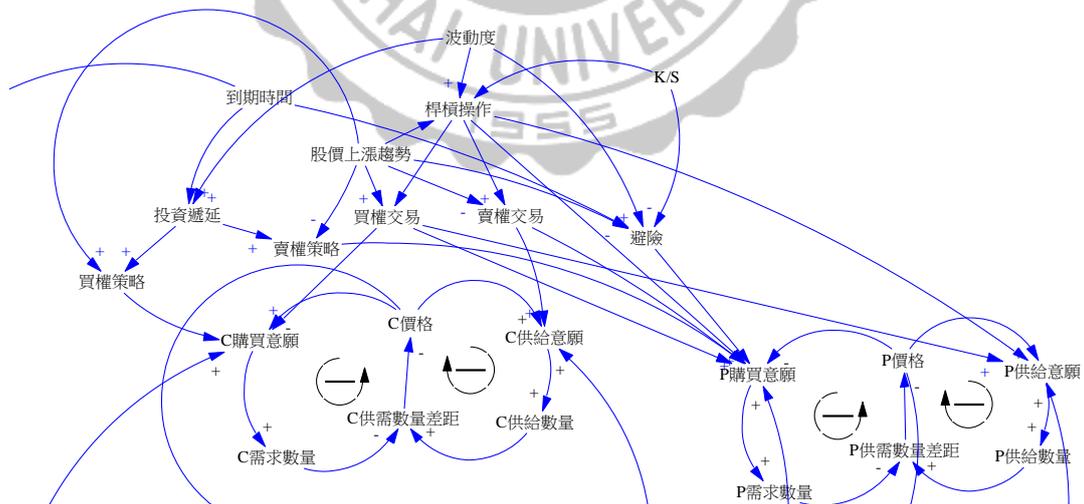


圖 4-12 權擇權和供需因果環路圖 (本研究)

第五節 微笑曲線與企業風險之因果關係

從文獻中對隱含波動度產生的微笑曲線現似的討論可知，各有實證證明財務槓桿和微笑曲線雖有相關，但並無法完全解釋該現象，甚至也有實證結果持相反論點。

由第四節的推論中，選擇權的價格是由市場中因各種不同需求和判斷的供需關係所決定，而隱含波動度是因為市場價格所反求出的結果。因而隱含波動度代表的整體市場資訊的總體結果，可知其中相關之因子是眾多且繁複的。

從選擇權的供需因果圖中判斷，避險的需求只單方向出現在賣權的需求方面因此可能產生不對稱性的需求，因此討論企業風險是否會造成選擇權之波動度徧斜線或微笑曲線之現象。

從本章第一節中數學模型推演過程結果可知，Black-Scholes 模型反求出之隱含波動度中的到期時間愈近雖會波動度的微笑現象會增強，但到期時間愈近波動度對買權賣權價格受波動度的影響則會變小。這也造成以時間領域

(Time Domain) 觀點來分析波動度和時間，和價格之間之行為難以理解。一般而言，系統動態學以時間為基準進行系統模擬，在本章第四節中即以時間觀和市場運作之觀點來建構系統模型。

壹、 數學模型、時間領域和抽象化轉換

一般而言，系統動態學是以時間做為計算量率、積量中間相互變化的依據。而波動度微笑曲線現象所討論的是同一時間點波動度對於不同履約價之間的關係，因此和在討論過程需做抽象化轉換。

如圖 4-13 所示，抽象化過程可將時間領域(Time domain)領域之問題轉換成抽象化模型，再經運算成抽象化結果後依其反函數換回時間領域。

此一轉換過程常被應用於工程領域如頻率轉換。其應用則成為了許多學門的基礎，如通訊理論即以此時間問題轉換成頻率分析再數學方法把聲音、影像在同一時間轉換到不同的地點。此類抽象轉換需有數學轉換的嚴謹過程支持方能成立。

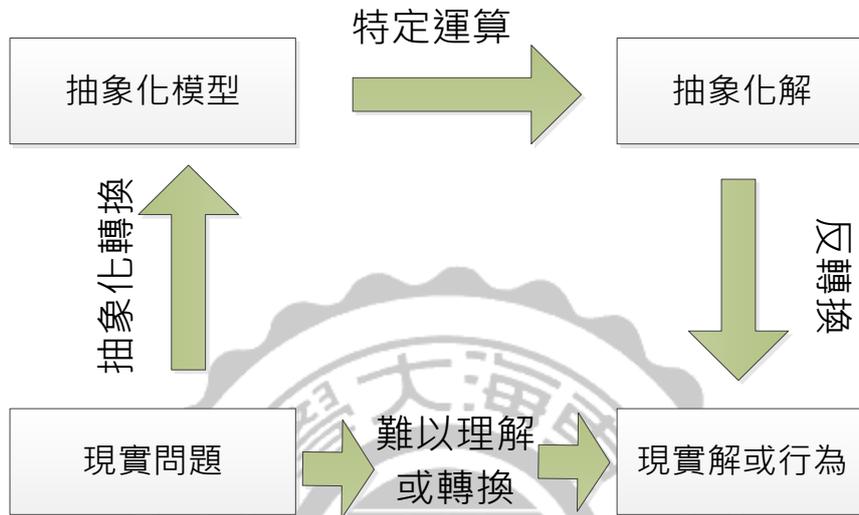


圖 3-13 抽象化理解過程(本研究)

在本研究中，由於是討論單一時間點的波動度的偏斜現象，因此第二章中式(1)、(2)、(3)、(4)中的到期時間 T 可視為常數，並依數學方程式進行履約價 K 和波動度 σ 之間的運算。

系統之間的關係可能因為 T 為固定常數而簡化，但邏輯範圍為原系統因果關係之子集合。因此可視權益選擇權為選擇權交易結果之特定原因所造成的特定現象。

在實際的應用和理解上，可舉例如第四節的內容為選擇權市場的時間領域分析，而本節是經抽象轉後的波動度現象程度差異的分析。波動度微笑現象為選擇權交易中部份原因所造成的特定行為，當理解行為中之必然性之後可以依此必然性造成波動度的程度上的大小差異轉換為現實交易的操作策略。

貳、 企業風險之因果關係分析

由圖 2-4 中所分析出的企業風險可分成非系統風險和系統風險，由於系統風險為可分散之風險，在投資人解釋市場資訊時，若具有正常營運能力的公司應不會發生此風險，又或者認為此風險不在投資人可預期之範圍。由於波動度是以投資人依各種可評估的資訊來做買賣決定，因此可以推論系統性風險應是影響波動度主要的原因。

而系統性風險又分為營運風險和風險成數，財務槓桿度和營運槓桿度組成了風險成數。在此討論波動度微笑曲線的成因是否的確是來自於財務槓桿度的影響，故以下討論風險成數部份討論和公司營運的影響。

資金運作為一個企業營運的必要條件，在企業的運作中資金需求的取得可以由營業活動、營業槓桿、財務槓桿來取得。圖 4-14 為企業資金運作之因果關係圖，在圖中我們發現，企業的資金需求有營業活動，營業槓桿，財務槓桿三者組成的穩定環路來維持運作。三個環路可兩兩形成基模中的「成長上限」，在此可以解釋企業的資金需求可以由三者之一，三者之二，或三者一起來提供營運資金。

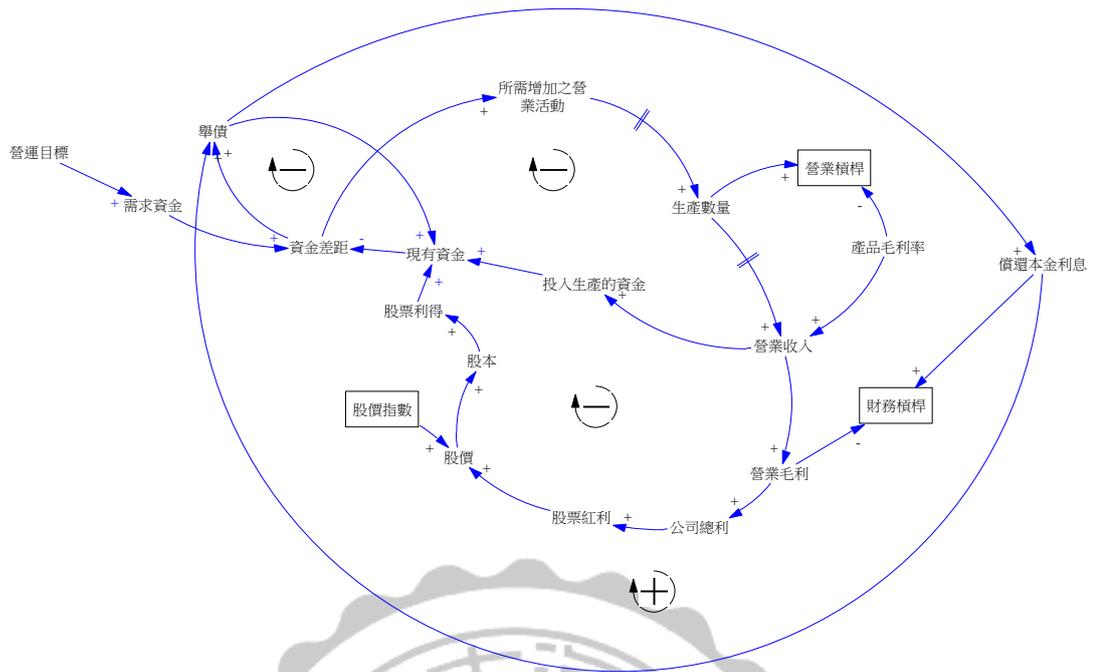


圖 44 風險與營運能力因果圖 (本研究)

如圖 4-15 所示，但若企業採取了使用財務槓桿途徑的來滿足資金需求，財務槓桿會造成一利息和本金的支出型成了一個正向環路，此正向環路和系統內二個負向環路組構成了系統基模中的「捨本逐末」現象。由捨本逐末的模擬中可知，當系統中的副作用也就是本文中的利息和所需償還的本金過高時則系統將會崩潰，也就是風險的主要來源。

若資金系由股市中取得，當股價因股價指數上昇而提高時，則公司的市值會上昇，規模愈大的公司取得資金愈為容易。而二者調節的比值正好由橫跨二環路中的「財務槓桿度」來決定，由此關係可推知，當企業的股本或規模愈大時則由股市取得資金則較為容易，財務槓桿的影響相對較小。

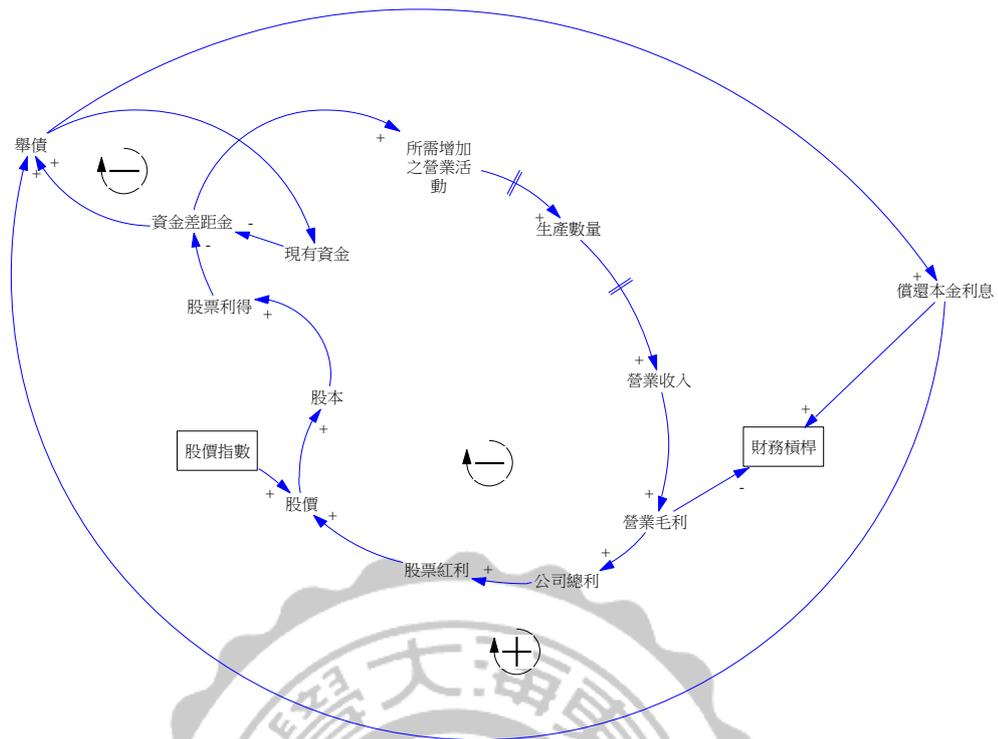


圖 55 財務槓桿與企業營運關係圖（本研究）

因此可知財務槓桿會影響公司營運的風險，而公司的規模愈大財務槓桿的影響也愈大，此結論完全滿足 Koutmos and Saidi 的實證結論。

至於營業槓桿度也會影響財務運作，但由於其並不直接形成環路，一般而言，不致於造成積累之效果，而造成系統風險如圖 4-16。但若企業採用過高的營業槓桿造成低毛利率甚至於負毛利率時，系統的下方負向環路會變成正向環路，而系統基模則變成了「飲鴆止渴」的現象，由於環路有遲滯現象，可知道在一段時間之後，企業將會無法營運。故企業不可能長期採用過度的營運槓桿，這對長期使用低毛利政策切入市場的企業所呈現的結果也一致。

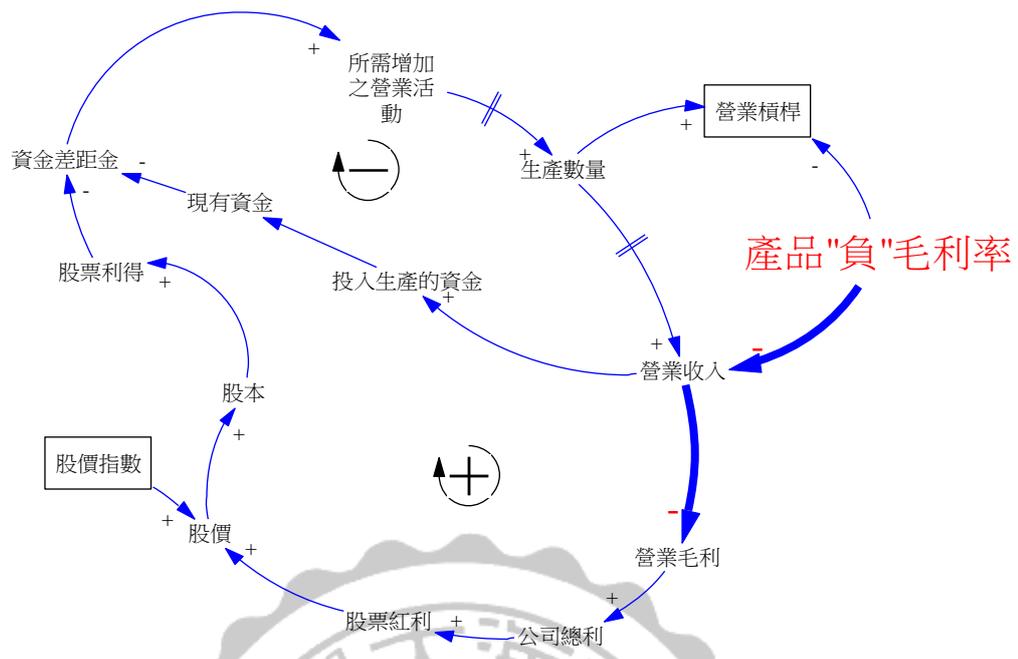


圖 66 毛利率之營業槓桿 (本研究)

參、微笑曲線成因分析

考量系統中的營運風險問題，若公司規模愈小則營運風險愈大，此結論則可解釋 Cheung and Ng (1992)以美國公司的股票作實證中小之公司的不對稱效果大於規模大之公司。

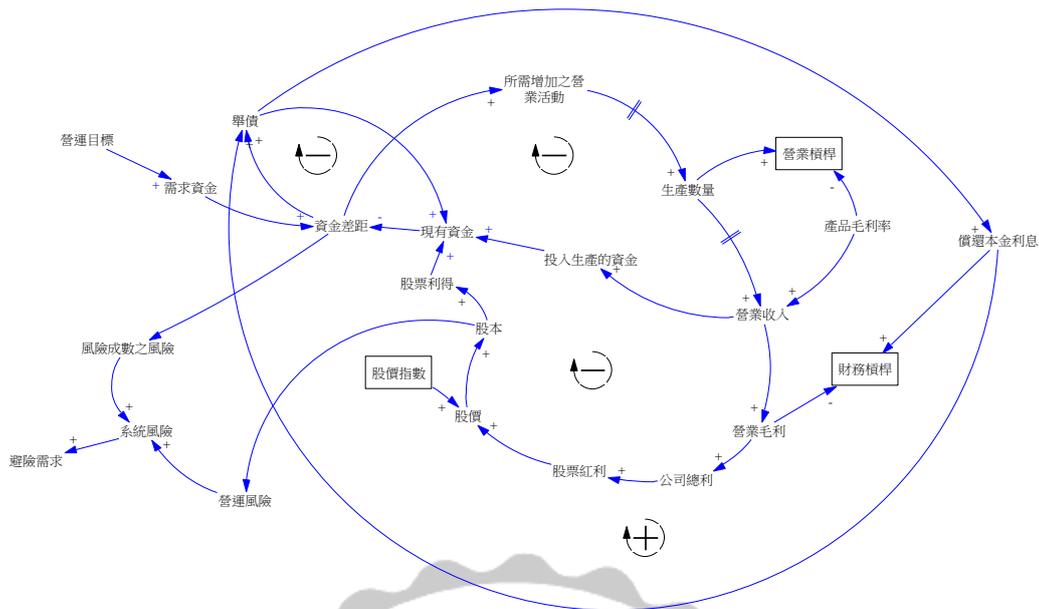


圖 4-7 企業系統風險因果關係圖（本研究）

圖 4-17 說明由於選擇權的價格是因為投資人針對市場所有資訊做出的判斷而做出決定，而隱含波動度又是因為選擇權之價格而反推出來，因此隱含波動度也就反應了市場對企業風險評估的結果。一般而言，投資人認為，規模小的公司較容易遭受營運風險的影響而倒閉或是出現嚴重的損失，而大公司若可善用其財務槓桿則可維持市場運作。此因果圖解釋了 Koutmos and Saidi 和 Cheung and Ng 研究之所以相反是因為風險的評估來源不同。

至於 Figlewski and Wang (2000)所提出的三個對財務槓桿造成波動度的三個質疑可能答案如下：

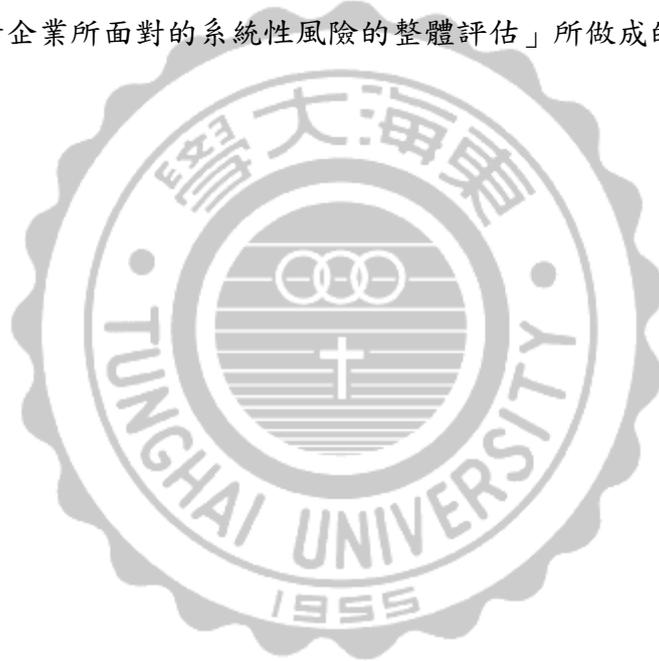
第一、隱含波動度的微笑效應是歷史波動度三至四倍：由以上的討論可知，隱含波動度市場總合影響組成的結果，其中包含了客觀和主觀和其他市場因素的變化，其變化為歷史波動度為歷史波動的數倍為合理之現象。事實上，在未發生金融恐慌之前，微笑現象並不明顯，說明了微笑現象是人們對資訊判斷所產生的主觀效果為主而非因歷史波動度之累積而變動。

第二、波動度不見得在股市上昇時就下降，有時反而上昇：在本章第二節中討論之結果，股價在上昇時會先產生波動後才會縮小，因而波動大小

還需配合股價發展和是否有新的變化才能統一判斷。至於 VIX 和股價指數呈反向關係主要是 VIX 是採用一至二個月到期的選擇權為計算基礎，事後的檢定的統計方法會把短期過大的波動率當成雜訊濾掉而造成的總合的結果。

第三、新債或新股所產生的財務槓桿效果並不會影響微笑曲線現象：由系統風險因果圖可知，系統的限制因子是營運資金，而新債和新股並不會立刻完全投入到營運資金中，因而可以當作時間延遲現象來解釋之。

基於以上實證資料和本研究推論可知，權益選擇權之微笑現象是因「投資行為對企業所面對的系統性風險的整體評估」所做成的結果。



第五章 結論與建議

第一節 結論

從本研究以系統動態學之因果環路圖來解釋波動度微笑曲線現象的實證過程中可知，系統動態中的因果關係圖提供了較數學模型和統計模式中觀察系統中細微變化的能力。如第肆章第三節中討論的結果，以統計模式所觀察的波動度和景氣的反應呈反向關係，而由因果關係圖中則可以理解景氣上升時波動度會先暫時上昇而後下降以達成穩定狀態，此一結論和現實行為相符合。第四節從市場的供需觀點發展出交易模型並且發現避險的需求則造成了權益選擇權中的微笑曲線現象。而第五節中則以企業營運所受的系統風險的因果圖解釋了微笑波動度，企業風險，財務槓桿之間的交互影響，其得出的微笑曲線現象是由於「投資行為對企業所面對的系統性風險的整體評估」所造成的結果，此一解釋也整體說明了各學者間相互不同的見解。

在實證的過程中發現，系統動態學的模型是否在確在於對於系統觀察的能力是否良好。因此，在第肆章中實證的流程中，我們先以解析法了解波動度模型數理含意的內容，再比較隱含波動度和其他波動度的系統流程圖差異並推論出其代表意義和應用上之差異，了解了整個系統的現實行為後，我們借由其他學者已建立的股價模型來解釋波動度行為，在證明其解釋能力之後，依其方法建立選擇權的供需因果環路模型，再以其避險的需求產生權益波動度徧斜的現象來分析微笑曲象和企業風險的關係。此流程體現了圖 3-26 中〈Coyle, System Dynamics Modeling〉一書中所提出之「因果關係錐」的建模邏輯和流程。我們也發現依這模的流程建出的模型，在轉換主事者觀點

(Sponsor's Point of View) 和分析者觀點(Analyst's Point of View)之間良好的可理解性和數據一致性，且研究中各個階層中雖然變數名稱有所不同但的邏輯相互一致且脈絡貫穿了整個研究。也有如書中所提到的，一般重要的結論分析可以在第二層的質性研究就可完成，但事後才能知道第一層的概念上的定義是否正確，需對於各階層所需資訊的擷取可依討論事情的不同而有所取捨，但仍保有研究的一致性。

在研究過程中也發現，在某些主客觀因素發生改變時，系統會出現結構性的改變，例如第肆章第二節解釋波動度受低潮股價影響時，當股價低於低潮股價時限制因子將消失，系統基模則由「成長上限」變成了「富者愈富」的行為，這和現實世界中所謂股價破底後出現的恐慌性賣壓吻合。第肆章第四節中發現雖然一般正常運營的企業，營業槓桿度可以提供資金的來源使企業穩定運作，但過度的使用則產生「飲鴆止渴」的嚴重風險，此也符合了某些長期以負毛利策略搶佔市場佔有率的企業的結果。

第二節 後續研究建議

本研究發現雖然系統動力學廣泛的被運用於各個領域中，但在財務金融中文獻中並不多見，因此若能以系統方法建立正確之模型，感可能有實務和理論上的貢獻。以本研究之結論中而言，若能依第四章第四節的方法逐步去實作一個合適市場模型，有助於投資行為的評估。此外若能以第五節中之結論實證出企和規模和系統風險成因之間之相關係數，則可以預測微笑現象可能之程度和變化。

參考文獻

英文部份

1. Andrei Borshchev & Alexei Filippov(2004),” From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools”, The 22nd International Conference of the System Dynamics Society, Oxford, England
2. Jean-Pierre Fouque, George Panpanicolaou, K. Ronnie Sircar(2000), ”From the Implied Volatility Skew to a Robust Correction to Black-Scholes American Option Price”,
<http://math.stanford.edu/~papanico/pubftp/AMERICANSV.pdf>
3. Jean-Pierre Fouque, George Panpanicolaou, Knunt Solna(2002), ”Maturity Cycles in Implied Volatility”,
<http://www.pstat.ucsb.edu/faculty/fouque/PubliFM/matcycles.pdf>
4. John Hull, Izzy Nelken, and Alan White(2003), ” Merton’s Model, Credit Risk, and Volatility Skews” , Journal of Credit Risk, Volume 1, Wintwe 2004/5
5. Jean-Philippe Bouchaud, Andrew Matacz and Marc Potters(2008) , ” The Leverage Effect in Financial Markets: Retarded Volatility and Market Panic”, Science & Finance, The research division of Capital Fund Management, France.
6. Peter Carr and Liuren Wu(2007), “Leverage Effect, Volatility Feedback, and Self-Exciting Market Disruptions”

7. R.G. Coyle (1996), System Dynamics Modeling – A practical approach · U.K.: Chapman & Hall.
8. Senge, P. M. (1990), The Fifth Discipline: The Art and Practice of Learning Organization, Doubleday Business, New York.
9. Stephen Figlewski, Xiaozu Wang(2000), ”Is the “Leverage Effect” a Leverage Effect?”,
<http://w4.stern.nyu.edu/finance/docs/WP/2000/pdf/wpa00037.pdf>
10. Sterman, J. D.(2000), Business Dynamics(2nd edition), McGraw-Hill Companies, New York.
11. Stefan Thurner, J. Dooyne Farmer and John Geanakoplos(2010),”Leverage Causes Fat Tails and Clustered Volatility”, Cowles Foundation Discussion Paper No. 1745

中文部份

1. 林景民(2004),《企業財務槓桿效果之再探討：動態 Panel Data 方法之應用》，國立政治大學財務管理研究所碩士論文，未出版。
2. 伍海華、李道葉(2001),〈股票市場動力學分析：以上海股票市場為例〉，《當代經濟學》，第 23 卷第 6 期，70 頁。
3. 李吉元(2003),《風險值限制下最適資產配置》，國立成功大學財務金融研究所碩士論文，未出版。
4. 李宛柔(2006),《波動率指數於真實波動率及指數報酬之相關研究》，國立中央大學企業管理研究所碩士論文，未出版。
5. 李佳玲(2006),《台指選擇權波動度指標與景氣指標之關係性研究》，國立中央大學企業管理研究所碩士論文，未出版。

6. 李茂華(2009)，《運用基因演算法於建立最佳隱含波動率估計值之研究—以台指選擇權為例》，實踐大學財務金融與保險研究所碩士論文，未出版。
7. 袁利金(1994)，〈股票市場的系統動態模型研究〉，《系統工程》，第12卷第3期，12頁。
8. John C. Hull (2012)，胡次熙，《期貨與選擇權市場》(Fundamentals of Futures and Options Markets, 7th Edition)，台北：華泰文化，(原書於1998年出版)
9. 黃加賜(2001)，《企業的動態性財務規劃—以系統動力學方法初探》，國立中山大學財務管理研究所，未出版。
10. 張富達(2004)，《國內選擇市場波動率指數(VIX)之建構與分析》，國立中央大學財務金融研究所碩士論文，未出版。
11. 張尚原(2006)，《台指選擇權市場最適波動度指標之研究》，國立中央大學企業管理研究所碩士論文，未出版。
12. 張惠玲(2007)，《隱含波動率新估計法之探討》，私立東吳大學商用數學系研究所在職專班碩士論文，未出版。
13. 許保全(2007)，《企業營運槓桿與財務槓桿對股權價值之影響分析-以台灣電子業為例》，國立中正大學國際經濟研究所碩士論文，未出版。
14. 程言信、郭蘋慧(2008)，〈臺指選擇權波動度估計及評價實證分析〉，《高雄應用科技大學學報》，第37期，169頁。
15. 郭建志(2008)，《資產價格之隻變量機率分配預測》，國立中央大學財務金融研究所碩士論文，未出版。
16. 屠益民、張良政(2010)，《系統動力學：理論與應用》，台北市：智勝文化(2010)

17. 曾雅彩(2002),《以同步化流徑搭配方式發展系統動力學模式高槓桿解設計方法之研究》,國立中山大學企業管理研究所博士論文,未出版。
18. 劉王譯(2007),《不同到期期間微笑程度之探討—台灣指數選擇權的實證研究》,朝陽科技大學財務金融系碩士論文,未出版。
19. 熊自賢(2010),《台德中等教育英語師資供需系統之比較:系統動態學模式》,國立暨南國際大學比較教育學系轉士論文,未出版。
20. 謝長宏(1980),《系統動態學—理論、方法與應用》,台北:中興管理顧問公司(1980)
21. 蕭義龍(2004),《股價機率模型與實證分析》,國立成功大學應用數學研究所碩士論文,未出版。
22. 蕭志同、戴俞萱、柳淑芬(2010),《決策分析與模擬》,台北市:臺灣東華(2010)
23. 羅庚辛、藍宇文、張尚原(2007),〈台指選擇權市場最適波動度指標之研究〉,《風險管理學報》,第九卷第二期,第1頁。
24. 韓潔茹(2002),《企業財務預測與財務診斷之動態性財務規劃模式--以系統動力學初探》,國立中山大學資訊管理學研究所碩士論文,未出版。
25. 韓傳祥、繆維正,楊子慧(2011),《指數選擇權之實證避險表現:SPX與TXO》,新竹市。