

國立交通大學

管理學院財務金融研究所

碩士論文



研究生：吳品杉

指導教授：王克陸 博士

中華民國九十八年六月

雨量選擇權的定價與避險

Pricing and hedging of precipitation option

研究生：吳品杉

Student : Pin-Shan Wu

指導教授：王克陸 博士

Advisor : Dr. Kehluh Wang



June 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

雨量選擇權的定價與避險

學生：吳品杉

指導教授：王克陸 博士

國立交通大學財務金融研究所碩士班

2009年 六月



隨著全球氣候加速變遷，氣候所帶來的風險已逐漸受人們的重視；台灣由於地理位置關係，天然災害發生頻繁，尤其以颱風及梅雨所帶來的災害最為嚴重，而雨量是主要的因子，故本研究希望建立一個以雨量為基礎的衍生性商品，以提供企業及個人避險之用。本研究採用一般化的紐曼-史考特矩形跳動模型作為雨量模型，模型中假設鋒面的產生服從卜瓦松分配，每個鋒面可產生的雨雹數目及雨雹強度服從指數分配，每個雨雹的延時服從指數分配；另外，假設有兩種類型的雨雹。在參數估計方面，本研究採用改良式的霍普菲爾神經網路模型並配合無母數統計方法來確認所估計出的參數是適當的，並採用蒙地卡羅模擬法，來作雨量選擇權的定價。最後，以花蓮縣的瓜農避險為例，引進SCS曲線值模式，說明如何使用雨量選擇權作避險。

關鍵字：氣候衍生性商品、雨量選擇權、洪災避險、霍普菲爾網路

Pricing and hedging of precipitation option

Student: Pin-Shan Wu

Advisor: Dr. Kehluh Wang

Graduate Institute of Finance

National Chiao Tung University

June 2009

ABSTRACT

In recent years, the risk from weather changes has brought increasing attention all over the world. In Taiwan, typhoon and monsoon are the major sources of catastrophes, and the precipitation is the most important factor. This study tries to design a precipitation option for individuals and enterprises to hedge the rainfall risk. A generalized Neyman-Scott rectangular pulses model is adopted, where storms arrive in a Poisson process. The distributions of the numbers of rain cells in each storm and the intensity of each rain cell are geometric distributions, and the duration of each rain cell is an exponential random variable. The model is generalized by allowing each generated cell to be of two types. In parameter estimation, we use modified Hopfield neural network to solve nonlinear equations, and then we adopt Kolmogorov-Smirnov method to test whether the parameters are acceptable. In valuation, we use Monte Carlo simulation to simulate the path of the precipitation and price the option. Finally, we provide the case analysis for watermelon hedging, and introduce the SCS curve number model to show how to use the precipitation option we developed.

Keywords: Weather Derivatives, Precipitation Option, Hedging, Hopfield Neural Network

誌謝

能夠完成這一篇論文，有太多人要感謝了。首先，先感謝我的指導教授 王克陸博士，在論文方向上，有老師細心的指導，讓我慢慢完成整個論文架構及內容。另外，也特別感謝 張寶塔博士、彭雅惠博士及黃星華博士撥空參與學生的論文口試，更在細心的閱讀後，於會中提供寶貴的意見，讓學生受益匪淺且論文能更趨完善。在研究過程中，遭遇到很多難題，在這裡要特別感謝過去大學的同學，也是現在正在讀成大水利博士班的蔡元融同學，感謝他在研究上提供我很多寶貴的意見，也不厭其煩的解答我所有的問題。另外，也感謝所有曾經被我問過問題的朋友，感謝他們曾經耐心的聽完我的問題，也認真的與我討論。

感謝所有的交大財金所同學，在這段日子裡，和大家共同熬夜趕作業、討論功課，也一起出遊玩樂，這些點點滴滴會成為我永遠的回憶，我也會永遠珍藏起來。當然，最需要感謝的是我的父母，由於他們的支持與鼓勵，讓我能夠無後顧之憂的準備研究所的考試，在我讀書的這兩年，也儘量替我排除任何困難，讓我能夠心無旁騖的完成學業，沒有他們，我沒有辦法這麼順利。

驪歌響起，雖然大家各奔東西，但是我相信在未來的人生旅程中，同學們仍是最堅強的後盾，大家的心仍會團結在一起共同面對困難，共同創造屬於我們的美好將來。最後，我以「活到老，學到老」作結，勉勵自己要不斷的努力學習，開創自己的未來。

吳品杉 九十八年六月

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
壹、 緒論	1
一、研究背景	1
二、研究目的	2
三、研究流程	2
四、論文結構	3
貳、 文獻回顧	4
一、氣候衍生性商品市場發展與國內相關研究	4
二、隨機雨量模型發展與研究	10
參、 研究方法	12
一、雨量選擇權之契約規格	12
二、雨量模型介紹	13
三、參數估計方法-改良式霍普菲爾神經網路	16
四、雨量模擬步驟	19
五、SCS曲線值模式	21
肆、 實證結果與分析	22
一、雨量測站資料選取	22
二、實證結果	24

三、使用「雨量選擇權」避險—以瓜農避險為例-----	26
伍、 研究結論與後續研究建議-----	30
一、研究結論-----	30
二、後續研究建議-----	31
參攷文獻-----	32
附錄一、SCS曲線值參考數值-----	34
附錄二、五至九月各測站模型參數估計結果-----	35
附錄三、五至九月份各測站模擬資料與歷史資料K-S檢定結果-----	40
附錄四、履約價格為200 mm之各月份測站選擇權買權價格-----	41
附錄五、花蓮縣1997-2006年 5至9月份月累積降雨量與月累積有效降雨量迴歸 分析-----	42



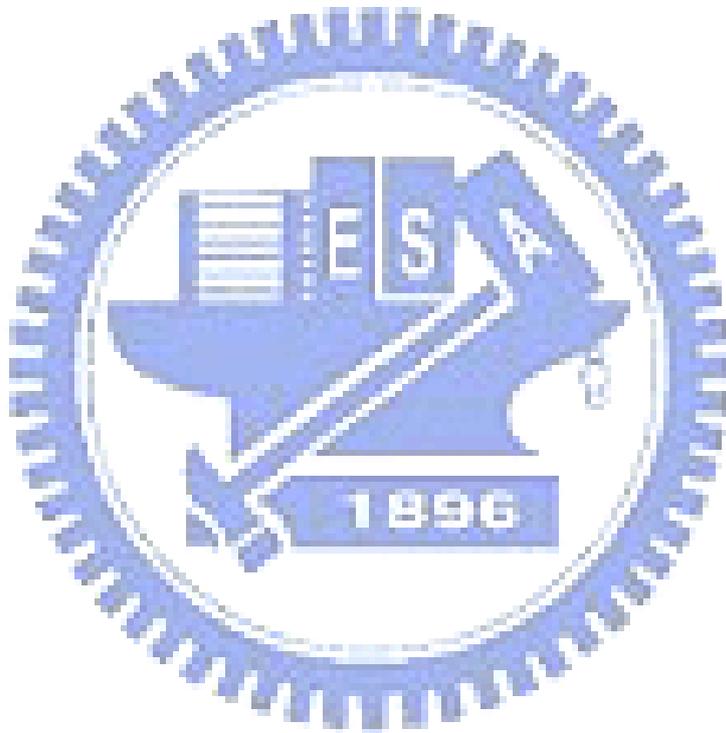
表 目 錄

表1.1	研究流程-----	3
表2.1	日本三井海上火災契約規格-----	8
表2.2	法國巴黎冷雨天契約規格-----	9
表3.1	GNSRP model 參數設定整理表-----	14
表4.1	花蓮縣歷史西瓜受颱風與豪雨災害損失情形-----	26
表4.2	損失百分比與月累積降雨量之迴歸分析結果-----	27
表4.3	花蓮縣八月份累積雨量選擇權價格變動表-----	28



圖 目 錄

圖3.1 改良式霍普菲爾網路模型-----	16
圖4.1 雨量觀測站位置圖-----	23



第一章 緒論

一、 研究背景

隨著科技進步，人類不斷追求高物質生活，氣候也因人類對大自然的過度開發利用而加速變遷；人類與大自然爭地，赤道熱帶地區國家大量焚燒雨林，加上工業化的影響，這些種種因素造成全球暖化、極端氣候出現更趨頻繁。

1997-1998 年的聖嬰現象，是歷年來最強的一次，造成世界各地異常氣象災害頻傳。中、南美洲國家的秘魯與智利等地遭遇了連串豪雨、洪水以及風雪的侵襲，造成農業損失慘重；地處沙漠地帶的皮烏拉市降水量更由平均 2 英吋的降雨量，增至超過 100 英吋的降雨量，造成嚴重的洪水及土石流失。在東南亞國家方面，則面臨 50 年來最大的乾旱，印度東南部的降水量僅及平均值之 30%，造成稻米產量嚴重不足。美國部分地區，因降雨量及侵襲之氣旋數目異常增加，導致各地豪雨成災，農業損失慘重。

台灣由於地理位置關係，夏季經常受颱風侵擾，其所挾帶的豪雨與強風，造成道路坍方、人員傷亡及農業重大損失。除了颱風以外，梅雨期因滯留鋒面所造成的持續降雨及豪大雨，對台灣亦造成不小的災害損失，兩者為台灣最主要的氣象災害，合計佔台灣氣象災害損失的 95% 以上。

就降雨特性來看，台灣的降雨大致可以區分成五期，包括冬雨(十二月至二月)、春雨(三、四月)、梅雨(五、六月)、颱風雨(夏雨)(七、八、九月)及秋雨(十、十一月)，其中「梅雨」及「颱風雨」是一年中雨量最主要的來源。就災害損失來看，台灣主要的氣候災害有颱風、梅雨、乾旱、寒潮這四項，而其中以颱風雨、梅雨所造成的損失最為嚴重。

颱風與梅雨對於台灣各產業所造成的災害損失年年都有，其中以農業與觀光產業最為直接，然而隨著世界的氣候變遷更趨劇烈，國內各種產業對於氣候的風險管理將越來越重視，因此，提供一個合適的氣候衍生性商品，是一個重要的議題。

二、研究目的

氣候變化對產業的影響相當廣，諸如農業、能源產業、休閒旅遊業…等。美國能源部統計，每七兆美元的經濟體系中，就有一兆美元受氣候因素影響，而氣候衍生性商品主要是提供一個工具來緩和企業因氣候不穩定所帶來的風險。台灣年年遭受颱風及梅雨所帶來的豪雨災害，隨著氣候變遷加劇，未來災害的不確定性及風險性更大，然而國內甚至於國外，對於雨量這個氣候因子所提供的避險工具卻是寥寥無幾。農作物種植期，突然遇到颱風與豪雨來襲，造成的農作物重大損失；另外，旅遊假期突然遇到颱風或豪雨來襲，也同樣讓旅遊業者措手不及。這些都會讓業者損失慘重，甚至有些更嚴重的災情，亦有可能讓業者面臨倒閉的危機。因此，有必要推出一項以雨量因子為基礎的氣候衍生性商品，以提供農業及旅遊業作為避險工具。

本研究目的為提供一種以一段期間累積雨量為基礎的氣候衍生性商品，並蒐集相關的文獻，加以整理、分析，進而建立一個評價模型。最後以農業為例，提供一種避險方式，以期望提供相關產業避險之參考。

三、研究流程

本研究欲針對台灣地區主要的氣候風險，設計出相對應的避險商品。首先，由歷史颱風及豪雨對農業及產業帶來的損失，發現「雨量」因子為台灣地區天然災害中最為重要的影響因子，因此選擇以「雨量」為標的物。接下來探討台灣雨量的降雨季節及特性，針對避險需求，選取五、六月梅雨期及七至九月颱風期的降雨資料，並選擇合適之雨量

模型，以設計出符合市場需求之金融商品。完成前述設定後，利用雨量觀測站之歷史降雨資料，完成雨量模型之參數設定。後續利用蒙地卡羅法作雨量選擇權之定價，最後並以案例作實際避險之說明。研究流程如【表 1.1】。

【表 1.1】研究流程



四、論文結構

本研究共可分為五章。第一章為緒論，闡述本研究之背景、目的與流程；第二章為文獻回顧，首先簡述氣候衍生性商品市場之發展與探討國內相關研究發展，接著針對雨量模型發展與相關研究作介紹；第三章為研究方法，說明雨量選擇權之契約規格，及本研究之模型架構、參數估計方法、雨量模擬方法以及避險概念；第四章為實證結果分析，探討模型參數估計結果，並以實際案例進行避險之說明；第五章為結論，闡述本研究之結果與提出未來研究之建議。

第二章 文獻回顧

針對氣候衍生性商品的相關研究，本章首先介紹氣候衍生性商品市場發展及國內相關文獻，並特別探討國內雨量選擇權的相關文獻及國外選擇權契約規格；最後，針對本研究所使用的隨機雨量模型，對其發展與相關研究作介紹。

一、氣候衍生性商品市場發展與國內相關研究

隨著人類對大自然的過度消費及對大自然的破壞，全球氣候異常的情形越來越嚴重，1997年的聖嬰現象，熱浪侵襲全球，能源需求大增，電力公司為因應突發的需求大增，不得不以其他高成本方式增加電力供給；另外，暖冬效應亦造成能源使用需求降低，閒置的能源造成浪費。因氣候因素所引發的營收不穩定造成企業的經營困擾，為規避此種由氣候所造成的風險，氣候衍生性商品(weather derivatives)因應而生。

初期，氣候衍生性商品多依據企業實際需求而量身設計，以交換(swap)兩選擇權(option)方式在店頭市場(OTC)交易。根據美國WRMA(Weather Risk Management)2003年對衍生性金融商品的統計，在氣候衍生性商品方面，以溫度指數相關的期貨及選擇權最為普遍，約占市場六成以上(不含CME的交易)。

由於氣候衍生性商品在店頭市場的蓬勃發展，考量店頭市場的交易對手風險，標準契約也順勢發展出來。Heating Degree Day(HDD)及Cooling Degree Day(CDD)期貨與期貨選擇權，於1997年由美國芝加哥商業交易所(CME)所創，藉由透過集中市場提供透明的交易資訊及健全的清算制度，更為市場與參與人所接受。

HDD 與CDD 指數由日溫值 (degree day) 所累計而成，所謂日溫值係指每日平均溫度與合約規定基準溫度之差距度數。日平均溫度低於基準溫度的度數稱為Heating Degree Day(HDD)，而日平均溫度高於基準溫度的度數稱為Cooling Degree Day(CDD)。

芝加哥商業交易所(CME)所推出之HDD/CDD期貨暨選擇權契約中所訂定之基準溫度為華氏65度，其主要是考量一般美國民眾使用冷氣與暖氣的習慣而訂定；而HDD係指日平均溫度低於華氏65度的度數，但若為負值則視為0；另外，HDD指數(HDD index)為日HDD值的累加，其計算方式如下：

$$\text{Daily HDD} = \max(65^{\circ}\text{F} - \text{日平均溫度}, 0)$$

$$\text{HDD Index} = \sum_{i=1}^n \max(65^{\circ}\text{F} - \text{日平均溫度}, 0)$$

同理，日CDD值(Daily CDD)與CDD指數(CDD Index)的計算方式如下：

$$\text{Daily CDD} = \max(\text{日平均溫度} - 65^{\circ}\text{F}, 0)$$

$$\text{CDD Index} = \sum_{i=1}^n \max(\text{日平均溫度} - 65^{\circ}\text{F}, 0)$$

HDD交易月分從10月到次年4月，是衡量冬天時的日均溫比基礎溫度(華氏65度)低的溫度總和，可提供能源及電力公司、暖氣製造商、滑雪產業、火鍋店…等，易受到暖冬效應而影響其營收的公司提供避險；CDD交易則是從4月份至10月份，為衡量夏天時的日均溫比基礎溫度(華氏65度)高的溫度總和，可提供能源及電力公司、冷氣機製造商、水上樂園、冰品店…等，易受到夏天溫度而影響營收的產業提供避險功能。

國內在溫度衍生性商品為主的相關研究，簡述如下：

何鎮宏(2002)透過CDD評價模型的建立，探討建立台灣氣候市場的可能性。在評價模型中，以台北、新竹、台中、高雄及花蓮5個地方的日平均溫度為基礎，溫度履約價則以攝氏18度至23度等六個溫度標準，並假設溫度路徑符合均數復歸模型，同時考慮

長、短期溫度波動，並藉由蒙地卡羅模擬定價。其結果發現使用 10 年的歷史雨量資料波動性最小，另外在不同的溫度規格下，以攝氏 23 度的波動性最小。

賴怡帆(2004)同樣透過 CDD 評價模型，以攝氏溫度為 23 度的履約價，30 年歷史資料為基礎，使用蒙地卡羅模擬定價，並探討控制變異法、平賭過程配適模擬法、動差配適模擬法及相反變異法這四種降低變異數的方法；經實證結果顯示，當標的物為溫度時，使用相反變異法來模擬溫度路徑會較蒙地卡羅模擬法降低變異的效果為佳。

除了以溫度為主的衍生性商品以外，還有以其他氣候因子為主的氣候衍生性商品，如降雪、風速、地下水位、雨量…等。雖然同為氣候衍生性商品，但「氣溫」與「雨量」是截然不同的。氣溫的變化過程是連續且平滑的，且溫度變化改變易擴散至周邊區域；然而雨量就不同了，雨量是變化路徑是非連續性的，且雨量在空間上變化很大，同一個區域內，受到各種因素影響，如地形，則降雨情形會有很大的不同，且避險者，如耕種作物的農夫、旅館的旅遊業者…等，其所處位置通常與雨量觀測站位置不同，因此降雨資料與個別實際需求會有所差距。雖然如此，但這些差異仍可藉由一些水利方面的方法作調整，因此仍有使用雨量測站的資料作雨量商品評價的價值，只是在避險部分，則需要依據個別需求來作一定程度的調整。

台灣每年受到颱風或梅雨所帶來的豪雨影響，雨量所帶來的災害不容忽視，所造成的損失超過 95%，以下對颱風及梅雨作簡單的介紹。

颱風

颱風主要發生在夏季，就北半球而言，七月到十月為颱風季，南半球則從十二月到隔年四月為颱風最頻繁的季節。颱風所挾帶的強風豪雨，對民生、經濟、農林漁牧業等均造成重大衝擊，一個強烈颱風所蘊含的能量，相當於 1,000 顆原子彈爆炸所產生的能

量總合，破壞力極強，使農作物受損、沿海低窪地區海水倒灌、房屋淹水、山崩及土石流，嚴重危害人民生命財產安全，是台灣氣象災害之首。

回顧過去颱風所引發嚴重的災情，民國 85 年 7 月 31 日，強烈颱風賀伯挾帶豪雨重創台灣，讓阿里山氣象站創下單日 1,095 公釐的雨量紀錄，造成阿里山區嚴重的山崩與土石流，總計造成 536 人傷亡，估計全台經濟損失超過 300 億元。民國 90 年 7 月 28 日，桃芝颱風才剛在南投和花蓮造成嚴重災情，9 月 17 日接續而來的中度颱風納莉，讓北台灣嚴重淹水，台北市及汐止地區更有數千棟大樓地下室泡水，台北火車站與捷運站也都成為大蓄水池，光是農業損失估計就達約 20 億元，其他經濟損失更是難以估計。民國 93 年 6 月 30 日，敏督利颱風帶來驚人的雨勢，中、南部山區雨量超過 1,000 公釐，高屏山區甚至超過 2,000 公釐，造成台灣多處道路坍方及電力中斷，農業災害損失金額更高達新台幣 76.7 億元；同年 8 月 23 日的艾利颱風，各地豪雨不斷引發嚴重土石流，石門水庫集水區更因原水濁度太高，致使桃園地區大停水，除了人員傷亡、道路坍方、電力中斷及農業損失之外，工廠因停水造成的損失更無法估計。

梅雨

梅雨是春末夏初期間，長江中下游地區特有的天氣現象，從台灣、中國大陸之華南、華中、華北，到日本及韓國都受其影響。梅雨季的鋒面系統，時常伴隨著豪大雨出現。台灣地區梅雨期的平均降雨量約為 450~500 公釐，約佔全年總降雨量的五分之一，對於台灣水資源的貢獻相當重要，也是僅次於颱風的第二大水源。該時期降雨的多寡，對冬春季原本就少雨的中南部地區影響很大，如果當年梅雨季降雨不顯著，那麼發生缺水甚至乾旱的機率就會大大提升。相反地，如果降下太多的雨，則會對農作物造成重大損失，同時也會引發嚴重水患，甚至危及人民的生命與財產安全。以台灣而言，梅雨季是僅次於颱風的第二大氣象災害，平均造成國人近 30 億的財產損失，佔氣象災害損失的 16%，對民眾的日常生活影響很大。

文獻中針對雨量為衍生性商品標的物的研究並不多，簡述如下：

陳文波(2006)針對台灣的雨量特性設計雨量選擇權商品契約，研究中以紐曼-史考特矩形跳動模型(Neyman-Scott Rectangular Pulses Model)作為雨量模型來作台灣地區七至九月份的降雨預測，及選擇權的評價，其中假設鋒面的出現服從卜瓦松分配，雨雹的數目服從幾何分配，雨雹的位置、壽命及強度服從指數分配，並使用修正的動差估計法求解模型參數。

藍先中(2008)以政府協助農民避險為出發點，探討雨量選擇權。研究中將利率上限選擇權(Caplet)的觀念套用在雨量選擇權進行分析與評價，以加瑪(Gamma)分配、常態(Normal)分配及指數常態(Lognormal)分配來模擬雨量路徑，利用最大概似估計法(Maximum likelihood estimation)來估計參數。其結果顯示以加瑪(Gamma)分配來作雨量的模擬及選擇權的評價，其結果皆優於另外兩種分配。

有關雨量相關的衍生性商品契約規格，我們以日本與法國的為例，作為本研究雨量選擇權契約規格設計之參考，簡述如下：

日本三井海上火災保險公司於2002年7月開始推出以雨量為主的衍生性商品，契約內容如下【表 2.1】：

【表 2.1】日本三井海上火災契約規格

氣候觀測地點	日本-東京
觀測時間	2002年7月1日至8月30日
降雨量	日降雨量在3mm以上之日數
免責日數	17日

支付金額	超過 17 日之免責日數時，超過一日支付 30 萬元
最大支付額	300 萬元
權利金	50 萬元

資料來源：賴怡帆(2004), 建立我國氣候選擇權評價模型-控制變異數之研究
柯瓊鳳(2003), 氣候衍生性商品在金融業之運用

法國巴黎在商品契約設計上，將雨量及溫度兩個因子結合，契約內容如下【表 2.2】：

【表 2.2】法國巴黎冷雨天契約規格

氣候觀測地點	法國-巴黎
交易期間	每年 6 月 1 日至 9 月 30 日
交易標的物	冷雨天(Total Rainy Cold Days)
冷雨天	日降雨量在 1 公釐以上且當日最高溫度在 20 度以下，同時滿足以上兩條件者，稱為一個冷雨天
選擇權型態	冷雨天買權
報價單位	冷雨天指數
契約單位	每單位 100,000 歐元
履約價	15 個冷雨天
支出上限	2,000,000 歐元

資料來源：賴怡帆(2004), 建立我國氣候選擇權評價模型-控制變異數之研究
SG 全球市場氣候網站(網址：<http://www.margrabe.com>)

由日本及法國雨量相關衍生性商品契約來看，這兩種選擇權標的物分別為分別計算達到某些降雨狀態的日數，由此看來，這種契約設計較適合於業績易受到天氣情況影響的產業，如旅遊業。由於本研究目標主要集中於農業方面的避險，農作物的損失特性通常受到累積降雨量的多寡所影響，相同的降雨天數，但不同的累積降雨量將會對農作物產生不同的損失程度；另外，降雨強度強且集中度高的降雨與降雨強度弱且分散的降雨

亦可能會有不同的結果，故在設計國內之雨量選擇權時，這些因素須加以考量。

二、隨機雨量模型發展與研究

在雨量模型的過去文獻中，探討連續時間降雨過程主要有兩種以卜瓦松過程 (Poisson process) 為基礎的隨機雨量模型：

- (1) 雙重隨機卜瓦松過程(doubly stochastic Poisson process)，或被稱為考克斯過程 (Cox Process)，其基本假設為降雨鋒面產生是服從一種隨機過程，如馬可夫過程 (Markov Process)。
- (2) 卜瓦松群聚模型(Poisson cluster model)，其基本假設為鋒面是由一群發生時點服從指數分配的雨雹(如Neyman-Scott model)，或鋒面是由已給定兩兩時間間隔分配服從指數分配的雨雹(如Bartlett-Lewis model)所組成的。

將卜瓦松群聚模型(Poisson cluster model)與矩形跳動(rectangular pulse)結合在一起的模型，首先有降雨深度模型(rainfall depth)，和卜瓦松群聚矩形跳動(Poisson cluster Rectangular Pulse Model)，卜瓦松群聚矩形跳動是假設雨雹的產生服從卜瓦松群聚過程；接下來隨著巴雷特-路易士過程(Bartlett-Lewis process)和紐曼-史考特過程(Neyman-Scott process)的發展，而雨量模型的设计有了重大的突破。

紐曼-史考特矩形跳動模型及巴雷特-路易士矩形跳動模型中，兩模型皆是假設鋒面的產生服從卜瓦松過程(Poisson Process)；然而，兩模型主要差距在於巴雷特-路易士矩形跳動模型假設下一個鋒面會受到前一個鋒面的雨雹所影響，服從另一個卜瓦松過程；而在紐曼-史考特矩形跳動模型中，鋒面的產生皆是由原先假設的卜瓦松過程所產生，

不會受到前一個鋒面的雨電所影響。除了在鋒面產生的基本假設不同外，兩模型在其他方面的設定皆非常相似。

在紐曼-史考特矩形跳動的模型發展上，Cowpertwait(1991)應用紐曼-史考特矩形跳動模型(Neyman-Scott Rectangular Pulse model)，採用英國10年的歷史雨量資料去模擬，結果在降雨深度(rainfall depth)和乾溼期的比例皆能成功的模擬。

Cowpertwait(1994)作一個一般化的群集卜瓦松過程(Poisson-cluster process)的實證，允許雨量原始鋒面的雨電可以同時存在多種類型並影響降雨強度，其結果指出使用兩種類型雨電的紐曼-史考特矩形跳動模型，其模擬雨量的結果比只使用一種類型雨電的紐曼-史考特矩形跳動模型，更為吻合歷史資料的降雨情況。

Favre(2004)利用最大概似估計法，推導出紐曼-史考特矩形跳動模型參數的最大概似估計量，且其結果顯示，其所估計出之參數具有不偏(unbiased)及能求出絕對極小值，並且能容易且正確的推估出參數的信賴區間。

本研究主要採用一般化的紐曼-史考特的矩形跳動模型(Generalized Neyman-Scott Rectangular Pulses Model)，來作台灣雨量的模擬預測，並以此雨量模擬方法來作為雨量選擇權定價之基礎。

第三章 研究方法與架構

一、雨量選擇權之契約規格

根據台灣的氣候與降雨型態，並參考日本與法國的相關契約，本研究擬使用如下表所示規格之雨量選擇權：

名稱	雨量選擇權
交易標的物	月累積雨量
雨量觀測站地點	新竹(467571) ¹ 、台中(467490)、日月潭(467650)、嘉義(467480)、高雄(467440)、恆春(467590)、宜蘭(467080)、花蓮(466990)、成功(467540)、台東(467660)，共十個測站
合約月份	五月、六月、七月、八月、九月
選擇權型態	買權(call)
合約起始日	各月份第一天 00 時 00 分 00 秒
合約到期日	各月份最後一天 11 時 59 分 59 秒
結算日	每月第一個工作日，以現金結算上月份的合約
履約型態	歐式
履約價	下限為 0，並以 10 公釐為一個跳動單位
契約乘數	每公釐新台幣 200 元

¹ 括號內代表中央氣象局雨量測站代碼。

二、 雨量模型

(一)、模型描述

一般化的紐曼-史考特矩形跳動模型(Generalized Neyman-Scott Rectangular Pulses model; 簡稱 GNSRP model)是一種隨機雨量模型，其透過對鋒面與雨雹各種隨機分配的假設，構成整體雨量架構。

在雨量生成方面，首先假設在降雨發生之前，必須先有鋒面(Original storm)的產生，並假設其產生服從卜瓦松分配；雨雹(Rain cells)的生成在鋒面產生之後，其中雨雹是最主要構成降雨的因子，模型中假設雨雹的產生位置服從指數分配，雨雹的降雨強度(Intensity)服從幾何分配，及雨雹的延時(Duration)服從指數分配，透過這些假設，架構出對於雨量生成的描述。

除此之外，模型假設存在有不同種類的雨雹；Cowpertwait(1994)認為一般降雨中含有兩種類型的雨雹，其中一種是延時短且降雨強度強的雨雹，另一種為延時常且降雨強度小的雨雹。因此透過以上假設，整體雨量模型設計如下所示，其模型參數設定整理表如【表 3.1】：

- (1)降雨過程中，首先降雨鋒面(Original storm)生成，鋒面產生服從卜瓦松分配 (Poisson distribution)。
- (2)每個鋒面有兩種雨雹類型 X_1 、 X_2 ，其發生機率為 α 與 $(1-\alpha)$ 。
- (3)每個鋒面可產生雨雹數目服從幾何分配，其平均數為 μ_c 個。
- (4)每個雨雹發生與鋒面距離服從指數分配，其參數為 β 。
- (5)第一種與第二種雨雹的延時服從指數分配，其參數分別為 η_1 、 η_2 。
- (6)第一種與第二種雨雹的強度服從幾何分配，其平均值分別為 μ_1 、 μ_2 。

(7)在某一時間的雨量，即為該時間點所有雨電強度的加總。

【表 3.1】GNSRP model 參數設定整理表

隨機變數	機率分配	變數	參數
原始鋒面(Original storm)	Poisson	L	λ
雨電數目(Number of cell)	Geometric	C	$1/\mu_c$
雨電位置(Position of cell)	Exponential	B	β
雨電壽命(Duration of cell)	Exponential	$D_1、D_2$	$\eta_1、\eta_2$
雨電強度(Intensity of cell)	Geometric	$X_1、X_2$	$1/\mu_1、1/\mu_2$

(二)、GNSRP(2)雨量模型參數估計

根據 Cowpertwait(1994)推導，一般化紐曼-史考特矩形跳動模型之參數估計式如下所示：

$$E(Y_1^{(h)}) = h\lambda\mu_c \sum_{j=1}^2 \frac{\alpha_j \mu_j}{\eta_j}$$

$$\text{Var}(Y_1^{(h)}) = \sum_{j=1}^2 \left[\frac{2C_j}{\eta_j^2} (h\eta_j + e^{-\eta_j h} - 1) \right] + \frac{2C_\beta}{\beta^2} (h\beta + e^{-\beta h} - 1)$$

$$\text{Cov}(Y_1^{(h)}, Y_{1+k}^{(h)}) = \sum_{j=1}^2 \left[\frac{C_j}{\eta_j^2} e^{-\eta_j(k-1)h} (1 - e^{-\eta_j h})^2 \right] + \frac{C_\beta}{\beta^2} e^{-\beta(k-1)h} (1 - e^{-\beta h})^2$$

$$C_j = \frac{\lambda\mu_c \alpha_j E(X_j^2)}{\eta_j} + \frac{\lambda\beta^2 \mu_j \alpha_j E(C^2 - C)}{\beta^2 - \eta_j^2} \sum_{i=1}^2 \frac{\mu_i \alpha_i}{\eta_i + \eta_j}$$

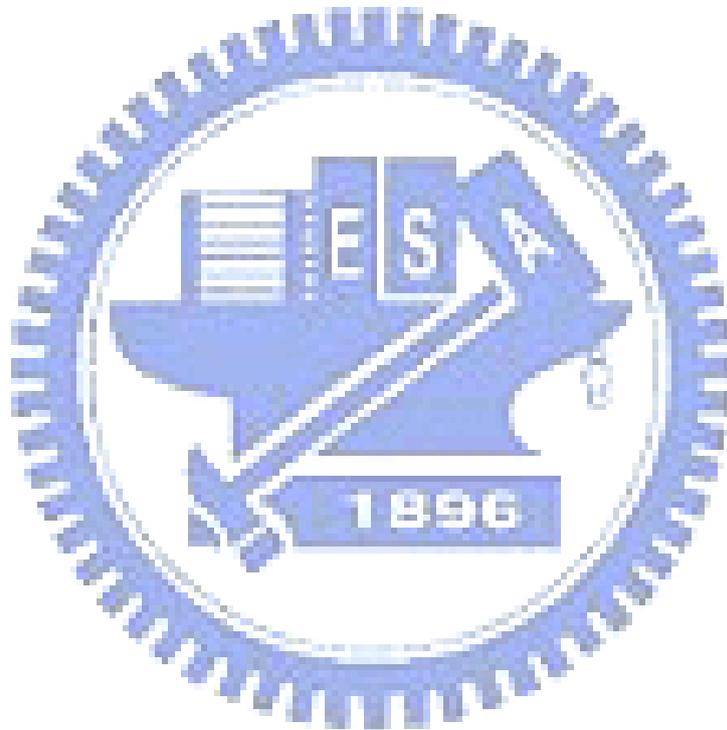
$$C_\beta = -\frac{1}{2} \lambda \beta E(C^2 - C) \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \frac{\mu_i \mu_j \alpha_i \alpha_j}{(\beta - \eta_j)(\beta + \eta_i)}$$

其中

$E(Y_1^{(h)})$ ：在 1 時間點，以 h 小時累積雨量為基礎之雨量平均值

$\text{Var}(Y_1^{(h)})$ ：在 1 時間點，以 h 小時累積雨量為基礎之雨量變異數

$\text{Cov}(Y_1^{(h)}, Y_{1+k}^{(h)})$ ：以 h 小時累積雨量為基礎，在 1 時間點與其 1+k 時間點之共變異數

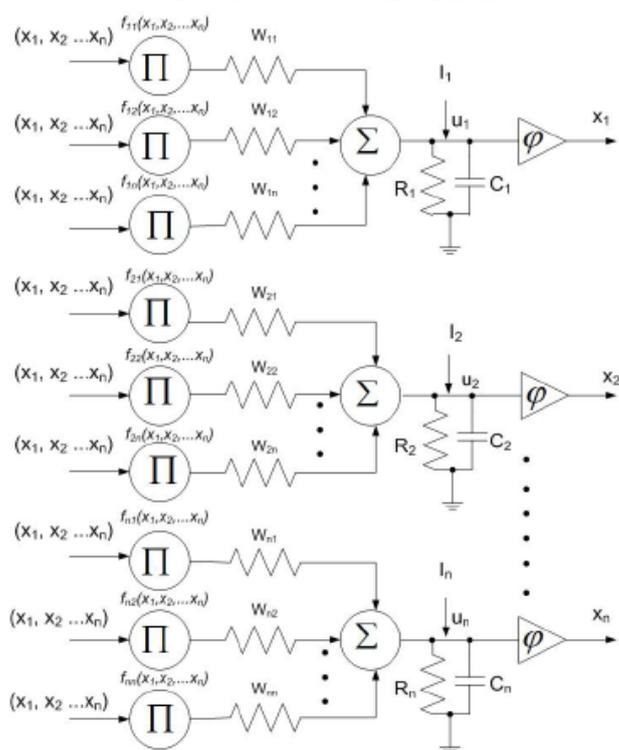


三、 參數估計方法-改良式霍普菲爾神經網路

傳統的霍普菲爾網路，主要是用在自聯想(auto-association)和最適化(optimization)上，Mishra 和 Kalra 在 2007 年時，藉由修改能量函數(Energy function)讓霍普菲爾網路能夠運用在求非線性方程組的數值解上，下面我們介紹改良式霍普菲爾網路的模型與其如何用在解非線性方程組。

改良式霍普菲爾網路模型中，首先由一組輸入訊號 x_1, x_2, \dots, x_n ，此組訊號對整個網路系統會產生一個總能量，在透過系統的轉換後，將會產生另一組新的訊號 x'_1, x'_2, \dots, x'_n ，而此組新的訊號將會使整個網路的總能量降低；因此透過訊號不斷的疊代，整個網路系統的能量遞減並趨於穩定，模型如圖【圖 3.1】所示。我們將利用改良式霍普菲爾網路的特性，求解本研究模型參數。

【圖 3.1】改良式霍普菲爾網路模型(Modified Hopfield Neural Network)



資料來源：Mishra & Kalra(2007), Modified Hopfield Neural Network Approach for

求解非線性方程組：

本研究雨量模型(GNSRP(2) model)中共有八個參數 $(\alpha, \beta, \mu_c, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2)$ ，由於主要目的是求得能適當模擬雨量的模型參數，因此參數估計式的選取對於最後結果不會有決定性的影響。本研究選取了八條參數估計式，依序為 $E(Y_i^{(h=1)})$ 、 $\text{Var}(Y_i^{(h=1)})$ 、 $\text{Var}(Y_i^{(h=3)})$ 、 $\text{Var}(Y_i^{(h=6)})$ 、 $\text{Var}(Y_i^{(h=24)})$ 、 $\text{Cov}(Y_i^{(h=1)}, Y_{i+1}^{(h=1)})$ 、 $\text{Cov}(Y_i^{(h=6)}, Y_{i+1}^{(h=6)})$ 及 $\text{Cov}(Y_i^{(h=24)}, Y_{i+1}^{(h=24)})$ ，我們利用歷史雨量資料，可求出這八個值分別為 P_1, P_2, \dots, P_8 ，

其方程組如下所示：

$$\begin{cases} F_1(\alpha, \beta, \mu_c, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2) = P_1 \\ \vdots \\ F_i(\alpha, \beta, \mu_c, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2) = P_i \\ \vdots \\ F_8(\alpha, \beta, \mu_c, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2) = P_8 \end{cases}$$

能量函數

網路模型中，本研究採用能量函數 $E(\alpha, \beta, \mu_c, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2)$ 如下所示：

$$E(\alpha, \beta, \mu_c, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2) = \sum_{i=1}^8 \left[\frac{F_i(\alpha, \beta, \mu_c, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2)}{P_i} - 1 \right]^2$$

其意義代表著整體方程組的誤差，若能透過改良式霍普菲爾網路的特性，透過不斷的疊代，使得能量函數不斷遞減，則我們將可求得此方程組的數值近似解。

轉換函數

根據 Mishra 和 Kalra 證明，我們只要選取一個合適的轉換函數 $\varphi(\cdot)$ ，其中 $\varphi(\cdot)$ 是 x 與 u 的轉換 ($X = \varphi(u), X, u \in \{\alpha, \beta, \mu_c, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2\}$)，只要 $\varphi(\cdot)$ 滿足連續可微分 (continuously differentiable) 及嚴格單調遞增 (strictly monotonically increasing)，則系統經過轉換後，能量函數將會隨著時間而遞減，其轉換方式如下：

$$u_i(t + \Delta t) = u_i(t) + \Delta t \times \frac{du_i}{dt} \quad \text{其中} \quad \frac{du_i}{dt} = -\frac{\partial E}{\partial x_i}, \quad X, u \in \{\alpha, \beta, \mu_c, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2\}$$

本研究採用純線性函數 (pure linear function) 為轉換函數 ($x=u$)，因此透過不斷的疊代，能量函數將持續遞減及收斂，最後達到一個穩定且相對極小的值，因而可求得方程組的數值近似解。

參數估計之步驟如下：

步驟一：

利用歷史雨量資料，分別求得 $E(Y_i^{(h=1)})$ 、 $\text{Var}(Y_i^{(h=1)})$ 、 $\text{Var}(Y_i^{(h=3)})$ 、 $\text{Var}(Y_i^{(h=6)})$ 、 $\text{Var}(Y_i^{(h=24)})$ 、 $\text{Cov}(Y_i^{(h=1)}, Y_{i+1}^{(h=1)})$ 、 $\text{Cov}(Y_i^{(h=6)}, Y_{i+1}^{(h=6)})$ 、 $\text{Cov}(Y_i^{(h=24)}, Y_{i+1}^{(h=24)})$ ，這八個值，其分別代表 P1、P2、P3、P4、P5、P6、P7 及 P8。

步驟二：

根據改良式霍普菲爾網路，其求解方式如下：

$$u_j(t + 1) = u_j(t) + \Delta t \times \frac{du_j}{dt} \quad \text{其中} \quad \frac{du_j}{dt} = -\frac{\partial E}{\partial x_j} \quad X \in \{\alpha, \beta, \mu_c, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2\}$$

藉由選取適當之 Δt 與起始值 $u_0(t)$ ，網路系統將可使總能量 E 收斂至局部極小值，因此求

得一組參數之數值解($\hat{\alpha}$ 、 $\hat{\beta}$ 、 $\hat{\lambda}$ 、 $\hat{\mu}_C$ 、 $\hat{\eta}_1$ 、 $\hat{\eta}_2$ 、 $\hat{\mu}_1$ 、 $\hat{\mu}_2$)。

四、雨量模擬步驟

由於使用改良式霍普菲爾網路來估計方程式的數值解，方程組解可能不止一組，故需要使用統計檢定方法來確認所估計的參數是否正確。故本研究，採用無母數檢定方法(Kolmogorov-Smirnov test)，檢定估計出參數所模擬的雨量與歷史雨量是否來自同一母體分配，以確認所估計之參數為正確。

因此在模擬雨量方面，首先我們必須利用所估計出來的模型參數，依據雨量模型(GNSRP(2) model)的設定，利用蒙地卡羅法產生雨量。產生完整的雨量後，我們透過K-S檢定，檢定歷史雨量與依據雨量模型所模擬出來的雨量是否來自相同母體分配，若結果顯示兩雨量來自相同分配，則代表我們所估計出的參數為合適的，而模型模擬出來的雨量可代表實際雨量的一種可能；反之，若檢定結果顯示兩雨量非來自相同分配，則我們需重新估計參數。

雨量模擬步驟：

步驟一：

蒐集歷史資料，利用本篇研究之參數估計方法，估計出 $\hat{\alpha}$ 、 $\hat{\beta}$ 、 $\hat{\lambda}$ 、 $\hat{\mu}_C$ 、 $\hat{\eta}_1$ 、 $\hat{\eta}_2$ 、 $\hat{\mu}_1$ 、 $\hat{\mu}_2$ 。

步驟二：

首先 $\hat{\lambda}$ 為參數，產生卜瓦松(Poisson)分配隨機變數，其代表鋒面個數。

步驟三：

依據鋒面個數以 $\hat{\mu}_C$ 為參數，產生幾何(Geometric)分配隨機變數，其代表鋒面之雨電(Rain cell)數目。

步驟四：

以 $\hat{\beta}$ 為參數，產生指數(Exponential)分配隨機變數，其代表雨雹出現的時間位置。

步驟五：

產生一個 0 至 1 均勻(Uniform)分配隨機變數，若其值大於機率 $\hat{\alpha}$ ，其代表第一種雨雹 (type I rain cell)，反之，則代表為第二種雨雹(type II rain cell)

步驟六：

第一種雨雹(type I rain cell)，其雨雹之延時(Duration)為以 $\hat{\eta}_1$ 為參數產生之指數分配隨機變數，雨雹之強度(Intensity)為以 $\hat{\mu}_1$ 為參數產生之幾何隨機變數。

步驟七：

第二種雨雹(type II rain cell)，其雨雹之壽命(Duration)為以 $\hat{\eta}_2$ 為參數產生之指數分配隨機變數，雨雹之強度(Intensity)為以 $\hat{\mu}_2$ 為參數產生之幾何隨機變數。

步驟八：

產生出完整的雨量後，使用無母數統計方法(Kolmogorov-Smirnov test)來檢定歷史時雨量分配與模擬雨量分配是否來自同一母體分配，若結果顯著(P-value<0.05)，則代表所模擬出來之時雨量分配與歷史時雨量分配不同，須回到第一步驟重新估計；若結果不顯著(P-value>0.05)，則代表模擬出來之時雨量分配與歷史時雨量分配，在統計上來自相同母體分配。

五、SCS 曲線值模式

考量雨量所造成之災害，多是由於過多的降雨所造成之逕流與淹水，因此我們希望透過實際降雨量的轉換，轉換為易造成災害的雨量，我們這裡稱為有效雨量，以作為避險時的輔助工具。

為了將實際雨量轉換以達到避險的目的，本研究採用 SCS 曲線值模式(Soil Conservation Service Curve Number model，簡稱 SCS CN model)；SCS 曲線值模式係美國水土保持署所創，主要應用在降雨逕流的估算，而這種方法也被引用至國內，同樣被廣泛的應用。

在 SCS 曲線值的計算中，把雨量以「場」作為區分；其考慮土地覆蓋物、土質入滲率及降雨集中度等因素，將實際雨量扣除降雨因截留、入滲及蒸發等水文因素，所剩餘造成溢流的有效雨量。而本研究所定義之「一場雨」，以歷史雨量中，若兩間隔雨勢在 24 小時內，無零星降雨(過去 24 小時內之累積降雨量小於 1 公釐)之發生，則各稱為「一場雨」；另外，模式之使用，只需要決定曲線值(Curve Number，簡稱 *CN*)一個參數即可，*CN* 值隨土壤種類、土地利用及臨前土壤水分條件而改變，其參考值(見附錄一)。

SCS 曲線值模式，其計算方式如下：

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}, \quad P > 0.2S$$

P_e ：累積有效雨量

P ：累積總雨量

S ：最大滯留量潛勢，其與集水區特性間之關係是透過 *CN* 值決定。

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

第四章 實證結果與分析

一、雨量測站資料選取

資料來源：

本研究採用台灣大學大氣研究資料庫(<http://dbar.as.ntu.edu.tw/>)及中央氣象局地面測站資料。

資料選取：

台灣地區自 1897 年開始有氣象觀測資料，至今已經累積一百多年的長期氣象數據記錄，但並非所有測站資料都很完整，本文選取 1997 年至 2006 年，共 10 年 10 個測站之完整歷史「時雨量」資料，以台灣地區梅雨期的 5、6 月份，以及颱風期的 7、8、9 月的時降雨量資料作為實證的資料，符合台灣氣候雨量的避險需求。

測站選擇：

本研究根據中央氣象局 23 個觀測站裡，考量資料完整性與避險需求性，選定 10 個雨量測站作為分析對象。這 10 個測站分別為：

北部：新竹(467571)

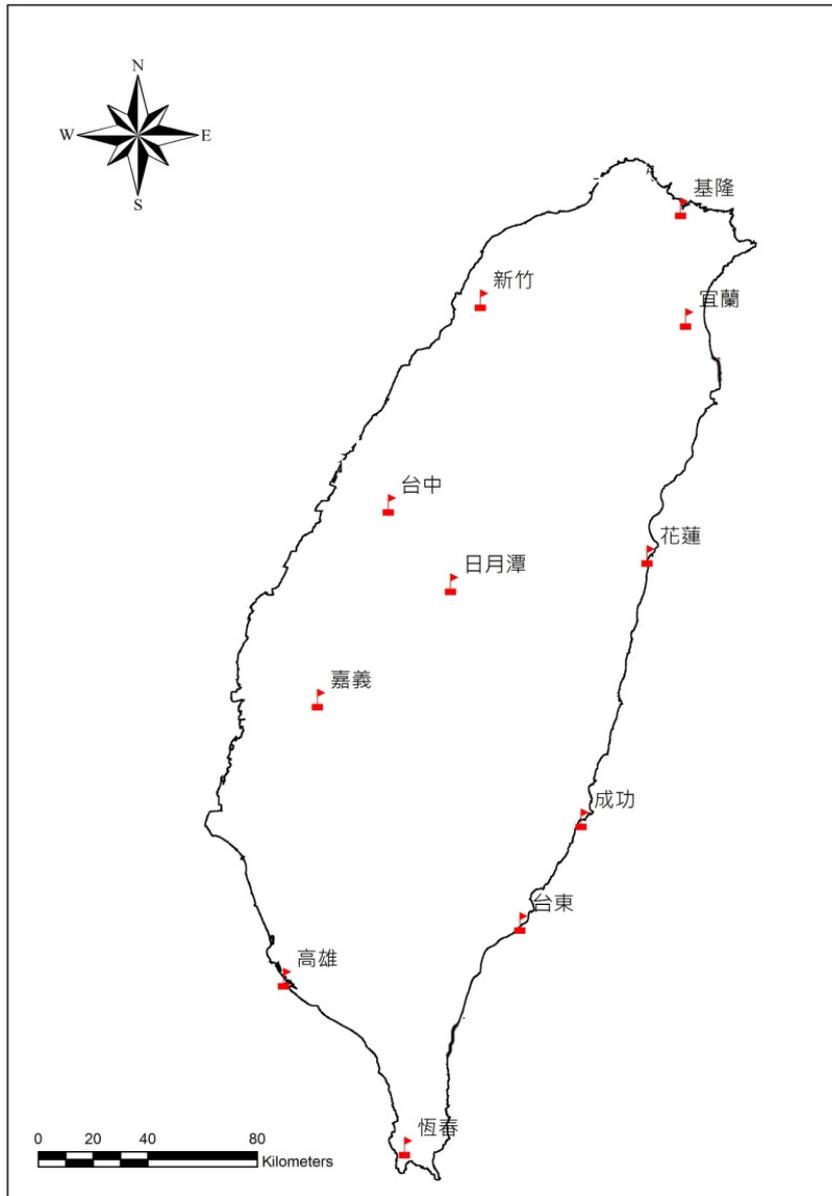
中部：台中(467490)、日月潭(467650)

南部：嘉義(467480)、高雄(467440)、恆春(467590)

東部：宜蘭(467080)、花蓮(466990)、成功(467540)、台東(467660)

其雨量觀測站位置圖如【圖 4.1】所示。

【圖 4.1】雨量觀測站位置圖



二、實證結果

根據 1997 年至 2006 年的歷史資料，我們使用一般化紐曼-史考特矩形跳動模型 (GNSRP Model) 為雨量模型，配合改良式霍普菲爾網路模型求解模型參數，所求得各月分測站參數估計結果 (見附錄二)。

使用蒙地卡羅來模擬各月份測站十年雨量，其與歷史雨量資料的 K-S 檢定 (Kolmogorov-Smirnov test) 結果 (見附錄三)。

由以上結果可以顯示，我們沒辦法拒絕使用 GNSRP(2) 的模型所產生出的雨量資料與歷史資料是來自不同的母體分配，因此我們可以假設利用 GNSRP(2) 雨量模型來作為雨量選擇權定價是合適的工具。

在求得適當的雨量模型參數後，我們用有累積降雨的概念，使用蒙地卡羅法來作各月份選擇權的定價，其步驟如下所示：

步驟一：

利用所求得各月份測站之模型參數，使用蒙地卡羅法模擬 10,000 條時累積降雨量。

步驟二：

模擬出的月累積降雨量值為 X_i ，假設投資者之選擇履約價為 K ，則該模擬雨量路徑之報償 (payoff)，以下列數學式表示：

$$\text{Payoff} = \text{契約乘數} \times \text{Max}(X_i - K, 0)$$

步驟三：

選擇權買權的價格計算，以買權的報償(payoff)以無風險利率(r)折現，求得買權的公平價格，其中 r 為 30 天期的國庫券利率，如下列數學式表示：

$$\text{Call price} = e^{-rt} \times \frac{1}{10,000} \times \sum_{i=1}^{10,000} \text{Max}(X_i - K, 0)$$

由於後面章節的避險範例須使用 200mm 為履約價的選擇權價格，我們在此先以 200mm 履約價為例，假設 30 天期的國庫券利率(無風險利率)為 5%，距離到期日期(t)為 0.08493 年²，因此根據以上定義計算出其選擇權的買權價格(見附錄四)。



² 選擇權到期日為 31 天，換算成年為單位，為 31/365=0.08493 年。

三、使用「雨量選擇權」避險—以瓜農避險為例

西瓜是台灣重要的經濟作物，其主要產期各地不同，但大約主要分部在 6 月至 10 月，由於西瓜本身是種植在地面上，若期間有大雨發生造成瓜田淹水，將造成瓜農損失；且西瓜主要產季又逢梅雨與颱風時期，故有避險之必要。

根據農委會統計，花蓮縣從民國 89 年至民國 95 年，西瓜受到颱風與豪雨災害的損失統計資料如【表 4.1】所示：

【表 4.1】花蓮縣歷史西瓜受颱風與豪雨災害損失情形

時間		實際種植面積 (公頃)	損害面積 (公頃)	預估損失 金額(千元)	累積降雨 (公釐)	累積有效 降雨(公釐) ³
95 年	5 月	1,102	66.60	55,170	310.5	266.45
95 年	7 月	1,035.4	17.00	7,950	214.5	187.96
94 年	7 月	1,081	520.60	113,530	492.5	484.13
94 年	8 月	560.4	4.80	1,440	358.5	327.51
93 年	7 月	1,180	301.00	10,671	471.0	457.58
92 年	9 月	879	66.00	18,950	393.0	358.69
90 年	7 月	1,049	210.00	76,036	451.0	416.54
89 年	7 月	1,255	20.00	4,856	204.5	178.97
89 年	8 月	1,255	616.00	208,519	399.0	381.64

³ 根據附錄二，我們假設西瓜種植地的 Curve Number 為 60，並依據此假設使用公式計算出累積有效降雨。

我們假設損失百分比(損害面積/實際種植面積)為Y, 累積降雨量為X, 作迴歸分析, 其結果如【表 4.2】所示。

【表 4.2】損失百分比與月累積降雨量之迴歸分析結果

損失百分比(Y _i)	累積有效降雨(X _i)	迴歸分析結果					
6.04355	266.45	迴歸統計					
1.64187	187.96	R 平方	0.541838				
48.1591	484.13	觀察值個數	9				
0.85653	327.51	ANOVA 分析					
25.5084	457.58		自由度	SS	MS	F	顯著值
5.96745	358.69	迴歸	1	1654.95	1654.95	8.2784	0.02375
20.0190	416.54	殘差	6	1558.51	259.7513		
1.56862	178.97	總和	7	2902.78			
49.0836	381.64						

由上迴歸分析結果, 我們可以得知損失百分比(Y)與月累積有效降雨量(X)存在有線性關係, 其之統計迴歸式, 如下所示:

$$Y_i = -26.7181 + 0.1305 \times X_i$$

我們由上式迴歸式可估計, 當累積降雨量達到約 200 公釐時, 會開始造成損失; 因此瓜農為了規避種植期間, 過多的降雨所造成的損失, 可考慮選擇購買履約價格為 200 公釐的雨量選擇權商品。

希臘字母(Greek letters) - Delta

針對花蓮縣八月份的累積雨量, 我們希望計算當累積雨量每變動 1 公釐將造成選擇

權買權的價值變動多少(delta 值)，以求得其避險比率；首先我們分別假設初始累積雨量分別為-1(mm)、0(mm)及 1(mm)，並假設 30 天期國庫券利率(無風險利率)為 5%，距離到期日天期為 0.08493 年，使用蒙地卡羅模擬法，計算出這三個初始值的選擇權價格，如【表 4.3】。

【表 4.3】花蓮縣八月份累積雨量選擇權價格變動表

累積雨量初始值	-1(mm)	0(mm)	1(mm)
選擇權價格	79.03	79.43	79.82

$$\text{delta} = \frac{\Delta c_1}{\Delta S_1} = \frac{c_{1mm} - c_{-1mm}}{S_{1mm} - S_{-1mm}} = \frac{79.82 - 79.03}{2} = 0.395$$

由花蓮縣 1997-2006 年 5-9 月份的累積降雨量與累積有效降雨量資料(如附錄一)，我們欲求算當累積降雨量變動一單位時，累積有效降雨量會變動多少單位？我們使用簡單迴歸分析，根據附錄一，可得迴歸式如下：

$$S_1 = 105.0358 + 1.1995 \times S_2 \Rightarrow \frac{dS_1}{dS_2} = 1.1995$$

除此之外，估計的損失金額可由下列公式估算：

$$\text{估計損失金額(千元)} = (\text{損失百分比} \times \text{種植面積} \times c) \times P$$

其中 c 值為每單位面積(公頃)的農作物產量(噸)、P 為西瓜單位價格(千元/公噸)

假設 96 年瓜農老王由市場上得知每單位面積的西瓜產量(c 值)為 28(噸/公頃)，積瓜的單位價格為 17.52(千元/公噸)，因此我們可知每增加 1 公釐之累積有效雨量對於瓜農所造成的損失約為 64,020 元，計算方式如下：

每增加 1mm 的累積有效雨量所造成的損失(千元) $=0.001305 \times 1 \times 28 \times 17.52 = 640$ 元

每購買一口履約價為 200 公釐的雨量選擇權，對於每增加 1mm 的累積有效雨量可規避的損失金額約為 94.84，計算方式如下：

$$\frac{\Delta C_1}{\Delta S_2} = \text{delta}_1 \times \frac{\Delta S_1}{\Delta S_2} = 0.395 \times 1.1995 = 0.4738$$

購買一口選擇權可規避的損失金額 $=200 \times 0.4738 = 94.76$ (元)

因此，瓜農老王欲規避當有效雨量達 200 公釐以上的損失時，可購買約 7 口⁴履約價為 200 公釐之雨量選擇權。



⁴ 購買一口選擇權，每增加 1mm 的累積有效雨量可獲得之利益為 94.76 元，每增加 1mm 的累積有效雨量所造成的損失為 640 元，因此須購買約 $640/94.76 \approx 7$ 口。

第五章 結論與建議

一、結論

本研究以一般化的紐曼-史考特矩形跳動模型(Generalized Neyman-Scott Rectangular Pulses Model, 簡稱 GNSRP model)作為雨量模型，在模型中我們假設鋒面的產生服從卜瓦松分配、鋒面中雨雹的數目及強度服從幾何分配及雨雹產生的位置及延時(duration)服從指數分配，另外還假設有兩種類型的雨雹，其發生機率分別為 α 及 $(1-\alpha)$ ；透過這些的基本假設，我們可以利用歷史降雨資料求得這些模型之參數，並作地區之雨量模擬工作。

選定台灣北、中、南及東部地區共 10 個測站為研究目標，並以 10 年的歷史資料為基礎，使用改良式的霍普菲爾神經網路模型來進行模型中 8 個非線性方程組的求解，由於實際解可能不唯一，因此後續再透過無母數統計檢定(Kolmogorov-Smirnov test)方法，以確定使用 GNSRPM 所模擬出來的雨量與該測站的歷史雨量為是來自同母體的分配，即確認參數的估算是否正確。

在完成模型參數估算後，我們使用蒙地卡羅模擬法(Monte Carlo Simulation)，藉由模擬 10,000 條雨量來作雨量選擇權定價，並以此雨量選擇權來作各種避險動作。文中以花蓮縣的瓜農避險為例，我們利用 SCS 曲線值模式將累積雨量轉換成累積有效降雨的概念，將雨量與農業損失作更緊密的結合，最後再透過希臘字母的概念來作完整的避險。

二、建議

國外在水資源及水利工程等期刊中，已發展出多種雨量隨機模型，且精細度也越來越高，但在如何使用這些模型來作為避險工具的研究卻是寥寥無幾，本研究後面雖有稍微著墨於實際避險之應用，但由於實際資料不夠完整及損失資料皆是以颱風事件來統計及實際損失是否與記錄之損失相符，這些問題及資料不足造成在作避險研究時困難重重。除此之外，累積有效雨量與實際損失可能存在非線性關係，用一般線性方法去推估可能會造成誤差較大，或在較為極端的降雨部分估計不正確，要修正這些問題，也仰賴著更為詳盡的資料，才能建立更為精準及精確的模型。

台灣由於地理位置影響，雨量所造成之災害損失非常嚴重，因此非常適合也有必要發展以雨量為基礎的衍生性金融商品；完整、正確及具有公信力的雨量損失資訊的建立，不但可以幫助發行機構能更精確的建立模型，更比較容易吸引投資人與投機客的進入，如此才能活絡市場；未來研究方向除了更精細的雨量模型設計外，資訊建立才是雨量衍生性商品能否成功發展的關鍵，這也仰賴政府的協助與後續在避險應用的持續研究。

參考文獻

中文部分：

1. 何鎮宏，「建立我國氣候選擇權評價模型之研究」，淡江大學經濟系應用經濟學碩士班，碩士論文，民國91年
2. 吳進益，「氣候選擇權評價模式之研究」，淡江大學財務金融學系碩士班，碩士論文，民國90年
3. 涂建翊等編著，台灣的氣候，遠足文化事業有限公司，第一版，民國92年
4. 陳文波，「氣候衍生性商品-研究台灣雨量選擇權」，交通大學財務金融所，碩士論文，民國95年
5. 詹佳芳，「氣候風險市場價格與商品評價」，中正大學財務金融所，碩士論文，民國94年
6. 賴怡帆，「建立我國氣候選擇權評價模型-控制變異數之研究」，淡江大學經濟系應用經濟學碩士班，碩士論文，民國92年
7. 藍先中，「以雨量選擇權建構政府對農業損失避險機制」，輔仁大學金融研究所，碩士論文，民國97年

英文部分：

1. Anne-Catherine Favre, André Musy, Stephan Morgenthaler, “Unbiased parameter estimation of the Neyman-Scott model for rainfall simulation with the related confidence interval.”, Journal of Hydrology, 286, pp.168-178, 2004
2. Carlo, A.M., Yasuto, T., Kaoru, T., “Quantiles of the Neyman-Scott Rectangular Pulse Rainfall Model for Hydrologic Design.”, Annals of Disas.

Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No. 49, 2006

3. Campbell, S., Diebold, F.X., "Weather Forecasting for Weather Derivatives", NBER Working Paper, No. W10141, 2003
4. Calenda, G., Napolitano, F., "Parameter estimation of Neyman-Scott processes for temporal point rainfall simulation.", Journal of Hydrology, 225, pp. 45 - 66, 1999
5. Mishra, D., Kalra, P.K., "Modified Hopfield Neural Network Approach for Solving Nonlinear Algebraic Equations.", Engineering Letters, 14:1, EL_14_1_23, 2007
6. Paul S. P. Cowpertwait, "A generalized point process model for rainfall.", Proceedings of the Royal Society, London A 447, pp. 23-37, 1994
7. Paul S. P. Cowpertwait, "A Poisson-Cluster Model of Rainfall: High-Order Moments and Extreme Values", Mathematical, Physical and Engineering Sciences, Vol. 454, pp. 885-898, 1998
8. Paul S. P. Cowpertwait et al., "Point process models of rainfall: Developments for fine-scale structure.", Research report, No. 277, 2007
9. Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D.R., Isham, V., "Some models for rainfall based on stochastic point processes.", Proceedings of the Royal Society, London A 410, pp. 269-288, 1987
10. Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D.R., Isham, V., "A Point Process Model for Rainfall: Further Developments", Proceedings of the Royal Society, London A 417, pp. 283-298, 1988
11. US Army Corps of Engineers -Hydrologic Engineering Center, "Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)", Technical Reference Manual, pp.125., 2000,

附錄一、SCS 曲線值參考數值

SCS TR-55 農地之地表逕流曲線值

地表覆蓋狀況		不同水文土壤群 之曲線值			
覆蓋型態	水文條件	A	B	C	D
放牧地 – 做為放牧的牧草原 ¹	不良	68	79	86	89
	中等	49	69	79	84
	良好	39	61	74	80
草地 – 僅割草做為飼料，但做不放牧	--	30	58	71	78
灌木 – 灌木及野草混生但以灌木為主 ²	不良	48	67	77	83
	中等	35	56	70	77
	良好	30 ³	48	65	73
果園或林場（樹木及草混合） ⁴	不良	57	73	82	86
	中等	43	65	76	82
	良好	32	58	72	79
森林 ⁵	不良	45	66	77	83
	中等	36	60	73	79
	良好	30	55	70	77
農莊 – 建築物、小路、車道及周邊土地	-	59	74	82	86

¹ 不良：<50%地表覆蓋或嚴重放牧無覆蓋層
 中等：50 to 70% 地表覆蓋且無嚴重放牧
 良好：>75% 地表覆蓋且輕微或僅偶爾放牧

² 不良：<50%地表覆蓋
 中等：50 to 70%地表覆蓋
 良好：>75%地表覆蓋

³ 實際曲線值小於 30，逕流演算採用 CN=30

⁴ 所列之 CN 值為利用 50% 牧草覆蓋面積計算求得。其他條件組合應利用森林及放牧地之個別 CN 值按面積比例計算。

⁵ 不良：森林枯枝落葉層、小樹及灌木遭受嚴重放牧或定期焚燒而破壞
 中等：森林有放牧但未焚燒且有部份枯枝落葉層覆蓋土壤
 良好：森林未放牧且枯枝落葉層及灌木完整覆蓋土壤

資料來源：Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), Technical Reference Manual, US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, pp.125., 2000,

附錄二、五至九月份各測站模型參數估計結果

五月份各測站參數估計結果

5 月	日月潭	成功	宜蘭	嘉義	台東
$\hat{\alpha}$	0.268722	0.457972	0.695528	0.151968	0.319794
$\hat{\beta}$	0.002108	0.120618	0.077725	0.095319	0.064733
$\hat{\lambda}$	17.824615	11.441355	6.202479	4.878121	11.174562
$\hat{\mu}_C$	0.007361	0.011778	0.023404	0.011021	0.006581
$\hat{\eta}_1$	9.296157	11.623575	8.220148	12.922445	10.760848
$\hat{\eta}_2$	1.483719	2.118184	1.390888	1.483996	1.978134
$\hat{\mu}_1$	14.822933	13.789212	14.320845	27.482983	14.424572
$\hat{\mu}_2$	6.879995	4.189078	7.013364	7.360909	5.28222
E^5	0.434942	0.141769	0.561706	0.026146	0.018653
	高雄	恆春	新竹	花蓮	台中
$\hat{\alpha}$	0.28966	0.200811	0.494744	0.289702	0.274324
$\hat{\beta}$	0.020521	0.040954	0.13041	0.020204	0.083435
$\hat{\lambda}$	19.529649	3.460589	13.147946	19.526228	9.079817
$\hat{\mu}_C$	0.005166	0.007272	0.010922	0.00514	0.008633
$\hat{\eta}_1$	12.858223	13.094937	11.047029	12.858252	16.426388
$\hat{\eta}_2$	1.623256	1.212685	1.879484	1.623533	1.915308
$\hat{\mu}_1$	11.871988	27.399587	14.017176	11.871957	25.497455
$\hat{\mu}_2$	7.603659	11.161302	8.106212	7.603039	10.530418
E	0.483875	0.044317	0.219717	0.754393	0.043931

⁵ 能量函數， $E = \sum_{i=1}^8 \left[\frac{F_i(\alpha, \beta, \mu_C, \lambda, \eta_1, \eta_2, \mu_1, \mu_2)}{P_i} - 1 \right]^2$

六月份各測站參數估計結果

6月	日月潭	成功	宜蘭	嘉義	台東
$\hat{\alpha}$	0.334361	0.388893	0.551946	0.14684	0.279493
$\hat{\beta}$	0.021603	0.058394	0.008838	0.041603	0.070007
$\hat{\lambda}$	18.947131	15.673466	19.400149	17.286025	17.465369
$\hat{\mu}_c$	0.006795	0.006669	0.007551	0.007709	0.006467
$\hat{\eta}_1$	13.480834	11.346428	10.179053	9.374168	9.295989
$\hat{\eta}_2$	1.727249	2.00217	1.630055	1.949938	1.535317
$\hat{\mu}_1$	27.23737	14.016027	14.322865	15.410699	14.820003
$\hat{\mu}_2$	10.387286	7.67813	6.459422	10.483574	5.21191
E	0.010233	0.027309	0.847444	0.119569	0.014988

	高雄	恆春	新竹	花蓮	台中
$\hat{\alpha}$	0.259089	0.269197	0.243572	0.350071	0.059354
$\hat{\beta}$	0.043148	0.018366	0.079135	0.242931	0.038333
$\hat{\lambda}$	20.038032	19.444252	14.571635	10.722977	22.579354
$\hat{\mu}_c$	0.007101	0.005808	0.008148	0.011317	0.007406
$\hat{\eta}_1$	7.058723	7.122655	10.945428	9.342096	9.17561
$\hat{\eta}_2$	1.299369	1.174512	1.894001	1.561179	2.080725
$\hat{\mu}_1$	16.045269	16.017603	14.085954	11.981975	15.532581
$\hat{\mu}_2$	8.208276	10.381403	7.35489	4.731667	7.499781
E	0.032681	0.043629	0.071597	0.169723	0.028992

七月份各測站參數估計結果

7月	日月潭	成功	宜蘭	嘉義	台東
$\hat{\alpha}$	0.330638	0.192829	0.541093	0.265469	0.166312
$\hat{\beta}$	0.041768	0.061106	0.060435	0.046894	0.056049
$\hat{\lambda}$	19.014866	16.382834	20.264976	9.732258	14.669477
$\hat{\mu}_c$	0.008524	0.004756	0.005403	0.009175	0.004525
$\hat{\eta}_1$	13.477801	10.546713	10.154644	12.495127	14.840861
$\hat{\eta}_2$	1.710741	1.692211	1.599954	1.402402	1.349622
$\hat{\mu}_1$	27.2389	14.377654	14.340146	27.702001	26.322932
$\hat{\mu}_2$	10.41973	9.473401	6.529735	13.560549	7.627402
E	0.067851	0.015871	0.094928	0.014058	0.031381

	高雄	恆春	新竹	花蓮	台中
$\hat{\alpha}$	0.134836	0.28223	0.293435	0.133675	0.106937
$\hat{\beta}$	0.105061	0.064595	0.218747	0.067666	0.071274
$\hat{\lambda}$	24.093375	19.146662	15.649923	20.518842	20.882295
$\hat{\mu}_c$	0.007141	0.0068	0.008286	0.00168	0.006212
$\hat{\eta}_1$	9.367004	9.037106	9.422309	16.202894	9.236364
$\hat{\eta}_2$	2.007263	1.444742	1.596127	1.603096	2.115416
$\hat{\mu}_1$	15.462408	14.987106	14.747269	25.63518	15.505275
$\hat{\mu}_2$	8.545132	8.126508	3.629826	12.654071	9.291715
E	0.072840	0.004984	0.135144	0.062259	0.098785

八月份各測站參數估計結果

8 月	日月潭	成功	宜蘭	嘉義	台東
$\hat{\alpha}$	0.116553	0.037615	0.166086	0.312203	0.196672
$\hat{\beta}$	0.087995	0.056473	0.109859	0.090334	0.022787
$\hat{\lambda}$	20.66552	36.446815	16.35883	6.293854	23.464125
$\hat{\mu}_c$	0.009134	0.002713	0.007734	0.016864	0.001776
$\hat{\eta}_1$	9.580897	9.115619	10.649149	8.146682	12.160117
$\hat{\eta}_2$	2.123492	1.730253	1.871718	1.374421	1.250616
$\hat{\mu}_1$	15.29785	15.549707	14.303826	14.390644	27.850811
$\hat{\mu}_2$	6.301546	9.4668	5.636747	9.249801	13.953477
E	0.056796	0.009558	0.015323	0.081900	0.045386
	高雄	恆春	新竹	花蓮	台中
$\hat{\alpha}$	0.223605	0.27308	0.080414	0.185767	0.244152
$\hat{\beta}$	0.022462	0.032771	0.07803	0.056609	0.001836
$\hat{\lambda}$	10.276487	18.422678	14.972308	21.340554	15.440512
$\hat{\mu}_c$	0.007332	0.00654	0.003399	0.002992	0.0055
$\hat{\eta}_1$	13.896466	9.274412	9.391773	16.282267	9.658
$\hat{\eta}_2$	1.252554	1.493499	1.774095	1.833836	1.372014
$\hat{\mu}_1$	26.887268	14.846234	15.386698	15.151826	14.592147
$\hat{\mu}_2$	9.361489	8.080563	8.071338	9.674926	9.763743
E	0.017309	0.024006	0.024427	0.024595	0.566092

九月份各測站參數估計結果

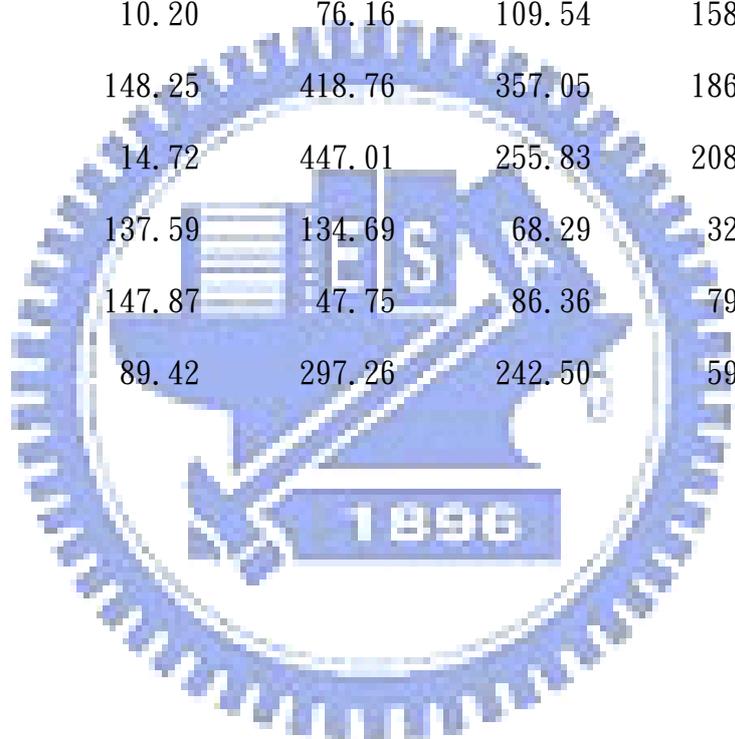
9月	日月潭	成功	宜蘭	嘉義	台東
$\hat{\alpha}$	0.897533	0.103278	0.032647	0.061871	0.275715
$\hat{\beta}$	0.004998	0.054508	0.048833	0.072549	0.072802
$\hat{\lambda}$	9.418581	18.711716	22.101482	26.632942	18.725483
$\hat{\mu}_c$	0.007418	0.00874	0.008068	0.001517	0.005963
$\hat{\eta}_1$	5.93806	9.300201	9.242475	9.193352	9.125068
$\hat{\eta}_2$	0.936211	2.137272	2.033166	1.469152	1.479843
$\hat{\mu}_1$	15.432029	15.462777	15.466292	15.500492	14.925551
$\hat{\mu}_2$	12.816724	6.992046	7.329978	12.533438	6.460406
E	0.483119	0.046987	0.015746	0.021322	0.024332
	高雄	恆春	新竹	花蓮	台中
$\hat{\alpha}$	0.269516	0.270779	0.215206	0.124518	0.289555
$\hat{\beta}$	0.082347	0.022579	0.049555	0.063871	0.059213
$\hat{\lambda}$	9.161117	17.336773	35.151525	19.984413	17.176471
$\hat{\mu}_c$	0.008882	0.005637	0.002062	0.007251	0.003893
$\hat{\eta}_1$	16.421474	9.360455	9.100412	9.206422	9.208955
$\hat{\eta}_2$	1.911507	1.481915	1.160154	2.063333	1.461223
$\hat{\mu}_1$	25.497741	14.795418	15.55979	15.520425	14.876116
$\hat{\mu}_2$	9.784207	9.260636	6.91309	9.484928	7.54461
E	0.013217	0.027872	0.074193	0.057610	0.208236

附錄三、五至九月份各測站模擬資料與歷史資料 K-S 檢定結果

	五月份	六月份	七月份
日月潭	0.404341408	0.077447043	0.641208852
成功	0.297789467	0.585298871	0.478066137
宜蘭	0.080797629	0.571481863	0.752347637
嘉義	0.853059757	0.829553062	0.348388316
台東	0.66931515	0.381331907	0.655264495
高雄	0.655264495	0.297789467	0.147480412
恆春	0.205256796	0.244159427	0.198081320
新竹	0.490980372	0.885551911	0.981386589
花蓮	0.153172334	0.307474492	0.490980372
台中	0.191101594	0.252560846	0.359156849
	八月份	九月份	
日月潭	0.12152529	0.337834778	
成功	0.81731845	0.613156983	
宜蘭	0.829553062	0.184314843	
嘉義	0.627167051	0.530645615	
台東	0.359156849	0.77899339	
高雄	0.381331907	0.404341408	
恆春	0.261173744	0.235967731	
新竹	0.131419728	0.21263069	
花蓮	0.440359886	0.39273381	
台中	0.220205559	0.13660741	

附錄四、履約價格為 200 mm 之各月份測站選擇權買權價格

	五月份	六月份	七月份	八月份	九月份
日月潭	65.13	254.80	495.35	265.66	22.70
成功	11.39	65.75	147.61	258.93	243.97
宜蘭	98.44	92.41	97.79	112.50	344.98
嘉義	20.21	310.55	326.81	204.96	149.43
台東	10.20	76.16	109.54	158.25	161.33
高雄	148.25	418.76	357.05	186.79	79.78
恆春	14.72	447.01	255.83	208.74	200.82
新竹	137.59	134.69	68.29	32.54	181.78
花蓮	147.87	47.75	86.36	79.43	314.89
台中	89.42	297.26	242.50	59.79	54.27



附錄五、花蓮縣 1997-2006 年 5 至 9 月份月累積降雨量與月累積有效降雨

量迴歸分析

年度	月份	累積雨量(mm)(S ₁)	累積有效雨量(mm)(S ₂)
1997	5	75	1.42
1997	6	285	114.48
1997	7	58.5	0.34
1997	8	461.5	336.16
1997	9	32.5	6.71
1998	5	468.5	255
1998	6	176	64.92
1998	7	14	0
1998	8	145.5	31.69
1998	9	437	196.15
1999	5	198	47.08
1999	6	306	136.38
1999	7	41	0
1999	8	224	78.43
1999	9	340	145.23
2000	5	103.5	7.98
2000	6	184	50.17
2000	7	204.5	106.38
2000	8	399	285.63
2000	9	102	2.78
2001	5	299.5	98.48
2001	6	213	53.41
2001	7	451	221.01
2001	8	52	0.39
2001	9	994	745.07
2002	5	49.5	0.03
2002	6	90	4.55
2002	7	242	141.61
2002	8	172.5	74.92
2002	9	174.5	40.94
2003	5	7	0
2003	6	79.5	2.08

2003	7	25	0
2003	8	144	36.59
2003	9	393	189.09
2004	5	179.5	16.09
2004	6	142.5	16.71
2004	7	471	378.9
2004	8	51	1.43
2004	9	347.5	214.77
2005	5	240	57.05
2005	6	212	49.38
2005	7	492.5	382.32
2005	8	358.5	173.76
2005	9	709	546.64
2006	5	310.5	91.13
2006	6	235.5	74.27
2006	7	214.5	60.33
2006	8	314	136.72
2006	9	272	111.19

迴歸統計

R 平方 **0.919769**
 觀察值個數 50

ANOVA 分析

	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	1	1596449	1596449	550.2732	6.03E-28
殘差	48	139257	2901.194		
總和	49	1735707			

迴歸式：

$$S_1 = 105.0358 + 1.1995 \times S_2$$