

國立交通大學

管理學院碩士在職專班財務金融組

碩士論文

實質選擇權賽局於電腦產業因應低碳投資之應用

Strategic Investment as a Real Options Game :
An Application to Low-carbon Investment of Computer Industry
Responses to Climate Change

研究生：高萱齡

指導教授：黃星華 博士

中華民國九十九年六月

實質選擇權賽局於電腦產業因應低碳投資之應用

Strategic Investment as a Real Options Game :
An Application to Low-carbon Investment of Computer Industry
Responses to Climate Change

研究生：高萱齡

Student: Kao, Hsuan-Lin

指導教授：黃星華 博士

Advisor: Dr. Huang, Hsing Hua

國立交通大學

管理學院碩士在職專班財務金融組



Submitted to Graduate Institute of Finance

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in Finance

June 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年六月

實質選擇權賽局於電腦產業於因應低碳投資之應用

學生：高萱齡

指導教授：黃星華 博士

國立交通大學管理學院碩士在職專班財務金融組

摘要

全球暖化改寫了企業經營風險，面對來自於供給面和需求面之環境和行為改變，本篇研究試圖解答開發在追求股東權益最大化目標下，企業是否具足夠動機研發和量產低碳商品。

本篇研究探討價格競爭之電腦產業於低碳商品之投資決策，以台灣宏碁公司其美國市場之競爭者為研究案例，運用兩期之實質選擇權賽局法分析該公司是否應進行低碳之「塑膠再生料電腦」之研發投資。

於本研究假設前提下，本研究發現 Acer 公司評估於美國電腦市場之投資決策時，綜合考量(1)碳排放政策、(2)研發之實質選擇權及(3)競爭對手互動反應後，應選擇進行「塑膠再生料電腦」研發，以獲取最大利益。經敏感性分析發現，決定投資價值主要因素為(1)投資低碳商品對 Acer 公司未來之成本效益(即，暖化政策)，以及(2)需求量對 Acer 產品價格敏感性(即，消費者態度)。

關鍵字：暖化；氣候變遷；低碳；投資；實質選擇權賽局；電腦產業

Strategic Investment as a Real Options Game : An Application to Low-carbon Investment of Computer Industry Responses to Climate Change

Student: Kao, Hsuan-Lin

Advisor: Dr. Huang, Hsing Hua

Graduate Institute of Finance
College of Management
National Chiao Tung University

Abstract

The global warming is changing behaviors of supply and demand. The study attempts to resolve whether companies have enough motivations to investing in low-carbon products to maximize shareholder value.

The article uses two-stage Real Options Game Methodology to analyze how computer industry faces the limitation on greenhouse gases emissions(GHG), which is an additional cost to every company doing business in US market, and examine Acer and its competitors regarding the low-carbon investment on Post-Consumer Recycled Plastic Material Computer as case study.

Under the assumptions of this thesis and the conditions of price competition, the study finds that considering (1) U.S. GHG regulations, (2) R&D Real options, and (3) competitors' reactions, the optimal decision of Acer is to invest in the Post-Consumer Recycled Plastic Material Computer to achieve maximum return. Through scenario analyses, this paper finds two key factors that determines investment value; they are (1) the future cost-effectiveness generated by low-carbon products for Acer (base on warming policy), and (2) elasticity of demand on price in Acer's product (depending on consumers' attitudes).

Keywords : global warming ; climate change ; low-carbon investment ; real options game ; computer industry

誌 謝

感謝每一位疼愛我的家人無怨付出和體諒；

感謝 Dr. Triple H(黃星華博士)對我的認真指導；

感謝主管和同事的全力支持，尤其感謝好友敏志；

感謝交大財金所治學嚴謹的老師伴我充實豐富的兩年；

感謝熱心的學長姊弟妹和所辦的稚螢在疑難雜症上的協助；

感謝口試委員的寶貴意見和財金所同學這兩年間的鼓勵和切磋。

特別感謝先生的包容和鼓勵，

讓我得以完成學業；



也謝謝所有為了解開氣候變遷之謎，

和尋求遏止暖化解決方案而奮力不懈的

學者、企業家和願意做出改變的每一位朋友。

目 錄

中文摘要	ii
英文摘要	iii
致 謝	iv
目 錄	v
表目錄	vi
圖目錄	vii
一、緒論	
1.1 研究背景與研究動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究架構與流程	2
二、背景回顧	
2.1 全球暖化問題與成因	3
2.2 暖化引發之現象及其影響	4
2.3 國際減碳政策與趨勢	8
2.4. 企業減碳動機	15
三、文獻探討	
3.1 淨現值法	17
3.2 實質選擇權分析法	17
3.3 實質選擇權賽局	17
四、模型建構	
4.1 研究方法和模型假設	19
4.2 決策樹	19
4.3 價格競爭模型	25
4.4 回溯推導	26
五、案例研究	
5.1 案例背景回顧	28
5.2 案例研究	31
5.2.1 模型假設	31
5.2.2 回溯推導	32
5.3. 敏感性分析	36
六、結論	39
參考文獻	40



表 目 錄

表一	：溫室氣體種類及主要來源	3
表二	：美國新聞週刊綠色評分表	14
表三	：不同市場架構下的均衡價格	26
表四	：2010 年第一季美國 PC 製造商銷售量	28
表五	：同時賽局(一般法) 釋例	33
表六	：需求曲線敏感性分析	36
表七	：Acer 公司成本敏感性分析	37
表八	：其他敏感性分析	37



圖目錄

圖一	：歷年參與 CDP 企業家數	13
圖二	：研發投資決策樹	20
圖三	：接續賽局決策樹	20
圖四	：同時賽局決策樹	21
圖五	：第 0 期決定投資 K 之決策樹	23
圖六	：第 0 期決定不投資 K 之決策樹	24
圖七	：選擇權價值	26
圖八	：Acer 公司溫室氣體排放量	29
圖九	：HP 公司溫室氣體排放量	29
圖十	：Dell 公司溫室氣體排放量	30
圖十一	：接續賽局回溯推倒方法釋例	33
圖十二	：同時賽局回溯推倒方法釋例	33
圖十三	：Acer 公司第 0 期決定投資 K 之決策樹	34
圖十四	：Acer 公司第 0 期決定不投資 K 之決策樹	35
圖十五	：Acer 公司投資 K 與不投資 K 之價值	36

一、緒論

緒論內容共分為三節，第一節說明本研究之研究背景與動機，第二節闡述本研究之研究目的，第三節則說明本研究之研究架構與流程。

1.1 研究背景與研究動機

撰寫本研究時，中國大陸西南五省仍陷入自 2009 年秋延續至今的百年不遇大旱，而同時西北的新疆卻有 130 萬人苦於遭遇大雪融化帶來的水患。這只是眾多氣候變遷實例中的一角，全球暖化造成的氣候變遷導致世界各地災難頻傳，企業營運風險大幅增高，異常氣候所致之生產設備毀損、原物料價格飆漲、交通運輸中斷、非計畫之斷電停水等，不僅加劇企業獲利波動性，進而影響股東、債權人及員工之財富水平，和政府稅務收入與綜合支出。由於暖化的肇因起於源人類活動所排放之大量溫室氣體遠超過地球自然生態循環負荷所致(聯合國跨政府氣候變遷小組 Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2007)[1]，近年來，政治家、學者、媒體皆積極呼籲政府、企業和個人致力投入減緩溫室氣體排放，以拯救地球。

氣候變遷對世界的影響和潛在威脅巨大(2050 中國能源和碳排放報告)[2]，IPCC (2007)提出嚴重警告：要達到一個較安全的平衡，則全球溫室氣體排放總量最遲應在 2015 年達到高峰之前，開始往下降，2050 年時則需比 1990 年排放水準減少 50%~85%，目前，歐盟和其部份會員國已透過減少肉品補助、施行總量控制與課徵碳稅等方式企圖遏止暖化加劇的腳步。從供給面而言，基於政府間凝聚之減碳共識遠甚於以往，「碳排放限制時代」的競爭已經來臨，由於國際間使用者付費意識提高，逐漸驅使企業重新思考定價策略，就需求面分析，透過學術研究發表及教育宣導，消費者逐漸傾向選擇低碳商品以追求安全舒適的生存環境。然，現階段溫室氣體排放之對價關係發展仍未成熟，絕大多數企業和消費者尚不必為其選擇付出應有之對價，致全球深陷經濟學所謂的「共有財悲劇」之中。

暖化改寫了企業營運風險，在「碳排放限制時代」中，供給面和需求面的行為改變，企業投資決策也必須調整，Ernst and Yong(2010)[3]全球跨 18 個產業研究

報告發現 300 位企業領導者中，70%的擬在未來 2 年內增加因應氣候變遷相關的投資，而 Samsung 推出節能省電的 LED TV、BMW 宣佈產品線加速綠化計畫，甚至連已經蓋好的台北 101 大樓亦宣佈將規劃轉型為綠建築等，這些決策的背後透露的訊息皆顯示「投入低碳商品開發」已成為企業經營的首要課題，這也是本研究的起始動機。

1.2 研究目的

低碳商品雖能幫助減緩暖化，但企業經營首重獲利和追求股東價值最大化，對企業而言，是否有足夠的誘因投入相關研發與量產？本研究為探討這個課題，選擇和人類生活密不可分的電腦產業，分析宏碁公司(以下稱 Acer 公司)和美國市場競爭者，於考量美國政府暖化政策及消費者態度，運用實質選擇權賽局法探討企業於低碳商品之投資決策¹。本篇將暖化問題與企業投資決策結合之研究，低碳相關研發不再只是增加企業負擔的永續發展責任，反倒成為提高企業價值之有利手段。

1.3 研究架構與流程

各章內容簡述如下：第二章是背景回顧，從全球暖化主因、現況及其所造成的可能影響談起，並進一步延伸分析暖化與企業營運風險的關聯性，對這個國際性危機，各國政府的態度、已採取的措施與未來政策趨勢，針對這些趨勢又將如何影響企業和消費者行為。第三章透過文獻回顧企業投資決策分析方法，包括淨現值分析法、實質選擇權分析法和實質選擇權賽局法。第四章為本篇論文採用的模型和決策樹。第五章以電腦業中的 Acer 公司和其美國市場競爭者針對低碳商品研發投資決策做為案例分析。第六章為本篇論文結論和建議。

¹ Acer公司於「2008年企業責任報告」表示，為求企業永續發展，將與供應商夥伴共同於科技研發上的努力，顯示雖Acer公司主打國際性品牌，尤其供應商負責生產，惟產品之規劃與研發仍由該公司主導。

二、背景回顧

分析暖化對投資環境現階段和未來影響前，必須先對「暖化」的成因、引發之現象及其衝擊具充分了解，本章將於第一節至第二節進行分析與說明，並於第三節討論國際主要經濟體目前採取之減碳政策與未來推行趨勢，最後在第四節分析企業投入低碳商品研發和追求股東權益最大化間的關係。

2.1 全球暖化問題與成因

聯合國、美國國務院之「2010 氣候報告草案」和英國氣象局(Met Office)皆直指「人類活動」是造成暖化的成因，IPCC(2007)氣候變遷報告書中指出：在 1805 年到 2005 年間，全球平均溫度上升約攝氏 0.76 度，其中的 0.74 度集中於近一百年內上升，並預估在 2000 年到 2100 年間全球平均溫度將升高攝氏 1.1 度到 6.4 度。該研究亦發現歷史南極溫度和二氧化碳濃度變化呈現高度正相關，顯示氣候和碳循環間的密切關係，呼應了「溫室效應 (Greenhouse effect)」是導致地球增溫¹的研究結果。造成暖化的氣體並非侷限於二氧化碳，而是泛指造成溫室效應的溫室氣體，詳細分類和主要來源詳如表一。

表一 溫室氣體種類及主要來源

溫室氣體	主要來源
二氧化碳 (CO ₂)	燃燒化石燃料 (如煤及石油等)、土地利用變更、工業製程
甲烷 (CH ₄)	畜牧業 (家畜腸道發酵作用)、農耕、厭氧污水處理
氧化亞氮 (N ₂ O)	化學工業製程 (基本化學原料：硫酸、硝酸、碳化鈣)
氫氟碳化物 (HFCs)	空凍冷藏設備的冷媒、半導體製程
全氟碳化物 (PFCs)	半導體製程
六氟化硫 (SF ₆)	半導體製程、重工業、電力業、鋁鎂合金、平面顯示器

資料來源：台北市節能減碳 Q&A

根據 IPCC(2007)研究顯示，上述六種氣體中導致暖化加劇的元凶是甲烷，而

¹ 溫室效應是指當太陽熱量抵達地球表面，再以紅外線方式將熱放射出去時，被溫室氣體吸收，致熱能被保留在大氣中，再反射地表使地球溫暖的現象。

非一般觀念中的二氧化碳，因其吸熱能力是二氧化碳的二十五倍（以二氧化碳之存續期間一百年計算），2009 年美國太空總署哥達德太空研究院(Nasa Goddard Institute for Space Studies)科學家(Shindell et al. 2009) [4]發現 IPCC 低估甲烷影響力，暖化倍數應為二氧化碳的三十三倍，且由於其在大氣中分解速率較快，大量減少甲烷會對短期的氣候變遷帶來較重大的改善，建議國際間應優先處理該氣體，該研究結果有助於理解第 2.3 節國際減碳政策與趨勢。

2.2 暖化引發之現象及其影響

史登報告(Stern, 2006)[5]估計，若不對氣候變遷採取行動，未來在適應暖化的花費將高達國民生產毛額的百分之五至百分之二十，甚至更高。分析全球暖化主要引發(一)氣候變遷、(二)海平面上升、(三)海水暖化及(四)地殼活動活躍等現象。分述如下：

(一) 氣候變遷

聯合國人道主義事務副秘書長暨緊急救護協調人 John Holmes 說明：「二十年前，每年大約有二百個天災，現在是四百多個天災。五年前一半的天災與氣候有關，現在是四分之三。氣候變遷不是抽象、未來的威脅，它正在發生且影響世人。」氣候變遷現象包括：

1. 颶風

Houghton et al.(1996)[6]指出全球暖化導致熱帶地區海表溫度上升。Holland(1997)[7]和 Emanuel(1988)[8]指出熱帶氣旋的強度和海表溫度的高低有關。Knutson et. al (2001)[9]進一步發現，溫室氣體濃度上升會讓熱帶氣旋的強度增強。Webster et al.(2005)研究結果顯示過去三十年全球颶風強度和熱帶地區的海表溫度呈現一致的增加趨勢。透過這些研究，本研究認為近年颶風的增強與增多與暖化加劇有關。

2. 乾旱

Miller and Yates(2006)[10]證明暖化會改變全球水循環系統的強度及瞬間降雨量。台灣中研院環境變遷中心指出，全球溫度每增加一度，全球前百分之十強降雨就會增加百分之十，小降雨和中強度降雨會減少百分之

二十，主因為二氧化碳濃度增加，致維持土壤濕潤的毛毛雨跟著變少，根據統計，台灣南部地區小雨的雨量在過去四十五年減少一半，若環境問題不改善，台灣乾旱程度只會加劇。以上研究顯示，暖化會造成乾旱加劇。

3. 洪水

大氣中的水氣含量會隨著溫度升高而增加，導致豪雨發生機率提高。聯合國世界氣象組織(WMO)於2010年時預測未來的暴風雨將帶來更強大風力及更多的雨量，結論與IPCC報告相符。分析百年來台灣各氣象測站的雨量觀測紀錄，各站所雨量前五名幾乎都是出現在2000年以後；過去三十年來，颱風雨量的前十名中有五名出現在2000年後，且頻率和雨量皆變大。透過以上研究，發現暖化不僅帶來乾旱，亦會造成洪害。

(二)海平面上升

美國地質調查局(USGS)[11]2010年研究預估包含世界百分之九十一冰河量的南極大冰原，若所有表面冰塊溶解，將造成海平面上升六十米到七十三米。2009年澳洲政府公佈之「氣候變遷危及澳洲海岸(Climatic Change Risks to Australia's Coasts)」[12]報告結論指出約二十五萬棟房屋及機場和醫院恐因海平面上升淹水。Dorale et al.(2010)[13]發現海平面在一百年內上升高達兩公尺，速度是過去一百年的十二倍。以上研究顯示，暖化會造成海平面上升。

(三)海水暖化

約三分之一溫室氣體是由海洋所吸收，以下研究發現海洋過暖會導致海洋酸化及海冰加速溶解：

1. 海洋酸化

2009年聯合國環境規畫署(UNEP)[14]研究指出海洋酸化對海洋生物傷害甚巨，預估到2050年前海洋酸化程度將增加一倍半，比過去二千萬年快一百倍。實證研究已證明海洋酸化使已造成皇帝蟹等甲殼類動物死亡率提高，亦造成珊瑚白化(coral bleaching)並重創觀光事業²。

² 珊瑚礁的功能和重要性就像陸地上的熱帶雨林一般，珊瑚礁是由珊瑚蟲建造的，珊瑚蟲在成長時會不停地分泌碳酸鈣骨骼，該碳酸鈣骨骼是珊瑚礁的重要部分，海水溫度在攝氏十八度以下及三十度以上都不利珊瑚生長，而海溫升高將影響珊瑚生長並造成死亡。

2. 海冰加速溶解

美國航太總署(NASA) 衛星圖片顯示北極海冰的範圍在 2007 年 9 月只剩下 1950 年面積的一半，預估暖化再不改善，北極冰山將於 2012 年夏天全溶並釋出儲存於海床的甲烷，導致原本預估之暖化飆到四倍之高。

(四) 地殼活動活躍

Pagli and Sigmundsson (2008)[15]研究指出受到暖化的影響，冰島最大的冰帽在過去百年來已融化百分之十；地殼上冰的重量減輕之後，原本被壓抑住的地殼活動變得更為活躍，呼應了 2010 年的冰島艾維法拉火山噴發。中研院地球所劉啟清教授等(2009)[16]研究指出，颱風的低氣壓將使陸地與海洋的岩石之間壓力不均勻，進而引發逆斷層滑動導致「慢地震」。而由於暖化將驅使颱風發生頻率增高，進而誘發較頻繁之地殼活動。

國際皮尤環境組織(Pew Environment Group)[17]於 2010 年年初呈報 G7 財務長會議的研究報告中預估：若未來四十年內，人類仍漠視暖化未能迅速改弦易轍，全球將損失 2.4 兆到 24 兆美元，而目前由於地表變化及永凍層融化釋出甲烷，已造成全球最高損失約 3,710 億美元，和台灣 2009 年 GDP 之 3,789 億美元相當。綜合分析暖化將導致的後果為：

(一) 物種滅絕

暖化已使南極原有生態環境與食物鏈系統改變，造成物種滅絕，例如阿德雷企鵝預估將因此而在十年後滅絕，而海洋溫度升高³將嚴重影響物種延續。2008年Mayhew等[18]研究指出，在地球有化石紀錄期間，共歷經五次物種大滅絕，其中四次都適逢暖化嚴重的週期⁴。

(二) 死亡機率增高

Reichstein(2005)[19]研究指出暖化導致 2003 年歐洲熱浪造成上萬人死亡。史登報告(2006)預估氣候邊遷將導致上億人因缺乏充足飲水和食物而喪

³ 水溫維持在(現在)攝氏 32~33 度時可孵出雄性鱷魚和海龜，但超過攝氏 33 度時則只能孵育成雌性鱷魚，物種無法延續。

⁴ 大滅絕是指超過 50% 的物種滅絕，共有五次紀錄，其中一次甚至有 95% 的物種消失。

生，水資源的匱乏與供應緊張造成的暴動將造成人員傷亡。刺絡針醫學期刊(The Lancet)和倫敦大學學院(UCL)在2009年共同研究發表的「氣候變遷是21世紀人類健康最大的威脅」[20]呼籲全體醫護人員重視全球暖化將影響全球數十億人口的生命及健康。

(三) 氣候難民(climate refugee)暴增

聯合國人權事務高級專員署(OHCHR)[21]2008年預估至2050年，全球約有上億的氣候難民⁵。聯合國難民署(UNHCR)估計截至2009年11月，全球約2,400萬人已被迫離開家園，南韓環境政策評估研究院於2010年發布的「韓國氣候變化經濟學分析」[22]中，預測至2100年，海平面將上升逾八十公分，十一座濱海城市將遭海水侵襲，災民達37萬至51萬人，經濟損失超過50兆韓元(約台幣1兆3,979億元)。

(四) 企業營運風險增高

KPMG在「氣候改變了你的事業報告中(Climate Changes Your Business)」(2008)[23]依據各產業被認定的氣候變遷風險程度和管理該風險的準備程度，評定「風險分數」，認為以下六個產業在管理氣候變遷風險上處於「危險區域」：航空業、健康照顧產業、旅遊業、運輸業、石油和瓦斯業，以及金融服務業⁶。該研究認為各產業因氣候變遷時所面臨的包括(1)實體損失風險；(2)企業聲譽風險：消費者對企業生產危害地球永續生存產品的態度；(3)法令風險：立法設立能源使用效率標準或污染品禁用規定；(4)法律訴訟風險：美國已有控訴高排碳企業造成空氣污染的集體訴訟案。

(五) 個人財富縮水

個人財富可分為資產價值、工作所得、投資所得及各類支出四個面向。

⁵ 以名列世界上第一批氣候難民之吐瓦魯為例，該國由九個珊瑚礁島所組成，面臨地球暖化導致海平面不斷升高、強烈熱帶氣旋和海嘯襲擊(過去颱風約每15年襲擊吐瓦魯一次，現在則是一年數次)及飲用水問題(海水滲入了當地的井水)，目前人口只剩下原來的1/3。

⁶ 金融服務業包含保險業、資產管理業及金融業三類。該報告以扮演風險轉移者的保險業為例，氣候變遷加劇使過去的訂價模型低估風險發生的頻率及強度，致短收保費，遇事故發生時，不僅造成業者本身面臨破產危機，亦提高客戶財務風險，提高需自行籌資以填補事故損失之風險。

2009年菲律賓的凱莎娜颶風致十七萬人資產化為烏有。2002年非洲乾旱導致農作物產出減少百分之三十，GDP降低百分之一點六，並減少七萬個工作機會。而澳洲乾旱不僅令發電廠因限水政策導致工作日數減少、並降低煤碳需求，致該兩個產業員工工作所得下降；同時，電費因供給量減少而提高，個人戶電費支出增加，企業戶營運成本提升，影響利息和現金股利支付力，導致個人投資所得減少。

(六) 能源供給不穩定性提高

何興亞等(2005)[24]研究發現卡崔娜颶風導致約五百座鑽油平台停工或嚴重損壞、九個煉油廠關閉，影響美國百分之十二的產量，造成能源價格上揚。

(七) 政府支出增加

政府必須編列增額預算以運用於搶修及清理災區、重建基礎建設、增強警戒系統和安頓災民等支出。Miller and Yates (2006)[10]指出豪雨帶來的洪水惡化水資源品質，加重政府潔淨水資源支出，以1999年的Hurricane Floyd為例，修復淨水廠遭受洪害之總花費為110億美元，尚不包括未來防災支出。

為了因應暖化造成的天災，我們究竟支付了多少社會成本？依據世界銀行發佈之「適應氣候變遷經濟 (The Economics of Adaptation to Climate Change Study, 2009)」[25]研究估計開發中國家在2010年至2050年間，每年適應氣候變化的成本為750億至1,000億美元，尚並不包括「減輕」氣候變化造成衝擊的費用。Stern and Taylor(2007)[26]預估花費在減緩暖化的費用每年將佔國民生產毛額的百分之一。由於政府財源主要來自於各類稅收，最終主要是由企業和人民支付，稅率提高，將削弱企業獲利水準，致分派現金配股能力和支付員工紅利能力隨降低；個人在工作所得和投資收益減少的同時，又可能必須面臨稅負加重的雙重壓力。

2.3 國際間減碳政策與趨勢

本研究案之電腦產業營業利潤為個位數，與成本及稅率的變化敏感性高，在分析投資策略時，需一併將以下闡述之國際間現行減碳政策與未來趨勢納入評估，以降低決策風險。

(一) 課徵肉品稅或減少補貼及立法推廣無肉飲食

荷蘭環境評估委員會在 2009 年發表之「改變飲食對氣候的利益(Climate Benefits of Changing Diet)」[27]研究顯示，全球改吃蔬食可大幅減少碳排放量，總成本只需原本預估的百分之二十，是最具成本效益的遏止暖化方式。同年的「減少溫室氣體排放有助於大眾健康 (Public Health Benefits of Strategies to Reduce Greenhouse-gas Emissions)」[28]研究指出減少百分之三十動物養殖數量，將有助於英國達到在 2030 年減少百分之五十的碳排放目標；英國已正式簽署該策略。此外，FAO(2009)[29]亦建議徵收肉品稅及減少補貼以降低溫室氣體排放量。

關於飲食習慣和暖化間的關係，Goodland and Anhang (2009)[30]研究指出「2006 年聯合國糧食及農業組織(FAO)報告嚴重低估畜牧業產生的全球人為溫室氣體，經過科學方法的嚴格精密換算後，畜牧業及其副產品每年製造 326 億噸碳排放量，佔全球溫室氣體總排放量的 51%。」⁷，前述被推翻之 FAO 報告是指「畜牧業的巨大陰影(Livestock's Long Shadow)」[31]白皮書，該研究結果認為畜牧業產生的溫室氣體佔全球人為溫室氣體總量的 18%，比所有交通運輸業所佔的 14%還要高。簡言之，為牧場需求而剷除的森林地，每年約製造五兆億噸的 CO₂ 排放量，即，每消費一個漢堡，就有六平方公尺的雨林被夷為平地以種植牧草餵牛，當天然森林以每年三千公頃（每分鐘約二十五公頃）的速度消失，代表可吸收溫室氣體總量下降且砍伐時所釋放的總量增加。

另外，德國食物觀察組織委託生態經濟研究所 (Institute for Ecological Economy Research, IÖW)(2008)[32]進行德國農畜業的氣候衝擊研究依不同的飲食習慣對碳排放量的比較，分雜食組(含肉)、奶素組(吃乳製品的素食者)、及純素食組三大族群分析比較，結果顯示，一般奶素者每人每年的飲食溫室

⁷ 研究報告分析 FAO 分析數據應加計(1)被砍伐雨林供畜牧業之需所造成之可吸收溫室氣體總量和砍伐時之釋放總量、(2)動物每天排放的甲烷(以一頭 550 公斤重的牛為例，每天打嗝和放屁平均製造 800 到 1000 公升的甲烷，以甲烷存續時間 20 年計之的暖化威力為 CO₂ 的 72 倍)及(3)為動物裝設的大型風扇、冷凍設備等耗電及運送動物至屠宰場和賣場所產生的溫室氣體。

氣體排放量約比雜食者減少 50%。純素食組者，約比雜食者減少 80%。而有機農產品的植物素者，最為顯著，是吃肉和吃傳統農畜產品者排放量的十五分之一。

(二) 課徵溫室氣體排放稅和施行總量控制與交易制度

經濟學家對於溫室氣體減量偏愛兩種方式：課徵溫室氣體排放稅（以下簡稱課徵碳稅）和施行總量控制與交易制度(Cap-and-Trade, 以下簡稱碳權制度)，分別脈承Pigou(1932)[33]主張以課稅和補貼的方式解決外部性問題，和Coase (1960)[34]主張創造和交易排放權來內化經濟外部性。

Thaler 和 Sunstein (2008)[35]認為企業偏好碳權制度，主因為較自由且成本較低。「如果污染者要繼續原來作為且變本加厲，大可以透過自由市場購買許可。」Cooper (2008)[36] 認為課徵碳稅是解決氣候變遷最有效率且最可行的方式，建議每公噸溫室氣體收 US\$15。因為由政府發放具有價值的排放權將導致賄賂猖獗；全球排放總量恐無法達成協議及可觀的稅收得讓政府用來降低其他稅率和增加政府支出。在排放權價格不低於排放稅徵收水準下，兩種作法可併行。

Joseph et al. (2008)[37]認為課徵碳稅對企業較具成本效益，因稅率為已知，但若採碳權制度的企業必須預估未來碳權價格的漲跌，增加管理成本，且一般開發中國家沒有能力架設相關平台來進行碳權交易。

綜上各研究顯示，徵碳稅和施行碳權制度兩者相較下，課徵碳稅成本較低且較有效率，後者對企業而言，因價格波動較大，對成本管理不易。

(三) 立法與呼籲揭露排放資訊

Thaler 和 Sunstein (2008)[35]認為應建立溫室氣體資料庫，要求企業揭露溫室氣體排放資訊，以仿照美國毒物排放資料庫(Toxic Release Inventory)的成功經驗，透過社會推力讓企業致力於降低溫室氣體排放，以避免登上環保黑名單，面臨客戶流失、形象受損及股價下跌等風險。

全球暖化為國際性重大議題，各國制定之政策相互影響，為能掌握企業未來投資環境面臨的增稅等風險，本研究分別對世界主要經濟個體現階段和未來減碳

政策闡述如下⁸：

(一) 歐盟

1. 立法及推廣無肉飲食

2009 年歐盟正式宣佈肉品產業正持續助長全球暖化與氣候變遷，在「2050-今日的行動決定未來(2050：The future begins today – recommendations for the EU's future integrated policy on climate change)」[38] 報告中揭露肉品生產與加工業排放溫室氣體的事實，並通過減少對畜牧業的補貼。2010 年 1 月英國衛生局等宣佈推動為期二十年的農業政策，鼓勵少吃紅肉與乳品以達到減碳目標⁹。2009 年 5 月比利時根特市(Ghent) 市政府宣布成為世界上首度推廣每週一日為蔬食日的城市，梅赫倫市 (Mechelen)、哈瑟爾特市 (Hasselt) 及德國不萊梅市(Bremen)亦先後跟進。芬蘭赫爾辛基 (Helsinki) 市議會通過市區所有學校實施「一周一素」以減緩氣候變遷。

2. 課徵碳稅及建立碳權制度

Bruvoll and Larsen (2004)[39] 和 Vehmas (2005)[40]研究全球第一批課徵碳稅的國家包含始於 1991 年的瑞典、芬蘭、丹麥及挪威，瑞典在 1991 年至 2006 年間成功地將碳排放量減少了百分之九，遠超過京都議定書的目標。英國在 2001 年實施氣候變遷捐。法國 2010 年宣佈除非在歐盟內部取得一致共識，否則法國不會單獨課徵碳稅，市場分析認為法國是準備推動碳關稅而暫停課徵原已在其國內通過碳稅。

另，歐盟的排放交易制度配發了相當數量的污染許可證，允許污染大戶排放一定數量的污染物。這種排放的上限將隨時間而減少。經濟學家們分析，歐盟的排放交易制度是失敗的，主因在於發放的配額排放量大於實際的排放量，且，絕大多數配額是採發放制而非拍賣制，導致碳市場的價格劇烈波動。

⁸ 日本亦在 2010 年 5 月通過氣候變暖對策基本法案，以達到在 2020 年比 1990 年的溫室氣體排放減少 25%；到 2050 年比 1990 年減少 80%，並規定在基本法實施一年內需制訂具體的碳排放交易機制，同時開始研究徵收環境稅的問題。

(二) 美國

美國環保署 (EPA) 2009 年發表正式聲明，稱「溫室氣體」威脅大眾健康及安全應立法加以規範，屬空氣汙染源。田納西州訊號山城鎮 (Signal Mountain) 已通過「綠食物法案 (Green Food Resolution)」，鼓勵食用永續的蔬食，舊金山市議會也通過每週一為「蔬食日」。此外，2009 年美國眾院通過「限量及交易法案 (Cap and Trade Act)」和「美國清潔能源與安全法 (The American Clean Energy and Security Act)」¹⁰，未來美國將以總量限額交易為基礎，並對他國課徵碳關稅 (Carbon Tariff)。所謂碳關稅，又稱「邊境調整機制 (Border Adjustment Measure)」，最早是由法國前總統希拉克 (Jacques Chirac) 提出，也就是強制性減碳排放的國家對來自非強制性減碳排放國家的進口產品所課徵的稅收，免受不公平之競爭。簡單說，就是美國境內公司因未來必須受到排放總量限制而使企業成本增加，對境外公司 (如 Acer 公司)，未來進口商品到美國，將被課徵碳稅，使其成本增加，同美國境內企業。透過此制度的設計，本研究推估，投資於低碳商品開發之公司，未來將享有成本競爭優勢。



(三) 中國大陸

由中國全國婦聯、中央文明辦及國家發展和改革委員會於 2010 年共同主辦的全國性「低碳家庭」活動，在十五項建議中即明示應減少肉食以邁向更有環保意識的生活方式。2009 年國務院常務會議公佈目標為：2020 年單

⁹ 英國政府 2008 年通過《氣候變化法案》，英國在 2020 年要在 1990 年的基礎上減少碳排 34%，並在 2050 年減少 80%。英國政府於 2010 年 3 月發布首份碳排放報告，在 2008 年的溫室氣體排放量相當於 6.26 億噸 CO₂，扣除碳交易系統購買的 0.193 億噸，則 2008 年總排放量為 6.067 億噸 CO₂，較 1990 年基礎上減少了 22%。

¹⁰ 目前前述法案尚需得到參院百分之六十的多數通過，及總統簽署才能生效。中華民國全國工業總會對美國「清潔能源與安全法案」之解析：美國到 2020 年將使溫室氣體排放量比 2005 年減少 17%，到 2050 年減少 83%。工業部門的溫室氣體排放配額將逐步減少，超額排放需要購買排放權、允許各企業通過植樹和保護森林等手段抵消自己的溫室氣體排放量、徵收特別關稅。法案規定要求美國總統從 2020 年起，對未達到排放標準的國家的產品徵稅，以保證美國的工業不能因為有的國家沒減少溫室氣體而處於不利地位。推估公司將以高價把成本轉嫁給消費者，政府考慮以能源補貼和可退稅額度直接補貼給消費者。或讓家庭通過碳排放許可權方式間接減少負擔。

位 GDP 碳排放比將較 2005 年下降百分之四十至百分之四十五，目前對高耗能行業已徵收較高的出口稅。中國發展改革委員會能源研究所在「2050 中國能源和碳排放報告」(2009)[2]中，建議中國在四至五年內全面開徵碳稅，為減少對企業和經濟的衝擊，起徵點採逐步提高原則，仿效美國課徵碳關稅可能性極大。

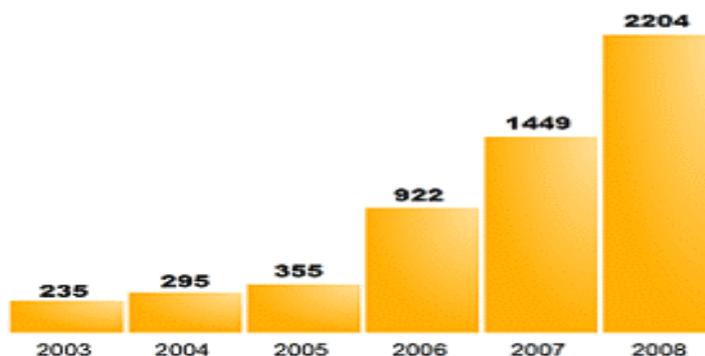
(四) 本國

政府公佈的「節能減碳十大無悔宣言」中明示「多吃蔬食少吃肉，減少畜牧業與碳排放」。2009 年立法院通過「週一無肉日」提案，教育部亦已發文各縣市，國中小營養午餐每週至少一餐蔬食。在課徵碳稅部份，財政部「中長程財政健全方案」之「綠色稅制」預估最快在 2011 年開徵能源稅¹¹。在全民教育方面，為和美、日等國同步，立法院於今年 4 月通過「環境教育法草案」，規定公營事業、政府捐助過半的財團法人及高中以下學校所有員工及學生，每年必須參加四小時的環境教育，違者(單位)將處以罰鍰。

在立法及呼籲揭露排放資訊方面，目前評估企業揭露資訊尚無統一標準和平台，致跨公司間的資料無法比較。民間則有由高盛等共 315 個國際主流法人投資機構共同發起的「碳揭露專案」(Carbon Disclosure Project, CDP)，以問卷方式調查全球企業在溫室氣體排放的現況與策略，以評估氣候變遷對這家企業造成的風險與機會，是機構投資人未來決定是否繼續投資這家企業的重要參考資訊¹²。在資訊揭

¹¹ 中華經濟研究院出版之「綠色稅制之研究」推估本國於課徵能源及環境稅後的第十年，可減少排放 8,800 多萬噸溫室氣體，約當於台灣今日排放量的三分之一。

¹² 2008 年共計 2,204 個國際企業參與該碳揭露專案，家數為達第一年(2003 年)的九倍。



圖一：歷年參與 CDP 企業家數

*資料來源：CDP 網站

露和公司社會責任間的關係， Tagesson(2009)[41]研究發現，企業規模越大，社會責任相關資訊揭露範圍越廣，該資訊和企業獲利性呈現正相關。此外，2009年9月美國新聞週刊(Newsweek)、耶魯大學教授和許多具名望單位和顧問合作，首度公佈對美國前500大企業¹³之「綠色排行榜」，並表列出各企業之溫室氣體排放量。評選內容分為三大項：(1)環境影響評分(Environmental Impact Score)、(2)綠色政策評分(Green Policies Score)及(3)信譽評分(Reputation Score)。其中(1)環境影響評分共有四大項：溫室氣體排放量、水資源使用、廢棄物處理方式及酸雨排放；(2)綠色政策評分主要對於氣候變遷和污染之績效與策略及對產品的影響與環境管理；(3)信譽評等則是採用企業相關民意調查報告，最後再以權重45-45-10加總得出綠色評分(Green Score)作為排行標準。名列前兩名該排行榜的企業分別是惠普公司(以下簡稱HP公司)和戴爾公司(以下簡稱Dell公司)¹⁴，可合理推估和企業和消費者工作和生活緊密相關的電腦產業已在投資者和消費者的壓力下，將永續概念施行於產品設計與生產上，投資減碳商品已經是未來趨勢。

¹³ 美國新聞週刊公佈的綠色排行名單定義的美國前500大企業，是以企業收入、市值及員工人數衡量。

¹⁴ 分析HP公司名列第一主因為該公司是美國前500大企業中，第一家公佈公佈供應鏈溫室氣體排放資訊。



表二：美國新聞週刊綠色評分表

Categories	HP Score	Dell Score
Green Score	100	98.87
Environmental Impact Score	64.8	67.7
Greenhouse Gas Emissions	1,673,000	435,400
Greenhouse Gas Emissions/Revenue	☺☺☺☺☺	☺☺☺☺☺
Water Usage/Revenue	☺☺☺☺☺	☺☺☺☺☺
Solid Waste Disposed/Revenue	☺☺☺☺☺	☺☺☺☺☺
Acid Rain Emissions/Revenue	☺☺☺☺	☺☺☺☺
Toxic Emissions	☺☺☺☺	ND
Toxic Emissions/Revenue	☺☺☺☺☺	ND
Green Policies And Performance Score	97.9	100
Climate Change Policies And Performance	☺☺☺☺☺	☺☺☺☺☺
Pollution Policies And Performance	☺☺☺☺☺	☺☺☺☺☺
Product Impact	☺☺☺☺☺	☺☺☺☺☺
Environmental Stewardship	☺☺☺☺☺	☺☺☺☺☺
Management Of Environmental Issues	☺☺☺☺☺	☺☺☺☺☺
Reputation Survey Score	88.44	70.8

資料來源：美國新聞週刊網站資料及本研究整理。

2.4 企業減碳動機

企業經營首重獲利並追求股東價值最大化，Johnson (2009)[42]認為正確的決策可使企業在獲利和減碳間獲得雙贏，Woller(2007)[48]認為重視社會責任的企業在財務表現上優於同業。在股價表現上，Boyd(2001)[49]實證結果得到道瓊永續性指數(Dow Jones Sustainability Group World Index)成分股在1991年1月1日起的9.5年間股價表現優於道瓊全球指數(Dow Jones Global World Index)，認為重視環保的企業是好公司。本研究分以下三個層面探討低碳商品投資和提昇股東價值間的關聯：

(一) 提高營收

1. 政府採購面

各國政府採購占其國民生產總值比例皆居各國採購團體的首位，目前各國制定的綠色採購已為潮流，如加拿大的「政府綠色行動計畫」、日在需求面部份，歐盟成員並已設定在2010年要達到公部門綠色採購比例達50%之目標¹⁵。各國目前也積極推動「產品碳標籤制度」，如英國在食物上設置綠標籤揭露生產與運送產品產生的碳足跡，期望能結合需求面的消費者力量一起邁向低碳社會之路。本的「綠色採購法」和本國的「機關綠色採購推動方案」等，開發或量產符合低碳標準的產品，才有機會爭取大額訂單，提高營業收入。

2. 民間消費面

永續未來(Sustainable Futures) [43]2009年報告研究顯示，在橫跨八個產業共計超過兩萬個統計樣本中，有48%的消費者對永續性的產品願意多支付百分之十的溢價，且超過80%的消費者認為可透過需求讓廠商作出負責任的生產決策；所謂的永續性泛指企業降低對環境的影響，主要包括減少碳足跡、提升能源使用效率和降低資源耗費等。IBM(2008)[44]對美國、英國及德國等五千個消費者進行問券調查，65%的消費者對綠色產品願意多支付百分之五的溢價。胡憲倫等(2009)[45]研究顯示87%的消費者表示，雖然碳標籤商品比其他同類型商品貴，但仍願考慮購買。以HP公司為例，該公司研究發現要達成低碳社會目標亦對公司帶來許多機會，透過改良能

¹⁵ CSR Eurpoe公佈之Sustainable Public Procurement資訊。

亦可因減少電腦運作時能源之消耗、降低電腦熱度及機器運轉時產生的噪音管理技術和提高使用潔淨能源等創新設計，不僅可幫助減緩碳排放量，音，進而提高產品價值與顧客滿意度，拓展客源。

綜上，本研究推估消費者對低碳商品價格敏感性較一般同型商品為低，低碳商品可獲得最高10%的產品溢價。

(二) 降低成本

Smorch(2007)[46]認為企業為地球永續而奮鬥的同時，能達到提升效率、降低成本和增加獲利，史隆管理評論(MIT Sloan Management Review)2009年[47]研究認為高科技公司將會最快進行改變以符合企業社會責任(Corporate Social Responsibility, CSR)，目的是為了降低生產成本以提高獲利。以晶圓代工廠聯電為例，2010年宣布『減碳333』計畫，是以2009年為基準，在2012年減少溫室氣體主要來源之一的全氟化合物33%，用電量減少3%。沃爾瑪(Walmart)宣布減少產品包裝與碳排放計劃時表示：「這不僅對環境友善，也可以推動成長，並在未來替公司節省三十四億美元的開支。」。

(三) 優化形象

史隆管理評論[47]研究發現：企業公民形象較佳的企業，在國際市場具競爭優勢。

以上三個誘因，皆直指追求股東權益最大化，而本研究選擇上述減碳動機中的「降低成本」切入電腦產業因應低碳投資決策分析。綜上，無論是實施總量限額交易或開徵碳稅，各國政府搭配碳關稅似乎已成必然之趨勢，若企業未投入低碳商品之研發，未來必須負擔高額之環境成本，是否能將此增額支出轉嫁給消費者，仍是未知數，若能及早進行有益環境之相關投資，應可提升在同業間的競爭力和企業形象，向股東權益最大化的目標邁進。

三、文獻探討

瞭解未來美國政府政策和企業減碳誘因後，本研究將決定應用何種投資決策評估法來進行分析較適切。傳統的投資決策評估方法最常見者為淨現值法，惟該法過於簡化，未考慮彈性價值；若使用實質選擇權分析法，可克服前者之不足，但卻未能反應競爭者的決策，選擇實質選擇權賽局法能兼顧兩者，但模型卻複雜難懂。綜整三種評估方法重點如下：

3.1 淨現值法

企業傳統投資決策之評估方法是採用淨現值法 (Net Present Value, NPV)，將投資計劃經濟期限內的所有現金流量，以企業加權平均資金成本折現後，若NPV大於零，即接受該計畫，反之，則放棄該投資計劃，若有二計畫互斥，則選擇NPV較大者。本法的優點為簡單易算，缺點是未考慮彈性價值(Hayes and Garvin, 1982)[50]，Trigeorgis and Mason (1987)[51]認為現金流量折現法無法反映管理彈性的價值。此法過於簡化，即投資計畫淨值為負數時，可能仍值得投資，或淨值為正數時，延遲該投資計畫可能會獲得更高的報酬率。

3.2 實質選擇權分析法

實質選擇權分析法(Real Options Approach)最早可回溯Myers(1977)[52]，該研究是首次運用實質選擇權分析，討論石油公司持有之油田探勘特許權之合理價格，以及何時執行該項權利可令公司價值最大。所謂選擇權的標的：包括但不限於興建廠房和投資油田等實質資產的投資評價。本法試圖克服淨現值法的不足，將決策彈性納入模型，Kogut and Kulatilaka(1994)[53]認為面對未來的不確定，應保持管理決策之彈性。廖四郎等(2003)[54]認為廠商進行投資決策必須將管理決策的彈性價值，以及產業的市場需求納入考慮。惟，本法的缺點是：未能將和對手間的互動決策反應於評價模式中。

3.3 實質選擇權賽局

實質選擇權賽局(Real Options Game)顧名思義是結合實質選擇權和賽局理論。賽局理論(Game Theory)是討論經濟個體面臨相同問題，透過數理方法進行策略互動分析的模型，首度由Neumann and Morgenstem(1947)[55]提出。包括納許均衡(Nash Equilibrium)：由Nash (1950, 1951)證明多人、非合作、有限策略的賽局都有至少一組平衡解，在給定所有其他參賽者最佳策略時，任何一個參賽者在同時也會採取最佳策略。

在實質選擇權賽局法研究部分，Isik el al. (2003)[56]用實質選擇權賽局證明企業決策會受市場需求、成本實質選擇權賽局和競爭者的不確定性影響，Smit and Trigeorgis (2006)[57]將實質選擇權賽局運用對消費性產品、電信產業和製藥產業最適的研發策略。

本研究選擇之電腦產業屬寡占市場，該市場特性在於廠商決策相互牽制，因此，本研究選擇採用Smit and Trigeorgis (2004)[58]之實質選擇權賽局模型作為投資決策評估工具。



四、模型建構

4.1 研究方法和模型假設

本研究主要背景為美國眾院於2009年通過之「限量及交易法案」和「美國清潔能源與安全法」，未來美國將以總量限額交易為基礎，並對他國課徵碳關稅，未來無論是否為美國境內之企業，都必需為其碳排放量支付環境對價，若將企業購買碳排放額度費用或繳納碳關稅支出視為企業的成本，假設投入低碳商品研發之企業，未來可因購買較少的碳交易額度或扣繳較低的碳關稅，而享有成本競爭優勢。

本研究將實質選擇權賽局法運用於電腦產業投資決策分析，採用Smit and Trigeorgis (2004)[58]出版之「策略投資-實質選擇權賽局 (Strategic Investment-Real Options and Games)」第六章中研發決策之實質選擇權賽局為模型，探討美國市場之電腦廠商評估低碳商品研發之投資決策，將屬寡占市場的電腦產業¹簡化為雙占市場(duopoly market)，市場內的A公司和其競爭者投資決策會相互影響。雙方的互動模式又可分為先試探再行動的接續賽局(Sequential Game)或同時賽局(Simultaneous Game)，因電腦產業屬價格競爭產業，廠商之需求函數採用Bertrand Duopoly價格競爭模型(詳4.3.1節)，期間為兩期。

4.2 決策樹

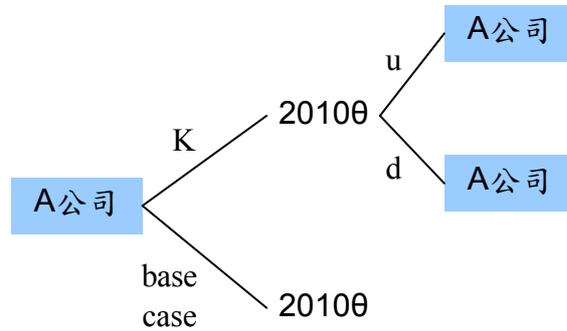
本研究分析電腦產業中A公司之低碳投資決策，該投資計劃對A公司而言，共分兩個決策，第一個是在2010年評估是否投入低碳商品「研發投資」，第二個決策是在2011年和2012年選擇是否執行量產投資，其對手公司亦該期間內決定是否執行「量產投資」，分別就景氣轉強情況(以下簡稱u情況)或景氣轉弱(以下簡稱d情況)情況下，將對手公司的投資決策納入考量，展開一連串的決策樹，分別說明如下：

首先，針對A公司在2010年投入K金額進行低碳商品之「研發投資」與否，展開決策樹，如圖二：

¹ Gartner 機構對 2010 年第一季美國市場電腦廠商銷售台數預估資料中顯示，前三大廠商(分別為 HP 公司、Acer 公司及 Dell 公司)合佔美國市場達總銷售量 64%。

第0期 - 2010年

第0期 - 2011年



圖二：研發投資決策樹

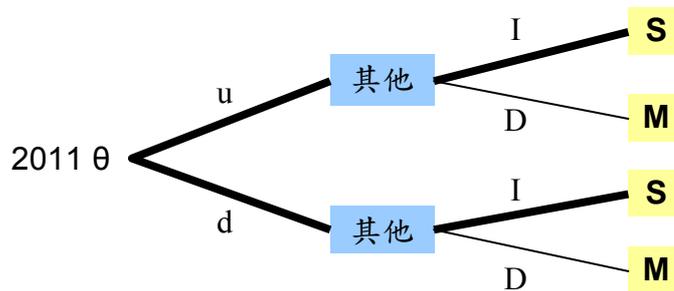
圖二中，base case是指A公司若不進行K金額之R&D研發。

若2010年時，A公司選擇投入低碳商品研發計劃，依照2011年為u情況或d情況下，A公司和競爭者對於是否執行量產計劃之決策將會相互影響，將可能發生「接續賽局」或「同時賽局」如下：

(一) 接續賽局

假設在2011年時，A公司已選擇投入量產計劃，競爭者於同年決定遞延投資，至2012年再決定是否投入量產，其2012年之決策樹如圖三所示。

第2期 - 2012年



圖三：接續賽局決策樹

1. Stackelberg均衡：

若2012年時，競爭者(見圖三「其他」)決定進行低碳商品之量產投資

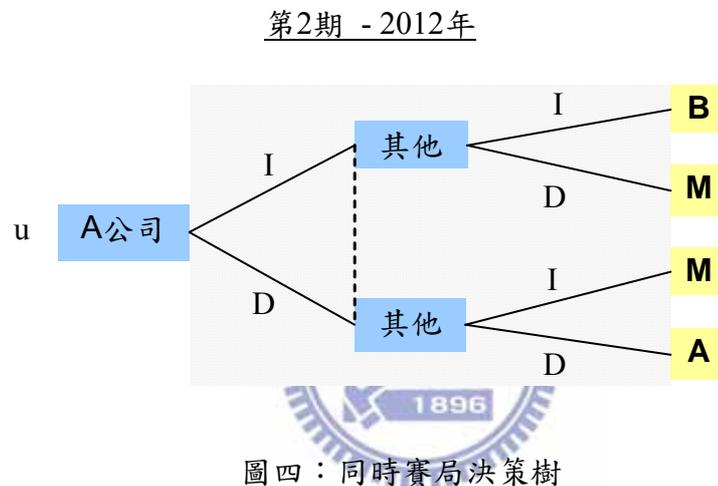
計畫，則市場會產生Stackelberg均衡(見圖三「S」)，A公司為先驅者(因其先進入該市場)，B公司則為追隨者。

2. 獨占市場(Monopoly)：

若2012年時，競爭者仍決定遞延或放棄該投資計畫，則A公司將獨佔市場需求，該低碳商品市場將成為獨占市場(見圖三「M」)。

(二) 同時賽局

假設在2011年時，A公司和競爭者皆決定遞延量產投資，在2012年景氣轉強情況下(u)，展開之決策樹如圖四所示。同理可展開景氣轉弱之決策樹。



圖四：同時賽局決策樹

1. Bertrand Nash均衡：

若2012年時，A公司和競爭者(見圖四「其他」)雙方皆決定進行低碳商品之量產投資計畫，則市場將達到Bertrand Nash均衡(見圖四「B」)。

2. 獨占市場：

若2012年時，A公司和競爭者只有其中一方決定進行該量產投資，另一方決定遞延投資或放棄投資，則執行投資計畫之廠商可獨佔該市場需求(見圖四「M」)。

3. 放棄計畫(Abandon)：

若2012年時，A公司和競爭者皆遞延或放棄該低碳商品量產計畫，則會行成放棄情形(見圖四「A」)。

同理，若2010年時，A公司決定不進行低碳商品研發計劃(見圖二之base case)，即未來A公司無成本上之競爭優勢，可比照前述步驟依次展開一連串之決策樹。圖五為A公司在期初(2010年)選擇進行低碳商品研發投資之決策樹，圖六為A公司不進行該研發計劃之決策樹，圖五和圖六隱含假設是：若第一期和第二期不投資，則因為低碳商品技術日新月異，未來可能會有新的技術產生，將沒有投入的誘因。符號說明如下：

其他：A公司之競爭者；

K：A公司決定投入之研發金額；

I：A公司或競爭者決定投入之量產金額；

D：A公司或競爭者決定遞延或放棄量產計畫；

θ ：廠商需求函數中除價格外之影響因素；

u：景氣轉強機率；

d：景氣轉弱機率；

B：Bertrand Nash 均衡；

S：Stackelberg 先驅者(SL)/追隨者(SF)；

M：獨占市場；

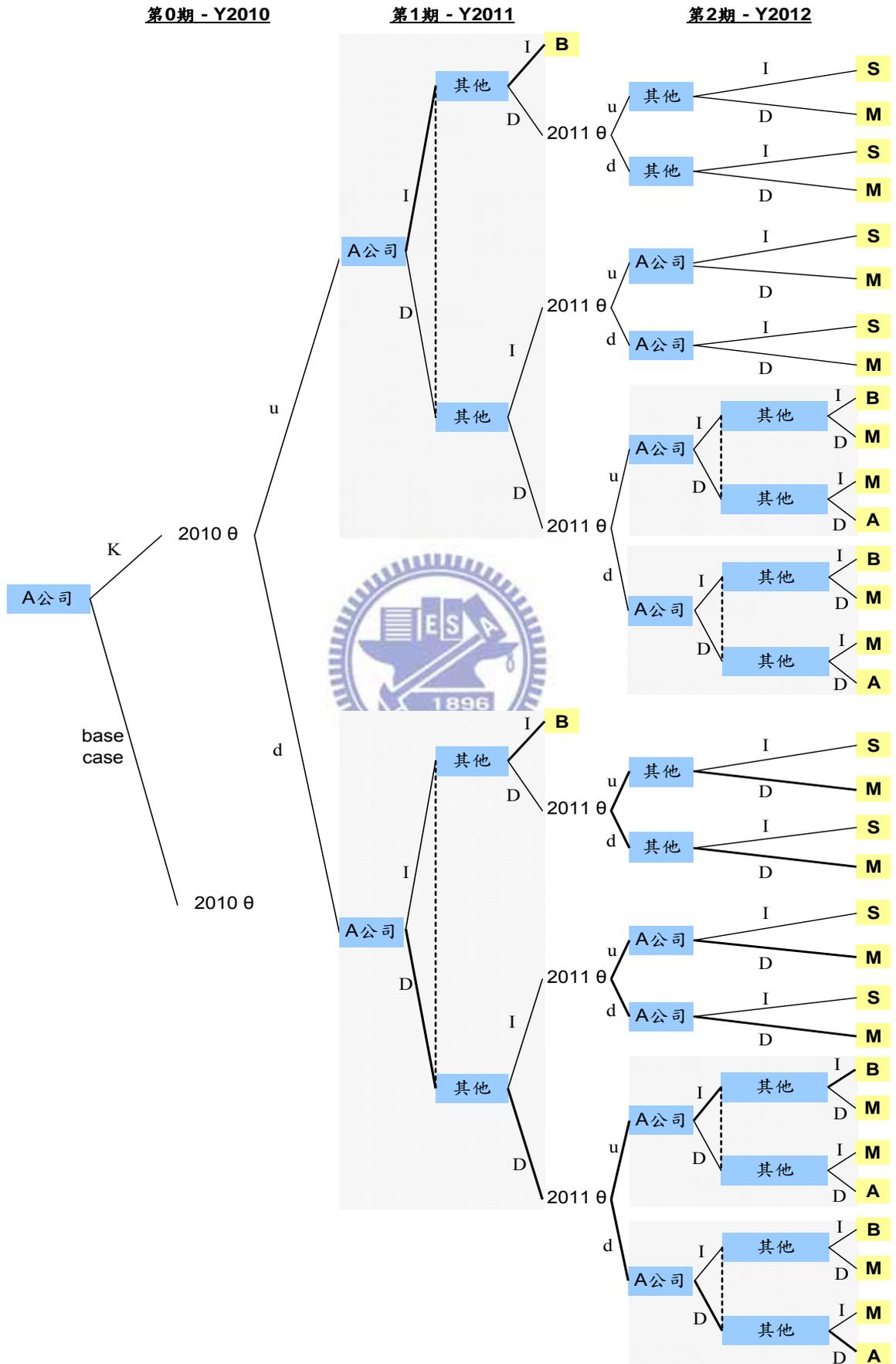
A：A公司和競爭者皆決定延遲投資或放棄；

--：虛線表示同時賽局。

base case：指不投資 K 金額進行研發

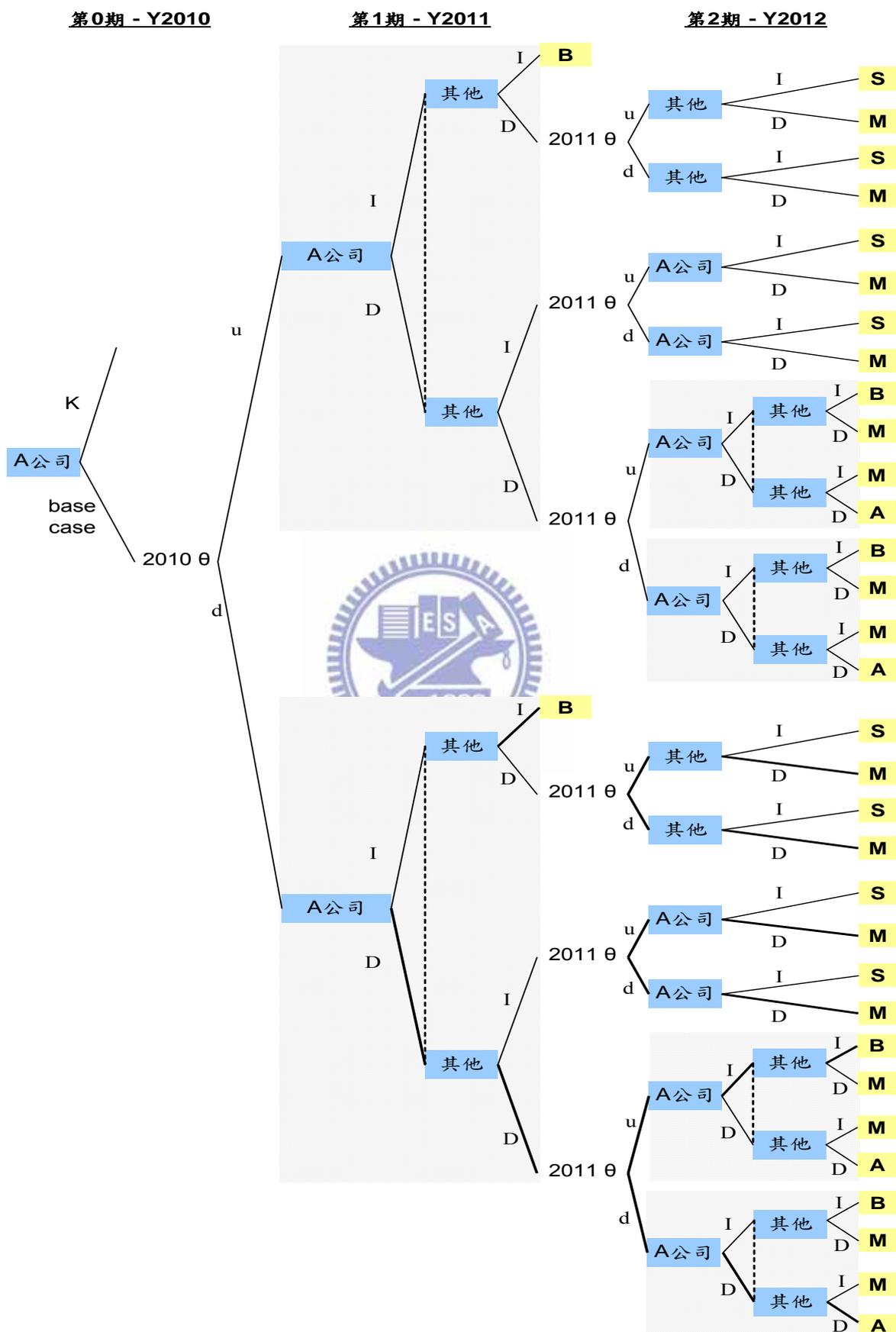


第0期決定投資之決策樹



圖五：第0期決定投資 K 之決策樹(資料來源: Smit and Trigeorgis(2004))

第0期決不投資K之決策樹



圖六：第0期決定不投資K之決策樹(資料來源: Smit and Trigeorgis(2004))

4.3 價格競爭模型

分析電腦產業為價格競爭產業或是數量競爭產業，本研究採用 Sundaram 在 1996 年建構之競爭性指標(Competitive Strategic Measure, CSM)，透過分析電腦產業公司獲利率變動($\Delta\pi^f / \Delta S^f$)和其競爭者銷售變動(ΔS^c)間的相關係數，以歸類該產業之競爭特性如下：

(一) 若 CSM 大於 0：市場定義為策略互補，即價格競爭產業；

(二) 若 CSM 小於 0：市場定義為策略替代；即數量競爭產業。

本研究分析 Acer 公司和競爭者之 CSM 為 0.114，故將電腦產業歸類為價格競爭產業，並採用 Bertrand Duopoly 價格競爭產業之需求函數¹如下：

$$Q_i (P_i, P_j, \theta_{i,t}) = \theta_{it} - bP_i + dP_j \quad (4.1)$$

Q_i 代表 i 公司銷售數量和其產品價格 P_i 和對手產品價格 P_j 相關，相關係數 b 和 d 為替代關係，因此 $b > 0$ 因服從需求法則， $d > 0$ 因當 P_j 提高時，需求量將下降，由於 i 和 j 的產品具同質替代性，所以 Q_i 將增加。

i 公司和對手公司之獲利函數為 4.2 式：

$$\pi_i (P_i, P_j, Q_{i,t}) = (P_i - C_i)(\theta_{it} - bP_i + dP_j) \quad (4.2)$$

C_i 代表 i 公司之單位變動成本

透過(4.1)和(4.2)，可得出均衡價格如次頁之表三，並以單位均衡價格可求得各期之現金流量如 4.3 式。

$$\text{現金流量} = (P_i^* - C_i) \times Q_i - I \quad (4.3)$$

¹ 資料來源：Smit and Trigeorgis (2004), 第 292 頁

表三：不同市場架構下之均衡價格

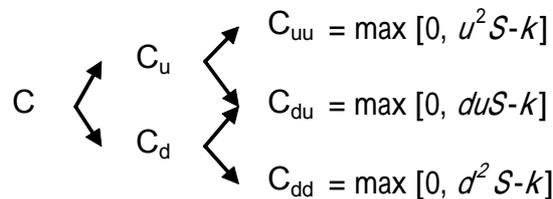
期間	決策 (i,j)	市場架構	均衡價格 P_i^* ($q_i = q_j = 0$)
第一期	(I,I)	B	$\frac{2b(\theta_{it} + bc_j) + d(\theta_{it} + bc_j)}{4b^2 - d^2}$
	(I,D)	S ^L	$\frac{2b(\theta_{it} + bc_j) + d(\theta_{it} + bc_j - dc_j)}{4b^2 - 2d^2}$
	(D, I)	或S ^F	$\frac{\theta_{it}}{2b} + \frac{C_i}{2} + \frac{2bd(\theta_{it} + bc_j) + d^2(\theta_{it} + bc_j - dc_j)}{2b(4b^2 - 2d^2)}$
	(D, D)	Defer	-
第二期	(DI, DI) (II, II)	B	$\frac{2b(\theta_{it} + bc_j) + d(\theta_{it} + bc_j)}{4b^2 - d^2}$
	(II, DI)	S ^L	$\frac{2b(\theta_{it} + bc_j) + d(\theta_{it} + bc_j - dc_j)}{4b^2 - 2d^2}$
	(DI, II)	或S ^F	$\frac{\theta_{it}}{2b} + \frac{C_i}{2} + \frac{2bd(\theta_{it} + bc_j) + d^2(\theta_{it} + bc_j - dc_j)}{2b(4b^2 - 2d^2)}$
	(II, DD) (DD, II)	M	$\frac{\theta_t + c(b-d)}{2(b-d)}$
	(DD, DD)	A	-

*資料來源：Smit and Trigeorgis(2004)第 265 頁

4.4 回溯推導(Backward Induction)

透過回溯推導法計算出選擇權在到期日價值後，逆向計算出期初選擇權價值，可推導出 A 公司應採取之最佳投資決策。

選擇權的價值為圖七所示：



圖七：選擇權價值

依據 Cox, Ross and Rubinstein(1979)[59]研究可得買權的價值為：

$$\begin{aligned}
C &= \frac{p^2 C_{uu} + 2p(1-p)C_{ud} + (1-p)^2 C_{dd}}{r^2} \\
&= \frac{p^2 \max[0, u^2 S - k] + 2p(1-p) \max[0, duS - k] + (1-p)^2 \max[0, d^2 S - k]}{r^2} \quad (4.4)
\end{aligned}$$

p 是風險中立機率

r 是無風險利率



五、案例研究

電腦和人類生活已經密不可分，電腦亦是 IT 產業中重要的一環，Pamlin(2008)[60]研究預估 IT 產業透過產品改良及創新，在 2030 年前每年約可大幅減少非歸類於 IT 產業之的排放量 11 億~87 億公噸（前述排放量約為 2008 年全球排放量的 15%），因此，研發低碳商品不僅對企業本身具成本效益，透過創新的設計，對使用者而言，在產品生命週期內也將減少對地球的影響。現階段電腦產業廠商之減碳策略包括(1)減少排碳量高之材質用量、(2)降低公司及其供應鏈之碳足跡、(3)提高潔淨能源使用比例、(4)降低運送體積和重量和(5)造林，本研究是運用實質選擇權賽局法探討電腦產業於低碳材質產品之研發和量產投資決策。

5.1 案例背景回顧

本研究選擇電腦產業之 Acer 公司及其美國市場之競爭者(將 HP 公司和 Dell 公司視為同依經濟個體)為研究案例，因以現階段美國以碳排放總量限額交易為基礎，並對他國企業課徵碳關稅，即，無論是否為美國境內企業，在低排碳經濟中都必需為其商品支付碳對價，導致單位成本上升，若進行低碳商品研發投資之公司，因產品碳足跡較競爭者為低，將具成本競爭優勢。Acer 公司和競爭者最近美國市場銷售量統計數詳如表四：

表四：2010年第一季美國PC製造商銷售量

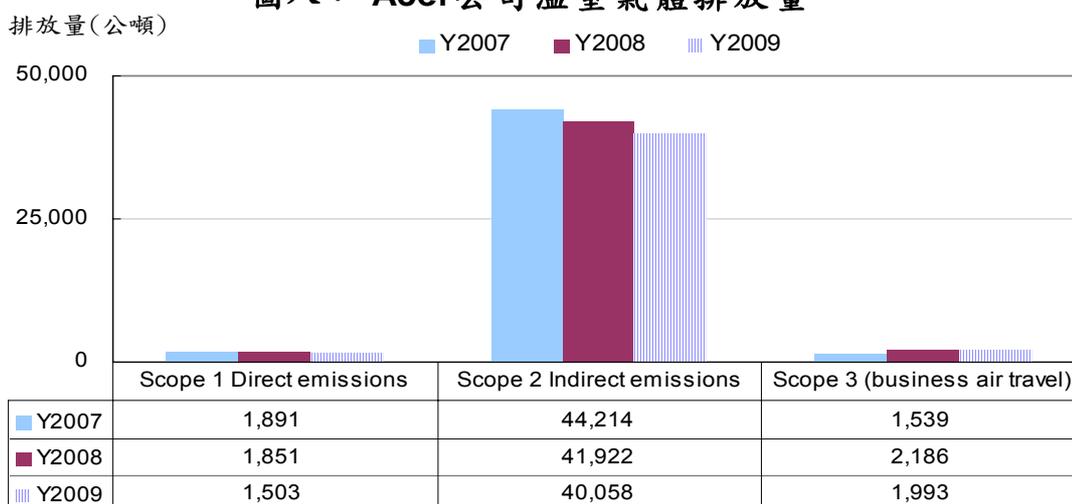
單位:千台	Acer公司	HP公司	Dell公司	其他	總計
銷售量	2,728	4,367	4,082	6,270	17,446
%	16%	25%	23%	36%	100%

*資料來源：Gartner網站公佈數及本研究整理

Acer 公司為本國企業，成立於 1976 年，為台灣上市公司，2010 年第一季銷售量排名名列全球第二大電腦製造商，僅次於 HP 公司。Acer 公司已加入 CDP 碳揭露計畫，並於 2008 年底公舉辦了第一次 CSR 論壇，就「綠色生產」、「綠色產品設計」及「產品碳足跡」等多項主題進行討論，顯示該公司有意願發展低碳商品。

Acer 公司於「2008 年企業責任報告」表示，為求企業永續發展，將與供應商夥伴共同於科技研發上的努力，顯示雖 Acer 公司主打國際性品牌，生產由其供應鏈負責，惟產品之規劃與研發仍由需該公司主導，因此，本研究案對於低碳商品投資仍以 Acer 公司為研究主體。Acer 公司近年之溫室氣體排放量如圖八。

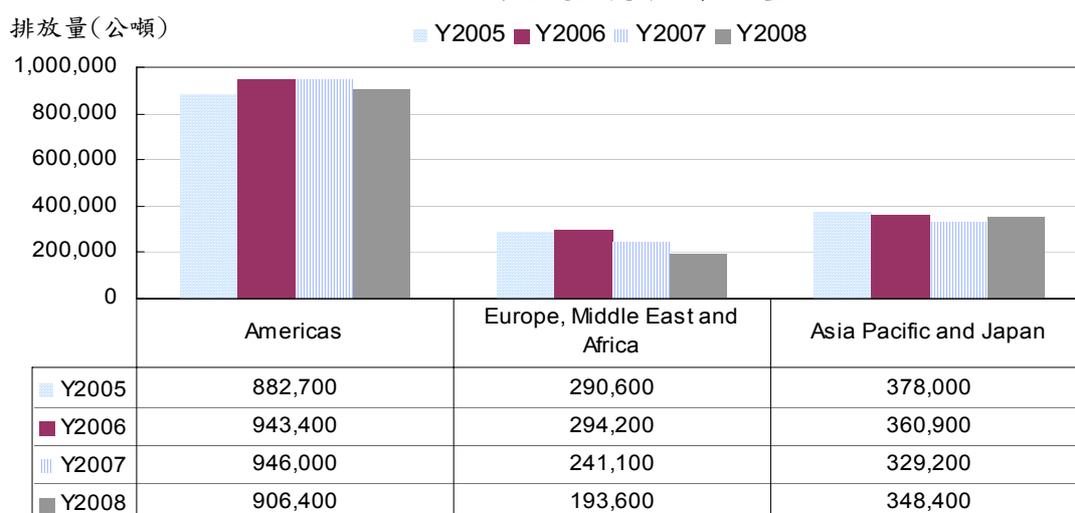
圖八：Acer 公司溫室氣體排放量



資料來源：CDP 網站資料及本研究整理

HP 公司成立於1939年，在那斯達克市場(Nasdaq)掛牌交易，2009年報把「維持和保護環境」視為企業發展重要優先考量。HP 公司近年溫室氣體排放量¹如圖九。

圖九：HP 公司溫室氣體排放量

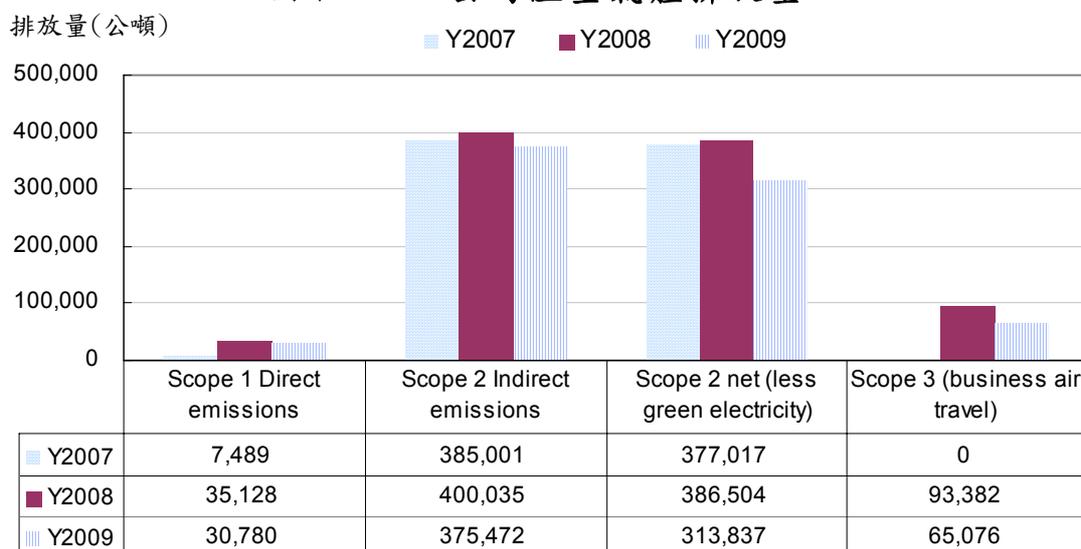


資料來源：CDP 網站資料及本研究整理

¹HP 公司預估透過其電源管理設計，客戶端(2008年)減少35萬公噸排碳量，約當於(續次頁)

Dell公司成立於1984年，在Nasdaq掛牌交易，Dell公司在2008年公佈將透過投資及購買更多的潔淨能源、提升營運效率及遏止雨林砍伐以達成溫室氣體排放量縮減目標。Dell公司近年之溫室氣體排放量如圖十。

圖十：Dell公司溫室氣體排放量



資料來源：CDP網站資料及本研究整理

本研究將Acer公司之競爭對手HP公司和Dell公司視為同一經濟個體，運用選擇權賽局法將競爭對手投資策略納入分析，綜合評估Acer公司是否應於2010年投入「塑膠再生料電腦」之研發以降低未來成本，進而提升公司獲利。

目前電腦外殼主流為塑膠外殼和鋁鎂合金外殼，鋁鎂合金屬於可回收之環保材質，但因成本為塑膠外殼的一倍，主要應用仍侷限於筆記型電腦。「塑膠再生料」依據國際定義為「消費後塑膠再生料（Post-Consumer Recycled Plastic Material）」，也就是產品必須使用回收再利用的塑膠材料，本國財團法人塑膠工業技術發展中心公佈資料顯示國內外研究發現100%塑膠再生料的碳足跡約為新料的33%~40%，使投塑膠再生料研發為新起的環保潮流，採用此材料製成之電腦外殼，將減少公司的碳排放量，進而降低碳交易或碳關稅支出，達到降低成本以提升獲利之目標。

本研究預估2010年「塑膠再生料電腦」佔總體電腦銷售量25%。考量電腦市

¹(接前頁) 一年內減少7萬6仟台車的排碳量。2010目標是在年底前把排碳量降到2005年水準的84%中期目標在2011年底前將能源消費和其產生排放量降低到2005年水準的60%。

場屬瞬息萬變的消費性產品，如Gartner專業預測機構對電腦市場銷售量亦只能提供2年期之預估數，過長之產品週期恐與市場真實現象不符，因此假設本研究投入之「塑膠再生料」材質生命週期為2年。

5.2 案例研究

5.2.1 模型假設

本研究假設電腦產業為價格競爭之雙占市場，市場內包括Acer公司及其競爭者(簡稱B公司)，B公司為合併HP公司和Dell公司銷售金額、銷售數量及成本後視為同一經濟個體，將Acer公司和B公司 2008年第一季至2009年第四季資料以迴歸分析後，得到(4.1)式之需求曲線：

$$Q_i(P_i, P_j, \theta_{i,t}) = \theta_{i,t} - 259P_i + 180P_j, \quad i \text{ 為 Acer 公司或 B 公司} \quad (5.1)$$

2010年於美國市場之Acer公司塑膠再生料電腦之需求量为2,688,967台，B公司之同樣商品的需求量为8,294,933台。再將歷史 P_i 、 P_j 和 Q_i 代入(5.1)後可得到一連串的 θ_i ，以並將 θ_i 的季成長率波動度年化後，可得到電腦市場的需求年標準差 σ 為0.272。依據下式可分別得到景氣轉強機率(u)和景氣轉弱機率(d)：

$$u = \exp(\sigma \sqrt{T}) = \exp(0.272 \times \sqrt{1}) = 1.313;$$

$$d = 1/u = 0.762$$

r 代表無風險利率，本研究假設為 2%；

風險中立機率 $p = (e^{rt} - d)/(u - d) = 0.4691$ 。

本研究試算之2010年 θ_i 為3851179，並運用公式(4.3)前先依照景氣轉強和景氣轉弱分別試算出對應的 θ 值，接著依照表三試算各種情況下的均衡價格 P^* ，並將 P^* 代入(5.1)式以求得均衡數量 Q ，得到價格和數量後，再將Acer公司和B公司之單位成本(C)代入利潤函數，其 C^2 分別為2009年之NT\$15,272和NT\$14,927，便可求得該期間之現金流量，再依照接續賽局或同時賽局分析回溯至2010年，最後將「投資K

² 將Acer公司2009年財報之營業收入扣除營業利潤後，再除以當年銷售量，可得到C。

價值」和「不投資K價值」相比，若「不投資K價值」之計劃價值較高，則Acer公司應選擇不投入塑膠再生料電腦研發方案，反之，若「投資K價值」較高，則尚需和2010年期初規劃投入之研發投資金額K相比：

- (一) 若投資計畫價值比K值大：則公司應選擇投入K金額，以獲取未來較高之利潤；
- (二) 若投資計畫價值比K值小：則Acer公司應選擇遞延投資以求公司利潤最大化。

本研究以公式(4.3)估算 2012 年現金流量，並假設若 Acer 公司於 2010 年投入 K 資金(NT\$200M)研發，則於 2011 年或 2012 年再投入 I 金額進行量產，本研究案之 I 參考目前專業塑料機殼公司之資本額後訂為 NT\$1,000M，則可使每單位成本(C)較 2009 年下降 5%；若未於 2010 年先投入 K 資金從事研發，則未來每單位成本仍維持 2009 年水準，不具成本縮減好處。投資金額乃參考。前述研究假設將於 5.3 節做深入敏感性分析。

5.2.2 回溯推導(Backward Induction)

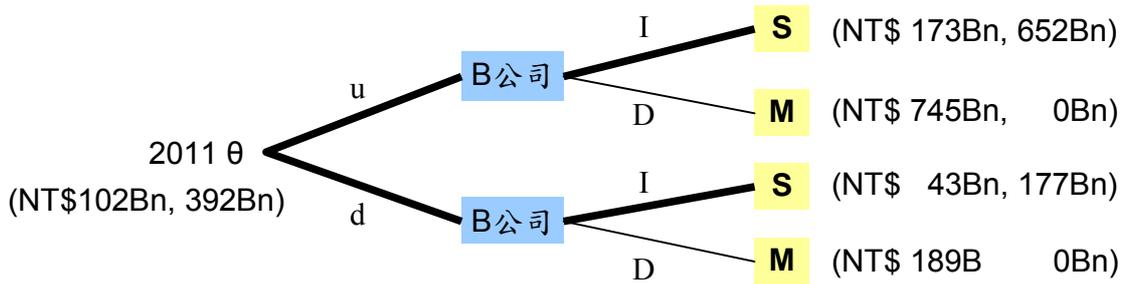
本研究運用前一章的決策樹分析，Acer 公司和競爭者之間會發生一連串的賽局，在追求利潤最大化下將會有四種可能：

- (一) Bertrand Nash 均衡：當 Acer 公司和 B 公司同期決定投資 I。
- (二) Stackelberg 先驅者/追隨者：兩家公司先後決定投資 I，先決定者為先驅者。
- (三) 獨占市場：決定投入量產但競爭者至 2012 年仍決定遞延投資或放棄投資，投入者將獨佔本計劃案市場。
- (四) 放棄：若兩家公司至 2012 年皆決定延遲投資或放棄。

若 Acer 公司決定在 2010 年投入減碳研發金額 K，且 Acer 公司和 B 公司非於同一期決定投資 I，該賽局為接續賽局，舉例如下：

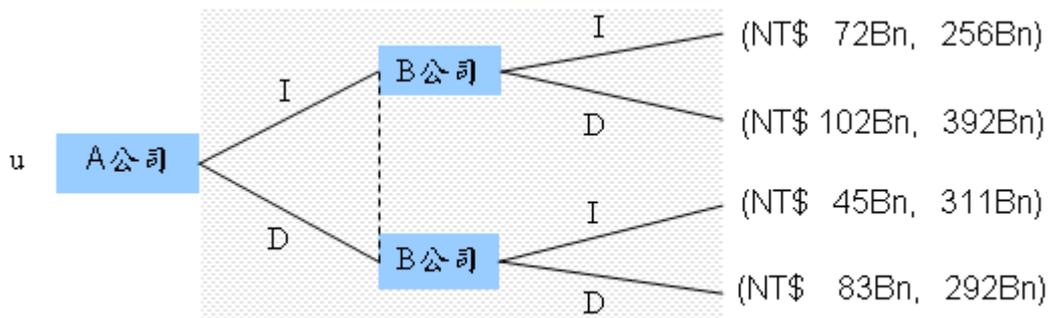
若 2011 年和 2012 年皆為景氣轉強情況下，2011 年 Acer 公司決定進行量產投資，B 公司在 2011 年決定遞延至 2012 年再進行量產投資，Acer 公司將成為 Stackelberg Leader，B 公司則是 Follower，其 2012 年現金流量分別為 NT\$173Bn 和 NT\$652Bn，同理可推導出在景氣轉弱時 Acer 公司和 B 公司現金流量為 NT\$43Bn 和 NT\$177Bn。若 B 公司在 2012 年仍決定不投入「塑膠再生料電腦」投資案，則該市場便由 Acer 公司獨占，B 公司的現金流量將為\$0。再以回溯推導方法試算 2011 年該方案價值為圖十一

$$: (46.91\% \times \$173\text{Bn} + (1-46.91\%) \times \$43\text{Bn}) / (1+2\%) = \$102\text{Bn}$$



圖十一：接續賽局回溯推導方法釋例

得出 2012 年之計劃價值後，因接續賽局結果會影響 2011 年的同時賽局的均衡解，因此，求解 2011 年同時賽局前，必需先將四種狀況試算後，分別將各計劃價值列於決策樹末點，如圖十二。



圖十二：同時賽局回溯推導方法釋例

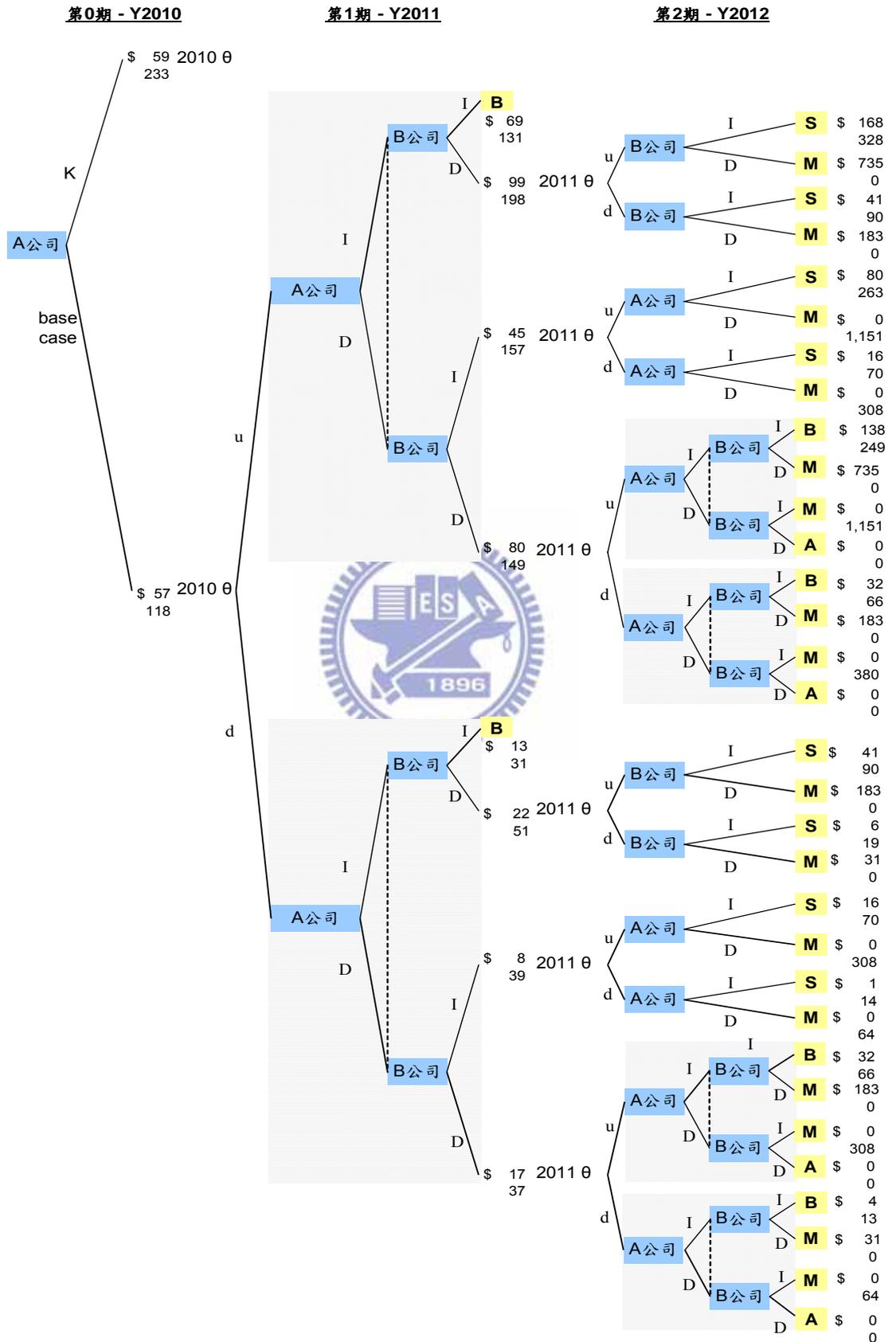
再以一般方式表達如表五，並求出均衡解，以此為例 Acer 公司和 B 公司將會達到 Bertrand-Nash 均衡。

		B公司	
		投資	遞延投資
Acer 公司	投資	(142, 490)	(745, 0)
	遞延投資	(0, 1154)	(0, 0)

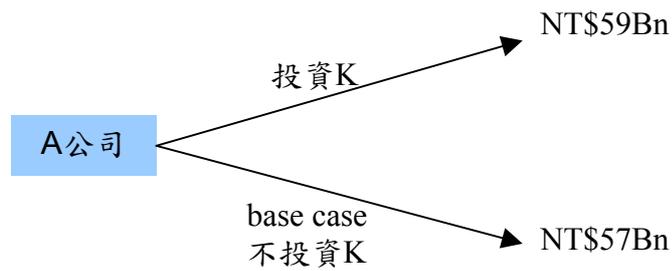
表五：同時賽局(一般法) 釋例

單位:NT\$Bn

第0期決定不投資K之決策樹



圖十四：Acer 公司第 0 期決定不投資 K 之決策樹



圖十五：Acer 公司投資 K 與不投資 K 之價值

依上述方式解出各組賽局後，Acer 公司於 2010 年投資 K 與不投資 K 之價值如圖十五所示，即，在本研究之假設前提下，Acer 公司評估於美國電腦市場之投資決策時，綜合考量(1)碳排放政策、(2)研發之實質選擇權及(3)競爭對手互動反應後，應選擇進行「塑膠再生料電腦」研發，以獲取求最大利益。



5.3 敏感性分析

(一) 需求曲線敏感性分析

表六：需求曲線敏感性分析

單位:NT\$Bn

b	投資K價值	不投資K價值	決策
460	3.3	3.4	不投資K
259	62	57	投資
200	174	51	投資

本研究之需求函數為 $Q_i(P_b, P_j, \theta_{it}) = \theta_{it} - bP_i + dP_j$ ，前述研究顯示，消費者願意溢價購買低碳商品，若(1) b 值由 259 下降到 200，表示需求量相對於 Acer 價格較不敏感，投資 K 之價值將遠高於不投資 K；反之，若(2) b 值增加且 ≥ 460 ，則投資 K 之價值小於不投資 K 之價值，Acer 公司應選擇不進行 R&D 投資。

(二) Acer 公司成本敏感性分析

表七：Acer 公司成本敏感性分析

單位:NT\$Bn

Acer 成本增加幅度	投資K價值	不投資K價值	決策
0%	57	57	不投資K
-5%	59	57	投資
-10%	62	57	投資

若美國政府未如本研究假設對企業排碳量收取對價，則 Acer 投入之研發無法因排碳量降低而取得成本競爭優勢，在成本維持不變下，(投資 K 價值 - K) = NT\$57Bn - NT\$0.2Bn < 不投資 K 之價值 = NT\$57Bn，則 Acer 公司於 2010 年時應選擇不投入 K 以獲得較高之價值。

反之，若美國政府獎勵低碳商品較本研究假設更為積極，則 Acer 公司未來可取得之成本降幅高於 5%，則 Acer 公司應於 2010 年時選擇投入 K 以獲得較高之價值。

(三) 其他敏感性分析



表八：其他敏感性分析

單位:NT\$Bn

變數	數值	投資K價值	不投資K價值	決策
需求年標準差	0.90	252	250	投資
	0.50	94	92	投資
	0.27	59	57	投資
	0.05	46	44	投資
無風險利率	10%	51	49	投資
	5%	56	54	投資
	2%	59	57	投資
	1%	60	58	投資
資金成本	40%	53	51	投資
	20%	57	54	投資
	10%	59	0	投資
	5%	60	58	投資
產品週期	4年	109	104	投資
	3年	85	82	投資
	2年	59	57	投資
	1年	31	29	投資

若電腦市場的需求年標準差 σ 由 0.27 提高到 0.90，將使景氣轉強機率(u) 提高並使景氣轉弱機率(d)降低，即，景氣變化幅度加劇。經敏感性分析發現，在本研究假設下，景氣轉強機率提高將使投資價值增加，反之，將令投資價值減少，且不影響投資價值高於遞延價值的關係。此外，經敏感性分析後發現，Acer 公司之資金成本、無風險利率提高，及產品週期之改變，皆不會影響投資價值高於遞延價值的關係。(詳如前頁表八)



六、結論

本篇研究探討價格競爭之電腦產業因應碳排放限制時代，於低碳商品之投資決策，並以 Acer 公司和其美國市場之競爭者為研究案例，運用兩期之實質選擇權賽局法分析該公司是否應進行「塑膠再生料電腦」之研發投資¹，以取得成本競爭優勢，進而提升公司獲利。

於本研究假設前提下，本研究發現 Acer 公司評估於美國電腦市場之投資決策時，綜合考量(1)碳排放政策、(2)研發之實質選擇權及(3)競爭對手互動反應後，應選擇進行「塑膠再生料電腦」研發，以獲取最大利益。經敏感性分析發現，決定投資價值主要因素為(1)投資低碳商品對 Acer 公司未來之成本效益(即，暖化政策)，以及(2)需求量對 Acer 產品價格敏感性(即，消費者態度)。

最後，對於本篇研究之限制、貢獻和後續研究方向分述如下：

(一) 研究限制：

電腦產業實為寡占市場，非如本研究簡化後之雙占市場，且未將廠商之規模大小等之內生變數納入考量，且實質選擇權賽局法模型中包含許多主觀假設，一旦實際市場條件產生波動，都可能使結果發生鉅額改變。

(二) 研究貢獻

近幾年，國外對於全球暖化對經濟和企業永續經營之研究已相當熱門，本篇貢獻和特色為國內首篇將國外氣候變遷相關研究彙整並分析，包括課徵溫室氣體排放稅和施行總量控制與交易制度、碳排放揭露、政府綠色採購趨勢、消費者對低碳商品之態度及企業減碳誘因等，並將暖化問題與企業投資決策結合，期能對未來國內相關研究有相當之助益。

(三) 後續研究方向

建議可就電腦供應鏈廠商進行低碳商品投資決策研究，或研究含金融業及保險業等產業於因應新增之暖化風險的解決方案，亦可分析 Acer 等重視企業永續責任之公司於獲利或股價表現是否優於同業等有趣議題。

¹ Acer公司於「2008年企業責任報告」表示，為求企業永續發展，將與供應商夥伴共同於科技研發上的努力，顯示雖Acer公司主打國際性品牌，由其供應商負責製造，惟產品之規劃與研發仍由該公司主導。

參考文獻

- [1] Alley, R., T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, P. Friedlingstein, J. Gregory, G. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, M. Manning, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, D. Qin, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, S. Solomon, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Stott, R.J. Stouffer, P. Whetton, R.A. Wood, and D. Wratt (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*, 10th Session of Working Group I of the IPCC, 1-22, Paris, : February 2007.
- [2] 國務院發展研究中心、國家發展和改革委員會能源研究所和清華大學 (2009), *2050 中國能源和碳排放報告*, 一版, 科學出版社, 民國九十八年。
- [3] Ernst & Young commissioned Verdantix (2010), *Action Amid Uncertainty: The Business Response to Climate Change*, Available: <http://www.ey.com/>
- [4] Shindell, Drew T., Greg Faluvegi, Dorothy M. Koch, Gavin A. Schmidt, Nadine Unger, Susanne E. Bauer (2009), “Improved Attribution of Climate Forcing to Emission”, *Science*, 2009, 326, 716-718.
- [5] Stern, N. (2006), *Stern Review : The Economics of Climate Change*, London : HM Treasury, Available: <http://www.hm-treasury.gov.uk/home.htm>
- [6] Houghton, J.T., L. G.M. Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell, Eds. (1996), *Climate Change 1995 : The Science of Climate Change Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 1996.
- [7] Holland, G. J. (1997), “The Maximum Potential Intensity of Tropical Cyclones”, *J. Atmos. Science*, 54, 519-2541.
- [8] Emanuel, K. A. (1988), “The Maximum Intensity of Hurricanes”, *J. Atmos. Science*, 45, 1143-1155.
- [9] Knutson, T. R., R.E. Tuleya, W. Shen, and I. Ginnis (2001), “Impact of CO₂-induced Warming on Hurricane Intensities as Simulated in A Hurricane Model with Ocean Coupling”, *J. Climate*, 14, 2458– 2468.
- [10] Miller, Kathleen, and David Yates (2005), *Climate Change and Water Resources: A Primer for Municipal Water Providers*, AWWA Research Foundation and the National Center for Atmospheric Research, Denver, CO.
- [11] Ferrigno, J. G., A.J. Cook, A.M. Mathie, R.S. Williams, C. Swithinbank, K.M. Foley, A.J. Fox, J.W. Thomson, and Jörn Sievers (2009), *Coastal-change and glaciological map of the Palmer Land area, Antarctica: 1947-2009*, U.S. Geological Survey Geologic Investigations Series Map I-2600-C, 2009.
- [12] Department of Climate Change of Australia (2009), *The First Pass National Assessment of Climate Change Risks to Australia's Coasts*.
- [13] Dorale, J.A. B.P. Onac, J.J. Fornós, J. Ginés, A. Ginés, P. Tuccimei, D. W. Peate (2010), “Sea-level Highstand 81,000 Years Ago in Mallorca”, *Science*, 327, 5967, 860-863
- [14] Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2009), “Scientific Synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine Biodiversity”, *Montreal, Technical Series No. 46*, 61 pages.
- [15] Pagli, C. and Sigmundsson, F. (2008), “Will Present Day Glacier Retreat Increase Volcanic Activity? Stress Induced by Recent Glacier Retreat and Its Effect on Magmatism at the Vatnajökull Ice Cap, Iceland.” *Geophysical Research Letters*, 35, L09304.
- [16] Liu, C.C., A.T. Linde and I.S. Sacks (2009), “Slow earthquakes triggered by typhoons”, *Nature*, 459, 833-836.
- [17] Pew Environment Group (2010), *An Initial Estimate of the Cost of Lost Climate Regulation Services Due to Changes in the Arctic Cryosphere*.
- [18] Mayhew, P.J., Gareth B Jenkins and Timothy G Benton (2008), “A long-term

- association between global temperature and biodiversity, origination and extinction in the fossil record” *Proc. Biol. Science*, 275, 47–53
- [19] Ciais, Ph., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Oge’e, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann, Chr. Bernhofer, A. Carrara, F. Chevallier, N. De Noblet, A. D. Friend, P. Friedlingstein, T. Grunwald, B. Heinesch, P. Keronen, A. Knohl, G. Krinner, D. Loustau, G. Manca, G. Matteucci, F. Miglietta, J. M. Ourcival, D. Papale, K. Pilegaard, S. Rambal, G. Seufert, J. F. Soussana, M. J. Sanz, E. D. Schulze, T. Vesala and R. Valentini (2005), “Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003” *Nature*, 437, 529–533.
- [20] Costello, Anthony, M. Abbas, A. Allen, S. Ball, S. Bell, R. Bellamy, S. Friel, N. Groce, A. Johnson, M. Kett, M. Lee, C. Levy, M. Maslin, D. McCoy, B. McGuire, H. Montgomery, D. Napier, C. Pagel, J. Patel, J. Antonio P. de Oliveira, N. Redclift, H. Rees, D. Rogger, J. Scott, J. Stephenson, J. Twigg, J. Wolff, C. Patterson (2009), “Managing the Health Effects of Climate Change” *The Lancet*, 373, 9676, 1693 - 1733.
- [21] Kang, Kyung-wha (2007), “Climate Change, Migration and Human Rights”, *Conference on Climate Change and Migration: Addressing Vulnerabilities and Harnessing Opportunities*, 19 February 2008, Geneva.
- [22] 行政院農業委員會(2010), 「朝鮮半島氣溫若上升 4℃ 經濟損失逾 50 兆韓元國際重要農情資訊」, *農政與農情*, 213 期
- [23] KPMG (2008), *Climate changes your business*.
- [24] 何興亞、李維森、謝龍生、林李耀(2005), 「卡崔娜颶風災情整體情況描述」, *土木水利*, 第 32 卷第五期, 14-20 頁
- [25] The World Bank (2009), *Economics of Adaptation to Climate Change Study*,
- [26] Stern, N. and C. Taylor (2007), “Climate Change: Risks, Ethics and the Stern Review” *Science*, 317, 203-204.
- [27] Stehfest, E., L. Bouwman, P. Detlef, van Vuuren, M. G. J. den Elzen, B. Eickhout, and P. Kabat (2009), “Climate benefits of changing diet”, *Climatic Change* 95(1-2), 83-102.
- [28] Friel, S., A. D. Dangour, T. Garnett, K. Lock, Z. Chalabi, I. Roberts, A. Butler, C. D. Butler, J. Waage, A. J. McMichael and A. Haines (2009), “Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture”, *Lancet*, published online Nov 25.
- [29] Food and Agriculture Organization of The United Nations (2009), *The state of Food and Agriculture*
- [30] Goodland, R. and J. Anhang (2009), “Livestock and Climate Change: what if the key actors in climate change are cows, pigs and chickens?” *World Watch*, November/December. , Available: www.worldwatch.org.
- [31] Steinfeld, H., P. Gerber, T. D. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, C. de Haan (2006), “*Livestock’s long shadow. Environmental issues and options.*”, FAO : Rome
- [32] Hirschfeld, Jesko; J. Weiß, M. Preidl, T. Korbun (2008), *The Impact of German Agriculture on the Climate- Main Results and Conclusions*, Institute for Ecological Economy Research 189/08, Berlin.
- [33] Pigou, A. (1932), *The economics of welfare*, 4th ed, London: Macmillan and Co.
- [34] Coase, Ronald (1960), “The Problem of Social Cost”, *Journal of Law and Economics*, vol. 3, 1-44.
- [35] Thaler, Richard H. and Cass R. Sunstein (2009), *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth and Happiness*. New York: Penguin.
- [36] Cooper, R.N. (2008), *The Case for Charges on Greenhouse Gas Emissions*, The Harvard Project on International Climate Agreements, Discussion Paper 08-10, Cambridge, Massachusetts, November.
- [37] Aldy, J. E., Eduardo Ley, and Ian Parry (2008), “A Tax-Based Approach to Slowing Global Climate Change.” *National Tax Journal*, LXI, 3, 493-517.

- [38] EU (2009), *2050: The future begins today - Recommendations for the EU's future integrated policy on climate change*, 4 February, 2009, Strasbourg
- [39] Bruvoll, A. and B. M. Larsen (2004), "Greenhouse gas emissions in Norway. Do carbon taxes work?" *Energy Policy*, 32, 4, 493-505.
- [40] Vehmas, Jarmo (2005), "Energy-Related Taxation as an Environmental Policy Tool - The Finnish Experience 1990-2003", *Energy Policy*, 33, 2175-2182.
- [41] Tagesson, T., B. Veronica, B. Pernilla and Sven-Olof Collin (2009), "What Explains the Extent and Content of Social and Environmental Disclosures on Corporate Websites: A Study of Social and Environmental Reporting in Swedish Listed Corporations", *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 16, 6, 352-364
- [42] Johnson, Robert L. (2009), "Organizational Motivations for Going Green or Profitability versus Sustainability", *The Business Review*, Cambridge, 13, 1, 22-28
- [43] Havas Media Intelligence (2009), *Sustainable Futures 09*.
- [44] 許國榮、王朝民 (2009), 「綠色產品新世代-探討新一波國際環保規範發展趨勢」, *經濟部永續產業發展雙月刊*, 47, 13-25
- [45] 胡憲倫、蔡宏達、許家偉 (2009), 「國際碳標籤的發展趨勢及現階段台灣的因應做法介紹」, *經濟部永續產業發展雙月刊*, 47, 56-65
- [46] Smorch, Patrick (2007), "Nine steps to greater profitability, sustainability", *PackagingDigest*, 44, 3, 46-48
- [47] Bouquet, C., A. Crane and Y. Deutsch (2009), "The Trouble with Being Average", *MIT Sloan Management Review*, 50, 3, 79-80.
- [48] Woller, G. (2007), "Trade-offs between Social & Financial Performance", *ESR Review*, 9, 2, 14-19.
- [49] Boyd, Ch. (2001), "Sustainability is good business", *OECD Observer*, 228.
- [50] Hayes, R.H. and D. A Garvin (1982), "Managing as if tomorrow mattered", *Harvard Business Review*, 3, 70-79.
- [51] Trigeorgis, L., and S. P. Mason (1987), "Valuing Managerial Flexibility and Strategy in Resource", *Midland Corporate Finance Journal*, 1, 14-27.
- [52] Myers, S.C. (1977), "Determinants of Corporate Borrowing", *Journal of Financial Economics*, 5, 147-175.
- [53] Kogut, B. and N. Kulatilaka (1994) "Operating Flexibility, Global Manufacturing, and the Option Value of a Multinational Network", *Management Science*, 40, 1, 123-139.
- [54] 廖四郎、陳坤銘、鄭宗松 (2003), "最適投資決策與產品生命週期—實質選擇權分析法", *中山管理評論*, 秋季號, 第十一卷第三期, 571-596.
- [55] Von Neumann, J., and O. Morgenstern (1947), *Theory of games and economic behavior*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- [56] Isik, M. K. H. Coble, D. Hudson and L. O. House (2003), "A model of entry-exit decisions and capacity choice under demand uncertainty", *Agricultural Economics*, 3, 215-224.
- [57] Smit, H.T.J., and L. Trigeorgis (2006), "Real options and games : Competition, alliances, and other applications of valuation and strategy", *Review of Financial Economics*, 2, 95-112.
- [58] Smit, H.T.J., and L. Trigeorgis (2004), *Strategic Investment : Real Options and Games*. New York : Princeton University Press.
- [59] Cox, J., S. Ross and M. Rubinstein (1979), "Option Pricing : A Simplified Approach", *Journal of Financial Economics*, 7, 229-264.
- [60] Pamlin, D. (2008), *The potential global CO2 reductions from ICT use: Identifying and assessing the opportunities to reduce the first billion tones of CO2*, May, WWF-Sweden.