

科技創新政策經濟效益評估的可計算一般均衡分析：以臺灣資訊產業研發投資為例

楊浩彥、劉名寰*

摘要

本文旨在提出一套可應用於衡量我國創新研發資源投入對我國經濟影響的量化評估方法－「臺灣科技政策評估可計算一般均衡模型」(computable general equilibrium for Taiwan science and technology policy evaluation, SciTech CGE)。本文的特色在於將創新研發活動所產生的產業內與產業間研發外溢效果納入考量，使衡量創新研發活動所帶來的經濟效益更為周全。本文發現，相較於其他產業，服務業的創新研發投資對提升其產業內總要素生產力的影響係數最大，同時產業之間的創新研發投資對服務業的外溢效果最高，亦即服務業是享受來自其他產業研發外部性最多的產業。根據本文模擬分析結果顯示，政府新增對資訊通訊科技 (information and communications technology, ICT) 產業投資將有助於提升我國未來經濟成長動能、刺激民間投資、增加政府稅收。此外，政府對 ICT 產業的研發投資將提升產業勞動生產力，同時亦拉升勞動對資本要素的相對價格。值得一提的是，ICT 產業研發投資所帶來的生產力與技術進步將減少金融及保險業的勞動需求，隱含由 ICT 產業所帶來的技術革新，將影響金融相關產業的未來經營模式。

關鍵詞：科技創新政策、研發外溢、可計算一般均衡模型

JEL 分類代號：C67, C68, D24, E22

* 兩位作者分別為聯繫作者：劉名寰，臺灣經濟研究院副研究員，104230 臺北市中山區德惠街 16-8 號，電話：02-25865000，E-mail: ming_huan.liu@gmail.com；楊浩彥，國立臺北商業大學財務金融學系教授，100025 臺北市中正區濟南路一段 321 號，電話：02-23226515，E-mail: haoyen@ntub.edu.tw。作者感謝編輯委員與兩位匿名審查委員所提供的寶貴意見與建議，文中倘有任何錯誤，當屬作者之責。

投稿日期：109 年 8 月 20 日；修訂日期：109 年 10 月 16 日；

接受日期：110 年 1 月 8 日。

經濟研究 (Taipei Economic Inquiry), 58:1 (2022), 49-106。

臺北大學經濟學系出版

1. 前言

本文旨在提出一套可應用於衡量我國創新研發資源投入對我國經濟影響的量化評估方法，希冀透過本文所提出的方法論，使分析科技研發投資經濟效益時，有更多元的角度來探討研發投資的經濟效果。

我國政府對於科技發展與創新研發向來高度重視，雖然近年政府財政壓力升高，但對於科研創新活動仍給予高度支持，每年所投入的經費也持續增加。然而，目前政府對於相關科研經費投入究竟可以帶給國內經濟多大程度的影響，尚缺乏一套系統性的評估方法。因此，在許多科技計畫成果報告中，多從投入面進行成果論述，相對缺乏經過客觀評估後的量化產出說明。

隨著時代進步與社會變遷，科技政策與社會、經濟的連結愈趨緊密，加深了政府施政效益評價的困難。因此，若能建構一套系統性的量化評估方法，協助政府精進科技計畫審議與政策效果評估，將有助於提升政府施政品質，增進人民對政策目標與施政效益的預期，有利於政府和民眾溝通。此外，近年民間對於政府必須提出「大型科技研發計畫」執行效益的訴求聲浪愈來愈高，在在凸顯出發展科技政策評估方法的重要性。¹

完整的科技政策形成與評估流程概可分為幾個過程：首先是對國家的科技、社會與經濟發展特徵有深入的理解；其次，政府根據國家發展願景設定政策議程，導引出不同的政策工具；接著，再針對不同的政策選項進行事前評估，形成候選政策組合；最後，再依據施政優先順序、各領域專家意見，以及政策評估的結果，形成具體科技政策。而政策執行後，透過動態管考與追蹤機制，進行政策影響與效益的事後評估，亦為完善政府決策機制的關鍵。經由上述

¹ 台積電張忠謀董事長在科技會報會議中，提議「大型科技研發計畫」執行可參考投資回報率 (return on investment, ROI) 的概念。(經濟日報，2016/7/27)

過程，政府可依據政策的事前與事後評估結果，做為與社會溝通的基礎，增進民眾對政策的瞭解，建立人民對施政的信心。終極目的，是形塑出政策審議與政策形成機制的良性循環，協助政府精進科技政策決策品質，讓有限的預算資源達到選擇與聚焦。

科研創新已被廣泛公認是提升總要素生產力(total factor productivity, TFP)的關鍵因素 (Hall et al., 2010)。對產業而言，創新研發有助於刺激廠商在產品、製程及商業模式上的創新，提升廠商的市場競爭力與獲利能力。另一方面，受惠於 21 世紀資通訊科技的快速演進，加速帶動巨量資料 (big data)、物聯網 (internet of things)、人工智慧 (artificial intelligence, AI) 等技術領域的發展，相關技術的演進，除了將給產業帶來許多發展機會與挑戰之外，也意味著持續投入科研創新與完善國家創新體系的重要性。

一國創新力量與成果的展現，體現在社會中不同利害關係人(政府、企業、大學、研究機構)彼此互動所產生的結果 (OECD, 2014)。在國家創新體系的演化過程中，政府的角色相當重要。一方面是政府扮演打造國家研發基礎環境的重要推手，另一方面是政府政策會影響民間投資誘因，而民間投資是經濟發展的關鍵。此外，由於研發成果具有外部性，即企業和產業無法獨享研發投資的報酬，因此，社會實際研發投資總量可能會低於最適投資水準 (Griliches, 1979；蔡光第與楊浩彥，1996；Bloom et al., 2013)，而政府的角色即在於設法縮小兩者之間的落差。

從國家創新體系的角度來看，研發資源投入到產生經濟效益的過程，可分為幾個階段：首先是研發經費來源，根據經濟合作暨發展組織 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 的分類架構，一國研發經費來源有政府、企業、高等教育等若干部門。以我國為例，我國研發經費主要來源是企業和政府部門，2013 年兩者合計占全國研發經費 97.9%。經費來源確定後，接著是選擇研發的投資類型，研發類型分為基礎研究、應用研究和技術發展。基礎研究通常是不帶商業目的的知識探索，反觀應用研究和技術發展

的目的性較強，而兩者距離實現商業價值也較為接近。2013 年我國基礎研究占全國研發經費 9.2%、應用研究占 23.2%，技術發展占 67.5%。相較於其他國家，我國基礎研究占比低於鄰近的韓國 (18.31%)、日本 (12.63%)，也低於美國 (16.54%) 以及近年推動創新創業有成的以色列 (13.16%)。²

在研發績效方面，研發成果通常隨著不同的執行部門而有所差異。企業研發成果最常見的形式是專利權，企業藉由發展專利來保障其商業利益（如阻絕競爭、取得授權收入等），而政府、大學或研發機構的研發績效則常以技術報告、論文、專利、人才培育等形式形成對整體社會的公共知識資本。此外，近年各國政府積極推動產學合作，相關合作成果亦可能因為技術商業化而產生新創企業或衍生公司 (spinoff company)。值得一提的是，創新研發成果的外部性對國家創新體系相當重要，特定部門研發成果의 分享與擴散，對於累積社會整體知識存量有顯著的影響。提升產業創新的外部性，將有利於促進總要素生產力及經濟成長（林麗貞，2008）。綜言之，從產業與經濟發展的角度來看，科研創新的目的，是希望藉由研發活動促進產業的多元創新，從而提升產業生產力與競爭力，最終帶動就業、投資、政府稅收與經濟成長。

以 AI 為例，AI 是目前全球各主要經濟體積極投入資源進行研發的技術領域。2017 年 PwC「人工智慧與機器人學」報告指出，資料科學、商業智慧及健康照護，是全球目前投入 AI 研發比重最高的前三大領域，AI 研發活動正在多個面向積極發酵，不同技術與不同產業間彼此串連，相關研發成果與應用情境也因為各技術領域與各行業之間的高度關聯而益顯活潑。

從產業發展的角度來看，在當前愈趨普及的「物聯網」應用與資通訊設備效率以穩健的步伐進步的趨勢下，未來勢必將產生更多有利於 AI 發展的環境條件：更多資料、更平價的硬體設備，以及更

² 資料來源為科技部《科學技術統計要覽》和 OECD 主要科技指標資料庫 (Main Science and Technology Indicators)。

多的應用需求情境。透過 AI 的發展與擴散應用，將有助於提升產業營運效率、孵育新興商業模式、觸發產業生態系轉變，從而提升整體經濟的生產力。站在政府的角度，雖然樂見科技創新所衍生的經濟效益，然而，創新可能帶來的負面衝擊，也是政府必須關心的。PwC (2017) 指出，雖然未來 AI 技術進步將給農業、製造業、服務業等多個行業帶來營運模式的轉變（見表 1），但亦將衝擊勞動市場。顯見不論是 ICT 產業創新或未來 AI 技術的開發應用，在給產業帶來技術進步的同時，亦將對社會造成衝擊。

諸如此類的經濟關聯效果，需要仰賴一套系統性的方法，以協助掌握政策所帶動的科技研發投資可能衍生的社會與經濟影響。而本文的目的是建構臺灣科技政策評估可計算一般均衡模型 (computable general equilibrium for Taiwan science and technology policy evaluation, SciTech CGE)，即在嘗試回應我國科技政策經濟效果的評估需求。

本文首先編制一個 2015 年臺灣社會會計矩陣，並以該資料為基礎，建立臺灣 SciTech CGE 模型；接著，本文整理 2001 年至 2015 年的資料，估計創新研發對產業總要素生產力的影響程度，並利用更新後的產業關聯表計算不同產業之間的創新研發外溢效果。本文所建構的 SciTech CGE 模型，其特色在於可應用於衡量研發投資對經濟體所產生的效果，藉以檢視研發投資對於重要經濟變數（例如國內生產毛額 (gross domestic production, GDP)、民間投資、生產、勞動需求）的影響，供政策制定與研究者評估不同創新研發投資政策的經濟影響分析。值得一提的是，本文將創新研發活動所產生的產業內與產業間研發外溢效果納入考量，使衡量創新研發活動所帶來的經濟效益更為周全。

本文共分為 5 節：第 1 節為前言；第 2 節是研發投資 CGE 模型相關文獻；第 3 節為研究方法；第 4 節為政策實證分析；第 5 節為本文結論與研究限制。附錄 1 為本文 CGE 模型方程體系；附錄 2 為本文政策情境分析之參數設定值。

表 1 AI 應用對各領域的影響

行業/領域	影響內容
產品製造	提供更可靠的需求預測、更彈性的供應鏈管理、更精準的庫存調度，提高企業營運效率。
國家與安全	偵測人們異常行為及損害監測，提供重要基礎設施（如機場、電廠等）更安全的防護。
物流	透過最適化行程規劃進行物流調度作業，使貨品在運送過程中（不論在倉庫或運送途中）更具效率，同時避免非天災之影響（氣候或交通等）。
金融服務	透過早期預警與偵測，避免金融風險或系統失靈，降低惡意攻擊之危害。例如市場操縱、詐欺、異常交易，並且減少市場波動及交易成本。
旅遊與交通	透過人體健康偵測系統、交通工具之及時故障偵測、及時道路行駛規劃，提升旅遊與交通運輸效能，減少碳排放及能源使用。
農業	改善農產品生產、倉儲、配送及消費效率。可針對特定地點做出及時生產監測，如自動監測肥料與化學物使用時機。
消費商品與服務	縮小批發與零售業之顧客需求與供貨量之時間落差。
通訊與社群媒體	提供自然語言處理及翻譯功能，對多語言與多文化國家極具價值，提升如網路蒐尋及語言翻譯效率。
科學與技術發展	協助科研人員進行研究工作，例如文獻閱讀、專利，產生實驗假說 (hypothesis)，以及透過機器人系統進行假說驗證。
教育	對於那些缺乏充足教育人力與足夠經驗教師的國家而言，AI 導入教育系統可改善學生學習，並衡量學生學習表現。
醫藥與健康照護	增進醫護人員對於疾病的診斷。許多如生物資訊學 (bioinformatics) 等領域，因為結合了跨領域學門，所以需要具備大量資訊判讀與處理能力，AI 演算法可協助克服上述問題。在健康照護與生物科技領域，AI 可從龐大的基因資料庫協助辨識基因風險，並預測新藥安全性與療效。
法律規範	AI 可透過分析以往法律判例，增進法律判決品質與效率，並透過相關文本分析，形成新的法律見解，增進法律規範品質。
審計服務	許多企業擁有龐雜的文件資料，需要透過大量人力整理與閱讀。而認知技術的發展，已逐漸被應用在分析關鍵文件的判讀之上，同時機器學習也逐漸使得藉由電腦自動辨識與萃取重要資訊成為可能。

資料來源：PwC (2017)。

2. 文獻回顧

2.1 CGE 模型衡量研發投資的經濟效果

在政策研究領域中，CGE 模型一直是被廣泛應用的主要方法之一，不論是經濟發展、稅制改革、貿易與能源政策等議題，皆可見到許多應用 CGE 模型的相關研究。CGE 模型開始被用來探討研發投資議題約莫是在 1990 年代末期 (Hong et al., 2014)，當時關於創新研發政策衝擊與公私部門研發投資的總體經濟效果受到 Diao et al. (1996)、Diao et al. (1999) 與 Goulder and Schneider (1999) 等學者的重視。

晚近受到知識經濟與國家創新體系概念蔚為風潮的影響，許多國家對於創新研發在經濟成長中所扮演的角色更加重視，也開始積極制定相關政策，希望鼓勵民間投入創新研發以協助經濟發展。在這樣的時空背景下，影響了部份學者將心力投入於應用 CGE 模型探討創新研發的相關政策議題。

Ghosh (2007) 利用 CGE 模型檢視多種鼓勵研發投資政策對加拿大經濟成長與生產力的影響。該研究發現，針對研發投資給予直接誘因（如給予研發資本使用者直接補貼），對提升生產力有最顯著的效果，且產生的負面衝擊也相對較小，而透過貿易自由化政策強化本國接收來自外國的創新外溢對生產力的進步效果最小。

Bye et al. (2009) 以挪威為研究對象，利用 CGE 模型探討小型開放經濟體在不同研發投資獎勵政策下，可能產生的福利效果與經濟成長效果。該研究指出，研發補貼政策在小型開放經濟體的福利與經濟成長效果明顯小於大型封閉經濟體。小型開放經濟體大部份的福利與經濟成長效果取決於本身對於新技術的出口能耐。政府對於民間部門給予研發補貼雖有助於提升整體研發投資水準，但補貼政策不必然會增加社會福利。

Bor et al. (2010) 以臺灣為研究對象，探討公共研發投資的總體經濟效果。該研究所使用的 CGE 模型是以澳洲 Monash 大學 ORANI-RD 模型為基礎進行延伸，並假設以 2008 年政府科研支出規模新增 1% 做為政策情境設定。該研究發現，公共研發投資有不同的短、中期效果，從 GDP 的變化來看，公共研發投資對 GDP 的影響約在第三年或第四年便開始下降並逐漸回復均衡。公共研發投資有助於提升高科技產業的生產力並促進出口，但對於初級產業的生產會產生排擠作用。此外，公共研發投資雖然有助於帶動實質薪資上漲，但亦將推升物價。

Křístková (2012) 以捷克為研究對象，利用遞迴動態 CGE 模型，探討研發活動對該國長期經濟成長的影響。該研究指出，研發投資有助於累積知識資本，進而帶來較高的經濟成長率，但研發投資的動態跨期效果相對較小。此外，在經濟結構轉型的過程中，若忽略知識資本所扮演的角色，將會低估服務業對整體經濟的重要性。

Kuroda et al. (2016) 則以日本為研究對象，建構一多部門遞迴動態一般均衡模型。該研究的特色在於，將產業營運活動分成三種類型：主要生產活動、內部資訊處理活動及內部研發活動；同時，將政府與產業研發活動進一步分成五個主要領域：生命科學、資訊通訊、物質材料、環境能源及其他領域。透過前述的模型規劃，該研究認為可以更為貼近現實地衡量政府對於不同研發領域的科技政策的經濟效果。

2.2 研發投資對產業生產力的影響

根據前述的文獻可知，利用 CGE 模型探討研發活動的經濟效果已被學者廣為採用，而本文嘗試將研發活動對產業內與產業間的效果納入模型當中，希冀能夠更周延地評估研發活動的整體經濟效益。綜觀過去國內相關文獻，探討研發投資對產業生產力的影響的相關文獻，多以製造業為主要研究對象，但不同研究所關注的面向不同。

Färe et al. (1995) 以臺灣製造業四大行業別－民生工業、化學工業、金屬機電、資訊電子為研究對象，利用 Malmquist 生產力指數衡量方法，分析臺灣製造業總要素生產力在 1978 年至 1989 年的變動因素。該研究將產業生產力變動分為技術變動和技術效率變動兩個因素，並以實質 GDP 為產出變數，工時和實質資本存量為投入變數。該研究指出，長期而言，臺灣製造業總要素生產力進步來源來自技術變動，而技術變動與研發活動呈現正向關連，反觀技術效率變動因素對製造業總要素生產力的影響較不明顯。

蔡光第與楊浩彥（1996）將臺灣製造業 17 個部門依照研發資本密度區分為高、中、低科技三個部門，據以估計研發投資對產業總要素生產力的影響。該研究以梭羅剩餘 (Solow residual) 概念，估計產業總要素生產力。假設生產函數為 Cobb-Douglas 型態，產業附加價值是實體資本、勞動力，以及研發資本的函數。該研究以產業關聯表中，各產業的「中間投入」與「中間銷售」係數為權重，計算各產業研發資本存量的擴散與接收數量。研究發現，製造業每增加 1% 外溢 R&D 資本，將使全體製造業產出平均增加 0.058%。此外，各部門產出皆受到研發資本外溢的影響，且高科技產業研發資本外溢的接收和擴散數量高於其他部門。

莊奕琦與許碧峰（1999）將 15 個製造業中分類部門分為輕、重化工業，以及高、低研發投資產業，分析研發投資對生產力的貢獻以及產業間的技術擴散效果。該研究設定生產函數為 Cobb-Douglas 型態，並假設產出是勞動、資本、研發投資及研發外溢效果的函數。在研發外溢效果的推估方面，是利用各產業在產業關聯表的「投入係數」為權重，推估產業間的研發外溢效果。該研究指出，高研發產業部門每單位研發投資對部門內的生產力影響最大，研發對生產力的彈性係數為 0.115。在外溢效果方面，同樣是高研發產業部門所獲取的研發外溢效果高於低研發產業部門，隱含研發外溢效果存在於上下游垂直相關連產業，高研發投資的廠商或產業更容易取得外溢效果的好處。

Liang (2002) 以臺灣 34 個產業部門為研究對象，分析各產業生產要素在 1961 年至 1993 年對產出的貢獻。該研究假設產業生產函數為 Cobb-Douglas 型態且為固定規模報酬，並以附加價值作為產出變數，而生產投入變數則為淨資本存量、勞動和時間趨勢。該研究發現，整體而言，資本對 GDP 成長的貢獻最大、勞動要素次之，總要素生產力排名第三。值得一提的是，該研究指出，1982 年至 1993 年，總要素生產力對多數產業的產出貢獻已超過資本和勞動要素。

除了前述以產業層級資料所進行的研究之外，亦有若干研究是利用廠商層級資料來探討研發投資對生產力的效果。楊志海和陳忠榮 (2002) 以臺灣 279 家製造業廠商在 1990 年至 1997 年的樣本進行研究，分析廠商創新活動和生產力的關連。該研究設定廠商生產函數為 Cobb-Douglas 型態，產出是勞動、實質資本及技術知識資本的函數。該研究發現，研發資本對產出的彈性在橫斷面估計約 0.05，在時間面的估計係數為 0.01。此外，專利存量的彈性在橫斷面和時間面的估計係數分別為 0.25 和 0.12。Wang and Tsai (2004) 利用 136 家臺灣製造業廠商資料，估計 1994 年至 2000 年廠商研發投資的產出彈性。該研究假設生產函數為 Cobb-Douglas 型態，且產出是勞動、實體資本和研發資本存量的函數，並以永續盤存法推估研發資本存量。該研究指出，整體而言，研發投資對廠商的生產力彈性界於 0.18 至 0.2，研發投資對高科技廠商的生產力進步影響較大，研發投資彈性界於 0.29 至 0.31，高於非高科技廠商的 0.07。Yang and Huang (2013) 以 1990 年至 2003 年臺灣製造業廠商為分析對象，探討廠商研發生產力決定因素及研發投資對產出的影響。該研究發現，在 1997 年亞洲金融風暴之後，廠商研發生產力呈現快速成長，而歷年研發投資對產出的彈性係數介於 0.008 到 0.32 之間。

由此可知，研發投資確為影響產出和生產力的關鍵因素。在衡量研發投資外溢效果方面，文獻上主要是利用產業之間的交易訊息，假設產業研發資本存量的擴散與接收行為，近似於產業在生產過程中，對於中間財的銷售與投入行為。此外，過去文獻在方法論

上有兩個主要的特徵：一是應用 CGE 模型分析研發投資的總體經濟效果，另一是以計量模型估計研發投資對附加價值或產出的影響係數。而本文除了建置 SciTech CGE 模型來衡量研發投資的經濟效益，另一個貢獻在於，過去 CGE 文獻多假設產業技術進步率參數為外生給定，而本文以計量模型進行估計，並進一步結合產業關聯分析推估各產業的產業內及產業間研發外溢效果，此為本文在方法論上的創新之處。

3. 研究方法

3.1 CGE 模型說明與科技政策連結機制

如前所述，科研創新是提升總要素生產力的關鍵因素。科技研發投資所產生的經濟效果，除了體現在研發活動執行者本身之外，亦將對經濟體系內的其他個體造成影響。而此經濟效果的傳遞，可透過市場價格調節機能，影響商品與要素市場的供需行為，進而對產業、家庭及政府帶來影響。

為分析科技研發投資的對經濟體系的多元影響，需仰賴一套能夠詳細地衡量特定衝擊 (shock) 的經濟影響的方法。是故，本文參考經濟政策夥伴組織 (Partnership for Economic Policy, PEP) 所開發的遞迴動態 CGE 模型之精神，並結合臺灣科技研發活動與產業發展實況，建置符合我國國情發展的臺灣科技政策評估模型 (SciTech CGE)，³ 模型總計包含 28 個產業部門（如表 2）。本文在設計模型產業部門時，考量到我國研發投資主要來自製造業，加以本文是以資通訊產業研發投資為分析主軸，故在服務業的部門分類上，僅以電信服務、資訊服務、金融保險和公共行政等服務業部門做為代表。

本文 CGE 模型遞迴動態之設計，其動態機制是植基於資本的跨期遞迴累積，亦即使模型能夠捕捉資本累積的經濟效果。此設定方

³ PEP 模型介紹可參見：Decaluwé et al. (2013)。

式也符合科技研發投資具有遞延效益之特徵，動態機制方程體系之設定可見 (A103) 式至 (A109) 式。此外，本文 CGE 模型採取「新古典封閉法則」(neoclassical closure)，即投資由儲蓄決定，儲蓄來源包含家庭、廠商、政府及國外資金，而所有儲蓄均用於固定資本形成，詳見 (A89) 式。完整模型方程體系詳見附錄 1。

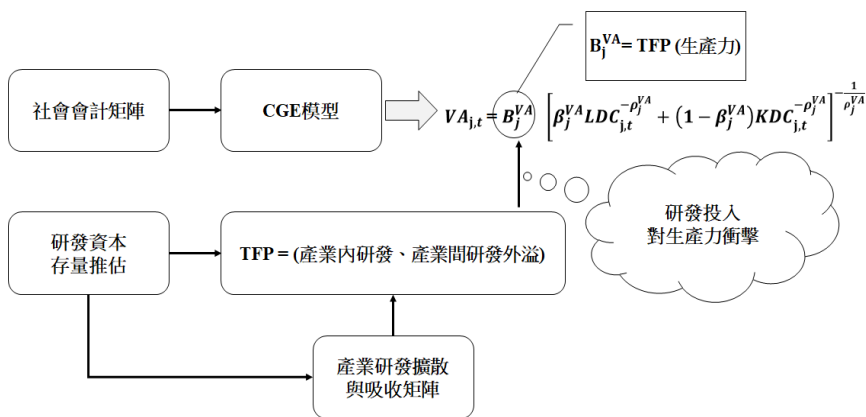
CGE 模型建置完成之後，本文以 TFP 做為 CGE 模型的政策傳遞管道，設定 TFP 為研發資本存量的函數，並透過產業研發擴散與接收矩陣，估計研發投資對 TFP 的影響。易言之，本文利用 CGE 模型執行政策情境設定時，有關研發投資對 TFP 的進步率參數是透過迴歸分析（詳見 (3) 式和 (4) 式）的估計係數進行設定（見圖 1）。⁴ 有關研發資本存量推估、產業研發擴散與接收矩陣編製，以及研發投資對 TFP 影響參數的估計與衡量，將於後文詳述。

表 2 本文 CGE 模型產業部門分類

編號	產業名稱	編號	產業名稱	編號	產業名稱
1	農林漁牧業	11	藥品業	21	汽車及其零件業
2	工業（不含製造業）	12	橡膠製品業	22	其他運輸工具業
3	加工食品業	13	塑膠製品業	23	其他製造業
4	飲料及菸草製造業	14	基本金屬製造業	24	電信服務業
5	紡織業	15	金屬製品業	25	資訊服務業
6	成衣及服飾品業	16	半導體業	26	金融及保險業
7	皮革、毛皮及其製品業	17	電子零組件業	27	公共行政服務業
8	石油及煤製品業	18	電腦、電子及光學產品業	28	其他服務業
9	化學材料業	19	電力設備業		
10	化學製品業	20	機械設備業		

資料來源：本研究整理。

⁴ TFP 參數設定除了透過實證估計，另一常見方式是透過專家訪談法或德菲法問卷蒐集參數。



資料來源：本研究整理。

圖 1 科技政策研發投資對經濟影響之傳遞管道

3.2 研發資本存量推估

本文利用「恆常投資法」推估產業研發資本存量，資料來源為科技部《科學技術統計要覽》，推估過程如以下方程式所示：

$$RDK_t = RD_t + (1 - \delta)RD_{t-1} + (1 - \delta)^2 RD_{t-2}, \quad (1)$$

$$RDK_0 = \frac{RD_1}{(g + \delta)}, \quad (2)$$

RDK_0 為研發資本存量初始值， RDK_t 和 RD_t 分別表示第 t 期研發資本存量淨額及研發投資， t 、 δ 、 g 表示時間、折舊率和成長率。⁵ 參考既有多數文獻之設定，本文假設研發資本的折舊率為 15%（見 Basant and Fikkert, 1996; Kathuria, 2001; Hall, 2007）。⁶

3.3 產業研發外溢與接收矩陣編製

如前所述，產業研發具有外溢特性，特定產業的研發活動除了

⁵ 各產業研發投資成長率 (g) 是以 2001 年至 2015 年「年平均成長率」。

⁶ Hall (2007) 指出，不同研究對於研發資本折舊率的看法雖不盡相同，但多數文獻仍採用 15% 做為折舊率參數。

能使自身生產力與效率獲得進步之外（產業內外溢），亦可讓其他產業獲益（產業間外溢）。為衡量產業研發外溢程度，Dietzenbacher (2000) 和 Chen et al. (2010) 利用產業關聯表衡量產業研發外溢與接收效果，將產業中間投入交易結構視為製程創新的外溢管道，而將產業產出提供給最終消費 (final demand) 的結構視為衡量產品創新對終端消費者的影響程度。

參考前述兩篇文獻的精神，本文利用產業關聯統計，編製我國產業研發外溢與接收矩陣，以此衡量產業研發外溢對產業 TFP 的影響。步驟如下：(1) 計算供給面投入產出技術係數矩陣：以各年度產業關聯表為基礎，計算各產業產出分配流向；(2) 將產業研發資本存量淨額依供給面技術係數矩陣，分攤至各採購部門；(3) 將交易表分攤的研發資本外溢矩陣進行垂直加總。資料期間為 2001 年至 2015 年。⁷

3.4 研發投資對 TFP 影響參數估計與推估設定

研發投資被視為是影響 TFP 的關鍵因素，在 Griliches (1973) 和 Terleckyj (1974) 這兩篇經典的文獻中，即闡明研發投資對 TFP 具有關鍵性的影響。本文以研發投資對產業 TFP 的影響係數做為 CGE 模型政策傳遞管道，設定產業 TFP 為研發資本存量的線性函數，如以下方程式所示：

$$\ln TFP_{it} = \beta^0 + \beta^1 \ln RD_{it} + \beta^2 \ln RD_{it} \times D_2 + \beta^3 \ln RD_{it} \times D_3 + \beta^4 \ln RD_{it} \times D_4, \quad (3)$$

$$\ln(\widehat{tfp})_{it} = \gamma^0 + \gamma^1 \ln RD_{sijt} + \gamma^2 \ln RD_{sijt} \times D_2 + \gamma^3 \ln RD_{sijt} \times D_3 + \gamma^4 \ln RD_{sijt} \times D_4. \quad (4)$$

本文設定實質產業附加價值為勞動雇用及實質固定資本存量淨額的函數，透過 Cobb-Douglas 生產函數推估產業 TFP。 TFP_{it} 表示第

⁷ 由於主計總處僅公布 2001 年、2006 年及 2011 年產業關聯統計，本文利用雙比例調整法 (Richard A. Stone, RAS) 填補各年度所缺的技術係數。

i 產業在第 t 期的總要素生產力，此變數服從梭羅剩餘精神。 RD_{it} 表示第 i 產業自身研發資本存量淨額。 $\ln(\widehat{tfp})_{it}$ 為前述 TFP 方程式的殘差序列， RD_{sijt} 表示第 j 產業研發資本外溢至第 i 產業的金額（見 4.3 節），下標 $i、j$ 分別表示研發接收與傳遞部門，用來衡量產業研發外溢效果， $D_2、D_3、D_4$ 則為工業、製造業和服務業虛擬變數。⁸ $\alpha、\beta、\gamma$ 為估計參數， \ln 表示變數取自然對數值， β 表示自身研發投資對產業內 TFP 的影響， γ 象徵接收自其他產業的研發外溢效果。有關生產函數估計的資料來源，農業勞動投入與資本存量取自農業年報，其他行業則取自主計總處多因素生產力報告。

由於本文所建置的 CGE 模型包含 28 個產業，然而從既有政府統計資料中，並無法完整取得 28 個產業的固定資本存量及研發投資統計。因此，本文採取下列步驟推估各產業研發投資對 TFP 的影響參數：

- (1) 四大產業研發投資效果：透過 (3) 式、(4) 式估計農業、工業、製造業、服務業研發存量對 TFP 的影響參數，即 $\beta^1、\beta^2、\beta^3、\beta^4、\gamma^1、\gamma^2、\gamma^3、\gamma^4$ 。
- (2) 產業中分類研發投資效果：本文 CGE 模型包含製造業和服務業的中分類產業，故本文利用產業關聯表 Leontief 逆矩陣，以製造業和服務業產業中分類各自對整體製造業和整體服務業的向後關聯係數比做為為權重，推估製造業和服務業中分類產業的研發投資效果，⁹ 如 (5) 式至 (8) 式所示：

$$\beta_i^3 = \beta^3 \times \frac{A_M^i}{A_M}, \quad (5)$$

⁸ 為避免產業內研發效果 (RD_{it}) 和研發外溢效果 (RD_{sijt}) 的共線性問題，本文採用兩階段估計方式，將兩類變數對產業 TFP 的影響獨立估計。

⁹ 本文利用「向後關聯係數」推估製造業和服務業中分類產業的研發投資效果的原因在於：「向後關聯係數」是描繪產業在生產過程中需要使用本身及其他產業產出做為中間投入的程度。一般而言，「向後關聯程度」愈高，表示產業的中間投入率愈高，因此相對容易獲得產業本身的創新，以及接收來自其他產業的創新成果。

$$\gamma_i^3 = \gamma^3 \times \frac{A_M^i}{\bar{A}_M}, \quad (6)$$

$$\beta_i^4 = \beta^4 \times \frac{A_S^i}{\bar{A}_S}, \quad (7)$$

$$\gamma_i^4 = \gamma^4 \times \frac{A_S^i}{\bar{A}_S}, \quad (8)$$

β_i^3 和 β_i^4 表示製造業和服務業各中分類產業的產業內研發效果， γ_i^3 和 γ_i^4 則為研發外溢接收效果， A_M^i 為製造業中分類產業向後關聯係數， \bar{A}_M 為整體製造業平均向後關聯係數， A_S^i 為服務業中分類產業向後關聯係數， \bar{A}_S 為整體服務業平均向後關聯係數。此處所指的研發外溢效果是指接收自本身所隸屬的產業大分類以外的研發外溢效果。以製造業加工食品業為例，利用 (6) 式可衡量加工食品業接收來自農業、工業及服務業研發的外溢效果，但不包含製造業其他中分類產業。而有關製造業和服務業中分類產業彼此在所屬產業內的外溢效果方面，本文是透過以下方程式進行刻劃：

$$\theta_{ij}^3 = \beta^3 \times \alpha_{ij}, \quad (9)$$

$$\theta_{ij}^4 = \beta^4 \times \alpha_{ij}, \quad (10)$$

θ_{ij}^3 和 θ_{ij}^4 分別為製造業和服務業中分類第 i 產業接收自第 j 產業的外溢效果； α_{ij} 表示第 i 產業總中間投入中第 j 產業所占的比重，介於 0~1。當 α_{ij} 數值愈大，則隱含第 i 產業從第 j 產業所接收的外溢程度愈高。

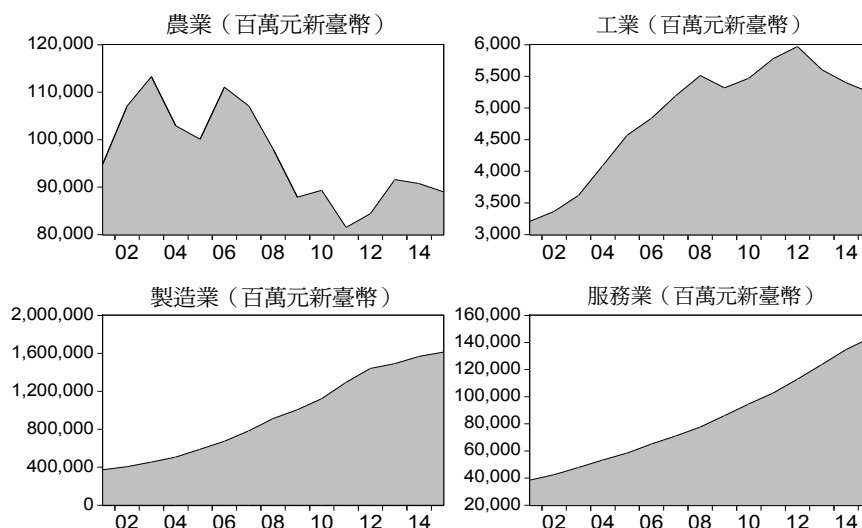
完成前述三個步驟的參數推估後，即可獲得各產業研發投資對 TFP 的影響程度。本文以研發投資對 TFP 的產業內效果和外溢效果做為政策參數，連結至 CGE 模型生產函數（見 (11) 式），其中 β_j^{VA} 即為產業 TFP ：

$$VA_{j,t} = \beta_j^{VA} \left[\beta_j^{VA} LDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}} + (1 - \beta_j^{VA}) KDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}} \right]^{-\frac{1}{\rho_j^{VA}}}, \quad (11)$$

3.5 研發投資對 *TFP* 影響參數估計與推估結果

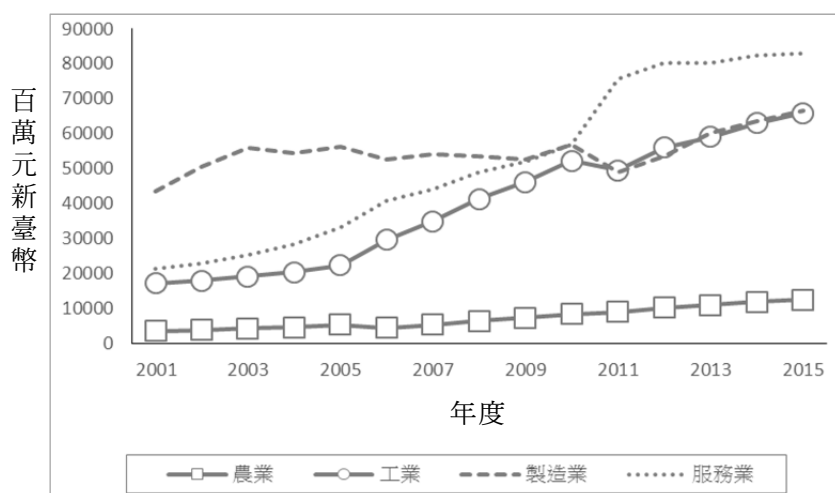
以下將說明本文針對研發投資對 *TFP* 影響參數的估計與推估結果。圖 2 為臺灣研發資本存量推估結果，從圖中可以看出，我國整體研發資本存量主要來自製造業，其次是服務業，近年兩個產業的研發資本存量呈現穩定上升，反觀近年農業和工業研發資本存量有下滑的趨勢。

圖 3 顯示各產業接收來自其他產業的研發資本外溢情況。2010 年以前，製造業是接收其他產業研發資本外溢最高的產業，但自 2010 年之後，服務業便迎頭趕上，成為接收其他產業研發資本外溢的主要產業，近年工業和製造業接收其他產業研發資本外溢的程度不分軒輊，農業則排名最後。圖 4 顯示各產業研發資本存量傳遞給其他產業的情況，從圖中可以看出，有別於接收其他產業的研發資本外溢，製造業是傳遞自身研發資本存量給其他產業最多的產業，由此可見製造業是臺灣創新研發的主力產業，其次依序是農業、服務業及工業。



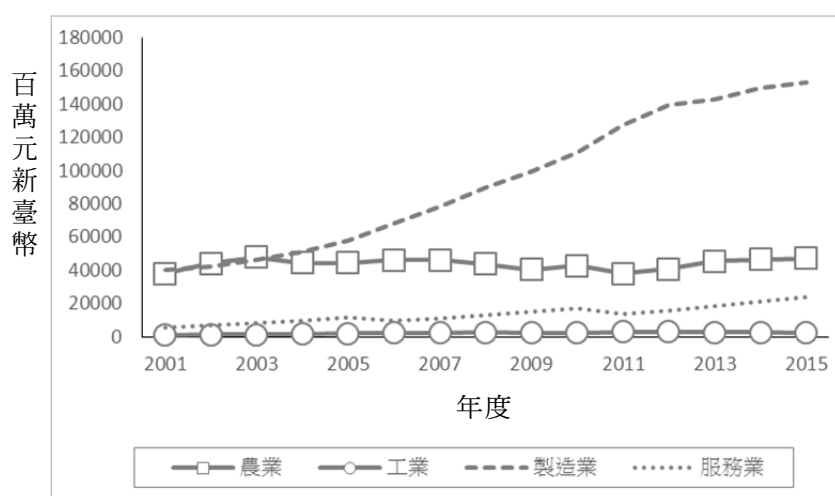
資料來源：本研究整理。

圖 2 2001 年至 2015 年各產業實質研發資本存量走勢



資料來源：本研究整理。

圖 3 各產業研發外溢 (接收方)



資料來源：本研究整理。

圖 4 各產業研發外溢 (外溢方)

表 3 為本文利用追蹤資料模型估計產業研發投資對 TFP 的影響係數，分為三個步驟：首先是推估產業 TFP ，接著是估計研發投資對 TFP 的產業內效果，最後是估計研發投資對 TFP 的產業間外溢效

果。資料期間為 2001 年到 2015 年，產業分類為：農業、工業、製造業和服務業。

表 3 最上方為生產函數估計結果，本文依此結果推估各產業 *TFP* 序列。觀察實證結果可以發現，平均而言，我國產業的資本與勞動要素投入額份比率約 1:2，要素份額合計約等於 1，即生產技術近似固定規模報酬。表 3 第二部份（中間）以農業研發投資為基準組，設定工業、製造業和服務業三個虛擬變數與研發投資的交乘項，據此估計研發投資對 *TFP* 的產業內效果。從估計結果可以看出，服務業研發投資對 *TFP* 的產業內效果最大，服務業研發資本每增加 1%，產業內 *TFP* 預期將增加 0.577% (0.159%+0.418%)；而農業研發投資對 *TFP* 的影響最低，農業研發資本每增加 1%，產業內 *TFP* 預期增幅為 0.159%。在工業和製造業方面，兩個產業的研發投資對 *TFP* 效果分別為 0.573% (0.159%+0.414%) 和 0.464% (0.159%+0.305%)。

前述估計結果與國內文獻的研究結論一致，即各產業研發投資對 *TFP* 皆具有顯著的正向影響，顯示研發投資確為影響產業生產力進步的關鍵因素。在估計係數方面，Wang and Tsai (2004) 發現國內高科技廠商的研發投資彈性約在 0.29 至 0.31，Yang and Huang (2013) 則指出，我國製造業廠商的研發彈性值最高為 0.32，而本文所估計的製造業研發投資彈性為 0.46，高於前述兩篇文獻。可能的差異來源除了本文與前述文獻所分析的資料層級不同之外（廠商層級相對產業層級），亦可能隱含隨著時間變遷，我國製造業研發投資對產業 *TFP* 的影響效果已有所提升。

表 3 第三部份（最下方）為產業間研發外溢效果的估計結果，同樣以農業為基準組，設定工業、製造業、服務業三個虛擬變數與各產業接收來自其他產業的研發資本的交乘項。根據實證結果，農業接收來自其他產業的研發外溢效果並不顯著，反觀服務業接收來自其他產業的影響係數最大。當服務業接收來自其他產業的研發資本增加 1%，服務業 *TFP* 預期將增加 0.435%；製造業的研發外溢接收效果排名第二，當製造業接收來自其他產業研發資本增加 1%時，

製造業 *TFP* 預期將增加 0.414%，而工業從其他產業的研發接收係數為 0.289%，排名第三。

表 4 為製造業和服務業中分類產業研發投資對 *TFP* 影響參數推估結果。本文採取迴歸估計搭配產業關聯資訊推估製造業和服務業中分類產業的研發投資效果。表中製造業和服務業產業內研發效果及產業間研發外溢效果是取自表 4 實證結果，而有關於此二產業的中分類產業的研發效果，則是利用向後關聯係數比值推估而得。

以食品加工業為例，該產業與製造業的向後關聯係數分別為 3.135 和 3.268，食品加工業向後關聯程度低於整體製造業平均水準，故本文假設食品加工業的產業研發效果是整體製造業的 95.9% ($3.135/3.268$)，進而推估食品加工業的產業內研發投資效果為 0.445 (0.464×0.959)，而產業間研發外溢接收效果為 0.397 (0.414×0.959)。意即，當食品加工業研發資本增加 1%，該產業 *TFP* 預期將增加 0.445%，而當接收來自其他產業（即農業、工業、服務業）的研發資本增加 1%，食品加工業 *TFP* 預期將增加 0.397%。

值得注意的是，前述製造業中分類產業的研發外溢接收效果是指接收來自農業、工業、服務業但不包含製造業中分類產業彼此之間的外溢效果。如欲衡量製造業中分類產業彼此之間研發外溢的接收效果，根據本文的設定，影響幅度需視整體製造業產業內研發效果與產業之間中間投入占比的乘積而定。例如，食品加工業因為接收來自電子零組件業研發資本外溢的影響，其 *TFP* 預期變動幅度即為整體製造業產業內研發效果 (0.464) 與電子零組件業占食品加工業總中間投入比例的乘積。

進一步觀察表 4 可以發現，排名產業內研發效果及產業間研發外溢接收效果的前三名產業皆為：電信服務、化學材料及基本金屬製品製造業。電信服務業排名產業內研發效果首位的原因，除了因為整體服務業擁有較高的產業內研發係數之外，另一個原因是電信服務業的向後關聯係數高出整體服務業許多，因此在綜合計算後使電信服務業產業內研發效果高於其他產業。

表 3 產業研發投資對總要素生產力影響係數

依變數：ln(VA)			
解釋變數	係數	標準誤	p 值
常數項	-0.56	0.708	0.434
ln(K)	0.727***	0.058	0.000
ln(L)	0.319**	0.144	0.026
Adj R ²		0.87	
樣本數		60	
依變數：lnTFP _{it}			
解釋變數	估計係數	標準誤	p 值
常數項	4.012***	0.132	0.000
lnRD _{it}	0.159***	0.026	0.000
lnRD _{it} × D ₂	0.414***	0.009	0.000
lnRD _{it} × D ₃	0.305***	0.005	0.000
lnRD _{it} × D ₄	0.418***	0.002	0.000
Adj R ²		0.88	
樣本數		60	
依變數：ln(\widehat{tfp}) _{it}			
解釋變數	估計係數	標準誤	p 值
常數項	4.817***	0.163	0.000
lnRD _{sijt}	-0.003	0.043	0.937
lnRD _{sijt} × D ₂	0.289***	0.008	0.000
lnRD _{sijt} × D ₃	0.414***	0.009	0.000
lnRD _{sijt} × D ₄	0.435***	0.009	0.000
Adj R ²		0.60	
樣本數		60	

資料來源：科技部科技統計要覽資料庫、行政院主計總處及本研究整理。

說明：1. 表格最上方為生產函數估計結果，依變數取對數後為實質產業附加價值 ln(VA)，解釋變數為常數項、取對數後的實質產業資本存量 (ln(K)，資料來源：科技部科技統計要覽資料庫並利用恆常投資法進行推估)、取對數後產業勞動雇用人數 (ln(L)，資料來源：行政院主計總處)。

2. 表格中間為產業 TFP 對產業研發資本存量迴歸結果，依變數為取對數後的產業 TFP，取自前述生產函數估計結果的殘差序列 (即梭羅剩餘)，解釋變數除常數項外，分別為取對數後研發資本存量及其與產業虛擬變數交乘項。

3. 表格最下方為產業研發外溢存量對產業 TFP 迴歸結果，依變數是本表第二部份估計結果的殘差序列，解釋變數為常數項及取對數的各產業研發外溢資本存量及其與產業虛擬變數交乘項。D₂、D₃、D₄ 為工業、製造業及服務業產業虛擬變數。

4. *** 與 ** 分別代表顯著水準為 1% 與 5%。

表 4 產業研發投資對 TFP 影響參數推估

	向後關聯 係數	向後關聯 係數比	產業內 研發效果	產業間 研發外溢 接收效果	研發效果 參數來源
製造業	3.268	1.000	0.464	0.414	見表 3
加工食品	3.135	0.959	0.445	0.397	推估
飲料及菸草製造業	1.997	0.611	0.284	0.253	推估
紡織品	3.630	1.111	0.516	0.460	推估
成衣及服飾品	2.818	0.862	0.400	0.357	推估
皮革、毛皮及其製品	3.138	0.960	0.445	0.397	推估
石油及煤製品	3.546	1.085	0.503	0.449	推估
化學材料	4.568	1.398	0.649	0.579	推估
化學製品	3.682	1.127	0.523	0.467	推估
藥品	2.659	0.814	0.378	0.337	推估
橡膠製品	2.974	0.910	0.422	0.377	推估
塑膠製品	3.849	1.178	0.547	0.488	推估
基本金屬製造業	4.566	1.397	0.648	0.578	推估
金屬製品	3.378	1.034	0.480	0.428	推估
半導體	2.805	0.858	0.398	0.355	推估
電子零組件	2.811	0.860	0.399	0.356	推估
電腦、電子及光學產品	2.584	0.791	0.367	0.327	推估
電力設備	3.253	0.996	0.462	0.412	推估
機械設備	3.489	1.068	0.496	0.442	推估
汽車及其零件	3.284	1.005	0.466	0.416	推估
其他運輸工具	3.360	1.028	0.477	0.426	推估
其他製造業	3.092	0.946	0.439	0.392	推估
服務業	1.737	1.000	0.577	0.435	見表 3
電信服務	2.018	1.162	0.670	0.505	推估
資訊服務	1.724	0.992	0.572	0.432	推估
金融及保險	1.547	0.891	0.514	0.388	推估
公共行政服務	1.624	0.935	0.539	0.407	推估
其他服務業	1.771	1.020	0.589	0.444	推估

資料來源：本研究整理。

說明：向後關聯係數是作者利用 RAS 推估 2015 年臺灣 28 產業的產業關聯表後自行計算而得。向後關聯係數比是製造業和服務業中分類產業對大分類的向後關聯係數比值。

4. 政策實證分析

4.1 模擬情境設計與基線預測

為檢視科技研發投入的經濟效果，本文以政府增加對 ICT 產業研發投資做為模擬分析情境，情境設計如下：¹⁰

- (1) 基線預測：以臺灣人口變化及各產業部門總要素生產力變化作為驅動因子。其中，2017 年至 2030 年臺灣人口成長率參數引自國發會「中華民國人口推估（民國 105 年至民國 150 年）」的中推估數據，而各產業部門總要素生產力參數設定如下：假設 2017 年至 2030 年工業部門 *TFP* 年增率為 0.24%、製造業部門年增率為 0.35%、服務業部門 *TFP* 年增率為 0%。¹¹
- (2) 政策影響：政府科技預算增加對 ICT 產業研發投資 50 億元，帶動相關產業生產力之恆常進步。新增的預算金額平均投資於半導體業、電子零組件業、電腦、電子及光學產品業、電信服務業及資訊服務業等 ICT 產業。¹²

4.2 政策模擬結果

本文以 CGE 模型衡量政府增加對 ICT 產業研發投資的經濟效

¹⁰ 本文所指的 ICT 產業與主計總處之定義一致，亦即：電子零組件業、電腦、電子及光學產品業、電信服務業、資訊服務業。特別說明的是，本文將半導體業從電子零組件業單獨列出，故本文設定政策衝擊時，半導體亦屬於本文 ICT 產業之範疇。

¹¹ 文獻上有關基線預測設定主要透過兩種管道：生產面和需求面。前者主要針對人口成長率和 *TFP* 自然成長率進行假設，後者則以出口和投資為主。而本文以我國人口成長率和各產業 *TFP* 成長率作為基線預測主要外生變數；其中，各產業 *TFP* 自然成長率，是參考主計總處 105 年多因素生產力趨勢分析報告，以各產業部門在 2012 年至 2016 年 *TFP* 平均成長率為參數。此外，由於服務業 *TFP* 在 2012 年至 2016 年的平均成長率為負 0.15%，故本文假設服務業 *TFP* 自然成長率為 0%。

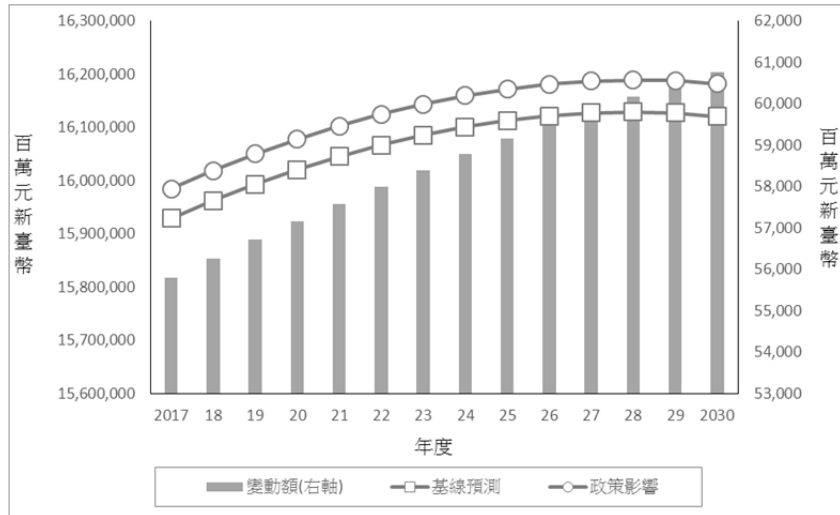
¹² 本文設定政府每年新增 ICT 產業研發投資 50 億元，在概念上類似以舉債融通方式籌措財源進行投資，惟本文假設舉債融通不會產生排擠效果。

果。一般而言，研發投資的經濟效果來自需求面和供給面兩個傳遞管道。在需求面，產業從事研發時，需採購軟、硬體設備，並可能增加勞動需求，新增採購表示經濟體系最終需求增加，並透過產業關聯效果，帶動其他產業增加生產以支應特定產業進行研發活動，而勞動需求增加亦將帶動所得增加，從而刺激民間消費。在供給面，由於研發活動有助於產業技術升級與生產力提升，有助於產業的產出增加與勞動生產力提升。

圖 5 顯示政府新增對 ICT 產業研發投資對我國實質 GDP 在 2017 年至 2030 年的動態影響。根據本文模擬結果顯示，政府新增對 ICT 產業投資將有助於提升我國未來經濟成長動能。相較於基線預測情境，政府新增 ICT 產業研發投資可使我國 GDP 每年增幅高出基線預測情境約 0.35% 到 0.38%。在民間投資方面，民間投資將因為政府新增 ICT 產業研發投資而相應擴張（見圖 6），顯示 ICT 產業研發活動所帶來的技術進步，除有助於提升我國整體產出水準之外，亦將帶動民間投資。對照前述同樣以臺灣為研究對象的文獻，Bor et al. (2010) 以 2008 年當年度公部門科研支出新增 1% 做為政策衝擊設（約 10 億元）。與本文實證結果相同，該研究亦指出，政府增加研發投資將有助於經濟成長，在政策實施的當年度，國內經濟成長率可增加 0.017%，政策效果在第三年達到最高（0.04%）。

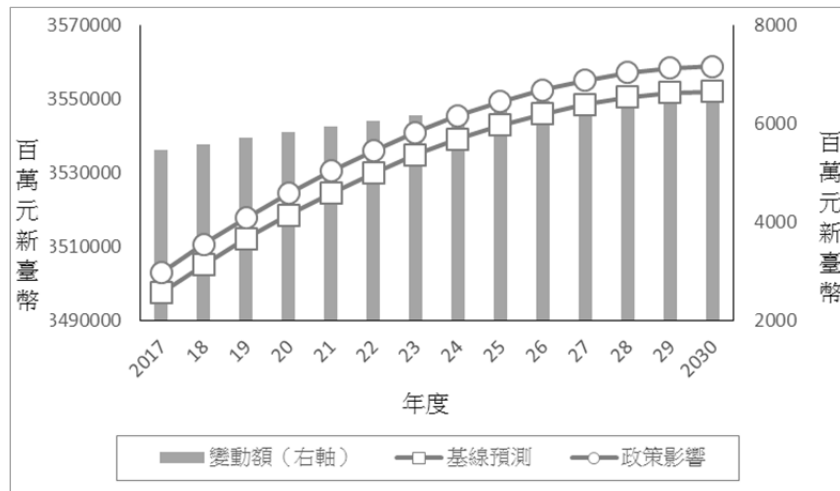
在稅收方面（見圖 7），根據本文模擬結果顯示，隨著我國人口成長率的逐年遞減，在現行政府租稅制度未做任何調整的前提下，2025 年可能是我國政府稅收的高峰期，然而政府新增對 ICT 產業的研發投資將有助於減緩稅收下降的速度。而 Bor et al. (2010) 亦指出，政府新增研發投資對政府稅收有正向貢獻，此發現與本文發現一致。

在 ICT 產業研發投資增加的政策影響下，預估政府稅收在 2017 年至 2030 年總計將增加約 60 億元。在要素相對價格方面（見圖 8），本文以 2017 年為基期，計算勞動要素與資本要素的相對價格指數。要素相對價格反映的是廠商使用特定要素的相對成本。從本文模擬結果可以發現，未來我國勞動對資本的相對價格將隨著時間經過而



資料來源：本研究整理。

圖 5 實質 GDP 變動趨勢

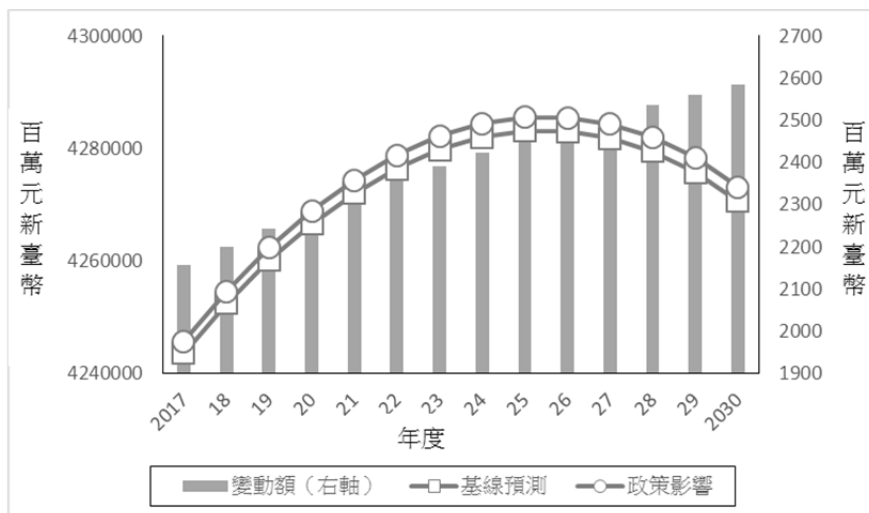


資料來源：本研究整理。

圖 6 民間投資變動趨勢

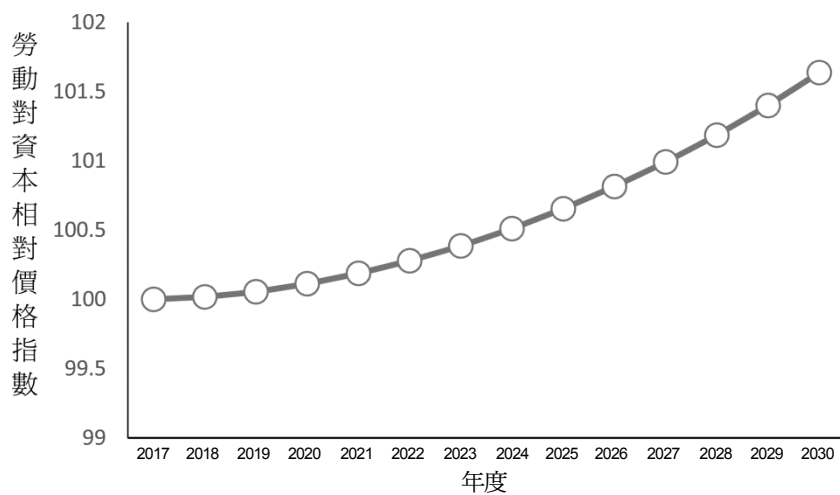
逐年上升，此現象除了可能是由 ICT 研發投資所帶來的技術進步結果，亦與我國未來人口成長率放緩有關，意即人口成長速度降低，將影響未來勞動供給數量，進而推升勞動要素價格。在勞動供給數

量減少與價格上升的雙重壓力下，未來廠商可能採取使用更多自動化生產設備來提供產品與服務。



資料來源：本研究整理。

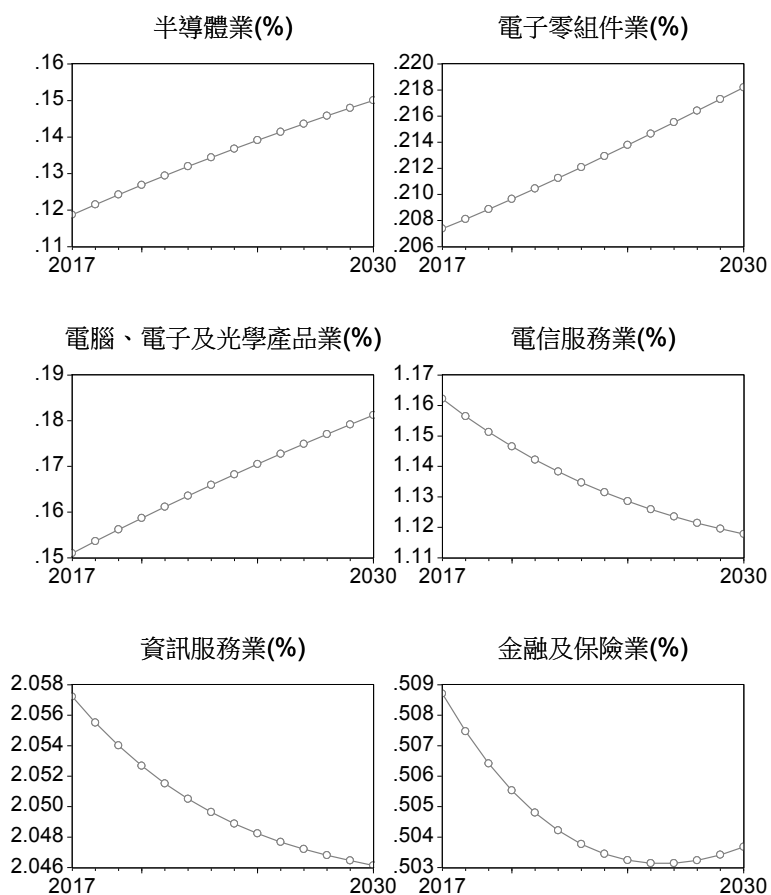
圖 7 政府稅收變動趨勢



資料來源：本研究整理。

圖 8 勞動要素對資本要素相對價格指數 (2017年=100)

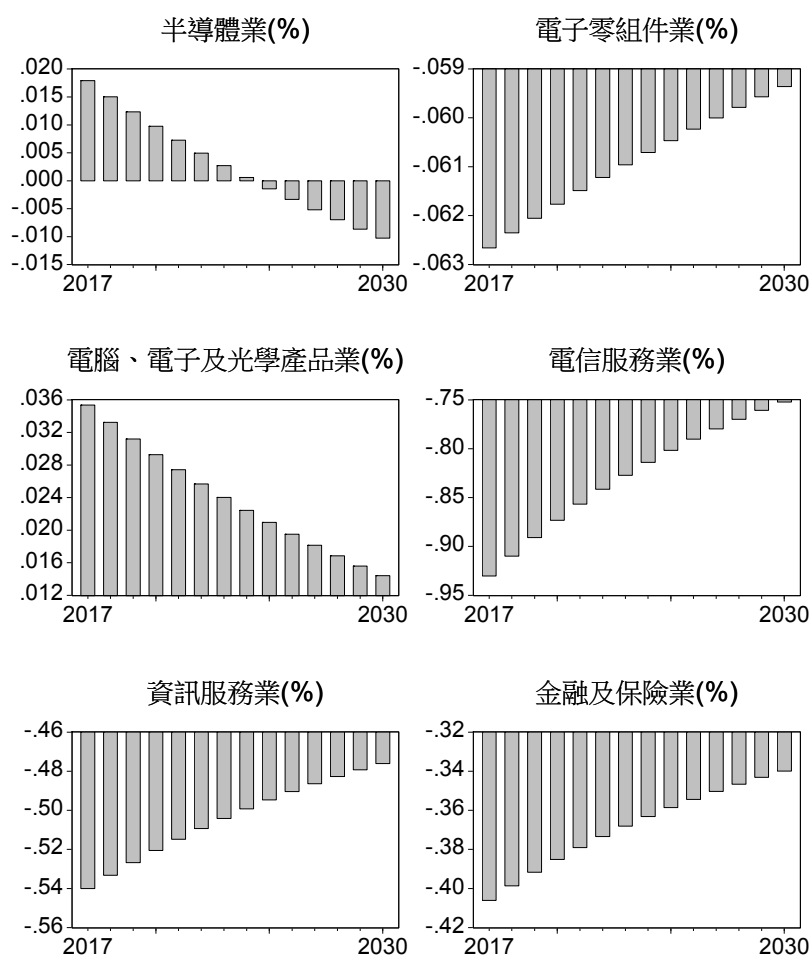
有關政府新增研發投資對產業的影響，如圖 9 所示，政府新增對 ICT 產業研發投資將帶動該產業和金融及保險業的產出增加，這是因為研發投資將促進產業生產力並帶來技術進步。從個別產業觀察，半導體產業受到政府新增研發投資的影響，2017 年至 2030 年產出逐年呈現遞增的趨勢，每年產出增幅約 0.12% 到 0.15%；而其他同屬於資訊電子業的電子零組件業和電腦、電子及光學產品業也將因為政府新增研發投資產出逐年增加。反觀電信服務業和資訊服務業



資料來源：本研究整理。

圖 9 2017 年至 2030 年 ICT 產業及金融及保險業「產出」變化趨勢

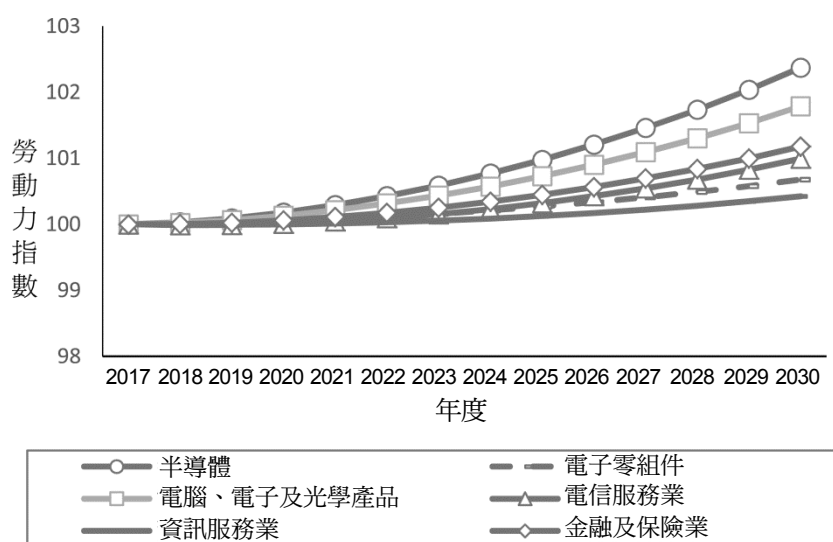
的產出增幅雖然高於資訊電子業，但兩個產業的產出增幅將隨著時間經過逐年遞減，其中電信服務業增幅約 1.14%，資訊服務業約 2.05%。而 Bor et al. (2010) 指出，政府新增研發投資將對資訊電子業產出有正向持久的影響，反觀服務業產出會在政策實施後的前三年出現上升，但自第四年開始便呈現逐年遞減的情況。



資料來源：本研究整理。

圖10 2017年至2030年ICT產業及金融及保險業「勞動需求」變化趨勢

在勞動需求方面（見圖 10），根據本文模擬結果顯示，半導體業勞動需求在 2017 年至 2024 年將因政府增加研發投資而上升，但勞動需求在 2025 年之後轉為下降，背後可能的原因是政府增加 ICT 產業投資，初期可能會同步推升其他產業對半導體產品的需求（如行動裝置、工具機、汽車等），進而拉升半導體勞動需求，而此正向效果將約莫維持 8 年。另一方面，電腦、電子及光學產品業的勞動需求亦將因政府研發投資增加而上升。其他例如電子零組件業、電信服務業及資訊服務業則呈現研發投資增加而勞動需求下降的現象，隱含生產力與技術進步將使這些產業減少對勞動的雇用需求。有趣的是，金融及保險業也因為政府增加 ICT 產業研發投資而減少勞動需求的情況。此現象與目前發展快速的金融科技 (FinTech) 對金融從業人員產生需求下降的現況頗為契合。而在政策投資帶動產業生產力與技術進步下，可以發現未來 ICT 產業與金融及保險業的勞動生產力將呈現逐年上升（見圖 11）。



資料來源：本研究整理。

圖 11 2017 年至 2030 年勞動生產力變化趨勢（2017 年=100）

5. 結論與研究限制

知識經濟時代，創新研發活動的重要性愈來愈受到各國政府的重視，許多國家積極透過科技政策支持國內創新體系的完善發展。然而，受到近年全球經濟成長動能減弱的影響，各國政府財政壓力加深，進而升高民間對於政府施政效益評估的需求聲浪，在此社會發展脈絡下，凸顯出政策評估的重要性。

本文旨在提出一套可應用於衡量我國創新研發資源投入對我國經濟影響的量化評估方法－臺灣科技政策評估可計算一般均衡模型。可計算一般均衡模型是當前政策分析被廣泛應用的方法論之一，應用 CGE 模型進行政策分析的議題涵括租稅、能源、環境與貿易自由化等議題，而晚近 CGE 模型亦開始被應用於創新研發的議題之上。本文的特色在於將創新研發活動所產生的產業內與產業間研發外溢效果納入考量，使衡量創新研發活動所帶來的經濟效益更為周全。本文首先編制一個 2015 年臺灣社會會計矩陣，並以該資料為基礎，建立臺灣 SciTech CGE 模型；接著，本文整理 2001 年至 2015 年的資料，估計創新研發對產業總要素生產力的影響程度，並利用更新後的產業關聯表計算不同產業之間的創新研發外溢效果。

本研究發現，服務業的創新研發投資對提升其產業內總要素生產力的影響係數最大，同時產業之間的創新研發投資對服務業的外溢效果最高，亦即服務業是享受來自其他產業的研發外部性最多的產業。本文以政府新增對 ICT 產業研發投資進行模擬分析後發現，政府新增對 ICT 產業投資將有助於提升我國未來經濟成長動能、刺激民間投資、增加政府稅收。值得一提的是，政府新增對 ICT 產業的研發投資將提升產業的勞動生產力，並帶動勞動對資本要素的相對價格上升，隱含未來廠商可能會使用更多的自動化生產設備取代勞動雇用。有趣的是，ICT 產業所帶來的生產力與技術進步可能減少金融及保險業的勞動需求，顯示由 ICT 產業所帶來的技術革新，

將影響金融相關產業的未來經營模式。

本文採用可計算一般均衡模型探討科技創新政策的影響，主要是從產業面的角度來衡量其經濟效益，然而，科技創新政策對於社會、環境、人文等各層面也會有相當的影響性，這部分則超過本文的討論範疇。此外，在全球化浪潮與資通訊技術進步下，外國創新研發投資亦可能對本國產業帶來外溢效果，而此面向目前不在本文的研究範圍，後續相關研究或可參考以此觀點進行延伸。在模型設定方面，本文是以「人口成長率」和「產業 *TFP* 進步率」設定基線預測，此設定方式為基線預測設定的其中一種方式，未來相關研究可針對此議題做進一步的探討。在實證資料方面，本文以研發經費代表科技創新政策，但在既有政府統計資料中，仍無法完整取得詳細的產業固定資本存量及研發投資統計。此外，在推估資本存量時，本文參考既有多數文獻之設定，以 15% 做為各產業研發資本之折舊率，此一假設雖然在文獻上被廣泛採用，但仍有討論的空間。

綜言之，雖有前述若干研究限制，但本文認為藉由建立一個以研發活動為基礎的遞迴動態可計算一般均衡模型，並藉此來評估研發活動的經濟效益仍是一個有效且適合的研究工具。

附錄 1 臺灣科技政策評估可計算一般均衡模型 (SciTech CGE)

一、臺灣 SciTech CGE 模型理論架構

(一) 生產部門

本文設定廠商為商品市場與要素市場的價格接受者，行為決策是在既有的技術水準限制下，極大化本身的利潤，並「巢狀式結構 (nested structure of production)」刻劃產業的生產行為。廠商的生產行為分成三個階層：第一層級為產業的「總產出」，是由產業附加價值與中間投入所組成，兩者設定為完全互補，服從 Leontief 生產函數。生產行為的第二層級為附加價值和中間投入的組成內涵，前者是透過固定替代彈性 (constant elasticity substitution) 生產函數融合資本與勞動兩項原始投入，後者則假設產業的中間消費來自各產業的產出，服從 Leontief 生產函數；第三層級為資本與勞動投入的組成特徵。¹³ 關於生產部門方程體系之設定，詳見 (A1) 式至 (A9) 式。

(二) 所得與儲蓄

- 家庭單位：有三個主要的收入來源，分別為勞動所得、資本所得，以及來自廠商、政府及國外的移轉性收入。¹⁴ 家庭儲蓄為可支配所得的線性函數，詳見 (A10) 式至 (A16) 式。
- 廠商單位：收入來源包含營業盈餘等資本收入，以及來自政府等其他單位之移轉性收入，詳見 (A17) 式至 (A21) 式。
- 政府單位：政府收入來源為來自家庭、廠商及國外部門的各

¹³ 本文假設各產業生產函數僅包含單一資本與勞動投入。

¹⁴ 本文模型架構可分析多個種類的家庭行為，例如依所得區分的五等分所得家庭。然而，由於目前主計總處國民所得報告並未揭露不同家庭的收支統計，若欲進行分析，需要額外進行相關數據的推估，故本文在此假設僅有單一代表性家庭單位。

項稅收及移轉性收入，詳見(A22)式至(A43)式。¹⁵

- 國外部門：收入來源為本國從國外的進口，以及從本國獲得的資本收入與移轉性收入；而國外部門的支出則包括外國自本國的進口及支付給本國的移轉性支出，詳見(A44)式至(A46)式。

(三) 需求體系及封閉法則

商品與服務需求包含廠商中間投入、家庭消費、投資、公共行政，以及運銷費用與商業差距，詳見(A52)式至(A59)式。家庭消費為 Stone-Geary 效用函數，並據此推導出「線性支出系統 (liner expenditure system, LES)」，函數設定允許價格交叉彈性不為 0，以及商品所得彈性不等於 1，提供了分析商品相對價格改變時，彼此替代的可能性。家庭消費需求取決於既定預算限制下，極大化消費效用程度。在投資方面，投資需求包含固定資本形成毛額和存貨變動。固定資本形成毛額不得為負值，而存貨變動可為正值或負值。在封閉法則方面，假設固定資本形成為內生變數，所有儲蓄均用於固定資本形成，即投資由儲蓄決定的新古典封閉法則 (neoclassical closure)，其中儲蓄組成包括：家庭單位儲蓄、廠商儲蓄、政府儲蓄以及國外部門儲蓄，而國外部門儲蓄即國外資本淨流入，詳見(A89)式。

(四) 供給體系與國際貿易

本文採用小型經濟體假設，即商品貿易的世界價格為外生變數，此設定方式符合臺灣實際經濟現況。生產者在給定的價格條件下，分配欲生產的產品類別，以達銷售極大化之目的。在刻劃特定出口產品的世界需求方面，本文設定國內生產者增加產品海外市佔率的

¹⁵ 本文模型架構包含多項政府財政政策工具，從所得稅、要素稅、生產稅到各項商品進出口稅等。惟受限於國民所得統計報告之資訊，本文並未包含勞動及資本投入等要素稅。

唯一方式，是透過提供比世界價格更低的產品報價。有關國外市場需求行為方程式，設定方式與生產者為對稱形式，即假設國內產品和進口品之間為不完全替代，所以國內市場產品需求是國產品和進口品所形成的綜合產品。詳見(A60)式至(A66)式。

(五) 市場均衡

市場均衡方程體系包含國內商品市場均衡條件、要素市場均衡條件、投資與儲蓄、民間投資、國產品供需及出口品供需等均衡條件。詳見(A86)式至(A92)式。

(六) 跨期動態機制

本文所建構的 CGE 模型為動態模型，其動態機制是植基於資本的跨期遞迴累積形式，相關方程體系設定詳見(A103)式至(A109)式。

二、模型方程體系

(一) 生產部門

附加價值：

$$VA_{j,t} = v_j XST_{j,t}, \quad (A1)$$

總合中間消費：

$$CI_{j,t} = io_j XST_{j,t}, \quad (A2)$$

產業生產函數：

$$VA_{j,t} = B_j^{VA} \left[\beta_j^{VA} LDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}} + (1 - \beta_j^{VA}) KDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}} \right]^{-\frac{1}{\rho_j^{VA}}}, \quad (A3)$$

勞動相對資本需求：

$$LDC_{j,t} = \left(\frac{\beta_j^{VA}}{1 - \beta_j^{VA}} \frac{RC_{j,t}}{WC_{j,t}} \right)^{\sigma_j^{VA}} KDC_{j,t}, \quad (A4)$$

總合勞動投入：

$$LDC_{j,t} = B_j^{LD} \left(\sum_l \beta_{l,j}^{LD} LDC_{l,j,t}^{-\rho_j^{LD}} \right)^{-\frac{1}{\rho_j^{LD}}}, \quad (A5)$$

總合勞動投入一階條件（FOC）：

$$LD_{l,j,t} = \left(\frac{\beta_{l,j}^{LD} WC_{j,t}}{WTI_{l,j,t}} \right)^{\sigma_j^{LD}} \left(\beta_j^{LD} \right)^{\sigma_j^{LD}-1} LDC_{j,t}, \quad (A6)$$

總合資本投入：

$$KDC_{j,t} = B_j^{KD} \left(\sum_k \beta_{k,j}^{KD} KD_{k,j,t}^{-\rho_j^{KD}} \right)^{-\frac{1}{\rho_j^{KD}}}, \quad (A7)$$

總合資本投入一階條件（FOC）：

$$KD_{k,j,t} = \left(\frac{\beta_{k,j}^{KD} RC_{j,t}}{RTI_{k,j,t}} \right)^{\sigma_j^{KD}} \left(\beta_j^{KD} \right)^{\sigma_j^{KD}-1} KDC_{j,t}, \quad (A8)$$

產業間中間消費：

$$DI_{i,j,t} = a_{ij} CI_{j,t} \quad (A9)$$

(二) 所得與儲蓄

家庭收入：

$$YH_{h,t} = YHL_{h,t} + YHK_{h,t} + YHTR_{h,t}, \quad (A10)$$

家庭勞動所得：

$$YHL_{h,t} = \sum_l \lambda_{h,j}^{WL} (W_{l,t} \sum_j LD_{l,j,t}), \quad (A11)$$

家庭資本所得：

$$YHK_{h,t} = \sum_k \lambda_{h,k}^{RK} (\sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t}), \quad (A12)$$

家庭移轉性收入：

$$YHTR_{h,t} = \sum_{ag} TR_{h,ag,t}, \quad (A13)$$

家庭可支配所得：

$$YDH_{h,t} = YH_{h,t} - TDH_{h,t} - TR_{gvt,h,t}, \quad (A14)$$

家庭消費：

$$CTH_{h,t} = YDH_{h,t} - SH_{h,t} - \sum_{agng} TR_{agng,h,t}, \quad (A15)$$

家庭儲蓄：

$$SH_{h,t} = PIXCON_t^\eta sh0_{h,t} + sh1_{h,t} YD_{h,t}, \quad (A16)$$

廠商總收入：

$$YF_{f,t} = YFK_{f,t} + YFTR_{f,t}, \quad (A17)$$

廠商資本收入：

$$YFK_{f,t} = \sum_k \lambda_{f,k}^{RK} \left(\sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t} \right), \quad (A18)$$

廠商移轉性收入：

$$YFTR_{f,t} = \sum_{ag} TR_{f,ag,t}, \quad (A19)$$

廠商可支配所得：

$$YDF_{f,t} = YF_{f,t} - TDF_{f,t}, \quad (A20)$$

廠商儲蓄：

$$SF_{f,t} = YDF_{f,t} - \sum_{ag} TR_{ag,f,t}, \quad (A21)$$

政府收入：

$$YG_t = YGK_t + TDHT_t + TDFT_t + TPROD_t + TPRCTS_t + YGTR_t, \quad (A22)$$

政府資本收入：

$$YGK_t = \sum_k \lambda_{gvt,k}^{RK} \left(\sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t} \right), \quad (A23)$$

家庭單位所得稅合計：

$$TDHT_t = \sum_h TDH_{h,t}, \quad (A24)$$

產業部門所得稅合計：

$$TDFT_t = \sum_f TDF_{f,t}, \quad (A25)$$

科技創新政策經濟效益評估的可計算一般均衡分析：
以臺灣資通訊產業研發投資為例

85

生產稅合計：¹⁶

$$TPRODN_t = TIWT_t + TIKT_t + TIPT_t, \quad (A26)$$

工資稅合計：

$$TIWT_t = \sum_{l,j} TIW_{l,j,t}, \quad (A27)$$

資本稅合計：

$$TIKT_t = \sum_{k,j} TIK_{k,j,t}, \quad (A28)$$

其他生產稅合計：¹⁷

$$TIPT_t = \sum_j TIP_{j,t}, \quad (A29)$$

產品稅及進口稅合計：

$$TPRCTS_t = TICT_t + TIMT_t + TIXT_t, \quad (A30)$$

間接稅合計：

$$TICT_t = \sum_i TIC_{i,t}, \quad (A31)$$

進口稅合計：

$$TIMT_t = \sum_i TIM_{i,t}, \quad (A32)$$

出口稅合計：

$$TIXT_t = \sum_i TIX_{i,t}, \quad (A33)$$

政府移轉性收入合計：

$$YGTR_t = \sum_{agng} TR_{gvt,agng,t}, \quad (A34)$$

家庭單位所得稅：

$$TDH_{h,t} = PIXCON_t^{n1} ttdh0_{h,t} + ttdh1_{h,t} YH_{h,t}, \quad (A35)$$

產業部門所得稅：

¹⁶ 生產稅（不包含產品稅及進口稅）。

¹⁷ 政府生產稅收（不包含直接與使用資本和勞動有關的稅賦）。

$$TDF_{f,t} = PIXCON_t^n tdf0_{f,t} + tdf1_{f,t} YFK_{f,t}, \quad (A36)$$

工資稅：

$$TIW_{l,j,t} = ttw_{l,j,t} W_{l,t} LD_{l,j,t}, \quad (A37)$$

資本稅：

$$TIK_{k,j,t} = ttik_{k,j,t} R_{k,j,t} KD_{k,j,t}, \quad (A38)$$

生產稅：

$$TIP_{j,t} = ttip_{j,t} PP_{j,t} XST_{j,t}, \quad (A39)$$

間接稅：

$$TIC_{i,t} = ttic_{i,t} \left[\begin{array}{l} (PL_{i,t} + \sum_{ij} PC_{ij,t} tmrg_{ij,i}) DD_{i,t} \\ + (1 + ttim_{i,t}) PWM_{i,t} e_t + \sum_{ij} PC_{ij,t} tmrg_{ij,i} \end{array} \right] IM_{i,t}, \quad (A40)$$

進口稅：

$$TIM_{i,t} = ttim_{i,t} PWM_{i,t} e_t IM_{i,t}, \quad (A41)$$

出口稅：

$$TIX_{i,t} = ttix_{i,t} (PE_{i,t} + \sum_{ij} PC_{ij,t} tmrg_{ij,t}^X) EXD_{i,t}, \quad (A42)$$

間接稅：

$$SG_t = YG_t - \sum_{agng} TR_{agng, gvt,t} - G_t, \quad (A43)$$

國外部門收入：

$$YROW_t = e_t \sum_i PWM_{i,t} IM_{i,t} + \sum_k \lambda_{row,k}^{PK} (\sum_j R_{k,j,t} KD_{k,j,t}) + \sum_{agd} TR_{row, agd,t}, \quad (A44)$$

國外部門儲蓄：

$$SROW_t = YROW_t - \sum_i PE_{i,t}^{FOB} EXD_{i,t} - \sum_{agd} TR_{agd, row,t}, \quad (A45)$$

國外部門收支：

$$SROW_t = -CAB_t, \quad (A46)$$

家庭單位對其他部門（不包含政府部門）之移轉性支出：

科技創新政策經濟效益評估的可計算一般均衡分析：
以臺灣資通訊產業研發投資為例

87

$$TR_{agng,h,t} = \lambda_{agng,h}^{TR} YDH_{h,t}, \quad (A47)$$

家庭單位對政府之移轉性支出：

$$TR_{gvt,h,t} = PIXCON_t^\eta tr0_{h,t} + tr1_{h,t} YH_{h,t}, \quad (A48)$$

外國部門對本國各部門之移轉性支出：

$$TR_{ag,f,t} = \lambda_{ag,f}^{TR} YDF_{f,t}, \quad (A49)$$

政府部門對其他部門之移轉性支出：

$$TR_{agng,gvt,t} = PIXCON_t^\eta TR_{agng,gvt}^0 pop_t, \quad (A50)$$

國外部門對國內部門之移轉性支出：

$$TR_{agd,row,t} = PIXCON_t^\eta TR_{agd,row}^0 pop_t \circ \quad (A51)$$

(三) 需求體系

家庭消費需求：

$$PC_{i,t} C_{i,h,t} = PC_{i,t} C_{i,h,t}^{MIN} + r_{i,h}^{LES} (CHT_{h,t} - \sum_{ij} PC_{ij,t} C_{ij,h,t}^{MIN}), \quad (A52)$$

固定資本形成毛額：

$$GFCF_t = IT_t - \sum_i PC_{i,t} VSTK_{i,t}, \quad (A53)$$

民間部門對特定商品之投資支出：

$$PC_{i,t} INV_{i,t}^{PRI} = r_i^{INVPRI} IT_t^{PRI}, \quad (A54)$$

政府部門對特定商品之投資支出：

$$PC_{i,t} INV_{i,t}^{PUB} = r_i^{INVPUB} IT_t^{PUB}, \quad (A55)$$

特定商品投資合計：

$$INV_{i,t} = INV_{i,t}^{PRI} + INV_{i,t}^{PUB}, \quad (A56)$$

政府部門支出：

$$PC_{i,t} CG_{i,t} = r_i^{GVT} G_t, \quad (A57)$$

特定商品之總中間消費：

$$DIT_{i,t} = \sum_i DI_{i,j,t}, \quad (A58)$$

運費與商業差距：

$$MRGN_{i,t} = \sum_{ij} tmg_{i,ij} DD_{ij,t} + \sum_{ij} tmg_{i,ij} IM_{ij,t} + \sum_{ij} tmg_{i,ij}^X EXD_{ij,t} \circ \quad (A59)$$

(四) 供給體系與國際貿易

產業產出：

$$XST_{j,t} = B_j^{XT} \left(\sum_i \beta_{j,i}^{XT} XS_{j,i,t}^{\rho_j^{XT}} \right)^{\frac{1}{\rho_j^{XT}}}, \quad (A60)$$

各別產品供給函數一階條件：

$$XS_{j,i,t} = \frac{XST_{j,t}}{(B_j^{XT})^{1+\sigma_j^{XT}} \left(\frac{P_{j,i,t}}{\beta_{j,i}^{XT} PT_{j,t}} \right)^{\sigma_j^{XT}}}, \quad (A61)$$

各別產品市場銷售分配：

$$XS_{j,i,t} = B_{j,i}^X \left[\beta_{j,i}^X EX_{j,i,t}^{\rho_{j,i}^X} + (1 + \beta_{j,i}^X) DS_{j,i,t}^{\rho_{j,i}^X} \right]^{\frac{1}{\rho_{j,i}^X}}, \quad (A62)$$

出口供給：

$$EX_{j,i,t} = \left(\frac{1 - \beta_{j,i}^X}{\beta_{j,i}^X} \frac{PE_{i,t}}{PL_{i,t}} \right)^{\sigma_{j,i}^X} DS_{j,i,t}, \quad (A63)$$

特定出口產品的海外需求：

$$EXD_{i,t} = EXD_i^0 pop_t \left(\frac{e_i P WX_{i,t}}{PE_{i,t}^{FOB}} \right)^{\sigma_i^{XD}}, \quad (A64)$$

產品需求：

$$Q_{i,t} = B_i^M \left[\beta_i^M IM_{i,t}^{-\rho_i^M} + (1 - \beta_i^M) DD_{i,t}^{-\rho_i^M} \right]^{\frac{-1}{\rho_i^M}}, \quad (A65)$$

產品進口量：

科技創新政策經濟效益評估的可計算一般均衡分析：
以臺灣資通訊產業研發投資為例

89

$$IM_{i,t} = \left(\frac{\beta_i^M}{1 - \beta_i^M} \frac{PD_{i,t}}{PM_{i,t}} \right)^{\sigma_i^M} DD_{i,t} \circ \quad (A66)$$

(五) 價格體系

單位產出成本：

$$PP_{j,t} = \frac{PVA_{j,t}VA_{j,t} + PCI_{j,t}CI_{j,t}}{XST_{j,t}}, \quad (A67)$$

生產價格：

$$PT_{j,t} = (1 + ttip_{j,t})PP_{j,t}, \quad (A68)$$

中間消費價格指數：

$$PCI_{j,t} = \frac{\sum_i PC_{i,t}DI_{i,j,t}}{CI_{j,t}}, \quad (A69)$$

附加價值價格：

$$PVA_{j,t} = \frac{WC_{j,t}LDC_{j,t} + RC_{j,t}KDC_{j,t}}{VA_{j,t}}, \quad (A70)$$

綜合勞動價格：

$$WC_{j,t} = \frac{\sum_l WTI_{l,j,t}LD_{l,j,t}}{LDC_{j,t}}, \quad (A71)$$

特定勞動價格：

$$WTI_{l,j,t} = W_{l,t} (1 + ttiw_{l,j,t}), \quad (A72)$$

綜合資本價格：

$$RC_{j,t} = \frac{\sum_k RTI_{k,j,t}KD_{k,j,t}}{KDC_{j,t}}, \quad (A73)$$

特定資本價格：

$$RTI_{k,j,t} = R_{k,j,t} (1 + ttik_{k,j,t}), \quad (A74)$$

生產價格：

$$PT_{j,t} = \frac{\sum_i P_{j,i,t} XS_{j,i,t}}{XS_{j,t}}, \quad (A75)$$

產業特定產品價格：

$$P_{j,i,t} = \frac{PE_{i,t} EX_{j,i,t} + PL_{i,t} DS_{j,i,t}}{XS_{j,i,t}}, \quad (A76)$$

產品出口價格 (FOB)：

$$PE_{i,t}^{FOB} = (PE_{i,t} + \sum_{ij} PC_{ij,t} tmrg_{ij,i}^X)(1 + ttix_{i,t}), \quad (A77)$$

國產品內銷價格：

$$PD_{i,t} = (1 + ttic_{i,t})(PL_{i,t} + \sum_{ij} PC_{ij,t} tmrg_{ij,i}), \quad (A78)$$

產品進口價格：

$$PM_{i,t} = (1 + ttic_{i,t})[(1 + ttic_{i,t})e_t PWM_{i,t} + \sum_{ij} PC_{ij,t} tmrg_{ij,i}], \quad (A79)$$

綜合產品購買者價格：

$$PC_{i,t} = \frac{PM_{i,t} IM_{i,t} + PD_{i,t} DD_{i,t}}{Q_{i,t}}, \quad (A80)$$

GDP 平減指數：

$$PIXGDP_t = \sqrt{\frac{\sum_j \left(PVA_{j,t} + \frac{TIP_{j,t}}{VA_{j,t}} \right) VA_j^o \sum_j (PVA_{j,t} VA_{j,t} + TIP_{j,t})}{\sum_j (PVA_j^o VA_j^o + TIP_j^o) \sum_j \left(PVA_j^o + \frac{TIP_j^o}{VA_j^o} \right) VA_{j,t}}}, \quad (A81)$$

消費者物價指數：

$$PIXCON_t = \frac{\sum_j PC_{i,t} \sum_h C_{i,h}^o}{\sum_{ij} PC_{ij}^o \sum_h C_{ij,h}^o}, \quad (A82)$$

民間投資價格指數：

科技創新政策經濟效益評估的可計算一般均衡分析：
以臺灣資通訊產業研發投資為例

91

$$PIXINV_t^{PRI} = \Pi_i \left(\frac{PC_{i,t}}{PC_i^o} \right)^{r_i^{INCPRI}}, \quad (A83)$$

政府投資價格指數：

$$PIXINV_t^{PUB} = \Pi_i \left(\frac{PC_{i,t}}{PC_i^o} \right)^{r_i^{INVPUB}}, \quad (A84)$$

政府支出價格指數：

$$PIXGVT_t = \Pi_i \left(\frac{PC_{i,t}}{PC_i^o} \right)^{r_i^{GVT}}, \quad (A85)$$

國內產品市場均衡：

$$Q_{i,t} = \sum_h C_{i,h,t} + CG_{i,t} + INV_{i,t} + VSTK_{i,t} + DIT_{i,t} + MRGN_{i,t} \circ \quad (A86)$$

(六) 市場均衡方程體系

勞動市場均衡：

$$\sum_j LD_{i,j,t} = LS_{i,t}, \quad (A87)$$

資本市場均衡：

$$\sum_j KD_{k,j,t} = KS_{k,t}, \quad (A88)$$

投資與儲蓄均衡：

$$IT_t = \sum_h SH_{h,t} + \sum_f SF_{f,t} + SG_t + SROW_t, \quad (A89)$$

民間投資：

$$IT_t^{PRI} = IT_t - IT_t^{PUB} - \sum_i PC_{i,t} VSTK_{i,t}, \quad (A90)$$

國產品供需均衡：

$$\sum_j DS_{j,i,t} = DD_{i,t}, \quad (A91)$$

外銷品供需均衡：

$$\sum_j EX_{j,i,t} = EXD_{i,t} \circ \quad (A92)$$

(七) 國內生產毛額

GDP (以基礎價格計價) :

$$GDP_t^{BP} = \sum_j PVA_{j,t} + TIPT_t, \quad (A93)$$

GDP (以市場價格計價) :

$$GDP_t^{MP} = GDP_t^{BP} + TPRCTS_t, \quad (A94)$$

GDP (以市場價格計價, 收入法) :

$$GDP_t^{IB} = \sum_{l,j} W_{l,t} LD_{l,j,t} + \sum_{k,j} R_{k,j,t} KD_{k,j,t} + TPROD_{i,t} + TPRCTS_t, \quad (A95)$$

GDP (以購買者價格計價, 支出法) :

$$GDP_t^{FD} = \sum_i PC_{i,t} (\sum_h C_{i,h,t} + CG_{i,t} + INV_{i,t} + VSTK_{i,t}) \\ + \sum_i PE_{i,t}^{FOB} EXD_{i,t} - \sum_i e_i PWM_{i,t} IM_{i,t}. \quad (A96)$$

(八) 實質面變數

家庭單位實質消費支出 :

$$CTH_{h,t}^{REAL} = \frac{CTH_{h,t}}{PIXCON_t}, \quad (A97)$$

政府部門實質支出 :

$$G_t^{REAL} = \frac{G_t}{PIXGVT_t}, \quad (A98)$$

實質 GDP (基礎價格) :

$$GDP_t^{BP-REAL} = \frac{GDP_t^{BP}}{PIXGDP_t}, \quad (A99)$$

實質 GDP(市場價格) :

$$GDP_t^{MP-REAL} = \frac{GDP_t^{MP}}{PIXCON_t}, \quad (A100)$$

民間部門實質固定資本形成毛額 :

$$GFCF_t^{PRI-REAL} = \frac{IT_t^{PRI}}{PIXINV_t^{PRI}}, \quad (A101)$$

政府部門實質固定資本形成毛額 :

科技創新政策經濟效益評估的可計算一般均衡分析：
以臺灣資通訊產業研發投資為例

93

$$GFCF_t^{PUB-REAL} = \frac{IT_t^{PUB}}{PIXINV_t^{PUB}} \circ \quad (A102)$$

(九) 跨期動態機制

資本累積：

$$KD_{k,j,t+1} = KD_{k,j,t}(1 - \delta_{k,j}) + IND_{k,j,t}, \quad (A103)$$

政府部門資本支出：

$$IT_t^{PUB} = PK_t^{PUB} \sum_{k,pub} IND_{k,pub,t}, \quad (A104)$$

民間部門資本支出：

$$IT_t^{PRI} = PK_t^{PRI} \sum_{k,bus} IND_{k,bus,t}, \quad (A105)$$

民間部門資本投資價格：

$$PK_t^{PRI} = \frac{1}{A^{K-PRI}} \Pi_i \left(\frac{PC_{i,t}}{r_i^{INVPRI}} \right)^{r_i^{INVPRI}}, \quad (A106)$$

政府部門資本投資價格：

$$PK_t^{PUB} = \frac{1}{A^{K-PUB}} \Pi_i \left(\frac{PC_{i,t}}{r_i^{INVPUB}} \right)^{r_i^{INVPUB}}, \quad (A107)$$

民間部門資本投資數量：

$$IND_{k,bus,t} = \phi_{k,bus} \left(\frac{R_{k,bus,t}}{U_{k,bus,t}} \right)^{\sigma_{k,bus}^{INV}} KD_{k,bus,t}, \quad (A108)$$

資本使用成本：

$$U_{k,bus,t} = PK_t^{PRI} (\delta_{k,bus} + IR_t), \quad U_{k,pub,t} = PK_t^{PUB} (\delta_{k,pub} + IR_t) \circ \quad (A109)$$

三、變數及參數說明

$CI_{j,t}$ ：第 j 產業中間消費合計

$VA_{j,t}$ ：第 j 產業附加價值

$XST_{j,t}$ ：第 j 產業產出合計

- io_j : 中間消費係數
 v_j : 附加價值係數
 $KDC_{j,t}$: 第 j 產業資本投入合計
 $LDC_{j,t}$: 第 j 產業勞動投入合計
 B_j^{VA} : 中性技術進步參數
 β_j^{VA} : 勞動投入份額參數
 ρ_j^{VA} : 彈性參數, $-1 < \rho_j^{VA} < \infty$
 $RC_{j,t}$: 第 j 產業資本報酬率
 $WC_{j,t}$: 第 j 產業勞動報酬率
 σ_j^{VA} : 轉換彈性, $0 < \sigma_j^{VA} < \infty$, 而 $\rho_j^{VA} = (1 - \sigma_j^{VA}) / \sigma_j^{VA}$
 $KD_{k,j,t}$: 第 j 產業對第 k 類資本需求
 $LD_{l,j,t}$: 第 j 產業對第 l 類之勞動需求
 $RTI_{k,j,t}$: 第 j 產業對第 k 類資本投入之報酬給付
 $WTI_{l,j,t}$: 第 j 產業對第 l 類勞動投入之報酬給付
 B_j^{KD} : 資本生產力參數
 B_j^{LD} : 勞動生產力參數
 $\beta_{k,j}^{KD}$: 資本份額參數
 $\beta_{l,j}^{LD}$: 勞動份額參數
 ρ_j^{KD} : 彈性參數, $-1 < \rho_j^{KD} < \infty$
 ρ_j^{LD} : 彈性參數, $-1 < \rho_j^{LD} < \infty$
 σ_j^{KD} : 替代彈性, $0 < \sigma_j^{KD} < \infty$, 而 $\rho_j^{KD} = (1 - \sigma_j^{KD}) / \sigma_j^{KD}$
 σ_j^{LD} : 替代彈性, $0 < \sigma_j^{LD} < \infty$, 而 $\rho_j^{LD} = (1 - \sigma_j^{LD}) / \sigma_j^{LD}$
 $DI_{i,j,t}$: 第 j 產業對第 i 產業生產之中間消費
 $aij_{i,j}$: 投入產出係數
 $YH_{h,t}$: 第 h 類家庭之總收入
 $YHK_{h,t}$: 第 h 類家庭之資本所得
 $YHL_{h,t}$: 第 h 類家庭之勞動所得

- $YHTR_{h,t}$ ：第 h 類家庭之移轉性收入
 $R_{k,j,t}$ ：第 j 產業第 k 類資本之報酬率
 $TR_{ag,agj,t}$ ：第 h 類家庭 ($ag=h$) 從其他機構 (agj) 所獲得之移轉性收入
 $W_{l,t}$ ：第 l 類之勞動報酬率
 $\lambda_{ag,k}^{RK}$ ：第 h 類家庭 ($ag=h$) 所獲得之第 k 類資本收入占總資本收入份額
 $\lambda_{h,l}^{WL}$ ：第 h 類家庭所獲得之第 l 類勞動收入占總勞動收入份額
 $CTH_{h,t}$ ：第 h 類家庭之消費預算
 $PIXCON_t$ ：消費者物價指數
 $SH_{h,t}$ ：第 h 類家庭之儲蓄
 $TDH_{h,t}$ ：第 h 類家庭之所得稅（直接稅）
 $YDH_{h,t}$ ：第 h 類家庭之可支配所得
 η ：價格彈性參數
 $sh0_{h,t}$ ：截距項（第 h 類家庭之儲蓄）¹⁸
 $sh1_{h,t}$ ：斜率項（第 h 類家庭之儲蓄）
 $agng$ ：表示非政府部門之其他機構（家庭、產業及國外部門）
 $YF_{f,t}$ ：第 f 類廠商之總收入
 $YFK_{f,t}$ ：第 f 類廠商之資本收入
 $YFTR_{f,t}$ ：第 f 類廠商之移轉性收入
 $SF_{f,t}$ ：第 f 類廠商之儲蓄
 $TDF_{f,t}$ ：第 f 類廠商之所得稅（直接稅）
 $YDF_{f,t}$ ：第 f 類廠商之總收入之可支配所得
 $TDFT_t$ ：政府從產業部門徵得之所得稅合計
 $TDHT_t$ ：政府從家庭單位徵得之所得稅合計
 $TIC_{i,t}$ ：間接稅
 $TICT_t$ ：間接稅合計
 $TIK_{k,j,t}$ ：政府從第 j 產業的第 k 類資本徵得之稅收

¹⁸ 本研究設定家庭儲蓄函數之截距項為 0。

- $TIKT_t$: 資本稅合計
 $TIM_{i,t}$: 第 i 類商品之進口稅
 $TIMT_t$: 進口稅合計
 $TIP_{j,t}$: 政府從第 j 產業徵得之生產稅 (不含與生產要素相關之稅負)
 $TIPT_t$: 其他生產稅合計 (不含與生產要素相關之稅負)
 $TIW_{i,j,t}$: 政府從第 j 產業的第 l 類勞動要素所徵得之工資稅
 $TIWT_t$: 工資稅合計
 $TIX_{i,t}$: 第 i 類商品之出口稅
 $TIXT_t$: 出口稅合計
 $TPRCTS_t$: 商品稅及進口稅合計
 $TPROD_t$: 生產稅合計
 YG_t : 政府總收入
 YGK_t : 政府資本收入
 $YGTR_t$: 政府移轉性收入
 $ttdf0_{f,t}$: 截距項 (第 f 類廠商之所得稅)
 $ttdf1_{f,t}$: 第 f 類廠商之邊際所得稅率
 $ttdh0_{h,t}$: 截距項 (第 h 類家庭之所得稅)
 $ttdh1_{h,t}$: 第 h 類家庭之邊際所得稅率
 $PP_{j,t}$: 第 j 產業單位成本, 包含與使用資本和勞動直接相關之稅收 (不包含其他有關生產之稅收)
 $ttik_{k,j,t}$: 第 j 類產業使用第 k 類資本投入之稅率
 $ttip_{j,t}$: 第 j 類產業生產稅率
 $ttiw_{i,j,t}$: 第 j 類產業中第 l 類勞動報酬之稅率
 $DD_{i,t}$: 第 i 類國產品之國內需求
 e_t : 直接匯率
 $EXD_{i,t}$: 第 i 類產品出口量
 $IM_{i,t}$: 第 i 類產品進口量

- $PC_{i,t}$ ：第 i 類產品購買者價格（包含所有稅徵及運銷費用）
 $PE_{i,t}$ ：第 i 類產品出口價格（不含出口稅）
 $PL_{i,t}$ ：第 i 類產品本國價格（不含任何生產稅）
 $PWM_{i,t}$ ：第 i 類產品世界價格（以外國匯率表示）
 $ttic_{i,t}$ ：第 i 類產品稅率
 $ttim_{i,t}$ ：第 i 類進口產品之關稅率
 $ttix_{i,t}$ ：第 i 類出口產品之關稅率
 $tmg_{i,j}$ ：第 ij 類產品適用之第 i 類運銷費率
 $tmg_{ij,i}^X$ ：第 i 類出口產品適用之第 ij 類運銷費率
 SG_t ：政府儲蓄
 G_t ：當期政府商品與勞動支出
 CAB_t ：經常帳淨額
 $PE_{i,t}^{FOB}$ ：第 i 類產品的離岸價格 (FOB)（以本國貨幣表示）
 $SROW_t$ ：國外部門之儲蓄：即國外資本淨流入
 $YROW_t$ ：國外部門之收入
 $\lambda_{ag,agj}^{TR}$ ：份額參數（移轉支出函數）
 $tr0_{h,t}$ ：截距項（第 h 類家庭對政府之移轉性支付）
 $tr1_{h,t}$ ：第 h 類家庭對政府之邊際移轉支付率
 pop_t ：人口指數
 $C_{i,h,t}$ ：第 h 類家庭對商品 i 消費水準
 $C_{i,h,t}^{MIN}$ ：第 h 類家庭對商品 i 最低消費水準
 $r_{i,h}^{LES}$ ：第 h 類家庭對商品 i 之邊際消費預算份額
 $GFCF_t$ ：固定資本形成毛額
 $INV_{i,t}$ ：經濟體系對第 i 種商品之最終需求（以投資為目的）
 $INV_{i,t}^{PRI}$ ：民間部門第 i 種商品之最終需求（以投資為目的）
 $INV_{i,t}^{PUB}$ ：政府部門第 i 種商品之最終需求（以投資為目的）
 IT_t ：總投資支出
 IT_t^{PRI} ：民間部門總投資支出

IT_i^{PUB} : 政府部門總投資支出

$VSTK_{i,t}$: 第 i 種商品之存貨變動

$CG_{i,t}$: 政府部門對第 i 種商品之消費量

r_i^{GVT} : 政府部門對第 i 種商品之消費占政府部門商品與服務支出份額

r_i^{INVPRI} : 第 i 種商品占民間部門總投資支出份額

r_i^{INVPUB} : 第 i 種商品占政府部門總投資支出份額

$DIT_{i,t}$: 對第 i 種商品之總中間消費需求

$MARGN_{i,t}$: 對第 i 種商品之運費與商業差距

$XS_{j,i,t}$: 第 j 產業的第 i 類產品產出

B_j^{XT} : 規模參數 (CES-總產出)

$\beta_{j,i}^{XT}$: 分額參數 (CES-總產出)

ρ_j^{XT} : 彈性參數 (CES-總產出), $1 < \rho_j^{XT} < \infty$

$P_{j,i,t}$: 第 j 產業的第 i 類產品的基礎價格

σ_j^{XT} : 轉換彈性 (CES-總產出), $0 < \sigma_j^{XT} < \infty$, 而

$$\rho_j^{XT} = (1 + \sigma_j^{XT}) / \sigma_j^{XT}$$

$DS_{j,i,t}$: 第 j 產業的第 i 類產品的國內市場供給

$EX_{j,i,t}$: 第 j 產業的第 i 類產品的出口量

$B_{j,i}^X$: 規模參數 (CES-出口與當地銷售)

$\beta_{j,i}^X$: 份額參數 (CES-出口與當地銷售)

$\rho_{j,i}^X$: 彈性參數 (CES-出口與當地銷售), $1 < \rho_{j,i}^X < \infty$

$\sigma_{j,i}^X$: 轉換彈性 (CES-出口與當地銷售), $0 < \sigma_{j,i}^X < \infty$, 而

$$\rho_{j,i}^X = (1 + \sigma_{j,i}^X) / \sigma_{j,i}^X$$

$EXD_{i,t}$: 第 i 類出口產品的國外需求

$PWX_{i,t}$: 第 i 類出口產品的世界價格

σ_i^{XD} : 第 i 類出口產品的國外需求價格彈性

$Q_{i,t}$: 第 i 類綜合產品需求量

B_i^M : 規模參數 (CES-綜合產品)

科技創新政策經濟效益評估的可計算一般均衡分析：
以臺灣資通訊產業研發投資為例

99

- β_i^M ：份額參數（CES-綜合產品）
 ρ_i^M ：彈性參數（CES-綜合產品）， $-1 < \rho_i^M < \infty$
 $PD_{i,t}$ ：第 i 類產品於本國銷售價格（含稅與運銷差距）
 $PM_{i,t}$ ：第 i 類產品進口價格（含稅與運銷差距）
 σ_i^M ：替代彈性（CES-綜合產品）， $0 < \sigma_i^M < \infty$ ，而
 $\rho_i^M = (1 - \sigma_i^M) / \sigma_i^M$
 $PT_{j,t}$ ：第 j 產業生產價格
 $PVA_{j,t}$ ：第 j 產業附加價值價格
 $PCI_{j,t}$ ：第 j 產業中間消費價格
 $PIXGDP_t$ ：GDP 平減指數
 $PIXINV_t^{PRI}$ ：民間投資價格指數
 $PIXINV_t^{PUB}$ ：政府投資價格指數
 $PIXGVT_t$ ：政府支出價格指數
 $LS_{l,t}$ ：第 l 類勞動投入供給
 $KS_{k,t}$ ：第 k 類資本投入供給
 $IND_{k, pub, t}$ ：政府部門第 k 類資本投資
 $IND_{k, j, t}$ ：第 j 產業對第 k 類資本投資
 $\delta_{k, j}$ ：第 j 產業對第 k 類資本折舊率
 PK_t^{PUB} ：政府部門新資本投資價格
 PK_t^{PRI} ：民間部門新資本投資價格
 $IND_{k, bus, t}$ ：民間部門對第 k 類資本投資
 A^{K-PRI} ：規模參數（民間部門新資本投資價格）
 A^{K-PUB} ：規模參數（政府部門新資本投資價格）
 IR_t ：利率
 $U_{k, j, t}$ ：第 j 產業對第 k 類資本使用成
 $\phi_{k, j}$ ：規模參數（產業投資分配）
 $\sigma_{k, bus}^{INV} \sigma_{k, bus}^{INV}$ ：民間部門投資需求彈性（相對於 Tobin's q ）

附錄 2 基線預測與政策分析參數設定

附表 1 人口成長率參數

年度	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
n	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.002	-0.002

資料來源：本研究整理。

說明： n =人口成長率。

附表 2 政府每年新增 50 億元 ICT 產業研發投資對 TFP 進步率之影響 (含產業內及產業間研發外溢效果)

產業別	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
農業	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
工業	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003
加工食品	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
飲料及菸草製造業	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
紡織品	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
成衣及服飾品	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
皮革、毛皮及其製品	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
石油及煤製品	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
化學材料	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
化學製品	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
藥品	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
橡膠製品	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
塑膠製品	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
基本金屬製造業	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
金屬製品	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
半導體	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005
電子零組件	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006
電腦、電子及光學產品	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005
電力設備	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
機械設備	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
汽車及其零件	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
其他運輸工具	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
其他製造業	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
其他服務業	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004
電信服務	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017	1.017
資訊服務	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024	1.024
金融及保險	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007	1.007
公共行政服務	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006

資料來源：本研究整理。

參考文獻

- 林麗貞 Lin, Lee-Chen (2008), 「創新外溢與臺灣經濟成長之計量分析」
“Quantitative Analysis of Innovation Spillover and Taiwan’s Economic Growth”, 臺灣經濟論衡 *Taiwan Economic Forum*, 6:3, 1-24。
- 莊奕琦、許碧峰 Chuang, Yih-Chyi and Pi-Fem Hsu (1999), 「研究發展對生產力的貢獻及產業間的外溢效果：臺灣製造業實證」
“Productivity, R&D, and Intra-and Inter-Industry Spillovers in Taiwan’s Manufacturing Industry”, 經濟論文 *Academia Economic Papers*, 27:3, 407-432。 (in Chinese with English abstract)
- 楊志海、陳忠榮 Yang, Chih-Hai and Jong-Rong Chen (2002), 「研究發展，專利與生產力－臺灣製造業的實證研究」 “R&D, Patents and Productivity-Evidence from Taiwanese Manufacturing Firms”, 經濟論文叢刊 *Taiwan Economic Review*, 30:1, 27-48。 (in Chinese with English abstract)
- 蔡光第、楊浩彥 Tsai, Kuang-Ti and Hao-Yen Yang (1996), 「多層次巢覆式 R&D 外溢效果與其對臺灣製造業不同科技部門之貢獻」
“Multilevel-Nested R&D Spillovers and Their Contributions to Sectors with Different Tech Levels in Taiwan’s Manufacturing Industries”, 經濟論文叢刊 *Taiwan Economic Review*, 24:1, 29-59。 (in Chinese with English abstract)
- Basant, R. and B. Fikkert (1996), “The Effects of R&D, Foreign Technology Purchase, and Domestic and International Spillovers on Productivity in Indian Firms,” *The Review of Economics and Statistics*, 78:2, 187-199.
- Bloom, N., M. Schankerman, and J. van Reenen (2013), “Identifying Technology Spillovers and Product Market Rivalry,” *Econometrica*, 81:4, 1347-1393.

- Bor, Y. J., Y. C. Chuang, W. W. Lai, and C. M. Yang (2010), "A Dynamic General Equilibrium Model for Public R&D Investment in Taiwan," *Economic Modelling*, 27:1, 171-183.
- Bye, B., T. Fæhn, and T. R. Heggedal (2009), "Welfare and Growth Impacts of Innovation Policies in a Small, Open Economy: An Applied General Equilibrium Analysis," *Economic Modelling*, 26:5, 1075-1088.
- Chen, K. H., H. M. Hsiao, and H. Y. Yang (2010), "Spillover Effects of Innovation: Taiwanese Evidence," *Applied Economics*, 42:26, 3417-3437.
- Decaluwé, B., A. Lemelin, and H. Maisonnave (2013), "The PEP Standard Single-Country Recursive Dynamic CGE Model (Version 2.1)," Partnership for Economic Technical Paper, <https://www.pep-net.org/pep-1-t-single-country-recursive-dynamic-version>.
- Diao, X., E. H. Elbasha, T. L. Roe, and A. E. Yeldan (1996), "A Dynamic CGE Model: An Application of R&D-based Endogenous Growth Model Theory," EDC Working Paper No. 96-1.
- Diao, X., T. Roe, and E. Yeldan (1999), "Strategy Policies and Growth: An Applied Model of R&D-driven Endogenous Growth," *Journal of Development Economics*, 60:2, 343-380.
- Dietzenbacher, E. (2000), "Spillovers of Innovation Effects," *Journal of Policy Modeling*, 22:1, 27-42.
- Färe, R., S. Grosskopf, and W. F. Lee (1995), "Productivity in Taiwanese Manufacturing Industries," *Applied Economics*, 27:3, 259-265.
- Ghosh, M. (2007), "R&D Policies and Endogenous Growth: A Dynamic General Equilibrium Analysis of the Case for Canada," *Review of Development Economics*, 11:1, 187-203.
- Goulder, L. H. and S. H. Schneider (1999), "Induced Technological Change and the Attractiveness of CO₂ Abatement Policies," *Resource and Energy Economics*, 21:3-4, 211-253.

- Griliches, Z. (1973), "Research Expenditures and Growth Accounting," in *Science and Technology in Economic Growth*, ed., B. R. Williams, 59-95, London: Palgrave Macmillan.
- Griliches, Z. (1979), "Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth," *The Bell Journal of Economics*, 10:1, 92-116.
- Hall, B. H. (2007), "Measuring the Returns to R&D: The Depreciation Problem," NBER Working Paper No. 13473.
- Hall, B. H., J. Mairesse, and P. Mohnen (2010), "Measuring the Returns to R&D," in *Handbook of the Economics of Innovation*, Volume 2, ed., B. H. Hall and N. Rosenberg, 1033-1082, Oxford, UK: Elsevier.
- Hong, C., H. Yang, W. Hwang, and J. D. Lee (2014), "Validation of an R&D-based Computable General Equilibrium Model," *Economic Modelling*, 42, 454-463.
- Kathuria, V. (2001), "Foreign Firms, Technology Transfer and Knowledge Spillovers to Indian Manufacturing Firms: A Stochastic Frontier Analysis," *Applied Economics*, 33:5, 625-642.
- Křístková, Z. (2012), "Impact of R&D Investment on Economic Growth of the Czech Republic: A Recursively Dynamic CGE Approach," *Prague Economic Papers*, 4, 412-433.
- Kuroda, M., K. Ikeuchi, and Y. Hara (2016), "Policy Option Simulator for Science, Technology and Innovation Policy," SciRex Center Working Paper No. 201601.
- Liang, C. Y. (2002), "An International Comparison of Total Factor Productivity Changes, 1960-1993," *The World Economy*, 25:8, 1169-1195.
- OECD (2014), "OECD Science, Technology and Industry Outlook 2014," OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/sti_outlook-2014-en.
- PwC (2017), "Artificial Intelligence and Robotics: 2017 Leveraging

Artificial Intelligence and Robotic for Sustainable Growth,”
<http://www.pwc.in/assets/pdfs/publications/2017/artificial-intelligence-and-robotics-2017.pdf>.

Terleckyj, N. E. (1974), *Effects of R&D on the Productivity Growth of Industries: An Exploratory Study*, Washington D.C.: National Planning Association.

Wang, J. C. and K. H. Tsai (2004), “Productivity Growth and R&D Expenditure in Taiwan’s Manufacturing Firms,” in *Growth and Productivity in East Asia*, ed., T. Ito and A. K. Rose, 277-296, Chicago, IL: University of Chicago Press.

Yang, C. H. and C. H. Huang (2013), “Is Taiwan’s R&D Productivity in Decline? A Microeconometric Analysis,” *Journal of Business Economics and Management*, 14:1, 137-155.

Application of Computable General Equilibrium Analysis to STI Policy Evaluation: Illustrations of R&D Investment in Taiwan's ICT Industry

Hao-Yen Yang and Ming-Huan Liou*

Abstract

This research proposes a recursive dynamic CGE model that could be applied to evaluate the economic effects of a science, technology, and innovation (STI) policy. Our model takes into account the innovation spillover effect that occurs not merely within an innovation-producing industry, but also over other industries, and as such it enables us to investigate the STI policy's impacts comprehensively. Our research results suggest that compared to other industries, R&D investment in the tertiary industry has the largest influence on its total factor productivity, and this industry also receives the greatest R&D spillover benefit from other industries. According to our simulation results, government R&D investment into the ICT industry could foster economic momentum, private investment, as well as increased tax revenue. Moreover, labor productivity in all industries will be enhanced by such government R&D investment, resulting in an increase in the relative price of labor over capital. It is worth noting that the labor demand in the finance and insurance industry will shrink due to the progress of productivity and technology, implying that technology evolution may alter this industry's future business model.

Keywords: Science, Technology and Innovation Policy, R&D Spillover, CGE Model

JEL Classification: C67, C68, D24, E22

* Corresponding author: Ming-Huan Liou, Associate Researcher, Taiwan Institute of Economic Research, No. 16-8, Dehuei St., Jhongshan Dist., Taipei City 104230, Taiwan, R.O.C., Tel.: 886-2-25865000, E-mail: ming.huan.liu@gmail.com. Hao-Yen Yang, Professor in the Department of Finance, National Taipei University of Business, No. 321, Sec. 1, Jinan Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City 100025, Taiwan R.O.C., Tel.: 886-2-23226515, E-mail: haoyen@ntub.edu.tw.

Received August 20, 2020; revised October 16, 2020; accepted January 8, 2021.