

極端氣候對臺灣通膨及產出之影響

鄭漢亮*

摘要 [Extended abstract download](#)

本研究蒐集氣溫、降雨量與強風等氣候相關變數，首次構建臺灣極端氣候指數，用以衡量氣候風險。透過向量自我迴歸模型的一般化衝擊反應與局部投射模型累積衝擊反應分析發現，氣候衝擊會導致臺灣持續性的通膨上漲與低迷的產出成長，且結論具穩健性。其中，極端氣候可能透過食物類價格推升物價上漲；且文獻指出，極端氣候可能危害健康、引發心理壓力或缺勤等，這些因素可能會進一步降低勞動生產力，導致產出明顯下滑。

關鍵詞：極端氣候、通膨、產出

JEL 分類代號：E31、E32、Q54

* 聯繫作者：鄭漢亮，中央銀行經濟研究處，臺北市中正區羅斯福路一段 2 號。Email: d94323006@ntu.edu.tw。作者感謝兩位評審人悉心審閱。本文乃個人研究論文，不代表央行立場。

DOI：[10.7086/TJAE.202506_\(117\).0001](https://doi.org/10.7086/TJAE.202506_(117).0001)

收件日期：114 年 1 月 3 日；修改日期：114 年 2 月 3 日；

接受日期：114 年 2 月 26 日。

極端氣候對臺灣通膨及產出之影響

鄭漢亮

壹、前言

氣候變遷是氣候狀態平均值的改變，為長期趨勢變化；而極端氣候 (Climate Extreme) 又稱極端氣候事件 (Extreme Weather or Climate Event)，為天氣或氣候值高於 (或低於) 觀測數據的門檻值 (Radović and Iglesias, 2019)。氣候變遷會導致極端氣候事件更加頻繁發生，如異常氣溫和降雨。極端氣候事件可能透過實體破壞、勞動生產力 (labor productivity) 損失等方式，對產出與通膨產生顯著影響 (Kim et al., 2022; Parker, 2018; Dell et al., 2012; Colacito et al., 2019; Donadelli et al., 2017; Acevedo et al., 2020)，因而越來越多文獻與央行關心極端氣候與總體經濟之間的關聯。

一般來說，極端氣候伴隨而來的高溫炎熱可能導致生產力下滑，且空調不足的工廠生產力降低將更為明顯。近期有研究發現即便在冷氣房工作也難以避免極端氣候的影響，如英國艾希特大學 (University of Exeter, 2023) 追蹤調查中國大陸一家高科技工廠的室外溫度與勞工生產力，發現只要高溫出現，即使工作場所有冷氣，生產力也會降低。室外攝氏溫度每上升 1 度，生產力將下降 0.83%。除影響生產力，極端氣候亦會毀損基礎設施 (如道路運輸與電力傳送) 與建築物等，以及降低供電穩定性 (如乾旱導致水力供電不穩等)，導致生產中斷。綜上，氣溫與其他天候衝擊可能會透過生產力與實質損害等，影響產出；另一方面，氣候也會藉由能源及食物價格反應，影響整體通膨 (Burke and Emerick, 2016; Kotz et al., 2023; Zhang et al., 2017; Jessoe et al., 2018; Lai et al., 2022; Dell et al., 2012; Colacito et al., 2019; Donadelli et al., 2017; Acevedo et al., 2020; Kim et al., 2022; Parker, 2018)。然而，極端氣候的影響不全然僅有負面，如災後帶來的重建需求則會刺激

地方經濟 (Tran and Wilson, 2022)。值得注意的是，文獻除了證實氣候對產出以及通膨有影響外，有些文獻進一步指出產出以及通膨受氣候的影響具持續性 (Phan, 2023; Parker, 2018; Dell et al., 2012; Hsiang and Jina, 2014; Kim et al., 2022; Chen et al., 2024)。

極端氣候頻繁為全球皆然之趨勢，臺灣同樣開始出現許多極端氣候事件，並受到影響，如近年臺灣極端高溫現象趨於常態。根據 NGFS (Network for Greening the Financial System) (2023) 暖化衝擊模擬，2020 年臺灣勞動生產力因熱負荷 (Heat Stress) 增加，相較 1986~2006 年參考期間，將下降 1.02 個百分點；2030 年可能進一步擴大降至 1.74 個百分點¹。鑒於臺灣極端氣候日益明顯，本研究參考 Chen et al. (2024)、Colombo and Ferrara (2024) 做法，並利用網路爬蟲擷取氣象署觀測查詢系統資料，首次構建臺灣極端氣候指數，或稱精算氣候指數 (Actuaries Climate Index, ACI)，衡量其對物價與產出等總體經濟的影響。極端氣候指數比起單一氣候指標 (如降雨量等)，優勢在於完整反映極端氣候事件的頻率，可系統性及全面地評估極端氣候對總體經濟的影響。

具體而言，本研究透過爬蟲擷取 2000 年 1 月~2023 年 8 月的氣象資料構建臺灣極端氣候指數，以及蒐集消費者物價指數、製造業生產指數、利率與信用等資料 (相關研究參見 Chen et al., 2024)，並以 Pesaran and Shin (1998) 一般化衝擊反應函數 (generalized impulse response functions, GIRFs)，探討極端氣候對物價與產出的影響。另一方面，局部投射 (Local Projection, LP) 模型相較向量自我迴歸 (Vector Autoregression, VAR) 模型對於變數之間的結構關係要求低，較能免於模型錯誤設定，估計更加穩健 (Jordà, 2005)；再者，Brugnolini (2018) 證明當樣本數較小且模型落後期數設定不正確時，LP 模型是具優勢的模型。此外，政策制定者有時更關心極端氣候對產出與通膨的累積影響，以了解極端氣候較長時間的效應，也因此 LP 模型亦常用於氣候衝擊分析 (如 Bilal and Känzig,

¹ 當工作環境熱負荷過高，員工容易發生易怒、士氣低落、曠職、不遵守作業程序等狀況，更嚴重者，可能中暑甚或死亡；NGFS (2023) 假設維持目前實施的氣候政策，不再進一步加強。至 2080 年，全球溫室氣體排放量仍在成長，導致升溫約 3°C 與海平面上升等不可逆轉的變化。

2024)。本研究除了使用一般化衝擊反應函數分析極端氣候衝擊對總體變數之影響，亦透過 LP 模型計算物價及產出對極端氣候的累積衝擊反應 (cumulative impulse responses) 進行分析，做為相關穩健性測試之一。最後，進一步在模型中控制輸入性通膨的影響，以及考量不同權數編製方法與重大經濟事件的可能的影響，另使用主成分分析編製 ACI 指數以及在模型中加入重大經濟事件虛擬變數等，檢驗結論的穩健性。

極端氣候指數編製結果顯示，臺灣 5 年 ACI 移動平均在 2015 年後明顯上升，極端氣候有加劇趨勢，此與美國、Chen et al. (2024) 等建構之 ACI 相同。此外，VAR 模型也發現，極端氣候對產出與勞動生產力有顯著的持續性負面影響。當惡劣天候衝擊發生，往後第 13 月的製造業生產指數年增率降低約 0.5 個百分點；物價受農作無法即時復耕等影響，價格持續上漲。前述產出與通膨的持續性反應與國外文獻一致 (Parker, 2018; Dell et al., 2012; Hsiang and Jina, 2014)。而 VAR 模型預測誤差變異數分解顯示，長期極端氣候衝擊占產出與通膨波動的 2.4% 及 4.4%，較期初為高，支持極端氣候影響的持續性現象，此外，局部投射模型的累積衝擊反應函數亦顯示，極端氣候衝擊使通膨與產出持續上漲及下滑。上述結果，即便在實證模型加入原油價格，控制輸入性通膨，或者改變極端氣候指數編製方法等，結論仍一致。

若與現有使用 ACI 探討其對總體經濟影響的文獻比較，如 Kim et al. (2022)、Chen et al. (2024) 等，其發現極端氣候對產出與通膨均有持續性的影響。然而，前述文獻對 VAR 模型結構性衝擊施加假設，進行衝擊反應分析。本研究則使用一般化衝擊反應函數進行探討，並以 LP 模型累積衝擊反應以及多項穩健性測試確保結論的正確性，惟結果依然沒有太大改變，更為穩健。

例如，Kim et al. (2022) 使用 ACI、消費、失業率、通膨與短期利率等，建構 VAR 模型，實證極端氣候對美國總體經濟的影響。隨著時間推移，極端氣候負面影響加劇，每當極端氣候衝擊上升 1 個標準差，當期工業產出與消費會下降約 0.1 百分點，並推升失業率與通膨率約 0.01 與 0.04 個百分點，儘管幅度不大，但受影響時間卻十分持續。此外，極端氣候係藉由食品與能源價格驅動通膨改變。

Chen et al. (2024) 利用高溫、低溫、降雨量、乾旱、強風等資料編製中國大陸 ACI，並以 ACI、GDP、物價、信用以及利率等變數建構 VAR 模型，研究中國大陸極端氣候衝擊，發現其對 GDP 與信用有顯著的負面影響。在經濟受到氣候負面衝擊後，GDP 與信用會分別持續走低，直至第 24 個季；通膨則是先升後降，並長時間維持跌幅。其次，預測誤差變異數分解顯示，氣候衝擊占 GDP 長期變化的 14.2%，極端氣候對中國大陸總體經濟具重要性。此外，氣候衝擊對第 1 季 CPI 波動的影響小至可忽略不計。然而，氣候衝擊占長期物價變動的 11.5%，對物價的影響存在持續性。再者，作者透過個體廠商資料迴歸分析，指出極端氣候衝擊會減少企業信用融資，且企業貸款的衰退先於產出的減少，因此，信用是擴散 (propagate) 氣候衝擊實體經濟的重要機制。若央行不針對極端氣候衝擊做出反應，極端氣候衝擊抑制 GDP 成長的力道將加深。

另外，也有文獻發現 ACI 對總體變數影響不顯著。如 Rojasavachai et al. (2023) 研究澳洲精算氣候指數 (Australian actuaries climate index, AACI) 衡量的極端氣候對澳洲經濟的影響。AACI 包含氣溫、降雨、乾旱、風力等，全面衡量極端氣候狀況。VAR 模型結果顯示，極端氣候衝擊對 GDP 產生持續的負面影響。物價方面，起初消費受限可能會使通膨率下降，之後極端氣候衝擊導致產出供給短缺，對物價造成上漲壓力，中期通膨率會轉為正值。惟前述多數反應呈統計不顯著。

本研究對文獻有兩項主要貢獻。其一，為臺灣首次建構極端氣候指數，包含極端氣候之頻率與嚴重度。再者，本研究為國內首篇極端氣候衝擊影響臺灣經濟活動與物價的實證文章，並發現即使對氣候風險較低的製造業部門 (相較農業部門) 生產過程也有影響 (Phan, 2023)，以及極端氣候可能透過勞動生產力及食物類價格影響臺灣產出及物價的證據。另一方面，政府持續推出多項氣候調適措施或有助減緩相關影響 (相關論點可見 Kim et al., 2022)。鑒於極端氣候恐日益嚴重，須持續觀察其對總體經濟之影響，以妥適調整氣候政策。

本研究其餘章節安排如下。首先，第二節為文獻回顧；然後，第三節說明資料來源與量化方法；第四節介紹實證結果，包含穩健性檢定等；最後一節，則是結論。

貳、文獻回顧

一、氣候對通膨及產出之影響

國外已有諸多探討極端氣候對通膨及產出影響的文獻。大體上，經濟發展落後或氣候調適能力越不足的國家受氣候變化衝擊越大，因此，早先研究已發現氣候相關衝擊對發展中國家 (developing countries) 經濟成長有巨大負面影響，已開發國家則是好壞參半。

氣候劇烈改變除造成農損，也可能降低勞動生產力等，抑制產出 (如表 1 所示)，惟災後復工產生的正面因素則可能抵銷產出的下滑。如 Donadelli et al. (2017) 分析氣溫衝擊對美國經濟生產力的影響，發現氣溫衝擊會對總要素生產力與勞動生產力等產生負面衝擊。Dell et al. (2012) 研究全球 125 個國家的氣溫與降雨波動對總體經濟的影響，發現氣溫升高會降低發展中國家的經濟表現，尤其是農業生產、工業產出與政治穩定性；另一方面，氣候也會藉由食物類價格等反應影響整體通膨。此外，許多研究指出氣候對產出與通膨影響具高度持續性，但其形成機制尚不明朗，有待持續研究。

二、精算氣候指數

ACI 最早是為便利保險業對於氣候災損的監控，因此皆由保險業或精算師學會等建置。例如，加拿大保險業者開發 ACI，除計算保險標的價值外，還能監測當地的極端氣候事件。該指標以 1961~1990 年的每日天氣平均值，考量溫度、降雨、風速等變數，將每種氣候變數的前 10 百分位設定為極端氣候門檻值。數據顯示，加拿大的極端氣候發生頻率增加，變得更熱、更濕：自 2015 年，每季溫度都在正常區間之上；降雨則自 2013 年春季，便超過正常區間。

表 1 氣候對通膨及產出影響之相關文獻

	負面作用	正面作用
產出	1.產出與生產力損失 <ul style="list-style-type: none"> ● 農業生產減少 (Dell et al., 2012; Gallic and Vermandel, 2020; McCarl et al., 2008) ● 造成資本財等損壞，及影響勞動生產力，抑制工業產出與經濟成長 (Dell et al., 2012; Colacito et al., 2019; Donadelli et al., 2017; Acevedo et al., 2020) 2.持續性 <ul style="list-style-type: none"> ● 氣溫與颱風對產出具持續性影響 (Dell et al., 2012; Hsiang and Jina, 2014)； ● ACI 對產出影響具持續性 (Chen et al., 2024; Kim et al., 2022; Phan, 2023) 	災後重建及復工可刺激地方經濟 (Tran and Wilson, 2022)
通膨	1.主要透過食物類價格影響通膨 (Kim et al., 2022; Parker, 2018; Kunawotor et al., 2022) 2.持續性 <ul style="list-style-type: none"> ● 天然災害 (如乾旱) 可能會在若干年內提高發展中國家的通膨 (Parker, 2018) ● ACI 對通膨影響具持續性 (Kim et al., 2022; Phan, 2023) 	

資料來源：自行整理

美國 ACI 是由美國精算師學會、意外精算協會、加拿大精算師學會等共同資助的專案研究成果。美國 ACI 側重於衡量極端氣候的頻率與強度，而非均值。該指數係由 6 個基本指標組成：高溫和低溫、降雨量、長期乾旱、強風和海平面高度。而極端氣候風險指數 (Actuaries Climate Risk Index, ACRI) 則為將脆弱性、風險與 ACI 相結合，幫助保險業模擬潛在的氣候變化損失與對特定業務的影響。

澳洲精算氣候指數 (AACI) 是從澳洲氣象局網站獲取氣象與沿海潮汐資料所編製，衡量極端氣候頻率變化，幫助精算師、政策制定者、公司及公眾瞭解澳洲的氣候趨勢，

並評估相關風險變化。AACI 將氣象資料按季節加總，並以 1981 年~2010 年為參照期間，以及 5 年移動平均值作為關鍵指標。

最後，極端氣候風險與 ACI 的關係以及 ACI 與產出、通膨的關聯等說明如下：

1. 極端氣候風險與 ACI 的關係：

ACI 是衡量極端氣候事件頻率或風險的指標，包括極端溫度、降雨、風速等變數。當 ACI 上升，意味著極端氣候（如極端低溫、高溫等）的頻繁與風險越高。反之，若 ACI 下降，則代表極端氣候事件減少，風險相對較低。

2. ACI 與產出、通膨的關聯：

ACI 與產出之間的關聯主要是透過極端氣候事件對生產力和供給的影響來呈現。當 ACI 升高，極端氣候事件發生的頻率和強度增強，這可能會對生產活動、基礎設施等造成損害。當 ACI 下降，意味著極端氣候事件較少，生產活動較不會受到過多干擾。

ACI 與通膨之間的關聯則是透過極端氣候事件對物價波動的影響來表現。當極端氣候事件頻仍，可能會對農業供應鏈造成衝擊，導致糧食短缺，從而引發通膨。若 ACI 較低，表示極端氣候風險較低，農業生產活動和供給較為穩定，食物類物價的波動性會較小，減輕通膨壓力。

參、實證資料之說明

本研究的研究流程首先為建構極端氣候指數；其次，進行 VAR 模型一般化衝擊反應分析，並探討極端氣候對產出與通膨的可能影響方式。再者，進行若干穩健性檢定，包括改以局部投射模型置換 VAR 模型；或在模型中控制輸入性通膨的影響；或利用主成分分析編製 ACI 指數；以及在模型中加入重大經濟事件虛擬變數，測試結論是否一致。

一、資料來源

本研究參考 Colombo and Ferrara (2024)、Chen et al. (2024) 等文獻，蒐集 2000 年 1 月~2023 年 8 月相關臺灣總體資料²，如表 2。其中，消費者物價指數來自主計總處；而金融業隔夜拆款利率、全體銀行放款，以及製造業生產指數則取自央行與經濟部³。

隨著網路日益發達，資料多元化與海量，傳統人工方式蒐集網站資料，不但費時，效率也低下。因此，本研究應用網頁爬蟲，針對氣象署網頁中細部資料，自動抓取需要的及時資訊。

表 2 變數來源

變數名稱	來源	代號	資料處理
消費者物價指數	主計總處	CPI	年增率 ($\Delta_{12} \ln(\text{CPI})$)
金融業隔夜拆款利率	央行	Rate	水準值 (Rate)
全體銀行放款	央行	Credit	年增率 ($\Delta_{12} \ln(\text{Credit})$)
製造業生產指數	經濟部	IPI	年增率 ($\Delta_{12} \ln(\text{IPI})$)
日雨量	氣象署	-	-
日氣溫	氣象署	-	-
日風力	氣象署	-	-

² 2000 年前氣象署的氣象觀測站數量相對少很多，較難廣泛反映出當時臺灣的氣候條件，樣本期間選擇以 2000 年 1 月為起始點。

³ 選取製造業生產指數主要係因其占臺灣工業生產比重最高，為工業的主要活動。另一方面，礦業占比非常低，而燃氣電力及燃氣供應業與用水供應業受政府掌控與補助，較不適合納入極端氣候影響之探討。因此，就臺灣而言，製造業生產指數較適合在極端氣候的情境之下，衡量工業產品生產量在某時間與基期間之相對變動。

具體而言，由於氣象署沒有直接公布各項氣象觀測站日資料，需透過氣象署觀測查詢系統下載，再自行加總各觀測站觀測值。本研究透過網頁抓取 (web scraper) 技術，自動擷取氣象署觀測查詢系統網頁資料，共蒐集 223 個氣象觀測站 (表 3) 的每日氣溫、降雨量與風速⁴，構建臺灣月頻率 ACI 時間序列。

表 3 主要氣象觀測站

縣市	觀測站
宜蘭縣	蘇澳、宜蘭、礁溪、東澳、南澳、五結、頭城、北關、冬山、羅東、大福、員山、大溪漁港、石城、粉鳥林
基隆市	基隆、七堵大、武崙、八斗子
臺北市	臺北、社子、天母、內湖、文山、松山、石牌
新北市	板橋、淡水、山佳、福隆、雙溪、金山、新莊八裡、蘆洲、土城、中和、汐止、永和、白沙灣、三重、澳底、野柳、淡水觀海
桃園市	新屋、蘆竹、竹圍、中大臨海站、觀音工業區
新竹縣	新竹、外湖
新竹市	海天一線、香山濕地
苗栗縣	竹南、後龍、通霄、頭份、造橋、苑裡、高鐵苗栗、海埔、通霄漁港、龍鳳
臺中市	大安、清水、龍井、烏日、松柏、溫寮、梧棲
彰化縣	田中鹿港、員林、溪湖、溪州、二林、大城、福興、秀水、埔鹽、埔心、田尾、埤頭、北斗、社頭、芳苑、伸港、線西、花壇、永靖、竹塘、國一 S218K
雲林縣	崙背、四湖、宜梧、虎尾、土庫、北港、西螺、褒忠、二崙、大埤、元長、水林、臺西、蔦松、高鐵雲林、雲林東勢、口湖
嘉義縣	東後寮、樸子、溪口、大林、太保、水上、東石、六腳、布袋、民雄、鹿草、新港

⁴ 由於臺灣農業及工業活動主要集中在平地及低海拔山丘，因此選取海平面高度低於 50 公尺的觀測站每日氣溫、降雨量與風速資料。

表 3 主要氣象觀測站 (續)

縣市	觀測站
嘉義市	嘉義、嘉義市東區
臺南市	臺南、永康、大內、善化、安南、新市、媽廟、東河、下營、佳裡、臺南市北區、臺南市南區、麻豆、官田、西港、安定、仁德、關廟、安平、白河、學甲、鹽水、新營、後壁、將軍、北門、七股、柳營、沙崙、環湖
高雄市	高雄、美濃、溪埔、鳳山新興、阿蓮、梓官、永安、茄萣、湖內、彌陀、岡山、楠梓、仁武、鼓山、三民、苓雅、林園、大寮、路竹、橋頭、大社
屏東縣	恆春、墾丁雷達站、鹽埔、屏東、赤山、潮州、車城、貓鼻頭、九如、萬丹、崁頂、佳冬、新埤、新園、麟洛、南州、墾雷、東港、竹田、枋寮、楓港、佳樂水、枋山、內獅
花蓮縣	花蓮、和中東華、吉安光華、新城、和平
臺東縣	大武、成功、臺東、南田、蘭嶼高中、香蘭、加津林、知本（水試所）
金門縣	金門、金沙、金寧、烏坵
連江縣	東莒
澎湖縣	東吉島、澎湖、花嶼

圖 1 彙總樣本期間全臺各縣市平均降雨量，以素有「雨港」之稱的基隆，平均降雨量最高；反之，連江縣的降雨量最低。

此外，臺灣冬季盛行東北季風，以臺灣海峽風力更強，如澎湖群島的冬季（圖 2）；夏季則吹西南季風，風速較小。氣溫方面，南部較接近熱帶氣候，日照充足，越往南部的城市，均溫越高。如臺灣各縣市以屏東日均氣溫 25.25 度 C 最高（圖 3）；日均溫最低的縣市則是出現在連江縣。

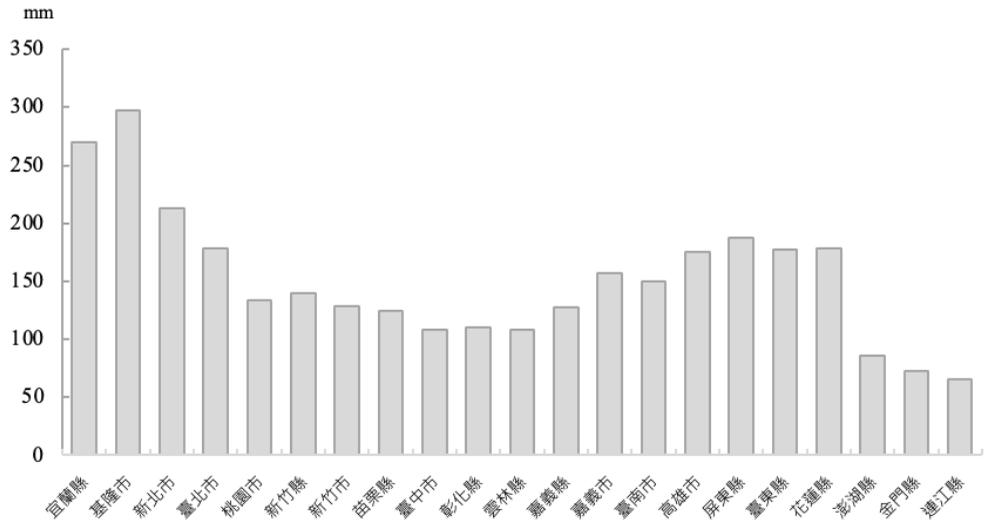


圖 1 各縣市平均降雨量

註：為 2000 年 1 月~2023 年 8 月各縣市氣象觀測站平均值。

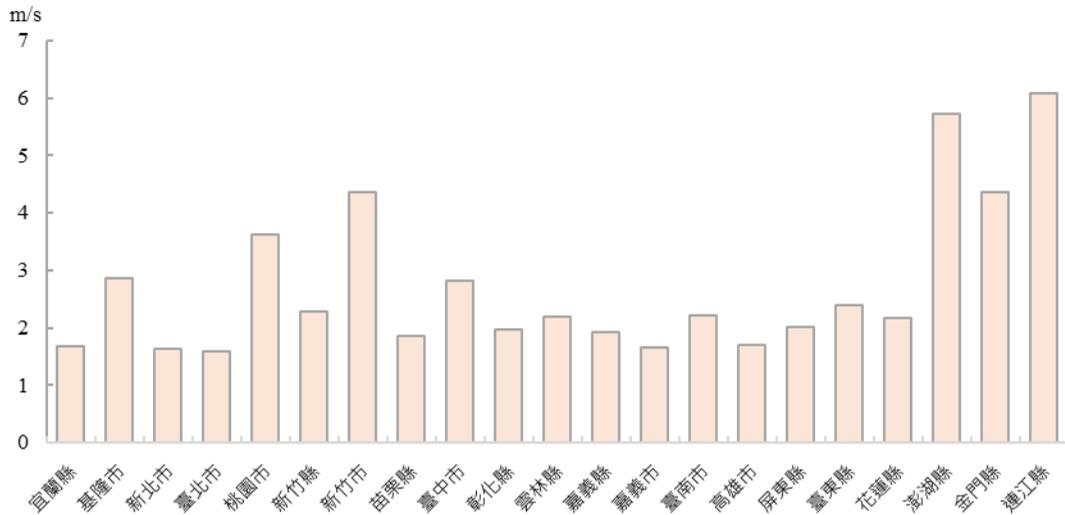


圖 2 各縣市平均風力

註：為 2000 年 1 月~2023 年 8 月各縣市氣象觀測站平均值。

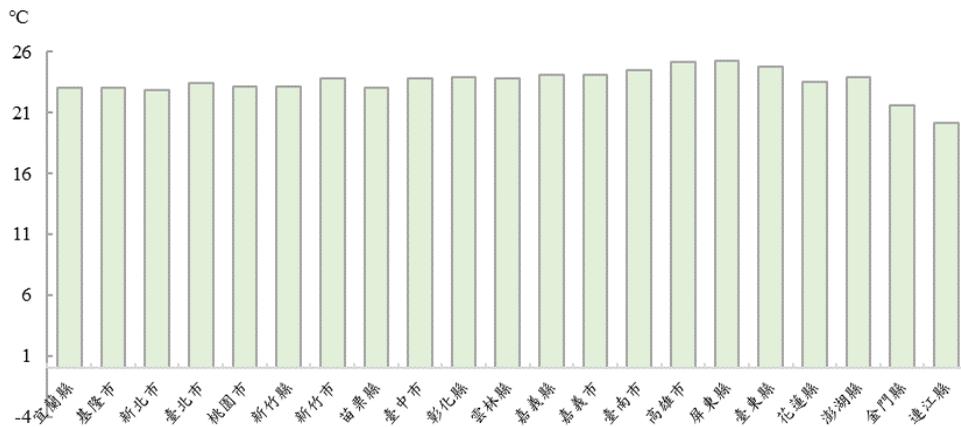


圖 3 各縣市平均氣溫

註：為 2000 年 1 月~2023 年 8 月各縣市氣象觀測站平均值。

二、臺灣極端氣候指數編製

原始 ACI 設立目的旨在監測與量化極端氣候發生頻率，讓保險業瞭解氣候變化對經濟與社會的潛在風險。由於各國幅員與氣候特性不同，ACI 編製方法與重點均有所差異。本研究參酌文獻與各國 ACI 編製，並考慮臺灣特性進行微幅調整，例如臺灣海平面（潮汐）上升衝擊在未來或可能加劇及擴大，但目前臺灣西部沿海低窪地區受漲潮引發淹水的規模小且持續時間短（梁庭語與陳偉博，2024）⁵。在本研究期間海平面（潮汐）並非一項影響通膨與經濟的重要因素，因此未將其納入 ACI⁶。Colombo and Ferrara (2024) 提出綜合天氣指數（composite weather index, CWI）亦未將海平面變數納入。

⁵ 如 2024 年「臺灣氣候變遷科學報告」，對於海平面上升災害模擬對應期間分別長達至 2040 與 2060 年，海平面上升屬於更長期的災害。Chen et al. (2024) 建構 ACI 時亦未將海平面上升納入。

⁶ 降雨量 (H) 與強風 (W) 已包含颱風可能帶來的情境，加以各國極端氣候指標編製也未獨立考慮颱風。因此，不再額外考慮颱風的影響，避免重複計算。

參照 Chen et al. (2024)、Colombo and Ferrara (2024) 等，本研究使用 2000 年 1 月～2023 年 8 月資料，共選取如極端高溫 (P90)、極端低溫 (P10)、降雨量 (H)、乾旱 (D) 與強風 (W) 等 5 個氣候指標 (x_t) 建構臺灣 ACI，該等氣候變化也被文獻證實會影響總體經濟變數 (Parker, 2018; Dell et al., 2012; Hsiang and Jina, 2014)。氣候指標建構步驟，說明如下⁷：

1. 蒐集臺灣 223 個氣象觀測站的每日氣溫、降雨量與風速，並計算平均值。
2. 利用前述每日平均氣溫、降雨量與風速等資料，以下面方式，編製極端高溫 (P90)、極端低溫 (P10)、降雨量 (H)、乾旱 (D) 與強風 (W) 等氣候指標：
 - (1) 極端高溫 (P90)：若日平均氣溫高於樣本期間歷年當月日平均氣溫的第 90 個百分位數，則設定頻率變數值為 1，否則為 0，加總後，除以當月天數⁸。

⁷ 本研究建置雨量 (H)、乾旱 (D) 指標，採與 Chen et al. (2024) 不同的做法，設定為 0,1 變數，主要係因 Chen et al. (2024) 「月內連續降雨量 < 1mm 的最大天數」之乾旱指標過於敏感，易有誤判發生，恐不適用於臺灣的情況。以 2020 年 6 月～2021 年 12 月期間為例，「月內連續降雨量 < 1mm 的最大天數」指標判斷 2021 年 11 月乾旱極度可能出現，而本研究編製的乾旱指標則未呈現乾旱現象。然而，照實際情況，2020 年 6 月至 2021 年 5 月臺灣發生百年大旱，導致各地區進入不同程度的減壓供水、限水、停耕、歇業等情況。至 5 月底～6 月底連續幾波梅雨、陣雨、西南氣流帶來降雨，旱象趨於緩解 (李明營等, 2022)。此外，Chen et al. (2024) 的「月內連續 5 日的最大降雨量」做為臺灣降雨指標，亦有相同之問題。事實上，本研究也嘗試以「月內連續降雨量 < 1mm 的最大天數」與「月內連續 5 日的最大降雨量」，重新編製臺灣極端氣候指數，惟實證結果不如預期。因此，乾旱與降雨指標均用虛擬變數編製。受限於篇幅關係，未再呈現相關討論。

⁸ 極端氣候 90% 臨界值依據 Chen et al. (2024) 設定，此外，本研究樣本期間為 2000 年～2023 年，僅約 23 年，若將臨界值由 90% 提升為 99%，可能會面臨觀測數量不足的問題。

- (2) 極端低溫 (P10)：若日平均氣溫低於樣本中歷年當月日平均氣溫的第 10 個百分位數，則取值為 1，否則為 0。月數值由各日加總而成，並除以當月天數。
- (3) 降雨量 (H)：月內最大 5 日降雨量高於樣本中歷年當月第 90 個百分位數時為 1，其餘為 0。
- (4) 乾旱 (D)：最大連續乾旱日數 (每日降雨量小於 1mm) 高於樣本中歷年當月第 90 個百分位數時為 1，其餘為 0。
- (5) 強風 (W)：如果日風速高於樣本中歷年當月日平均風速第 90 個百分位數時為 1，否則為 0。月資料為將日資料加總，並除以當月天數。

如同 Chen et al. (2024)、Kim et al. (2022)，對前述氣候指標 (x_t) 進行標準化 (X_t)，避免受單位影響，與得到相對於參照期的極端氣候變化。整體資料蒐集範圍是 2000 年 1 月~2023 年 8 月，並以 2000 年 1 月~2005 年 12 月作為參照期間，將每個月 ($m = 1, 2, \dots, 12$) 的氣候變數減參照期間內的月平均值，然後除以參照期間相應的標準差，進行標準化 (如式 1)⁹。另由於降雨量 (H)、乾旱 (D) 為 0,1 變數，已不受單位影響，故不再進行標準化。

$$X_t = \frac{x_t - \mu_x^{2000-2005}}{\sigma_x^{2000-2005}} \quad (1)$$

為提供精算師、政策決策者與大眾在監測氣候，簡單易懂且容易解釋的指數，各國與文獻編製 ACI 多採組成項的簡單加總 (如 Kim et al., 2022)。因所有氣候指標已無單位，

⁹ ACI 相關文獻 (如 Chen et al., 2024) 所指的標準化，並非數學上嚴格定義的標準化，也因此，極端高溫與低溫在標準化後，其數值會超出 [0,1] 的範圍，但各氣候指標單位不同問題可獲得解決。

可逕行相加，依此，將前述 5 個變數 (X_t) 加總後¹⁰，即得到臺灣 ACI，如下示¹¹。

$$ACI_t = P90_t + P10_t + H_t + D_t + W_t \quad (2)$$

惟考量不同權數編製方法可能影響結果，後續將以主成分分析合成指數，做為穩健性檢測。

值得注意的是，本研究主要探討氣候對物價與經濟活動的影響，由於極端寒冷天氣越少越有助臺灣農作物生長與經濟活動，因而本研究視極寒天數減少為氣候風險之正向因素，在 ACI 序列之中，極端低溫 ($P10_t$) 的加權符號為正 (如同中國大陸國家氣象中心編製的氣候指標，或參見 Chen et al. (2024) 說明)¹²。

圖 4~圖 8 繪製 2000 年 1 月~2023 年 8 月 ACI 的 5 個組成項，分別為極端高溫與低溫、降雨量與乾旱虛擬變數以及強風資料。2015 年後，臺灣極端高溫頻仍，極低氣溫次數大幅減少，極端高溫與低溫 5 年移動平均分別表現出上升與下降趨勢，顯示氣溫暖化程度攀升 (圖 4、圖 5)。

¹⁰ 由於強風多出現在離島，對整體物價跟經濟活動的影響較低，進一步將指數限縮於 0~1 之間，降低其對指數的影響。

¹¹ 氣候指數探討對總體經濟影響仍在初步階段，迄今文獻主要沿用簡單易懂且容易解釋的原則編製指數，ACI 指數建置採組成項的簡單加總或平均，如 Chen et al. (2024) 與 Kim et al. (2022)。

¹² 美國精算師協會(American Academy of Actuaries)認為極端寒冷天氣的減少，將導致永凍層融化、疾病傳播以及害蟲與昆蟲數量增加等風險，故將加權符號反轉。然而，前述風險在臺灣或因緯度不同，並未具明顯威脅，加以極端寒冷天氣越少有助農作生長與經濟活動，因此，設加權符號為正。

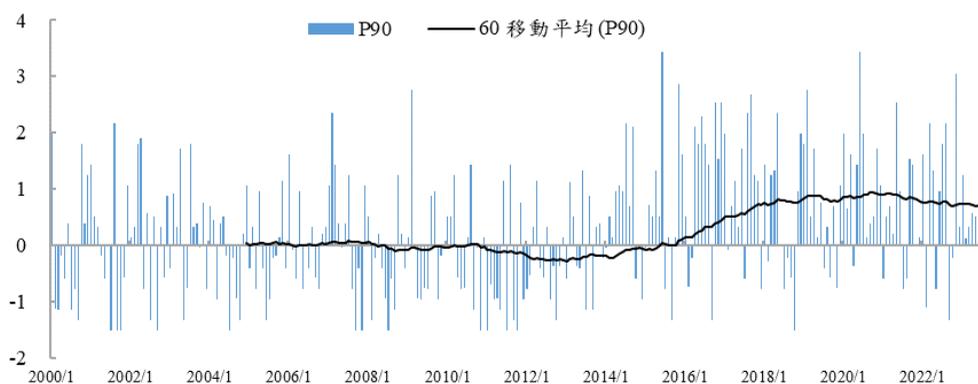


圖4 極端高溫 ($P90_t$)

註：黑色實線為5年移動平均。

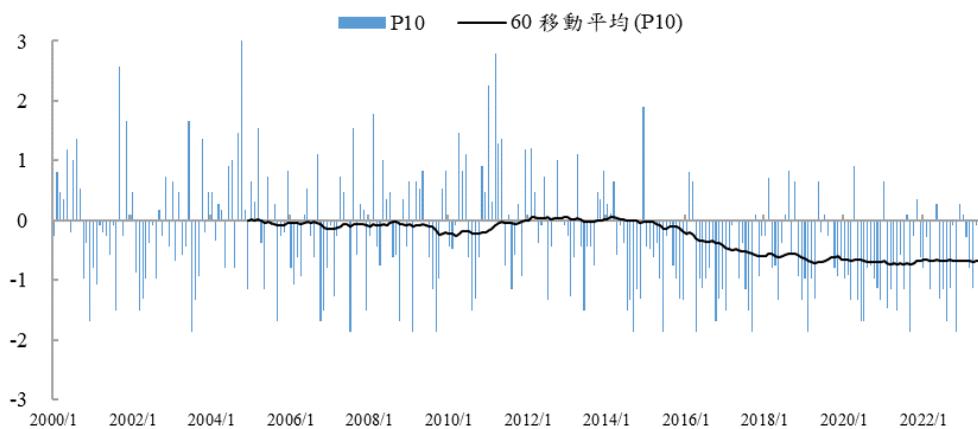


圖5 極端低溫 ($P10_t$)

註：黑色實線為5年移動平均。

雨量方面，2004 年～2007 年受連續數個颱風登陸侵襲，降雨量密集發生 (圖 6)。近幾年極端氣候越益明顯，2019 年 8 月～2023 年 6 月未曾有颱風登陸，又因梅雨季提前結束，或降雨量減少等趨勢，致旱象頻傳 (圖 7) 及強風天數降低 (圖 8)。其中，旱災嚴重區域主要以西半部為主，且相對 2000 年初的偶發旱象，乾旱時間持續增長。

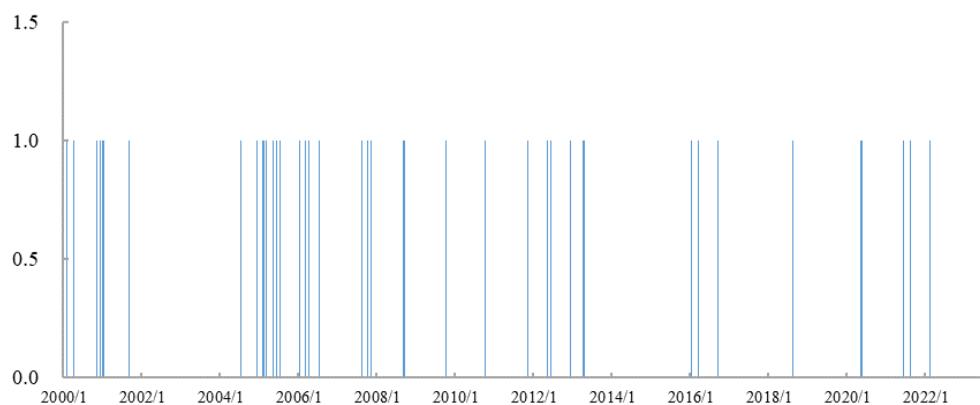


圖 6 降雨量 (H_t)

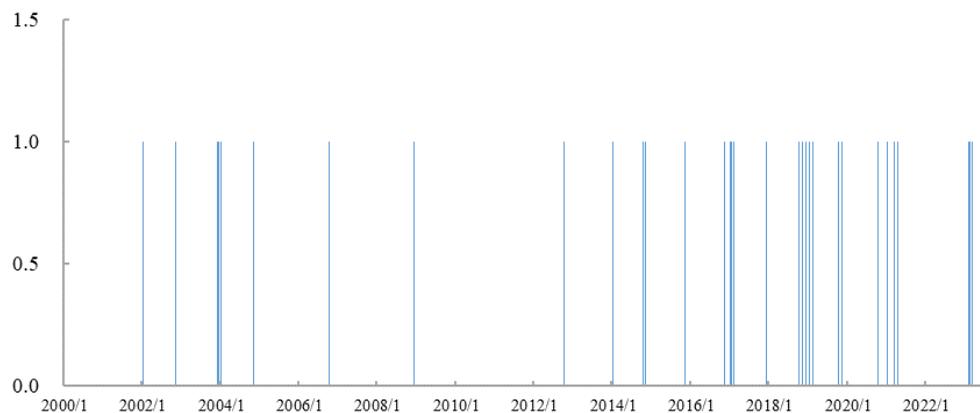


圖 7 乾旱 (D_t)

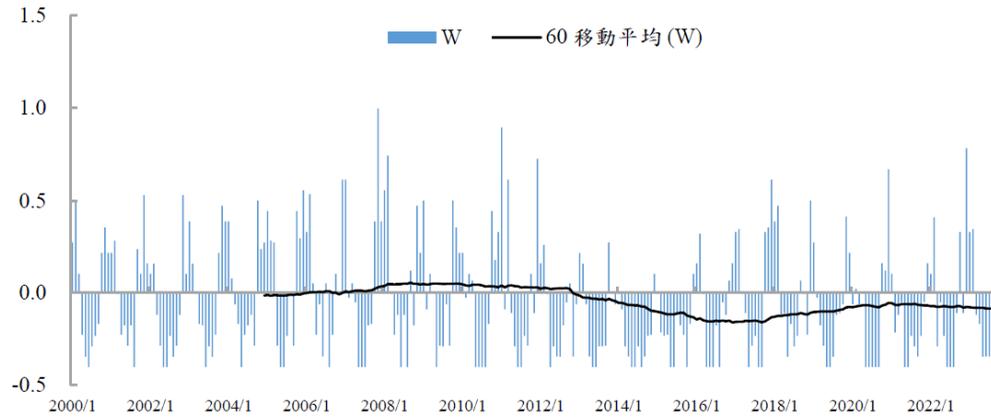


圖 8 強風 (W_t)

註：黑色實線為 5 年移動平均。

圖 9 為將極端高溫、極端低溫、降雨量、乾旱與強風指數加總得到的 ACI，樣本期間內平均值為 0.16，數值分布範圍從 -2.63 到 2.54。此外，2004 年後 ACI 的趨勢 (5 年移動平均) 略呈下降，至約 2015 年後開始上升，並維持 0 以上。

最後，各國編製的 ACI 期間或參考年雖不同，但極端氣候發展趨勢應一致。觀察臺灣 5 年 ACI 移動平均，其與 Kim et al. (2022) 使用的美國 ACI 趨勢相同，均於 2015 年後攀升 (圖 10)。特別是，也與 Chen et al. (2024) 建構的中國大陸 ACI 趨勢大抵相同 (見其原文圖 1)，故臺灣 ACI 編製應符合實際狀況。

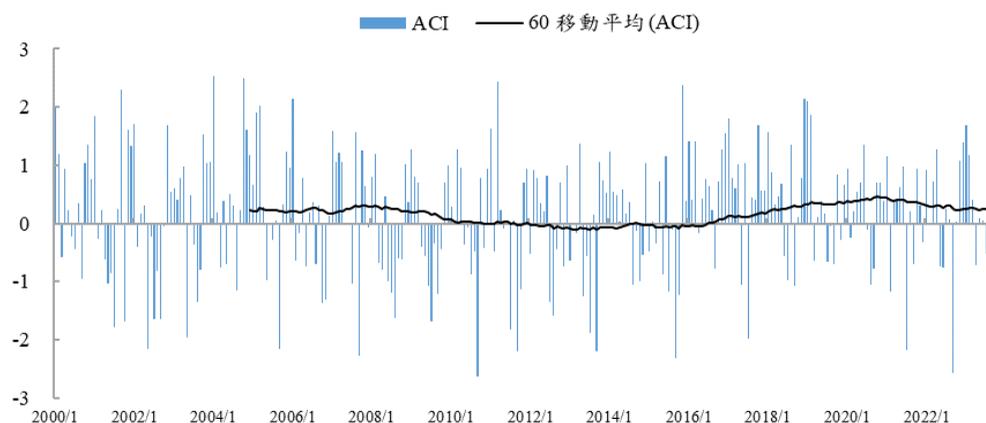


圖 9 臺灣 ACI 指數

註：黑色實線為 5 年移動平均。



圖 10 臺美 ACI 移動平均

資料來源：Actuaries Climate Index

三、模型設定

(一)VAR 模型

本研究以 VAR 模型探討極端氣候對臺灣總體經濟的影響，並參考 Chen et al. (2024) 選取 ACI、製造業生產指數 (IPI)、消費者物價指數 (CPI)、金融業隔夜拆款利率 (Rate) 與信用 (Credit) 等變數，但考量臺灣小型開放經濟體特性，後續在 VAR 模型中加入原油價格控制輸入性通膨，做為穩健性檢定。選取前述總體變數，除了依據文獻之外，主要係考量該等均會影響臺灣通膨與產出的動態表現。例如，當央行升息時，帶動借貸成本上升，企業和消費者支出減少，將壓抑通膨。反之則相反；信用的增加可促使企業擴張與消費者購買更多商品，從而增加產出，並可能推升通膨；油價透過提高產品的投入生產成本，影響通膨與產量。

另一方面，為避免衝擊反應結果隨結構性衝擊排序改變而劇烈變動，與 Chen et al. (2024) 等不同，本研究使用 Pesaran and Shin (1998) 一般化衝擊反應函數 (GIRFs) 進行分析。而衝擊反應函數信賴區間採用 Hall(1986)'s studentized 拔靴法 (bootstrap)，300 次拔靴法抽樣與 300 次雙重重複拔靴法抽樣。

VAR 模型迴歸式如下示：

$$B_0 Y_t = c + B_1 Y_{t-1} + B_2 Y_{t-2} + \dots + B_p Y_{t-p} + \sum_{j=1}^p \chi_j Z_{t-j} + w_t \quad (3)$$

其中， $Y_t = \{ACI, \Delta_{12} \ln(IPI), \Delta_{12} \ln(CPI), Rate, \Delta_{12} \ln(Credit)\}$ 為變數矩陣； c 代表截距項， B_0 為變數當期結構關係矩陣； B_1, \dots, B_p 則是係數矩陣； Z_t 為外生影響變

數 (如油價等)¹³； w_t 為滿足 $E(w_t) = 0$ 與 $E(w_t' w_t) = 0$ 的結構性衝擊向量。

值得注意的是，氣候可能受過去總體經濟變動的影響，例如製造業生產活動可能加速溫室效應，導致極端氣候頻仍。因此，諸如 Chen et al. (2024)、Kim et al. (2022) 使用 VAR 模型分析氣候之衝擊時，並未限制 ACI 迴歸式中的總體變數落後項係數為零。依據 2023 年全球氣候變遷績效指標 (CCPI)，臺灣人均碳排放約為每年 12 噸，是全球平均的 2 倍以上。臺灣經濟活動造成的溫室氣體上升仍可能加速極端氣候發生。

此外，本研究也參考 Chen et al. (2024) 設定結構性衝擊順序，進行 Cholesky 分解，以了解極端氣候在總體變數預測誤差變異數的占比。其一，與 Kim et al. (2022) 類似，假設氣候衝擊會對所有其他變數產生同期效應，故 ACI 為結構性衝擊認定的第 1 順位。其次，假設物價受當期產出變化影響，並考慮貨幣政策效果的落後性，將產出及通膨衝擊順序置於短期利率與信用之前。最後，假設信用受當期氣候、經濟與利率等變數廣泛的影響。

(二) 局部投射模型累積衝擊反應

VAR 模型結構性衝擊認定基於變數之間同期關係假設，結果易隨假設改變，且可能無法識別極端氣候、產出成長與其他變數之間可能存在的複雜結構關係；而局部投射模型對於變數之間的結構關係要求較低，較能免於模型錯誤設定。此外，政策制定者不只關心極端氣候對每期產出與通膨的影響，更重視累計效果，以了解極端氣候較長時間的效應。因此，除了使用 VAR 模型分析極端氣候衝擊對總體變數之影響，本研究也使用局部投射模型計算物價及產出對極端氣候的累積衝擊反應進行分析 (參見 Jordà et al., 2015)，當作穩健性檢驗之一，如下示：

¹³ 原始 VAR 模型未考慮油價，將加入油價的模型做為穩健性檢驗；後面 LP 模型亦同。

$$\begin{aligned}\ln Y_{t+h} - \ln Y_t &= \Delta_h \ln Y_{t+h} = \sum_{j=1}^h \Delta \ln Y_{t+j} \\ &= c + \theta_h ACI_t + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{t-j} + \sum_{j=1}^p \chi_j Z_{t-j} + e_t\end{aligned}\quad (4)$$

其中， $Y_t = \{\ln(\text{IPI})、\ln(\text{CPI})\}$ ； $X_t = \{\Delta_{12} \ln(\text{IPI})、\Delta_{12} \ln(\text{CPI})、\text{Rate}、\Delta_{12} \ln(\text{Credit})\}$ 為控制變數； Z_t 則為其他可能的生變數，如油價等；而迴歸係數 θ_h 為第 $t+h$ 期 ACI 造成的衝擊反應。

由於 $\ln Y_{t+h} - \ln Y_t$ 等於 Y_t 反應變化累積加總， θ_h 可代表累積至 $t+h$ 的累積衝擊反應。由於式 (4) 迴歸殘差可能會有序列相關，導致係數標準誤估計問題，因此採用 Newey and West (1987) 衡量 e_t 的序列相關性，計算 θ_h 的標準誤，得到穩健的衝擊反應信賴區間。

肆、實證分析

一、單根檢定及臺灣 ACI 之特性

(一)單根檢定

圖 11 顯示，實證分析中使用的主要變數，及其走勢：通膨方面，2000 年以來絕大多數時間，臺灣通膨低且穩定，各月年增率多低於 2%；產出除 2001 年網路泡沫與 2008 年全球金融危機之外，成長穩定，且信用維持一定的增長動能；利率則因 2000 年以來的通膨趨緩，而降低。

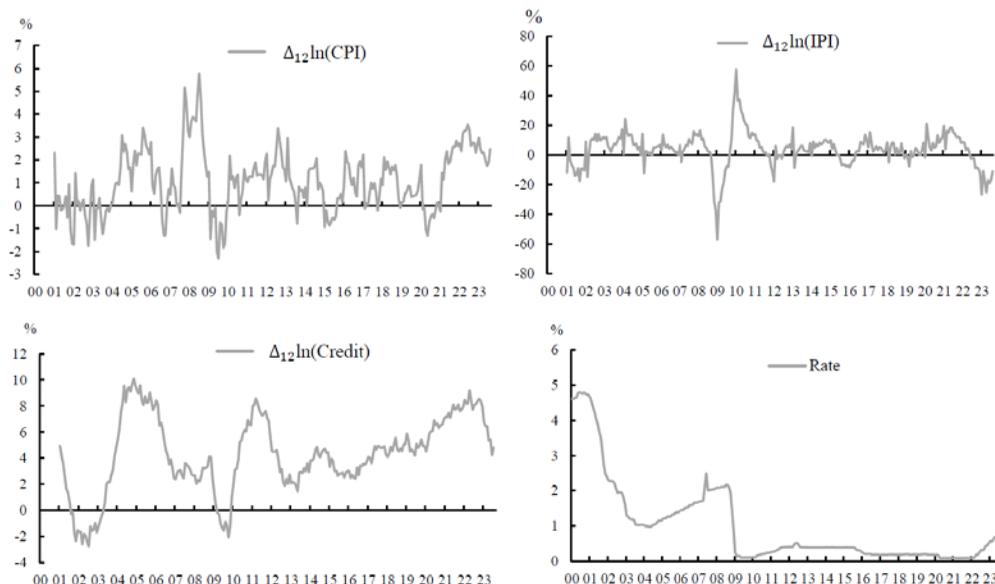


圖 11 變數走勢

表 4 呈列 ACI、利率、通膨、製造業生產與信用年增率等變數的單根檢定結果。表格第 1 行 ADF 代表擴增 Dickey-Fuller (augmented Dickey-Fuller, ADF) 檢定；PP 則是 Phillips and Perron (1988) 之單根檢定；DF-GLS 為一般化最小平方去除趨勢項 (GLS detrend) 的 ADF 檢定。ADF、PP、DF-GLS 檢定迴歸均包含常數項，虛無假設為變數具有單根，最大落後期數為 8 期，再由 Schwarz 資訊準則決定最佳落後期數。

表 4，多數情況下，ADF、PP、DF-GLS 等檢定至少有兩項，拒絕 ACI、利率、通膨、製造業生產與信用年增率等變數有單根的虛無假設，因此，迴歸變數應符合定態時間序列要求，可逕行 VAR 模型以及局部投射模型之衝擊反應分析¹⁴。

¹⁴ 由於 VAR 模型變數多為年增率，非水準值。衝擊反應主要反映的是變數成長速度或變化趨勢。若衝擊是暫時性的，則成長率會返回原始狀態；若是永久性衝擊，則成長模式會發生改變。

表 4 單根檢定

變數	ADF	PP	DF-GLS
ACI	-9.81***	-14.52***	-3.08***
Rate	-3.27**	-3.21**	-0.06
$\Delta_{12} \ln(\text{CPI})$	-5.16***	-5.01***	-4.03***
$\Delta_{12} \ln(\text{IPI})$	-5.01***	-5.70***	-2.34**
$\Delta_{12} \ln(\text{Credit})$	-3.56***	-2.57	-3.54***

註：***, **, *分別為在 1%, 5%, 10% 顯著水準下，拒絕虛無假設。

(二)ACI 自我衝擊反應

首先赤池信息量準則 (Akaike Information Criterion, AIC) 選擇 ACI 自我迴歸最適落後期數為 6 期。觀察圖 12，ACI 自我衝擊反應，當極端氣候發生，會快速遞減。之後，略呈現震盪走勢，直到約 15 個月後，ACI 反應減弱至可忽略程度。而此可能是因極端氣候傾向出現一連串氣象變化交替，如高溫的熱力作用可能引發午後雷陣雨¹⁵，降低乾旱的機率，而使 ACI 略呈反覆波動。

¹⁵ 高溫使陸地升溫，加熱上方空氣，暖空氣會形成一股上升氣流，遇到高空冷空氣，凝結變成雲，當暖空氣持續上升，雲越積越厚，直到無法再被上升氣流支撐後，便出現雷陣雨。

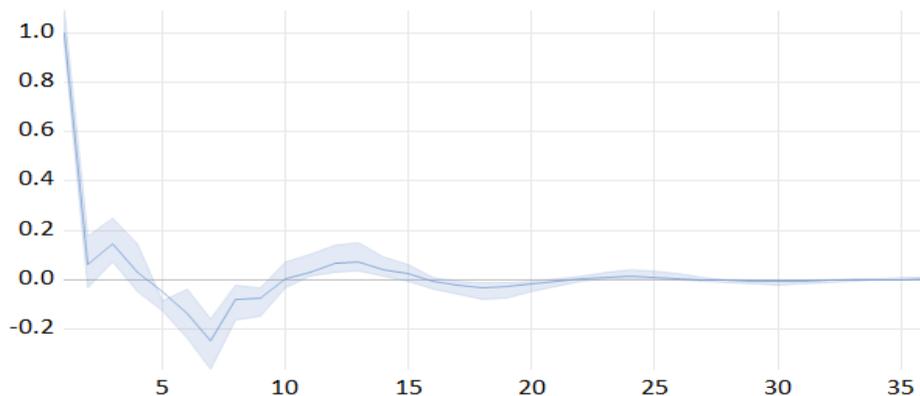


圖 12 ACI 自我衝擊反應

註：灰色區塊為 90% 信賴區間；信賴區間採用 Hall's studentized 拔靴法，300 次拔靴法抽樣與 300 次雙重重複拔靴法抽樣。

二、VAR 模型分析

(一) 衝擊反應

依據 AIC 準則以及考量極端氣候的可能持續性效果，選取 VAR 模型最適落後期數為 6 期 (即為 6 個月)¹⁶。

VAR 模型衝擊反應函數如圖 13，在受到 1 個標準差的暫時性極端氣候衝擊後，一開始極端氣候可能造成資本財等損壞，產出會下滑，在第 4 個月後可能受惠災後復工，轉

¹⁶ 落後期數為 5 期與 6 期的 VAR 模型 AIC 差距很小，考量 AIC 準則選擇 ACI 自我迴歸的最適落後期數為 6 期，加以文獻指出極端氣候對總體經濟具持續性，VAR 模型落後期數設定為半年。

呈上升，惟反應均未達統計顯著。之後，氣候衝擊可能誘發勞動生產力降低等不利因素（詳見下節分析），使產出成長跌幅擴大；至於通膨的反應，大體呈駝峰狀（hump-shaped），在1~3個月內持續微幅上升，但不顯著。短暫下滑後，可能受極端氣候事件帶來供給面緊縮影響，持續攀升。

綜上，臺灣產出成長與通膨對極端氣候反應具持續性，此與文獻一致，如 Dell et al. (2012) 以及 Colacito et al. (2019) 等人發現溫度對產出損害相當持續；以及 Kim et al. (2022) 研究結果也顯示，極端氣候對通膨及產出影響具持久性，如極端氣候可推升通膨持續上漲約7季，水準值也沒有恢復到衝擊前的趨勢；另 Chen et al. (2024) 研究指出中國大陸通膨與產出受極端氣候影響具持續性，甚至可達數年。

此外，極端氣候引發的復工或是復耕貸款需求¹⁷，會短暫推升市場利率；但經過一段時間後，產出成長的持續下降將抑制信用成長，而使信用成長明顯下滑¹⁸。初步來看，信用成長的減少落後於企業產出成長的下降，信用似非擴大極端氣候負面影響臺灣總體變數之機制¹⁹，惟仍須更多個體資料實證探討。

Kim et al. (2022) 指出若經濟體有足夠的氣候適應能力，極端氣候衝擊對工業生產成長的影響將轉弱。臺灣已投入多項重大水資源建設計畫，包含水資源管理及多元開發、強化供水調度及備援能力、推動各項節水措施等，並持續進行防旱工作，使臺灣氣候調適能力具韌性²⁰。此外，政府也提供更細緻的高溫乾旱預警資訊，提早進行各項防減災

¹⁷ 天然災害發生後，依農業天然災害救助辦法第6條規定公告或核定之直轄市或縣（市），可辦理農業天然災害貸款。

¹⁸ 本研究亦依據 Chen et al. (2024) 方式，以 Cholesky 分解結構性衝擊，衝擊反應結果不變，結論具穩健性。

¹⁹ 如 Chen et al. (2024) 透過中國大陸廠商追蹤資料分析，發現極端氣候之下，企業貸款的減少先於產出的減少，信用是擴散氣候衝擊對實體經濟影響的重要機制。

²⁰ 因應氣候變化之措施可分為兩種，分別為「減緩 (mitigation)」或「調適 (adaptation)」，「減緩」是指透過溫室氣體減排或將吸收、貯存，因應極端氣候或是氣候變遷；「調適」乃為透過評估氣候帶來之衝擊程度，採取事先預防措施，減少損害。

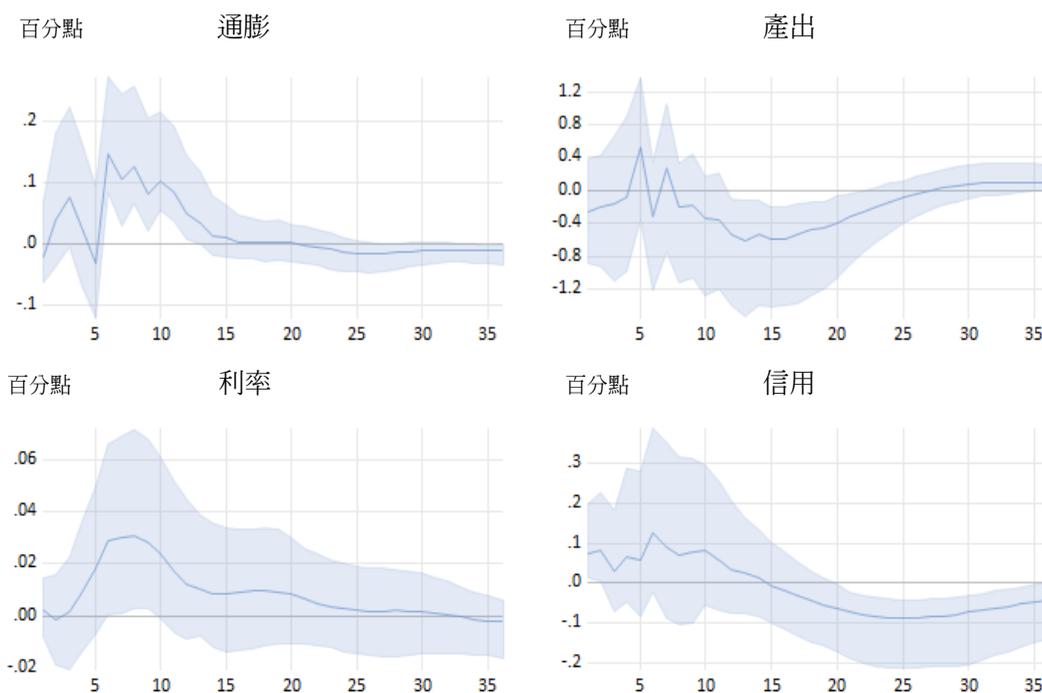


圖 13 衝擊反應函數

註：灰色區塊為 90% 信賴區間；信賴區間採用 Hall's studentized 拔靴法，300 次拔靴法抽樣與 300 次雙重重複拔靴法抽樣。

作業，並研發抗逆境品種，以及協助災後復耕、提供救助措施，以儘速恢復生產。前述措施均有助減緩極端氣候的衝擊。

(二)極端氣候對通膨與產出主要影響方式分析

為更好地了解極端氣候對 CPI 的主要影響模式，此處參考 Rojasavachai et al. (2023) 的作法，進行另一項分析，以食物類通膨取代 VAR 模型中的 CPI 通膨²¹，其餘設定皆相

²¹ 資料來自於主計總處，且單根檢定顯示，食物類通膨為定態。

同 (VAR 模型變數包括 ACI、製造業生產指數與食物類物價指數年增率、金融業隔夜拆款利率與信用年增率)。圖 14 中，食物類通膨漲勢相同具持續性現象，且受到暫時性惡劣氣候衝擊帶動的漲幅 (最高約為 0.3 個百分點) 高於整體通膨 (最高約為 0.1 個百分點)，此佐證極端氣候事件可能會破壞農作物的生長與收成，導致產量減少，從而推升食物類價格，影響整體通膨。再者，極端氣候事件也可能破壞食品儲存設施、加工廠和供應鏈，並增加農產品銷售成本，而推升食品類與整體通膨 (Kunawotor et al., 2022)。綜上，ACI 衝擊可能主要係透過食物類通膨反應，驅動對整體通膨的影響，此一發現與文獻一致。因此，政策制定者應特別注意極端氣候對食物類價格的衝擊，以便制定適當的應對措施。

同樣地，仿照前面，以製造業勞動生產力指數年增率取代製造業生產指數年增率 (VAR 模型變數包括 ACI、製造業勞動生產力指數與 CPI 年增率、金融業隔夜拆款利率與信用年增率)，進行衝擊反應²²。從圖 15 可發現，勞動生產力對暫時性極端氣候事件反應在 1 年後跌幅最大，因此極端氣候造成產出成長下滑的現象，可能來自於勞動生產力成長的下降。前述實證結果提供極端氣候恐阻礙工作效率，影響勞動生產力的支持證據。事實上，若干文獻已指出極端氣候造成的勞工身心健康問題，可能降低生產力。例如，Morrissey-Basler et al. (2021) 指出高溫職業環境會危及工人的健康、安全和生產力。勞工工作能力下降與缺勤將直接和間接導致生產力損失。Kjellstrom et al. (2009) 全球氣候變化之下，勞工可能需要更長的工作時間，或更多的勞工來達到相同的產出。此外，Cruz et al. (2020) 發現極端氣候事件的頻率與嚴重程度增加，將衝擊民眾心理健康。

前述結果，即便改以將食物類通膨或製造業勞動生產力指數年增率分別加入原有 VAR 模型之中，結果仍未有太大改變²³。

²² 資料來自於勞動部，且單根檢定顯示，製造業勞動生產力指數年增率為定態。

²³ 即為 VAR 模型變數包括 ACI、製造業生產指數與 CPI、食物類物價指數年增率、金融業隔夜拆款利率與信用年增率；以及 VAR 模型變數包括 ACI、製造業生產指數與勞動生產力指數及 CPI 年增率、金融業隔夜拆款利率與信用年增率。礙於篇幅的關係，未呈現相關實證結果。

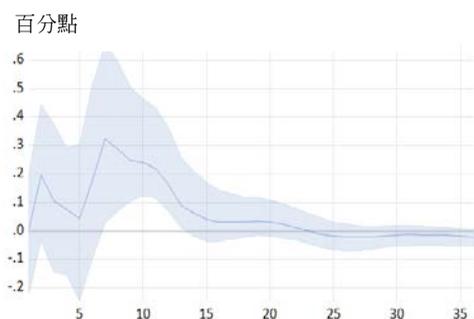


圖 14 食物類通膨衝擊反應

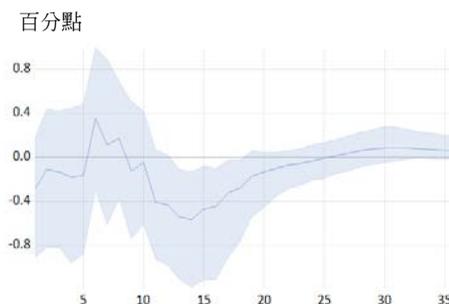


圖 15 勞動生產力衝擊反應

註：灰色區塊為 90% 信賴區間；信賴區間採用 Hall's studentized 拔靴法，300 次拔靴法抽樣與 300 次雙重重複拔靴法抽樣。

(三)VAR 模型預測誤差變異數分解

爲了評估極端氣候在解釋總體變數波動方面的重要性，此章節依據 Chen et al. (2024)，設定 VAR 模型結構性衝擊排序，進行預測誤差變異數分解。

表 5 列出了第 3、12、24、36 個月，極端氣候在各變數預測誤差變異數的占比。以產出爲例：第 1 個季度極端氣候僅占製造業產出波動的 0.23%，而在第 2 年，比例增至 2.43%。隨著時間的推移，至第 3 年，占比穩定維持約在 2.4% 左右的水準；同樣地，極端氣候衝擊對第 1 個季度通膨的影響不大，約 0.7%。然而，衝擊與消費者物價指數波動之間存在持續性，長期氣候衝擊解釋通膨的能力升至 4.43%，高於期初。至於利率與信用，長期極端氣候可分別解釋其 2.27% 與 2.69% 的變化。

綜上，本研究實證結果顯示，臺灣通膨與產出波動受極端氣候影響的占比並不高。

表 5 預測誤差變異數分解—ACI 占比 (%)

變 數	IPI	CPI	Rate	Credit
3 個月	0.23	0.73	0.03	1.86
12 個月	1.06	4.63	3.34	1.95
24 個月	2.43	4.42	2.58	2.00
36 個月	2.40	4.43	2.27	2.69

三、累積衝擊反應

由於 LP 模型無須假設極端氣候、產出成長與其他變數之間可能存在的複雜結構關係，能降低模型錯誤設定干擾，可做為 VAR 模型之穩健性檢驗。本節進一步使用 LP 模型累積衝擊反應函數，分析極端氣候對通膨與產出成長之影響。圖 16 與圖 17 為通膨與產出成長累積衝擊反應函數²⁴，其顯示極端氣候衝擊將推升通膨增溫，於第 3 個月顯著增加後，並持續上升，累計成長約 0.15 個百分點，並統計顯著，隨後通膨逐漸降溫；產出方面 (圖 17)，當期因極端氣候造成的有形損失而明顯下降，隨後的復工需求抵銷了部分產出成長下滑力道。過一段時間後，產出開始顯著減少，最大累積減幅約為 1 個百分點，之後漸回升並呈現統計不顯著。基本上，LP 模型結果與 VAR 模型並無太大差異。

²⁴ 由 LP 模型等式左邊内生變數變動，若沒有去除季節性，累積衝擊反應易有週期性，因此，LP 模型中等式左邊的物價及製造業生產指數均為季調後。

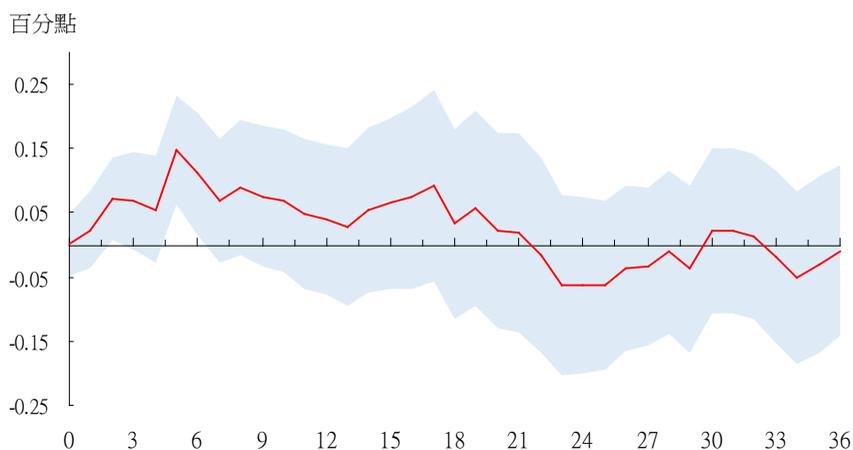


圖 16 通膨累積衝擊反應函數

註：灰色區塊為 90% 信賴區間。

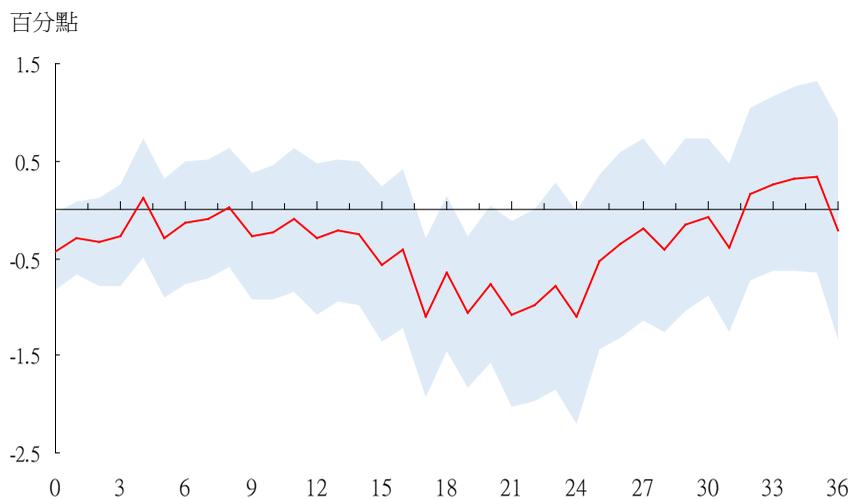


圖 17 產出累積衝擊反應函數

註：灰色區塊為 90% 信賴區間。

四、其他穩健性檢定

臺灣為小型開放經濟體，且天然資源匱乏，化石燃料進口占 GDP 比率不低，通膨與生產活動易受國際原物料價格波動影響。本節進行另一項穩健性檢定，在 VAR 模型 (如式 (3)) 與 LP 模型 (如式(4)) 迴歸落後項加入外生變數 (exogenous variable) –布蘭特原油價格年增率，控制輸入性通膨，檢驗物價與產出對極端氣候衝擊反應結果是否穩健。

由於布蘭特原油價格上升將導致臺灣 CPI 隨之上升，兩種高度相關的衡量通膨變數同時出現在模型中，可能有線性重合的疑慮。惟從表 6 相關性矩陣 (Correlation Matrix)，通膨與布蘭特原油價格年增率相關係數為 0.47，兩者共線性的可能性不高。

圖 18 為加入布蘭特原油價格年增率的 VAR 模型衝擊反應，左邊與右邊分別為通膨與產出成長反應。暫時性極端氣候出現後，通膨反應續具持續性，大體為駝峰狀，並在 6~7 個月內升至高點，之後持續遞減；產出成長起初半年內受影響不顯著，並呈現區間震盪。之後，產出成長可能因極端氣候導致的勞動生產力降低等影響，開始下滑，直至約 1 年後才緩步回升。基本上，模型有無控制輸入性通膨，VAR 模型結果依然穩健。

同樣地，圖 19，LP 模型控制輸入性通膨效果，極端氣候衝擊依舊會推升通膨增溫，並於第 3 個月達到顯著增加，後持續上升，至第 6~7 個月達到高峰且統計顯著。圖 20 產出方面，初始極端氣候造成的有形損失使產出成長明顯下降，但隨之而來的復甦支撐生產活動，止跌回穩。之後，產出成長可能受勞動生產力降低等因素干擾，而明顯下滑，後逐漸恢復。綜上，LP 模型實證結果具穩健性。

表 6 相關性矩陣

	$\Delta_{12} \ln(\text{CPI})$	$\Delta_{12} \ln(\text{Oil})$
$\Delta_{12} \ln(\text{CPI})$	1	0.47 (8.87)
$\Delta_{12} \ln(\text{Oil})$	0.47 (8.87)	1

說明：括弧中為 t 值。

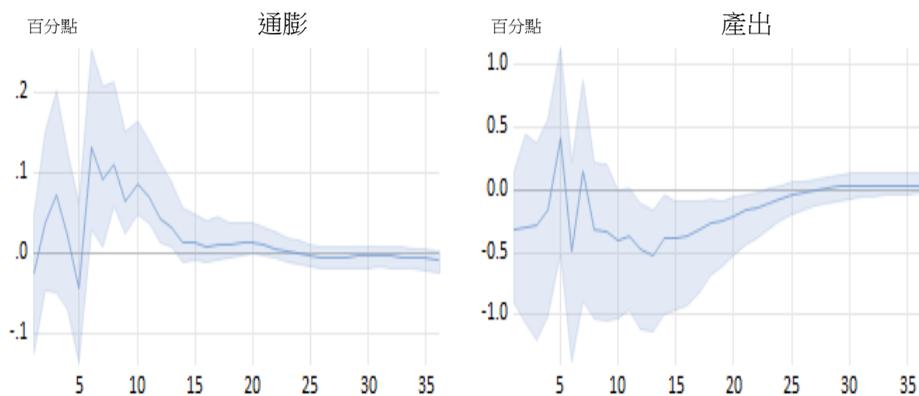


圖 18 VAR 模型衝擊反應函數 (控制輸入性通膨)

註：灰色區塊為 90% 信賴區間；信賴區間採用 Hall's studentized 拔靴法，300 次拔靴法抽樣與 300 次雙重重複拔靴法抽樣。

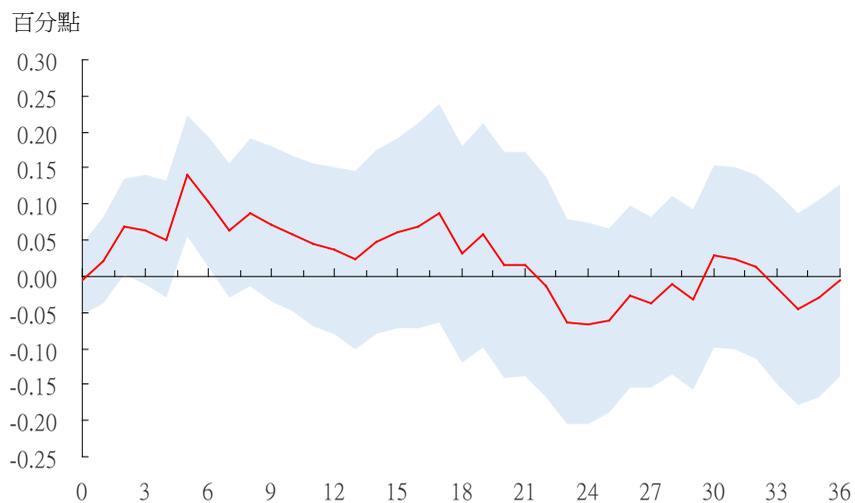


圖 19 LP 模型通膨累積衝擊反應

註：灰色區塊為 90% 信賴區間。

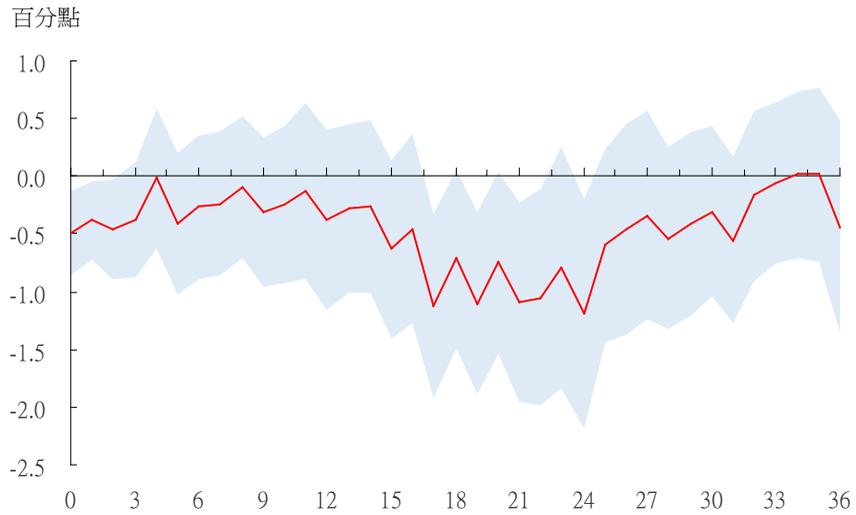


圖 20 LP 模型產出累積衝擊反應

註：灰色區塊為 90% 信賴區間。

再者，為了評估 ACI 構建方法的穩健性，參照 Kim et al. (2022)，使用主成分分析從原始 5 項子指標萃取第 1 主成分，作為新的 ACI，並以 VAR 模型進行相同分析。圖 21 顯示，VAR 模型中，通膨與產出成長對氣候衝擊反應具穩健性，並不受 ACI 加總方式太大影響，歷經一段期間後，跟前面分析一致，分別呈現出明顯上升及下滑。

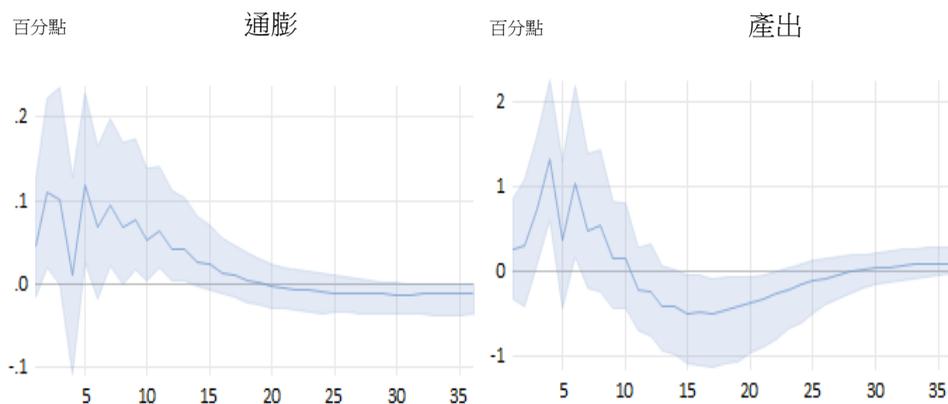


圖 21 VAR 模型通膨及產出衝擊反應 (氣候指標主成分作為 ACI)

註：灰色區塊為 90% 信賴區間；信賴區間採用 Hall's studentized 拔靴法，300 次拔靴法抽樣與 300 次雙重重複拔靴法抽樣。

最後，考量樣本期間重大經濟事件的可能影響，分別設立全球金融危機、新冠疫情以及俄烏戰爭等虛擬變數，加入 VAR 模型之中，檢視一般化衝擊反應函數是否有大幅改變。

虛擬變數設定說明如下：

$$\text{Dummy}_{\text{全球金融危機}} = \begin{cases} 0 & \text{若 } t \neq 2008\text{m}1 \sim 2009\text{m}12 \\ 1 & \text{若 } t = 2008\text{m}1 \sim 2009\text{m}12 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{Dummy}_{\text{新冠疫情}} = \begin{cases} 0 & \text{若 } t \neq 2020\text{m}1 \sim 2021\text{m}12 \\ 1 & \text{若 } t = 2020\text{m}1 \sim 2021\text{m}12 \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{Dummy}_{\text{俄烏戰爭}} = \begin{cases} 0 & \text{若 } t \neq 2022\text{m}2 \sim 2023\text{m}8 \\ 1 & \text{若 } t = 2022\text{m}2 \sim 2023\text{m}8 \end{cases} \quad (7)$$

其中，2022 年年初新冠疫情影響逐漸鈍化與消退，並依序鬆綁管制與開放邊境，新冠疫

情虛擬變數設定期間為 2020m1~2021m12；而 2022 年 2 月俄烏軍事衝突，升級為全面戰爭，且持續至今，設定俄烏戰爭虛擬變數期間為 2022m2~2023m8 (樣本結束時點)。

下圖 22，VAR 模型的一般化衝擊反應顯示，與其他模型的通膨與產出成長對極端氣候衝擊反應一致，通膨與產出成長受到持續性的影響。

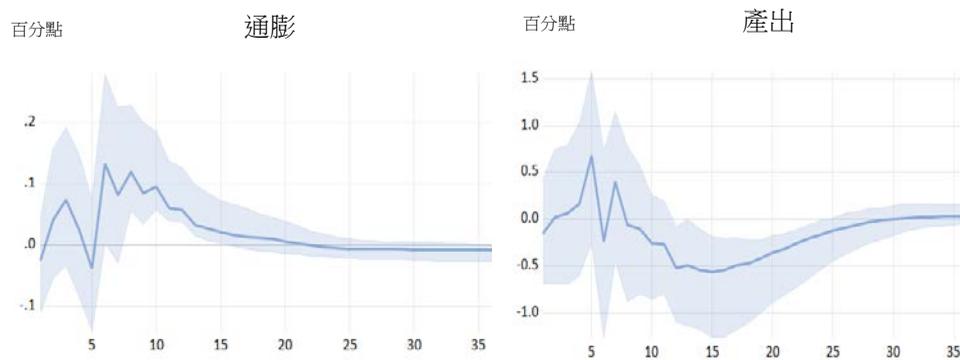


圖 22 VAR 模型通膨及產出衝擊反應

註：灰色區塊為 90% 信賴區間；信賴區間採用 Hall's studentized 拔靴法，300 次拔靴法抽樣與 300 次雙重重複拔靴法抽樣。

伍、結論

極端氣候除造成實質損失，如農業與生產中斷等，導致物價上漲之外；空調不足的工廠也會因生產力降低，而使產出減少。更甚者，最新研究發現即使在空調充足的工作場域也難逃氣候變化的影響。長期以往，若極端氣候未獲改善，不利生產活動。

截至目前，尚未有文獻涉略極端氣候對臺灣總體經濟之影響。本研究透過網路爬蟲技術下載氣象署觀測查詢系統網頁資料，蒐集 223 個氣象觀測站的每日氣溫、降雨量與風速，首次嘗試建構臺灣極端氣候指數 (ACI)，並以 VAR 及 LP 模型估算極端氣候對臺灣通膨及產出的影響。ACI 比起單一氣候指標 (如降雨量等)，優勢在於可系統性及更全面地評估極端氣候對總體經濟的影響。

本研究發現極端氣候對臺灣產出成長與通膨有顯著持續性影響，且即使對氣候風險較低的製造業部門也有衝擊，以及極端氣候可能透過勞動生產力及食物類價格影響臺灣產出及物價的證據。其中，食物類價格主要受農作物復耕不及而推升；另一方面，文獻亦已指出，極端氣候可能危害健康、引發心理壓力或缺勤等，導致勞動生產力低落，致使產出下滑。

由於本研究使用總體資料進行分析，未來延伸方向或可朝個體及區域資料發展，進一步探究及驗證極端氣候對通膨與產出的擴大影響機制等。

參考文獻

一、中文部分

- 李明營、洪浩哲、許晃雄與王品翔，2022，「2020-2021 臺灣百年大旱原因分析」，大氣科學期刊，51：30-55。(Li, M. Y., H. J. Hong, H. S. Hsu, and P. S. Wang, 2022, “Causes of the Record-breaking Drought in Taiwan in 2020-2021”, *Atmospheric Sciences*, 51: 30-55.)
- 梁庭語與陳偉博，2024，「未來海平面上升對彰雲嘉沿海衝擊」，TCCIP 電子報第 75 期。(Liang, T. Y. and W. B. Chen, 2024, “The Impact of Future Sea Level Rise on the Changyun-Jia Coastline”, *TCCIP Newsletter*, Issue 75.)

二、英文部分

- Acevedo, S., M. Mrkaic, N. Novta, E. Pugacheva, and P. Topalova, 2020, “The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: What are the Channels of Impact?”, *Journal of Macroeconomics*, 65: 103207.
- Bilal, A. and D. R. Känzig, 2024, “The Macroeconomic Impact of Climate Change: Global vs. Local Temperature”, *NBER Working Paper*, No. 32450.
- Brugnolini, L., 2018, “About Local Projection Impulse Response Function Reliability”, *CEIS Working Paper*, No. 440.
- Burke, M. and K. Emerick, 2016, “Adaptation to Climate Change: Evidence from US Agriculture”, *American Economic Journal: Economic Policy*, 8: 106-40.
- Chen, Z., L. Li, and Y. Tang, 2024, “Weather, Credit, and Economic Fluctuations: Evidence from China”, *Journal of Economic Behavior & Organization*, 221: 406-422.

- Colacito, R., B. Hoffmann, and T. Phan, 2019, “Temperature and Growth: A Panel Analysis of the United States”, *Journal of Money, Credit and Banking*, 51: 313–368.
- Colombo, D. and L. Ferrara, 2024, “Dynamic Effects of Weather Shocks on Production in European Economies”, *CAMA Working Paper*, No. 7a/2024.
- Cruz, J., P. C. L. White, A. Bell, and P. A. Coventry, 2020, “Effect of Extreme Weather Events on Mental Health: A Narrative Synthesis and Meta-Analysis for the UK”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17: 8581.
- Dell, M., B. F. Jones, and B. A. Olken, 2012, “Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century”, *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4: 66–95.
- Donadelli, M., M. Jüppner, M. Riedel, and C. Schlag, 2017, “Temperature Shocks and Welfare Costs”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 82: 331–355.
- Gallic, E. and G. Vermandel, 2020, “Weather Shocks”, *European Economic Review*, 124: 103409.
- Hall, P., 1986, “On the Bootstrap and Confidence Intervals”, *The Annals of Statistics*, 14: 1431–1452.
- Hsiang, S. M. and A. S. Jina, 2014, “The Causal Effect of Environmental Catastrophe on Long-Run Economic Growth: Evidence from 6,700 Cyclones”, NBER.
- Jessoe, K., D. T. Manning, and J. E. Taylor, 2018, “Climate Change and Labour Allocation in Rural Mexico: Evidence from Annual Fluctuations in Weather”, *The Economic Journal*, 128: 230–261.
- Jordà, Ò., 2005, “Estimation and Inference of Impulse Responses by Local Projections”, *American Economic Review*, 95: 161–182.
- Jordà, Ò., M. Schularick, and A. M. Taylor, 2015, “Betting the House”, *Journal of International Economics*, 96: S2–S18.
- Kim, H. S., C. Matthes, and T. Phan, 2022, “Severe Weather and the Macroeconomy”, Federal Reserve Bank of Richmond *Working Paper*.
- Kjellstrom, T., R. S. Kovats, S. J. Lloyd, T. Holt, and R. S. J. Tol, 2009, “The Direct Impact of Climate Change on Regional Labor Productivity”, *Archives of Environmental &*

- Occupational Health*, 64: 217–227.
- Kotz, M., F. Kuik, E. Lis, and C. Nickel, 2023, “The Impact of Global Warming on Inflation: Averages, Seasonality and Extremes”, *ECB Working Paper*, No. 2023/2821.
- Kunawotor, M. E., G. A. Bokpin, P. O. Asuming, and K. A. Amoateng, 2022, “The Impacts of Extreme Weather Events on Inflation and the Implications for Monetary Policy in Africa”, *Progress in Development Studies*, 22: 130-148.
- Lai, W., S. Li, Y. Liu, and P. J. Barwick, 2022, “Adaptation Mitigates the Negative Effect of Temperature Shocks on Household Consumption”, *Nature Human Behaviour*, 6: 837–846.
- McCarl, B. A., X. Villavicencio, and X. Wu, 2008, “Climate Change and Future Analysis: Is Stationarity Dying?”, *American Journal of Agricultural Economics*, 90: 1241–1247.
- Morrissey-Basler, M., G. Brewer, W. Williams, T. Quinn, and D. Casa, 2021, “Impact of Occupational Heat Stress on Worker Productivity and Economic Cost”, *American Journal of Industrial Medicine*, 64: 1–8.
- Newey, W. K. and K. D. West, 1987, “A Simple, Positive Semi-Definite, Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix”, *Econometrica*, 55: 703–708.
- NGFS Climate Impact Explorer, 2023, Retrieved October 2, 2024, from <https://climate-impact-explorer.climateanalytics.org/impacts/?region=TWN&indicator=ec1&scenario=hcpol&warmingLevel=1.5&temporalAveraging=annual&spatialWeighting=area&compareYear=2030>.
- Parker, M., 2018, “The Impact of Disasters on Inflation”, *Economics of Disasters and Climate Change*, 2: 21–48.
- Pesaran, H. H. and Y. Shin, 1998, “Generalized Impulse Response Analysis in Linear Multivariate Models”, *Economics Letters*, 58: 17–29.
- Phan, T., 2023, “A New Look at the Effects of Weather Shocks Over Time”, *Economic Brief*, August, No. 23-25.
- Phillips, P. C. B. and P. Perron, 1988, “Testing for a Unit Root in Time Series Regression”,

Biometrika, 75: 335–46.

Radović, V. and I. Iglesias, 2019, “Extreme Weather Events: Definition, Classification and Guidelines towards Vulnerability Reduction and Adaptation Management”. in: Leal Filho, W., A. Azul, L. Brandli, P. Özuyar, and T. Wall, ed., *Climate Action. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, Cham.

Rojasavachai, R., F. Rouxelin, and L. Yang, 2023, “Extreme Weather, Economic Implications, and Energy Consumption”, UNSW Business School *Research Paper*, Available at SSRN.

Tran, B. R. and D. J. Wilson, 2022, “The Local Economic Impact of Natural Disasters”, Federal Reserve Bank of San Francisco *Working Paper Series*.

University of Exeter, 2023, “Hot Weather Hits Productivity–Even in Air-Conditioned Factories”, ScienceDaily, Retrieved October 4, 2024, from www.sciencedaily.com/releases/2023/10/231004105142.htm

Zhang, P., J. Zhang, and M. Chen, 2017, “Economic Impacts of Climate Change on Agriculture: The Importance of Additional Climatic Variables Other than Temperature and Precipitation”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 83: 8–31.

Impact of Extreme Weather on Inflation and Output in Taiwan

Han-Liang Cheng*

Abstract

This study incorporated climate-related variables, such as temperature, rainfall, and wind speed, into a novel extreme weather index for climate risks in Taiwan. A generalized impulse response analysis was conducted using a vector autoregressive model, and a cumulative impulse response analysis was conducted using a local projection model. The results indicated that climate shocks were associated with persistent inflation and low output growth. Specifically, extreme weather events were associated with an increase in food prices. According to the literature, extreme weather can negatively impact health, induce psychological stress, or cause absenteeism. These factors may thus considerably reduce productivity.

Keywords: Extreme weather, Inflation, Output

JEL Classification: E31, E32, Q54

* Department of Economic Research, Central Bank of the Republic of China (Taiwan), Senior Economist. Corresponding Author. Email: d94323006@ntu.edu.tw. This article is a personal research paper and does not represent the views of the central bank.

DOI: [10.7086/TJAE.202506_\(117\).0001](https://doi.org/10.7086/TJAE.202506_(117).0001)

Received January 3, 2025; Revised February 3, 2025; Accepted February 26, 2025.

Extended Abstract

I. Introduction

Climate change is a long-term trend that is indicated by major deviations in the average values of climate variables. Extreme climate events, also referred to as climate extremes or extreme weather events, occur when one or more interconnected variables deviate from the specific thresholds of observational data (Radović and Iglesias, 2019). Climate change is projected to increase the frequency and intensity of climate events, such as abnormal temperatures and rainfall.

Weather conditions such as temperature may lead to physical damage or productivity loss, which in turn affect output. They may also cause fluctuations in the prices of energy or food, thereby affecting inflation. Some extreme climate events have positive effects. For example, the demand for reconstruction that arises after a climate-related disaster may stimulate local economies (Tran and Wilson, 2022). Multiple studies have indicated that climate factors have a persistent effect on both output and inflation (Phan, 2023; Parker, 2018; Dell et al., 2012; Hsiang and Jina, 2014; Kim et al., 2022; Chen et al., 2024).

Extreme climate events affect the environment worldwide. Recently, the number and frequency of extreme heat waves have increased in Taiwan. However, few studies have examined the impact of extreme climate conditions on the country's macroeconomy. This study explored the relationship between extreme climate, output, and inflation and examined whether extreme climate events would further affect the output and inflation of Taiwan because of their effect on productivity and food prices.

Literature on the Impact of Climate on Inflation and Output

	Negative effects	Positive effects
Output	1. Output and productivity losses <ul style="list-style-type: none"> • Reduced agricultural production (Dell et al., 2012; Gallic and Vermandel, 2020; McCarl et al., 2008) • Damage to capital goods and impact on labor productivity, reducing industrial output and hindering economic growth (Dell et al., 2012; Colacito et al., 2019; Donadelli et al., 2017; Acevedo et al., 2020) 	Reconstruction and resumption of work can stimulate local economies (Tran and Wilson, 2022).
	2. Persistence <ul style="list-style-type: none"> • Temperature and typhoons have persistent effects on output (Dell et al., 2012; Hsiang and Jina, 2014) ; • The ACI has a persistent effect on output (Chen et al., 2024; Kim et al., 2022; Phan, 2023). 	
Inflation	1. Primarily affecting inflation through food prices (Kim et al., 2022; Parker, 2018; Kunawotor et al., 2022)	
	2. Persistence <ul style="list-style-type: none"> • Natural disasters such as droughts may increase inflation in developing countries for several years (Parker, 2018). • The ACI has a persistent effect on inflation (Kim et al., 2022; Phan, 2023). 	

Note: ACI refers to the Actuaries Climate Index.

Source: Compiled by the author.

II. Methodology

Similar to the methodology of Chen et al. (2024) and Colombo and Ferrara (2024), web scraping was used to collect data from the database of the Central Weather Administration of Taiwan. To the best of the authors' knowledge, this is the first study to establish an extreme climate index, also referred to as the Actuaries Climate Index (ACI), to measure the impact of extreme climate events on macroeconomic variables such as inflation and output. Unlike other individual climate indicators (e.g., rainfall), this index accurately captures the frequency of extreme climate events and allows for the systematic assessment of the impact of extreme climate on the macroeconomy.

Meteorological data, consumer price index scores, industrial production index scores, interest rates, and credit scores were collected for the period between January 2000 and August 2023 (Chen et al., 2024). Generalized impulse response functions were used to examine the effect of extreme climate on food prices and output.

Local projection (LP) models impose few structural restrictions on variables, which in turn mitigates the risk of model misspecification and provides robust estimates (Jordà, 2005). Brugnolini (2018) argued that LP models are effective in cases involving small samples and misspecified lag structures. Policymakers often pay attention to the cumulative effects of extreme climate on output and inflation to understand the long-term effect of extreme climate. Therefore, LP models are often applied in climate impact analyses (e.g., Bilal and Känzig, 2024). In this study, generalized impulse response functions were used to examine the impact of extreme climate shocks on macroeconomic variables. In addition, an LP model was used to calculate the cumulative impulse responses of prices and output to extreme climate events as a robustness test.

III. Findings

Extreme climate had a major, persistent, and negative effect on Taiwan's output and labor productivity. After an extreme climate event, the risk of inflation increased because of the delayed resumption of agricultural production, which in turn led to increased prices. Extreme climate events negatively affected work efficiency and labor productivity.

Multiple studies have suggested that the health problems caused by extreme climate conditions reduce productivity. For instance, Morrissey-Basler et al. (2021) argued that occupational environments with high temperatures pose a threat to workers' health, safety, and productivity. They also indicated that reduced labor capacity and absenteeism can directly and indirectly lead to productivity loss. Kjellstrom et al. (2009) suggested that, in response to global climate change, more labor hours are required to achieve the same output. Cruz et al. (2020) demonstrated that extreme climate events would have become more frequent or severe.

Extreme climate events may also disrupt crop growth and harvesting procedures, leading to low yields, which in turn increase food prices and drive inflation.

Overall, the persistence of the effects of extreme climate on output and inflation is consistent with the findings of multiple studies. The variance decomposition of forecast errors observed in the Vector Autoregression model supported the persistent effect of extreme climate. The conclusions remained the same even when crude oil prices were included in the model to control for imported inflation and even when the method for constructing the ACI was varied in a principal component analysis.

IV. Conclusion

To the best of the authors' knowledge, this is the first study to establish an extreme climate index that accounts for the frequency and severity of extreme climate events in Taiwan. It is also the first empirical study to examine the impact of extreme climate events on economic

activity and prices in Taiwan. The results indicate that even sectors with low climate risks, such as manufacturing, are affected by extreme climate events (Phan, 2023). Overall, this study suggests that extreme climate events influence Taiwan's output and prices through labor productivity and food prices.

The Taiwanese government can implement various climate adaptation to mitigate the aforementioned effects (Kim et al., 2022). Given the increasing severity of extreme climate events, continually monitoring the impact of these events on the macroeconomy and adjusting climate policies accordingly are essential. Future studies should incorporate microeconomic and regional data to further explore and verify the mechanisms through which extreme climate persistently influences inflation and output.