

總體模型中氣候變遷相關風險分析之 說明

陳佩玗^{*}

經濟研究處

113 年 1 月

^{*} 本文所有論點皆屬作者意見，不代表中央銀行及作者服務單位之立場。

目錄

壹、前言	1
貳、氣候變遷所衍生的風險	2
參、氣候變遷相關風險對貨幣政策帶來的影響	4
一、氣候變遷相關風險對自然利率及通膨率的影響	4
二、氣候變遷相關風險可能影響貨幣政策之執行及傳遞機制	8
三、貨幣政策操作工具有效性之評估	9
肆、有關總體模型中氣候變遷相關之風險分析	10
一、評估氣候變遷風險之經濟模型	10
二、國家機構全球計量模型 NiGEM 之說明	13
二、以新凱因斯-3 方程模型分析氣候變遷風險	16
參考文獻	22
附錄	24

壹、前言

氣候變遷會帶來有形風險(physical risks)與轉型風險(transition risks)，而這些風險會經由經濟部門傳遞至金融體系，如極端氣候事件與全球暖化的有形風險將對經濟體系之需求面或是供給面造成非預期的衝擊，加以轉型低碳經濟的過程所帶來的衝擊，均對金融穩定造成風險，甚或可能衝擊貨幣政策之傳遞效果，而影響貨幣政策之有效性。

因此國際主要央行本於維持物價穩定及金融穩定職責，開始重視氣候變遷對於貨幣政策與金融穩定之影響，積極評估氣候變遷相關風險，進行情境模擬。如法國審慎管理局、英格蘭銀行與荷蘭銀行，在檢視氣候變遷風險之壓力情境模擬，採用國家機構全球計量模型(National Institute Global Econometric Model, NiGEM)來進行評估，亦會搭配整合評估模型(IAMs)所決定的碳價路徑進行情境模擬。NiGEM 是一個跨國總體計量模型，包括個別國家與地區的模式，結合了消費、投資、利率、財政政策、工資調整等經濟因素，故適合以此進行氣候風險的情境模擬。在標準 NiGEM 模型中，擴充增加氣候政策工具、能源轉型以及有形氣候衝擊等管道，以利氣候變遷風險情境模擬之評估。

本報告分為六個部分，第壹章為前言，第貳章論述氣候變遷所衍生的風險；第參章進一步說明氣候變遷相關風險對貨幣政策帶來的影響，包括如何影響自然利率與通膨率，影響貨幣政策之執行及傳遞機制；第肆章整理評估氣候變遷風險之經濟模型，並介紹國家機構全球計量模型 NiGEM，及進一步說明如何使用新凱因斯-3 方程模型來呈現貨幣政策如何反應氣候變遷相關風險；第伍章則為結論¹。

¹ 作者於 2022 年 11 月參加東南亞國家中央銀行研訓中心 (SEACEN Centre) 舉辦之「東南亞國家協會

貳、氣候變遷所衍生的風險

全球氣候變遷加劇之下，使得各國面臨相關挑戰，全球主要央行與監理機關組成之「綠色金融體系網絡」(Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System, NGFS)指出，氣候變遷及其衍生之風險已對經濟部門與金融體系造成一定程度的衝擊，使得金融相關風險上升，對金融穩定造成威脅。

而氣候變遷衍生的風險包括有形風險(physical risks)與轉型風險(transition risks)。有形風險係指氣候變遷所衍生的災害對經濟體系的影響，例如極端氣候事件與全球暖化，將對經濟體系之需求面(透過投資、貿易與消費等面向)或是供給面(透過勞動供給、能源、食物及其他投入、資本存量與技術等面向)造成非預期的衝擊，可見表 1 之整理。

而轉型風險對總體經濟的影響，主要係因透過轉型低碳經濟的過程所帶來的衝擊，包括：(1)碳定價(carbon pricing)：若在沒有收入循環(revenue recycling)下²，碳定價會傾向增加生產成本，廠商的生產力會下降；(2)環境管制措施會增加廠商短期的營運成本；(3)綠色公共投資與綠色補貼等措施，則有貨幣政策擴張的效果，但也要視其投資及補貼的金額而定；(4)突然地採用氣候變遷減緩政策，則碳密集部門會遭受限制而產生擱淺資產(stranded asset)，進一步對經濟與金融體系有外溢效果。

氣候變遷對經濟體系的影響具有高度不確定性，特別是當氣候變遷發

核心課程-氣候風險韌性/永續金融：氣候變遷與貨幣政策」(ASEAN Core Curriculum in Climate Risk Resilience/Sustainable Finance, Block3: Climate Change and Monetary Policy) 線上課程，可詳陳佩玗與盧月雲(2023)。

² 如政府運用碳稅收入，用以調降營業稅率減緩廠商負擔。

生時其造成影響的範圍與時程。央行決策者認為氣候變遷影響的時程可能會影響到貨幣政策的執行，表 2 為有形風險與轉型風險對經濟與金融體系的影響時程，其中全球暖化影響時程較長，為中至長期，而極端氣候事件與轉型風險所影響的時程則為短至中期。

表 1 氣候變遷-從供需面角度檢視有形風險對總體經濟的影響

衝擊類型		來自全球暖化	來自極端氣候事件
需求面	消費	消費偏好的改變	因洪水增加對住宅房地產的風險
	投資	對未來需求及氣候風險的不確定性	對氣候風險的不確定性
	貿易	基於運輸系統及經濟活動的變化而使貿易型態改變	因極端氣候事件而擾亂進出口流動的分布
供給面	能源、食物及其他投入	農業生產減少	食物及其他投入短缺
	勞動供給	因為氣溫上升而造成工時減少，或是因移民而造成勞動供給衝擊	因自然災害而造成工時減少，或是因移民而造成勞動供給衝擊
	技術	從開發技術分散資源至調適資本上	從開發技術分散資源至重新建設與替代品上
	資本存量	從生產投資分散資源至其他調適資本(adaptation capital)上	因極端氣候而造成損害

資料來源：NGFS (2019)。

表 2 氣候變遷對經濟與金融體系的影響程度與時程

氣候變遷風險類型		對經濟體系的影響	對金融體系的影響	影響的時程
有形風險	極端氣候事件	對需求與供給面組成的非預期衝擊	有形資產的非預期衝擊、對保險、銀行系統的擾亂	短至中期
	全球暖化	對潛在生產產能及經濟成長的影響	有形及金融資產的預期衝擊；金融及非金融部門預期之改變	中至長期
轉型風險		需求/供給衝擊或是對經濟成長影響	對金融資產非預期的衝擊	短至中期

資料來源：NGFS (2019)。

參、氣候變遷相關風險對貨幣政策帶來的影響

一、氣候變遷相關風險對自然利率及通膨率的影響

(一)對自然利率的影響

自然利率(natural interest rate)被廣泛定義為維持經濟體系實際產出與潛在產出一致，並保持通膨率在其目標水準下的實質利率，亦即資源充分就業下之實質利率。以理論模型的觀點，自然利率即資本的供給與需求達到均衡時之利率。因此當資本的需求減少或是資本的供給增加時，自然利率會下跌。當廠商想要投資用於生產，則對資本的需求會上升，而資本的供給則是來自家戶單位累積財富，其透過持有公司債券、政府債券而將其財富直接或間接地投入資本。

而氣候變遷衍生的有形風險對自然利率的影響則傾向讓自然利率下降，舉例而言：

- (1) 因高溫對勞動供給影響，自然災害造成資本破壞，因此生產力下降及資本損失程度上升，資本的邊際生產力下降，資本需求下降，因此自

然利率下降。

- (2) 總體經濟的不確定升高，風險溢酬上升，進而借貸成本增加，資本需求減少，因此自然利率下降。
- (3) 預防性儲蓄(precautionary savings)增加，將使資本供給上升，進而使自然利率下降。

而面臨淨零經濟的轉型風險，對於自然利率的影響則並不明確，係因：

- (1) 綠色科技高生產力會使得資本邊際生產力提高，資本需求增加，因此自然利率上升。
- (2) 綠色投資的風險上升，會增加風險溢酬，進而借貸成本增加，使得資本需求下降，因而自然利率下降。
- (3) 面對淨零政策的經濟轉型，政府有其責任以合宜的工具來激勵綠色投資，以致政府支出大增，財政赤字下，相對應的政府公債增加，基於對政府因應氣候轉型政策的信賴，廠商投資需求增加，資本需求增加，而民眾預防性儲蓄減少，資本供給減少，因而自然利率上升。

(二) 對通膨率的影響

氣候變遷與轉型政策亦對通膨產生重大的衝擊，依歐洲央行(European Central Bank, ECB)執行理事 Isabe Schnabel 在 2022 年 3 月的演說，指出氣候變遷與轉型政策對物價之影響可分為 3 種類型：

1. 氣候通膨(climateflation)

氣候相關的事件，如颶風、乾旱、熱浪(造成熱通膨(heatflation))及洪水會導致供給面的混亂進而推升通膨率，稱之氣候通膨。氣候變遷有形風

險在供給面的影響，包括勞動及資本生產力的下降，資本設備的破壞與農業生產的減少。然而氣候變遷相關的有形風險也會影響經濟體系之需求面，導致消費及投資下降，因此從理論的角度來看，Beirne *et al.* (2021)一文指出，氣候變遷的有形風險對通膨的影響為減少或上升，並不明確。

2. 化石通膨(fossilflation)

因應氣候變遷，政府透過政策執行或是轉型成為淨零排放經濟(net zero economy)(如碳定價(carbon pricing)、碳稅(carbon tax)與環境管制)會導致廠商成本的增加，進而傳遞至物價，將可能影響能源價格在內的整體通膨率的波動，然氣候變遷亦可能影響非能源價格及核心通膨率，如 ECB(2021a)研究指出，過去十年歐元區的核心通膨率與能源類價格相關性增加，可能係非能源類商品與服務的碳密集(carbon-intensive)生產者，若將不斷上漲的碳稅等成本轉嫁給消費者，核心通膨率將有相當大的上行壓力。而化石通膨可能會是短暫的現象(因當碳排放降低時則會下降)，但其轉型期間可能會持續很久且對央行的貨幣政策有一定的影響。

3. 綠色通膨(greenflation)

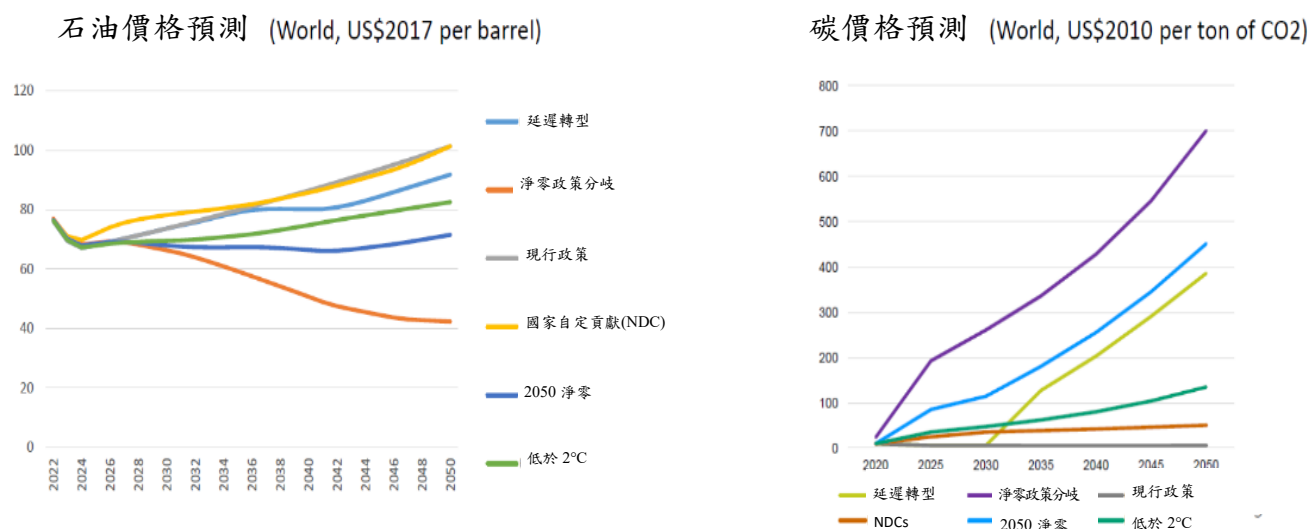
綠色科技(green technologies)，包括電動車、太陽能板、風力發電機等都需要密集依賴銅、鋰、鎳等原物料。若是綠色轉型(green transition)要在短期間發生，則不可避免的這些原物料將會面臨超額需求，進而造成通膨壓力。然而，對綠色科技的投資會增加綠色生產力，並限制綠色通膨。但若央行同時提高利率則會破壞綠色投資，使得該投資前期投入成本變高。

因後疫情時代需求升溫與俄羅斯入侵烏克蘭的能源危機，使氣候轉型相關因素在當前環境扮演角色有限。然而，未來若氣候衝擊或政策實施可能使價格產生調整(圖 1)，中期則因以無序(disorderly)方式導入碳價格及

需求轉移至綠色能源或技術摩擦，導致通膨壓力上升。

儘管預期化石燃料需求下降，但碳稅將墊高其成本，使能源價格上升，而對轉型因所需的金屬量上升，亦將導致再生能源價格進一步增加。

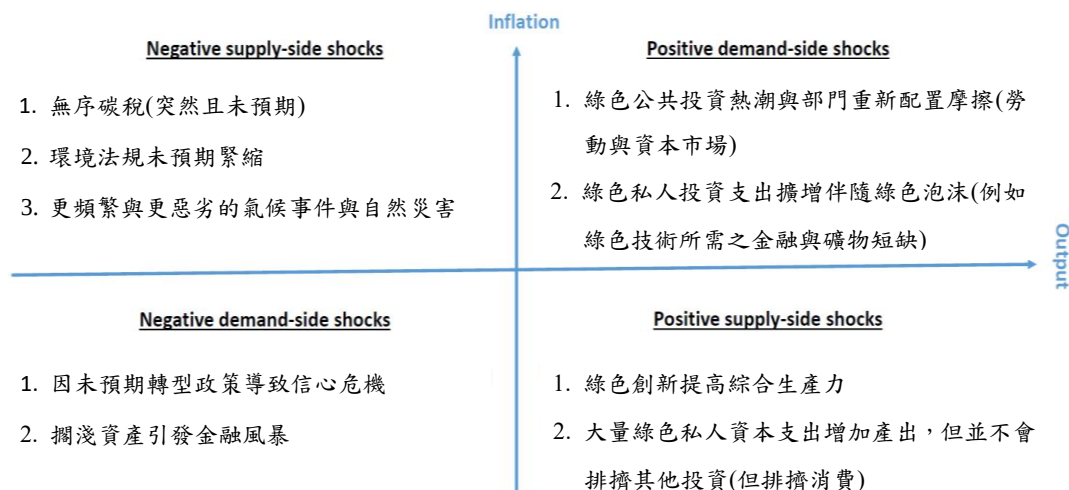
圖 1 石油與碳價格預測



資料來源：ASEAN Core Curriculum in Climate Risk Resilience/Sustainable Finance, Block3: Climate Change and Monetary Policy。

氣候變遷主要透過正向(負向)需求衝擊及正向(負向)供給衝擊，對產出及通膨造成影響(圖 2)，負向供給面衝擊(如更頻繁的氣候事件)與正向需求面衝擊(如綠色公共投資熱潮)皆會使通膨上升。

圖 2 氣候轉型對通膨與產出之影響

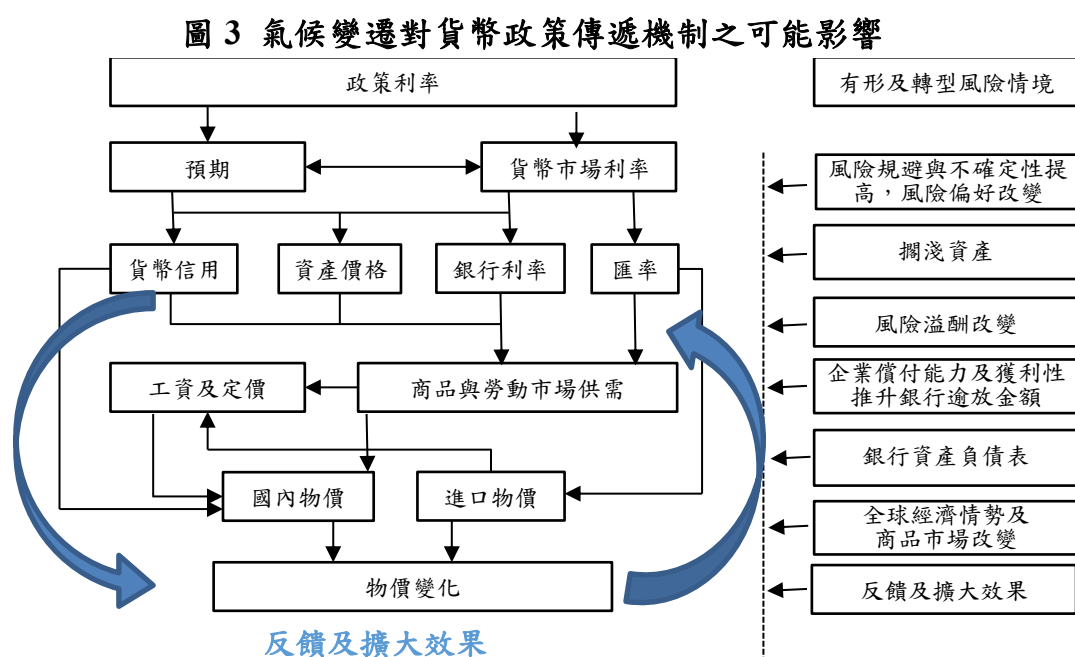


資料來源：法國央行。

二、氣候變遷相關風險可能影響貨幣政策之執行及傳遞機制

近年部分央行陸續針對氣候變遷對貨幣政策之影響，進行深入探討。研究多指出，氣候變遷衍生之相關風險，可能影響貨幣政策執行及傳遞管道，進一步對總體經濟變數造成衝擊，使得央行評估貨幣政策更為困難。ECB 總裁 Christine Lagarde 亦認為，氣候變遷可能透過極端氣候事件，短期對產出及通膨造成波動，長期則恐危及物價穩定、貨幣政策傳遞機制及金融穩定(詳 Mendez-Barreira (2019))。

圖 3 呈現 NGFS (2021)所指出氣候變遷衍生之相關風險將可能影響央行的交易對手，及央行用於貨幣政策操作之金融資產，政策操作衍生之財務損失可能影響央行資產負債表，甚或可能衝擊貨幣政策之傳遞效果，而影響貨幣政策之有效性。貨幣政策傳遞管道中，利率管道(interest rate channel)、信用管道(credit channel)、資產價格管道(asset price channel)、匯率管道(exchange rate channel)及預期管道(expectations channel)，可能因氣候變遷風險，而遭受氣候變遷的衝擊(見表 3)。



資料來源：NGFS (2021)

表 3 貨幣政策傳遞管道：氣候變遷之影響

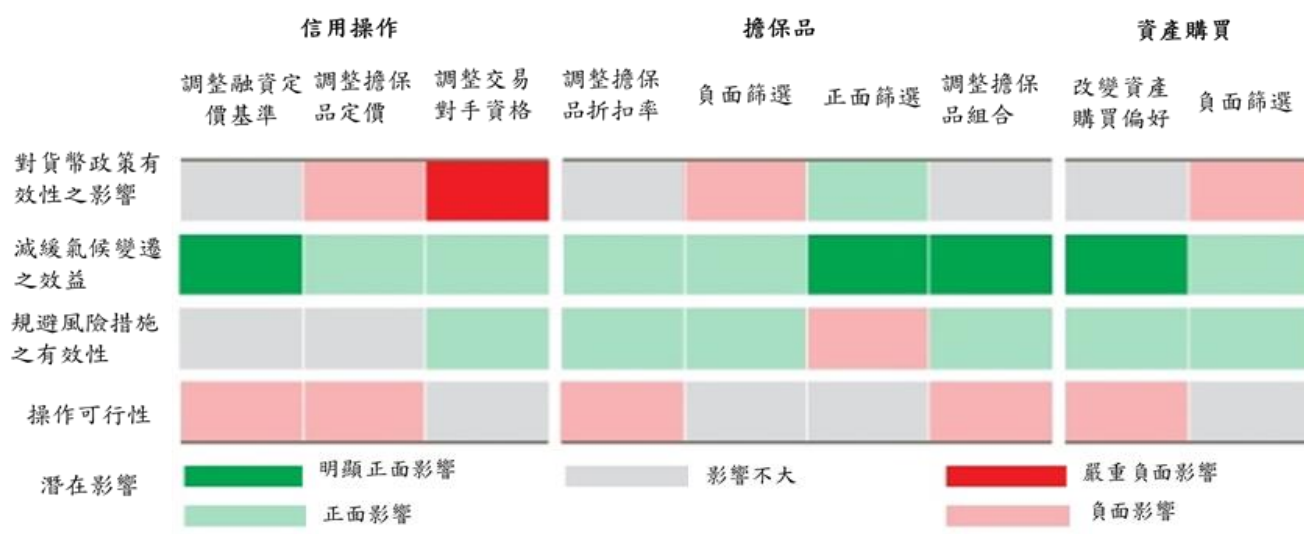
	有形風險	轉型風險
利率管道	非利率成本因素變得更相關，降低投資及儲蓄對利率變化的影響	貨幣政策的時程不確定性反應在風險溢酬與波動上，自然利率也受影響
信用管道	財務損失降低借款者的淨財富、銀行擔保品與獲利率，此外，不良貸款限制信用供給。	
資產價格管道	有形風險摧毀了資本與住宅資產金，財物損失會降低廠商的價值	產生擱淺資產
匯率管道	造成高度波動	碳定價廣泛的調整將可能干擾貿易與全球價值鏈
預期管道	有形風險持續衝擊下，造成不確定性，並使得供需面影響模糊，無法預期貨幣政策有效性	貨幣政策時間不一致性將降低貨幣政策可信度與前瞻指引的有效性

資料來源：ECB(2021b)

三、貨幣政策操作工具有效性之評估

儘管各國央行操作目標、金融體系流動性及偏好的政策工具不同，致其貨幣政策操作架構大相逕庭，NGFS (2021)從對貨幣政策有效性之影響、減緩氣候變遷之效益、規避風險措施之有效性及操作可行性等四大面向，評估 9 種政策工具選項之可能執行效益與影響。評估結果顯示，受限於政策工具之複雜度、對於現有操作基準之調整幅度及限縮央行操作空間程度等因素，尚無任一政策工具可同時達成四大面向之目的(圖 4)，且在不同面向下，各種政策工具選項間亦存在抵換關係。

圖 4 貨幣政策操作工具選項之評估



資料來源：NGFS (2021)。

肆、有關總體模型中氣候變遷相關之風險分析

一、評估氣候變遷風險之經濟模型

目前評估氣候變遷風險之經濟模型與分析方法，包括整合評估模型 (Integrated Assessment Models；IAMs)。根據 Nikas *et al.*(2019)，針對氣候變遷議題，將 IAMs 進行相關延伸，可分為成本效益 IAMs、可計算的一般均衡 IAMs、總體經濟 IAMs 等。除 IAMs 之外，亦有採用其他氣候經濟模型以及調整後標準總體經濟模型，如 DSGE 模型、國家機構全球計量模型 (NiGEM) 等，NGFS (2020) 整理相關各種評估氣候變遷風險之經濟模型，可見表 4。NGFS 指出因各種模型有其優缺點，且氣候變遷影響程度複雜，因此建議央行使用多種類型的模型以捕捉氣候變遷所帶來的潛在影響。

表 4 各種評估氣候變遷風險之經濟模型

	模型種類	介紹	相關文獻
整合氣候經濟模型 (integrated climate-economy models)	成本效益綜合評估模型 (Cost-benefit IAMs)	高度整合模型，可每個步驟透過決定碳排放量減少來最佳化福利	動態整合氣候經濟 (Dyanmic Integrated Climate-Economy, DICE) 模型， 動態隨機整合氣候經濟模型 (Dynamic Stochastic Integrated Model of Climate and Economy, DSICE)
	綜合評估模型 (IAMs) 伴隨著能源系統與土地使用	能源系統與土地使用	
	可計算的一般均衡 (Computable General Equilibrium, CGE) IAMs 模型	多部門與地區的均衡模型，立基於最適化行為假設	
	總體經濟 IAMs	多部門與地區的均衡模型，類似於 CGE 模型，但有採取校正	Mercure <i>et al.</i> (2018)
	庫存流量一致模型	氣候變遷之高度整合模型，且貨幣經濟體系庫存與流量一致	Bovari <i>et al.</i> (2018)
其他氣候經濟模型	投入產出模型 (Input-output model)	模型可追蹤不同部門之間的依賴程度可更全面評估影響	Ju and Chen (2010)、Koks and Thissen (2016)
	計量研究	可以總體經濟變數(如 GDP、勞動生產力)過去歷史資料的關聯性角度評估有形風險的影響	Khan <i>et al.</i> (2019)、Burke <i>et al.</i> (2015)、Dell <i>et al.</i> (2012)
	天然巨災模型 (Natural catastrophe models) 以及個體計量研究	空間粒化模型 (Spatially granular models) 且評估有形風險由下至上所造成的影響	Hsiang <i>et al.</i> (2017)

	模型種類	介紹	相關文獻
調整後標準 總體經濟模 型	DSGE 模型	動態均衡模型立基於理性代表性個人之最適決策法則	Golosov <i>et al.</i> (2014)
	E-DSGE 模型	根據標準架構做些微調整	Heutel (2012)
	大規模計量模型	模型中的動態方程式可代表需求與供給	NiGEM (詳 Vermeulen <i>et al.</i> (2018))

資料來源：NGFS (2020)。

二、國家機構全球計量模型 NiGEM 之說明

主要國家政府，如法國審慎管理局、英格蘭銀行與荷蘭銀行，在檢視氣候變遷的風險之壓力情境模擬，採用 NGFS 與英國國家經濟社會研究所 (National Institute of Economic and Social Research, NIESR) 合作共同開發出的 NiGEM 來進行評估，可見表 5 之整理。

NiGEM 是一個跨國總體計量模型，包括個別國家與地區的模型，可用以進行跨國經濟預測、情境模擬與壓力測試。NiGEM 在跨國連結部分透過商品與服務的貿易及整合資本市場進行連結，可進一步看個別國家的政策發展，更可檢視其政策對於全球其他國家所帶來的影響。因某經濟體經濟情勢發生變化並影響到貿易時，勢必對其貿易夥伴國的經濟產生衝擊。NiGEM 透過貿易與物價的連結，建構國與國間經濟情勢的交互作用模式，藉由聯立求解過程推估對不同國家產生之連鎖效應。此外，NiGEM 模型中包含許多行為方程式，以此描繪個別國家的經濟特徵動態，NiGEM 的模型架構立基於新凱因斯模型，架構可見圖 5。

標準的 NiGEM 模型，可詳見 Hantzche *et al.*(2018)之說明，因 NiGEM 模型架構中包含消費、投資、利率、財政政策、工資調整等經濟因素，故適合以此進行氣候風險的情境模擬，在標準 NiGEM 模型中，擴充增加氣候政策工具、能源轉型以及有形氣候衝擊等管道，以利氣候變遷風險情境模擬之評估(詳附錄之說明)，此外，使用 NiGEM 評估時，亦會搭配 IAMs 所決定的碳價路徑進行情境模擬。

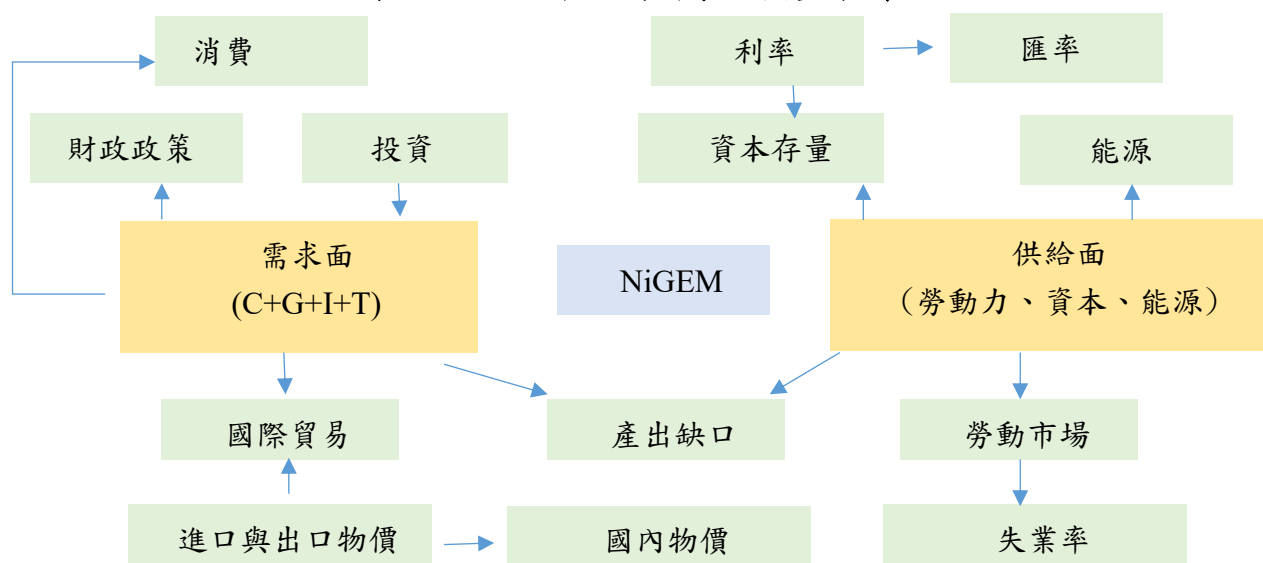
圖 6 為因應氣候變遷，政府採行氣候政策，如碳定價增加或徵收碳稅，在 NiGEM 模型中的供需面的影響管道，政府徵收碳稅，使財

表 5 主要國家政府氣候變遷壓力測試方法

機關	法國審慎管理局 (ACPR)	英格蘭銀行 (BoE)	荷蘭央行 (DNB)
模型	IAM、NiGEM	IAM、NiGEM	NiGEM
所討論的 氣候風險	有形風險、轉型風險	有形風險、轉型風險	轉型風險
氣候風險 使用之變數	有形：升溫 1.4~2.6 度 C 轉型：能源技術、氣候政策	有形：全球各區升溫路徑 轉型：能源技術、氣候政策、消費者偏好	能源技術、氣候政策
時間長度	30 年(長期)	30 年(長期)	5 年期(短期)
設定的情境	1 種有形風險情境，3 種轉型風險情境(有序轉型及其他兩個無序轉型)	1 種有形風險情境(無額外行動)，2 種轉型風險情境(及早行動、延遲行動)	政策衝擊、技術衝擊、雙重衝擊、信賴衝擊
執行方式	APCR 給定模型參數後，由銀行及保險公司進行由下而上個別分析再進行彙整。	參與的機構(大型英國銀行以及保險公司)需要計算 BoE 提供三種情境的結果，再交由 BoE 報告結果並提供個別建議。	以 NiGEM 得到各情境下的 GDP、股價及債券價格等變數，以各產業最終產品使用的碳排放量，計算對於金融機構暴險的影響

資料來源：ACPR(2021)、BOE(2022)、DNB (2018)

圖 5 NiGEM 中個別國家之模型架構

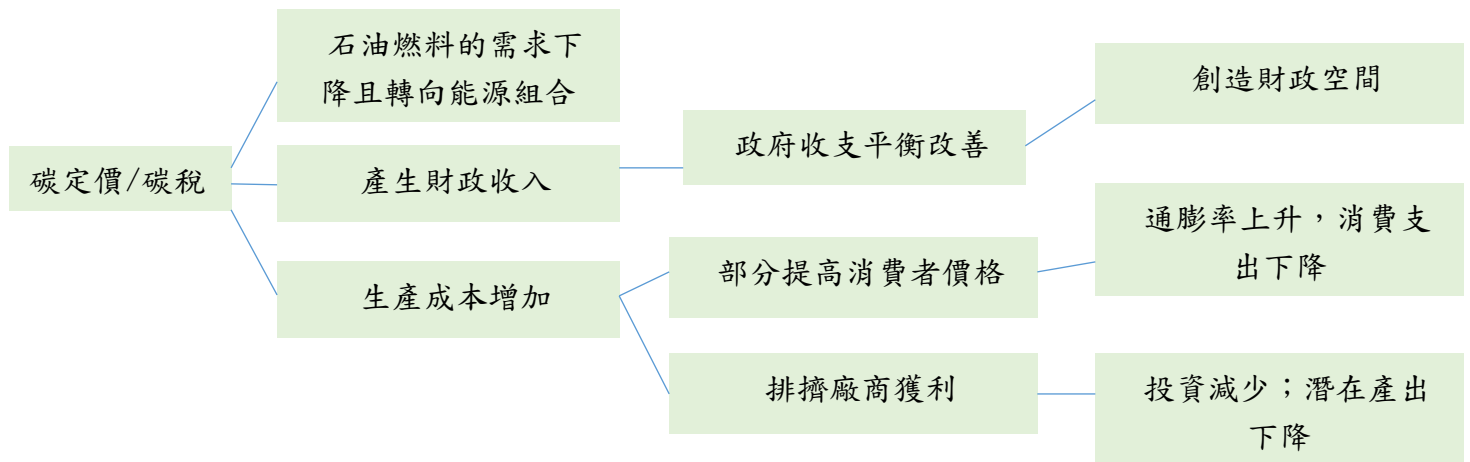


資料來源：NGFS(2022)、Carlin *et al.* (2022)

政收入增加，改善政府收支平衡，進一步創造財政空間，換言之，政府可透過稅收制度，在碳稅收入循環之下，將稅收移轉給家戶單位(例如降低個人綜合所得稅率、定額移轉、增加社會福利給付等)，再進一步投資於能源供給的更新與擴張，並鼓勵私人機構投資綠能科技。簡言之，碳稅收入可減緩政府的負債或直接對財政政策優先次序有所影響。

碳稅直接影響生產者與消費者價格，在 NiGEM 模型中，消費者受消費者物價提高之影響，而限制其消費支出。此外，因生產成本提高，壓縮廠商獲利，限制了其投資、資本累積，進而影響潛在產出。

圖 6 碳定價或碳稅在 NiGEM 模型中的影響管道



資料來源：Carlin *et al.* (2022)

二、以新凱因斯-3 方程模型分析氣候變遷風險

由於新凱因斯-3 方程模型(The New Keynesian 3-equation model)是凱因斯標準模型中簡化後的版本，可用以發展分析景氣循環變動與貨幣政策，且此模型可補捉 NiGEM 之主要動態，適合用來分析總體經濟政策及 NGFS 對於氣候變遷風險的情境模擬分析。故本節進一步說明如何以新凱因斯-3 方程模型呈現貨幣政策將如何反應有形風險與轉型風險。

新凱因斯-3 方程模型包括菲利普曲線、IS 曲線以及貨幣政策法則下的利率設定(IS-PC-MR)，說明如下：

(1) 菲利普曲線用以捕捉經濟體系中的供給面，可以下式表示：

$$\pi_t = \pi_{t-1} + \lambda(y_t - y_e)$$

其中， π_t 為通膨率， π_{t-1} 為前期通膨率(被假設為適應性預期通膨)， y_t 為產出，而 y_e 為均衡產出(或潛在產出)。菲利普曲線代表當實際產出高於(低於)均衡產出時，通膨應上升(下降)。

(2) IS 曲線則用以捕捉經濟體系中的需求面，可以下式表示：

$$y_t = A_t - \mu r_{t-1}$$

A_t 為自發性消費， r_{t-1} 則為利率落後項。IS 曲線表示當利率增加(下跌)時，產出會下降(上升)。

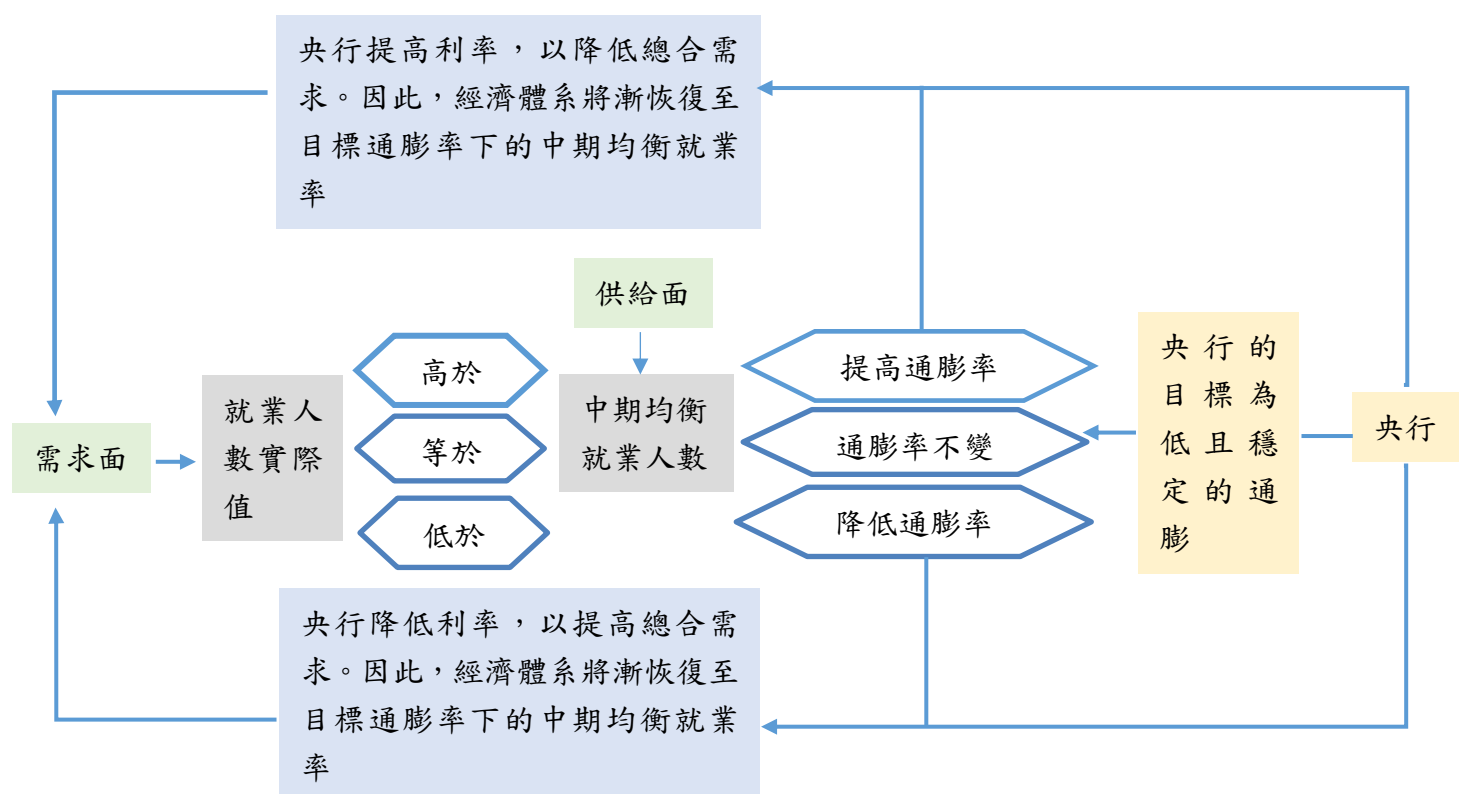
(3) 泰勒法則(Taylor rule)可決定政策利率，以下式表示：

$$r_t = r_e + \vartheta_1(\pi_t - \pi^T) + \vartheta_2(y_t - y_e)$$

其中 r_e 為均衡(或中性)利率，而 π^T 則為通膨目標值。由泰勒法則可得知， ϑ_1 與 ϑ_2 為央行重視通膨或是產出程度，當 ϑ_1 愈高，表示央行愈重視通膨，而若 ϑ_2 愈高，則表示央行愈重視產出。

因此新凱因斯-3 方程模型的架構可如下所示(圖 7)：

圖 7 模型整體架構



接著進一步說明，NGFS 衡量總體損失的模型方法，傳統上，氣候變遷中有形風險對總體經濟影響，可立基在損害函數(damage function)來進行評估，例如可衡量全球平均氣溫的改變對經濟產出的影響。而在 NGFS 情境分析模擬中，主要是依賴各國的計量預測值，來捕捉有形風險的影響。相關損害函數可以下式來表示：

$$\delta_{i,t} = \alpha_1 \Delta T_{i,t} + \alpha_2 \Delta T_{i,t-1} + \beta_1 T_{i,t-1} \Delta T_{i,t} + \beta_2 T_{i,t-1} \Delta T_{i,t-1}$$

δ_t 為損害率(低於 1)，用以捕捉對經濟成長的負向影響，此外， T_t 則為氣溫。

而如何在新凱因斯-3 方程模型中引入損害之影響呢？其簡單的方式如下，在新凱因斯-3 方程模型中，假設損害率影響經濟成長率中的潛在產出，以下式表示：

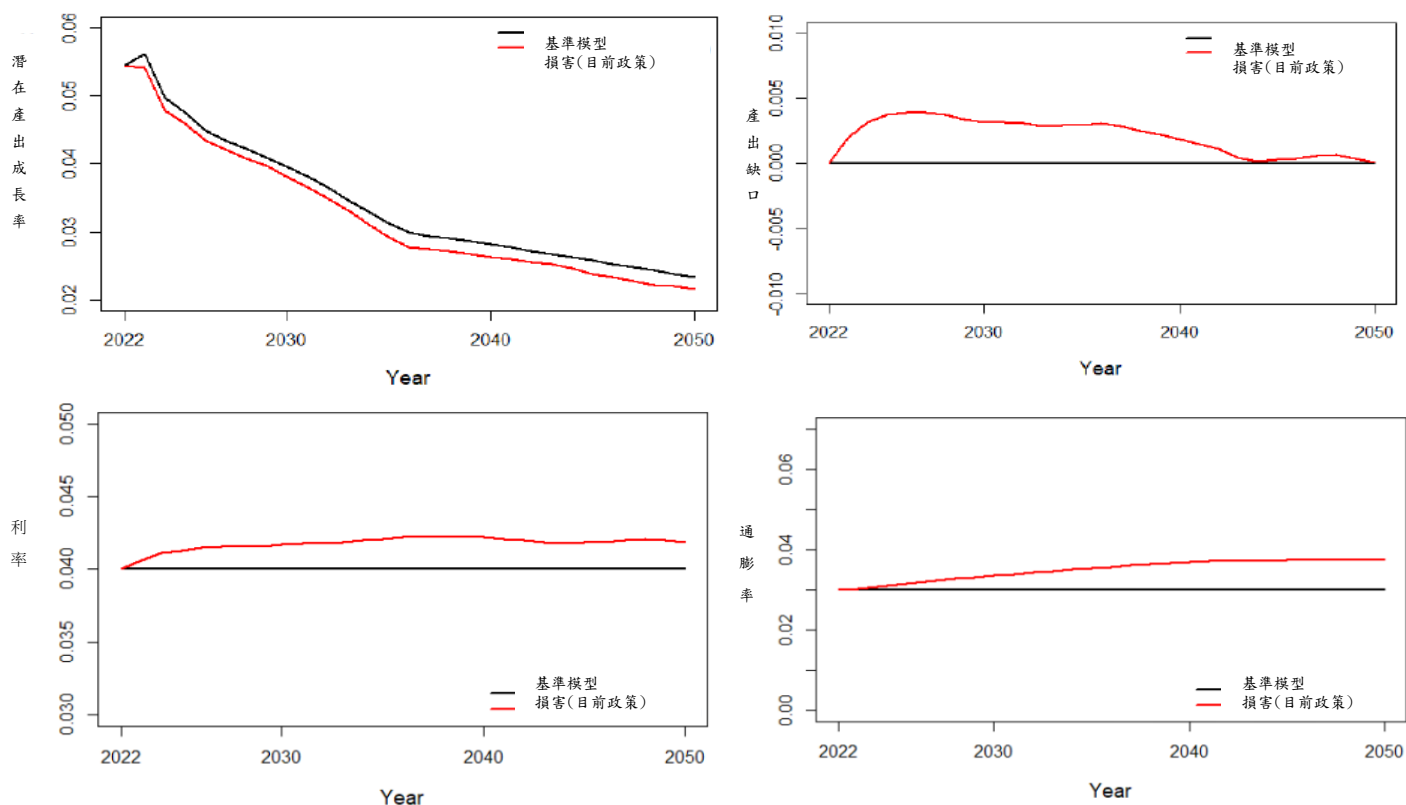
$$y_{e,t} = y_{e,t-1}(1 + g_{baset} + \delta_t)$$

其中 y_e 為潛在產出，而 g_{baset} 是當無損害時的基準經濟成長率，而 δ_t 則為前述的損害率。而損害率也會影響需求所決定的產出。

而進一步模擬當氣候變遷的損害對潛在產出的影響結果，圖 8 模擬結果顯示潛在產出成長率較基準模型(無損害)時為低，將造成產出缺口為正且擴大³，通膨率增加，利率亦提高。可知當氣候變遷所造成的損害發生時，將使潛在產出較低，產出缺口擴大，顯示景氣過熱，通膨壓力上升，央行可能須採取緊縮性貨幣政策，減少總合需求與減緩通膨。

³ 產出缺口計算公式為(實際 GDP/潛在產出-1)*100。

圖 8 模擬結果—有形風險對總體經濟影響



資料來源：ASEAN Core Curriculum in Climate Risk Resilience/Sustainable Finance, Block3: Climate Change and Monetary Policy。

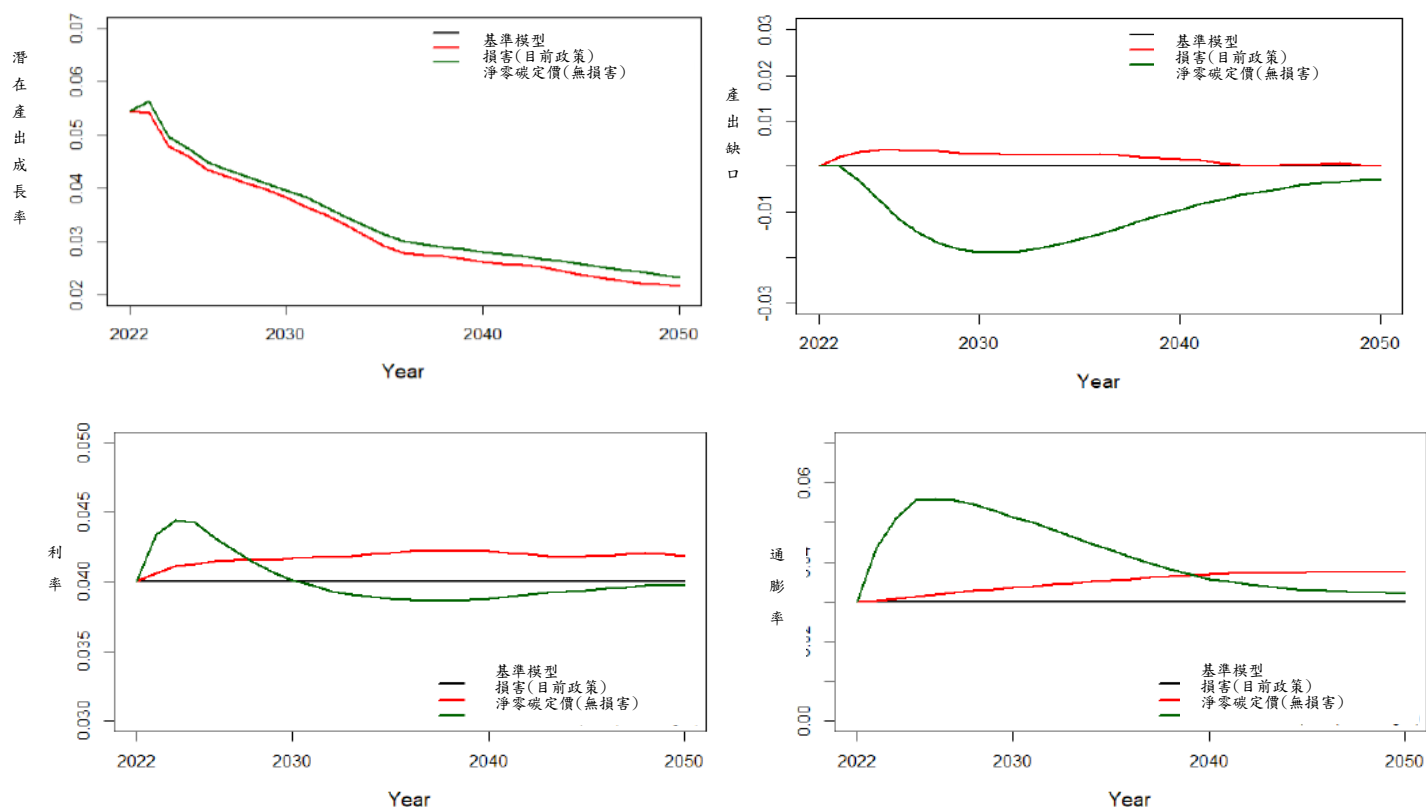
而在 NGFS 情境模擬中，低碳經濟體的轉型可以透過提高碳定價達成，即假設捕捉(直接或間接)全部主要關鍵氣候政策。碳定價增加會導致通膨率上升且會使產出減少。然而，整體的總體經濟影響仍強力依賴於碳稅的使用上。而在新凱因斯-3 方程模型中，碳定價提高則可以視為對菲利普曲線的供給面衝擊，如下式：

$$\pi_t = \pi_{t-1} + \lambda(y_t - y_e) + \varphi_t C_{Pt}$$

其中， C_{Pt} 為碳定價的成長率，而 φ_t 用以捕捉碳定價對通膨的影響程度，其影響為正。根據模擬資料，設定 φ_t 是逐年下滑的趨勢，亦即其變動代表當碳定價增加，廠商為了減少其成本負擔，會減少其碳排放量，故對通膨率的影響會減弱。

圖 9 模擬的結果顯示，在低碳經濟體的轉型風險下，潛在產出成長率會比現有政策下的成長率來得高，產出缺口為負，然而低碳經濟下增加碳定價，因此對通膨率的衝擊前 15 年較高，隨後則漸為趨緩，而央行為因應通膨率提高的狀態下，利率亦大幅提高。

圖 9 模擬結果—轉型風險對總體經濟影響



資料來源：ASEAN Core Curriculum in Climate Risk Resilience/Sustainable Finance, Block3: Climate Change and Monetary Policy。

伍、結論

氣候變遷風險是金融風險的一環，氣候變遷加上管理不善的低碳轉型政策，將恐造成資產價格暴跌及物價高漲進而對金融穩定產生威脅。因此，各國政府須審慎面對及採取相關措施，以提早因應氣候相關風險對實體經濟及金融體系所帶來的不利衝擊。

本行順應國際發展趨勢，配合我國政府 2050 年淨零轉型規劃，採取金融因應措施，故本行參酌主要國家央行作法，擬定「中央銀行因應氣候變遷策略方案」，其中研究氣候變遷對貨幣政策之影響，目前將著手編製氣候指標，並將氣候變遷等因素納入總體計量模型，分析其對物價與經濟成長預測之影響，惟模型建構過程中，仍需多持續關注並參考各國針對氣候變遷模型的相關分析結果。

本文整理法國審慎管理局、英格蘭銀行與荷蘭銀行，在氣候變遷的風險之壓力情境模擬測試方法，並進一步討論如何使用新凱因斯-3 方程模型來分析氣候變遷風險，惟氣候變遷影響經濟金融管道複雜，為預測及政策分析帶來挑戰，如何對有形風險、轉型風險等風險進行情境模擬設定，仍要持續蒐集及研究國際間評估之主要做法，以建構符合台灣所需之氣候變遷總體計量模型。

參考文獻

- 陳佩玗與盧月雲(2023)，參加 SEACEN Centre 「東南亞國家協會核心課程-氣候風險韌性 /永續金融：氣候變遷與貨幣政策」線上課程報告，中央銀行出國報告
- ASEAN Core Curriculum in Climate Risk Resilience/Sustainable Finance, Block3: Climate Change and Monetary Policy。
- ACPR(2021), “A First Assessment of Financial Risks Stemming from Climate Change: The Main Results of the 2020 Climate Pilot Exercise,” ACPR - Banque de France. No.122-2021.
- Beirne, J., Dafermos, Y., Kriwoluzky, A., Renzhi, N., Volz, U. and . Wittich (2021). “The Effects of Natural Disasters on Price Stability in the Euro Area,” *SOAS Department of Economics Working Paper* No. 244, London: SOAS, University of London.
- BOE(2022), “Results of the 2021 Climate Biennial Exploratory Scenario (CBES),” Bank of England, 24 May.
- Carlin, D. Arshad, M. Hurst, I. Holland, D and I. Liadze (2022), “Economic Impacts of Climate Change: Exploring Short Term Climate Related Shocks for Financial Actors with Macroeconomic Models.” United Nations Environment Programme Finance Initiative (UNEP FI) & National Institute of Economic and Social Research (NIESR).
- DNB (2018), “An Energy Transition Risk Stress Test for the Financial System of the Netherlands,” De Nederlandsche Bank, Occasional Studies Volume 16 – 7.
- ECB(2021a), “Recent Developments in Pipeline Pressures for Non-Energy Industrial Goods Inflation in the Euro Area,” *ECB Economic Bulletin*, 5/2021.
- ECB(2021b), “Climate Change and Monetary Policy in the Euro Area,” *Occasional Paper Series* No.271.
- Hantzche A., Lopresto, M. and Young, G. (2018), “Using NiGEM in

Uncertain Times: Introduction and Overview of NiGEM,” *National Institute Economic Review*, 244.1:R1–R14

Mendez-Barreira, Victor (2019), “Central Bankers in Favour of Climate Change Goals in Mandates,” *Central Banking*, December.

NGFS (2019), Macroeconomic and financial stability implications of climate change, Paris: Network for Greening the Financial System.

NGFS (2020), “Climate change and monetary policy: initial takeaways,” Technical Document, Paris: Network for Greening the Financial System.

NGFS (2021), “Adapting Central Bank Operations to a Hotter World: Reviewing Some Options,” March.

NGFS (2022), “Climate Scenarios Database,” September.

Nikas, A., Doukas, H. and A. Papandreou (2019), “ A Detailed Overview and Consistent Classification of Climate-Economy Models,” in *Understanding Risks and Uncertainties in Energy and Climate Policy*, p.1-54, Springer,

附錄

為評估氣候變遷，針對 NiGEM 模型擴充的部分，說明如下：

(1) 生產函數

NiGEM 中的生產函數為對能源以及資本-勞動組合的 Cobb-Douglas 生產函數，這表示能源在模型中為投入成本的固定份額。換言之，能源價格上升 1%，會抵銷既定產出能源量 1%。

$$YCAP = \gamma \left\{ [s(K)^{-\rho} + (1-s)(Le^{\lambda t})^{-\rho}]^{-\frac{1}{\rho}} \right\}^{1-\alpha} M^{\alpha}$$

其中，YCAP 為潛在產出， K 為資本存量， L 為潛在勞動投入， λt 為勞動擴張的技術進步， M 為有效率的能源投入， α 為能源占生產成本中的份額， ρ 為資本與勞動之間的替代彈性。

生產函數可轉換為成長率如下：

$$\begin{aligned} & \frac{d \log(YCAP)}{dt} \\ &= (1 - \alpha - \theta_L) \frac{d \log\left(\frac{K}{L}\right)}{dt} + (1 - \alpha) \frac{d \log(L)}{dt} + \alpha \frac{d \log(M)}{dt} + \theta_L \frac{d \lambda t}{dt} \end{aligned}$$

其中， θ_L 為勞動的所得份額，此公式可以將潛在產出的成長貢獻拆解為由資本深化、勞動投入、能源投入及 TFP 之貢獻。

而在所檢視國家模型中，此公式長期下可以簡化為

$$\ln(YCAP) = \alpha + \lambda_t + \ln(POPT) + \beta_1 \ln(USER) + \beta_2 \ln(M)$$

其中，POPT 為潛在勞動投入總人口數的代理變數，USER 為資本使

用成本，作為期望資本存量之代理變數。

生產函數中與氣候模型連結的主要管道包括：生產函數中的總能源投入(M) 以及累積資本存量(K)，若能源價格上升則能源投入會下降；在碳稅增加時，資本存量會因廠商面臨資本使用成本增加下，利潤被排擠，而降低資本存量。

(2) 國家能源價格

$$price_{fuel} = world\ price_{fuel} + \delta_{fuel} * carbon\ tax$$

其中， δ_{fuel} 為燃料排放因子，給定在燃燒每桶燃料會平均產生多少二氧化碳，燃料排放因子 δ_{fuel} 會因其所使用燃料為石油、天然氣或煤而設定不同。

(3) 二氧化碳排放

關於碳排放可用燃料(油、煤、天然氣)的消耗量的加總來模型化排放量。

$$CO2 = \sum_{fuel} \delta_{fuel} * \beta_{barrel} * C_{fuel}$$

其中， β_{barrel} 為每桶燃料的轉化， C_{fuel} 則為國家燃料(油、煤、天然氣)消耗量。

(4) 能源密集度

能源投入占 GDP 份額($oivol$)可用每單位 GDP 消耗燃料之加權平均來表示：

$$oivol = \sum_{fuel} \beta_{fuel} * r_{fuel} * oi_{fuel}$$

其中， β_{fuel} 為每百萬桶的燃料消耗量轉換， r_{fuel} 基準年下每桶油之價格， oi_{fuel} 為能源密集度，以每單位 GDP 消耗之燃料。

能源密集度之計算方式如下：

$$\begin{aligned} & dlog(o_{i_{fuel,t}}) \\ &= -\alpha * \left[\log(o_{i_{fuel,t-1}}) + \log\left(\frac{price_{fuel,t-1}^* \gamma x_{t-1}}{ced_{t-1}}\right) + \beta \right] \end{aligned}$$

其中 γx 為名目匯率， ced 則為消費者支出平減指數。

(5) 國內通膨率

在標準 NiGEM 模型中，通膨率立基在消費者支出平減指數(ced)，其包含加值稅(VAT)效果(itr)，可以下式表示：

$$\begin{aligned} dlog(ced_t) &= dlog(1 + \delta * itr_t) + \alpha_1 \\ &\quad * [\log(ced_{t-1} / (1 + \delta * itr_{t-1})) \\ &\quad + \beta * \log(pm_{t-1}) + (1 - \beta) * \log(utc_{t-1})] \\ &\quad + [short\ run\ dynamic] \end{aligned}$$

其中， pm 為進口物價， utc 為單位總成本，短期動態(*short run dynamic*)則包含了進口物價、單位總成本與通膨預期。在氣候模型中，VAT則受能源稅代理變數所調整。 δ 則決定碳定價傳遞至通膨率的影響。

(6) 能源稅

能源稅的水準值計算係以每公噸產生二氧化碳的碳稅(carbon tax)，經匯率(γx)調整後轉化成該國貨幣，再乘上排放的二氧化碳公噸

數(CO2)

$$etax = \gamma x * CO2 * carbon\ tax$$

而能源稅率(*etaxr*)則為能源稅相對名目 GDP 的值，

$$etaxr = \frac{etax}{nom}$$

(7) 進口物價

進口物價(*pm*)則可以商品進口物價(*pmcom*)以及非商品進口物價(*pmncom*)加權平均來表示：

$$pm = \beta * pmcom + (1 - \beta) * pmncom$$

其中商品進口物價(*pmcom*)，則可用五種商品為一籃子進行加權平均計算，包括食物價格、飲料價格、農原物料價格、金屬價格與能源價格。

(8) 財政預算餘額

在標準 NiGEM 模型中，個別國家模型內，財政預算餘額(*bud*)可定義成下式：

$$\begin{aligned} bud = & \textit{personal\ rax} + \textit{corporation\ tax} + \textit{miscellaneous\ tax} \\ & - \textit{transfer} - \textit{govt.consumption} \\ & - \textit{govt.interst\ payments} - \textit{gov.investment} \end{aligned}$$

而在氣候模型中，所增加的碳稅收入直接加入預算餘額公式內，亦即 $bud = [as\ above] + etax$

(9) 廠商利潤

廠商利潤(*prof*)係考量因課徵能源稅後排擠利潤後的調整，

$$prof = \frac{nom}{1 + (etr * \frac{c}{y})} - comp * \frac{e}{ee} - 0.25 * kdep * py * k$$

其中，*nom*為名目 GDP，*etr* 為包含能源稅的間接稅，*c/y* 為消費相對於 GDP，*comp* 則表示補償金，*e/ee* 則為總受僱人數相對於就業人數，*kdep* 為資本存量折舊率，*py* 為 GDP 平減指數，*k*為資本存量。

(10)外部需求

當進行碳定價後，全球對於石油燃料的需求會下降，將對石油出口國家的出口收入有負向影響，為了捕捉外部需求的影響，調整了外部需求份額方程式。在標準 NiGEM 模型中，每個國家之外部需求可以其他國家的進口量的加權平均來表示，即下式：

$$S_j = \sum_{i \neq j} \alpha_i * movol_i$$

其中 *i* 表示 NiGEM 模型中的國家或地區， α_i 為國家 *i* 的進口市場對國家 *j* 的重要性，*movol_i* 則為國家 *i* 的進口量。此公式可以決定雙邊貿易敏感度，而外部需求變數會直接受到國家 *j* 出口量(*xvol_j*)方程式的反饋。

$$dlog(xvol_j) = \dots + \beta * dlog(S_j)$$

然而，石油燃料出口國面臨石油燃料全球需求的下降，而未轉型成其他出口部門，則會造成全球貿易份額的損失。為了捕捉此潛在影響，再主要石油燃料出口國的公式中使用時間變動權重，因此 α_i 則進行修正，公式調整成下式：

$$S_j = \sum_{i \neq j} \alpha_i * movol_i$$