

國際間評估金融業氣候變遷風險之 主要做法

吳端霖、曾筱婷*

中華民國 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。

摘 要

氣候變遷風險包括有形風險及轉型風險，當經濟部門受到氣候變遷風險衝擊時，將透過傳染效應增加金融部門相關風險，而金融部門為避免風險進一步擴大，可能衍生反饋效應，擴大對經濟部門之衝擊，兩種效果加成下將對整體金融穩定帶來威脅。

為瞭解氣候風險對金融穩定之影響，首先須衡量氣候變遷帶來之金融風險，惟因氣候風險無法使用傳統金融風險資料及衡量方法進行評估，且面臨資料不足與評估方法妥適性等兩大問題，目前國際間衡量氣候相關金融風險之方法係以情境分析、壓力測試及敏感度分析為主。

本報告依序研究歐盟、法國、英國、日本、澳洲及美國等 6 個經濟體評估氣候變遷風險之主要做法及簡介我國氣候情境分析方法論。依據研究結果，目前金融監理機關執行之氣候情境分析以銀行業信用風險為主，僅少部分國家已考量銀行與保險業之市場風險及保險業之保險風險，儘管跨國間執行方式(採由上而下法或由下而上法)不盡相同，但多聚焦於評估氣候風險對金融部門之影響。此外，綠色金融體系網絡(Network for Greening the Financial System, NGFS)設定之氣候情境在金融監理機關執行氣候情境分析中扮演重要角色，特別是 2050 年淨零排放、延遲轉型、現有政策情境，且部分經濟體已依其最新版同步調整情境因子。情境時間跨度方面，各國依其分析目的設定不同階段之情境期間，惟多以 2050 年作為最終衡量期限。

考量金管會委託銀行公會參酌主要國家做法建置之本國銀行氣候風險情境分析模型，較符合我國國情及資料可取得性，似可作為本行未來建置氣候風險總體壓力測試之基礎。

目 次

摘 要.....	1
壹、前 言.....	1
貳、氣候相關金融風險衡量方法介紹	3
一、情境分析.....	3
二、壓力測試.....	7
三、敏感度分析	7
四、其他創新做法.....	7
參、國際間辦理氣候情境分析之做法	10
一、國際間金融監理機關或央行辦理氣候情境分析概況	10
二、歐盟方法論.....	14
三、法國方法論.....	20
四、英國方法論.....	25
五、日本方法論	28
六、澳洲方法論	30
七、美國方法論	32
八、我國金管會氣候變遷情境分析.....	36
肆、結論與建議.....	38
一、結論	38
二、建議.....	38
附錄 1、NGFS 各版本情境比較	41
附錄 2、主要經濟體氣候情境分析方法比較	42
參考資料.....	43

圖目錄

圖 1-1	氣候變遷風險之傳染效應及反饋效應.....	1
圖 2-1	NGFS 情境採用之模型方法.....	4
圖 2-2	NGFS 情境架構及情境設定(3.0 版及 4.0 版比較).....	5
圖 3-1	各類機構進行情境分析之目的.....	13
圖 3-2	各類機構進行情境分析之細緻度.....	14
圖 3-3	ECB 整體經濟氣候壓力測試之傳遞管道.....	15
圖 3-4	ECB 2022 年氣候風險壓力測試情境設定.....	16
圖 3-5	BoJ 颱風情境設定.....	29
圖 3-6	CSA 演練轉型情境變數.....	35

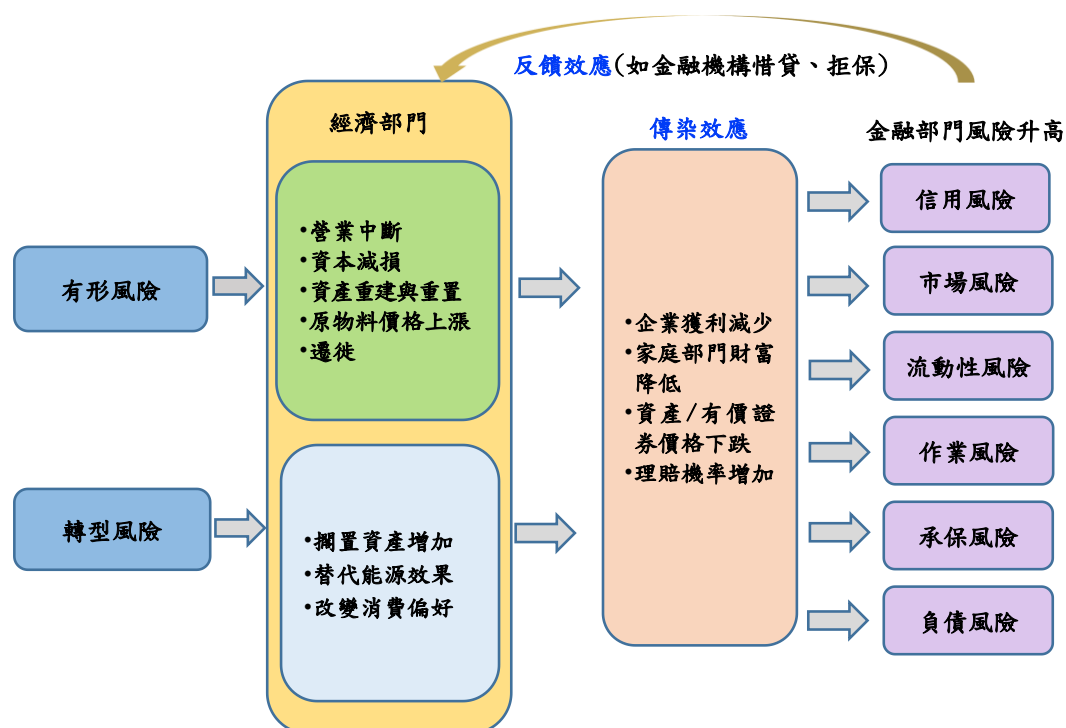
表目錄

表 3-1	ECB 第二次整體經濟氣候壓力測試情境設定.....	19
表 3-2	ACPR 2020 年轉型風險之情境設定.....	22
表 3-3	ACPR 2023 年轉型風險之情境設定.....	24
表 3-4	BoE 主要壓力測試情境.....	26
表 3-5	BoJ 情境分析設定.....	28
表 3-6	APRA 情境分析設定.....	31
表 3-7	CSA 有形風險演練.....	34

壹、前言

氣候變遷風險包括有形風險(physical risks)及轉型風險(transition risks)¹，當經濟部門受到氣候變遷風險衝擊時，將透過傳染效應(contagion effects)增加金融部門相關風險，包括投融资部位之信用、市場及流動性風險、金融部門本身或交易對手業務中斷帶來之作業風險與遭求償或理賠增加之承保及負債風險。而金融部門為避免風險進一步擴大，可能透過資本市場及業務調整等管道，衍生反饋效應(feedback effects)，擴大對經濟部門之衝擊，兩種效果加成下將對整體金融穩定帶來威脅(圖 1-1)(FSB (2020)、NGFS (2019, 2020a))。

圖 1-1 氣候變遷風險之傳染效應及反饋效應



資料來源：FSB (2020)、NGFS (2019, 2020a)；本行整理。

為瞭解氣候風險對金融穩定之影響，首先須衡量氣候變遷帶來之金融風險，因氣候風險具有高度不確定性且影響時程長等特性，加以

¹ 有形風險係指全球暖化及極端天氣事件對經濟部門造成營運中斷及營收減少等衝擊，轉型風險則指經濟部門朝向低碳轉型的過程中所引發的風險，包括政策轉變、能源技術突破引發替代效果及消費偏好改變。

傳遞管道複雜，無法使用傳統金融風險資料及衡量方法進行評估，且面臨資料不足與評估方法妥適性等兩大問題，本報告蒐集目前國際間評估金融業氣候變遷風險之主要做法，俾利本行未來發展氣候情境分析模型時參考。

本報告除前言外，第貳章介紹目前國際間氣候相關金融風險衡量方法；第參章簡介主要經濟體(例如歐盟、英國及美國等)進行情境分析或壓力測試之方法論；第肆章為結論與建議。

貳、氣候相關金融風險衡量方法介紹

氣候相關金融風險較一般金融風險之影響範圍更廣且持續時間更長，並將透過反饋效應進一步影響經濟層面，導致各國氣候政策執行進度及社會經濟變化皆具有高度不確定性，故較一般金融風險更難以評估。目前國際間衡量氣候相關金融風險之方法係以情境分析、壓力測試及敏感度分析為主，此外，部分專家學者及外部機構針對氣候風險特性，致力發展評估氣候相關金融風險之創新做法。

一、情境分析

NGFS (2020b)指出情境分析為克服氣候風險衡量困難之必要工具，因其提供靈活之假設架構，以探討未來風險變化情形。NGFS (2020b)將金融監理機關執行情境分析分為 4 大步驟，分別為定義分析目的及暴險範圍、氣候情境設定、衡量經濟及金融影響及溝通衡量結果。

(一) 定義分析目的及暴險範圍

在金融監理機關進行氣候情境分析前，應先定義分析目的，並就分析目的找出影響最大之氣候風險及利害關係人。常見之分析目的包括衡量金融機構特定風險、金融體系整體風險、氣候風險對總體經濟影響或對監理機關本身資產負債表之影響。

定義分析目的後，監理機關應依分析目的找出影響最大之氣候風險，例如轉型風險將影響金融機構信用風險，並依考量之氣候風險設定情境。此外，監理機關情境分析應考量納入之利害關係人，通常包括金融機構、企業或家庭部門、政府或國際組織等。

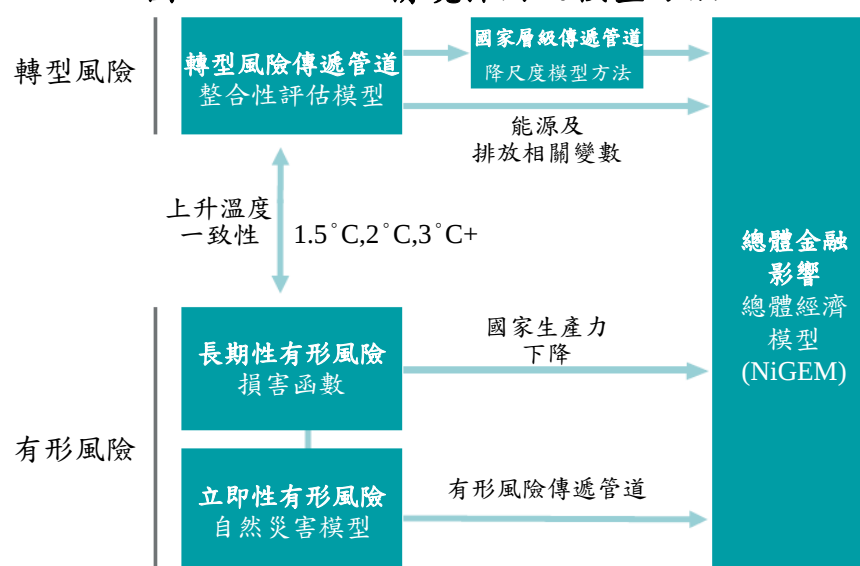
(二) 氣候情境設定

氣候情境為衡量氣候變遷對總體金融影響之核心投入要素，並探

討各種不同的氣候變化及實現長期氣候目標之可能途徑。設定氣候情境時須考量各種假設，包括大氣中溫室氣體濃度、社會經濟發展、技術演變、氣候政策執行、消費者偏好改變及氣候變化等。此外，在進行氣候情境分析前亦須決定情境包括之氣候風險、情境數量、分析細緻度及分析期間。

部分銀行及監理機關選擇由內部自行發展氣候情境，惟多數銀行及監理機關仍依賴外部組織產生之情境，尤其是「綠色金融體系網絡」(Network for Greening the Financial System, NGFS)的情境被廣泛使用(BIS (2021))。NGFS 於 2020 年發表氣候情境 1.0 版，並於 2021 年、2022 年及 2023 年持續更新²，以反映各國氣候政策執行情形及改善有形風險衡量模型(各版本情境比較參考附錄 1)。NGFS (2023a)氣候情境 4.0 版包括轉型風險及有形風險，轉型風險方面，NGFS 使用模型評估氣候變遷引發之溫室氣體情形(Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change, MAGICC)，並透過 3 種整合性評估模型(Integrated assessment models, IAM)建立氣候對經濟之傳遞管道；有形風險方面，長期性有形風險係透過損害函數衡量，立即

圖 2-1 NGFS 情境採用之模型方法



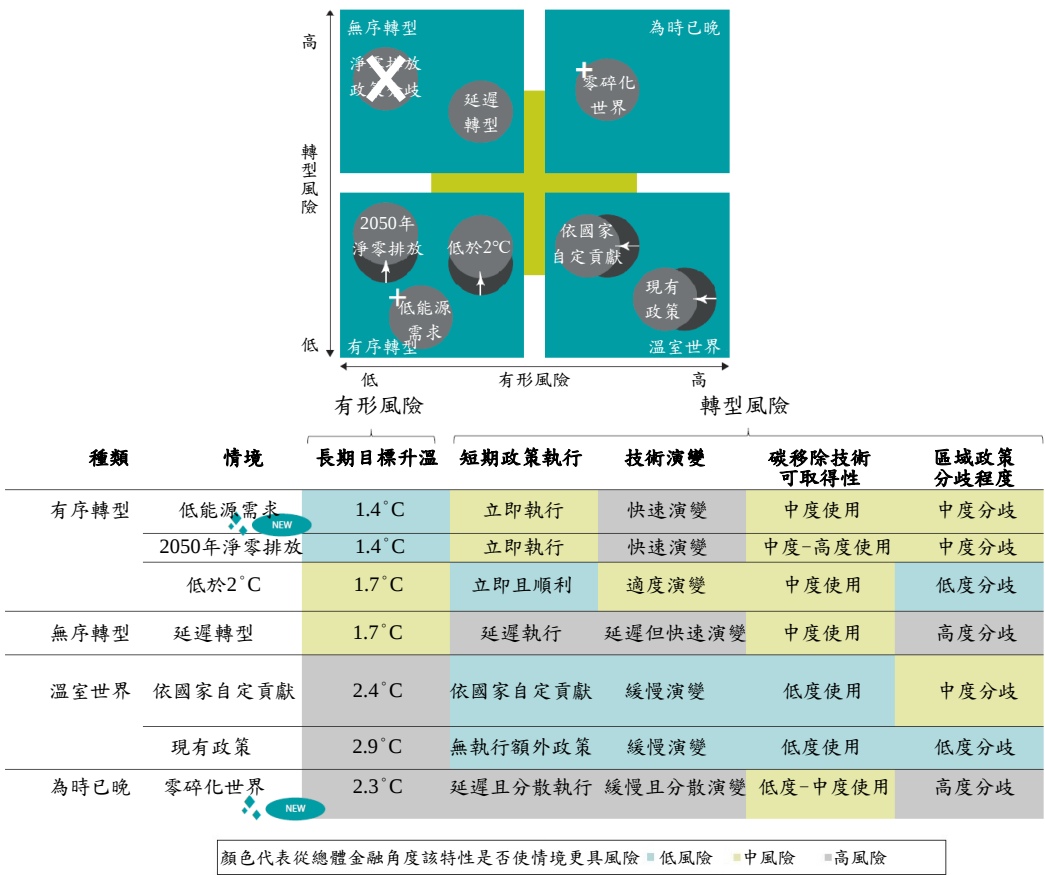
資料來源：NGFS (2023a)。

² NGFS 後續分別於 2021 年 6 月、2022 年 9 月及 2023 年 11 月發布氣候情境 2.0 版(NGFS (2021))、3.0 版(NGFS (2022))及 4.0 版(NGFS (2023a))。

性有形風險則透過自然災害模型衡量，最後，轉型及有形風險衡量後產出再投入多國總體計量經濟模型 NiGEM，以衡量對總體金融之影響(圖 2-1)。

NGFS 設定情境時為利於比較，係假設各情境社會經濟發展皆為共享社會經濟途徑(Shared socioeconomic pathways, SSPs)之中間路徑，即社會、經濟及技術發展趨勢遵循歷史軌跡持續發展，然而在長期目標升溫、短期政策執行、技術演變、碳移除技術(carbon dioxide removal, CDR)可取得性及區域政策分歧程度等關鍵情境假設皆有不同設定，並據此發展出 NGFS 情境架構，設定 7 種氣候情境分別分布於有序轉型(Ordery scenarios)、無序轉型(Disorderly scenarios)、溫室世界(Hot house world scenarios)及為時已晚(Too-little-too-late scenarios)等象限，

圖 2-2 NGFS 情境架構及情境設定(3.0 版及 4.0 版比較)



資料來源：NGFS (2023a)。

相較 3.0 版，NGFS 氣候情境 4.0 版依各國氣候政策執行情形增加「低能源需求」及「零碎化世界」2 項情境、刪除「淨零排放政策分歧」情境(圖 2-2)，並以 IMF (2022)對 GDP 及最終能源需求之預測資料為基礎。

(三) 衡量經濟及金融影響

在衡量氣候風險對經濟及金融影響前，金融監理機關須先辨識氣候風險之傳遞管道。轉型風險透過政府政策轉變及能源技術突破造成擱置資產增加及特定產業面臨淘汰，有形風險則透過極端天氣事件及氣候變遷造成營運中斷及資本減損，兩者皆會影響企業獲利及家庭部門收入，進而使金融機構風險上升。

在衡量氣候風險對總體經濟之影響時，因各模型方法有不同的使用限制，金融監理機關通常使用複數模型以更全面評估風險，較常使用之模型包括 IAM、投入產出模型、動態隨機一般均衡模型及總體計量經濟模型等。而在衡量對金融業之影響時，金融監理機關通常會採用縮小模擬範圍、調整模擬情境或新增模型變數等方法，以更精細衡量金融機構風險。此外，監理機關須考量採由上而下或由下而上法進行，並對金融機構資產負債表組成變化及折現率進行假設。

在考量進行情境分析所需資料及資料之可能來源時，為減少金融機構執行負擔，監理機關應盡量使用現成資料或結合現有的資料集產生分析資料，然而因氣候風險具獨特性且近幾年才逐漸受到關注，在資料方面仍存在相當大的資料缺口。

(四) 溝通衡量結果

溝通情境分析衡量結果可提高利害關係人對氣候風險之認知及改善氣候風險管理流程，常見的方法包括揭露氣候情境分析方法及結果、舉行研討會、召開雙邊會議及進行組織內溝通等。此外，情境分

析之結果亦可用於進行監理決策、辨識已被現有程序涵蓋之風險及瞭解氣候風險將如何影響央行政策執行之有效性等。

二、壓力測試

依據 BIS (2021) 的定義，**壓力測試屬於情境分析的一種，用於評估在極端但可能發生之不利情境下金融機構之復原能力**。金融監理機關通常透過在不利情境下資本適足率之變化以衡量金融機構之復原能力，壓力測試可從總體審慎或個體審慎角度進行，分別評估金融衝擊如何影響金融體系，並引發系統性風險及衡量個別機構在其資產組合風險下的復原能力。

近期部分銀行及金融監理機關將氣候相關風險及情境納入壓力測試範圍，以衡量氣候情境對金融機構或金融體系復原能力帶來之影響。然而**氣候風險具有長期評估之內生不確定性及使用歷史資料描述未來氣候與經濟關係之限制，使氣候壓力測試對資本短缺之估計可靠性較傳統壓力測試低**(BIS (2021))。

三、敏感度分析

依據 BIS (2021) 的定義，**敏感度分析屬於情境分析的一種，用於評估特定變數對經濟產生之潛在影響**。執行敏感度分析時，通常於多種情境改變單一變數，以觀察特定變數對各種情境之產出變化。此外，亦可透過改變多項變數，以觀察變數間之交互作用。氣候敏感度分析通常用於評估轉型風險，以衡量特定氣候政策(例如碳稅)對經濟產生之潛在影響。

四、其他創新做法

(一) 氣候風險評分

氣候風險評分係結合風險分類方法及質化或量化之評分標準，依暴險部位之品質良窳給予不同評級與分數。氣候風險評分可適用於企

業、資產、投資組合或國家，並協助銀行及金融監理機關評估現有或潛在交易對手之氣候暴險，惟因缺乏業務規模較小之交易對手資料且氣候資料蒐集時間較短，氣候風險評分可能較一般信用評分出現較多偏誤(BIS (2021))。常見之風險評分方法包括能源及氣候變遷諮詢機構 Carbone 4 開發之氣候風險影響衡量方法(Climate Risk Impact Screening, CRIS)、指數編製公司 MSCI 提供之氣候變遷指標(climate change metrics)及信評機構 S&P Global Trucost 評比之有形風險分數(Physical Risk Scores)等，其中部分評分著重於有形風險(Finance for Tomorrow (2019))。

(二) 自然資本分析

自然資本分析係將自然資源視為一種提供給人類及經濟益處之資本存量，人類與自然之互動，無論為直接的森林砍伐、汙染或間接的氣候變遷，都會加速自然資本的消耗速度，而金融機構也會因為借貸、保險或投資等因素面臨自然資本風險。自然資本分析分為 4 大步驟執行：(1)制定架構，使銀行熟悉自然資本觀念，瞭解分析之價值及定義關鍵利害關係人；(2)定義範圍，定義分析目的及範圍，其中範圍包括分析之地理邊界(例如暴險較高或受環境風險影響較大之區域)及分析之角度(例如從產業層級或從自然資本層級分析)；(3)衡量暴險，定義對暴險影響較大之自然資本並衡量暴險；(4)應用結果，與利害關係人溝通分析結果並將自然資本風險管理納入內部風險管理程序(NCFA and PwC (2018))。

(三) 氣候風險值

Dietz et al (2016)試圖結合傳統風險值(Value at Risk, VaR)模型及 Nordhaus (2008)之動態綜合氣候經濟模型以計算氣候風險值。氣候風險值可衡量氣候變遷對全球金融資產現值之影響，依據 Dietz et al (2016)計算，全球金融資產之預期氣候風險值在「溫度升高不超過

2°C」情境下較「一切如常」情境小，顯示採行氣候減緩措施有助於降低金融資產減損程度，惟須留意在兩種情境中，大量風險集中於尾部，例如「一切如常」情境中以 99%信賴水準計算之氣候風險值為 16.9%，遠大於預期氣候風險值(1.8%)。

參、國際間辦理氣候情境分析之做法

從第貳章可瞭解目前國際間衡量氣候相關金融風險之方法除創新做法外，係以情境分析、壓力測試及敏感度分析為主，惟壓力測試及敏感度分析皆屬情境分析之一種形式，本章爰參酌金融穩定委員會(Financial Stability Board, FSB)及 NGFS 發布之聯合報告(FSB, 2022)及 NGFS 2023 年公私部門調查結果(NGFS, 2023b)，說明國際間金融監理機關或央行辦理氣候情境分析之概況，並依序探討歐盟、法國、英國、日本、澳洲及美國等 6 個經濟體評估氣候變遷風險之主要做法，以供未來本行發展相關模型參考。

一、國際間金融監理機關或央行辦理氣候情境分析概況

(一) FSB 之問卷調查結果

為瞭解國際間主要金融監理機關或央行評估氣候相關金融風險所辦理之氣候情境分析情形，FSB (2022)針對 36 個經濟體辦理 67 項氣候情境分析之演練結果進行問卷調查，彙整其執行 NGFS (2020b)所建議氣候情境分析步驟³之概況如次：

1. 定義情境分析目的及暴險範圍

(1)情境分析目的

大部分金融監理機關或央行進行情境分析之目的，係提高對氣候情境分析之認知及發展分析能力。此外，多數機關致力於評估氣候風險對個別金融機構及整體金融體系之影響，以及辨識非金融企業部門之脆弱性。

(2)涵蓋之氣候風險

FSB 調查之氣候情境分析中，探討轉型風險影響者約占 9 成，探

³ 詳見第貳章第一節情境分析。

討有形風險影響者則約 2/3。轉型風險在文獻上多使用碳價或碳稅作為驅動轉型之關鍵變數；有形風險則有約一半之分析探討立即性有形風險，例如淹水及乾旱帶來之影響，並依據重要性高低進行優先排序。

(3)納入之利害關係人

氣候情境分析涵蓋廣泛金融及非金融產業，就金融業而言，多數分析包括銀行業，約有 1/3 之分析涵括保險業，僅有少數包括投資及退休基金；就實體部門而言，多數分析對象包括非金融企業，約有 1/2 之分析包括家庭部門，而有 1/3 之分析包括政府或公立機構。

2. 氣候情境設定

(1)使用情境

多數金融監理機關或央行已採用或預計採用 NGFS 情境進行演練，在 NGFS 設定之 7 種情境中，最常使用 2050 年淨零排放、延遲轉型及現有政策情境，分別代表 NGFS 情境架構 3 大象限：有序轉型、無序轉型及溫室世界。而在使用 NGFS 情境之分析中，有半數以上機關針對特定地區縮小模擬範圍或調整模擬情境。

(2)分析細緻度

半數以上金融監理機關或央行情境分析涉及產業或交易對手層級，並且多數交易對手層級分析係依賴金融機構進行評估。

(3)分析期間

不同金融監理機關或央行之情境分析期間差異極大，取決於考量之氣候相關風險性質等因素。短期情境通常適用於立即性有形風險或因政策改變產生之轉型風險，長期情境較適用於評估長期性有形風險或由氣候轉型產生之中期結構改變。

3. 衡量經濟及金融影響

(1) 模型方法

約有 1/3 之金融監理機關或央行情境分析使用總體經濟模型 NiGEM 之總體經濟變數，係因該等變數主要參酌 NGFS 情境，且為產生更細緻資料(例如部門資料)，機關通常會挑選常見的模型變數連結不同模型，例如南韓央行使用碳價格、部門排放量及碳封存量等變數連結 NGFS 之 IAM 與內部個體經濟模型，以產製 NGFS 情境下各產業估計數。

(2) 由上而下/由下而上法分析

金融監理機關或央行約有半數採由上而下法進行情境分析演練。由上而下法可使採樣範圍涵蓋更多金融機構，包括許多未具專業能力進行氣候風險評估之小型機構。另一方面，由下而上法通常用於瞭解個別機構如何因應氣候情境，並檢視及發展其氣候風險評估能力。部分情境分析採用混合法，結合由上而下及由下而上法之要素。

(3) 資產負債表假設

鑑於金融監理機關或央行採用動態資產負債表可能受限於模型方法及資料(包括內部缺乏建立並驗證金融機構資產負債表組成變化所需之資源及專業知識模型)，因此**約有 80% 之分析採用靜態資產負債表進行情境分析**。另約有 20% 之分析採用動態或混合資產負債表，主要係考量在較長的情境期間下進行較實際之氣候情境分析。

(4) 資料來源

鑑於氣候變遷之跨領域性質，金融監理機關或央行在情境分析中使用廣泛之非金融及金融資料。非金融資料方面，多數監理機關或央行在分析轉型風險時僅使用範疇一及二之溫室氣體排放估計量，範疇三投融资對象排放量因較難取得而未採用。此外，監理機關或央行亦

將總體經濟變數預測(例如 GDP 成長率)及能源變數預測(例如能源需求、價格及組成)運用於產業及交易對手層級分析。

分析有形風險時，部分分析使用有形災害之前瞻性風險指標，其中使用淹水風險指標者約 1/3，而少數分析亦使用如乾旱、野火、颱風或海平面上升之風險指標。

金融資料方面，半數以上機關使用借款人或交易對手產業層級之銀行資產暴險進行情境分析，而使用房貸餘額資料者約 1/4。以分析有形風險之金融資料為例，依據借款人或交易對手資產地理位置資料檢視銀行暴險情形者約 1/4。

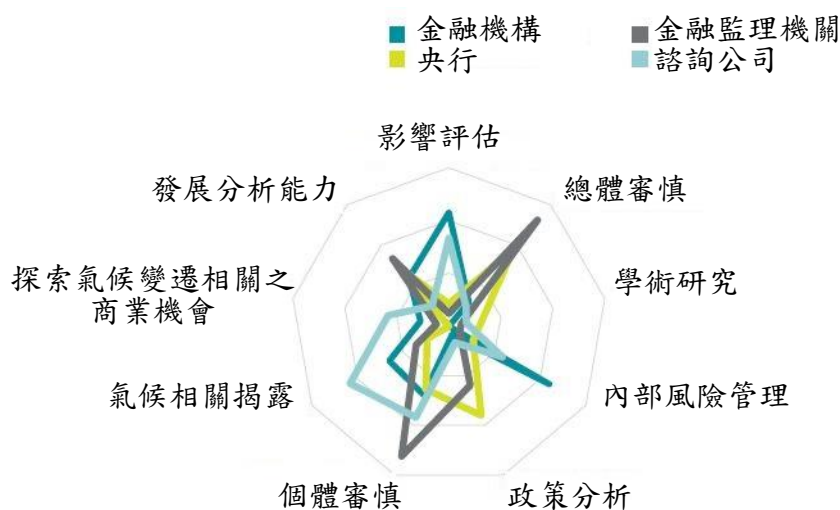
(二) NGFS 之問卷調查結果

為瞭解國際間對 NGFS 情境之使用情形，NGFS (2023b)針對公私部門(包括金融機構、諮詢公司、金融監理機關及央行)進行問卷調查，調查樣本來自 57 個經濟體共 213 份問卷，NGFS 調查之主要發現如次：

1. 情境分析目的

各類機構進行情境分析之目的相當分歧(圖 3-1)，惟多以發展分析能力作為關鍵次要目標。此外，金融監理機關及央行亦因權責不同，

圖 3-1 各類機構進行情境分析之目的



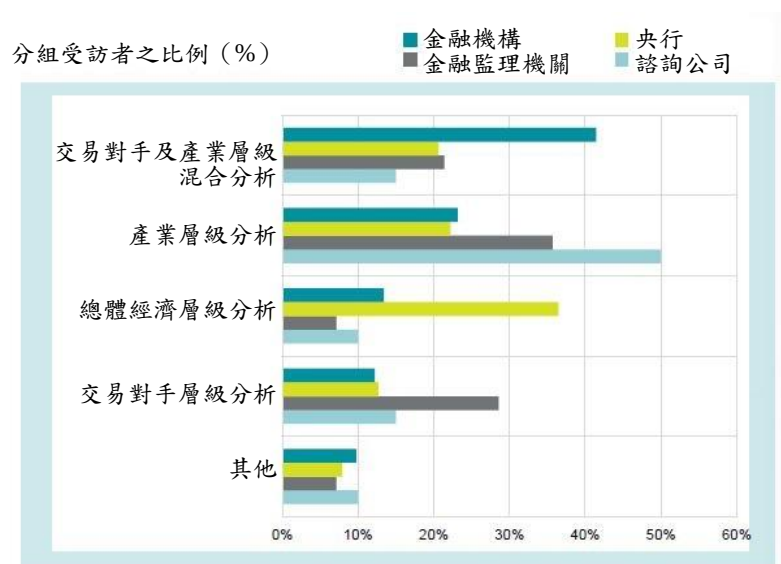
資料來源：NGFS (2023b)。

而有不同分析目的，金融監理機關以個體審慎⁴、總體審慎⁵及發展分析能力為主；央行則以總體審慎、政策分析及發展分析能力為主。

2. 分析細緻度

金融監理機關及央行因權責及可取得資料不同，以致分析內容之細緻度不同，金融監理機關多以產業或交易對手層級進行分析；央行則以總體經濟層級進行分析(圖 3-2)。

圖 3-2 各類機構進行情境分析之細緻度



資料來源：NGFS (2023b)。

二、歐盟方法論

歐洲央行(European Central Bank, ECB)為瞭解氣候風險對歐元區銀行之影響程度，首先於 2021 年以公開資料及歐盟特有資料集進行由上而下之整體經濟氣候壓力測試，並以本次分析結果為基礎，在 2022 年進一步由各銀行執行由下而上之氣候風險壓力測試，為 ECB 首次採用動態資產負債表假設並將氣候情境依測試時間細分之壓力測試。此外，ECB 於 2023 年進行第二次整體經濟氣候壓力測試，並納入氣候

⁴ 個體審慎係指衡量氣候風險對個別金融機構產生之潛在影響及改善氣候壓力測試方法。

⁵ 總體審慎係指衡量氣候風險對金融穩定之潛在影響。

風險對家庭部門貸款之影響。以下分別介紹 ECB 各項壓力測試之方法論：

(一) 整體經濟氣候壓力測試(economy-wide climate stress test)

ECB 於 2021 年進行由上而下之整體經濟氣候壓力測試，測試包括轉型及有形風險，並設定在 3 種氣候情境下，氣候風險對非金融企業(non-financial corporate, NFC)及歐元區銀行槓桿比率、獲利能力及違約機率之影響，以分析 NFC 及歐元區銀行對氣候風險之復原能力(ECB (2021a))。本次壓力測試情境設定與傳遞管道說明如次：

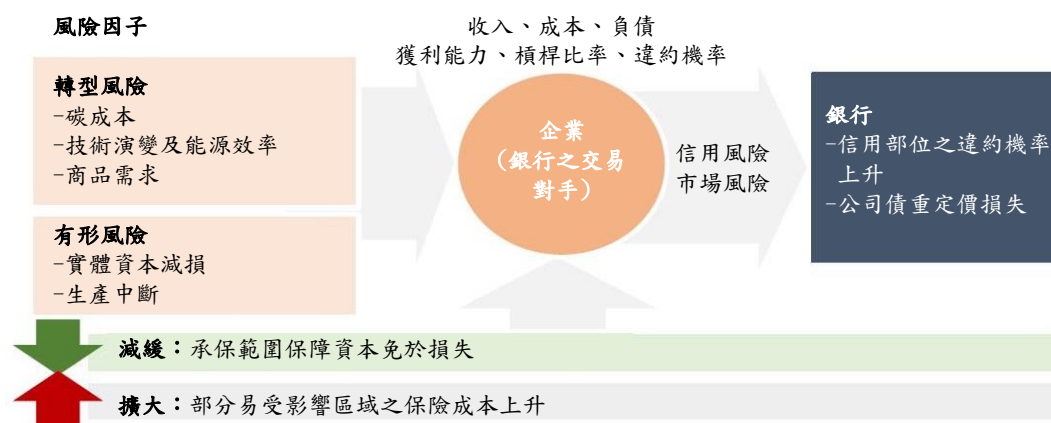
1. 情境設定

ECB 使用 NGFS 2020 年氣候情境 1.0 版之有序轉型情境作為基準情境，無序轉型及溫室世界情境作為比較情境，情境期間為 30 年，並設定實質 GDP、溫室氣體排放量與能源價格及消耗量等總體經濟及氣候變數為情境因子。

2. 傳遞管道及衡量方法

轉型風險將透過碳成本、技術演變及能源效率、商品需求，有形風險則透過對實體資本之減損及生產中斷，影響 NFC 之槓桿比率、

圖 3-3 ECB 整體經濟氣候壓力測試之傳遞管道



資料來源：ECB (2021a)。

獲利能力及違約機率等財務指標⁶，並提高銀行信用部位之違約機率及持有公司債券之評價損失(圖 3-3)。ECB 使用 NFC 營業地址產生有形風險分數及依歐盟標準行業分類(NACE)產生與轉型風險有關之碳排放資訊，並結合 Bloomberg 等公開企業財務資訊，分析氣候風險對 NFC 財務情形之影響。此外，ECB 使用歐盟特有之 AnaCredit 貸款暴險及 SHS-G 公司債持有情形資料集，將 NFC 暴險依暴險組成對應至歐元區銀行暴險後進行分析，分析採用交易對手層級並使用靜態資產負債表假設。

(二) 2022 年氣候風險壓力測試(2022 climate risk stress test)

ECB 2022 年氣候風險壓力測試旨在瞭解銀行進行氣候風險壓力測試之架構及準備程度，並透過質化之問卷調查、量化之氣候風險指標及由下而上之壓力測試等三大支柱構成對銀行業之瞭解。為建立銀行業完整資料，所有參與問卷調查及氣候風險指標之銀行亦須進行由下而上之壓力測試，即由銀行依 ECB 設定之方法論及情境進行壓力測試並將測試結果陳報金融監理機關(ECB (2021b)、ECB (2022))。

本次壓力測試包括轉型及有形風險，轉型風險方面，分為短期(3 年)及長期(30 年)等兩種情境，銀行須預測短期及長期情境對銀行整

圖 3-4 ECB 2022 年氣候風險壓力測試情境設定

	暴險	情境	預測模式	期間	信用風險	市場風險	營運風險
轉型風險	全球	短期壓力	基準情境	3年 (2022-2024)	企業部門貸款(包括中小企業與商用不動產)及房貸	由NFC發行之債券及股票(包括會計及經濟避險部位)	營運及商譽風險透過問卷調查進行質化分析
			壓力情境				
		長期傳遞管道	有序轉型	30年 (2030. 2040. 2050)	企業部門貸款(包括中小企業與商用不動產)及房貸		
			無序轉型				
			溫室世界				
有形風險	歐洲國家	乾旱與熱浪風險	基準情境	1年 (2022)	企業部門貸款(包括中小企業)		
			壓力情境				
		淹水風險	基準情境	1年 (2022)	房貸及商用不動產貸款		
			壓力情境				

資料來源：ECB (2022)。

⁶ 在計算 NFC 財務指標時，ECB 將保險對公司財務之減緩或擴大效果納入考量。

體暴險之影響，有形風險方面，銀行須預測乾旱與熱浪情境及淹水情境對歐洲國家暴險之影響，各種氣候風險之情境設定與傳遞管道說明如次(圖 3-4)：

1. 短期轉型風險

(1)情境設定

短期轉型風險壓力測試旨在瞭解銀行對碳價格突然上升之脆弱度，銀行須預測碳價格上升對整體信用風險及市場風險之影響。基準情境使用 2021 年 12 月 ECB 廣義總體經濟預測(Broad Macroeconomic Projections Exercise, BMPE)所推估之總體經濟變數資料，壓力情境則參考 NGFS 延遲轉型情境設定，惟假設歐盟於 2022 年驟然實施碳定價措施，導致碳價格大幅上升，情境期間為 2022 年至 2024 年(3 年)，並採用靜態資產負債表假設。

(2)傳遞管道及衡量方法

碳價格上升將造成銀行擔保品價值減損及高碳排產業獲利下降，進而影響房貸及企業部門貸款之信用風險，房貸及不動產擔保之企業部門貸款透過能源效率認證評等(energy performance certificate rating, EPC rating)評估擔保品減損程度，非以不動產擔保之企業部門貸款則依 NACE 區分為 22 種產業，分別評估碳價格上升對該等產業之獲利影響程度。此外，碳價格上升將影響高碳排產業獲利，進而影響其股價價格表現，對銀行投資部位造成市場風險，同樣地，ECB 亦將銀行帳上以公允價值衡量之公司債及股票發行企業依 NACE 區分為 22 種產業，並假設公允價值充分立即反映碳價格上升資訊，以衡量市場風險變動情形。

2. 長期轉型風險

(1)情境設定

長期轉型風險壓力測試旨在鼓勵銀行發展長期轉型情境下之風險預測能力及瞭解銀行在動態資產負債表假設下將如何改變其業務模式。ECB 使用 NGFS (2021)氣候情境 2.0 版之 2050 年淨零排放、延遲轉型及現有政策等 3 種情境分別對應 ECB 之有序轉型、無序轉型及溫室世界情境，情境期間從測試當日直至 2050 年(約 30 年)，並採用動態資產負債表假設。

(2)傳遞管道及衡量方法

長期轉型風險壓力測試係使用 NGFS 氣候情境，故 NGFS 於不同情境設定之關鍵變數例如長期目標升溫及短期政策執行等皆會改變碳價格，進而影響擔保品價值及企業獲利。ECB 長期轉型風險壓力測試僅考量信用風險，並與短期壓力測試採用相同衡量方法。此外，為瞭解銀行資產負債表變化，銀行需預測每 10 年(2030、2040 及 2050 年)依 EPC rating 分類之房貸暴險及依產業分類之企業部門貸款暴險情形。

3. 有形風險

(1)情境設定

有形風險壓力測試旨在評估銀行對乾旱與熱浪及淹水等兩項歐洲重大有形風險之脆弱度，在測試中銀行須預測極端天氣事件對信用風險之影響。為簡化評估程序，壓力測試僅考量銀行於歐洲國家之暴險，基準情境使用 BMPE 所推估之總體經濟變數資料，壓力情境則區分為乾旱與熱浪情境及淹水情境，分別假設 2022 年 1 月 1 日發生熱浪及淹水之極端天氣事件，情境期間為 1 年，並採用靜態資產負債表假設。

(2)傳遞管道及衡量方法

乾旱與熱浪將危害經濟活動及減少氣候敏感產業產出，增加企業

部門貸款之信用風險，銀行依 NACE 區分企業部門貸款之氣候風險情形，評估其對獲利影響程度；另淹水則會造成銀行擔保品價值減損，增加房貸及企業部門不動產擔保貸款之信用風險，銀行依擔保品所在位置對應 ECB 提供之 NUTS3 區域級別淹水壓力地圖，瞭解各種淹水風險大小之暴險情形。

(三) 第二次整體經濟氣候壓力測試(second economy-wide climate stress test)

為持續瞭解歐元區銀行對氣候風險之暴險情形，ECB 於 2023 年再次進行整體經濟氣候壓力測試，主要立基於 2021 年測試之方法論，並納入更細緻之能源發展及產業資料，且考量氣候風險對家庭部門貸款之影響。測試假設有形及轉型風險之變化途徑均依循 NGFS (2022) 氣候情境 3.0 版，並設定 3 種不同轉型路徑之氣候情境(ECB (2023))。本次壓力測試之情境設定與傳遞管道說明如次：

1. 情境設定

ECB 依轉型時程及減排程度劃分為 3 大情境：加速轉型、延遲但高強度轉型及延遲轉型情境(表 3-1)，在加速轉型及延遲但高強度轉型情境中，ECB 使用 NGFS 氣候情境 3.0 版之延遲轉型情境設定，

表 3-1 ECB 第二次整體經濟氣候壓力測試情境設定

	情境1加速轉型	情境2延遲但高強度轉型	情境3延遲轉型
情境設定	提前適用NGFS延遲轉型情境，並透過線性插值法模擬短期氣候衝擊對總體金融變數影響及產生中期預測	短期因缺乏氣候政策，故使用NGFS現有政策情境並於中期提前適用NGFS延遲轉型情境	短期因缺乏氣候政策，故使用NGFS現有政策情境並於2026年開始適用2050年淨零排放情境
排放量	與本世紀末升溫幅度為1.5°C目標相符	與本世紀末升溫幅度為1.5°C目標相符	與本世紀末升溫幅度為2.6°C目標相符
綠色投資	8年間高度且分散的投資並於初期投入更多資金	非常高且集中於中期	按有序轉型要求實行中等投資
能源價格	在前幾年非常高且持續增加，給予企業更多動力立即轉型	化石燃料價格於轉型開始前保持較高水準，並於轉型後上漲，中期的延遲轉型行動將嚴重影響電價	在轉型開始前維持較高水準並於轉型後上漲

資料來源：ECB (2023)。

惟假設歐洲企業分別於 2023 年及 2026 年採取轉型策略，兩項情境皆可達成本世紀末升溫幅度為 1.5°C 之目標，而在延遲轉型情境中，ECB 假設歐洲企業於 2026 年採取轉型策略，並符合 NGFS 2050 年淨零排放情境設定，惟因延遲採取轉型策略，預期本世紀末升溫幅度將達到 2.6°C，情境期間為 2023 年至 2030 年(8 年)，並由 BMPE 之總體經濟變數及 NGFS 之氣候變數預測出溫室氣體排放路徑、綠色能源使用率、能源價格、綠色投資金額及產業附加價值等變數。

2. 傳遞管道及衡量方法

轉型風險將透過能源價格、能源組成及碳排放路徑變化影響企業之獲利能力及槓桿比率，並提高銀行信用部位之違約機率及持有債券之評價損失，ECB 使用自行開發之轉換公式將企業之溫室氣體排放量轉換為能源消耗量，並套入企業模型，分析氣候風險對企業財務情形之影響。在衡量銀行之信用及市場風險變化時，ECB 使用歐盟特有之 AnaCredit 貸款暴險及 SHS-G 公司債持有情形資料集，將 NFC 暴險依暴險組成大小對應至歐元區銀行暴險後進行分析。此外，轉型風險亦會透過相同之能源衝擊使家庭部門收入下降及擔保品價值減損，進而影響銀行之房貸信用品質。由於缺乏個別家庭之違約機率變化資料，ECB 使用國家層級之房貸違約機率資料，並結合各國家庭能源消耗、排放及投資對家庭部門之財務復原能力影響等資訊，計算房貸信用品質惡化比率(credit quality deterioration, CQD)，並對應至銀行暴險，測試採用交易對手層級及使用靜態資產負債表假設。

三、法國方法論

為提高法國金融業對氣候風險之認知，隸屬於法國央行(Banque de France, BdF)之獨立機關金融審慎監管局(Autorité de contrôle prudentiel et de résolution, ACPR)自 2015 年開始發展氣候情境分析方法，並於 2020 年至 2021 年進行第一次銀行及保險業氣候風險試驗性

演練，為各國央行中首次採用混合資產負債表假設及分析期間長達30年之氣候情境分析。此外，為持續評估金融業對氣候風險之脆弱度，ACPR亦預定於2023年至2024年針對保險業進行第二次氣候風險演練，以下分別介紹ACPR兩次演練之方法論：

(一) 2020年氣候風險試驗性演練(2020 climate pilot exercise)

ACPR於2020年採行銀行及保險業自願參加之氣候風險試驗性演練，共有9家銀行及15家保險集團參與，分別涵蓋法國85%的銀行業及75%的保險業資產。演練包括轉型及有形風險，並採由下而上法，即由銀行及保險業依ACPR設定之方法論及情境進行分析並提供分析結果予金融監理機關⁷。本次演練之情境設定與傳遞管道說明如次：

1. 情境設定

轉型風險方面，ACPR使用NGFS 2020年氣候情境1.0版之有序轉型情境作為基準情境，延遲轉型情境作為第一種不利情境，並自行發展突然轉型情境(Sudden transition scenario)⁸作為第二種不利情境(表3-2)。有形風險方面，ACPR假設現在採取之氣候政策對有形風險影響有限，故使用聯合國代表濃度路徑(Representative Concentration Pathways, RCP)8.5情境，即2050年升溫幅度達1.4°C至2.6°C之極高排放情境，並就自然災害及健康危害方面評估損失。情境期間為2020年至2050年(30年)，並採用混合資產負債表假設，2020年至2025年皆使用2019年底之資產負債表進行評估，2025年至2050年則允許金融機構針對資產負債表進行調整。

⁷ 詳ACPR (2020)、ACPR (2021)。

⁸ 有別於自2030年始採取氣候政策之延遲轉型情境，突然轉型情境將碳價格與2025年開始出現的生產力衝擊相連結，假設再生能源生產技術之發展程度未如基準情境所預期，導致碳價格大幅上升進而對生產力產生負面影響，並假設政府於2025年突然開始採取氣候政策。

表 3-2 ACPR 2020 年轉型風險之情境設定

	基準(有序轉型) 情境	延遲轉型情境	突然轉型情境
開始轉型時間	2020	2030	2025
碳價格	緩步上升	2030 年後 急速上升	2025 年後急速上 升且增幅高於延 遲轉型情境
2050 年碳排放量 (公噸二氧化碳)	10,000	0	-5,000
2050 年法國 GDP	成長 1.0%	相較基準情境 下降 2.1%	相較基準情境 下降 5.5%
2050 年法國通膨率	1.3%	相較基準情境 上升 0.1%	相較基準情境 上升 0.2%
2050 年法國失業率	8.2%	相較基準情境 上升 0.2%	相較基準情境 上升 0.4%

資料來源：ACPR (2020)，作者整理。

2. 傳遞管道及衡量方法

在 ACPR 設定之 3 種轉型情境中，影響之情境變數為碳價格，碳價格上升越多，對高碳排企業獲利影響越大，進而影響銀行及保險業之信用及市場風險。對銀行而言，碳價格將影響企業部門貸款之信用風險，ACPR 使用全球投入/產出資料庫(World Input-Output Database, WIOD)之產業分類法，並選取受轉型風險影響或暴險較大之 20 種產業進行評估。此外，轉型風險亦對銀行投資部位及交易對手暴險產生市場風險，ACPR 將投資部位區分為股票、公司信用利差工具(通常為債券)、主權信用利差工具、大宗商品部位及利率工具，並請銀行依序評估各種投資部位公允價值及對大額交易對手暴險之風險變動情形。對保險業而言，因資金運用以投資為主，故面臨較高之市場風險，保險業應將投資部位依其證券性質及投資產業進行分類且分別評估。

有形風險方面，氣候變遷將使極端天氣事件頻率與影響範圍上升，並增加蚊蟲傳播及空氣汙染帶來之疾病機率，導致保險業賠款給付增加，進而可能限縮承保範圍，ACPR 與法國國營再保險公司及怡安(AON)保險集團合作，估計出有形風險對法國各地區帶來之自

然災害(包括乾旱、淹水及海平面上升等 3 種)及健康危害(包括蚊蟲傳播及空氣汙染等 2 種)影響程度地圖，以供各保險業者評估有形風險影響。

(二) 2023 年保險業氣候風險演練(2023 insurance climate exercise)

為持續評估金融業對氣候風險之脆弱度及完善現有評估方法架構，ACPR 於 2023 年針對保險業採行第二次氣候風險演練，演練除基準情境外尚包括兩種長期情境及一種短期情境，並在短期情境中針對金融機構之償債能力進行初步評估，與 2020 年演練相同，採取由 ACPR 設定方法論及情境，金融機構自願參加之方法⁹。本次演練之情境設定與傳遞管道說明如次：

1. 長期情境

(1) 情境設定

ACPR 設定英國國家經濟暨社會研究所(National Institute of Economic and Social Research, NIESR)經濟模型預測之情境為基準情境，並**完全排除氣候風險對總體經濟之影響**。針對保險業資產，ACPR 使用 NGFS 氣候情境 3.0 版之世紀末升溫幅度低於 2°C 及延遲轉型等 2 種情境分別對應 ACPR 之有序轉型及無序轉型情境(表 3-3)，而針對保險業負債，ACPR 設定壓力情境為 RCP4.5，即 2050 年升溫幅度將達 0.9°C 至 2°C 之中排放情境，並就自然災害及健康危害方面評估。情境期間為 2025 至 2050 年(25 年)，並採用動態資產負債表假設，即每 5 年或 10 年保險業可調整其資產負債表。

⁹ 詳 ACPR (2023)。

表 3-3 ACPR 2023 年轉型風險之情境設定

	基準情境	有序轉型情境	無序轉型情境
開始轉型時間	無	2023	2030
碳價格	無	緩步上升	2035 年後 急速上升
2050 年法國 GDP	成長 1.7%	相較基準情境 下降 1.4%	相較基準情境 下降 2.7%
2050 年法國通膨率	2.1%	相較基準情境 上升 0.1%	與基準情境相同
2050 年法國失業率	9.1%	與基準情境相同	與基準情境相同

資料來源：ACPR (2023)，作者整理。

(2)傳遞管道及衡量方法

針對保險業資產，氣候風險(包括有形及轉型風險)將對保險業投資之公司獲利產生影響，使其發行之證券價值產生波動，造成保險業資產之市場風險，保險業應將投資部位依其證券性質及產業進行分類，ACPR 就股票部位係以 NACE 之 22 種產業作為分類參考，另對公司信用利差工具則以彭博產業分類標準(Bloomberg Industry Classification Standard, BICS)之 12 種產業為基礎。此外，ACPR 亦提供 2025 年至 2050 年長期情境下每 5 年之總體經濟及金融變數預測。針對保險業負債，極端天氣事件與氣候變遷帶來之病原體傳播及空氣惡化將使保險業賠款給付增加，ACPR 與法國國營再保險公司及怡安保險集團合作，提供保險業者法國各地區極端天氣事件財產損失程度及死亡率變化。

2. 短期情境

(1)情境設定

短期情境旨在衡量由立即性、局部地區發生之有形災害造成之損失及後續傳遞至金融市場之衝擊等一連串事件對保險業帶來之影響。ACPR 設定 NIESR 經濟模型預測之情境為基準情境，壓力情境則假設 2023 年至 2024 年法國將發生乾旱及熱浪事件，2025 年初部分地

區將發生強降雨導致淹水及水壩潰堤，前述立即性有形災害透過傳染效應對金融市場產生衝擊，2025 年第 2 季起 GDP、通膨率及公司債券利率將偏離基準情境，尤其高碳排產業之債券利率將大幅上升 150 個基點。情境期間為 2023 年至 2027 年(5 年)，並採用靜態資產負債表假設。

(2)傳遞管道及衡量方法

壓力情境中最初之立即性有形災害將對保險業負債造成影響，而後續之市場衝擊將對保險業資產產生負面影響。針對保險業負債，保險業者須使用法國國營再保險公司及怡安保險集團提供之財產損失模型及死亡率假設進行估計，而針對保險業資產則採用與長期情境估計市場風險之相同方法，ACPR 提供 2025 至 2027 年法國、歐洲、美國及日本之高/低碳排產業平均債券利差及股票報酬率資料。

四、英國方法論

(一) 金融業氣候變遷壓力測試方法論

英國央行(Bank of England, BoE)於 2021 年公布氣候變遷壓力測試相關指引，期望壓力測試可提供完整情境，協助金融機構提升氣候相關金融風險之管理，並估算金融機構與金融體系對氣候變遷相關暴險，以了解金融機構在當前業務模式下面臨之挑戰，以及該等風險對金融服務之衝擊，藉此擬訂應對措施。此次氣候變遷壓力測試(BoE (2022))對象涵蓋 Barclays 及 AIG 等大型銀行業與保險業，其中銀行業對家庭部門與企業部門暴險總量達英國整體之 70%，保險業資產總量則達整體之 65%。

BoE 氣候變遷壓力測試採雙年探索型情境(Climate Biennial Exploratory Scenario, CBES)，每 2 年執行一次，風險類別涵蓋有形風

險及轉型風險，時間跨度為 30 年¹⁰。情境設定主要以 NGFS 之 2050 年淨零排放、延遲轉型及現有政策情境為基礎，發展出及早因應之政策情境(Early policy)、過晚因應之政策情境(Late policy)及無政策情境(No additional policy)。

在及早因應之政策情境中，各國將提出強而有力之碳稅政策，至 2050 年全球二氧化碳排放將降至淨零，全球升溫幅度亦限制在 1.8°C¹¹左右，本世紀末則降至約 1.5°C，歐元區與英國碳價則由 2020 年每噸 30 美元漲至 2050 年之 900 美元，過程中經濟增長不會因碳價上升受到明顯阻礙；在過晚因應之政策情境中，淨零轉型時程被延遲至 2030 年，雖然最終氣候變遷亦將受到控制，惟碳價在 2030 年後將快速攀升，並於 2050 年超過每噸 1,000 美元，對經濟成長造成衝擊；無政策情境主要針對有形風險，此情境中各國無顯著作為，極端天氣事件之頻率與破壞力大幅上升，2050 年全球升溫幅度將達 3.3°C，英國及全球 GDP 成長將受到永久性衝擊(表 3-4)。

表 3-4 BoE 主要壓力測試情境

	及早因應之政策 情境	過晚因應之政策 情境	無政策情境
轉型風險	中	高	低
開始轉型時間	2021	2031	無
英國碳稅最高點	每噸碳排 900 美元	每噸碳排 1,100 美元	每噸碳排 30 美元
有形風險	低	低	高
工業化前相比全球平均升溫幅度	1.8°C	1.8°C	3.3°C
英國平均海平面上升幅度	0.16 公尺	0.16 公尺	0.39 公尺
對 GDP 影響	GDP 短暫下跌	碳稅大幅上升後，GDP 短暫大幅下滑	GDP 永久性下滑且未來走勢高度不確定
英國平均經濟成長率	2026-2030：1.4% 2031-2035：1.5% 2046-2050：1.6%	2026-2030：1.5% 2031-2035：0.1% 2046-2050：1.6%	2026-2030：1.4% 2031-2035：1.4% 2046-2050：1.2%

資料來源：BoE (2022)。

¹⁰ BoE 壓力測試情境原則上以 2050 年為準，惟部分情境設定至 2100 年。

¹¹ 升溫幅度係與工業化前水準相比。

BoE 氣候風險壓力測試主要結論如次：(1)若及早因應或妥善行動以抑制溫室氣體排放量，整體社會成本將為最低；(2)銀行及保險業承擔之氣候成本最後可能轉嫁至客戶，將使易受有形風險影響之家庭與企業遭受損失；(3)政府公共政策在全球經濟體系轉型中扮演關鍵角色；(4)氣候損失預測仍充滿不確定性，情境分析尚處起步階段，數據資料亦存大量缺口，未來仍有許多改進空間。

(二) BoE 針對自身氣候變遷暴險之情境分析

BoE 除針對銀行業與壽險業進行氣候變遷壓力測試外，亦每年定期揭露 BoE 持有資產所面臨之氣候變遷風險(BoE (2023))。BoE 使用前瞻性情境分析來估計未來投資組合可能因氣候變遷遭受之衝擊，分析對象涵蓋 BoE 持有到期日超過 12 個月之資產，並排除其擔保放款業務。在資料來源方面，該行持有各國主權債券部位之碳排相關資訊係來自聯合國氣候變化綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)提供之溫室氣體排放資料，企業債碳排資訊則源自 MSCI 或企業對外揭露之資訊。

情境設定方面，此前瞻性情境分析係套用 NGFS 情境設定 3.0 版，並援引 NGFS 試算之各情境利率，試算目前主權債券因利率波動可能蒙受之損失。各項情境中，淨零排放政策分歧情境下主權債券將蒙受最多損失，主要係該情境中短期利率將因各國政策分歧而大幅調整，所有投資組合均受到影響；延遲轉型情境中主權資產反而損失最小，主要是該情境中短期利率只在 2030 年後才受衝擊，故以目前時點來看，僅有到期日較長之債券會受到影響。

BoE 持有之企業債轉型風險情境則參考 NGFS 氣候情境 2.0 版，分為有序轉型升溫 1.5°C 情境、無序轉型升溫 1.5°C 情境與無序轉型升溫 2°C 情境，其中有序轉型 1.5°C 情境對企業平均估值影響最小，無序轉型估值則將明顯下降，惟不同企業間存在顯著差異。

五、日本方法論

日本金融廳(Financial Services Agency, FSA)與日本央行(Bank of Japan, BoJ)參照轄下永續金融小組(Expert Panel on Sustainable Finance)建議，聯合三家主要銀行及三家產險集團使用 NGFS 公布情境進行情境分析(BoJ (2022))，以了解氣候變遷對金融體系和金融機構之影響，但囿於可用資料有限，加以國際仍未建立氣候相關情境分析之標準方法，BoJ 強調此次試驗重點並非量化氣候變遷與金融機構所受衝擊，而係透過試算改進未來情境分析相關方法。

(一) 銀行業情境分析

1. 情境設定

BoJ 情境分析主要以由下而上法進行估計，情境則參考 NGFS 氣候情境 2.0 版，採用其中 2050 年淨零排放、延遲轉型及現有政策情境三項情境。2050 年淨零排放係 2020 年以來全球致力因應氣候風險，並於 2050 年實現淨零碳排之情境，此情境升溫幅度最小，有形風險最低；現有政策情境假定各國無作為，故金融機構面臨有形風險最高，但轉型風險最小；延遲轉型假設政府在 2030 年方進行轉型政策，並於 2050 年實現碳中和，由於政策回應過慢，致轉型風險迅速攀升(表 3-5)。

表 3-5 BoJ 情境分析設定

	銀行業	產險業
情境摘要	以 NGFS 氣候情境 2.0 版為基礎，分為 2050 年淨零排放、延遲轉型及現有政策情境三項情境	選取 1959 年薇拉颱風作樣本，模擬薇拉颱風原始侵襲路徑及侵襲東京都區域兩種路徑進行估計
由下而上/ 由上而下	由下而上法	由下而上法
估計風險	有形/轉型風險	有形風險
情境期間	30 年	30 年

資料來源：BoJ (2022)。

2. 風險估計方法

在轉型風險方面，BoJ 要求受試銀行以借款人揭露之財務訊息為基礎，評估氣候變遷對其信用評等之影響，最後進行整個銀行業之風險評估。舉例來說，銀行可透過各情境中模擬之 2050 年 GDP、石油消費量、碳費與電力消費等資訊，估算客戶未來損益表及資產負債表變化，並評估信用評級變動後對借貸成本之影響。

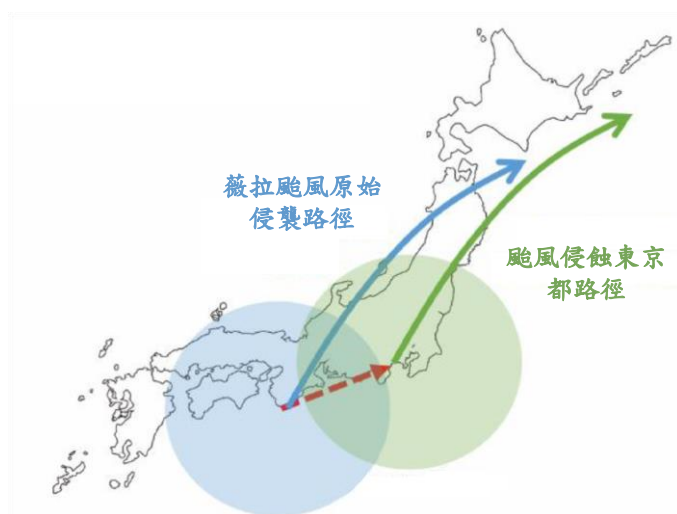
有形風險方面，BoJ 情境分析主要以洪水災害模型為主。受試銀行將依據借款人與抵押品之位置，估算氣候變遷發生情況下之淹水情形，再透過業務停擺或抵押品之損失程度計算借款人財務惡化與信用評等下調幅度，最終估計出有形風險在 2050 年與 2100 年對銀行暴險之影響。

(二) 產險業情境分析

相較銀行業，BoJ 在產險業情境設定方面同樣採取由下而上估計法，惟僅估計產險業在颱風或洪水等極端氣候狀態下衍生之理賠損失，並未考量轉型風險。情境加劇部分則在原先颱風與洪水之侵襲狀態下，納入 2050 年淨零排放與現有政策情境中溫度變化導致海平面上升幅度進行估算，估計時間軸則為 2050 年與 2100 年。

颱風情境設定方面，BoJ 選取 1959 年薇拉颱風作樣本，模擬薇拉颱風原始侵襲路徑及侵襲東京都區域兩種路徑進行估計(圖 3-5)。洪水情境設定方面，BoJ 綜合三家產

圖 3-5 BoJ 颱風情境設定



資料來源：BoJ (2022)。

險公司內部情境，設計出 200 年一遇之洪水情境，並以此為基礎估計降雨量及河川暴漲幅度，再估算相關理賠損失。

(三) 初步試算結果

銀行業轉型風險方面，延遲轉型情境因較晚實施轉型政策，風險應高於 2050 年淨零排放情境，惟 BoJ 情境分析結果顯示，2050 年淨零排放之轉型風險為三者最高，推測原因係 NGFS 情境中，該情境因轉型較早，2049 年以前碳價反而略高於延遲轉型情境，而碳價係影響銀行氣候風險損失之關鍵指標，導致結果與預期相反。有形風險方面，2100 年時現有政策情境之信用風險增幅將高於 2050 年淨零排放情境數倍，主要係兩者升溫幅度相差 1.6°C 所致。

有關產險業針對颱風及洪水之模擬結果，一般而言，各地索賠支付金額將與颱風通過時氣壓成反比，惟三家受試公司對颱風氣壓降低時之半徑變化假設有所差異，故估算之索賠金額差距甚大。洪水模擬方面，索賠支付金額將隨降雨與河流流量上升明顯增加，但因各受試產險公司對 200 年一遇之洪水情境設定上有極大差異，故試算結果大相逕庭。鑑於上述結果，BoJ 認為未來試算氣候變遷風險應限制風險模型假設內容，以降低結果差異性。

六、澳洲方法論

澳洲金融監理署 (Australian Prudential Regulation Authority, APRA) 於 2022 年進行氣候脆弱度評估 (Climate Vulnerability Assessment, CVA)，以衡量金融機構面臨之氣候風險並提升銀行風險管理能力。CVA 採情境分析方法，並由澳洲五大銀行共同參與¹²，由於 APRA 認為信用風險為氣候風險主要傳遞渠道，CVA 目前僅評估信用風險，暫不分析較難估計之市場風險、流動性風險及作業風險。

¹² 五家銀行包括澳盛銀行、澳洲聯邦銀行、麥格理銀行、澳洲國民銀行及西太平洋銀行。

(一) 情境設定

CVA 情境亦參考 NGFS 氣候情境 2.0 版，並採用延遲轉型及現有政策情境進行分析，未來可能參酌 NGFS 氣候情境 3.0 版做進一步更新。相關情境設定詳見表 3-6。

表 3-6 APRA 情境分析設定

	延遲轉型	現有政策
情境摘要	假設此情境中各國於 2030 年前仍保持現有氣候政策，2030 年後全球溫室氣體排放才急遽減少，以確保全球變暖幅度不超過 2°C。因延遲政策實施時程，轉型風險非常高。	假設各國僅實施現有政策，故全球溫室氣體排放量在 2050 年後仍持續上升，有形風險非常高。
工業化前相比全球平均升溫幅度	1.8°C	3°C+
政策反應	延遲	無政策
碳移除技術(CDR)假設	低	低
各國政策差異	高	低

資料來源：APRA (2022)。

(二) 資料及方法論

有鑑於五大銀行主要資產均係放款，CVA 要求銀行聚焦評估氣候風險對房貸與企業放款之衝擊，五大銀行放款約占澳洲放款總額之 75%。為增加分析細緻度，企業貸款再劃分為農業放款與非農業放款。

為估計轉型風險並增加估計準確度，CVA 使用 McKibbin W. and Wilcoxon P. (2013)開發之 G-Cubed 一般均衡模型估計碳價與排放量。G-Cubed 模型係多國之跨部門模型，可估計 10 國、共計 20 個部門之能源使用與二氧化碳排放資訊，惟該模型並未包含非二氧化碳氣體及農業汙染排放資訊，故 APRA 要求受試銀行獨立評估農業汙染排放價格對授信品質之影響。

有形風險方面，CVA 使用慕尼黑再保公司(Munich Re)提供之風

險指數預測數據預估房地產暴險面臨之有形風險，該數據係以澳洲郵遞區號劃分，內容包括熱帶氣旋、降雨、河流洪水、野火、乾旱及高溫數據。企業放款有形風險主要聚焦於農業部門，CVA 使用澳洲科學與工業研究組織(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization)提供之農業地區氣候數據，藉此了解關鍵農業區在氣候變遷下所受衝擊。

(三) 初步結果

房貸暴險方面，前揭五大銀行暴險合計 1.7 兆澳幣，約占其放款總額之 52%。其中，在現有政策情境下，房貸暴險遭受有形風險損失略高於延遲轉型情境，兩者差異主要係 2031 年至 2050 年之溫度變化路徑大相逕庭所致；就不同區域而言，昆士蘭省與北領地損失率增幅最為明顯。轉型風險方面，在現有政策情境中房貸風險並無明顯升溫，惟延遲轉型情境下許多地區房貸暴險損失將較長期平均水準高出六倍，且此情況主要發生於 2031 年至 2035 年間，推測係情境設定 2030 年後方實施轉型政策所致。

企業放款方面，五大銀行暴險約占其放款總額之 20%。在延遲轉型情境下，企業放款之轉型風險損失主要來自礦業、製造業與運輸業，該等行業占五大銀行放款總額分別為 4%、8%及 8%，其中煤炭業企業暴險額將因損失而下降 90%，石油與天然氣產業則下降 72%。有形風險方面，占總額 1%之農業放款於現有政策情境中，損失率在 2025 年至 2050 年間持續升高，其中尤以穀物和畜牧業所受衝擊較大。

七、美國方法論

美國 Fed 於 2023 年初發布氣候變遷情境分析指引說明(climate scenario analysis，以下簡稱 CSA，詳見 Fed (2023))，Fed 將與受試機構合作，了解該等機構應對氣候變遷金融風險之方式，及其所面臨之挑戰。CSA 估算風險包括有形及轉型風險，受試機構包括六家美國銀

行控股公司¹³，上述機構須於 2023 年 7 月底前向 Fed 提交相關問卷擬答與數據資料等，試算結果預計於同年底公布。

(一) 有形風險估計

1. 情境設定

CSA 利用氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 之溫室氣體濃度演變軌跡進行模擬，該情境發布於 IPCC 公布之第六次氣候變遷評估報告 (Sixth Assessment Report, AR6)，以 RCPs 與 SSPs 兩項指標相互配對製成，最終產製出五種情境：極低碳排情境 (SSP1-1.9)、低排放情境 (SSP1-2.6)、中排放情境 (SSP2-4.5)、高排放情境 (SSP3-7.0) 及極高排放情境 (SSP5-8.5)¹⁴。Fed 最終要求受試機構使用 SSP2-4.5 及 SSP5-8.5 兩項情境進行評估，並須考量各筆暴險在有無保險覆蓋情況下之預期損失。

Fed 要求所有受試機構至少需針對美國東北地區¹⁵進行颶風及洪水侵襲進行 CSA 演練 (又稱為 common shock)，主要係該等機構均持有該地區商業及住宅不動產暴險，且該地區受洪水侵襲頻率逐年上升。在東北地區外，受試機構可自行選擇美國一地區，並根據該地區特定氣候事件 (如颶風或野火等) 試算其有形風險 (又稱 idiosyncratic shock)，CSA 有形風險演練詳見表 3-7。

¹³ 包括美國銀行、花旗集團、高盛集團、摩根大通、摩根士丹利及富國銀行。

¹⁴ SSP1-1.9 係指全球有效減少溫室氣體排放，走向永續發展之情境；SSP1-2.6 係全球試圖達到永續發展目標，惟進展不如預期之情境；SSP2-4.5 係指在區域競爭下，各國因更關注自身經濟與安全相關議題，犧牲永續發展；SSP3-7.0 為一不平等情境，僅有中高收入國家實施環境保護政策，全球能源部門集中在碳密集燃料；SSP5-8.5 為幾乎沒有實施氣候政策之情境。有關更詳細 SSP 情境說明詳見第肆章表 4-1。

¹⁵ 東北地區包括康乃狄克州、德拉威爾州、馬里蘭州、紐約州等 12 個州及華盛頓哥倫比亞特區。

表 3-7 CSA 有形風險演練

情境編號	風險情境	評估年份	風險來源	地理位置	保險覆蓋與否
Common shock					
1	SSP2-4.5/RCP4.5	2050	颶風	東北地區	是
2	SSP5-8.5/RCP8.5	2050	颶風	東北地區	是
3	SSP5-8.5/RCP8.5	2050	颶風	東北地區	否
Idiosyncratic shock					
4	SSP2-4.5/RCP4.5	2050	自行定義	其他地區	是
5	SSP5-8.5/RCP8.5	2050	自行定義	其他地區	是
6	SSP5-8.5/RCP8.5	2050	自行定義	其他地區	否

資料來源：Fed (2023)。

2. 資料及估計方法

受試機構應以 2022 年底持有之商業及住宅不動產暴險總額進行估計，其中商業不動產資料源自 Fed 發布之 FR Y-14Q，住宅不動產資料則源自 FR Y-14M。Fed 將此次試驗重點聚焦於有形風險對信用風險之直接影響，故氣候變遷衝擊總體變數(如經濟成長下滑、基礎建設損毀或政府債務上升)後對受試機構持有部位產生之間接影響非強制估計項目，惟受試機構須將相關試算結果進行質化紀錄。

受試機構應根據 FR Y-14M、FR Y-14Q 與六個情境設定等相關資料，估計違約機率、違約損失率及內部風險評估等級。受試機構不需估計違約暴險額，僅須就災害影響調整違約機率、違約損失率及內部風險評估等級即可。

(二) 轉型風險估計

1. 情境設定

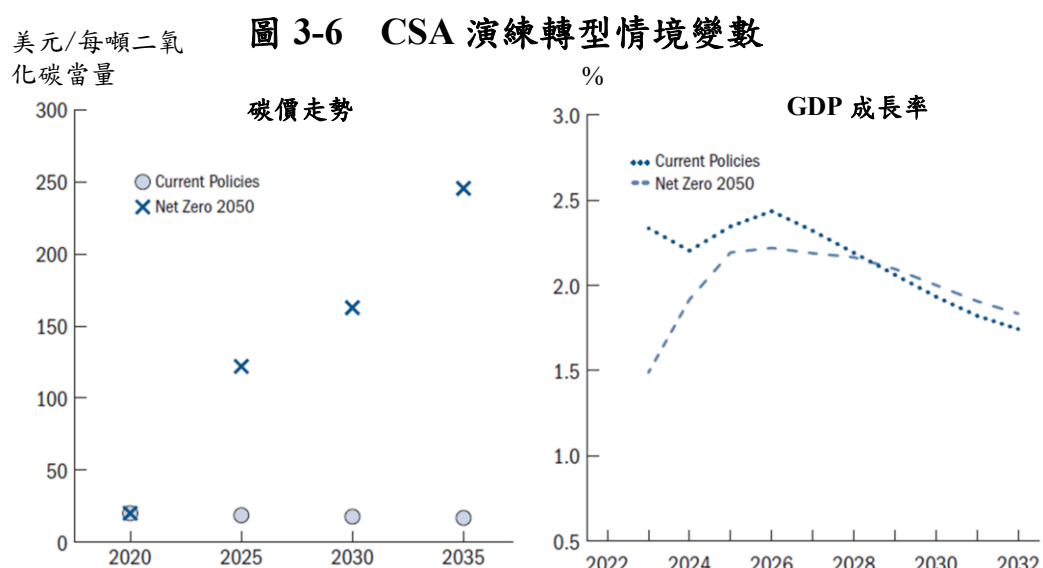
轉型風險方面，Fed 與多數機構相同，參考 NGFS 情境¹⁶，並禁止受試機構使用自行研發之情境，CSA 演練主要包含兩項情境：(1) 現有政策情境：所有國家及地區均持續實施當前政策，溫室氣體排放

¹⁶ Fed 係採用 NGFS (2022)氣候情境 3.0 版。

在 2080 年前持續上升，2100 年升溫幅度將較工業化前上升 3°C ；以及(2)2050 年淨零排放情境：假定各國實施嚴格氣候政策，並在試驗時間軸內提高碳價，最終全球升溫幅度控制在 1.5°C 左右，2050 年左右達到淨零排放。

NGFS 使用 3 種 IAM 模型¹⁷及總體經濟模型 NiGEM 開發情境，Fed 在此基礎下提供受試者 REMIND 模型與 NiGEM 模型之變數預測結果以利其進行試算。其中，NiGEM 模型為計量模型，REMIND 模型則係一般均衡模型，每五年計算一次，故可產製 2020 年、2025 年、2030 年和 2035 年之結果。該模型可產出消費、GDP 及能源需求等內生變數，針對無過渡政策進行結果模擬。

在 REMIND 模型試算結果中，現有政策情境下美國碳價於 2020 年後均保持於每噸二氧化碳當量 20 美元左右，在 2050 年淨零排放情境中碳價將快速攀升至 2035 年之每噸二氧化碳當量 250 美元。在上述碳價假定下，2029 年前 2050 年淨零排放情境之美國 GDP 成長率均低於現有政策情境(圖 3-6)。



資料來源：Fed (2023)。

¹⁷ 分別為 GCAM、MESSAGEix-GLOBIOM 及 REMIND-MAgPIE 模型。

2. 資料及估計方法

受試機構需以 FR Y-14Q 表中企金及商業不動產暴險為基礎進行轉型風險評估，其餘暴險暫不納入試算範圍，資料基準點以 2022 年 12 月 31 日為準。資產負債表假設採取靜態資產負債表，即估算期間內資產負債表不可因經濟態勢及組織面臨風險而更動投資組合及資產配置。

與有形風險評估相似，受試機構應根據 FR Y-14Q 及兩個情境設定產出參數，估計違約機率、違約損失率及內部風險評估(包含企金與商用不動產暴險)。受試機構亦不需估計暴險額變化，僅須就災害影響調整違約機率、違約損失率及內部風險評估等級即可。

八、我國金管會氣候變遷情境分析

金管會為落實「綠色金融行動方案 3.0」，將氣候變遷納入審慎監理範疇，於 2021 年 2 月函請銀行公會轄下之「新巴塞爾資本協定持續研議工作小組壓力測試分組」，建置銀行一體適用之氣候變遷情境分析，內容包括情境設計、受衝擊暴險分類、衝擊程度計算方法論及計畫所需資料等。

金管會情境分析係以 IPCC 及 NGFS 2.0 版所設定之情境為基礎，並考量國內氣候變遷轉型概況與有形風險嚴重程度，設定三項情境：

1. 有序轉型情境：對應 NGFS 之 2050 年淨零排放情境及 IPCC 之「RCP2.6」情境，本情境假設全球循序漸進實施轉型政策，以達到 2050 年淨零排放目標。
2. 無序轉型情境：對應 NGFS 之延遲轉型情境及 IPCC 之「RCP2.6」情境，本情境主要係評估延遲轉型下，仍須達到 2050 年淨零排放目標之潛在風險。
3. 無政策情境：對應 NGFS 之現有政策情境及 IPCC 之「RCP8.5」

情境，本情境係評估無政策轉型帶來之潛在風險(本情境僅評估有形風險)。

目前銀行業及保險業已完成 2023 年度氣候變遷情境分析並提報結果，後續將持續精進情境分析模組，以增進估計細緻度並貼近實際情況。

肆、結論與建議

一、結論

(一) 目前金融監理機關執行之氣候情境分析對象以銀行業為主，且多聚焦評估氣候風險對金融部門之影響

依據 FSB (2022)之問卷調查結果及主要經濟體氣候情境分析方法比較(附錄 2)，目前金融監理機關執行之氣候情境分析以銀行業信用風險為主，少部分考量銀行與保險業之市場風險及保險業之保險風險。在分析細緻度方面，轉型風險多以產業層級分析，而有形風險多以交易對手層級分析。至於執行方式，歐盟、美國、英國、日本、澳大利亞、法國及我國監理機關多採由下而上法進行氣候情境分析，而 FSB (2022)之問卷調查則有近半數監理機關採由上而下法，儘管跨國間執行方式不盡相同，但多聚焦於評估氣候風險對金融部門之影響。

(二) NGFS 情境在金融監理機關執行氣候情境分析中扮演重要角色

FSB (2022)之問卷調查結果及主要經濟體氣候情境分析方法比較(附錄 2)顯示，監理機關大多採用 NGFS 設定之氣候情境，包括 2050 年淨零排放、延遲轉型、現有政策，分別對應有序轉型、無序轉型及溫室世界等 3 大情境，且依其最新版同步調整情境因子。此外，在情境時間跨度方面，各國依其分析目的設定不同階段之情境期間，惟多以 2050 年作為最終衡量期限，主要係氣候風險具影響時程長之特性，加以多數經濟體設定之國家自定貢獻 (Nationally Determined Contributions, NDCs)皆以 2050 年淨零排放為目標所致。

二、建議

(一) 金融監理機關似可擴大氣候風險衡量範圍，以進一步瞭解氣候風險對總體經濟金融之可能影響

目前主要經濟體評估氣候風險衍生之金融風險除聚焦於銀行業信用風險外，歐盟最新推出之氣候壓力測試亦將氣候風險對家庭部門影響納入評估範圍，據以計算出房貸信用品質惡化比率，並對應至銀行暴險。此外，法國 2023 年針對保險業之氣候風險演練設定短期情境，以衡量一連串氣候風險事件對保險業短期償債能力之影響。我國金管會委託銀行公會建置之氣候情境分析模型，以本國銀行為適用對象¹⁸，未來似可參考主要經濟體做法，將家庭部門及壽險業納入衡量範圍，並可考量設定短期情境之可行性，以進一步分析氣候風險對我國金融機構償債能力影響。

(二) 金融監理機關宜適時調整氣候情境因子與評估方法，以因應最新國際發展趨勢

因氣候風險具有高度不確定性及影響時程長等特性，且面臨資料不足與評估方法妥適性等兩大問題，故較一般金融風險更難以評估，NGFS 於 2020 年發表之氣候風險情境 1.0 版及其衡量方法論有助於監理機關執行氣候情境分析，其後隨相關技術改進，NGFS 陸續於 2021 年(2.0 版)、2022 年(3.0 版)及 2023 年(4.0 版)更新其氣候風險情境，並區分更細緻之情境設定。目前我國金管會、日本及澳大利亞採 2.0 版，歐盟、英國¹⁹、法國及美國則已採 3.0 版。鑑於國際相關衡量方法及情境持續發展，且未來氣候變遷途徑可能產生變化，我國金融監理機關宜持續關注國際最新衡量方法及 NGFS 氣候情境更新情形，以適時調整氣候情境因子與評估方法。

¹⁸ 金管會亦委託保險安定基金以氣候變遷所造成之巨災(強烈颱風襲擊臺灣本島)進行產險公司壓力測試，測試結果整體產險業資本適足率高於法定最低標準。

¹⁹ BoE 針對金融業辦理之氣候變遷壓力測試係採 NGFS 2.0 版，針對自身氣候變遷暴險之情境分析則採 NGFS 3.0 版。

(三) 金管會委託銀行公會建置之本國銀行氣候情境分析模型，似可作為本行相關評估方法之基礎

金管會委託銀行公會建置之本國銀行氣候情境分析模型係參酌主要國家做法(例如荷蘭、法國、英國及香港等)，並以 NGFS 及 IPCC 之氣候情境為基礎，設定符合國內氣候變遷轉型概況與有形風險嚴重程度之 3 種氣候情境。考量金管會模型較符合我國國情與相關氣候及金融資料可取得性，似可作為本行未來建置氣候風險總體壓力測試之基礎。

附錄 1、NGFS 各版本情境比較

		1.0 版	2.0 版	3.0 版	4.0 版
發表日期		2020 年 6 月	2021 年 6 月	2022 年 9 月	2023 年 11 月
情境設定	有序轉型	使用 CDR 達到 1.5°C、有限使用 CDR 達到 2°C	2050 年淨零排放、低於 2°C	2050 年淨零排放、低於 2°C	2050 年淨零排放、低於 2°C、 低能源需求
	無序轉型	有限使用 CDR 達到 1.5°C、延遲使用 CDR 達到 2°C	延遲轉型、淨零排放政策分歧	延遲轉型、淨零排放政策分歧	延遲轉型
	溫室世界	依國家自定貢獻	依國家自定貢獻、現有政策	依國家自定貢獻、現有政策	依國家自定貢獻、現有政策
	為時已晚	無	無	無	零碎化世界
	合計	5 種	6 種	6 種	7 種
設定項目		長期目標升溫、短期政策執行及碳移除技術可取得性等 3 項	長期目標升溫、短期政策執行、技術演變、碳移除技術可取得性及區域政策分歧程度等 5 項	長期目標升溫、短期政策執行、技術演變、碳移除技術可取得性及區域政策分歧程度等 5 項	長期目標升溫、短期政策執行、技術演變、碳移除技術可取得性及區域政策分歧程度等 5 項
涵蓋之有形風險		僅納入長期性有形風險	僅納入長期性有形風險	長期性及立即性有形風險 (包括颱風及河川造成的淹水 2 種)	長期性及立即性有形風險 (包括 熱浪、乾旱 、颱風及河川造成的淹水 4 種)
模型方法	轉型風險	IAMs	IAMs	IAMs	IAMs
	長期性有形風險	大氣環流模型	地球系統模型、氣候影響模型	地球系統模型、氣候影響模型	損害函數
	立即性有形風險	無	無	自然災害模型	自然災害模型
	總體金融影響	無	NiGEM	NiGEM	NiGEM
經濟預測		IMF 2020 年經濟預測	IMF 2020 年經濟預測	IMF 2021 年經濟預測	IMF 2022 年經濟預測
特色		首份氣候情境指南	1. 重新設定氣候情境 2. 增加情境設定項目 3. 首次使用 NiGEM 模型評估對總體金融影響 4. 設定更多總體經濟變數及提供國家層級資料	1. 首次將立即性有形風險納入衡量 2. 依各國氣候承諾及 IMF 經濟預測更新情境 3. 增加部分行業層級資料	1. 調整氣候情境以反映各國氣候政策延遲執行 2. 增加兩項自然災害及加強衡量有形風險細緻度 3. 依各國氣候承諾及 IMF 經濟預測更新情境

資料來源：NGFS 官網，作者整理。

附錄 2、主要經濟體氣候情境分析方法比較

執行機構	情境分析	分析單位	涵蓋風險	情境設定	情境期間	分析細緻度	由上而下/ 由下而上	資產負債表 假設
歐盟 ECB	整體經濟氣候 壓力測試	銀行業	有形及轉 型風險	NGFS 情境	30 年	交易對手 層級	由上而下	靜態
	2022 年氣候風 險壓力測試	銀行業	有形及轉 型風險	有形：乾旱與熱 浪、淹水 轉型：NGFS 情境	短期：1 年(有形) 3 年(轉型) 長期：30 年(轉型)	產業、交易 對手層級	由下而上	短期採靜態 長期採動態
	第二次整體壓 力測試	銀行業	有形及轉 型風險	NGFS 情境	8 年	交易對手 層級	由上而下	靜態
法國 ACPR	2020 年氣候風 險試驗性演練	銀行及 保險業	有形及轉 型風險	NGFS、自行發展 及 IPCC 情境	30 年	產業、交易 對手層級	由下而上	混合
	2023 年保險業 氣候風險演練	保險業	有形及轉 型風險	NGFS 及 IPCC 情境	短期：5 年 長期：25 年	產業、交易 對手層級	由下而上	短期採靜態 長期採動態
英國 BoE	金融業氣候變 遷壓力測試	銀行及 保險業	有形及轉 型風險	NGFS 情境	30 年	產業、交易 對手層級	由下而上	靜態
	BoE 自身氣候 變遷暴險分析	BoE	有形及轉 型風險	NGFS 情境	30 年	交易對手 層級	央行自身情 形分析	靜態
日本 FSA 及 BoJ	銀行業情境 分析	銀行業	有形及轉 型風險	NGFS 情境	30 年	產業、交易 對手層級	由下而上	靜態
	產險業暴險 分析	產險業	有形風險	颱風、洪水	30 年	交易對手 層級	由下而上	靜態
澳洲 APRA	氣候脆弱度 評估	銀行業	有形及轉 型風險	NGFS 情境	30 年	產業、交易 對手層級	由下而上	混合
美國 Fed	氣候變遷情境 分析	銀行業	有形及轉 型風險	有形：IPCC 情境 轉型：NGFS 情境	有形：1 年 轉型：10 年	產業、交易 對手層級	由下而上	靜態
我國 金管會	氣候情境分析	銀行業	有形及轉 型風險	NGFS 及 IPCC 情境	10 年、30 年	產業、交易 對手層級	由下而上	靜態

資料來源：各國氣候情境分析報告，作者整理。

參考資料

中文部分

中央銀行 (2022), 「中央銀行因應氣候變遷策略方案」, 12 月。

英文部分

ACPR (2020), “Scenarios and main assumptions of the ACPR pilot climate exercise,” July.

ACPR (2021), “A first assessment of financial risks stemming from climate change: the main results of the 2020 climate pilot exercise,” *Analyses et synthèses*, No. 122, May.

ACPR (2023), “Scenarios and main assumptions of the 2023 ACPR insurance climate exercise,” July.

APRA (2022), “Climate Vulnerability Assessment Results,” November.

BIS (2021), “Climate-related financial risks – measurement methodologies,” April.

BoE (2022), “Results of the 2021 Climate Biennial Exploratory Scenario (CBES),” May.

BoE (2023), “The Bank of England’s climate-related financial disclosure 2023,” July.

BoJ (2022), “Pilot Scenario Analysis Exercise on Climate-Related Risks Based on Common Scenarios,” August.

Dietz, S, A Bowen, C Dixon and P Gradwell (2016), “Climate value at risk of global financial assets,” *LSE Research Online Documents on Economics* 66226, London School of Economics and Political Science, LSE Library.

ECB (2021a), “ECB economy-wide climate stress test: methodology and results,”

Occasional Paper Series, No. 281, September.

ECB (2021b), “Climate risk stress test SSM stress test 2022,” October.

ECB (2022), “2022 climate risk stress test,” July.

ECB (2023), “The road to Paris: stress testing the transition towards a net-zero economy - the energy transition through the lens of the second ECB economy-wide climate stress test,” *Occasional Paper Series*, No. 328, September.

Fed (2023), “Pilot Climate Scenario Analysis Exercise,” January.

Finance for Tomorrow (2019), “Climate risk in finance – concepts, methods and assessment tools,” September.

FSB (2020), “The implications of climate change for financial stability,” November.

FSB (2022), “Climate scenario analysis by jurisdictions: initial findings and lessons,” November.

IMF (2022), “World economic outlook (October 2022): Countering the Cost-of-Living Crisis,” October.

IPCC (2021), “Sixth Assessment Report,” Working Group 1: The Physical Science Basis.

McKibbin W and Wilcoxon P (2013), “A Global Approach to Energy and the Environment: The G-cubed Model Handbook of Computable General Equilibrium Modeling,” Chapter 15, North-Holland, pp 995-1068.

Natural Capital Finance Alliance and PricewaterhouseCoopers (2018), “Integrating natural capital in risk assessments: a step-by-step guide for banks,” December.

NGFS (2019), “A call for action, climate change as a source of financial risk,” April.

NGFS (2020a), “Guide for supervisors integrating climate-related and environmental

risks into prudential supervision,” May.

NGFS (2020b), “Guide to climate scenario analysis for central banks and supervisors,” June.

NGFS (2021), “NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors,” June.

NGFS (2022), “NGFS scenarios for central banks and supervisors,” September.

NGFS (2023a), “NGFS scenarios for central banks and supervisors,” November.

NGFS (2023b), “NGFS survey on climate scenarios: key findings,” June.

Nordhaus, William D. (2008), *A question of balance: weighing the options on global warming policies*, New Haven, CT.