

台灣邁向淨零碳排放減量路徑之研擬 ——引入碳預算之國家上位目標規劃

吳珮瑛

台灣大學農業經濟學系教授

摘要

爲了讓台灣之溫室氣體（GHG）或二氧化碳（CO₂）的減量有清楚明確的上位目標，本文嘗試研擬了四種達淨零的不同減碳路徑，計算各減碳路徑至階段性，如至2030年、2040年而至淨零年，所達成的減碳比例；進而，納入「聯合國政府間氣候變化專門委員會」（Intergovernmental Panel on Climate Change，IPCC）最新公布的2°C、1.7°C或1.5°C三種溫度上升的碳預算量（carbon budget）概念，選擇台灣在實務上相對操作性高的公平原則及各國統一減量相同比例原則，設計不同淨零減碳路徑及碳預算使用方式，除可進行多層面的比較與對照外，亦使台灣邁向淨零之路的國家上位減量目標得以清楚確立。

關於各淨零減碳路徑之中程階段減至比基準年低的目標，相對有彈性的作法可如加拿大，法案中先明訂2030年的減量目標，而2030年後之目標、則在後續五年到來的前一年底明訂下一個階段的減量目標，如此在可掌握確實的條件與技術下，使所設定的減量目標有相對高之可達性。而台灣在控制溫度上升不超過1.5°C、1.7°C及2.0°C下，至淨零年仍可有15.5億噸、26.35億噸及41.85億噸之碳預算，在本文所設計的不同淨零減量路徑下，使溫度上升不超過2.0°C比不超過1.5°C者之碳累積量高達4至13倍，因此，台灣如果無法立即有最大減量之貢獻使溫度上升不超過1.5°C，其他不同溫度上升之淨零減碳路徑與碳累積量處置可供台灣選擇有能力解決之適當組合。因此，納入碳預算考量，除可作為台灣淨零減量路徑之選擇外，亦扮演台灣相關碳捕捉及儲存技術研發、可否配合解決控制溫度上升在不同水準下的碳累積總量的重要角色。

關鍵詞：碳預算、碳累積量、巴黎協議、國家自主貢獻、基準排放年、公平原則、各國統一減量原則

壹、為何要達淨零碳排放

2015 年在『聯合國氣候變遷綱要公約』(United Nations Framework Convention on Climate Change, 簡稱 UNFCCC) 在 2015 年底於巴黎舉行的第 21 屆氣候峰會 (COP21) 提出了『巴黎協議』(Paris Agreement), 目標是希望全球的溫度至 2019 年上升不超過 1850 年第一次工業革命結束時的 2°C, 最好盡各種努力使溫度上升控制在不超過 1.5°C。然在 2014 年「聯合國政府間氣候變化專門委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱 IPCC) 提供第五次評估報告給『巴黎協議』, 作為設定溫度上升不超過 2°C 或 1.5°C 之基礎資料後, 諸多國家認為不超過 2°C 仍是不安全, 然當時對上升不超過 1.5°C 並沒有太多的認識, 因而乃於 IPCC 第六次評估報告開始時, 於 2019 年由 IPCC 出了一特別報告, 說明控制不超過 1.5°C 比不超過 2°C, 確實使發生洪水及熱浪帶來的風險顯著降低許多, 然為了能降低風險、每個國家必須採取適當的 GHG 減量行動 (IPCC, 2019)。

不論將全球溫度控制在不超過哪個特定水準, 都需要各國共同努力減少 GHG 排放方可達成, 『巴黎協議』闡明各國可擬定「國家自主貢獻」(nationally determined contributions, 簡稱 NDCs) 之 GHG 排放減量, 而協議中有原則如「共同但有區別責任和各自能力」(common but differentiated responsibilities and respective capabilities), 又納入開發中國家及已開發國家條件不同之考量, 對於已達到或接近碳排放頂峰的已開發國家, 應持續領頭達成全經濟範圍的減量目標, 而開發中國家因需更長時間方可以達碳排放頂峰, 可持續加強減緩努力、考慮自己國家之條件, 在達到碳排放頂峰後、方可能開始執行全經濟範圍的減量或排放目標; 協議由委員會專家以透明、非對抗、非懲罰方式, 且需特別關注個別國家之能力, 確認各國之執行情形 (United Nations, 2015)。由此可見, 『巴黎協議』強調的是透過國際間的合作, 各締約國以自願方式, 經由減量或調適行動達自己設定的減量目標, 以促成永續發展及環境之完整性。

在『巴黎協議』國家自主貢獻的抽象概念下, 每個國家在對全球特定溫度的限制下, 確實該擬定多少溫室氣體排放量 (greenhouse gases emission,

簡稱 GHG) 的減少、才算盡到應有的責任？而爲了使全世界的溫度在本世紀中上升不超過 1.5°C，依此所有人爲的 GHG 排放必須達到淨零 (net zero)，亦即全球在特定時間點下，所有人爲產生的 GHG 排放量、必須完全移除，又或者稍微寬鬆一點至少要盡可能爲零，其餘則由海洋或是森林等大氣再吸收 (United Nations, n.d.)。然爲了不超過 1.5°C、各國需達成的減量對諸多國家無疑是一大壓力，IPCC 因而於 2021 年重新評估全球尚可容許的 GHG 排放量，公布全球整體在不同機率下、使溫度上升不超過 1.5°C、1.7°C 及 2.0°C 時，各種情況下全球尚存的碳預算 (carbon budget)，所謂碳預算是指特定暖化程度可以共存的人爲累積 CO₂ 排放量，因溫度上升主要來自 CO₂ 的累積排放，而少部分來自其他非 CO₂ 的排放，如氧化亞氮 (N₂O) 及甲烷 (CH₄)、而這些氣體主要可由農業部門的管理著手，且其存在大氣中的壽命比 CO₂ 短，又依據 IPCC (2019; 2021) 的模擬顯示，對 CO₂ 的顯著減量會抵減掉一些 N₂O 及 CH₄ 的排放，表示控制 GHG 中的 CO₂、可以一石二鳥同步減少 N₂O 及 CH₄，然每個國家產業結構不同，是否均有相同表現，尚須一一檢視各國 CO₂ 排放及非 CO₂ 排放的差異。

雖然碳預算推估的諸多不確定性，使其結果面臨各式挑戰，然挑戰的基本上是推估方法，或是對不確定的降低，並非針對碳預算的概念 (Matthews, et al., 2020; Matthews, et al., 2021)，然也有認爲碳預算猶如碳時鐘的滴答聲，宛如倒數計時至最大溫度增加的計時器過渡至永續的工具 (Gunnarsson, 2021; Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change, 2021; Zapf, et al., 2019)。任何對於長遠未來推估的不確定性必然存在，然碳預算並非一次推估適用永遠，IPCC 每隔一段時間便會依據全世界的進展，更新碳預算數量，以能隨著時間將不確定性做最大可能的掌握。因此，本文引入碳預算、是針對碳累積排放量或整體爲了達到淨零路徑之規劃，而非定著於當前所知的碳預算數量。

台灣並非 UNFCCC 成員國、且非『巴黎協議』締約國，台灣在 GHG (或 CO₂) 的減量並非爲了遵循任何簽署的協議而爲，即便是協議的簽署國，國際上原本就難以對未達成任何減量目標的國家有「直接處罰」，然而、未表現出「有誠意」的減量行動，則是貿易伙伴國或競爭國可以大做文章、

抵制杯葛的藉口。國際貿易是台灣經濟命脈之一，因此，台灣如何在 GHG（或 CO₂）的減量行動上與世界同步？本文嘗試研擬了四種達淨零的不同減碳路徑，並計算各減探路徑至階段性，如至 2030 年、2040 年而至淨零年，所達成的減碳比例；進而，以 IPCC（2021）最新所公布的三種不同溫度上升的碳預算量，選擇台灣（基本上也是世界各國）在實務上相對可操作性高的碳預算量配置原則，為台灣設計不同的碳預算使用方式，依此，結合不同淨零減碳路徑及不同溫度下碳預算之使用方式，除可進行多層面的比較與對照外，亦使台灣邁向淨零之路的國家上位減量目標得以清楚確立。

貳、邁向淨零各國該如何貢獻 GHG 減量

一、各國可依循的減量原則

為達到淨零，全世界如何一起貢獻 GHG 減量方得以讓溫度維持不超過特定水準，基本上是每個國家應思索如何在國家能力可及的範圍內，讓 GHG 排放量不再持續往上累積，亦即過去所排放的 GHG 量，事實已累積在大氣中，全世界由現在開始該如何分攤過去所累積的量，且該如何適當抑制、進而降低每年的排放量，以能逐步減少每個國家持續累積至大氣中 GHG 量。

IPCC 的第五次評估報告中，推估達淨零所掌握的是由 2020 年至 2050 年全世界尚有餘裕可排放的 GHG 量，至於是否確實可達淨零，端視各國在 GHG 減量狀況而定。依此 IPCC 建議了四種減量分攤（effort sharing）原則，分別為考量歷史排放量下的責任（簡稱責任）（responsibility for historical emissions）、能力（capacity）、公平（equal per capita emissions）與發展的權利（right to development）等四項原則（Fleurbay, et al., 2014）；IPCC 進而於 2019 的報告另提出所有國家需有均一的減量比例（uniform relative reduction for all countries）原則，而各國在前述五種不同原則下需承擔不同的減量，因此，設計各國未來階段性中程減量目標，可以作為各國各階段邁向淨零需努力方向與施力的重點（IPCC, 2019; 2021; Fankhauser, et al., 2022）。

所謂責任原則是指，過去歷年排放比較多的國家，則需負擔比較多的

減量責任，有些甚至建議西方國家應該付給開發中國家源自氣候變遷所造成損害一些氣候債務（climate debt），氣候債務概念首度於 2009 年 UNFCCC 哥本哈根的 COP15 首度提出，基本上此一原則是歐洲、北美洲等西方國家對新興排放大國，如中國、印度、巴西等國，或者是更大層面如 UNFCCC 中附件一國家對非附件一國家因氣候變遷造成之損害該給予的援助，然 COP15 會議並未達具體共識（Shamsuddoha, 2010），雖然對氣候借款觀點有持正面看法者，如 Pickering 與 Barry (2012)，然亦有認為這是對政治協商的破壞（Bullard, 2010），不論贊成或是反對，此一原則基本上是立基於公平或道德，然如果是債務、確切是誰對誰的負債、又該償還多少，難以有清楚的界定。

而能力原則、所反應的是較富有的國家有較多的資源及能力，因此應承擔比較多的減量；然此一原則基本上與責任原則有共同的問題，就是難以有清楚的界定，亦即該以何標準認定那些國家有較多資源及能力、且又是較多的什麼資源與能力？雖然一般認定有較多資源及能力的富有國家與過去歷年排放較多的國家是高度重疊。至於發展權利原則上允許窮國比富有國家有較多的排放，因為對窮國而言，致力於發展及降低貧窮遠比對抗氣候變遷更重要，因此，窮國可以分得比較多的碳預算。然此一原則與責任原則及能力原則是切入的角度不同，責任及能力原則是由富有國家觀點，而發展權利原則是由貧窮國家角度著手，然此三個原則的共同問題是，均難以具體切割那些國家責任大、負債多、能力高又或者對發展的需求遠比對抗氣候變遷更重要，因此，個別國家相對難以在此三個原則下，訂定國家朝向淨零、呈現未來各年或中程的階段性減碳目標。

對個別國家相對可行的作法為公平及均一的減量比例原則，公平原則是認定全世界每一個人可享有相同的排放量，依此可分得相同的碳預算，而每個國家有不同方法預測未來的人口成長，因此，每個國家可依其佔世界人口預測而分得碳預算量，此一原則隱含，目前平均每人排放高的國家比人均排放低的國家需要有更顯著的減量。而 IPCC 在 2019 年的特別報告中提及、為了使世界排放不超過 1.5°C，均一減量比例原則是全球各國由 2010 年至 2030 年需一致減量 45%，至 2050 年達淨零；如果不超過 2°C，則 2010 年至 2030 年全球有 66% 機率可減量 25%，而至 2070 年可達淨零；

當然，是否可讓全球溫度上升不超過 1.5°C，尚須視其他非 CO₂ 減低的力道 (IPCC, 2019)，因而，依人口分碳預算的公平原則及各國均一減量的二個原則、是個別國家可獨立自訂減量目標的減量原則。

二、全球尚餘多少碳預算

IPCC (2021) 第六份評估報告顯示、由 1850 年第一次工業革命結束至 2019 年，全球已累積的 CO₂ 之排放量約為 2,390±240 億噸，如要控制溫度相對於 1850 年至 1900 年已上升的 1.07°C，由 2020 年至淨零上升不超過 1.5°C、1.7°C 及 2.0°C 之水準，如此表示由 2010 年、2019 年分別僅能上升 0.43°C、0.63°C 及 0.93°C，該報告同時針對不同機率造成每一種溫度上升進行歸推估，結果顯示全球在各種溫度上升極限及不同發生機率下，推估全球由 2020 年至 2050 年淨零年尚可排放的 CO₂ 總量，亦即全球尚有的碳預算總量，全球尚可排放的碳預算為 5,000 億噸時，如此將有 50% 的機率可使溫度上升不超過 1.5°C，而如碳預算為 13,500 億噸，則同樣有 50% 的機率溫度上升不會超過 2°C，又碳預算為 850 億噸，則有 50% 的機率溫度上升不會超過 1.7°C。

然未來凍土的融化及濕地甲烷之釋放等因素，可能使碳預算減少 1,000 億噸，因此，這些因素均可能使碳預算由 2020 年起至淨零年有極不確定的情況發生。當然，如要掌握更高機率使溫度上升不超過特定水準，則對應於各溫度的全球碳預算將更少，該報告總結彙整如表 1，由表 1 可看出，為使溫度上升不超過最小的 1.5°C 之最大及最小發生機率，碳預算相差三倍之多，而如果就表 1 中所推估的各種溫度及各種機率，最大碳預算為最小碳預算的 7.7 倍，因此，不同的選擇、使得碳預算有極大的差異。以上推估並非精準無疑，因此，IPCC 每隔幾年就會重新推估、根據前次成果再次檢視一次，因為世界各國是否確實執行各階段所承諾的排放水準、又各階段技術的進展是否一如預期，加上其他非 CO₂ 之 GHG 的排放減量之施行程度，均會影響整體溫度上升的變化。然可以確定的是、碳預算的推估可以做為全球溫度上升的指引 (Buysse & Miller, 2021; Leach, et al., 2018; Lowe & Bernie, 2018; Péloffy & Zrinyi, 2021; Pflleiderer, et al., 2018; Schleussner, et al., 2018; Van Den Berg, et al., 2020)。

表 1：IPCC 推估由 2020 年至淨零年全球維持溫度上升至各極限不同發生機率的碳預算

相對於 1850 年至 1900 年 的溫度上升極限	不同機率下全球達各種溫度上升極限所餘之碳預算 (十億噸)				
	17%	33%	50%	67%	83%
1.5°C	900	650	500	400	300
1.7°C	1,450	1,050	850	750	550
2.0°C	2,300	1,700	1,350	1,100	900

資料來源：IPCC（2021）。

此外，這些碳預算是僅涵蓋 CO₂ 的排放，其他非 CO₂ 的 GHG 排放不包括其中，因為每種 GHG 對於溫度上升的影響各不相同，且在大氣中存留時間長短亦不同，因此必須分開來看。GHG 所有氣體中相對容易掌握的是 CO₂ 的排放量，表 1 的推估結果、如與其他非 CO₂ 一併考量，可能使碳預算變動在 ±2,200 億噸範圍內，如此使得更長遠未來之全球碳預算推估之不確定性更高，因此，定期重新檢視評估全球 CO₂ 累積排放量，以確認全球剩餘的碳預算是必要工作。雖然非 CO₂ 之 GHG 的排放處理，可能使得全球的碳預算比表 1 中最大值為 4,500 億噸、最小值為 -1,900 億噸，如此懸殊的落差，是否表示碳預算的推估完全無可用之處？然如無 IPCC 所推估的這些數值，為達淨零、各國將更難以訂定階段性的減量目標。依此，本文後續使用台灣可能分得的碳預算，在不選用相對高機率亦不選用特別低機率的情況下，選擇 50% 發生的機率，探討三種溫度上升均可能發生的情況下，研擬不同淨零減碳路徑，階段性可達成的減碳目標，及各減碳路徑對應之累積排放量，在納入台灣潛在可能擁有的碳預算不同使用方式下的比較與選擇。

三、目前全世界淨零已入法國家之階段減量目標

淨零由討論、宣示、列在政策文件至正式入法的國家共有 123 個，各類型國家詳列如附表 1，雖然 Net Zero Tractor（2022）上記載斐濟、瓜地馬拉、俄羅斯及馬達加斯加等也宣稱淨零已入法，但這些國家有些不知入法年份、有些不知達淨零目標年、當然更無法得知各階段的減碳目標，因此，

暫不列入表中。而在歐盟部分國家，如盧森堡、挪威及荷蘭則個別有遞交減碳的目標給歐洲執行委員會 (European Commission)，此並非是正式遞交給 UNFCCC 的法案，因此，雖然有些資料記錄為立法，然與前述 14 國 / 區域正式遞交予 UNFCCC 通過而立法者不同。

表 2 將目前淨零目標已正式在 UNFCCC 立法之國家、入法年、達淨零目標年、各階段之 GHG 與 CO₂ 比基準年排放量低之目標，由中可看出，14 國 / 區域中有 8 國為歐盟國家，歐盟其他 19 個國家沒有單獨的淨零法案，基本上是依循歐盟的規範。又大部分國家之法案均是針對淨零而立法，僅有愛爾蘭、英國及紐西蘭是修正原法案而來；而其中淨零已入法的有 14 個國家 / 區域，不論淨零是訂在 2040 年、2045 年或是 2050 年，每一個國家均明訂 2030 年將減為基準年的某個百分比，且大部分國家均以 1990 年或是 2005 年為基準年，選擇 1990 年、是因為這些國家是 1997 年『京都議定書』通過時，承諾減量簽署時所用的基準年，而以 2005 年為基準年則因該年是『京都議定書』正式生效年，因而少部分國家如葡萄牙及加拿大則以 2005 年為基準年；至於日本、南韓與紐西蘭則選了離淨零入法相對近程的年份為基準年。

此外，1990 年亦是 UNFCCC 於 2015 年『巴黎協議』所訂的基準排放年 (base-year-emissions)，又此一基準排放量是包括「土地使用、土地改變與森林」(land use, land-use change and forest, 簡稱 LULUCF) 相關之碳排放 (United Nations, 2015)，因此對於碳匯比較高的國家，如減量是以碳預算所採用的 CO₂ 為計算基礎，在相同減量目標下，有可能會比涵蓋所有的 GHG 為計算基礎來得大，在此種情況下、如以 IPCC 的碳預算為國家至淨零尚可享有的排放量，然各階段減量目標則設定以整體之 GHG 為標的，如此表示各階段達成的目標將比應達成者低，如此將延後（拖長）達淨零的期程。又這類型國家的 CO₂ 排放佔整體 GHG 排放比例可能高於 1，附表 2、附表 3 及附表 4 則分別列出已入法的 14 國自 1990 年至資料最新年的 2018 年之 GHG 排放、CO₂ 排放及 CO₂ 排放佔 GHG 排放比，對於大部分國家在大部分年份，CO₂ 排放佔 GHG 排放比均小於 1，然瑞典、西班牙、韓國及日本在某些年份則有前述的情況發生。

表 2：達淨零碳排放已入法國家之目標年、法案名稱及中程目標年之減量

國家 / 區域	入法年份 ^a	淨零目標年 ^a	法案名稱 ^a	各階段減量目標
瑞典	2017	2045	Climate Act	2030 比 1990 低 63%、2040 比 1990 低 75%、 2045 比 1990 低 85%、所餘 15%則為在瑞典或世界其他國家經計畫投資去除
丹麥 ^b	2018	2050	Climate Act	2030 減至比 1990 低 70%
葡萄牙	2018	2050	Roadmap for Carbon Neutrality 2050 (RCN 2050): Long-Term Strategy for Carbon Neutrality of the Portuguese Economy in 2050	2030 減至比 2005 低 45%-55%、2040 減至比 2005 低 65%-75%、2050 減至比 2005 低 85%-90%
法國	2019	2050	Energy and Climate Law (Code de l'énergie, art.)	2030 減至比 1990 低 40%
匈牙利	2020	2050	Law on Climate Policy: On the Declaration of a Climate Emergency, on Climate Protection	2030 減至比 1990 低 40%
西班牙	2020	2050	Climate Change and Energy Transition Law	2030 減至比 1990 低 23%
德國	2021	2045	Climate Change Act (Bundes-Klimaschutzgesetz)	2030 減至比 1990 低 65%、2040 減至比 1990 少 88%、2045 達淨零
愛爾蘭	2021	2050	Climate Action and Low Carbon Development (Amendment) Act	2030 減至比 1990 少 45%
歐盟	2021	2040	European Climate Law	2030 減至比 1990 低 55%
英國	2019	2050	Climate Change Act 2008 (2050 Target Amendment)	2030 減至比 1990 低 68%、2035 減至比 1990 低 78%

國家 / 區域	入法年份 ^a	淨零目標年 ^a	法案名稱 ^a	各階段減量目標
紐西蘭 ^{c,d}	2019	2050	Climate Change Response (Zero Carbon) Amendment Act	2030 減至比 2017 少 10%、2050 減至比 2017 少 24%-47%
日本 ^c	2021	2050	Amendment of Act on Promotion of Global Warming Countermeasures	2030 減至比 2013 低 43%、2050 將所餘減掉
南韓 ^c	2021	2050	Framework Act on Carbon Neutral and Green Growth to Respond to Climate Crisis	2030 減至比 2018 少 40%
加拿大 ^c	2021	2050	Canadian Net-Zero Emissions Accountability Act	2030 減至比 2005 低 40%-45%、2035、2040、2045 水準需於 2034、2039、2044 各年之 12 月 1 日提出減量目標

資料來源：a. 各國入法年、淨零目標年及法案名稱主要彙整自 The Law Library of Congress and Global Legal Research Directorate (2021)；而歐洲國家亦來自 Association of Accredited Public Policy Advocates to the European Union (2021)。

b. 來自 Ministry of Climate, Energy and Utilities, Government of Denmark (2020)。

c. 紐西蘭、日本、南韓及加拿大資料分別來自 Parliamentary Counsel Office, New Zealand Legislation, New Zealand Government Ministry of Economy, Trade and Industry, Government of Japan (2021)、Climate Action Tracker (2022)、Government of Canada (2021)。

d. 紐西蘭淨零減少的 GHG 不包括來自羊及牛所排的生物性甲烷，甲烷約佔紐西蘭 GHG 排放量的 24%-47% (Darby & Gerretsen, 2019)。

淨零已入法的 14 國 / 區域均清楚承諾至 2030 年減至比基準排放年低的比例，然後續至淨零年各階段的減量目標，除瑞典、葡萄牙、德國及歐盟外，大部分國家 2030 年後之階段目標，均是由 2030 年一躍而至 2050 年的淨零，至於中間路徑如何走並未清楚列在法中，其中加拿大的作法是相對有彈性的，在法中明列 2030 年的減量目標，而在此之後則規劃每五年檢討一次，法中僅列出往後每五年後應完成目標訂定之時間、並未將目標預先設定於法中，如此可在掌握確實的條件與技術下，讓規劃的減量目標得以確實達成。表 3 則將 14 國 / 區域於法中有明確宣示的減量比例，分別計算各國至目標年對應的 GHG 及 CO₂ 的排放量。而這 14 個國家 / 區域在法中均是以所有 GHG 為減量標的，然碳預算的指引則是以 CO₂ 為標的，因此表 3 中兩種標的之排放量一併計算。而所有計算結果，在圖 1 至圖 15 亦逐一呈現 14 國 / 區域由 1990 年或 2005 年至各國 / 區域均有明確減量目標的 2030 年，依此，可以看出以 GHG 或是 CO₂ 為減量標的差異。

圖 1 是 14 國 / 區域中的 8 個歐盟國家及整體歐盟歷年 GHG 與 CO₂ 排放量的變動趨勢，其中歐盟是以歐盟 27 國為對象，因其淨零入法時英國已脫離歐盟，且後續的減量目標僅包括現有的 27 個歐盟成員國，圖 1 可見，歐盟 8 個個別國家之 GHG 及 CO₂ 歷年變動趨勢與歐盟幾近相同，然如果細看圖 2 至圖 9 個別國家的 GHG 排放與 CO₂ 排放趨勢，基本上均是 GHG 大於 CO₂，只是各國二者的差異不同，因此，以 GHG 為標的擬訂減量目標，在歐盟 8 個個別國家相對可以比較快速達成減量目標，至於德國、不論是以 GHG 或 CO₂ 為減量標的、二者基本上相同；又丹麥全國的 GHG 約有四分之一來自畜牧業，這些是甲烷的主要貢獻者，雖然丹麥目前僅明確列出至 2030 年將溫室氣體減為比 1990 年低 70%，此後至 2050 年的 20 年、尚未列出階段性達淨零減量目標，然可預期屆時 GHG 所餘的量相當比例是甲烷排放量 (The Danish Council on Climate Change, 2019)；而歐盟整體，GHG 及 CO₂ 排放量也是非常貼近，因此，不論選何種為標的、減量速度理論上會相同。

而非歐盟的歐洲國家的英國、歷年的 GHG 排放量也是高於 CO₂，比較特殊的是非歐洲國家的日本及紐西蘭，日本所選擇的基準年的 GHG 與 CO₂

表 3：已入法國家達淨零採用之基準年、最新排放年及各階段至淨零之 GHG 或 CO₂ 達減量目標後之排放量^a

國家	基準年與最新年 GHG 排放						達階段性減量目標之 GHG 排放量				
	1990	2005	2013	2017	2018 最新年 ^b		2030	2035	2040	2045	2050
瑞典	70.26 (57.38)	-----	-----	-----	30.05 (42.10)		26.00 (21.23)	-----	17.57 (14.35)	10.54 (8.61)	剩 10.54(8.61)用計畫 去除
丹麥	68.51 (53.57)	-----	-----	-----	46.73 (34.67)		20.55 (16.07)	-----	?	?	?
葡萄牙	-----	83.70 (69.71)	-----	-----	67.15 (51.49)		37.67-46.04 (31.37-38.34)	-----	20.92-29.29 (17.43-24.40)	-----	8.37-12.55 (6.97-10.46)
法國	477.92 (393.00)	-----	-----	-----	361.37 (415.52)		286.75 (235.80)	-----	?	?	?
匈牙利	90.74 (73.23)	-----	-----	-----	62.81 (48.41)		54.44 (43.94)	-----	?	?	?
西班牙	275.27 (231.19)	-----	-----	-----	326.94 (269.81)		211.96 (178.02)	-----	?	?	?
德國	1,109.28 (1,052.48)	-----	-----	-----	776.61 (754.11)		388.25 (360.37)	-----	133.11 (126.30)	淨零	-----
愛爾蘭	54.11 (32.94)	-----	-----	-----	62.29 (39.20)		29.76 (18.12)	-----	?	?	?
歐盟	4,279.18 (3,863.41)	-----	-----	-----	3,333.16 (3,046.09)		1,925.63 (1,738.53)	-----	?	?	淨零

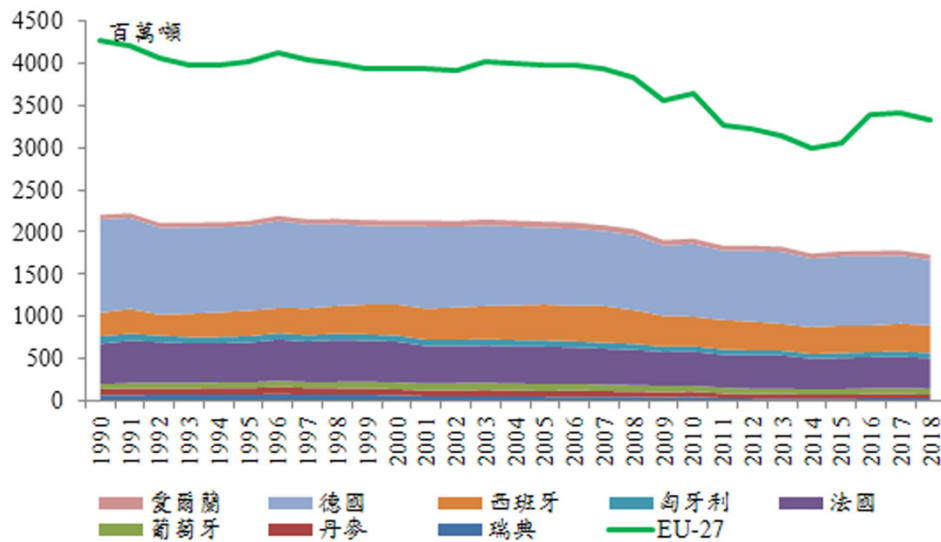
國家	基準年與最新年 GHG 排放					達階段性減量目標之 GHG 排放量				
	1990	2005	2013	2017	2018 最新年 ^b	2030	2035	2040	2045	2050
英國	746.40 (600.34)	-----	-----	-----	441.13 (381.89)	238.85 (192.11)	164.21 (132.07)	-----	?	?
紐西蘭	-----	-----	-----	71.45 (35.86)	70.71 (35.79)	64.31 (32.27)	-----	-----	-----	37.87-54.30 (19.01-27.25)
日本	-----	-----	1,289 (1,315.34)	-----	1,154.72 (1,143.46)	734.73 (749.74)	-----	?	?	淨零
南韓 ^b	-----	-----	-----	-----	673.08 (671.63)	403.85 (402.98)	-----	?	?	淨零
加拿大	-----	1,006.64 (575.85)	-----	-----	763.44 (579.47)	553.65-603.98 (316.72-345.51)	2035、2040、2045 水準需於 2034、2039、2044 各 年之 12 月 1 日提出減量目標			

資料來源：各國減量基準年及階段性減量目標彙整自 The Law Library of Congress and Global Legal Research Directorate (2021)；而各國「達階段性減量目標之 GHG 排放量」則是本文依表 2 中各國宣示的減量目標計算而來。

註：a.表中所有數值之單位為百萬噸。

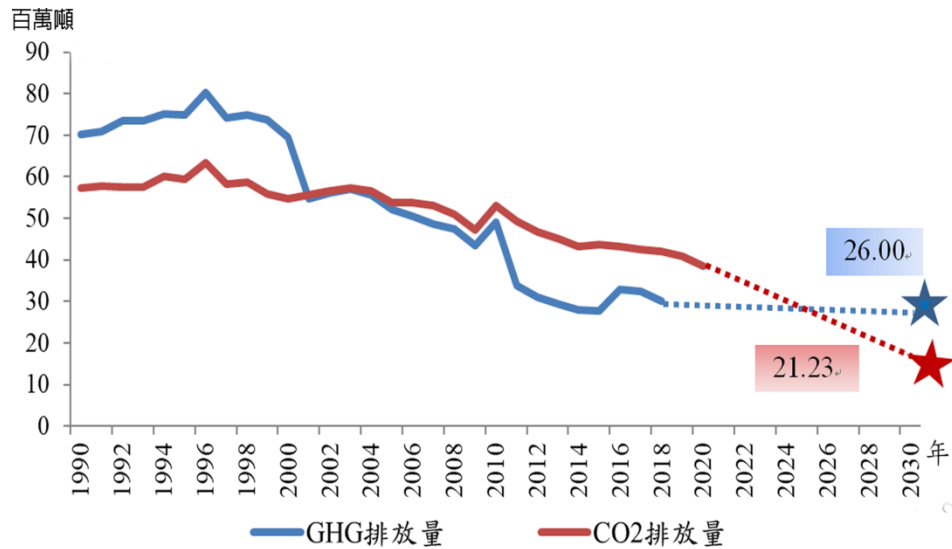
b.截至本文撰稿、目前各國最新的 GHG 排放量為 2018 年，列出最新年是供檢視各國研擬要達成的 2030 年第一個減量目標年時的排放量與目前最新排放量對比，依此評斷，各國達成預設減量目標的可能性。其中南韓的基準年與即是 GHG 排放量的最新 2018 年。

排放量幾近相同，這是由過去的 CO₂ 排放幾乎均比 GHG 排放為高的情況轉變為 GHG 排放高於 CO₂ 排放的分界年，2013 年後基本上是 GHG 排放高於 CO₂ 排放，因此，日本的淨零目標如選擇以 GHG 為減量標的，則時間將會拖得比較長。另一個特殊的國家是紐西蘭，因其畜牧業比重高，其淨零達成至 2050 年的 GHG 尚有 2017 年的 24%-47%，這些主要是來自牛羊所排放的甲烷（Darby & Gerretsen, 2019），由此可見，紐西蘭達淨零碳時、需以其他方式去除的非 CO₂ 之 GHG 排放量，又或者是在達淨零的減碳路徑中，這些主要來自畜牧業的非 CO₂ 之 GHG 排放量，可視為紐西蘭達的淨零的碳預算。因此，各國是以全部的 GHG 或是一如 IPCC 建議僅選擇 CO₂ 為減量標的，端視各國 GHG 與 CO₂ 的差異，由附表 4 淨零已入法的 14 國 / 區域之各國 CO₂ 佔總 GHG 比例，即可知二者的差異，及各國選擇使用不同減量標的之考量。



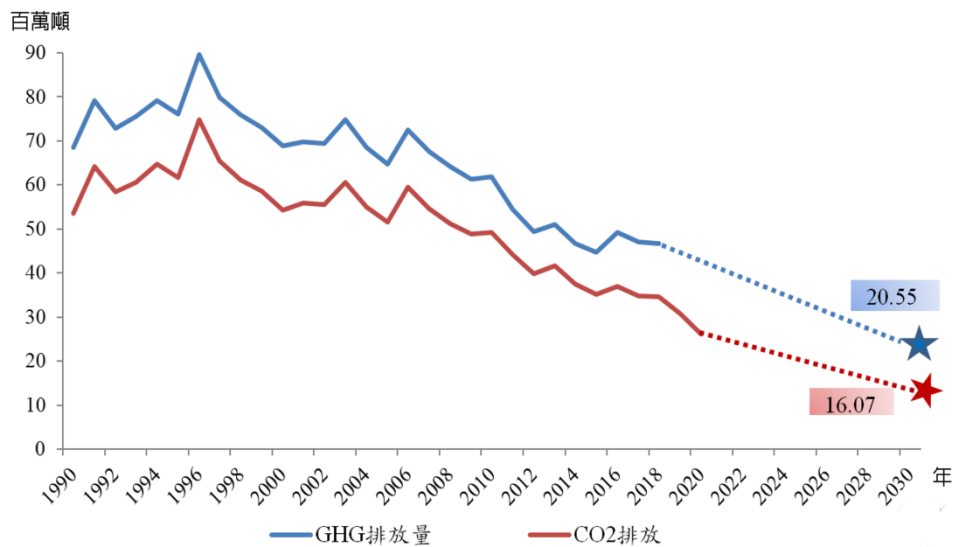
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 1：EU-27 及其中 8 國自 1990 年至 2018 年 GHG 排放量變動趨勢與對照



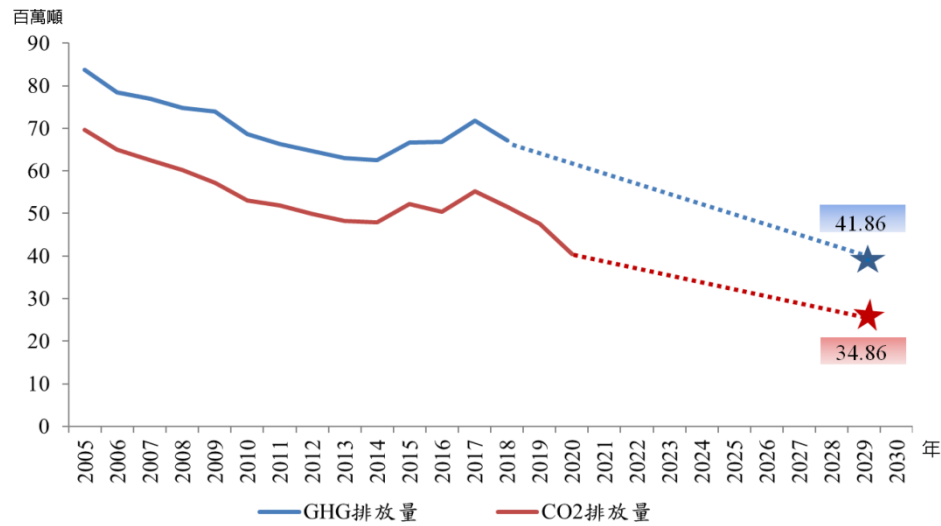
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 2：瑞典自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



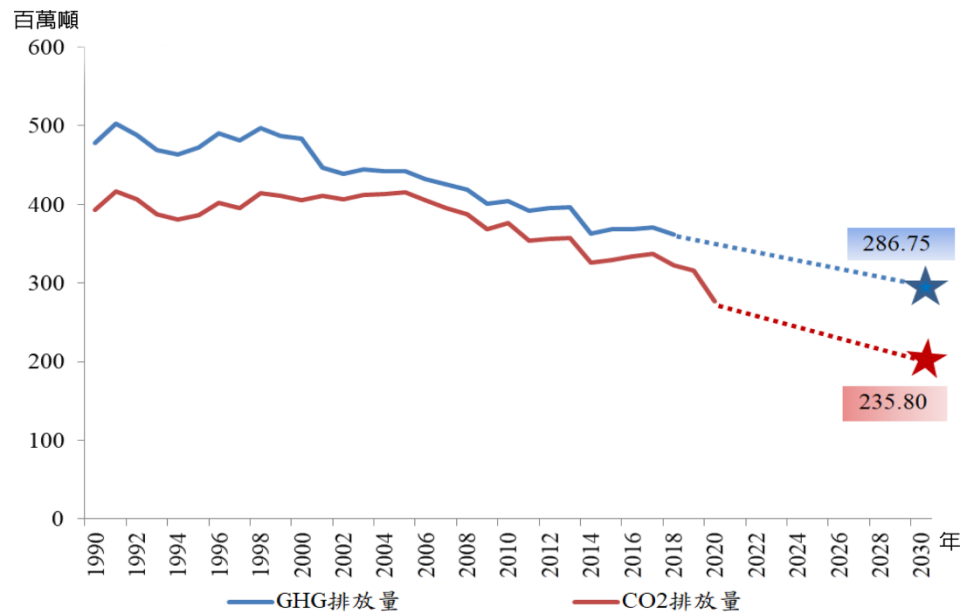
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 3：丹麥自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



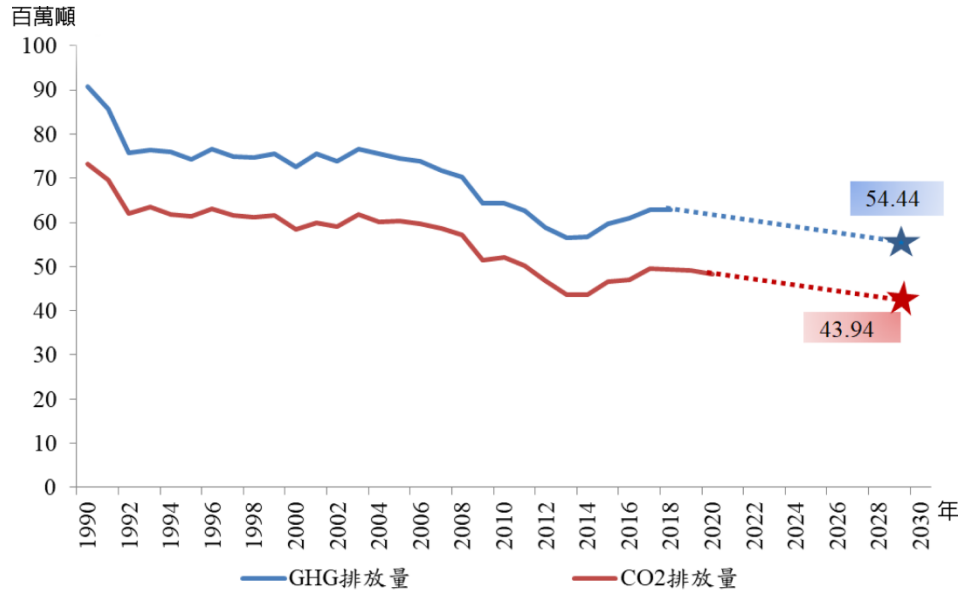
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 4：葡萄牙自 2005 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



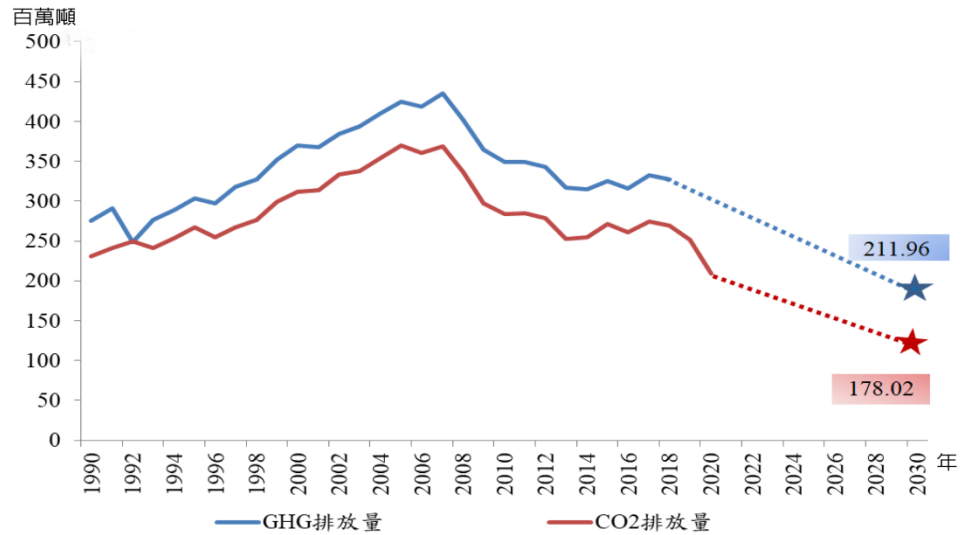
資料來源：本文整理計算並繪製自 Ritchie 等人（2020）。

圖 5：法國自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



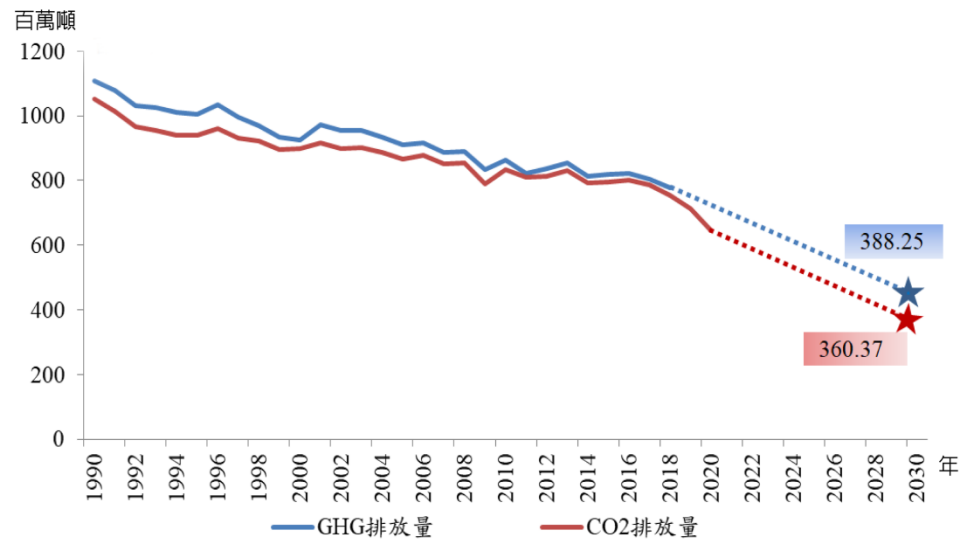
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 6：匈牙利自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



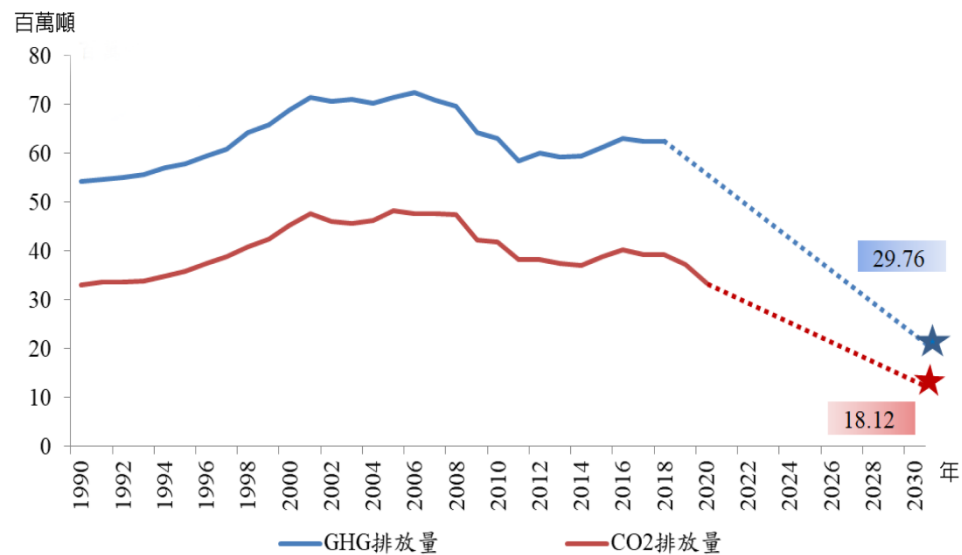
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 7：西班牙自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



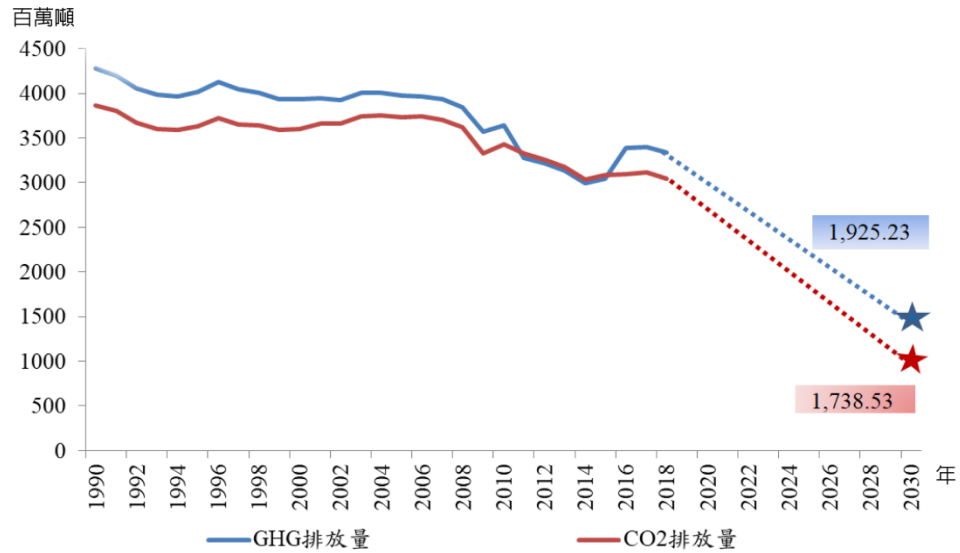
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 8：德國自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



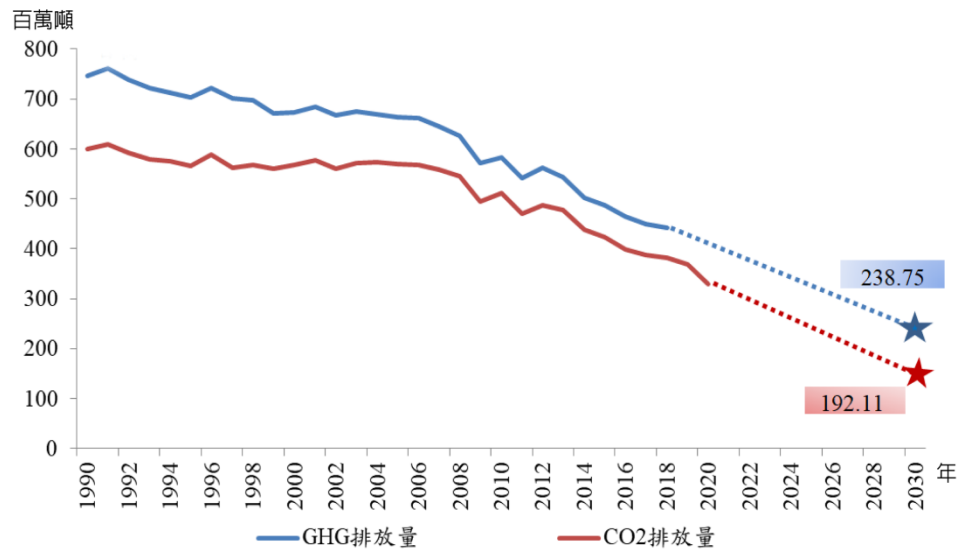
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 9：愛爾蘭自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



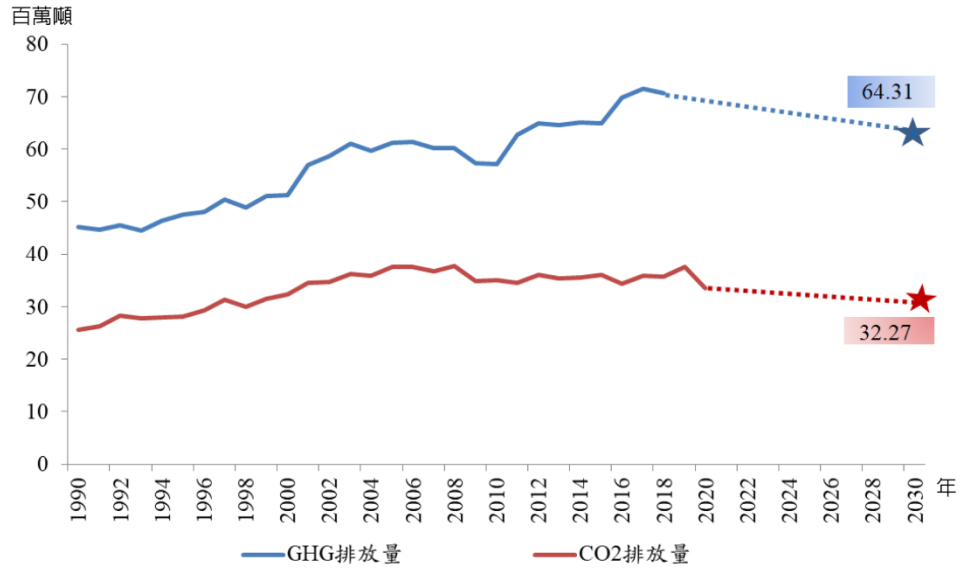
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人 (2020) 並繪製。

圖 10：歐盟自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



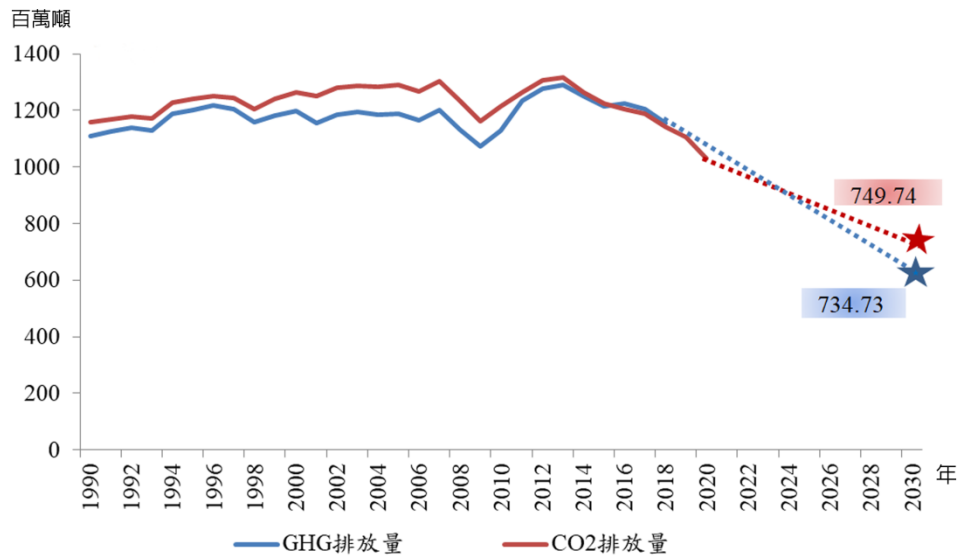
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人 (2020) 並繪製。

圖 11：英國自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



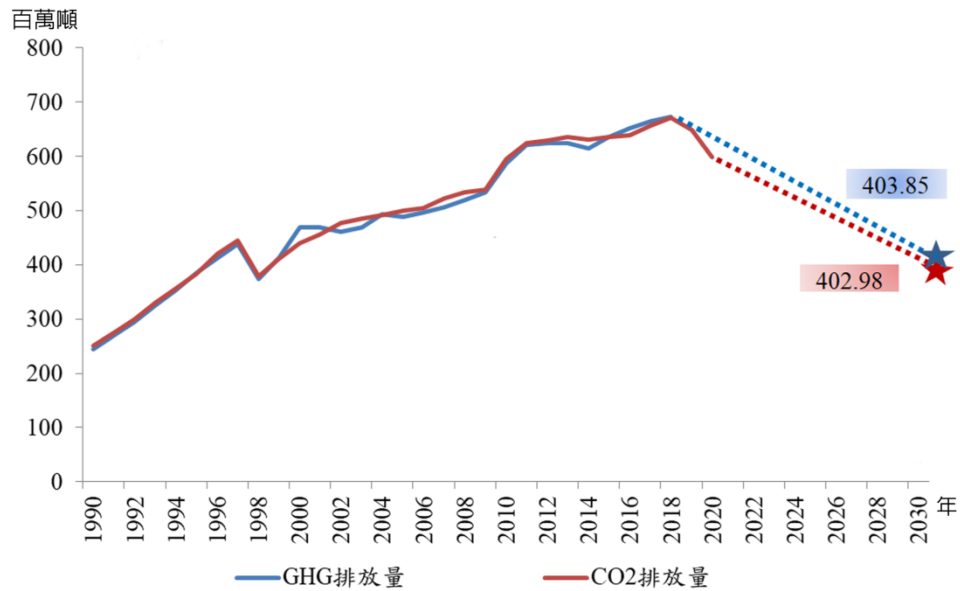
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 12：紐西蘭自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



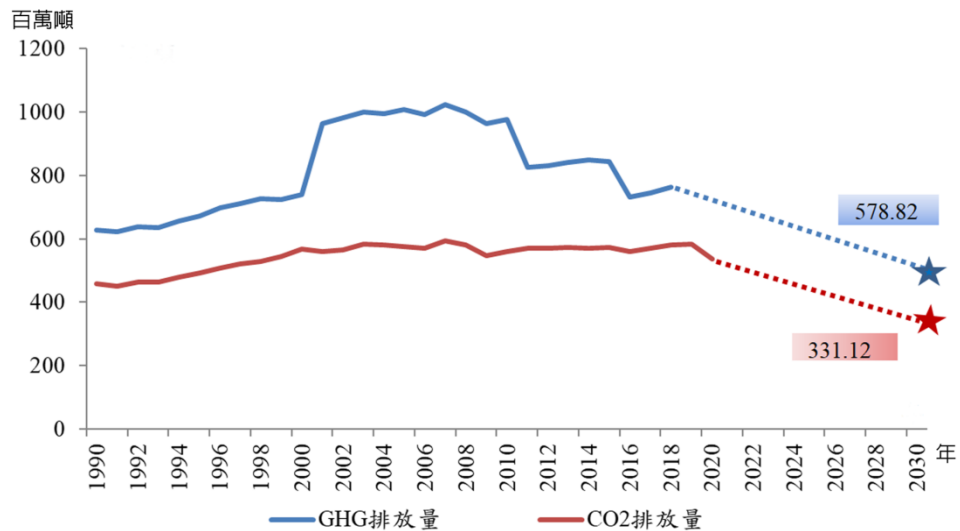
資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 13：日本自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 14：韓國自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢



資料來源：本文整理計算自 Ritchie 等人（2020）並繪製。

圖 15：加拿大自 1990 年至淨零年 GHG 或 CO₂ 達 2030 年第一減量階段的變動趨勢

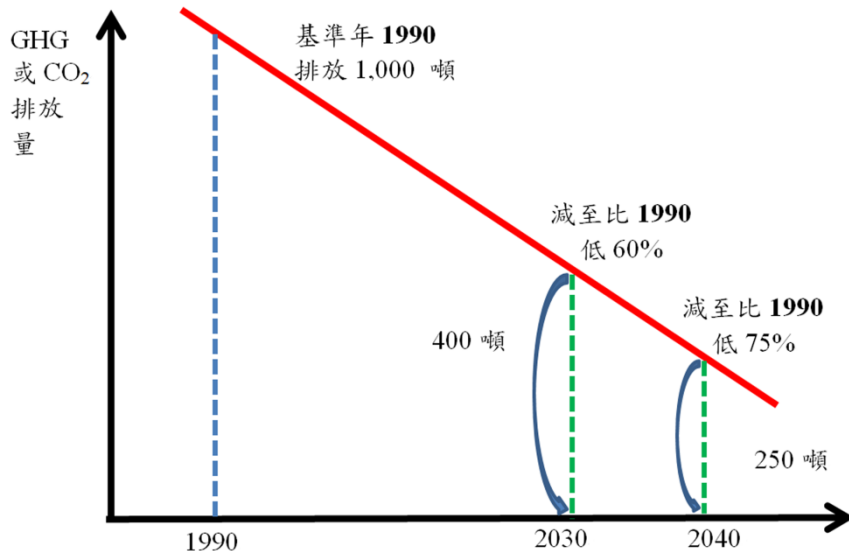
四、選擇越近當前基準年表示減量野心越大

目前淨零已入法的國家的基準排放年的選擇一如前述，然一般會認為基準排放年應選擇越近期年份表示減量的野心越大，這是錯誤的認知，需視國家 GHG 或 CO₂ 由基準年至今排放量的趨勢而定，所謂減量野心越大亦即只要挑選離當前越近的年份，在相同的減量目標之設定下，將有較大的排放減量。以下將分別以圖 16-1 及圖 16-2 與圖 17-1 及圖 17-2 做對比，說明是選擇 1990 年或 2005 年做為未來減量之基準排放年，這個國家將可以比較快速達到淨零。圖 16 是一個國家由基準年至今，乃至未來的減量目標年，比如 2030 年或是 2040 年，GHG 或 CO₂ 的排放是逐漸下降，如果選 1990 為基準年、若該年的排放量 1,000 噸，而第一階段減量目標年 2030 擬將排放量減為比基準年低 60%，依此表示至 2030 年排放量需減少 600 噸、亦即僅能排放 400 噸，而第二階段目標年為 2040 年，該年擬減至比基準年低 75%，亦即需減少 750 噸、如此僅能排放 250 噸；就這 GHG 或 CO₂ 排放量是逐年減少的國家，如果將基準排放年訂於 2005 年，如該年排放量為 800 噸，則對應於前述 2030 年及 2040 年分別達第一、二階段相同減量百分比目標，此時，至 2030 年則減 480 噸、因此尚能排放 320 噸；而至 2040 年則減 600 噸、僅能排放 200 噸，如果該國終極目標亦是淨零，由此可見，選擇 1990 年為基準排放年至 2030 年第一階段即已減少 600 噸、反之，以 2005 年至 2030 年方減少 480 噸，另一 2040 目標年亦同，均是選擇 1990 年為基準排放年有比較大的減量，如此，選擇離目前久遠的年份的排放量為基準年，將可以比較快速到淨零。

而圖 17-1 及圖 17-2 則是另一類型的國家，此類型國家的排放量基本上還在持續上升中，如果選擇 1990 年及 2005 年基準排放年，而兩個年份的排放量假設分別為 200 噸及 600 噸，同樣在 2030 年及 2040 年分別要減少比基準年低 60% 及 75%，依此可知，選擇以 1990 年為基準年，至 2030 年及 2040 年則分別要減少 120 噸及 150 噸，反之，選擇 2005 年，則相同的目標年分別要減少 360 噸及 450 噸，在相同的減量目標設定下，選擇離目前較近的 2005 年，確實有比較大的減量，如此似乎隱含要達淨零確實比較

有可能，然問題是，這類型國家既然 GHG 或 CO₂ 仍持續在攀升階段，因此，所設定的減量目標與實際排放量的差距事實上是越來越大，因此，要由實際的排放量減為目標量對這類型國家是相對困難的，因此，即便選擇 2005 年而呈現出較高的減碳野心，但對這類型國家而言、如此目標的設定或許是宣示的意涵大於實質可做到的減量。

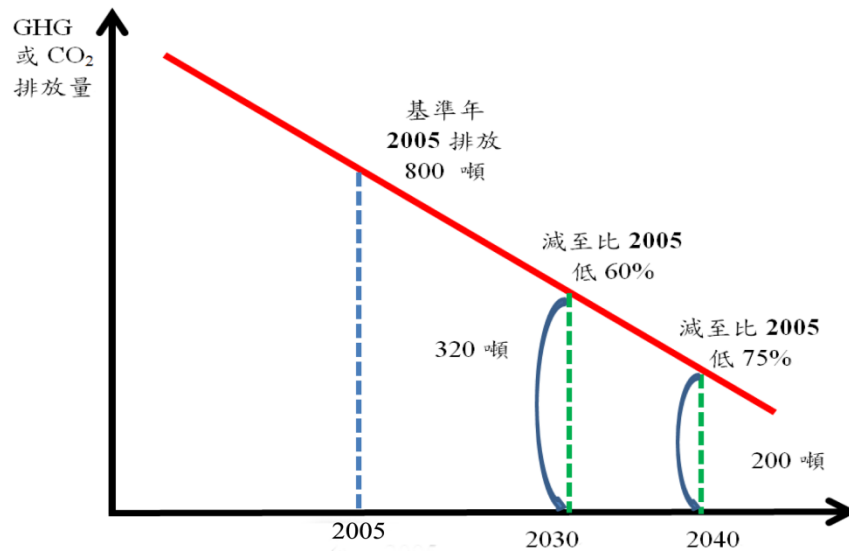
由此結果再回顧前述淨零已入法的 14 個國家 / 區域，可以看出 8 個歐盟國家、歐盟整體及英國基本上都是屬於 GHG 或 CO₂ 排放，由所選的基準年、不論是 1990 年（或葡萄牙的 2005 年）起已是一路漸減的類型，也就是上述圖 16 類型國家，至於其他非歐洲國家，因自 1990 年起某些階段 GHG 或 CO₂ 在上升、而某些階段下降，表示 GHG 或 CO₂ 尚未穩定達到頂峰，也因此，紐西蘭、日本及韓國選擇的基準排放年既非 1990 年亦非 2005 年，然由圖 12 至 圖 14 可看出每個國家所選的年份盡量貼近且確定該年份是 GHG 或 CO₂ 最大排放量，因而選擇該年為基準排放年，如此方可以確定，國家的 GHG 或 CO₂ 已越過頂峰，因此，邁向淨零以此所設定的減量目標不僅是宣示而以，而是隨著 GHG 或 CO₂ 漸減的趨勢、是確實可達到的目標。



資料來源：本文。

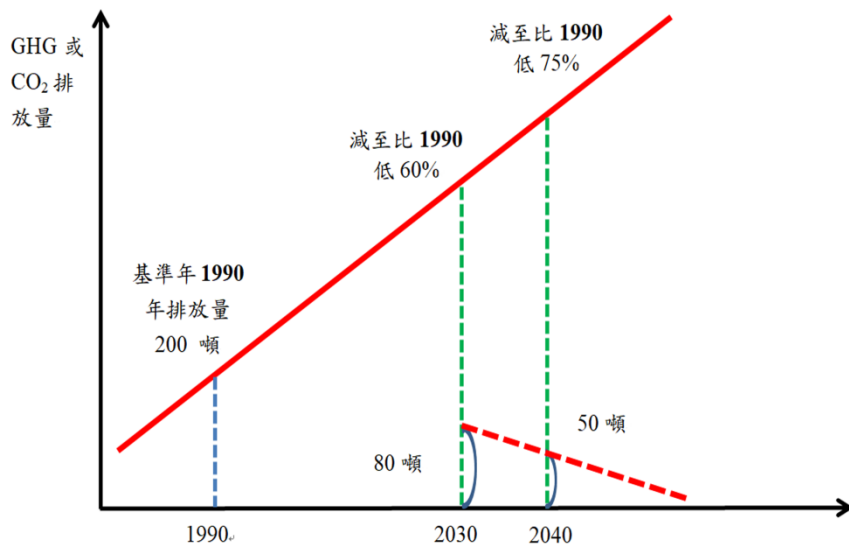
圖 16-1：排放量漸減的國家將減量目標設於基準年較遠年度的減量

由此可知，選擇一適當的基準排放年、是做為階段性減量可達成努力目標的指引，並非僅供陳列宣示用。



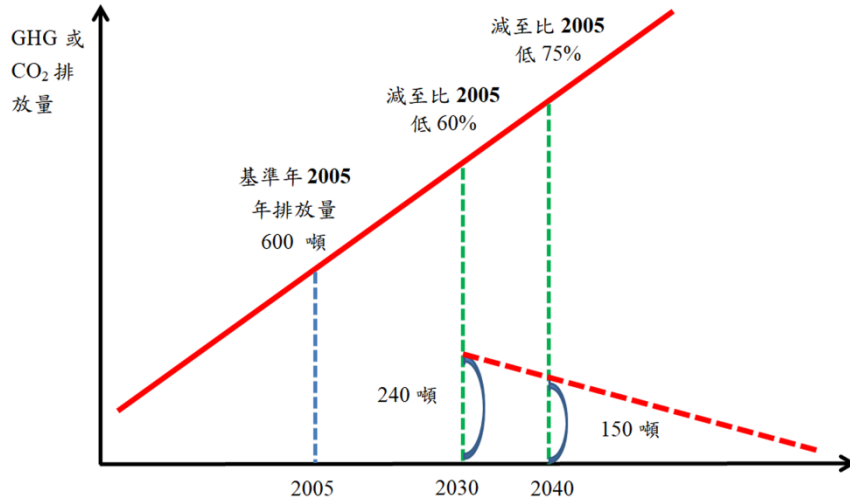
資料來源：本文。

圖 16-2：排放量漸減的國家將減量目標設於基準年較近年度的減量



資料來源：本文。

圖 17-1：排放量漸增的國家將減量目標設於基準年較遠年度的減量



資料來源：本文。

圖 17-2：排放量漸增的國家將減量目標設於基準年較近年度的減量

參、台灣可能淨零減量路徑設計

一、四種淨零減碳情境

以下則以前述全球各國至 2030 年均一減量 45%、而至 2050 年達淨零，或者是在公平原則下、全球每人可有相同的排放量，因此，碳預算是依各國人口佔全世界人口比例分，規劃台灣逐步邁向淨零時，各年度排放量相對於基準年之排放減量，依此規劃各中程階段性排放量佔基準年的減量百分比。而全球各國至 2030 年要均一減 45% 的情境、亦同樣可讓每人有相同的碳預算；台灣佔世界人口在最新 2020 年的統計資料為 0.31%，由前述表 1 中、IPCC 推估由 2020 年至 2050 年達淨零，全球溫度在各種機率下上升不超過特定溫度下的全球總碳預算，以下各情境均選擇 50% 機率使溫度上升不超過 1.5°C、1.7°C 及 2.0°C 之下，台灣可分得全球 5,000 億噸、850 億噸或 13,500 億噸中的 0.31%，依此，台灣分別可分得 15.5 億噸、26.35 億噸及 41.85 億噸之碳預算，這些量是至 2050 年台灣可排放而不會使溫度上升超過 1.5°C、1.7°C 或是 2.0°C 的權限。這些數量的碳預算可作為邁向淨零減

量路徑之規劃，或者是達淨零後，台灣如何運用所擁有的碳預算處理屆時尚有的累積排放量之用。

由各種減量情境可得知各年或是階段性時間點，在邁向淨零路上，台灣每年應比基準年減少的百分比及該百分比對應的排放量，而由逐年所減少的百分比，依此則可知至 2030 年、2040 年乃至淨零年時所減少的百分比，而此一階段性減量百分比則是台灣可以列為階段之減量目標。以下所有情境是假設由 2023 年開始所有減量工作，因此至 2050 年全球淨零最長共有 28 年，此外，各情境均假設台灣每人與全世界任何人相同，可分得相同的碳預算，為了享有 IPCC 在三種溫度下所推估的碳預算量，以下各情境也必須接受排放量由 2020 年開始，如此乃表示，台灣在 2023 年開始減量前即已累積了 2020 年至 2022 年、三年沒有任何減量所累積的排放量，又同樣選擇以 IPCC 推估碳預算所用的 CO₂ 為減量標的，而台灣 2020 年 CO₂ 排放量為 2.73 億噸，2020 年為台灣目前 CO₂ 登錄的最新資料，因此，假設最好、也可能是最壞的情況，2021 年及 2022 年兩年所排放的 CO₂ 最兩與 2020 年一樣，依此，在 2023 年開始減量前台灣由 2020 年至 2022 年每年各排放 2.73 億噸，因此，尚未依各情境的減量路徑前、即已累積了 8.19 億噸。

然後續各情境每年減量的路徑設計先處理以 2005 年為基準年的 2.66 億噸排放量，8.19 億噸的累積量可與各年減量後逐年累積的所有排放量一併處理。因此，後續先分析達淨零的各種減量情境下的結果，而每種減量情境下，每年各有不同的累積量，因此各年減量後的所有累積量與 2023 年開始減量前即已累積的 8.19 億噸，亦設計四種不同方式處理各年所累積的總排放量，而溫度上升不超過 IPCC 最新推估的 1.5°C、1.7°C 或 2.0°C 一併分析，考量不同溫度並不影響四種淨零減量路徑下各年的減量，三種不同溫度影響所及是台灣可分得的碳預算量，這些碳預算量除了可抵減逐年未完全減碳而累積下來的排放量之外，亦可以得知在不同溫度上升之水準下，台灣需處理的最大及最小碳累積量所需的相關政策與技術。

減量情境一：在均一減量原則下，全球各國至 2030 年階段性各國一律減固定的 45%、而至 2050 年達淨零

此一情境結合全球平均每人可分到相同碳預算，同時由 2023 年至 2030 年每個國家一致減 45% 的原則下，在 2005 年之基準年，台灣全部的 CO₂ 排放量為 2.66 億噸，如 CO₂ 排放量至 2030 年需減至比 2.66 億噸低 45%，表示至 2030 年 CO₂ 排放量需減少 $1.197 (=2.66 \times 0.45)$ 億噸，如此表示 2023 年至 2030 年的 8 年間、每年平均減 0.150 $(=1.197/8)$ 億噸，而為達 2050 年淨零之要求，則至 2050 年之年排放需為零，因此，需將 1.463 $(=2.66-1.197)$ 億噸去除，依此，2031-2050 平均每年需減 0.073 $(=1.463/20)$ 億噸。

減量情境二：在公平原則下全世界每人有相同的排放量，依此每人可分得相同的碳預算，各年排放量在 28 年間以相同比例降低

以 2005 年為基準年，當年 CO₂ 年排放為 2.66 億噸，如 2.66 億噸每年平均減相同之比例，即每年均減 2.66 億噸的 3.57%，則表示每年均減 0.095 $(=2.66 \times 0.0357)$ 億噸。

減量情境三：在公平原則下全世界每人有相同的排放量，因此每人可分得相同的碳預算，各年排放量分成 2023 年至 2030 年、2031 年至 2040 年及 2041 年至 2050 年三個階段減少，每階段之減量比例以逐步增加方式進行；亦即 2023 年至 2030 年的第一階段，減基準年的三分之一、即 17%，2031 年至 2040 年的第二階段，累積減至基準年的三分之二，即 51%，而至淨零前的 2041 年至 2050 年第三階段，則減基準年的 49%，表示每一個階段比基準年減少的比例分別是 17%、34% 及 49%。此種情境的設計是給予起步階段相對少的負擔，因第一階段的 8 年中，平均每年僅比基準年少排放 2.125%，而第二階段需比基準年減 34%，表示 2031 年至 2040 年每年需減量 3.4%，而最後淨零前的 2041 年至 2050 年，共需減 49%，表示每年需減 4.9%。

以 2005 年為基準年、當年 CO₂ 年排放量為 2.66 億噸，而減量在 2023 年至 2050 年之 28 年間分三個階段減少，第一階段為 2023 年至 2030 年各

年均減 2.66 億噸的 17%，因此，8 年平均每年減 0.057 ($=2.66 \times 0.17/8$) 億噸；2031 年至 2040 年各年均減 2.66 億噸的 34%，10 年平均每年減 0.090 ($=2.66 \times 0.34/10$) 億噸；2041 年至 2050 年每年均減 2.66 億噸的 49%，10 年平均每年減 0.1303 ($=2.66 \times 0.49/10$) 億噸。

減量情境四：在公平原則下全世界每人有相同的排放量，考慮每年台灣主要來自森林之碳匯，又每人同樣可分得相同的碳預算，而 2023 年至 2045 年各年排放量在 23 年間（擬提早於 2045 年達淨零）以相同比例降低，至 2045 年達淨零，如果全球淨零目標年是 2050 年，由 2046 年至 2050 年尚有 5 年可以於 2045 年達淨零得以及早規劃碳預算之運用與碳累積之處理。

以 2005 為基準年、當年 CO₂ 年排放 2.66 億噸，而減量在 2023-2045 之 23 年間，每年平均減 2.66 億噸的 4.35%，表示每年減約 0.116 ($=2.66 \times 0.0435$) 億噸。

二、各種淨零減量路徑下歷年排放量、累積排放量及減量百分比目標之設定

在前述各情境之設計與說明下，表 4 列出各情境減量後的歷年排放量、歷年減碳後的累積排放量、對各年的減量百分比，由中可以特別觀察在特定的時間點，比如 2025 年、2030 年至淨零年每五年一階段的減碳百分比，這些累積百分比或可做為國家各路徑達淨零可擬定的減量目標，對應的百分比是在設計減碳路徑時即已確定，對應的減碳目標是否可行，則需考量是否有相關政策或技術可以達成各情境下每年確切需減少的量，而各情境由 2023 年至各情境的淨零年減量趨勢的變動如圖 18 所示，由圖中可更清楚看出不同情境歷年減量的差異。而歷年累積減量百分比如圖 19 所示，而歷年累積百分比數值是取自表 4 中粗黑體的百分比，特別將這些百分比條列於表 5 中，表中的百分比是各階段減至比 2005 年基準年低的百分比，其中的 2030 年或是往後每五年一階段的減量百分比，可選擇做為台灣達淨零的不同減量路徑，由相關累積百分比亦可以圖 20-1 至圖 20-4 顯示，每五年一個階段增加的減量百分比。

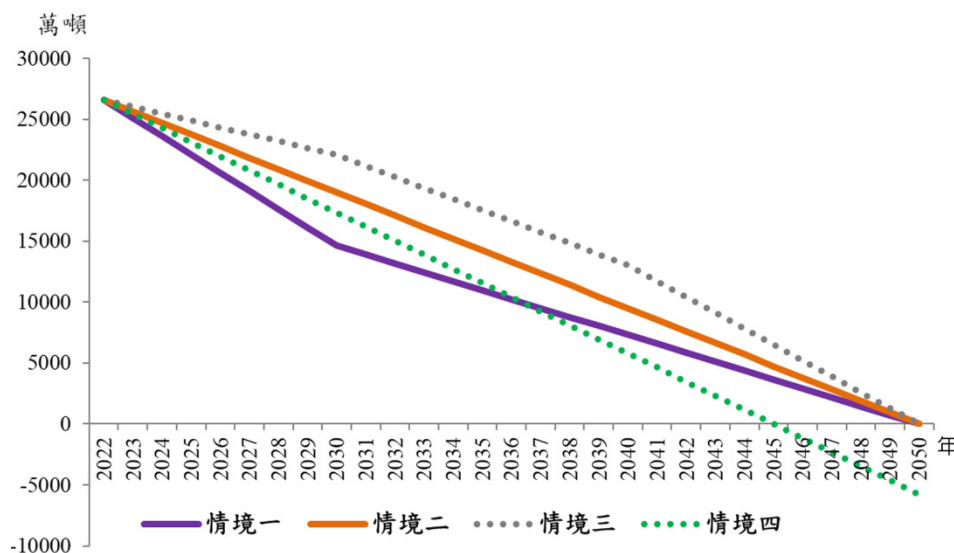
表 4：台灣在不同淨零減量情境下之階段性碳減量百分比

年	均一減量 原則： 各國階段 性需統一 減基準年	情境一		公平原 則： 每人有相 同排放 量、亦即 每人可分 得相同碳 預算		情境二		情境三		情境四				
		2030 各國統一 減基準年之 45%、 2050 一律減基準年 100%		則： 每人有相 同排放 量、亦即 每人可分 得相同碳 預算		每年減基準年的 3.57% 至 2030 減基準年的 17%、 至 2040 減基準年的 51%、 至 2050 減基準年的 100%		減基準年的 17%、 減基準年的 51%、 減基準年的 100%		考慮碳匯對歷年 排放減量之貢獻、 每年減基準年的 4.35%				
		歷年 碳減量	減量後 每年排 放量	各階段減 量佔基準 年排放 (%)	歷年 碳減量	減量後 每年排 放量	各階段減 量佔基準 年排放 (%)	歷年 碳減量	減量後 每年排 放量	各階段減 量佔基準 年排放 (%)	歷年 碳減量	減量後 每年排 放量	各階段減 量佔基準 年排放 (%)	
2020	2.73	2.730	-----	2.73	2.73	-----	2.73	2.730	-----	2.73	-----	-----		
2021	5.46	5.460	-----	5.46	5.46	-----	5.46	5.460	-----	5.46	-----	-----		
2022	8.19	8.190	-----	8.19	8.19	-----	8.19	8.190	-----	8.19	-----	-----		
2023	2.66	0.150	2.510	5.625	2.66	0.095	2.565	3.571	0.057	2.603	2.125	0.116	2.544	4.348
2024	2.66	0.150	2.361	11.250	2.66	0.095	2.470	7.143	0.057	2.547	4.250	0.116	2.429	8.696
2025	2.66	0.150	2.211	16.875	2.66	0.095	2.375	10.714	0.057	2.490	6.375	0.116	2.313	13.043
2026	2.66	0.150	2.062	22.500	2.66	0.095	2.280	14.286	0.057	2.434	8.500	0.116	2.197	17.391
2027	2.66	0.150	1.912	28.125	2.66	0.095	2.185	17.857	0.057	2.377	10.625	0.116	2.082	21.739
2028	2.66	0.150	1.762	33.750	2.66	0.095	2.090	21.429	0.057	2.321	12.750	0.116	1.966	26.087
2029	2.66	0.150	1.613	39.375	2.66	0.095	1.995	25.000	0.057	2.264	14.875	0.116	1.850	30.435
2030	2.66	0.150	1.463	45.000	2.66	0.095	1.900	28.571	0.057	2.208	17.000	0.116	1.735	34.783
2031	2.66	0.073	1.390	47.750	2.66	0.095	1.805	32.143	0.090	2.117	20.400	0.116	1.619	39.130
2032	2.66	0.073	1.317	50.500	2.66	0.095	1.710	35.714	0.090	2.027	23.800	0.116	1.503	43.478
2033	2.66	0.073	1.244	53.250	2.66	0.095	1.615	39.286	0.090	1.936	27.200	0.116	1.388	47.826
2034	2.66	0.073	1.170	56.000	2.66	0.095	1.520	42.857	0.090	1.846	30.600	0.116	1.272	52.174

年	均一減量 原則： 各國階段 性需統一 減基準年 的一固定 百分比	情境一 2030 各國統一 減基準年之 45%、 2050 一律減基準年 100%		公平原 則： 每人有相 同排放 量、亦即 每人可分 得相同碳 預算		情境二 每年減基準年的 3.57%		情境三 至 2030 減基準年的 17%、 至 2040 減基準年的 51%、 至 2050 減基準年的 100%		情境四 考慮碳匯對歷年 排放減量之貢獻、 每年減基準年的 4.35%				
		歷年 碳減量	減量後 每年排 放量	各階段減 量佔基準 年排放 (%)	歷年 碳減量	減量後 每年排 放量	各階段減 量佔基準 年排放 (%)	歷年 碳減量	減量後 每年排 放量	各階段減 量佔基準 年排放 (%)	歷年 碳減量	減量後 每年排 放量	各階段減 量佔基準 年排放 (%)	
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
2035	2.66	0.073	1.097	58.750	2.66	0.095	1.425	46.429	0.090	1.756	34.000	0.116	1.157	56.522
2036	2.66	0.073	1.024	61.500	2.66	0.095	1.330	50.000	0.090	1.665	37.400	0.116	1.041	60.870
2037	2.66	0.073	0.951	64.250	2.66	0.095	1.235	53.571	0.090	1.575	40.800	0.116	0.925	65.217
2038	2.66	0.073	0.878	67.000	2.66	0.095	1.140	57.143	0.090	1.484	44.200	0.116	0.810	69.565
2039	2.66	0.073	0.805	69.750	2.66	0.095	1.045	60.714	0.090	1.394	47.600	0.116	0.694	73.913
2040	2.66	0.073	0.732	72.500	2.66	0.095	0.950	64.286	0.090	1.303	51.000	0.116	0.578	78.261
2041	2.66	0.073	0.658	75.250	2.66	0.095	0.855	67.857	0.130	1.173	55.900	0.116	0.463	82.609
2042	2.66	0.073	0.585	78.000	2.66	0.095	0.760	71.429	0.130	1.043	60.800	0.116	0.347	86.957
2043	2.66	0.073	0.512	80.750	2.66	0.095	0.665	75.000	0.130	0.912	65.700	0.116	0.231	91.304
2044	2.66	0.073	0.439	83.500	2.66	0.095	0.570	78.571	0.130	0.782	70.600	0.116	0.116	95.652
2045	2.66	0.073	0.366	86.250	2.66	0.095	0.475	82.143	0.130	0.652	75.500	0.116	0.000	100.000
2046	2.66	0.073	0.293	89.000	2.66	0.095	0.380	85.714	0.130	0.521	80.400	0.116	-0.116	104.348
2047	2.66	0.073	0.219	91.750	2.66	0.095	0.285	89.286	0.130	0.391	85.300	0.116	-0.231	108.696
2048	2.66	0.073	0.146	94.500	2.66	0.095	0.190	92.857	0.130	0.261	90.200	0.116	-0.347	113.043
2049	2.66	0.073	0.073	97.250	2.66	0.095	0.095	96.429	0.130	0.130	95.100	0.116	-0.463	117.391
2050	2.66	0.073	0.000	100.000	2.66	0.095	0.000	100.000	0.130	0.000	100.000	0.116	-0.578	121.739

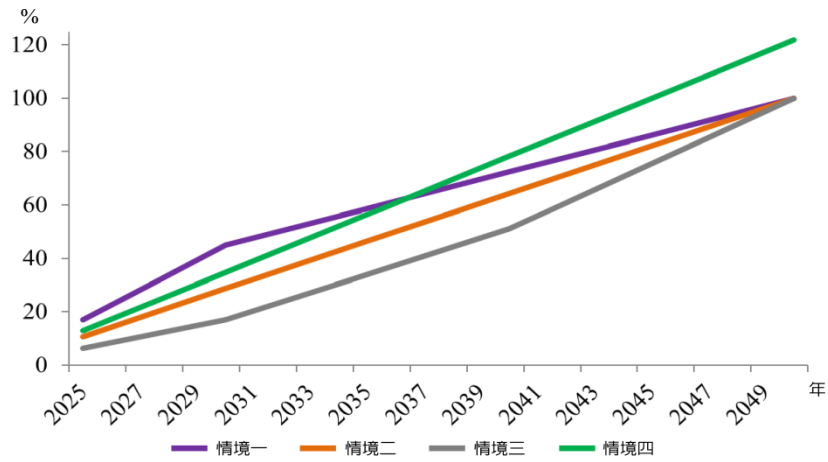
資料來源：本文計算。

各情境達相同目標年、減至比基準年低的百分比，各情境間減量的大小依序為情境一、接續為情境四、進而為情境二、最小為情境三；然如果延長至 2030 年之後更遠的時間點，各情境減量的大小，則未必維持此一順序，由表 5 可知、至 2040 年情境四則為減量最多的情境，因情境四至 2045 年即達淨零。由此可看出，前面的年份減量少、則後面年份減量就需更多，否則如由 2023 年開始減量、一路都是減量最少，可以預期的、至淨零年後勢必累積相對多的碳排放累積總量，情境二與情境三由 2023 年至淨零年，基本上是兩個減量相對少的情境，台灣在選擇減量情境時，除了考量各情境在減量年所（可）減的排放量之多寡外，尚須考量不同情境所留下的累積量。因此，「先苦後甘」或「先甘後苦」減量情境的選擇，要同步考量國家各種去碳技術研發的進度。各情境下排放累積總量的比較，納入碳預算概念可能分攤於各年碳累積量之規劃於第肆節討論。



資料來源：本文計算繪製。

圖 18：各淨零減量情境下台灣由 2023 年至淨零年減量後歷年排放量



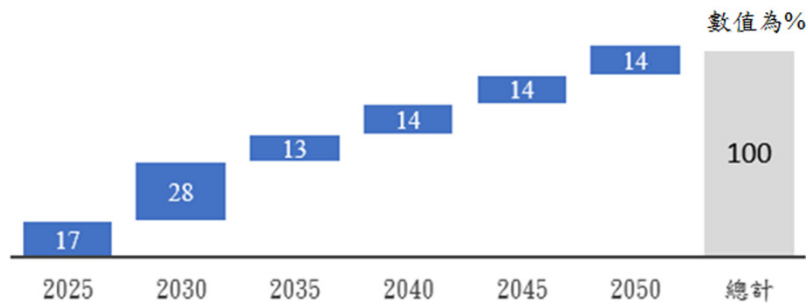
資料來源：本文計算繪製。

圖 19：台灣各淨零減量情境下由 2025 年至 2050 年每五年一階段之減量累積百分比

表 5：不同情境下各階段減碳低於 2005 年基準年百分比之可能目標設定

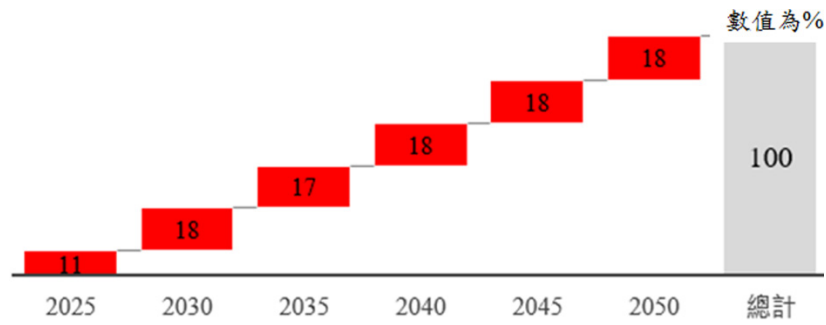
年	情境一	情境二	情境三	情境四
2025	17%	11%	6%	13%
2030	45%	29%	17%	35%
2035	58%	46%	34%	56%
2040	72%	64%	51%	78%
2045	86%	82%	76%	100%
2050	100%	100%	100%	122%

資料來源：本文計算。



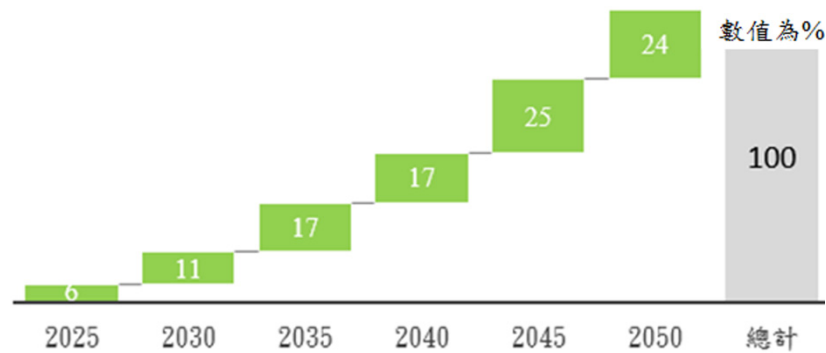
資料來源：本文計算繪製。

圖 20-1：台灣淨零減量情境一由 2025 年至 2050 年每五年一階段之減量百分比



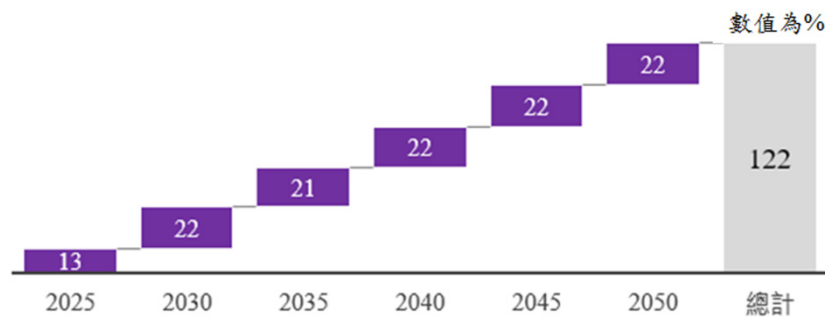
資料來源：本文計算繪製。

圖 20-2：台灣淨零減量情境二由 2025 年至 2050 年每五年一階段之減量百分比



資料來源：本文計算繪製。

圖 20-3：台灣淨零減量情境三由 2025 年至 2050 年每五年一階段之減量百分比



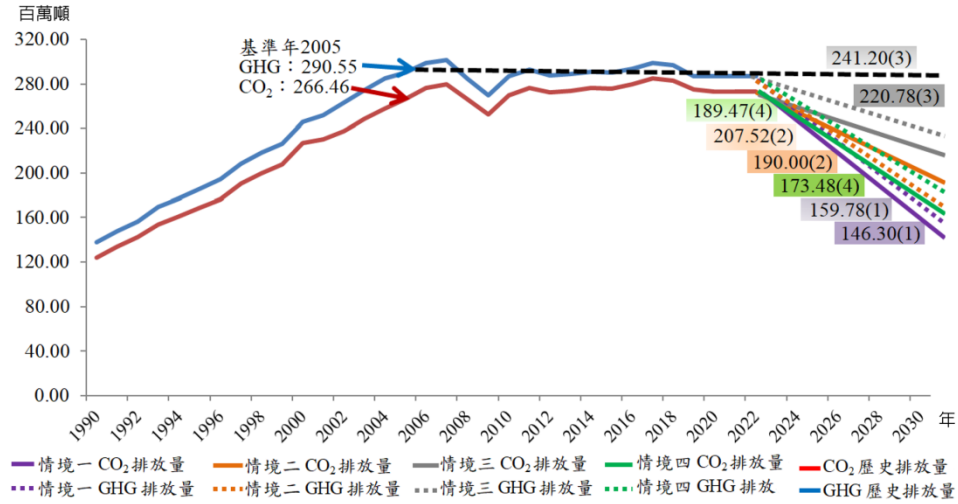
資料來源：本文計算繪製。

圖 20-4：台灣淨零減量情境四由 2025 年至 2050 年每五年一階段之減量百分比

三、台灣由 1990 年至減量前之歷史排放量至各情境減量之 CO₂ 與 GHG 排放趨勢

前述觀察過淨零已入法的 14 個國家，達 2030 年第一個中程目標、各國以 GHG 或是以 CO₂ 為減量標的的差異，且由各國 GHG 與 CO₂ 的歷史趨勢至 2030 年達減量目標的可能性。而本文設定四種台灣至淨零的減量目標期中，至 2030 年分別較減至比基準年 2005 年低不同的百分比，各情境的計算標是 CO₂，假設 GHG 至 2030 年與 CO₂ 有相同的減量百分比，圖 21 將台灣 GHG 及 CO₂ 歷史排放量及各情境估算至 2030 年排放量的比較，台灣 GHG 及 CO₂ 的最新歷史資料分別為 2019 年及 2020 年，本文假設至 2023 年開始減量前 GHG 在 2020 年至 2022 年與 2019 年相同、而 CO₂ 在 2021 年至 2022 年相同；由歷史資料可看出，台灣的 GHG 及 CO₂ 在 2008 年全球金融海嘯有些微下降外，此後則又上升，而整體由 1990 年至 2019 年或 2020 年最新資料年，不論是 GHG 或是 CO₂ 基本上是持續增加，GHG 排放至 2017 年的排放尚且高達 3 億噸，而 CO₂ 排放平均為 GHG 的 97%，因此二者的變動趨勢是一樣，圖 21 中 GHG 及 CO₂ 的排放趨勢、而歷史資料詳如附表 2 及附表 3 台灣一欄中可知，自 2010 年至今，GHG 與 CO₂ 基本上仍是上升的趨勢，或至少沒有呈現出已越過頂峰、已朝逐步遞減的方向變動，而在 2023 年前的 3 年或 4 年呈現相同水準是央為尚無資料本文假設與最後（新）一年資料一樣所致。

如果台灣 CO₂ 或 GHG 仍在上升的階段，亦即屬於前述圖 17 類型的國家，將基準年訂在離現在越近的年份，當然可以表現出越大的野心，然問題是、GHG 或 CO₂ 仍在增加，要降至比基準排放年更大的減量，對台灣的壓力勢必更大。此外，圖 21 亦顯示，各情境至 2030 年的減量目標，減量最大的是情境一，也就是 IPCC 設定全世界各國至 2030 年均一都要減基準年的 45%，其次為情境四、情境二，減量最少的為情境一。如果每種情境均觀察到淨零年的減量，則由歷史排放量至各情境的淨零排放趨勢如圖 22 所示，此圖僅呈現情境計算減量所用的 CO₂ 標的。至 2030 年各情境減量的大小排序，至 2040 年情境一及情境四的減量大小則

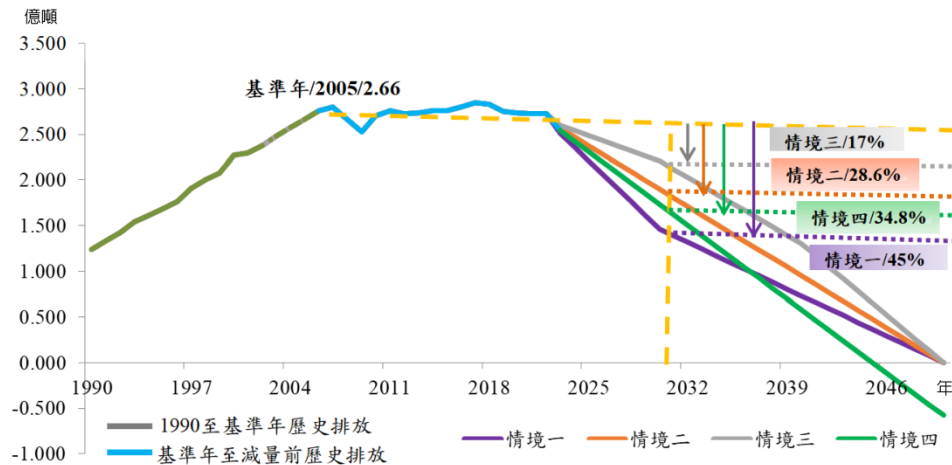


資料來源：歷史資料收集自行政院環境保護署（2022）、各情境為本文計算並繪製。

註：1. GHG 及 CO₂ 最新歷史資料分別為 2019 年及 2020 年，本文假設至 2023 年開始減量前的 2020 年至 2022 年之 GHG 及 CO₂ 則與最新歷史資料年相同。

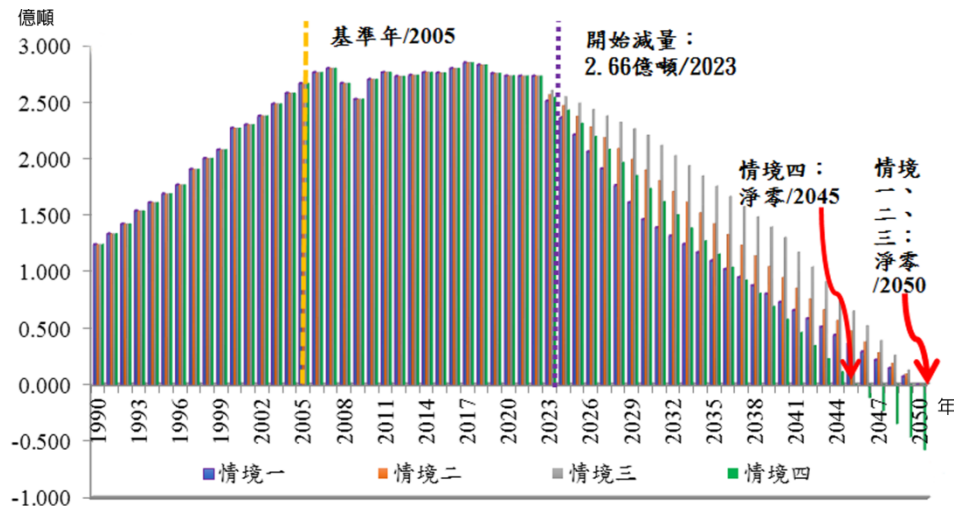
2. 各數值後括號內的 1、2、3 及 4 分別代表情境一、二、三及四。

圖 21：台灣 1990 年至 2022 年 GHG 與 CO₂ 歷史排放量及各情境推估 2030 年之 GHG 與 CO₂ 排放量



資料來源：本文計算繪製。

圖 22：台灣由 2005 基準年達淨零各情境 CO₂ 減量變動趨勢及至 2030 年減量百分比



資料來源：本文計算繪製。

圖 23：台灣由 1990 年達各淨零減量情境下 CO₂ 減量之比較

相反。圖 23 則由另種角度觀察各情境由基準年達淨零年，各年 CO₂ 較基準年減少的量，而各情境下長條之累積、則可視為各情境下歷年未減少 CO₂ 排放累積量。

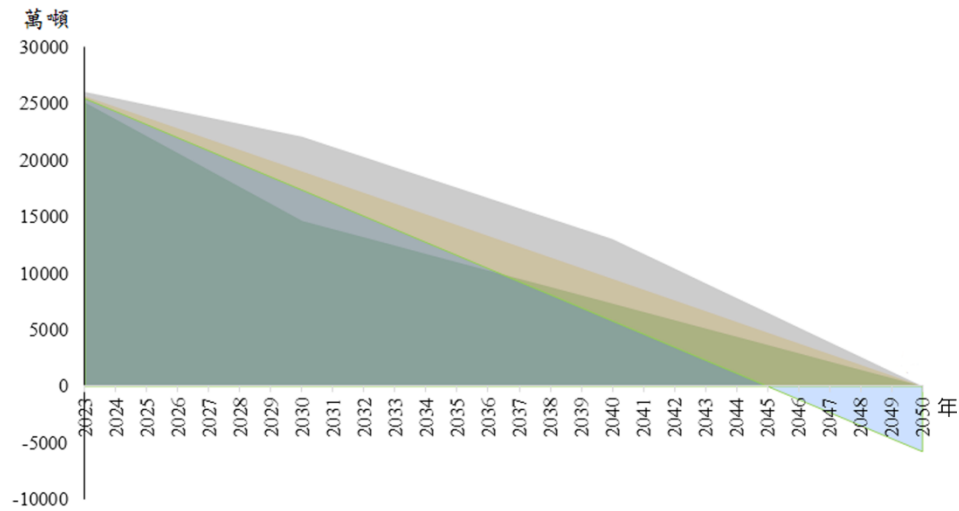
肆、各情境所有累積排放量及 2020 年至 2022 年減量啟動前累積量去除之規劃

一、各淨零減碳路徑下之累積排放量的差異

所有的減量工作正式由 2023 年啟動，因此每一種情境下在 2023 年前即已累積了 2020 年至 2022 年每年各 2.73 億噸共 8.19 億噸的 CO₂，這些量在達淨零前或是淨零達成時必須一併納入規劃，亦即，所有的累積量該如何逐年攤提且與每年排放量一併減少，或至少在淨零前已知有那些相關技術可在淨零後，在最短時間將過去所累積及由 2023 年至淨零年每年持續排放而未完全減低、一路累積來的總量。因此，淨零並非如預期中由過去至

未來累積的量，在預設的淨零年到來時即完全去除，而是在預設淨零年到來前除了將每年所排放的量逐步降至零外，事先掌握由過去及開始減量期內所累積的量，則可事先加速能源的佈局與配置、碳捕捉技術的研發與採行、或碳匯角色的強化等，這些工作除各路徑規劃每年擬降低之 CO₂ 排放量外，尚可更積極將過去所累積的 CO₂ 排放量在最短時間去除，也就是由過去至淨零年如已沒有 CO₂ 排放後，台灣還「欠」地球多少該處理的累積 CO₂ 排放量。

爲了達淨零、在前述所設計的四種減量情境下，由圖 24 可看出，情境三亦即由 2023 年至 2050 年淨零年分成三個遞增百分比的減量情境，是一路由開始減量的 2023 年起即是累積最多排放量的減量路徑，表示第一與第二階段每年平均減量百分比，均比情境二及情境四由 2023 年起至淨零年、每年所減少的百分比爲低，即便 2040 年起的第四階段每年平均減了 4.9%，基本上仍無法彌補由開始減量的 2023 年起至第一個中程目標 2030 年第一階段、每年平均僅有 2.125% 的減量，與 2031 年至 2040 年第二個階段每年平均 3.40% 的減量，然如果國家資源在情境三的前兩個階段是專注於後續碳累積量相關技術的研發，選擇此一情境是緩和每年減量的壓力、而後續再致力於碳累積量的處理。而情境二與情境四在每年固定的不同減量百分比下，前者平均一年減 3.57%，明顯的比情境四一年平均減 4.35%、每年會累積更多排放量，至於情境一是 IPCC 希望各國至 2030 年均能積極的減 45%，因而，至 2030 年的第一個中程目標爲減量最明顯的一個情境，以致也是累積量最少的一種情境，然至後期至淨零前的階段，情境一的碳累積量翻轉成爲比情境四爲多，如情境四在 2045 年達淨零後，如持續每年以 4.35% 的比例遞減，若與其他三個情境相樣在 2050 年比較，情境四由 2046 年至 2050 年比 2005 年共多減少 5,800 萬噸，如每年真正的排放量如果沒有超過基準年的 2.66 億噸，這些多減的排放量則可以用來抵減達淨零前各年累積下來的量。



資料來源：本文計算繪製。

圖 24：台灣由 2023 年至淨零年各減量情境碳排放累積總量之比較

二、碳預算於各年累積排放量使用方式之規劃

至於各情境下逐年累積下來的排放量該的去除該如何規劃，本文研擬了四種方式，第一種為累積至淨零年前均不處理，而是在淨零年達成後，至於此時確實要處理多少的碳排放累積總量，如果認定全球每人有相同的碳排放權限、因而也能分得相同碳預算之情況下，由 2023 年至 2050 年淨零年各年累積來的碳排放量，如考慮控制溫度於 IPCC（2021）最新推估的最低上升水準 1.5°C 、或還可接受的 1.7°C 甚至做為減量開始驅動的 2.0°C ，依台灣總人口佔世界人口的比例最新數據為 2020 年的 0.31%，依此，在各種不同的溫度下，台灣可以分得不同排放權限的碳預算量，依據表 1 所列的 IPCC 推估各種溫度下全球尚餘之碳預算量，選擇發生各種溫度機率不是太別高也或特別低之 50%，對應於各種溫度上升水準之控制，台灣分別有 15.5 億噸、26.35 億噸及 41.85 億噸的碳預算量。因此各種淨零減碳路徑下，逐年累積至淨零年的碳排放總量，納入不同溫度的碳預算量後，可以規劃如何抵減逐年累積的碳排放累積量。溫度控制未必都限制於 1.5°C ，不同國家必須務實的依其減量現況選擇可以落實的度上升水準下的碳預算量，

做為邁向淨零的規劃，即便選擇 1.7°C 甚至 2.0°C 做為履行『巴黎協議』減量貢獻之規劃（McGuire, et al., 2020; Ministry for the Environment, New Zealand Government, 2022; Stoddard & Anderson, 2022）。

對於各種淨零減碳路徑，本文一致設計每種路徑有四種去除所有碳排放累積量的規劃，其一是自 2023 年起至淨零年、致力於各年減量與設定基準年的減量目標之達成，暫不處理碳排放累積量，因此，所有累積量至淨零年與各種對應溫度上升的碳預算量相抵減；其二是由 2023 年起至 2030 年第一個中程階段目標達成時，碳預算量將逐年累積的碳排放量去除，如此或許可以在執行減碳工作的第一個階段，除了有達成減碳目標之設定及宣示外，亦無額外碳累積的壓力，而台灣在這段時間則可專注於後續碳捕捉與儲存所需技術的研發或引進，然而也可能有相反的效果，將可用的碳預算在減碳初期即用盡，在相對小的壓力下，或許研發的速度會緩慢下來。第三種去除碳累積量的方式是在 2023-2030 年的 8 年間，碳預算平均分攤於每年累積量的抵減，如此使得碳預算量可以分攤於更多年累積量之抵減，然每一年也將因此而留下些許累積量、只是這些累積量比完全沒有引入碳預算概念時更少一些，最後一種方式是將碳預算量平均分攤於 2023 年至 2040 年等 18 年間累積量的抵減，如此使得這段時間的累積量比起前一種方式更多一些。

在不同溫度上升之控制下的四種碳預算使用方式規劃，結合本文所設計的四種淨零減量路徑之結果分別呈現於表 6、表 7 及表 8。對照每個表中達 2050 年淨零年之情境一、情境二及情境三或 2045 年達淨零年之情境四結果可知，最後需要處理的碳排放累積量是淨零年對應的累積量、加上 IPCC 計算碳預算的起使年 2020 年至 2022 年已累積未減的所有排放量，計算碳預算基礎之 CO₂ 的最新排放年資料為 2020 年，台灣當年為 2.73 億噸，表示台灣自 2023 年開始減量前即已欠地球 8.19 億噸，如此假設可能高估累積量也可能低估，然在新數據未出來前可以確定的是其他兩年的 CO₂ 排放量均與最新年相同。由表 6 至表 8 進而可知，特定情境下不同碳預算使用方式的最後碳排放累積結果相同，造成最後碳排放累積結果不同的是控制溫度在不同上升水準下的碳預算量，因此，綜合表 6 至表 8 溫種溫度下的

表 6：不超過 1.5°C 以台灣總人口佔世界人口比的碳預算在不同方式下去除各淨零減量情境至淨零之碳排放累積總量比較^a

年	情境一				情境二				情境三				情境四			
	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 累積 排放量	碳預算 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 累積 排放量	碳預算 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 累積 排放量	碳預算 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 累積 排放量	碳預算 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量
2023	2.510	0.000	0.573	1.649	2.566	0.000	0.628	1.704	2.603	0.000	0.666	1.742	2.544	0.000	0.607	1.683
2024	4.871	0.000	0.996	3.149	5.036	0.000	1.160	3.313	5.150	0.000	1.275	3.428	4.973	0.000	1.098	3.251
2025	7.082	0.000	1.269	4.499	7.411	0.000	1.598	4.827	7.641	0.000	1.828	5.058	7.286	0.000	1.474	4.703
2026	9.143	0.000	1.393	5.699	9.691	0.000	1.940	6.246	10.075	0.000	2.325	6.630	9.483	0.000	1.733	6.039
2027	11.055	0.000	1.368	6.750	11.876	0.000	2.188	7.569	12.452	0.000	2.765	8.147	11.565	0.000	1.878	7.260
2028	12.818	0.000	1.193	7.651	13.966	0.000	2.340	8.798	14.773	0.000	3.148	9.606	13.531	0.000	1.906	8.365
2029	14.430	0.000	0.868	8.402	15.961	0.460	2.398	9.932	17.037	1.537	3.475	11.010	15.382	0.000	1.819	9.354
2030	15.893	0.393	0.393	9.004	17.861	2.360	2.360	10.971	19.245	3.745	3.745	12.356	17.117	1.617	1.617	10.228
2031	17.283	1.783	1.783	9.533	19.666	4.165	4.165	11.915	21.362	5.862	5.862	13.612	18.736	3.236	3.236	10.986
2032	18.600	3.100	3.100	9.989	21.376	5.875	5.875	12.764	23.389	7.889	7.889	14.778	20.239	4.740	4.739	11.628
2033	19.843	4.343	4.343	10.371	22.991	7.490	7.490	13.518	25.326	9.826	9.826	15.854	21.627	6.127	6.127	12.155
2034	21.014	5.514	5.514	10.680	24.511	9.010	9.010	14.177	27.172	11.672	11.672	16.839	22.899	7.400	7.399	12.566
2035	22.111	6.611	6.611	10.916	25.936	10.435	10.435	14.741	28.928	13.427	13.428	17.733	24.056	8.556	8.556	12.861
2036	23.135	7.635	7.635	11.079	27.266	11.765	11.765	15.209	30.593	15.092	15.093	18.537	25.097	9.597	9.597	13.041
2037	24.086	8.586	8.586	11.169	28.501	13.000	13.000	15.583	32.167	16.667	16.667	19.251	26.022	10.522	10.522	13.105
2038	24.964	9.464	9.464	11.186	29.641	14.140	14.140	15.862	33.652	18.151	18.152	19.874	26.831	11.332	11.331	13.054
2039	25.768	10.268	10.268	11.129	30.686	15.185	15.185	16.046	35.046	19.545	19.546	20.407	27.525	12.026	12.025	12.886
2040	26.500	11.000	11.000	11.000	31.636	16.135	16.135	16.135	36.349	20.849	20.849	20.849	28.103	12.604	12.603	12.603

年	情境一			情境二			情境三			情境四		
	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 年累積 排放量	碳預算 抵減逐年 年累積 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 年累積 排放量	碳預算 抵減逐年 年累積 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 年累積 排放量	碳預算 抵減逐年 年累積 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 年累積 排放量	碳預算 抵減逐年 年累積 減年累 積量
2041	27.158	11.658	11.658	32.491	16.990	16.990	37.522	22.022	22.022	28.566	13.067	13.066
2042	27.743	12.243	12.243	33.251	17.750	17.750	38.565	23.064	23.065	28.913	13.414	13.413
2043	28.255	12.755	12.755	33.916	18.415	18.415	39.477	23.977	23.977	29.144	13.645	13.644
2044	28.694	13.194	13.194	34.486	18.985	18.985	40.259	24.759	24.759	29.260	13.760	13.760
2045	29.060	13.560	13.560	34.961	19.460	19.460	40.911	25.411	25.411	29.260	13.760	13.760
2046	29.353	13.853	13.853	35.341	19.840	19.840	41.432	25.932	25.932	29.144	13.645	13.644
2047	29.572	14.072	14.072	35.626	20.125	20.125	41.823	26.323	26.323	28.913	13.414	13.413
2048	29.718	14.218	14.218	35.816	20.315	20.315	42.084	26.584	26.584	28.566	13.067	13.066
2049	29.792	14.292	14.292	35.911	20.410	20.410	42.214	26.714	26.714	28.103	12.604	12.603
2050	29.792	14.292	14.292	35.911	20.410	20.410	42.214	26.714	26.714	27.525	12.026	12.025
2020-2022 累積排放量	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
碳預算	15.500	0.000	0.000	15.500	0.000	0.000	15.500	0.000	0.000	15.500	0.000	0.000
納入碳預算 累積排放量	22.482	22.482	22.482	28.601	28.600	28.600	34.904	34.904	34.904	21.950	21.950	21.950

資料來源：本文計算。

註：a. 情境四下是至 2045 的累積結果。

表 7：不超過 1.7°C 以台灣總人口佔世界人口比的碳預算在不同方式下去除各淨零減量情境至淨零之碳排放累積總量比較^a

年	情境一				情境二				情境三				情境四			
	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 累積 排放量	碳預算 至 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 至 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 累積 排放量	碳預算 至 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 至 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 累積 排放量	碳預算 至 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 至 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 累積 排放量	碳預算 至 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量	碳預算 至 2030 至 2040 平均抵 減年累 減年累 積量
2023	2.510	0.000	-0.784	1.046	2.566	0.000	-0.729	1.101	2.603	0.000	-0.690	1.140	2.544	0.000	-0.749	1.080
2024	4.871	0.000	-1.717	1.943	5.036	0.000	-1.553	2.107	5.150	0.000	-1.437	2.223	4.973	0.000	-1.614	2.045
2025	7.082	0.000	-2.799	2.690	7.411	0.000	-2.471	3.018	7.641	0.000	-2.240	3.249	7.286	0.000	-2.595	2.894
2026	9.143	0.000	-4.032	3.288	9.691	0.000	-3.485	3.834	10.075	0.000	-3.100	4.219	9.483	0.000	-3.692	3.628
2027	11.055	0.000	-5.414	3.736	11.876	0.000	-4.594	4.556	12.452	0.000	-4.017	5.133	11.565	0.000	-4.904	4.246
2028	12.818	0.000	-6.945	4.034	13.966	0.000	-5.798	5.182	14.773	0.000	-4.990	5.990	13.531	0.000	-6.231	4.748
2029	14.430	0.000	-8.626	4.183	15.961	0.000	-7.096	5.713	17.037	0.000	-6.019	6.790	15.382	0.000	-7.675	5.135
2030	15.893	0.000	-10.457	4.182	17.861	0.000	-8.490	6.149	19.245	0.000	-7.105	7.534	17.117	0.000	-9.233	5.405
2031	17.283	0.000	-9.067	4.108	19.666	0.000	-6.685	6.490	21.362	0.000	-4.988	8.187	18.736	0.000	-7.614	5.561
2032	18.600	0.000	-7.750	3.961	21.376	0.000	-4.975	6.736	23.389	0.000	-2.961	8.750	20.239	0.000	-6.111	5.600
2033	19.843	0.000	-6.507	3.740	22.991	0.000	-3.360	6.887	25.326	0.000	-1.024	9.223	21.627	0.000	-4.723	5.524
2034	21.014	0.000	-5.336	3.447	24.511	0.000	-1.840	6.943	27.172	0.822	0.822	9.605	22.899	0.000	-3.451	5.332
2035	22.111	0.000	-4.239	3.080	25.936	0.000	-0.415	6.904	28.928	2.578	2.577	9.897	24.056	0.000	-2.294	5.025
2036	23.135	0.000	-3.215	2.641	27.266	0.916	0.915	6.771	30.593	4.243	4.243	10.098	25.097	0.000	-1.253	4.602
2037	24.086	0.000	-2.264	2.128	28.501	2.151	2.150	6.542	32.167	5.817	5.817	10.209	26.022	0.000	-0.328	4.063
2038	24.964	0.000	-1.386	1.542	29.641	3.291	3.290	6.218	33.652	7.302	7.302	10.229	26.831	0.482	0.481	3.409
2039	25.768	0.000	-0.582	0.882	30.686	4.336	4.335	5.799	35.046	8.696	8.695	10.159	27.525	1.176	1.175	2.639
2040	26.500	0.150	0.150	0.150	31.636	5.286	5.285	5.285	36.349	9.999	9.999	9.999	28.103	1.754	1.753	1.753

年	情境一				情境二				情境三				情境四			
	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年累積 排放量	碳預算 至2030 平均抵 減年累 積量	碳預算 至2040 平均抵 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年累積 排放量	碳預算 至2030 平均抵 減年累 積量	碳預算 至2040 平均抵 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年累積 排放量	碳預算 至2030 平均抵 減年累 積量	碳預算 至2040 平均抵 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年累積 排放量	碳預算 至2030 平均抵 減年累 積量	碳預算 至2040 平均抵 減年累 積量
2041	27.158	0.808	0.808	0.808	32.491	6.141	6.140	6.140	37.522	11.172	11.172	11.172	28.566	2.217	2.216	2.216
2042	27.743	1.394	1.393	1.393	33.251	6.901	6.900	6.900	38.565	12.215	12.215	12.215	28.913	2.564	2.563	2.563
2043	28.255	1.906	1.905	1.905	33.916	7.566	7.565	7.565	39.477	13.127	13.127	13.127	29.144	2.795	2.794	2.794
2044	28.694	2.345	2.344	2.344	34.486	8.136	8.135	8.135	40.259	13.909	13.909	13.909	29.260	2.911	2.910	2.910
2045	29.060	2.710	2.710	2.710	34.961	8.611	8.610	8.610	40.911	14.561	14.561	14.561	29.260	2.911	2.910	2.910
2046	29.353	3.003	3.003	3.003	35.341	8.991	8.990	8.990	41.432	15.082	15.082	15.082	29.144	2.795	2.794	2.794
2047	29.572	3.222	3.222	3.222	35.626	9.276	9.275	9.275	41.823	15.473	15.473	15.473	28.913	2.564	2.563	2.563
2048	29.718	3.369	3.368	3.368	35.816	9.466	9.465	9.465	42.084	15.734	15.734	15.734	28.566	2.217	2.216	2.216
2049	29.792	3.442	3.442	3.442	35.911	9.561	9.560	9.560	42.214	15.864	15.864	15.864	28.103	1.754	1.753	1.753
2050	29.792	3.442	3.442	3.442	35.911	9.561	9.560	9.560	42.214	15.864	15.864	15.864	27.525	1.176	1.175	1.175
2020-2022 累積排放量	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
碳預算	26.350	0.000	0.000	0.000	26.350	0.000	0.000	0.000	26.350	0.000	0.000	0.000	26.350	0.000	0.000	0.000
納入碳預算 累積排放量	11.632	11.632	11.632	11.632	17.751	17.751	17.751	17.751	24.054	24.054	24.054	24.054	11.100	11.101	11.100	11.100

資料來源：本文計算。

註：a. 情境四下是至2045的累積結果。

表8：不超過2.0°C以台灣總人口佔世界人口比的碳預算在不同方式下去除各淨零減量情境至淨零之碳排放累積總量比較^a

年	情境一				情境二				情境三				情境四			
	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 年累積 排放量	碳預算 2030至 2040 平均抵 減年累 積量	碳預算 2030至 2040 平均抵 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 年累積 排放量	碳預算 2030至 2040 平均抵 減年累 積量	碳預算 2030至 2040 平均抵 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 年累積 排放量	碳預算 2030至 2040 平均抵 減年累 積量	碳預算 2030至 2040 平均抵 減年累 積量	碳預算 達淨零 未使用	碳預算 抵減逐年 年累積 排放量	碳預算 2030至 2040 平均抵 減年累 積量	碳預算 2030至 2040 平均抵 減年累 積量
2023	2.510	0.000	-2.721	0.185	2.566	0.000	-2.666	0.240	2.603	0.000	-2.628	0.278	2.544	0.000	-2.687	0.219
2024	4.871	0.000	-5.592	0.221	5.036	0.000	-5.428	0.385	5.150	0.000	-5.312	0.500	4.973	0.000	-5.489	0.323
2025	7.082	0.000	-8.612	0.107	7.411	0.000	-8.284	0.435	7.641	0.000	-8.053	0.666	7.286	0.000	-8.408	0.311
2026	9.143	0.000	-11.782	-0.157	9.691	0.000	-11.235	0.390	10.075	0.000	-10.850	0.775	9.483	0.000	-11.442	0.183
2027	11.055	0.000	-15.101	-0.570	11.876	0.000	-14.281	0.250	12.452	0.000	-13.704	0.827	11.565	0.000	-14.591	-0.060
2028	12.818	0.000	-18.570	-1.133	13.966	0.000	-17.423	0.015	14.773	0.000	-16.615	0.823	13.531	0.000	-17.856	-0.419
2029	14.430	0.000	-22.189	-1.845	15.961	0.000	-20.659	-0.315	17.037	0.000	-19.581	0.762	15.382	0.000	-21.237	-0.893
2030	15.893	0.000	-25.957	-2.707	17.861	0.000	-23.990	-0.740	19.245	0.000	-22.605	0.645	17.117	0.000	-24.733	-1.483
2031	17.283	0.000	-24.567	-3.642	19.666	0.000	-22.185	-1.260	21.362	0.000	-20.488	0.437	18.736	0.000	-23.114	-2.189
2032	18.600	0.000	-23.250	-4.650	21.376	0.000	-20.475	-1.875	23.389	0.000	-18.461	0.139	20.239	0.000	-21.611	-3.011
2033	19.843	0.000	-22.007	-5.732	22.991	0.000	-18.860	-2.585	25.326	0.000	-16.524	-0.249	21.627	0.000	-20.223	-3.948
2034	21.014	0.000	-20.836	-6.886	24.511	0.000	-17.340	-3.390	27.172	0.000	-14.678	-0.728	22.899	0.000	-18.951	-5.001
2035	22.111	0.000	-19.739	-8.114	25.936	0.000	-15.915	-4.290	28.928	0.000	-12.923	-1.298	24.056	0.000	-17.794	-6.169
2036	23.135	0.000	-18.715	-9.415	27.266	0.000	-14.585	-5.285	30.593	0.000	-11.257	-1.957	25.097	0.000	-16.753	-7.453
2037	24.086	0.000	-17.764	-10.789	28.501	0.000	-13.350	-6.375	32.167	0.000	-9.683	-2.708	26.022	0.000	-15.828	-8.853
2038	24.964	0.000	-16.886	-12.236	29.641	0.000	-12.210	-7.560	33.652	0.000	-8.198	-3.548	26.831	0.000	-15.019	-10.369
2039	25.768	0.000	-16.082	-13.757	30.686	0.000	-11.165	-8.840	35.046	0.000	-6.805	-4.480	27.525	0.000	-14.325	-12.000
2040	26.500	0.000	-15.350	-15.350	31.636	0.000	-10.215	-10.215	36.349	0.000	-5.501	-5.501	28.103	0.000	-13.747	-13.747

所有結果碳排放累積量於表 9，由表 9 可更清楚看出，不論控制溫度上升不超過哪個水準，不同碳預算的使用方式或規劃，最後碳排放累積總量的差異主要來自淨零減碳路徑的不同；而一如預期，控制溫度上升在最嚴格的 1.5°C 下之碳排放累積總量最大，反之，控制在最寬鬆的 2.0°C、則碳排放累積總量最小，因此，如要一步到位在淨零年到來十、不僅將年排放量減至零、累積排放量亦同時去除，1.5°C 的目標無疑將給國家最大的壓力，尤其尚未有起步開始減量的國家，壓力是毋庸置疑。而圖 25 則是將表 9 各碳預算值以圖表示，如此更可清楚看出，在各淨零減量路徑下，對應於溫度控制上升在不同水準下的最大及最小值，事先掌握台灣可處理的碳排放累積量，才能宣示或是在法案中規範如何由相對寬鬆的溫渡上升水準目標，逐步移動至相對嚴格溫度控制下的要求。

表 9：控制溫度不超過特定水準達淨零各減量情境以不同方式納入碳預算後之排放累積總量^a

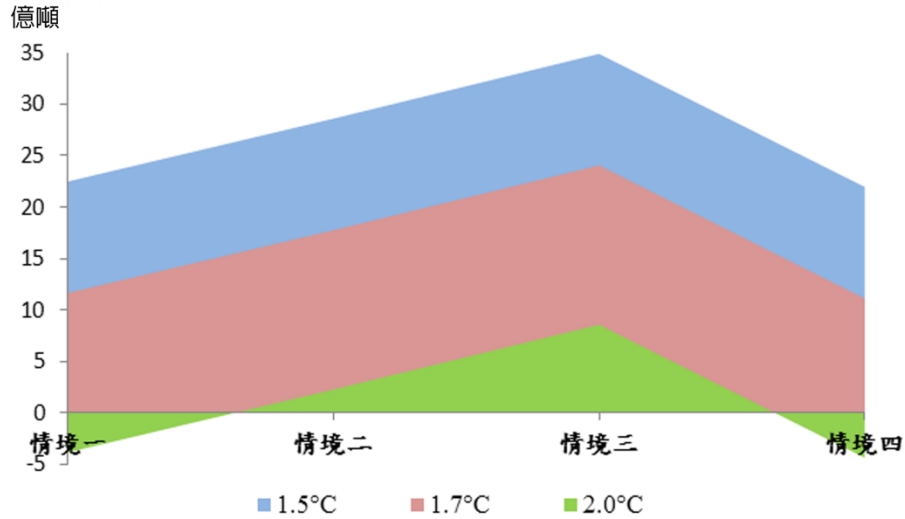
單位：億噸

達淨零不超過 之特定溫度	情境 ^b			
	情境一	情境二	情境三	情境四
1.5°C	22.482	28.601	34.904	20.215
1.7°C	11.632	17.751	24.054	11.100
2.0°C	-3.868	2.251	8.554	-4.400

資料來源：本文計算。

註：a.各減量路徑情境納入碳預算後之累積排放總量是情境一、情境二及情境三至 2050 年達淨零、情境四於 2045 年達淨零，所累積的排放總量再加上 2020 年至 2022 年開始減量前台灣即已累積的量，並依不同方式將各溫度下台灣可分得之不同碳預算由累積排放量中扣除，表 9 即彙整自表 6 至表 8 最後一列的結果。

b.情境四在 2.0°C 下所列之累積排放總量，是以 8 年將「碳預算抵減至 2030 年之累積量」及以 18 年將「碳預算抵減至 2040 年之累積量」兩種作法分攤碳預算的結果，因以「碳預算抵減逐年累積排放量」的作法，至 2045 年台灣可分得的 41.85 億噸碳預算，仍足夠抵減在情境四減量路徑下，每年剩餘之排放量，即便至 2050 年仍足夠，表示碳預算至 2050 年尚未用完。



資料來源：本文計算繪製。

圖 25：納入歷年減量及 2020 年至 2022 年碳累積量與各溫度碳預算下各淨零減量情境之碳總累積量比較

三、各情境之碳預算使用方式的碳排放累積量比較

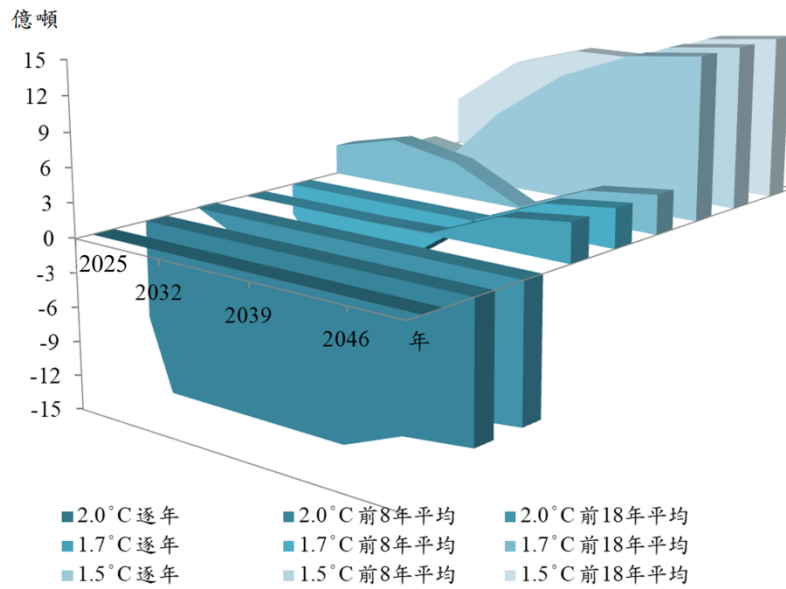
爲了比較並對照各淨零減碳情境下，由 2023 年起開始減量後歷年的碳排放累積量，附表 5、附表 6 及附表 7 分別計算、當溫渡控制上升分別不超過 1.5°C、1.7°C 及 2.0°C 的碳預數量下之不同使用方式，於各種淨零碳減量路徑下，由 2023 年至淨零年歷年在各種組合下之碳累積量。將此三個附中由 2025 年起每五年一個階段的累積量擷取出來而成為表 10，由表 10 可進行多種不同組合的比較，由圖 26-1 至圖 26-4 則分別爲各淨零碳減量情境下，每種溫度下碳預算數量使用方式之比較與對照，其中至淨零年仍未使用碳預算的方式，因至淨零年前均未使用碳預算數量，此與其他在減量期間即以不同方式將碳預算數量分攤完，沒有相同的立基點，因此，不納入比較。因而，每一種淨零碳減量情境，分別有控制溫度上升不超過三種水準的碳預數量、而每種碳預算數量各有三種不同的使用方式，如此則可以觀察，在每種情境下將溫度控制在何水準之碳預數量、並以何種方式用於各年累積量抵減後的碳累積，是台灣可以接處並處理。

表 10：溫度上升不超過特定水準之碳預算量在各淨減量情境下歷年碳累積量以不同方式去除後階段時間點累積量

單位：億噸

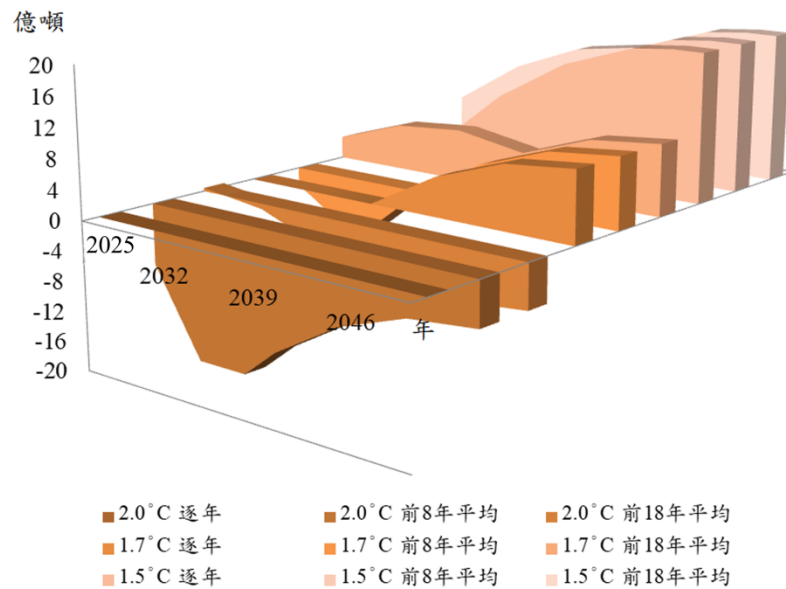
年	碳預算自 2023 分攤於 逐年減量後累積量				碳預算平均分攤於 2023-2030 歷年減量後之累積量				碳預算平均分攤於 2023-2040 歷年減量後之累積量			
	情境一	情境二	情境三	情境四	情境一	情境二	情境三	情境四	情境一	情境二	情境三	情境四
1.5°C												
2025	0.000	0.000	0.000	0.000	1.269	1.598	1.828	1.474	4.499	4.827	5.058	4.703
2030	0.393	2.360	3.745	1.617	0.393	2.360	3.745	1.617	9.004	10.971	12.356	10.228
2035	6.611	10.435	13.427	8.556	6.611	10.435	13.428	8.556	10.916	14.741	17.733	12.861
2040	11.000	16.135	20.849	12.604	11.000	16.135	20.849	12.603	11.000	16.135	20.849	12.603
2045	13.560	19.460	25.411	13.760	13.560	19.460	25.411	13.760	13.560	19.460	25.411	13.760
2050	14.292	20.410	26.714	12.026	14.292	20.410	26.714	12.025	14.292	20.410	26.714	12.025
1.7°C												
2025	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.799	-2.471	-2.240	-2.595	2.690	3.018	3.249	2.894
2030	0.000	0.000	0.000	0.000	-10.457	-8.490	-7.105	-9.233	4.182	6.149	7.534	5.405
2035	0.000	0.000	2.578	0.000	-4.239	-0.415	2.577	-2.294	3.080	6.904	9.897	5.025
2040	0.150	5.286	9.999	1.754	0.150	5.285	9.999	1.753	0.150	5.285	9.999	1.753
2045	2.710	8.611	14.561	2.911	2.710	8.610	14.561	2.910	2.710	8.610	14.561	2.910
2050	3.442	9.561	15.864	1.176	3.442	9.560	15.864	1.175	3.442	9.560	15.864	1.175
2.0°C												
2025	0	0	0	0	-8.612	-8.284	-8.053	-8.408	0.107	0.435	0.666	0.311
2030	0	0	0	0	-25.957	-23.990	-22.605	-24.733	-2.707	-0.740	0.645	-1.483
2035	0	0	0	0	-19.739	-15.915	-12.923	-17.794	-8.114	-4.290	-1.298	-6.169
2040	0	0	0	0	-15.350	-10.215	-5.501	-13.747	-15.350	-10.215	-5.501	-13.747
2045	0	0	0	0	-12.790	-6.890	-0.939	-12.590	-12.790	-6.890	-0.939	-12.590
2050	0	0	0.364	0	-12.058	-5.940	0.364	-14.325	-12.058	-5.940	0.364	-14.325

資料來源：本文計算。



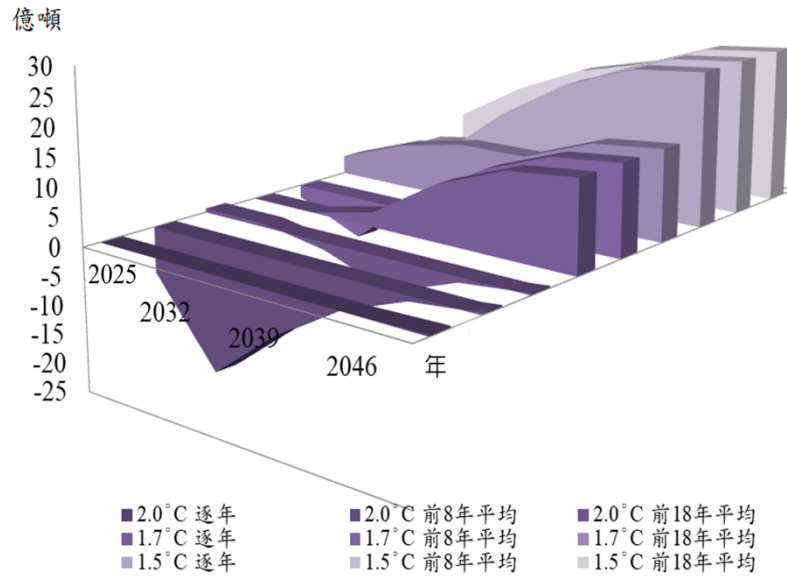
資料來源：本文計算繪製。

圖 26-1：不超過特定溫度上升碳預算不同使用方式之碳累積比較（情境一）



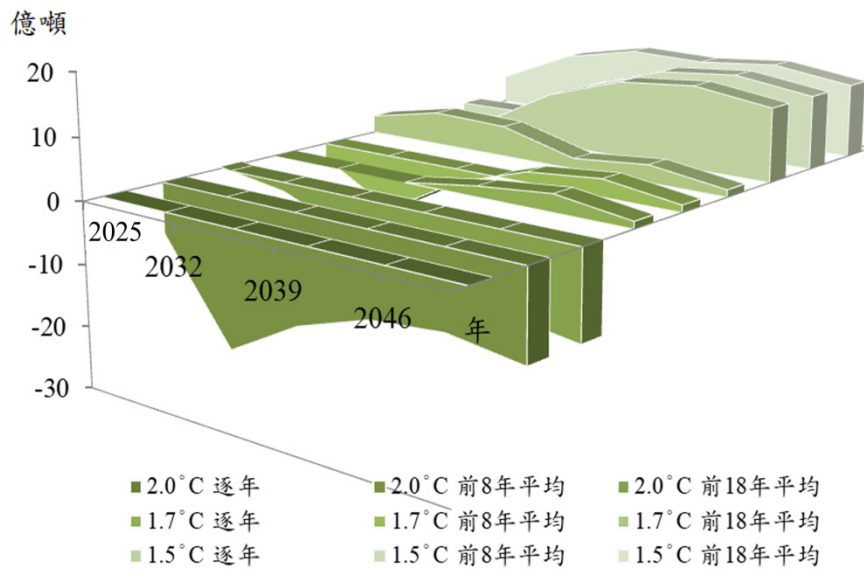
資料來源：本文計算繪製。

圖 26-2：不超過特定溫度上升碳預算不同使用方式之碳累積比較（情境二）



資料來源：本文計算繪製。

圖 26-3：不超過特定溫度上升碳預算不同使用方式之碳累積比較（情境三）



資料來源：本文計算繪製。

圖 26-4：不超過特定溫度上升碳預算不同使用方式之碳累積比較（情境四）

圖 26-1 至圖 26-4 的四種情境清楚顯示，溫渡上升如可放寬至 2.0°C ，在此情況下有最多的碳預算數量，因此，碳預算不論在那一種使用方式下，在各情境均有最少的累積量，諸多組合的累積量尚且還是負的，在此種情況下、不排除可以將台灣階段性的減量目標提高，因為目前的碳累積量均是在本文所設計的淨零碳減量路徑累積而來，當減量目標提升，不僅可提達成更高的減量目標、也不用擔心歷年未減累積而來之量的後續處理、或是在達成減量目標之時需同步擔心的問題。此外，附圖 1-1 至附圖 1-3 為溫度控制在三種不同水準下，碳預算將歷年之碳累積量完全抵減用盡為止，而附圖 2-1 至附圖 2-3 則是在相同溫度水準下，碳預算全部用完每年平均抵減 2023 年至 2030 年之碳累積量，至於附圖 3-1 附圖 3-3 則是碳預算全部用盡平均抵減 2023 年至 2040 年之碳累積量，也就是碳預算以三種不同使用方式全部用盡後、各種情境歷年碳累積量之比較。

由各種碳預算的使用方式都可見，附圖 1-1 至附圖 1-3 前幾年都有一段水平的碳累積量，這些是在 2023 年碳減量工作正式開始前，台灣於 2020 年至 2022 年完全未減量所累積的 8.19 億噸之碳排放量，當溫度上升控制於相對寬鬆的 2.0°C 時，因為碳預算數量相對多，因此，除了這三年所累積的量之外，越寬鬆的溫渡上升碳累積量的水平階段越長；而如果碳預算是逐年平均抵減後的累積量，不論是以附圖 2-1 至附圖 2-3 的 8 年平均抵減，或是附圖 3-1 至附圖 3-3 的 18 年平均抵減，由附圖 2-1 至附圖 2-3 及附圖 3-1 至附圖 3-3 可見，因這兩種方式、是以不同年份將各溫度下的碳預算數量抵減掉，因而各年仍會有未抵減掉的碳排放量。

由這六個圖可見，在不同情境下之碳排放量仍會逐年累積，僅是以 8 年平均抵減碳預算數量、在 8 年後累積的較快；相同的，以 18 年時間抵減、則在 2040 年前的累積較慢、碳預算用盡後則累積較快，然這兩種碳預算的使用方式，在可容忍相對高的溫渡上升之情況下，對應此種溫渡上升的碳預算數量，台灣的碳累積量是為負，亦即、台灣如依著四種淨零減量情境進行碳減量工作，並搭配 8 年或是 18 年將碳預算平均的方式各年所累積的碳平均抵減掉，對於情境一、二及四在 2023 年至 2050 年（或 2045 年）淨零年前的大部分時間，均沒有其他的碳累積量。而前述這些相同的訊息，

另可以附圖 4-1 至附圖 4-3、附圖 5-1 至附圖 5-3 及附圖 6-1 至附圖 6-3 分別呈現，不同溫渡上升下的碳預算數量，在前述各種情境下碳預算的不同使用方式後所餘碳累積量之百分比之比較與對照。

伍、結語

本文依循 IPCC 建議，至 2030 年全世界每一個國家需均一的減基準年 45% 的一種情境，另在公平原則下，設計由 2023 年至淨零年每年比基準年減少不同的比例三種不同淨零減量路徑，依此四種淨零減量路徑，計算各路徑下每年減量後的排放量、依此亦可知對應中程期限（或是由 2025 年起每五年）低於 2005 年基準排放年的百分比，這些可以作為國家上位減量目標的選擇與設定，然不論選擇哪一種情境下的目標作為邁向淨零的努力指引，有明確目標方能使達成目標之減量政策的設計、措施的選擇、技術的研發等工作才有所依循，也才可確定為達成每一個階段性減量目標所設計與規劃的工作，彼此間是互補、沒有相互重疊、進而可相互強化，如此才有可能以社會整體最小資源達成既定的目標。至於各中程階段將減至比基準年低的目標是否要一步到位，即刻寫在法案中，寫或不寫各有優缺點，然相對有彈性的作法或可一如加拿大，法案中先明訂 2030 年的減量目標，而 2030 年之後乃訂定往後每五年目標擬定之原則與規範，亦即後續每五年的確切減量目標需在五年到來的前一年底明訂下一個階段的減量目標，如此可在掌握確實的條件與技術下，使得所設定的減量目標有相對高得以達成的可能性、而不僅是宣示用。

由本文所設計的各淨零減量情境，除了可知各情境每年所需達成的減量外，對應的則可以知各情境歷年累積的排放量，各情境下每年需減少的量對任何國家已是一種壓力，而對於每年未減除的量、持續累積至特定年或淨零年，仍是無法逃避的問題。本文使用碳預算概念，研擬將各年減量後之累積量、在控制溫度上升不超過特定水準下，全世界每人可分得相同碳排放的權限，依此每人可也可獲得相同碳預算量之前提，台灣在 1.5°C、1.7°C 及 2.0°C、至淨零年台灣仍可有的排放權限分別是 15.5 億噸、26.35 億

噸及 41.85 億噸，這些碳預算數量可以至淨零年到來後與總累積量一併處理，亦可在 2023 年啟動減量時、抵減逐年之累積量至用完為止，亦可將這些碳預算數量平均分配於抵減至 2030 年止 8 年之累積量，或是拉長時間至 2040 年，平均分配於抵減至 2040 年止 18 年之累積量。同一情境下不同碳預算的使用方式，至淨零年需處理的總累積量相同，然不同情境碳預算的相同使用方式，最後需處理的總累積量不同，因此，對於不同淨零減量情境之選擇，除了考慮各路徑下每年需減少的量是否可達成外，納入碳預算後對累積量的不同處理方式，亦是情境選擇的依據之一。

如未納入碳預算，不論控制溫度上升不超過 1.5°C、1.7°C 或 2.0°C，同一減量情境至淨零年的碳累積量完全相同，而不同減量情境的最大累積量僅比最小累積總量多 40%，如此並未反應使溫度上升於相對寬鬆水準的 2.0°C 及嚴格標準的 1.5°C 下，國家減量貢獻大小的差異；而納入碳預算概念，讓全球溫度上升不超過 1.5°C、1.7°C 及 2.0°C，本文計算溫度上升控制在不同水準下的所有結果，在本文所設計的不同淨零減量路徑下，使溫度上升不超過 1.5°C 比不超過 2.0°C 的碳累積總量差異極大，各情境下前者之碳累積量高達後者的 4 倍至 13 倍之多，因此，台灣如果無法立即有最大減量之貢獻使溫度上升不超過 1.5°C，不同溫度上升水準下之結果可供台灣選擇有能力解決之組合。因此，納入碳預算考量，除可作為台灣選擇適宜減量路徑之資訊外，亦扮演提供台灣權衡相關碳捕捉及儲存技術研發、可否配合解決控制溫度上升在不同水準下的碳累積總量的角色。

本文所設計的減量路徑及碳預算使用方式未盡完整，目前選擇操作性比較高的兩大原則設計，未來可根據其他的減量分攤原則進行其他減碳路徑的設計。此外，目前各路徑下的階段性或是每年的減量比例或可有其他的方式，比如引入碳預算的概念下，可將各淨零減量路徑下每年需減的碳排放量及碳預算抵減後剩餘的累積、一併考量設計新的路徑。相同的，對於碳預算的使用方式，也可有別於本文所設計，由開始執行碳排放減少的 2023 年起，逐年完全抵減各年之累積量或是集中平均抵減前面階段年的累積量，碳預算已可有逐年遞增或是遞減的碳累積量抵減方式，這些都是未來研究可採行的方式。進而，本文僅考慮碳減量路徑的設計，並未評估各

路徑下對經濟的影響，因此，根據本文考慮碳預算架構下的淨零減碳路徑，可由各年減至比基準年低的百分比，選擇適當的階段性百分比目標為台灣邁向淨零之路的台階與中途站，有階段性的明確目標，則可逐一針對各路徑中來自不同部門、區域或碳排放活動的不同組合與配置，對相關經濟層面所造成影響的評估。如此，則可將物質性的碳減量及貨幣值表示的經濟影響一併考量以有更周全的路徑選擇，當然各減量路徑下的碳排放減量及累積量的去除對環境、人體健康的影響之共伴效益亦是未來可以發揮的研究重點之一。又碳預算如果在一國之內分配至各部門在特定政策下應有的碳減量，特定部門在結合碳預算後的減量，比如碳稅的繳交，將有何改變，亦是可探索的課題。

因此，台灣可分得多少碳預算乃攸關後續該償還多少累積量，碳預算越多、台灣還碳累積量的壓力就越小，當然，所謂碳預算的配置並非真有一個國際單位在配發每個國家將分得的相關數量，使用碳預算的概念，是作為每個國家減量努力的指引，如我們不需要使用任何數量的碳預算，僅是要更加倍努力於 CO₂ 減量工作，而碳預算分得多，也不表示任何減碳工作都可不做，做或不做、對個別國家的影響不是僅以有無道德之抽象規範而無實質影響的觀點來評斷，更務實的是，是否要借此機會讓台灣的經濟、社會及環境轉向更潔淨發展的新境界，當台灣的貿易伙伴國逐步轉向此種發展途徑時，減碳無非是台灣可與主要貿易進出口國維持互動與競爭所需做的努力。

附表 1：世界各國之淨零碳排立法狀態與達淨零目標預設年^a

已入法（達目標年）^b—14 國組織
德國（2045）、瑞典（2045）、葡萄牙（2045）、法國（2050）、英國（2050）、西班牙（2050）、愛爾蘭（2050）、丹麥（2045）、匈牙利（2050）、日本（2050）、南韓（2050）、加拿大（2050）、紐西蘭（2050）、歐盟（2050）
在政策討論中（達目標年）^b—33 國
馬爾地夫（2030）、芬蘭（2035）、冰島（2040）、安地卡及巴布達（2040）、美國（2050）、義大利（2050）、澳洲（2050）、比利時（2050）、智利（2050）、奧地利（2050）、羅馬尼亞（2050）、希臘（2050）、厄瓜多爾（2050）、巴拿馬（2050）、克羅埃西亞（2050）、立陶宛（2050）、哥斯大黎加（2050）、斯洛維尼亞（2050）、烏拉圭（2050）、盧森堡（2050）、拉脫維亞（2050）、寮國（2050）、馬爾他（2050）、斐濟（2050）、賴比瑞亞（2050）、貝里斯（2050）、馬紹爾群島（2050）、摩納哥（2050）、新加坡（2050）、土耳其（2053）、中國（2060）、烏克蘭（2060）、斯里蘭卡（2060）
宣言及保證（達目標年）^b—19 國
巴西（2050）、泰國（2050）、阿根廷（2050）、馬來西亞（2050）、越南（2050）、哥倫比亞（2050）、南非（2050）、阿拉伯聯合大公國（2050）、哈薩克（2050）、以色列（2050）、愛沙尼亞（2050）、馬拉威（2050）、維德角（2050）、安道爾（2050）、俄羅斯（2060）、沙烏地阿拉伯（2060）、巴林（2060）、奈及利亞（2060）、印度（2060）
提出討論中（達目標年）^b—57 國
茅利塔尼亞伊斯蘭（2030）、幾內亞比索（2030）、尼泊爾（2045）、巴基斯坦（2050）、瑞士（2050）、秘魯（2050）、衣索比亞（2050）、緬甸（2050）、多明尼加（2050）、蘇丹（2050）、斯洛伐克（2050）、保加利亞（2050）、坦尚尼亞（2050）、烏干達（2050）、黎巴嫩（2050）、阿富汗（2050）、尚比亞（2050）、塞內加爾（2050）、布基納法索（2050）、莫桑鼻克（2050）、巴布亞新幾內亞（2050）、尼加拉瓜（2050）、海地（2050）、賽普勒斯（2050）、千里達及托巴哥（2050）、尼日爾（2050）、查德（2050）、納米比亞（2050）、盧旺達（2050）、牙買加（2050）、模里西斯（2050）、多哥（2050）、索馬利亞（2050）、塞拉利昂（2050）、巴哈馬（2050）、布隆迪（2050）、甘比亞（2050）、賴索托（2050）、中非共和國（2050）、東帝汶（2050）、塞席爾（2050）、索羅門群島（2050）、格林納達（2050）、聖文森特和格林納丁斯（2050）、薩摩亞（2050）、聖多美普林西比（2050）、萬那杜（2050）、東加（2050）、密克羅尼西亞（2050）、帛琉（2050）、吉里巴斯（2050）、瑙魯（2050）、圖瓦魯（2050）、厄立特里亞（2050）、葉門（2050）、紐埃（2050）、印尼（2050）

資料來源：Energy & Climate Intelligence Unit（2022）。

註：a.各國的狀態統計至 2022 年 6 月 2 日的狀態，各國的狀態可能更動，資料來源出處可查詢各國最新狀態。

b.括號內為各國規劃達淨零之目標年。

附表 2：世界、台灣及淨零碳排放已入法 14 國由 1990 年至最新 2018 年 GHG 排放值^{a,b}

年	瑞典	丹麥	德國	法國	匈牙利	西班牙	德國	愛爾蘭	歐盟	英國	紐西蘭	日本	南韓	加拿大	台灣 ^c	世界
1990	70.26	68.51	57.84	477.92	90.74	275.27	1,109.28	54.11	4,279.18	746.40	45.17	1,109.37	244.25	626.36	137.78	32,645.91
1991	70.91	79.13	59.56	502.72	85.72	291.28	1,079.69	54.68	4,202.13	761.64	44.62	1,123.86	269.59	622.29	147.89	32,813.46
1992	73.46	72.94	63.58	487.97	75.77	248.65	1,032.01	54.89	4,058.11	739.51	45.48	1,137.15	294.15	638.22	156.41	32,670.32
1993	73.42	75.50	62.50	469.18	76.32	276.49	1,024.31	55.54	3,984.95	722.61	44.56	1,129.63	325.01	636.25	169.26	32,766.49
1994	75.23	79.20	64.41	463.44	75.97	289.43	1,011.41	57.02	3,968.32	711.75	46.29	1,186.79	352.61	656.82	177.54	32,977.47
1995	74.78	76.11	68.18	472.18	74.30	303.34	1,004.79	57.85	4,018.79	702.55	47.55	1,201.85	384.99	672.53	186.03	33,703.46
1996	80.33	89.58	66.63	490.93	76.57	296.73	1,032.92	59.34	4,126.40	722.68	48.09	1,215.95	412.92	696.88	194.92	34,068.91
1997	74.08	79.91	68.93	480.98	74.90	318.09	994.92	60.84	4,048.58	701.07	50.39	1,203.81	438.77	709.57	208.40	35,387.89
1998	74.87	75.85	74.08	497.02	74.76	327.70	968.60	64.24	4,008.29	697.42	48.89	1,156.66	373.96	726.10	218.45	34,929.19
1999	73.60	73.01	80.82	486.59	75.48	352.53	934.16	65.80	3,934.85	671.25	51.14	1,182.31	411.82	723.75	226.00	34,948.94
2000	69.41	68.80	80.33	483.67	72.67	369.84	924.72	68.77	3,933.88	673.87	51.29	1,198.54	469.38	739.69	245.89	35,607.73
2001	54.79	69.70	78.72	447.09	75.63	367.81	973.21	71.35	3,940.21	684.64	57.05	1,153.99	468.43	962.37	252.14	35,701.77
2002	56.12	69.44	83.60	439.49	73.79	384.51	954.76	70.62	3,921.02	666.82	58.59	1,185.65	461.26	981.04	263.48	36,727.84
2003	57.11	74.87	78.71	444.36	76.67	393.61	933.66	70.90	4,008.81	674.47	61.02	1,193.40	469.14	1,000.48	274.58	37,618.01
2004	55.69	68.54	80.60	441.98	75.48	409.76	933.79	70.13	4,005.19	669.83	59.66	1,185.28	493.24	995.19	284.69	39,437.14
2005	52.14	64.69	83.70	442.64	74.57	424.48	909.39	71.35	3,973.71	663.91	61.17	1,186.26	488.66	1,006.64	290.55	40,300.03
2006	50.61	72.46	78.41	432.32	73.80	418.34	915.88	72.32	3,968.63	661.01	61.43	1,164.29	496.96	992.64	299.07	41,831.65
2007	48.52	67.65	76.99	425.14	71.63	434.66	886.80	70.69	3,932.66	645.52	60.14	1,200.21	505.75	1,023.93	301.67	42,644.63
2008	47.38	64.17	74.74	418.88	70.22	401.45	889.47	69.64	3,841.03	625.56	60.16	1,133.32	519.83	999.57	284.98	43,003.97
2009	43.50	61.36	73.87	400.59	64.37	364.62	832.31	64.27	3,566.88	570.73	57.36	1,073.57	533.49	962.46	269.78	43,029.01
2010	49.08	61.79	68.60	404.32	64.35	349.44	862.97	62.91	3,646.50	583.60	57.14	1,130.13	586.31	975.84	286.96	44,758.58
2011	33.83	54.51	66.31	392.42	62.68	348.82	823.34	58.41	3,274.40	540.98	62.69	1,235.29	620.34	825.24	292.61	44,891.40
2012	30.98	50.98	64.62	396.16	56.47	316.48	834.70	59.14	3,136.34	543.71	64.53	1,289.00	624.54	830.07	287.77	45,427.61
2013	29.28	50.98	62.92	396.16	56.47	316.48	834.70	59.14	3,136.34	543.71	64.53	1,289.00	624.54	830.07	287.77	45,427.61
2014	27.95	46.73	62.51	363.05	56.74	314.95	814.43	59.30	2,990.49	502.84	65.02	1,251.32	613.81	848.12	291.24	46,647.29
2015	27.85	44.65	66.64	369.04	59.67	325.51	818.22	61.10	3,046.38	486.78	64.97	1,215.33	635.34	844.67	290.07	46,760.47
2016	32.87	49.19	66.81	368.04	60.86	315.83	820.70	63.08	3,387.97	464.28	69.80	1,225.67	651.13	731.11	293.89	47,413.95
2017	32.50	47.02	71.77	370.47	62.78	332.17	803.18	62.45	3,401.95	450.24	71.45	1,203.32	664.54	745.74	299.03	47,990.47
2018	30.05	46.73	67.15	361.37	62.81	326.94	776.61	62.29	3,333.16	441.13	70.71	1,154.72	673.08	763.44	297.19	48,939.71
2019															287.06	

資料來源：Ritchie 等人 (2020)。

註：a. 表中所有的數值為百萬噸、而 GHG 排放為各國包含 LULUCF 的 GHG；b. 表中加粗黑體字是各國或是區域選為淨零基準年之 GHG 排放量；c. 台灣 2019 年 GHG 排放量資料來自行政院環境保護署 (2022)。

附表 3：世界、台灣及淨零碳排放已入法 14 國由 1990 年至最新 2020 年 CO₂ 排放值^a

年	瑞典	丹麥	葡萄牙	法國	匈牙利	西班牙	德國	愛爾蘭	歐盟	英國	紐西蘭	日本	南韓	加拿大	台灣	世界
1990	57.38	53.57	45.33	393.00	73.23	231.19	1,052.48	32.94	3,863.41	600.34	25.65	1,158.01	250.47	458.01	124.07	22,749.57
1991	57.75	64.19	47.15	417.13	69.66	240.93	1,014.23	33.67	3,799.89	608.43	26.33	1,169.69	275.66	449.70	133.59	22,238.10
1992	57.50	58.38	50.98	406.98	62.09	249.83	965.89	33.49	3,672.35	592.88	28.28	1,179.40	300.03	463.52	142.17	22,569.62
1993	57.54	60.63	49.50	387.67	63.39	241.21	956.13	33.72	3,603.90	578.64	27.86	1,172.34	330.27	463.99	153.79	22,803.50
1994	60.00	64.69	50.28	381.03	61.79	253.69	939.82	34.84	3,585.96	574.64	28.03	1,227.27	355.84	478.27	161.16	22,964.58
1995	59.41	61.60	54.54	385.98	61.39	267.46	938.97	35.85	3,635.35	566.57	28.15	1,239.62	383.70	490.95	168.87	23,453.94
1996	63.35	74.85	51.84	402.40	63.03	254.88	959.15	37.47	3,720.56	588.19	29.38	1,251.53	421.10	507.00	176.78	24,154.96
1997	58.25	65.45	54.71	395.25	61.62	267.42	931.32	38.80	3,654.82	562.33	31.33	1,244.78	445.19	521.28	190.54	24,300.55
1998	58.72	61.22	59.27	413.91	61.16	276.07	923.36	40.71	3,645.89	567.60	29.93	1,204.99	378.44	528.99	200.16	24,206.27
1999	55.86	58.64	66.91	411.54	61.66	299.54	895.87	42.44	3,589.87	561.11	31.54	1,241.61	411.00	543.73	207.80	24,518.96
2000	54.71	54.29	65.70	405.90	58.37	311.39	899.85	45.25	3,601.25	567.59	32.34	1,264.38	440.53	566.55	226.98	25,234.21
2001	55.64	55.88	65.26	410.53	59.97	313.34	916.65	47.61	3,658.65	576.31	34.49	1,249.77	456.25	559.04	229.93	25,451.05
2002	56.61	55.54	69.75	406.01	59.01	333.45	899.97	46.08	3,659.46	560.07	34.66	1,279.12	476.79	564.67	237.65	26,039.19
2003	57.19	60.63	64.65	411.95	61.76	337.70	901.15	45.68	3,743.62	571.47	36.30	1,287.47	485.96	582.34	248.40	27,366.72
2004	56.50	55.08	67.50	413.15	60.13	354.61	887.09	46.17	3,754.79	572.90	35.95	1,282.86	492.25	580.76	257.88	28,627.53
2005	53.88	51.51	69.71	415.52	60.28	369.68	866.70	48.16	3,735.11	569.96	37.55	1,290.37	499.56	575.85	266.46	29,602.78
2006	53.70	59.43	64.93	405.76	59.64	360.70	878.32	47.66	3,744.77	567.57	37.54	1,267.36	504.51	571.41	276.16	30,583.53
2007	52.97	54.66	62.45	395.43	58.55	368.55	851.62	47.66	3,702.62	559.24	36.66	1,303.13	522.91	594.67	279.80	31,493.74
2008	50.89	51.22	60.12	387.99	57.25	336.77	854.93	47.37	3,616.94	544.50	37.71	1,232.31	534.03	579.37	266.60	32,069.44
2009	47.25	48.82	57.22	368.63	51.47	297.39	790.30	42.18	3,324.52	493.90	34.88	1,163.21	539.23	546.61	252.51	31,607.04
2010	53.13	49.17	53.02	376.58	52.07	283.87	832.95	41.79	3,425.81	511.63	35.03	1,214.82	595.59	558.80	270.15	33,343.30
2011	49.26	44.22	51.82	353.74	50.19	284.73	809.22	38.10	3,326.28	469.45	34.50	1,264.87	624.55	569.87	276.28	34,468.45
2012	46.77	39.84	49.98	355.93	46.76	278.96	813.99	38.24	3,252.49	487.52	36.14	1,306.01	628.94	569.26	272.76	34,974.08
2013	45.21	41.75	48.18	357.54	43.59	252.73	831.45	37.29	3,171.55	477.39	35.31	1,315.34	635.79	573.70	273.80	35,283.03
2014	43.34	37.54	47.96	325.89	43.68	255.07	792.59	36.91	3,035.95	438.54	35.53	1,263.73	630.60	570.56	276.31	35,534.44
2015	43.60	35.20	52.29	329.91	46.62	271.69	795.61	38.69	3,088.88	422.34	36.07	1,223.40	635.21	573.06	275.84	35,496.41
2016	43.26	37.01	50.46	333.58	47.07	260.76	800.69	40.16	3,095.70	399.34	34.31	1,203.72	639.26	559.57	279.71	35,452.46
2017	42.59	34.74	55.23	337.00	49.45	274.64	785.88	39.13	3,120.03	387.57	35.86	1,188.12	655.75	569.36	284.81	35,925.74
2018	42.10	34.67	51.49	322.37	49.41	269.71	754.11	39.20	3,046.09	381.89	35.79	1,143.46	671.63	579.47	282.84	36,646.14
2019	40.94	30.90	47.63	315.93	49.08	251.50	711.43	37.28	3,863.41	369.01	37.50	1,105.93	648.03	582.39	275.33	36,702.50
2020	38.64	26.20	40.39	276.63	48.28	208.92	644.31	33.35	3,799.89	329.58	33.48	1,030.78	597.61	555.82	273.18	34,807.26

資料來源：本文計算自 Ritchie 等人 (2020)。

註：a. 表中所有數值單位為百萬噸。

附表 4：世界、台灣及淨零碳排放已入法 14 國 1990-2018 年各年 CO₂ 排放佔 GHG 排放比例

年	瑞典	丹麥	葡萄牙	法國	匈牙利	西班牙	德國	愛爾蘭	歐盟	英國	紐西蘭	日本	南韓	加拿大	台灣	世界
1990	0.817	0.782	0.784	0.782	0.807	0.994	0.782	0.609	0.903	0.804	0.568	1.044	1.025	0.731	0.900	0.726
1991	0.814	0.811	0.792	0.811	0.813	1.009	0.811	0.616	0.904	0.799	0.590	1.041	1.023	0.723	0.903	0.708
1992	0.783	0.800	0.802	0.800	0.819	1.005	0.800	0.610	0.905	0.802	0.622	1.037	1.020	0.726	0.909	0.691
1993	0.784	0.803	0.792	0.803	0.831	1.031	0.803	0.607	0.904	0.801	0.625	1.038	1.016	0.729	0.909	0.696
1994	0.798	0.817	0.781	0.817	0.813	1.028	0.817	0.611	0.904	0.807	0.605	1.034	1.009	0.728	0.908	0.696
1995	0.795	0.809	0.800	0.809	0.826	1.026	0.809	0.620	0.905	0.806	0.592	1.031	0.997	0.730	0.908	0.696
1996	0.789	0.836	0.778	0.836	0.823	1.003	0.836	0.631	0.902	0.814	0.611	1.029	1.020	0.728	0.907	0.709
1997	0.786	0.819	0.794	0.819	0.823	0.970	0.819	0.638	0.903	0.802	0.622	1.034	1.015	0.735	0.914	0.687
1998	0.784	0.807	0.800	0.807	0.818	0.968	0.807	0.634	0.910	0.814	0.612	1.042	1.012	0.729	0.916	0.693
1999	0.759	0.803	0.828	0.803	0.817	0.966	0.803	0.645	0.912	0.836	0.617	1.050	0.998	0.751	0.919	0.702
2000	0.788	0.789	0.818	0.789	0.803	0.951	0.789	0.658	0.915	0.842	0.631	1.055	0.939	0.766	0.923	0.709
2001	1.015	0.802	0.829	0.802	0.793	0.899	0.802	0.667	0.929	0.842	0.605	1.083	0.974	0.581	0.912	0.713
2002	1.009	0.800	0.834	0.800	0.800	0.913	0.800	0.653	0.933	0.840	0.592	1.079	1.034	0.576	0.902	0.709
2003	1.001	0.810	0.821	0.810	0.805	0.902	0.810	0.644	0.934	0.847	0.595	1.079	1.036	0.582	0.905	0.727
2004	1.015	0.804	0.837	0.804	0.797	0.908	0.804	0.658	0.937	0.855	0.603	1.082	0.998	0.584	0.906	0.726
2005	1.033	0.796	0.833	0.796	0.808	0.912	0.796	0.675	0.940	0.858	0.614	1.088	1.022	0.572	0.917	0.735
2006	1.061	0.820	0.828	0.820	0.808	0.903	0.820	0.658	0.944	0.859	0.611	1.089	1.015	0.576	0.923	0.731
2007	1.092	0.808	0.811	0.808	0.817	0.887	0.808	0.674	0.942	0.866	0.610	1.086	1.034	0.581	0.928	0.739
2008	1.074	0.798	0.804	0.798	0.815	0.881	0.798	0.680	0.942	0.870	0.627	1.087	1.027	0.580	0.935	0.746
2009	1.086	0.796	0.775	0.796	0.800	0.861	0.796	0.656	0.932	0.865	0.608	1.083	1.011	0.568	0.936	0.735
2010	1.082	0.796	0.773	0.796	0.809	0.859	0.796	0.664	0.939	0.877	0.613	1.075	1.016	0.573	0.941	0.745
2011	1.456	0.811	0.781	0.811	0.801	0.835	0.811	0.652	1.016	0.868	0.550	1.024	1.007	0.691	0.944	0.768
2012	1.510	0.806	0.773	0.806	0.795	0.833	0.806	0.637	1.012	0.867	0.556	1.022	1.007	0.686	0.948	0.770
2013	1.544	0.819	0.766	0.819	0.772	0.819	0.819	0.631	1.011	0.878	0.547	1.020	1.018	0.682	0.947	0.766
2014	1.550	0.803	0.767	0.803	0.770	0.831	0.803	0.622	1.015	0.872	0.546	1.010	1.027	0.673	0.949	0.762
2015	1.566	0.788	0.785	0.788	0.781	0.855	0.788	0.633	1.014	0.868	0.555	1.007	1.000	0.678	0.951	0.759
2016	1.316	0.752	0.755	0.752	0.773	0.864	0.752	0.637	0.914	0.860	0.491	0.982	0.982	0.765	0.952	0.748
2017	1.311	0.739	0.770	0.739	0.788	0.863	0.739	0.627	0.917	0.861	0.502	0.987	0.987	0.763	0.952	0.749
2018	1.401	0.742	0.767	0.742	0.787	0.862	0.742	0.629	0.914	0.866	0.506	0.990	0.998	0.759	0.952	0.749
2019	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
平均	1.063	0.799	0.796	0.883	0.804	0.918	0.955	0.641	0.923	0.843	0.587	1.045	1.009	0.674	0.926	---

資料來源：本文計算自 Ritchie 等人 (2020)。

附表 5：台灣在不同淨零減量路徑情境下維持溫度上升不超過特定水準逐年分攤碳預算後碳排放累積總量
歷年變動趨勢與比較

年	上升不超過 1.5°C				上升不超過 1.7°C				上升不超過 2.0°C			
	情境一	情境二	情境三	情境四	情境一	情境二	情境三	情境四	情境一	情境二	情境三	情境四
2023	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2024	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2025	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2026	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2027	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2028	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2029	8.190	8.650	9.727	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2030	8.583	10.550	11.935	9.807	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2031	9.973	12.355	14.052	11.426	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2032	11.290	14.065	16.079	12.930	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2033	12.533	15.680	18.016	14.317	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2034	13.704	17.200	19.862	15.590	8.190	8.190	9.012	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2035	14.801	18.625	21.617	16.746	8.190	8.190	10.768	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2036	15.825	19.955	23.282	17.787	8.190	9.106	12.433	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2037	16.776	21.190	24.857	18.712	8.190	10.341	14.007	8.190	8.190	8.190	8.190	8.190
2038	17.654	22.330	26.341	19.522	8.190	11.481	15.492	8.672	8.190	8.190	8.190	8.190
2039	18.458	23.375	27.735	20.216	8.190	12.526	16.886	9.366	8.190	8.190	8.190	8.190
2040	19.190	24.325	29.039	20.794	8.340	13.476	18.189	9.944	8.190	8.190	8.190	8.190
2041	19.848	25.180	30.212	21.257	8.998	14.331	19.362	10.407	8.190	8.190	8.190	8.190
2042	20.433	25.940	31.254	21.604	9.584	15.091	20.405	10.754	8.190	8.190	8.190	8.190
2043	20.945	26.605	32.167	21.835	10.096	15.756	21.317	10.985	8.190	8.190	8.190	8.190
2044	21.384	27.175	32.949	21.950	10.535	16.326	22.099	11.101	8.190	8.190	8.190	8.190
2045	21.750	27.650	33.601	21.950	10.900	16.801	22.751	11.101	8.190	8.190	8.190	8.190
2046	22.043	28.030	34.122	21.835	11.193	17.181	23.272	10.985	8.190	8.190	8.190	8.190
2047	22.262	28.315	34.513	21.604	11.412	17.466	23.663	10.754	8.190	8.190	8.190	8.190
2048	22.408	28.505	34.774	21.257	11.559	17.656	23.924	10.407	8.190	8.190	8.420	8.190
2049	22.482	28.600	34.904	20.794	11.632	17.751	24.054	9.944	8.190	8.190	8.550	8.190
2050	22.482	28.600	34.904	20.216	11.632	17.751	24.054	9.366	8.190	8.190	8.550	8.190

資料來源：本文計算。

附表 6：台灣在不同淨零減量路徑情境下維持溫度上升不超過特定水準且 2023-2030 年平均分攤碳預算後碳排放累積總量
歷年變動趨勢與比較

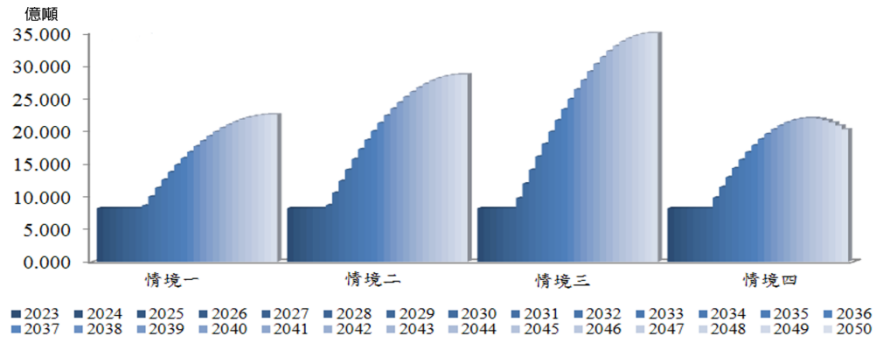
年	上升不超過 1.5°C				上升不超過 1.7°C				上升不超過 2.0°C			
	情境一	情境二	情境三	情境四	情境一	情境二	情境三	情境四	情境一	情境二	情境三	情境四
2023	8.763	8.818	8.856	8.797	7.406	7.461	7.500	7.441	5.469	5.524	5.562	5.503
2024	9.186	9.350	9.465	9.288	6.473	6.638	6.753	6.576	2.598	2.763	2.878	2.701
2025	9.459	9.788	10.018	9.664	5.391	5.719	5.950	5.595	-0.422	-0.094	0.137	-0.218
2026	9.583	10.130	10.515	9.923	4.158	4.705	5.090	4.498	-3.592	-3.045	-2.660	-3.252
2027	9.558	10.378	10.955	10.068	2.777	3.596	4.173	3.286	-6.911	-6.091	-5.514	-6.401
2028	9.383	10.530	11.338	10.096	1.245	2.393	3.200	1.959	-10.380	-9.233	-8.425	-9.666
2029	9.058	10.588	11.665	10.009	-0.436	1.094	2.171	0.515	-13.999	-12.469	-11.391	-13.047
2030	8.583	10.550	11.935	9.807	-2.267	-0.300	1.085	-1.043	-17.767	-15.800	-14.415	-16.543
2031	9.973	12.355	14.052	11.426	-0.877	1.505	3.202	0.576	-16.377	-13.995	-12.298	-14.924
2032	11.290	14.065	16.079	12.929	0.440	3.215	5.229	2.079	-15.060	-12.285	-10.271	-13.421
2033	12.533	15.680	18.016	14.317	1.683	4.830	7.166	3.467	-13.817	-10.670	-8.334	-12.033
2034	13.704	17.200	19.862	15.589	2.854	6.350	9.012	4.739	-12.646	-9.150	-6.488	-10.761
2035	14.801	18.625	21.618	16.746	3.951	7.775	10.768	5.896	-11.549	-7.725	-4.733	-9.604
2036	15.825	19.955	23.283	17.787	4.975	9.105	12.433	6.937	-10.525	-6.395	-3.067	-8.563
2037	16.776	21.190	24.857	18.712	5.926	10.340	14.007	7.862	-9.574	-5.160	-1.493	-7.638
2038	17.654	22.330	26.342	19.521	6.804	11.480	15.492	8.671	-8.696	-4.020	-0.008	-6.829
2039	18.458	23.375	27.736	20.215	7.608	12.525	16.886	9.365	-7.892	-2.975	1.385	-6.135
2040	19.190	24.325	29.039	20.793	8.340	13.475	18.189	9.943	-7.160	-2.025	2.689	-5.557
2041	19.848	25.180	30.212	21.256	8.998	14.330	19.362	10.406	-6.502	-1.170	3.862	-5.094
2042	20.433	25.940	31.255	21.603	9.583	15.090	20.405	10.753	-5.917	-0.410	4.905	-4.747
2043	20.945	26.605	32.167	21.834	10.095	15.755	21.317	10.984	-5.405	0.255	5.817	-4.516
2044	21.384	27.175	32.949	21.950	10.534	16.325	22.099	11.100	-4.966	0.825	6.599	-4.400
2045	21.750	27.650	33.601	21.950	10.900	16.800	22.751	11.100	-4.600	1.300	7.251	-4.400
2046	22.043	28.030	34.122	21.834	11.193	17.180	23.272	10.984	-4.307	1.680	7.772	-4.516
2047	22.262	28.315	34.513	21.603	11.412	17.465	23.663	10.753	-4.088	1.965	8.163	-4.747
2048	22.408	28.505	34.774	21.256	11.558	17.655	23.924	10.406	-3.942	2.155	8.424	-5.094
2049	22.482	28.600	34.904	20.793	11.632	17.750	24.054	9.943	-3.868	2.250	8.554	-5.557
2050	22.482	28.600	34.904	20.215	11.632	17.750	24.054	9.365	-3.868	2.250	8.554	-6.135

資料來源：本文計算。

附表 7：台灣在不同淨零減量路徑情境下維持溫度上升不超過特定水準且 2023-2040 年平均分攤碳預算後碳排放累積總量
歷年變動趨勢與比較

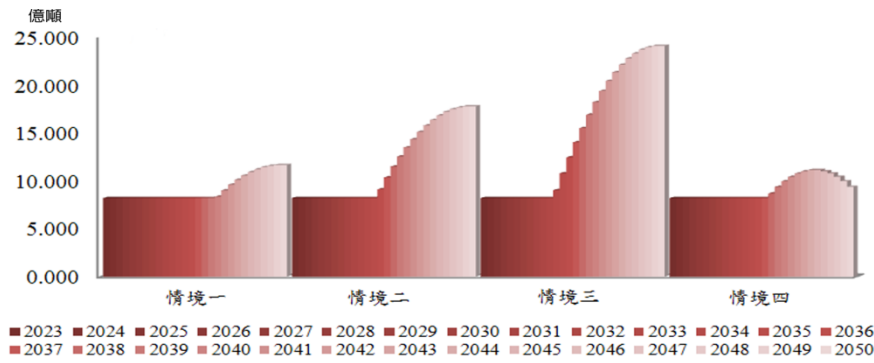
年	上升不超過 1.5°C				上升不超過 1.7°C				上升不超過 2.0°C			
	情境一	情境二	情境三	情境四	情境一	情境二	情境三	情境四	情境一	情境二	情境三	情境四
2023	9.839	9.894	9.932	9.873	9.236	9.291	9.330	9.270	8.375	8.430	8.468	8.409
2024	11.339	11.503	11.618	11.441	10.133	10.297	10.413	10.235	8.411	8.575	8.690	8.513
2025	12.689	13.017	13.248	12.893	10.880	11.208	11.439	11.084	8.297	8.625	8.856	8.501
2026	13.889	14.436	14.820	14.229	11.478	12.024	12.409	11.818	8.033	8.580	8.965	8.373
2027	14.940	15.759	16.337	15.450	11.926	12.746	13.323	12.436	7.620	8.440	9.017	8.130
2028	15.841	16.988	17.796	16.555	12.224	13.372	14.180	12.938	7.058	8.205	9.013	7.771
2029	16.592	18.122	19.200	17.544	12.373	13.903	14.980	13.325	6.345	7.875	8.952	7.297
2030	17.194	19.161	20.546	18.418	12.372	14.339	15.724	13.595	5.483	7.450	8.835	6.707
2031	17.723	20.105	21.802	19.176	12.298	14.680	16.377	13.751	4.548	6.930	8.627	6.001
2032	18.179	20.954	22.968	19.818	12.151	14.926	16.940	13.790	3.540	6.315	8.329	5.179
2033	18.561	21.708	24.044	20.345	11.930	15.077	17.413	13.714	2.458	5.605	7.941	4.242
2034	18.870	22.367	25.029	20.756	11.637	15.133	17.795	13.522	1.304	4.800	7.462	3.189
2035	19.106	22.931	25.923	21.051	11.270	15.094	18.087	13.215	0.076	3.900	6.892	2.021
2036	19.269	23.399	26.727	21.231	10.831	14.961	18.288	12.792	-1.225	2.905	6.233	0.737
2037	19.359	23.773	27.441	21.295	10.318	14.732	18.399	12.253	-2.599	1.815	5.482	-0.663
2038	19.376	24.052	28.064	21.244	9.732	14.408	18.419	11.599	-4.046	0.630	4.642	-2.179
2039	19.319	24.236	28.597	21.076	9.072	13.989	18.349	10.829	-5.567	-0.650	3.710	-3.810
2040	19.190	24.325	29.039	20.793	8.340	13.475	18.189	9.943	-7.160	-2.025	2.689	-5.557
2041	19.848	25.180	30.212	21.256	8.998	14.330	19.362	10.406	-6.502	-1.170	3.862	-5.094
2042	20.433	25.940	31.255	21.603	9.583	15.090	20.405	10.753	-5.917	-0.410	4.905	-4.747
2043	20.945	26.605	32.167	21.834	10.095	15.755	21.317	10.984	-5.405	0.255	5.817	-4.516
2044	21.384	27.175	32.949	21.950	10.534	16.325	22.099	11.100	-4.966	0.825	6.599	-4.400
2045	21.750	27.650	33.601	21.950	10.900	16.800	22.751	11.100	-4.600	1.300	7.251	-4.400
2046	22.043	28.030	34.122	21.834	11.193	17.180	23.272	10.984	-4.307	1.680	7.772	-4.516
2047	22.262	28.315	34.513	21.603	11.412	17.465	23.663	10.753	-4.088	1.965	8.163	-4.747
2048	22.408	28.505	34.774	21.256	11.558	17.655	23.924	10.406	-3.942	2.155	8.424	-5.094
2049	22.482	28.600	34.904	20.793	11.632	17.750	24.054	9.943	-3.868	2.250	8.554	-5.557
2050	22.482	28.600	34.904	20.215	11.632	17.750	24.054	9.365	-3.868	2.250	8.554	-6.135

資料來源：本文計算。



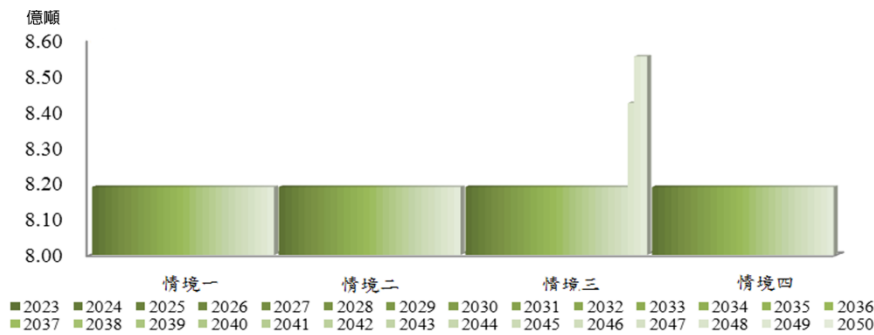
資料來源：本文計算繪製。

附圖 1-1：不超過 1.5°C 各淨零減量情境逐年以碳預算抵減後
歷年總碳排放累積趨勢與比較



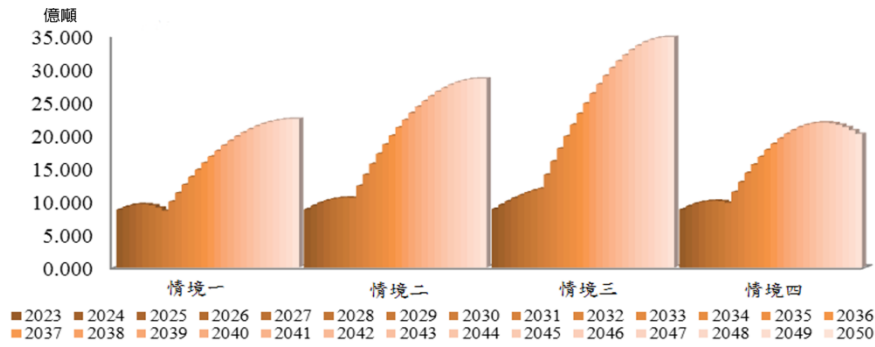
資料來源：本文計算繪製。

附圖 1-2：不超過 1.7°C 各淨零減量情境逐年以碳預算抵減後
歷年總碳排放累積趨勢與比較



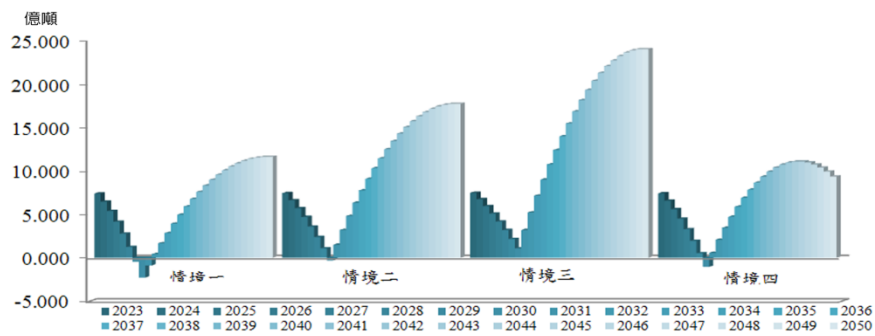
資料來源：本文計算繪製。

附圖 1-3：不超過 2.0°C 各淨零減量情境逐年以碳預算抵減後
歷年總碳排放累積趨勢與比較



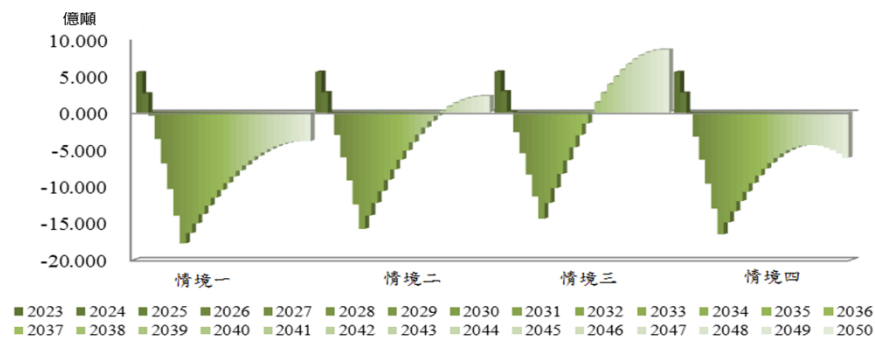
資料來源：本文計算繪製。

附圖 2-1：不超過 1.5°C 各淨零減量情境 2023-2030 平均分攤碳預算後
歷年總碳排放累積趨勢與比較



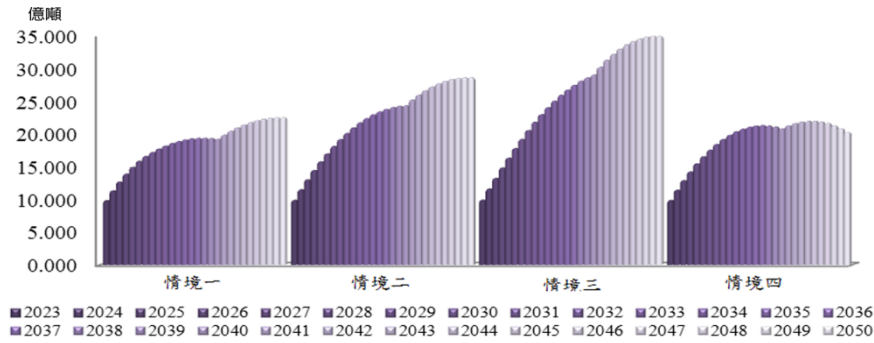
資料來源：本文計算繪製。

附圖 2-2：不超過 1.7°C 各淨零減量情境 2023-2030 平均分攤碳預算後
歷年總碳排放累積趨勢與比較



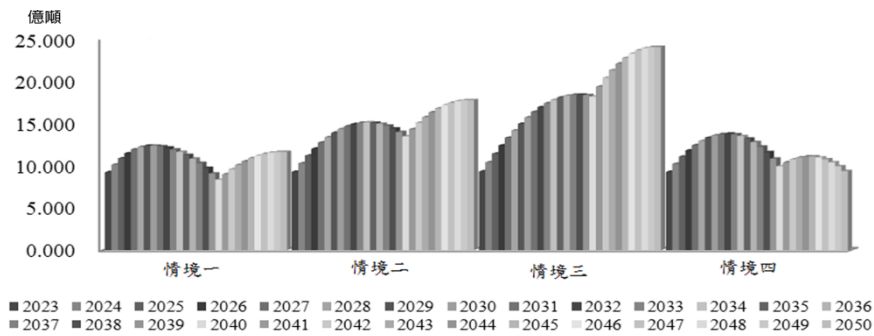
資料來源：本文計算繪製。

附圖 2-3：不超過 2.0°C 各淨零減量情境 2023-2030 平均分攤碳預算後
歷年總碳排放累積趨勢與比較



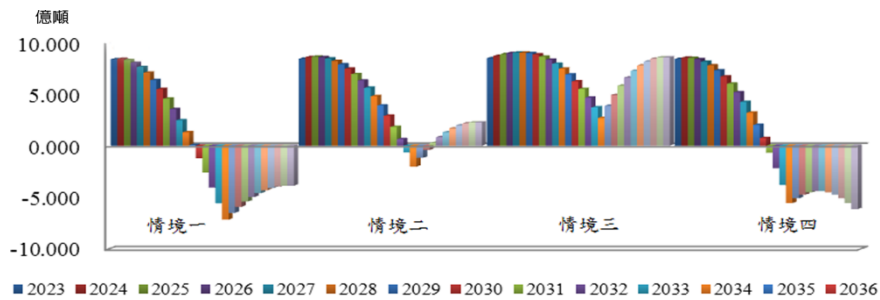
資料來源：本文計算繪製。

附圖 3-1：不超過 1.5°C 各淨零減量情境 2023-2040 平均分攤碳預算後
歷年總碳排放累積趨勢與比較



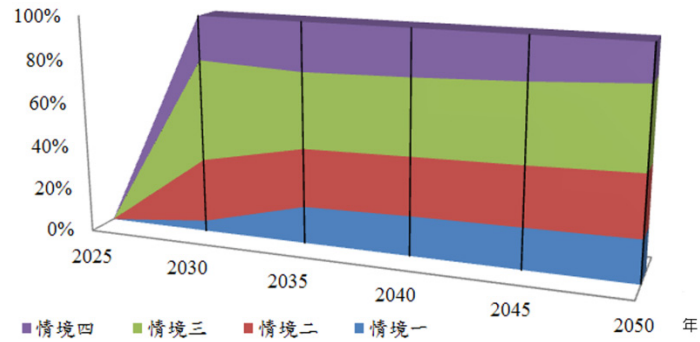
資料來源：本文計算繪製。

附圖 3-2：不超過 1.7°C 各淨零減量情境 2023-2040 平均分攤碳預算後
歷年總碳排放累積趨勢與比較



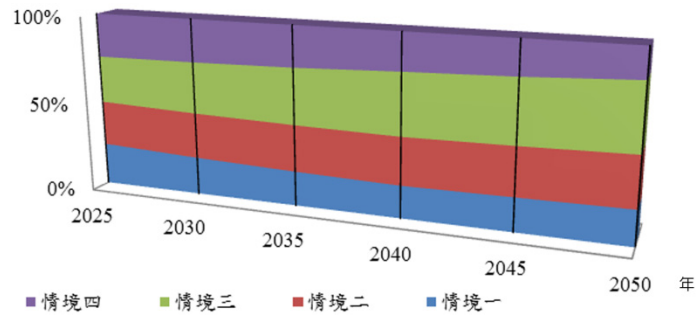
資料來源：本文計算繪製。

附圖 3-3：不超過 2.0°C 各淨零減量情境 2023-2040 平均分攤碳預算後
歷年總碳排放累積趨勢與比較



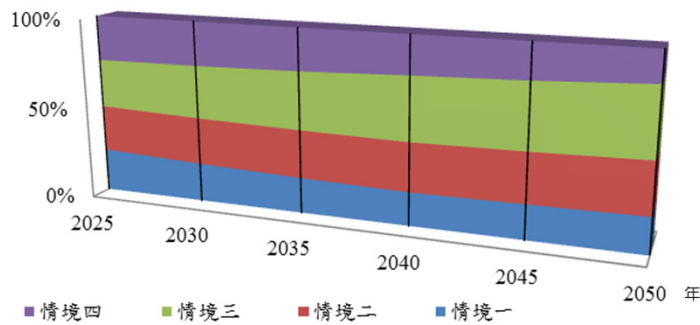
資料來源：本文計算繪製。

附圖 4-1：溫度上升不超過 1.5°C 碳累積量由 2023 逐年以碳預算抵減後
各情境碳累積量比例比較



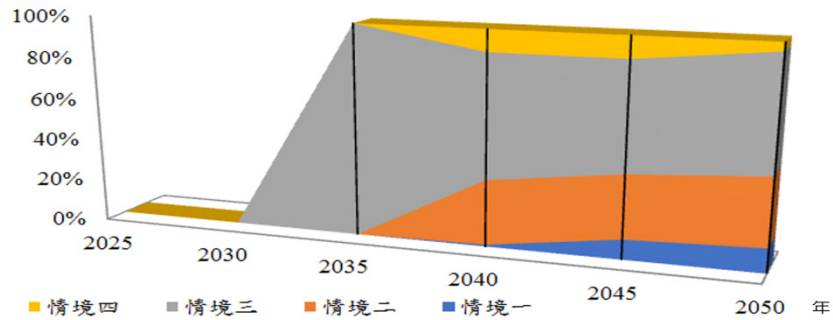
資料來源：本文計算繪製。

附圖 4-2：溫度上升不超過 1.5°C 碳累積量扣除 2023-2030 平均分攤碳預算後
各情境碳累積量比例比較



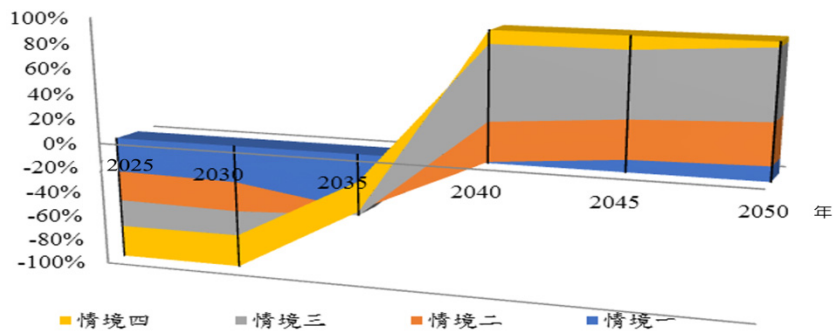
資料來源：本文計算繪製。

附圖 4-3：溫度上升不超過 1.5°C 碳累積量扣除 2023-2040 平均分攤碳預算後
各情境碳累積量比例比較



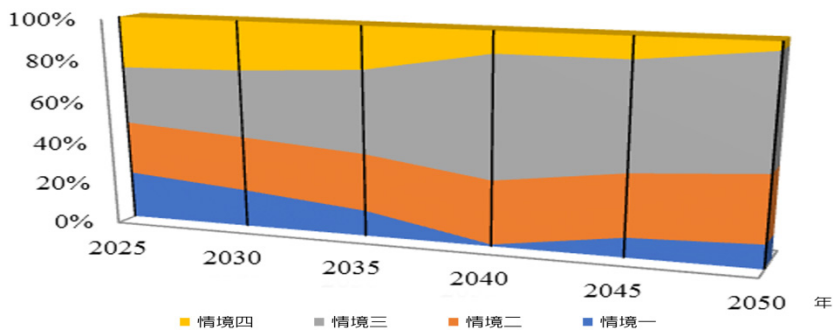
資料來源：本文計算繪製。

附圖 5-1：溫度上升不超過 1.7°C 碳累積量由 2023 逐年以碳預算抵減後
各情境碳累積量比例比較



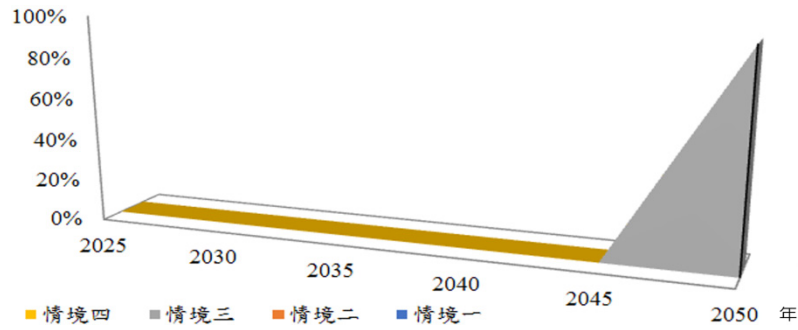
資料來源：本文計算繪製。

附圖 5-2：溫度上升不超過 1.7°C 碳累積量扣除 2023-2030 平均分攤碳預算後
各情境碳累積量比例比較



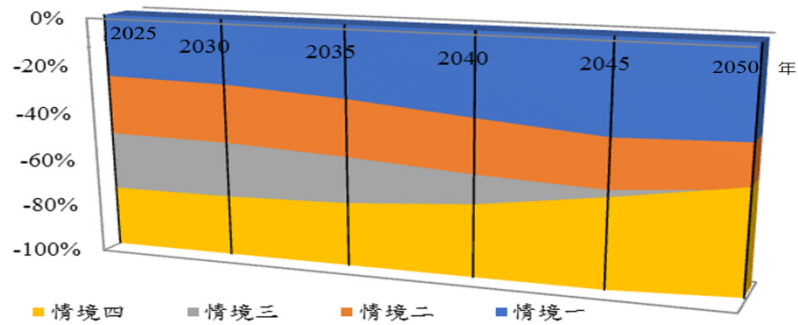
資料來源：本文計算繪製。

附圖 5-3：溫度上升不超過 1.7°C 碳累積量扣除 2023-2040 平均分攤碳預算後
各情境碳累積量比例比較



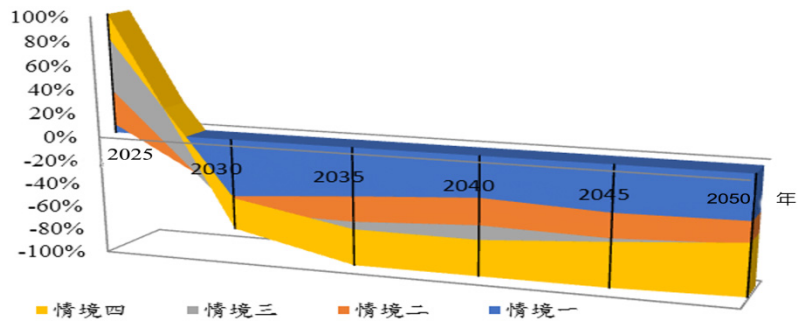
資料來源：本文計算繪製。

附圖 6-1：溫度上升不超過 2.0°C 碳累積量由 2023 逐年以碳預算抵減後
各情境碳累積量比例比較



資料來源：本文計算繪製。

附圖 6-2：溫度上升不超過 2.0°C 碳累積量扣除 2023-2030 平均分攤碳預算後
各情境碳累積量比例比較



資料來源：本文計算繪製。

附圖 6-3：溫度上升不超過 2.0°C 碳累積量扣除 2023-2040 平均分攤碳預算後
各情境碳累積量比例比較

參考文獻

- 行政院環境保護署，2022。《中華民國國家溫室氣體排放清冊報告 2021》
(https://unfccc.saveoursky.org.tw/nir/2021nir/uploads/00_nir_full.pdf) (2022/6/10)
- Association of Accredited Public Policy Advocates to the European Union. 2021. “Net Zero Climate Targets in Europe.” (<http://www.aalep.eu/net-zero-climate-targets-europe>) (2022/5/20)
- Bullard, Nicola. 2010. “Climate Debt: A Subversive Political Strategy.” Transnational Institute (TNI) (<https://www.tni.org/en/article/climate-debt-a-subversive-political-strategy>) (2022/5/30)
- Buyse, Claire, and Josh Miller. 2021. “Transport Could Burn up the EU’s Entire Carbon Budget.” International Council of Clean Transportation (<https://theicct.org/transport-could-burn-up-the-eus-entire-carbon-budget/>) (2022/6/15)
- Climate Action Tracker. 2022. “South Korea.” Climate Action Tracker (<https://climateactiontracker.org/countries/south-korea/>) (2022/5/30)
- Danish Council on Climate Change. 2019. “A Framework for Danish Climate Policy Input for a New Danish Climate Act with Global Perspectives.” (<http://eeac.eu/wp-content/uploads/2020/04/English-translation-A-framework-for-Danish-climate-policy.pdf>) (2022/5/29)
- Darby, Megan, and Isabelle Gerretsen. 2019. “Which Countries Have a Net Zero Carbon Goal? A Growing Number of Governments Are Setting Targets to End Their Contribution to Global Warming.” *Climate Home News*, June 4 (<https://www.climatechangenews.com/2019/06/14/countries-net-zero-climate-goal/>) (2022/5/29)
- Energy and Climate Intelligence Unit. 2022. “Net Zero Scorecard: Net Zero Emission Race: 2022 Scorecard.” (<https://eciu.net/netzerotracker>) (2022/6/10)
- Fleurbay, Marc, Sivan Kartha, Simon Bolwig, Yoke Ling Chee, Yang Chen, Esteve Corbera, Franck Lecocq, Wolfgang Lutz, Maria Silvia Muylaert, Richard B. Norgaard, Chukwumerije Okereke, and Ashok D. Sagar. 2014. “Sustainable Development and Equity,” in Ottmar Edenhofer, Ramón Pichs-Madruga, Youba Sokona, Ebrahim Farahani, Susanne Kadner, Kristin Seyboth, Anna Adler, Ina Baum, Steffen Brunner, Patrick Eickemeier, Benjamin Kriemann, Jouni Savolainen, Steffen Schlömer, Christoph von Stechow, Timm Zwickel, and Jan C. Minx, eds. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working*

Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 283-350. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter4.pdf) (2022/5/29)

Fankhauser, Sam, Stephen M. Smith, Myles Allen, Kaya Axelsson, Thomas Hale, Cameron Hepburn, J. Michael Kendall, Radhika Khosla, Javier Lezaun, Eli Mitchell-Larson, Michael Obersteiner, Lavanya Rajamani, Rosalind Rickaby, Nathalie Seddon, and Thom Wetzer. 2022. “The Meaning of Net Zero and How to Get It Right.” *Nature Climate Change*, Vol. 12, No. 1, pp. 15-21.

Government of Canada. 2021. “Government of Canada Legislates Climate Accountability with First Net-zero Emissions Law.” (<https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/net-zero-emissions-2050/canadian-net-zero-emissions-accountability-act.html>) (2022/5/17)

Gunnarsson, Sanna. 2021. “Local Carbon Budgets as a Tool for Sustainability Transitions: Three Emerging Narratives of Change and Governance, Degree Project in the Build Environment, Second Cycle, 30 Credits Stockholm, Sweden.” (<http://www.cemus.uu.se/wp-content/uploads/2022/02/Gunnarsson-Sanna-Local-Carbon-Budgets.pdf>) (2022/6/18)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2019. “Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty.” Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai, Hans-Otto Pörtner, Debra Roberts, Jim Skea, Priyadarshi R. Shukla, Anna Pirani, Wilfran Moufouma-Okia, Clotilde Péan, Roz Pidcock, Sarah Connors, Robin Matthews, Yang Chen, Xiaomin Zhou, Melissa Ines Gomis, Elisabeth Lonnoy, Thomas Maycock, Melinda Tignor, and Tim Waterfield, eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom (https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf) (2022/5/29)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2021. “Summary for Policymakers,” in Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai, Anna Pirani, Sarah L. Connors, Clotilde Péan, Sophie Berger, Nada Caud, Yang Chen, Leah Goldfarb, Melissa Ines Gomis, Mengtian Huang, Katherine Leitzell, Elisabeth Lonnoy, Robin Matthews, Thomas K. Maycock, Tim Waterfield, Ozge Yelekçi, Rong Yu, and

- Baiquan Zhou, eds. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 3-32. Cambridge: Cambridge University Press (doi:10.1017/9781009157896.001)
- Leach, Nicholas J., Richard J. Millar, Karsten Haustein, Stuart Jenkins, Euan Graham, and Myles R. Allen. 2018. "Current Level and Rate of Warming Determine Emissions Budgets under Ambitious Mitigation." *Nature Geoscience*, Vol. 11, No. 6, pp. 574-79.
- Lowe, Jason A., and Daniel Bernie. 2018. "The Impact of Earth System Feedbacks on Carbon Budgets and Climate Response." *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 376, 20170263 (DOI:10.1098/rsta.2017.0263).
- Matthews, H. Damon, Katarzyna B. Tokarska, Zebedee R. J. Nicholls, Joeri Rogelj, Josep G. Canadell, Pierre Friedlingstein, Thomas L. Frölicher, Piers M. Forster, Nathan P. Gillett, Tatiana Ilyina, Robert B. Jackson, Chris D. Jones, Charles Koven, Reto Knutti, Andrew H. MacDougall, Malte Meinshausen, Nadine Mengis, Roland Séférian, and Kirsten Zickfeld. 2020. "Opportunities and Challenges in Using Remaining Carbon Budgets to Guide Climate Policy." *Nature Geoscience*, Vol. 13, No. 12, pp. 769-79.
- Matthews, H. Damon, Katarzyna B. Tokarska, Joeri Rogelj, Christopher J. Smith, Andrew H. MacDougall, Karsten Haustein, Nadine Mengis, Sebastian Sippel, Piers M. Forster, and Reto Knutti. 2021. "An Integrated Approach to Quantifying Uncertainties in the Remaining Carbon Budget." *Communications Earth and Environment*, Vol. 2, No. 1 (DOI:10.1038/s43247-020-00064-9).
- McGuire, Jason, Fionn Rogan, Hannah Daly, James Glynn, Olexandr Balyk, and Brian Ó Gallachóir. 2020. "The Role of Carbon Budgets in Translating the Paris Agreement into National Climate Policy." Discussion Paper, MaREI, SFI Research Centre for Energy, Climate and Marine (https://www.marei.ie/wp-content/uploads/2020/10/Discussion-Paper_The-role-of-carbon-budgets-in-translating-the-Paris-Agreement-into-national-climate-policy.pdf) (2022/6/16)
- Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change. 2021. "That's How Fast the Carbon Clock Is Ticking." Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) (<https://www.mcc-berlin.net/en/research/co2-budget.html>) (2022/6/15)
- Ministry of Climate, Energy and Utilities, Government of Denmark. 2020. "Climate

- Programme 2020 Denmark's Mid-century, Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategy-submitted under the Paris Agreement.” (https://unfccc.int/sites/default/files/resource/ClimateProgramme2020-Denmarks-LTS-under-the%20ParisAgreement_December2020_.pdf) (2022/5/16)
- Ministry for the Environment, New Zealand Government. 2022. “Emissions Budgets and the Emissions Reduction Plan.” (<https://environment.govt.nz/what-government-is-doing/areas-of-work/climate-change/emissions-budgets-and-the-emissions-reduction-plan/#emissions-budgets>) (2022/6/17)
- Net Zero Tractor. 2022 (<https://www.zerotracker.net/>) (2022/6/3)
- Parliamentary Counsel Office, New Zealand Legislation, New Zealand Government. 2019. “Climate Change Response (Zero Carbon) Amendment Act 2019.” (<https://www.legislation.govt.nz/act/public/2019/0061/latest/LMS183848.html#LMS183790>) (2022/5/15)
- Pélouffy, Karine and Nick Zrinyi. 2021. “Canada’s Fair Share of Emissions Reductions under the Paris Agreement.” Office of the Honourable Rosa Galvez, Senate of Canada, Ottawa, Ontario (<https://rosagalvez.ca/en/initiatives/climate-accountability/canada-s-fair-share-of-emissions-reductions-under-the-paris-agreement/>) (2022/6/17)
- Pfleiderer, Peter, Carl-Friedrich Schleussner, Matthias Mengel, and Joeri Rogel. 2018. “Corrigendum: Global Mean Temperature Indicators Linked to Warming Levels Avoiding Climate Risks.” *Environmental Research Letters*, Vol. 15, No. 5 (DOI:10.1088/1748-9326/aac319).
- Pickering, Jonathan and Christian Barry. 2012. “On the Concept of Climate Debt: Its Moral and Political Value.” *Critical Review of International Social and Political Philosophy*, Vol. 15, No. 5, pp. 667-85.
- Ritchie, Hannah, Max Roser, and Pablo Rosado. 2020. “Our World in Data: CO₂ and Greenhouse Gas Emissions Country Profiles.” Our World In Data (<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>) (2020/5/20)
- Schleussner, Carl-Friedrich, Katarzyna B. Tokarska, Martin Stolpe, Peter Pfleiderer, Quentin Lejeune, and Bill Hare. 2018. “Carbon Budgets for the 1.5°C Limit.” *Climate Analytics* (https://climateanalytics.org/media/carbon_budgets_1o5c_updated18092018.pdf) (2022/6/10)
- Shamsuddoha, Md. 2010. “Global Climate: The Copenhagen Collapse.” *Social Watch Report 2010*, pp. 21-23. (https://www.socialwatch.org/sites/default/files/globalClimate2010_eng.pdf) (2022/5/30)

- Stoddard, Isak and Kevin Anderson. 2022. "A New Set of Paris Compliant CO₂-Budgets for Sweden." Carbon Budget Briefing Note 1 (CBBN1) (https://klimatkollen.se/Paris_compliant_Swedish_CO2_budgets-March_2022-Stoddard&Anderson.pdf) (2022/6/15)
- Law Library of Congress and Global Legal Research Directorate. 2021. "Net Zero Emissions Legislation around the World" LL File No. 2021-020617, LRA-D-PUB-002566 (<https://tile.loc.gov/storage-services/service/l1/llglrd/2021687417/2021687417.pdf>) (2022/5/22)
- United Nations. 2015. *Paris Agreement* (https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf) (2022/5/20)
- United Nations. n.d. "Climate Action: For a Livable Climate: Net-zero Commitments Must be Backed by Credible Action." (<https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>) (2022/6/14)
- Van Den Berg, Nicole J., Heleen L. van Soest, Andries F. Hof, Michel G. J., den Elzen¹, Detlef P. van Vuuren, Wenying Chen, Laurent Drouet, Johannes Emmerling, Shinichiro Fujimori, Niklas Höhne, Alexandre, C. Köberle, David McCollum¹, Roberto Schaeffer, Swapnil Shekhar, Saritha Sudharma Vishwanathan, Zoi Vrontisi, and Kornelis Blok. 2020. "Implications of Various Effort-sharing Approaches for National Carbon Budgets and Emission Pathways." *Climatic Change*, Vol. 162, No. 1, pp. 1805-22.
- Zapf, Martin, Hermann Pengg, and Christian Weindl. 2019. "How to Comply with the Paris Agreement Temperature Goal: Global Carbon Pricing According to Carbon Budgets." *Energies*, Vol. 12, 2983 (DOI:10.3390/en12152983)

The Design of Net-zero Carbon Emissions Reduction Pathways for Taiwan: Carbon Targets Determination under the Considerations of Carbon Budget for the Country

Pei-Ing Wu

*Professor, Department of Agricultural Economics
National Taiwan University, Taipei, TAIWAN*

Abstract

In order to have definite in-stage emissions reduction targets to realize net zero greenhouse gases emissions (GHGs) or carbon dioxide (CO₂) reductions for Taiwan, the purposes of this study are to design different pathways for such achievement. The reduction percentages relative to the base-year-emissions target for the intermediate years, such as year 2030 or 2040, are determined. Moreover, with accounting for the newest carbon budget to have temperature increase within the limit of 2°C, 1.7°C, and 1.5°C proposed by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), different combinations of emissions reductions pathways and the utilizations of carbon budget under equality principle and uniform relative reduction for all countries are compared.

It will be more flexible to have the emissions reductions target clearly set for 2030 in law and subsequent reduction targets every 5-year after 2030 can be set one year before the target year. The advantage of such arrangement is to have relatively certain control of climate conditions and technology development progress for target to achieve. Under the control of temperature increase of 2°C, 1.7°C, and 1.5°C, the carbon budget for Taiwan is 1.55 billion tons, 2.635 billion tons, and 4.185 billion tons by the net-zero year, respectively. The cumulative emissions are about 4 times to 13 times more for temperature restricted to 2.0°C than those restricted to 1.5°C. The selection of the best emissions reduction pathways should take into account

the utilization of different amounts of carbon budgets. The consideration of carbon budget is not only essential information for selecting the proper emissions reductions pathways but also play an important role for incubating technology development of carbon capture and storage.

Keywords: carbon budget, cumulative carbon emissions, *Paris Agreement*, nationally determined contributions, base-year-emissions, equal principle, uniform relative reduction for all countries