

本月專題

IPCC 1.5°C 影響特別報告概要

陳瑞惠¹

摘要

IPCC 應 UNFCCC 之邀，編撰關於全球暖化 1.5°C 影響與全球溫室氣體排放路徑的特別報告。該報告顯示，目前全球暖化約達 1°C，若以目前速度持續暖化，可能於 2030-2052 年達到 1.5°C，然而目前各國所提 NDC，可能導致暖化約 3°C。在全球暖化 1.5°C 時，自然系統與人類系統的氣候相關風險，高於目前，但低於暖化 2°C 時。若欲限制暖化於 1.5°C，預期全球 CO₂ 排放需於 2010-2030 年減少 45%，並約於 2050 年達淨零排放，即 2030 年排放需降至 35 Gt/年以下，然而目前各國所提 NDC，估計 2030 年排放為 52-58 Gt/年，差距甚大。為限制暖化 1.5°C，則需進行快速且深化的系統轉型，包括能源、工業、城市與基礎設施及土地利用等系統轉型。對於剩餘碳預算，則利用有限佈署二氧化碳移除(carbon dioxide removal, CDR)技術清除。而在永續發展與消除貧窮背景下，限制暖化於 1.5°C，若能使減緩與調適發揮最大綜效與最小抵銷效果，將可避免更大的氣候變遷衝擊，且有利於全球的系統轉型。

因此，若欲限制暖化於 1.5°C，全球需於 2030 年前降低排放，並於本世紀中葉達到碳中和。顯然地，在目前各國 NDC 係以 2025 或 2030 年為目標年之下，迫切需要各國顯著提升 NDC，才能縮短與 1.5°C 路徑差距，避免氣候變遷的快速惡化影響。

¹財團法人台灣綜合研究院 專案研究員

1. 報告編撰背景

2016 年 4 月，IPCC 應 UNFCCC 之邀，決定依據巴黎協定第 2-1 條款所載協定宗旨，準備在強化全球應對氣候變遷威脅、永續發展與消除貧困努力之背景下，編撰關於全球暖化 1.5°C 影響與相關全球溫室氣體排放路徑的特別報告，並於 2018 年 10 月發布。預計此報告將於 COP24，供 Talanoa dialogue 與巴黎協定規則手冊制定談判等之參酌。

此特別報告係基於有關全球暖化 1.5°C 之科學、技術與社經文獻之評估及針對 1.5°C 與 2°C 之比較，而其決策者摘要(Summary for Policy Makers)係提出特別報告之重要發現，其內容重點請詳附件 B-3.2。其主要研析結果彙整如下。

2. 決策者摘要報告重點

(1) 目前全球暖化約達 1°C

A.若以目前速度持續暖化，可能於 2030-2052 年達到 1.5°C。由過去與現在的排放量估計人為造成全球暖化之速度，目前為每十年約增加 0.2°C。在許多陸地區域與季節，目前正經歷高於全球暖化年均值，包括北極地區高 2-3 倍，且通常陸地暖化高於海洋暖化。

B.若以目前各國 NDC 推估，將導致 2100 年全球暖化約 3°C，之後持續暖化。

(2) 目前全球累計排放對暖化的影響

A.從工業革命前到現在的人為排放造成之暖化，將持續數個世紀到上千年，並將持續導致長期氣候系統的進一步變化(如海平面上升)與相關影響。

B.但這些累積排放不太可能導致全球暖化 1.5°C。因此，達到並維持全球人為 CO₂ 淨零排放與降低非 CO₂ 淨輻射效應，將可防止進一步的全球暖化。

(3) 暖化 1.5°C 之影響

A.暖化 1.5°C 影響風險高於目前，但低於暖化 2°C

(A)在全球暖化 1.5°C 時，自然系統與人類系統的氣候相關風險，高於目前，但低於暖化 2°C 時。這些風險取決於暖化的程度與速度、地理位置、發展水準與脆弱性，及調適與減緩方案的選擇與實施。

(B)若全球暖化超過 1.5°C 並於 2100 年前回到 1.5°C 之風險，將比全球暖化逐漸穩定在 1.5°C 之風險更大，尤其是暖化峰值溫度很高(例如約 2°C)時。此外，某些影響可能是持久或不可逆轉，例如某些生態系統的喪失。

B.氣候風險：氣候模型預測，當前(約暖化 1°C)與全球暖化 1.5°C 之間，及暖化 1.5°C 與 2°C 之間的區域氣候特徵差異，包括：大多數陸地與海洋區域的均溫增加，大多數有人居住區域的極端熱增加，部分地區的強降水增加，及部分地區乾旱與降水不足的可能性增加。

C.海平面上升風險：至 2100 年，全球平均海平面上升，預計在全球暖化 1.5°C 時將比 2°C 時，低約 0.1 公尺。預期 2100 年以後，海平面將持續上升，且上升幅度與速度，取決於未來排放路徑。減緩海平面上升速度，可為小島嶼、低窪沿海地區與三角洲的人類與生態系統，提供更大的調適機會。

D.對陸地生物多樣性與生態系統影響：暖化 1.5°C 時，對物種減少與滅絕，及對陸地、淡水與沿海生態系統的影響，預計比暖化 2°C 時低。

E.對海洋影響：與暖化 2°C 相比，暖化 1.5°C 時，預計海洋溫度的升高、海洋酸度的增加與海洋含氧量的降低程度，將較低緩。因此，限制暖化於 1.5°C，預計將降低對海洋生物多樣性、漁業與生態系統，及其對人類影響之風險，如最近北極海冰與溫水珊瑚礁生態系統的變化。

F.對人類生活影響：氣候對健康、生計、糧食安全、供水、人類安全與經濟成長之相關風險，預計將隨暖化 1.5°C 而增加，而於暖化 2°C 時，風險將進一步增加。

G.調適需求影響：與 2°C 相比，暖化 1.5°C 時，大多數調適之需求將

較低。在暖化 1.5°C 時，部分人類與自然系統的調適性與調適能力有限，並伴有相關損失，但在更高的暖化水準下，將更加明顯，並且因部門而異。於暖化 2°C 的生態系統、食物與衛生系統，預期其調適比暖化 1.5°C 更具挑戰性。而小島嶼與低度開發國家等部分脆弱地區，即使在暖化 1.5°C 時，預計亦將承受高度、多重的相互關聯氣候風險。

(4) 暖化 1.5°C 路徑與系統轉型

A. 1.5°C 排放路徑：預期全球 CO₂ 排放需於 2010-2030 年減少 45%，並約於 2050 年達淨零排放。

B. 1.5°C 碳預算：

(A) 剩餘碳預算估計

全球溫度衡量方法	估計剩餘碳預算	
	暖化 1.5°C 機率為 50%	暖化 1.5°C 機率為 66%
以全球地表空氣均溫衡量	580 Gt	420 Gt
以全球地表均溫衡量	770 Gt	570 Gt

上述估計之剩餘碳預算值之不確定性很大，取決於以下因素：

- a. 氣候對 CO₂ 與非 CO₂ 排放回應的不確定性，貢獻±400 Gt，歷史暖化水準則貢獻±250 GtCO₂。
- b. 未來永凍土融化可能增加之額外碳排放與濕地甲烷釋放，將在本世紀內耗減高達 100 Gt 碳預算，之後將耗減更多。
- c. 未來非 CO₂ 減量水準，可能使剩餘碳預算±250 Gt。

(B) 目前剩餘碳預算耗減率：估計 1.5°C 之總碳預算，至 2017 年已減少約 2,200±320 Gt，目前正以每年 42±3 Gt 排放量在耗減。

(C) NDC 之 2030 年排放估計：依目前各國 NDC，推估 2030 年全球溫室氣體排放為 52-58 Gt/年。

(D) 1.5°C 路徑之 2030 年排放估計：預期全球溫室氣體將降至 35 Gt/年以下，且有半數研析路徑，落在 25-30 GtCO₂eq/年，即比 2010 年減少 40-50%。

C. 排放減量策略

(A) **CO₂ 排放減量**：可能涉及不同減緩措施組合，惟需於降低能源與資源密集度、脫碳率與依賴 CO₂ 移除技術之間取得不同平衡。且不同的措施組合，面臨不同的推行挑戰，及與永續發展的潛在綜效與互抵(trade-offs)效應。

(B) **非 CO₂ 排放減量**：預計需大幅減少甲烷與黑碳排放(估計 2050 年較 2010 年減 35% 以上)，減少大部分冷卻氣溶膠等。能源部門採取廣泛之減緩措施，可減少非 CO₂ 排放。預計許多非 CO₂ 排放的減少，將使空氣品質獲得改善，產生直接且立即的健康效益。

D. 需進行快速且深化的系統轉型

1.5°C 路徑，需在能源、土地、城市與基礎設施(包括運輸與建築)、工業系統方面，進行快速而深化的轉型。在未來 20 年之系統轉型，預期比在 2°C 路徑更快且明顯。

(A) 能源系統轉型

a. **與 2°C 路徑相比**：1.5°C 路徑之能源需求端電氣化速度更快，低碳能源占比更高，尤其在 2050 年之前。

b. **再生能源**：預計 2050 年再生能源將提供 70-85% 電力。

c. **化石能源**：預計使用 CCS，將使 2050 年燃氣發電占全球電力 8%；而在煤炭使用急劇減少下，燃煤電力占比近 0%。

(B) 工業系統轉型

a. **2050 年工業排放**：於 1.5°C 路徑，估計 2050 年工業 CO₂ 排放，將比 2010 年減少約 75-90%；而於 2°C 路徑，則約減少 50-80%。

b. **減量策略**：可透過新技術與既有之技術與做法的組合達成減量，包括電氣化、氫氣、永續生質原料、產品替代與碳捕集利用封存(CCUS)技術等。

(C)城市與基礎設施系統轉型

a.與 2°C 路徑相比：在 1.5°C 路徑下，須對土地與城市規劃等做法進行變革，且運輸與建築部門需較 2°C 路徑進行更深層的排放減量。

b.2050 年建築與運輸部門相關能源需求估計：

部門	1.5°C 路徑	2°C 路徑
2050 年建築部門能源需求的電力占比	55-75%	50-70%
2050 年運輸部門最終能源的低碳能源占比(2020 年不到 5%)	35-65%	25-45%

c.深度減量之技術措施與做法：包括各種能效選項。經濟、體制與社會文化障礙，可能會抑制城市與基礎設施系統轉型，端視於國家、地區與地方情況、能力與可用資本。

(D)土地利用轉型

a.1.5°C 路徑：預計將 0.5-8 百萬平方公里牧場與 0-5 百萬平方公里種植食物與飼料作物之非牧場農業用地，轉換為 1-7 百萬平方公里種植能源作物，且與 2010 年相比，2050 年森林面積則從減 100 萬平方公里，變為增加 1,000 萬平方公里。

b.2°C 路徑：可觀察到類似 1.5°C 路徑規模的土地利用轉型，然而如此大規模轉型，對人類住區、食物、牲畜飼料、纖維、生質能源、碳儲存、生物多樣性與其他生態系統之各種土地需求的永續管理，面臨嚴峻挑戰。

c.限制土地需求減緩方案：包括土地使用做法的永續集約化、生態系統恢復及朝向資源消耗較少的飲食轉變。惟需克服各地區不同的社會經濟、體制、技術、融資與環境等障礙。

(E)相關減緩投資與成本估計

	2015-2050 年	1.5°C 路徑
減緩 投資 估計	年均能源相關減緩投資	9,000 億美元
	年均能源供給投資	16,000-38,000 億美元
	年均能源需求投資	7,000 億-10,000 億美元
與 2° C 路 徑相 比	年均低碳能源技術與能源效率投資	+20%
	能源相關投資總額	高約 12%
	預估 21 世紀折現後之 全球平均邊際減量成本	高約 3-4 倍

E.二氧化碳移除(carbon dioxide removal, CDR)技術選項

(A)利用 CDR 技術達成淨負排放

- a. 所有 1.5°C 路徑研究，預計於 21 世紀使用 CDR 技術減少約 100-1,000 GtCO₂。利用 CDR 技術移除剩餘 CO₂，達成淨負排放，以於溫升峰值後將全球暖化回復至 1.5°C。
- b. 既有與潛在的 CDR 措施：包括植樹造林與再造林、土地恢復與土壤固碳、生質能結合碳補存(bioenergy with carbon capture and storage, BECCS)、直接從空氣中捕集碳並封存 (direct air carbon capture and storage, DACCS)、強化風化與海洋鹼化等。目前只有少數模型路徑，涵蓋除植樹造林與 BECCS 以外的 CDR 措施。

(B)植樹造林與 BECCS 佈署

CDR 措施	預期移除 CO ₂ (GtCO ₂ /年)		
	2030	2050	2100
BECCS 佈署	0-1	0-8	0-16
農林業與土地利用(AFOLU)	0-5	1-11	1-5

基於最近文獻評估，上述本世紀中期佈署範圍上限，已超過 BECCS 除碳潛力高達 5 GtCO₂/年，超過造林除碳潛力高達 3.6 GtCO₂/年。部分分析路徑避免 BECCS 佈署，而完全透過需求面措施並更加依賴 AFOLU 相關 CDR 措施。

(C)CDR 佈署限制：數百 GtCO₂ 的 CDR 佈署，受到多種可行性與持續性的限制。近期的大幅減量，與降低能源、土地需求的措施，可使 CDR 佈署限制在數百 GtCO₂，而不依賴於 BECCS。

a.如果大規模佈署，大多數當前與潛在的 CDR 措施，可能對土地、能源、水或養分產生重大影響。如造林與生質能源，可能與其他土地利用相競爭，可能對農業與糧食系統、生物多樣性和其他生態系統產生重大影響，因此需有效治理。

b.CDR 使用的可行性與永續性，可透過以大量但較小規模佈署選項組合來強化，而不是非常大規模的單一選項。

(5)於永續發展與致力除貧背景下強化全球應對氣候變遷

A. 2030 年前全球排放開始下降，才能避免過度暖化與依賴大規模 CDR

(A)目前 NDC 路徑無法限制暖化於 1.5°C：目前各國 NDC，估計將導致本世紀末全球暖化約 3°C，預計其路徑，無法限制全球暖化於 1.5°C，即使於 2030 年後，具挑戰性地大幅提升減量規模與企圖心目標亦然。

(B)所有 1.5°C 路徑研析顯示，需於 2030 年將全球溫室氣體排放降至 35 GtCO₂eq/年以下。

(C)與暖化 1.5°C 相比，過度暖化軌跡將提高其影響與相關挑戰：欲逆轉本世紀超過 0.2°C 或更高的過度暖化，將需提升 CDR，並提升佈署的速度與規模，但由於在實施上可能面臨巨大挑戰而無法實現。

(D)2030 年排放愈低，2030 年後限制暖化於 1.5°C 的挑戰愈低：延遲減量行動所面臨挑戰，包括成本上升風險、碳鎖定的基礎設施、擱淺資產、使中長期應對方案的彈性降低等。

- B.如果限制全球暖化在 1.5°C 而非 2°C，且減緩與調適綜效最大化，同時抵銷效果最小化，則可避免氣候變遷對永續發展、除貧與減少不平等，產生更大衝擊。**
- C.針對國情的調適方案，並兼顧有利條件，將有利於暖化 1.5°C 的永續發展與減貧，儘管可能產生抵銷效果**
- (A)如果管理得當，減少人類與自然系統脆弱性的調適方案，與永續發展具有許多綜效，例如確保糧食與水的安全、減少災害風險、改善健康狀況、維護生態系統服務、減少貧窮與不平等。**
- (B)暖化 1.5°C 的調適，亦可能在永續發展不利影響下，導致抵銷效果或不利影響。例如：因設計或實施不良，使各部門調適計畫，可能會增加溫室氣體排放與用水量，提高性別與社會的不平等，破壞健康狀況，並侵蝕自然生態系統。**
- (C)限制暖化 1.5°C 的調適與減緩方案組合，以參與及整合方式實施，可使城市與農村地區進行快速、具系統性的轉型。**
- (D)同時能減緩排放的調適方案，於大部分部門與系統轉型上，可提供綜效並節省成本，例如當土地管理之減少排放與災害風險，或者低碳建築設計之兼顧有效冷卻。**
- D.與 1.5°C 路徑一致的減緩方案，與永續發展目標 (SDG) 中的多種綜效與抵銷效果相關聯。當可能綜效總數超過抵銷效果總數時，其淨效果將取決於變革速度與幅度、減緩組合構成與轉型管理。**
- (A)1.5°C 路徑，對於永續發展目標 3(健康)、7(清潔能源)、11(城市和社區)、12(負責任的消費與生產)、14(海洋)，尤其具有強大綜效。然而，部分 1.5°C 路徑顯示，若不謹慎管理，對於永續發展目標 1(貧窮)、2(飢餓)、6(水)、7(能源取得)，則可能與減緩會有抵銷效果。**

(B)包括低能源需求、低耗材與低溫室氣體密集型食品消費之 1.5°C 路徑，具有最明顯綜效，並與永續發展及 SDG 有最小的抵銷效果。

(C)CDR 選項對 SDG 的影響，取決於 CDR 類型與佈署規模。若實施不當，諸如 BECCS 與 AFOLU 之類的 CDR 選項，將產生抵銷效果。相關之規劃與實施，需考量人們需求、生物多樣性與其他永續發展層面。

E.於永續發展與除貧下限制全球暖化 1.5°C 風險，可透過增加調適與減緩投資、政策工具、加速技術創新與行為改變，達成系統轉型

(A)減緩與調適投資：

a.減緩與調適投資，涉及公共與民間資金的募集，而降低排放與調適風險的政府政策，可促進民間資金籌集，並強化其他公共政策的有效性。

b.與全球暖化 1.5°C 一致的調適融資難以量化，例如資料的不足，難以估算需加強特定氣候抵禦能力的投資等。調適資金通常由公共部門支持，而目前面臨障礙，包括調適融資規模、有限能力與調適融資的取得。

c.限制暖化 1.5°C 之全球模擬路徑預計，2016-2035 年能源系統年均投資需求，約為 2.4 兆美元，約占世界 GDP 的 2.5%。

(B)政策工具：有助於調動更多資源，包括透過轉變全球投資與儲蓄，透過市場與非市場工具，確保轉型公平性的相應措施，並認知推行面相關挑戰，如能源成本、資產折舊、國際競爭影響與利用機會達成最大化共同效益等。

(C)加速技術創新：與調適及限制暖化 1.5°C 一致的系統轉型，包括廣泛採用新的與可能的顛覆性技術與做法，並促進相關創新。國家創新政策與國際合作，皆有助於減緩與調適技術的發展、商業化與

推廣。創新政策，在結合公共支持之研發與激勵技術擴散政策時，可能更為有效。

(D)行為改變：教育、資訊與社區推廣方法，包括瞭解土著知識與當地知識的方法，可加速大規模的行為改變，以與調適及限制暖化 1.5°C 相一致。若與其他政策結合，並根據特定背景及參與者的動機、能力與資源制定時，這些方法將更為有效。

F.永續發展支持基本的社會與系統轉型，並有助於限制暖化 1.5°C 的變革。這些變革轉型，有助於實現氣候抵禦力發展路徑，以達成具企圖心的減緩與調應，同時消除貧窮與努力減少不平等。

G.加強國家與次級政府、民間社會、私營部門、土著人民及地方社區的氣候行動能力，可支持實施限制暖化 1.5°C 之具企圖心行動。在永續發展背景下，透過國際合作可實現此一目標，並提供有利環境。國際合作是開發中國家與脆弱地區的關鍵推動因素。

綜上所述，暖化 1.5°C 之影響風險高於現在，低於暖化 2°C，且有些暖化現象影響是不可回復的，而欲限制暖化於 1.5°C，需於 2010-2030 年間減少 45% 碳排放，並約於 2050 年達淨零排放。顯然地，在目前各國 NDC 係以 2025 或 2030 年為目標年之下，迫切需要各國顯著提升 NDC 目標，才能縮短與 1.5°C 路徑差距，避免氣候變遷的快速惡化影響。