

# IPCC 氣候變遷第六次評估報告

## 第三工作組報告「氣候變遷的減緩」

### 決策者摘要中文翻譯



譯者： **DELTA 台達**  
台達電子文教基金會

校對： **台灣科技媒體中心**  
SCIENCE MEDIA CENTER TAIWAN

審查：臺灣大學氣候變遷與永續發展學位學程兼任助理教授 趙家緯

## A. 簡介與框架

第三工作組（WG III）於IPCC第六次評估報告（AR6）的貢獻，是評估有關減緩氣候變遷的科學、技術、環境、經濟與社會方面的文獻。信心水準於（）括號中提供。數值範圍則以方括號[]表示。基礎報告與技術摘要（TS）中，章、節、圖表與方框之參考來源，則於{}括號中提供。

- **發展中的國際局勢**。除其他因素外，文獻反映了聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC）進程的發展，包括《京都議定書》的成果與《巴黎協定》的決議通過；聯合國2030年永續發展議程，包括永續發展目標（SDG），以及國際合作、金融與創新不斷演變的角色。
- **增加減緩參與者及方法的多樣性**。近期文獻強調城市、企業、原住民族、包括當地社區及青年在內的公民、跨國倡議及公私實體，於應對氣候變遷的全球工作中，發揮越來越大的作用。文獻記錄了氣候政策的全球傳播及現有與新興低排放技術的成本下降，以及不同類型與程度的減緩工作、部分國家溫室氣體（GHG）排放量持續減少、COVID-19疫情的影響及一些經驗教訓。
- **氣候變遷減緩、調適及發展路徑之間的緊密連結**。不同經濟發展階段的國家，所採取的發展路徑，會影響溫室氣體排放，進而形成減緩挑戰與機遇，這些挑戰與機遇因國家及地區而異。文獻探討了發展選擇及建立行動與支持的賦能條件，影響限制排放的可行性及成本的方式。文獻強調，在永續發展、公平及消除貧困的背景下，設計與實施的氣候變遷減緩行動，並奠基於其所在社會的發展願景，將更容易接受、更為持久且更為有效。本報告涵蓋針對性的措施及具有其他主要目標的政策與治理的減緩措施。
- **新評估方法**。除了部門與系統章節外，本報告亦首次在第三工作組報告中，納入專門討論服務需求與減緩的社會面向章節，以及創新、技術開發與移轉。本報告中對未來路徑的評估涵蓋近期（至2030年）、中期（至2050年）與長期（至2100年）的時間尺度，結合對現有承諾及行動的評估，以及對截至2100年的長期溫度結果相關的減量及其影響。對模擬全球路徑的評估，處理的是將發展路徑轉往永續的方法。IPCC工作小組之間強化的合作，呈現在整合物理科學、氣候風險及調適與減緩氣候變遷的跨工作小組方框中。

- **增加包括社會科學等多個學科的分析架構多樣性。**本報告確立多種分析架構，以評估減緩行動的驅動因子、障礙及方案。其中包括：考量避免衝擊的效益之經濟效率、道德與公平性、相互關聯的技術與社會轉型過程，以及社會政治架構，包含制度與治理。這些有助於找出風險及採取行動的機會，包括在地方、國家與全球中的共同利益及公正且公平的轉型。

本決策者摘要（SPM）的B部分「近期發展與當前趨勢」評估包含數據的不確定性與差距。C部分「限制全球升溫的系統轉型」點出符合全球升溫不同程度的限制排放路徑及替代減緩組合，並評估部門及系統層級的具體減緩方案。D部分包含「減緩、調適與永續發展之間的連結」。E部分「強化應對」，評估有關制度設計、政策、金融、創新與治理安排的賦能條件知識，在永續發展脈絡下，如何有助於減緩氣候變遷。

## B. 近期發展與當前趨勢

**B.1 2010~2019年期間，人為溫室氣體淨排放總量持續上升，自1850年以來，二氧化碳累計淨排放量也持續上升。2010~2019年期間的年平均溫室氣體排放量，高於以往的任何十年期間，但2010年至2019年的增長率，低於2000年至2009年。  
(高信心水準)**

B.1.1 2019 年全球人為溫室氣體淨排放量為 $590 \pm 66$ 億公噸二氧化碳當量，較2010年高出約12%（65億公噸二氧化碳當量），比1990年高出54%（210億公噸二氧化碳當量）。2010~2019十年期間的平均排放量為 $560 \pm 60$ 億公噸二氧化碳當量，比2000~2009年高出每年91億公噸二氧化碳當量。這是有紀錄以來最高的十年平均排放量增長量。年均增長率從2000年至2009年的年均2.1%，放緩至2010年至2019年的年均1.3%。（高信心水準）

B.1.2 自1990年以來，所有主要溫室氣體類別的人為排放量，儘管增長速度不同，但都在持續成長。2019年時，絕對排放量增幅最大的是，來自於化石燃料與工業的二氧化碳，其次是甲烷，而增長率最高的含氟氣體，由於其在1990年時排放程度較低，相對增長率為最高（高信心水準）。源自土地利用、土地利用改變及林業的人為二氧化碳淨排放（CO<sub>2</sub>-LULUCF），具有很大的不確定性及很高的年度變異性，即使要判斷長期趨勢變化上，信心水準也偏低。

B.1.3 自1850年到2019年，二氧化碳歷史累計淨排放量為 $2兆4000 \pm 2400$ 億公噸二氧化碳當量（高信心水準）。其中，超過一半（58%）出現在1850年至1989年[ $1兆4000 \pm 1950$ 億公噸二氧化碳當量]之間，約有42%發生在1990年至2019年[ $1兆 \pm 900$ 億公噸二氧化碳當量]期間。自1850年以來，約有17%的二氧化碳歷史累計淨排放量，發生在2010年至2019年期間[ $4100億 \pm 300$ 億公噸二氧化碳當量]。相較之下，目前自2020年起50%機率將升溫限制在1.5° C的剩餘碳預算推估中間值，評估為5000億公噸二氧化碳當量，而67%的機率將升溫限制在2° C的推估中間值，為1兆1500億公噸二氧化碳當量。剩餘碳預算取決於非二氧化碳減量量（ $\pm 2200$ 億公噸二氧化碳當量），並深受地球物理不確定性的影響。單單以推估中間值為準，2010年至2019年期間的二氧化碳累計淨排放量，約為2020年後50%機率將全球升溫限制在1.5° C的剩餘碳預算的五分之四，約為67%機率將全球升溫限制在2° C的剩餘碳預算的三分之一。即使納入不確定性，1850年至2019年期間的歷史排放量，在這些全球升溫水準的總碳預算中，仍然佔相當大的比例。單單以推估中間值為準，1850年至2019年期間的二氧化碳歷史累計淨排放量，約佔50%機率將全球升溫限制在1.5° C的總碳預算的

五分之四（推估中間值約為2兆9000億公噸二氧化碳當量），以及約三分之二的67% 機率將升溫限制在2° C的總碳預算（推估中間值約為3兆5500億公噸二氧化碳當量）。

B.1.4 因COVID-19疫情的應對，來自化石燃料與工業的二氧化碳排放量，在2020年上半年暫時下降（高信心水準），但於年底反彈（中信心水準）。相較於2019年，2020年來自化石燃料與工業的二氧化碳年平均減量約為5.8%[5.1~6.3%]，即22億[19億~24億]公噸二氧化碳當量（高信心水準）。因缺乏有關2020年非二氧化碳溫室氣體排放量的數據，無法評估COVID-19疫情，對溫室氣體排放量的全部影響。

**B.2 自2010年以來，全球所有主要部門的人為溫室氣體淨排放量，均有所增加。越來越多的排放可歸因於都市地區。因以GDP為基礎能源密集度及每單位能源的碳密集度改善，所帶來的化石燃料及工業製程所產生的二氧化碳排放量之削減幅度，低於全球工業、能源供應、運輸、農業及建築活動程度上升所增加的排放量。（高信心水準）**

B.2.1 2019年，約有34% [200億公噸二氧化碳當量] 的人為溫室氣體淨排放來自於能源供應部門，24%[140億公噸二氧化碳當量]來自於工業，22% [130億公噸二氧化碳當量]來自於農業、林業與其他土地利用（AFOLU），15%[87億公噸二氧化碳當量]來自於交通，6%[33億公噸二氧化碳當量]來自於建築。若電力及熱能生產的排放，歸屬於使用最終能源的部門，則這些間接排放量有90%會分派給工業及建築部門，將其相對溫室氣體排放占比分別從24%提高至34%和從6%提高至16%。在重新分派電力及熱能生產的排放後，能源供應部門佔全球人為溫室氣體淨排放的12%。（高信心水準）

B.2.2 與前十年相比，能源供應[2.3%到1.0%]及工業 [3.4%到1.4%] 的年平均溫室氣體排放量增長率在2010年至2019年期間放緩，但交通運輸部門則大致維持在每年2%左右（高信心水準）。由於來自土地利用、土地利用變化及林業的二氧化碳排放的高占比及不確定性，農業、林業與其他土地使用的排放量增長，包括來自農業（主要是甲烷及一氧化二氮）以及林業與其他土地利用（主要是二氧化碳）的排放，比其他部門更為不確定（中信心水準）。約有一半的農業、林業與其他土地使用淨排放，來自土地利用、土地利用變化及林業的二氧化碳排放，主要源自於森林濫伐（中信心水準）。

B.2.3 可歸因於都市地區的全球排放占比正在上升。2015年裡，都市排放量估計為250億噸二氧化碳當量（約佔全球 62%），2020年為 290億噸二氧化碳當量（佔全球

67-72%)。都市溫室氣體排放的驅動因子很複雜，包括人口規模、收入、都市化狀況及都市形態。(高信心水準)

B.2.4 2010年至2019年，全球能源密集度(每單位GDP的初級能源總量)每年下降2%。碳密集度(每單位來自化石燃料燃燒與工業製程的初級能源的二氧化碳，CO<sub>2</sub>FFI)每年下降0.3%，同一時期內的區域差異很大，主要是由於燃料自煤炭轉為天然氣、煤炭產能擴張減少，以及再生能源的使用量增加。這扭轉了2000~2009年的觀察趨勢。相較之下，在將升溫限制在2°C (>67%)的模擬情境中，預估2020年至2050年全球初級能源碳密集度每年需下降約3.5%，在將升溫限制在1.5°C (>50%)，且沒有過衝或有限過衝(overshoot)的情境下，全球每年需下降約7.7%。(高信心水準)

**B.3全球溫室氣體排放的區域貢獻持續有很大差異。地區與國家人均排放量的差異，部分反映出不同的發展階段，但在相似的收入水準下，也有很大差異。人均排放量最高的10%的家戶，在全球家戶溫室氣體排放量中的占比大得不成比例。而至少有18個國家可持續維持超過了10年溫室氣體減量。(高信心水準)**

B.3.1 1990~2019年的溫室氣體排放趨勢，在不同地區、時間及發展階段之間差異很大。全球人均淨人為溫室氣體排放量，從7.7公噸二氧化碳當量，增加到7.8公噸二氧化碳當量，不同區域之間從2.6公噸二氧化碳當量到19公噸二氧化碳當量不等。低度開發國家(LDC)及小島嶼發展中國家(SIDS)的人均排放量(分別為1.7公噸二氧化碳當量及4.6公噸二氧化碳當量)，遠低於全球平均水準(6.9公噸二氧化碳當量)，這不包含來自土地利用、土地利用變化及林業的二氧化碳排放。(高信心水準)

B.3.2 1850年至2019年期間，不同地區在總量上、在來自化石燃料與工業的二氧化碳(16500 +/- 730億噸二氧化碳當量)與淨土地利用、土地利用變化及林業二氧化碳(7600 +/- 2200億噸二氧化碳當量)排放量上，對累計人為二氧化碳淨排放量的歷史貢獻有很大的差異。在全球，來自化石燃料與工業的二氧化碳累計排放量，主要集中在少數地區，而來自土地利用、土地利用變化及林業的二氧化碳累計排放量，則集中在其他地區。在1850年至2019年期間，低度發展國家所貢獻的來自化石燃料與工業的二氧化碳歷史累計排放量不到0.4%，小島嶼發展中國家貢獻0.5%。(高信心水準)

B.3.3 2019年，全球約有48%的人口，生活在人均排放量超過6公噸二氧化碳當量(不包含來自土地利用、土地利用變化及林業的二氧化碳)的國家。有35%的人，生活在人均排放量超過9公噸二氧化碳當量的國家。另有41%的人，生活在人均排放量低於3公噸二氧化碳當量的國家。在這些低排放國家中，大部分人口無法取得現代能源服

務。在實現永續發展目標的背景下，短期內為這些地區的所有人，消除極端貧困、能源貧困及提供良好的生活標準，可在不顯著增加全球排放的情況下實現。（高信心水準）

B.3.4 在全球各地，人均排放量最高的前10%家戶，貢獻了全球以消費為準的家庭溫室氣體排放量的34~45%，而位居中間的40%貢獻了40~53%，而底層的50%則貢獻了13~15%。（高信心水準）

B.3.5 至少有18個國家，持續10年以上，減少生產導向的溫室氣體排放及消費導向的二氧化碳排放。減少量與能源供應的去碳化、能源效率的提升及能源需求的減少有關，這是政策與經濟結構變化所致。自達到峰值以來，部分國家已將生產導向的溫室氣體排放量，減少了三分之一以上，有些國家已連續數年達成每年約4%的減量率，相當於或低於全球將升溫限制在2° C (>67%) 情境下的減少量。這些減少量僅能部分抵銷全球排放量的增長量。（高信心水準）

**B.4 自2010年以來，有多個低排放技術的單位成本持續下降。創新政策配套，使這些成本降低並支持全球採用。針對創新系統所量身打造的政策與綜合政策，都有助於克服可能與全球低排放技術擴散相關的分配、環境與社會衝擊。由於賦能條件較弱，發展中國家的創新因此落後。數位化有助於削減排放量，但除非有適當的治理，否則可能會產生不利的副作用。（高信心水準）**

B.4.1 自2010年至2019年，太陽能（85%）、風能（55%）與鋰電池（85%）的單位成本持續下降，且其裝設量大幅增加，例如太陽能的設置量比增加10倍及電動汽車（EV）增加100倍，但各地區之間差異頗大。降低成本與鼓勵發展採用的政策工具組合，包括公部門研發、示範與前導專案資金挹注，以及需求拉動的工具，如補貼，使其達到規模化。相較於模組化且規模較小的技術，實證記錄顯示，多種大規模的減緩技術，學習機會較少，因而成本降幅最小，導致這些技術採用程度成長緩慢。（高信心水準）

B.4.2 針對國情與技術特點量身打造的政策配套，有效支持低排放創新及技術擴散。適當設計的政策與治理，有助於解決分配衝擊與反彈效應。創新為削減量及抑制排放量增長幅度提供了機會，並創造出社會與環境的共同效益。（高信心水準）大多數的發展中國家，尤其是低度發展國家，採用低排放技術的進度落後，部分原因是賦能條件較弱，包括資金、技術開發與移轉及能力有限。在許多國家中，尤其是制度量能有限的國家，由於低排放技術的擴散，例如低價值就業及對外國知識與供應商的依賴，已出現一些不利的副作用。低排放創新伴隨強化賦能條件，可增進發展效益，此回饋作用，可反過來提升政策的公眾支持度。（中信心水準）

B.4.3數位技術有助於減緩氣候變遷及實現數個永續發展目標（高信心水準）。例如：感測器、物聯網、機器人及人工智慧，可改善所有部門的能源管理、提升能源效率、促進採用分散式再生能源等許多低排放技術，同時創造經濟機會（高信心水準）。然而，因為使用數位設備，商品與服務需求的成長，可能會減少或抵銷上述減緩氣候變遷的成果（高信心水準）。數位化可能包含多個永續發展目標之間的權衡取捨，例如：增加電子廢棄物、對勞動市場的負面衝擊，以及加劇現有的數位落差。唯有適當治理，數位技術才能支援去碳化（高信心水準）。

## **B.5 自第五次評估報告以來，聚焦於減緩的政策與法律持續增加，這可避免掉原本會產生的排放，並增加在低溫室氣體技術及基礎設施的投資。不同排放部門的政策涵蓋不均。符合《巴黎協定》目標的資金流進度依舊緩慢，所追蹤的氣候資金流，在區域及部門之間亦分佈不均。（高信心水準）**

B.5.1《京都議定書》使部分國家的排放量減少，且有助建立國家與國際溫室氣體報告、稽核與排放市場的能力（高信心水準）。自2005年起，至少有18個於《京都議定書》第一個承諾期間制定目標的國家，至少在10年內實現絕對減量，其中兩個是經濟轉型國家（非常高信心水準）。幾乎達到全數參與的《巴黎協定》，促成國家及地方層級的政策制定與目標設定，特別是在減緩方面，以及提升氣候行動與支持的透明度方面（中信心水準）。

B.5.2在國家和次國家層級中，多種減緩政策工具應用在各個部門中持續增加（高信心水準）。2020年時，超過20%的全球溫室氣體排放，受碳稅或排放交易系統所涵蓋，儘管其涵蓋範圍及價格，不足以實現深度減量（中信心水準）。2020年時，有56個國家具有聚焦於溫室氣體減量的「直接」氣候法制，涵蓋全球排放量的53%（中信心水準）。針對農業及工業材料與進料生產排放的政策依然有限（高信心水準）。

B.5.3許多國家中，相關政策已提升能源效率、降低森林濫伐率，並加速技術部署，進而避免排放，在某些情況下甚至減少或消除排放（高信心水準）。多項證據顯示，減緩政策已使全球避免每年數億公噸二氧化碳當量的排放（中信心水準），可經由匯總經濟與管制工具影響的單獨估計值來計算，至少每年18億噸二氧化碳當量。越來越多的法律與行政命令，對全球排放產生影響，據估計，2016年的二氧化碳排放量，相較於未施行這些法制的情形時，已減少59億噸。（中信心水準）

B.5.4 在2013/14 至2019/20年間（以2015年美元計），用於減緩與調適氣候變遷的年度追蹤總資金流量增加了60%，但自2018年以來，平均成長速度放緩（中信心水準）。這些資金流仍然不平均的主要集中於減緩，且在不同地區與部門之間的發展不均（高信心水準）。2018年，自己開發國家流向發展中國家的公共與公開動用的私人

氣候資金流，低於《聯合國氣候變化綱要公約》及《巴黎協定》中的集體目標，即在有意義的減緩行動與實施透明度的情況下，2020年前每年動用1000億美元（中信心水準）。用在化石燃料的公共與私人資金流，仍大於用在氣候調適與減緩的資金流（高信心水準）。自第五次評估報告以來，綠色債券、ESG（環境、社會與治理）及永續金融產品的市場顯著擴張。挑戰依然存在，特別是在誠信度與外加性，以及這些市場在許多發展中國家的適用性依舊有限。（高信心水準）

## **B.6 COP 26前宣布的國家自主貢獻（NDC）實施相關的2030年全球溫室氣體排放量，將可能使21世紀的升溫超過 1.5° C。因此將升溫限制在2° C以下，可能將依賴2030年之後迅速加速減緩的工作。預計2020年底前實施的政策，將使全球溫室氣體排放量高於國家自主貢獻所設定的減量目標。（高信心水準）**

B.6.1 預計2020年底前所實施的政策，將導致全球溫室氣體排放量高於國家自主貢獻所設定的減量目標，顯示存有實踐落差。COP26之前宣布的國家自主貢獻實施相關的2030年全球溫室氣體排放量，與立即採取行動的模擬減緩路徑相關的排放量之間，仍然有落差。排放落差的大小，取決於所考慮的全球升溫水準，以及是否僅考慮無條件或有條件的國家自主貢獻要素。（高信心水準）

B.6.2 落實COP26之前宣布的國家自主貢獻時，2030年全球排放量，可低於首版國家自主貢獻所設定排放量（高信心水準）。相較於立即採取行動將升溫限制在2° C（>67%）的路徑，原本排放落差縮減了約20%到三分之一，相較於將升溫限制在1.5° C（>50%）且無過衝或有限過衝的路徑（表SPM.1的C1類），則縮減了約15~20%（中信心水準）。

B.6.3 在符合COP26之前宣布的國家自主貢獻且可將升溫限制在2° C（>67%）下的全球排放路徑，意味著2020~2030年的全球溫室氣體年平均減量為0~7億噸二氧化碳當量，在2030~2050年間，則以前所未有的速度加速至每年14~20億噸二氧化碳當量（中信心水準）。2030年以前，持續投資於未採防制技術的高排放基礎設施，以及低排放替代品的有限開發與部署，將成為達到前述減量加速的障礙，並增添可行性風險（高信心水準）。

B.6.4 在符合COP26前宣布的國家自主貢獻條件下所模擬得出的全球排放路徑，在21世紀之間可能會超過1.5° C。在2100年前有50%以上的可能性將升溫拉回到1.5° C的路徑，暗示溫度會過衝0.15~0.3° C。在這些路徑中，本世紀下半葉時，全球累計淨負二氧化碳排放量為3800 [-8600至-2000]億噸二氧化碳，2030年後所有部門的減緩力道都需急速增加。這樣的過衝路徑，相較於將升溫限制在1.5° C（>50%）且

沒有過衝或有限過衝的路徑相比，意味著氣候相關風險增加，且會受到更多可行性問題所影響，並有更大的社會與環境風險。（高信心水準）

**B.7 在無額外減量的情況下，現有與當前規劃的化石燃料基礎設施的整個生命週期內，預計未來累計二氧化碳排放量，會超過將升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$  (>50%) 且沒有過衝或有限過衝路徑中的累計淨二氧化碳排放總量。其大約等於將升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$  (>67%) 路徑中的累計淨二氧化碳排放總量。（高信心水準）**

B.7.1 如維持過去運作模式，且無額外的減量，自2018年到其運轉年限結束時，現存的化石燃料基礎設施的排放量，會達到6600[4600~8900]億噸二氧化碳，絕大部分門來是電力部門。如將當前規劃中的電力基礎設施的未採行減量技術時的排放量包括在內，其將達到8500[6000~11000]億噸二氧化碳。所有部門在將升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$  (>50%) 的路徑中且未過衝或有限過衝，直到達成二氧化碳淨零排放時，累計全球二氧化碳淨排放量為5100[3300~7100]億噸，將升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$  (>67%) 的路徑中則為8900[6400~11600]億噸，可將兩估計值間相互比較。（高信心水準）

B.7.2 在將升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$  (>67%) 以下的模擬全球路徑中，預計在全球二氧化碳淨零排放之前的大部分剩餘化石燃料二氧化碳排放，將發生在電力部門以外，主要是工業及運輸部門。現有化石燃料為基礎的電力部門基礎設施除役及降低利用率、利用碳捕捉與封存改造現有裝置而轉換為低碳燃料，以及取消無碳捕捉與封存的新燃煤機組，是有助於促使電力部門未來二氧化碳排放量，符合評估全球模擬最低成本路徑排放量的主要措施。最適合的策略，將依國家與地區的賦能條件與技術可用性等情况而定。（高信心水準）

## C. 限制全球升溫的系統轉型

C.1 將升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$  ( $>50\%$ )，沒有過衝或有限過衝的全球模擬路徑，以及將升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$  ( $>67\%$ ) 並立即採取行動的全球模擬路徑中，全球溫室氣體排放預計將在2020年與2025年間（最晚需於2025年前）達到峰值。在這兩種模擬路徑中，2030年、2040年及2050年都將快速且深度地減少溫室氣體排放（高信心水準）。若不加強2020年底所實施的政策，溫室氣體排放量預計在2025年以後仍將持續上升，使2100年前的全球升溫中位數為 $3.2$  [ $2.2$ 至 $3.5$ ]  $^{\circ}\text{C}$ （中信心水準）。

C.1.1 將升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$  ( $>67\%$ ) 且立即採取行動的全球模擬路徑中，全球淨溫室氣體排放量，相較於2019年水準，2030年前減少27% [ $13$ ~ $45\%$ ]，2050年前減少63% [ $52$ ~ $76\%$ ]。相比之下，將升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$  ( $>50\%$ ) 且沒有過衝或有限過衝的路徑中，2030年前減少43% [ $34$ ~ $60\%$ ]，2050年前減少84% [ $73$ ~ $98\%$ ]（高信心水準）。在高過衝後升溫回到 $1.5^{\circ}\text{C}$  ( $>50\%$ ) 的模擬路徑中，溫室氣體排放量在2030年減少23% [ $0$ ~ $44\%$ ]，在2050年減少75% [ $62$ ~ $91\%$ ]（高信心水準）。符合COP26前宣布的2030年前的國家自主貢獻，並假設此後目標不會增加的模擬路徑，具有更高的排放量，使得2100年前全球升溫中位數為 $2.8^{\circ}\text{C}$  [ $2.1$ ~ $3.4^{\circ}\text{C}$ ]（中信心水準）。

C.1.2 立即採取行動將升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$  ( $>67\%$ ) 的模擬路徑中，與模擬2019年排放量相比，2030年全球二氧化碳淨排放量減少27% [ $11$ ~ $46\%$ ]、2040年減少52% [ $36$ ~ $70\%$ ]；2030年及2040年全球甲烷排放量分別減少24% [ $9$ ~ $53\%$ ]及37% [ $20$ ~ $60\%$ ]。在將升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$  ( $>50\%$ ) 且沒有過衝或有限過衝的全球路徑中，與模擬2019年排放量相比，2030年的二氧化碳淨排放量減少48% [ $36$ ~ $69\%$ ]，2040年前減少80% [ $61$ ~ $109\%$ ]；2030年及2040年全球甲烷排放量分別減少34% [ $21$ ~ $57\%$ ]及44% [ $31$ ~ $63\%$ ]。2050年前，兩種路徑的非二氧化碳排放量減少量差不多：甲烷減少45% [ $25$ ~ $70\%$ ]、一氧化二氮減少20% [ $-5$ ~ $55\%$ ]、含氟溫室氣體減少85% [ $20$ ~ $90\%$ ]。在大多數模擬路徑中，這是基礎模型裡，人為甲烷減量的最大技術潛力（高信心水準）。如IMP-SP路徑所示，可透過活動水準的變化及/或超出大多數路徑所設定的技術創新，達成更進一步的減量效果（中信心水準）。更高的甲烷減量，可進一步減少升溫峰值。（高信心水準）

C.1.3 在符合2020年底前繼續實施的政策模擬路徑中，溫室氣體排放量持續上升，導致2100年前全球升溫 $3.2$  [ $2.2$ ~ $3.5$ ]  $^{\circ}\text{C}$ （中信心水準）。升溫超過 $4^{\circ}\text{C}$  ( $\geq$

50%) 的路徑，將代表當前技術及/或減緩政策趨勢逆轉（中信心水準）。如氣候敏感性高於估計中間值（高信心水準），在符合2020年底前實施政策的排放路徑下，此升溫亦可能發生。

C.1.4 與IPCC《地球暖化1.5° C》特別報告(SR1.5)中相同類別的路徑相比，屬評估文獻中最低溫度類別的全球模擬路徑，平均而言與更高的升溫峰值中位數有關。在第六次評估報告的模擬路徑中，與SR1.5相比，將升溫限制在1.5° C的可能性，平均而言均有下降。這是因為溫室氣體排放量自2017年以來不斷上升，且許多近期的路徑預估2030年前的排放量會更高、累計二氧化碳淨排放量會更高，達到二氧化碳淨零或溫室氣體淨零排放的日期會稍晚。例如：由於技術變革緩慢、全球人口增長程度高，以及共享社會經濟途徑SSP3中的高度碎片化的假設等高減緩挑戰，可能造成將升溫限制在2° C (> 67%) 以下無法實現。（中信心水準）

**C.2 全球二氧化碳淨零排放，在升溫限制於1.5° C (>50%) 且沒有過衝或有限過衝的模擬路徑中，會於2050年代初達成，在升溫限制在2° C (>67%) 的路徑中，會於2070年代初達成。多數這類路徑在達到淨零之後，會持續淨負二氧化碳排放。這些路徑還包括大幅減少其他溫室氣體排放量。升溫峰值的程度，取決於在二氧化碳淨零排放之前的累計二氧化碳排放量，以及到達峰值時的非二氧化碳氣候因子的變化。2030年及2040年大幅減少溫室氣體排放，特別是減少甲烷排放、降低升溫峰值，降低超過升溫限制的可能性，並減少對本世紀下半葉扭轉升溫的二氧化碳淨負排放的依賴。達到與維持全球溫室氣體淨零排放，會使升溫逐漸下降。（高信心水準）**

C.2.1 升溫限制在1.5° C (>50%) 且沒有過衝或有限過衝的模擬全球路徑，與直到二氧化碳淨零排放時5100[3300~7100]億噸二氧化碳的預估累計淨二氧化碳排放量相關。升溫限制在2° C (>67%) 的路徑，則與8900[6400~11600]億噸二氧化碳相關。（高信心水準）。

C.2.2 升溫限制在1.5° C (>50%) 且沒有過衝或有限過衝的模擬全球路徑，與2030年前更快速且更深度的近期溫室氣體排放減少量有關，並預計在較長時間裡，淨負二氧化碳排放及二氧化碳移除（CDR），少於高過衝（C2類別）後升溫回復到1.5° C (>50%) 的路徑。將升溫限制在2° C (>67%) 的模擬路徑，與升溫限制在1.5° C (>50%) （分別為 C1 和 C2 類別）且沒有過衝或有限過衝的路徑及升溫回復到1.5° C 的路徑相比，平均淨負二氧化碳排放量較低。在高過衝（C2類別）後將升溫回復到1.5° C (>50%) 的模擬路徑中，顯示近期溫室氣體排放減少，類似於升溫限制

在 $2^{\circ}\text{C}$  ( $>67\%$ ) (C3類別) 的路徑。對於給定的全球升溫峰值水準，更大且更快的近期溫室氣體排放量減少，與較晚的淨零二氧化碳時間相關。(高信心水準)

C.2.3 未來的非二氧化碳升溫，取決於非二氧化碳溫室氣體、氣膠及其前驅物與臭氧前驅物排放減少。在模擬全球低排放路徑中，隨著時間的推移，預計降溫與升溫氣膠排放的減少，會導致近期到中期的淨升溫。在這些減緩路徑中，預估降溫氣膠的減少主要是因為沒有配備有效的空氣污染防治措施的化石燃料燃燒減少。升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$  ( $>67\%$ ) 以下的模擬路徑中，預計二氧化碳淨零排放時的非二氧化碳溫室氣體排放量相似。這些非二氧化碳溫室氣體排放量約為每年80[50~110]億噸二氧化碳當量，其中甲烷的比例最大(60% [55~80%])，其次是一氧化二氮(30% [20~35%])及含氟溫室氣體(3% [2~20%])。由於大氣中甲烷的壽命很短，預計在模擬緩解路徑中的二氧化碳淨零排放之前，甲烷的排放量將大幅減少，進而有效降低全球升溫峰值。(高信心水準)

C.2.4 全球溫室氣體淨零排放時，淨負二氧化碳排放抵銷了加權計算後的非二氧化碳溫室氣體排放。根據100年全球暖化潛勢(GWP100)，達到並維持全球溫室氣體淨零排放的典型排放路徑，預計將使全球升溫逐漸下降。在21世紀下半葉，升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$  ( $>50\%$ ) 且沒有過衝或有限過衝(C1類別)的評估路徑中，約有一半達到溫室氣體淨零排放。這些路徑在2100年前全球升溫達到 $1.2$  [ $1.1\sim 1.4$ ] $^{\circ}\text{C}$ 後，相較於同個類別並未在2100年前達到溫室氣體淨零排放，將使得2100年前升溫 $1.4$  [ $1.3\sim 1.5$ ] $^{\circ}\text{C}$ 的模擬路徑相比，顯示有更大的減緩暖化成效。升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$  ( $>67\%$ ) (C3類別) 的模擬路徑中，溫室氣體達到淨零排放(約30%)的路徑，與沒有達到的路徑之間，2100年前的升溫無顯著差異(高信心水準)。升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$  ( $>67\%$ ) 以下且確實達到溫室氣體淨零排放的路徑中，溫室氣體淨零排放，比二氧化碳淨零排放晚約10~40年(中信心水準)。

**C.3 所有升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$  ( $>50\%$ ) 且沒有過衝或有限過衝的全球模擬路徑，以及升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$  ( $>67\%$ ) 的所有全球模擬路徑，都包含快速、深度且在大多數情況下立即減少所有部門的溫室氣體排放。實現這些減量並納入模型分析的減緩策略，包括從沒有碳捕捉與封存的化石燃料，轉型到非常低或零碳的能源，例如具有碳捕捉與封存的再生能源或化石燃料、需求端措施及提升效率、減少非二氧化碳排放與**

## 部署二氧化碳移除（CDR）方法，以抵銷殘餘溫室氣體排放。說明性減緩路徑（IMP）[1]顯示出符合給定升溫水準的部門減緩策略的不同組合。（高信心水準）

C.3.1 如說明性減緩路徑所示，不同部門在模擬減緩路徑中的貢獻有所差異。然而，升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$ （>67%）以下的模擬路徑有共同的特徵，包括快速且深度的溫室氣體減量。若要限制升溫，而有一個部門做得比較少的話，則需要其他部門更多的減量來補償。（高信心水準）

C.3.2 升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ （>50%）且沒有過衝或有限過衝的模擬路徑中，預計2050年全球煤炭、石油與天然氣的使用量會下降，與2019年相比的中位數分別是95%、60%與45%左右。四分位數的範圍是（80到100%）、（40到75%）和（20到60%），第五百分位~第九十五百分位的範圍是[60到100%]、[25到90%]與[-30%到85%]。升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$ （>67%）的模擬路徑中，這些2050年前預計下降量的中位數與四分位數，範圍為85%（65到95%）、30%（15到50%）與15%（-10到40%）。升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ （>50%）且沒有過衝或有限過衝的模擬路徑中，不使用碳捕捉與封存的煤炭、石油與天然氣的使用量，預期將更大幅減少，2050年的中位數與2019年相比，約為100%、60%與70%。四分位數範圍是（95到100%）、（45到75%）與（60到80%），煤、石油與天然氣的第五百分位~第九十五百分位範圍分別大約是[85到100%]、[25到90%]與[35到90%]。在這些全球模擬路徑中，2050年時，幾乎所有電力都來自零碳或低碳資源，例如再生能源或有碳捕捉與封存的化石燃料，同時伴隨能源需求面電氣化程度的提升。如其範圍所示，一部門的選擇，可藉由另一部門的選擇補償，並符合評估升溫水準。（高信心水準）

C.3.3 達到全球二氧化碳淨零排放的模擬路徑中，當其達到淨零排放時，某些產業的50~160億噸二氧化碳當量的排放量，會由其他產業的淨負二氧化碳排放量所抵消。大多數升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$ （>67%）以下的全球模擬路徑中，農業、林業與其他土地使用部門透過林地復育及減少森林濫伐，以及能源供應部門，會比建築、工業與運輸部門，更早實現二氧化碳淨零排放。（高信心水準）

C.3.4 達到全球溫室氣體淨零排放的模擬路徑中，當其達到溫室氣體淨零排放時，全球約有74%[54至90%]的減少量，是以能源供需中的二氧化碳減量達成，有13%[4至20%]是以農業、林業與其他土地使用部門的二氧化碳減量方案達成，以及有13%[10

---

[1] 編註：共有五種說明性減緩路徑（IMP），每個都強調不同的情景元素作為其定義特徵，並據此命名：高度依賴可再生能源路徑（IMP-Ren）、強調低能源需求路徑（IMP-LD）、廣泛使用二氧化碳移除並在能源和工業部門實現淨負排放路徑（IMP-Neg），在更廣泛的永續發展和改變發展路徑的路徑（IMP-SP），以及不那麼迅速並逐步加強近期減緩行動的路徑（IMP-GS）。

至18%]是透過減少土地使用、能源與工業的非二氧化碳排放量減少而達成（中信心水準）。

C.3.5 全球模擬減緩路徑中二氧化碳移除佈建方法與程度，取決於成本、可用性與限制條件的假設。在採用二氧化碳移除並將升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ （>50%）且沒有過衝或有限過衝的模擬路徑中，2020~2100年全球累計二氧化碳移除量，來自生質能與碳捕捉與封存（BECCS）及直接空氣碳捕捉與封存（DACCS），分別為300~7800億噸二氧化碳及0~3100億噸二氧化碳。在這些模擬路徑中，農業、林業與其他土地使用部門貢獻200~400億噸二氧化碳的淨負排放。在這些模擬路徑中體現的所有方案中，包括二氧化碳移除部署在內的總累計淨負二氧化碳排放量為200~6600億噸二氧化碳。在升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$ （>67%）的模擬路徑中，BECCS及DACCS在2020~2100年期間的全​​球累計二氧化碳移除量，分別為1700~6500億噸及0~2500億噸二氧化碳，農業、林業與其他土地使用部門貢獻100~2500億噸二氧化碳的淨負排放，總累計淨負二氧化碳排放量約為400 [0~2900]億噸二氧化碳。（表 SPM.1）（高信心水準）

C.3.6 所有減緩策略都面臨包括技術風險、擴展與成本等落實挑戰。在假設更有效率利用資源的模擬路徑（例如，IMP-LD）或將全球發展邁向永續的模擬路徑（例如，IMP-SP）中，可大幅減少如對二氧化碳移除的依賴、對土地和生物多樣性的壓力（例如：生質能），以及對高前期投資的技術（例如：核能）的依賴等許多挑戰。（高信心水準）

#### **C.4 減少整個能源部門的溫室氣體排放，需要重大轉型，包括大幅減少化石燃料的整體使用量、佈建低排放能源、轉換至替代能源載體及能源效率與節能。持續設置未減量的化石燃料基礎設施，將產生溫室氣體排放「鎖定效應」。（高信心水準）**

C.4.1 淨零二氧化碳能源系統需要：大幅減少化石燃料的整體使用量，盡量減少未減量的化石燃料使用量，以及在剩餘化石系統中使用碳捕捉與封存；不排放二氧化碳的電力系統；包括終端使用的能源系統廣泛電氣化；能源載體，如永續生質燃料、低排放氫及不太適合電氣化的應用中的衍生物；節能與效率；在整個能源系統中達成更大的實體、制度與營運過程的整合。需要二氧化碳移除來平衡能源部門的剩餘排放。最合適的戰略，取決於國家和地區中賦能條件與技術可用性等情況。（高信心水準）

C.4.2 關鍵技術（尤其是風能、太陽能與儲能）的單位成本降低，增加2030年前低排放能源產業轉型的經濟吸引力。在某些地區與產業，維持高排放量的系統可能比轉型至低排放系統更加昂貴。低排放能源部門的轉型，將帶來多重共同效益，包括改善空氣品質與健康。導入能源系統減緩方案的長期經濟吸引力，取決於政策設計與實施、

技術可用性與效能、制度量能、公平性、融資管道，以及公共與政治支持。（高信心水準）

C.4.3 主要由再生能源供給的電力系統，變得越來越可行。一些國家與地區的電力系統，已經主要以再生能源供電。為整個能源系統提供再生能源會更具挑戰性。儘管依然有營運、技術、經濟、管制與社會的挑戰，但已出現各種系統性解決方案，迎合能源系統中大量再生能源的需求。最終將需要廣泛的方案組合，例如系統整合、部門耦合、儲能、智慧電網、需求面管理、永續生質燃料、電解氫及衍生物等，以因應高再生能源占比的能源系統。（高信心水準）

C.4.4 全球升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$ 以下，將不會燃燒大量化石燃料，並可能大量化石燃料基礎設施閒置（高信心水準）。根據其可用性，碳捕捉與封存可延長化石燃料的使用時間，減少閒置資產（高信心水準）。自2015年到2050年，未燃燒的化石燃料與閒置的化石燃料基礎設施的全球折現價值，預計約為1~4兆美元，以將全球升溫限制在大約 $2^{\circ}\text{C}$ ，若要將全球升溫限制在大約 $1.5^{\circ}\text{C}$ ，則需要更多（中信心水準）。這種情況下，煤炭資產預計在2030年之前，將面臨閒置風險，而石油與天然氣資產預計在本世紀中葉之前，將面臨更大的閒置風險。預計低排放能源部門轉型，將可減少化石燃料的國際貿易。（高信心水準）

C.4.5 全球能源供應所產生的甲烷排放，主要是化石燃料生產和運輸產生的逸散性排放，約佔全球能源供應溫室氣體排放量的18% [13%~23%]，佔全球甲烷排放量的32% [22%~42%]，且佔2019年全球溫室氣體排放量的6% [4%~8%]（高信心水準）。這些化石燃料產生的甲烷排放中，藉由當前可用且成本低於每公噸二氧化碳當量50美元的技術可削減約50~80%（中信心水準）。

C.4.6 只要可使用地質儲存，碳捕捉與封存是減少大規模化石能源與工業來源排放的方案之一。當直接從大氣（DACCS）或生質能（BECCS）中捕捉二氧化碳時，碳捕捉與封存提供這些二氧化碳移除方法的儲存要素。二氧化碳捕捉與地下注入是成熟的天然氣處理與提升石油回收的技術。與石油與天然氣產業相比，碳捕捉與封存在電力產業及水泥與化學品生產領域的成熟度較低，在這些產業中，碳捕捉與封存是一個關鍵的減緩方案。地質二氧化碳儲存技術能力，估計約為10000億噸二氧化碳，超過2100年前將全球升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ 的二氧化碳儲存需求，然而地質儲存的區域可用性，可能是一大限制因素。如果地質封存地點有適當選擇與管理，估計二氧化碳可與大氣永久隔離。碳捕捉與封存的實行，目前面臨技術、經濟、制度、生態環境與社會文化障礙。現今，全球碳捕捉與封存佈建速度，遠低於將全球升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ 或 $2^{\circ}\text{C}$ 的模擬路徑中所需。政策工具、更大的公共支持與技術創新等賦能條件，可減少這些障礙。（高信心水準）

## **C.5 工業部門的二氧化碳淨零排放有其挑戰性，但有其可能性。減少工業排放會需要在整個價值鏈中，採取協調的行動，以推行所有減量方案，包括需求管理、能源與物質效率、循環物質流，以及減量技術與製程的轉型變革。採行使用低溫室氣體與零溫室氣體電力、氫、燃料與碳管理的新生產流程，可實現工業溫室氣體淨零排放。 (高信心水準)**

C.5.1 全球及大多數地區的鋼鐵、水泥、塑膠與其他材料使用量都在增加。需求管理、物質效率與循環物質流，有許多永續方案，有助於減少排放，但如何應用這些方案，則依地區與不同材料而異。這些方案有可能更多用於工業實務上，需要工業政策上更多的關注。由於相對較新，這些方案以及新的生產技術，通常不會在最近的全球情境中，或國家經濟範圍的情境中考慮。因此，與下而上的產業專屬模型相比，某些情境下的減緩潛力有所低估。(高信心水準)

C.5.2 針對幾乎所有的基礎材料——初級金屬、建築材料與化學品——許多溫室氣體密集度從低到零的生產流程，處於前導階段到接近商業階段，在某些情況下，甚至處於商業階段，但尚未建立工業實務。引入新的永續基礎材料生產流程，可能會增加生產成本，但鑑於消費者成本只有一小部分是來自材料，預計對終端消費者來說是最小的成本增加。用於初級煉鋼的氫氣直接還原技術，在某些地區已接近商業化。在掌握新的化學物質之前，水泥製程排放的大幅減少，將依賴已商業化的水泥材料替代品及碳捕捉與封存的可用性。減少化學品生產與使用的排放，會需要依靠生命週期方法，包括增加塑料回收、燃料與原料轉換，以及透過生物質來源取得碳，以及視其可用性的碳捕捉與利用，直接空氣二氧化碳捕捉，以及碳捕捉與封存。輕工業、採礦業與製造業，有可能藉由現有的減量技術（例如：物質效率、循環性）、電氣化（例如：電熱加熱、熱泵）與溫室氣體排放量低或零的燃料（例如：氫、氨，以及生物基和其他合成燃料），以達成去碳化。(高信心水準)

C.5.3 減少工業部門排放的行動，可能會改變高排放產業的位置與價值鏈的組織。擁有豐富的低溫室氣體能源及原料的地區，有可能成為使用低碳電力與氫加工的氫基化學品與材料的出口地區。這種重新分配，會影響全球就業與經濟結構的分佈。(中信心水準)

C.5.4 排放密集型及交易量大的基礎材料產業面臨國際競爭，而國際合作與協調在促成變革方面可能尤為重要。為實現永續的產業轉型，將需要反映區域背景的廣泛且連續的國家與次國家政策戰略。這些可以結合政策配套，包括：透明的溫室氣體稽核與標準、需求管理、物質與能源效率政策、低排放材料與產品商業化的研發與利基市場、推升市場需求的經濟與管制工具；高品質循環利用、低排放能源與其他減量基礎設施（例如：用於碳捕捉與封存的減量基礎設施），以及在公正轉型的情況下，排放

密集型設施的社會共融性汰除計畫。減緩政策的涵蓋範圍，可在國家與次國家範圍內擴展，以包含所有工業排放源，以及現有與新興的減緩方案。（高信心水準）

**C.6 都市地區可創造機會，透過基礎設施與城市形態的系統性轉型，透過低排放發展路徑，實現淨零排放，從而提高資源效率並顯著減少溫室氣體排放。對已建立、快速發展與新興城市的雄心十足的減緩工作，會包括(1)減少或改變能源與材料消耗、(2)電氣化，以及(3)強化都市環境中的碳吸收與儲存。都市可實現淨零排放，但前提是透過供應鏈，在其行政範圍內外減少排放，如此會對其他部門產生有益的連鎖效應。（非常高信心水準）**

C.6.1 在模擬情境中，全球以消費為基礎的都市二氧化碳與甲烷排放量，預計將從2020年的290億噸二氧化碳當量，上升到2050年的340億噸二氧化碳當量，並採取適度的減緩措施（中度溫室氣體排放，SSP2-4.5），以及在2050年減緩努力較低的高達400億噸二氧化碳當量（高度溫室氣體排放量，SSP 3-7.0）。藉由雄心十足的立即減緩措施，包括高程度的電氣化及提升能源與物質效率，在溫室氣體排放量極低的模擬情境中，全球以消費為基礎的都市二氧化碳與甲烷排放量，可在2050年減少至30億噸二氧化碳當量（SSP1-1.9）。（中信心水準）

C.6.2 減少溫室氣體排放的減緩策略之潛力與順序，會因城市的土地利用、空間形態、發展水準與都市化狀況而異（高信心水準）。成熟都市實現大量溫室氣體減量的策略，包括有效改善、重新利用或改造建築存量、策略性填補發展規劃，以及支持非機動化（例如：步行、騎單車）與公共交通。快速發展的都市，可將工作與住宅放在一起，以達成緊密的都市形態，以及躍升或轉型至低排放技術，以避免未來的排放。新興都市會有重大的基礎設施發展需求，以實現高品質的生活，可透過節能的基礎設施與服務，以及以人為本的都市設計來滿足。（高信心水準）。針對都市，已發現同時實施三種廣泛的減緩戰略時是有效的：(i) 減少或改變能源與物質的使用量，以實現更永續的生產與消費、(ii) 電氣化與低排放能源轉換的相結合、(iii) 加強城市環境中的碳吸收與儲存，例如透過生物基建築材料、透水性表面、綠屋頂、林木、綠色空間、河流、池塘與湖泊。（非常高信心水準）

C.6.3 實施多種都市規模的減緩戰略，可在各個部門產生連鎖效應，並減少都市行政範圍內外的溫室氣體排放。都市制定實施減緩戰略的能力，因更廣泛的法規與制度環境及賦能條件而異，包括取得財政與技術資源的機會、地方治理能力、公民社會參與及市政預算權力。（非常高信心水準）。

C.6.4 越來越多的都市在制定氣候目標，包括淨零溫室氣體目標。鑑於都市消費模式與供應鏈的區域及全球影響力，只有也解決都市行政範圍之外的排放時，才能充分發揮將以消費為基礎的都市排放，減少至淨零溫室氣體排放的潛力。這些戰略的有效性，取決於和國家與地方政府、產業及公民社會的合作協調，以及都市是否有足夠的能力，規劃與實施減緩戰略。都市可在減少超乎城市行政範圍的供應鏈排放上，發揮積極作用，例如透過建築規範與建築材料的選擇著手。（非常高信心水準）

**C.7. 模擬全球情境中，若具有企圖心十足的豐足、效率與再生能源措施相結合的政策配套能有效實施，並移除去碳化障礙，則現有建築物（若有改造）及尚未建造的建築物，預計將在2050年接近零溫室氣體排放量。企圖心不足的政策會增加建築物數十年碳鎖定的風險，而精心設計且有效實施的減緩干預措施，無論是在新建築還是在改造現有建築，都具有巨大的潛力，有助於在所有地區實現永續發展目標，並使建築物調適未來的氣候。（高信心水準）**

C.7.1 2019年，全球建築物直接與間接溫室氣體排放量，以及用於建築與裝修的水泥及鋼材的排放量為120億噸二氧化碳當量。這些排放量包括非現場發電及熱能產生的間接排放、現場產生的直接排放，以及用於建築與翻新的水泥及鋼材的排放。2019年全球非住宅建築的直接與間接排放量，相較於1990年，增加約55%，住宅建築排放量增加約50%。根據因素分解分析，後者的增加主要是來自於人均建築面積、人口增長及排放密集型電力與熱能的使用量增加，而效率提升，則減少部分排放量。這些驅動因子對於區域排放的個別貢獻，有著很大差異。（高信心水準）

C.7.2 建築物建造與改造的綜合設計方法，已讓多個地區的零能耗或零碳建築案例越來越多。然而，改造建築的低翻新率與低企圖心，阻礙了排放減少。設計階段的減緩干預措施，包括建築物類型、形式與多功能性，以便根據用戶不斷變化的需求，調整建築物的大小，並重新利用未使用的既有建築物，以避免使用溫室氣體密集型材料及額外的土地。減緩干預措施包括：施工階段的低排放建材、高效建築外殼與再生能源解決方案的整合、使用階段的高效電器/設備、優化建築物使用與低排放能源供應、在廢棄階段的回收與再利用建材。（高信心水準）

C.7.3 2050年前，由下而上的研究顯示，可減緩61%的全球建築排放量（82億噸二氧化碳）。避免能源與材料需求的豐足政策，對此一潛力貢獻10%，能源效率政策貢獻42%，再生能源政策貢獻9%。新建築減緩潛力的最大占比是在發展中國家，而在已開發國家中，最大的減緩潛力在於既有建築的改造。2020~2030的十年期間，對於加快專業知識的學習、建設技術與制度量能、建立適當治理結構、確保資金流及發展充分發揮建築物減緩潛力的所需技能至關重要。（高信心水準）

**C.8 需求端方案與低溫室氣體排放技術，可減少已開發國家交通部門的排放，並限制發展中國家的排放成長（高信心水準）。需求導向的干預措施，可減少對所有交通服務的需求，並支持移轉至更具能源效率的交通方式（中信心水準）。以生命週期為基礎，由低排放電力驅動的電動車，為陸路交通提供最大的去碳化潛力（高信心水準）。永續生質燃料可在短期與中期，為陸路交通提供其他的減緩效益（中信心水準）。永續生質燃料、低排放氫與衍生物（包含合成燃料）可支持減少海運、空運及陸路貨運的二氧化碳排放，但需要改進生產流程及降低成本（中信心水準）。交通運輸部門的許多減緩戰略，會產生各種共同效益，包括改善空氣品質、健康效益、公平取得交通服務、減少壅塞及減少物質需求（高信心水準）。**

C.8.1 升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ （>50%）且沒有過衝或有限過衝的情境中，與模擬2020年排放量相比，2050年前全球交通運輸相關的二氧化碳排放量下降59% [四分位距42~68%]，但會有區域上的差異化趨勢（高信心水準）。升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$ （>67%）的全球模擬情境中，與模擬2020年排放量相比，2050年前運輸相關的二氧化碳排放量，預計會減少29% [四分位距1444%]。在這兩種情境中，運輸部門在2100年前，可能不會達到零二氧化碳排放，因此可能需要負排放抵銷該部門的剩餘二氧化碳排放（高信心水準）。

C.8.2 都市形態的變化（例如：密度、土地利用組合、連通性與可達性）及鼓勵改變消費行為的計畫（例如：交通定價）相結合，可減少已開發國家交通相關的溫室氣體排放，並減緩開發中國家的排放量成長（高信心水準）。對都市間及都市內公共交通及主動交通基礎設施（例如：自行車及人行道）的投資，可進一步支持往溫室氣體密集度較低的交通方式的移轉（高信心水準）。遠距辦公、數位化、減少物質使用、供應鏈管理及智慧與共享運輸等系統性變化的結合，可能會減少對陸海空客貨運服務的需求（高信心水準）。其中部分變化可能產生交通與能源服務的需求，可能會降低其溫室氣體減量潛力。（中信心水準）

C.8.3 由低溫室氣體排放電力驅動的電動車，在整個生命週期內具有減少陸路交通溫室氣體排放的巨大潛力（高信心水準）。電動車（包括汽車、雙輪車與三輪車及公車）的成本在下降，且其採用也在加速，但仍需要繼續投資支持基礎設施，以增加部署規模（高信心水準）。電池技術的進步，可促進重型卡車的電氣化，並完善傳統電

動鐵路系統（中信心水準）。大眾越來越擔心電池所需的關鍵礦物質，材料與供應多樣化戰略、能源與物質效率提升，以及循環物質流，可減少電池生產的環境足跡及材料供應風險（中信心水準）。符合永續料源及來自低溫室氣體排放的原料之生質燃料，與化石燃料混合使用或是單獨使用，特別是在短期與中期，可提供減緩效益（中信心水準）。低溫室氣體排放的氫和氫衍生物，包括合成燃料，可在某些情況下及陸路交通部門中，有其減緩潛力（中信心水準）。

C.8.4 雖然提升效率（例如：優化飛機與船舶設計、減重與改進推進系統），可提供一些減緩潛力，但需要額外的航空與航運二氧化碳排放減緩技術（高信心水準）。針對航空，此類技術包括高能量密度生質燃料（高信心水準），以及低排放氫與合成燃料（中信心水準）。航運替代燃料包括低排放氫、氨、生質燃料及其他合成燃料（中信心水準）。電氣化可為短途旅行的航空及海運的減量中，可扮演利基創新角色（中信心水準），並可減少港口及機場營運的排放（高信心水準）。國家與國際治理結構的改善，可進一步促進航運與航空的去碳化（中信心水準）。例如：此類改進可能包括針對產業實施更嚴格的效率與碳密集度標準（中信心水準）。

C.8.5 交通運輸部門直接與間接減少溫室氣體排放的巨大潛力，大大取決於電力部門的去碳化、低排放原料與生產鏈（高信心水準）。綜合運輸與能源基礎設施規畫及營運，可實現部門綜效，並減少運輸與能源部門去碳化對環境、社會及經濟的影響（高信心水準）。技術移轉與融資，可支持發展中國家躍升或轉型至低排放運輸系統，進而提供多重共同效益（高信心水準）。

**C.9 如果永續實施農業、林業與其他土地使用減緩方案，可實現大規模的溫室氣體減量及增進二氧化碳移除，但無法完全彌補其他部門的延遲行動。此外，可使用永續料源的農業和林業產品，代替其他部門的溫室氣體密集度更高的產品。實施與取捨的障礙，可能來自氣候變遷的影響、土地的競爭需求、糧食安全與生計的衝突、土地所有權與管理系統的複雜性以及文化方面。有許多針對特定國家的機會，可提供共同效益（例如：生物多樣性保育、生態系統服務與生計）並避免風險（例如：藉由氣候變遷調適）。（高信心水準）**

C.9.1 預計2020年至2050年間，農業、林業與其他土地使用方案的經濟減緩潛力（成本低於每噸100美元），是每年80~140億二氧化碳當量（高信心水準）。其中30~50%的潛力，是以低於每公噸二氧化碳當量20美元的價格提供，並可在短期內於大多數地區升級（高信心水準）。這種經濟潛力的最大占比 [每年42~74 億噸二氧化碳] 來自於森林及其他生態系統（沿海濕地、泥炭地、稀樹草原與草原）的保育、改善管理及復育，熱帶地區的森林濫伐減少有著最高的總減緩量。改善與永續作物及牲畜

管理，以及農業中的碳封存，後者包括農田與草地的土壤碳管理、農林業及生物炭，可減少每年18–41億二氧化碳當量。需求端及材料替代措施，例如轉向平衡、永續的健康飲食，減少糧食損失與浪費，以及使用生物材料，可貢獻每年21[11~36]億二氧化碳當量減少量。此外，需求端措施以及永續集約化農業，可減少生態系統轉化及甲烷與一氧化二氮排放，騰出土地供造林與復育，以及生產再生能源。將採伐的木材分配給壽命更長的产品、增加回收利用或材料替代，永續管理森林的木材產品，經改善與擴大使用後也具有潛力。農業、林業與其他土地使用減緩措施，無法彌補其他部門的延遲減量。持續存在及特定地區的障礙，持續阻礙部署農業、林業與其他土地使用減緩方案的經濟和政治可行性。協助各國克服障礙，會有助於達成顯著減緩（中信心水準）。

C.9.2 農業、林業與其他土地使用的碳封存與溫室氣體減量方案，在生物多樣性及生態系統保育、糧食與水安全、木材供應、原住民族生計與土地使用權、地方社區及小土地所有權人的土地使用權方面，有其共同效益及風險。許多方案具有共同效益，但爭奪土地及土地資源的方案，可能會帶來風險。效益或風險的規模，大大取決於所開展的活動類型、佈建策略（例如：規模、方法）及環境（例如：土壤、生物群落、氣候、糧食系統、土地所有權），這些在地理上及時間上都會有所不同。根據多個利害關係人的需求和觀點，尋求農業、林業與其他土地使用減緩措施，以增進共同效益並限制取舍結果，可避免風險。（高信心水準）

C.9.3 實現農業、林業與其他土地使用的潛力，需要克服體制、經濟及政策限制，並管理潛在的權衡取舍（高信心水準）。土地使用決策，通常涉及各種土地所有人；需求端措施取決於不同情況下的數十億消費者。實施農業、林業與其他土地使用減緩措施的障礙，包括制度與財政支持不足、長期外加性與權衡取舍的不確定性、治理薄弱、土地所有權不安全、低收入與無法取得替代收入來源，以及碳匯變為排放源之逆轉風險。技術、資料及技術知識的有限管道，是實施障礙。研發是所有措施的關鍵。例如：採用新興技術減緩農業甲烷與一氧化二氮排放的措施，展現出有希望的成果。然而，農業甲烷與一氧化二氮排放的減緩，仍然受到成本、農業系統的多樣性與複雜性，以及提高農業產量的需求增加與對畜產品需求增加的限制。（高信心水準）

C.9.4 2050年前，依據部門模型評估，每年提供50~60億噸二氧化碳森林相關的碳封存與減量淨成本，估計會達到每年約4000億美元。其他農業、林業與其他土地使用減緩措施的成本，與具體情況高度相關。農業、林業與其他土地使用的融資需求，特別是林業的融資需求，既包括活動變化的直接影響，也包括土地利用變化相關的機會成本。加強監測、報告與稽核能力及法治，對於土地為基礎的減緩至關重要，連同承認廣大生態系統服務相互作用的政策，可納入私人企業、非政府組織及原住民族與當地社區等更多參與者。（中信心水準）

C.9.5 針對具體情況的政策與措施，顯示出農業、林業與其他土地使用碳封存及溫室氣體減量方案的實施是有效的，但上述限制因素，阻礙了大規模實施（中信心水準）。部署以土地為基礎的減緩措施，可從法規、政策、經濟獎勵措施、給付（例如：生質燃料、營養鹽污染控制、水資源法規、保育與森林碳、生態系統服務與農村生計）的經驗，並從各種知識形式，如原住民知識、地方知識及科學知識中汲取經驗教訓。原住民族、私人森林所有權人、當地農民與社區，管理大部分的全球森林與農業用地，並在以土地為基礎的減緩方案中，發揮核心作用。有賴強調以永續發展目標為框架的綜合土地利用規畫及管理的治理，並有實行的支持，才能擴大推廣成功的政策及措施。（高信心水準）

## **C.10 需求端減緩包括基礎設施使用的改變、終端用戶技術的採用，以及社會文化與行為改變。與基線情境相比，2050年前，需求端措施與提供終端用戶服務的新方式，可將終端使用部門的全球溫室氣體排放量減少40~70%，而一些地區與社會經濟團體，需要額外的能源和資源。需求端減緩應對方案與增進所有人的基本福祉的發展方向相符。（高信心水準）**

C.10.1 基礎設施設計與管道，以及技術取得與採用，包括資通信技術，影響需求模式及提供服務的方式，例如移動、住所、水資源、衛生與營養。說明性全球低需求情境（顧及區域差異）顯示，與2020年相比，2050年前更有效的終端能源轉換，可改善服務，並將對上游能源的需求減少45%。需求端減緩潛力在區域之間及區域內有所差異，部分地區及人口需要額外的能源、能力及資源以實現人類福祉。全球收入最低的四分之一人口，面臨住宅、移動及營養方面的不足。（高信心水準）

C.10.2 2050年前，與符合各國政府於2020年前宣布政策的兩種情境之2050年排放量預測相比，所有部門的綜合需求端戰略，可將全球二氧化碳及非二氧化碳溫室氣體排放量減少40~70%。在政策支持、社會文化選擇及行為改變，可將終端用戶部門的全球溫室氣體排放量迅速降低至少5%，其中大部分的潛力來自於已開發國家，若結合改善基礎設施設計及可及性，2050年前可能有更多潛力。具有較高社會經濟地位的個人，對排放有不成比例的貢獻，且具有最大的減量潛力，例如：公民、投資人、消費者、楷模及專業人士。（高信心水準）

C.10.3 2050年前，可避免5~30%的全球終端用戶部門的溫室氣體年排放量，而2050年排放量預測的兩種情境，符合各國政府在2020年前宣布的政策，透過改變建築環境、新建與重新利用、以緊密型都市提供基礎設施及服務、工作與住宅的並置、更有效地利用建築物的地面空間與能源，以及重新分配街道空間，實現慢行交通（高信心水準）。

C.10.4 選擇架構可幫助終端使用者採用與消費者、文化及國家背景相關的低溫室氣體密集型方案，例如平衡永續的健康飲食、正視營養需求、減少食物浪費、熱舒適的調適型空調選項、綜合建築再生能源，以及輕型電動車輛與移轉至步行、單車、共乘及公共交通、以密集使用壽齡更長的可修復產品實現永續消費（高信心水準）。解決不平等與多種形式的地位型消費，以及關注福祉，有助於減緩氣候變遷的工作（高信心水準）。

**C.11 若要實現二氧化碳或溫室氣體淨零排放，無可避免地需要導入二氧化碳移除，以抵銷難以減少的剩餘排放。部署的規模與時間，取決於不同部門的減量路線。擴大二氧化碳移除的部署，有賴開發有效的方法，以解決尤其是在大規模方面的可行性及永續性限制。（高信心水準）**

C.11.1 二氧化碳移除是指從大氣中去除二氧化碳並將其持久地儲存於地質、陸地或海洋儲存庫或產品中的人為活動。二氧化碳移除方法在其成熟度、去除過程、碳儲存時間長度、儲存媒體、減緩潛力、成本、共同效益、影響與風險以及治理要求（高信心水準）方面各不相同。具體來說，成熟度範圍從較低成熟度（例如：海洋鹼化）到較高成熟度（例如：林地復育）；去除與儲存潛力的範圍從較低潛力（每年<10億噸二氧化碳當量，例如：藍碳管理）到較高潛力（每年>3億噸二氧化碳當量，例如：農林業）；成本範圍從較低成本（例如：土壤碳封存每公噸二氧化碳45~100美元）到較高成本（例如：DACCS每公噸二氧化碳100~300美元）（中信心水準）。對於將碳儲存在植被中及透過土壤碳管理的方法，估計儲存時間長度從幾十年到幾世紀不等，對於將碳儲存在地質構造中的方法，估計儲存時間為一萬年以上（高信心水準）。從大氣中去除二氧化碳的過程，分為生物性、地球化學性或化學性。造林、復林、改善森林管理、農林業與土壤碳封存，是目前唯一廣泛使用的二氧化碳移除方法（高信心水準）。

C.11.2 部署二氧化碳移除，對生態系統、生物多樣性及人類的影響、風險與共同效益，會因方法、特定地點的背景、實施與規模而異（高信心水準）。林地復育、改善森林管理、土壤碳封存、泥炭地恢復及藍碳管理，是可根據具體情況強化生物多樣性及生態系統功能、就業與當地生計的方法案例（高信心水準）。相比之下，為生質能與碳捕捉與封存或生物炭而做的造林或生產生質作物，若施行不當，可能產生不利的社會經濟與環境影響，包括對生物多樣性、糧食與水安全、當地生計及原住民族的權利，特別是若大規模及在土地使用權不安全的地方實施，更是如此（高信心水準）。若實施海洋施肥，可能導致養分重分配、生態系統重組、氧氣消耗增加及更深水域的酸化（中信心水準）。

C.11.3 藉由植被與土壤管理，去除及儲存二氧化碳，可被人為或自然干擾逆轉；其也容易受到氣候變遷所影響。相比之下，（透過生質能與碳捕捉與封存、直接空氣碳捕捉與封存、海洋鹼化方式）儲存於地質及海洋儲存庫中的二氧化碳，及以生物炭儲存的碳，不太容易逆轉。（高信心水準）

C.11.4 除了深度、快速且持續的減量之外，二氧化碳移除還可在全球或國家層級，發揮三種不同的互補作用：短期內降低二氧化碳或溫室氣體淨排放；平衡「難以減量的」剩餘排放（例如：農業、航空、航運、工業製程的排放），以有助在中期實現二氧化碳淨零排放或溫室氣體淨零排放；若佈建程度超過年度剩餘排放量，則可長期實現淨負二氧化碳或溫室氣體排放（高信心水準）

C.11.5 所有部門的迅速減量，與二氧化碳移除方法的未來部署規模及其相關風險、影響及共同效益相互作用。擴大二氧化碳移除方法的佈建，有賴開發有效的方法，解決永續性及可行性限制、潛在影響、共同效益與風險。二氧化碳移除的驅動因子，包括加速研究、開發與示範、改善風險評估與管理工具、針對性獎勵措施，以及開發合意碳流量測量、報告及驗證方法。（高信心水準）

**C.12 2030年前，成本為每公噸二氧化碳當量100美元以下的減緩方案，可將全球溫室氣體排放量減少到至少2019年水準的一半（高信心水準）。全球GDP在模擬路徑中持續增長，然而，若不考慮氣候變遷帶來的損害避免或調適成本降低，所帶來的減緩行動經濟效益，與不比當前政策有更多減緩的路徑相比，2050年的GDP將降低數個百分點。根據報告，大多數評估文獻中，升溫限制在2° C的全球經濟效益，超過減緩成本。（中信心水準）**

C.12.1 根據針對減緩方案的詳細部門評估，據估計2030年前，成本為每公噸二氧化碳當量100美元以下的減緩方案，可將全球溫室氣體排放量至少減到2019年水準的一半（成本低於每公噸二氧化碳當量20美元的方案，估計佔此潛力的一半以上）。針對少部分的潛力，採行該措施可以節省淨成本。成本低於每公噸二氧化碳當量20美元的大量貢獻，來自於太陽能與風能、能源效率提升、減少自然生態系統轉化，以及甲烷排放量減少（煤炭開採、石油與天然氣、廢棄物）。於特定環境或地區中，個別技術的減緩潛力及減緩成本，可能與所提供的估計有很大差異。針對基礎文獻的評估顯示，各種選項的相對貢獻，可能會在2030年後有所變化。（中信心水準）

C.12.2 與全球預期GDP增長相比，氣候變遷減緩對全球GDP的總體影響很小，在評估模擬全球情境中，量化減緩氣候變遷的總體經濟影響，但未納入氣候變遷所造成的損害或調適成本（高信心水準）。例如，與假設2020年底前持續實行政策的路徑相比，假設最遲從現在到2025年開始採取協同的全球行動以限制升溫至 2° C

( >67% ) 的模擬路徑中，2050年達到的全球GDP推估減少1.3~2.7%。2020~2050年全球GDP年增長率對應平均值，下降0.04~0.09 個百分點。在評估模擬路徑中，無論減緩行動的程度如何，全球GDP估計在2020~2050年期間均會倍增（至少成長100%）。至於其他溫度類別的模擬全球路徑，與假設2020年底前持續實行政策的路徑相比，2050年全球GDP的減少程度如下：2.6~4.2% (C1)、1.6~2.8% (C2)，0.8~2.1% (C4), 0.5~1.2% (C5)。2020~2050年全球GDP年均成長的對應下降幅度（以百分點計）如下：0.09~0.14 (C1)、0.05~0.09 (C2)、0.03~0.07 (C4)、0.02~0.04 (C5)。不同地區的減緩，對GDP的模擬影響有很大的差異，主要取決於經濟結構、區域減量、政策設計及國際合作程度（高信心水準）。國家層級的研究亦顯示，減緩對GDP的影響有很大的差異，主要取決於減緩程度及實現方式（高信心水準）。減緩共同效益及權衡取舍的總體經濟影響，並未在上述情境中全面量化，且大大取決於減緩戰略（高信心水準）。

C.12.3避免氣候變遷損害及降低調適成本的總體經濟效益的估計值，隨減緩的嚴格程度而增加（高信心水準）。納入氣候變遷所致之經濟損失的模型可發現，在21世紀將升溫限制在2° C的全球成本，低於減少升溫的全球經濟效益，除非：(i) 氣候損失接近範圍的底端；或是(ii)以高折現率估算未來損失（中信心水準）。與全球排放峰值較晚的模擬路徑相比，從現在到2025年全球排放達到峰值的模擬路徑，需要更迅速的近期轉型及更高的前期投資，但會為全球排放帶來長期經濟獲益，以及避免氣候變遷影響的早期好處（高信心水準）。這些獲益與效益的確切幅度難以量化。

## D. 減緩、調適與永續發展之間的連結

**D.1 減緩與調適氣候變遷影響方面，加速且公平的氣候行動，對永續發展至關重要。氣候變遷行動也可能產生一些權衡取舍。可透過政策設計管理各個選項的權衡。聯合國2030年永續發展議程通過的永續發展目標（SDGs），可作為在永續發展脈絡下評估氣候行動的基礎。（高信心水準）**

D.1.1 人為所致的氣候變遷，是一個多世紀以來非永續的能源使用、土地使用與土地使用變化、生活方式以及消費與生產模式，所造成的溫室氣體淨排放結果。若不採取緊急、有效且公平的減緩行動，氣候變遷將日益威脅全球民眾的健康與生計、生態系統健康及生物多樣性。氣候行動與其他永續發展目標追求之間既有綜效，也有權衡取舍。在減緩與調適氣候變遷衝擊方面，加速且公平的氣候行動，對永續發展至關重要。（高信心水準）

D.1.2 綜效及權衡取舍，取決於包括不平等在內的發展背景，同時顧及氣候正義。其亦取決於實施手段、部門內與部門間的互動、國家與地區之間的合作、減緩行動的順序、時間安排與嚴格程度、治理與政策設計。盡量發揮協同作用並避免權衡取舍，對體制、技術與財政能力有限，以及社會、人力與經濟資本有限的發展中國家、弱勢族群及原住民族，特別地挑戰。可藉由強調能力建構、財政、治理、技術移轉、投資、發展與社會公平考量，以及原住民族與弱勢族群的有意義參與，來評估和減少權衡取舍。（高信心水準）

D.1.3 永續發展與能源效率及再生能源、有更多綠色空間的都市規畫、減少空氣污染與需求端減緩（包括轉移至平衡、永續的健康飲食）之間，有著潛在綜效（高信心水準）。電氣化與低溫室氣體能源相結合，以及轉向公共交通，可增進健康、就業，並可帶來能源安全與實現公平（高信心水準）。工業中，電氣化與循環物質流，有助於減少環境壓力並增加經濟活動和就業。然而，一些工業方案可能會帶來高成本（中信心水準）。

D.1.4 以土地為基礎的方案，例如林地復育與森林保育、避免森林濫伐，以及恢復與保護自然生態系統與生物多樣性、改善永續森林管理、農林業、土壤碳管理，以及減少農業中牲畜與土壤中甲烷與一氧化二氮排放的方案，可和永續發展目標產生多重綜效。其中包括提升永續農業生產力及韌性、糧食安全、提供額外的生物質，供人類使用及解決土地退化問題。擴大綜效與管理權衡取舍，取決於具體做法、實施規模、治理、能力建構、與現有土地利用的整合，以及當地社區與原住民族的參與，以及透過

《聯合國防治荒漠化公約》中，土地退化中立性等架構支持的利益共享。（高信心水準）

D.1.5 於就業、用水、土地利用競爭與生物多樣性，以及能源、食品與水資源的可及性與可負擔性方面的權衡取捨，可透過施行良好的以陸地基礎的減緩方案，尤其是不威脅現有永續土地利用及土地權利的方案，儘管需要更多的綜合政策實施框架，能避免相關權衡取捨。生質能源及其他生物基產品的永續性，受到原料、土地管理實務、氣候區域、現有土地管理的背景，以及部署的時間、規模與速度所影響。（中信心水準）

D.1.6 土壤碳封存與生物炭等二氧化碳移除方法，可改善土壤品質及糧食生產能力。生態系統回復及林地復育，可隔離植物及土壤中的碳，並可增進生物多樣性及提供額外的生物量，但會取代糧食生產與生計，需要綜合性的土地利用規畫方法，以實現包括糧食安全等多個目標。然而，由於目前某些方案的應用有限，其潛在效益有些不確定性（高信心水準）

**D.2 永續發展、脆弱性及氣候風險之間，存有緊密關係。有限的經濟、社會和體制資源，往往造成高脆弱性及低調適能力，尤其是在發展中國家（中信心水準）。一些應對方案可提供減緩與調適結果，特別是在人類聚落、土地管理及生態系統相關方面。然而，土地與水生生態系統，可能會受到一些減緩行動的不利影響，取決於其實施情況（中信心水準）。協調的跨部門政策與規畫，可大大發揮綜效，避免或減少減緩與調適之間的權衡取捨（高信心水準）。**

D.2.1 永續的城市規畫及基礎設施設計，包括綠屋頂及牆面、公園與開放空間網絡、都市森林與濕地管理、都市農業以及水資源敏感設計，可為聚落帶來減緩與調適的優點（中信心水準）。這些方案亦可降低洪災風險、都市下水道系統壓力、都市熱島效應，並可透過減少空氣污染，帶來健康效益（高信心水準）。也可能會有權衡取捨。例如：增加城市密度以減少旅次需求，可能意味對熱浪與洪災的高度脆弱性（高信心水準）

D.2.2 具有潛在共同效益的土地相關減緩方案，包括農林業、覆蓋作物、間作與多年生植物，進而恢復自然植被及恢復退化的土地。這些可透過維持土地生產力及保護與多樣化生計，來增強韌性。復育紅樹林及沿海濕地，可以封存碳，並減少海岸侵蝕及防止暴潮，進而降低海平面上升及極端天氣帶來的風險。（高信心水準）

D.2.3 一些減緩方案可增加對稀缺資源的競爭，包括土地、水資源與生物質。因此，這些也可能降低調適能力，特別是以更大規模與高擴張率進行部署，進而加劇現有風

險，尤其是在土地及水資源非常有限的情況下，更是如此。例如包括大規模或計劃不周全下，部署生質能源、生物炭及在天然未有林木的土地上造林。（高信心水準）

D.2.4 協調的政策、公平的夥伴關係，以及部門內部與跨部門調適與減緩的整合，可大大發揮綜效，大幅減少權衡取捨，進而加強對氣候行動的支持（中信心水準）。即使實施廣泛的全球減緩努力，也會需要大量的資金、技術與人力資源進行調適。社會與體制系統中，資源缺乏或有限，可能導致應對協調不足，進而降低大幅提升減緩與調適效益的潛力並增加風險（高信心水準）

### **D.3 強化減緩與更廣泛的行動，將發展路徑轉向永續，會對國家內部及國家之間的分配，產生影響。關注公平以及所有相關行為者廣泛而有意義地參與各級決策，可建立社會信任，並深化與擴大對轉型變革的支持。（高信心水準）**

D.3.1 各個經濟發展階段的國家，都在謀求改善民生，而各自的發展重點不同，起點與背景也不同。不同的背景包括社會、經濟、環境、文化或政治條件、資源稟賦、能力、國際環境與歷史。因此，將發展路徑轉向提升永續性的賦能條件，也會有所不同，進而產生不同的需求。（高信心水準）

D.3.2 企圖心十足的減緩路徑，代表經濟結構發生巨大、有時是破壞性的變化，並在國家內部和國家之間，帶來重大的分配後果。儘管隨著時間的推移，各國之間的差異發生變化，並在評估公平占比方面遭遇挑戰，公平性仍然是聯合國氣候制度的核心要素。國家內部與國家之間的分配後果，包括從高排放活動轉向低排放活動轉型期間的收入與就業轉移。雖然可能會失去一些職位，但低排放發展也可提供更多機會，提升技能並創造更多持久的就業機會，但各國與各部門之間有其差異。綜合政策配套，可提升綜合考量公平性、性別平等與正義的能力。（高信心水準）。

D.3.3 排放分佈的不平等，以及國家內部減緩政策的影響，會影響社會凝聚力及減緩和其他環境政策的可接受性。公平且公正的轉型，可實現更深層次的加速減緩之企圖心。應用公正轉型原則，並透過集體及參與性決策過程加以實施，是將公平原則納入各級政策的有效方式，具體方式則取決於國情。（中信心水準）目前已於許多國家和地區出現，因為一些國家已建立國家公正轉型委員會或工作小組，以及相關的國家政策。許多行為者、網絡與運動都在其中。（高信心水準）

D.3.4 擴大公平的國內與國際資金管道、促進減緩的技術與能力，同時明確解決需求，可進一步將公平正義納入國家與國際政策，並作為加速減緩與轉移發展路徑的催化劑（中信心水準）。納入道德與公平，有助於解決所有社會中1.5°C以上的全球升溫相關不利影響的分佈不均（高信心水準）。納入氣候正義，有助於促進往永續發展方向轉移發展路徑，包括透過公平分享減緩的利益與負擔，增進對氣候變遷影響的韌

性，特別有利於脆弱的國家與社區，以及有利於公平支持有需要的人。（高信心水準）

## E. 強化應對

**E.1 有一些緩解方案是可行的，可在短期內大規模部署。可行性因部門與地區以及實施能力、速度與規模而異。需減少或消除可行性障礙，並強化賦能條件，才能大規模部署減緩方案。這些障礙及促成因子，包括了地球物理、環境生態、技術與經濟因素，尤其是制度與社會文化因素。強化超越（《聯合國氣候變遷綱要公約》COP 26 之前宣布的）國家自主貢獻之外的近期行動，可減少及/或避免全球模擬路徑的長期可行性挑戰，這些路徑將升溫限制在 $1.5^{\circ}\text{C}$ （>50%）且不會過衝或有限過衝。（高信心水準）**

E.1.1 一些減緩方案，特別是太陽能、風能、都市系統電氣化、都市綠色基礎設施、能源效率、需求端管理、改善森林與作物/草地管理，以及減少糧食浪費與損失，在技術上是可行的，且變得越來越具成本效益，並普遍受到大眾支持，可在許多地區部署。（高信心水準）雖然許多減緩方案具有環境共同效益，包括改善空氣品質及減少有毒廢棄物，但許多方案在大規模應用時，也會產生不利的環境影響，好比生物多樣性減少，例如超大規模生質能源或大規模電池儲存的運用，必須加以管理（中信心水準）。幾乎所有減緩方案，都面臨需要解決的制度障礙，方可大規模應用（中信心水準）。

E.1.2 減緩方案的可行性，因環境與時間而異。例如：支持部署的制度量能因國家而異；涉及大規模土地利用變更的方案可行性因地區而異；空間規畫在都市發展的早期階段，具有更高的潛力；地熱的潛力因地而異；能力、文化與當地條件，可能會抑制或促進需求方的反應。太陽能與風力的部署，已評估為隨時間推移而越來越可行。某些選項結合或整合時，可行性會增加，例如將土地用於農業與集中式太陽能共生。（高信心水準）

E.1.3 可行性取決於實施的規模與速度。大多數方案在大規模快速實施時，都會面臨障礙，但障礙所呈現的規模不一。與具有相對延遲或不協調的模擬路徑相比，在升溫限制在 $2^{\circ}\text{C}$ （>67%）以內具成本效益的模擬全球路徑中，強化與協調近期行動，降低系統轉型可行性的總體風險。（高信心水準）

**E.2 所有國家中，融入更廣泛發展背景的減緩工作，可提升減量速度、深度及廣度（中信心水準）。將發展路徑轉向永續性的政策，可擴大現有減緩措施組合，並能實現與發展目標的綜效（中信心水準）。現在可採取行動，改變發展路徑，並加速減緩及跨系統轉型（高信心水準）。**

E.2.1 當前的發展路徑，可能會在行為、空間、經濟與社會方面，造成各種規模的加速減緩障礙（高信心水準）。決策者、公民、私部門及其他利害關係人所做出的選擇，會影響社會的發展路徑（高信心水準）。例如：引導能源與土地系統轉型、經濟方面的結構性變化及行為的變化，可將發展路徑轉向永續發展（中信心水準）。

E.2.2 結合減緩與改變發展路徑的政策，例如：擴大部門合作的政策、生活方式或行為改變的政策、金融監管或總體經濟政策，可克服障礙並開拓出更多的減緩方案（高信心水準）。其亦可促進減緩與其他發展目標的結合（高信心水準）。例如：促進城市步行區，與電氣化及再生能源相結合的措施，可因更潔淨的空氣及強化的移動，創造出健康共同效益（高信心水準）。擴大搬遷選擇的協調住宅政策，可使交通方面的減緩措施更為有效（中信心水準）。

E.2.3 制度與監管能力、創新、金融、跨規模治理與合作的改善，以及多目標政策，能加強減緩與發展路徑的轉移。如此干預可相輔相成，並建立正向回饋機制，進而加速減緩。（高信心水準）

E.2.4 現在可對所有上述賦能條件採取強化行動（高信心水準）。某些情況中，例如發展初期的技術創新及低排放行為的一些變化，因可能需要時間建立賦能條件，近期的行動可讓中期加速減緩（中信心水準）。其他情況中，可設置賦能條件，並在相對較短的時間內產生結果，例如：提供能源相關資訊、建議與回饋，以促進節能行為（高信心水準）。

**E.3 氣候治理依國情而訂，藉由法律、戰略與機構採取行動，透過提供不同行為者互動的框架，以及政策制定與實施的基礎，來支持減緩（中信心水準）。氣候治理在整合多個政策領域時最為有效，有助實現綜效綜效並大大減少權衡取捨，且能串聯國家及地方決策層級（高信心水準）。有效且公平的氣候治理，建立在與公民社會行為者、政治行為者、企業、青年、勞工、媒體、原住民族及當地社區的議合基礎之上（中信心水準）。**

E.3.1 氣候治理藉由提供總體方向、設定目標、將氣候行動納入政策領域的主流、提高監管確定性、創建專業組織及創造動用資金的環境，以實現減緩（中信心水準）。這些功能可透過不斷增加的氣候相關法律或氣候戰略等來促進，因國家與次國家背景而定（中信心水準）。框架法律確立一個總體法律基礎，無論是經由目標與實施方法，或經由部門主流化方法，或兩者兼具的方式運作，因國情而定（中信心水準）。明確針對減緩的國家與地方直接法律，以及通過減緩相關政策領域影響排放的間接法律，均證明與減緩結果相關（中信心水準）。

E.3.2 有效的國家氣候機構，處理跨部門、跨規模及各參與者間的協調，在不同利益之間建立行動共識，並為戰略制定提供資訊（中信心水準）。這些職能通常透過獨立的國家專業機構及跨部門職責的高級協調機構履行之。補充性地方機構，依當地情況制定減緩行動並進行試驗，但可能受到不公平及資源與能力所限（高信心水準）。有效的治理，需要各級有足夠的制度量能（高信心水準）。

E.3.3 公民社會參與者、政治參與者、企業、青年、勞工、媒體、原住民族及當地社區的參與程度，會影響減緩氣候變遷及最終政策成果的政治支持。國情與能力的結構性因素（如經濟與自然的狀況、政治制度與文化因素，以及性別考量），影響氣候治理的廣度與深度。符合流行思想、價值觀與信仰的減緩方案，更容易採用與實施。氣候相關的訴訟，例如由政府、私部門、公民社會及個人發起的訴訟在增加當中，有些已開發國家的案件數量很多，而有些發展中國家的案件數量則少許多，而在某些情況下影響氣候治理的成果與目標。（中信心水準）

**E.4 許多監管與經濟工具已成功部署。工具設計可幫助實現公平及其他目標。如擴大規模並更廣泛應用，這些工具可支持深度減量並刺激創新（高信心水準）。與單個政策相比，促進創新及建構能力的政策配套，更能支持轉向公平低排放的未來（高信心水準）。符合國情的整體經濟計畫配套，可實現短期經濟目標，同時減少排放並將發展路徑轉向永續發展（中信心水準）。**

E.4.1 產業層面的各種監管工具，已證明於減少排放方面是有效的。這些工具及具廣泛基礎的方法，包括相關經濟工具，可相輔相成。（高信心水準）透過靈活機制實施的監管工具可降低成本（中信心水準）。根據國情擴大且強化監管工具的使用，可改善部門應用的減緩結果，包括但不限於再生能源、土地使用與分區、建築規範、運具與能源效率、燃料標準及低排放工業製程與材料（高信心水準）。

E.4.2 經濟手段在減少排放方面是有效的，主要是在國家及次國家與地區層級的監管手段補充（高信心水準）。如經實施，碳定價工具激勵低成本的減量措施，但在評估期間以自身與現行價格，推動進一步減量所需的更高成本措施的效果較差（中信心水準）。此類碳定價工具的公平與分配影響，可運用來自碳稅或排放交易的收入支持低收入家庭等方式解決（高信心水準）。實務經驗有助工具設計，並協助提升可預測性、環境有效性、經濟效率、分配目標與社會接受度（高信心水準）。取消化石燃料補貼，將減少排放、提升公共收入及總體經濟績效，並產生其他環境與永續發展效益；取消補貼可能會對分配產生不利影響，尤其是經濟上最為脆弱的族群，在某些情況下，可透過重新分配節省的收入等措施，減輕如此影響，所有措施皆依國情而定（高信心水準）；各種研究預計2030年前，取消化石燃料補貼，會使全球二氧化碳排放量減少1~4%，溫室氣體排放量最多減少10%，各地區程度不一（中信心水準）

E.4.3 藉由特別技術推動政策及投資（例如：科學培訓、研發、示範），與量身打造的需求驅動政策（例如：標準、電力收購制度、稅收）相結合，可強化低排放技術創新，創造誘因及市場機會。隨著目前集中於已開發國家的金融資源及創新能力的增加，連同技術移轉，發展中國家部署低排放技術、取得社會經濟效益及管理權衡取捨能力都會有所增強。（高信心水準）

E.4.4 有效的政策配套會是全面性的，用以朝向明確的變革願景，在各目標之間取得平衡，符合特定技術與系統需求，在設計方面保持一致並適合個別國情。其更能夠實現綜效並避免氣候與發展目標之間權衡取捨。例如：透過效率目標、建築規範、電器性能標準、資訊供給、碳定價、財務與技術援助的結合，減少建築物的排放；透過創新支持、市場創造及能力建構，減少工業溫室氣體排放。（高信心水準）

E.4.5 支持減緩及避免負面環境後果的整體經濟的計畫配套包括：長期公共支出承諾、定價改革，以及教育與培訓、自然資本、研發與基礎設施的投資（高信心水準）。其可實現短期經濟目標，同時減少排放並將發展路徑轉向永續發展（中信心水準）。基礎設施投資可用以促進迎合發展需求的各種低排放未來（中信心水準）。

E.4.6 支持技術開發與技術推廣並參與國際減量市場的國家政策，儘管減少對化石燃料的需求可能導致出口國成本增加（高信心水準），仍可為其他國家帶來正向的外溢效應（中信心水準）。無一致的證據顯示，當前的排放交易系統造成顯著的排放洩漏，這可歸因於它是設計來減少競爭效應及其他原因（中信心水準）。

**E.5 可追蹤的資金流，未達到所有部門與地區實現減緩目標所需的水準。整個發展中國家有最大的縮小落差挑戰。政府與國際社會明確的政策選擇與信號，可支持擴大減緩資金流。（高信心水準）加速國際金融合作，是實現低溫室氣體及公正轉型的關鍵推動因子，可解決融資管道的不公平，以及氣候變遷影響的成本與脆弱性（高信心水準）。**

E.5.1 將升溫限制在2° C或1.5° C的情境中，2020年至2030年的年平均模擬投資需求，比當前程度高出三到六倍，總減緩投資（公共、私人、國內與國際）需要所有部門和地區的成长（中信心水準）。所有部門都有很大的減緩投資落差，相對來說，農業、林業與其他土地使用部門及發展中國家的投資差距最大（高信心水準）。用以調適、減少損失與損害、一般基礎設施、監管環境與能力建構，以及氣候應變型社會保護的融資及投資要求，進一步加劇發展中國家吸引融資的挑戰（高信心水準）。

E.5.2 鑑於全球金融體系的規模，有足夠的全球資本與流動性，彌補全球投資缺口，但在全球金融部門內外及發展中地區面臨的總體經濟逆風中，將資本導向氣候行動仍有障礙。從金融部門內部部署商業融資的障礙，以及總體經濟考量包括：氣候相關風

險與投資機會的評估不足、可用資本與投資需求之間的區域不相配、國內偏見因素、國家債務水準、經濟脆弱性、制度量能有限（高信心水準）。來自金融部門以外的挑戰包括：有限的本地資本市場；缺乏吸引力的風險回報概況，特別是因為缺乏或不足以符合企圖心水準的監管環境；確保保障措施的制度量能有限；投資機會與融資模式的標準化、彙整、擴展性及複製性；以及準備進行商業投資的管道。（高信心水準）

E.5.3 已開發國家及其他來源，加快對發展中國家的財政支持，是強化減緩行動，以及解決其成本、條款與條件，並面對氣候變遷之經濟脆弱性等資金取得不公平問題的關鍵推力（高信心水準）。為脆弱地區，特別是撒哈拉以南的非洲地區，擴大減緩與調適資金的公共補助，會有成本效益，並在取得基本能源方面，有較高的社會回報（高信心水準）。在發展中地區擴大減緩的方案包括：在每年1000億美元的目標背景下，提升公共財政水準及公開動用的私人資金，從已開發國家流向發展中國家；增加公共擔保的運用，以降低風險並以較低的成本利用私人資金流；當地資本市場發展；建立更大的國際合作進程信任（高信心水準）。協調共同努力，帶來永續的疫情後復甦，並在未來十年增加資金流動，可加速氣候行動，包括在面臨高債務成本、債務困境及總體經濟不確定性的發展中地區與國家中的氣候行動（高信心水準）。

E.5.4 政府與國際社會發出的明確信號，包括加強公共部門財政與政策的協調，以及更高水準的公共部門氣候融資，減少私部門的不確定性及轉型風險。依國情而定，投資人與金融中介機構、中央銀行與金融監管機構，可支持氣候行動，並可藉由提升對氣候相關風險與投資機會的知識、透明度與考量，改變氣候相關風險的系統性定價過低。資金流動也可藉由以下方式，迎合資金需求：加大對技術開發的支持；多邊與國家氣候基金及開發銀行繼續發揮作用；藉由一些國家現有的綠色銀行等實體、基金與風險分擔機制，降低服務不足族群的融資成本；顧及經濟與社會公平性及分配影響的經濟工具；促進性別平等及婦女賦權的專案，以及增加當地社區、原住民族與小土地所有人取得資金的機會；以及更大的公私合作。（高信心水準）

**E.6 國際合作是實現企圖心十足的氣候變遷減緩目標的關鍵推力。《聯合國氣候變化綱要公約》、《京都議定書》及《巴黎協定》，儘管依舊有差距，仍支持著不斷提升的國家企圖心程度，並鼓勵制定與實施氣候政策。在次全球與部門層面運作，並讓多個參與者參與的夥伴關係、協議、機構與倡議，正在興起，其有效性程度則參差不齊。（高信心水準）**

E.6.1 國際議定的進程與目標，例如《聯合國氣候變化綱要公約》、《京都議定書》及《巴黎協定》中的進程與目標，包括針對國家排放報告、行動與支持的透明度要求，以及追蹤國家自主貢獻的實現進度，都在強化國際合作、國家企圖心與政策制定。對

發展中國家的國際金融、技術與能力建構支持，會促成更大的實踐，並長時間鼓勵企圖心十足的國家自主貢獻。（中信心水準）

E.6.2 技術開發與移轉方面的國際合作及能力建構、知識共享及技術與資金支持，可加速減緩技術、措施與政策，在全球的國家及地方層級擴散，並使其與其他發展目標維持一致（高信心水準）。在強化創新合作方面，有挑戰與機遇，包括依文獻評估的《聯合國氣候變遷綱要公約》及《巴黎協定》的要素實行，例如技術開發與移轉及金融相關的內容（高信心水準）。迎合特定的制度與能力環境時，有利於當地價值鏈時，合作夥伴於自願且共同議定的條件下公平合作時，聽到所有相關聲音時，能力建構為不可或缺的一部分時，國際創新合作的運作效果最好（中信心水準）。強化技術創新體系及創新能力的支持，包括發展中國家的財政支持，會強化議合並改善國際創新合作（高信心水準）。

E.6.3 跨國夥伴關係，可藉由串連地方及其他行為者（包括都市、地區、非政府組織及私部門實體），並藉由強化國家與非國家行為者之間的互動，促進政策制定、低排放技術擴散及減量。雖然跨國夥伴關係的如此潛力顯而易見，然其成本、可行性及有效性，仍有不確定性。市政府的跨國網路，強化雄心壯志與政策制定，以及越來越多的經驗與最佳實務交流（中信心水準）。

E.6.4 國際環境與部門協議、制度與倡議都有幫助，在某些情況下可能有助於刺激低溫室氣體排放投資及減少排放。解決臭氧耗竭與跨國界空氣污染的協議，有助減緩，而在其他領域，例如大氣中的汞排放，可能有助於減緩（高信心水準）。貿易規則有可能刺激國際採用減緩技術與政策，但也可能限制各國採取貿易相關的氣候政策之能力（中信心水準）。當前各部門的企圖心水準不一，國際航空與航運的減量願景，低於許多其他部門（中信心水準）。