

IPCC 2007 氣候變遷評估報告
-決策者摘要報告
2008 Technical Report

何興亞 陳永明 于宜強 許至璫 江申
張駿暉 郭彥廉 林宜汝 黃柏誠





地址：23143 台北縣新店市北新路三段 200 號 9 樓

電話： ++886-2-6628-6066

傳真： ++886-2-6628-2588

網址： <http://www.ncdr.nat.gov.tw>

目 錄

Part I : IPCC 氣候變遷 2007 : 物理科學基礎決策者摘要

A. 前言.....	<u>2</u>
B. 氣候變遷之人類及自然驅使因素.....	<u>2</u>
C. 近來氣候變遷之直接觀測.....	<u>5</u>
D. 古氣候學觀點.....	<u>10</u>
E. 氣候變遷之了解與歸因.....	<u>10</u>
F. 未來氣候變遷之推估	<u>13</u>
文字框 : IPCC 排放情境特別報告(Special Report on Emission Scenarios, SRES) 之排放情境概述	<u>19</u>

Part II : IPCC 氣候變遷 2007 : 衝擊、調適與脆弱度決策者摘要

A. 前言.....	<u>21</u>
B. 當前已觀測到氣候變遷對自然及人類環境之衝擊.....	<u>21</u>
C. 當前對未來衝擊的認知.....	<u>24</u>
D. 現金對於因應氣候變遷的認知.....	<u>33</u>
E. 系統化觀測與研究需求.....	<u>35</u>
文字框 1 : 重要術語之定義	<u>36</u>
文字框 2 : 第 2 工作組 AR4 之不確定性表述.....	<u>36</u>
文字框 3 : IPCC 排放情境特別報告(Special Report on Emission Scenarios, SRES) 之排放情境概述	<u>37</u>

Part III : IPCC 氣候變遷 2007 : 減緩氣候變遷決策者摘要

A. 前言.....	<u>39</u>
B. 溫室氣候排放趨勢.....	<u>39</u>
C. 短/中期氣候變遷減緩 (2030 年以前).....	<u>46</u>
D. 長期氣候變遷減緩 (2030 年以後).....	<u>53</u>
E. 減緩氣候變遷之政策、措施與工具.....	<u>57</u>
F. 永續發展與氣候變遷減緩	<u>60</u>
G. 知識差距.....	<u>61</u>
文字框 1 : 不確定性表述	<u>62</u>

Part IV : IPCC 氣候變遷 2007 : 綜合報告決策者摘要

A. 前言.....	<u>64</u>
B. 觀測到的氣候變遷及其影響.....	<u>64</u>
C. 變遷的致因.....	<u>67</u>
D. 推估之氣候變遷及其衝擊.....	<u>69</u>
E. 調適與減緩選項.....	<u>76</u>
F. 長期展望	<u>80</u>

**A report of Working Group I of the
Intergovernmental Panel on Climate Change**

**IPCC 氣候變遷 2007：物理科學基礎
決策者摘要**

初稿作者群：

Richard B. Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan M. Gregory, Gabriele C. Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian J. Hoskins, Fortunat Joos, Jean Jouzel, Vladimir Kattsov, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Mario Molina, Neville Nicholls, Jonathan Overpeck, Dahe Qin, Graciela Raga, Venkatachalam Ramaswamy, Jiawen Ren, Matilde Rusticucci, Susan Solomon, Richard Somerville, Thomas F. Stocker, Peter A. Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

初稿撰稿人：

J. Arblaster, G. Brasseur, J.H. Christensen, K.L. Denman, D.W. Fahey, P. Forster, E. Jansen, P.D. Jones, R. Knutti, H. Le Treut, P. Lemke, G. Meehl, P. Mote, D.A. Randall, D.A. Stone, K.E. Trenberth, J. Willebrand, F. Zwiers

此決策者摘要需引用如下：

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

國家災害防救科技中心氣候變遷專案工作小組 編譯

A. 前言

IPCC 第四次評估報告(Fourth Assessment Report ,AR4)第一工作小組之報告，描述對氣候變遷人類及自然驅使因素之瞭解進展¹、氣候變遷觀測、氣候過程與歸因、和未來氣候變遷之推估。本報告以過去 IPCC 評估報告為基礎，並納入過去六年來之研究新發現。第三次評估報告(TAR)發表以來之科學進展在於大量更新、更廣泛之數據、更純熟之資料分析、對氣候過程之更了解、氣候過程模式模擬之改良以及對不確定性範圍之更廣泛探討。

「決策者摘要」中各段落內容之出處，可在段落最後大括弧中所提示的章節中找到。

B. 氣候變遷 之人類及自然驅使因素

溫室氣體及氣溶膠在大氣中的含量、太陽輻射和地表特徵的變化，改變氣候系統的能量平衡。這些變化通常以輻射作用力(radiative forcing²)來表示。輻射作用力被用於比較各種人類及自然因素對全球氣候暖化或冷卻之影響程度。TAR 發表以來，科學界對溫室氣體、太陽活動、地表特徵和氣溶膠某些層面之新觀測結果及相關模式，已使得輻射作用力之量化估計改進許多。

根據數千年來的冰芯(ice cores) 量測推斷，人類活動造成地球大氣中二氧化碳、甲烷和氧化亞氮濃度自 1750 年以來明顯升高，如今已遠超過工業革命前之濃度值(見圖 SPM-1)。大氣

¹ 在 IPCC 報告中，氣候變遷指的是氣候隨著時間所產生之任何變化，包括自然變化及人類活動所造成之結果。此一用法與“聯合國氣候變化綱要公約”(UNFCCC)中的用法不同。在 UNFCCC 中，氣候變遷指的是直接或間接因人類活動導致大氣組成改變而造成之氣候變化結果，此一用法排除了在相當時期內所觀測到的自然氣候變化因素。

² 輻射作用力指的是一項因素對改變地球大氣系統中能量出入平衡之影響的測量值，也是該因素做為潛在氣候變遷機制之重要性指標。正的輻射作用力表示傾向暖化地表，負的表示傾向冷卻地表。本報告中的輻射作用力值為 2005 年相對於定義在 1750 年工業革命前的狀況，並以每平方米瓦特(Wm⁻²)為單位。細節請參閱詞彙表和第 2.2 節。

中二氧化碳濃度增加的主因為化石燃料的使用和土地利用的改變，而甲烷和氧化亞氮濃度增加的主因則為農業活動。{2.3, 6.4, 7.3}

- 二氧化碳是人類活動所產生最重要的溫室氣體(見圖 SPM-2)。大氣中二氧化碳濃度值已由工業革命前約 280 ppm 增加為 2005 年的 379 ppm³。根據冰芯推斷，2005 年的大氣二氧化碳濃度顯然已超出過去 65 萬年之二氧化碳濃度自然變化範圍(180~300 ppm)。過去十年(1995–2005)之二氧化碳濃度年成長率(平均 1.9 ppm/yr)高於有直接大氣測量紀錄以來(1960–2005)之年成長率(平均 1.4 ppm/yr)，唯成長率仍存在著年際變化。{2.3, 7.3}
- 從工業革命以來，大氣中二氧化碳濃度升高的主要來源為化石燃料的使用。土地利用的改變也是一個重要來源，但影響較小。化石燃料二氧化碳年排放量從 1990 年代的年平均 6.4 [6.0–6.8] GtC (23.5 [22.0–25.0] GtCO₂) 增加為 2000–2005 年的年平均 7.2 [6.9–7.5] GtC (26.4 [25.3–27.5] GtCO₂) (2004 和 2005 年的數據為暫時估計值)。1990 年代與土地利用改變有關的二氧化碳排放量估計為年平均 1.6 [0.5–2.7] GtC (5.9 [1.8–9.9] GtCO₂)，唯這些估計值的不確定性很大。{7.3}

³ ppm (百萬分數)或 ppb (十億分數)是溫室氣體分子數在乾空氣總分子數中的比率。譬如：300 ppm 表示每百萬乾空氣分子中有 300 個溫室氣體分子。

⁴ 化石燃料二氧化碳排放量包含化石燃料之生產、配銷和消費所產生之二氧化碳排放，以及水泥生產的副產物。1 GtC 排放量相當於 3.67 GtCO₂。譯註：GtC 為十億噸碳當量，GtCO₂ 為十億噸二氧化碳當量。

⁵ 一般而言，除非特別聲明，在“給決策者的摘要”中所提出結果之不確定性範圍為 90% 不確定性區間。換言之，結果數值高於或低於中括弧內所列範圍之估計可能性各為 5%。報告中儘可能採用最佳估計值。請注意：第 1 工作組 TAR 中的某些不確定性範圍相當於 2-σ (95%) 通常係專家判斷。

以冰芯和現代資料觀測中得到的溫室氣體濃度變化

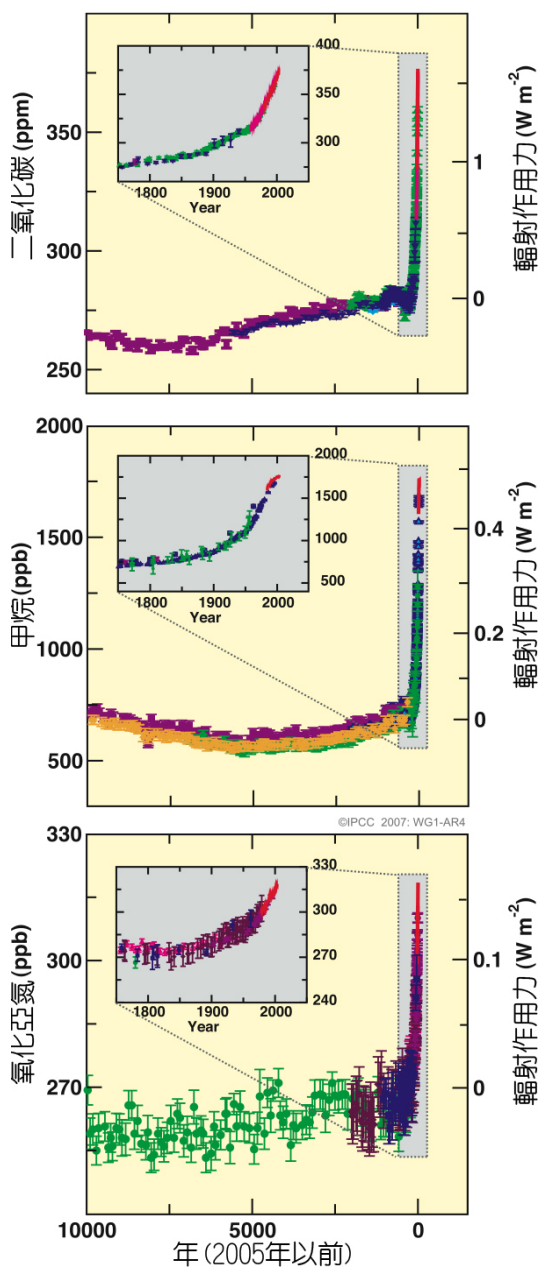


圖 SPM-1

過去 10,000 年(大圖)和 1750 年以來(嵌入的小圖)大氣中二氧化碳、甲烷和氧化亞氮濃度。圖中顯示之測量值係根據冰芯(不同研究採用不同顏色的記號)和大氣樣本(紅線)。相對應之輻射作用力顯示於大圖的右軸。{圖 6.4}

- 地球大氣中甲烷濃度已由工業革命前約 715 ppb 增加至 1990 年代初期的 1732 ppb，至 2005 年則為 1774 ppb。根據冰芯推斷，2005 年的大氣甲烷濃度顯然已超出過去 65 萬年之甲烷濃度自然變化範圍 (320–790 ppb)。1990 年代初期以來，大氣中甲烷濃度成長率已經下降，這點與該時期總排放量(人類活動和自然來源排放量之總和)幾乎維持不變的事實一致。觀測到的甲烷濃度增加非常可能(very likely)導因於人類活動⁶，其中又以農業活動和化石燃料使用為主，但不同來源之相對貢獻尚未十分確定。{2.3, 7.4}
- 地球大氣中氧化亞氮濃度已由工業革命前約 270 ppb 增加至 2005 年的 319 ppb。1980 年以來，氧化亞氮濃度成長率大致維持不變。超過三分之一的氧化亞氮排放來源是人類活動，其中又以農業為主。{2.3,7.4}

TAR 發表以來，人類活動對氣候暖化或冷卻影響的瞭解已增進許多，因此非常確信⁷自 1750 年以來人類活動的全球平均淨效應為暖化，輻射作用力為+1.6 [+0.6 ~ +2.4] Wm⁻² (見圖 SPM-2)。{2.3. 6.5, 2.9}

- 二氧化碳、甲烷和氧化亞氮增加所造成之聯合輻射作用力為+2.30 [+2.07 ~ +2.53] W m⁻²，其在工業時代的增加率非常可能

⁶ 在“決策者摘要”中，以下術語被用來表示專家評估某種結局或後果之發生機率：幾乎確定 – 發生機率 > 99%、極端可能 – 發生機率 > 95%、非常可能 – 發生機率 > 90%、可能 – 發生機率 > 66%、比較可能 – 發生機率 > 50%、不可能 – 發生機率 > 33%、非常不可能 – 發生機率 > 10%、極端不可能 – 發生機率 < 5% (細節請參閱文字框 TS.1)。

⁷ 在“決策者摘要”中，以下信心程度被用來表示專家對所根據科學的正確性之判斷：非常確信 – 正確機率至少九成；高度確信 – 正確機率約八成 (細節請參閱文字框 TS.1)。

是超過 10,000 年來空前的(見圖 SPM-1 和

- 圖 SPM-2)。1995~2005 年間，二氧化碳輻射作用力增加 20%，這是過去至少 200 年來任何一個十年期間之最大變化。{2.3, 6.4}
- 人類活動產生的氣溶膠(主要為硫酸、有機碳、黑碳、硝酸鹽和灰塵)造成冷卻效應，其直接總輻射作用力為-0.5 [-0.9 ~ -0.1] W m⁻²，間接雲反照作用力為-0.7 [-1.8 ~ -0.3] W m⁻²。科學界對這些作用力的瞭解比 TAR 發表時要來得多，原因為直接觀測、人造衛星和地面測量技術的進步，以及更

廣泛的模式應用，但輻射作用力仍有顯著的不確定。氣溶膠也影響雲層壽命和降水量。{2.4, 2.9, 7.5}

- 人類活動對輻射作用力的顯著影響仍有數種其他來源：排放形成臭氧的化學物質(氮氧化物、一氧化碳和碳氫化合物)造成對流層臭氧變化，其輻射作用力為 +0.35[+0.25 - +0.65] W m⁻²；

輻射作用力分量

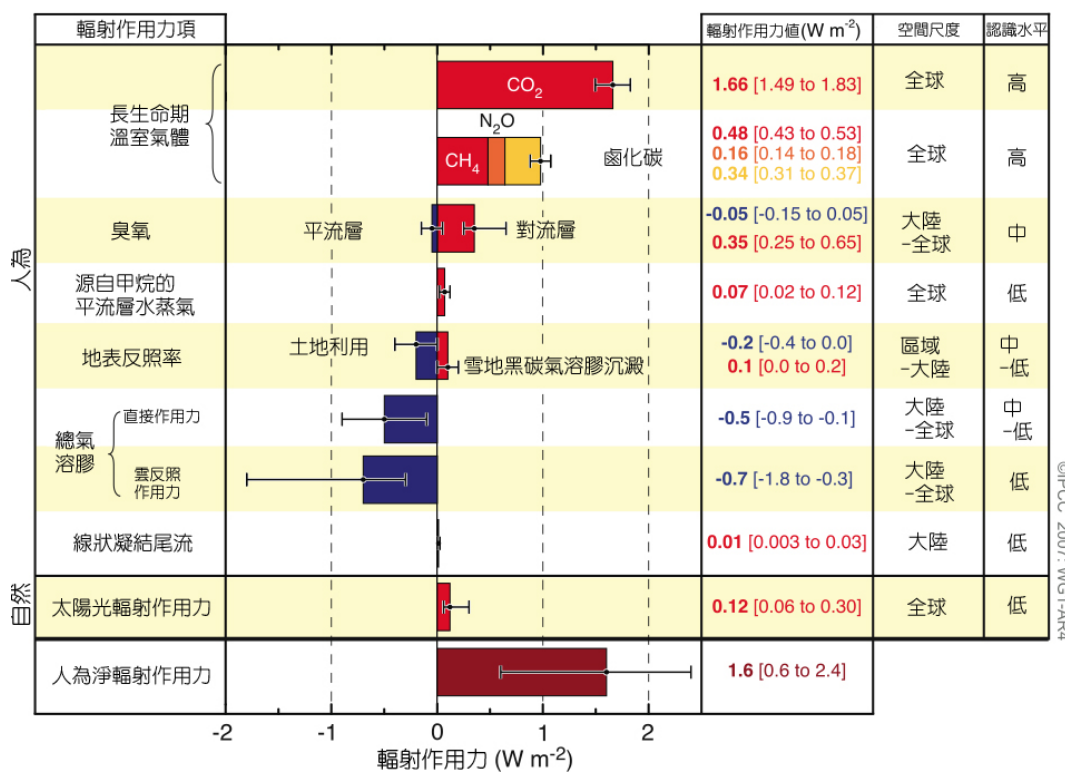


圖 SPM-2

2005 年人為二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)及其他重要媒介與機制之輻射作用力的估計值和範圍，以及輻射作用力之典型地理廣度(空間尺度)和評估之科學了解程度(Level of Scientific understanding, LOSU)。圖中亦顯示人為淨輻射效力及其範圍。這些數據需要加總各元素之不對稱的不確定性估計值，單純相加無法得出所需要之數據。未納入本圖中之其他作用力因素被認為科學了解程度非常低。火山氣溶膠雖然提供一種額外的自然作用力，但因為其偶發性本質，亦未被納入本圖中。線狀凝結尾流的範圍未包含飛行對雲層密度之其他可能影響。{2.9, 圖 2.20}

因鹵化碳變化⁸而造成之直接輻射作用力為 $+0.34$ [$+0.31 \sim +0.37$] W m^{-2} ；地表反照率因土地覆蓋改變及雪地黑碳氣溶膠沈澱造成的變化，其輻射作用力分別為 -0.2 [$-0.4 \sim 0.0$] W m^{-2} 和 $+0.1$ [$0.0 \sim +0.2$] W m^{-2} 。其他輻射作用力小於 $\pm 0.1 \text{ W m}^{-2}$ 的因素顯示於圖 SPM-2。{2.3, 2.5, 7.2}

- 1750 年以來太陽光輻射變化造成之輻射作用力估計為 $+0.12$ [$+0.06 \sim +0.30$] W m^{-2} ，還不到 TAR 中估計值的一半。{2.7}

C. 近來氣候變遷之直接觀測

TAR 發表以來，對於氣候如何隨時空變化的瞭解，已透過許多資料和資料分析之改善與擴充、更廣泛之地理涵蓋範圍、對不確定性之更佳瞭解和更多元的測量方法，而獲得進展。目前已有 60 年代以來之冰河與積雪，以及大約過去十年來之海平面與大冰原的更完整觀測資料可供使用。然而，某些區域的資料涵蓋仍然相當有限。

氣候系統的暖化已經很明確，透過觀測資料，全球平均氣溫和海溫的升高、雪冰普遍融化及全球平均海平面上升，都已經非常明顯(見圖 SPM-3)。{3.2, 4.2, 5.5}

- 過去 12 年裡(1995~2006)有 11 年名列於儀器記錄的地表溫度中最暖的 12 年⁹(1850 年以來)。更新後之百年線性趨勢(1906–2005 年)顯示 0.74 [$0.56 \sim 0.92$]°C 增溫，其高於 TAR 中相對應時間(1901–2000 年)的 0.6 [$0.4 \sim 0.8$]°C 增溫。過去 50 年來的線性暖化趨勢(每 10 年 0.13 [$0.10 \sim 0.16$]°C)幾乎是過去 100 年的兩倍。從 1850–1899 年到 2001–2005 年的總升溫為 0.76 [$0.57 \sim 0.95$]°C。城市熱島效應確實存

在，但多屬於區域性的，僅有可忽略的影響(對陸上溫度的影響少於每 10 年 0.006°C ，對海上溫度影響則為零)。{3.2}

- 探空儀器及人造衛星對低/中對流層之溫度分析顯示出類似地表溫度記錄的暖化率，並符合各自的不確定性範圍。此結果大幅調和了 TAR 中所述之歧異性。{3.2, 3.4}
- 至少是 1980 年代以來，陸地、海洋和上對流層之平均大氣水蒸汽含量已增加，其增加量大致與較暖空氣可額外包含之水蒸汽量相當。{3.4}
- 1961 年以來的觀測資料顯示，全球海洋平均溫度上升至少影響到 3000 公尺的海洋深度，海洋吸收超過 80% 進入於氣候系統的熱。此一暖化現象已造成海水膨脹，進而促使海平面上升(見表 SPM-1)。{5.2, 5.5}
- 平均而言，南北半球之山岳冰河與積雪均已減少。冰河與冰帽之普遍縮減已促使海平面上升(冰帽不包括格林蘭大冰原和南極大冰原)(見表 SPM-1)。{4.6, 4.7, 4.8, 5.5}
- TAR 發表以來之新數據顯示，格林蘭及南極大冰原之縮減非常可能是促使 1993 ~ 2003 年間海平面上升之因素(見表 SPM-1)。格林蘭及南極大冰原某些流出冰河之流速已經加快，這些流出冰河將大冰原內部的冰排出。大冰原質量縮減通常伴隨著冰棚(ice shelves)變薄、縮減或浮冰河舌(floating glacier tongues)減損。這些動態的冰減少作用足以解釋南極大冰原質量減損，以及近一半格林蘭冰原流失的現象。格林蘭大冰原縮減的其餘因素則是融冰速度超過下雪帶來冰層推積速度。{4.6, 4.8, 5.5}

⁸ IPCC 最近發表的“保護臭氧層和全球氣候系統特別報告”(2005 年)對鹵化碳輻射作用力做了詳細評估。

⁹ 陸地近地表溫度與海面溫度之平均值。

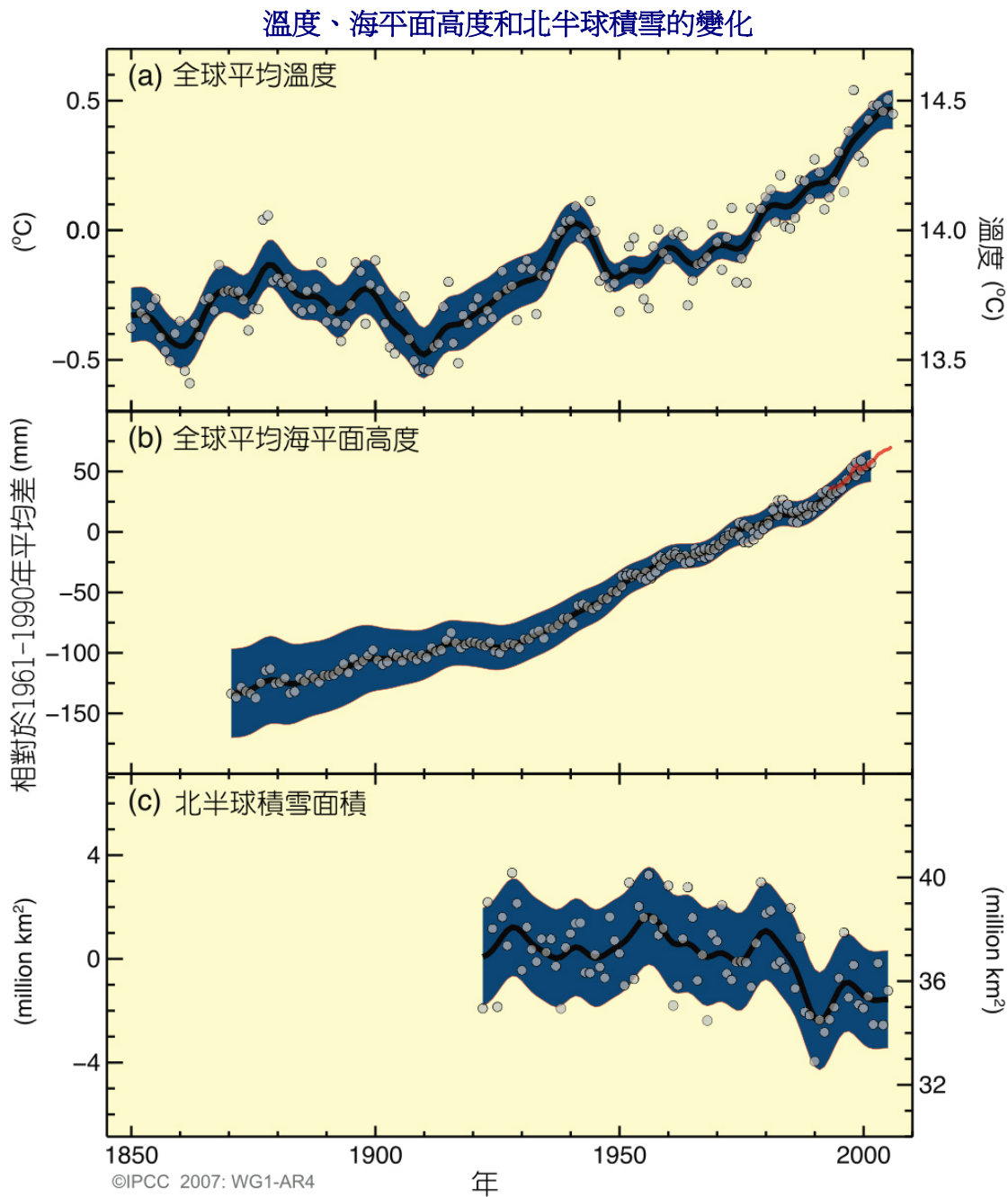


圖 SPM-3

觀測之(a)全球平均地表溫度、(b)全球平均海平面升高(根據潮位測站數據(藍色)和人造衛星數據(紅色))、和(c)北半球 3~4 月積雪面積變化。所有變化均為相對於 1961 ~ 1990 期間之均值。平滑曲線代表 10 年均值，圓圈則顯示年均值。陰影部分為根據已知不確定性綜合分析(a 和 b)及時間序列(c)估計之不確定性區間。{問答集 3.1；圖 1、圖 4.2 和圖 5.13}

表 SPM-1 觀測到的海平面上升率與不同上升源之估計貢獻度{5.5, 表 5.3}

海平面上升源	海平面上升率 (公尺/百年)	
	1961 ~ 2003	1993 ~ 2003
熱膨脹	0.042 ± 0.012	0.16 ± 0.05
冰河與冰帽	0.050 ± 0.018	0.077 ± 0.022
格林蘭大冰原	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
南極大冰原	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
個別氣候因素對海平面上升貢獻之加總	0.11 ± 0.05	0.28 ± 0.07
觀測到的之總海平面上升	0.18 ± 0.05 ^a	0.31 ± 0.07 ^a
差異 (觀測值 - 氣候貢獻加總)	0.07 ± 0.07	0.03 ± 0.10

註：

^a 1993 年以前之數據得自潮位測站，1993 年以後之數據得自衛星高程測量。

- 1961~2003 年間，全球平均海平面上升率為每年 1.8 [1.3 ~ 2.3]毫米。1993 ~ 2003 年間的海平面上升的速率增快，達到約每年 3.1 [2.4 ~ 3.8]毫米。至於 1993 ~ 2003 年間較快的海平面上升速率，反映的是十年的年際變化或較長期的增快趨勢，目前尚無法確定。但**高度確信**的是，19 到 20 世紀觀測到的海平面上升速率在增加。20 世紀海平面總上升量估計為 0.17 [0.12 ~ 0.22]公尺。{5.5}
- 1993 ~ 2003 年間，氣候因素貢獻之加總，在不確定性範圍內，與直接觀測到的海平面總上升量是一致的(見表 SPM-1)，其一致性主要是基於現今人造衛星及直接觀測數據的改進。1961 ~ 2003 年估計之氣候因素貢獻加總，則是小於實際觀測之海平面上升。TAR 報告對於 1910 ~ 1990 年的估計量，也呈現出類似的差異。{5.5}

在大洲、區域和海洋盆地的尺度上，已經觀測到許多長期性氣候變遷，包括北極溫度與冰層之變化，以及廣大地區的降水量、海水鹽度、風場型態和極端天氣狀況(包括乾旱、豪大雨、熱浪和熱帶氣旋強度)的改變¹⁰。{3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}

- 在過去 100 年當中，北極平均溫度升高的速度幾乎是全球平均暖化速度的兩倍。北極溫度具有蠻大的十年期距變化情形，在 1925–1945 年間也曾觀測到一個暖化時期。{3.2}
- 1978 年以來的人造衛星觀測數據顯示，年平均北極海冰分布範圍每十年縮小 2.7 [2.1 ~ 3.3]%，夏季的縮幅較大，每十年縮小 7.4 [5.0 ~ 9.8]%。這些數值與 TAR 報告的數值一致。{4.4}
- 1980 年代以來，北極永久凍土層表面的溫度已普遍上升(高達 3°C)。1900 年以來，北半球最大季節性凍土覆蓋面積已縮小約 7%，春季縮幅更高達 15%。{4.7}

¹⁰ 熱帶氣旋包括颶風和颱風。

- 1900 ~ 2005 年期間，已針對許多大範圍區域觀測其降水量的長期趨勢¹¹。北美洲和南美洲東部地區、歐洲北部地區及亞洲北部和中部地區已觀測到降水量大幅增加。薩哈爾(Sahel)、地中海、非洲南部及部分南亞地區則是已觀測到乾旱趨勢。降水量在時空上的變化很大，某些地區的數據很有限。其他納入評估之大區域則尚未觀測到長期趨勢¹¹。{3.3, 3.9}
 - 中/高緯度海域海水淡化及低緯度海域海水鹽度升高均暗示著海洋上降水及蒸發的變化。{5.2}
 - 1960 年代以來，南北半球中緯度西風已經增強。{3.5}
 - 1970 年代以來，更多的地區已觀測到更劇烈和持久的乾旱現象，尤其是在熱帶和亞熱帶地區。溫度升高及降水量減少已促使乾旱產生變化，此外，海面溫度(SST)與風場型態的變化，以及雪場(snowpack)與積雪縮減，也都和乾旱有關聯。{3.3}
 - 大多數陸地地區之劇烈降水發生頻率已有所增加，此現象與暖化及觀察到的大氣水蒸汽增加現象一致。{3.8, 3.9}
 - 過去 50 年來已觀測到極端溫度的普遍變化。寒冷的白晝與夜晚，及嚴寒的發生頻率減少，而炎熱的白晝與夜晚，及熱浪的發生頻率則增加(見表 SPM-2)。{3.8}
 - 觀測證據顯示，約自 1970 年以來，北大西洋強烈熱帶氣旋增加，這點與熱帶海面溫度升高相互關聯。某些其他地區也有強烈熱帶氣旋增加的跡象，唯這些地區的數據品質比較堪慮。由於存在數十年期距的變化情形，加上 1970 年例行性的人造衛星觀測之前，熱帶氣旋記錄品質存在問題，使得要發現熱帶氣旋活動的長期趨勢變得更加困難。熱帶氣旋每年發生次數並無明顯之趨勢。{3.8}
- 氣候並未觀測到變化的部分。{3.2, 3.8, 4.4, 5.3}**
- TAR 曾報告日溫差(DTR)縮小現象，但當時只有 1950 ~ 1993 年間的數據可供利用。更新的觀測結果透露，1979 ~ 2004 年間日溫差並沒有改變，因為白天和夜間溫度上升的幅度大致相同。此一趨勢在不同地區的差異很大。{3.2}
 - 南極海冰覆蓋範圍持續顯示年際變化和局部變化，但並未出現統計上顯著的平均趨勢，這點與此區域的平均大氣溫度無暖化現象一致。{3.2, 4.4}
 - 尚無充分證據可以確定全球海洋是否存在南北向的翻轉循環趨勢，或是在較小規模氣候現象中，例如龍捲風、冰雹、閃電和沙塵暴等，存在明確的趨勢。{3.8, 5.3}

¹¹ 評估地區為 TAR 地區推測章及本報告第 11 章中所考量的地區。

表 SPM-2 近來趨勢、人類活動對趨勢影響評估、和 20 世紀後期已觀測趨勢之極端天氣事件的推估。{表 3.7、3.8、9.4；第 3.8、5.5、9.7 和 11.2–11.9 節}

現象 ^a 與趨勢方向	趨勢於 20 世紀後期存在的 可能性(尤其在 1960 年以後)	已觀測趨勢係由人類活動所引起之可能性 ^b	利用 SRES 情境推估 21 世紀未來趨勢發生的可能性
大多數陸地地區變得較暖及寒日/寒夜變少	非常可能 ^c	可能 ^e	幾乎確定 ^e
大多數陸地地區變得較暖及更頻繁的熱日/熱夜	非常可能 ^d	可能(夜) ^e	幾乎確定 ^e
暖期/熱浪： 大多數陸地地區次數增加	可能	比較可能 ^f	非常可能
豪大雨事件： 大多數地區的頻率(或豪大雨事件之降雨量與總雨量比例)增加	可能	比較可能 ^f	非常可能
受乾旱影響地區增加	1970 年代以來在許多地區可能	比較可能	可能
強烈熱帶氣旋活動增加	1970 年以來在某些地區可能	比較可能 ^f	可能
極端高海平面(海嘯除外)發生率增加 ^g	可能	比較可能 ^{f,h}	可能 ⁱ

註：

- (a) 欲知詳細定義，請參見表 3.7。
- (b) 參見表 TS-4；文字框 TS-3.4 和表 9.4。
- (c) 寒日、寒夜發生頻率減少(最冷 10%)
- (d) 炎熱的日、夜發生頻率增加(最熱 10%)
- (e) 每年最極端日夜變得較暖
- (f) 人類活動之貢獻程度未予評估。這些現象之歸因係根據專家判斷，而非根據正式歸因研究。
- (g) 極端高海平面取決於平均海平面和地區天氣系統。此處之定義為觀測站在已知參考期內所觀測海平面之時均值中最高之 1%。
- (h) 觀測之極端高海平面變化與平均海平面變化密切相關{5.5}。人類活動*非常可能*促進平均海平面上升。{9.5}
- (i) 在所有假設情境中，推估之 2100 年全球平均海平面高於參考期之全球平均海平面{10.6}。地區天氣系統變遷對極端高海平面之影響尚未評估

D. 古氣候學觀點

古氣候學研究利用氣候敏感的指標改變來推斷全球氣候過去變遷，其採用之時間尺度從數十年到數百萬年不等。這些代理數據(proxy data)(如樹輪寬度)可能受到當地溫度及其他因素(如降水量)的影響，且經常僅能代表特定季節，而非整年的現象。TAR 發表以後的多項研究，因為有了不同地區多項指標一致變化的額外數據，增加了科學界的信心。然而，不確定性通常會隨著時間的久遠而增加，因為時間越久遠，空間的涵蓋越有限。

古氣候學資訊支持以下詮釋：近半個世紀以來的暖化，至少在過去 1300 年內屬不尋常現象。上次極地明顯較現在更暖時期(約 125,000 年前)，所造成之極地冰量減少導致海平面上升 4–6 公尺。{6.4, 6.6}

- 20 世紀下半葉，北半球平均溫度*非常可能*較過去 500 年內任何其他 50 年期間都來得高，並*可能*是過去至少 1300 年來平均溫度最高的 50 年。近來有些研究指出，北半球溫度的變異較 TAR 中所提到的更高。尤其這些研究發現，第 12、13、14、17 和 19 世紀中均曾出現較冷的時期。20 世紀以前的偏暖期仍在 TAR 中所提出的不確定性範圍內。{6.6}
- 上次間冰期 (interglacial period)(約 125,000 年前)之全球平均海平面*可能*比 20 世紀期間高 4 ~ 6 公尺，主要是因為極冰融退所造成的。由於地球軌道的差異，冰芯數據顯示，當時的平均極地溫度比現在高出 3–5°C。格林蘭大冰原及其他北極冰原對觀測之海平面上升的貢獻*可能*不超過 4 公尺，南極對當時海平面上升可能也有影響。{6.4}

E. 氣候變遷之了解與歸因

本評估報告根據 TAR 發表以來之多項研究，採用的是較長期和改進的記錄、較廣泛的觀測範圍、和許多氣候層面及其變異之改良模擬。本報告也採納一些新近歸因研究的結果。這些歸因研究評估了觀測之變化在量上是否與預期之外部作用力反應一致，以及是否與其他物理替代解釋不相符。

20 世紀中葉以來觀測到的全球平均溫度上升，非常可能導因於觀察到的人類活動所造成的溫室氣體濃度升高¹²。相對於 TAR 的結論指出：“過去 50 年來，大多數觀測之暖化可能導因於溫室氣體濃度的升高”，這無異是一項進步。可辨別之人類影響已經延伸到氣候的其他層面，包括海洋暖化、大陸平均溫度、極端溫度和風型(見圖 SPM-4 和表 SPM-2)。{9.4, 9.5}

- 如果只有溫室氣體濃度增加，其應該造成之暖化*可能*比觀測到的更為嚴重，因為火山作用和人類活動所產生之氣溶膠已抵銷了一部分本來應該發生的暖化現象。{2.9, 7.5, 9.4}
- 觀測到的大氣及海洋之普遍暖化現象，加上冰質量減損，支持以下結論：過去 50 年來之全球氣候變遷*極端不可能*被解釋為沒有外部作用力，且非常可能不光是已知的自然原因所造成。{4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}
- 從地表及大氣溫度、海洋上空數百公尺溫度之變化、以及促使海平面上升，已可察覺氣候系統的暖化。歸因研究已確定了人類活動對這些所有變化的影響。觀測之對流層暖化和平流層冷化非常可能是因為溫室氣體增加和平流層臭氧耗損之共同影響結果。{3.2, 3.4, 9.4, 9.5}

¹² 其餘的不確定性考量係以當前的方法論為基礎。

- 平均過去 50 年期間，除了南極洲以外，各大洲都 *可能* 已經受到顯著的人為暖化影響(見圖 SPM-4)。觀測之暖化形態(包括陸地暖化大於海洋暖化和暖化形態隨著時間改變)只有在模式模擬中加入人為作用力時才會發生。就人類對氣候變遷的影響，耦合氣候模式模擬六大洲溫度變化的能力，提供比 TAR 中所述更有力的證據。{3.2, 9.4}
 - 在較小尺度上，可靠的模擬結果及歸因(attributing)觀測到的溫度變化仍然很困難。在這些尺度的模擬中，由於外部作用力的關係，自然氣候變異相對較大，因此區別預期的變化比較困難。當地作用力及回饋之不確定性，也使得溫室氣體增加對觀測之小尺度溫度變化的影響，估計起來變得很困難。{8.3, 9.4}
 - 人為作用力可能已對風型變化產生影響¹³，造成南北半球之溫帶氣旋路徑及溫度型態的改變。然而，觀測到的北半球循環變化大於反應 20 世紀作用力變化之模擬結果。{3.5, 3.6, 9.5, 10.3}
 - 最極端的炎熱夜晚、寒夜及寒日的溫度 *可能* 已經因人為作用力而上升。*比較可能的* 情況是人為作用力增加了熱浪的風險(見表 SPM-2)。{9.4}
- 平均地表暖化指標。均衡氣候敏感度 *可能* 介於 2 ~ 4.5°C 的範圍內，最佳估計值為 3°C，且 *非常不可能* 低於 1.5°C。然而，均衡氣候敏感度高於 4.5°C 的情形也無法排除，但為保持模式與觀測值之一致不太適合那些過高的數值。水蒸汽變化代表影響氣候敏感度之最大回饋作用。科學界對水蒸汽變化的了解也比 TAR 發表時更多。雲回饋仍是不確定性的最大來源。{8.6, 9.6, 文字框 10.2}
- 1950 年以前至少 7 個世紀的氣候變遷 *非常不可能* 僅為氣候系統內部變化所造成。在那幾個世紀中，重建的北半球十年際溫度變異，有相當一部分非常可能歸因於火山爆發和太陽輻照量的改變，且這些記錄中所顯示之 20 世紀初期的暖化現象，可能是人為作用力促成的。{2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

氣候模式加上有限的觀測資料一起分析，使得科學界首度可以針對氣候敏感度評估可能範圍，並對氣候系統反應輻射作用力的了解更具信心。{6.6, 8.6, 9.6. 文字框 10.2}

- 均衡氣候敏感度是一個反應持續輻射作用力之氣候系統測量值。它不是一種推估，而被定義為二氧化碳濃度加倍後全球

¹³ 尤其是南北半球環狀模態(Southern and Northern Annular Modes)及北大西洋振盪的相關變化。{3.6, 9.5, 文字框 TS.3.1}

全球和大陸的溫度變化

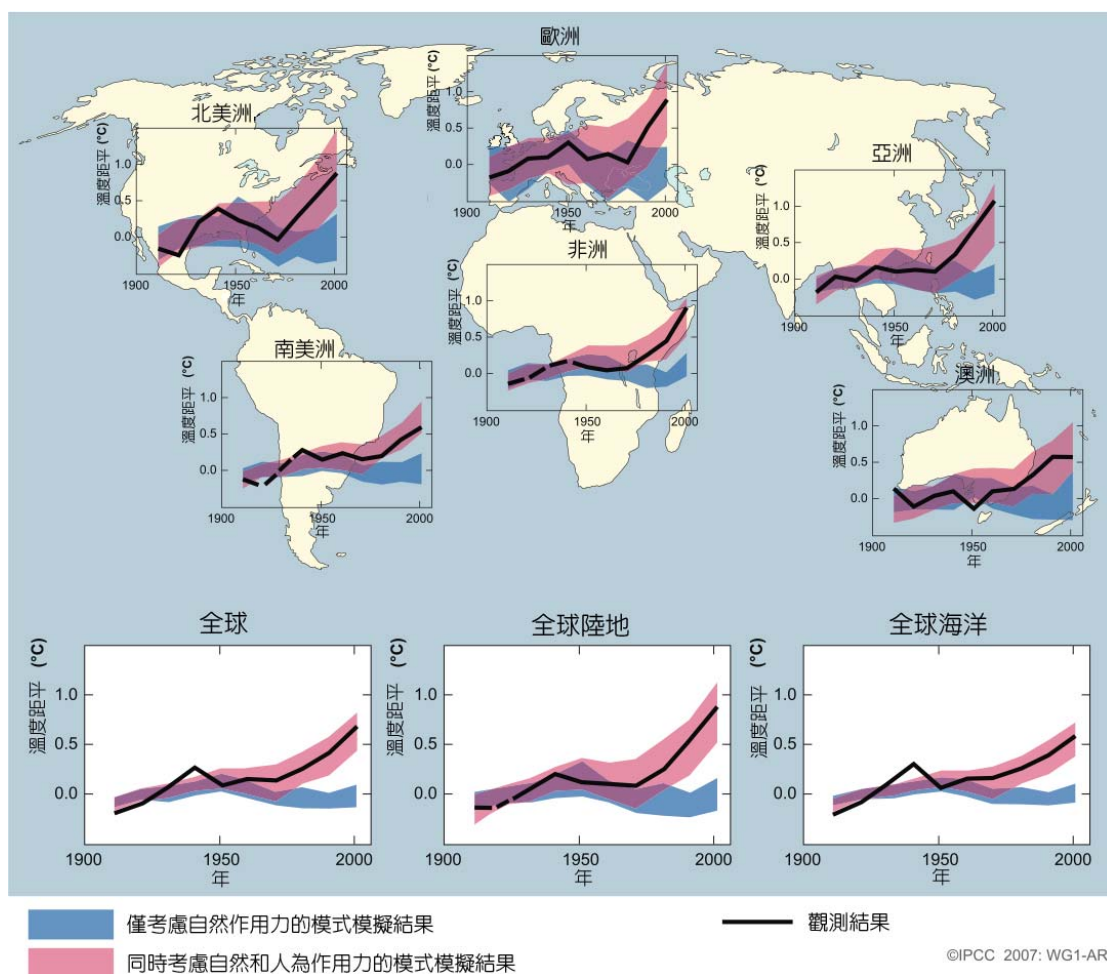


圖 SPM-4

比較觀測之全球及各大洲地表溫度變化，與利用氣候模式根據自然及人為作用力模擬結果。圖中顯示 1906 ~ 2005 年期間(黑線)之觀測 10 年均值(標繪 10 年中點和相對於 1901-1950 之相對應均值)。空間涵蓋範圍少於 50% 處以虛線呈現。藍色條帶顯示僅根據自然作用力(太陽活動及火山)利用 5 個氣候模式進行 19 次模擬之 5 ~ 95% 範圍。紅色條帶顯示根據自然及人為作用力利用 14 個氣候模式進行 58 次模擬之 5 ~ 95% 範圍。{問答集 9.2, 圖 1}

F. 未來氣候變遷之推估

相較於 TAR，本評估報告中氣候變遷推估之一大進步在於更廣泛模式所提供之大量模擬。加上觀測資料提供之額外資訊，這些進步為估計未來氣候變遷許多層面之發生機率提供一個量化依據。模式模擬包含一系列未來可能狀況，包括理想排放量或濃度假定。這些狀況還包括 2000–2100 年間 SRES¹⁴ 描述的示範性標示情境，以及假定 2000 或 2100 年以後溫室氣體及氣溶膠濃度維持不變之模式實驗。

針對一系列 SRES 排放情境，推估未來 20 年的暖化率為每 10 年約 0.2°C。即使所有溫室氣體和氣溶膠的濃度均保持在 2000 年的水準，仍可預期每 10 年約 0.1°C 的暖化率。{10.3, 10.7}

- 發表於 1990 年的 IPCC 第一次評估報告，評估之推估數據顯示，1990 ~ 2005 年間的全球平均溫度升高率為每 10 年約 0.15 ~ 0.3°C。對照於現今每 10 年約 0.2°C 的觀測值，科學界對近期推估的信心增強。{1.2, 3.2}
- 模式實驗顯示，即使所有輻射作用力因素均保持在 2000 年的水準，未來 20 年間仍可能發生每 10 年約 0.1°C 的持續暖化趨勢，主要原因為海洋對輻射作用力的反應較慢。如果排放量在 SRES 情境之範圍內，預期中的暖化率可能加倍(每 10 年約 0.2°C)。模式之最佳估計推估數據顯示，2030 年以前，各個有人居住大洲之 10 年平均暖化率對 SRES 情境之選擇並不敏感，且*非常可能*至少是 20 世紀期間相對應模式估計自然變異的兩倍。{9.4, 10.3,

¹⁴ SRES 指的是 IPCC「排放情境特別報告」(2000)。SRES 情境族系和示例(不含外加的氣候因應方案)摘述於「給決策者的摘要」最後的文字框中。根據 2100 年人為溫室氣體和氣溶膠之輻射作用力計算(見 TAR 第 823 頁)，SRES 示範性標示情境 B1、A1T、B2、A1B、A2 和 A1FI 的 CO₂ 當量濃度近似值分別為 600、700、800、850、1250 和 1550 ppm。情境 B1、A1B 和 A2 一直是模式相互比較研究之焦點，其中許多結果在本報告中均有評估。

10.5, 11.2–11.7；圖 TS-29}

以當前或更高的速率持續排放溫室氣體，可能導致進一步暖化，並在 21 世紀引發許多全球氣候系統變化。這些變化非常可能比 20 世紀之觀測變化更大。{10.3}

- 現在氣候變遷模式的進步，使得科學界可以針對不同的排放情境，提供推估暖化之最佳估計值及*可能*之評估不確定性範圍。不同排放情境之結果均詳列於本報告中，以免漏掉這些政策相關資訊。21 世紀末(2090 ~ 2099)相對於 1980 ~ 1999 年之推估全球平均地表暖化比較，顯示於表 SPM-3。這些比較對照出由低至高 SRES 排放情境與這些情境之推估暖化不確定性之間的差異。{10.5}
- 本評估報告中提供六個 SRES 排放標示情境之全球平均地表暖化最佳估計值及*可能*範圍(見表 SPM-3)。例如，低排放情境(B1)之最佳估計值為 1.8°C (可能範圍為 1.1°C ~ 2.9°C)，而高排放情境(A1F1)之最佳估計值為 4.0°C (可能範圍為 2.4°C ~ 6.4°C)。雖然這些推估與 TAR 中所引用的範圍(1.4 ~ 5.8°C)大體一致，但兩者無法直接比較(見圖 SPM-5)。AR4 比較進步，因為 AR4 針對每一個標示情境提供最佳估計值及評估之可能範圍。新的可能範圍評估所依據的是更多且複雜性及真實性更高的氣候模式，以及有關碳循環回饋性質及有限的觀測到的氣候反應新資訊。{10.5}
- 暖化有減少陸地及海洋吸收大氣二氧化碳的傾向，因而使得留在大氣中之人為排放部分增加。譬如，就 A2 情境而言，到了 2100 年，氣候-碳循環回饋將升高相對應之全球平均暖化超過 1°C。溫度推估之評估範圍上限大於 TAR 的上限(見表 SPM-3)，主要是因為現在可利用的更廣範

圍模式，顯示了更大的氣候-碳循環回饋 {7.3, 10.5}

- 以模式為基礎之 21 世紀末(2090 ~ 2099) 全球平均海平面上升推估顯示於表 SPM-3。就每個情境而言，表 SPM-3 所顯示之範圍中點均位於 TAR 2090-2099 年模式均值 10%的範圍內。這次評估的可能範圍比 TAR 中的範圍窄，主要是因為推估貢獻中有關某些不確定性的資訊已經改善。¹⁵{10.6}
- 因為缺乏已發表文獻的基礎，迄今所使用之模式均未考量氣候-碳循環回饋之不確定性，也未納入大冰原流動變化之完全影響。這些推估包含格林蘭和南極洲冰流以 1993 ~ 2003 觀測速度加快的促進因素，但

冰流速度在未來可能增快或減慢。譬如，如果此一促進因素隨著全球平均溫度變化呈線性成長，則表 SPM-3 中所顯示的 SRES 情境海平面上升範圍上限可能增加 0.1 – 0.2 公尺。出現更大數值的情況無法排除，但目前科學界對這些影響的了解非常有限，因此無法評估其發生機率或提供最佳估計值或海平面上升範圍上限。 {10.6}

- 大氣中二氧化碳濃度升高導致海洋酸化加劇。根據 SRES 情境的推估顯示，21 世紀平均全球表層海洋 pH 值¹⁶將下降 0.14 – 0.35 單位，加上工業革命至今平均全球表層海洋 pH 值已下降 0.1 單位。{5.4, 文字框 7.3, 10.4}

¹⁵ TAR 中的推估係針對 2100 年，而本報告中的推估則針對 2090 ~ 2099 年。如果 TAR 也以相同方式處理不確定性，其所推估的範圍應該與表 SPM-3 中的範圍很類似。

¹⁶ pH 值下降與溶液酸度增加相符。詳情請參見詞彙表。

表 SPM-3 21 世紀末不同模式個案之推估全球平均地表暖化及海平面上升。海平面推估不包含碳循環回饋之不確定性，因為缺乏已發表文獻的基礎。{10.5, 10.6, 表 10.7}

個案	溫度變化(°C - 相對於 1980 ~ 1999 年之 2090 ~ 2099 年) ^a		海平面上升(公尺 - 相對於 1980 ~ 1999 年之 2090 ~ 2099 年)
	最佳估計值	可能範圍	以模式為基礎的範圍 不含冰流未來快速動態變化因素
固定於 2000 年濃度 ^c	0.6	0.3 – 0.9	無
B1 情境	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T 情境	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 情境	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B 情境	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 情境	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI 情境	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

註：

a = 這些估計值係利用一個階層模式評估，其包含一個氣候模式、數個 EMICs 和大量 AOGCMs。

c = 2000 年固定組成僅源自於 AOGCMs。

地表溫度的多模式預估結果

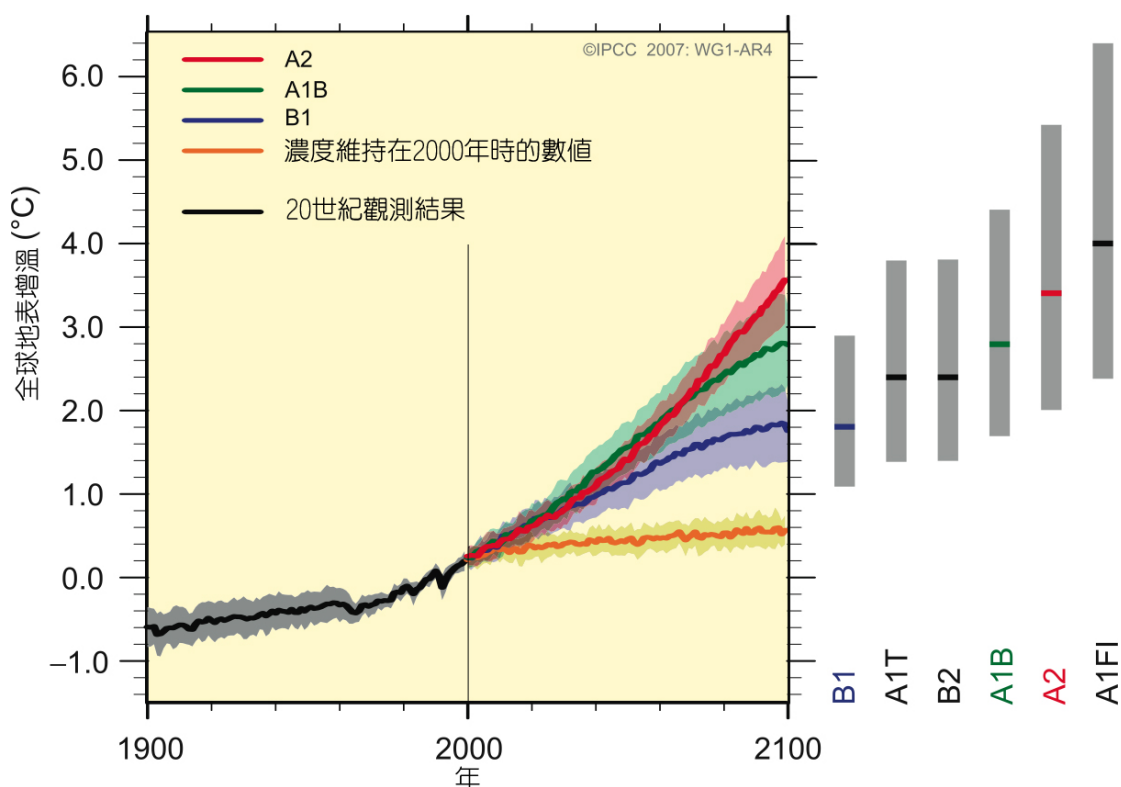


圖 SPM-5

實線代表在 A2、A1B 和 B1 之多模式所模擬出全球地表暖化之平均值(相對於 1980 ~ 1999 年)，圖中所顯示者為 20 世紀境況之延續。陰影代表個別模式年均值之±1 標準偏差範圍。橘線代表一項試驗，其中濃度維持在 2000 年時的數值。右邊的灰色條柱代表最佳估計值(每個條柱中的實線)和在六種 SRES 標記情境下之估計可能範圍。灰色條柱中最佳估計值及可能範圍評估包括圖左部分的 AOGCMs，以及一個階層式獨立模式之結果和觀測侷限。{圖 10.4 和圖 10.29}

科學界目前對暖化形態及其他區域尺度特徵的推估，已具備較高度信心，包括風型變化、降水量、和極端氣候及冰層的某些層面。{8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

- 21 世紀的暖化推估顯示出，地理分佈與情境無關，此結果與過去幾十年來的觀測結果很類似。科學界預期，暖化在陸地和最高北緯度地區將最為嚴重，在南洋和北大西洋部分水域將最輕微(見圖 SPM-6)。{10.3}
- 根據推估，積雪面積將會縮小，多數永久凍土地區融化深度將普遍加深。{10.3, 10.6}
- 在所有 SRES 情境下，北極和南極的海冰

面積推估將會縮小。根據某些推估，到了 21 世紀後期，夏末北極的海冰將幾乎消失殆盡。{10.3}

- 炎熱極端天氣、熱浪和豪大降水事件將非常可能繼續變得更為頻繁。{10.3}
- 根據一系列模式模擬結果，未來的熱帶氣旋(颱風和颶風)將變得更加強烈，最大風速增強和更大降雨量，這都與持續的熱帶海面溫度(SSTs)上升有關。科學界對全球熱帶氣旋發生次數可能減少的推估信心較低。1970 年以來，某些地區非常強烈暴風雨的比例明顯增加，其幅度比現行模式針對同時期模擬之比例增加幅度大得多。{9.5, 10.3, 3.8}

地表溫度的預估結果

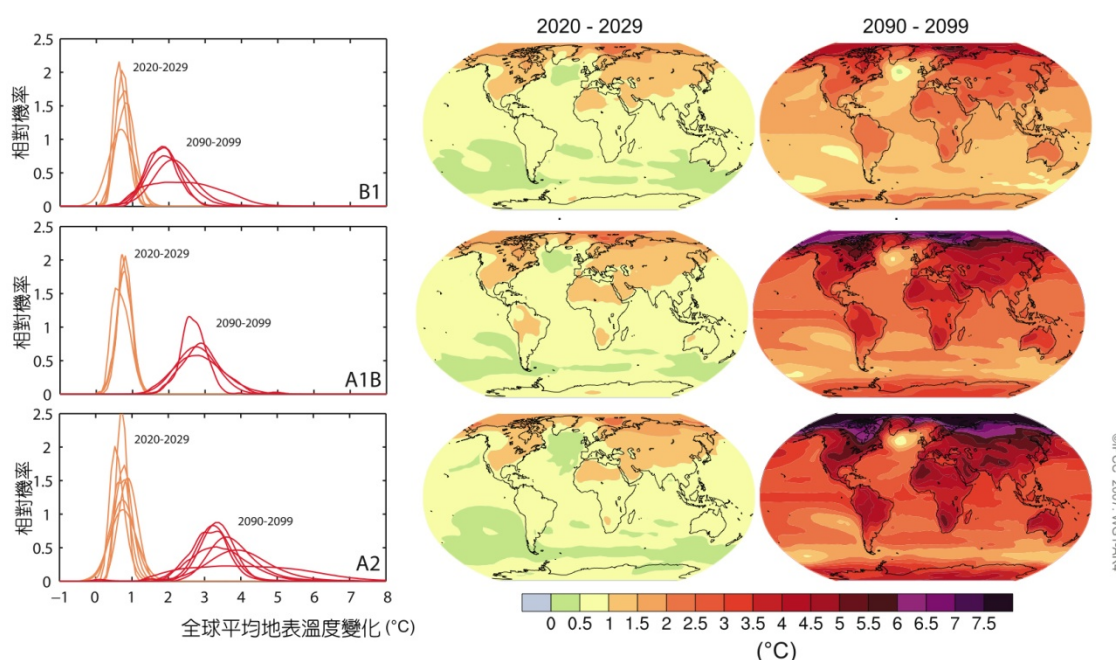


圖 SPM-6

推估之 21 世紀初期和末期地表溫度變化(相對於 1980 ~ 1999 年)。中間和右邊的圖顯示在 B1(上)、A1B(中)和 A2(下)SRES 情境下之大氣-海洋全球氣候模式(AOGCMs)推估 10 年均值。兩段十年期間分別為 2020 ~ 2029 年(中間)和 2090 ~ 2099 年(右邊)。左邊的圖顯示代表同期間幾項不同 AOGCM 和 EMICs 研究估計之全球平均暖化相對機率之相對應不確定性。某些研究僅針對 SRES 子情境或各個不同模式版本提出結果。因此，左邊圖中之曲線數差異只是由於結果之能否取得。{圖 10.8 和圖 10.28}

降水量變化分布的預估結果

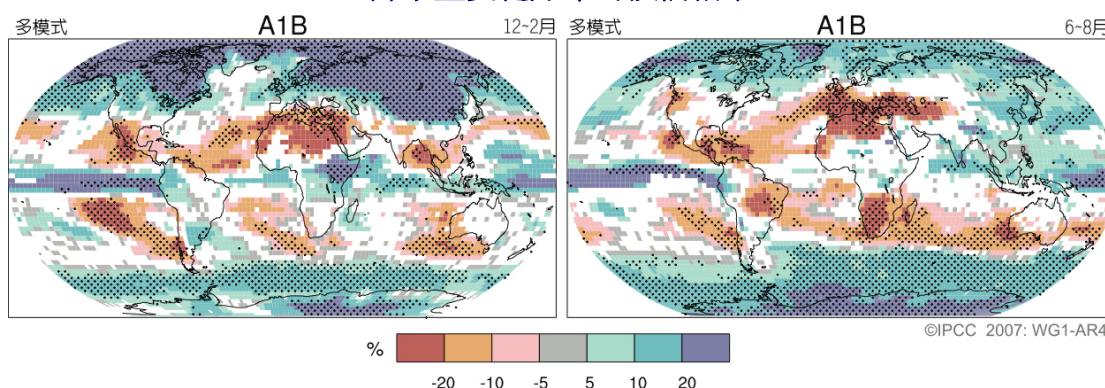


圖 SPM-7

2090 ~ 2099 年期間降水量相對變化(%) (相對於 1980 ~ 1999 年)。圖中所顯示數值為 SRES A1B 情境下 12~2 月(左圖)和 6-8 月(右圖)的多模式均值。白色區域為與變化方向相符之模式少於 66% 的情形，點畫區域為與變化方向相符之模式多於 90% 的情形。{圖 10.9}

- 溫帶氣旋路徑預料將朝極地方向移動，並造成風型、降水模式和溫度模式的變化，進而延續過去半世紀所觀測的廣泛趨勢形態。{3.6, 10.3}
- TAR 發表以來，科學界對於推估降水模式的了解已有進步。高緯度地區的降水量非常可能增加，而大多數亞熱帶陸地的降水量則可能減少(在 A1B 情境下，到了 2100 年，可能減少約 20%，見圖 SPM-7)，延續最近觀測到的趨勢型態。{3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2 – 11.9}
- 根據現行模式的模擬結果，21 世紀期間，北大西洋流的轉向循環(MOC)非常可能趨緩。在 A1B SRES 排放情境下，到了 2100 年，多模式平均減緩率為 25%(範圍從 0 到 50%)。儘管有這些變化，但由於存在著與推估之溫室氣體增加相關的更大暖化現象，大西洋地區的溫度預料將仍會上升。在 21 世紀期間，MOC 非常不可能發生大規模突然轉變。目前尚無法有信心地評估 MOC 的長期變化。{10.3, 10.7}

使溫室氣體濃度可以維持穩定，人為暖化和海平面上升仍將持續幾個世紀。{10.4, 10.5, 10.7}

- 氣候-碳循環耦合作用預料將隨著氣候系統的暖化而增加排放二氧化碳至大氣中，但此一回饋的強度尚無法確定。若要達到某特定穩定的大氣二氧化碳濃度，此回饋作用將增加二氧化碳排放軌跡之不確定性。根據目前對氣候碳循環回饋的了解，模式研究顯示，如果要將二氧化碳穩定在 450 ppm，21 世紀的累計排放量需要從平均約 670 [630 ~ 710] GtC(2460[2310 to 2600]GtCO₂)減至約 490 [375 – 600] GtC(1800[1370 to 2200] GtCO₂)。同樣地，如果要將二氧化碳穩定在 1000 ppm，此一回饋將需要累計排放量從平均約 1415 [1340 – 1490] GtC(5190[4910 to 5460] GtCO₂)減至約 1100 [980 – 1250] GtC(4030[3590 to 4580] GtCO₂)。{7.3, 10.4}

由於氣候過程及回饋相關的時間尺度問題，即

- 如果在 2100 年時輻射作用力穩定在 B1 或 A1B 情境的水準¹¹，預期全球平均溫度仍將持續升高約 0.5°C，且多半在 2200 年以前發生。{10.7}
- 如果在 2100 年時輻射效力穩定在 A1B 情境的水準¹⁴，單熱膨脹便可能導致 2300 年以前海平面上升 0.3 – 0.8 公尺(相對於 1980–1999 年)。由於熱傳輸到深海需要時間，熱膨脹作用可能持續好幾個世紀。{10.7}
- 格林蘭大冰原縮減預期在 2100 年以後將持續促使海平面上升。現行模式之模擬結果顯示，冰量隨溫度上升而減少的速度比冰量因降水增加而增加的速度快，且當全球平均暖化超過 1.9 – 4.6°C 時(相較於工業革命前的數值)，表面物質平衡將成爲負值。如果負表面物質平衡持續千年，將可能導致格林蘭大冰原消失殆盡，進而造成海平面上升約 7 公尺。格林蘭相對應之未來溫度與推斷之上次間冰河時期(125,000 年前)的溫度相當。當時的古氣候學資料顯示，極地冰廣度縮減及海平面上升 4 – 6 公尺。{6.4, 10.7}
- 與冰流相關之動態過程(未包含在現行模式中，而是由近來的觀測得知)可能增加大冰原對氣候暖化之脆弱度，進而促使未來海平面升高。目前科學界對這些過程的了解尚很有限，對其強度也無共識。{4.6, 10.7}
- 科學界根據目前的全球模式研究推估，南極大冰原仍然有足夠的冷度，不致於發生普遍的冰表融化，又由於降雪量增加，大冰原質量預期將會增加。然而，如果動態冰流量主導大冰原質量平衡，則可能發生大冰原質量淨損失。{10.7}
- 由於去除大氣中二氧化碳所需要的時間尺度，過去及未來之人爲二氧化碳排放量將持續造成氣候暖化及海平面上升達一千年以上。{7.3, 10.3}

文字框 – IPCC 排放情境特別報告(Special Report on Emission Scenarios, SRES) 之排放情境概述¹⁷

A1 情境 – A1 情境族系描述一個經濟非常快速成長、全球人口在世紀中葉達到巔峰之後便逐漸衰減、和快速引進更高效率新技術的未來世界，其基本特徵為區域趨同、建立涵容能力、文化與社會互動增加、和人均(per capita)收入地區差異大幅縮小。A1 情境族系發展成為三組情境，分別描述能源系統技術變革之替代方向。三組 A1 情境以其技術重點做為區別：化石能源密集(A1FI)、非化石能源(A1T)和能源平衡(A1B) (能源平衡之定義為不特別仰賴任何特定能源，並假定所有能源供應及最終使用技術之進步速度類似)。

A2 情境 – A2 情境族系描述一個非常異質性的世界，其基本特徵為自給自足和地方認同的保存。各地區生育模式趨同速度非常慢，因此造成人口的持續增加。經濟發展基本上為地區導向，且人均經濟成長和技術變革較其他情境零碎而緩慢。

B1 情境 – B1 情境族系描述一個趨同性的世界，其全球人口與 A1 情境同，也是在世紀中葉達到巔峰之後便逐漸衰減。但此一世界之經濟結構迅速朝著服務與資訊經濟的方向改變，其基本特徵為原料密集度降低和引進乾淨及資源有效率技術。該情境強調經濟、社會及環境永續性之全球解決方案(包括公平性改善)，但沒有外加的氣候因應方案。

B2 情境 – B2 情境族系描述一個強調經濟、社會及環境永續性之地方解決方案的世界，其基本特徵為全球人口持續增加(增加速度比 A2 情境慢)、中度經濟發展、和技術變革的速度比 B1 和 A1 情境慢，但比較多樣。雖然 B2 情境也是環保及社會公平性導向，但該情境偏重於地方和地區層級。

這六組情境(A1B、A1FI、A1T、A2、B1 和 B2)分別都有一個示例情境。所有情境均應被充分平等的考慮。

SRES 情境未包含外加的氣候因應方案。換言之，任何 SRES 情境均未明確假設實施「聯合國氣候變化綱要公約」或京都議定書的排放目標。

¹⁷ 本 IPCC 第一工作小組報告未針對排放情境本身進行評估。此概述 SRES 情境之文字框係引用自 TAR，並經過 IPCC 逐行認可。

**Contribution of Working Group II to the
Fourth Assessment Report of the
Intergovernmental Panel on Climate Change**

**IPCC 氣候變遷 2007：衝擊、調適與脆弱度
決策者摘要**

初稿作者群：

Neil Adger, Pramod Aggarwal, Shardul Agrawala, Joseph Alcamo, Abdelkader Allali, Oleg Anisimov, Nigel Arnell, Michel Boko, Osvaldo Canziani, Timothy Carter, Gino Casassa, Ulisses Confalonieri, Rex Victor Cruz, Edmundo de Alba Alcaraz, William Easterling, Christopher Field, Andreas Fischlin, Blair Fitzharris, Carlos Gay García, Clair Hanson, Hideo Harasawa, Kevin Hennessy, Saleemul Huq, Roger Jones, Lucka Kajfež Bogataj, David Karoly, Richard Klein, Zbigniew Kundzewicz, Murari Lal, Rodel Lasco, Geoff Love, Xianfu Lu, Graciela Magrín, Luis José Mata, Roger McLean, Bettina Menne, Guy Midgley, Nobuo Mimura, Monirul Qader Mirza, José Moreno, Linda Mortsch, Isabelle Niang-Diop, Robert Nicholls, Béla Nováky, Leonard Nurse, Anthony Nyong, Michael Oppenheimer, Jean Palutikof, Martin Parry, Anand Patwardhan, Patricia Romero Lankao, Cynthia Rosenzweig, Stephen Schneider, Serguei Semenov, Joel Smith, John Stone, Jean-Pascal van Ypersele, David Vaughan, Coleen Vogel, Thomas Wilbanks, Poh Poh Wong, Shaohong Wu, Gary Yohe

此決策者摘要需引用如下：

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22..

國家災害防救科技中心氣候變遷專案工作小組 編譯

A. 前言

「決策者摘要」闡述 IPCC 第二工作小組第四次評估報告中與政策有關的重要發現。

這份評估報告所含內容包括：科學界提出目前氣候變遷對於自然系統、人爲管理及人類系統衝擊，以及這些系統對氣候變遷之調適能力與脆弱度的科學認知¹⁸。AR4 是基於之前所發表 IPCC 評估報告，並加入第三次評估報告(TAR)後的新知識。

「決策者摘要」以 AR4 各章節內容爲依據，各段落後方中括弧內均註明其章節出處¹⁹。

B. 當前已觀測到氣候變遷對自然及人類環境之衝擊

IPCC 第四次評估報告第一工作小組已針對觀測到的氣候變遷提供完整的報告。本節內容關注在已觀測到的氣候變遷與近來所察覺到自然及人類環境改變之間的關係。

本節內容陳述主要以 1970 年以後的資料爲基礎。自 TAR 於 2001 年發表以來，有關自然及生物環境趨勢之觀測及其與地區性氣候變遷之關係研究，在數量上有相當大得增加，資料的品質也已大幅改善。然而，這些觀測區域的全球分布相當不平均，因而使得觀測數據及文獻資料明顯缺乏地理均衡性，尤其以開發中國家的相關資料更是明顯不足。

相較於 TAR 評估報告，近年來的研究成果，對於暖化與衝擊之間存在的關係，已可做出更廣泛和更確信的評估。評估報告的結論指出，科學界高度確信²⁰，近年來的地區性溫度變異對於許多自然及生物系統已經造成可辨別的衝擊。

當前評估報告的結論如下：

¹⁸ 相關定義參見文字框 1。

¹⁹ 陳述之出處顯示於中括弧內，譬如[3.3]表示第 3 章第 3 節。在出處表示中，F = 圖形、T = 表格、B = 文字框、ES = 執行摘要。

²⁰ 參見文字框 2。

各大洲及多數海域觀測到的證據顯示，許多自然系統正受到地區性氣候變遷的影響，特別是溫度上升。

考量到積雪、冰和凍原(包括永久凍土)²¹ 的變化，科學界高度確信，自然系統已經受到影響。譬如：

- 冰河湖範圍擴大和數量增加[1.3]。
- 永久凍土地區之地盤不安定及高山地區岩雪崩滑情況日益嚴重[1.3]。
- 北極和南極之部分生態系統發生變化，包括海冰生物群落變遷，甚至是食物鏈上層之掠食生物也同樣發生改變[1.3, 4.4, 15.4]。

根據日益明顯的證據，科學界高度確信，水文系統正受到下列之影響：

- 許多由融冰及融雪形成的河川的流量增加和春季洪峰將提早[1.3]。
- 許多地區湖泊及河流之水溫上升，導致水體內部之溫度分佈及水質受到影響[1.3]。

根據更廣泛物種呈現的更多證據，科學界非常確信，近年來的暖化現象正在嚴重影響陸地生物系統，包括以下變化：

- 春季氣候的特有事件提早發生，包括樹葉發芽、鳥類遷徙和產卵[1.3]。
- 動植物之物種分布及生長棲息範圍朝二極地區和北方擴張[1.3, 8.2, 14.2]。

根據 1980 年代初期以來人造衛星觀測資料，科學界高度確信，許多地區已經出現植物在春天提前‘返青’的趨勢²²。此一趨勢與植物生長季節因近來暖化現象而延長有關[1.3, 14.2]。

根據大量新證據，科學界高度確信，觀測到的海洋及淡水生物系統變遷與水溫上升有關，並且和覆冰量、鹽濃度、含氧量及循環等的相關

²¹ 參見 IPCC 第一工作小組 AR4。

²² 利用差異化植生指數(NDVI)計量。NDVI 是根據衛星觀測影像來量測某一地區綠色植物生長數量之相對計量。

變化有關[1.3]。這些變遷包括：

- 生物系統範圍的遷徙，以及高緯度海洋中海藻、浮游生物和魚類數量的改變[1.3]。
- 高緯度及高海拔湖泊中藻類及浮游動物之數量增加[1.3]。
- 河流中魚類棲息區域改變及遷徙時間提前[1.3]。

1750 年以來人爲的碳排放量增加已經導致海洋酸性升高，酸鹼值平均降低 0.1 單位[IPCC 第一工作小組 AR4]。然而，觀測到的海洋酸化對海洋生物圈的影響尚無文獻佐證[1.3]。

針對 1970 年以來全球資料的評估顯示，人爲造成的暖化可能²³已對許多自然及生物系統產生可辨別的影響。

過去五年來累積的更多證據顯示，許多自然及生物系統之變遷與人爲造成的暖化有關。至少有以下四類證據共同支持此一結論：

1. IPCC 第一工作組 AR4 的結論指出，20 世紀中期以來，觀測到的全球平均溫度多爲上升，*非常可能*是人爲排放的溫室氣體濃度增加所致。
2. 源自 75 項研究超過 29,000 筆觀測資料系列顯示，許多自然及生物系統發生了重大的變化²⁴，其中 89% 以上與預估的暖化反應有著一致的改變方向(圖 SPM-1)[1.4]。
3. 本評估報告之全球研究綜合論述明白指出，全球發生重大暖化的區域與觀測到許多系統發生重大變化(與暖化反應一致者)的地區，具有空間一致性。此一空間一致性*非常不可能*僅爲自然的溫度變化或系統之自然變異性所致(圖 SPM-1)[1.4]。
4. 最後，一些模式模擬的研究方法，藉由自然及生物系統觀測到的反應與模式的反

應相互比較，找出系統反應與人爲暖化之間的關聯。在模式的反應中，自然作用力(太陽活動及火山)和人爲作用力(溫室氣體及氣溶膠)的影響是可以個別明確地加以解析。涵蓋自然與人爲作用力的混合模式，相較於單純只有自然作用力的模式，其模式反應明顯較符合實際觀測到的反應[1.4]。

若干限制與不足使得科學界仍無法徹底瞭解人爲造成暖化對於觀測到的系統之影響。第一，現在各種分析還受到在所考量之系統與地點數量方面的限制；第二，區域尺度的自然溫度變異性大於全球尺度，因此影響外部作用力對變遷之辨識；最後，在區域尺度中，其他因素(如土地利用改變、污染和入侵物種)也會造成影響[1.4]。

儘管如此，在一些研究中所呈現觀測變化與模式變化之一致性，以及區域顯著變暖與全球尺度中顯著衝擊具有空間一致性，已經足以做出以下*高度確信*的結論：過去 30 年間人爲造成的暖化已對許多自然及生物系統產生可辨別的影響[1.4]。

區域性氣候變遷對自然及人類環境的其他影響正逐漸浮現，只是調適及非氣候驅使因素使得許多影響難以察覺。

以下溫度上升所造成之影響已有文獻佐證(中度確信)：

- 在北半球較高緯度地區對農業及林業管理的影響，譬如春季作物播種提早、火災及蟲害對森林的干擾的變異 [1.3]。
- 對人類健康的影響，譬如歐洲熱浪導致的死亡人數、某些地區的傳染病媒介和北半球高/中緯度地區花粉引起的過敏症[1.3, 8.2, 8.ES]。
- 對人類在北極(如在冰雪上狩獵和旅行)和低海拔山區(如山地運動)活動的影響 [1.3]。

²³ 參見文字框 2。

²⁴ 這是從 577 項研究中約 80,000 筆資料系列中選出約 29,000 筆資料系列的資料子集。選出的資料系列符合以下標準：(1) 系列終止時間在 1990 年之後；(2) 至少涵蓋 20 年期間；(3) 顯示任何重大的變化(在個別研究評估中，不論其改變方向是否與預估的暖化反應一致)。

自然與生物系統變遷及 1970~2004 年地表溫度變化

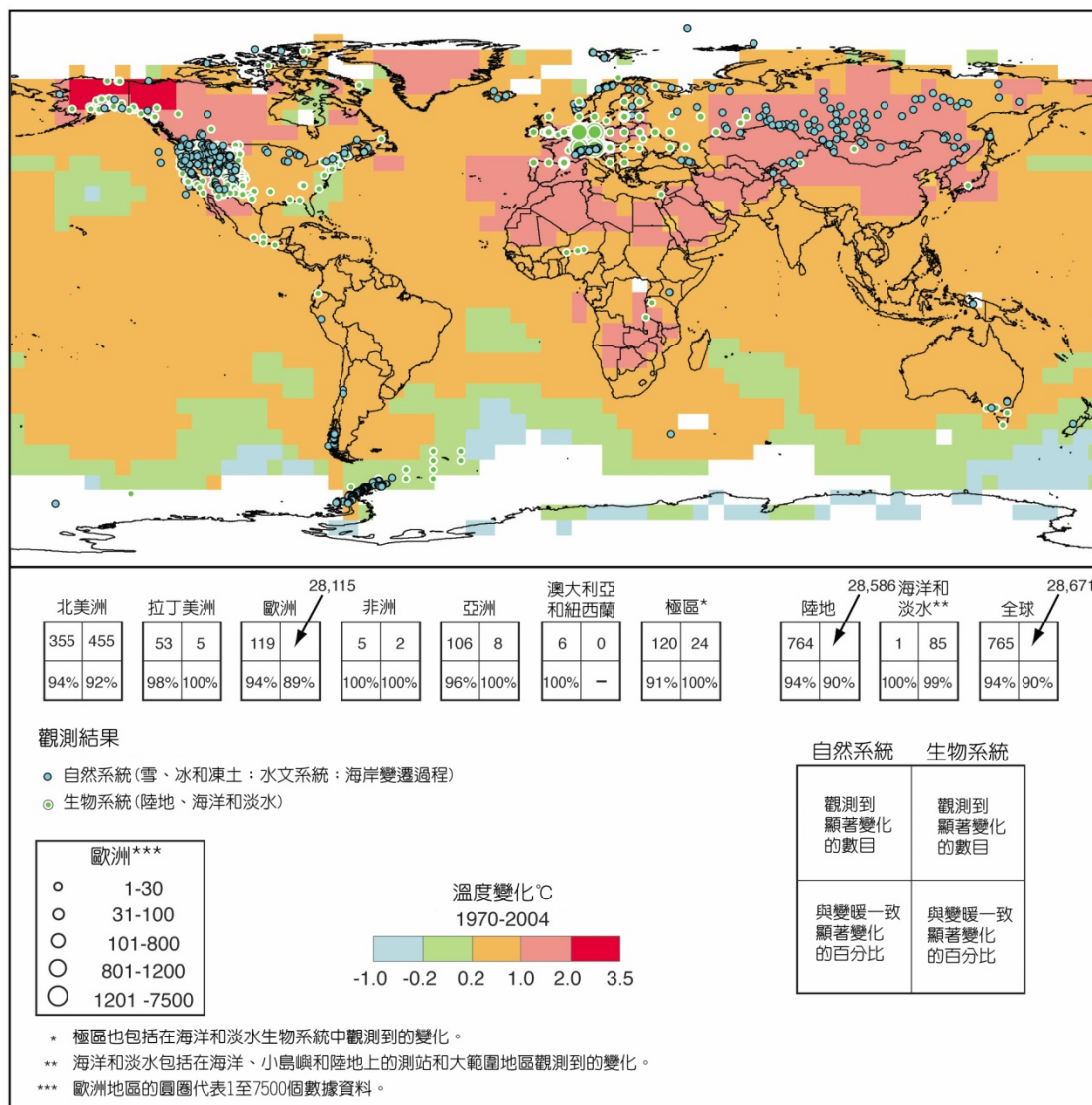


圖 SPM-1：觀測到具有顯著變化之自然系統(雪、冰、凍土、水文及海岸變遷過程)和生物系統(陸地、海洋和淡水生物系統)發生的地區，以及地表氣溫在 1970~2004 年間的變化。圖中資料係從 577 項研究中約 80,000 筆資料系列中選出約 29,000 筆資料系列的資料子集。選出的資料系列滿足以下標準：(1) 系列截止時間在 1990 年之後；(2) 至少涵蓋 20 年期間；(3) 顯示任何重大的變化(在個別研究評估中，不論其改變方向是否與預估的暖化反應一致)。這些約 29,000 筆選出的資料系列係源自近 75 項研究(其中約 70 項是 TAR 發表後的新研究)，其中約 28,000 筆源自於歐洲的研究。白色區域沒有足夠的氣候觀測資料可供估計溫度趨勢。2 x 2 方格顯示下列地區具顯著變化之資料系列總數(上列)，以及與暖化反應一致的資料系列百分比(下列)：(i) 大陸地區：北美洲(NAM)、拉丁美洲(LA)、歐洲(EUR)、非洲(AFR)、亞洲(AS)、紐澳(ANZ)和極地(PR)；(ii) 全球規模：陸地(TER)、海洋與淡水(MFW)和全球。七個大陸地區(北美洲...極地)的研究總數與全球(GLO)研究總數目不相等，那是因為極地以外之大陸地區之研究總數並未包含與 MFW 系統相關之研究[第二工作小組 AR4 圖 1.8 和圖 1.9；第一工作小組 AR4 圖 3.9b]。

近年來的氣候變遷和氣候變異已開始影響許多其他自然及人類系統。但根據已發表的文獻，這些衝擊尚無法確定影響的趨勢。其事例包括：

- 高山地區的聚落面臨由冰川的融化所導致冰湖潰決的風險提高。某些地區政府機構已針對這些風險做出回應，如建築水壩和排水工程[1.3]。
- 在非洲的薩赫勒地區(Sahelian)，變暖及變旱的氣候狀況已導致成長季節縮短，對作物造成不利影響。在非洲南部，旱季延長和降雨的不確定性急需要調適作為來加以因應[1.3]。
- 海平面上升及人類開發造成海岸濕地及紅樹林流失，並在許多地區造成加劇的海岸洪水侵襲 [1.3]。

C. 當前對未來衝擊的認知

IPCC 所推估本世紀²⁵氣候之變遷程度(未減緩前)，被認定對人類及環境有重大的影響²⁶，本節就各系統、領域和地區，摘錄重要研究成果對於未來衝擊之推估，以及對脆弱度與調適性的一些發現。這些衝擊除了反映所推估溫度、海平面及大氣中二氧化碳濃度的變化外，也經常反映所推估降水及其他氣候變數之變化情形。衝擊的強度與發生時間將隨著氣候變遷之程度與發生時間而有所不同，有時也和系統本身之調適能力有關。這些問題將在後面章節中做更進一步的探討。

目前許多系統和領域均已可提供有關未來衝擊本質之更明確資訊，包括若干之前評估報告中未探討的領域。

淡水資源及其管理

²⁵ 溫度變異的表現方式，是以 1980~1999 年間的溫度作為基準值。若要表述相對於 1850~1899 年之溫度變異，再加上 0.5°C 即可。

²⁶ 選擇標準：衝擊強度與發生時間、評估的信心程度、和系統/領域/地區涵蓋面的代表性。

到了本世紀中期，高緯度地區及某些潮濕熱帶地區之年平均河川逕流及水資源可利用性，預估將增加 10~40%，而中緯度某些乾燥地區及乾燥熱帶地區(其中某些地區目前已面臨缺水壓力)則預估將減少 10~30%。但在某些地區和特定季節，卻有著與上述年際變化不同的改變情形** D²⁷ [3.4]。

受乾旱影響地區的範圍可能擴大。豪大降水事件的頻率非常可能增加，因而導致水災風險升高。** N [第一工作小組 AR4；第二工作小組 AR4] [3.4]。

在本世紀期間，儲存於冰川及覆雪地區之供水資源推估將會減少，因而使得仰賴高山融冰供水地區的水資源可利用性降低。目前全世界有超過六分之一人口生活在這些地區** N [3.4]。

某些國家和地區已意識到推估的水文變化及相關不確定性，因此正著手發展有關水資源之調適程序和風險管理措施*** N [3.6]。

生態系統

許多生態系統之恢復能力可能在本世紀被氣候變遷、相關干擾狀況(如洪水、旱災、森林火災、昆蟲和海洋酸化)及其他全球變遷驅使因素(如土地利用改變、污染和資源過度開採)的綜合影響所超越，這將是前所未有的情況** N [4.1 – 4.6]。

在本世紀期間，陸地生態系統之碳淨吸收量可能在本世紀中期前達到巔峰，之後再逐漸衰退

²⁷ C 節的內文中，採用以下慣例：

與 TAR 之關係：

D TAR 結論的後續發展

N TAR 中所沒有的新結論

陳述之信心程度：

*** 非常確信

** 高度確信

* 中度確信

或甚至反轉²⁸，因而擴大氣候變遷的程度** N [4.ES, F4.2]。

如果全球平均溫度上升超過 1.5~2.5°C，在目前已評估過的動植物物種當中，大約 20~30% 物種可能面臨更高的絕種風險* N [4.4, T4.1]。

一旦全球平均溫度上升超過 1.5~2.5°C，加上大氣中二氧化碳濃度增加，生態系統的結構與功能、物種之生態互動、及物種之地理分布範圍，推估都將會產生重大變化，進而對生物多樣性及生態系統中的產品與服務(如水資源和糧食供應)造成明顯的負面後果** N [4.4]。

海洋因大氣中二氧化碳濃度增加而逐漸酸化，預期將對海洋中的結殼有機體(如珊瑚)及其依附物種造成負面衝擊* N [B4.4, 6.4]。

食品、纖維與森林產品

在某些中至高緯度地區，推估作物生產率將因局部平均溫度上升達 1~3°C(所需的溫度增幅視不同作物而有所差異)而微幅增加，部分地區則因溫度增幅超過此範圍，反倒使作物生產率下降* D [5.4]。

在低緯度地區，特別是季節性乾燥的熱帶地區，即使當地平均溫度僅微幅上升(1~2°C)，推估的作物生產率將會下降，進而導致飢荒風險升高* D [5.4]。

就全球而言，如果當地平均溫度上升幅度在 1~3°C 的範圍內，糧食生產力推估將會增加。但如果溫度增幅超出此一範圍，則糧食生產力推估將會減少* D [5.4, 5.6]。

旱災及水災發生頻率增加，推估將對當地作物產量造成負面影響，特別是低緯度地區的維生作物** D [5.4, 5.ES]。

調適措施，如培育新品種及調整栽種時間，使得在適度暖化的情況下，低緯度和中至高緯度地區之穀類加工食品產量，能夠維持在基準線

以上* N [5.5]。

就全球而言，在短至中期時間尺度的氣候變遷下，商用木材之生產率推估將呈現有限度的成長。唯在全球趨勢中，地區間的差異很大* D [5.4]。

由於持續暖化，特定魚種之分佈與產量推估將產生地區性變化，並推估將對水產養殖業和漁業造成不利影響** D [5.4]。

海岸系統與低窪地區

由於氣候變遷及海平面上升，推估海岸將暴露於更多的風險，包括海岸侵蝕。再加上人為因素對海岸構成的壓力，預估情況將更形惡化*** D [6.3, 6.4]。

珊瑚很容易受熱應力傷害，且珊瑚的適應能力也很低。除非珊瑚能具有對熱及環境更好的適應能力，一旦海面溫度上升約 1~3°C，推估將造成更頻繁的珊瑚白化事件和珊瑚大規模死亡*** D [B6.1, 6.4]。

海岸濕地(包括鹽沼和紅樹林)推估將因海平面上升而受到負面影響，尤其是當這些濕地被沈積物覆蓋或向陸側發展受限時*** D [6.4]。

到了 2080 年代，因海平面上升因素，推估每年會增加數以百萬計的民眾遭受洪水之患。調適能力相對較低的低窪人口稠密地區和已面臨其他挑戰(如熱帶風暴和局部海岸沈陷)的地區尤其處在危險當中。亞洲及非洲許多大三角洲受影響的人數將最多，而小島則格外容易受到影響*** D [6.4]。

由於開發中國家的調適能力有限，因此在因應海岸變遷的調適方面，面臨著比已開發國家更大的挑戰** D [6.4, 6.5, T6.11]。

產業、聚落與社群

氣候變遷為產業、聚落和社群帶來的利弊將因地點和規模的不同而有很大的差異。然而，總的來說，氣候變遷程度越高，淨效果通常越負面** N [7.4, 7.6]。

最容易受到損害的產業、聚落和社群通常位於

²⁸ 假設溫室氣體排放持續以當前或更快速度增加，且其他全球變化持續(包括土地利用改變)。

海岸及河川洪水平原內，或是經濟仰賴的資源具氣候敏感性，抑或位於容易發生極端天氣事件的地區，這當中尤其是正在迅速都市化發展的地區更是最容易受損** D [7.1, 7.3, 7.4, 7.5]。

貧困社區特別容易受到損害，尤其是集中在高風險地區的社區。這些社區的調適能力相當有限，且對於地區性水源及糧食供應等，具氣候敏感性資源的仰賴度較高 ** N [7.2, 7.4, 5.4]。在極端天氣事件較強烈而頻繁的地區，所招致之經濟及社會成本將會增加，尤其在最直接受影響的地區，這些成本的增加更是可觀。氣候變遷的衝擊透過廣泛而複雜的聯結，從直接受影響的地區或領域擴散到其他地區和領域** N [7.4, 7.5]。

健康

暴露在氣候變遷情境下，*可能*影響數百萬人的健康狀況，尤其是調適能力較低者，譬如：

- 營養失調進而引發疾病的情況增加，同時涉及兒童成長及發育的問題。
- 因熱浪、洪水、暴風雨、火災和乾旱造成死亡、生病和受傷的情況增加。
- 腹瀉疾病增加。
- 心血管及呼吸系統疾病發生頻率增加，導因於氣候變遷造成的地面臭氧濃度升高。
- 某些傳染病媒介之空間分布改變** D [8.4, 8.ES, 8.2]。

氣候變遷預估將產生某種混合效應，譬如非洲瘧疾之分布範圍與傳染潛力之增減** D [8.4]。

氣候變遷推估可為溫帶地區²⁹帶來某些好處，譬如因寒冷暴露而死亡的人數減少。總的來說，這些好處預期將被全球溫度上升的負面效應所掩蓋，在開發中國家尤其如此** D [8.4]。

對健康之正面與負面衝擊將因地點而異，也將隨著溫度之持續上升而改變。最重要的是直接

關係到人民健康的因素，譬如教育、保健、公共衛生預防與基礎建設、以及經濟發展*** N [8.3]。

世界各地現今均已獲得攸關未來衝擊本質之更明確資訊，包括若干之前評估報告中未涵蓋的地區。

非洲

到了 2020 年，推估將有 7,500 萬至 2 億 5,000 萬人因為氣候變遷而面臨更大的缺水壓力。再加上用水需求的成長，缺水問題將對人民生計造成不利影響，並使得水資源相關問題更形惡化** D [9.4, 3.4, 8.2, 8.4]。

許多非洲國家和地區之農業生產推估將受到氣候變異與變遷之嚴重影響，包括糧食的取得。適合農業生產面積、生長季節長度、和產量潛力推估將會降低，尤其是在半乾旱及乾旱地區邊緣地帶。這些衝擊將會對糧食安全造成更不利影響，並使得非洲大陸營養失調的狀況更形惡化。在某些國家中，到了 2020 年，靠雨水澆灌的農業產量可能減少達 50% ** N [9.2, 9.4, 9.6]。

因水溫升高導致大湖泊中漁業資源減少，推估將使得當地糧食供應受到負面影響，這種情況可能因持續過度捕撈而更形惡化** N [9.4, 5.4, 8.4]。

到了 21 世紀末，所推估的海平面上升量，將對人口密集的低窪沿海地區造成影響。因應的調適作為，其花費可能至少達到國內生產總值 (GDP) 的 5~10%。紅樹林和珊瑚礁推估將受到進一步損害，進而對漁業及觀光業造成更嚴重的後果** D [9.4]。

新研究證實，在氣候變異與變遷的之下，非洲是屬於脆弱度最低的大陸之一，因為非洲面臨著多樣性的壓力，且調適能力也很低。儘管目前已針對氣候變遷採取某些調適措施，但這些

²⁹ 主要為在工業化國家所做的研究。

作為可能不足以因應未來的氣候變遷** N [9.5]。

亞洲

喜馬拉雅山脈的冰川融化現象，推估將使水災事件增加，並導致邊坡不穩而增加岩石崩滑情形。冰川融化也將在未來 20~30 年內對水資源造成影響，之後也將因為冰川萎縮而使得河水流流量減少* N [10.2, 10.4]。

中亞、南亞、東亞和東南亞之淡水可利用性(特別是在大河川流域)推估將因氣候變遷而減少，伴隨著人口成長及用水需求因生活水準提高而增加，到了 2050 年代，受到負面影響的人口數可能超過 10 億** N [10.4]。

海岸地區(特別是南亞、東亞和東南亞人口稠密的大三角洲地區)將因為海水氾濫增加，部分三角洲地區同時面臨河川洪水氾濫的問題，而處在最高的風險當中** D [10.4]。

氣候變遷將與亞洲大多數開發中國家之永續發展衝突，因為攸關都市化、工業化和經濟發展的天然資源及環境，都將因為氣候變遷而面臨更沈重的壓力** D [10.5]。

到了 21 世紀中葉，東亞和東南亞的作物產量推估將增加達 20%，但在中亞和南亞的作物產量則可能減少 30%。總的來說，伴隨著人口迅速成長及都市化的影響，某些開發中國家的飢荒情形，推估將持續處在非常高的風險當中。* N [10.4]。

在東亞、南亞和東南亞，因水災及旱災所引發腹瀉疾病的發病率和死亡率預期將會升高，原因為全球暖化情況下，推估的水文循環將會有所改變。近海水溫上升將使得南亞地區霍亂更為猖獗，且(或)毒性更加嚴重** N [10.4]。

澳洲和紐西蘭

到了 2030 年，由於降水量減少與蒸發量增加，推估澳洲南部和東部，以及紐西蘭北部地

區和部分東部地區，水資源安全保障問題將會加劇** D [11.4]。

到了 2020 年，推估某些生態豐富區域之生物多樣性將會大幅流失，包括大堡礁和昆士蘭濕熱帶地區。其他風險區域還包括卡卡杜(Kakadu)濕地、西南澳大利亞、次南極區群島(sub-Antarctic islands)、和澳紐兩國高山地區*** D [11.4]。

到了 2050 年，像是澳洲的凱恩斯(Cairns)和昆士蘭東南部、以及紐西蘭的北部區(Northland)至豐盛灣(Bay of Plenty)等地區，持續的海岸開發與人口成長，推估將使得海平面上升及暴雨和海岸洪水氾濫的強度與發生頻率增加所引發的風險更為升高* ** D [11.4, 11.6]。

到了 2030 年，推估澳洲南部及東部許多地區和紐西蘭東部部分地區的農業及林業產量將會因為乾旱和森林火災的增加而下降。然而，紐西蘭西部及南部，以及鄰近主要河川地區，推估將因生長季節延長、結霜減少和降雨增加而獲得初期利益** N [11.4]。

由於經濟與科技的發展完善，澳紐兩國具有很堅實的調適能力，但在執行面和在極端天氣事件改變帶來之重要挑戰方面，仍受到相當的侷限。自然系統限制了兩國的調適能力** N [11.2, 11.5]。

歐洲

一次規模空前的熱浪，首次為當前氣候變遷所造成之廣泛衝擊提供佐證：冰川退縮、生長季節延長、物種分布區遷移、和健康衝擊。前述觀察到的變化與對未來氣候變遷的影響推估具有一致性*** N [12.2, 12.4, 12.6]。

幾乎整個歐洲地區預期都將受到未來氣候變遷衝擊的負面影響，並為許多經濟體帶來挑戰。自然資源與資產之地區性差異預期也將受到氣候變遷影響而擴大。這些負面衝擊包括內陸突發性洪水氾濫增加、海岸洪水氾濫更為頻繁、和海岸侵蝕加劇(因暴風強度增強和海平

面上升)。大多數生物和生態系統將很難適應氣候變遷。高山地區將面臨冰河退縮、覆雪面積縮小、冬季觀光萎縮、和大規模物種滅亡等衝擊(到了 2080 年,某些地區在高排放情境下之物種滅亡比例可能高達 60%)* ** D [12.4]。

在南歐,氣候變遷推估將使得原本就容易受到氣候變異損害的地區,情況(高溫及乾旱)變得更加惡化,除了降低水資源可利用性、水力發電潛能及夏季觀光之外,並造成作物生產率的普遍下降。由於熱浪和頻繁的野火問題,推估該地區人民之健康風險也將升高** D [12.2, 12.4, 12.7]。

在中歐和東歐,推估夏季降水量將會減少,進而導致供水壓力升高。熱浪導致的健康風險推估也將升高。林業生產力預期將會減少,而泥炭(peatland)火災發生頻率則將升高** D [12.4]。

在北歐,推估氣候變遷將帶來正反混合效應,好處包括暖氣需求下降、作物產量增加、和林木生長加快等。然而,隨著氣候變遷持續發展,其所招致之負面衝擊(包括冬季洪水更為頻繁、生態瀕臨危機和地表不穩定性增加)可能超過所帶來的好處** D [12.4]。

藉由明確地實施前瞻性氣候變遷風險管理調適計劃,對於氣候變遷的調適可能受惠於因應極端天氣事件所獲得的經驗*** N [12.5]。

拉丁美洲

到了本世紀中葉,溫度上升及隨之而來的土壤水分減少,推估將導致亞馬遜雨林區東部之熱帶雨林逐漸被熱帶無樹平原所取代。半乾旱植被也有被乾旱植被取代的傾向。熱帶拉丁美洲許多地區都將因物種滅絕而面臨嚴重的生物多樣性消亡風險** D [13.4]。

在比較乾燥的地區,氣候變遷預期將導致農地鹽化及沙漠化。某些重要作物之產量推估將減

少,家畜生產率也將下降,進而對糧食安全造成不利後果。在溫帶地區,大豆產量推估將會增加** N [13.4, 13.7]。

海平面上升推估將造成低窪地區洪水氾濫的風險升高。因氣候變遷造成之海面溫度上升推估將為中美洲珊瑚礁帶來不利影響,進而造成東南太平洋漁場地點遷移** N [13.4, 13.7]。

降水模式改變及冰川消融推估將嚴重影響人類消費、農業灌溉及發電之水資源可利用性** D [13.4]。

一些國家已透過各種努力採取調適措施,尤其是重要的生態系統保育、早期預警系統、農業風險管理、洪澇和海岸管理策略、及疾病監測系統。然而,這些努力的效果因為下列因素而大打折扣:缺乏基本資訊/觀測/監控系統、缺乏建構能力及合宜的政治/制度/技術架構、收入偏低、和聚落位處於易致災區等等** D [13.2]。

北美洲

西部山脈暖化推估將造成積雪減少、冬季洪水氾濫增加、和夏季流量減少,對於水資源分配的爭奪將更加加劇*** D [14.4, B14.2]。

推估由害蟲、疾病和火災造成的干擾對森林的衝擊將會加劇,造成高火災風險期間延長和燒毀面積大幅增加*** N [14.4, B14.1]。

本世紀初的數十年間,溫和的氣候變遷雖然預估使得依靠雨水澆灌農業之總產量增加 5~20%,但各地區之間的差異將很大。對於暖化程度快超過作物適合栽種的溫度範圍或水資源用量較高的作物,預估將會面臨重大挑戰** D [14.4]。

現階段已歷經過熱浪襲擊的城市預期在本世紀期間會受到更頻繁、更強烈和更持久熱浪之嚴峻考驗,並對健康形成潛在性的威脅,其中又以老年人口的風險最高*** D [14.4]。

沿海社區和棲息地將面臨越來越大的氣候變遷衝擊壓力，並和開發與污染相互影響。沿海地區人口成長和基礎建設增建，將會升高對氣候變異及未來氣候變遷之脆弱度。如果熱帶風暴增強，推估損失也會跟著增加。現階段各地區之調適情況參差不齊，對於已揭露問題的準備度也偏低*** N [14.4]。

極地

在極地地區，推估的主要生物物理效應包括冰川和冰原的厚度及範圍萎縮，以及自然生態系統改變，進而對許多生物造成不利影響，包括候鳥、哺乳類動物和高等掠食動物。在北極，額外的衝擊包括海冰及永久凍土範圍萎縮、海岸侵蝕擴大、和永久凍土之季節性融解深度增加** D [15.3, 15.4, 15.2]。

對北極的人類部落而言，氣候變遷的衝擊，尤其是雪冰狀況改變所造成的衝擊，推估將是利害參半。不利衝擊包括基礎建設和原住民傳統生活方式所受到的影響** D [15.4]。

有利衝擊則包括暖氣成本降低和北海航道增加* D [15.4]。

在北極和南極地區，特定生態系統和棲地推估將變得更容易受氣候變遷影響，因為阻隔外來物種入侵的氣候障礙降低** D [15.6, 15.4]。

北極的人類部落已開始針對氣候變遷採取調適措施，但內部和外部的雙重壓力仍挑戰著他們的調適能力。儘管歷史已證明北極原住民部落的復元能力，但他們的某些傳統生活方式正面臨著威脅，需要大量的投資來改建或重置當地的建築物和部落** D [15.ES, 15.4, 15.5, 15.7]。

小島嶼

位於熱帶或較高緯度地區的小島嶼，都具有一些特性，使得它們在氣候變遷、海平面上升和極端天氣事件影響下特別容易受到損害*** D [16.1, 16.5]。

海岸狀況的惡化，如海灘侵蝕和珊瑚白化，預期將對當地資源造成影響，像是漁業便為一例，並降低這些島嶼的觀光價值** D [16.4]。

海平面上升預期將使得海水氾濫、暴潮、侵蝕及其他海岸災害的情況更形惡化，進而威脅島嶼社區生計所依賴的維生基礎建設、聚落和設施*** D [16.4]。

到了本世紀中葉，氣候變遷推估將使得許多小島嶼的水資源減少到無法滿足少雨期的用水需求，如加勒比海及太平洋中的小島*** D [16.4]。

隨著溫度的升高，非本土物種入侵情況預期將會增加，尤其是位處中、高緯度地區的島嶼** N [16.4]。

目前已可更有系統地評估一系列全球平均溫度可能升高幅度下之衝擊強度。

IPCC TAR 發表以來，許多新增研究，尤其是過去很少探索的領域，已使得科學界能夠更有系統地瞭解到，伴隨著不同的全球平均溫度變化幅度和速度，相關衝擊之強度與時機將如何受到氣候變遷與海平面上升的影響。

這些新的評估資訊列於圖 SPM-2 當中，其中項目選擇之判斷標準係根據其與人類及環境之相關性，及評估結果是否屬於高度確信者。所有衝擊項目均引自本評估報告，更詳盡的資訊可參照各章節。

根據文獻中的多項標準(強度、時機、持續性/可逆性、調適潛能、分布特徵、衝擊之發生機率與“重要性”)，某些衝擊可能與“關鍵脆弱度”有關，其關聯程度當視情況而定。評估潛在關鍵脆弱度之用意在於提供有關氣候變遷速率和程度的資訊，以幫助決策者針對氣候變遷風險做出適當的反應[19.ES, 19.1]。

TAR 中所確認之“關注的理由”(reasons for concern)仍是考量關鍵脆弱度之可行架構。近年來的研究成果已經更新了 TAR 中的某些發現[19.3]。

重要衝擊與全球平均溫度增幅之關係

(衝擊將隨調適程度、溫度改變速率及社經發展途徑而異)

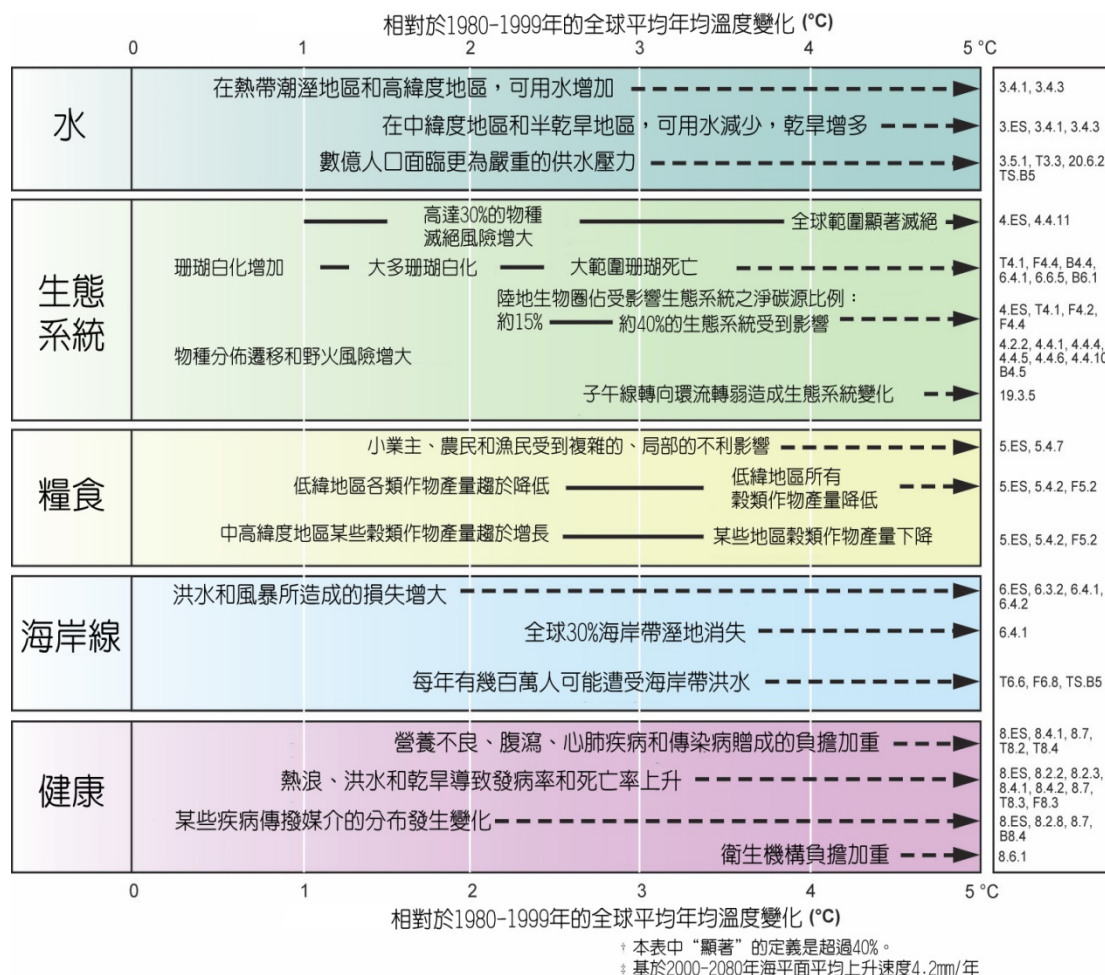


圖 SPM-2：21 世紀全球平均地表溫度不同上升量情況下所推估氣候變遷(及相關的海平面和大氣中二氧化碳濃度變化)引發的全球衝擊事例[T20.7]。黑線連接衝擊，虛線箭頭表示衝擊隨著溫度升高而持續發生。表中文字左端表示衝擊項目大致的起始溫度。水資源短缺及洪水氾濫之量化項目表示相較於綜合 SRES 中 A1FI、A2、B1 和 B2 情境推估之額外衝擊(參閱文字框 3)。以上評估並未考量調適作為所帶來的效益。所有項目均引自本評估報告收錄之已發表研究。資料出處顯示於本表右欄。所有陳述均屬高度信心程度。

極端天氣、氣候及海平面事件之頻率與強度變化非常可能改變衝擊。

自 IPCC TAR 發表以來，對於 21 世紀天氣事件和極端現象將變得更為頻繁、更為廣泛和(或)更為強烈之推估結果，其信心程度已有所提升，對於這些變化之潛在效應的瞭解也比較多。表 SPM-1 彙整衝擊的改變情形。

趨勢方向和現象發生機率適用於 IPCC SRES 氣候變遷推估。

某些大規模氣候事件很可能造成非常重大的衝擊，特別是在 21 世紀以後。

海平面大幅上升，主要是因為格林蘭冰原和西南極大陸冰原之大範圍消退所造成，隱含了海岸線及生態系統發生重大改變和低窪地區淹沒的問題，尤其是河口三角洲所受影響最大。人口、經濟活動和基礎建設之重置，將耗費昂貴的成本，並極具挑戰性。科學界 *中度確信*，一旦全球平均溫度上升 1~4°C (相對於 1990~2000 年)，至少部分的格林蘭冰原，可能再加上西南極大陸冰原，在幾世紀至千年期間發生消退現象，屆時將造成海平面上升 4~6 公尺，甚至更高。格林蘭冰原和西南極大陸冰原之完全融解，將導致海平面上升達 7 公尺，而兩大冰原分別貢獻約 5 公尺。[第一工作小組 AR4 6.4, 10.7；第 2 工作組 AR4 19.3]。

根據氣候模式之模擬結果，北大西洋流的經向反轉環流(Meridional Overturning Circulation, MOC) *非常不可能*在 21 世紀期間突然巨大轉變，但在本世紀中逐漸減弱是 *非常可能的*，儘管如此，受到全球暖化的關係，大西洋及歐洲的溫度推估仍將升高。MOC 大規模持續改變所產生的衝擊 *可能*包括：海洋生態系統生產率、漁業、海洋對二氧化碳的吸收、海洋中氧氣濃度、及陸地植被的改變。[第一工作小組 AR4：10.3, 10.7；第二工作小組 AR4：12.6, 19.3]

氣候變遷的衝擊將因地區而異，但總計以貼現金額來看，這些衝擊造成之每年淨成本負擔非常可能隨著全球溫度的上升而增加。

本評估報告明白指出，未來氣候變遷在各地區所造成之衝擊是利害參半的。全球平均溫度上升低於 1~3°C 時(相對於 1990 年)，某些衝擊推估將為某些地區或領域帶來利益，卻造成其他地區或領域的成本支出。然而，即使溫度僅些微上升，在某些低緯度和極地地區，推估仍將會造成淨成本支出。一旦溫度上升大於 2~3°C，*非常可能*所有地區都將經歷淨利益減少或淨成本增加的情況[9.ES, 9.5, 10.6, T109, 15.3, 15.ES]。以上觀察證實了 IPCC TAR 所指出的，當全球暖化達到 4°C 時，全球平均損失將是 1~5% 的 GDP，而開發中國家預期將承受較高比例的損失 [F20.3]。

目前已有許多估計全球氣候變遷招致損害所需付出之總體淨經濟成本可供利用(譬如碳排放造成的社會成本(social cost of carbon, SCC)，以貼現之未來淨損益表示)。參考多種同儕評鑑期刊針對 2005 年 SCC 的估計值，可得到一平均值為每公噸碳(tC) 43 美元(相當於每公噸二氧化碳 12 美元)，但各估計值的差異很大。舉例來說，在所檢視的 100 個估計值當中，從每公噸碳-10 美元(每公噸二氧化碳 -3 美元)到每公噸碳 350 美元(每公噸二氧化碳 95 美元)都有[20.6]。

SCC 估計值之所以有如此大的差異，多半是因為採用不同的假設條件所造成，包括氣候敏感性、反應延遲、風險與權益處理、經濟與非經濟衝擊、潛在性災難損失的考量、以及貼現率。全球加總數據 *非常可能*低估損害成本，因為這些數據無法納入許多難以量化的衝擊。總地來說，已發表的證據顯示，氣候變遷的損害淨成本 *可能*非常龐大，並 *可能*隨著時間而增加 [T20.3, 20.6, F20.4]。

現象 ^a 與趨勢方向	針對21世紀未來趨勢,SRES情境推估結果之可能性	不同領域之主要衝擊事例			
		農業、林業和生態系統 [4.4, 5.4]	水資源 [3.4]	人類健康 [8.2]	產業、聚落和社群 [7.4]
大多數陸地地區, 寒日/寒夜變暖變少; 熱日/熱夜更熱更多	幾乎確定 ^b	在較寒環境中, 產量增加; 在較暖環境中, 產量減少; 蟲害爆發增加	影響仰賴融雪之水資源; 影響供水	酷寒減少, 酷寒致死人數降低	暖氣能源需求降低; 降溫需求升高; 城市空氣品質下降; 交通因雪冰中斷情形減少; 影響冬季觀光
暖期/熱浪, 大多數陸地地區發生頻率增加	非常可能	由於熱應力, 較暖地區產量減少; 野火危險升高	水資源需求增加; 水質問題, 如海藻生長茂盛的時期	與熱有關的死亡風險升高, 尤其是老人、慢性病患、幼童和離群獨居人士	暖區無適當居所者之生活品質下降; 衝擊老人、幼童及窮人
豪大降水事件: 大多數地區發生頻率增加	非常可能	作物受損; 土壤侵蝕, 土壤因洪水而無法耕作	對地表及地下水質造成不利影響; 供水污染; 缺水問題可能紓解	死亡、受傷、傳染病、呼吸系統疾病及皮膚病的風險升高	洪水對聚落、商業、交通及社會造成干擾; 對城郊區基礎建設構成壓力; 財物損失
受乾旱影響地區增加	可能	土地乾裂, 產量減少/作物受損和失收; 牲畜死亡率增加; 野火風險升高	面臨缺水壓力地區更廣泛	缺糧和缺水風險升高; 營養失調風險升高; 水源性及食源性疾病風險升高。	產業、聚落及社會水資源短缺; 水力發電潛能降低; 人口遷移之可能性
強烈熱帶氣旋活動增加	可能	作物受損; 樹木連根拔起; 珊瑚礁受損。	停電造成公共給水中斷	死亡、受傷、水源性及食源性疾病風險升高; 創傷後壓力失調症	洪水及強風的干擾; 民間保險業者退出易損區之風險承保, 造成人口遷徙之可能性, 及財物損失
極端高海平面發生率增加(海嘯除外) ^c	可能 ^d	灌溉水源、河口及淡水系統鹽化	鹽水入侵造成淡水可利用性降低	溺水死亡及受傷的風險升高; 與遷徙相關的健康影響	海岸保護成本相較於土地利用重置成本; 人口及基礎建設遷移之可能性; 參見以上熱帶氣旋項目

a 詳細定義, 請參見第一工作小組 AR4 報告之表 3.7。

b 每年最極端日和夜溫度變得較暖。

c 極端高海平面取決於平均海平面和地區天氣系統, 其定義為觀測站在一參考期(reference period)內每小時一筆所累積的海平面觀測數據中, 高程最高之前 1% 屬之。

d 在所有假設情境中, 推估 2100 年全球平均海平面將高於參考期之全球平均海平面[第一工作小組 AR4 10.6]。地區天氣系統改變對極端高海平面之影響尚未被評估過。

表 SPM-1: 根據推估 21 世紀中至晚期因極端天氣及氣候事件改變所引發氣候變遷之可能衝擊事例。這些推估並未考慮調適能力之任何改變或發展。所有事例項目在完整評估報告中均有詳述(參見各欄上方之出處)。本表前兩欄(黃色部分)內容直接引自第一工作小組 AR4 (表 SPM-2)。第二欄所估的是第一欄所列現象發生的可能性。

可以確定的是，損害成本的總估計值未考慮各領域、地區、國家和族群所受衝擊之重大差異。在某些具高暴露、高敏感性、及/或低調適能力之地區和族群中，淨成本將遠高於全球加總值[20.6, 20.ES, 7.4]。

D. 現今對於因應氣候變遷的認知

對於氣候變遷的調適正在進行當中，包括因應已觀測到的氣候變遷及所推估未來氣候變遷的情形，但規模仍相當有限。

自 IPCC TAR 發表以來，人類採取越來越多的作為來因應氣候變遷的趨勢，包括已觀測到的或所推估未來氣候變遷的情形。舉例來說，像是在基礎建設工程設計中考量氣候變遷因素，包括馬爾地夫和荷蘭的海岸防護工程，及加拿大的聯邦大橋(Confederation Bridge)。其它還包括尼泊爾的冰河湖防洪工程。政策與策略方面，則有澳洲水資源管理，以及某些歐洲國家對於熱浪的因應措施[7.6, 8.2, 8.6, 17.ES, 17.2, 16.5, 11.5]。

過去的碳排放使得暖化趨勢已無法避免，為回應相關衝擊的影響，調適行為將是必要的。

據估計，即使大氣中溫室氣體濃度維持在 2000 年的水準，過去的碳排放仍會造成無可避免的暖化(到了本世紀末，溫度將比 1980~1999 年高出 0.6°C)(參見第一工作小組 AR4)。就某些衝擊而言，調適是唯一可採行且適當的因應之道。這些衝擊所顯現的徵兆可參見圖 SPM-2 所示。

雖然目前已存在各式各樣的調適選項，但仍需更廣泛的調適措施，才能降低面對未來氣候變遷時的脆弱度。調適作為需要面對障礙、限制和成本問題，但這些問題尚未被充分瞭解。

如表 SPM-1 所示，預估衝擊將隨著全球平均溫度的上升而增強。儘管氣候變遷所招致的許

多早期衝擊可以透過調適作為予以有效因應，但隨著氣候變遷衝擊的增強，有效的調適選項將會逐漸減少，相關成本也將逐漸增加。目前我們對於調適措施之限制或所需成本，並沒有一個清楚的概念，部分原因是有效的調適措施非常仰賴特定的、地理的和氣候的風險因素，也受限於制度、政治和財務[7.6, 17.2, 17.4]。

人類社會可採取之潛在調適反應非常多，包括技術面(如海洋防護)、行為面(如改變食品及休閒選擇)、管理面(如改變農場實務)、和政策面(如制定規則)。雖然在某些國家大多數技術和策略都已發展完成，但我們所評估的文獻中並未指出，各個選項在徹底降低風險方面的效果如何³⁰，特別是在暖化程度及相關衝擊較高的情況下，以及脆弱度較高的族群中。此外，在調適執行上，還存在著難以跨越之環境、經濟、資訊、社會、態度及行為方面的障礙。對開發中國家而言，資源可利用性和建立調適能力顯得特別重要[參見第 3-16 章第 5~6 節; 17.2, 17.4]。

光靠調適策略將不足以應付所有推估之氣候變遷衝擊，特別是長期的影響，因為大多數衝擊的強度都將隨著時間而增加[表 SPM-1]。

環境對氣候變遷之脆弱度可能因其他壓力而更形惡化。

非氣候相關的壓力可能降低環境的復原力，進而升高環境對氣候變遷的脆弱度，而且調適能力可能因資源部署無法兼顧相互競爭的需求而降低。舉例來說，部分地區的珊瑚礁正處在受破壞的壓力之下，包括海洋污染和農業產生的化學逕流，以及海水溫度上升和海洋酸化。易損地區往往面臨著影響其調適措施走向、敏感性和能力的多重壓力。這些壓力的起因包括當前氣候危害因素、貧窮與資源分配不均、糧食危機、經濟全球化趨勢、衝突、和疾病發生

³⁰ 技術摘要中提供一個適應選項表。

率(如 HIV/AIDS) [7.4, 8.3, 17.3, 20.3]。

氣候變遷調適措施很少單獨施行，經常是結合其他措施一起實施，如水資源管理、海岸防護工程、和風險降低策略[17.2, 17.5]。

未來之脆弱度不僅決定於氣候變遷，也決定於發展路徑。

IPCC TAR 發表以來的一項重要進展是，完成一系列不同發展路徑之衝擊研究。這些衝擊研究不僅考慮推估的氣候變遷，同時也將推估的社會和經濟變化納入考量。絕大部分是以 IPCC 「排放情境特別報告」(IPCC Special Report on Emission Scenarios, SRES)(參見文字框 3)之人口特徵描述和收入水平為基礎 [2.4]。

這些研究顯示，推估的氣候變遷衝擊可能因假設發展路徑之不同而有很大差別。譬如，不同情境下之地區人口特徵、收入水平和技術發展可能有很大的差異，而這些通常是氣候變遷脆弱度之重要決定因素[2.4]。

近來一些研究成果顯示，有關氣候變遷對糧食供應、海岸洪水風險、及水資源缺乏之全球衝擊方面，推估受影響的人口數，在 A2 情境下(特徵為人均收入偏低和高人口成長率)比在其他 SRES 情境下要多出許多[T20.6]。此一差別不是氣候變遷差異所能解釋，而必須透過脆弱度差異來理解[T6.6]。

永續發展³¹可以降低環境對氣候變遷的脆弱度，而氣候變遷則可能阻礙國家邁向永續發展的能力。

永續發展可以藉著提升調適能力及增加復原力來降低環境對氣候變遷的脆弱度。然而，目前很少促進永續性的計劃明確地納入因應氣

候變遷衝擊的調適或提升調應的能力[20.3]。

另一方面，氣候變遷*非常可能*減緩永續發展之前進，直接原因為環境曝露於負面衝擊的時間增加，或調適能力間接地受到侵蝕而降低。這點在本報告之領域與地區章節討論永續發展意涵的段落中已有清楚的說明[參見第 3-8 章第 7 節, 20.3, 20.7]。

千禧年發展目標(MDGs)是永續發展進程的衡量標準。在接下來半世紀期間，氣候變遷可能阻礙 MDGs 的達成[20.7]。

許多衝擊都可以透過減緩措施而予以避免、減輕或延緩。

針對未來大氣中溫室氣體濃度維持穩定的多種情境，目前已完成一些衝擊評估研究。雖然這些研究並未充分考慮在穩定狀況下氣候推估的不確定性，但對於不同排放減量情境所能貢獻之損害避免或脆弱度與風險降低的部分，仍提供了指標性的說明[2.4, T20.6]。

調適策略及減緩措施的組合可以減弱氣候變遷的相關風險。

即使採行最嚴格的減緩措施，在未來幾十年中，仍無法避免進一步的氣候變遷衝擊，因此調適就變得非常必要，特別是在因應短期衝擊方面。就長期而言，如果氣候變遷未能減緩，其衝擊*可能*超過自然、管理和人類系統的調適能力[20.7]。

這暗示著策略組合的價值，包括減緩措施、調適策略、技術發展(以強化調適策略和減緩措施)及研究(針對氣候科學、衝擊、適應策略和減緩措施)。這些策略組合使得政策可以與以獎勵為基礎的方法相結合，並在人民、政府和國際組織等各層級當中施行 [18.1, 18.5]。

提升調適能力的方法就是在開發規劃中納入氣候變遷衝擊考量[18.7]，譬如：

³¹ 本評估報告採用的是布倫特蘭委員會(Brundtland Commission)對永續發展的定義：“滿足當前需求但不犧牲未來世代滿足其需求能力之發展”。IPCC 第 2 工作組 TAR 及綜合報告也採用此一定義。

- 在土地利用規劃和基礎建設設計中納入調適措施[17.2]。
- 在現行之災害風險降低策略中納入降低脆弱度之措施[17.2, 20.8]。

E. 系統化觀測與研究需求

雖然科學為決策者提供了有關氣候變遷衝擊的資訊，且調適潛能自 IPCC TAR 發表以來已改進許多，但許多重要問題仍有待解答。第二工作小組 AR4 中提出有關進一步觀測與研究之優先建議，這些建議應該要獲得重視(建議清單參見技術摘要 TS-6 節)。

文字框 1 – 重要術語之定義

在 IPCC 報告中，「氣候變遷」指的是氣候隨著時間所產生之任何變化，包括自然變化及人類活動所造成之結果。此一用法與「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)的用法不同。在 UNFCCC 中，氣候變遷指的是直接或間接因人類活動導致大氣組成改變而造成之氣候變化結果。此一用法排除了在相當時期內所觀測到的自然氣候變化因素。

「適應能力」指的是一個系統隨著氣候變遷(包括氣候變異和極端氣候現象)做調整，以減緩潛在損害、利用機會或因應氣候變遷後果的能力。

「脆弱度」指的是一個系統容易受到氣候變遷影響(包括氣候變異和極端氣候現象)，或無法因應氣候變遷不利影響的程度。脆弱度是系統對氣候變遷與變異之特性、強度和速度的暴露、敏感性、適應能力的一個函數。

本重要術語定義文字框引自 IPCC TAR，已經過審查小組逐行認可。

文字框 2 – 第 2 工作組 AR4 之不確定性表述

這套表述在當前知識下之不確定性的專門用語，在 IPCC AR4 中一體適用。

信心程度之表述

作者們根據當前知識的評估，為本技術摘要中重要陳述配以表示信心程度的慣用語：

專門用語	對陳述正確性之信心程度
非常確信	正確機率至少九成
高度確信	正確機率約八成
中度確信	正確機率約五成
低度確信	正確機率約二成
非常低度確信	正確機率低於一成

發生機率之表述

「發生機率」指的是針對明確定義之已發生或未來可能發生之結局或結果的或然率評估。此一評估可能根據量化分析或引用專家觀點。在本技術摘要中，作者們表述特定結局或結果之發生機率時，其相關含義如下：

專門用語	結局/結果之發生機率
幾乎確定	發生機率 > 99%
非常可能	發生機率 90 – 99%
可能	發生機率 66 – 90%
有點可能	發生機率 33 – 66%
不可能	發生機率 10 – 33%
非常不可能	發生機率 1 – 10%
幾乎不可能	發生機率 < 1%

文字框 3 – IPCC 排放情境特別報告(Special Report on Emission Scenarios, SRES)之排放情境概述

A1 情境 – A1 情境族系描述一個經濟非常快速成長、全球人口在世紀中葉達到巔峰之後便逐漸衰減、和快速引進更高效率新技術的未來世界。其基本特徵為區域趨同、建立涵容能力、文化與社會互動增加、和人均收入地區差異大幅縮小。A1 情境族系發展成為三組情境，分別描述能源系統技術變革之替代方向。三組 A1 情境以其技術重點做為區別：化石能源密集(A1FI)、非化石能源(A1T)和能源平衡(A1B) (能源平衡之定義為不特別仰賴任何特定能源，並假定所有能源供應及最終使用技術之進步速度類似)。

A2 情境 – A2 情境族系描述一個非常異質性的世界，其基本特徵為自給自足和地域特性的保存。各地區生育模式趨同速度非常慢，因此造成人口的持續增加。經濟發展基本上為地區導向，且人均經濟成長和技術變革較其他情境零碎而緩慢。

B1 情境 – B1 情境族系描述一個趨同性的世界，其全球人口與 A1 情境同，也是在世紀中葉達到巔峰之後便逐漸衰減。但此一世界之經濟結構迅速朝著服務與資訊經濟的方向改變，其基本特徵為原料密集度降低和引進乾淨及資源有效率技術。該情境強調經濟、社會及環境永續性之全球解決方案(包括公平性改善)，但沒有外加的氣候因應方案。

B2 情境 – B2 情境族系描述一個強調經濟、社會及環境永續性之地方解決方案的世界，其基本特徵為全球人口持續增加(增加速度比 A2 情境慢)、中度經濟發展、和技術變革的速度比 B1 和 A1 情境慢，但比較多樣。雖然 B2 情境也是環保及社會公平性導向，但該情境偏重於地方和地區層級。

這六組情境(A1B、A1FI、A1T、A2、B1 和 B2)分別都有一個示例情境。所有情境均應被充分平等的考慮。

SRES 情境未包含外加的氣候因應方案。換言之，任何 SRES 情境均未明確假設實施「聯合國氣候變化綱要公約」或京都議定書的排放目標。

**Contribution of Working Group III to the
Forth Assessment Report of the
Intergovernmental Panel on Climate Change**

**IPCC 氣候變遷 2007：減緩氣候變遷
決策者摘要**

初稿作者群：

Terry Barker, Igor Bashmakov, Lenny Bernstein, Jean Bogner, Peter Bosch, Rutu Dave, Ogunlade Davidson, Brian Fisher, Michael Grubb, Sujata Gupta, Kirsten Halsnaes, BertJan Heij, Suzana Kahn Ribeiro, Shigeki Kobayashi, Mark Levine, Daniel Martino, Omar Masera Cerutti, Bert Metz, Leo Meyer, Gert-Jan Nabuurs, Adil Najam, Nebojsa Nakicenovic, Hans Holger Rogner, Joyashree Roy, Jayant Sathaye, Robert Schock, Priyaradshi Shukla, Ralph Sims, Pete Smith, Rob Swart, Dennis Tirpak, Diana Urge-Vorsatz, Zhou Dadi

此決策者摘要需引用如下：

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

國家災害防救科技中心氣候變遷專案工作小組 編譯

A. 前言

1. IPCC 第四次評估報告(AR4)第三工作小組的重點鎖定在 IPCC 第三次評估報告(TAR)及「二氧化碳捕集和封存特別報告(SRCCS)」和「守護臭氧層及全球氣候系統特別報告(SROC)」以後所發表有關減緩氣候變遷之科學、技術、環境、經濟和社會等層面的新文獻。

「決策者摘要」之主文包括以下六項大綱：

- 溫室氣體(Greenhouse gas, GHG)排放趨勢
- 短/中期不同經濟部門之氣候變遷減緩(2030年以前)
- 長期氣候變遷減緩(2030年以後)
- 減緩氣候變遷之政策、措施與工具。
- 永續發展與氣候變遷減緩
- 知識差距

「決策者摘要」以 AR4 各章節內容為依據，各段落後方中括弧內均註明其章節出處。本摘要報告使用之專門術語、字頭縮寫及化學符號的註解，均可在主要報告之詞彙表中找到。

B. 溫室氣候排放趨勢

2. 工業革命以來，全球溫室氣體(GHG)排放量已經增加許多，1970~2004年間增幅高達70% (高度共識；大量證據)³²。
 - 工業革命以來，人類活動造成的溫室氣體排放量增加，已經導致大氣中溫室氣體濃度明顯升高[1.3；第一工作小組「決策者摘要」]。
 - 1970~2004年間，全球二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟化物(PFCs)、及六氟化硫(SF₆)

³² 每項標題陳述最後都附有“共識程度/證據量”評估，該評估有標題下方子項的支持。然而，這不表示標題下方每個子項之陳述均適用該“共識程度/證據量”評估。不確定性表述之說明參見文字框 1。

之排放量，利用全球暖化潛能(global warming potential, GWP)加權後，相當於從 28.7 增加到 49 十億噸二氧化碳當量(Gigatonnes of carbon dioxide equivalents, GtCO₂-eq)³³ (參見圖 SPM 1)，增加幅度高達 70% (1990~2004 年增幅為 24%)。各種溫室氣體排放的增加速率有所不同，CO₂ 在 1970~2004 年間排放量增加 80% (1990~2004 年增幅為 28%)，並在 2004 年佔人為溫室氣體排放總量之 77%。

- 1970~2004 年間，全球溫室氣體排放量最大增幅來自能源供應部門(增幅為 145%)。這段期間，源自其他產業/部門之直接排放量³⁴的成長分別為：交通運輸業 120%；工業 65%；土地利用、土地利用改變和林業(LULUCF)³⁵40%³⁶。1970~1990 年間，源自農業的直接排放量增加 27%，源自建物的直接排放量增加 26%，自此之後，源自建物的直接排放量便大致維持在 1990 年的水準。然而，由於建物的用電量很高，因此該產業之直接與間接排放總量(75%)比直接排放量高得多 [1.3, 6.1, 11.3, 圖 1.1 和 1.3]。
- 1970~2004 年間，全球能源密集度下降(-33%)對全球排放量的影響已小於全球人均收入成長(77%)與全球人口成長(69%)之綜合影響，兩者都是能源相關之 CO₂ 排放驅使因素(圖 SPM 2)。能源供應的碳密

³³ CO₂ 當量(CO₂-eq)定義為造成與充分混合溫室氣體(或其混合物)排放量相同輻射作用力之 CO₂ 排放量。所有排放物質均乘以其各自之 GWPs，以便將其停留在大氣中之時間納入考量[第 1 工作組 AR4 詞彙表]。

³⁴ 各產業之直接排放量不包括發電業為供應建築、工業及農業消耗電力之排放量，或煉油業為供應交通燃料之排放量。

³⁵ 此處“土地利用、土地利用改變與林業”(LULUCF)被用來描述源自森林砍伐、生物質量與焚燒、生物質量砍伐後腐朽、泥炭腐化、和泥炭火災之 CO₂、CH₄ 及 N₂O 總排放量[1.3.1]。這類排放量的範圍比森林砍伐寬廣，森林砍伐只是其中一個子集。此處所報告的排放量不包含碳吸收(移除)。

³⁶ 此一趨勢指的是 LULUCF 總排放量，森林砍伐只是其中一個子集。由於資料之不確定性很大，LULUCF 排放量之確定性比其他產業顯著地低。2000~2005 年之全球森林砍伐率較 1990~2000 年略低[9.2.1]。

集度原本的長期下降趨勢於 2000 年後反轉向上。各國間人均收入、人均排放量及能源密集度仍有顯著的差異(圖 SPM 3)。聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)附錄 I 締約方(國家)在 2004 年,以世界人口 20% 創造全球 57% 的經購買力平價後國內生產毛額(Gross Domestic Product based on Purchasing Power Parity, GDP_{PPP})³⁷, 並排放全球 46% 的溫室氣體 (圖 SPM 3a) [1.3]。

- 1990 年代以來, 蒙特婁議定書(Montreal Protocol)列管之破壞臭氧層物質(ODS)³⁸ 的排放量已經大幅減少, 這些物質同為溫室氣體。到了 2004 年, 這些氣體的排放量已經降至 1990 年水準的 20% 左右[1.3]。
- 一系列有關氣候變遷、能源安全³⁹及永續發展的政策, 已經有效減少不同產業/部門和許多國家的溫室氣體排放量。然而, 這些措施的規模尚不足以抵銷全球排放量的成長[1.3, 12.2]。

3. 在現行的氣候變遷減緩政策及相關永續發展實務下, 未來幾十年間, 全球溫室氣體排放量將持續成長(高度共識; 大量證據)。

- 根據 IPCC 排放情境特別報告 (SRES) 的(無減緩)情境推估, 2000~2030 年間, 全球溫室氣體排放基線的增加量將介於 9.7~36.7 GtCO₂-eq 之間(25~90%)⁴⁰ (文字框 SPM 1 和圖 SPM 4)。在這些情境中, 推估化石燃料在 2030 年之前, 甚至之後,

仍將維持其在全球能源組合中的首要地位。因此, 2000~2030 年間, 源自於能源利用的 CO₂ 排放量推估將增加 40~110%, 其中有 2/3~3/4 的增加量源自於非附錄 I 地區。到了 2030 年, 這些地區的人均能源消耗之 CO₂ 排放量(2.8~5.1 tCO₂/cap)推估將維持在遠低於附錄 I 地區的水準(9.6~15.1 tCO₂/cap)。根據 SRES 情境, 附錄 I 締約方經濟體創造單位 GDP 所需之能源消耗(6.2~9.9 MJ/US\$ GDP)推估將低於非附錄 I 締約方(11.0~21.6 MJ/US\$ GDP) [1.3, 3.2]。

³⁷ GDP_{PPP} 公制在本報告中僅為說明目的。如欲瞭解購買力平價(PPP)和市場匯率(MER) GDP 之計算, 請參見註腳 12。

³⁸ 海龍(Halons)、氟氯碳化物(CFCs)、氟氯烴(HCFCs)、三氯甲烷(CH₃CCl₃)、四氯化碳(CCl₄)、和溴化甲烷(CH₃Br)。

³⁹ 能源安全指的是能源供應的安全性。

⁴⁰ 此處假設的 SRES 2000 年溫室氣體排放量為 39.8 GtCO₂-eq, 此即低於 EDGAR 資料庫所提出的 2000 年排放量(45 GtCO₂-eq) – 這差異的主因是 LULUCF 排放量的估計不同。

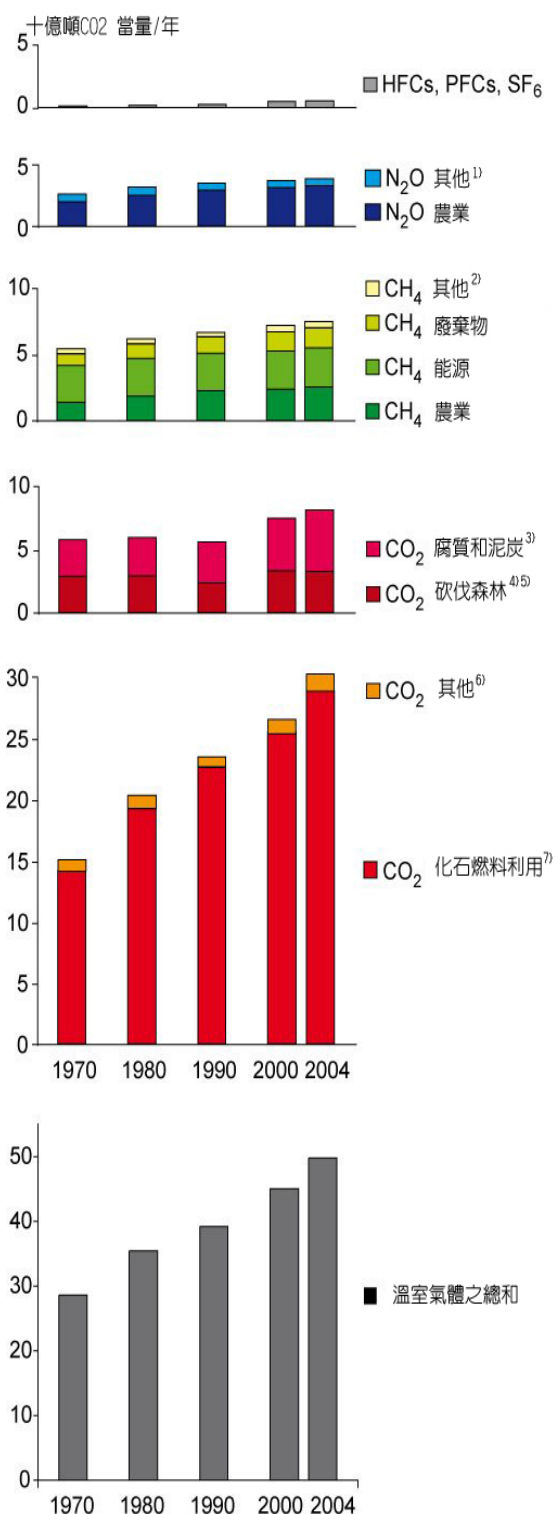


圖 SPM 1: 1970~2004 年間，按全球暖化潛能(GWP)加權之全球溫室氣體排放量。利用 IPCC 1996 年第二次評估報告(SAR)之百年 GWP₁₀₀ 將溫室氣體排放量轉換為 CO₂ 當量(CO₂-eq) (參閱 UNFCCC 報告指南)。CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs 和 SF₆ 的所有來源均被納入計算。兩種 CO₂ 排放類別，分別反應能源生產與利用(倒數第二張圖)和土地利用改變(倒數第三張圖)之 CO₂ 排放量[圖 1.1a]。

說明：

1. 其他 N₂O 排放包括工業製程、森林砍伐/草原焚燒、廢水、和垃圾焚燒。
2. 其他 CH₄ 排放包括工業製程和草原焚燒。
3. 包括源自生質能產製與使用之 CO₂ 排放量。
4. 砍伐林木和森林後在地面殘留之生物質腐化(分解)產生的 CO₂ 排放量，及泥炭燃燒和乾泥炭土壤腐化產生的 CO₂ 排放量。
5. 此外，假設 90% 森林砍伐源自持久性的生物質生產，傳統生物質利用則佔總量 10%。此處以假設 10% 的生物質碳含量在燃燒後仍為木炭來做修正。
6. 根據全球火災排放資料庫的衛星資料，求得 1997~2002 年大規模森林與灌木生物質燃燒的平均值。
7. 水泥生產與天然氣燃燒。
8. 化石燃料使用的排放量包括原物料的排放量。

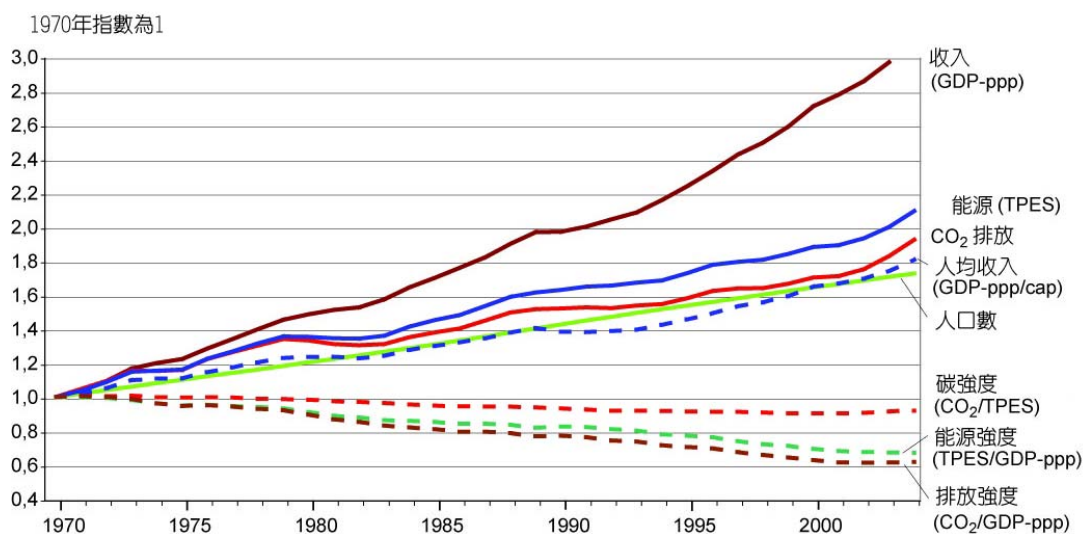


圖 SPM 2：全球發展之相對情況，以購買力平價(PPP)計算之國內生產總值(GDP_{PPP})、初級能源總供應量(Total Primary Energy Supply, TPES)、CO₂排放量(源自化石燃料燃燒、氣體燃燒和水泥製造)和人口(Pop)等項目來加以表示。此外，虛線數據用以顯示 1970~2004 年人均收入(GDP_{PPP} /Pop)、能源密集度(TPES/GDP_{PPP})、能源供應之碳密集度(CO₂/TPES)、和經濟生產過程之碳排放密集度(CO₂/ GDP_{PPP}) [圖 1.5]。

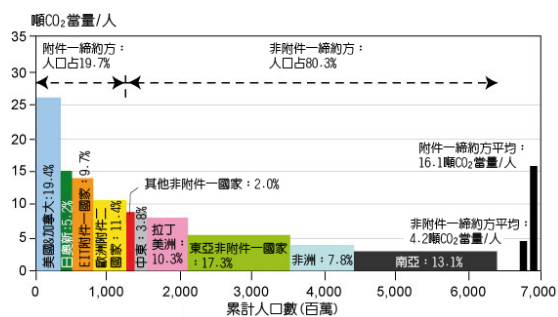


圖 SPM 3a：2004 年各地區分組之人均溫室氣體排放量分布(京都議定書列管之所有氣體，包括源自土地利用之氣體排放)。柱條中的數字表示該地區佔全球溫室氣體排放的百分比[圖 1.4a]。

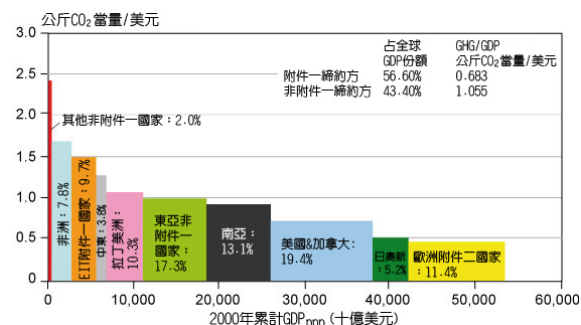


圖 SPM 3b：2004 年各地區分組之每單位 GDP(以每 US\$ GDP_{PPP} 表示)溫室氣體排放量分布(京都議定書列管之所有氣體，包括源自土地利用之氣體排放)。柱條中的數字表示該地區佔全球溫室氣體排放的百分比[圖 1.4b]。

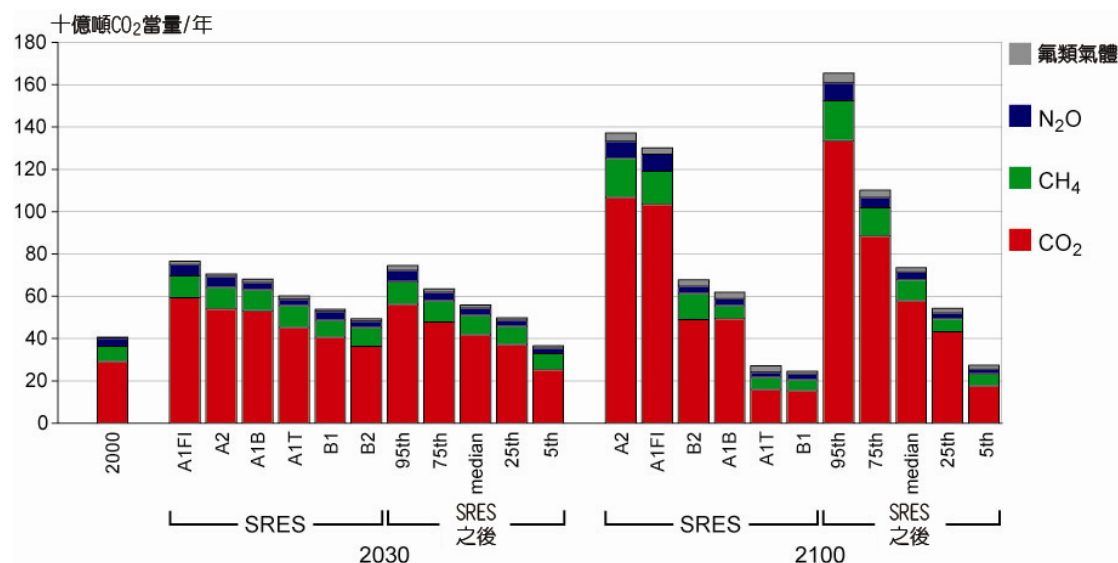


圖 SPM 4：2000 年全球溫室氣體排放量和根據 IPCC SRES 及後 SRES 新文獻所推估之 2030 和 2100 年基準排放量⁴¹。本圖提供六組示範性 SRES 情境之排放量，以及後 SRES 新文獻情境(5 百分位、25 百分位、中位數、75 百分位和 95 百分位)之排放頻率分布(如第 3 章所述)。含氟氣體包括 HFCs、PFCs 和 SF₆ [1.3, 3.2, 圖 1.7]。

⁴¹ 基準情境不包括當前政策以外之額外氣候政策。較近期的研究在是否包含 UNFCCC 和京都議定書方面有所不同。

4. SRES 發表之後的基線排放量情境，在範圍上與 IPCC SRES 情境相近(2100 年 25 ~ 135 GtCO₂-eq/yr，參見圖 SPM 4) (高度共識；大量證據)。

- SRES 以後的研究對某些排放驅使因素採用較低數值，特別是在人口數推估方面。然而，對於那些採用新人口數推估的研究，其他驅使因素的改變，如經濟成長，對總排放量的影響非常小。就非洲、拉丁美洲和中東而言，至 2030 年之經濟成長推估，在後 SRES 基準情境中比在 SRES 情境中來得低，但這點對全球經濟成長及總排放量的影響微不足道[3.2]。
- 具有淨冷卻效果之氣溶膠及其前驅物(包括二氧化硫、黑碳和有機碳)的排放量表述已經改善⁴²。大體而言，其推估量低於 SRES 的水準[3.2]。

- 只要採用一致的算法，計算 GDP 時匯率(MER 或 PPP)的選取，不致於對推估的排放量造成顯著的影響⁴³。相較於情境中其他參數假設所造成之不確定性(如技術改進)，兩者之間的差異很小[3.2]。

⁴² 參見第 1 工作組 AR4 10.2

⁴³ TAR 發表以來，有關不同排放情境中不同匯率的採用，一直存在著爭議。兩種單位被用於比較國與國之間的 GDP。當分析牽涉國際貿易產品時比較適合採用 MER 匯率，當分析牽涉開發階段有很大不同的國家間之收入比較時，比較適合採用 PPP 匯率。本報告中大多數貨幣單位都是按 MER 表示。如此可反映出大多數以 MER 做標準之排放量減緩文獻。當貨幣單位按 PPP 表示時，便以 GDP_{PPP} 符號代表。

文字框 SPM 1 – IPCC 排放情境特別報告之排放情境概述(SRES)

A1 情境 - A1 情境族系描述一個經濟非常快速成長、全球人口在世紀中葉達到巔峰之後便逐漸衰減、和快速引進更高效率新技術的未來世界。其基本特徵為區域趨同、建立涵容能力、文化與社會互動增加、和人均收入地區差異大幅縮小。A1 情境族系發展成為三組情境，分別描述能源系統技術變革之替代方向。三組 A1 情境以其技術重點做為區別：化石能源密集(A1FI)、非化石能源(A1T)和能源平衡(A1B) (能源平衡之定義為不特別仰賴任何特定能源，並假定所有能源供應及最終使用技術之進步速度類似)。

A2 情境 - A2 情境族系描述一個非常異質性的世界，其基本特徵為自給自足和地方認同的保存。各地區生育模式趨同速度非常慢，因此造成人口的持續增加。經濟發展基本上為地區導向，且人均經濟成長和技術變革較其他情境零碎而緩慢。

B1 情境 - B1 情境族系描述一個趨同性的世界，其全球人口與 A1 情境同，也是在世紀中葉達到巔峰之後便逐漸衰減。但此一世界之經濟結構迅速朝著服務與資訊經濟的方向改變，其基本特徵為原料密集度降低和引進乾淨及資源效率技術。該情境強調經濟、社會及環境永續性之全球解決方案(包括社會公平改善)，但沒有額外的氣候因應方案。

B2 情境 - B2 情境族系描述一個強調經濟、社會及環境永續性之地方解決方案的世界，其基本特徵為全球人口持續增加(增加速度比 A2 情境慢)、中度經濟發展、和技術變革的速度比 B1 和 A1 情境慢，但比較多樣。雖然 B2 情境也是環保及社會公平性導向，但該情境偏重於地方和地區層級。

這六組情境(A1B、A1FI、A1T、A2、B1 和 B2)分別都有一個示例情境。所有情境均應被充分平等的考慮。

SRES 情境未包含外加的氣候因應方案。換言之，任何 SRES 情境均未明確假設實施「聯合國氣候變化綱要公約」或京都議定書的排放目標。

本概述 SRES 情境的文字框引自 IPCC TAR，已經過審查小組逐行認可。

文字框 SPM 2：減緩潛力與分析方法

“減緩潛力”(mitigation potential)概念的發展是為了評估在一既定碳交易價格(即避免或減少每單位 CO₂ 當量排放量所需支付之成本)條件下，相對於排放基準可能達到之溫室氣體排放減量程度。減緩潛力又被細分為“市場潛力”(market potential)和“經濟潛力”(economic potential)。

市場潛力是以私人成本及私人折現率為基礎之減緩潛力⁴⁴。市場潛力可能在預測的市場條件下產生(包括現行政策與措施)，因為市場阻礙會限制實際交易結果[2.4]。

經濟潛力是考量社會成本與效益及社會折現率之減緩潛力⁴⁵，同時假設市場效率因政策與措施而

⁴⁴ 私人成本及私人折現率反映的是民間消費者和民間公司的觀點。更完整描述請參閱詞彙表。

⁴⁵ 社會成本及社會折現率反映的是社會的觀點。社會折現率低於民間投資人所採行的折現率。更完整描述請參閱詞彙表。

改善，且阻礙得以排除[2.4]。

市場潛力研究讓政策制定者知道，在現行政策與既存阻礙下之減緩潛力。經濟潛力研究則指出，如果實施適當的新政策以排除阻礙並考量社會成本與效益，可能達到的結果。因此，經濟潛力通常大於市場潛力。

估計減緩潛力有多種不同方法，大致可分為兩大類：“由下而上研究”和“由上而下研究”。這兩類方法主要仍用於經濟潛力的評估。

由下而上研究係以減緩方案之評估為基礎，並著重於特定技術與規範。這類研究基本上屬於產業/部門層次的研究，並將總體經濟視為不變。正如 TAR 中，將各產業/部門之估計值綜合累計，為本評估報告提供全球減緩潛力的整體估計。

由上而下研究係以整體經濟的角度評估各減緩方案的潛力。這類研究利用全球一致的架構和有關減緩方案之總和資訊，並獲得總體經濟及市場回饋資訊。

自 TAR 發表以來，由下而上模式與由上而下模式已經越來越相似，因為由上而下模式已結合更多技術減緩方案的資訊，而由下而上模式則結合更多總體經濟及市場回饋資訊，並在其模式結構中納入阻礙分析。由下而上研究特別適合用於產業/部門層次之特定政策方案評估，譬如提高能源效率的政策。由上而下研究則適合用於跨部門及整體經濟之氣候變遷政策評估，譬如碳稅和穩定排放的政策。然而，目前不論是由下而上或由上而下的經濟潛力研究，在人們選擇何種生活方式及納入所有外部性(如區域性空氣污染)的考量方面，仍存在著相當限制。這些研究在某些地區、國家、部門、氣體和阻礙方面之代表性有限。所推估之減緩成本並未考慮到避免氣候變遷之潛在效益。

文字框 SPM 3：減緩方案的組合及總體經濟成本研究之假設條件

本報告所評估之減緩方案組合及總體經濟成本研究係以由上而下模式為基礎。大多數模式均採用全球最低成本方法來評估各種減緩方案組合，並在全面性的排放交易前提下，假設交易市場是透明的、無交易成本、以及減緩措施的實施在 21 世紀都是相當理想的，據以計算特定時間點之成本。

若不考慮某些地區、部門(如土地利用)、方案或氣體，全球模式模擬得到的成本將會增加。如果排放基線降低，並利用碳稅及拍賣許可證的收入，加上如果納入誘發性的技術學習，則全球模式模擬得到的成本將會降低。這些模式未考慮氣候帶來的利益，通常也未考慮減緩措施之附加效益，或在社會公平議題上的影響。

文字框 SPM 4：誘發技術變革的模式模擬

相關文獻顯示，政策和措施可能誘發技術變革。科學界在將以誘發技術變革為基礎的方法應用於穩定化研究方面，已經獲致可觀的進展。然而，仍存在著一些概念問題。在採用這些方法的模式中，既定穩定化目標的預估成本已經降低。穩定化目標較低時，成本的降幅更大。

C. 短/中期氣候變遷減緩 (2030 年以前)

5. 由下而上及由上而下的研究均指出，在未來幾十年中將有相當大的經濟潛力可用以減緩全球溫室氣體排放，以抵銷全球排放量之成長推估，或降低排放量至當前的水準以下(高度共識；大量證據)。

估計值之不確定性以區間形式顯示於以下兩個表當中，以反映基線範圍、技術變革速率、及不同方法之其他特定因素。此外，不確定性也源自於涵蓋國家、產業/部門和氣體的資訊的限制。

由下而上研究：

- 利用由下而上研究，針對 2030 年預估的經濟潛力(參閱文字框 SPM 2)顯示於表 SPM 1 和圖 SPM 5A。參考點是 2000 年的排放量相當於 43 GtCO₂-eq [11.3]。
- 研究顯示，到了 2030 年，淨負成本⁴⁶的減

⁴⁶ 在本報告中(在 SAR 和 TAR 中亦然)，淨負成本方案(無悔政策機會)被定義為其效益(如能源成本降低和當地/地區污染物排放減量)等同或超過社會成本之方案，不包括避免氣候變遷的效益(參閱文字框 SPM 1)。

緩機會具有每年減少碳排放量約 6 GtCO₂-eq 的潛力。落實上述潛力需要克服各種執行上的阻礙[11.3]。

- 沒有任何單一產業/部門或技術可以克服所有的減緩挑戰。所有評估的產業/部門對總體減緩潛力均有其貢獻(參見圖 SPM 6)。表 SPM 3 顯示個別產業/部門之重要減緩技術與實務 [4.3, 4.4, 5.4, 6.5, 7.5, 8.4, 9.4, 10.4]。

由上而下研究：

- 利用由上而下研究，針對 2030 年排放減量的計算結果顯示於表 SPM 2 和圖 SPM 5B。由上而下研究之全球經濟潛力與由下而上研究具有一致性(參閱文字框 SPM 2)，儘管兩者在部門層次上有相當的差距 [3.6]。
- 表 SPM 2 係源自於穩定排放情境的估計結果，亦即大氣中溫室氣體濃度朝向長期穩定的情境 [3.6]。

表 SPM 1：利用由下而上研究預估 2030 年全球的經濟減緩潛力

碳交易價格 (美元/ tCO ₂ -eq)	經濟潛力 (GtCO ₂ -eq/年)	相對於 SRES A1 B 情境之消減 (68 GtCO ₂ -eq/年) (%)	相對於 SRES B2 情境之消減 (49 GtCO ₂ -eq/年) (%)
0	5~7	7~10	10~14
20	9~17	14~25	19~35
50	13~26	20~38	27~52
100	16~31	23~46	32~63

表 SPM 2：利用由上而下研究預估 2030 年全球的經濟減緩潛力

碳交易價格 (美元/ tCO ₂ -eq)	經濟潛力 (GtCO ₂ -eq/年)	相對於 SRES A1 B 情境之消減 (68 GtCO ₂ -eq/年) (%)	相對於 SRES B2 情境之消減 (49 GtCO ₂ -eq/年) (%)
20	9~18	13~27	18~37
50	14~23	21~34	29~47
100	17~26	25~38	35~53

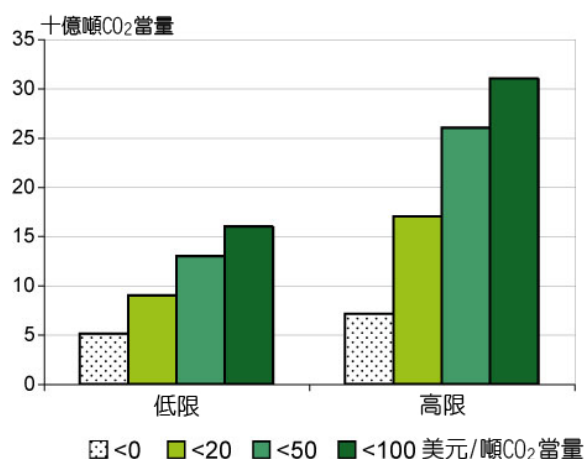


圖 SPM 5A：利用由下而上研究預估 2030 年
全球的經濟減緩潛力(資料引自表 SPM 1)

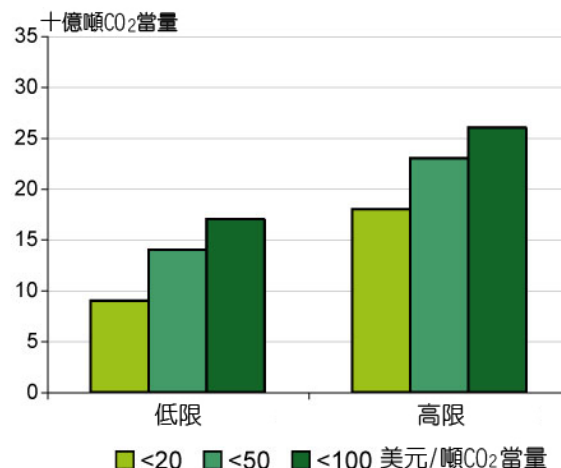


圖 SPM 5B：利用由上而下研究預估 2030 年
全球的經濟減緩潛力(資料引自表 SPM 2)

表 SPM 3：不同產業/部門之重要減緩技術和實務。產業和技術之排列沒有特別順序。跨領域的非技術性實務(如生活型態改變)未納入本表，但在本決策者摘要之第七段有詳述。

產業/部門	目前已經商業化應用之重要減緩技術和實務	推估 2030 年以前可商業化應用之重要減緩技術和實務
能源供應業 [4.3, 4.4]	改善供應與配送效率；燃料從煤炭轉為煤氣；核能；再生熱能與電力(水力、太陽能、風力、地熱及生物能)；汽電共生系統；碳捕集與封存(CCS)之初期應用(天然氣脫碳封存)。	燃氣、生物質量及燃煤發電設施之碳捕集與封存(CCS)；先進核能；先進再生能源(包含潮汐與波浪能源、聚光式太陽能發電和太陽能光伏發電)。
運輸業 [5.4]	高能源效率運輸工具；油電混合車；低污染柴油車；生質燃料；運輸型態從道路轉換為鐵路及大眾運輸系統；非機動車運輸(單車或步行)；土地利用和運輸規劃。	第二代生質燃料、更高效能飛機；先進電動及油電混合車(配備電力更強和更可靠的電池)。
建築業 [6.5]	省電照明與採光；高效能電器用品及加熱與冷卻裝置；改良的爐具與改善隔熱；加熱與冷卻之被動與主動太陽能設計；交替式冷凍液；氟化氣體回收與回復。	商業建築物之整合設計(包括技術)，譬如具回饋和控制功能的智慧型計量器；整合於建築物之太陽能光伏板。
工業 [7.5]	更省電之終端電器設備；熱、電回收；原料回收與替代；非 CO ₂ 氣體排放控制；一系列的特定製程技術。	先進的能源效率；水泥/阿摩尼亞/鐵製造業之 CCS 技術；惰性電極用於鋁製造業。
農業 [8.4]	改善耕地和牧草地管理，以增加土壤碳貯藏量；復原耕種用的泥媒化土壤和已退化土地；改善稻米耕作技術及牲畜與糞肥管理，以減少 CH ₄ 排放量；改善氮肥應用技術，以減少 N ₂ O 排放量；以產生能源作物取代化石燃料的使用；改善能源效率。	作物產量增加。
林業/森林 [9.4]	造林；森林復育；森林管理；減少森林砍伐；木材產品管理；利用林業產品生產生物能源，以取代化石燃料的使用。	樹種改良，以增加生物質量生產力和碳吸存。改進遙感技術，以利植被/土壤之碳吸存潛力分析，並繪製土地利用改變圖。
廢棄物管理 [10.4]	垃圾掩埋場沼氣回收；能源回收式垃圾焚化；有機垃圾堆肥；有控制的廢棄物污水處理；回收利用與垃圾減量。	生物覆蓋與生物過濾，以最適化 CH ₄ 氧化過程。

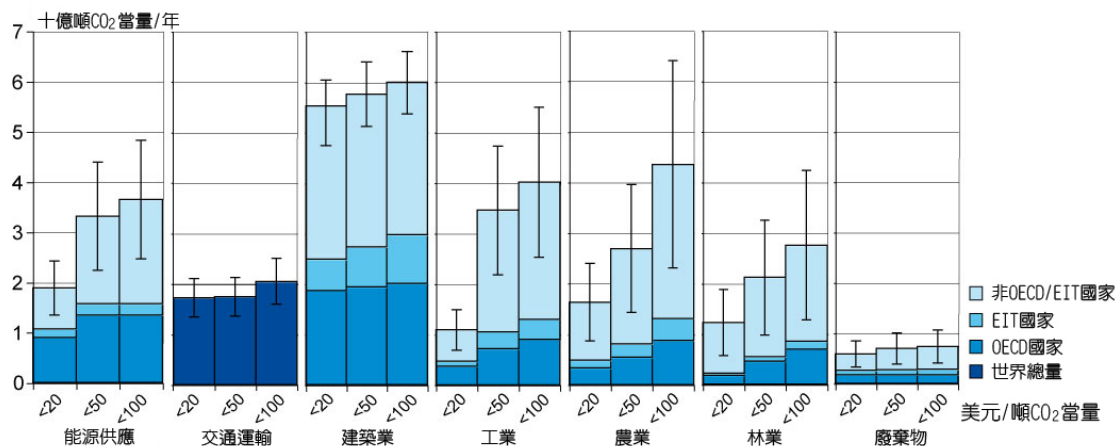


圖 SPM 6：利用由下而上研究，對照於產業評估中所假設之個別基準預估 2030 年不同地區不同產業在各種碳交易價格下對於全球溫室氣體減緩之經濟潛力。本圖衍生意義的詳細說明參見 11.3。

說明：

- 以垂直直線表示各產業預估之全球經濟潛力範圍。該範圍係以最終使用者之排放量為依據，換言之，電力使用之排放量被計在最終使用的產業，而非計在能源供應產業。
 - 潛力估計受限於研究之有效性，特別是在碳交易價格偏高時。
 - 各產業採用不同的基準。工業採用 SRES B2 基準；能源供應業和運輸業採用 WEO 2004 基準；建築業採用介於 SRES B2 與 A1B 之間的基準；廢棄物處理業採用 SRES A1B 驅動力來建構廢棄物之特定基準；農業、林業則採用以 B2 驅動力為主的基準。
 - 運輸業僅顯示全球預估總值，因為其中包含國際航運業 [5.4]。
 - 未包含在內的類別有：產自建築業和運輸業之非 CO₂ 排放物；部分材料效率方案；能源供應業之熱能生產和汽電共生；重型車輛、航運與高乘載乘客運輸；大多數建築業之高成本方案；廢水處理；煤礦和瓦斯管線排放減量；產自能源供應業和運輸業之氟化氣體。這些排放量對總經濟潛力的低估約為 10-15%。
6. 2030 年多種氣體排放減緩之總體經濟成本，與排放量軌跡穩定於 445~710 ppm CO₂-eq 所需成本大致相同，和基準相比較（參見表 SPM 4），預估成本將介於 3% 全球 GDP 減少與微幅增加之間。然而，地區成本可能與全球平均成本有顯著差異（高度共識，中量證據）（欲瞭解這些結果之方法論和假設條件，參見文字框 SPM 3）。
- 大多數的研究結論指出，相對於 GDP 基準，GDP 的減少幅度隨著穩定化目標之嚴格程度而增加。
 - 總體經濟成本將視現行稅制及各項碳收入使用情形而定，模式研究指出，假設碳稅或拍賣碳排放許可的收入被用於提升低碳技術或改革現行稅制，成本可能大幅降低。 [11.4]。
 - 相關研究指出，在氣候變遷政策可能誘發技術變革的假設條件下，將可使成本降低。然而，這需要較高的先期投資，才能達到往後成本降低的結果 [3.3, 3.4, 11.4, 11.5, 11.6]。
 - 儘管大多數模式均顯示 GDP 減少，但也有一些模式顯示 GDP 增加，因為這些模式假設基準並非最適的，且減緩政策有助於改善市場效率，或者假設減緩政策可能誘發更多的技術變革。市場缺乏效率的例子包括：資源閒置及稅收和/或補貼扭曲 [3.3, 11.4]。
 - 對照於僅減少 CO₂ 排放量的方法，多種氣體方法 (multi-gas approach) 搭配碳匯 (carbon sinks) 通常可以大幅降低成本 [3.3]。
 - 地區的成本大多取決於穩定化目標和基準情境假設。雖然配額制度 (allocation regime) 也很重要，但對大多數國家來說，配額制度的重要性略低於穩定化目標 [11.4, 13.3]

表 SPM 4：2030 年^{a)}全球總體經濟成本，依最低成本軌跡朝向不同長期穩定排放目標^{b), c)}進行預估

穩定化目標 (ppm CO ₂ -eq)	GDP 減少的中位數 (%)	GDP 減少的範圍 ^{d), e)} (%)	平均 GDP 年成長率減少 ^{d), f)} (百分點)
590 ~ 710	0.2	-0.6 ~ 1.2	< 0.06
535 ~ 590	0.6	0.2 ~ 2.5	< 0.1
445 ~ 535 ^{g)}	無資料	< 3	< 0.12

a) 就特定的穩定排放目標而言，在大多數模式中，2030 年以後 GDP 減少將隨著時間而增加。長期成本也將變得更加不確定 [圖 3.25]。

b) 根據採用各種基線的研究結果。

c) 就達成穩定排放之時間點而言，各研究不盡相同，唯一般都在 2100 年或之後。

d) 此為以全球 GDP 為基礎之市場匯率。

e) 分析資料之中位數和第 10 及第 90 百分位數。

f) GDP 年成長率減少之計算係以從現在到 2030 年期間之平均降幅，以此年成長率減少代表 2030 年的 GDP 成長率減少。

g) 有關 GDP 研究結果之數量相當少，且這些研究通常採用低基線。

7. 改變生活型態和行為模式在所有部門中均有助於氣候變遷減緩。管理方法也在其中扮演正面角色(高度共識；中量證據)。

- 生活方式的改變有助於降低溫室氣體排放量。生活型態及消費型態的改變，就是強調資源保育有助於發展社會公平而永續的低碳經濟 [4.1, 6.7]。
- 教育和訓練計劃有助於克服市場對提升能源效率接受度的阻礙，特別是結合其他措施時效果尤佳 [表 6.6]。
- 居民態度、文化型態及消費者選擇的改變，配合技術的使用，可以大幅降低建築物能源使用之 CO₂ 排放量 [6.7]。
- 運輸需求管理(包括降低旅行需求的都市規劃)，和資訊與可教育技能的提供(減少汽車使用並提倡高效率駕車方式)，都有助於減緩溫室氣體排放 [5.1]。
- 在工業方面，管理工具(包括員工訓練、獎勵制度、定期回饋和現行實務文件化)有助於克服在產業組織的阻礙、減少能源的使用、和降低溫室氣體排放量 [7.3]。

8. 儘管各項研究所採用的方法論不同，但在所有分析過的地區中，因減緩溫室氣體排放所帶來的空氣污染減輕，可獲得很大的近期健康附加效益，並可能抵銷相當部分

的減緩成本(高度共識；大量證據)。

- 除了人類健康以外的其他附加效益，譬如能源安全提升，以及由於對流層臭氧濃度下降，使得農業產量增加和自然生態系統的壓力降低，都將進一步節省成本 [11.8]。
 - 相較於單獨實施，整合空氣污染防治和氣候變遷減緩政策，使得大幅降低成本的可能性更高 [11.8]。
- ## 9. TAR 以後的文獻證實，附錄 I 國家的減量行動可能對全球經濟和全球排放量發揮影響，唯碳漏的規模仍無法確定(高度共識；中量證據)。
- 如 TAR 所指出的⁴⁷，化石燃料輸出國家(包含附錄 I 國家及非附錄 I 國家)可能因實施減緩政策而造成需求、價格和 GDP 成長降低。這些外溢效果⁴⁸的程度絕大部分取決於政策及石油市場狀況的假設 [11.7]。
 - 碳漏⁴⁹評估仍存在著重大的不確定性。大多數均衡模式都支持 TAR 的結論：京都議定書的行動對整體經濟產生的碳漏約在 5~20% 之間。如果具競爭性之低排放技術

⁴⁷ 參閱第 3 工作組 TAR (2001)「決策者摘要」第 16 段。

⁴⁸ 跨部門觀點的溫室氣體減緩外溢效應指的是一個或一群國家所實施之減緩政策及措施對其他國家的部門產生影響。

⁴⁹ 碳漏的定義為採取減緩行動之國家於國外增加 CO₂ 排

獲得有效推廣，此一碳漏值將得以降低 [11.7]。

10. 有許多案例顯示，開發中國家的新能源基礎建設投資、工業化國家的能源基礎建設升級及促進能源安全的政策，可能創造達成溫室氣體排放減量的機會⁵⁰（照對於基線情境）。其他附加效益則因國家而異，但通常不外乎空氣污染減輕、貿易平衡改善、為郊區提供新能源服務、以及增加就業（高度共識；大量證據）。

- 從現在到 2030 年，未來之能源基礎建設投資決策所涉及之金額預估將超過 20 兆美元⁵¹。這些投資決策將對溫室氣體排放量具有長遠影響，因為無論是能源電廠或其他基礎建設的資本累積，它們的生命期都很長。低碳技術之推廣可能需要幾十年，無論這些技術之初期投資設計得如何誘人。初步估計，2030 年全球能源相關之 CO₂ 排放量如果希望回到 2005 年的水準，將需要大幅改變投資型態，所需要的額外淨投資則從可忽略到 5~10% 不等 [4.1, 4.4, 11.6]。
- 投資於最終用途能源效率改善經常比投資於增加能源供應（以滿足能源服務需求）之成本有效性高。效率改善對能源安全、本地/地區空氣污染防治和就業均具有正面影響 [4.2, 4.3, 6.5, 7.7, 11.3, 11.8]。
- 再生能源通常對能源安全、就業和空氣品質具有正面影響。再生能源電力佔 2005 年總電力供應的 18%，若給定與其他能源供應選項的相對成本，到了 2030 年，在碳交易價格漲至 50 美元/ tCO₂-eq 時，再生能源電力佔總電力供應量的比例可能達到 30~35% [4.3, 4.4, 11.3, 11.6, 11.8]。
- 化石燃料的市場價格越高，低碳替代能源

就越具有競爭力，唯價格波動將使得投資人裹足不前。另一方面，價格較高的傳統石油資源可能被高碳燃料所取代，譬如油沙、油頁岩、重油及合成燃料（煤與瓦斯），除非生產工廠配備碳捕集與封存系統（CCS），否則將導致溫室氣體排放量增加 [4.2, 4.3, 4.4, 4.5]。

- 給定核能與其他能源供應選項的相對成本，到了 2030 年，在碳交易價格漲至 50 美元/ tCO₂-eq 時，核能發電佔總電力供應量的比例可達到 18%（2005 年所佔比例為 16%），但安全性、武器擴散和廢料處理仍是限制因素 [4.2, 4.3, 4.4]⁵²。
- 利用地表下地質結構進行碳捕集與封存（CCS）是一項新的技術，具有在 2030 年以前對氣候變遷減緩產生大貢獻的潛力。至於實際的貢獻度如何，將取決於技術、經濟及管控技術的發展 [4.3, 4.4, 7.3]。

11. 運輸業中有多種減緩方案¹⁹，但這些方案的效益可能被運輸業的成長所抵銷。減緩方案面臨許多阻礙，譬如消費者偏好和缺乏政策架構（中度共識；中量證據）。

- 改善車輛效率的措施可以節省油耗，在許多狀況下具有淨效益（至少對輕型車是如此），但市場潛力受到其他消費者考量因素的影響（如性能和車體大小），這些改善之市場潛力比經濟潛力小得多。目前沒有足夠的資訊可以評估重型車輛的減緩潛力。因此，光憑市場力量（包括燃料成本增加）無法預期排放量能夠顯著的降低 [5.3, 15.5.4]。
- 在著手解決運輸業溫室氣體排放的問題方面，生質燃料可能會扮演重要角色，取決於它的生產途徑。被用做汽油和柴油添加劑或替代品之生質燃料，在 2030 年的基線情境下，其佔總運輸能源需求的比例推估將成長到 3%。此一比例也可能增加

放量除以其國內 CO₂ 排放減少量。

⁵⁰ 參見表 SPM 1 和圖 SPM 6。

⁵¹ 20 兆 = 200,000 億 = 20*10¹²

- 到 5~10%，端視未來油價及碳交易價格、車輛效率改善、和利用生物纖維素產生能源的技術成熟與否， [5.3, 5.4]。
- 運輸型態從公路轉變為鐵路，以及轉變為內陸和沿岸船運，並從低承載轉變為高承載乘客運輸⁵³，配合土地利用、都市規劃和非機動車運輸，都能提供溫室氣體減緩機會。至於效果如何，則取決於當地狀況和政策 [5.3, 5.5]。
 - 航空業可藉由改善燃油效率來促進 CO₂ 排放之中期減緩潛力。燃油效率改善可透過多種方法來達成，包括技術、操作和空中交通管理。然而，這些改善預期只能抵銷部分航空排放量的成長。至於航空業之總體減緩潛力，尚需納入所排放之非 CO₂ 氣候衝擊影響 [5.3, 5.4]。
 - 運輸業排放減量的實現，經常是處理交通壅塞、空氣品質和能源安全之附加效益之一 [5.5]。
- 12. 新建和既有建築物之能源效率改善方案¹⁹** 可以大幅降低 CO₂ 排放量，並帶來淨經濟效益。要開發這方面潛力仍存在著許多阻礙，但其中也有很大的附加效益(高度共識；大量證據)。
- 到了 2030 年，具有淨經濟效益的措施可避免建築業中約 30%之溫室氣體推估排放量[6.4, 6.5]。
 - 節能建築物在限制 CO₂ 排放量成長的同時，也能改善室內外空氣品質、增進社會福祉和提升能源安全 [6.6, 6.7]。
 - 全世界普遍存在著建築業實現溫室氣體減量的機會。然而，多重阻礙使得此一潛力變得難以落實。這些阻礙包括技術可用性、財政、貧窮、可靠資訊的高額成本、建築設計之固有限制、和適當的政策與計劃組合 [6.7, 6.8]。
- 在開發中國家，上述阻礙的阻力更高，因此導致開發中國家更難落實建築業溫室氣體排放減量的潛力 [6.7]。
- 13. 工業之經濟潛力主要在於能源密集產業¹⁹**。現有之減緩方案均未獲得充分利用，無論在工業化國家或開發中國家(高度共識；大量證據)。
- 在開發中國家，許多工業設施都是新的，並採用最低排放量的最新技術。然而，無論在工業化國家或開發中國家，許多效能不佳的舊設施仍在運作。將這些設施汰換升級可以大幅減少排放量 [7.1, 7.3, 7.4]。
 - 資本更新速率太低、缺少財務與技術資源、和企業(尤其是中小企業)獲取與吸收技術資訊的能力有限，都是減緩方案獲得充分利用的關鍵阻礙 [7.6]。
- 14. 整體的農業措施能夠以低成本¹⁹增加土壤碳匯、減少溫室氣體排放、並為能源利用提供生物質量** (中度共識；中量證據)。
- 農業大部分的減緩潛力(不含生物能源)源自於土壤碳吸存。土壤碳吸存與永續農業有很強的綜合效應，可以普遍地降低對氣候變遷的脆弱度 [8.4, 8.5, 8.8]。
 - 儲存在土壤裡的碳很容易因為土地管理改變和氣候變遷而流失 [8.10]。
 - 在某些農業系統中，甲烷和氧化亞氮排放減量也能提供相當可觀的減緩潛力 [8.4, 8.5]。
 - 沒有普遍適用的減緩措施清單，而是需要針對個別農業系統及環境加以評估 [8.4]。
 - 來至農業殘餘物和能源專用作物的生物質量是很重要的生物能源原料，但這些生物質量對減緩的貢獻，取決於運輸及能源供應對生物能源的需求，也決定於水資源是否足夠和生產糧食及纖維作物之土地需求。廣泛利用農地生產能源所需之生物

⁵² 奧地利不能認同此表述。

⁵³ 包括鐵路、公路及海上大眾運輸和共乘制度。

質量，可能對其他土地利用產生排擠作用，也可能對環境造成正面及負面衝擊，並涉及到糧食安全問題 [8.4, 8.8]。

15. 與林業相關的減緩活動可以以低成本大幅降低來源排放量，以及透過碳匯增加 CO₂ 的排除¹⁹。這些減緩活動也可透過設計，與調適措施和永續發展產生綜合效應(高度共識；大量證據)⁵⁴。

- 約 65% 的總減緩潛力(100 美元/ tCO₂-eq 以下)位於熱帶，約 50% 的總減緩潛力可透過減少源自森林砍伐的排放量來達成 [9.4]。
- 氣候變遷會影響林業(原生林和人造林)的減緩潛力。在不同區域和次級區域，氣候變遷的影響程度與方向將會有所不同 [9.5]。
- 與森林有關的減緩方案在設計時可以與調適措施合併實施，進而在就業、產生收入、生物多樣性與集水區保育、再生能源供應與改善貧窮方面，產生可觀的附加效益 [9.5, 9.6, 9.7]。

16. 消費後的廢棄物⁵⁵造成的溫室氣體排放量佔全球排放量很小的比例⁵⁶(<5%)，但廢棄物處理部門可以低成本¹⁹對全球溫室氣體減緩產生正面貢獻，並促進永續發展(高度共識；大量證據)。

- 現有廢棄物管理措施可以有效減緩廢棄物處理業之溫室氣體排放量：一系列成熟且具環境效益的技術已經商業化，可用於減緩排放量，並提供公共衛生與安全改善、土壤保護與污染防治、和地區能源供應等附加效益 [10.3, 10.4, 10.5]。
- 藉由能源與原料節約，廢棄物減量與回收

可提供重要的間接減緩效益 [10.4]。

- 在開發中國家和正處於經濟轉型的國家中，地方資本缺乏是廢棄物和廢水管理的關鍵限制。缺乏永續性的專門技術也是一項重要阻礙 [10.6]。

17. 地質工程方案，像是直接從大氣中移除 CO₂ 的海域肥沃化(ocean fertilization)方案或將物質送入大氣頂層以遮蔽陽光的方案，大部分仍屬理論推測，並未經過證實，況且尚隱含未知副作用的風險。這些方案的可靠成本估計尚未見諸文獻(中度共識；有限證據) [11.2]。

⁵⁴ 在第 3 工作組的報告第 9 章第 15 頁中，吐瓦魯針對“低成本”提出他們的困難：「當土地之機會成本被納入考量時，森林減緩計劃的成本顯著攀升。」

⁵⁵ 工業廢棄物歸在工業部門討論。

⁵⁶ 源自廢棄物的溫室氣體包括垃圾掩埋場和廢水沼氣(甲烷)、廢水的氧化亞氮、和化石碳燃燒所產生的 CO₂。

D. 長期氣候變遷減緩 (2030 年以後)

18. 為了穩定大氣中溫室氣體濃度，排放量在到達巔峰後即須開始下降。穩定化目標的濃度越低，到達巔峰後再下降的時間即須越早。未來 20-30 年間的減緩努力，對長期是否具備達成較低穩定化目標的機會，有著重大的影響(參見表 SPM 5 和圖 SPM 8)⁵⁷ (高度共識；大量證據)。

- 近年來針對多種氣體排放減量的研究，探討了較 TAR 中更低的穩定化目標 [3.3]。
- 已評估的研究中包含一系列達成溫室氣體濃度穩定化之排放量概況⁵⁸。這些研究

⁵⁷ 第 2 段探討工業革命以來之歷史溫室氣體排放量。

⁵⁸ 就達成穩定之時間點而言，各項研究結果有所不同，但一般都在 2100 年或之後。

大多採取最低成本方法，同時納入提早及延遲排放減量探討(圖 SPM 7) [文字框 SPM 2]。表 SPM 5 概述不同的穩定化濃度類別所需之排放水準及相對應的均衡全球平均溫度增幅⁵⁹，表中使用氣候敏感性之‘最佳估計值’(關於不確定性之可能範圍，請參閱圖 SPM 8)⁶⁰。要達到較低穩定濃度及相對應的均衡溫度的水準，必須使得排放量達到巔峰的時間提前，並且需要在 2050 年以前有更大幅度的排放減量 [3.3]。

⁵⁹ 有關全球平均溫度之資訊係引自第 1 工作組 AR4 第 10.8 章。溫室氣體濃度穩定化後，便已達到這些溫度。

⁶⁰ 均衡氣候敏感度是氣候系統反應持續性輻射作用力的一個衡量標準。均衡氣候敏感度不是一項預估，其定義為 CO₂ 加倍後之全球平均地表暖化 [第 1 工作組 AR4 「決策者摘要」]。

表 SPM 5：後 TAR 穩定化情境之特徵[表 TS 2, 3.10]^{a)}

類別	輻射作用力 (W/m ²)	CO ₂ 濃度 ^{c)} (ppm)	CO ₂ 當量 濃度 ^{c)} (ppm)	工業革命以 來，全球平均 增溫(使用氣 候敏感度最佳 估計值 ^{b), c)} (°C)	CO ₂ 排放量達 到巔峰年份 ^{d)} (年)	2050 年全球 CO ₂ 排放量變 化(佔 2000 年 排放量之百分 比) ^{d)} (%)	評估該情境 之數量
I	2.5 ~ 3.0	350 ~ 400	445 ~ 490	2.0 ~ 2.4	2000 ~ 2015	-85 ~ -50	6
II	3.0 ~ 3.5	400 ~ 440	490 ~ 535	2.4 ~ 2.8	2000 ~ 2020	-60 ~ -30	18
III	3.5 ~ 4.0	440 ~ 485	535 ~ 590	2.8 ~ 3.2	2010 ~ 2030	-30 ~ +5	21
IV	4.5 ~ 5.0	485 ~ 570	590 ~ 710	3.2 ~ 4.0	2020 ~ 2060	+10 ~ +60	118
V	5.0 ~ 6.0	570 ~ 660	710 ~ 855	4.0 ~ 4.9	2050 ~ 2080	+25 ~ +85	9
VI	6.0 ~ 7.5	660 ~ 790	855 ~ 1130	4.9 ~ 6.1	2060 ~ 2090	+90 ~ +140	5
總計							177

(a) AR4 第一工作組報告中詳細評估了氣候系統對輻射作用力及其回饋的反應。碳循環與氣候變遷之間的回饋關係影響大氣中 CO₂ 濃度特定穩定化目標所需要之減緩作為。這些回饋預料將使得氣候系統變暖時仍停留在大氣中的人為排放量比例增加。因此，為達到特定穩定化目標所需要的排放減量(見於本報告所評估之減緩研究)可能被低估。

(b) 氣候敏感度之最佳估計值為 3°C [第一工作小組 SPM]

(c) 值得注意的是，由於氣候系統的慣性，均衡全球平均溫度與溫室氣體濃度達到穩定化時之預估全球平均溫度有別。對於經過評估的大多數情境而言，溫室氣體濃度達到穩定化的年份將介於 2100~2150 年之間。

(d) 相當於 TAR 以後情境分佈之第 15 至第 85 百分位數的範圍。為了使多種氣體情境能夠與僅有 CO₂ 情境做比較，此處以 CO₂ 排放量的方式顯示。

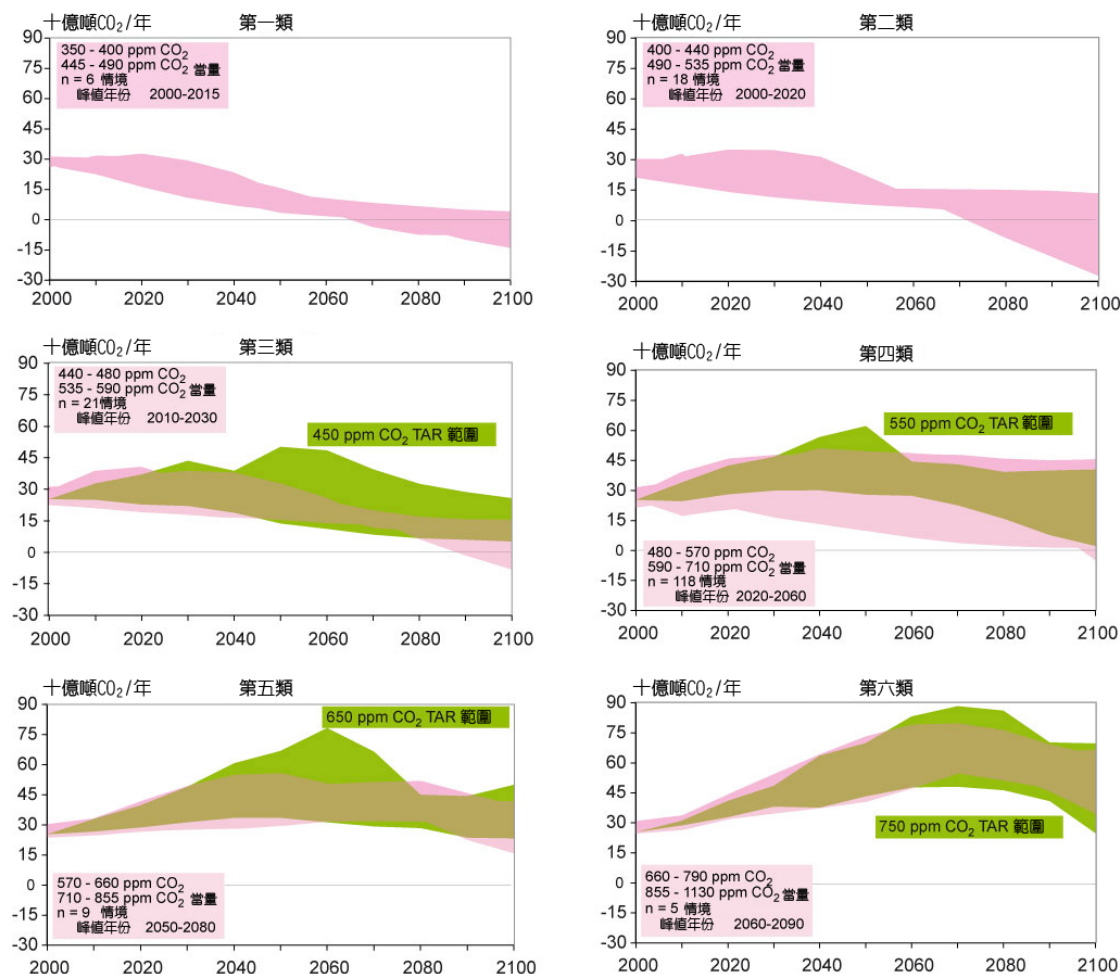


圖 SPM 7：穩定化目標各類型減緩情境之排放路徑(emissions pathways) (第一到六類別之定義如圖中方格所示)。此排放路徑僅為 CO₂ 之排放。淡棕色部分顯示後 TAR 時期排放情境之 CO₂ 排放情形。綠色部分顯示超過 80 個 TAR 穩定化情境的範圍。由於部門與產業涵蓋範圍的差異，模式間的基準年排放量可能不同。為達到較低的穩定化目標，某些情境的包含採用碳捕集與封存技術於生質能製造，以減少大氣中 CO₂ 排放量(意即負排放量)[圖 3.17]。

- 19. 透過現有技術與未來技術(預期在未來幾十年內商業化)的組合,可達到經評估之穩定化目標範圍。此一推論基於以下的假設：適當而有效的誘因辦法有利於技術開發、取得、實施和擴散,並解決相關的阻礙(高度共識；大量證據)。**
- 不同技術對穩定化所需排放減量之效果,將因時間、地區及穩定化目標而異。
 - 能源效率提升在大多數地區和時段之許多情境中都扮演著關鍵性角色。
 - 就較低的穩定化目標而言,情境比較

強調低碳能源(如再生能源與核能)和 CO₂ 捕集與封存技術(CCS)的使用。在這些情境中,能源供應之碳密集度和整體經濟的改善,需要比過去快得多。

- 土地利用及森林減緩選項中納入非 CO₂ 氣體及 CO₂, 為達成穩定化提供更大的彈性和成本有效性。新的生質能可能顯著提升再生能源在減緩選項組合中的比重。

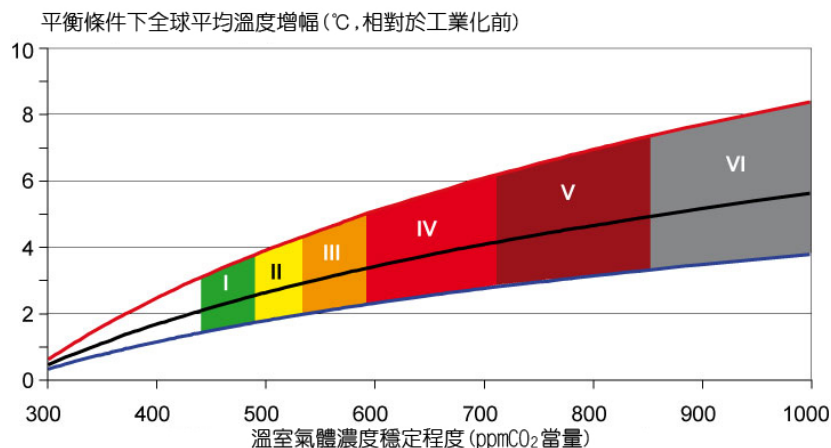


圖 SPM 8：圖 SPM 7 之穩定化情境類別(彩色帶狀圖形)及其與均衡全球平均溫度變化(高於工業革命前)之關係。圖中採用的是 (i) 氣候敏感度“最佳估計值”(3°C)(中間黑線)；(ii) 氣候敏感度可能範圍之上界(4.5°C)(上方紅線)；(iii) 氣候敏感度可能範圍之下界(2°C)(下方藍線)。彩色陰影部分顯示大氣中溫室氣體穩定化之濃度範圍，對應於圖 SPM 7 所舉出之穩定化情境類別一到六。圖中資料引自第一工作組 AR4 第 10.8 章。

- 關於減緩選項組合之範例，請參見圖 SPM 9 [3.3, 3.4]。
- 如果要達到穩定化和降低成本的目標，將有必要透過政府與民間的研發與展示 (RD&D)，投資並在世界發展低溫室氣體排放技術和技術改良。在未來幾十年間，

穩定化目標越低(特別是低於 550 ppm CO₂-eq 時)，更有效率的研發與展示 (RD&D) 努力和投資就越有必要。這表示妨礙新技術開發、取得、實施和擴散的阻礙必須有效因應。

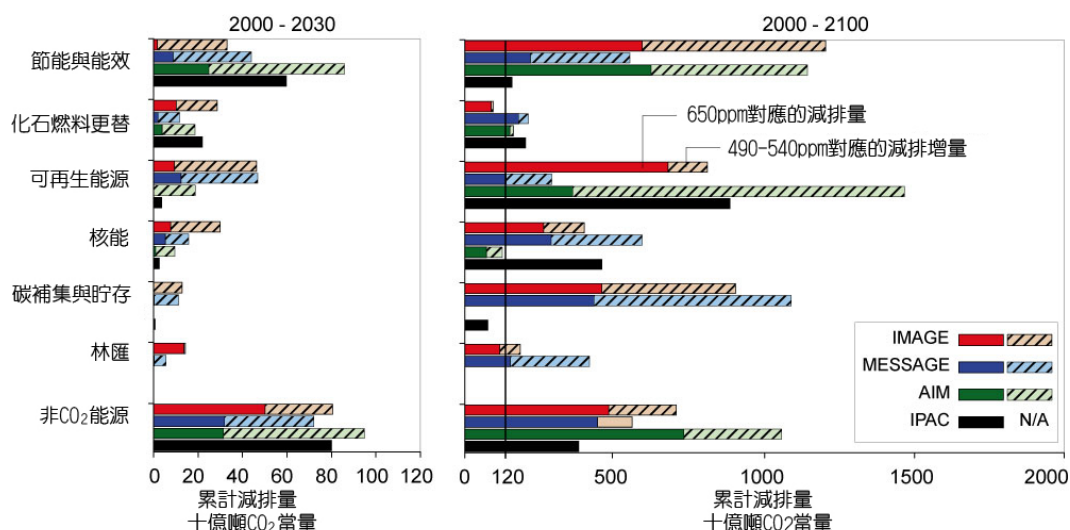


圖 SPM 9：2000~2030 年(左手邊)和 2000~2100 年(右手邊)各減緩措施之累積排放減量。本圖顯示四種模式之示範性情境(AIM、IMAGE、IPAC 和 MESSAGE)，分別以 490~540 ppm CO₂-eq 和 650 ppm CO₂-eq 為目標。深色柱條表示以 650 ppm CO₂-eq 為目標之排放減量，淺色柱條表示達到 490~540 ppm CO₂-eq 目標之額外排放減量。需注意的是，某些模式未考慮透過執行森林碳匯(AIM 和 IPAC)或 CCS(AIM)來達到排放減緩。同時，低碳能源選項佔總能源供應量的比例決定於這些選項是否被納入基線中。CCS 包括生物質量的碳捕集與封存。森林碳匯包括減少砍伐森林所產生的排放量 [圖 3.23]。

- 適當的誘因有助於因應這些阻礙和達到廣泛技術組合的目標 [2.7, 3.3, 3.4, 3.6, 4.3, 4.4, 4.6]。
- 20. 至 2050 年⁶¹，要促使 CO₂-eq 減緩至 710~445 ppm 的多種氣體穩定化排放目標，其全球平均總體經濟的成本為 GDP 的正 1%（成長）到負 5.5%（減少）之間（參見表 SPM 6）。對特定國家及產業而言，相關成本與全球平均值有很大的差異（關於方法論和假設條件，請參見文字框 SPM 3；關於負成本說明，請參見第 5 段）（高度共識；中量證據）。**
- 21. 隨著時間設定適當全球減緩目標的決策，需要反覆地實施風險管理程序（包括減緩和調適措施），考慮實際與避免的氣候變遷損害、附加效益、永續、社會公平、和面對風險的態度。溫室氣體減緩之規模與時機選擇需考慮在當下加速排放減量之經濟成本，與延宕排放減量之中/長期氣候風險兩者之平衡（高度共識；大量證據）。**
- 有限與初步的減緩成本與效益綜合分析結果顯示，這些成本與效益的大小可以互相比較，但到目前為止，尚無法確定一種效益大於成本的排放路徑或穩定化目標 [3.5]。
 - 針對不同減緩路徑的經濟成本與效益之綜合評估顯示，經濟上最理想的減緩程度和時機，取決於氣候變遷損害成本曲線之形狀與特徵假設的不確定性。此一不確定之示例如下：
 - 如果氣候變遷損害成本曲線緩慢而規律地上揚，則前景看好（增加及時調適的潛力），稍晚且較寬鬆的減緩措施在經濟上比較可行。
 - 反之，如果氣候變遷損害成本曲線陡然上升或包含非線性狀況（如脆弱度的門檻值或含有機率低的災難性事件），則較早且較嚴格的減緩措施比較具經濟可行性 [3.6]。
 - 氣候敏感度是達到特定溫度之減緩情境的關鍵不確定性。研究顯示，氣候敏感度較高時，減緩措施的時機與嚴格程度較低氣候敏感度時，適合更早且更嚴格的減緩 [3.5, 3.6]。
 - 一旦排放減量措施延宕，投資往往鎖定在比較排放密集的基礎建設和發展路徑。如此將嚴重限制達到較低穩定化目標的機會（如表 SPM 5 所示），並使得招致更嚴重氣候變遷衝擊的風險升高 [3.4, 3.1, 3.5, 3.6]。

⁶¹ 2030 年之成本預估見於第 5 段。

表 SPM 6：相對於基線，2050 年朝向不同長期穩定化目標^{a)}最低成本曲線之全球總體經濟成本預估 [3.3, 13.3]

穩定化目標 (ppm CO ₂ -eq)	GDP 減少的中位數 ^{b)} (%)	GDP 減少範圍 ^{b), c)} (%)	平均 GDP 年成長率減少 ^{b), d)} (百分點)
590 ~ 710	0.5	-1 ~ 2	< 0.05
535 ~ 590	1.3	微負 ~ 4	< 0.1
445 ~ 535 ^{e)}	無資料	< 5.5	< 0.12

a) 相當於提供 GDP 數據之所有基線及減緩情境之完整文獻。

b) 此為以全球 GDP 為基礎之市場匯率。

c) 既有分析資料的範圍為中位數和第 10 及第 90 百分位數。

d) GDP 年成長率減少之計算係以從現在到 2050 年期間之平均減少為基礎，用此平均減少代表 2050 年的 GDP 年成長率減少。

e) 研究數量相當少，且通常採用低基線。高排放量基線通常導致高成本。

E. 減緩氣候變遷之政策、措施與工具

22. 目前已有各式各樣的國家政策和工具，可供政府用以設計減緩行動誘因。這些政策和工具之適用性取決於國家情勢及對政策與工具相互影響的瞭解。但不同國家和產業之執行經驗顯示，任何既有政策和工具都有其優缺點(高度共識；大量證據)。

- 評估政策與工具有四項主要標準：環境有效性、成本有效性、分配效果(包括社會公平)、和制度可行性 [13.2]。
- 所有工具在設計上可能有良好或不佳和嚴格或寬鬆之別。此外，監測對所有工具來說，都是改善執行的重要問題。有關政策執行績效之一般發現如下 [7.9, 12.2, 13.2]：
 - 將氣候政策整合於更廣泛的(國家)發展政策，使得執行政策與克服阻礙變得較為容易。
 - 訂定規範與標準通常能產生一些有關排放量的確定性。當資訊或其他阻礙使得生產者和消費者無法對價格信號做出反應時，規範與標準可能比其他工具更好用。然而，規範與標準可能不利於誘發創新和更先進的技術。
 - 課稅和收費可以為碳排放定出一個價格，但它們無法保證達成特定排放量。文獻發現，課稅是內部化溫室氣體排放成本的有效方法。
 - 可交易碳排放許可證有助於建立一個碳交易價格。可容許的排放量決定其環境有效性，碳排放許可證的分派則可能引發分配後果。碳交易價格的波動使得估算遵從碳排放許可證的總成本變得非常困難。
 - 政府經常採用財務誘因(補貼和租稅抵減)來刺激新技術的開發與擴散。雖然財務誘因的經濟成本通常比前

文提及的工具來得高，但它們對於克服阻礙經常具有關鍵重要性。

- 產業與政府之間的自願減量協議具有政治上的吸引力，有助於提高利害關係人的意識，並在許多國家政策發展中扮演角色。大多數自願減量協議相對於沒有減量措施的情境並未達到顯著的排放減量。然而，在少數國家中，最近的某些自願減量協議已加速最佳可行技術之應用，並促成有效的排放減量。
 - 資訊工具(如宣導活動)可能藉著提倡告知選項及促成行為改變而對環境品質發揮正面影響。然而，資訊工具對排放量的影響目前尚未實際計量過。
 - RD&D 可能刺激技術進步、降低成本、和促使朝向穩定化前進。
 - 某些公司行號、地方及地區當局、非政府組織(NGOs)和民間團體已開始採取各式各樣的自願減量行動。這些自願減量行動可能限制溫室氣體排放量、刺激創新政策、和鼓勵新技術的開發。上述單位如果單獨行動，其對全國或區域排放量的影響通常很有限[13.4]。
 - 各產業/部門實施國家政策與工具所學到的經驗顯示於表 SPM 7。
23. 提供實際或隱含碳交易價格的政策，可能為生產者和消費者創造誘因，鼓勵他們投資於低溫室氣體產品、技術和製程。這類政策可能包括經濟誘因工具、政府補助和規範(高度共識；大量證據)。
- 有效的碳價格信號可能顯著地落實所有產業/部門之減緩潛力 [11.3, 13.2]。

表 SPM 7：至少在若干國家案例中已證實在各自產業/部門中顯示出具有環境效果之部門政策、措施與工具。

產業/部門	顯示出具有環境效益之政策、措施和方法 ^{a)}	重要限制或機會
能源供應業 [4.5]	降低化石燃料補貼 課徵化石燃料稅或碳費	既得利益者的抵制可能增加執行困難度。
	再生能源技術之優惠收購價格 (生產或利用)再生能源(比例或數量) 義務 (再生能源)生產者補貼	可能適合為低排放技術創造市場
運輸業 [5.5]	針對道路運輸強制實施燃料效率標準、生質燃料混合、和 CO ₂ 排放標準。	僅涵蓋部分車輛可能限制效果。
	課徵車輛購買、登記、使用、機動車燃料、道路、和停車等稅/費。	對於收入較高族群，效果可能打折。
	透過土地利用規範和基礎建設規劃，影響機動性需求。 投資於具吸引力之公共運輸設施及非機動化運輸方式。	特別適合正在興建運輸系統的國家。
建築業 [6.8]	(家電)設備標準與標示。 建築法規與認證。	需要定期修訂標準 對新建築物具吸引力。 執行上可能很困難。
	需求面管理計劃。 公部門領導計劃，包括採購。 能源服務公司獎勵辦法(ESCOs)	需要訂定規範，公用事業可能獲利。 政府採購可能擴大節能產品需求。 成功因素：利用第三方融資的機會。
工業 [7.9]	提供(能源效率或排放量等)基準資訊。 (能源效率等)績效標準。 補貼；租稅抵減。	可能適合刺激採用新技術；考量國際競爭力，國家政策之穩定性非常重要。
	可交易碳排放許可證。	可預測的分配機制和穩定的價格信號對於投資很重要。
	自願減量協議。	成功因素包括：清楚的目標、基線情境、由第三方參協議與設計、檢討和正式監測規範、政府與產業界密切合作。
農業 [8.6, 8.7, 8.8]	財務誘因和規範改善土地管理、保持土壤中含碳量、有效使用肥料及灌溉。	可能鼓勵與永續發展和降低氣候變遷脆弱度之綜合效應，進而克服執行上的阻礙。
林業/森林 [9.6]	擴大森林面積、減少森林砍伐、和維持與管理森林之財務誘因(國內和國際)。	限制包括缺乏資本投資和土地屬權問題。 可能有助於減緩貧窮。
	土地利用規範與規範執行。	
廢棄物管理 [10.5]	改善廢棄物和廢水管理之財務誘因。	可能刺激技術擴散。
	(產製)再生能源誘因或義務。	本地低成本燃料之可利用性。
	廢棄物管理規定。	在全國層級搭配執行策略，大多數均能有效施行。

a) 政府在低排放技術方面之 RD&D 投資已證明在每個產業/部門均很有效。

- 模式模擬研究(參見文字框 SPM 3)顯示碳交易價格到 2030 年時可能漲至 20~80 美元/ tCO₂-eq, 到了 2050 年, 則可能漲至 30~155 美元/ tCO₂-eq。此價格預估與 2100 年達到 550 ppm CO₂-eq 穩定化所需碳價格預估一致。在相同穩定化目標下, TAR 以後的研究(納入考慮誘發技術變革)將 2030 年和 2050 年的碳交易價格預估範圍分別降低為 5~65 美元/ tCO₂-eq 和 15~130 美元/ tCO₂-eq [3.3, 11.4, 11.5]。
 - 大多數由上而下模式(和若干 2050 年由下而上的評估)顯示, 20~50 美元/tCO₂-eq 的實際或隱含碳交易價格(數十年的維持或上漲)可能促使發電業到了 2050 年成為低溫室氣體排放產業, 並使得最終用途產業/部門中的許多減緩選項具有經濟吸引力 [4.4, 11.6]。
 - 實施減緩選項的阻礙形形色色, 並因國家和產業而互異。這些阻礙可能涉及財政、技術、制度、資訊和行為等層面 [4.5, 5.5, 6.7, 7.6, 8.6, 9.6, 10.5]。
- 24. 政府透過財務補貼、租稅抵減、制定標準和創造市場所提供的支援, 對於有效的技術開發、創新與採用非常重要。對開發中國家技術轉移取決於促成條件和資金籌措(高度共識; 大量證據)。**
- 政府的 RD&D 投資利益大於民間產業所獲得的利益, 強化政府支持 RD&D 的正當性。
 - 近 20 年來, 政府對大多數能源研究計劃的資助(按實際絕對價值計算)不是持平就是削減(即使 UNFCCC 生效後亦如此), 現在只有 1980 年時一半的水準 [2.7, 3.4, 4.5, 11.5, 13.2]。
 - 政府在提供適當的促成環境方面, 扮演著關鍵性的支援角色, 譬如建立制度、政
- 策、法律及管理的架構⁶², 以維持不斷的投資和促成有效的技術轉移 – 缺少了政府的角色, 想要達到顯著的排放減量, 將會變得非常困難。為低碳技術的遞增成本調度資金非常重要。國際技術協議可能強化知識基礎建設 [13.3]。
- 附錄 1 國家的行動所促成的對開發中國家技術轉移, 其潛在利益可能很可觀, 但目前沒有可靠的估計值可資佐證 [11.7]。
 - 透過 CDM (清潔發展機制) 計劃為開發中國家帶來的資金流, 具有達到每年約數十億美元的潛力⁶³。此一金額比透過全球環境基金(GEF)帶來的資金流還要高, 與能源導向開發援助的資金流相當, 但至少比外國直接投資總資金流少一個量級。透過 CDM、GEF 和開發援助計劃為技術轉移帶來的資金流, 到目前為止仍很有限, 且在地理上分配不均 [12.3, 13.3]。
- 25. UNFCCC 和京都議定書的重要成就包括: 建立氣候問題全球反應機制、刺激一系列國家政策的制定、創立國際碳交易市場、和建立可能替未來減緩努力奠定基礎的新機制(高度共識; 大量證據)。**
- 相較於全球排放量, 京都議定書第一承諾期的衝擊預估將會很有限, 其對參與之附錄 B 國家的經濟衝擊預估將小於 TAR 所提出的衝擊。TAR 預估, 附錄 B 國家間沒有碳排放交易時, 2012 年的經濟衝擊為低於 GDP 0.2~2%; 有碳排放交易時, 則為低於 GDP 0.1~1.1% [1.4, 11.4, 13.3]。
- 26. 文獻中提出許多透過國際合作達成全球溫室氣體排放減量的選項。文獻同時建議, 成功的協議應具有環境有效性、成本有效性、分配考量與公平兼顧、和制度可**

⁶² 參見 IPCC“技術轉移之方法與技術問題特別報告”。

⁶³ 高度取決於在 4~26 美元/tCO₂-eq 間波動的市場價格, 此金額是以約 1000 個已提出或已登錄的 CDM 計劃為基礎, 在 2012 年以前, 可能產生超過 13 億排放減量額度。

行性(高度共識；大量證據)。

- 在排放減量方面進行更廣泛的合作，將有助於降低達成既定減緩目標之全球成本，並改善環境有效性 [13.3]。
- 改善市場機制並擴大其範圍(譬如排放量交易、共同減量 (Joint Implementation) 和 CDM)，可能降低整體減緩成本 [13.3]。
- 因應氣候變遷的努力可能包括各式各樣的元素，譬如排放量目標、產業、地方、亞區和地區行動、RD&D 計劃、採行共同政策、採取開發導向行動、和籌資工具。這些元素可以採取整合方式實施，但量化比較不同國家在其中的貢獻可能非常複雜而耗費資源 [13.3]。
- 就行動發起時間、參與國家和行動的內容而言，參與國家可能採取的作為各不相同。行動可能具制式的或非制式的，可能包括固定或動態目標，其參與性質可能是靜態的，也可能隨著時間而改變 [13.3]。

F. 永續發展與氣候變遷減緩

27. 藉著改變發展路徑而使發展更具永續性，這可能對氣候變遷減緩產生重要貢獻，但在執行上可能需要相當資源來克服多種阻礙。學界對於在各個產業中選擇和執行減緩選項之可能性的瞭解日增，可望落實多種減緩選項之綜合效應，並避免與永續發展之其他層面發生衝突(高度共識；大量證據)。
- 無論減緩措施的規模如何，調適措施都是不可避免的 [1.2]。
 - 因應氣候變遷可被視為永續發展政策之不可或缺的元素。國家情勢和機構實力決定發展政策對溫室氣體排放量的影響。發展路徑可能因涉及政府、產業及公民社會之政府與民間決策過程相互影響而改變。政府與民間決策中，有許多在傳統上不被視為氣候政策。當各單位得以公平參

與，且有分權化決策過程相互協調時，這樣的決策過程是最有效的 [2.2, 3.3, 12.2]。

- 氣候變遷及其他永續發展政策經常是相輔相成的，但並非始終如此。譬如，越來越多的證據顯示，有關總體經濟政策、農業政策、多邊開發銀行放款、保險實務、電力市場改革、能源安全和森林保育的決策，雖然經常不被視為氣候相關政策，但可能顯著降低排放量。在另一方面，有關改善農村使用現代能源的決策，對全球溫室氣體排放量的影響可能很有限 [12.2]。
- 有關能源效率與再生能源之氣候變遷政策經常具有經濟效益，並有助於改善能源安全和降低本地污染物排放量。其他能源供應減緩選項可以透過設計同時獲致永續發展效益，譬如避免本地人口遷移、創造就業機會、和健康效益 [4.5,12.3]。
- 減少自然棲地流失及森林砍伐可能帶來明顯的生物多樣性、土壤和水資源保育效益，並以具社會和經濟永續性的方式為之。造林和生質能作物種植有助於復原退化土地、管理水逕流、蓄留土壤碳、和嘉惠農村經濟。但如果設計不良，造林和生質能種植也可能與糧食生產爭地，並對生物多樣性造成負面影響 [9.7, 12.3]。
- 在廢棄物管理、運輸和建築產業中，透過減緩行動再強化永續發展的可能性也很高 [5.4, 6.6, 10.5, 12.3]。
- 讓發展更具永續性可能強化減緩和調適能力，並降低排放量及氣候變遷脆弱度。減緩與調適可能發揮綜合效應，譬如妥善設計的生物質量生產、保護區形成、土地管理、建築和林業部門的能源使用。然而，有時候也需要做取捨，譬如有關調適因應對策之能源消耗增加，可能造成溫室氣體排放量增加 [2.5, 3.5, 4.5, 6.9, 7.8, 8.5, 9.5, 11.9, 12.1]。

G. 知識差距

28. 關於氣候變遷的減緩，目前在某些層面仍存在相當程度的知識差距，開發中國家尤其如此。彌補這些差距所進行的額外研究，可進一步降低不確定性，並增進有關氣候變遷減緩的決策 [TS.14]。

文字框 1：不確定性表述

不確定性是任何評估之固有特性。AR4 針對報告中重要陳述說明了其不確定性。

三個工作組的報告中所涉及之學科間的根本差異，使得採用共同方法變得不切實際。“氣候變遷 2007 - 物理科學基礎”採用的“可能性”方法，以及“氣候變遷 2007 - 衝擊、調適與脆弱度”採用的“信心程度”及“可能性”方法，被認為不適合用來處理這篇有關氣候變遷減緩的報告中所涉及之特定不確定性，因為這篇報告中考慮的是人的選擇。

這篇報告利用一個二維等級表來闡明不確定性。等級表之製作係根據第 3 工作組作者群針對特定發現在文獻中的一致程度(共識程度)，以及該發現所依據之獨立來源(符合 IPCC 規則)之數量與品質(證據數量⁶⁴)所做的專家判斷(參見表 SPM.E.1)。等級表並非量化方法，故不可能導出有關不確定性之機率。

表 SPM.E.1：不確定性之質化定義

共識程度 (針對特定發現)	↑	高度共識 有限證據	高度共識 中量證據	高度共識 大量證據
		中度共識 有限證據	中度共識 中量證據	中度共識 大量證據
		低度共識 有限證據	低度共識 中量證據	低度共識 大量證據
		證據數量 ³³ (獨立來源之數量與品質) →		

由於未來本來就無法確定，因此這篇報告廣泛利用了各種情境，亦即不同未來狀況之內在的一致性想像，但這些情境不是未來狀況的預測。

⁶⁴ 報告中所稱“證據”定義為：指出一項看法或論點是否真實的資訊或跡象。參見詞彙表。

**Climate Change 2007 :
Synthesis Report**

**IPCC 氣候變遷 2007：綜合報告
決策者摘要**

初稿作者群：

Lenny Bernstein, Peter Bosch, Osvaldo Canziani, Zhenlin Chen, Renate Christ, Ogunlade Davidson, William Hare, Saleemul Huq, David Karoly, Vladimir Kattsov, Zbigniew Kundzewicz, Jian Liu, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Bettina Menne, Bert Metz, Monirul Mirza, Neville Nicholls, Leonard Nurse, Rajendra Pachauri, Jean Palutikof, Martin Parry, Dahe Qin, Nijavalli Ravindranath, Andy Reisinger, Jiawen Ren, Keywan Riahi, Cynthia Rosenzweig, Matilde Rusticucci, Stephen Schneider, Youba Sokona, Susan Solomon, Peter Stott, Ronald Stouffer, Taishi Sugiyama, Rob Swart, Dennis Tirpak, Coleen Vogel, Gary Yohe

國家災害防救科技中心氣候變遷專案工作小組 編譯

A. 前言

綜合報告係根據 IPCC 三個工作小組之評估報告編纂而成。綜合報告提供有關氣候變遷之綜合觀點，做為 IPCC 第四次評估報告之總結。

「決策者摘要」中所涵蓋主題之完整敘述，可參見綜合報告及三個工作小組之原始報告。

B. 觀測到的氣候變遷及其影響

氣候系統的暖化已經很明確，透過觀測資料，全球平均氣溫及海溫升高、雪冰普遍融化和全球平均海平面上升，都已經非常明顯(圖 SPM.1)。{1.1}

過去 12 年裡(1995~2006)有 11 年名列於儀器記錄的地表溫度中最暖的 12 年(1850 年以來)。百年線性趨勢(1906~2005)顯示 0.74 [0.56~0.92]°C 增溫⁶⁵，高於第三次評估報告(TAR)中相對時間(1901~2000 年)的 0.6 [0.4~0.8]°C 增溫(圖 SPM.1)。溫度上升現象遍及整個地球，北半球高緯度地區的上升幅度較大。陸地地區的暖化速度快於海洋(圖 SPM.2, SPM.4)。{1.1, 1.2}

海平面上升與暖化一致(圖 SPM.1)。1961 年以來，全球平均海平面以平均每年 1.8 mm [1.3~2.3]的速度上升，1993 年以來的平均上升速率則為每年 3.1 mm [2.4~3.8]，其促成因素包括熱膨脹及冰河、冰帽和極地冰原融化。至於 1993~2003 年間海平面上升速率較快，反映的是十年變化或較長期的增快趨勢，目前尚無法確定。{1.1}

觀測到的雪和冰的廣度縮小亦與暖化一致(圖 SPM.1)。1978 年以來的衛星觀測資料顯示，北極海冰年均廣度每十年縮小 2.7% [2.1~3.3]，夏季的縮小速度較快，每十年縮小 7.4% [5.0~9.8]。平均而言，南北半球之山岳冰河與積雪均已減少。{1.1}

1900 ~ 2005 年期間，北美洲和南美洲東部地區、歐洲北部地區及亞洲北部和中部地區降水量大幅增加。薩哈爾(Sahel)、地中海、非洲南部及部分南亞地區的降水量則減少。全球而言，1970 年代以來，受乾旱影響地區可能⁶⁶已經增加。{1.1}

過去 50 年期間，大多數陸地地區寒冷的白晝與夜晚及嚴寒的發生頻率非常可能已經減少，而炎熱的白晝與夜晚的發生頻率則非常可能已經增加；大多數陸地地區熱浪的發生頻率和大多數地區豪大雨事件的發生頻率可能已經增加，且 1975 年以來，全球極端高海面發生率可能已經增加⁶⁷。{1.1}

觀測到的證據顯示，大約自 1970 年以來，北大西洋強烈熱帶氣旋活動增加，其他地區增加的證據則很有限。熱帶氣旋每年發生次數並無明顯趨勢。要確定熱帶氣旋活動的長期趨勢非常困難，尤其是在 1970 年以前。{1.1}

20 世紀下半葉，北半球平均溫度非常可能較過去 500 年內任何其他 50 年期間都來得高，並可能是過去至少 1300 年以來平均溫度最高的 50 年。{1.1}

各大洲及多數海域觀測到的證據顯示⁶⁸，許多自然系統都已受到地區性氣候變遷的影響，特別是溫度上升。{1.2}

科學界高度確信，雪原、冰原和凍原的變化，已經導致冰湖的數量與面積增加，高山及其他永久凍土地區地面不穩定性日益嚴重，以及某些北極和南極生態系統發生變化。{1.2} 科學界高度確信，某些水文系統已經發生變化，包括許多冰川及雪河流量增加和春季洪峰提早，以及許多地區的湖泊及河流暖化，導致熱結構和水質均受到影響。{1.2}

在陸地生態系統中，科學界非常確信，春

⁶⁵ 中括弧內的數字為最佳估計值之 90% 不確定性區間。換言之，結果數值高於或低於中括弧內所列範圍之估計可能性各為 5%。不確定性區間不必然與相對之最佳估計值對稱。

⁶⁶ 斜體字代表標準化的不確定性和信心程度表述。相關術語之說明見於綜合報告前言中的文字框-“不確定性表述”。

⁶⁷ 海嘯除外，因為海嘯是不氣候變遷所造成。極端高海面取決於平均海平面和地區天氣系統。此處之定義為觀測站在已知參考期內所觀測海平面之時均值中最高的 1%。

⁶⁸ 主要根據 1970 年以後的資料集。

季氣候事件之時機提前和動植物物種分佈區朝極地和北方遷移，都與近年來的暖化有關。在某些海洋和淡水系統中，科學界高度確信，海藻、浮游生物和魚類之分佈範圍及豐度改變，都與水溫上升和覆冰量、鹽度、含氧量及循環之相關變化有關。{1.2}

在源自 75 項研究超過 29,000 筆顯示自然及生物系統重大變遷之觀測資料系列中，89% 以上與推估的暖化反應改變方向一致(圖 SPM.2)。然而，觀測到的氣候變遷資料及相關文獻，仍然明顯缺乏地理平衡性，開發中國家的相關資料明顯不足。{1.2, 1.3}

科學界中度確信，地區性氣候變遷對自然及人類環境之其他影響正逐漸浮現，只是調適及非氣候驅使因素使得許多影響都很難辨別。{1.2} 溫度上升所造成之影響包括：{1.2}

- 在北半球較高緯度地區對農業及林業管理的影響，譬如春季作物播種提早和森林干擾狀況因火災及蟲害而改變。
- 對人類健康的影響，譬如歐洲熱浪導致的死亡人數、某些地區的傳染病媒介的變化、和北半球高/中緯度地區的致敏花粉。
- 對北極和低海拔山區的人類活動影響，如在冰雪上狩獵或旅行和山上運動。

溫度、海平面高度和北半球積雪的變化

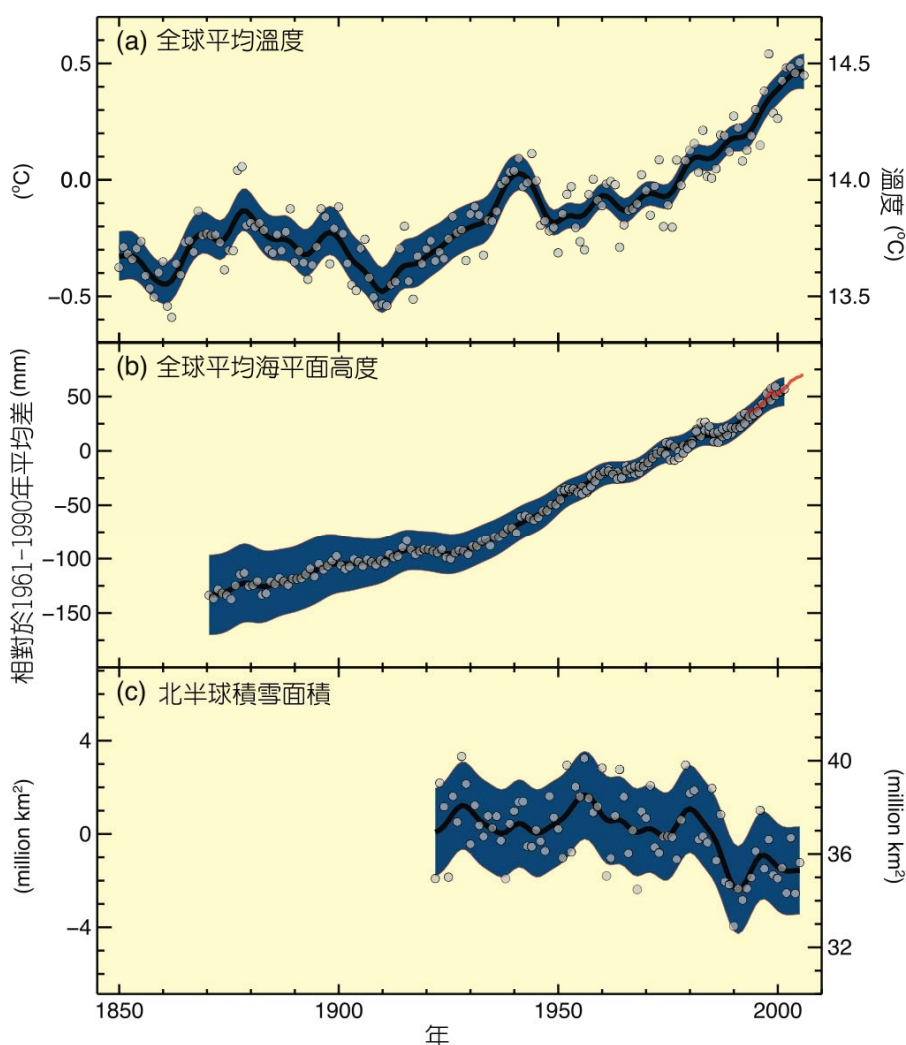


圖 SPM.1 觀測之(a)全球平均地表溫度、(b)全球平均海平面升高(根據潮位測站數據(藍色)和人造衛星數據(紅色))、和(c)北半球 3~4 月積雪面積變化。所有變化均為對照於 1961~1990 期間之均值。平滑曲線代表 10 年均值，圓圈則顯示年均值。陰影部分為根據已知不確定性綜合分析(a 和 b)及時間序列(c)估計之不確定性區間。{圖 1.1}

自然與生物系統變遷及 1970~2004 年地表溫度變化

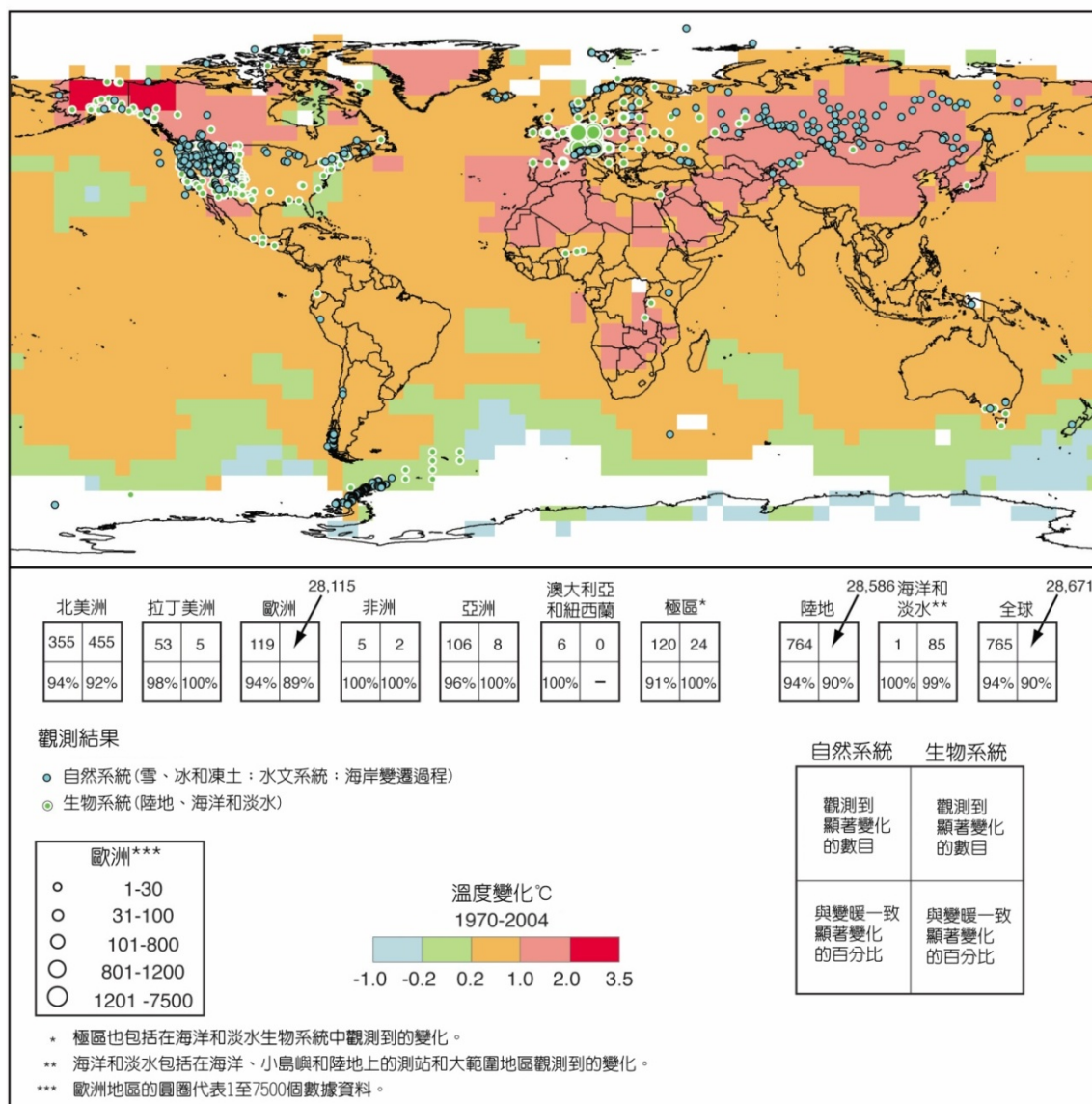


圖 SPM.2 觀測到具有顯著變化之自然系統(雪、冰、凍土、水文及海岸變遷過程)和生物系統(陸地、海洋和淡水生物系統)發生的地區，以及地表氣溫在 1970~2004 年間的變化。圖中資料係從 577 項研究中約 80,000 筆資料系列中選出約 29,000 筆資料系列的資料子集。選出的資料系列滿足以下標準：(1) 系列截止時間在 1990 年之後；(2) 至少涵蓋 20 年期間；(3) 顯示任何重大的變化(在個別研究評估中，不論其改變方向是否與預估的暖化反應一致)。這些約 29,000 筆選出的資料系列係源自近 75 項研究(其中約 70 項是 TAR 發表後的新研究)，其中約 28,000 筆源自於歐洲的研究。白色區域沒有足夠的氣候觀測資料可供估計溫度趨勢。2 x 2 方格顯示下列地區具顯著變化之資料系列總數(上列)，以及與暖化反應一致的資料系列百分比(下列)：(i) 大陸地區：北美洲(NAM)、拉丁美洲(LA)、歐洲(EUR)、非洲(AFR)、亞洲(AS)、紐澳(ANZ)和極地(PR)；(ii) 全球規模：陸地(TER)、海洋與淡水(MFW)和全球。七個大陸地區(北美洲、拉丁美洲、歐洲、非洲、亞洲、紐澳、極地)的研究總數與全球(GLO)研究總數目不相等，那是因為極地以外之大陸地區之研究總數並未包含與 MFW 系統相關之研究{圖 1.2}

C. 變遷的致因

溫室氣體(GHGs)及氣溶膠在大氣中的含量、地表特徵和太陽輻射的變化，改變氣候系統的能量平衡。

工業革命以來，全球溫室氣體排放已經增加許多，1970~2004 年間，增幅高達 70% (圖 SPM.3)⁶⁹。{2.1}

二氧化碳(CO₂)是最重要的溫室氣體。1970~2004 年間二氧化碳年排放增加 80%。供應每單位能源之二氧化碳排放量的長期下降趨勢，從 2000 年開始逆轉。{2.1}

根據數千年來的冰芯量測推斷，人類活動造成地球大氣中二氧化碳、甲烷和氧化亞氮濃度自 1750 年以來明顯升高，如今已遠超過工業革命前之濃度值。{2.2}

2005 年的大氣二氧化碳(379 ppm)和甲烷(1774 ppb)濃度顯然已超出過去 65 萬年之濃度自然變化範圍。大氣中二氧化碳濃度增加的主因為化石燃料的使用，土地利用的改變也是主

⁶⁹ 僅包括排放量在 UNFCCC 監控下之二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、氫碳化合物(HFCs)、全氟化物(PFCs)、及六氟化硫(SF₆)。這些溫室氣體均根據其各別之 100 年全球暖化潛勢衡量，所採用數值與根據 UNFCCC 通報之數值一致。

因，但重要性較低。觀測的甲烷濃度增加的主因*非常可能*為農業和化石燃料的使用。1990 年代初期以來，大氣中甲烷濃度成長率已經下降，這點與該時期總排放量(人類活動和自然來源排放量之總和)幾乎維持不變的事實一致。大氣中氧化亞氮濃度增加的主因為農業。{2.2}

科學界*非常確信*，1750 年以來人類活動的淨效應為暖化⁷⁰。{2.2}

20 世紀中期以來觀測到的全球平均溫度上升，非常可能是人為溫室氣體濃度增加所致⁷¹。平均過去 50 年期間，各大洲都可能已經受到顯著的人為暖化影響(南極洲除外) (圖 SPM.4)。{2.4}

過去 50 年間，太陽和火山作用力的總和*可能*已經產生冷卻效應。觀測之暖化形態及其改變僅以包含人為作用力之模式加以模擬。在較短的時間尺度中，想要模擬和歸因觀測到的溫度變化仍然很困難。{2.4}

⁷⁰ 溫室氣體增加傾向於暖化地表，而氣溶膠增加則傾向於冷卻地表。工業革命以來人類活動的淨效應為暖化(+1.6 [+0.6 to +2.4]W/m²)。相較之下，太陽輻射的改變估計已造成些許暖化效應(+0.12 [+0.06 to +0.30]W/m²)。

⁷¹ 其餘的不確定性考量係以當前的方法論為基礎。

全球人為溫室氣體排放量

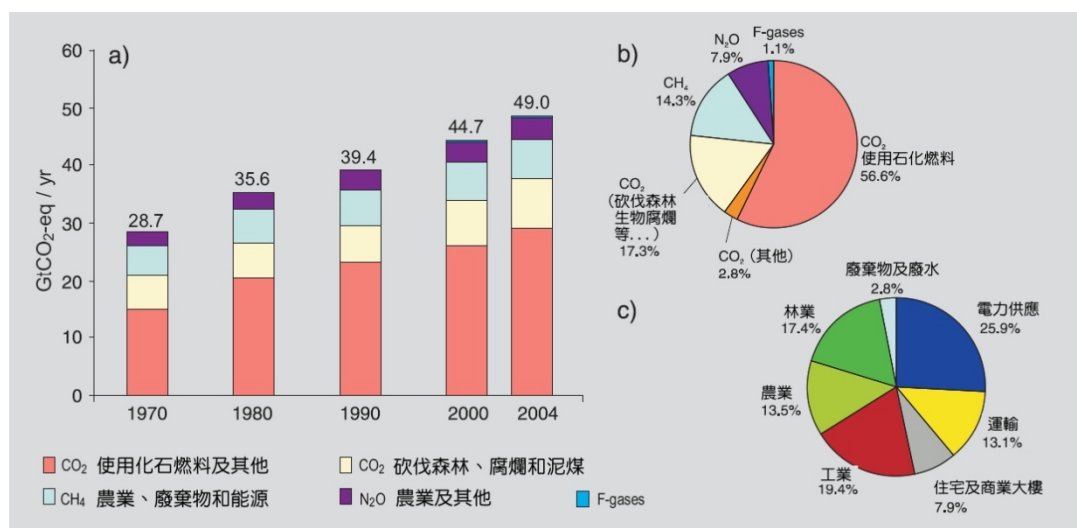


圖 SPM.3 (a) 1970~2004 年全球人為溫室氣體年排放量⁵；(b) 2004 年不同溫室氣體之人為排放量佔總排放量之比例 (以 CO₂-eq 為單位)；(c) 2004 年不同產業佔人為溫室氣體總排放量之比例 (以 CO₂-eq 為單位) (林業包含森林砍伐)。{圖 2.1}

全球和大陸的溫度變化

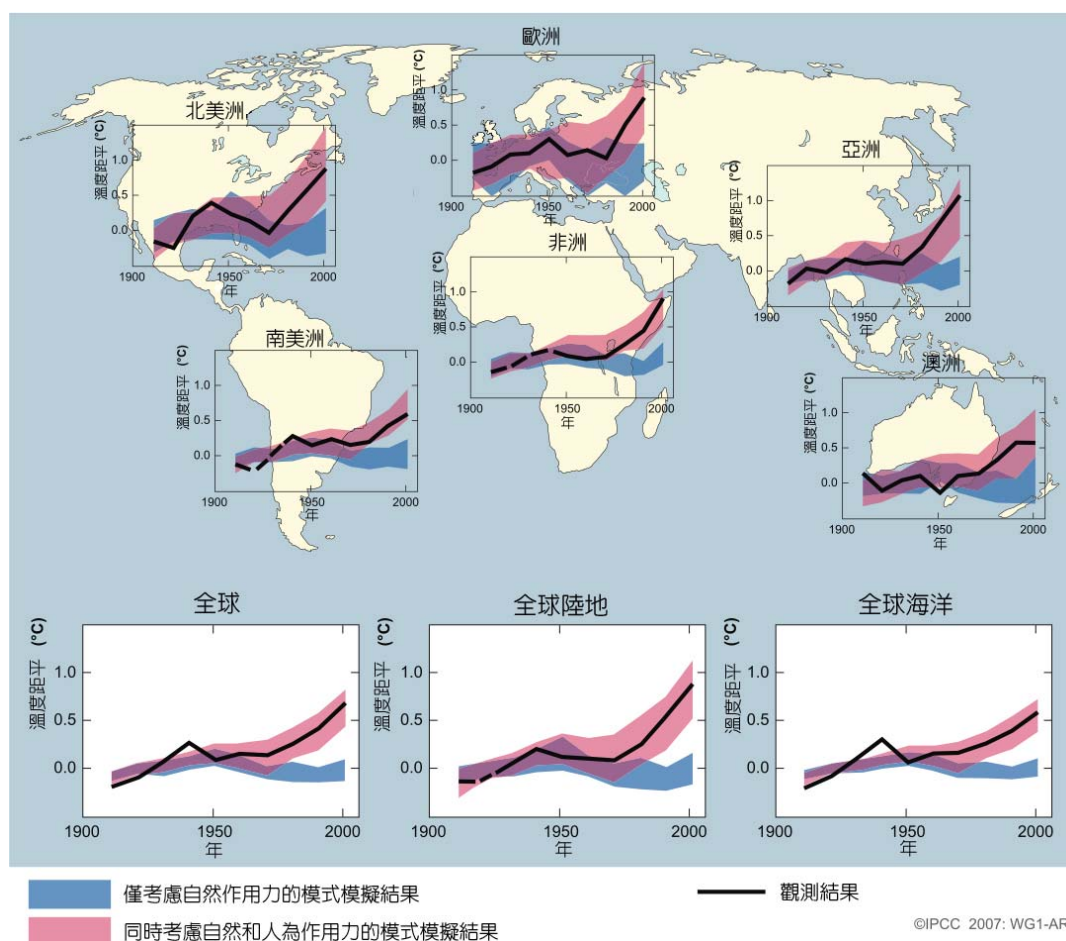


圖 SPM.4 比較觀測之全球及各大洲地表溫度變化，與利用氣候模式根據自然作用力或自然及人為作用力模擬結果。圖中顯示 1906 ~ 2005 年期間(黑線)之觀測 10 年平均值(標繪 10 年中點和對照於 1901-1950 之相對均值)。空間涵蓋範圍少於 50% 處以虛線呈現。藍色條帶顯示僅根據自然作用力(太陽活動及火山)利用 5 個氣候模式進行 19 次模擬之 5 ~ 95% 範圍。紅色條帶顯示根據自然及人為作用力利用 14 個氣候模式進行 58 次模擬之 5 ~ 95% 範圍。{圖 2.5}

TAR 發表以來的進展顯示，可辨別之人類影響除了見於平均溫度以外，已經延到氣候的其他層面。{2.4}

人類影響包括如下：{2.4}

- 20 世紀下半葉期間*非常可能*已促使海平面上升。
- *可能*已對風型變化產生影響，造成溫帶氣旋路徑及溫度型態的改變。
- 最極端的炎熱夜晚、寒夜及寒日的溫度*可能*已經上升。
- 熱浪的風險、受乾旱影響地區(1970 年代以後)、和豪大降水事件頻率*可能*已經增加。

過去 30 年間的人為暖化可能已對全球許多自然及生物系統觀測到的變化造成可辨別的影響。{2.4}

全球發生重大暖化的地區與許多系統中觀測到的暖化相關重大變遷地點，具有空間一致性。此一空間一致性*非常不可能*僅為自然變異性所致。多項模式研究已找出自然及生物系統的某些特定反應與人為暖化的關聯。{2.4}

觀測到的自然系統對人為暖化之反應的更完整歸因，目前還無法做到，原因包括許多衝擊研究之時間尺度均太短、地區之自然氣候變異相對較大、非氣候因素的影響、和研究之空間涵蓋範圍有限。{2.4}

D. 推估之氣候變遷及其衝擊

高度共識和大量證據顯示，在當前的氣候變遷減緩政策及相關永續發展實務下，未來幾十年間，全球溫室氣體排放量將持續成長。{3.1}

IPCC 排放情境特別報告(SRES, 2000)推估，2000~2030 年間，全球溫室氣體排放的增加將介於 25~90% (CO₂-eq)之間(圖 SPM.5)，且化石燃料在 2030 年以後仍將維持其在全球能源消耗組合中的主宰地位。沒有增加排放減緩之較近期的情境在範圍上差不多^{72 73}。{3.1} 以當前或更高的速率持續排放溫室氣體，可能導致進一步暖化，並在 21 世紀引發許多全球氣候系統變化。這些變化非常可能比 20 世紀之觀測變化更大(表 SPM.1; 圖 SPM.5)。{3.2.1}

⁷² 如欲瞭解 SRES 排放情境，請參見綜合報告第 3 主題文字框 – “SRES 情境”。這些情境不包括當前政策以外之額外氣候政策。較近期的研究在 UNFCCC 和京都議定書之內涵方面意見不一。

⁷³ 減緩情境之排放路徑詳見第 5 節。

針對一系列 SRES 排放情境，推估未來 20 年的暖化率為每 10 年約 0.2°C。即使所有溫室氣體和氣溶膠的濃度均保持在 2000 年的水準，仍可預期每 10 年約 0.1°C 的暖化率。之後，溫度推估取決於特定排放情境的情形將越來越明顯。{3.2}

推估範圍大體上與 TAR 中一致(表 SPM.1)，但不確定性和溫度上限較大，主要是因為現在可利用的更廣範圍模式，顯示了更大的氣候-碳循環回饋。暖化會減少陸地及海洋的大氣二氧化碳吸收，因而使得留在大氣中之人為排放部分增加。此一回饋效應之強度在各個模式之間的差異很顯著。{2.3, 3.2.1}

由於目前科學界對驅使海平面上升之某些重要效應的了解非常有限，因此本報告無法

在沒有新增氣候政策情況下，2000~2100 溫室氣體排放情境與地表溫度之推估

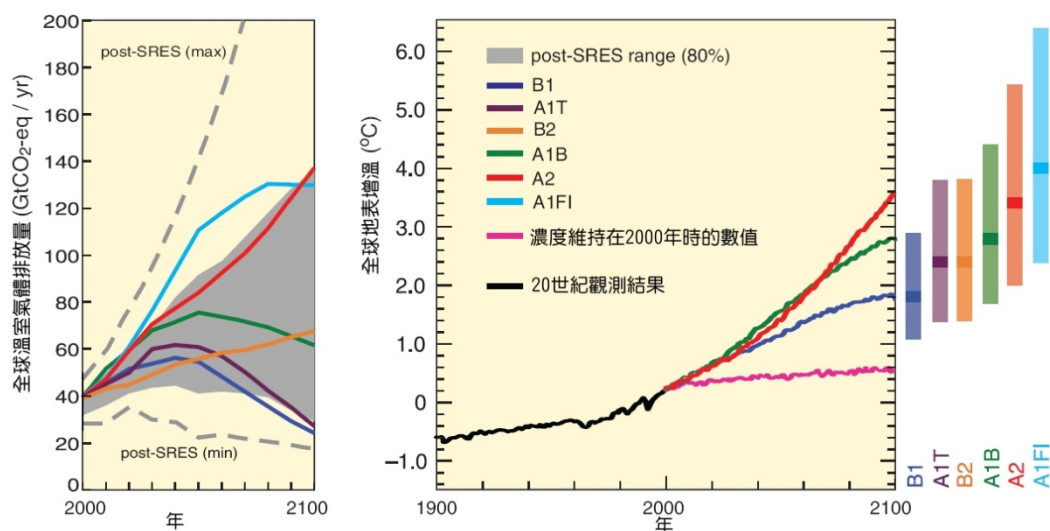


圖 SPM.5 左圖：在沒有新增氣候政策情況下之全球溫室氣體排放量(CO₂-eq)：六個示範性 SRES 標示情境(彩色線條)和 SRES 以後(後 SRES 時期)公佈之新情境的第 80 百分位數範圍(灰色部分)。虛線表示後 SRES 情境之完整範圍。排放氣體包括二氧化碳、甲烷、氧化亞氮和含氟氣體。右圖：實線表示 A2、A1B 和 B1 情境之多模式全球平均地表暖化情形(顯示為 20 世紀情況之延續)。這些推估亦將短暫溫室氣體和氣溶膠之排放量納入考量。粉色線條不是一種情境，而是用來模擬大氣-海洋全球氣候模式(AOGCM)。在 AOGCM 模擬中，大氣中溫室氣體含量被保持在 2000 年的水準。圖右邊的彩條指示出最佳估計值(各個彩條中的實線)和評估之 2090~2099 年六個 SRES 標示情境之可能範圍。所有溫度均為對照於 1980~1999 年期間。{圖 3.1 和 3.2}

表 SPM.1 21 世紀末全球平均地表暖化及海平面上升之推估 {表 3.1}

個案	溫度變化 (°C) (2090~2099 年相對於 1980~1999 年) ^{a, d}		海平面上升 (m) (2090~2099 年相對於 1980~1999 年)
	最佳估計值	可能範圍	以模式為基礎的範圍 不含冰流未來快速動態變化因素
固定於 2000 年濃度 ^b	0.6	0.3~0.9	無
B1 情境	1.8	1.1~2.9	0.18~0.38
A1T 情境	2.4	1.4~3.8	0.20~0.45
B2 情境	2.4	1.4~3.8	0.20~0.43
A1B 情境	2.8	1.7~4.4	0.21~0.48
A2 情境	3.4	2.0~5.4	0.23~0.51
A1FI 情境	4.0	2.4~6.4	0.26~0.59

說明：

a) 溫度為最佳估計值，可能之不確定性包括不同複雜程度之階層式模式和觀測侷限。

b) 2000 年固定組成僅源自於大氣-海洋全球氣候模式(AOGCMs)。

c) 以上情境為六個 SRES 示範性標示情境。根據 2100 年人為溫室氣體和氣溶膠之輻射作用力計算(見 WGI TAR 第 823 頁)，SRES 示範性標示情境 B1、A1T、B2、A1B、A2 和 A1FI 的 CO₂ 當量濃度近似值分別為 600、700、800、850、1250 和 1550 ppm。

d) 溫度變異指的是 1980~1999 年間的溫差。若要表述相對於 1850~1899 年之溫度變異，加上 0.5°C 即可。

評估其發生機率或提供最佳估計值或海平面上升範圍上限。表 SPM.1 顯示 2090~2099 年以模式為基礎之全球平均海平面上升推估⁷⁴。這些推估未考量氣候-碳循環回饋之不確定性，也未納入大冰原流動變化之完全影響，因此其範圍之上方值不應被視為海平面上升的上限。這些推估包含格林蘭和南極洲冰流以 1993~2003 觀測速度增快之促成因素，但冰流速度在未來增快或減慢都有可能⁷⁵。{3.2.1}

科學界目前對暖化形態及其他區域規模特徵的推估，已具備高於 TAR 時的信心，包括風型變化、降水量、和極端氣候及冰層的某些層面。{3.2.2}

區域規模變化包括：{3.2.2}

- 暖化在陸地和多數高北緯度地區將最為嚴重，在南洋和北大西洋部分水域最輕微，延續最近觀測到的趨勢(圖 SPM.6)。
- 根據利用 SRES 情境的推估，積雪面積將會縮小，多數永久凍土地區融化深度將會增加，海冰面積將會縮小，到了 21 世紀後期，夏末北極的海冰將幾乎消失殆盡。
- 炎熱極端天氣、熱浪和豪大降水事件將非

常可能變得更為頻繁。

- 熱帶氣旋的強度可能增加；全球熱帶氣旋發生次數減少的確信度降低。
- 溫帶氣旋路徑將朝極地方向移動，並造成風型、降水模式和溫度模式的變化。
- 高緯度地區的降水量非常可能增加，而多數亞熱帶陸地的降水量則可能減少。

科學界高度確信，到了本世紀中期，高緯度地區(及某些潮濕熱帶地區)之年河水流量及水資源可利用性，推估將會增加，而中緯度及熱帶的某些乾燥地區則將會減少。科學界亦高度確信，許多半乾旱地區(如地中海盆地、美國西部、非洲南部和巴西東北部)將因氣候變遷而面臨水資源減少的困境。{3.3.1; 圖 3.5}

IPCC TAR 發表以來，許多新增研究已使得科學界能夠更有系統性地瞭解，不同幅度及速度之氣候變遷的衝擊時機與強度。{3.3.1, 3.3.2}

圖 SPM.7 提出系統和產業新資訊之實例。上圖顯示衝擊隨著溫度變化的增加而加劇。衝擊之強度和時機也受到發展途徑的影響(下圖)。{3.3.1}

表 SPM.2 顯示推估之不同地區衝擊事例。

⁷⁴ TAR 中的推估係針對 2100 年，而本報告中的推估則針對 2090~2099 年。如果 TAR 也以相同方式處理不確定性，其所推估的範圍應該與表 SPM.1 中的範圍很類似。

⁷⁵ 有關更長期之探討，請參見下文中的內容。

地表暖化之地理分佈

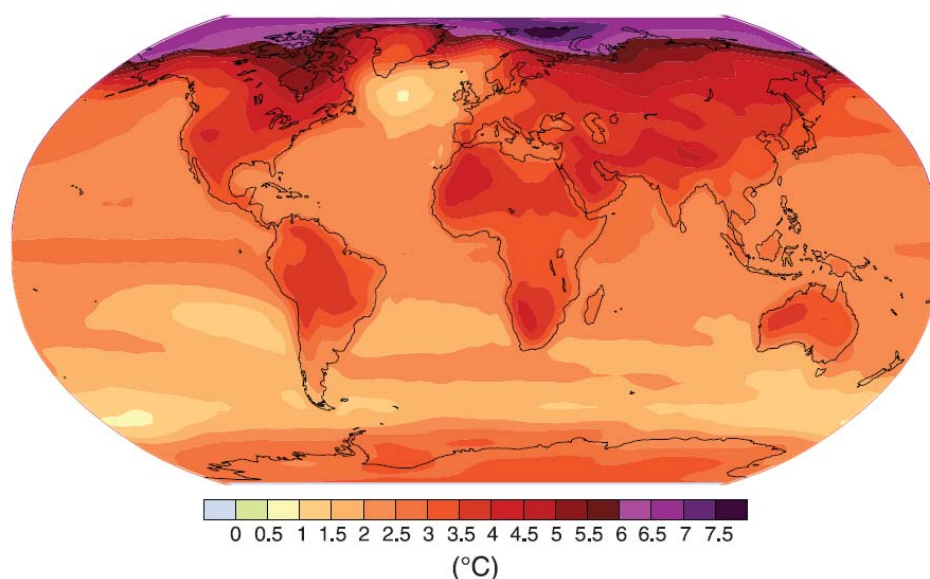


圖 SPM. 6 21 世紀末期(2090~2099 年)地表溫度變化之推估。本圖顯示 A1B SRES 情境之多-AOGCM 平均推估。所有溫度均為對照於 1980~1999 年期間。{圖 3.2}

某些系統、領域和地區受到氣候變遷的影響可能特別顯著⁷⁶。{3.3.3}

系統和領域：{3.3.3}

- 特定生態系統：
 - 陸地：凍原、極北林區和高山地區(由於對暖化的敏感性)；地中海型生態系統(由於降雨量減少)；熱帶雨林(由於降水量減少)。
 - 海岸：紅樹林和鹽沼(由於多重壓力)。
 - 海洋：珊瑚礁(由於多重壓力)；海冰生物群落(由於對暖化的敏感性)。
 - 水資源：中緯地區及某些熱帶乾燥地區(由於降雨量和蒸發量改變)和仰賴雪冰融水的地區⁷⁷。
 - 低緯地區的農業(由於水資源可利用性降低)。
 - 低窪海岸系統(由於海平面上升的威脅和極端天氣事件風險升高)。
 - 調適能力偏低地區人口的身體健康。

地區：{3.3.3}

- 北極 – 由於推估之暖化對自然系統和人類社區的重大衝擊。
- 非洲 – 由於調適能力偏低和推估之氣候變遷衝擊。
- 小島嶼 – 由於居人和基礎建設對推估之氣候變遷衝擊的高暴露程度。
- 亞洲和非洲大三角洲 – 由於人口眾多和高度暴露於海平面上升、風暴潮及河水泛濫風險。

在其他地區內(甚至高國民所得地區)，某些居民(如窮人、兒童及老人)、地方及活動受到氣候變遷衝擊影響的風險可能特別高。{3.3.3}

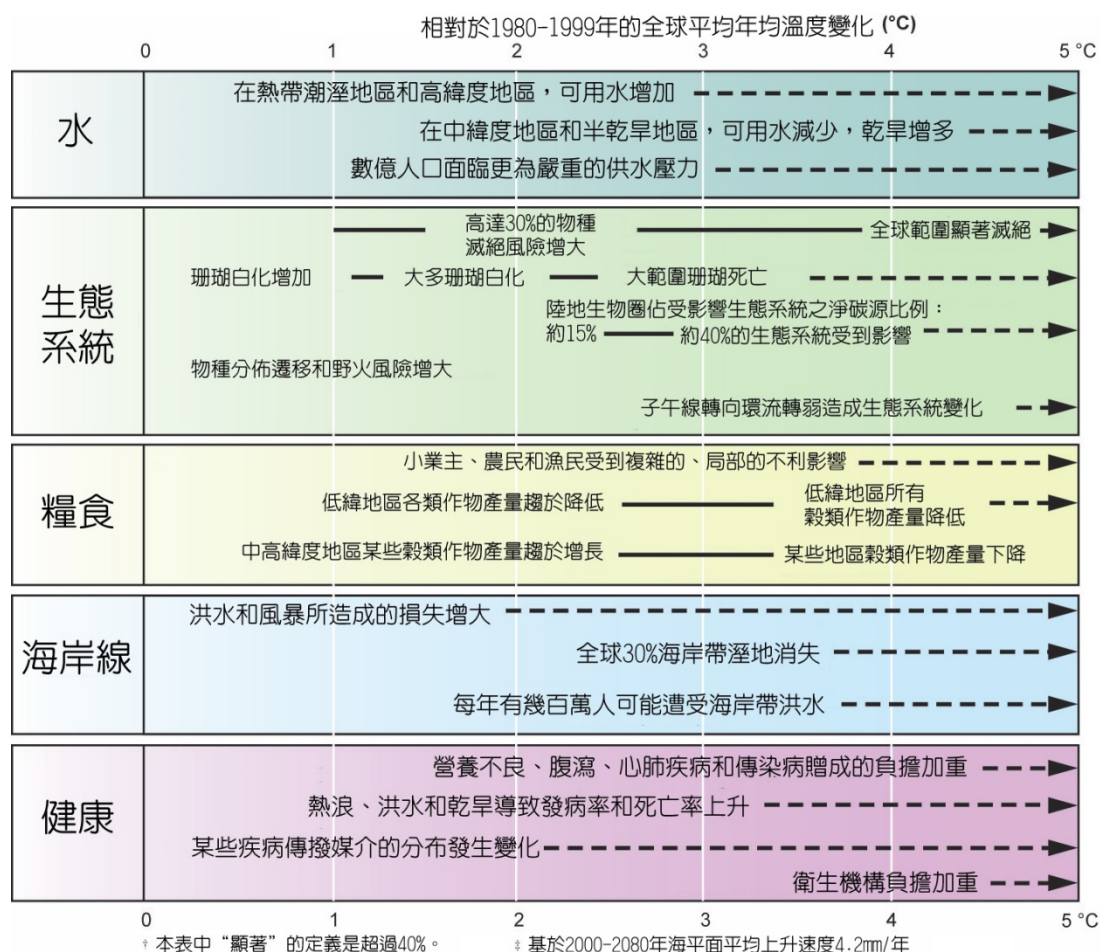
海洋酸化

1750 年以來人為碳排放增加已經導致海洋酸性升高，平均 pH 值降低 0.1 單位。大氣中二氧化碳濃度升高導致海洋酸化加劇。根據 SRES 情境的推估，21 世紀平均全球表層海洋 pH 值將下降 0.14~0.35 單位。雖然觀測到的海洋酸化對海洋生物圈的影響尚無文獻佐證，但海洋逐漸酸化推估將對結殼生物(如珊瑚)及其依附物種造成不利影響。{3.3.4}

⁷⁶ 由專家根據評估文獻判斷認定，考量氣候變遷之規模、發生時間及推估之速度、敏感性和調適能力。

⁷⁷ 包括乾旱及半乾旱地區。

重要衝擊與全球平均溫度增幅之關係 (衝擊將隨調適程度、溫度改變速率及社經發展途徑而異)



無減緩情境下相對於 1980~1999 年之 2090~2099 年暖化推估

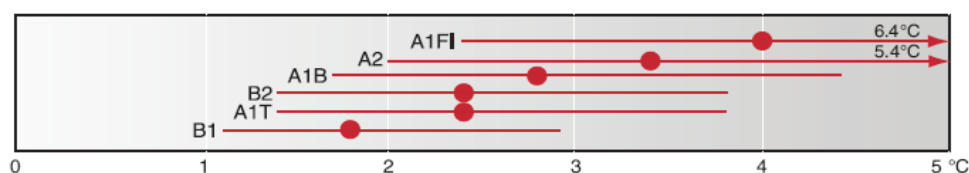


圖 SPM.7 重要衝擊與全球平均溫度增幅之關係。上圖：21 世紀全球平均地表溫度不同上升量情況下所推估氣候變遷(及相關的海平面和大氣中二氧化碳濃度變化)引發的全球衝擊事例。黑線連接衝擊，虛線箭頭表示衝擊隨著溫度升高而持續發生。表中文字左端表示衝擊項目大致的起始溫度。水資源短缺及洪水氾濫之量化項目表示相較於綜合 SRES 中 A1FI、A2、B1 和 B2 情境推估之額外衝擊。以上評估並未考量調適作為所帶來的效益。所有陳述之信心程度均為高度。下圖：圖中的紅點和紅線表示在六個 SRES 標示情境評估下相對於 1980~1999 年之 2090~2099 年暖化最佳推估值及可能範圍。{圖 3.6}

表 SPM.2 – 推估之地區衝擊事例 {3.3.2}

非洲	<ul style="list-style-type: none"> 到了 2020 年，推估將有 7,500 萬至 2 億 5,000 萬人因為氣候變遷而面臨更大的缺水壓力。 在某些國家中，到了 2020 年，靠雨水澆灌農業的產量可能減少達 50%。許多非洲國家之農業產量(包括糧食取得)推估將受嚴重影響。這些衝擊將會對糧食安全造成更大的不利影響，並使得非洲大陸營養失調的狀況更形惡化。 到了 21 世紀末，所推估的海平面上升量，將對人口密集的低窪沿海地區造成影響。因應的調適作為，其花費可能至少達到國內生產總值(GDP)的 5~10%。 到了 2080 年，在多種氣候情境下(TS)，推估非洲乾旱和半乾旱土地面積將增加 5~8%。
亞洲	<ul style="list-style-type: none"> 到了 2050 年代，中亞、南亞、東亞和東南亞之淡水可利用性(特別是在大河川流域)推估將因氣候變遷而減少。 海岸地區(特別是南亞、東亞和東南亞人口稠密的大三角洲地區)將因為海水氾濫增加，部分三角洲地區同時面臨河川洪水氾濫的問題，而處在最高的風險當中。 氣候變遷將與亞洲大多數開發中國家之永續發展衝突，因為攸關都市化、工業化和經濟發展的天然資源及環境，都將因為氣候變遷而面臨更沈重的壓力。 在東亞、南亞和東南亞，因水災及旱災所引發腹瀉疾病的發病率和死亡率預期將會升高，原因為全球暖化情況下，推估的水文循環將會有所改變。
澳洲和紐西蘭	<ul style="list-style-type: none"> 到了 2020 年，推估某些生態豐富區域之生物多樣性將會大幅流失，包括大堡礁和昆士蘭濕熱帶地區。 到了 2030 年，推估澳洲南部和東部，以及紐西蘭北部地區和部分東部地區，水資源安全保障問題將會加劇。 到了 2030 年，推估澳洲南部及東部許多地區和紐西蘭東部部分地區的農業及林業產量將會因為乾旱和森林火災的增加而下降。然而，紐西蘭的某些地區推估將會獲得初期利益。 到了 2050 年，澳洲和紐西蘭某些地區持續的海岸開發與人口成長，推估將使得海平面上升及暴風雨和海岸洪水氾濫的強度與發生頻率增加所引發的風險更為升高。
歐洲	<ul style="list-style-type: none"> 自然資源與資產之地區性差異預期也將受到氣候變遷影響而擴大。這些負面衝擊包括內陸突發性洪水氾濫增加、海岸洪水氾濫更為頻繁、和海岸侵蝕加劇(因暴風強度增強和海平面上升)。 高山地區將面臨冰河退縮、覆雪面積縮小、冬季觀光萎縮、和大規模物種滅亡等衝擊(到了 2080 年，某些地區在高排放情境下之物種滅亡比例可能高達 60%)。 在南歐，氣候變遷推估將使得原本就容易受到氣候變異損害的地區，情況(高溫及乾旱)變得更加惡化，除了降低水資源可利用性、水力發電潛能及夏季觀光之外，並造成作物生產率的普遍下降。 由於熱浪和頻繁的野火問題，推估該地區人民之健康風險也將升高。
拉丁美洲	<ul style="list-style-type: none"> 到了本世紀中葉，溫度上升及隨之而來的土壤水分減少，推估將導致亞馬遜雨林區東部之熱帶雨林逐漸被熱帶無樹平原所取代。半乾旱植被也有被乾旱植被取代的傾向。 熱帶拉丁美洲許多地區都將因物種滅絕而面臨嚴重的生物多樣性消亡風險。 某些重要作物之產量推估將減少，家畜生產率也將下降，進而對糧食安全造成不利後果。在溫帶地區，大豆產量推估將會增加。整體而言，面臨飢荒風險的人口數推估將會增加(TS；中度確信)。 降水模式改變及冰川消融推估將嚴重影響人類消費、農業灌溉及發電之水資源可利用性。
北美洲	<ul style="list-style-type: none"> 西部山脈暖化推估將造成積雪減少、冬季洪水氾濫增加、和夏季流量減少，對於水資源分配的爭奪將更加加劇。 本世紀初的數十年間，溫和的氣候變遷雖然預估使得依靠雨水澆灌農業之總產量增加 5~20%，但各地區之間的差異將很大。對於暖化程度快超過作物適合栽種的溫度範圍或水資源用量較高的作物，預估將會面臨重大挑戰。 現階段已歷經過熱浪襲擊的城市預期在本世紀期間會受到更頻繁、更強烈和更持

	<p>久熱浪之嚴峻考驗，並對健康形成潛在性的威脅，其中又以老年人口的風險最高。</p> <ul style="list-style-type: none"> 沿海社區和棲息地將面臨越來越大的氣候變遷衝擊壓力，並和開發與污染相互影響。
極地	<ul style="list-style-type: none"> 推估的主要生物物理效應包括冰川和冰原的厚度及範圍萎縮，以及自然生態系統改變，進而對許多生物造成不利影響，包括候鳥、哺乳類動物和高等掠食動物。 對北極的人類部落而言，氣候變遷的衝擊，尤其是雪冰狀況改變所造成的衝擊，推估將是利害參半。 不利衝擊包括基礎建設和原住民傳統生活方式所受到的影響。 在北極和南極地區，特定生態系統和棲地推估將變得更容易受氣候變遷影響，因為阻隔外來物種入侵的氣候障礙降低。
小島嶼	<ul style="list-style-type: none"> 海平面上升預期將使得海水氾濫、暴潮、侵蝕及其他海岸災害的情況更形惡化，進而威脅島嶼社區生計所依賴的維生基礎建設、聚落和設施。 海岸狀況的惡化，如海灘侵蝕和珊瑚白化，預期將對當地資源造成影響，像是漁業便為一例，並降低這些島嶼的觀光價值。 到了本世紀中葉，氣候變遷推估將使得許多小島嶼的水資源減少到無法滿足少雨期的用水需求，如加勒比海及太平洋中的小島。 隨著溫度的升高，非本土物種入侵情況預期將會增加，尤其是位處中、高緯度地區的島嶼。

說明：除非明確聲明，所有項目均摘自 WGII SPM 內容，且其信心程度均為非常確信或高度確信，反映出不同領域的情況(農業、生態系統、水資源、海岸、健康、工業和聚落)。WGII SPM 指出這些陳述、時間軸線和溫度的來源。最後終將發生之衝擊的強度與發生時間，將隨著氣候變遷、排放情境、發展途徑和調適之程度與速度而有所不同。

極端天氣發生頻率和強度的變化，加上海平面上升，推估將對自然和人類系統造成主要的不利影響。{3.3.5}

表 SPM.3 顯示不同領域之極端天氣事件事例。{表 3.2}

由於氣候過程及回饋相關的空間尺度問題，即使溫室氣體濃度可以維持穩定，人為暖化和海平面上升仍將持續幾個世紀。{3.2.3}

圖 SPM.8 顯示 AR4 WG III 報告中六種穩定化情境類別之多世紀暖化推估。

格林蘭冰原縮減推估將在 2100 年以後持續造成海平面上升。現行模式之模擬結果顯示，如

果全球平均暖化持續千年超過 1.9~4.6°C (相較於工業革命前的數值)，將可能導致格林蘭冰原消失殆盡，進而造成海平面上升約 7 公尺。格林蘭相對應之未來溫度與推斷之上次間冰河時期(125,000 年前)的溫度相當。當時的古氣候學資料顯示，極地冰廣度縮減及海平面上升 4~6 公尺。{3.2.3}

科學界根據目前的全球模式研究推估，南極冰原仍然有足夠的冷度，不致於發生普遍的冰表融化，又由於降雪量增加，冰原質量預期將會增加。然而，如果動態冰流量主導冰原質量平衡，則可能發生冰原質量淨損失。{3.2.3}

AR4 報告中六種穩定化情境類別之多世紀暖化推估(相對於 1980~1999 年)

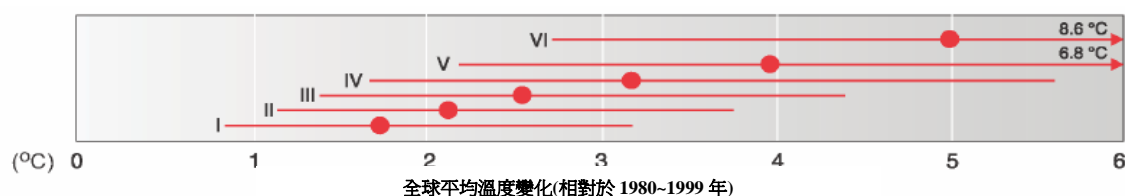


圖 SPM.8 AR4 WGIII 報告中六種穩定化情境類別之多世紀暖化推估(表 SPM.6)。溫度尺度已調整-0.5°C (相較於表 SPM.6)，以便大致反應工業革命前與 1980~1999 年之間的暖化。在最穩定情境下，全球平均溫度接近均衡狀態達幾個世紀。就溫室氣體排放情境而言(相對於 2100 年時達到 SRES B1 和 A1B 情境之穩定化程度 - 600 和 850 ppm CO₂-eq；類別 IV 和 V)，根據所評估的模式推估，到了穩定化時期，推估之全球平均溫度上升將會發生約 65~70% (假設氣候敏感度為 3°C)。至於較低的穩定化情境(類別 I 和 II；圖 SPM.11)，達到均衡溫度的時間可能提早。{圖 3.4}

表 SPM.3 推估 21 世紀中至晚期因極端天氣及氣候事件改變所造成氣候變遷之可能衝擊事例。這些推估未考慮調適能力之任何改變或發展。第二欄中發生機率推估指的是第一欄中所列現象。{表 3.2}

現象 ^a 與趨勢方向	針對 21 世紀末來趨勢，SRES 情境推估結果之可能性	不同領域之主要衝擊事例			
		農業、林業和生態系統	水資源	人類健康	產業、聚落和社群
大多數陸地地區，寒日/寒夜變暖變少；熱日/熱夜更熱更多。	幾乎確定 ^b	在較寒環境中，產量增加；在較暖環境中，產量減少；蟲害爆發增加。	影響仰賴融雪之水資源；影響供水。	酷寒減少，酷寒致死人數降低。	暖氣能源需求降低；降溫需求升高；城市空氣品質下降；交通因雪冰中斷情形減少；影響冬季觀光。
暖期/熱浪：大多數陸地地區發生頻率增加	非常可能	由於熱應力，較暖地區產量減少；野火危險升高。	水資源需求增加；水質問題，如海藻生長茂盛的時期。	與熱有關的死亡風險升高，尤其是老人、慢性病患者、幼童和離群獨居人士。	暖區無適當居所者之生活品質下降；衝擊老人、幼童及窮人。
豪大降水事件：大多數地區發生頻率增加	非常可能	作物受損；土壤侵蝕，土壤因洪水而無法耕作。	對地表及地下水質造成不利影響；供水污染；缺水問題可能紓解。	死亡、受傷、傳染病、呼吸系統疾病及皮膚病的風險升高。	洪水對聚落、商業、交通及社會造成干擾；對城郊區基礎建設構成壓力；財物損失。
受乾旱影響地區增加	可能	土地乾裂，產量減少/作物受損或失收；牲畜死亡數增加；野火風險升高。	面臨缺水壓力地區更廣泛。	缺糧及缺水風險升高；營養失調風險升高；水源性及食源性疾病風險升高。	產業、聚落及社會水資源短缺；水力發電潛能降低；人口遷移之可能性。
強烈熱帶氣旋活動增加	可能	作物受損；樹木連根拔起；珊瑚礁受損。	停電造成公共供水斷。	死亡、受傷、水源性及食源性疾病風險升高；創傷後壓力失調症。	洪水及強風造成干擾；民間保險業者退出易損區之風險承保，造成人口遷移之可能性，及財物損失。
極端高海平面發生率增加(海嘯除外) ^c	可能 ^d	灌溉水源、河口及淡水系統鹽化。	鹽水入侵造成淡水可利用性降低。	溺水死亡及受傷的風險升高；與遷徙相關之健康影響。	海岸保護成本相較於土地利用重置成本；人口及基礎建設遷移之可能性；參見以上熱帶氣旋項目。

說明：

- 詳細定義，請參見第一工作小組 AR4 報告之表 3.7
- 每年最極端日和夜溫度變得較暖。
- 極端高海平面取決於平均海平面和地區天氣系統，其定義為觀測站在一參考期內每小時一筆所累積的海平面觀測數據中，高程最高之前 1% 屬之。
- 在所有假設情境中，推估 2100 年全球平均海平面將高於參考期之全球平均海平面[第一工作小組 AR4 10.6]。地區天氣系統改變對極端高海平面之影響尚未被評估過。

人為暖化可能導致某些突然或不可逆的衝擊，實際情況則視氣候變遷之速度和規模而定。{3.4}

極地冰原的部分消退可能意味著海平面上升數公尺、海岸線的重大改變、和低窪地區淹沒，尤其河口三角洲所受影響最大。這些變化推估將發生於千年時間尺度期間，但在百年

時間尺度期間發生更快速的海平面上升之可能性亦無法排除。{3.4}

氣候變遷可能導致某些不可逆的衝擊。科學界中度確信，如果全球平均溫度上升超過 1.5~2.5°C (相較於 1980~1999 年)，到目前為止評估過的物種，大約 20~30% 的絕種風險可能上升。模式推估顯示，當全球平均溫度上升超

過3.5°C時，全球物種將會大規模絕種(40~70%評估過的物種)。{3.4}

根據現行模式的模擬結果，21世紀期間，北大西洋流的轉向循環(MOC)非常可能趨緩。然而，大西洋和歐洲的溫度推估將會上升。在21世紀期間，MOC非常不可能發生大規模突然轉變。目前尚無法有信心地評估MOC的長期變化。MOC大規模持續改變的衝擊可能包括海洋生態系統生產率、漁場、海洋中二氧化碳濃度、海洋氧濃度、及陸地植被的改變。陸地及海洋二氧化碳濃度的改變可能反應至氣候系統。{3.4}

E. 調適與減緩選項⁷⁸

目前已存在各式各樣的調適選項，但仍需更廣泛的調適措施，才能降低面對未來氣候變遷時的易損性。調適氣候變遷需要面對障礙、限制和成本問題，但這些問題尚未被充分瞭解。

{4.2}

人類社會在管理天氣和氣候相關事件衝擊方面，已有長遠的歷史。然而，仍需要採取額外的調適措施，以降低在未來20~30年間無論減緩程度為何均無法避免之推估氣候變遷及變異的不利衝擊。此外，其他壓力可能使得加重對氣候變遷的易損性。這些壓力的起因包括當前氣候危害因素、貧窮與資源使用機會不均、糧食不足、經濟全球化趨勢、衝突、和疾病的發生(如HIV/AIDS)。{4.2}

某些計劃中的氣候變遷調適措施已經開始實施，但規模仍很有限。調適措施有助於降低易損性，尤其是搭配更寬廣的產業方案實施時效果更佳(表SPM.4)。科學界高度確信，有一些可行的調適選項，在某些產業實施的成本很低或本益比很高。然而，全球調適成本與效益之整體估計很有限。{4.2, 表4.1}

調適能力與社經發展有密切關聯性，但各個社

⁷⁸ 雖然本節將調適與減緩分別處理，但這些氣候變遷因應作為其實是互補的。第5節將針對此一主題詳細討論。

會和社會內部各階層之調適能力參差不齊。

{4.2}

各式各樣的障礙會限制調適措施的實施和效果。調適能力是動態的，並受到社會生產基礎的影響，包括自然及人造資本資產、社會網絡與賦權、人類資本與制度、政府、國民所得、健康、和技術。即使調適能力很高的社會，仍很容易遭受氣候變遷、氣候變異和極端氣候的損害。{4.2}

由下而上及由上而下研究均指出，在未來幾十年中，減緩全球溫室氣體排放量具有可觀的經濟潛力。這些經濟潛力可能彌補全球排放量之推估成長，或降低排放量至當前的水準以下(圖SPM.9; SPM.10)⁷⁹。雖然在全球層級，由上而下及由下而上研究是一致的(圖SPM.9)，但在產業層級，兩者之間有著相當大的差異。{4.3}

沒有任何單一技術可以提供適用於任何產業之所有減緩潛力。經濟減緩潛力通常大於市場減緩潛力，但達到經濟減緩潛力的前提是適當的政策已經就緒，且障礙已經排除(表SPM.5)。{4.3}

由下而上的研究顯示，到了2030年，含淨負成本的減緩機會具有每年減少碳排放量約6 GtCO₂-eq的潛力。落實這些潛力需要處理執行障礙。{4.3}

⁷⁹ “減緩潛力”概念的發展是為了評估一種既定碳交易價格(以每單位已避免或減降之二氧化碳當量排放量之成本表示)相對於排放基準，可能達到之溫室氣體排放減量程度。減緩潛力又被細分為“市場減緩潛力”和“經濟減緩潛力”。

市場減緩潛力是以私人成本及私人貼現率為基礎之減緩潛力(反映民間消費者及公司的觀點)。市場減緩潛力可能在預測的市場狀況下出現(包括現行政策與措施)。值得注意的是，障礙可能限制實際吸收

經濟減緩潛力是考量社會成本與效益及社會貼現率之減緩潛力(反映社會的觀點；社會貼現率低於私人投資者所採用的貼現率)，同時假設市場效率因政策與措施及障礙排除而提升。

估計減緩潛力有多種不同方法，大致分為兩大類：**由下而上研究**係以減緩選項之評估為基礎，並著重於特定技術與規範。這些研究基本上屬於產業層次的研究，研究中宏觀經濟被假設為無變化。**由上而下研究**被用於評估減緩選項之宏觀經濟潛力。這些研究利用全球一致的架構和有關減緩選項之綜合資訊，並蒐集宏觀經濟及市場回饋資訊。

表 SPM.4 各產業計劃中調適措施之實例

產業/部門	調適選項/策略	基本政策架構	實施之重要限制條件與機會 (正體字 = 限制條件; 斜體字 = 機會)
水	擴大雨水收集; 儲水和節水技術; 水資源再利用; 海水淡化; 水資源利用與灌溉效率。	國家水資源政策及整合式水資源管理; 水資源相關災害管理。	財務、人力資源及實質障礙; <i>整合式水資源管理; 與其他產業之綜效。</i>
農業	種植期與作物品種調整; 作物易地種植; 土地管理改善, 如透過栽種樹木之侵蝕控制侵及土壤保護。	研發政策; 制度改革; 土地佔用制與土地改革; 訓練; 能力建立; 作物保險; 財務誘因, 如補貼及免稅折扣。	技術&財務限制; 利用新品種的機會; 市場; <i>較高緯度地區生長季增長; “新產品”帶來的收入。</i>
基礎建設/聚落 (包括海岸地區)	重置; 海牆及風暴潮檔閘; 沙丘強化工事; 土地取得及建立沼地/濕地, 以阻隔海平面上升及洪水; 既有天然屏障保護。	設計中納入氣候變遷考量之標準與規範; 土地利用政策; 建立規範; 保險。	財務及技術限制; 重置空間之可利用性; <i>整合式政策及管理; 與永續發展目標之綜效。</i>
人體健康	熱浪-健康行動計劃; 緊急醫療服務; 氣候敏感性疾病監控; 安全水資源與改善衛生。	認知氣候風險之公共衛生政策; 強化之衛生服務; 地區及國際合作。	人體耐受性的限制(如脆弱族群); 知識限制; 財務能力; <i>衛生服務升級; 生活品質改善。</i>
觀光	觀光景點及收入多元化; 滑雪場遷至較高緯度及冰河區; 人工造雪。	整合式規劃(如載運量及與其他產業之連結); 財務誘因, 如補貼及免稅折扣。	新景點之訴求/行銷; 財務及後勤支援挑戰; 對其他產業之潛在負面衝擊(如人工造雪可能增加能源消耗); 新景點帶來的收入; 廣泛利害關係團體的參與。
運輸	重新定線/重置; 道路/鐵路及其他基礎建設之設計標準和規劃, 以因應暖化及排水。	國家運輸政策納入氣候變遷考量; 投資於特殊狀況之研發, 如永久凍土地區。	財務&技術障礙; 較有利路線之可利用性; 技術改進及與重要產業(如能源)的整合。
能源	加強架空傳輸及配電基礎建設; 公共事業地下纜線; 能源效率; 再生能源之利用; 減少對單一能源的依賴。	國家能源政策、規範及財政/財務誘因, 以鼓勵替代資源之利用; 設計標準中納入氣候變遷考量。	採取可行替代方案的機會; 財務&技術障礙; 新技術之採用; 新技術之激勵; 在地資源之利用。

註: 許多產業之其他實例可能包括預警系統。

2005~2030 年間, 未來能源基礎建設投資決策所涉及之金額預估將超過 20 兆美元⁸⁰。這些投資決策將對溫室氣體排放量具有長期影響, 因為無論是能源電廠或其他基礎建設股本, 它們的生命期都很長。低碳技術之廣泛擴散可能需要幾十年, 無論這些技術之初期投資

設計得如何誘人都一樣。初步估計, 2030 年全球能源相關二氧化碳排放量如果希望回到 2005 年的水準, 將需要大幅改變投資模式, 但所需要的額外淨投資則從微不足道到 5~10% 不等。{4.3}

⁸⁰ 20 兆 = 200,000 億 = 20×10^{12}

2030 年全球經濟減緩潛力與推估之排放量增加之比較

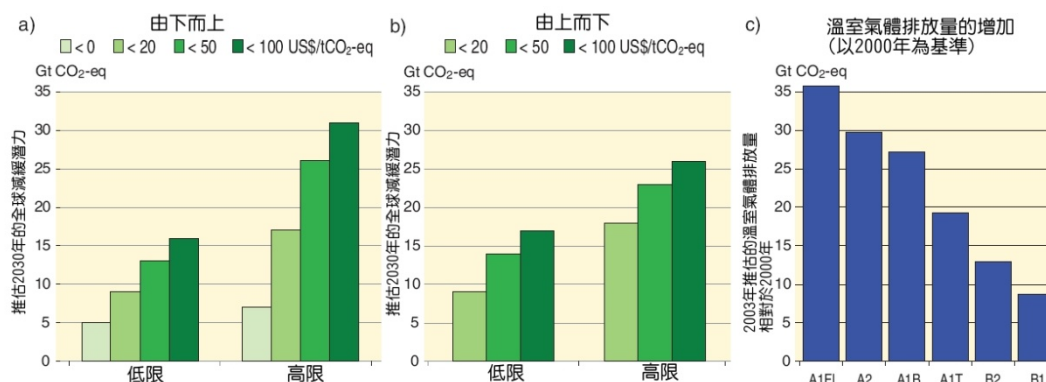


圖 SPM.9 根據由下而上研究(a 圖)及由上而下研究(b 圖)推估之 2030 年全球經濟減緩潛力，相較於 SRES 情境下推估之排放量增加(相對於 2000 年溫室氣體量 40.8 GtCO₂-eq) (c 圖)。

註：2000 年溫室氣體排放量中未包含源自森林砍伐後殘留之地面生物質腐朽和源自泥炭火災及排泥炭土的排放量，以確保與 SRES 排放量的結果一致。{圖 4.1}

利用由下而上研究推估之 2030 年各產業全球經濟減緩潛力

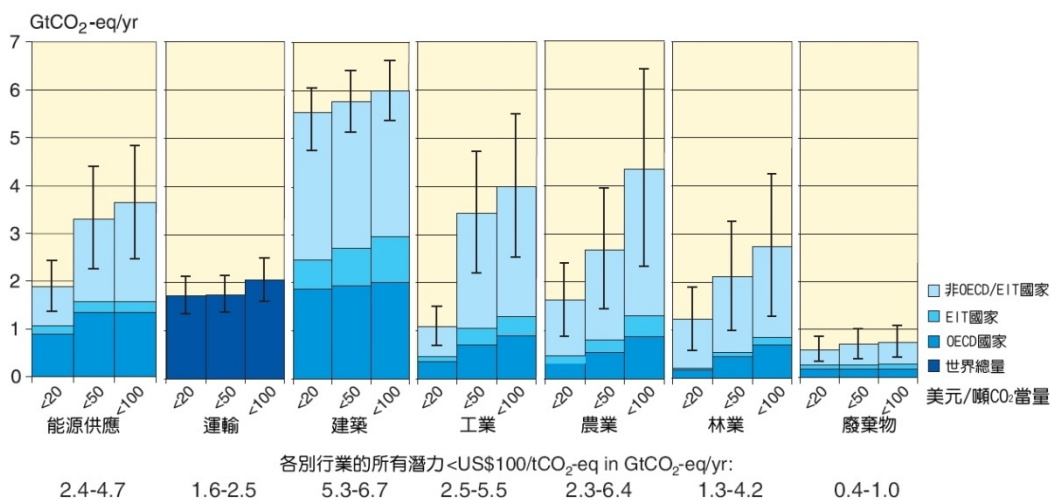


圖 SPM.10 利用由下而上研究推估之 2030 年各產業全球經濟減緩潛力與各產業評估中所假設基準的比較。圖中所示經濟減緩潛力未包含非技術選項，例如生活方式的改變。{圖 4.2}

說明：

- 各產業之推估全球經濟潛力範圍以垂直線顯示。經濟潛力範圍係以排放量之最終用途配置為基礎，換言之，電力使用之排放量被計在最終用途的產業，而非計在能源供應產業。
- 經濟潛力之推估受限於研究之可利用性，特別是在高碳交易價格層級。
- 各產業採用不同的基準。工業採用的是 SRES B2 基準；能源供應業和運輸業採用 WEO 2004 基準；建築業所採用的基準介於 SRES B2 與 A1B 之間；廢棄物處理業採用 SRES A1B 驅動力來建構廢棄物之特定基準；農業/林業則採用主要為利用 B2 驅動力的基準。
- 運輸業僅顯示全球推估總值，因為其中包含國際航運業。
- 未包含在內的類別有：產生自建築業和運輸業之非二氧化碳排放物；部分原料效率選項；能源供應業之熱能生產和汽電共生發電；重型車輛、船運與高乘載各運輸；建築業之低成本選項；廢水處理；煤礦和輸油管排放減量；產生自能源供應業和運輸業之氟化氣體。這些排放量對總經濟潛力造成之低估約為 10~15%

表 SPM.5 各產業/部門之減緩技術、政策與措施、和限制與機會之實例。{表 4.2}

產業/部門	目前已經商業化應用之重要減緩技術與實務。 <i>斜體字為推估將於 2030 年以前商業化之重要減緩技術與實務。</i>	已證實具有環境效益之政策、措施及工具。	重要限制或機會 (正體字=限制；斜體字=機會)
能源供應業	改善供應與分配效率；燃料從煤炭轉為煤氣；核能；再生熱能與電力(水力、太陽能、風力、地熱及生物能)；汽電共生系統；碳捕集與封存(CCS)之初期應用(天然氣脫碳封存)。 <i>燃氣、生物質量及燃煤發電設施之碳捕集與封存(CCS)；先進核能；先進再生能源(包含潮汐與波浪能源、聚光式太陽能發電和太陽能光伏發電)。</i>	降低化石燃料補貼；課徵化石燃料稅或碳費。	既得利益者的抵制可能增加執行困難度。
		再生能源技術之優惠收購價格；再生能源義務；生產者補貼。	<i>可能適合為低排放技術創造市場</i>
運輸業	高能源效率運輸工具；油電混合車；低污染柴油車；生質燃料；運輸型態從道路轉換為鐵路及大眾運輸系統；非機動車運輸(單車或步行)；土地利用和運輸規劃。 <i>第二代生質燃料、更高效能飛機；先進電動及油電混合車(配備電力更強和更可靠的電池)。</i>	針對道路運輸強制實施燃料效率標準、生質燃料混合、和二氧化碳排放標準。	僅涵蓋部分車輛可能限制效果。
		課徵車輛購買、登記、使用、機動車燃料、道路、和停車等稅/費。	對於收入較高族群，效果可能打折。
		透過土地利用規範和基礎建設規劃，影響機動性需求；投資於具吸引力之公共運輸設施及非機動化運輸方式。	<i>特別適合正在興建運輸系統的國家。</i>
建築業	省電照明與採光；高效能電器用品及加熱與冷卻裝置；改良的爐具與改善隔熱；加熱與冷卻之被動與主動太陽能設計；交替式冷凍液；氟化氣體回收與回復。 <i>商業建築物之整合設計(包括技術)，譬如具回饋和控制功能的智慧型計量器；整合於建築物之太陽能光伏板。</i>	設備標準與標示。	需要定期修訂標準。
		建築法規與認證。	<i>對新建築物具吸引力。執行上可能很困難。</i>
		需求面管理計劃。	需要訂定規範，公用事業可能獲利。
		公部門領導計劃，包括採購。	<i>政府採購可能擴大節能產品需求。</i>
工業	更省電之終端電器設備；熱、電回收；原料回收與替代；非 CO ₂ 氣體排放控制；一系列的特定製程技術。 <i>先進的能源效率；水泥/阿摩尼亞/鐵製造業之 CCS 技術；惰性電極用於鋁製造業。</i>	能源服務公司獎勵辦法(ESCOs)。	<i>成功因素：利用第三方融資的機會。</i>
		提供基準資訊；績效標準；補貼；免稅折扣。	<i>可能適合刺激採用新技術；考量國際競爭力，國家政策之穩定性非常重要。</i>
		可交易碳排放許可證。	可預測的分配機制和穩定的價格信號對於投資很重要。
農業	改善耕地和牧草地管理，以增加土壤碳貯藏量；復原耕種用的泥煤化土壤和已退化土地；改善稻米耕作技術及牲畜與糞肥管理，以減少 CH ₄ 排放量；改善氮肥應用技術，以減少 N ₂ O 排放量；以產生能源作物取代化石燃料的使用；改善能源效率。 <i>作物產量增加。</i>	自願減量協議。	成功因素包括：清楚的目標、基準情境、由第三方參與協議與設計、檢討和正式監測規範、政府與產業界密切合作。
		財務誘因和規範改善土地管理、保持土壤中含碳量、有效使用肥料及灌溉。	<i>可能鼓勵與永續發展和降低氣候變遷易損性之綜合效應，進而克服執行上的阻礙。</i>
林業/森林	造林；森林復育；森林管理；減少森林砍伐；木材產品管理；利用林業產品生產生物能源，以取代化石燃料的使用。 <i>樹種改良，以增加生物質量生產力和碳吸存。改進遙感技術，以利植被/土壤之碳吸存潛力分析，並繪製土地利用改變圖。</i>	擴大森林面積、減少森林砍伐、和維持與管理森林之財務誘因(國內和國際)；土地利用規範與規範執行。	限制包括缺乏資本投資和土地屬權問題。 <i>可能有助於減緩貧窮。</i>
廢棄物管理	垃圾掩埋場沼氣回收；能源回收式垃圾焚化；有機垃圾堆肥；有控制的廢棄物污水處理；回收利用與垃圾減量。 <i>生物覆蓋與生物過濾，以最適化 CH₄ 氧化過程。</i>	改善廢棄物和廢水管理之財務誘因。	<i>可能刺激技術擴散。</i>
		再生能源誘因或義務。	本地低成本燃料之可利用性。
		廢棄物管理規定。	在全國層級搭配執行策略，大多數均能有效施行。

目前已有各式各樣的政策和工具，可供政府用以設計減緩行動誘因。這些政策和工具之適用性取決於國家情勢及產業背景(表 SPM.5)。**{4.3}**

做法包括將氣候政策整合於更廣泛的政策和工具中，例如開發政策、規範與標準、課稅與收費、可交易碳排放許可、財務誘因、自願協議、資訊工具、和研發與示範(RD&D)。**{4.3}**

有效的碳交易價格信號可能落實所有產業之重大減緩潛力。模式研究顯示，碳交易價格到 2030 年時可能漲至 20~80 美元/tCO₂-eq。此一推估與 2100 年時約 550 ppm CO₂-eq 穩定化推估一致。在相同穩定化目標下，誘發性技術變革可能將 2030 年的碳交易價格推估範圍降低為 5~65 美元/tCO₂-eq⁸¹。**{4.3}**

高度共識和大量證據顯示，減緩行動可能獲致短期協同效益(如由於空氣污染降低促使健康獲得改善)。這些協同效益可能補償相當部分的減緩成本。**{4.3}**

高度共識和中量證據顯示，附錄 1 國家的作為可能對全球經濟及全球排放量發揮影響，唯碳漏的規模仍無法確定⁸²。**{4.3}**

正如 TAR 所指出的，化石燃料輸出國家(包含附錄 1 國家和非附錄 1 國家)可能因實施減緩政策而造成需求、價格和 GDP 成長降低。這些外溢效果的幅度強烈取決於有關政策決策及石油市場狀況的假設。**{4.3}**

高度共識和中量證據也顯示，生活方式、

⁸¹本報告所評估之減緩選項組合及宏觀經濟成本研究係由上而下模式為基礎。大多數模式均採用實施減緩組合之全球最低成本方法，並在統一排放交易前提下，假設以下條件：透明化市場、無交易成本、及在 21 世紀期間完全實施減緩措施。成本計算係以特定時間點為基準。如果不考慮某些地區、業產(如土地利用)、選項或氣體，全球模式化成本將可能升高。如果基準降低、利用碳稅及拍賣碳排放許可收入、並納入誘發的技術學習，全球模式化成本將可能下降。這些模式未考慮氣候變化利益和減緩措施之協同效益或權益籌資。科學界在將以誘發性技術變革為基礎的方法應用於穩定化研究方面，已經獲致可觀的進展。然而，仍存在著一些概念問題。在採用這些方法的模式中，既定穩定化目標的推估成本已經降低。穩定化目標較低時，成本的降幅更大。

⁸² 細節請參見綜合報告第 4 主題。

行為模式及管理實務的改變，在所有產業中均有助於氣候變遷減緩。**{4.3}**

許多降低全球溫室氣體排放量的選項均透過國際合作實施。高度共識和大量證據顯示，UNFCCC 和京都議定書的重要成就包括：建立氣候問題全球反應機制、刺激一系列國家政策的制定、創立國際碳交易市場、和建立可能為未來減緩努力奠定基礎的新機制。UNFCCC 內部之調適行動已經獲致相當進展，更多的國際方案也已經提出。**{4.5}**

更廣泛合作和擴充市場機制將有助於降低達成既定減緩目標之全球成本或改善環境效益。因應氣候變遷的努力可能包括各式各樣的元素，譬如排放量目標、產業/地方/亞區和地區行動、RD&D 計劃、採行共同政策、採取開發導向行動、和擴增融資工具。**{4.5}**

在多項產業中，可執行多種氣候因應選項，以實現綜效並避免與永續發展之其他層面努力發生衝突。有關宏觀經濟及其他非氣候政策之決策，可能對排放量、調適能力和易損性造成重大影響。**{4.4, 5.8}**

讓發展更具永續性可能強化減緩和調適能力，並降低排放量及氣候變遷易損性，但在執行上可能會有障礙。而另一方面，氣候變遷*非常可能*延緩永續發展的步伐。在未來半世紀期間，氣候變遷可能阻礙千禧年發展目標(MDGs)的達成。**{5.8}**

F. 長期展望

要確定 UNFCCC 第 2 條中所稱“氣候系統之危險人為干預”的構成內容，需要價值判斷。科學可以支援關於此議題之明智決策，包括提供判斷哪些易損性可能被標示為“具關鍵性”的標準。**{文字框‘關鍵易損性與 UNFCCC 第 2 條’；第 5 主題}**

關鍵易損性⁸³可能與許多氣候敏感系統有關，包括糧食供應、基礎建設、健康、水資源、海

⁸³ 關鍵易損性可根據文獻中的多項標準辨識，包括強度、時機、持續性/可逆性、調適可能性、分佈特徵、和衝擊之發生機率與重要性。

岸系統、生態系統、全球生化循環、冰原、和海洋/大氣循環模式。{文字框‘關鍵易損性與 UNFCCC 第 2 條’；第 5 主題}

TAR 中所確認之五項“關注的理由”仍是考量關鍵易損性之可行架構。這些“理由”經本報告評估為較 TAR 更為強烈。某些風險被推估為更高，或者在溫度上升較少時便可能發生。科學界對於衝擊(TAR 之“關注的理由”基礎)與易損性(包括調適衝擊的能力)之間關係的了解已更為進步。{5.2}

這是因為造成系統、領域和地區特別易損之情況被更為精確地確定，以及證明多世紀時間尺度非常大規模衝擊風險之證據更為豐富。{5.2}

- **獨特且易損系統所面臨之風險：**關於氣候變遷對獨特且易損系統的衝擊(如極地和高山社群及生態系統)，已觀測到更明確的新證據。隨著溫度的上升，這些負面衝擊的情況日益嚴重。隨著暖化的持續，科學界對於物種絕種及珊瑚礁損害風險升高的信心程度，高於 TAR 中所述之確信度。科學界**中度確信**，如果全球平均溫度上升超過 1.5~2.5°C (相較於 1980~1999 年)，到目前為止評估過的動植物物種，大約 20~30% 的絕種風險**可能**升高。科學界已經更為確信，如果全球平均溫度高於 1990 年時 1~2°C (高於工業革命前約 1.5~2.5°C)，將對許多獨特且受威脅的系統構成重大風險，包括許多生物多樣性熱點。珊瑚很容易遭受熱應力傷害，且珊瑚的調適能力也很低。除非珊瑚能具有更好的熱應力及環境調適能力，一旦海面溫度上升約 1~3°C，推估將造成更頻繁的珊瑚白化事件和珊瑚大規模死亡。北極原住民社區和島嶼社區對暖化的易損性推估將會增加。{5.2}
- **極端天氣事件的風險：**某些系統對近年來某些極端天氣事件的反應，透露出這些系

統的易損性高於 TAR 中所述程度。現在科學界更為**高度確信**，乾旱、熱浪和水災的發生頻率，以及它們所造成的負面衝擊，推估都將增加。{5.2}

- **衝擊和易損性分佈：**各個地區所遭受之衝擊和易損性差異很大。經濟最弱勢的地區經常是最容易遭受氣候變遷損害的地區。越來越多的證據顯示，特定族群之易損性增加，例如開發中和已開發國家內之貧窮和老年族群。此外，亦有更多的證據顯示，低緯度及開發度較低地區通常面臨較大的風險，例如乾燥地區和大三角洲。{5.2}
- **總體衝擊：**相較於 TAR，氣候變遷之初期市場取向淨利益推估將在暖化幅度較低時達到巔峰，一旦暖化幅度增大，損害將更為嚴重。暖化增加所造成衝擊之淨成本推估將隨著時間而增加。{5.2}
- **大規模單一風險：**科學界**高度確信**，持續許多世紀之全球暖化可能導致熱膨脹成為海平面上升的唯一促成因素。由於海岸地區的流失及連帶衝擊，此一風險推估將比 20 世紀所觀測到的風險大得多。科學界較 TAR 時更加了解，格林蘭及南極冰原成為海平面上升額外促因的風險，可能大於冰原模式的推估，並可能發生於世紀時間尺度上。因為近年來所觀測到的冰動態過程，可能增加冰流失的速度，而此一過程並未被充分納入 AR4 所評估的冰原模式中。{5.2}

科學界高度確信，單靠調適或減緩措施無法完全避免氣候變遷的衝擊。然而，調適和減緩可以互補，並共同大幅降低氣候變遷的風險。{5.3}

在短期及稍長期內，調適措施是必要的，以因應即使在最低穩定化情境下仍無法避免之暖化所造成的衝擊。調適需要面對的是障礙、限制和成本問題，但這些問題尚未獲得充

分瞭解。就長期而言，如果氣候變遷未能減緩，其衝擊可能超過自然、管理和人類系統的調適能力。在不同領域和地區之間，達到這些限制的時間將會不同。儘早採取減緩行動將有助於避免被繼續困在碳密集基礎建設中，並減緩氣候變遷，進而降低採取連帶調適措施之必要性。{5.2, 5.3}

許多衝擊都可以透過減緩努力予以降低、延後或避免。未來 20~30 年間的減緩努力及投資，將明顯影響達到較低穩定化目標的機會。延宕排放減量措施將嚴重限制達到較低穩定化目標的機會，並使得招致更嚴重氣候變遷衝擊的風險升高。{5.3, 5.4, 5.7}

為了穩定大氣中溫室氣體濃度，排放量在到達巔峰後即須開始下降⁸⁴。穩定化目標的濃度越低，到達巔峰後再下降的時間即須越早。{5.4}

表 SPM.6 和圖 SPM.11 概略顯示不同穩定化濃度群組所需要之排放量，以及僅因熱膨脹

所造成之均衡全球暖化及長期海平面上升⁸⁵。為達到既定之溫度穩定化程度，氣候敏感度較高時所需要之減緩時機和程度，比氣候敏感度較低時來得早，也比較迫切。{5.4, 5.7}

暖化造成海平面上升已不可免。溫室氣體濃度達到穩定化後，在所評估之任何穩定化情境下，熱膨脹作用都仍會持續好幾個世紀，因此最終之海平面上升程度將比推估之 21 世紀海平面上升程度大得多。如果暖化達到超過工業革命前 1.9~4.6°C 的現象持續許多世紀，格林蘭冰原流失所造成之海平面上升最終可能高達數公尺，比熱膨脹造成之海平面上升還要大。長時間尺度之熱膨脹和冰原為反應暖化流失意味著，即使溫室氣體濃度在當前(或高於當前)的水準達到穩定化，在未來幾個世紀內，均無法使海平面上升亦達到穩定化。{5.3, 5.4}

⁸⁴ 在評估之最低減緩情境中，排放量需要在 2015 年達到巔峰，而在最高減緩情境中，排放量則需要在 2090 年達到巔峰(見表 SPM.6)。採取替代排放路徑的情境顯示，全球氣候變遷的速度有顯著的不同。

表 SPM.6 後 TAR 穩定化情境之特徵，及其所造成之長期均衡全球平均溫度和僅源自熱膨脹之海平面上升。{Table 5.1}^a

類別	二氧化碳濃度 穩定化 (2005 = 379 ppm) ^(b)	二氧化碳當量濃 度 穩定化 包括溫室氣體及 氣溶膠 (2005 = 379 ppm) ^(b)	二氧化碳排放量 達到巔峰年份 ^(a,c)	2050 年全球二氧化碳 排放變化 (佔 2000 年排放 量之百分比) ^(a,c)	均衡全球平均溫 度上升至高於工 業革命前(使用 氣候敏感性最佳 估計值) ^(d,e)	均衡全球平均海 平面上升至高於 工業革命前(僅 源自熱膨脹) ^(f)	評估該情境之數 量
	ppm	ppm	年	%	°C	公尺	
1	350 ~ 400	445 ~ 490	2000 ~ 2015	-85 ~ -50	2.0 ~ 2.4	0.4 ~ 1.4	6
2	400 ~ 440	490 ~ 535	2000 ~ 2020	-60 ~ -30	2.4 ~ 2.8	0.5 ~ 1.7	18
3	440 ~ 485	535 ~ 590	2010 ~ 2030	-30 ~ +5	2.8 ~ 3.2	0.6 ~ 1.9	21
4	485 ~ 570	590 ~ 710	2020 ~ 2060	+10 ~ +60	3.2 ~ 4.0	0.6 ~ 2.4	118
5	570 ~ 660	710 ~ 855	2050 ~ 2080	+25 ~ +85	4.0 ~ 4.9	0.8 ~ 2.9	9
6	660 ~ 790	855 ~ 1130	2060 ~ 2090	+90 ~ +140	4.9 ~ 6.1	1.0 ~ 3.7	5

說明：

- 由於缺乏碳循環回饋，為達到特定穩定化目標(見於本報告所評估之減緩研究)所需要之排放減量可能被低估(參見第 2 主題)。
- 2005 年之大氣二氧化碳濃度為 379 ppm。2005 年所有長久溫室氣體之 CO₂-eq 總濃度的最佳估計值約為 455 ppm，其相對值(包括所有人為作用力因素)則為 375 ppm CO₂-eq。
- 相當於 TAR 以後情境分佈之第 15 至第 85 百分位數的範圍。為了使多種氣體情境能夠與僅有 CO₂ 情境做比較，此處以 CO₂ 排放量的方式顯示(參見圖 SPM.3)。
- 氣候敏感性之最佳估計值為 3°C。
- 值得注意的是，由於氣候系統的慣性，均衡全球平均溫度與溫室氣體濃度達到穩定化時之預估全球平均溫度有別。對於經過評估的大多數情境而言，溫室氣體濃度達到穩定化的年份將介於 2100~2150 年之間(參見註腳 21)。
- 均衡海平面上升之促成因素僅為海洋熱膨脹，且至少許多世紀未達到均衡。這些數值都是利用相對簡單的氣候模式推估的(一個低解析度 AOGCM 和數個以氣候敏感性最佳估計值 3°C 為基礎的 EMICs)，其中未納入冰原、冰川和冰帽融化等促因。長期熱膨脹推估將造成全球平均暖化每高於工業革命前 1°C，海平面便會上升 0.2~0.6 公尺。(AOGCM

= 大氣-海洋全球氣候模式；EMIC = 中級複雜度地球系統模式)

一系列穩定化程度之二氧化碳排放量和均衡溫度升高

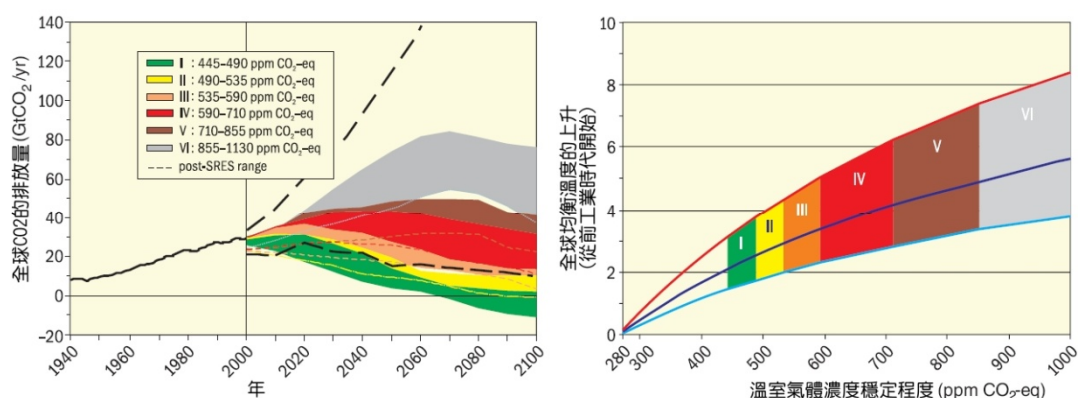


圖 SPM.11 1940~2000 年全球二氧化碳排放量和 2000~2100 年穩定化情境類別之排放量範圍(左圖)；穩定化目標與全球平均溫度高於工業革命前之可能均衡的相對關係(右圖)。達到均衡可能需要幾個世紀，尤其是對穩定化程度較高的情境來說。彩色暈渲部分顯示根據不同目標分組之穩定化情境(穩定化類別 I 至 VI)。右圖顯示全球平均溫度變化高於工業革命前之範圍，其採用條件為(i) 氣候敏感性“最佳估計值”為 3°C (暈渲部分中央的黑線)；(ii) 氣候敏感性可能範圍之上限為 4.5°C (暈渲部分上方的紅線)；(iii) 氣候敏感性可能範圍之下限為 2°C (暈渲部分下方的藍線)。左圖中的黑色虛線顯示 SRES 以後(2000 年)公佈之新近基準情境的排放範圍。穩定化情境之排放範圍包括僅二氧化碳情境和多氣體情境，並相當於完全情境分配之第 10 至第 90 百分位數。

註：多數模式中之二氧化碳排放量未包含源自森林砍伐後殘留之地面生物質腐朽和源自泥炭火災及排流泥炭土的排放量。(圖 5.1)

高度共識和大量證據顯示，透過現有技術與未來技術(預期在未來幾十年內商業化)組合之部署，可能達到已評估之穩定化目標。此一推斷之假設條件為有利於技術開發、取得、部署和擴散之適當而有效的獎勵辦法就緒，以及相關障礙獲得解決。{5.5}

所有評估之穩定化情境均指出，60~80% 的排放減量將源自於能源供應與使用和產業流程，且在許多情境中，能源效率均扮演關鍵性角色。土地利用及森林減緩選項中納入非二氧化碳氣體及二氧化碳，為達成穩定化提供更大的彈性和成本效益。低穩定化程度需要即早投資和先進低碳排放技術之更大幅快速擴散及商業化。{5.5}

如果沒有具規模的投資流和有效的技術轉移，可能很難達到實質的排放減量。低碳技術增量成本之動員融資非常重要。{5.5}

排放減緩之宏觀經濟成本通常隨著穩定化目標之嚴格度而升高(表 SPM.7)。對特定國家及

產業而言，相關成本與全球平均值的差異很大⁸⁶。{5.6}

2050 年達到多種氣體 710~445 ppm CO₂-eq 穩定化排放減緩之全球平均宏觀經濟成本介於全球 GDP +1%~ -5.5% 之間(表 SPM.7)。這點與全球平均 GDP 年成長率下降少於 0.12 個百分點相符。{5.6}

因應氣候變遷需要反覆地實施風險管理(包括減緩和調適措施)，同時考慮氣候變遷損害、協同效益、永續性、權益、和面對風險的態度。{5.1}

氣候變遷的衝擊非常可能造成淨年成本，且這些成本將隨著全球溫度的上升而增加⁸⁷。經同僚評論過的 2005 年社會碳成本(SCC)估

⁸⁶ 關於成本估計和模式假設條件之細節，請參見註腳 17。

⁸⁷ 氣候變遷所造成損害之淨經濟成本(全球合計並折現至指定年份)。

計平均值為每公噸二氧化碳 12 美元，但此一平均值的範圍非常廣(每公噸二氧化碳-3~95 美元)。之所以如此，多半是因為假設條件的差異，包括氣候敏感性、反應遲滯、風險與權益處理、經濟與非經濟衝擊、潛在災難損失納入、和貼現率。損害成本的總估計值未考慮各領域、地區、國家和族群所受衝擊之重大差異，並*非常可能*低估損害成本，因為許多非量化衝擊均無法納入計算。{5.7}

減緩成本與效益綜合分析之有限與初步結果顯示，這些成本與效益在規模上大致差不多，但到目前為止，尚無法確定一種效益大於成本的排放路徑或穩定化目標。{5.7}

氣候敏感性是達到特定溫度等級之減緩情境的關鍵不確定性。{5.4}

溫室氣體減緩之規模與時機選擇，需要在當下加速排放減量之經濟成本與延宕排放減量之中/長期風險之間取得平衡。{5.7}

表 SPM.7 推估之 2030 年和 2050 年全球宏觀經濟成本。表中所示為不同長期穩定化程度之最低成本軌跡基線的相對成本。{表 5.2}

穩定化程度 (ppm CO ₂ -eq)	中度 GDP 下降 ^(a) (%)		GDP 下降範圍 ^(b) (%)		平均 GDP 年成長率 下降(百分點) ^{(c), (e)}	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
445 ~ 535 ^(d)	無		< 3	< 5.5	< 0.12	< 0.12
535 ~ 590	0.6	1.3	0.2 ~ 2.5	微負~ 4	< 0.1	< 0.1
590 ~ 710	0.2	0.5	-0.6 ~ 1.2	-1 ~ 2	< 0.06	< 0.05

說明：本表中的數值與提供 GDP 數據之所有基準及減緩情境之完整文獻相符。

- 此為以全球 GDP 為基礎之市場匯率。
- 在適用情況下，既定之分析資料百分位數範圍為第 10 至第 90 百分位數。負值表示 GDP 成長。第一列(445-535 ppm CO₂-eq)所示者僅為文獻估計值之上限。
- GDP 年成長率下降之計算係以評估期間之平均降幅為基礎。此一年成長下降率將分別成為 2030 和 2050 年的指定 GDP 下降率。
- 研究數量相當少，且這些研究通常採用低基準。高排放量基準通常導致成本升高。
- 這些數值與第三欄中所顯示之 GDP 下降最高估計值相符。