

**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

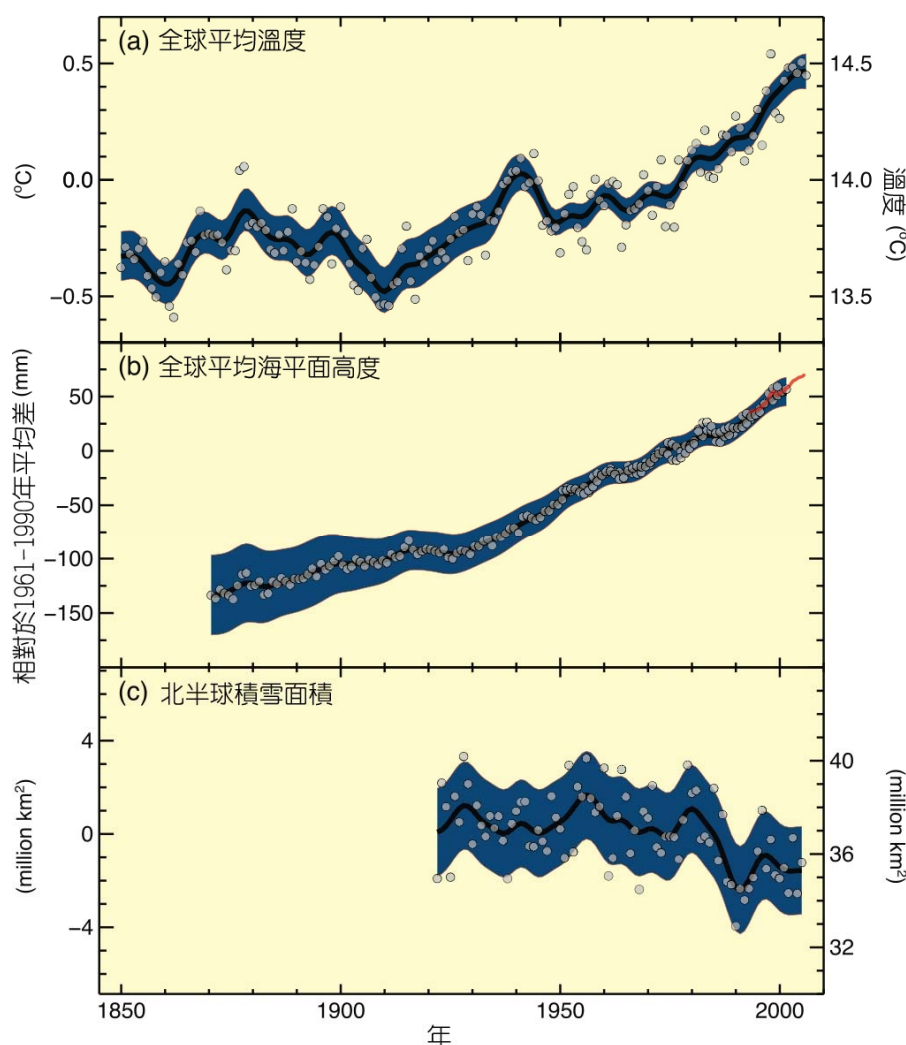


圖 SPM.1 觀測之(a)全球平均地表溫度、(b)全球平均海平面升高(根據潮位測站數據(藍色)和人造衛星數據(紅色))、和(c)北半球 3~4 月積雪面積變化。所有變化均為對照於 1961~1990 期間之均值。平滑曲線代表 10 年均值，圓圈則顯示年均值。陰影部分為根據已知不確定性綜合分析(a和 b)及時間序列(c)估計之不確定性區間。{圖 1.1}

自然與生物系統變遷及 1970~2004 年地表溫度變化

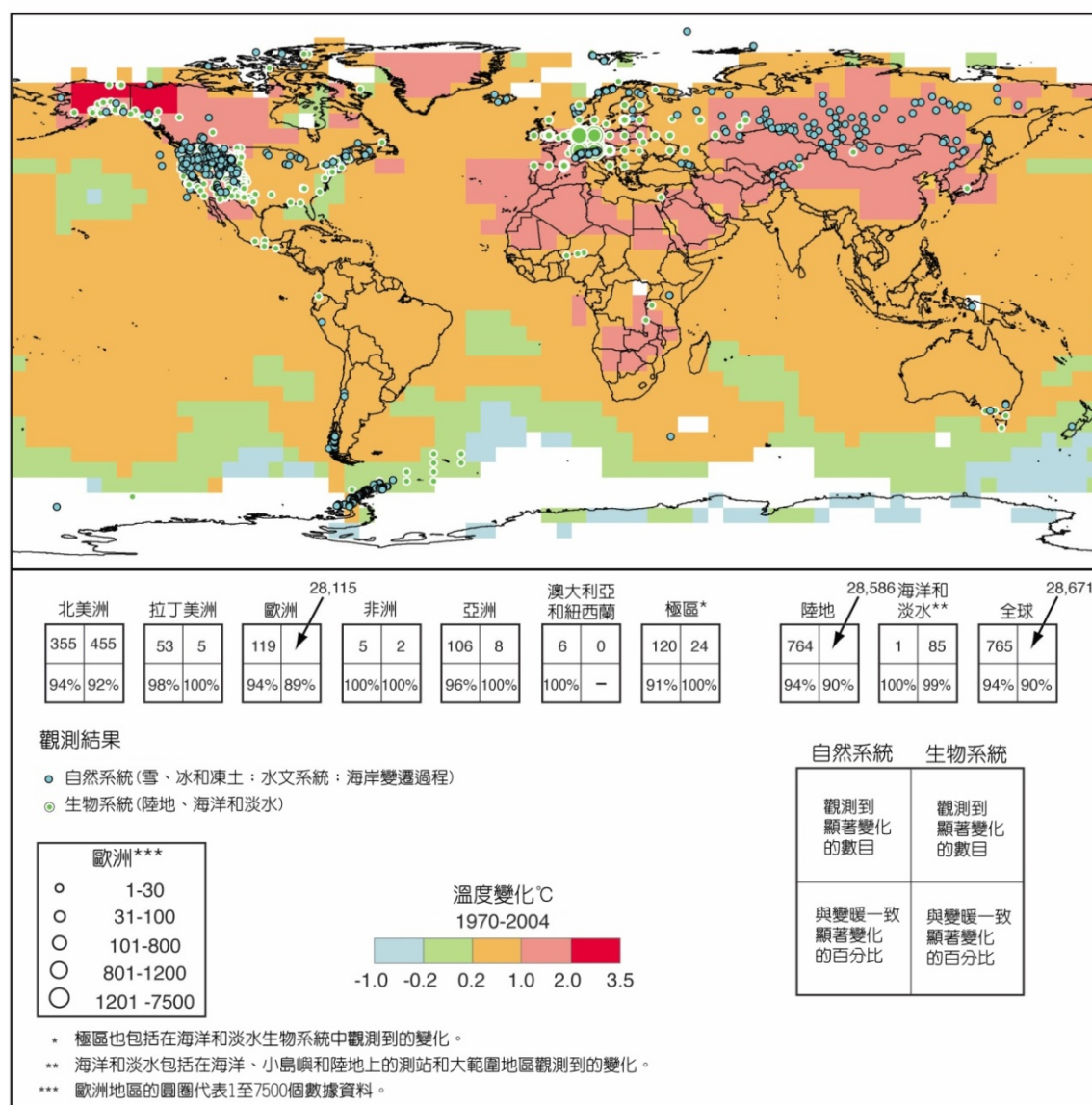


圖 SPM.2 觀測到具有顯著變化之自然系統(雪、冰、凍土、水文及海岸變遷過程)和生物系統(陸地、海洋和淡水生物系統)發生的地區，以及地表氣溫在 1970~2004 年間的變化。圖中資料係從 577 項研究中約 80,000 筆資料系列中選出約 29,000 筆資料系列的資料子集。選出的資料系列滿足以下標準：(1) 系列截止時間在 1990 年之後；(2) 至少涵蓋 20 年期間；(3) 顯示任何重大的變化(在個別研究評估中，不論其改變方向是否與預估的暖化反應一致)。這些約 29,000 筆選出的資料系列係源自近 75 項研究(其中約 70 項是 TAR 發表後的新研究)，其中約 28,000 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)、氫氟化合物(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

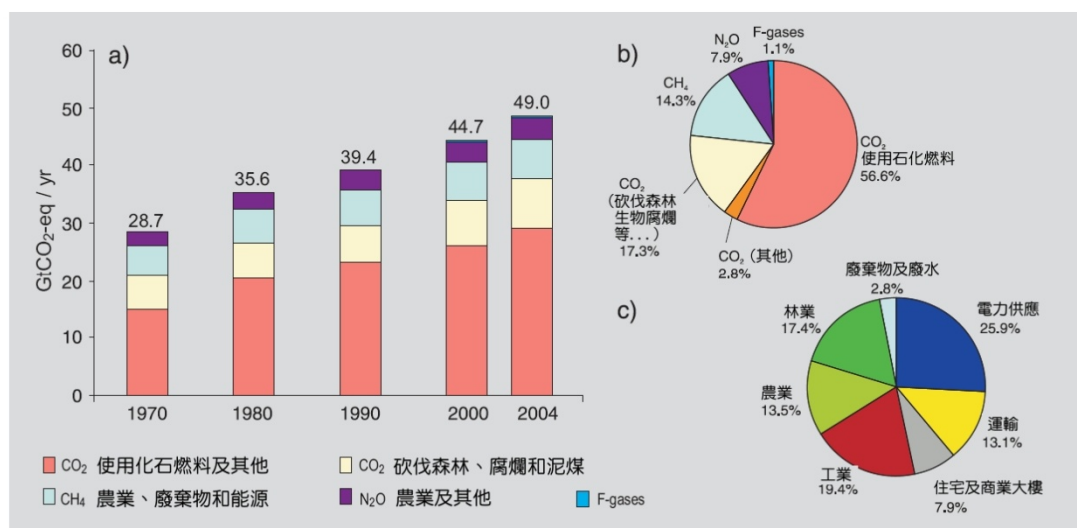


圖 SPM.3 (a) 1970~2004 年全球人為溫室氣體年排放量⁵; (b) 2004 年不同溫室氣體之人為排放量佔總排放量之比例 (以 CO₂-eq 為單位); (c) 2004 年不同產業佔人為溫室氣體總排放量之比例 (以 CO₂-eq 為單位) (林業包含森林砍伐)。{圖 2.1}

全球和大陸的溫度變化

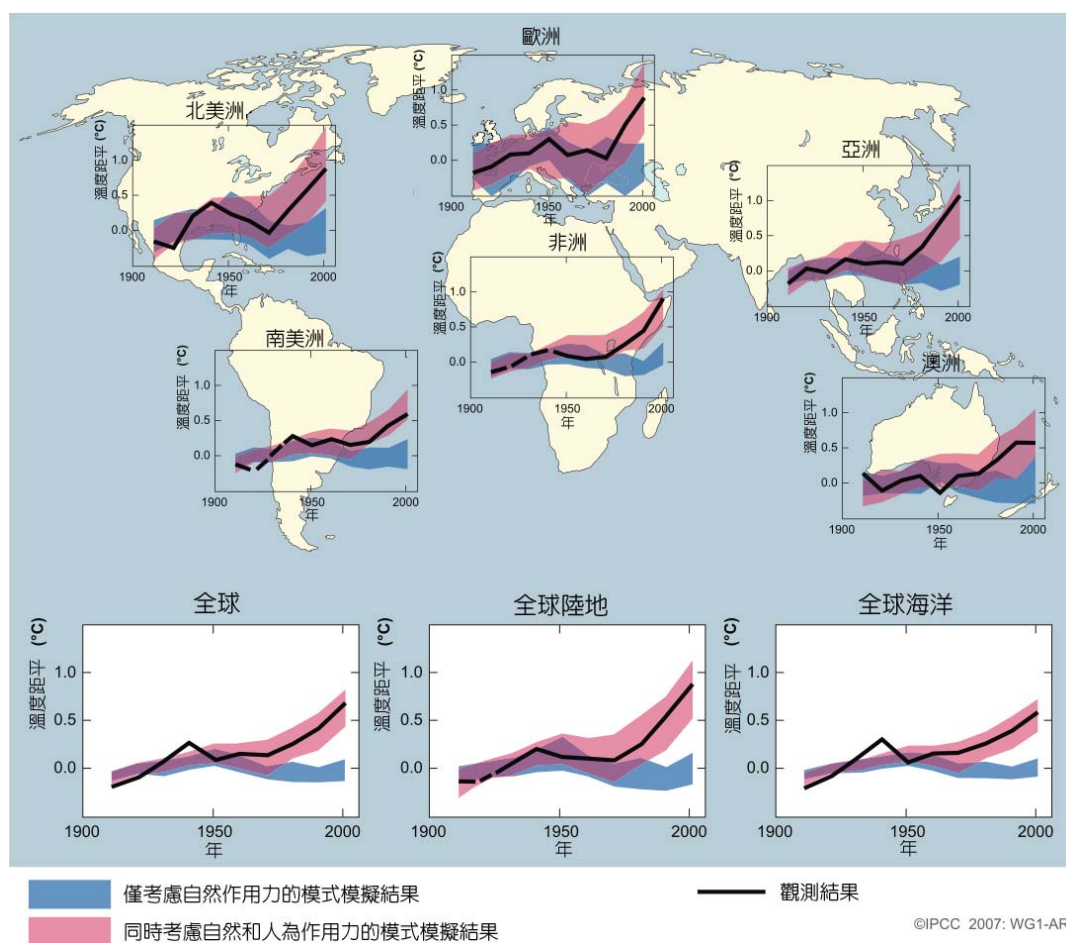


圖 SPM.4 比較觀測之全球及各大洲地表溫度變化，與利用氣候模式根據自然作用力或自然及人為作用力模擬結果。圖中顯示 1906 ~ 2005 年期間(黑線)之觀測 10 年平均值(標繪 10 年中點和對照於 1901-1950 之相對平均值)。空間涵蓋範圍少於 50% 處以虛線呈現。藍色條帶顯示僅根據自然作用力(太陽活動及火山)利用 5 個氣候模式進行 19 次模擬之 5 ~ 95% 範圍。紅色條帶顯示根據自然及人為作用力利用 14 個氣候模式進行 58 次模擬之 5 ~ 95% 範圍。{圖 2.5}

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

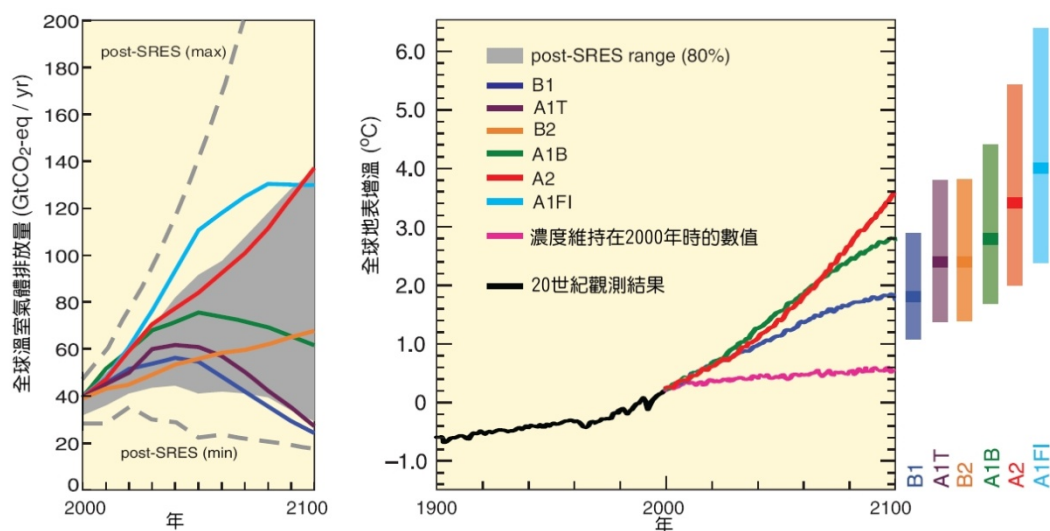


圖 SPM.5 左圖：在沒有新增氣候政策情況下之全球溫室氣體排放量(CO₂-eq)：六個示範性 SRES 標示情境(彩色線條)和 SRES 以後(後 SRES 時期)公佈之新情境的第 80 百分位數範圍(灰色部分)。虛線表示後 SRES 情境之完整範圍。排放氣體包括二氧化碳、甲烷、氧化亞氮和含氟氣體。右圖：實線表示 A2、A1B 和 B1 情境之多模式全球平均地表暖化情形(顯示為 20 世紀情況之延續)。這些推估亦將短暫溫室氣體和氣溶膠之排放量納入考量。粉色線條不是一種情境，而是用來模擬大氣-海洋全球氣候模式(AOGCM)。在 AOGCM 模擬中，大氣中溫室氣體含量被保持在 2000 年的水準。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

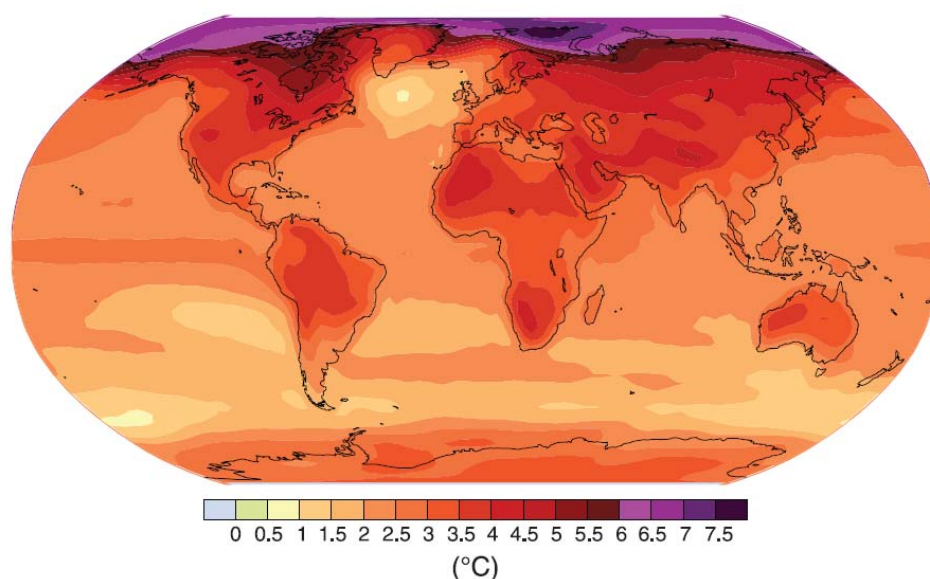


圖 SPM. 6 21 世紀末期(2090~2099 年)地表溫度變化之推估。本圖顯示 A1B SRES 情境之多-AOGCM 平均推估。所有溫度均為對照於 1980~1999 年期間。{圖 3.2}

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}

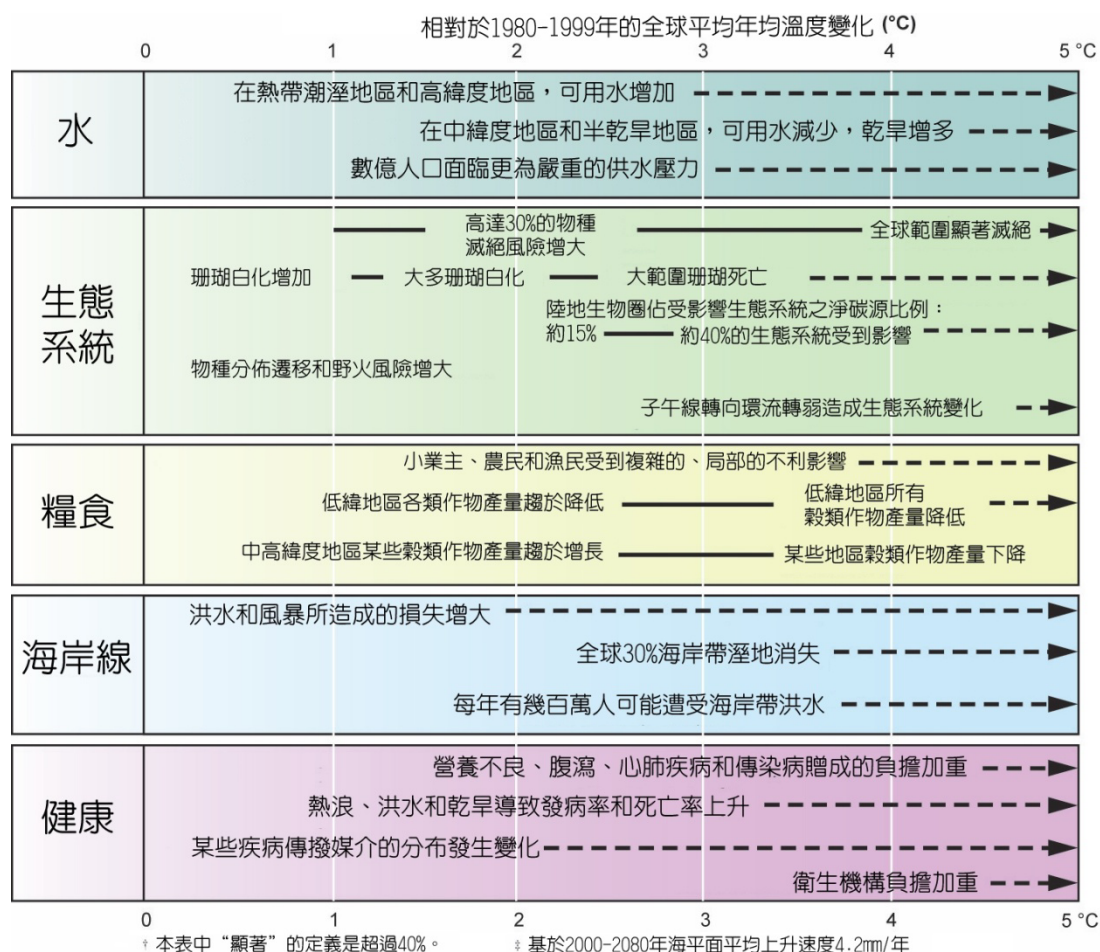
海洋酸化

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

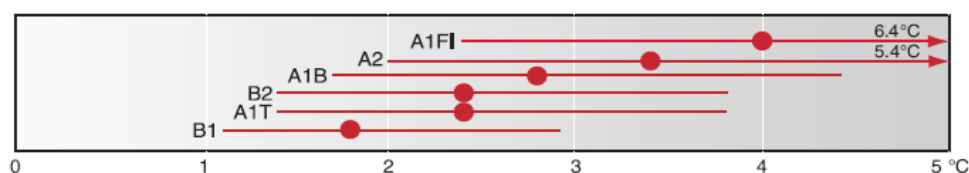


圖 SPM.7 重要衝擊與全球平均溫度增幅之關係。上圖：21 世紀全球平均地表溫度不同上升量情況下所推估氣候變遷(及相關的海平面和大氣中二氧化碳濃度變化)引發的全球衝擊事例。黑線連接衝擊，虛線箭頭表示衝擊隨著溫度升高而持續發生。表中文字左端表示衝擊項目大致的起始溫度。水資源短缺及洪水氾濫之量化項目表示相較於綜合 SRES 中 A1FI、A2、B1 和 B2 情境推估之額外衝擊。以上評估並未考量調適作為所帶來的效益。所有陳述之信心程度均為高度。

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	- 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	- 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	- 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	- 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	- 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	- 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

	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。 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	- 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	- 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時間尺度問題，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)

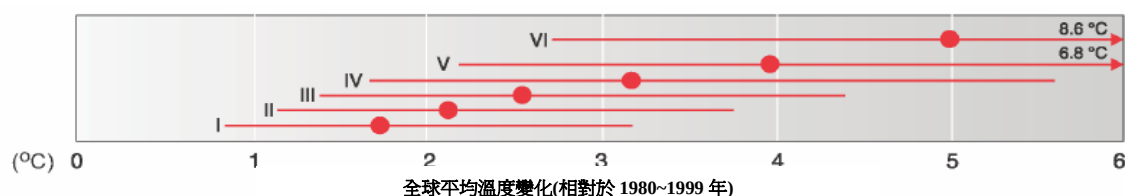


圖 SPM.8 AR4 WGIII 報告中六種穩定化情境類別之多世紀暖化推估(表 SPM.6)。溫度尺度已調整-0.5°C (相較於表 SPM.6)，以便大致反應工業革命前與 1980~1999 年之間的暖化。在最穩定情境下，全球平均溫度接近均衡狀態達幾個世紀。就溫室氣體排放情境而言(相對於 2100 年時達到 SRES B1 和 A1B 情境之穩定化程度 – 600 和 850 ppm CO₂-eq；類別 IV 和 V)，根據所評估的模式推估，到了穩定化時期，推估之全球平均溫度上升將會發生約 65~70% (假設氣候敏感度為 3°C)。至於較低的穩定化情境(類別 I 和 II；圖 SPM.11)，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

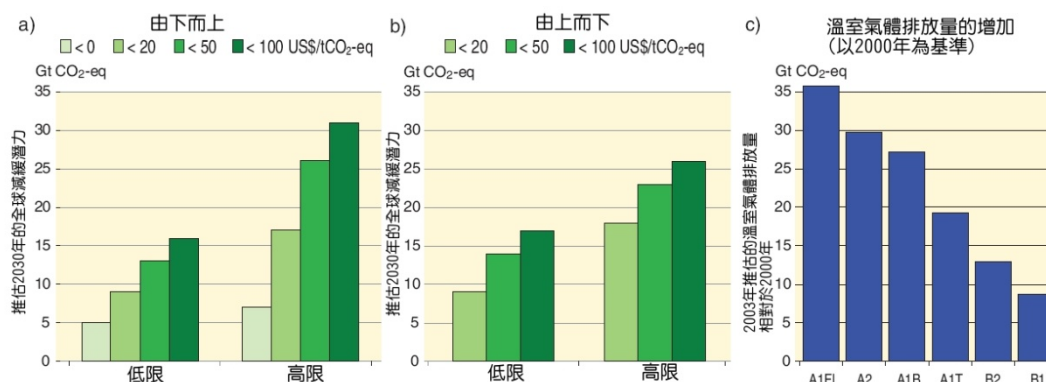


圖 SPM.9 根據由下而上研究(a 圖)及由上而下研究(b 圖)推估之 2030 年全球經濟減緩潛力，相較於 SRES 情境下推估之排放量增加(相對於 2000 年溫室氣體量 40.8 GtCO₂-eq) (c 圖)。

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

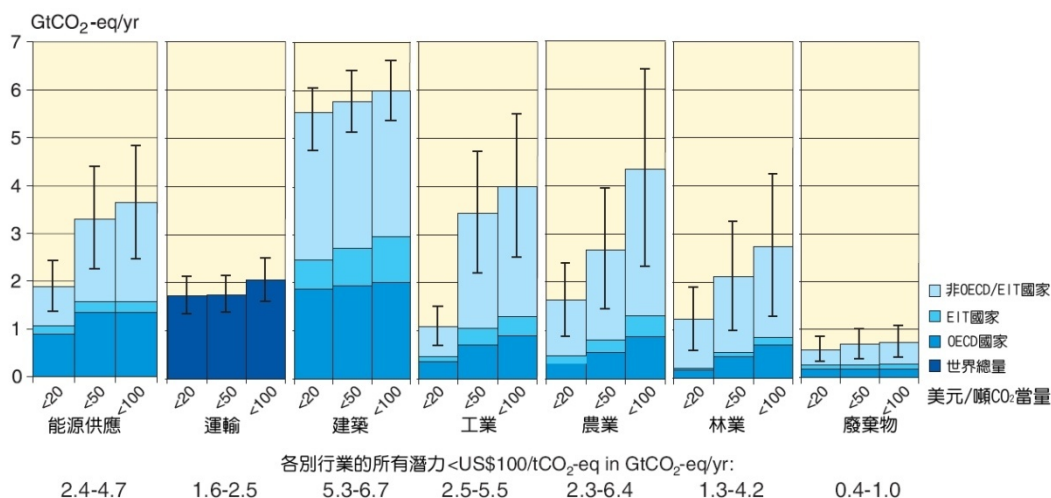


圖 SPM.10 利用由下而上研究推估之 2030 年各產業全球經濟減緩潛力與各產業評估中所假設基準的比較。圖中所示經濟減緩潛力未包含非技術選項，例如生活方式的改變。{圖 4.2}

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、船運與高乘載乘各運輸；建築業之高成本選項；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</i> <i>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以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 中所述的確信度。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)	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

⁸⁵ AR4 中並未針對穩定化情境提供溫度在本世紀過程中之演變推估。在多數穩定化程度情境下，全球平均溫度將於幾個世紀期間達到均衡程度。在穩定化程度較低的情境下(類別 I 和 II；圖 SPM.11)，達到均衡溫度的時間可能提早。

= 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

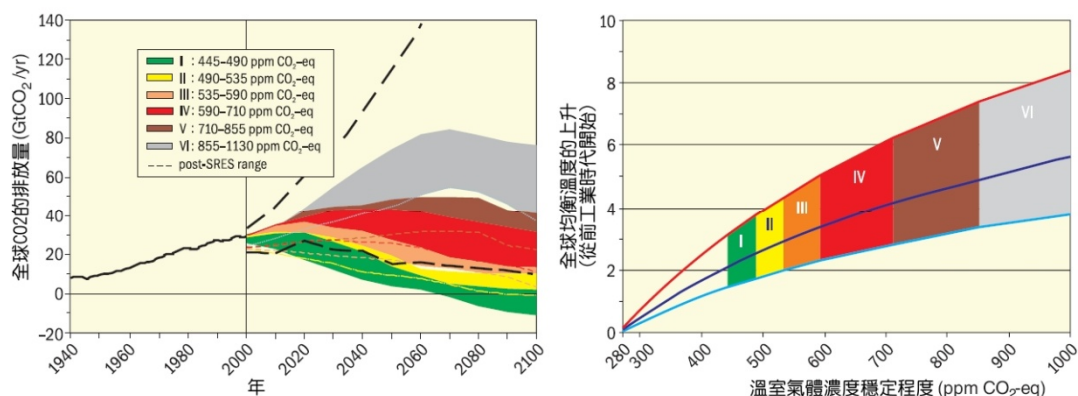


圖 SPM.11 1940~2000 年全球二氧化碳排放量和 2000~2100 年穩定化情境類別之排放量範圍(左圖)；穩定化目標與全球平均溫度高於工業革命前之可能均衡的相對關係(右圖)。達到均衡可能需要幾個世紀，尤其是對穩定化程度較高的情境來說。彩色暈渲部分顯示根據不同目標分組之穩定化情境(穩定化類別 I 至 VI)。右圖顯示全球平均溫度變化高於工業革命前之範圍，其採用條件為(i) 氣候敏感性“最佳估計值”為 3°C (暈渲部分中央的黑線)；(ii) 氣候敏感性可能範圍之上限為 4.5°C (暈渲部分上方的紅線)；(iii) 氣候敏感性可能範圍之下限為 2°C (暈渲部分下方的藍線)。左圖中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

- a) 此為以全球 GDP 為基礎之市場匯率。
- b) 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。
- c) 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。
- d) 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。
- e) 這些數值與第三欄中所顯示之 GDP 下降最高估計值相符。