

**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尙無文獻佐證[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

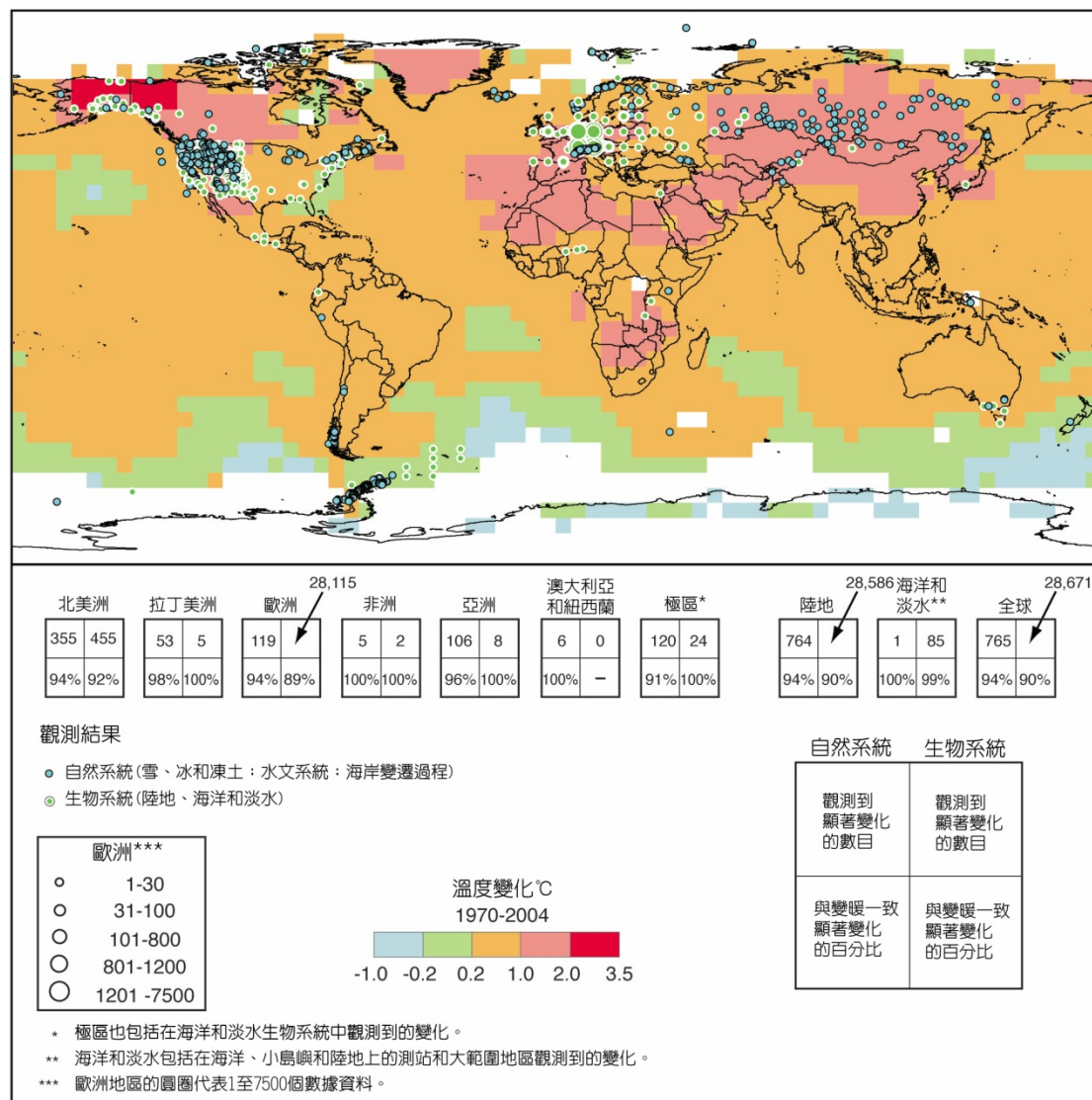


圖 SPM-1：觀測到具有顯著變化之自然系統(雪、冰、凍土、水文及海岸變遷過程)和生物系統(陸地、海洋和淡水生物系統)發生的地區，以及地表氣溫在 1970~2004 年間的變化。圖中資料係從 577 項研究中約 80,000 筆資料系列中選出約 29,000 筆資料系列的資料子集。選出的資料系列滿足以下標準：(1) 系列截止時間在 1990 年之後；(2) 至少涵蓋 20 年期間；(3) 顯示任何重大的變化(在個別研究評估中，不論其改變方向是否與預估的暖化反應一致)。這些約 29,000 筆選出的資料系列係源自近 75 項研究(其中約 70 項是 TAR 發表後的新研究)，其中約 28,000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

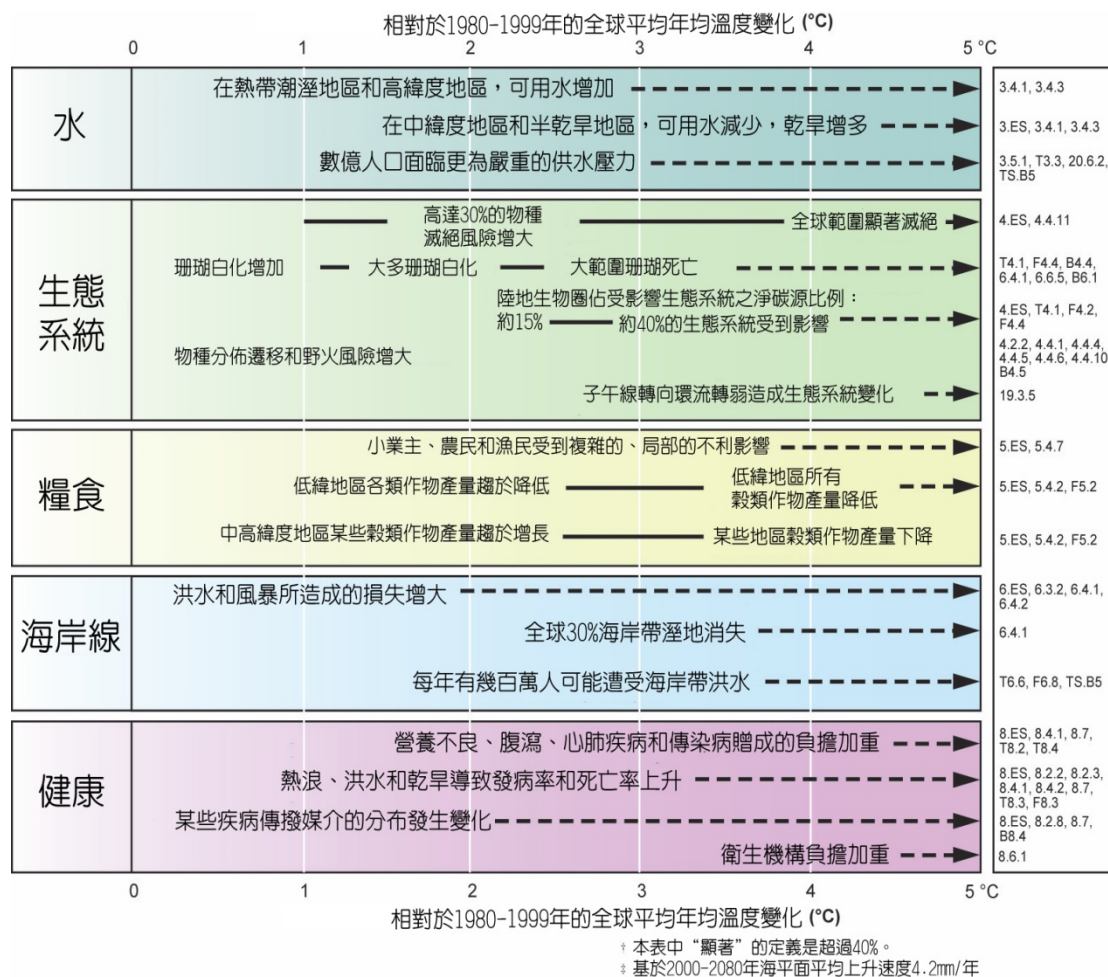


圖 SPM-2：21 世紀全球平均地表溫度不同上升量情況下所推估氣候變遷(及相關的海平面和大氣中二氧化碳濃度變化)引發的全球衝擊事例[T20.7]。黑線連接衝擊，虛線箭頭表示衝擊隨著溫度升高而持續發生。表中文字左端表示衝擊項目大致的起始溫度。水資源短缺及洪水氾濫之量化項目表示相較於綜合 SRES 中 A1FI、A2、B1 和 B2 情境推估之額外衝擊(參閱文字框 3)。以上評估並未考量調適作為所帶來的效益。所有項目均引自本評估報告收錄之已發表研究。資料出處顯示於本表右欄。所有陳述均屬高度信心程度。

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應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

候變遷衝擊的調應或提升調應的能力[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。

= 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

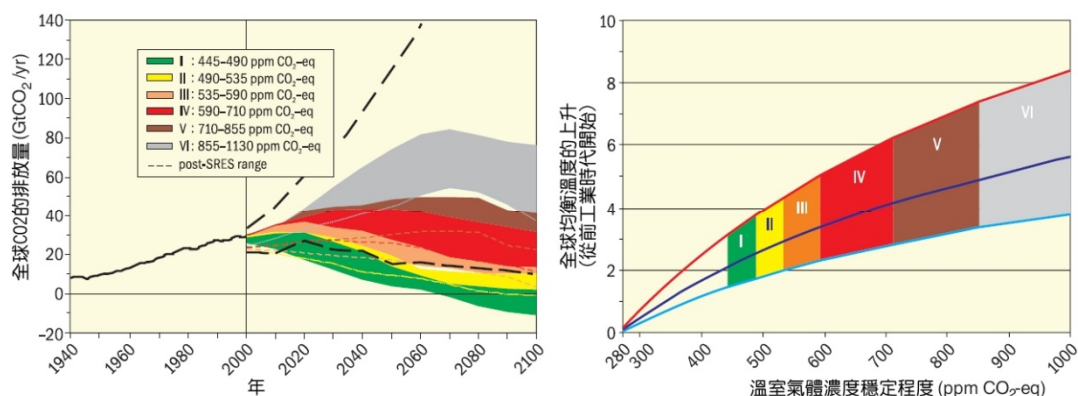


圖 SPM.11 1940~2000 年全球二氧化碳排放量和 2000~2100 年穩定化情境類別之排放量範圍(左圖)；穩定化目標與全球平均溫度高於工業革命前之可能均衡的相對關係(右圖)。達到均衡可能需要幾個世紀，尤其是對穩定化程度較高的情境來說。彩色暈渲部分顯示根據不同目標分組之穩定化情境(穩定化類別 I 至 VI)。右圖顯示全球平均溫度變化高於工業革命前之範圍，其採用條件為(i) 氣候敏感性“最佳估計值”為 3°C (暈渲部分中央的黑線)；(ii) 氣候敏感性可能範圍之上限為 4.5°C (暈渲部分上方的紅線)；(iii) 氣候敏感性可能範圍之下限為 2°C (暈渲部分下方的藍線)。左圖中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