

**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, Ritu 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)<sup>32</sup>。
  - 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(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟化物(PFCs)、及六氟化硫(SF<sub>6</sub>)

<sup>32</sup> 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, GtCO<sub>2</sub>-eq)<sup>33</sup> (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，CO<sub>2</sub> 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<sup>34</sup>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)<sup>35</sup>40%<sup>36</sup>。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 CO<sub>2</sub> 排放驅使因素(圖 SPM 2)。能源供應的碳密

<sup>33</sup> CO<sub>2</sub> 當量(CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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]。

<sup>34</sup> 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。

<sup>35</sup> 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 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 及 N<sub>2</sub>O 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)。

<sup>36</sup> 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<sub>PPP</sub>)<sup>37</sup>, 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)<sup>38</sup> 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<sup>39</sup>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 GtCO<sub>2</sub>-eq 之間(25~90%)<sup>40</sup> (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,

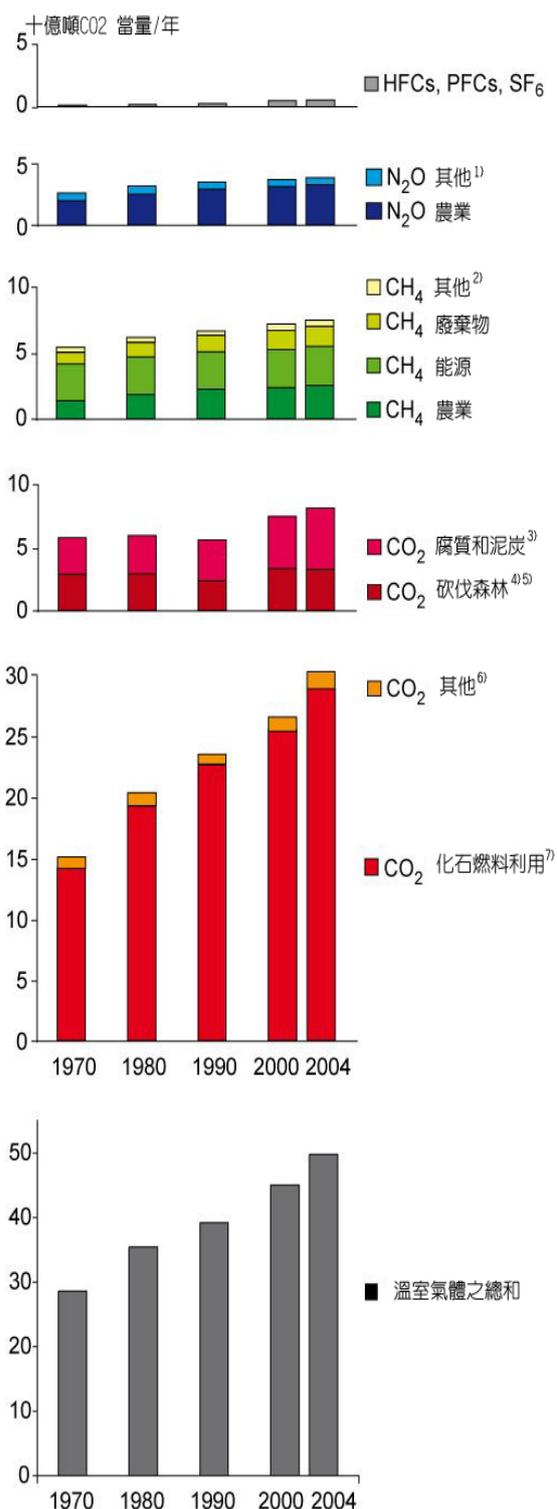
仍將維持其在全球能源組合中的首要地位。因此, 2000~2030 年間, 源自於能源利用的 CO<sub>2</sub> 排放量推估將增加 40~110%, 其中有 2/3~3/4 的增加量源自於非附錄 I 地區。到了 2030 年, 這些地區的人均能源消耗之 CO<sub>2</sub> 排放量(2.8~5.1 tCO<sub>2</sub>/cap)推估將維持在遠低於附錄 I 地區的水準(9.6~15.1 tCO<sub>2</sub>/cap)。根據 SRES 情境, 附錄 I 締約方經濟體創造單位 GDP 所需之能源消耗(6.2~9.9 MJ/US\$ GDP)推估將低於非附錄 I 締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

<sup>37</sup> GDP<sub>PPP</sub> 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。

<sup>38</sup> 海龍(Halons)、氟氯碳化物(CFCs)、氟氯烴(HCFCs)、三氯甲烷(CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub>)、四氯化碳(CCl<sub>4</sub>)、和溴化甲烷(CH<sub>3</sub>Br)。

<sup>39</sup> 能源安全指的是能源供應的安全性。

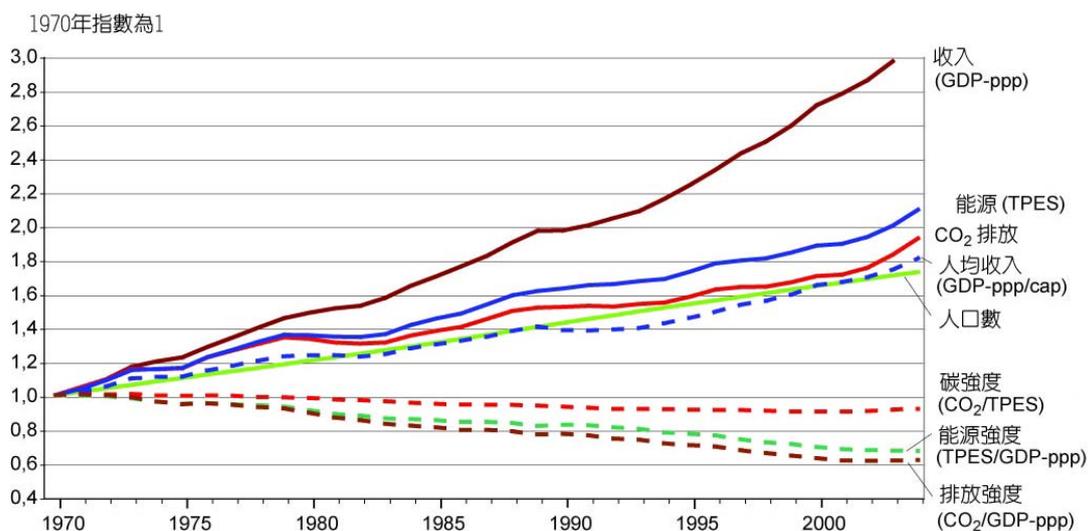
<sup>40</sup> 此處假設的 SRES 2000 年溫室氣體排放量為 39.8 GtCO<sub>2</sub>-eq, 此即低於 EDGAR 資料庫所提出的 2000 年排放量(45 GtCO<sub>2</sub>-eq) – 這差異的主因是 LULUCF 排放量的估計不同。



**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 GWP<sub>100</sub> 將溫室氣體排放量轉換為 CO<sub>2</sub> 當量(CO<sub>2</sub>-eq) (參閱 UNFCCC 報告指南)。CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、HFCs、PFCs 和 SF<sub>6</sub> 的所有來源均被納入計算。兩種 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 排放量[圖 1.1a]。

說明:

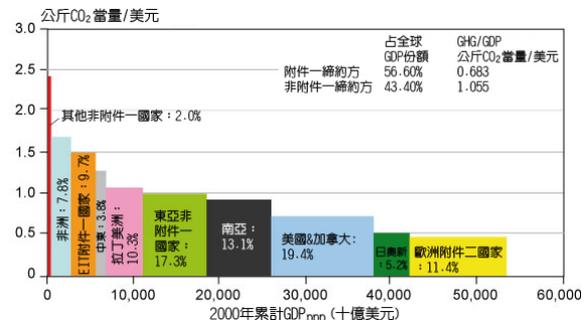
1. 其他 N<sub>2</sub>O 排放包括工業製程、森林砍伐/草原焚燒、廢水、和垃圾焚燒。
2. 其他 CH<sub>4</sub> 排放包括工業製程和草原焚燒。
3. 包括源自生質能產製與使用之 CO<sub>2</sub> 排放量。
4. 砍伐林木和森林後在地面殘留之生物質腐化(分解)產生的 CO<sub>2</sub> 排放量,及泥炭燃燒和乾泥炭土壤腐化產生的 CO<sub>2</sub> 排放量。
5. 此外,假設 90% 森林砍伐源自持久性的生物質生產,傳統生物質利用則佔總量 10%。此處以假設 10% 的生物質碳含量在燃燒後仍為木炭來做修正。
6. 根據全球火災排放資料庫的衛星資料,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<sub>PPP</sub>)、初級能源總供應量(Total Primary Energy Supply, TPES)、CO<sub>2</sub>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<sub>PPP</sub> /Pop)、能源密集度(TPES/GDP<sub>PPP</sub>)、能源供應之碳密集度(CO<sub>2</sub>/TPES)、和經濟生產過程之碳排放密集度(CO<sub>2</sub>/ GDP<sub>PPP</sub>) [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<sub>PPP</sub> 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]。

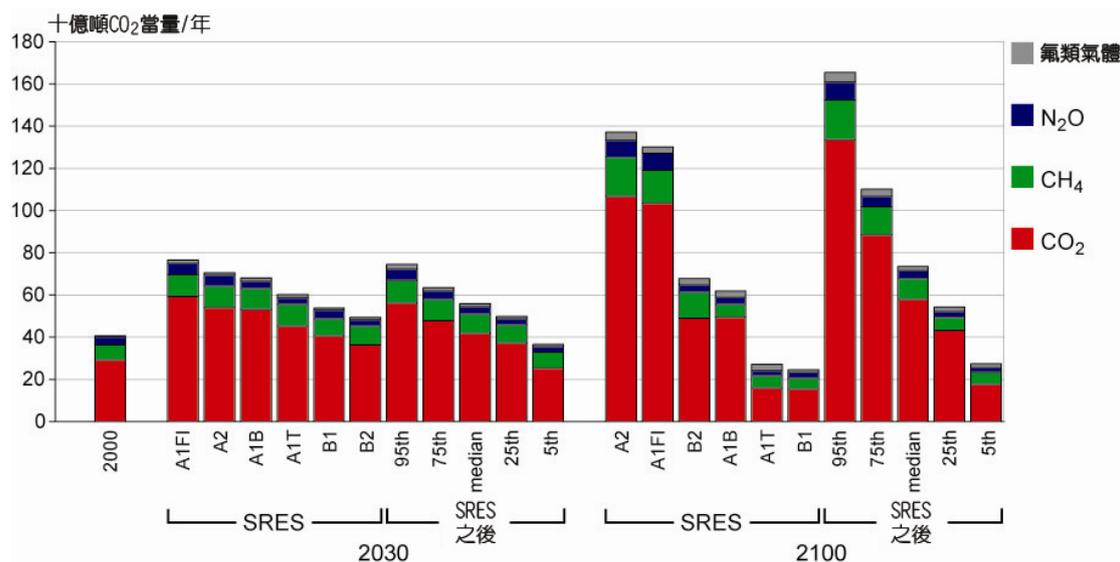


圖 SPM 4：2000 年全球溫室氣體排放量和根據 IPCC SRES 及後 SRES 新文獻所推估之 2030 和 2100 年基準排放量<sup>41</sup>。本圖提供六組示範性 SRES 情境之排放量，以及後 SRES 新文獻情境(5 百分位、25 百分位、中位數、75 百分位和 95 百分位)之排放頻率分布(如第 3 章所述)。含氟氣體包括 HFCs、PFCs 和 SF<sub>6</sub> [1.3, 3.2, 圖 1.7]。

<sup>41</sup> 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 GtCO<sub>2</sub>-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<sup>42</sup>。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<sup>43</sup>。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]。

<sup>42</sup> 參見第 1 工作組 AR4 10.2

<sup>43</sup> 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<sub>PPP</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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<sup>44</sup>。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<sup>45</sup>，同時假設市場效率因政策與措施而

<sup>44</sup> 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。

<sup>45</sup> 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 GtCO<sub>2</sub>-eq [11.3]。
- 研究顯示，到了 2030 年，淨負成本<sup>46</sup>的減

<sup>46</sup> 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 GtCO<sub>2</sub>-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 <sub>2</sub> -eq)	經濟潛力 (GtCO <sub>2</sub> -eq/年)	相對於 SRES A1 B 情境之消減 (68 GtCO <sub>2</sub> -eq/年) (%)	相對於 SRES B2 情境之消減 (49 GtCO <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> -eq)	經濟潛力 (GtCO <sub>2</sub> -eq/年)	相對於 SRES A1 B 情境之消減 (68 GtCO <sub>2</sub> -eq/年) (%)	相對於 SRES B2 情境之消減 (49 GtCO <sub>2</sub> -eq/年) (%)
20	9~18	13~27	18~37
50	14~23	21~34	29~47
100	17~26	25~38	35~53

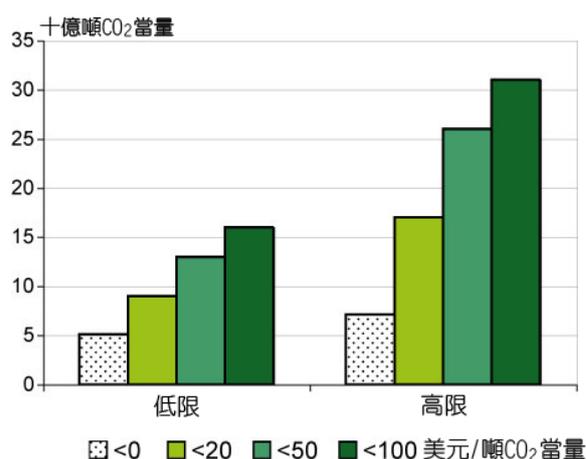


圖 SPM 5A：利用由下而上研究預估 2030 年  
全球的經濟減緩潛力(資料引自表 SPM 1)

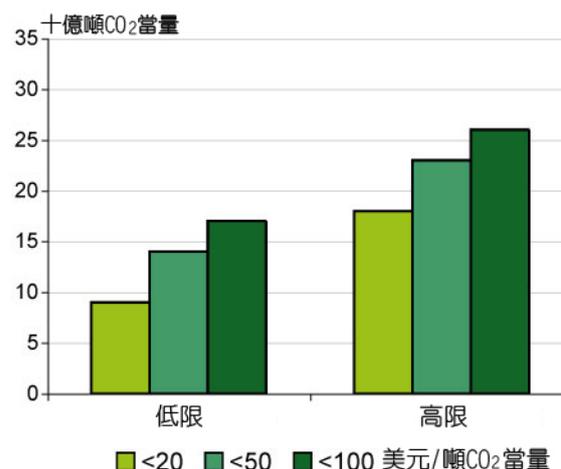


圖 SPM 5B：利用由上而下研究預估 2030 年  
全球的經濟減緩潛力(資料引自表 SPM 2)

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 <sub>2</sub> 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 <sub>4</sub> 排放量；改善氮肥應用技術，以減少 N <sub>2</sub> 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 <sub>4</sub> 氧化過程。

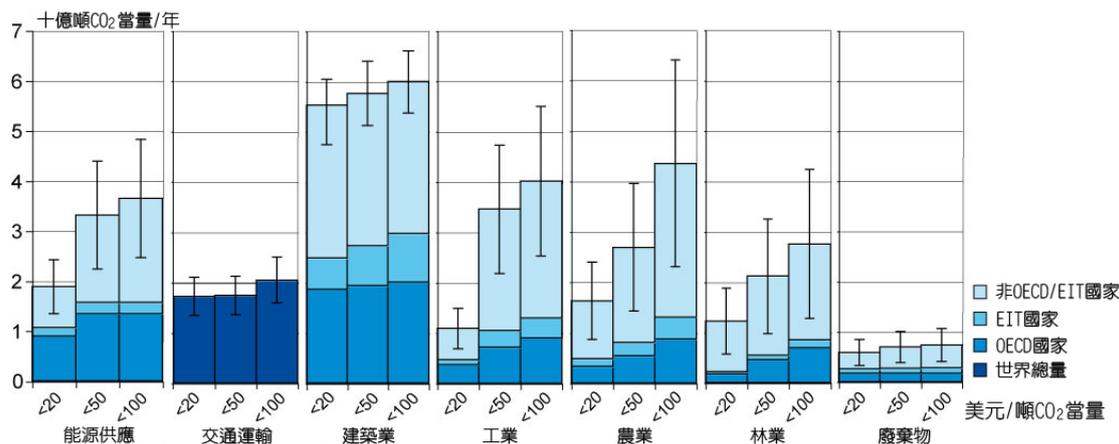


圖 SPM 6：利用由下而上研究，對照於產業評估中所假設之個別基準預估 2030 年不同地區不同產業在各種碳交易價格下對於全球溫室氣體減緩之經濟潛力。本圖衍生意義的詳細說明參見 11.3。

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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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<sup>a)</sup>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<sup>b), c)</sup>進行預估

穩定化目標 (ppm CO <sub>2</sub> -eq)	GDP 減少的中位數 (%)	GDP 減少的範圍 <sup>d), e)</sup> (%)	平均 GDP 年成長率減少 <sup>d), f)</sup> (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 <sup>g)</sup>	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 CO<sub>2</sub> 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<sup>47</sup>，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<sup>48</sup>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<sup>49</sup>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

<sup>47</sup> 參閱第 3 工作組 TAR (2001)「決策者摘要」第 16 段。

<sup>48</sup> 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。

<sup>49</sup> 碳漏的定義為採取減緩行動之國家於國外增加 CO<sub>2</sub> 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<sup>50</sup>（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<sup>51</sup>。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 CO<sub>2</sub> 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/ tCO<sub>2</sub>-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/ tCO<sub>2</sub>-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]<sup>52</sup>。
- 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<sup>19</sup>，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 CO<sub>2</sub> 排放減少量。

<sup>50</sup> 參見表 SPM 1 和圖 SPM 6。

<sup>51</sup> 20 兆 = 200,000 億 = 20\*10<sup>12</sup>

- 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<sup>53</sup>，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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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<sup>19</sup>** 可以大幅降低 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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<sup>19</sup>**。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<sup>19</sup>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

<sup>52</sup> 奧地利不能認同此表述。

<sup>53</sup> 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 CO<sub>2</sub> 的排除<sup>19</sup>。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)<sup>54</sup>。**

- 約 65% 的總減緩潛力(100 美元/ tCO<sub>2</sub>-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<sup>55</sup>造成的溫室氣體排放量佔全球排放量很小的比例<sup>56</sup>(<5%)，但廢棄物處理部門可以低成本<sup>19</sup>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 CO<sub>2</sub> 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]。**

<sup>54</sup> 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。」

<sup>55</sup> 工業廢棄物歸在工業部門討論。

<sup>56</sup> 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 CO<sub>2</sub>。

## 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)<sup>57</sup> (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<sup>58</sup>。這些研究

<sup>57</sup> 第 2 段探討工業革命以來之歷史溫室氣體排放量。

<sup>58</sup> 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<sup>59</sup>，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)<sup>60</sup>。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]。

<sup>59</sup> 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。

<sup>60</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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]<sup>a)</sup>

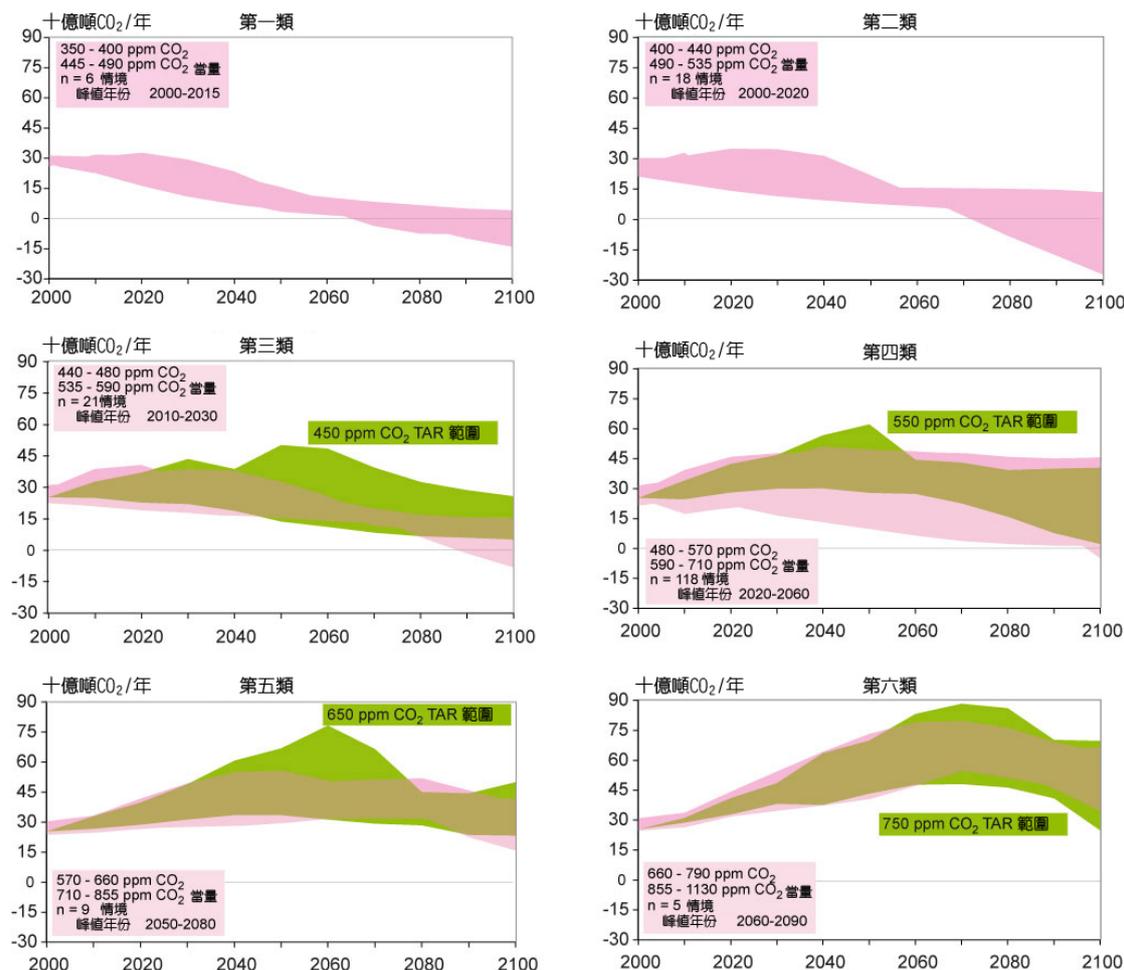
類別	輻射作用力 (W/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> 濃度 <sup>c)</sup> (ppm)	CO <sub>2</sub> 當量 濃度 <sup>c)</sup> (ppm)	工業革命以 來，全球平均 增溫(使用氣 候敏感度最佳 估計值 <sup>b), c)</sup> (°C)	CO <sub>2</sub> 排放量達 到巔峰年份 <sup>d)</sup> (年)	2050 年全球 CO <sub>2</sub> 排放量變 化(佔 2000 年 排放量之百分 比) <sup>d)</sup> (%)	評估該情境 之數量
I	2.5 ~ 3.0	350 ~ 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 情境做比較，此處以 CO<sub>2</sub> 排放量的方式顯示。

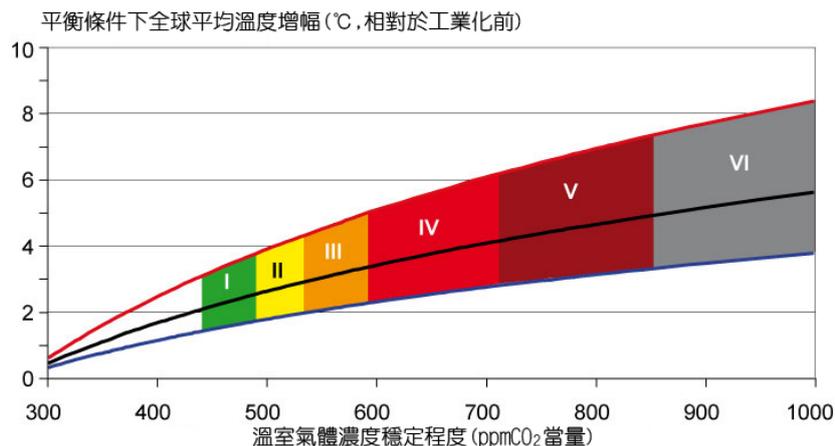


**圖 SPM 7：**穩定化目標各類型減緩情境之排放路徑(emissions pathways) (第一到六類別之定義如圖中方格所示)。此排放路徑僅為 CO<sub>2</sub> 之排放。淡棕色部分顯示後 TAR 時期排放情境之 CO<sub>2</sub> 排放情形。綠色部分顯示超過 80 個 TAR 穩定化情境的範圍。由於部門與產業涵蓋範圍的差異，模式間的基準年排放量可能不同。為達到較低的穩定化目標，某些情境的包含採用碳捕集與封存技術於生質能製造，以減少大氣中 CO<sub>2</sub> 排放量(意即負排放量)[圖 3.17]。

- 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 CO<sub>2</sub> 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。

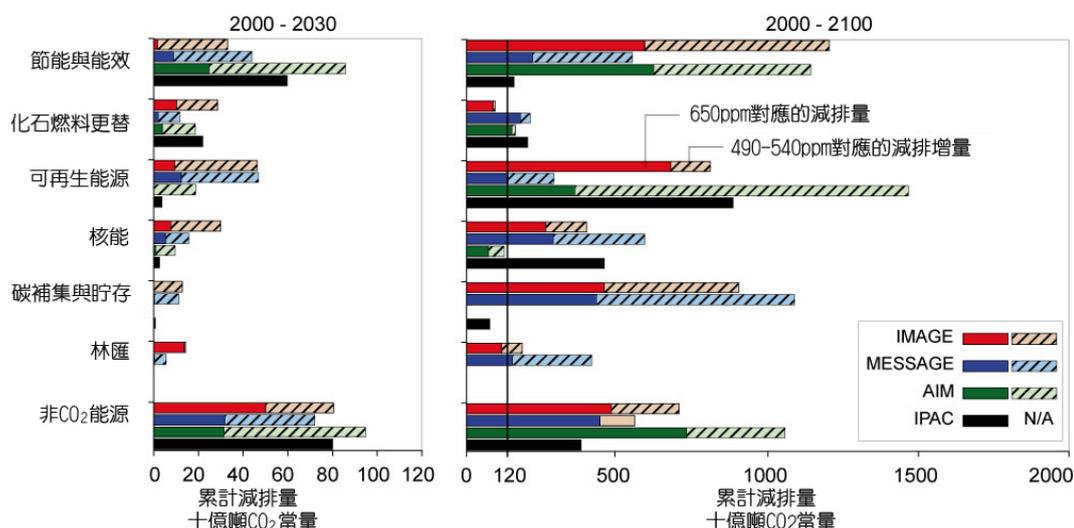
- 土地利用及森林減緩選項中納入非 CO<sub>2</sub> 氣體及 CO<sub>2</sub>, 為達成穩定化提供更大的彈性和成本有效性。新的生質能可能顯著提升再生能源在減緩選項組合中的比重。



**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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-eq 和 650 ppm CO<sub>2</sub>-eq 為目標。深色柱條表示以 650 ppm CO<sub>2</sub>-eq 為目標之排放減量，淺色柱條表示達到 490~540 ppm CO<sub>2</sub>-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<sup>61</sup>，要促使 CO<sub>2</sub>-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]。

<sup>61</sup> 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<sup>a)</sup>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 <sub>2</sub> -eq)	GDP 減少的中位數 <sup>b)</sup> (%)	GDP 減少範圍 <sup>b), c)</sup> (%)	平均 GDP 年成長率減少 <sup>b), d)</sup> (百分點)
590 ~ 710	0.5	-1 ~ 2	< 0.05
535 ~ 590	1.3	微負 ~ 4	< 0.1
445 ~ 535 <sup>e)</sup>	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 <sup>a)</sup>	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 <sub>2</sub> 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/ tCO<sub>2</sub>-eq, 到了 2050 年, 則可能漲至 30~155 美元/ tCO<sub>2</sub>-eq。此價格預估與 2100 年達到 550 ppm CO<sub>2</sub>-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/ tCO<sub>2</sub>-eq 和 15~130 美元/ tCO<sub>2</sub>-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/tCO<sub>2</sub>-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<sup>62</sup>, 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<sup>63</sup>。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**

<sup>62</sup> 參見 IPCC“技術轉移之方法與技術問題特別報告”。

<sup>63</sup> 高度取決於在 4~26 美元/tCO<sub>2</sub>-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

不確定性是一切評估之固有特性。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<sup>64</sup>)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

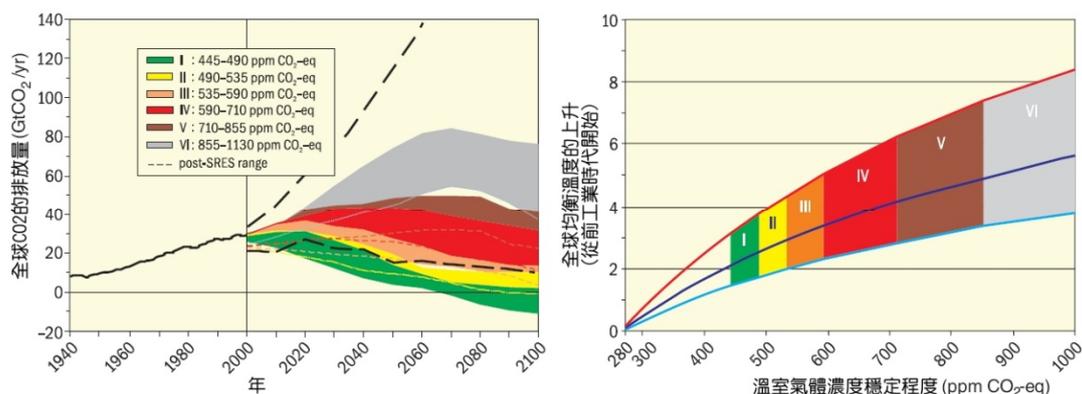
共識程度 (針對特定發現)	↑	高度共識 有限證據	高度共識 中量證據	高度共識 大量證據
		中度共識 有限證據	中度共識 中量證據	中度共識 大量證據
		低度共識 有限證據	低度共識 中量證據	低度共識 大量證據
		證據數量 <sup>33</sup> (獨立來源之數量與品質) →		

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。

<sup>64</sup> 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。

= 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<sup>86</sup>。{5.6}

2050 年達到多種氣體 710~445 ppm CO<sub>2</sub>-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<sup>87</sup>。經同僚評論過的 2005 年社會碳成本(SCC)估

<sup>86</sup> 關於成本估計和模式假設條件之細節，請參見註腳 17。

<sup>87</sup> 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 <sub>2</sub> -eq)	中度 GDP 下降 <sup>(a)</sup> (%)		GDP 下降範圍 <sup>(b)</sup> (%)		平均 GDP 年成長率 下降(百分點) <sup>(c), (e)</sup>	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
445 ~ 535 <sup>(d)</sup>	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 CO<sub>2</sub>-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。