



# 國際氣候變遷調適策略經濟評估方法 之趨勢與啟示\*

施友元\*\*

- |                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| 壹、前言                      | 肆、我國氣候變遷調適策略與相關研究之進展 |
| 貳、國際氣候變遷調適策略的經濟影響評估之發展趨勢  | 伍、結論與政策建議            |
| 參、調適策略成本效益分析評估方法之探討與優缺點比較 |                      |

## 摘 要

進行國家氣候變遷調適策略的成本效益分析，有助於協助各部會整合資源、支援決策者對資源進行有效的配置，優先執行效益高於成本的調適策略，進而提升健全國家調適能力，降低社會脆弱度，以面對未來氣候變遷可能造成的負面影響。

我國屬於亞熱帶海島國家，受到氣候變遷衝擊影響程度相對較高，應及早推動氣候變遷調適策略的成本效益評估。因此，本文首先蒐集聯合國氣候變遷公約(UNFCCC)等國際組織的四大研究群相關研究，歸納國際氣候變遷調適策略的經濟影響評估之發展趨勢；其次，探討調適策略成本效益分析評估方法，並優缺點比較；再者，利用芬蘭「評估調適政策進展指標」，檢討我國政策及相關研究進展，最後，根據前述分析結論，歸納政策建議。

\* 本文參加經建會 2010 年研究發展評選，榮獲總體經濟政策類佳作。原文為 1 萬 7 千餘字，因本刊篇幅限制摘為 1 萬 2 千餘字。

\*\* 經研處科員。本文承蒙洪處長瑞彬、朱副處長麗慧、王組長金凱費心指導與提供寶貴意見，均使本文更為充實，至為感謝；匿名審查委員詳實審閱，亦一併敬謝。惟文中如有任何謬誤，當屬筆者之責。

## Lessons from International Trends in the Economic Evaluation Methods of Climate Change Adaptation Strategies

Yu-Yuan Shih

*Analyst*

*Economic Research Department, CEPD*

### Abstract

Conducting cost-benefit analysis of a country's climate change adaptation strategies can help government departments integrate resources and enable policy makers to allocate resources efficiently by prioritizing the execution of strategies with higher benefit than cost. This can raise a country's adaptation capacity and reduce its social vulnerability, so that it is better equipped to cope with the negative effects that may be caused by climate change in the future. As a subtropical island nation, Taiwan is more substantially affected by the impact of climate change, and therefore needs to act early in conducting cost-benefit analysis of climate change adaptation strategy.

This study first collects related findings from research groups in four international bodies, including the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), and identifies the main international development trends in economic impact analysis of climate change adaptation strategies. The study then examines methods of conducting cost-benefit analysis for adaptation strategy, comparing their strengths and weaknesses, and uses Finland's adaptation policy progress assessment indicators to review Taiwan's progress in policy and related research. The final part of the study presents conclusions and policy recommendation drawn from the foregoing analysis.



## 壹、前言

全球暖化的威脅程度日趨嚴重，世界各地環境災害事件頻傳，其破壞力可能造成全球經濟萎縮 20%，全球只要增溫 2 度，經濟生產將減少 3%，平均每排放 1 公噸二氧化碳，即帶來至少 85 美元的損失，至 2016 年，全球經濟因此約付出七兆美元的代價 (Stern, 2006)。在聯合國政府間氣候變化專門委員會(IPCC)於 2007 年所公佈的第四次評估報告中指出，減緩(mitigation)與調適(adaptation)是因應氣候變遷對策兩大策略<sup>1</sup>，各國致力於「減緩」策略之外，作為早期預防的「調適」措施，亦日益受到重視。

根據聯合國氣候變遷公約(UNFCCC)規定，附件一國家與非附件一國家依公約規定，須提出國家通訊(NC)，低度開發國家(LDC)在聯合國的協助下，應提出國家調適行動計畫(NAPA)在執行因應氣候變遷的調適策略前，先進行三階段的評估：衝擊評估、脆弱度(vulnerability)評估<sup>2</sup>及調適策略評估，以便建構調適策略能力與技術，有效因應氣候變遷的衝擊。

我國屬於亞熱帶海島國家，受氣候變遷衝擊影響程度相對較高，對整體經濟衝擊更不容小覷。然而，目前的研究集中於減緩政策的評估，對調適政策的研究處於開啟的階段。有鑒於此，可預期各項調適措施執行後，能因改善收益、避免損失，提升氣候復原能力(climate resilience)，但也造成各項措施資源的重分配效

<sup>1</sup> IPCC 第四次評估報告對於氣候變遷「減緩」與「調適」定義為：「減緩：人為干預，以減少人為干擾氣候系統」；「調適：任何調整，在自然或人為系統中，以因應實際或預期的氣候變化或其影響，其將減緩傷害或尋找有利的機會」。

<sup>2</sup> 脆弱度評估為整合衝擊本身與調適能力的整合性評估，在衝擊評估下，分析現有或未來的調適能力，來評估氣候變遷對產業或區域實際的衝擊危害。

果，進而影響整體經濟發展，因此有必要對氣候變遷調適策略進行經濟影響評估。

本文首先探討氣候變遷調適策略的經濟影響評估之國際發展趨勢，其次介紹氣候變遷調適策略主要經濟評估方式，並比較各種評估方法的優缺點與適用性，最後探討國際調適經濟評估趨勢對我國的啟示，並提出政策建議，供政府決策參考。

## 貳、國際氣候變遷調適策略的經濟影響評估之發展趨勢

有關氣候變遷調適成本效益分析部分，國外已有不少案例，本節蒐集 UNFCCC 等國際組織進行調適策略評估的案例及相關文獻，歸納整理國際氣候變遷調適策略的經濟評估發展及趨勢，分為國際組織、開發中國家、先進國家、亞洲國家經濟影響評估之發展趨勢，並對評估方式、評估結果、評估價值面向進行探討，歸納如下：

### 一、國際組織積極協助開發中與低度開發國家進行研究，研究數量日益增加，形成四大研究群，發展不同模式的評估方式

自從 IPCC 在 2001 年公布第三次氣候變遷評估報告後，對氣候變遷調適議題，即成為國際社群討論主流之一。聯合國在 2006 年的第 12 次締約國大會啟動為期五年的「奈洛比行動計畫」(Nairobi Work Programme)，為國際氣候變遷調適工作平台，在協助開發中國家評估與制定調適策略、建立氣候變遷衝擊情境、氣候變遷對經濟社會影響的評估工具，及結合氣候變遷衝擊情境與社會經濟情境之風險分析等，以致研究開發中國家在國家和部門層級的研究數量日益增加。



近年國際組織推動大型研究計畫，協助開發中及低度開發國家訂定調適方案，改善其評估氣候變遷衝擊分析方式，進行分析研究，逐漸形成四大研究群組，包括：NEEDS、UNDP I&FF、RECCs 及 EACC 等(如圖 1 所示)，以下僅就各群組的研究案例，分述如下：

(一) 氣候變遷對國家經濟、環境和發展的研究(National Economic, Environment and Development Studies, NEEDS)

UNFCCC 在 2008 年 6 月成立 NEEDS 研究計畫，利用財務需求評估方式進行評估，參與調適規劃的國家包括：哥斯大黎加、埃及、加納、印尼及菲律賓等 11 個國家，正進行相關研究，預計在 2010 年底完成。

(二) UNDP 對氣候變遷的投資與資金流量進行評估分析(investment and financial flows analysis, I&FF)：

UNDP 在 2009 年公布其投資與資金流量評估分析指南，提供各國作為評估之參考，目前有奈米比亞、孟加拉國、尼日、土庫曼、甘比亞、尼泊爾、阿爾及利亞等 20 國家，採用 I&FF 方式進行評估研究。

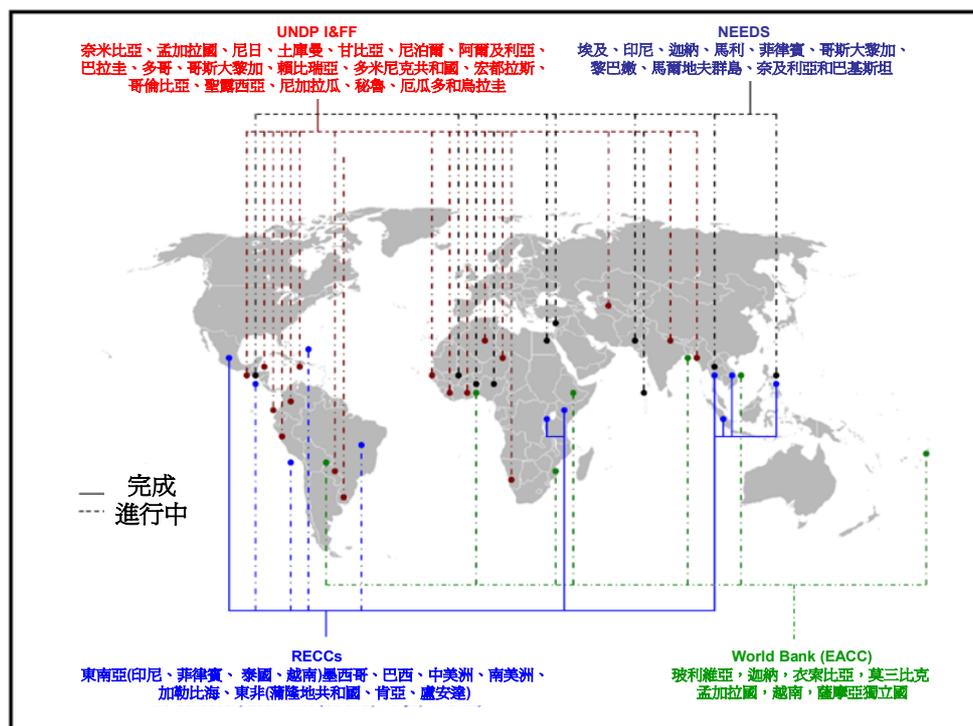
(三) 氣候變遷區域經濟學研究(The Regional Economics of Climate Change Studies, RECCs)

RECCs 研究計畫是聯合國拉丁美洲和加勒比海經濟委員會、美洲開發銀行，以及英國政府聯合推動的研究計畫，採用的分析工具包括：IAM 與 I&FF 等方法，參與國家涵蓋東南亞、中南美洲和東非地區國家。

(四) 氣候變遷調適的經濟研究(The Economics of Adaptation to Climate Change, EACC)

世界銀行與荷蘭、英國、瑞士政府合作推動的 EACC 研究計畫，曾採用 I&FF 與衝擊評估的分析方法，針對越南、玻利維亞、衣索比亞等七個國家進行案例研究。世界銀行 2010 年的研究重點在於：結合氣候變遷情境、研究不同部門的調適成本，探討不同調適策略對調適成本的影響，有助於政策決策者瞭解不同部門與地區的成本，排定調適策略的優先順序，並可結合政府財政預算進行規劃。

圖 1 國家調適策略的經濟評估四大研究群



註：進行中研究預計 2010 年年底完成。

資料來源：本研究整理自 UNFCCC(2009)。



## 二、開發中國家經濟評估趨勢：用基線分析的方式判斷政策有效性；各領域策略進行不同的評估方式；經濟、社會、法律等跨領域的價值判斷

Jesper Stage(2010)歸納開發中國家進行氣候變遷調適策略之經濟研究，歸納三點研究趨勢：第一，將氣候科學的預測結果做為基線，再將發展中的政策納入模式進行評估，以判斷政策的有效性；第二，研究者須對各領域的策略性質相當清楚，對不同領域的策略選擇適合的分析工具進行評估；第三，氣候變化調適的成本效益分析，需有跨領域的知識及價值觀，以經濟分析、氣候科學及社會觀等不同的價值為基礎，再標準化評估調適策略的最終值。

## 三、先進國家進行的調適策略評估案例較少，歐盟國家較為積極，芬蘭已針對優先策略進行評估，英國預計到 2012 年中期才會完成調適策略的經濟分析

相較於開發中國家，先進國家屬於氣候變遷影響中脆弱度較低的國家，氣候衝擊的影響較不明顯，故先進國家進行的調適策略評估案例較少，其中又以歐洲國家較為積極，例如，歐盟正展開國家層級的調適策略評估。芬蘭在 2005 年提出的國家調適策略，已確定了調適策略，並執行部分計畫，並對調適策略的成本效益進行調查，以便提供決策支持。英國將調適策略的經濟評估，作為氣候變化風險評估的一部分，預計 2012 年中期完成對調適備選辦法的經濟分析，將針對備選辦法的潛在效益提供貨幣價值。

#### 四、亞洲國家進行調適綜合評估的能力有限，問題在於資料缺乏與研究結果整合不易、無法結合社會經濟數據、對潛在的損害無法量化估算，以及無法將相關研究結果納入政策

根據 UNFCCC 在 2007 年「亞洲區域氣候調適研討會」會議資料，亞洲地區氣候變遷脆弱度與經濟影響評估，在次區域推動區域和國家脆弱性和調適綜合評估的能力有限，問題包括：資料缺乏與研究結果整合不易、無法結合社會經濟數據、對潛在的損害無法量化估算，以及無法將相關研究結果納入政策之判定。

#### 五、調適策略經濟評估方式朝向多重化、考量社會價值的趨勢

(一) 國家調適策略的經濟評估值相當高但不一致，為增加了有效性及精準度，應採用多重化方式進行經濟評估，使調適策略評估更為有效

World Bank (2006)、Stern (2006)等國際組織用 I&FF 評估，研究估計值相當高但不一致，如表 1 所示。對此，最近的研究指出，考慮多重模式，其評估上增加了有效性及精準度。例如，旺達和肯尼亞的研究綜合了三個層級評估方法：(1)由上而下進行綜合經濟分析；(2)由下而上進行部門影響評估，及在可能情境下估計調適的成本和效益；(3)案例評估，即利用案例研究檢驗國家評估是否有效。事實證明，採取綜合複數層級的方法，可提供政策決策者全面性證據基礎。



表 1 不同機構採用 I&amp;FF 評估方法估計調適策略的成本

研究	調適成本 (單位：億美元/每年)	地區	時間
Stern (2006)	\$ 40 – 370	開發中國家	2006
	\$ 150 – 1,500	已開發國家	2006
UNDP (2007)	\$ 860 – 1,090	開發中國家	2015
UNFCCC (2007)	\$ 280 – 670	開發中國家	2030
	\$ 210 – 1,040	已開發國家	2030
	\$ 440 – 1,660	全球	2030
World Bank (2009)	\$ 780 – 900	開發中國家	2010~2050

資料來源：本研究整理。

(二) 除了財務價值和經濟價值，社會價值對評估調適策略成本效益也相當重要

UNFCCC(2009)報告指出：除了調適策略的財務評估和經濟評估外，社會評估對於評估調適策略成本效益也相當重要。經濟評估考慮整個國民經濟的總成本和總效益；財務成本評估則評估每個備選調適策略預算。至於社會評估，因為氣候變化對最脆弱的社區和群體造成不成比例的影響，而最脆弱的社區與群體的價值觀並非只限於經濟價值觀，往往涉及當地的生活觀與生命財產保護，如：歐盟相對重視保護文化價值觀、公平性等社會觀點。

### 參、調適策略成本效益分析評估方法之探討 與優缺點比較

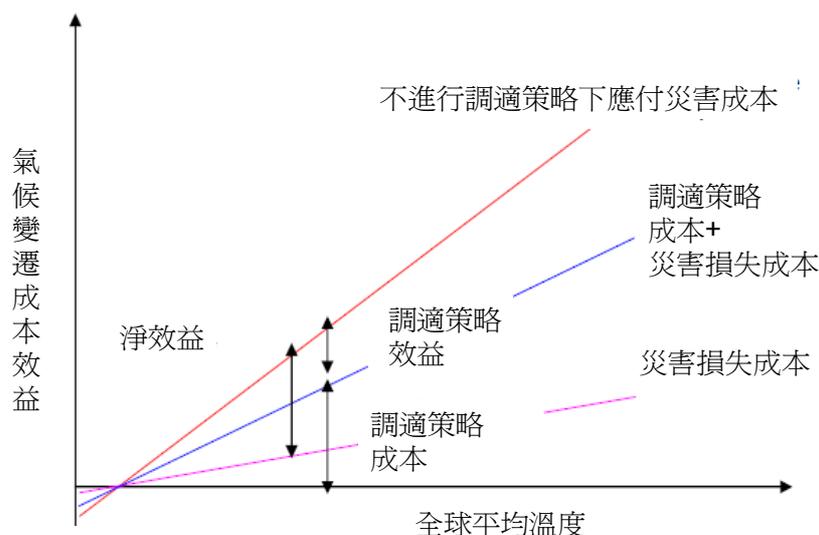
對調適策略進行成本效益評估的目的，在於比較各種調適替選策略的估計成本與預期效益，優先執行效益高於成本的策略。根據 2010 年第 32 屆 UNFCCC 附屬科學技術諮詢機構(SBSTA)評估報告，調適策略經濟評估種類眾多，包括：成本效益分析、成

本效能分析、專家評估等方式。國際上對於調適策略所進行的經濟評估，大都採用成本效益分析方法。以下針對此分析方法進行簡介，並比較各評估方法的優缺點及其適用性。

### 一、調適策略成本效益分析評估方法

根據 IPCC 第四次評估報告，將調適成本定義為：「規劃、準備、推動和實施調適策略所進行的支出，包括過渡期的花費」；調適效益定義為：「由於採取和實施調適性策略，而避免破壞性損失或增加的收益」，兩者關係如圖 2 所示。

圖 2 調適性效益與成本關係圖



資料來源：Stern(2006)。

至於調適策略成本效益評估尺度，可分為全球層級、國家層級、部門層級三種，在全球層級進行評估方法，包括：氣候變遷整合評估模式(Integrated Assessment Models of Climate Change, IAMs)、投資與資金流量評估分析；在國家與部門別層次進行的評



估，除了前述兩種方式之外，還包括可計算一般均衡模型 (Computable General Equilibrium, CGE)。以下簡述三種評估方式：

### (一) 氣候變遷 IAM 模型

氣候變遷的 IAM 模型的目的，是在氣候變遷的情境假設下，經過適度簡化及整合經濟模型之後，探討複雜系統中的互動關係，以進一步瞭解系統之互動機制，提供情景模擬的功能，做為政策決策工具。決策者透過 IAM，可瞭解複雜系統中的因果關係，並可藉由系統模擬過程，瞭解各種政策的優劣及其可能的影響。

氣候變遷的 IAM 模型將氣候變遷、經濟環境損害、減量成本等各元素的關係連接起來，以求完整的評估減量的成本和效益。IAM 模型眾多，包括：DICE、RICE、PAGE 等，說明兩個代表性模型的特點。

#### 1. DICE 模型及 RICE 模型

耶魯大學經濟學家 William Nordhaus 所開發的 DICE 模型 (Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy) 和 RICE 模型 (Regional Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy) 是氣候變遷與碳減量評估的整合性模型。

DICE 模型在 1994 年建立，2007 年更新過一次，此一模型屬於全球評估模型，其中包含經濟成長函數，在 DICE 模型中，淨損失的計算可分為兩部分，即調適所需成本和其他損失。DICE 模型分兩大部分：經濟模組與地球物理模組。經濟模組是個最適成長模型，內含效用函數、生產函數、碳排放方程式、全球暖化的損害函數、二氧化碳減量的成本函數等；地球物理模組則包含碳濃度累積方程式、放射性強度方程式、氣溫變化方程式等等。

RICE 模型是一個區域模型，模型當中包含 13 個區域，主要有日本、美國、歐盟、中國及非洲等，分別計算各區域的經濟損害。RICE 模型特點是，將經濟生產活動、碳排放、氣溫變化、暖化的經濟損害、減量成本等元素連結一起，可全面地計算減量的成本效益。

## 2. PAGE 模型

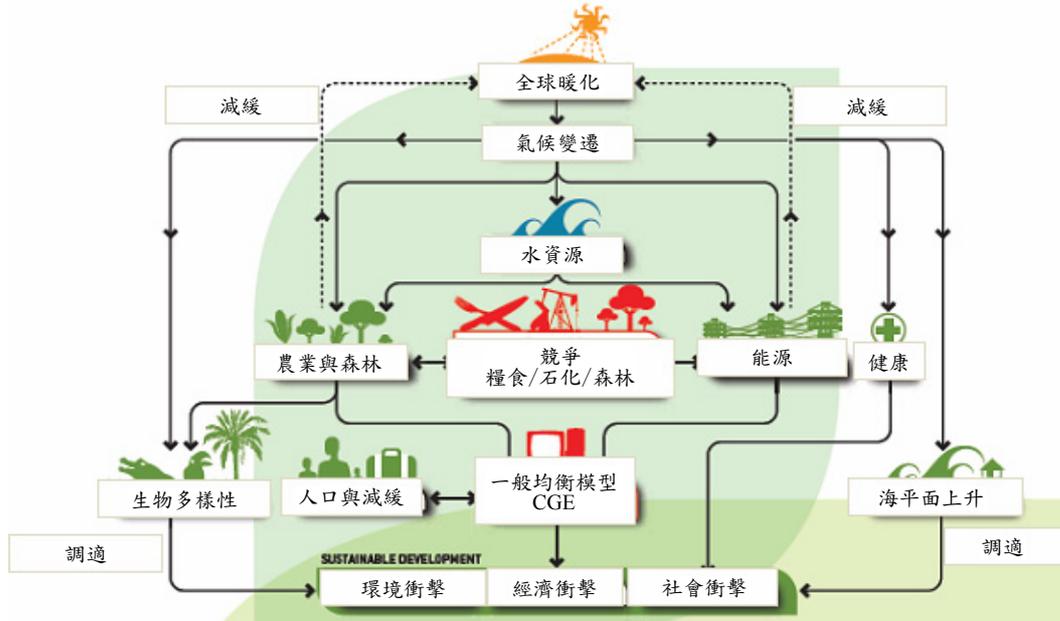
PAGE 2002 模型(Policy Analysis of the Greenhouse Effect)是 Stern 提出的溫室氣體成本效益分析模型，組成要素包括：氣候變遷模組、損害函數、減量成本與調適成本等模組，將區域模型整合為全球模型，並將全球分為幾大地理區域，可計算全球的減量成本與效益，亦可分別計算區域的經濟損害。PAGE2002 模型最大的優點有二：第一，簡明清楚，故不同情境對各內生變數的影響管道較清楚；第二，靈活有彈性，可因不同研究目的，調整區域數目與經濟部門項目。

### (二) 可計算一般均衡模型

可計算一般均衡模型(Computable General Equilibrium, CGE)原理奠定在一般均衡理論架構，其所分析的內涵著重在以市場為中心的各個經濟個體的行為(包括消費者、生產者與政府等)，涵蓋經濟個體和各項資源配置與市場績效的相互關係。2009 年巴西以 Stern 報告為基礎，以 CGE 模型分析巴西採行調適策略的成本效益，採取使用 IPCC 所釋出的 18 個全球氣候模式之 IPCC SRES A2-BR 及 B2-BR 情境下模擬數據，將調適領域分為農業、能源及海岸區域三部分，分析氣候變遷衝擊及調適策略成本效益，其分析架構，如圖 3 所示。



圖 3 巴西一般均衡模型示意圖



資料來源：Economia do Clima(2009).

巴西採用 CGE 模型進行研究，遭遇幾項困難：第一，此研究的評估模型是採用全球氣候情境模式，因此面臨降尺度的問題，此部分透過與巴西國家太空署的研究經驗進行合作，但在未來氣候變遷的設定無法取得共識；第二，不完整的數據庫資訊和不足技術訊息，在生態、社會經濟基本資料相當不足，尤其在生物多樣性、海岸區域及社會經濟面向的相關資料相當缺乏；第三，此模型缺乏長期技術變遷的相關模型設定及預測，面臨研究上的限制。

### (三) 投資與資金流量評估分析模式

根據 UNDP 在 2009 年出版的 I&FF 手冊可知，投資與資金流量評估分析模式採取九項步驟：1. 建構評估的關鍵參數，包括部門

範圍、定義關鍵調適措施；2.彙整目標情境的歷史性 I&FF 及其他相關資料；3.設定原始基線情境；4.推導原始基線情境的 I&FF；5.設定調適基線情境；6.推導調適基線情境的 I&FF；7.推估執行調適措施選項的 I&FF 變動量；8.進行政策影響評估；9.報告綜合結果。

UNDP 多採用 I&FF 方式，針對脆弱度較高的區域，估計其因應氣候變遷所需額外投資和資金需求。每一選定部門的投資成本，按照基準情境和調適情境計算，前者反映現行政策和計畫的持續性；後者反映為因應對氣候變遷影響而調整和增訂措施。基準情境和調適情境之間的成本差異，顯示特定部門的調適投資需求。

## 二、比較各評估方法優缺點

根據 2010 年 6 月第 32 屆 UNFCCC 附屬科學技術諮詢機構 (SBSTA) 的第 FCCC/SBSTA/2010/3 號報告，其中舉出 IAM、I&FF、CGE 等三種氣候變遷調適策略成本效益評估方法及模型，詳見表 2。

IAM 的優點，包括：評估面向較廣，可同時包括氣候變遷與經濟、社會等面向評估；可對未來特定基期年份進行成本和效益的量化分析。而 I&FF 的優點，包括：估計現在與未來的基線差距，反映調適政策的成本；有效的成本分析；甚至不需細部的氣候變遷分析資料，即可應用於反映調適的成本。CGE 的優點，包括：偏向經濟面向的評估；可進行跨部門之間的連結分析；主要連結經濟參數進行分析；可分析全球貿易效果；考量氣候變遷衝擊的經濟分析，決定調適策略。



表 2 調適策略成本效益評估方法優缺點比較

評估模型	案例	可提供(優點)	不可提供(缺點)
整合評估模型 (IAM)	Global studies (e.g. Hope et al, 2009); – Regional or country studies (e.g. ADB South-East Asia RECC).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 評估面向較廣，可包括氣候變遷與經濟、社會等面向評估。</li> <li>• 可對未來特定基期年份進行成本和效益的量化分析。</li> <li>• 進行全球層級的衝擊評估。</li> <li>• 偏向長期預測。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 單一衝擊與調適之實際作為。</li> <li>• 短期分析。</li> <li>• 不確定性及公平。</li> <li>• 詳細的國家規劃。</li> </ul>
投資與資金流量評估分析模式 (I&FF)	– National Studies (e.g. UNDP I&FF).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 估計現在與未來的基線差距，反映調適政策的成本。</li> <li>• 有效的成本分析。</li> <li>• 甚至不需細部的氣候變遷分析資料，即可應用於反映調適的成本。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 與氣候變遷或調適衝擊連結。</li> <li>• 未來之氣候情境，調適效益及其可能造成之災害損失。</li> <li>• 公平性。</li> <li>• 經濟評估。</li> </ul>
可計算一般均衡模型 (CGE)	國家層級分析 National level (e.g. Brazil RECC).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 跨部門之間的連結分析，包括經濟社會面項。</li> <li>• 可連結目前的經濟參數進行分析。</li> <li>• 廣泛的經濟分析，考量氣候變遷衝擊的經濟分析，決定調適策略。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 非市場效果</li> <li>• 詳細的國家規劃</li> <li>• 充分考量不確定性及公平性。</li> </ul>

資料來源：本研究整理自 UNFCCC(2010)。

## 肆、我國氣候變遷調適策略政策與相關研究之進展

本節檢視我國國內相關氣候變遷調適的政策進展、相關政府委託研究、現行氣候變遷相關經濟評估模型，並利用世界銀行對於調適策略的成本評估四項步驟與內容，歸納提出我國評估氣候變遷調適策略成本之挑戰與努力方向。

## 一、我國氣候變遷調適政策規劃進展與政府委託研究，相對較晚

### (一) 我國氣候變遷調適政策規劃進展

經建會已於 2009 年 11 月 29 日成立「規劃推動氣候變遷調適政策架構及計畫」專案小組，下設 8 項工作分組，整合研擬出我國國家調適計畫(NAP)，俾供各部會接續執行。我國政府預計 2010 年底完成「我國氣候變遷調適政策綱領與行動計畫」後，2011 年將持續推動落實氣候變遷調適政策綱領與行動計畫，規劃我國氣候變遷調適政策綱領之運作步驟，包括：第一，成立氣候變遷調適團隊；第二、確認問題與風險評估；第三、確立調適願景、政策與目標；第四、建立各領域主要調適議題及其目標與策略；第五、建立氣候變遷、衝擊調適評量系統，評估調適策略；第六、提送永續會審議；第七、提送行政院審議；第八、執行與檢討。

我國正規劃進行有關整體性的氣候變遷調適策略的經濟評估，目前政府各部門已積極推動相關氣候變遷調適之政策規劃與策略擬定，然而目前尚缺乏具有共識之未來氣候變遷推估情境、各領域的目標等來進行評估，以及尚未建立整體性的評估調適策略的影響，目前政府正在陸續規劃整合過去研究，並進行相關委託研究。

國際上，調適政策評估還是一個新興領域，主要有兩項指標，分別是英國與芬蘭的調適政策進展指標，英國是針對地方政府，芬蘭是針對部門別的政策進展，與我國目前的調適策略的規劃相似，因此本文採用芬蘭指標，評估我國氣候變遷調適政策規劃進展。



2009年芬蘭對《2005年國家調適策略》的執行進展進行評估，擬定了「評估調適政策進展指標」，其調適水準分為一至五等級，詳細內容如表3所示。目前各國的執行監測和評估調適策略的進展，舉如：芬蘭已執行和評估部分的優先策略，列為第二等級；西班牙已部分執行優先策略，並計畫建立國家監測系統，列為第二等級；英國、荷蘭，已制定綜合性、多部門的全國調適行動計畫，列為第四等級。

以芬蘭調適進展指標進行評估，我國的進度處於第二級的階段。目前我國在處於請各部會進行擬定調適策略，截至2010年中仍在進行中，目前我國處於氣候變遷調適政策綱領之第四項步驟。

表3 芬蘭評估調適政策進展指標

第一級	部門領導認知到需要採取調適行動
	幾乎沒有就氣候變化的影響，及展開調適氣候變化任何研究
	確定了一些調適策略，但尚未執行
第二級	部門在某種程度上認識到需要採取的調適策略
	大致了解氣候變化的影響(質性)，同時考慮氣候變化情景，涉及的不確定性
	確定調適策略，啟動部分計畫
第三級	部門較為明確地認識到需要採取適應策略
	較清楚地了解影響，同時考慮不確定性
	確定調適策略，啟動調適策略執行工作
	調適策略跨部門合作開始進行
第四級	部門廣泛獲得認知，並同意需要採取調適策略
	調適被納入定期決策的議題
	在不確定性限度內，清楚了解調適衝擊影響
	調適策略執行工作廣泛啟動，策略效益得到部分評估
第五級	調適策略跨部門合作成為一種既定做法
	部門已執行規定或確認的調適策略

註：芬蘭的評分等級為第一至五級。

資料來源：Ministry of Agriculture and Forestry(Finland)(2009).

## (二) 政府委託研究

歸納環保署、經建會、國科會等部會的委託研究計畫，可分為三類。第一類以調適策略擬定為主，例如：2007年經建會委託研究「因應地球溫暖化我國調適策略之探討」、2010年經建會「規劃推動我國氣候變遷調適政策綱領與行動計畫」、環保署2009年「台灣氣候變遷調適策略規劃」，目前此部分已進入政策規劃階段，屬較為成熟的研究階段。

第二類，以氣候變遷衝擊影響評估，過去多為單一領域的衝擊評估，近年來多為整合性及多領域評估，且評估的面向越來越廣，估算氣候變遷對各部門衝擊的評估，國內氣候變遷衝擊評估研究已經有多年的成果，但缺乏系統的整合以及將成果實體化，目前國科會亦進行相關研究。例如：國科會2007年委託研究「氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究」、經建會2008年委託研究「氣候變遷長期影響評估與因應策略研議委託辦理計畫」，國科會2008年委託研究「氣候變遷對台灣生態系衝擊之經濟評估及因應策略」等。

第三類，以調適策略能力及技術建構之研究，此類研究大多為單一部門對調適策略能力及技術建構之研究，包括：2009年水利署委託研究「強化區域水資源永續利用與因應氣候變遷之調適能力」、2007年內政部建研所委託研究「城鄉及建築防洪規劃技術之研究」等。整合性研究目前仍在進行中，例如：國科會正委託「氣候變遷調適科技推動計畫」，此計畫規劃就都會、鄉村、山坡、流域、海岸等關鍵調適地區，針對氣候變遷敏感議題，建立衝擊評估與調適科技技術發展與評估方法。



就上述研究而言，發現目前我國在氣候變遷衝擊調適之探討已有相當的成果，國科會的研究較集中在各領域脆弱度的氣候變遷衝擊與調適技術研究，環保署與經建會多在委託擬定與探討調適策略的相關研究，但缺乏整合性的調適策略經濟評估研究，未來我國應以成本效益經濟分析，規劃因應氣候變遷之調適策略及行動方案。

## 二、現行氣候變遷研究經濟評估模型

國內過去針對氣候變遷的評估，大多屬於評估二氧化碳減量成本的模型，較少模型針對調適策略進行經濟評估，國內的減量評估模型有：Top-down 模型與 Bottom-up 模型二類，如表 4 所示。

表 4 我國的氣候變遷經濟評估模型

評估方式	模型	單位或研究機構
由上而下模型 (Top-down)	經濟計量模型	主計處
	能源預測模型(ENFORE)	中經院
	投入產出模型	經建會
	台灣能源經濟模型	梁啟源教授
	CGE 模型：TAIGEM、 TAIGEM-D、GTEM-TAIWAN	清大永續發展室 與台大農經系等
由下而上模型 (Bottom-up)	MARKAL-Macro	工研院能資所

資料來源：本研究整理。

### (一) Top-down 模型

以 TAIGEM 等模型為代表。TAIGEM 等模型是典型的可計算一般均衡模型，內含能源消費彈性及各種總體經濟和產業經濟的變數。其主要功能在於評估既定目標下各種減量措施之總體成

本，以及減量對各產業的影響。TAIGEM 等模型的減量政策評估應用包括：能源稅(碳稅)與能源效率改進的減量效果及減量成本；減量成本以 GDP 成長率降低的幅度來代表。TAIGEM 等模型並沒有氣候變遷產生的環境損害和經濟損失等模組，故沒有正式的減量效益評估。

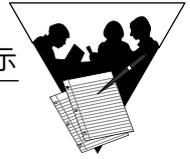
## (二) Bottom-up 模型

以工研院引入發展的 Markal-Macro 模型為代表，此模型是能源系統最適化模型，特點包括：選擇最佳的能源技術組合，求能源成本之極小、部分均衡模型(partial equilibrium model)，及內含能源需求、初級能源供給及能源技術等三個資料庫。

此模型的主要功能是評估既定目標下各種減量措施成本之有效性，尤其是能源替換的成本；其優點為利用能源技術的工程資料，對能源結構、工程成本和工程效益有細微的設定。故此模型集中在再生能源發展、節能標準、能源效率改進等措施的工程成本與工程效益，但對於減量的整體生態與經濟效益，或能源稅政策、碳交易政策的整體減量成本，則較難有完整的估算。

## (三) 小結

雖然國內已有評估二氧化減量成本的模型，然而這些模型的主要目的是在既定減量目標之下，計算減量成本，且不直接計算減量效益或調適策略。如國內現行用以計算再生能源發展、節能標準、能源效率改進等措施的工程成本與工程效益的 Markal-Macro 模型，估計能源稅與能源效率改進的減量效果及減量成本的 TAIGEM 等模型。綜合而言，Markal-Macro、TAIGEM 等模型都有顯著的功能，但其作用在於評估減量成本，而非調適策略的成本效益。

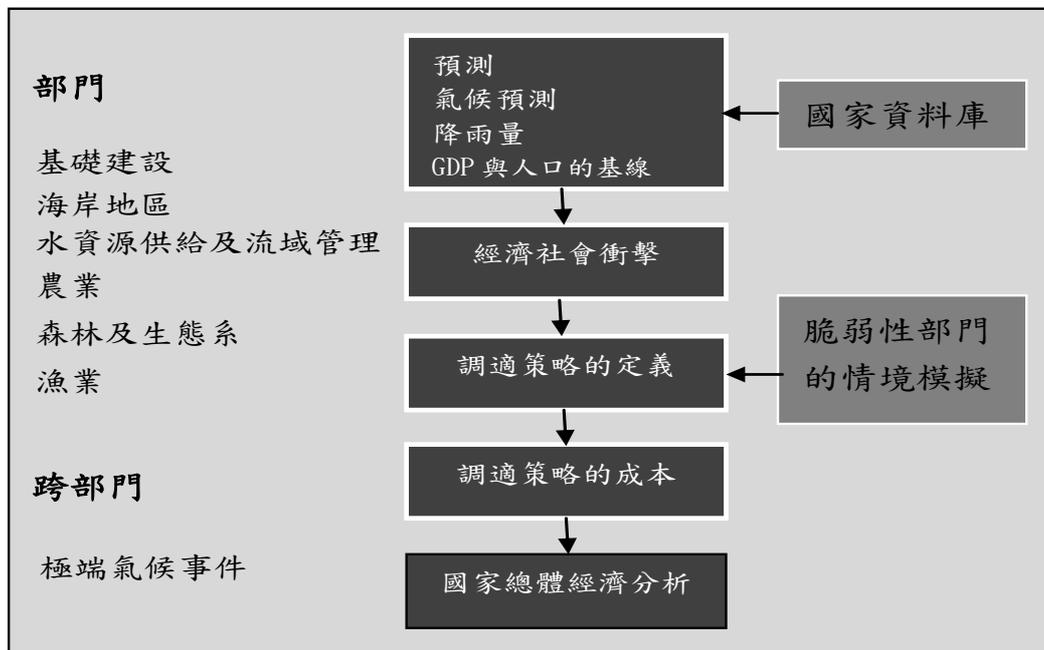


### 三、我國評估氣候變遷調適策略成本之挑戰

考量全球對調適策略的效益評估研究進展仍屬新興領域，評估不易，且全球研究進展相當緩慢，因此，本段僅以世界銀行提出的評估步驟及面向，提出臺灣未來可能遭遇的挑戰。

世界銀行在 2010 年提出調適策略成本的評估方式，是全球公認相當指標性的評估方式，其提出的實證研究，評估面向相當多元化。其四項步驟與內容，包括：1.瞭解可提供的原始資料，設定原始基線建構評估的關鍵參數，包括未來人口、估計的 GDP 等參數；2.選擇氣候情境；3.預測氣候變遷衝擊；4.定義調適措施與評估成本，如圖 4 所示。

圖 4 國家級調適策略成本評估步驟



資料來源：World Bank(2010)。

就評估成本而言，事前應設定選擇氣候情境、設定基線及定義調適措施，歸納近年來國內相關研究結果，我國未來氣候變遷調適策略的經濟影響評估之挑戰，包括：

(一) 研究報告與數據不足，與研究結果整合不易，設定原始基線相當困難

過去我國各科學研究機構及政府部門對氣候變遷衝擊資訊之研究已有初步成果，缺乏部分資料，因此，設定原始基線相當困難。

根據顧洋(2007)研究，比較國際各國與我國技術報告後，歸納出我國需彙整及建立的資料庫，應包括：建立氣候變遷衝擊下的水文循環預測系統，以了解我國水資源分佈；針對衝擊地區地勢、週邊產業及人口等進行調查，以作為衝擊影響評估的基本資訊；制定出氣候變遷對生物棲息地及海陸生態分佈的變化，以及進行生物對氣候變遷的敏感度分析；建立國內、外傳染性病媒之種類、特性及傳染分佈範圍資料庫等。

(二) 缺乏良好的基線數據及歷史記錄，阻礙了有效性分析

一般而言，評估調適策略之成本與效益(減少的損害成本)之大小，就評估成本而言，事前應設定選擇氣候情境、設定基線及定義調適措施，我國未來可循國科會 2008 年委託研究「氣候變遷對台灣生態系衝擊之經濟評估及因應策略」，針對台灣生物多樣性、台灣森林、台灣農業、漁業、公共衛生與民眾健康等六項領域，估算氣候變遷對各部門衝擊的經濟損益評估方式，擴大至我國政策綱領規範的八大領域。



(三) 台灣未來氣候情境預期，原則上已可作為氣候變遷衝擊評估與調適規劃的參考依據，但面臨無法推估颱風侵台頻率與強度的困難

台灣大學全球變遷研究中心長期在國科會支持下進行研究，原則上已可作為氣候變遷衝擊評估與調適規劃的參考依據，但有關颱風侵台頻率與強度的預期，目前並無可靠推估。

根據柳中明(2009)研究，使用 IPCC 所釋出的 18 個全球氣候模式之 IPCC SRES A1B<sup>3</sup> 情境下模擬數據，進行統計降尺度工作，並依照 IPCC 第四次評估報告的分析方式，而得出之 21 世紀末二十年相對於 20 世紀末二十年，年、冬季與夏季之氣溫與降雨變化情形。認為有關台灣未來氣候變遷的情境預期，原則上已可作為氣候變遷衝擊評估與調適規劃的參考依據。但是，如颱風侵台頻率與強度的預期，目前研究無可靠的推估。

## 伍、結論與政策建議

在國際氣候變遷調適策略的經濟評估發展趨勢中，國際組織積極協助開發中國家進行研究，研究數量日益增多，形成四大研究群組，未來國際趨勢將朝向更全面、跨領域、複層方式的經濟評估，使國家調適策略的經濟評估更加準確，但相較於二氧化碳減量評估，調適策略評估需要的資料及技術較複雜，需要投入較多的時間及人力，我國宜及早進行規劃。

<sup>3</sup> 在 IPCC 第四次評估報告中，人為 IPCC SRES A1B 是未來最可能發生的情境，未來是非常快速經濟成長的社會，人口成長趨緩，愈來愈新的科技，社會大幅發展，有能力建設為一個均富的社會，但人們追求個人財富，而不是環境質量，溫室氣體排放較 A1 情境緩和，但較 B2 情境快速。

近年來我國極端氣候造成災害頻傳，政府積極規劃「推動氣候變遷調適政策架構及計畫」，然而調適策略的規劃，仍缺少成本效益分析，未來值得推動。目前我國對整體性氣候變遷調適策略的經濟評估，仍持續在研究中，初步開發利用已具備的減碳評估工具，對調適策略評估具有初期的效益，但與國際上重要國際組織及歐美國家相比，仍有相當的差距。對此，我國知識上仍然存在嚴重不足，在調適替選方案的經濟評估方面，有很大改進空間。

因此，本文參考氣候變遷調適策略經濟評估的國際趨勢與比較各成本效益評估方法的優缺點，並考量我國情況，針對評估工具、事前評估方式、事後管考方式及評估參與者等面向，歸納幾點結論與建議：

### 一、宜引進國際上已發展且成效良好之氣候變遷調適策略評估工具

考量國內仍缺乏完整模型可同時模擬調適和減緩政策的效益與成本工具，以及現行模型本身對氣候變遷的複雜性和面對不同政策情境進行調整的靈活性不足，基於時間與成本，建議短期宜引入國外的完整模型，同時模擬調適和減緩政策的效益與成本。

例如，採用英國經濟學者建立的 PAGE 模型，修正模型的參數及建置本土化模型，以建立我國經濟損害函數、減緩及調適函數。另外，PAGE 模型為全球性氣候變遷模型，應將其調降尺度修正為台灣模型，以作為我國氣候變遷調適策略評估的工具。

### 二、應同時採取 Bottom-up 方式與 Top-down 方式的多重方式，進行評估，以便提高預測的準確性

全球調適策略的經濟評估趨勢，將朝向更全面性、跨領域、



複層方式發展，可更有效評估國家調適成本，作為決策者判斷依據。對此，建議我國未來應在策略擬定前，考量同時採取 Bottom-up 方式與 Top-down 方式綜合型態的方式進行評估，若與地方經驗相互參照，並利用不同方法得到的互補訊息，進行交叉分析，可提高預測的有效性與準確度，有利於協助決策者建立全面的證據基礎。

### 三、研究上，短期應建置研究整合平臺，長期應設氣候變遷研究中心

本研究發現我國在氣候變遷衝擊調適之探討已有相當的成果，國科會的研究較集中在各領域脆弱度的氣候變遷衝擊與調適技術研究，環保署與經建會多在委託擬定與探討調適策略的相關研究，但缺乏整合性的調適策略經濟評估研究，以使得未來我國推動具成本效益的因應氣候變遷之調適策略，有效進行資源配置。

#### (一) 短期，仿效歐盟建置歐洲資訊交換中心的架構，成立氣候變遷調適研究的整合平臺

為確保高效能和具有成本效益的調適行動，應提供充足的研究資訊資源，歐盟已建立了一個新的歐洲資訊交換中心，作為氣候變化影響、脆弱性和調適措施的成本和效益方面的訊息技術工具和資料庫。

我國可仿效歐盟成立我國氣候變遷調適研究的整合平臺，我國現有氣候變遷相關研究及未來氣候變遷相關研究，需要適當的整合與強化，才能確保不同領域中獲得廣泛研究的內容與成果，能夠充分貫穿、結合與彼此協調，作為可靠的氣候變遷調適的決策基礎。因此，建議成立整合我國氣候變遷調適研究的平台，在

政府、企業、研究機構間成立研究整合的平臺，並增進政策決策者、利害相關者、科學研究人員之間的互動。未來努力方向如下：

1. 協調國家層級的氣候變遷調適相關科學研究；
2. 促進研究的協同合作並確認現有氣候變遷知識的落差；
3. 建立氣候變遷調適研究成果之移轉機制；
4. 核對、確認氣候變遷與衝擊與涉及調適策略成本效益的數據；
5. 建立氣候變遷研究網路。

(二) 長期，我國應成立專業的研究機構，有效整合相關研究

長期而言，需要專業的研究機構有效整合相關研究，以強化國家與社會面對氣候與環境變遷的調適能力，減少災害的衝擊與損失，需強化氣候變遷模擬與區域氣候研究，落實跨領域整合研究，以及強化監測與推估的資料，目標為落實與應用相關成果於政府的重大決策與施政。

四、策略執行後，應以芬蘭評估調適政策進展指標為基礎，研擬我國調適行動計畫績效與工作指標，管考未來部門別執行調適策略，提高執行調適策略的績效

有鑒於氣候變遷具有複雜性和長期性的特點，執行調適措施後必須採取持續且靈活的管考機制，並接受定期審查。政府需要定期監測和評估調適措施的執行情況，並考慮基本的科學假設的正確性，以及調適策略的適當性，包括其有效性、執行效率及總效用的前提下，對執行工作進行調整。

例如，2009年芬蘭提出事後評估的計畫，規劃在策略發布後6年至8年內，對調適策略及其有效性進行全面的評估，未來將重視調適政策和方案結束後的成效評估。



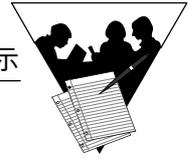
建議我國除了調適策略執行前進行評估外，應在策略執行後，透過指標進行績效與工作管考方式，針對調適策略進行追蹤、檢測、與改善。未來執行調適策略後，應以芬蘭評估調適政策進展指標為基礎，研擬適合調適行動計畫績效與工作指標，管考部門執行調適策略。

## 五、鼓勵地方政府與民眾共同參與事前與事後的評估，有利未來順利推動氣候變遷調適策略

除了經濟評估之外，社會評估對評估所有替選方案的成本和效益至關重要，對此，短期我國應先針對不確定性極高的領域，由調適問題規劃者和執行者定期更新氣候情境，並徵求情境專家意見，以進一步分析其影響效果。對調適策略的最終評價，需要由全社會進行，以透明化和參與性的模式，鼓勵地方政府與民眾共同參與氣候變遷調適策略的評估，藉以同時考量經濟價值與社會價值，可有利未來順利推動氣候變遷調適策略。

## 參考文獻

1. 柳中明等(2009),「氣候變遷長期影響評估與因應策略研議委託辦理計畫」,行政院經建會委託研究計畫。
2. 童慶斌(2007),「強化區域水資源永續利用與因應氣候變遷之調適能力」,經濟部水利署委託研究計畫。
3. 黃宗煌等(2009),「京都議定書經濟影響評估模型之建立、持續維護及調整」,行政院經建會委託研究計畫。
4. 廖朝軒(2007),「城鄉及建築防洪規劃技術之研究」,內政部建研所委託研究計畫。
5. 蕭代基等(2010),「台灣氣候變遷調適策略規劃」,行政院環保署委託研究計畫。
6. 顧洋、申永順(2007),「因應地球溫暖化我國調適策略之探討」,行政院經建會委託研究計畫。
7. ADB (2009), "The economics of climate change in South-East Asia: A regional review."
8. Agrawala, S., Crick, F., Jette-Nantal, S. and Tepes, A. (2008), "Empirical estimates of adaptation costs and benefits: a critical assessment," In Agrawala, S. and Fankhauser, S. (eds) *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change*, OECD.
9. Carraro et al (2009), "Analysis of adaptation as a response to climate change," *Copenhagen consensus on climate change.*"
10. Chambwera, Muyeye and Jesper Stage (2010), "Climate change adaptation in developing countries: issues and perspectives for economic analysis," *International Institute for Environment and Development (IIED)*, May 2010 press.
11. De Bruin, K. C., Dellink, R. B. and S. Agrawala (2009), "Economic aspects of adaptation to climate change: integrated assessment modelling of adaptation costs and benefits," *OECD Environment Working Paper*, No. 6.
12. EACC (2009), "The Costs to Developing Countries of Adapting to Climate Change: New Methods and Estimates," *Consultation Draft, Economics of Adaptation to Climate Change*, The World Bank, Washington.
13. *Economia do Clima* (2009), "The Economics of Climate Change in Brazil: Costs and Opportunities."
14. European Commission (2009), "Adapting to Climate Change: Towards a European Framework for Action."



15. Fankhauser, S.(1994), “Protection vs. Retreat—The Economic Costs of Sea Level Rise,” *Environment and Planning A* (27):299-319.
16. Galindo (2009), “The economics of climate change in Mexico/the economics of climate change in Brazil.”
17. Hope (2009), “The costs and benefits of adaptation,” in Parry.
18. Metroeconomica et al (2006), “Climate change impacts and adaptation: Cross-regional research programme to quantify the cost of future impacts.”
19. Ministry of Agriculture and Forestry(Finland)(2009), “Evaluation of the Implementation of Finland’s National Strategy for Adaptation to Climate Change 2009.”
20. OECD (2008), *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, Benefits and Policy Instruments*.
21. SEI (2009), “The economics of climate change in East Africa.”
22. Stage, Jesper (2010), “Economic valuation of climate change adaptation in developing countries,” *Annals of The New York Academy of Sciences* (1185); 150-163.
23. Stern, N. (2006), “The economics of climate change: The Stern review,” Cambridge, UK: Cambridge University Press.
24. UNDP (2009), “Methodology guidebook for the assessment of investment and financial flows to address climate change,” Version 1.0, United Nations Development Programme(UNDP), Mar. 2009.
25. UNFCCC (2010), “Synthesis report on efforts undertaken to assess the costs and benefits of adaptation options, and views on lessons learned, good practices, gaps and needs,” SBSTA Thirty-second session Bonn, Jun. 2010.
26. UNFCCC (2010), “Potential costs and benefits of adaptation options :A review of existing literature.”
27. World Bank (2010), “The costs to developing countries of adapting to climate change: new methods and estimates - the global report of the economics of adaptation to climate change study.”