

# 我國溫室氣體減量政策及措施

呂鴻光\*、簡慧貞\*\*、黃偉鳴\*\*\*、石信智\*\*\*\*

## 摘要

為減緩人類經濟活動所排放溫室氣體可能造成之全球變遷，聯合國於 1992 年通過「聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)」，希望將大氣中溫室氣體濃度穩定在不危害氣候之水準上。為加速達成此一目標，氣候變化綱要公約於 1997 年召開之第三次締約國會議中通過具有法律約束力之「京都議定書」(Kyoto Protocol)。據評估，聯合國氣候變化綱要公約係少數會影響各國經濟發展之國際環保公約之一。

我國目前雖非未納入聯合國氣候變化綱要公約之規範對象，但身為地球村成員，為善盡環境保護及追求永續發展，密切關注公約發展實屬重要。

本文主要分析公約過去發展趨勢及歷次締約國會議結論，並探討未來可能規範之減量模式，同時評估對我國之可能衝擊。此外，本文亦從我國溫室氣體統計清冊、經貿發展指標與 Kaya 方程式等，初探我國溫室氣體持續成長之原因。最後，檢討我國與重要國家溫室氣體減量策略之異同。

【關鍵字】：1.溫室氣體 2.聯合國氣候變化綱要公約 3.京都議定書

\*行政院環境保護署空氣品質及噪音管制處處長

\*\*行政院環境保護署空氣品質及噪音管制處簡任技正

\*\*\*行政院環境保護署空氣品質及噪音管制處薦任技士

\*\*\*\*永智顧問有限公司總經理

## 一、公約發展現況

自十八世紀工業革命以來，人類大量使用石化能源以創造經濟高速成長，反而造成大氣中的溫室氣體濃度大幅提高，以致於氣溫升高及氣候型態改變。

根據 2001 年氣候變遷政府間專家委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)所公布第三次評估報告指出，自 18 世紀中葉至今，大氣中二氧化碳濃度已經提高 31%；同時，該報告亦指出過去 50 年全球暖化是由人類活動所引起的，而 1990 年代是這個世紀最溫暖的十年。

由於人類持續排放溫室氣體的結果，預估在 2100 年時，全球平均地面溫度將升高攝氏 1.4 到 5.8 度，這結果比五年前第二次評估報告的結果提高攝氏 1.0 到 3.5 度。此外，在 2100 年時海平面估計將上升 9 到 88 公分，將對於人類棲息地區、觀光旅遊業、漁業、臨海建築物、農業用地及濕地造成影響，預計將有數千萬人必須遷徙，並且造成經濟上重大損失。

再者，極端氣候情境(極端溫度、洪水、旱災、火災)也將會增加，聖嬰效應的出現頻率跟強度可能會增加。氣候變化的結果將會使乾燥及半乾燥地區的供水問題更加惡化，大多數熱帶與亞熱帶國家的農業生產力將減低，珊瑚礁將因溫度升高而受威脅。

為防制此氣候變遷危及環境生態，聯合國於 1992 年通過「聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)」對「人為溫室氣體」(anthropogenic greenhouse gases)排放做出全球性管制協議，同年在巴西里約熱內盧舉行之「地球高峰會議(Earth Summit)」中通過；1994 年 3 月 21 日公約正式生效。

### 1.1 聯合國氣候變化綱要公約簡介

聯合國氣候變化綱要公約在制訂時，考量到各國的經濟、能源、環境等條件不同，在面對溫室氣體減量時需承擔共同但程度不同的責任與能力，因此將締約國分為附件一國家(Annex I parties)與非附件一國家(non-Annex I parties)兩類。附件一國家是由歐洲聯盟、美國、日本、東歐經濟轉型國等主要四十一個工業國家組成；非附件一成員則由一百四十餘個開發中國家，如：中國、新加坡、南韓組成。

聯合國氣候變化綱要公約計有二十六條條文與兩項附件，根據公約第二條之規定，公約最終目的為「將大氣中溫室氣體的濃度穩定在防止氣候系統受到危險的人為干擾的水平上。這一水平應當在足以使生態系統能夠自然地適應氣候變化、確保糧食生產免受威脅並促進經濟能夠永續發展。」

再者，公約的精神要求各成員承擔共同但程度不同的責任(*common but differentiated responsibilities*)，「附件一國家」須率先承擔責任，採取行動，減少溫室氣體的排放；同時對於應將公約中有特別需求或面臨特殊狀況的成員(特別是開發中國家)所可能承擔之不成比例負擔或反常負擔列入考量。

## 1.2 京都議定書之制訂

儘管公約訂定時，希望附件一國家可在 2000 年時將其等溫室氣體排放量降至 1990 年排放水準，但經過第一次及第二次締約國會議討論，以及根據歐洲聯盟與國際能源總署對各國所提交之國家通訊評估認為只有英國、德國、荷蘭、盧森堡四國，可望達成公約原訂目標外，其餘國家均無法達成。再者，IPCC1996 年所提出的第二次評估報告中指出，大氣中二氧化碳的濃度仍持續上升，世界各國普遍不認真執行溫室氣體減量工作，在國際上引起很大的批評與爭議。

由於，聯合國氣候變化綱要公約條文屬於綱要架構性質，主要在陳述防制氣候變遷、協助開發中國家適應氣候變遷之重要、公約組織、氣候變遷研究觀測等，並未涉及強制法律約束，為加速落實溫室氣體排放減量之法律管制，唯有制訂具有法律約束力之議定書才能有效要求附件一國家進行溫室氣體減量。因此，在 1997 年日本京都召開之第三次締約國會議時，通過「京都議定書(Kyoto Protocol)」。京都議定書要求 38 個已開發國家及歐洲聯盟在 2008 年至 2012 年間應將溫室氣體排放量回歸至 1990 年排放水準，平均再減 5.2%，各國的減量目標不一，美國係應比 1990 年排放水準再減少 7%、歐洲聯盟應比 1990 年水準再減少 8%；而冰島、澳洲及挪威則可較 1990 年水準再增加 10%、8% 及 1%。

此外，京都議定書管制之溫室氣體為二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、全氟化物(PFCs)、氫氟碳化物(HFCs)及六氟化硫(SF<sub>6</sub>)等六種，而且附件一國家可以植樹造林及森林管理吸收二氧化碳所形成的碳匯(sink)作為達成減量目標之規範。同時，京都議定書特別訂定三種跨國合作的京都機制(Kyoto Mechanisms)，分別為：清潔發

展機制(CDM)、共同執行(JI)及排放交易(ET)，協助附件一國家跨國取得減量績效，以較具成本有效的方式達成減量承諾。

京都議定書生效的條件是需要 55 個締約國批准，且批准國家中「附件一國家」之 1990 年二氧化碳排放量至少須占全體「附件一國家」當年排放總量之 55% 才能生效。

雖然工業國溫室氣體減量責任在京都會議中定案，但後續仍有相當多的議題尚待釐清。為加速京都議定書生效，聯合國氣候變化綱要公約於 1998 年在阿根廷布宜諾斯艾利斯舉行之第四次締約國會議特別通過「布宜諾斯艾利斯行動計畫」(Buenos Aires Plan of Action, BAPA)，要求各締約國針對財務機制、溫室氣體減量政策、技術發展及轉讓、京都機制等進行研商，並應於第六次締約國會議完成定案。

隨著第五次、第六次、第六次第二階段及第七次締約國會議的召開，京都議定書中爭議的條文也逐漸明朗。其中，最重要的進展係在第六次第二階段會議中通過「波昂協議(Bonn agreement)」，對於京都議定書中爭議多時的部分，如：京都機制的運作、土地利用及土地利用變更、京都議定書的遵約制度等八大部分，做出明確界定。隨後在 2001 年召開第七次締約國會議通過「瑪拉克什協定(Marrakesh Accords)」更將京都議定書各項條文訂出運作規則。至此，京都議定書的爭議已告平息，各國正努力促使京都議定書順利生效。

締約國會議係為聯合國氣候變化綱要公約之「最高決策程序」，茲整理歷次締約國會議結論如表一。

### 1.3 京都議定書批准情況

截至 2003 年 8 月 12 日為止，京都議定書已有 113 國家批准，其中非附件一國家共有 81 國、附件一國家計有 32 國；累計二氧化碳占附件一國家 1990 年總量為 44.2%。

由於美國與澳洲已宣布將不會批准京都議定書，目前議定書生效之關鍵將取決於俄羅斯。根據外電資料，俄羅斯已進行批准工作之前置作業，倘若俄羅斯於 2003 年批准議定書，則議定書生效後，國際間管制溫室氣體排放之工作將展開新的階段談判。

表 1 聯合國氣候變化綱要公約歷年締約國會議摘要

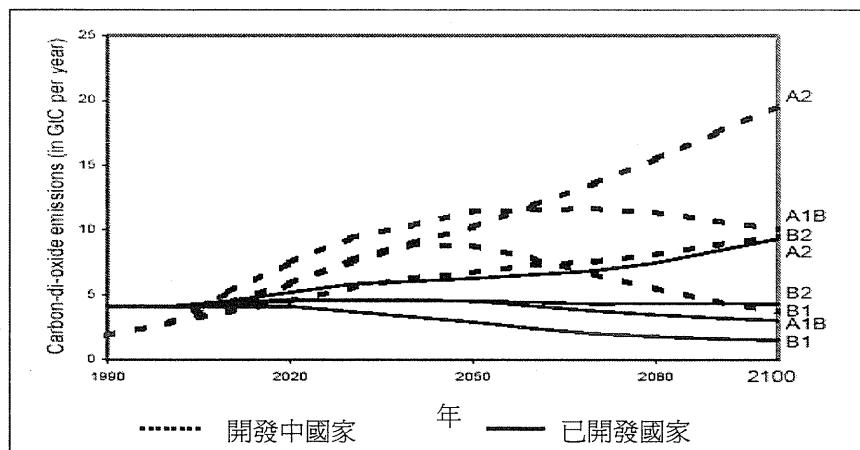
締約國會議	重要決議事項
COP1 1995 年 3 月 德國柏林	決議在公元 2000 年以後，採取議定書或另一項法律工具，來強化「附件一國家」的減量承諾。同時，通過「柏林授權」，並設立柏林授權小組(Ad Hoc Group on the Berlin Mandate, AGBM)進行規劃。
COP2 1996 年 7 月 瑞士日內瓦	決議 AGBM 應在 COP3 提出了一份據法律約束力文件作為談判之用。通過「日內瓦宣言」及肯定 IPCC 第二次評估報告。
COP3 1997 年 12 月日本京都	通過「京都議定書」規定工業化國家到 2008 至 2012 年之間要使其六種溫室氣體之排放總量與 1990 年水準相比平均削減 5.2 %。
COP4 1998 年 11 月阿根廷 布宜諾斯艾利斯	通過「布宜諾斯艾利斯行動計畫」，要求各國應在 COP6 年針對京都議定書各項條文訂定明確運作規則文件，以促使京都議定書早日生效。
COP5 1999 年 10 月德國波昂	持續執行「布宜諾斯艾利斯行動計畫」之工作。
COP6 2000 年 11 月荷蘭海牙	無具體決議，敦促各國加強政治協商。會議延至 2001 年 5~6 月召開 COP6 Part II。
COP6 Part II 2001 年 7 月德國波昂	通過「波昂協議」，對於京都議定書中爭議多時的部分，如：氣候變化綱要公約基金、技術發展與轉移、公約第四條第八款與第九款（氣候變遷所造成的不利影響及執行因應氣候變遷策略所造成之衝擊）、京都議定書第三條第十四款相關事項（協助開發中國家）、京都機制的運作、土地利用及土地利用變更、遵約制度等八大部分，做出明確界定，係為過去四年來最重要進展。
COP7 2001 年 11 月摩洛哥瑪拉克什	達成「瑪拉克什協定 (Marrakesh Accords)」，通過十五項規則文件，完成布宜諾斯艾利斯行動計畫之工作，決議採納京都機制、技術移轉、土地利用及林業等執行規範。
COP8 2002 年 11 月印度新德里	發表「德里部長宣言 (Delhi Declaration)」重申永續發展與防制氣候變遷之重要，敦促各國儘速批准京都議定書，同時通過 CDM 執行理事會之運作議事規則。

#### 1.4 後京都時期(beyond Kyoto)之可能發展

在京都議定書生效尚不明朗之情況下，現階段要求開發中國家參與未來全球溫室氣體減量之方案可能性非常低。尤其在美國表明不履行京都議定書後，對於未來是否可採取一致減量模式將更加困難。由於公約及其議定書屬於自願參與之國際環

保協定，各締約國仍然保留可退出之權利，因此如何考量在各國不相等的經濟情況，達成最廣泛的全球參與，並實質達成減緩氣候變化之環境效益，將是未來研擬長期的減量方案之最大挑戰。

後京都時期討論重點將著重在下一階段的減量工作是否可確實減少溫室氣體排放，以達成 IPCC 評估報告所稱應致力將溫室氣體穩定在兩倍工業革命前大氣中溫室氣體濃度(即 550ppmv)之目標。再者，未來討論之減量對象，首先應為附件一國家第二承諾期，即 2013 至 2018 年所應負擔之減量責任及模式；其次，才是非附件一國家(開發中國家)如何參與此一國際減量行列。尤其，根據 IPCC 評估，開發中國家溫室氣體排放預計於 10-20 年後超越已開發國家之總排放量，預計非附件一國家終將仍須面對溫室氣體減量，才可望達成減緩全球暖化之目標。



資料來源：IPCC(2001)

圖 1 IPCC 評估非附件一與附件一國家之溫室氣體排放趨勢

目前，國際間對於後京都時期所討論之減量模式甚多，部分國家(如：德國、日本)均已提出其觀點及建議，部分研究機構(如 Pew center on Global Climate Change)亦列出下一階段應討論之六項議題，包括公平性、環境效益、成本效益、遵約體制等，邀集各界提供意見。茲整理現階段各界所提出之部分減量模式，並以作為我國未來可能面對課題之準備：

#### **1.4.1 京都議定書模式(Kyoto style)**

京都議定書之模式主要是訂定在未來某一期程內將該國溫室氣體排放量降至過去年份之排放水準(如 2008-2012 年降至 1990 年水準)。由於京都議定書模式目標明確，可明確獲得溫室氣體減量，且該成效可較易驗證，並可確保環境效益，因此繼續延伸該模式要求減量，不失為一可行作法。但是固定的目標具有經濟不確定性，況且此一嚴格架構對於政治協商將不具彈性，對開發中國家而言，其經濟成長將受限制，很難吸引開發中國家加入。

#### **1.4.2 密集度目標(intensity target)**

目前已有兩國建議使用排放密集度做為其未來減量策略：阿根廷的自願性減量承諾及美國的溫室氣體密集度目標。使用排放密集度目標之方式較不會影響開發中國家之經濟發展。密集度目標可由以下方程式表達：

$$\text{GHG 密集度} = \frac{\text{GHG 排放量}}{\text{國民生產毛額 (GDP)}}$$

密集度目標較適合用於開發中國家，因為其密集度大部分仍然偏高，而降低其密集度可達到實質的排放減量效果。當密集度目標使用於已開發國家，其目標可能類似於基準排放情景(Business as Usual, BAU)，無法達成實質的減量。

#### **1.4.3 減緩及收斂(contraction and convergence)**

此一概念係於 1995 年由 Global Commons Institute 研擬，主要包含兩個步驟。在第一步驟，擬定未來每年全球排放量之路徑，以達成長期穩定溫室氣體濃度之目標(設於 450 ppmv)。在第二步驟，每年的全球排放量之限制則分配於各國，以促使

各國的人均排放量於 2030 年時收斂，而在全球限制之架構下可進行排放交易。此模式可達成長期的環境目標，並確保人均排放量之公平性，雖然可鼓勵全球性的參與，但是無法考量各國結構之不同及承擔減量成本之能力。

#### 1.4.4 部門別方式(Triptych approach)

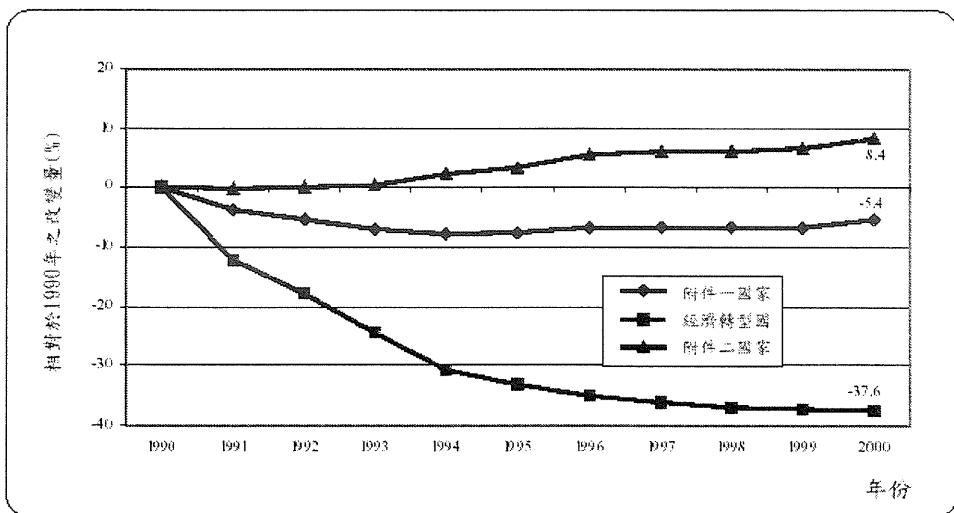
此模式由部門別評估(由下而上)以組成國家層次之目標，可用於分配一群國家之排放量，原本用於評估歐盟各國減量責任之分配。此模式就各國排放分成三部分：電力、工業及國內部門(包括住商、運輸、輕工業及農業)，以各部門為基礎而設定排放目標，再合計成國家整體目標。這三種部門之選擇，則基於各國情況之差別而與排放量及減量潛力有關，包括生活水準、發電燃料比例、經濟架構及工業之競爭力等差別。

#### 1.4.5 政策與措施(policies and measures)

相對於前述設定各國量化目標，此方式則要求各國可採取達成減量效果之相關政策與措施，不必設定固定之減量目標，包括：設定技術及效率標準(如家電用品之效率、建築物材料、再生能源使用等)、課徵特別稅賦(全球性溫室氣體稅)、避免補貼(能源生產或消費)、排放交易(實施國內排放交易制度並與國際制度連接)、鼓勵技術研發與增加誘因(鼓勵投資溫室氣體減量技術之研發與配置)。

### 1.5 未來減量承諾對我國之可能影響

根據氣候變化綱要公約秘書處 FCCC/SB/2002/INF.2 文件所顯示，附件一國家在 1990 至 2000 年間其累計溫室氣體排放量雖然已經較 1990 年排放水準平均降低 5.4%，但附件二國家(多為 OECD 國家)則平均上升 8.4%，顯示其減量成效是由於附件一國家中東歐經濟轉型國平均大幅下降 37.6% 之緣故。倘若主要工業國家(附件二國家)不積極進行溫室氣體減量，將很難要求開發中國家參加。



資料來源：UNFCCC, FCCC/SB/2002/INF.2

圖 2 附件一、附件二與經濟轉型國家 1990-2000 年溫室氣體變化趨勢

此外，在美國不履行京都議定書之情況下，現階段開始討論開發中國家減量承諾似乎不可能，而美國原本基於國會 1997 年 Byrd-Hagel Resolution 所提出主要開發中國家參與之原則，在第八次締約國會議中似乎也有所動搖。而 G77 和中國集團仍持續反對正式討論開發中國家承諾之議題，預計對於開發中國家減量責任之討論將不會在短期內定案。

雖然我國非締約國而目前無法參與任何公約談判，但在公約原則下，我國仍應積極準備必要之工作，如：進行溫室氣體統計、提昇能源效率與推廣再生能源等。

以台灣半導體協會為例，該協會已向世界半導體協會(World Semiconductor Council, WSC)承擔自願性 PFC 減量承諾。此自願性承諾模式為未來產業界追求全球參與減量之首項範例，以確保全球產業之公平競爭，也是現階段非附件一國家參加實際減量之最可行方法。另外，附件一國家未來為達成其減量目標，可能將現有相關能源效率標準(如家電用品、辦公室設備、汽車等)提高或改為強制性標準。倘若我國出口至該國之相關產品，即需符合其高標準始得進口。因此，我國企業界也應注意此一國際趨勢之發展。

## 二、我國溫室氣體排放現況

### 2.1 經濟發展與能源消費

台灣的經濟發展從二次大戰以來，歷經農業、輕工業、重工業、科技工業四個階段，創造了台灣地區經濟奇蹟；1966 年至 2000 共 35 年間我國經濟成長率，除 1974、1975、1982、1985、1998 等 5 年低於 5% 外，其餘均介於 5.39-13.59%。近年來工業發展趨緩，工業結構轉向以高科技之半導體、通訊等為主軸，而服務業產值則逐年增加，2002 年時已占 GDP 之 67.1%，顯示我國逐步走向已開發國家之產業型態。

溫室氣體排放與能源使用息息相關，我國自產能源少，絕大多數能源需仰賴進口，其中進口能源占總能源 95%以上。以 2000 年台灣能源供應量為例，其總量約為 10,504 萬公秉油當量，其中石油能源占 50.9%，煤炭占 31.1%，核能占 9.1%，天然氣(含液化天然氣)占 6.8%，水力占 2.1%，化石燃料占比約為九成，此一能源供應結構調整困難。此外，我國地窄人稠，高山及山坡地占 74%，多數人口及工廠位居僅占 26% 之平原區，各項「環境負荷」高居世界前幾名。由於能源與環境因素之限制，造成我國現階段推動二氧化碳減量之困難，此一情況亦是開發中國家標準類型。

### 2.2 我國溫室氣體排放現況

#### 2.2.1 我國各項溫室氣體排放統計

環保署於 2001 年使用 IPCC GHG Software version 1.1 與 UNFCCC CRF V1.01 規則，統計我國 1990-2000 年溫室氣體排放清冊。以 2000 年為例，我國各種溫室氣體總排放量(不計土地利用及森林所吸收之 CO<sub>2</sub> 量)已達 271.6 百萬噸碳當量，人均排放量為 12.23 公噸。其中以 CO<sub>2</sub> 占絕大部分，約占總量的 88%；其次是甲烷的 4.6%；再其次是 N<sub>2</sub>O 的 4.3%。若以部門來分類，以能源部門為大宗，約占總排放量的 85.8%，其次是工業製程部門的 6.5%，再其次是農業部門的 4.5%。

表 2 我國 1990~2000 年各種溫室氣體排放量

(不含土地利用及森林吸收 CO<sub>2</sub>)單位 : CO<sub>2</sub> 當量 (Gg)

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs	PFCs	SF <sub>6</sub>	Total
1990	132,516.25	13,928.67	13,999.60	--	--	--	160,444.52
1991	140,968.32	15,116.43	14,886.20	--	--	--	170,970.95
1992	151,272.04	17,575.32	14,827.30	702.00	--	--	184,376.66
1993	164,235.44	18,821.88	15,190.00	1,638.00	--	--	199,885.32
1994	173,336.51	20,043.87	15,543.40	1,521.00	--	--	210,444.78
1995	179,410.03	17,995.95	15,500.00	1,755.00	--	--	214,660.98
1996	189,556.52	18,292.68	15,927.80	2,808.00	--	--	226,585.00
1997	203,435.67	19,193.58	14,064.70	3,276.00	--	--	239,969.95
1998	216,086.44	19,312.44	13,649.30	17,442.00	536.00	61.38	267,087.56
1999	218,131.70	20,160.21	13,528.40	16,726.00	1,310.00	98.91	269,955.22
2000	238,935.97	12,499.20	11,739.70	5,612.00	2,721.00	114.37	271,622.24

資料來源：行政院環保署（2002）

表 3 我國 1990~2000 年各部門溫室氣體排放量

(不含土地利用及森林吸收 CO<sub>2</sub>)單位 : CO<sub>2</sub> 當量 (Gg)

	能源部門	工業製程部門	農業部門	廢棄物部門	總排放量
1990	123,108.11	11,734.92	15,398.25	10,203.03	160,444.52
1991	132,724.91	10,666.01	16,387.37	11,191.61	170,970.95
1992	140,630.58	13,921.11	16,189.27	13,635.49	184,376.66
1993	151,683.07	16,924.09	16,497.38	14,779.52	199,885.32
1994	161,577.35	16,186.72	16,783.23	15,897.27	210,444.78
1995	168,244.34	16,088.52	16,728.98	13,598.93	214,660.98
1996	178,506.50	17,148.69	17,124.71	13,801.95	226,585.00
1997	191,938.99	18,438.68	14,865.80	14,726.48	239,969.95
1998	206,911.60	31,201.40	14,194.21	14,780.14	267,087.56
1999	210,318.40	30,051.61	14,107.50	15,477.50	269,955.22
2000	232,947.26	17,741.88	12,196.02	8,737.08	271,622.24

資料來源：行政院環保署（2002）

### 2.2.2 溫室氣體排放統計指標之跨國比較

溫室氣體減量係為國際議題，若進行國際間比較或論及各國減量責任時，實無法單就溫室氣體排放總量一項進行比較，應考量各國人口數、國內生產毛額、能源消費量、甚至購買力評價等因素，一併綜合考量。為瞭解我國因應公約之定位，爰引用國際能源總署(IEA)統計資料，在同一基礎下作比較進行分析，統計分析如表 4。

表 4 我國經濟、能源、二氧化碳指標與跨國比較

項目	我國(世界佔比)	排名	全球	OECD
人口(百萬)	22.22(0.37%)	48	6,023	1,122
人均 GDP(千美元 <sup>a</sup> /人)	15.5	28	5.6	24.7
CO <sub>2</sub> 排放總量(百萬噸)	217.3(0.91%)	22	23,901	12,527
人均排放(公斤 CO <sub>2</sub> /人)	9.8	24	4.0	11.2
單位 GDP 排放(公斤 CO <sub>2</sub> /美元 <sup>a</sup> )	0.63	80	0.7	0.45
單位 GDP_ppp 排放(公斤 CO <sub>2</sub> /美元 <sup>b</sup> )	0.53	51	0.57	0.51
單位能源排放(公斤 CO <sub>2</sub> /10 <sup>9</sup> 焦耳)	62.52	25	56.51	56.27
能源生產力(美元 <sup>b</sup> /10 <sup>9</sup> 焦耳)	118.6	47	98.7	110.6

註 a：美元為 1995 幣值採匯率

註 b：美元為 1995 幣值採購買力平價

資料來源：IEA (2002)

臺灣在 2000 年經由燃料燃燒所排放的二氧化碳總量為 217.3 百萬噸，居全球第二十二名；人均排放量為 9.8 噸，居全球第二十四名。若以每單位 GDP 二氧化碳排放來衡量，台灣是 0.63 kg CO<sub>2</sub>/95US\$，新加坡為 0.37，日本為 0.2，瑞士為 0.12，瑞典為 0.19，韓國為 0.7，若由此觀之，我國二氧化碳密集度仍有改善空間。

根據前述比較，我國在各項指標排名大多偏高，部分指標(如：人均排放量、排放總量等)顯示我國超越部分 OECD 國家，甚至較附件一國家有過之而無不及。

如此快速的成長，恐將引起國際間對我要求減量之注目。

### 2.2.3 我國能源部門二氧化碳未來推估

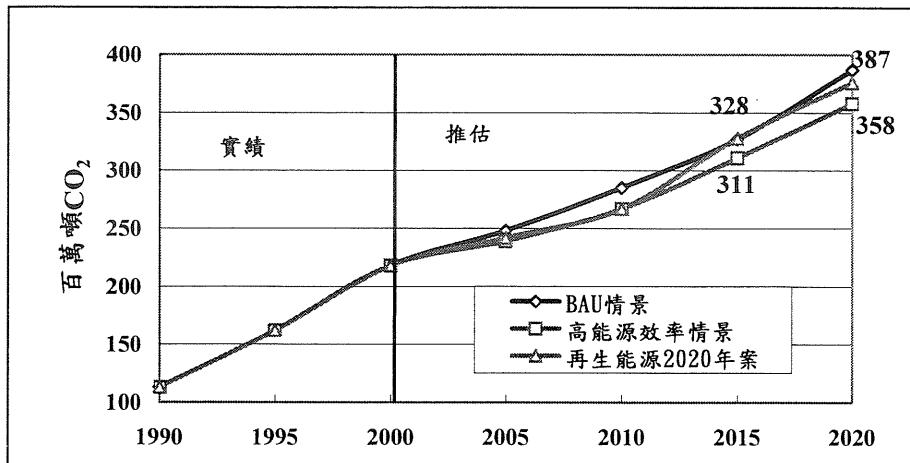
運用能源工程模型 MARKAL 評估我國能源部門二氧化碳未來情景。主要設計三種情景，包括：BAU 情景、高能源效率情景與再生能源 2020 年案，上開情景係參考行政院非核家園推動委員會能源結構調整小組之討論結果。其中，BAU 情景係假設能源技術維持 2000 年的水平；「高能源效率情景」係將用電器具效率標準提高、新設電廠熱效率提昇、車輛效率提昇等，主要參考 1998 年全國能源會議結論具體行動方案；另「再生能源 2020 年案」則以行政院挑戰 2008 之再生能源發展規劃目標，於 2020 年達 650 萬瓩。其假設條件如下：

1. 經濟成長率：於 2006~2020 年成長率介於 3.20% 至 4.10% 之間。
2. 人口及戶數成長率：人口數 2006~2020 年介於 0.34% 至 0.66% 之間，後者則介於 1.10% 至 1.75% 間。
3. 產業結構發展趨勢：服務業比重愈益增加，至 2020 年農業、工業及服務業比重分別為 1.9%、28.9% 及 69.2%。
4. LNG 2000 年進口量為 420 萬噸，於 2010 年進口上限設為 1,300 萬噸，2020 年為 1,600 萬噸。
5. 核四於 2006 年商轉。

根據評估結果，若依據上開三個情景，我國能源部門二氧化碳排放量至 2020 年將達 358 至 387 百萬公噸之間，人均排放在 15.6 公噸左右。

1990-2000 年過去十年間，我國人均排放年平均成長率為 5.95%，平均每五年人均二氧化碳排放量增加約 2 噸。然因經濟成長趨緩及核四可能加入商轉，我國 2001-2010 年人均二氧化碳排放降為 2.0%，後續因核電廠相繼如期除役，致使 2011-2020 年人均二氧化碳年平均成長率回升至 2.4%-2.7%。

影響二氧化碳未來排放情景推估結果的因素，包括：經濟成長展望、能源技術演進及其它假設。我國經濟現階段正面臨產業外移與轉型等問題，未來總經濟發展充滿不確定因素，產業結構調整對於二氧化碳排放之影響也尚待釐清。



資料來源：行政院非核家園推動委員會能源結構調整小組,2003

圖 3 我國能源部門二氧化碳未來排放情景推估

#### 2.2.4 我國二氧化碳排放之成因分析

根據 1989 年 Kaya 所提方程式可知，碳排放的因素主要取決於人口、人均 GDP、能源密集度與能源中碳密集度四項關鍵因素，該式如下：

$$C = Pop \times \frac{GDP}{Pop} \times \frac{TPES}{GDP} \times \frac{C}{TPES}$$

說明：C：碳排放量；Pop：人口數；GDP：國內生產毛額；TPES：總初級能源消費量

若以因素分析法觀念，將上述方程式取對數，並統計四項因素之歷史與未來趨勢進行探討，可得表 5。

表 5 二氧化碳排放因素分析

年 度	CO <sub>2</sub> 增加 (千公噸)	歸因於人口增加 (千公噸)	歸因於人均GDP成長(千 公噸)	歸因於能源密集度(千 公噸)	歸因於能源中碳密集度(千 公噸)
1991~2000 年 (比例)	104,373 千公噸 (100%)	14,482 千公噸 (14%)	85,280 千公噸 (82%)	-10,356 千公噸 (-10%)	14,966 千公噸 (14%)
	173,087 千公噸 (100%)	25,365 千公噸 (15%)	198,621 千公噸 (115%)	-61,291 千公噸 (-35%)	10,392 千公噸 (6%)
年 度	CO <sub>2</sub> 及影響因素的年平均成長率				
	CO <sub>2</sub>	Pop	GDP/Pop	TPES/GDP	CO <sub>2</sub> /TPES
1991~2000 年	6.7%	0.9%	5.5%	-0.6%	0.9%
2001~2020 年	3.0%	0.4%	3.4%	-1.0%	0.2%

註：環保署 92 年度"運用能源工程模型評估溫室氣體減量方案"第一次工作報告

雖然上面分析各因子間並非絕對獨立，但經過因素分析仍可初步獲得一些啟示，如：我國人口與經濟成長所造成之能源使用增加，是二氧化碳增加的主因。再者，能源中碳密集度對於二氧化碳排放呈現正向效果，顯示由於我國含碳能源使用量偏高。由此可知，我國若要減少二氧化碳排放，應著重在將能源結構往非化石能源方向調整。

此外，產業結構調整也是減少溫室氣體排放之重要關鍵。根據國際能源總署過去統計資料分析，已開發國家(OECD 國家)於 1970 年代起開始調整產業結構，發展高附加價值、低耗能產業，並使用低碳能源等策略，促使其經濟成長可持續高度成長，而 CO<sub>2</sub> 却逐漸平緩，形成兩者分離的現象。

反觀我國，我國與一般開發中國家發展型態相似，由於部分產業之生產仍仰賴消耗較多能源；由上述三種不同情景之推估，我國未來 CO<sub>2</sub> 排放與經濟成長兩者間為高度相關，即使至 2020 年仍高度相依存。若無適切調整此一產業發展方向，對於我國二氧化碳減量將有不利影響。

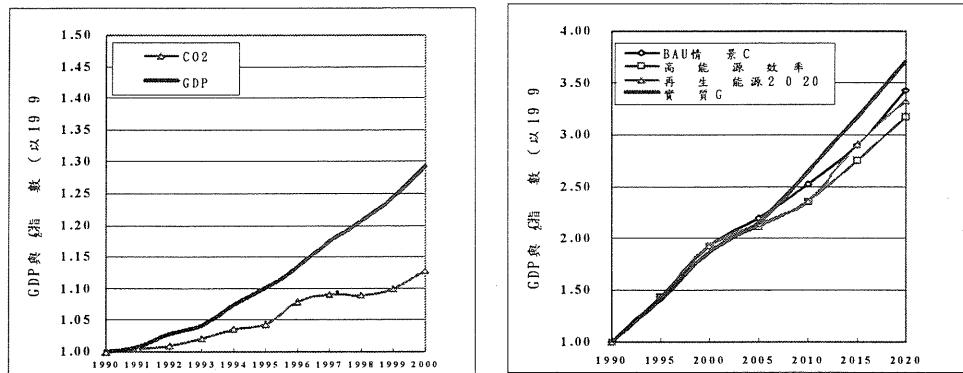


圖 4 我國與 OECD 國家二噁化碳與 GDP 趨勢比較(以 1990 年為基期)

### 三、我國因應公約之組織及策略

#### 3.1 我國因應公約之歷程

我國自 1992 年以來即密切注意聯合國氣候變化綱要公約之發展，行政院於 1992 年成立「全球變遷工作小組」，並於 1994 年 8 月提升為「全球環境變遷政策指導小組」，至 1997 年則擴編成立為跨部會由副院長主持之「行政院國家永續發展委員會」，由「大氣保護及能源工作分組」負責。2002 年行政院國家永續發展委員會重新改組，更提昇由行政院院長擔任主任委員，氣候公約之跨部會整合工作則由新成立之「國際環保組」負責擔任聯繫窗口。

#### 3.2 全國能源會議

為因應京都議定書，我國於 1998 年 5 月 26 日及 27 日召開「全國能源會議」，就「氣候變化綱要公約發展趨勢及因應策略」、「能源政策與能源結構調整」、「產業政策與產業結構調整」、「能源效率提升與能源科技發展」及「能源政策工具」等五項議題進行討論。是項會議之「全國能源會議具體行動方案」業於 88 年 8 月 5 日經行政院第 2640 次院會通過，並區分為「政策檢討事項」、「成立計畫立即

推動事項」、「待專案研究或建立制度事項」及「須研修法令事項」等四大類，共計一 180 餘項行動計畫。主要措施及目標略述如下：

1. 節約能源及提升能源效率：以達成 2010 年累積節約能源 16%、2020 年累積節約能源 28% 目標，主要措施：

- a. 工業部門：建立新設廠能源效率指標、執行能源用戶查核制度、推動產業自發性節約能源、提升能源設備效率標準、擴大實施節約能源獎勵優惠、加強節約能源技術服務等。
- b. 運輸部門：提升及增訂汽機車輛耗能標準、推動省能運具、健全軌道大眾運輸系統、發展智慧型運輸系統等。
- c. 住商部門：提高用電器具(冷氣機、電冰箱、螢光燈、單向感應電動機、乾衣機、配電變壓器、冰水機、事務機器)效率標準、強化建築外殼耗能指標、建立建築節能檢測體系等。
- d. 電力部門：提升發電機組效率、提升輸配電效率、推廣汽電共生系統、實施需求面管理措施等。

2. 大力推廣天然氣使用：預計在 2010 年增至 1,300 萬公噸、2020 年 1,600 萬公噸。

3. 推廣再生能源使用：行政院規劃針對風力、太陽光電、太陽能熱水系統、小水力(裝置容量小於二萬瓩者)、沼氣與廢棄物能等訂定獎勵及推動措施。

4. 推動鋼鐵、石化、造紙、水泥、人纖五大公會自發性節約能源行動計畫，預估至 2020 年累計節約能源 190 萬公秉油當量。

### 3.3 我國現行策略與主要國家之比較

目前，國際主要國家因應聯合國氣候變化綱要公約政策重點首在節能與提昇能源效率(特別針對產業部門)；其次則為開發新能源及淨潔能源。各國對於產業部門減量措施多由產業提出自願減量計畫。就各國減少二氧化碳排放措施而言：

#### 3.3.1 歐洲聯盟

多採財政手段(經濟誘因)，英國著重在運輸部門，採用租稅改革及差別稅率；法國、德國著重在家計、商業部門，採用補貼、低利貸款、租稅扣底及差別稅率等。

#### 3.3.2 亞洲國家

多以行政管制措施，韓國、日本、中國大陸係修訂能源相關法規為主。

### 3.3.3 美國則是以科技研發工作為主。

我國政府現行因應策略方式類似日本、韓國之模式，採取行政管制為主，財政手段為輔之方式，推動措施之內容仍以節約能源、提升能源效率、調整能源結構及推廣淨潔能源為主。

若細究我國執行之措施內容，與日本等國家相較，選擇之執行工具雖然類似，但執行層面未及日本等國家深廣。如工業部門自願減量協定，英國有三十餘個產業簽署此協定，日本二十餘個產業，韓國有 6 個行業，我國有 5 個產業執行 CO<sub>2</sub> 與能源自願減量計畫。

至於設備耗能標準或標章制度，日本採行最高標準之 Top Runner 標準，韓國制定 161 項產品能源密集度目標，至 2003 年 8 月為止，我國正式公告車輛、漁船、鍋爐、空調系統冰水主機、低壓三相鼠籠型感應電動機、窗/箱型冷氣機、電冰箱、低壓單相感應電動機及螢光燈管等 10 項能源效率標準。

表 6 我國與主要國家能源部門 CO<sub>2</sub>減量政策與措施比較

策略	政策	工具	措施	日	英	美	韓	台
直接管制	法規	法律	全球暖化對策推動法律	●				
節約能源	法規	命令/標準(產業)	節約能源管理法	●			●	
		命令/標準(運輸)	重型車輛排放標準			●		
		命令/標準(自願減量)	產業自願削減 CO <sub>2</sub> 及能源消耗量	●	●	●	●	●
		補貼	通訊工作	●				
	財政	低利貸款	投資節能設備					●
		租稅改革	提高能源稅			●		
			提高汽車取得稅	●	●			
	市場機制		徵收道路通行費	●				
		差別稅率(累進稅)	汽車排氣量				●	●
		租稅扣抵	節省能源材料、設備、技術 自願削減溫室氣體				●	
提升能源效率	研發	租稅扣除	小型車註冊費、執照費減免			●		
		排放交易	節約能源量交易市場				●	
		國際合作	協助開發中國家實施節能措施		●			
	研發	價格政策	能源價格政策(含關稅、營業加值稅、貨物稅及其他加重課稅部份)			●		
		基金	貸款中國購買防污、節能設備與技術			●		
		技術	政府部門節能技術			●		
	研發		家戶及辦公室節能技術	●		●		
			運輸需求管理	●	●	●	●	●
提升能源效率	法規	命令/標準(產業)	產業能源密集度目標			●	●	
			產品耗能標準			●		
		命令/標準(產業)	鍋爐效率標準				●	
			空調冰水主機能源效率標準				●	
		命令/標準(運輸)	車輛耗能標準				●	
			漁船耗能標準				●	
	研發	命令/標準(住商)	電器用品最低能源效率標準		●	●	●	
		命令/標準(建築)	建築能源效率標準	●	●	●	●	
			公有建築物興建綠建築				●	
	財政	標準制度	燃料-汽車型號標章			●		
			環境及能源友善建築標章	●	●	●	●	
			家用電器、開關能源消耗標章	●	●	●	●	
研發	研發	補貼	高能源效率設備		●		●	
			獎勵			●	●	
			租稅扣抵			●	●	
	研發	差別稅率	低耗油低排放車輛	●	●			
		技術	高效率工業、住商設備	●	●		●	
			集中式暖氣系統		●			
研發	諮詢		協助產業能源審查與建議			●	●	
			建築審查			●	●	
			家庭節能措施		●			
			建築物最適能源使用降低措施			●	●	
			航空器控制新技術			●		

表 6 我國與主要國家能源部門 CO<sub>2</sub> 減量政策與措施比較(續)

策略	政策	工具	措施	日	英	美	韓	台
能 源 結 構 調 整	法規	命令 / 標準 (能源)	能源管理法					●
			電力法			●		●
			石油管理法				●	
			氣體法	●			●	
			供熱管理法			●		
			能源市場自由化	●			●	
			核能發電比率	●				
新 及 再 生 能 源	法規	命令 / 標準 (能源)	新興再生能源法	●		●		
			再生能源電力購回許可				●	
			再生能源發電目標	●	●	●	●	●
	財政	補貼	使用替代能源車輛	●			●	
			使用再生能源	●			●	
			設置加氣站補助				●	
			探勘天然氣補助				●	
			補助研發太陽能熱水器				●	
	保證收購價格		以保證價格購入再生能源電力				●	
			購入汽電共生電力				●	
			購買汽電共生設備低利貸款				●	
市場 機制	租稅扣抵		使用新與再生能源		●		●	
			環境清淨車		●			
			購買汽電共生設備租稅扣抵				●	
	國際合作		協助開發中國家協助開發中國家發展新與 再生能源		●			
			研發、推廣新及再生能源	●	●	●	●	●
			研發、推廣再生能源技術及提昇能源效率		●		●	
			混合電力駕駛系統巴士		●			
			興建電動機車加電站				●	
			研發電動機車燃料電池	●	●	●	●	
			興建天然氣車輛補給站		●			
研 發	技術		採購天然氣公車		●			
			發展地方替代能源市場		●			
			開發新及再生能源			●		●
			超高效率太陽能電池、煤氣燃料電池、耐高 溫材料、超銅、二次煉焦、超效率光電板發 電技術、高效率電器	●		●		
			核能	●	●	●	●	
其 他	財政	命令 / 標準 (產業)	溫室氣體排放量測與監督系統	●	●	●	●	
			徵收 CO <sub>2</sub> 排放稅				●	
			徵收環境稅	●		●		
			徵收氣候變遷稅	●				
	京都 機制	彈性機制	排放交易	●	●	●	●	
			清潔發展機制	●	●	●	●	
研 發 行 政 措 施	技術		國際合作發展減量技術	●				
			氣候科學與決策系統整合	●		●		
	宣導		推廣核能資訊	●				

由上述因應氣候變化策略之比較可知，我國政府因應氣候變化策略之組織架構與各國相較大致尚稱完整，執行措施亦具有一定規模，如何繼續發揮現有組織功能，並全面檢討溫室氣體的減量空間，規劃與準備國際談判，是為現階段政策重點。

#### 四、結語

雖然「聯合國氣候變化綱要公約」及「京都議定書」並未規範與我國情境相似之開發中國家溫室氣體減量責任，但我國實不應掉以輕心。再者，京都議定書可能會在 2003 生效；當議定書生效後，國際間可能將會開始進行開發中國家減量責任之討論，依據前述分析，我國現階段無論是能源結構、節約能源、減量措施等，仍有很大改善空間；況且這些措施及政策之實施，往往需要數十年之持續推動，才能有成效展現，倘若現在不作，未來面對減量壓力時，將是嚴峻挑戰。

溫室氣體減量就是要尋求保護生態環境及經濟發展的平衡點，建立『經濟能發展、環境受保護』的雙贏局面，這是我國無悔的策略，也是努力的目標。

#### 參考文獻

1. International Energy Agency (2002) Beyond Kyoto: Energy Dynamics and Climate Stabilisation.
2. Pew Center on Global Climate Change (Working Draft, July 2003) Beyond Kyoto: Advancing the international effort against climate change.
3. Hohne, Niklas, et al (February 2003) Evolution of Commitments under the UNFCCC: Involving newly industrialized economies and developing countries. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Berlin, Germany.
4. World Resources Institute (May 1999) What Might a Developing Country Climate Commitment Look Like.
5. Pew Center on Global Climate Change (2002) Pew Center Analysis of President Bush's February 14th Climate Change Plan.
6. Meyer, Aubrey (2000) Contraction & Convergence: The Global Solution to Climate

Change.

7. International Energy Agency (IEA), Dealing with Climate Change-Policies and Measures in IEA Member Countries, 2002.
8. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2001: The Scientific Basis, 2001.
9. UNFCCC (2002). National communications from Parties included in Annex I to the Convention: Report on national greenhouse gas inventory data from Annex I Parties for 1990 to 2000. ( FCCC /SB /2002 /INF.2)
- 10.經濟部，全國能源會議結論具體行動方案，1999 年。
- 11.行政院環境保護署，中華民國聯合國氣候變化綱要公約國家通訊，2002 年。
- 12.行政院環境保護署，評估及推動我國實質參與聯合國氣候變化綱要公約專案計畫(EPA-91-FA11-03-A177)，2002 年。
13. 行政院環境保護署，因應氣候變化綱要公約決策支援專案計畫 (EPA-91-FA11-03-A096)，2002 年
14. 行政院環境保護署，運用能源工程模型評估溫室氣體減量專案計畫 (EPA-92-FA11-03-A139)第一次工作進度報告，2003 年。
- 15.行政院非核家園推動委員會能源結構調整小組非核家園願景下我國能源及結構與電源配比，2003 年。