

氣候變遷的理與盲： 知易行難的多重跨界議題

許晃雄*

* 中央研究院環境變遷研究中心。

Abstract

Global warming and its impact are cross-disciplinary issues that involve natural and social sciences, risk assessment, decision making, politics, and international power game. Facing the pressing issue of global warming and its impacts, three types of reaction are often observed: believer, denier, and ignorant. Even experts of different disciplines view and interpret this serious problem differently. Politicians, who hold the key to tackling the greatest human challenge ever faced, need to be knowledgeable about this issue. This article attempts to provide a scientific basis for the global warming problem, to summarize the current disputes, and to provide a personal view on necessary measures that Taiwan should take to minimize the global warming impacts both globally and locally.

摘要

全球暖化與衝擊可能是人類有史以來面臨的最大挑戰。全球暖化不只是一個極端複雜的科學問題，造成的衝擊影響層面是災害、生態、公共衛生問題，面對全球暖化並降低衝擊所必須採取的調適與減緩機制，則是經濟、社、政治與國際外交問題。全球暖化的層面如此多元、如此複雜，卻又迫在眉睫。面對如此複雜且急迫的問題，一般人不是出現兩極化的反應（如，毫無保留的相信與排斥），就是因為太複雜無法理解而置之不理。專家學者也因領域與觀點不同，有不同的詮釋。全球暖化帶來的是跨世代且全面性的衝擊，為政者是否理解全球暖化的內涵，是否具前瞻思維而提出並落實具體可行的調適與減緩政策，降低全球暖化對台灣與全球的衝

擊，更是關鍵。值得注意的是，相對於世界各國，台灣朝野與社會大眾對於全球暖化的關注與實際行動，遠遠不及。本文企圖以淺顯易懂的方式，介紹全球暖化議題的背景、現況與爭議，希望有助於釐清全球暖化相關的複雜且具爭議性的問題，並從個人觀點提出台灣應採取的具體作為。

一、引子

談到跨界（領域）研究或議題，應該沒有任何一個議題會比全球暖化（氣候變遷）更多元與複雜。面對如此複雜且急迫的問題，一般人不是出現兩極化的反應（如，毫無保留的相信與排斥），就是因為太複雜無法理解而置之不理。專家學者也因領域與觀點不同，有不同的詮釋。全球暖化帶來的是跨世代且全面性的衝擊，為政者是否理解全球暖化的內涵，是否具前瞻思維而提出並落實具體可行的調適與減緩政策，降低全球暖化對台灣與全球的衝擊，更是關鍵。相對於世界各國，台灣朝野與社會大眾對於全球暖化的關注與實際行動，遠遠不及。本文企圖以淺顯易懂的方式，介紹全球暖化議題的背景、現況與爭議，希望有助於釐清全球暖化相關的複雜且具爭議性的問題。

二、理

2013年秋天到2014年春天這段期間，將在人類抗暖化歷史留下難以抹滅的痕跡。2013年9月30日，聯合國「跨政府氣候變遷專門委員會」（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）發佈第五份氣候變遷評估報告（AR5）第一冊（WG1）—科學依據（Climate Change 2013: The Physical Science Basis），再次確認全球

暖化是無庸置疑（unequivocal）的現象，最近的三個十年比1850年以來每個十年都溫暖；在北半球，1983-2012年可能（likely，機率大於66%）是近1400年來最暖的30年；人為影響極可能（extremely likely，機率大於95%¹）是導致二十世紀中葉以來觀測到的暖化現象的主因。

這些現象都與人類自工業革命以來，大量排放溫室氣體（如，二氧化碳、甲烷、氧化亞氮等）有關。溫室氣體具有暖化地球的作用，是宇宙間自然存在的現象。在不受人為干擾情況下，經過自然調節，地球放射出去的紅外線平衡吸收的太陽輻射，決定了地球的溫度。從工業革命以來，人類大量燃燒化石燃料持續排放二氧化碳，砍伐森林降低了大地吸附二氧化碳的能力，地球大氣中的二氧化碳濃度從工業革命前的280ppm逐漸上升至2014年5月的400ppm²。過去80萬年，冰河期與間冰期數次更迭，二氧化碳濃度變動都在180-300ppm之間。上一次400ppm發生於約三百萬年前³，也是地球的自然變動造成的。人類在短短一百多年讓二氧化碳濃度陡增了40%，遠比過去80萬年的自然變動快了許多。人類的農業、商業與工業活動，也導致甲烷與氧化亞氮濃度快速上升至近數十萬年來前所未有的高峰。

人類排放溫室氣體的路徑很多，包括燃燒化石燃料、工業製程、農作物生產、砍伐森林、土地開發等。方於2014年4月中

1 IPCC報告對於”可能”、”極端可能”等都賦予明確的機率定義。參見 Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties, <http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/uncertainty-guidance-note.pdf>.

2 Trends in Atmospheric Carbon Dioxide: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

3 <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2013/05/130510-earth-co2-milestone-400-ppm/>

發布的IPCC報告第三冊—減緩氣候變遷（Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change; IPCC AR5-WGIII）指出，溫室氣體排放以化石燃料為最大宗，在2010年所占比例已經高達65%，比1970年的55%增加了一成。溫室氣體的年總排放量從1970年的27 GtCO₂eq/yr增加到2010年的49 GtCO₂eq/yr。排放的速率也加速中，1970-2000年間排放量每年增加1.3%，2000-2010年間則為2.2%。燃燒化石燃料與工業製程是快速增加的主因，占了78%。2010年的49 GtCO₂eq/yr排放量中，電力需求、農業/森林砍伐/土地利用、工業造成的排放量最大，分別為25%、24%與21%，其次是交通（12%）、建築（6.4%）與其他（9.6%）。研究也發現溫室氣體排放量和人口與經濟成長呈現明顯的正相關：過去數十年來，人口穩定成長，因此對排放量的影響相對穩定；相對而言，經濟成長率逐年變化大，對排放量的貢獻也因此明顯變動，比如2001-2010年間的高經濟成長導致溫室氣體排放量大幅增加。該報告估計，如果以目前的態勢持續發展，到了2100年，全球平均地面氣溫將比工業革命前高出3.7-4.8°C（約比現在高出3.0-4.0°C）。

根據IPCC報告，人為暖化是全球性的。溫室氣體一旦被排放進大氣層，停留在大氣中的時間從十多年、數百年到數萬年不等。由於停留時間夠長，因此溫室氣體分布十分均勻，各地的濃度雖有些許不同，但差距甚小，也因此人為溫室效應產生的暖化作用在世界各個角落差異不大。溫度上升是所有人為氣候變遷中最確定的。在研判人為排放溫室氣體是否已經造成全球暖化，氣候學家考慮了各種自然與人為影響因素，利用氣候模式進行控制組與對照組實驗，發現只有在考慮人為因素的情況下，這些氣候模式才可以模擬出過去數十年的暖化現象。人為因素顯然是近幾十年來造成全球暖化的主因。

21世紀，全世界人口將持續增加，人類也將持續追求經濟成長與更舒適高品質的生活，溫室氣體排放必將持續增加，全球暖化加劇已經不只是可能，而是幾乎確定會發生的情境。IPCC報告發現，未來的全球暖化程度與氣候變遷情況，決定於人類總共排放多少溫室氣體：排放越多，暖化越嚴重，氣候變遷影響也可能越大。意思就是說，人類的行為模式決定了地球氣候的未來。那麼，如何推估未來呢？

推估未來氣候變遷與大家熟知的天氣預報截然不同。天氣預報只要知道目前的大氣與海洋狀況，就可以用天氣預報模式在超級電腦計算出未來一周天氣的可能變化趨勢。過去幾十年的科學與技術發展，大幅提升了天氣預報的可信度。未來數十年與近百年的氣候變遷則無法根據現在狀況直接預測，因為必須先推測人類將繼續排放多少溫室氣體。溫室氣體排放量的多寡則決定於未來的人口數、經濟發展情況、能源使用情況、環境政策等。這些項目顯然是無法預測的。IPCC第四份報告⁴(AR4)假設不同的未來發展情境（如，毫無節制使用化石燃料相對於使用低碳與無碳能源，人口成長幅度等），推估未來的溫室氣體排放量，再用氣候模式去推估未來的氣溫、雨量、豪雨、乾旱、颱風的可能變遷。這些資訊不是預測，而是情境推估。它告訴我們每一種發展情境下，可能的氣候變遷情境，以及對地球環境生態與人類的可能衝擊。比較各種可能情境，我們可進行風險評估與管理，瞭解人類應該如何規劃未來發

4 IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. <https://www.ipcc-wg1.unibe.ch/publications/wg1-ar4/wg1-ar4.html>.

展，將可能的衝擊影響降到最小。這種推估其實不陌生，類似台灣民眾熟知的升學考試分發的”落點分析”或軍事上的”兵棋推演”，提供的資訊不必然完全正確，卻極具參考價值。我們早已習慣於運用這些資訊，做出最有利的決定。

IPCC AR5 採取不同的情境設定方式，設計了四種溫室氣體排放路徑：減緩路徑（RCP2.6）、穩定路徑（RCP4.5）、穩定路徑（RCP6.0）、高排放路徑（RCP8.5）。減緩路徑假設二氧化碳排放可以持續增長至2030年，隨後則大幅下降，到了2100年二氧化碳濃度控制在421ppm。2014年4月二氧化碳濃度已經高達400ppm，在此一排放路徑下，可以增長空間極少，只有大幅度且快速減少溫室氣體排放，才能達成此一目標。穩定路徑（RCP4.5）與穩定路徑（RCP6.0）則允許排放分別持續增加到21世紀中與2080年，再減少至穩定排放值，到了2100年二氧化碳濃度分別為538ppm與670ppm。高排放則維持排放量繼續增加的趨勢，到2100年二氧化碳濃度為936ppm，是工業革命前二氧化碳濃度280ppm的3.3倍。

IPCC AR5-WGI 考慮這四種溫室氣體排放路徑，推估21世紀末全球暖化程度，在平均值方面為1.0-3.7°C，上下限為0.3-4.8°C；海平面上升幅度推估平均值為0.40-0.63公尺，上下限為0.26-0.82公尺。有些計算推估北極海冰在21世紀中可能就整個消失。人為溫室效應的持續增強也將對極端天氣與氣候造成顯著影響：1) 陸地溫暖天數越來越多，寒冷天數越來越少（幾乎確定，機率>99%），2) 熱浪頻頻發生（非常可能，機率>90%），3) 大部分中緯度陸地與潮溼的熱帶地區，豪大雨發生頻率、強度與雨量增強（非常可能），4) 乾旱強度與持續時間在部分地區增加（可能，機率>66%），5) 西北太平洋及北大西洋的熱帶風暴（颱風）活動增強（比較可能，機率>50%），6) 極端高海平面發生機率與程度增

加（非常可能）。

氣候變遷推估的特色是以機率呈現事件發生的可能性。一般人習慣以決定論來判斷觀測到的現象，認為事出必有因。近代科學觀念講究的是機率，是可能性，而非論斷是與非，有與無。科學事實經常存在於灰色地帶，氣候變遷研究是有科學依據的，因此結果不會是非黑即白。即使是氣候模式已經十分複雜，是人類在氣候研究領域最精華的成果之一，仍然有不精確之處，也因此會有誤差。這些機率告訴我們，在不同的溫室氣體排放情境，未來各種氣候變遷發生的可能性。依據這些機率，我們可以評估可能的風險，決定應該採取何種因應措施。這些推估有一個共同特性：越遙遠的未來，全球暖化與氣候變遷越明顯，衝擊越大；同樣的，溫室氣體排放越多的情境，全球暖化與氣候變遷越明顯，衝擊也越大。這個結論明顯指出，減少溫室氣體排放，可以降低全球暖化程度，以及氣候變遷的衝擊。這個簡單的訊息明確指出，竭盡所能減少溫室氣體排放是降低氣候變遷風險的不二法門。

全球暖化已經發生，在可見的未來將持續惡化，對人類與地球環境將有何影響，我們應該如何調適？IPCC 第五份評估報告第二冊一衝擊、調適與脆弱度（Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; IPCC AR5 WGII⁵），發現全球暖化帶來的氣候變遷已經發生，已經影響了農業、人類健康、陸地與海洋生態系統，供水系統，以及某些區域民眾的生計。這些影響發生在全球各地，從熱帶到極區，從小島到大陸，從最富有到最貧窮的國家，無一倖免。許多地區，包括最富有的國家，經常疏於準備，反應遲鈍，無法及時因應而遭逢巨大災害。2005年8月侵襲紐澳良的

5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>

卡崔娜颶風 (Katrina)，2012年10月底侵襲美國東北部暱稱”科學怪颶 (Frankenstorm)”的珊迪 (Sandy) 颶風，2010年夏天歐洲熱浪與森林大火，同年夏天的巴基斯坦百年洪水，2009/10年冬季東歐的酷寒，2013/14年冬季的英國百年豪雨與洪水，在在都顯示富如美英兩國，強如俄羅斯都無法避免極端天候帶來的巨大衝擊，遑論巴基斯坦與東歐小國。雖然這些帶來豪雨酷熱酷寒的極端天氣，仍無法被證實與全球暖化有關，這幾個事件顯示面對極端罕見的氣象災害，21世紀的人類仍舊極其脆弱，防禦能力極低。如IPCC報告預言，在未來全球暖化加劇的情況下，極端天候發生的頻率與強度都非常可能變大，我們要如何面對這個或許是人類有史以來最大的挑戰？如何因應？如果無法避免？應該採取哪些措施減少衝擊？

依據IPCC於2012年出版的氣候變遷特別報告”Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation”，估計氣候變遷衝擊帶來的風險必須考慮三大構成要素：災害 (hazard)、脆弱度 (Vulnerability) 與暴露量 (Exposure)。探討一個地區或國家的災害風險，必須同時考慮以下三個面向：暖化後極端天候事件增加，環境與社會變遷下脆弱度增加 (如過度開發所造成的土地脆弱度增加) 以及暴露量增加 (人口密集、都市化發展)。針對如何降低氣候變遷對災害的可能衝擊與風險，該報告也提出系統性的思考方向：1. 透過科學方法了解氣候變化成因與趨勢，並進一步減緩全球暖化，2. 透過災害管理與氣候變遷調適，降低災害脆弱度與減少暴露量。許多研究報告指出，透過積極的調適作為，辨識與降低脆弱度與暴露量，強化恢復力 (resilience)，可以有效降低氣候變遷帶來的衝擊。

考慮衝擊與調適問題的時候，除了考慮氣候變遷，也須考慮過去幾十年的快速社會變遷的潛在影響：人類大幅擴張居住地區，

與大自然爭地，砍伐森林，改變地表狀況，移居至天然災害風險較大的地區，同時也使得當地環境的致災性升高。這些作為不僅提高了環境脆弱度，更提高了受災的可能性（亦即增加了暴露量），其實是趨（近）災（害）的行為。氣候變遷加上社會變遷才是總體效應。面對可能加劇的極端天氣帶來的災害，我們可能得改變過去防災、減災與避災的觀念，開始思考如何耐災，如何制定有效可行的調適政策，將災害衝擊降到最低。一個耐災力強的社會，面對氣候變遷衝擊，所遭受的損失可能遠小於低耐災力的社會，恢復力也較強。

如果，全球暖化的衝擊無法避免，我們應該如何調適？IPCC AR5-WGII 明確指出，“氣候變遷造成的風險無所不在，我們還是有機會採取有效的因應措施”。有效的調適策略與措施，必須同時考慮經濟社會發展與暖化減緩措施。如何面對氣候變遷衝擊的挑戰，以全新且具創意的的方法處理風險，讓這個世界更有彈性、更有活力，安然適應未來的氣候變遷，是我們目前亟須面對與解決的問題。擬定並落實這樣的調適策略，牽涉到個人、社區、社會與整個國家。IPCC 明確指出，國際間密切合作達到的效應要遠大於每個國家各自為政的效果。涵蓋與影響層面這麼大的措施，必須從上而下、由下而上、從政府單位到私人企業、從個人到國家機器，從蕞爾小國到工業大國，都動起來，採取多元與滾動式的協商合作，才可能有效落實。這樣的挑戰史無前例。有些國家與企業已經動起來。荷蘭是一個最極端的例子。經過屬不清的政府與公民會議，荷蘭全國上下體認國土因為海平面上升而淹沒將是必然的結果。他們選擇誠實面對事實，了解與其“抗暖化”，不如“與暖化共存”積極面對挑戰，提出「氣候防禦（climate proof）」的前瞻觀念，全力發展水上生活所需的科技，設計水上屋，規劃使用太陽能電力的水

上太陽城市 (solar city)，並展開必要的調適措施 (包括拆除部分海堤，將與海爭來的土地還給大海，以便抒解暴雨帶來的洪氾)。

除了調適，還得考慮如何減緩溫室氣體排放量，盡量降低可能的暖化程度。如前所述，暖化程度決定於溫室氣體總累積量，排放越少暖化程度越低，衝擊較低。IPCC 研究發現越早、越迅速減緩溫室氣體排放量，越容易調適，效果越佳，所費資金與經濟損失也越少。四種排放路徑的設計，就是用來判斷最佳的排放路徑。所謂最佳路徑，不僅考慮全球暖化對天候、生態環境等的影響，還要考慮經濟負荷是否划算。近幾年耳熟能詳的 2°C (暖化) 目標就是在此一思路下產生的概念。 2°C 目標，簡單的說，就是如果全球氣溫比工業革命前高出 2°C (目前已經比工業革命前高出約 0.8°C ，我們還有大約 1.2°C 的成長空間)，地球生態系統會受到嚴重威脅，極端天氣現象大量增加，地球系統將變得不穩定，進入一個不可逆的境界，再也無法回復到過去的狀態。因此，許多研究者倡議，在2100年前溫度增加最好控制在 2°C 以內。在這限度以內，雖然無法完全避免，但是氣候變遷的衝擊與經濟負擔或許還可以承受。這個概念在1980年代被提出來，經過許多討論與觀念修正，歐盟最先採用並積極推動，於2001年正式寫入IPCC第三份評估報告，2009年納入聯合國氣候變化綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC⁶) 第15次締約國會議 (COP15) 通過的哥本哈根協議 (Copenhagen Accord⁷)，雖然遭受許多質疑 (包括不確定性高與經濟代價太高等)， 2°C 已經成為國際間一致同意的理想目標。

要達成 2°C 目標其實相當困難。根據IPCC AR5-WGI，四種排

6 <https://unfccc.int/2860.php>.

7 https://unfccc.int/meetings/copenhagen_dec_2009/items/5262.php.

放路徑只有減緩路徑可以達成，兩種穩定路徑都有極大可能性在21世紀末全球溫度超過2°C。2009年的哥本哈根會議未如預期產生可以取代京都議定書的減排協議。各國於隔年11月群聚墨西哥坎昆（Cancún），提出2020年減排目標，稱為「坎昆誓言」（Cancún pledge⁸）。經過事後推估⁹，根據各國設定的減排目標，在2100年的暖化程度將在2.5-3.9°C之間，平均3.1°C，比維持現況的後果（3.0-4.6°C，平均3.7°C）稍微低些。依目前國際情勢看來，達成2°C目標仍然困難重重，遙遙無期。

IPCC AR5-WGIII針對2°C目標做了詳細評估：透過一系列的廣泛技術性措施與人類行為改變，有可能達到2°C目標；唯有透過大幅度的制度與技術變革，全球暖化才有（高於隨機的）機會不超過2°C門檻。我們需要大幅度降低溫室氣體排放量。相較於2010年排放量，在21世紀中葉必須減排40-70%，並且在21世紀末達到零排放。減排需要所有部門全面性的配合，其中包括能源生產與使用、交通、建築、工業、土地利用與居住地。電力生產零排放、提高能源使用效率、降低能源使用量、發展低碳能源技術是減排的主要路徑。友善的土地利用政策，減緩砍伐森林，甚至森林重建，可以減少溫室氣體排放且增加土地吸附溫室氣體的能力，有助於減少暖化趨勢，也能提高調適措施的經濟效益。該報告提出不超過2°C門檻的核心作為：將經濟與人口成長與溫室氣體排放脫鉤。這是理想境界，人們可以享受一定的經濟成長與舒適生活，而且可以有效減排與減緩全球暖化。經濟可以改善，才有足夠資源來落實適當的調適措施。改變生活態度與行為，將環境保護觀念內化為生活素養，無碳社會才能成型，大幅減排才有希望。

8 http://unfccc.int/key_steps/cancun_agreements/items/6132.php.

9 Climate Action Tracker <http://www.climateactiontracker.org/>

氣候變遷議題牽涉的不只是自然科學，還牽涉到工程、社會科學（經濟、社會、心理等）與公共衛生，甚至國際關係。這個議題涵蓋層面之廣，從研究、國家治理、國際關係角度，都是史無前例。人類科學史上，從沒有一項研究跨越如此多領域。全球暖化（或氣候變遷）已經演化出一系列全新的研究領域。環境議題方面，酸雨與臭氧洞問題相對單純已經有解決機制，空氣汙染也可以控制。全球暖化問題過於複雜，處理過程牽涉層面太廣，影響到每一個人的日常生活與生計，截至目前，我們知道應該如何做，但是有太多的考量與牽扯，而無法大刀闊斧進行。以前知識不發達，是「知難行易」的年代；在知識爆炸的21世紀，環境問題卻是「知易行難」。

三、盲

IPCC在1990年—2014年間公布了五份氣候變遷評估報告，持續提出科學證據警示全球暖化的嚴重性，加上近年來極端天候事件頻頻發生，全球暖化與氣候變遷已成為互相通用的代名詞，民眾似乎也已經習以為常。2004年，好萊塢電影「明天過後」風靡全球，似乎是氣候變遷風潮的濫觴。2006年，高爾的「不願面對的真相」首次將全球暖化的議題透過大銀幕直接訴之民眾。2007年，IPCC發佈第四份氣候變遷評估報告，首次以十分肯定的語氣發佈警訊—「過去半世紀的暖化現象極可能是人造溫室氣體所造成的」，並推測到21世紀末，全球平均溫度會再上升攝氏1.1度到6.4度。同年，高爾與IPCC一起獲頒諾貝爾和平獎。「不願面對的真相」還獲選為2007年奧斯卡最佳紀錄片。高爾應該是同時得到這兩項毫不相干大獎的第一人吧。（想想，如果高爾當選美國總統，大概沒時間到處演講全球暖化危機與拍攝影片，必然與兩項大獎無

緣。) 2009年6月5日，法國導演盧貝松的「拯救地球」影片全球首映。2010年，號稱台灣版「不願面對的真相」的「正負二度C」在台灣首映，引起熱烈迴響（但也被學界批評誇大不實）。

也有人十分悲觀提出近似世界末日的觀點。提出「大地之母亥亞」概念（亦即，地球是個生物體，有自我調節的能力）的著名英國科學家 Lovelock 就認為不是「全球暖化」(global warming)，而是「全球炙熱化」(global heating) 即將發生，屆時全球僅剩5-6億人，而且只有極區附近才適合人居。在2006年出版的「亥亞復仇記 (The Revenge of Gaia)」中，他悲觀的直言，發展替代能源等措施已經來不及拯救地球，大地之母亥亞將展開她的復仇行動，拋棄人類，自我調節到不適合人居的世界。如同逐漸熱化的大氣層與消逝中的北極海冰，人為全球暖化（或氣候變遷）的議題並未時過境遷，為人淡忘，反而深入人心，「全人類的共同危機」的共識似乎逐漸形成。

但並非全然如此一面倒。面對這股危機意識，有人嗤之以鼻，斥為無稽之談，甚至歸咎於政治野心。2007年英國 Channel 4 拍製的「全球暖化大騙局」(The Great Global Warming Swindle¹⁰) 與前幾年往生的著名作家麥可克來頓的小說「恐懼之邦」是最著名的例子。「暖化！別鬧了！」的作者認為暖化造成的影響有被過份誇張的情況。他極力反對目前全力發展替代能源的策略，認為緩不濟急，對降低溫室氣體排放量的功效十分有限，所需付出的財務負擔反而將嚴重斷損全球經濟。他倡議如果全球暖化與災害不可避免，與其投注過多精力與財力發展替代能源，不如將之運用於改善水利、醫療品質、農業、居住環境等基礎建設，大幅提高落後地區承

10 http://en.wikipedia.org/wiki/The_Great_Global_Warming_Swindle.

受災害的能力，反而可以降低生命與財物損失。

這些爭論的主要源頭之一是IPCC的報告。不少人（包括學術界人士）對IPCC的報告與結論抱持高度懷疑，最主要的批評在於氣候科學還不夠成熟到可以瞭解影響氣候變化的所有因素，目前用來推估未來氣候變遷的工具—氣候模式，仍有許多缺點，依據這些氣候模式推估出來的未來氣候變遷的不確定性太大。不可否認的，這些觀點都有其立論依據。如果如此，我們應該如何面對這些看似大相逕庭的資訊？或許，我們可以先評估一下，我們有多少選擇？以IPCC AR5報告而言，三大巨冊，每冊二千多頁，參考過去幾年三萬多篇氣候變遷的學術論文，根據十幾個國家的研究單位用二十幾個氣候模式推估出來的未來氣候變遷的可能情境，由約八百位科學家以數年時間撰寫而成。以這樣龐大的規模撰寫一份報告，在人類歷史上從未發生過，而且已經重複做了五次，結論大致相同。所用的氣候模式，雖然不夠完善，卻是人類有史以來最好的模式。換言之，IPCC的未來情境推估，雖然仍有不少不確定性，卻是目前我們可以參考的唯一透過嚴謹過程所得到的結論。在沒有其他可靠資訊下，我們可以選擇利用IPCC結論進行最佳的風險評估與管理，盡量降低可能的衝擊，也可以選擇嗤之以鼻，冀望IPCC報告是人類史上最大的科學烏龍事件，一切預言只是一場誤會，什麼事也不會發生。

另一個原因是媒體與一般大眾對氣候變遷科學本質常有錯誤認知¹¹。舉最近曝光率很高的兩個議題為例。2013年夏天，新聞大幅報導北極海冰增加了60%，甚至謠傳即將進入冰河期。事實是，2012年夏季是有衛星觀測以來海冰最少的一年，2013年夏季海冰

11 Global Warming & Climate Change Myths, Skeptical Science, <http://www.skepticalscience.com/argument.php>.

沒有融化那麼多（註：新的海冰於秋天開始形成，隔年春天開始融化，到了夏末，量最少），雖然覆蓋面積比2012年多了60%，還是比過去30多年的平均少了將近兩個標準差的海冰量。根據估計20世紀初到1970年代，北極海冰覆蓋面積沒有大幅變動，然而從1979年到2013年，夏季海冰覆蓋面積少了約1/3，體積則少了約4/5（因為海冰越來越薄）¹²。地球氣候以多種時間尺度變動。以百年時間來說，大致可以分為三種：年際（年與年之間的差別）變化、年代際（年代與年代之間的差別）變化與百年趨勢。以我們目前所關心的人為暖化現象，必須以百年的時間尺度來判斷氣候變遷趨勢。即使在暖化過程，氣溫（海冰）也不會每年持續增加（減少），在長期的上升（下降）趨勢中，也會有年與年間、年代與年代間的跳動。2012與2013兩年間的海冰覆蓋面積的大幅跳動，就是所謂的年際變化。這種快速的跳動常常與長期趨勢相悖，但不能據此論斷變遷趨勢。這樣的新聞相當聳動，不只影響一般大眾，也影響非氣候領域研究者的觀點，即所謂隔行如隔山。連學有專長的領域外研究者都會誤解，反映了全球暖化議題的複雜性與高難度。全球暖化需要跨領域研究的合作，但是各自領域的入門知識都有一定的難度，形成跨界研究的瓶頸。

另一個例子是暖化停滯（warming hiatus）¹³。全球平均溫度在1998年之後，雖然持續維持百年高溫，但是逐年上升的趨勢變得比較不明顯。反對全球暖化說法的人士因此質疑全球暖化的真實性，認為地球氣溫已到達高原期（plateau），將開始降溫。這並非完全沒道理，因為，除了年際變化與百年暖化趨勢，地球氣溫的

12 Arctic Sea Ice News and Analysis - <https://nsidc.org/arcticseaicenews/>

13 Nature Editorial, 2014: Nature Climate Change: Scientist communicators, doi:10.1038/nclimate2167.

確呈現數十年上下擺盪的現象。一般認為這是受到海洋年代際變動的影響，是地球系統自然運作的一部分。解釋年代際變動發生原因的理論不少，但是實際瞭解還是十分有限。IPCC AR4 曾明確指出地球暖化趨勢在最近幾十年有逐漸加速的趨勢，引起很多議論。後來研究發現，最近30年增溫較快是因為前述的年代際變化正處於溫度上升的階段，加上百年暖化趨勢，因此形成最近數十年暖化加速的錯覺。最近一份研究¹⁴將聖嬰現象與已知的年代際變化從長期全球氣溫資料中去除，發現過去百年都以相同的速率暖化，並無所謂暖化加速的現象，確認了疊加效應的看法。有趣的是，年代際變化的影響卻都被全球暖化正反兩方拿來支持他們的論點。反方認為暖化趨勢即將停止，因為溫度已達高峰，未來數十年年代際變動將轉為降溫趨勢。正方則警告年代際的降溫趨勢，僅會短暫減緩暖化趨勢，因為人為溫室效應仍舊持續加強中，三、四十年後，當年代際變化再次轉為增溫趨勢，而且人為全球暖化趨勢將變得更大（甚至大於自然的變動），兩種因素疊加，屆時全球暖化將更嚴重。相同資料卻衍生出截然不同的結論，其實不奇怪，僅是凸顯了科學研究的人為特質：資料是客觀的，科學詮釋卻經常是主觀的。這種情形最常發生於發展中的科學研究多種理論搶出頭的時期。科學家與一般人一樣，有好惡、有情緒、有偏執，做出的科學結論，難免受到學派與個人偏見（或誤解）影響。等塵埃落定，數十年後的人類，回頭審視這個年代的紛紛擾擾，或許會訕笑說，不就這樣嗎？有什麼好吵的。

科學理論觀點的差異也是主要原因之一。在地球46億年的歷史中，經過多次的大暖期與冷期更迭，溫度變化幅度遠大於過去與

14 Zhou, Jiansong, Ka-Kit Tung, 2013: Deducing Multidecadal Anthropogenic Global Warming Trends Using Multiple Regression Analysis. *J. Atmos. Sci.*, 70, 3–8.

未來百年的暖化程度。質疑者（包括不少學者）因此認為目前的暖化現象小巫見大巫，不必太擔憂。但是，關鍵在暖化速率，而不是幅度。最近的研究確認，工業革命以來的暖化速率超過過去一萬年的溫度變化。溫室氣體排放的速率也是同樣情形。（這就是所謂的曲棍球桿曲線（hockey stick¹⁵）：在長期穩定狀況的尾端，曲線突然上揚。）英國地質學會（The Geological Society）特別公布了一份評估報告¹⁶，肯定這項結論。

影響氣候變動的因子很多，科學理解仍相當不完全。高爾的影片與 IPCC 都引用研究數據證明，工業革命以來，溫室氣體的快速累積是過去 65 萬年以來前所未見的現象，間接證明人類的影響顯著。最近的研究已經將時間往回推到 80 萬年前，這些資料告訴我們，溫度高的年代，也都是溫室氣體濃度高的年代。質疑人為全球暖化的學者，特別指出溫度的上升比溫室氣體濃度的上升早了約 800 年，因此是溫度造成大氣中溫室氣體濃度的變化，而非後者影響前者。這個論點顯然有其依據，因為許多研究指出，高溫不利於海洋吸收大氣中的二氧化碳，而且可能加速物質的腐化速率，增加二氧化碳的排放。如果不考慮其他因子，這些因素會增加大氣中的二氧化碳濃度。

但是，不能忽視的是，二氧化碳是溫室氣體，會促使溫度更加上升。簡單的說，氣溫與溫室氣體濃度可以互相加成，形成正回

15 Mann, Michael E.; Bradley, Raymond S.; Hughes, Malcolm K. (1999), "Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations", *Geophysical Research Letters* 26 (6) : 759, Bibcode:1999GeoRL..26..759M, doi:10.1029/1999GL900070. http://en.wikipedia.org/wiki/Hockey_stick_controversy.

16 The Geological Society: An addendum to the Statement on Climate Change: Evidence from the Geological Record. December 2013. <http://www.geolsoc.org.uk/climaterecord>.

饋循環（或惡性循環）。在一個正回饋循環中，氣溫與溫室氣體，是何者先上升已經不重要。重要的是，只要兩者之一有所變動，就可能牽動連鎖反應，促使氣候遠離原來的平衡狀態。地球正是這樣的一個系統。居住其中的人類，在科技快速發展過程中，排放了過多的溫室氣體，是個不爭的事實。更有甚者，眼前我們只看到了排放量持續加速，絲毫沒有減緩的趨勢。我們是否已經開啟了全球暖化的潘朵拉盒子？IPCC的報告給了一個肯定的答案，質疑者則有所保留。

質疑者另一個論點，認為太陽活動是造成氣候暖化的原因¹⁷。氣候變遷研究者，利用氣候模式，進行了「回到過去」的虛擬實境模擬，發現自然因素（火山爆發與太陽輻射變化）可以解釋千年來的氣候變化，太陽的因素也可以解釋20世紀初的暖化現象。相反的，最近幾十年間，當全球暖化愈趨明顯時，太陽輻射強度不增反減；如果太陽輻射強度變化是主因的話，過去數十年間，地球氣候應該出現冷卻現象。IPCC的「回到過去」模擬確實得到這樣的結果，同時也顯示只有在考慮溫室氣體濃度上升的情況下，才能模擬出最近幾十年的全球暖化現象。從這些研究看來，太陽輻射強度的變化，應該不是造成最近數十年全球暖化的原因。

質疑者更提出，地球氣候是一個動態系統，已經運作40幾億年，在沒有人類的年代，冷暖氣候不斷交替，變化幅度甚至更大¹⁸。這類變化屬於自然變異，影響因素相當複雜，但是與人類作為無關。老實說，氣候學家對這些因素如何影響地球氣候，了解得

17 Sun & climate: moving in opposite directions, Skeptical Science, <http://www.skepticalscience.com/solar-activity-sunspots-global-warming.htm>.

18 What does past climate change tell us about global warming?, Skeptical Science, <http://www.skepticalscience.com/climate-change-little-ice-age-medieval-warm-period.htm>.

並不十分透徹，在這樣的情況下，我們如何能預測未來的氣候？的確，氣候學家目前做的並不是氣候預測（prediction），而是在情境假設下進行推估（projection）。氣候難預測，人類社會的變遷（如，經濟、生活形態、社會結構與能源使用情況等）更是無法預知。在此情況下，如果能設計人類未來發展的可能情境，再依據情境推估人類會繼續排放多少溫室氣體，那我們就可以推估在每一種情境下，地球氣候在人為溫室效應下，將如何變遷？全球暖化是否加劇？

目前IPCC的最佳估計，到21世紀末，全球暖化程度將高達1.0~3.7°C。這些氣候推估經常被質疑沒有考慮某些自然變動因素，如太陽輻射強度變化與火山爆發。研究¹⁹發現，即使如某些質疑者所言，發生於13-18世紀的小冰期（因為太陽輻射強度變弱）於21世紀重現，全球溫也僅將下降約0.3°C，遠小於人為溫室氣體的暖化效應。太陽黑子的11（22）年週期變化對地球溫度的影響，則又更小。火山爆發引起的冷卻效應大約為攝氏零點幾度，而且頂多維持2-3年，除非年年有大型火山爆發，或者遠古年代的巨型火山爆發再現，火山爆發的影響仍將遠小於人為暖化程度。遠古年代的巨型火山爆發是否再現，無法預測，也沒有任何科學依據可以參考，納入情境假設毫無意義。況且一旦發生，帶來的可能是毀滅性的全球衝擊，人類完全無法因應。相對而言，人為暖化的衝擊，經過適當措施，還有可以應付的機會。目前的氣候變遷推估完全建立在這些情境上，而結果並非告訴我們氣候一定會如此變遷，它告訴我們的是，如果不抑制溫室氣體排放，人類未來可能面臨的狀況；如果

19 Feulner, G., and S. Rahmstorf, 2010: On the effect of a new grand minimum of solar activity on the future climate on Earth. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L05707, doi:10.1029/2010GL042710.

這些情境不發生，結果就可能不同。這些研究結果提供給我們一個指引：人類應該如何調整發展方向與腳步，以便降低過度暖化對天氣與氣候、社會經濟與生態環境的衝擊。

對此，質疑者認為，目前的氣候模式並不完善，許多自然界的過程，無法在模式中複製，這些有缺陷的氣候模式，尚不能準確預測未來幾個月的氣候，怎能用來推估幾十年後，甚至21世紀末的氣候²⁰。這個論點也有其依據，氣候學家的確仍無法預測未來幾個月的氣候。氣候模式雖然已經非常複雜，但是仍無法精確模擬大氣中較劇烈且較小尺度的現象，如雲、雨、對流系統、颱風等。最主要的原因是，人類對影響天氣與氣候的許多因素（如，懸浮微粒的冷卻作用）仍未充份了解，因此無法設計出完美的氣候模式。

另一方面，則是長期氣候模擬計算繁複，需要十分龐大的電腦計算能力。目前的超級電腦雖然已經十分先進，計算速度快，能力強，對氣候變遷模擬而言，離理想狀況卻仍有一大段距離。受限於電腦能力，目前的氣候模式的空間解析度（點與點間的最短距離）大多仍在100~200公里。這樣粗糙的解析度，連解析台灣都有問題。因此，氣候變遷推估結果用於洲際到全球尺度的現象比較可靠，對大氣與海洋溫度上升，以及海面上升等的結果也比較有信心，因為溫度的空間變化較小，不同研究團的模擬結果也比較一致。但是，雨量與極端天氣的推估值的不確定性明顯大了許多，因為不同模式得到的結果經常南轅北轍。考慮到模式的不完美與情境的不確定，IPCC的氣候變遷推估，採取多模式、多情境、多次模擬的方式，推估未來的氣候，企圖得到未來氣候變遷的可能上、下限。如果，不同模式模擬出了相同的結果，則比較可靠；如果模式

20 How reliable are climate models?, Skeptical Science, <http://www.skepticalscience.com/climate-models.htm>.

間差距很大，推估結果的可信程度自然較低。推估結果預告了高風險的溫暖化未來。雖然不完美，但是我們並沒有更好、更可靠的結果可以參考。幸好，人類的知識與技術總是不斷推陳出新，對地球氣候的了解與日俱增，氣候模式會不斷改善，情境也會不斷修正。這也是為何IPCC每隔幾年就要重新整理一份報告，闡述科學家對過去與未來氣候的最新看法，做為下一階段的風險評估與管理的依據。這樣的疊代過程或許繁複，卻是科學進步的不二法門。

如果對全球暖化的質疑只是科學界內部的紛紛擾擾，事情就簡單多了。全球暖化與氣候變遷，就如天氣現象與預報，即使非專業的一般民眾也會有意見。更有甚者，各種陰謀論滿天飛。全球暖化或許是網路上評論最多的科學議題。極端擁護者與否認者^{21 22}的論點充斥網路，甚至互相至對方部落格或網站嗆聲。前者只要有任何極端天氣與氣候現象發生，就歸罪於全球暖化。來自否認者的挑戰則是更加嚴厲。曾幾年前的氣候門事件（ClimateGate²³）是最具代表性的例子。全球暖化否認者團體駭入英國東英吉利亞大學（University of East Anglia）氣候研究部門（Climate Research Unit），竊取氣候研究人員間的電子郵件，公開揭露郵件內容，指控這些氣候變遷研究要角蓄意隱藏不利於全球暖化現象的證據。此項指控後來經過幾個調查委員會數個月的調查（包括重新處理資料），發現並無不當之處，還給當事人清白。被指摘的學者則反駁指控者惡意從數不清的信件中，摘出一些不相干的字眼，斷章取義，拼湊成新的句子，讓人以為氣候研究人員蓄意隱藏資料。被

21 Dunlap, Riley E. and McCright, Aaron M. (2011). "Climate Change Denial: Sources, actors, and strategies". In Constance Lever-Tracy. Routledge Handbook of Climate Change and Society. Taylor & Francis. ISBN 0-415-54478-5.

22 http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change_denial.

23 http://en.wikipedia.org/wiki/Climatic_Research_Unit_email_controversy.

指控的一位美國知名氣候學家麥可曼恩（Michael Mann），於2012年出版”The Hockey Stick and the Climate Wars: Dispatches from the Front Lines”，除了回顧整個事件與結局，也詳述全球暖化否認者如何藉由學者與國會議員批判他一項非常著名的研究結果，不斷透過國會聽證會對他展開數年的調查。受調查期間，他遭受平面與電子媒體蓄意的不當報導，接到涉及人身攻擊與生命威脅的信件，甚至有國會議員認為他應該被處予死刑，以謝（美）國人。曼恩在書中直指他遭受的是系統性與組織性的攻擊，背後指使者是美國石油產業的外圍組織，目的是要阻止歐巴馬總統推動法律將溫室氣體列為汙染物。這樣的指控由來已久，並不稀奇。有些反對全球暖化的知名學者，接受石油產業基金會的研究計畫，因此也被懷疑動機不單純。相反的，也有學者控訴如果提出與全球暖化不同見解的研究計畫與論文，經常被駁回。這些正反例子，都顯示全球暖化議題，即使單就氣候科學層面，都複雜與敏感到幾乎”刀刀見骨”。背後真實的原因，將來會是一項十分有趣的跨界研究題材。

即使仍有許多爭議，人為全球暖化幾乎已經成為國際間的共識。調適與減緩措施如何落實，是最大爭議點。重點在於如何做才是最經濟、最有效。這是最大的歧異點。2006年，英國史登爵士（Sir Nicholas Stern）領導的研究團隊發布STERN REVIEW: The Economics of Climate Change^{24 25}，震撼全球。這份報告發現，如果不採取任何行動，氣候變遷帶來相當於每年5%全球GDP的損失；

24 http://en.wikipedia.org/wiki/Stern_Review#cite_note-Cairncross_2006-10-30_firstpost-1.

25 Nicholas Stern, 2007: The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-70080-1.
http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf.

有效的溫室氣體減排的成本卻只相當於每年1%全球GDP，未來10-20年內的減排投資，將在21世紀後半葉產生顯著效果。這份報告可以說激勵了許多國家決策高層，接受溫室氣體減排措施具經濟效益的觀點，願意開始推動與落實調適策略與減排措施。然而，這份報告也引來批評，認為使用過低的貼現率（discount rate）來計算經濟效益，高估了全球暖化的經濟損失與減排的經濟效益。雖然有這些爭議，IPCC第四、五份報告基本上都遵循史登報告的觀點。IPCC AR5-WGII發布後，發表在自然期刊（Nature）的一篇論文²⁶指出，現階段使用的經濟模式都指出氣候變遷將造成巨大的經濟損失，立即的減排措施是必要的。這些估計雖然在定量上仍有相當的不確定性（每排放一噸的碳造成未來的經濟損失約\$12-\$64），對決策者仍是相當有用。這篇文章也指出這些模式的推估極可能都低估了氣候變遷造成的損失，其中特別提到現在模式都使用固定的貼現率，其實是不合理的，因為貼現率應該隨時間遞減，如此一來每排放一噸的碳造成未來的經濟損失將不只是目前估計的\$12-\$64。這些爭議再次凸顯了全球暖化/氣候變遷問題的高困難度與挑戰性。

四、如何看待氣候變遷科學的爭議

氣候學家Henderson-Sellers曾經針對全球暖化防治問題進行問卷調查，詢問確定性要有多高，才必須採取防治行動。結果民眾要求只要50%即可。即使如此，科學家仍無法拍胸脯保證。然而，我們是否可以因此忽略全球暖化的問題？答案是否定的！理由有三：

26 Revesz, Richard L., et al.: Global warming: Improve economic models of climate change. *Nature*, 508, 173–175, (10 April 2014), doi:10.1038/508173a.

(一)、全球暖化的可能性：

雖然，我們仍無法確切知道溫室氣體的累積將如何改變地球的氣候，但是我們知道人為溫室效應確實可能導致全球暖化與氣候變遷，其影響不容忽視。理由有三：(1) 人類的活動造成大氣中溫室氣體含量的增加，(2) 溫室氣體具有暖化地球大氣的特性，(3) 溫室氣體的生命期從十多年到數百年不等，能影響地球氣候數百年之久。人類自工業革命以來的行為，彷彿在地球進行一項前所未有的氣候實驗。問題的癥結是，沒有人知道真正的實驗結果。我們唯一確知的是，全球暖化的確可能發生。更何況，資料顯示古代大氣中溫室氣體含量高時，氣候偏暖；含量低時，氣候偏冷。過去一再發生的現象，未來發生的機率也極高。

(二)、氣候系統的回饋作用：

氣候系統的運作過程中有許多正回饋作用，可能劇烈的改變地球的氣候。美國哥倫比亞大學知名學者布魯克的一篇論文²⁷警告說，全球暖化有可能改變大西洋的海洋環流，使得傳送至高緯度地區的熱量因而降低，歐洲甚至全球反而因此進入寒冷的氣候。他所提出來的機制，乍聽之下，似乎會緩和全球暖化，其實不然。因為，該機制的降溫作用，在北大西洋與周遭地區，可能遠大於全球暖化的增溫作用，反而造成更劇烈的氣候變化。布魯克將此機制比喻為氣候系統的「阿基里斯的後腳跟」(Achilles Heel)，亦即微小的變化可能導致氣候系統的大轉變，甚至瞬變(幾年的時間

27 Broecker, Wallace S., 1997: Thermohaline Circulation, the Achilles Heel of Our Climate System: Will Man-Made CO₂ Upset the Current Balance? Science 28 November 1997: Vol. 278 no. 5343 pp. 1582-1588 DOI : 10.1126/science.278.5343.1582.

尺度)。地球的氣候機器中存在許多類似的「阿基里斯的後腳跟」(亦即近年慣用的字眼：翻轉點(tipping point))，在我們尚未完全瞭解之前，應採取十分謹慎的態度，避免破壞其脆弱的平衡。

(三)、氣候變遷的風險太大：

一個颱風，不管在落後國家如孟加拉灣，或富裕國家如美國，都可能造成巨大的生命、財產的損失。雖然說氣候將如何變遷仍有相當高的不確定性，但是如果全球暖化造成更加劇烈的天氣、氣候變化，其衝擊面之大，將是人類所無法想像的。亦即是，我們所面臨的風險之大，是史無前例的。

基於以上的理由，我們應有以下的認知與體認：

1. 風險的概念：

首先，我們必須體認氣候變遷預測的不確定性，不能因為科學界無法提出百分之一百可信的結果，而全盤否定氣候變遷的可能性。人的一生中面對許多大大小小的風險。現代人因此投注相當多的時間、金錢與精力，維護自身的健康，購買壽險、健康保險，防患於未然。而在做這些維護自身利益的措施之前，我們從不需去確定不幸的事情一定會發生。同樣的，人類的未來面臨更多、更大的風險。更何況，過去一、二百年來，人類已經為自己的未來埋下更多不可預期的危機。與其面對茫茫的未來，毫無作為，不如起而行，盡心盡力維護地球的健康。人與自然的互動應是互相融合，而不是事後的適應與療傷。即使全球暖化發生的機率不高或者程度不嚴重，任何維護地球環境的投資(不論是有形或無形的)都是值得的，因為至少我們維護了一個健康的生存環境。更何況，如果發生了，人類所付出的代價將極其慘重。畢竟，維護地球的健康，就是延續人類的生存。

2. 摒棄「得過且過」的觀念：

近幾年的「氣候變化綱要公約」締約國大會將全球暖化的議題提昇到最高點。人造溫室氣體可能造成的氣候變遷，由於不確定性較大，對各國的經濟影響相當大，在國際政治舞臺上，各國也很難取得共識。台灣對此一議題的處理方式，仍處於得過且過的階段。政府總是談論「因應之道」，而不是「解決之道」，一廂情願的希望能以新興國家身分，適用較寬的溫室氣體減排標準。駝鳥心態不但解決不了問題，對以國際貿易為經濟發展為主軸的台灣，未來可能面臨更大的國際壓力，損及經濟。

3. 營造「環境善國」：

高度的經濟發展對人類生存的地球已經形成重大壓力。台灣地小人稠，所承受的環境污染與生態破壞更是嚴重。我們應該採取的策略是，重新思考台灣經濟政策與科技政策，讓經濟發展、科技發展、與環境保護合而為一，而不是互相牽制。台灣應該採取的策略不是因應之道，而是規畫一個能兼顧「適度的經濟發展」與「環境保護」的永續發展策略，讓台灣成為「環境善國」，善盡地球村一員應盡的義務，徹底的解決地區性的與全球性的環境污染問題。我們習慣將環境問題分成本土與全球兩大類。本土優先的觀念當然正確，但是也不能因此忽略全球性的問題。事實上，如果我們抱定建立「環境善國」的態度，環境問題則只有一個。本土的問題解決了，自然有助於改善全球性問題。

五、台灣的因應策略

有了以上的認知與體認，我們採取的因應策略應該著眼於如何徹底「解決」環境的問題。因應策略可從由研究、教育、政策三

大方向著手。

(一)、研究

有鑑於全球（氣候）變遷與日益嚴重的全球暖化現象，世界各國政府無不以如履薄冰、戒慎恐懼的態度，規劃全面性研究，投入龐大的人力與物力資源，發展掌握全球氣候變遷衝擊的關鍵技術。歐美亞具相當科技規模的國家，在全球（氣候）變遷與衝擊研發方面的發展策略，皆有以下共通趨勢^{28 29 30 31}：1. 列為國家重點研究方向，2. 建立實體研究中心，3. 提供充足與長期的人力與物力資源，4. 有足夠份量的長期研究人員，5. 建立完善的研究環境（如，觀測網、計算資源等），6. 氣候變遷、衝擊、調適模式發展並進。相較於其他科技有一定水準的國家，紛紛成立國家型研究計畫與研究中心，採取積極措施展開全球（氣候）變遷、衝擊、調適與減緩研究，台灣在相關研究所投入的人力與物力資源十分有限，研發進度相對緩慢³²。國內氣候變遷與衝擊研究，目前面臨的嚴重問題如下：1. 非重點研究方向（與世界各國相比，不受重視），無國家級計畫來統合政府部門投入相關研發工作，資源因此無法作最有效率的使用，容易造成事倍功半的現象；2. 缺乏常設且具規模的研究中心，無法吸引各級（資深到資淺，甚至學生培養）研究人力的投

28 U.S. Global Change Research Program, 2013: Our Changing Planet - The U.S. Global Change Research Program for Fiscal Year 2013, 67pp.

29 The Australian Climate Change Science Programme, <http://www.climatechange.gov.au/climate-change/grants/australian-climate-change-science-program>.

30 Program for Risk Information on Climate Change—SOUSEI, Ministry of Education, Culture, Sport, Science and Technology Japan, 2013, 9pp. http://www.jamstec.go.jp/sousei/eng/product/images/Sousei_Brochure_en.pdf.

31 Tyndale Centre for Climate Change Research, <http://www.tyndall.ac.uk/>.

32 國科會永續會推動「永續發展研究」規劃書（2007-2012），95年。

入，專業或專職人才不足；3. 研究基礎不良：無常設機構、長期資料不足、觀測網不全、科學計算環境不良；4. 缺乏氣候變遷衝擊、調適評估與預測模式的發展機制：發展這些模式難度高，需要足夠人力的長期投入，非小型與短期計畫可以勝任，各國多由研究中心負責此項工作；5. 研究多為短期的小型計畫，研究（包括觀測與資料收集、模式發展）無法持續。這些問題若不積極處理改善，台灣不僅將在研發能力上，嚴重落後於中、日、韓等國，更無法研判全球暖化趨勢下，台灣將面臨的衝擊，更無法規劃或採取適當的調適與因應措施。國內在研究方面應該推動國家型研究計畫，並且利用現有之大學與研究中心專長，擴大成國家研究中心與衛星研究中心，積極展開氣候變遷的基礎與跨領域研究。

教育

在氣候變遷議題中，人是最主要的因素。即使，我們瞭解氣候的未來變遷，能否扭轉日趨惡化的趨勢，人類如何看待此一問題的態度與反應，才是主要關鍵。然而，氣候變遷問題相當複雜，即使科學家也有不解之處，何況一般民眾。而且，氣候變遷、永續發展等都是全新的觀念，並不存在與傳統的知識與教育體系之中。因此，如何將相關的觀念、知識，傳達給民眾、媒體、政府官員，是一項必要、不可或缺的工作。教育工作應分成三部分：學校教育、社會教育、行政部門的再教育。

台灣在學校與社會教育方面，近年來進步十分明顯，最需要的反而是行政部門的再教育。政府的行政部門是國家的決策也是政策執行單位。氣候變遷的因應措施能否落實，行政部門的態度是重要關鍵。行政部門除了要具有正確的態度之外，更須具有解讀研究

結果的能力，以及規劃與執行政策的能力。因此，行政部門的再教育除了傳授氣候變遷常識之外，更須培養一批具有跨領域專業知識的專家，作為專業研究人員與政府決策單位之間的溝通橋樑。2012年通過氣候變遷調適綱領³³後，台灣在這方面已經有不少具體的作為，開始將相關知識落實於學校教學與政府部門的進修課程³⁴。

對抗全球暖化衝擊與降低暖化趨勢，最有效的方法就是發展再生能源與節能減碳。行政院於2011年通過再生能源法案，於2014年5月通過「國家氣候變遷調適行動計畫102-106年」³⁵啟動了國家機制，正式面對此一挑戰。但是，在歐美國家眼中，台灣的努力仍有待加強。2014年9月12日，英德法駐台代表在聯合報共同投書，呼籲「減碳台灣應更積極行動」。英國以1990年為基準，在2020年前減碳34%，2050年前減碳80%；德國以1990年為基準，2020年前減碳40%，2050年減碳80-95%；法國以1990年為基準，2020年前減碳23%，2050年減碳75%；日本同樣以1990年為基準，在2020年減碳25%。台灣目前訂定的減碳目標為，分別在2020年與2025年降到2005年與2000年排放量，比許多國家設定的目標寬鬆許多。Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) 最新的再生能源全球現況報告 (Global Status Report³⁶) 整理一份實施再生能源政策的國家清單，其中包括許多亞非洲開發中國家，但是台灣不在其中。這項反差值得我們深思。

英德法代表在前述投書中期許台灣：「我們堅信，永續的綠色經濟能同時為經濟和氣候帶來好處。我們誠心呼籲台灣加速氣候立

33 國家發展委員會，<http://www.ndc.gov.tw/m1.aspx?sNo=0017124#.VHa9RcnyAtU>.

34 氣候變遷調適教育課程教材與學習平臺，<http://www.climate-edu.tw/>.

35 國家氣候變遷調適行動計畫(102-106年)，<http://www.ndc.gov.tw/m1.aspx?sNo=0060690#.VHa-e8nyAtU>.

36 <http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>.

法及政策上的進度，例如溫室氣體減量法、能源稅條例，以及更嚴格的能源效率標準，尤其是在工業、住宅和運輸部門。我們熱切希望透過資訊分享、政策交流和技術合作等方式，來幫助台灣減碳，並轉型低碳經濟，尤其是在低碳城市、能源效率和低碳科技等領域。台灣於面對氣候變遷威脅之工作上，扮演重要角色。我們希望台灣能像英、法、德一樣，積極採取減碳措施，和全球一同對抗可能是這個時代所面臨的最大挑戰之一。」。顯然，我們在面對全球暖化衝擊與落實再生能源政策方面，仍有許多改進的空間。台灣該如何做呢？

一個國家的政策決定整個國家未來的走向與興衰。氣候變遷的因應措施若不能確實落實於國家政策之中，將淪為環保口號，成效十分有限。最重要的是，我們如何為21世紀的台灣定位？「一味追求經濟成長，能否永續經營台灣？」是世紀末的台灣子民必須深切自省的問題。如果答案是否定的，那麼我們應該如何改弦易張，重新擬定國家的走向。台灣這幾年來，人為與天然災害頻傳。這塊土地吸納天然災害的能力，已因著人為的環境破壞，大幅降低。即使沒有氣候變遷的壓力，台灣的本土環境問題，也已經嚴重到我們必須痛定思痛，重新定位國家的發展走向的地步。如果科學家預言的氣候變遷（無論變暖、變冷、變濕、變乾）果然發生，將使台灣面臨的本土環境問題，更形加劇。上述問題的答案十分明確：為了永續經營台灣，為了將台灣建設成「環境善國」（不是為了應付國際與經濟壓力），我們必須調整國家政策。這些政策包括能源政策、產業政策、環保政策。而且，我們應該畢其功於一役，訂定長程的發展策略，而不是且戰且走的鴛鴦策略。

1. 能源政策

幾年前大張旗鼓的能源會議中，政府各單位仍是以應付國際

壓力的態度，想得過且過，度過眼前的難關。提不出具前瞻性的作法，乃是意料中之事。正確的能源政策，應包含 1. 合理的能源價格（如，停止補貼高污染能源，反映環境成本），2. 發展再生能源，3. 能源多元化，4. 提高能源效率，5. 鼓勵低污染能源的使用與開發。

我們往往以再生能源或低污染能源的成本過高，影響經濟發展為理由，拖延修正能源政策的時機。單從眼前的經濟利益來看，此一論點似乎有點道理。問題是，考慮了環境成本之後，高污染能源是否仍比較經濟，是值得思考的問題。目前的再生能源價格或許仍舊偏高，但是科技日新月異，新技術、突破不斷出現。如果廣泛使用，未來的價格將可降至可接受的範圍。上世紀初，腳踏車剛推出時，是奢侈品，沒有幾個家庭負擔得起。如今，腳踏車已成為每一位孩童必備的休閒用品。科技的進步，也產生了便宜的化石燃料，造就了二十世紀的工業與經濟發展。

人類正面臨另一個挑戰—開發有利於環境的科技與能源。英國前環境部長麥可米契（Michael Meacher）曾說：「能源政策應該鼓勵較乾淨、效率高的能源使用與生產。我們需要一股新的力量去發展風能與太陽能等再生能源…如此一來，不但創造就業機會、贏得專家信任，而且保護環境。」。十多年前，英國石油公司（British Petroleum，BP）刊登巨幅廣告，宣稱BP是Beyond Petroleum，營業項目不再侷限於石油，而是積極開發各種再生能源。台灣處於此一歷史洪流之中，何能錯失此一商機無限的契機，去開創一個富裕、尊重大自然、乾淨的生活環境。

2. 產業政策

台灣仍存在許多高耗能、耗水、高污染的產業，這些產業在

過去確實也造就了台灣的經濟奇蹟。問題是，這些消耗環境資源的產業是否適合在環境資源貧瘠的台灣永續發展？這些產業帶來的經濟利益是否足以補償環境資源的損失？我們在本土與全球環境危機的夾擊之下，應該思索出另一條出路，在尊重大自然的前提之下，讓台灣的經濟得以適度的發展。全球環境日益惡化，在21世紀的未來，全人類勢必要花費相當的精力與資金，來解決環境污染。從經濟的角度觀之，這裡面充滿商機。

日本在60年代面臨嚴重的環境污染，在痛定思痛之下，不但著手改善環境，更是加緊研發控制環境污染的相關科技（可稱之為綠色科技）。數十年後的今天，日本的環境不但改善許多，也開發了許多的新技術，不僅可解決本身的問題，更可賺取外匯。近年來，日本政府大量投資於太陽能的開發，發展相關技術，預期使21世紀日本的太陽能與風能使用量佔總能源的百分之五十五至六十五，屆時日本將成為無碳能源開發技術的領導者。歐美日等科技先進國家，爭相發展開發無碳能源的技術，技術上的突破是可預期的。我們是否還是要等到技術發展成熟之後，才要學習新技術，上焉者可賺取蠅頭小利，下焉者則損失大量外匯。

除了無碳能源的開發，資源回收再利用、提高能源使用效率、污染控制等相關技術，也都充滿商機。可惜的是，台灣目前的科技發展重點，並未包含綠色科技。我們迫切需要的是一個能同時兼顧台灣的環境與經濟永續發展的嶄新的產業與科技政策。暢銷書「世界又熱又平又擠」與「超限未來十大趨勢」第六章「未來的氣候變遷」提倡的思路，就是綠色科技與產業的發展，不僅可以抒解全球暖化的壓力，也可以形成新的產業與經濟趨勢，同時解決環境與經濟問題。更好的是，還可以解決石油枯竭的問題。

3. 環境政策

二十世紀末人類面臨的氣候變遷的嚴重程度史無前例。要因應此一困境，也需採取史無前例的手段。我們需要一個全新的環境政策，來抑制人類破壞環境的速度與程度。此一環境政策必須能提高能源使用的效率，將污染降至最小，而且兼顧大自然環境的復健。例如，此一政策將規範建築設計，建商因此必須設計低耗能、低污染、省水的綠色建築，以符合建築法規。交通運輸工具不只必須符合廢氣排放標準，還必須符合能源使用效率的規範。類似的規範也將實施於家庭、公共場所、工廠等場所。全面的資源與能源回收將融入每一個家庭的日常生活。所有的經濟開發也必須在生態保育與尊重大自然的原則之下，受到適當的節制。全面的森林保育與復育工作也必須展開，以便及早恢復森林涵養水分與吸收二氧化碳，淨化空氣的功能。唯有在此一以尊重大自然、學習大自然為前提的環境政策之下，人類才能與脆弱的大自然和平共存，人類社會也才得以永續經營。

六、結語

過去一、二百年來，人類宛若一群頑童，把玩地球於股掌之中，不自覺的在地球上進行一項龐大、史無前例的氣候實驗。我們突然發現這個遊戲有點危險，卻沒有人可以控制這個實驗，也沒有人知道最終的實驗結果。更糟糕的是，當我們不想玩的時候，遊戲卻自個兒繼續進行著。我們想脫身，卻身陷其中。有人驚慌失措的尋找可以脫離險境的神奇按鈕，有人說這只不過是一場虛擬實境的遊戲，終會丕極泰來。我們因之爭論不休，毫無交集，多從自身的最大利益去思索脫困的方法。唯一的共識大概是，即使在科學昌明的21世紀初，人類對氣候變遷的瞭解仍十分有限，應該繼續加強研究。目前的氣候變遷推估，就像經濟成長率、股市榮枯的預測一

樣，不保證完全準確（恐怕還得時時修正），卻是人類追求永續發展的過程中，必須審慎參考的重要指標。

「冰海奇航」一書中有一段話值得我們深思：「…我們面臨的選擇遠比你想像的複雜，而答案往往不是單純的二選一。是的，我們需要學習關上引擎…但是我們也需要學習如何更有效地操作引擎、開發節約能源的技術、設計其他安全的科技方案。更重要的是，我們需要學習分辨何時開動引擎是必要的，何時開引擎祇是為了圖個方便。我們需要學習分辨，需要瞭解濫用的危險，需要學習評估替代方案，權衡短期利益與長期成本。」如何在瞭解科學的不確定性與現階段的侷限之後，利用目前最佳的資訊（或推估）做出最佳的判斷，降低未來的風險，是人類現階段面臨的最大難題。科學將不斷發展，氣候變遷的推估也將更趨準確，風險評估也將更可信賴。或許唯有透過精細、不斷反覆的科學推演與風險評估，做出的決定，才能將可能的衝擊降低到最小。

人類是追求物慾的動物，我們不僅求溫飽，也追求舒適與享受。陳義過高的理想主義，經常叫好不叫座，往往得不到太多的共鳴。最近，有人開始倡議「自然資本主義」（natural capitalism），認為過去太強調人力生產力的提升，卻忽略了資源生產力，以致浪費了許多寶貴的資源。這個思維兼顧環境保護與人類的需求，是個不錯的方向。如何活的明智才是重點，如何維持高品質的生活，而仍能與環境為善，才是萬物之靈的人類應該追求的睿智。

面對未來全球暖化帶來的可能衝擊，通常不是過份悲觀，就是嗤之以鼻。前者給人末世的感覺，後者則漠不關心，不思作為。兩種反應都過份被動。所幸，化危機為轉機的正面思考，已逐漸成形。李察基爾在幾年前的喜劇片「來跳舞吧！」中飾演一位事業有成卻面臨中年危機的律師，經由學習國標舞克服困境，重拾美滿

的家庭生活。全球暖化的危機，就是人類的中年危機。在人類歷史中，從未像現在如此的富裕、科技如此發達，但也從未面臨如此全球化的環境危機。20世紀人類醫療水準達到前所未有的高峰，卻面臨世紀絕症—愛滋病，目前唯一有點療效的是雞尾酒療法。人為全球暖化可以說是環境愛滋病，我們知道病情一定會繼續惡化，卻找不到特效藥。環境雞尾酒療法或許是目前唯一可行的辦法，也就是說利用與發展各種可行的節能減碳措施與替代能源，竭盡所能的降低溫室氣體排放，規劃與落實調適策略，提高耐災能力與恢復力。

馬爾薩司警告的人口過多導致糧食缺乏的世界末日並未發生。農業的綠色革命，避免了可能的慘劇。面臨全球暖化的高風險威脅，我們需要的是第二次綠色革命—節能減碳的綠色革命。綠色科技與產業的發展，不僅可以抒解全球暖化的壓力，也可以形成新的產業與經濟趨勢，同時解決環境與經濟問題。更好的是，還可以解決石油枯竭的問題。換句話說，環境保護與經濟發展應該要共存。如何在保有最佳的環境與生態情況下，經濟仍可以適度的發展，已經是人類面臨的最大挑戰。面對此一挑戰，不僅是綠色科技革命，新的思維與生活形態也勢必形成。能夠因應此一浪潮的個人與企業，極可能是全球暖化趨勢下的最大獲益者。

過去數十年來的人為破壞，已經讓台灣的土地喪失應變能力。未來氣候變遷帶來的衝擊，更是雪上加霜。面臨此一困境，我們已經沒有太多時間去規劃應變措施，更不能以得過且過的態度去處理這個問題。令人遺憾的是，直到前為止，政府的態度仍是以維持高度經濟發展為優先，所有因應措施皆依此原則而設計。我們需要拋棄此一心態，積極規劃以改善環境與維護生態為終極目標的發展策略，同時投入更多的精力在環境保護相關的研究、教育與防治

上，設法結合綠色科技與經濟，讓環保與適度而且必要的經濟發展形成雙贏的局面。

參考文獻

- Broecker, Wallace S. (1997) Thermohaline Circulation, the Achilles Heel of Our Climate System: Will Man-Made CO₂ Upset the Current Balance? *Science*, 278(5343), 1582-1588.
- Climate Change. (2007) The Physical Science Basis. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, <https://www.ipcc-wg1.unibe.ch/publications/wg1-ar4/wg1-ar4.html>
- Climate Change. (2013) The Physical Science Basis. Working Group I Contribution To The IPCC Fifth Assessment Report, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- Climate Change. (2014) Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the IPCC 5th Assessment Report, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.
- Climate Change. (2014) Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC 5th Assessment Report, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- Feulner, G., & S. Rahmstorf, (2010) On the effect of a new grand minimum of solar activity on the future climate on Earth. *Geophys. Res. Lett.*, 37.
- Robert, K. (2013) Climate Milestone: Earth's CO₂ Level Passes 400ppm. *National Geographic New.* 9 May: <http://news.nationalgeo-graphic.com/news/energy/2013/05/130510-earth-co2-milestone-400-ppm/>.
- IPCC (2007) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Solomon, S., D. Qin, et al. (Eds).

IPCC (2011) Summary for Policymakers. In: O, Edenhofer. et al. (Eds). IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA : Cambridge University Press, <http://www.ipcc-wg2.gov/SREX/>

James Lovelock (2007) *The Revenge of Gaia*.

Mann, Michael E., Bradley, Raymond S. & Hughes, Malcolm K. (1999) Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters*, 26(6), 759.

Mann, Michael E. (2012) *The Hockey Stick and the Climate Wars: Dispatches from the Front Lines*. Columbia University Press.

Nicholas Stern. (2007) The Economics of Climate Change. *The Stern Review*. Cambridge University Press.

NSIDC (2014) *Arctic Sea Ice News and Analysis*, <https://nsidc.org/arcticseaicenews/>

Randalls, S. (2010) History of the 2 degrees C climate target. *WIRES CLIM CHANGE*, 1(4), 598-605.

Revesz, Richard L. et al. (2014) Global warming: Improve economic models of climate change. *Nature*, 508, 173-175.

The Geological Society (2013) An addendum to the Statement on Climate Change: Evidence from the Geological Record, <http://www.geolsoc.org.uk/climaterecord>.

Timothy M. Lenton et al., (2008) Tipping elements in the Earth's climate system. *PNAS*, 105(6), 1786-1793.

Zhou, Jiansong. & Ka-Kit Tung. (2013) Deducing Multidecadal Anthropogenic Global Warming Trends Using Multiple Regression Analysis. *J. Atmos. Sci*, 70, 3-8.

隆柏格 (2008), 《暖化？別鬧了！》，譯者：嚴麗娟，台灣：博雅書屋。

