

從京都議定談氣候變遷與暖化實驗

洪志誠 孫維廷

臺北市立教育大學環境教育研究所

摘 要

京都議定書 (Kyoto Protocol) 是一個具有法律效力的國際環保公約，於 2005 年 2 月 16 日正式生效。京都議定書內容主要限制已開發國家大氣溫室氣體的排放，以抑制日益嚴重的全球暖化問題。京都議定書從制定到生效歷經八年，由於美蘇等工業大國抵制，推動的過程並不順利。本文主要以寶特瓶設計簡易的暖化實驗，透過實驗探討地球氣候如何維持，以及模擬溫室效應造成的全球暖化現象。

關鍵詞：京都議定書、溫室氣體、全球暖化、溫室效應

壹、前言

地球形成至今約 46 億年，在這麼漫長歲月，整個地球溫度是冷暖交替出現，科學家估計，地球從誕生以來，約經歷數十次冰期，最近一次冰河時期約發生在一萬八千多年前，目前地球氣候是間冰期氣溫回暖的階段(Andel, 1994)。事實上，現在的氣候還不是一萬八千年以來最暖的，約六千到四千年前就比現在還要暖和，難道科學家擔心的全球暖化只是杞人憂天？

根據聯合國政府間氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱 IPCC)第四次評估^{註 1}報告，自從工業革命以後的 150 年間，全球平均地表氣溫上升 0.76°C，其中 1995-2006 年間的增溫現象更為顯著 (IPCC, 2006)，台灣是世界的一環，也遭受全球增溫的波及，根據中央氣象局提供的地面測站資料，1991-2000 年台北的平均溫度比 1951-1980 的平均溫度大約增加 0.73°C，而 2002 年的溫度則比 1951-1980 的平均溫度高出 1.67°C (洪志誠, 2003)，顯示暖化的現象還比全球增溫明顯。從氣候歷史來看，近百年全球平均溫度上升的速度大約

是五千年前到一萬年前的 30 倍，這種增加速度前所未有，若持續下去，科學家預估到了 2100 年，全球平均地面氣溫將比 1990 年增加 1.4~5.8°C (IPCC, 2006)，屆時暖化將引起的嚴重的環境災變。事實上，截至目前，全球暖化已導致全球的乾旱、熱浪、水患等自然災害的發生頻率增加，造成的環境衝擊有日益嚴重的趨勢 (Tolba, 1993)。

根據 IPCC 第二次 (IPCC, 1996) 評估報告指出，全球氣候的改變會導致的環境問題與影響可由三方面來看：1.物理系統的改變：冰河收縮、久凍結地帶融化、河流和湖泊會較遲結冰並提早融化等。2.生物系統的改變：中高緯度會有較長的生長季節、動植物的生長區會向極化和高度的移動、某些動植物的族群會減少、樹木會提早開花、昆蟲的蔓延、生物多樣化減少等。3.人類系統的改變：熱帶和亞熱帶地區的農作物收成會減少、很多地區的用水供應會減少、更多人患上瘧疾和霍亂、某些地區泛濫的情況會變得更嚴重、需要更多能源來作冷卻、海平面上升可能會影響沿海城市等。這些環境災變中，沿海低窪地區及島嶼國家受到的衝擊有特別顯著，最明顯的案例是在 1999 年太平洋上提布亞塔拉瓦和阿布努亞兩個小島，由於暖化造成的海水上升，因而消失在大海中。

溫室效應對地球環境並不是完全不好，甚至我們可以說，沒有溫室效應，地球就不會是今日生物繁盛的狀態。利用熱 (輻射熱)平衡公式估計如果把大氣中的溫室氣體全部移除，地表的平均溫度會比目前低 30 幾度，全球地表平均溫度將低於零°C，這對地球環境有何影響？地球上過去發生的大規模生物滅絕，多半與氣候驟變有關，發生在距今約二億四千萬年前二疊紀末期，史上最大的大滅絕事件，科學認為炎熱乾燥的氣候應是大滅絕的原因，而根據推測，當時地球氣候約增溫 10°C (Ruddiman, 2001)。不難想像，如果地球缺少溫室效應的保溫，地球上的生物將面臨空前的浩劫，問題癥結是，目前溫室氣體的含量已經超過保溫地球該有的濃度，而且仍快速增加中。

科學家發現，過去地球幾次的變暖都和二氧化碳濃度增加有關。之前，大氣中二氧化碳的增加主要是因為火山爆發造成，但近百年卻歸因於人類活動。工業化之前全球二氧化碳的濃度約 280ppm，但是到了 2004 年，濃度已經上升到 380ppm，短短兩百多年，增加約 30%。雖然二氧化碳不是唯一的溫室氣體，但約有六成的溫室效應來自二氧化碳。設立在夏威夷冒納羅亞 (Mauna Loa) 大氣二氧化碳監測站的觀測，也顯示近五十年大氣二氧化碳含量和全球溫度的演變呈正相關，與地球變暖密切相關。

二氧化碳是相當穩定的氣體，生命週期高達 100 多年，即使現在開始，人類停止溫室氣體的排放，過去累積下來的溫室氣體，仍會繼續發揮它的溫室效應。工業革命引起的全球暖化現象就像一部啟動的火車，不但沒有減緩，還以更快的速度奔馳。有鑒於各國二氧化碳的排放量逐年增加，溫室效應日益嚴重，為求降低全球暖化造成的環境災變，抑制溫室氣體的排放是最直接最有效的方法。1997 年聯合國會員國在日本京都簽訂「京都議定書」，制定二氧化碳排放減量的目標，京都議定的內容於 2005 年 2 月 16 日正式生效，這項國際公約的落實，象徵人類

面對全球暖化的挑戰不僅是文字宣傳，而是邁入具體行動的新階段。本文將以寶特瓶設計簡易的暖化實驗，透過實驗探討地球氣候如何維持，以及模擬溫室效應造成的全球暖化現象。

註¹ IPCC 平均 5~6 年發布研究報告，第一次報告於 1990 出爐，第二次與第三次分別在 1996、2001 發表，最近一次(第四次)在 2007 年公布。

貳、氣候變遷與暖化實驗

介紹完京都議定書的內容與制定過程，下面我們要透過實驗模擬地球氣候的平衡過程以及二氧化碳的溫室效應。在進行實驗之前，我們先介紹地球如何達到熱平衡，氣候狀態如何維持？以及那些因素會造成氣候變遷。

一、地球氣候如何維持：

我們可以把地球環境想成一個氣候系統(如圖 2)，此氣候系統是由大氣圈、生物圈、海水圈以及地質圈組成。此複雜的氣候系統如何達到熱平衡？

氣候系統可比喻成一個水槽，實驗發現水槽的水位上升到某個高度後就不再上升，氣候系統達到熱平衡的原理與下圖水槽實驗(如圖 3)相似，當地球接收的太陽輻射與地球往外太空的輻射熱達到平衡時，就是地球的氣候狀態。氣候變遷的原因可分成自然因素與人為因素。自然因素指的是火山噴發、太陽輻射與洋流運動等的影響，而人為因素主要是工業生產與汽、機車所排放的二氧化碳、懸浮微粒以及地表開發等因素。科學家曾透過電腦模擬過去百年氣候的變化，電腦模擬顯示，1900 到 1940 年間，全球平均溫度的變化主要受自然因素的影響，而二十世紀後期(約 1980 後)則與人為因素密切有關(許晃雄，2001)。

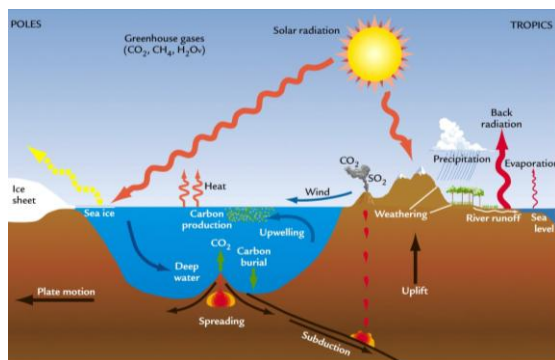


圖 2 氣候系統

Source : Ruddiman (2001)

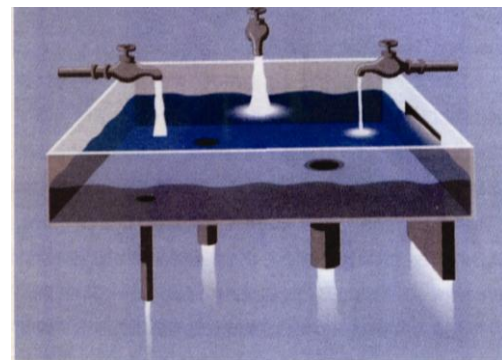


圖 3 水槽實驗

資料來源：變色的天空(1998)

二、氣候平衡與暖化實驗：

地球接收來自太陽的輻射熱，也不斷的往外太空輻射熱能，當兩者達成熱平衡時，就是地球的平均溫度。根據地球氣候平衡的概念，我們可以利用寶特瓶進

行一連串的實驗，模擬氣候系統的熱平衡，以及了解地球氣候在那些情況會產生變化。以下是實驗準備的器材與步驟：

(一) 實驗的器材：寶特瓶、不同顏色奇異筆數隻、膠帶、剪刀、尖刀、細網等（圖 4）。

(二) 實驗前步驟：

1. 在寶特瓶靠近底部的地方打幾個小孔，可用顏色筆標示位置會更加明顯（圖 5）。
2. 打開水龍頭(水量僅可能維持穩定)，將水注入寶特瓶內，觀察寶特瓶水位的變化。
3. 接下來實驗中，水龍頭的入水量（圖 6）可視為太陽傳送到地球的熱能，寶特瓶底部的出水量（圖 7）可視為地球往外太空輻射熱，寶特瓶的水位則可視為地球溫度。



圖 4 實驗的器材

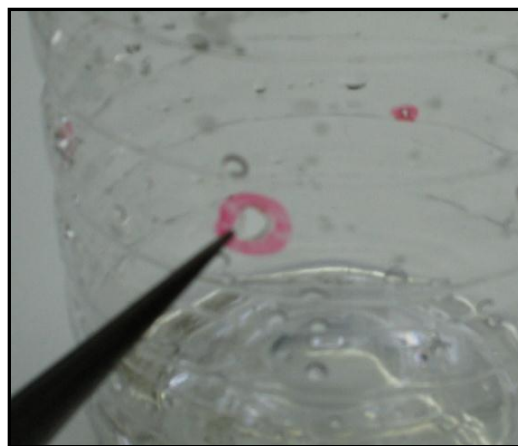


圖 5 在底部打幾個孔



圖 6 水龍頭入水量

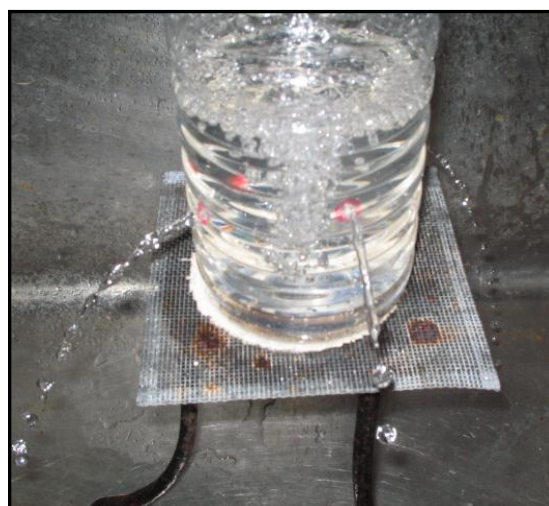


圖 7 底部出水量

(三) 設計實驗：

實驗前置步驟完成後，可以依照不同的目的設計實驗。下面我們以四個實驗作範例，分別模擬地球如何達成熱平衡？氣候受外力干擾時自我調整的作用，二氧化碳的溫室效應以及入射地球的熱量減少時(例如火山爆發噴出的火山灰遮住陽光)氣候的變化，實驗的目的與操作如表 4。

表 4 保特瓶模擬實驗

| 實驗名稱 | 實驗目的 | 實驗開始狀況 | 實驗結果 |
|------|---|--|--|
| 實驗一 | 模擬地球熱量收支平衡（吸熱與散熱達到平衡）。 | 打開水龍頭（盡量保持水量固定），且寶特瓶一開始不裝水。 | 水位會慢慢上升，到達一定位置，水位不再上升且大致維持在那個高度，將此高度用顏色筆標記畫線，如圖 8。 |
| 實驗二 | 模擬氣候系統自我調節的功能(當氣候受到有限的外力干擾，可以調整恢復到原狀態)。 | 打開水龍頭（盡量保持水量固定），但寶特瓶先裝水至實驗一中所畫的平衡線以上。 | 水位剛開始會超過平衡線，但過一陣子水位又會慢慢恢復到平衡線的水位上，如圖 9。 |
| 實驗三 | 模擬溫室氣體(例如二氧化碳)所造成的全球暖化現象。 | 同實驗一，但寶特瓶底部的洞變少（可用手指或膠袋堵住幾個洞口），如圖 10a。 | 水位會以比較快速上升同時到達某高度時同樣會維持在那（會比實驗一的略高），將此高度用不同顏色筆標記劃線，如圖 10b。 |
| 實驗四 | 模擬除了溫室體外，影響地球氣候變化的其它原因。在此為火山爆發噴出的火山灰，阻擋部分太陽，造成全球溫度下降。 | 同實驗一，但水龍頭的入水量減少（可用細網干擾入水量）。 | 水位會以比較慢速上升，因細網的干擾，部分水量無法流入寶特瓶中，同時到達某高度時也會維持在那（會比實驗一的略低）將此高度用顏色筆標記劃線，如圖 11。 |



圖 8 實驗一模擬結果



圖 9 實驗二模擬結果

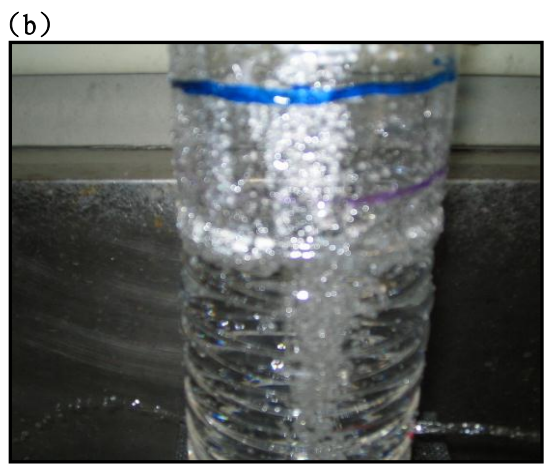
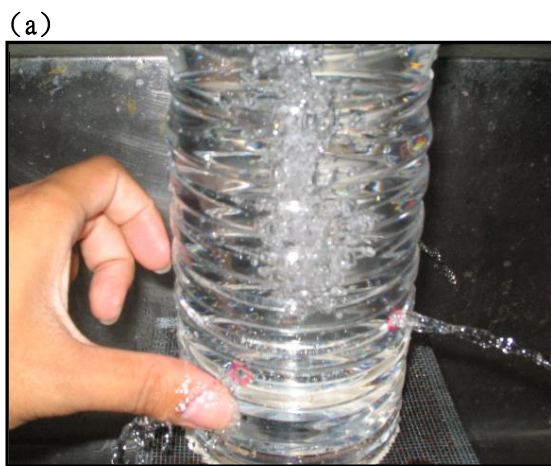


圖 10 實驗三模擬結果



圖 11 實驗四模擬結果

上面實驗是以類比法(Analogy)進行氣候模擬，基本上，是希望學童從操作寶特瓶實驗，了解氣候系統如何維持熱平衡。但是，真實氣候系統的運作遠比上述複雜，一些作用(例如氣候系統各組成會相互影響)不是寶特瓶實驗能模擬出來的。因此，教師利用此實驗進行教學時，必須知道實驗的限制，不能無限制的類比。此外，上面的實驗也有些注意的事項：

- (一) 水龍頭的出水量可能不穩定而影響到實驗結果。因此，實驗時，水龍頭的出水量不宜過大或太小，調到適當的出水量後，就不再變動。而同一個實驗可以重複幾次取其平均值，以降低水龍頭出水量不穩定的誤差。
- (二) 當出水量與入水量達到平衡時，水位的高度可能超出寶特瓶的高度，為了避免此情況，可以選用大型的寶特瓶，或是將出水口的口徑加大。
- (三) 出水口的高度如果太高，水位的平衡高度可能落在出水口下方，導致實驗失敗，為了避免此問題，儘量將出水口定在瓶底附近。

寶特瓶實驗著重由同學親自去操作、觀察，主動學習與發現問題。所以老師在指導實驗過程時，先不要做過多的提示或告知其結果。實驗完成後，可以讓同學就實驗中所發現的問題討論與分享，老師最後再作結論或澄清。此外，本寶特瓶實驗只針對 4 種作用（平衡、自我調節、暖化、變冷）作模擬，可延伸的實驗尚有很多，例如將水龍頭的出水量變大，模擬太陽輻射增強對氣候的影響，將水龍頭關掉模擬太陽下山後，地面溫度的變化，當水位越高，噴出去的水柱會有何變化？如果時間允許都是可嘗試的實驗，而教師也可以鼓勵學童設計自己的實驗，激發更多的想像與創造。

叁、結論與建議

科學家預言 21 世紀人類可能面臨的大災難，其中「隕石撞擊」、「核子戰爆發」、「火山爆發」與「流行感冒」等是大家耳熟能響的，較特別的是「氣候災變」也被視為可能的項目。事實上，氣候異常所引起的極端天氣，例如乾旱或洪水等，在本世紀初已經引起一連串的災難。最引人注目的事件，2003 年夏天熱浪襲擊歐洲，導致溫度比氣候值高約 3-7°C (Goddard Institute for Space Studies, 2003)，由於熱浪發生在中緯度地區，一般的家庭缺少冷氣空調，這次的熱浪總共帶走 5 萬多條人命，很不幸的，氣候災難已經如科學家預言發生了。

全球暖化引起的災變，本質上和其它的世紀災變有些不同，發生的範圍是全球性的，時間上也較持久。雖然初期的災變可能不像地震或火山爆發顯著，一旦感受到災難的嚴重，往往束手無策。我們可以把全球暖化對環境的衝擊比喻成「溫

水下的青蛙」，暖化的初期人類可能無法立即感受它的威力而疏於防備，但是等到溫水變熱水，往往又為時已晚。

2007 年諾貝爾和平獎頒給賣力宣導暖化的嚴重及呼籲人類應坦然面對暖化所帶來環境衝擊，美國前副總統高爾先生與 IPCC 工作小組。這項殊榮對溫度不斷上升的地球有其時代的意義，也表示抗暖化已是人類追求安全、舒適生活必須付出的行動。京都議定書的通過是國際環境合作的典範，全球暖化引起的環境問題是全球性的，沒有國界之分，唯有全人類共同合作，抑制溫室氣體的排放才能有效降低溫室效應。若氣候變遷所導致的環境災害，是大自然對人類的抗議與反撲，那麼從現在應該是我們嚴肅面對氣候變遷的時候。京都議定書只是一種治標方式，延緩暖化速度的策略，根本解決之道還是要從環境教育著手。教育部頒行九年一貫課程綱要（教育部，2003）環境是七大學習領域的共同議題，其中全球變遷更是環境議題的主要項目。面對全球氣候變遷的衝擊，科學的探索固然重要，如何將相關的事實以及對人類生活可能產生的影響，適時的融入在環境教育中，提高學生對氣候變遷的認識也是刻不容緩的事。氣候變遷是地球系統彼此間不斷交互影響的一個複雜問題，其交互因子包含了影響氣候的大氣圈、水圈、冰雪圈、岩石圈、生物圈、甚至是人類。人類在氣候變遷中扮演了相當重要的角色，人類的消費行為、對地球環境的態度以及經濟、環保等政策的擬定都可能左右地球氣候。因此，環境教育的落實是人類面對全球環境變遷的挑戰相當重要的一環。以美國的例子來說，美國許多大型研究計畫除了進行高深的學術研究，都附帶有宣導科學知識的教育專案。「美國全球變遷研究專案」即包含了「全球變遷教育與傳播」(global change education and communication)，對象涵蓋學生、社會大眾以及政府官員（許晃雄，2000）。

本文，並利用簡易的實驗介紹地球氣候如何維持平衡，以及大氣溫室效應如何影響地球氣候，希望藉此能增進教師對全球暖化相關概念的了解，並對暖化的教學有所幫助。除了上面提到的實驗，進行全球暖化的教學時，教師也可以將熱門或與生活有關的議題融入課程中，以下有幾點建議提供參考：

- (一) 可以從討論電影「明天過後」、「不願面對的真相」劇情開始，引起學生對氣候變遷相關議題的關心與興趣。例如，以接力的方式請同學上台，將電影中與氣候變遷有關的名詞（概念）寫下（不得重複），直到接龍停止。最後根據黑板上的名詞，請學生發表他的看法，經討論刪去與氣候變遷相關性較低的部分，留下來的部分請學生抄下來，再請學生以這些名詞，試著寫一段與氣候變遷相關的科學報導。
- (二) 在溫室效應與全球暖化的教學，有幾點是教師需強調：
 1. 溫室氣體對地球具有保溫的正面功能，講到二氧化碳對地球的影響要兼具正、反兩面，不能偏頗。
 2. 影響氣候變遷的因子很多，溫室效應只是其中一項。提醒學生「明天過後」為了吸引票房劇情可以誇張一點，但科學活動除了大膽假設還需小

心求證，不能天馬行空，過度推論。

- (三) 除了知識上的介紹，情意教學也是重點。介紹地球氣候變遷時可以選用對比強烈具震撼性的照片，問學生的看法，喚醒學生對地球環境變遷的重視，進而思考面對全球暖化的挑戰，人類應有何作為。

此外，教師也可以帶領學生走出教室，實際參觀節能設施。目前政府正在推行的綠建築就是以低耗能、省能源的概念為設計理念，綠房子、台北市動物園酷(Cool)能源屋以及台北縣秀朗國小能源屋等都是可以選擇的場所。讓學童從實際的例子體會人類面對全球暖化的挑戰，除了抑制溫室氣體的排放，也有更積極的作為，在節省能源與開發綠色能源的觀念底下，降低溫室效應減緩全球暖化與享有科技、文明舒適的生活是可共存的。

肆、參考文獻

工業技術院能源資源研究所 (2004)。氣候變遷綱要公約資訊網。【線上查詢】

<http://www.tri.org.tw/unfccc/>

中央研究院 (1999)。溫室氣體資料庫。【線上查詢】

<http://gis2.sinica.edu.tw/epa/epa.html>

行政院環保署 (2005)。溫室氣體管制。【線上查詢】

<http://www.epa.gov.tw>

李澤民 (2004)。環境政策與法規。臺中市：國彰出版社。

洪志誠 (2003)。地球真得變暖了？科學研習月刊，42(8)，4-12。

教育部 (2003)。國民中小學九年一貫課程綱要。臺北市：教育部。

許晃雄 (2000)。坦然面對氣候變遷。看守台灣季刊，5(4)，4-13。

許晃雄 (2001)。淺談氣候變遷的科學。科學發展月刊，29 (12)。

變色的天空 (1998)。(陳正平譯)。臺北市：遠哲科學教育基金會。(原著出版年：1997)。

Andel, H. T. (1994). *New views on an old planet*. Cambridge University Press.

Danielson, E. W. et al. (2003) *Meteorology*. (2 nd ed). New York : M.G. Hill Hight Education.

Goddard Institute for Space Studies (2003). *GISS Surface Temperature Analysis*.

Available at <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/2003/>

Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *IPCC Fourth Assessment Report*. Available at <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>

Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *IPCC Third Assessment Report*. Available at <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>

Intergovernmental Panel on Climate Change (1996). *IPCC Second Assessment Report*. Available at <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>

Ruddiman, W. R. (2001). *Earth's climate past and future*. New York : W. H .Freeman and Company.

Tolba, M. K. et al. (1993). *The World Environment*. Chapman & Hall.