

捌、因應全球氣候變遷與永續發展之個人行動策略

(國立台灣大學全球變遷研究中心 林文澤博士、孫志鴻教授)

一、前言

在 1960 年代，科學家 James Lovelock 接受美國太空總署 (NASA) 的邀請，參與證實火星是否存在生命的科學研究，此引發他對於生命與大氣的關係產生濃厚興趣。他了解到約在三十億年前，細菌及行光合作用的藻類，開始在大氣中產生氧氣藉此消耗掉許多原本存在地球上的大量 CO_2 ，又經過漫長時間的演化，大氣的化學成份逐漸被改變。從外太空來觀察地球與鄰近的星球，他興奮地發現因地球有生物存在，使它似乎像一個活的「超有機實體」，地球表面經過長期演化形成包括 CO_2 、 SO_2 及 N_2O 等氣體層，它就如同溫室效應使原本非常嚴寒不適生存的地球，轉變成為太陽系間唯一能適合生物生存的氣候與溫度環境。

遺憾的是，科學家普遍相信工業革命後至今不到三百年的時間，因人類過度地追求經濟活動已造成地球溫室氣體濃度劇增，並導致氣候變遷的事實。針對上述問題，1992 年聯合國在巴西里約熱內盧召開之地球高峰會，通過「二十一世紀議程」(Agenda 21)，促使各國訂定並實施永續發展的相關策略，以邁向永續的社會發展；1995 年在土耳其伊斯坦堡的「城市高峰會」，1997 年在日本的「京都議定書」，以及 2002 年在約翰尼斯堡舉行地球高峰會的「約翰尼斯堡宣言」，都是其重要的議程。因此，如何擬定全球氣候變遷之因應策略實為重要且迫切的工作。本文現依全球氣候變遷 永續發展策略與行動，分述個人對此課題的觀察如下。

二、全球氣候變遷

(一) 全球變遷與溫室效應

1. 全球變遷

人類在工業革命前對自然抱持高度的敬畏感，但工業革命後卻借助科技之力與自然相抗衡。工業革命後無論在政治、經濟與社會等各層面，特別是在地球的物理和生物結構上，因自然與人類經濟活動產生顯著的全球性的變化，稱為「全球變遷」。如果全球氣候持續一段時間(百年以上)的反常變化，例如：全球平均溫度改變、降雨型態與分佈(量)改變、海平面上升，氣候災難等顯著增加等各種現象，我們稱之為「氣候變遷」。綜上可知，「工業革命與全球(氣候)變遷」具有顯著的關聯性。

2. 溫室效應

因生物的存在逐漸在地球表面形成包括 CO_2 、 SO_2 及 N_2O 等溫室氣體層，它可隔絕部分太陽紫外線直射地球，以維持生物生存的溫度；其功能近似園藝環境，為提供適合作物生長溫度而設置的封閉式溫室。在夏天溫室內藉大片玻璃窗吸收太陽輻射，而且進入室內的熱量因玻璃窗阻隔不易外散掉；在冬天寒風不易入侵，溫室可維持較為溫暖的室內環境。如果沒有溫室效應地球環境可能是零下四十度的酷寒；地球因溫室效應存在，才能維持穩定且適合生物生存的環境。但工業革命後人類不斷經由工業產物、汽機車廢氣排放，造成溫室氣體大量增加，加上森林地的大量砍伐降低二氧化碳吸收量，造成全球平均溫度提高約攝氏

0.6 度的「全球暖化」現象，影響到氣候變遷。

(二) 全球暖化威脅生物生存

依「全球生物多樣性評價」一書指出，造成生物多樣性減少的五個主要原因包括：(1) 棲息地的零碎化；(2) 棲息地喪失或退化（山坡地開發、農地城市化）；(3) 過度利用；(4) 外來種生物的侵入；及 (5) 污染與氣候變遷 (RIVM/UNEP, 1997)。過去各國政府採取了許多保育措施，如設置保護區、棲息地復育，以改善生物多樣性減少的問題。然而，近年來氣候變遷嚴重威脅生物多樣性，使得眾多動物、植物與微生物慘遭滅絕。而在台灣地區，因全球氣候變遷導致生物多樣性的可能危機(林，2002)，包括：

1. 造成物種的瀕危

每個物種都有其適存溫度與致死溫度，變暖速度過快或超過一定的範圍，有些物種將無法生存。例如，因 El Nino 事件使許多珊瑚礁族群在 1982 與 1983 年發生白化現象。正如美國科羅拉多州高山地區的 Uncompahgre 母貝，在 80 年代末期因乾熱而滅絕(MIOT, 1991)，台灣大甲溪上游的櫻花鉤吻鮭，在未來氣候暖化的情況下也可能面臨滅絕。氣候變遷對於個別物種的影響是很複雜的，因為微不足道的改變也會使植物與動物群聚產生很大的相互影響與改變。

2. 改變生物物候學

植物及動物生活史中如產卵、發芽、開花等過程非常容易受到氣候的影響。很多野生物種依賴著溫度和日照長度，來調整他們的生命週期。例如：英國經過長期的研究指出，全球溫度提升 1 將導致許多樹木發芽的日期提早 4~7 天 (Sparks 及 Carey 1995)；孵化成蝴蝶的日子提早 4-10 天 (Spark 及 Yates, 1997)；鳥產下第一個蛋的時間提早了 9 天

(Crick,1997)；蛙類、蟾蜍和蠑螈到達池塘產卵的日子提早 9~10 天。發生這些事件後可能會破壞各物種間長期建立的關係而造成許多物種連帶滅絕。

3. 遷移物種的分布

大部分科學家研究指出，全球暖化將造成物種分布轉移向北方和較高海拔。據研究指出：溫度每增加 1，就會使陸地物種的忍受極限向極地轉移 125 公里，或山地垂直高度上升 150 公尺。「遷移」對森林的樹種群，將會造成相當複雜的混亂。例如：氣候變遷使美國草原的鳥朝北方進入森林地區，但在草原上的植物和昆蟲群聚，要和鳥以同樣的速度朝北遷移是不太可能的事，所以在面臨暖化所造成的生態改變，要維持草原鳥種數量實存在極高的風險(Bird Life International WWF,1997)。

(三) 人類產生 (human-induced) 的氣候變異

1. 影響氣候型態改變

大氣 CO₂ 排放濃度在工業革命前只有 288ppm，到了二十世紀末已增至 566ppm，導致全球暖化。氣候系統原本在工業革命前只是較單純的自然現象，現在卻需考慮到人為影響。雖然少數科學家認為氣候變遷並非人為影響，因氣候主要受到自然的現象，包括太陽系統、地球軌道、火山爆發等很多的不確定因素影響。全球暖化會加速南極融化的水流入海洋，稀釋鄰近的鹽水造成海藻死亡；吃海藻的魚也會因沒有足夠食物而大量死亡。

當海洋因地球暖化吸收熱量愈多蒸發也會愈多，所蒸發的水氣進入大氣並由風推動雲，越過大陸而凝結成雨。過度的蒸發產生過度的雨，進而引發洪水發生；這些災害也會以回饋的方式再影響氣候。由於氣候系統本身原有的複雜性，再加上人類活動的過度影響，要明確區分氣候變遷受到人為或自然影響並不

是容易的事。

2. 懸浮微粒的影響

人類的經濟活動除產生溫室氣體外，也製造大量的懸浮微粒。它是飄浮在空氣中的微小粒子，包括自然的懸浮微粒如火山灰、塵灰等，及人造的懸浮微粒如工業灰塵、煤煙、硫酸鹽及硝酸鹽等。台灣工業在快速發展下，污染物排放在短短四十年內增加了數十倍，加上工業及人口的過度密集，導致目前每單位面積空氣污染物排放量在世界重要國家中高居第一，如表一所示。目前在台灣最嚴重的空氣污染物是懸浮微粒及臭氧，造成大都會空氣品質嚴重的惡化。

空氣污染物不僅對人體健康有重大的影響，對其它動物、植物的損害也相當嚴重，更同時影響到能見度及損壞建築物，甚而影響到氣候 (Liu, 2001)。大氣的懸浮微粒會經由輻射產生散射及吸收過程，也是估測大氣輻射及地球大氣層能量的重要參數，對瞭解全球及區域的氣候變遷扮演著重要的角色(IPCC, 2001)。懸浮微粒除了直接作用在輻射上，也會以雲的凝結核(cloud condensation nuclei)間接地擾亂輻射作用，改變雲的物理、化學及光學的特性，進而影響全球及區域的氣候變遷。

表一、1998 年各國環境負荷比較 (超過一千萬人口國家)

各國環境負荷	人口密度 (人/ km ²)	工廠密度 (工廠數/ km ²)	車輛密度 (車輛數/ km ²)	能源消耗 (噸油當量/ km ²)
台灣	607	2.74	442	2,047
日本	334	1.14	219	1,340
德國	230	0.12	126	953
英國	238	0.06	102	230
美國	27	0.04	21	219
台灣/各國	1.8~22 倍	2.4~68.5 倍	2~21 倍	1.5~9.3 倍
台灣地區世界排名	2	1	1	1

3. 土地利用變遷

土地利用變遷來至不同的人類活動，諸如農業、灌溉、伐林、造林、都市化或交通等。土地利用變遷造成土地表面在物理及生物特性上的變化，進而影響氣候系統。目前科學家認為土地利用變遷會顯著地改變當地、區域、甚至全球氣候，並嚴重地衝擊到碳的循環 (the carbon cycle)。由土地利用變遷所導致的物理過程與回授，會改變地球反射與接收的光線之比率 (稱為反照率，albedo)、原有的地表

面，和在陸地、大氣的水蒸氣與溫室氣體之間的交換作用，並衝擊到氣候。

都市化也是重要的土地利用變遷的例子。它會經由影響土地表面而作用在當地的風向。都市化會因擁擠的人類居住地、蒸發特性改變、受高層建築攔截而改變長波輻射等因素所釋放的熱量，造成當地氣候較鄰近鄉村地區為高，此稱為「都市的熱島效應」；這會明顯的影響區域氣候。



三、永續發展的策略與行動

(一) 政府的永續發展策略

人類持續地嚮往新穎而舒適的物質追求，造成熱帶雨林嚴重消失、陸海域生態與空氣污染等全球環境的快速衰退，進而威脅到人類未來是否能持續安全的生存，因此如何在「不超用下一代資源的原則下發展各國經濟」便成為「永續發展」之目的。目前台灣的「永續發展策略綱領」是參考聯合國的「二十一世紀議程」，共編定為五大篇：永續的環境、永續的社會、永續的經濟、發展的動力、推動的機制。其策略綱領有兩個重點，一為明確指出台灣面臨的環境挑戰，包括：(1) 獨特的海島型生態系統；(2) 環境負荷沉重；(3) 自然資源有限；(4) 天然災害頻繁；及 (5) 全球經濟的角色。另一重點為訂定「永續發展基本原則」，包括：世代公平、環境承載、平衡考量、優先預防、社會公義、公開參與、成本內化、重視科技、系統整合、國際參與等。

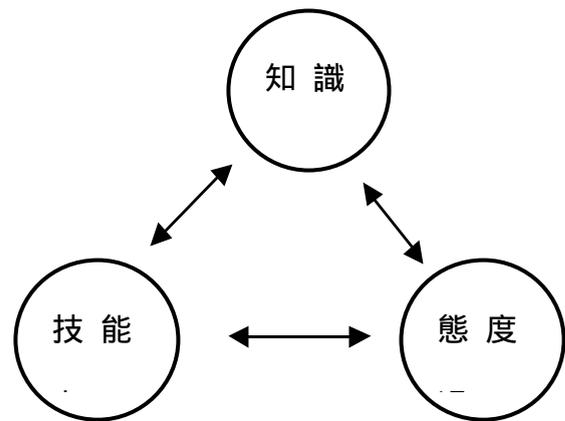
全篇策略綱領對於台灣社會近年來有關邁向永續之路有最詳細的整體分析。在「永續台灣 2011」一書中 (蕭等, 2003)，作者指出整合與評估「二十一世紀議程」的三項方式為：(1) 以「綠色國民所得」取代 GNP 與 GDP 的計算；(2) 計算與評估檢討台灣全境及各區域的「生態足跡」；及 (3) 發展並採用「永續台灣」指標，以做為衡量台灣在各向度是否符合永續發展。

(二) 個人的永續發展行動

1. 培養欣賞與感激地球之美

鑑於過往人們只強調追求技能與知識，忽視道德情操與美感培養，造成珍貴的環境資產嚴重損失，當今環境專家的教育理念已將「知識、技能、態度」三者列為同等重要，如圖一所示。因此，透過藝術陶冶加強培養欣賞和感

激地球之美是推動永續發展行動的有效策略。畢竟地球需經歷四十六億年的演化過程，特別是在生物（生命）誕生後，才能成為今日適合生物生存的美麗星球。但人類因未能以惜福的態度來看待環境，造成極難挽救的氣候變遷事實；過去四季運行穩定，極地冰山屹立不移，如今卻已在鬆動之中。如果人們能多了解它的特殊性與脆弱性，就能建立關懷與珍惜之心來維護地球環境。



圖一、環境專家視「知識、技能、態度」三者同等重要

2. 永續發展由個人行動做起

「放眼全球，草根行動 (Global View, Local Action)」已成為國際間耳熟能詳的標語；它說明我們需具備全球性的眼光與關懷，在行動上卻可由當地或個人做起。追求永續發展如能從個人行動做起是很有意義的事。改善全球氣候是很艱鉅的工作，但從每個人的社區、巷弄或自身做起較為容易，並可藉此發揮個人的影響力。例如，筆者雖居處悶熱的都市窄巷，但相信「種植一棵二十年大樹可抵五噸的冷氣量」及認為裝置冷氣後排放熱氣給公眾，不是解決環境的最佳方法；因此在自家陽台大量植樹後，製造十分綠意的「微氣候環境」來取代冷氣，並且獲致更為賞心且舒適的生活環境。

3. 實踐節能與儉樸的生活習慣

到了 2050 年，世界上將有四分之一以上的物種消失，石油和天然氣等重要的能源也將在數十年內耗盡，將嚴重威脅到我們子孫的生存。因此，如何調節每個人的生活型態，建立重複使用 (reuse)、降低使用 (reduce) 及循環使用 (recycle) 的習慣是非常重要的理念；它可直接地降低對生物資源的需求及減少破壞自然生態系統的誘因 (incentive)。依統計顯示：運輸工具的消耗約 20% 的能源使用量，且排放嚴重的污染源，如能盡量多人共乘汽車、坐捷運系統或騎腳踏車等方式，實為個人力行淨化環境的作法。其它如配合政府政策少用塑膠袋，或自己能隨身攜帶自用筷子及茶杯等都是具體例子。

4. 降低物質需求與科技的依賴

工業革命後，人們借助機械之力以追求奢華的物質享受，如今科技已可幫助人類「飛上高天，潛入深海」，達到人定勝天並對自然界為所欲為。但諷刺的是，人類逐漸地由外在隨意操控機械的主人角色，最後竟淪為每日緊守電腦、大哥大、汽車、刷卡等無數機械物纏身的可憐人；追求物質依賴科技的結果，使生物本性的人類已快成為「半機人 (近似機械)」。

如今，機械已掌控我們的環境(樓房與水泥地)與生活 (電腦與汽機車)，造成人們每日的生活壓力倍增，生活的節奏由悠閒緩慢的節奏 (農工業多資源時代)，進入快速緊張的節奏 (高科技少資源時代)。的確我們想改變目前的情況是很困難，但可從降低物質需求與減少依賴科技來逐步做改善。

四、小結

(一) 體悟環境變遷的關聯

如果我們關心周遭的環境，會比較容易對

環境變化有較敏銳的體悟。例如，我們住處附近的低層樓房或空地改建高樓了、巷道因大量停車變窄小、商店增多等，這顯示當地居住人口可能增加了；其它地區或全省都發生這些現象，可能就透露出全省人口與都市正處成長狀態的訊息。

此外，當我們發現最近乾旱後難得的豪雨，停留在山區的時間竟然縮短了，地表逕流增加，大部分雨量不是快速蒸發至大氣，就是直接流經都市排水道或硬鋪面而流入大海，是否進而對「山區過度開發、都市熱島效應或全球暖化等」之間的關聯性發生好奇。其它的例子包括：是否已警覺到夏天已提早到臨，它與全球暖化的因果關係為何？與人類的長期行為是如何關聯在一起？我們應如何減緩這些異常氣候？藉由經常自問來加強我們對環境的知覺力，進而增加一份對地球環境的關心。

(二) 思考舒適生活的代價

科學家探究全球性的氣候變遷的因果，常受限於不確定性因素而難有具體的成果，但環境衰退與生活的壓力劇增已是明顯事實，難道我們還沒有警覺到嗎？可曾想過興建一棟二層鋼筋混凝土樓房將耗損多少自然資源？光就主體結構來說，鋼筋需由鐵礦山提煉、水泥採自山區、石子來至河床底；簡言之，要從自然界，如山區上藉取得 (移除) 相當量體積的土石與礦山，才能供應工程需求。

但人們竟以勞力賺錢來花費享用習以為常，忽略過度浪費實為大量侵奪珍貴的自然資源。環境的變化遵守熱力學原理，物質變化後很難再恢復原有的型態之「不可逆現象」是很重要的觀念。中國的哲理明示當事物興盛至高峰，就會出現衰退現象的「物極必反」原理也說明這個理念。意即都市朝向不斷擴張、高度擁擠後，就開始逐漸呈現更為嚴重的災難，如水患、火災、地震等；這就如同工業革命後人

類在無止盡的經濟活動下，導致溫室氣體劇增，進而影響到全球氣候變遷的慘痛代價。因此，適度的回歸簡樸生活，並積極的關懷周遭的環境與經濟議題，才是務實的「永續」之道。

參考文獻

林耀松 2002 年「本地變遷趨勢、衝擊評估與因應策略之整合模式發展」與「全球變遷長期基礎資料調查、監測與收集整合機制」之推動規劃報告，台灣大學全球變遷研究中心。

蕭新煌、朱雲鵬、蔣本基、劉小如、紀駿傑、林俊全，2003 年，永續台灣 2011。天下遠見出版。

About the sustainable development: Agenda 21 :
<http://www.ecd.dk/Agenda21/Agenda21.htm>

Bird Life International : <http://www.birdlife.net>

Climate Change 2001: The Scientific Basis. 2001. Intergovernmental Panel on ClimateChange (IPCC) Published.

Crick, Q. P. 1997. UK birds are laying earlier. *Nature*. 338:256.

Liu, S. C., and C-J Shiu, 2001. Asian dust storms and their impact on the air quality of Taiwan, *Aerosol and Air Quality Research*, 1, 1-8.

RIVM / UNEP. 1997. The Future of the Global Environment : A Model-based Analysis Supporting UNEP'S First Global Environment Outlook. Rohlf, D. J. 1991. Six biological reasons why the Endangered Species Act does not work and what to do about it. *Conservation Biology*, 5:273-282.

Sparke T. H. and Carey P. D. The responses of species to climate change over two centuries: an analysis of Marsham phonological record 1736-1947. *J. of Ecology* 83:321-329.

Sparks T. H, and Yates T. 1997. The effect of spring temperature on the appearance data of the British butterflies 1883-1993. *Ecography*.20:368-374.

