

節能減碳-二氧化碳跟隨著人的腳印 走

新竹分所／李素珍

一、前言

每年的 4 月 22 日為世界地球日，在這天不同國籍的人們各自以不同的方式推行環境保護的觀念，是一項國際性的環境保護運動。地球日不只是一年一度的環保嘉年華活動，由近年來的京都議定書、全球暖化、節能減碳活動等環保議題，全球都聯手致力於拯救地球的活動。

本人 5 月 7 日有幸參與公務人員「環境倫理與永續發展」之研習，其中論及台灣的「碳足跡」政策，個人認為維持地球的永續發展人人有責，因此，蒐集相關資料與讀者分享並共勉。

二、何謂溫室氣體？及其主要來源

大氣中主要的溫室氣體包括：水蒸氣(H₂O)、臭氧(O₃)、二氧化碳(CO₂)、氧化亞氮(N₂O)、甲烷(CH₄)、氫氟氮碳化合物類(包括 CFCs, HFCs, HCFCs)、全氟碳化合物(PFCs)及六氟化硫(SF₆)等。由於水蒸氣及臭氧的時空分佈變化較大，因此在進行溫室氣體減量措施時，暫未考慮這兩種氣體。1997 年 12 月聯合國氣候變化綱要公約締約國於日本東京召開第三次締約國大會時所擬定之「京都議定書」，就規範締約國以個別國家或共同的方式控制人為排放之 6 種溫室氣體，包括二氧化碳、氧化亞氮、甲烷、氫氟碳化合物(HFCs)、全氟碳化合物及六氟化硫等，以期減少溫室效應對全球環境所造成的影響。2005 年 2 月 16 日「京都議定書」正式生效，減量目標為規範這些締約國(大部分為已開發國家)在 2008 年到 2012 年間，二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、六氟化硫、氫氟碳化合物

及全氟碳化物 6 種溫室氣體每年平均的排放量，必須比 1990 年排放量低 5.2 %。台灣雖然不是締約國，目前尚未受到溫室氣體排放減量的壓力，但未來極有可能被要求進行二氧化碳減量，因此必須儘早準備因應。

6 種溫室氣體中，二氧化碳含量最高，若以二氧化碳增溫效應作為基準，甲烷的增溫效應為二氧化碳的 23 倍，而氧化亞氮、氫氟碳化物、全氟碳化物及六氟化硫等 4 類溫室氣體造成的增溫效應為二氧化碳的上百倍到上萬倍。因目前全球仍大量使用煤、石油、天然氣等化石燃料，大氣中的二氧化碳量正以每年約 60 億噸增加中，由於二氧化碳含量較多，對全球升溫的貢獻百分比佔 55 % (表 1)，因此，目前溫室氣體減量措施以降低大氣中二氧化碳量為優先考量。

「京都議定書」中針對二氧化碳、氧化亞氮、甲烷、氫氟碳化物、全氟碳化物及六氟化硫等 6 種溫室氣體量進行削減，而這些氣體的來源為人類各種活動所產生 (表 2)，譬如：人類使用煤、石油、天然氣等化石燃料，它們都是經過千百萬年地質的碳化作用後形成的，可以被當作燃料是很好的能量來源，但是燃燒化石燃料時，化石中的碳會和空氣中的氧氣結合形成二氧化碳，所以大氣中二氧化碳的增加量和化石燃料的消耗量是成正比的。農業活動中有機體發酵與化學物質在缺氧的情況下被分解時會產生甲烷，主要來自牲畜、水田、掩埋場及汽機車的排放，譬如：有機廢物的分解及天然源頭 (如沼澤) 佔 23 %、燃燒化石燃料佔 20 %、動物 (如牛) 的消化過程佔 17 %、稻田中的細菌佔 12 % 與生物物質缺氧加熱或燃燒等佔 28 %；氧化亞氮俗稱「笑氣」，是自然界氮循環的產物，燃燒化石燃料及微生物、化學肥料分解時都會產生，但現代農業大量使用富含氮的肥料，導致氧化亞氮排放量步步高升；俗稱氟利昂 (Freon) 的氟氯碳化物，是人工合成的化合物，以 CFC-11(CCl_3F)、CFC-12(CCl_2F_2)及 CFC-113($\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$)三種原料使用得最多，由於這類化合物非常安定，幾乎不與其他物質起化學反應，毒性低且不燃燒，自從 1930 年代起就被大量製造，應用作冰箱、冷凍機、汽車、空調用冷媒、氣體溶劑中的推進劑、各類油脂的溶劑、外科醫療器具的消

毒劑，以及製造高分子混合物的充泡氣等；臭氧為來自工廠、汽機車排放之氮氧化合物及碳氫化合物經過光化學作用而產生的氣體。

表 1. 各種溫室氣體的增溫效應

氣體別	增溫效應 (以二氧化碳作為基準) *	對全球升溫的貢獻 (%)
二氧化碳 (CO ₂)	1	55
甲 烷 (CH ₄)	23	15
氧化亞氮 (N ₂ O)	310	6
氟氯碳化物 (CFCs)	140~11700	24
全氟碳化物 (PFCs)	6500~9200	
六氟化硫 (SF ₆)	23900	

表 2. 各種溫室氣體的人為活動產生源

人類活動	產出氣體
石油、煤等化石原料的燃燒等	二氧化碳 (CO ₂)
農業活動	甲烷 (CH ₄)、氧化亞氮 (N ₂ O)
工業製成品 (如：冷媒)	氟氯碳化物 (CFCs)
物質燃燒	氧化亞氮 (N ₂ O)
工廠、汽車排放之氮氧化合物及碳氫化合物經過光化學作用所合成	臭 氧 (O ₃)

三、何謂碳足跡？

碳足跡 (carbon footprint) 是指一個人活動或使用一個產品或裝置，在其整個生命週期中所釋放的溫室氣體總量。每個人在日常活動包括食衣住行直接或間接都產生二氧化碳，這個概念以「足跡」為喻，說明我們每個人都在大氣層不斷增多的溫室氣體中留下了自己的痕跡。碳足跡可以區分為直接產生與間接產生，直接產生是指能源性的消耗會直接產生二氧化碳排放的項目，以燃燒化石燃料為大宗，如汽車及機車用油、家用瓦斯、電力消耗等。間接產生是指為了生產產品或處理廢棄產品而間接產生出二氧化碳的過程，以產品原料消耗為主，如開飲機、葷食、免洗餐具等。比如說你今天吃一個漢堡，夾在漢堡裏的肉是飛機從美國運來的，肉上的洋蔥是大卡車從屏東運來的，送的玩具則是中國製造、船運來的，於是你就得把背後這些碳全都相加，最後就得出吃下這個漢堡的碳足跡，國外研究，一個漢堡的碳足跡約為 3.1 公斤，而台灣幾乎每家必備的冷氣機，一個月竟可製造 101.25 公斤的二氧化碳，電腦亦不遑多讓，每個月大約排出 83.25 公斤的二氧化碳，日常生活中的點滴都是碳足跡累積，舉凡節約能源、環保、素食（少吃肉）、資源再利用、熱回收循環、選用節能產品、多走路、種樹等，都是減少碳足跡的作法！

科學家已證實大氣中二氧化碳濃度增加是造成溫室效應加劇的主要原因，導致全球普遍發生氣候異常、天災頻繁的現象。每個人都有自己的碳足跡，耗能愈多碳足跡愈大，地球暖化就更嚴重。減少碳足跡可從個人改變生活習慣做起，以節約能源行動來減碳，避免地球暖化效應加劇。右圖為英國環保措施「碳足跡」的標誌。

四、已開發國家人類生活的碳足跡分布

已開發國家人類生活的碳足跡，以家庭用燃料（瓦斯、汽油、煤等）排名第 1，佔 15 %；休閒娛樂排名第 2，佔 14 %；家庭用電力及公眾服務排名第 3，各佔 12 %；交通運輸（私人交通工具）佔 10 %；其餘都在 10 % 以內，依次為

建築物及裝璜（家庭用）、車輛（製造及交貨）、飛行（假日休閒）、食物及飲料、衣服及私人物品、交通運輸（大眾運輸工具）、金融服務等（表 3）。

表 3. 已開發國家生活的碳足跡分布

排 名	項 目	百分比 (%)
1	瓦斯、汽油、煤等（家庭用）	15
2	休閒娛樂	14
3	電力（家庭用）	12
3	公眾服務	12
4	交通運輸（私人交通工具）	10
5	建築物及裝璜（家庭用）	9
6	車輛（製造及交貨）	7
7	飛行（假日休閒）	6
8	食物及飲料	5
9	衣服及私人物品	4
10	交通運輸（大眾運輸工具）	3
10	金融服務	3

五、2005 年各國二氧化碳總排放量與每人平均排放量

1996 年聯合國跨政府氣候變遷專門委員會（IPCC）評估報告指出，全球大氣中二氧化碳濃度已從工業革命前的 280 ppm 增加至 1994 年的 358 ppm，再增加至目前的 380 ppm。

2005 年全球二氧化碳排放量，美國、中國、俄羅斯名列前茅，分別為 1 至 3 名，日本第 4 名，韓國第 10 名，台灣第 22 名，台灣二氧化碳總排放量達 261 百萬公噸，佔全球的 0.96 %（表 4）；台灣人口僅佔全球人口的 0.356 %，不到 0.4 %（表 5），但是二氧化碳的總排放量卻佔全球的 0.96 %，約 1 %（表 4）。台灣在 1990 年二氧化碳排放量約 113 百萬公噸，但到了 2005 年，排放量已高達 261 百萬公噸，成長達 2.3 倍。

2005 年全球每人平均二氧化碳排放量為 4.22 公噸，美國排名第 7，台灣排名第 16，遠高於俄羅斯、日本、韓國與中國。台灣每人平均二氧化碳排放 11.41 公噸，為全球平均值（4.22 公噸）的 2.7 倍（表 5）。台灣地區耗用能源，排放二氧化碳的程度越來越嚴重，從 1990 年每人每年二氧化碳排放量 5.73 公噸，增至 2005 年每人每年二氧化碳排放量 11.41 公噸，成長約達 2 倍。2005 年每人每年二氧化碳排放量 11.41 公噸，換算為每人每日二氧化碳排放量約為 32.16 公斤。

表 4. 2005 年各國二氧化碳總排放量

全球排名	國家別	排放總量（百萬公噸）	佔全球百分比（%）
	全球	27,136.00	
1	美國	5,816.96	21.44
2	中國	5,059.87	18.65
3	俄羅斯	1,543.76	5.69
4	日本	1,214.19	4.47
5	印度	1,147.46	4.23
6	德國	813.48	3.00

7	加拿大	548.59	2.13
8	英國	529.89	1.95
9	義大利	454.00	1.67
10	韓國	448.91	1.65
21	波蘭	295.81	1.09
22	台灣	261.28	0.96

資料來源：國際能源總署 IEA/OECD 於 2007 年出版之世界能源統計資料。

表 5. 2005 年各國每人平均排放二氧化碳量

全球排名	國家別	每人平均排放 (公噸)	人口 (百萬)	人口佔全球百分比 (%)
	全球	4.22	6,432.00	
1	卡達	44.90	0.81	0.013
2	科威特	29.38	2.54	0.039
7	美國	19.61	296.68	4.613
8	澳洲	18.41	20.47	0.318
10	加拿大	17.00	32.27	0.502
15	捷克	11.55	10.23	0.159
16	台灣	11.41	22.89	0.356
17	荷蘭	11.21	16.32	0.254
18	比利時	10.67	10.47	0.163

20	俄羅斯	10.76	143.11	2.225
-	日本	9.50	127.76	1.986
-	韓國	9.30	9.30	0.751
	中國	3.88	1,304.50	20.281

資料來源：國際能源總署 IEA/OECD 於 2007 年出版之世界能源統計資料。

六、2008 年各國節能減碳的績效

歐洲氣候行動網（Climate Action Network Europe）與德國監測（Germanwatch）共同設立氣候變遷績效指數（Climate Change Performance Index），以評定各國節能減碳的績效。2008 年開始將台灣列入評比，全球 57 個被評比國家，前 3 名從缺，第 4 至第 6 名分別是瑞典、德國與法國。台灣排名第 32，雖然領先新加坡、韓國、日本、中國等亞洲鄰近國家，但次於印度（第 7 名）與印尼。台灣在各項評比指數中，再生能源排放績效獲得滿分，然而每人每年平均能源消耗量、每人每年平均二氧化碳排放量、電力係數、製造業的二氧化碳排放等 4 項，台灣排名都超過 40，亟待改善。民眾對「節能減碳」已耳熟能詳，也有許多資訊提供民眾來節能減碳，每個人在日常的活動包括食衣住行直接或間接都會產生二氧化碳，可從改變生活習慣來減少二氧化碳量，以節約能源的行動來減碳，避免地球暖化效應加劇。

七、減碳始祖-英國的實際行動

2007 年 3 月英國 Carbon Trust 公司開始推動使用碳標章（carbon lable），Carbon Trust 公司是英國政府出資的法人機構，協助英國企業界進行減碳。Carbon Trust 公司與英國食品公司 Walkers 合作，於其洋芋片包裝上標示碳足跡 75 克，表示此品牌的洋芋片，以洋芋生命週期的 5 個階段來標示二氧化碳排放量，自馬鈴薯栽培（產生 44 % 二氧化碳）、製造洋芋片（產生 30 % 二氧化碳）、

包裝洋芋片（產生 15 % 二氧化碳）、配送洋芋片（產生 9 % 二氧化碳）、廢棄（產生 2 % 二氧化碳），共產生二氧化碳 75 克。英國 Carbon Trust 公司標示碳足跡的做法，引起國際重視，並帶動全球使用碳標章的趨勢，亞洲國家如韓國與日本已啓動或試行，台灣籌劃中。

2008 年 2 月 Carbon Trust 公司更擴大推動碳標章，包括 TESCO（英國最大連鎖百貨）、可口可樂等 20 家廠商共 75 項商品，要求他們的進貨廠商，必須在包裝上標識每個商品的碳產生量，認同低碳理念的消費者，就可以根據包裝上的碳排放量，來決定其購買行爲。所以，在實行低碳生活之前，趕快先了解自己現在的碳足跡吧！以下簡介如何計算生活的碳足跡。

八、如何計算生活的碳足跡？

目前網路上有很多地方可以計算碳足跡，如：環保署的全民二氧化碳減量資訊站、台北縣環境保護局、環境品質文教基金會網站、climate care 和 carbon footprint 的網站、天下雜誌第 369 期等，都可以找到計算碳足跡的資訊。大型零售商如 TESCO, B&Q, M&S 等成立的 together 網站，也有教您如何縮小碳足跡。目前日常生活中常接觸之事務，其每一單位產生二氧化碳量已被估算出來，因此，可計算自己目前的生活方式究竟生產了多少碳，可藉此來修正個人生活習慣進而節能減碳了。

以台北縣環境保護局的簡易碳足跡計算為例：分爲能源消耗類、視聽資訊類、家電設備類、廚房設備類、交通工具類、其它項目類等，爲您計算二氧化碳排放量。首先進入「台北縣環境保護局」網站，選擇「低碳生活網」，有許多節能減碳的資訊，選擇「碳足跡」，出現表格，依次填入您「能源消耗類、視聽資訊類、家電設備類、廚房設備類、交通工具類、其它項目類等」的使用情形，就可計算出每日、每月或每年二氧化碳總排放量。

在「能源消耗類」方面：會出現電費、水費、天然氣（以上為度數）、桶裝瓦斯、汽油（以上為公斤數）等項目，其每單位所產生二氧化碳量各為 0.638、0.190、1.045、3.190、2.240 公斤，選擇填入您使用之度數或公斤數，就可為您計算出「能源消耗類」二氧化碳排放量。

在「視聽資訊類」方面：會出現電視、音響、收音機、筆記型電腦、桌上型電腦、雷射印表機、噴墨印表機、傳真機等項目，使用每小時產生二氧化碳量各為 0.0966、0.0345、0.0069、0.0138、0.2139、0.4140、0.0621、0.0690 公斤，選擇填入您使用之時數，就可為您計算出「視聽資訊類」二氧化碳排放量。

在「家電設備類」方面：會出現電扇、冷氣機、除濕機、電暖器、空氣清淨機、抽風機、60 W 燈泡、20 W 日光燈、省電燈泡、吹風機、電熨斗、洗衣機、乾衣機等項目，使用每小時產生二氧化碳量各為 0.0455、0.6210、0.1967、0.4140、0.0414、0.0207、0.0414、0.0173、0.0117、0.0552、0.0552、0.2898、0.8280 公斤，選擇填入您使用之時數，就可為您計算出「家電設備類」二氧化碳排放量。

在「廚房設備類」方面：會出現電鍋、電烤箱、微波爐、烘碗機、電磁爐、果汁機、熱水器、抽油煙機等項目，使用每小時產生二氧化碳量各為 0.5520、0.5520、0.8280、0.1380、0.8280、0.1449、4.1400、0.2622 公斤，選擇填入您使用之時數，就可為您計算出「廚房設備類」二氧化碳排放量。

在「交通工具類」方面：會出現機車、汽車、火車、高鐵、捷運、公車、電梯、飛機短程（500 公里以下）、飛機中程（500~1600 公里）、飛機長程（1601 公里以上），機車、汽車、火車及高鐵每公里產生二氧化碳量各為 0.0605、0.2360、0.0600、0.0500 公斤，每次搭捷運、飛機短程、飛機中程、飛機長程產生二氧化碳量各為 0.1631、3.0300、11.6500、52.5600 公斤，搭公車每元所產生的二氧化碳量為 0.0352 公斤，搭電梯每一樓所產生二氧化碳量為 0.2180 公斤，選擇填

入您使用之時數、次數或樓層數，就可為您計算出「交通工具類」二氧化碳排放量。

在「其它項目類」方面：如每次外出用餐產生二氧化碳量為 0.48 公斤，每公斤牛肉產生二氧化碳量為 36.40 公斤。選擇填入您外出用餐次數或肉量，就可為您計算出「其它項目類」二氧化碳排放量。

九、台灣的「碳足跡」政策

「節能減碳」目前已是全球性問題，過去十餘年來，台灣的溫室氣體排放，其成長速率幾是世界之冠，2005 年的溫室氣體排放量為 1990 年的 2.3 倍，除了颱風、豪雨、乾旱以及日漸加劇的高溫效應等大地反撲的威脅之外，以外銷為導向的台灣，可能將因環境議題面臨國際社會的重大壓力。

誠然，全民需要在生活細節上力行節能減碳，而政府更需在政策上有所作為。近年來政府為提倡「節約能源」已擬具許多措施，減碳方面也已起步，譬如：2008 年 6 月 5 日行政院會通過「永續能源政策綱領」所策定「節能減碳目標」之「一人一天減少一公斤碳足跡」。行政院永續發展委員會 2008 年 12 月 25 日會議決議：請環保署研議「碳足跡」標示及「碳標章」之建置，並將「碳標章」納入「環保標章體系」，儘速規劃推動。目前網路上有很多國內建置的網站，都可以找到計算碳足跡的資訊，為全民提供減碳最佳途徑，節能減碳需政府與全民共同來努力。

十、未來展望

國際標準組織（ISO）之二氧化碳計算標準化作業已經啓動，2009 年底將可完成草案，預計於 2011 年定案。未來可能全球所有國家都需依據此 ISO 標準

再修正為各國適用的相關準則或規定。畢竟地球只有一個，每個人都有權利使用也有義務去永續維持。

資料顯示，種植一顆樹經過 40 年才可為地球減少 465 公斤的二氧化碳(平均一年約減少 12 公斤)。想想看個人每年所產生的二氧化碳量，需要多少顆樹來吸收以減緩溫室效應？二氧化碳跟隨著人的腳印走，日常生活食衣住行的活動都會產生二氧化碳，因此，瞭解碳足跡並儘速參與減少碳足跡的行列為每個人的責任。

本文轉載自 2009 年行政院農委會畜產試驗所新竹分所出版之「酪農天地雜誌」第 88 期第 41-48 頁。