

從數據看全球暖化

科研資料組

地球越來越熱，全球氣溫持續上升，究竟是什麼改變了地球的氣候？

溫室效應是地球大氣層的物理特性，假如沒有自然的溫室效應，地球表面的平均溫度會降到零下 19°C 左右，就不適合人類居住了。地球表面和大氣層會吸收大部分來自太陽的能量，有部分的太陽能量會直接反射回太空，而大部分長波的紅外光輻射由大氣層的溫室氣體吸收後再向四面八方反射，使地球表面得以保持溫暖，是為溫室效應。

自然的溫室氣體主要有水氣、二氧化碳，其他的還有氧化亞氮、甲烷、臭氧，以及人造溫室氣體如全氟碳化物(PFCs)、氫氟碳化物(HFCs)、氯氟碳化物(CFCs)及六氟化碳(SF₆)，而自工業革命以來，人類大量的開採與使用化石燃料、砍伐森林、加上全球經濟活動頻繁、人口不斷成長，這都造成二氧化碳、甲烷等溫室氣體大量的排放，這些具有“保溫效果”的氣體增加了溫室效應，使地球不斷變暖，導致全球暖化。

一百年來地球氣溫已經增加了 0.72°C，造成了大氣環流開始變化，增加的溫度看似不高，但已帶來了水文氣象方面的影響。全球暖化造成氣溫的持續上升、極地融冰造成冰山與冰河面積減縮、海平面上升、降雨分布與降雨時間改變、極端氣候事件頻傳如豪大雨、乾旱缺水、熱浪、颶風、龍捲風等，造成生命財產極大的威脅與傷害。

全球暖化的指標性觀測有全球平均氣溫、溫室氣體、平均海平面、冰河與冰山面積等，礙於部分指標難以取得，本分析報導主要以平均氣溫、溫室氣體、森林面積等指標，以數據呈現全球暖化的情形，希望能喚起周遭的人更加關注此現象，從自身做起，為後代子孫、為地球盡一點心力。

近百年來全球平均氣溫改變有多大？



以 1880 年來全球年平均氣溫與上一世紀(1901-2000 年)的百年平均氣溫(13.96°C)來比較,1937 年(14.03°C)起氣溫就已超過百年平均值,之後也有數十年是低於百年平均值,但從 1977 年起至今連續 38 年每年的平均氣溫都超過百年平均值,2014 年的 14.68°C 為近百年來最高,比百年平均值多了 0.72°C。

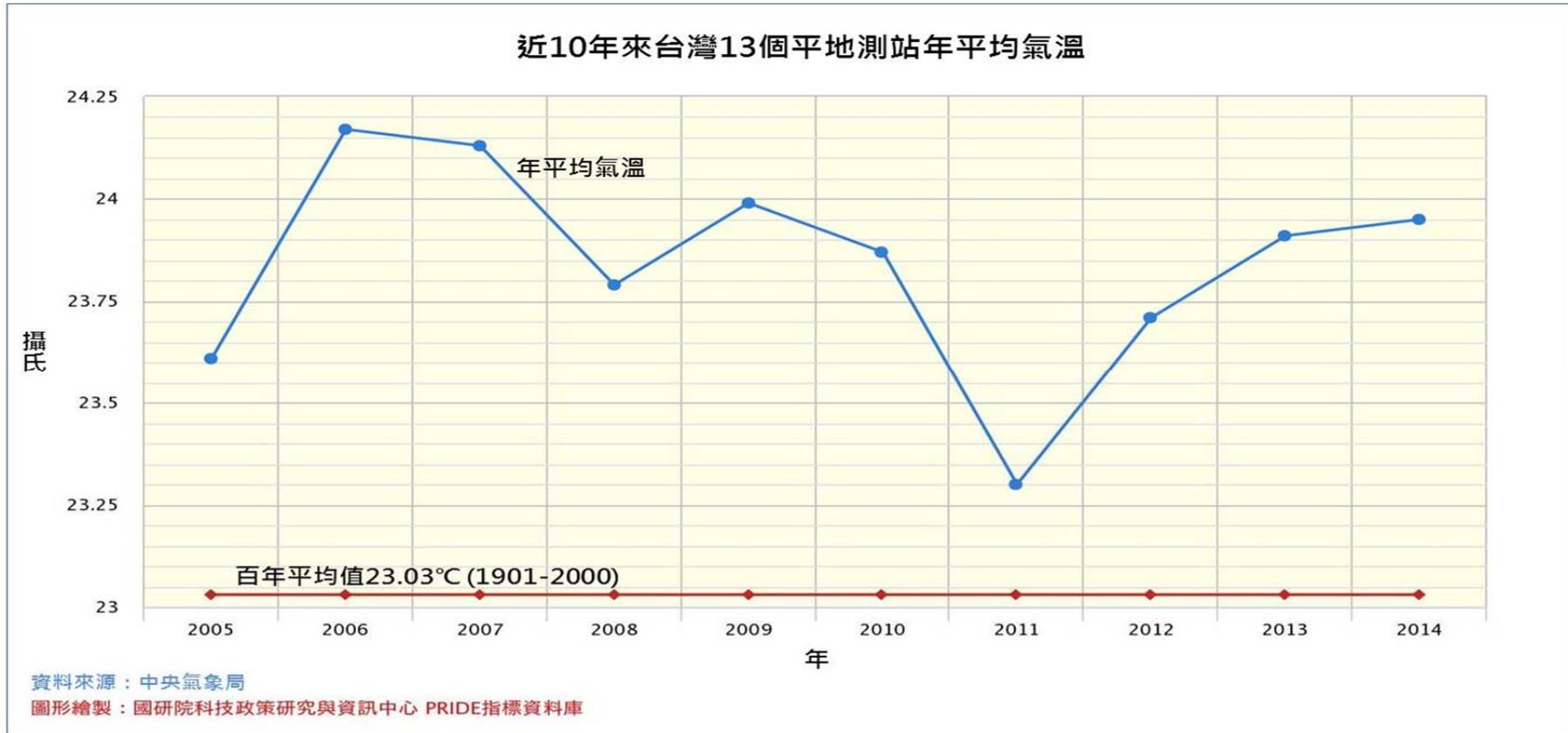
從 1960 年起近 50 年的年平均氣溫是節節上升的,只有 1964,1965,1968,1971,1974 及 1976 共 6 個年頭的平均氣溫是低於百年平均值,而 1964 年的年平均氣溫 13.81°C 更是近 50 年最低,此後再也未見比這更涼快的氣溫了。

百年來氣溫增幅如何？



觀察 1880 年以來每 10 年之平均氣溫，1880-1889 年間平均氣溫為 13.8°C，以後的 40 年平均氣溫都低於 13.8°C，但至 1930 年代開始每 10 年之平均氣溫有往上攀升的趨勢，以 2000-2009 年間最高，氣溫達 14.56°C。1980-1989、1990-1999 及 2000-2009 氣溫的增幅也是百年最高，平均增幅達 0.18°C，顯示全球氣溫上升的速度愈來愈快，已是不容忽視的問題。

台灣也有暖化現象?

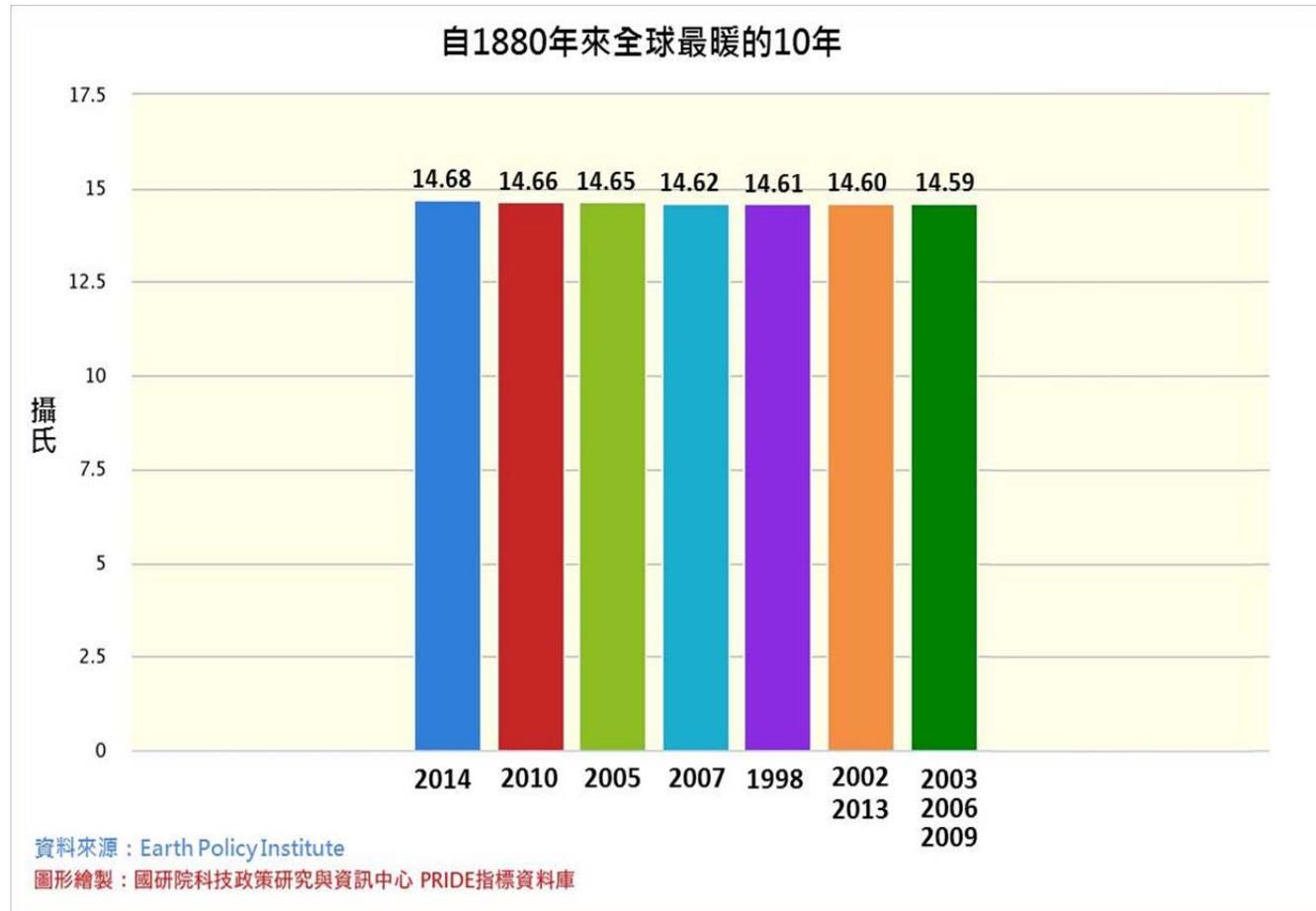


註1：百年平均值取 1901-2000 年的平均值。

註2：以 13 個平地測站氣溫平均值做為台灣平均氣溫的代表，包含基隆、宜蘭、淡水、台北、新竹、台中、台南、高雄、花蓮、成功、台東、大武、恆春。

近 10 年來台灣 13 個平地測站的年平均氣溫也高於百年平均值(23.03°C)，顯示台灣氣溫變化趨勢也同樣存在暖化現象。

你知道全球那一年最暖？



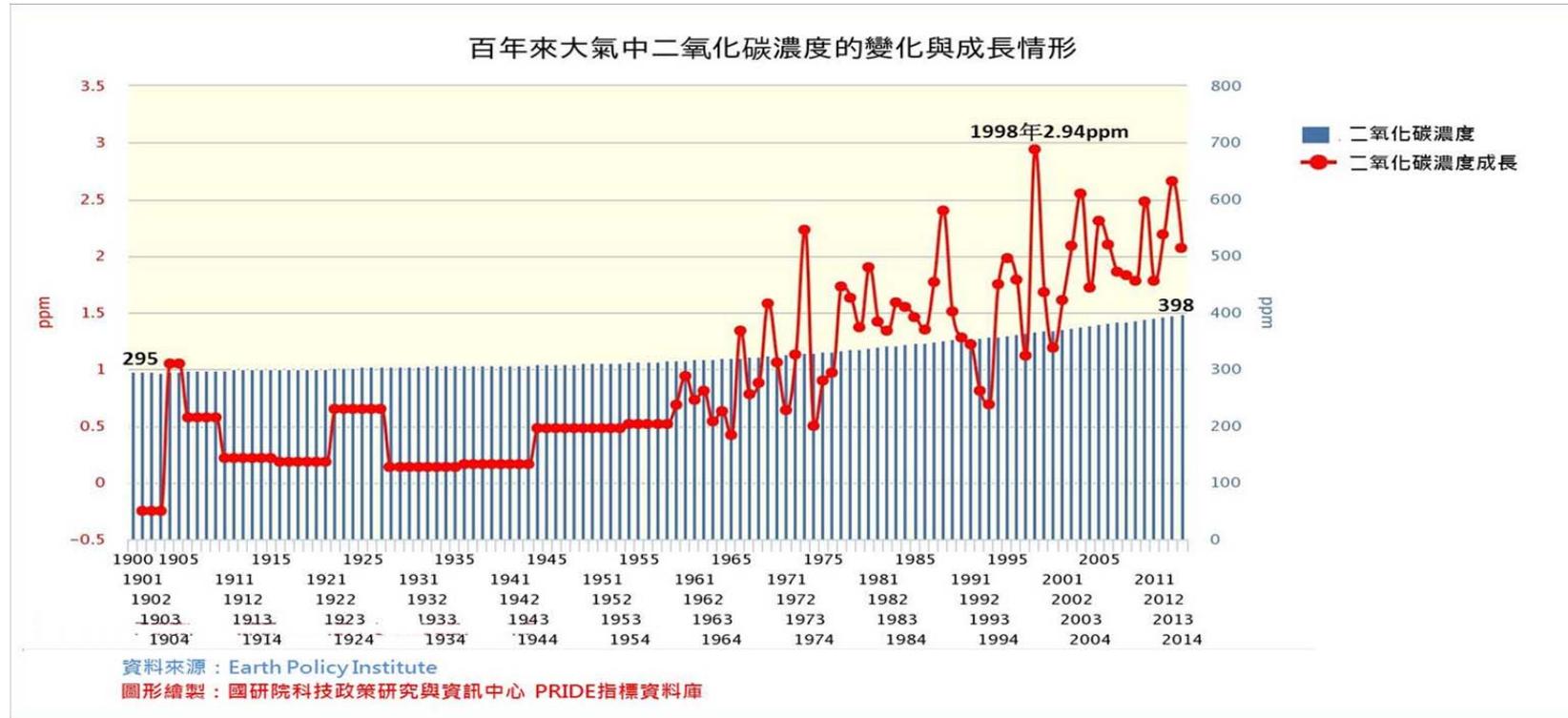
左圖列出 1880 年以來全球年平均氣溫中最暖的 10 年，以 2014 年最暖，為 14.68°C，接著依序為 2010 年 (14.66°C)，2005 年 (14.65°C)，2007 年 (14.62°C)，1998 年 (14.61°C)，2002 年與 2013 年溫度相同 (14.60°C)，2003 年、2006 年與 2009 年則同為 14.59°C，除了 1998 年外，其餘的 9 年都落在本世紀，而且 10 名中有 7 年集中在最近的 10 年間。顯示暖年不再是偶然，更像是常態了。

暖化有影響到台灣的降雨情況嗎？



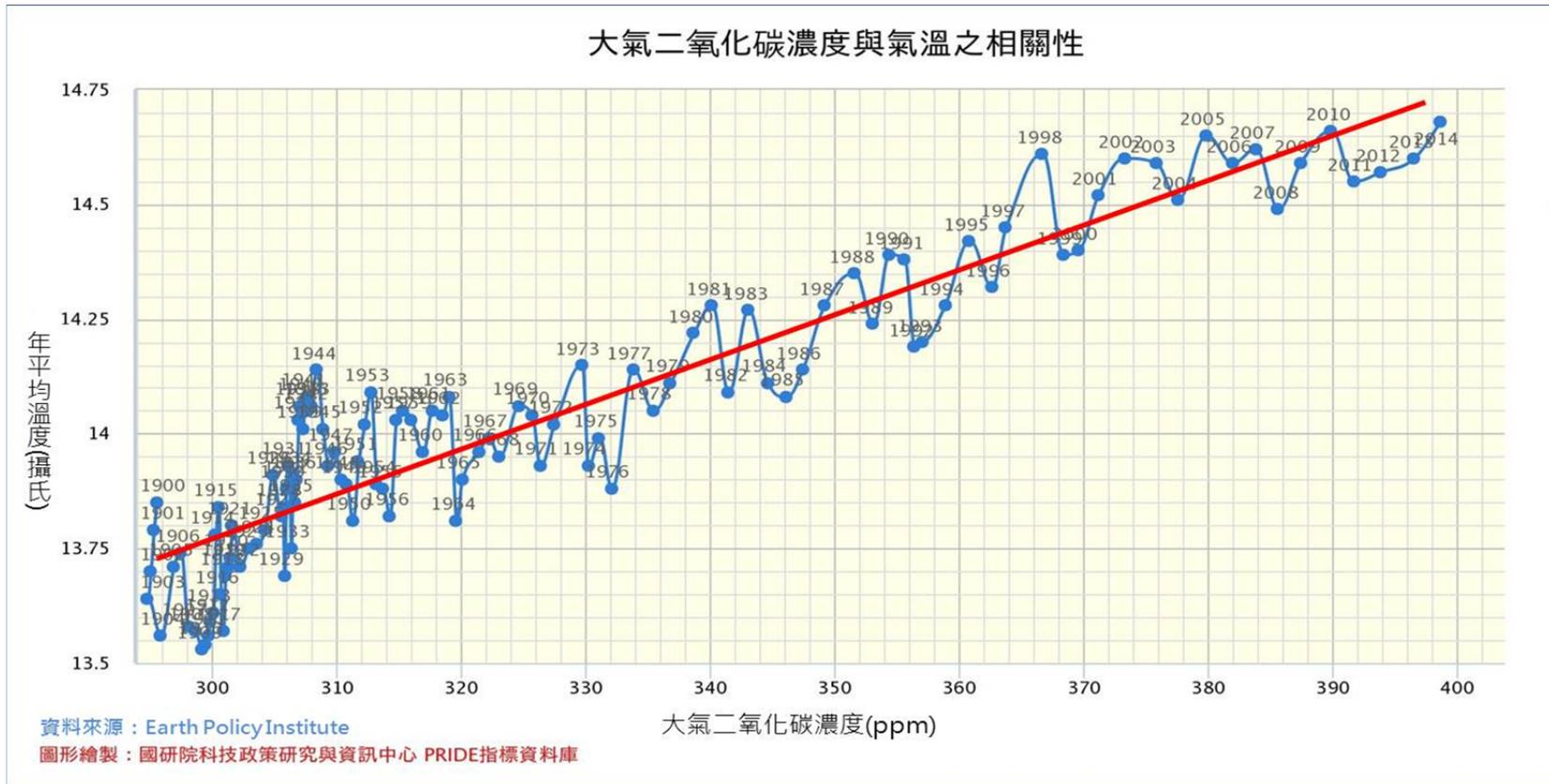
全球暖化引起的氣候變遷，也影響降雨日數。台灣各地區的降雨日數以宜蘭、台北之降雨日數有減少趨勢。降雨日數中以 1987, 1991, 1993, 2003 及 2009 年各區都有明顯減少。台灣的極端降雨強度增加，但降雨日數卻反而減少，旱澇交替更為頻繁。

百年來大氣中二氧化碳濃度的變化又如何？



二氧化碳是最重要的溫室氣體，因排放量最多，對全球暖化的“貢獻”也最大，其濃度從1900年的295ppm至2014年的398ppm，百年來濃度增加了1.34倍，也大大超過了第一次工業革命(18世紀60年代)時的276ppm，以線性趨勢快速成長，百年來，每一年濃度都有增加，至今，2014年的濃度是百年來最高的。自1990年以來，其成長幅度以1998年最高，達2.94ppm，其次是2013年的2.66ppm，第三是2003年的2.55ppm，本世紀的漲幅每年平均約2.07ppm。聯合國曾表示，在21世紀結束前，溫室氣體排放量最高值不超過450ppm，才有可能將全球氣溫升高區間控制在2°C。

大氣中二氧化碳濃度與氣溫的高低有相關性嗎？



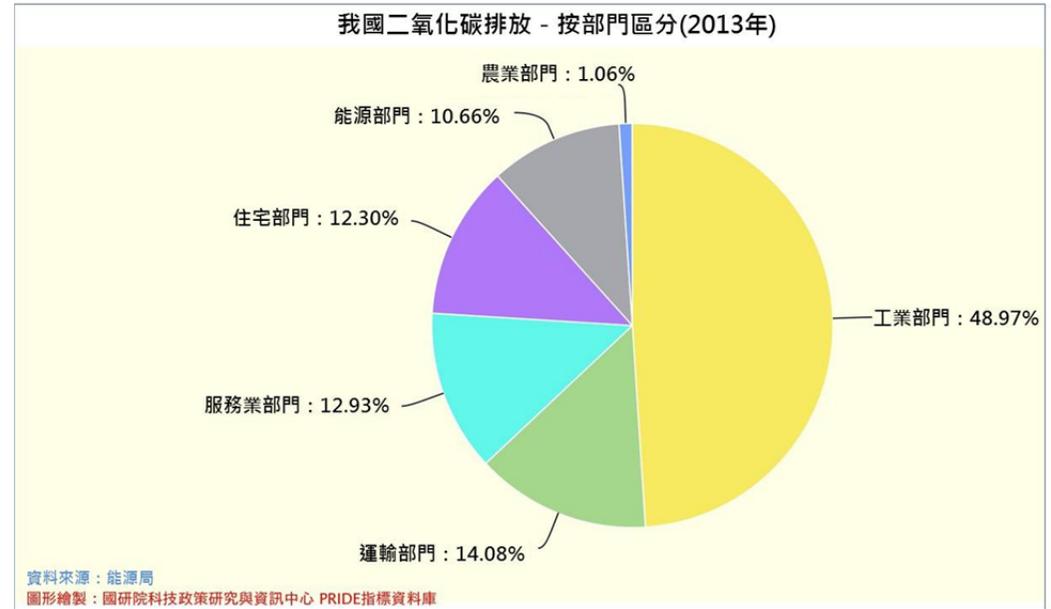
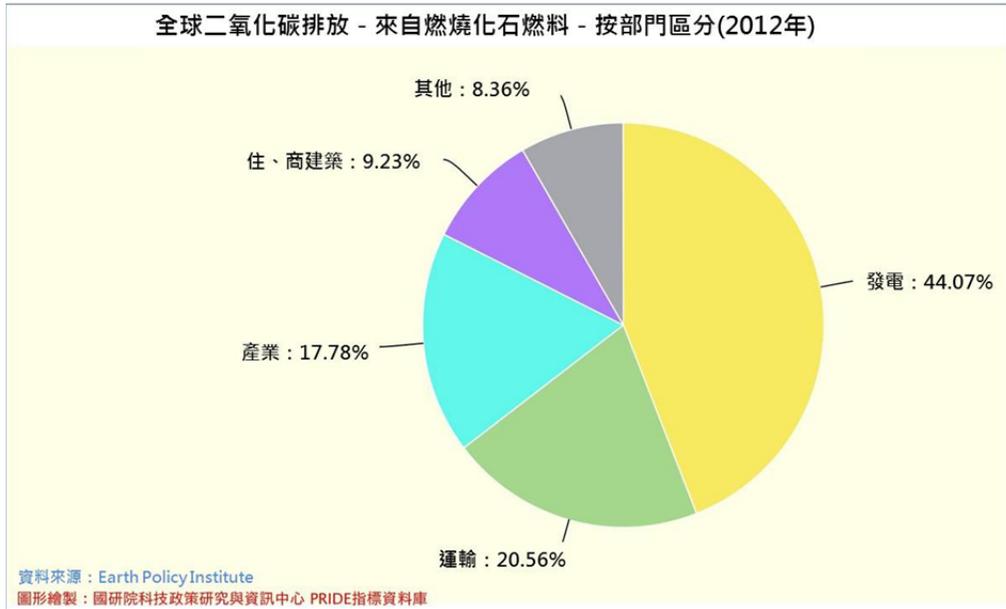
本分析報導試著以散點圖來了解大氣中二氧化碳濃度與全球年平均氣溫的相關性，由上圖可觀察到兩者是正向關係。整體而言，二氧化碳濃度升高，大氣溫度也跟著升高，所以要阻止地球持續暖化，應從減少二氧化碳排放著手，這也應驗了京都議定書對各國二氧化碳減量的要求。

是什麼造成大氣中二氧化碳濃度增加？



造成大氣中二氧化碳濃度增加的重要原因是化石燃料的使用。上圖顯示，1960-1967 年間化石燃料中以煤炭燃燒所排放的二氧化碳大於石油及天然氣，1968 年至 2004 年 37 年間又以石油的二氧化碳排放量最大，2005 年之後煤炭又回復為排放二氧化碳最大的化石燃料。不論是煤炭、石油或天然氣，造成的二氧化碳排放從 1960 年起都是呈現直線攀升的趨勢。

那一部門的二氧化碳排放最多？台灣的情形又如何？

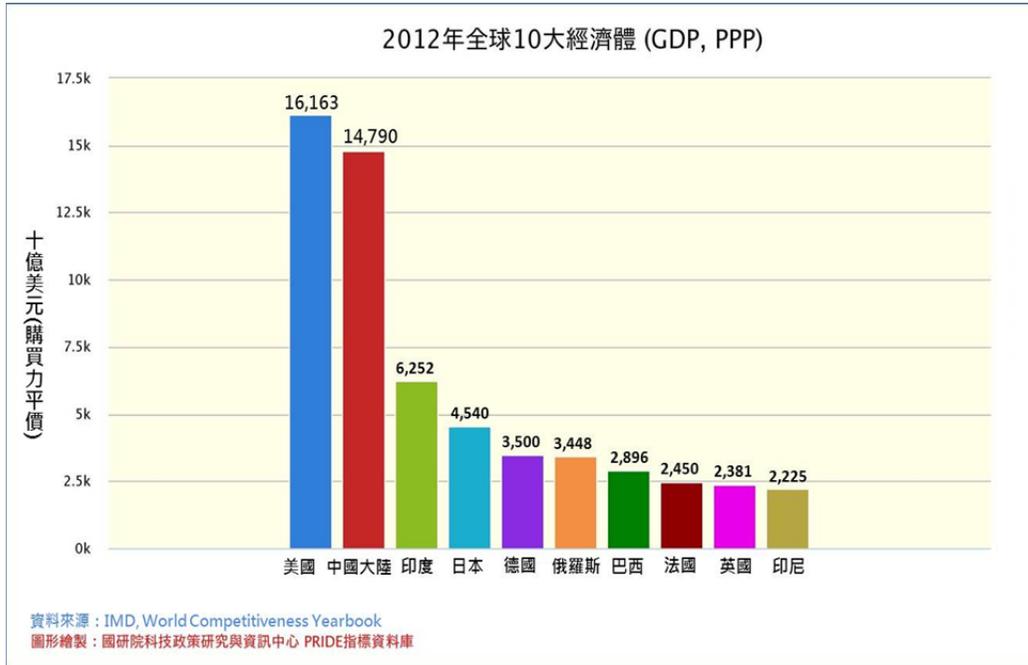


全球二氧化碳的排放主要來自化石燃料的燃燒，若依部門區分，有 44% 是來自發電，21% 來自交通運輸，18% 來自產業，9% 來自住宅或商業大樓，8% 來自其他的排放。

台灣二氧化碳排放近 49% 是來自工業部門，其次是運輸部門，占 14%，第三是服務業部門，占 13%，第四是住宅部門，占 12%，第五是能源部門占近 11%，農業部門最少，占 1%。

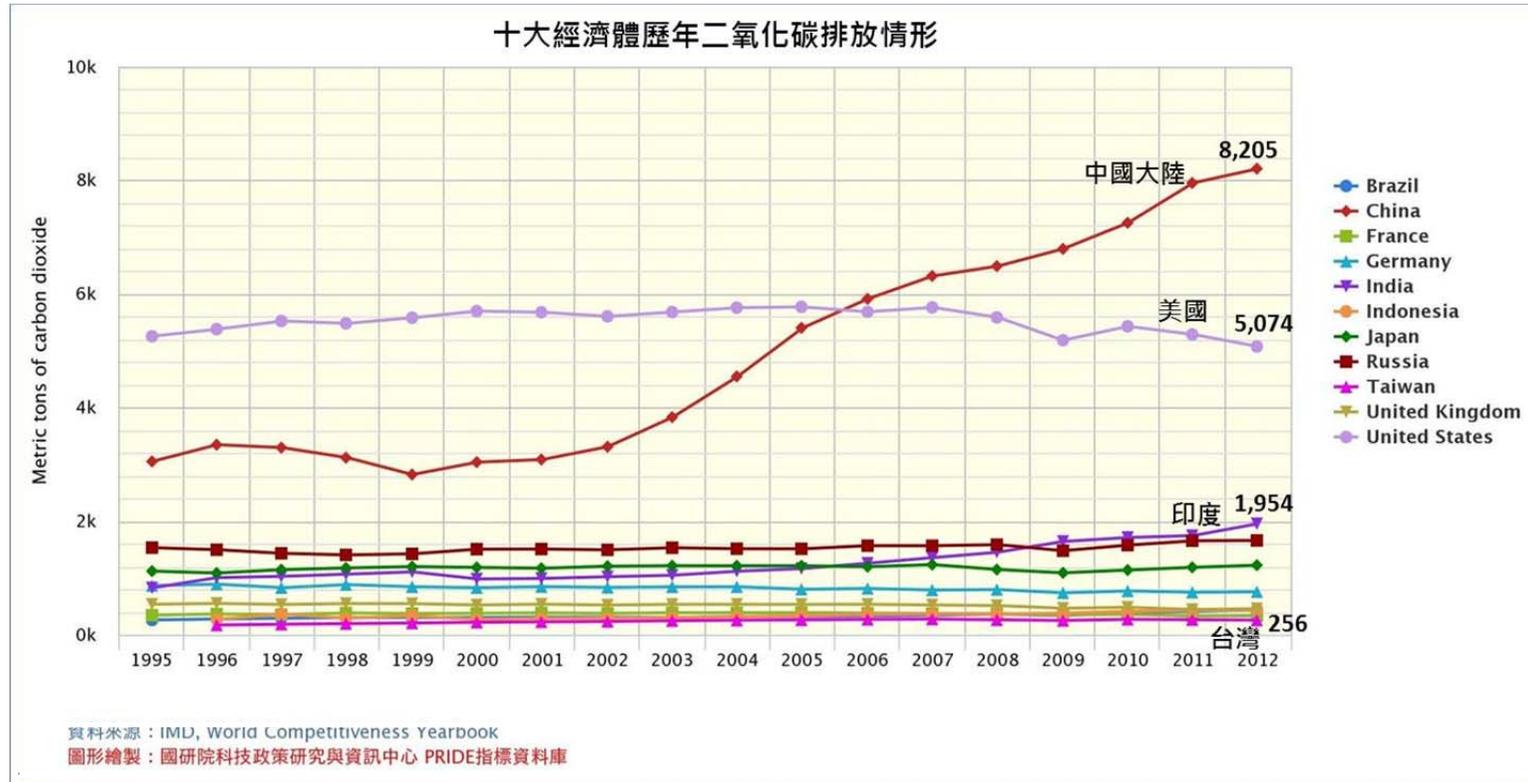
全球或台灣二氧化碳的排放與經濟活動、商業發展應有直接關係。

那些國家是二氧化碳排放嚴重的國家？



依各國 2012 年之國內生產毛額(購買力平價)排序，全球十大經濟體(圖左)依序為美國(16 兆 1 千億美元)、中國大陸(14 兆 7 千億美元)、印度、日本、德國、俄羅斯、巴西、法國、英國及印尼；另一方面，右圖顯示，全球二氧化碳排放量最大的國家依序是中國大陸(8,205 公噸)、美國(5,074 公噸)、印度、俄羅斯、日本、德國、韓國、加拿大、英國、巴西。比對全球十大經濟體與全球十大二氧化碳排放國可發現十大經濟體中就有 8 個是全球十大二氧化碳排放國。

十大經濟體歷年二氧化碳排放情形如何？



觀察十大經濟體從1995年至2012年二氧化碳的排放情形，美國一直以來都是二氧化碳最大排放國，但於2006年後中國大陸開始取代美國成為全球最大排放國。中國大陸二氧化碳排放從2003年的3,829公噸急速上升至2012年的8,205公噸，10年間增加了2.1倍，成為全球最嚴重的二氧化碳排放國，這與中國大陸1978年後的改革開放，促使經濟高度發展應有直接

關係。印度、俄羅斯、日本、巴西及印尼歷年二氧化碳的排放也是呈現上升的趨勢，歐洲的德國、英國及法國則呈現下降趨勢，美國近年雖也呈現下降趨勢，但其二氧化碳排放還是全球第二嚴重，2012年達5,287公噸。

相較於這十大經濟體，台灣二氧化碳排放雖相對的少，但也是年年增加，由1996年的170公噸，上升至2007年達274公噸，12年間增加了1.6倍，近年稍有下降，2012年為256公噸。

十大經濟體甲烷排放情形如何？



甲烷的GWP值為25(附件)，代表其吸收熱的能力是二氧化碳的25倍。甲烷的排放主要來自農業、水田、沼澤、家畜排泄、垃圾場及化石燃料。全球甲烷排放最嚴重的國家依序是：中國大陸、印度、俄羅斯、美國、巴西、印尼、巴基斯坦、澳洲、墨西哥及伊朗，十名中前6名屬十大經濟體的國家。

中國大陸的甲烷排放2010年為1,642,257千噸(kt)二氧化碳當量，是印度

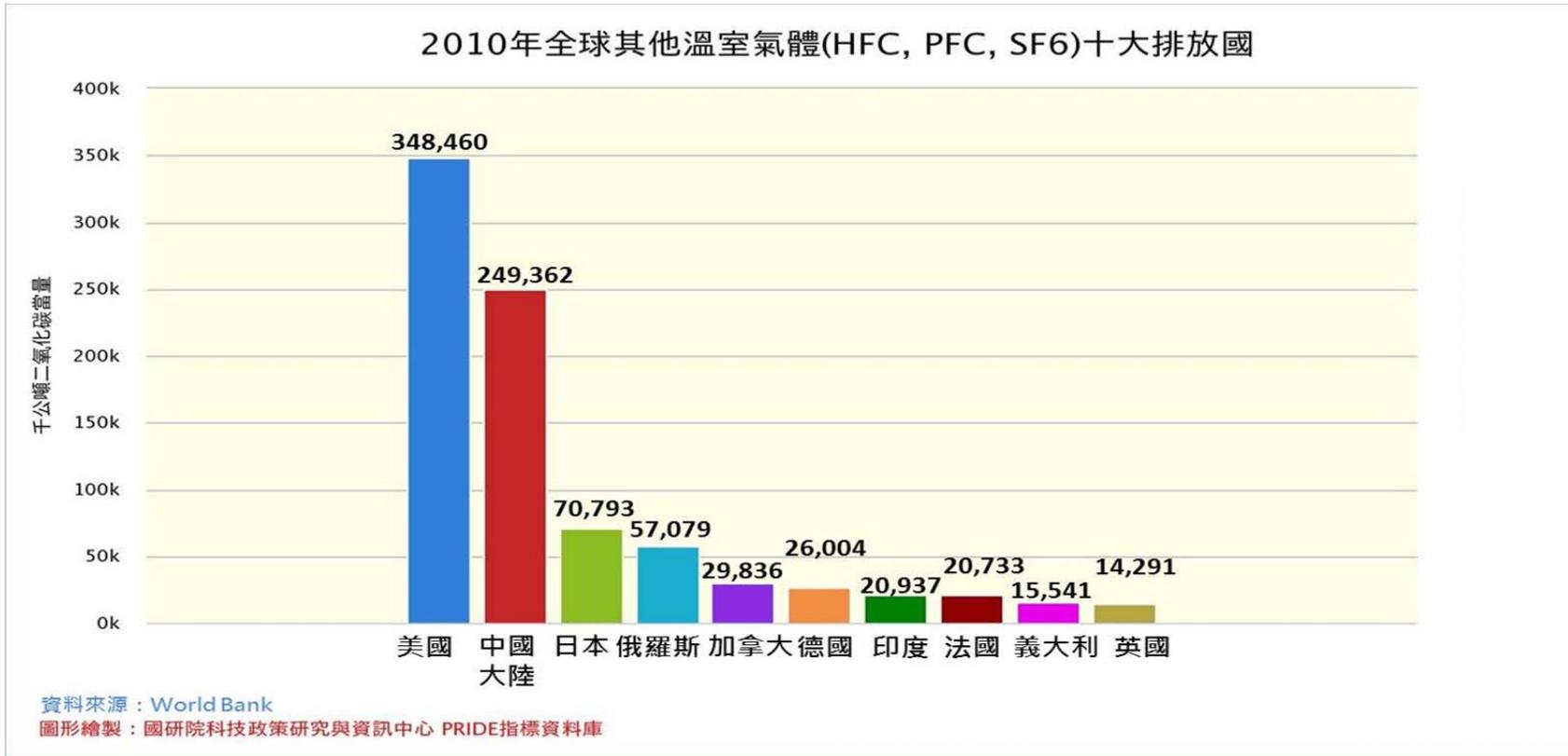
(2010年，621,479千噸(kt)二氧化碳當量)的2.6倍。十大經濟體中甲烷排放持續上升的有中國大陸、印度、巴西、印尼及法國，而德國、日本、俄羅斯、英國、美國自1990年後都有下降趨勢。

十大經濟體氧化亞氮排放情形如何？



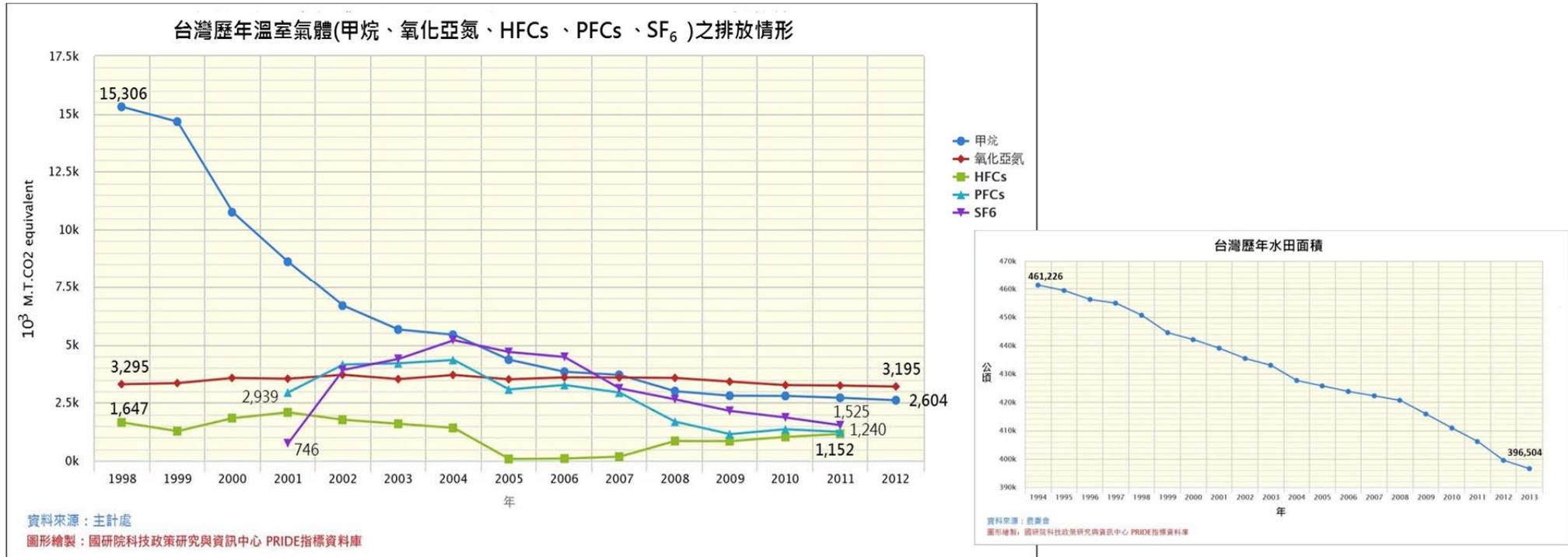
氧化亞氮的 GWP 值為 298(附件)，吸收熱的能力是二氧化碳的 298 倍。氧化亞氮的排放是來自農業生物質燃燒、氮化物肥料使用及工業活動。全球氧化亞氮排放最嚴重的國家依序是：中國大陸、美國、印度、巴西、印尼、蘇丹、剛果民主共和國、俄羅斯、阿根廷及澳洲，十名中就有 6 名屬十大經濟體的國家。十大經濟體中以中國大陸、印度、巴西歷年來呈上升趨勢，其餘經濟體呈下降趨勢。中國大陸氧化亞氮的排放也是“遙遙領先”其他國家，與第二名的美國相差 1.8 倍。

HFC、PFC、SF₆ 等其他溫室氣體那個國家排放最嚴重？



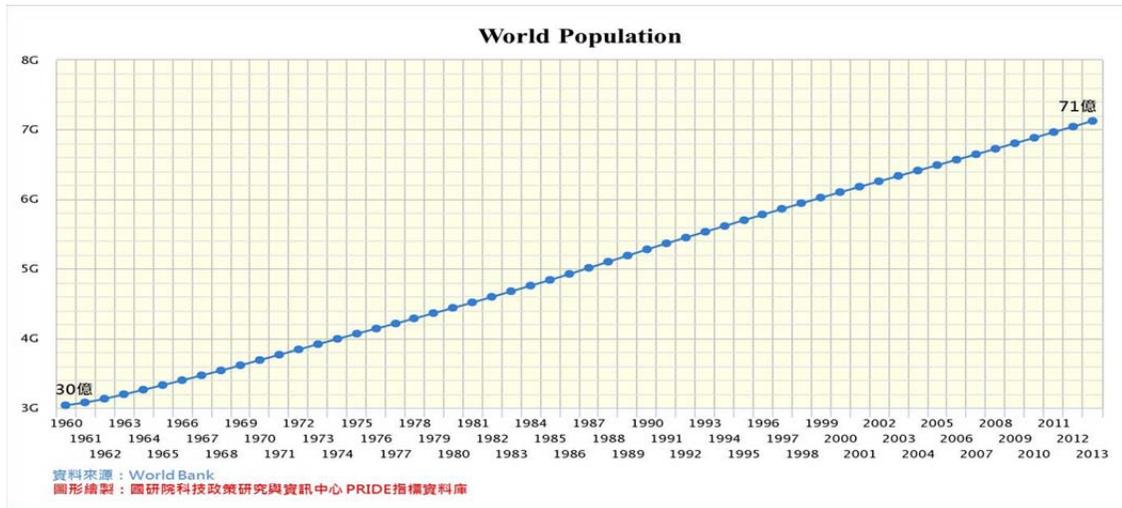
溫室氣體中以氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)與六氟化硫(SF₆)GWP 值最高，吸收熱的能力最強。HFC 多用於製冷設備和半導體的製造；PFC 亦用於半導體的製造，也是煉鋁及濃縮鈾的副產物；SF₆則用於電力設備中絕緣物的製造。上圖的十大排放國中就有 8 個國家是屬於十大經濟體，也以美國的排放最嚴重，2010 年達 348,460 千公噸二氧化碳當量，其次是中國大陸。

除了二氧化碳外，台灣的其他溫室氣體排放情形如何？



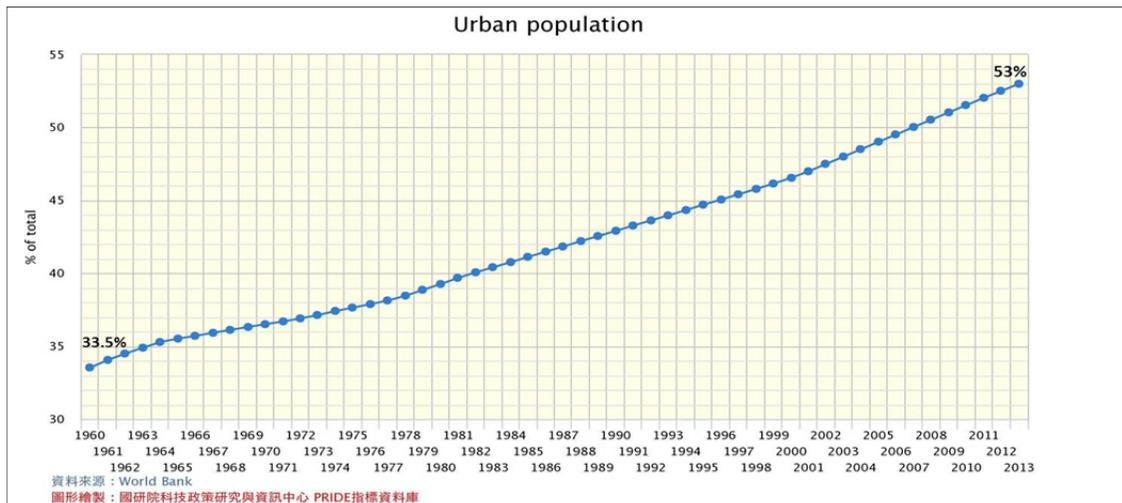
近幾年來除了二氧化碳外，台灣排放最多的溫室氣體依序是氧化亞氮(2012年 3,195 千公噸二氧化碳當量)、甲烷(2012年 2,604 千公噸二氧化碳當量)、SF₆(2011年 1,525 千公噸二氧化碳當量)、PFC(2011年 1,240 千公噸二氧化碳當量)、HFC(2011年 1,152 千公噸二氧化碳當量)。甲烷自 1998 年來排放量每年都明顯下降，從 1998 年的 15,306 千公噸二氧化碳當量急速下降至 2012 年的 2,604 千公噸二氧化碳當量，與水田面積減少的趨勢不謀而合。HFC、PFC 及 SF₆ 歷年漸趨下降，而氧化亞氮之排放則趨於平穩。

人口的增加與全球暖化有關嗎？

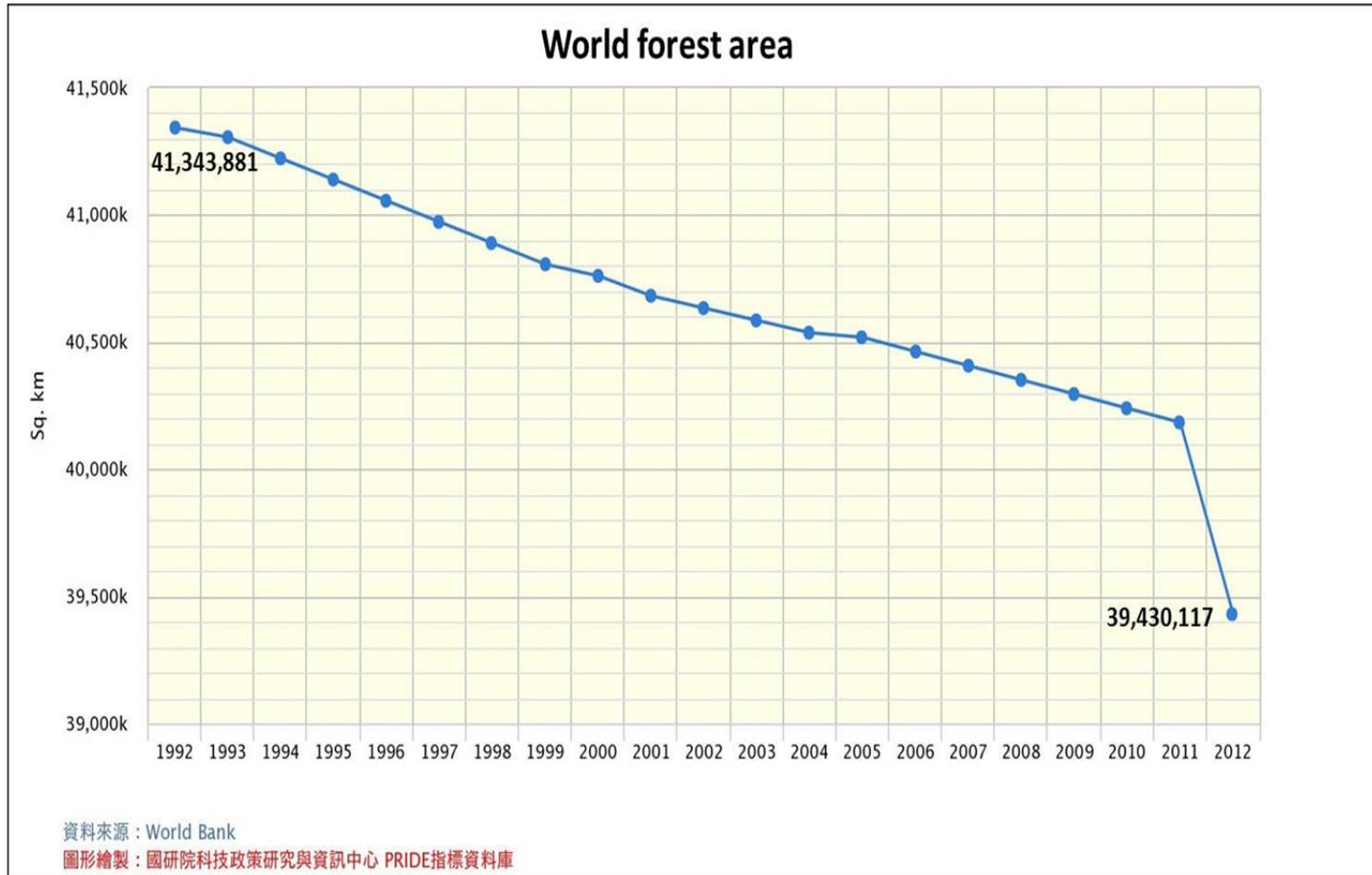


都市的氣溫通常比周邊地區來得高，原因來自於大樓及柏油路對陽光的蓄熱、大樓林立中空調設備和交通工具所排放的人工廢熱、空氣污染排出更多的二氧化碳等溫室氣體、屏風型建築減少風的流動、樹木減少等等所形成的熱島效應。故人口高度聚集的地區，其暖化現象相較於山區或低度使用區來得嚴重。

全球人口從 1960 年的 30 億，至 2013 年已邁入 71 億大關，50 幾年間人口增加了 2.4 倍；都市人口也從 1960 年的 33.5% 增加至 2013 年的 53%，換言之，全球有 37.6 億人口集中在都市裡。無論人口或都市人口的成長，近 50 年來都是節節上升。



近 20 年來森林面積的變化又如何？



樹木吸收空氣中二氧化碳進行光合作用，產生氧氣及碳水化合物，森林的砍伐一方面減少二氧化碳這種溫室氣體的被吸收，另一方面又因砍伐下來樹木的使用(燃燒等)過程增加二氧化碳的產生，所以破壞或不合理使用森林資源也是造成全球暖化的原因之一。

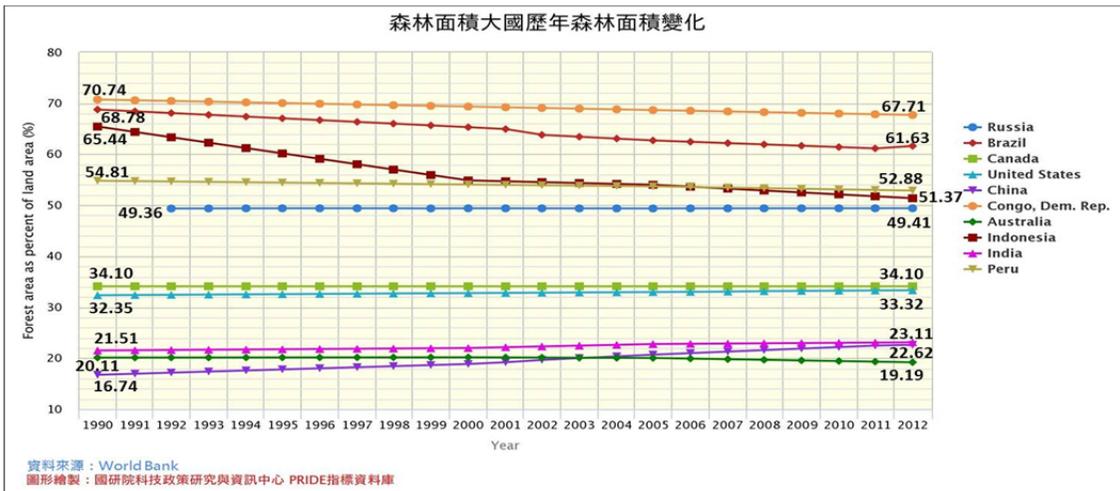
如圖所示，近 20 年來全球森林面積一年比一年少，從 1990 年全球森林面積 4 千 1 百多萬平方公里演變成 2012 年的 3 千 9 百多萬平方公里，20 年間面積減少了 4.6%。

誰是森林大國？他們有保護好自己的森林嗎？



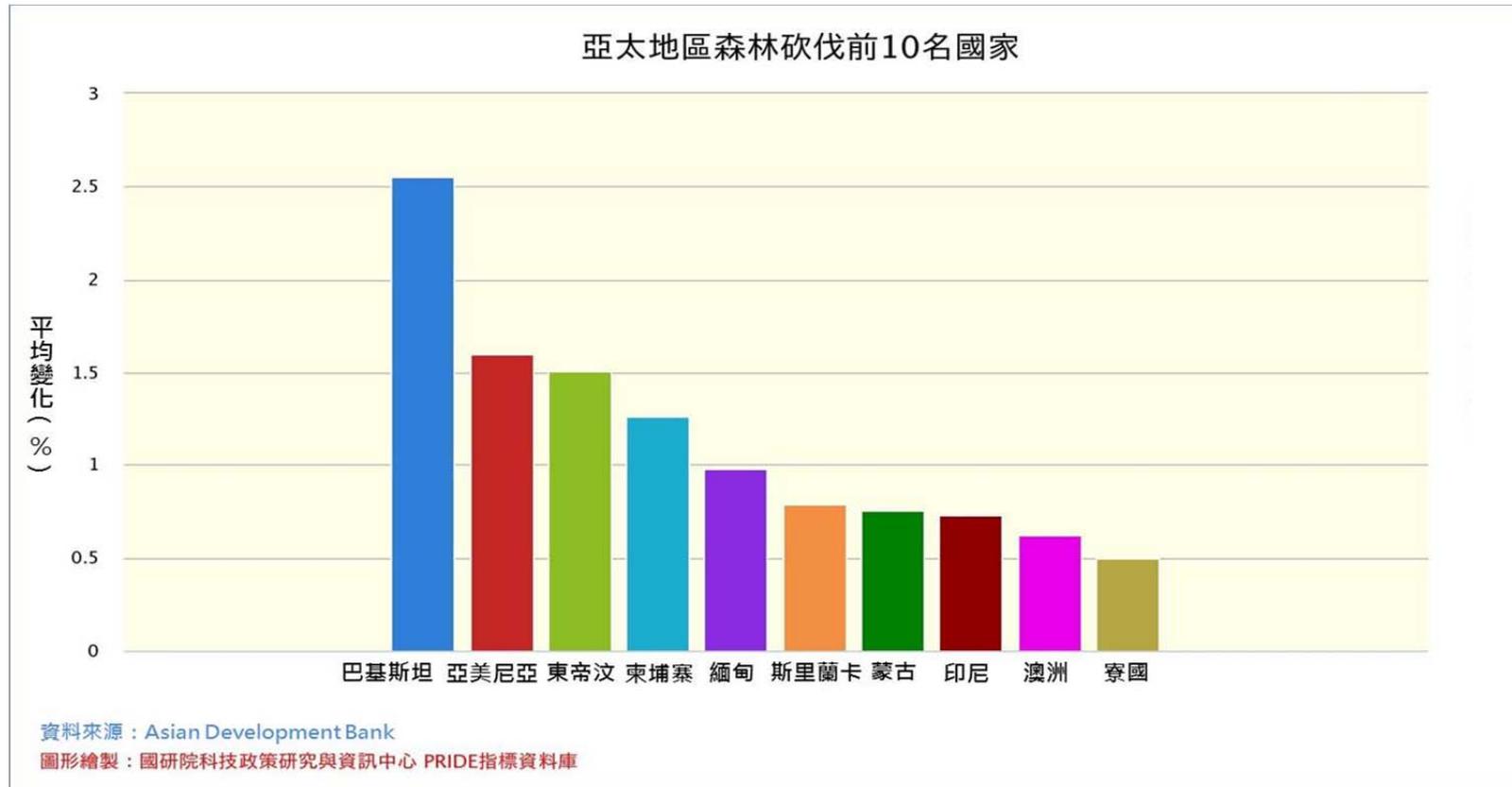
全球森林面積最大的國家依序為俄羅斯、巴西、加拿大、美國、中國大陸、剛果民主共和國、澳洲、印尼、印度、秘魯，俄羅斯的森林總面積為 8,092,100 平方公里，占全球土地面積的 6.24%。

觀察這些森林大國歷年森林面積的變化，其中森林面積呈現下降的國家依序為印尼、巴西、剛果民主共和國、秘魯及澳洲，以印尼的減少最嚴重，少了 14.07% 的森林，巴西少了 7.15%，剛果民主共和國少了 3.03%；而中國大陸、印度、美國的森林面積卻有增加，中國大陸增加最多，增加了 5.88%，印度增加了 1.6%，美國增加了 0.97%，而森林面積最大的俄羅斯也增加了 0.05%，加拿大這幾年則維持不變。



台灣的森林面積在 1971 年有 22,244 平方公里，至 1997 年降為 21,017 平方公里，占我國土地總面積的 59%，至今森林面積還是維持在 21,017 平方公里。森林可以涵養水源，在下雨時可吸收雨水至地層深處，成為地下水，再緩緩流出，免除洪患。森林又可調節氣候，吸收二氧化碳，減少溫室效應。深陷全球暖化危機的我們更要努力愛護我們的森林。

亞太地區森林的砍伐率如何？



在亞太地區森林砍伐率最高的國家依序為巴基斯坦、亞美尼亞、東帝汶、柬埔寨、緬甸、斯里蘭卡、蒙古、印尼、澳洲和寮國。所幸我國森林面積自 1997 年後維持不變。

參考文獻

主計處 (2014)。 *Statistical Yearbook of the Republic of China 2013*。上網日期：2015 年 6 月 18 日，取自：
<http://eng.dgbas.gov.tw/lp.asp?CtNode=2351&CtUnit=1072&BaseDSD=36&mp=2>。

台灣氣候變遷推估與資訊平台。 *臺灣過去分區/測站 100 年降雨變化*。上網日期：2015 年 6 月 16 日，取自：
<http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/NCDR/forms/AreaVariation.aspx?p=rain&period=0>。

交通部中央氣象局。 *全球平均溫度長期趨勢監測報告*。上網日期：2015 年 6 月 6 日，取自：
http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate_info/monitoring/monitoring_7.html。

交通部中央氣象局。 *全球暖化指標及監測數據*。上網日期：2015 年 6 月 6 日，取自：
http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate_info/backgrounds/backgrounds_3.html。

交通部中央氣象局。 *溫室氣體與氣候變化*。上網日期：2015 年 6 月 6 日，取自：
http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate_info/backgrounds/backgrounds_4.html。

交通部中央氣象局。 *全球暖化與氣候變遷*。上網日期：2015 年 6 月 6 日，取自：
http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate_info/backgrounds/backgrounds_2.html。

行政院經濟建設委員會 (2012)。 *國家氣候變遷調適政策綱領*。上網日期：2015 年 6 月 8 日，取自：
<http://www.ndc.gov.tw/m1.aspx?sNo=0017124#.VY5P4Buqqko>。

林昀靜、盧孟明 (2010)。 *近五十年極端降雨之分析*。台北災害管理研討會論文集，第 3-4 頁。

政府間氣候變化專門委員會 (2007)。氣候變化 2007：綜合報告。上網日期：2015 年 6 月 8 日，取自：
https://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CC8QFjAD&url=https%3A%2F%2Fwww.ipcc.ch%2Fpdf%2Fassessment-report%2Far4%2Fsyr%2Far4_syr_cn.pdf&ei=-FCOVdXcIsOC8gX2tb3gCA&usg=AFQjCNFwyswRJ3fyKwkMNI33COX_7c8hsA。

黃啟峰(2007)。二氧化碳與地球暖化。科學發展 413 期：6-12。

全球暖化潛勢。上網日期：2015 年 6 月 12 日，取自：
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%A8%E7%90%83%E6%9A%96%E5%8C%96%E6%BD%9B%E5%8B%A2>。

林業背景資料。上網日期：2015 年 6 月 12 日，取自：
<http://ecaaser3.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/lab551/%E6%9E%97%E8%8B%97/%E6%9E%97%E6%A5%AD%E8%83%8C%E6%99%AF%E8%B3%87%E6%96%99.htm>

氣候變遷水環境知識庫。上網日期：2015 年 6 月 5 日，網址：<http://demosite.sinotech-eng.com/CCKMV2/Default.aspx>。

熱島效應。上網日期：2015 年 6 月 12 日，取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%86%B1%E5%B3%B6%E6%95%88%E6%87%89>。

Earth Policy Institute。上網日期：2015 年 6 月 11 日，網址：<http://www.earth-policy.org/>。

Intergovernmental Panel on Climate Change。上網日期：2015 年 6 月 6 日，網址：<http://www.ipcc.ch/>。

National Oceanic and Atmospheric Administration。上網日期：2015 年 6 月 8 日，網址：<http://www.noaa.gov/>。

附件

全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)是衡量溫室氣體對全球暖化的影響,是特定氣體和相同質量二氧化碳比較下造成全球暖化的相對能力,二氧化碳的全球暖化潛勢定義為1,一般而言,其評估時間以100年為準。簡言之, GWP 就是指溫室氣體吸住大氣中熱氣的能力。這其中以氫氟碳化物(HFCs)與全氟碳化物(PFCs)的能力最強,其次是氧化亞氮,甲烷第三。在空氣中很快就分解的氣體可能在評估期間初期對潛勢有很大的影響,但在評估期間的中後期,因部份氣體已被分解,對潛勢的影響就會大為降低。不是所有溫室氣體的全體暖化潛勢會因評估期間加長而變小,如六氟化硫20年的全球暖化潛勢為16,300,但100年的全球暖化潛勢卻為22,800。

溫室氣體	全球暖化潛勢的評估時間		
	20年	100年	500年
二氧化碳	1	1	1
甲烷	72	25	7.6
氧化亞氮	289	298	153
HFC-23	12,000	14,800	12,200
HFC-134a	3,830	1,430	435
全氟三丁胺(PFTBA)		7,100	
六氟化硫	16,300	22,800	32,600

資料來源：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%A8%E7%90%83%E6%9A%96%E5%8C%96%E6%BD%9B%E5%8B%A2>