

地球環境的人為變化 ——地球溫暖化

◎廖大牛

1. 澎湖氣溫百年來昇高 0.6-0.7 度

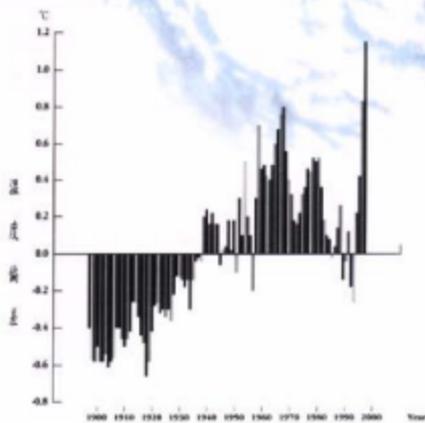


圖 1 澎湖歷年年平均溫度對 102 年總平均溫度之偏差

澎湖馬公測候站自 1897 年以來有 102 年的記錄，圖 1 先就各年度的年平均溫度以 5 項平均濾式抑制高頻率雜訊，顯示低頻率訊息 (low frequency signal)，以其與 102 年的總平均之偏差，圖示其氣溫偏差。很明顯的現象為

1937 年以前為負偏差，表示 1937 年以前的年平均氣溫較總平均溫度低，往後年度則絕大多數屬正偏差。然再就原始觀測資料，就兩端年度的 10 至 20 年間的年平均溫度的平均值比較，可認為澎湖在 100 年間氣溫昇高 0.6-0.7 °C，如表 1。四周環海、無工業污染、人口也不稠密的澎湖，大氣溫度理應很穩定，不該有太大的變化，怎麼會昇高攝氏 0.6 度呢？

根據 IPCC(Intergovernment Panel on Climate Change :聯合國在 UNEP 及 WMO 共管下，於 1988 年所設機構)的第二次評估報告，地球的平均氣溫自 19 世紀以來的 100 年間昇高 0.3-0.8°C，而近 50 年來因化石燃料(煤炭、石油)消費所帶來的二氧化碳 (CO₂) 排出量增加 4 倍，大氣中的 CO₂ 濃度以每年 1.5PPMV 增加，致今後的氣溫上昇會加速，使地球更溫暖化。預測今後 100 年氣溫上昇為 1 - 3.5°C，至 2100 年海水位的上昇幅度為 15-95CM。

能正確測定大氣中 CO₂ 含量為最近的事。1958 年為國際地球觀測年，自此開始美

表1 澎湖100年間平均溫度比較

項 別	10年平均氣溫	15年平均氣溫	20年平均氣溫
1897年起開始	22.5°C	22.5°C	22.6°C
1998年止最近	23.2°C	23.1°C	23.2°C
平均溫度相差	0.7°C	0.6°C	0.6°C

國 NASA 在 Hawaii 海拔 3400m 的 Mauna Loa 觀測站(海洋中高海拔不受局部變動的影響)測定, 其報告指出 1970 年代的年平均增加為 0.8ppm, 80 年代為 1.8ppm (parts per million volume)。

CO₂ 透過由太陽輻射來的熱(可視線等短波長電磁波), 並吸收紅外線等長電磁波(太陽及地表發射的熱), 在大氣中對流產生溫室效應 (green house effect), 提升氣溫。原本此種現象(包括水蒸氣吸收熱紅外線)使原應為寒冷的地球表(倘地球能全部反射太陽給地球的熱能 235w/m² 回太空時, 平均溫度為 -19°C), 維持在 15°C 適合生物生存的平均氣溫。由此可知 CO₂ 的重要性。

2. 北京人以來人類開始人為的污染大氣

46 億年前(1969 年 Apollo 計畫的月面試料推定)由太陽系原始星雲誕生地球以來, 原始海中的化學進化過程, 由具備反應性的原始物質(如 formaldehyde (甲醛)、青酸、Cyanoacetylen、Carbon-suboxide 等)產生低分子化合物(氨基酸(amino acid)、核酸鹼基、糖、脂肪酸等), 再結合成高分子化合物(蛋白質、核酸、多糖、脂肪等)。此等高分子化合物互相作用, 36 億年前構成有組織, 具觸媒功能及複製能力的 RNA 原核細胞(如某些 Virus)及原始生命。35 億年前進化的分裂藻類(如原始藍藻)的光合成植物, 由

CO₂ 及 H₂O 製造碳水化合物(CH₂O)蓄積氧氣(O₂), 珊瑚等海中生物亦參加清除 CO₂ 作業, 形成石灰岩(CaCO₃)析出 O₂。致 O₂ 也在大氣中開始增加(25 億年前), 在漫長的時間中累積氧氣到 13 億年前出現 DNA 真核細胞的單細胞生物(細胞內的 DNA 有膜構成細胞核, 需要 O₂ 呼吸), 時為地質史的原生代 (Proterozoic)。

降至 6 億年前 Cambrian 紀開始有多細胞生物, 在 4 億 2,000 萬年前所有生物全為海棲的。當時的大氣 CO₂ 太多, 海棲植物未能固定足夠的碳以析出 O₂, 未形成臭氧層前陸上尚不適合生物的棲息。Ordovician 紀(5 億至 4 億 3,000 萬年前)末前乘 Caledonian 造山運動, 陸上植物(如 Psilophyton)開始出現, 大氣中的 O₂ 量亦已達 Pasteur 界點(pasteur point), 取名法國微生物學者之名; 氧氣佔大氣壓 5% 後 O₃ 吸收紫外線, 好氧性生物發生)臭氧層(ozone layer)也形成(4 億年前)。由魚類進化的兩棲類肺魚也登陸成功(3 億 5,000 萬年前)。然在石炭(Carboniferous)紀的高溫有充分 CO₂ 狀態下, 巨型木質羊齒植物(如鱗木 Protolipidodendron)成大森林。3 億年前動物也進化出現爬蟲類(Triassic 紀), 恐龍出現(Jurassic 紀), 經全盛後終於 6,000 萬年前全滅。

Cretaceous 紀開始出現的有袋類哺乳動物

(mammals)迎接新生代(cenozoic)成哺乳類的全盛時期。原始哺乳動物要進化到靈長類(Primates)人科動物(Hominidae)傳到早期的人類Australopithecus(南方的猿)則已經在450萬至400萬年前的鮮新世(300萬至700萬年前)在非洲東南方出現。進化為猿人(homo habilis, 250~160萬年前)在Kenya的Turkana湖附近進化成原人(homo erectus 180萬~20萬年前)後向世界各洲擴散分化,化石上有Java人(170~100萬年前)、藍田人(100萬~70萬年前)、北京人(46萬年前)、Heidelbergensis(80萬~1萬年前)。由原人分化為Negroids(留在非洲)Mongoloids(向亞洲東部及美洲發展)及Caucasoides(在西亞、歐洲進展)的舊人(Homo sapiens archaisis, 20萬~3萬5000年前),如化石上的Cromagnon人、Neanderthalensis人。到更新世(Pleistocene)末Wurm冰期退後,出現新石器文化新人(Homo sapiens sapiens, 5萬年前),記住,在進化過程中,地球經驗到物種進化快時,絕滅亦加速,繁榮之後必然帶來絕滅的法則。

從舊石器文化的原人(50萬年前,如北京人)學會使用火,用於取暖烹煮食物排放CO₂起,人類就污染大氣。新石器文化後開始農業(8,000BC)就得燒墾森林;青銅文化(3,000BC)鐵器文化(1,000BC)更需要木炭來提煉金屬。因此,固定碳於幹枝內的森林開始減少,燃燒產生CO₂則日益增加,鍊鐵爐需要大量木炭,古代文明國家(如古希臘,古羅馬帝國,中國,為征服、戰爭)森林嚴重減少,近代英國為製造大量砲需要火力強的熱風爐,生產良質鐵,產量提高20倍,但生產一噸鐵需48層積材(STACKED CORD)的新炭材(113m³去

皮材積)。1740年Abraham DarbyII繼承其父一世的觀念,利用煉炭提鍊良質鐵前,英國的森林已被破壞所存無幾,如表2:

表2 古文明國家及英國的森林面積率

國家別	森林面積比例
希臘	19%
意大利	22%
中國	14%
英國	9%

資料來源:FAO Forest Resource Assessment 1990

然大自然尚能自行療傷回復林木覆蓋重回元氣,就全球言保護動物的能力未受損。1760年產業革命後,技術革新、經濟發展耗用巨大能源,大規模利用化石燃料(煤炭,石油),人類的能源依賴,原為可逆性反應的CO₂排出與吸收,轉變為非可逆性反應,僅有增加CO₂一途的化石能源,排放巨量的CO₂(220億噸)。純在6,000萬年前大氣與生態系間(稱氣候系)的碳循環平衡到此為止被人類破壞。CO₂的含量在1,000年來一直維持在280ppm的狀態,短短的200年間增加28%,現在大氣中的CO₂為360PPM,且每年以1.5PPM的速度增加中,1.5PPM的增加意味著,大氣中年間有33億噸的碳以CO₂的形態增加,以3.3GTC表示(3.3giga tons carbon, C與CO₂的換算為CO₂/C=44/12=3.7)。此人為所增加的溫室效應氣體(GREEN HOUSE GAS,簡稱GHG_s)將不斷的、加速的繼續作怪。

3. 什麼是溫室效應氣體

依「有關氣候變動的聯合國體制協議」之定義,溫室效應氣體係指構成大氣的氣體(不

質是天然的或人為排出者)吸收紅外線及再發射者。氣候變動謂起因於人類活動直接或間接原因致改變地球大氣組成,在能比較的期間內觀測到對氣候自然變化產生追加性變化者。符合此定義的氣體有CO₂、CH₄、N₂O、HFC_s、PFC_s、SF₆、CFC_s、HCFC_s、水蒸氣等50種具有溫室效應。然當前問題最大者CO₂。

氣體水吸收熱紅外線,溫室效應也很大。唯水在大氣中的含量與氣溫有密切的關係。空氣中的飽和水氣(SATURATION VAPOR)隨氣

溫昇高而增加,但大氣濕度較此量低。上昇氣流隨溫度降低析出超出的水分,降下為雨、雪。氣候系(指氣圈、水圈、生物圈及岩石圈全體及其間的相互作用)中的水循環佔極重要的任務,調節氣溫,重新分配生態系中的水分。然CO₂的大氣中濃度有增無減,招來不良後果。因當前的溫室效應以CO₂一項佔64%,如表3及4。近代化學工程製造上10萬種物質,需大量能源,所排放的溫室效應氣體之壽命甚長,所製造物質使用廢棄後,亦產生溫室效應,後果更嚴重。

表3 人為排出的主要溫室效應氣體 (IPCC京都議定書規定)

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Flone 類		
				CFC-11	CFC-22	CF ₄
產業革命前後	280ppm ^{*2}	770ppm ^{*3}	275ppb	0	0	0
1994年	358ppm	1,720ppb	312ppb	268ppb ^{*3}	110ppt	72ppt
100年的地球 溫暖化指數 ^{*1}	1	21	310	3,800	1,500	6,500
年增加率	(1.5ppm)0.4%	1%	0.2-0.3%	5%		

*1: 以分子種類及其壽命換算為與CO₂同一標準在100年間的指數。

Global warming potential

*2: parts per million 百分之一

*3: parts per billion 10億分之一

*4: parts per million 1兆分之一

資料來源: 日本1996年環境白書

宇澤弘文, 地球溫暖化考察之文, 1995。 } 調製而成

表4 主要 GHGs 對地球溫暖化影響度

GHGs	CO ₂	CH ₄	CFC, HCFC	N ₂ O	其他	合計
百分比	63.7%	19.2%	10.2%	5.7%	1.2%	100%

資料來源: IPCC第二次評估報告, 1995

現代科技短短 200 年間就將過去 6,000 萬年間保持平衡的氣候系碳循環加以破壞，增加 28% 的 CO₂。目前等於每年排出 62 億噸的碳到大氣中，如表 5，是因人類活動為：

- ① 大量使用固定在地層中的煤炭、天然瓦斯、石油等化石燃料；
- ② 塑膠等石油基礎物料的燃燒；

③ 水泥製造過程將石灰石(CaCO₃)中的碳大量析放；

④ 砍伐森林，林地轉用於糧食生產及都市建築、基層建設，致木材中的碳化為 CO₂；

⑤ 化學工程製成化學上很穩定的物質，停留在大氣中的壽命加長，甚至破壞臭氧層。

表 5 1994 年世界二氧化碳排放量為 62 億噸碳

國家或地區	美國	中國	俄國	日本	印度	德國	非洲	南美洲	英國	加拿大	意大利	大洋洲	其他	總量 ¹⁾
所佔比率%	22.4	13.4	7.1	4.9	3.7	3.5	3.4	3.1	2.4	2.0	1.7	1.4	30.9	6.2GTC ²⁾
每人排放量 ³⁾	5.8	0.7	3.9	2.4	0.2	2.7	2.1		3.0	5.1	2.0			

*1: CO₂換算為C的指數為(CO₂/C=44/12=3.7)。

*2: 每人2.1 ton c 為南非之排放量

*3: GTC為giga tons carbon

資料來源：美國Oak Ridge National Laboratory

4. 地球溫暖人的後果

地球溫暖化持續進行時，對人類帶來十麼後果，IPCC 第二次評估報告中提出下列問題：

① 氣象的異常變化增烈：

- * 酷暑熱浪
- * 暴雨洪水
- * 強烈暴風
- * 乾旱水資源不足

—帶來傷害、死亡、傳染病。

② 擾亂生態系：

- * 擾亂棲息環境，影響病原體生息及活動範圍，人類疾病地理區域變化。
- * 氣候變化引起病蟲害發生模式之改變，影響糧食生產，發生區域性營養失調、飢餓、生長障害。
- * 水、糧食媒介的傳染性媒體之生態變化。

③ 冰山、冰河融化帶來海湖面上昇，致產生環境難民，影響社會、經濟的穩定。

④ 花粉、孢子等的大氣污染惡化，過敏、氣喘等呼吸器官障害。

⑤ 森林發生樹種組成變化，森林限界往高緯度及高標高推移，部分林型消失。

根據 Princeton 大學真鍋淑郎教授的模型研究，當大氣的 CO₂ 增加 2 倍時(IPCC 認為 2000 年代中期)地表至對流圈的氣溫上昇 2.6°C，成層圈的氣溫則相反下降，高至 40km 的高空會降 10°C，地球溫暖化使冰河及極地的冰山融化、海水體積膨大，帶來海面上昇。IPCC 報告認為如

此繼續下去，在2100年，地球平均溫度會較現在高出 1°C 至 3.5°C ，海面上升15至95cm，如果早來的話，在40或50年後就會升高1m。地球海面每年平均昇高2至3mm，珊瑚礁國家(有24個此種mini國家，最高標高在2-5m)會消失在海洋中，組成 AOSIS (Alliance of Small Island States, 小島嶼國聯合, 42國)為防止地球溫暖化採取共同步調，Borneo 島南部的三角洲較30年前，海水侵入內陸15km處，確實每年上升1.2mm。美國 EPA 預測至2100年，氣溫會上升5至 10°C ；應注意是，最後的 Würm 冰期至今的一萬年間，氣溫上升亦不過是 5°C 而已。如果要緩和此現象，全世界要減少50-75%的 CO_2 排放量，則可抑制60%的溫暖化現象，氣溫上升控制到 $0.6-1.4^{\circ}\text{C}$ 左右。

地球溫暖化使降雨模式產生變化，降水量多的區域越多，乾燥地方越乾旱；颶（颶）風頻繁致洪水排放不良，淹水頻度增加，河口低地災區擴大，被害人口劇增。現在居住在高潮被害地區的人口約有4,000萬人，海面上升50cm時，預期會增至9,200萬人，倘若1m時，膨脹至1億1,800萬人。災區媒介傳染病的病原體繁殖活潑，病疫區擴大，孟加拉的 Ganges, Brahmaputra, Meghna 三大河合流的河口低濕地，每年8月下旬會有洪水，1988年的洪水使國土的67%被水淹沒，4,000萬人無家可歸，犧牲2,000人以上寶貴生命。因其上游 maghalaya 高原（屬印度領土）為年雨量11,000mm的豪雨區，1988年降了25,000mm的新記錄雨量，然1991年的災害更加大死亡人口，同年7月 Burma 發生本世紀最大的洪水災害；5月至7月中國大陸降年雨量4倍的雨水；8月 Mekong 河大氾濫；11月 Philippines

大颶風死亡人口4,000人。

1988年世界性的異常氣象，歐亞大陸發生大暖冬，相對在北美洲則為大寒冬；到夏天日本的長雨帶來低溫；6月23日全美的熱浪導致15,000人的死亡；北極圈的俄國7月間發生史上的最高溫（ 34°C ）致大量的野生動物及家畜死亡；非洲洪水被害者200萬人後伴隨著飢荒。NASA 的 Hansen 博士在參議院對異常氣象的公聽會上作證說「熱浪的來襲可能是溫室效應所致，1960年以來氣溫上升 0.3°C ，再20年會昇高 1°C 左右。若在10年內完全停止污染物質的排放，溫度也會繼續上升，多數模型的模擬表示，溫暖化會以熱浪、寒波、長雨、豪雨等混亂氣象型態出現，而不是均等的出現在全球各地」，1989年氣象觀測史上更新世界平均溫度的新記錄高溫，尤其進入80年代以來，過去130年中最熱的7個高峰均在80年代出現。1990年日本的氣溫為1880年開始觀測以來的最高溫，夏天各地的家畜大量死亡；11月美國中西部的低溫使柑橘類欠收。IPCC認為此仍僅是21世紀可能發生的地球溫暖化異常氣象的前兆。

頻繁的異常氣象可影響糧食生產。世界穀物生產到1980年代有驚人的增加，50至80年代增加2.6倍，每人的消費量增加5倍，但由於過度利用土壤及抽取地下水灌溉的後果已出現，往後的糧食增產是有限的。糧食生產就全球言，可維持目前水準，因 CO_2 增加，植物能充分發揮光合作用，使高緯度地域的農業生產上升，但熱帶亞熱帶地域則因洪水、乾旱可能減產，尤其低海拔的河口肥沃地區的減產顯著。IPCC對「氣候變動之地域影響」特別報告（全球分10個區域）指出，在溫帶亞洲，許

多河川減少流量，山岳冰河積在 2050 年減少 25%，至 2100 年冰河的流出量為現在的 2/3，溫暖化更助長水資源短缺問題。溫暖化後兩極地的棚冰崩下，可能影響海流如太平洋的黑潮及墨西哥灣流，魚貝類在溫差很小的海水中生存，微小的水溫變化影響其生存。近 30 年間的世界漁獲量以 1989 年為高峰，年年減少；世界 17 處主要漁場中 13 處的漁業資源顯然減少中；世界上有 8 億以上人口極度營養失調，所依賴的蛋白質為魚類。FAO 推測到 2000 年會有 532 百萬人口在飢餓線上徘徊。

至於森林，IPCC 認為 CO_2 如增加到 2 倍時（280ppm 至 550ppm），因氣溫及降水的變化，世界上 1/3（因地域差異在 1/7 至 2/3 之間）的森林中，樹種結構會改變其機能產生變化。尤其在高緯度地區的變化較大，低緯度地區較少。倘今後 100 年的氣溫上升 1-3.5°C 時，中緯度的等溫線向高緯度推進 150 至 550Km；垂直方向則向高處昇高 150 至 550m。因此，植生要跟溫度推移生態系，但植物推移速度為 100 年僅 4 至 200Km。跟不上氣溫的變化，致一部分林型消滅，轉為新林型。森林的一次生產性增加，然土壤溫度亦上升使用機質分解加速， CO_2 及 CH_4 排出增加，病蟲害發生機會增加。氣溫上昇帶來蒸發散量增加，北非及中東草叢地帶的沙漠擴大亦是一可能的現象。UNEP 認為全球每年有 600 萬公頃的土地化為沙漠，850 百萬人口在沙漠化邊緣的土地上生活。非洲 Sahel 地帶（阿拉伯語為境界或岸之意）為 Sahara 的沙漠與赤道非洲森林的緯度地帶的 Steppe 至 Savanna 植生，在過去 30 年間的乾旱使 Sahara 沙漠向南侵入 Sahel 地帶（在 Mauritani 及 Senegal 至 Chad 一帶年雨量 100mm

至 500mm）深入 200Km。

近年電視氣象報告中增加紫外線指數的資訊，因紫外線(UV)會引起白內障及皮膚癌等病症。地表上空 11Km 至 48Km 成層圈的大氣含有 10ppm 左右的臭氧(O_3)，吸收有害於生物的紫外線太陽能高達 99%，僅容許 1% 的 UV 達地面。此 O_3 保護層自地球誕生後有植物性 Plankton、藻類以來，至今天的漫長時間中所有海洋及陸上植物努力淨化 CO_2 產生 O_2 的成果，其中部分 O_2 受 UV 的作用轉變為 O_3 ，以保護陸棲生物，否則生物僅能在海洋中生存。1985 年美國氣象衛星 Nimbus 7 號的遙測機發現南極上空 9 至 10 月春天的 O_3 濃度局部有稀薄的狀態，稱之 Ozone hole，引起科學界的注意。經追查衛星影像證實自 1981 年就有顯著的此種跡象。加州大學的科學家在南極的 Mc Murdo 基地檢出 Ozone hole 的氯氣較正常值 (0.6ppb) 高出 20 至 50 倍，根固了 1974 年為美國科學家所警告的 f1one，破壞臭氧層理論。

南極的太陽光入射角很低，輻射能要通過很長的大氣途徑達其上空，加以半年為夜晚的現象下，紫外線輻射量很低微。熱帶地區一天的紫外線量等於南極的 2 年分輻射。是故，該地的生物對 UV 很敏感，受不了過度的照射，尤其波長在 2800Å 至 3200Å 的 UV 光損傷 DNA。現在在南極的 UV 入射量已達原來的兆倍之多，其對海洋生物的影響如何，科學家尚無知。但由實驗得知，將大腸菌裝在特製的袋中，九月放在南極海中時， O_3 層破壞嚴重日在深至 30m 亦能殺死之。然由食物鏈可推論，UV 影響海洋植物 Plankton 的繁殖，帶來對動物 Plankton 不利環境，減少魚類族群量，

帶來鳥類、哺乳動物的生存危機，致海洋生態系的不平衡。

Flone 於 1931 年開始生產（年產 3,000 噸）至 1986 年高達 114 萬噸，起初的一種到現在已有十數種，另外 Halon 及四氯化碳亦為臭氣層破壞物質。Flone 類經使用被棄，離開人間世界後以 10 年的時日到達臭氣層，慢慢分解產生氯氣 (Cl) 與 O₃ 產生作用破壞臭氣層。故世界各國老老實實遵守 montreal 協議，減少使用及在 2000 年完全停止用特定 flone (指 Chlorofluoro carbon's, hydrochlorfluoro carbon's; CFCs, HCFCs) 後，至少到 2070 年尚會繼續破壞 O₃ 層，帶來不良後果。然不在 Montreal 協議中的替代 flone (HFCs、PFCs) 雖較 FCF-11 或 FCF-12 的 O₃ 破壞效果低 (2-10% 左右) 亦是臭氣破壞物質，但其溫室效果為 CO₂ 的 6,000 至 10,000 倍。

5. 聯合國的行動

對人類的人為破壞環境之警告並非近年的事，1860 年 Ireland 的 John Tyndall 指出，因人類活動產生對大氣組成變化會導致氣候變動的可能性。19 世紀末瑞典物理化學家 S. A. Arphenius 計算大氣中 CO₂ 濃度增加至 2 倍時，地球平均溫度會上升 5-6°C。1938 年英國氣象學者 kalender 發表，大氣中的 CO₂ 較 19 世紀末增加 6% 的測定結果。1958 年國際地球觀年起在 mauna Loa 定期監視 CO₂ 的變化（按 CO₂ 在大氣中的分子擴散約一星期可周遊世界一次）指出近年來的年增加率為 1.8ppm。聯合國於 1972 年 6 月 5 日在瑞典 Stockholm 召開第一次人類環境會議發表人類環境宣言以來，對環境問題的演變趨勢以表簡述如下，表 6：

表 6 聯合國有關人類環境議論的發展

1972.6	Stockholm 人類環境會議 <ul style="list-style-type: none"> ● 發表人類環境宣言 ● 主要議題為酸性雨問題
1972.12	成立聯合國環境計畫 (United Nations Environment Programme; UNEP) <ul style="list-style-type: none"> ● 本部設在 Kenya 首都 Nairobi
1979.2	Geneve 第一次世界氣候會議 <ul style="list-style-type: none"> ● 聲明地球溫室化的可能性
1985	評估 CO₂ 及其他 GHG_s 對氣候影響的國際會議 <ul style="list-style-type: none"> ● 宣言確信在 21 世紀前半代，地球平均氣溫將於人類歷史上以未曾有的規模上昇
1985	Nimbus 7 號證實南極的 Ozone Hole <ul style="list-style-type: none"> ● 1931 年開始製造 CFC 為冷媒 ● 1974 年美國科學家指 CFC_s 可能破壞 Ozone layer ● 遙測衛星影像發現 1981 年起 O₃ 層已被破壞
1987.9	關於破壞臭氣層物質的 Montreal 協議 <ul style="list-style-type: none"> ● 1985 年保護臭氣層的 Vienna 條約 ● 1987 年關於破壞臭氣層物質的 montreal 協議 ● 定 CFC_s 及 HCFC_s 在 2000 年時禁止使用 ● 1990.6.29 修正 Montreal 協議
1988.6.	Toronto 有關大氣變動國際會議 <ul style="list-style-type: none"> ● 指出到 2005 年需減少以 1988 年為基準的 CO₂ 排放量 20%.

1988.11.

聯合國成立 Intergovernment Panel on Climate Change

- 在 UNEP 及 WMO 共同管理下設立 IPCC (對氣候變化政府間會議)
- 任務：1. 評估現時對氣候變動的科學知識。
2. 評估氣候變動對環境及社會經濟的影響。
3. 研擬對應氣候變動的策略。
- 1990 指出 IPCC 第一次評估報告。
- 1992 年 IPCC 改組成立三個作業小組：
 - 對氣候變動的科學分析；
 - 分析對氣候變動的影響及氣候變動的策略；
 - 由社會經濟面分析有關氣候變動；
- 1995 年 IPCC 第二次評估報告指出(動員 2,000 多名科學家)
 - 對氣候變化影響最大因子為 CO₂；
 - 人類活動可帶來未曾有的氣候變化；
 - 此種氣候變化是無法補救的惡化；
 - 人類活動所導致的影響已在地球氣候上產生後果。

1990.

成立 Intergovernment negotiating committee

- 政府間交涉委員會

1992.5

聯合國採納 The United Nations Framework Convention on Climate Change

- 1992.6.20 至 1993.6.19 展示開放簽署
- 地球高峰會議期間在 Rio de Janeiro 展示。
- 共 168 國簽署 (167 個國家及 EU15 國)

1992.6

Rio de Janeiro 地球高峰會議

- 正式名稱為聯合國環境及開發會議 (United Nation Conference on Environment and Development; UNCED)。
- 在 Rio de Janeiro 180 個國家參加下

就 Agenda 21 研擬針對 21 世紀的環境及開發的行動計畫。

- 對森林原則聲明(Non-Legally Binding Authoritative Statement of Principles for a Global Consensus on the management, conservation and sustainable development of all types of forests)有 183 個國家簽署。
- 對氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change)有 155 個國家簽署。
- 對生物多樣性公約(Land, Desertification, Forests and Biodiversity)有 157 個國家簽署。
- 為追蹤 Agenda 21 的執行，1993 年成立聯合國永續發展委員會 (Committee on Sustainable Development; CSD)。

1994.3

聯合國氣候變體制協議生效

- 事務局設在 Bonn 並召開締約國會議 (COP)
- 1995.3 在 Berlin 召開 COP 1 會議以 2000 年為目標決定 Berlin mandate ad hoc committee。
- 1996.7. Geneve 召開 COP 2 會議，支持 IPCC 第二次評估報告，確認各國密切聯繫，訂定以 2005、2010、2020 年為目標年削減 CO₂。
- 1997.12. 京都召開 COP 3 會議採納 Kyoto Protocol。
- 1998.11. Buenos Aires 召開 COP 4 會議。

氣候變化綱要公約之宗旨 (第 2 條) 為締約國依有關規定行動，對氣候系 (指氣圈、水圈、生物圈及岩石圈全體及其間的相互作用)，不以危險的人為干擾基準下，來穩定大氣中的溫室效應氣體為最終目的。此基準在生態系能自然適應氣候變化而不威脅糧食生產，且能持續推行經濟發展的期間內達成之。經過

一連中的協商（締約國會議四次、AGBM 八次，IPCC 全體會十三次）獲共識：

1. 定 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、 HFC_5 、 PFC_5 、 SF_6 為溫室效應氣體（GHG₅）。
2. 特定 Fione(HCFC_5 、 CFC_5)已在 Montreal 協議，定在 2000 年時全部禁止製造使用之。
3. 籌措全球環境基金(Global Environment Facility)協助及推動開發中國家之氣候變化防止計畫。
4. 採納京都協議：

(1) 政策：各先進國依其國情採取下列措施：

- ① 改進各經濟關連部門的能源(energy)利用效率，節省能源。
- ② 強化及保護溫室效應氣體的吸收源及貯存源。促進新植造林(afforestation)及跡林(reforestation)，並經營永續森林各種活動。
- ③ 由氣候變動觀點，考量促進持續可行的農業形態。
- ④ 研究、開發新能源，可再生能源、 CO_2 固定技術及健全環境的革新技術及其推廣利用。
- ⑤ 市場不完整性的有違反溫室效應氣體排出產業部門，縮減及廢止對該部門的財務獎勵、免稅及補助措施。

(2) 溫室效應氣體削減目標：

- ① 締約國以個別或共同對 GHG₅ 的人為排放量換算為 CO_2 量，在 2008 年至

2012 年的約束期間內，其總排放量至少要較 1990 人為基準的排放量減少 5%，先進國的抑制排放量保證不超出其分配量。至少在 2005 年必需有明確的改進。

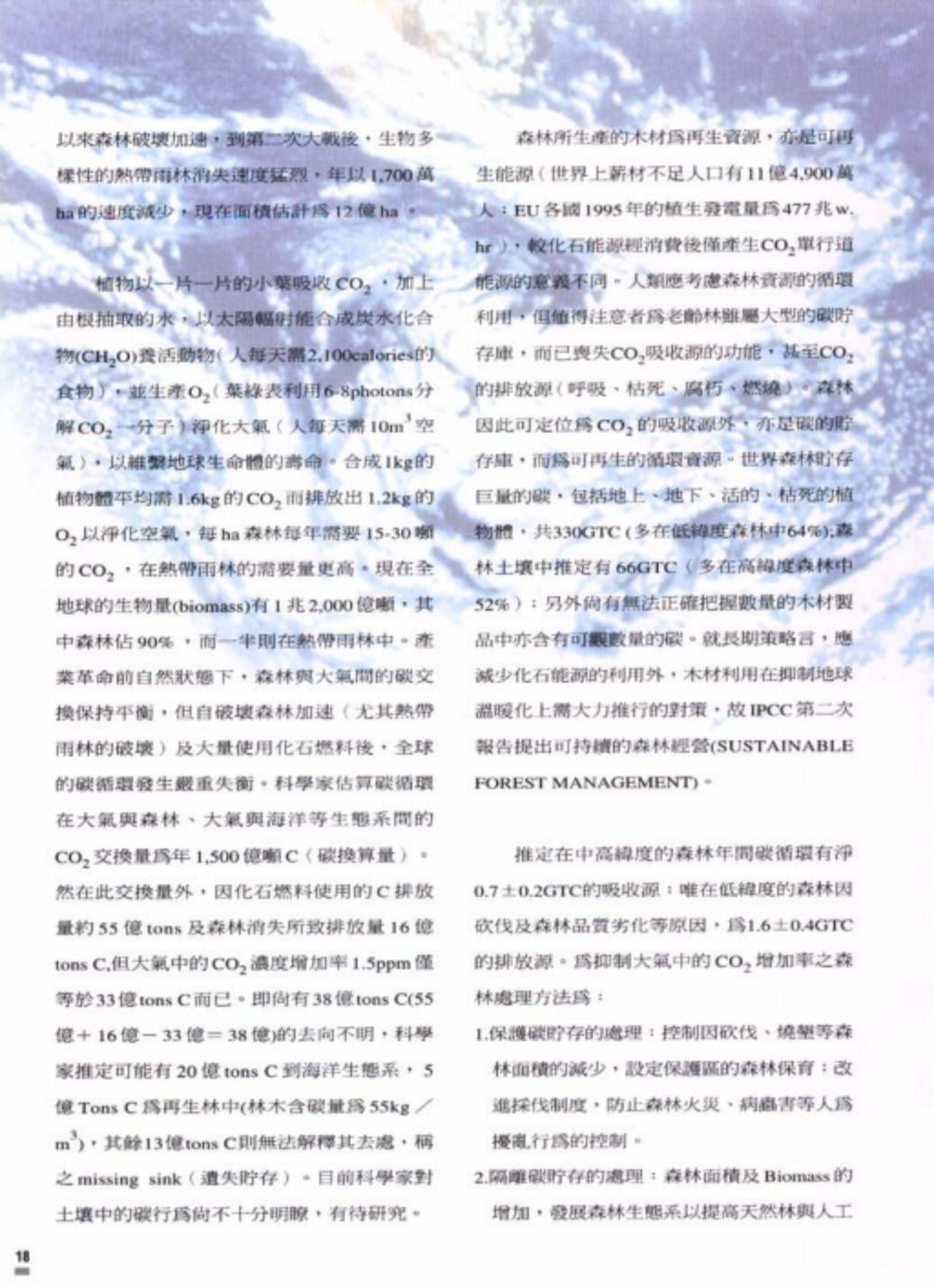
② 替代 fione(HFC_5 、 PFC_5 、 SF_6)的基準年採用 1995 年的排放量。

③ 對各先進國所設定，由削減率所計算之分配量，不能超出所指定的分配量，但有剩餘時可轉入次期（稱 banking），然不能預借次期量。

(3) 淨化開發機制(Clear Development Mechanizm)：先進國以計畫資助，與開發中國家共同削減的 GHG₅，可互相融通計列為先進國的削減目標達成量。

6. 森林的定位

長半徑 6,378Km，短半徑 6,332Km 旋轉橢圓體的地球表面積 510,050,100Km²。其中海洋占 70.78%(361 億 ha)，陸地有 29.22%(149 億 ha)。陸地中林木生育面積 41 億 ha，其中在低緯度(南北半球 0°—25° 間)區域 52%，中緯度區域(兩半球 25°—50° 間)佔 18%，高緯度(緯度 50 至 75 度)佔 30%，然人類開始活動前估計陸地面積的約一半為森林(62 億 ha)，Würm 冰期後距今約 10,000 年前，地球有一段較寒冷時期，原過著採取狩獵生活的人類，因採獵物減少而開始農業，稱新石器革命(neolithic revolution)，從此人類破壞森林(火燒森林的遊擊)。進入鐵器文明後，3,000 年



以來森林破壞加速，到第二次大戰後，生物多樣性的熱帶雨林消失速度猛烈，年以1,700萬ha的速度減少，現在面積估計為12億ha。

植物以一片一片的小葉吸收 CO_2 ，加上由根抽取的水，以太陽輻射能合成炭水化合物(CH_2O)養活動物(人每天需2,100calories的食物)，並生產 O_2 (葉綠素利用6-8photons分解 CO_2 一分子)淨化大氣(人每天需 10m^3 空氣)，以維繫地球生命體的壽命。合成1kg的植物體平均需1.6kg的 CO_2 而排放出1.2kg的 O_2 以淨化空氣，每ha森林每年需要15-30噸的 CO_2 ，在熱帶雨林的需要量更高。現在全地球的生物量(biomass)有1兆2,000億噸，其中森林佔90%，而一半則在熱帶雨林中。產業革命前自然狀態下，森林與大氣間的碳交換保持平衡，但自破壞森林加速(尤其熱帶雨林的破壞)及大量使用化石燃料後，全球的碳循環發生嚴重失衡。科學家估算碳循環在大氣與森林、大氣與海洋等生態系間的 CO_2 交換量為年1,500億噸C(碳換算量)。然在此交換量外，因化石燃料使用的C排放量約55億tons及森林消失所致排放量16億tons C,但大氣中的 CO_2 濃度增加率1.5ppm僅等於33億tons C而已。即尚有38億tons C(55億+16億-33億=38億)的去向不明，科學家推定可能有20億tons C到海洋生態系，5億Tons C為再生林中(林木含碳量為 $55\text{kg}/\text{m}^3$)，其餘13億tons C則無法解釋其去處，稱之missing sink(遺失貯存)。目前科學家對土壤中的碳行為尚不十分明瞭，有待研究。

森林所生產的木材為再生資源，亦是可再生能源(世界上薪材不足人口有11億4,900萬人；EU各國1995年的植生發電量為477兆w.hr)，較化石能源經消費後僅產生 CO_2 單行道能源的意義不同。人類應考慮森林資源的循環利用，但值得注意者為老齡林雖屬大型的碳貯存庫，而已喪失 CO_2 吸收源的功能，甚至 CO_2 的排放源(呼吸、枯死、腐朽、燃燒)。森林因此可定位為 CO_2 的吸收源外，亦是碳的貯存庫，而為可再生的循環資源。世界森林貯存巨量的碳，包括地上、地下、活的、枯死的植物體，共330GTC(多在低緯度森林中64%)；森林土壤中推定有66GTC(多在高緯度森林中52%)；另外尚有無法正確把握數量的木材製品中亦含有可觀數量的碳。就長期策略言，應減少化石能源的利用外，木材利用在抑制地球溫暖化上需大力推行的對策，故IPCC第二次報告提出可持續的森林經營(SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT)。

推定在中高緯度的森林年間碳循環有淨 $0.7 \pm 0.2\text{GTC}$ 的吸收源；唯在低緯度的森林因砍伐及森林品質劣化等原因，為 $1.6 \pm 0.4\text{GTC}$ 的排放源。為抑制大氣中的 CO_2 增加率之森林處理方法為：

- 1.保護碳貯存的處理：控制因砍伐、燒墾等森林面積的減少，設定保護區的森林保育；改進採伐制度，防止森林火災、病蟲害等人為擾亂行為的控制。
- 2.隔離碳貯存的處理：森林面積及Biomass的增加，發展森林生態系以提高天然林與人工

林的土壤碳濃度；延長及增加耐用性木材製品的使用，延遲碳循環。

3. 替代碳的處理：減少以化石燃料為基礎的能源及其製品或水泥的使用量，以森林Biomass來取代。長期觀點下，森林以再生能源的碳來替代化石能源或減少其使用量。

碳的隔離、保護處理上全世界有700mha的土地可供應用，其中人工造林345mha，抑制熱帶林減少（即deforestation）方面為138mha，天然更新及撫育更新為217mha。此等處理於熱帶地域最具潛力，可得全潛力的80%效果。倘實施得當，到2010年世界森林可由CO₂排放源轉為吸收源，其直接費用估計平均3.7-4.6美元/t.c.。到2020年人工林將步入最大的碳吸收源狀態。此推測的可靠性有賴熱帶地域有效控制森林減少及新植造林的推行。其優先次序則以熱帶林減少的抑制、更新造林，熱帶及溫帶地域的新植造林（afforestation）及混農林業（agroforestry）。

結語

我國停止森林砍伐，推行農地造林等策略甚符合聯合國推行抑制二氧化碳排放，降低溫效應的政策。今後林業專家應研擬如何使過成熟老齡林的僅有碳貯存庫功能，轉換為既有貯存更有吸收二氧化碳的吸收源，提昇其功能。Rio de Janeiro的森林原則聲明是Consensus on management, conservation and sustainable development。

名詞釋譯

RNA:核糖核酸(ribonucleic acid)，在大部分病毒(virus)以RNA為其遺傳情報，本身無法繁殖，分泌酵素寄生於生物細胞，獲得DNA後繁殖。

DNA：去氧核糖核酸(deoxyribonucleic acid)由四種鹼基Adenine, Cytosine, Guanine及Thymine,以A與T, C與G的鹼基對，組成的雙重螺旋構造之帶，成為遺傳基因之原本。人類細胞的DNA全部文字約有30億文字之DNA情報。DNA與蛋白質的結合體為染色體，人有46條。■