

## 위험스런 지구 온난화 경향 무엇이 원인인가?

### Rapidity of Recent Global Warming : What Factors are Important?

김 문 일

기상청 기상개발관

Moon-II Kim

Director, Technical Development Dept., Korea Meteorological Administration

#### Abstract

A brief description on the greenhouse gases, the greenhouse effect, sea level changes, forcing of climate, the history of Earth's changing climate based on the IPCC REPORT, and the records of the recent variation of the climate in the Republic of Korea is presented here for help enhancing awareness of the issues. The climate of the Earth has the potential to be changed on all timescales by the fluctuations of the concentrations of radioactively active greenhouse gases, solar radiation, aerosols and albedo. However, the rate of the recent global warming seems to be larger and rapid than any have occurred throughout recorded history enough to draw the world-wide attention and worry concerned with the theme of environment and development. There are still uncertainties in the predictions relating to the timing, magnitude and the pattern of the climatic change due to the current incomplete understanding of various aspects of the complex processes. Nonetheless, the scientific results available is sufficient to allow for decisive precautionary measures to be taken.

#### 1. 地球 氣溫은 變動하는 것인가?

地球가 더워져가고 있다고 한다. 인간의 無節制에 의해서 뽑어대는 골똥 煙氣, 밀려가는 자동차와 發電所의 化石燃料 煤煙, 사라져가는 森林 등이 인간에 시달리는 地球大氣에 더욱 부담스런 熱氣를 토해 놓음으로서 地球溫暖化 현상은 더욱 가속화되어간다고 한다. 이러한 현상에서 유발될 수 있는 氣候變動과 生態系의 영향 및 海水面의 上昇 등으로 인한 災殃이 인류 모두의 걱정으로 대두되고 있다.

세상만물이 모두 변화듯이 地球의 氣候도 地球가 형성될 때부터 지금까지 변화하여 왔으며, 엄밀하게는 이번 여름의 날씨가 작년 여름의 날씨와 다름은 당연한 것이다. 그러나 어떤 一定期間의 平均값이나 變化傾向의 變動幅이 아주 작고, 일정한 경향이 매우 오랜 기간에 걸쳐서 매우 느리게 나타나고 있는

경우에는 자연의 變理에 의한 天文學的인 요인이나 지구 자체의 원인으로 돌릴 수도 있다. 즉 약 4萬年週期的 黃道の 傾斜·약 10萬年 주기의 地球 空轉軌道の 離心率 變動·太陽活用的 變化·太陽系의 運轉에 의한 것 등을 天文學的인 요인으로 들 수 있고, 陸地의 變化·極의 移動·火山活動 등을 地球的인 원인이라고 할 수 있으며, 짧은 기간으로 보면 氣壓系의 특이한 배치 등을 들 수 있다. 그런데, 최근에 들어와서 앞에서 열거한 원인에 의한다고 볼 수 없을 만큼 급작스럽게 地球 氣溫 上昇現象이 나타나고 있음은 바로 인위적인 大氣汚染物質 放出量의 급격한 증가로 인하여 地球의 熱平衡, 均衡을 훼손하고 있기 때문이라고 하고 있다.

2. 過去の 氣溫變動

여러 조사결과에 의하면 太古때부터 地球氣候는 변동하여 왔으며, 地層속의 地質形態·動植物의 化石·古土壤·化石分析·氷碛·樹木の 年輪·放射性 物質 年代測定 등으로 究明되고, 歷史時代의 氣候變動은 여러 가지 文獻記錄實際 觀測資料에 의해서 분석된다.

지금으로부터 약 45億年 전에 地球가 형성되었다고 하지만 地球表面의 형태나 大氣 造成物質이 현재와는 아주 다른 상태일 것이고, 수억년 전인 古生代와 中生代의 氣候變動은 아직도 확실하지 않으나, 그래도 그럴듯하게 추정할 수 있는 시기는 新生代(약 7千萬年 以後)에 이르러서이며, 氣溫·降水量·바람·日射量·日照量 등의 여러 가지 氣候診斷 要素 中에서도 가장 뚜렷하게 나타낼 수 있는 것이 寒暖의 표시, 즉 氣溫이다.

그림 1은 약 5億年 전 古生代 캄브리아期부터 현재까지의 北緯 40°~70°의 年 平均氣溫을 食生과 地理的 因子를 분석하여 推定한 것인데, 古生代는 初期와 末期를 제외하고 대체로 현재보다 약 10℃ 정도 더 溫暖했던 것으로 보이며, 石炭紀에 많았던 封印木, 魚木 등의 化石이 넓게 분포되어 있는 사실로 유추된다. 그러나 初期와 末期에는 현재와 비슷한 寒冷期가 있었다.

中生代(1~2億年 전)에 들어와서도 初期와 末期를 제외하고는 다시 溫暖 한 시기였고, 육지에는 四季節의 區別이 나타나기 시작하고 있으며, 植物群落이 緯度帶에 따라 분포되는 경향이 있었다.

新生代(7千萬年 이후)에는 中生代보다 약간 낮은 氣溫이 상당기간 지속되었으나, 後期에는 寒冷해지고 氷河시대가 왔다. 이 시기에는 造山運動으로 地

球表面의 모양에 큰 변화가 있었다고 하며, 中生代에 繁盛했던 爬蟲類는 쇠퇴하고 哺乳類와 鳥類가 급속히 繁盛하였다.

地質時代 氣候變動 中 가장 큰 변화는 古生代 末期의 Permian紀와 新生代 末期의 洪積世 즉 氷期인데, 北美 및 스칸디나비아 반도가 얼음으로 덮혔었고 海面도 지금보다 120m나 낮았다고 한다.

그림 2는 그림 1을 더욱 상세하게 나타낸 것으로

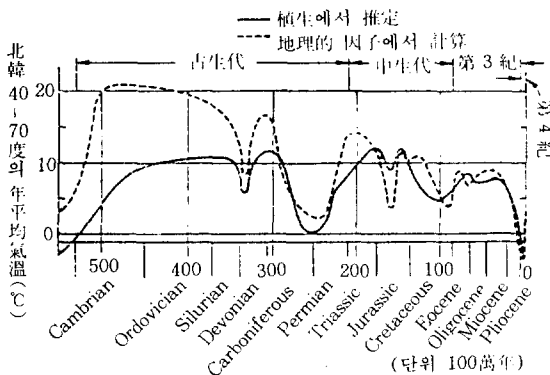


그림 1. 地質時代에 北緯 40°~70°의 年平均 氣溫變動. 實線은 植生에서 推定한 것이고, 點線은 地理的 因子에서 計算한 것이다.

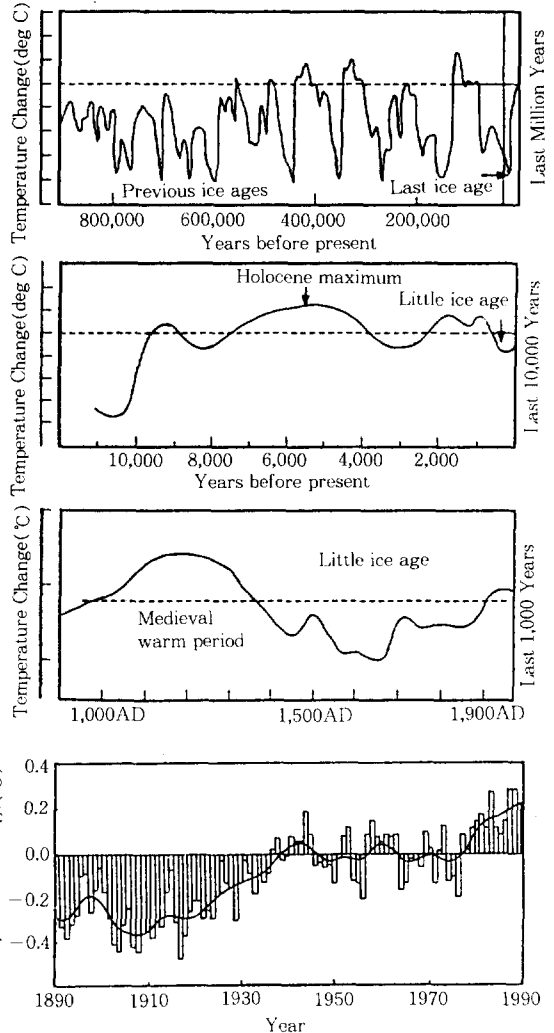


그림 2. 過去の 地球 氣溫變動. 最上段은 지금부터 일백만년전까지, 上段은 일만년전까지, 下段은 일천년전까지, 最下段은 일백년전까지의 氣溫變動이다. 中間 點線 및 實線은 平均氣溫이고 氣溫變動은 이 平均 氣溫에서의 差로 表示되었다.

가장 상단 그림은 지금부터 百萬年 전 즉 新生代 제 4기 氷期の 氣溫變動을 나타내고, 다음 상단 그림은 지금부터 1萬年전까지, 그 다음 그림은 지금부터 1千年전까지, 제일 하단 그림은 지금부터 1百年 전까지의 氣溫變動을 보여주는 것으로서, 참고로 지구상에 인류가 최초로 출현한 것은 약 200만년 전이고, 원시인이 불을 사용한 것은 약 50만년 전이라고 한다.

新生代 末期의 氷期가 축소하기 시작한 것은 약 25,000年전으로 추측되며 그 후 점차적으로 溫暖해져 현재보다 2~3℃ 정도 더 따뜻했다는 것이 전세계적 花粉分析에 의해 추론되며, 人類가 農耕生活를 시작한 것이 약 1萬年전이라고 하니 이 시기에 포함되는 모양이다. 약 6千年전에는 더욱 지구가 溫暖해져서 인간활동에 적합한 氣候의 最適期 (climatic optimum기)라고도 하는데, 사하라 지역이 濕潤하여 農事와 사냥을 할 수 있었고, Chad湖가 카시피안海만큼 넓었다고 하며, 人類文明의 發生 紀源과 일치한다.

그 이후는 점차 寒冷하게 되어 西紀 전 900~500年 경에는 最適期보다 약 2℃ 정도가 下降하여 後氷期の 再來라고 부를만한 寒冷한 氣候였다.

그 후에는 다시 溫暖해져 西紀 1000~1200年頃에는 제 2의 氣候 最適期라고 불리울 정도로 溫暖한 기간으로 그린란드에는 문자 그대로 綠色의 섬이 되어 바이킹인과 노르만인이 건너와 밭을 갈고 牧場을 만들며 마을을 세워 정주생활을 했다 한다. 그 후 다시 世界氣溫은 下降하여 西紀 1450年에서 1850年에 걸쳐서는 寒冷한 날씨가 北半球를 덮고, 北極氷이 확대되었으며 海水溫度도 현재보다 1~3℃ 나 낮아 小氷期(Little ice age)라 한다. 아이슬란드에서 氣候 最適期에 있었던 森林이 모두 소멸되었으며, 이디오피아 산악은 겨울 수개월 동안 눈이 덮혔었다고 하는데 현재는 거의 볼 수 없는 현상이다.

19世紀 중엽부터는 다시 氣溫이 上昇하여 1940年代까지 계속된다. 北極海의 얼음은 해마다 얇아졌고, 船舶이 北極을 航海할 수 있는 기간이 점점 길어졌으며, 北極氷도 후퇴하고, 아이슬란드의 전형적인 北極새인 白鷗가 더 북쪽 추운 곳으로 모습을 감추어 버렸다. 그러나 1940年을 頂點으로 하여 다시 氣溫은 아주 서서히 下降하기 시작한다.

1950年代에는 약 50年 기간의 溫暖期가 끝나고 寒冷期가 시작되었다고 하는 과학자들도 있었으며, 北極地方의 氣溫偏差가 -5℃나 나타나고, 1962年 12月 31日에서 새해 1日에 걸쳐 나타난 極東地域의 寒波, 1963年 1月の 美國과 유럽의 寒波가 있었으며, 1968年은 北海 流水이 가장 남쪽으로 내려온

해이고 또 시베리아 高氣壓의 시도가 1083.8mb(68.12.31)로서 신기록을 보였으며, 1968年말과 69年初에 걸쳐서는 시베리아 지역 內陸의 平均氣溫이 平均보다 10℃ 이상이나 낮았다고 한다. 1972年 2月 19日부터 9月 4日간 北大西洋 流水이 北緯 48°를 넘어 남하하는 수는 1,587개로서 1946-1971年의 平均數 207개의 비하여 훨씬 많았다. 1974年과 76年의 우리나라의 여름 異常低溫은 세계 각지에서도 같이 나타났으며, 1977年 2月 17日에는 우리나라에서 50年만의 酷寒으로 학교가 임시 휴교에 들어갔었고, 1979年 11月 14日 서울에서 나타난 最低氣溫 -11.1℃는 그날 이전에 나타난 기록으로서는 40여년 만의 酷寒이었다고 한다.

### 3. 지금의 溫暖化 傾向

성급한 학자들이 이처럼 다시 寒冷期에 접어들고 있다고 할만큼 氣溫이 下降하던 1950~70年代의 氣候가 80年代에 들어서면서 溫暖化 경향이 급속히 커진 것이다.

溫暖化 현상에 대한 실증은 1988年度에 美國航空宇宙局(NASA) Goddard 宇宙 研究所의 James E. Hansen이 1860年 이후 世界 氣溫 觀測資料를 분석한 결과 이 기간동안에 전지구의 氣溫은 0.5~0.7℃가 上昇했고, 지난 10年 동안의 上昇勢가 가장 크다는 것을 발견하였다. 이러한 氣溫差異가 數值的으로는 아무 것도 아닌 것같이 보이지만, 인도네시아의 1815년에 Tambora 火山 폭발로 인한 火山재로 대기가 뒤덮혀 「여름이 없었던 해」로 불리는 1816년의 世界 平均氣溫은 1℃도 미처 낮지 않았는데도 New England에서는 6월달에 서리가 내렸고, 여러지역에서 農事に 막대한 피해를 초래하였다고 한다. 英國의 East Anglia 대학의 Thomas M. L. Wigley도 별도의 연구결과 今世紀에 들어서서 0.5℃ 정도 더워졌으며, 가장 더웠던 해는 1988, 1987, 1983, 1981, 1980 및 1986年의 순으로 지난 10年 동안에 기록들이 몰려져 있다.

우리나라와의 觀測結果도 1904年부터 현대적 의미의 氣象觀測이 시작된 이래 대표적인 11개 觀測地點의 氣溫變化 傾向 분석결과에 의하면 그림 3에서 보여주는 바와같이 氣溫 上昇傾向이 뚜렷하고 약 1℃ 정도가 上昇한 것으로 나타나고 있다.

이와같은 溫暖化 경향은 都市 열섬효과현상이 부수되었으리라고도 짐작되지만, 겨울이 예전같지 않다느니 하는 이야기를 자주 듣게 된다. 외국의 경우에도 캐나다 지역에서는 湖水 水溫이 上昇되었다고 하며, 南·北極 氷山 지역의 축소경향은 물론 유

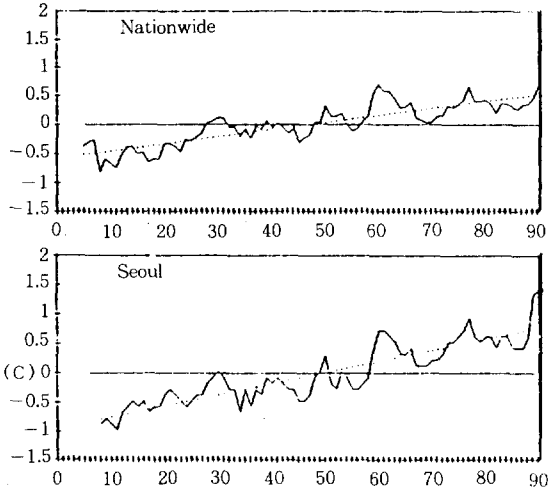


그림 3. 우리나라의 11個所 氣象觀測所에서 觀測된 지난 90年間的 氣溫變動(上段)과 서울의 氣溫變動 傾向(下段), 실선은 기간동안의 평균기온, 점선은 상승경향이다.

립과 北美大陸의 山岳 水河도 후퇴하고 있다. 또한 여러 가지 이론과 模擬實驗(Simulation)에 근거한 地球 昇溫 算出結果들도 觀測值 분석결과 및 일어나고 있는 昇溫현상들과 경험적·통계적으로 일치하고 있다.

특히 前蘇聯과 프랑스 공동연구팀은 南極의 Vostok觀測所에서 깊이 2083m까지의 얼음을 채취하여 그 안에 포함된 氣泡의 氣體成分 분석에 의해서 160,000년전까지의 氣候 變動을 분석하였다. 이 결과는 그림 4에서 보여주는 바와같이 地球 氣溫變動과 炭酸가스 및 메탄량의 變動이 절대적으로 영향이 있음을 알 수 있는데, 다만 어느 것이 먼저 胎動效果를 가져왔느냐 하는 것은 분명치가 않다. 炭酸가스에 의한 氣溫 變動幅은 熱輻射 理論으로 계산한 推定值보다 5~14배가 더 큰데, 아마도 부수적인 유발요인 즉 海陸上의 얼음분포, 구름 및 水蒸氣量의 변화 등을 초래하여 나타나는 결과들의 增幅效果에 기여한 것으로 생각된다. 메탄도 氣溫變動과 밀접하게 연동하며 1개 分子당 昇溫 效果는 炭酸가스보다 20배나 되지만, 그 전체적인 양이 炭酸가스의 수백분지 일에 불과하므로 昇溫效果에 미치는 영향은 전체 효과의 약 15%정도 기여한다고 한다.

#### 4. 地球 溫暖化의 主犯인 溫室氣體의 正체

이상에서 열거한 이유로 대부분의 학자들은 地球

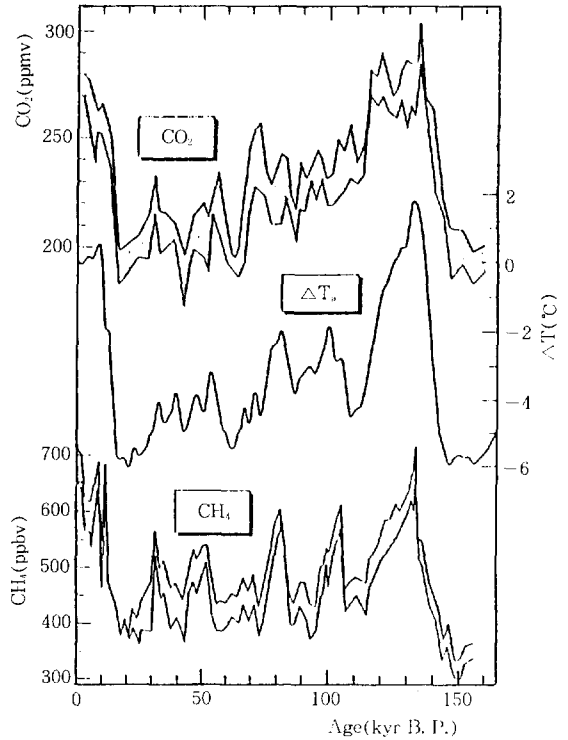


그림 4. 南極 Vostok 觀測所에서 氷原의 地下 2000m까지 파낸 氷柱의 氣泡分析에 의하여 推定된 大氣中の 炭酸가스(CO2), 氣溫(ΔT), 메탄(CH4)량의 지난 16萬年間的 變動. 炭酸가스와 메탄량의 變動圖에서 회색부분은 分析 誤差 限界를 나타내고, ppmv는 空氣中の 體積比 백만분의 일, ppbv는 십억분의 일을 나타내는 單位이다.

溫暖化 傾向과 이 溫暖化 현상이 化石燃料의 사용과 人間活動에서 나오는 대기중의 汚染物質의 증가로 인한 溫室效果에 기인한다는 확신을 갖고 있다.

地球의 大氣는 그 대부분이 窒素(약 78%)와 酸素(약 21%)로 구성되어 있고, 1% 미만의 알곤·水蒸氣·炭酸가스·네온·水素 등의 稀少氣體들로 구성되어 있다. 특히 水蒸氣는 약 0.04% 미만이지만 구름과 안개를 형성하기도 하며 비·눈·우박·서리등 오묘한 氣象現象의 유발요인이 된다. 이 地球 大氣層은 오로라 현상이 나타나는 高度인 약 1000Km까지 달한다고 하나, 地表에서 50Km 高度에서는 空氣의 密度가 地表面의 약 천분의 일, 100Km 高度에서는 약 백만분의 일, 1000Km 高度

에서는 수천억분의 일로서 高空으로 올라 갈수록 매우 稀薄해진다. 따라서 大氣中에 있는 空氣를 地 1:의 상태로 密着시키면 그 假像 空氣層 두께는 8Km 정도밖에 안 된다.

이 大氣層은 太陽에서 地球로 오는 短波長 에너지를 잘 透過시키고, 地球에서 外界로 放射되는 長波長 에너지는 어느 정도 吸收 遮蔽시켜 낮과 밤의 地球系의 溫度를 어느 정도 일정하게 保溫하여 준다. 空氣가 없는 달 表面에서는 태양이 비치는 쪽은 溫度가 100℃가 넘으며, 그 反對쪽은 -200℃ 이하가 된다고 하니, 지구의 空氣는 바로 地球自體의 氣溫을 적당하게 조절해 주고 太陽이 안 비치는 夜間에도 빨리 冷却되지 않는 保溫役割 즉 溫室效果 (Greenhouse effect)를 해준다. 이 溫室效果는 地球 大氣 造成 氣體가 다 조금씩 지니고 있는 특성이지만, 稀少氣體 중에서는 水蒸氣의 기여도가 가장 크다고 한다. 그러나 그 양은 地球系 내에서 자체적으로 조절이 되며 인간에 의해 달라지지는 않고, 다만 地球氣溫이 上昇하면 大氣中에 水蒸氣를 함유할 수

있는 능력이 증가할 수는 있다. 따라서 水蒸氣에 대해서는 論外로 하고, 水蒸氣 다음으로 溫室效果에 기여하는 氣體인 炭酸가스·메탄·프레온·酸化窒素 등 인위적 또는 그와 관련된 활동에서 분출되는 稀少氣體들 즉 「溫室氣體」들이다. 지난 世紀동안 空氣中에 이 溫室氣體들의 含有量이 그림 5에서 보여주는 바와 같이 급격히 증가하였으며, 전체 溫室氣體량을 炭酸가스량으로 환산했을때 産業革命 전보다 약 50%가 증가하였는데, 그 절반은 炭酸가스에 기인한 것이다. 바로 이 溫室氣體들이 최근의 뚜렷한 地球 溫暖化 傾向을 가져오는 요인이라는 것이다.

특히 Hansen 박사는 1988年 6月 23日 美國 상원의 한 위원회에서 “현대적인 氣象觀測이 시작된 이래(약 100年間) 地球의 平均氣溫은 현재가 제일 높고, 최근 20년간의 氣溫 上昇率은 과거 어느 때보다도 크다. 이와 같은 氣溫 上昇의 원인이 溫室效果에 기인한다고 99%의 신뢰도를 갖고 말할 수 있는 단계에 도달했다”고 하였다.

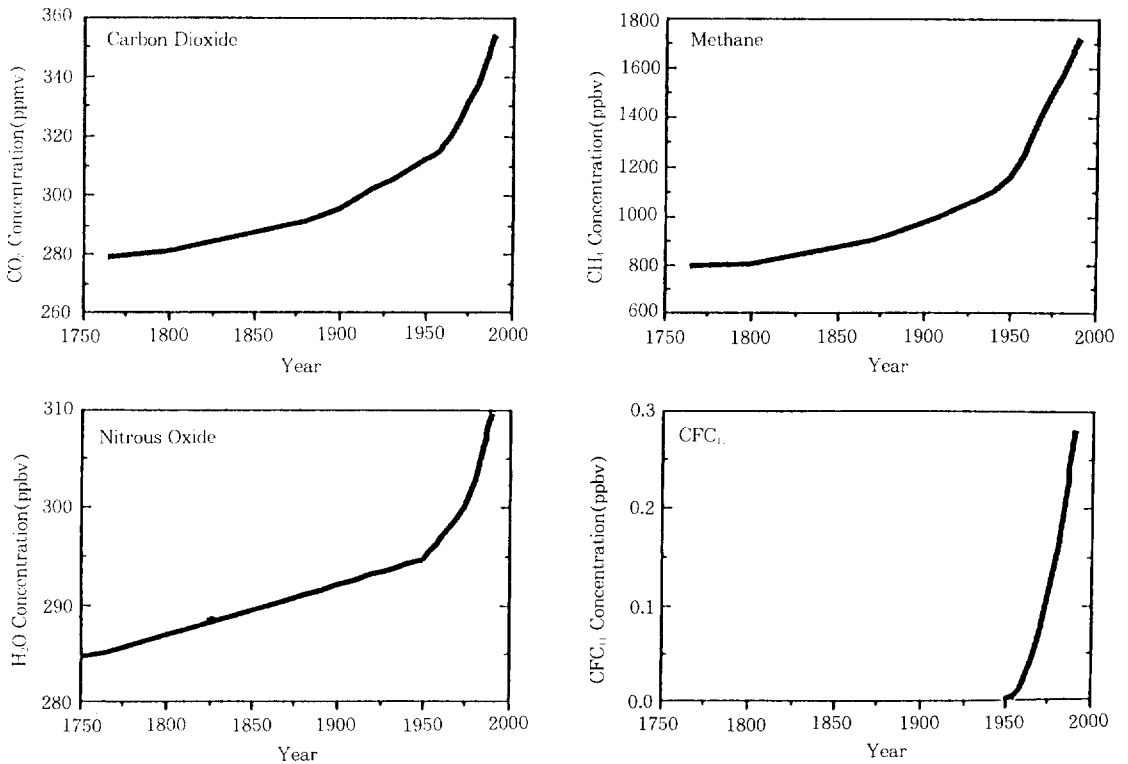


그림 5. 溫室氣體인 炭酸가스, 메탄, 酸化窒素, 프레온이 지난 250年間 大氣中에서 含有量 變動. 20世紀 後半에 急激히 增加하는 것을 보여주고 있으며, 프레온은 人間이 만들어낸 氣體이므로 前에는 없었다.

표 1. 인간생활에 의한 온실기체의 배출 현황.

요 소	탄산가스 (CO <sub>2</sub> )	메 탄 (CH <sub>4</sub> )	탄 (CHC-11)	프레온 (CFC-12)	산화질소 (N <sub>2</sub> )
대기중 농도단위	ppmv	ppmv	10 <sup>-6</sup> ppmv	10 <sup>-6</sup> ppmv	10 <sup>-4</sup> ppmv
공업화 이전(1750-1800)	280	0.8	0	0	288
현재(1990)	353	1.72	280	484	310
현재 증가량	1.8 (0.5%)	0.0015 (0.9%)	9.5 (4%)	17 (4%)	0.8 (0.25%)
대기중 체유기간(年)	50-200	10	65	130	150

※ ppmv는 體積比 일백만분의 일임.

이 溫室氣體들의 分子당 昇溫效果는 炭酸가스를 1로 했을때, 메탄이 약 10배, 酸化窒素가 약 100배, 오존이 약 1000배, 프레온이 약 10000배가 된다고 어렵할 수 있다. 그러나 大氣中에 있는 그 溫室氣體들의 양과 관련하여 지난 10년간 氣溫上昇에 대한 기여도는 炭酸가스가 55%, 프레온이 24%, 메탄이 15% 등이라고 한다. 앞으로는 프레온 가스의 역할이 더욱 커져서 거의 炭酸가스의 영향과 맞먹게 될 것이라고 하는데 국제적인 규제 노력에 따라 달라질 수가 있다.

이와같이 炭酸가스는 지구 溫室效果 및 氣溫上昇效果에 가장 큰 역할을 하므로 지금부터의 기술은 炭酸가스에 더 역점을 두기로 한다.

炭酸가스 噴出량의 증가에 의한 지구 溫暖化의 우려성은 1860年代에 제기되었고, 약 100년전에 스웨덴의 Svante Arrhenius은 대기중의 炭酸가스 양의 2배로 늘면 지구는 4~5℃가 더 더워진다고 계산하였는데 지금의 계산 결과와 아주 유사하다. 그러나 1958년에 이르러서야 美國의 Thomas C. Chamberlain에 의해 체계적인 연구가 시작되었으며, 그 후 美國의 Charles D. Keeling이 하와이 Mauna Loa에서 觀測된 그림 7에 보여주는 유명한 炭酸 가스 관측자료를 공표하기에 이르렀다.

炭酸가스는 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)라고도 하며, 無色·無臭·無毒性인 氣體로서 호흡에는 아무런 소용이 없다. 물에 녹인 것은 清涼飲料水에 사용되고, 助燃性이 없는 성질을 이용하여 消火劑로도 쓰고, 斷熱膨脹시켜 얻은 固體를 드라이 아이스라고 하여 冷凍製로 쓰는데 昇華點은 -78.50℃이다. 炭素나 그 化合物이 완전 燃燒할 때, 생물이 호흡할 때, 醱酵할 때 생기며, 식물의 炭素同化 작용으로 고정시키고, 대부분의 다른 恒星에도 있다고 알려져 있는 기체이다.

地球系에서 炭素 또는 炭酸가스의 양은 그 대부분이 지각속의 炭酸巖 및 頁巖속에 있으며, 표 2에서 보는바와 같이 大氣·海洋 및 生物界가 그 조정

역할을 하게 되는데, 극히 적은 양을 지닌 化石燃料가 균형을 깨는 가장 큰 역할을 할 수 있음은 대기중의 水蒸氣량이 極少量이지만 氣象變化의 주요인이 되며 비유될 수 있다.

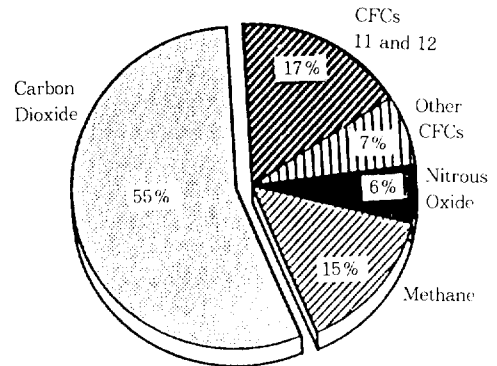


그림 6. 지난 10년(1981-1990)간 人間活動에 의해 噴出된 溫室氣體의 地球 昇溫效果에 대한 寄與度.

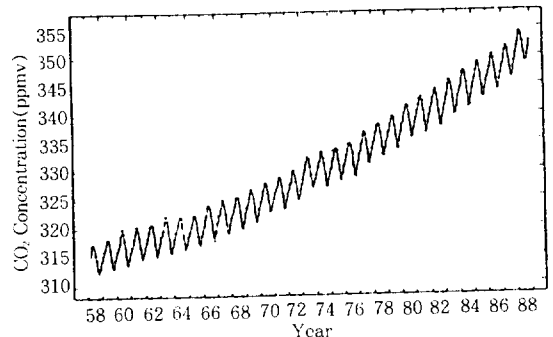


그림 7. 지난 1958년부터 지금까지 하와이 Mauna Loa에서 觀測된 大氣中 炭酸가스량의 月平均 變化圖. ppmv는 空氣중에서 體積比 백만분의 일인 單位이다.

표 2. 지구계의 탄산가스 보유량 상대적 비교.

육상생물계 (Nonmarine biosphere)	1
해양생물계 (Marine biosphere)	1
대기 중 (Atmosphere in CO <sub>2</sub> )	70
해양 속 (Ocean in dissolved CO <sub>2</sub> )	4000
화석연과 (Fossil fuels)	800
혈암 (Shales)	800,000
탄산암 (Carbonate rocks)	2,000,000

대기중에 있는 炭酸가스의 총량은 약 700억톤으로 추정되며, 地球 위의 식물은 매년 그 양의 14%인 100억톤의 炭酸가스를 光合成작용으로 고정시키고 거의 같은 양을 呼吸작용 및 有機物 부식에 의해 대기중으로 다시 내뿜는다. 따라서 植物의 光合成작용과 呼吸작용의 미묘한 변화가 炭酸가스량의 변화를 초래할 수 있는데 아직 확실히 규명되어 있지 않다. 다만 光合成작용은 주로 햇빛·물·土壤 營養에 의존하고, 植物呼吸과 부패는 氣溫에 비례해서 1℃의 氣溫變化는 植物呼吸의 10~30%까지 영향을 미친다고 한다. 현재 인위적인 炭酸가스 排出량은 매년 化石燃料 사용에 의해 5.6억톤, 山林伐採에 의해 0.4~2.5억톤에 달하리라고 하며, 지난 1950年代만 하더라도 그 1/5밖에 안 되었다고 한다.

그림 8은 地球界內的 炭酸가스 循環度인데 地表界에서 大氣中으로는 地表 生物界에서 약 50억톤, 土壤 및 腐敗物에서 약 50억톤, 바다表面에서 약 90억톤, 化石燃料 사용으로부터 약 5억톤, 山林伐採로부터 약 2억톤해서 197억톤이 된다. 반면에 大氣界에서 地表界로는 地表 生物界로 102억톤, 海洋表面으로 92억톤 해서 194억톤이 내려오는 셈이다. 따라서 3억톤은 大氣中에 蓄積되는 양이 되는데, 炭酸가스의 循環平衡을 유지하는데는 장시간이 소요된다. 즉 대기중에 우연히 噴出된 100이라는 炭酸가스량이 50%이하로 줄어들면서 地球界가 平衡을 유지하려면 50년이 소요되고, 그 50% 즉 25이하로 줄어들면서 平衡을 유지하는데는 250년이 걸린다고 하므로 대기중에 과외로 분출된 炭酸가스는 그냥 大氣中에 累積되어 있게 되는 것이나 다름이 없다.

5. 招來되는 危險

따라서 炭酸가스의 대기중에 蓄積率은 매년 약 1.8 ppmv(약 3~4억톤) 즉 0.5%씩 증가해 가는 셈이다. 이처럼 대기중의 炭酸가스량과 다른 溫室氣體의 累積으로 오는 결과는 무엇인가? 지구 氣溫上昇의 加速化이다. 현재와 같은 率로 溫室氣體를 대기

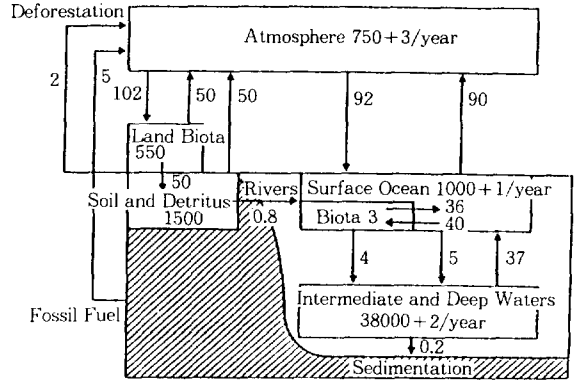


그림 8. 全 地球界의 炭酸가스 保有量 및 循環量, 숫자의 單位는 10億톤이다.

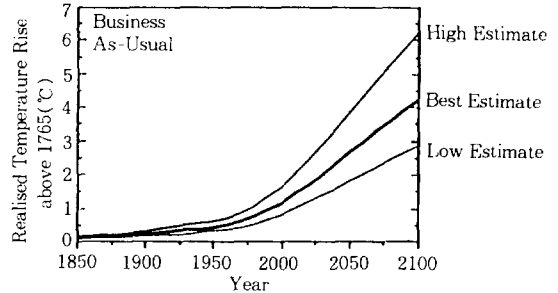


그림 9. 地球 氣溫上昇 傾向. 1850年 부터 1990年까지는 觀測된 結果이고, 그 以後 2100년까지는 人間 經濟活動이 現在처럼 持續될 境遇에 計算된 推定值이다. 가운데 굵은 線은 最適 計算值이며, 그 위·아래의 가는 線은 最大 및 最小 變動 傾向 計算值이다.

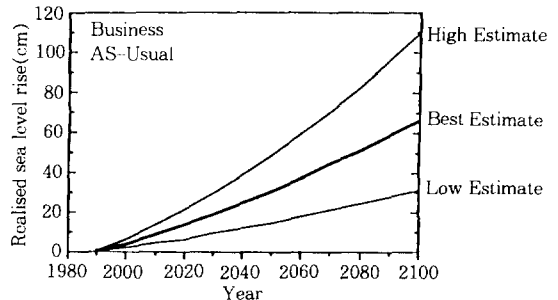


그림 10. 地球 氣溫上昇에 의한 海水面 上昇傾向. 지금부터 2100년까지 人間 經濟活動이 現在처럼 持續될 境遇에 計算된 推定值이다. 가운데 굵은 線이 最適 計算值이며, 그 위·아래의 가는 線은 最大 및 最小 變動 傾向 計算值이다.

중으로 방출한다면 다음 세기에는 매 10년마다 약 0.3℃ 정도씩 상승할 것이며, 지구 평균기온이 2025년에는 1℃, 2100년에는 3℃가 더 상승한 상태에 도달하게 된다.

그림 9는 이 결과를 보여주는 것이며, 1850년부터 1990년까지는 관측결과에 의한 기온 상승률이고, 그 이후 2100년까지는 인류 산업활동이 현재의 추세대로 진행되어 대기중에 온실효과를累積시켰을때 예상되는 기온 상승률인데 높게는 현재보다 5℃, 적게는 현재보다 2℃가 상승하게 됨을 보여준다. 그러면 현재 서울의年平均기온은 11.8℃인데 다음 세기末에는 14.8℃의年平均기온이 나타나게 되므로釜山(14.1℃)보다 더 따뜻한濟州(15.3℃) 정도에 가까운年平均기온値를 보일 수도 있다는 것이다.

이와같은地球기온 상승으로 우려되는 첫번째 사항으로서는海面의 상승이다.南北水洋의氷山이 녹고 바다 자체의膨脹으로 인하여 다음 세기에는 매 10년마다 약 6cm씩 상승하여 2030년까지는 20cm, 2100년에는 약 65cm가 상승할 수가 있다는 것이다(그림 10).

전세계 인구의 70% 이상은海岸線에서 60km 이내에 거주하고 있으므로海岸지역 및低地代 주민의 거주문제와農業, 水資源, 山林 등에 막대한 피해를 줄 우려가 있다. 또한颱風·暴風雨·海溢 등의自然災難에 더욱 노출될 수 있으며, 이러한 위험이 특히人口密度가 큰開發途上國에 더 큰 부담이 되고, 그 10대 危險順位는 방글라데시·이집트·감비아·인도네시아·몰디브·모잠비크·파키스탄·세네갈·수리남·태국이라고 한다. 인구 17만 7천 명이 살고 1,176개의 낮게 자리잡은環礁섬으로 구성된 몰디브 共和國의 마우문 압둘 가이움(Maumoon Abdul Gayoon) 대통령은 “우리는滅種危機에 처한 國家이다”라고까지 했다.

육상植物界 植生 또한 변하게 될 것이다.氣候帶가 兩極지방으로 약 5~600km 이동함에 따라 현재의穀物 生産지역이 北便하여 캐나다, 러시아 등이穀倉이 되는 경우도 가상할 수 있다. 그러나 이에 따른 水資源 공급이 수반되어야 하는데, 1988년도에 美國 대륙에서 겪은 것과 같은 심한 폭서와 한발이 동반된다면 오히려 荒蕪地로 化할 우려성이 있기 때문이다.

氣象狀態도颱風發生 海域이 넓어짐에 따라 그發生頻도가 증가될 가능성이 있으며 우리나라 같은中位度 지역에서는 더 많은颱風을 겪게 될 것인데 그 威力은 미지수이다.

北極이 더 더워짐에 따라南北 氣溫傾도가 작아

져서 氣壓系의 이동은 현재보다도 더 순탄하며 東으로 이동할 것 같으나, 그 頻도와 強度는 역시 미지수이다. 즉 氣溫上昇 傾向이 뚜렷한 반면에 降水 量 즉 水資源의 변화에 대해서는 어떤 일치된 결과가 제시되어져 있지 않다.

하나의 위안적인 反論으로서는 아직도 數學的인 모델이 大氣 海洋 陸地表面과의 複雜 微妙한 相互關係를 상세히 고려할 수 없는 近似式에 의한 결과이며, 海洋의 炭酸가스량 조절 능력 및 구름의 輻射 에너지 조절 역할에 대한 기여도를 확실히 알고 있지 못한 상태라는 것이다.

그러므로 이 不確實性 때문에 美國에서는 52명이나 되는 노벨상 受賞者 및 700여명의 科學院 위원들은 불확실한 과학적 증거에 근거한 정부의 현명하지 않은 對應政策 수립을 비난하고 나서서 부시대통령을 난처하게 만들기도 하였다.

氣候란 항상 변동하고 있는 것이며, 炭酸가스량이 20%가 증가하였고 氣溫上昇이 관측되었다 하더라도, 순수한 氣候變動 요인에 의한 溫暖化와 炭酸가스에 의한 영향을 어떻게 구분할 수 있으며, 관측결과도 尙 地球 表面에서 고르게 標本化하여 얻어진 것이 아니라고도 한다. 美國의 海洋大氣管理廳(NOAA)의 Kirby Hanson도 昇溫 사실이 세계 어느 지역에서나 나타나는 것이 아니며, 美國內의 조사결과는 뚜렷한 昇溫 사실이 분석되지 않고 있다고도 하였고, 우리나라의 경우도 추평령과 울릉도에서는 지난 수십년간 氣溫 計算 추세가 거의 나타나지 않고 있음과 恰似하다.

어쨌든 급격한 地球 溫暖化 傾向은 確證되고 있는 사실이고 현재보다 다른 상태를 유도할 것이며, 그 도래할 상태가 현재보다 더 좋은 환경이 되리라고 생각하는 것만은 회의적이다. 따라서 우리는 이러한 급격한 環境變化를 위한 조치가 강구되어져야 함은 당연한 것이다.

## 6. 國際的 規制 勞力

1972년 로마클럽의 報告書인 “成長의 限界”에서 지적된 地球 氣溫上昇에 대한 공식적 우려에 이어, 世界氣象機構(WMO)에서는 UN산하 관련 專門機構와 협력하여 1979년에 제 1차 世界氣候會議(The First World Climate Conference)를 개최하였으나, 世界氣候計劃(World Climate Programme)을 착수하는 것 이외에는 國際的 的을 집중시키지 못하였다.

그 후 1980年代에 들어서면서 1985年度에 南極의 오존홀(Ozone hole) 발견, 같은해에 오스트리아



의 빌라하(Villach)에서 세계기상기구(WMO)·UN·환경계획(UNEP)·국제과학연맹위원회(ICSU)는 공동회의를 열고 CO<sub>2</sub>가 지구 온난화의 주범이라는 것을 공식선언, 1987年 UN總會가 “生態系의 相互作用이 國際安保의 不可分의 一部”라는 國際 環境問題 決議案, 1988년도에 전세계를 휩쓴 異常氣象과 특히 美大陸의 극심한 한발과 혹서현상들이 기폭제가 되어 氣候變化에 대한 제1차 政部間 協義會(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)가 개최되었다. 이 협의회 제안내용은 11年만에 제2차 世界氣候會議을 개최하는 계기가 되었으며 閣僚級 會議 宣言文 채택으로 각국은 溫室氣體 規制 노력에 동감하게 되었고, 일부 선진국에서는 자발적으로 溫室氣體 특히 炭酸가스의 排出 規制案을 제시하게 되었다.

그러나 이 수준은 과학자들이 제시하고 있는 削減案(표 4)에 훨씬 못미치는 내용으로서 전문가들은 현재의 大氣狀態를 유지하기 위해서라도 더욱 획기적 감안을 주장하고 있다.

1992年 6月 3일부터 14일까지 브라질의 리우데자네이로에서 개최된 리우會議 즉 “UN 環境開發會議(UN Conference on Environment and Development)”에서는 향후 지구환경 보전의 기본 원칙이 될 리우 선언과 그 環境 協力 實踐計劃 (Agenda 21)이 채택되었으며 기후 온난화 방지를 위한 「기후 협약」등이 우리나라를 포함한 154개국이 서명함으로써 하나뿐인 지구를 지키는데 대한 전 인류의 관심을 집중시켰다.

표 3. 主要 先進國이 自發的 自體 炭酸가스 排出量 規制 目標值.

國 家	內 用
Austria	2005년까지 現在 水準의 20% 削減
Canada, Sweden, Norway	2000년에 現在 水準으로 凍結
Denmark, Newzealand	2000년에 現在 水準의 20% 削減
France, U.K.	2005년에 現在 水準으로 凍結
Germany	2005년에 '87年 水準의 25% 削減
Japan	2000년에 대응 現在 水準으로 凍結

표 4. 現在の 大氣狀態를 維持하기 위한 人爲的 溫室氣體 排出 規制率.

溫 室 氣 體	規 制 率
炭酸가스 (CO <sub>2</sub> )	>60%
메 탄 (CH <sub>4</sub> )	15~20%
酸化窒素 (NO)	70~80%
프레온 (CFC-11)	70~75%
(CFC-12)	75~85%
(HCFC-22)	40~50%

## 7. 우리의 對應

따라서 우리도 현재 고조되고 있는 국민들의 環境保全意識을 지속시켜 溫室氣體 排出規制에 대한 국제적 보조 유지와 低減 技術開發은 물론 우리가 선진국으로 진입하기 위해서는 필수 불가결인 각종 무역규제 장벽을 헤쳐 나가는 방안을 모색해야 할 것이다.

東·西 冷戰體制의 붕괴에 따라 새롭게 형성되는 세계 질서의 중심과제로 地球 環境保全을 위한 國際協力の 필요성도 크게 부상하고 있다. 따라서 중요한 것은 세계적 環境保全 노력에 동참뿐만 아니라, 배달민족의 삶의 터전인 우리 강산을 가능하면 자연 그대로 깨끗하게 보존하는 것이다. 바로 삶의 운택과 환경보전의 衡平을 均衡있게 조화시켜 發展 (Sustainable development)해 나아가는 것이 국민 모두의 열망이며 국가 經營政策의 기본이 되어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

김법철·이승환 (1990) : 地球環境報告書(State of World 1990 by L.R. Brown의 翻譯書), 圖書出版 따님, p.398.

金運玉 (1981) : 氣候學 概論, 正益社, p.453.

김영일 (1991) : 地球의 마지막 選擇 (The Greenhouse Effect by S. Boyle and J. Ardill, 1989의 翻譯書), 東亞出版社, p.304.

노재식 (1990) : 環境科學 入門, 電波科學社, p.300

中央氣象臺 (1989) : 地球氣候를 診斷한다. 中央氣象臺, p.206.

American Geophysical Union (1992) : Volcanism and Climate Change, AGU Special Report, AGU, Washington, D.C., p.27.

Arrhenius, S.(1896) : On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature on the Ground, Philadelphia Mag., J. Sci. 41, pp237-76.

Critchfield, H.J. (1966) : General Climatology 2nd ed., Prentice-Hall Inc., Englewood, p. 420.

Houghton, J.T., G.J. Jenkins and J.J.Ephraums edited (1990) : Climate Change, Report Prepared for IPCC by W/G 1, Cambridge Univ. Press, p.364.

Houghton, R.A. and G.M. Woodwell (1989) : Global Climate Change, Sci. Amer., Vol.

260. No. 4, pp.18-26.

Jager, J. and H. L. Ferguson edited (1991.ed) :  
Climate Change : Science, Impacts and  
Policy, Proceedings of 2nd World Climate  
Conference, Cambridge Univ. Press, p.578.  
Jouzel, J. et al. (1987) : Vostok ice core : a

continuous isotope temperature record over  
the last climate cycle (160,000 years),  
Nature vol. 329, No.6138, pp. 403-407.

White, R.M. (1990) : The Great Climate Debate,  
Sci. Amer, Vol.263 No.1, pp.18-25.