

# 全球氣候變遷中我國的監測與研究工作規劃

柳中明<sup>1</sup> 蔡清彥<sup>2</sup> 劉紹臣<sup>3</sup>

<sup>1</sup>台灣大學大氣科學系

<sup>2</sup>中央氣象局

<sup>3</sup>美國海洋與大氣總署 環境研究實驗室(NOAA/ERL)

## 摘 要

全球性的環境與氣候變遷，已為未來不可避免的預期事實，我國在有關全球性的氣候變遷監測與研究工作中，應如何定位？基本上，全球變遷是30年或50年時間尺度的變動，而我國應更關切10年或更短期內的中尺度區域性變遷。在此定位下，本文主要規劃未來有關大氣化學成份與大氣輻射場的監測與研究工作，此些工作將由中央氣象局負責有關常態性的作業，而由學校研究人員負責精密性的實驗室分析與資料分析。目前全球氣象組織(WMO; World Meteorological Organization)正在規劃與推動全球大氣監測(GAW; Global Atmosphere Watch)，我國雖因政治因素無法參與，但由於我國過去努力的成果與未來規劃的方向均與GAW一致，相信科學並無國界，我國應可與GAW交換資料，以期了解全球性的變化趨向。目前在東亞地區，我國已可透過國際科學總會(ICSU; International Community of Science Union)下之東亞與北太平洋區域研究組織(APARE; east Asia/north Pacific REgional study)與東亞諸國(包括大陸)交換資料，今年11月30日~12月3日並將在我國召開「東亞區域性環境與氣候變遷國際研討會」，希望逐步展開東亞監測與研究合作。

## 壹、引言

全球的大氣組成成份，正在因為人類活動而逐漸改變。譬如高層臭氧逐年減少；對流層內溫室氣體逐年增加；火山爆發與近地面工商活動分別造成平流層內與對流層內懸浮微粒增加。這些大氣組成成份的改變，對於大氣中太陽短波與行星長波輻射傳遞過程，具有相當程度的影響，並在累積效應下改變大氣內能量的分配，而致改變大氣環流運動與

氣候。譬如：臭氧層被破壞，一方面在平流層內減少吸收紫外射線，而致近地面紫外射線輻射加強，直接影響人類健康；另一方面則造成平流層內能量吸收減少，而致氣溫正逐年減少。至於對流層內溫室氣體的特續增加，則已知會造成近地面氣溫上升、海水水位上升、以及氣候的明顯改變。但是懸浮微粒的增加，會產生什麼效果呢？理論上，會反射

吸收減少，而致氣溫正逐年減少。至於對流層內溫室氣體的持續增加，則已知會造成近地面氣溫上升、海水水位上升、以及氣候的明顯改變。但是懸浮微粒的增加，會產生什麼效果呢？理論上，會反射太陽輻射，而致抵達地表面的太陽輻射能量減少，近地面氣溫下降。1992年菲律賓火山爆發已知造成全球氣溫下降 $0.3^{\circ}\text{C}$ ，而1991年科威特油田大火造成附近地區氣溫下降約 $10^{\circ}\text{C}$ 。不過，由於懸浮微粒不清的問題。此外，雲在此大氣輻射和氣候改變的在大氣中生命期並不長，且區域性濃度上升，並不過程中，扮演了什麼角色？此亦是科學界不斷在爭一定會迅速影響全球能量平衡。因此懸浮微粒增加論的問題。基本上，雲可同時加強溫室效應，與反所產生的冷卻效應，能否平衡全球溫室氣體增加所射太陽輻射，減少全球所能吸收的太陽能量。同時造成的溫室效應加強作用，仍是截至目前為止混淆，全球污染物質的增加，以及海洋中DMS釋放量的增加，均使得雲滴凝結核增加，而致雲形成的機率上升。關鍵是多數雲是形成在高層(冰晶雲)、中層或低層(暖雲)，此將影響溫室效應加強或冷卻效應加強。

簡而言之，大氣組成的改變，會改變大氣輻射傳遞與能量分配，但是由於懸浮微粒與雲的角色，以及大氣化學成份改變的區域分佈情形，均未明確了解，因此未來氣候的改變，仍可能有許多變數存在。那麼，台灣在此全球變遷的監測與研究潮流中，應扮演什麼角色呢？在此，必須提出另一個事實：那就是自蒙特婁協定成功地完成全球性合作，以減少CFC的釋放後，許多先進國家已在規劃全球性溫室氣體釋放的管制合作，屆時又將是以貿易制裁為手段，來要求全球合作。因此積極參與國際合作監測與研究，除將有助於提昇國內研究水準與國際知名度外，亦將能協助我國了解全球變遷的關鍵疑

點，以及了解全球和本區氣候的未來可能變化。這些資訊，當然不能直接協助我國在全球管制的談判辯論之中，但卻是很重要的背景資料之一，尤其是有關本區的污染排放貢獻與受其他地區的影響情形，或大氣輻射改變狀況以及氣候改變的趨向等等。

因此我國的監測與研究工作，應區分出全球性和區域性部份，也即是要了解全球性變化趨向，以及本區貢獻或受影響部份。而為達到此些目標，參與國際合作的監測與研究，將能解決我國科學人才不足的問題，並引進先進監測與分析技術，直接進入科學研究的核心重點。以下分就大氣化學成份和大氣輻射之監測與研究，提出規劃藍圖。所有參與規劃的人員資料，均列於表一中。

## 貳、大氣化學成份監測與研究

大氣化學成份指的是單位體積內所有的化學物質，但是真正對大氣輻射場或雲形成有影響的，則可區分為長生命期與短生命期物質。長生命期物質譬如 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、CFCs。等在對流層內的生命期可達10年以上(表二)。由於生命期長，因此在大區域內極易均勻混合，且濃度高，所以不易區分出較小區域的貢獻量。因此，長生命期化學物質的長期變化，非常適宜作為全球性化學組成成份改變的研究指標，但非為中尺度區域性變化的適當指標，也即無法明確說明本區域受全球其他地區污染的影響或本地區的貢獻。

短生命期化學物質，則指的是其他生命期短於30天以下者。在此，需特別說明「臭氧」的角色。在平流層內，臭氧的長期減少趨向，為明顯的全球性變化，因此在本地監測垂直空氣柱內臭氧總量(或稱總臭氧)，主要為確認本地上空臭氧層逐年減

少的情形，並與國際觀測相驗證。而對流層內的臭氧，在單位空氣柱中的濃度的為平流層內臭氧的10%，所以長期變化尚不足以影響總臭氧的變化趨勢，但是其在對流層內能吸收 $9.6\mu\text{m}$ 行星長波輻射，為具相當影響力的溫室氣體之一。同時， $\text{CH}_4$ 與 $\text{CFC}_s$ 在對流層中主要需與OH反應，才遭破壞，而OH濃度與 $\text{O}_3$ 的變化呈非線性相關，因此充份監測 $\text{O}_3$ 與 $\text{O}_3$ 的先驅物質如NO、HC、CO等，將能協助了解大氣中OH的濃度變化趨勢，並進而了解 $\text{CH}_4$ 與 $\text{CFC}_s$ 在大氣中的破壞機制。附帶提出一點：OH的生命期極短，直接測量非常困難，而間接估算就成為重要工程。當然，大氣化學的反應是非常複雜的，要了解 $\text{O}_3$ 在對流層內的生成與破壞情形，就必須充份掌握含氮物質的變化，也就是臭氧生成反應前的污染源排放，和反應後的化學物質變化。這裏除氣態物質外，尚需包括監測液態與固態的含氮物質。而由於以上所討論的物質，均為短生命期者，因此國際性的合作監測，就非常重要。因為觀測點多，監測時間長，才足以掌握短生命期化學物質的時空變化情形，相對地也就能掌握本地貢獻與受其他地區影響情形。

就長生命期物質的監測與研究而言，中央氣象局已在台北與成功站長期監測總臭氧，配合東亞附近資料，已可確定本地也觀測到總臭氧在近年內逐年減少的情形(柳, 1987)。由於總臭氧的測量，乃觀測近地面的紫外射線強度，再反演出總臭氧濃度，所以台北與成功的資料，可以相互比較，以了解城市污染區與鄉村清潔區的濃度差別，此些資料目前均已進入全球臭氧中心(World Ozone Center)。中央氣象局並同時監測全天空UV輻射通量，期望了解近地面紫外射線長期的變化趨勢，是否與總臭氧變化呈現負相關，目前資料尚不足以提出任何關聯。同時，板橋站每一星期正在進行垂直臭氧剖面的觀測，此資料可以說明垂直方向上臭氧量的長期變

化情形。當然，目前的觀測資料尚不足以進行長期變化的分析，但若配合大尺度氣流場的變化分析，則吾人應可了解總臭氧的季節性或年際變化，是受到垂直方向上那些氣團移動的影響。

另外，中央氣象局已在台北與成功站觀測溫室氣體中最重要的一員： $\text{CO}_2$ 。不過，成功站的資料，比較接近全球的觀測濃度，而台北站的資料約為成功站的一倍，顯示受本地污染的影響極大。至於有關 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 與 $\text{CFC}_s$ 的測量，目前計劃與美國大氣海洋總署(NOAA)下之氣候監測與分析實驗室(CMDL Climate Monitoring and Diagnostic Laborator)合作，並由交通大學應用化學系王念夏教授負責，主要工作進行方式為選定測點，進行每週一次空氣採樣，將樣本送回學校實驗室，然後在實驗室內進行化學分析。估計自1993年7月起，可以開始進行 $\text{CH}_4$ 的測量，然後在第二或第三年進行 $\text{N}_2\text{O}$ 與 $\text{CFC}$ 的分析。第三年後，則希望逐漸轉移實驗室內分析技術予中央氣象局。而有關的 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 與 $\text{CFC}_s$ 等資料，除可進行本地區的季節性與年際變化研究外，亦將與NOAA/CMDL交換，以進入全球的資料庫中。

有關短生命期化學物質的監測與研究，由於主要期望分析中尺度的區域性背景濃度，以了解其他地區輸入本地區的化學物質濃度，以及本地區輸出的貢獻量，因此首先必須解決的問題是選擇測量地點。分析台灣的污染源分佈狀況，似乎很難在本島內找到一個清潔測點，因此選擇蘭嶼測點為永久性測點。蘭嶼測點的優點為遠離本島污染源，與未來產業東移的可能衝擊，本地則只有海岸線上的交通污染排放。不過，中央氣象局蘭嶼站約在海平面上280呎高度，且島嶼小、風速大、不易受到海岸的交通污染影響。此外蘭嶼測點能充份代表來自台灣東方與南方的氣流特徵，至於來自西北方的污染空

氣則因受台灣地形的阻擋，較不易直接抵達蘭嶼，並且也可以自資料中清楚辨認出來。其唯一的缺憾為交通不便，因此未來的監測應以發展自動監測與自動採樣為主。而有關於的監測項目就侷限在 $O_3$ 、CO與 $SO_2$ ，另外再加上NO與 $NO_2$ 測量的可能性。所以未來蘭嶼站將主要在分辨來自海洋與大陸地區的氣流中 $O_3$ 、CO與 $SO_2$ 等濃度，也即其他地區對本地的影響分析。而有關於本地對其他地區的影響分析，蘭嶼站資料可以說明來自西北方台灣地區對西太平洋海洋地區的污染貢獻，至於其他方位的傳輸則無法進行分析。另外，台灣與大陸之間的近身傳輸分析，蘭嶼站的資料亦無法回答，未來需在台灣西方與北方島嶼或高山上進行測量，以了解設站的可能性，再進行此方面的研究。此外，吾人將採用自動或簡便的採樣設備，以收集空氣樣本，進行空氣中碳氫化合物的成份分析(HC)，以及懸浮微粒(Aerosol)中硫酸根、硝酸根，和追蹤性金屬的分析。有關HC分析方面，將區分為 $C_2-C_5$  HC與 $C_6-C_{12}$  HC，並分別由清華大學左台利與羅俊光教授負責。而有關於Aerosol分析，則將由師範大學吳家誠教授負責。

以上具體之規劃如下：

- 長生命期化學物質：
- 總臭氧(中央氣象局、台北與成功站)配合UV-flux測量
  - 氣垂直剖面(中央氣象局、板橋站)
  - $CO_2$ (中央氣象局、台北與成功站)
  - $CH_4$ ,  $N_2O$ 與CFCs(中央氣象局蘭嶼站採樣，交大王念夏與謝有容化學分析美國NOAA/CMDL協助)

- 短生命期化學物質：
- $O_3$ , CO與 $SO_2$  (可能包括NO,  $NO_2$ )自動監測。(中央氣象局蘭嶼測站)
  - $C_2-C_5$ HC(每週一次採樣後，清大左台利分析)
  - $C_6-C_{12}$ HC (每週一次採樣後，清大羅俊光分析)
  - Aerosol(每週一次採樣後，師大吳家誠分析)

這些資料在收集後，將存在中央氣象局大氣物理科一份，並交台大全球變遷中心資料組一套，以與國際相關研究機構交換資料。目前，我國主要參加ICSU之下IGBP之下IGAC(全球大氣化學研究)之下的「東亞與北太平洋區域性研究」(APARE)。在此組織內，我國為正式會員，因此可以與中國大陸、日本、南韓等國交換資訊。而有關於短生命期化學物質的分析研究，將主要由台大柳中明負責。1999年9~10月我國曾參加APARE所規劃的西太平洋監測研究(PEM-west)，並在墾丁設站進行相關觀測。初步的資料分析已報告於柳(1992a, b)，其結果可以明確分辨來自海洋的清涼空氣，來自北方大陸地區的污染空氣，與來自台灣西方污染地區的特殊高濃度空氣，此資料分析經驗，可適用於未來蘭嶼站的資料分析。

## 參、大氣輻射場監測與研究

國際間有關大氣輻射場之監測，目前並無全球性的連繫網路，不過在美國大氣暨海洋總署(NOAA)下之氣候監測與分析實驗室(CMDL; Climate Monitor and Diagnostic Laboratory)，及能源部(DOE)所推動之大氣輻射測量計劃(ARM; Atmospheric Measurement Program)，還有世界氣象組織(WMO)下之世界氣候研究計劃(WCRP)中的

全球能量與水循環實驗 (GEWEX; Global Energy and Water Cycle Experiment)，均有相關之輻射研究站位置。其構想多為進行長期地面上之大氣輻射場測量、雲量觀測以及空氣中懸浮微粒特徵分析；所獲取之資料，可提供進行相關的研究分析--包括大氣輻射資料之氣候性分析、地面能量平衡分析及校驗衛星遙測資料等；並在與全球測站資料相配合後，進一步從事全球大氣輻射資料分析，以及協助發展氣候模式。在初步與美國 CMDL、ARM和日本 GEWEX 等組織參與之科學家連繫後，決定亦在國內發展一永久性之大氣輻射研究站，長期追蹤台灣地區大氣輻射場(包括紫外射線)，以研究大氣成份改變後，對本地長期之大氣輻射場造成的影響；同時進行雲與懸浮微粒對大氣輻射場影響之相關研究。未來將考慮擴展為全島性的觀測研究。

研究站的設計有二問題：一為測量項目，另一為地點選定。目前中央氣象局在全島 7 個站長期進行太陽輻射通量測量，但並未分辨不同波段的變化，如紫外射線、可見光、紅外光等的差異；因此本研究站之測量項目，自以測量波譜變化為重心。其次，近年來國際間研究大氣輻射與氣候相關的學者，對於雲、懸浮微粒、大氣成份和大氣輻射場之間的影響，一直無法予以定量的瞭解，遂使得有關的長期氣候模擬研究，無法從中明確分辨雲與懸浮微粒的長期效益，及氣候的未來變化；是以我們研究的重心應放在定量的雲、懸浮微粒、大氣成份與太陽輻射場的相關研究。至於測量地點的選定，由於本局嘉義測站位近北迴歸線，具氣候上之特殊地理位置，同時嘉義站位於郊區，附近地形平坦，主要為農田，無大型之工業污染源，大致上嘉義測站可以代表台灣西岸嘉南平原的大範圍區域特徵；同時嘉義地區陽光充足，一年內晴朗無雲的日數相當多，因此非常適宜長期進行太陽波譜觀測分析，以及

雲與懸浮微粒的研究。

預期嘉義站未來所將進行的觀測項目，包括：

- (1) 太陽短波波譜：目前已決定與美國紐約州立大學大氣科學研究中心合作，使用其發展出之多頻旋轉掃描輻射儀(MFRSR; Mult - filter Scanning Radiometer)，測量 $0.35-1\mu\text{m}$ 內 7 個波段，預期此資料將可提供垂直空氣柱中水汽、臭氧、懸浮微粒與雲的光學衰減厚度。
- (2) 雲 觀 測：將建立雲底高度自動觀測設備(cilometer)，分辨雲的出現與雲底高度
- (3) 懸浮微粒觀測：將分析懸浮微粒的粒徑分布譜、散光係數及化學成份等。

由於各項儀器相當精密，未來除連續性觀測外，亦將採密集實驗之觀測方式，並同時進行垂直柱上水汽之探空觀測。

嘉義站長期以來即為微氣象研究站，因此配合本研究站之設立，未來可以改進為近地面能量平衡的研究站，再配合參與美國ARM (大氣輻射測量)等國際研究計劃，則另可進行衛星遙測資料之校驗研究。此外，這些輻射資料，亦可提供為國內各類型大氣模式中輻射程式之校驗資料。

此外，配合台灣背景大氣的研究，本站的長期設立，將可協助研究本區因全球性大氣成份改變，

而致輻射場受影響的情形。

## 肆、結論

氣候變遷的監測與研究，在本計劃中只討論到大氣化學與大氣輻射的部份，而有關氣候本身的研究，則尚需國內科學界努力進行。由於氣候變遷的時間尺度是在10年以上，因此所有規劃的工作，均希望能長期持續進行，而科學界的參與亦希望永續不斷。

由於我國位於大陸與海洋的交界，高緯與低緯氣團的邊際，又因中央山脈造成東岸與西岸空氣的阻隔，所以能分別觀測到北方污染大陸性空氣、南方與東方清潔海洋性空氣和本身污染輸出的物質，其特殊之地理氣候，為全世界少有，若能維持高水準之化學與輻射監測，定將對國際科學界有所貢獻，並能協助監測本地區之大氣化學、輻射甚至氣候變化趨向。

## 伍、參考文獻

柳中明，1987：南極臭氧洞—現象與原因。氣象學報，33，217-235。

柳中明，1992a：大尺度空氣污染調查及防制策略之研究(7)台灣背景大氣研究：移動性實驗室發展與背景空氣品質分析。EPA-81-E3F1-09-07。

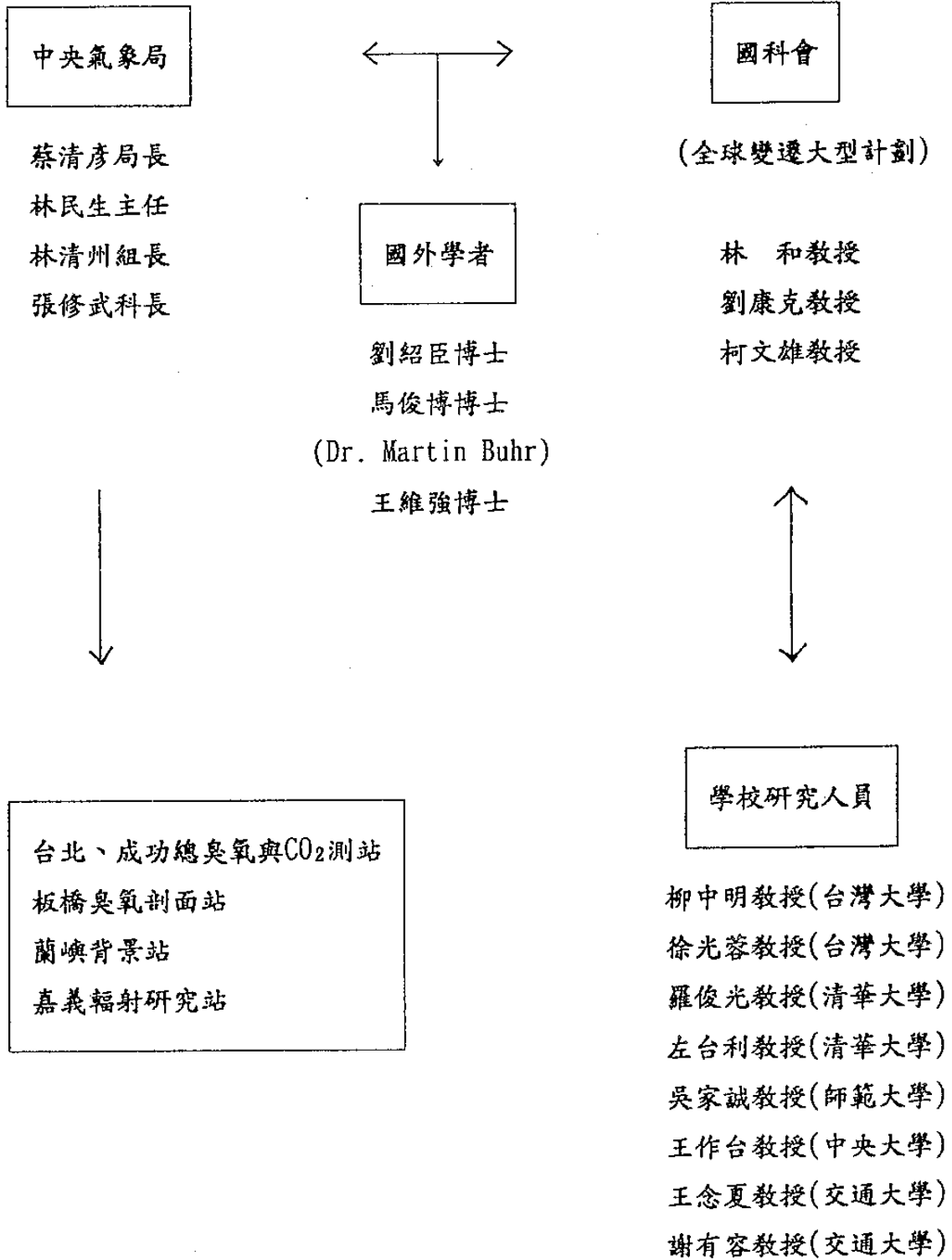
柳中明，1992b：台灣背景大氣研究(1)中美合作“氣候與空氣品質台灣站”(CATS)研究發展與西太平洋地區觀測(PEM-west)研究計劃及背景大氣中甲烷(CH<sub>4</sub>)測量分析。NSC-81-0421-M002-24Z。

IPCC, 1990: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 365pp.

IPCC, 1992: Climate Change: The Supplementary Report to The IPCC Scientific Assessment. J.T. Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney (Eds.) Cambridge University, UK, 200pp.

WMO, 1991: Scientific Assessment of ozone Depletion: 1991. World Meteorological Organization. Global Ozone Research and Monitoring Project-Report NO. 25.

表一：我國全球氣候變遷監測參與人員與單位



表二：主要溫室氣體的特徵

溫室氣體	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CFC-11	CFC-12	N <sub>2</sub> O
工業發展前 (1750-1800)	280 ppmv <sup>2</sup>	0.8 ppmv	0	0	288 pptiv <sup>2</sup>
目前 (1990)	353 ppmv	1.72 ppmv	280 pptiv <sup>2</sup>	484 pptiv	310 pptiv
逐年增加率	1.8 ppmv (0.5%)	0.015 ppmv (0.9%)	2.5 pptiv (4%)	17 pptiv (4%)	0.8 pptiv (0.25%)
大氣中生命期 (年)	(50-200)	10	65	130	150



## Monitoring of The Global Climate Change in Taiwan

Chung-Ming Liu<sup>1</sup> Ching-Yen Tsay<sup>2</sup> Shaw C. Liu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

<sup>2</sup>Central Weather Bureau, R.O.C.

<sup>3</sup>Aeronomy Lab., NOAA/ERL, U.S.A.

### ABSTRACT

Global environment and climate are in an irreversible process toward an unpredictable change. Within such a global scale evolution, what is the position of our local scientific community toward monitoring of the climate change? Basically, global change is in a time scale of 30 to 50 years, however, we shall be more concerned with regional changes within a time scale shorter than 10 years. Hence, we have proposed to monitor the regional atmospheric chemistry and radiation field by setting up LAnyu Baseline Station (LABS) and the CHIayi Atmospheric Radiation Measurement (CHARM) programs. The planning is to let CWB personnel to perform routine operational duties, whereas the university scientists to do the laboratory works and the data analysis. Currently, WMO is setting up the Global Atmospheric Watch (GAW) program. Our country is not allowed to participate the GAW program, because of the political reasons. However, since we are in an unique geographic position, our monitoring programs will eventually be noticed by GAW and be allowed to exchange data with GAW. At present, we may exchange data with east Asia countries through the APARE (east Asia/north Pacific Regional study) organization which is one of major focuses of IGAC (International Global Atmospheric Chemistry) program. During November 30 - December 3, 1993, the "International Conference on Regional Environment and Climate Changes" will be hosted by R.O.C. at Taipei.

