

中央氣象局蘭嶼背景大氣站二氧化碳 1997-2007 年監測分析

林大偉 鄭琇嫻 陳瑋蘭
中央氣象局第二組

摘要

中央氣象局在 1995 年於蘭嶼氣象站設立背景大氣監測站，對近地面包含二氧化碳等大氣成分進行長期監測，供氣候變遷之研究與應用。CO₂ 的測定係以非散射紅外光測定(NDIR; Non-Dispersion Infrared)原理進行，藉由吸收紅外線的特性偵測氣體中二氧化碳濃度，並進行每日自動校正及每月 2 次現場調校維護。本監測分析利用 1997 至 2007 年的 CO₂ 檢測資料，分析日夜變化、季變化、年際變化等，並與國際大氣背景站進行比較分析。於 1997 至 2007 年間，蘭嶼 CO₂ 平均濃度逐漸上升，每年約增加 2.41ppm，年增百分率為 0.63%，與美、日等 WMO/GAW 國際背景站同期間量測所得結果相近。

一、前言

全球暖化問題已受到全世界高度關切，二氧化碳是最重要的人為增加的溫室氣體，全球大氣中二氧化碳濃度已從工業革命前的約 280ppm，增加到了 2005 年的 379 ppm。二氧化碳等溫室氣體含量在討論全球氣候變遷所使用的輻射驅動力 (Radiation Forcing) 貢獻最高，CO₂ 濃度在近十年中 (1995 至 2005 年) 平均增加速率為每年 1.9ppm，比有連續直接大氣觀測以來 (1960 至 2005 年) 的平均年增率 1.4ppm 更高 (IPCC, 2007)。

中央氣象局在 1995 年於蘭嶼氣象站設立背景大氣監測站，對近地面包含 CO₂、NO_x、O₃、SO₂、CO 等大氣成分進行長期監測，以解析遠離都市化及工業化影響的較乾淨地區大氣的成份及變化，並供氣候變遷之研究與應用 (柳等, 1999)。本文希望運用蘭嶼背景大氣站的二氧化碳監測資料，分析日夜變化、季變化、年際變化等，並與國際背景大氣站進行比較分析，以對台灣本地背景的二氧化碳濃度特性有更多了解。

二、蘭嶼二氧化碳監測現況

蘭嶼背景大氣站的空氣成分自動檢測，受檢氣體來自採樣口 (距地面高約 7 米)，經鐵氟龍管路抽引之後，由分析儀幫浦抽引 1.0L/min 流量並經乾燥處理之後進入分析儀進行測定。二氧化碳之檢測在經過建站初期多次在校正系統之測試、運作、修正之後，自 1997 年起已可充分掌握背景大氣二氧化碳的變化特性 (柳等, 2005)。CO₂ 分析儀先後使用 SIEMENS ULTRAMAT 5E 及 6F 型二氧化碳分

析儀 (2005 年 7 月更換)，測定範圍 0~1000 ppm，以非散射紅外光測定(NDIR; Non-Dispersion Infrared)原理進行測定，藉由吸收紅外線的特性偵測氣體中二氧化碳濃度。

三、校準及維護情形

蘭嶼背景大氣站的系統校正維護分為自動校正與人工維護，儀器校正均由高濃度校正氣體與零氣體混合稀釋，以質子流量控制器控制流量，提供穩定正確的校正氣體濃度；CO₂ 自動校正部分在每日清晨 3~4 時間進行零值 (zero) 及跨幅 (span) 校驗，運用零值氣體產生器、氧化去除器、稀釋校正器等設備及高濃度二氧化碳氣體 (以 2007 年為例係 2.515%) 進行稀釋。零值校驗利用零值氣體產生器提供乾燥空氣經由蘇打石灰 (soda lime) 去除 CO₂，再經由稀釋校正器產生流量 4L/min 的零值氣體供分析儀使用，以進行校正。跨幅 (span) 校驗係以高濃度之 CO₂ 氣體，經校正系統稀釋至 400PPM 提供給儀器反應，作為每日自動校正時的實際值。當日及次日自動校正得到的數據偏移值將作為測值修正的依據。

人工進行的維護週期於 1997 年起為每月維護 1 次，並自 2001 年起增加密度為雙週 1 次 (每月 2 次)。人工維護校正時將已知高濃度之 CO₂ 氣體利用零值氣體進行稀釋，以進行多點標準值 (2007 年為 450、400、350、300ppm) 及零值之校正，並以 NIST 單一標準濃度 (2007 年為 385ppm) CO₂ 鋼瓶不經稀釋以自然抽引的方式由分析儀抽引等同於採樣之流量 (1.0L/min) 進行跨幅校正，人工維護校正

的準確度測試需計算多點校正中每一測試濃度百分誤差，並要求誤差不得大於 10%，再繪製迴歸曲線記錄於紀錄表上，經最小迴歸分析法迴歸後，計算斜率需符合在 0.85~1.15，截距 $\pm 3\%$ FS，相關係數 ± 0.995 ，以確認 CO₂ 分析儀器正常。

校正系統中的稀釋校正器並經每半年 1 次做傳輸標準比對，是以完成一級標準比對驗證的傳輸標準品進行稀釋校正器的稀釋氣體 (AIR) 與標準氣體 (GAS) 流量標定。

四、資料處理

本分析利用中央氣象局蘭嶼背景大氣站 1997 年 1 月至 2007 年 12 月的逐時二氧化碳監測資料為基本資料進行分析，再沿用柳等(2005)的分析方法，為避免日間因陰晴導致測站附近植被與喬木森林等光合作用變動所造成的日間二氧化碳變異，日平均二氧化碳資料取自每日夜間 (19pm~6am) 變動率小於 1%之資料做平均。最後依日平均值進行月、季變化與年變化趨勢等分析，及與世界氣象組織「全球大氣監測」(WMO\GAW; Global Atmosphere Watch) 計畫中的國際背景大氣站資料比較。

五、分析結果

(一) 日夜變化

由於植物光合作用在白天吸收二氧化碳放出氧氣的直接關聯，CO₂在一天當中的逐時變化上會顯現午時為低值的現象 (柳等, 1999)。因此，為比較光合作用旺盛與不顯著時的CO₂日夜變化，篩選冬季 (12月至2月)及夏季 (6至8月)陽光充足之晴天 (圖 1，本分析是以蘭嶼氣象站自動觀測日照時數日累積值達7小時以上)與陰天 (圖2，日照時數為0)情況進行比較 (清晨因自動校正作業故4時無資料，均為 2007年資料)。冬季 (2006年12月至2007年2月)的晴天之日濃度差 (最高減最低)平均為8.90ppm，夏季的晴天則為11.59ppm，冬季的陰天為8.38ppm，而夏季的陰天則為6.19ppm，可見晴天使日濃度差較大，而陰天時無論冬夏均因光合作用較不顯著而使日濃度差縮小，並以夏季晴天太陽直射日射量最多而日濃度差最大；各情況中仍均以夜間至清晨濃度較高，而午間則為濃度低。而若不計日間時段，可見夏季陰天的夜間 (圖2虛線) CO₂濃度明顯較其他情況都低，深入分析發現，導致蘭嶼的夏季出現陰天無日照者，大部分都是因為颱風或熱帶性低氣壓系統位於附近地區所致，應是颱風等熱帶系統帶來熱帶海洋區低污染空氣所造成CO₂濃度的降低。

(二) 月、季變化

依前述資料處理方法取每日夜間 (19pm~6am)

變動率小於1%之資料做平均得逐日資料，再進行月平均。從逐月變化圖 (圖3)可見，蘭嶼CO₂濃度呈現每年一波的高低變化，夏秋月份白日長，光合作用充裕，加上氣溫之提升亦會增加光合作用速率，致使二氧化碳濃度偏低，冬春季則反之 (柳等, 2005；許等, 2001)。另將蘭嶼背景大氣站CO₂濃度各年當月資料依月份平均 (圖4)，亦顯示夏秋之際 (8、9月)為明顯之濃度最低月份，而冬春則為一年當中濃度較高的季節，此一月季分布與國際觀測如美國「地球系統研究實驗中心」(Earth System Research Laboratory; ESRL)所公布的二氧化碳濃度資料 (ESRL, 2008)所呈現者一致。

(三) 年變化及與國際背景站比較

蘭嶼 CO₂ 濃度除了呈現每年一波的高低變化之外，全球大氣中二氧化碳濃度的增加現象，在蘭嶼背景大氣站的監測中，亦顯現同樣逐年增加的趨勢 (圖 3 及表 1)。蘭嶼站與其他世界氣象組織「全球大氣監測」(WMO\GAW; Global Atmosphere Watch) 計畫中國際背景大氣站如日本與那國島 Yonagunijima 站及美國夏威夷 Mauna Loa 站在 1997 至 2007 年的 CO₂ 濃度年資料數值相近，且相關性均達 0.96，顯示良好的相關，線性迴歸之後的蘭嶼 CO₂ 濃度年增量為 2.41ppm (約佔 2007 年濃度的 0.63%)，與美、日等 WMO\GAW 國際背景站同期間量測所得結果相近。

從逐年變化圖 (圖 5) 亦可見各站 CO₂ 濃度均呈現逐年升高的變化，雖然蘭嶼站 CO₂ 濃度曾在 2000 年及 2001 年與韓國 Gosan 站有相同的稍下降現象，但經線性迴歸後，蘭嶼與其他美、日 2 站的逐年升幅已非常相近，另就數值而言，蘭嶼 CO₂ 濃度大致稍低於同樣位於台灣東方海面上之島嶼，但與位置較北方的 Yonagunijima 站每年差值平均約偏低 4.86ppm，可能與所在緯度有關 (柳等, 2007)。

六、討論與結論

本文分析 1997~2007 年蘭嶼背景大氣站的二氧化碳濃度的監測結果特性，在日夜變化部分，夜間至清晨間濃度較高，而午間則為濃度低，日照因素所導致光合作用的旺盛更使夏季晴天日濃度差最大。而在月季分布及年變化方面，每年一波的夏秋濃度低、冬春則較高的季節變化，及年均值與趨勢上的逐年升高情形、年增率等均與國際背景大氣站者相近，顯示蘭嶼站二氧化碳濃度監測尚能達到國際水準，且亦有很高的資料參考價值，可作為研究台灣氣候變遷時的溫室氣體含量背景基本資料。

然而,以 WMO/GAW 所主導全球背景大氣監測的規模,其長期運作已制定有完整的操作與品管系統,及人員訓練、測站評估等程序,為全世界唯一跨國界具公信力的大氣監測網(柳等,1994)。蘭嶼背景大氣站雖未能列入其監測網,無法獲得相關的專業支援,欲達到其規範標準,例如配屬專有人力進行逐時監控並逐日隨時進行校正而修正資料,或以嚴格的降溫除濕程序,加入多重的更高等級精密設備以完全排除水汽(使露點溫度降低達 $-65^{\circ}\text{C}\sim-70^{\circ}\text{C}$),避免殘留水汽干擾 NDIR 檢測原理對二氧化碳的偵測等,實有不足之處,但仍將努力循其作業方法、校正程序等進行改善,以維持資料品質。

我國環境保護署於 2004 年設立鹿林山 (23.51°N , 120.92°E ; 2862 m MSL) 國際背景大氣站,並隸屬碳循環溫室氣體監測網 (NOAA ESRL/GMD/CCGG),其二氧化碳的取樣檢測已於 2006 年中開始進行,雖然目前可能因設備及作業調適關係,尚未對外公佈自動檢測數據,但筆者們期待未來能以蘭嶼背景站資料與鹿林山背景站做比對,並依此作為對海島背景與高山背景的監測結果特性能進一步了解,及促使 2 站設備及作業方式的更趨完善。

致謝

本分析研究感謝中央氣象局第二組及大氣物理科各先後任主政及承辦人員、台灣大學柳中明教授及蘭嶼氣象站同仁等在設立和維持蘭嶼大氣背景站監測作業上付諸的心力,使得監測站資料得以延續

並能作為長期研究之用,及「世界溫室氣體資料中心」(The World Data Centre for Greenhouse Gases, WDCGG) 提供相關監測作業程序、品管、校驗等規範和實際做法,及各國際背景站的監測資料。

參考文獻：

- 柳中明、林清洲,1984:中央氣象局蘭嶼大氣自動背景站建置之配合性計畫。台灣大學全球變遷研究中心,118 頁。
- 柳中明、張修武、劉紹臣,1999:蘭嶼背景大氣監測初析。大氣科學,27,99-129。
- 柳中明、陳正改、喬俊盛、陳瑋蘭,2005:近十年蘭嶼背景二氧化碳濃度分析。天氣分析與預報研討會,31-35。
- 柳中明、喬俊盛、陳瑋蘭,2007:1995~2004 年蘭嶼背景二氧化碳濃度分析。Global Change and Sustainable Development, 1, 13-26。
- 許博行、張安璫,2001:二氧化碳濃度與溫度對樟樹苗木生長及光合作用之影響。台灣林業科學,16, 11-23。
- ESRL,2008:Current Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. The NOAA ESRL Carbon Cycle Greenhouse Gases group website at <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg>
- IPCC, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge University Press, Cambridge, 996pp.

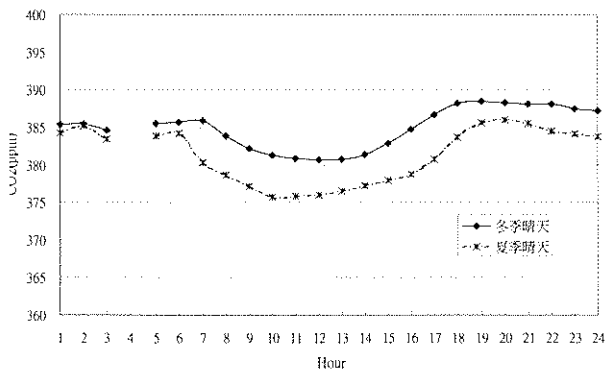


圖 1 蘭嶼背景大氣站 2007 年晴天(日照時數達 7 小時以上)狀況之冬季與夏季 CO₂ 濃度之日分布圖。

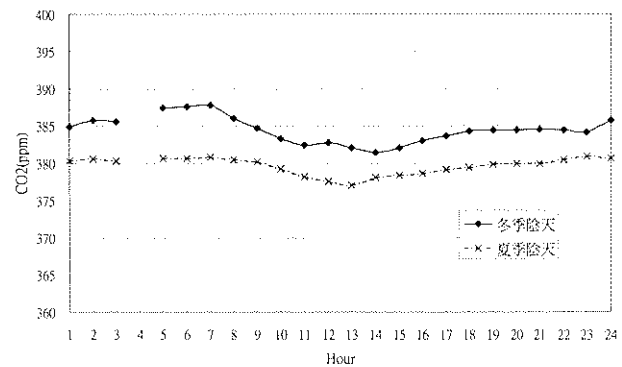


圖 2 蘭嶼背景大氣站 2007 年陰天(日照時數為 0)狀況之冬季與夏季 CO₂ 濃度之日分布圖。

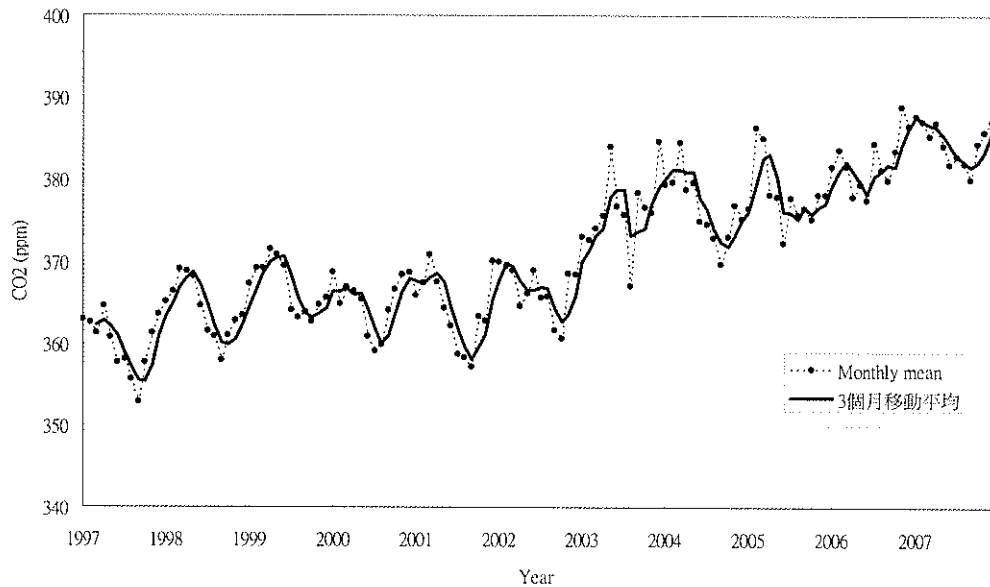


圖 3. 蘭嶼背景大氣站 CO₂ 濃度 1997-2007 年逐月變化圖，點虛線為逐月資料，實線為 3 個月移動平均。

表 1. 蘭嶼及國際之背景站 CO₂ 濃度(ppm)1997-2007 年年均值比較表，括弧中數字為年增率佔 2007 年濃度值之百分比率(Gosan 站 2002 年後資料不齊全)。

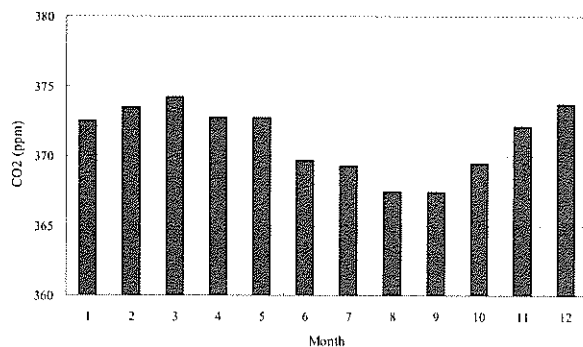


圖 4. 蘭嶼背景大氣站 CO₂ 濃度 1997-2007 年每月平均分布圖。

Year	LanYu (Taiwan)	Yonaguni- jima (Japan)	Gosan (Korea)	Mauna Loa (USA)
1997	359.88	365.58	365.60	363.47
1998	364.09	368.66	369.53	366.50
1999	366.78	370.51	374.07	368.14
2000	364.96	371.84	373.84	369.41
2001	364.01	373.44	373.19	371.07
2002	366.52	375.52	375.56	373.16
2003	376.18	378.30	--	375.80
2004	376.58	380.00	--	377.55
2005	378.09	382.53	--	379.75
2006	382.15	384.64	--	381.85
2007	384.59	386.28	--	383.72
與蘭嶼之 相關係數	--	0.9628	--	0.9631
逐年增率 平均	2.47 (0.67%)	2.07 (0.55%)	--	2.02 (0.54%)
線性迴歸 年增率	2.41 (0.63%)	2.04 (0.53%)	--	1.99 (0.52%)

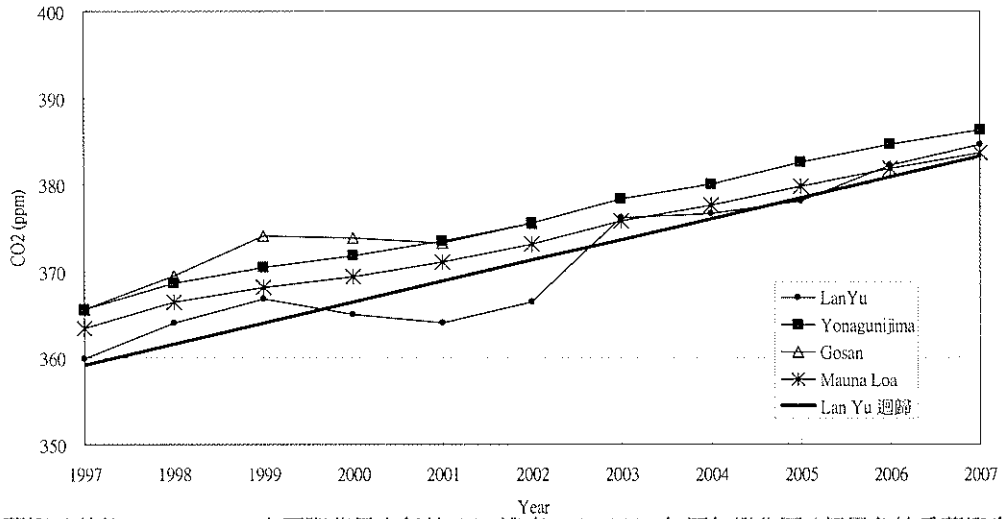


圖 5.蘭嶼及其他 WMO/GAW 之國際背景大氣站 CO₂ 濃度 1997-2007 年逐年變化圖 (粗黑色線為蘭嶼資料線性迴歸線)。

