

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

探究精神獎

051903

一「碳」究竟—溫室氣體與極地冰融

學校名稱：南投縣立旭光高級中學

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 作者： 高二 馬宇玄 高二 林志翰 | 指導老師： 李佩樺 陳英田 |
|---------------------------------|-----------------------------|

關鍵詞：溫室效應、極地冰融、二氧化碳捕獲

摘要

本實驗探討溫室氣體對極地冰融的影響，結果一：當溫室氣體受地表輻射溫度升高之實驗時，加熱光源宜選擇中紅外光區，可以避免其他波段干擾。結果二：溫室氣體分為 CO_2 、 H_2O 、 CH_4 及 N_2O 等氣體在中紅外光區皆有高的吸收率，故皆為溫室氣體。而同核物種如 N_2 及 O_2 ，因在紅外光區沒有吸收波段，故不屬於溫室氣體。結果三：依據分析可發現全球溫度和 CO_2 濃度都是呈現上升的趨勢，我們預測 18 年後 CO_2 濃度即會由今年的新高 408ppm 上升到 450ppm。結果四：在汽水模仿冰融之實驗中，亦驗證推論如冰層中富含溫室氣體（ CO_2 、 CH_4 等），當冰層融化時確實會釋放出大量溫室氣體而造成溫室效應加劇之可能。結果五： CO_2 捕獲技術以化學吸附確實可成功吸附空氣中的 CO_2 。

壹、研究動機

全球暖化是近年來台灣關注的環境議題，同時也是全世界目前最重視的議題之一，且因為全球溫度上升的關係，使得海平面同時也會上升，亦就是說地球溫度升高導致南北極的冰層融化，然而冰層融化也會跑出一些溫室氣體，在這樣的惡性循環下，地球還能住多久呢？我們又在電視新聞上看到一則新聞：科學家發現當冰層融化時，冰層內的溫室氣體會溢散到大氣中，當大氣中溫室氣體增加會加速全球溫度上升。這不禁讓我們想到課堂上所學的全球暖化議題，所謂的全球暖化是指全球溫度上升，只是我們對於溫度上升幅度，溫室氣體的變化多寡、影響力以及冰層融化時，溫室氣體跑到大氣中所造成的效應是如何，沒有多少概念，所以就在我們自然科學研究社的團員討論中，我們就做下決定且開始了這次的研究主題與探討。

貳、研究目的

- 一、探討不同紅外線光源與溫室氣體對溫室效應之影響。
- 二、探討全球溫度與二氧化碳濃度的變化。
- 三、了解全球溫度變化對南北極冰層面積的影響。
- 四、利用汽水融化模擬南北極冰融北釋放出溫室氣體之實驗，觀察比較釋放出二氧化碳之濃度與溫度上升之關係。
- 五、尋求有效減碳方法來減緩因極地冰融而造成之溫室效應加劇之情況。

參、研究設備器材

- 一、 **實驗器材**：各號橡皮塞、錐型瓶、鐵架、固定夾、廢棄光碟盒、棉花、薊頭漏斗、塑膠管、塑膠滴管、鋁箔、針筒、三向閥、保麗龍、可樂汽水、量筒、量瓶、塑膠水槽。IR LED (850nm、900nm、940nm) 紅外線投光器、LED 白光投光器、LED (400nm) 紫外線投光器。
- 二、 **實驗藥品**：35%雙氧水、二氧化錳、大理石、6M鹽酸、氯化鈣、硫酸銅、氫氧化鈉、氫氧化鈣、乾燥劑、二氧化碳鋼瓶(CO₂)。
- 三、 **儀器設備**：紅外線燈泡、紅外線黑晶爐、遠紅外線烤箱、冰箱、電腦及網路設備等、電源供應器、相機。
- 四、 **測量工具儀器**：溫度計、熱電偶溫度感測器、二氧化碳感測器、SPARK 資料蒐集主機、天平、熱顯像儀 FLIR、壓力感測器 (如表 1)。

表 1、部分實驗器材、藥品及設備一覽表。

| | | | | |
|----|---|---|--|---|
| 實圖 |  |  |  |  |
| 說明 | 冷光源 | 拍攝光譜用 | 氣體容器 | 當容器使用 |
| 名稱 | LED 投光器 | 自製光譜儀 | 針筒 | 廢棄光碟盒 |
| 實圖 |  |  |  |  |
| 說明 | 壓力感測器 | 製造氣體器材 | 遠紅外線熱源 | 絕熱實驗環境用 |
| 名稱 | 直尺 | 薊頭漏斗 | 烤箱 | 鋁箔 |
| 實圖 |  |  |  |  |
| 說明 | 絕熱環境實驗室 | 熱顯像 | 紅外線熱源 | 製造氧氣 |
| 名稱 | 保麗龍 | 熱顯像儀 FLIR | 紅外線燈泡 | 35%雙氧水 |

| | | | | |
|----|---|---|--|---|
| 實圖 |  |  |  |  |
| 說明 | 製造氧氣 | 製造二氧化碳 | 製造二氧化碳 | 吸收水氣 |
| 名稱 | 二氧化錳 | 大理石 | 6M鹽酸 | 氯化鈣 |
| 實圖 |  |  |  |  |
| 說明 | 吸收水氣 | 冰融釋出 CO ₂ | 吸收 CO ₂ | 測量 CO ₂ 濃度 |
| 名稱 | 乾燥劑 | 可樂汽水 | 氫氧化鈉 | 二氧化碳感測器 |
| 實圖 |  |  |  |  |
| 說明 | 測量溫度用 | 溫室效應熱源 | CO ₂ 來源 | 蒐集資料主機 |
| 名稱 | 溫度感測器 | 紅外線加熱器 | CO ₂ 鋼瓶 | SPARK 主機 |
| 實圖 |  |  |  |  |
| 說明 | 稱量質量 | 稱量液體體積 | 氣體定量 | 溫度測量 |
| 名稱 | 天平 | 量筒 | 量瓶 | 電子式溫度計 |

肆、 研究原理

一、 光譜學基本原理。

- (一) 電磁輻射不同區域波長對物質有不同的影響，因此我們瞭解了溫室氣體在 IR 波段有固定的吸收，意即 IR 影響的是分子的旋轉振動。
- (二) 分子旋轉振動之類型有多種型態，例如 CO₂ 分子因是直線分子，所以在伸展振動的二個可能性，一個是偶合是對稱的，另一個是非對稱的。而對稱振動因沒有偶極矩變化故不具紅外光活性，意即不吸收紅外光；但是在非對稱振動中，因會週期性的改變電荷分佈，故在 2.7 μm 及 4.29 μm 會有紅外光的吸收。同理 H₂O 在 2.66 μm 、2.74 μm 及 6.27 μm 等皆有紅外光吸收，而 CH₄ 吸收紅外線光譜範圍則在 2.4 μm 、3.3 μm 及 7.65 μm 等。
- (三) 紅外線光譜涵蓋的範圍為 0.78 μm ~1000 μm ，但視實際應用與儀器組件的不同，光譜區域略可粗分為近紅外光區 (near-infrared region)、中紅外光區 (middle infrared region) 及遠紅外光區 (far-infrared region) 三種。

二、 衛星遙測。

所謂的衛星是指繞著行星運轉的星體，而人類發射到高空用來觀測地球表面情形的機器我們就稱為人造衛星，人造衛星依其運轉方可以分為地球同步衛星及繞極軌道衛星，所謂的同步衛星，是它的運轉速度跟地球一樣所以它在高空中就像靜止不動，可以固定觀察同一區域。而繞極軌道衛星是繞著地球兩極移動的衛星，其速度比地球運轉快許多，所以可以觀察地球上許多地方。其中氣象衛星主要是用來收尋大氣與海洋相關的圖片資料，例如大氣的各種衛星雲圖以及海洋的海水溫度或海冰分布圖片，它是唯一可以顯現大尺度天氣或海洋現象於單一影像上的觀測工具。而氣象衛星所使用的觀測儀器大多是掃描輻射儀，利用望遠鏡對特定波段的輻射作掃描觀測。例如紅外線雲圖，就是利用雲頂反射的紅外線強度來判斷雲的高低。而這些觀測到的輻射量，經過衛星上的電腦處理，轉換成數位資料傳回地面接收站，地面接收後再將資料做整理轉換，就可以變成我們在電視上看到的衛星圖片了。

伍、研究過程與方法

一、探討不同紅外線光源與溫室氣體對溫室效應之影響。

(一) 實驗設計一：以一般紅外線光源與溫室氣體對溫室效應之探討。

1. 實驗前閱讀文獻探討。

一般溫室氣體有 CO_2 、 H_2O 、 CH_4 、 N_2O 及 CFCs 等氣體。而依據參考文獻可發現一般實驗常探討比較之氣體有 CO_2 、 H_2O 、氧氣、氮氣、空氣及丁烷等氣體（參考文獻 7、8）且常用紅外線燈泡來當光源。

2. 閱讀文獻後我們的想法。

我們決定以常見之 CO_2 、 O_2 、 H_2O 、一般空氣及乾燥空氣等氣體以及紅外線燈泡、紅外線黑晶爐以及紅外線烤箱當光源來做實驗及比較。

3. 實驗設計與步驟：

步驟 1：製備 CO_2 與 O_2 之氣體製備方式是以 $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ 及 $2\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{MnO}_2} 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ 製備純度較高之 CO_2 及 O_2 備用。

步驟 2：收集 H_2O ，以量瓶直接收集熱水上方之水蒸氣備用。

步驟 3：收集空氣與乾燥空氣，空氣是取用一般室溫空氣；再用將則是一般空氣加入乾燥劑成為乾燥之氣體。最後將以上五種氣體皆裝在 1000ml 量瓶裡備用。

步驟 4：不同光源對溫度與氣體間關係。

(1). 紅外線燈泡：以功率 170W 之菲利普紅外線燈泡為加熱光源，固定紅外線燈泡後，將氣體樣品放在距離光源 70cm 處，打開光源加熱 12 分鐘，紀錄溫度隨加熱時間之變化。

(2). 動手製作實驗一器材與設計：使用小畫家畫出實驗設計圖(圖 1)，再依設計圖動手完成實驗裝置實驗(圖 2)。

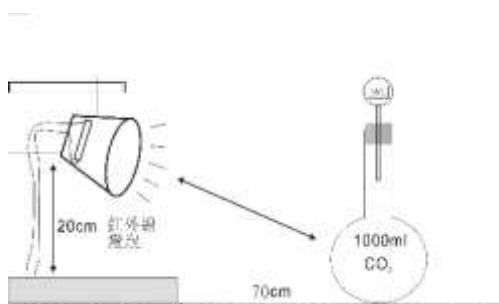


圖 1、紅外線燈泡加熱氣體實驗設計圖。

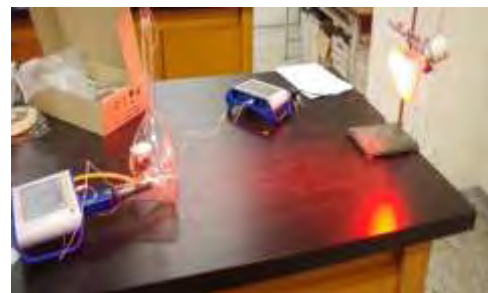


圖 2、紅外線燈泡加熱實驗裝置完成圖。

(3). 紅外線燈泡實驗條件設計如表 2。

表 2、紅外線燈泡之實驗條件

| | | |
|--------|------------------------------|--|
| 操縱變因 | 以 1000ml 之量瓶裝取各種氣體，各種氣體之製備方式 | 1. 大理石加鹽酸製備 CO ₂ 氣體 2. 雙氧水分解製備 O ₂ 氣體 3. H ₂ O 為量瓶取用熱水上之蒸氣備用 4. 空氣一般室溫空氣 5. 乾燥空氣為在量瓶內加入 50g 乾燥劑 |
| 控制變因 1 | 加熱光源 | 170W 之菲利普紅外線燈泡 |
| 控制變因 2 | 加熱距離 | 將氣體樣品置於距離光源 70cm 處 |
| 控制變因 3 | 樣品容器 | 1000ml 裝玻璃量瓶 |
| 控制變因 4 | 加熱時間 | 加熱 12 分鐘 |
| 測量裝置 | 磅表及溫度探測器 | |

(4). 紅外線黑晶爐：以尚朋堂 SR-151F 微電腦黑晶爐為加熱光源。固定黑晶爐之輸出 900W 段數功率。將氣體樣品放在距離黑晶爐面上方 35cm 處。打開電源加熱 12 分鐘，紀錄溫度隨加熱時間之變化。

(5). 動手製作實驗二器材與設計：使用小畫家畫出實驗設計圖(圖 3)，再依設計圖動手完成實驗裝置實驗(圖 4)。

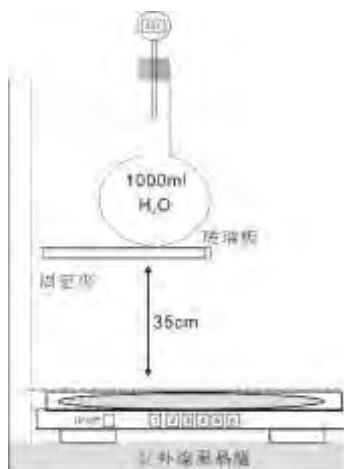


圖 3、紅外線黑晶爐加熱氣體實驗設計圖。 圖 4、紅外線黑晶爐實驗裝置完成圖示。

(6). 黑晶爐實驗條件設計如表 3。

表 3、紅外線黑晶爐之實驗條件

| | | |
|--------|------------------------------|--|
| 操縱變因 | 以 1000ml 之量瓶裝取各種氣體，各種氣體之製備方式 | 1. 大理石加鹽酸製備 CO ₂ 氣體 2. 雙氧水分解製備 O ₂ 氣體 3. H ₂ O 為量瓶取用熱水上之蒸氣備用 4. 空氣一般室溫空氣 5. 乾燥空氣為在量瓶內加入 50g 乾燥劑 |
| 控制變因 1 | 加熱光源 | 900W 之尚朋堂紅外線黑晶爐 |
| 控制變因 2 | 加熱距離 | 將氣體樣品置於距離光源上方 35cm 處 |
| 控制變因 3 | 樣品容器 | 1000ml 裝玻璃量瓶 |
| 控制變因 4 | 加熱時間 | 加熱 12 分鐘 |
| 測量裝置 | 磅表及溫度探測器 | |

(7). 遠紅外線烤箱：家用附有四支遠紅外線加熱器之烤箱。將烤箱溫度固定在 50°C ，輸出功率固定在 90%。將氣體樣品放在基座位置中間處。打開電源加熱 12 分鐘，紀錄溫度隨加熱時間之變化。

(8). 動手製作實驗一器材與設計：使用小畫家畫出實驗設計圖(圖 5)，再依設計圖動手完成實驗裝置實驗(圖 6)。

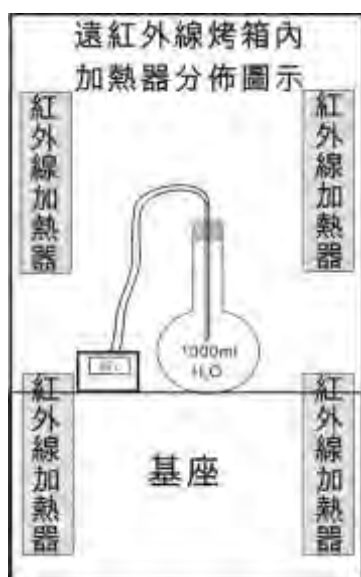


圖 5、遠紅外線烤箱加熱氣體實驗設計圖。

圖 6、遠紅外線烤箱實驗裝置完成圖。

(9). 遠紅外線烤箱實驗條件設計如表 4。

表 4、家用遠紅外線烤箱之實驗條件。

| | | |
|--------|------------------------------|--|
| 操縱變因 | 以 1000ml 之量瓶裝取各種氣體，各種氣體之製備方式 | 1. 大理石加鹽酸製備 CO_2 氣體 2. 雙氧水分解製備 O_2 氣體 3. H_2O 為量瓶取用熱水上之蒸氣備用 4. 空氣一般室溫空氣 5. 乾燥空氣為在量瓶內加入 50g 乾燥劑 |
| 控制變因 1 | 加熱光源 | 4 支遠紅外線加熱器，溫度 50°C ，90% 功率 |
| 控制變因 2 | 加熱距離 | 將氣體樣品置於基座中央處 |
| 控制變因 3 | 樣品容器 | 1000ml 裝玻璃量瓶 |
| 控制變因 4 | 加熱時間 | 加熱 12 分鐘 |
| 測量裝置 | 磅表及溫度探測器 | |

(二) 實驗設計二：以紅外線區之 LED 燈泡為光源，探討其對溫室效應之影響。

1. 實驗前閱讀文獻探討。

(1) 依據多篇參考文獻整理各種氣體與地表輻射之吸收光譜**波段如圖 7**，波長約在 $5\sim 20\mu\text{m}$ 之間，意即地表輻射波段在**中紅外光區**，

故實驗所選擇之紅外光加熱光源應該在此區段才更可模擬溫室氣體吸收地表輻射所造成之影響。

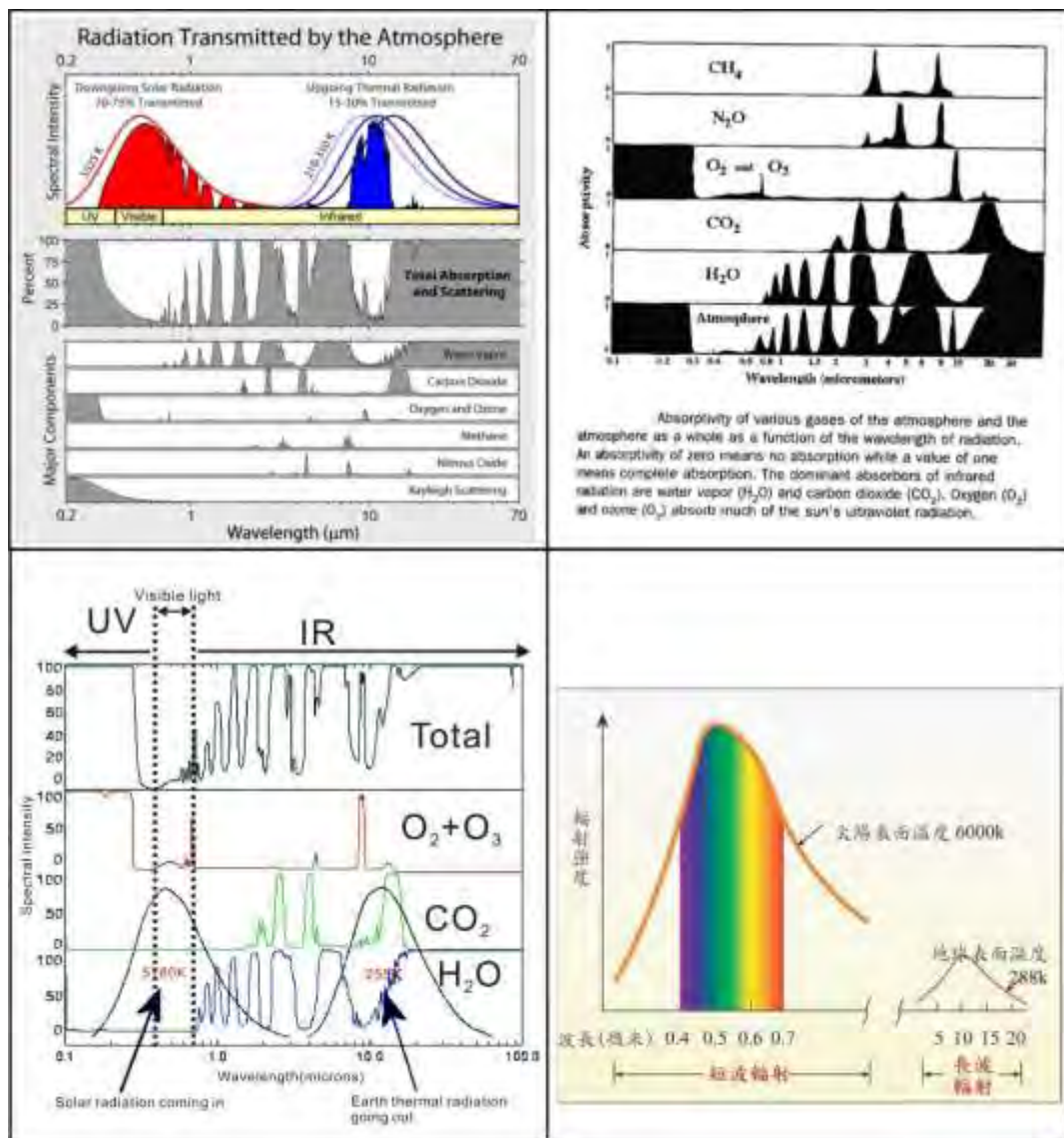


圖 7、各氣體與地表輻射之吸收光譜之關係圖。

(2) 閱讀後心得與想法。

因此如要更確定模擬地表輻射，**只要選擇發射波段在 5~20 μm 中間之中紅外線光源即可。**

(3) 由圖 7 中亦可看出二氧化碳(CO_2)及水氣(H_2O)在中紅外光區皆有良好的吸收波段，**水氣(H_2O)在小於 0.8 μm 波段的吸收率幾乎為零**，但是在較長波部份(5 μm)的吸收率就較高。**二氧化碳(CO_2)**在波長大於 15 μm 以上的輻射有絕佳的吸收率，而笑氣(N_2O)及甲烷(CH_4)亦有同樣的特性，因此才認定以上這些氣體皆為溫室氣

體。而氧(O₂)加臭氧(O₃)，除了少部份吸收長波輻射之外，更吸收了大部份的紫外線(uv)。

(4) 而氧氣與氮氣（意即空氣組成）因為是同核物種（例如 O₂、N₂、Cl₂ 等）在振動或轉動時，並沒有淨偶極矩變化，因此此類同核物種不能吸收紅外線，故無法只靠紅外光而造成溫度上升。

(5) 閱讀後心得與想法。

我們發現很多實驗都是利用波段分佈較廣之近紅外光熱光源當成加熱光源（模擬地表輻射），因此還是可能會錯誤造成此氣體溫度上升之結果。所檢測之氣體中以水氣(H₂O)的結果變動最大，意即最不穩定，而水氣(H₂O)的含量多寡應具有改變升溫曲線之影響力，研判此與水的飽和蒸氣壓有關。

2. 實驗步驟：

H₂O 的飽和蒸氣壓圖可知空氣中 H₂O 的含量只跟溫度相關，而容器有 1000ml，依 PV=nRT 的計算，在容量瓶中的水氣 mole 數在沸騰溫度 100°C 以下相當有限，而水氣含量亦隨著溫度的不同而有所變動，但是只要瓶中還留有水氣即是表示瓶中氣體含有飽和水蒸氣的量。

步驟 1：為驗證以上之推論，我們首先設計實驗證明 H₂O 直接受固定近紅外光之吸收與溫度上升之關係。

- A. 選擇光源：分別以 4 種固定波長（400nm、850nm、940nm 及白光）之 LED 燈為冷光源。
- B. 絕熱環境：以 40*50*60cm 之加蓋保麗龍為實驗空間與環境，並在內部加貼鋁箔反光紙。
- C. 氣體保存瓶：以 1000ml 之量瓶內存 10ml 之水以保持量瓶內為水的飽和蒸氣壓之量。
- D. 溫度感測器：以熱電偶溫度計將溫度探針放置在量瓶內部懸空固定位置，測量氣體隨加熱時間之溫度，另以變化熱顯像儀 FLIR 觀測協助瞭解絕熱環境內之溫度分佈之情形。
- E. 動手製作實驗一器材與設計：使用小畫家畫出實驗設計圖(圖 8)，再依設計圖動手完成實驗裝置實驗(圖 9)。
- F. 再分別以 0 個（空白組）、1 個、2 個、3 個、4 個 940nm 之 LED 為光源，1000ml 之量瓶內水之飽和蒸氣壓，探討水氣之吸收波長與溫度上升之關係。

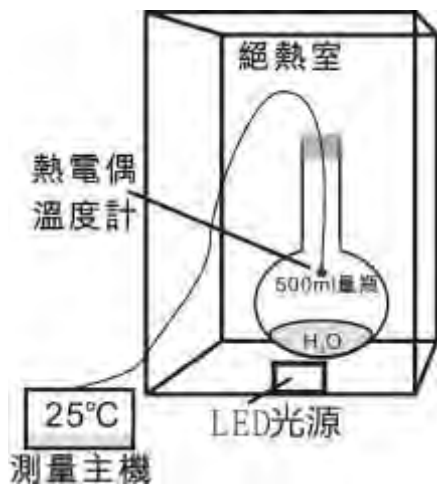


圖 8、以 LED 為光源，水之吸收波長與溫度上升之關係變化之實驗設計圖。

圖 9、以 LED 為光源，水之吸收波長與溫度上升之關係變化之實驗裝置完成圖。

步驟 2：我們自製之光譜儀實驗模組來檢測 $\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)}$ 、 $\text{O}_2_{(g)}$ 及 $\text{CO}_2_{(g)}$ 之可見光光譜是否相同。

- A. 以目鏡光譜儀加上紙製望遠鏡筒當作準直筒製作一自製光譜儀實驗模組，再以一長方形紙箱當作氣體樣品槽，最後利用麵包板、整流變壓器、降壓板及白光 LED 燈組當作光源、而單眼相機當作感光元件製作一實驗完成模組如圖 10。
- B. 裝置完成之拍攝光譜圖先以 TRACKER 軟體分析光譜分佈，再紅光雷射筆 650nm 及綠光雷射筆 532nm 校正。
- C. 利用氣體產生裝置（28%濃氨水、6M 濃鹽酸來產生 $\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)}$ 及 35%雙氧水+2g 二氧化錳來產生 $\text{O}_2_{(g)}$ 、 $\text{CO}_2_{(g)}$ 則以如上述大理石+鹽酸）將 $\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)}$ 、 $\text{O}_2_{(g)}$ 及 $\text{CO}_2_{(g)}$ 等氣態及微粒導入氣體入樣品槽 5 分鐘後關閉入氣通孔（直徑 2 cm），拍攝光譜圖並紀錄分析比較。
- D. 實驗槽內放置環境檢測器控制實驗環境，其實驗條件表 5。

表 5、自製光譜儀驗證氣體在可見光波段之吸收光譜實驗條件。

| | | |
|--------|-------------------|---|
| 操縱變因 | 氣體樣品槽充填各種氣體 5 分鐘。 | 1. 35%雙氧水+2g 二氧化錳→氧氣 2. 10 克大理石+3M 鹽酸→二氧化碳 3. 28%濃氨水+6M 濃鹽酸→ $\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)}$ |
| 應變變因 | 光譜圖變化 | 以單眼相機拍下光譜圖、再以 Tracker 軟體分析各光譜波段相對強度。 |
| 控制變因 1 | 固定 LED 光源 | 以 12V 白光 LED 為固定光源(直流電供應) |
| 控制變因 2 | 樣品槽容量 | 44cm × 33cm × 35cm |
| 控制變因 3 | 溫度及濕度 | 26°C 相對濕度 58%RH |
| 測量裝置 | 自製望遠鏡目鏡光譜儀 | |

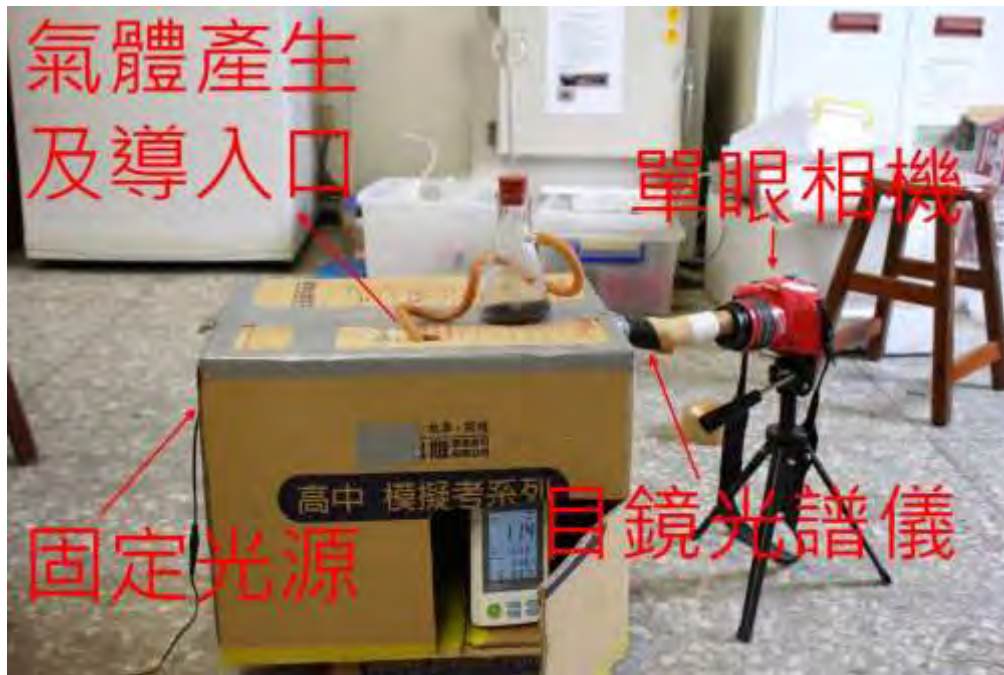


圖 10、自製氣體光譜儀實驗模組。

二、瞭解全球溫度與二氧化碳濃度的變化。

(一)實驗前閱讀文獻之探討。

1. 科學人雜誌 2013 年曾報導全球二氧化碳濃度即將創新高，地球大氣中的二氧化碳濃度將在 2013 年 6 月達到 400ppm，對全球暖化升溫幅度恐怕會造成不樂觀的影響。當時夏威夷的大氣觀測站得到的觀測記錄結果預估在 2013 年 6 月，地球大氣二氧化碳濃度為 400ppm，而確實在 2013.5.26 即達到 400.59ppm。
2. CO₂ 濃度以令人憂心的速度飆高，是不爭的事實。如今大氣中二氧化碳增加的速度已經增快許多，而上升幅度從 1950 年代每年升高 0.7ppm，到最近十年來，已加速到每年升高 2.1ppm。照現在的步伐，幾十年內就會達到 450ppm。
3. NOAA 聲明指出，2015 年大氣中二氧化碳濃度年成長率躍升 3.05ppm，是科學家進行研究 56 年來，最高的年增紀錄。

(二)閱讀後心得與想法。

1. 科學家是如何精準預測二氧化碳濃度到 2013 年確實為 400ppm？
2. 幾十年內就會到達 450ppm，那到底是幾十年呢？
3. 二氧化碳濃度與全球溫度變化又有何關係呢？

(三)實驗設計與步驟。

步驟 1：下載全球溫度數據並分析。

- (1) 進入 *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* 網頁裡面的 National Climatic Data Center (NCDC) 搜集相關資料。
- (2) 下載全球溫度數據並將全球溫度數據複製到 EXCEL 檔內。以年做統計分析並觀察期變化性。(圖 11)

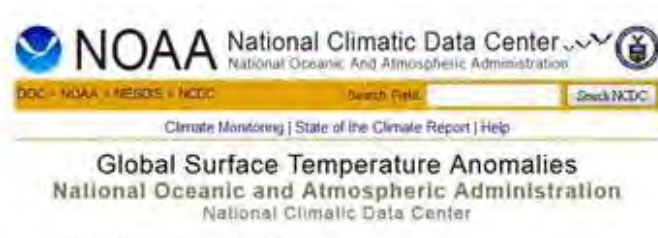


圖 11、NOAA 全球溫度的資料頁面。

步驟 2：下載全球二氧化碳數據並分析。

- (1) 如上步驟，進入 Scripps CO₂ Program 首頁後點左邊的 Data。
- (2) 進入後點擊 Atmospheric CO₂，跳過下個頁面後再點擊 Monthly CO₂，就可以得到資料(圖 12)並整理及分析。



圖 12、Scripps CO₂ Program 的抓取資料頁面。

三、了解全球溫度變化對南北極冰層面積的影響。

(一) 文獻探討。

1. 「自然」期刊預測，如果 CO₂ 排放量沒有減少，西南極冰蓋可能在幾十年內崩解，加上其他地區的融冰，到了 2100 年，海平面可能上升 1.5 到 1.8 公尺，是聯合國預測值的兩倍，將為濱海大城帶來災難(文獻 6)。
2. 科學家總以為這種南極冰融最壞的情況即使不是數千年以後，也要到數百年後才會發生。但新研究指出，如果溫室氣體排放量不減，可能提前在幾十年內發生。到了 2100 年，海平面上升的幅度是聯合國氣候變遷小組三年前預測的最壞情況的兩倍，可能在我們這一代的有生之年造成最嚴重的危機。

(二)文獻閱讀心得。

- 1.南極、北極的冰層面積近幾十年來到底是增加還是減少？
- 2.冰層面積與海平面上升有何關係？海平面上升可能在我們這一代造成最嚴重的危機。

(三)實驗設計與步驟。

步驟1：進入日本氣象廳的網頁中的各種データ・資料

(<http://www.jma.go.jp/jma/>)。

步驟2：再從海洋の健康診断表裡面找到 海水のデータ，裡面就可以看到北極域と南極域の海水分布図。

步驟3：下載全球海冰面積檔案(TXT檔案)，將數據複製到EXCEL檔內。

步驟4：分別以月份，季節，年做統計，來觀察期變化性。

四、利用汽水融化模擬南北極冰融釋放出溫室氣體之實驗，觀察比較釋放出 CO₂ 之濃度與溫度上升之關係。

(一)文獻探討：極地冰融釋放出之氣體除了二氧化碳之外，另外還有受到大家重視的甲烷。甲烷僅次於 CO₂，為造成溫室效應的次重要氣體。更有研究指出甲烷的增加，不但影響大氣溫度、濕度及破壞臭氧層之外，在對流層中對氫氧自由基、一氧化碳的濃度更會造成重大變化，故 CH₄ 的增加對大氣的成份平衡有難以預測的負面影響

(二)文獻閱讀後想法：甲烷氣體可製備來探討，但因其易燃性故仍選擇探討以汽水模擬冰融後釋放溫室氣體(CO₂)之濃度與溫度上升之關係。

(三)實驗設計與步驟。

步驟 1：將一般可樂汽水放入冰箱冷凍櫃冰凍超過一天(24 小時)備用。

步驟 2：仿紅外線燈泡之實驗，將冷凍汽水取出放置於固定處（離光源 70cm）。

步驟 3：將已冷凍之汽水隔水加熱促其融化，在資料蒐集感測之前加裝緩衝瓶吸收噴出之汽水及一裝有乾燥劑之乾燥瓶吸收多餘之水氣。

步驟 4：紀錄融化過程釋放出氣體隨時間吸收紅外線之溫度變化。

步驟 5:實驗條件表 6 小畫家設計圖如圖 13,再動手將裝置完成如圖 14。

表 6 · 冷凍汽水融化釋放出氣體與溫度之變化關係之實驗條件。

| | | |
|--------|-------------------------------|---|
| 操縱變因 | 是否添加 NaOH 來吸收 CO ₂ | 1. 將 600ml 之可樂冷凍超過 24 小時候備用 2. 以固定光源固定加熱讓汽水融化釋放出 CO ₂ |
| 應變變因 1 | CO ₂ 濃度變化 | 以二氧化碳偵測器測量隨時間變化量 |
| 應變變因 2 | 溫度變化 | 以溫度探測器測量隨時間變化量 |
| 控制變因 1 | 加熱光源 | 1700W 紅外線燈泡 |
| 控制變因 2 | 樣品距離 | 距離光源 70cm 處 |
| 測量裝置 | 碼表，二氧化碳偵測器及溫度探測器 | |

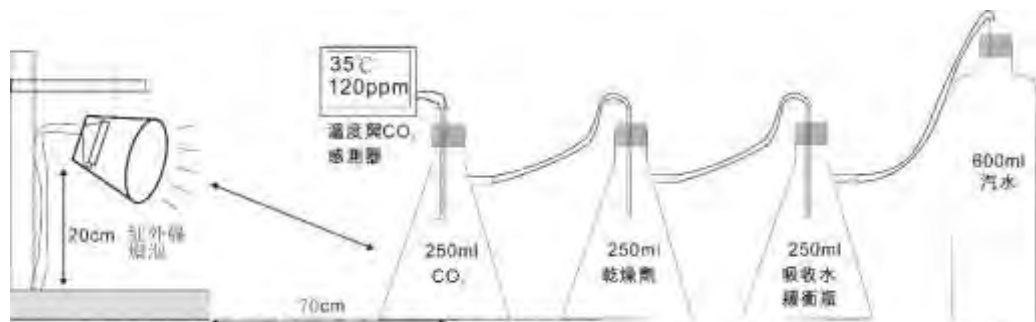


圖 13、冷凍汽水融化釋放出氣體與溫度之變化關係實驗裝置設計圖。



圖 14、冷凍汽水融化釋放出氣體與溫度之變化關係實驗裝置完成圖。

五、尋求減碳之有效方法來減緩極地冰融而造成之溫室效應加劇之情況。

實驗設計（一）：

利用定量不同溶液吸附 CO₂ 之能力來討論何種藥品之化學吸附 CO₂ 較為有效。

實驗步驟：

步驟 1：依據高中所學理想氣體方程式 ($PV=nRT$) 之原理，設計一針筒加三向閥實驗裝置如圖 15 所設計。裝置實際完成圖如圖 16。

步驟 2：實驗條件如表 7 所示，紀錄並比較何種化學吸附為最佳。

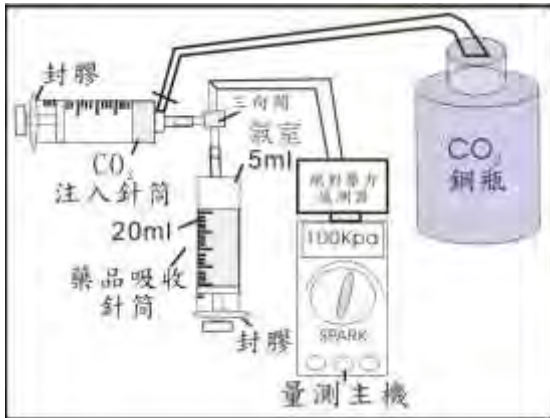


圖 15、利用針筒與三向閥門，探究藥品之化學吸附 CO₂ 之能力實驗設計圖。



圖 16、利用針筒與三向閥門，探究藥品之化學吸附 CO₂ 之能力裝置完成圖。

表 7、定量不同溶液吸附 CO₂ 能力之測試條件。

| | | |
|--------|--------------------|---|
| 操縱變因 | 改變定量 20ml 不同藥品之水溶液 | 分別裝入 0.1M 之 NaOH、Ca(OH) ₂ 、Na ₂ CO ₃ 及 CaCl ₂ 。 |
| 應變變因 | 絕對壓力值之變化 | 隨時間之變化，CO ₂ 被藥品吸附之量多寡造成絕對壓力之變化。 |
| 控制變因 1 | CO ₂ 量 | 鋼瓶注入定量 5 ml 之 CO ₂ 至氣體室 |
| 控制變因 2 | 吸收時間 | 注入後 30 mins 測量壓力值 |
| 測量裝置 | 壓力感知器 | 壓力測量主機 (SPARK) |

實驗設計 (二)：

依據上一步驟所得最佳化學藥品吸附藥劑來模擬南極冰融來減少 CO₂ 濃度增加。

實驗步驟：

步驟 1：同上步實驗驟四冰凍汽水融化實驗裝置再加裝一化學吸附瓶。

步驟 2：氣體感測瓶之前再加上一瓶捕捉氣體之最佳化學藥品(定量 50g) 錐形瓶。

步驟 3：紀錄並觀察溫度與 CO₂ 濃度實驗值。探討溫室氣體 CO₂ 捕獲技術是否有助於減緩溫室效應之加劇情形。

陸、研究結果與討論

一、探討不同紅外線光源與溫室氣體對溫室效應的影響之實驗結果。

(一)一般紅外線光源與溫室氣體對溫室效應之實驗結果討論。

1. 紅外線燈泡為紅外線光源之實驗結果如圖 17。

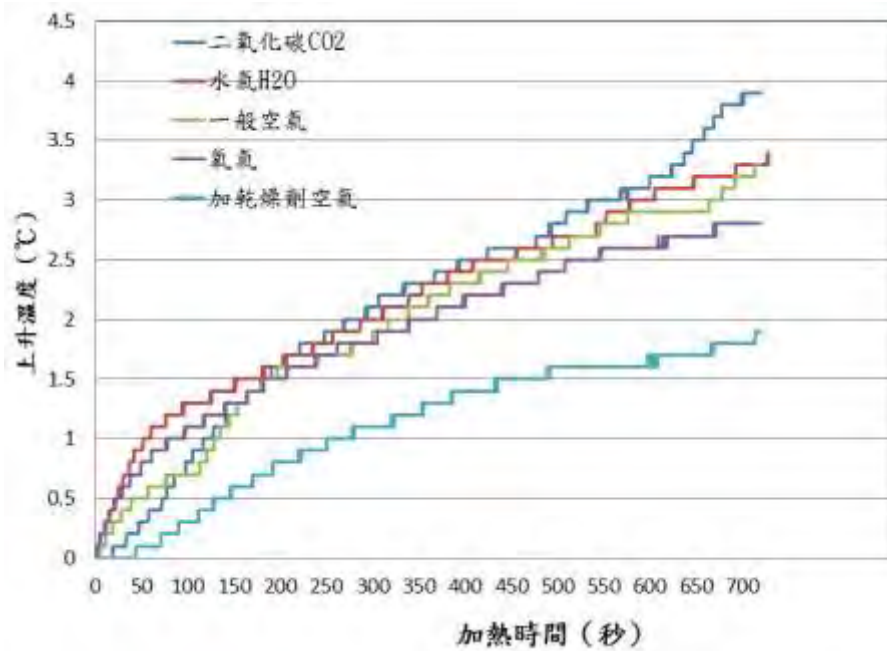


圖 17、紅外光燈泡加熱氣體與溫度之變化關係結果。

結果說明：

- (1). 圖 17 之結果顯示出溫室氣體 CO_2 及 H_2O 仍有較好之紅外光吸收率，故溫度上升較高，而以乾燥空氣吸收率最差
- (2). 理論上 O_2 並無紅外線之吸收，顯見此紅外光燈泡之紅外線波段分佈，確有易受熱光源干擾而呈現不穩之情況。
- (3). 而水氣(H_2O)呈現一開始溫度上升快之趨勢而一段時間後趨緩，研判應與水氣之飽和蒸氣壓有關。

2. 紅外線黑晶爐為紅外線加熱光源之實驗結果如圖 18。

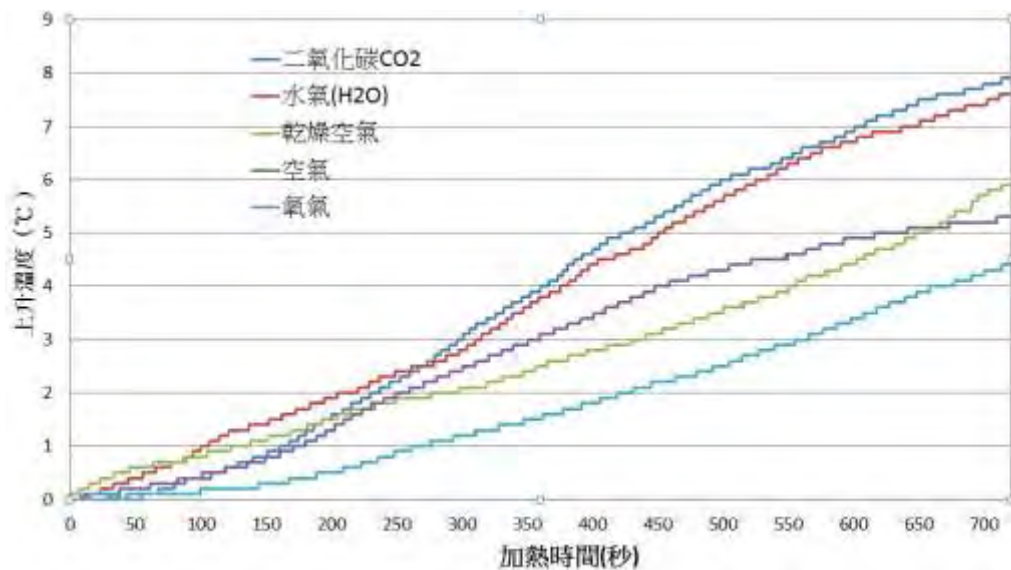


圖 18、紅外光黑晶爐加熱氣體與溫度之變化關係圖。

結果說明：

- (1). 實驗結果如圖 18 所示，顯示出溫室氣體 CO_2 及 H_2O 仍有較好之紅外光吸收率，故溫度上升較高。此二曲線升溫趨勢與紅外線燈泡之溫度上升趨勢大致上是一致的；但是氧氣與空氣等卻是略有不同，研判應是加熱光源之紅外光波段分佈不同所導致。
 - (2). 此部份結果亦與第 46 屆明天過後一溫室氣體的探討作品中以同樣為紅外線黑晶爐為加熱光源亦呈現一致的結果。
 - (3). 同樣可以觀察到 H_2O 的含量變動會影響升溫曲線的變化，如 CO_2 與 H_2O 的比較，一開始 H_2O 升溫較快，但後期則 CO_2 升溫快；乾燥空氣與空氣的比較來看，主要差別還是在於 H_2O 的存在與否會影響到升溫曲線的變化，研判應還是與 H_2O 的飽和蒸氣壓有相關。
3. 家用遠紅外線烤箱為紅外線加熱光源之實驗結果如圖 19。

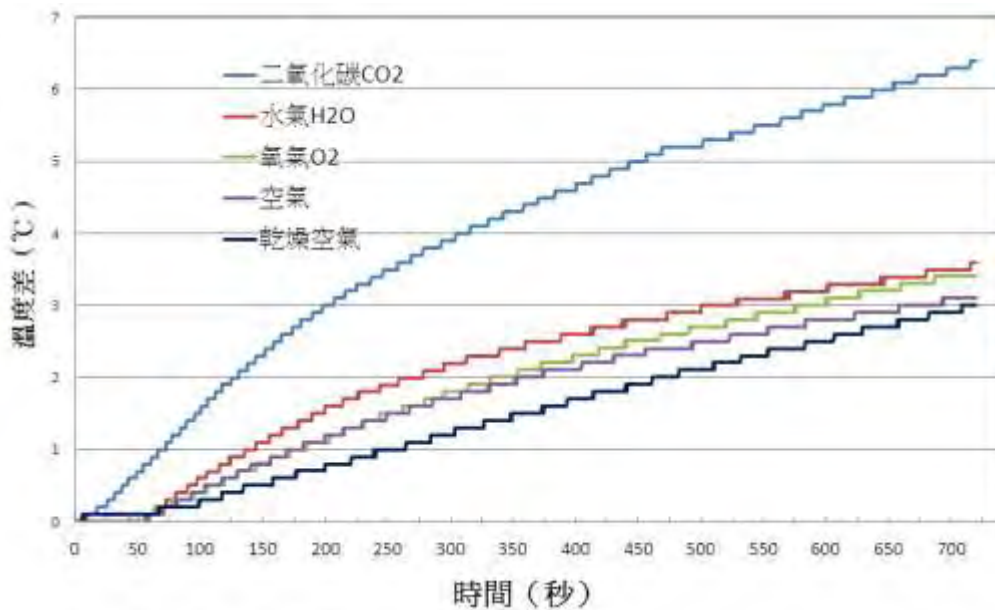


圖 19、家用遠紅外光烤箱加熱氣體與溫度之變化關係圖。

結果說明：

- (1). 實驗結果如圖 19 所示，顯示出溫室氣體 CO_2 溫度上升最明顯， H_2O 次之，再來依次是氧氣、一般空氣與乾燥空氣。
- (2). 此溫度上升趨勢與紅外線燈泡及黑晶爐之溫度上升趨勢大致上是呈現一樣的結果，但是亦可看出因為全部實驗皆在烤箱內進行，故可以避開周遭環境其他光源波段或熱源之干擾，同時因所採用的是遠紅外光波段，肉眼亦無法看出紅色光，故實驗結果更能清楚明顯呈現二氧化碳對遠紅外線吸收率高於其他氣體。

4. 以上步驟所用三種紅外線加熱器為光源之實驗互相比較之結果。

(1). 三次實驗結果可以輕易看出溫室氣體 CO_2 與 H_2O 仍是紅外光波段的高吸收率，但是 H_2O 之變化卻較不穩定。

(2). 故同樣實驗條件在紅外線烤箱內另以 1000ml 量瓶內加液態水與加乾燥劑之空氣作一長時間(1hr)加熱比較實驗，實驗結果如圖 20 所示。

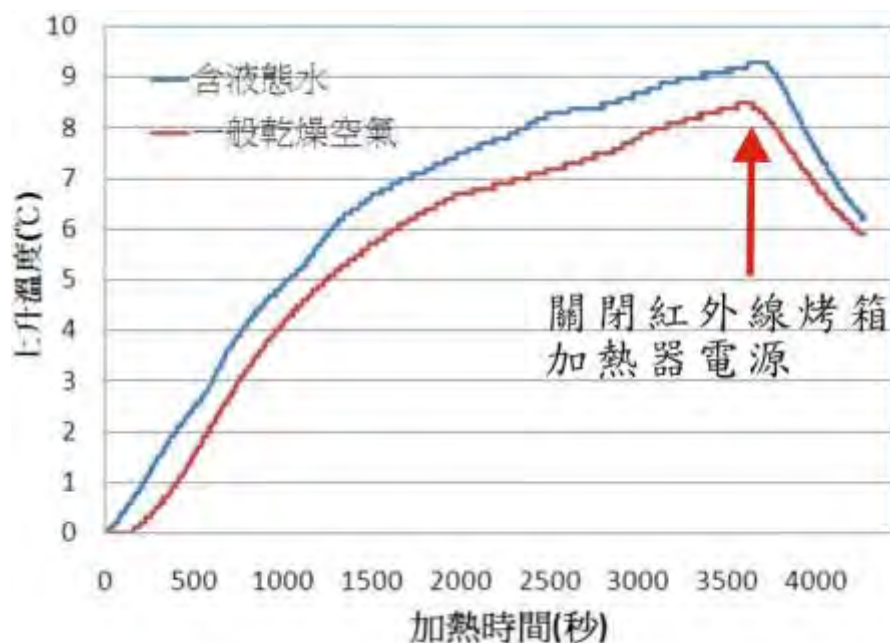


圖 20、家用遠紅外光烤箱加熱水氣與乾燥空氣比較圖。

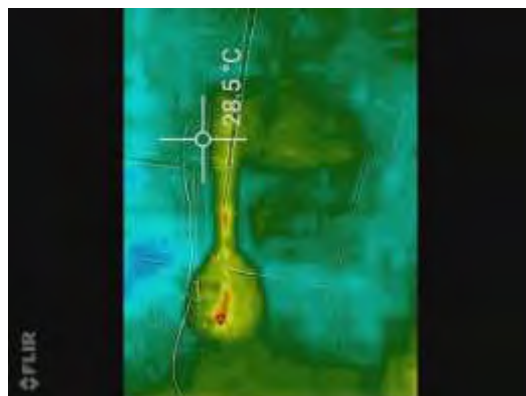
結果說明：

(1). 可以看出在一小時之後瓶內仍有部份液態水，顯見一小時隨著溫度上升瓶內依然皆為 H_2O 的飽和蒸氣壓。

(2). 而從結果亦能見到有水氣存在之空氣溫度呈現穩定的上升趨勢仍比乾燥空氣明顯且上升較快。

(二)使用紅外線區之 LED 燈泡為光源，其對溫室效應的影響之結果。

1. 以 LED 燈泡為光源， H_2O 直接受固定近紅外光之吸收與溫度上升之實驗裝置以熱顯像儀瞭解內部溫度之結果如圖 21。由結果可知在量瓶內之氣體溫度高於周遭環境，故此實驗之結果確實可信。



2. 以 ED 燈為光源， H_2O 之吸收波長與溫度之變化關係如圖 22。

圖 21、熱顯像儀顯示內部溫度分佈之情形。

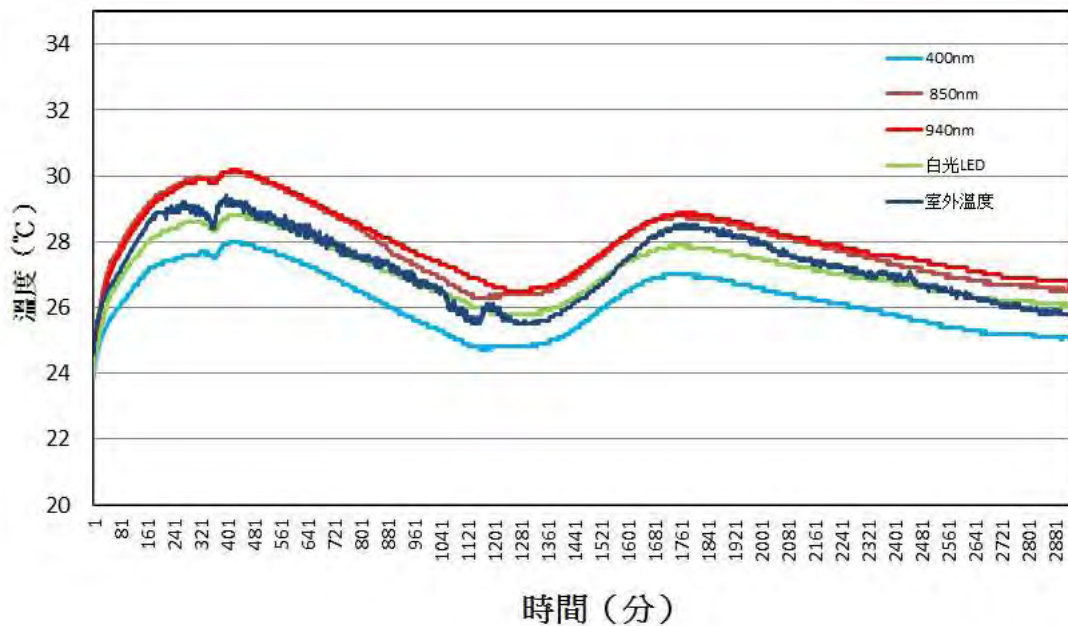


圖 22、以 LED 為光源，水之吸收波長與溫度上升之實驗結果。

結果說明：

- (1). 圖 22 顯示在 850 nm 與 940 nm 之吸收溫度確實高過白光及 400 nm LED 冷光源。
- (2). 此結果與 H₂O 之吸收光譜來比較確實相符合。
3. 分別以 0~4 個的 940 nm LED 光源設計實驗結果如圖 23。

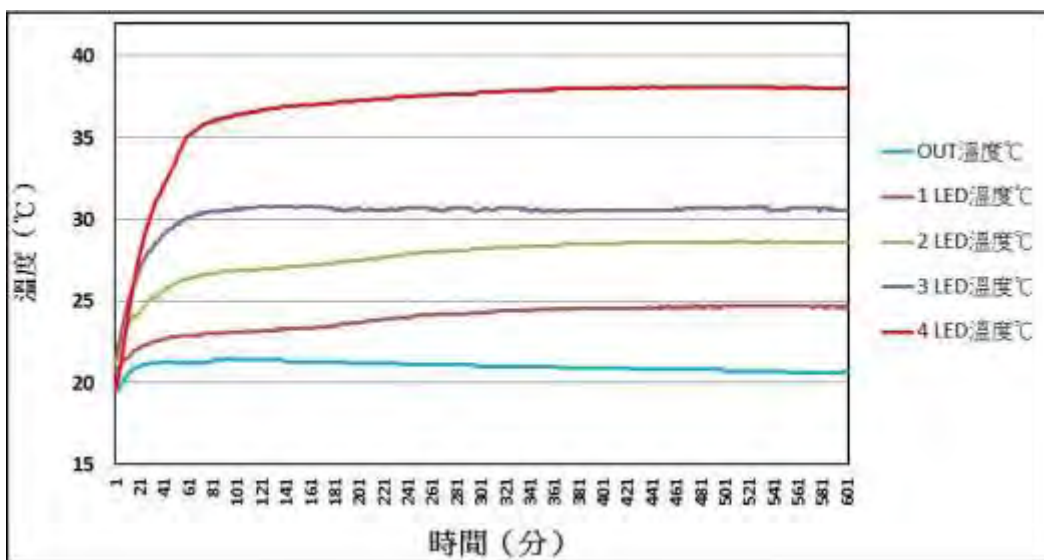


圖 23、以 0~4 個 940 nm 的 LED 為光源，水之吸收波長與溫度上升之結果。

結果說明：

- (1). 圖 23 顯示確實愈多個 940 nm LED 為光源，確實溫度就越高。
- (2). 可知如要實驗是否為溫室氣體，要以單一光源為基本光源，如波長範圍太廣的為光源就容易有實驗誤差。

(三)以自製之光譜儀實驗模組來檢測 $\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)}$ 、 $\text{O}_2_{(g)}$ 及 $\text{CO}_2_{(g)}$ 之可見光光譜是否相同之結果如圖 24。

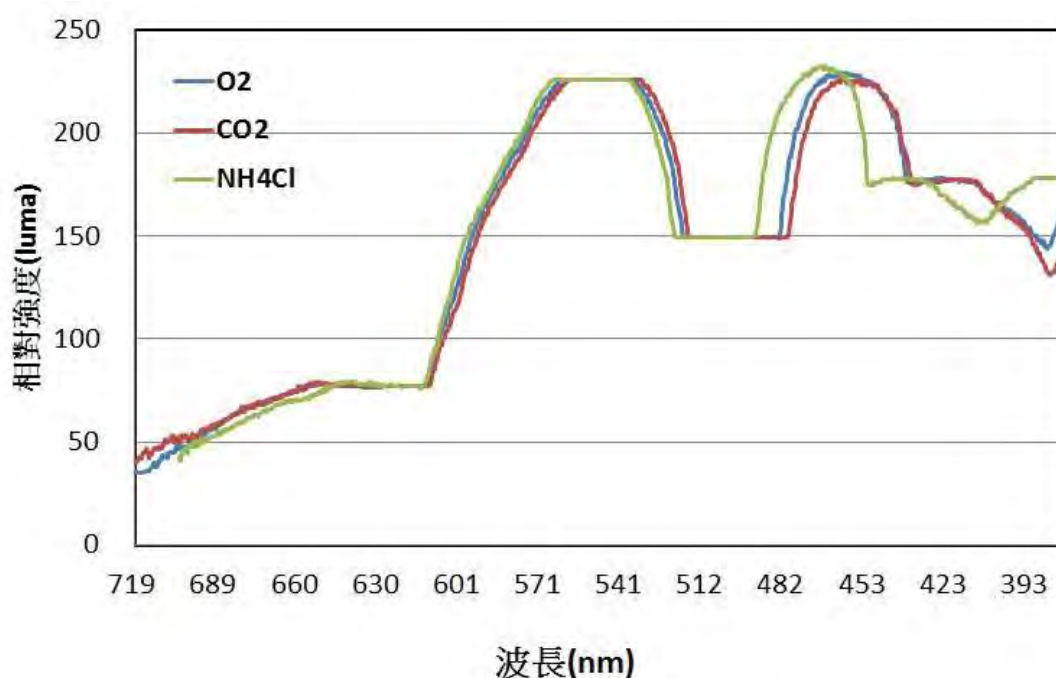
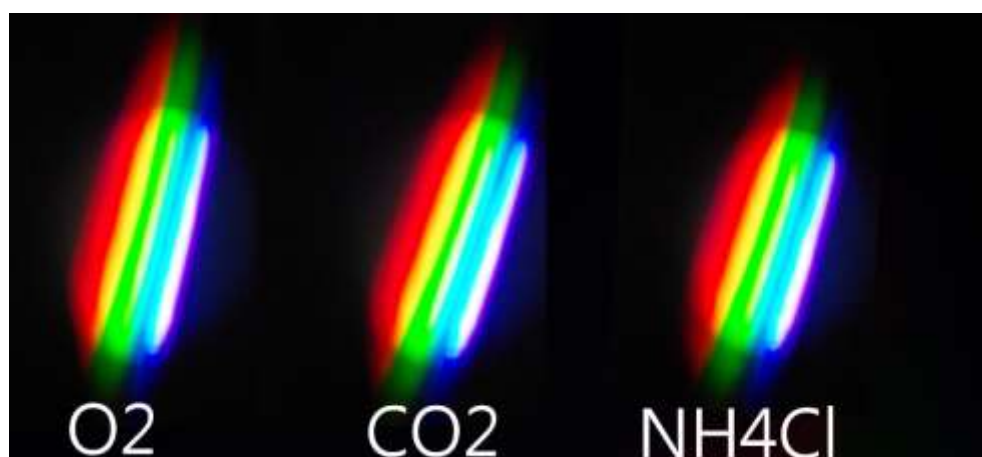


圖 24、氧氣、二氧化碳及氯化氨等氣體及固體微粒之光譜實驗結果。

結果說明：

- (1). 結果圖 24 顯示，確實像 $\text{CO}_2_{(g)}$ 及 $\text{O}_2_{(g)}$ 等氣體在可見光波段並無差異之處，意即這些氣體在可見光區並沒有吸收波段。
- (2). 此結果與各氣體之吸收光譜區域之結果相同，但是像 $\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)}$ 此類固體微粒在可見光區就會有影響。

二、探討全球溫度與二氧化碳濃度的變化之結果。

(一) 歷年全球溫度變化資料整理如圖 25 所示。

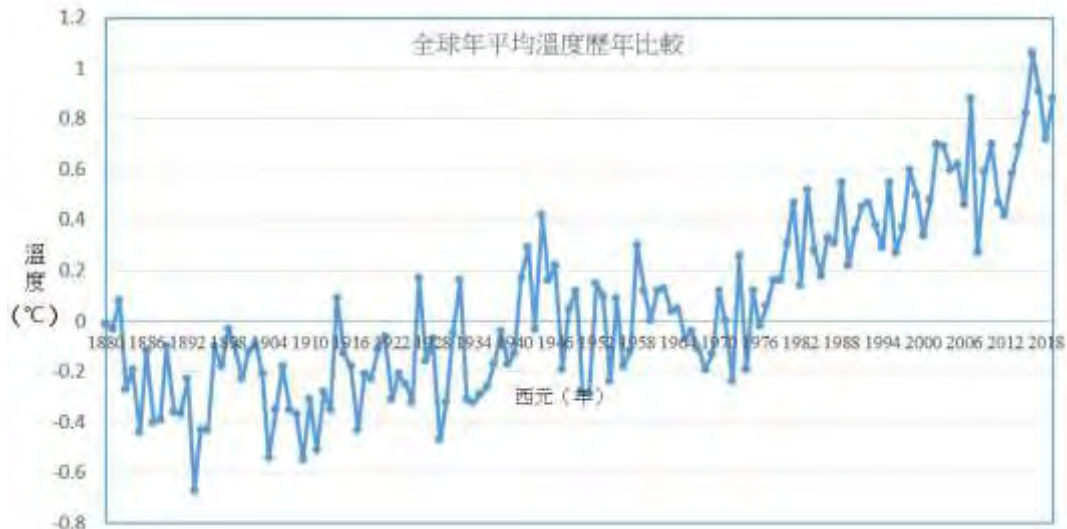


圖 25、全球年平均溫度歷年比較圖。

結果說明：

- (1). 圖 25 中，溫度攝氏 0 度的地方，代表 1901 年到 2000 年的平均值，攝氏 12.2 度，正值代表比平均值高溫，負值代表比平均值低溫。
- (2). 從圖中可以發現，溫度從 1880 年開始，到最近 2012 年，將近 100 多年的時間，雖然溫度有起伏上下，但整體溫度是慢慢往上爬升的，尤其是在 2012 年以後，溫度都比平均值高達 0.4 度以上且一直都在攀升當中，由此可知全球溫度正處於上升的狀態。

(二) 歷年全球二氧化碳濃度變化資料整理結果如圖 26。

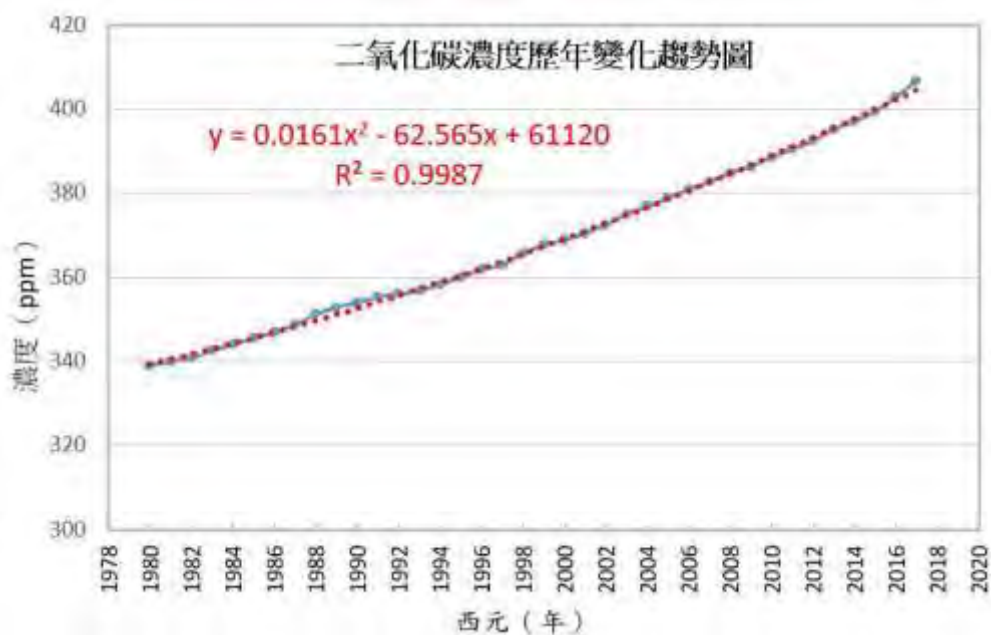


圖 26、歷年全球二氧化碳濃度變化曲線圖。

結果說明：

- (1). 由圖 26 中可知從人類開始記錄大氣中二氧化碳的變化趨勢，可以發現二氧化碳的年變化量從 1958 年的 315ppm 到 2018 年的 408ppm，中間都是一路往上爬升的趨勢。
- (2). 且如果變化趨勢不變，依據我們的資料整理所建立之趨勢線與方程式來預測到西元 2037 年二氧化碳濃度即到達 450 ppm，**文獻說要幾十年，但是我們預測只要 18 年。**

(三)來全球CO₂濃度數據與1978年到2018年的年均溫一起比較結果如圖27。

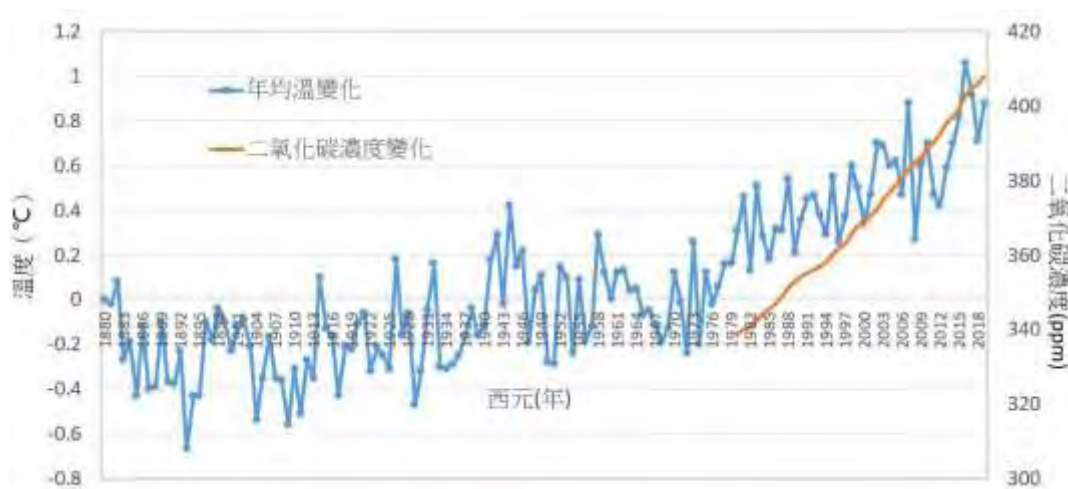


圖27、歷年全球CO₂濃度變化與近年至2018年之年均溫變化比較圖。

結果說明：

- (1). 圖 27 中可看出兩者之間的相關性，更可預估到 2030 年 CO₂ 濃度可到 430ppm 左右，而年均溫比 20 世紀可約上升 1.2 度 C 溫度。
- (2). 從全球溫度變化曲線圖中可知，圖中溫度 0 的地方代平均氣溫 12.2 度，如果比圖中 0 度高的話代表天氣較溫暖，較低的部份則代表較寒冷，1936 年之前全球溫度都在平均值以下，可推斷當時是屬於較冷的天氣型態，過了 1936 年後，溫度比平均值還高，全球氣溫開始變溫暖。整體來說從 1880 年開始，到最近 2017 年，將近 100 多年的時間，整體溫度是慢慢往上爬升的，雖然中間溫度有上下起伏，但是全球溫度還是往上上升，尤其是最近這幾年，溫度整整比平均值高出快 0.6 度。由此可知全球溫度正處於上升的狀態。而從二氧化碳的變化曲線來看，可以發現二氧化碳的年變化量都是一路往上爬升的趨勢，從 1958 年的 315ppm 到 2018 年的 408ppm 每年都呈現增加的曲線，所以二氧化碳的變化就很簡單，一直呈現增加的曲線。

因為溫度是呈現增加的態勢，而二氧化碳也是年年增加，所以我們推測二氧化碳的增加可能是加速全球溫度增加的原因之一。

三、了解全球溫度變化對南北極冰層面積的影響實驗結果。

(一)南北極冰層面積分佈如圖 28。

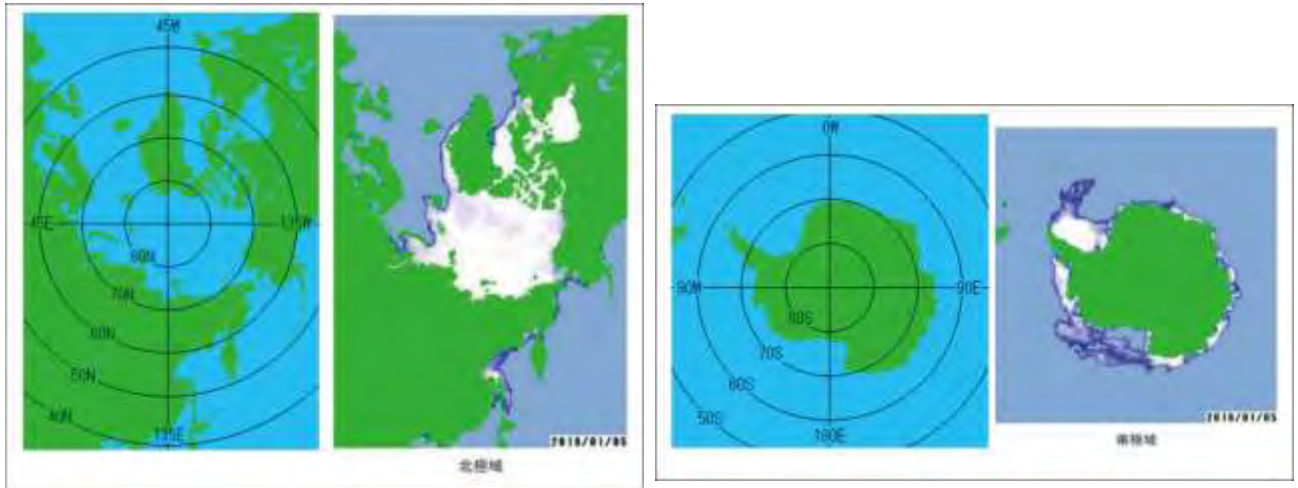


圖28、南北極冰層面積（圖中越白處，代表冰的密度越大）。

(二) 北極冰層面積資料整理結果變化如圖 29。

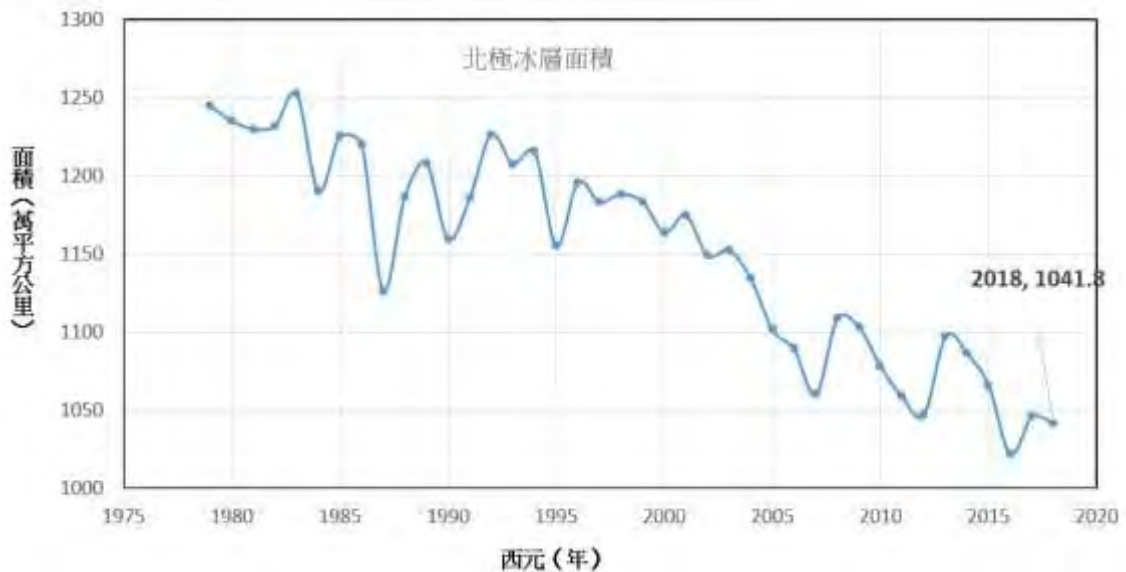


圖 29、北極冰層面積歷年變化。

結果說明：

- (1). 由圖 29 可知從 1979 年開始約 1250 萬平方公里，逐年往下降，中間雖然偶有起伏。
- (2). 但是整個趨勢是往下減少的，到了 2016 年冰層面積只剩下 1023 萬平方公里，確實創下近 40 年來最新低點。

(三) 南極冰層的面積資料整理如圖 30。

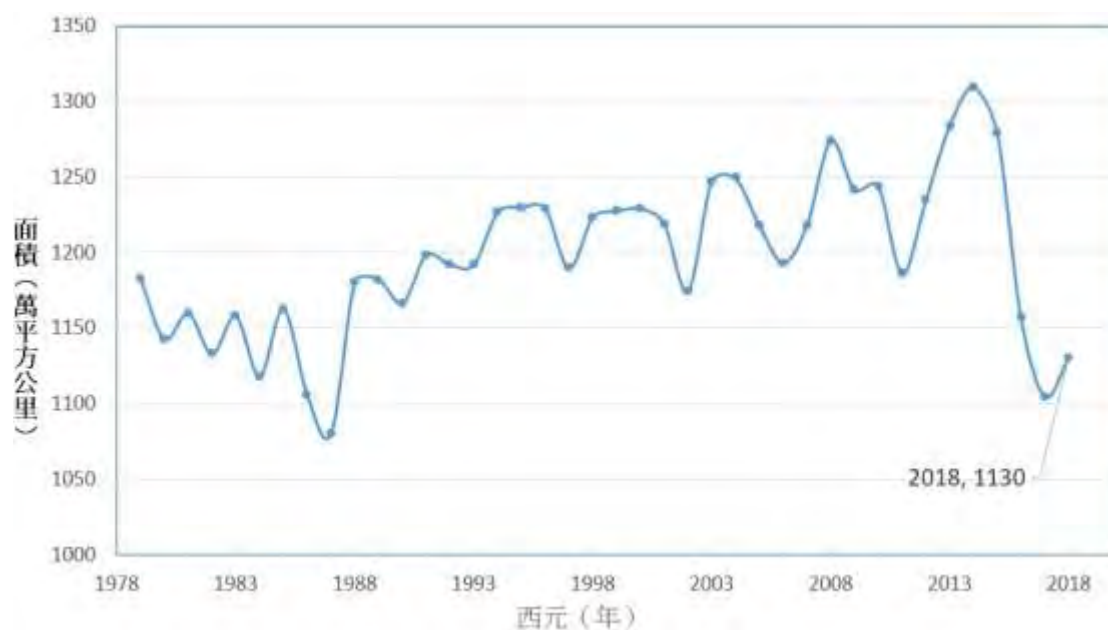


圖 30、南極冰層面積歷年變化。

結果說明：

(1). 由圖 30 可知由 1980 年代的約 1150 萬平方公里，慢慢的往上增加，到最近這幾年，冰層面積不減反升，雖然在 1986、1997、2002、2005、2011 這幾年冰層面積是減少的，但是整體來說南極冰層面積是增加的，但是值得注意的是確實到 2017 年底已經降至 1104 萬平方公里。

(四) 經由南極冰層面積與北極冰層面積的統計，得到全球冰層面積變化趨勢如圖 31。

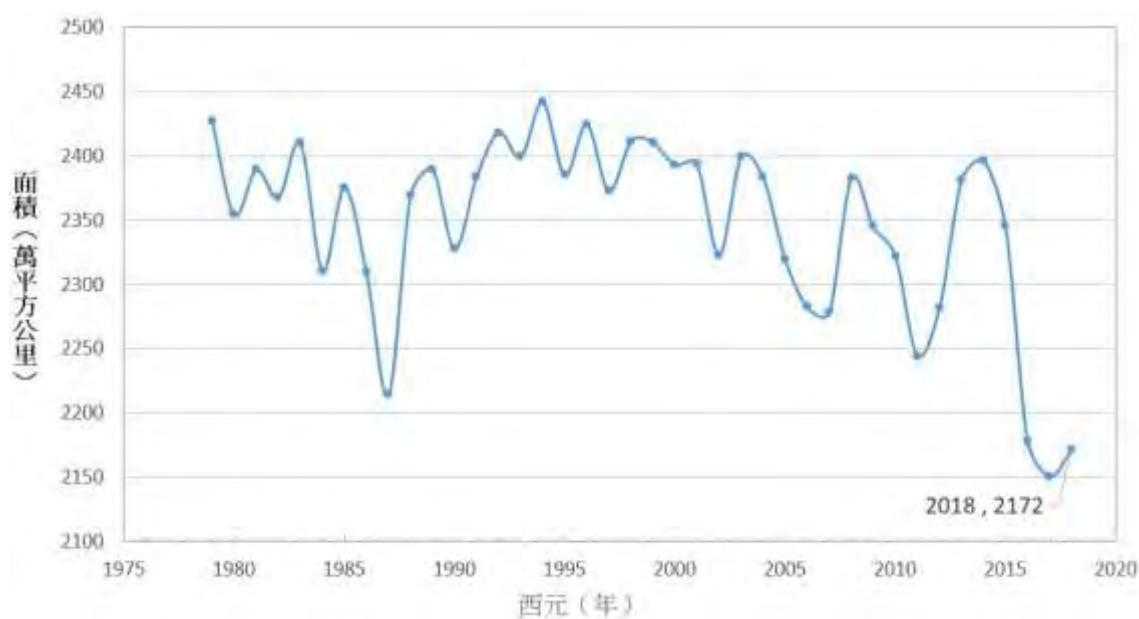


圖 31、歷年全球冰層面積變化趨勢。

結果說明：

- (1). 由圖 31 可知其變化趨勢也是一路往下降，從 1979 年約 2400 萬平方公里，減少到 2011 年的 2250 萬平方公里，到了 2018 年年底更只剩下 2172 萬平方公里再創新低，所以總體來說全球冰層面積處於減少的趨勢，尤其在去年變化更甚以往，這實在值得我們深刻警惕。
- (2). 從前一個討論可以知道目前全球溫度處於上升的狀況，而此時全球冰層如何變化呢，從北極冰層面積得之，從 1979 年開始的 1250 萬平方公里到 2017 年冰層面積的 1046 萬平方公里，透過資料我們可以發現北極冰層面積是處於慢慢減少的狀況。而南極冰層的面積，由 1980 年代的約 1150 萬平方公里，慢慢的往上增加，到最近這幾年，越來越多，所以整體來說南極冰層面積是增加的。
- (3). 這個結果有點出乎我們意料之外，正常來說溫度上升，冰層面積應該減少；而依據大量參考資料，我們推論南極大陸在南半球的夏季時，週圍海域海水因為湧升流的關係倒致海水較溫暖，故週圍的冰會融化形成淡水層，浮在海水上層，當進入冬天以後，溫度下降，原本漂浮在上層的淡水層又會再次結冰，形成更廣的冰層，所以南極冰層面積有不減反升之現象。不過整體來說全球冰層面積，也是下降的狀況，故我們推論全球溫度的增加還是會導致冰層的融化。

四、利用汽水融化模擬南北極冰融北釋放出溫室氣體之實驗，觀察比較釋放出二氧化碳之濃度與溫度上升之實驗結果。

(一) 直接將冰凍汽水加熱後實驗結果如圖 32 汽水未處理前曲線。

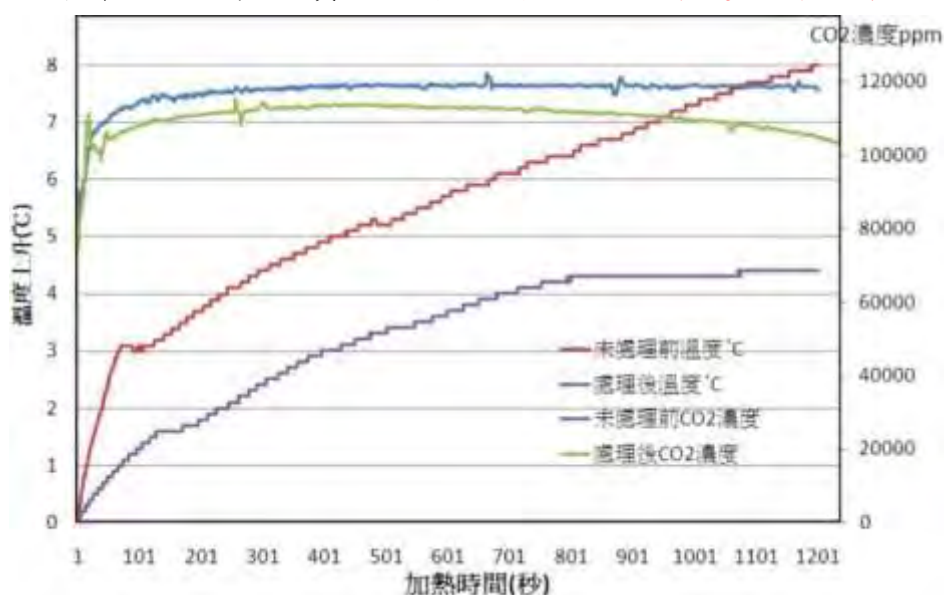


圖 32、汽水融化釋放出二氧化碳之濃度與溫度上升之實驗結果。

結果說明：

- (1). 由圖 32 中可看出汽水融化後，CO₂ 濃度從一般空氣 400ppm 直接上升至約 300 倍到達 12000ppm。而溫度亦在 12 分鐘內上升了約 8°C。
- (2). 由結果來看，雖是模擬但可藉此瞭解冰融之後溫室氣體釋放與造成全球溫度上升正相關之想像。

五、減碳之有效方法來減緩因極地冰融而造成之溫室效應加劇之結果。

(一)利用定量不同溶液吸附 CO₂ 之能力來討論何種藥品之化學吸附 CO₂ 較為有效實驗結果如表 8 及圖 33。

表 8、三向閥加針筒之設計實驗證明二氧化碳之化學吸附實驗結果。

測量溫度：20°C

| | NaOH | Ca(OH) ₂ | Na ₂ CO ₃ | NaCl | CaCl ₂ | H ₂ O |
|-----------|------|---------------------|---------------------------------|------|-------------------|------------------|
| 起使壓力(KPa) | 100 | 101 | 100 | 101 | 100 | 101 |
| 最終壓力(KPa) | 83.5 | 96.4 | 95.5 | 99 | 98.3 | 98.7 |
| 壓力差(KPa) | 16.5 | 4.6 | 4.5 | 2 | 1.7 | 2.3 |

以 NaOH 為例，減少 16.5 KPa = 0.165 atm、V = 0.005 L、R(常數) = 0.082、T (K) = 293，故代入 PV = nRT 可得溶解量 n = 3.4 × 10⁻⁵ 莫耳 CO₂ 亦即 20ml 的化學藥品水溶液可以溶解 0.0015g 的 CO₂。換算成溶解度 S = 0.7555g 溶質/100g 水溶液。以此類推得下比較圖。

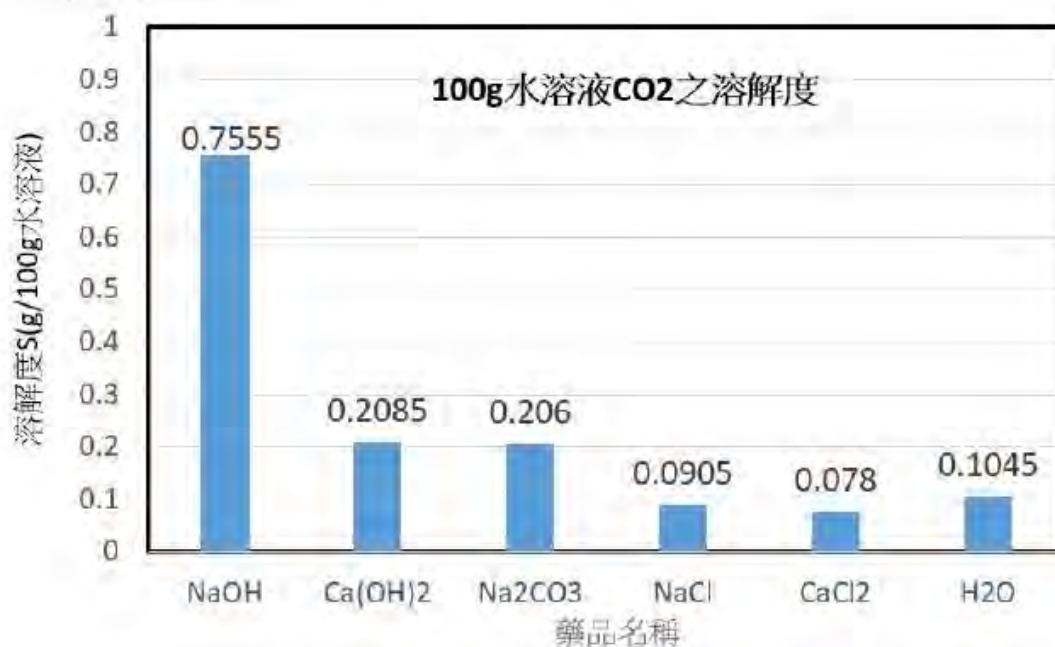


圖 33、汽水融化釋放出二氧化碳之濃度與溫度上升之實驗結果。

結果說明：

- (1). 由圖 33 顯示除了強鹼氫氧化鈉，另外氫氧化鈣及蘇打亦稍有吸收 CO_2 之效果，其他藥品則無顯著效果與水一般。
 - (2). 強鹼有環境污染與人體危害問題，故處理時需小心謹慎，但蘇打屬於弱鹼雖吸附能力弱些但較為安全。
- (二) 將汽水釋放出氣體經過強鹼吸收後之結果如前圖 32 汽水處理後曲線。

結果說明：

- (1). 由圖 32 汽水處理後曲線可以明顯看到二氧化碳有效的從 12000ppm 降低至 10000ppm。溫度亦從上升 8°C 降至只上升 4.5°C 左右。
- (2). 結果證明二氧化碳之減量捕獲技術分成許多面向包含有物理吸附減量與化學吸附方式捕獲，而以最簡單且多次實驗證明可行的化學吸附來測試，結果證明確實可行亦可減緩溫度上升趨勢。

柒、 結論

- 一、 嘗試溫室氣體受地表輻射溫度升高之實驗時，加熱光源宜選擇中紅外光區，可以避免其他波段干擾，更貼近地表輻射真實狀況。
- 二、 溫室氣體如 CO_2 、 H_2O 、 CH_4 及 N_2O 等氣體在中紅外光區皆有高的吸收率，故皆為溫室氣體。同核物種如 N_2 及 O_2 即空氣的組成等，因在紅外光區沒有吸收波段，故不屬於溫室氣體。而前人多次實驗結果稱會造成溫度上升的結果是因為前人實驗所選擇的熱光源所導致。
- 三、 二氧化碳為溫室氣體之一，它的變化對於全球溫度來說會有一定的影響，透過數據我們發現全球溫度和二氧化碳都是呈現上升的趨勢，所以我們推測二氧化碳的增加可能會加速全球溫度的上升。而文獻說二氧化碳只要再幾十年即可達到歷史新高的 450ppm，但依據我們蒐集資料分析之結果推測只要再 18 年左右即要到達 450ppm，而全球溫度的增加會導致冰層的融解，只是從數據發現北極冰層面積是逐年減少，但是南極冰層面積卻是逐年增加，而以全球冰層面積來看，整體還是減少的趨勢，所以從歷年記錄來看，北極冰層減少的面積還是大於南極增加的面積，尤其今年更甚，因為今年目前無論南極及北極都是往下減少之趨勢，所以如果二氧化碳濃度持續增加且全球溫度還是在繼續增加之下，全球冰層總面積或許還是會繼續減少，這不得不讓我們要儘快搜尋解決全球暖化之方法。
- 四、 汽水模仿冰融之實驗確實亦驗證如有冰層中富含溫室氣體（二氧化碳、甲烷等），當冰層融化時確實會釋放出大量溫室氣體而造成溫室效應加劇。
- 五、 二氧化碳捕獲技術富有許多層面與類別，以自製針筒實驗裝置與高中理想氣體方程式之原理來測試一般化學吸附，確實氫氧化鈉效果最佳，而氫氧化鈣亦有其吸附 CO_2 之效果；而最簡單的化學吸附確實可成功吸附空氣中的二氧化碳，降低二氧化碳所造成之溫度上升之情形。

捌、 參考資料

1. 林敬二、林宗義,“儀器分析” 美亞書版股份有限公司,1994。
2. 王鑫,“基礎地球科學上下冊”,南一出版社,民國 100 年 2 月。
3. 黃得時,“選修化學上”,龍騰文化出版社,民國 101 年 6 月。
4. 李通藝,“基礎地球科學上下冊”,康熹文化出版社,民國 101 年 4 月。
5. Bintanja, R., van Oldenborgh, G. J., Drijfhout, S. S., Wouters, B. & Katsman, C. A. Nature Geosci. advance online publication, <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1767> (2013) Ocean warming may be a major driver of sea-ice expansion in the Antarctic, *Nature Geoscience*.
6. Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise, Rober M. DeConto & David Pollard,P591-597, *Nature*,vol.531,no.7596. 31 march 2016.
7. 何函育、陳佑昇、盧柔芯、何秉璋、陳俊昇、莊皓勛,中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品說明書,“退燒—溫室效應之研究探討”。
8. 江泓樂、黃柏霖、薛橋,中華民國第 46 屆中小學科學展覽會作品說明書,“明天過後—溫室氣體的初探”。
9. “二氧化碳捕獲與封存技術網”,2018/12/20 查詢。
<http://ccs.tw/node/57>
10. Radiative Physics – Yes CO₂ Does Create Warming, Posted by Jeff Condon on April 19, 2010, 2018/12/17 查詢。
<http://noconsensus.wordpress.com/2010/04/19/radiative-physics-yes-co2-does-create-warming/>
11. 蔡錫昌,“氣候變遷下公共工程的應變之道：節能減碳(上)”,永續工程入口網, 2019/1/15 查詢。
<http://eem.pcc.gov.tw/node/31606>
12. <https://www.ncdc.noaa.gov/>, 2018/12/29 查詢。
13. 日本氣象廳, <http://www.jma.go.jp/jma/>,2018/12/30 查詢。
14. <http://scrippsco2.ucsd.edu/>,2018/3/31 查詢。

【評語】 051903

該作品探討溫室氣體與極地冰融立意甚佳，然設定過多議題缺乏深度探討殊為可惜。利用氣候數據以外延法預測 20 年後二氧化碳濃度做為作品的主要成果宜避免。

摘要

本實驗探討溫室氣體對極地冰融的影響，結果一：當溫室氣體受地表輻射溫度升高之實驗時，加熱光源宜選擇中紅外光區，可以避免其他波段干擾。結果二：溫室氣體分為CO₂、H₂O、CH₄及N₂O等氣體在中紅外光區皆有高的吸收率，故皆為溫室氣體。而同核物種如N₂及O₂，因在紅外光區沒有吸收波段，故不屬於溫室氣體。結果三：依據分析可發現全球溫度和CO₂濃度都是呈現上升的趨勢，我們預測18年後CO₂濃度即會由今年的新高408ppm上升到450ppm。結果四：在汽水模仿冰融之實驗中，亦驗證推論如冰層中富含溫室氣體（CO₂、CH₄等），當冰層融化時確實會釋放出大量溫室氣體而造成溫室效應加劇之可能。結果五：CO₂捕獲技術以化學吸附確實可成功吸附空氣中的CO₂。

壹、研究動機

我們在電視新聞上看到一則新聞：科學家發現當冰層融化時，冰層內的溫室氣體會溢散到大氣中，當大氣中溫室氣體增加會加速全球溫度上升。這不禁讓我們想到課堂上所學的全球暖化議題，所謂的全球暖化是指全球溫度上升，只是我們對於溫度上升幅度，溫室氣體的變化多寡、影響力以及冰層融化時，溫室氣體跑到大氣中所造成的效應是如何，沒有多少概念，所以在詢問過老師的意見後，於是我們就開始了這次的研究探討。

貳、研究目的

- 一、探討不同紅外線光源與溫室氣體對溫室效應之影響。
- 二、探討全球溫度與二氧化碳濃度的變化。
- 三、了解全球溫度變化對南北極冰層面積的影響。
- 四、利用汽水融化模擬南北極冰融北釋放出溫室氣體之實驗，觀察比較釋放出二氧化碳之濃度與溫度上升之關係。
- 五、尋求有效減碳方法來減緩因極地冰融而造成之溫室效應加劇之情況。

參、研究設備與器材

- 一、實驗器材：各號橡皮塞、錐型瓶、鐵架、固定夾、玻璃板、棉花、薊頭漏斗、塑膠管、塑膠滴管、可樂汽水、量筒、量瓶、塑膠水槽。
- 二、實驗藥品：35%雙氧水、MnO₂、大理石、6M鹽酸、氯化鈣、硫酸銅、氫氧化鈉、乾燥劑。
- 三、儀器設備：紅外線燈泡、紅外線黑晶爐、遠紅外線烤箱、冰箱、電腦及網路設備等。
- 四、測量工具儀器：電子式溫度計、熱電偶溫度感測器、二氧化碳感測器、SPARK資料蒐集主機、天平、直尺。

肆、研究原理

- 一、光譜學基本原理：
 - (一)電磁輻射不同區域波長對物質的影響如表1所示，因此我們瞭解溫室氣體在IR波段有固定的吸收，意即IR影響的是分子的旋轉振動。
 - (二)分子旋轉振動之類型如表2所示，由表中可知例如CO₂分子因是直線分子，所以在伸展振動的二個可能性，一個是偶合是對稱的，另一個是非對稱的。
 - (三)紅外線光譜涵蓋的範圍為0.78 μm~1000 μm，但條件的不同，光譜區域略可粗分為近紅外光區（near-infrared region）、中紅外光區（middle infrared region）及遠紅外光區（far-infrared region）三種。

二、衛星遙測：

人類發射到高空用來觀測地球表面情形的機器我們就稱為人造衛星，人造衛星依其運轉方式可以分為地球同步衛星及繞極軌道衛星，所謂的同步衛星，是它的運轉速度跟地球一樣所以它在高空中就像靜止不動，可以固定觀察同一區域。而繞極軌道衛星是繞著地球兩極移動的衛星，其速度比地球運轉快許多，故可觀察地球上許多地方。氣象衛星主要是用來收尋大氣與海洋相關的圖片資料，所使用的觀測儀器大多是掃描輻射儀，利用望遠鏡對特定波段的輻射作掃描觀測。這些觀測到的輻射量，經過衛星上的電腦處理，轉換成數位資料傳回地面接收站，地面接收後再將資料做整理轉換，就可以變成我們在電視上看到的衛星圖片了。

伍、研究過程與方法

- 一、找幾種不同紅外線光源之實驗設計用來模擬實際溫室效應之溫度上升與氣體種類的關係：
 - (一)依據第46屆全國科展「明天過後—溫室氣體的探討」及第51屆全國科展「退燒—溫室效應之研究探討」等作品中我們決定探討CO₂、O₂、H₂O、一般空氣及乾燥空氣等氣體。
 - (二)而在歷屆作品中除討論比較之氣體種類略有差異之外，發現所使用之紅外線光源亦也所不同。因此，本實驗決定採用紅外線燈泡(圖1)、紅外線黑晶爐(圖2)及遠紅外線烤箱(圖3)等三種不同之光源探討氣體之溫度上升與氣體種類的關係。

二、探討全球溫度與二氧化碳濃度的變化。

- (一)下載全球溫度數據並分析。
 1. 進入NOAA網頁裡面的NCDC搜集相關資料。
 2. 下載全球溫度數據並分析製表。
- (二)下載全球二氧化碳數據並分析。
 1. 進入Scripps CO₂ Program網頁取得資料並分析製表。

三、了解全球溫度變化對南北極冰層面積的影響。

- (一)下載冰層面積。
 1. 進入日本氣象廳的網頁中的氣象統計情報。
 2. 再從海洋の健康診断表裡面找到 海水のデータ，裡面就可以看到北極域と南極域の海水分布図。
- (二)下載數據資料分析製表。

四、利用汽水融化模擬南北極冰融釋放出溫室氣體之實驗，比較釋放出CO₂之濃度與溫度上升之關係。

- (一)將一般可樂汽水放入冰箱冷凍備用。
- (二)仿紅外線燈泡之實驗（離光源70cm），連接溫度及CO₂感測裝置在感測瓶中記錄並分析。

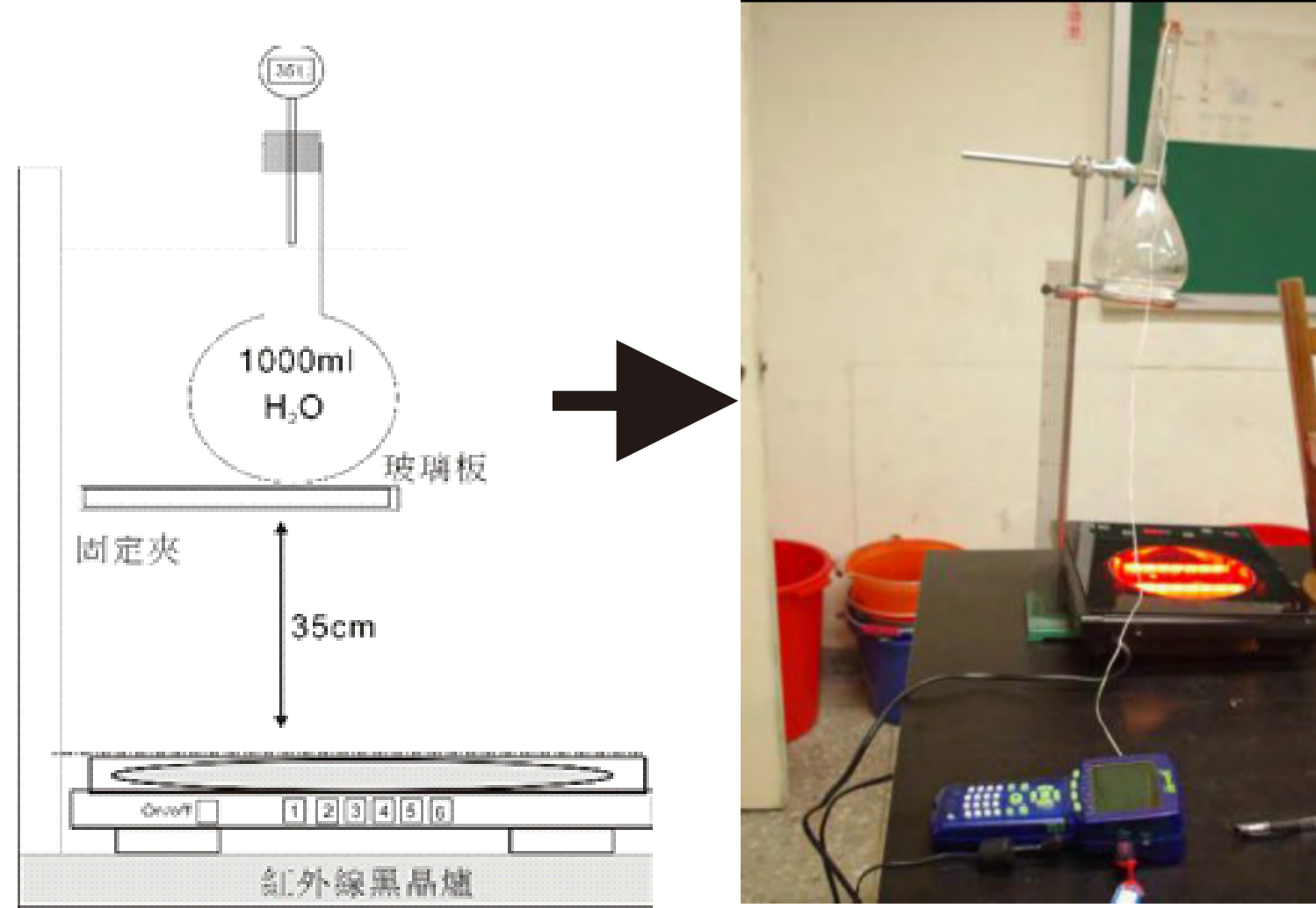


圖2、紅外線黑晶爐圖示。

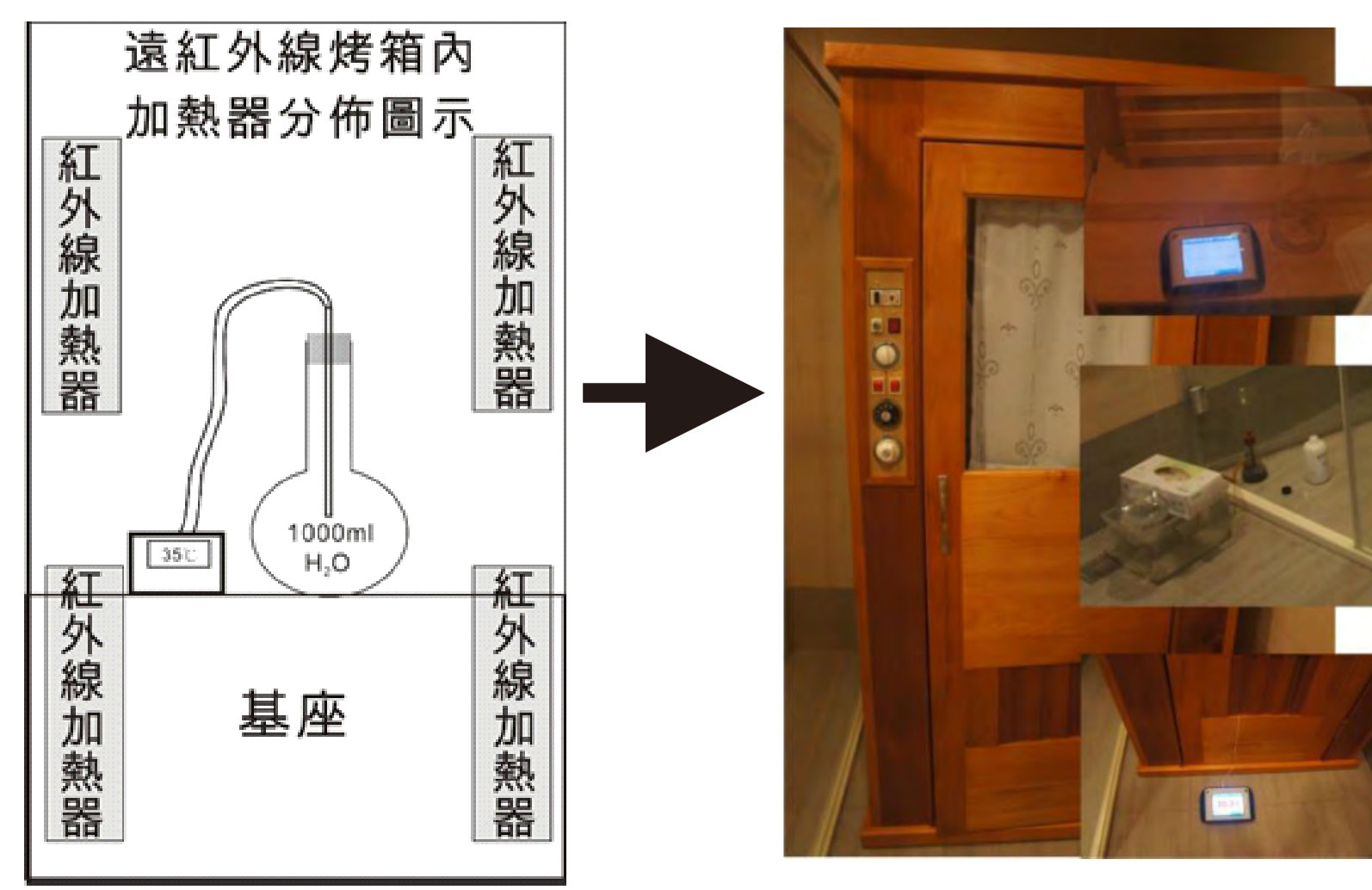
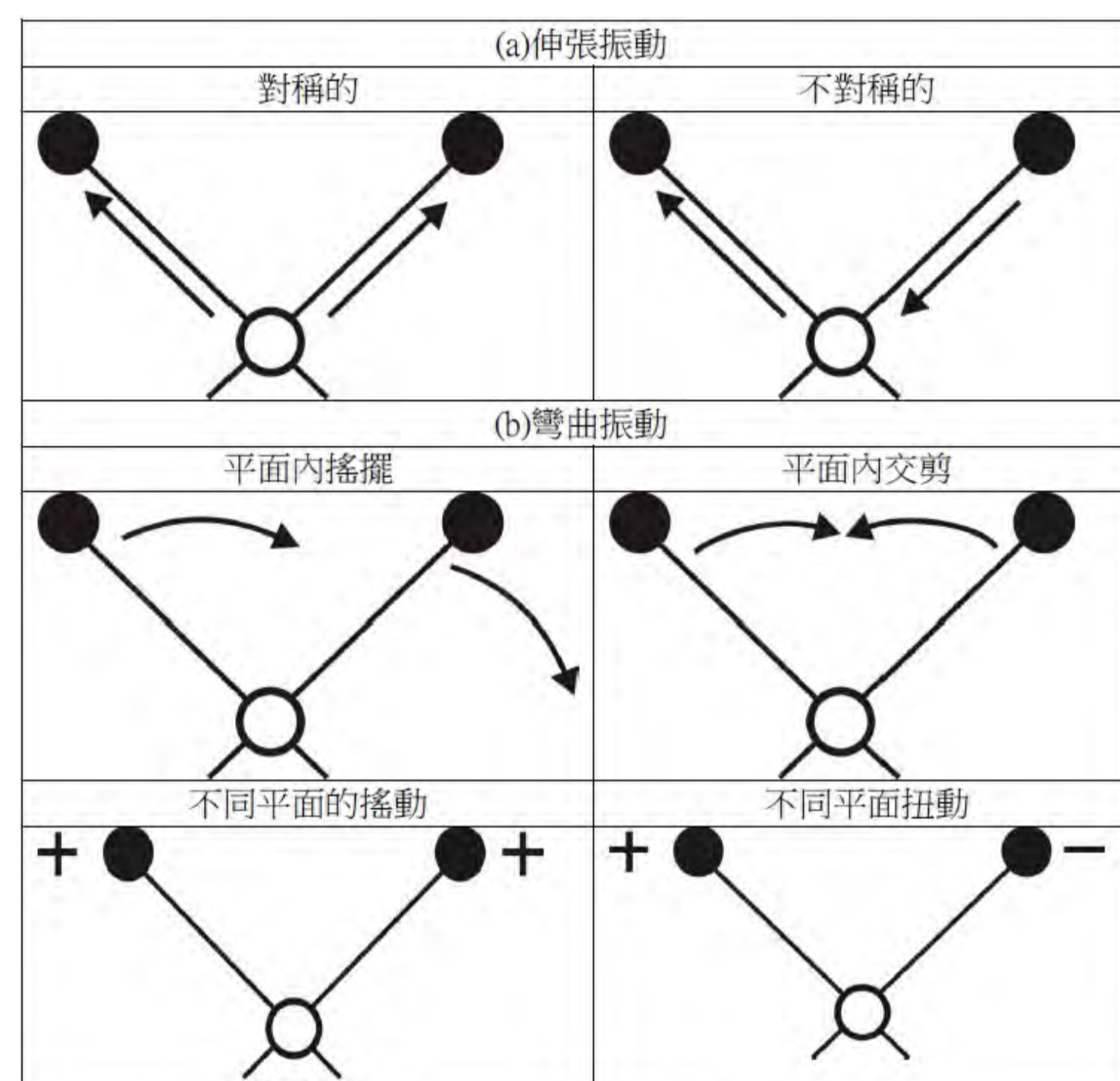


圖3、家用遠紅外線烤箱圖示。

表1、電磁輻射不同區域波長對物質的影響。

| 電磁輻射區域 | 波長(nm) | 性質的影響 |
|----------|--|--------|
| γ-射線 | 5 x 10 ⁻¹⁴ ~ 0.14 | 原子核 |
| x-射線吸收 | 0.01 ~ 10 | 內層電子 |
| 真空UV吸收 | 10 ~ 180 | 鍵結電子 |
| UV/Vis吸收 | 180 ~ 780 | 鍵結電子 |
| IR吸收 | 780 ~ 3 x 10 ⁵ | 分子旋轉振動 |
| 微波吸收 | 7.5 x 10 ⁵ ~ 3.75 x 10 ⁶ | 分子旋轉 |
| 無線電波 | 0.6 ~ 10 m | 核子自旋 |

表2、分子旋轉振動之類型。



註：+代表向紙面上移動，-代表向紙面下移動。

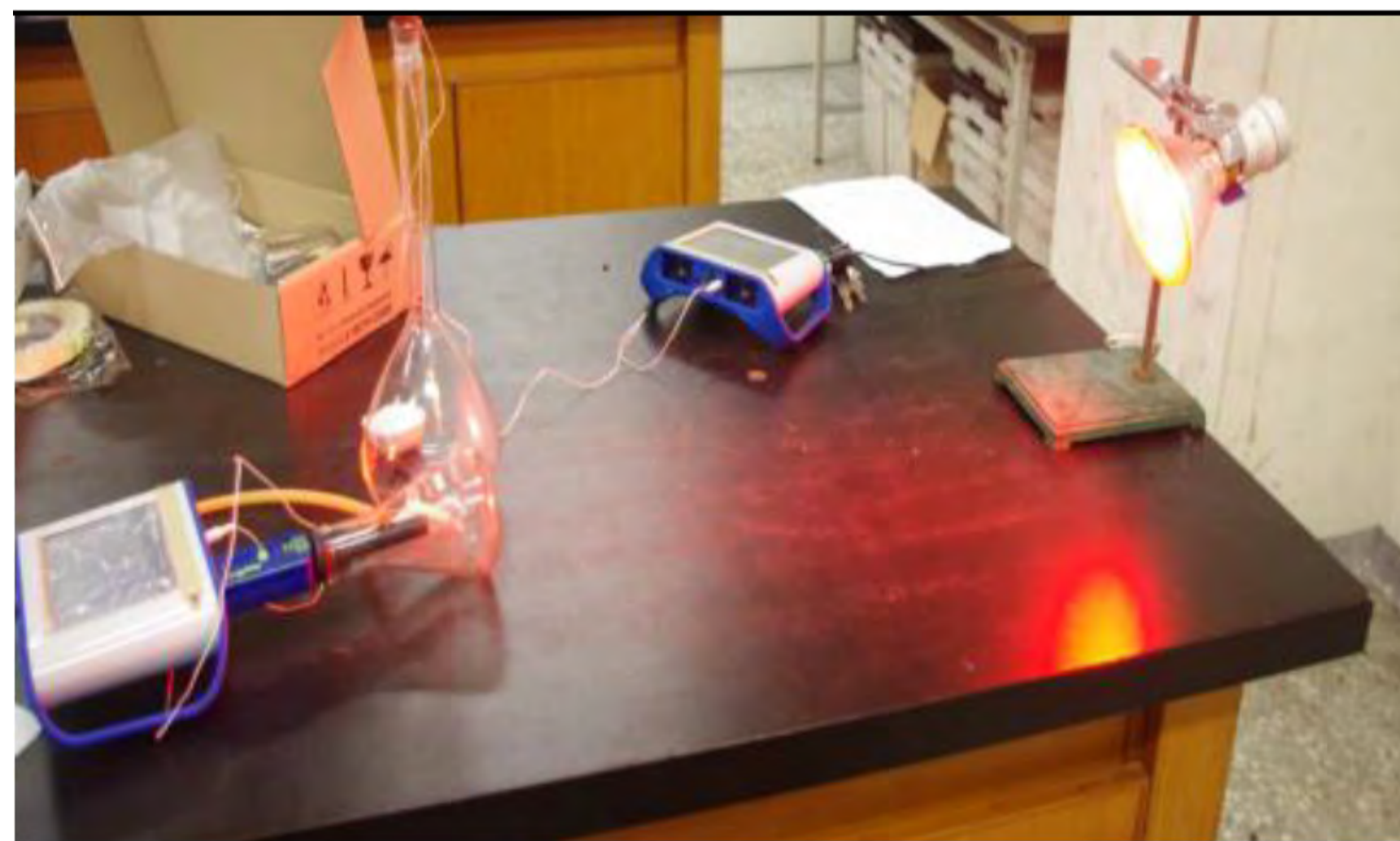


圖1、紅外線燈泡加熱裝置圖示。

五、尋求減碳之有效方法來減緩極地冰融而造成之溫室效應加劇之情況。

- (一)同上步實驗驟四冰凍汽水融化實驗之步驟。
- (二)實驗裝置如圖4所示，只是在氣體感測瓶之前再加上一瓶捕捉氣體之強鹼(50g氫氧化鈉)錐形瓶，紀錄並觀察溫度與CO₂濃度實驗值。
- (三)探討溫室氣體CO₂捕獲技術是否有助於減緩溫室效應之加劇情形。

陸、研究結果

一、使用三種不同紅外線光源來模擬實際溫室效應之溫度上升與氣體種類的關係之結果。

- (一)紅外線燈泡為紅外線加熱光源之實驗結果。
 - 1.實驗結果如圖5所示，顯示出溫室氣體CO₂及H₂O仍有較好之紅外光吸收率，最差。

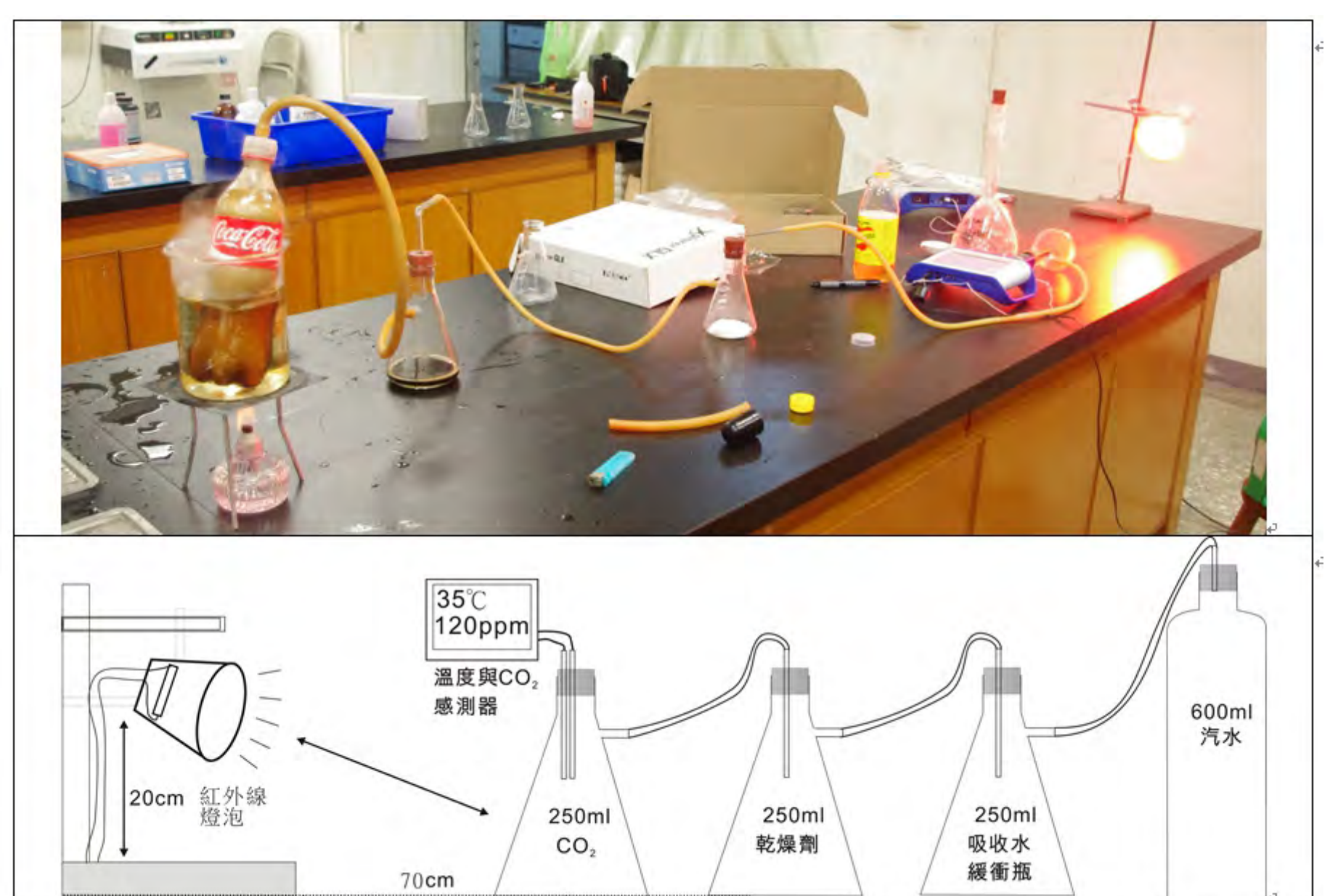


圖4、冰凍汽水融化之實驗裝置圖示。

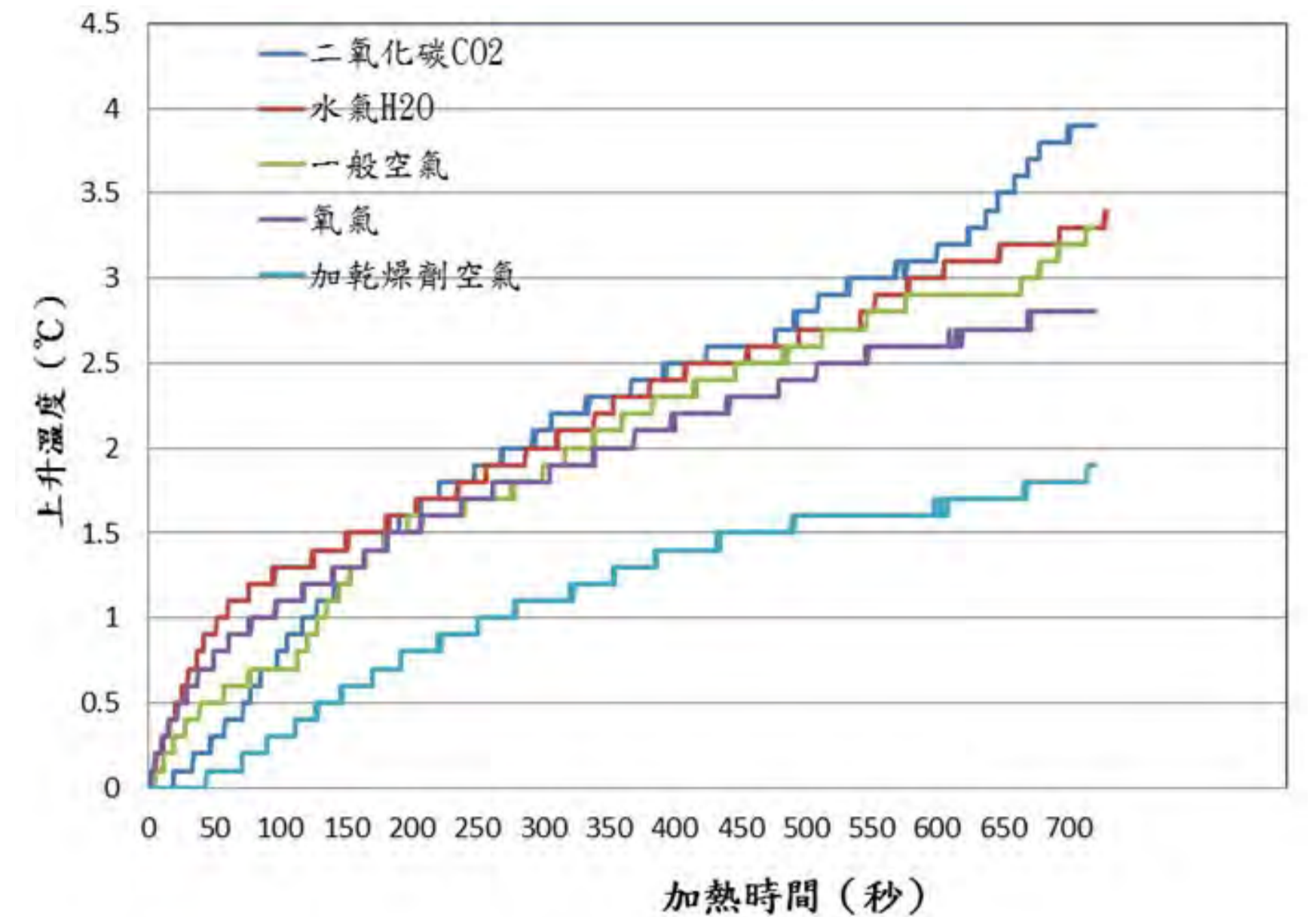


圖5、紅外光燈泡加熱與溫度之變化關係圖。

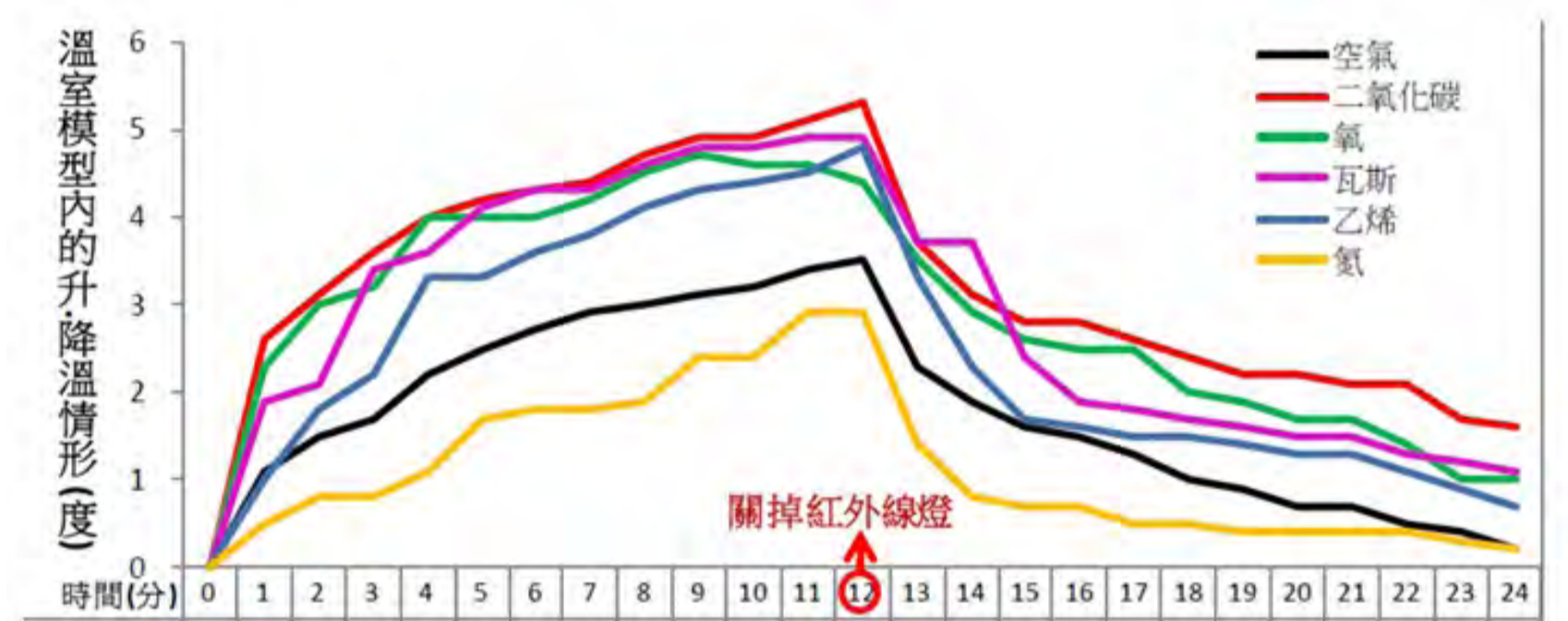


圖12、不同氣體在模型內造成溫室效應的情形。
(資料來源：第51屆作品 邁向—溫室效應之研究探討)

圖6、其他紅外光燈泡加熱與溫度之變化關係。

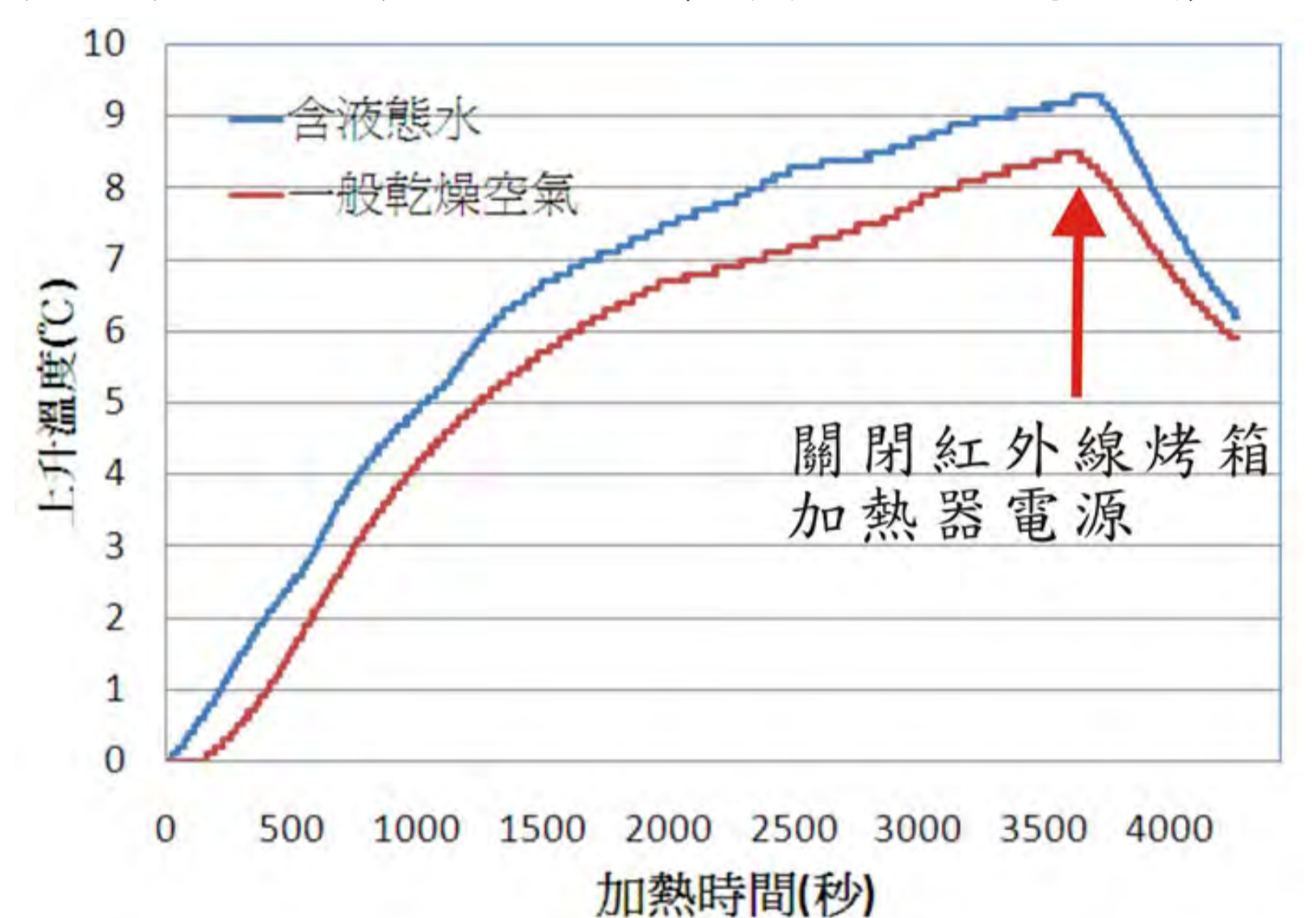


圖9、加熱水氣與乾燥空氣之變化關係。

- 2.與其它作品比較(圖6)，同樣以紅外光燈泡為加熱光源，但是他校除溫室氣體之外，氧氣仍呈現溫度上升略高之情形，而理論上O₂並無紅外線之吸收，顯見此紅外光燈泡之紅外線波段分佈，確有易受熱光源干擾之情況。

- (二)紅外線黑晶爐為紅外線加熱光源之實驗結果。
 - 1.實驗結果如圖7所示，顯示出溫室氣體CO₂及H₂O仍有較好之紅外光吸收率，故溫度上升較高。此二曲線升溫趨勢與紅外線燈泡之溫度上升趨勢大致上是一致的。
 - 2.此處還是可觀察到H₂O的含量變動會影響升溫曲線的變化，研判應還是與H₂O的飽和蒸汽壓有相關。

- (三)家用遠紅外線烤箱為紅外線加熱光源之實驗結果。
 - 1.實驗結果如圖8所示，顯示出溫室氣體CO₂溫度上升最明顯，H₂O次之，再來依次是氧氣、一般空氣與乾燥空氣。
 - 2.此溫度上升趨勢仍是呈現一致的結果，但亦可看出因為全部實驗皆在烤箱內進行，故可以避開周遭環境其他光源波段或熱源之干擾，同時因所採用的是遠紅外光波段，肉眼亦無法看出紅色光，故實驗結果更能清楚明顯呈現二氧化碳對遠紅外線吸收率高於其他氣體。

- (四)三種紅外線加熱器為光源之實驗互相比較之結果。
 - 1.在紅外線烤箱內另以加水與加乾燥劑之空氣作一長時間加熱比較實驗比較，實驗結果如圖9所示。
 - 2.從結果知有水氣存在之空氣溫度呈現穩定的上升趨勢仍比乾燥空氣明顯且上升較快。

- 2.此溫度上升趨勢仍是呈現一致的結果，但亦可看出因為全部實驗皆在烤箱內進行，故可以避開周遭環境其他光源波段或熱源之干擾，同時因所採用的是遠紅外光波段，肉眼亦無法看出紅色光，故實驗結果更能清楚明顯呈現二氧化碳對遠紅外線吸收率高於其他氣體。

- (四)三種紅外線加熱器為光源之實驗互相比較之結果。

- 1.在紅外線烤箱內另以加水與加乾燥劑之空氣作一長時間加熱比較實驗比較，實驗結果如圖9所示。
- 2.從結果知有水氣存在之空氣溫度呈現穩定的上升趨勢仍比乾燥空氣明顯且上升較快。

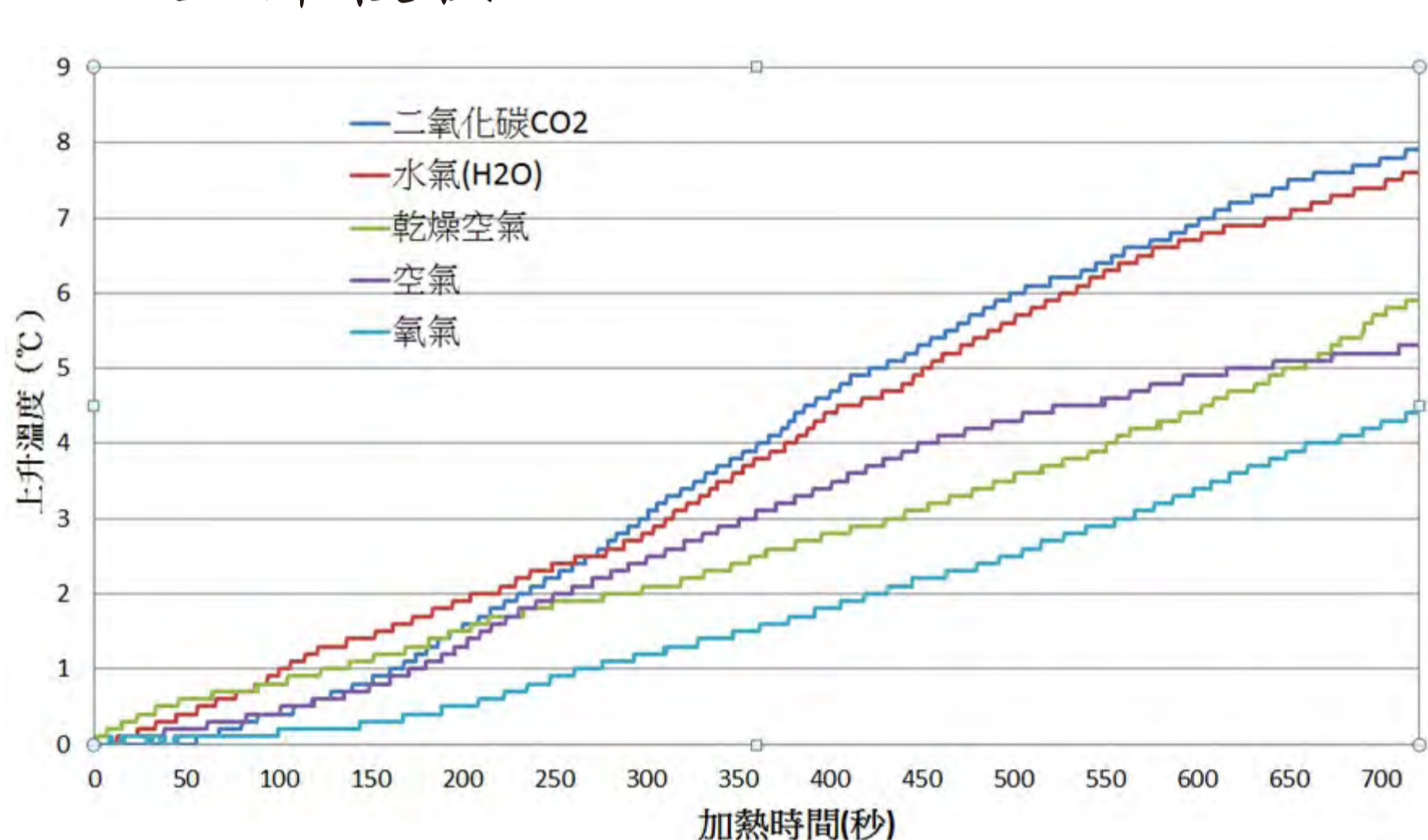


圖7、紅外光黑晶爐加熱與溫度之變化關係。

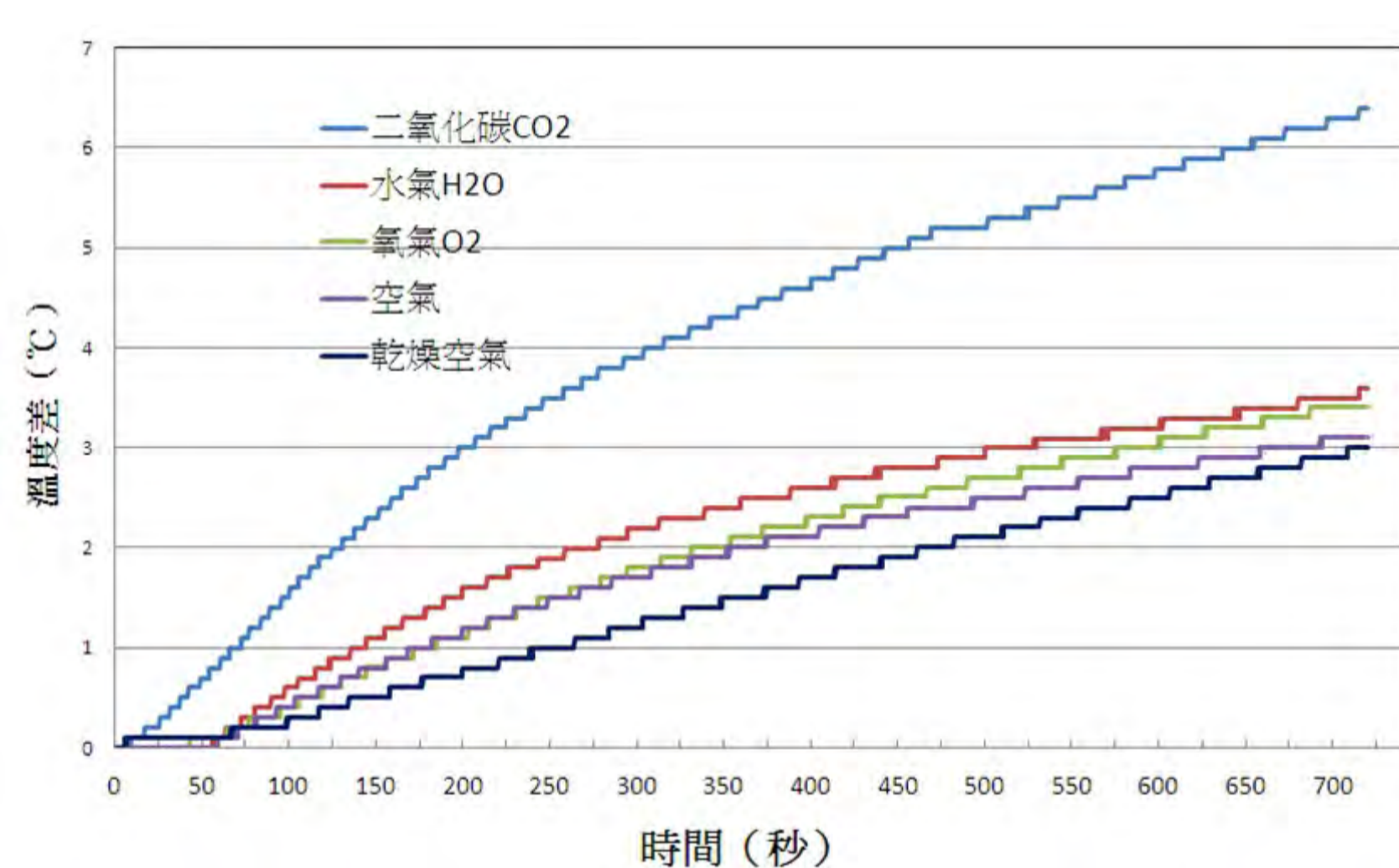


圖8、家用遠紅外光烤箱加熱之變化關係。

二、探討全球溫度與二氧化碳濃度的變化。

- (一)圖10可發現溫度從1880年開始，到最近2012年，將近100多年的時間，雖然溫度有起伏上下，但整體溫度是慢慢往上爬升的，尤其是最近這幾年，溫度整整比平均值高出快0.6度。由此可知全球溫度正處於上升的狀態。
- (二)圖11可知二氧化碳的年變化量從1958年的315ppm到2017年的406ppm，中間都是一路上升的趨勢。且如果變化趨勢不變依據我們的預測到西元2037年二氧化碳濃度即到達450 ppm，文獻說要幾十年但是我們預測只要18年。
- (三)將歷年來全球CO₂濃度數據與1978年到2017年的年均溫放在一起比較如圖12，從圖中可看出兩者之間的相關性，更可預估到2030年CO₂濃度可到430ppm左右，而年均溫比20世紀可約上升1.2度C。

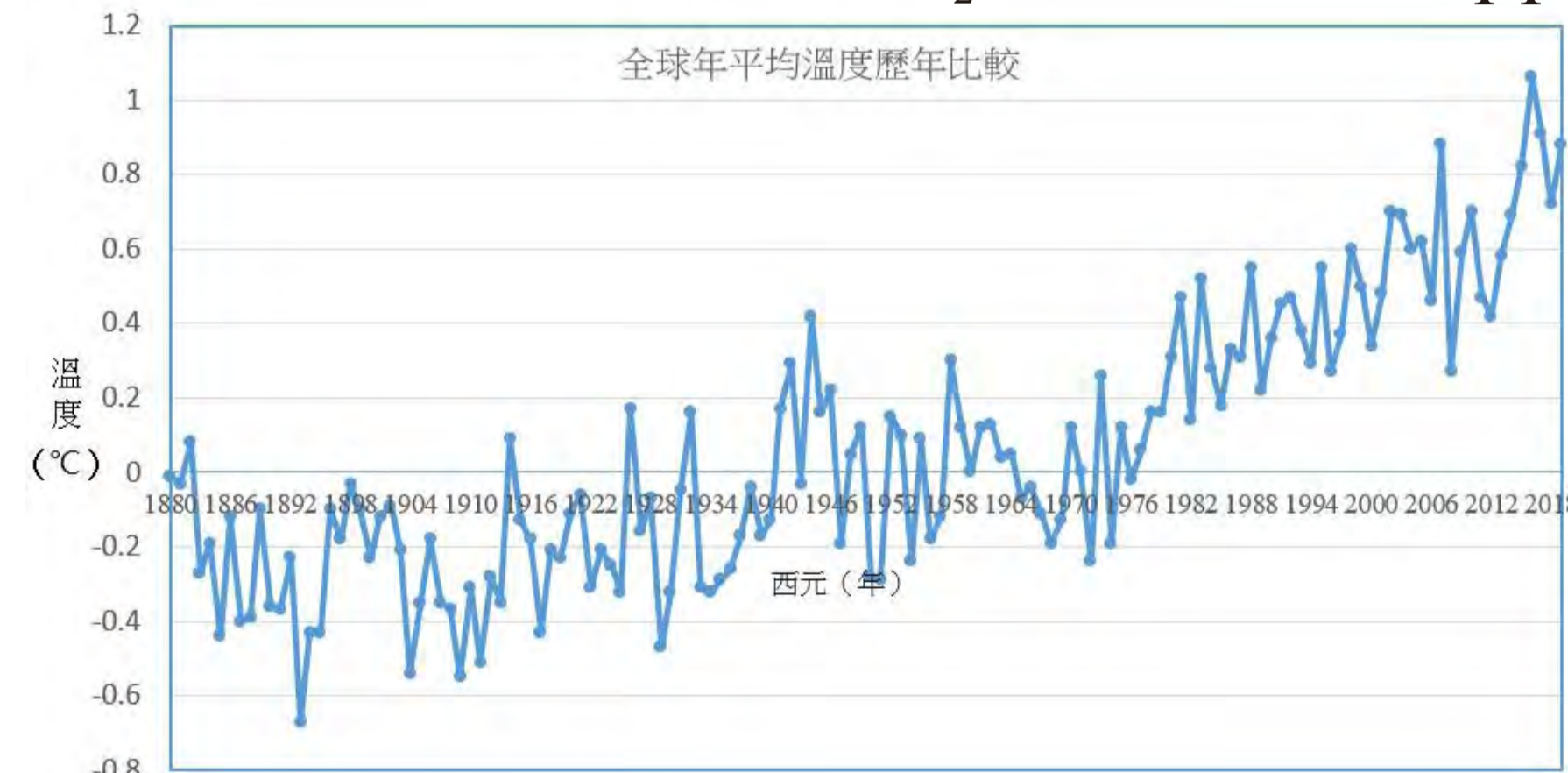


圖10、全球溫度變化圖。

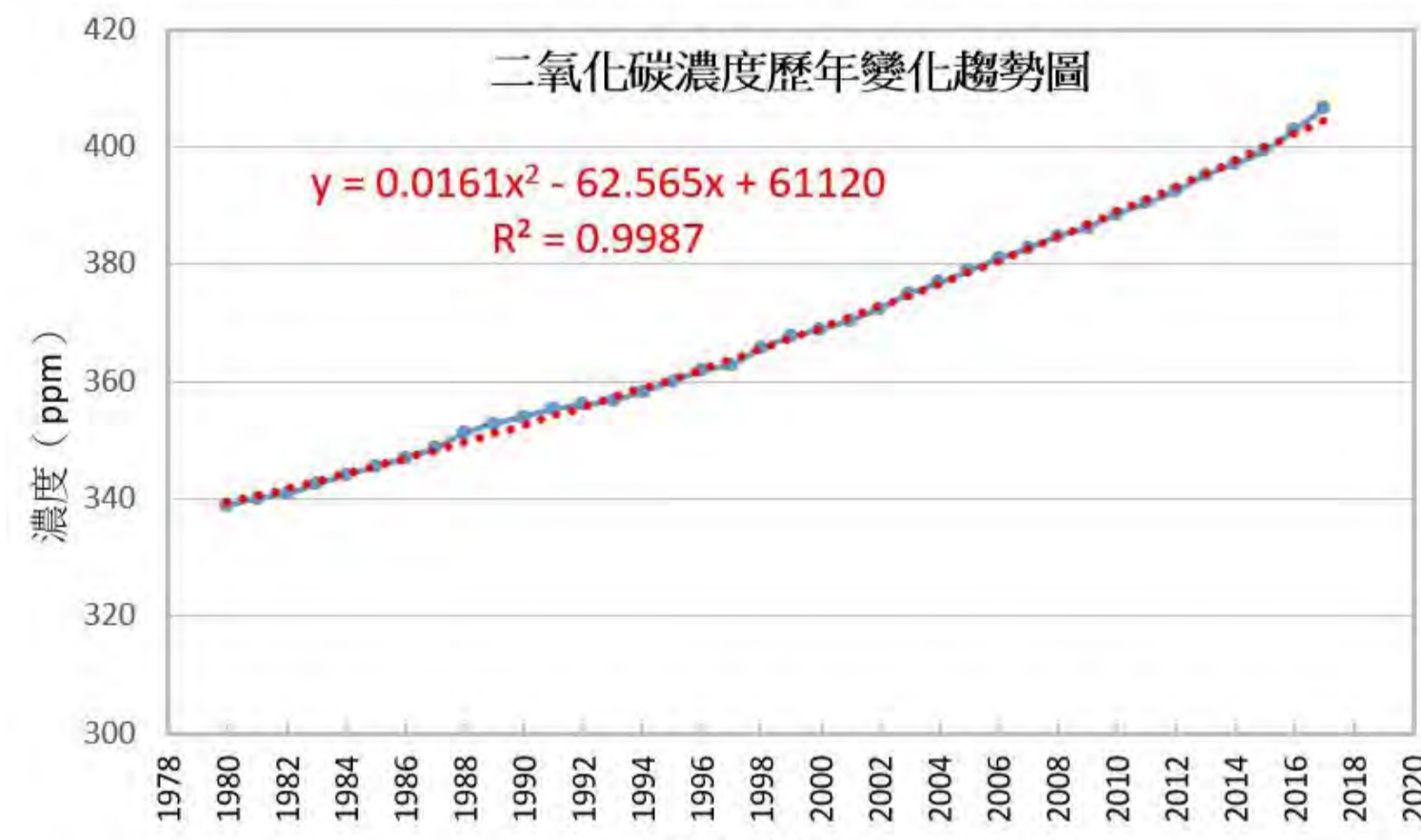


圖11、二氧化碳濃度變化曲線圖。

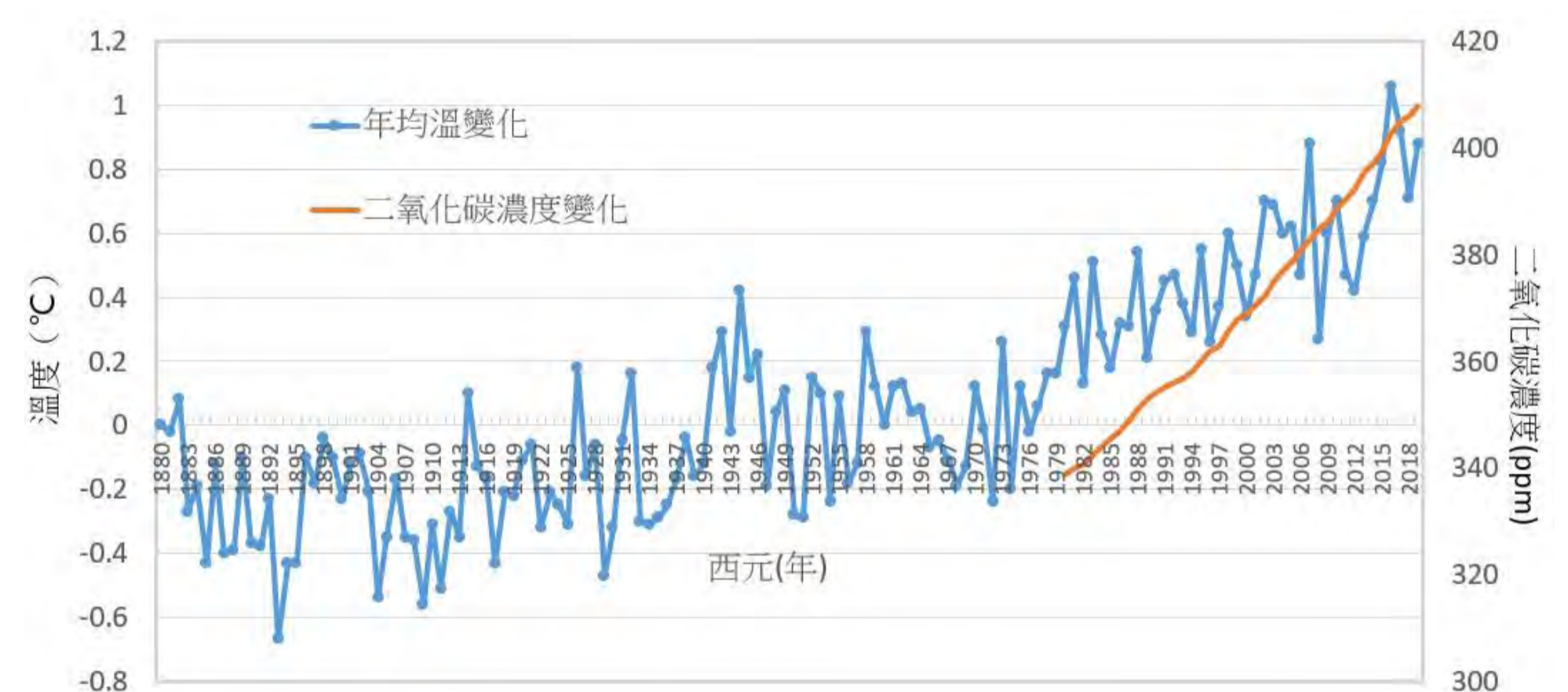


圖12、歷年全球CO₂濃度變化與年均溫變化比較圖。

三、了解全球溫度變化對南北極冰層面積的影響。

- (一)北極冰層面積變化如圖13，從1979年開始約1250萬平方公里，逐年往下降，整個趨勢是往下減少的，到了2016年冰層面積只剩下1023萬平方公里。
- (二)南極冰層的面積變化如圖14，由1980年代的1150萬平方公里慢慢的往上增加，到最近這幾年冰層面積不減反升，雖然有幾年冰層面積是減少的，整體來說南極冰層面積是增加的。但是到2017年底卻是減少至1105萬平方公里。
- (三)全球冰層面積變化趨勢如圖15，其變化趨勢也是一路往下降，從1979年約2400萬平方公里，到了2017年只剩下2151萬平方公里，所以總體來說全球冰層面積處於減少的趨勢。

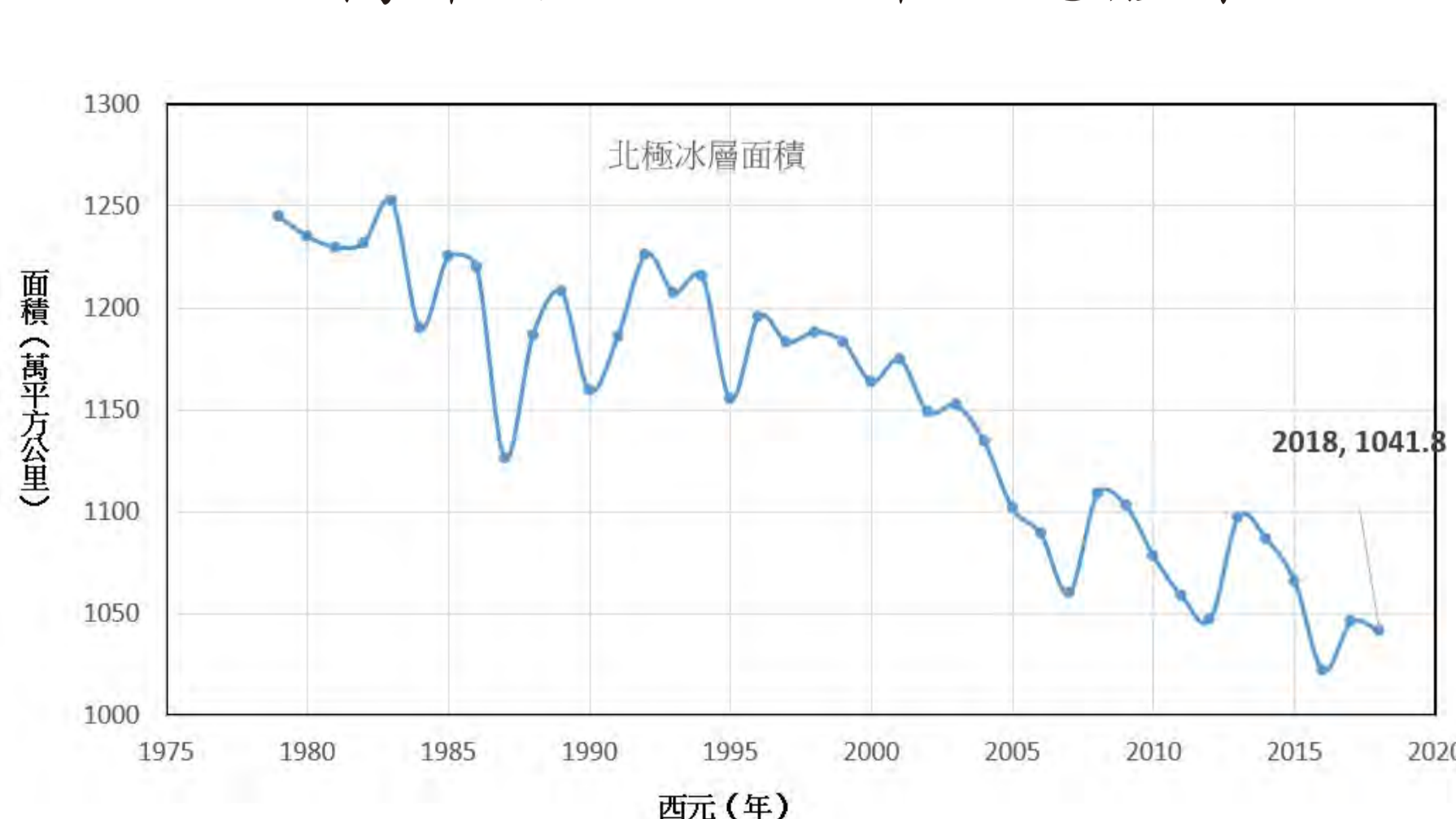


圖13、北極冰層面積變化圖。

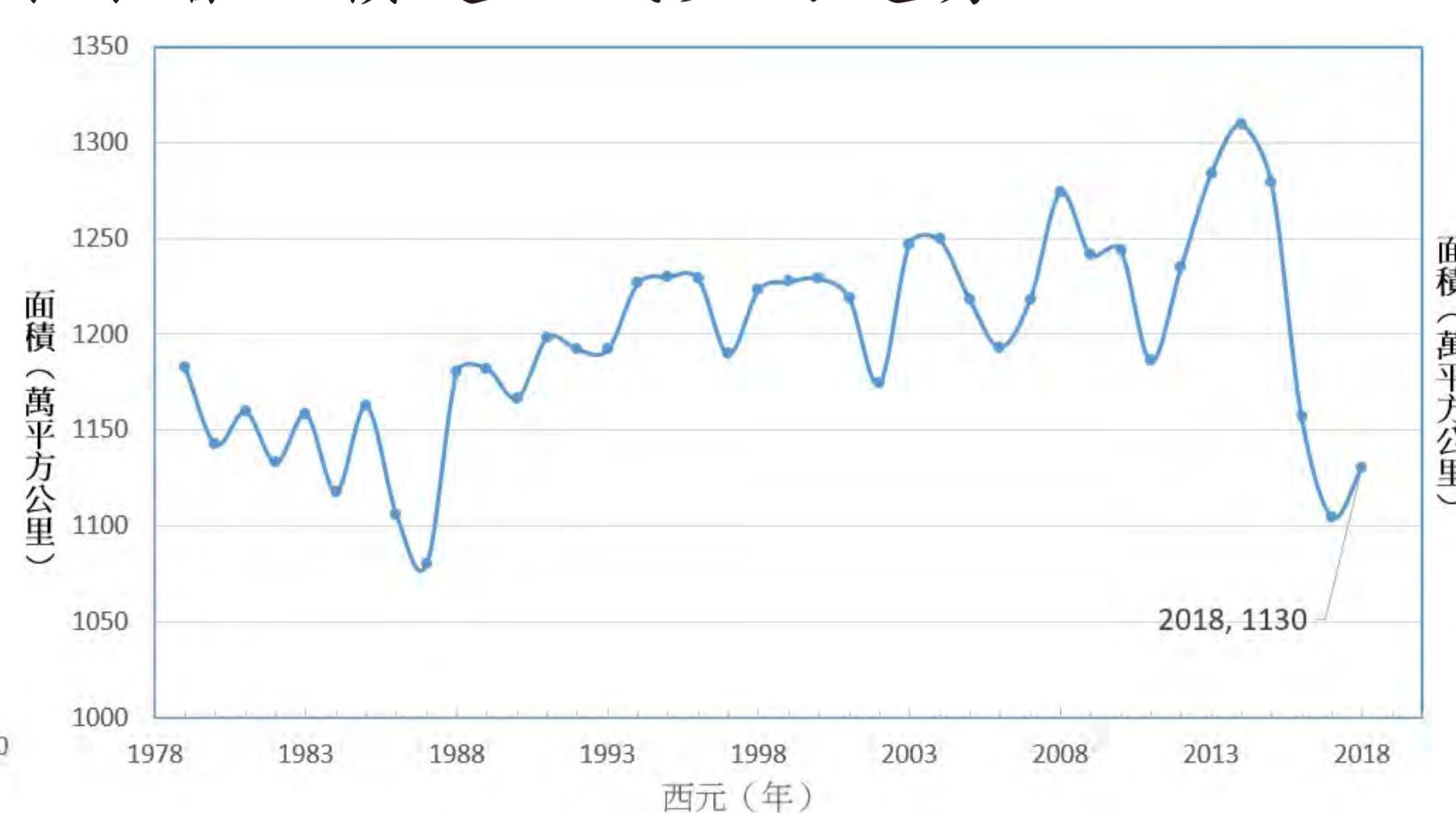


圖14、南極冰層面積變化圖。

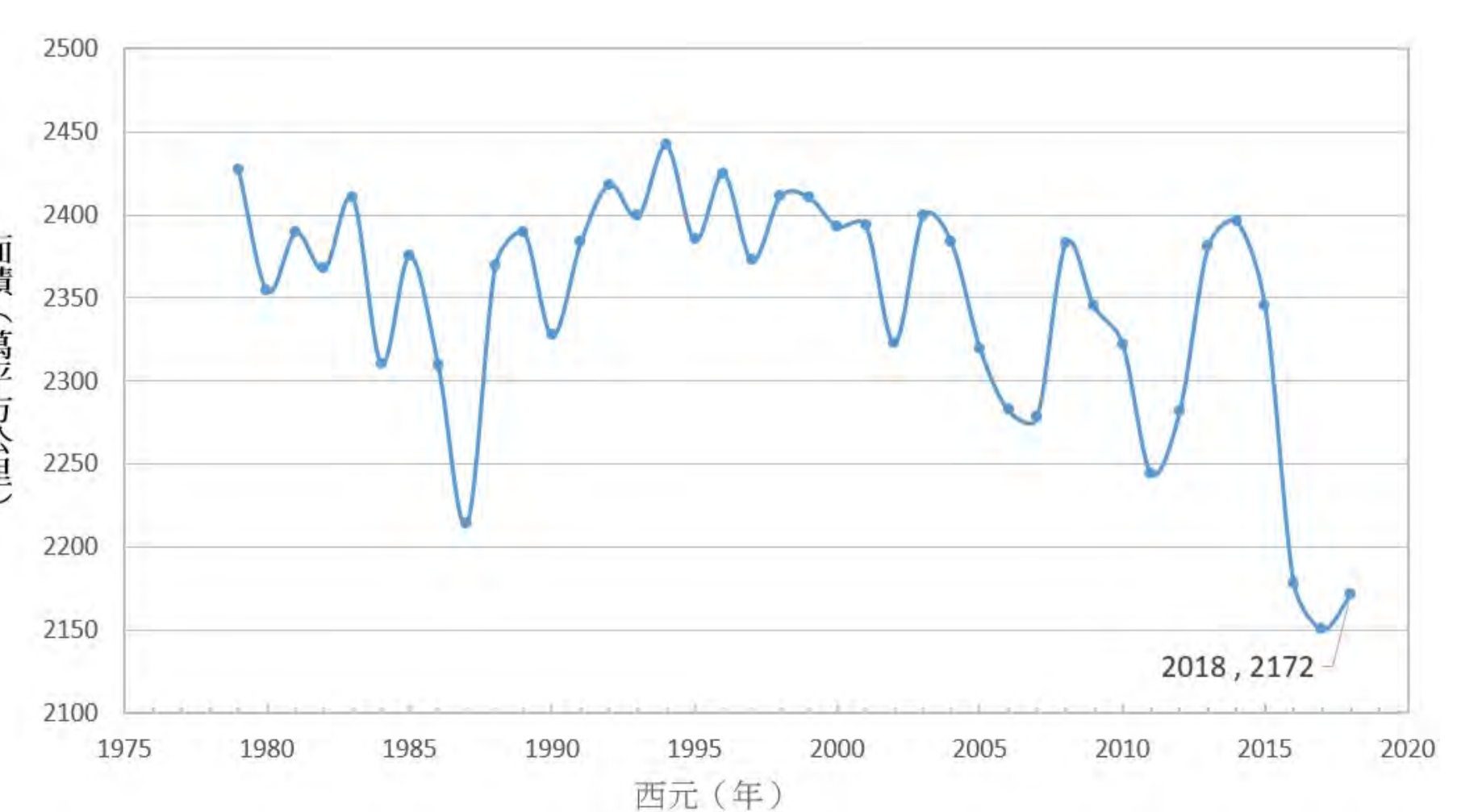


圖15、全球冰層總面積變化圖。

四、利用汽水融化模擬冰融釋放出溫室氣體之實驗，比較釋放出二氧化碳之濃度與溫度上升之實驗結果。

- (一)結果如圖16，由圖中可看出汽水融化後，二氧化碳濃度從一般空氣400ppm直接上升至約300倍到達12000ppm。而溫度亦在12分鐘內上升了約8°C。證明二氧化碳化學捕獲技術確實可行。

五、減碳之有效方法來減緩溫室效應加劇之結果。

- (一)依據高中所學理想氣體方程式(PV=nRT)之原理，設計一針筒加三向閥之實驗如表3所示，顯示除了強鹼氫氧化鈉，另外氫氧化鈣及蘇打亦稍有吸收CO₂之效果。
- (二)證明二氧化碳之減量捕獲技術分成許多面向包含有物理吸附減量與化學吸附方式捕獲，而以最簡單且多次實驗證明可行的化學吸附來測試，結果證明確實可行亦可減緩溫度上升趨勢。

柒、研究與討論

一、使用不同紅外線光源模擬溫室效應之地表輻射光源。

- (一)地表輻射光源波段如圖17所示波長約在5~20μm之間，意即地表輻射波段在中紅外光區，故所選擇之紅外光源應該在此區段才更可接近地表輻射之波段。

- (二)利用科研社自製之光譜儀實驗模組來實驗比對結果如圖18所示，確實像CO_{2(g)}及O_{2(g)}等氣體在可見光波段並無差異之處，意即這些氣體在可見光區並沒有吸收波段其結果與圖17所顯示結果相同，但是像NH_{4Cl(s)}此類固體微粒在可見光區就會有影響可見光之波段光譜強度。

- (三)欲實驗證明H₂O直接受固定近紅外光之吸收與溫度上升之關係，實驗設計以固定波長之LED燈為冷光源，H₂O之吸收波長與溫度之變化關係如圖19，顯示在850 nm與940 nm之吸收溫度確實高過白光及400 nm LED冷光源，故再與上相同步驟，分別以0~4個的940 nm LED光源設計實驗結果如圖20，顯示愈多個940 nm LED為光源，確實溫度就越高。故可知如要實驗是否為溫室氣體，要以單一光源為基本光源，如波長範圍太廣的為光源就容易有實驗誤差。

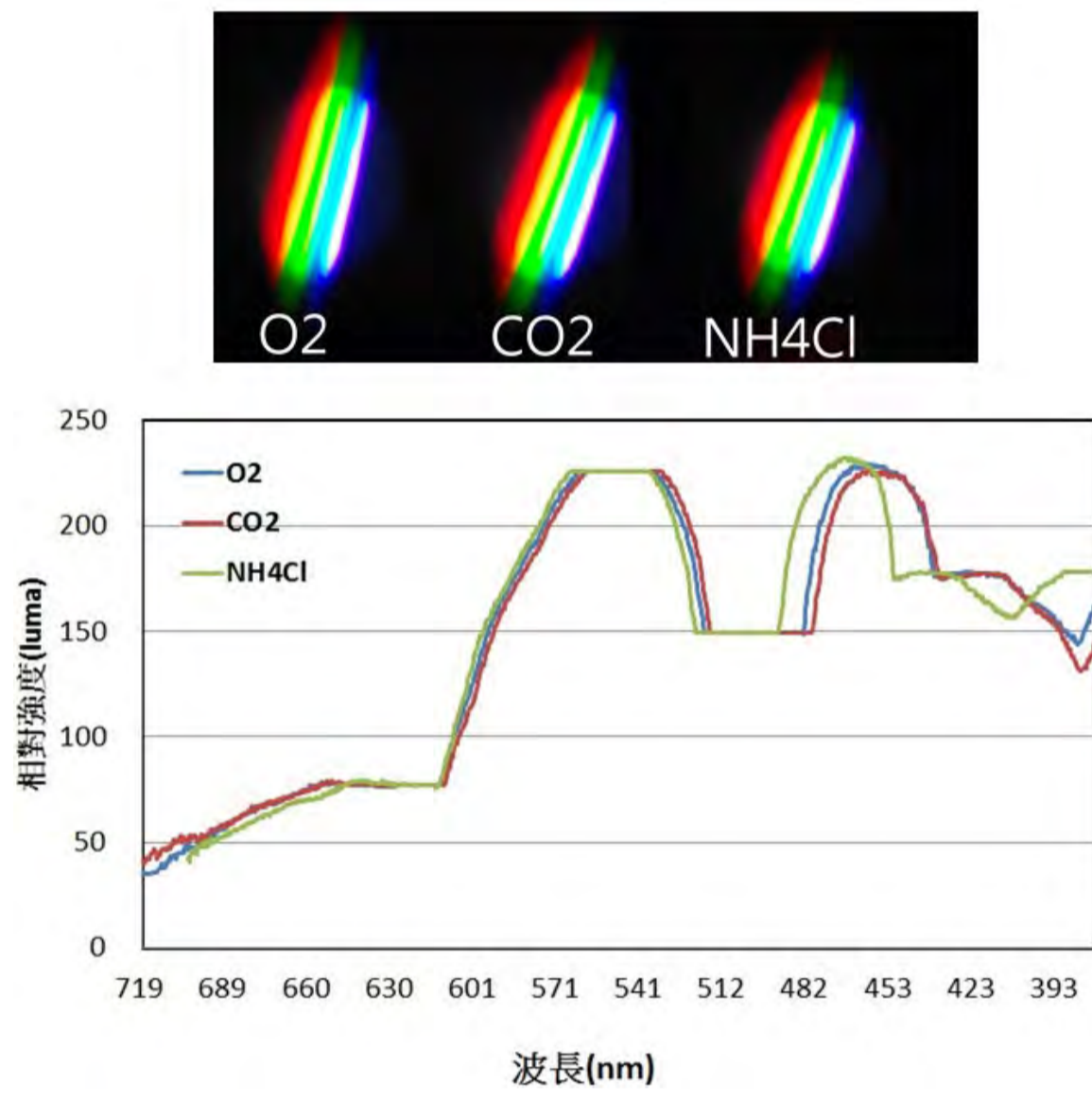


圖18、氣體及固體微粒之光譜實驗結果。

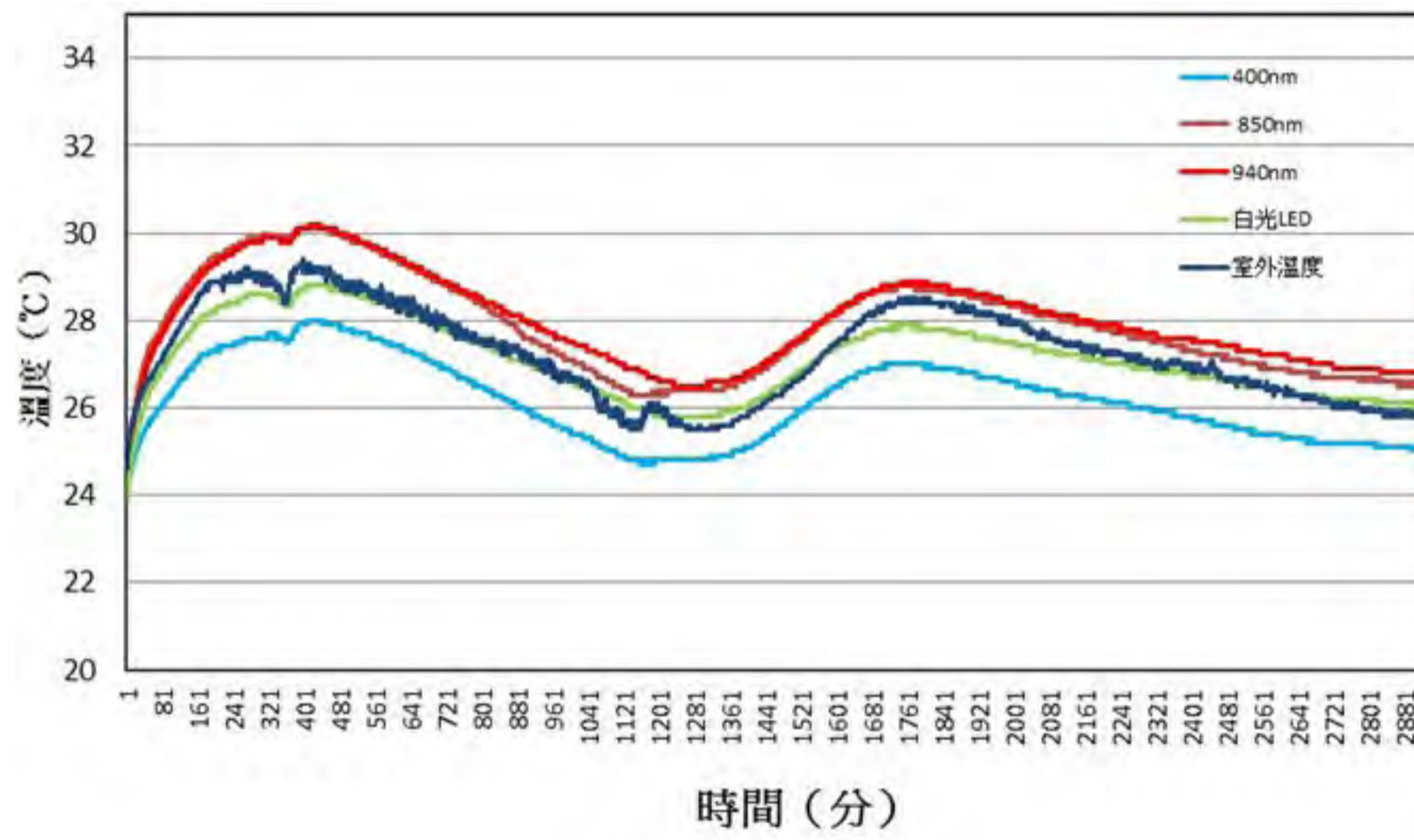


圖19、水之吸收波長與溫度上升之實驗結果。

二、搜尋海平面上升資料尋找影響臺灣之程度與因應對策探討。

- (一)因極地冰融讓我們聯想到需注意海平面上升之問題，依據美國NASA找到之海平面資料.TXT檔下載整理如圖21所示，顯示海平面近3.1mm/年之速率在上升中。
- (二)而依據CLIMATE CENTRAL資料顯示，如果海平面上升10m，則圖22顯示臺灣西部近海城市將有淹沒之疑慮。
- (三)尋找對策方面，我們研判如有加蓋防波堤、增加植被及興建醫院及學校培訓防災演練等等之因應措施，或許可以將災害降至最低。

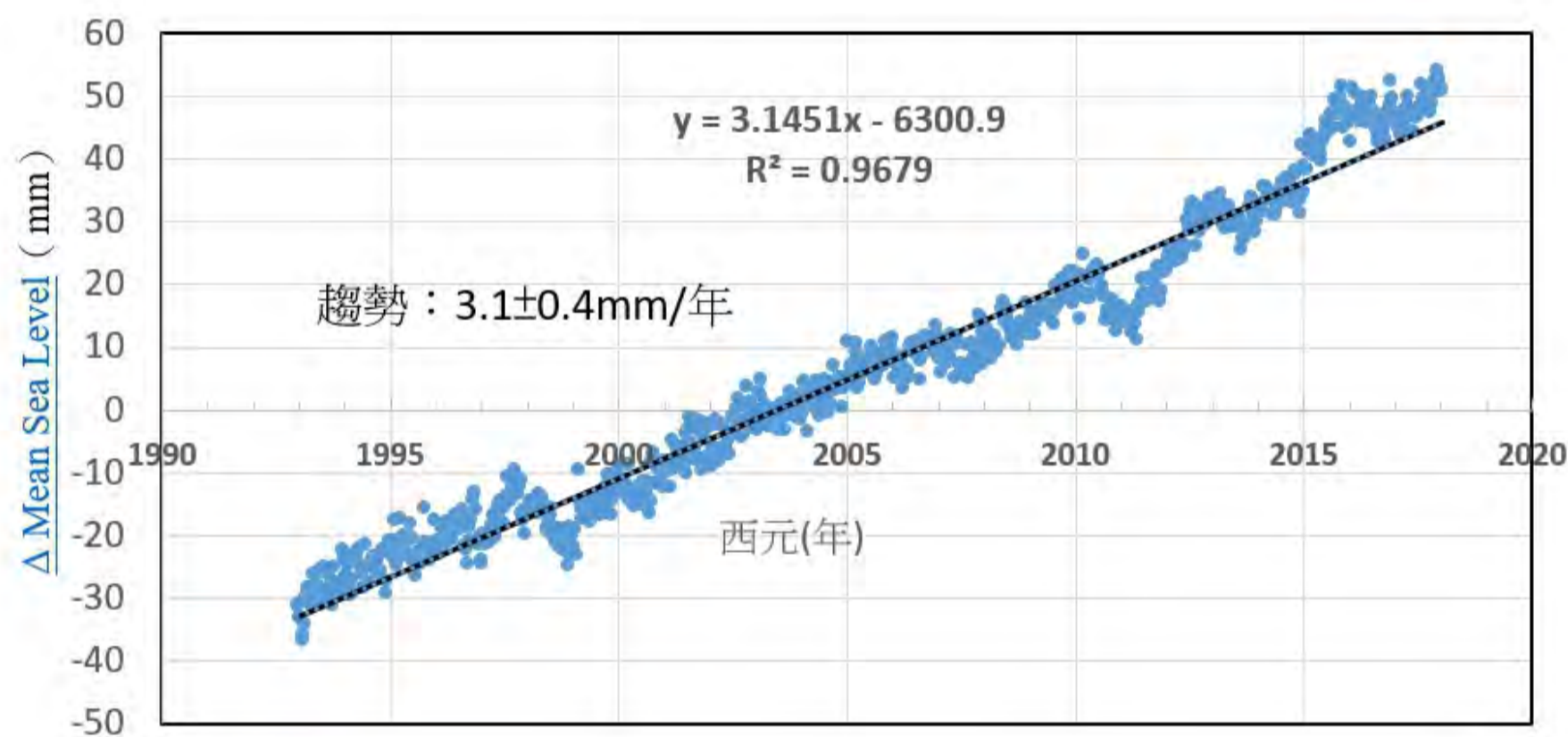


圖21、全球海平面上升趨勢圖。

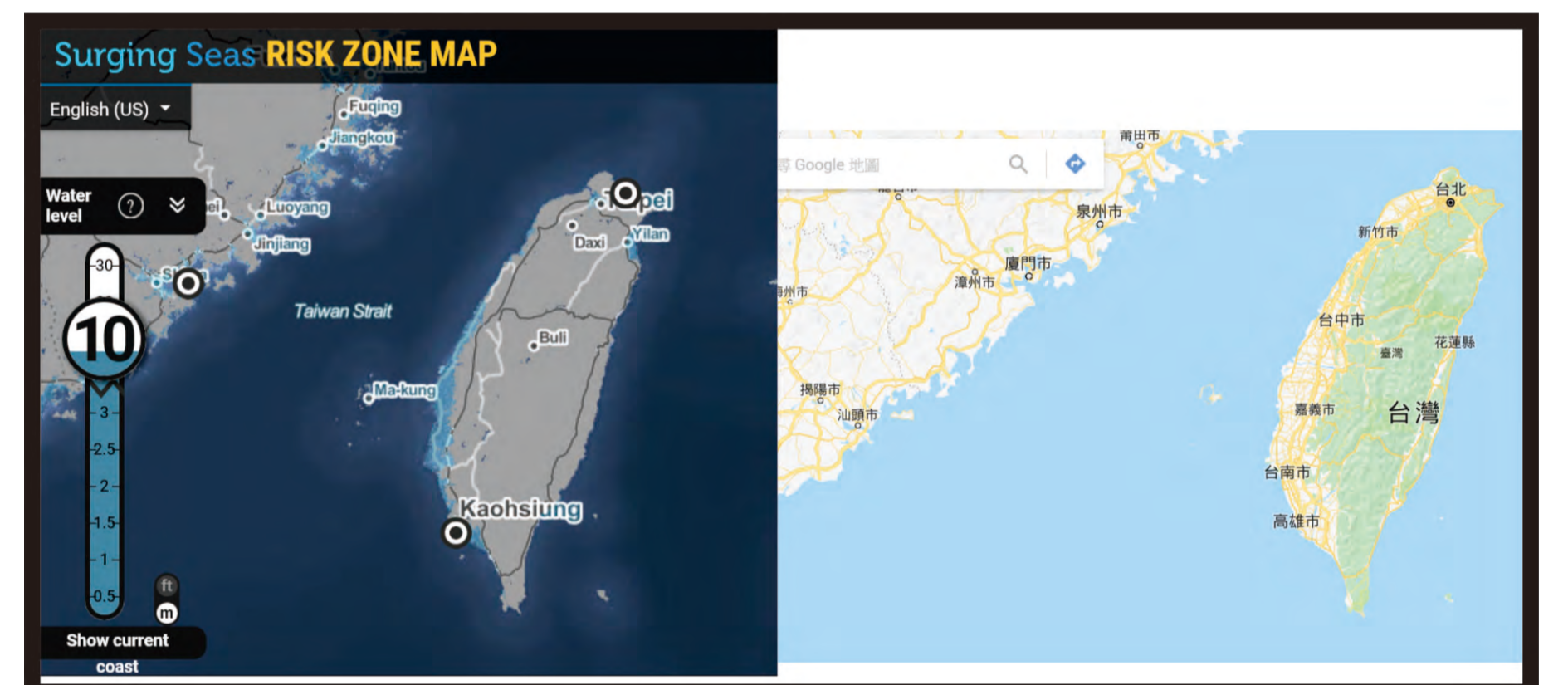


圖22、全球海平面上升對臺灣之影響預估。

捌、結論

1. 嘗試溫室氣體受地表輻射溫度升高之實驗時，加熱光源宜選擇中紅外光區，更貼近地表輻射真實狀況。
2. 溫室氣體在中紅外光區皆有高的吸收率，故皆為溫室氣體。同核物種如空氣的組成等，因在紅外光區沒有吸收波段，故不屬於溫室氣體。
3. 文獻說二氧化碳只要再幾十年即可達到歷史新高的450ppm，但依據我們蒐集資料分析之結果推測只要再18年左右即要達到450ppm，而全球溫度的增加會導致冰層的融解，只是從數據發現北極冰層面積是逐年減少，但是南極冰層面積卻是逐年增加，而以全球冰層面積來看，整體還是減少的趨勢，所以從歷年記錄來看，北極冰層減少的面積還是大於南極增加的面積，尤其今年更甚，因為今年目前無論南極及北極都是往下減少之趨勢，所以如果二氧化碳濃度持續增加且全球溫度還是在繼續增加之下，全球冰層總面積或許還是會繼續減少，這不得不讓我們要儘快搜尋解決全球暖化之方法。
4. 汽水模仿冰融之實驗確實亦驗證如有冰層中富含溫室氣體(二氧化碳、甲烷等)，當冰層融化時確實會釋放出大量溫室氣體而造成溫室效應加劇。
5. 二氧化碳捕獲技術富有許多層面與類別，而最簡單的化學吸附確實可成功吸附空氣中的二氧化碳，降低二氧化碳所造成之溫度上升之情形。
6. 依據所搜尋之資料顯示海平面確實每年皆會大約依3.1mm逐步上升，而臺灣西部近海城市確實深受海平面上升之嚴重威脅，根據我們所嘗試之對策如築防波堤、植被等措施，確實可以達到降低災害人命財產損失之機率。

玖、參考文獻

1. 江泓樂、黃柏霖、薛橋,中華民國第46屆中小學科學展覽會作品說明書,“明天過後—溫室氣體的初探”。
2. NASA全球海平面上升資料2018. 4. 7查詢。<https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>。
3. climatecentral全球海平面上升對各地區影響之預估資料,2018. 4. 14查詢。<http://sealevel.climatecentral.org/maps>。

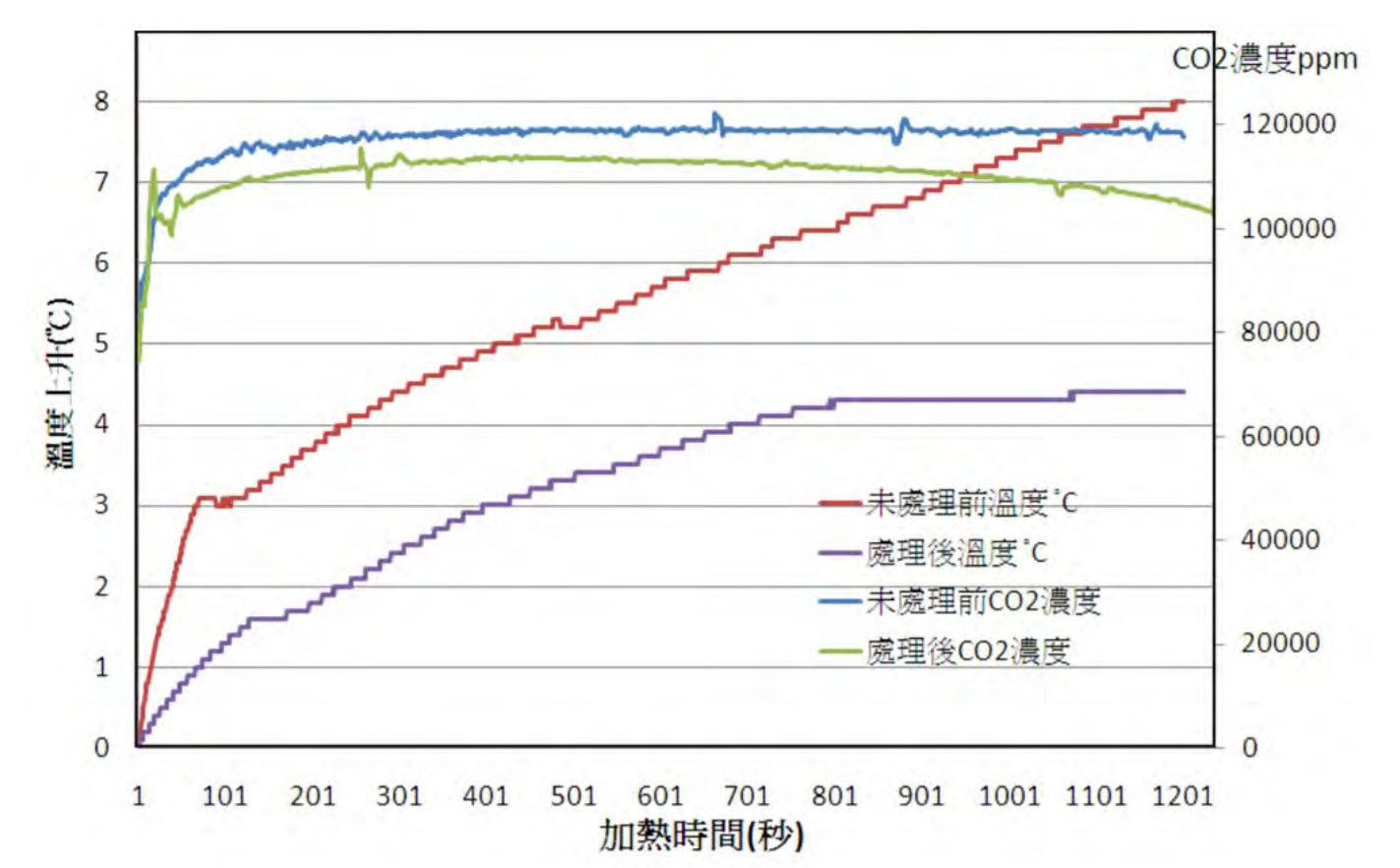


圖16、汽水冰融釋放出CO₂之濃度與溫度實驗結果。

表3、設計化學吸附CO₂之結果。

| | NaOH | Ca(OH) ₂ | Na ₂ CO ₃ | NaCl | CaCl ₂ | H ₂ O |
|-----------|------|---------------------|---------------------------------|------|-------------------|------------------|
| 起始壓力(KPa) | 100 | 101 | 100 | 101 | 100 | 101 |
| 最終壓力(KPa) | 83.5 | 96.4 | 95.5 | 99 | 98.3 | 98.7 |
| 壓力差(KPa) | 16.5 | 4.6 | 4.5 | 2 | 1.7 | 2.3 |

以NaOH為例，減少16.5 KPa=0.165 atm，V=0.005 L、R(常數)=0.082·T(K)=293，故代入PV=nRT可得溶解量n=3.4×10⁻⁵莫耳CO₂亦即20ml的化學藥品水溶液可以溶解0.0015g的CO₂，換算成溶解度S=0.7555g/100g水溶液。以此類推得下表比較圖。

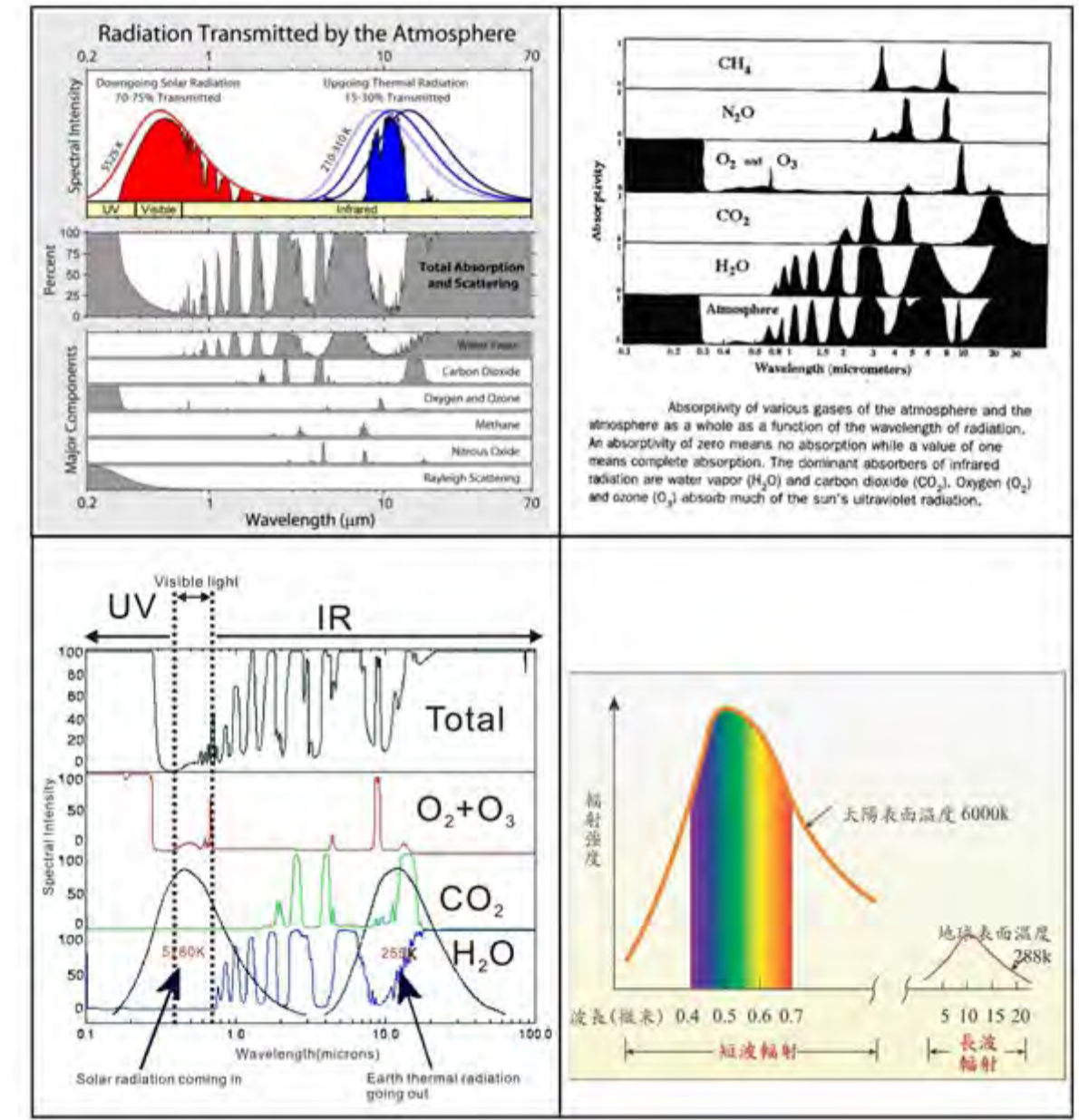
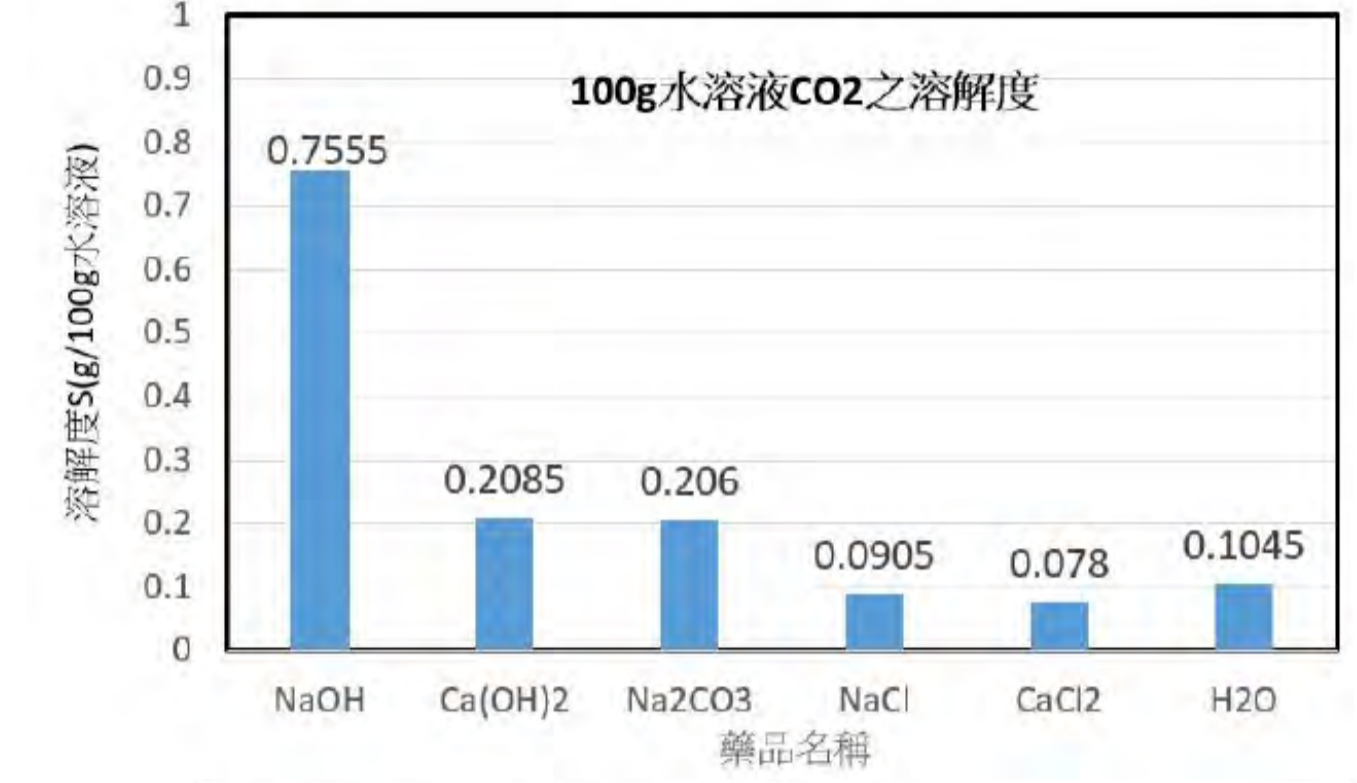


圖17、各氣體與地表輻射之吸收光譜之關係圖。

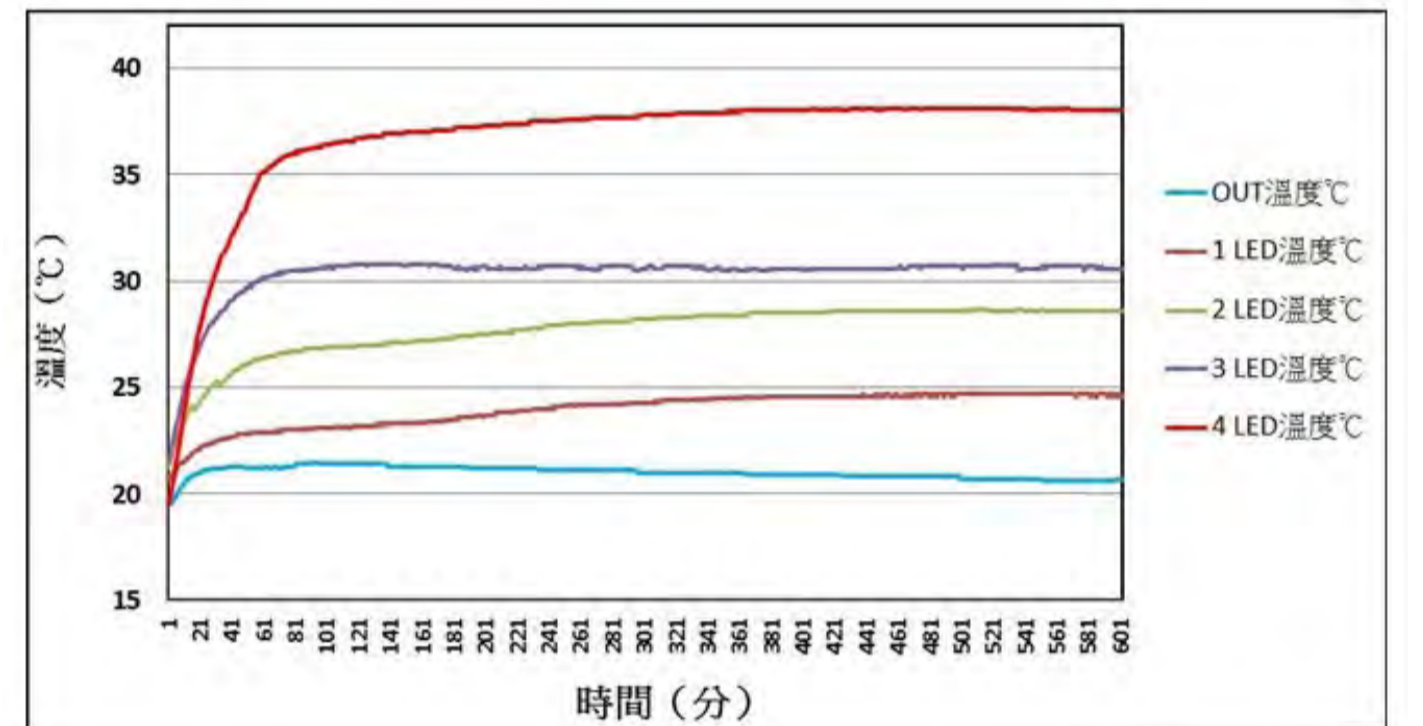


圖20、以0~4個940 nm的LED為光源，水之吸收波長與溫度之結果。