

# 中華民國第 61 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

佳作

051906

「紅」「輻」齊「天」- 紅外線溫度計測量雲底  
高度與其測量誤差變因之探討

學校名稱：臺中市立文華高級中等學校

作者：  高二 葉翰霖  高二 張福智  高二 孫楷鈞	指導老師：  林佑佳  吳秉勳
---	-----------------------------

關鍵詞：雲底高度、紅外線溫度計、輻射

## 摘要

本研究探討手持式紅外線溫度計做為低雲雲底實際高度測量的可能性，並探討其中可能影響紅外線溫度計測量之因素。我們發現：若直接以紅外線溫度計測得之雲底溫度換算高度，其與實際高度相差甚多。我們模擬測量雲底時的情形，探討比雲底高溫之空氣對於紅外線溫度計的影響。對大氣吸收與放射紅外線設計了兩種實驗加以了解。我們認為：當我們使用手持式紅外線溫度計測量雲底溫度時，雲底所發散的紅外線大部分被靠近雲底之大氣吸收，實際測量時雲底溫度高估之結果，應為紅外線溫度計視線範圍內靠近地表之大氣輻射紅外線總量綜合之結果，難以測量到雲底所發散的紅外線。

## 壹、 研究動機

高一時，地科課中提到了雲層溫度隨著所在高度而有所不同，於是我們好奇：雲層高度除了使用紅外線衛星所測得之溫度推估、使用雲幕儀測得外，是否有其他更具機動性的得知方法？經過詢問後，我們得知了一個新奇的方法：使用紅外線溫度計測量溫度，推估雲底高度。如果此方法確實可能得知雲底高度，或許將帶給未來雲幕高度測量更具機動性、更實惠的可能。經過實測後我們發現：雲底真實高度與紅外線溫度計所測得之雲底高度相差甚多，此結果使小組產生疑問：是什麼致使紅外線溫度計無法有效地測量雲底溫度呢？本研究探討與人類發展較相關的低雲高度，能否使用紅外線溫度計測得之雲底溫度推算。

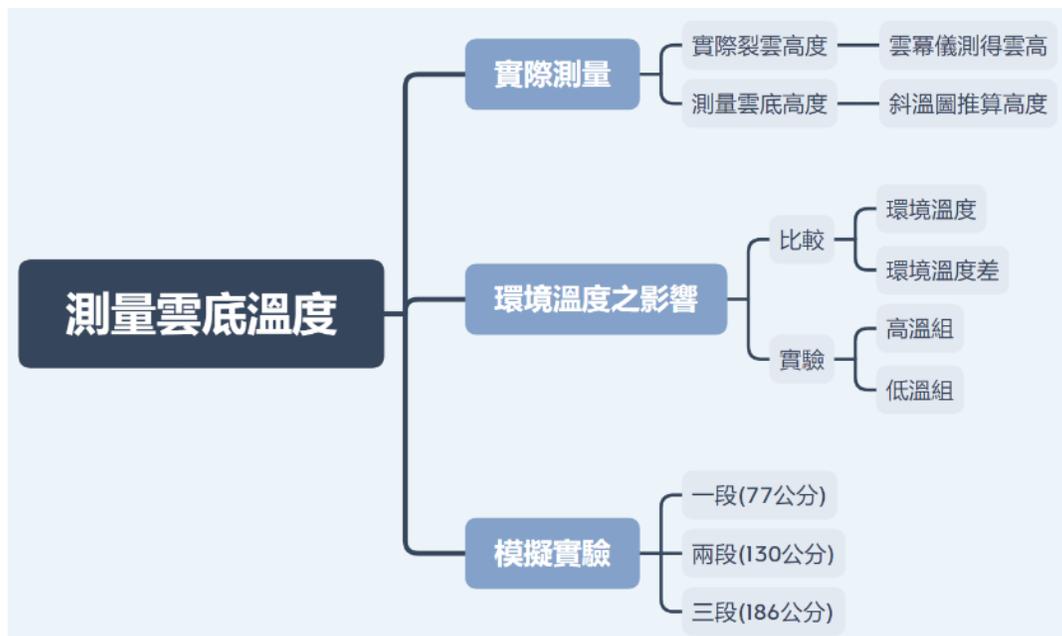
## 貳、 研究目的

- 一、使用紅外線溫度計測量雲底溫度之可行性。
- 二、環境溫度對於紅外線溫度計測量之影響。
- 三、利用模擬實驗探究紅外線溫度計無法直接得雲底溫度之原因。

### 參、 研究器材及設備

器材名稱		型號／規格
溫度感測器	手持式紅外線溫度計	BENETECH GM320 D:S = 12:1 接收波段：8~14 微米
	Arduino 嵌入式電子溫度計	DS18B20 防水型溫度感測器
	Arduino 紅外線溫度計(5° FOV)	MLX90614-DCI：3V medical accuracy、gradient compensated、5° FOV 接收波段：5.5~14 微米
	Arduino 溫度濕度感測器	DHT22
恆溫箱		CHANNEL IB-70
Arduino 板子		Arduino UNO R3
風動式電暖器		BAIRAN FBCH-B07 AC 110V、60Hz、1200W
玻璃門片		長寬：90×110 (cm) 厚度：4.5 (mm)
正方形管狀塑膠隔板（自製）		管長：60 (cm) 截面邊長：25 (cm)

### 肆、 研究過程及方法



圖一 實驗流程圖

## 【實驗一】手持式紅外線溫度計實測雲底溫度

比較低雲雲底實際高度與使用手持式紅外線溫度計所換算得知之高度，探討手持式紅外線溫度計實測低雲雲底溫度之可行性。

### 一、名詞解釋及代號說明

#### (一)裂雲 (Broken, BKN)

航空氣象站使用「八分量」表示雲量，並使用雲幕儀測量雲底高度。BKN 為雲量占天空面積約 5/8~7/8 之標示，而 BKN 後之數值則為該雲層高度標示，例如：BKN050，天空中該雲層約占天空面積 5/8~7/8，雲底高度約為 5000 呎。

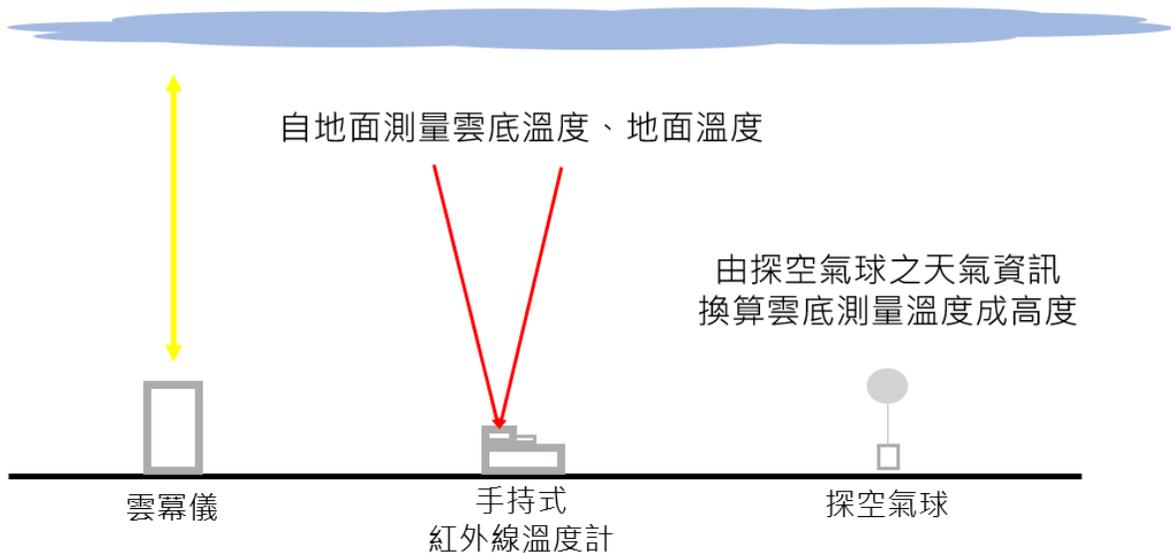
#### (二)手持式紅外線溫度計測量地點之地面氣溫 ( $T_{ot}$ )

#### (三)使用手持式紅外線溫度計測量之低雲雲底溫度 ( $T_t$ )

#### (四)使用手持式紅外線溫度計測量之低雲雲底高度 ( $d_t$ )

### 二、實驗設計與數據來源

雲底高度實際值



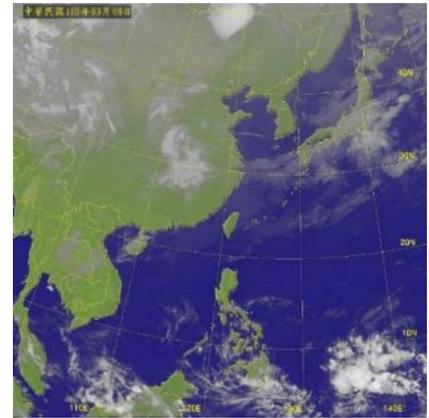
圖二 實驗設計示意圖

#### (一) 實驗時機

下圖為實驗所需之數據測量地點 (圖三)，由於數據測量地點皆相距一定距離，我們選擇於天空布滿低雲時進行實驗，使以下三個數據測量地點所處之雲底高度接近，減少實驗誤差。



圖三 數據測量地點（台北市衛星空拍圖）



圖四 2021/03/08 紅外線衛星雲圖

當日層雲遍布實驗地點之視野。由圖四中可見台灣地區覆蓋淺白色，故本日適合進行實驗。

(二) 數據來源與計算方式

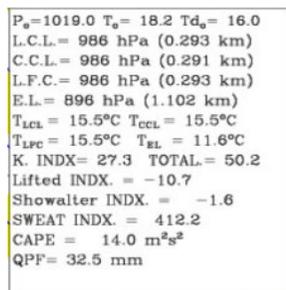
1. 低雲雲底實際高度

由於實驗時機為天空布滿雲層時進行實驗，故以裂雲雲幕高度作為雲底實際高度之依據。以 Aviation Weather Center(AWC)氣象航空天氣網中所提供的台北松山機場航空氣象電碼，得裂雲雲幕高度。

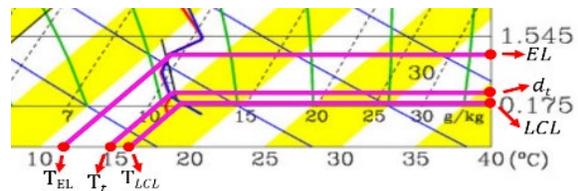
2. 實際測量雲底溫度與地面氣溫

使用手持式紅外線溫度計垂直向天空測量，得 $T_t$ 。為使測量雲底溫度與測量地面氣溫之間無因器材不同所導致的誤差，小組選擇使用同手持式紅外線溫度計測量牆面等與氣溫達成溫度平衡之物體，其測量值視為地面氣溫( $T_{ot}$ )。

3. 將 $T_t$ 換算成 $d_t$



圖五 2021/03/08 1200UTC 斜溫圖資訊欄



圖六 利用內差法計算 $d_t$

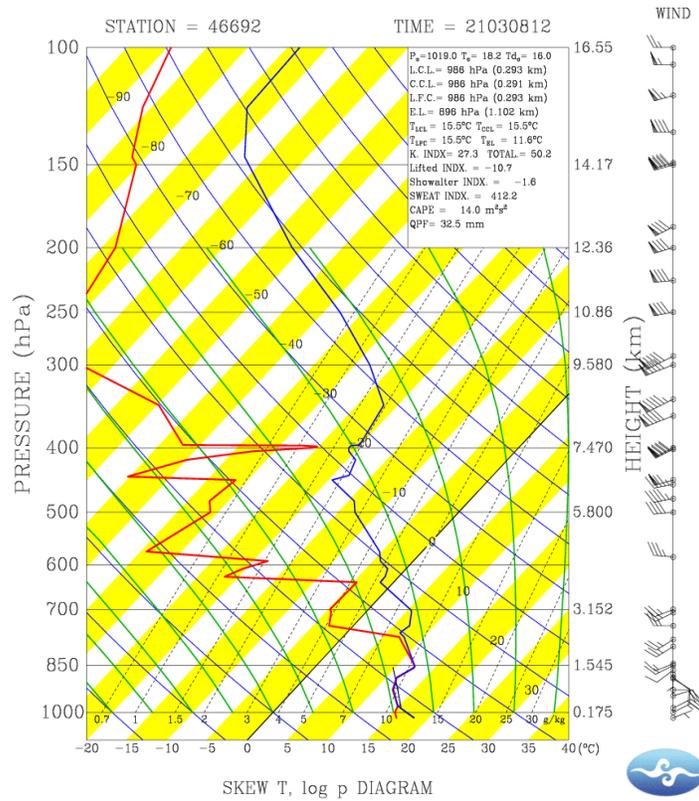
小組使用斜溫圖右上角所提供的資訊（圖五），假設 $L.C.L$ 到 $E.L$ 之間的氣溫變化率為定值，利用內插法估計 $T_t$ 在斜溫圖中所對應到的高度（圖六），即為 $d_t$ 。

三、 實驗步驟（以 2021 年 3 月 8 日 1200UTC 為例）

(一) 自中央氣象局網站中取得該日台北氣象站之斜溫圖。

斜溫圖（圖七）提供之資訊：

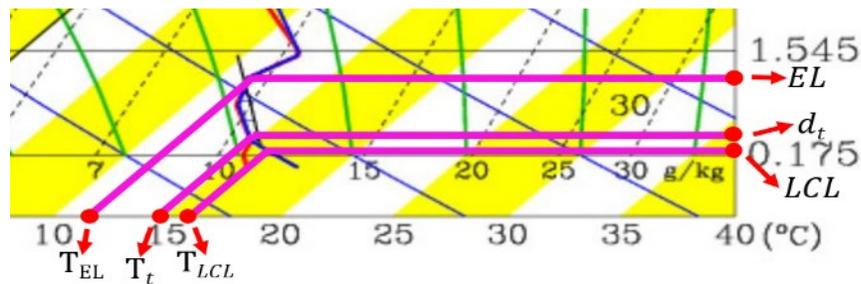
$$L.C.L. = 293m, EL = 1102m, T_{LCL} = 15.5^{\circ}C, T_{EL} = 11.6^{\circ}C$$



圖七 實驗該天之斜溫圖

(二) 使用手持式紅外線溫度計測量雲底溫度，得知測量地點之 $T_{0t}$ 與 $T_t$ ，假設 $L.C.L$ 到 $E.L$ 之間的氣溫變化率為定值，利用內插法估計 $T_t$ 在斜溫圖中所對應到的高度（ $d_t$ ）。

$$T_{0t} = 18.5^{\circ}C, T_t = 14.8^{\circ}C$$

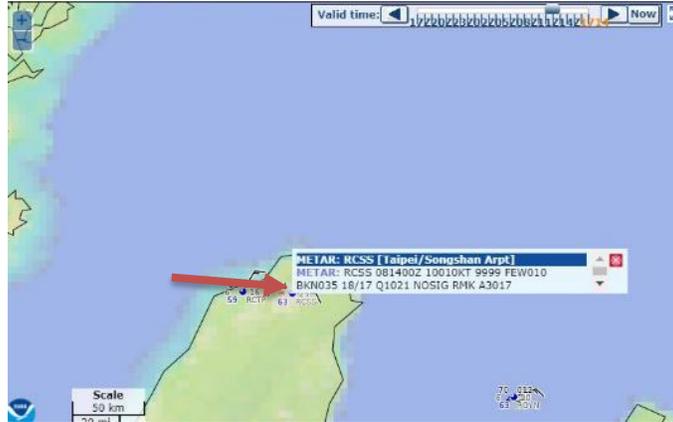


圖八 利用內差法計算 $d_t$

$$(1102 - 293) : (d_t - 293) = (15.5 - 11.6) : (15.5 - 14.8)$$

$dt \approx 483.2m$

- (三) 自 AWC 網站取得航空氣象電碼中的裂雲高度 (圖九), 與  $dt$  比較 (表一):  
航空氣象電碼: BKN035, 裂雲雲底實際高度為 3500 呎 (約為 1066.8 公尺)。



圖九 實驗該天 AWC 所標示之航空電碼

表一 裂雲雲底高度與  $dt$  之比較

時間	裂雲高度(m)	$dt$ (m)
2021/03/08 1200UTC	1066.8	483.2

## 【實驗二】環境溫度對於紅外線溫度計測量之影響

紅外線溫度計工作原理為：將視線範圍內可接收到的紅外線總能量大小轉換為電訊號，再轉換為溫度，因此我們認為在雲底與地面間，大氣所輻射的紅外線確實有可能使紅外線溫度計視線範圍內所接收到的總能量增加，且大氣所吸收之輻射確實也有可能使紅外線溫度計視線範圍內所接收到的總能量減少。

將紅外線溫度計向天空測量雲底溫度時，我們認為可能影響測量的兩大因素為：

1. 在雲底與地面間，較雲底高溫之空氣所輻射的紅外線使紅外線溫度計接收到更多能量。我們猜測，這或許與環境溫度或環境溫度差有關係。(見名詞解釋)
2. 在雲底與地面間，大氣吸收雲底所輻射的紅外線，使輻射總能量減損，減少紅外線溫度計所接收到的能量。當被測量物與紅外線溫度計距離越大時，空氣對輻射產生消光作用，對於能量減損之影響應越明顯。(消光：光波在大氣中行進時，被氣體分子及懸浮微粒吸收、散射而使強度逐漸衰減的現象。)

因此，我們設計本實驗，探討測量溫度低於環境溫度之被測量物時，環境溫度對於紅外線溫度計測量之影響。

### 一、名詞解釋

1. 環境溫度：紅外線溫度計所在之溫度。
2. 環境溫度差：紅外線溫度計所在之溫度 - 被測量物實際溫度。

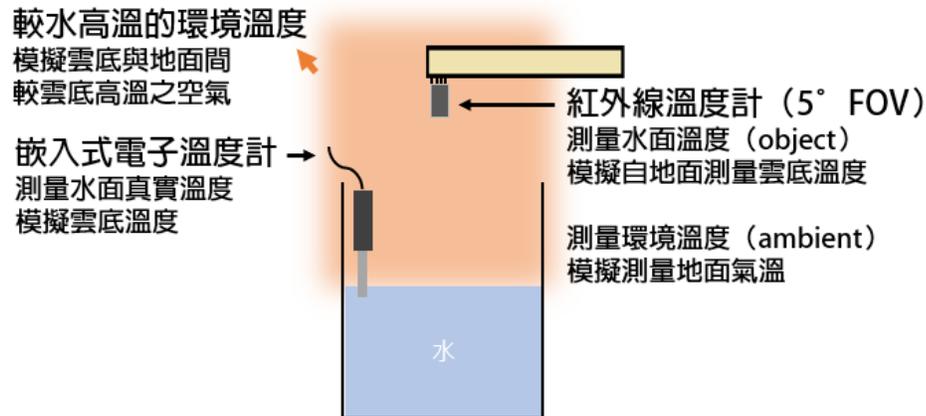
3. 紅外線溫度差：紅外線溫度計測量被測量物之溫度 - 被測量物實際溫度。

## 二、實驗設計

控制變因：紅外線溫度計與水面之距離（固定可能發生消光之影響）

操縱變因：高溫組與低溫組 - 環境溫度、單一組別 - 環境溫度差

我們設計了兩組實驗，分別為**高溫組**與**低溫組**，高溫組所處之環境溫度較高，低溫組則較低。實驗中，紅外線溫度計皆測量溫度要比環境溫度低溫之水面，模擬於地表測量較環境溫度低溫之雲底時的情形。



圖十 實驗示意圖

實驗時，將環境溫度維持在一定範圍內，比環境溫度要低溫之水會隨著時間而溫度上升，即可達到改變環境溫度差之情形。觀察環境溫度與環境溫度差對於紅外線溫度計測量之影響。高溫組與低溫組在測量時被設置於與被測量物相同之高度（15 公分），盡量降低測量時中間空氣可能帶來的不同消光程度影響，使水面所輻射的紅外線被空氣所吸收的程度盡量相近。水比熱大，其升溫速度慢之性質有利於在密閉的恆溫箱內進行實驗，故小組以水作為被測量物，並搭配嵌入式電子溫度計測量被測量物實際溫度。

我們認為：如果較被測量物高溫的環境溫度會影響紅外線溫度計之測量，紅外線溫度計測得之溫度會與水面實際溫度不同。**實驗結果將環境溫度以與環境溫度差對於紅外線溫度差之影響進行分析。**

由於紅外線溫度計與嵌入式電子溫度計本具有誤差，且難以校準，故本實驗中僅探討數據之趨勢。

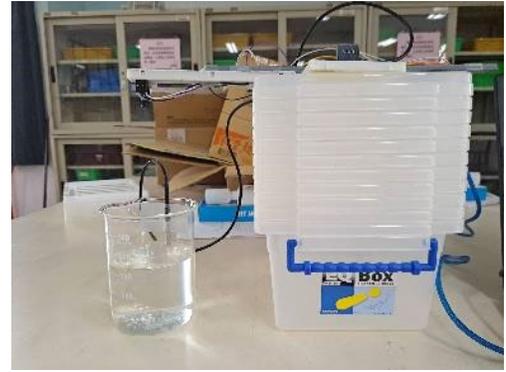
### （一）高溫組（圖十一）

1. 將實驗於恆溫箱中進行，恆溫箱溫度設定至攝氏 40 度。
2. 採取環境溫度維持於一定範圍內之數據。

1. 開啟實驗室冷氣設定至攝氏 24 度，以控制環境溫度。
2. 採取環境溫度維持於一定範圍內之數據



圖十一 高溫組實驗照片



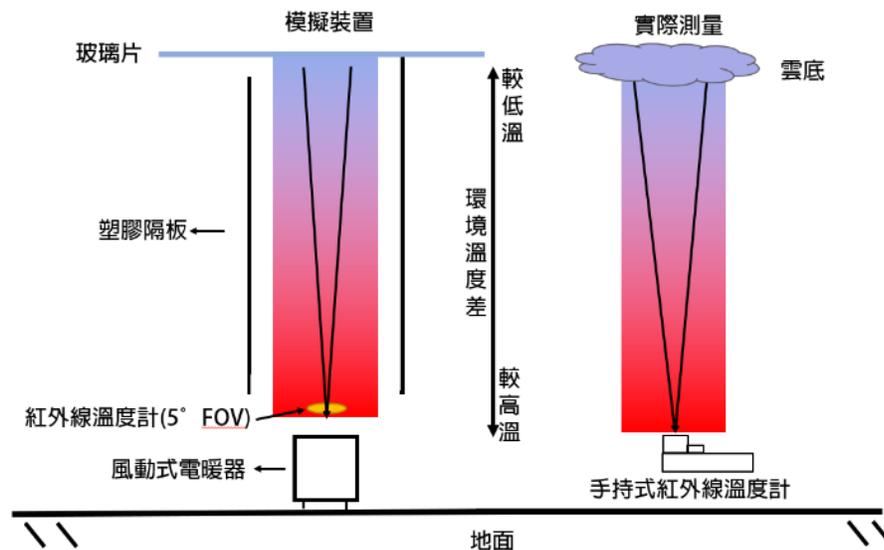
圖十二 低溫組實驗照片

### 三、實驗步驟

1. 高溫組：恆溫箱溫度設置於約  $40^{\circ}\text{C}$ 。低溫組：實驗室冷氣設定至  $24^{\circ}\text{C}$ 。
2. 將燒杯盛冰水。冰水降溫方式：將冰塊置入水中攪拌至冰塊完全融化，再將燒杯放入冷藏庫中冷藏 1 小時，以確保冷卻均勻。
3. 將紅外線溫度計懸空設置於水面上方 15 公分處。
4. 等待環境溫度維持於一定範圍時，即可開始記錄數值。
5. 紅外線溫度計測量環境溫度(ambient)、水面溫度(object)，嵌入式電子溫度計測量水面實際溫度，以上測量間隔時間為 0.5 秒。

為了瞭解可能使紅外線溫度計在測量雲底溫度時，溫度被高估的原因，我們將測量時的條件簡易化，模擬三種不同雲高，並模擬地表輻射加熱大氣之情形，以了解可能導致實際測量時，溫度被高估的原因。

#### 一、實驗設計

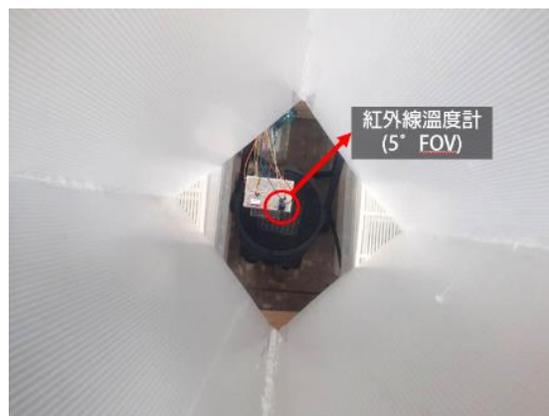


圖十三 以實驗模擬實際測量雲底溫度

由於實驗尺度與實際大氣相比要小許多，我們採用風動式電暖器，模擬地表輻射加熱空氣，使氣溫隨高度遞減之情形。使用塑膠隔板以隔絕外界環境影響。由於玻璃為比熱小且發射率高之非金屬（金屬發射率低，不宜使用紅外線溫度計監測溫度），我們於塑膠隔板上方開口放置玻璃門片以模擬與其環境溫度相同之雲底。紅外線溫度計將被懸空架設於風動式電暖器正上方（圖十四），模擬自地面向天空測量雲底溫度。紅外線溫度計須確認垂直於玻璃板，以使其僅接收塑膠隔板所圍的玻璃門片所發散之紅外線（圖十五）。



圖十四 實驗照片



圖十五 實驗照片

將收納盒置於電暖器旁，使塑膠隔板可置於其上。經過小組多次測試後，塑膠板是否穩定固定於收納盒上將影響數據穩定性，故將塑膠隔板三角固定於收納盒上，並使用泡棉膠黏接，增加塑膠隔板的穩定性，減少晃動所帶來的實驗誤差。



圖十六 塑膠隔板固定方式

由於紅外線溫度計需藉由其所在之氣溫推算被測量物的溫度，故測量玻璃實際溫度時，需先將測量玻璃溫度的紅外線溫度計置於塑膠隔板內，將其與環境溫度達到平衡，才可測量到準確數值。我們將紅外線溫度計設置於長條型麵包版上，每隔三分鐘，待下方電暖器出風口之紅外線溫度計測量完畢後，快速將測量玻璃門片實際溫度的溫度計置於玻璃中央處測量玻璃門片實際溫度。



圖十七 測量玻璃門片實際的溫度計設置

小組設計了三組實驗：

表二 段數與測量距離

段數	紅外線溫度計至玻璃門片之距離（公分）
一段塑膠隔板	77
兩段塑膠隔板	130
三段塑膠隔板	186



圖十八 一段塑膠隔板  
（距離 77 公分）



圖十九 兩段塑膠隔板  
（距離 130 公分）

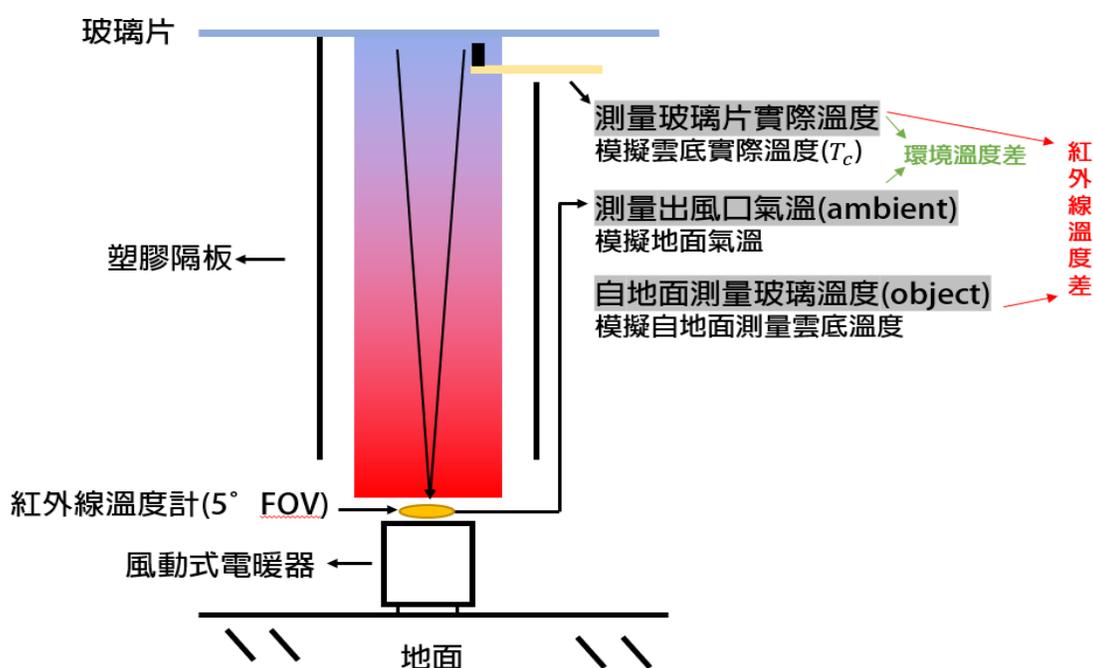


圖二十 三段塑膠隔板  
（距離 186 公分）

由於風動式電暖器所吹出的熱風高於環境溫度，被加熱的空氣會自然往上，故小組將實驗裝置設置為垂直向。

## 二、實驗步驟

1. 將風動式電暖器開至小火（強度）數十分鐘，使塑膠隔板內環境穩定，確保在玻璃門片附近被加熱之空氣可與其達到溫度平衡，以模擬雲底溫度。
2. 加熱至紅外線溫度計回傳之溫度數值不再有明顯起伏後，開始記錄溫度。
3. 每 3 分鐘紀錄一次紅外線溫度計(object)、紅外線溫度計(ambient)及玻璃實際溫度。
4. 為確保每次測量後塑膠隔板內環境與玻璃門片溫度再次達成平衡，小組每次測量皆相隔 3 分鐘，以降低實驗誤差。
5. 每段實驗記錄 30 筆數據。



圖二十一 實驗器材功能與測量目標

## 伍、 研究結果與討論

### 【實驗一】手持式紅外線溫度計實測雲底溫度

#### 一、 實驗數據

(一) 2021/03/08 1200UTC

1. 斜溫圖資訊欄

$L.C.L.$	293m
$EL$	1102m
$T_{LCL}$	15.5°C
$T_{EL}$	11.6°C

2. 實際測量數值

$$T_{ot} = 18.5^{\circ}\text{C}, T_t = 14.8^{\circ}\text{C}$$

3. 航空氣象編碼：BKN035



圖二十二 航空氣象編碼

(二) 2021/05/31 0000UTC

1. 斜溫圖資訊欄

$L.C.L.$	100m
$EL$	3079m
$T_{LCL}$	23.5°C
$T_{EL}$	11°C

2. 實際測量數值

$$T_{ot} = 26.2^{\circ}\text{C}, T_t = 22^{\circ}\text{C}$$

3. 航空氣象編碼：BKN030



圖二十三 航空氣象編碼

### (三) 2021/06/05 1200UTC

#### 1. 斜溫圖資訊欄

$L.C.L.$	114m
$EL$	1003m
$T_{LCL}$	22.4°C
$T_{EL}$	18.7°C

#### 2. 實際測量數值

$$T_{ot} = 25.1^{\circ}C, T_t = 20.1^{\circ}C$$

#### 3. 航空氣象編碼：BKN035



圖二十四 航空氣象編碼

## 二、實驗結果

表三 裂雲實際高度與 $dt$ 比較表

時間	裂雲實際高度(m)	$dt$ (m)
2021/03/08 1200UTC	1066.8	483.2
2021/05/31 0000UTC	914.4	677.5
2021/06/05 1200UTC	1066.4	666

實驗中 $dt$ 皆與實際雲底高度（裂雲高度）相差甚多。若單純使用紅外線溫度計所測得之溫度推算雲高，其數值與實際雲高不符。

## 三、討論

雲底輻射之紅外線通過大氣時，大氣可能吸收其紅外線使輻射能量減損，亦有可能於紅外線溫度計測量視角內之空氣所輻射的紅外線被紅外線溫度計所接收，使溫度計接收能量上升。小組考慮以上兩項因素，推測：由於溫度計測量結果換算成的雲底高度皆比實際雲底高度低，測量值被高估，故我們認為將紅外線溫度計指向雲底測量溫度時，雲底與溫度計之間的空氣，其輻射出的紅外線之影響大於空氣吸收紅外線之影響。

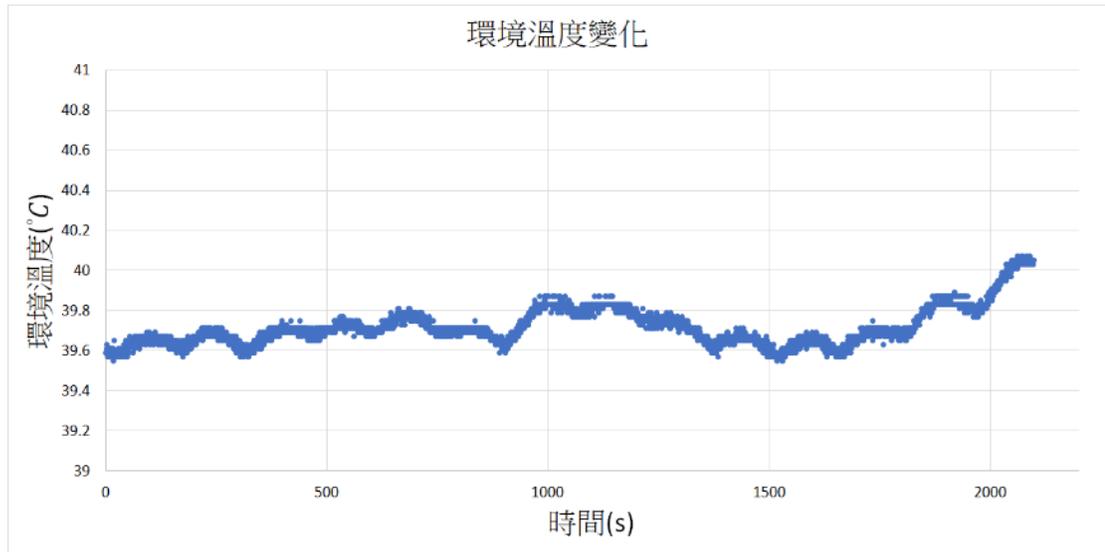
## 【實驗二】環境溫度對於紅外線溫度計測量之影響

### 一、 實驗數據

#### (一) 高溫組

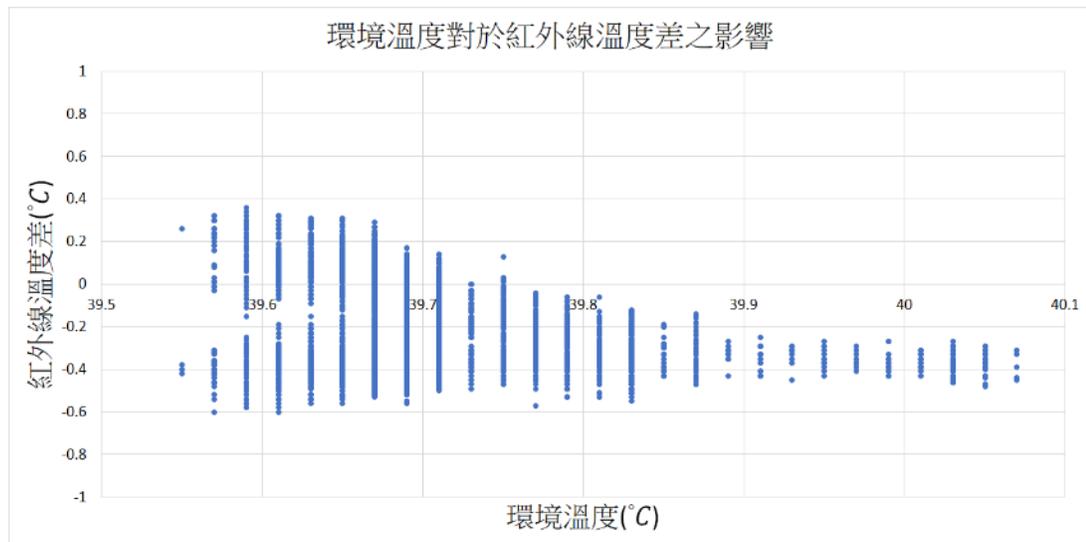
##### 1. 環境溫度變化

維持在約  $39.6^{\circ}\text{C}$  至  $40^{\circ}\text{C}$  之間。

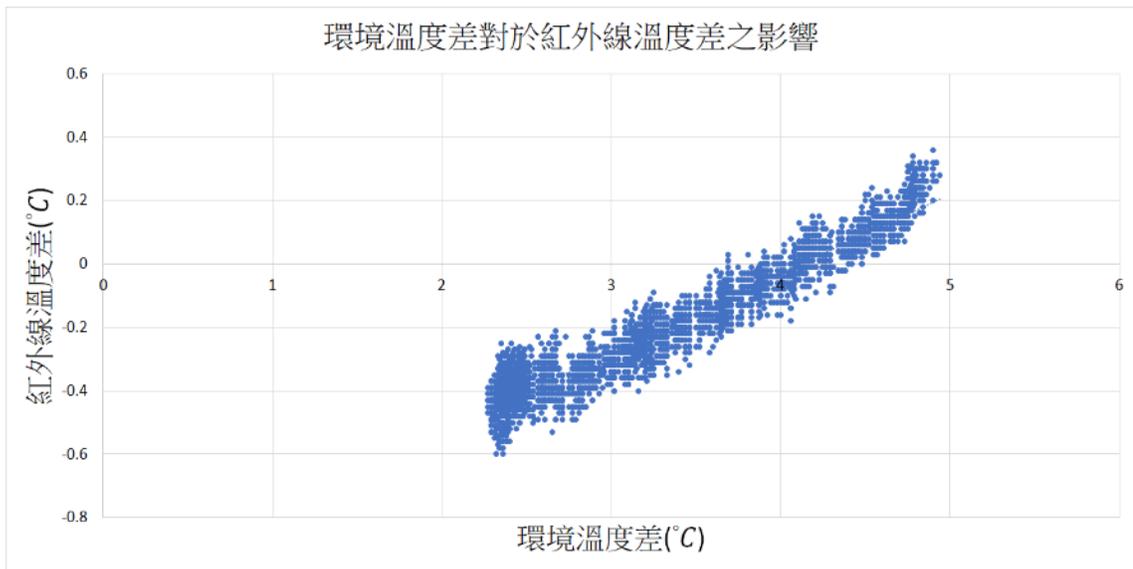


##### 2. 環境溫度對於紅外線溫度差之影響

當環境溫度改變時，紅外線溫度差看不出有趨勢性的變化，就下圖分析，紅外線溫度差並不隨環境溫度改變。



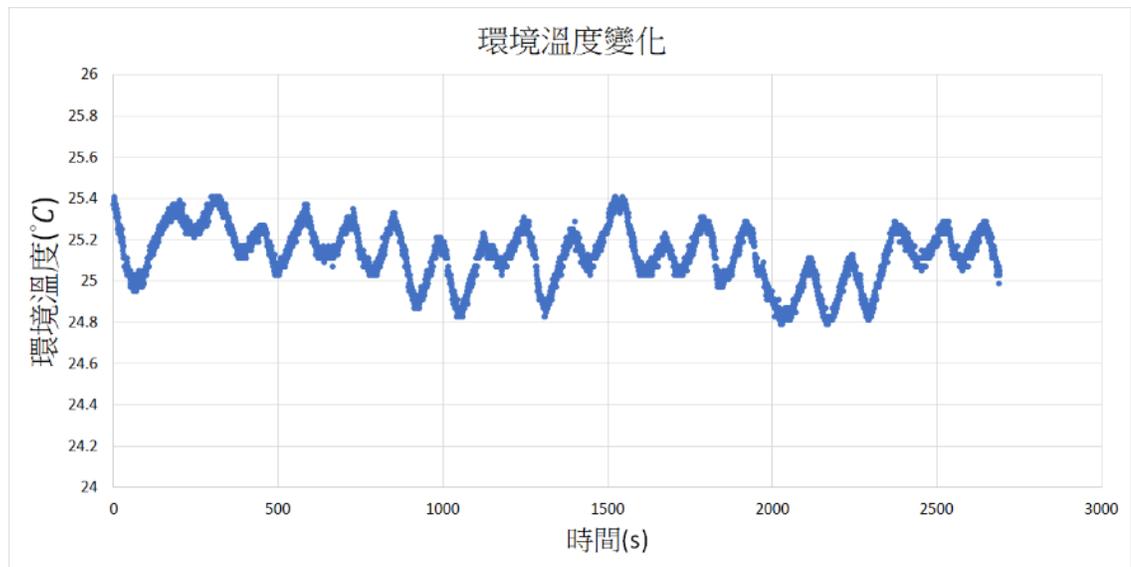
3. 環境溫度差對於紅外線溫度差之影響  
紅外線溫度差明顯隨環境溫度差上升而增加。



圖二十七 高溫組環境溫度差對於紅外線溫度差之影響

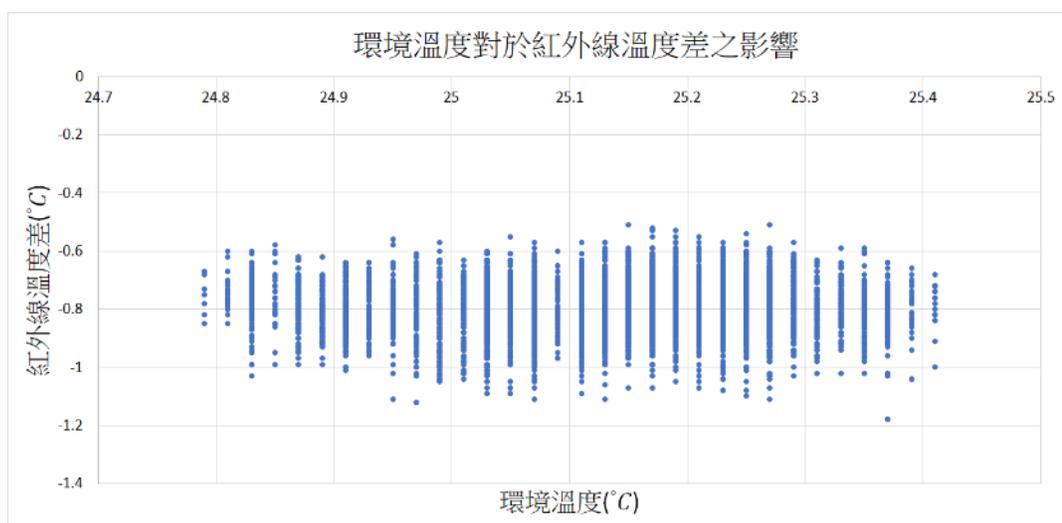
(二) 低溫組

1. 環境溫度變化  
維持在約 24.8°C 至 25.4°C 之間。



圖二十八 低溫組環境溫度變化

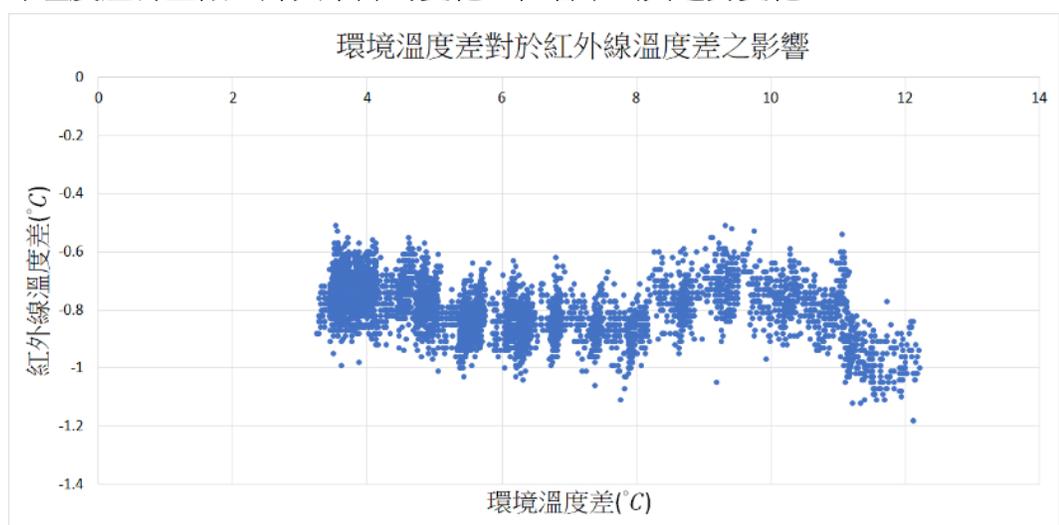
2. 環境溫度對於紅外線溫度差之影響  
當環境溫度改變時，紅外線溫度差看不出有趨勢性的變化，就下圖分析，紅外線溫度差並不隨環境溫度改變。



圖二十九 低溫組環境溫度對於紅外線溫度差之影響

### 3. 環境溫度差對於紅外線溫度差之影響

紅外線溫度差有些微上升與下降的變化，但看不出其趨勢變化。



圖三十 低溫組環境溫度差對於紅外線溫度差之影響

## 二、 實驗結果

高溫組與低溫組實驗相比，我們可以觀察到：環境溫度在兩組實驗中與紅外線溫度差皆無明顯相關性關係，紅外線溫度差幾乎在同一範圍內變動。環境溫度差在低溫組實驗中看不出明顯的趨勢，但在高溫組實驗中我們可以觀察到：當環境溫度差變大時，紅外線溫度差也隨之增加。

表四 紅外線溫度差與環境溫度、環境溫度差之關係

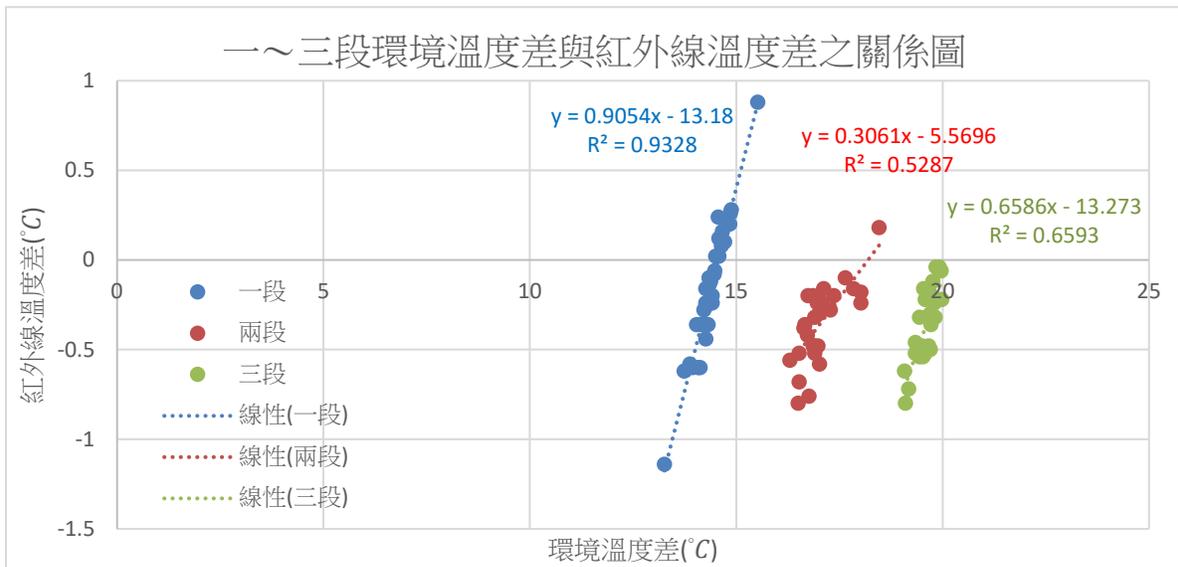
紅外線溫度差變動情形	環境溫度	環境溫度差
高溫組	無明顯相關性	隨環境溫度差上升
低溫組	無明顯相關性	無明顯相關性

### 三、 討論

- (一) 高溫組實驗中，環境溫度差對於紅外線溫度差之影響比環境溫度明顯許多，因此我們認為：環境溫度差應比環境溫度更適合探討對於紅外線溫度差之影響。
- (二) 低溫組實驗中，環境溫度差與紅外線溫度差之關係並沒有像高溫組實驗中明顯，因此我們推測：若環境溫度差與紅外線溫度差開始有相關趨勢，則環境溫度必須大過於某溫度，高於某溫度時，被測量物與溫度計間的空氣所輻射出的紅外線之影響大於空氣吸收紅外線之影響，使環境溫度差越大時，紅外線溫度差也越大。

## 【實驗三】模擬測量雲底溫度

### 一、 實驗結果



圖三十一 一~三段環境溫度差與紅外線溫度差之關係圖

- (一) 圖三十一中，一段到三段環境溫度差分布情形由小到大為一段、二段、三段。因為使用風動式電暖器加熱塑膠隔板內空氣時，空氣溫度會隨高度上升而下降，與真實大氣狀況相似，故一段實驗中，玻璃門片與電暖器距離越短，其溫度相較二段與三段接近電暖器溫度，故環境溫度差最小，同理，二段環境溫度差為其次，三段最大。
- (二) 一~三段分別繪製趨勢線後可得知  $R^2$ （相關係數的平方）：

表五 一到三段  $R^2$

	一段	兩段	三段
$R^2$	0.9328	0.5287	0.6593

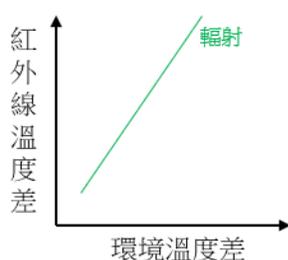
一到三段所繪製之趨勢線  $R^2$  皆為高度相關（高度相關： $0.7 \leq R < 1$ ），故一到三段之紅外線溫度差對於環境溫度差之影響有一定程度之關係。

## 二、 討論

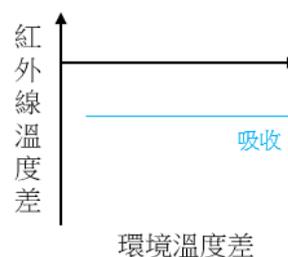
(一) 由於本實驗中測量玻璃門片實際溫度的溫度計與置於電暖器出風口的溫度計測得之數值已經過校準，故本實驗可討論數值之正負問題。

實驗結果顯示，一～三段之紅外線溫度差有隨環境溫度差上升而增加之趨勢，如果就【實驗二】之討論所述，其被測量物與溫度計間的空氣所輻射出的紅外線之影響大於空氣吸收紅外線之影響的指標，但本實驗大多數值中，紅外線溫度差皆為負值，引發我們對空氣所輻射出的紅外線之影響大於空氣吸收紅外線之影響的重新探討：

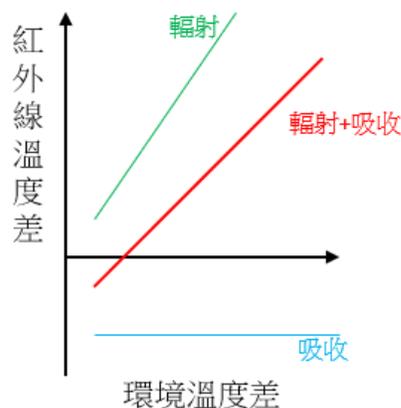
已知：在紅外線溫度計視角內所輻射的紅外線會被紅外線溫度計所接收，如不考慮溫度計與被測量物中間空氣對於被測量物輻射紅外線之消光影響，紅外線溫度差應會隨環境溫度差而有上升之趨勢（如圖三十二）。如在固定距離與環境條件下（除了溫度），中間空氣對於被測量物所輻射之紅外線的消光影響應固定（如圖三十三）。



圖三十二 空氣所輻射出的紅外線之影響



圖三十三 空氣吸收紅外線之影響



圖三十四 輻射+吸收的綜合影響

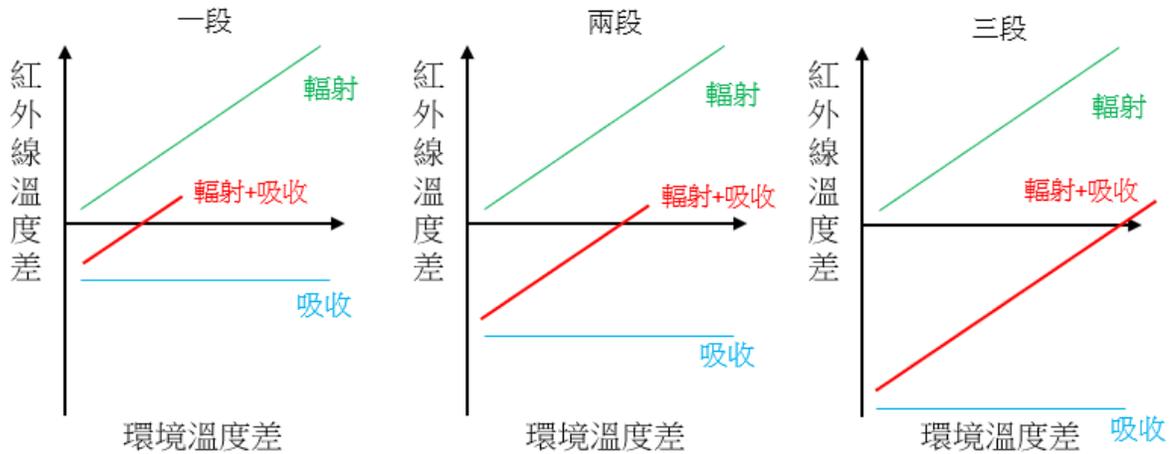
綜合了上述兩種因素，繪製出圖三十四中的紅線（將圖中輻射與吸收的  $y$  軸數值相加），我們推論這或許是本實驗結果的來源。我們認為紅外線溫度差為正值且與環境溫度差成正相關關係時，被測量物與溫度計間的空氣所輻射出的紅外線之影響會大於空氣吸收紅外線之影響。

(二) 由實驗結果所繪製之趨勢線可看出（圖三十五）：

一段之趨勢線與  $x$  軸交點最小，其次為兩段，最大為三段，我們認為這可使用

(一) 中所敘述的圖形推論：本實驗設計三種不同測量距離下對於紅外線溫度計測量之

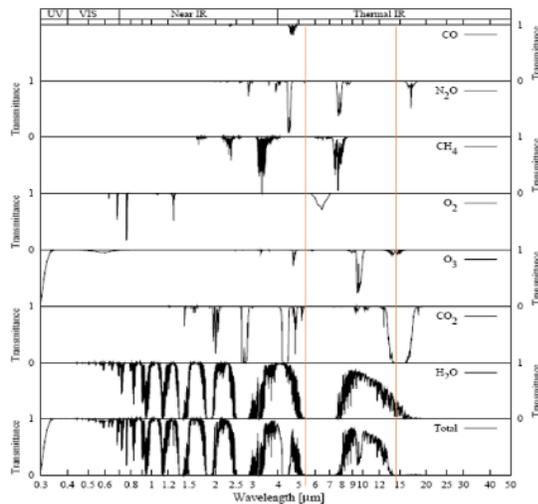
影響，距離越大，消光程度也會越多。實驗中電暖器功率固定，紅外線溫度計所處環境溫度相差不多，假設玻璃門片與紅外線溫度計之間的空氣輻射紅外線之影響在一～三段實驗中相當，因此綠線在此三圖有相同的斜率和位置，一段測量距離最短，消光程度影響比二、三段來的低，玻璃輻射之紅外線在空氣中減損的量最少，故其趨勢線與x軸交點最小，同理，與x軸交點大小其次為二段，最大為三段。



圖三十五 實驗中吸收與放射輻射綜合影響圖（紅線為綜合影響）

(三) 本實驗中，一～三段的紅外線溫度差大多為負值，故我們推測在三組實驗中，大多時候在玻璃門片與紅外線溫度計之間，空氣所輻射出的紅外線之影響小於空氣吸收紅外線之影響，然而這和我們在【實驗一】的結果不符，故我們認為仍有其它因素影響測量，而我們猜測可能與濕度有關係。

若考慮本實驗與大氣真實情形的差異，我們認為空氣組成成分可能為影響之因素。真實大氣中所含的水氣量與我們在實驗中為了控制濕度而選擇於冷氣房中實驗的濕度明顯不同，台灣天氣潮溼，冷氣房濕度應比室外濕度低許多，因此，我們決定探討水氣對於輻射之影響：



圖三十六 Zenith Atmosphere Transmittance

上圖為不同波長之電磁波對於不同氣體之吸收程度圖，我們發現水氣吸收電磁波的波段中，與【實驗一】所使用的手持式紅外線溫度計測量波段（8~14 微米）、及【實驗三】所使用的紅外線溫度計測量波段（5.5~14 微米）有所重疊，其受水氣影響相當大。

(四) 綜合本實驗實驗結果與(三)中水氣對於電磁波波段的吸收程度探討，我們做出以下推論：已知水氣可吸收紅外線溫度計測量波長範圍內之電磁波，雖然本實驗於冷氣開啟的實驗室中進行，其水氣含量教室外低，但實驗結果仍顯示空氣所輻射出的紅外線之影響小於空氣吸收紅外線之影響，故我們推測：當我們使用手持式紅外線溫度計測量雲底溫度時，雲底所發散的紅外線在靠近雲底之大氣已被吸收掉了許多，因手持式紅外線溫度計測量波長範圍內，皆會被水氣吸收。【實驗一】測量到雲底溫度高估之結果，是紅外線溫度計視線範圍內所有物質輻射和吸收總量綜合之結果，難以測量到雲底所發散的輻射。

## 陸、 結論

- 一、手持式紅外線溫度計無法直接測量雲底溫度。當其測量雲底溫度時，將測量到比雲底實際溫度要高之溫度。
- 二、環境溫度差在高於特定的環境溫度下，紅外線溫度差會隨環境溫度差上升而有增加的趨勢。
- 三、【實驗三】實驗結果若結合水氣為變因，我們推測實際測量雲底溫度所測得之高估數值原因為：雲底所發散的紅外線大部分被靠近雲底之大氣吸收，因手持式紅外線溫度計測量波長範圍內，皆會被水氣吸收。高估之結果，應為紅外線溫度計視線範圍內靠近地表之大氣輻射總量綜合之結果，難以測量到雲底所輻射之紅外線。

## 柒、 未來展望

- 一、濕度為難以控制的變因，控制特定濕度需要較昂貴的器材進行實驗。本研究期望日後能加入濕度為實驗變因，探討紅外線溫度計測量雲底溫度時，高估之數值是否確實為溫度計視線範圍內，靠近地表之大氣輻射總量綜合之結果。
- 二、增加實際測量雲底溫度實驗數據，利用分析大氣環境狀態的方式分析可能影響紅外線溫度計測量的其他變因。
- 三、其實紅外線溫度計量雲底高度，或許目前無法準確測量，期望可以找到更多影響的變因，來做出地面測量值換算成雲底高度的對應關係式，至少量測出雲的位置是否為低雲，可以對地面飛機起降、地面天文觀測、太陽能板發電效率等人類活動有貢獻。

## 捌、參考資料

- 一、Chen, T. H., Jin, C., & Dong, D. M. (2014). Distance compensation for infrared sensors used for total temperature measurements of large area canopy. *Biotechnology An Indian Journal*, 10(20), 12007-12014  
<https://www.tsi-journals.com/articles/distance-compensation-for-infrared-sensors-used-for-total-temperature-measurements-of-large-area-canopy.pdf>
- 二、呂佳穎、林博雄、李育棋與游志淇（2016）。雷射雲幕儀應用於台灣各種地貌之混合層高度量測。大氣科學，第 44 卷第 2 期，149～172 頁。  
<http://mopl.as.ntu.edu.tw/web/ASJ/44/44-2-3.pdf>
- 三、劉鴻喜（1960）。大氣熱力圖解的分析及評價。氣象科技研究，第六卷第三期，35～39 頁。  
<http://photino.cwb.gov.tw/rdcweb/lib/cd/cd07mb/MB/PDF/06/No.3/04.pdf>
- 四、Bird（民 109 年 2 月 25 日）。非接觸式溫度感測器的原理與應用（下）。Maker 電子學：  
<https://makerpro.cc/2020/02/principles-and-application-of-noncontact-temperature-sensor-part2/>
- 五、交通部民用航空局（2006）。航空氣象電碼手冊。台北市：作者。  
[https://aoaws.anws.gov.tw/AWS/faq.php?index=5&lang=tw&voice\\_alarm=0](https://aoaws.anws.gov.tw/AWS/faq.php?index=5&lang=tw&voice_alarm=0)
- 六、臺中市立惠文高級中等學校（無日期）。紅外線溫度計。民 109 年 3 月 8 日，取自  
<https://sites.google.com/mail3.hwsh.tc.edu.tw/earth/arduinoadvanced/ir-temperature-sensor-mlx90614>

## 【評語】 051906

紅輻齊天-紅外線溫度計測量雲底高度與其測量誤差變因之探討，實驗設計很有創意，變因探討過程思路很清晰。實驗室利用不同高度設計量測紅外線溫度計屬於可控制的條件，實驗結果有一致性。各項設備都有使用限制，應交代手持紅外線溫度計的使用限制例如待測物的表面積直徑至少要多大?無法測量甚麼材質的物體等等。大氣環境中的量測，超過設備可以量測範圍，不宜直接由實驗歸納出大氣實際應用的結論。

## 作品簡報



# 「紅」「輻」齊「天」

— 紅外線溫度計測量雲底高度與其測量誤差變因之探討

科 別：地球與行星科學科  
組 別：高中職組

# 摘要

本研究探討手持式紅外線溫度計測量低雲雲底實際高度的可能性，並探討其中可能影響測量之因素。

## 動機

1. 雲霧儀體積龐大、價格昂貴
2. 了解測得雲高被低估之原因

## 實驗

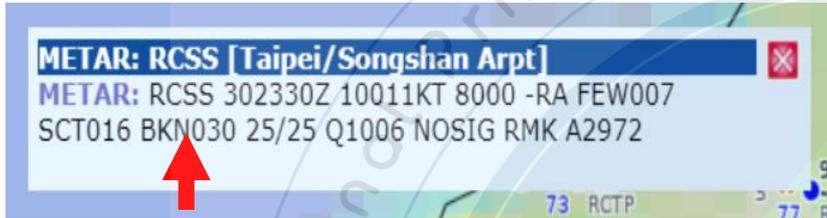
1. 實測雲底溫度
2. 環境溫度
3. 模擬測量

## 結論

高估數值原因應為紅外線溫度計視線範圍內靠近地表之大氣輻射總量綜合之結果

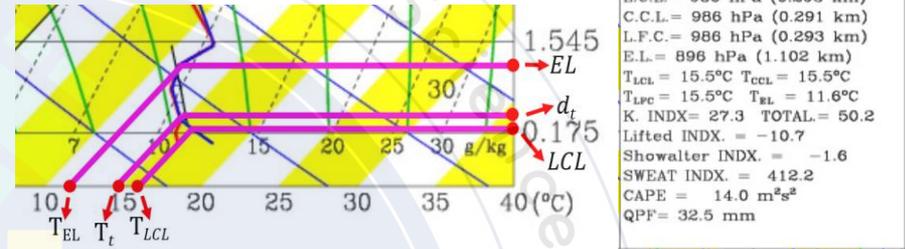
# 【實驗一】手持式紅外線溫度計實測雲底溫度

## 雲底實際高度



自AWC氣象航空網站  
 →雲幕儀測得之裂雲高度

## 雲底測量高度



將測得溫度與該日斜溫圖中資訊欄之資訊，  
 使用內插法估算雲底測量高度

## 實驗結果

時間	雲底實際高度 (m)	雲底測量高度 (m)
2021/03/08 1200UTC	1066.4	483.2
2021/05/31 0000UTC	914.4	677.5
2021/06/05 1200UTC	1066.4	666

實際值與測量值不符

## 討論

由測量值高估之結果，我們推測：  
 雲底與溫度計之間的空氣，

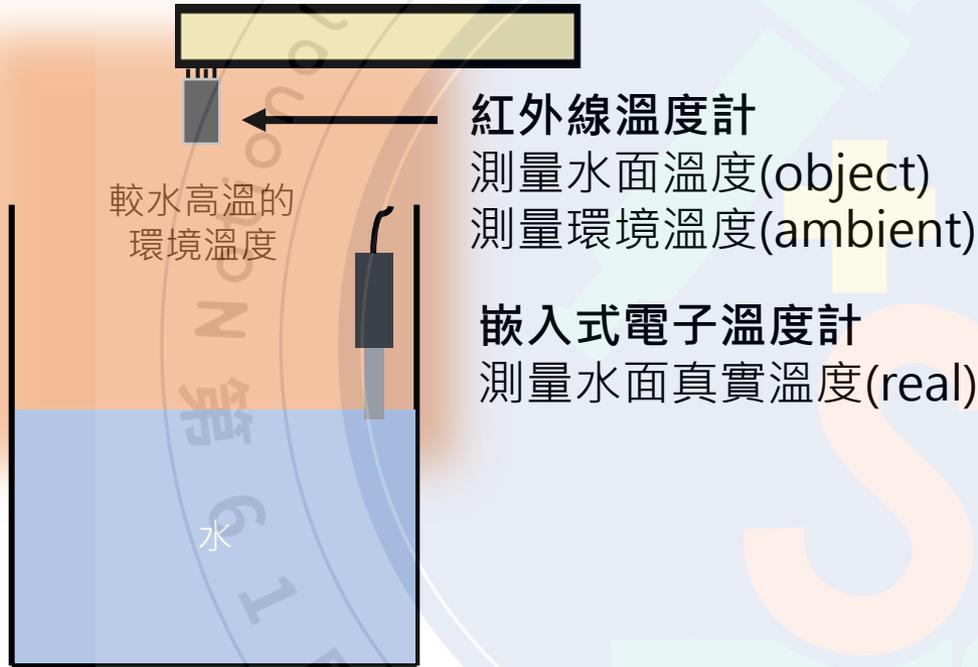
輻射出的紅外線之影響

大於

空氣吸收紅外線之影響 (消光)

# 【實驗二】環境溫度對於紅外線溫度計測量之影響

## 實驗設計



高溫組 恆溫箱中實驗



低溫組 冷氣房中實驗

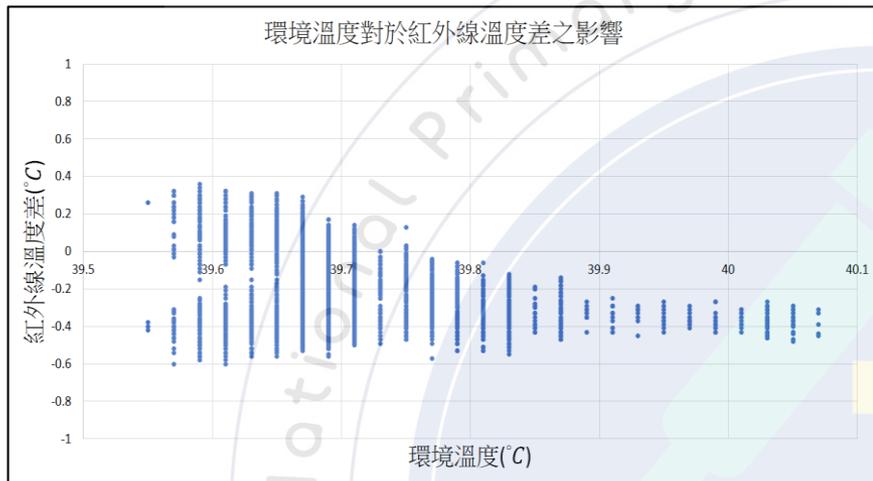
## 名詞解釋

環境溫度(ambient)：紅外線溫度計所在之溫度

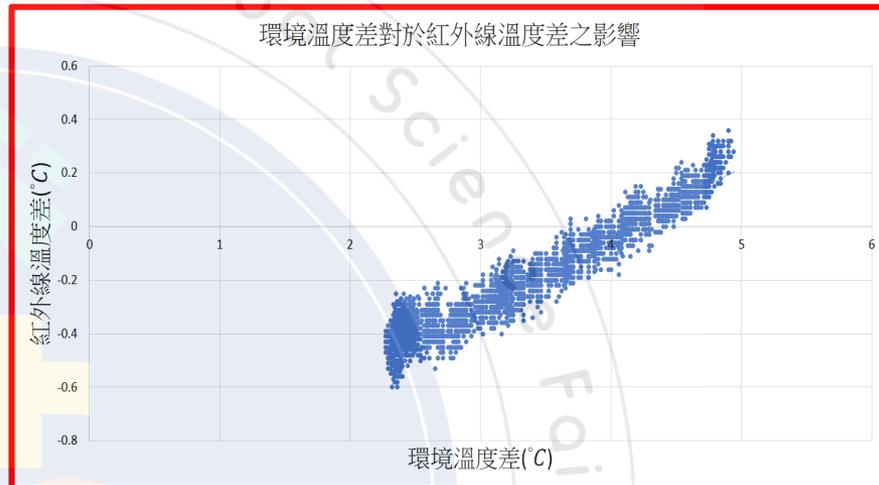
環境溫度差(ambient-real)：紅外線溫度計所在之溫度-被測量物實際溫度

紅外線溫度差(object-real)：紅外線溫度計測量溫度-被測量物實際溫度

## 高溫組：

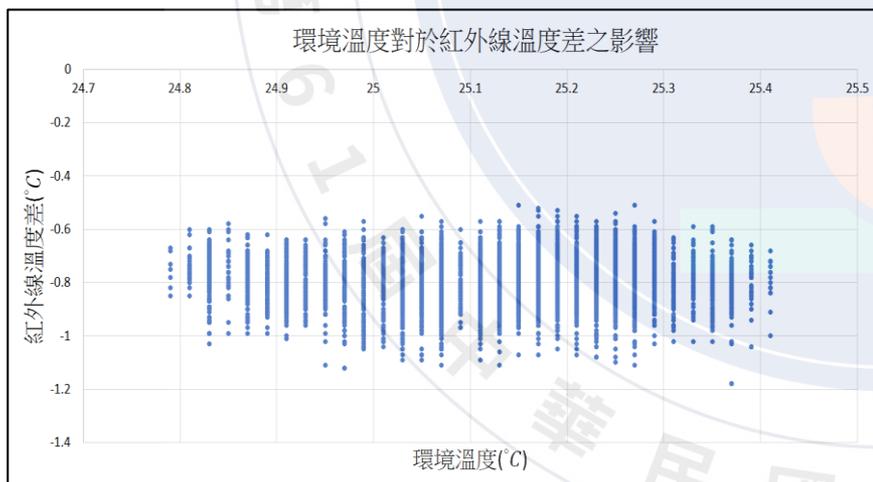


紅外線溫度差看不出有趨勢性的變化

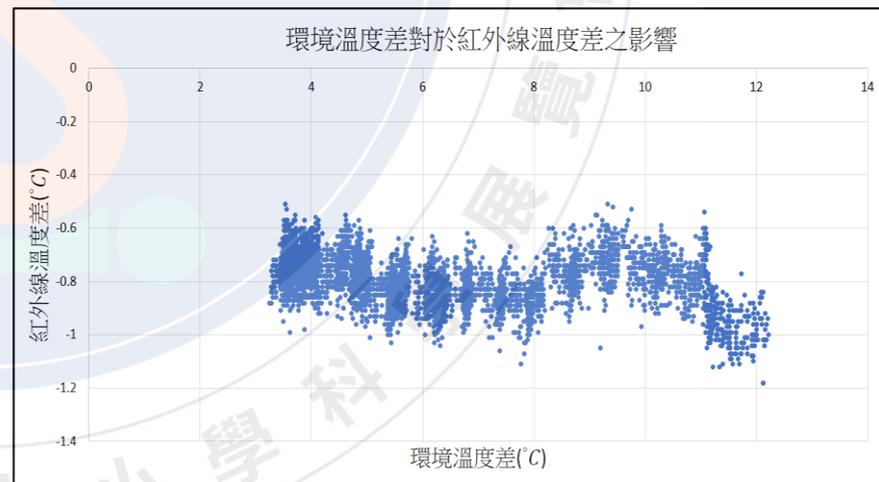


紅外線溫度差明顯隨環境溫度差上升而增加

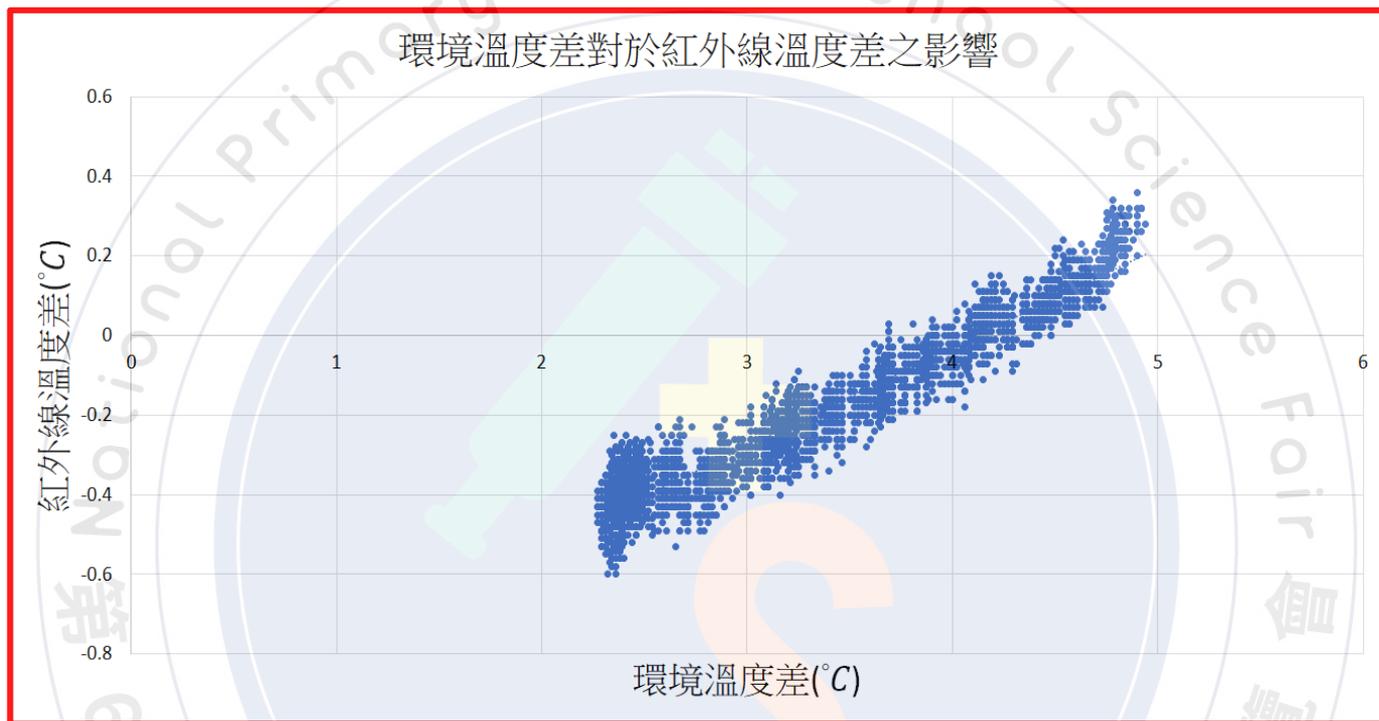
## 低溫組：



紅外線溫度差看不出有趨勢性的變化



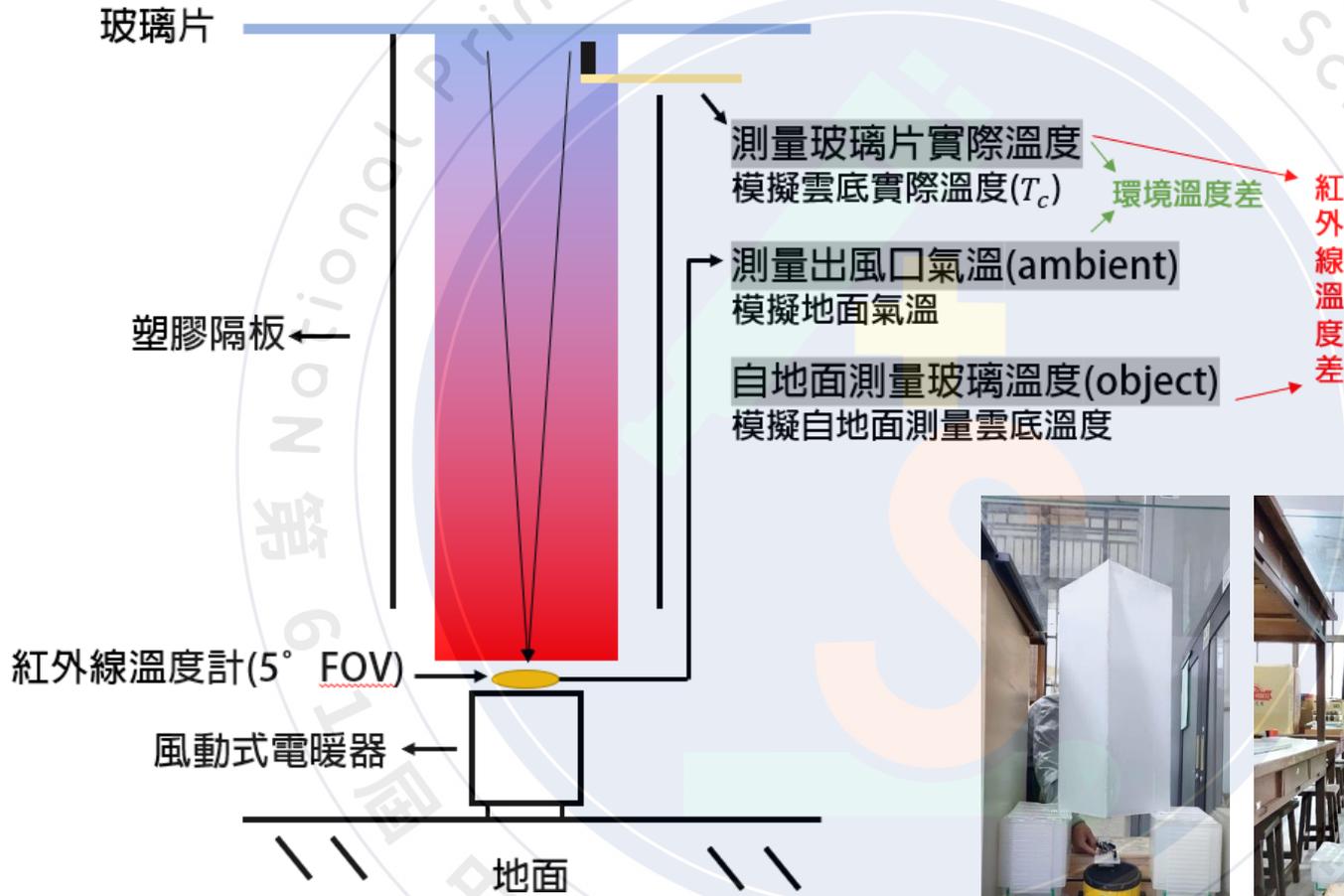
紅外線溫度差有些微上升與下降的變化，但看不出其趨勢變化



1. 環境溫度差應比環境溫度更適合探討對於紅外線溫度差之影響。
2. 環境溫度差越大時，紅外線溫度差也越大。

# 【實驗三】 模擬測量雲底溫度

## 實驗設計



一段  
77公分

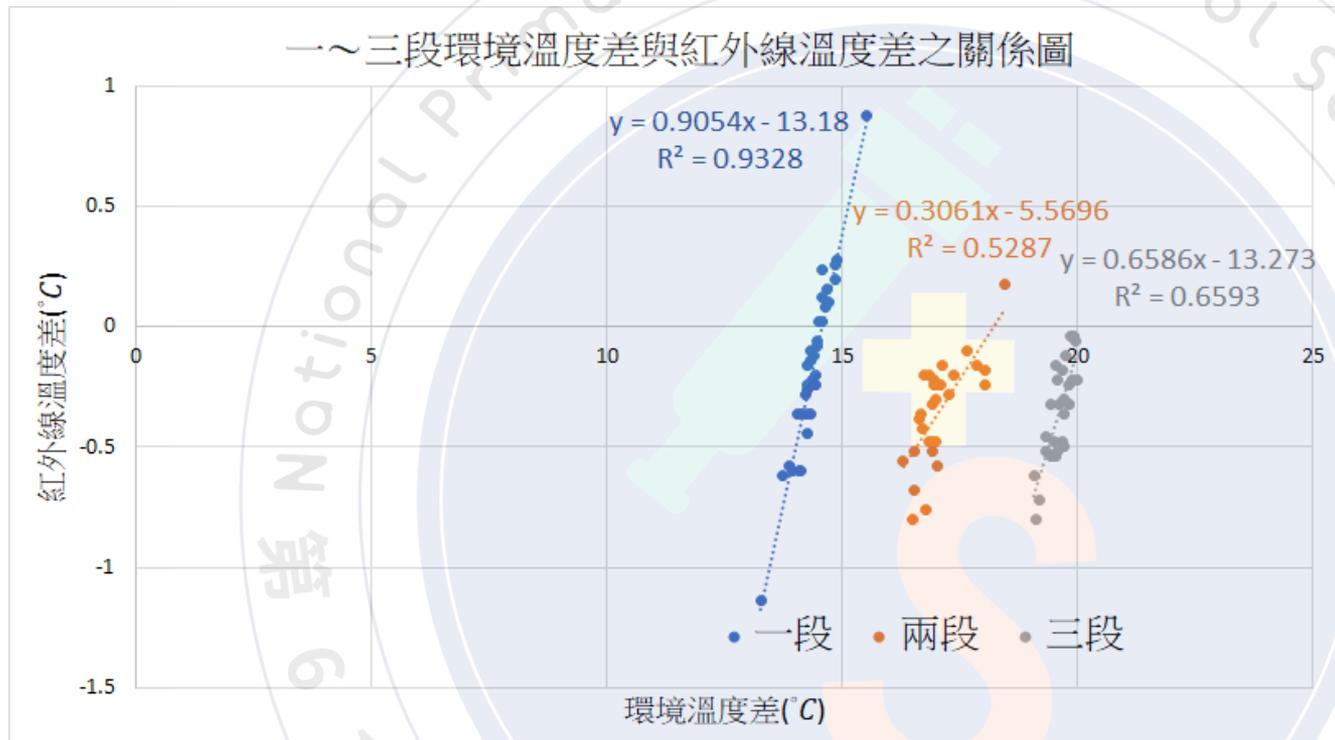


兩段  
130公分



三段  
186公分

# 實驗結果

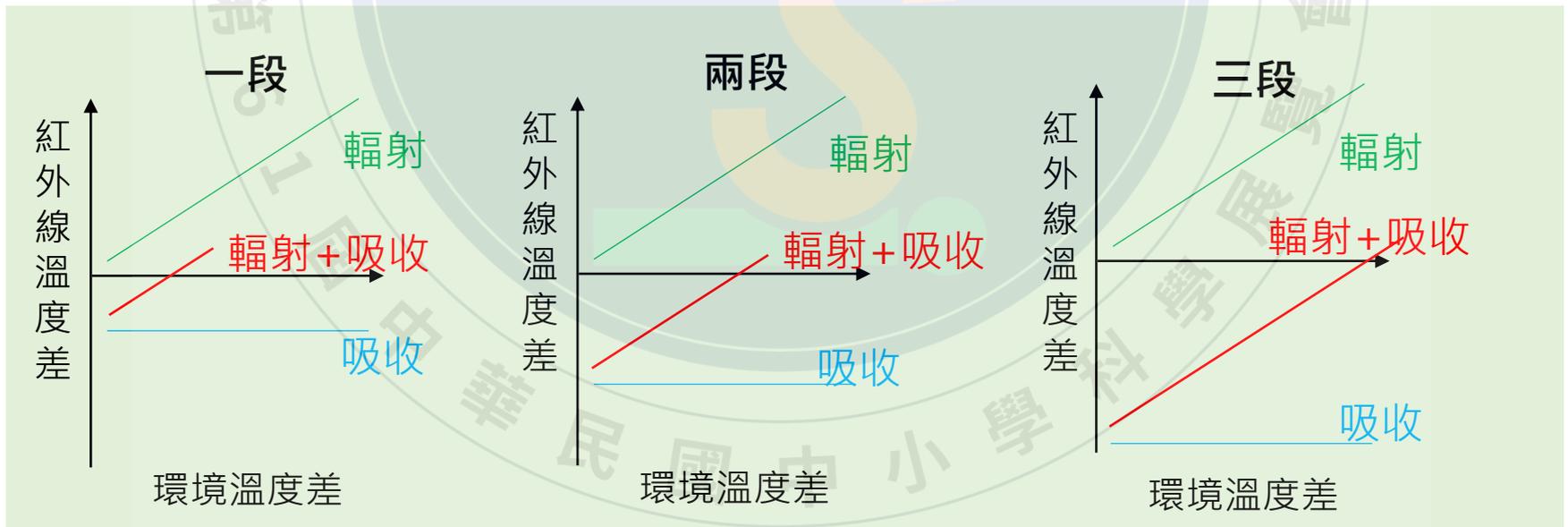
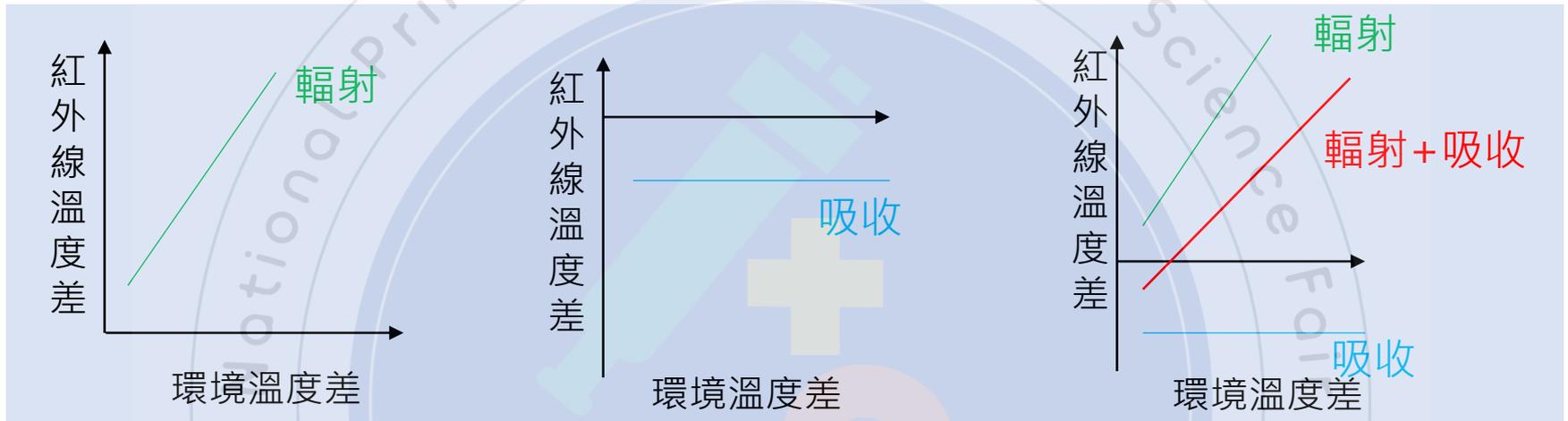


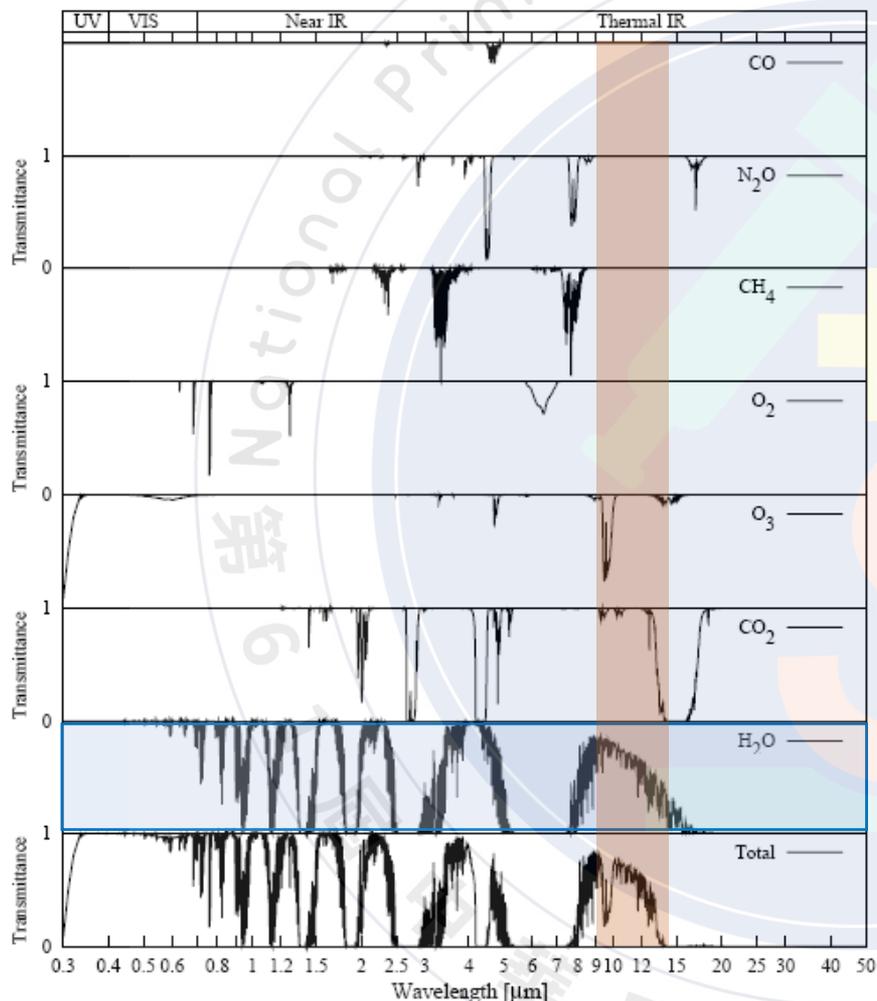
	R <sup>2</sup>
一段	0.93
兩段	0.53
三段	0.66

1. 環境溫度差隨著測量距離愈大，環境溫度差分布也越大。
2. 環境溫度差與紅外線溫度差成高度正相關。

# 討論

1. 測量距離若越長，消光影響大時，需要更大的環境溫度差與其平衡，才可使紅外線溫度差為0。





出自 Grant W. Petty, A First Course in Atmospheric Radiation (2nd Ed.), Fig 7.6

2. 我們發現手持式紅外線溫度計所偵測的波段大多可被水氣吸收  
 加上本實驗之結果，我們推測：  
 雲底所發散的紅外線被靠近雲底  
 之大氣吸收掉了許多。

實際測量高估之結果，  
 應是紅外線溫度計視線範圍內  
 所有物質輻射和吸收總量綜合之結果

# 結論

1. 手持式紅外線溫度計測量雲底溫度時，將測量到比雲底實際溫度要高之溫度。
2. 環境溫度差在高於特定的環境溫度下，紅外線溫度差會隨環境溫度差上升而有增加的趨勢。
3. 【實驗三】實驗結果若結合水氣為變因，我們推測實際測量雲底溫度所測得之高估數值原因應為紅外線溫度計視線範圍內靠近地表之大氣輻射總量綜合之結果，難以測量到雲底所輻射之紅外線。

## 未來展望

紅外線溫度計測量雲底高度，或許目前無法準確測量，期望利用大量觀測數據推算雲底高度的對應關係式，大幅度降低測量成本，其利於廣設的優點、將對地面天文觀測、太陽能板發電效率等人類活動有所貢獻。

# 參考資料

- [1] Chen, T. H., Jin, C., & Dong, D. M. (2014). Distance compensation for infrared sensors used for total temperature measurements of large area canopy. *Biotechnology An Indian Journal*, 10(20), 12007-12014
- [2] 劉鴻喜 ( 1960 ) 。大氣熱力圖解的分析及評價。氣象科技研究，第六卷第三期，35 ~ 39頁。
- [3] 呂佳穎、林博雄、李育棋與游志淇 ( 2016 ) 。雷射雲霧儀應用於台灣各種地貌之混合層高度量測。大氣科學，第44卷第2期，149 ~ 172頁。
- [4] 交通部民用航空局 ( 2006 ) 。航空氣象電碼手冊。台北市：作者。
- [5] Bird ( 民109年2月25日 ) 。非接觸式溫度感測器的原理與應用 ( 下 ) 。Maker電子學：  
<https://makerpro.cc/2020/02/principles-and-application-of-noncontact-temperature-sensor-part2/>
- [6] 臺中市立惠文高級中等學校 ( 無日期 ) 。紅外線溫度計。民109年3月8日，取自  
<https://sites.google.com/mail3.hwsh.tc.edu.tw/earth/arduinoadvanced/ir-temperature-sensor-mlx90614?authuser=0>