

114 年度氣候變遷創意實作競賽

決賽作品說明書

隊伍編號	025
隊伍名稱	Geo 是炎值爆錶
作品中文名稱	熱感偵探
作品英文名稱	Chasing Hot

參賽校系：國立臺灣師範大學地理學系

指導老師：李宗祐 副教授

團隊成員：王正毅、曾家樂

目 錄

摘要-----	2
壹、 設計構想-----	3
一、 界定問題-----	3
二、 研究目的-----	3
三、 創作背景-----	3
四、 現行熱傷害評估指數-----	5
貳、 創作特點與說明-----	7
一、平台運作原理與機制-----	7
二、創作特點-----	10
參、作品應用範圍與潛能-----	11
肆、工作分配-----	12
伍、參考資料-----	12

摘要

近年來，臺灣地區極端天氣事件之發生頻率持續上升，民眾面臨熱傷害之風險亦隨之增加，尤以於烈日下從事戶外作業之勞工為甚。不同鋪面材質對熱負荷之感受亦存在顯著差異。

本研究團隊基於中央氣象署提供之溫差推估雲量並針對萬里無雲下之理論太陽輻射量進行修正，以獲得考量雲量影響之實際輻射量。進一步結合各類鋪面之反照率（albedo）及相關推算公式，推估特定日期下不同鋪面材質之實際感受溫度，並建置平台供使用者即時查詢相關數據。期望能藉此降低民眾尤其戶外工作者在極端天氣下面臨熱傷害的風險。

Abstract

In recent years, the frequency of extreme weather events in Taiwan has been steadily increasing, along with a corresponding rise in the risk of heat-related illnesses among the public, particularly for outdoor workers exposed to intense sunlight. Significant differences in perceived heat load also exist among various pavement materials.

Based on cloud cover estimates inferred from temperature differences provided by the Central Weather Administration, our research team corrected the theoretical solar radiation under cloudless conditions to derive the actual radiation levels accounting for cloud effects. By further incorporating the albedo values of different pavement types and applying relevant calculation formulas, we estimated the perceived temperatures of various surface materials on specific dates. Additionally, we developed a platform that enables users to access real-time data. Through these efforts, we aim to reduce the risk of heat-related injuries, especially among outdoor workers, during extreme weather events.

壹、設計構想

一、界定問題

隨著地球暖化的現象越來越嚴重，全人類們應該著眼於面對與適應此現象帶來的各種問題。而與日常生活中感受最深刻的氣象指標無非就是氣溫了。臺灣位於高溫潮濕的熱帶及副熱帶地區，民眾所受到環境熱危害的情況也極需被關注(陳俊瑋, 2014)。然而，現行交通部中央氣象署(以下簡稱氣象署)所提供的溫度數據，無法確切的反應出民眾對於熱的感受。

在國外，也有許多為了因應無法確切反應民眾熱感受所提出的解決方法。例如美國軍方為了防止軍人在高溫高濕環境之中暑及熱衰竭等致命熱危害效應，很早就使用內部資料研究，考量環境條件及人體生理反應而選擇 WBGT 做為熱危害指標(龍世俊, 2019)。此在在凸顯顧慮在烈日下工作者的熱傷害是非常嚴重的議題。

我國位處低緯度，身為熱危害高脆弱度國家之一，應及早完成高氣溫環境熱預警系統的建置，以妥善保護民眾健康(龍世俊, 2019)。然而現行氣象署僅以體感溫度作為指標提供民眾參考，顯然無法有效反映當日的炎熱程度。有鑒於此本團隊希望藉由熱像儀反映出即使氣溫僅有攝氏 30 度，但有些鋪面吸收了太陽短波輻射後溫度可以高達攝氏 60 度的極高溫度，也因此民眾若只看當日的氣溫作為「是否炎熱」的標準，顯然無法準確反映當日不同場域的氣溫。另外我們也藉由計算氣溫與相對溼度計算出不同鋪面對於在戶外的勞動工作者若在不同的溫度下工作，造成熱傷害的相關可能性。

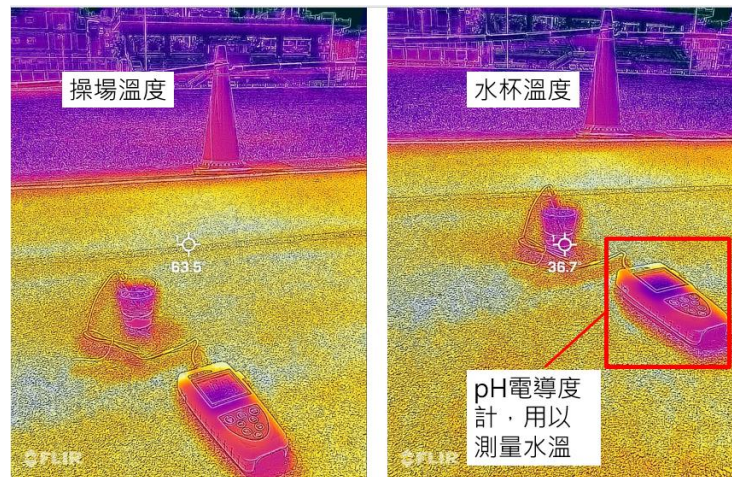
二、研究目的

有鑑於氣溫無法實際反應戶外工作人員所處環境之溫度，本計畫擬建立溫度計算工具，計算戶外在不同太陽輻射照射下之不同材質鋪面(如水泥、PU 跑道、草皮、鐵皮...等)的表面溫度，透過輸入戶外工作地點之緯度及日期，計算到達地面之太陽輻射量，提供不同鋪面下的可能溫度，更合理的反應戶外工作人員之熱傷害指數。

三、創作背景

本團隊於 2025 年 3 月 25 日下午 12:50 分進行相關測量，使用 FLIR 熱像儀及一杯溫度控制於攝氏 31~32 度間的水作為基準測量。如圖(一)所示，於操場跑道實驗數據與相關說明為使用熱像儀測量的跑道溫度，為攝氏 63.5

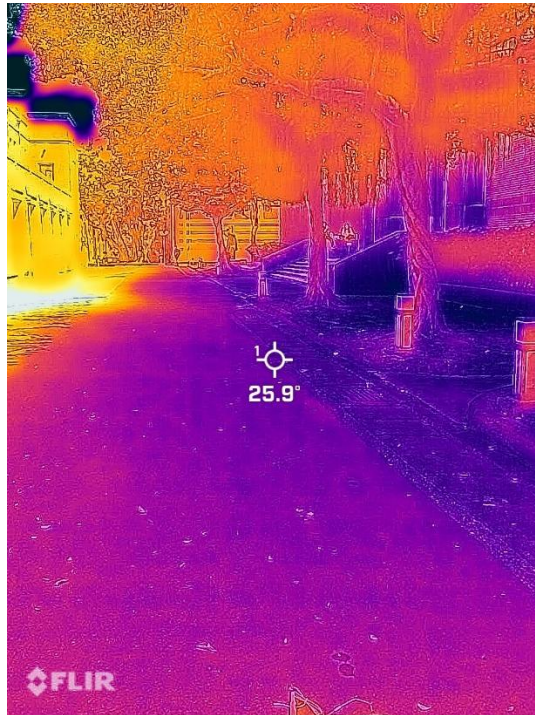
度，而水溫為攝氏 36.7 度。可以發現儘管熱像儀與實際水溫有約攝氏五度的溫差，但即便如此將 63.5 度減去 5 度，仍有約 57 度的高溫，而當下氣溫顯示為 30 度。圖(二)則顯示同一環境下木製桌椅上方的溫度，圖(三)顯示同一環境條件下在有樹蔭的柏油路面上，地表溫度明顯較其他地區來的低。此外在圖(四)中可以發現機車坐墊有約攝氏 70 度的高溫，該圖拍攝時間約中午 12:50，環境溫度攝氏 30 度，體感溫度 31 度，但機車坐墊卻有 70 度的高溫。此現象再次凸顯僅以體感溫度作為衡量「是否炎熱」的標準是不足的。



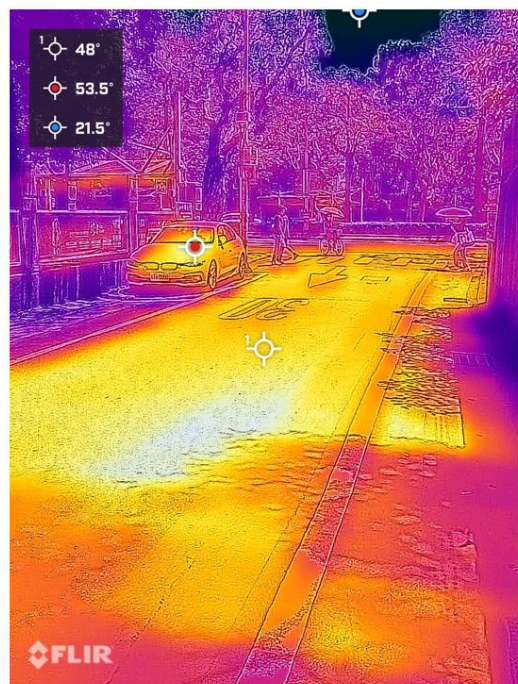
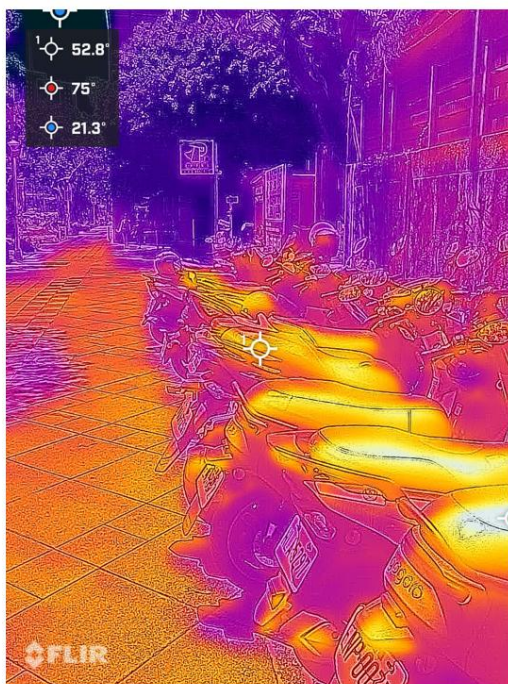
圖(一)：操場跑道實驗數據與說明(研究者自行繪製)



圖(二)：木製桌椅表面溫度(研究者自行使用熱像儀拍攝)



圖(三)：有樹蔭的柏油路面下表面溫度(研究者自行使用熱像儀拍攝)



圖(四)：機車坐墊及汽車車殼表面溫度(研究者自行使用熱像儀拍攝)

四、現行熱傷害評估指數：

目前在各國較常使用之熱危害指數有美國職業安全與健康管理局 (Occupational Safety and Health Administration, OSHA)、日本厚生勞動省、臺灣勞動部、新加坡工作場所安全及健康委員會 (Workplace Safety and Health

Council, WSHC)及中華人民共和國人力資源和社會保障部所使用之 WBGT，美國海洋暨大氣總署國家氣象局(National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Weather Service (NWS))之熱指數(Heat index, HI)為主要依據(龍世俊, 2019)。

本研究採用 Heat Index(以下簡稱 HI)指標並以將攝氏一度、相對溼度(RH)1%作為單位，計算該情況下的 HI 指標，反應在該相對濕度與溫度時人體實際感覺到的溫度，HI 指標計算方式為 $HI = -42.379 + 2.04901523 * T + 10.14333127 * RH - .22475541 * T * RH - .00683783 * T * T - .05481717 * RH * RH + .00 * T * 0.00085282 * T * RH * RH - .00000199 * T * T * RH * RH$ 。(Rothfus, 1990)

根據交通部中央氣象署的統計資料，台北測站在 1991~2020 年間每月相對溼度的平均值統計資料，七月的平均為 70.7%為十二個月中的最低值(交通部中央氣象署, 2025)，如表(一)所示。有鑒於此本研究的選擇相對濕度從 70%開始計算。另在氣溫部分，由於根據氣象署的資料，臺北測站的月均溫最低值為攝氏 16.4 度(交通部中央氣象署, 2025)，如表(二)所示。鑒於 HI 指標僅適用於氣溫高於攝氏 27 度時，且令人感受到炎熱甚至產生熱傷害時氣溫低於攝氏 27 度的機率不高，因此本研究由氣溫攝氏 27 度作為氣溫基準進行計算。進行換算後 HI 值如表(三)所示，可以發現在氣溫達 35 度的情況下，體感溫度已經超過 50 度，然而如果站在高達 58 度的操場，則其體感溫度對人體所造成之影響不言可喻。也足以顯示使民眾知道並在意此現象的重要性。

表(一)：臺北測站1991~2020年的每月相對濕度平均值(交通部中央氣象署, 2025)

月份	1	2	3	4	5	6
相對濕度(%)	77.4	78.0	76.8	75.8	74.9	75.1
月份	7	8	9	10	11	12
相對濕度(%)	70.7	72.2	73.8	74.3	75.1	75.6

表(二)：臺北測站1991~2020年的每月氣溫平均值(交通部中央氣象署, 2025)

月份	1	2	3	4	5	6
氣溫(攝氏度)	16.4	16.9	18.8	22.3	25.6	28.2
月份	7	8	9	10	11	12
氣溫(攝氏度)	29.9	29.5	27.7	24.6	21.9	18.2

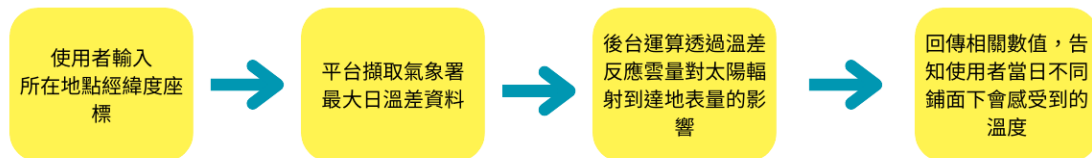
表(三)：溫度與濕度換算的 Heat Index 指標(研究者自行繪製及計算)

$\begin{matrix} \text{RH} \\ \text{°C} \end{matrix}$	70%	71%	72%	73%	74%	75%	76%	77%	78%
27	28.9	29.0	29.0	29.1	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6
28	30.7	30.8	31.0	31.2	31.2	31.4	31.5	31.7	31.8
29	32.8	32.9	33.1	33.3	33.5	33.7	33.9	34.1	34.3
30	35.1	35.3	35.6	35.8	36.1	36.3	36.6	36.9	37.1
31	37.6	37.9	38.2	38.6	38.9	39.2	39.5	39.9	40.2
32	40.4	40.8	41.2	41.6	42.0	42.3	42.7	43.1	43.6
33	43.5	43.9	44.4	44.8	45.3	45.8	46.2	46.7	47.2
34	46.8	47.3	47.8	48.4	48.9	49.4	50.0	50.5	51.1
35	50.4	51.0	51.5	52.1	52.8	53.4	54.0	54.6	55.3
36	54.2	54.9	55.5	56.2	56.9	57.6	58.3	59.0	59.7
37	58.3	59.0	59.7	60.5	61.3	62.1	62.9	63.7	64.5
38	62.6	63.4	64.2	65.1	65.9	66.8	67.7	68.6	69.5
39	67.1	68.0	69.0	69.9	70.9	71.8	72.8	73.8	74.8
40	71.9	72.9	74.0	75.0	76.0	77.1	78.2	79.2	80.3
41	77.0	78.1	79.2	80.3	81.5	82.6	83.8	85.0	86.2
42	82.3	83.5	84.7	86.0	87.2	88.4	89.7	91.0	92.3
43	87.9	89.2	90.5	91.8	93.2	94.5	95.9	97.3	98.7
44	93.7	95.1	96.5	98.0	99.4	100.9	102.4	103.9	105.4
45	99.8	101.3	102.8	104.3	105.9	107.5	109.1	110.7	112.3
46	106.1	107.7	109.3	111.0	112.7	114.4	116.1	117.8	119.6
47	112.6	114.4	116.1	117.9	119.7	121.5	123.3	125.2	127.1
48	119.5	121.3	123.2	125.1	127.0	128.9	130.9	132.9	134.9
49	126.5	128.5	130.5	132.5	134.6	136.6	138.7	140.8	142.9
50	133.8	135.9	138.1	140.2	142.9	144.6	146.8	149.0	151.3
51	141.4	143.6	145.9	148.2	150.5	152.8	155.1	157.5	159.9
52	149.2	151.6	154.0	156.4	158.8	161.3	163.7	166.2	168.8
53	157.3	159.8	162.3	164.8	167.4	170.0	172.6	175.3	177.9
54	165.6	168.2	170.9	173.6	176.3	179.0	181.8	184.6	187.4
55	174.2	176.9	179.8	182.6	185.4	188.3	191.2	194.1	197.1
56	183.0	185.9	188.9	191.8	194.8	197.9	200.9	204.0	207.1
57	192.1	195.1	198.2	201.3	204.5	207.7	210.9	214.1	217.4
58	201.4	204.6	207.8	211.1	214.4	217.8	221.1	224.5	227.9
59	210.9	214.3	217.7	221.2	224.6	228.1	231.6	235.2	238.8
60	220.8	224.3	227.9	231.5	235.1	238.7	242.4	246.1	249.9

貳、創作特點與說明

一、平台運作原理與機制

本團隊希望獲得一個地點的表面溫度，而藉由太陽輻射量及反照率等因素可以換算得知。因此本團隊架設一個平台，透過平台讓使用者輸入當日所在位置後並由平台後端運算回傳一個地表溫度的數值。詳細平台運作原理如圖(五)所示。



圖(五)：平台運作原理(研究者自行繪製)

(一)、 太陽輻射量

現行交通部中央氣象署提供的預估體感溫度無法反應不同戶外工作環境的真實溫度。因此本團隊需要計算實際到達地表短波輻射(Observed Solar Radiation, $RS_{observed}$)，實際到達地表短波輻射量可以透過「雲量」來修正理論最大太陽輻射量(萬里無雲下可到達地表之短波輻射量)，然而「雲量」並不在氣象預報的資訊中，但實際溫差(每日最高溫與最低溫之差值)往往與實際到達地表短波輻射呈正相關，一日的雲量越少，短波輻射達地表的量越大，則當日溫差會越大，因此理論最大太陽輻射量會對應理論溫差最大值(ΔT_{max})與實際溫差($\Delta T_{observed}$)會呈現一線性關係，即 $\frac{\Delta T_{observed}}{\Delta T_{max}} \propto \frac{RS_{observed}}{RS_{max}}$ (Tung et al., 2014)。根據此關係式我們可以由最大溫差 ΔT_{max} 反推一日的雲量，即雲量係數為 $\frac{\Delta T_{observed}}{\Delta T_{max}}$ 。

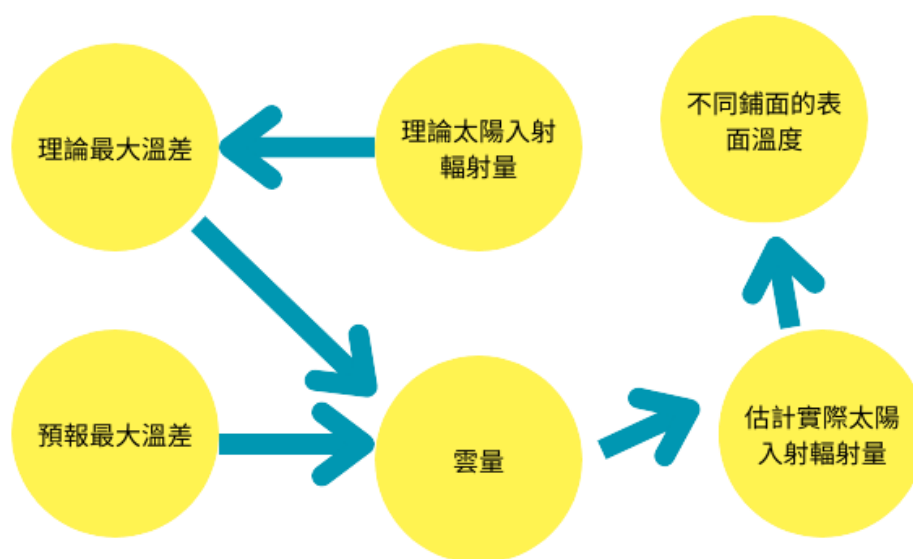
本團隊透過氣象署歷年觀測資料試圖找到其理論溫差最大值 ΔT_{max} 與理論最大太陽輻射量 RS_{max} 的關聯性，發現兩者間的正相關可用 $\Delta T_{max} = 0.3 \times RS_{max} + 6$ 來表示，根據本關係式我們可以從理論最大太陽輻射量先推算理論溫差最大值，再透過雲量係數推算實際到達地表短波輻射量，再進而推求具有不同反照率鋪面之表面溫度。

(二)、 反照率

反照率定義為波長在 0.3 至 3.0 μm 之間的向上反射的太陽輻射與相同

波長間隔內的總向下太陽輻射（包括直接輻射和漫輻射）的比率(Pinker, Thompson, & Eck, 1980)。如果全部反射，反照率等於 1，如果反射了 30%，反照率則為 0.3。地球表面（大氣、海洋、陸地表面）的反照率決定了有多少入射的太陽能被反射回太空，因此會對氣候產生不可忽視的影響(NASA, 2025)。反照率愈高，反照的陽光越多，因此地表溫度越低。

鋪面材質為主要構想，材質包含：柏油、水泥、草地、PU 跑道。灰色水泥的反照率為 0.32~0.47(Sanjuán, 2022)、柏油反照率為 0.05~0.10(Mungule & Iyer, 2021)。又草地的反照率為 0.25~0.3(Kotak, Gul, Muneer, & Ivanova, 2015)。在 PU 跑道的部分，回顧眾多文獻後尚無法找到正確的反照率，但根據其他相關研究指出深色鋪面的反照率約為 0.10~0.15 之間(Akbari, Pomerantz, & Taha, 2001)，鑒於上述原因，本創作先以此做為 PU 跑道的反照率數據。從理論最大太陽輻射量先推算理論溫差最大值，再透過雲量係數推算實際到達地表短波輻射量，再進而推求具有不同反照率鋪面之表面溫度的詳細關係如圖(六)所示。



圖(六)：資料間關聯示意圖(研究者自行繪製)

(三)、換算公式

綜上所述，由於溫差與太陽輻射量密切相關，我們首先利用理論太陽輻射量（無雲情況下的大氣入射輻射量）來推估在理想條件下可能達到的最高溫差。接著，將此理論最大溫差與實際觀測到的最高溫差進行比較，據此反推出雲量對輻射的遮蔽效應。最後，根據推估出的雲量修正太陽入射輻射量，再進一步不同鋪面的反照率估算實際條件下不同鋪面的表面溫度。詳細步驟條列如下：

1. 理論太陽入射輻射量→用來推估理論最大溫差
2. 預報最大溫差和理論最大溫差一起用來推估雲量
3. 雲量→估算實際太陽入射輻射量
4. 實際太陽入射輻射量→導出表面溫度

首先計算理論太陽輻射量(Rs_{max})，考量太陽赤緯角(δ)，並以正中午時間為基準計算太陽高度角。太陽赤緯角，計算公式如公式 1 所示。其中 n 為當日為一年中的第幾天(例如：1 月 30 日為當年的第 30 天，則 $n=30$ ，以此類推)。

$$\delta = 23.45^{\circ} \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (n - 81)\right) \quad \text{公式 1}$$

再計算正中午的太陽高度角(α)，計算公式如公式 2。 ϕ 為所在緯度，北緯為正，南緯為負。

$$\alpha = 90^{\circ} - |\phi - \delta| \quad \text{公式 2}$$

最後再計算 Rs_{max} 值，計算公式如公式 3。其中 G_{SC} 為太陽常數 1367 W/m^2 。 E_0 為地球公轉修正項， $E_0 = 1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360n}{365}$ 。

$$Rs_{max} = G_{SC} \cdot E_0 \cdot \sin(\alpha) \quad \text{公式 3}$$

緊接著再利用公式 4 計算出實際太陽入射輻射量($Rs_{observed}$)，又 ΔT_{max} 與 Rs_{max} 的關聯為 $\Delta T_{max} = 0.3 \times Rs_{max} + 6$ ，雲遮係數如前所述為 $\frac{\Delta T_{observed}}{\Delta T_{max}}$ 。

$$Rs_{observed} = Rs_{max} \cdot \text{雲遮係數} \quad \text{公式 4}$$

假設在無雲條件下，物體吸收輻射並達到熱平衡，其表面溫度 (T) 可透過史蒂芬-波茲曼定律(Stefan-Boltzmann Law)反推，其關聯性如公式 5 所示。其中 ε 為物體放射率、 σ 為史蒂芬-波茲曼常數 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ ， S 。由以下公式 5 可以計算出該物體表面的溫度。最後再將 T 減去 273.15 換算為攝氏溫標。

$$T = \left(\frac{\varepsilon \cdot Rs_{observed}}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{公式 5}$$

總的來說，本公式反應某個地表，吸收了多少太陽能（考慮反照率與雲的遮蔽，而雲的遮蔽利用前面敘述過的溫差來推算），可以估算出地表在此種條件下該鋪面大約會加熱到多少度。

二、創作特點

本團隊期望透過網站的架設，使使用者有直觀的操作體驗，並且能夠知道當日處在的環境的實際感受溫度狀況。透過本創作的施行，亦能減少勞工位於戶外工作時面臨熱傷害的風險。

後續本團隊希望與政府機構合作，透過優化本系統及立定相關法規，嚴格限制雇主於系統指標達到一定標準後，需強制停工，以維護勞工的健康權。

參、作品應用範圍與潛能

臺灣夏季氣候普遍高溫，根據研究台灣地區近百年間的溫度上升是其他國家的兩倍(陳雲蘭,2008)，在 2013 年臺北大都會區更是創下中央氣象局(今中央氣象署)測量史上最高溫攝氏 39.3 度的紀錄(龍世俊,2019)。因此讓民眾對於熱有所警覺是必要且必須的。

本平台即在此構想上設置，民眾透過輸入(或定位)所在地的相關資訊及所在鋪面，並經由平台換算(考慮雲遮蔽率與反照率)後，呈現給民眾該種材質的當日的溫度為何，藉以幫助民眾更加了解當地的「炎熱程度」。本創作本僅克服了「氣象數據對於民眾的距離感」亦期望透過淺顯的「數據」呈現出一目了然的數據，預估呈現方式如圖(七)所示，使用視覺化的方式呈現。

除此之外，更重要的為與政府機構進行合作，一但位於戶外工作的勞工，在系統顯示數據達到一定標準後即需停工，降低熱傷害的威脅。

目前架設之平台網址如下：<https://zywang1020.github.io/chasinghot/>



圖(七)：視覺化不同情境下表面溫度示意圖(ChatGPT 及研究者繪製)

肆、工作分配

王正毅：企劃書撰寫、實驗操作、文獻查找、說明書撰寫、影片拍攝剪輯
demo 網頁架設、簡報製作

曾家樂：企劃書撰寫、實驗操作、影片拍攝剪輯、簡報製作

伍、參考文獻

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar energy*, 70(3), 295-310.

Kotak, Y., Gul, M., Muneer, T., & Ivanova, S. (2015). Investigating the impact of ground albedo on the performance of PV systems.

Mungule, M., & Iyer, K. K. (2021). A Review on Role of Pavement Materials on Urban Heat Island Effects. *Sustainable Cities and Resilience: Select Proceedings of VCDRR 2021*, 229-237.

NASA. (2025). What is Albedo. Retrieved from <https://mynasadata.larc.nasa.gov/mini-lessonactivity/what-albedo>

- Pinker, R. T., Thompson, O. E., & Eck, T. F. (1980). The albedo of a tropical evergreen forest. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 106(449), 551-558.
- Rothfus, L. P. (1990). The Heat Index Equation. In. National Weather Service.
- Sanjuán, M. Á., Morales, Á., & Zaragoza, A. . (2022). Precast Concrete Pavements of High Albedo to Achieve the Net “Zero-Emissions” Commitments. *Applied Sciences*, 12.
- Tung, C.-P., Lee, T.-Y., Huang, J.-C., Perng, P.-W., Kao, S.-J., & Liao, L.-Y. (2014). The development of stream temperature model in a mountainous river of Taiwan. *Environmental monitoring and assessment*, 186, 7489-7503.
- 交通部中央氣象署. (2025). 氣候月平均資料. Retrieved from <https://www.cwa.gov.tw/V8/C/C/Statistics/monthlymean.html>
- 陳俊瑋. (2014). 全台飆高溫 熱危害勿近身!! 勞工安全衛生簡訊, 126, 2-11.
- 陳雲蘭. (2008). 百年來台灣氣候的變化. 科學發展月刊, 424, 6-11.
- 龍世俊. (2019). 建置臺灣熱預警之科學實證研究. 科技部補助專題研究計畫成果報告期末報告.