

# 國家氣候變遷科學報告2024 現象、衝擊與調適

## 都市熱島主題

國立成功大學建築學系 林子平 特聘教授

計畫辦公室



行政法人國家災害防救科技中心  
National Science and Technology Center  
for Disaster Reduction



臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台  
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

指導單位



國家科學及技術委員會  
National Science and Technology Council

# 研究團隊

## ▶ 國家氣候變遷科學報告-都市熱島 撰寫作者

- 國立成功大學建築學系 林子平 特聘教授
- 國立成功大學建築學系 尤思喻 博士
- 國立成功大學建築學系 王柳臻 專案研究助理

## ▶ 國科會TCCIP計畫熱島領域研究團隊

- 國立成功大學建築學系 林子平 特聘教授
- 國立成功大學建築學系 王柳臻 專案研究助理

國家氣候變遷科學報告工作坊5

# 大綱

## ▶ 科研資料與研究技術 - 科學報告發展差異

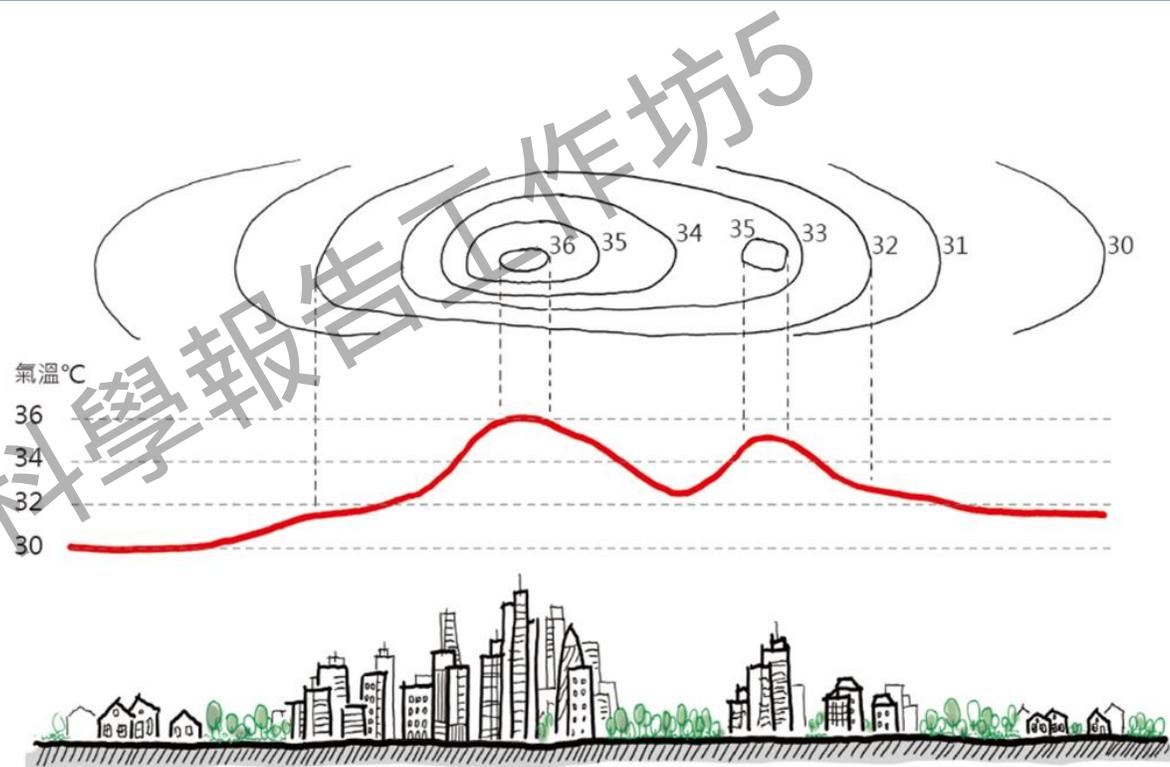
- 氣候變遷資料演進與都市熱島評估進展
- 國內都市熱島現況研究與回顧

## ▶ 科研資料與研究進展 - TCCIP計畫成果

1. 都市熱島 - 熱舒適應用圖資下載
2. 都市熱島降溫 - 四大策略
3. 都市熱島降溫與調適 - 以臺北市為例
4. 都市中的勞工熱舒適 - 職業安全衛生之法規與熱指標
5. 都市中的風 - 《臺灣都市風場應用圖集》出版

## 4.7.2 都市熱島

- ▶ **都市熱島**(Urban Heat Island, UHI)：係指都市氣溫高於郊區氣溫的現象。  
(Gordon Manley, 1958)
- ▶ **都市熱島效應**(Urban Heat Island Effects)：因人為開發行為造成的都市地區升溫加劇的現象。
- ▶ 造成的影響包含：極端高溫、空氣品質惡化、能見度下降、降水型態與降雨區改變、影響日照時數等。  
(林炯明，2010；國家實驗研究院，2017)



都市熱島示意：都市氣溫分布之剖面如同島嶼一樣的起伏。  
市中心高溫、郊區低溫。(林子平，2021)

# 科學報告2017至2024的差異與進展

## 2017 科學報告

### ▶ 第九章 都市與鄉村

- 撰寫緣起：**氣候變遷調適政策綱領**
- **歸於都市衝擊**的其中一種：都市熱島、水資源與水災、民眾健康、經濟議題等
- 論述地方氣候變遷調適計畫推動與規劃流程

## 2024 科學報告

### ▶ 第四章 4.7 城鄉空間

- 撰寫緣起：提供**國土空間規劃**參考
- **專節論述**：將**城鄉土地**及**都市熱島**的科研與調適缺口分開論述
- 未針對特定部門計畫描述推動架構

## 2022 IPCC AR6 第六次評估報告 WG II

- ▶ 將有更多人口集中至都市，對原本就高溫且高濕度的氣候區域的都市居民來說，將更快面臨「危險」等級的生活環境。
- ▶ 都市核心區域的氣候改變，也將導致周邊郊區的氣候風險增加、衝擊範圍擴大、脆弱度上升等。
- ▶ 不同規模都市的問題，都要重視與積極關注，並依個別問題，分別規劃調適方針。

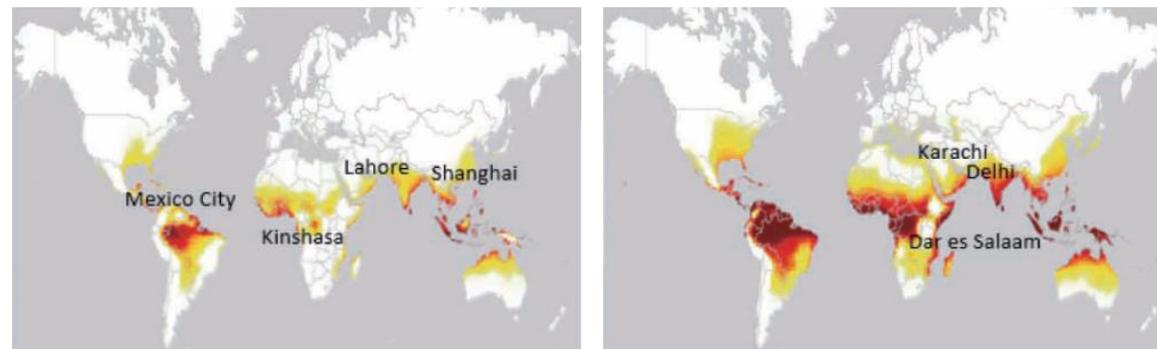


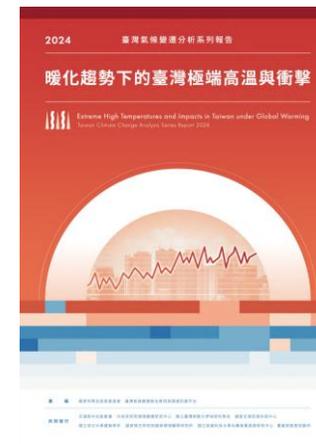
圖4.7.2.1 全球未來面對極端高溫以及高濕度的人口推估 (RCP8.5)

# 都市熱島研究與衝擊

以臺北市為例：

- ▶ 因盆地地形易蓄熱，且為高度開發都市，**市區中心溫度長期比郊區高出3°C以上**。都市戶外熱環境條件日益嚴峻，如何減緩並調適成為重要議題。
- ▶ 都市熱島的衝擊，不僅止於高溫不適、公共健康等，也攸關社會經濟，及能源使用行為。

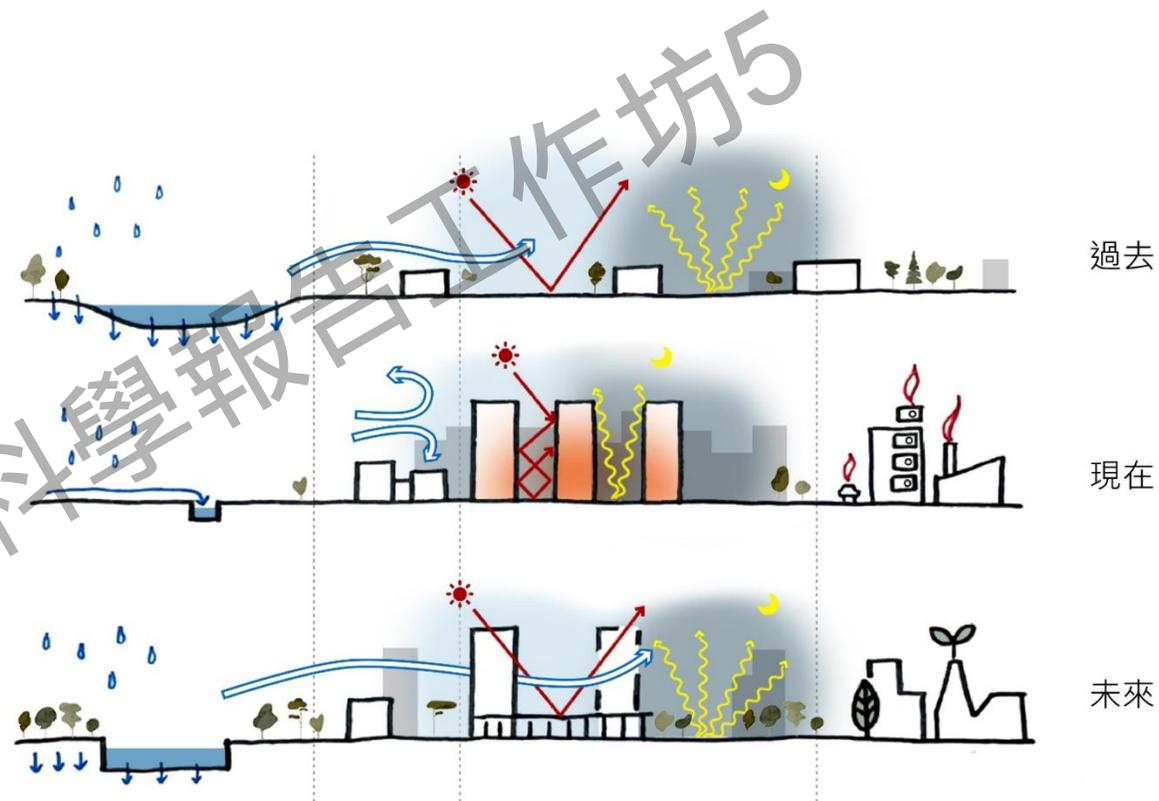
臺北市熱島分布圖  
統計時間：2023年7月8日 13:00



圖片來源：2024臺灣氣候變遷分析系列報告：暖化趨勢下的臺灣極端高溫與衝擊，國家災害防救科技中心。  
<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/book/20240714155450.pdf>

# 都市熱島的危害與衝擊

- ▶ 在快速經濟發展與都市化下，將帶來環境、生態、健康、社會經濟等影響。
- ▶ 大量的**水泥建築物**、**不透水鋪面**、經濟活動與汽機車**排放廢熱**、高密度開發等，使原有**自然水綠覆蓋面積縮減**，造成**環境失去平衡與氣溫調節的功能**，使都市熱島效應日益嚴重。(林子平等，2023)
- ▶ 研究顯示，位於高溫市中心的住宅因為**室內高溫**，將比郊區的住宅更為**耗電**。(林奉怡，2019)



熱島成因示意圖 (林子平等，2023)

圖片來源：林子平、歐星妤、王柳臻、陳秉鈞、蔡沛淇、魏育瑛、王禹方 (2023)。永續城鄉宜居環境 - 臺中都市熱島效應空間策略計畫，臺中市政府。  
<https://www.ud.taichung.gov.tw/28928/29378/1030335/2306116/>

# 都市熱島觀測與分析

## 衛星影像與遙測資料：

- ▶ **地表溫度**(Land Surface Temperature, LST)：演算後能有效呈現都市中地表與覆蓋物的表面溫度，具有相當程度的表徵性。(Avdan & Jovanovska., 2016)
- ▶ **土地利用與土地覆蓋**(Land Use & Land Cover, LULC)：透過分析空間高解析多光譜影像衛星資料，進行分類演算法識別地表土地利用分類。(Gxumisa & Breytenbach, 2017)
- ▶ 不同時期的歷史影像，可顯示都市開發造成的環境變動範圍與程度。

## 實測：環境觀測資料與地表資訊

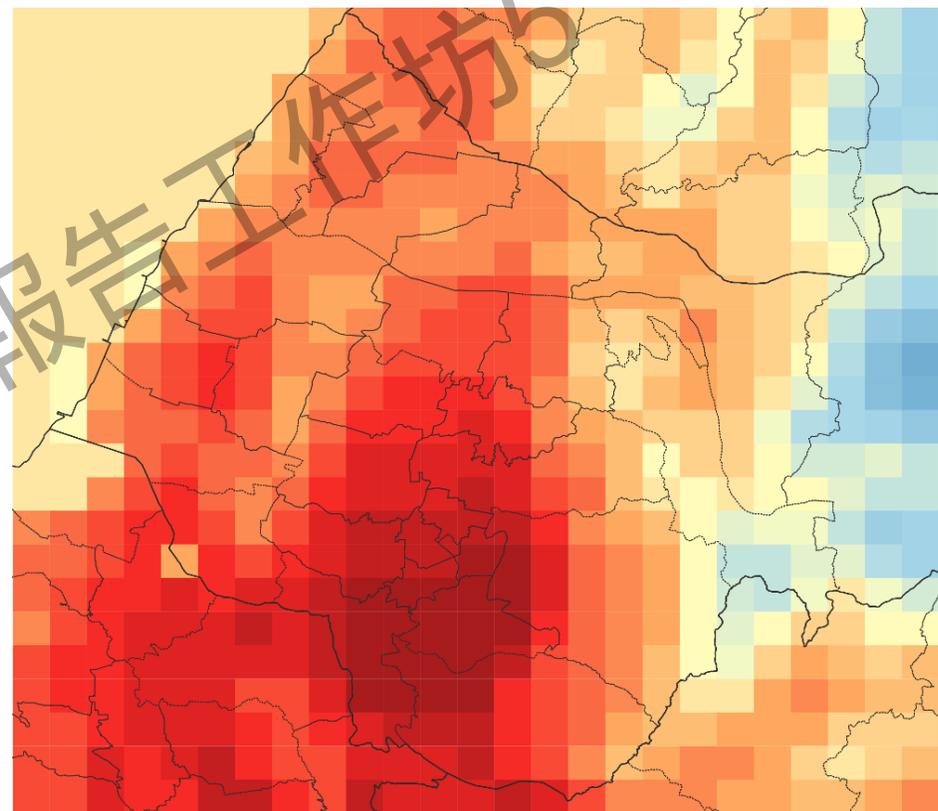
- ▶ **中尺度**(Meso-scale)：中央氣象署。
- ▶ **近地表微氣候**尺度(Micro-scale)：成大高密度地面氣溫測量網 (HiSAN)、臺大系統舒適度+計畫...等。
- ▶ **其餘資料缺口**：透過機載設備測量的**光探測**和**測距 (LIDAR)** (Chen et al., 2016a)、**都市冠層參數 (Urban Canopy Parameterization, UCP)** (Ching et al., 2019)。

# 都市熱島觀測與分析

## 歷史與未來：網格化資料

網格化資料可加強並細緻環境資料的空間分布，有助於即時資料展示與預警作業。

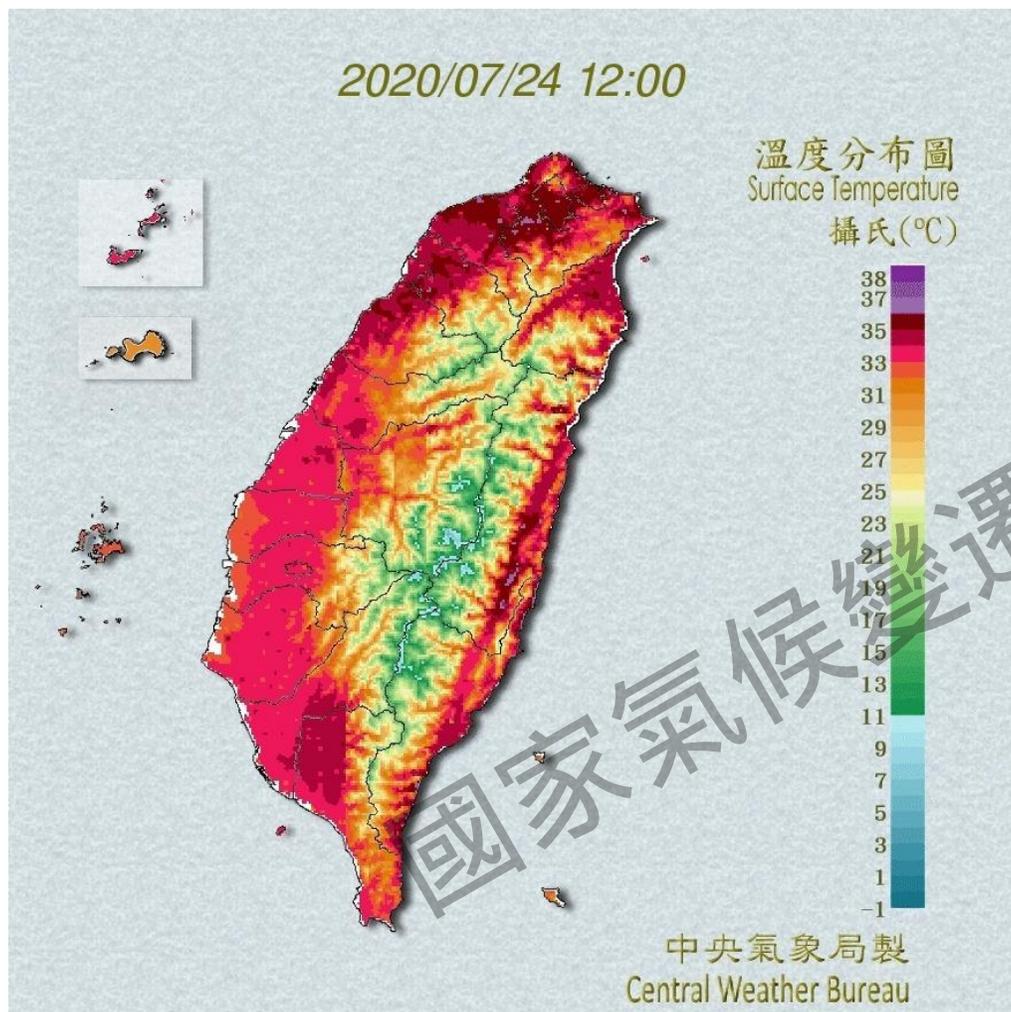
- ▶ 臺灣TCCIP計畫產製2公里網格TReAD歷史重建資料，與5公里網格的HiRAM全球暖化程度資料。
- ▶ 美國以3公里網格，應用在航空、太陽能、風能、農業、惡劣天氣與野火管理等預報。(Blaylock et al., 2018)
- ▶ 歐洲8個都市指出，地中海與大陸型氣候都市適用8公里網格作氣候預估分析。(Giunta et al., 2019)
- ▶ 韓國首爾使用5公里網格預報模式分析高溫特定事件。(Jänicke et al., 2020)



TReAD 2公里解析度網格化資料

圖片來源：林子平、歐星妤、王柳臻、陳秉鈞、蔡沛淇、魏育瑛、王禹方 (2023)。  
永續城鄉宜居環境 - 臺中都市熱島效應空間策略計畫，臺中市政府。  
<https://www.ud.taichung.gov.tw/28928/29378/1030335/2306116/>

# 近年代表性高溫事件回顧



- ▶ 臺北測站 2020年7月24日14:19
- ▶ 觀測到 **39.7°C** 高溫，打破歷史紀錄，為臺北測站自1896年、設站124年以來最高溫！



資料來源：中央氣象署。新聞畫面：寰宇新聞。

# 臺灣都市熱島現況

- ▶ 追蹤臺北市2020至2023年間7月，都市熱島強度與範圍變化趨勢。
- ▶ **市中心的溫度峰值持續增加**，且伴隨**高溫區逐漸擴張與延伸至桃園一帶**，樣樣皆顯示臺灣都市面臨嚴峻的熱島問題，且高溫中心範圍擴大的情形更是不可小覷。

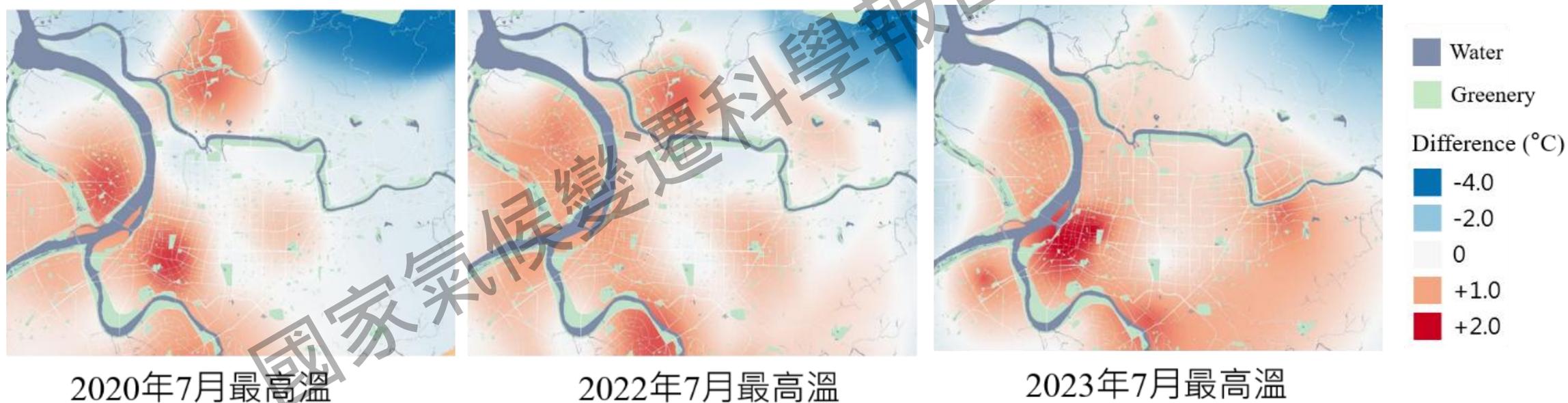
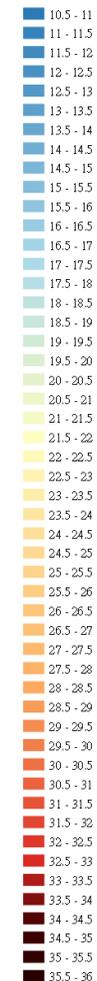


圖4.7.2.3 近年臺北7月都市熱島趨勢以及高溫分布圖 (林子平, 2023)

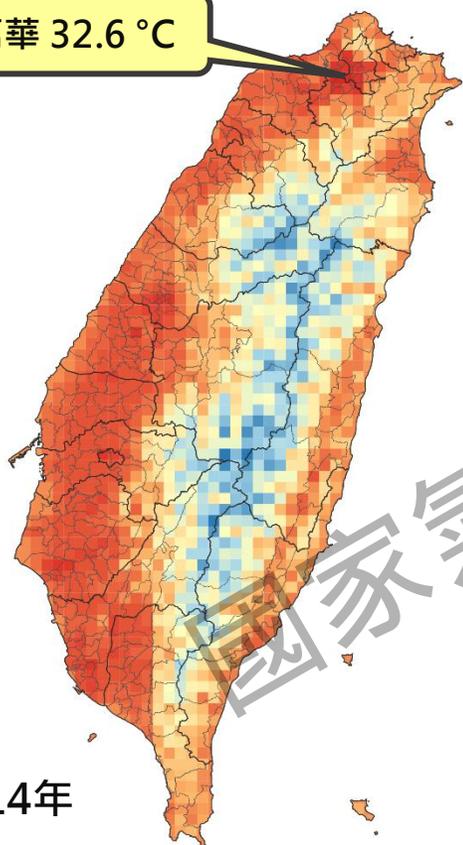
# 氣候變遷下，極端高溫的狀況將更加頻繁

- ▶ 未來氣候變遷下全台溫度將逐漸上升，尤以都市與平原地區最為嚴重。
- ▶ TCCIP計畫產製 HiRAM 全球暖化情境 **空氣溫度** 7月 14:00：

單位：°C

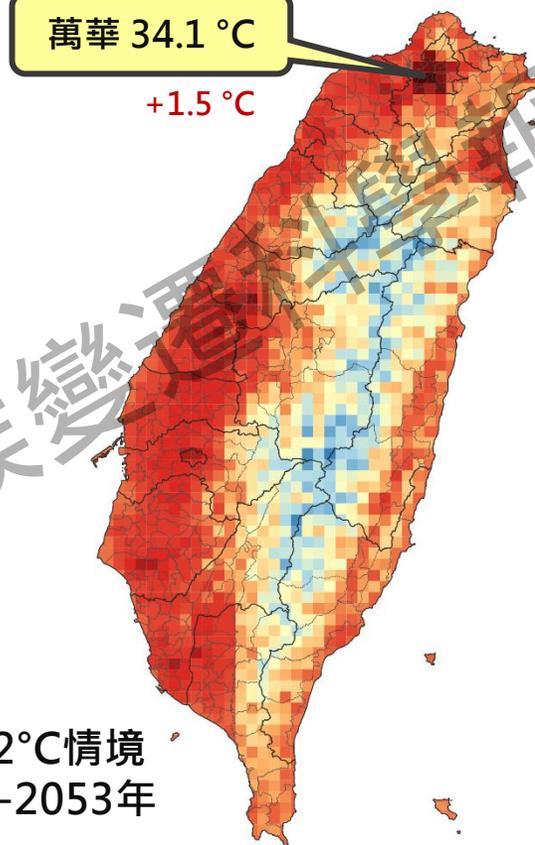


萬華 32.6 °C



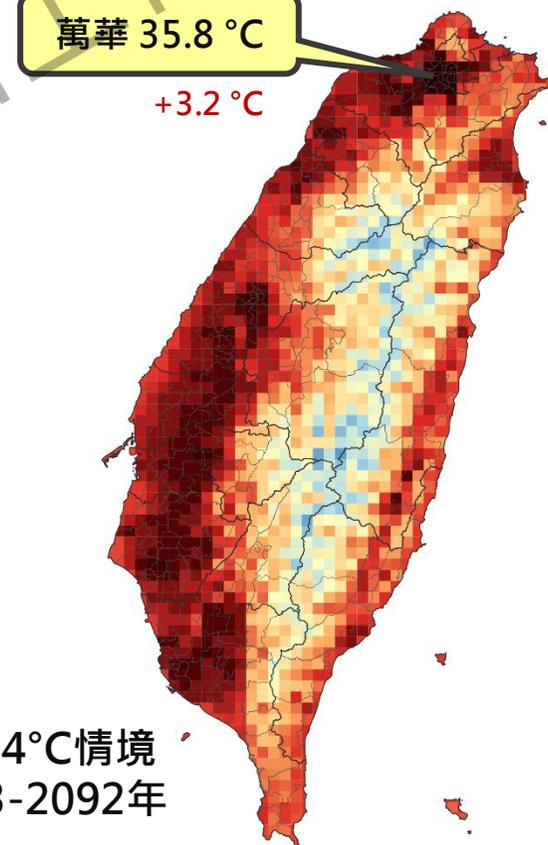
基期  
1995-2014年

萬華 34.1 °C  
+1.5 °C



升溫2°C情境  
2034-2053年

萬華 35.8 °C  
+3.2 °C



升溫4°C情境  
2073-2092年

# 都市熱島成因與影響

都市的熱從哪裡來？



# 都市的熱從哪裡來？





↑ 綠地減少，散熱不足

嘉義高鐵站機車停車場

都市臨近綠地的大樓密集棟距狹小，導致綠地的涼風無法流出！

公園第一排有風，後排沒風！

2 大樓密集，通風不良



# 3 缺乏遮蔭，材料蓄熱

台鐵高雄美術館站



# 4 空調使用，排熱增加

藍上棠提供

# 都市熱島與人體熱舒適

- ▶ 都市發展將造成都市熱島範圍擴張且強度增加。
- ▶ 以HiRAM RCP8.5全球暖化程度資料，推估生理等效溫度(PET)。並以臺灣熱舒適區間分級。(Lin, Matzarakis, 2008)
- ▶ 都市地區PET明顯高於周邊郊區，都市熱島現象十分明顯，且隨RCP8.5全球暖化情境的推進(左至右)，**生理等效溫度的有逐年上升的趨勢**。

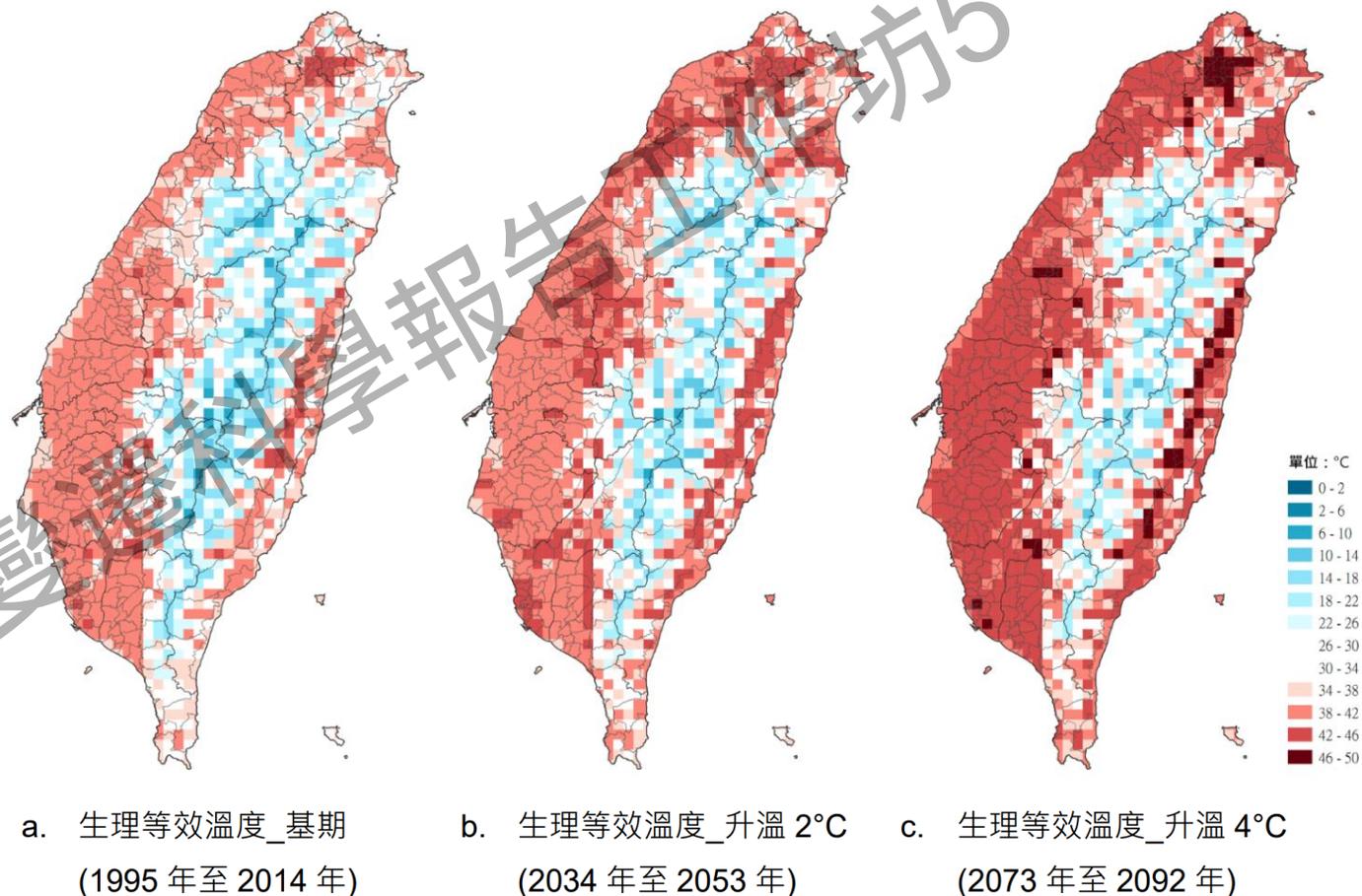


圖4.7.2.4 全臺生理等效溫度分布圖 (林子平、王柳臻，2023)  
統計時間：平均 7月 14:00

# 科研資料與研究進展

國家氣候變遷科學報告工作坊5

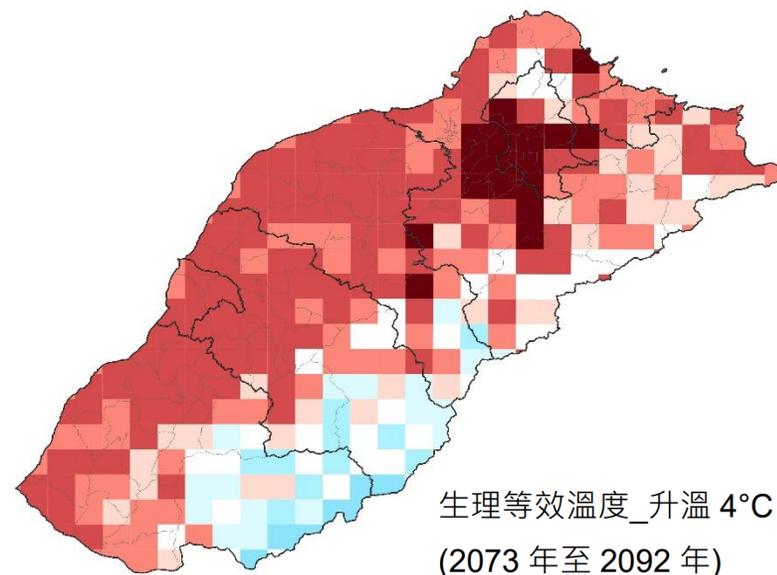
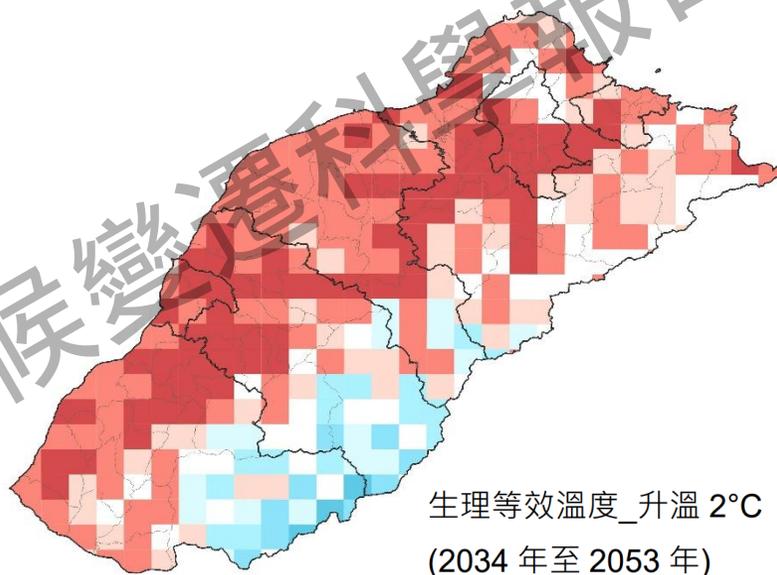
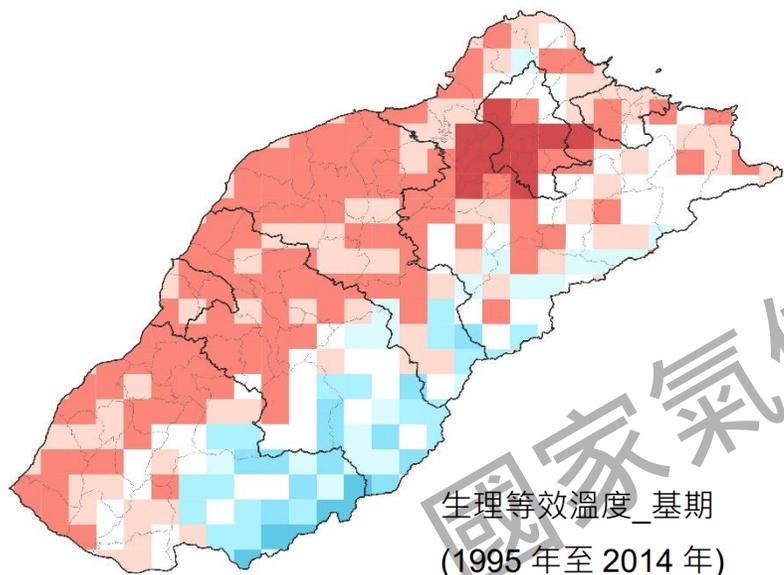


# 2024國家科學報告-氣候變遷資料取得與分析

- ▶ TCCIP網站→資料服務→氣候變遷資料商店
- ▶ 預計於今年第二季上架「AR5都市熱島危害指標」
- ▶ 提供**生理等效溫度PET分級圖**：臺灣、四大分區、縣市尺度

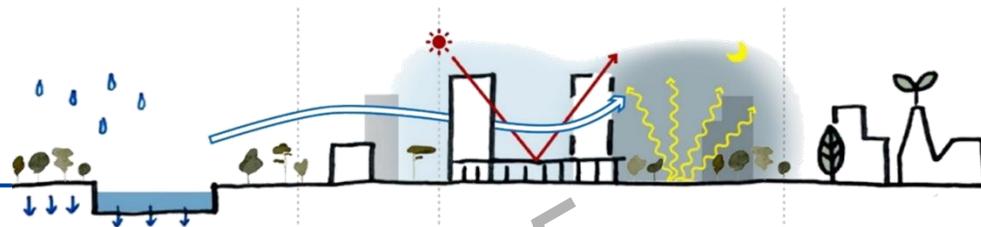


資料服務 / 氣候變遷資料商店



以北部地區為例：生理等效溫度分布圖 (林子平、王柳臻, 2023)

# 都市熱島降溫四大策略



水綠  
降溫

增綠多留藍

通風  
散熱

讓路給風走

遮蔭  
涼適

遮蔭供人行

建築  
節能

節能少排熱



綠化

確保基地空地充分綠化，並配合立體  
綠化營造生態效益



**透水**

進行良好的海棉城市規劃，健全都市水循環並有蒸發降溫效果！

通風

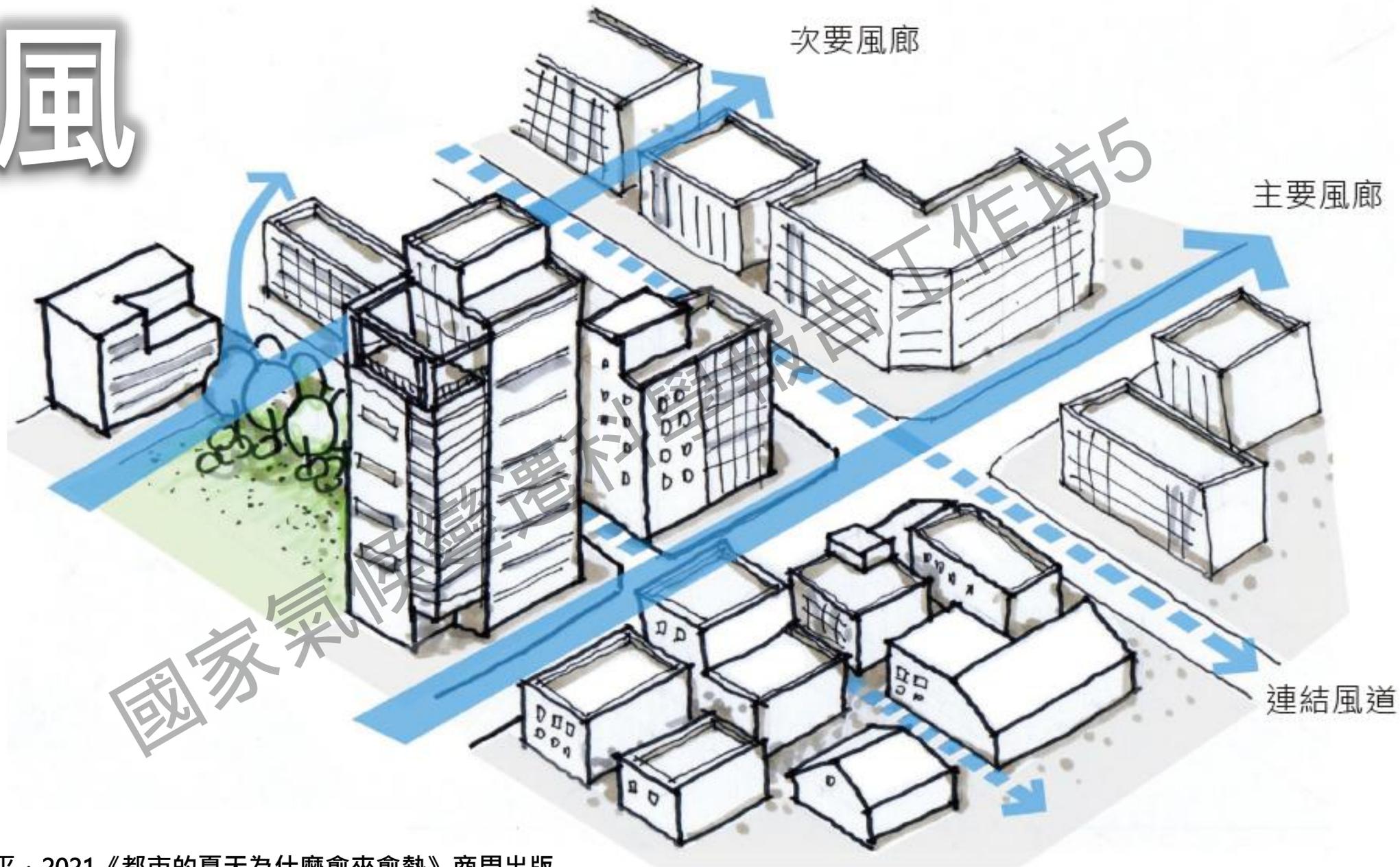
棟距加大

面寬減小

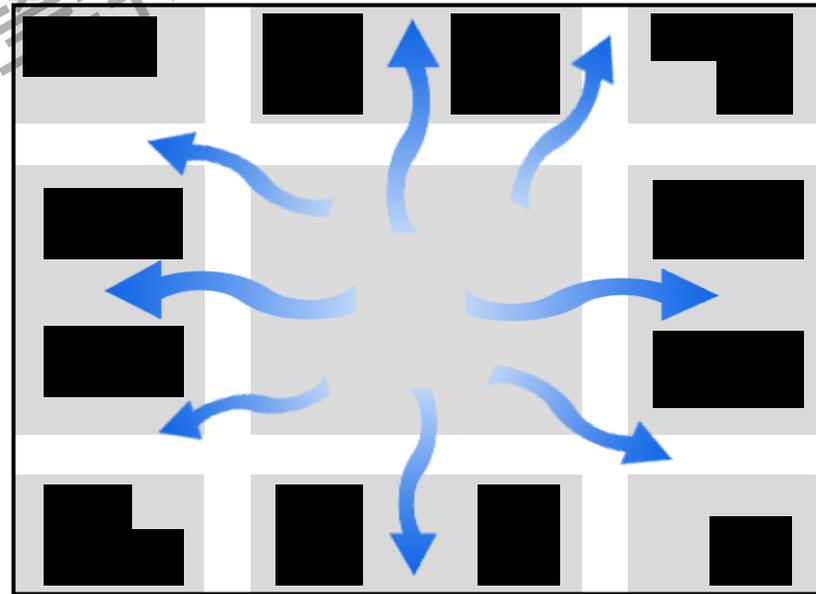
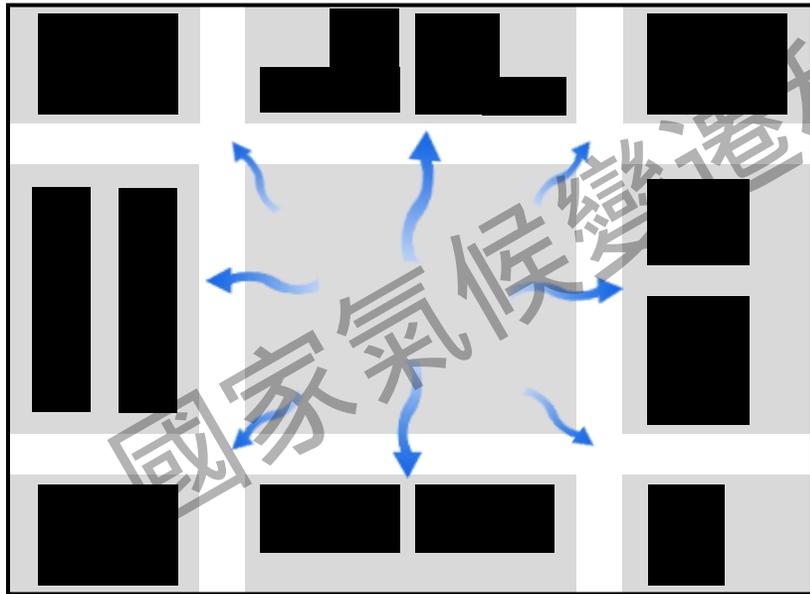
退縮增加



# 通風



圖片來源：林子平，2021《都市的夏天為什麼愈來愈熱》商周出版





遮蔭

廣慈社宅 · 台北市

# 遮蔭

福德街  
88

4公尺寬騎樓

廣慈社宅 · 台北市

# 節能

想在德國出售或出租房屋？  
要在廣告及合約揭露建築能源等級！



圖片來源：<https://www.ehtech.fr/immeubles>

# 都市熱島降溫與調適

以臺北「體感降溫 $2^{\circ}\text{C}$ 」為例



# 都市高溫治理需因應氣候變遷

## 法源

《氣候變遷因應法》規定，政府政策規劃需參酌國內外最新氣候變遷科學研究、分析及情境推估

## 依據

依《國家氣候變遷科學報告》進行氣候變遷風險評估，做為研擬推動調適方案及策略之科學依據

## 情境

依前述科學報告之國家氣候變遷情境，即 IPCC 全球暖化程度 (GWL) 中的 +2°C 及 +4°C 情境

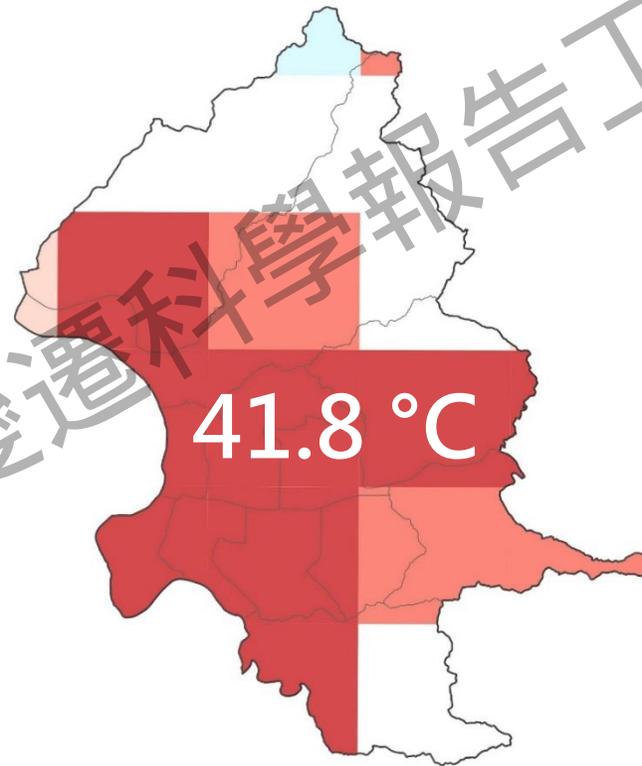
## 風險

以體感溫度 PET 為評估指標，計算在兩種暖化情境下的熱舒適性風險，以界定出調適缺口及對策

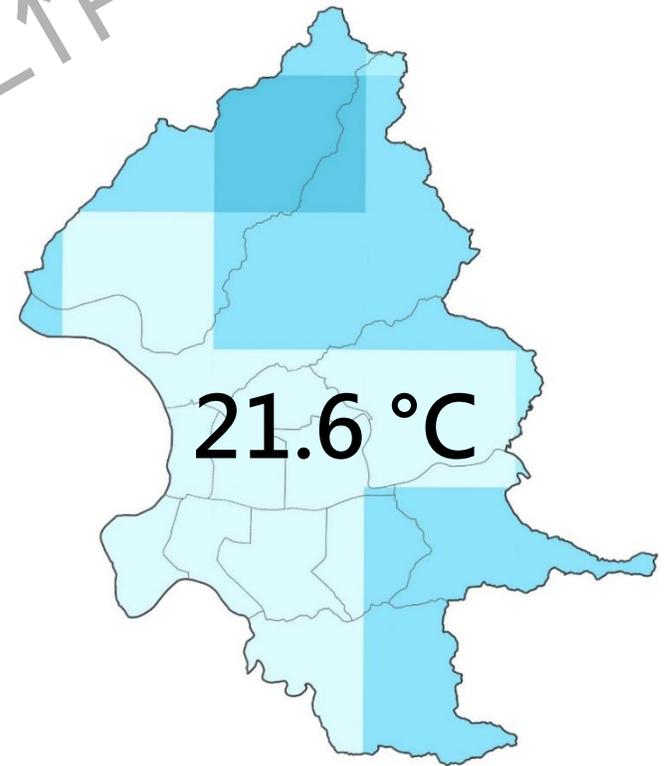
\*1. 依據《氣候變遷因應法》第5條第3款，第18條第1及第2款。\*2. GWL +2°C 代表溫室氣體排放為中等程度。\*3. 分析方法及體感溫度 PET 指標依《2024臺灣氣候變遷分析系列報告》。

# 現況如何呢?

- ▶ 進行基期(即現況)體感溫度(PET)計算，並針對平地區域的日夜間的代表時段統計。
- ▶ 現況平均體感溫度PET(°C)



7月 下午2點



7月 凌晨2點

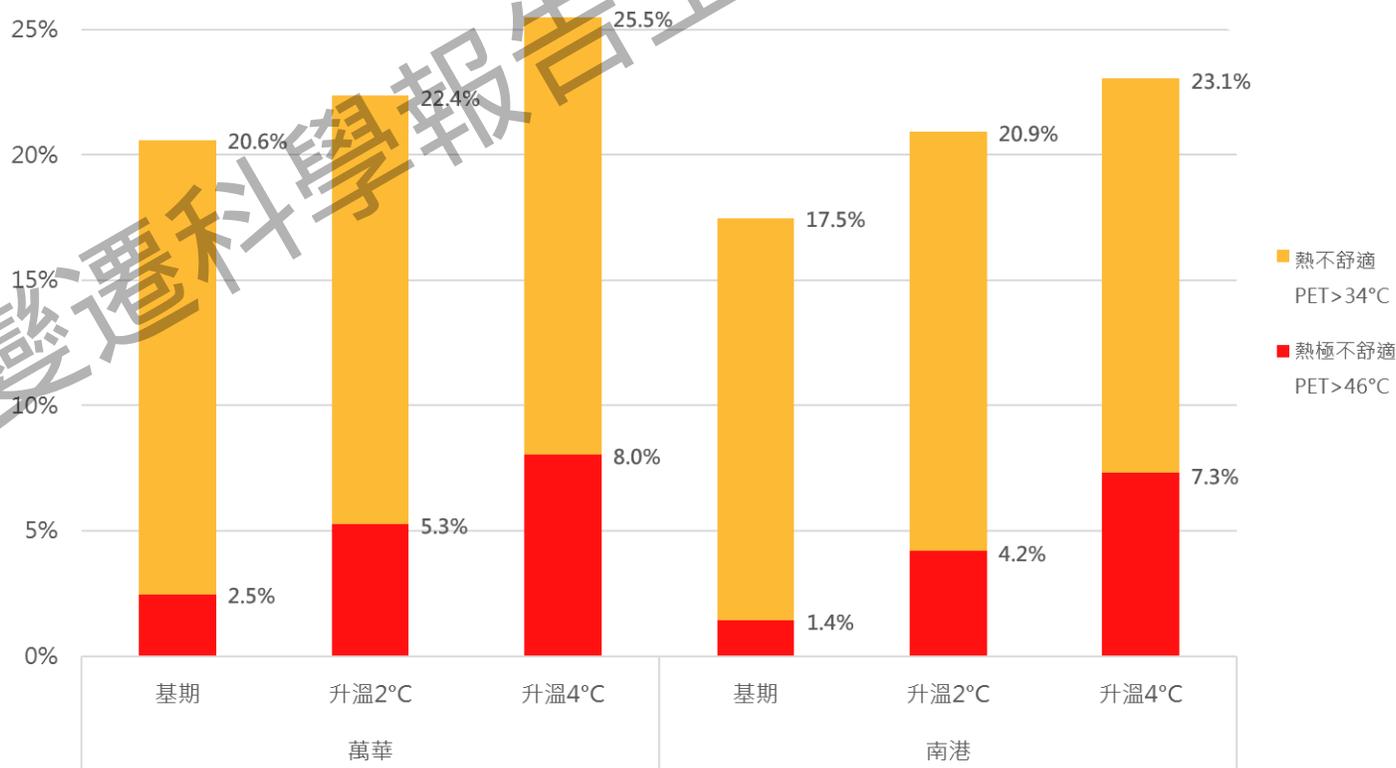
圖片來源：國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適。國家科學委員會及環境部，2024。

# 風險有多高？

- ▶ 計算夏季最熱月平均體感溫度，在+2°C及4°C情境下，與基期(現況)之體感溫度差值。

在全球最惡劣溫室氣體排放情境下，台北最高溫地區恐達3個月熱不舒適！

萬華與南港於現況、GWL 2°C 與 4°C 下之熱不舒適率變化圖 (Lin and Wang, 2023)



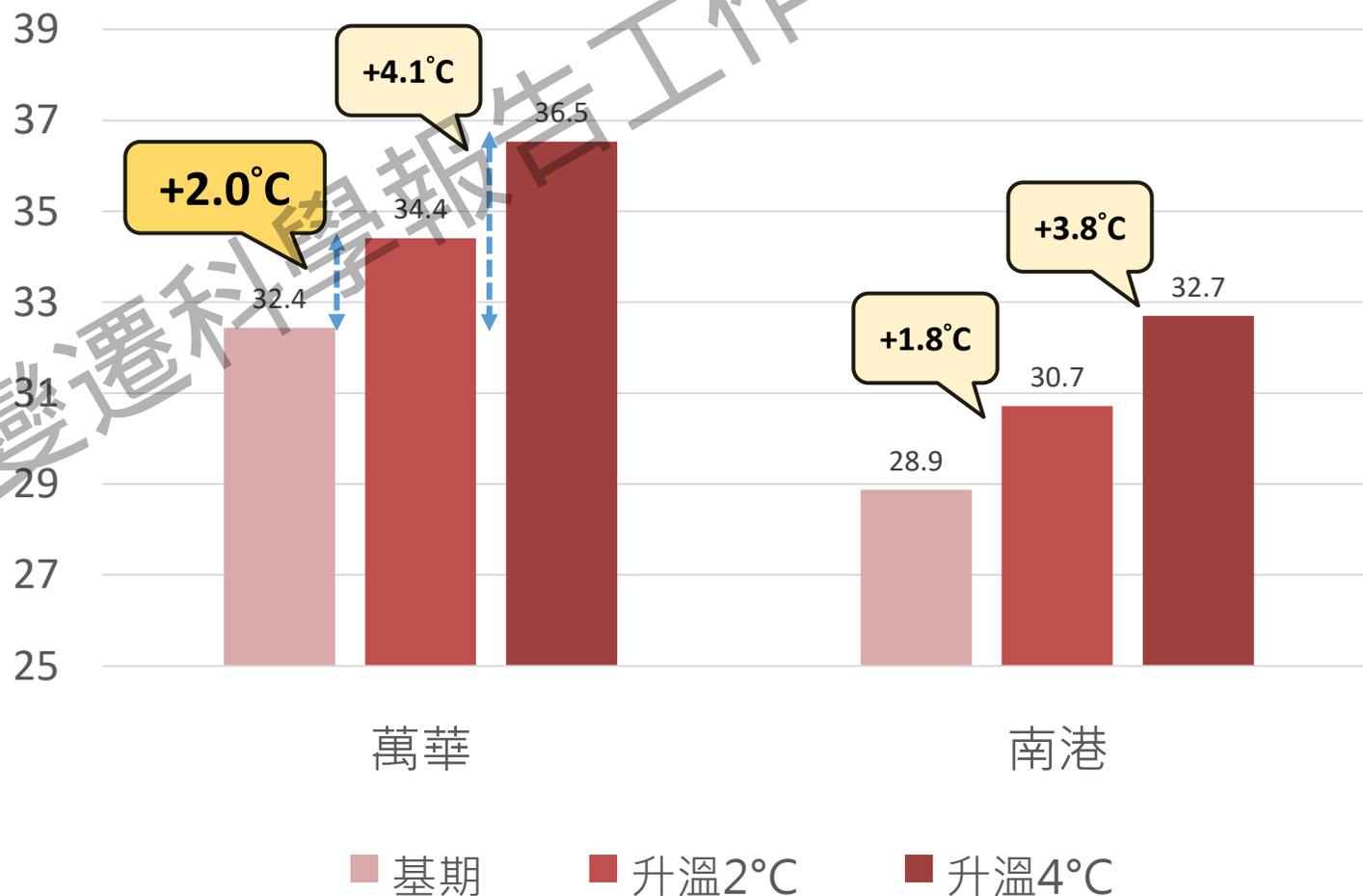
圖片來源：2024臺灣氣候變遷分析系列報告：暖化趨勢下的臺灣極端高溫與衝擊，國家災害防救科技中心。  
<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/book/20240714155450.pdf>

# 缺口有多大?

- ▶ 計算夏季最熱月平均體感溫度，在 $+2^{\circ}\text{C}$ 及 $4^{\circ}\text{C}$ 情境下，與基期(現況)之體感溫度差值。

台北盆地最高溫區在全球升溫 $+2^{\circ}\text{C}$ 情境下，夏季日間體感溫度上升約為 $2^{\circ}\text{C}$ ，此即維持現況舒適性之調適缺口。

7月平均\_體感溫度PET ( $^{\circ}\text{C}$ )

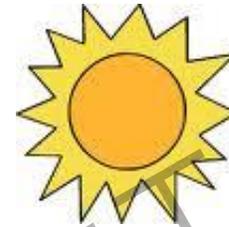


# 對策是什麼？

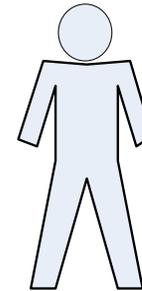
▶ 在全球暖化 + 盆地蓄熱 + 人為開發的壓力下，降低氣溫十分困難，需由改善人體熱舒適性，以降低體感溫度。

▶ 降低體感溫度的微氣候變數：

- 空氣溫度( $T_a$ )降低
- 相對濕度(RH)降低
- 風速( $V$ )提高
- 平均輻射溫度( $T_r$ )降低



阻擋太陽輻射  
 $T_r \downarrow$



增加地表蒸發  
 $T_a \downarrow$

水綠降溫

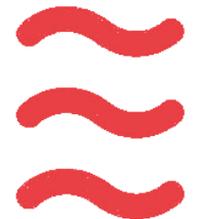
增加水域、綠地  
透水鋪面等LID



提高戶外風速  
 $V \uparrow$  RH  $\downarrow$

通風散熱

建築退縮  
減少建築面寬  
增加棟距



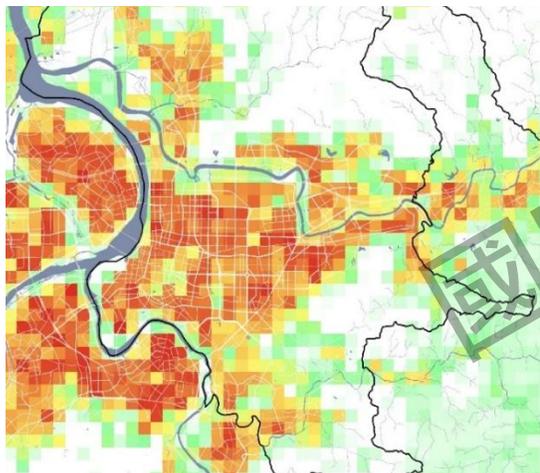
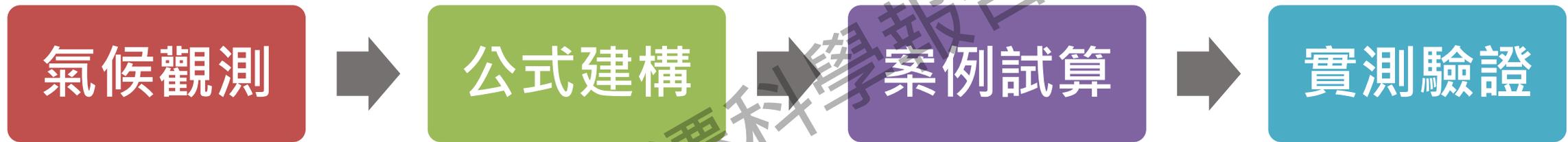
降低人工排熱  
 $T_a \downarrow$

建築節能

提升建築能效等級

# 科學如何導入?

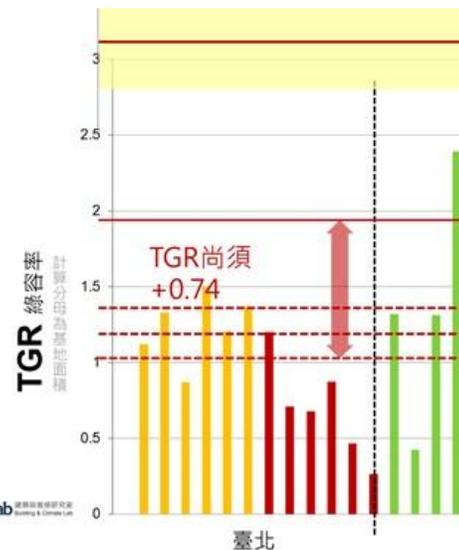
- ▶ 臺北市為臺灣首個使用科學基礎目標倡議 ( Science Based Target initiative, SBTi ) 概念的城市，以未來氣候變遷情境推估，因應高溫化都市發展需求，並逐步導入相關政策。



臺北綠容積(TGR)

$$\frac{\text{總綠覆面積}}{\text{法定空地面積}} =$$

$$\frac{\sum (\text{單株}) \text{投影面積} \times \text{數量} \times \text{降溫係數}}{\text{法定空地面積}}$$



地點	萬華區西昌街
類型	空曠處
HCI	28.2°C
實測	49.4°C



地點	心中山線型公園
類型	空曠處
HCI	28.2°C
實測	52.3°C



地點	心中山線型公園
類型	自然遮蔭
HCI	24.3°C
實測	36.3°C



# 臺北市體感降溫2°C 專案計畫

← 開發基地 → ← 公有土地 →

## 體感降溫減碳

## 建築能效降碳

## 密集綠覆固碳



### 水綠降溫

增加基地**透水及綠化量**，包含屋頂綠化及陽臺、露臺立體綠化面積，以達休憩、綠化、降溫。



### 遮蔭涼適

增加沿街**綠化遮蔭或遮簷設施**，降低太陽輻射熱影響。



### 通風散熱

1. 留設都市風廊。  
2. 建築物量體、臨街面寬、建築棟距、沿街退縮，都市舒適微氣候



### 建築節能

1. 優化**建築外殼設計**。  
2. 提高**設備能效**。  
3. 應用**可再生能源**。



### 綠色基盤

優化城市的**基盤設施**，如道路系統、公園、行道樹、河堤等。

管制構想

執行手法

- **都市計畫專案**訂定**立體綠化設施**得免計建蔽、容積等設置誘因。
- **臺北市新建建築物綠化實施規則**導入綠容率概念，全面提升基地綠化量。

- **都市計畫專案**訂定**連續遮簷設施**得免計建蔽、容積等設置誘因，得依建管規定視為法定騎樓檢討。

- 現行土管院落、鄰幢間隔、個案都市計畫建築對角線、連續牆面線等規範。
- 持續依各區微氣候特徵及需求強化。

- 配合中央**由公而私推廣建築能效管制**。  
**113年2月**→市有**1+**  
**113年5月**→公有**1+**  
**113年7月**→勸導**私有**
- 依**臺北市淨零自治條例**訂定相關法令。

- **公園綠地加強綠化**，由**公園處**訂出達成減碳兼具降溫之階段性目標，擬定具體行動計畫。

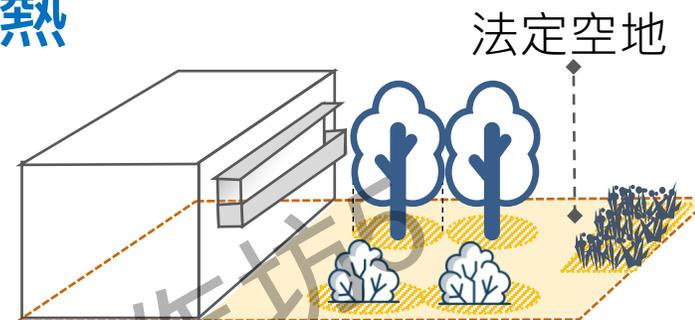
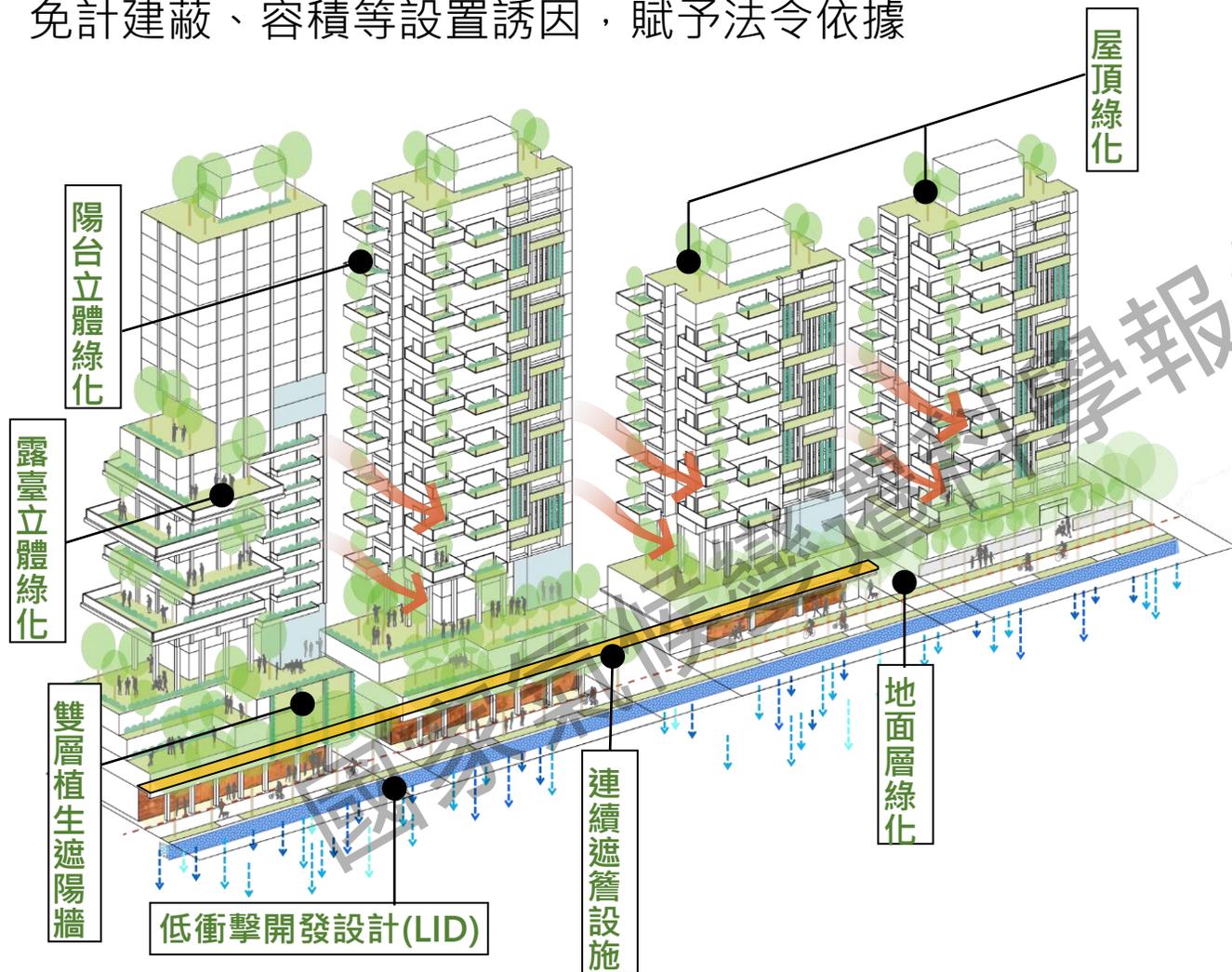
👑 率先全國，全市性推廣

👑 領先全國

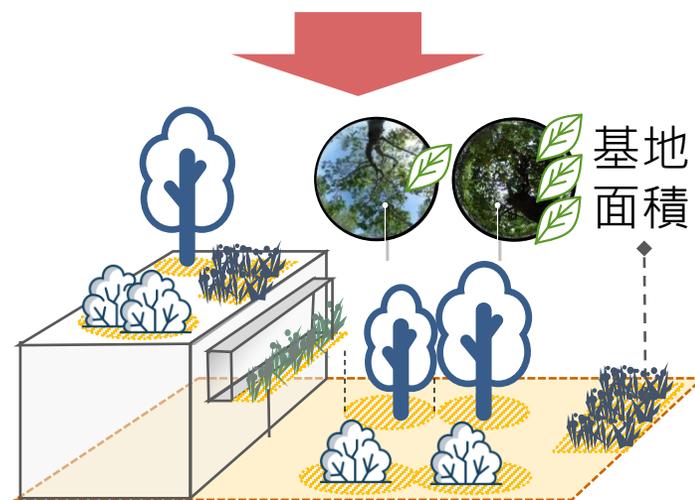
## 體感降溫減碳

# 水綠降溫 + 遮蔭涼適 + 通風散熱

都市計畫專案訂定立體綠化設施及連續遮簷設施得免計建蔽、容積等設置誘因，賦予法令依據



- 以**法定空地**為基準
- 植栽投影面積與數量加成計算



- 以**基地面積**為基準
- 訂定遮蔭係數，鼓勵**高遮蔭**喬木

密植化 X 高遮蔭 X 立體化

# 以公私協力共創溫度正義

## 科學創新

- 採用氣候變遷情境之低碳及宜居路徑

## 行動變革

- 倡議體感降溫 $2^{\circ}\text{C}$ 之台北低碳家園策略

## 正義實踐

- 強調公共利益及市民福祉的包容對策

國家氣候變遷科學報告工作坊5

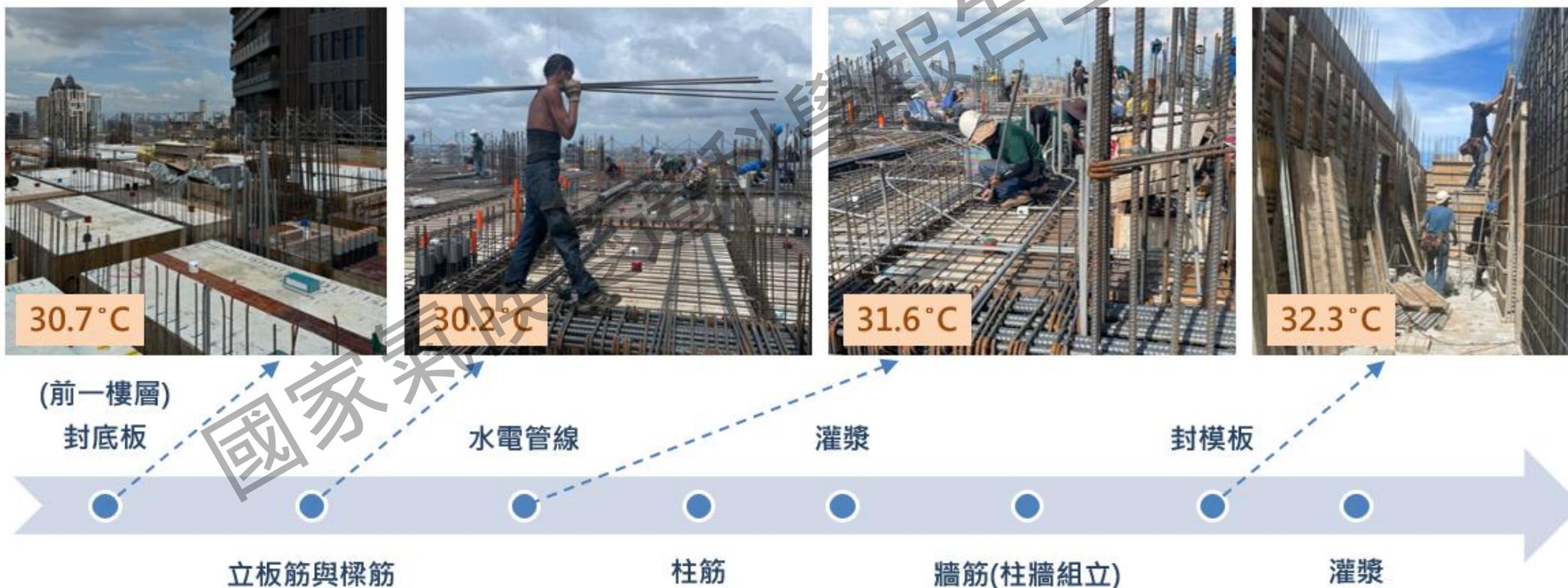
# 都市中的勞工熱舒適

職業安全衛生之法規與熱指標



# 都市中的勞工熱舒適

- ▶ 與一般民眾不同，勞工在承受都市熱島高溫的同時，還須進行生產與勞力活動，將面臨更高的熱危害風險。
- ▶ 實際量測：戶外工作者於營造業各項施工工序WBGT數值 (林子平、王柳臻，2024)

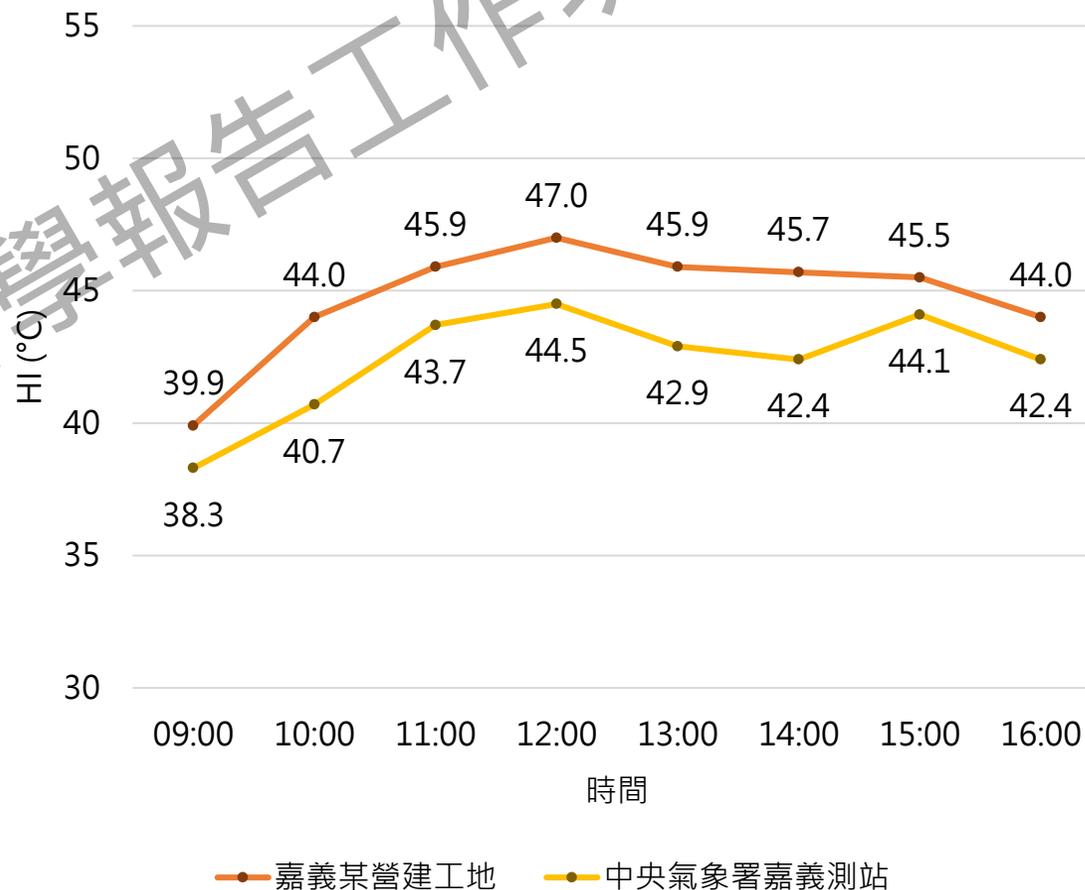


# 營建工地中的高溫

- ▶ 於嘉義某營建工地進行高溫實測，再與鄰近之氣象署嘉義測站數據比較，並分析熱指數表現：
- ▶ 熱指數高峰：營建工地比氣象署測站 +2.5°C。
- ▶ 日間工作的**8小時平均熱指數**：營建**工地**比氣象署測站 +2.3°C。



實測：嘉義某工地與氣象署嘉義測站之熱指數



# 與「熱」相關的法規\_明確訂定熱指標

## 《職業安全衛生設施規則》使用**熱指數(Heat index)**

- ▶ #303-1：雇主使勞工從事戶外作業，其熱危害風險等級達**熱指數**第四級以上者，應於作業場所設置遮陽設施。
- ▶ #324-6：雇主使勞工從事戶外作業，為防範環境引起之熱疾病，應視天候狀況採取的危害預防措施（列項包含降溫、熱適應、預防熱疾病等）

## 《高溫作業勞工工作息時間標準》使用**綜合溫度熱指數(WBGT)**

- ▶ #5：高溫作業勞工如為連續暴露達一小時以上者，以每小時計算其暴露時量平均**綜合溫度熱指數**，...，並依表規定，分配作業及休息時間。



時量平均 綜合溫度 熱指數 (WBGT) °C	輕工作	30.6	31.4	32.2	33.0
	中度工作	28.0	29.4	31.1	32.6
	重工作	25.9	27.9	30.0	32.1
時間比例 每小時作息	連續作業	25%休息 75%作業	50%休息 50%作業	75%休息 25%作業	

# 都市中的風

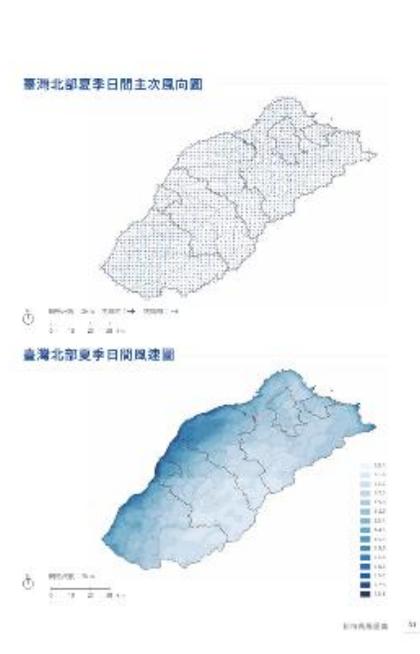
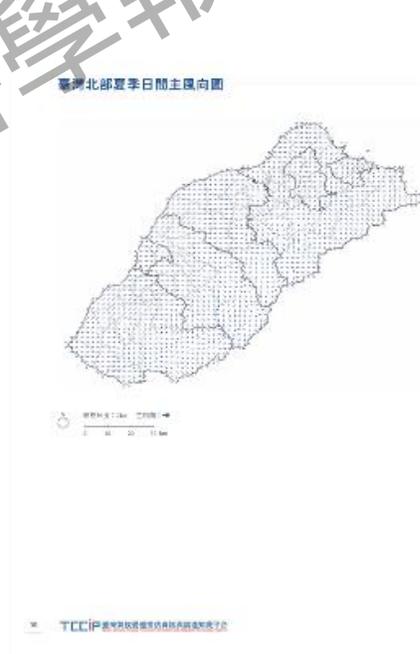
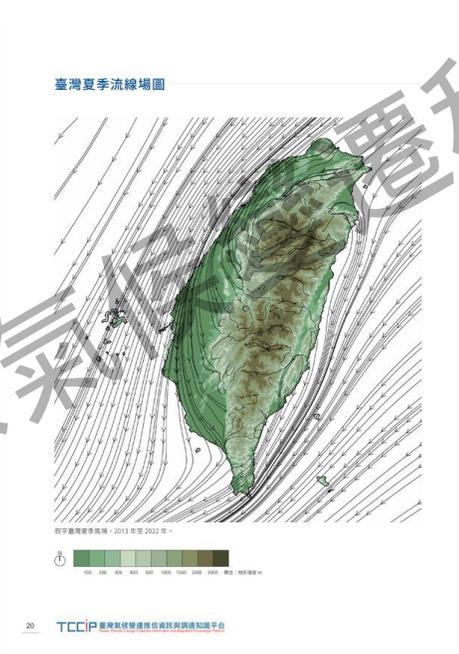
《臺灣都市風場應用圖集》



# 出版《臺灣都市風場應用圖集》

預計2025年完成出版

- ▶ 臺師大地理 洪致文教授 與 成大建築 林子平教授 共同撰寫。
- ▶ 將近十年（2013至2022年）的2km網格化風向、風速資料繪製成圖。
- ▶ 供各級政府規劃與指認風廊；有助建築與都市設計、基地分析、氣流模擬(CFD)等使用。



# 結論

- ▶ 以嚴謹的**科學資訊為基礎**，由學者專家進行**研究、轉譯、** 加**值**後，透過《科學報告》與TCCIP計畫等方式，提供**可下載的數據與圖資**，做為**使用者應用的依據**：
  - **中央、地方政府**：制定法規與調適政策
  - **都市、建築規劃設計者**：創造更環境友善與節能的設計方案
- ▶ 期望能達到實質且更好的**都市熱島降溫效果**，並提升調適成效，以降低未來氣候變遷將帶來的衝擊。

# 謝謝聆聽 敬請指教

**TCCIP** 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台  
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

指導單位  **NSTC** 國家科學及技術委員會  
National Science and Technology Council

計畫辦公室  **NCDR** 行政法人國家災害防救科技中心  
National Science and Technology Center  
for Disaster Reduction