

運用遙測技術探討光電板對於地表溫度的影響： 以臺南地區為例

陳瑋竣^{1*} 王素芬²

摘要

光電板發電為臺灣綠色能源轉型的主要方式，尤其臺南市更多次成為全臺光電板發電量第一名，然而光電板是否對於周圍地表溫度造成影響，至今仍存在諸多爭議。因此本研究旨在利用遙測技術反演地表溫度。透過探討不同時期土地利用與地表溫度的關係進而了解光電板設置對地表溫度的影響。結果顯示地表溫度隨著距光電板距離增加而降低，且距離光電板約 25m 處地表溫度下降幅度最大。此外，從植生地與水體轉換成裸露地或光電板會造成溫度增加，不同區域同時期之裸露地相較於光電板溫度高約 1~2°C。

關鍵詞：光電板、土地利用變遷、地表溫度反演

1. 前言

1.1 研究動機

國家發展委員會於 2022 年正式公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，其中關於光電能源轉型的部分，透過土地多元化的運用管理方式，擴大光電覆蓋的面積，期望於 2030 年達到 30GW、2050 年達到 40~80GW 的發電目標(行政院國家永續發展委員會，2022)。

Piyatadsananon(2016)指出在淨零碳排的趨勢下，太陽能發電量的多寡，攸關這座城市是否有能力承接大型的活動，因此光電板的選址尤為重要。為了大規模且快速達到能源轉型目的，政府透過變更土地地目的方式，將原本屬於農田、魚塢的區域，配合農電共生與漁電共生政策，轉作為光電板的設置區域，不過此舉受到在地居民與農民的反彈，如臺南北門區居民認為光電會使溫度增高且破壞原有生態環境(楊語芸，2024)。賴偉銘(2022)認為在 2017 年以前，臺灣光電板的設置使得農地產生細碎化，

更影響鄉村傳統的自然景觀。若以政策面來說，可以優先選擇未使用或閒置中的魚塢作為優先區，因其不會與其他土地利用產生競合關係，故可以更容易設置光電板而未遭受地方阻攔。

國外對於光電板是否會造成該區域的溫度升高，研究結果不一，Zhang & Xu(2020)利用 MODIS 衛星的熱紅外光波段，評估全球前二十大光電設置場域與地表溫度的影響，研究結果發現裝設光電板後的地表溫度較控制區降低了 0.53°C，但 Barron-Gafford *et al.* (2016)透過溫度計每三十分鐘獲取一筆氣溫資料，以建立三種不同環境下的氣溫模型，以探討都市熱島效應(UHI)與光電熱島效應(PVHI)，研究表明夜間光電板的地表溫度會高於沙漠的地表溫度約 3~4°C。然而在水面上設置則如 Chen *et al.* (2025)利用 Landsat-8 衛星研究中國十五座水面型光電板對於周遭水與是否存在升溫的情況，該研究將每個水面型光電的水域分為近距區(0 ~ 120 m)與遠距區(120 ~ 240 m)，比較水面型光電板建設前後的年平均水面溫度(WST)。研究結果發現建設水面型光電板後會顯著提高鄰近水域的水面溫度，年均溫

¹ 國立彰化師範大學地理學系 碩士

² 國立彰化師範大學地理學系 教授

* 通訊作者, E-mail: cigma520@gmail.com

收到日期：民國 114 年 07 月 15 日

修改日期：民國 114 年 10 月 15 日

接受日期：民國 115 年 03 月 10 日

升高約 1.05K，整體升溫的影響範圍約於 120 m 內。

臺灣地狹人稠，光電板等相關綠設施與居民生活、生產的空間重疊性高，充份了解光電板設置與溫度變化的關係，可以提供綠能政策重要的科學依據，故應用多時期遙測資料探討光電板對地表溫度影響至關重要。

1.2 研究目的

過往國外在探討光電板與地表溫度之間關係的文獻，大多實際前往現地設置氣象觀測儀器，此優點是能夠不分晝夜測量連續性的溫度資料，但其限制也非常明顯，如無法觀測過往的歷史溫度、僅適用於小範圍的樣區觀測、觀測成本過高，消耗人力以及物力、無法獲取研究區全面性的溫度資料等。因此，本研究擬利用遙測技術能同時且大範圍觀測地表溫度，了解地表溫度空間分布的特點，研究中使用 SPOT-7 衛星影像進行監督式分類，將土地利用分為植生地、水體、裸露地、建成地與光電板，並且運用 Landsat-8、9 衛星影像中的熱紅外線波段進行地表溫度反演，進而探討光電板的多時期地表溫度變化。基於上文所述，本研究目的的主要分為以下四點：

- (1) 以 SPOT-7 衛星影像分類建立臺南光電板主要設置區土地利用變遷圖資。
- (2) 透過 Landsat-8、9 進行地表溫度反演，建立臺南地區地表溫度圖資。
- (3) 比較不同土地利用間溫度的變化。
- (4) 了解光電板設置對地表溫度的影響。

2. 研究方法

2.1 研究區域

由於臺南市太陽能光電的發電裝置容量自 109 年起已連續五年為全臺第一名(臺灣電力公司，2024)，更在民國 108 年達到 1GW 的設置目標量，到了民國 110 年底，整體年發電量已達 33 億度，整體容量已佔全國 16.8%，並且有著相對其他縣市公開的光電資料與網站可供民眾查詢。北門區、學甲區、將軍區與七股區位於臺南沿海地區，自古以來

具有農田與魚塭的土地利用方式，光電板的設置則多為地面型與水面型，內陸地區較無法水面型的光電板設置方式，因此在探討光電板與地表溫度之間的關係，可以有更多元的比較結果。

本研究區位於臺南曾文溪口以北的沿海地區，由北到南分別為北門區、學甲區、將軍區與七股區，總面積約為 250.22km²，約占臺南市整體總面積的 11%。研究區東側與鹽水區、下營區、麻豆區、佳里區、西港區為界，西臨臺灣海峽，北側隔著八掌溪與嘉義縣為界，南側隔著曾文溪與安南區為界(圖 1)。

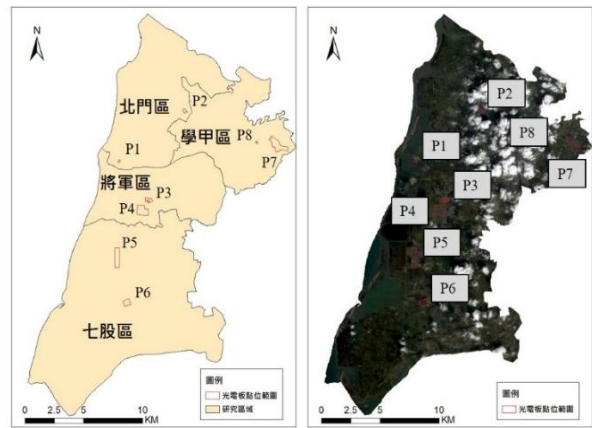


圖 1 研究區與實測點位地圖

2.2 研究材料

本研究衛星影像是用於反演地表溫度並找出光電板設置與地表溫度之關係，因此衛星影像選用的時間點尤為重要。以臺灣發展光電時間沿革，2017 年《電業法》三讀通過，正式開放綠電市場、2018 年政院通過《再生能源發展條例》修正草案、2020 年行政院核定「能源轉型白皮書」(經濟部能源局，2020)。並且參考前人研究得知，若選用時間於夏季，由於連日高溫之影響則地表的熱儲量不易隨時間消散，故在衛星影像中會出現整體研究區高溫之現象，不易反映出不同地物間的溫度差異，若為冬季會出現整體研究區受冷氣團低溫影響，地表的熱儲量不易儲存，故在影像溫度數據上不易反映出光電板溫度之差別。因此，本研究衛星影像選用時間將以春季與秋季為重點，最後選取 2018、2020、2022 年秋季衛星影響之緣故為：

- (1) 時間：時間為秋季時兩種衛星週期均為兩年為

一週期。

(2) 溫度：三個年段之當日平均最高溫與最低溫皆位於 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 內。

選用之衛星影像資料需先經過中央氣象署之氣候資料服務系統，利用臺南氣象測站資料進行當日最高溫及最低溫查詢，以避免該日受到極端天氣現象影響，以維護多時序衛星影像之天氣狀況穩定性，對於衛星影像地表溫度之反演更具樣本一致性。其衛星資料使用分為兩個步驟，首先利用多時序 SPOT-7 衛星影像，進行監督式分類，得到臺南地區土地利用變遷地圖。為了達成此目的，本研究衛星影像篩選標準，時間訂為 2018 年至 2022 年，篩選結果如表 1 所示。其次，利用 Landsat-8、9 衛星影像第 10 波段，透過溫度反演得出臺南地區地表溫度變遷地圖，再與 SPOT-7 衛星影像之臺南地區土地利用變遷地圖做疊合，以找出土地利用與地表溫度之間關係，並著重於探討光電板設置與地表溫度之關係。其衛星影像篩選標準，時間訂為 2018 年至 2022 年，篩選結果如表 2 所示。

並且本研究為驗證衛星遙測反演溫度之準確性，於 2022 年 10 月至 11 月期間，選定 8 處光電場址進行現地觀測。利用 SATO 阿斯曼通風乾溼度計記錄光電板周邊之溫度數值，作為後續與衛星反演溫度對比驗證之基準。此外選定這兩日是由於本研究利用 Landsat-8、9 衛星反演地表溫度的日期也是選定於 10 月中至 11 月中時間，若太早地表熱能可能難以散失，反之太晚則會受到東北季風影響。

2.3 研究方法

2.3.1 影像分類指標與方法

本研究利用最大概似法進行分類，參考前人研究中常見土地使用分類，本研究將臺南地區土地使用分為五類：植生地(Vegetation)、水體(Water)、建成地(Building)、裸露地(Barren Land)、與光電板(PV)設置地。

最大概似法為監督式分類中的一種方法，本研究選定五種不同的訓練樣區，各個訓練區的已知影像像元分別記載著不同的光譜值，最大概似法即透過已知去推算未知像元的光譜值，若最符合某特定分類的機率，則該未知像元即被歸類在該特定類別。

本研究利用監督式分類中的最大概似法進行土地利用分類，原因為以下兩點：

- (1) 先備知識：本研究區位於臺南沿海，該區主要的土地利用為水體(魚塢及海洋)、裸露地以及植生地，少許聚落以及光電板設置區。因此在進行分類時，可以精確圈選訓練樣區，進而提高精度。
- (2) 影像大小：研究區整體面積約 250km^2 ，區域內植生地多為農地為主，但由於臺灣地物邊界細碎且光譜呈現高度異質，容易產生混合像元與類別混淆。在此情境下，若僅採非監督式分類，常因自動分群受初始條件與光譜相似性限制而難以對應實際土地利用類別。

表 1 SPOT-7 影像選用表

日期	雲覆率(%)	圖號	最高溫($^{\circ}\text{C}$)	最低溫($^{\circ}\text{C}$)
2018/11/03	12	CSR_A0003551	30.6	21.3
2020/10/26	50(雲覆不影響)	CSR_A0010650	31.4	23.7
2022/10/12	25	CSR_A0020087	30.5	21.5

表 2 Landsat-8、9 影像選用表

日期	雲覆量(%)	圖號	最高溫($^{\circ}\text{C}$)	最低溫($^{\circ}\text{C}$)
2018/11/15	11	LC08_L2SP_118044_20181115_20200830_02_T1	30.1	19.8
2020/10/19	44 (雲覆不影響)	LC08_L2SP_118044_20201019_20201105_02_T1	32.2	21.6
2022/11/18	21	LC09_L2SP_118044_20221118_20230321_02_T1	31.3	22.2

2.3.2 地表溫度反演

本研究利用 Landsat-8、9 衛星影像進行地表溫度反演，在地表溫度反演前必須先處理衛星影像的參數。例如，輻射強度(L_{TOA} ，式(1))與亮度溫度(覃志豪等，2001)(T_i ，式(2))。本研究地表溫度反演利用 Band_10 進行演算，步驟如下(莊明軒，2020)：

(1) 輻射強度

$$L_{TOA} = M_L \times QDN + A_L \dots\dots\dots (1)$$

其中 L_{TOA} 為衛星接收之輻射強度； M_L 為衛星 Metadata 中 Radiance_mult_band10 之值； A_L 為衛星 Metadata 中 Radiance_add_band10 之值； QDN 為研究區各像元之灰階值。

(2) 亮度溫度

$$T_i = \frac{K_2}{\ln(\frac{K_1}{L_{TOA}} + 1)} \dots\dots\dots (2)$$

其中 T_i 為亮度溫度(克氏溫標，K)； L_{TOA} 為輻射強度可由式(1)求得； K_1 與 K_2 為定值，其所代表著衛星發射前之預設常數，可以從衛星影像 Metadata 中得知。

(3) 地表溫度

$$LST = \left[\frac{T_i}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot T_i}{\rho}\right) \ln(\epsilon)} \right] \dots\dots\dots (3)$$

其中 LST 為地表溫度； λ 波長為 $10.895\mu\text{m}$ ； $\rho = \frac{h \cdot c}{\sigma}$ ， $h=6.626 \cdot 10^{-34}$ 、 $c = 2.998 \cdot 10^8$ 、 $\sigma = 1.438 \cdot 10^{-2}$ ；

$$\epsilon = 0.004 \cdot P_V + 0.986 \cdot P_V = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{min}}\right)^2。$$

利用最大概似法分類出的土地利用與 Landsat-8、9 衛星影像之地表溫度反演結合，用以得出多時期不同土地利用轉變成光電板設置區對於溫度的影響，進而了解光電板設置後對於周遭地區的溫度是否造成影響。

2.3.3 實測光電板溫度

本研究為了找出溫度反演所得出之光電板地

表溫度與實測光電板溫度是否具有差異兩次實測設計如下：

- (1) 實測點位：本研究區橫跨四個行政區，每個行政區各兩個點位，共八個點位。
- (2) 實測時間：為了讓地表有時間增溫，故從早上九點起至下午三點止。
- (3) 實測路線：因為橫跨四個行政區，所以交通的時間成本需進行考量，故第一次實測路線由北往南、由東向西；第二次實測路線由南往北、由西向東。
- (4) 實測方法：(a) 離地高約 1.5m、(b) 濕球溫度計使用純水、(c) 開機實測時間為 15 分鐘。

3. 成果討論

3.1 土地利用變遷分析

3.1.1 土地利用與分類成果

本節將說明利用 SPOT-7 衛星影像經過監督式分類與分類成果檢核，產出多時期的土地利用變遷圖表。其中衛星影像選用的時間分別是 2018/11/3、2020/10/26、2022/10/12，監督式分類採用最大概似法(MLC)將臺南地區土地利用分成五類，分別是水體(Water)、植生地(Vegetation)、建成地(Building)、光電板(PV)與裸露地(Barren)(圖 2)，各時期的面積如表 3 所示。為使得土地利用圖具有信效度，分類完的土地利用圖使用檢核點查核地真資料，以利進行整體精度、生產者精度、使用者精度以及 Kappa 係數檢核計算並產出檢核表(表 4~ 6)，以利進行後續分析。

本研究在進行監督式分類時針對五個不同的土地利用類別，進行選取訓練樣區的方法如下：水體(Water)：該研究區內水體包含海洋、魚塭以及河川，在整體衛星影像判釋時會以 NDWI 輔助訓練，其中海洋分布在西側，在選取訓練樣區時應避免潮汐所帶來之影響，如因退潮而產生的潮埔(Tidal Flat)所帶來的誤差；魚塭則是大部份分布在研究區的西半側，在衛星影像判釋上，魚塭因深淺度與藻類多寡會呈現出不同顏色，在選取訓練樣區時則會將各

顏色之魚塭加入進行訓練；河川則是會避免選取與岸邊過近的像元，以提高訓練樣區的精度。植生地(Vegetation)：該研究區內植生地以農地為主，在整體衛星影像判釋時會以 NDVI 輔助訓練，其中農田在判釋時僅將取樣日期有在耕作農作物的農田判釋成植生地。建成地(Building)：該研究區內建成地以聚落、工廠與道路為主，在衛星影像判釋時則會選取白色屋頂的建物以及選取道路進行訓練。光電板(PV)：在衛星影像判釋時，光電板多呈現矩形並且在每一列光電板之間都有通道，因此在選取訓練樣區時需要分割每個區域的光電板，以避免精度下降。裸露地(Barren)：該研究區內裸露地可分成未種植作物農地、荒地與潮埔，因此在選取訓練樣區時三者皆要進行選取以提高裸露地判釋精度。

在研究區面積變化方面，可以發現水體面積從 2018~2022 年增減幅度並不大，佔研究區整體 35%~40%；植生地面積於 2020 年時相較於它年有明顯下降則推測是該年度植生地轉為裸露地，因此在分類方法中未種植作物之農地則會被判釋成裸露地。為了證實可能是農地種植作物間的變化，從裸露地的面積也可以間接得知，裸露地於 2020 年的面積相較於它年有明顯的上升，佔整體研究區約 41%，若將植生地與裸露地合併起來則可以看出歷年面積從 2018 年 61%略降至 2022 年 53%；建成地面積 2018~2022 年從 3%增加至 6%。從建成地面積來

看，研究區並非是人口密集區，該區的產業也以農業與養殖漁業所屬之第一級產業為主，此外從建成地面積也可以間接證實研究區並非人口移入區，因此政府在能源政策上才會將此地規劃成以大量光電板為主的再生能源區域；最後以光電板面積變化來看，則可以發現從 2018 年 0.2%增加至 2022 年 2%，尤其是從 2020 年之後光電板面積快速增加，代表在 2020~2022 年間有大量光電板落成。

綜觀土地利用分類之檢核表，本研究利用 Google Earth 進行地真檢核，檢核點的生成採取分層抽樣之方式，依照面積比例大小去產出檢核點，從檢核表中可以看出水體與植生地的判釋精度高達 90%以上同時裸露地的判釋精度也達到 85%以上，惟 2018 年因光電板佔整體研究區範圍稀少且光譜特性與水體相似，所以使用者精度僅 20%。此外，建成地於各時期判釋精度差異大，推測是因為選取白色屋頂的光譜訓練樣區較為稀少，所以判釋結果會誤分到其他四類，使得精度下降。但各時期整體精度仍達到 91%~94%、Kappa 值 0.88~0.91，Kappa 值介於 0~1 之間其數值越接近 1 則所代表分類的準確度越可信(林世峻, 2008)。因此，雖然建成地的使用者及生產者精度以及 2018 年光電板的使用者精度未達到本研究預想標準 80%，但分類結果仍然具有相當高之精度。

表 3 各時期土地利用面積

	面積 km^2 (%)		
	2018	2020	2022
水體	113.18(37)	107.08(35)	120.47(39)
植生地	115.23(37)	55.00(18)	111.07(36)
建成地	7.87(3)	18.37(6)	19.21(6)
光電板	0.69(0.2)	1.96(0.6)	5.13(2)
裸露地	73.04(24)	127.60(41)	54.14(17)

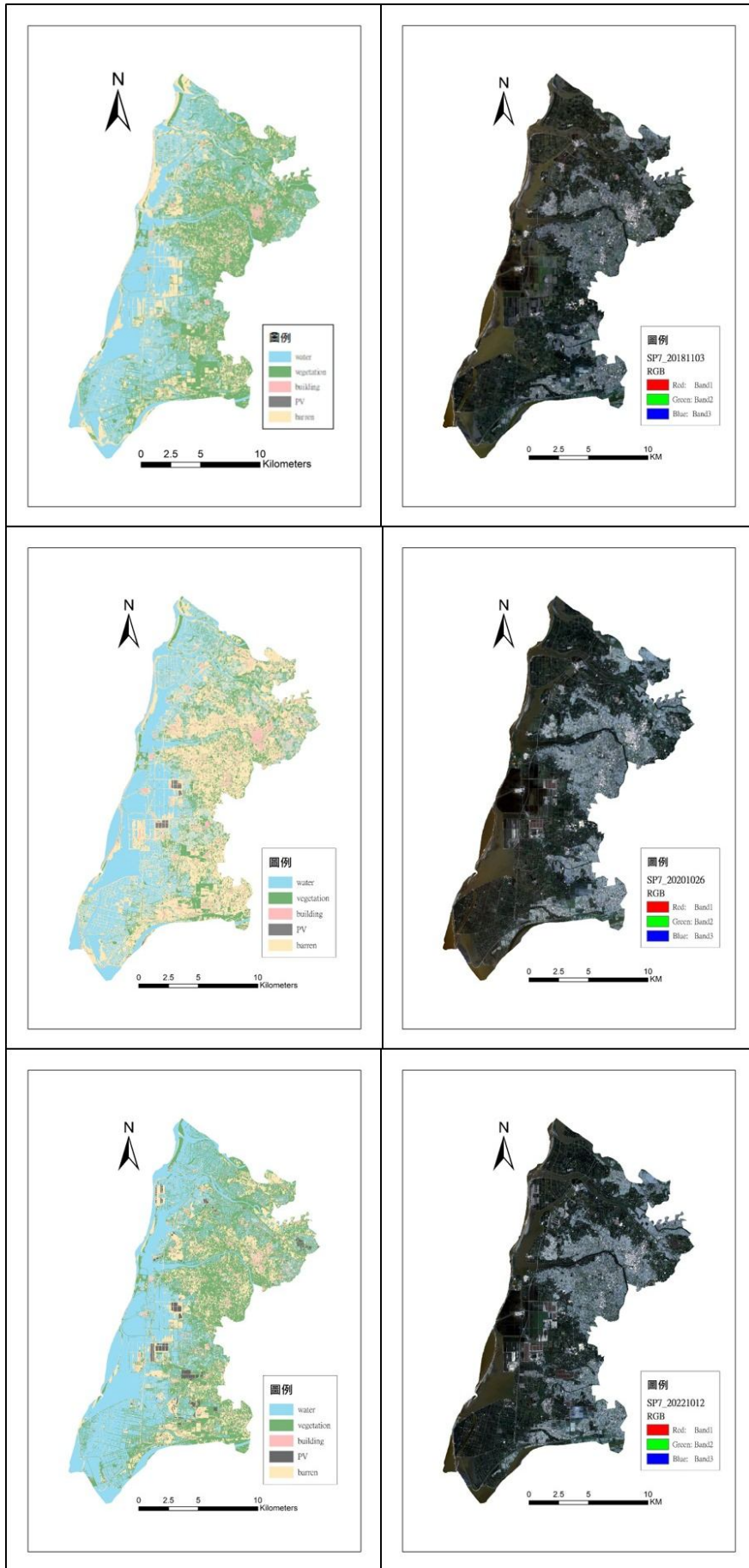


圖 2 2018、2020、2022 地物分類結果

表 4 2018 年土地利用分類檢核表

	水體	植生地	建成地	光電板	裸露地	檢核點數量	使用者精度(%)
水體	183	0	0	0	0	183	100.00
植生地	1	173	2	0	9	185	93.51
建成地	3	0	10	0	0	13	76.92
光電板	5	0	2	2	1	10	20.00
裸露地	4	1	9	0	104	118	88.14
檢核點數量	196	174	23	2	114	509	
生產者精度(%)	93.37	99.43	43.48	100.00	91.23		
總體精度(%)		92.73		Kappa			0.89

表 5 2020 年土地利用分類檢核表

	水體	植生地	建成地	光電板	裸露地	檢核點數量	使用者精度(%)
水體	173	0	0	0	0	173	100.00
植生地	1	88	0	0	0	89	98.88
建成地	4	3	20	0	4	31	64.52
光電板	1	0	1	8	0	10	80.00
裸露地	13	2	12	0	177	204	86.76
檢核點數量	192	93	33	8	181	507	
生產者精度(%)	90.10	94.62	60.61	100.00	97.79		
總體精度(%)		91.91		Kappa			0.88

表 6 2022 年土地利用分類檢核表

	水體	植生地	建成地	光電板	裸露地	檢核點數量	使用者精度(%)
水體	193	1	0	0	0	194	99.48
植生地	3	167	0	0	8	178	93.82
建成地	4	1	22	1	4	32	68.75
光電板	1	0	0	9	0	10	90.00
裸露地	0	0	7	0	80	87	91.95
檢核點數量	201	169	29	10	92	501	
生產者精度(%)	96.02	98.82	75.86	90.00	86.96		
總體精度(%)		94.01		Kappa			0.91

3.1.2 土地利用變遷成果

結合上述地物分類結果，本研究將進行土地利用之時空變遷分析，此分析共可分為三個時間段，分別是 2018~2020 年、2020~2022 年以及 2018~2022 年，利用上述兩個時期相減進而得出土地利用變遷地圖(圖 3)以及土地利用變遷矩陣表(表 7~9)以利觀察不同時期的變化，找出各時期不同地物分類的增減與地物間的轉換。本研究分析 2018~2020 年土地利用變遷，根據分類變遷矩陣可以發現有

14.49 km²的水體轉變成裸露地，其原因可能為蓋光電板前需要進行整地的作業，同時也有 11.19 km²的裸露地變為水體，此轉變可能跟魚塢是否放水有關係。另外植生地變成裸露地的現象，其轉變則可能跟農民的農作物收穫期程有關，因為適逢嘉南平原地區二期稻作收成時間為每年約 10 月下旬至 11 月中旬，所以 2018 年植生地有 58.77 km² 轉為裸露地，在此時期植生地也有 5.65 km² 成為建成地。至於裸露地也有 1.31 km² 轉變為光電板，為此時期變為光電板最多的土地利用類別。

2020~2022 年土地利用變遷，從上文可以得知光電板相較於 2018~2020 年，在面積上有大量的增加，因此從分類變遷矩陣及變遷表可以發現光電板主要增加的原因是來自水體與裸露地的轉變，少部分則來自植生地。水體轉變為光電板的面積 1.15 km²；裸露地轉變為光電板的面積 1.82 km²；植生地轉變為光電板面積則 0.72 km²。此外，從中可以得知建成地轉變為光電板僅 0.1 km²，原因可能為該區域建成地多為聚落及工廠，僅工廠屋頂新設太陽能板在判釋時能夠被成功判釋出來，但聚落中民宅屋頂之光電板因面積較小之關係，利用 SPOT7 衛星影像因受限於空間解析度之關係則較難被判釋及計

算其面積。在此時間段也可以推論出二期稻作尚未收成，因為裸露地有 58.28 km² 再度轉變為植生地。

本研究綜觀分析 2018~2022 年，總共四年間土地利用之變遷，從分類結果可以發現主要有水體、植生地與裸露地為變成光電板的土地利用類別，其變遷的面積為 1.58 km²、1.55 km² 與 1.90 km²。植生地有 18.73 km² 變為裸露地，裸露地有 20.03 km² 變為植生地，光電板則較少轉作其他土地利用類別。若以整體土地利用類別面積增減可以看出植生地與裸露地皆減少，增加最多者則是建成地有 11.35 km²。

表 7 2018~2020 年土地利用變遷矩陣

		2020					LULC2018
2018	土地利用	水體	植生地	建成地	光電板	裸露地	
	水體	94.37	1.84	1.97	0.49	14.49	113.16
	植生地	1.02	49.61	5.65	0.14	58.77	115.19
	建成地	0.43	0.20	5.81	0.01	1.42	7.87
	光電板	0.13	0.02	0.13	0.02	0.38	0.68
	裸露地	11.19	3.30	4.79	1.31	52.51	73.10
	LULC2020	107.14	54.97	18.35	1.97	127.57	202.32
	面積變化	-6.02	-60.22	10.48	1.29	54.47	單位：km ²

表 8 2020~2022 年土地利用變遷矩陣

		2022					LULC2020
2020	土地利用	水體	植生地	建成地	光電板	裸露地	
	水體	98.92	1.39	1.51	1.15	4.09	107.06
	植生地	0.95	46.97	2.06	0.72	4.30	55.00
	建成地	1.88	4.38	6.05	0.10	5.95	18.36
	光電板	0.41	0.03	0.02	1.33	0.17	1.96
	裸露地	18.29	58.28	9.57	1.82	39.62	127.58
	LULC2022	120.45	111.05	19.21	5.12	54.13	192.89
	面積變化	13.39	56.05	0.85	3.16	-73.45	單位：km ²

表 9 2018~2022 年土地利用變遷矩陣

		2022					LULC2018
2018	土地利用	水體	植生地	建成地	光電板	裸露地	
	水體	98.95	4.52	3.29	1.58	4.83	113.17
	植生地	2.32	85.64	6.98	1.55	18.73	115.22
	建成地	0.67	0.77	3.84	0.02	2.56	7.86
	光電板	0.21	0.10	0.13	0.08	0.17	0.69
	裸露地	18.30	20.03	4.97	1.90	27.83	73.03
	LULC2022	120.45	111.06	19.21	5.13	54.12	216.34
	面積變化	7.28	-4.16	11.35	4.44	-18.91	單位：km ²

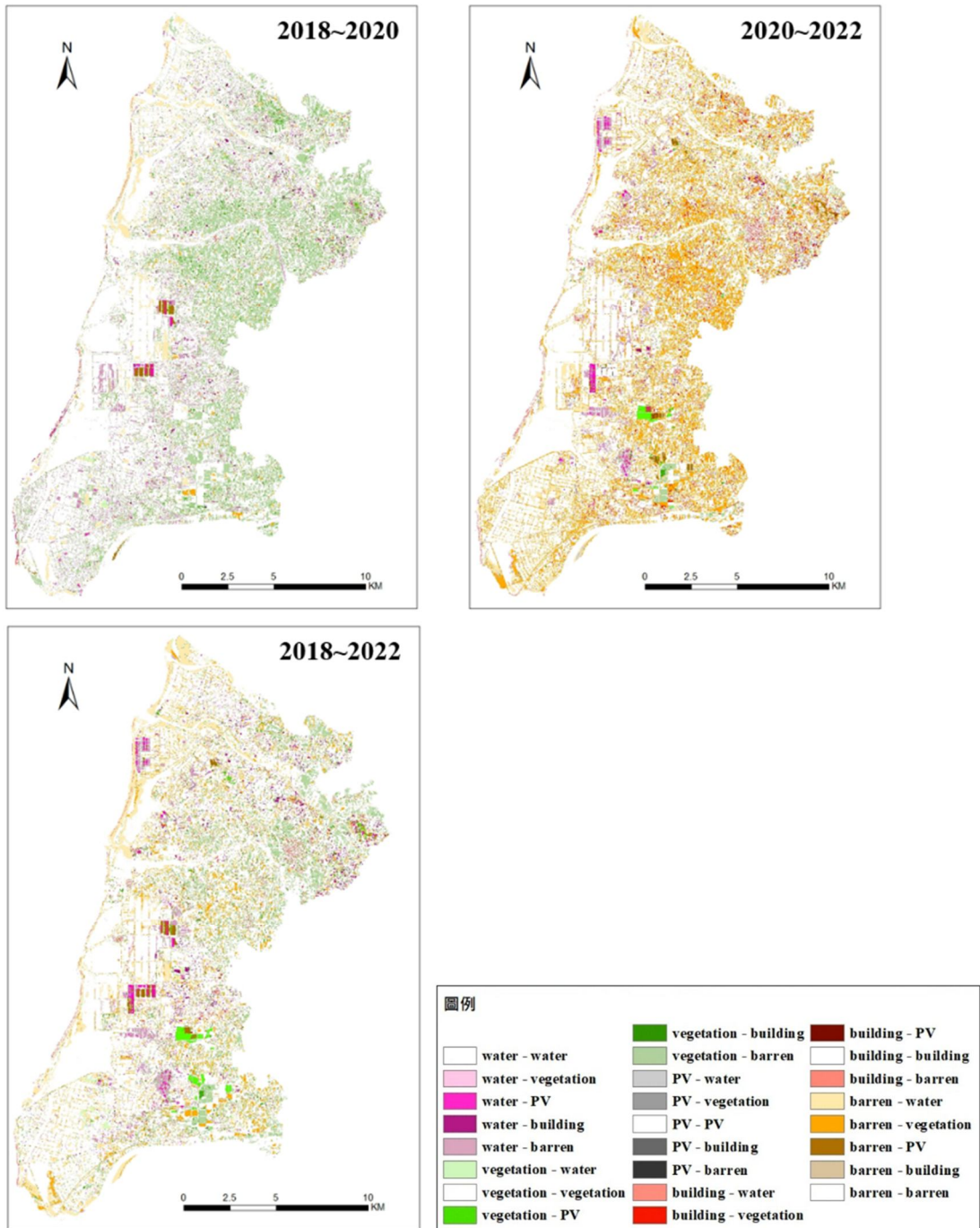


圖 3 多時期土地利用變遷地圖

3.2 地表溫度變遷分析

3.2.1 地表溫度反演成果

本研究旨在了解光電板設置對於地表溫度 (LST) 的影響，因此本節將分析多時期地表反演溫度 (圖 4) 及各時間段地表溫度變遷成果 (圖 5)。

本研究區整體地表溫度分布情形，大致上可以分成西側與東側進行探討。研究區西側為臺灣海峽

以及魚塢為主，因為其土地利用是水體的關係，所以整體地表溫度較東側低；東側之土地利用則較為多元，如植生地、建成地與裸露地，由於建成地與裸露地比熱小之緣故，所以白天時的地表溫度較高，反之若為植生地，則地表溫度相較於上述兩者還要低。

本研究地表溫度反演與永康測站的歷史氣溫 (表 10) 對比之下可以發現，2022 年地表溫度反演之

最高溫與平均溫度與當年度氣溫之最高溫與平均溫度相比多了 2°C 與 0.8°C，顯示地表的熱能可能較大氣中的溫度不易散失，而使地表增溫現象較它年明顯，然而 2018 與 2020 年氣溫大多都高於地表溫度。

3.2.2 地表溫度變遷成果

本研究依據地表溫度反演結果產製出地表溫度變遷圖，2018~2020 年的地表變遷圖可以看出研究區東側有增溫的情形發生，若對照土地利用分類變遷圖與增溫的位置，其原因可能與 2018~2020 年間有 58.77 km² 的植生地轉為裸露地有關，因為裸露地的地表溫度在白天時會高於植生地的地表溫度，所以會有增溫的情形發生。另外在研究區的西側則大多呈現降溫的情形；2020~2022 年的地表變遷圖可以看出研究區東側有降溫的情形發生，若對照土地利用分類變遷圖與降溫的位置，其原因可能

與 2020~2022 年間有 58.28 km² 的裸露地轉為植生地有關，因為植生地的地表溫度在白天時會低於裸露地的地表溫度，所以會有增溫的情形發生，因此綜整 2018~2020 年與 2020~2022 年的地表溫度變遷圖，可以發現農地在收割二期稻作前後會對地表溫度產生影響，意即農地的地表溫度變化不全與光電設置直接相關，而是與耕作時序密切關聯。另外在研究區的西側造成地表溫度的增加呈現增溫的情形，原因可能為 2020~2022 年的地表溫度反演後，在最高溫、最低溫與平均溫度均有增加的情形，增加幅度分別為 2.3°C、2.4°C 與 2.3°C，增加幅度相較於 2018~2020 年來得明顯；若綜觀 2018~2022 年的地表溫度變遷圖與土地利用分類變遷圖進行比較，則可以發現植生地面積比例降低 1%，但裸露地面積比例降低 7%，因此推測出在研究區東側的農地可能會發生降溫的情況。另外建成地從 3% 提升至 6%，故在聚落的部分則呈現增溫的現象。

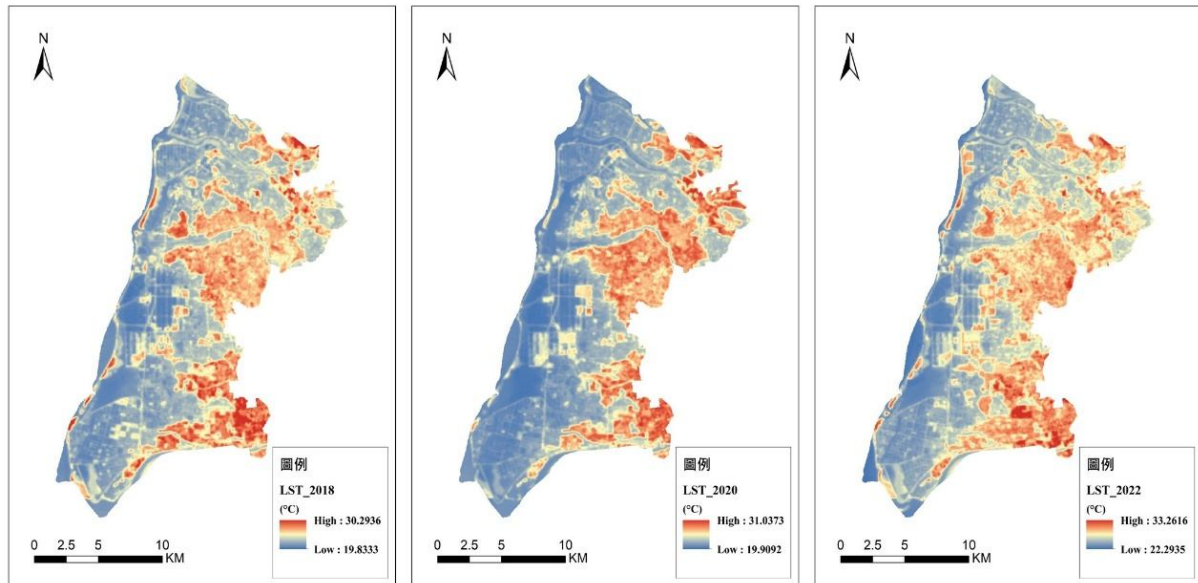


圖 4 多時期地表溫度分布圖

表 10 多時期氣溫與地表溫度整理表

日期		2018/11/15	2020/10/19	2022/11/18
最高溫	氣溫	30.1	32.2	31.3
	地溫	30.3	31.0	33.3
最低溫	氣溫	19.8	21.6	22.2
	地溫	19.8	19.9	22.3
平均溫度	氣溫	24.0	25.8	25.3
	地溫	23.4	23.8	26.1

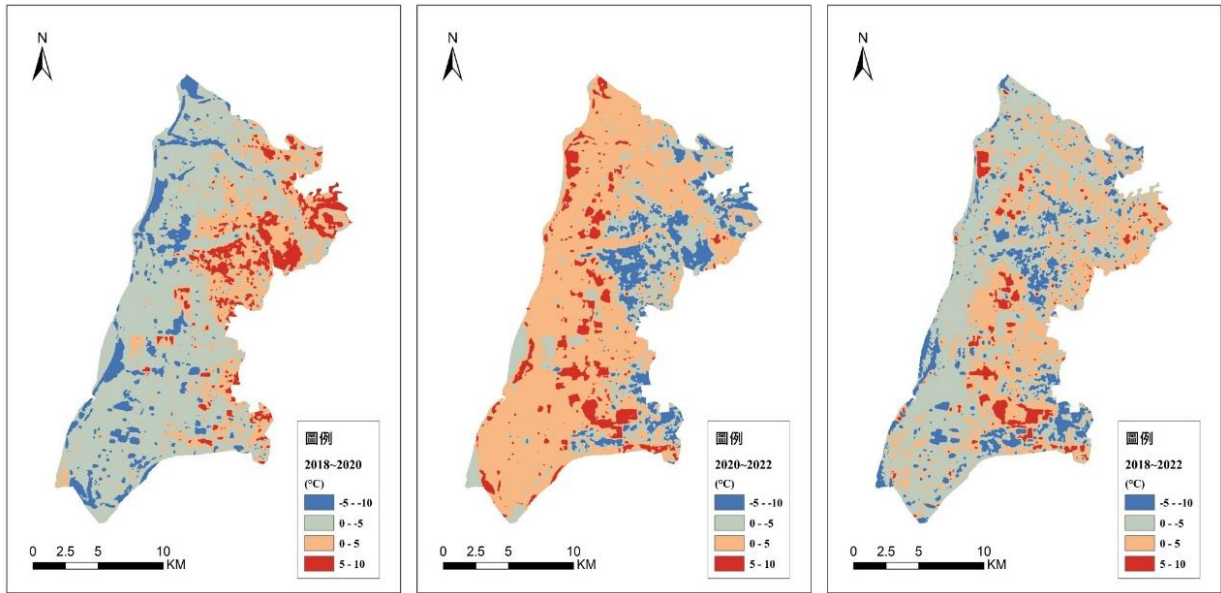


圖 5 多時期地表溫度變遷圖

3.3 光電板地表溫度變遷分析

3.3.1 光電板與地表溫度變遷成果

本研究利用地物分類結果萃取出光電板的範圍再疊圖各時期地表溫度圖，製作出光電板地表溫度圖並將光電板的區域利用環域分析向外拓展 25m、50m、100m 與 200m 並將圖中平均溫度製作成折線圖，以利觀察光電板周邊溫度隨距離的變化(圖 6)。

本研究發現 2018 年的光電板溫度可能因為研究區光電板面積在這三個時期最少的關係，故在 0 ~ 25m 的距離下降約 0.5°C，25m ~ 200m 的距離下降約 0.2°C；2020 年的光電板溫度在 0 ~ 25m 的距離下降約 1.5°C，25m ~ 200m 的距離下降約 0.9°C；2022 年的光電板溫度在 0 ~ 25m 的距離下降約 0.4°C，25m ~ 200m 的距離下降約 0.8°C，此外 2022 年溫度明顯高於它年是由於該年的地表溫度反演的均溫相較於 2018 與 2020 年多了 2.7°C 及 2.3°C。綜上所述，本研究推論在不細究光電板周遭的土地利用是何種方式的前提下，光電板與周遭溫度的關係在 0 ~ 25m 相較於 25m ~ 200m 有明顯下降的現象產生。

3.3.2 光電板溫度與實測溫度之比較

本研究將兩次實測紀錄中的濕球溫度與反演

之地表溫度(以下統稱為溫度)以及多時期實測點位土地利用結合進行分析(表 11)。其中 2024(2)由於觀測日期為 11 月，因此整體天氣受東北季風南下影響，因此有降溫之情形，所以可以先忽略不計。

首先 P1 在 2022 年以前皆為水體，溫度約為 22°C，但當 2022 年土地利用轉為光電板後，溫度持續上升至 26°C，整體增溫 4°C；P2 從 2018 年起為植生地加上裸露地後於 2020 年轉為裸露地加上光電板，因為有裸露地之緣故，所以整體溫度皆維持在 27°C，當裸露地完全變為光電板時則溫度下降 0.8°C；P3 於 2020 年之前均為水體，經 2022 年為了蓋光電板而整地變為裸露地至 2024 年均為光電板，因此溫度有先升後降的現象，從約 22°C 上升至 29°C 再下降至約 28°C，該點依然增溫約 6°C；P4 於 2018 年為裸露地，而後則變為光電板，溫度從約 26°C 上升至 28°C；P5 於 2020 年前為水體及少許裸露地，2022 年後為光電板，溫度從約 24 ~ 25°C 上升至 27°C；P6 與 P3 的土地利用轉變相同，因此溫度也呈先升後降的變化，從約 21°C 上升至 28°C 再下降至約 27°C，該點依然增溫約 6°C；P7 從 2018 年起為水體加上裸露地後於 2020 年轉為裸露地加上光電板，之後則為光電板，溫度從約 23°C 上升至約 27°C 再下降至約 26°C；P8 於 2020 年前為植生地加上裸露地至 2022 後變為光電板，溫度約 27°C 上升至約 28°C 再下降至 27°C。

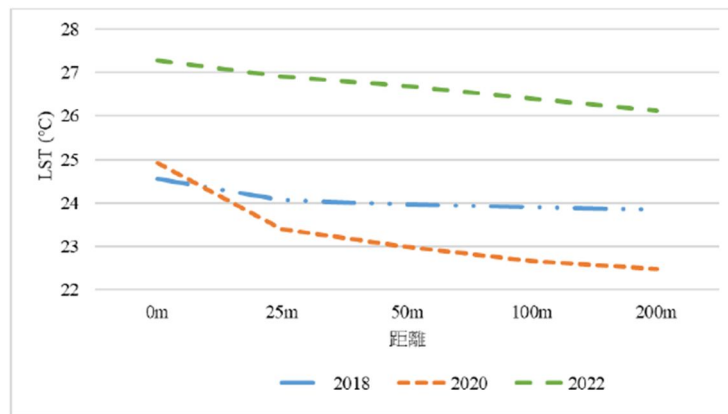


圖 6 各時期光電板周邊溫度與距離關係圖

表 11 多時期點位土地利用變遷與溫度表

	土地利用					
	2018	2020	2022	2024(1)	2024(2)	
	地溫(°C)			氣溫(°C)		
點位	P1	水體 (21.8)	水體 (22.2)	光電 (26.2)	光電 (26.7)	光電 (22.3)
	P2	植生+裸露 (27)	裸露+光電 (27.5)	光電 (27.6)	光電 (26.8)	光電 (22.8)
	P3	水體 (22.3)	水體 (22.6)	裸露 (29.4)	光電 (27.5)	光電 (22.4)
	P4	裸露 (26.2)	光電 (26.6)	光電 (28.7)	光電 (27.2)	光電 (22.4)
	P5	水體+裸露 (25.4)	水體+裸露 (24.2)	光電 (27.4)	光電 (27.3)	光電 (21.8)
	P6	水體 (21.6)	水體 (21.3)	裸露 (28.3)	光電 (27.1)	光電 (21.5)
	P7	水體+裸露 (22.8)	裸露+光電 (27.5)	光電 (27.4)	光電 (26.5)	光電 (23)
	P8	植生+裸露 (26.5)	植生+裸露 (27.8)	光電 (28.4)	光電 (26.8)	光電 (23)

綜上所述，本研究由溫度與土地利用之關係歸納出以下三點：

- (1) 裸露地是影響該區域溫度的最大因子，若是植生地、水體轉為裸露地則溫度都有所增加。
- (2) 若一地為混合式土地利用(如：水體加上裸露地)，則該區域溫度受裸露地的影響會最大。
- (3) 同一區域多時期土地利用為植生地或水體轉變為光電板時皆會使溫度增加；不同區域同時期土地利用為裸露地或是光電板時，光電板溫度較裸露地低約 1 ~ 2°C。

3.4 討論

衛星影像於特定土地利用分類判釋精度之問題：

由於本研究區範圍為 250.22 km²，因此在衛星影像的選擇上需要將分類精度與像元大小間作取捨，以避免檔案容量過大難以分析的情形產生，加上本研究區有土地利用破碎化的情形發生，故整體判釋會更加困難。又或者水體與光電板的反射光譜太過相近，研究區中的魚塢會因為其深淺、菌種不同造成顏色不同，導致 2018 年土地利用分類圖中有魚塢錯判成光電板的情形發生；聚落屋頂與海上之浪裂線在影像判讀上皆為白色，故在分類中也會將水體判釋成建成地，導致誤判的情形發生。

另外本研究並未探討風速對於地表溫度之關係，因為風會帶走地表的熱能，因此風速越大地表熱能散失越多，例如：本研究在第二次實測氣溫時，因東北季風南下、平均風速大與雲量覆蓋多之原因，所以相較於第一次觀測整體氣溫下降約 5°C。在實地測量氣溫的同時，本研究發現光電板周圍會留有維修可以通行之通道，這些通道的土地利用多為裸露地，因此依本研究之結論，裸露地與光電板會造成溫度上升，所以地表溫度會高於植生地或是水體。

4. 結論與建議

4.1 結論

本研究首先利用 SPOT-7 影像結合最大概似法進行臺南地區多時期土地利用的影像判釋，影像分類後的總體精度達 90% 以上，分類結果顯示研究區西側大多為魚塢與海洋等水體的土地利用；東側則以植生地與裸露地為主的農田以及聚落的建成地為主要的土地利用，因為衛星影像拍攝日期約於 10 月中至 11 月中，與嘉南平原農民二期稻米收割時期相符，故從多時期的土地利用可以發現植生地與裸露地之間面積變化約 60 km² 相較於他者土地利用來說最為明顯。另外光電板的範圍從 2018 至 2022 年占整體研究區 0.2% 增加至 2%，其中轉變為光電板的土地利用大多來自裸露地與水體兩者，從現地調查樣區中也可以看出光電板下方的土地多為裸露地以及水體等土地利用，因此在整體研究區以地面型與水面型光電為主，屋頂型光電為輔。

其次為取得整體研究區之地表溫度，因此本研究利用 Landsat-8、9 衛星影像反演地表溫度，從地溫變遷結果可以發現不同土地利用之間的變遷，會導致地表溫度的上升或是下降。例如：因為二期稻米收割的緣故，所以從植生地變為裸露地就會造成地表溫度的增加；因為受到潮汐的影響，所以從水體變為潮埔(裸露地)也會造成地表溫度的增加。

最後本研究透過土地利用與地表溫度的反演找出光電板對於周遭區域是否具有影響，以光電板為中心向外拓展 25m、50m、100m 與 200m，本研究發現在僅以距離作為唯一變數的情況下，離光電

板越遠溫度會越低。此外，若運用實測溫度與地表溫度結合去探討光電板興建前後期不同土地利用之間對溫度的影響，可以發現同一區域多時期土地利用為植生地或水體轉變為光電板時皆會使溫度增加；不同區域同時期土地利用為裸露地或是光電板時，光電板溫度較裸露地低約 1~2°C。

4.2 建議

本研究係利用 Landsat-8、9 衛星影像反演地表溫度，惟受衛星取樣時間與週期限制，無法全時進行監測，本研究為補足此缺口已實際至研究區測量氣溫，但受限於人力、物力、財力，仍無法進行全盤性的監測，尤其是研究夜間溫度的變化，建議未來可以設置溫度自動監測儀器，以更全面性的說明光電板對地表溫度是否具有影響。再者，前人研究多以 Landsat 系列衛星影像一併完成地物分類與地表溫度反演，本研究為求分類精準度，因此地物分類利用 SPOT-7 影像其優點為空間解析度為 6m，地表溫度反演則沿用 Landsat-8、9 衛星影像其空間解析度 120m，因此本研究利用 Arcgis 中 Resampling 方法將空間解析度同樣降為 6m，以利後續疊圖分析。惟因農地破碎化與研究區中屋頂型光電板面積範圍小之緣故，故較難以進行精確的分類，期待後續研究能利用解析度更佳之衛星進行小範圍長時間的研究以補足研究缺口。

此外，在光電板周遭若有聚落的存在，風向是否會將光電板產生之熱能吹往聚落，加上聚落本身之熱島效應，有可能使聚落溫度明顯增加。因此，未來相關研究可以結合都市熱島效應議題，利用熱島效應相關計算公式，從光電板著手研究光電板是否會造成熱島效應等議題。

參考文獻

行政院國家永續發展委員會，2022。臺灣 2050 淨零排放路徑，<https://ncsd.ndc.gov.tw/Fore/nsdn/about0/2050Path>，引用 2025/3/11。[National Council for Sustainable Development, Executive Yuan, 2020. Taiwan's Pathway to Net-Zero Emissions by 2050,

- Available at: <https://ncsd.ndc.gov.tw/Fore/nsdn/about0/2050Path>, Accessed March 11, 2025. (in Chinese)]
- 林世峻、莊智璋、何世華、林昭遠，2008。植生指標對影像分類準確度影響之研究，水土保持學報，40(2)：181-193。[Lin, S.C., Chuang, C.W., Ho, S.H., and Lin, C.Y., 2008. Effect of the vegetation index on the accuracy of image classification, *Journal of Soil and Water Conservation*, 40(2):181-193. (in Chinese)]
- 莊明軒，2020。台中地區土地利用與都市熱島效應之時空變遷之分析，國立臺灣師範大學地理學系碩士論文。[Chuang, M.-S., 2020. Multi-temporal land use land cover change and urban heat island effect analysis in Taichung, Master Thesis, National Taiwan Normal University. (in Chinese)]
- 覃志豪, Zhang, M.H., Arnon, K., Pedro, B., 2001。用陸地衛星 TM 6 數據演算地表溫度的單窗算法，地理學報，56(4)：456 - 466，DOI：10.11821/xb200104009。[Qin, Z.H., Zhang, M.H., Arnon, K., and Pedro, B., 2001. Monowindow algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM6 data, *Acta Geographica Sinica*, 56(4):456-466, DOI:10.11821/xb200104009. (in Chinese)]
- 楊語芸，2024。鹽田夕照變「光電海」，台北門 33 公頃欲開發光電，雲嘉南風管處：濕地鹽田珍貴，不應開發，<https://www.newsmarket.com.tw/blog/210936/>，引用 2025/3/12。[Yang, Y.Y., 2024. Salt field sunsets become a “sea of solar panels”: 33 hectares in Beimen, Tainan planned for solar development; Southwest Coast National Scenic Area Administration says valuable wetland salt fields should not be developed, Available at: <https://www.newsmarket.com.tw/blog/210936/>, Accessed March 12, 2025. (in Chinese)]
- 經濟部能源署，2020。能源轉型白皮書，https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/content/Content.aspx?menu_id=13178&sub_menu_id=13180，引用 2025/3/11。[Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs, 2020. Energy Transition White Paper, Available at: https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/content/Content.aspx?menu_id=13178&sub_menu_id=13180, Accessed on March 11, 2025. (in Chinese)]
- 臺灣電力公司，2024。再生能源台灣電力公司-購入電力概況，https://www.taipower.com.tw/2289/2363/2380/2385/10625/normalPost#block_06455604-b745-4a9d-a21b-765acfae158a，引用 2025/3/12。[Taiwan Power Company, 2025. Renewable Energy – Overview of Power Purchases by Taipower, Available at: https://www.taipower.com.tw/2289/2363/2380/2385/10625/normalPost#block_06455604-b745-4a9d-a21b-765acfae158a, Accessed March 12, 2025. (in Chinese)]
- 賴偉銘，2022。探討漁電共生發展與區域土地利用政策之空間關聯—以臺南市沿海養殖漁業場域為例，逢甲大學都市計畫與空間資訊學系碩士論文。[Lai, W.M., 2022. Exploring the spatial relationship between the development of fishery and electricity symbiosis and regional land use policies - A case study of Tainan coastal aquaculture, Master Thesis, Feng Chia University. (in Chinese)]
- Barron-Gafford, G.A., Minor, R.L., Allen, N.A., Cronin, A.D., Brooks, A.E., and Pavao-Zuckerman, M.A., 2016. The photovoltaic heat island effect: Larger solar power plants increase local temperatures, *Scientific Reports*, 6(1): 35070, DOI: 10.1038/srep35070.
- Chen, D., Peng, Q., Lu, J., Huang, P., Liu, Y., and Peng, F., 2025. Assessing effect of water photovoltaics

- on nearby water surface temperature using remote sensing techniques, *Advances in Space Research*, 75(1): 138-147, DOI: 10.1016/j.asr.2024.08.040.
- Piyatadsananon, P., 2016. Spatial factors consideration in site selection of ground-mounted PV power plants, *Energy Procedia*, 100: 78-85, DOI: 10.1016/j.egypro.2016.10.135.
- Zhang, X., and Xu, M., 2020. Assessing the effects of photovoltaic power plants on surface temperature using remote sensing techniques, *Remote Sensing*, 12(11): 1825, DOI: 10.3390/rs12111825.

Using Remote Sensing to Investigate the Impact of Photovoltaic Panels on Surface Temperature – A Case Study of Tainan City

Wei-Jyun Chen ^{1*} Su-Fen Wang ²

Abstract

Photovoltaic (PV) power generation has become a key strategy in Taiwan's transition to green energy, with Tainan City repeatedly ranking as the leading municipality in PV electricity generation. However, the impact of solar panels on surrounding land surface temperature (LST) remains highly controversial. This study employs remote sensing techniques to examine the influence of PV installations on LST. By analyzing temperature variations across different land use types and time periods, the research aims to assess the thermal effects associated with PV deployment. The results reveal that LST decreases with increasing distance from PV panels, with the most significant temperature drop occurring approximately 25 meters away. Additionally, the conversion of vegetated or aquatic areas into bare land or PV-covered land tends to elevate in surface temperature. In some regions, bare land exhibited a temperature increase of approximately 1 to 2 °C compared to PV-covered surfaces during the same period.

Keywords: Photovoltaic Panels, Land Use Change, Land Surface Temperature

¹ Master, Department of Geography, National Changhua University of Education

² Professor, Department of Geography, National Changhua University of Education

* Corresponding Author, E-mail: cigma520@gmail.com

Received Date: Jul. 15, 2025

Revised Date: Oct. 15, 2025

Accepted Date: Mar. 10, 2026