

深度學習應用於全天空照相儀資料 反演地表輻射量

陳建蒲、鄭詠尹、王建勛、鄧仁星

交通部中央氣象署 海象氣候組

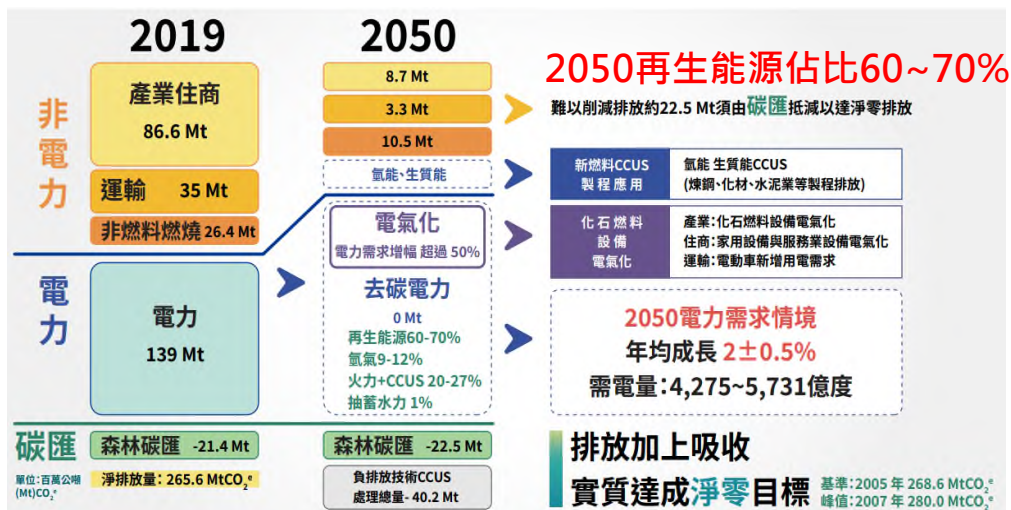
報告日期:2025/09/04

大綱

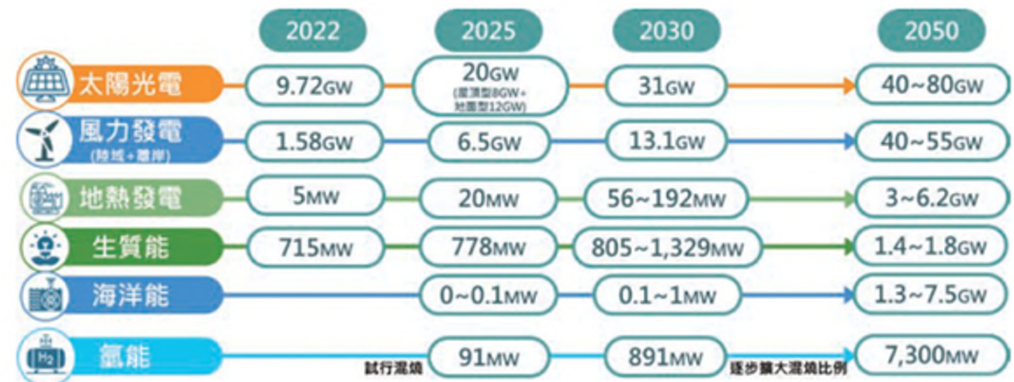
- 前言
- 資料來源
- 模型架構
- 模型驗證及分析
- 結論&未來工作

前言

2050淨零排放規劃



潔淨能源推動目標



預測太陽能方法



- 依據國發會台灣2050淨零排放路徑，2050年我國的再生能源占比將增加至60到70%(其中太陽光電占40%左右)。而隨著再生能源占比的增加，尤其是大型光電案廠的開發建置，因雲移入移出造成的極短期發電量劇烈變化，對電網的調度造成極大的衝擊與風險。而極短期的太陽光電發電量預測唯有賴高時空解析度的監測方能解決。
- 非常短期預測（提前0到6小時）在利用即時觀測（主要是衛星雲圖和全天空影像觀測）時表現最佳，而NWP模式對預測範圍超過6小時則至關重要。
- 目標：利用全天空照相儀的即時、高時空解析度特性，補足現有衛星觀測與數值天氣預報在極短期預報上之不足，以先研發、再示範、後推廣的方式，逐步建立太陽光電案場極短期發電量預測技術。

參考來源:

1. https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=DEE68AAD8B38BD76

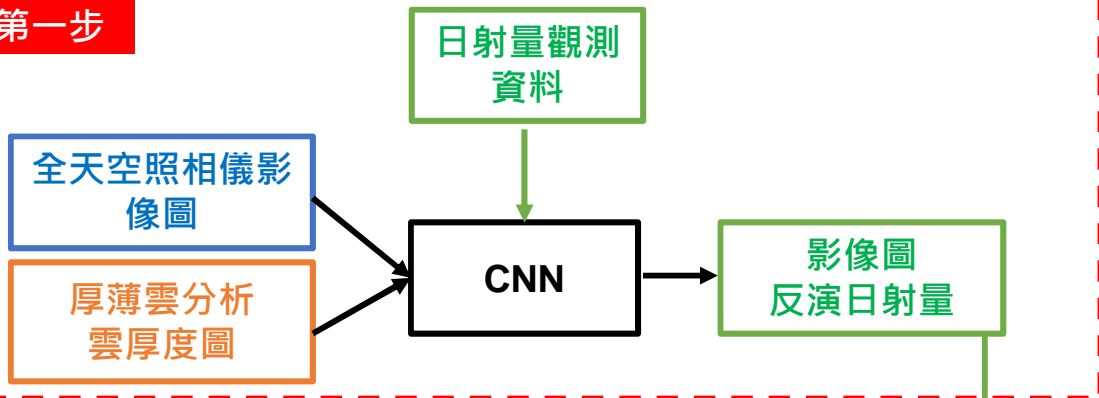
2. <https://www.wishingsoft.com/consultantblog/wsp>

3. Voyant, C., Notton, G., Kalogirou, S., Nivet, M.L., Paoli, C., Motte, F., Fouilloy, A., 2017. Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review. Renewable Energy 105, 569-582.

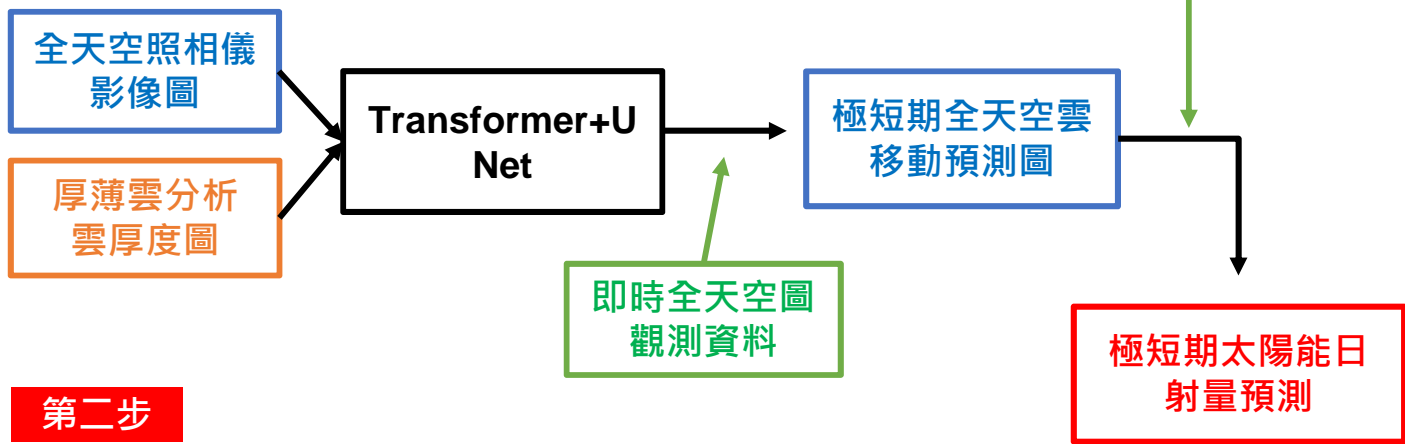
前言

◆全天空極短時日射量預測技術：

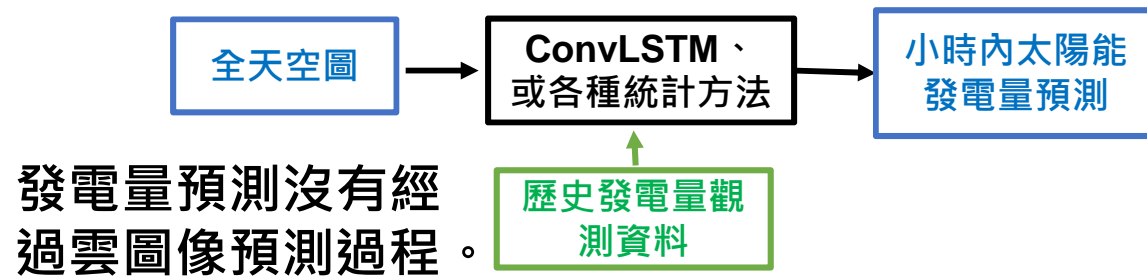
第一步



第二步



傳統上：



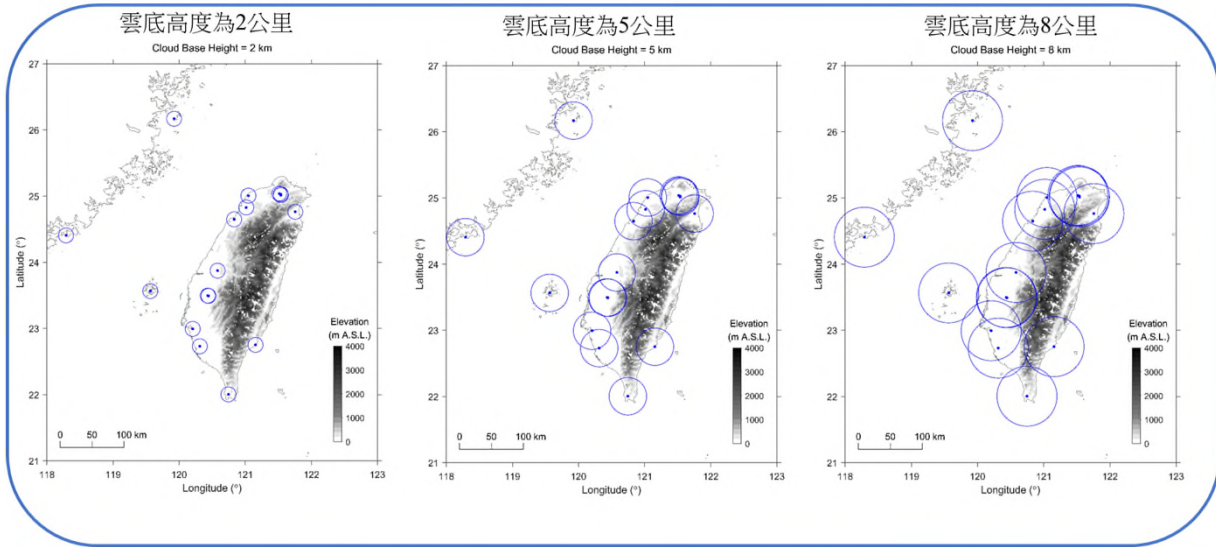
資料來源

CMS -Schreder ASI 16/52全天空照相儀



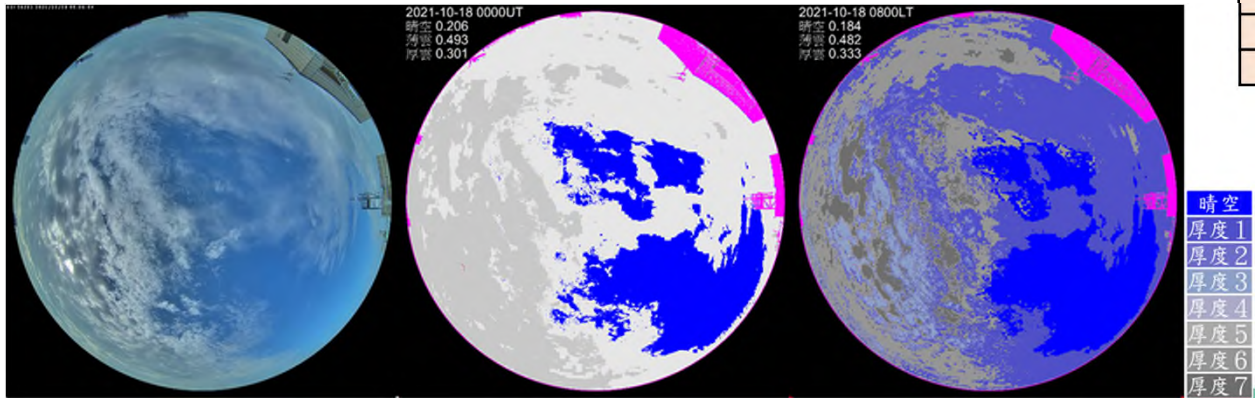
來源	
作者	16270
拍攝日期	2021/11/19 上午 11:00
程式名稱	2104291
取得的日期	
著作權	20393_09
影像	
影像 ID	
尺寸	1920 x 1920
寬度	1920 個像素
高度	1920 個像素
水平解析度	96 dpi
垂直解析度	96 dpi
位元深度	24
壓縮	
解析度單位	
色彩呈現	
壓縮位元/像素	
相機	
相機製造商	CMS Ing. Dr. Schreder GmbH
相機型號	ASI-16
GPS	
緯度	23; 52; 25.67999999999930151
經度	120; 34; 52.60800000000074222

全天空照相儀架設位置



序號	站名
16263	南區氣象中心
16264	台大大氣
16265	大安森林
16266	新屋氣象站
16268	恆春氣象站
16270	田中氣象站
16397	嘉義博愛國小
16272	後龍收費站
16288	署本部
16325	新竹氣象站
16314	高雄氣象站
16318	宜蘭氣象站
16323	臺東氣象站
16320	澎湖氣象站
16321	金門氣象站
16322	馬祖氣象站
16334	嘉義氣象站
16324	基隆氣象站
16395	台中氣象站
16396	東吉島氣象站
16420	花蓮氣象站
16394	蘭嶼氣象站

- 氣象署建置的全天空照相儀為可見光的數位攝影機(CCD感測器)搭配魚眼鏡頭來捕捉整個天空穹頂的影像
- 觀測時間為日出至日落
- 目前已架設22站(2021年底開始接收~)



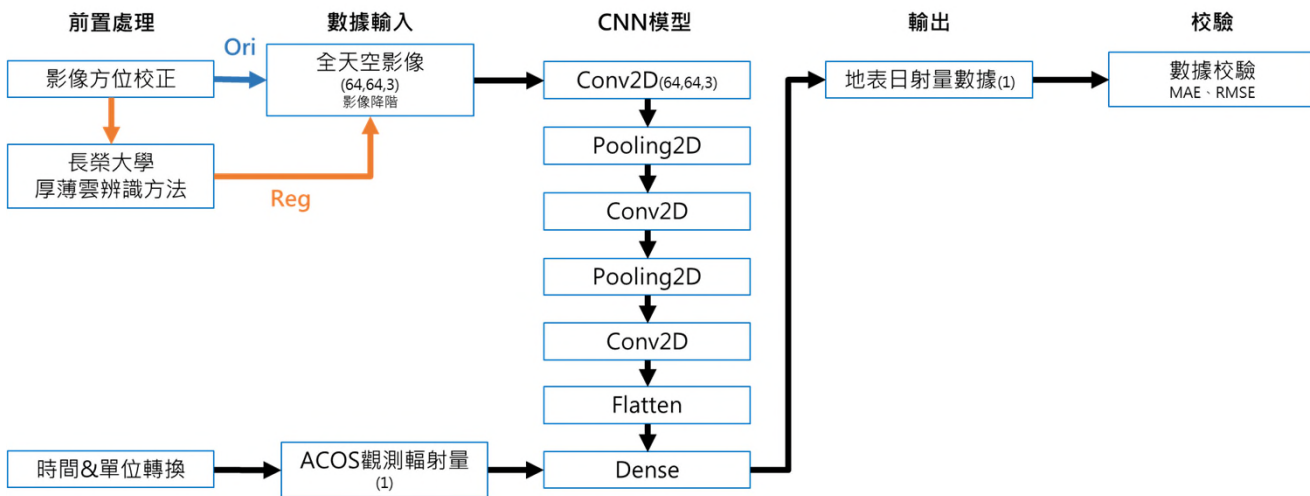
晴空
厚度 1
厚度 2
厚度 3
厚度 4
厚度 5
厚度 6
厚度 7

反演日射量模型架構

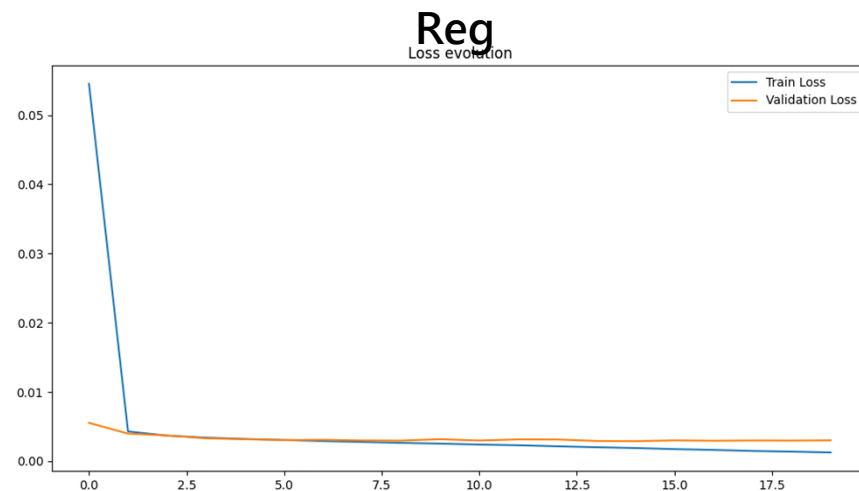
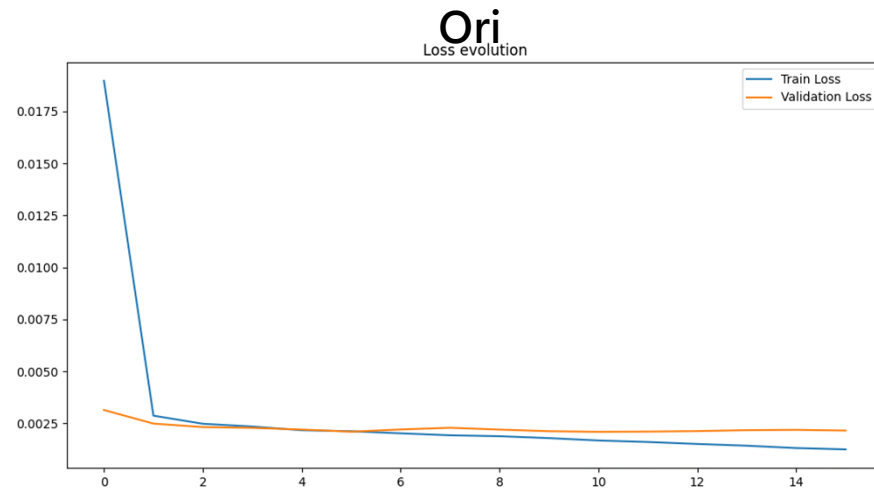


運用2022年的署屬的全天空影像資料、署屬測站ACOS的逐分鐘輻射量資料透過AI進行反演地表日射量測試訓練，利用2023年的資料來進行驗證。

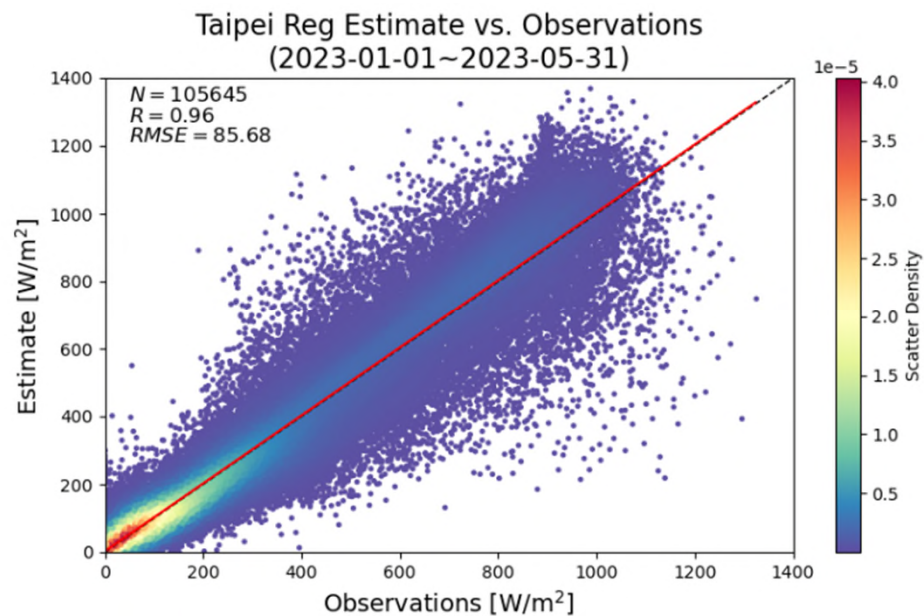
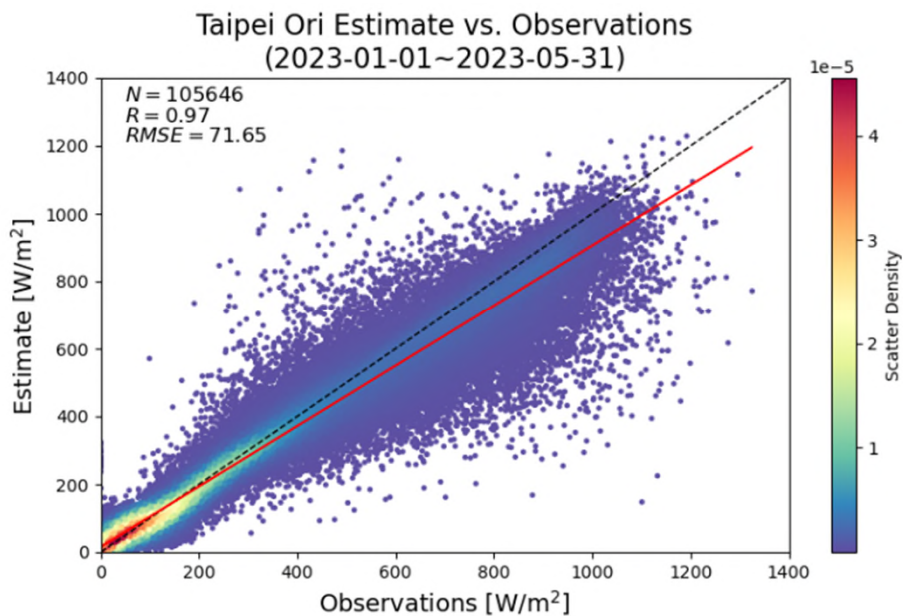
反演地表日射量設計流程圖



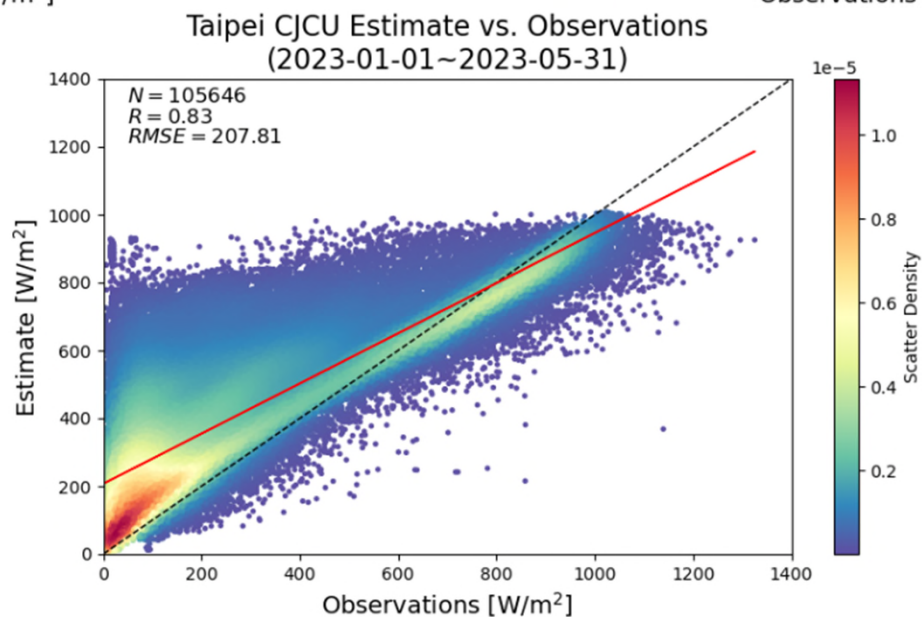
- 數據輸入的台北站全天空影像有兩種
 - Ori：原始影像並校正影像的方位
 - Reg：應用長榮大學2022年所開發之全天空影像厚薄
 - Ori 及 Reg版本模型訓練時間大約為30分鐘
 - 以2023年台北站的1月到5月底的資料進行反演模型驗證



驗證結果



N:資料數量
R:相關係數
RMSE:均方根誤差
紅色實線為回歸線
黑色虛線為回歸參考線



CJCU's
全天空影像推估地表輻射量

$$E = S * \sin(\theta_{sun}) * R * \left(1 - \frac{T_C}{N}\right)$$

S: 太陽常數

θ_{sun} : 太陽仰角

R: 地表太陽輻射到達率

T_C : 雲等效厚度 (平均值)

N: 雲等效厚度分級數目

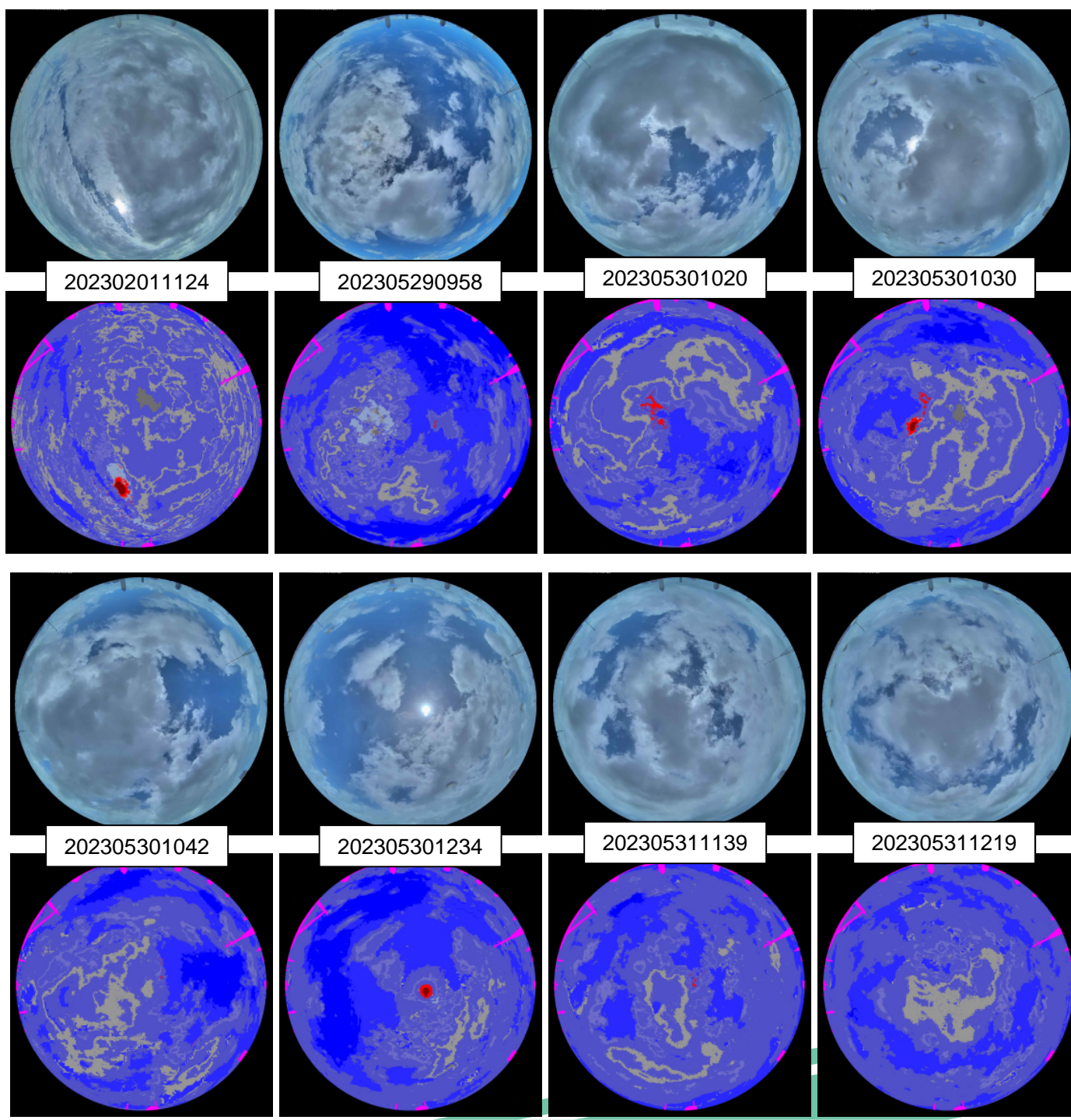
- 從相關係數和RMSE來看，CNN模型訓練的結果優於CJCU的推估方法，其中Ori版本相關係數有0.97的高相關性。
- 回歸分析上Reg的斜率最接近45°，Ori版本在高地表日射量時，有低估的現象。

反演誤差分析

- Ori - Obs 標準差為 $69.8169W/m^2$
- Reg - Obs 標準差為 $85.6315W/m^2$
- 以大於8個標準差的門檻找誤差大的時間，且兩個版本有相同時間

時間	Obs	Ori	Reg	Ori - Obs 標準差差異	Reg - Obs 標準差差異
2011124	991.67	413.56	303.39	-8.0496	-8.0711
5290958	1129.50	460.82	280.95	-9.3470	-9.9428
5301020	1058.83	407.67	299.32	-9.0961	-8.9031
5301030	190.50	735.43	892.09	8.0358	8.1596
5301042	1139.50	495.96	218.58	-8.9869	-10.7880
5301234	389.83	950.00	1116.68	8.2540	8.4546
5311139	1006.67	397.66	317.52	-8.4923	-8.0813
5311219	1166.17	496.45	377.79	-9.3618	-9.2401

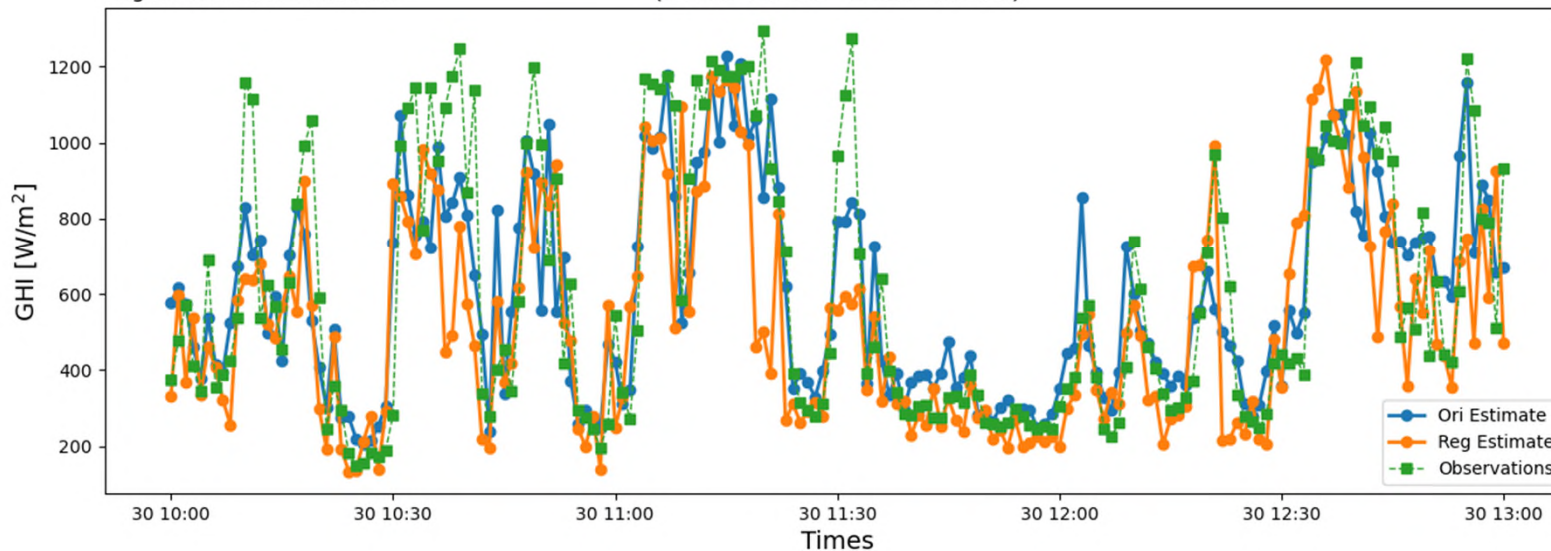
- 在多雲且有遮蔽太陽時反演地表日射量誤差大
- 當鏡頭上有雨滴時也會造成反演地表日射量誤差大



反演誤差分析

Ori R : 0.85 RMSE : 182.62
Reg R : 0.74 RMSE : 246.35

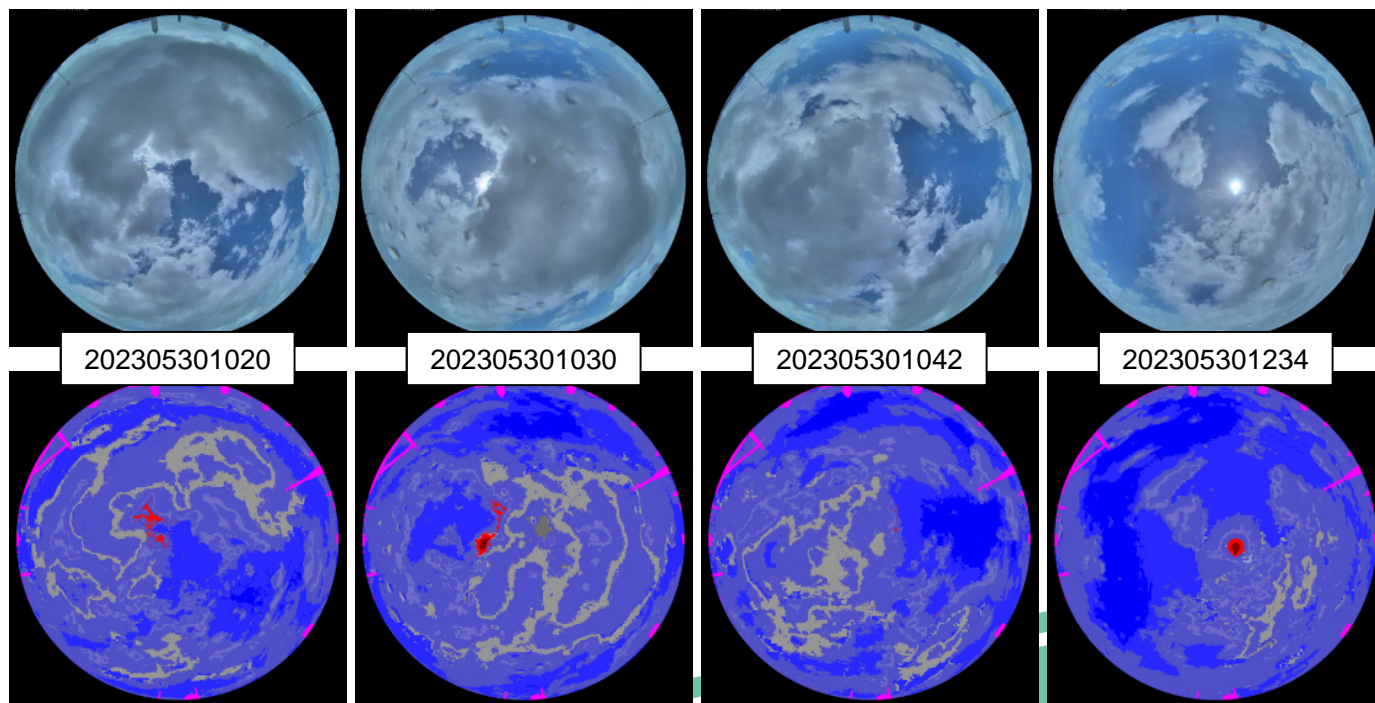
Taipei Estimate vs. Observations
(2023-05-30~2023-05-30)



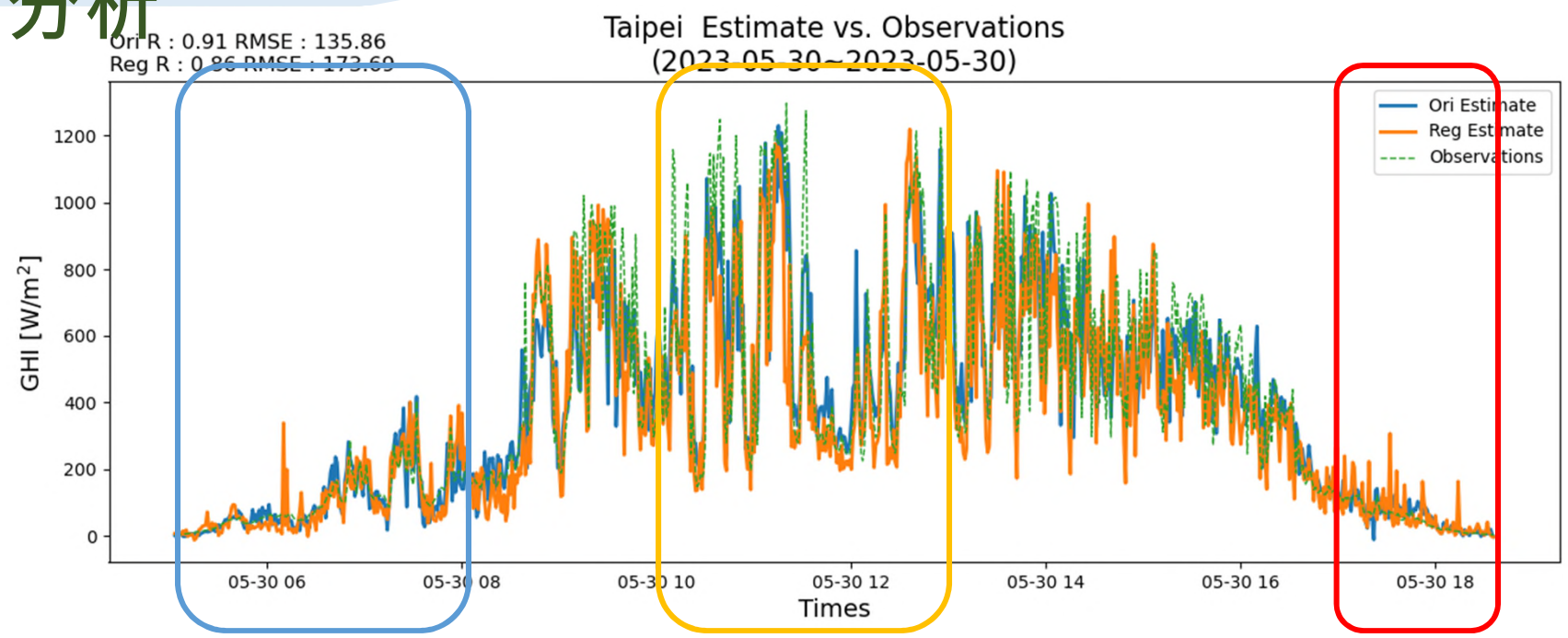
- 5/30這天出現四次大於8個標準差

時間	Obs	Ori	Reg	Ori - Obs 標準差差異	Reg - Obs 標準差差異
5301020	1058.8 3	407.67	299.32	-9.0961	-8.9031
5301030	190.50	735.43	892.09	8.0358	8.1596
5301042	1139.5 0	495.96	218.58	-8.9869	-10.7880
5301234	389.83	950.00	1116.6 8	8.2540	8.4546

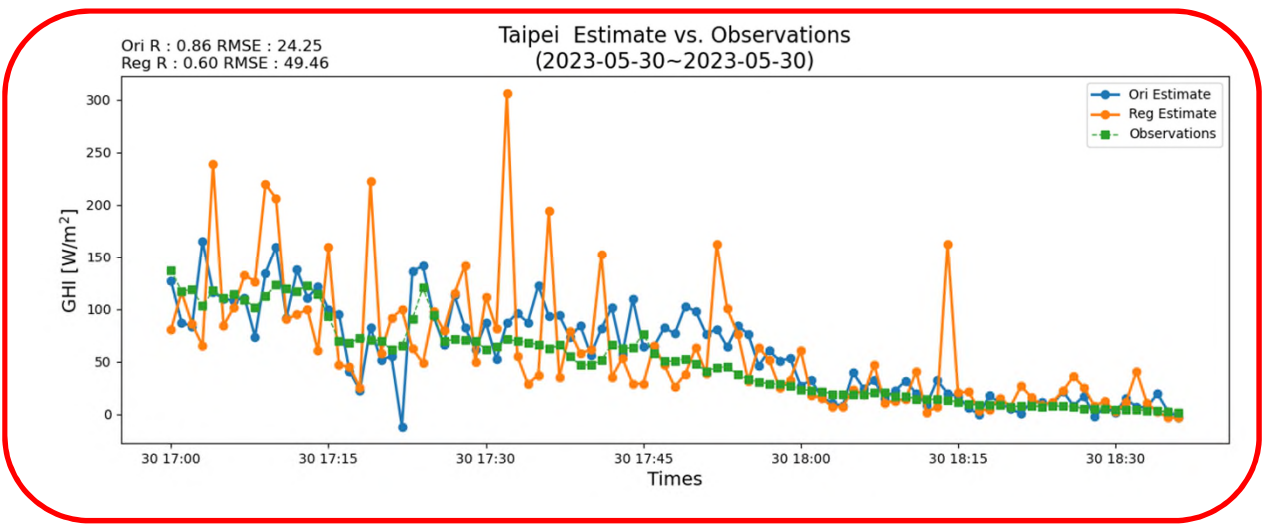
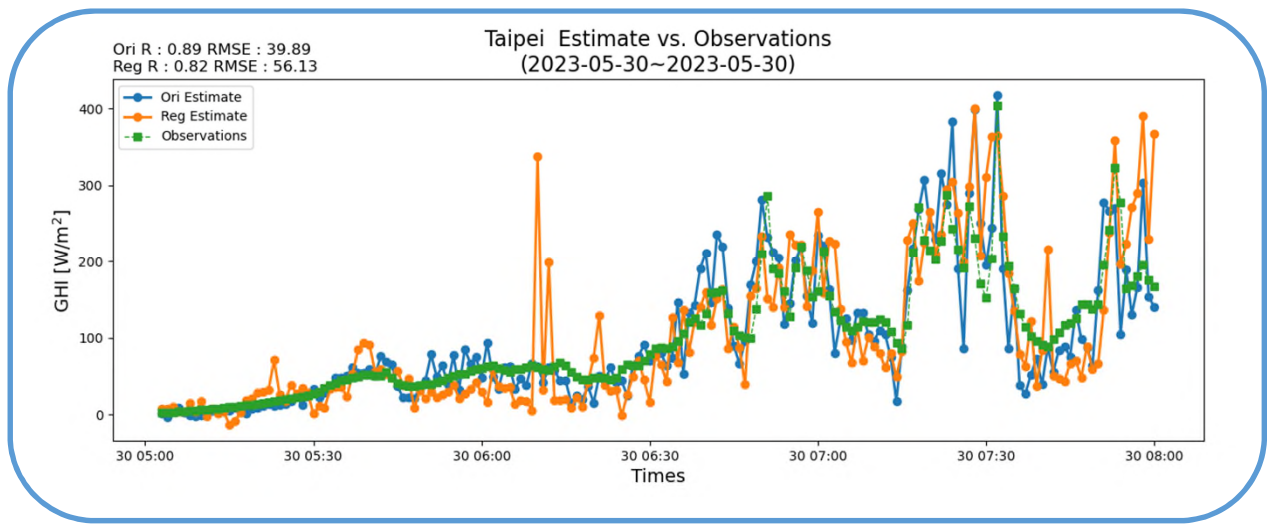
- Ori - Obs 標準差為 $69.8169 W/m^2$
- Reg - Obs 標準差為 $85.6315 W/m^2$



反演誤差分析

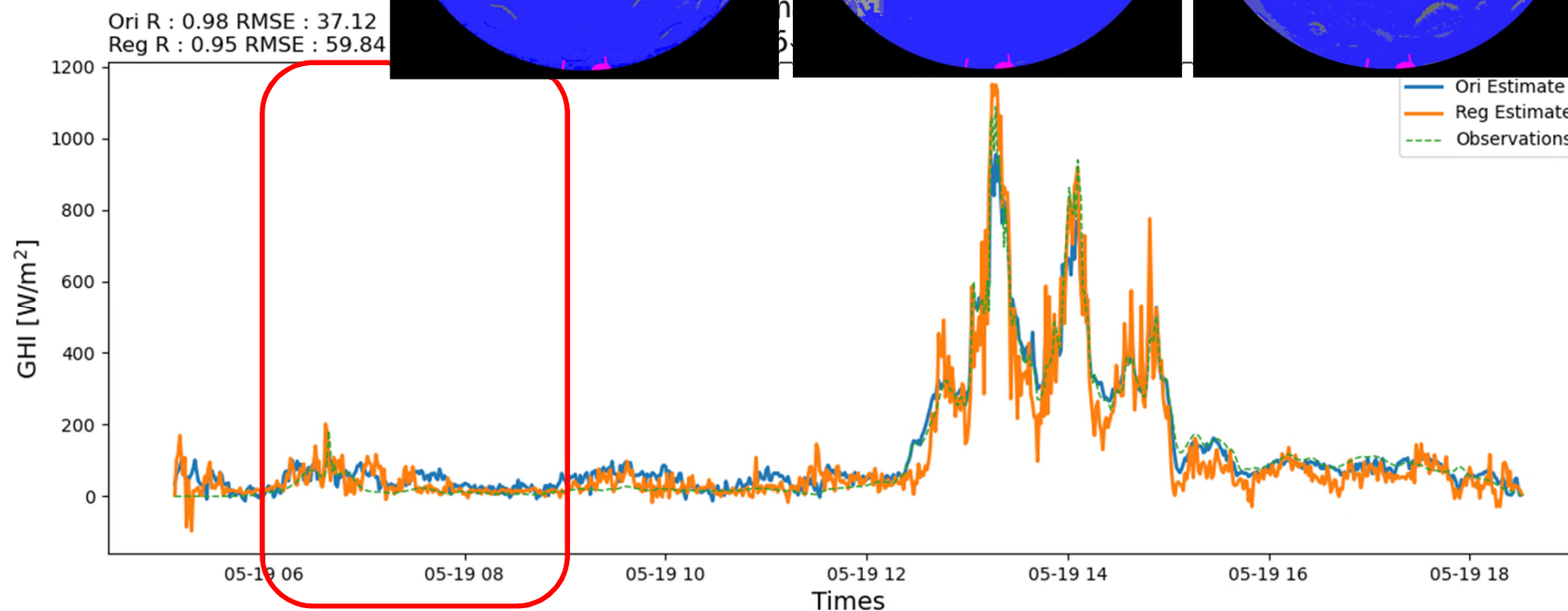
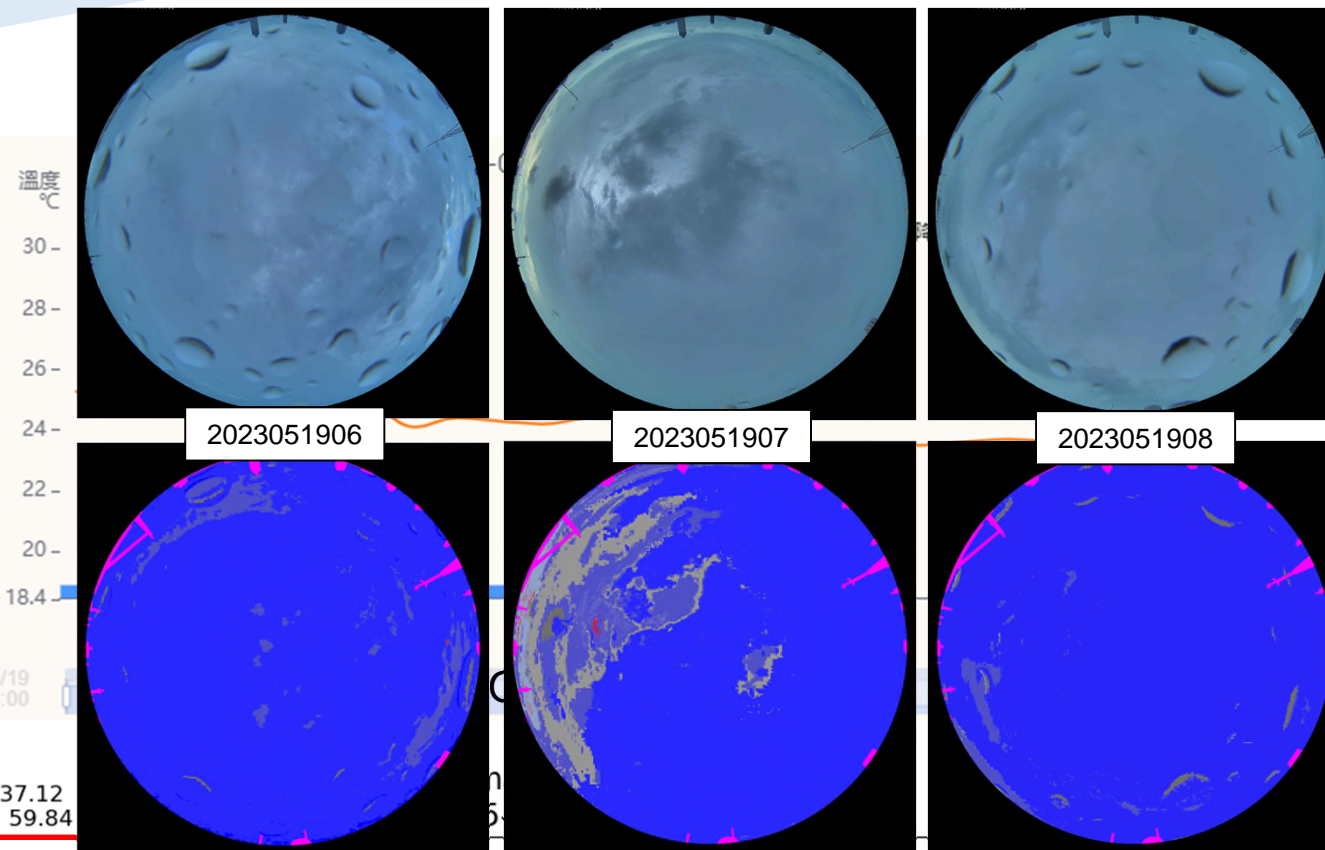


- 清晨及傍晚反演地表日射量容易有偏差



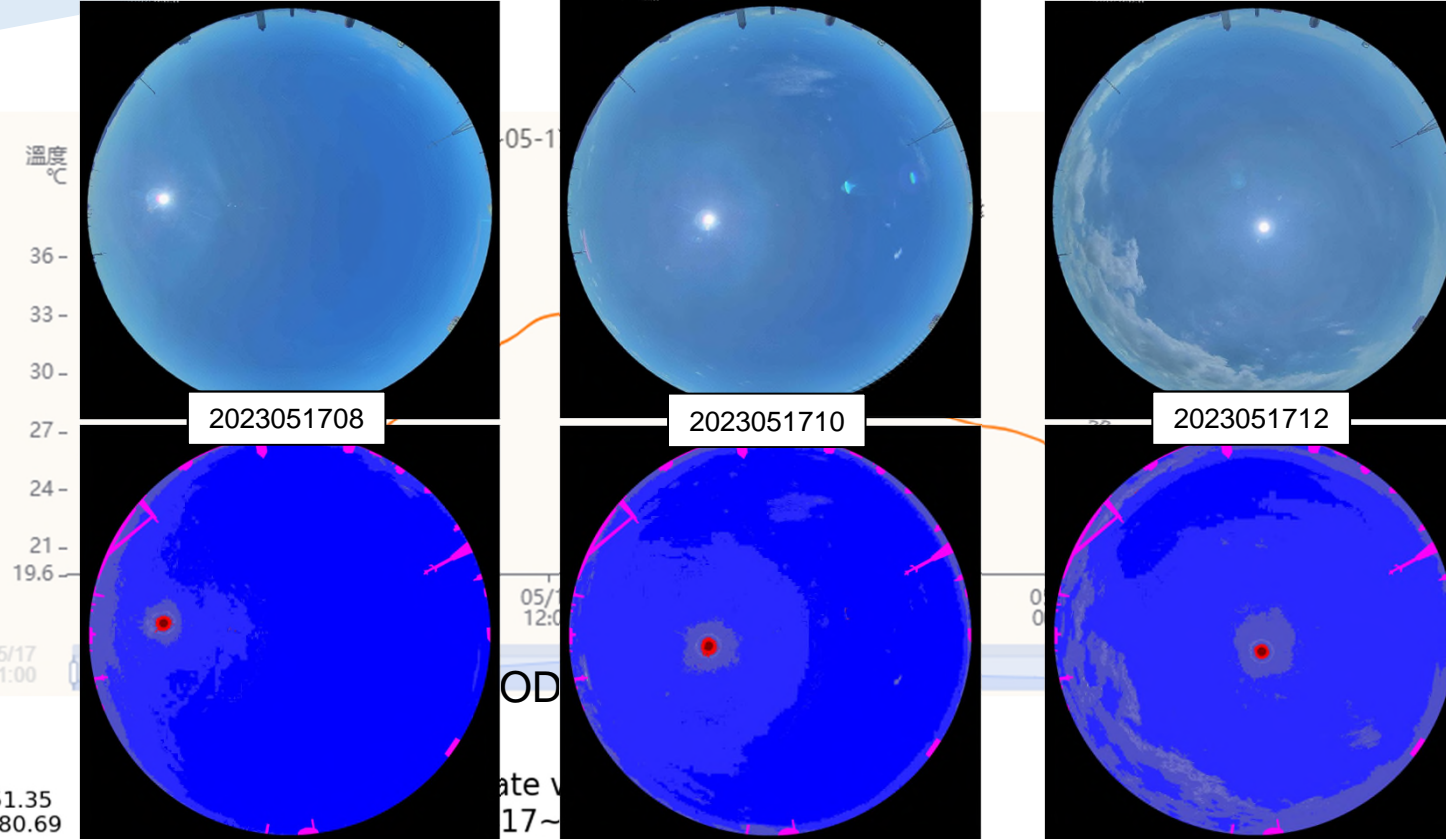
反演誤差分析-雨

- 2023/5/19 從觀測來看有降雨
時間在清晨1點至11點
- 整天來看CNN模型反演日射量和觀測的相關性可以達到0.95以上
- 下雨的時段從6點至9點的折線圖來看，相關性就相對較低，表示鏡頭上有雨滴會造成CNN模型反演日射量的偏差

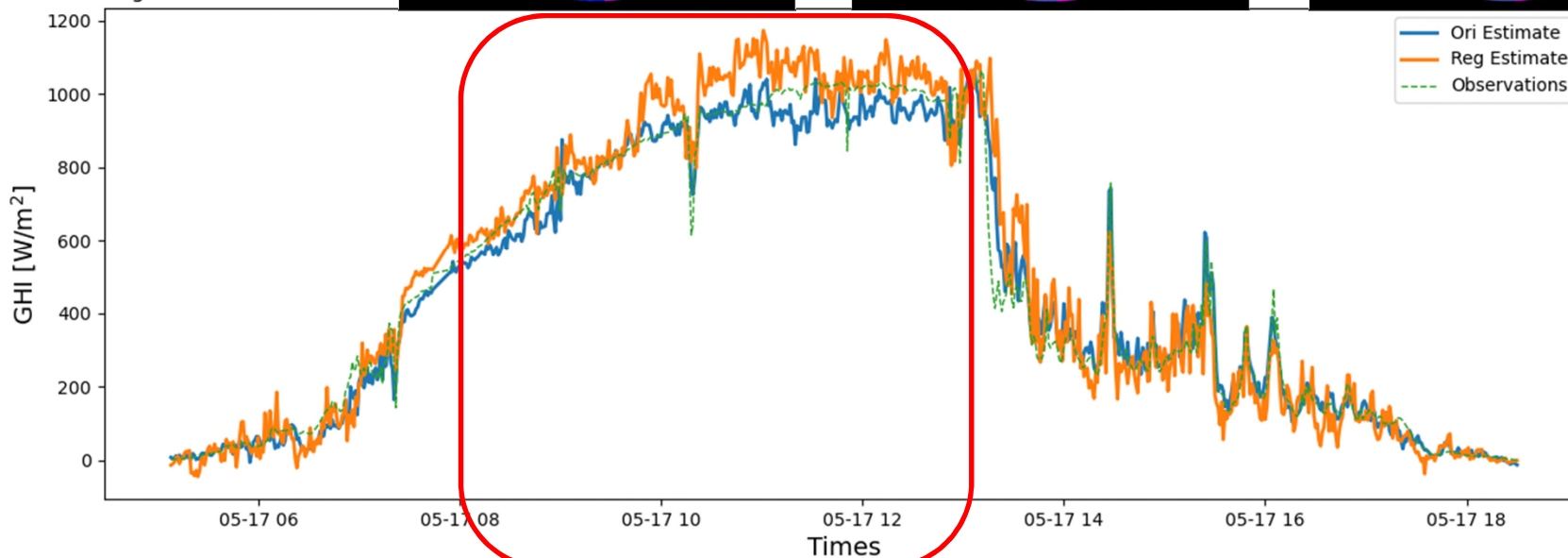


反演誤差分析-晴

- 2023/5/18 在觀測上溫度的變化在早上8點後有明顯的上升
- 整天來看CNN模型反演日射量和觀測的相關性有0.98以上
- Ori 在觀測有高地日射量時有低估的現象



Ori R : 0.99 RMSE : 51.35
Reg R : 0.98 RMSE : 80.69

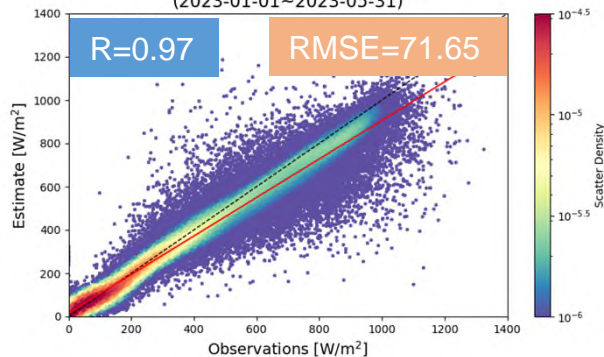


持續精進全天空照像儀影像反演日射量技術

- 目標改善反演模型，透過考慮資料多樣性進行改善
- 使用三個站的2022年整年的影像進行混合模型訓練
- 台北跟台南在RMSE上都有改善，其中台南改善顯著，新屋反演結果變差

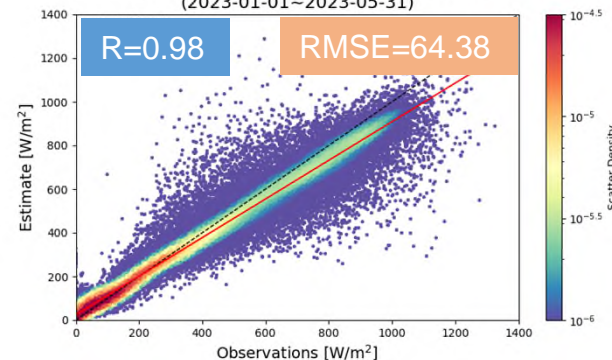
單站訓練的模型

Taipei Ori Estimate vs. Observations
(2023-01-01~2023-05-31)

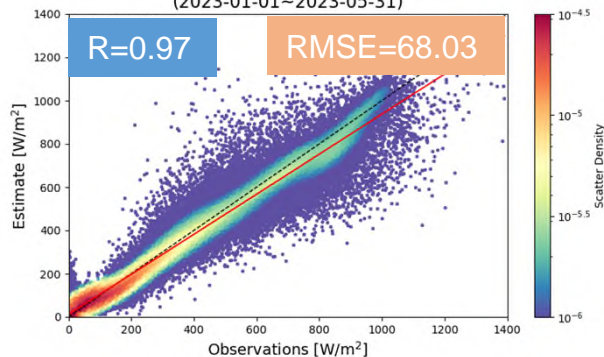


多站混合訓練模型

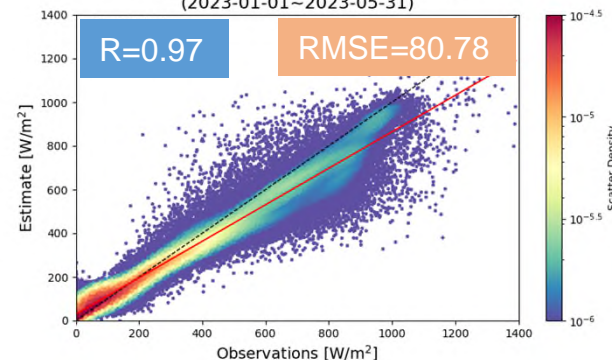
Taipei_forall Ori Estimate vs. Observations
(2023-01-01~2023-05-31)



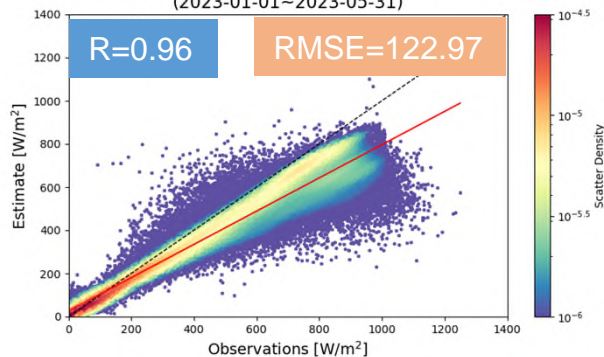
Xinwu Ori Estimate vs. Observations
(2023-01-01~2023-05-31)



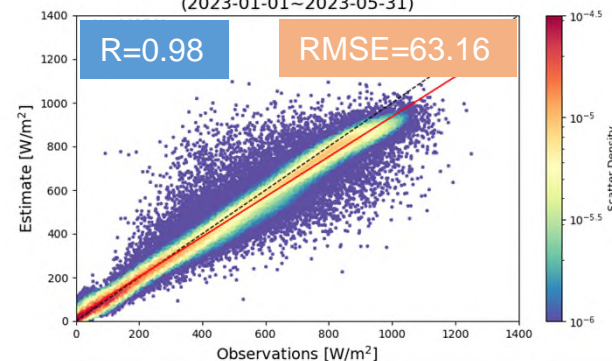
Xinwu_forall Ori Estimate vs. Observations
(2023-01-01~2023-05-31)



Tainan Ori Estimate vs. Observations
(2023-01-01~2023-05-31)

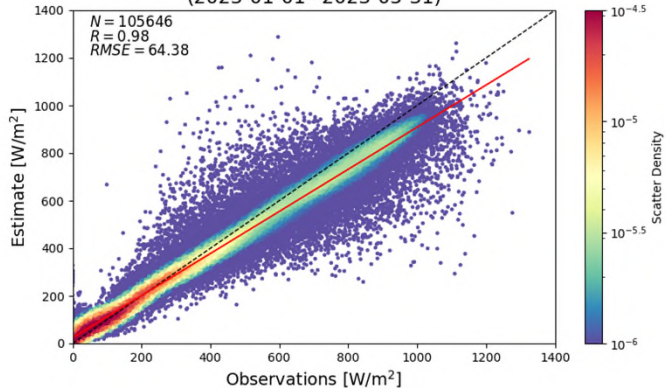


Tainan_forall Ori Estimate vs. Observations
(2023-01-01~2023-05-31)

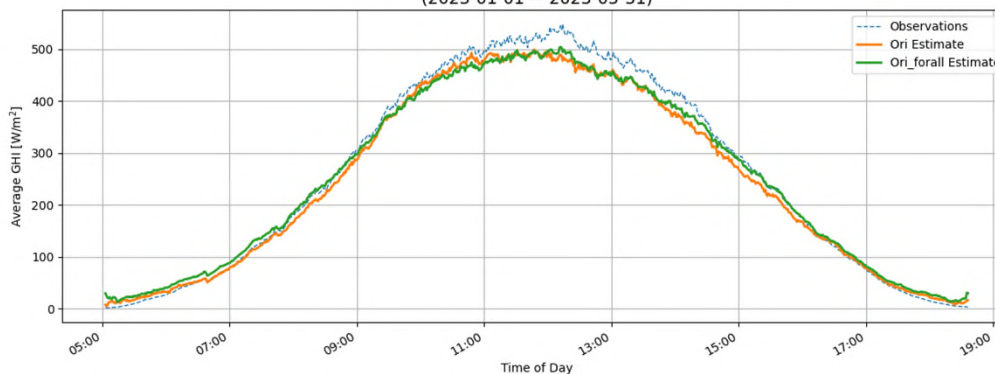


持續精進全天空照像儀影像反演日射量技術

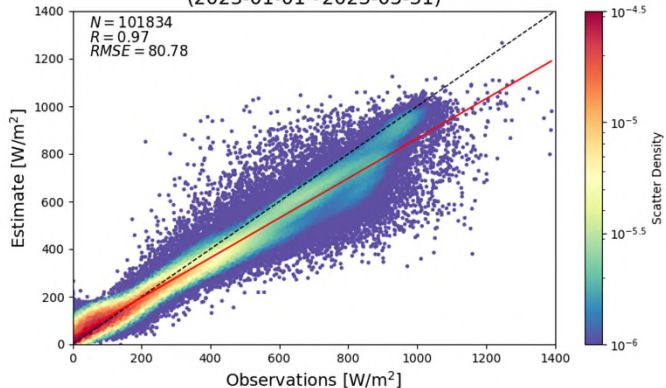
Taipei_forall Ori Estimate vs. Observations
(2023-01-01~2023-05-31)



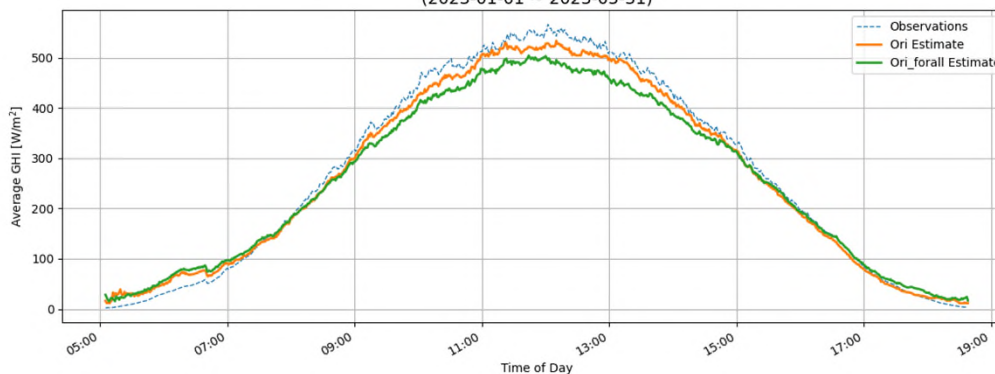
Taipei Diurnal Average GHI
(2023-01-01 ~ 2023-05-31)



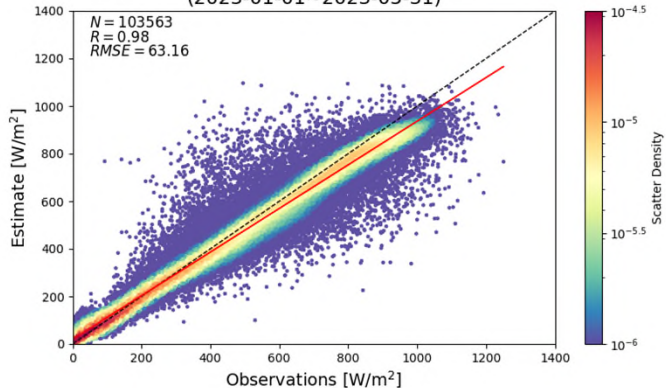
Xinwu_forall Ori Estimate vs. Observations
(2023-01-01~2023-05-31)



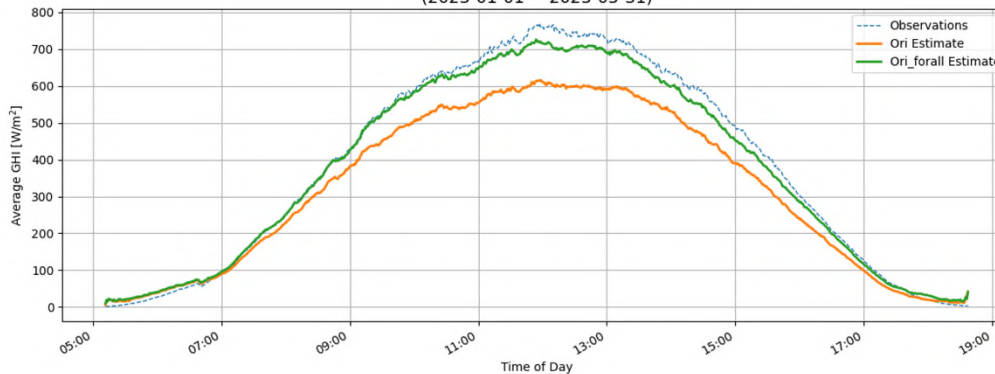
Xinwu Diurnal Average GHI
(2023-01-01 ~ 2023-05-31)



Tainan_forall Ori Estimate vs. Observations
(2023-01-01~2023-05-31)



Tainan Diurnal Average GHI
(2023-01-01 ~ 2023-05-31)



- 隨輻射觀測值越大時，反演輻射量誤差也越大
- 在日變化週期中，可以得知在中午時段，反演誤差較大
- 新屋在早上7:00前，反演輻射量比觀測輻射量大

結論&未來工作

- 在**清晨**和**傍晚**反演模型誤差頻率較高以及在**高輻射量時**反演模型會低估，當鏡頭上有雨滴也會造成模型推估的偏差，未來會再增加太陽位置或晴空輻射量值進行模型訓練
- 嘗試其他深度學習模型架構進行反演模型訓練