

交通部中央氣象局

委託研究計畫(期末)成果報告

都會環境對氣象觀測的影響評估與對策探討(2/2)

計畫類別：☒氣象 ☐海象 ☐地震

計畫編號：MOTC-CWB-106-M-03

執行期間：106 年 01 月 16 日至 106 年 12 月 31 日

計畫主持人：林博雄

執行機構：國立臺灣大學 大氣資源與災害研究中心

本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄)：

- ☐赴國外出差或研習心得報告 1 份
- ☐赴大陸地區出差或研習心得報告 1 份
- ☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各 1 份

中華民國 106 年 12 月 20 日

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	ii
表目錄.....	v
中文摘要.....	1
Abstract.....	2
一、前言.....	3
二、研究方法.....	14
三、成果說明.....	18
3-1 氣象風場、太陽輻射觀測受到周遭建物干擾模擬程度.....	18
3-2 深化都市熱島與公園冷島現象之評估.....	20
3-3 台北捷運公司土城機廠自動氣象站評估.....	22
3-4 串聯台北都會公園綠地生態氣象監測.....	23
四、結論.....	56
參考文獻：.....	58
附件一：期中報告審查意見與回覆.....	60
附件二：期末報告審查意見與回覆.....	63
附件三：中央氣象局台北盆地自動測站環境遮蔽景觀與遮蔽仰角角度資訊.....	67

圖目錄

- 圖 1 中央氣象局宜蘭(上)與永康(下)測站觀測坪與風力塔。.....6
- 圖 2 中央氣象局嘉義測站(上)與高雄測站(中、下)觀測坪與風力塔周遭景觀。.....7
- 圖 3 美國紐約市中央公園氣象站。.....8
- 圖 4 台北市區與大安森林公園(圖片摘自網路)。.....8
- 圖 5 (左)Nikon Coolpix-800 數位相機、Nikon FC-E8 魚眼鏡頭、相機腳架和水平儀，(中)拍攝觀測地點全天空彩色影像，(右)再經由影像軟體轉換成「天空為白色，遮蔽物為黑色」之黑白圖樣。.....9
- 圖 6 (上)NEC F30 紅外相機(下)和其拍攝臺灣大學梅峰山地農場停車場 GEB 影像和熱顯像樣本(2016 年 1 月)。.....9
- 圖 7 (上)台北市政府工務局發售的台北市數位地圖編號以及編號 #3944(中央氣象局台北測站附近，紅框)經過高度拉撐之後的 3D 立體圖層。(下) 新北市政府工務局發售的數位地圖#30360 和 46680(板橋浮洲樹林交界一帶)經過高度拉撐後的 3D 圖層(板橋測站和合宜住宅群位於紅框範圍)。黃空心圈與紅空心圈各代表板橋測站與捷運土城機場氣象站。.....10
- 圖 8 (上)日本 CRADLE 公司 Stream (CFD) Model 東風情境下(地面無風速、10m 高度風速 10 ms^{-1} 的 log 剖面風場)通過圖 7 三維地景的離地 10m 的流場與風速分布。(下) EcoTect Model 估算中央氣象局局本部(紅色)在夏至 9:00~17:00LST 期間每一小時的建物日光陰影之疊加圖。....11
- 圖 9 (上)日本 CRADLE 公司 Stream (CFD) Model 東風情境下(地面無風速、10m 高度風速 10 ms^{-1} 的 log 剖面風場)通過圖 7 三維地景的離地 10m 的流場與風速分布。(下) EcoTect Model 估算中央氣象局板橋測站(紅色)在夏至 9:00~17:00LST 期間每一小時的建物日光陰影之疊加圖。
12
- 圖 10 2016 年 7 月 27 日 04:00UTC、12:00UTC 兩時刻有無校園氣象網資料的台北盆地氣溫分布(實心白點為氣象局測站位置，黑點則為校園氣象網位置)。.....13
- 圖 11 台北盆地內周遭現有中央氣象局氣象測站觀測網，其中台北氣象站與板橋氣象站以黑正方形表示，其餘 14 處自動氣象站(石碑、土城、中和、永和、士林、蘆洲、三重、社子、南港、大直、信義、新莊、深坑以及林口)，以及 2017 年新增的「大安」森林公園和台北市八德路「體育園區」兩處新增氣象站均以紅實心圓表示；地形資料來自中央研究院 30m 解析度數位地圖。置放於地面草皮的自動站測站另套上黑方框加以標示；白方框則是松山機場氣象站。.....15
- 圖 12 同圖 10 但增加台北市校園氣象網(黑空心圓)；圖中顯示士林測站以

及南港測站兩地同時有中央氣象局測站。.....	16
圖 13 (上)中央氣象局「大安」森林公園氣象站空間位置(中)2017年12月 完成前(下)完工後的環境景觀。.....	17
圖 14 中央氣象局竹北氣象測站辦公室後方草地。.....	27
圖 15 中央氣象局竹北氣象測站辦公室前方觀測坪與縣府大樓。.....	27
圖 16 中央氣象局板橋氣象測站觀測坪、風力塔與宿舍屋頂(由上而下)遮 蔽度環景照片。.....	28
圖 17 2006年到2015年(由左而右、由上而下)10年期間的1月(上)與7月 (中)板橋氣象站風花圖逐年演替一覽，虛線框是2014年與2015年。 (下)2006年與2015年1月和7月風花圖再將風向頻率60%同心圓修改 為20%，以放大各方位的風向頻率數據。.....	29
圖 18 EcoTect Model 估算板橋氣象站(紅色)在春分、夏至、秋分、冬至(由 上而下)四天9:00~17:00LST期間每一小時的建物日光陰影之疊加圖。31	
圖 19 EcoTect Model 估算台北氣象站(紅色)在春分、夏至、秋分、冬至(由 上而下)四天9:00~17:00LST期間每一小時的建物日光陰影之疊加圖。32	
圖 20 日本CRADLE公司Stream(CFD) Model 東風情境下(地面無風速、 10m高度風速 10 ms^{-1} 的log剖面風場)估算圖7(上)3D地景在台北氣象 站東西剖面並放大(中、下兩圖)的風速分布。.....	33
圖 21 CFD模擬的建物外觀，底邊高度為 $10*10*10\text{ m}^3$ ，其屋頂有邊長 $2*2*2\text{ m}^3$ 露臺，露臺邊緣再有2m長度觀測竿(模擬氣象局在都市自動氣 象站的設備裝置)。.....	34
圖 22 上下圖分別為風場power-law剖面的風速等值線和風標，吹向建物 (+y方向)。.....	34
圖 23 由上而下分別為風場在建物之前、測量桿位置和建物之後的風速剖 面。.....	36
圖 24 風場通過屋頂測量桿位置的垂直剖面風標與風速。.....	37
圖 25 屋頂測量桿位置的風場風標和風速的水平剖面。.....	38
圖 26 中央氣象局石牌測站周遭與天空環景。.....	39
圖 27 中央氣象局信義測站周遭地景。.....	40
圖 28 西南風情境下台北測站(紅色圓圈)受到周遭地景地物的風場干擾程 度(上)離地10m(下)離地30m。.....	41
圖 29 西南風情境下板橋測站(紅色圓圈)受到周遭地景地物的風場干擾程 度(上)離地10m(下)離地30m。.....	42
圖 30 中央氣象局台北氣象站1950~2015年期間高溫($\geq 35^{\circ}\text{C}$)日數年代演替 (摘自中央氣象局網站)。.....	43
圖 31 2016年6月1日15:00LST(上)台北盆地現有氣象局自動測站(白點) 氣溫分布(下)增加校園氣象網觀測(黑點)以及松山機場(白正方框)之後的 氣溫分布。.....	44
圖 32 同圖31，但為2016年6月4日13:00LST。.....	45

圖 33	同圖 31，但為 2016 年 7 月 16 日 13:00LST。	46
圖 34	同圖 31，但為 2016 年 7 月 28 日 12:00LST。	47
圖 35	同圖 31，但為 2016 年 7 月 29 日 12:00LST。	48
圖 36	校園氣象網新生國小測站(紅線)與中央氣象局台北氣象站(藍線)2000~2015 年期間高溫($\geq 35^{\circ}\text{C}$)日數年代演替。	49
圖 37	校園氣象網士林國小(x 軸)與中央氣象局士林自動氣象站(y 軸)在 2015 年全年度的氣溫(左上)大氣濕度(右上)風速(左下)風向(右下)的散布比較。	50
圖 38	校園氣象網南港國小(x 軸)與中央氣象局士林自動氣象站(y 軸)在 2015 年全年度的氣溫(左上)大氣濕度(右上)風速(左下)風向(右下)的散布比較。	51
圖 39	中央氣象局捷運土城機廠自動氣象站預定地與周遭地景。	52
圖 40	建物寬度(W)的 3 倍半徑(3W)距離上，另一建物高度(H2)超越原有建物高度(H1)再加 $\tan 12^{\circ}$ 的示意圖。	52
圖 41	林務局林業試驗所台北植物園氣象塔地面與塔上環境景觀與現有氣象設備。	53
圖 42	台北校園氣象網大安區公館國小氣象站與環境景觀和遮蔽。	53
圖 43	台北校園氣象網文山區指南國小氣象站與環境景觀和遮蔽。	54
圖 44	本計畫參與 2017 年 4 月螢火蟲國際研討會(台北動物園)以及在大安森林公園架設 windoo-3 sensor 進行一週(2017/04/14~04/20)觀測現場。	55

表目錄

表 1	2016 年度氣象站環境遮蔽度(儀器顯露度)調查結果一覽。.....	24
表 2	2017 年度氣象站環境遮蔽度(儀器顯露度)調查結果一覽。.....	24
表 3	2017 年 1~6 月校園氣象站(或預定地點)環境遮蔽度(儀器顯露度)調查結果一覽。.....	25
表 4	氣象測站站址選定原則檢查表。.....	26

政府研究計畫(期末)報告摘要資料表

計畫中文名稱	都會環境對氣象觀測的影響評估與對策探討(2/2)		
計畫編號	MOTC-CWB-106-M-03		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	國立臺灣大學大氣資源與災害研究中心		
年度	106	執行期間	01/16~12/31
本期經費 (單位：千元)	745.880		
執行進度	預定(%)	實際(%)	比較(%)
	100	100	0
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率(%)
	745.880	745.880	100
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	林博雄		周耿民
報告頁數	83	使用語言	中文
中英文關鍵詞	都市氣象、粗糙度、都市熱島、大安森林公園 urban meteorology、roughness、urban heat island、Da-an Park		
研究目的	本計畫目的是針對台北市中心的中央氣象局台北氣象站觀測坪、板橋測站、大安森林公園自動站(預定2017年新增)以及大安森林公園西側的台北市新生國小校園氣象站，進行都會氣象觀測環境的影響評估，建立未來氣象站遷移的評估程序。		
研究成果	(1)氣象站周遭地景環境遮蔽度(儀器顯露度)定量估計 (2)氣象風場、太陽輻射觀測受到周遭建物干擾模擬程度 (3)評估台北都市熱島與大安森林公園冷島現象 (4)評估其他觀測站網(如校園氣象網)的資料品質與問題		
具體落實應用情形	1. 完成台北盆地內自動測站周遭地景環境遮蔽度調查 2. 完成台北捷運土城機廠自動測站站址評估 3. 完成測站選址原則檢查表 4. 完成協助大安森林公園氣象站之建置		
計畫變更說明	無		
落後原因	無		
檢討與建議(變更或落後之因應對策)	無		

(以下接全文報告)

中文摘要

世界氣象組織(WMO)「氣象儀器與觀測方法指引」特別編列「urban observations」章節加以討論都會地景與人為熱源造成氣象觀測環境的衝擊，並建議都市氣象觀測的需求。本計畫針對台北市中心中央氣象局台北氣象站觀測坪、板橋測站、大安森林公園自動站(2017 年 8 月完成)以及大安森林公園西側的台北市新生國小校園氣象站，進行為期兩年的都會氣象觀測環境的影響評估。第一年完成上述氣象站和風力塔的環境遮蔽現況(儀器顯露度)以及人工熱源之定量調查記錄，以及三維數位地形圖檔建置和盛行風場、季節太陽軌跡日照被人工建物扭曲遮蔽的基本特徵。透過 2016 年 7 月 27 日台北($\geq 38^{\circ}\text{C}$)高溫個案，檢視校園氣象網加入現有局屬測站資訊，重新調整都市熱島區塊位置。此外，本計畫也搭起台北市政府工務局公園路燈管理處和農業委員會林業試驗所，針對大安森林公園以及台北植物園在公園冷島效應以及都會生態氣象監測之合作。本年度(第 2 年)則完成台北盆地中央氣象局 14 處自動氣象站環境遮蔽調查，其中包括台北捷運土城機廠擬設立自動氣象站站址評估，並參考 WMO 技術報告完成測站選址或遷站作業規範文件，以及新竹氣象站辦公室後方草坪取代現有觀測坪的可行性。本計畫也同步協助台北市政府教育局與消防局探討台北市區若干校園氣象網站址環境遮蔽與遷移評估。此外，由 2016 年 6~7 月台北盆地五次高溫個案來分析評估台北都市熱島現象，來檢視增加氣象網觀測空間密度對於都市熱島現象解析的可能貢獻。大安森林公園測站以及臺灣大學合作測站的加入，也將能確認都會冷島效應的程度，並做為日後城鄉測站搬遷選址的標準作業程序書的參考。

關鍵詞：都市氣象、粗糙度、都市熱島、大安森林公園

Abstract

In order to evaluate the impact of urban landscape and anthropogenous heating sources on meteorological observations, World Meteorological Organization (WMO) proposes a chapter, urban observations, in 「Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation」 technical report. In this two-year project, CWB weather stations at Taipei, Banchiao, Da-an Park (new site opened on August of 2017) and campus weather station in Xinsheng Elementary School of Taipei, will be revised on the environmental impact and build the evaluation procedure on the movement of meteorological sites. In the first year, we have revised the environmental roughness (instrumental exposure) and artificial heat sources. Air flow and sun shadowing simulation over 3-D street canopy are also conducted. The extreme high-temperature case on July 27, 2016 in metropolitan Taipei was studied with campus meteorological network data to check the hot-spots in Taipei city. We also made linkages among CWB, Taipei City Hall and Taiwan Forestry Research Institute for cooperation on urban meteorology monitoring. The progress in this second year includes instrumental exposure investigation for 14 CWB auto stations and some suggested campus weather stations in Taipei Basin. The detailed site survey at MRT Tu-Cheng factory for coming new auto station has been finished, too. The guide of meteorological site selection, taking reference of WMO technical report, is completed for as the reference on site selection and movement of auto meteorological stations. We also surveyed the possible new location for moving surface observation at Shin-Chu weather station. Five extreme high-temperature cases happened in June and July of 2016 are analyzed under these surveyed (CWB, campus) weather stations to check the contribution from higher spatial observing density. Dann Park auto station and NTU cooperative station starts their observation from August and December of 2017. We expect they will play the key role on the evidence of park cooling effect in the urban region.

Keywords: urban meteorology 、 roughness 、 urban heat island 、 Da-an Park

一、前言

由於都市環境隨著城市建築、交通網持續建設與人口發展，汽機車與建物空調機組熱氣排放等等，對於大氣邊界層氣流(風場)、氣溫、濕度、雨量以及太陽輻射量等參數都產生人為性的干擾，這種通風效率低、高度人工熱氣影響下的大氣環境，綜合表徵出「都市熱島 (urban heat island,以下簡稱 UHI)」。UHI 已經透過衛星遙測和地面觀測廣為研究證實(Fabrizi *et al.*,2011;林等，2001)以及大眾媒體熟知，Kusaka *et al.* (2009)討論日本筑波市在冬季的 UHI 現象($\sim 4^{\circ}\text{C}$ 溫差)，孫(2008)曾利用 FORMOSAT-2 與 ASTER 衛星測影像進行台灣地區都會 UHI 現象，嚴(2012)也利用 1990~2009 年 Landsat 衛星影像來探討大台北地區 UHI 時空分布特性，並指出大台北地區在夏季地表溫度可高於鄉村地區達 $\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。都會地景隨著城市發展一再快速變動，除了造成 UHI 現象，也造成氣象觀測環境變遷並影響氣象資料的一致性(consistency)漂移現象或甚至中斷，讓都會小尺度天氣現象或是較長期的氣候分析的氣象資料代表性受到質疑，進一步延伸到氣候變遷全球暖化的爭議；Davey and Pielke (2005)針對美國各州常規性自動氣象站環境遮蔽嚴重現象，提出美國全國氣候測站重建之方針。中央氣象局在全台本島各地數個綜觀氣象站也曾面臨類似觀測環境變遷與觀測坪被遮蔽的問題，比如宜蘭測站緊鄰的力行國小以及台南永康測站緊臨民宅大樓(圖 1)，造成測風鐵塔需要增高以降低風速風向觀測的干擾；基隆測站、台北測站以及淡水測站也曾因都市計畫需求或是氣象站更新建築物而搬遷(高，2014)；嘉義測站周遭農田面積逐漸縮小，高雄測站地面觀測則受到前鎮漁港與中國石油儲油槽等人工建物而壓縮能見度和氣溫觀測(圖 2)。以上情境都一再顯示都市地區氣象觀測，越來越難以達到於氣候與綜觀天氣的氣象站常規需求；世界氣象組織「氣象儀器與觀測方法指引(the Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation)」Part-2 的第 11 章「urban observations」(WMO，2008)，也提出如何標定都會氣象觀測環境與觀測方法的建議。

Lee *et al.*(2015)提出「公園綠地」對於都會氣象觀測人為干擾的緩和(都市熱島效應的冷島效果)，以及更高空間解析度的氣象觀測網絡，來建構城市尺度的氣候帶概念(Local Climate Zone,以下簡稱 LCZ; Steward and Oke, 2012)。公園綠地在地表植被

和群聚樹木環境的氣溫量測，與都會其他人為環境的氣溫有顯著差異，一些研究發現公園冷島效應較其鄰近區域氣溫低 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ ，有時甚至低了 $5\sim 7^{\circ}\text{C}$ (Jauregui, 1990; Smith and Oke, 1998; Cao, 2010)。美國紐約市中央公園(面積 3.41 km^2)為大眾所熟悉的都會型大型公園，該公園面積佔有紐約市的 0.4%，中央公園內 Belvedere Castle 自從 1876 年就設立氣象觀測站(圖 3)，提供紐約都市熱島與公園冷島現象數據(Gaffin *et al.*, 2008)，以及該公園環境生態機調查的背景資訊。東京最大市立昭和紀念公園(1.63 km^2)是東京都的 0.26%，台北市市區內最大腹地的大安森林公園(面積 25.9 公頃)則佔有台北市總面積 0.1%(圖 4)，雖然大安森林公園只有紐約中央公園的 7.6%以及東京昭和公園的 15.9%，不過其綠地面積以及與周遭建物距離條件，具備了常規氣象站較有利的觀測環境，同時也適度調降該地區氣溫的可能性(張，2004)。

綜合以上論述，本計畫針對台北市中心的中央氣象局台北氣象站觀測坪、板橋測站、大安森林公園自動站(2017 年新增)以及台北市校園氣象站網，進行為期兩年的都會氣象觀測環境以及觀測空間密度增減的評估，以及建立中央氣象局未來在都會環境氣象站維護與遷移的評估程序，讓都會環境的氣象資料的長期紀錄有客觀性的調整。

本計畫第一年完成的工作項目包括：

- (1)台北、板橋、新竹氣象站的周遭地景粗糙度(氣象儀器顯露程度)定量調查。
- (2)台北盆地盛行風場(東風)情境下，台北氣象站與板橋氣象站的風場觀測、雨量觀測、氣溫觀測與太陽輻射觀測受到周遭建物干擾程度之模擬。
- (3) 台北、板橋、新竹氣象站周遭顯著人工熱源現況定量資訊。
- (4)初步評估台北都市熱島與大安森林公園冷島現象。
- (5)評估其他觀測站網(如校園氣象網)的資料品質與問題。

氣象站周遭地景視野空曠程度(在土木建築與氣象則是稱之為地表粗糙度)，定量估計方面，本計畫透過魚眼數位影像拍攝與分析(圖 5)來得出地面觀測坪和風力塔的環境遮蔽現況(儀器顯露度)。氣象站周遭人工熱源調查方面，則是選擇晴朗少雲的強日照

天氣情境下，透過熱紅外溫度數位相機(圖 6)環場影像來加以記錄存檔。本計畫透過台北市政府和新北市工務局購置的數位地形圖檔建置了中央氣象局局本部以及板橋測站的周遭建物立體圖層(圖 7)，置入日本 Cradle 公司 Stream 工程計算流體力學(CFD)軟體，以及美國 AutoDesk 公司 EcoTect 軟體，分析人工建物和自然地景在盛行風場(東風)以及夏至當日的太陽軌跡，定量描述氣象觀測地點的風場與日照被人工建物扭曲遮蔽的特徵(圖 8 與圖 9)。此外，本計畫第一年度透過 2016 年 7 月 27 日台北高溫個案，檢視校園氣象網加入現有局屬測站資訊，在當日 04:00UTC 和 12:00UTC 兩時段重新調整都市熱島區塊位置(圖 10)。最後，本計畫協助中央氣象局與台北市政府公工務局公園路燈管理處，於 2016 年 10 月完成大安森林公園氣象站之場地勘查，並促成林業試驗所與中央氣象局互訪與討論雙方在都會生態氣象監測之合作。

第二年度計畫重點包括(1)全面調查台北盆地局屬自動氣象站的遮蔽度調查，(2)以台北捷運公司土城捷運機廠自動氣象站預定位址，以板橋氣象站遷站前後的環境調查範本，做為日後其他城鄉測站搬遷選址的對策及相關標準作業程序之參考使用。(3)增加其他高溫天氣個案來繼續評估台北都市熱島現象，以及評估校園氣象網在氣象觀測密度增加的微氣象特徵。

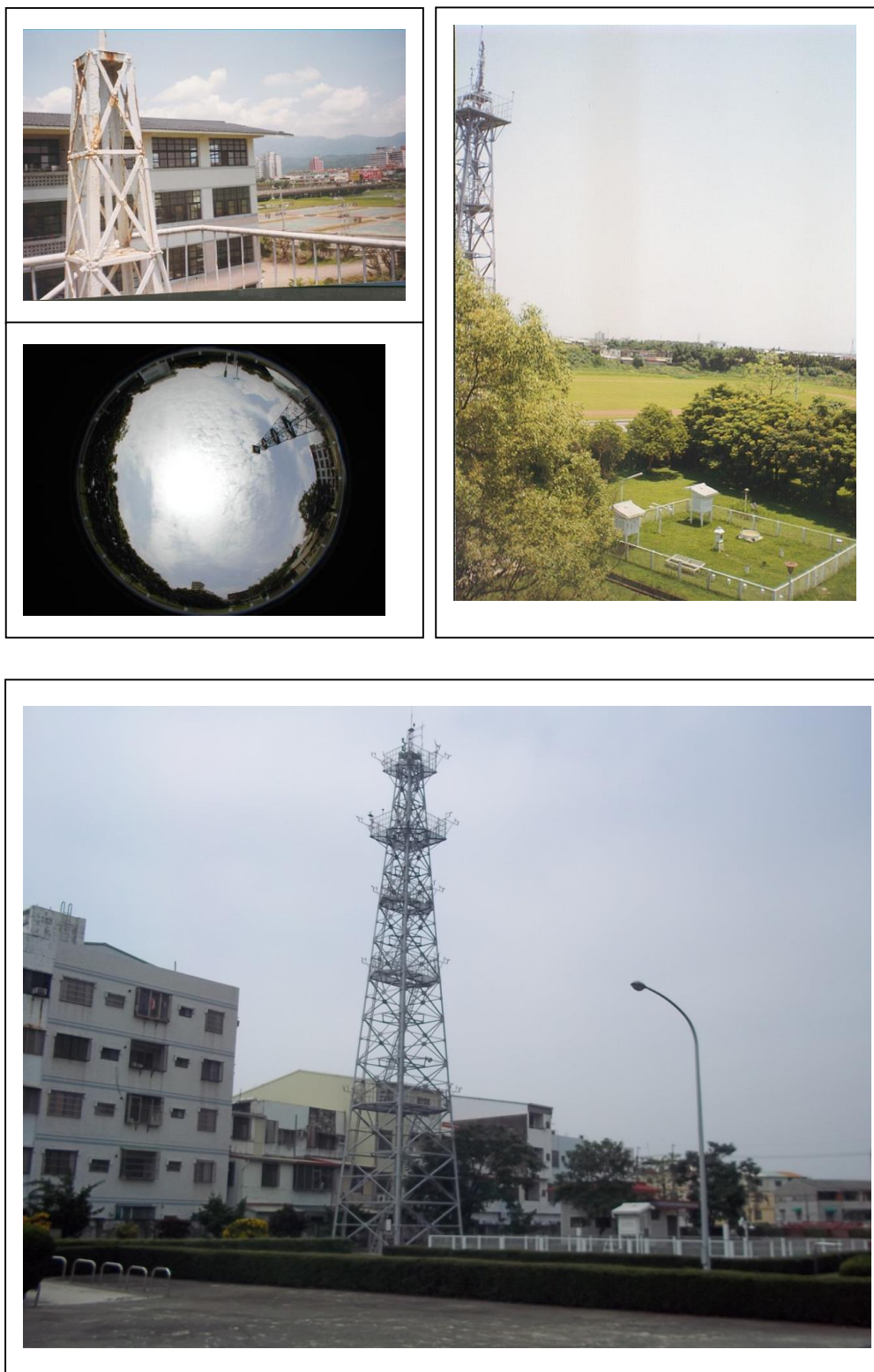


圖 1 中央氣象局宜蘭(上)與永康(下)測站觀測坪與風力塔。

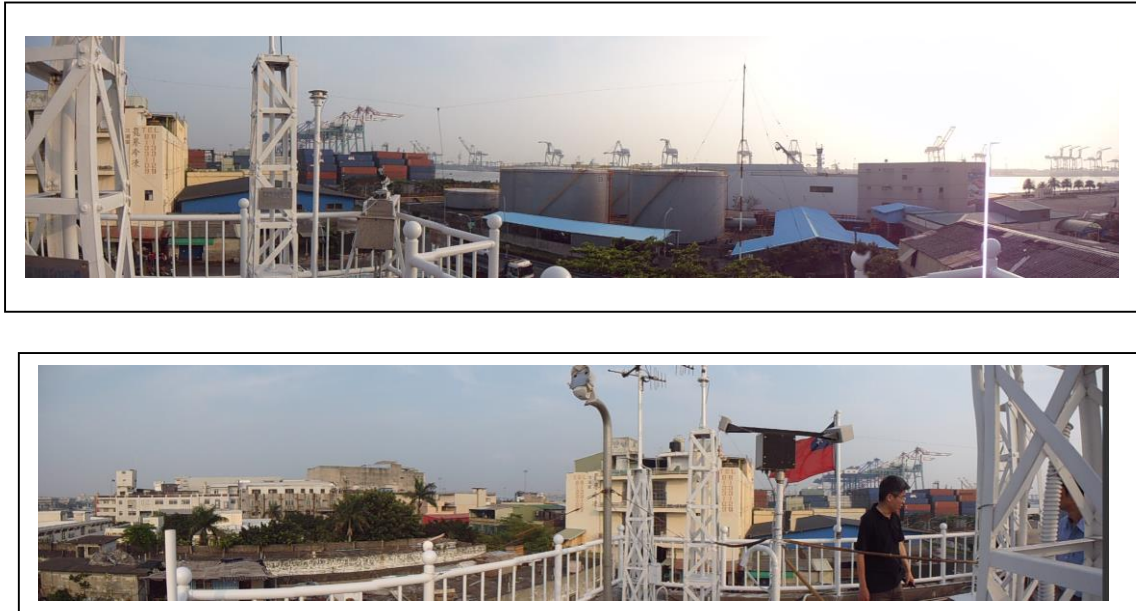


圖 2 中央氣象局嘉義測站(上)與高雄測站(中、下)觀測坪與風力塔周遭景觀。



圖 3 美國紐約市中央公園氣象站。



圖 4 台北市區與大安森林公園(圖片摘自網路)。



圖 5 (左)Nikon Coolpix-800 數位相機、Nikon FC-E8 魚眼鏡頭、相機腳架和水平儀，(中)拍攝觀測地點全天空彩色影像，(右)再經由影像軟體轉換成「天空為白色，遮蔽物為黑色」之黑白圖樣。

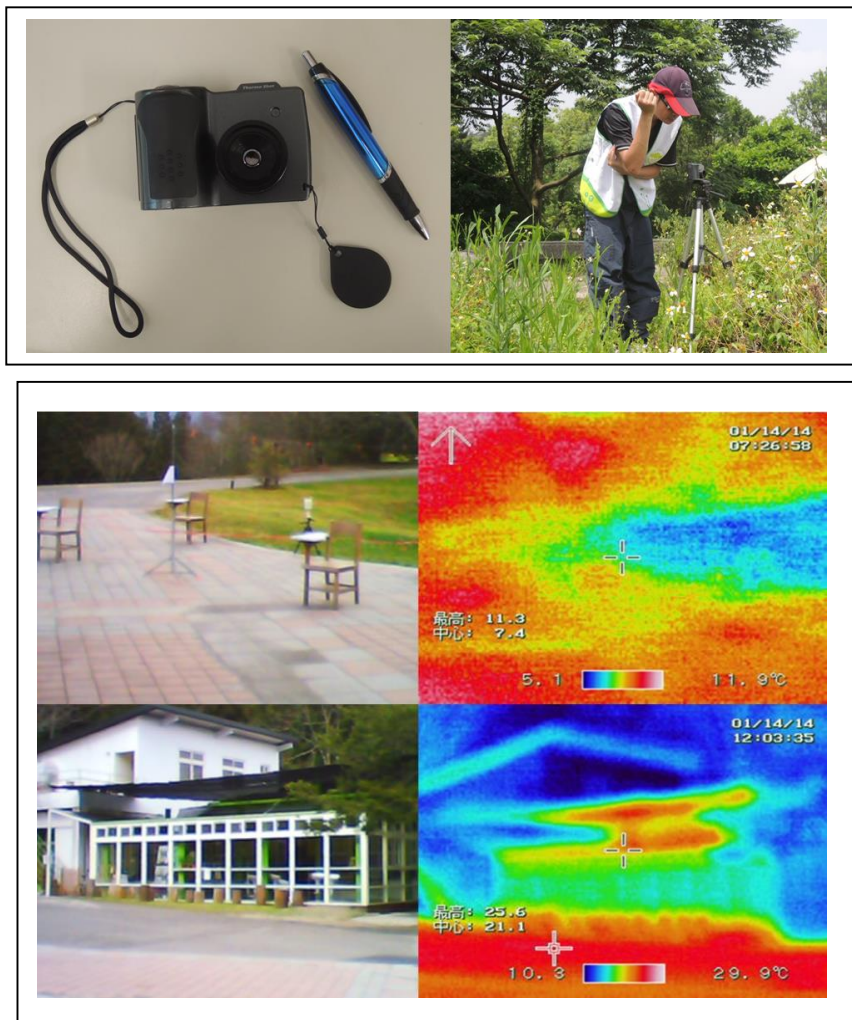


圖 6 (上)NEC F30 紅外相機(下)和其拍攝臺灣大學梅峰山地農場停車場 GEB 影像和熱顯像樣本(2016 年 1 月)。

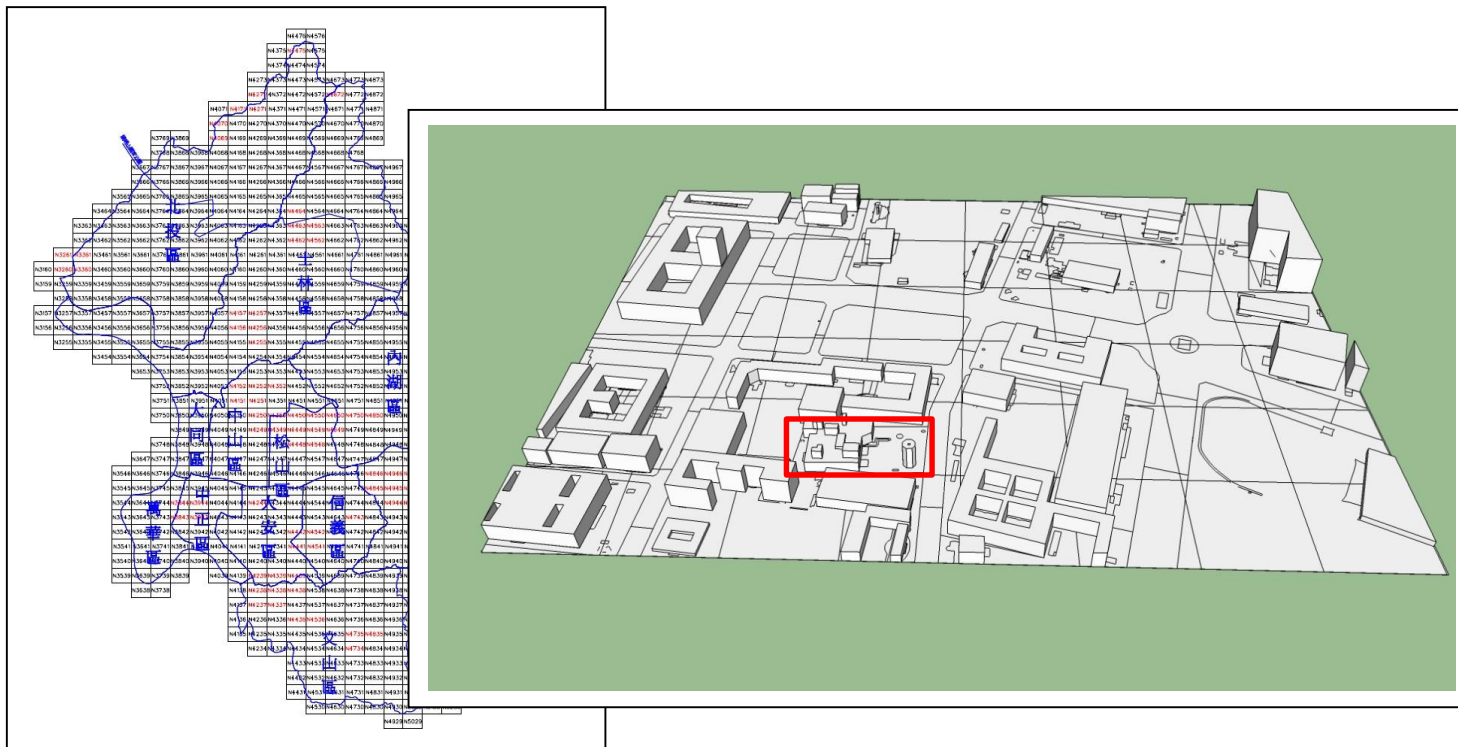


圖 7 (上)台北市政府工務局發售的台北市數位地圖編號以及編號#3944(中央氣象局台北測站附近，紅框)經過高度拉撐之後的 3D 立體圖層。(下) 新北市政府工務局發售的數位地圖#30360 和 46680(板橋浮洲樹林交界一帶)經過高度拉撐後的 3D 圖層(板橋測站和合宜住宅群位於紅框範圍)。黃空心圈與紅空心圈各代表板橋測站與捷運土城機場氣象站。

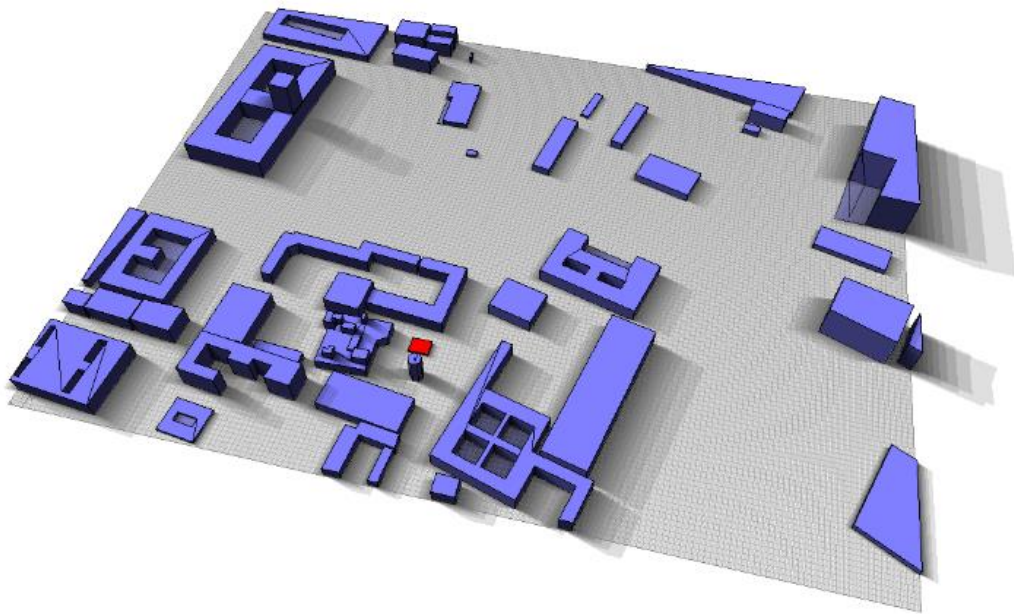
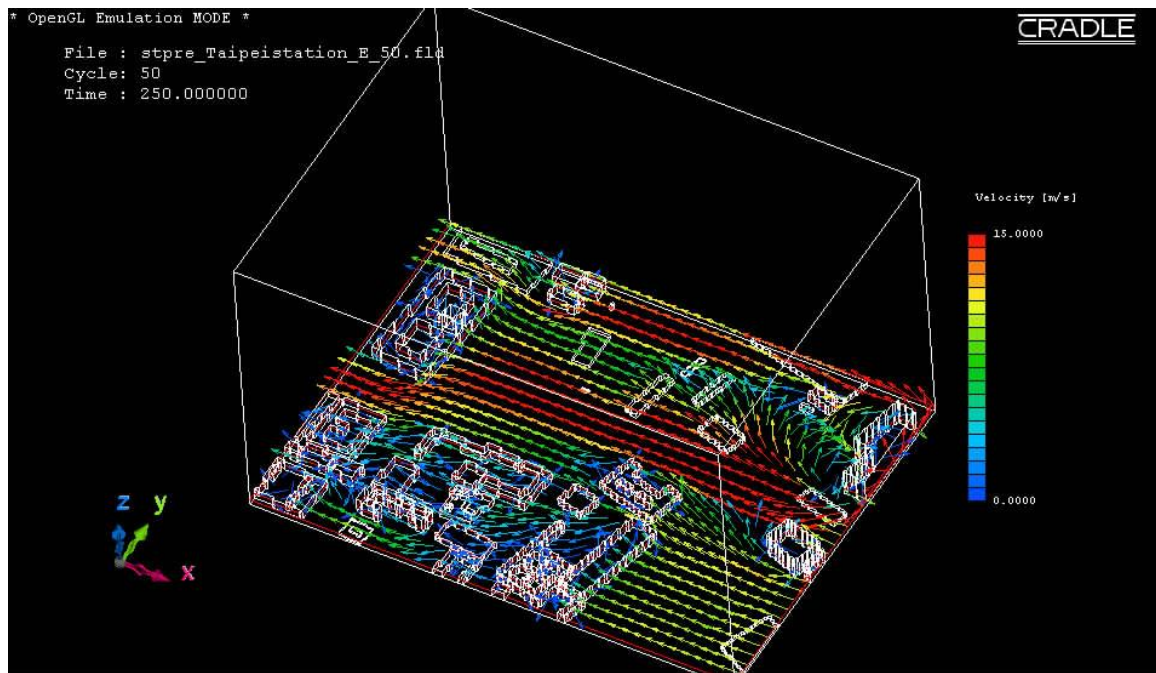


圖 8 (上)日本 CRADLE 公司 Stream (CFD) Model 東風情境下(地面無風速、10m 高度風速 10 ms^{-1} 的 log 剖面風場)通過圖 7 三維地景的離地 10m 的流場與風速分布。(下) EcoTect Model 估算中央氣象局局本部(紅色)在夏至 9:00~17:00LST 期間每一小時的建物日光陰影之疊加圖。

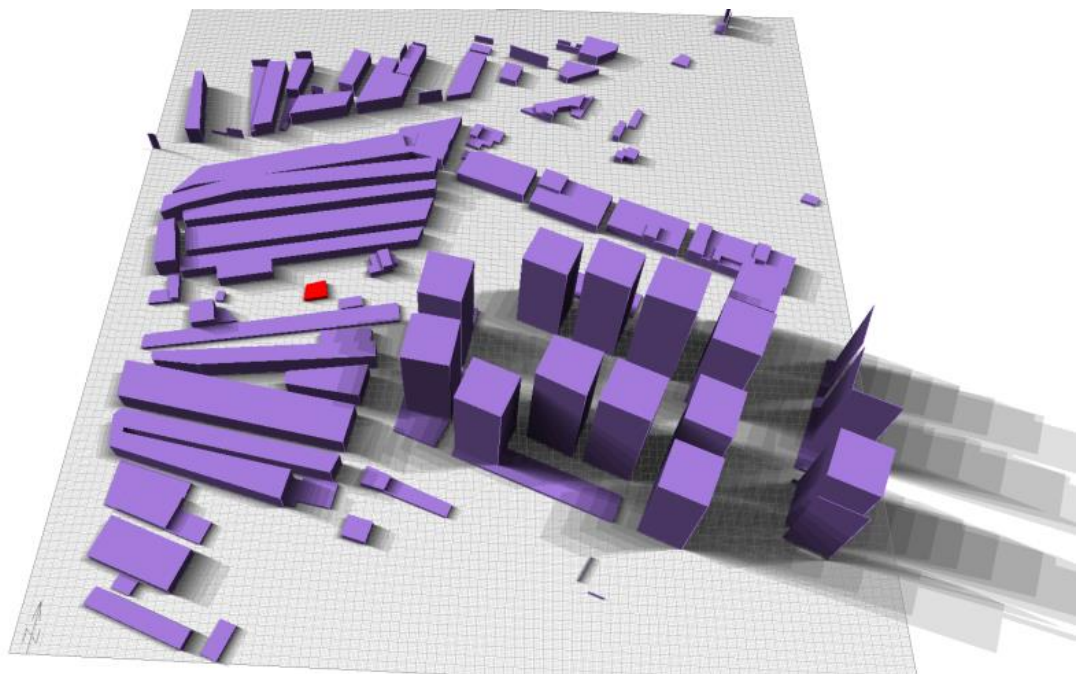
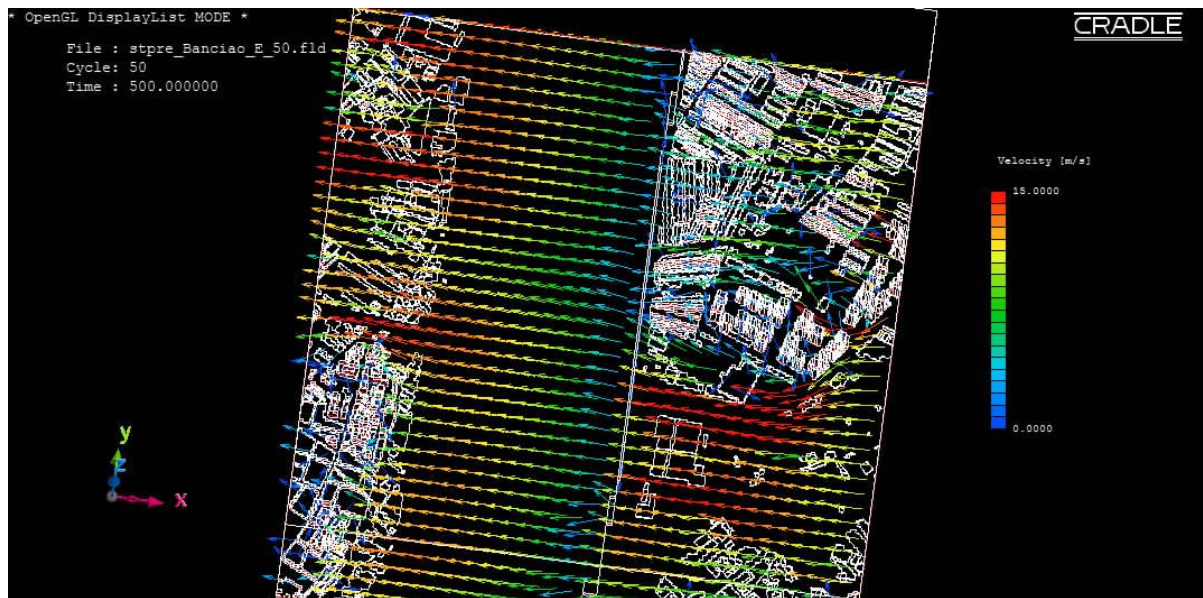


圖 9 (上)日本 CRADLE 公司 Stream (CFD) Model 東風情境下(地面無風速、10m 高度風速 10 ms^{-1} 的 log 剖面風場)通過圖 7 三維地景的離地 10m 的流場與風速分布。(下) EcoTect Model 估算中央氣象局板橋測站(紅色)在夏至 9:00~17:00LST 期間每一小時的建物日光陰影之疊加圖。

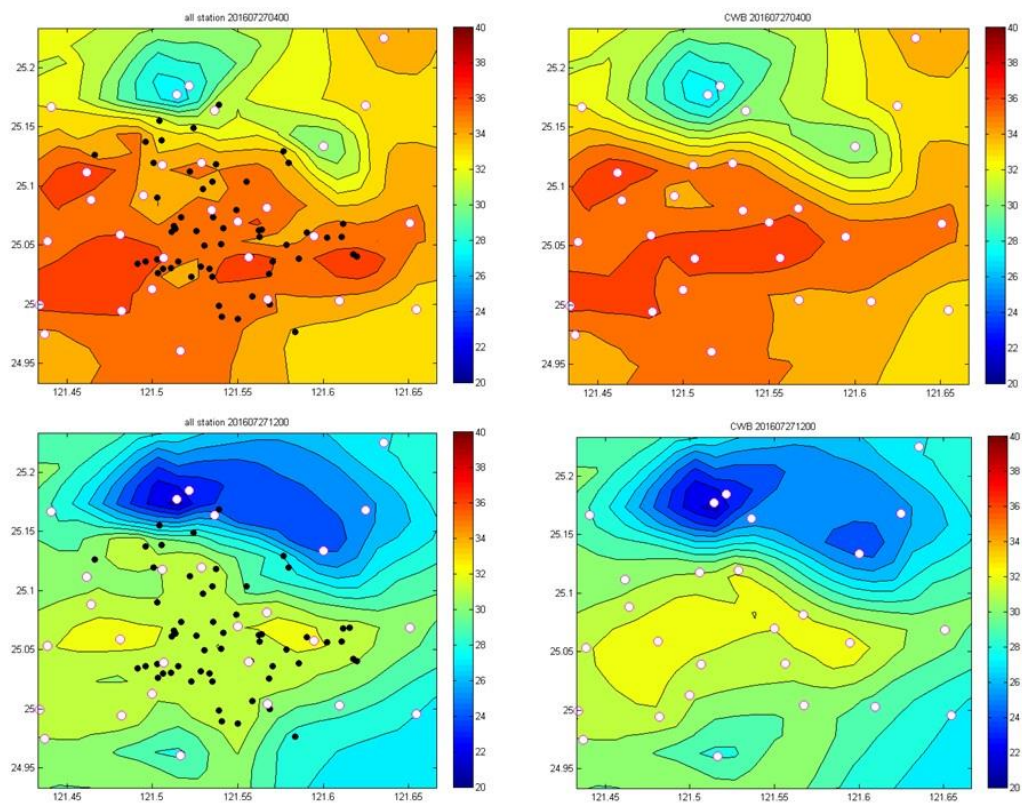


圖 10 2016 年 7 月 27 日 04:00UTC、12:00UTC 兩時刻有無校園氣象網資料的台北盆地氣溫分布(實心白點為氣象局測站位置，黑點則為校園氣象網位置)。

二、研究方法

本年度計畫工作項目與執行方法，逐項說明如下：

(1) 氣象風場、太陽輻射觀測受到周遭建物干擾程度之模擬/

本計畫上年度購入台北市政府和新北市工務局購置的數位(二維)地形圖檔，並建置氣象站周遭三維的建物立體圖層，透過日本 Cradle 公司 Stream 工程計算流體力學(CFD)軟體，以及美國 AutoDesk 公司 EcoTect 軟體，分析人工建物和自然地景在東風(台北盆地盛行風場)以及四季節(春分、夏至、秋分、冬至)太陽軌跡，初步定量描述氣象觀測地點的風場與日照被人工建物扭曲遮蔽的特徵。本年度將繼續以較盛行的其他方向風場(比如夏季西南季風期間)來分析測站周遭流場被都會環境干擾的程度。此外，流體力學上的 Edge effect 也被用來討論氣象測站架設在建物屋頂上的可能影響。

(2) 深化都市熱島與公園冷島現象之評估/

透過台北盆地周遭現有中央氣象局氣象(自動)測站觀測網，包含台北測站、板橋氣象站、石牌、土城、中和、永和、士林、蘆洲、三重、社子、南港、大直、信義、新莊、深坑以及林口等 14 自動站，以及 2017 年新增的大安森林公園和台北市八德路體育園區兩處新增氣象站(圖 11)，同時透過台北市校園氣象網和松山機場氣象站來的加入，共同來探討增加空間觀測密度(圖 12)後的 UHI 現象(其中士林測站以及南港測站兩地同時有中央氣象局測站)，這些資訊將被用以探討 2016 年夏季高溫天氣個案的台北盆地 UHI 現象。

(3) 台北捷運公司土城機廠自動氣象站評估/

我們參考 WMO 「Commission for Instruments and Methods of Observation」No. 1064 技術報告(2010)以及 WMO 「guidelines on Quality Control Procedures for Data from Automatic Weather Stations」(2004)等兩項文件內容，並以第一項工作項目細節，來計算評估台北捷運土城機廠自動氣象站新建地點的儀器顯露度和風場、日照的干擾程度，評估其氣象觀測環境與板橋氣象站的相似度，協助氣象局建立氣象站選址、遷移的相關標準程序，做為城鄉氣象站空間評估之參考。

(4) 持續扮演台北都會公園綠地之生態氣象監測串聯角色/

本計畫參與「大安森林公園之友基金會」辦理螢火蟲國際研討會，協助其展示行動式氣象觀測以及中央氣象局大安森林公園自動站(2017 年新增，圖 13)在大安森林公園生態池螢火蟲復育成果的背景環境調查；同時，追蹤林業試驗所台北植物園建置志工氣象行動監測解說效果，拓展都會地區民眾心與參與氣象監測的環境教育機會。

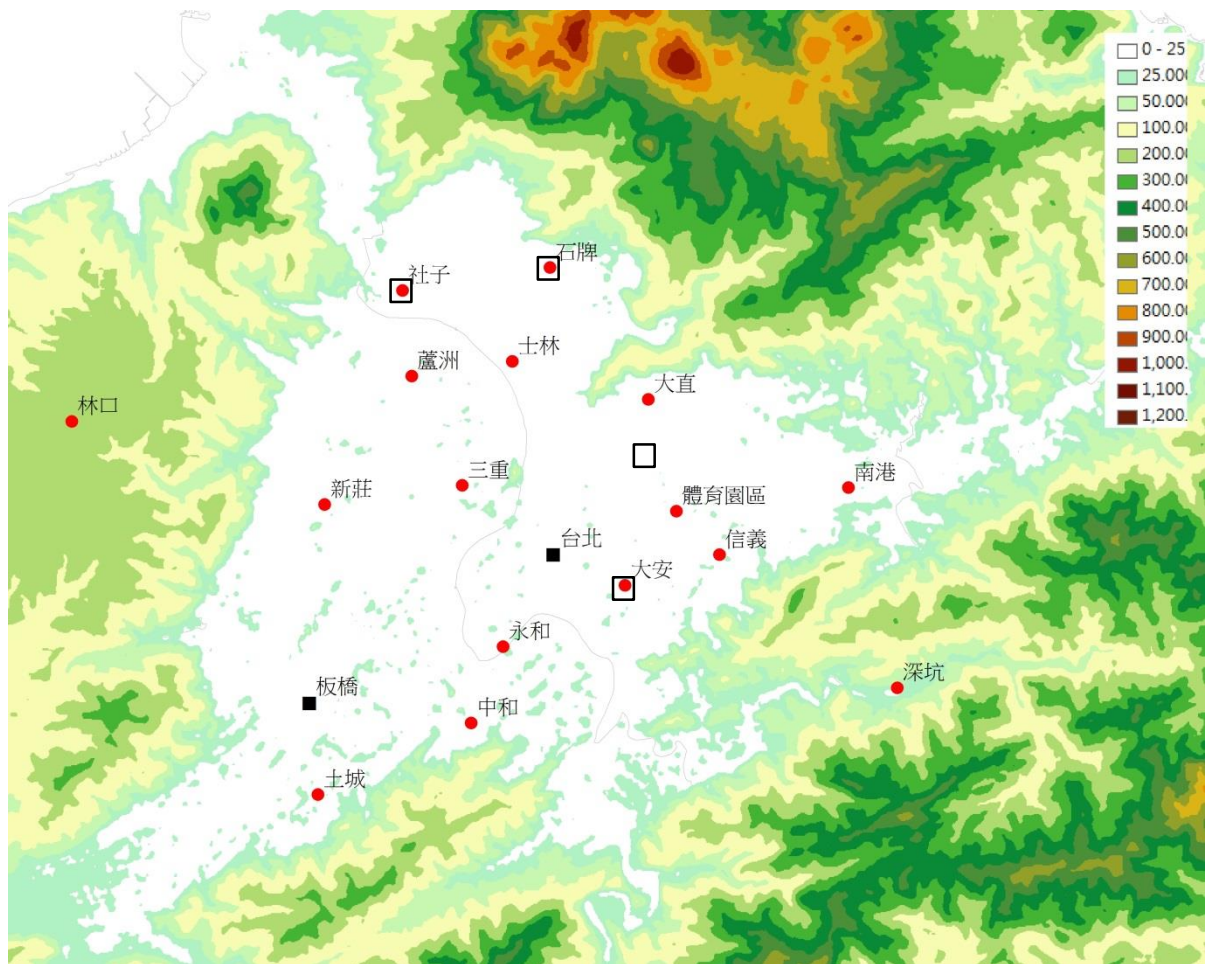


圖 11 台北盆地內周遭現有中央氣象局氣象測站觀測網，其中台北氣象站與板橋氣象站以黑正方形表示，其餘 14 處自動氣象站(石牌、土城、中和、永和、士林、蘆洲、三重、社子、南港、大直、信義、新莊、深坑以及林口)，以及 2017 年新增的「大安」森林公園和台北市八德路「體育園區」兩處新增氣象站均以紅實心圓表示；地形資料來自中央研究院 30m 解析度數位地圖。置放於地面草皮的自動站測站另套上黑方框加以標示；白方框則是松山機場氣象站。

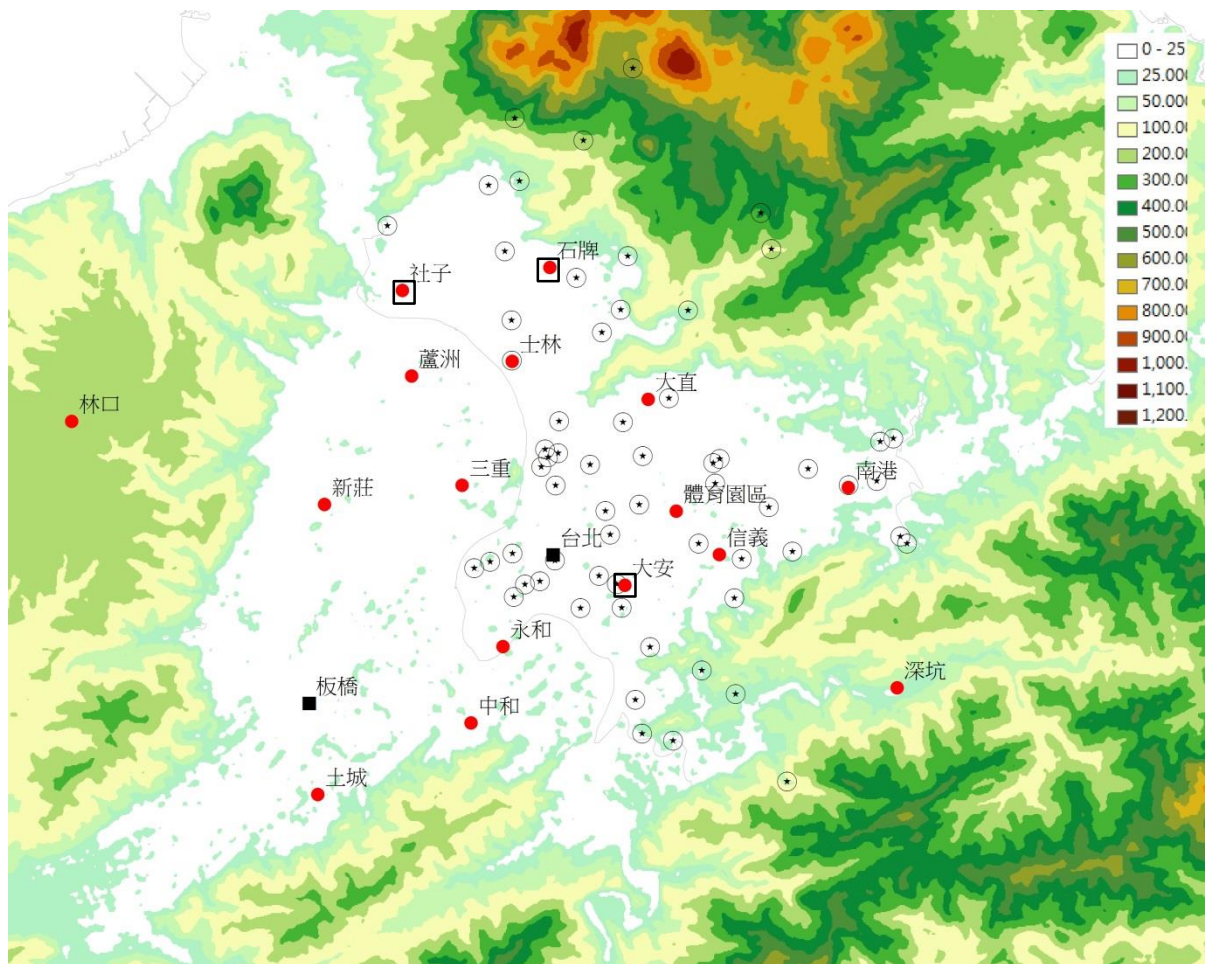


圖 12 同圖 10 但增加台北市校園氣象網(黑空心圓)；圖中顯示士林測站以及南港測站兩地同時有中央氣象局測站。

三、成果說明

3-1 氣象風場、太陽輻射觀測受到周遭建物干擾模擬程度

本年度分別於下列時段完成 16 測站環境遮蔽影像拍攝，以分析該地景的儀器遮蔽度(視野空曠度的相反詞)調查：

- 2017 年 1 月 23 日：新竹氣象站辦公室後方草坪
- 2017 年 3 月 2 日：信義測站、南港測站、大直測站、石牌測站、蘆洲測站、三重測站、新莊測站、中和測站、永和測站
- 2017 年 3 月 10 日：板橋氣象站、土城捷運機廠站、土城測站、深坑測站
- 2017 年 4 月 12 日：士林測站、林口測站

根據 2008 年世界氣象組織(WMO)氣象儀器與觀測規範第六章「降水」之內容，是以雨量筒筒口的顯露度四種等級來區分測站降水的影響程度，這四等級分別是：(1) $0\sim5^\circ$ 屬於「顯露良好，Exposed site」(2) $6\sim12^\circ$ 屬於「大致顯露，Mainly exposed site」(3) $13\sim19^\circ$ 屬於「大致遮蔽，Mainly protected site」(4) $20\sim26^\circ$ 屬於「遮蔽，Protected site」。表 1 和表 2 分別是上年度和今年度各處測站的環境遮蔽度(單位： $0\sim90^\circ$)，數值越大代表儀器受到周遭環境的遮蔽程度越大。比如，以台北盆地經緯度(121.513°E 、 25.039°N)來估計冬至(12 月 23 日)太陽入射角 12° ，是發生在上午 7:30~7:45am 以及下午 4:00~4:15pm 這兩時段，若是測站環境遮蔽數據大於 12° ，那麼表示 7:45am 以及 4:15pm 之後就會有地景地物的陰影遮蔽到觀測地點。由於氣象局自動測站雨量筒高度 3m，因此相機拍攝位置無法搭載於雨量筒筒口，我們將雨量筒干擾魚眼鏡頭的影像加以剔除後再計算 360° 環場環境物件遮蔽的仰角角度，加以平均而得。此外，因應台北市新生國小校園氣象網種子教師的要求，我們也於 2017 年 1~6 月分次陪同對方前往台北市所轄各處國民小學氣象站進行環境遮蔽普查，結果如表 3，這些非屬氣象局的都會型氣象觀測資料的加值程度，將在下一節內容繼續討論。

首先，關於新竹氣象站辦公室大門前方的觀測坪以及辦公室後方草坪的環境遮蔽拍攝與分析結果，圖 14 顯示辦公室後方草坪的環境空曠度(12.52°)優於現有觀測坪(15.8°)，觀測坪較容易受到新竹縣政府大樓的遮蔽影響(圖 15)。

其次，關於板橋氣象站觀測坪、屋頂風力塔旁的太陽輻射計位置以及宿舍屋頂，這三處的環境遮蔽分別是 20.9° 、 23.5° 以及 22.48° (圖 16)；上年度我們以 ECOTECT 軟體評估浮洲合宜住宅群對於板橋氣象站的風場和日照遮蔽(風力塔位置)，發現 2014 年與 2015 年兩年的 1~5 月以及 10~12 月的東風和東北風頻率與強度(圖 17)，和 2006~2013 年型態有顯著改變(東風減少、東北風增加)，合宜住宅群干擾板橋氣象站太陽輻射觀測

部分，則是發生在上午日出一小時左右(夏至季節除外)(圖 18)。

再者，台北氣象站觀測坪(遮蔽度 19.7°)，由於緊鄰公園路車道，氣溫量測有時受到電視台轉播車發電機組熱氣排放干擾，架設於行政大樓屋頂的風力塔有建物紊流干擾，太陽輻射觀測則受到衛星中心衛星接收天線高塔(2013 年 12 月外牆改裝成大型戶外溫度計)以及行政大樓陰影遮蔽(圖 19)。至於行政大樓 6 樓屋頂的風力塔位置，受到建物干擾的可能程度，我們透過日本 Cradle 公司 CFD (Stream) Model 來評估，圖 20 顯示在台北盆地盛行風(東風)情境之下，氣象局正門東側弘道國中建物群提供了較緩和的近地層風場剖面，因此行政大樓 6 樓屋頂女兒牆並未引起明顯的強風區現象，但是地面到屋頂仍有渦漩，可能造成觀測坪降雨觀測擾動。為了進一步說明地表突出建物對於風場擾動的影響程度，本計畫利用一個單棟建物模型(如圖 21)透過 CFD 軟體，來模擬都市氣象自動站經常架設在建物樓頂時可能遭遇風場量測的干擾程度。我們將這棟模型置於 $50\text{m} \times 50\text{m}$ 場地中央，並從場地外圍離地 10m 處(參考高度)輸入 5ms^{-1} 吹向建物，並假設風速垂直剖面呈現 power-law 曲線分布(如圖 22)。圖 23 顯示風場通過建物之前、觀測桿、建物之後的風場的差異程度，在建築物前緣風速開始減弱，而在觀測竿附近風速約 $\sim 2.5\text{ms}^{-1}$ ，是背景環境場相同高度的 1/2。圖 24 以縱剖面來顯示建物前後方風速與風向差異程度，風場由原本水平的垂直分層，變成如 M 形般的貼著牆面的分層變形；圖 25 則是俯瞰建物屋頂的風速與風標變形特徵。雖然氣象觀測架設在屋頂可以爭取較低的環境地景地物遮蔽程度，但是屋頂水泥地板吸熱、冷氣機冷卻水塔人工熱源，都干擾到氣溫、濕度和風速風向的觀測與失真。

表 1 和表 2 呈現的台北盆地自動氣象站，除了石碑測站之外(石碑國中 29.68° ，圖 26)，其餘自動氣象測站環境遮蔽度都小於 12° ；然而，光從環境遮蔽數據仍有缺陷，必須有環繞場景來評估觀測場地的複雜程度；比如石碑測站高遮蔽度主要是操場樹木的遮蔽所造成，而非人工建物的遮蔽。反觀台北市政府屋頂的信義測站，雖然環境遮蔽度僅有 9.7° ，但是該處屋頂由於有多家電信公司做為訊號台基地，台北市政府在周遭築起高度 2m 圍牆來舒緩景觀，但是造成風場量測上的嚴重失誤(圖 27)，本年度委託單位已派員將風力桿升高超越圍牆加以改善。附件一整理了本年度所量測的中央氣象局測站環境遮蔽的景觀與遮蔽仰角角度資訊，可做為日後委託單位再次進行地景變遷的參考，以及都會氣象測站環境代表性優劣評定的依據。

上年度分析了台北盆地在盛行風場(東風)情境下的台北氣象站與板橋氣象站風場受到周遭建物干擾程度之模擬。本年度再增加夏季西南風情境之模擬，圖 28 和圖 29 是別是兩地的離地 10m 和離地 30m 的風速風分布，台北測站無論是近地面還是較高樓層(30m)高度都受到台北市立大學建物遮蔽嚴重，板橋測站離地 10m 的風速受到周遭建物和堤岸影響，合宜住宅建物群位於其東南側，因此 30m 高度風場則沒顯著影響。

3-2 深化都市熱島與公園冷島現象之評估

中央氣象局關官方網頁呈現 1950~2015 年期間台北測站氣溫大於 35°C 的高溫日數(如圖 30 所示)，該圖顯示 2001 年之後這一「高溫日數」每一年都超過 30 天以上，在 2014 年甚至有 61 天的極大值，2015 年和 1991 年則有 53 天的次大數值，2017 年 6 月 26 日氣象局預報中心的「夏季颱風展望」說明會，提及 2016 年 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高溫日數高達 77 天；由此可見台北市熱島現象以及公園的冷島效應的可能調節，急需整理分析。上年度計畫我們分析了 2016 年 7 月 27 日高溫事件(圖 10)，今年度再增加 2016 年夏季 5 次高溫 $\geq 37^{\circ}\text{C}$ 個案，來探討都市尺度更高的觀測空間密度的可能差異。圖 31~圖 35 分別是 2016 年 6 月 1 日 15:00LST、6 月 4 日 13:00LST、7 月 1 日 13:00LST、7 月 28 日 12:00LST 以及 7 月 29 日 12:00LST 等，五段時間的台北盆地氣溫空間分布在有無「校園氣象網觀測以及松山機場氣象站」兩種資料加入與否的對照，這些圖表共同特徵是高溫熱點出現在台北盆地中區和西區，南區和北區氣溫稍低，我們期待 2017 年 8 月以及 12 月加入氣象局自動測站網的大安森林公園以及台灣大學大氣科學系(合作測站)，是否能凸顯出這些圖表偏東南方位(台北南區)的氣溫低值。

本計畫檢查新生國小氣象站自 2009 年至 2016 年 9 月期間的高溫事件，新生國小位於大安森林公園隔街西側，是台北市校園氣象網種子學校，我們預期該測站(位於教學大樓 6F 屋頂)維護優於其校園氣象測站，圖 36 顯示其 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的日數，在 2003 年之前是"0"，2004~2013 年期間高溫日數大約是中央氣象局台北氣象站高溫日數的 1/2，然而 2014~2015 年卻突然增加，幾乎與台北氣象站日數相同；我們一則懷疑校園氣象站儀器品質與年限，一則查證得知該校在 2014 年夏季氣象站所在屋頂進行了防水工程，鋪面工程以及水泥地板可能干擾氣溫的量測，這事件再度凸顯都市小尺度氣象觀測代表性的嚴峻挑戰，都會氣象觀測環境代表性優劣評定之外，氣象站安置地點的地貌特徵也需註解。

上年度本計畫透過移動式 WXT520 氣象站分別在大安森林公園(2016 年 5 月 18 日~7 月 1 日)、新生國小屋頂(2016 年 7 月 1 日~8 月 26 日)以及中央氣象局觀測坪(2016 年 8 月 26 日~9 月 2 日)，進行兩階段同步觀測之平行比對，這兩段時期的氣溫與相對溼度的線性相關函數以及相關係數(R^2)分別是：

- 2016 年 5 月 18 日~7 月 1 日

$$T_{\text{cwb}} = 0.969 \times T_{\text{wxt520}} + 1.922 \quad (R^2 = 0.960) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$RH_{\text{cwb}} = 0.77 \times RH_{\text{wxt520}} + 11.94 \quad (R^2 = 0.867) \quad \dots\dots\dots (2)$$

- 2016 年 7 月 1 日~8 月 26 日

$$T_{\text{cwb}} = 1.016 \times T_{\text{wxt520}} - 0.40 \quad (R^2 = 0.959) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$RH_{\text{cwb}} = 0.931 \times RH_{\text{wxt520}} + 5.96 \quad (R^2 = 0.878) \quad \dots\dots\dots (4)$$

● 2016 年 8 月 26 日~9 月 2 日

$$T_{\text{cwb}} = 0.9964 \times T_{\text{wxt520}} + 0.072 \quad (R^2 = 0.994) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$RH_{\text{cwb}} = 0.948 \times RH_{\text{wxt520}} + 7.77 \quad (R^2 = 0.971) \quad \dots\dots\dots(6)$$

將(5)、(6)式的 T_{wxt520} 和 RH_{wxt520} 再代回(3)、(4)式以及(1)、(2)式，即可得知大安森林公園比同時段(2016 年 5~9 月期間)中央氣象局觀測坪氣溫低~1.85℃，新生國小屋頂也比同時段(2016 年 5~9 月期間)中央氣象局觀測坪氣溫高~0.33℃。

從圖 11 可發現校園氣象網的士林國小與南港國小，這兩地點也有中央氣象局自動觀測站，因此本計畫針對這兩處測站 2015 年全年度觀測參數加以相互比較；圖 37 與圖 38 分別是士林國小與南港國小的氣溫、相對濕度、風速與風向的兩觀測系統散布圖(scatter plot)，顯然氣溫和相對溼度的彼此相關性甚高(R^2 值>0.9)，風速相關性稍差(士林 R^2 值~0.7、南港 R^2 值~0.6)，但是校園氣象網的風向觀測數據不可使用。

大安森林公園自動氣象站建置方面，上年度 12 月中央氣象局與台北市政府公園路燈管理處已完成場地共同會勘，2017 年 3 月氣象局完成工程發包作業，台北市政府法務局針對雙方協議部分詞句仍有修訂要求，本計畫透過大安森林公園之友基金會協助與台北市政府相關單位溝通，雖然這一氣象站錯過 4 月螢火蟲復育宣傳活動以及 6 月生態博覽會活動，最後終於在 8 月世界大學運動會前完成建置與啟用(如圖 13)，本計畫也協助委託單位撰寫該處自動測站的中英文告示牌內容。我們期待大安森林公園氣象觀測，能在 2018 年夏季提供定量證據來確認其在台北盆地高溫夏季扮演顯著「都市冷島」的貢獻。

3-3 台北捷運公司土城機廠自動氣象站評估

本年度計畫另一重點是以台北捷運公司土城機廠自動氣象站建置前的地景代表性評估。2017 年 3 月 10 日本計畫由板橋台北站主任以及土城捷運機廠總工程師陪同，共同會勘廠區內行政區與廠房區之間綠廊帶的 2 樓層高度抽水站房屋頂(圖 39)，該處屋頂的環境遮蔽度是 4.03，是表 1 和表 2 中央氣象局測站空曠度最佳的站址，同時該地點是工務管制區域，遠離民宅與道路，是設置長久性測站的理想地點。然而，也需提醒台北捷運公司廠區人員，在該棟建物寬度(W)的 3 倍半徑(3W)的範圍內，若有人工建物高度超越抽水站高度(H)再加 $0.21 \times H$ (圖 40)，則事前知會氣象局加入討論。舉例來說：抽水站房高度 10m、寬度 10m，抽水站 30m 半徑範圍內若有建物高度 16.3m ($= 10m + 30m \times 0.21$)，其中 0.21 係數是來自 $\tan 12^\circ$ 數據， 12° 度仰角是環境遮蔽「大致顯露，Mainly exposed site」6~ 12° 的上限；若以該地冬至當日太陽入射角 12° 計算，上午 7:30~7:45am 之前以及下午 4:00~4:15pm 之後可能都對抽水站太陽輻射觀測(或日照時數觀測)有所影響。

WMO 「Commission for Instruments and Methods of Observation」No. 1064 技術報告(2010)文件，建議以下五種測站等級：

- Class-1:地形斜度 $<19^\circ$ ，遮蔽度 $<5^\circ$ ，熱源(建物、停車場等)在 100m 以外。
- Class-2:地形斜度 $<19^\circ$ ，遮蔽度 $<6^\circ$ ，熱源(建物、停車場等)在 30m 以外。
- Class-3:遮蔽度 $<7^\circ$ ，熱源(建物、停車場等)在 10m 以外。
- Class-4:遮蔽度 $<20^\circ$ ，熱源(建物、停車場等)在 3~10m 以外。
- Class-5:不滿足 Class-4。

Class 3~Class 5 這三等級預期在氣溫觀測會有 1°C 、 2°C 和 5°C 的不確定性發生。在 Class 2~Class 5 這四等級預期在降雨觀測則分別有 5%、15%、25%和 100%的誤差發生。表 4 是本計畫所設計的「氣象測站站址選定原則檢查表」，方便委託單位未來在新增氣象站或是遷移氣象站的選址參考，這一內容包括測站經緯度海拔以及環境調查的影像紀錄以及環境遮蔽度計量，並參考 WMO 測站分級給予等級評估。以測站的 10m 半徑來說，如果地面測站有環境遮蔽 20° ，若要將這一環境遮蔽降低到 6° ，則只好將測站高度增高 2.6m，約一般樓板高度(3.2m)的 0.8 倍。

3-4 串聯台北都會公園綠地生態氣象監測

本項目重點有三，一是確認公務部門(台北市政府工務局公園路燈管理處以及農業委員會林業試驗所)在都會公園進行氣象監測的合作進度；二是教育單位(校園氣象網)現有哪一氣象站的地景較接近公園綠地之特徵；三是參與「大安森林公園之友基金會」主辦的螢火蟲國際研討會(2017年4月，台北)，推動公民科學家(citizen scientists)與公園導覽志工協助參與大安森林公園行動式氣象觀測，拓展都會地區民眾心與參與氣象監測的環境教育。

第一部分有關台北市政府工務局公園路燈管理處進度，已在3-2節說明；第二部分方面，農業委員會林業試驗所台北植物園部分，中央氣象局測政組已拜會林業試驗所，副所長以及台北植物園同仁介紹了該園北側入口的台式鷹架(~12高度)氣象塔(圖41)；該所技術推廣組也跟本計畫借用六套 windoo-3 sensor，交由台北植物園服務志工測試使用；根據使用回應，環境志工個人手機的無線網路功能較弱，通常手機GPS定位啟動都要5分鐘之久，因此觀測後回傳資料庫效果不彰，因此該感測器目前只被用來顯示即時氣象觀測資料與遊園民眾互動，本計畫修改了APP功能，解除GPS離線功能，以及手機觀測的「歷史紀錄」和重新上傳，也方便在網路不穩的登山遊憩民眾也能運用。

新生國小三年前所主辦與進行的台北校園氣象網訪視文件，顯示台北市校園氣象網地景較接近公園綠地之測站包括北投區湖田國小、士林區溪山國小、大安區公館國小以及文山區指南國小；前兩校並未被列入本計畫今年度參與現地訪視的對象，因此表3沒有兩校的氣象站環境遮蔽。大安區公館國小雖然在蟾蜍山丘，但是氣象測站被置放在林木之下(圖42，環境遮蔽度77.4°)，文山區指南國小則在木柵政治大學與貓空山路、指南宮下方某溪谷(圖43，環境遮蔽度30.9°)，因此代表性不足。位於市區氣象站幾乎全部置放在水泥鋪面屋頂或是緊鄰教室的花圃，也無法滿足公園綠地的地景空曠程度。

第三部分有關公民科學家(citizen scientists)與公園導覽志工協助參與大安森林公園行動式氣象觀測，來拓展都會地區民眾心與參與氣象監測環境教育，圖44是本計畫參與2017年4月於台北動物園的螢火蟲國際研討會，本計畫發表「Microscale meteorological monitor for ecological watch—a case study at firefly recovery site in Daan Park, Taipei」，說明中央氣象局對於都會環境對氣象觀測影響評估與對策的方向，以及增設大安森林公園的目標。

表 1 2016 年度氣象站環境遮蔽度(儀器顯露度)調查結果一覽。

地點	環境遮蔽度(單位:度°)
台北氣象站_地面觀測坪	19.7
台北氣象站_風力塔樓頂	23.5
板橋探空站_地面觀測坪	20.9
板橋探空站_風力塔樓頂	19.2
新竹氣象站_地面觀測坪	15.8
新竹氣象站_風力塔樓頂	11.5
新竹氣象站(公園)舊址	90.0
大安森林公園機房屋頂	15.4
大安區新生國小屋頂	9.7
大安森林公園灌木草坪區	18.9

表 2 2017 年度氣象站環境遮蔽度(儀器顯露度)調查結果一覽。

地點	環境遮蔽度(單位:度°)
新竹氣象站_後棟草坪	12.52
三重自動氣象站(集美國小)	10.97
大直自動氣象站(大直高中)	11.46
中和自動氣象站(錦和公園)	6.02
永和自動氣象站(永平高中)	7.02
石牌自動氣象站(石牌國中)	29.68
信義自動氣象站(台北市政府)	9.70
南港自動氣象站(東新國小)	9.77
新莊自動氣象站(富榮國小)	10.31
蘆洲自動氣象站(三民高中)	5.97
士林自動氣象站(社子國小)	13.53
林口自動氣象站(林口高中)	8.77
社子自動氣象站(海技學院)	9.96
土城自動氣象站(消防分隊)	9.11
深坑自動氣象站(深坑國小)	6.81
土城捷運機廠	4.03
板橋測站宿舍屋頂	22.48
板橋測站輻射計	9.46

表 3 2017 年 1~6 月校園氣象站(或預定地點)環境遮蔽度(儀器顯露度)調查結果一覽。

地點	環境遮蔽度(單位:度°)	備註
三玉國小	7.48	
龍山國小	6.47	
國語實小	5.55	
忠義國小	41.56	
忠孝國小	17.42	
至善國小	24.56	
大同國小	11.38	
西松國小	10.53	未裝氣象站
舊莊國小	37.48	
景興國小	8.29	
新生國小	4.35	未裝氣象站
河堤國小	8.11	
新和國小	8.09	
華江國小	45.05	
三民國小	5.32	
公館國小	77.40	
吳興國小	16.31	
東湖國小	7.23	
松山國小	10.61	
福德國小	34.27	
辛亥國小	13.38	
南港國小	22.58	
指南國小	30.91	
胡適國小	8.40	
景美國小	9.45	
大龍國小	6.40	
五常國小	56.79	
北投國小	16.44	
永安國小	12.66	
長安國小	8.25	
福林國小	6.82	
蓬萊國小	9.94	

表 4 氣象測站站址選定原則檢查表。

填寫日期:

填寫人:

項次	內容	等級	備註
地景特徵			
A	經度: 緯度: 海拔高度: 地址:	Map (Google earth) http://keisan.casio.com/exec/system/1224682277 當地太陽天頂角每 15 分鐘演替數據	
B	環境遮蔽度	① < 6° ② <13° ③ <20° ④ >20°	全天空影像 ¹
C	樹木或電桿之相對距離	(八方位)	皮尺或測距儀
D	環景影像紀錄 ²		正北標示
E	WMO 測站等級 ³	Class-??	1~5 五級
土木特徵			
A	地面狀態	①裸露泥地 ②草地 ③人工(水泥)鋪面	影像紀錄
B	地上建物	長: 寬: 高:	皮尺或測距儀
C	地權所有	① 公務用地 ② 私人土地 ③ 公民營屬地	聯絡人資訊 ⁴
D	水土保持處理	① 無須水保 ② 需水保 ③ 待查	
距離站址最近之現有氣象站			
A	氣象測站名稱		
B	季節盛行風向	春: 夏: 秋: 冬:	風花圖
C	無線電通訊	① 良好 ② 須中繼 ③ 不良	

*1,2 全天空影像、環景照片於下頁。

*3 WMO 測站等級(地面草地自然植被)

- Class-1:地形斜度<19°, 遮蔽度<5°, 熱源(建物、停車場等)在 100m 以外。
- Class-2:地形斜度<19°, 遮蔽度<6°, 熱源(建物、停車場等)在 30m 以外。
- Class-3:遮蔽度<7°, 熱源(建物、停車場等)在 10m 以外。
- Class-4:遮蔽度<20°, 熱源(建物、停車場等)在 3~10m 以外。
- Class-5:不滿足 Class-4。

*4 聯絡人資訊 (1)姓名:

(2)電話:

(3)電郵:



圖 14 中央氣象局竹北氣象測站辦公室後方草地。



圖 15 中央氣象局竹北氣象測站辦公室前方觀測坪與縣府大樓。

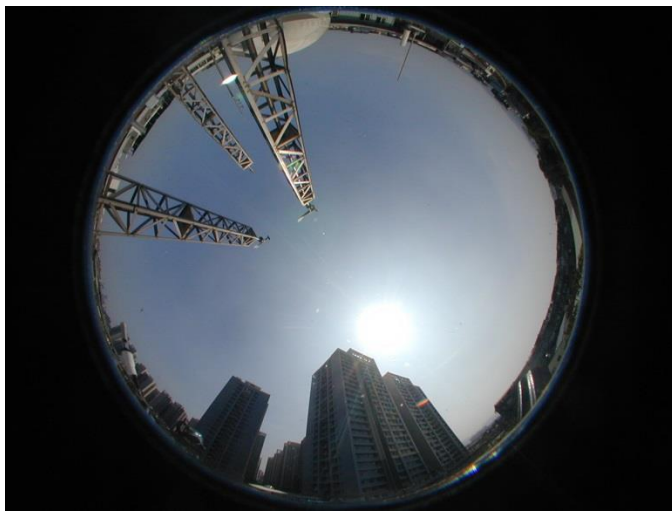


圖 16 中央氣象局板橋氣象測站觀測坪、風力塔與宿舍屋頂(由上而下)遮蔽度環景照片。

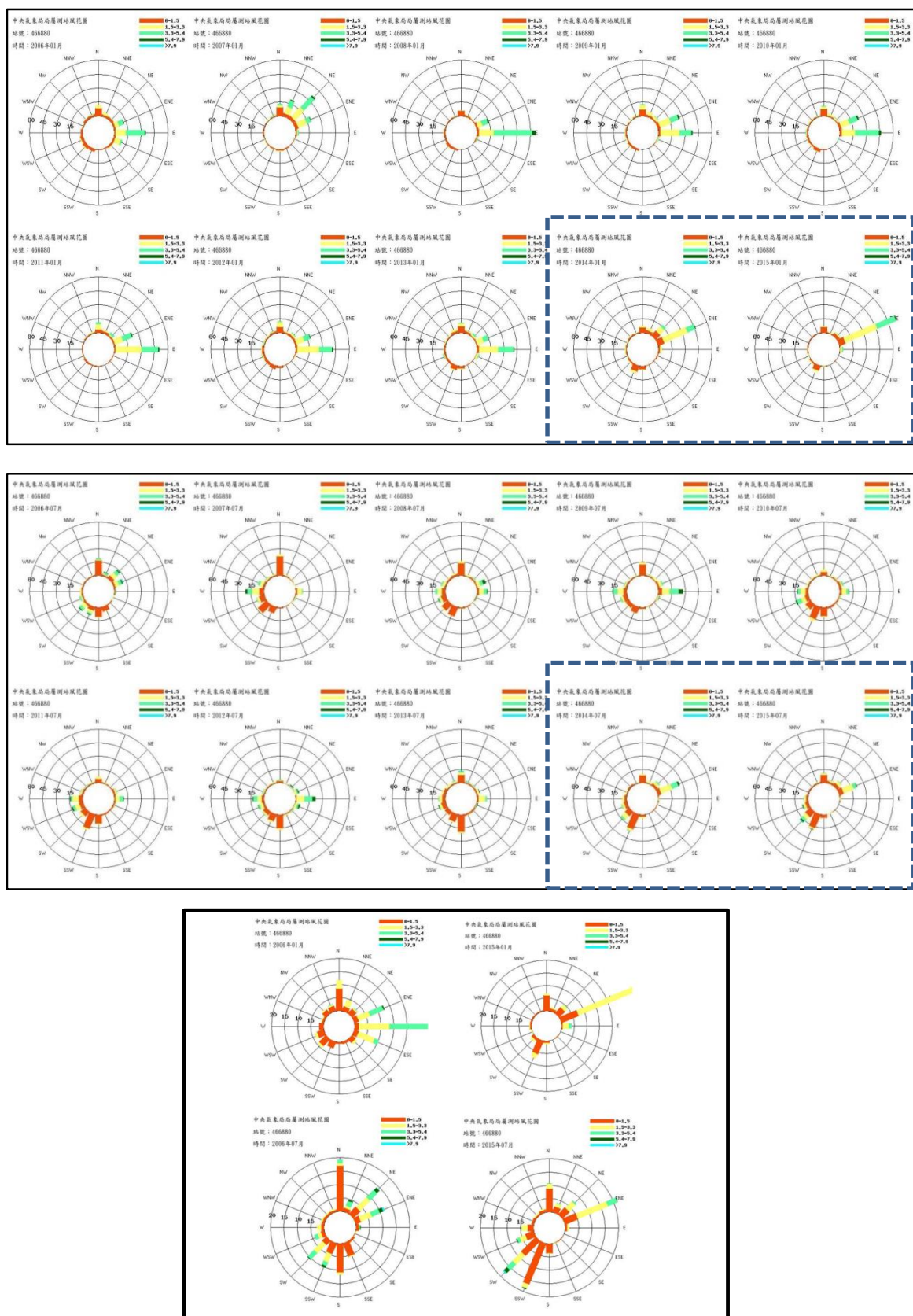


圖 17 2006 年到 2015 年(由左而右、由上而下)10 年期間的 1 月(上)與 7 月(中)板橋氣象站風花圖逐年演替一覽，虛線框是 2014 年與 2015 年。(下)2006 年與 2015 年 1 月和 7 月風花圖再將風向頻率 60%同心圓修改為 20%，以放大各方位的風向頻率數據。

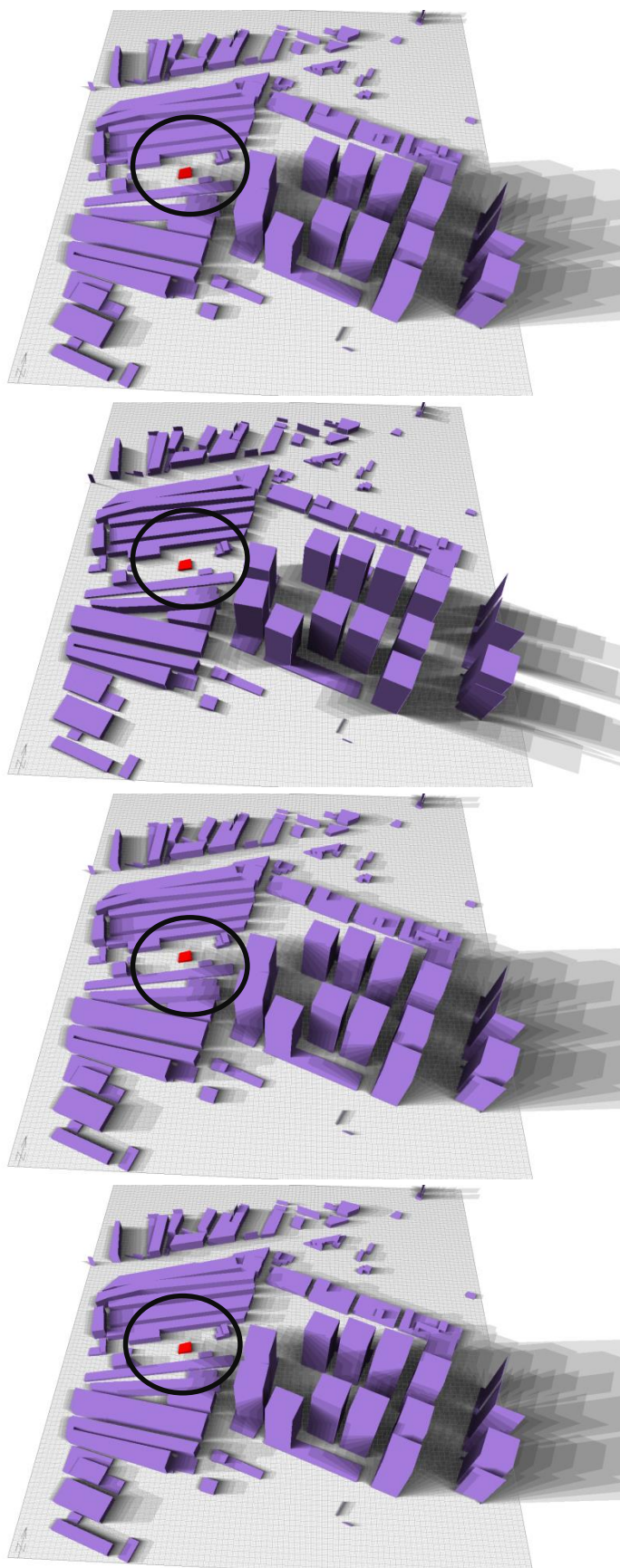


圖 18 EcoTect Model 估算板橋氣象站(紅色)在春分、夏至、秋分、冬至(由上而下)四天 9:00~17:00LST 期間每一小時的建物日光陰影之疊加圖。

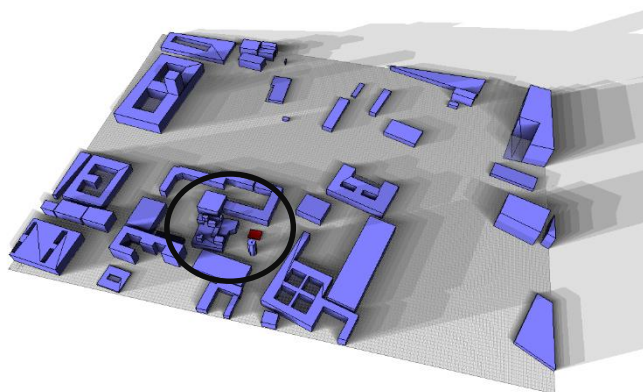
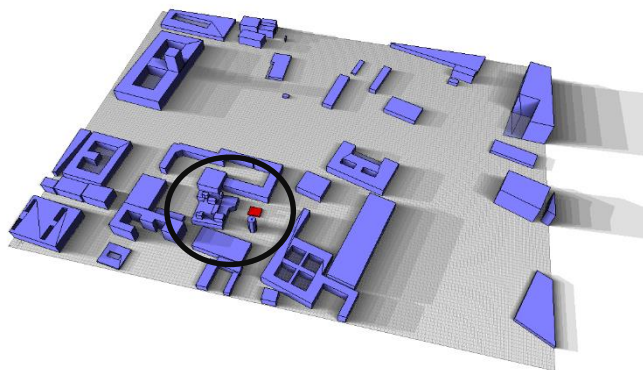
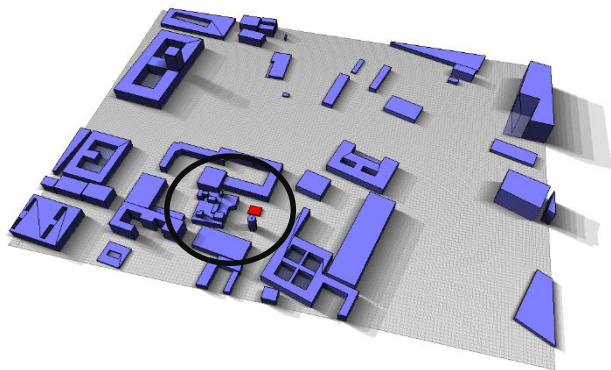
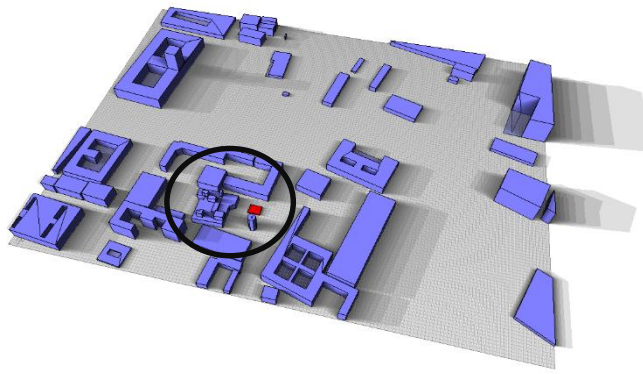


圖 19 EcoTect Model 估算台北氣象站(紅色)在春分、夏至、秋分、冬至(由上而下)四天 9:00~17:00LST 期間每一小時的建物日光陰影之疊加圖。

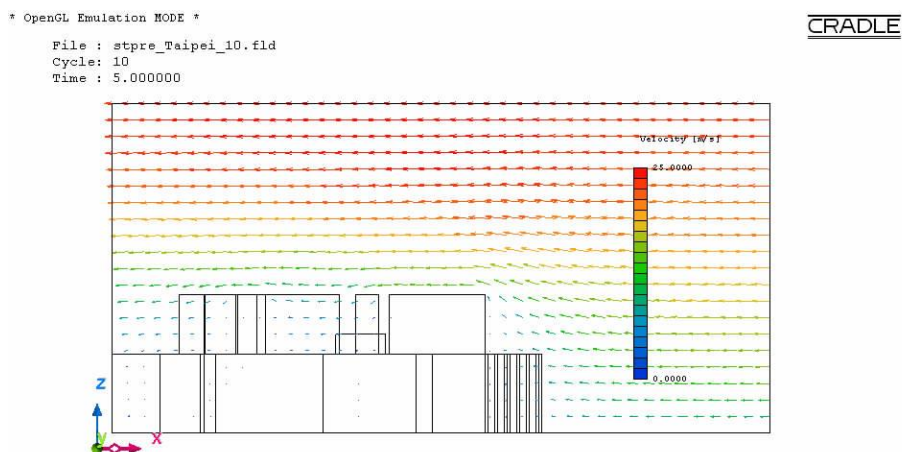
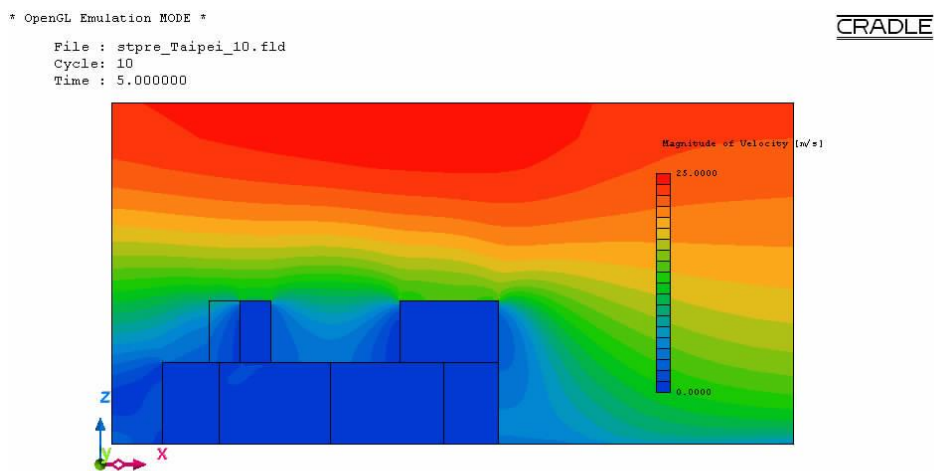
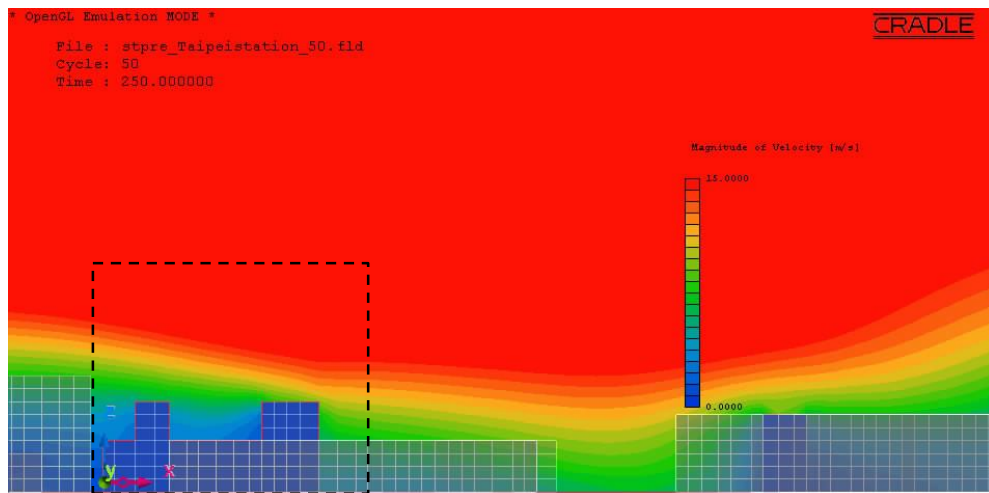


圖 20 日本 CRADLE 公司 Stream (CFD) Model 東風情境下(地面無風速、10m 高度風速 10 ms^{-1} 的 log 剖面風場) 估算圖 7(上)3D 地景在台北氣象站東西剖面並放大(中、下兩圖)的風速分布。

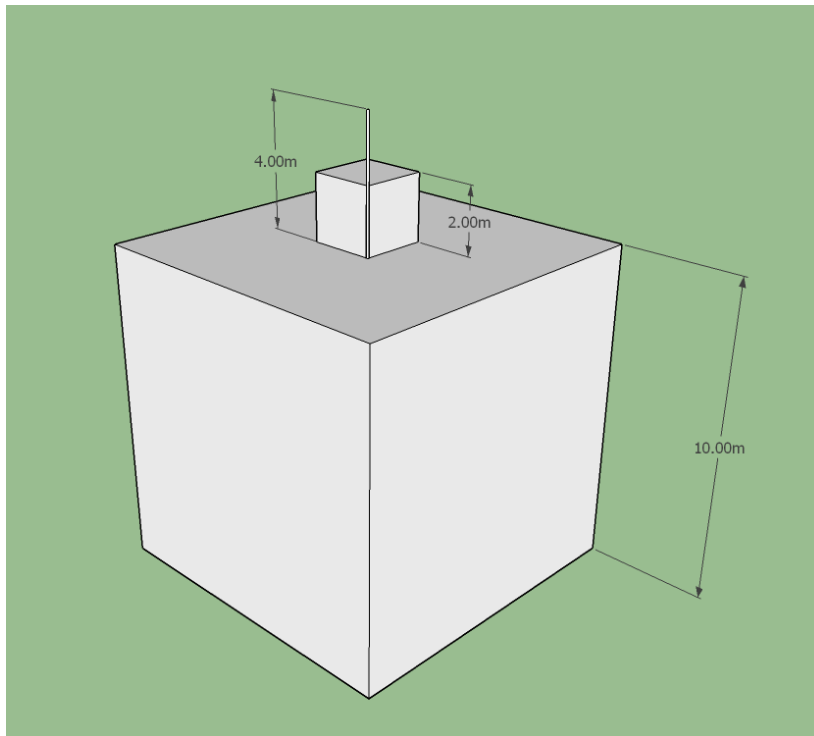


圖 21 CFD 模擬的建物外觀，底邊高度為 $10 \times 10 \times 10 \text{m}^3$ ，其屋頂有邊長 $2 \times 2 \times 2 \text{m}^3$ 露臺，露臺邊緣再有 2m 長度觀測竿(模擬氣象局在都市自動氣象站的設備裝置)。

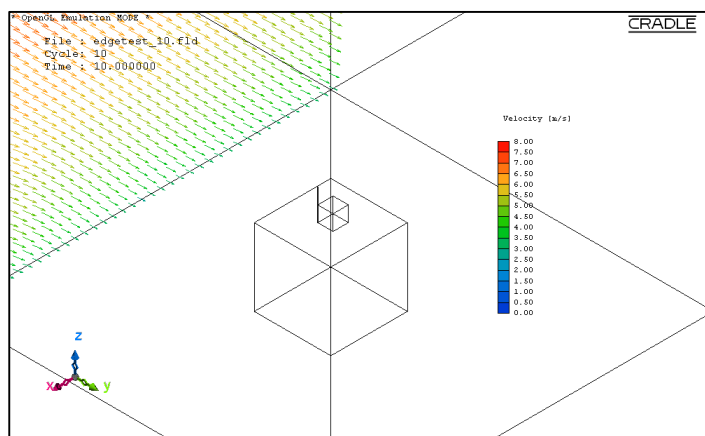
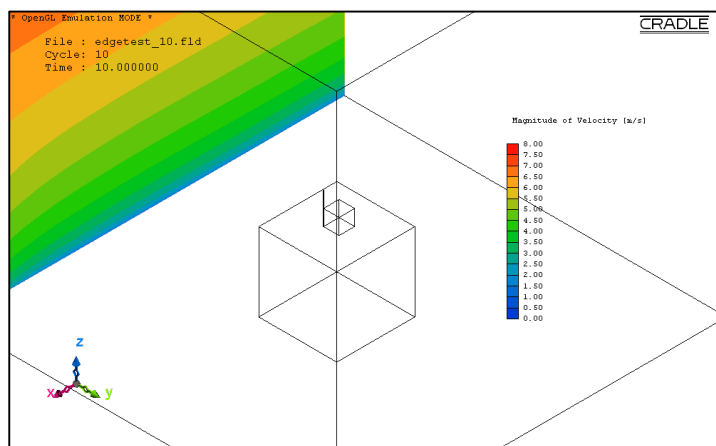


圖 22 上下圖分別為風場 power-law 剖面的風速等值線和風標，吹向建物(+y 方

向)。

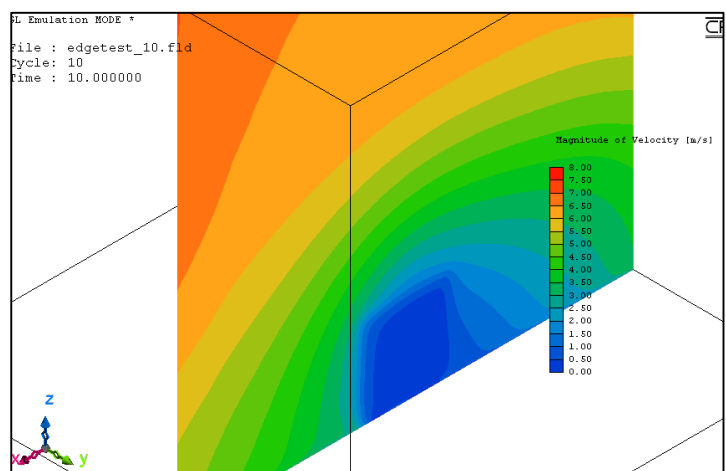
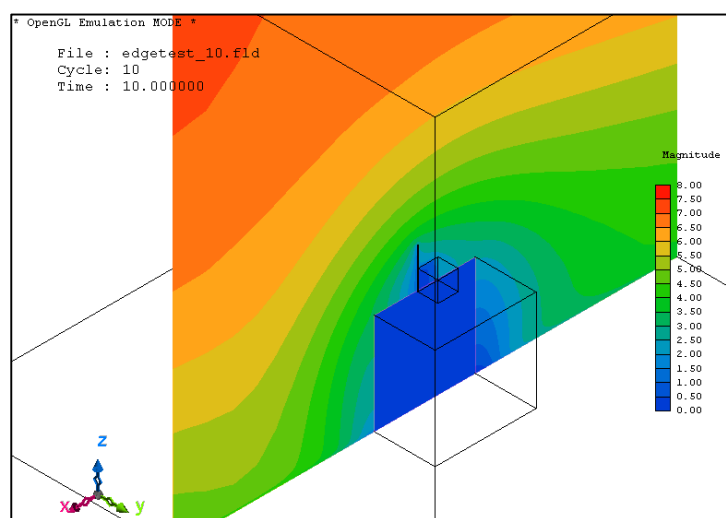
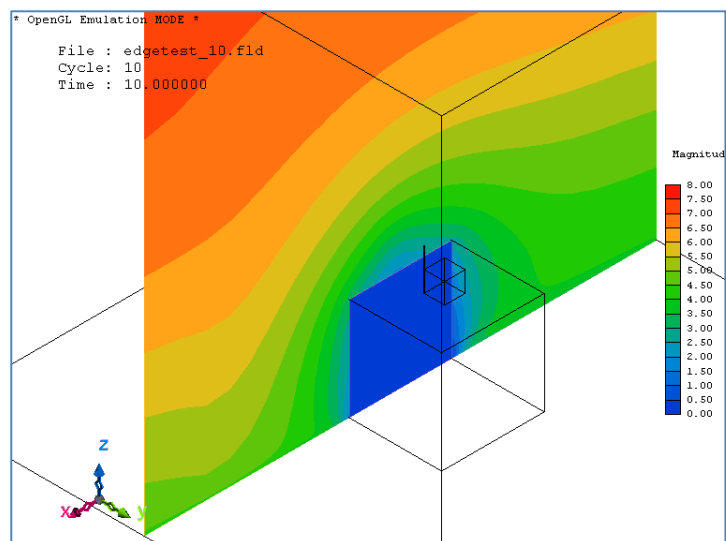


圖 23 由上而下分別為風場在建物之前、測量桿位置和建物之後的風速剖面。

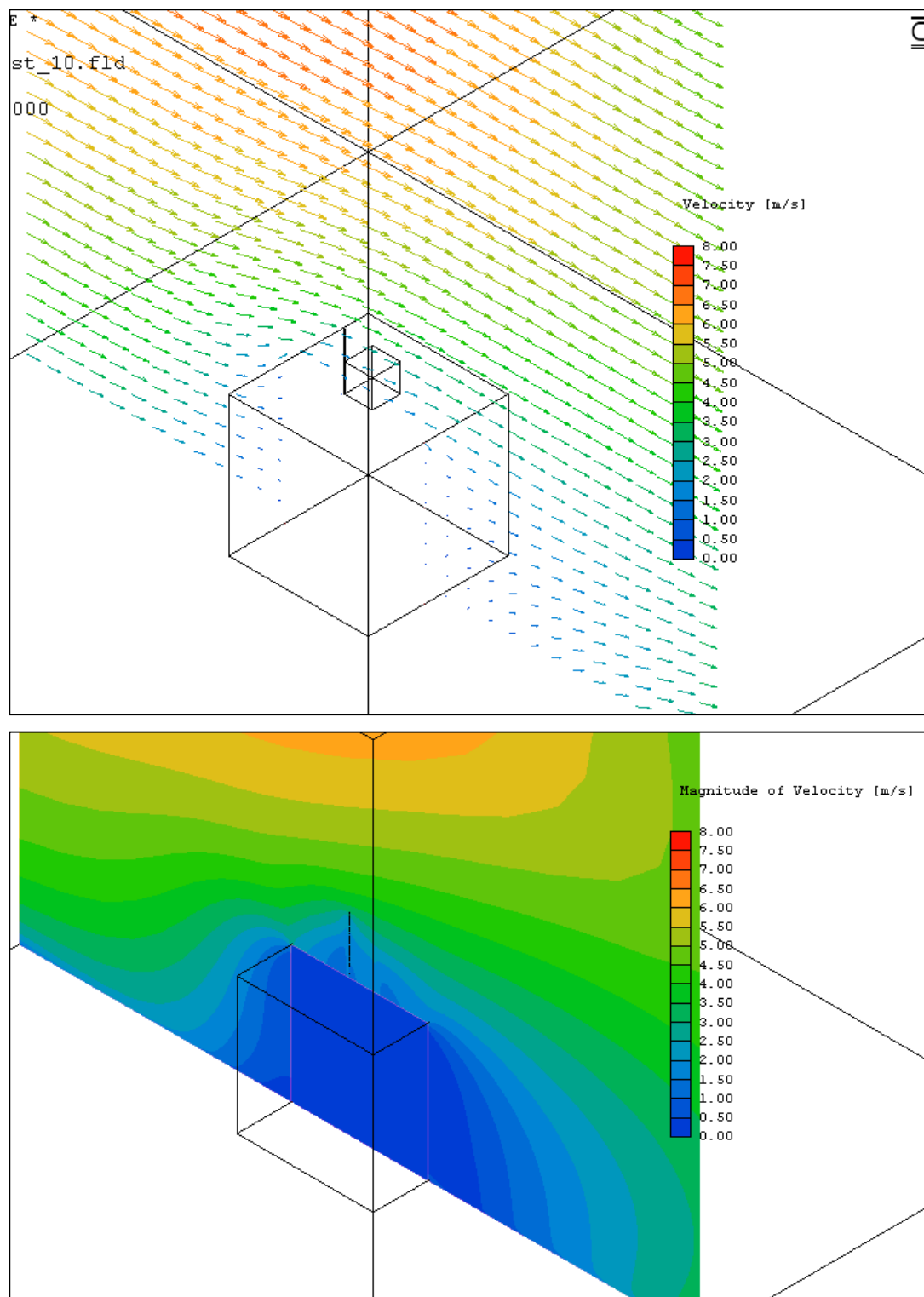


圖 24 風場通過屋頂測量桿位置的垂直剖面風標與風速。

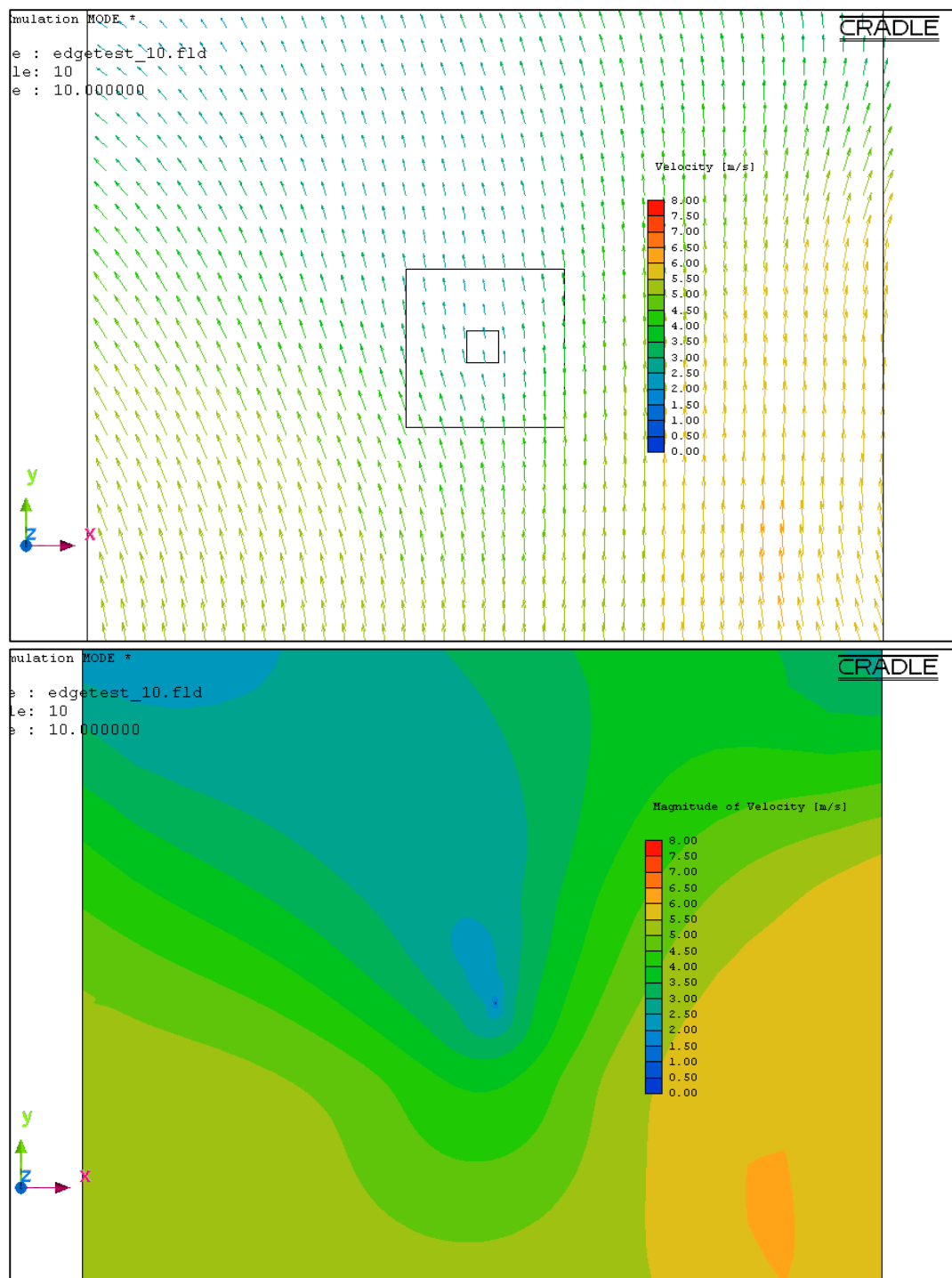


圖 25 屋頂測量桿位置的風場風標和風速的水平剖面。

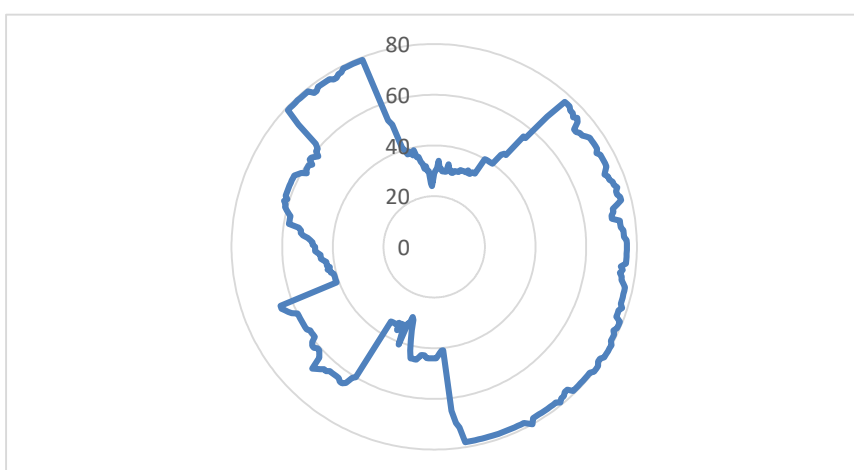


圖 26 中央氣象局石牌測站周遭與天空環景。

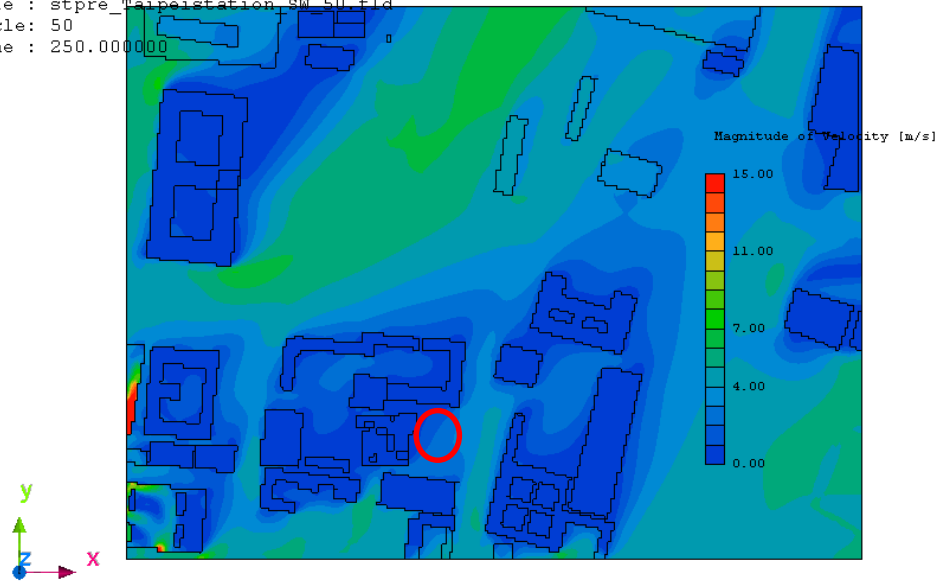


圖 27 中央氣象局信義測站周遭地景。

* OpenGL Emulation MODE *

CRADLE

File : stpre_Taipeistation_SW_50.fld
Cycle: 50
Time : 250.000000



* OpenGL Emulation MODE *

CRADLE

File : stpre_Taipeistation_SW_50.fld
Cycle: 50
Time : 250.000000

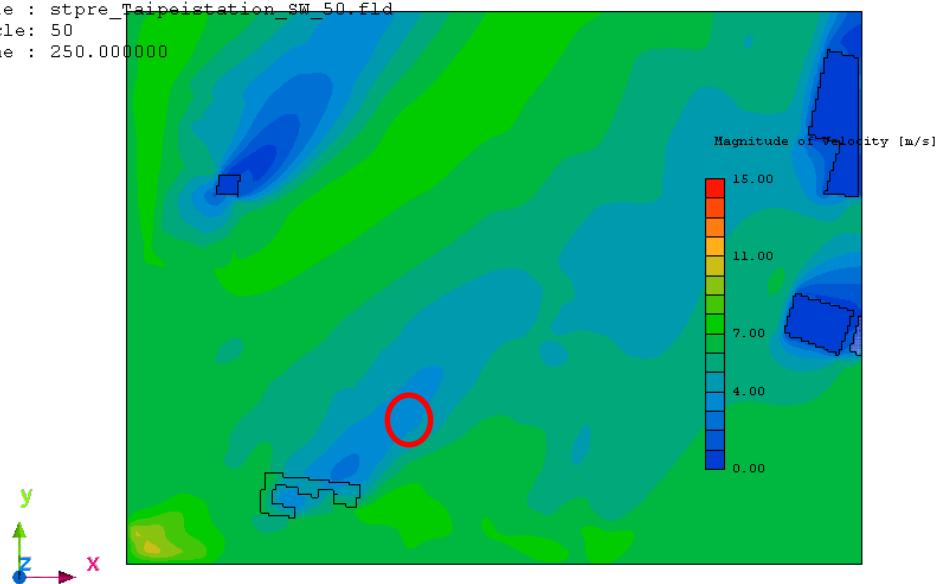
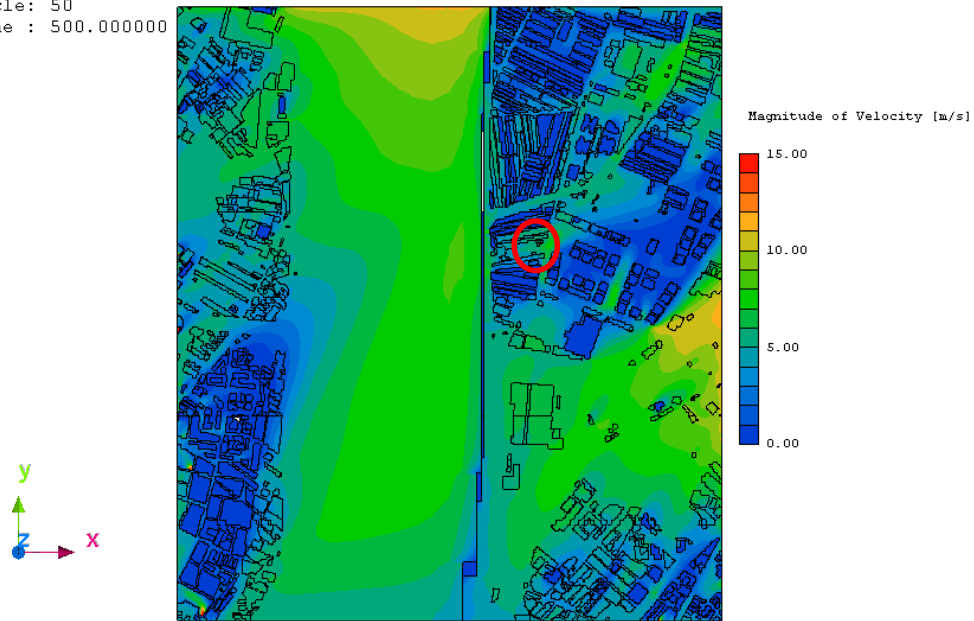


圖 28 西南風情境下台北測站(紅色圓圈)受到周遭地景地物的風場干擾程度(上)離地 10m(下)離地 30m。

* OpenGL Emulation MODE *

CRADLE

File : stpre_Banciao_SW_50.fld
Cycle: 50
Time : 500.000000



* OpenGL Emulation MODE *

CRADLE

File : stpre_Banciao_SW_50.fld
Cycle: 50
Time : 500.000000

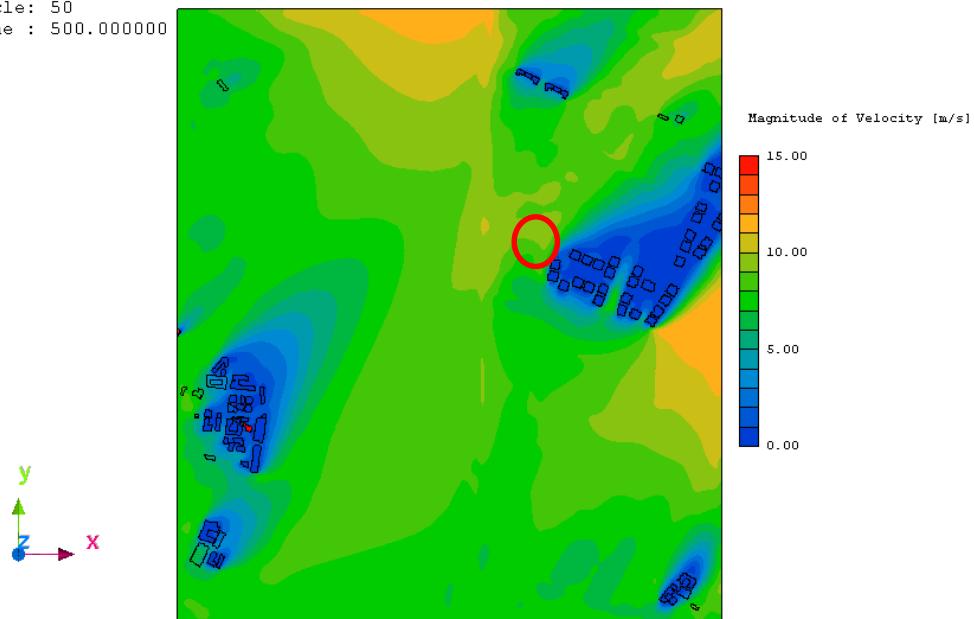


圖 29 西南風情境下板橋測站(紅色圓圈)受到周遭地景地物的風場干擾程度(上)離地 10m(下)離地 30m。

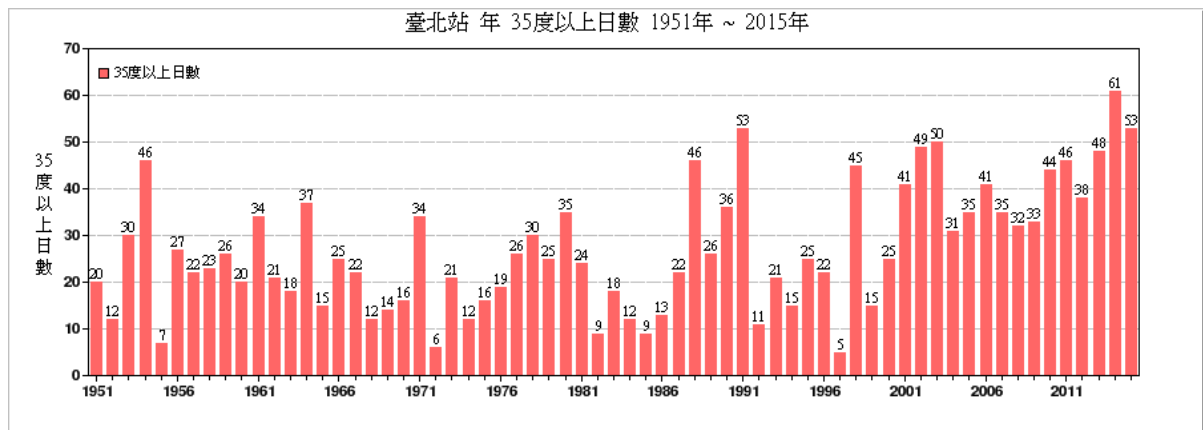


圖 30 中央氣象局台北氣象站 1950~2015 年期間高溫($\geq 35^{\circ}\text{C}$)日數年代演替(摘自中央氣象局網站)。

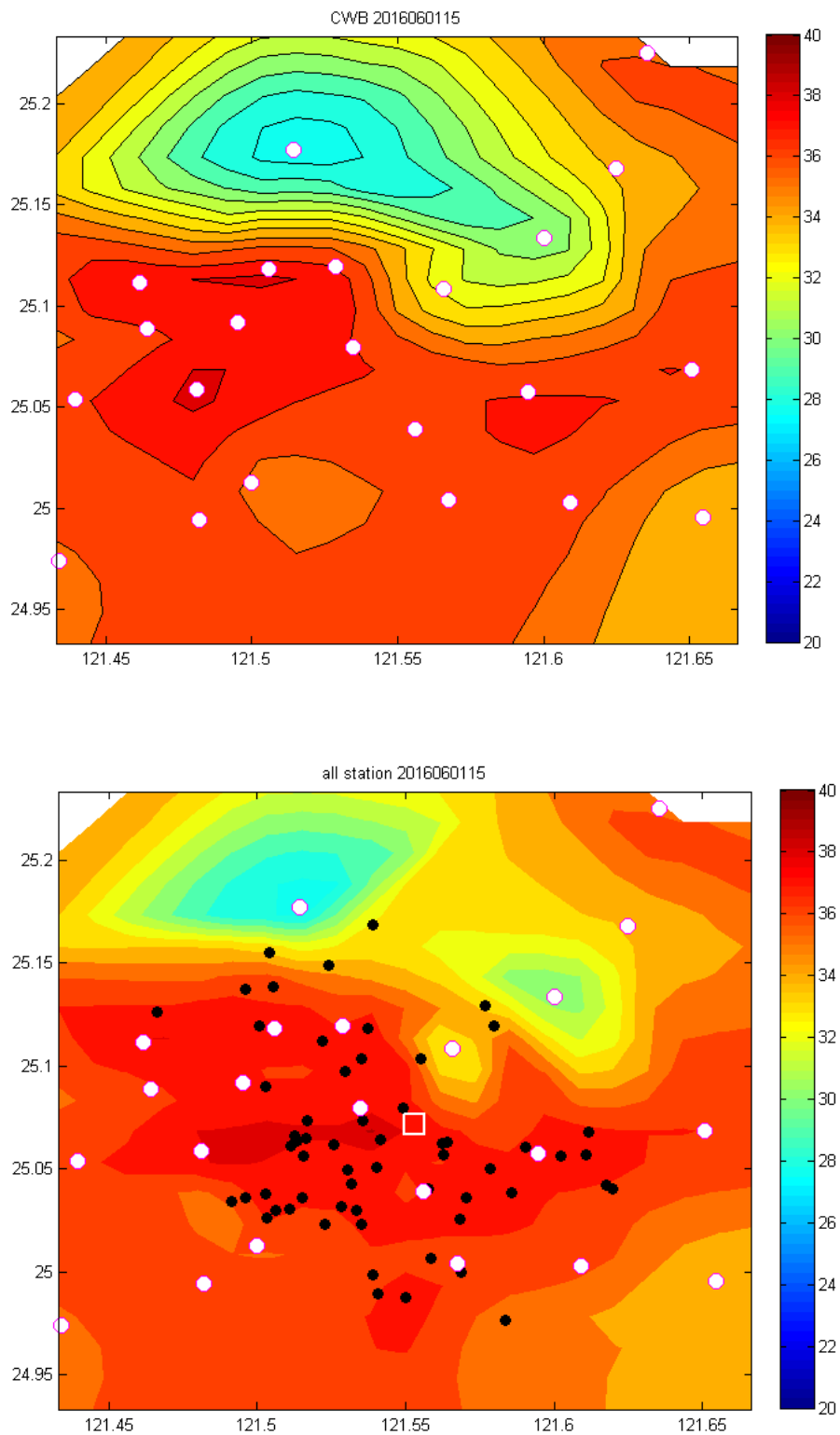


圖 31 2016 年 6 月 1 日 15:00LST(上)台北盆地現有氣象局自動測站(白點)氣溫分布
(下)增加校園氣象網觀測(黑點)以及松山機場(白正方框)之後的氣溫分布。

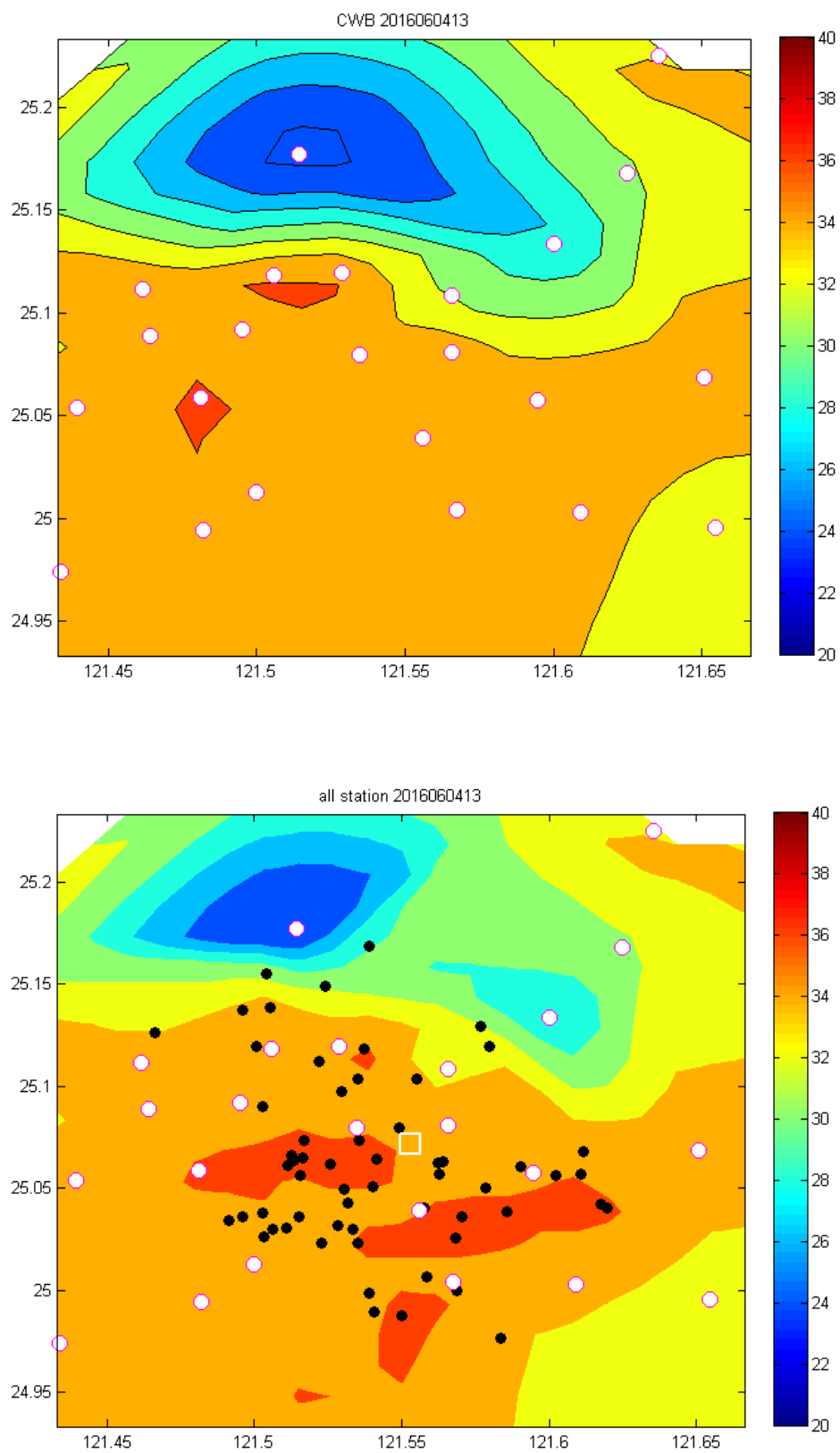


圖 32 同圖 31，但為 2016 年 6 月 4 日 13:00LST。

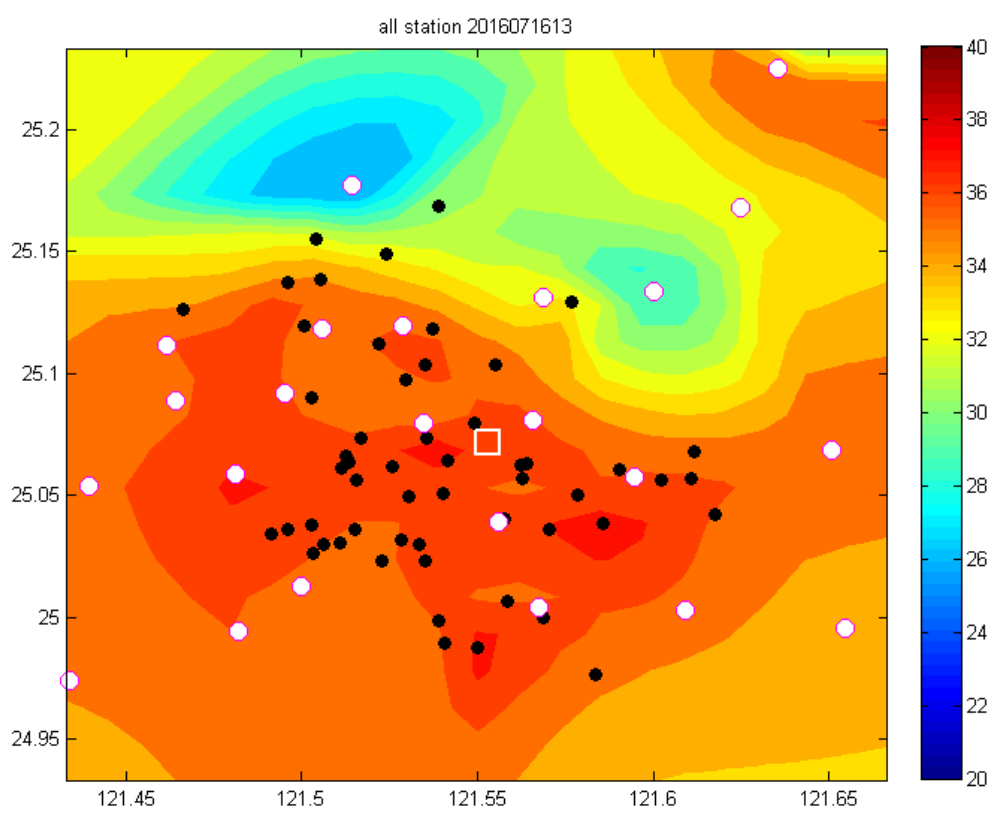
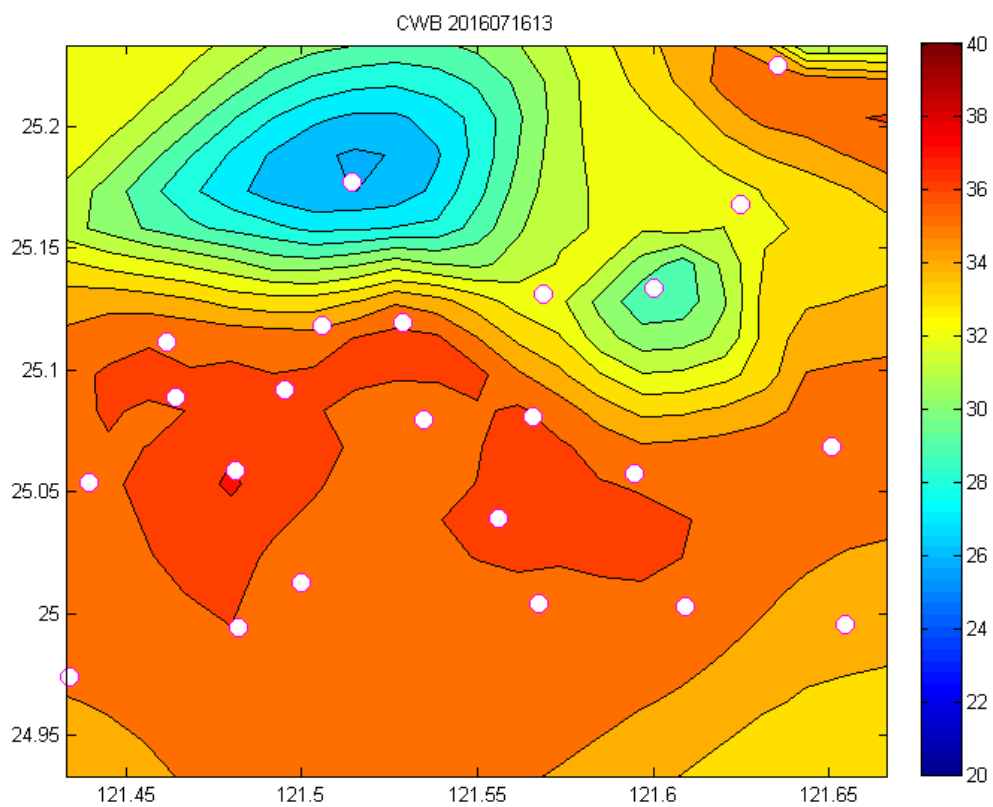


圖 33 同圖 31，但為 2016 年 7 月 16 日 13:00LST。

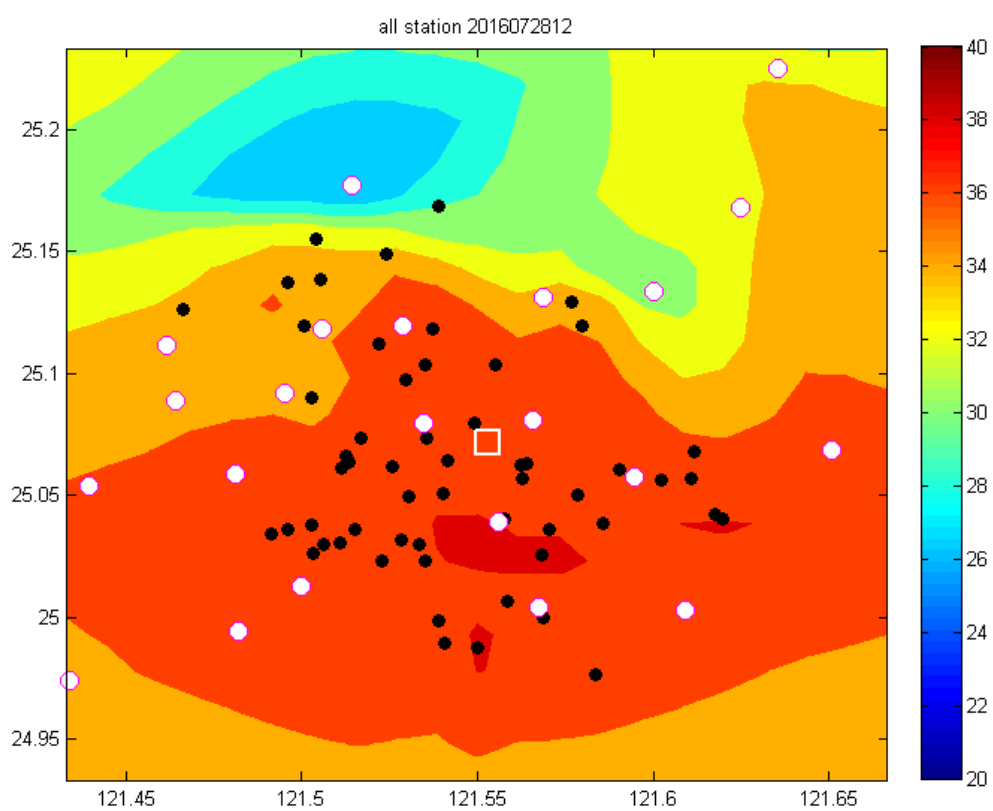
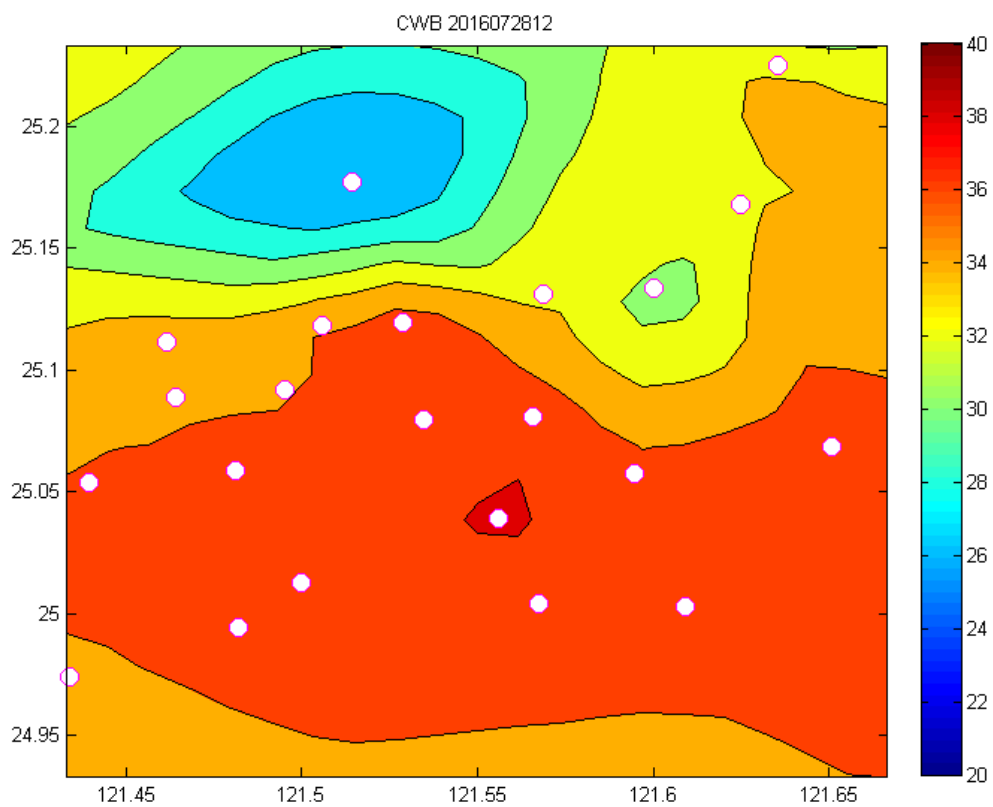


圖 34 同圖 31，但為 2016 年 7 月 28 日 12:00LST。

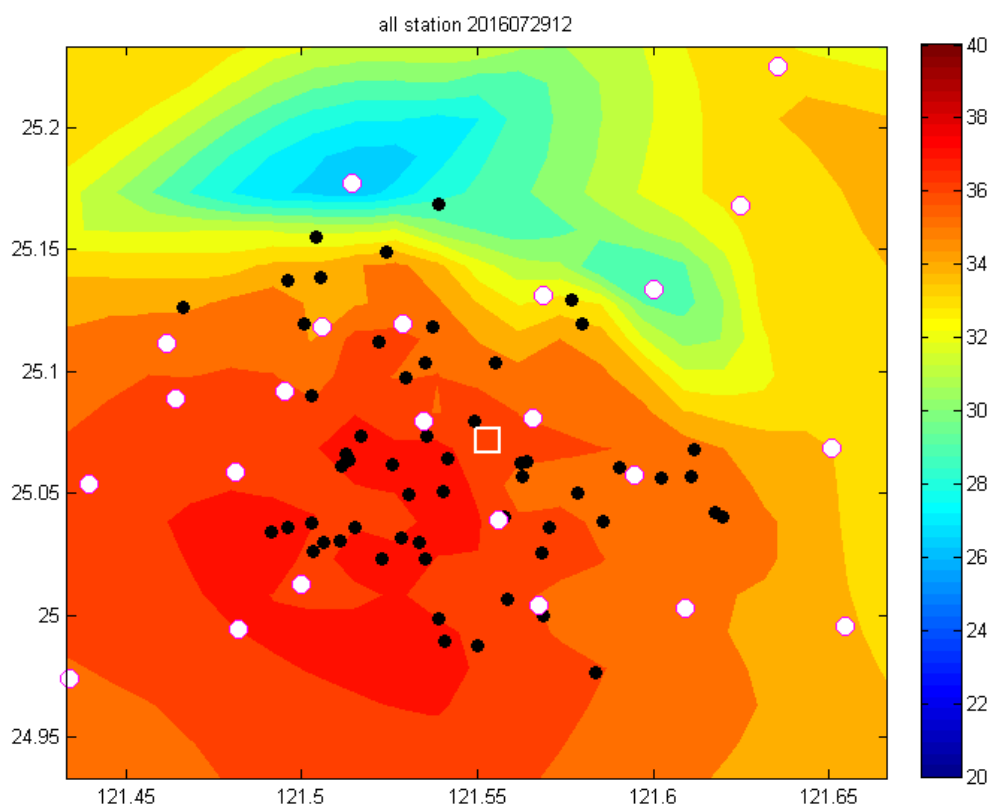
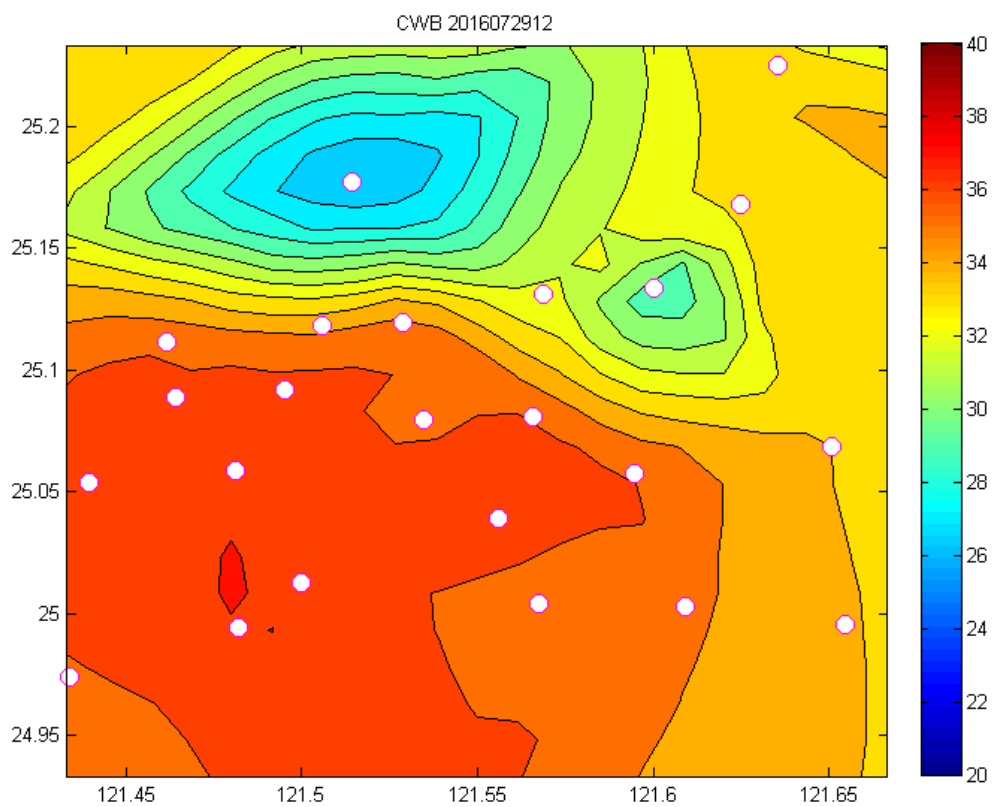


圖 35 同圖 31，但為 2016 年 7 月 29 日 12:00LST。

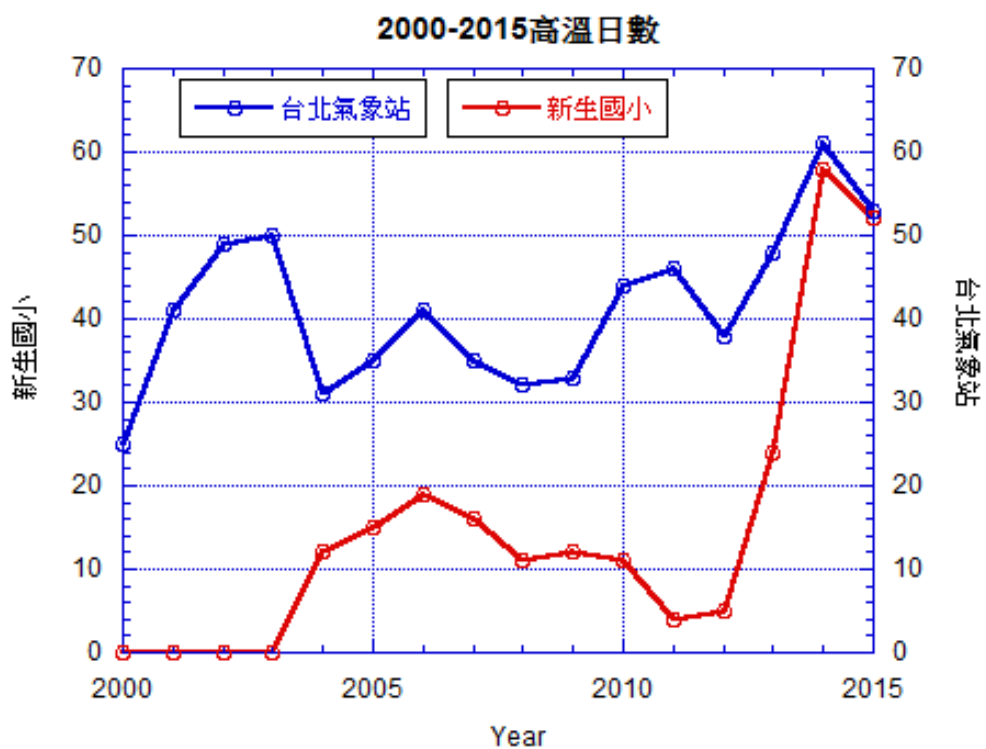


圖 36 校園氣象網新生國小測站(紅線)與中央氣象局台北氣象站(藍線)2000~2015 年期間高溫($\geq 35^{\circ}\text{C}$)日數年代演替。

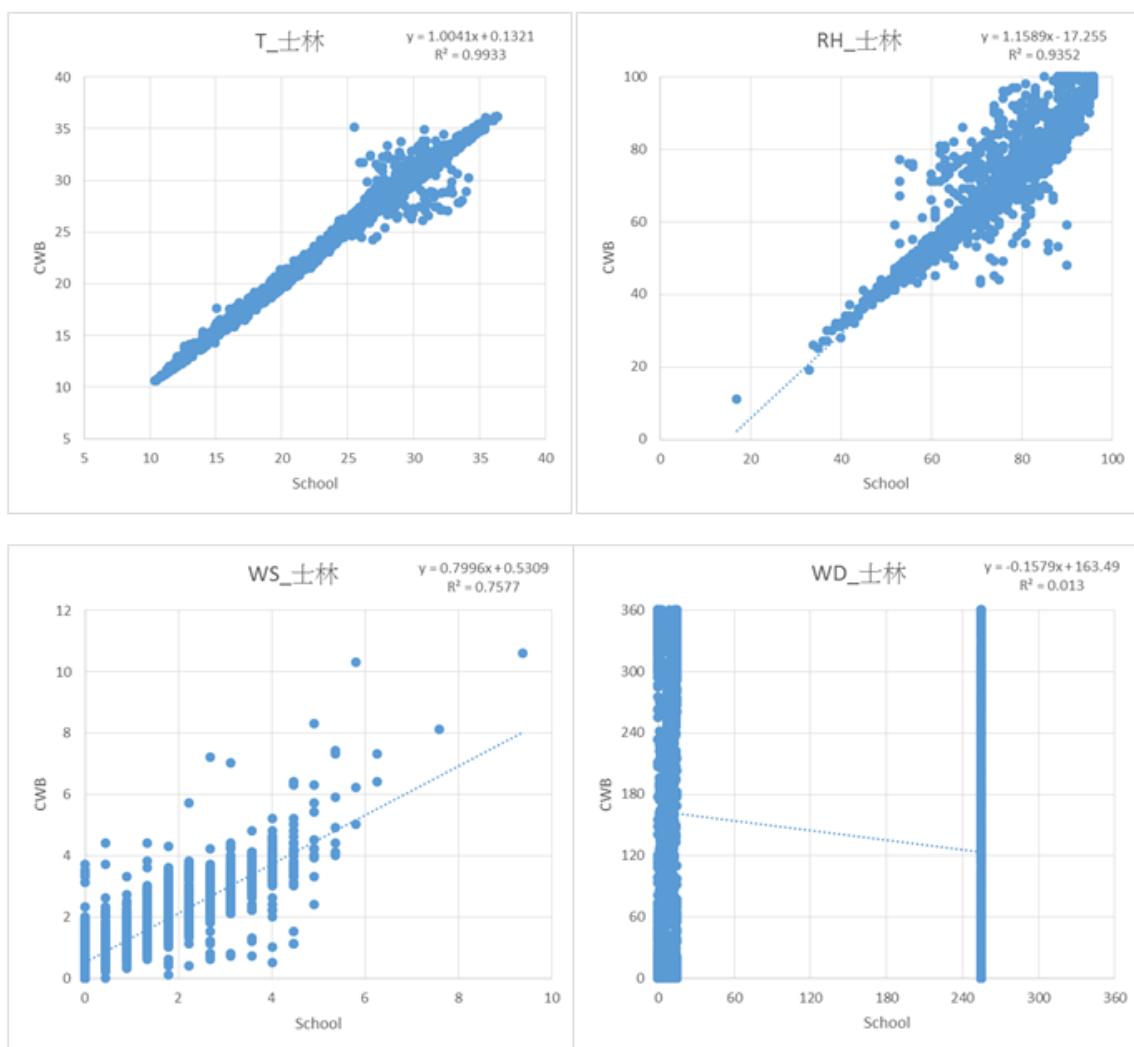


圖 37 校園氣象網士林國小(x 軸)與中央氣象局士林自動氣象站(y 軸)在 2015 年全年的氣溫(左上)大氣濕度(右上)風速(左下)風向(右下)的散布比較。

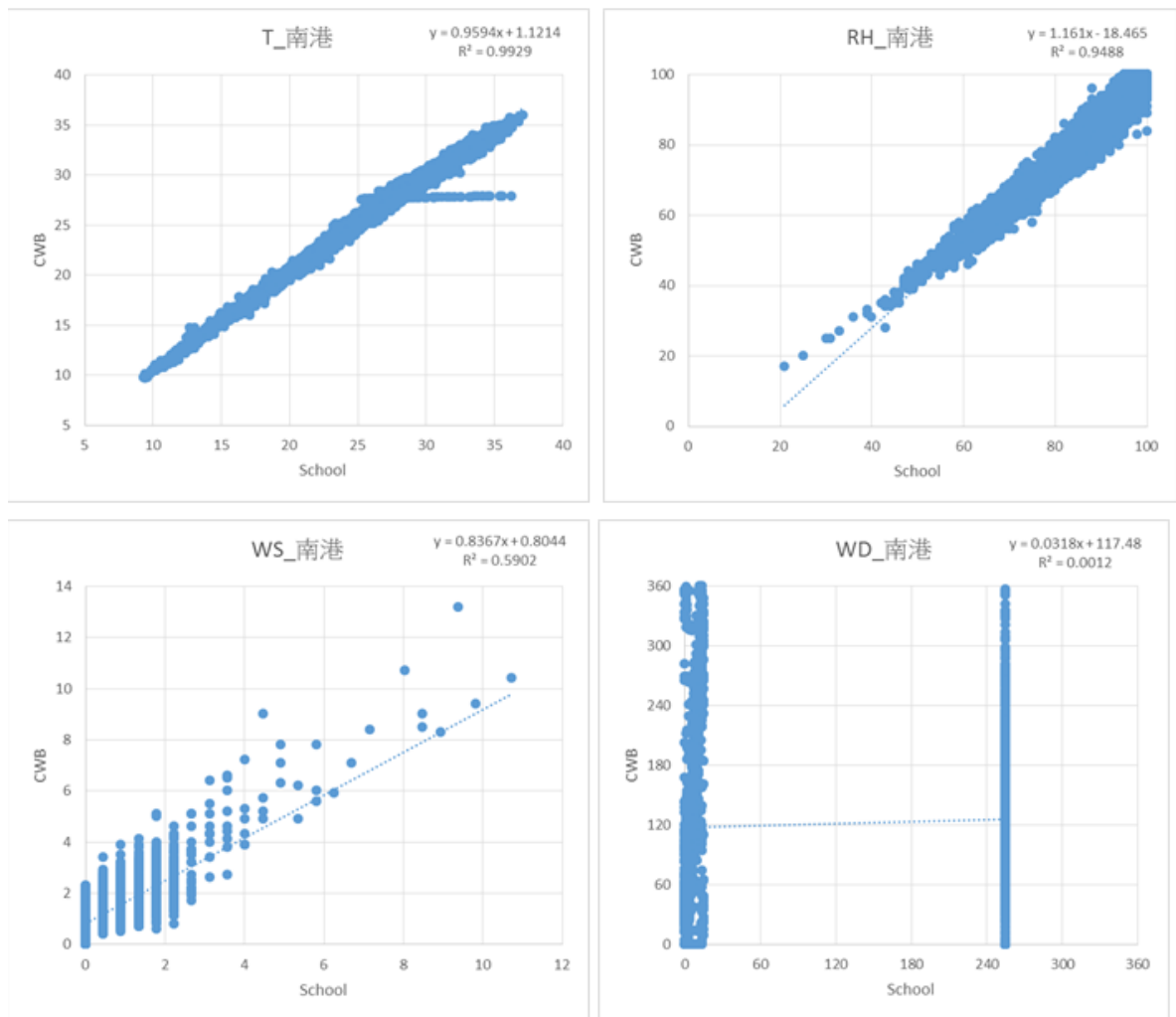


圖 38 校園氣象網南港國小(x 軸)與中央氣象局士林自動氣象站(y 軸)在 2015 年全年度的氣溫(左上)大氣濕度(右上)風速(左下)風向(右下)的散布比較。



圖 39 中央氣象局捷運土城機廠自動氣象站預定地與周遭地景。

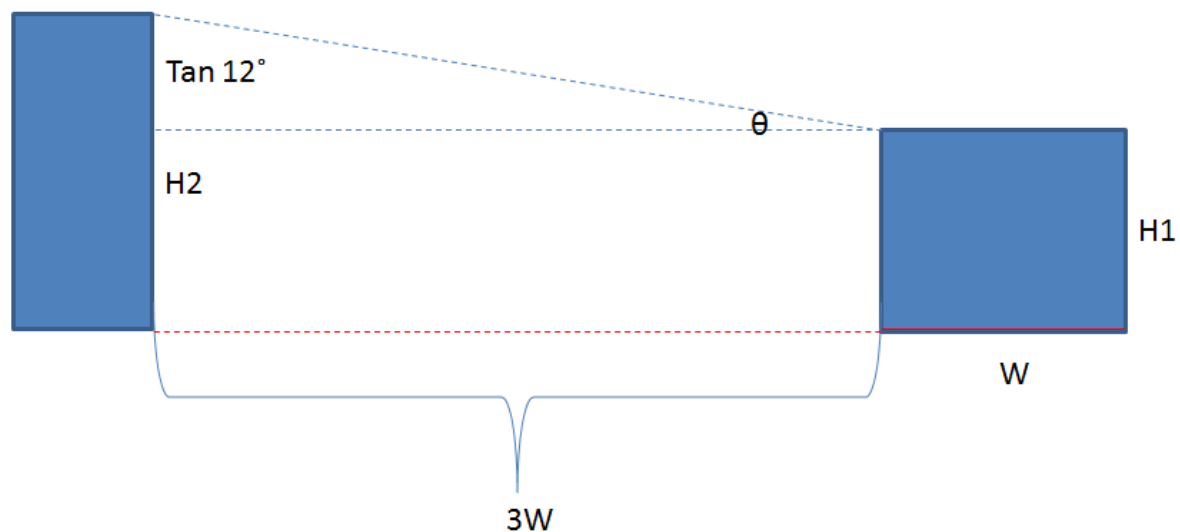


圖 40 建物寬度(W)的 3 倍半徑(3W)距離上，另一建物高度(H2)超越原有建物高度(H1)再加 $\tan 12^\circ$ 的示意圖。

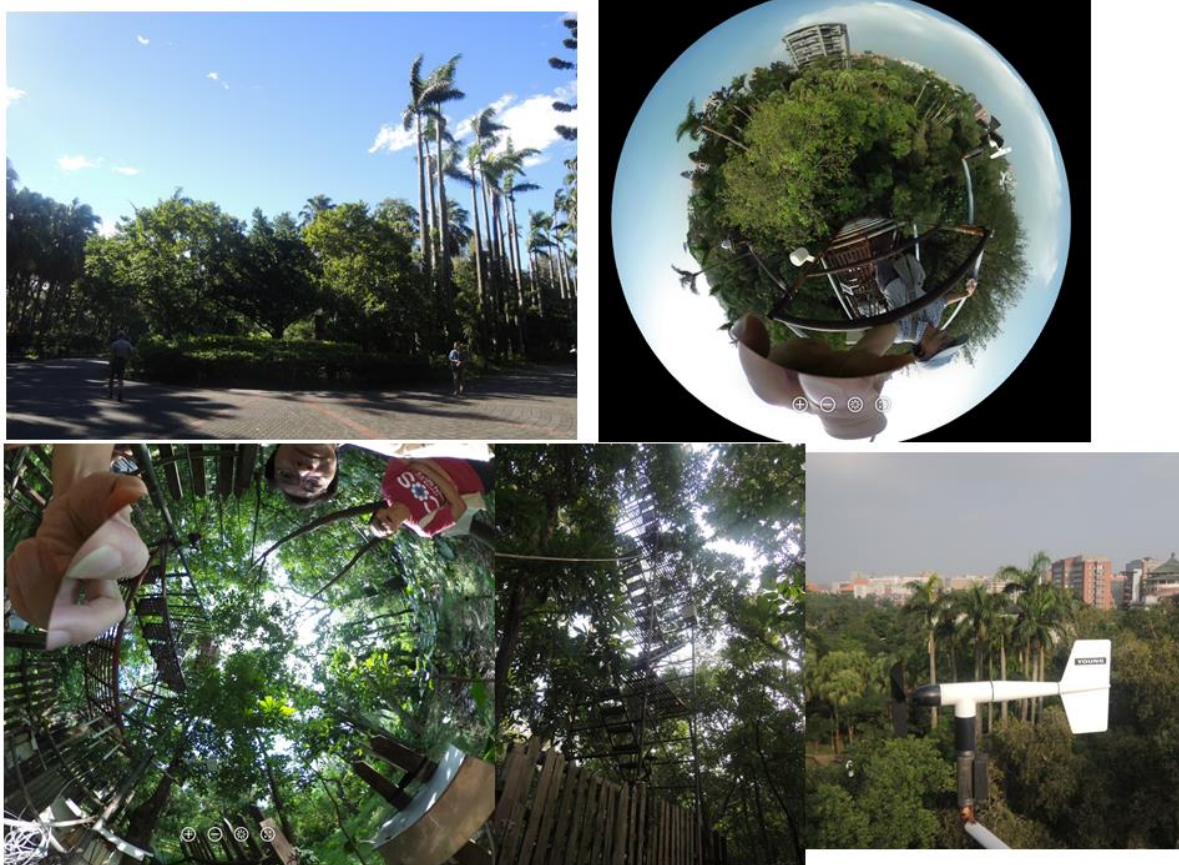


圖 41 林務局林業試驗所台北植物園氣象塔地面與塔上環境景觀與現有氣象設備。

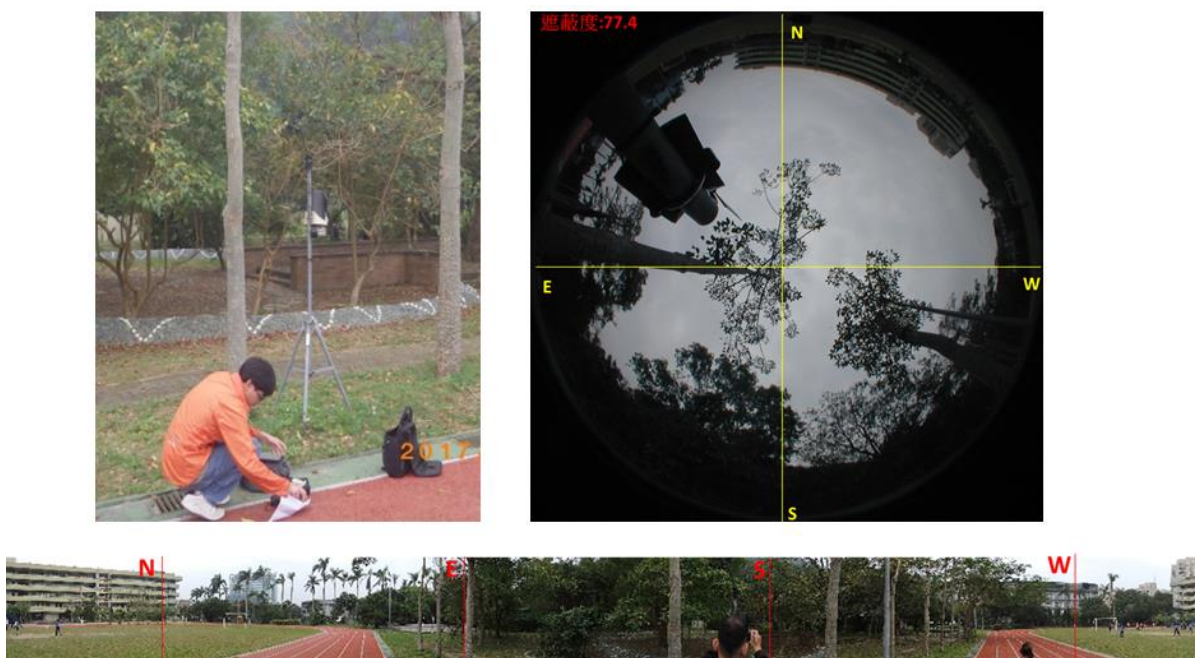


圖 42 台北校園氣象網大安區公館國小氣象站與環境景觀和遮蔽。

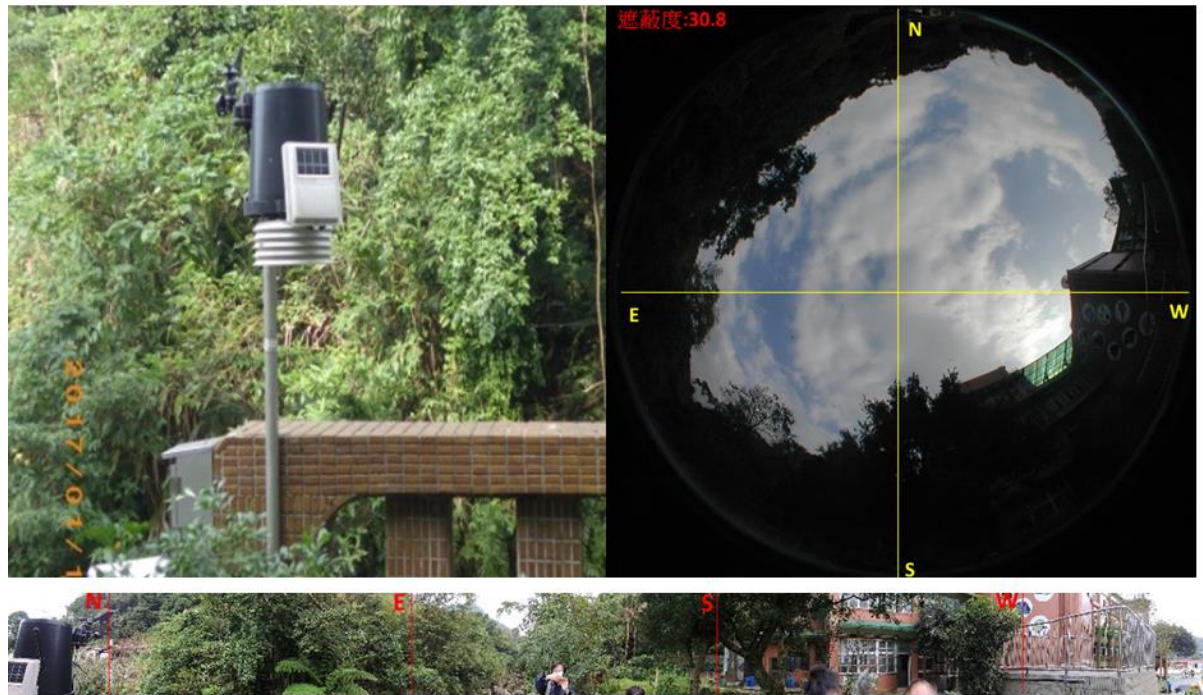
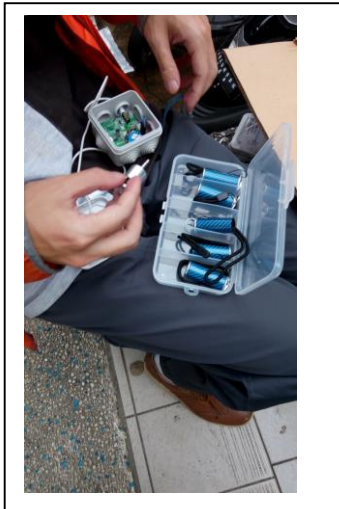


圖 43 台北校園氣象網文山區指南國小氣象站與環境景觀和遮蔽。



field run
(one week in Feb. and Apr. of 2017
@Daan Park, Taipei)

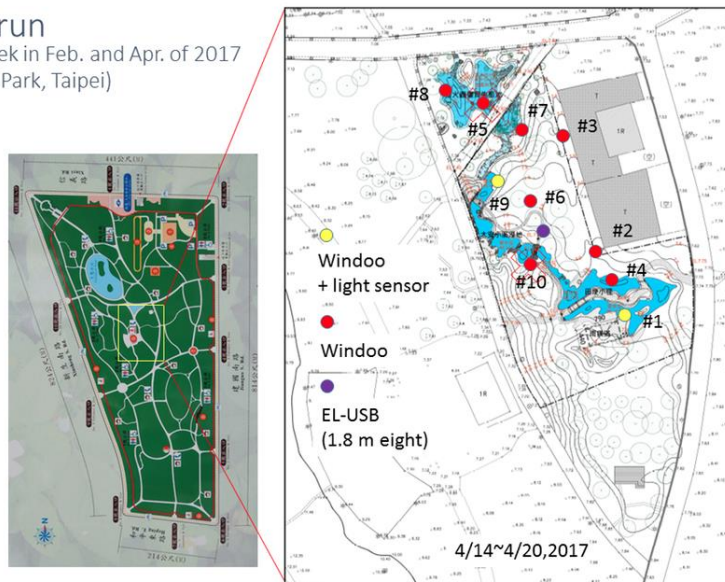


圖 44 本計畫參與 2017 年 4 月螢火蟲國際研討會(台北動物園)以及在大安森林公園架設 windoo-3 sensor 進行一週(2017/04/14~04/20)觀測現場。

四、結論

上一章說明本計畫四項成果，我們整理其重點結論如下：

1. 新竹氣象站辦公室後方草坪的環境空曠度優於現有觀測坪。以 ECOTECT 軟體評估浮洲合宜住宅群對於板橋氣象站的風場和日照遮蔽(風力塔位置)，發現 2014 年與 2015 年兩年的 1~5 月以及 10~12 月的東風和東北風頻率與強度，和 2006~2013 年型態有顯著改變(東風減少、東北風增加)，西南風模擬則顯示合宜住宅沒有影響板橋測站離地 30m 的風場。合宜住宅群在上午日出一小時左右(夏至季節除外)會干擾板橋氣象站太陽輻射觀測。台北氣象站觀測坪部分，該地點緊鄰大理石牆面、公園路雙向車道以及局屬停車格，氣溫濕度以及雨量觀測會受到環境干擾；架設於行政大樓屋頂的風力塔無論是東風還是西南風，都會受到周遭地景地物干擾；我們透過單棟建物屋頂觀測桿的情境模擬，顯示在屋頂上進行觀測雖有減少地景地物遮蔽影響，但是無法避免風速風向的扭曲。台北盆地自動站部分，石牌氣象站雖然不在屋頂，卻被操場樹木所遮蔽；此外，台北市政府屋頂的信義測站則被周遭高度 2m 景觀圍牆包圍，嚴重干擾風場觀測，本年度委託單位已經該善該處風力塔高度修正之。
2. 2016 年 5~9 月期間大安森林公園比同時段的中央氣象局觀測坪氣溫低 $\sim 1.85^{\circ}\text{C}$ ，新生國小屋頂也比同時段的中央氣象局觀測坪氣溫高 $\sim 0.33^{\circ}\text{C}$ ，預期有公園冷島的效應。2016 年五個高溫天氣個案(2016 年 6 月 1 日 15:00LST、6 月 4 日 13:00LST、7 月 1 日 13:00LST、7 月 28 日 12:00LST 以及 7 月 29 日 12:00LST)，顯示台北盆地高溫熱點出現在台北盆地的中區和西區，南區和北區氣溫稍低；2017 年 8 月以及 12 月加入的大安森林公園自動測站以及台灣大學大氣科學系合作測站，是位處台北盆地偏東南方(台北南區)的地面草坪氣象測站，其氣溫觀測是否能凸顯都市冷島現象，有待 2018 年夏季加以確認。
3. 完成台北捷運公司土城機廠自動氣象站建置前的地景代表性評估，該地點環境遮蔽度甚低(4.03°)，並且位於工務管制區域內並遠離民宅與道路，是設置長久性測站的理想地點。我們具以提出「氣象測站站址選定原則檢查表」(表 4)，搭配 WMO 測站等級分類依據，做為委託單位日後新建氣象站或遷站選址之參考準則。
4. 大安森林公園自動氣象站建置過程曲折，最終突破瓶頸於 2017 年 8 月落成啟用。該測站地理與植被條件較為吻合 WMO 測站 Class-2 等級，應留意其資料品質以做為都市氣象觀測網的重點參考站。
5. 在串聯台北都會其他氣象觀測網部分，校園氣象網測站環境以及資料品質仍有所不足；農業委員會林業試驗所倡議的台北植物園以及台北市和新北市兩地政府的公園綠帶，未來在氣象監測合作應是合理的方向。以大安森林公園氣象站為例，建

議透過「大安森林公園之友」基金會，在該公園不同入口增設資訊看板或連結，讓民眾得知當地的即時氣象觀測資訊，以擴展硬體投資效益和提高氣象局能見度與親合性。

參考文獻：

- 林憲德，郭曉青，李魁鵬，陳子謙，陳冠廷，2001:台灣海岸型都市之都市熱島現象與改善對策解析，都市與計畫，第 28 期，第 3 卷，頁 323-341。
- 林博雄，徐仲毅，簡振和，2002：風場變形對地面降水觀測造成偏差之個案探討。大氣科學，30，241-258。
- 林博雄，2003: 中央氣象局測站之地表全天空輻射量的校驗與分析。MOTC-CWB-92-2M-05 委託計畫。
- 高長霖，2014: 臺北氣象站與淡水站之觀測環境變遷與觀測資料分析。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，台北。
- 賴彥任，林博雄，2005：到達地面太陽輻射量之空間分布推估模擬。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，台北。
- 張琪如，李明晃，2004:都市公園與局地氣溫效應之關係研究-以台北市公園為例，中國文化大學景觀學研究所碩士論文，PP84。
- 孫振義，2008: 運用遙測技術於都市熱島效應之研究。國立成功大學建築研究所博士論文。
- 嚴綾，2012:應用衛星資料探討大台北地區都市熱島效應之時空分布，中央大學太空科學研究所碩士論文，PP129。
- Cao, X., A., Onishi, J., Chen, H., Imura, 2010: Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. Landscape and Urban Planning. 96, 224–231.
- Davey, C. A. and R. A. Pielke SR, 2005: Microclimate Exposures of Surface-based Weather stations_ Implications For The Assessment of Long-Term Temperature Trends. Bull. Amer. Meteor. Soc., 86, 497–504.
- Fabrizi, R., A. D. Santis and A. Gomez, 2011: Satellite and ground-based sensors for the Urban Heat Island analysis in the city of Madrid. JURSE 2011 - Joint Urban Remote Sensing Event, Munich, Germany, April 11-13, 2011.
- Gaffin, S. R., C. Rosenzweig, R. Khanbilvardi, L. Parshall, S. Mahani, H. Glickman, R. Goldberg, R. Blake, R. B. Slosberg and D. Hillel, 2008: Variations in New York city's urban heat island strength over time and space. Theor. Appl. Climatol. 94, 1–11.
- Jauregui, E., 1990: Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. Energy Buildings. 15, 457–463.
- Kusaka, H., Ohba, M., Suzuki, C., Hayashi, Y., Mizutani, C., 2009: Preliminary Analyses of Urban Heat Island Phenomenon on a Typical Winter Day in Tsukuba City. Journal of Heat

- Island Institute International, 4, 10-14.
- Lee, C., C. L. Muller, D. T. Young, E. L. Warren, C. S. B. Grimmond, X. M. Cai and E. J. S. Ferranti, 2015: The Birmingham Urban Climate Laboratory_ An Open Meteorological Test Bed and Challenges of the Smart City. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 1545–1560.
- Smith, S. and T. R. Oke, 1998: The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *Int. J. Remote Sens.* 19, 2085–2104.
- Stewart, I. D., and T. R. Oke, 2012: Local climate zones for urban temperature studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 1879–1900.
- WMO , 2004: Guidelines on Quality Control Procedures for Data from Automatic Weather Stations. CBS/OPAG-IOS/ET AWS-3/doc. 4(1)
- WMO , 2008: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO -No.8. pp681.
- WMO , 2010: Commission for Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 1064.

附件一：期中報告審查意見與回覆

交通部中央氣象局

106 年度委託研究計畫期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱	都會環境對氣象觀測的影響評估與對策探討(2/2)	
計畫編號	MOTC-CWB-106-M-03	
計畫主持人	林博雄	
執行單位	國立臺灣大學	
審查委員姓名	審查意見	執行單位處理說明
李委員育棋	一、建議在期末報告能加入松山機場民航局測站資料，本局已有松山的即時資料應有益於分析。 二、新竹氣象站後方顯露度較大的草坪，已有本局架設之移動氣象站近一年多資料，建請可作比較。 三、有關台北氣象站受日照陰影與鄰近道路影響，建議能再進一步分析，而大安森林公園氣象站與世大運期間增加的氣象站建議也能一併分析。 四、相關比較分析建議在期末報告時能強調定量與後續在都會區氣象站的建置規範。	九月世大運結束後立即跟測政組請求(1)松山機場(2)新竹氣象站後草坪觀測站資料(3)體育園區與大安公園氣象站以及館區移動式氣象站等資料，一併納入期末報告分析說明。 氣象站建置規範方面，將透過儀器顯露度以及人工熱源相對距離調查，依據WMO(2010)陸地測站的CLASS 1~5 等級規範加以分類。

劉委員清煌	一、遮蔽度的評估方式針對自動站、人工站是否有不同。 二、魚眼照片建議將東邊放在右邊西邊在左。 三、部分圖的清晰度宜加強。	遮蔽度評估方式無論自動站還是人工站，設備與過程均相同，惟本報告適用 1.3M 腳架高度估算，期末報告針對魚眼鏡頭離地高度不同的遮蔽度數具敏感性將加以說明。 天空魚眼鏡頭照片將統一修正(東邊在右)圖表清晰度將再確認，期末報告以不縮圖為要。
陳委員怡良	相當程度地讓都會的可能影響因素到底造成氣象觀測多大的影響，有一個概括性輪廓。 相信完成後將會對都會影響氣象觀測有更完整的認識及了解。審查通過。	謝謝委員指教與肯定。

附註：

業務單位(第二組)意見：

建請量測台北站新建輻射儀器觀測平台之顯露度並列於期末報告。研究統計各方位或象限的顯露度，將更利於正確分析觀測位置周遭環境對風或輻射觀測的影響。

答覆：(1)期中報告結束後立即安排助理了解台北站新建輻射儀器觀測平台位置，安排日程進行拍照分析。(2)表 1~2 測站顯露度是環場平均值，期末報告將再增加八方位的顯露度數據。

附件二： 期末報告審查意見與回覆

**中央氣象局 106 年度委託研究計畫
期末報告審查意見處理情形表**

計畫名稱	都會環境對氣象觀測的影響評估與對策探討 (2/2)	
計畫編號	MOTC-CWB-106-M-03	
計畫主持人	林博雄	
執行機構	國立臺灣大學	
審查委員姓名	審查意見	執行機構處理說明
李委員育棋	一、紐約中央公園氣象站的儀器顯露度與地表粗糙度有否變化之紀錄，以圖片來看似仍有樹林包圍情況，此與目前大安站情形類似，而本局自動站也時常有此情形，區域的代表性也受影響。 二、松山機場是否可以納入討論？ 三、報告中信義站風速計高度已改善，請修正。 四、都市冷島大安站數據低 1.85 度與新生站比低 0.33 度，數據如何得出？ 五、校園氣象站加入後數值偏高是儀器關係或局部地區特性？ 六、P.55 士林、南港校園氣象站與本局站風向風速是否故障，請說明。 七、WMO 都市氣象站等級如何套用於樓頂站等？	1. 中央公園地面氣象站夏季期間林木遮蔽確實比大安森林公園氣象站嚴重，冬季期間則因落葉只剩枝條；風速風向觀測則在一旁建物屋頂。大安森林公園氣象站周遭的林木在 3~5 年內生長速度緩慢，計畫主持人也會向大安森林公園之友基金會反映，適時維護修剪周遭林木。 2. 謝謝委員意見，期末報告圖 11~12 以及圖 31~35 均加以修訂，新增松山機場氣象站標示以及氣溫等值線重新繪製說明。 3. 謝謝委員提醒，期末報告文字 (page 26 與 page 62) 相關文字已經改正。 4. page 27 增加一段文字”(5)、(6)式的 T_{wxt520} 和 RH_{wxt520} 再代回(3)、(4)式以及(1)、(2)式”補充說明之。 5. 根據新生國小氣象站氣溫分析經驗，我們認為校園氣象站加入後熱島現象(數值偏高)是反應局部地區之特性。 6. 士林、南港校園氣象站風向計故障，已轉告承辦單位處理。 7. WMO 測站分級均指測站是置放於地面，屋頂測站僅能透過表四資料加以備註說明。
劉委員清煌	一、工作內容及計畫書符合計畫書之規劃。 二、遮蔽物宜考慮遮蔽物距離	1. 感謝委員審閱。 2. 本計畫所進行的台北盆地測站遮蔽度調查並未針對遮蔽物

	測站之遠近。 三、風花圖百分比不易閱讀，建議將%降低。 四、建議地面站與屋頂站以不同符號標示。 五、測站站址選定表很理想。	距離測站之遠近加以註記，但是在表四則建議選址時可透過 Google Earth 加以註記測站周遭顯著地景的相對距離。 3.圖 17 同心圓最外圈 60%已修訂為 20%。 4.圖 11~12 已修改標示註明測站置放於地面或是屋頂的區別。 5. 感謝委員審閱。
滕委員春慈	一、計畫執行細緻，成果豐碩。 二、遮蔽效果是影響風還是溫度可以加強說明，以利讀者了解。 三、屋頂設站和地面設站的最主要影響如風、溫度分布時，有無進行修正，或有無影響，可以加強說明。 四、台北站、板橋站流場模擬，可以由風花圖加強盛行風向、風速，以佐證模擬使用的風向風速。 五、是否就屋頂站也仿照 WMO 分級標準，設立測站等級(有無可能，或有無意義?)	1. 感謝委員審閱。 2. 感謝委員審閱，內文在「前言」提及風場、氣溫、濕度、雨量以及太陽輻射量等參數都受到測站周遭地景等人為性的干擾。 3.圖 20~25 之分析即是用以說明建物扭曲背景風場的程度，擾流對於雨量筒觀測的影響，則在參考文獻新增一篇「林博雄，徐仲毅，簡振和，2002：風場變形對地面降水觀測造成偏差之個案探討。大氣科學，30，241-258。」 4. 感謝委員審閱，關於台北站、板橋站兩地氣流場之 CFD 模擬謹以冬季和夏季季風的盆地盛行風模擬來說明不同情境的差異。 5. 感謝委員審閱，WMO 並未針對氣象測站設立於屋頂加以分

		類。本計畫建議在選址表單(表 4)註記測站本地資訊以及周遭地景資訊即可，若加以「分級」則沒有國際相關資訊可以依循。
--	--	--

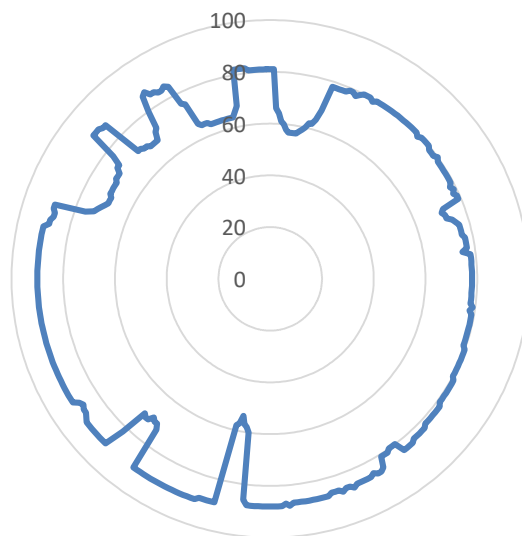
附件三：中央氣象局台北盆地自動測站環境遮蔽景觀與遮蔽仰

角角度資訊

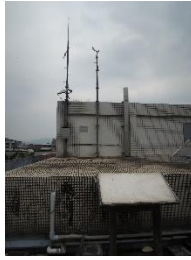
信義自動測站



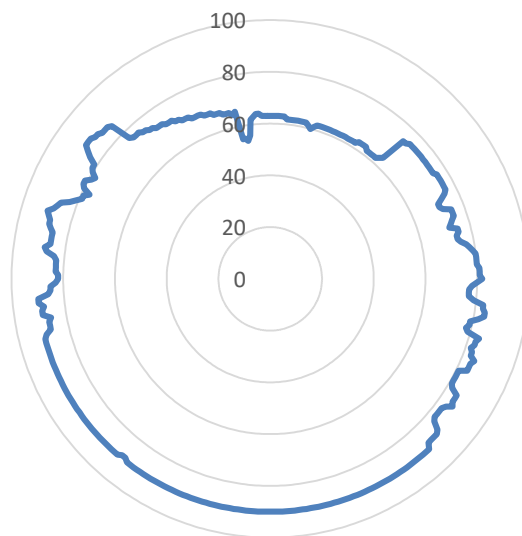
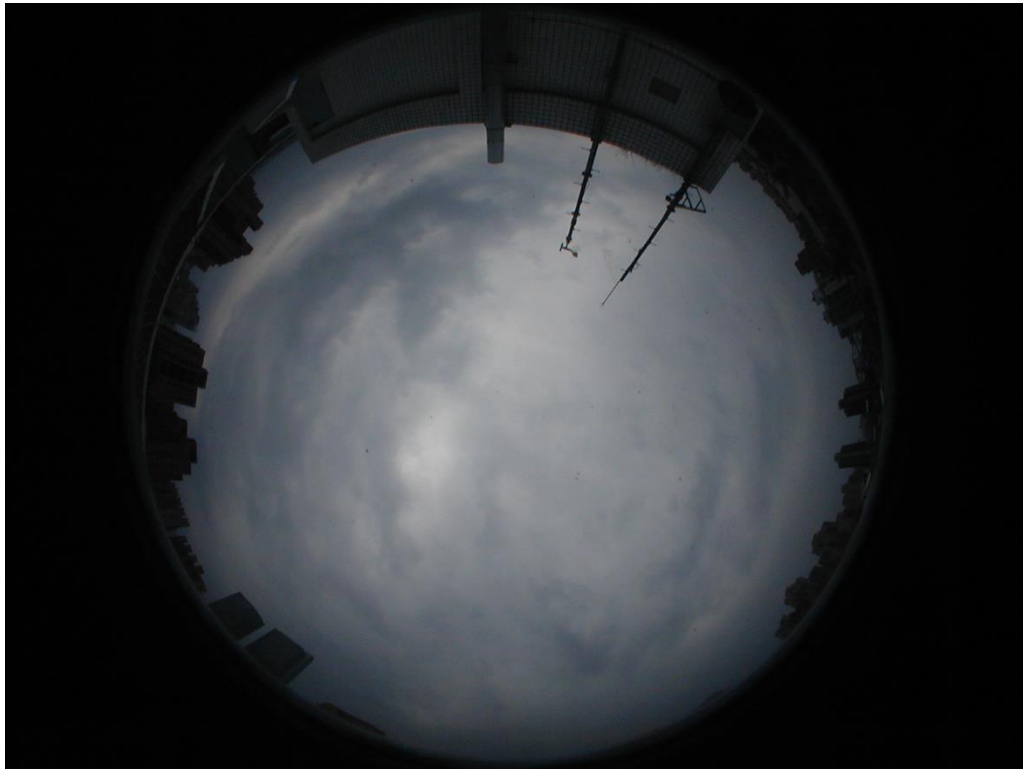
遮蔽度 9.69



南港自動測站



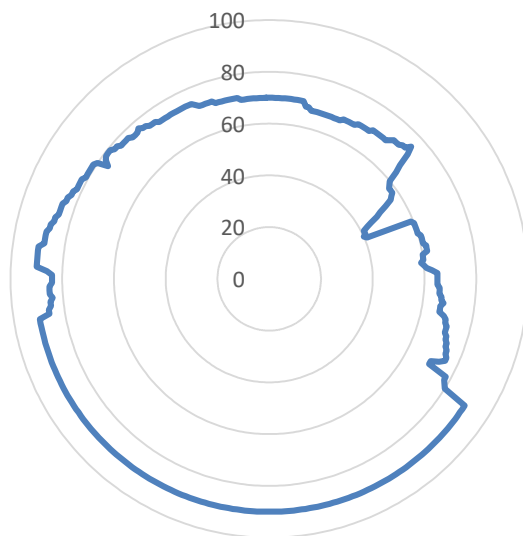
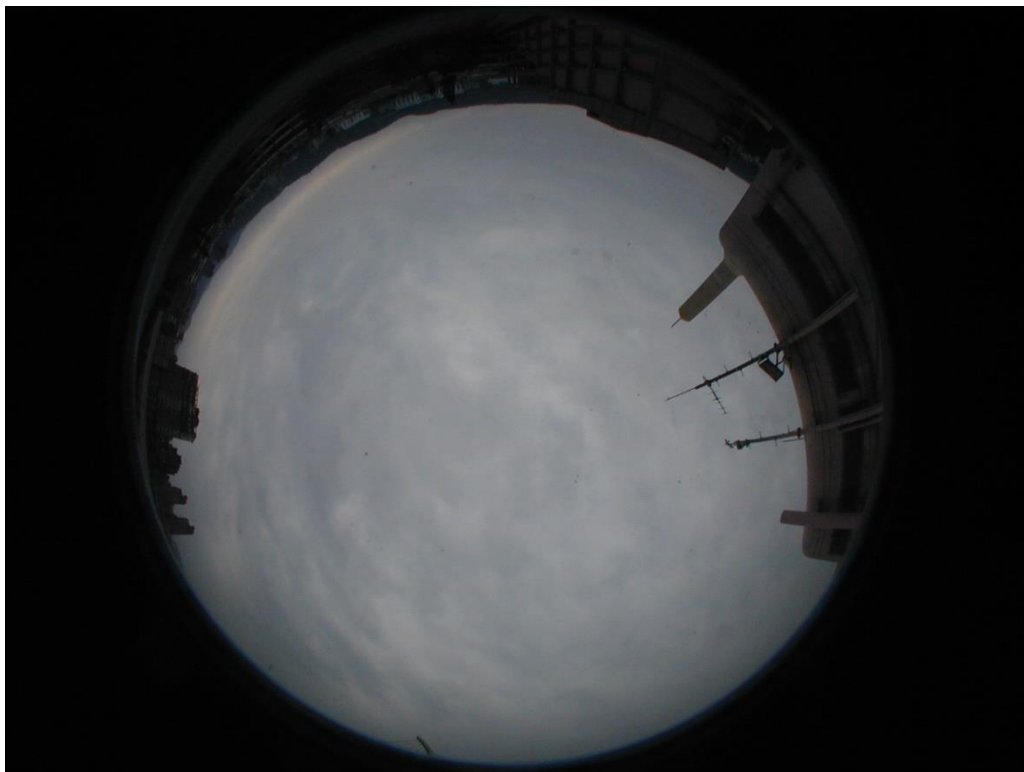
遮蔽度 9.77



大直自動測站



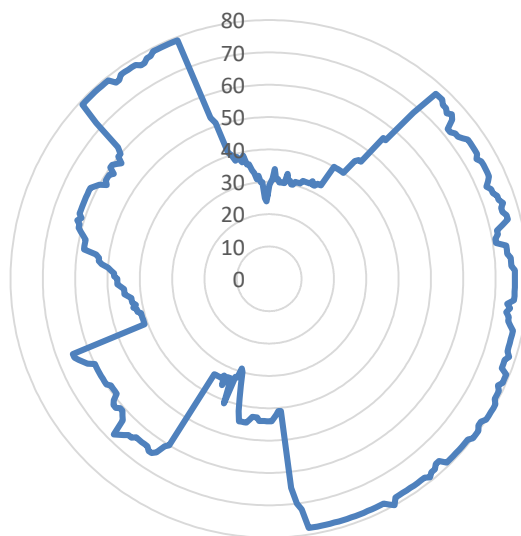
遮蔽度 11.46



石牌自動測站



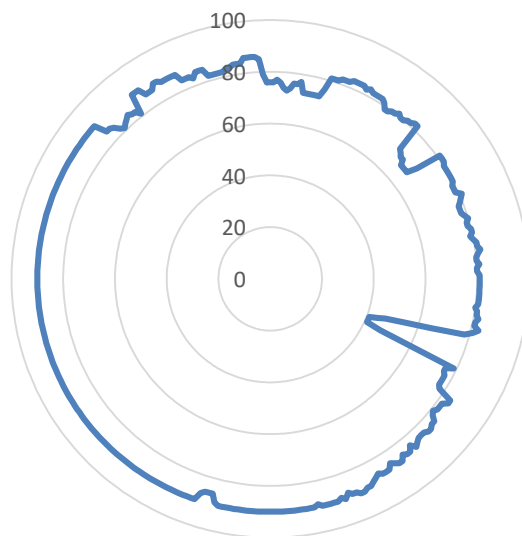
遮蔽度: 29.68



蘆洲自動測站



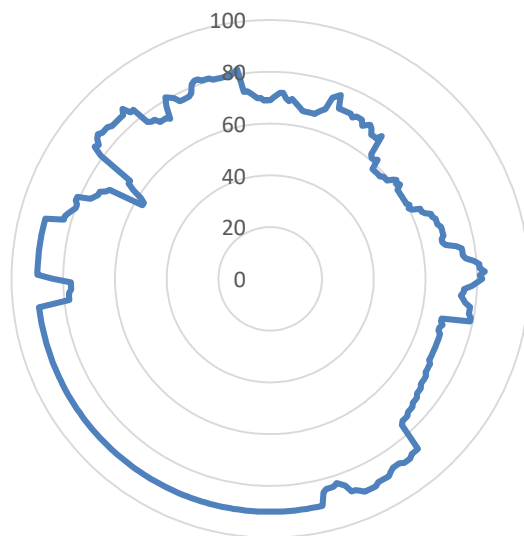
遮蔽度: 5.97



三重自動測站



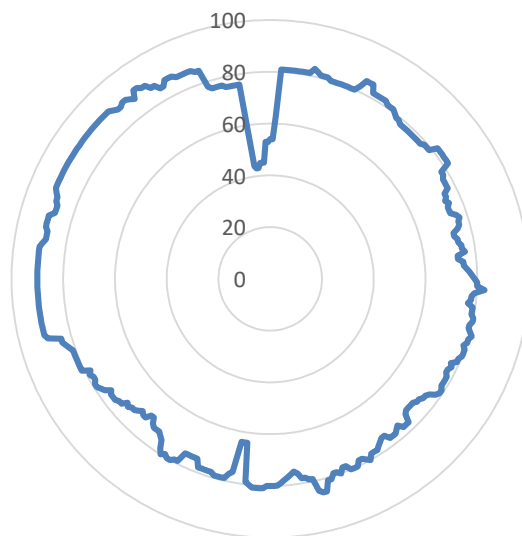
遮蔽度 10.97



新莊自動測站



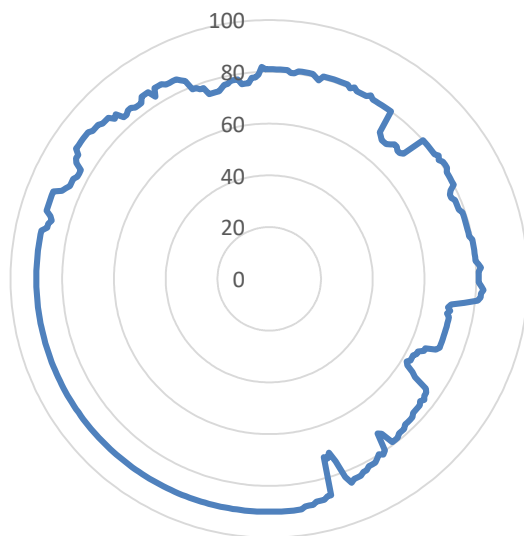
遮蔽度: 10.31



永和自動測站



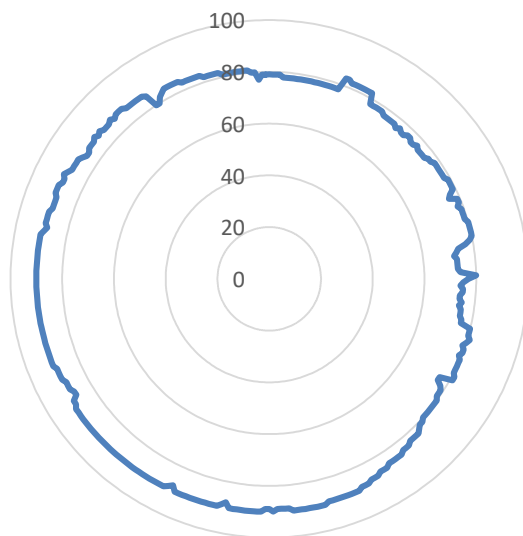
遮蔽度 7.20



中和自動測站



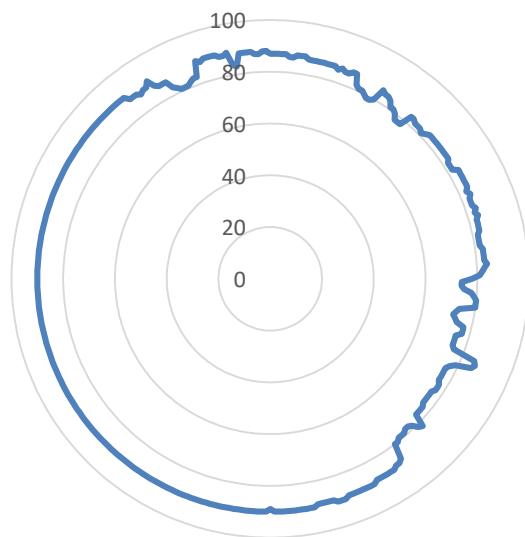
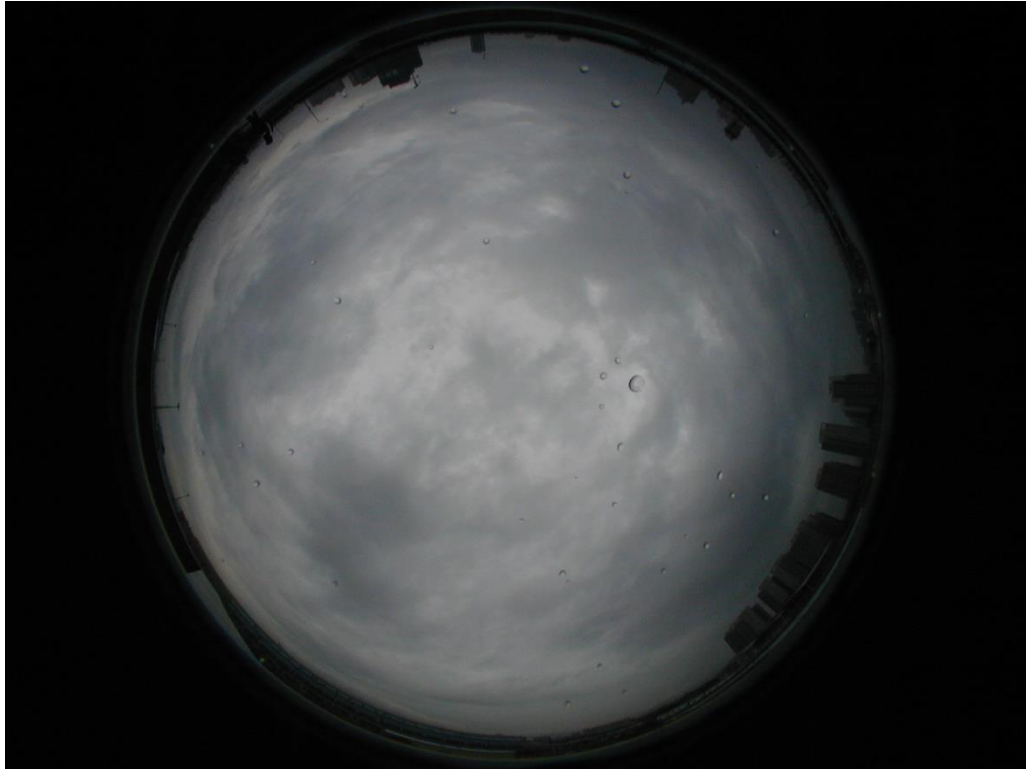
遮蔽度: 6.02



捷運土城機廠自動測站



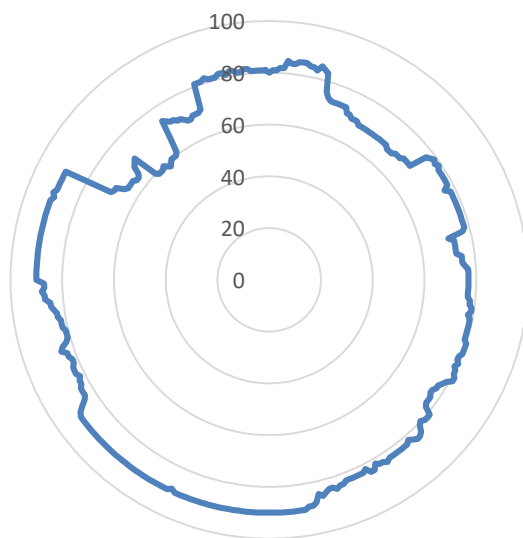
遮蔽度: 4.03



板橋氣象站宿舍屋頂(太陽輻射計)



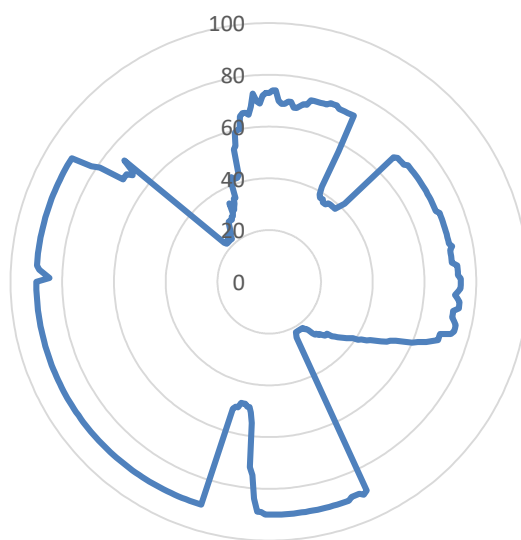
遮蔽度: 9.46



板橋氣象站與宿舍屋頂



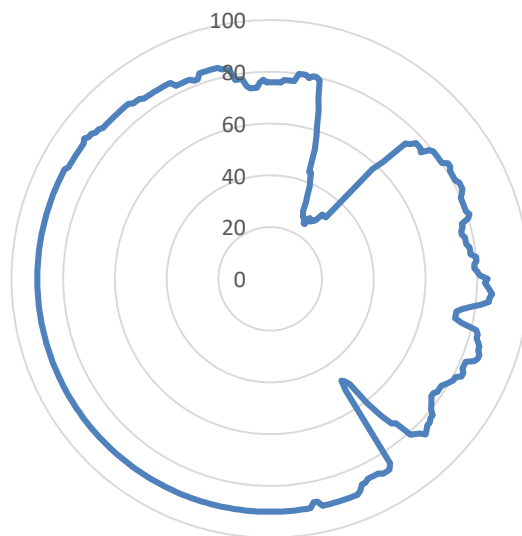
遮蔽度: 22.48



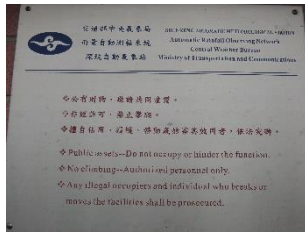
土城自動測站



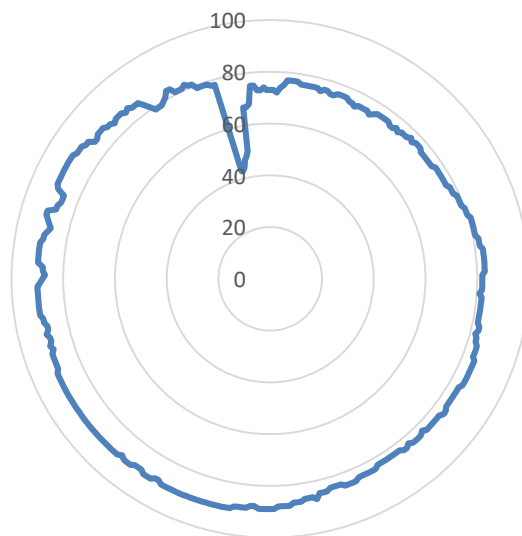
遮蔽度: 9.11



深坑自動測站



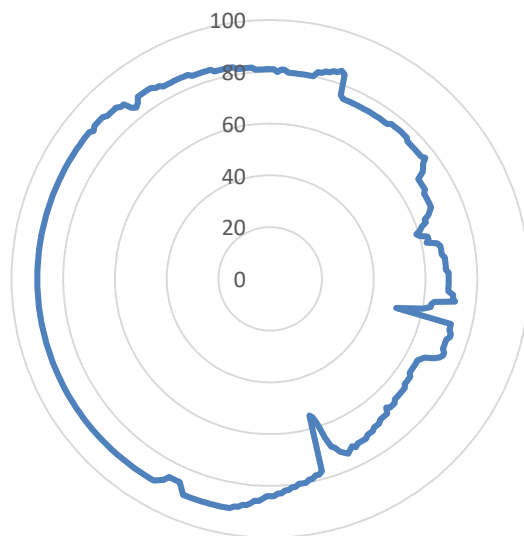
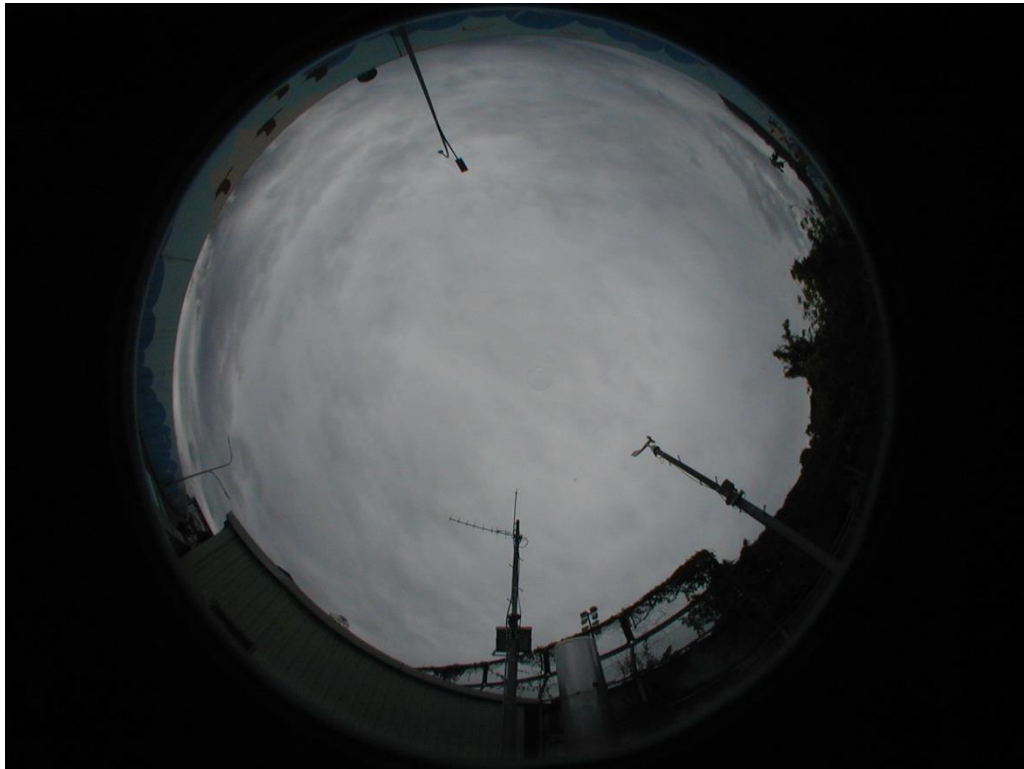
遮蔽度: 6.81



社子自動測站



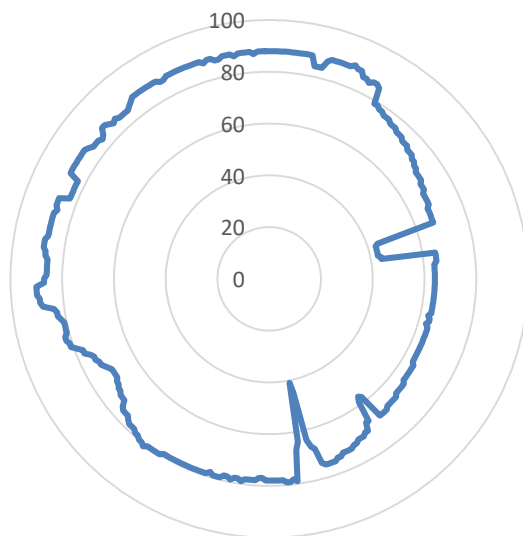
遮蔽度: 9.96



士林自動測站



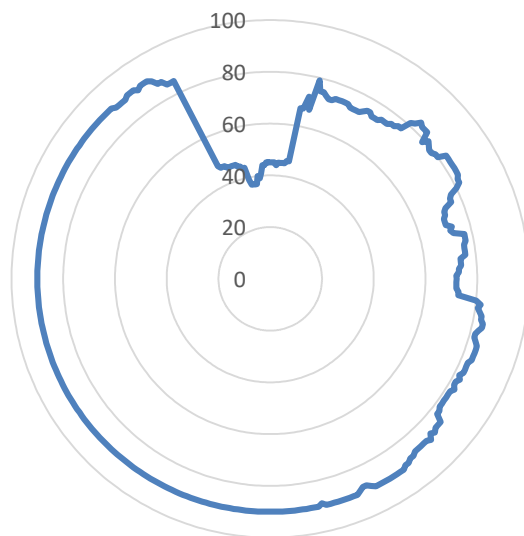
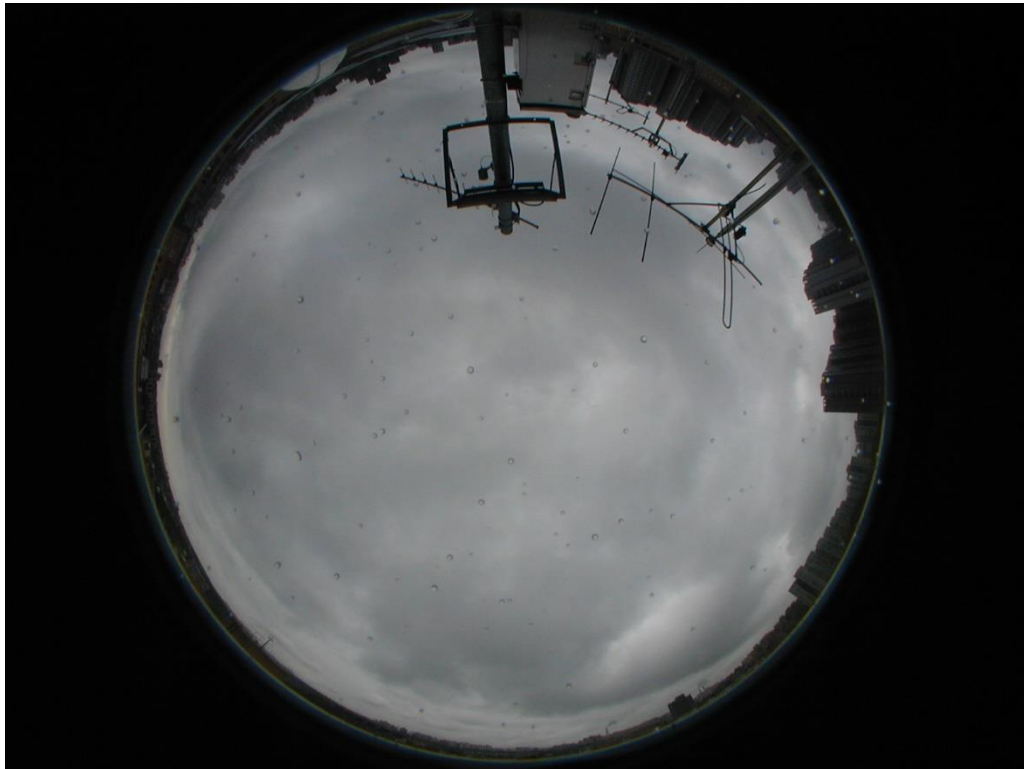
遮蔽度: 13.53



林口自動測站



遮蔽度: 8.77



大安森林公園自動測站



遮蔽度:18.9

