

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列編號 97-00-5-18

平地造林樹種對二氧化碳通量監測、分析之研究

**Study on CO₂ Flux Monitoring of the
Tree Plantations.**



委託機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立臺灣大學

中華民國 97 年 11 月

平地造林樹種對二氧化碳通量監測、分析之研究

【摘要】透過森林來減少大氣二氧化碳濃度已成為全球熱門議題，本觀測站運用渦度相關法(Eddy Covariance method)之理論基礎於屏東設立通量觀測塔，監測平地造林地之二氧化碳通量，希望能計算出平地造林地之碳吸存能力。

本觀測塔以開路式紅外線 CO₂、H₂O 分析儀(Open Path analyzer)與三維音速風速計觀測二氧化碳通量值，同時也觀測平地造林地之熱通量值，作為修正二氧化碳通量值之依據。本試驗地三至八月二氧化碳平均通量值為 -0.552 μmol/m²/s，除三月二氧化碳通量值 0.142 μmol/m²/s 為正值，四至八月二氧化碳通量皆為負值，從四月 -0.223 μmol/m²/s 逐月下降至八月的 -1.619 μmol/m²/s，進一步換算出試驗地碳吸存量，平均每日每公頃造林地可固定 23.595 公斤二氧化碳，從四月的 8.469 kg/ha/day 逐月增加至八月的 61.559 kg/ha/day，地表淨輻射量由三月 142.695 W/m² 增加至八月 413.532 W/m²，具有日週期性變化於白天有最大值，夜晚有最小值，而二氧化碳通量同樣具有日週期性變化於白天有最小值，夜晚出現最大值，且二氧化碳濃度平均日變化量從三月 24.74 ppm 增加至八月的 43.15 ppm。

雖然本觀測站只有數個月的觀測數據，但研究成果仍可作為台灣平地造林地初期碳吸存量之參考。

【關鍵詞】 全球氣候變遷、二氧化碳通量、渦度相關法、碳吸存量

Study on CO₂ Flux Monitoring of the Tree Plantations.

【Abstract】 It has become a hot topic worldwide, that through the absorption of CO₂ by forest trees, we can decrease the concentration of CO₂ in the air. Based on Eddy covariance method, we built an observation station in Ping-Tung, we measured the carbon dioxide flux and calculate the carbon sequestration of the forest plantation in the plain area.

By using the LI-7500 open path CO₂/H₂O analyzer and the three-dimensional sonic anemometer, we measured the CO₂ flux and heat flux, which is used to fill the data gap of CO₂ flux.

The average of the carbon dioxide flux was $-0.552 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ during March to August. The carbon dioxide flux average of each month was negative except in the month of March ($0.142 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), the average of each month decreased month by month from April ($-0.223 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) to August ($-1.619 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). The average of carbon sequestration of the study site is 23.595 kg of CO₂ per ha per day, and increased from April (8.469 kg/ha/day) to August (61.559 kg/ha/day). And the net radiation also increased month by month from March ($142.695 \text{ W}/\text{m}^2$) to August ($413.532 \text{ W}/\text{m}^2$). The net radiation and the carbon flux were in a daily periodic change, and The CO₂ flux was negative (carbon sequestration) during daytime, and the value was positive (emission) during nighttime.

Although we only measured the carbon flux for several months, the results would provide useful information to calculate the carbon sequestration of the plantation forest in the plain area.

【Key words】 Global climate change, Carbon dioxide flux, Eddy covariance method, the amount of carbon sequestration.

目 錄

一、前言	4
二、材料與方法	5
三、結果與討論	12
四、參考文獻	22
計畫期末報告委員審查意見回覆表	24
附錄一 觀測塔與渦度相關系統儀器照片	26
附錄二 三維音波風速計 (three-dimensional sonic anemometer)	30
附錄三 各項通量整合圖	41
附錄四 屏東觀測站風向基本資料	42
附錄五 屏東試驗地三至八月大氣二氧化碳濃度日平均值	42
附錄六 屏東試驗地微氣候基礎資料	44

平地造林樹種對二氧化碳通量監測、分析之研究期末報告

一、前言

隨著全球環境變遷課題的日益重要，建立連續且長期監測地表二氧化碳、水氣、及可感熱(sensible heat)流通量(flux)的觀測站也愈趨需要。這些觀測站所獲得的數據也是研究區域氣候、水文、及生態的重心。美國航空及太空總署於 1998 年決定支助建立全球性的地表二氧化碳、水氣、及熱能流通量的監測網，稱為 fluxnet。Fluxnet 主要結合數個區域性監測網，分別是位於北美及南美的 AmeriFlux 在 1996 年成立，歐洲的 CarboEuroFlux 也於 2004 年成立，在澳洲和紐西蘭有 OzFlux 監測網，而加拿大地區的監測網為 Fluxnet -Canada，非洲地區的 CarboAfrica 是在 2006 年由歐盟設立，而亞洲的 AsiaFlux 在 1999 年成立，韓國也於 2002 年起成立其觀測網 KoFlux，中國大陸的 ChinaFLUX 也於 2002 年成立，加上一些獨立觀測站，根據 fluxnet 網站公布的資料顯示，全球已超過 500 個觀測站，分布範圍從南緯 30 度至北緯 70 度，遍布五個大陸的針葉林、闊葉林、熱帶林、草地、農田、北方森林、凍原、濕地等生態系。亞洲區域監測網 AsiaFlux 主要由日本主導，已有 25 個觀測站加入，中國大陸的 ChinaFlux 有 8 個觀測站加入，而與 Fluxnet 連線的觀測站有 22 個。鑑於此課題的重要性，台灣應速建立起自己的觀測站，獲取觀測值，分析其區域特性，並加入 Fluxnet 監測網。

國內平地景觀造林政策自民國 90 年 8 月 31 日經行政院核定，民國 91 年 1 月 1 日開始執行，預定至民國 96 年 12 月 31 日總共造林 25,100 公頃。至民國 94 年底止，平地造林面積為 8,010 公頃，平地造林除了有國土保安、資源保育、景觀維護、維護生物多樣性之存續效應外，造林木可從空氣中吸收二氧化碳、改善大氣組成，降低溫室效應，正是減低二氧化碳最環保、最低成本與最有效的方法，平地景觀造林政策是臺灣配合京都議定書，善盡地球村一份子的責任，監測評估平地造林地二氧化碳通量之變化，提昇我國友善環境的形象。透過過度相關法所測得資訊，經換算後可提供較科學化數據，將減少的碳經過認證的過程，用於實質碳交易市場。計算平地造林地所固定下來的二氧化碳量，更可以做為工業部門及廠商在環境影響評估時，估計所需負擔碳平衡之比例。持續長期的監測，將有助於瞭解氣候變遷對森林光合作用的影響。

二、 材料與方法

1) 試驗樣區位置：

本試驗觀測站設置於屏東縣新埤鄉海豐段 176 號，該區段屬台灣糖業股份有限公司屏東區處萬隆農場（圖 1），地理二度分帶座標位置(X:210149m，Y:2491637m)，海拔高 60-80m，萬隆農場共計分為 25 個區塊，合計總面積約為 290.66 ha（表 1）。平地景觀造林開始於民國 91 至民國 94 年止（圖 2），於萬隆農場 25 個區塊中共計栽植 14 個樹種，栽植密度每公頃 1500 株，共計栽植 435,990 株造林木，各區塊詳細栽植造林年度、造林區塊、造林面積詳如(表 1)。



圖 1 萬隆農場位置圖。

由於渦度相關法觀測範圍可達 1-2 km²，因此觀測塔應設立於完整造林地中心，並避開道路、人煙密集處，以防人為活動或汽車排放廢氣會影響二氧化碳通量監測結果，因此本計畫選擇於民國 97 年 1 月設立完成的二氧化碳通量觀測站作為研究地點，觀測站設置於萬隆農場 8 號地東北角位處平地造林地之幾何中心（圖 2）。

萬隆農場全部 25 個區塊，面積約 290 ha，被屏東縣 185 縣道沿山公路切割為兩半，其中 12-20 號地被分在東側，扣除 25 號地，其餘區塊皆在沿山公路西側（圖 2），面積近 200 ha(表 1)，且形狀完整未經一般道路分割，因此架設在 8 號地的觀測塔，位於完整造林地中心。

表 1 萬隆農場各區塊面積與造林年度。

地號	面積 (ha)	造林 年度	地號	面積 (ha)	造林 年度	地號	面積 (ha)	造林 年度
3	16.37	92	12	14.32	92	1	10.73	94
4	16.26	91	13	7.98	92	21	13.30	94
8	22.12	92	14	7.60	93	6	2.46	93
9	27.41	91	15	8.49	93	25	6.39	91
2	19.24	92	16	12.29	93	22	6.10	93
5	19.82	92	17	9.15	93	23	4.44	93
7	18.63	91	18	16.71	93	24	2.27	94
10	6.90	92	19	5.17	92			
11	14.18	92	20	5.72	93			
總計	160.93			87.43			45.69	

架設於 8 號地的觀測塔可觀測範圍約為 1 km²，涵蓋範圍主要為萬隆農場 3、4、8、9 號地，以及此四區塊周圍的 2、5、7、10、11 號地等五個區塊，因此觀測塔所測得的二氧化碳通量資料主要為 2、3、4、5、7、8、9、10、11 號地等九個區塊（圖 2）。

2) 觀測站周圍林地條件：

萬隆農場為平地景觀造林地，地勢平坦，而觀測站設立於 8 號地東北角，觀測塔周圍九個區塊（2、3、4、5、7、8、9、10、11 號地）造林地皆為 91、92 年造林，各區塊造林地樹種及林木基礎資料如表 2 所示，九個區塊面積總計約 160.93 ha，共計樹種 12 種，而萬隆農場編號 4、7、9、25 號地為最早造林的區塊，與 8 號地相鄰的 4、7、9 號地與其他區塊相比，樹高與冠幅皆較不同區塊之相同樹種大，9 個區塊中樹高平均值最高者為 9 號地的苦楝，高達 7.20 ± 2.10 m，而位於觀測站東北方的 4 號地，印度紫檀平均樹高達 5.13 ± 0.83 m，7 號地的印度紫檀平均樹高為 6.11 ± 1.08 m 高，而觀測站則設置於 8 號地之東北角，鄰近 4、9 號地生長良好之印度紫檀與苦楝，3 號地於 92 年度造林的欖仁樹與桃花心木樹高已達 3m 以上，8 號地的印度紫檀、桃花心木、水黃皮樹高也高達約 3.5m。全部區塊的林分密度皆為每公頃 1,500 株，除了欖仁樹與 9 號地的苦楝、7 號地的印度紫檀快要鬱閉，其他造林地皆未鬱閉（表 2）。

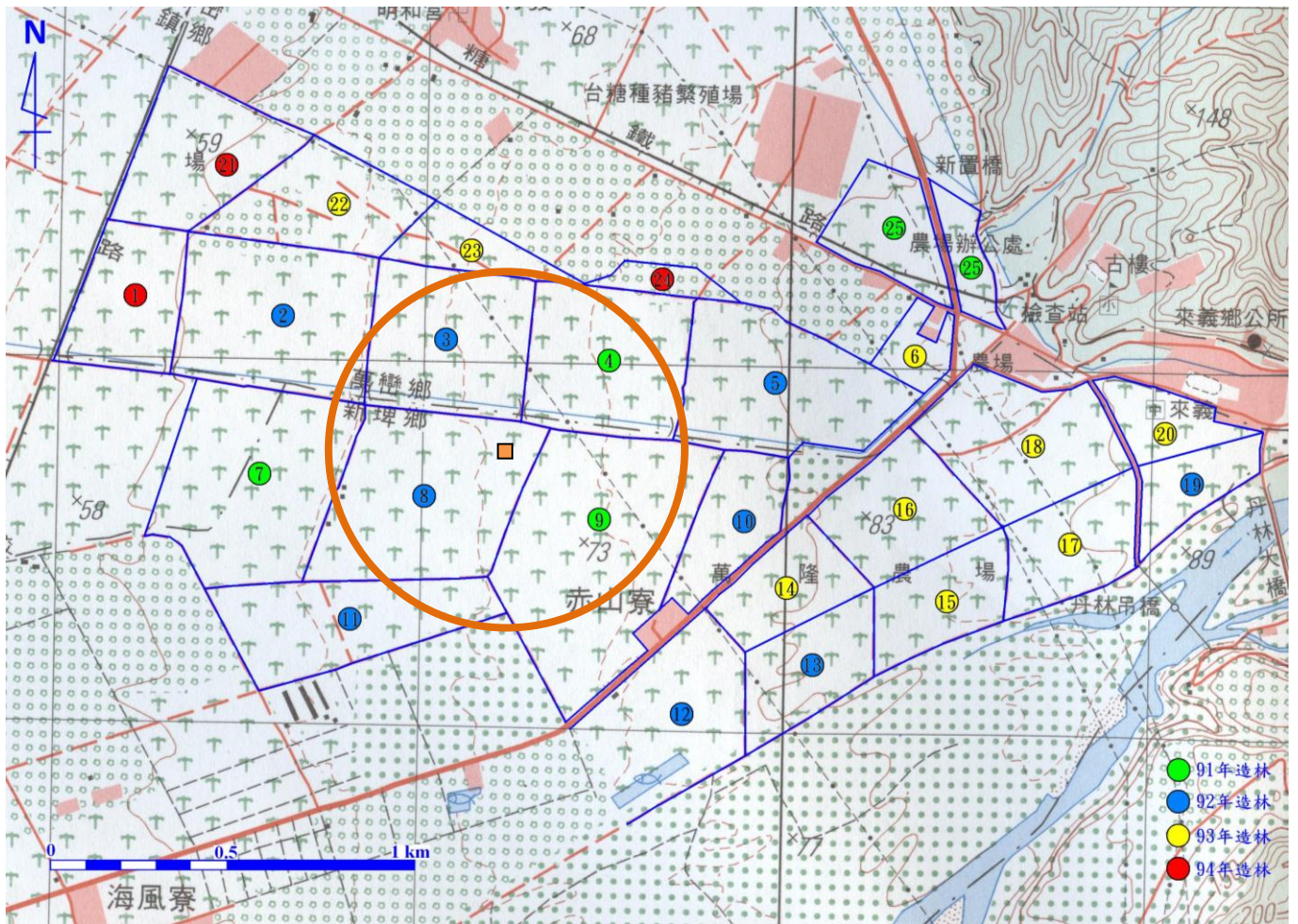


圖 2 萬隆農場 25 區塊分佈位置圖及造林年度，橘色方塊表觀測塔位置，圓框為直徑 1 公里的範圍，代表溫度相關法可觀測之範圍(背景地圖摘自經建版台灣地區二萬五千分之一地形圖)。

表 2 觀測站周圍 9 區塊造林樹種、樹高、冠幅、胸高直徑基本資料。

地號	樹種	樹高(m) 平均值	冠幅(m) 平均值	枝下高(m) 平均值	胸徑(cm) 平均值	樣本數
2 號地	台灣檫	2.05 ± 0.75	1.40 ± 0.70	0.77 ± 0.27	1.66 ± 0.92	103
	茄苳	2.23 ± 0.41	1.83 ± 0.54	0.85 ± 0.14	2.65 ± 1.92	6
	無患子	3.34 ± 1.26	2.66 ± 1.41	0.76 ± 0.38	4.32 ± 1.77	5
	楓香	2.47 ± 0.91	1.10 ± 0.44	0.91 ± 0.38	2.66 ± 1.48	93
3 號地	欖仁樹	3.07 ± 0.86	2.67 ± 0.78	1.79 ± 0.52	5.29 ± 1.87	223
	苦楝	0.99 ± 0.09	0.18 ± 0.10	0.81 ± 0.14	0.84 ± 0.27	12
	桃花心木	3.41 ± 1.06	1.26 ± 0.30	1.93 ± 0.50	3.95 ± 1.42	273
4 號地	台灣檫	2.60 ± 1.53	1.40 ± 0.94	1.15 ± 0.82	4.58 ± 2.09	4
	光蠟樹	2.82 ± 1.10	1.58 ± 0.52	1.30 ± 0.51	3.27 ± 1.96	318
	印度紫檀	5.13 ± 0.83	2.17 ± 0.60	2.23 ± 0.38	7.09 ± 1.80	293
5 號地	台灣檫	1.94 ± 0.63	1.35 ± 0.69	0.88 ± 0.53	1.35 ± 0.82	129
	印度紫檀	2.97 ± 1.02	1.92 ± 1.07	1.37 ± 0.47	3.24 ± 1.66	70
	肉桂	2.21 ± 0.90	1.18 ± 0.49	0.94 ± 0.39	2.92 ± 2.10	56
	桃花心木	2.13 ± 0.81	0.74 ± 0.40	1.24 ± 0.56	1.88 ± 1.06	92
	光蠟樹	1.00	0.4	0.10	1.30	1
7 號地	印度紫檀	6.11 ± 1.08	3.36 ± 0.73	2.37 ± 0.42	8.16 ± 2.43	57
	苦楝	4.84 ± 1.35	2.13 ± 0.85	2.25 ± 0.59	5.41 ± 2.32	216
地號	樹種	樹高(m) 平均值	冠幅(m) 平均值	枝下高(m) 平均值	胸徑(cm) 平均值	樣本數
8 號地	水黃皮	3.73 ± 1.08	2.32 ± 0.96	1.73 ± 0.57	5.03 ± 1.94	68
	台灣檫	2.86 ± 0.88	1.95 ± 0.77	1.36 ± 0.36	2.72 ± 1.30	77
	光蠟樹	2.21 ± 1.02	1.09 ± 0.56	1.06 ± 0.47	2.01 ± 1.17	99
	印度紫檀	3.63 ± 1.08	2.15 ± 0.85	1.82 ± 0.59	5.35 ± 2.03	274
	苦楝	1.65 ± 0.67	0.92 ± 0.53	1.18 ± 0.38	1.68 ± 1.06	21
	茄苳	2.54 ± 0.65	1.73 ± 0.62	1.42 ± 0.39	4.71 ± 2.29	27
	桃花心木	3.65 ± 1.23	1.38 ± 0.47	1.83 ± 0.75	4.47 ± 1.40	54
	無患子	1.42 ± 0.40	0.48 ± 0.15	1.03 ± 0.42	1.34 ± 0.49	36
	構樹	1.23 ± 0.21	1.50 ± 0.74	0.48 ± 0.13	1.00 ± 0.14	4
	瓊崖海棠	1.16 ± 0.25	0.48 ± 0.32	0.53 ± 0.20	1.32 ± 0.49	9
9 號地	印度紫檀	4.66 ± 1.06	2.25 ± 0.73	2.04 ± 0.41	7.85 ± 2.89	100
	波斯皂莢	4.12 ± 1.42	1.74 ± 0.76	1.90 ± 0.59	6.45 ± 3.00	140
	苦楝	7.20 ± 2.10	3.08 ± 0.82	2.30 ± 0.48	10.72 ± 3.89	105
	桃花心木	6.00 ± 1.84	1.63 ± 0.35	2.52 ± 0.55	7.99 ± 2.39	73

	馬櫻丹	1.40	1.20	0.80	1.20	1
	無患子	2.11 ± 0.70	0.57 ± 0.25	1.20 ± 0.51	2.07 ± 0.66	15
	台灣檫	3.17 ± 1.26	1.97 ± 0.81	1.46 ± 0.55	4.21 ± 2.33	385
	構樹	0.90	0.80	0.60	0.90	1
	欖仁樹	3.70 ± 1.30	3.01 ± 1.19	2.01 ± 0.70	7.71 ± 3.26	148
10 號 地	光蠟樹	1.60 ± 0.48	0.78 ± 0.36	0.75 ± 0.24	1.32 ± 0.46	21
	無患子	2.65 ± 0.71	0.89 ± 0.51	1.48 ± 0.48	3.12 ± 1.33	204
	台灣檫	2.08 ± 0.58	1.49 ± 0.66	0.96 ± 0.33	1.73 ± 0.87	52
11 號 地	台灣檫	2.72 ± 0.79	1.89 ± 0.77	0.79 ± 0.43	2.79 ± 1.48	105
	印度紫檀	3.02 ± 0.88	1.95 ± 0.77	1.04 ± 0.44	3.29 ± 1.36	41
	苦楝	4.55 ± 1.14	1.90 ± 0.72	2.36 ± 0.54	6.13 ± 3.09	78
	構樹	3.35 ± 2.33	1.70 ± 0.71	1.45 ± 0.92	3.70 ± 3.82	2
	無患子	2.84 ± 1.55	1.76 ± 1.38	1.01 ± 0.28	2.68 ± 1.60	8
	欖仁樹	3.74 ± 0.98	2.99 ± 0.88	1.73 ± 0.37	6.72 ± 2.21	108

3)研究方法：

渦度相關法(eddy covariance method)：

渦度相關法(eddy covariance method)是微氣候學的一種研究方法，而且目前是通量監測中公認最準確的方法，同時此法具有連續觀測及具有大尺度範圍之代表性的優點。國內外許多長期通量觀測站都使用渦度相關法直接量測生態系中二氧化碳、水氣、熱通量等數值(賴玫君，2007)。

渦度相關是指某物質的垂直通量，即此物質濃度與其垂直速度之共變異數(協方差，covariance)，因此二氧化碳在單位體積空間內濃度的變化率等於二氧化碳在垂直方向(z)的通量(圖 3)(宋霞等，2004)。

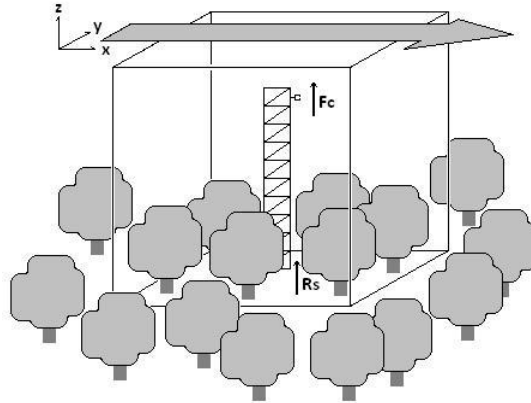


圖 3 通量觀測示意圖 (宋霞等, 2004)

大氣邊界層中之熱、水氣、動量、及其他質量的傳輸主要是由紊流主導。而渦度相關法是利用高頻率量測而得的風速與各變量之紊流訊號，以共變異數計算式求得各通量值(賴玫君, 2007)。因此二氧化碳、可感熱、潛熱通量可用下式求得(式 1、2、3)：

$$H = \rho C_p \overline{w't'} \quad (1)$$

$$LE = L_v \overline{w'q'} \quad (2)$$

$$F_{CO_2} = \overline{w'c'} \quad (3)$$

H 為可感熱通量(W/m^2)；LE 為潛熱通量(W/m^2)； F_{CO_2} 為二氧化碳通量 ($mmole/m^2s$)； ρ 表示空氣密度($= 1.225 \text{ mol m}^{-3}$)； C_p 是比熱容($= 29.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)； L_v 為水的汽化熱($= 2,450 \text{ J/g}$)； $\overline{w't'}$ 、 $\overline{w'q'}$ 、 $\overline{w'c'}$ 分別代表量測到的溫度、水氣、二氧化碳垂直紊流通量。

當觀測環境滿足以下三個大氣條件時：一、大氣觀測環境需為穩定狀態，二、水平均質的碳源、碳匯，三、大氣的下墊面為平坦地形，生態系各通量值可由三維風速計與紅外線氣體分析儀監測數據求得(宋霞等, 2003；夏禹九等, 2005)。

4) 渦度相關系統：

本觀測站利用渦流相關系統 (eddy-covariance system) 來量測二氧化碳、水氣及熱能的通量。此系統包含：

三維音波風速計 (CAMPBELL/CSAT3 three-dimensional sonic anemometer) 及開放式紅外線氣體分析儀 (LI-COR/LI-7500 open-path infrared gas analyzer)。三維風速、氣溫、二氧化碳及水氣含量的取樣頻率為 10 Hz，每 30 分鐘計算並記錄一筆平均值資料，啟動及編輯程式如(附錄三)。

另配合各項氣象監測儀器以瞭解樣區之試驗背景資料，整合系統如下：小型氣象感測整合套件(Vaisala WXT510)：1 套，內建風速、風向、氣溫、相對溼度、雨量等監測項目。

溫濕度計(含自然通風及防輻射裝置)HMP45C：2 組，針對冠層下方做溫度及溼度取樣取樣。

長短波輻射計(CNR1)：1 組，測量冠層上方日照輻射量。光量子計

(LI-COR/LI-190)：1 組，針對 PAR 做監測，以瞭解植被光合作用之環境資料。

紅外線溫度計(Compbell/IRTS-P)：1 組，測量冠層下方溫度。

土壤熱流量計(HFT3)：1 組、土壤溫度計(Compbell/107)：1 組、土壤水分計

(Compbell/CS616-L)：1 組，量測樣區地表條件。

各儀器架設高度如圖 4 所示：

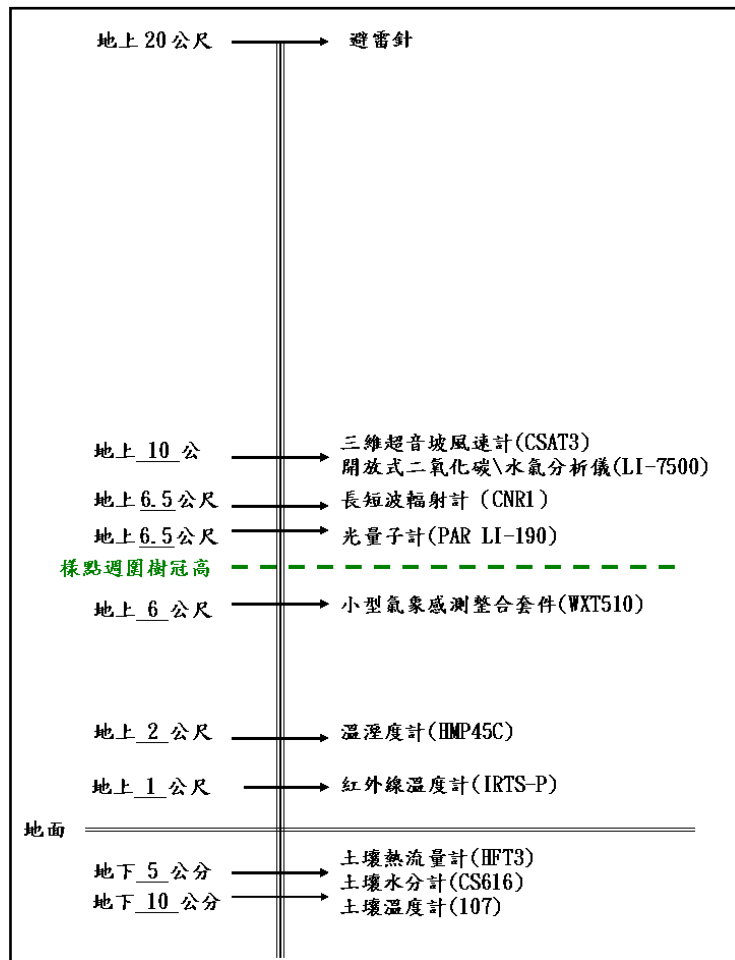


圖 4 渦度相關系統與微氣候監測儀器架設高度示意圖。

5)資料處理：

渦度相關系統以頻率 10 Hz 量測生態系二氧化碳、水氣、熱通量，取得原始資料，而利用渦度相關法量測通量需符合三項基本假設：觀測地點需為地勢平坦之處、水平均勻地表存量分佈(horizontal homogeneous)、以及在某一段時間內流況為穩態(steady state)，因此大氣條件不符合的情況下，會出現錯誤的數據，需先將錯誤的量測數據除去，透過三維音波風速計所測得的資料，渦度相關系統會對資料進行初步處理，再以剩餘的原始資料，每 30 分鐘取一次平均值，代表某時間點的通量值，若是原始資料錯誤筆數過多，則需對儀器進行校調。

然而大氣的空氣密度與一些較小的組成成份(如 CO₂ 或水氣等)，都會影響量測到的紊流通量值，前人實驗結果發現，誤差最高甚至可達到 10%，根據表面能量守恆定律，地表淨輻射量(R_n)是所有表面能量來源：部分能量提供地表熱能，稱作可感熱通量(H_s)；有些則成為水氣蒸發散的能量，形成潛熱通量(LE)；其他由土壤吸收變成土壤熱通量(G)。因此可用(式 4)來判定通量值是否有誤：

$$R_n = H_s + LE + G \quad (4)$$

因此當 $H_s + LE + G \geq 1.2 * R_n$ 時，該筆資料可判定為錯誤資料，又由於土壤熱通量(G)數值比潛熱通量(LE)與可感熱通量(H_s)小很多，所以也可用(式 5、式 6)來判定：

$$H_s > R_n + 50 \quad (5)$$

$$LE > R_n + 50 \quad (6)$$

因此原始通量資料可用式 4、5、6 將錯誤資料去除，再以其餘資料計算平均值，若錯誤資料過多，則該筆資料（30 分鐘平均值）判定為錯誤資料。

經過資料處理，量測到的通量值可能出現資料缺失(gap)，此時可用二氧化碳通量值與地表淨輻射量兩項資料求出回歸式進行資料補遺 (gap filling)。

三、 結果與討論

觀測塔渦度相關系統於 2008 年二月初架設完成後，三月持續校正調整儀器，並陸續改善電力系統，以增加資料讀取的穩定及可靠性。三月上旬開始標準化接收量測資料，經測試篩選，三月至四月獲取資料 51840000 筆，平均可用率為 16%(期中審查階段)，至六月初資料獲取率提升至 37%(共 96768000 筆)，至八月底已獲取 154,260,000 筆資料。資料獲取率的高低取決於量測站的氣候條件，儀器維護頻率，資料處理系統及現場情形（如人為干擾，電力供應狀況等）。目前世界上現有，設站經過 8 ~ 10 年，成熟運作的觀測站平均篩選率，約 65%

至 75%之間。本觀測站將持續提升儀器維護頻率，改善資料處理系統及現場實驗情形來提高資料獲取率。

2008 年 7 至 9 月有 6 個颱風影響台灣，其中有 3 個集中於 9 月中、下旬(表 3)，本試驗站觀測塔之資料蒐集器 Campbell CR-3000 於 10 月初收取資料時發現於 9 月颱風期間遭雷擊損毀，在搶救後仍無法讀出蒐集器內儲存之 9 月觀測資料。儀器隨即送回美國原廠維修，目前已維修完畢，並重新架設進行試運轉與校正。

表 3 2008 年 7 至 9 月影響台灣之颱風(中央氣象局颱風資料庫)

編號	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度
200815	薔蜜	JANGMI	09/26~09/29	強烈
200814	哈格比	HAGUPIT	09/21~09/23	中度
200813	辛樂克	SINLAKU	09/11~09/16	強烈
200812	如麗	NURI	08/19~08/21	中度
200808	鳳凰	FUNG-WONG	07/26~07/29	中度
200807	卡玫基	KALMAEGI	07/16~07/18	中度

1)平地造林地通量監測

一般而言，以渦度相關法進行二氧化碳通量觀測具有非破壞性、連續觀測、及較大區域(大尺度，100m-2km)代表性之優點，不過渦度相關法需依賴穩定狀態、水平均質的碳源與碳匯、與平坦的下墊面，將渦流三維的傳輸過程簡化為一維方向的傳輸過程，而穩定狀態需在一段時間(通常為 30 分鐘)內之平均垂直風速為零，而三月至八月試驗地的平均垂直風速，數值相當小，平均值為 -0.063 m/s，負號表示向下，因此可發現試驗地處於穩定狀態，符合實驗的要求，而平均風速為 2.079 m/s(表 4)。三月至八月風向以東風為主(圖 5)，由地圖判斷屬山風，且穩定地在夜間發生。

表 4 觀測站風速基本資料(m/s)

月份	平均水平風速	最大水平風速	平均垂直風速
三月	2.167	6.546	-0.051
四月	2.003	7.558	-0.049
五月	2.046	6.175	-0.046
六月	2.310	6.511	-0.080
七月	2.353	10.304	-0.081
八月	2.061	6.885	-0.090
十一月	1.616	3.585	-0.046
平均	2.079	6.795	-0.063

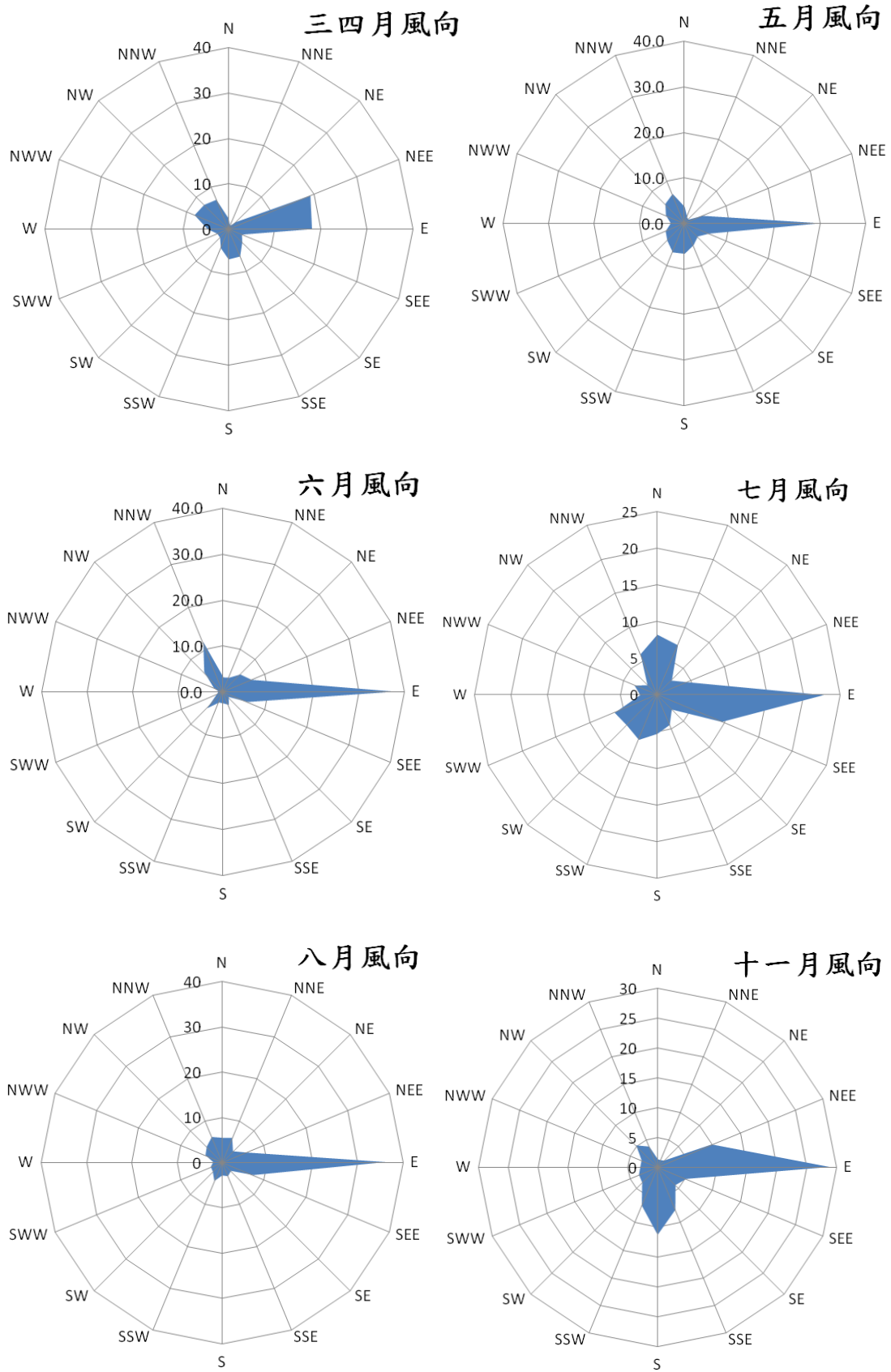


圖 5 觀測站三月至八月及十一月風向圖(%)

由於試驗站觀測塔是以一點之觀測代表整個均質下墊面之通量，因此觀測儀器需架設於下墊面(林冠層)上方近地表層(constant flux layer，通量之垂直變化小於 10%)，近地表層之厚度依墊面的粗糙度與大氣穩定度變化，因此觀測儀器架設高度不能太接近冠層(渦流及代表區域太小)，也不可過高超出近地表層，在大氣不穩定條件時，下墊面至儀器之高度(h)與上風方向緩衝帶距離(吹風距離 fetch，X)之比值最好大於 100 ($X/h \geq 100$)；而中性穩定時， $X/h \geq 200$ ；大氣處於穩定狀態時， $X/h \geq 400$ ；一般設置於冠層高度之 1.3 至 1.5 倍處，屏東試驗地觀測塔至林地邊緣約 500m，即使於晚上大氣較穩定時，也不會觀測到造林地外的碳源。

2)平地造林地之二氧化碳通量

本試驗地三至八月大氣平均二氧化碳濃度為 347.27 ppm (表 5)，略低於聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)於 1998 年計算之大氣平均二氧化碳濃度值 365 ppm(UNFCCC，2002)，試驗地大氣二氧化碳濃度，具有日週期性變化，各月份 CO₂ 濃度值雖不相同，但皆在夜間上升，於清晨 5 點左右達最高濃度，並在白天逐漸下降，於中午或午後達最低濃度(圖 6)，每日二氧化碳濃度變化幅度平均為 33.26 ppm，而每日二氧化碳濃度平均變化量也有所差異，在三至八月期間二氧化碳濃度平均變化量以三月的 24.74 ppm 最低，變化幅度逐月增加，至七月達最大值 44.50 ppm，至八月則略為下降(表 5)。

表 5 屏東試驗地三月至八月及十一月大氣平均二氧化碳濃度(ppm)

月份	平均值	最大值	最小值	日平均變化量
三月	357.56	399.55	320.13	24.74
四月	346.32	387.87	313.35	26.36
五月	337.73	378.80	313.23	27.14
六月	349.74	426.27	315.51	33.65
七月	344.45	426.03	299.77	44.50
八月	347.84	438.15	282.09	43.15
十一月	387.22	439.67	356.26	38.04
平均值	352.98	—	—	33.94

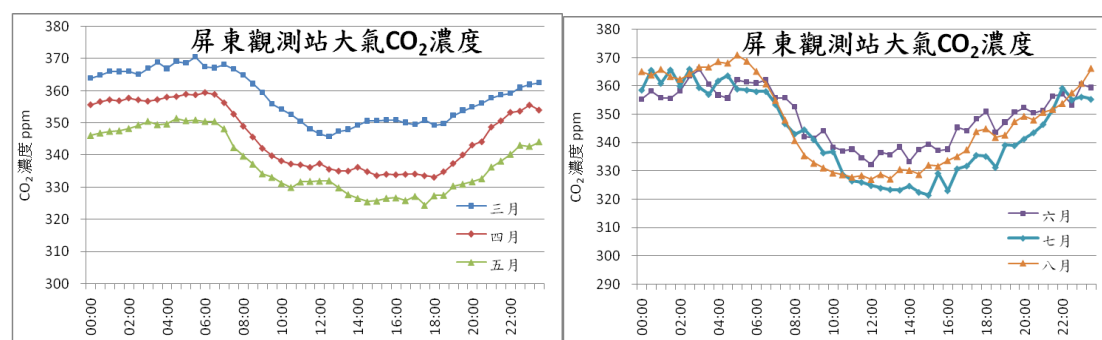


圖 6 屏東觀測站大氣二氧化碳濃度。

屏東試驗地自 2008 年 3 月設立至今，其二氧化碳通量平均值為 $-0.552 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ，各月份之二氧化碳通量平均值除三月份平均值為正值外，其餘各月份皆為負值(表 6)，通量值為正值表示物質由生態系釋放至大氣中，因此負值表示二氧化碳從大氣中被固定至試驗地之中(地表植物透過光合作用吸收二氧化碳生成植物生長所需之養分，將二氧化碳固定在植物體內，此為陸域生態系碳循環中碳進入生態系之主要途徑)，各月份平均二氧化碳通量值逐月增加，由四月 $-0.223 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 增加到八月的 $-1.619 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ，將單位時間通量值對時間積分可計算出一段時間內的二氧化碳通量，因此得知屏東試驗地三月至八月期間每日平均每公頃造林地碳吸存量為 23.595kg ，而四月至八月平均碳吸存量有逐漸增加的趨勢，八月份更高達 $61.559 \text{kg}/\text{ha}/\text{day}$ ，十一月份則下降為 $9.276 \text{kg}/\text{ha}/\text{day}$ 。

表 6 屏東試驗地三至八月及十一月二氧化碳通量值。

月份	平均值 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	最小值 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	最大值 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	平均碳吸存量 ($\text{kg}/\text{ha}/\text{day}$)
三月	0.142	-17.712	5.405	-5.400
四月	-0.223	-90.240	7.948	8.469
五月	-0.260	-30.418	7.296	9.883
六月	-0.609	-27.013	11.354	23.143
七月	-1.053	-35.174	13.378	58.238
八月	-1.619	-61.478	11.334	61.559
十一月	-0.244	-0.794	0.597	9.276
總平均值	-0.552	—	—	23.595

註：此處總平均值為三至八月所有二氧化碳通量及碳吸存量之平均值，而非各月份平均值之平均

試驗地 CO_2 通量值除各月份間有所變化外，同時具有日週期性變化，於白日林木進行光合作用， CO_2 通量值出現負值，表示 CO_2 被造林地吸收，夜晚上升為正值，應是呼吸作用造成，呈日週期性變化(圖 7)。

植物體透過光合作用吸收大氣中二氧化碳，而淨光合作用受許多環境因子影響，其中太陽輻射量為光合作用最主要的能量來源，而植物體周遭的溫度會影響呼吸作用，使淨光合作用值變動，植物體蒸散作用與水分利用息息相關，也影響光合作用速率，因此利用能量守恆定律，太陽輻射到達地表的淨輻射量(R_n)是所有表面能量來源：部分能量提供地表熱能，稱作可感熱通量(H_s)，會影響地表周圍的溫度；部分則成為水氣蒸發散的能量，形成潛熱通量(LE)；其他由土壤吸收變成土壤熱通量(G) (式 4)。

$$R_n = H_s + LE + G \quad (4)$$

若等式兩側數值相差太大($H_s + LE + G \geq 1.2 * R_n$)，則表示儀器觀測值錯誤，該時間點之二氧化碳通量值也為錯誤數值，搭配式(5)、式(6)，可將大部分錯誤數值去除。

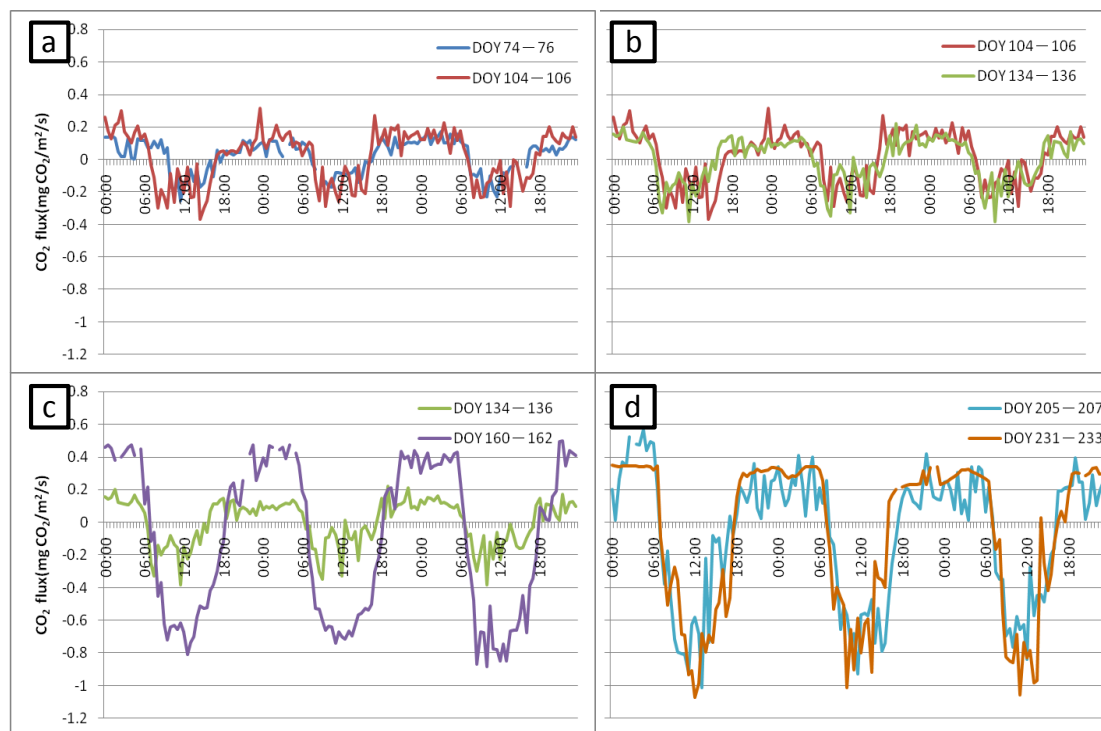


圖 7 相鄰月份二氧化碳通量週期性變化比較(DOY = Day of year)

註:由於資料量過大，每月各取 3 天比較。

目前觀測站資料獲取率之穩定性仍有改善空間，目前除了繼續改善取樣的數量及品質，我們嘗試用較為穩定的 Net Radiation ($R_n: W/m^2$)與 CO_2 Flux 所得結果進行回歸分析，並將回歸結果用於缺失資料之補遺(gap filling)。由於三月儀器穩定性不如預期，四月時樣區受連日雨天干擾，因此回歸分析時不與五月及六月合併。除此之外四月底樣區林木新葉開展，光合作用面積增加，就植物生理的角度而言，基礎條件與五、六月並不相當，將所有數據合併分析並不妥適。因此將五、六月 Net Radiation ($R_n: W/m^2$)與 CO_2 Flux 另作回歸分析，七月及八月一般為植物生長旺盛季節，因此另外獨立回歸分析，利用此回歸式將實測 R_n 值代入計算出理論二氧化碳通量平均值，用此理論值代替錯誤的二氧化碳通量數值，進一步計算出平均碳吸存量(圖 8)。對照(表 6)可發現試驗地之碳吸存量，隨著季節由春末轉夏初，有逐步上升的趨勢。

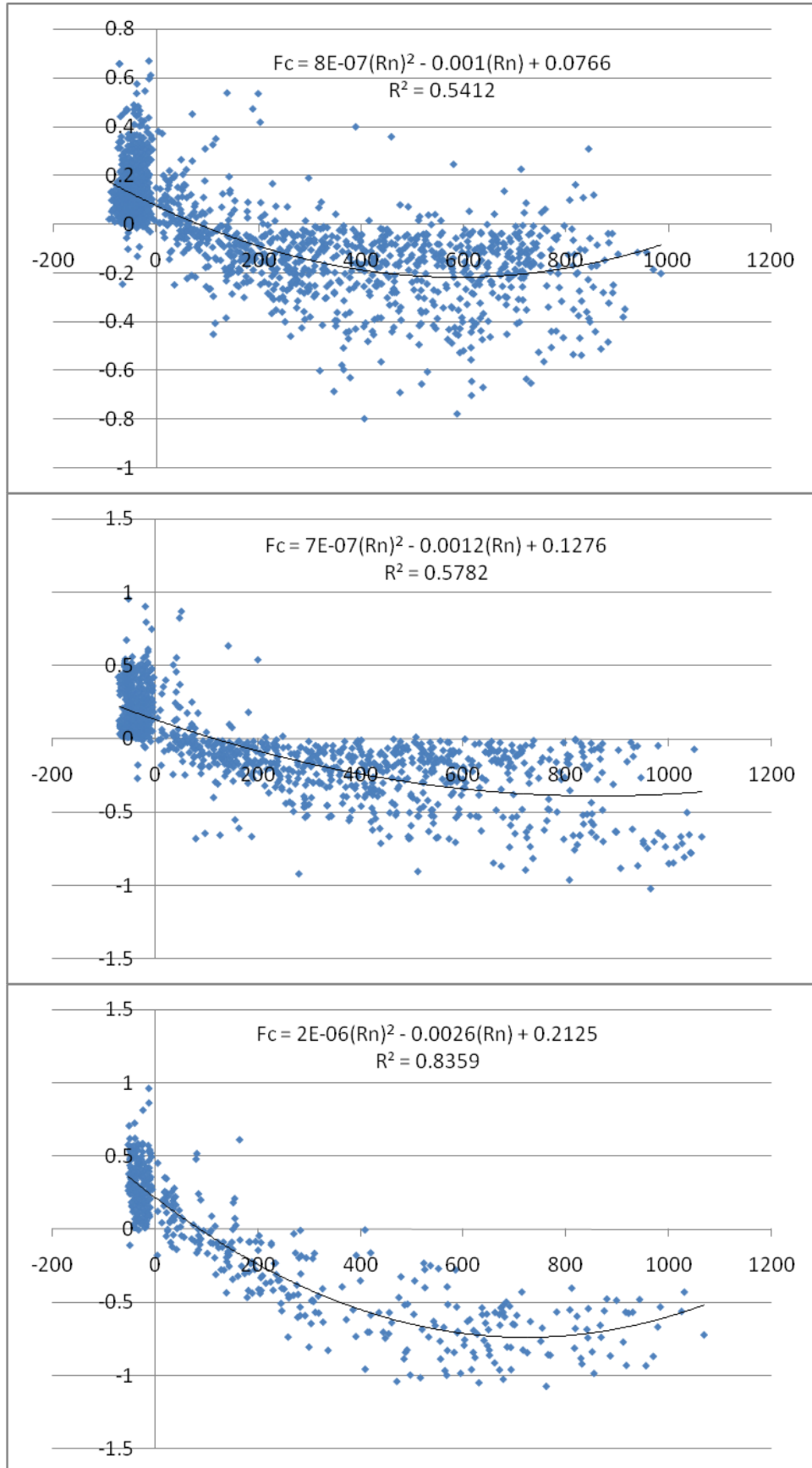


圖 8 二氧化碳通量(Fc)與淨輻射量(Rn)之關係(上: 3、4 月,中: 5、6 月,下: 7、8 月)。

表 7 屏東試驗地熱通量平均值

月份	項目	平均值	最小值	最大值
三月	Sensible heat flux (W/m ²)	63.639	-53.682	526.336
	Latent heat flux (W/m ²)	22.882	-91.943	316.339
	Soil heat flux (W/m ²)	5.174	-41.19	135.7
	Net Radiation (W/m ²)	142.695	-91.397	883.53
四月	Sensible heat flux (W/m ²)	64.315	-52.085	784.337
	Latent heat flux (W/m ²)	44.346	-147.831	359.598
	Soil heat flux (W/m ²)	4.098	-43.250	138.700
	Net Radiation (W/m ²)	169.028	-70.862	985.216
五月	Sensible heat flux (W/m ²)	65.476	-45.127	529.184
	Latent heat flux (W/m ²)	36.496	-98.415	310.241
	Soil heat flux (W/m ²)	-1.344	-27.46	61.8
	Net Radiation (W/m ²)	164.707	-69.892	1048.605
六月	Sensible heat flux (W/m ²)	31.224	-122.292	243.057
	Latent heat flux (W/m ²)	131.877	-39.053	492.155
	Soil heat flux (W/m ²)	-0.129	-26.77	48.07
	Net Radiation (W/m ²)	242.633	-71.215	1063.222
七月	Sensible heat flux (W/m ²)	10.113	-140.391	154.863
	Latent heat flux (W/m ²)	119.147	-9.184	508.78
	Soil heat flux (W/m ²)	2.049	-23.34	87.2
	Net Radiation (W/m ²)	207.561	-51.711	1068.535
八月	Sensible heat flux (W/m ²)	45.246	-128.5	181.858
	Latent heat flux (W/m ²)	198.869	-284.906	592.275
	Soil heat flux (W/m ²)	2.698	-28.38	27.47
	Net Radiation (W/m ²)	413.532	-59.990	1098.333

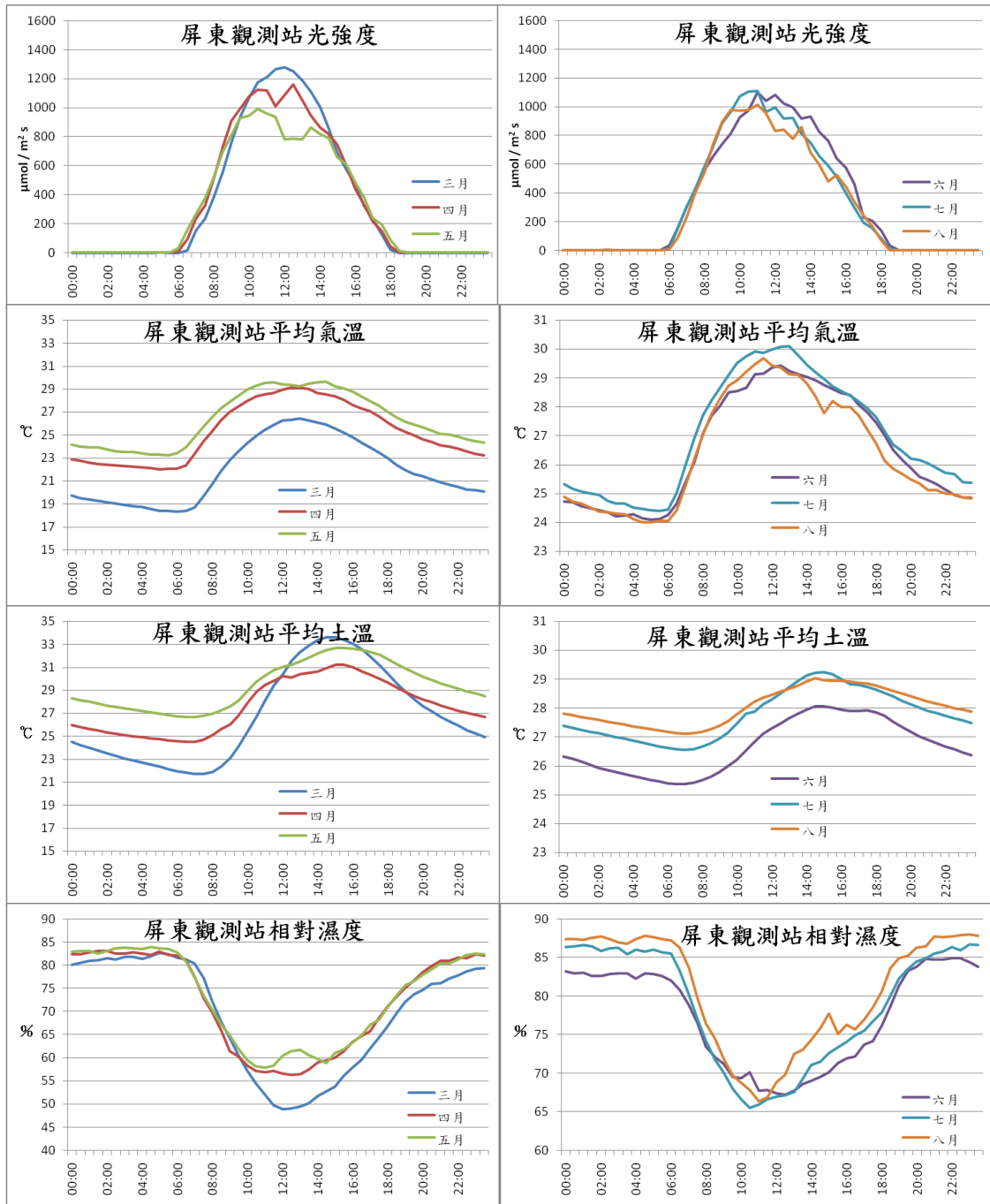


圖 9 三月至八月屏東觀測站微氣候資料。

表 8 屏東觀測站氣溫、土溫、相對溼度、PPFD 值

月份	項目	平均值	最大值	最小值
三月	氣溫 (°C)	21.91	32.7	14.5
	土溫 (°C)	26.73	38.7	18.4
	相對溼度 (%)	69.46	94.9	25.2
	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	353.16	1941	0
四月	氣溫 (°C)	25.23	33.6	18.9
	土溫 (°C)	27.57	32.6	23.8
	相對溼度 (%)	72.2	93.9	34
	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	346.13	1950	0
五月	氣溫 (°C)	26.27	33.8	20.7
	土溫 (°C)	29.4	37	24.8
	相對溼度 (%)	73.02	93.6	34.2
	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	315.45	1856	0
六月	氣溫 (°C)	26.55	34	21.6
	土溫 (°C)	26.66	30.5	23.6
	相對溼度 (%)	77.36	93.9	43.1
	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	344.55	1950	0
七月	氣溫 (°C)	27.01	34.4	22.5
	土溫 (°C)	27.75	33.1	24.4
	相對溼度 (%)	78.74	93.8	44.9
	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	325.14	2001	0
八月	氣溫 (°C)	26.4	32.3	22.4
	土溫 (°C)	28.03	30	26
	相對溼度 (%)	80.76	93.2	52.5
	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	305.98	1789	0

分析屏東試驗地之可感熱通量 Sensible heat flux (W/m^2)、潛熱 Latent heat flux (W/m^2)、土壤熱通量 Soil heat flux (W/m^2)及地表淨輻射量數值，地表淨輻射值逐月增加，於白天日照強烈時可出現最大正值，而夜晚則出現負值，表示地表能量散失，屏東試驗站三至八月的平均可感熱通量為 $46.67 \text{ W}/\text{m}^2$ ，白天日照強烈時可感熱通量最大值可達 $784.337 \text{ W}/\text{m}^2$ ，而夜晚逆溫現象發生時可感熱通量最小值為 $-140.391 \text{ W}/\text{m}^2$ 。潛熱通量平均值從三月份 $22.882 \text{ W}/\text{m}^2$ 逐月增加至八月份的 $198.869 \text{ W}/\text{m}^2$ ，於白天日照強烈時出現最大正值，而夜晚空氣溼度較大時潛熱通

量值則會出現負值(表 7)。

植物體光合作用速率生育地因子影響，隨季節轉換太陽輻射增強，月均溫逐月上升，而土溫也隨之漸增，相對溼度平均值則是逐月增加；基本微氣候資料顯示氣溫、土溫、空氣相對溼度有日週期性變化，其週期性與日照之週期性變化有關，這些週期性變化符合我們一般對森林生態系的認知(圖 7、表 8)。週期性變化之資料，可用於初步判斷各項儀器正常運作，並作為運算時校正的基礎。

設置於萬隆農場的觀測站目前已正常運作 5 個月(民國 97 年 4 至 8 月)，5、6 月資料獲取率已提升至 37%，雖然與成熟觀測站相比仍偏低，不過台灣已進入夏季，也進入台灣的乾季，加上隨著試驗進行與經驗累積，日後資料獲取率可望日漸上升，而本二氧化碳觀測站也將更加成熟。

試驗地造林時間最長之區塊僅有 6 年林齡，從冠幅及栽植密度評估仍屬未鬱閉林分，長期監測二氧化碳通量可進一步了解鬱閉成林過程平地造林地對二氧化碳固定量的變化。目前數據集中於春末至夏季取得，尚無法得知二氧化碳通量季節性的變化，但若以植物行光合作用固定二氧化碳的觀點來看，夏季淨輻射量將更為提高，應有助於本平地造林生態系的二氧化碳固定作用。相較於其它類似的生態系監測試驗，本研究監測時間尚短，但初步所得資料，仍為首次可做為台灣平地造林地二氧化碳通量之代表樣本。

在相關的試驗中，多半選擇完整成熟且穩定的林相做為試驗樣本，早期成林過程的資訊相對缺乏，若能長期的規劃針對平地造林地演替過程，做完整的觀察，將是可貴的參考資料。

在造林樹種中包含數種落葉性闊葉樹種(台灣欒樹、台灣檫、阿柏勒)，在試驗初期，仍處於落葉的狀態，在新葉開展後(四月底)，大量增加光合作用面積，六月時二氧化碳固定量明顯增加，顯示測站所測得結果對樣區周遭變化的反應符合預期。

惟梅雨季節(五月)環境條件不利數據獲取率的提升，就目前的經驗，本套設備在雨天對二氧化碳通量觀測的能力，相當薄弱。在篩除受降雨干擾的數據後發現，降雨增加使造林木有充足水分進行光合作用，配合生理上光合作用面積的增加，五月份平均二氧化碳固定量仍會高出三、四月。隨試驗持續進行，預估本平地造林地二氧化碳固定能力將持續提高。

就現有數據計算生態系二氧化碳固定量，本試驗樣區平地造林地平均每天每公頃林地可以從空氣中固定約 25.982kg 的二氧化碳，與以往經驗中森林生態系初級生產力相比偏高，由於是以現有數個月的資料計算而得，經過長期觀測將能更精確地計算出試驗地碳吸存量，而長期連續、大尺度的生態系二氧化碳通量資料相當具有參考價值。

四、 參考文獻

賴玫君 2007。以通量變化法估計地表之可感熱、潛熱、以及二氧化碳通量。國立臺灣大學生物資源暨農學院生物環境系統工程學系碩士論文。

宋霞 於貴瑞 劉允芬 任傳友 溫學發 2004。開路與閉路渦度相關系統通量觀測比較研究。中國科學 D 輯 34(增刊II) 67-76。

宋霞 劉允芬 徐小鋒 2003。箱法和渦度相關法測碳通量的比較研究。江西科學 21(3) 207-210。

夏禹九 謝正義 張世杰 林佩蓉 賴正偉 2005。二氧化碳通量測站設置相關成果及未來努力方向。環境資料庫暨空氣品質監測系統建置成果發表會。

UNFCCC. 2002. Climate Change Information Kit. United Nations Environment Programme (UNEP) and United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Available at www.unep.ch/conventions/ and www.unfccc.int.

計畫期末報告委員審查意見回覆表

(一) 郭委員幸榮：

1. 本觀測站觀測範圍為 1km 或 2km？如何訂定？干擾因子為何？是否可有效排除？
➔ 本觀測站渦度相關系統儀器架設於樹冠層上方，觀測範圍與樹冠層到儀器之距離成正相關，儀器位置越高能觀測範圍越遠，因此視觀測站設立目標決定儀器架設高度。由於開放式渦度相關系統是利用紅外線氣體分析技術，因此當空氣中有許多小顆粒時會出現錯誤的觀測值（如下雨天），由於是儀器本身的限制，除非改設另一套閉路式系統，才能避免，但閉路式系統在觀測上也有其限制。
2. 觀測範圍是由多種樹種組成，將來在國內可能有樹種別之需求，是否可滿足。
➔ 未來將嘗試測量各樹種樣木淨光合作用能力、估算樣木之淨光合作用速率，並計算覆蓋度，探討造林地 CO₂ 通量與造林木淨光合作用速率之關係，更進一步分析林分冠層覆蓋度與 CO₂ 通量及其他造林地植被之關係。
3. 報告書 p.17.18.19 重複者建議予以刪除。
➔ 報告撰寫過程誤植，已刪除。
4. 本項研究預期要提供國際資料，材料及方法是否符合所需要件？
➔ 本研究使用渦度相關法進行監測，渦度相關法為國內外微氣候學研究法中公認最準確之方法，且具有連續、大尺度觀測之優點。本觀測站也符合渦度相關法理論假設基礎。

(二) 李委員明仁：

1. 本計畫於屏東縣新埤鄉台糖萬隆農場平地景觀造林地設置 CO₂ 通量觀測站，以作為臺灣平地造林地初期碳吸存量評估之依據，切合世界潮流，對平地造林樹種固碳量及碳稅之推估有相當之應用價值。
2. 本研究系統於 2008 年 2 月架設，3 月上旬開始測試篩選獲取資料，3、4 月份獲取資料之平均可用率 16%，6 月初提升至 37%，仍努力提升中。資料蒐集器於 9 月颱風期間受電擊損毀，殊為可惜，今已修妥試運轉中。所以，建議在儀器之保護裝置上可請廠商設法協助改善，以確保儀器之穩定性及可靠性。
➔ 本試驗地觀測塔已有避雷裝置，今後也會持續密切注意觀測塔之狀況。
3. 試驗地林齡最長者僅 6 年，仍未達鬱閉林分之標準，觀測值偏低。惟長期監

測 CO₂ 通量可以解析鬱閉過程中平地造林對 CO₂ 固定量之影響。建議繼續觀測分析 CO₂ 通量，以作為臺灣平地造林地 CO₂ 通量推估之參考依據。

4. 各樹種造林地 CO₂ 通量仍未有監測資料，請設法進行改善措施。
 - ➔ 未來將測量各樹種樣木淨光合作用能力、估算樣木之淨光合作用速率，並計算覆蓋度，探討造林地 CO₂ 通量與造林木淨光合作用速率之關係，更進一步分析林分冠層覆蓋度與 CO₂ 通量及其他造林地植被之關係。
5. 本計畫已努力執行，且已獲得初步成果，達到初期目標。
6. 建議：通過期末審查。
 - ➔ 謝謝委員寶貴的意見與建議。

(三) 廖委員天賜：

1. 內容完整，符合期末規範。
2. 量測單位建議使用通用之縮寫單位。
 - ➔ 已修正。
3. 造林對 CO₂ 通量已有明顯的正面影響，如何善用此一科學數據，建議科研單位與林務局進行規劃造林減碳之說帖。
 - ➔ 謝謝委員寶貴的意見與建議。

附錄一 觀測塔與渦度相關系統儀器照片：



1. 二氧化碳通量觀測塔



2. 資料蒐集器(CAMPBELL-CR3000)



3. 三維超音波風速計(CAMPBELL/CSAT3)



4. 開放式二氧化碳/水氣分析儀(LI-COR/LI-7500)



5. 小型氣象感測整合套件(Vaisala WXT510)



6. 長短波輻射計(CNR1)及光量子計(LI-COR/LI-190)



7. 土壤熱流量計(HFT3)、土壤溫度計(Compbell/107)、紅外線溫度計(Compbell/IRTS-P)、土壤水分計(Compbell/CS616-L)



8. 溫濕度計(含自然通風及防輻射裝置)HMP45C

附錄二 三維音波風速計 (three-dimensional sonic anemometer) 及開放式紅外線氣體分析儀 (LI-7500 open-path infrared gas analyzer) 細部規格與啟動及編輯程式。

1. 資料蒐集器規格('CR3000 Series Datalogger)

'Copyright (c) 2002, 2006 Campbell Scientific, Inc. All rights reserved.

'2 October 06

'version 2.2

'modified on 12/19/2007 by S. Ivans

'added: cnr1, 107 and cs616 sensors

' This datalogger program measures turbulence sensors at 10 or 20 Hz. The time series can be saved to a card. The datalogger will also compute online turbulent fluxes from the measured data. The flux table saves all the cross products that are required to rotate the online fluxes into natural wind coordinates in post processing as described in Kaimal and Finnigan (1994), and Tanner and Thurtell (1969).

2. 與資料蒐集器連線之儀器 The following sensors are measured:

'
'CSAT3 three dimensional sonic anemometer
'LI-7500 open path infrared gas analyzer (CO2 and H2O)
'HMP45C temperature and relative humidity probe
'CNR1 4-way net radiometer
'107 soil temperature probe
'CS616 water content reflectometer (volumetric soil moisture)(one sensor)

' The sign convention for the fluxes is positive away from the surface and negative towards the surface.

' The datalogger will introduce lags into the CSAT3, LI-7500, and datalogger Panel Temperature data so that all measurements are aligned in time. The lags are a function of the Scan Interval and are computed automatically by the program.

' The site attendant must load in several constants and calibration values. Search for the text string "unique" to find the locations where unique constants and calibration values are entered.

*** Unit Definitions ***

'Units	Units
'C	Celsius
'degrees	degrees (angle)
'g	grams
'J	Joules
'kg	kilograms
'kPa	kilopascals
'm	meters
'mg	milligrams
'mmol	millimoles
'mol	moles
's	seconds
'umol	micromols
'V	volts
'W	Watts

3. 各項儀器接線 '*** Wiring ***

'SDM INPUT

'SDM-C1 CSAT3 SDM Data (green)

' LI-7500 SDM Data (gray)

'SDM-C2 CSAT3 SDM Clock (white)
' LI-7500 SDM Clock (blue)
'SDM-C3 CSAT3 SDM Enable (brown)
' LI-7500 SDM Enable (brown)
'G CSAT3 SDM reference (black)
' CSAT3 SDM shield (clear)
' LI-7500 SDM reference (black)
' LI-7500 SDM shield (white)

'ANALOG INPUT

'1H CNR1 downwelling shortwave radiation signal (red)
'1L CNR1 downwelling shortwave radiation signal reference (blue)
'gnd CNR1 shield (clear)

'2H CNR1 upwelling shortwave radiation signal (white)
'2L CNR1 upwelling shortwave radiation signal reference (black)

'3H CNR1 downwelling longwave radiation signal (gray)
'3L CNR1 downwelling longwave radiation signal reference (yellow)

'4H CNR1 upwelling longwave radiation signal (brown)
'4L CNR1 upwelling longwave radiation signal reference (green)

'5H HMP45C temperature signal (yellow)
'5L HMP45C signal reference (white)
'gnd HMP45C shield (clear)

'6H HMP45C relative humidity signal (blue)
'6L short jumper wire to 5L

'7H CNR1 Pt100 (yellow)
'7L CNR1 Pt100 (green)

'8H 107 signal (red)
'8L CS616 signal (green)
'gnd 107 signal reference (purple)

'CONTROL PORT

'C1 CS616 power control (orange)
'G CS616 shield (clear)

'VOLTAGE EXCITATION

'VX1 107 excitation (black)
'G 107 ground (clear)

'CURRENT EXCITATION

'IX1 CNR1 Pt100 (red)
'IXR CNR1 Pt100 (blue)

'POWER OUT

'12V HMP45C power (red)
' CS616 power (red)
'G HMP45C power reference (black)
' CS616 signal reference (black)

'POWER IN

'12V datalogger (red)
'G datalogger (black)

'EXTERNAL POWER SUPPLY

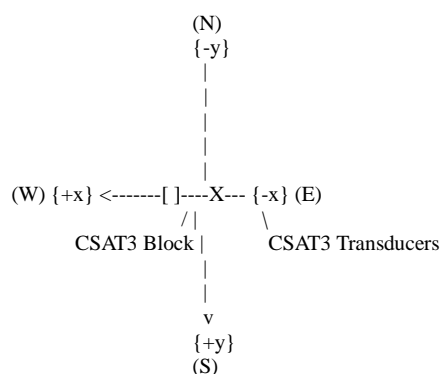
'POS CSAT3 power (red)
' LI-7500 power (red with white)
' datalogger (red)
'NEG CSAT3 power reference (black)
' CSAT3 power shield (clear)
' LI-7500 power reference (red with black)
' LI-7500 ground (green)
' datalogger (black)

4. 各項儀器觀測項目設定 PipeLineMode

常數項'*** Constants ***

```
'Measurement Rate          '10 Hz      20 Hz
Const SCAN_INTERVAL = 100  '100 mSec   50 mSec

'Output period
Const OUTPUT_INTERVAL = 30      'Online flux data output interval in minutes.
Const NUM_DAY_CPU = 7           'Number of days of data to store on the CPU.
Const CNR1_CAL = 150.00         'Unique positive multiplier for CNR1 (1000/sensitivity).
Const CSAT3_AZIMUTH = 0        'Unique value.
'Compass azimuth of the -x axis. For the figure
' below, CSAT3_AZIMUTH = 90.
' () -> Compass coordinate system
' {} -> Right handed coordinate system
```



```
'The program computes the compass wind direction, using the constant
' CSAT3_AZIMUTH, and a CSAT3 wind direction. Good CSAT3 wind directions
' are between -90 to 0 and 0 to 90 degrees, e.g. the wind is blowing into
' the CSAT3 sensor head.
```

```
Const OFFSET = 16              'An offset delay that will be introduced to the CSAT3 and LI-7500
data.
Const DELAY_CSAT = 2           'Fixed inherent lag of the CSAT3 data (two scans).
Const DELAY_IRGA = INT (300/SCAN_INTERVAL) 'Fixed inherent lag of the LI-7500 data (three scans at 10 Hz or six
scans at 20 Hz).
```

```
'Determine scan buffer size, CSAT3 Execution Parameters and fixed lags for CSAT3 and LI-7500.
Const SCAN_BUFFER_SIZE = 60*INT (1000/SCAN_INTERVAL) 'Compute a 60 second scan buffer.
Const CSAT_OPT = INT (1000/SCAN_INTERVAL)           'Compute CSAT3 Execution Parameter (10 or 20 Hz).
Const CSAT_REC_BCK = OFFSET-DELAY_CSAT              'Number of records back to align CSAT3 data.
Const IRGA_REC_BCK = OFFSET-DELAY_IRGA              'Number of records back to align LI-7500 data.
```

```
'Compute CPU and card storage size for the FLUX DataTables.
Const FLUX_SIZE_CPU = (NUM_DAY_CPU*1440)/OUTPUT_INTERVAL'Size of flux DataTable on CPU [days].
```

```
Const CP = 1004.67             'Estimate of heat capacity of air [J/(kg K)].
Const LV = 2440                'Estimate of the latent heat of vaporization [J/g].
Const SDM_PER = 30             'Default SDM clock speed.
Const MU_WPL = 29/18           'Ratio of the molecular weight of dry air to that of water vapor.
Const R = 8.3143e-3            'Universal gas constant [kPa m^3/(K mol) ].
Const RD = R/29                'Gas constant for dry air [kPa m^3/(K g)].
Const RV = R/18                'Gas constant for water vapor [kPa m^3/(K g)].
```

變數項'*** Variables ***

```
'Online lagged CSAT3 and LI-7500 data.
Public aligned_data(10)
Alias aligned_data(1) = panel_temp
Alias aligned_data(2) = Ux
Alias aligned_data(3) = Uy
Alias aligned_data(4) = Uz
Alias aligned_data(5) = Ts
Alias aligned_data(6) = diag_csat
Alias aligned_data(7) = co2
```

Alias aligned_data(8) = h2o
 Alias aligned_data(9) = press
 Alias aligned_data(10) = diag_irga
 Units panel_temp = C
 Units Ux = m/s
 Units Uy = m/s
 Units Uz = m/s
 Units Ts = C
 Units diag_csatsat = unitless
 Units co2 = mg/m³
 Units h2o = g/m³
 Units press = kPa
 Units diag_irga = unitless

Public co2_um_m
 Public h2o_mm_m
 Units co2_um_m = umol/mol
 Units h2o_mm_m = mmol/mol

Public diag_bits(8) AS Boolean 'Warning flags.
 Alias diag_bits(1) = del_T_f 'Delta temperature warning flag.
 Alias diag_bits(2) = sig_lck_f 'Poor signal lock warning flag.
 Alias diag_bits(3) = amp_h_f 'Amplitude high warning flag.
 Alias diag_bits(4) = amp_l_f 'Amplitude low warning flag.
 Alias diag_bits(5) = chopper_f 'Chopper warning flag.
 Alias diag_bits(6) = detector_f 'Detector warning flag.
 Alias diag_bits(7) = pll_f 'PLL warning flag.
 Alias diag_bits(8) = sync_f 'Synchronization warning flag.
 Units diag_bits = samples
 Public agc AS Long 'Automatic gain control.
 Units agc = unitless

'No delay meteorological variables.

Public hmp(2) 'HMP45C temperature and relative humidity.
 Public e_hmp 'HMP45C vapor pressure.
 Dim h2o_hmp_mean 'Mean HMP45C vapor density.
 Dim rho_a_mean 'Mean air density.
 Public batt_volt 'Datalogger battery voltage.
 Alias hmp(1) = t_hmp
 Alias hmp(2) = rh_hmp
 Units t_hmp = C
 Units rh_hmp = percent
 Units e_hmp = kPa
 Units h2o_hmp_mean = g/m³
 Units rho_a_mean = kg/m³
 Units batt_volt = V

'No delay energy balance sensors.

Public Tsoil 'Soil temperature in deg C
 Public cnr1(9) 'CNR1 Net radiometer.
 Public cs616_wcr 'Water content reflectometer period.
 Public soil_water_T 'Volumetric soil water content with temperature correction.
 Dim cs616_T 'Water content reflectometer period with temperature correction.
 Alias cnr1(1) = Rn_cnr1
 Alias cnr1(2) = albedo
 Alias cnr1(3) = Rs_downwell
 Alias cnr1(4) = Rs_upwell
 Alias cnr1(5) = Rl_downwell
 Alias cnr1(6) = Rl_upwell
 Alias cnr1(7) = T_cnr1
 Alias cnr1(8) = Rl_down_meas
 Alias cnr1(9) = Rl_up_meas
 Units Tsoil = Deg C
 Units cs616_wcr = uSeconds
 Units soil_water_T = frac_v_wtr
 Units cnr1 = W/m²
 Units albedo = unitless
 Units T_cnr1 = K

'Flux variables.

Dim Fc_wpl 'Carbon dioxide flux (LI-7500), with Webb et al. term.
 Dim LE_wpl 'Latent heat flux (LI-7500), with Webb et al. term.
 Dim Hs 'Sensible heat flux using sonic temperature.

Dim Hc 'Sensible heat flux computed from Hs and LE_wpl.
 Dim tau 'Momentum flux.
 Dim u_star 'Friction velocity.
 Dim Fc_irga 'Carbon dioxide flux (LI-7500), without Webb et al. term.
 Dim LE_irga 'Latent heat flux (LI-7500), without Webb et al. term.
 Dim co2_wpl_LE 'Carbon dioxide flux (LI-7500), Webb et al. term due to latent heat flux.
 Dim co2_wpl_H 'Carbon dioxide flux (LI-7500), Webb et al. term due to sensible heat flux.
 Dim h2o_wpl_LE 'Latent heat flux (LI-7500), Webb et al. term due to latent heat flux.
 Dim h2o_wpl_H 'Latent heat flux (LI-7500), Webb et al. term due to sensible heat flux.
 Dim cov_out(31) 'Covariances of scalars and wind, wind vector, t_hmp_mean, e_mean, co2_mean,
 press_mean, and Ts_mean.
 Units Fc_wpl = mg/(m² s)
 Units LE_wpl = W/m²
 Units Hs = W/m²
 Units Hc = W/m²
 Units tau = kg/(m s²)
 Units u_star = m/s
 Units Fc_irga = mg/(m² s)
 Units LE_irga = W/m²
 Units co2_wpl_LE = mg/(m² s)
 Units co2_wpl_H = mg/(m² s)
 Units h2o_wpl_LE = W/m²
 Units h2o_wpl_H = W/m²

'Aliases for covariances.

Alias cov_out(1) = stdev_Ts
 Alias cov_out(2) = cov_Ts_Ux
 Alias cov_out(3) = cov_Ts_Uy
 Alias cov_out(4) = cov_Ts_Uz
 Alias cov_out(5) = stdev_Ux
 Alias cov_out(6) = cov_Ux_Uy
 Alias cov_out(7) = cov_Ux_Uz
 Alias cov_out(8) = stdev_Uy
 Alias cov_out(9) = cov_Uy_Uz
 Alias cov_out(10) = stdev_Uz
 Alias cov_out(11) = stdev_co2
 Alias cov_out(12) = cov_co2_Ux
 Alias cov_out(13) = cov_co2_Uy
 Alias cov_out(14) = cov_co2_Uz
 Alias cov_out(15) = stdev_h2o
 Alias cov_out(16) = cov_h2o_Ux
 Alias cov_out(17) = cov_h2o_Uy
 Alias cov_out(18) = cov_h2o_Uz
 Units stdev_Ts = C
 Units cov_Ts_Ux = m C/s
 Units cov_Ts_Uy = m C/s
 Units cov_Ts_Uz = m C/s
 Units stdev_Ux = m/s
 Units cov_Ux_Uy = (m/s)²
 Units cov_Ux_Uz = (m/s)²
 Units stdev_Uy = m/s
 Units cov_Uy_Uz = (m/s)²
 Units stdev_Uz = m/s
 Units stdev_co2 = mg/m³
 Units cov_co2_Ux = mg/(m² s)
 Units cov_co2_Uy = mg/(m² s)
 Units cov_co2_Uz = mg/(m² s)
 Units stdev_h2o = g/m³
 Units cov_h2o_Ux = g/(m² s)
 Units cov_h2o_Uy = g/(m² s)
 Units cov_h2o_Uz = g/(m² s)

'Wind directions and speed.

'Alias cov_out(19) = wnd_spd - in compass coordinate system, same as CSAT3.
 'Alias cov_out(20) = rslt_wnd_spd - in compass coordinate system, same as CSAT3.
 Alias cov_out(21) = wnd_dir_compass
 'Alias cov_out(22) = std_wnd_dir - in compass coordinate system, same as CSAT3.
 Alias cov_out(23) = wnd_spd
 Alias cov_out(24) = rslt_wnd_spd
 Alias cov_out(25) = wnd_dir_csat3
 Alias cov_out(26) = std_wnd_dir
 Alias cov_out(27) = t_hmp_mean
 Alias cov_out(28) = e_hmp_mean
 Alias cov_out(29) = co2_mean

Alias cov_out(30) = press_mean
 Alias cov_out(31) = Ts_mean
 Units wnd_dir_compass = degrees
 Units wnd_spd = m/s
 Units rslt_wnd_spd = m/s
 Units wnd_dir_csat3 = degrees
 Units std_wnd_dir = degrees
 Units t_hmp_mean = C
 Units co2_mean = mg/m³
 Units press_mean = kPa
 Units Ts_mean = C

'Diagnostic variables.
 Dim disable_flag_on(4) AS Boolean 'Intermediate processing disable flags.
 'disable_flag_on(1) 'TRUE when CSAT3 diagnostic warning flags are on or CSAT3 has no data.
 'disable_flag_on(2) 'TRUE when LI-7500 diagnostic warning flags are on or LI-7500 failed to send data.
 'disable_flag_on(3) 'TRUE when CSAT3 diagnostic warning flags are on.
 ' Used to filter the sum of CSAT3 diagnostic warning flags.
 'disable_flag_on(4) 'TRUE when LI-7500 diagnostic warning flags are on.
 ' Used to filter the sum of LI-7500 diagnostic warning flags.
 Dim cov_disable_flag AS Boolean 'TRUE when CSAT3 or LI-7500 reports bad data.
 Dim n 'Number of samples in the online covariances.
 Units n = samples

'No delay CSAT3 data.
 Dim wind_raw(5)
 Alias wind_raw(1) = Ux_raw
 Alias wind_raw(2) = Uy_raw
 Alias wind_raw(3) = Uz_raw
 Alias wind_raw(4) = Ts_raw
 Alias wind_raw(5) = diag_csat_raw
 Units wind_raw = m/s
 Units Ts_raw = C
 Units diag_csat_raw = unitless

'No delay LI-7500 data.
 Dim irga_raw(4)
 Alias irga_raw(1) = co2_raw
 Alias irga_raw(2) = h2o_raw
 Alias irga_raw(3) = press_raw
 Alias irga_raw(4) = diag_irga_raw
 Units co2_raw = umol/m³
 Units h2o_raw = mmol/m³
 Units press_raw = kPa
 Units diag_irga_raw = unitless

'No delay analog measurements.
 Dim panel_temp_raw
 Units panel_temp_raw = C

'Working variables.
 Dim cov_array(3,4) 'Arrays used to hold the input data for the covariance instructions.
 Dim co2_mm_m3 'Carbon dioxide concentration [mmol/m³], used to compute umol/mol concentration.
 Dim h2o_mm_m3 'Water vapor concentration [mmol/m³], used to compute vapor pressure and mmol/mol concentration.
 Dim sigma_wpl 'Webb et al. sigma = density of water vapor / density of dry air.
 Dim j 'Generic counter variable.
 Dim scan_count AS Long 'Number scans executed.
 Dim wind_east 'East wind in compass coordinate system.
 Dim wind_north 'North wind in compass coordinate system.
 Dim save_ts_flag_on AS Boolean 'Used to synchronize the time series output to the even minute.
 Dim dly_data_out(10) 'Variable used to temporarily store the lagged record.
 Dim rho_d_mean 'Density of dry air used in Webb et al. term [kg / m³].
 Dim diag_csat_work AS Long 'Working variable used to break out the CSAT3 diagnostic bits.
 Dim diag_irga_work AS Long 'Working variable used to break out the LI-7500 diagnostic bits.
 Dim e_sat 'Saturation vapor pressure.

5. 観測数値表格輸出設定'*** Final Output Data Tables ***

```

'Online flux data.
DataTable (flux,TRUE,FLUX_SIZE_CPU)
  DataInterval (0,OUTPUT_INTERVAL,Min,10)
  CardOut (0,-1)

  Sample (1,Hs,IEEE4)
  Sample (1,Fc_wpl,IEEE4)
  Sample (1,LE_wpl,IEEE4)
  Sample (1,Hc,IEEE4)
  Sample (1,tau,IEEE4)
  Sample (1,u_star,IEEE4)

  Sample (1,Ts_mean,IEEE4)
  Sample (4,stdev_Ts,IEEE4)

  Sample (1,co2_mean,IEEE4)
  Sample (4,stdev_co2,IEEE4)
  Average (1,h2o,IEEE4,disable_flag_on(2))
  Sample (4,stdev_h2o,IEEE4)

  Average (1,Ux,IEEE4,disable_flag_on(1))
  Sample (3,stdev_Ux,IEEE4)
  Average (1,Uy,IEEE4,disable_flag_on(1))
  Sample (2,stdev_Uy,IEEE4)
  Average (1,Uz,IEEE4,disable_flag_on(1))
  Sample (1,stdev_Uz,IEEE4)

  Sample (1,press_mean,IEEE4)
  Sample (1,t_hmp_mean,IEEE4)
  Sample (1,h2o_hmp_mean,IEEE4)
  Sample (1,rho_a_mean,IEEE4)

  Sample (1,wnd_dir_compass,IEEE4)
  Sample (1,wnd_dir_csar3,IEEE4)
  Sample (1,wnd_spd,IEEE4)
  Sample (1,rslt_wnd_spd,IEEE4)
  Sample (1,std_wnd_dir,IEEE4)

  Sample (1,Fc_irga,IEEE4)
  Sample (1,LE_irga,IEEE4)
  Sample (1,co2_wpl_LE,IEEE4)
  Sample (1,co2_wpl_H,IEEE4)
  Sample (1,h2o_wpl_LE,IEEE4)
  Sample (1,h2o_wpl_H,IEEE4)

  Totalize (1,n,IEEE4,cov_disable_flag)

  Totalize (1,n,IEEE4,NOT (disable_flag_on(1) OR disable_flag_on(3)))
  FieldNames ("csat_warnings")

  Totalize (1,n,IEEE4,NOT (disable_flag_on(2) OR disable_flag_on(4)))
  FieldNames ("irga_warnings")

  Totalize (1,n,IEEE4,NOT (del_T_f) OR NOT (disable_flag_on(3)))
  FieldNames ("del_T_f_Tot")
  Totalize (1,n,IEEE4,NOT (sig_lck_f) OR NOT (disable_flag_on(3)))
  FieldNames ("sig_lck_f_Tot")
  Totalize (1,n,IEEE4,NOT (amp_h_f) OR NOT (disable_flag_on(3)))
  FieldNames ("amp_h_f_Tot")
  Totalize (1,n,IEEE4,NOT (amp_l_f) OR NOT (disable_flag_on(3)))
  FieldNames ("amp_l_f_Tot")
  Totalize (1,n,IEEE4,NOT (chopper_f) OR NOT (disable_flag_on(4)))
  FieldNames ("chopper_f_Tot")
  Totalize (1,n,IEEE4,NOT (detector_f) OR NOT (disable_flag_on(4)))
  FieldNames ("detector_f_Tot")
  Totalize (1,n,IEEE4,NOT (pll_f) OR NOT (disable_flag_on(4)))
  FieldNames ("pll_f_Tot")
  Totalize (1,n,IEEE4,NOT (sync_f) OR NOT (disable_flag_on(4)))
  FieldNames ("sync_f_Tot")
  Average (1,agc,IEEE4,disable_flag_on(2))

  Average (1,panel_temp,IEEE4,FALSE)
  Average (1,batt_volt,IEEE4,FALSE)
  Average(1,Tsoil,FP2,False)
  Average (1,soil_water_T,IEEE4,FALSE)

```

```

Average (1,cs616_wcr,IEEE4,FALSE)
Average (9,Rn_cnr1,IEEE4,FALSE)

EndTable

'Time series data.
DataTable (ts_data,save_ts_flag_on,-1)
  DataInterval (0,SCAN_INTERVAL,mSec,100)
  CardOut (0,-1)

  Sample (1,Ux,IEEE4)
  Sample (1,Uy,IEEE4)
  Sample (1,Uz,IEEE4)
  Sample (1,Ts,IEEE4)
  Sample (1,co2,IEEE4)
  Sample (1,h2o,IEEE4)
  Sample (1,press,IEEE4)
  Sample (1,diag_csat,IEEE4)
  Sample (1,t_hmp,IEEE4)
  Sample (1,e_hmp,IEEE4)
EndTable

*** Working Data Tables ***

'Reorder the data and prepare to lag all the data.
DataTable (dly_data,TRUE,OFFSET)
  Sample (1,panel_temp_raw,IEEE4)
  Sample (1,Ux_raw,IEEE4)
  Sample (1,Uy_raw,IEEE4)
  Sample (1,Uz_raw,IEEE4)
  Sample (1,Ts_raw,IEEE4)
  Sample (1,diag_csat_raw,IEEE4)
  Sample (1,co2_raw,IEEE4)
  Sample (1,h2o_raw,IEEE4)
  Sample (1,press_raw,IEEE4)
  Sample (1,diag_irga_raw,IEEE4)
EndTable

'Compute the flux covariances and the other cross products required to rotate the data
'into natural wind coordinates. This data is output every OUTPUT_INTERVAL minutes.
DataTable (comp_cov,TRUE,1)
  DataInterval (0,OUTPUT_INTERVAL,Min,1)

  'Compute covariances from CSAT3 data.
  Covariance (4,cov_array(1,1),IEEE4,disable_flag_on(1),10)
  'Compute covariance of CO2 against CSAT3 wind data.
  Covariance (4,cov_array(2,1),IEEE4,cov_disable_flag,4)
  'Compute covariance of H2O against CSAT3 wind data.
  Covariance (4,cov_array(3,1),IEEE4,cov_disable_flag,4)
  WindVector (1,wind_east,wind_north,IEEE4,disable_flag_on(1),0,1,2)
  WindVector (1,Uy,Ux,IEEE4,disable_flag_on(1),0,1,2)
  Average (1,t_hmp,IEEE4,FALSE)
  Average (1,e_hmp,IEEE4,FALSE)
  Average (1,co2,IEEE4,disable_flag_on(2))
  Average (1,press,IEEE4,disable_flag_on(2))
  Average (1,Ts,IEEE4,disable_flag_on(1))
EndTable

6. 觀測儀器使用程式*** Program ***

BeginProg
  n = 1

  'Set all CSAT3 variables to NaN.
  Move (Ux_raw,5,NaN,1)

  'Set all LI-7500 variables to NaN.
  Move (co2_raw,4,NaN,1)

  'Set the CS616 variables to NaN.

```

```

Move (cs616_wcr,1,NaN,1)
'Set the SDM clock speed.
SDMSpeed (SDM_PER)

Scan (SCAN_INTERVAL,mSec,SCAN_BUFFER_SIZE,0)
'Datalogger panel temperature.
PanelTemp (panel_temp_raw,250)

'Get CSAT3 wind and sonic temperature data.
CSAT3 (Ux_raw,1,3,91,CSAT_OPT)

'Get LI-7500 data.
CS7500 (co2_raw,1,7,6)

'Measure the HMP45C temperature and fraction humidity.
VoltDiff (t_hmp,2,mV1000,5,TRUE,200,250,0.1,0)

'Measure battery voltage.
Battery (batt_volt)

'Find the engineering units for the HMP45C temperature and humidity.
t_hmp = t_hmp-40

'Find the HMP45C vapor pressure (kPa).
VaporPressure (e_hmp,t_hmp,rh_hmp)

'107 Temperature Probe measurement T107_C:
BrHalf(Tsoil,1,mV20,15,1,1,4000,TRUE,0,60Hz,800,0)
Tsoil=-53.4601+(90.807*Tsoil)+(-83.257*Tsoil^2)+(52.283*Tsoil^3)+(-16.723*Tsoil^4)+(2.211*Tsoil^5)

Measure CNR1 Net Radiometer.
VoltDiff (Rs_downwell,2,mV20C,1,TRUE,200,250,CNR1_CAL,0)
VoltDiff (Rl_down_meas,2,mV20C,3,TRUE,200,250,CNR1_CAL,0)
Resistance (T_cnr1,1,mV200,7,Ix1,1,1,1675,TRUE,TRUE,200,250,1,0)
T_cnr1 = T_cnr1/100
PRT (T_cnr1,1,T_cnr1,1,273.15)

'Compute net radiation, albedo, downwelling and upwelling longwave radiation.
Rn_cnr1 = Rs_downwell-Rs_upwell+Rl_down_meas-Rl_up_meas
albedo = Rs_upwell/Rs_downwell
Rl_downwell = Rl_down_meas+(5.67e-8*T_cnr1*T_cnr1*T_cnr1*T_cnr1)
Rl_upwell = Rl_up_meas+(5.67e-8*T_cnr1*T_cnr1*T_cnr1*T_cnr1)

'Measure the CS616 soil water content probes.
CS616 (cs616_wcr,1,16,1,2,1,0)

'Apply temperature correction to CS616 period and find volumetric water content.

If ( (10 <= Tsoil) AND (Tsoil <= 40) ) Then
    cs616_T = cs616_wcr+(20-Tsoil)*(0.526+cs616_wcr*(-0.052+cs616_wcr*0.00136))
Else
    cs616_T = cs616_wcr
EndIf
soil_water_T = -0.0663+cs616_T*(-0.0063+cs616_T*0.0007)

'Lag the CSAT3 and LI-7500 measurements.
CallTable dly_data

If ( scan_count >= OFFSET ) Then
'Load in the analog data that has been lagged by OFFSET scans.
GetRecord (dly_data_out(1),dly_data,OFFSET)
Move (panel_temp,1,dly_data_out(1),1) 'panel_temp

'Load in CSAT3 data that has been lagged by CSAT_REC_BCK scans.
GetRecord (dly_data_out(1),dly_data,CSAT_REC_BCK)
Move (Ux,5,dly_data_out(2),5) 'Ux, Uy, Uz, Ts, diag_csat

'Load in the LI-7500 data that has been lagged by IRGA_REC_BCK scans.
GetRecord (dly_data_out(1),dly_data,IRGA_REC_BCK)
Move (co2,4,dly_data_out(7),4) 'co2, h2o, press, diag_irga

'Copy and convert CSAT3 for compass wind vector computation.
wind_east = -1*Uy

```

```

wind_north = Ux

'Save the molar density to compute molar concentration.
co2_mm_m3 = co2
h2o_mm_m3 = h2o

'Compute the molar concentration of CO2 and H2O.
co2_um_m = co2_mm_m3*R*(t_hmp+273.15)/press*1000
h2o_um_m = h2o_mm_m3*R*(t_hmp+273.15)/press

'Convert LI-7500 data from molar density [mmol/m^3] to mass density.
' 44 [g/mol] - molecular weight of carbon dioxide
' 0.018 [g/mmol] - molecular weight of water vapor
If ( NOT (co2 = -99999) ) Then ( co2 = co2*44 )
h2o = h2o*0.018

'Define 61502 as NaN.
If ( diag_csat = NaN ) Then ( diag_csat = 61502 )

'Break up the four CSAT3 warning flags into four separate bits.
diag_csat_work = diag_csat
del_T_f = diag_csat_work AND &h8000
sig_lck_f = diag_csat_work AND &h4000
amp_h_f = diag_csat_work AND &h2000
amp_l_f = diag_csat_work AND &h1000

'Turn on the intermediate processing disable flag when any CSAT3 warning flag is
' high, including the special cases NaN (61502), a Lost Trigger (61440), No Data
' (61503), an SDM error (61441), or wrong CSAT3 embedded code (61442).
disable_flag_on(1) = diag_csat_work AND &hf000

'Turn on only when CSAT3 diagnostic warning flags are set.
disable_flag_on(3) = ( disable_flag_on(1) AND NOT (Ts = NaN) )

'Save the four most significant bits of the CSAT3 diagnostics, except for the
' special cases NaN (61502), a Lost Trigger (61440), No Data (61503), an SDM
' error (61441), or wrong CSAT3 embedded code (61442).
If ( diag_csat_work < &hf000 ) Then ( diag_csat = INT (diag_csat_work/&h1000) )

'Swap the LI-7500 diagnostic bit state.
diag_irga = diag_irga XOR &h00f0
diag_irga_work = diag_irga

'Turn on the intermediate processing disable flag when the LI-7500 has failed to
' send data to the datalogger via SDM. Set all flags high and rail the AGC to 94.
If ( (co2 < -99990) OR (co2 = NaN) ) Then (diag_irga_work = &h00ff)

'Compute the AGC.
agc = INT ((diag_irga_work AND &h000f)*6.25+0.5)

'Break up the four LI-7500 warning flags into four separate bits.
chopper_f = diag_irga_work AND &h0080
detector_f = diag_irga_work AND &h0040
pll_f = diag_irga_work AND &h0020
sync_f = diag_irga_work AND &h0010

'Turn on the intermediate processing disable flag when any LI-7500 warning flag
' is high, including the special cases NaN or an SDM error.
disable_flag_on(2) = diag_irga_work AND &h00f0

'Turn on only when LI-7500 diagnostic warning flags are set.
disable_flag_on(4) = ( disable_flag_on(2) AND NOT (diag_irga_work >= &h00ff) )

'Save only the four most significant bits of the LI-7500 diagnostic word.
diag_irga = INT (diag_irga_work/&h0010)

'Filter data in the covariance instruction if the CSAT3 or LI-7500 reports bad data.
cov_disable_flag = disable_flag_on(1) OR disable_flag_on(2)

'Start saving the time series data on an even minute boundary.
If ( ( NOT (save_ts_flag_on)) AND (IfTime (0,1,Min)) ) Then ( save_ts_flag_on = TRUE )

```



```

'Save adjusted time series data.
CallTable ts_data

'Load the arrays that hold the input data for the covariance instructions.
cov_array(1,1) = Ts
Move (cov_array(1,2),3,Ux,3)
cov_array(2,1) = co2
Move (cov_array(2,2),3,Ux,3)
cov_array(3,1) = h2o
Move (cov_array(3,2),3,Ux,3)

'Compute the online covariances.
CallTable comp_cov

If ( comp_cov.Output(1,1) ) Then
  GetRecord (cov_out(1),comp_cov,1)

  'Compass wind direction will be between 0 and 360 degrees.
  wnd_dir_compass = (wnd_dir_compass+CSAT3_AZIMUTH) MOD 360

  'CSAT3 wind direction will be between 0 to 180 degrees and 0 to -180 degrees.
  If ( wnd_dir_csat3 ) > 180 Then ( wnd_dir_csat3 = wnd_dir_csat3-360 )

  h2o_hmp_mean = e_hmp_mean/((t_hmp_mean+273.15)*RV)
  rho_d_mean = (press_mean-e_hmp_mean)/((t_hmp_mean+273.15)*RD)
  rho_a_mean = (rho_d_mean+h2o_hmp_mean)/1000

  'Compute online fluxes.
  Fc_irga = cov_co2_Uz
  LE_irga = LV*cov_h2o_Uz
  Hs = rho_a_mean*CP*cov_Ts_Uz

  tau = SQR ((cov_Ux_Uz*cov_Ux_Uz)+(cov_Uy_Uz*cov_Uy_Uz))
  u_star = SQR (tau)
  tau = rho_a_mean*tau

  'Compute the standard deviation from the variance.
  stdev_Ts = SQR (stdev_Ts)
  stdev_Ux = SQR (stdev_Ux)
  stdev_Uy = SQR (stdev_Uy)
  stdev_Uz = SQR (stdev_Uz)
  stdev_co2 = SQR (stdev_co2)
  stdev_h2o = SQR (stdev_h2o)

  sigma_wpl = h2o_hmp_mean/rho_d_mean

  'LI-7500 Webb et al. term for water vapor Eq. (25).
  h2o_wpl_LE = MU_WPL*sigma_wpl*LE_irga
  h2o_wpl_H =
(1+(MU_WPL*sigma_wpl))*h2o_hmp_mean/(t_hmp_mean+273.15)*LV*cov_Ts_Uz
  LE_wpl = LE_irga+h2o_wpl_LE+h2o_wpl_H

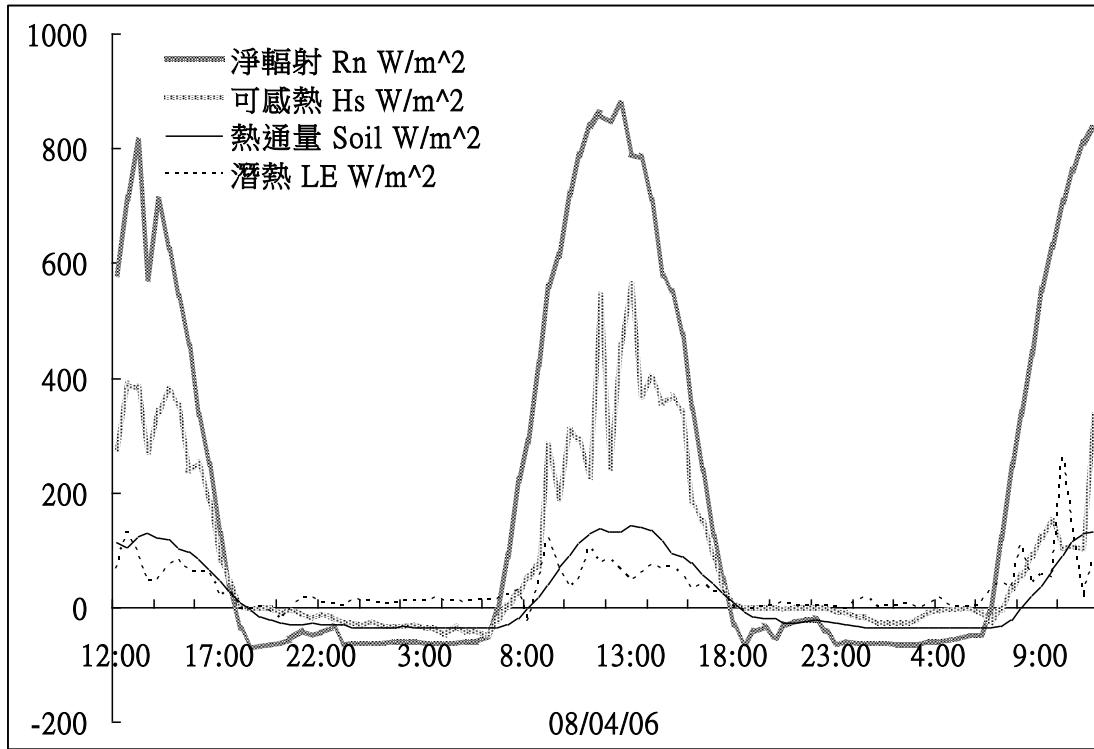
  'Compute a sensible heat flux from Hs and LE_wpl.
  Hc =
(Hs-(rho_a_mean*CP*0.51*RD*(t_hmp_mean+273.15)*(t_hmp_mean+273.15)*LE_wpl)/(press_mean*LV))*((t_hmp_mean+273.15)/(Ts_mean+273.15))

  'LI-7500 Webb et al. term for carbon dioxide Eq. (24).
  co2_wpl_LE = MU_WPL*co2_mean/rho_d_mean*cov_h2o_Uz
  co2_wpl_H =
(1+(MU_WPL*sigma_wpl))*co2_mean/(t_hmp_mean+273.15)*Hc/(rho_a_mean*CP)
  Fc_wpl = Fc_irga+co2_wpl_LE+co2_wpl_H
EndIf

CallTable flux
Else
  scan_count = scan_count+1
EndIf
NextScan
EndProg

```

附錄三 各項通量整合圖。



附錄四 屏東觀測站風向基本資料

方位	角度範圍(度)	比例(%)					
		三月	四月	五月	六月	七月	八月
N	348.75-11.25	2.3	2.5	3.6	3.1	8	5
NNE	11.25-33.75	0.7	1.7	1.4	3.3	7	6
NE	33.75-56.25	2.4	0.0	1.1	5.3	3	3
NEE	56.25-78.75	20.7	5.0	4.3	6.8	5	6
E	78.75-101.25	16.5	33.6	30.0	38.0	23	36
SEE	101.25-123.75	3.0	4.2	5.9	5.8	10	7
SE	123.75-146.25	4.1	5.0	4.1	1.6	3	3
SSE	146.25-168.75	6.8	3.4	5.2	3.1	4	3
S	168.75-191.25	6.6	7.6	6.7	2.6	5	3
SSW	191.25-213.75	4.6	3.4	6.9	2.6	7	5
SW	213.75-236.25	2.4	5.0	5.4	5.1	6	3
SWW	236.25-258.75	2.6	3.4	4.6	1.6	6	3
W	258.75-281.25	4.3	6.7	3.1	1.1	2	2
NWW	281.25-303.75	8.3	5.0	4.5	2.4	3	4
NW	303.75-326.25	7.7	5.9	6.0	6.0	2	5
NNW	326.25-348.75	6.9	7.6	7.0	11.7	6	6
		100	100	100	100	100	100

附錄五 屏東試驗地三至八月大氣二氧化碳濃度日平均值

時間	大氣二氧化碳濃度(ppm)					
	八月	七月	六月	五月	四月	三月
00:00	365.112	358.6221	355.3949	346.1666	355.6856	363.9795
00:30	363.870	365.6571	358.1756	346.9178	356.6415	364.8756
01:00	365.901	360.9946	355.8964	347.452	357.265	365.9642
01:30	363.349	365.738	355.6781	347.6321	356.9486	365.9334
02:00	362.413	360.0445	358.3504	348.3119	357.7866	366.0196
02:30	364.412	366.0199	363.6393	349.4211	357.229	365.1795
03:00	366.678	359.487	365.9113	350.577	356.7942	367.0327
03:30	366.677	357.1046	360.6683	349.5297	357.303	368.8371

04:00	368.651	361.8402	356.7738	349.7142	358.0763	366.8793
04:30	368.091	363.6939	355.706	351.4893	358.2406	369.0321
05:00	370.967	358.9804	362.1685	350.7687	358.9806	368.6248
05:30	368.771	358.6273	361.3749	350.9944	358.7913	370.5044
06:00	365.176	358.0734	361.0291	350.5316	359.488	367.479
06:30	360.743	358.1373	362.1177	350.5331	358.9262	367.1032
07:00	354.929	353.4905	355.796	348.2432	356.3117	368.2414
07:30	347.974	346.7512	355.8013	342.3529	352.7777	366.8022
08:00	340.710	343.0966	352.6609	339.7211	349.0183	364.882
08:30	335.386	344.6789	342.1194	337.2195	345.6578	362.1619
09:00	332.732	341.1144	341.5078	334.1731	342.1228	359.4888
09:30	331.071	336.4616	344.2458	333.0941	339.8217	355.9306
10:00	329.236	336.8672	338.3316	331.1839	338.2279	354.2492
10:30	328.626	328.9453	337.0711	329.9358	337.2785	352.5792
11:00	327.784	326.5654	337.6505	331.6827	336.9991	350.3811
11:30	328.379	326.0946	334.7003	331.8483	336.1947	348.1725
12:00	326.960	324.9377	332.2641	331.8964	337.371	346.7943
12:30	328.732	324.0422	336.4675	332.0369	335.6208	345.7571
13:00	327.128	323.4904	335.7074	329.8322	335.0541	347.3175
13:30	330.542	323.303	338.4352	327.7153	335.0591	347.9579
14:00	330.206	324.7923	333.2243	326.5177	336.2557	349.325
14:30	328.731	322.5451	337.6083	325.4286	334.8763	350.5926
15:00	332.069	321.523	339.4882	325.7082	333.6582	350.7178
15:30	331.641	329.2637	337.194	326.5847	334.0503	350.9554
16:00	333.678	323.1215	337.693	326.6778	333.9137	350.9989
16:30	335.098	330.8532	345.3914	325.8881	334.0251	350.1048
17:00	337.488	331.8188	344.2377	327.1466	334.1555	349.488
17:30	343.897	335.6306	348.4105	324.3531	333.593	350.835
18:00	344.902	335.2154	350.9258	327.3625	333.1254	349.2661
18:30	341.829	331.321	343.6559	327.5169	334.8655	349.7369
19:00	342.648	339.2074	347.2039	330.3968	337.4224	352.3792
19:30	347.421	339.0341	350.7224	330.935	340.0983	353.8605
20:00	349.287	341.3526	352.341	331.7303	343.154	355.0238
20:30	347.982	343.585	350.4732	332.6837	344.1698	356.0659
21:00	350.674	346.5183	351.3639	336.3188	348.7621	357.797
21:30	351.766	351.6155	356.4487	338.1606	350.6797	358.7197
22:00	353.816	359.3118	357.1621	340.3167	353.3276	359.2113
22:30	357.591	355.0945	353.2645	343.1407	353.6844	360.9643

23:00	360.918	356.1854	360.5766	342.7638	355.58	361.9176
23:30	366.232	355.3767	359.42	344.1745	354.0326	362.4765
	357.56	346.32	337.73	349.74	344.45	347.84

附錄六 屏東試驗地微氣候基礎資料

時間	屏東試驗地氣溫					
	八月	七月	六月	五月	四月	三月
00:00	24.884615	25.32581	24.72667	24.13871	22.88667	19.73226
00:30	24.723077	25.15484	24.70333	24	22.72667	19.53548
01:00	24.653846	25.07419	24.55667	23.94516	22.57333	19.39677
01:30	24.507692	25.00645	24.5	23.91613	22.44	19.26452
02:00	24.369231	24.94516	24.43	23.75161	22.38333	19.13548
02:30	24.346154	24.74516	24.35667	23.59355	22.32333	19.07419
03:00	24.292308	24.65484	24.22	23.51935	22.26667	18.91935
03:30	24.261538	24.64839	24.24	23.50323	22.19333	18.82581
04:00	24.1	24.51613	24.29333	23.40645	22.14333	18.75484
04:30	23.992308	24.47097	24.13667	23.3	22.10667	18.59032
05:00	24	24.42903	24.1	23.26129	21.98333	18.40968
05:30	24.038462	24.4	24.13333	23.22258	22.02667	18.39032
06:00	24.046154	24.43871	24.25333	23.37419	22.03333	18.34839
06:30	24.407692	25.03548	24.66	23.9129	22.35667	18.43226
07:00	25.230769	25.94516	25.36667	24.7871	23.31	18.72258
07:30	26.2	26.92903	26.09667	25.69032	24.39	19.60968
08:00	27.046154	27.71935	27.1	26.53548	25.30333	20.7129
08:30	27.753846	28.21613	27.69	27.27419	26.24667	21.84516
09:00	28.284615	28.66452	28.04	27.87097	27.02333	22.80968
09:30	28.730769	29.10323	28.50333	28.41613	27.49333	23.6129
10:00	28.907692	29.51613	28.56	28.89032	27.95667	24.2871
10:30	29.230769	29.74839	28.67	29.29355	28.34667	24.94839
11:00	29.476923	29.91613	29.14333	29.51935	28.56333	25.45161
11:30	29.684615	29.87097	29.16667	29.58387	28.68	25.87097
12:00	29.423077	29.99355	29.35667	29.39355	28.92333	26.24839
12:30	29.361538	30.08387	29.43667	29.30645	29.10333	26.33548
13:00	29.123077	30.10645	29.24667	29.20645	29.12333	26.43548
13:30	29.092308	29.79032	29.13333	29.46129	28.99667	26.2871

14:00	28.8	29.45161	29.05	29.55484	28.63333	26.08387
14:30	28.353846	29.19032	28.93667	29.61613	28.52667	25.9
15:00	27.769231	28.96452	28.76333	29.20968	28.34	25.56129
15:30	28.192308	28.71935	28.61333	29.01935	28.04667	25.22258
16:00	27.983333	28.55484	28.49	28.75484	27.59	24.81613
16:30	27.983333	28.39677	28.41	28.35806	27.33667	24.35484
17:00	27.691667	28.1871	28.07667	27.95484	27.07667	23.93548
17:30	27.208333	27.94194	27.80667	27.50323	26.59333	23.48065
18:00	26.741667	27.63871	27.46333	27.02903	26.08333	22.99032
18:30	26.133333	27.15806	27.03333	26.53871	25.59667	22.41935
19:00	25.841667	26.6871	26.50333	26.14194	25.26667	21.96129
19:30	25.666667	26.45484	26.15667	25.89032	24.95333	21.58065
20:00	25.475	26.21935	25.88667	25.67742	24.60333	21.40645
20:30	25.341667	26.15161	25.59333	25.35806	24.39	21.15161
21:00	25.116667	26.05806	25.47667	25.10323	24.11333	20.91613
21:30	25.116667	25.89355	25.33333	25.01935	23.98333	20.70323
22:00	24.983333	25.72258	25.13667	24.82903	23.77	20.48065
22:30	24.975	25.67097	24.96667	24.59032	23.57	20.29032
23:00	24.841667	25.4	24.87333	24.45161	23.31667	20.19677
23:30	24.858333	25.36452	24.83667	24.32258	23.19333	20.07097

時間	屏東試驗地相對溼度					
	八月	七月	六月	五月	四月	三月
00:00	87.38462	86.39355	83.23667	82.98387	82.34667	80.1
00:30	87.36923	86.5	82.98	83.03226	82.41667	80.59355
01:00	87.26923	86.64516	83.11333	83.04194	82.79667	80.9871
01:30	87.58462	86.45806	82.68333	82.56774	83.07	81.15484
02:00	87.73077	85.90968	82.63667	83.05161	83.03	81.59677
02:30	87.37692	86.22258	82.92333	83.6129	82.56333	81.21935
03:00	86.95385	86.28387	83.02667	83.74516	82.52	81.78387
03:30	86.75385	85.48387	82.98667	83.57742	82.82	81.82903
04:00	87.39231	86.07742	82.31333	83.45806	82.48	81.48387
04:30	87.77692	85.8	82.98667	83.93226	82.22333	82.03871
05:00	87.66923	86.06129	82.93333	83.66452	82.91	82.70323
05:30	87.42308	85.72258	82.68	83.55806	82.18333	82.4871
06:00	87.22308	85.50323	82.07667	82.83548	82.08	81.75806
06:30	86.24615	83.30645	80.85	80.85484	81.03	81.29032

07:00	83.69231	80.1871	78.85667	77.33226	77.48667	80.35161
07:30	79.80769	77.02903	76.58	73.33226	72.89333	77.25806
08:00	76.43077	74.23226	73.49667	70.38065	69.86333	72.24194
08:30	74.46154	71.71935	72.14	67.10645	65.91333	67.6871
09:00	71.94615	70.10968	71.26333	64.86452	61.45333	64.35161
09:30	69.7	67.92903	69.53333	61.95484	60.35333	60.60968
10:00	68.8	66.58065	69.33333	59.49677	58.28667	57.19355
10:30	67.83077	65.48065	70.15	58.1871	57.14	54.37742
11:00	66.37692	65.94839	67.72667	57.87419	56.98	52.03226
11:30	66.92308	66.63548	67.78	58.34194	57.26667	49.76129
12:00	68.82308	66.93226	67.34333	60.40968	56.61667	48.87742
12:30	69.75385	67.13871	67.21333	61.44194	56.35667	48.96774
13:00	72.48462	67.56129	67.69333	61.68387	56.5	49.47419
13:30	73.05385	69.22258	68.56667	60.6	57.43	50.10968
14:00	74.33846	71.03871	69.05333	59.76129	59.04667	51.66452
14:30	75.88462	71.46452	69.54333	58.81935	59.47	52.73548
15:00	77.7	72.63226	70.10667	61.05161	60.02667	53.77097
15:30	75.08462	73.34194	71.30667	61.89677	61.44667	56.09032
16:00	76.26667	74.07419	71.94333	63.35161	63.45333	57.90645
16:30	75.65	74.89677	72.15	64.86774	64.71	59.64194
17:00	76.94167	75.54516	73.74667	67.07097	65.79667	61.93871
17:30	78.49167	76.67097	74.17333	68.25484	68.72	64.36774
18:00	80.625	77.8871	76.21333	71.02581	71.18333	66.86774
18:30	83.63333	80.02258	78.69667	73.54194	73.25667	69.67742
19:00	84.86667	82.32581	81.38333	75.74194	75.10667	72.11935
19:30	85.29167	83.60645	83.33667	76.56452	76.64667	73.76452
20:00	86.25	84.5129	83.82667	78.01935	78.53	74.77097
20:30	86.45833	84.98065	84.90667	79.06774	79.75667	75.94839
21:00	87.725	85.58387	84.76	80.3129	80.90333	76.18065
21:30	87.6	85.84194	84.78	80.39355	80.87	77.15484
22:00	87.70833	86.4129	84.95333	81.17097	81.69333	77.83871
22:30	87.93333	85.98387	84.96333	82.19677	81.48	78.75806
23:00	87.98333	86.74516	84.44	82.51935	82.33	79.31935
23:30	87.79167	86.68387	83.88667	82.4129	82.10333	79.40645

時間	屏東試驗地光強度					
	八月	七月	六月	五月	四月	三月
00:00	0	0	1.413	0.273548	0.282667	0.820645
00:30	0.652308	0.547097	1.130333	1.094194	0.282667	0.273548
01:00	0	0	0.565333	0.273548	0.282667	0.273871
01:30	0	0.273548	0.848	0.820645	0.565333	0.273548
02:00	0	0	0.848	1.094194	0	1.094194
02:30	2.608462	0.547097	0.282667	1.640645	1.413333	1.094194
03:00	1.956154	1.093871	0	0	1.413333	1.094194
03:30	0.652308	0.820323	0.565333	0	0.282667	0.273871
04:00	0.652308	0.273548	0.565333	0	0.282667	1.094194
04:30	0	0.547097	0.848	0.820323	0.565	0.273871
05:00	0	0.273548	0.847667	0.820645	0.282667	1.914516
05:30	0.652308	0.820645	1.130333	0.547097	0.282667	1.094194
06:00	3.260769	9.023871	30.231	26.2471	3.956667	0.547097
06:30	88.03077	149.2971	156.5283	156.931	92.38067	15.58548
07:00	233.4392	304.8874	303.439	264.9419	234.496	154.7452
07:30	402.3215	431.4855	426.0737	375.1229	325.1917	238.1568
08:00	546.4154	585.7474	554.912	519.7181	508.84	383.5945
08:30	739.3846	721.0816	654.3367	702.9645	733.6967	562.1371
09:00	894.6385	887.6342	736.646	811.7565	909.5267	761.4242
09:30	979.5385	962.8997	813.4777	932.0961	994.867	936.3645
10:00	974.8769	1073.944	926.7713	947.2606	1080.21	1072.868
10:30	979.4985	1106.777	971.5533	993.9558	1125.957	1175.745
11:00	1015.368	1109.769	1099.216	961.6903	1120.613	1212.048
11:30	954.1354	964.8358	1038.514	936.8548	1008.953	1267.571
12:00	830.9308	995.4703	1082.559	782.5968	1087.64	1281.335
12:30	841.2692	917.4616	1020.385	786.9935	1161.927	1252.794
13:00	776.0154	922.1526	996.3583	781.5129	1054.263	1189.9
13:30	857.6	812.0068	916.7387	865.9645	948.5733	1113.419
14:00	682.7408	749.3974	932.0427	820.9613	863.85	1008.948
14:30	601.2969	658.1035	826.872	792.4645	816.9067	860.4677
15:00	480.6308	587.6945	760.722	661.7645	747.1567	692.6774
15:30	527.5423	509.259	636.7197	611.1487	599.3267	574.4613
16:00	441.5675	397.9168	574.7643	490.8703	445.627	477.6777
16:30	336.9833	297.2677	462.0247	378.4558	329.7597	323.7342
17:00	241.615	191.9884	227.4837	237.8913	217.2843	232.1319
17:30	170.9717	153.4226	204.304	193.0526	146.0773	128.2252

18:00	67.82167	83.96161	136.5027	86.68065	42.946	21.32774
18:30	0.706667	9.300323	31.931	8.203548	0.848	1.367742
19:00	0.706667	1.640968	1.130667	0.820323	1.130667	0.547097
19:30	2.12	0.820645	1.130333	0.820645	1.130333	-0.54677
20:00	0.706667	0.273548	0.565	0.547097	1.130667	0.273548
20:30	1.4125	0.546774	0.565333	0.273548	0.848	0.820645
21:00	0	0.820323	1.130333	0	0.282667	0.820645
21:30	1.4125	0.273548	1.130667	0.273548	0.282667	0.547419
22:00	0.706667	0.820323	0.847667	0.820323	0.282667	0.820645
22:30	0.706667	0.273548	1.130333	1.093871	0.848	-0.82
23:00	2.119167	1.914194	0.565333	0.547097	0.848	0.273548
23:30	1.413333	1.367419	0	0.820645	0.848	0.273871

時間	屏東試驗地土溫					
	八月	七月	六月	五月	四月	三月
00:00	27.811	27.39286	26.33	28.34161	25.965	24.47125
00:30	27.75	27.32071	26.23833	28.1629	25.81	24.21042
01:00	27.695	27.25929	26.14583	27.99419	25.65	23.96083
01:30	27.642	27.19286	26.05083	27.8329	25.505	23.72125
02:00	27.588	27.12929	25.93	27.68548	25.365	23.49
02:30	27.533	27.06857	25.84833	27.54806	25.22	23.2725
03:00	27.4785	27.00714	25.77667	27.41742	25.085	23.06375
03:30	27.4265	26.945	25.70417	27.29677	24.985	22.86917
04:00	27.377	26.88643	25.6375	27.17935	24.9	22.68375
04:30	27.328	26.81857	25.575	27.06516	24.815	22.50083
05:00	27.2795	26.75286	25.51167	26.95387	24.735	22.31042
05:30	27.224	26.68643	25.45083	26.84645	24.655	22.11708
06:00	27.175	26.62643	25.39667	26.74742	24.575	21.95167
06:30	27.1355	26.57786	25.36417	26.68226	24.52	21.80125
07:00	27.113	26.56071	25.36417	26.69032	24.54	21.68917
07:30	27.1255	26.58714	25.4	26.78065	24.715	21.69083
08:00	27.1765	26.66929	25.49667	26.99677	25.105	21.89208
08:30	27.2695	26.79714	25.63083	27.27129	25.615	22.33583
09:00	27.393	26.94643	25.7875	27.59968	26.01	23.07542
09:30	27.54	27.16429	26.00333	28.13	26.88	24.13292
10:00	27.79	27.45571	26.20182	28.97677	27.895	25.39208
10:30	28.00833	27.80286	26.51818	29.75516	28.925	26.74958

11:00	28.21526	27.87933	26.82455	30.31742	29.46	28.13083
11:30	28.34895	28.116	27.12182	30.76258	29.83	29.39583
12:00	28.45842	28.29667	27.30909	31.03097	30.22	30.43292
12:30	28.55579	28.48667	27.46909	31.25355	30.13333	31.57826
13:00	28.64842	28.69933	27.65545	31.52484	30.41	32.33826
13:30	28.76158	28.94267	27.82091	31.86613	30.55333	32.95818
14:00	28.90421	29.12333	27.95909	32.24419	30.67333	33.42217
14:30	29.02368	29.21333	28.06818	32.52677	30.94	33.63522
15:00	28.9515	29.23067	28.05818	32.6829	31.23333	33.63043
15:30	28.942	29.16286	28.01	32.68032	31.20667	33.41957
16:00	28.928	28.99133	27.94455	32.61	30.99333	33.05
16:30	28.902	28.82786	27.90273	32.52871	30.67667	32.55957
17:00	28.8735	28.785	27.91545	32.35968	30.36333	31.92435
17:30	28.835	28.72071	27.92545	32.07452	30.03	31.18435
18:00	28.7705	28.63714	27.86273	31.70742	29.65	30.38783
18:30	28.6855	28.52714	27.73091	31.29903	29.26333	29.5887
19:00	28.5895	28.39214	27.54364	30.90065	28.86667	28.84087
19:30	28.4865	28.25071	27.34182	30.51935	28.50333	28.18478
20:00	28.393	28.11714	27.17273	30.17806	28.20333	27.61174
20:30	28.3045	28.00143	27.02909	29.87355	27.94333	27.11652
21:00	28.2235	27.90143	26.90364	29.60032	27.69	26.67435
21:30	28.144	27.81643	26.78818	29.35194	27.44	26.26696
22:00	28.0705	27.73429	26.67727	29.12226	27.21667	25.88087
22:30	27.998	27.65143	26.56727	28.90323	27.01667	25.52217
23:00	27.9315	27.57071	26.46091	28.69742	26.84333	25.19957
23:30	27.8695	27.48143	26.35818	28.50452	26.68	24.91435