

出國報告（出國類別：實習）

中美合作—氣象資料分析及顯示技術 轉移

服務機關：交通部中央氣象局氣象預報中心

姓名職稱：謝旻耕技士

派赴國家：美國

出國期間：民國 97 年 7 月 29 日至 11 月 29 日

報告日期：民國 98 年 2 月 10 日

摘 要

隨著雷達與衛星等各類遙測資料的引入，以及大量地面自動觀測站的架設，高時空解析度的觀測資料提供了預報精緻化最有利的基礎；而如何將所有傳統與非傳統觀測資料同化，產生一最佳分析結果，提供下游模式最佳初始場以及作為統計預報與校驗之基礎，便成為重要的課題。此外，現今各國預報發展趨勢亦由原本文字預報及點預報的方式改為圖形化的面預報，此一預報結果的校驗，亦需將不規則測站分布的觀測資料轉化為能代表大氣真實情況的網格化結果，方能進行比對；故選取一個快速而又不失真的客觀分析方法處理觀測資料，實為發展鄉鎮預報的關鍵。

STMAS (Space-Time Mesoscale Analysis System) 是一套透過連續變分法對觀測資料進行同化的客觀分析系統，除了分析速度快之外，其特點在於針對觀測資料可以解析的範圍內，由長波至短波依序求出氣象場的天氣特徵，保有天氣系統多重尺度的特性；且其變分分析的優勢，更可以同化雷達徑向風等非傳統觀測資料，有利於未來進一步引進遙測資料，以改進數值預報作業。本報告將介紹 STMAS-2D 的分析方式與特性，以及陸續加入可調整之經驗參數；整理該系統對台灣地區地面觀測的分析結果，以了解其分析能力，並對於未來應持續進行的工作做一初步的建議。

目 錄

壹、目的.....	1
貳、過程.....	1
一、赴美過程.....	2
二、工作概述.....	2
參、心得.....	3
一、STMAS-2D 系統.....	4
二、氣象局觀測資料的讀取與分析時間間隔.....	8
三、客觀分析的結果與評估.....	12
肆、建議.....	31

壹、目的

現行客觀分析大多採用變分法，透過模式背景場與觀測的統計資訊，求取最佳的分析結果；然而，由於模式背景場的共變異矩陣不易求得，且有可能會隨著不停的時空變化而需要重新計算，因此，在這樣的情況下，限制了變分方法的分析結果；另一方面，傳統客觀分析採用的連續訂正法，直接在觀測數據中透過逐次訂正的方式，由長波到短波將觀測到的現象確實解析出來，免除了因為共變異矩陣估計的龐雜計算或無法準確估計而影響分析結果的問題；然而連續訂正法中每 1 次的訂正，都需要對影響半徑之內的網格點作運算，尤其在影響半徑很大的情況下，這樣每個網格逐一訂正的方式也需要過大的計算量，限制了此分析方法的效率，因此，局地天氣分析與預報系統（**Local analysis and prediction system: LAPS**）地面模組在進行分析時，其連續訂正法僅做兩次訂正，將大尺度跟較小尺度的觀測現象解析出來，因而遺漏了中間波長的天氣現象。

STMAS-2D (Space-Time Mesoscale Analysis System-2D) 系統的地面分析，使用的是連續變分方法，但在觀測網可解析的空間尺度上以觀測值為分析趨近的目標，因而無需估計模式背景場共變異矩陣；而由於其變分式是在多重網格（**multigrid**）上運算，所以不但計算速度快，而且做法類似連續訂正法的概念，在多重網格逐步加密的過程中可以將觀測到的不同波長現象解析出來；再者，也因為其變分分析的方式，可以同化雷達徑向風等非傳統觀測資料，或是在分析過程加入物理條件的限制，這些都是傳統連續訂正法所無法做到的。

此行出國的目的，即在於了解 **STMAS-2D** 客觀分析的方法及架構，並將台灣地區的觀測資料導入進行分析，進一步透過台灣地區溫度、露點、風速、風向及氣壓等參數的分析結果，來評估此套系統引進台灣，作為精緻化預報系統中地面資料分析模組的可行性。

貳、過程

一、赴美行程：

97年7月29日：搭機赴美。由台北先至洛杉磯，再轉機到丹佛（Denver）國際機場，由NOAA孟繁村博士接送至博德（Boulder）。

7月30日：至NOAA報到，與孟博士會合，並與STMAS-2D系統的主持人謝元富博士會面，討論未來工作方向。

7月31日至11月28日：與謝元富博士討論STMAS-2D主程式架構與原理，8月份改寫觀測資料讀取程式，目的在使用氣象局每15分鐘1筆的自動站資料；9月在原有程式上增加未被觀測涵蓋區域的背景場導入計算，避免分析範圍的邊界出現不正常的分析結果；並新增校驗模組，輸出分析結果與測站觀測比對情況。9月中資訊中心滕春慈副主任來訪，依其建議著手測試STMAS-2D分析雨量之效果。10月至11月則透過STMAS-2D分析2008年6月1日至2008年7月15日期間氣象局資料，評估其分析結果與觀測資料可能存在之問題。

11月29日至11月30日：搭機經洛杉磯轉機後，於30日晚間返回台北。

二、工作概述：

此行攜帶氣象局地面氣象站觀測資料與本局15公里解析度模式(NFS-15km)分析場，透過LAPS地面模組與STMAS-2D兩個系統，針對溫度、露點、風向、風速與氣壓5個氣象參數進行客觀分析，並比較其結果之優劣，以評估何者適合作為精緻化預報產製地面分析結果（ground truth）之系統。各月工作概述如下：

7月底至NOAA報到，與孟繁村博士會合，並與謝元富博士會面，討論未來工作方向。

8月在NOAA-GSD個人工作站上建置STMAS-2D最新版本，並透過每日即時

抓取氣象局最新地面觀測資料進行分析。由於分析過程要將原本每個小時的分析間隔改為15分鐘分析1次，因此改寫讀取氣象局觀測資料模組，使其可以讀取綜觀氣象站與自動測站每15分鐘更新1筆的資料。並將氣象局近年新增之自動站資料一併提供給STMAS-2D系統讀取，以求得更完整的分析結果。

9月上旬在STMAS-2D主程式上新增輸出校驗資料模組，使其分析結束可以自動輸出各測站原始觀測與分析結果之比對，以及均方根誤差。另外，針對觀測網未能涵蓋的區域引入背景場，以避免在分析範圍的邊界上，因為沒有觀測資料而導致分析場失真的情況。9月17日適逢本局氣象資訊中心滕春慈副主任來訪，與謝博士針對定量降水機率預報交換意見，滕副主任亦建議可利用STMAS-2D分析降雨觀測，故即著手於STMAS-2D系統中增加降雨變數，並逐一檢查自動雨量站降雨資料讀取過程與單位轉換，整理初步分析結果。

10月上旬仍持續進行雨量分析的工作，並在STMAS-2D系統中增加多個與分析變數相關的參數設定，使分析更具彈性，可同時針對較連續的氣象場（如溫度場）與不連續的雨量場分別調整出適切的分析過程。中旬之後則透過氣象局近岸浮球海面氣溫觀測的佐證，發現到溫度場的空間分布在海陸交界上經常呈現1個明顯的梯度，故改寫STMAS-2D模組，使其可針對觀測資料辨識出其位於海上或陸地，進一步限制觀測資料所影響的範圍，以避免平滑掉海陸交界明顯梯度的情況。

11月上旬，進一步修改引入背景場的方式，在最小化的變分同化過程加入背景場項，使STMAS分析過程可依據是否位於觀測涵蓋區域，來決定計算代價函數時是否要考慮背景誤差的最小化；最後，經過上述過程，充分瞭解STMAS-2D分析方式並且確認觀測資料讀取過程無誤之後，系統的建置與設定亦大致底定，11月中旬開始著手進行2008年6月1日至7月15日的資料重新分析，一方面仍可透過即時的分析進行各地區氣象參數分析結果的比對，以了解STMAS-2D與LAPS地面分析模組的分析差異，另一方面整理重新分析的個案比較。11月底搭機返國。

參、心得

一、STMAS-2D 系統

(一) STMAS-2D 系統簡介

STMAS 是由美國海洋暨大氣總署 (NOAA) 的地球系統實驗室全球系統組 (Earth System Research Laboratory/Global Systems Division) 發展出來的 1 套客觀分析技術。而 STAMS-2D 則是包含在其實驗室的 LAPS 下的地面分析模組。此為一套透過連續變分法對觀測資料進行同化的客觀分析系統。原本 LAPS 中亦有 LAPS-SFC 模組可進行地面分析，但其使用的分析方法是傳統的 Barnes 逐次訂正法，此法有著計算次數頻繁的問題，若是要具體的解析出多個波長的天氣系統特徵，需耗費大量的計算時間，因而無法滿足鄉鎮預報所需要的細網格需求；現行同化技術則多為單次的三維或四維變分分析，分析結果的好壞取決於對於模式誤差與觀測誤差共變異的精確估計；此法不但需要更大量的計算，而且往往無法取得準確的變異數估計，造成分析結果反而遺失觀測資料所捕捉的天氣特徵。STMAS 分析方法的特點在於透過多重網格(Multigrid)的概念進行最佳變分分析，此一分析方法與其他變分方式不同之處在於不需估計模式輸出的共變異項，先就觀測網絡可以解析的天氣特徵，直接透過觀測由長波到短波依序求解出來，而後在觀測無法解析的尺度，再透過統計權重的方式配合模式輸出求解，如此一來，大大減低了求得共變異數權重係數所需的計算量。並且因其針對不同的波長逐次的變分分析，亦可以保留不同尺度下的天氣特徵。而保留變分法的特性使的 STMAS 可以同化雷達徑向風等非傳統觀測資料，兼具有計算時間短的優點。

(二) STMAS-2D 模組的修改

此次在美期間，針對 STMAS-2D 模組所進行的修改有以下幾個部分：首先，LAPS-SFC 模組在分析結束之後，會將每 1 個測站所觀測到的氣象參數與分析過後網格上的數值輸出至校驗紀錄檔案 (verification log file)，由於此次任務包含比對 STMAS-2D 與 LAPS-SFC 兩個模組分析結果的差異，因此修改 STMAS-2D，使其產生與 LAPS-SFC 類似的校驗紀錄檔案，此一做法是在分析結束之後利用新

增的 **STMASVer** 副程式呼叫 **LAPS** 函式庫中的 **verify** 函式，傳入每個測站所觀測到的數值與對應的網格，該副程式則會輸出該點分析值與兩者差異至 **verification log** 檔案中。

另外，在進行溫度與露點的分析比對時，我們發現常常在分析範圍的邊界上，也就是大陸地區與台灣周圍的海面上，會產生較暖的溫度分析結果，尤其以海面上沒有觀測資料的地方最為明顯。

進一步探討的結果顯示，台灣地形在背景場 (**NFS_15km**) 解析度不足的情況下，會造成背景場的溫度在高山地區偏暖；**STMAS-2D** 讀取了高山站的觀測之後，為了使分析結果逼近觀測，會將原本的背景溫度場向下修正，導致分析增量（分析場與背景場相減的差值）在分析範圍的中央（即台灣高山地區）有很明顯的負值，向外延伸至台灣平地的部分，則因為觀測與背景場差異不大造成分析增量接近於零，然而為了維持分析結果在空間分布上的連續性，分析增量在沒有觀測的海面上會依據這樣的梯度轉為正值，造成了海面上越靠近分析範圍邊界的地方正值越大，產生明顯的偏暖的分析結果；此一結果表明了背景場不僅僅是分析過程的初始猜測值，在沒有觀測的地方亦需要適當的引入背景場的值當作分析參考，以避免失真的分析結果。

關於缺乏觀測區域的處理，原本 **STMAS-2D** 在分析結束之後，會考慮海面的觀測較為缺乏，故利用 **LAPS** 的網格上陸地比例 (**land fraction**) 當作權重來將所有氣象參數的分析場與背景場平均，此做法可以使得陸地上維持原有的分析結果，海面則一律採用背景場；然而在初步的評估上認為，僅僅溫度場有分析增量過大的問題，上述的處理卻會連帶使得島嶼與近岸風場被背景場平均之後跟實際觀測到的有相當大的差異，反而不是我們希望看到的分析結果，因此需要設計 1 種針對不同變數可以進行不同處理的方式，並且增加一些可以調控的參數來引入背景場。

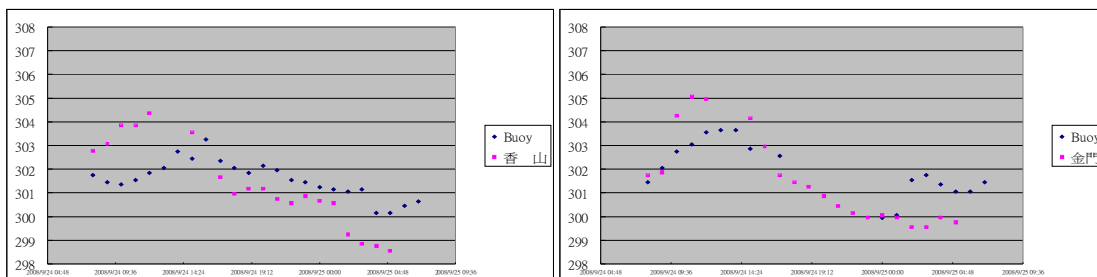
另一方面，由於台灣附近有多個浮球可提供海面氣溫，透過比對發現其與相鄰的陸地觀測到的氣溫有明顯的差距，顯示出海陸交界處存有一明顯的氣溫差

異，故此一現象亦需要在分析的過程加以考慮。

綜合以上兩種考量，引入背景場的過程必須能解決在邊界上缺乏觀測的區域分析增量過大的情況，以及溫度場海陸交界處有明顯梯度的情形，並且針對溫度與風場分開處理。

在謝博士的建議之下，改寫 **STMAS-2D** 引入背景場的方式，構想是假設每個觀測都具有附近一定範圍內氣象狀態的代表性，但是這個範圍的大小牽涉到是何種氣象參數、海陸差異是否明顯等因素，故在 **STMAS-2D** 的參數設定上，新增不同的氣象參數間的觀測影響半徑 (**radius**) 以及是否要進行海陸 (**land-sea**) 差異分析的判斷，並相對應在 **STMAS-2D** 模組中新增 1 個背景場引入副程式 **AddBkgrd**，在此副程式之中判斷觀測網與其影響半徑所形成的區域，其未涵蓋的區域則引入背景場，並強迫分析結果在這些未被觀測涵蓋的區域逼近背景場；此一模組海陸交界的處理，則是先判斷觀測點所在格點是陸地或是海上，位於陸地的觀測點其影響半徑範圍內遇到海陸交界則標示為未被觀測涵蓋區域，如此一來，亦可表明即使海面上的格點非常接近陸地觀測，其氣象環境亦非該陸地觀測所能代表。

此報告中的分析結果將溫度、露點兩項參數的海陸差異納入分析，考慮風場較為平滑並未將海陸差異納入，其設定之觀測影響半徑亦較大；此為初步分析之結果，故後續仍需要進一步探討各項參數設定影響半徑與海陸差異之細節。



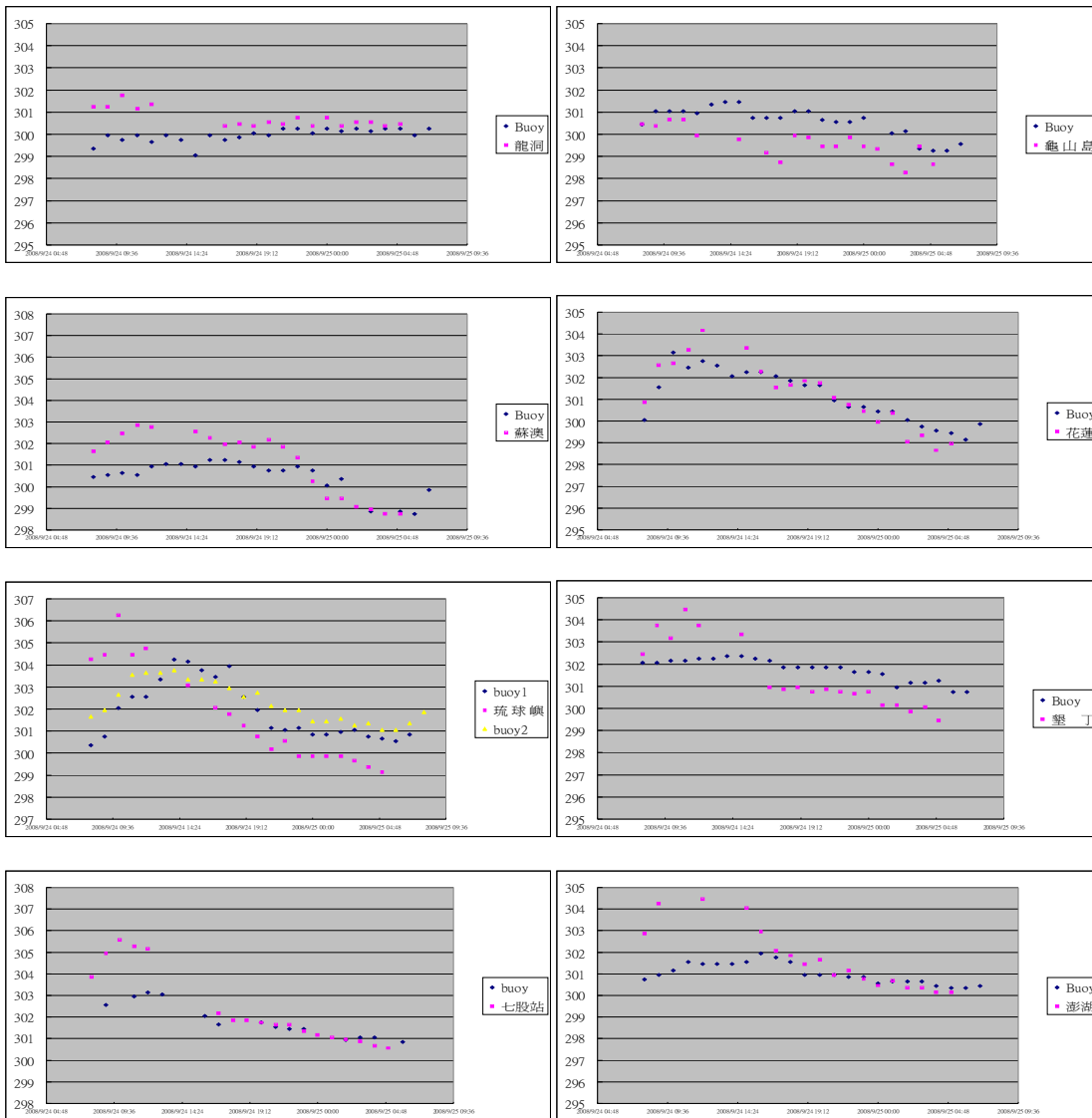


圖 1：台灣近岸浮球氣溫與陸地上相鄰測站之氣溫差異時間序列圖。

由於 STMAS-2D 分析是透過觀測資料解析天氣特徵，故計算代價函數 (cost function) 時僅有計算觀測項，並未納入背景場項：

$$J = J_o = \frac{1}{2} \sum_{n_o} (u - u_o)^2 \quad , \text{其中 } n_o \text{ 為觀測個數。}$$

因此，上述引入背景場的步驟，是直接將網格點上的背景場視為觀測，納入觀測陣列之中：

$$J = J_o = \frac{1}{2} \sum_n (u - u_o)^2 \quad , \text{其中 } n_b \text{ 是插入的背景場網格點個數。}$$

$$n = n_o + n_b$$

但這樣的作法會使分析結果在缺乏觀測區域顯示出人為強迫分析結果逼近背

景場的情況，爲了消除此一情況，我們進一步的引入背景項：

$$J = J_o + J_b = \frac{1}{2} \left[\sum_{n_o} (u - u_o)^2 + \sum_{n_b} (u - u_b)^2 \right]$$

當格點位於觀測涵蓋範圍的時候，代價函數僅計算該格點的觀測項；當格點位於觀測範圍以外的時候，代價函數則是同時考慮觀測項與背景場項。這種做法與原先的做法等價，但是分析結果的呈較沒有人爲強迫分析逼近背景場的不自然現象。

最後，由於 STMAS-2D 的分析過程是建立在多重網格法 (Multigrid) 的架構上，此法會依據觀測密度決定由疏到密的解析網格層數 (level) 共有幾層，再依序一層層求出該解析度所能掌握的大氣特徵。而遇到能見度、雲幕高、與雨量場這一類的氣象變量，其特色在於該變量並不會存在負值，故 STMAS-2D 針對這樣的氣象參數，在進行代價函數極小化的疊代過程，會限制求解的條件不得出現小於零的數值；然而透過程式執行時間的分析，我們發現像這樣有限制條件下求解的過程會明顯的降低系統運算的速度。原始的分析架構遇到上述不得爲負數的氣象參數，在分析的過程會限制每一層網格上的計算結果均不得爲負；而經過測試發現，若是僅僅在最後一層 (即解析度最高) 的網格上套用此一限制，分析效果並不會有太大的差異，卻可以節省掉在每個網格層上均限制求解條件而造成計算變慢的情況，故可有效提升分析效率。

此次修改 STAMS-2D 模組也增加其可以調控的參數，針對不同的物理量決定在分析時是否從解析網格最粗的層級開始，此後若是遇到較無長波特徵的氣象變量，STMAS-2D 便具有可以直接由解析度較高的短波網格開始分析的能力。

二、氣象局觀測資料的讀取與分析時間間隔

STMAS-2D 分析所需資料，背景場的部分是採用本局模式 15 公里解析度 (NFS-15km) 的分析場，觀測則可分爲綜觀氣象站報告 (SYNOP)、機場天氣報告 (METAR)、船舶觀測報告 (SHIP)、浮球報告 (BUOY) 等 4 種國際廣播

資料，以及局屬站 (mso)、自動站 (shp)、農業站 (agr)、雨量站 (cum) 等 4 種地區測站資料。其中國際廣播多為每小時 1 個檔案，內含該小時的測站天氣報告；地區站則較為複雜：首先，局屬站 (mso) 產生的是 1 天與 1 小時資料兩種檔案格式，其中每天 1 筆的資料檔案中會有每個測站每小時的整點資料，並且包含了小時累積雨量與小時高低溫；而每小時 1 筆的檔案內容則是所有測站在該小時內的分鐘資料；自動站 (shp) 的部分，則是每 15 分鐘產生 1 個檔案，其內容即為該時間的分鐘資料，但是只有部分測站資料每 15 分鐘更新 1 次，故此檔案中只有資料更新過的測站才會顯示與檔名時間相同的該筆分鐘資料，其餘測站顯示前 1 個觀測時刻的資料；而農業站 (agr) 與雨量站 (cum) 資料更新頻率均為 1 個小時。

由於各種資料更新頻率的差異，在某些時間觀測較密集而某些時間僅僅有局屬站有觀測的情況相當明顯，為了在觀測資料較稀少的時間仍然可以分析出較為真實的大氣情況，STMAS-2D 分析過程除了考慮空間分布上的連續性之外，亦同時把時間上的連續性一併處理，也就是在 x-軸、y-軸、t-軸 3 個方向展開的空間上找出代價函數的最小化；也就是說，STMAS-2D 是在空間上的 2D 地面分析，但是包含了時間上的維度變成三維的分析結果。為了進行時間上的連續性分析，STMAS-2D 每次分析時，會將過去 5 個分析時間的觀測與背景場一併讀取，如此一來便有包含現在分析時刻一共 6 筆時間的背景場與觀測資料，一併置入上述的變分代價函數中進行最佳化的分析。最終分析結束之後，再將最後 3 個分析時刻 (time frame) 的分析結果輸出，因此，如果將每次分析時間間隔 (LAPS_cycle_time) 設定為半個小時，則分析結果會將現在分析時間、半個小時前、以及 1 個小時前的分析結果輸出。

舉例而言，當我們進行某日 18:00 的分析 (分析時間間隔為 30 分鐘)，當分析結束之後不但產生 18:00 的分析場檔案 (*.lsx)，17:00、17:30 這兩個分析場檔案也會被重寫；其中 18:00 這個時刻的分析結果是最新的，但其分析已經位於時間範圍的邊界上了，而 17:30、17:00 這兩筆被覆寫的分析因為位

於時間範圍的內部，尤其以 17:00 (time frame=4) 的那筆資料離邊界最遠，理論上可以得到最佳的效果。經過比對發現，對整個分析的空間範圍內所有測站，將分析跟觀測之間的均方根誤差的計算出來，time frame 在 4 或 5 的誤差很接近，但是 time frame=6 的誤差的確比這兩者略大一些；由於未來 STMAS-2D 的使用上會針對過去歷史天氣個案進行重新分析，在沒有即時產出分析結果的需求之下，應該針對 time frame=4 的分析結果來進行比對。

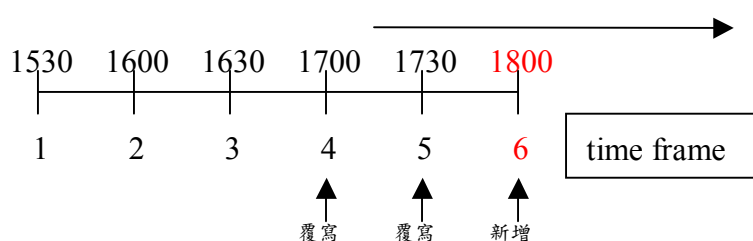


圖 2：STMAS-2D 分析時間連續性示意圖。

STMAS-2D 目前作業上分析美國的時間間隔設定為 5 分鐘，由於其時間間隔短，對於時間連續性的問題上求取 6 個分析時間內的連續性，在現實的時間上而言是 25 分鐘。而國內針對預報精緻化的需求，未來重新分析需要產出每 3 個小時的客觀分析結果，但由上述的分析過程可知，即使將分析時間間隔設定為 1 小時分析 1 筆，則時間連續性的計算，將會考慮到 5 個小時的區間；將 5 個小時前的觀測資料納入分析，反而有可能平滑掉時間尺度較小的天氣現象的危險；此外，由氣象局地區測站的資料上，我們發現在大部分的自動氣象站均正常運作的情況下，每 30 分鐘將可得到 1 筆資料輸出，因此，在美期間的測試，均以 15 分鐘或 30 分鐘的分析時間間隔來進行分析與評估，未來執行重新分析的時候，亦需要採用此種策略，將分析時間間隔縮短，以符合 STMAS-2D 系統時間連續性分析之原意。

在進行上述分析台灣地區地面觀測，將時間間隔由原本 1 個小時縮短至 15

分鐘的過程中，首先發現資料讀取的程式需要進行更新。由於 **STMAS-2D** 是 **LAPS** 的 1 個地面分析模組，因此其資料讀取與分析範圍等相關的參數設定均需要透過 **LAPS** 其他的模組來讀取；而讀取地面觀測資料的部分，是透過 **obs_driver.x** 此程式來進行，其中關於氣象局資料讀取的程式改寫，詳述如下：

- **read_synop_cwb.f**

此程式負責讀取氣象局局屬站 (**mso**) 觀測資料，原本分析時間間隔為 1 個小時，此程式讀取日資料檔內的小時資料；因為更改分析時間間隔為 15 分鐘，故改寫成讀取小時資料檔，該檔案內存有每分鐘資料，再依據該分析時間過濾出觀測資料並加以讀取。而為了增加雨量的分析，此處亦需要讀取 1 小時、3 小時、6 小時與 24 小時的累積雨量，由於這些資料只有在日資料檔案才有，故此程式改寫成讀取小時資料檔裡面的分鐘資料之後，仍需要再開啓日資料檔，並且透過其中的小時資料去計算累積雨量。需注意原本讀取的日資料檔案中，每個小時的資料欄位包括了小時最高溫、最低溫，但是改成讀取分鐘資料之後，便無法提供這些資料給 **STMAS** 分析；未來若是要利用此系統進行高低溫的分析，讀取觀測資料的部分必須另外改寫，或使用類似讀取累積雨量的方式另外計算。

- **read_local_cwb.f**

此程式功能是讀取所有自動站 (**shp**)、雨量站 (**cum**)、與農業站 (**agr**) 的資料，由於自動氣象站與雨量站的增設，在 **NOAA** 存放的氣象局自動站表格仍未更新，故首先是更新讀取資料時所對應的表格，在更新表格的過程中發現，自動站站數由原本的 104 個增加到 139 個，雨量站則是從 394 個增加到 425 個；由於這些增站的情況，在此程式中最大讀取站數的設定 (**maxobs**) 要由原先的 500 增加到 600。另外，因為自動站 (**shp**) 每 15 分鐘便會產生 1 個輸出檔案，故程式在讀取資料的部分，也必須由原本只讀取整點資料改寫成讀取每 15 分鐘的資料。自動雨量站的讀取亦在此程式中，但仔細檢查程式內容，發現單位轉換的部分常數有錯，且計算累積雨量時會將小時雨量觀測的錯誤資料 (標示為 -99.9) 一併加總，故改正這些問題之後，其輸出自動站累積雨量便與原始資料一致。

將上述資料讀取程式進行修改之後，仍須注意測站重複讀取的問題，由於氣象局局屬站（mso）中的許多測站會發報綜觀氣象站報告電碼，故其資料在整點的時候會與由國際廣播所接受到的綜觀氣象站報告（SYNOP）重複，而 obs_driver.x 程式中為了解決這樣的問題，會將兩者測站代號逐一比對，將重複的部分以綜觀氣象站報告（SYNOP）為主，進而取代局屬站（mso）的報告；但是在進行地面溫度與露點的分析時，準備資料的副程式 get_metar_obs.f 會採用地面 10 公尺的溫度與露點輸出，此參數只有在綜觀氣象報告（SYNOP）中有欄位存放，在局屬站（mso）僅有氣溫欄位，故在比對測站是否重複時，應該將局屬站（mso）的溫度欄位一併指定給綜觀氣象站報告（SYNOP）的 10 公尺溫度，後續分析時才能正確讀取。

三、客觀分析的結果與評估

（一）系統設定

因應未來精緻化預報的需求，現行文字預報將會逐漸轉型成圖形預報的方式呈現，而客觀分析所得到的地面分析場（ground truth），主要目的之一便是做為未來圖形化預報的校驗基準；因此，此行針對台灣地區所進行的重新分析，空間範圍的設定是按照目前於國內建置的圖形預報工具『圖形預報編輯器』（Graphic Forecast Editor, GFE）細網格設定，覆蓋區域由北部海面至巴士海峽（包含台灣附近海域），投影方式為藍伯特正形投影（Lambert conformal projection），格點間距南北及東西向均為 2.5 公里，區域各點經緯度如下：

中心點：23.725N 120.735E

緯線平行線：23.5N

標準經線：120.735E

分析時間間隔：30 分鐘

最大觀測數：750 個測站

上述各項參數需在設定在 LAPS 的 nest7grid.parms 檔案中設定：

standard_latitude = 23.5,

standard_latitude2 = 23.5,

standard_longitude = 120.735,

grid_cen_lat = 23.725,

grid_cen_lon = 120.735,

grid_spacing_m = 2500.00,

nx_l = 261,

ny_l = 261,

maxstns=750,

LAPS_CYCLE_TIME = 1800,

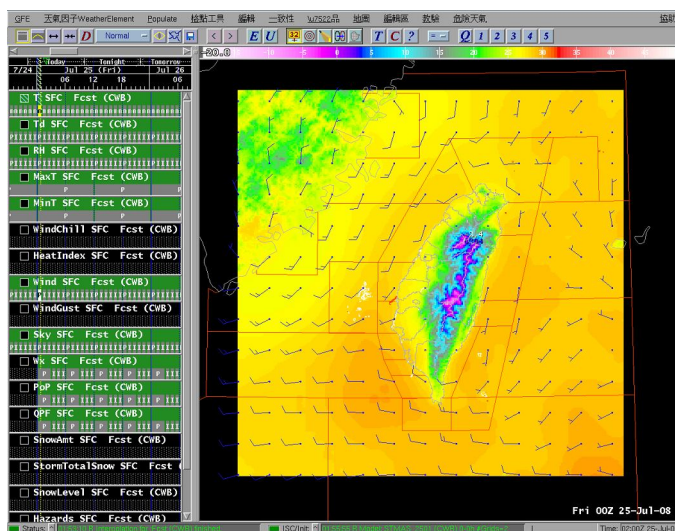


圖 3：圖形預報編輯器（GFE）介面與細網格範圍及設定

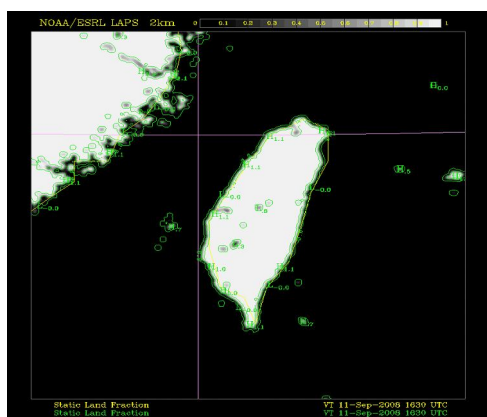


圖 4：STMAS-2D 網格範圍及設定

STMAS-2D 模組的設定，目前分析溫度 (TEMP)、露點 (DEWP)、風場西風分量 (WNDU)、風場南風分量 (WNDV)、能見度 (VISB)、雲霧高 (CEIL)、地面氣壓 (SFCEP)、海平面氣壓 (REDP) 共 8 個變數，其中要特別說明海平面氣壓其實是 LAPS 為了因應高原或高山等地形複雜的地區，可將所有測站的地面氣壓透過標準大氣的壓高公式推算至一基準高度面 (reference level) 上，在這個基準面上面進行氣壓場分析，稱之為 reduced pressure；在台灣地區的分析將此高度設為 0 公尺，因此亦可將它視為海平面氣壓。以上所有要進行分析的氣象變數，都必須在 stmas_mg.vr 檔案中設定其分析參數；自變數名稱之後，依序要設定觀測與背景場差距的臨界值 (threshold)、是否需要引入背景場 (needbk)、是否限制分析結果不得為負 (bound)、觀測影響半徑 (radius)、平滑係數 (penalty)、是否進行海陸 (land-sea) 差異分析、以及從第幾個網格層開始進行分析 (slvl) 等共 7 個參數。設定如下：

TEMP	20.0	1	0	18	0.01	1	1
WNDU	40.0	1	0	108	0.01	0	1
WNDV	40.0	1	0	108	0.01	0	1
VISB	9.99e36	0	1	999	0.05	0	1
CEIL	9.99e36	0	1	999	0.05	0	1
DEWP	20.0	1	0	18	0.01	1	1
REDP	8000.0	1	0	18	0.01	0	1
SFCEP	8000.0	1	0	18	0.01	0	1

(二) 各主要都市各項參數分析結果

目前針對台灣主要都市及高山測站，選擇台北、台中、高雄、宜蘭、花蓮、台東、玉山共 7 個站，分別針對溫度、露點、風場西風分量、風場南風分量、地面氣壓、海平面氣壓共 6 個變數進行校驗，雖然有進行能見度與雲霧高度的分析，但因為其並非此行所著重的氣象變量，故暫且不進行比對。首先以 2008/9/8 為

例，劃出各種氣象變量的觀測與分析時間序列圖進行比對。

● 溫度與露點分析

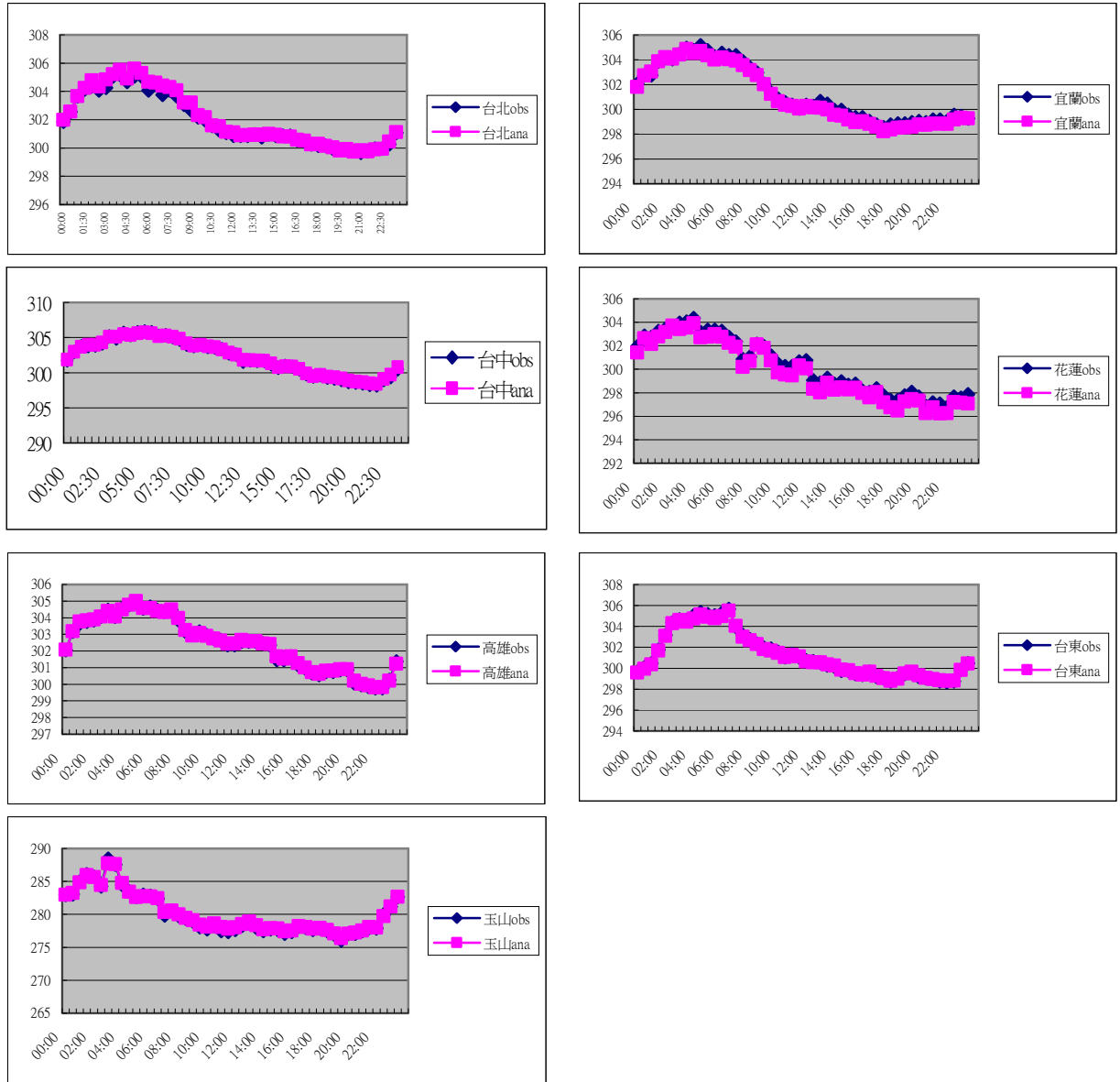
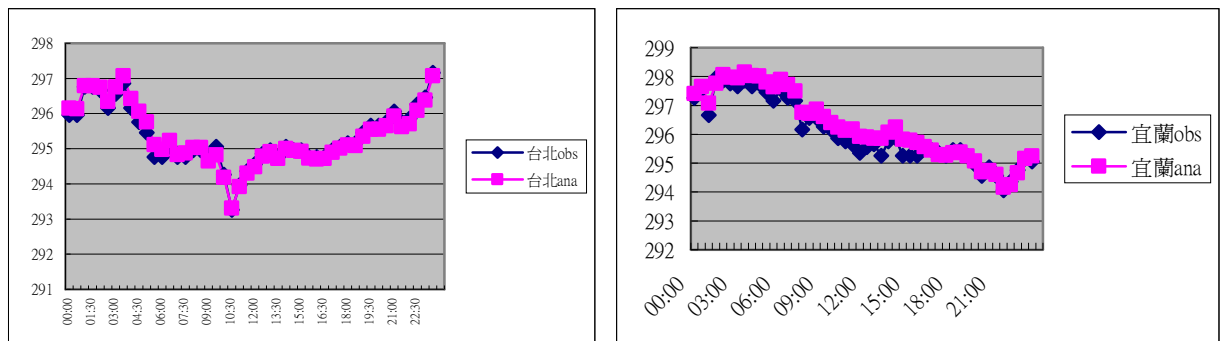


圖 5：各測站溫度觀測值（obs）與分析值（ana）時間序列圖（單位：K）



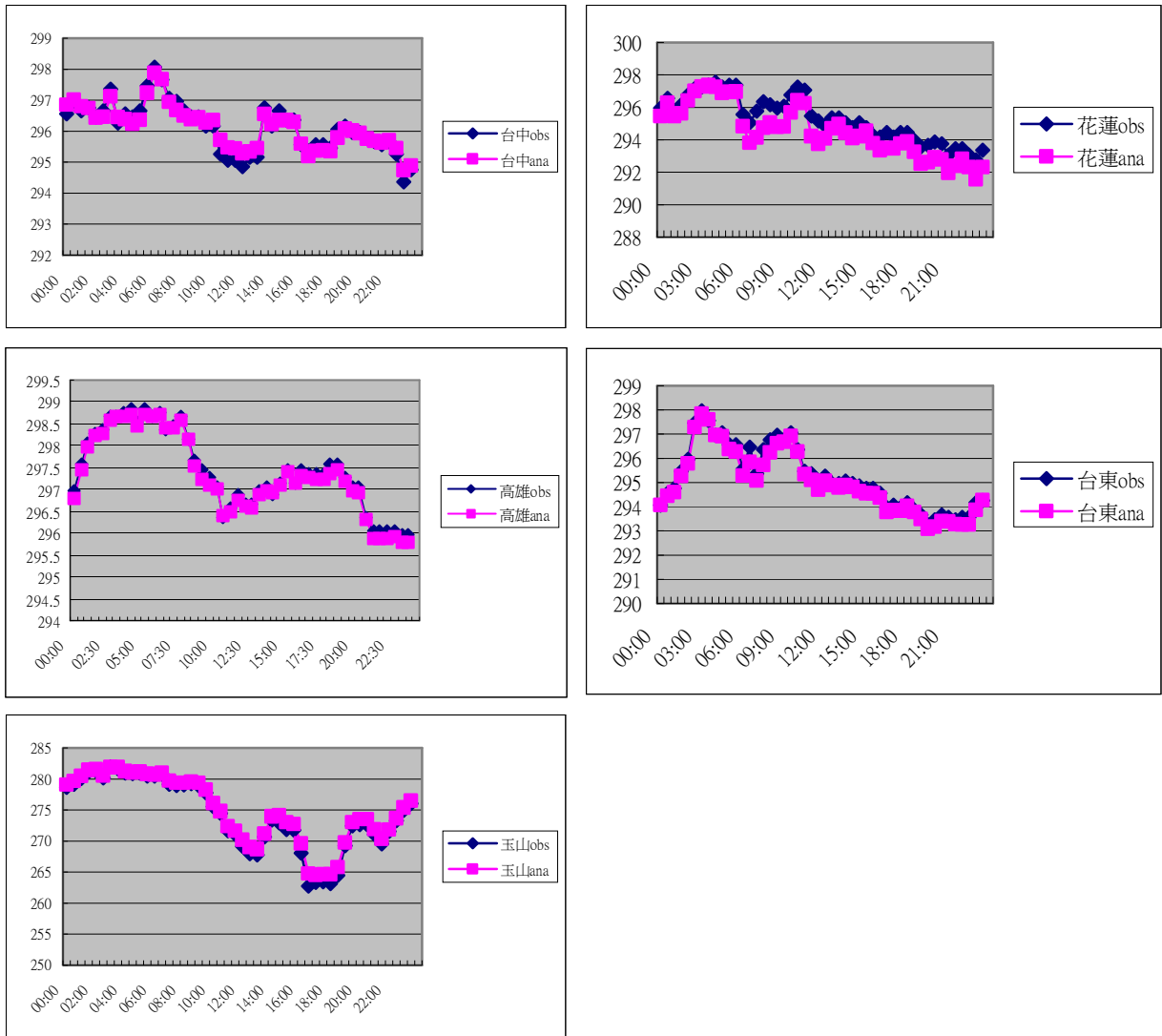
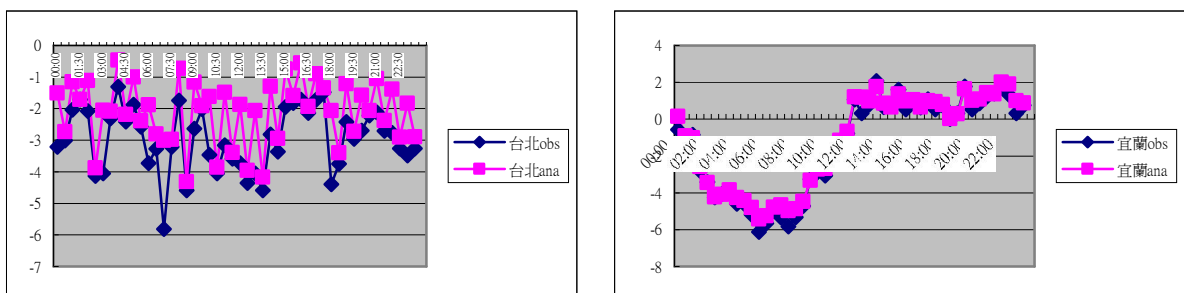


圖 6：各測站露點觀測值（obs）與分析值（ana）時間序列圖（單位：K）

由溫度與露點的時間序列（圖 5 與圖 6），可以看出 STMAS-2D 分析結果在平地與高山站都與觀測相當吻合；其中又以溫度分析的結果最為穩定。露點分析的部分雖然可以掌握到 1 天的變化趨勢，但是在少數時刻與觀測仍有接近 0.5 度的差異。

● 風場分析



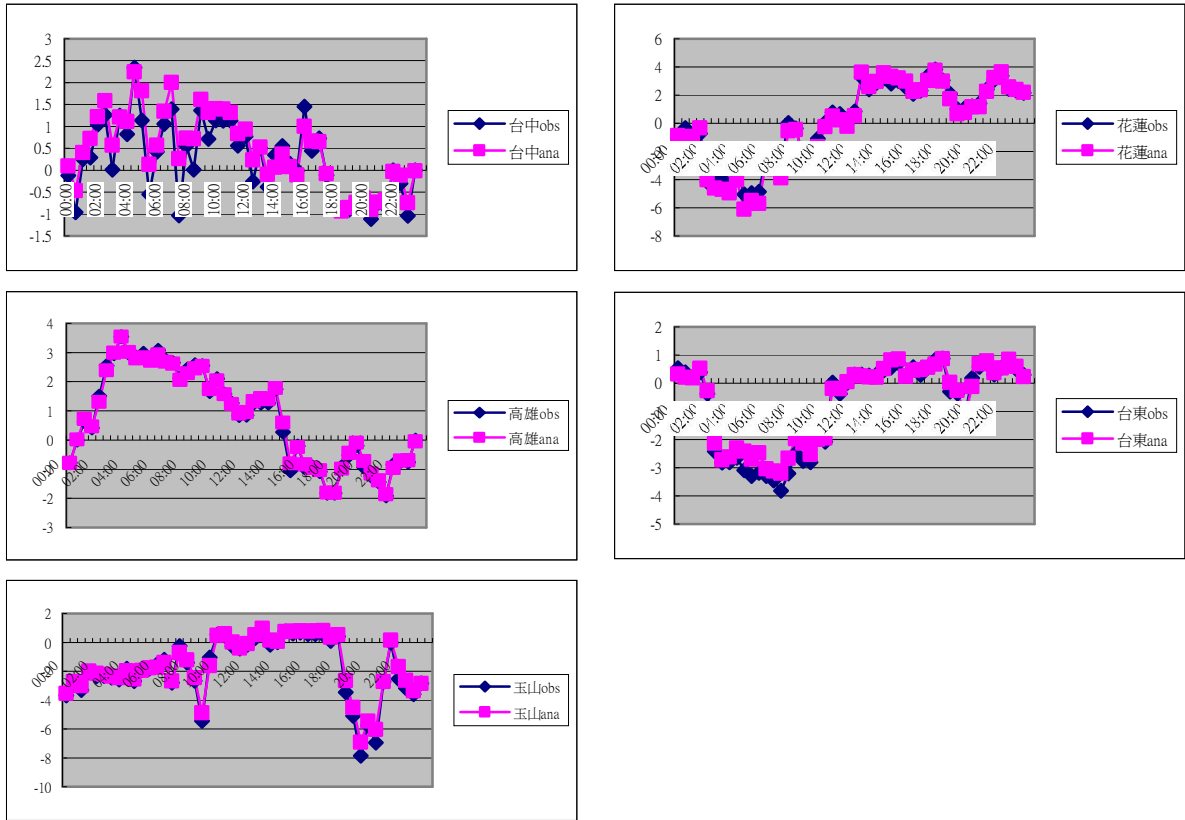
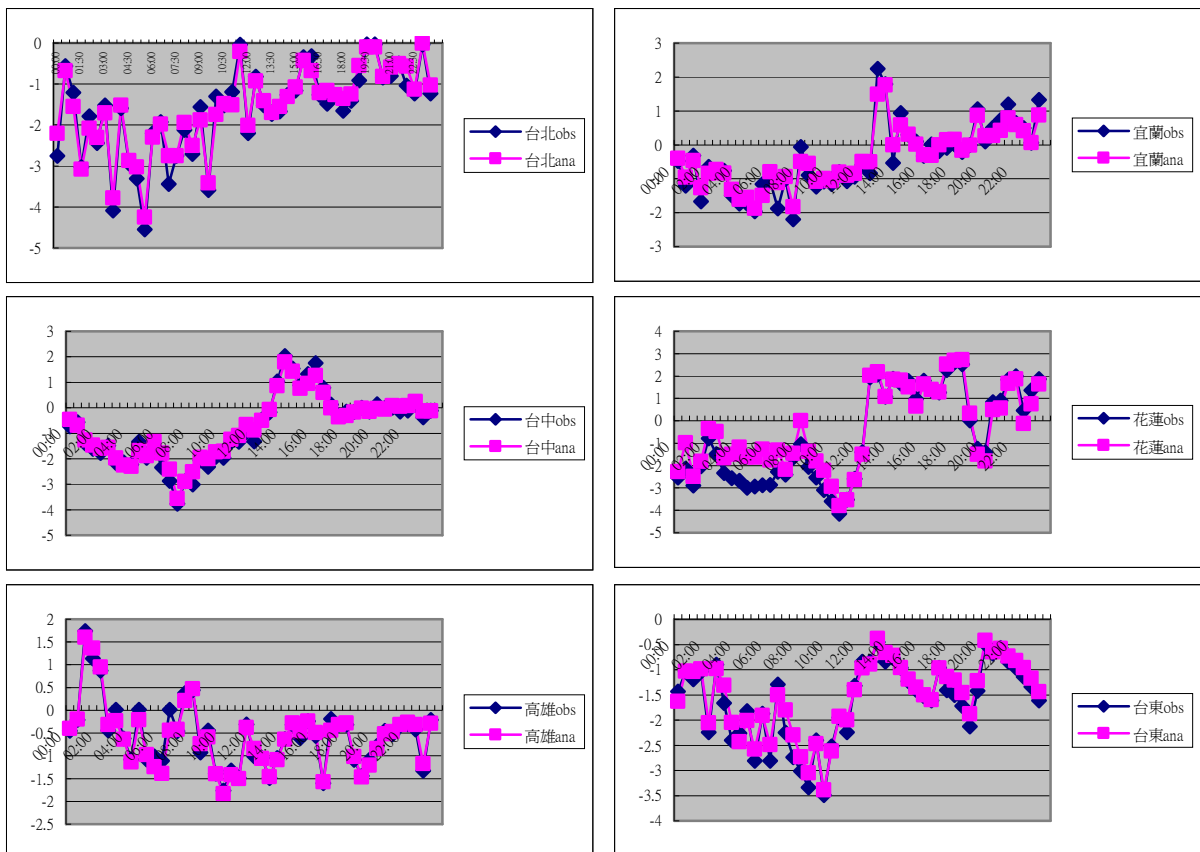


圖 7：各測站風場西風分量觀測值（obs）與分析值（ana）時間序列圖（單位： m/s ）



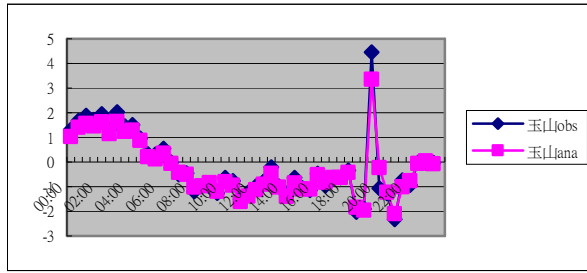


圖 8：各測站風場南風分量觀測值（obs）與分析值（ana）時間序列圖（單位： m/s ）

仔細觀察台北站的風場分析，可以看到在西風分量的部分呈現出明顯的振盪情況；其中在整點的時刻分析結果會有偏低的現象，以 18:00 的分析為例（圖 9），觀測值為 $-4.4 m/s$ ，但是分析值卻只有 $-2.07 m/s$ ，也就是說，在整點時刻分析值呈現的東風較觀測小。由於分析結果的振盪呈現小時週期，根據前面對於觀測資料的敘述可以知道，整點時所可以獲得的觀測資料比較多，相較之下由於半點有許多農業站及部分的自動測站並未更新資料，分析是以局屬測站為主來進行的。為了進一步釐清此振盪的來源，我們將 17:30 與 18:00 兩個時刻台北附近的觀測與西風分量的分析場加以比對（如圖 10），由台北單站的觀測來看，17:30 到 18:00 之間風場從 5kts 的東北風轉成 10kts 的東北東風，就西風分量而言台北單點是負值增加的，然而從分析場的色階來看，兩者差異不大；觀察這兩個時間的觀測與分析，觀測在 18:00 確實有達 $-4.4 m/s$ 的 u 分量，分析場雖然也有分析出東風增強的趨勢，但單點的值只有增加到 $-2.07 m/s$ ；此外，18:00 時刻在台北站北方的許多自動站均有風場觀測，且風場的東風分量均在 5kts 以下；由於這些自動站的觀測資料均在整點才有，且風速較台北站微弱，故初步判斷在台北站的分析結果之所以有小時週期的振盪，來源在於半點觀測的不足，以及台北與周圍測站風場差異過大所導致。

根據局網頁連結到的台北站基本資料，風杯架設高度為 33.8 公尺，這也解釋了為何台北站與其他自動站在同 1 個時刻（18:00）的觀測會有明顯的差別；如果非常接近的兩個測站變量有明顯差異的時候，會導致分析結果取在兩者的中

間，台北附近由於許多自動站的觀測風均微弱，導致弱風的觀測權重增加，故分析結果總在整點偏離台北站觀測。故未來在進行風場比對時，建議以板橋等局屬測站，風速計位於標準高度的環境作為較驗基準，以減少上述情況。

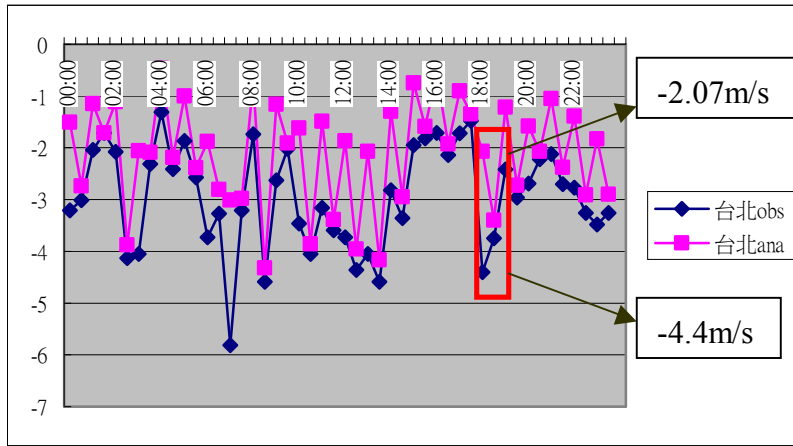


圖 9：台北站風場西風分量觀測（obs）與分析（ana）時間序列圖

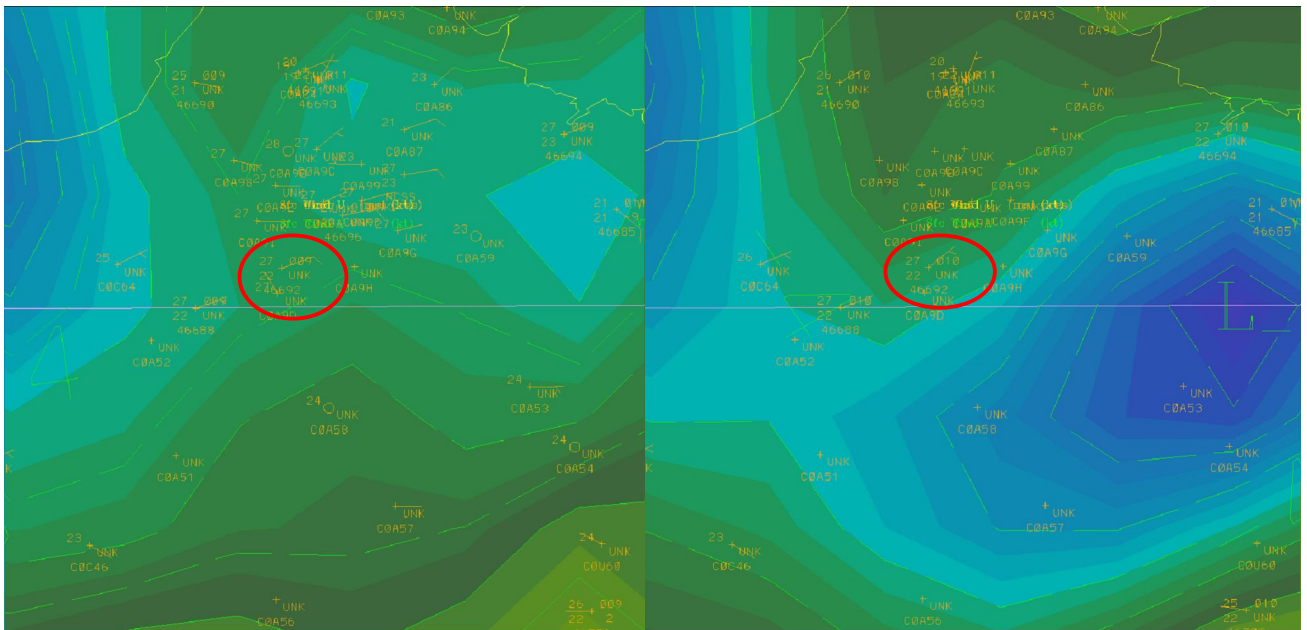


圖 10：左圖為 17：30 台北附近測站的分布與風場 u 分量分析結果，右圖為 18：00 測站與分析結果；深綠色代表分析場零值的區域；紅色圈選出來的就是台北站的位置。

另外，在花蓮站的風速分析結果上，原本也有類似的情況發生；原先測試以 15 分鐘做為分析時間間格時，花蓮站的風速分析結果，便呈現以小時為週期的振

盪情況（如圖 11）。

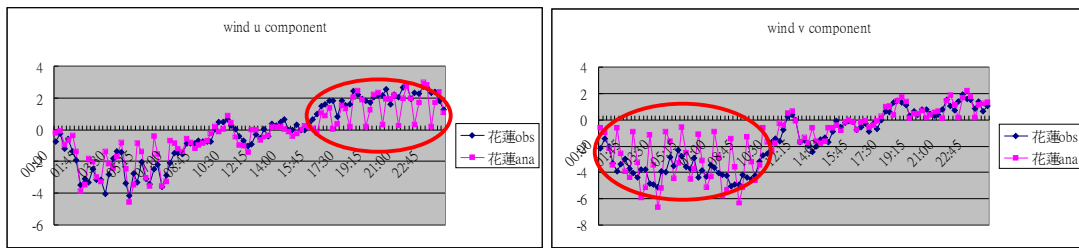


圖 11：花蓮風場分析結果，紅色圈出呈現小時週期振盪的現象。

從分析結果的時間序列來看，小時週期振盪的情況在風速大的時候比較明顯，經過檢查花蓮周圍的觀測發現，花蓮站北方有兩個非常接近幾乎重疊的測站（圖 12），分別為新城（COT84）與花蓮機場（RCYU），這兩站資料更新的頻率是不一樣的，花蓮機場有每半個小時 1 筆的資料，而新城自動站則是每個小時更新，所以這導致了每次整點時間，兩個站都有資料的時候，相當於該點的測站權重加倍了，因而削弱花蓮站觀測對於分析的貢獻，導致分析結果偏離花蓮站觀測。

據此，若是把新城（COT84）觀測予以剔除，以花蓮機場每半個小時 1 筆的資料來代表該地區的觀測，並且避免整點時因測站重疊產生權重加大的情況；而做了這個更動之後，花蓮的風速分析就與觀測接近，沒有振盪的情況了。

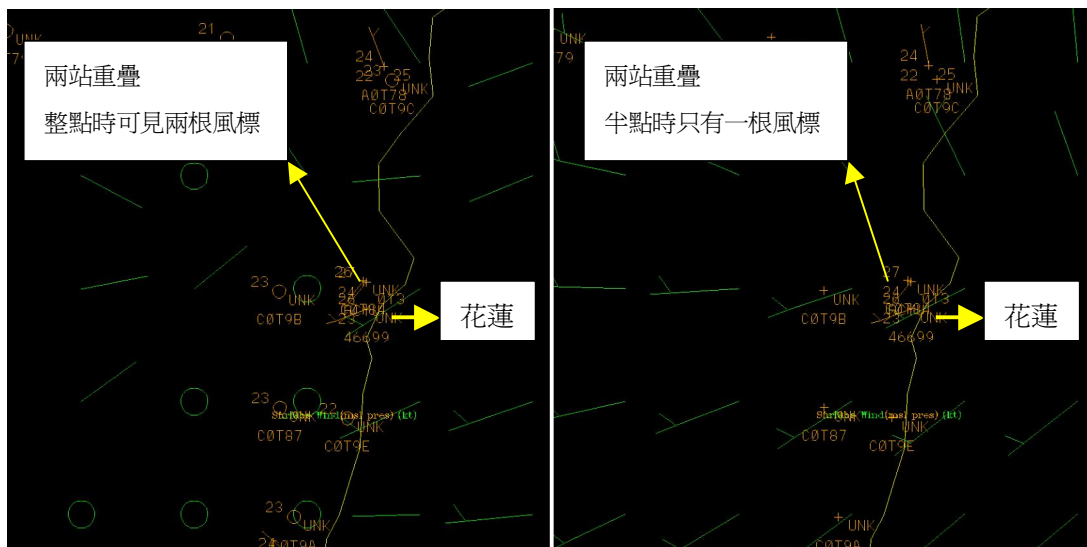


圖 12：花蓮站與其北方新城（COT84）與花蓮機場（RCYU）兩站重疊情況。

● 氣壓場分析

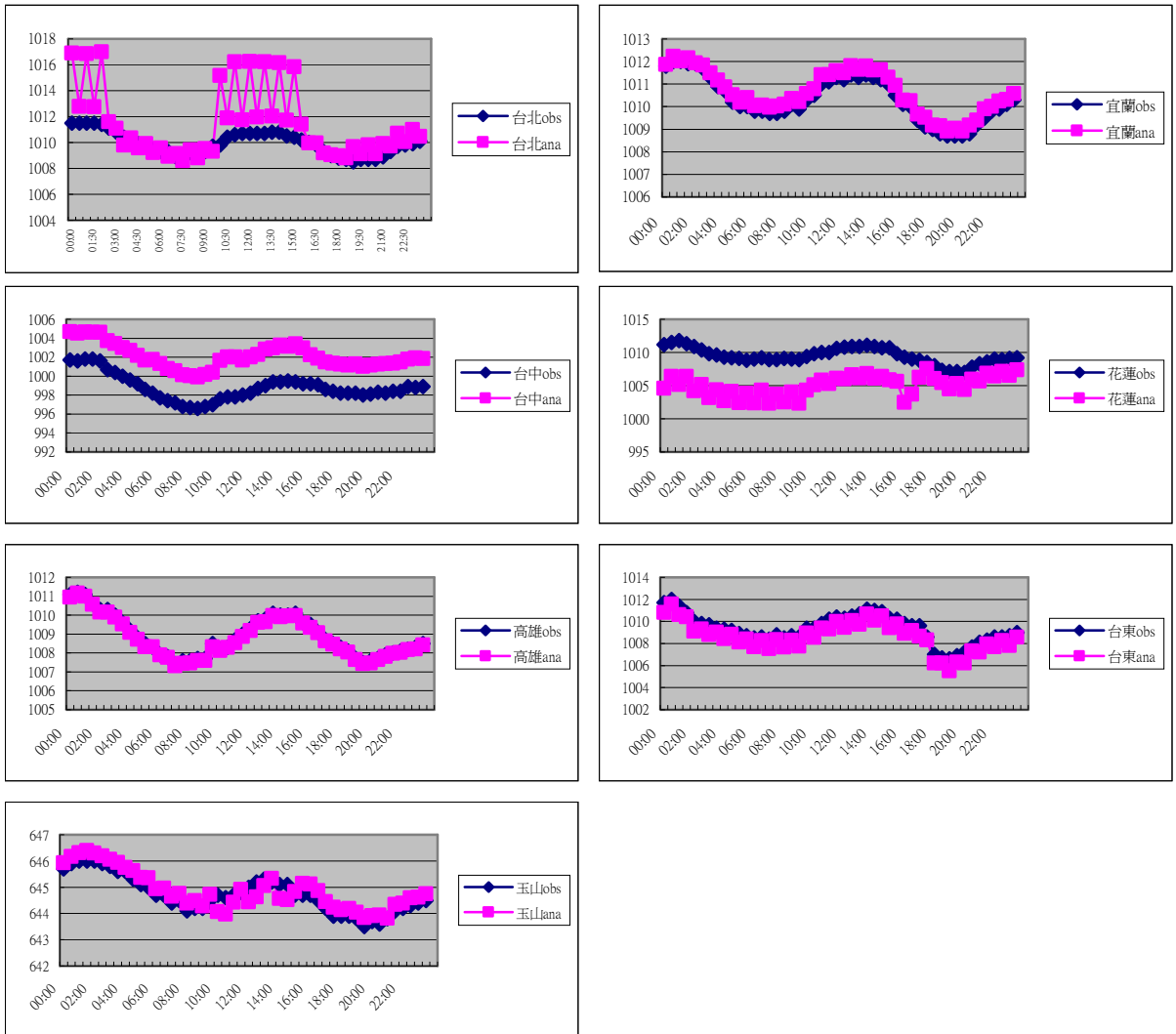
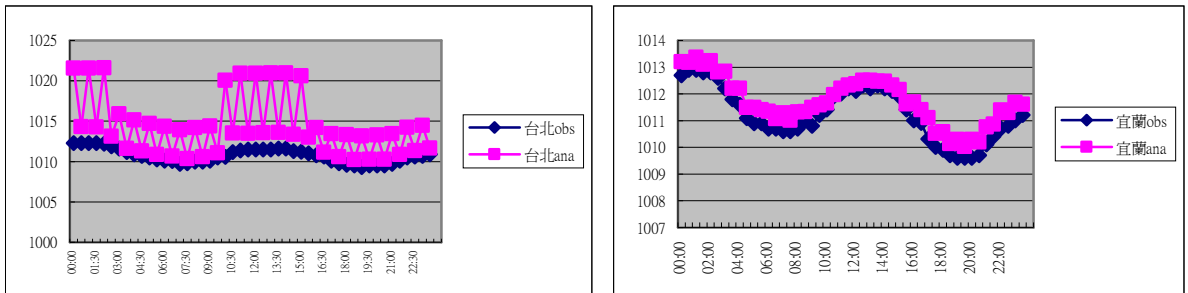


圖 13：各測站地面氣壓觀測值（obs）與分析值（ana）時間序列圖（單位：
hPa）



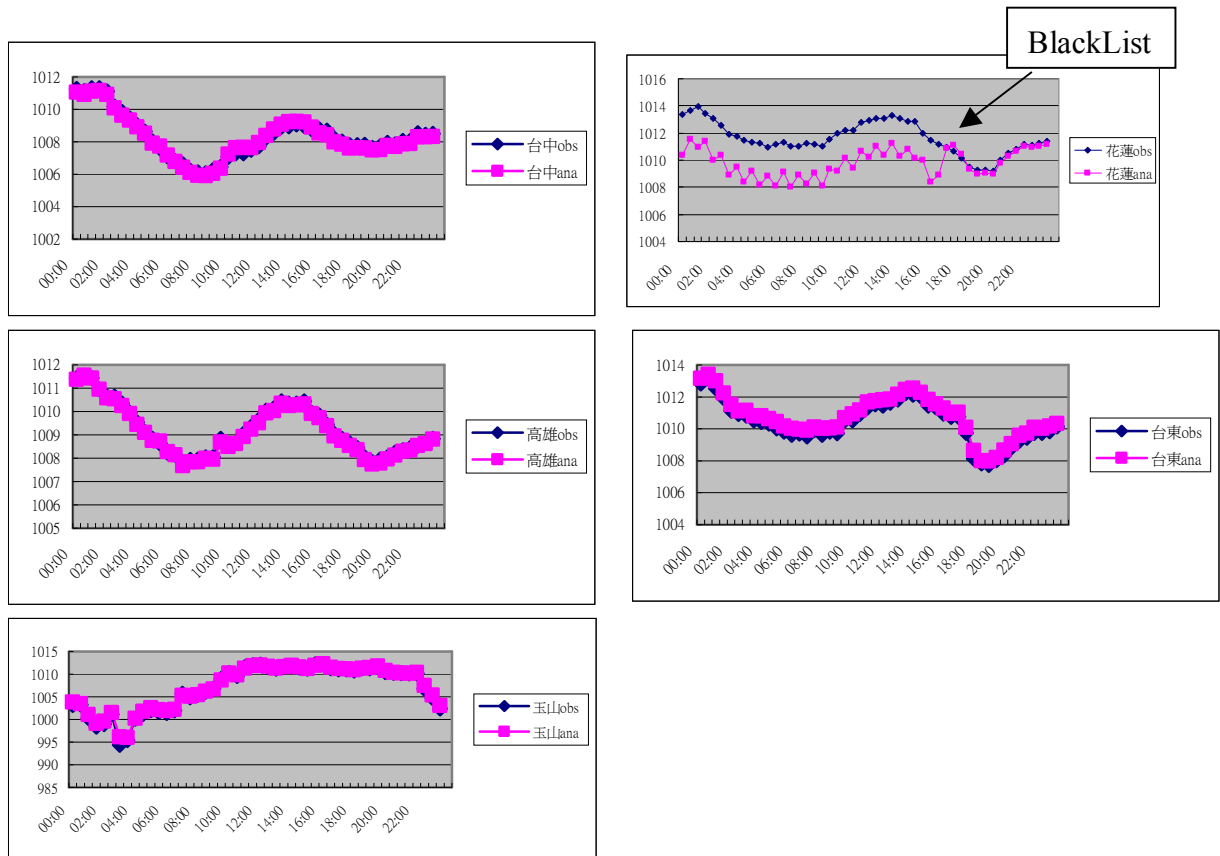


圖 14：各測站海平面氣壓觀測值（obs）與分析值（ana）時間序列圖（單位：hPa）

如前所述，目前進行氣壓相關的分析有兩個變數，地面氣壓針對每個站的氣壓直接分析，而海平面氣壓則是考慮到每個測站所在的高度不同，故先利用該站的高度、測站氣壓、溫濕度，透過壓高公式將氣壓轉換成參考高度（reference level）上的氣壓，目前台灣地區設定為 0m，即海平面。在台灣這種地形高度複雜的區域，透過這樣的轉換，所得到的海平面氣壓場因為濾除了地形的因素，會比原本的地面氣壓分析場還要平滑，分析上不需要計算到很小波長的資訊就可以得比較好的效果，故從圖 13、圖 14 的比較也可以看出海平面氣壓的分析值與觀測較接近。其中最明顯的是台中站的結果，在地面氣壓的結果中可以看到分析呈現了高出觀測 2hPa 左右的情況，但是在海平面氣壓的分析則與觀測十分吻合；故建議在使用 STAMS-2D 的氣壓分析時，參考海平面氣壓的分析結果，再透過上述的轉換方式將其轉換到每個測站高度上的氣壓，效果會比直接使用地面氣壓的

分析結果來得好。

然而從海平面氣壓的分析上，依舊可以看出一些問題：例如花蓮站的分析會有明顯的週期振盪，而且分析值也有偏離觀測的情況；由於花蓮站附近的自動站數量較少，逐一比對發現在花蓮東側與南側距離約 10~15 公里有 3 個自動站海拔超過 100 公尺，若是在讀取測站的過程中將這些站放進黑名單 (Blacklist)，亦即視為資料品質不佳的站予以剔除，則花蓮分析結果就與觀測十分接近；然而根據上述海平面氣壓的計算方式，即使有鄰近的測站位於不同的高度，經過高度的調整之後應該不至於會對分析結果產生影響，因此接下來重新把這幾個站加進到觀測中，試圖進一步的來分析為什麼這幾個站的氣壓觀測會對於花蓮的分析結果產生影響。

圖 15 是上述 3 個花蓮附近的自動測站的地理位置；由於這些自動測站均是整點才有觀測資料，符合之前關於台北風速分析結果的結論，週期性振盪的來源應該是自動站與局屬站的觀測差異過大。圖 16 為這些測站重新加入分析之後，連同花蓮共 4 個站海平面氣壓的時間序列；在 17:00 左右將這 3 個自動站重新納入分析，因此可以發現 3 個自動站的結果從該時刻開始產生，同時花蓮的分析效果也開始產生偏離觀測的現象。此外，18:00~20:00 因為資料傳輸的問題，沒有讀取到觀測故無法校驗，各站曲線均出現 1 個間隙。根據上述定義，這 4 個站的測站氣壓經過換算之後所得到的觀測海平面氣壓應該十分接近，圖中可見鯉魚潭 (C0T87) 與水源 (C0T9B) 兩站雖然比花蓮站 (46699) 低，3 站大約都在 1006~1013hPa 之間，然而大坑 (C0T9E) 的數值卻只在 990~995hPa 之間，與其他 3 站有明顯的落差；考慮到海平面氣壓經過轉換，可能在轉換過程產生問題，若是直接把這 4 個站在 23:00 的測站氣壓對測站高度作圖 (圖 17)，可以看到加入大坑 (C0T9E) 之後高度與氣壓對應的關係會變差；由此推測若非大坑 (C0T9E) 架設的位置有特殊的環境影響，很有可能該站氣壓的觀測是有很大誤差的。若將大坑 (C0T9E) 的觀測剔除，加入到 Blacklist 之中，分析的結果就會如同之前將 3 個自動站均剔除的情況一般，使得花蓮站的海平面氣壓分析值接近

觀測了 (圖 18)。

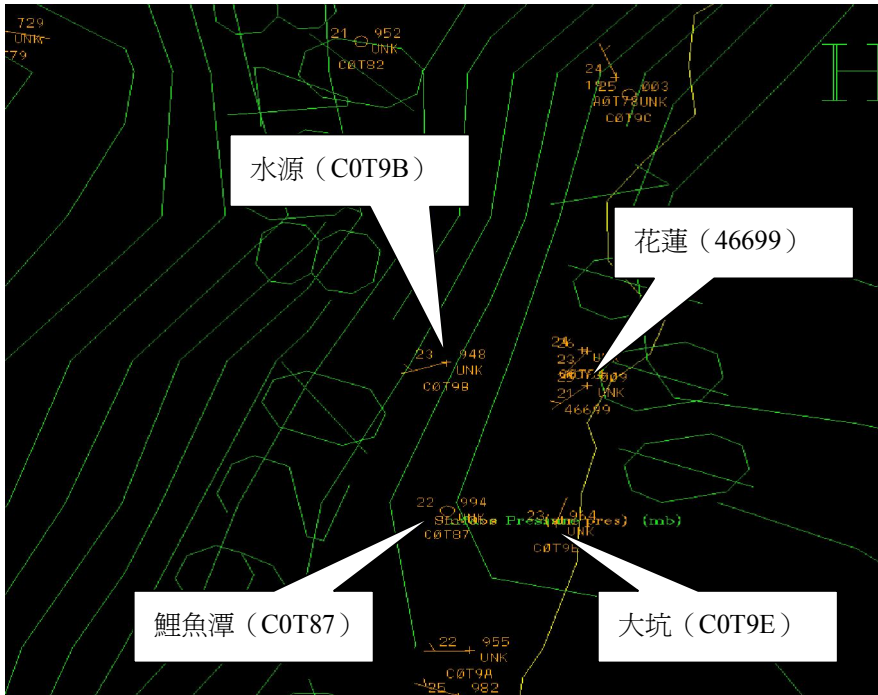


圖 15：花蓮鄰近自動測站地理位置。

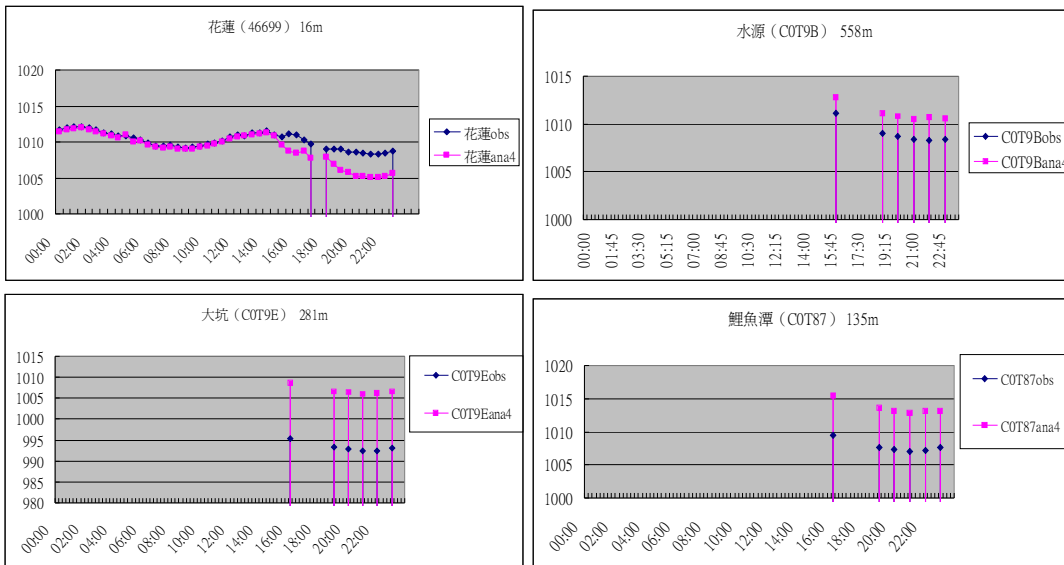


圖 16：花蓮地區 4 站納入海平面氣壓分析後觀測與分析結果時間序列

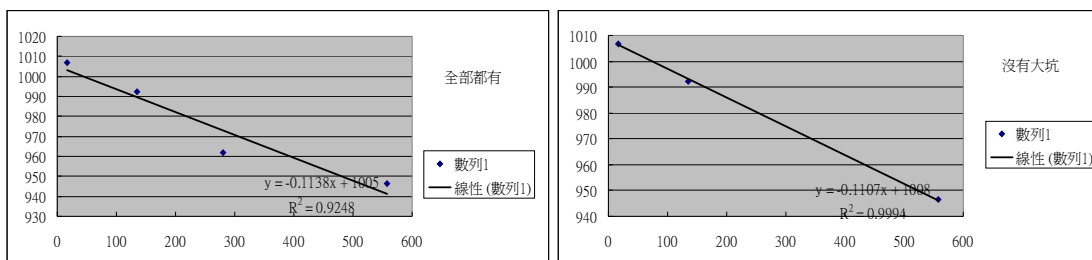


圖 17：花蓮地區 4 站高度與測站氣壓相關性示意圖，左圖 4 站均納入，右圖剔除大坑站。

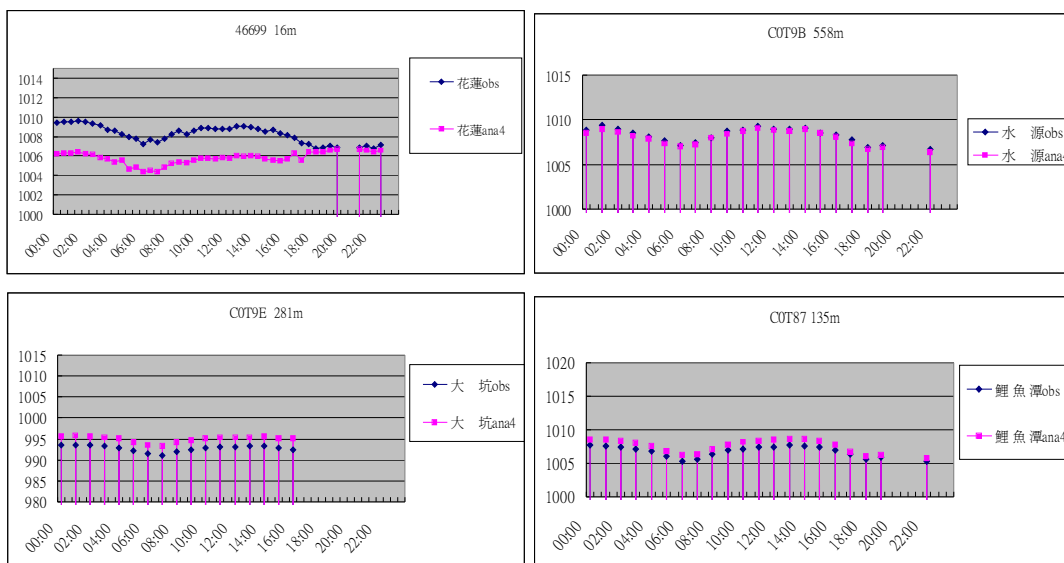


圖 18：花蓮地區海平面氣壓分析時間序列，於剔除大坑自動測站之後分析誤差降低。

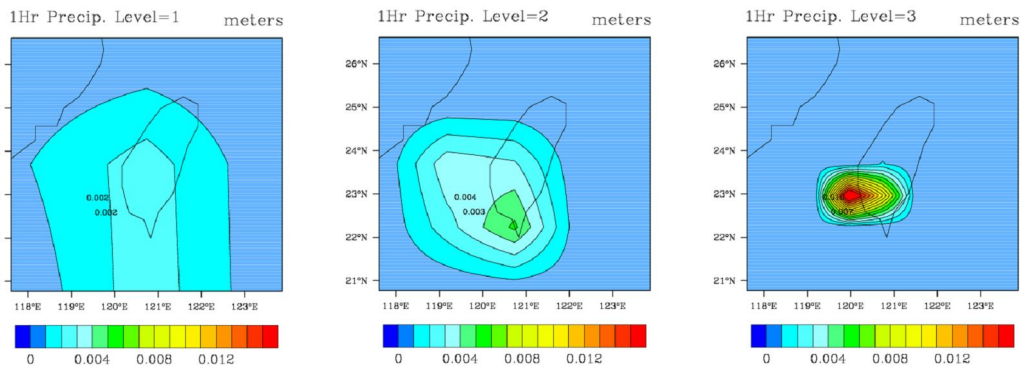
(三) 雨量分析初步結果

此行主要目的並非藉由 **STMAS-2D** 系統進行雨量分析，但 9 月中與資訊中心滕春慈副主任討論之後，便著手測試 **STMAS-2D** 分析雨量之效果，做為未來系統擴大使用的可行性評估。增加此變數的分析，首先發現由於雨量分布極不連續的特性，若是與其他變數作相同的平滑程度設定，會導致在自動雨量站觀測到雨量極大值的區域，分析出來的結果並不會很接近觀測；在 **STMAS-2D** 的計算過程中，控制分析結果平滑程度的是 **stmas_mg.nl** 檔案中的懲罰項 (**penalty**) 參數，此項代表代價函數中二次微分項的係數，故將其調大代表希望分析結果盡可能趨於平滑；原本 **STMAS-2D** 的分析會對所有的氣象變量均採用同 1 個平滑係

數來進行，但由上述的情況可知，不同氣象變量有不同的空間分布特性，因此首先必須更改設定，使其可針對不同的氣象變量可以分別設定平滑項係數，故此設定參數從原本的 `stmas_mg.nl` 檔案中移到 `stmas_mg.vr` 之中，依據不同的分析參數在其後對應的欄位可填入懲罰項參數，供 `STMAS-2D` 讀取。

再者，透過幾次雨量分析的個案比對發現，若是在代價函數中未將背景場誤差項納入，分析結果在台灣近海上局部區域會出現一些降雨，由於海面上並無觀測資料，產生這些與觀測不符合的降雨分析的原因在於，`STMAS-2D` 進行變分分析時，是在多重網格上進行的，進行網格間距較大的最初幾層分析時，因為分析只能解析出較大的波長，因此會將陸地上觀測到的降雨分布擴展至海面上；其後隨著分析層數的增加與網格的加密，陸地上因為有較多的觀測可以分析出短波的情況使結果趨近於實際情況，但海面上無觀測的區域就會產生上述的分析結果(見圖 19)。

此一多重網格分析的特性，原本再針對溫度或風場的分析時，可以藉此將觀測到的現象從長波到短波依序解析出來，但應用在雨量場上，存在著長波現象不明顯大多是短波的特性，因此為了針對這樣的情況做適切的分析控制，於是在 `STMAS-2D` 的參數上新增了開始分析的多重網個層數 (`slevel`) 設定，由於此參數要針對不同變數來設定，故亦新增到 `stmas_mg.vr` 檔案中；經過測試，若是進行雨量分析時，在不考慮引入背景場的情況下，從第 4 層多重網格開始進行分析，即可以有效的消除海面上分析出來的雨量值。



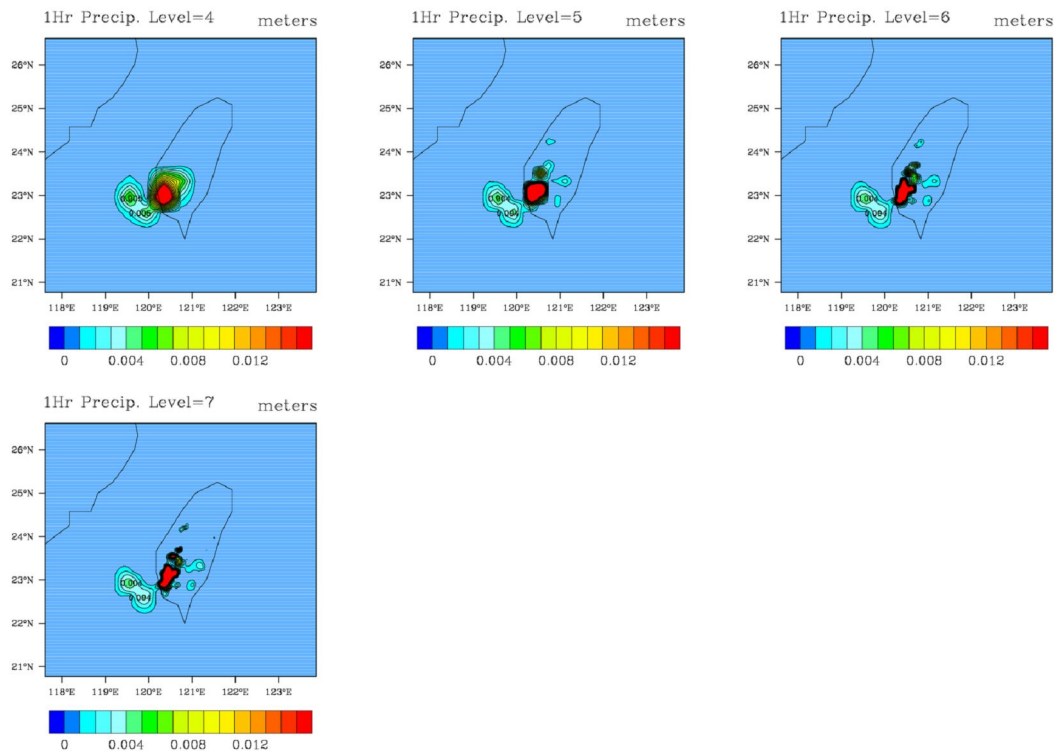


圖 19：雨量分析時網格層解析度逐步增加時，因粗網格解析長波，將陸地上雨量觀測值擴散至海面之情形。

最後，由於雨量場在時間上也有相當離散的特性，譬如午後雷陣雨發生時，前 1 小時雨量極值的位置與下 1 個小時的情況不見得有很好的連續性，以目前時間連續性的分析設定之下，會造成某地區在上 1 個分析時間有觀測到降雨，則下個時刻即使該地區已無觀測到降雨，仍會分析出少量降雨的情況，此結果亦需要針對時間連續性的參數進行調整，以進一步評估雨量分析的效果。

(四) 過去個案重新分析與比對的統計結果

此節主要比對 2008 年 6 月 1 日至 2008 年 7 月 15 日之間重新分析的結果，並與 LAPS 地面分析模組所分析的結果作一比對，比對的方式是以台北、台中、高雄、宜蘭、花蓮、台東 6 個平地局屬測站與玉山 1 個高山站共 7 的站的觀測資料作為基準，計算兩個系統每天 48 筆（半個小時 1 次分析）分析誤差的均方根值，在將這每天的分析誤差均方根對日期作圖，看出兩個系統逐日誤差的變化，並評估兩者差異。比對的變數則是溫度、露點、風場南風分量、風場西風分量 4

個變數。

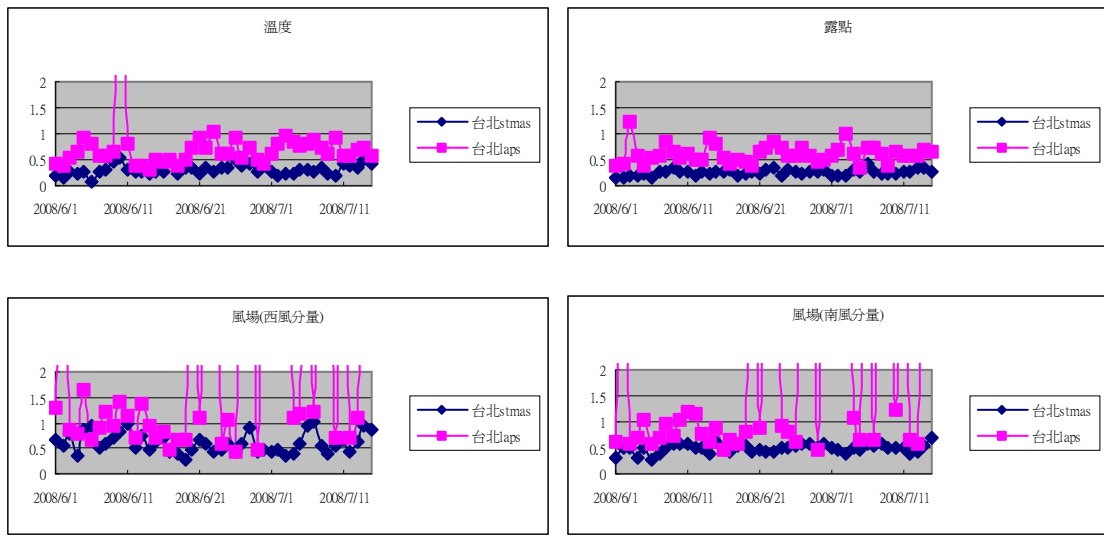


圖 20：台北站 STMAS 與 LAPS 地面模組分析誤差逐日均方根時間序列圖。

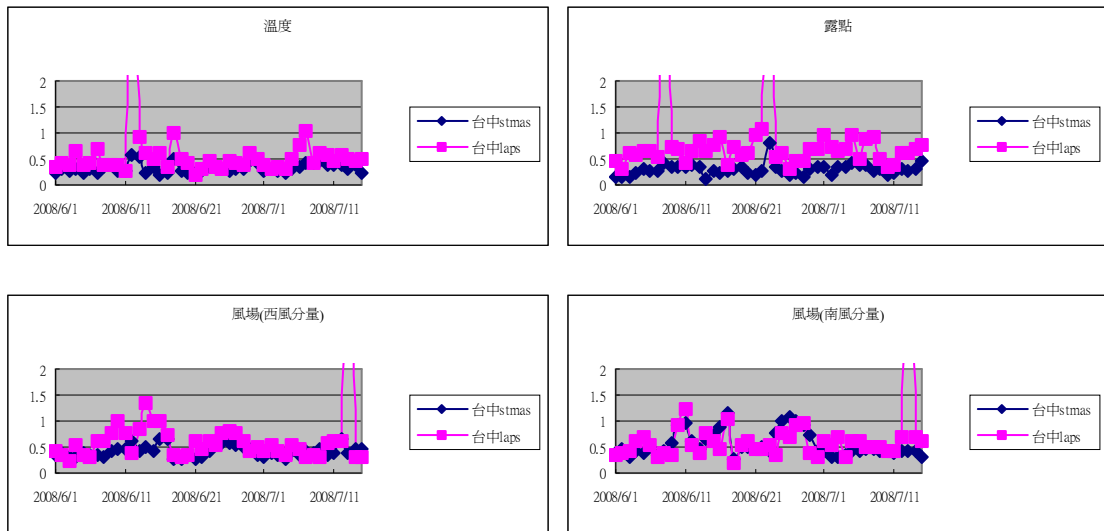
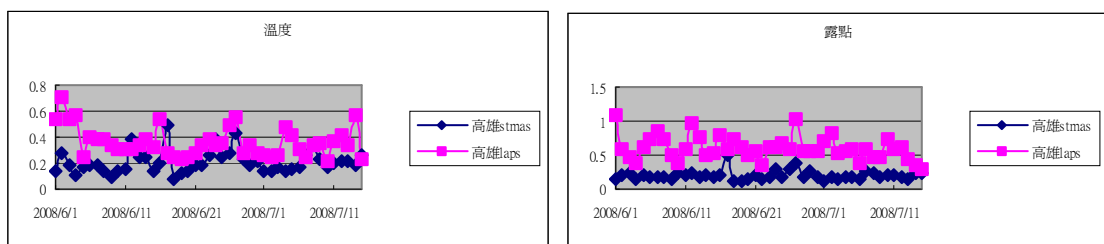


圖 21：台中站 STMAS 與 LAPS 地面模組分析誤差逐日均方根時間序列圖。



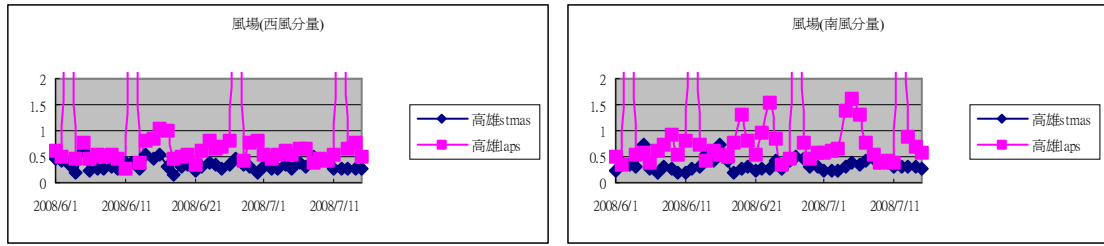


圖 22：高雄站 STMAS 與 LAPS 地面模組分析誤差逐日均方根時間序列圖。

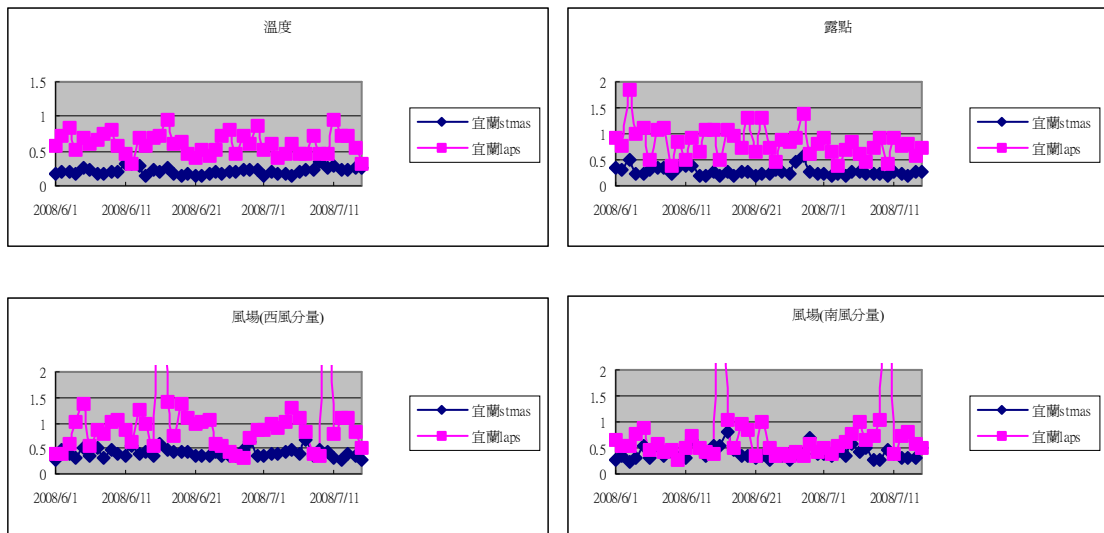


圖 23：宜蘭站 STMAS 與 LAPS 地面模組分析誤差逐日均方根時間序列圖。

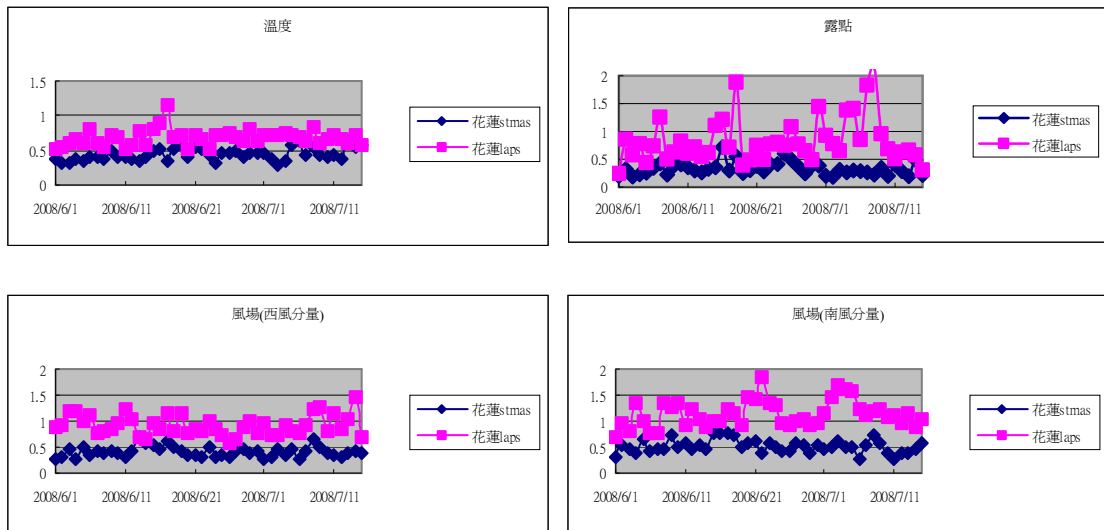


圖 24：花蓮站 STMAS 與 LAPS 地面模組分析誤差逐日均方根時間序列圖。

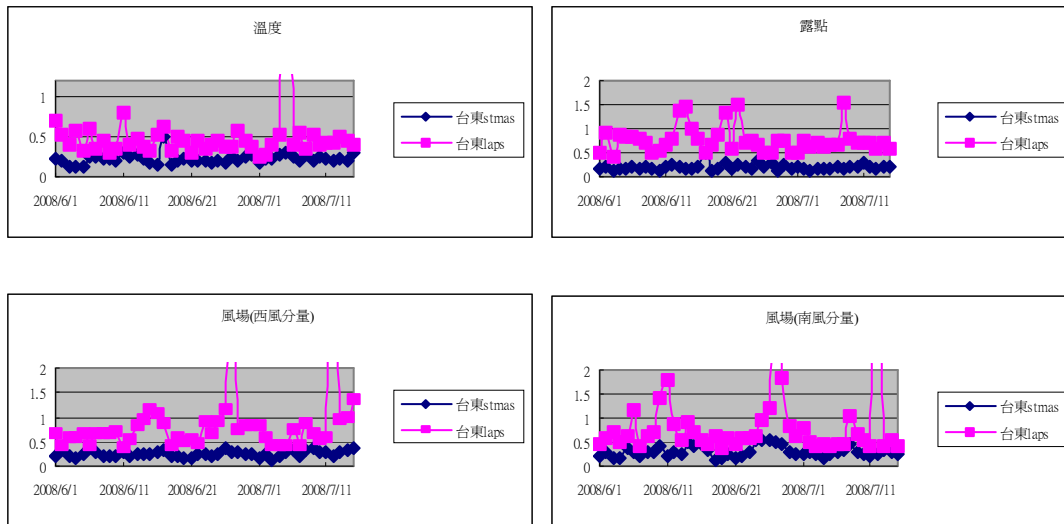


圖 25：台東站 STMAS 與 LAPS 地面模組分析誤差逐日均方根時間序列圖。

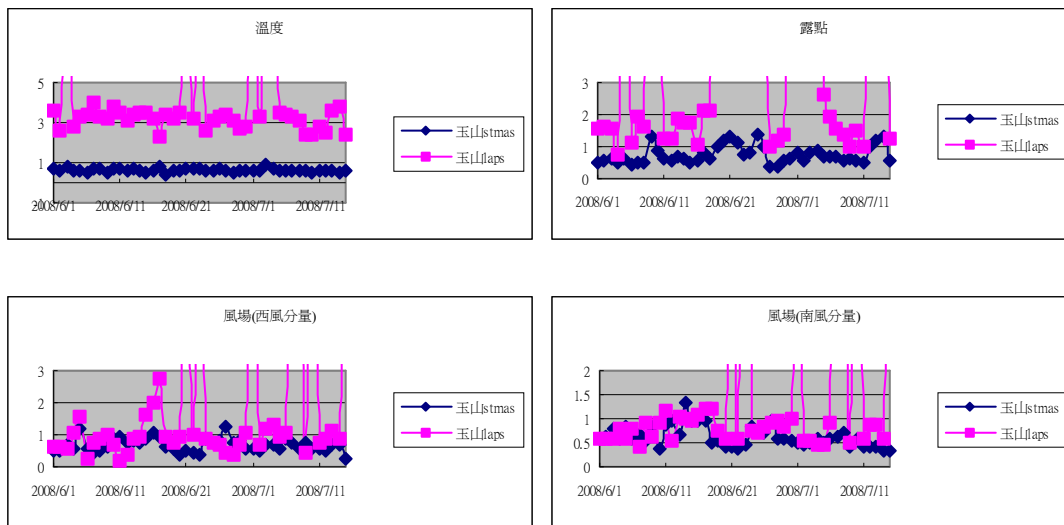


圖 26：玉山站 STMAS 與 LAPS 地面模組分析誤差逐日均方根時間序列圖。

由兩系統的誤差均方根比較（圖 20～26）可以看出，在大部分的測站上，LAPS 地面模組的分析誤差較大，而兩者分析誤差最大的差距會發生在高山地區（玉山站）的溫度分析上，STMAS-2D 的均方根誤差大約在小於 1 度的情況下，LAPS 地面模組的誤差大約在 3 到 4 度左右；此外，也可以發現，STMAS-2D 在各項變數上的分析誤差較穩定，其分析誤差不會因為遇到高山而有放大的情況；

此外，LAPS 地面模組均方根誤差會呈現出大幅跳動的情況，多半是由於其本身資料檢定的過程將某些時刻的觀測資料予以剔除，造成分析結果無法與觀測比對的情況；此情況遇到高山測站尤其明顯。

肆、建議

STMAS-2D 系統在地面分析的效果上，初步評估的結果是優於 LAPS 地面模組的；而透過溫度、露點、風場這些變數在測站位置上分析值與觀測的比對，也證明 STMAS-2D 對於觀測到的現象是具有掌握能力的，尤其在台灣這種地形複雜的情況下，許多短波的觀測結果並不會在分析的過程被平滑掉。未來仍需要持續測試 STMAS-2D 系統各項參數調整與導入的觀測資料品質，以進一步調整出最適合台灣地區天氣特性的分析方式。職有以下建議：

一、以特殊天氣個案評估系統分析能力

目前對於分析結果的評估，僅在測站所在位置的格點上與觀測資料比對，對於沒有觀測資料的格點，也應評估其分析結果是否合理；未來可針對天氣系統影響台灣的特定時間進行分析，藉著天氣系統在台灣地形上移行的過程來評估 STMAS-2D 分析在無觀測資料的區域是否同樣具有掌握天氣特徵的能力。

二、納入更多觀測資料並進行觀測資料的檢定

由前面提到的海陸差異分析可以發現，海面與陸地的差異加熱的確會導致海岸線上存在明顯的溫度對比，經由台灣近岸浮球溫度資料的引入，將可以透過浮球與陸地上觀測的差異將這個尺度較小的現象分析出來，因此未來應該嘗試將浮球資料納入分析。此外，在氣壓分析結果的比對上發現，將一地區各個測站氣壓換算到同一高度面上之後，仍會發現其間會有大小不一的差異，雖然這有可能是小尺度天氣現象的真實情況，但也隱藏著資料可信度的問題，故若能針對各個測站的資料品質進行檢查，分別依據資料可靠度設定分析權重，或是在重新分析的過程中導入資料品質較好的觀測，將可改善分析結果。

三、持續測試系統參數以改善地形問題的處理能力

由於處理不同氣象參數可能要掌握不同波長的現象，並使用不同時空連續性的設定來進行分析，此行在美期間在 **STMAS-2D** 系統上增加了許多可調整的經驗參數，包括觀測影響半徑、多重網格分析起始的層數、以及平滑係數等，未來這些參數需要持續測試，以了解適合台灣地區的經驗值。

四、在分析過程引入動力條件的限制

STMAS-2D 目前版本在分析的過程中，是各個變數獨立分析，因此並未考慮到動力上的平衡與一致性；未來可與美方合作，將不同尺度下的動力平衡條件加到分析過程的限制之中，如此產生的分析結果應能更符合氣象上的一致性。