

# 測站氣壓觀測資料網格化方法與逐時檢核技術

高裕哲<sup>1</sup> 馮智勇<sup>1</sup> 呂致穎<sup>2</sup> 沈里音<sup>2</sup>  
多采科技有限公司<sup>1</sup> 中央氣象局科技中心<sup>2</sup>

## 摘要

本研究發展一套依序計算測站理論氣壓值(Barometric formula)、移除系統性偏差量得校正值，再以克利金法(Kriging technique)內插氣壓觀測與校正值差值之三步驟網格化測站氣壓觀測資料的方式，並且透過遮蔽測站實驗(OSSE)的統計結果完成不確定性評估而可作為氣壓空間檢核所需參考值。氣壓檢核流程除了空間檢核機制外，另有以氣壓時間序列資料計算之時/日變量為基礎而發展具有考量高/低壓系統通過與颱風中心移出後快速回升的時間檢核機制，除可針對氣壓不預期變動提列異常外，也可協助發現如紅石(COS760)自2004/09/09 08時起至2007/08/17 24時長時間資料異常情況。

關鍵字：Barometric formula，Bias remove，Kriging，OSSE，QC

## 一、前言

正確的觀測記錄，可供許多學術或研究單位進行後續分析，但因不正確之觀測記錄可能造成錯誤的推論或作出不可靠的分析結果，故發展有效的資料檢核方法是相當重要的議題。

由於臺灣處於亞熱帶與熱帶交界處，受到低壓系統與高壓系統的影響，如颱風侵臺期間造成的氣壓大幅下降、颱風過境後氣壓短時間內的大幅回升等，故必須設定檢核機制辨識氣壓變化是否為天氣系統所引起或是異常的觀測記錄；本研究針對測站氣壓的檢核流程中，皆先觀察測站的時間序列之氣壓變化情形，如參考前一小時氣壓、前一日氣壓或前幾日之氣壓平均值等，若檢核時間點之測站觀測記錄與其時間序列之行為出現明顯差異，則可能為潛在的異常值，若以測站時序檢驗難以判斷觀測記錄的合理性，則再利用其他測站之觀測記錄以通用克利金法(Universal Kriging，簡稱UK)估計該測站之氣壓值進行判斷，詳細的資料處理方式與檢核流程將本文第二段於進行說明，本文第三段探討此檢核方法之成效，最後則為研究總結與討論。

## 二、研究方法

本研究之測站氣壓檢核流程依序分為時間序列的檢核與空間檢核兩步驟，依步驟又包含數個檢核機制，以下將對檢核機制與其設計邏輯進行說明：

### (一) 時間序列檢核

以測站自身之時間序列所提供之資訊進行之檢驗，包含下列幾個檢核機制：

#### 1. 氣壓值合理的變化範圍

觀察氣壓資料一般無高、低氣壓系統的影響之下，逐時氣壓變化不容易超過3hPa，逐日氣壓變化不容易超過5hPa，故氣壓觀測值與前一小時之氣壓差距小於3hPa或與前一日氣壓差距小於5hPa，將被視為合理的觀測記錄。若檢核時間點、前一小時及前一日之氣壓值分別以  $P_t$ 、 $P_{t-1}$  及  $P_{t-24}$  表示，單位皆為hPa，則滿足  $|P_t - P_{t-1}| < 3$  或  $|P_t - P_{t-24}| < 5$ ，將被視為合理的觀測記錄。

#### 2. 高/低壓系統進入、移出

氣壓變化量可能超出基本門檻，觀察歷史資料，颱風期間可能造成氣壓在幾個小時內持續的下降，但較少出現一個小時內下降超過5hPa的情形，故目前出現檢核時間點的氣壓值小於前一小時氣壓值5hPa以上，將視為異常值。

低壓中心通過後，氣壓快速回升，此時逐時氣壓差可能超過5hPa，將利用時氣壓變化梯度及近期(取前3天至前10天)正常資料平均值輔助判斷是否回復正常值。氣壓差距可表示為  $P_t - P_{t-1} > 5$ ，而為檢驗是否為颱風過境後的氣壓迅速回升，將進行同檢核時間點之時與同前一小時之時的前3天至10天氣壓平均值的計算，可表示如下

$$\bar{P}_t = \frac{1}{8} \sum_{dy=3}^{10} P_{t-(dy*24)} \quad (1)$$

$$\bar{P}_{t-1} = \frac{1}{8} \sum_{dy=3}^{10} P_{t-1-(dy*24)} \quad (2)$$

若同時滿足

$$\bar{P}_{t-1} > P_{t-1} \quad (3)$$

與

$$|P_t - \bar{P}_t| < 5 \quad (4)$$

兩條件，在氣壓短時間內無大幅度上下震盪的情形下，可能顯示氣壓幾個小時內持續下降導致氣壓偏離正常水準，直到檢核時間點氣壓迅速回升至正常水準，故視為颱風侵臺造成的影響而為合理的觀測記錄，否則將再利用空間檢核機制進行確認，其氣壓時序圖可能出現明顯的 V 型。

### 3. 非高/低壓系統影響但氣壓值不在合理範圍內

氣壓無出現如颱風期間的大幅度變化，且不滿足與前一小時或前一日氣壓差距在 3hPa 或 5hPa 以內，則使用檢核時間點前 6 小時之資料建立簡單線性回歸模型，並此模型之斜率估計測站近幾個小時的變化趨勢，判斷檢核時間點的氣壓值是否因幾個小時內的持續增加或持續減少導致該小時氣壓值與前一小時及前一日的差異較大。假設估計變化趨勢之回歸斜率以  $S$  表示，又因氣壓無出現大幅度變化且與前一小時或前一日氣壓不夠接近，表示與前一小時氣壓差距在 3hPa 與 5hPa 之間且與前一日氣壓差距大於 5hPa，即為  $3 < |P_t - P_{t-1}| \leq 5$  且  $|P_t - P_{t-24}| > 5$ ，故可設定一門檻值 5/24 (一日內，24 筆時資料，變化 5hPa) 與趨勢估計值  $S$ ，分下列幾種情形進行檢驗

趨勢為正且檢核時間點的氣壓值大於前一小時氣壓值 3hPa 以上，即  $S > 5/24$  且  $P_t - P_{t-1} > 3$ ，顯示其氣壓幾個小時內穩定的增加，雖不滿足與前一小時或前一日氣壓差距在 3hPa 或 5hPa 以內之條件但仍視為合理的觀測記錄。

趨勢為負且檢核時間點的氣壓值小於前一小時氣壓值 3hPa 以上，即  $S < -(5/24)$  且  $P_t - P_{t-1} < -3$ ，顯示其氣壓幾個小時內持續的下降，雖不滿足與前一小時或前一日氣壓差距在 3hPa 或 5hPa 以內之條件但仍視為合理的觀測記錄。

趨勢為負且檢核時間點的氣壓值大於前一小時氣壓值 3hPa 以上，即  $S < -(5/24)$  且  $P_t - P_{t-1} > 3$ ，顯示其氣壓幾個小時內持續的下降，但檢核時間點的氣壓突然的回升但其幅度不到 5hPa，此狀況類似颱風期間之氣壓變化狀況，故將進行同檢核時間點之時與同前一小時之時的前 3 天至 10 天氣壓平均值的計算，如式(1)與式(2)，檢驗是否滿足式(3)與式(4)兩條件。若不滿足上述之情況，則再利用空間檢核機制進行判斷。

#### (二) 空間檢核

檢核時間點當下，利用其他測站之觀測記錄所提供之資訊進行檢驗，根據本研究測試，利用通用克利金空間內插技術所估計之測站氣壓值與觀測值之

平均誤差較少超過 3hPa，故訂定 3hPa 為門檻值，若氣壓估計值與觀測值差距大於 3hPa 則視為異常值。

計算氣壓理論值  $P_{theory}$ ，再使用通用克利金法估計氣壓理論校正值與觀測值之殘差值  $P_{residual}$ ，即可求得檢核時間點之測站氣壓估計值  $\hat{p}_t = P_{theory} + P_{residual}$ ，以下進行氣壓估計值計算之說明。

令重力加速度  $g \approx 9.81 m/s^2$ 、氣體常數  $R = 8.314 J / m o K$ ，分子量  $M = 0.0288 kg/mol$ ，並以測站絕對溫度 ( $T$ ) 及其高度 ( $h$ ) 與緯度 ( $lat$ ) 資料估算下式之回歸係數

$$T = b_0 + b_h h + b_y lat \quad (5)$$

利用上述常數  $g, R, M$ 、回歸係數  $b_0, b_h, b_y$  以及測站緯度  $lat$  代入氣壓理論值公式如下式，即可求得氣壓理論值

$$P_{theory} = P_0 \left( \frac{E + L \cdot lat}{E + Fh + L \cdot lat} \right)^{1/F} \quad (6)$$

其中， $E = Rb_0/Mg$ ； $F = Rb_h/Mg$ ； $L = Rb_y/Mg$ ， $P_0$  為海平面平均氣壓，取海拔 500 公尺以下的測站氣壓對測站高度的資料以簡單線性回歸之斜率進行估計。

氣壓殘差估計值  $P_{residual}$  利用通用克利金法進行估算，根據殘差資料進行的結構分析、最佳線性不偏估計，以及本研究之分析認為氣壓殘差值有隨經度 ( $lon$ ) 與緯度 ( $lat$ ) 變化的線性趨勢等原則，再利用拉格朗日乘子  $v_1, v_2, v_3$ ，結合 3 個不偏估條件式，得到下列  $n + 3$  組聯立方程式

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot cov(d_{ij}) + v_1 + v_2 lon_i + v_3 lat_i = cov(d_{i0}) \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \& \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i lon_i = lon_0 \quad \& \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i lat_i = lat_0 \end{cases} \quad (7)$$

解  $n + 3$  個未知數  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, v_1, v_2, v_3$ ，其中  $d_{ij}$  為測站  $i, j$  之距離； $lon_i$ 、 $lat_i$  分別為測站  $i$  之高度與緯度； $\lambda_i$  為測站  $i$  之權重係數，則氣壓殘差估計值為

$$P_{residual} = \sum_{i=1}^n \lambda_i P_{residual,i} \quad (8)$$

因此，得到檢核時間點的氣壓估計值為式(6)與式(8)的和

$$\hat{p} = P_{theory} + P_{residual} \quad (9)$$

利用上述時間序列、空間檢核邏輯建構氣壓檢核流程，分為氣壓檢核時間點前一小時被判斷為正常、異常或無觀測三種情況，而不論何種情況，皆先觀察氣壓觀測值與其時間序列之行為是否出現明顯差異，如觀察前一小時氣壓、前一日氣壓或前幾日之氣壓平均值等，若依測站時間序列之行為無法判別觀測記錄是否合理，再以空間檢核方式進行檢驗，完整流程如附圖1，說明如下：

#### (一) 前一小時為正常

1. 若檢核時間點之氣壓與前一小時氣壓差距5hPa以上，則進入2.，否則進入4.；
2. 若檢核時間點之氣壓低於前一小時氣壓5hpa，則判定為異常值，否則進入3.；
3. 若檢核時間點之氣壓高於前一小時氣壓5hpa，將進行同檢核時間點之時與同前一小時之時的前3天至10天氣壓平均值的計算，若同時滿足 $\bar{P}_{t-1} > P_{t-1}$ 與 $|P_t - \bar{P}_t| < 5$ ，則判斷其為颱風時期的壓力回升，否則進入空間檢核機制進行檢驗，即進入7.；
4. 檢核時間點之氣壓分別與前一小時氣壓、前一日氣壓之差距，若滿足 $|P_t - P_{t-1}| < 3$ 或 $|P_t - P_{t-24}| < 5$ ，則視為合理的觀測值，否則進入5.；
5. 進入此檢核機制，表示與前一小時氣壓差距在3hPa與5hPa之間且與前一日氣壓差距大於5hPa，將以前6小時的觀測記錄計算回歸斜率S估計氣壓變化趨勢，若滿足 $S > 5/24$ 且 $P_t - P_{t-1} > 3$ ，則視為合理的觀測值；若滿足 $S < -(5/24)$ 且 $P_t - P_{t-1} < -3$ ，則視為合理的觀測值；若滿足 $S < -(5/24)$ 且 $P_t - P_{t-1} > 3$ ，則進入6.；若不滿足上述任一情形，則進入空間檢核機制進行檢驗，即進入7.；
6. 將進行同檢核時間點之時與同前一小時之時的前3天至10天氣壓平均值的計算，若同時滿足 $\bar{P}_{t-1} > P_{t-1}$ 與 $|P_t - \bar{P}_t| < 5$ ，則判斷其為颱風時期的壓力回升，否則進入空間檢核機制進行檢驗，即進入7.；
7. 空間檢核機制，計算氣壓估計值 $\hat{p}_t$ ，若 $|\hat{P}_t - P_t| \leq 3$ ，則視為合理觀測記錄，否則視為異常值；

#### (二) 前一小時為異常

觀察前一日氣壓值及前三日至十日之氣壓平均值差距，若皆大於5hPa，顯示該時間點之觀測記錄與其近期之氣壓值有較大的差異，故再以空間檢核進行檢驗，以該時間點之觀測記錄與其估計值之差距是否大於3hPa判定是否回復正常的氣壓值或仍是異常氣壓值。

#### (三) 前一小時無觀測

因無前一小時之資料，故直接與前一日氣壓進行比較，若前一日氣壓仍無觀測或無法判斷其合理性，將進入空間檢核機制進行檢驗。

### 三、結果分析

本研究以局屬測站(包含人工站、自動站共83站，見附錄)，2003年1月1日到2014年12月31日的逐時氣壓觀測資料進行資料品質檢核，檢測出65個測站，總計27,742筆潛在異常值。以下將列舉數個案例探討核方法的檢測能力：

紅石(C0S760)測站共有24,536筆錯誤資料，筆數明顯較多，該站在2004年9月9日09時一直到2007年10月9日11時之間，共產生了24,532筆錯誤資料，如附圖2，該段時間的氣壓資料和前後段資料相比有明顯偏差，可能為異常值。

馬頭山(C0M410)測站在2004年9月13日15時至9月17日11時連續檢測出了94筆錯誤，如附圖3，該段錯誤資料與前後段資料明顯不連續且氣壓值在970hPa與950hPa間來回震盪多次，可能為異常值。

板橋(466880)測站在2006年12月3日01時至2006年12月3日18時連續檢出18筆錯誤資料，如附圖4(a)，觀察發現開始錯誤的第一個時間點氣壓異常升高，從1022.1hPa升至1029.2hPa，該段時間台灣上空的天氣系統應為冷高壓，出現較大氣壓梯度的可能性較小，觀察鄰近的台北站氣壓值，如附圖4(a)，也未見到如同板橋站的氣壓異常升高，故板橋站此段時間之關測記錄可能為異常值。

蘇澳(467060)測站在2008年9月13日23時至9月24日01時被檢測出錯誤，繪製成時間序列，如圖5(a)並比對錯誤資料後發現13日23時的錯誤是因為04時觀測值為974.2hPa，和前一小時觀測值980.4hPa相比氣壓降幅為6.2hPa超過5hPa，且和克利金估計值978.1相比差距為3.9hPa，超過3hPa，故被檢出錯誤，而23日24時與24日01時的錯誤為因23日23時為錯誤資料，且觀測值(23日24時為968.1hPa、24日01時為967.5hPa)與克利金估計值(23日24時為974.9hPa、24日01時為973.3hPa)差距皆大於3hPa，故被判斷為錯誤。觀察鄰近宜蘭(467080)測站，發現在該段時間內有類似的氣壓變化趨勢，但宜蘭測站23日23時的觀測值981.1hPa和前一小時點觀測值985.4hPa，逐時氣壓差為-4.2hPa，且斜率為-0.5，符合遞減規則，故無檢出錯誤。當時為辛樂克颱風過境期間，判斷蘇澳測站氣壓變化情形合理，為流程所誤判。

### 四、總結與討論

目前以人工檢核的848筆錯誤資料中，檢核流程誤判的筆數有463筆，而檢出錯誤的有385筆，誤判率為54.6%，正確率為45.4%。

目前的流程中最後一步，皆以克利金法利用檢核時間點之氣壓觀測值空間內插，估計測站的氣壓並以此估計值進行檢核，估計值與觀測值差距大於3hPa則標記為錯誤值。但因某些測站並無進行克利金估計值與觀測值之系統性偏差的估計，如曾文(C00810)測站共檢出864個錯誤值，而其中有809個錯誤值和該時間點克利金估計值的差距在5hPa以內，此為該站應存在未移除的系統性偏差所致。除了曾文站之外，發現某些標記為錯誤值的資料，其前一小時的觀測資料為缺值，本次檢核的流程中若該時間點前一小時為缺值，則僅會檢核和前1日同時間相比的差距以及空間檢核，若為天氣系統移入且克利金估計值存在系統性偏差，則較容易產生誤判。往後檢核流程的測試中，除了重新計算各站的系統性偏差外，希望能調整或增加判斷天氣系統移入的方法或修正空間檢核的門檻，降低誤判率。

C0A980	社子
C0A990	大崙尾山
C0A9A0	大直
C0A9B0	石碑
C0A9C0	天母
C0A9E0	士林
C0A9F0	內湖
C0A9G0	南港

C0A930	三和
C0A9D0	永和
C0A9H0	信義
C0A9I0	三重
C0T840	新城
C0Z060	玉里
467410	臺南

## 五、附錄

ID	Name	ID	Name
466900	淡水	C0M410	馬頭山
466920	臺北	C0O810	曾文
467490	臺中	C0O900	善化
466940	基隆	C0O910	新營
466990	花蓮	C0O930	玉井
467660	臺東	C0R280	檳榔
467590	恆春	C0R350	貓鼻頭
467440	高雄	C0R360	墾丁
467080	宜蘭	C0R370	佳樂水
467610	成功	C0R380	枋寮
467540	大武	C0R400	楓港
466910	鞍部	C0R420	牡丹池
466930	竹子湖	C0S680	紅葉山
467650	日月潭	C0S690	太麻里
467530	阿里山	C0S700	知本
467550	玉山	C0S710	鹿野
467480	嘉義	C0S740	池上
467770	梧棲	C0S750	向陽
467060	蘇澳	C0S760	紅石
467571	新竹	C0S770	大溪山
467420	永康	C0T820	天祥
466880	板橋	C0T870	鯉魚潭
467780	七股	C0T960	光復
466850	五分山雷達站	C0T9A0	月眉山
A0A9MA	新店	C0T9B0	水源
A0C54A	拉拉山	C0T9M0	靜浦
D2F23A	武陵	COU600	礁溪
A0Z08A	合歡山	COU640	羅東
A0T78A	太魯閣	COU650	玉蘭
A0G72A	章銜大	COU710	太平山
C0A920	富貴角	COU730	思源
C0A940	金山	COV150	表湖
C0A950	鼻頭角	COZ050	佳心
C0A970	三貂角	COZ070	舞鶴

## 六、附圖

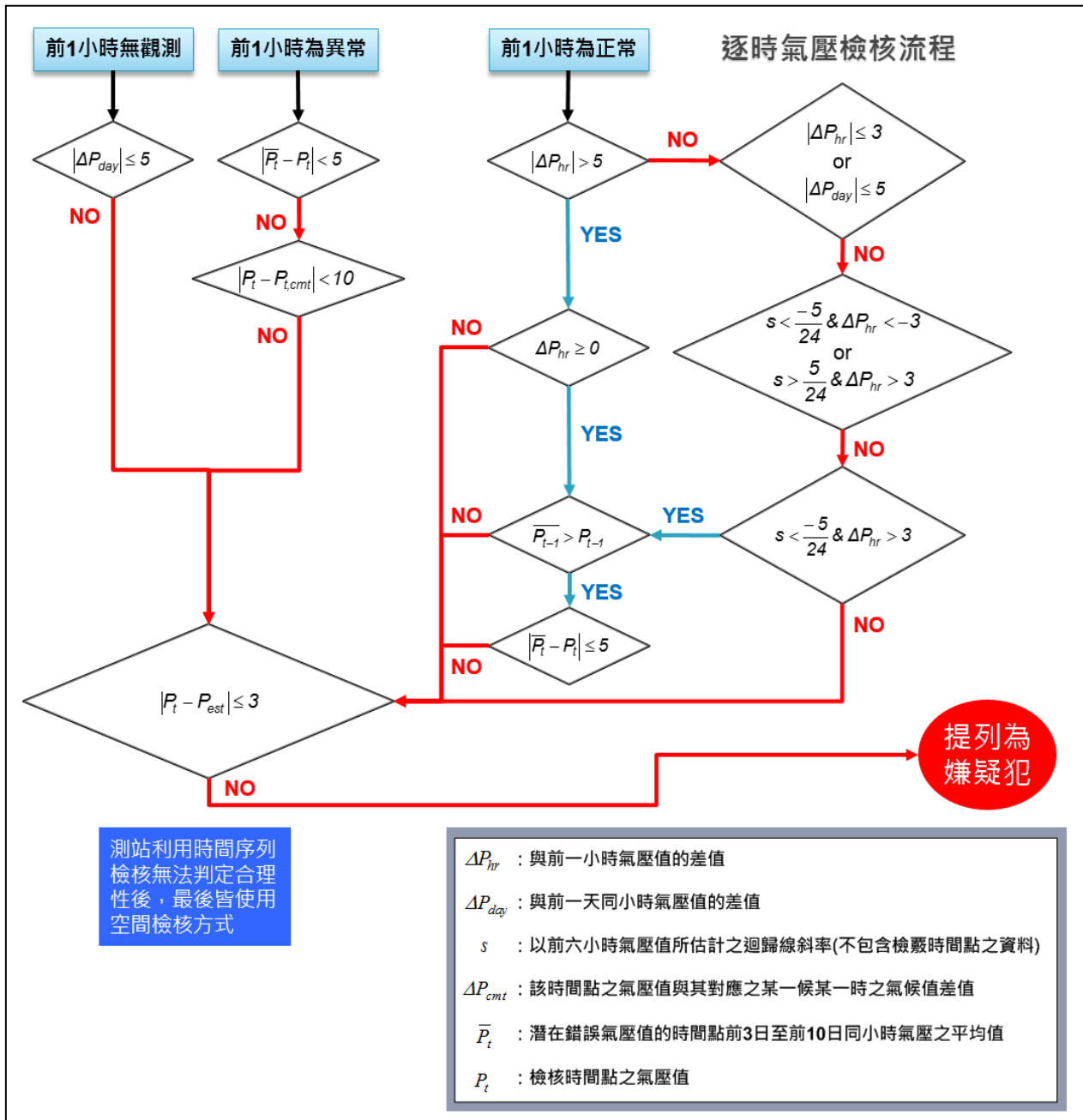


圖 1 氣壓檢核流程圖

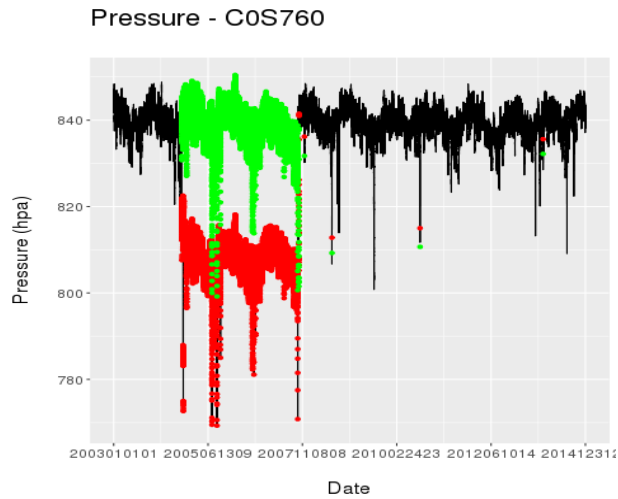


圖 2 紅石(C0S760)測站的總時間序列，紅點代表資料檢核出的錯誤資料，綠點代表克利金的估計值

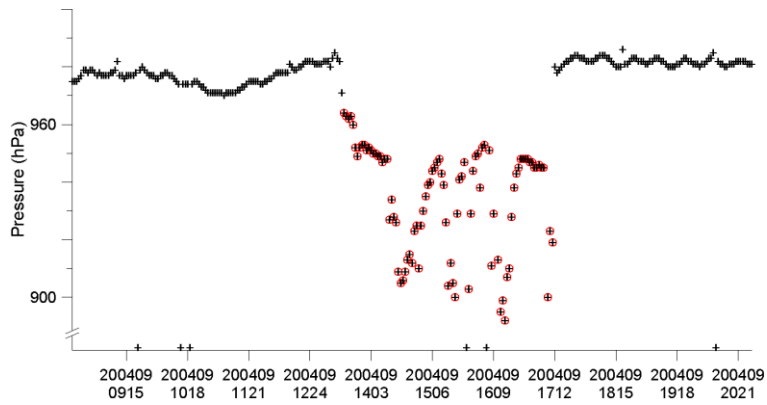


圖 3 馬頭山(C0M410)測站氣壓時間序列，紅點代表檢核出錯誤的資料；黑點代表測站氣壓時間序列

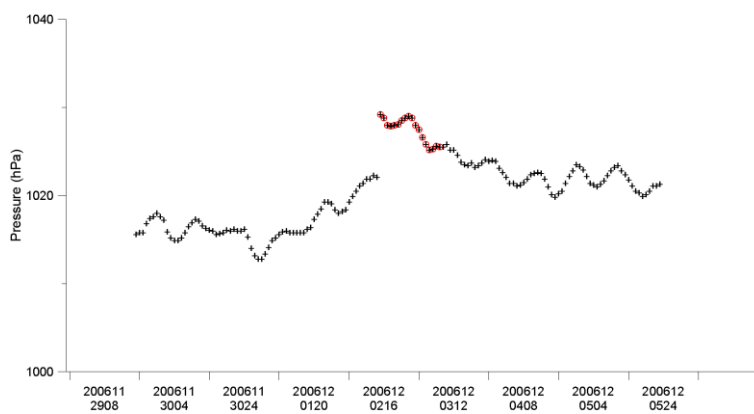


圖 4 (a)板橋(466880)測站氣壓時間序列，紅點代表檢核出錯誤的資料；黑點代表測站氣壓時間序列

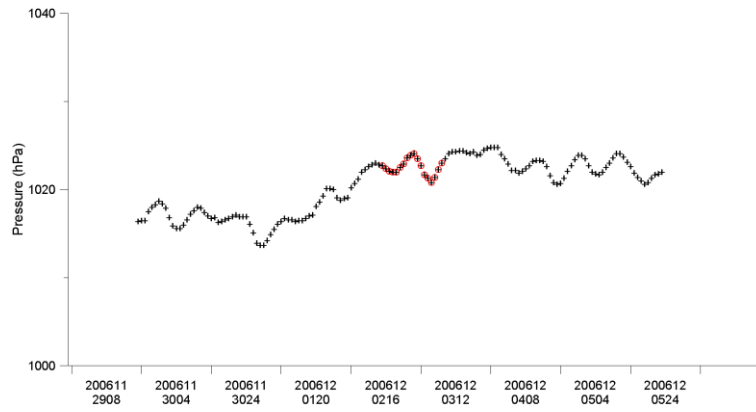


圖 4 (b)台北(466920)測站氣壓時間序列，黑點代表測站氣壓時間序列，紅點代表台北站在板橋站檢出錯誤時的氣壓值

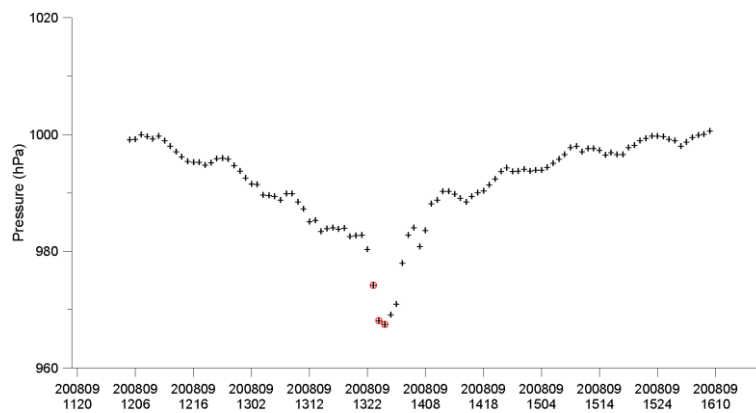


圖 5(a)蘇澳(467060)測站氣壓時間序列，紅點代表檢核出錯誤的資料，黑點代表測站氣壓時間序列

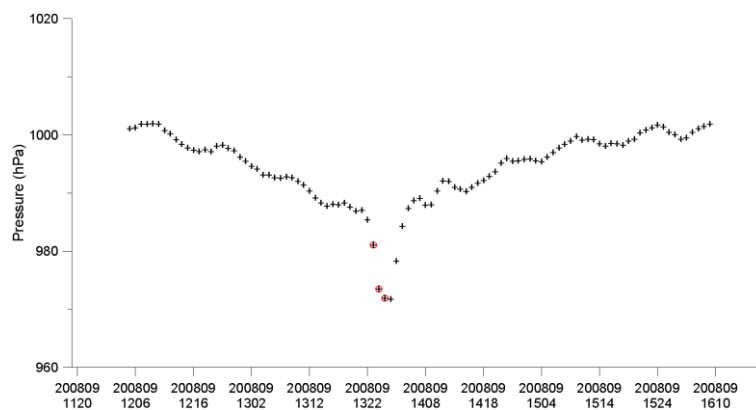


圖 5(b)宜蘭(467080)測站氣壓時間序列，黑點代表測站氣壓時間序列，紅點代表和蘇澳站相同錯誤時間的資料

