

摘要

台灣為一地震活躍的地區。為了有效監測地震的發生，中央氣象局設置了新一代之地震觀測系統。此一系統為一低雜訊的井下監測系統，可以有效的避免地震訊號受地表環境的干擾，提升地震定位的精確度、增進地震測報的效能。為了促使此觀測系統之有效運作，本研究將針對井下監測站與地表站之走時差做分析，並探討井下地震儀之方位角校準。

在方位角修正上，可採用的方式包括：一、透過計算P波質點運動方向的特徵值及特徵向量值，推估地震儀方位角對於地理座標正北方的修正量。再藉由地震事件到測站之後方位角的估計，我們可以推估出各地震儀的方位角修正量。透過此法，井下地震儀的修正將不需要任何地表參考站，而可以獨力完成方位角之校正；二、則透過地表參考站，以交叉相關比對(Cross-correlation)地表站與井下站之地震訊號完成井下地震儀之方位角校正。本研究針對2012年2月的20個測站做分析後，顯示大部份的儀器都不需要做方位角修正。但HWA和SLG，則分別在井下加速度站(HLX.02)需有213°及165°的旋轉角度修正量。TTN站因地表站的訊號受到淺層場址影響，利用交叉相關比對法所估計的修正角度誤差較大。而採用後方位角-特徵值校準法同時修正2月及6月的地震事件後，明顯顯示該測站的方位角不需校準。WLCH站同樣因地表站訊號較為複雜，利用兩種方法分析2月份之地震事件所得的校準角度差異量大，無法確認正確的校準角度，因此另外採用6月份波形訊號良好之地震事件，以後方位角-特徵值法校準，結果顯示該方位角為正確的，不需另作修正，與觀測上所得的結果一致。

因此，建議在採用波形交叉相關比對法時，應採用清楚可辨視之波相使用。例如，較大地震事件(>ML5)的訊號其地表站的訊號訊噪比高，此時可用波形交叉相關比對法完成井下儀器的方位角修正。另外，若地表的淺層場址效應對波形產生影響，此時可能會造成交叉相關比對法的修正誤差。故本研究建議在地表站訊號的訊噪比低或明顯受到場址效應影響，以及無地表參考站資料可用的情況下，使用後方位角-特徵值校準法完成方位角修正為比較好的選項。

在2月份資料的走時差分析上，大部分觀測站的走時差皆相當穩定，井下加速度儀比井下寬頻慢約0.1秒，而井上加速度儀比井下寬頻慢約0.1至0.3秒的區間，此外，井上加速度儀比井下加速度儀慢約0.1至0.2秒的時間。我們另外採用6月份之地震事件針對TTN及WLCH站做走時分析，結果也與上述一致。

研究方法

研究方法一：後方位角-特徵值修正法

假設一地震儀，其正確的方位角未知，在未修正前的垂直、南北和東西方向上的波形向量為 $A=[Z, H1, H2]$ (圖一)。而壓縮波(P-wave)主要的能量來源為R方向，若能找到H1和R的夾角D，則利用震央到測站間的后方位角P(back-azimuth)，我們可以得知該地震儀方位角的修正向量(-P-D)。

角度D的估計方式有兩種，第一，尋找未修正前南北和東西向震幅比值

$$R=H1/H2$$

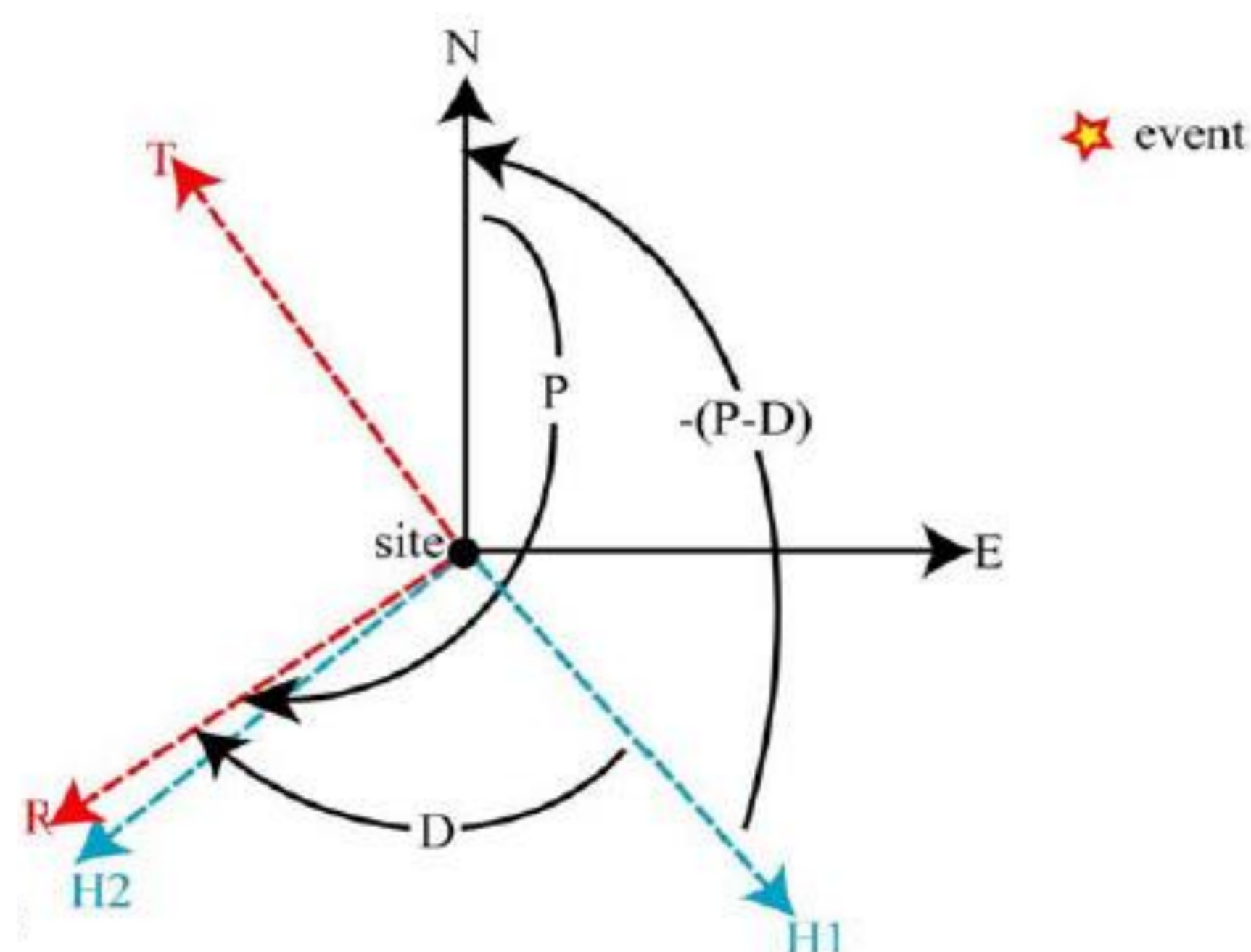
，R為最大值的旋轉角度即為D；第二，則為尋找各質點運動的特徵值(eigenvalue)及特徵向量(eigenvector)，對於三分量的波形資料

$$A=[Z, H1, H2]$$

求解

$$M=<AT^*A>$$

的特徵值及特徵向量，而有較大特徵值的特徵向量即為角度D。由於利用特徵向量所計算出的方位角D，並無法辨別180度角相差的能量來源，因此，在水平分量的資料旋轉D的角度後，我們必須要加入最後一個判斷式「假若，未修正前南北向和垂直向的能量乘積總和(sum(Hi*Zi))小於0」則旋轉方向要再做180度的翻轉。如此一來，後方位角P和D的差值(-P-D)即為地震儀的修正角度。



圖一 方位角修正示意圖(林, 2009)

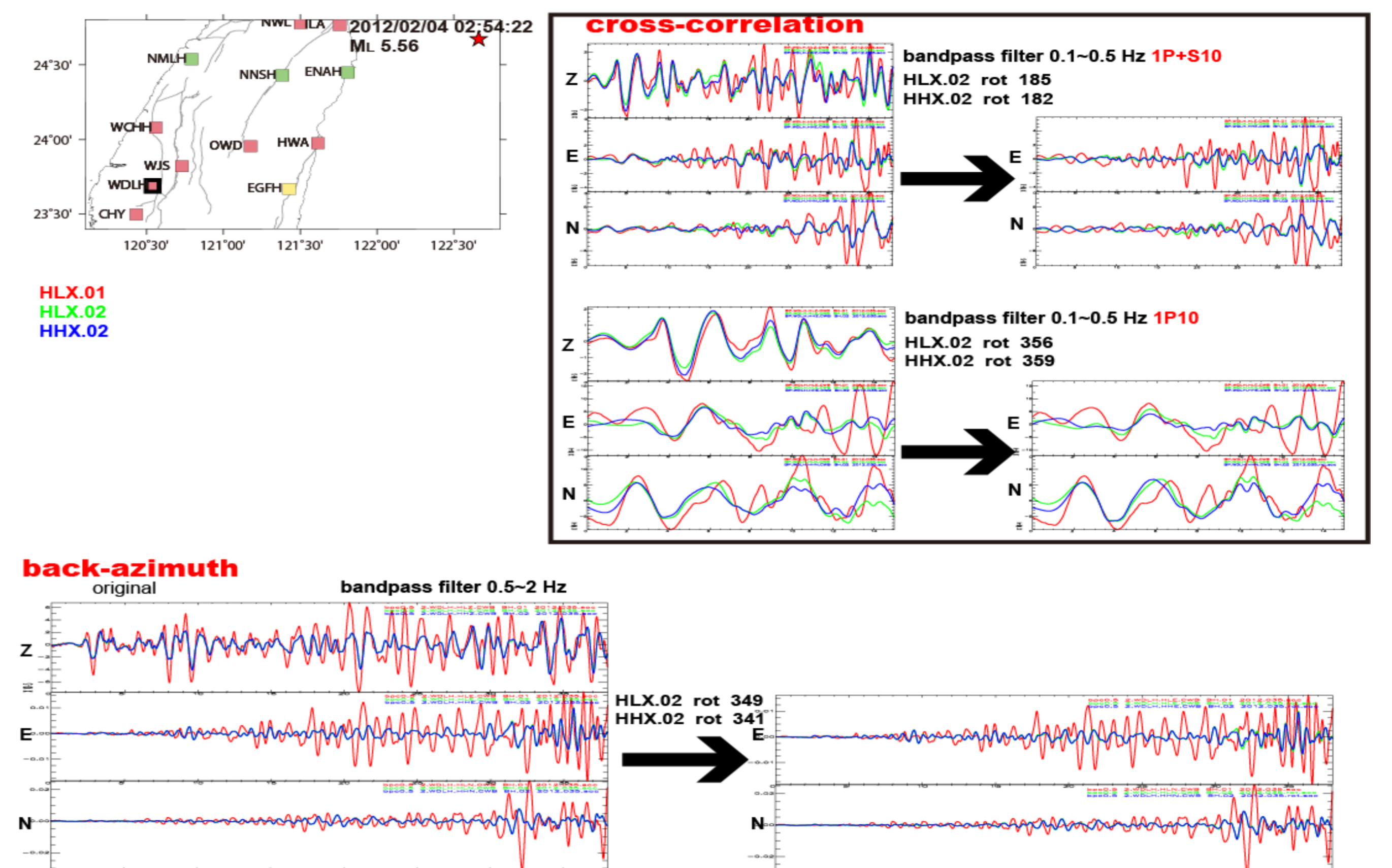
研究方法二：交叉相關比對法

假設地表站與井下站之訊號分別為函數x及h，則利用以下之數學關係式，

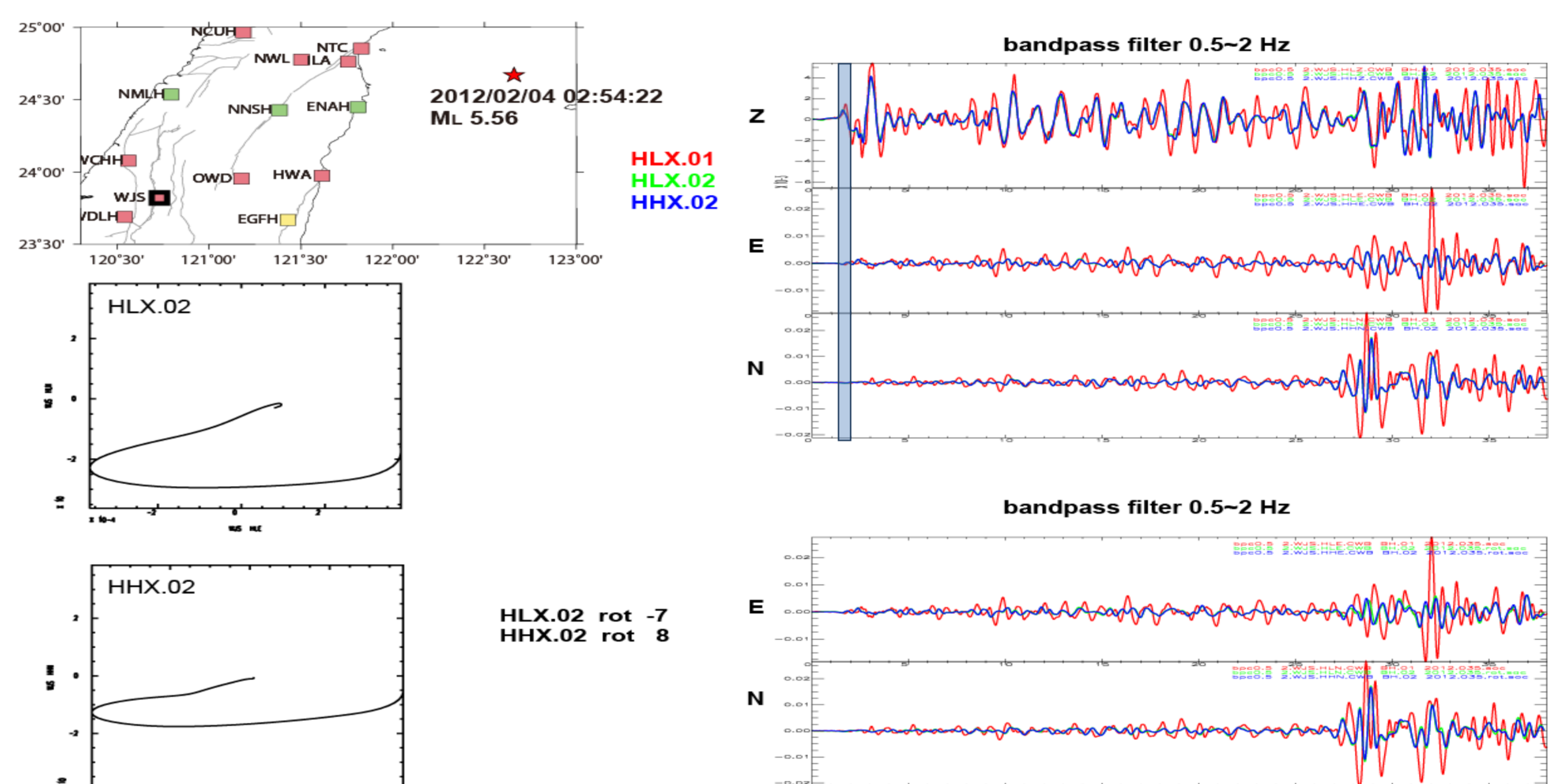
$$z(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t+\tau)d\tau$$

逐一計算，在不同旋轉角度下，兩個波形之間的相關係數。其中，相關係數最大的旋轉角度則為井下地震儀方位角的旋轉修正量。在此分析法中，我們同時考慮兩個水平分量(E、N)的波形與地表站各水平分量波形的相似度來決定最適當的修正角度。

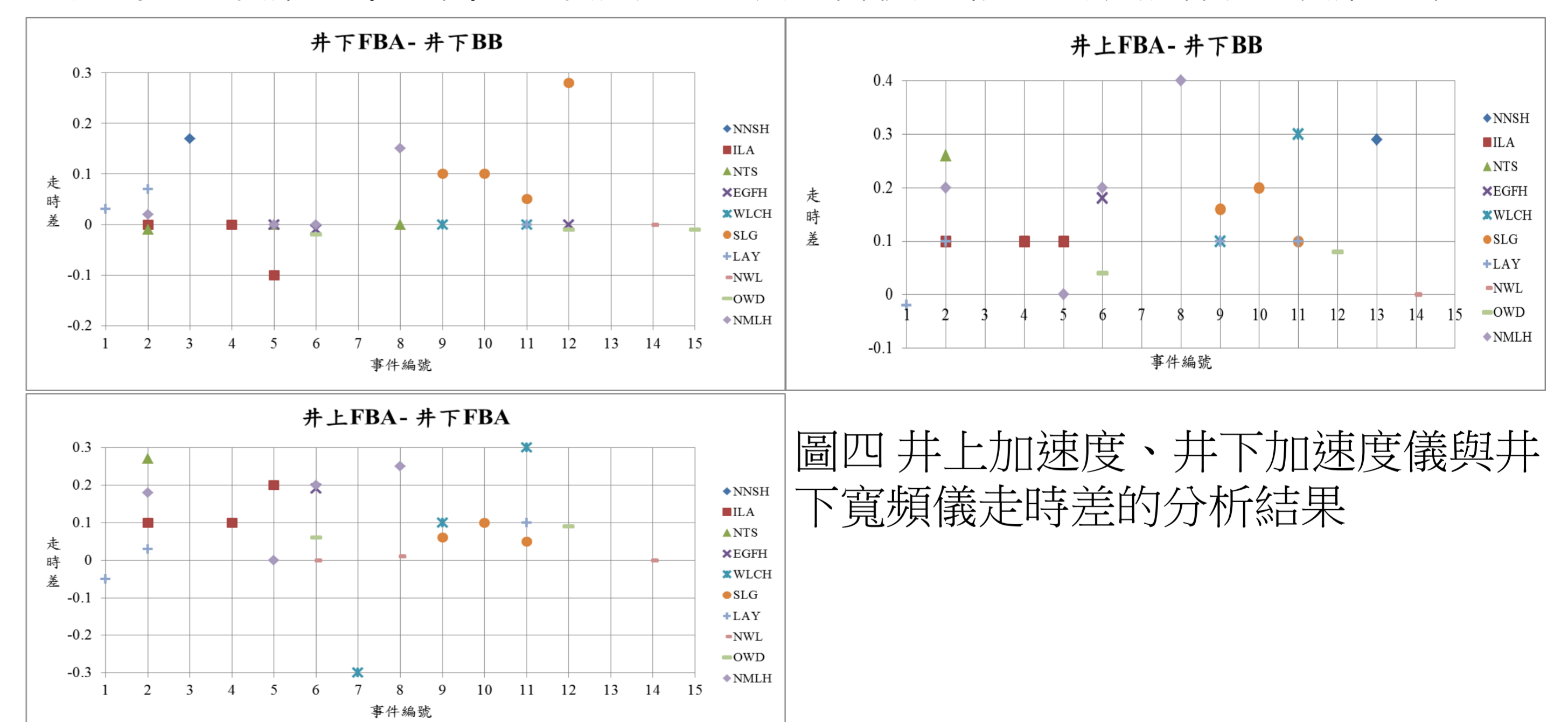
結果與討論



圖二 WDLH之方位角修正範例，(左上) 2012/2/4 ML5.56之事件震央位置與WDLH測站位置分佈圖；以交叉相關比對法(右上)及後方位角-特徵值法(下)所得的井下加速度(HLX.02，綠色)、井下寬頻(HHX.02，藍色)與地表站(HLX.01，紅色)的速度型P波波比較圖。



圖三 WJS之Cross-Correlation方位角修正範例，2012年2/4 ML5.56在WJS站所收到的波形資料。(左上)震央位置；(左下)井下加速度(HLX.02)、井下寬頻(HHX.02)地震儀的P波質點運動；(右上)地表站(HLX.01)、井下加速度(HLX.02)及寬頻站(HHX.02)的原始速度型波形在三個分量(E、N、Z)的比較，紅色、綠色、藍色分別代表地表站(HLX.01)、井下加速度(HLX.02)及寬頻站(HHX.02)的速度型波形；(右下)經P波質點運動分析後，修正方角所得之波形比較。



圖四 井上加速度、井下加速度儀與井下寬頻儀走時差的分析結果

利用後方位角-特徵值校準法，可分別獨立評估各測站方位角的正確性及校準值，但校準角度可能約有正負10度的誤差量。因此，建議在使用此方法時，多採用不同方位的地震事件所估計的方位角修正角度，然後加以取平均值，如此可降低採用單一地震事件所獲得的修正量之誤差。而採用波形交叉相關比對法所得的結果和後方位角-特徵值校準法的結果相似。在採用波形交叉相關比對法時，建議採用清楚可辨視之波相使用。例如，較大地震事件(>ML5)的訊號，因地表站的訊號訊噪比高，此時可用波形交叉相關比對法完成井下儀器的方位角修正。另外，若地表的淺層場址效應對地表站的波形產生影響，此時可能會造成交叉相關比對法的修正誤差。因此，若地表站訊號的訊噪比低或明顯受到場址效應影響，或是無地表參考站資料可用的情況下，建議使用後方位角-特徵值校準法完成方位角修正。

走時差分析結果顯示，大部分的觀測站走時差都相當穩定，井下加速度儀比井下寬頻慢約0.1秒，而井上加速度儀比井下寬頻慢約0.1至0.3秒的區間，此外，井上加速度儀比井下加速度儀慢約0.1至0.2秒的時間。但ILA的井下加速度儀可能要再加以確認走時紀錄。

參考文獻

林彥宇，馬國鳳，TCDP井下地震儀之觀測與微地震尺度分析，國立中央大學地球物理研究所碩士論文，2009。