

# 取樣期間對資料浮標波浪觀測之影響

林演斌<sup>1</sup>      陳聖學<sup>1</sup>      滕春慈<sup>2</sup>      林燕璋<sup>2</sup>  
國立成功大學近海水文中心<sup>1</sup>      中央氣象局海象測報中心<sup>2</sup>

## 摘 要

即時波浪觀測資料對於掌握海況與預測波浪至關重要，然而波浪觀測數據受到選用的儀器、取樣方式與分析方法等因子影響，值得探討。本研究固定儀器與分析方法兩因子，利用氣象局資料浮標觀測的波浪原始數據，在頻率域選取512秒與1,024秒期間的原始數據，而在時間域選取256秒與512秒期間的原始數據，探討波浪統計代表值之異同，藉以瞭解取樣期間長短對於資料浮標分析結果之影響。

關鍵字：資料浮標、波高、週期、波向、波譜、波浪統計代表值

## 一、前言

海洋結構物的設計需波浪等資料，收集長期的資料，可作為分析設計波高之依據。此外，海上各種活動包含航行、遊憩、漁撈與軍事等，皆需要實測波浪資料。此外，對於預防或減緩颱風所引起的災害，實測與預測的波浪資料更是不可或缺，而其中預測波浪資料又需實測波浪資料校驗，可見實測波浪資料之重要性。而就提供實測波浪資料的觀測工具而言，不論是在國外或國內，資料浮標均佔多數，除此之外，也有使用觀測樁與底碇式儀器等。

波浪觀測數據受到選用的儀器、取樣方式與分析方法等因子影響，值得探討。Bitner-gregersen and Magnusson (2014)指出，為準確地應用波浪觀測資料，需考慮取樣變異(sampling variability)對資料數值的影響，並指出理想上應連續觀測，以消除取樣變異之影響。然而實際觀測因設備速度不足與耗電量太高等因素，而難以達成，因此仍需採取不連續的觀測。Bouws et al. (1998)指出，最佳取樣期間主要需考慮取樣標的在統計上的穩定性(stationary)，而另一方面，亦需考慮降低統計上的分散性(scatter)，因此認為波浪原始紀錄至少需包含200個波，最佳的取樣期間為15~35 min。此外，Wesson Vizcaino (2011)建議波浪原始紀錄至少需包含100個波，若以平均週期8 s計算，則需13~14 min的取樣期間。而中央氣象局作業化資料浮標採用10-min取樣期間，較前述為短，原因可能是設計時考慮電力因素，此取樣期間相較於20 min的取樣期間，雖更能符合Bouws et al. (1998)所言統計上的穩定性，但是在統計代表性方面，10-min波浪統計代表值能否完全代表20-min波浪統計代表值，則尚未被探討。

有鑑於此，本文目的為分析資料浮標在頻率域與時間域的波浪統計代表值，瞭解不同的取樣期間是否造成數值上的偏差，以作為在引用資料浮標觀測波浪資料的參考，亦可作為日後持續開發設計資料浮標之參考依據。

Bitner-gregersen and Magnusson (2014)以北海實測與模式預測的波浪資料分析兩組波浪儀實測資料的相關性，分別以17.5 min與1 h的原始紀錄分析兩波浪儀的示性波高，發現兩波浪儀實測資料之相關性，在兩種取樣期間下互有不同，17.5-min散布圖的資料點較1-h分散，由此可看出取樣期間對示性波高數值有影響。該文並以零切法(zero-crossing)分別分析wave rider實測的20-min與60-min原始紀錄，發現20-min取樣期間，示性波高與平均週期的變異均較60-min取樣期間為大，且變異的幅度隨著60-min取樣期間的示性波高變大而增大。

在時間域，最大波高與三分之一波高的比值亦受取樣期間長短的影響，Longuet-Higgins (1952)基於個別波高為Rayleigh分布的假設，提出最大波高與p分之一波高比值公式，式中需代入波浪個數，以最大波高與三分之一波高比值而言，更可將比值簡化為單純波浪個數的函數。Vandever et al. (2008)分析512 s, 1,024 s與2,048 s三種取樣期間的多個測站實測波浪紀錄，發現最大波高與三分之一波高比值與理論吻合。Vandever et al. (2008)指出，當缺乏水位原始紀錄，僅有波譜計算的示性波高時，可利用此比值推估最大波高。該研究並比較推估與觀測的最大波高，推估的誤差平均在10%以內。

本研究亦引用簡化的最大波高與三分之一波高比值公式，從GNSS實測1,024點(512 s)的波浪水位原始紀錄中，取出前面512點(256 s)計算最大波高與波

浪個數，並推估在1,024點下的最大波高，並與實測1,024點的波浪水位原始紀錄所計算的最大波高相互比較。此成果可作為日後在無法達成較長取樣期間情況下，利用較短取樣期間的最大波高推估較長取樣期間的最大波高之參考。

## 二、研究方法

### (一) GNSS 浮標觀測原理

GNSS浮標能接收GPS及GLONASS甚至更多星系的衛星訊號，並解算天線三維坐標，包括經緯度與高度。Lin et al. (2017)開發GNSS浮標，運用內政部國土測繪中心所提供之VBS-RTK (Virtual Base Station Real-Time Kinematics)服務，接收來自VBS-RTK控制中心之虛擬觀測數據，GNSS浮標利用本身接收之雙頻觀測數據與VBS-RTK控制中心回饋之虛擬觀測數據，解算整數週波未定值，在收斂獲得固定解(Fixed ambiguity)後，即可獲得cm等級精度之經緯度與高度資料。GNSS所觀測之水位原始紀錄可用來分析獲得潮位與波浪資料，其相對於加速度型波浪儀之優勢為直接觀測水位原始紀錄，並能以零上切法分析出時間域的波浪統計代表值。

### (二) 現場觀測位置與資料選取

本研究使用於頻率域之逐時波浪資料來自2020年10月花蓮浮標，而時間域之逐時波浪資料來自2019年9~10月龍洞浮標。花蓮浮標位於七星潭外海離岸300 m，該處水深約22 m，掛載加速度型波浪儀。而龍洞浮標位於龍洞遊艇港外海，水深約為28 m，距最近的岸邊約0.6 km，掛載加速度型波浪儀以及GNSS，本研究引用其上GNSS觀測資料。

花蓮浮標波浪原始紀錄的取樣頻率為2 Hz，取樣期間依設定的工作模式而定，若為10-min模式，則從每小時的50 min至下一小時0 min，若為20-min模式，則從每小時的40 min至下一小時0 min。龍洞浮標GNSS原始紀錄之取樣頻率為2 Hz，取樣期間為每小時的50 min至下一小時0 min。由於每個瞬間GNSS之即時解算成果未必能收斂，因此本研究僅挑選收斂之數據分析，以確保分析成果的正確性。

### (三) t 檢定(t-test)

本研究為分析在分別選取不同取樣期間(例如512秒與1,024秒)的原始數據下，探討波浪統計代表值之異同，其中的波浪統計代表值為頻率域的示性波高(significant wave height)、平均週期(zero-crossing period)、尖峰週期(peak period)與主波向(peak wave direction)，與時間域的最大波高( $H_{max}$ )、最大週期( $T_{max}$ )、十分之一波高( $H_{1/10}$ )、十分之一週期( $T_{1/10}$ )、三分之一波高( $H_{1/3}$ )、三分之一週期( $T_{1/3}$ )、均方根波高( $H_{rms}$ )、均方根週期( $T_{rms}$ )、平均波高( $H_{mean}$ )與平均週期( $T_{mean}$ )。本研究引用統計學原理，以使判斷具

有客觀依據，而非憑主觀判斷。此外，本研究亦一併探討 $\frac{H_{max}}{H_{1/3}}$ 比值。

根據統計學理論(Bowerman et al., 2008)，本文運用其中的雙樣本t檢定(2-Sample t-test)方法，以檢定在兩不同取樣期間下，波浪統計代表值的平均值是否相等。該方法係以波浪統計代表值之兩組樣本做檢定，判定p值(p-value)是否小於顯著水準(significant level)  $\alpha$ 。進行雙樣本t檢定時，設計虛無假設(null hypothesis,  $H_0$ )與對立假設(alternative hypothesis,  $H_a$ )如式(1)，檢定規則為依照兩組樣本計算的p值 $\leq \alpha/2$ ，即拒絕(reject)虛無假設，代表對立假設成立，當p值愈小時，拒絕虛無假設的證據愈加顯著。而當p值 $> \alpha/2$ ，即無法拒絕虛無假設 $H_0$ 。

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq D_0 \text{ versus } H_0: \mu_1 - \mu_2 = D_0 \quad (1)$$

其中 $\mu$ 為波浪統計代表值之母體平均數，下標1與2分別代表第1與2組樣本，亦即 $\mu_1$ 與 $\mu_2$ 分別為在兩不同取樣期間下的波浪統計代表值的母體平均數，而 $D_0 = \mu_1 - \mu_2$ ，為兩樣本之母體欲檢定的差值。本研究採用 $\alpha$ 值為0.05，且 $D_0 = 0$ 。

### (四) 推估最大波高方法

Vandever et al. (2008)指出，Longuet-Higgins (1952)的簡化比值公式如式(2)。本研究假設512點與1,024點下的 $H_{1/3}$ 相等，並以512點波浪個數的2倍作為1,024點的波浪個數，在此假設下，只需512點的 $H_{max}$ 與波浪個數，即可推估1,024點的 $H_{max}$ 。

$$\frac{H_{max}}{H_{1/3}} = \sqrt{\frac{\ln N}{2}} \quad (2)$$

## 三、結果與討論

### (一) 頻率域波浪統計代表值之差異

取2020年10月花蓮浮標1,024與2,048點加速度波浪儀原始數據分析，分別繪製示性波高、平均週期、尖峰週期與主波向等波浪分析結果的逐時變化，如圖1~4。圖中1,024為選取1,024點分析結果，自由度、頻寬分別為24與0.0234 Hz，而2,048\_1與2,048\_2均為選取2,048點分析結果，2,048\_1的自由度、頻寬分別為48與0.0234 Hz，2,048\_2的自由度、頻寬分別為24與0.0117 Hz。另外，圖中Difference為1,024與2,048\_2兩種取樣方式，在相同自由度下，波浪分析結果之差值。

從圖1~4的差值可看出，以1,024與2,048\_2兩種取樣方式所獲得波浪分析結果雖然存在個別差異，但整體而言兩者一致。示性波高、平均週期與主波向之個別差異亦不明顯，僅尖峰週期有時候會出現較明顯的個別差異，可達約5 s，此個別差異之原因可以圖5為例觀察，該圖為2020/10/06 03:00一維波譜，尖峰週期差異為5.1 s，從圖中可知不論採取何種取樣方式，一維波譜皆有3個波浪能量極值，惟因為自由度

與頻寬的不同，使得3個波浪能量極值互有消長，而造成尖峰週期的不同。尖峰週期係為一維波譜中，最大波浪能量極值所對應頻率之倒數。

表1為頻率域波浪統計代表值之雙樣本t檢定結果，係由商業的統計軟體分析而得，可知各項目皆無法拒絕 $H_0$ ，此代表在分別選取1,024點與2,048點加速度波浪儀原始數據分析示性波高、平均週期、尖峰週期與主波向時，所得到的平均值相等。

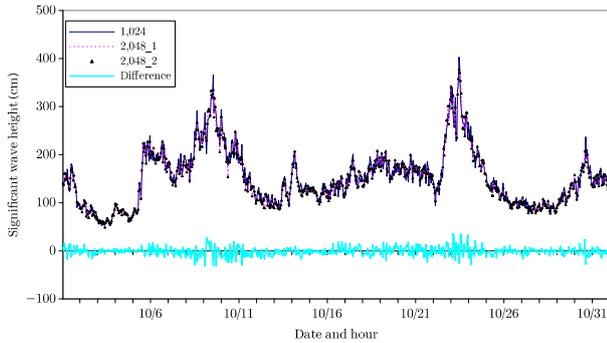


圖1 逐時示性波高變化圖

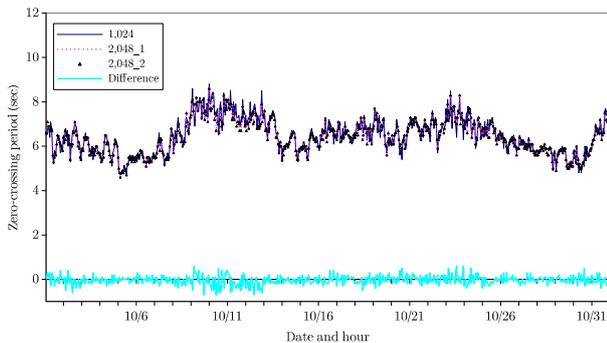


圖2 逐時平均週期變化圖

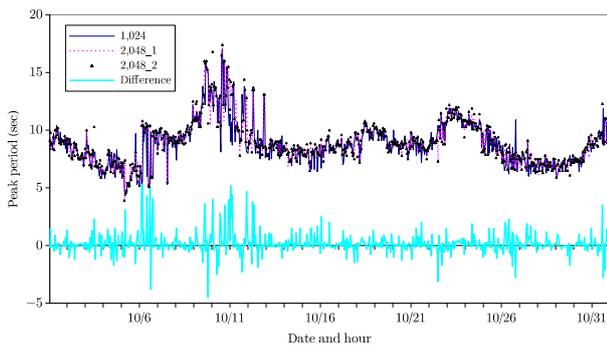


圖3 逐時尖峰週期變化圖

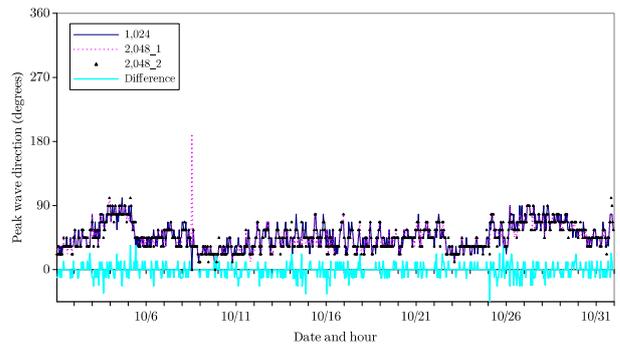


圖4 逐時主波向變化圖

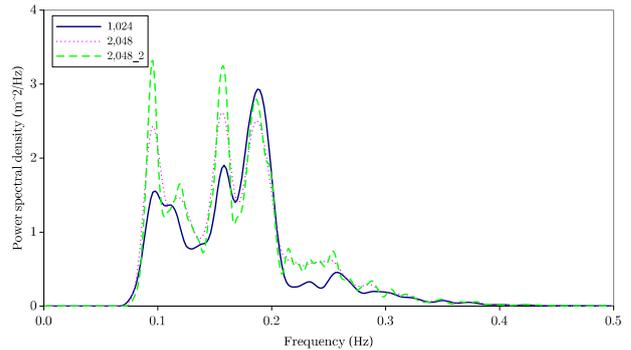


圖5 2020/10/06 03:00一維波譜

表1 頻率域波浪統計代表值之雙樣本t檢定結果

項目	p值	結果
示性波高	0.708	無法拒絕 $H_0$
平均週期	0.385	無法拒絕 $H_0$
尖峰週期	0.068	無法拒絕 $H_0$
主波向	0.404	無法拒絕 $H_0$

## (二) 時間域波浪統計代表值之差異

取龍洞浮標512點(256 s)與1,024點(512 s)GNSS原始數據分析，分別繪製最大波高與週期、三分之一波高與週期、平均波高與週期的逐時變化，如圖6 ~ 11，圖中Difference為兩種取樣期間的波浪分析結果差值。

從圖6的差值可看出，以1,024點取樣期間所獲得的最大波高顯然較以512點取樣期間者為大。此外，從圖7 ~ 11看出，最大週期、三分之一波高與週期、平均波高與週期的差值平均大約為零，而個別時刻的差值仍有變化。最大週期差值最大約為5 s，三分之一波高差值最大約為2.5 m，三分之一週期差值最大約為2 s，平均波高差值最大約為1.2 m，平均週期差值最大約小於2 s。

表2為時間域波浪統計代表值之雙樣本t檢定結果，係由商業的統計軟體分析而得，可知除了最大波高以及最大波高與三分之一波高比值外，皆無法拒絕 $H_0$ ，此代表在分別選取512點與1,024點水位原始數據分析最大週期、十分之一波高、十分之一週期、三

分之一波高、三分之一週期、均方根波高、均方根週期、平均波高與平均週期時，所得到的平均值相等。而最大波高以及最大波高與三分之一波高比值之檢定結果為拒絕 $H_0$ ，代表在分別選取512點與1,024點水位原始數據分析最大波高以及最大波高與三分之一波高比值時，所得到的平均值並不相等。

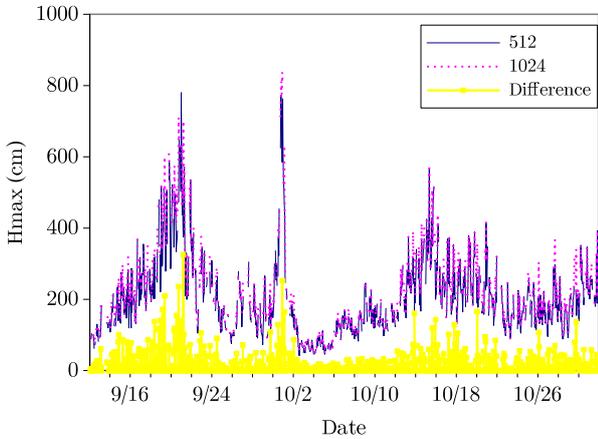


圖6 最大波高變化圖

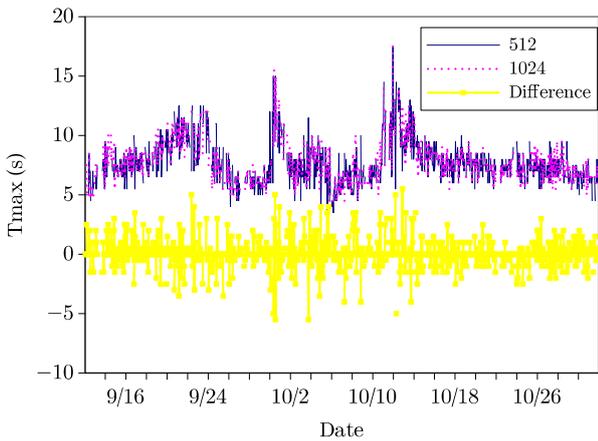


圖7 最大週期變化圖

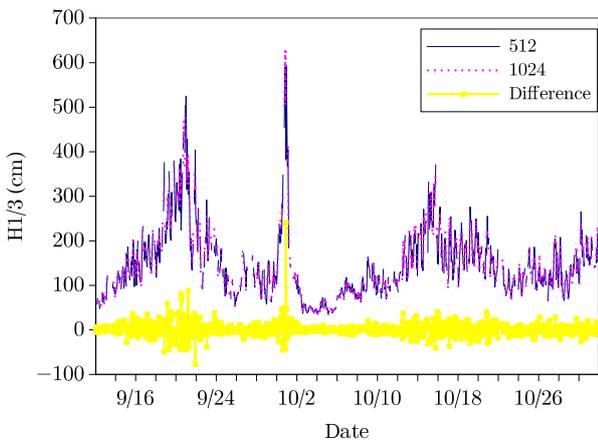


圖8 三分之一波高變化圖

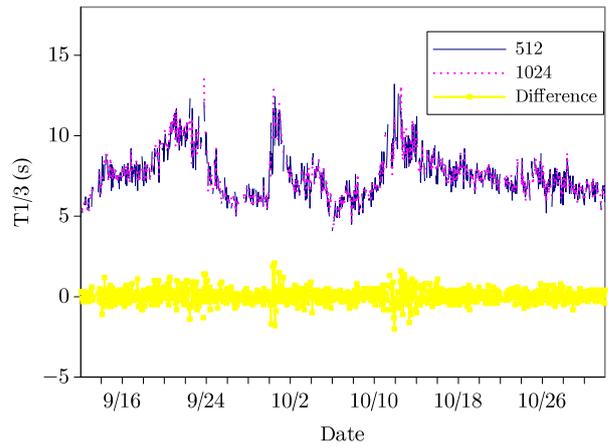


圖9 三分之一週期變化圖

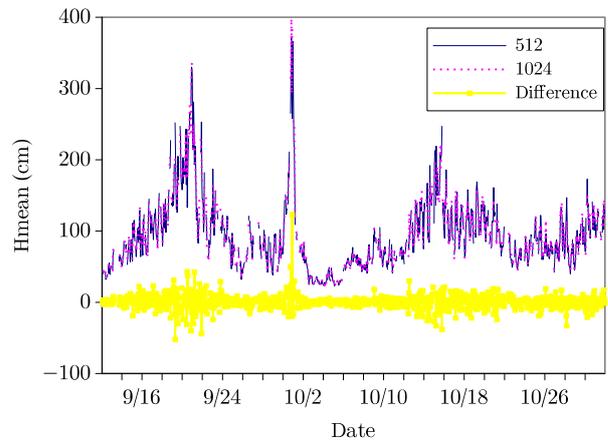


圖10 平均波高變化圖

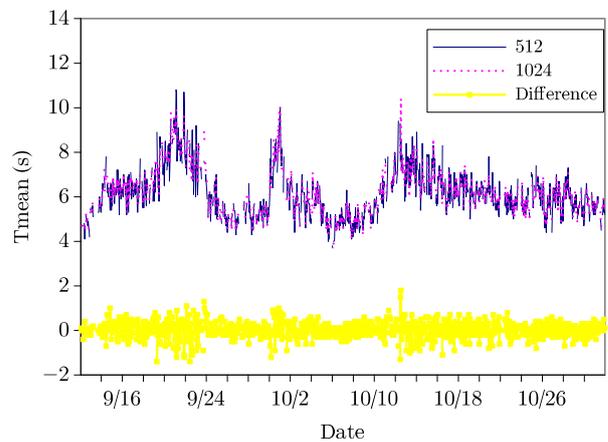


圖11 平均週期變化圖

表2 時間域波浪統計代表值之雙樣本t檢定結果

項目	p值	結果
$H_{max}$	0.001	拒絕 $H_0$
$T_{max}$	0.380	無法拒絕 $H_0$
$H_{1/10}$	0.593	無法拒絕 $H_0$
$T_{1/10}$	0.246	無法拒絕 $H_0$
$H_{1/3}$	0.697	無法拒絕 $H_0$

$T_{1/3}$	0.465	無法拒絕 $H_0$
$H_{rms}$	0.692	無法拒絕 $H_0$
$T_{rms}$	0.351	無法拒絕 $H_0$
$H_{mean}$	0.742	無法拒絕 $H_0$
$T_{mean}$	0.381	無法拒絕 $H_0$
$H_{max}/H_{1/3}$	0.000	拒絕 $H_0$

### (三) 推估最大波高結果

利用前述推估方法獲得在1,024點觀測期間下，推估的與實測的最大波高資料如圖12所示，可看出兩者相當一致。分析推估值的平均絕對誤差(mean absolute error, MAE)與平均絕對百分比誤差 (mean absolute percent error, MAPE)分別為21 cm與8.9%。且此二資料以雙樣本t檢定分析，p值為0.836，無法拒絕式(1)的 $H_0$ ，代表推估的最大波高在統計上可認定與實測的最大波高兩者的平均值相等。

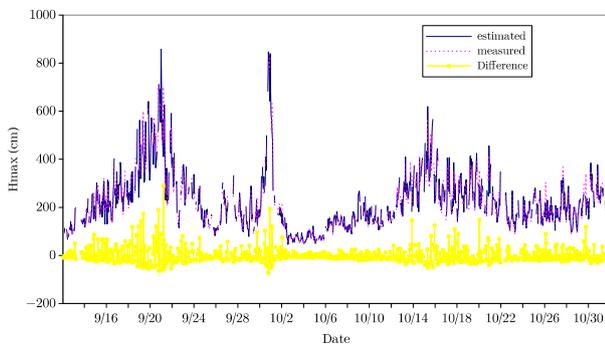


圖12 推估與實測最大波高比較圖

## 四、結論

依據以上花蓮與龍洞兩資料浮標分析結果，獲致以下結論：首先為頻率域的比較結果，在相同的波譜自由度下，以512 s與1,024 s兩種取樣期間所獲得波浪分析結果雖然存在個別差異，但整體而言兩者一致。其次，在時間域方面，以256 s與512 s兩種取樣期間分析所獲得的最大週期、十分之一波高、十分之一週期、三分之一波高、三分之一週期、均方根波

高、均方根週期、平均波高與平均週期，雖然存在個別差異，但整體而言兩者一致。僅有256 s與512 s兩者的最大波高以及最大波高與三分之一波高比值互相不一致。此外，以256 s的最大波高與波浪個數，推估512 s的最大波高，與512 s實測最大波高的MAPE為8.9%，且經過統計檢定，推估與實測的平均值相等。

## 謝誌

感謝交通部中央氣象局提供花蓮與龍洞浮標資料，使本研究能順利進行。

## 參考文獻

1. Bitner-gregersen, E.M. and Magnusson, A.K., 2014: "Effect of intrinsic and sampling variability on wave parameters and wave statistics", *Ocean Dynamics* 64(11), 1643-1655
2. Bouws, E., Draper, L., Shearman, E. D. R., Laing, A. K., Feit, D., Mass, W., ... & Battjes, J. A., 1998: "Guide to wave analysis and forecasting", WMO-No. 702, World Meteorological Organization
3. Bowerman, B.L., O'Connell, R.T., Orris, J.B., and Porter, D., 2008: "Essentials of business statistics", McGraw-Hill Higher Education, a division of The McGraw-Hill Companies, Inc., NY
4. Lin, Y.-P., Huang, C.-J., Chen, S.-H., Doong, D.-J., and Kao, C. C., 2017: "Development of a GNSS buoy for monitoring water surface elevations in estuaries and coastal areas", *Sensors* 17(172), doi:10.3390/s17010172
5. Longuet-Higgins, M. S., 1952: "On the statistical distribution of the heights of sea waves", *J. Mar. Res.*, 11(3), 245-266
6. Vandever, J.P., Siegel, E.M., Brubaker, J.M., and Friedrichs, C.T., 2008: "Influence of spectral width on wave height parameter estimates in coastal environments", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 134(3), 187-194
7. Wesson Vizcaino, M. A., 2011: "Analysis of spectra, wave grouping and long wave phenomena of real measured wind waves in coastal waters", *Universitat Politècnica de Catalunya*