

國光平台與新竹浮標波高相關性分析

吳立中	董東環	莊士賢	李汴軍
國立成功大學 近海水文中心 碩士班研究生	國立成功大學 近海水文中心 博士班研究生	國立成功大學 近海水文中心 副主任	中央氣象局 海象測報中心 主任

摘要

國光平台位於新竹外海近台灣海峽中段處，該位置之波高資料有助於探討深海波浪特性及作為海象預報作業之深海率定資料。新竹浮標測站位於新竹近岸，與國光平台相距約 25 公里，為一個長期作業的海上氣象站，上述兩測站具有接近之氣候及波候條件。本文目的在於分析國光平台與新竹浮標波高之間的相關特性，並嘗試建立描述兩地波高相關性的統計模式，作為日後以近岸新竹浮標波高資料推估國光平台深海波高狀況之參考。

分析結果發現國光平台與新竹浮標間的波高差值有隨著波高愈大而增大的關係。本文以迴歸分析探討波高相關性，顯示依波候狀態分類後的夏季、冬季與颱風類型的波高資料均具有冪次(power)型式的相關性，以颱風波高資料相關性最高，夏季波高資料相關性最低。本文進一步以馬可夫鏈模式來建立兩地間的波高相關性模式，透過移轉機率矩陣，可藉由近岸新竹浮標處的波高推估深海處國光平台可能發生之波高，結果顯示國光平台波高推估誤差隨著波高愈大而減小，夏季波高平均推估誤差為最大，冬季波高推估誤差為最小，大於 1.0 公尺之波高平均推估誤差在 20% 以內。

一、前言

國光平台位於新竹外海水深約 60 米處，位居台灣海峽中段，因其特殊之地理位置，中央氣象局數年來持續於該平台上從事海氣象觀測作業，提供外海氣象資料及深海波浪資訊於海氣象預報作業之需。由於國光平台終將拆除，中央氣象局乃於民國 87 年委託成大近海水文中心於新竹近海佈放作業化無人海氣象浮標站，設置於新竹南寮漁港外海離岸約 1 公里，水深約 23 米處，該站長期觀測氣壓、氣溫、風速(向)等氣象資料及水溫、波高、週期、波向、波譜等海象資料，觀測資料已做為氣象局預報作業之參考依據。新竹浮標與國光平台相距約 25 公里，由兩站近年來的資料比對分析發現，在特定天氣系統，如鋒面作用下，兩站之觀測資料往往有相同之反映，僅程度有所差異；相同地，氣候條件也造成了兩地類似的波候狀態。在此相近的氣候與波候條件下，本文選擇以統計理論分析

國光平台與新竹浮標波高之間的關係，探討在不同條件或狀態下兩站間最佳的相關性，並試圖建立國光平台與新竹浮標間的波高相關性模式，探討利用近岸新竹浮標之波高資料推估台灣海峽深海國光平台處之波浪狀況的可能，國光平台與新竹浮標測站位置及相關資料如圖 1 及表 1 所示。

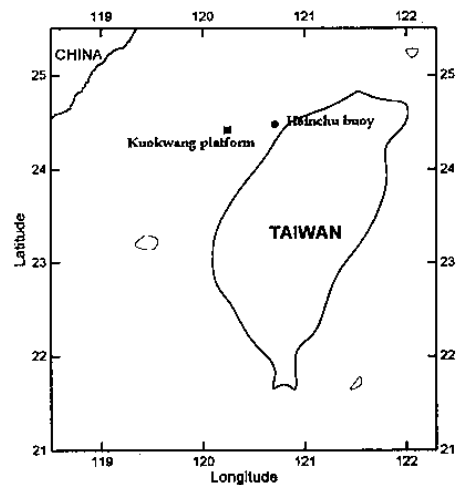


圖 1 國光平台與新竹浮標測站位置

表 1 分析測站相關資訊

測站名稱	測站位置	測站水深	波高測量方式
國光平台	新竹西南外海 離岸約 25 公里	60m	超音波波高計
新竹浮標	新竹近海 離岸約 1 公里	23m	加速度計

二、新竹浮標與國光平台的波高相關特性

(一)實測波高資料分佈

本文選用民國八十六年五月至八十七年底共計一年半，國光平台與新竹浮標同時期波高資料為分析對象。影響台灣西部海域波浪主要的氣候型態為冬季之東北季風，夏季的西南季風及每年夏秋兩季之颱風。本文以上述季節類型來作為波候分類條件，同一季節有類似之波候狀態，將全年資料區分為夏季(每年 5,6,7,8 月)、冬季(每年 11,12,1,2 月)及颱風期間三種資料型態，三種資料型態之有效樣本分別為 1662、1006 與 343 筆。將國光平台與新竹浮標兩站各季節之示性波高分佈繪於圖 2 所示，國光平台夏季波高分佈在 50~100 公分之間的機率最大，冬季則是以 100~250 公分出現的機率較高；新竹浮標亦有類似之趨勢，但其值分佈範圍小於國光平台所測得。圖中鍵條線為國光平台與新竹浮標於颱風期間之波高資料，其統計分佈與夏季波高分佈型態類似，但颱風波高分佈的尾巴較長。此說明颱風期前後的波高分佈與夏季波浪類似，大多集中在 50~100 公分間，但大波高發生機率明顯提高，尤其國光平台處發生大於 2 米的波高機率顯著提昇，也較新竹浮標發生大於 2 米以上颱風波浪的可能性高。

事實上，由圖 2 已看出國光平台與新竹浮標各季節波高資料存在某特定關係，且可推得兩地波高間隱含一個差值存在，將兩地同時間波高之差異繪於圖 3，得知兩地波高間的差異隨著波高而增大，換句話說，波高愈大，國光平台波高大於新竹浮標的程度愈高。

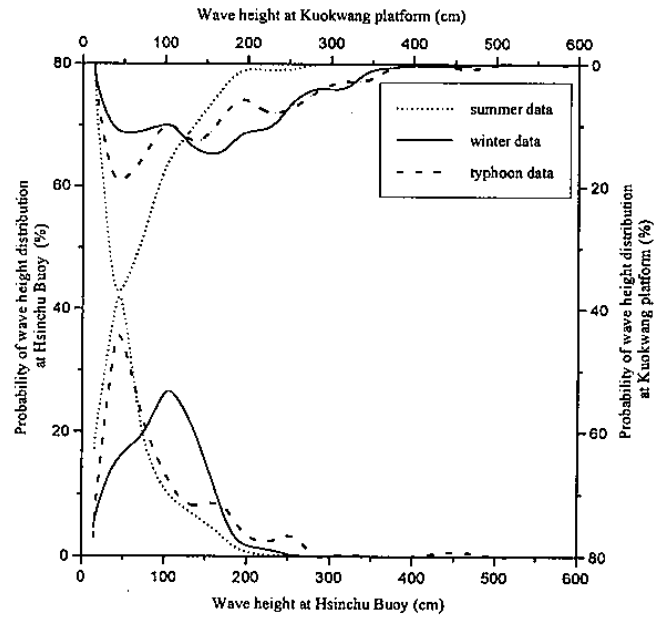


圖 2 國光平台與新竹浮標各季節波高分佈

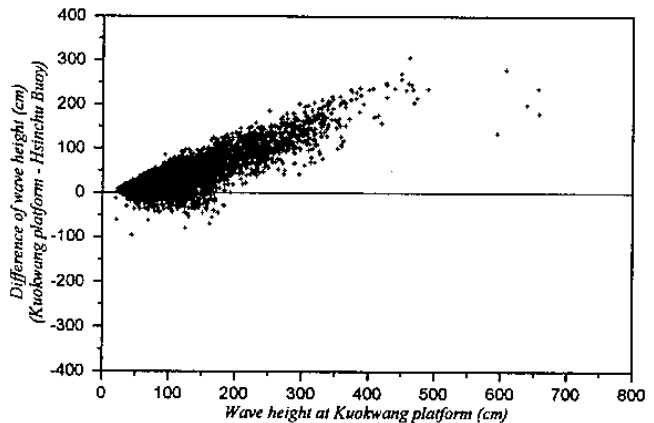


圖 3 國光平台與新竹浮標兩地波高差異隨波高之變化

(二)不同氣候狀態之波高相關性

本文採用統計理論，以迴歸分析來探討國光平台與新竹浮標之間的波高相關性。波浪由甲站傳至乙站理論上會有一時間延遲(time lag)，針對國光平台與新竹浮標測得之波高資料，本文以交叉相關函數(cross correlation function)，如(1),(2)式，分析稽延時間為何時兩地波高有最佳之相關程度。

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}(k \times \Delta t)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

$$C_{xy}(k \times \Delta t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(y_{i+k} - \bar{y}), \quad k=0,1,2... \quad (2)$$

式中 r_{xy} 為國光平台與新竹浮標之交叉相關函數； n 為樣本數； k 為時間稽延項數；實際的時間稽延為 $k \times \Delta t$ 。各季節資料分析結果獲得以零小時之稽延時

間為最佳，說明同一時刻之國光平台與新竹浮標波高有最佳相關性。

本文以四種常用之迴歸模式來分析兩站波高相關性，分別為線性(linear)、對數(log)、指數(exponential)及幕次(power)四種如(3)~(6)式所示，式中 H_{Hsi} 為新竹浮標波高； \hat{H}_{Kuo} 為國光平台波高推估值；a, b為迴歸係數，可藉由最小平方方法推求得。

$$\text{線性: } \hat{H}_{Kuo} = a \cdot H_{Hsi} + b \quad (3)$$

$$\text{對數: } \hat{H}_{Kuo} = a \cdot \ln H_{Hsi} + b \quad (4)$$

$$\text{指數: } \hat{H}_{Kuo} = a e^{b H_{Hsi}} \quad (5)$$

$$\text{幕次: } \hat{H}_{Kuo} = a \cdot H_{Hsi}^b \quad (6)$$

為判斷何種迴歸模式最適合描述兩地波高關係，本文以相關係數及無因次均方根誤差(root mean square error, RMSE)，如(7)式，作為判斷標準。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{H_{Kuo} - \hat{H}_{Kuo}}{H_{Kuo}} \right)^2} \quad (7)$$

式中 H_{Kuo} 為國光平台實測波高， \hat{H}_{Kuo} 為由新竹浮標波高藉由迴歸方程式推估所得之國光平台波高。分析結果列於表 2，兩站間之三種型態波高資料均以幕次型態迴歸模式為最佳，其中以夏季波高間之相關係數最低，冬季與颱風期間波高資料相關係數均在 0.9 以上，夏季與冬季波高迴歸結果如圖 4 及圖 5 所示。本文同時將全年資料分析結果列於表內作為比較對象，也說明了按照波候條件分類後之波高資料比全年資料有較高之波高相關性。

表 2 各季節波高資料迴歸分析成果表

	夏季波高	冬季波高	颱風波高	全年資料
線性	0.80 / 33 %	0.87 / 32%	0.94 / 31%	0.86 / 35%
對數	0.79 / 41%	0.83 / 42%	0.89 / 38%	0.81 / 46%
指數	0.79 / 43%	0.86 / 37%	0.85 / 45%	0.84 / 36%
幕次	0.83 / 34%	0.91 / 30%	0.93 / 27%	0.88 / 34%

註：表中各值 A/B，前者表相關係數，後者表均方根誤差

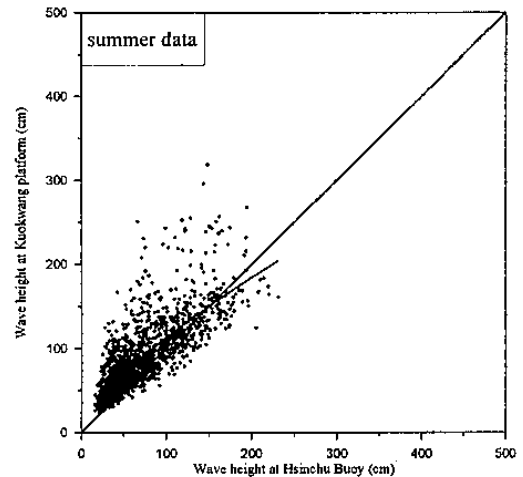


圖 4 國光平台與新竹浮標夏季波高幕次迴歸關係

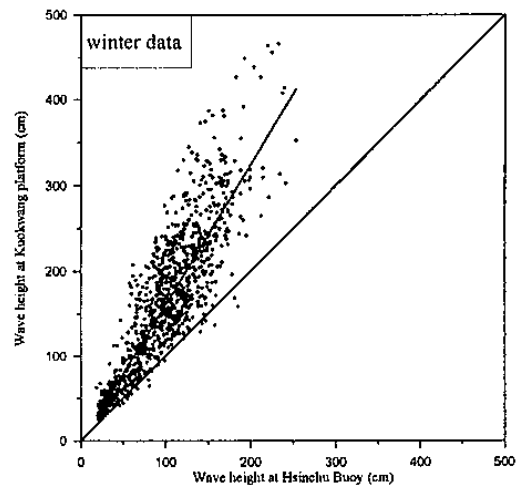


圖 5 國光平台與新竹浮標冬季波高幕次迴歸關係

三、以馬可夫鏈建立波高相關性模式

(一) 馬可夫鏈模式基本理論

前節所採用之迴歸模式可將國光平台與新竹浮標波高之關係以一個數學方程式表示，藉由該式可推得國光平台波高，這樣的方式所推得者僅為國光平台波高之平均值。事實上，此推估值是屬於一個不確定量，此不確定性(uncertainty)可能來自於樣本數目、模式中參數的推估方法，甚至於模式本身均隱含著不確定的成分，雖然迴歸模式易於描述兩物理量之間的相關程度，然而在以迴歸方程式推估應變量時不易表現此不確定性。馬可夫鏈(Markov Chain)模式考慮了兩物理量之間的機率成分，藉由移轉機率矩陣建立兩物理量間的發生機率關係，可延伸來推求某機率的應變量(在本文為波高)，此法為本文在說明國光平台與新竹浮標波

高關係後，建立相關性模式的理論。

馬可夫鏈表現兩不同測站狀態間變化之特性，定義兩測站所屬海域之不同的波高狀態，以下式建立移轉機率矩陣，

$$P_{ij} = \frac{f_{i,j}}{\sum_{j=1}^c f_{i,j}} \quad i, j=1, \dots, c \quad (8)$$

式中 $f_{i,j}$ 為在狀態 i (新竹浮標波高狀態) 的情況下轉變為狀態 j (國光平台波高狀態) 之發生頻率。藉由上式可將這些移轉機率值納入 $c \times c$ 矩陣，即為移轉機率矩陣，透過移轉機率矩陣，給定新竹浮標之波高狀態，藉由(9)式可求得國光平台發生波高期望值。

$$\hat{H}_{Kuo} = \sum_{j=1}^{10} \left[H_{Kuo}^{jL} + \frac{H_{Hsi} - H_{Hsi}^L}{H_{Hsi}^U - H_{Hsi}^L} \times (H_{Kuo}^{jU} - H_{Kuo}^{jL}) \right] \times P_j \quad (9)$$

其中 H_{Hsi} 為已知的新竹浮標波高； H_{Hsi}^L 為已知新竹浮標波高所屬狀態的波高區間下限；同理， H_{Hsi}^U 為該區間之上限；而 H_{Kuo}^{jL} 、 H_{Kuo}^{jU} 則分別為國光平台各狀態的波高區間上下限； P_j 為移轉機率矩陣內對應上述狀態之機率值； \hat{H}_{Kuo} 為所推估得之國光平台波高。本文以冬季資料為例，分析結果如表 3 所示，表中各值表示新竹浮標出現某狀態波高時，對應在國光平台發生各種狀態波高的機率，從表中機率值的分布也看出了國光平台比新竹浮標有較高的機率出現大波高，與圖 5 所繪者有相同之意義，移轉機率矩陣是將其發生機率值表現出來的一種方式。

表 3 兩站冬季資料之馬可夫鏈移轉機率矩陣

		新竹浮標波高狀態 (cm)									
		狀態 1	狀態 2	狀態 3	狀態 4	狀態 5	狀態 6	狀態 7	狀態 8	狀態 9	狀態 10
		0~50	51~75	76~100	101~125	126~150	151~200	201~250	251~300	301~400	>400
國 光 平 台 波 高 狀 態 cm	狀態 1	0~50	89.6	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	狀態 2	51~75	9.2	24.6	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	狀態 3	76~100	0.7	23.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	狀態 4	101~125	0.4	24.1	16.1	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	狀態 5	126~150	0.1	13.4	23.0	21.6	6.4	0.9	0.0	0.0	0.0
	狀態 6	151~200	0.0	12.8	35.4	41.9	28.8	7.9	0.0	0.0	0.0
	狀態 7	201~250	0.0	1.1	17.4	24.3	41.7	22.8	0.0	0.0	0.0
	狀態 8	251~300	0.0	0.0	0.6	7.2	12.8	32.5	15.4	0.0	0.0
	狀態 9	301~400	0.0	0.0	0.0	0.9	10.3	34.2	30.8	100.0	0.0
	狀態 10	>400	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	53.8	0.0	0.0

(二) 馬可夫鏈波高相關模式之不確定分析

自然界現象具有隨機性，即真正的結果無法精準地預測，此即所謂的不確定性。同樣地，利用一數學模式來推測或預估某一隨機變量值，所估算得者僅為在該應變條件下可能之平均結果，該推估值應有一變動範圍，亦即有其推估之不確定性。造成此不確定性的原因很多，如樣本數目不足、量測誤差等。

不確定性程度的量化通常以計算估算值的標準偏差(standard deviation)來表示，本文利用馬可夫鏈模式由新竹浮標波高推估之國光平台波高的標準差如(10)式所示，式中 σ_{Kuo} 表推估波高之標準偏差，其他符號意義如同前節所述。

$$\sigma_{Kuo}^2 = \sum_{j=1}^{10} \left\{ \left[H_{Kuo}^{jL} + \frac{H_{Hsi} - H_{Hsi}^L}{H_{Hsi}^U - H_{Hsi}^L} \times (H_{Kuo}^{jU} - H_{Kuo}^{jL}) \right] - \hat{H}_{Kuo} \right\}^2 \times P_j \quad (10)$$

以馬可夫鏈模式建立國光平台與新竹浮標波高之相關性，其推估值之不確性程度究竟到什麼程度，本文以迴歸分析推估之不確定程度為比較對象，其中用來度量迴歸分析之不確定性的標準差可參閱一般統計學專書。分析結果如圖 6 所示，該圖為夏季波高資料，結果顯示迴歸分析的不確定程度隨波高增加而急遽增大，而馬可夫鏈模式推估值之標準偏差則均維持在 50 公分上下，不確定程度低於迴歸模式，這就是建立馬可夫鏈模式時考慮各狀態發生機率所產生之結果，圖中馬可夫鏈模式在 200~250 公分狀態之標準偏差反而變小之緣故係因為該組之樣本數不足所致，更豐富的資料可提供更具可靠的結果。

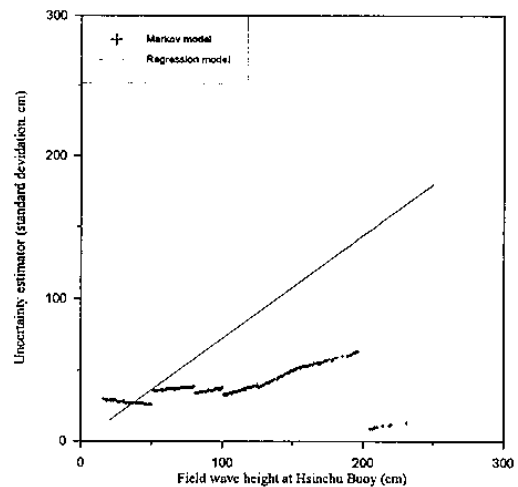


圖 6 馬可夫鏈與迴歸分析夏季波高推估結果之不確定程度比較

四、波高相關性模式之誤差分析

為了解應用馬可夫鏈模式推估國光平台波高之誤差程度，本文將實測值與推估值同時比較，圖 7 顯示冬季波高推估結果，當波高小於 1.0 公尺時，馬可夫鏈模式推估之國光平台波高大於實測值。整體之推估均方根誤差為 40%，表示此法雖然推估不確定性較小，但推估值的準確性仍嫌不足，有近一步改善的空間。至於推估誤差在不同波高狀態之情形，本文將國光平台推估波高與實測值之差異以無因次誤差 (Non-Dimensional Error, NDE) 來表示，其定義如下：

$$NDE = \frac{H_{Ku0} - \hat{H}_{Ku0}}{H_{Ku0}} \times 100\% \quad (11)$$

式中 H_{Ku0} 為國光平台實測波高， \hat{H}_{Ku0} 為馬可夫鏈模式推估之國光平台波高。NDE 值大於零表示低估的情形，NDE 為負則表示馬可夫鏈推估值為高估。將該誤差值分佈繪製鬚盒圖 (Multiple Box and Whisker Plot) 表示，如圖 8。鬚盒圖中橫直線代表整體誤差之中值 (mean)，盒形上下邊界代表誤差分布之 75% 與 25% 統計值，而其上下鬚 (whisker) 則表示出誤差中之最大值與最小值。

分析結果顯示對於三種類型的波高資料，利用馬可夫鏈模式推估國光平台波高時，均有隨著波高愈大，推估誤差愈小之趨勢。且當波高小時，推估值有高估之情形；波高大時，推估之國光平台波高則有低估之現象。若對各種不同季節資料之推估結果計算其絕對誤差平均值，結果顯示冬季平均 NDE 為 15% 為最小，夏季平均 NDE 為 36% 為最大。如同前述第二章中分析結果以國光平台與新竹浮標之夏季波高相關性較差，因此其估算誤差最大，尤其在波高小的時候；而兩站之冬季與颱風波高資料相關性較高，因此利用馬可夫鏈模式推估國光平台波高時在冬季的推估誤差最小。雖然以馬可夫鏈模式推估國光平台夏季波高的誤差不小，但一般而言，冬季或颱風期間之大波高較為一般關心之對象，本文分析結果對於 1.0 公尺以上之推估誤差平均在 20% 以內，於可接受之範圍內。

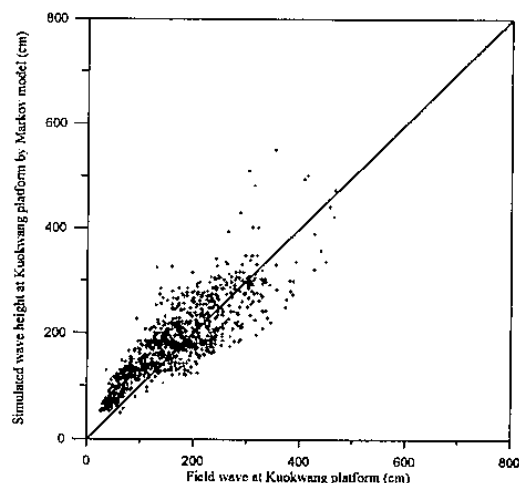


圖 7 國光平台冬季實測波高與馬可夫鏈模式推估值誤差

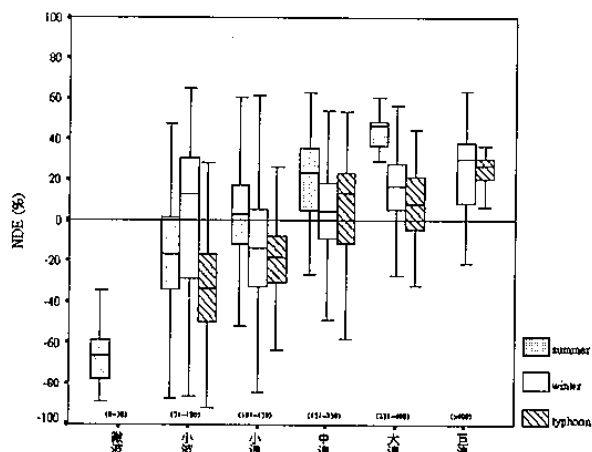


圖 8 各季節資料以馬可夫鏈模式推估國光平台波高誤差分佈鬚盒圖

五、結論

本文按波候狀態將國光平台與新竹浮標兩站之波高資料分類為夏季、冬季及颱風三種型態，再利用迴歸理論分析兩站波高間是否存在相關性，其關係為何種形式。本文考慮以迴歸模式推估國光平台波高具有較大之不確定性，選擇以馬可夫鏈理論建立波高相關性模式，提供由新竹浮標波高推估國光平台波高參考。

分析結果顯示國光平台與新竹浮標波高間存在一差值，此差值隨波高增大而變大。國光平台與新竹浮標間之颱風型態波高資料相關程度最高，夏季波高相

關性程度最低，相關模式以冪次形式為最佳。經比較分析，證實馬可夫鏈模式推估國光平台波高之不確定程度低於傳統迴歸分析所得。而以馬可夫鏈模式推估國光平台之誤差隨著波高愈高而減小，且出現波高小時高估、波高大時低估的情形。不同季節型態資料以夏季波高推估值誤差最大，冬季波高推估誤差最小，顯示了大波高較適合以馬可夫鏈模式推估國光平台波高狀態。

誌謝

本研究承蒙國科會研究計劃 NSC89-2611-E052-001 資助，同時中央氣象局提供國光平台與新竹浮標波高資料，使本文得以完成，謹致感謝之意。

參考文獻

- 1.董東環、莊士賢、高家俊(1997)“海氣象觀測資料品管系統之建立”，第十九屆海洋工程研討會論文集，477 頁-484 頁。
- 2.洪華生、鄧漢中(1991)“工程或然率”，中國土木水利工程學會，294 頁-297 頁。
- 3.陳嘉榮、游保杉、高家俊(1995)“波浪預報之不確定性與風險分析”，第十七屆海洋工程研討會論文集，255 頁-270 頁。
- 4.張金機、李汴軍(1999)“台中港風域海浪特性分析(Ⅲ)風與浪關係之研究”，行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告，9 頁-13 頁。

Analysis on the Wave Height Correlation Between Kuokwang Platform and Hsinchu Buoy

Lee Chung Wu¹

Dong Jiing Doong¹

Laurence Z. H. Chuang¹

Beng Chun Lee²

¹ Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

² Marine Meteorology Center, Central Weather Bureau

Abstract

With the aim to provide ground truth data for numerical wave model calibrations and ocean wave study, Kuokwang oil platform, which locates at the middle of Taiwan Strait, is equipped with wave gauges and operated as deep-water waves observation station. The Kuokwang platform is scheduled to be removed in the near future. At a distance of 25 Km eastern from the platform, an operational data buoy wave monitoring station is currently being setup near the coast of Hsinchu. In order to obtain the future deep-water waves information in the middle Taiwan Strait, it is the purpose to investigate and to establish the statistical relationship of wave heights between the areas of Kuokwang platform and Hsinchu buoy.

Regression Analysis is applied to investigate the relationship of wave heights between the areas of Kuokwang platform and HsinChu buoy. From the results, it is found that the relationship can be expressed as formulas in power regression formula. Among them, the wave heights measured in winter and typhoon period in respective areas show the highest correlation than the waves in the summer season. The waves in summer feature the lowest correlation. Moreover, The difference of wave heights between Kuokwang platform and HsinChu buoy increases with the increment of their wave heights.

Furthermore, Markov Chain analysis is introduced to establish the relationship. As a result, the wave heights in Kuokwang area can be estimated from calculating the product of the Markov transfer matrix and wave height measured by the Hsinchu buoy. The errors are highly dependent to the wave height and wave category. The error decreases when the wave heights increase, and it has the highest error in the summer season, smallest value in the typhoon duration. For the interesting high wave height, the error is less than 20%.