第 32 屆海洋工程研討會論文集　國立臺灣海洋大學　2010 年 11 月
Proceeding of the 32nd Ocean Engineering Conference in Taiwan
National Taiwan Ocean University, November 2010

氣候變遷對台灣東北角海域波候變化之初步研究

楊大成 [1]　范揚洺 [2]　李汴軍 [3]　高家俊 [4]　莊士賢 [5]　滕春慈 [6]

[1] 國立成功大學水利及海洋工程所研究生
[2] 國立成功大學水利及海洋工程所博士後研究員
[3] 華梵大學環境與防災設計學系副教授
[4] 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心主任
[5] 國立成功大學海洋科技與事務研究所助理教授
[6] 中央氣象局海象測報中心主任

摘要

波候一詞可引用氣候定義來描述，即指長時間的波高與週期等變量之特性。波候的變化對於海岸防救災、航海安全、漁撈養殖、海事施工、休閒遊憩乃至於海疆防禦等領域均影響甚巨。為了探討台灣東北角海域波候變化是否受氣候變遷影響，本研究利用台灣東北角海域的海氣象資料浮標觀測數據進行分析。海上測站包括龍洞海氣象資料浮標測站、龜山島海氣象資料浮標測站、蘇澳海氣象資料浮標測站及花蓮海氣象資料浮標測站，分析近 10 年的波浪參數為月平均示性波高、月平均之平均週期以及月平均尖峰週期。分析結果顯示月平均示性波高除了在龜山島海氣象資料浮標測站呈現負成長趨勢，其餘的海氣象資料浮標測站皆呈現正成長趨勢。月平均之平均週期在各個海氣象資料浮標測站皆呈現負的成長趨勢，而月平均尖峰週期則皆呈現正的成長趨勢。

關鍵詞：氣候變遷、波候、台灣東北角海域

On the Impact of Climate Change on Wave Climate in the Northeast Waters of Taiwan

Ta Cheng Yang*　Yang Ming Fan　Beng Chun Lee　Chia Chuen Kao　Laurence Zsu Hsin Chuang　Chuen Teyr Terng

*Graduate student, Department of Hydraulics and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

ABSTRACT

Secular changes in ocean wave characteristics are very important for climate studies and for parcticle needs. The changes of wave climate bring large impacts in many fields, such as coastal protection, coastal engineering design, and planning of marine activities. In order to know the wave climate change in the Northeast Waters of Taiwan, the wave data was analyzed from data buoy which include Longdong data buoy station, Gueisandao data buoy station, Suao data buoy station, and Hualien data buoy station. The analysis used buoy data by monthly average to shown changes of significant wave hight, mean period, and peak period over past ten years. Linear trend analysis over the studied period shows a strong inter-annual variability, with a significant increase of significant wave hight at Longdong data buoy station, Suao data buoy station, and Hualien data buoy station, but decrease at Gueisandao data buoy station; a decrease of mean period and a increase of peak period at all data buoy stations.

Keywords: climate change; wave climate; Northeast Waters of Taiwan

一、前言

波候一詞可引用氣候定義來描述，即指長時間的波高與週期等變量之特性，而變量的特性可以用平均值來表示其平均狀態。長期波浪統計特性的資訊，除了描述波浪平均狀態外，更重要的是能描述極端事件發生規模與頻率在大時間尺度上的變化。波候的變化對於海岸防救災、航海安全、漁撈養殖、海事施工、休閒遊憩乃至於海疆防禦等領域均影響甚巨。然而，長時間的波浪資料取得不易，故波候研究在近 10 年來大多以數值波浪模式的模擬結果來討論波浪參數在海域上的長時間變化。但透過觀測所獲得的波浪數據提供非常重要的波浪數據來源，不僅可被用做統計上以及工程上的用途，也可做為數值模擬的校驗依據。

近幾年來，對波候的研究有越來越多的討論，尤其在海洋工業以及海岸侵蝕的部份(WASA group, 1998)。早期在數值波浪模式發展尚未成熟之時，對於波候研究的資料來源皆為觀測資料。最早在北海以及北大西洋的波候研究方面，由 9 個海洋氣象站所量測到在 1950 到 1967 其間的風浪波高，顯示波浪在每年之間有很大的變化(Walden et al., 1970)。Neu (1984)在 1970 到 1982 這 13 年期間於北大西洋所做的研究指出示性波高有明顯的成長趨勢，約成長 30%。在此之後，有許多研究試圖要了解波候的改變以及量化其波浪參數改變的值，而使用的方法也都不盡相同。WASA group(1998)為第一個利用數值模擬推算長期波浪。這使得在波浪的研究上不僅僅可以針對極端的事件做分析，也可關注長期的變化趨勢。之後，有許多類似的研究在全球產生(e.g., Sterl et al. 1998; Cox and Swail 2001)，或是針對不同的海灣用數值推算作分析(e.g., Wang and Swail 2002)。除了量化波浪參數變化的值外，許多學者也研究波候與氣候因子之間的關係。Kushnir et al.(1995)的研究結果顯示北大西洋震盪(NAO)對於風場改變有絕對的影響。

台灣東北角海域長期受到東北季風的影響以及颱風的侵襲，除了帶來東北角海岸的災害外，也使得台灣東北部海域的波能較大，而波能屬於海洋能的一種，具有開發利用之價值，可透過能量的技術轉換，達到發電的效果，符合未來環保能源的開發趨勢(徐等人，2007)。又東北角海域的水域活動是行政院公告的六大新興產業之一，了解東北角海域的波浪特性對其水域活動規劃有絕對的幫助。因此透過本文初步對東北角海域波候的研究，了解過去 10 年期間，東北角海域在示性波高、平均週期以及尖峰週期的變化趨勢，有助於我們更加了解東北角海域的波浪特性，可提供東北角海域在航海安全、海岸工程以及海洋相關活動規劃的參考，同時做為後續利用數值波浪模式探討東北角海域長期波候變遷前的模式校驗依據。因此，本研究利用近 10 年實測波浪數據探討台灣東北角海域波候是否受到氣候變遷的影響。

二、資料來源與分析方法

本研究收集中央氣象局的龍洞海氣象資料浮標測站於 2000 年至 2009 年波浪資料；花蓮海氣象資料浮標測站於 1998 年至 2009 年波浪資料；觀光局的龜山島海氣象資料浮標測站於 2003 年至 2009 年波浪資料及水利署的蘇澳海氣象資料浮標測站於 2000 年至 2009 年波浪資料。上述波浪資料包括示性波高、平均週期、尖峰週期，觀測間距為一小時一筆。海氣象資料浮標測站的位置圖如圖 1 所示。

各個海氣象資料浮標測站之波浪資料統計筆數如表 1 所示，為了分析不同海域的波候變化及考慮統計上資料的樣本數，本研究對波浪資料(示性波高、平均週期、尖峰週期)取月平均、季平均以及線性趨勢進行分析。將單一月份每小時一筆的數據加總再除以資料總數即為月平均，季平均為將三個月裡每小時一筆的數據加總再除以資料總數即為季平均，線性趨勢則利用公式 $Y=aX+b$ 求得，其中 Y 代表波浪參數，X 代表時間。

圖 1 海氣象資料浮標測站

表 1 各海氣象資料浮標測站波浪資料數統計

Buoy name	Period	Numbers of sample (1-hour Hs)	Numbers of sample (1- hour T)	Numbers of sample (1- hour Tp)
Longdong	2000~2009	79,198	79,198	79,183
Gueisandao	2003~2009	55,441	55,441	55,429
Suao	2000~2009	79,206	79,206	79,192
Hualien	1998~2009	82,826	82,826	79,204

三、結果與討論

3.1 示性波高

由圖 2 顯示龍洞海氣象資料浮標測站在過去 10 年月平均示性波高增加 1.7 cm/10 years。而龜山島海氣象資料浮標測站在過去 7 年的月平均示性波高減少 1.6 cm/7 years。蘇澳海氣象資料浮標測站過去 10 年的月平均示性波高增加 0.3 cm/10 years，但每年之間並沒有太大的變化。花蓮海氣象資料浮標測站在過去 12 年的月平均示性波高增加 13.9 cm/12 years，約增加 1.2 cm/year。整體而言，除了龜山島海氣象資料浮標測站的月平均示性波高呈現負成長趨勢，其餘海氣象資料浮標測站的月平均示性波高於過去十年間皆呈現正成長趨勢，其中以花蓮海氣象資料浮標測站成長的幅度最大。

從圖 2 可看出龍洞海氣象資料浮標測站的月平均示性波高有季節性的週期變化，故本研究進一步進行季平均的分析。

由圖 3 及圖 4 顯示龍洞海氣象資料浮標測站在春季(4~6 月)以及冬季(1~3 月)的示性波高於過去 10 年有成長的趨勢，分別為 0.2 cm/year 與 1.2 cm/year。而圖 5 及圖 6 顯示夏季(7~9 月)跟秋季(10~12 月)呈現負成長趨勢，分別減少 1.9 cm/year 與 0.3 cm/year。龜山島海氣象資料浮標測站的示性波高在冬季以及秋季皆為成長趨勢，分別為 0.4 cm/year 與 0.2 cm/year。春季和夏季則呈現負成長趨勢，分別減少 2.5 cm/year 與 0.9 cm/year。蘇澳海氣象資料浮標測站的示性波高在冬季以及秋季都呈現明顯的正成長趨勢，分別為 0.7 cm/year 與 0.8 cm/year。春季跟夏季則呈現負成長趨勢，減少 0.2 cm/year 與 1.2 cm/year。花蓮海氣象資料浮標測站發現示性波高在春夏秋冬皆呈現正成長趨勢，最高可達到 1.7 cm/year，秋季為成長最多的季節。

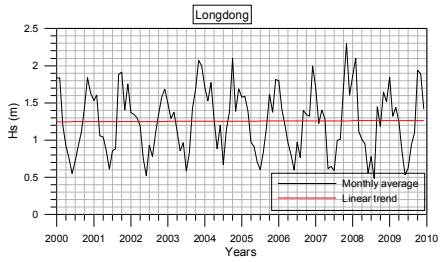

圖 2 龍洞海氣象資料浮標測站月平均示性波高時序列圖

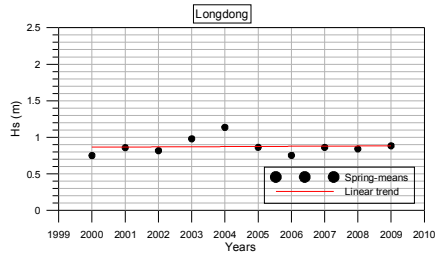

圖 3 龍洞海氣象資料浮標測站春季平均示性波高時序列圖

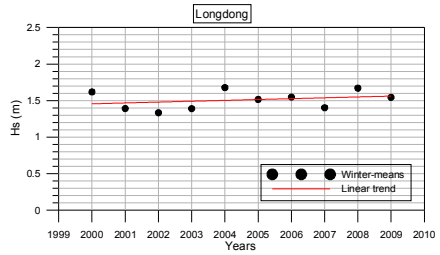

圖 4 龍洞海氣象資料浮標測站冬季平均示性波高時序列圖

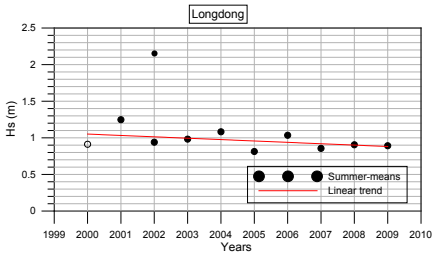

圖 5 龍洞海氣象資料浮標測站夏季平均示性波高時序列圖

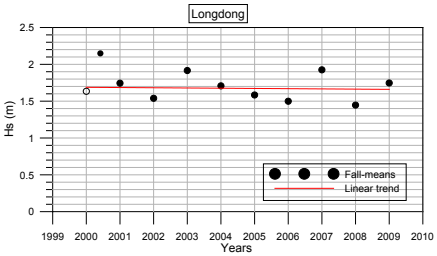

圖 6 龍洞海氣象資料浮標測站秋季平均示性波高時序列圖

3.2 平均週期

月平均周期在各個海氣象資料浮標測站都呈現負成長趨勢。由圖 7 可看出過去 10 年在龍洞海氣象資料浮標測站的月平均之平均週期減少 0.4 s/10 years，而過去 7 年龜山島海氣象資料浮標測站的月平均之平均週期減少 0.4 s/7 years，蘇澳海氣象資料浮標測站過去的 10 年月平均之平均週期減少 0.4 s/10 years，花蓮海氣象資料浮標測站在過去 12 年月平均之平均週期減少 0.3 s/12 years，整體而言，各個海氣象資料浮標測站在過去十年間的月平均之平均周期皆呈現減少的趨勢，但各個海氣象資料浮標測站於每年之間並沒有明顯的變化。

由圖 8 到 11 可看出龍洞海氣象資料浮標測站過去 10 年的平均週期在季節上有名顯的負成長趨勢。由春季到冬季分別減少 0.2 s/10 years、0.8 s/10 years、0.3 s/10 years 與 0.2 s/10 years，其中以夏季時最明顯。龜山島海氣象資料浮標測站的平均周期在春季到秋季分別減少 0.1 s/7 years、0.5 s/7 years 與 0.4 s/7 years，但冬季沒有明顯的變化。蘇澳海氣象資料浮標測站的平均週期由春季到冬季分別減少 0.3 s/10 years、0.9 s/10 years、0.3 s/10 years 與 0.1 s/10 years。花蓮海氣象資料浮標測站的平均週期由春季到冬季分別減少 0.3 s/12 years、0.4 s/12 years、0.2 s/12 years 與 0.1 s/12 years。

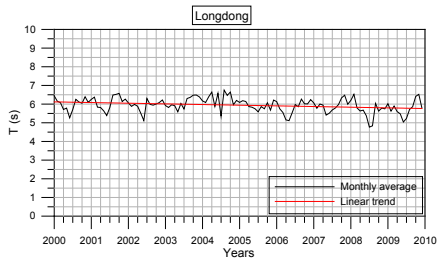

圖 7 龍洞海氣象資料浮標測站月平均之平均週期時序列圖

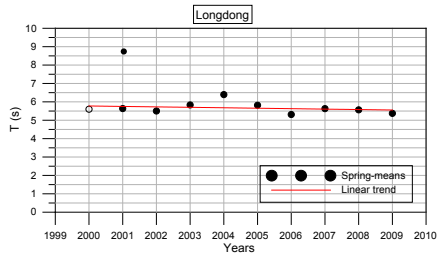

圖 8 龍洞海氣象資料浮標測站春季平均之平均周期時序列圖

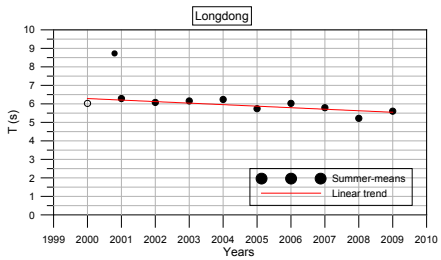

圖 9 龍洞海氣象資料浮標測站夏季平均之平均周期時序列圖

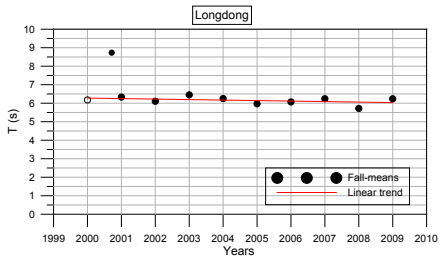

圖 10 龍洞海氣象資料浮標測站秋季平均之平均周期時序列圖

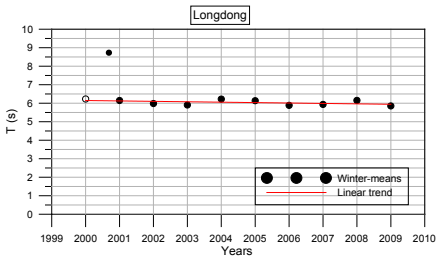

圖 11 龍洞海氣象資料浮標測站冬季平均之平均周期時序列圖

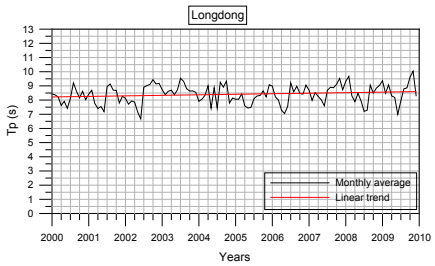

圖 12 龍洞海氣象資料浮標測站月平均尖峰週期時序列圖

3.3 尖峰周期

由圖 12 的龍洞海氣象資料浮標測站的分析結果我們可以發現過去 10 年的月平均尖峰周期增加 0.4 s/10 years，龜山島海氣象資料浮標測站在過去 7 年裡，月平均尖峰週期增加 0.1 s/7 years。蘇澳海氣象資料浮標測站過去 10 年間月平均尖峰週期增加 0.4 s/10 years。花蓮海氣象資料浮標測站過去 10 年的月平均尖峰週期增加 0.6 s/10 years。整體而言，各個海氣象資料浮標測站於過去 10 年的月平均尖峰週期皆為增加趨勢，但各個海氣象資料浮標測站的月平均尖峰週期在每年之間並沒有明顯的變化。

由圖 13 到圖 16 顯示龍洞海氣象資料浮標測站過去 10 年尖峰週期的季節性變化。除了在夏季呈現負成長趨勢，減少 0.6 s/10 years。在春、秋、冬三季都呈現正成長趨勢，分別為 0.3 s/10 years、0.8 s/10 years 與 0.8 s/10 years。龜山島海氣象資料浮標測站的尖峰週期在秋季及冬季呈現正成長趨勢，分別為 0.5 s/7 years、0.8 s/7 years。春夏兩季則呈現負成長趨勢，分別減少 1.3 s/7 years、0.3 s/7 years。蘇澳海氣象資料浮標測站的尖峰週期除了夏季時呈現負成長趨勢，減少 0.7 s/10 years，其餘季節皆呈現正成長趨勢，春季、秋季、冬季分別為 0.2 s/10 years、0.7 s/10 years、1 s/10 years。花蓮海氣象資料浮標測站的尖峰週期除了夏季時呈現負成長趨勢，減少 0.3 s/10 years，其餘季節皆呈現正成長趨勢，春季、秋季、冬季分別為 0.2 s/10 years、1 s/10 years、1.3 s/10 years，其中以冬季成長的幅度最大。

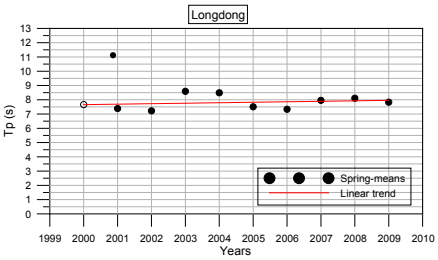

圖 13 龍洞海氣象資料浮標測站春季平均之尖峰周期時序列圖

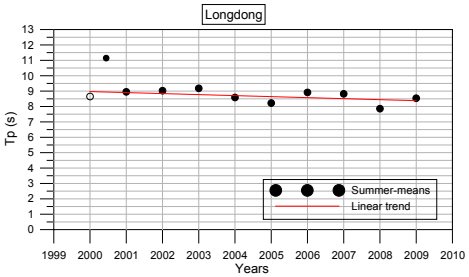

圖 14 龍洞海氣象資料浮標測站夏季平均之尖峰周期時序列圖

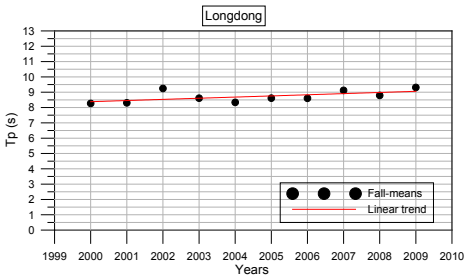

圖 15 龍洞海氣象資料浮標測站秋季平均之尖峰周期時序列圖

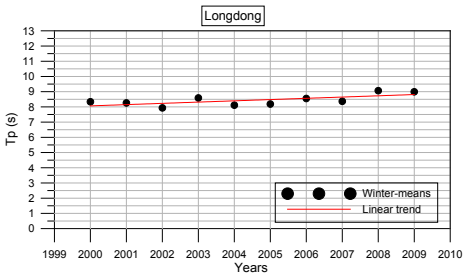

圖 16 龍洞海氣象資料浮標測站冬季平均之尖峰周期時序列圖

四、結論

統計東北角海域過去 10 年間月平均示性波高、月平均之平均週期以及月平均尖峰週期的變化與線性趨勢，我們可以發現除了龜山島海氣象資料浮標測站的月平均示性波高在過去7年呈現負\成長趨勢，其餘的各個海氣象資料浮標測站在月平均示性波高皆呈現正成長趨勢，尤其以花蓮海氣象資料浮標測站的成長幅度最大，可高達 13.9 cm/12 years，約增加 1.2 cm/year。龍洞、龜山島、蘇澳海氣象資料浮標測站的月平均之平均週期皆減少 0.4 s/10 years，花蓮 海氣象資料浮標測站則減少 0.3 s/12 years。但每年之間各個海氣象資料浮標測站皆沒有明顯的變化。各個海氣象資料浮標測站月平均尖峰週期的線性趨勢皆為成長，以花蓮海氣象資料浮標測站所成長的幅度最大可高達 0.6 s/10 years，但每年之間各個海氣象資料浮標測站並沒有明顯的變化。

由月平均分析結果可以發現各個海氣象資料浮標測站在示性波高、平均週期以及尖峰周期都有季節性的變化。各個海氣象資料浮標測站的示性波高在秋季以及冬季皆呈現正成長趨勢，其中又以秋季時的成長較為明顯，在花蓮海氣象資料浮標測站的秋季，成長幅度高達 19.8 cm/12 years，約 1.7 cm/year。月平均之平均週期在過去十年皆呈現成長趨勢，其中又以夏季時減少的幅度最大，在蘇澳海氣象資料浮標測站的夏季減少幅度可高達 0.9 s/10 years。而月平均尖峰週期的分析顯示在秋、冬時有明顯的成長趨勢，其中，以花蓮海氣象資料浮標測站冬季的成長幅度最大，可高達 1.3 s/10 years。

雖然觀測資料僅約 10 年左右的資料長度，但可做為波浪數值模式校驗使用，因此本研究下一步擬利用波浪數值模式模擬過去 60 年的波浪，進一步探討波候議題。

謝誌

本論文承蒙中央氣象局、觀光局以及水利署提供資料使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

1. 徐泊樺、顏志偉(2007)「淺談我國海洋能源之開發前景」，*物理雙月刊*，第廿九卷，第三期，第 718-726 頁。
2. Cox A, Swail V (2001) “A global wave hindcast over the period 1958–1997,” *validation and climate assessment. J Geophys Res* 106,2313–2329
3. Kushnir, Y., Cardone, V.J., Cane, M., (1995). “Link between Atlantic climate variability of surface wave height and sea level pressure.” Proc. Fourth Int. *Workshop on Wave Incasting and forecasting*, Banff, AB, Canada, 59 – 64.
4. Neu, H.J.A., (1984). “Interannual variations and long term changes in the sea state of the North Atlantic from 1970 to 1982. ” *Journal of Geophysical Research* 89, 6397 – 6402.
5. Sterl A, Komen G, Cotton P (1998) Fifteen years of global wave hindcasts using winds from the European Centre for Medium–Range Weather Forecasts reanalysis: validating the reanalyzed winds and assessing wave climate. *J Geophys Res* 103,5477–5492
6. The Wasa group, (1998). “Changing waves and storm in the Northeast Atlantic? ” *Bulletin of the American Meteorological Society* 79, 741 – 760.
7. Walden, H., Hogben, N., Burkhart, M.D., Dorrestein, R., Warnsink, W.H., Yamanouchi, Y., (1970). “ Long Term Variability, ”*4th International Ship Structures Congress*, Tokyo, Report of Committee 1, pp. 49 – 59.