

溫帶氣旋湧浪預報初步研究

許庭軒¹ 梁乃匡²
碩士班畢業生¹ 退休教授²
台大海洋研究所

摘 要

在美國、加拿大和阿拉斯加太平洋沿岸有時可以看到非常大的湧浪，在此海域過去曾有郵輪被海浪損毀的事件。因為溫帶氣旋是移動性風域，可能會如颱風產生巨大突發的巨浪，也許可以解釋一些無颱風時發生的海難。因為 NWW3 模式計算湧浪的結果不準，波高及週期都偏小。本研究探討北太平洋上的溫帶氣旋所造成的湧浪時，先利用 NWW3 模式計算出波浪場的波高、週期及波向，再利用能量守恆的原理，考慮傳遞距離以及角度擴展等因素求得波浪的到達時間及波高週期大小，推算結果比 NWW3 模式為佳。

關鍵字：溫帶氣旋；湧浪；NWW3 模式；傳遞距離；主風向與風場測站連線夾角

一、前言

在北太平洋中緯度地區，雖然沒有颱風，但有一種向東移動的溫帶氣旋，可能有部分與在美國、加拿大和阿拉斯加太平洋沿岸有時可以看到非常大的湧浪有關，這些湧浪甚至有可能造成郵輪被海浪損毀的事件。目前國內運用的 NWW3 模式，推算出來的湧浪波高或是週期不準，雖然趨勢上都有符合不過都偏小，尤其在波高極值方面誤差更大。因此，溫帶氣旋所造成的湧浪，有研究的價值。

溫帶氣旋水平尺度約 1000km 左右，大的可有 2000~3000KM，小的只有 200~300KM，發展到消亡約 3 天左右。北太平洋的溫帶氣旋形成機率最大的海域是 160°W~170°W，30°N~60°N。移動路徑主要向東或東北，移動速度在 20~40 哩/時，其強度大小不一定，強度大者，風速可至 70 哩/時或稍大。溫帶氣旋主要發生的季節是冬季（12月至次年 2 月）（蕭，2005）。

風域內所產生的波浪稱為風浪，而風浪傳到風域外則稱為湧浪。湧浪的傳播過程中，波浪的能量會隨著傳播距離的增加而減小，而頻率大的波衰減得較快，頻率小的衰減得慢，隨著傳播距離的增加，高頻波所佔有能量的比例越來越小，所以湧浪的平均週期會不斷增大。另有一種說法，由於非線性的作用，波浪傳遞過程中多個較短波長會合成較少個數但較長波長的浪(Huang, 1996)。

二、理論及使用資料

通過一垂直波向之單位寬度斷面的單位時間波功率為

$$\bar{P} = \bar{E}C_G = \bar{E}nC = \frac{1}{8}\rho g H^2 nC \quad (1)$$

式中 $\bar{P}$ 為能量通率(energy flux)或稱為波功率(wave power)，代表單位時間能量的輸送量，即能量傳播率=力*速度。假設波浪場能量向外傳遞且沒有損失的情況下，根據能量守恆，可以得到下式，也就是波源的功率會等於傳遞出去後，擴展範圍所得到的功率

$$\frac{1}{8}\rho g H_w^2 B C_G = \frac{1}{8}\rho g H_s^2 B' C_G \quad (2)$$

其中 H_w 為 NWW3 模式計算出波浪場前緣的波高， H_s 為測站測得的波高， B 為波浪場的寬度， B' 為波浪傳至距離 r 時所擴展的寬度(圖 1)

將式(2)改寫之後可得到下式

$$H_s = H_w \sqrt{\frac{B}{B'}} \quad (3)$$

假設風場與測站距離 r 遠大於 B ，因此 B' 會正比於 r ，則式(3)可表示為下式

$$H_s = C_0 H_w \sqrt{\frac{B}{r}} \quad (4)$$

其中 C_0 為一常數， r 為風場和測站的距離。根據湯

(2004)提到，各種方向不同的成分波，離開風域後，會以原來的波向前進，而波浪擴展之後，不在擴展延長線之處，也會受影響，即所謂角度擴展(angular spreading)。文&余(1984)提到在風浪生成和成長機制的研究中，風浪成長的計算方法相對於早期的方法而言，其特點在於討論不同方向、頻率之組成波的能量變化，且提出一種方向波譜的理論如下：

$$A^2(\omega, \theta) = KA^2(\omega) \cos^n \theta, \text{ 其中 } A^2(\omega) \text{ 為海浪頻}$$

譜， θ 為組成波的方向， K, n 為常數且與 ω, θ 無關。風浪組成波的能量集中於風向附近，故可取 θ 代表與風向的夾角，成份波能量相對於方向的分布是對稱的，比例於 $\cos \theta$ 的某次方，而在一些海浪預報方法中，最早取沿 θ 方向的波高等於沿風向($\theta=0$)的波高乘以 $\cos \theta$ ，所以式中的 n 取 2，因為波浪能量正比於波高平方，所以將(4)改寫為：

$$H_s = C_{02} H_w \sqrt{\frac{B}{r}} \cos \theta \quad (5)$$

其中 C_{02} 為一常數。因資料的格點太粗，風域的寬度 B 不夠準確，所以併入係數中。

$$H'_s = C_1 H_w \sqrt{\frac{1}{r}} \cos \theta \quad (6)$$

根據郭(2002)提到，短週期的波浪能量損失較快，剩下來的波浪週期較長，波浪的平均週期因此而增長。此外，湧浪在離開風域之後，傳遞距離越遠其週期也會越長。因此本研究也將求出風場週期，和測站週期間的關係，

$$T_s = C_2(r) T_w \quad (7)$$

其中 T_s 為測站量測到的週期， C_2 為經驗係數，並且與傳遞距離有關， T_w 為 NWW3 模式計算出風場前緣中點的波浪週期

本文是研究北太平洋的溫帶氣旋對湧浪的影響，而測站的位置是在美國加州外海經度為 122.404 W，緯度為 36.789 N，所以考慮的範圍是 30N~60N，180W~120W。(圖 2)，圖中小方塊為測站位置，大方塊為選取的風場範圍。

本研究使用的風場資料來自 NOAA 網站中 Pacific Fisheries Environmental Lab 裡的 Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC) Surface Winds，使用離海面 10 公尺的經向風速資料，以及緯向風速資料。此外，FNMOC 資料庫提供自 1997 年 7 月 20 12:00 至今的表面風速資料，空間解析度為 1 度 * 1 度，時間解析度為每 6 小時一筆。另外，本研究推算湧浪波高以及週期，所用到的波浪資料是來自 NDBC 編號第 46042 號測站的浮球，位置是在美國加州的外海經度為 122.404 W，緯度為 36.789 N，當地水深為 2115 公尺，監視半徑為 2000 公尺。下載資料的時候所選取的風場範圍是 30N~60N，180W~120W。

三、NWW3 的湧浪經驗公式

Tolman 於荷蘭 Delft 大學時發展 WAVEWATCH 1，於 1992 年發展 WAVEWATCH 2。WAVEWATCH 3 在 WAM 模式(Komen 等人，1994)的架構下，由 Tolman(1997，1999)於美國 NOAA/NCEP 發展的第三代波浪模式(李，2005)。有鑒於模式算出來的波高及週期不夠準，本節使用確認波源的方法求出經驗公式，首先要確定波場的參數，分別使用了波源波高、波源波向、傳遞距離以及波源週期。

1. 波源波高之決定

波源波高使用選取範圍內最大波高的 0.9 倍以上取平均，過程中使用過 0.7 倍、0.8 倍、0.9 倍及 1 倍四種倍率， C_1 的變異係數分別為 0.30、0.38、0.24、0.28，所以使用 0.9 倍最大波高所求的係數最為穩定。選取範圍例如圖(3)，等高線圖為波高，暖色系代表波高較大，冷色系代表波高較小，選取最大波高附近的範圍約 10 到 20 度，藍色方塊為人工選取範圍，箭頭為平均波向，箭頭原點為波源位置。

2. 波源波向之決定

波源波向首先將選取範圍內大於 0.9 倍最大波高的資料取出，再將所有的波向資料取平均。

3. 傳遞距離之決定

使用選取範圍內大於 0.9 倍最大波高資料的最東界為波源經度，該經度波浪的緯度資料取平均為波源緯度，也就是波浪場的前緣中點為波源位置，再利用公式求出傳遞距離。

4. 波源週期之決定

使用選取範圍內的最大波高位置之週期資料，如最大波高位置超過一點，則選較東及較北的資料。

本研究從 1998 年 11 月 1 號 0 時至 1998 年 11 月 30 號 18 時之間，取了 41 個波場的資料作為經驗係數的計算。在求經驗係數時盡量使用了較單純的波場，畫出波源在不同時間距離測站的關係圖，接著畫出測站所測波浪經過多少時間能傳遞多少距離，也就是反推波浪的來源，如圖(4)假如直線與圓圈連線有交集，則可推測及確定波源。

所得到的 $C_1=22.65$ ，NWW3 波高經驗式如下：

$$H_s = 22.65 H_w \sqrt{\frac{1}{r}} \cos \theta \quad (8)$$

其中 H_s 為測站波高， H_w 為波場波高， r 為傳遞距離， θ 為風向夾角

波浪在傳遞的過程中，傳遞距離越遠其週期也會越長。回歸 C_2 和傳遞距離除以波長的關係圖(5)，可得

$$T_s = \frac{\frac{r}{1.56 T_w^2} + 27.836}{23.596} * T_w \quad (9)$$

由圖(5)可以看出距離越遠 C_2 越大，所以傳遞的越遠週期會越變越大。

四、驗證與結論

NWW3 模式的計算通常要超過 24 小時才會穩定，圖(6)及圖(7)；模式的計算開始時間是 1999 年 1 月 09 日 18 時，至 1999 年 1 月 14 日 0 時已經 102 小時，所以模式計算已經穩定。在波高方面從 1 月 19 日 12 時至 1 月 20 日 12 時小時的部份計算的非常吻合，不過其他時間的部份雖然趨勢上都有符合不過都偏小，尤其在極值方面誤差更大。週期的部份只有 1 月 16 日 0 時附近較為準確，其他的部份雖然趨勢上都有符合不過都偏小。湧浪經驗法有些波浪幾乎同時到達，這也是會跟大浪的發生有關聯；因此將接近的浪以能量疊加方式相加，經驗法則能算出較合理的結果。

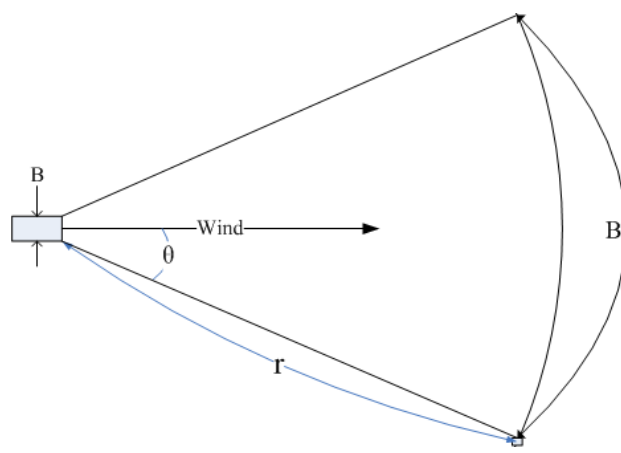
不過湧浪是接連不斷的傳來，而測站的實測資料是每小時一筆，可能會測不到極大的波浪，所以假如有時間解析度較高的測站資料，或許可以解決這方面的問題。將來在湧浪的預報上可以利用 NWW3 模式算出來的浪場搭配經驗公式計算湧浪，因為湧浪在到達之前約有兩三天的時間，此時的風場資料已非預測值，更能準確預測是否有波高週期極大的湧浪，以防範湧浪造成破壞。本文尚屬初步研究，建議再進一步深入研究。

五、誌謝

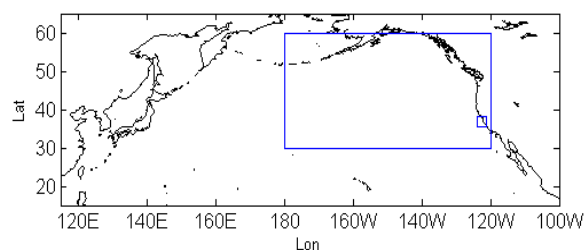
中央氣象局海象測報中心黃華興先生協助完成波浪模式的安裝，以及操作實務上的經驗分享；李汴軍教授及范揚銘博士給予模式操作上的建議；吳明進教授於大氣科學上的知識分享，在此一併誌謝。

六、參考文獻

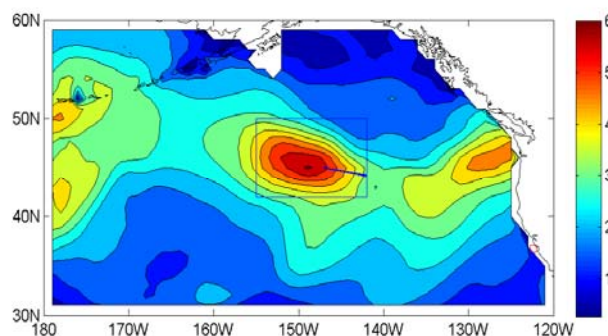
1. 文聖常，余宙文編著，1984: 海浪理論與計算原理，科學出版社，158-161
2. 李怡婷，2005: 風浪模式計算最佳化之研究，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文
3. 郭金棟，2002: 海岸工程，中國土木水利工程學會，147-148，97-103
4. 湯麟武，2004: 港灣及海域工程，中國土木水利工程學會，256 頁
5. 蕭華，2005: 航空氣象學，秀威資訊科技股份有限公司，111 頁
6. Huang, N. E., S. R. Long, and Z. Shen, 1996: "Frequency Downshift in Nonlinear Water Wave Evolution", *Advances in Appl. Mech.* 32, 59-117
7. Komen, G. J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann, and P.A.E.M Janssen, 1994: *Dynamics and Modeling of Ocean Waves*, Cambridge University Press, 532p



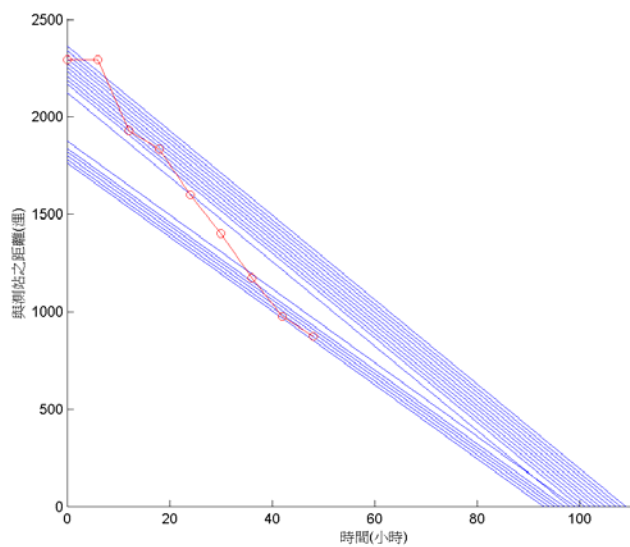
圖(1) 風浪傳播為湧浪示意圖



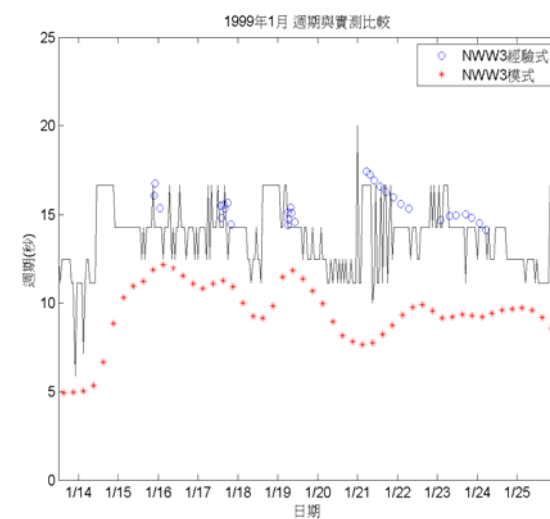
圖(2) 研究區域



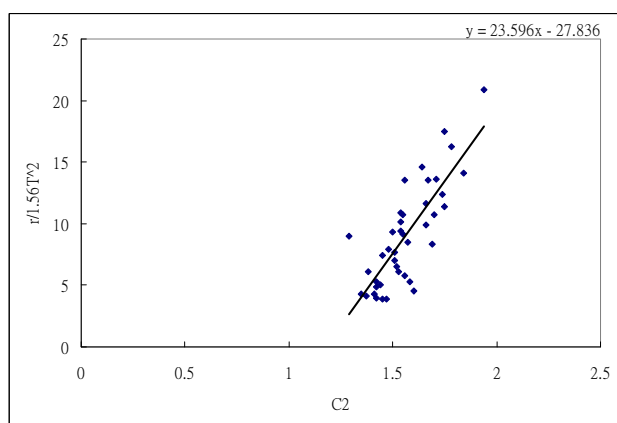
圖(3) NWW3 計算出 1998 年 10 月 15 日 18 時浪場圖



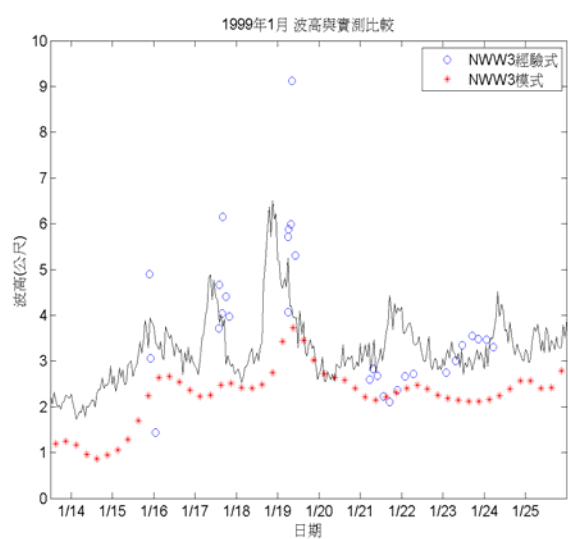
圖（4）確認波源示意圖



圖（7）週期推算與實測比較



圖（5）NWW3經驗式之c2與距離關係圖



圖（6）波高推算與實測比較

字體範例字體範例字體範例字體範例6 體範例字體範