

氣壓的長短期變化及其對潮位變動之影響

莊文傑

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

摘 要

大氣潮係指大氣層受到太陽日照增溫及熱輻射效應的影響，致使大氣壓力，亦能類如潮汐，自然具有長、短週期之振盪性。針對臺灣近岸海域的大氣潮，本研究將分別引用中央氣象局環島海象資料浮標及岸際驗潮站的逐時氣壓監測紀錄，藉以具體展現大氣潮之半日型短週期振盪及陳現季節性與年際之長週期振盪特性。另外，基於逆氣壓效應，為評估大氣潮對海面潮汐水位變動之影響，本研究亦將針對臺灣南北部的地理位置差異，分別檢選基隆與高雄驗潮站自1989至1991年的分年逐時實測潮位紀錄，並結合岸際實測氣壓，再應用HIS調和內差補遺模式(莊等，2006)，透過分年實測與分析預報潮位之平方根誤差及相關係數比較，據以評估大氣潮對潮汐水位之變動影響。從分年之影響評估結果可確知：不論是平常期、季風期或颱風期，在不同驗潮站之大氣潮或岸際氣壓的長、短週期變動性，皆會直接引致氣壓潮，進而對實測潮汐水位產生實質影響，其中，值得特別關注的是，構成潮汐之主太陽半日週潮(S_2)與太陽年週潮(S_a)等二個長、短週期之天文分潮成分。因此，依據實測潮位進行天文潮的調和分析，應充分考量大氣潮長、短週期性的振盪影響，並藉逆氣壓效應的修正，據以達成天文潮的純化，進而可更準確提供大潮高、低潮位訂定及暴潮位萃取等各項工程相關的天文潮外延預報應用。

關鍵字：大氣潮、氣象潮、天文潮、逆氣壓效應、調和分析

The Short Long-Term Atmospheric Pressure Variations and Its Correlated Impacts on Tides

Wen-Jye Juang

Center of Harbour and Marine Technology, Institute of Transportations, M.O.T.C.

Abstract

The atmospheric tides, similar to astronomical tides, indicate that the atmospheric pressure appears its short long-term periodic variations due to the effects of solar heating and thermal radiation. In order to clearly present the variability of atmospheric tides, the hourly pressure records that monitored on the Central Weather Bureau's data buoys and tidal gauge stations are applied to specifically present the semidiurnal, seasonal and yearly pressure variations. Based on the inverted barometer effects, it is known that the atmospheric tides can directly excite the pressure tides. Therefore, to assess the impacts of atmospheric tides, the tidal gauge data set associated with the atmospheric pressure of Keelung and Kaohsiung stations, which respectively located on the north and south coasts of Taiwan, during from 1989 to 1991 are collected, and then included in harmonic analysis. From the impact assessment results that evaluated by adopting the general criteria of root-mean-square and correlation coefficient with applying the HIS model (Juang et al., 2006), it is confirmed that the atmospheric tides can present significant effect on the astronomical tides, in particular, on the constituents of S_a and S_2 . This fact accordingly imply that the atmospheric tides should be essentially included in the tidal harmonic analysis such that the astronomical constituents can be accurately analyzed and the astronomical tides can be purified and correctly evaluated to support the extending applications of engineering, such as setting up the highest-lowest water levels of spring tides and extracting the storm surges.

Key words: Atmospheric Tides; Meteorological Tides; Astronomical Tides; The Inverted Barometer Effects; Harmonic analysis

一、前言

大氣層，係受地球重力牽引而圍繞著地球的層狀混合氣體，主要成分包括氮、氧、氫、二氧化碳，以及不到0.04%比例的微量氣體，全部集中在離地面約100公里的氣層中，且99%皆在低於25~30公里以內，垂直結構，大致可區分為：對流層(troposphere)、平流層(stratosphere)、中氣層(mesosphere)、增溫層(thermosphere)及外氣層(exosphere)。其中，對流層為最接近地面的大氣層，其高度會隨緯度而變化，在赤道約為15公里，極地約8公里，平均高度約10公里，氣層含有大氣中約80%的水氣，對流最旺盛，經常會造成天氣變化，氣溫隨高度升高而降低，每上升100公尺，氣溫約下降0.6°C；平流層，分層高度距地表約在10~50公里間，含有臭氧，具有吸收紫外線功能，又叫同溫層，是保護地球上生物生存環境的重要氣層，氣溫會隨高度升高而增加；中氣層，分層高度距地表約在50~80公里間，受光化學作用，主要氣體有臭氧、氧、二氧化碳及氮的氧化物，又稱光化層，氣層溫度隨高度上升而下降；增溫層，又稱熱氣層，分層高度距地表約在80~800公里間，空氣極稀薄，離子特別多，氣層溫度相當高，且隨高度升高而增加；外氣層，是外太空的起點，分層高度距地表約在800~3000公里間，含有氫及氦兩種最輕的氣體(維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/>)。

大氣壓力(atmospheric pressure)或氣壓，泛指在特定高度之大氣層中，具有特定密度的氣體，受到重力之牽引，而在單位面積上所產生的壓力。又依據理想氣體狀態方程式(ideal gas equation of state: $PV = nRT$ ， P 為氣壓， V 為體積， n 為氣體莫耳數， R 為理想氣體常數， T 為絕對溫度)，可知氣壓通常會隨著高度、氣溫、濕度及空氣密度之不同而變化。在海平面上，當氣壓為1013.25百帕(hPa)，或相當於每平方公方有1公斤重之標準大氣壓力下，若氣溫為15°C，則空氣的密度，大約為1.225 kg/m³。

大氣層的空氣，特別是對流層內的水氣與平流層頂端的臭氧(Ozone)，受到太陽日夜更替的輻射加熱作用、熱帶大氣對流(deep convection)造成的大尺度潛熱釋放、月球引力以及大氣長波，或稱行星波(planetary waves)或羅斯貝波(Rossby waves)的非線性交互作用影響，致使大氣壓力的變動，類似海洋潮汐，亦具有全球尺度的半日型、全日型、季節性與年際的週期振盪性，此種大氣壓力所具有之長、短週期振盪特性，通稱為大氣潮(atmospheric tides)(維基百科)。

關於大氣潮的觀察、論述與研究，在19世紀末，Hann (1889)及Cole (1892)等科學家即已觀察到地球平均海平面之氣壓變化，包含有氣壓日變化和半日變化特性，且其振幅在近赤道區較大。進入20世紀，更知道氣壓日變化具有空間性的不規則分布，而且也分析到氣壓半日變化，會造成幾種特定之潮汐分潮。其中，Spar (1952)研究全美100個測站之每月平均氣壓日變化圖集，發現氣壓等振幅線，近似以東西向橫跨全美大陸，且其半日變化之振幅，除了會愈靠近赤道愈大外，尚於春末夏初振幅最小。隨後，

Siebert (1961)、Lindzen (1967)、Chapman and Lindzen (1970)及Mass et al. (1986)曾研究地面氣壓之日變化性，並提出地面氣壓之半日變化，主要係因大氣之對流層、平流層和中氣層，受太陽日夜交替之加熱、冷卻作用，以及受太陽熱輻射波激發導致。Saucier (1972)再研究多個不同地理位置測站之氣壓日變化後指出，日最高與次高氣壓，皆分別發生在當地時間10時及22時左右，而主要最低與次低之低氣壓，則分別約發生在當地時間16時與04時。蒲 (2001)應用1979~1998年臺北松山、桃園中正、高雄小港及台東豐年等四機場航空氣象台每天逐時海平面氣壓和溫度，分析氣壓和溫度之時、空變化，進而指出，臺灣北部及南部，年平均逐時海平面氣壓之日變化，與Saucier(1972)的研究結果相同，皆有兩次升、降之半日變化特性，且每天最高與次高之高氣壓，分別約發生於上午及晚上10時，而最低及次低之低氣壓，則分別約發生於下午及清晨4時。Le Blancq (2011)研究印度果亞邦帕納吉(Panjim, Goa)、馬爾地夫馬利(Malé, Maldives)及海峽群島澤西島(Jersey, Channel Islands)等異國三地之大氣潮日變化特性，摘錄如圖1所示，並指出：大氣潮明顯具有半日週期之振盪性，且最小值分別約發生於下午及清晨4時，而最大值則分別約發生於上午及晚上10時；振盪之振幅，在極地區較小，約僅0.3毫巴(mbar)，越近赤道越大，約可達3毫巴。至於，造成大氣潮陳現半日週期振盪性的主要機制，迄今仍未完全瞭解，惟Pugh (1987)曾提及，受太陽日夜規則性的加熱作用，在較高的大氣層中，自然會導致氣壓具有日週期性的波動，接著，再透過大氣的動態結構(dynamic structure)，進而才能促成顯著的半日週期性振盪。此外，Cooper (1982)亦曾主張，大氣潮產生的最主要成因，是源自於平流層頂端的臭氧(Ozone)對於太陽紫外線的吸收。

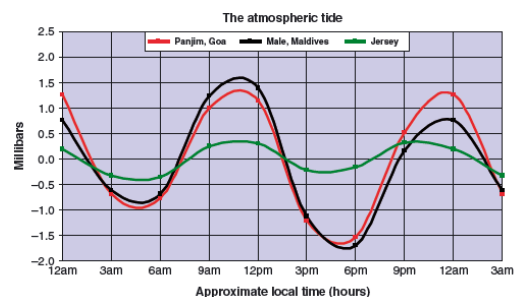


圖1 印度帕納吉(Panjim_紅)、馬爾地夫馬利(Malé_黑)及海峽群島澤西島(Jersey_綠)等三不同緯度地區之大氣潮日變化特性(圖資來源：Le Blancq, 2011)

針對臺灣近岸海域的大氣潮，本研究將分別引用中央氣象局海象資料浮標及岸際驗潮站的逐時氣壓監測紀錄，藉以具體檢視大氣潮的半日型短週期及季節性與年際之長週期振盪特性。另外，基於逆氣壓效應(inverted barometer effects)，為評估大氣潮對海面潮汐水位變動之影響，本研究亦將針對臺灣南、北部的地理位置差異，分別檢選基隆與高雄驗潮站自1989至1991年的分年逐時實測潮位紀錄，並結合岸際實測氣壓，再應用HIS調和內差補遺模式(莊等，2006)，透過分年實測與分析預報潮位之平

方根誤差及相關係數比較，據以評估大氣潮對潮汐水位之變動影響。

二、大氣潮的長短週期振盪特性

整理1989~1991年基隆及高雄驗潮站的逐時氣壓監測紀錄，可得岸際各別長、短期之大氣潮振盪特性以及其相互之對照比較，分別如圖2及圖3所示。相關日際與年際之變動特性，詳述如后。

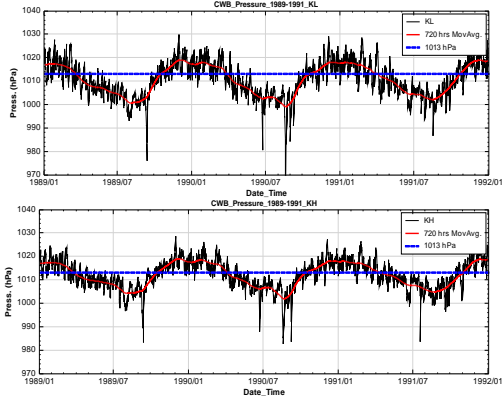


圖2 基隆(上)與高雄(下)驗潮站1989~1991年間的逐時氣壓監測紀錄及其大氣潮之長、短期振盪特性

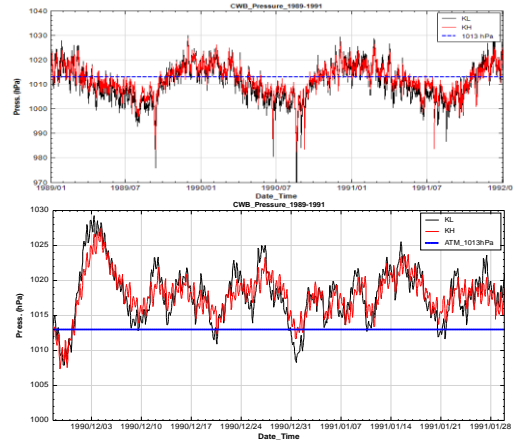


圖3 基隆(黑)與高雄(紅)驗潮站1989~1991年間的年際(上)與部分月期間的日際(下)大氣潮振盪特性之對照比較

(一)氣壓的半日週期振盪

針對臺灣東部近海，於2021/07/03 09:00~07/05 09:00期間，檢選龍洞、蘇澳、花蓮及鵝鑾鼻等4個中央氣象局(CWB)資料浮標之海面實測氣壓，可得日逐時氣壓之升降變動特性，分別如圖4所示。綜合觀察圖4可見，儘管各資料浮標的佈設緯度位置不同，外加當日氣溫通常只有一日一次高低之日週期變動性，如圖5所示，但日氣壓皆仍明顯具有兩次升、降變化，致使大氣潮與海洋潮汐類似，亦具有約12小時之半日週期振盪特性，特別是其每日較高之氣壓，分別皆約發生於上午10時及晚上10時；而較低之氣壓，則皆約發生於清晨4時及下午4時，並以下午4時至晚上10時之氣壓高低差較大，約可達3 hPa，換算振盪幅度，相當於3公分。



圖4 臺灣東部近海龍洞(上)、蘇澳(中上)、花蓮(中下)及鵝鑾鼻(下)資料浮標在海面實測氣壓所陳現之大氣潮及其半日週期振盪特性

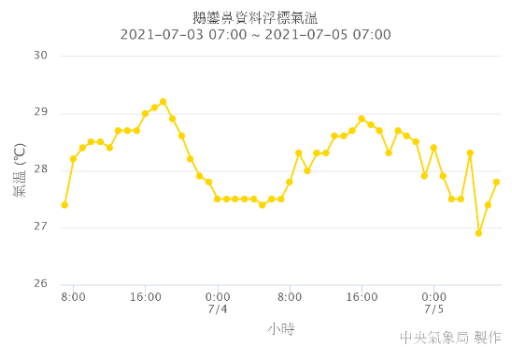


圖5 鵝鑾鼻資料浮標在海面實測之日氣溫逐時升降變動特性

接著，於今(2021)年07/05 08:00 ~ 07/07 08:00熱帶低氣壓天氣系統趨近期間，地面天氣圖如圖6所示，整理花蓮、蘭嶼及鵝鑾鼻等3個資料浮標之海面實測氣壓，可得日逐時氣壓與氣溫之升降變動，分別如圖7與圖8所示。由圖綜合觀察可見，僅管當期之日氣溫只有一日一次之高低變動性，但大氣潮約仍於每日上午10時及晚上10時、清晨4時及下午4時展現固有的半日週期升降振盪特性，只是在7月5日之低氣壓影響期間，氣壓升降變動較小，而在7月6日之氣壓回升期間，則有較顯著之升降振盪，氣壓高低差甚至可達約5 hPa，或相當振盪幅度約5公分。

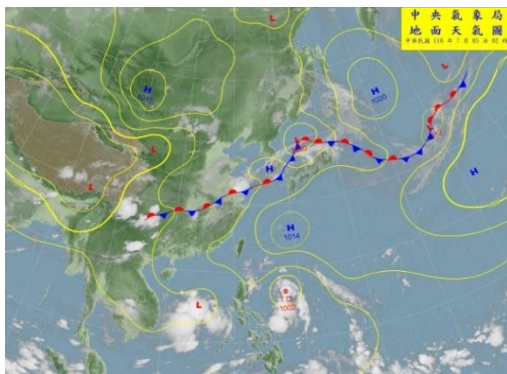


圖6 今年7月5日2時熱帶低氣壓天氣系統向臺灣東南部海岸趨近之地面天氣圖



圖7 今年7月熱帶低氣壓趨近臺灣東南部海岸期間花蓮(上)、蘭嶼(中)及鵝鑾鼻(下)資料浮標在海面實測氣壓所陳現之大氣潮及其半日週期振盪特性

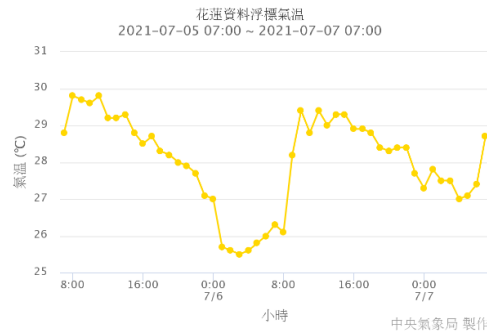


圖8 熱帶低氣壓系統趨近臺灣東南部海岸期間花蓮資料浮標在海面實測之日氣溫逐時升降變動特性

另外，由於大氣潮之振盪幅度，越近赤道越大(Hann, 1889; Cole, 1892; Spar, 1952; Le Blancq, 2011)，因此，針對座落於臺灣南部海岸的高雄驗潮站，自圖2所示1989~1991年的岸際氣壓逐時紀錄中，依據春、夏、秋、冬四季，進一步整理大氣潮隨季節變化之日變動性，可得如圖9所示。由圖綜合觀察可見，在1989~1991年間，大氣潮在四季皆可明顯展示半日週期之振盪特性，特別是其每日兩次之升、降變化中，較高之氣壓，分別固定約發生於上午10時及晚上10時；而較低之氣壓，則皆約發生於清晨4時及下午4時，且較大的氣壓高低差，仍約可達3 hPa，只是發生的時間，並不固定在清晨至近中午的白天，或在日落後的下午至夜晚。

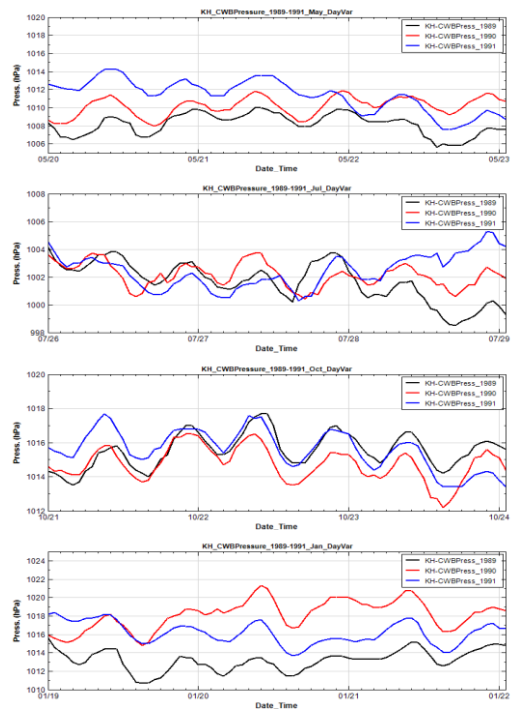


圖9 高雄驗潮站自1989~1991年岸際氣壓逐時紀錄中依據春(上)、夏(中上)、秋(中下)、冬(下)四季所展示大氣潮隨季節變化之半日週期振盪特性

綜合而論，關於大氣潮的日變動特性，參見圖4、圖7及圖9，經與圖5及圖8所示之典型日氣溫變化對照比較後可確認，大氣潮明確具有約12小時之半日週期振盪特性，其除了會受到較大尺度的熱帶低氣

壓系統干擾外(參見圖7), 因其每日兩次升、降發生之時間甚固定, 幾乎沒有類如潮汐之潮時不等的時間延遲, 所以應與日、月天體之引力作用無關, 又因其振盪幅度甚固定, 且僅隨緯度而變化, 所以亦應與區域性的天氣陰晴及乾濕狀態無關, 且亦不受季節性之氣溫高低變化所影響。鑑此, 造成大氣潮展現半日週期振盪性的主要機制, 僅管迄今仍無定論且有待更廣泛、深入的研究, 惟本研究從理想氣體狀態方程式出發, 推測大氣潮的半日週期性振盪, 應與大尺度的對流層、平流層, 甚至中氣層的大氣層空氣, 受太陽日夜交替之加熱、冷卻作用, 而致分層空氣密度變動有關, 甚且與大氣層受太陽熱輻射波激發而造成分層高度動態升降變動有密切關聯。

(二) 氣壓的年際週期振盪

針對圖2所示1989~1991年基隆及高雄驗潮站的長期逐時氣壓監測紀錄, 檢選有較多颱風發生的1991年作代表, 並各別經24小時(1日)及2160小時(1季~3個月)的中央移動平均處理(莊等, 2006、2008), 可將基隆及高雄大氣潮的年際變動特性, 對照比較如圖10所示; 至於長期年際的大氣潮振盪特性, 則可對照比較如圖11與圖12所示。由圖10及圖11綜合觀察可見, 受臺灣海域年際副熱帶天氣系統高、低氣壓轉變之影響, 基隆及高雄的大氣潮, 明顯皆具有一年一次隨季節變動的年際週期振盪性, 且較高之氣壓, 皆約發生於冬季(12~2月), 而較低之氣壓, 則皆約發生於夏季(6~8月), 較大的年際氣壓振盪幅度, 高低差約可達12 hPa, 相當於12公分。此外, 受夏季太平洋熱帶低氣壓天氣系統的影響, 基隆大氣潮的振盪幅度, 通常會大於高雄, 亦即大氣潮的年際週期振盪性, 與日週期振盪性不同, 它具有隨緯度增高而遞增趨勢。

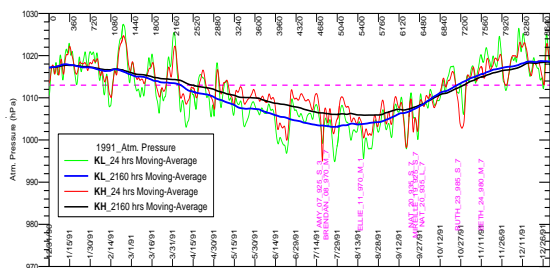


圖10 基隆及高雄驗潮站1991年逐時氣壓紀錄分別經日(綠、紅)與季(藍、黑)中央移動平均處理後之大氣潮年際振盪特性對照比較

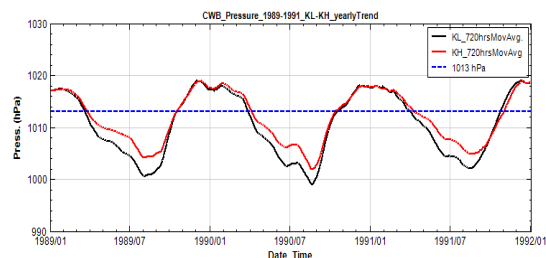


圖11 基隆(黑)及高雄(紅)驗潮站1989~1991年逐時氣壓紀錄分別經季(2160小時)中央移動平均處理後之大氣潮年際振盪特性對照比較

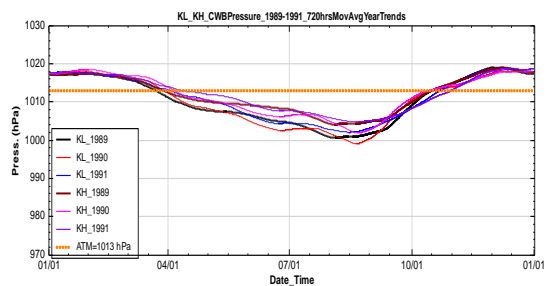


圖12 基隆及高雄驗潮站1989~1991年逐時氣壓紀錄分別經季(2160小時)中央移動平均處理後之分年大氣潮年際振盪特性對照比較

三、氣壓與潮位之關聯變動性

應用基隆及高雄驗潮站1991年的逐時氣壓與潮位監測紀錄, 參照圖10, 分別採用日、季中央移動平均處理後, 可綜整兩驗潮站的氣壓與潮位之年際關聯變動(莊等, 2006、2008), 分別如圖13及圖14所示。而針對兩驗潮站1989~1991年期間的逐時氣壓與潮位監測紀錄, 經整理氣壓與潮位之季節性關聯變動, 進而可對照比較如圖15及圖16所示。綜合觀察圖13至圖16可見, 基隆及高雄驗潮站隨季節變動之潮位與氣壓, 皆明顯具有一年一次的年際週期振盪性, 只是在逆氣壓效應(*IB_inverted barometer effects*)影響下, 潮位與氣壓之年際週期振盪特性恰相倒置, 致使較高之潮位, 與較低的氣壓對應, 皆約發生於夏季(6~8月), 而較低之潮位, 則與較高的氣壓對應, 皆約發生於冬季(12~2月)。至於, 較大的氣壓年週期變動所引致約20~30公分的潮位變化, 其約可佔相同年週期內實測潮位約40公分總變動量的一半。

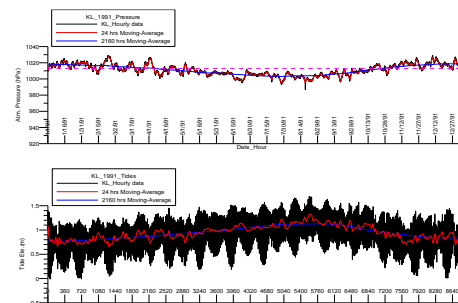


圖13 基隆驗潮站1991年的逐時氣壓(上)與潮位(下)監測紀錄分別經日(紅)、季(藍)中央移動平均處理後之年際氣壓與潮位的關聯變動特性對照

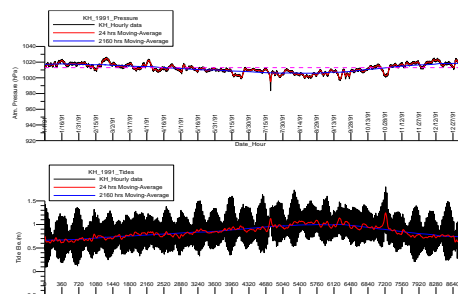


圖14 高雄驗潮站1991年的逐時氣壓(上)與潮位(下)監測紀錄分別經日(紅)、季(藍)中央移動平均處理後之年際氣壓與潮位的關聯變動特性對照

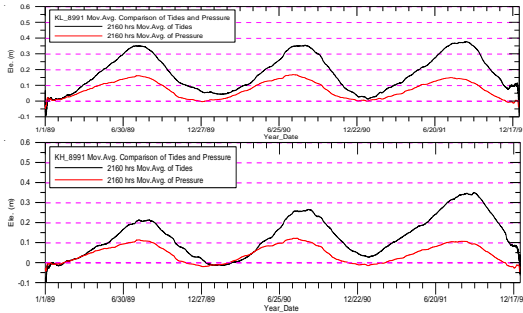


圖15 基隆(上)及高雄(下)驗潮站1989~1991年期間隨季節變動的潮位(黑)與逆氣壓(紅)之年際週期振盪特性對照比較

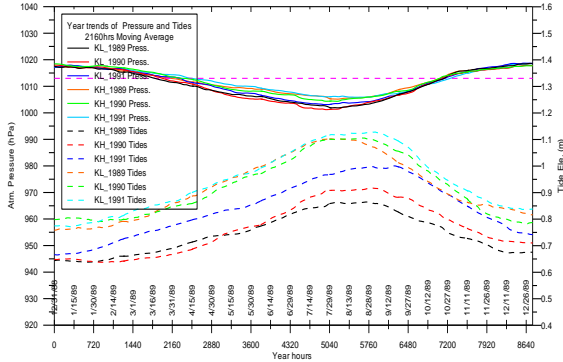


圖16 基隆及高雄驗潮站1989~1991年期間隨季節變動的潮位與氣壓之年際週期振盪特性對照比較

四、氣壓對潮位之影響評估

潮位通常係由天文潮(astronomical tides)與氣象潮(meteorological tides)共構合成。天文潮主要係因天體間相互作用引力造成；而氣象潮則泛指因氣壓、風力、與氣溫等氣象因素變化所引起的海水位變化，一般又可稱為異常潮(abnormal tides)，其中，單純因氣壓升降所造成的海水位變化，稱為氣壓潮(pressure tide)，而在颱風期間，因氣壓、風力及風浪綜合影響所導致之海水位變化，則統稱為暴潮(storm surge)。

大氣潮類屬於氣壓潮，無論在海面或陸地，皆可藉逆氣壓效應(IB)，展現其半日與隨季節變化之年際週期振盪特性。因此，為自實測潮位中，分離天文潮位，並評量大氣潮對潮位變化的影響，應用莊等(2006)提出含有13個固定長、短週期主要天文分潮的HIS調和內差補遺模式，設定分年逐時實測潮位紀錄 η_i 的分析依據如下：

$$\eta_i = a + bt_i + \sum_{j=1}^{13} C_j \sin(\omega_j t_i + \phi_j) + C_p \Delta P_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

式中， a 為潮位年平均均值(MSL)； t_i 為時間之年時序； b 為潮位平均年變率(MSLR)； ω_j 為天文分潮之角頻率； C_j 與 ϕ_j 分別為天文分潮之振幅與遲角； C_p 為逆氣壓轉換係數， $\Delta P_i = P_i - P_{ref}$ 為逐時氣壓 P_i 與參考氣壓 P_{ref} 之差值； ε_i 為潮位之分析誤差。式(1)中，若令 $b = 0$ 、 $C_p = 0$ ，則為傳統天文潮HA模式之調和分析。

另外，對於分年逐時實測潮位，為檢測依據式(1)分析、計算所得之逐時天文潮與大氣潮合成潮位的

準確度，並評估大氣潮對傳統天文潮調和分析的影響性，再分別定義平方根誤差RMS及相關係數 γ (corr. coef.)如下：

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{N-1}} \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2]^{1/2}} \quad (3)$$

式中， x_i 為式(2)或式(3)等號右側之分年逐時實測潮位；而 y_i 則為依據式(1)分析、計算所得之分年逐時天文潮與大氣潮合成潮位； N 為分年逐時實測潮位紀錄之總數；而 \bar{x} 、 \bar{y} 分別為與實測及分析計算合成潮位對應之平均值。

針對基隆(KL)與高雄(KH)驗潮站1989~1991年的分年逐時實測潮位與氣壓紀錄，考量大氣潮之逆氣壓效應，並設定參考氣壓 $P_{ref} = 1013.3$ hPa，應用式(1)，先行進行天文潮與大氣潮合成潮位之調和分析，並作自身預報計算(HIS)，然後，再依據式(2)及式(3)進行準確度分析，結果可得如表1所示，表中，”()”內的數值，為令 $C_p = 0$ ，即忽略大氣潮之逆氣壓效應，而僅進行純天文潮調和分析與自身預報計算(HA)之準確度分析結果。觀察表1，首先對照比較潮位年平均均值或平均海平面高度(MSL)可知，在1989至1991年間，不論是在基隆或高雄驗潮站，應用HIS模式作天文潮與大氣潮合成潮位的分析預報，與忽略大氣潮逆氣壓效應而採用HA模式進行純天文潮調和分析預報，其MSL普遍存在有約2~8公分的下降，這事實說明，大氣潮的逆氣壓效應，將會造成MSL的改變。另外，對照比較潮位平均年變率(MSLR)可知，基隆或高雄驗潮站分年的MSLR，基隆皆大於高雄，而若忽略負年變率，則兩站最低值分別為9.636與1.752 cm/yr，相互差異極大，惟就三年期間平均之MSLR而論，其值相同，皆為3.796 cm/yr，僅管如此，兩站長、短期的MSLR，皆仍遠高於臺灣周圍海域海平面每年約2~4毫米的年平均上升速率(莊等，2014)，造成原因，尚待進行後續更多分析比對以進一步確認，但推測應與驗潮站的潮位基準變動或偏移有關。

表 1 基隆(KL)與高雄(KH)驗潮站 1989~1991 年的分年逐時實測潮位與進行天文潮及大氣潮合成潮位調和分析及其自身預報(HIS)之準確度比較分析

Station	Year	HIS_13Consts				
		MSL (cm)	MSLR (cm/yr)	Cp (cm/hPa)	RMS (cm)	Corr. Coef.
KL	1989	84.534 (92.223)	+9.636	1.067	6.402 (7.789)	0.976 (0.964)
	1990	93.555 (92.403)	-9.636	1.167	7.278 (9.026)	0.969 (0.952)
	1991	86.364 (94.578)	+11.388	1.214	6.541 (8.164)	0.975 (0.960)
KH	1989	72.523 (74.434)	+1.752	0.736	6.070 (6.518)	0.972 (0.968)
	1990	74.203 (76.491)	+1.752	0.968	5.833 (6.849)	0.975 (0.966)
	1991	79.683 (84.328)	+7.884	0.735	5.901 (6.399)	0.975 (0.970)

其次，比較大氣潮之逆氣壓轉換係數 C_p 可知，在1989~1991年間，基隆驗潮站的 C_p ，普遍均超過0.993 cm/hPa的理論值，而在高雄驗潮站，則一般低於理論值，這結果意謂，位在臺灣北部的基隆驗潮站，大氣潮之逆氣壓效應較不明顯，而位在臺灣南部的高雄驗潮站，大氣潮因具有與天文分潮相同的週期振盪性，以致大多被合併納入於天文分潮中。

最後，就平方根誤差(RMS)與相關係數(Corr. Coef)綜合而論，在1989~1991年各分年間，不論是基隆或高雄驗潮站，將應用HIS模式作天文潮與大氣潮合成潮位的分析預報，與忽略大氣潮逆氣壓效應而採用HA模式進行純天文潮調和分析預報作相互對照比較，可見HIS模式相對於HA模式，RMS均較小，相關係數皆較高，另外，在基隆驗潮站，由於其 C_p 較高高雄驗潮站大，大氣潮振盪幅度較小，以致其RMS普遍偏大，相關係數反而較低，儘管如此，上列的評估結果仍說明，在長、短期的實測潮位調和分析中，納入大氣潮的逆氣壓效應，不僅甚為必要，尚且可有效降低調和分析誤差，並提昇預報之準確性。

至於大氣潮對實測潮位的影響性，針對基隆驗潮站1989年與高雄驗潮站1990年之分年逐時潮位紀錄，應用式(1)，採用考量大氣潮逆氣壓效應之HIS模式及單純含括天文潮之HA模式進行調和分析(莊等，2008)，即可綜整相關之評估結果，分別如表2及表3所示。

表2 針對基隆(KL)驗潮站 1989 年的分年逐時實測潮位紀錄藉 HIS 及 HA 模式進行調和分析以評估大氣潮對實測潮位的影響性

KL_1989L00A.dat				
HIS Harmonic Analysis		Excl. Pres. (HA)	Incl. Pres. (HIS)	HIS-HA HA
Consts.	Period (Hrs/Cyc.)	Ampl. (m)	Ampl. (m)	Rel. Diff. (%)
K2	11.96724	.01832	.01877	2.46
S2	12.00000	.05489	.05280	-3.81
M2	12.42060	.21351	.21393	0.20
N2	12.65835	.05268	.05296	0.53
K1	23.93447	.20424	.20504	0.39
P1	24.06589	.06158	.06234	1.23
O1	25.81935	.17769	.17739	-0.17
Q1	26.86836	.03782	.03767	-0.40
Mf	327.85898	.00545	.00373	-31.56
MSf	354.36740	.01281	.00284	-77.83
Mm	661.31006	.00158	.00079	-50.00
Ssa	4382.88916	.02748	.02454	-10.70
Sa	8766.54688	.17214	.07220	-58.06

觀察表2及表3，並對照比較HIS模式與HA模式之調和分析結果可見，不論是位在臺灣北部的基隆驗潮站，或位在臺灣南部的高雄驗潮站，大氣潮的逆氣壓效應，由於其明顯具有半日及年際的週期振盪性，故而皆會對實測潮位的調和分析結果造成影響，受影響較顯著的長、短週期天文分潮包括：主太陽半日週潮(S_2)、日月合成半日週潮(K_2)、太陰半月週潮(M_f)、日月合成半月週潮(MS_f)、太陰月週潮

(M_m)、太陽半年週潮(S_{sa})及太陽年週潮(S_a)，其中，相對於分潮振幅原本即偏小的半月週潮 MS_f 與 M_m ，因此，受影響最大，應屬年週潮 S_a 。在1989~1991年基隆與高雄驗潮站的分年逐時潮位紀錄中，就基隆驗潮站而言，大氣潮對天文潮太陽年週潮(S_a)之影響性，分別可達58.1%、34.6%、64.3%；而在高雄驗潮站，則分別可達41.0%、39.6%、39.5%。這意謂具有年週期的天文分潮，實際與大氣潮關聯密切，且受其逆氣壓效應之作用明顯。此外，由表2及表3詳細觀察尚可發現，在短週期的天文分潮中，主太陽半日週潮(S_2)亦明顯會受大氣潮的半週期變化所影響。

表3 針對高雄(KH)驗潮站 1990 年的分年逐時實測潮位紀錄藉 HIS 及 HA 模式進行調和分析以評估大氣潮對實測潮位的影響性

KH_1990L00A.dat				
HIS Harmonic Analysis		Excl. Pres. (HA)	Incl. Pres. (HIS)	HIS-HA HA
Consts.	Period (Hrs/Cyc.)	Ampl. (m)	Ampl. (m)	Rel. Diff. (%)
K2	11.96724	.02374	.02451	3.24
S2	12.00000	.06800	.07349	8.07
M2	12.42060	.16941	.16985	0.26
N2	12.65835	.03926	.03947	0.53
K1	23.93447	.18379	.18431	0.28
P1	24.06589	.05658	.05637	-0.37
O1	25.81935	.18152	.18195	0.24
Q1	26.86836	.03627	.03608	-0.52
Mf	327.85898	.00109	.00474	334.86
MSf	354.36740	.00280	.00284	1.43
Mm	661.31006	.01838	.01789	-2.67
Ssa	4382.88916	.02104	.01345	-36.07
Sa	8766.54688	.14744	.08905	-39.60

五、結論

大氣潮的短週期振盪，每日皆有二次升降，亦即具有約12小時之半日週期振盪特性，特別是其每日較高之氣壓，固定皆約發生於上午10時及晚上10時；而較低之氣壓，則皆約發生於清晨4時及下午4時，並以下午4時至晚上10時之氣壓高低差較大，約可達3 hPa，換算振盪幅度，相當於3公分。此外，大氣潮的長週期性振盪，明顯具有一年一次隨季節變動的年週期振盪性，且較高之氣壓，固定皆約發生於冬季(12~2月)，而較低之氣壓，則皆約發生於夏季(6~8月)，較大的年際氣壓振盪幅度，高低差約可達12 hPa，相當於12公分。

造成大氣潮展現半日週期振盪性的主要機制，迄今仍無定論，惟依據其每日無時間延遲地概約在同時間發生升降起伏振盪，且振盪幅度固定，並僅隨緯度高低變化，加以不受季節性之氣溫高低變化所影響等特性，可初步研判，其應與日、月天體之引力作用無關，亦不致受區域性的日氣溫變動、天氣陰晴及乾濕狀態所影響。儘管如此，從理想氣體狀態方程式出發，可推測大氣潮的半日週期性振盪，應與大氣層空氣，受太陽日夜交替之加熱、冷卻作用，而致分層空氣密度變動有關，甚且與大氣層受

太陽熱輻射波激發而造成分層高度動態升降變動有密切關聯。

至於大氣潮對實測潮位的影響，回顧圖9及圖11所示大氣潮原始本質所具有之半日及年際週期振盪性，再基於表1、表2及表3之評估結果，可確認大氣潮對天文潮之主太陽半日週潮(S_2)及太陽年週潮(S_a)的影響性最大，所以，依據實測潮位進行天文潮的調和分析，應充分考量大氣潮長、短週期性的振盪影響，並藉逆氣壓效應的修正，據以達成天文潮的純化，進而可更準確提供大潮高、低潮位訂定及暴潮位萃取等各項工程相關的天文潮外延預報應用。

Behavior of the Semidiurnal and Diurnal Pressure Variations in East Antarctica.” J. Appl. Meteorol, 41, pp. 1093–1100. doi: 10.1175/1520-0450(2002)0412.0.CO;2

11. Pugh, DT. (1987) “Tides, Surges and Mean Sea-Level.” John Wiley & Sons, Chichester, p. 472.

參考文獻

1. 蒲金標 (2001)，「臺灣北部和南部氣壓日變化之分析研究」，大氣科學，第 29 期，第 3 號，第 191-202 頁。
2. 莊文傑、曾相茂、江中權 (2006)「潮汐資料之補遺及其在暴潮位萃取之應用」，第 28 屆海洋工程研討會論文集，台灣海洋工程學會，國立中山大學，第 277-282 頁。
3. 莊文傑、林立青、張憲國 (2008)，「岸際氣壓對潮汐調和分析與預報之影響」，第 30 屆海洋工程研討會論文集，台灣海洋工程學會，國立交通大學，第 613-618 頁。
4. 莊文傑、李俊穎、藍文浩 (2014)，*全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(1/4)_臺灣近岸潮位紀錄應用於平均海水位變動率之分析*，基本研究報告 103-48-7752，交通部運輸研究所，共 105 頁。
5. Chapman, S. and Lindzen, RS. (1970) “Atmospheric Tides: Thermal and Gravitational.” D. Reidel Publishing Co.: Dordrecht, Holland, The Netherlands; p. 201.
6. Cooper, NS. (1982) “Inferring Solar UV Variability from the Atmospheric Tide.” Nature, 296, pp. 131-132.
7. Gil, E. and De Toro, C. (2005) “Improving Tide-gauge Data Processing: A Method Involving Tidal Frequencies and Inverted Barometer Effect,” Computer & Geosciences, 31, pp. 1048-1058.
8. Haurwitz, B. and Cowley, AD. (1973) “The Diurnal and Semidiurnal Barometric Oscillations Global Distribution and Annual Variation.” Pure Appl. Geophys, 102(1), pp. 193–222. doi:10.1007/BF00876607.
9. Le Blancq, F. (2011) “Diurnal pressure variation: the atmospheric tide.” Weather, Royal Meteorological Society, Vol. 66, No. 11, P.306-307.
10. Petenko, IV. And Argentini, S. (2002) “The Annual