

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 地球科學科

040509

潮汐成因分析與探究－以花蓮港為例

學校名稱：臺北縣私立辭修高級中學

作者： 高二 黃泰寧 高二 李承修 高二 郭明儒	指導老師： 季紅蔓
---	------------------

關鍵詞：潮汐、高潮間隙

作品名稱：潮汐成因分析與探究－以花蓮港為例

摘要

本文分析中央氣象局 1999 至 2008 年間六年的花蓮港實測資料，排除颱風暴潮的影響後，討論月相變化、月亮仰角、太陽仰角及月地距離等變因對潮位變化及延遲時間的影響。運用統計法，將各月相同相位的潮高和高潮間隙進行疊加平均，以比較月相變化的影響。在全年月相疊加平均潮高中，發現每天的兩次滿潮潮高約相同，且朔和望的滿潮潮位相近，表示排除其他因素，朔、望滿潮應相同。另外，高潮間隙在望和朔時較小，上、下弦月時較大，可能是因為朔、望時引力有加乘的效果，故延遲較少。分析比較不同季節、月相及日、月仰角的潮位，由此而知，月上中天所引起的潮位變化和月前滿潮較為吻合，因此我們認為海底黏滯力很可能使滿潮延遲 180 度以上。

壹、研究動機

潮汐現象可以視作一種的水質點波動，其變化的因素有引力、氣壓、風、雨、海水密度及溫度…等，而最為主要的還是要屬月球、太陽的吸引力。

在台灣，主要為半日潮，每次滿潮時距平均潮汐週期為 12 時 25 分，平均每日延遲 50 分鐘，自月亮中天至滿潮的時間稱做高潮間隙，至乾潮的時間則稱乾潮間隙。

潮汐是長久以來就一直存在的自然現象，且和人們的生活密不可分，過去雖然經過人們的觀察與計算，得知其變化的狀況，並找出預測的方法或公式，但於高中地球科學課本或網頁資料，卻鮮少深入探討其成因。故希望藉由這次機會可以較深入的探討影響潮汐變化的可能原因，還有其變化的規則性。

課本上有介紹大潮和小潮的成因，主要是日、地、月的相對位置不同造成的，因此想瞭解日、地、月相對位置成爲一直線的朔和望，此兩日的大潮潮高大小是否會有不同。根據引潮力公式： $G = \text{萬有引力常數}$ $M = \text{月球質量}$ $R = \text{地球半徑}$ $D = \text{月地距離}$

$G \left(\frac{MR}{D^3} \right) (3 \cos^2 \alpha - 1)$ ，在 $\alpha = 0^\circ$ 或 180° 時，引潮力應會大小相等方向相反。日月引潮力加疊後，朔望的潮高應相同。與老師討論後，老師建議下載中央氣象局的資料進行比較，進而發現一些奇怪的現象，如月亮在中天時，當地卻不是滿潮，其延遲時間甚至可達四至八小時，因此想藉由詳細分析整年的潮汐資料，觀察資料中朔、望的大潮是否有差異，及滿潮的延遲時間(以下稱高潮間隙)是否具有規則性，並探討可能原因。

貳、研究目的

利用實際潮汐潮位及高潮間隙資料與月相、月亮仰角、太陽仰角、月地距離等影響因子進行比對，觀察是否具有規律，以解析影響潮汐變化的成因(以花蓮港為例)。

參、 研究器材

- 一. 電腦一部
- 二. 1999、2000、2002、2004、2007、2008 年潮汐資料
- 三. 1998-2009 年天文年鑑太陽表及月球表資料
- 四. 1999、2000、2002、2004、2007、2008 年颱風資料
- 五. Microsoft Excel 程式

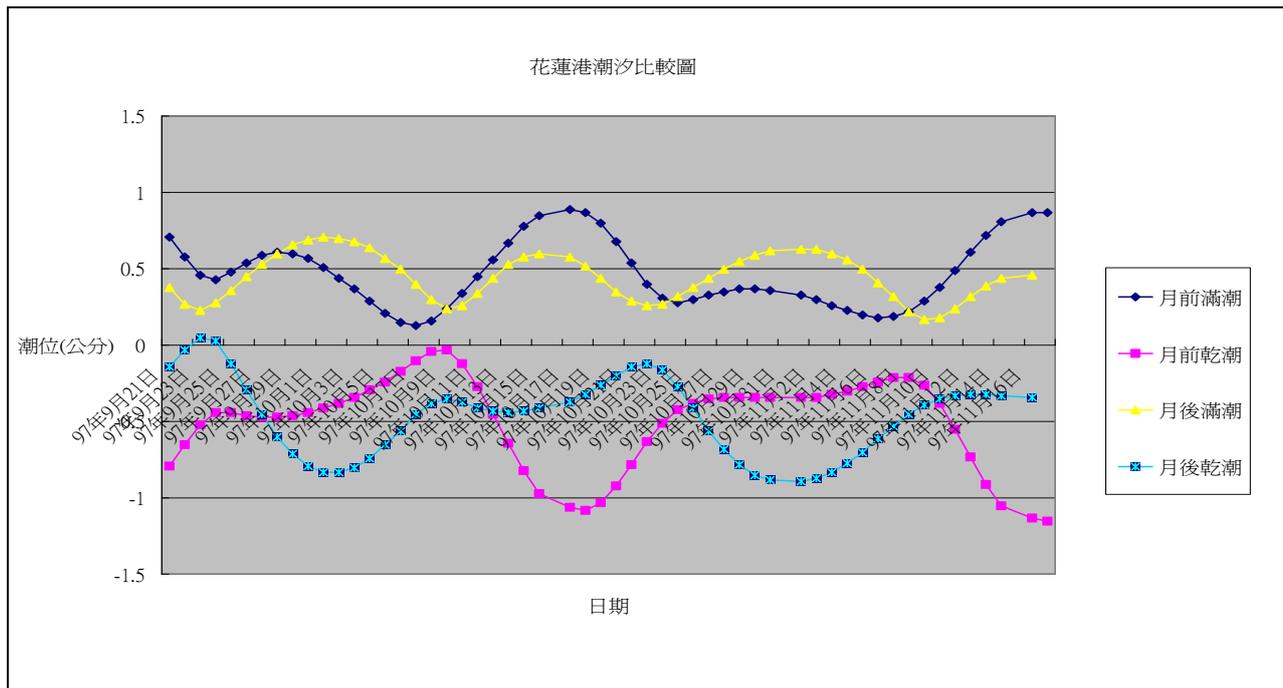
肆、 研究過程與方法

一. 選擇並取得實際潮位觀測資料

(一) 選擇港口：

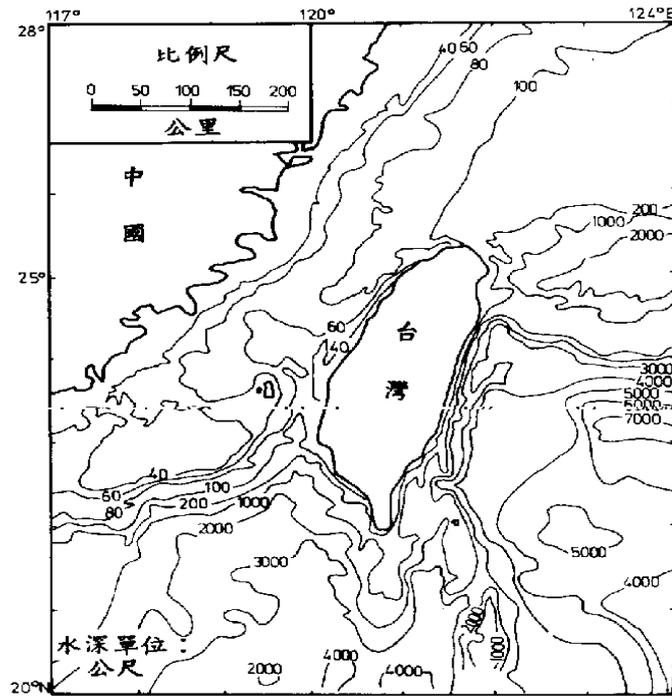
潮汐的成因除日月引力外，尚受地形、洋流等因素影響，本研究希望瞭解天文潮變化的規律，故希望選擇較單純，受地形因素影響較小之港口資料。

最初，我們在中央氣象局網站的潮汐預報上取得台灣東部幾個測站的兩個月份的潮汐預測資料，分別做出各個測站兩個月之內的滿潮和乾潮變化。如圖一。



圖一 花蓮潮位比較圖

由查詢資料得知，在台灣的四周海岸中，南北岸的潮汐屬於全日潮，東西岸屬於半日潮，我們希望選擇較為單純的半日潮來分析，故排除了南北岸的港口。此外，西岸位於台灣海峽內，可能會受到較大的地形效應影響，而東岸面對太平洋，直接接受到太平洋傳來的潮波，且海水較深，受海底地形的影響力較小，故選擇東岸港口。東岸各港口中以花蓮的海底地形變化最小，所以選定花蓮作為研究對象。花蓮測站位置在花蓮市花蓮港內。經度: 121°37'23"E，緯度: 23°58'49"N。



圖二 臺灣海底地形圖

- (二) 選擇年分：經查詢中央氣象局的海象資料報表，顯示 2008 年資料較完整，因此選擇其資料。
- (三) 向中央氣象局申請潮位觀測資料。

二. 資料修正：

(一) 資料格式修正：

1. 在取得的全年潮位統計值月報表中、有十二個月份的農曆及國曆日期、第一次滿、乾潮及第二次滿、乾潮的時間和潮高資料，由於要以農曆各個月份來分別做出圖表，但資料格式無法直接使用（時間與日期為文字格式）。因此要將文字格式轉換為日期與時間格式，我們使用 Excel 的函數 CONCATENATE（將數個文字串連成一個文字串），並將其文字格式改成時間與日期格式。
2. 在天文年鑑中取得仰角資料，其格式為月亮仰角角度與天頂南北並列（如 87N），故使用 Excel 的「資料剖析」功能，將月亮仰角角度與天頂南北分開並予以修正。

(二) 時間的修正：

潮位統計逐日報表中，每日有二次滿潮資料，但若某日第一次滿潮的潮汐資料(以下稱滿潮一)有數據缺失，便導致當日第二個滿潮(以下稱滿潮二)去補前一個滿潮資料，成為第一次滿潮，如此一來，便會有滿潮一和滿潮二資料錯置的狀況，故必須把資料移回原來的位置，進而得到正確的數據。(如表一)

表一 時間修正實例

日期				第一次滿潮		第一次低潮		第二次滿潮		第二次低潮	
國曆	農曆			時間	潮高	時間	潮高	時間	潮高	時間	潮高
1	13	12	6	9:24	47	3:00	-72	21:24	59	15:12	-41
1	14	12	7	22:06	36	3:36	-60			16:06	-46

(三) 月前、月後的潮位修正：

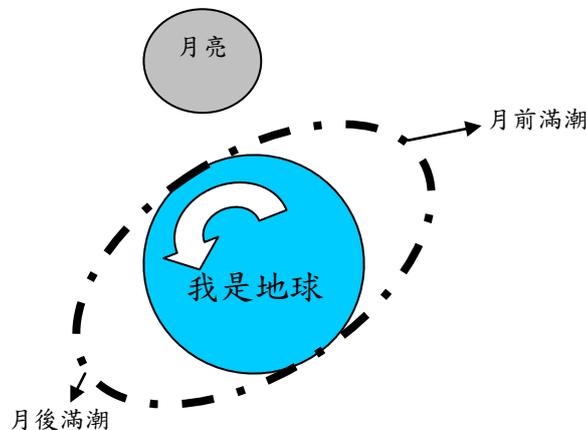
因滿潮時間每日皆有延遲的現象，故當某日的滿潮二很接近 23 至 24 時之間，第二日的滿潮二會遞移為第三日的滿潮一（如表二）。因此為了避免受日期的影響，我們將滿潮一和滿潮二重新分為月亮過中天前的滿潮（以下稱月前滿潮）和月亮過中天後的滿潮（以下稱月後滿潮）（如表三，如圖三）。

表二 月前、月後的潮位修正前

日期				第一次滿潮		第一次低潮		第二次滿潮		第二次低潮	
國曆	農曆			時間	潮高	時間	潮高	時間	潮高	時間	潮高
1	15	12	8	10:48	48	4:06	-50	23:06	24	17:06	-42
1	16	12	9	11:42	40	4:42	-35			18:36	-44
1	17	12	10	1:24	16	5:36	-15	12:18	50	20:00	-53
	18	12	11	3:06	11	7:30	-11	13:54	45	21:18	-67
	19	12	12	4:54	20	8:30	-4	15:18	55	22:42	-82

表三 月前、月後的潮位修正後

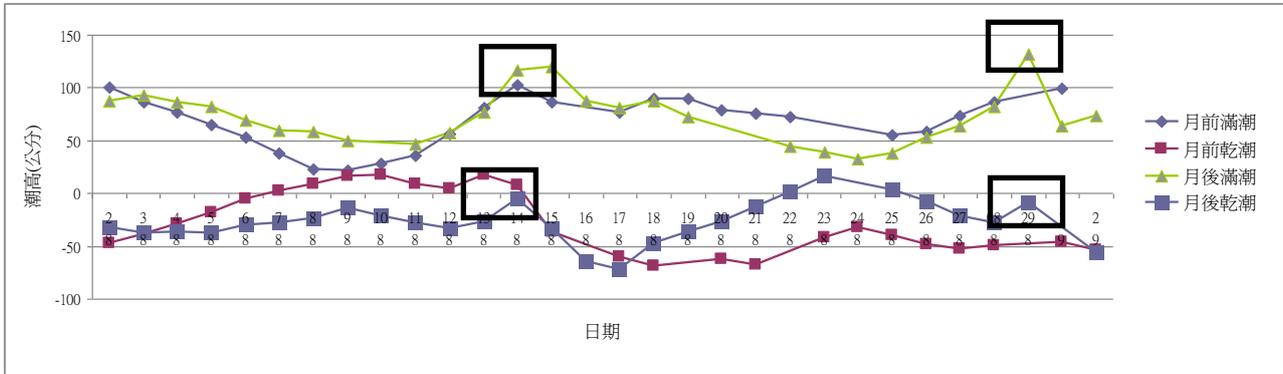
日期				月前滿潮		第一次低潮		月後滿潮		第二次低潮	
國曆	農曆			時間	潮高	時間	潮高	時間	潮高	時間	潮高
1	15	12	8	10:48	48	4:06	-50	23:06	24	17:06	-42
1	16	12	9	11:42	40	4:42	-35			18:36	-44
1	17	12	10	12:18	50	5:36	-15	1:24	16	20:00	-53
	18	12	11	13:54	45	7:30	-11	3:06	11	21:18	-67
	19	12	12	15:18	55	8:30	-4	4:54	20	22:42	-82



圖三 月前月後滿潮示意圖

(四) 颱風引起的暴潮校正

觀察全年潮高圖（如圖四）在八九月時潮位有數天會異常的升高，推測此季節可能為颱風影響之暴潮，經由對照全年颱風侵台日期（如表四）後，發現與潮位異常升高日期吻合。因此確定颱風會引起暴潮造成不正常的潮差，我們將颱風影響的暴潮校正：分別以颱風前後兩天的潮位求平均，算得颱風當天原本可能的潮位。



圖四 花蓮港九月潮差比較圖(未修正颱風潮位)

表四 (a) 2008 影響花蓮地區的颱風整理：

中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	登陸時間	登陸地點	近中心最大風速 (m/s)	七級風暴風半徑 (km)	十級風暴風半徑 (km)
薔蜜	JANGMI	國曆:9/26~9/29 農曆:8/27~8/29	強烈	9/28 15時	宜蘭	53.0	280	100
哈格比	HAGUPIT	國曆:9/21~9/23 農曆:8/22~8/24	中度	--	恆春	45.0	280	100
辛樂克	SINLAKU	國曆:9/11~9/16 農曆:8/12~8/17	強烈	9/14 1時	宜蘭	51.0	250	100
如麗	NURI	國曆:8/19~8/21 農曆:7/19~7/21	中度	--	無	40.0	220	80
鳳凰	FUNG-WON G	國曆:7/26~7/29 農曆:6/24~6/27	中度	7/28 6時	花蓮	43.0	220	80
卡基	KALMAEGI	國曆:7/16~7/18 農曆:6/14~6/16	中度	7/17 21時	宜蘭 偏南	33.0	120	50

表四 (b) 2007 影響花蓮地區的颱風整理：

中文名稱	英文名稱	警報期間	強度	登陸時間	登陸地點	近中心最大風速 (m/s)	七級風暴風半徑 (km)	十級風暴風半徑 (km)
柯羅莎	KROSA	國曆:10/4~10/7 農曆:8/24~8/27	強烈	10/06 22時 30分	頭城及 三貂角 間	51.0	300	120

聖帕	SEPAT	國曆:8/16~8/19 農曆:7/4~7/7	強烈	8/18 5時40 分	花蓮秀 姑巒溪 口附近	53.0	250	100
----	-------	----------------------------	----	-------------------	-------------------	------	-----	-----

三. 討論月球距離的影響

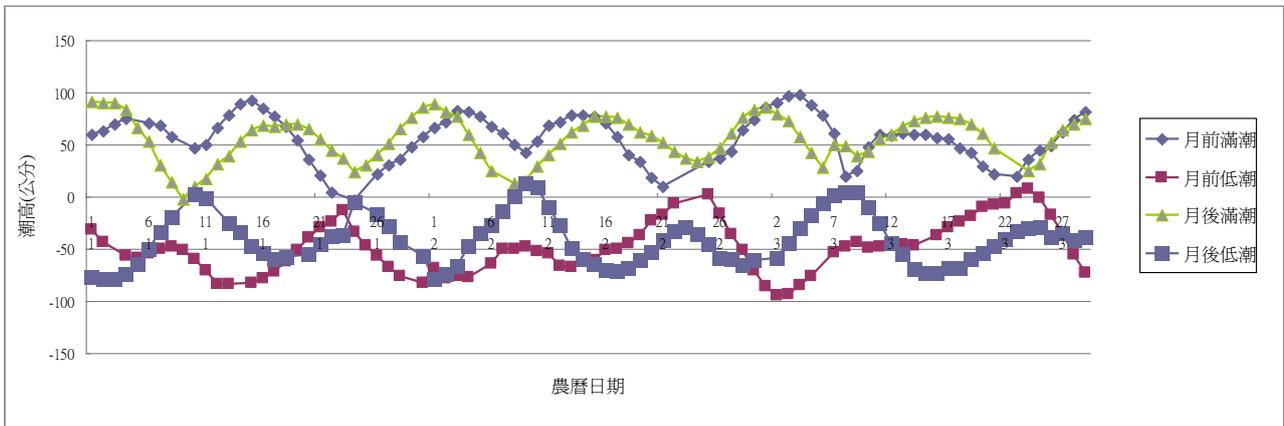
根據引潮力公式： $G = \text{萬有引力常數}$ $M = \text{月球質量}$ $R = \text{地球半徑}$ $D = \text{月地距離}$

$$G \left(\frac{MR}{D^3} \right) (3 \cos^2 \alpha - 1)$$

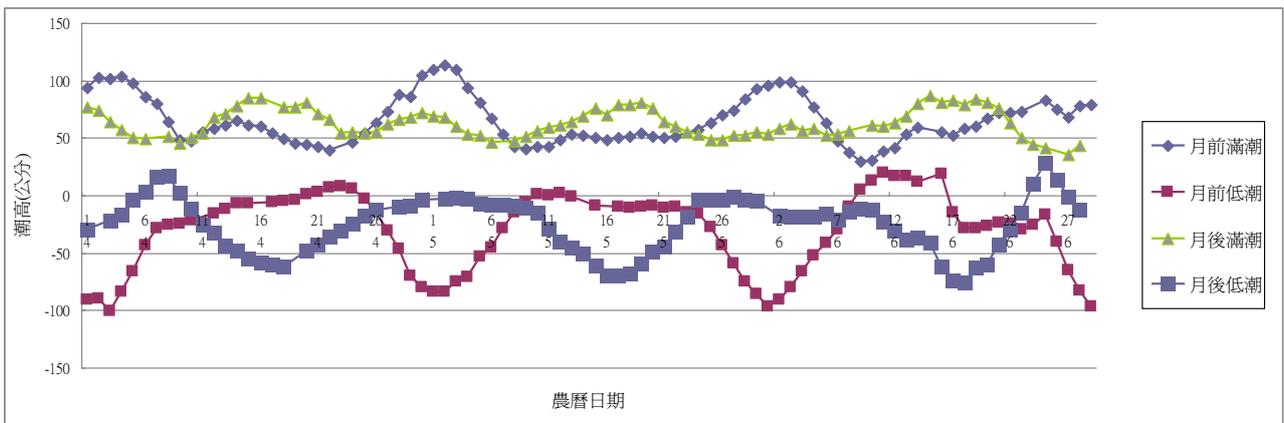
月球距離約在四十萬四千公里到三十六萬四千公里間變化。而日月引力造成的潮位變化，大約一公尺左右（劉，民 89），經計算後，月球距離變化造成潮位變化應約 12 公分左右。

四. 分析月球仰角（月球赤緯）對潮位變化的影響

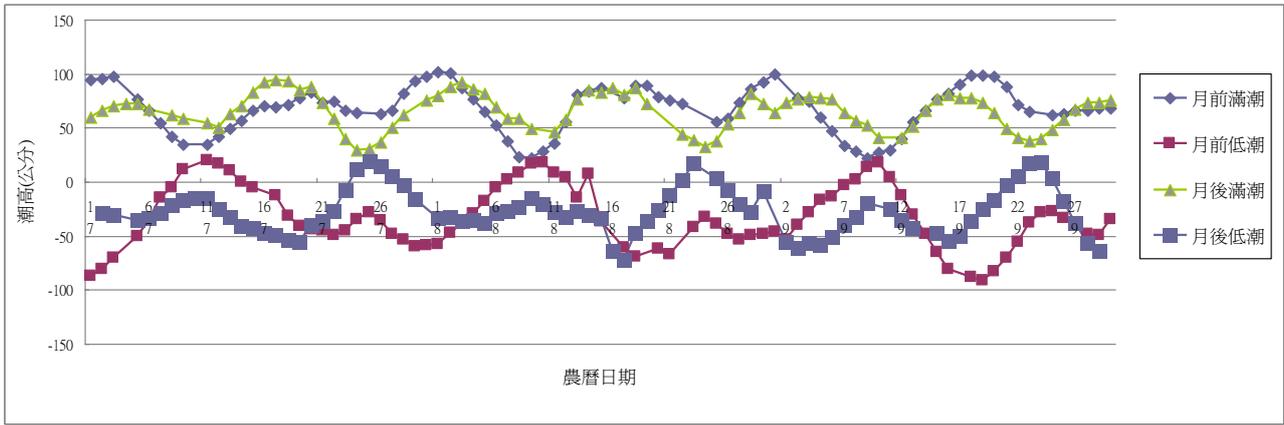
(一) 我們在修正完潮位後，將 2008 全年每日潮位變化投圖，如圖五。發現每日兩次滿潮潮高會有一次大，一次小的現象，也就是相鄰兩次滿潮的海面高度並不相同的週日不等的現象。



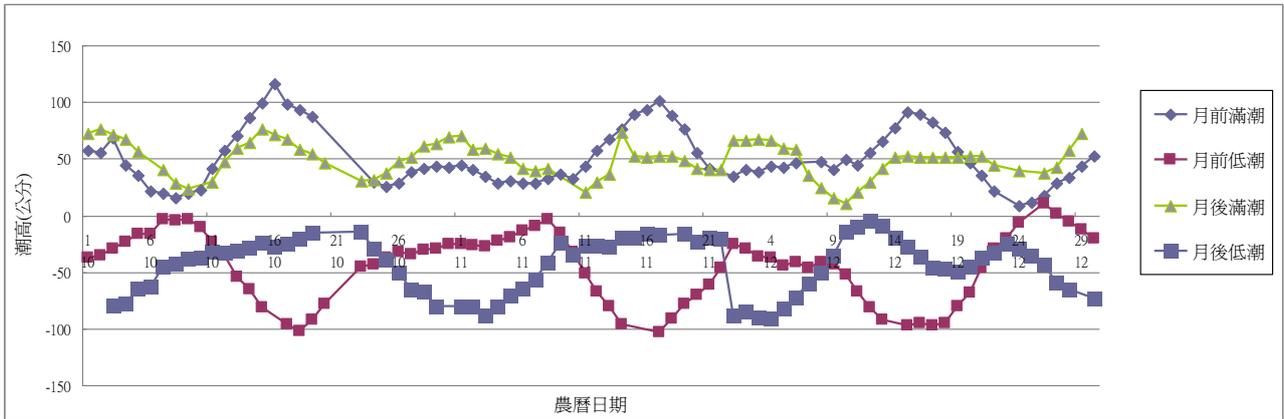
(a)1~3 月



(b)4~6 月



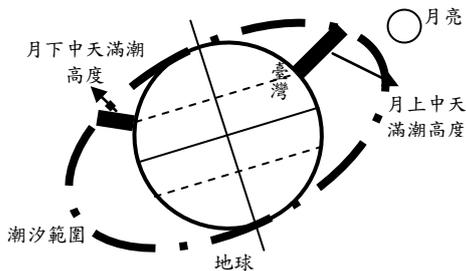
(c)7~9 月



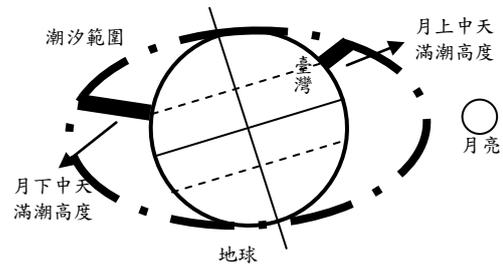
(d)10~12 月

圖五 2008 全年每日潮位變化圖

(二) 我們初步假設是月球仰角變化對潮位造成影響，所以我們做了以下引潮示意圖，如圖六、七，圖中顯示，對緯度 23.5 度的花蓮港來說，在月亮仰角大時，月上中天滿潮高度會較大，月下中天滿潮高度較小；但相反的，在月亮仰角小時，月上中天滿潮高度會較小，月下中天滿潮高度會較大。

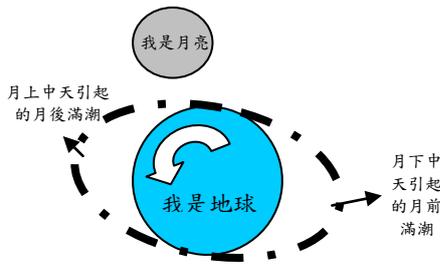


圖六 月亮仰角偏北理想狀況圖

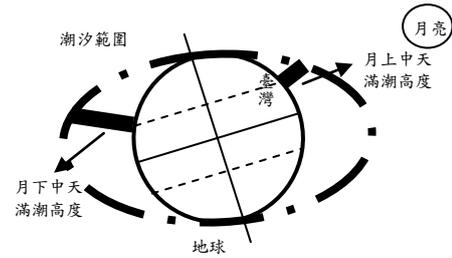


圖七 月亮仰角偏南理想狀況圖

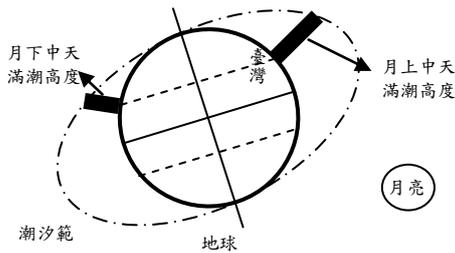
(三) 我們比對潮汐及天文資料發現，滿潮時間和月亮在中天時間並不一致，這個時間差稱做高潮間隙，我們依地球表面的黏滯力假想滿潮可能延遲（如圖八），所以假定延遲的月後滿潮是由月球上中天所引起的，即圖中月上中天的滿潮。



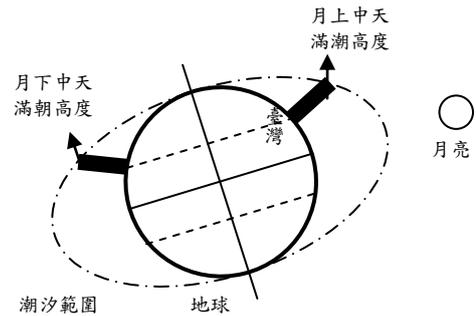
圖八 月球引潮力假想圖



圖九 月亮仰角偏北實際狀況圖



圖十 月亮仰角偏南實際狀況圖



圖十一 月亮仰角正對赤道圖

(四) 但實際的狀況卻和上述假設恰好相反，也就是說實際花蓮港的資料顯示，在月亮仰角大時，月上中天滿潮高度較小，而月下中天滿潮高度較大；相反的，在月亮仰角小時，月上中天滿潮高度較大，月下中天滿潮高度較小。(如圖九、十)

(五) 因為恰好相反，表示很可能和仰角有關，只是可能有其它因素造成此和假設相反的結果。我們根據潮波在海中傳遞的公式：

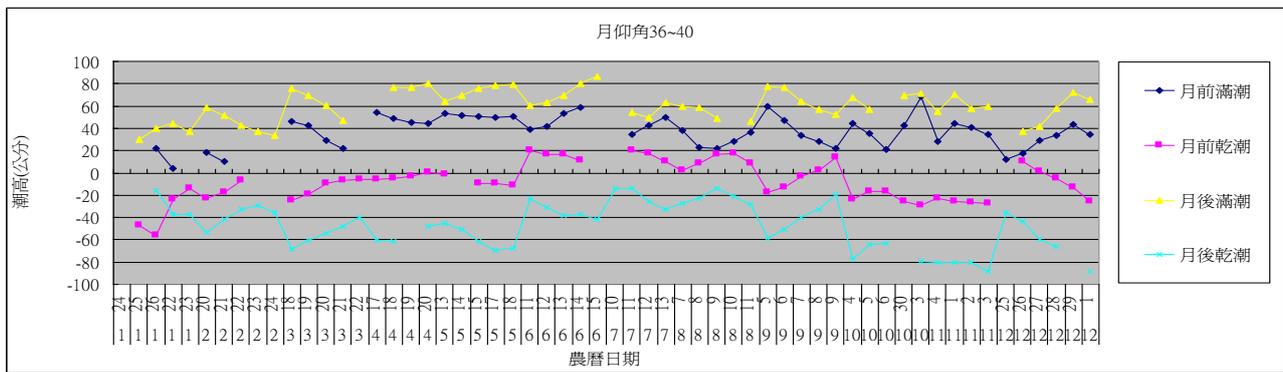
設 C = 波速， D = 水深， $g = 10 \text{ m/s}^2$

則海波前進公式： $C = (g \times D)^{1/2}$

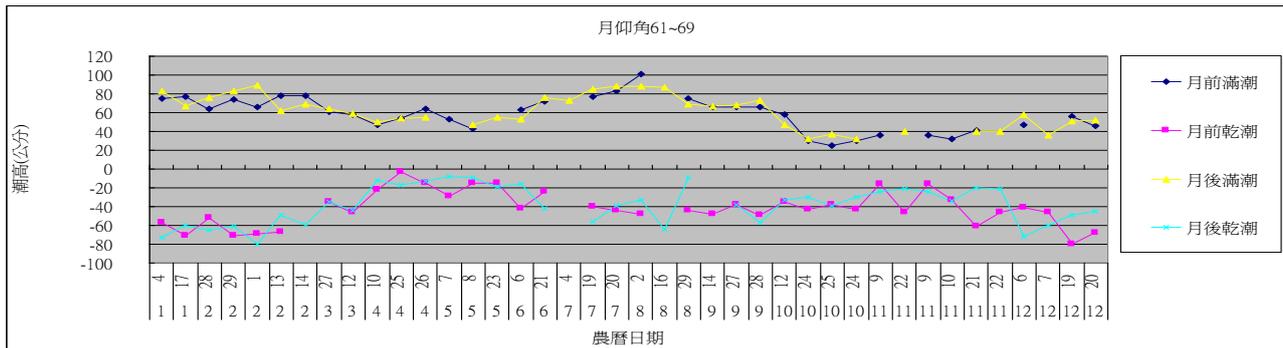
地球赤道為四萬公里，若波繞地球半圈 12 時 25 分則表示波速約一千六百公里，知道水深需大於十九公里，潮波才能無阻礙的傳遞。而花蓮東部海底平均僅三、四公里，未大於此數值，故必定有所延遲。

因此我們假設滿潮的波形會向前移動超過一百八十度，也就是潮汐延遲超過 12 小時，使月球仰角較大時，月上中天滿潮較小。

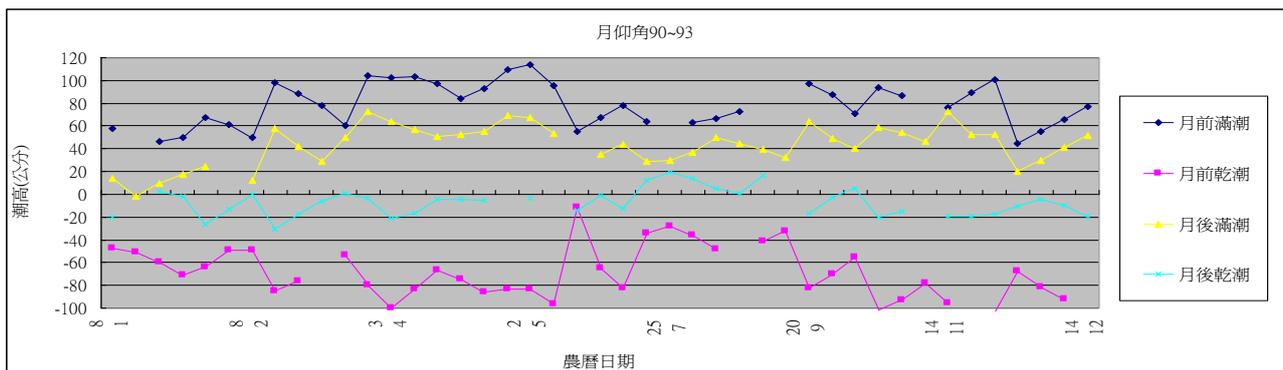
(六) 若潮位變化和仰角有關，月球仰角較大時，一天中兩次滿潮潮位差應較大，而月球赤緯在零度時，月球仰角對地球的影響力較平均，地球的月上中天滿潮潮位和月下中天滿潮潮位應較為接近（如圖十一）。所以我們選擇月球赤緯零度（接近赤道），仰角六十五度南左右的潮位資料，來比較仰角變化大小對潮位的影響。月球中天仰角會在八十七度北至三十六度南間變化，以六十五度南為中心點，每九度為一個區間，劃分不同仰角的潮位變化圖（如圖十二、十三、十四），再加以比較滿潮潮位是否確實隨仰角變化。



圖十二 2008 年月仰角 36~40 度潮位變化圖



圖十三 2008 年月仰角 61~69 度潮位變化圖

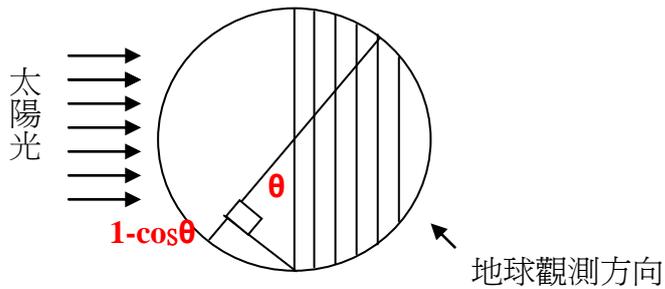


圖十四 2008 年月仰角 90~93 度潮位變化圖

五. 疊加不同月相的潮位及高潮間隙

(一) 做潮位及高潮間隙預測時，有兩種方法，一為調和分析法，一為實測記錄統計法。統計法是要以數月或數年的潮位實測紀錄來觀察，潮位和間隙每日的不同最主要是因為月亮的盈虧，所以利用統計法將各月份相同月相的潮位疊加後平均，即可求出不同月相時潮位的變化情形。

(二) 相位疊加：我們想要分析不同月相對潮位造成的影響，便參照統計法，將月球相位疊加。先把天文年鑑中月球相位資料以公式轉換為相位角： $\text{上半月相位} = (1 - \cos\theta) / 2$ ；轉換成相位角 θ (如圖十五)，再將 360° 的相位角分成三十個區間，把這三十個區間的潮位及高潮間隙疊加並平均，得到不同月相的平均潮位及高潮間隙，再觀察月球在不同月相（日地月相對位置改變）時對潮汐的影響。



圖十五 相位角轉換示意圖

(三) 太陽仰角影響：爲了解太陽仰角變化的影響，將一月至十二月分爲四季，以立春、立夏、立秋及立冬的日期作爲分界，再分別作春夏秋冬四個月的不同月相的平均，最後觀察季節變化及太陽仰角與潮位及高潮間隙的關聯及其影響。

(四) 月亮仰角影響：把不同季節的朔月滿潮和望月滿潮時的潮位變化和月亮的仰角作比對，觀察季節變化及月亮仰角對潮位的影響。

六. 爲了印證 2008 年的結果，我們額外蒐集了 2007 和 1999 的相關資料以相同方式分析。

(一) 觀察較長期的資料，應可以看出月球運行變化對潮位的影響。因考慮資料的連續性，選擇了前一年（2007 年）的資料；又爲了想瞭解沙羅週期（約 18 年 11 天）的影響，我們又選擇了九年前（1999 年）的潮位資料來比對。

(二) 我們同樣將相位分成三十個區間來進行統計、分季統計並和仰角做比對，看是否有相同的結果。把不同年份的結果相互比較，探討造成異同之影響因子。

(三) 爲瞭解不同年度的各種條件變化，我們將各年分的月相、月仰角、月距離、日仰角、日距離等條件投圖，觀察不同年分的變化趨勢。

(四) 我們分析結果發現有些現象無法解釋，又分析了 2000、2002、2004 年的資料。

伍、 結果

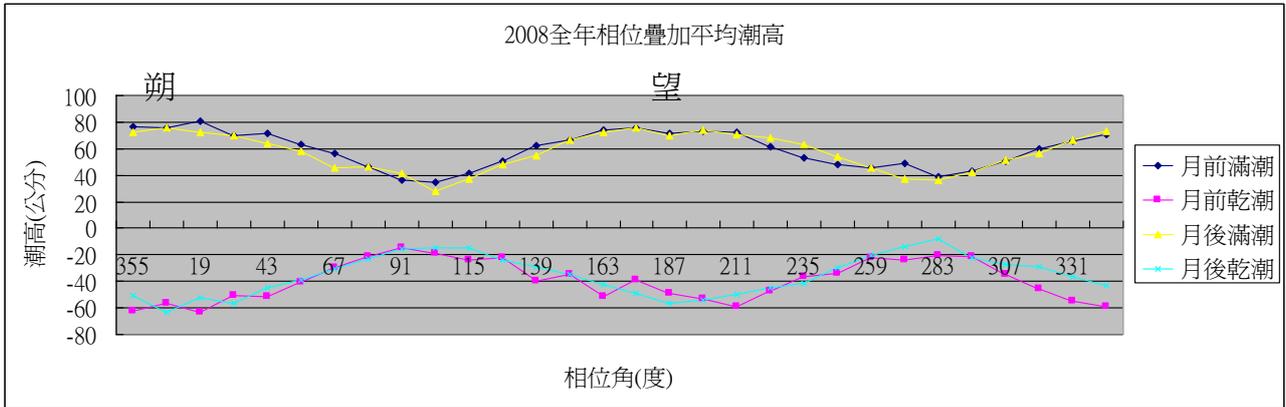
一. 我們從以上分析圖表觀察到了以下結果:

(一) 觀察全年潮高圖，如圖五，在一個月之中有二天大潮，而其中若朔月(相位 0)的月前滿潮較大，則望月(相位 1)的月前滿潮即較小，在春分和秋分時有月前月後的滿潮大小次序反轉的現象。

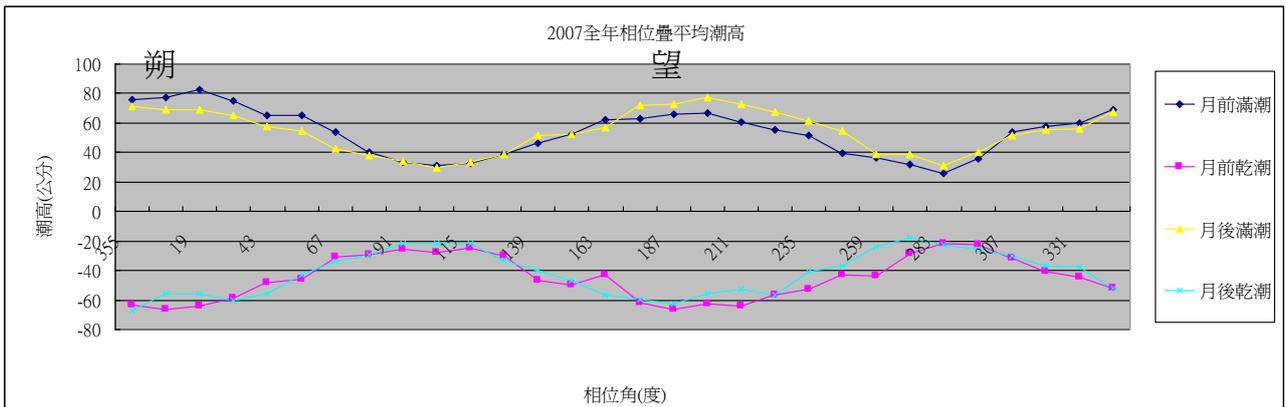
(二) 在七、八、九月時因爲有颱風，在登陸前後會造成潮位的不穩定，且在登陸時會因颱風中心的低氣壓而導致潮位有明顯升高的狀況，不管是乾潮或滿潮均有暴漲的現象（如圖四）。

(三) 由不同仰角的潮位變化圖（如圖十二、十三、十四），可知月球中天仰角偏北時，月前滿潮較月後滿潮大，而在偏南時則相反，且接近赤道時月前月後滿潮較一致，所以月球仰角和潮位大小有相關性的變化。

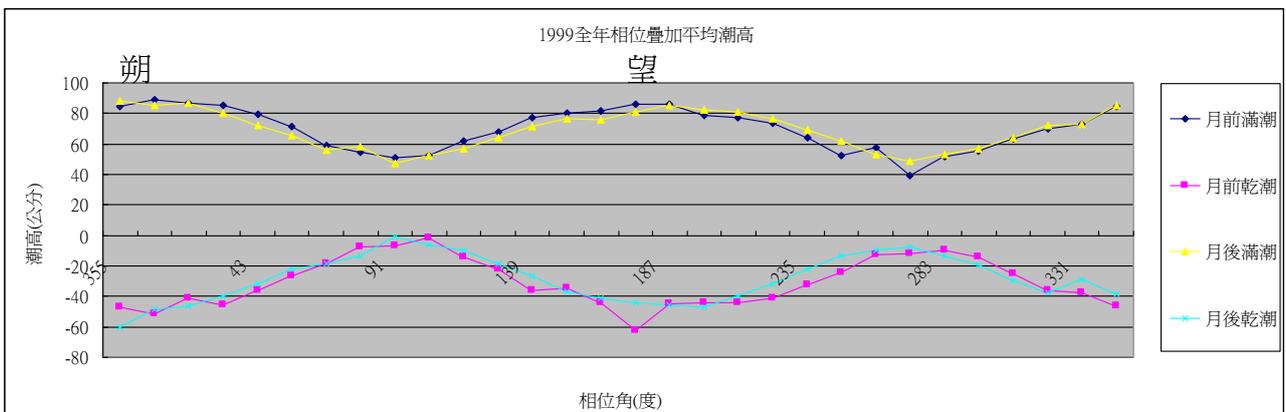
(四) 觀察全年月亮相位角疊加的潮位變化圖（如圖十六），每天的兩次滿潮潮高約相同，且朔和望的滿潮潮位差距不大。



圖十六 (a) 2008 全年相位疊加平均潮高

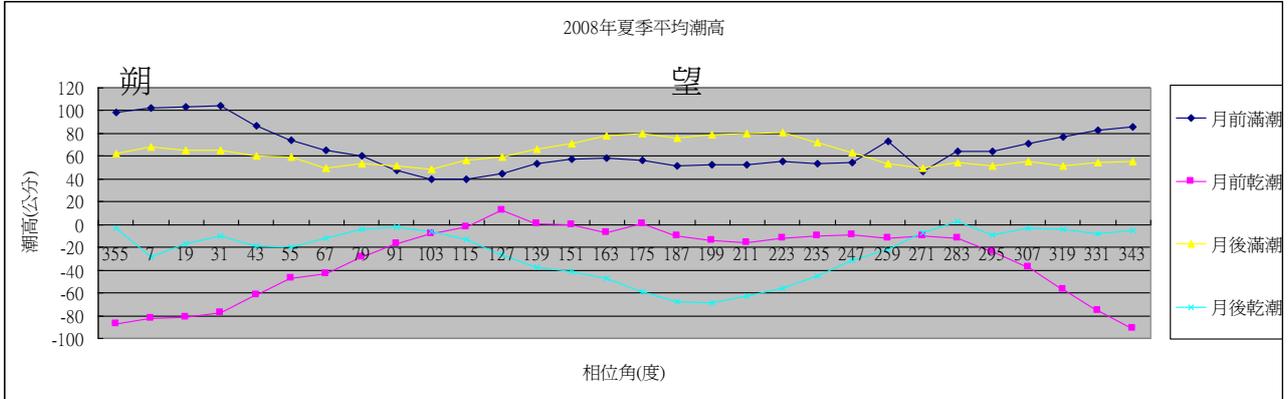


圖十六 (b) 2007 全年相位疊加平均潮高

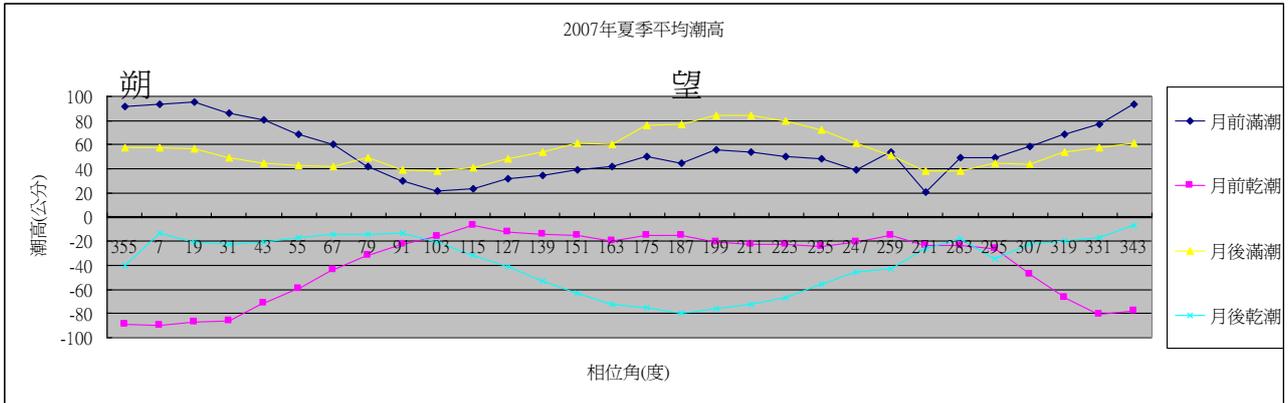


圖十六 (c) 1999 全年相位疊加平均潮高

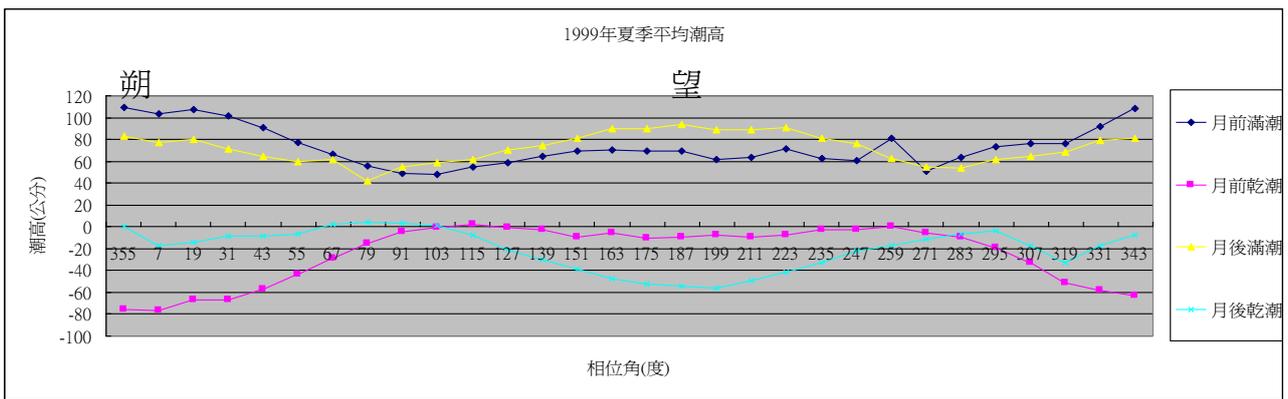
(五) 觀察分季節疊加相位潮位變化圖(如圖十七、十八),可知在一年內的潮位平均中,冬季的朔月月前滿潮較小,月後滿潮較大,望月時則相反,且冬季的乾潮潮位會較夏季低一些;夏季朔月月前滿潮較大,月後滿潮較小,望時亦相反。春、秋時相鄰兩次滿潮潮位接近,且朔和望的潮高沒有明顯的差距。



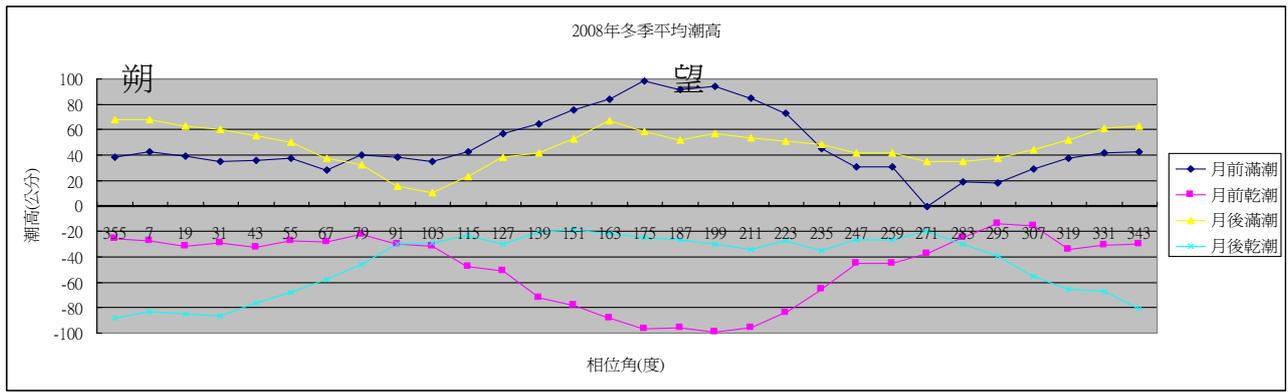
圖十七 (a) 2008 年夏季平均潮高



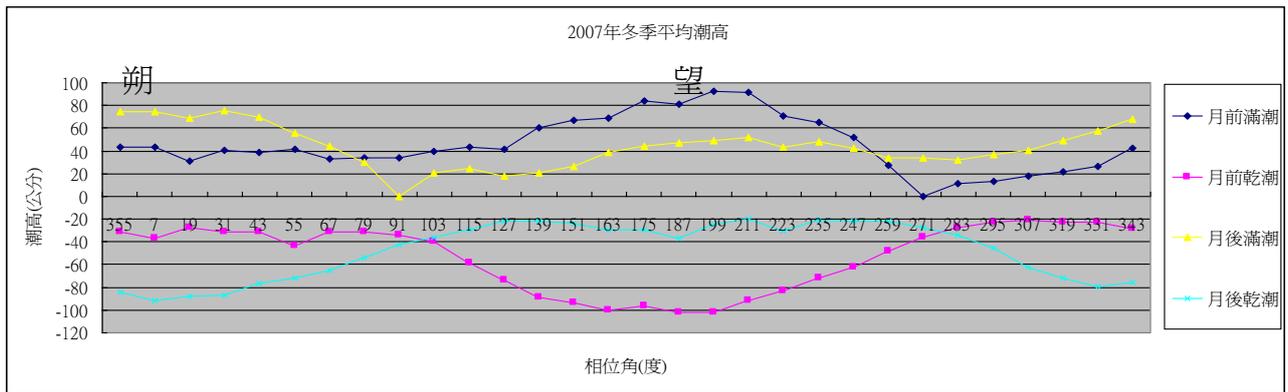
圖十七 (b) 2007 年夏季平均潮高



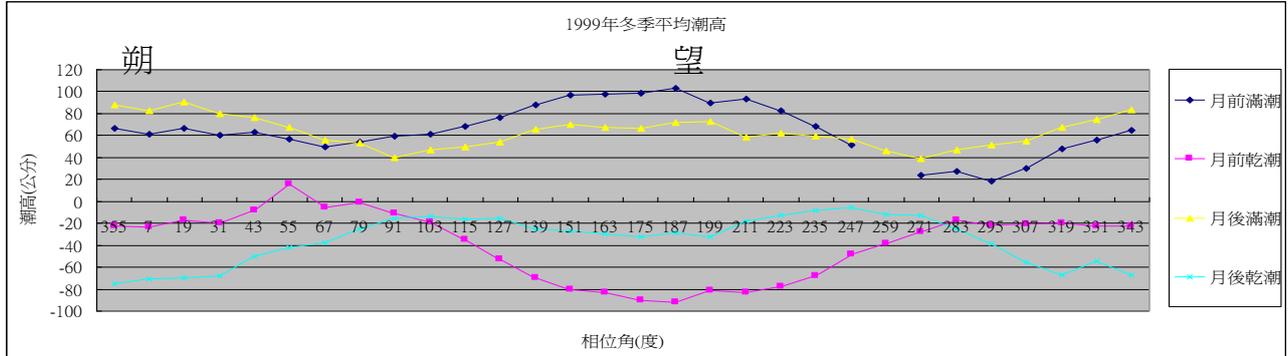
圖十七 (c) 1999 年夏季平均潮高



圖十八 (a) 2008 年冬季平均潮高

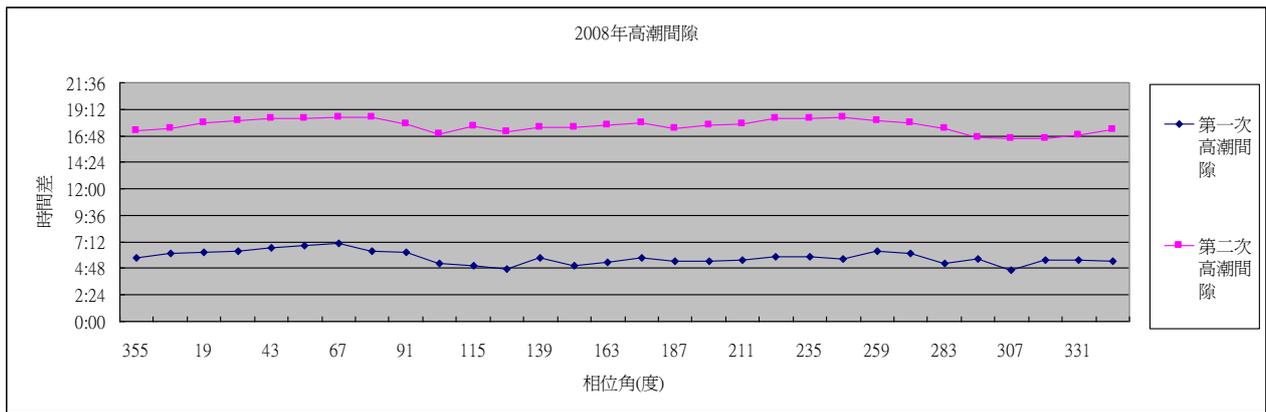


圖十八 (b) 2007 年冬季平均潮高

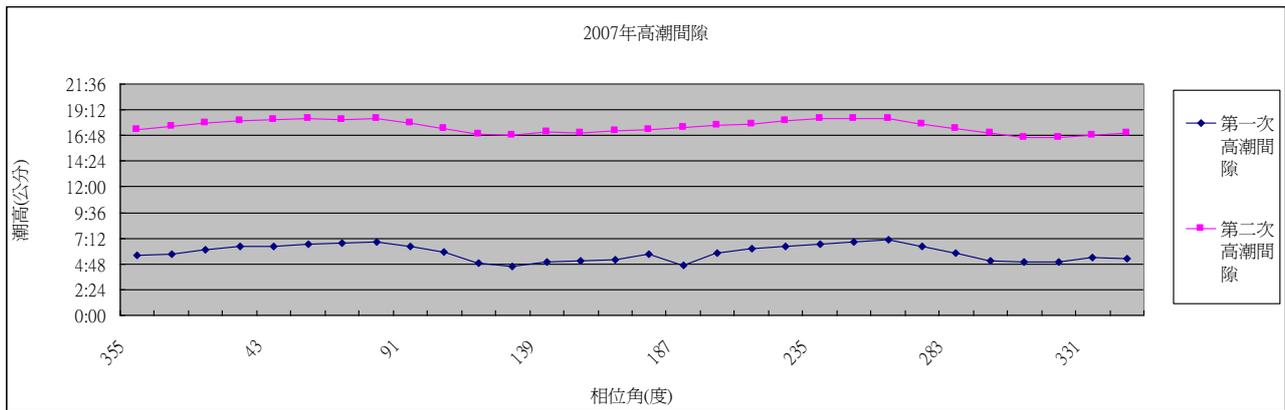


圖十八 (c) 1999 年冬季平均潮高

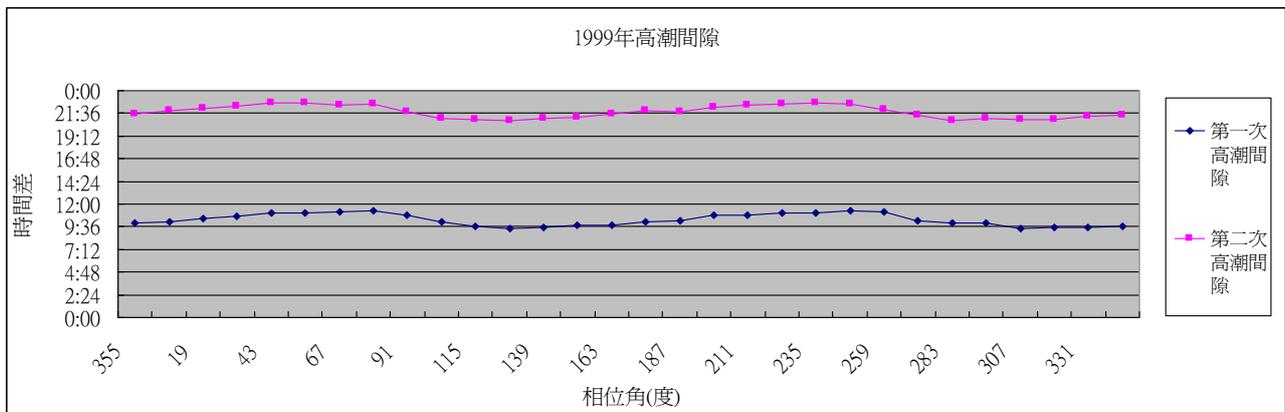
(六) 觀察全年疊加月亮相位的高潮間隙變化圖(如圖十九),可知每個月之中,高潮間隙在望月和朔月時較小,上弦月和下弦月時較大。且 1999 年全年的高潮間隙較其餘兩年大約多四小時。



圖十九 (a) 2008 年平均高潮間隙

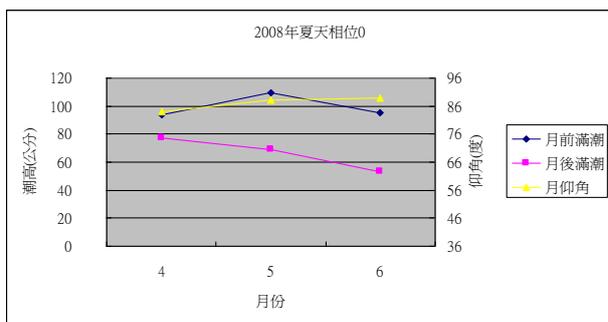


圖十九 (b) 2007 年平均高潮間隙

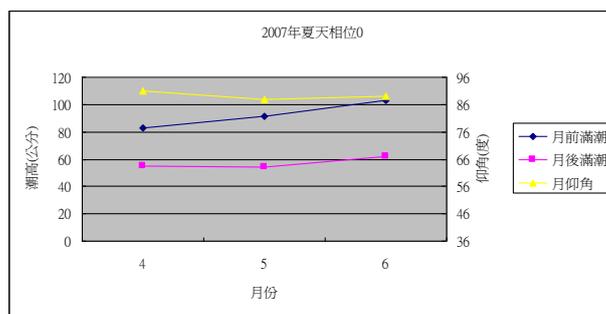


圖十九 (c) 1999 年平均高潮間隙

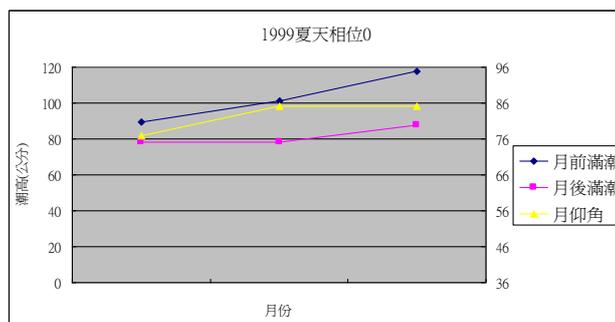
- (七) 觀察不同季節朔月滿潮和望月滿潮時的潮位變化和月亮仰角的關係圖(圖二十~二十九)，發現在夏季朔月時，太陽月亮仰角均較高，月前滿潮潮位大，夏季望月時，月亮仰角較低，月前滿潮潮位較低；冬季朔月時，月亮仰角較低，月前滿潮潮位較小，冬季望月時，月亮仰角較高，月前滿潮潮位較高。
- (八) 無論夏季或冬季，月亮仰角高時，最大的滿潮潮位可達一百多公分(圖二十)，但月亮仰角較低時，最大的滿潮潮位僅八十公分左右(圖二十四)。



(a) 2008 年夏天朔月潮高仰角比較圖

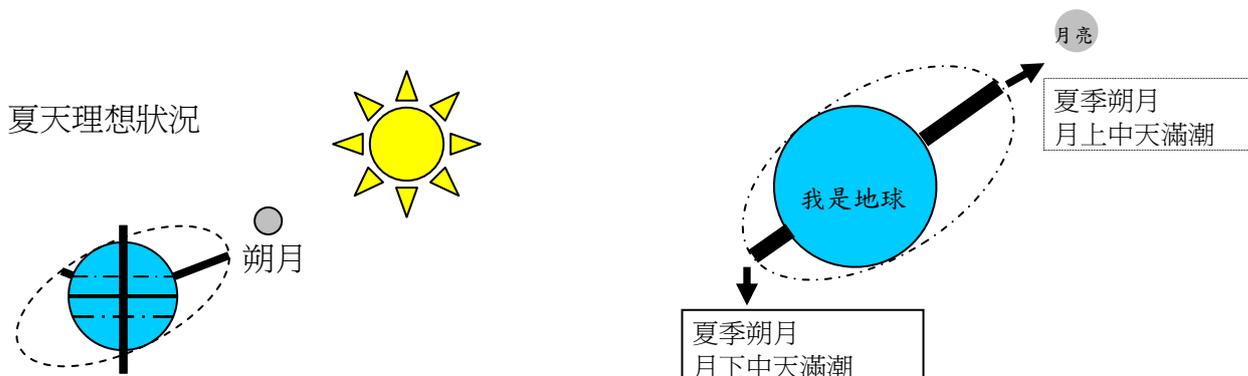


(b) 2007 年夏天朔月潮高仰角比較圖



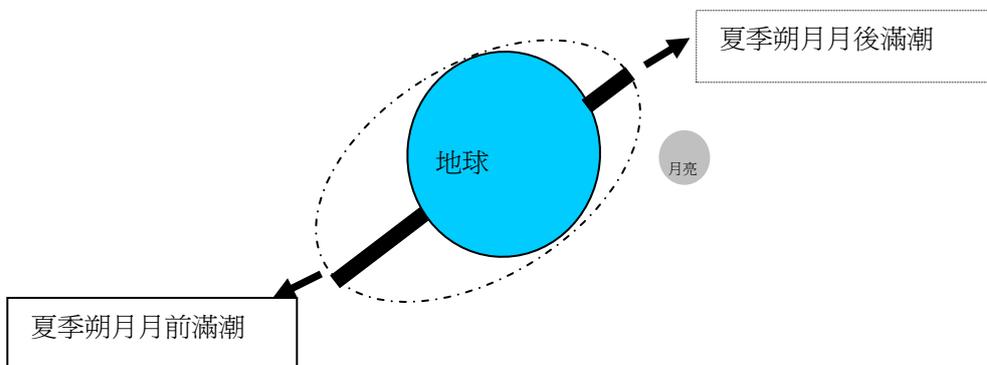
(c) 1999 年夏天朔月潮高仰角比較圖

圖二十 夏天朔月（相位 0）潮高仰角比較圖

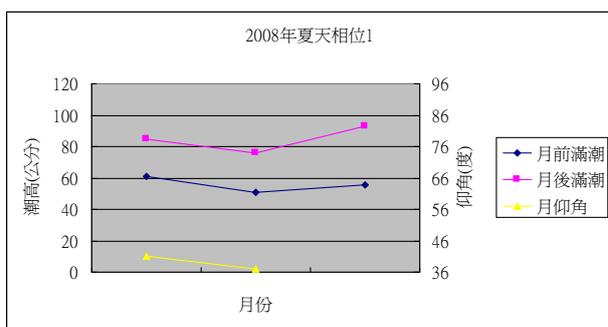


圖二十一 夏季朔月潮高理論圖

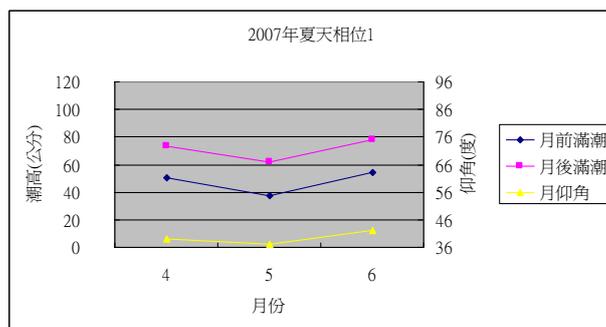
圖二十二 夏季朔月潮高台灣剖面理論圖



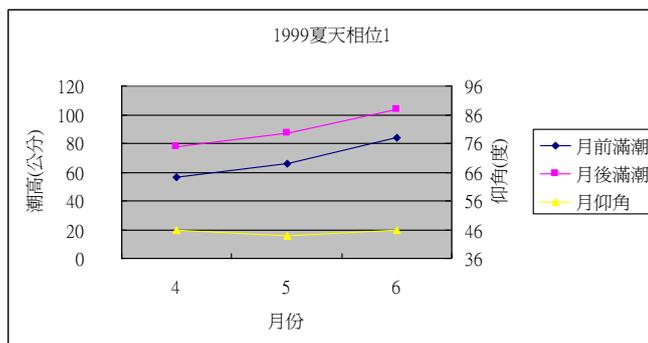
圖二十三 夏季朔月潮高台灣剖面實際圖



(a) 2008年夏天望月潮高仰角比較圖

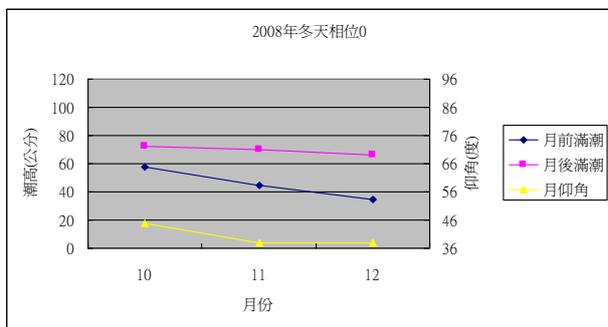


(b) 2007年夏天望月潮高仰角比較圖

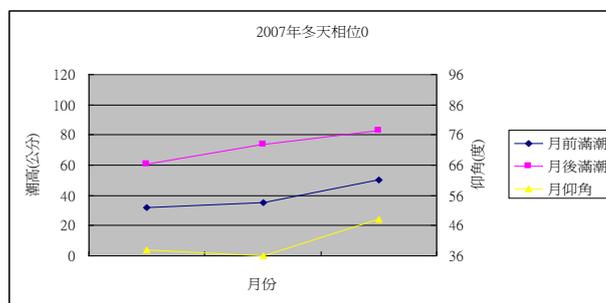


(c) 1999年夏天望月潮高仰角比較圖

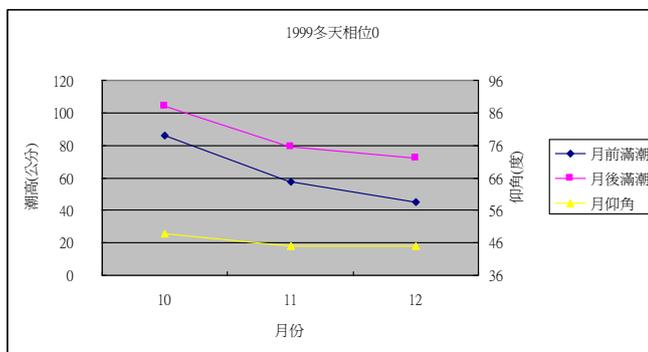
圖二十四 夏天望月（相位1）潮高仰角比較圖



(a) 2008年冬天朔月潮高仰角比較圖

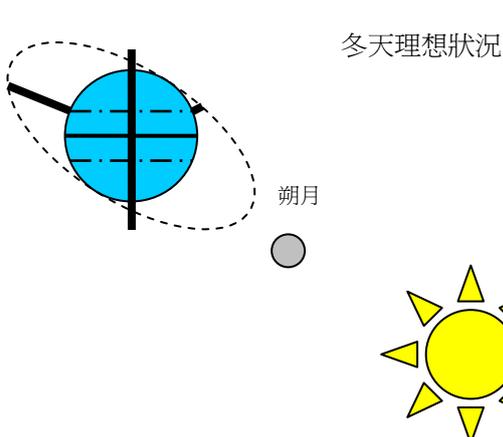


(a) 2007年冬天朔月潮高仰角比較圖

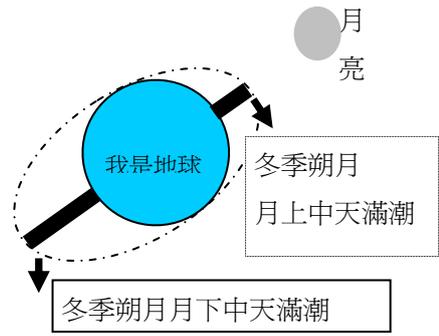


(c) 1999年冬天朔月潮高仰角比較圖

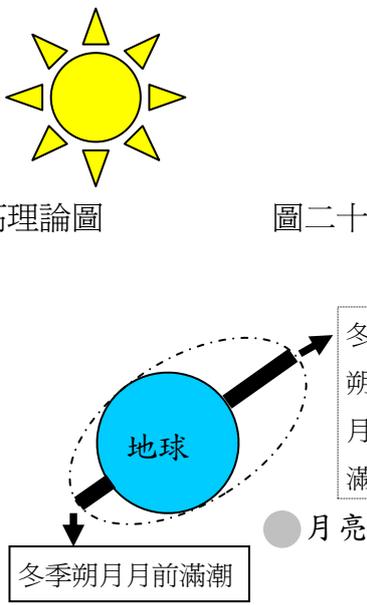
圖二十五 冬天朔月（相位0）潮高仰角比較圖



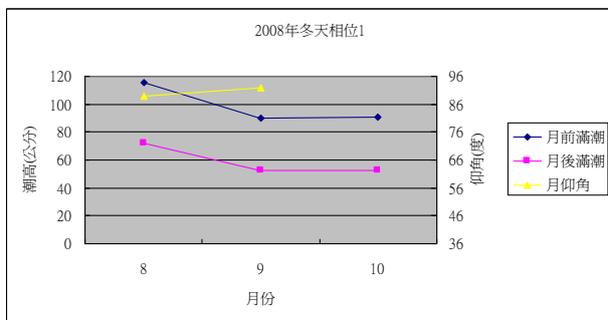
圖二十六 冬季朔月潮高理論圖



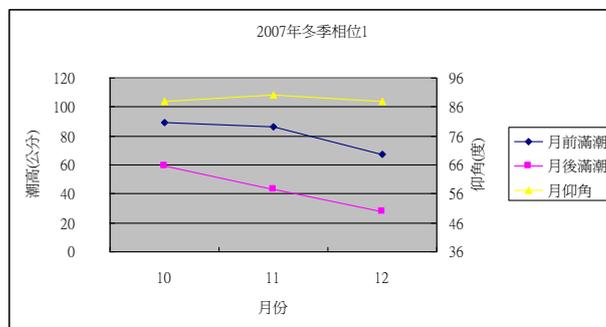
圖二十七 冬季朔月潮高台灣剖面理論圖



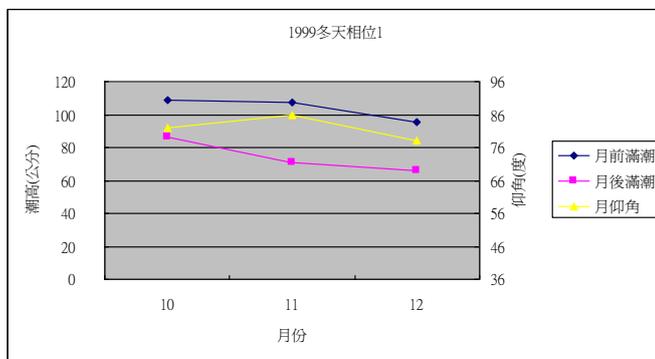
圖二十八 冬季朔月潮高台灣剖面實際圖



(a) 2008年冬天望月潮高仰角比較圖



(b) 2007年冬天望月潮高仰角比較圖



(c) 1999年冬天望月潮高仰角比較圖

圖二十九 冬天望月（相位 1）潮高仰角比較圖

(九) 在一年之中，每個月的兩次大潮裡，各有一次月前滿潮和月後滿潮，月前、月後的滿潮每個月分別交替延遲一至三天，沒有發現明顯的規則。(如圖五)

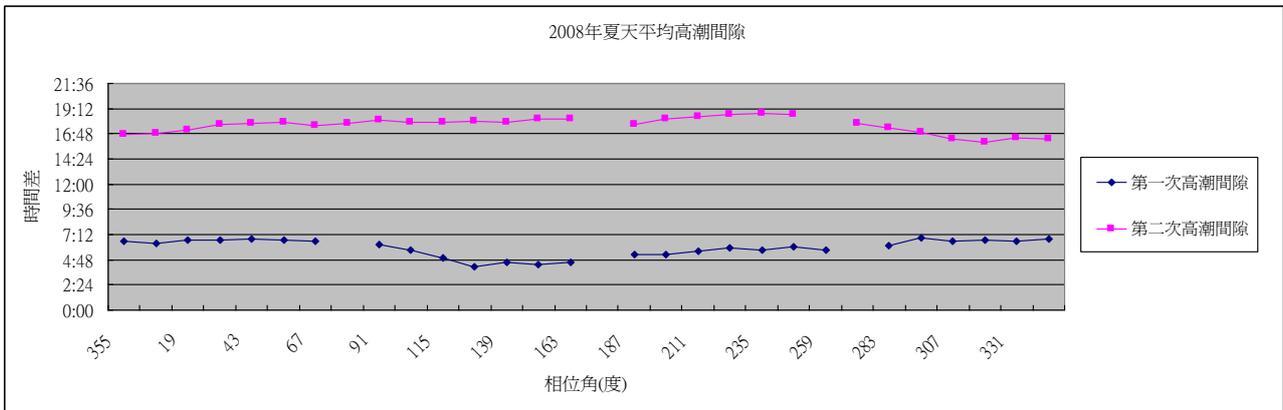
二. 長期 (1999 至 2008 年間) 潮汐資料分析結果

(一) 六年的潮位變化及高潮間隙變化趨勢均和 2008 年相似。(圖三十)

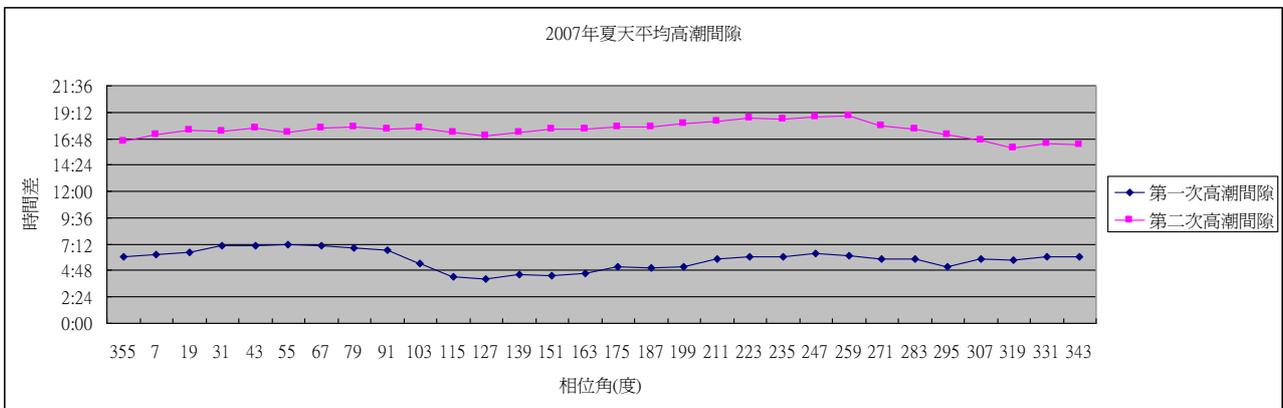
(二) 2003 年之前的潮位不論滿潮或乾潮，均較另三年高約十五公分。(如圖十六)

(三) 觀察六年的高潮間隙疊加圖，發現上弦、下弦時，高潮間隙較大，朔、望時較小。但 1999 年則明顯多延遲四小時左右(如圖十九)。

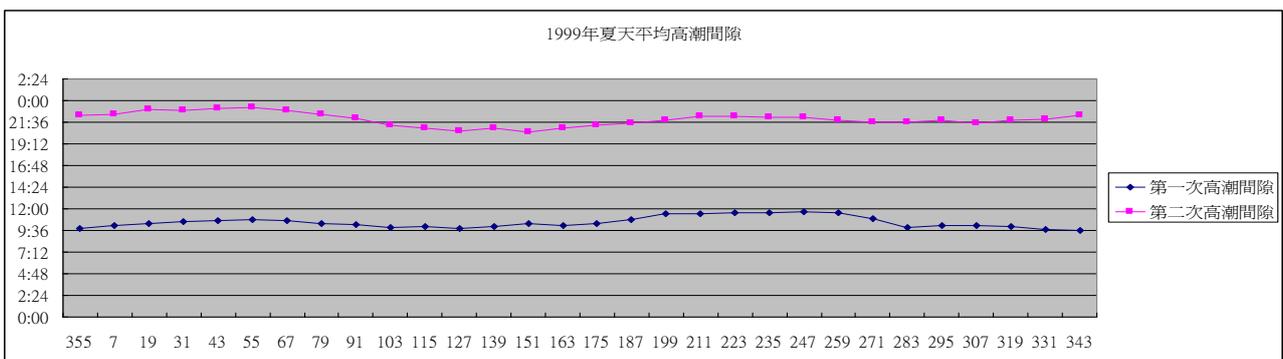
(四) 分出不同季節做出月相疊加後的高潮間隙，我們發現在不同季節中，上弦月和下弦月時的高潮間隙亦皆大於朔月和望月的高潮間隙。(如圖三十)



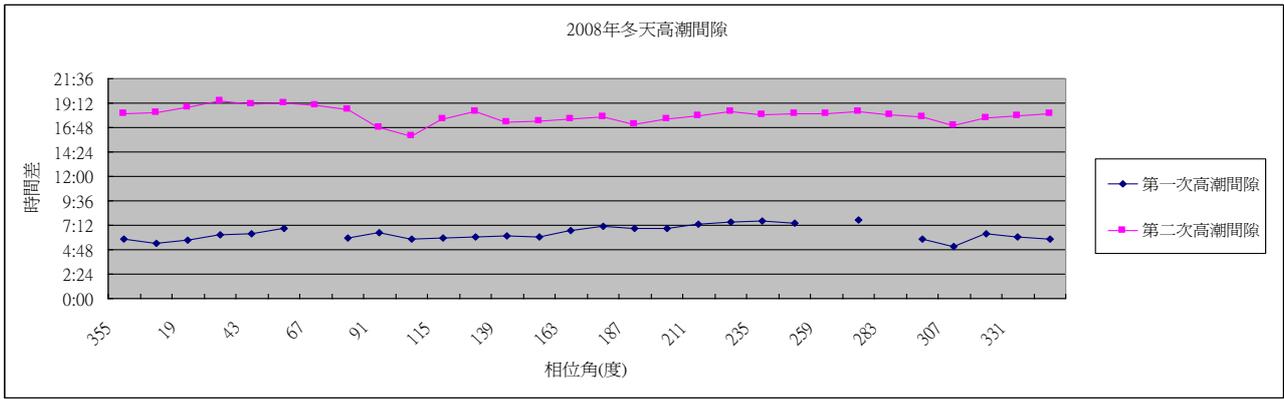
(a)2008 年夏季相位疊加平均高潮間隙



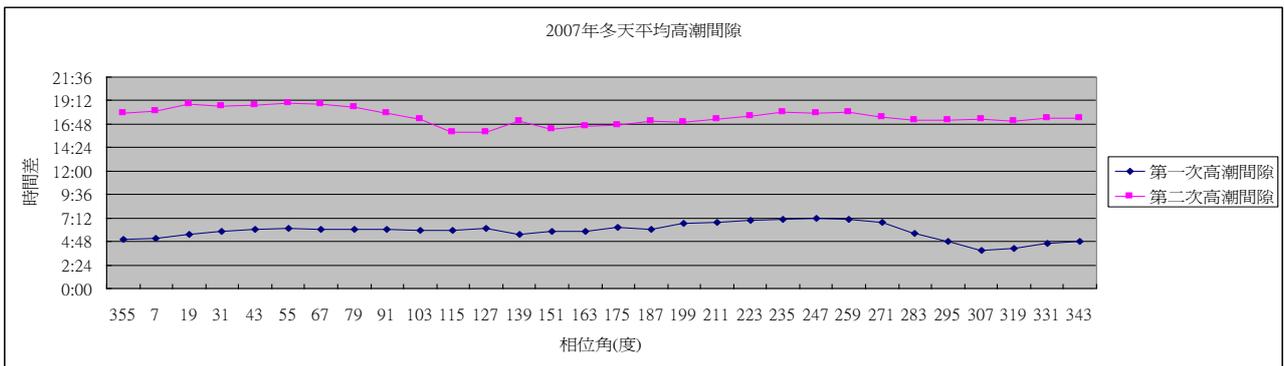
(b)2007 年夏季相位疊加平均高潮間隙



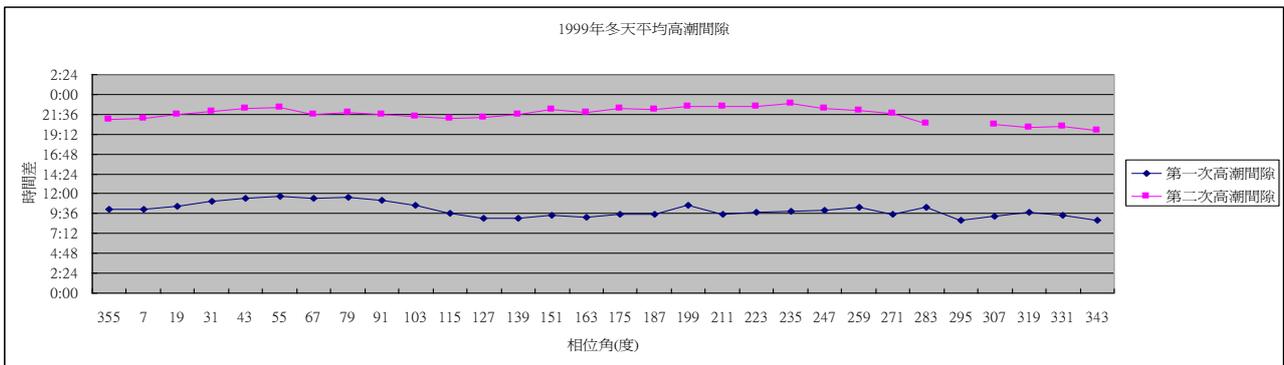
(c)1999 年夏季相位疊加平均高潮間隙



(d)2008 年冬季相位疊加平均高潮間隙



(e)2007 年冬季相位疊加平均高潮間隙



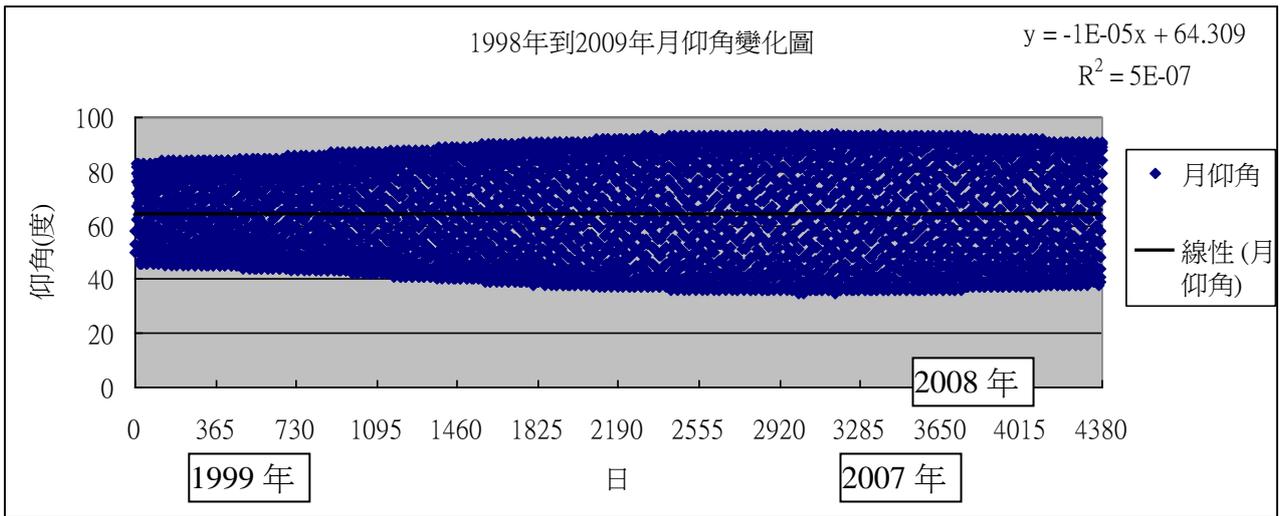
(f) 1999 年冬季相位疊加平均高潮間隙

圖三十 1999 年、2007 年、2008 年分季相位疊加平均高潮間隙

(五) 1998 至 2009 的月亮仰角變化、月地距離和相位間的變化皆成一定的規則，由小到大變化，但最大仰角和最小仰角的差距有逐年變化的現象（如圖三十一）。

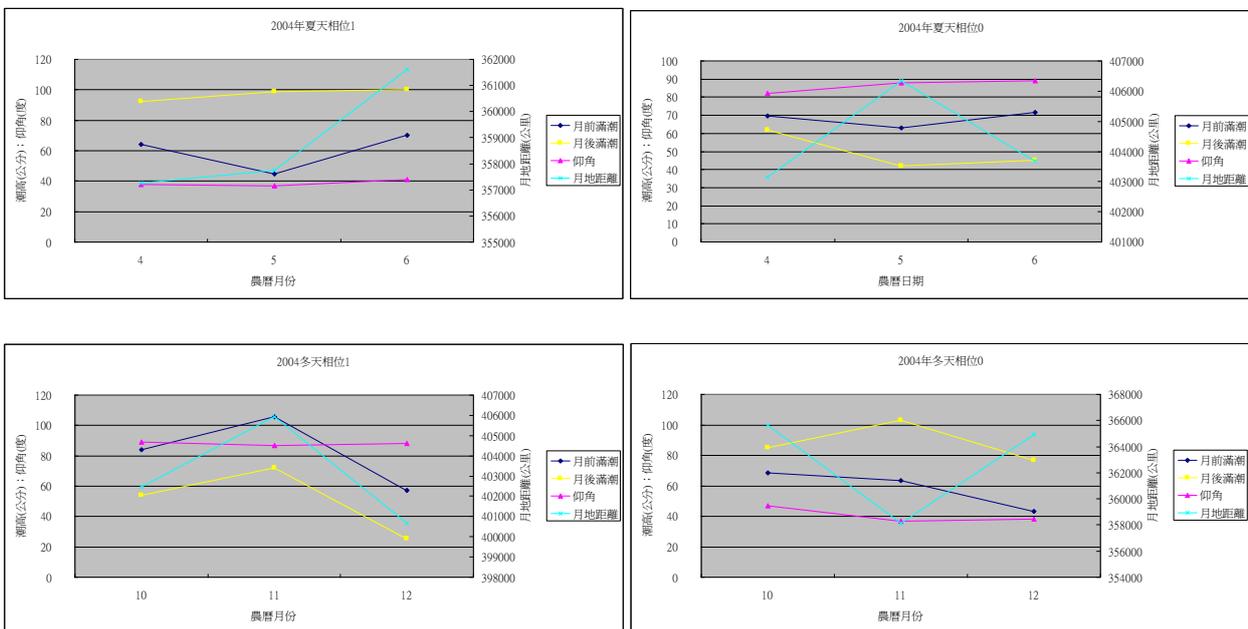
我們發現 1999 年月仰角低時，月亮正對南回歸線，我們認為理論上此時北半球的北回歸線上應恰可測到最大滿潮，而在 2007 年與 2008 年，月亮仰角低時，正對南回歸以南，如此，北半球相對應滿潮的位置，應在北回歸線以北，故當時花蓮港測得並非最大滿潮，應較最大滿潮略低。

實際結果和推論相符（圖二十四，二十五），但僅有數點資料，需有更多年準確資料，方能確定。



圖三十一 1998 至 2009 的月亮仰角變化圖

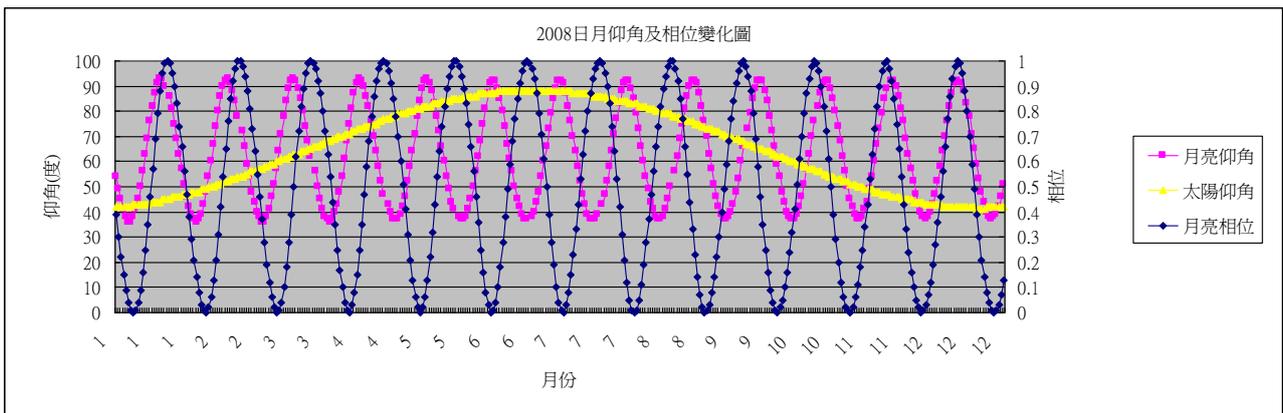
- (六) 我們把各個月份的高潮間隙平均，發現時間和一整年的平均是非常接近的。
- (七) 將這三年的高潮間隙分季並平均，可發現春、秋較大，夏、冬較小，其中夏季間隙最小。
- (八) 無論夏季或冬季，月亮仰角高時，最大的滿潮潮位可達一百多公分（圖二十），但月亮仰角較低時，最大的滿潮潮位僅八十公分左右（圖二十四）。在 2004 年剛好相反（圖三十二）。



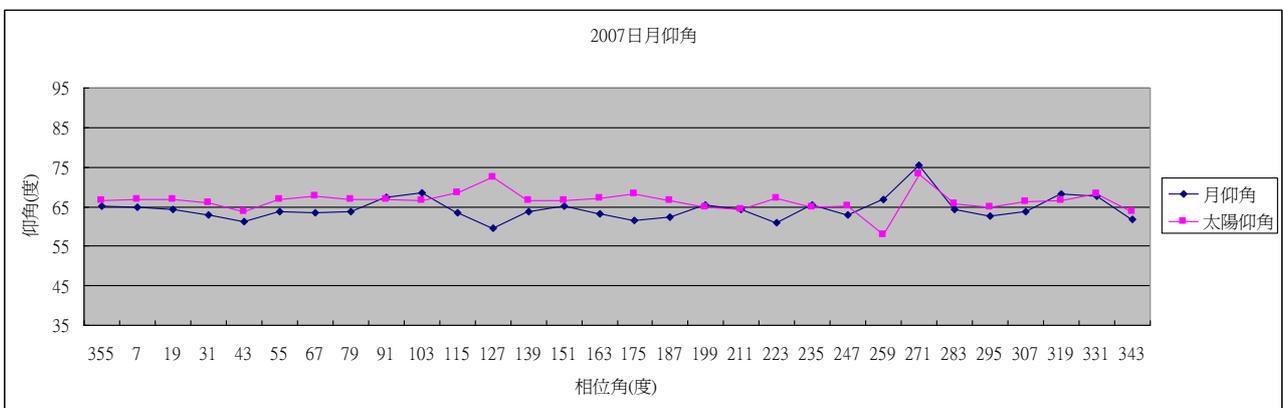
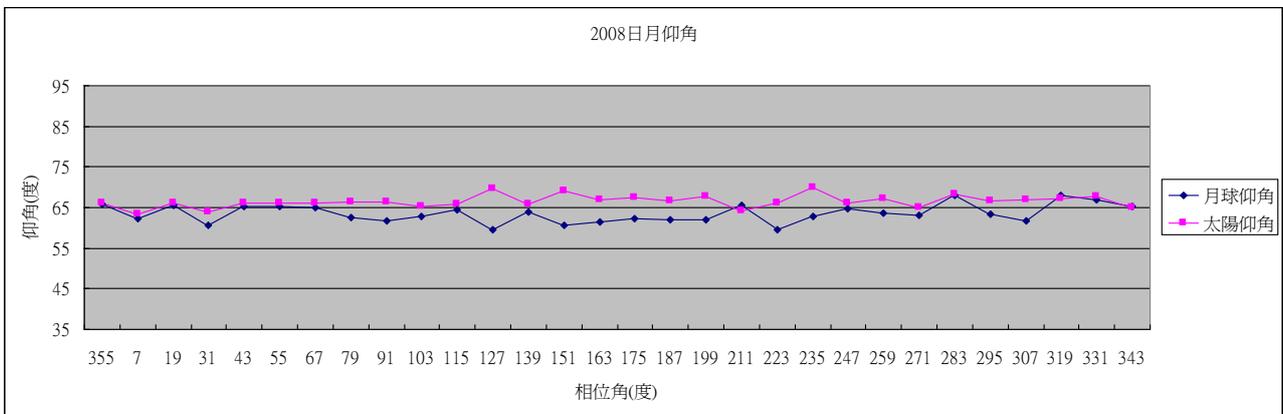
圖三十二 2004 年 潮高、月地距離、月亮仰角比較圖

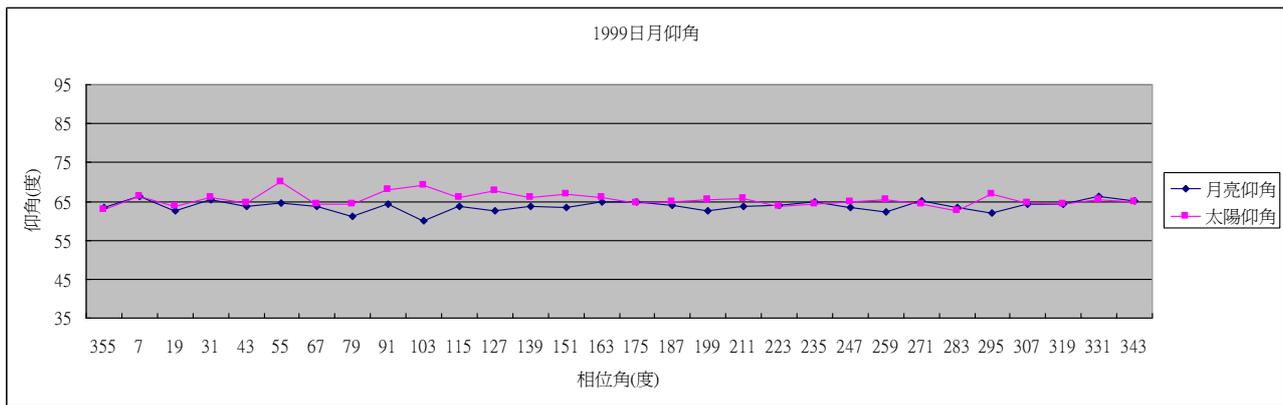
陸、 討論

- 一. 颱風經過時潮位有異常升高的現象，可能是因為颱風是熱帶性低氣壓，當氣壓降低時，週遭氣壓相對的較高，同壓力下的液面應該相同，所以低氣壓中心的潮位應明顯升高，而在颱風逐漸遠離時也有因壓力不穩產生的混亂潮位。
- 二. 冬季受冷高壓所影響，海水往地球相對低壓處移動，且有冷縮的現象，是故冬季的潮位普遍降低。
- 三. 由多年日月的仰角和月亮相位變化中，印證了使用統計法時，日月的仰角和月地距離變化都大致可被平均，抵消其影響，如此可單獨觀察較明顯的月相變化的影響。(圖三十三、三十四)



圖三十三 2008 年的日月仰角及相位變化圖





圖三十四 1999、2007、2008 年的日月仰角相位疊加圖

- 四. 每個月之中，高潮間隙在望月和朔月時較小，上弦月和下弦月時較大。可能是因為朔望時引力有加乘的效果，故延遲較少。不同季節中，弦月時的高潮間隙亦皆大於朔望的高潮間隙，推論出月相變化影響的高潮間隙與太陽的仰角大小變化無關。
- 五. 觀察全年疊加不同相位的潮位變化圖，每天的兩次滿潮潮高約相同，朔和望的滿潮潮高亦接近，相關性很高。推論不考慮其他因素（日月仰角變化，如圖十六），朔月滿潮潮高應與望月的滿潮潮高相同。
- 六. 由不同季節（太陽仰角不同）的疊加圖中，我們發現春、秋時農曆朔月和望月的潮高沒有明顯的差距，但夏、冬時，相鄰的兩次滿潮一大一小的周日不等現象會剛好相反。顯示了太陽仰角不同，對潮汐變化的影響。
- 七. 將不同季節的朔月滿潮和望月滿潮時的潮位變化和月亮的仰角作比對，發現在夏季朔月(相位 0)時，太陽月亮仰角均較高，月前滿潮潮位較大，夏季望月(相位 1)時，月亮仰角較低，月前滿潮潮位亦較低；冬季朔月(相位 0)時，月亮仰角較低，月前滿潮潮位較小，冬季望月(相位 1)時，月亮仰角較高，月前滿潮潮位較高。所以月上中天滿潮較大時，月前滿潮亦較大，而月下中天滿潮較小時，月後滿潮亦較小，此結果顯示月上中天所引起的潮位變化，和月前滿潮較為吻合（如表五），因此我們推論海底的黏滯力很可能使滿潮延遲一百八十度以上。

表五 潮位變化理論與實際比較表格

夏季	月亮仰角	夏季理論	夏季實際
朔月	大	月上中天滿潮較大	月前滿潮較大
		月下中天滿潮較小	月後滿潮較小
望月	小	月上中天滿潮較小	月前滿潮較小
		月下中天滿潮較大	月後滿潮較大
冬季	月亮仰角	冬季理論	冬季實際
朔月	小	月上中天滿潮較小	月前滿潮較小
		月下中天滿潮較大	月後滿潮較大

望月	大	月上中天滿潮較大	月前滿潮較大
		月下中天滿潮較小	月後滿潮較小

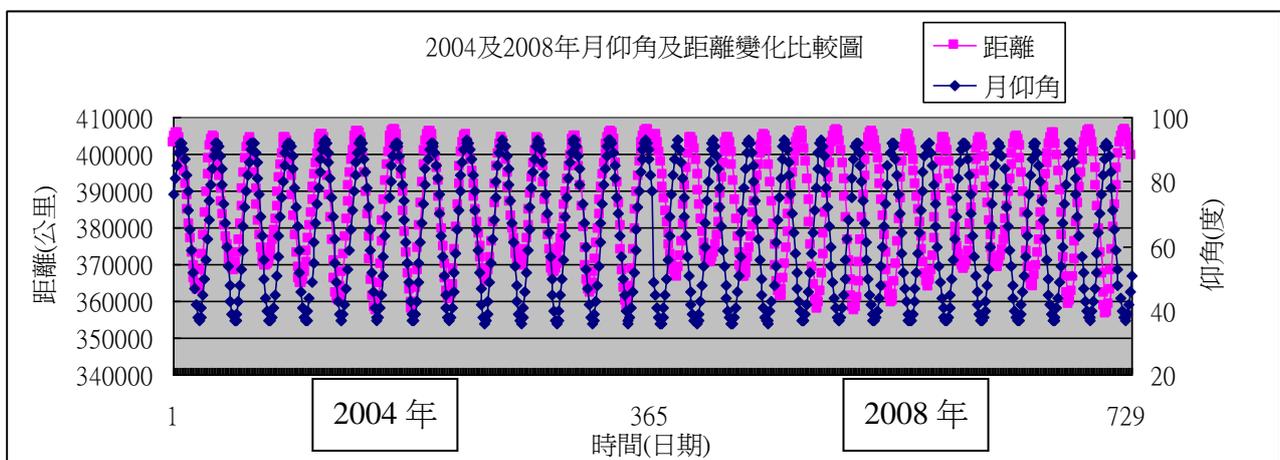
- 八. 2003 年之前的潮位不論滿潮或乾潮，均較另三年高約十五公分左右。(如圖十六)，因為滿潮或乾潮均升高，應和引潮力大小變化無關，我們查詢了六年的全年平均氣壓及氣溫，亦沒有明顯異常。雖然月仰角變化，可能造成潮位升高，但使用統計法之後，影響應抵消。所以我們認為潮位升高的現象較可能為儀器校正誤差所致。我們詢問了中央氣象局證實 2003 年確實有更新潮位測站。
- 九. 關於 1999 年份和其他年份相比，高潮間隙皆較其它年份多延遲四小時左右。我們找出距離、氣壓、太陽仰角變化，發現該年中並無特出之處，再檢查 1999 年至 2000 年初是如何突然延遲減少，發現是因為我們所取得 1999 年月亮資料中的時間為格林威治時間，校正後即和其他年分結果一致。
- 十. 長期分析結果中，無論夏季或冬季，月亮仰角高時，最大的滿潮潮位可達一百多公分(圖二十)，但月亮仰角較低時，最大的滿潮潮位僅八十公分左右(圖二十四)。

因此我們原本由 99, 07, 08 年的資料推測：可能是因為月亮仰角高時，所測得較大滿潮為月上中天滿潮，仰角低時所測得較大的滿潮為月下中天滿潮。而月上中天滿潮較穩定，月下中天滿潮位置不穩定，所測得的月下中天潮並不為最大值。

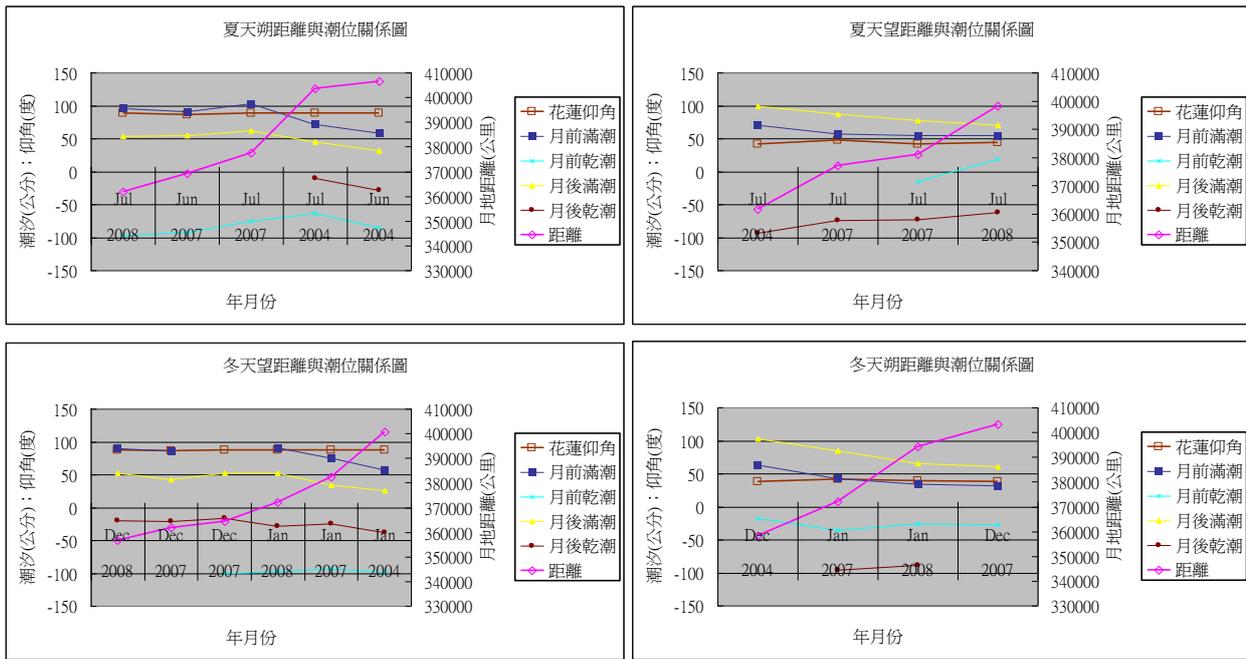
但在 2004 年結果剛好相反(圖三十二)，表示上述推論錯誤。觀察 2004 及 2008 年的月仰角及月地距離比較圖(圖三十五)中，可發現在 2004 年月仰角高時，月地距離較遠；而月仰角低時，月地距離較近；而 2008 年的趨勢剛好相反。也就是說 04 年的月仰角和月地距離造成的效應是相反的，而 08 年的趨勢是一致的。

所以我們認為：08 年無論夏季或冬季，月亮仰角高時，最大的滿潮潮位可達一百多公分，但月亮仰角較低時，最大的滿潮潮位僅八十公分左右；而 04 年無論夏季或冬季，月亮仰角高時，最大的滿潮潮位僅八十公分，但月亮仰角較低時，最大的滿潮潮位可達一百公分左右，這樣的結果是距離變化所致。

我們又進一步針對 03 年之後的資料作篩選，選擇相同月仰角、相同季節、相同月相點作潮位的比較(圖三十六)，發現月地距離對潮位變化的影響，比我們想像中的大，而之前的分析都沒有發現距離的影響，是因為其它年分的距離效應和月仰角效應一致。



圖三十五 2004、2008 月仰角及距離變化比較圖



圖三十六 2004、2007、2008 距離與潮位變化關係圖

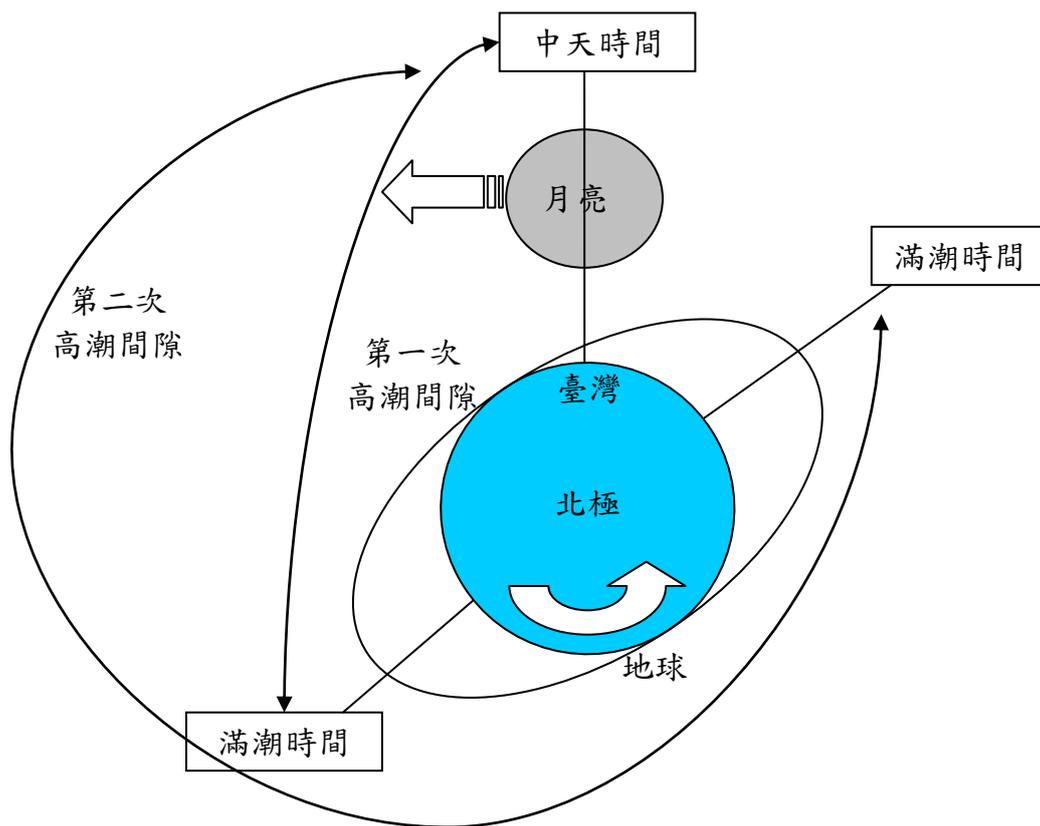
柒、 結論

1. 若排除其它影響因素(月仰角、日仰角、月地距離變化等)，朔月、望月的滿潮潮位相等。
2. 影響潮汐的因素有月亮仰角、太陽仰角、月亮相位、月地距離等，另颱風及季節造成的氣壓差，亦會影響潮位。
3. 在比較月亮仰角與潮位關係時，發現仰角高時月前滿潮較大，仰角低時則相反，我們推論潮汐延遲應超過一百八十度(十二小時)以上。我們利用統計法加疊月相的影響，把不同季節的朔月和望月滿潮和月亮與太陽的仰角一起考慮，證明潮高和月亮及太陽仰角有關，而且夏、冬兩季一日內月前月後潮高大小次序相反，所以月上中天所引起的潮位變化，應和月前滿潮吻合，因此我們推論海底的黏滯力很可能使滿潮延遲一百八十度以上。

捌、 建議

雖然大致能夠解釋一年內令人不明瞭的現象，但畢竟只是六年的觀測資料分析，其中可能有港內的擾動或其他無法考慮完全的因素影響，尙有其他不明確的地方。比如說：大潮於朔月和望月有延遲二到三天的情形。我們認為可以比較更多港口的實測資料，或是蒐集更長期的資料，以及南半球相對映港口的潮位資料，以比對更長週期的影響因子，這些更進一步分析可以留待之後的深入研究。

附註：



圖三十七 高潮間隙示意圖

參考文獻

壹. 中文部份

林茂生(民 56)。潮汐的理論和預測。台北市：三民。

劉文俊(民 88)。台灣的潮汐(2 版)。劉文俊。

邱啓敏(民 95)。台灣四周沿岸潮汐特性探討及颱風暴潮迴歸分析之研究。國立成功大學水利及海洋工程學系專班碩士論文，未出版，台南市。

王執明(民 97)。基礎地球科學(全)教師用書。台北市:龍騰。

邱國光(民 97)。2009 年天文年鑑。台北市：台北市立天文科學教育館。

邱國光(民 96)。2008 年天文年鑑。台北市：台北市立天文科學教育館。

邱國光(民 95)。2007 年天文年鑑。台北市：台北市立天文科學教育館。

1999,2000,2002,2004,2007,2008 年花蓮港潮位觀測逐月統計資料(民 98)。台北市：中央氣象局。

1998 年至 2008 年太陽表、月亮表資料(民 98)。台北市：台北市立天文科學教育館。

貳. 網路資源

中央氣象局全球資訊網。<http://www.cwb.gov.tw/>

范光龍(西元 1988 年 5 月)。台灣附近的海域。科學月刊全文資料庫。民 97 年 12 月 24 日，取自：<http://203.68.20.65/science/content/1988/00050221/0010.htm#海底地形>

戴正雄。海洋學。蘇澳高級海事水產學校。民 98 年 1 月 10 日，取自：<http://www.savs.ilc.edu.tw/unit/savs530>

【評語】 040509

本作品以花蓮港潮汐的數值來計算和推導潮汐時間差，是不錯的科學想法，但研究者對潮汐的成因及潮汐的本質似需加強了解，此外也可對不同地點的潮汐時間差作類似分析以為比較。