

台灣北海岸之潮汐

Tides on the north coast of Taiwan

蔡政翰 廖巧文 蘇麗琴 李賢文
國立台灣海洋大學
海洋科學系

摘要

潮波於太平洋上向西行進至台灣東岸後，分為兩支，一支沿著台灣北海岸走，繞過台灣北部；另一支往南行繞過台灣南端，最後潮波進入台灣海峽，兩分支在台中附近會合。由於受台灣東北外海大陸棚的影響，使潮波行進的速度減慢，再加上北海岸線崎嶇複雜，造成此海域之潮汐特性較為奇特，值得深入探究。

目前台灣東北海岸，只有基隆及鹽寮有測潮站。而為了提高預測此海域潮汐之準確性，本研究於鼻頭角附近的龍洞，和富貴角附近的富基漁港，使用可攜帶式的潮汐儀，分別測潮十及五個月。並將測得的資料與東海岸的梗枋、東北角的鹽寮、基隆和西海岸的竹圍潮汐資料，一起作比較，以便更瞭解潮波在此海域的潮時變化和分析，求出各測站分潮之振幅，來幫助解釋潮汐的現象。

一、前言

潮汐為人類在從事各項海上活動時，所需的基本資訊，不論是在航運工程或是休閒活動上，都會受每日潮水漲落的影響。中央氣象局早在民國三十六年，就致力於潮汐測量及資料的保存。民國七十八年起，中央氣象局出版潮汐觀測年報，將氣象局、水利局及港務局之潮汐站資料，加以整合於年報中。氣象局海象測報中心於民國八十二年成立後，更致力於潮汐資料的收集和整合，期望能建立台灣地區完整的潮汐資料。為了方便民眾從事相關海上活動，氣象局更於民國七十八年起公布一週之潮汐預報。

潮汐學已是一門相當成熟的學科，國外有相當多的文獻可供參考，如 Darwin(1898)之平衡潮理論、Doodson(1921)之調和分析理論及 Ippen(1966)、Pugh(1987)等。國內也有學者發展出潮汐及潮流之預報模式，如王揚文(1975)、連三郎(1977)和 Li(1987)，然而潮汐的預報必須先有長期實測的潮汐資料，才能進行預測。

台灣目前屬於氣象局、水利局及港務局之潮汐測站，共有 18 處，分佈於台灣的海岸線上，由這些測站資料與 劉和吳(1996)、Li(1987)之潮汐預報數值模式，可得知台灣附近的潮汐特性大致如下：當潮波由台灣東部深海，往西進行至台灣東岸後，

繞過台灣北部及南部至台中外海會合。吾人已知潮波前進速度與水深之平方根成正比，在台灣南部外海深度較深，故潮波行進速度較快。而北部分支，因為受到台灣北部陸棚的影響，其行進速度較慢；再加上北部海岸地形特別，此段海岸線上就有三個岬角：三貂角、鼻頭角和富貴角（圖一），因此在台灣北海岸之潮波較為特殊。

在潮時上(劉和吳，1996)，基隆比蘇澳慢約 2 小時，而淡水則比基隆再慢 2 小時；但是淡水以南海岸至台中的潮時，就相差甚微了，台中只比淡水慢約 30 分鐘。同在西海岸的高雄，其潮時也只比蘇澳慢了一個半小時。另外，基隆所量得的潮汐，全日潮的分量比例相當大；但是潮波進入台灣海峽後，全日潮的分量則相當小。由此可知，北部海岸之潮汐與台灣海峽之潮汐，有顯著的不同。所以對於東北海岸的潮汐預報，也較為困難，所以本研究擬定在東北海岸線上多設測潮站，以增加預報的準確度。

目前在東北部海岸只有基隆及鹽寮兩個測站，為了深入探究此海域的潮汐現象，所以在鼻頭角及富貴角（圖一）兩處，以可攜帶式潮汐儀設立臨時測潮站，分別測十及五個月。將測得的潮時結果，與附近測潮站比較，可得各測站間之潮時差。另外，再以調和分析求出各測站分潮的振幅，以期對台灣北海岸之潮汐有更深入的瞭解。

二、方法

本研究最主要的工作，是龍洞（鼻頭角附近）和富基漁港潮汐資料的取得。在龍洞進行潮汐觀測的時間是由1996年8月20日至1997年6月19日。確實觀測地點位於，交通部觀光局東北海岸風景特定區管理處的龍洞遊艇港，因為遊艇港尚未對外開放，安全性極佳。壓力式潮汐儀就固定在港內的圓樁上，水深約三公呎處。由於港內水位升降受波浪的影響小，所以是一個相當理想的潮汐觀測地點。為了扣除表面波的干擾，所以將儀器設定為，每六分鐘只記錄一筆一分鐘的平均水壓資料。

富貴角附近的潮汐資料，則於富基漁港內測得，因為港內沒有可固定儀器的圓樁，因此將潮汐儀固定在不銹鋼架中，置於水深約四公尺的海底。不銹鋼架可以保護儀器，且又綁有重鎗避免其移位。因為潮汐儀之確實水深，並沒有對基隆平均海水面作校正，故測得的潮汐資料，均是相對於該觀測地點，於觀測時間內的平均海水面。

另外，中央氣象局亦提供了梗枋、鹽寮（屬台電）、基隆（屬港務局）和竹圍等固定站之潮汐資料。這些測站加上本計畫之臨時測站，涵蓋了台灣東北至西北角的海岸線，若比較各站之滿潮時間，可以瞭解潮波在此海域的行進特性。因為上述固定站的資料都不完整，只有在1997年3月6日至1997年4月22日這段期間內，各站皆有資料能夠比較潮時。另外所有測站的潮汐，大部分時間半日潮還相當明顯，所以分別挑出每日兩次滿潮的時間，再比較各站之滿潮時間，以求出潮波於各站間行進所需的時間。

為了瞭解分潮之振幅，所以對梗枋、龍洞和富基的潮汐資料作調和分析。分潮之選擇則依照 Rayleigh criterion:

$360(\text{度}) / \text{分潮的角速度差}(\text{度}/\text{小時}) = \text{總測量時間}(\text{小時})$ 。

三、結果

(一) 分潮

由測得之龍洞潮汐變化資料中，可看出相當規則的潮汐變化現象，例如半日潮、全日潮及每個月兩次的大潮(spring tide)與小潮(neap tide)，又海水面會隨冬季之來臨而逐漸下降，其下降程度最大可達20公分，當夏季來臨時平均海水面又逐漸上升；這些現象與基隆的潮汐很類似（劉和吳，1996）。

在富基漁港之潮汐變化資料中，也可看出與龍洞類似的各種潮汐特徵，平均海水面也有上下振動的現象。在龍洞和富基所測得的潮汐資料，皆未中斷過，可見本研究使用的潮汐儀很穩定。

將龍洞、富基和梗枋的潮汐資料，經過調和分析後，得到34個分潮之振幅，若將龍洞和富基的主要分潮(O1, P1, K1, N2, M2, S2, K2) 振幅，分別與附近

的基隆和淡水之分潮比較（表一），發現同樣位於東北海岸線上的基隆和龍洞，不管是全日潮或半日潮的分潮振幅，都非常接近；除了S2和K2潮由龍洞至基隆下降了約40%。至於富基漁港，因為位在東北海岸線和台灣海峽海岸線之交界處，所以其分潮和位在台灣海峽海岸線上的淡水河口分潮有所不同。由表一可知，這兩站之全日潮振幅幾乎相等，但是淡水河口的半日潮卻都比富基漁港大。

從圖二中，可以更清楚地看出這些分潮振幅的變化情形，圖上有梗枋至竹圍各站的主要分潮振幅，由此顯示出，當潮波由東岸經北海岸往西繞過富貴角，到台灣海峽時，全日潮振幅幾乎沒有變化（表二），而半日潮成分，雖然在梗枋至東北海岸線上沒有顯著變化，但是到了富貴角就明顯地增大了；例如富基的M2潮為基隆的3倍（表二）。半日潮成分從富貴角繼續往南增大，由表二中得知N2, M2, S2和K2潮於竹圍皆為基隆的五至六倍，其實這一比值會繼續往南增加，在台中達到最大；就像台中的M2振幅有1.6公尺（劉和吳，1996），約為基隆的7.3倍。莊文傑(1997)認為此現象，是因為潮波分別由台灣海峽南北往中部匯入，產生了協振盪(co-oscillation)之共振所造成的。此現象值得再深入探討。

列於圖二之F值稱為潮型值(Form Factor)，其定義為全日潮K1和O1振幅與半日潮M2和S2振幅的比值：

$$F = (H_{K1} + H_{O1}) / (H_{M2} + H_{S2})$$

其中H為振幅。根據Pugh(1987)，潮型可依照F值大小區分如下：

F = 0 - 0.25	半日潮
F = 0.25 - 1.50	混合潮，主要為半日潮
F = 1.50 - 3.00	混合潮，主要為全日潮
F > 3.00	全日潮

因此，從圖二之F值可看出，在東海岸及北海岸線上的梗枋、龍洞和基隆，皆為半日潮型的混合潮。富貴角和淡水雖然也屬於半日潮型的混合潮，但已很接近半日潮。至於竹圍則純粹為半日潮。

(二) 潮時

海洋界大致認為潮波先到台灣東海岸，一支沿著台灣北海岸走，繞過富貴角再進入台灣海峽。所以梗枋之滿潮時間應該比鹽寮早，而鹽寮應該比龍洞早，龍洞比基隆早，基隆比富基早，富基比竹圍早。吾人比較在1997年3月6日至1997年4月22日這段期間內，各測站間的每天第一次和第二次滿潮之潮時差。由各站間之平均潮時差（表三）看來，梗枋比鹽寮早24分鐘，鹽寮比龍洞早24分鐘，龍洞比基隆早2小時24分鐘，基隆比富基早48分鐘，

而富基比竹圍早 18 分鐘，此結果基本上驗證了前述的潮波行進特性。

由各站間的潮時差資料看來，潮時差會隨日期不同而上下振盪。其中值得注意的是：圖三中，梗枋與鹽寮間第一次滿潮的潮時差，比第二次滿潮的潮時差大；且第一次滿潮潮時差於農曆九日和二十四日附近，出現極大值，也就是在小潮(neap tide)時，此極大值達到近 4 小時(表三)；但是在大潮(spring tide)時，潮時差反而較小。

由農曆二月八日(圖五)和三月九日之各站潮波波形，發現當日龍洞和鹽寮出現長潮，此時一天兩次的漲落潮不明顯，海水面維持在滿潮狀態下相當長的時間；這主要是因為半日潮貢獻降低所致。當時梗枋第一次滿潮潮時的確比鹽寮早很多。在圖三中，因為鹽寮恰好於農曆二十四日沒有資料，故當日潮時差之極大值大小無法得知，只能由前一天的高值判斷在此期間也有極大值出現。

鹽寮至龍洞的潮時差較小，這是因為兩測站距離很近，而且這兩站的潮波波形也很相似；因此第一次和第二次滿潮之潮時幾乎同步，另外也發現在小潮時，潮時差較大。

圖四為龍洞至基隆之潮時差，其值比其他測站間都要大。而且第二次滿潮之潮時差比第一次滿潮之潮時差還長。從圖中發現第一次滿潮之潮時差，在農曆九月二十四日附近出現極小值；而且第二次滿潮之潮時差亦在該處往上跳，這種現象也出現在基隆至富基的潮時差上。

由各站間的潮時差資料看來，竟然也有負值出現。例如 3 月 16 日(農曆二月八日)，基隆至富基的第一次滿潮潮時差；富基的滿潮時間的確比基隆早。另外，還有在 4 月 7 日(農曆三月一日)，梗枋至鹽寮第二次滿潮潮時差，鹽寮滿潮時間比梗枋早。不過這些負值並不大，在實用上應該可以視為零時差，這意謂著兩站同時出現滿潮。

在此值得探討的是，梗枋至鹽寮第一次滿潮的潮時差之極大值，和龍洞至基隆第一次滿潮的潮時差之極小值(圖三和圖四)，都出現在小潮時，顯然這與小潮有密切的關係。另外，龍洞和鹽寮在小潮時，兩測站的潮波波形相似，都有長潮出現。但是，在梗枋和基隆，卻沒有極明顯的長潮出現(圖五)。

為了探討此現象，吾人必須回顧各站間全日潮及半日潮之振幅。雖然圖二中指出，基隆($F=1.26$)的半日潮貢獻比龍洞($F=1.07$)還小；但是在小潮時，月亮、地球和太陽的相對位置成一直角，使得 M2 和 S2 潮有相消的現象。表一顯示，各全日潮振幅於各站間幾乎相等，然而 M2 分潮與 S2 分潮振幅之差($H_{M2}-H_{S2}$)於龍洞為 0.11cm，而於基隆卻是 0.16cm。也就是說，於小潮時，基隆之半日潮的貢獻比龍洞之半日潮的貢獻大，這可以經由圖六和圖七之模擬來加以說明。由圖六(半日潮 x 之振幅，是全日潮 y 之

振幅的 30%)可看出，x 與 y 之合成波之長潮現象極明顯，可以驗證龍洞的觀測資料。在圖七之半日潮之振幅是全日潮之振幅的 50%，x 與 y 之合成波之長潮現象就沒有圖六明顯。

由圖六所模擬之龍洞潮波中可看出，長潮兩波峰間的時間差，比半日潮兩波峰間的時間差要來得短。這正好和龍洞、鹽寮出現的長潮特性相吻合。在不是小潮的期間內，龍洞和鹽寮每日兩次滿潮的時間差都大約是 12 小時，但是在小潮時，其長潮的兩次滿潮時間差卻縮短為 8 小時。

正因為長潮的出現，使得龍洞和鹽寮兩次滿潮的時間差縮短。再加上梗枋和基隆，每日兩次滿潮時間差都約為 12 小時，並不會因為在小潮時有太大的改變；此現象可以從圖七，來加以證明。在這種情況下，造成了在小潮時，梗枋至鹽寮第一次滿潮的潮時差，會出現極大值；而在龍洞至基隆第一次滿潮的潮時差，卻會出現極小值。

四、結論

(一)本計畫將可攜帶式潮汐儀，分別放置於龍洞和富基漁港共十和五個月。這些潮汐資料雖不是即時的，但是在測量期間內，資料皆沒有缺漏，可見本潮汐儀比氣象局、台電或港務局的即時潮汐儀可靠。

(二)調和分析結果顯示，當潮波由東岸沿東北海岸線，往西繞過富貴角，進入台灣海峽時，全日潮振幅幾乎沒有改變；半日潮成分雖然在梗枋至東北海岸線上改變不大，但是到了富貴角就明顯地增大了。例如富基的 N2, M2, K2 和 S2 分潮約為基隆的 3 倍。

(三)各測站間的滿潮潮時差分析，雖然在平均上顯示，梗枋比鹽寮早 24 分鐘，鹽寮比龍洞早 24 分鐘，龍洞比基隆早 2 小時 24 分鐘，基隆比富基早 48 分鐘，而富基比竹圍早 18 分鐘。但是潮時差會隨著日期不同而上下振盪，甚至出現負值。

(四)在小潮時，梗枋至鹽寮第一次滿潮的潮時差出現極大值，而在龍洞至基隆第一次滿潮的潮時差卻出現極小值。這是因為龍洞和鹽寮出現長潮，使每日兩次滿潮間的時差由 12 小時縮短為 8 小時；而梗枋和基隆每日兩次滿潮間的時差仍維持在 12 小時，才造成的結果。此長潮的出現乃是因為於小潮時，全日潮振幅遠比半日潮振幅大所致，而且全日潮之波峰恰出現於半日潮之一波谷附近，兩者合成才形成了長潮。

五、謝辭

本計劃之經費承蒙中央氣象局之補助 (計劃編號:CWB 86-20-03)，謹此致謝。

六、參考文獻

- 王揚文(1975)，潮汐電腦預報即推算一貫作業系統
海軍測量局
- 連三郎(1977)，潮汐預報電腦程式模型
台灣大學海洋研究所,pp.104
- 莊文傑(1997)，台灣西部沿海之潮汐特性探討
港灣報導 No.39,台灣港灣技術研究所,pp.21-33
- 劉文俊(1996)，台灣的潮汐,劉文俊出版,pp.283
- 劉文俊和吳文耀(1996)，台灣海域潮汐特性之初步分析
中央氣象局海象預報中心,pp.104
- Darwin, G. H. (1898) The tides and kindred phenomena in the solar system, Houghton, Mifflin and Co. New York.
- Doodson, A. T. (1921) Harmonic development of the tide-generating potential, Proceedings of the Royal society of London, A100, pp. 305-329.
- Ippen, A.I. (1966) Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGraw Hill, New York, p. 744.
- Li Hsien -Wen (1987) A numerical predictive model of tides in the seas adjacent to Taiwan. Proceedings of the National Science Council, Part A: Physical Science and Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 74-89.
- Pugh D. T. (1987) Tides, Surges and Mean Sea-Level, John Wiley and Sons, New York, p. 472.

表一：龍洞和基隆與富基和淡水之重要分潮振幅(米)，(基隆與淡水資料出自劉文俊 1996)。

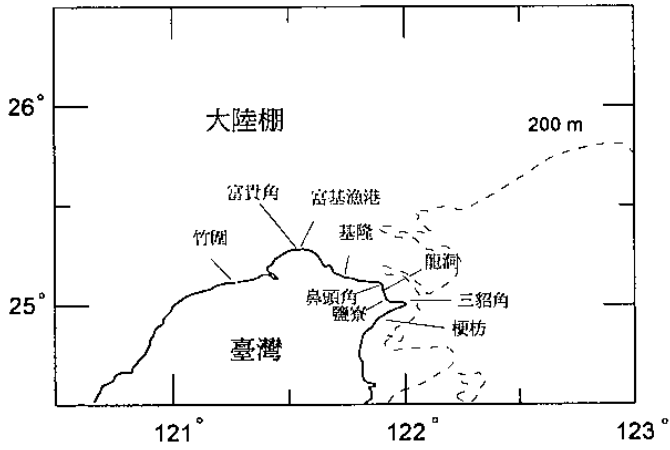
	龍洞	基隆	富基	淡水
O1	0.163	0.154	0.191	0.181
P1	0.067	0.075	0.070	0.078
K1	0.198	0.200	0.221	0.229
N2	0.055	0.058	0.132	0.2
M2	0.223	0.218	0.666	1.016
S2	0.114	0.062	0.182	0.286
K2	0.025	0.015	0.053	0.086

表二：分潮振幅比值(基隆、淡水與竹圍資料出自劉文俊 1996)。

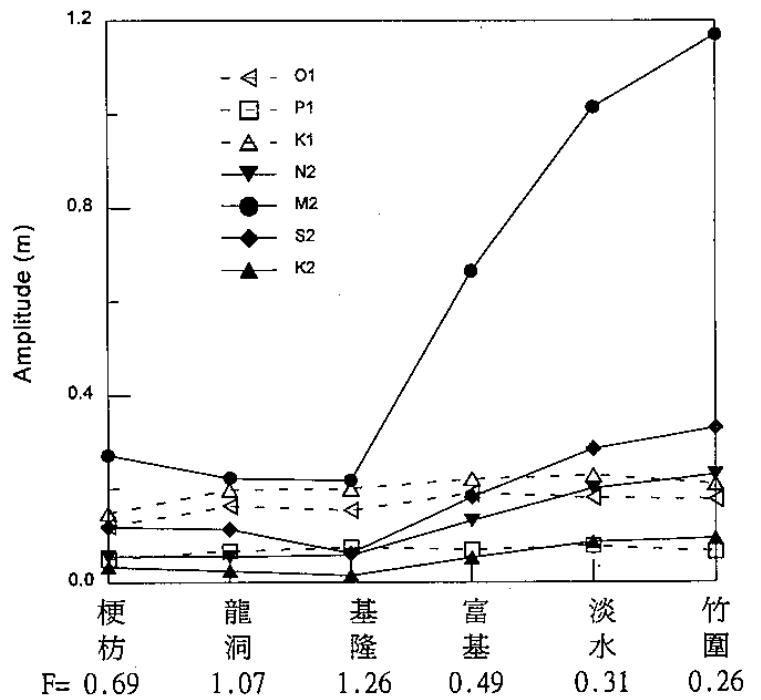
	O1	P1	K1	N2	M2	S2	K2
富基/基隆	1.2	0.9	1.1	2.3	3.1	2.9	3.5
淡水/基隆	1.2	1.0	1.1	3.4	4.7	4.6	5.7
竹圍/基隆	1.1	0.9	1.1	4.0	5.4	5.3	6.2

表三：站間滿潮時間差(3/16/97 - 4/22/97)，竹圍資料只由 4/14 至 4/22。

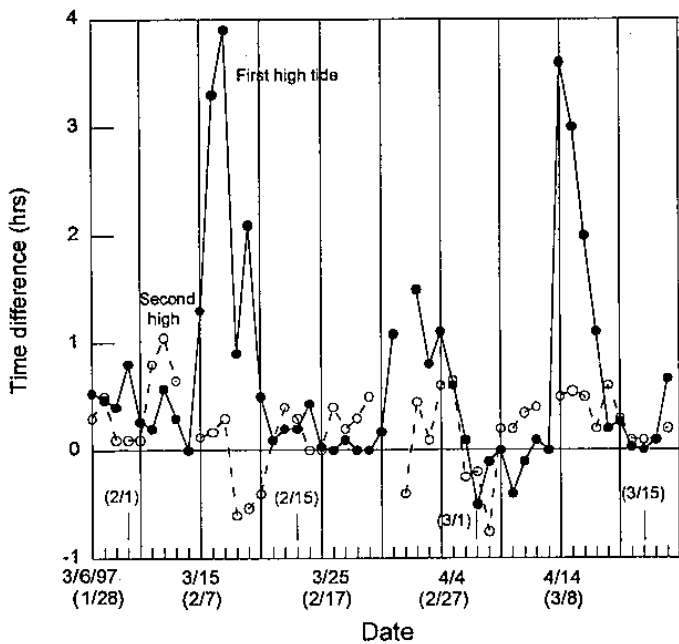
	平均(小時)	最大值(小時)	最小值(小時)
梗枋—鹽寮	0.4	3.9	-0.7
鹽寮—龍洞	0.4	1.2	-0.3
龍洞—基隆	2.4	3.7	-0.2
基隆—富基	0.8	1.9	-0.5
富基—竹圍	0.3	0.6	0.1



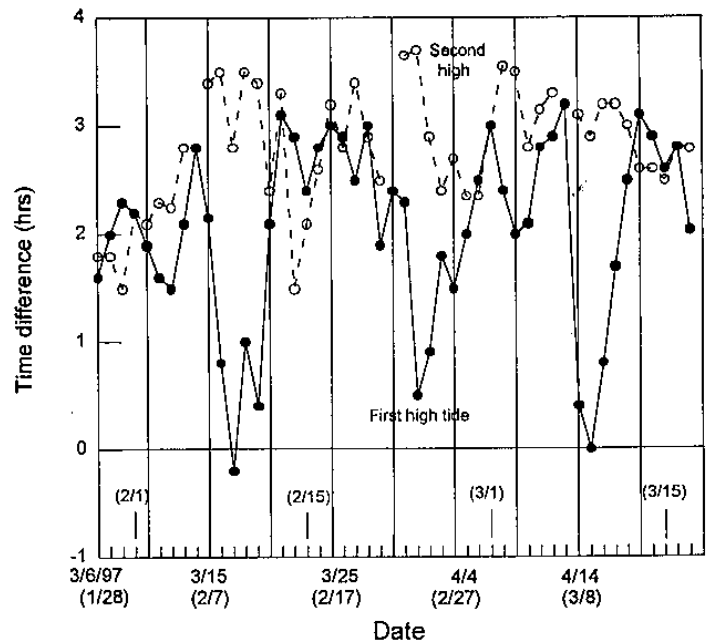
圖一 臺灣東北海岸及測潮站。



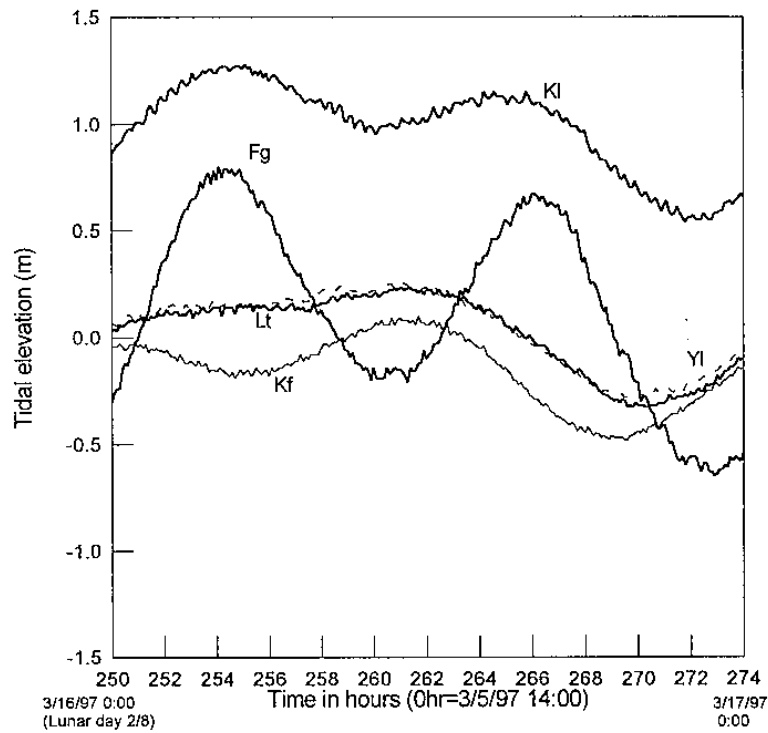
圖二：重要分潮振幅隨地點變化情形（站間並非等距。基隆、淡水與竹圍資料出自劉文俊 1996。F=(K1+O1)/(M2+S2)，F 為潮型值）。



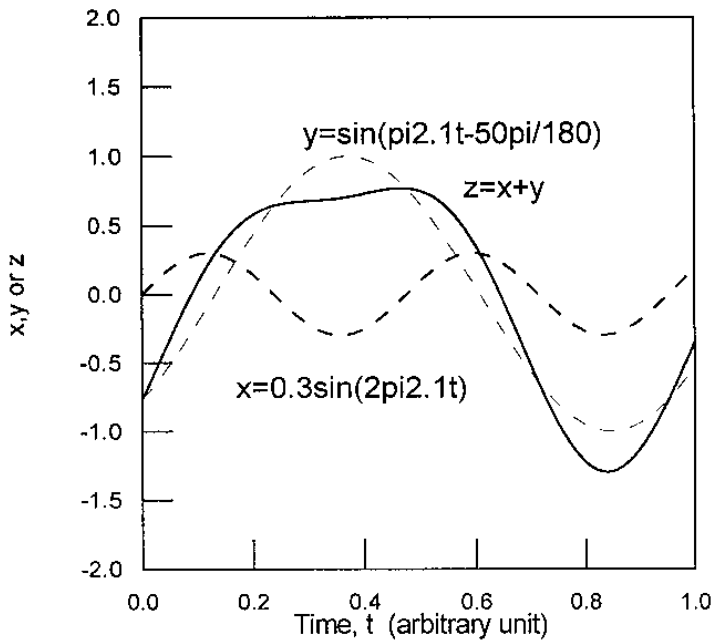
圖三：梗枋至鹽寮滿潮時差，負值表鹽寮滿潮時間比梗枋早（括號內為農曆日期）。



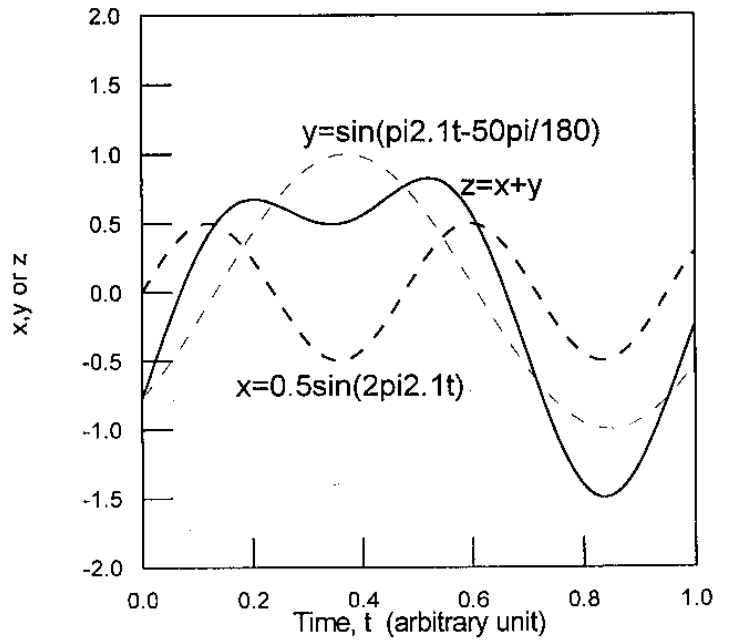
圖四：龍洞至基隆滿潮時差，負值表基隆滿潮時間比龍洞早（括號內為農曆日期）。



圖五：北海岸各站之潮汐波型。
 (Kl：基隆、Fg：富基、Lt：龍洞、Yl：鹽寮、Kf：梗枋)。



圖六：小潮時，龍洞或鹽寮潮波之模擬，
 x 為半日潮，y 為全日潮，z 為 x 與 y 之合成波，
 其中半日潮之振幅為全日潮的 30%。
 (pi=3.14)



圖七：小潮時，基隆潮波之模擬，
 x 為半日潮，y 為全日潮，z 為 x 與 y 之合成波，
 其中半日潮之振幅為全日潮的 50%。