

## 海水的漲退—潮汐

張憲國—交通大學土木工程學系教授

### 第一章 潮汐現象

#### 1.1 潮汐的基本認識

海洋水位有規律的週期性起伏除了展現出海洋的活力外，亦常成為詩人墨客雋詠之現象。此海洋水位有規律的週期性起伏的現象叫作潮汐(tide)。海水面上升段稱為漲潮(flood)；而海水面下降段稱為退潮或落潮(ebb)。從漲潮轉為退潮時，海水位達到相對最高稱為滿潮或高潮(high water)；從退潮轉為漲潮時，海水位達到相對最低稱為乾潮或低潮(low water)；任一滿(高)潮和相鄰乾(低)潮之潮高(水位)差值稱為潮差(tide range)，其定義見圖 1。

在加拿大 Fundy 海灣的潮差可達 18 公尺，法國之聖密西爾山(Mt. St. Michel)灣的潮差可達 14 公尺，在如此大潮差之地方觀看潮汐應是相當震撼的一件事情。況且美國馬里蘭州 NASA 太空飛行中心寒星科學 (Cryospheric sciences)主任 Waleed Abdalati 說「海水位每上升一公尺對可超過 10 億個以上的海洋生物有潛在性的影響」。認識潮汐的現象應是人們具備的基本知識，甚至是可應用至日常生活之常識。

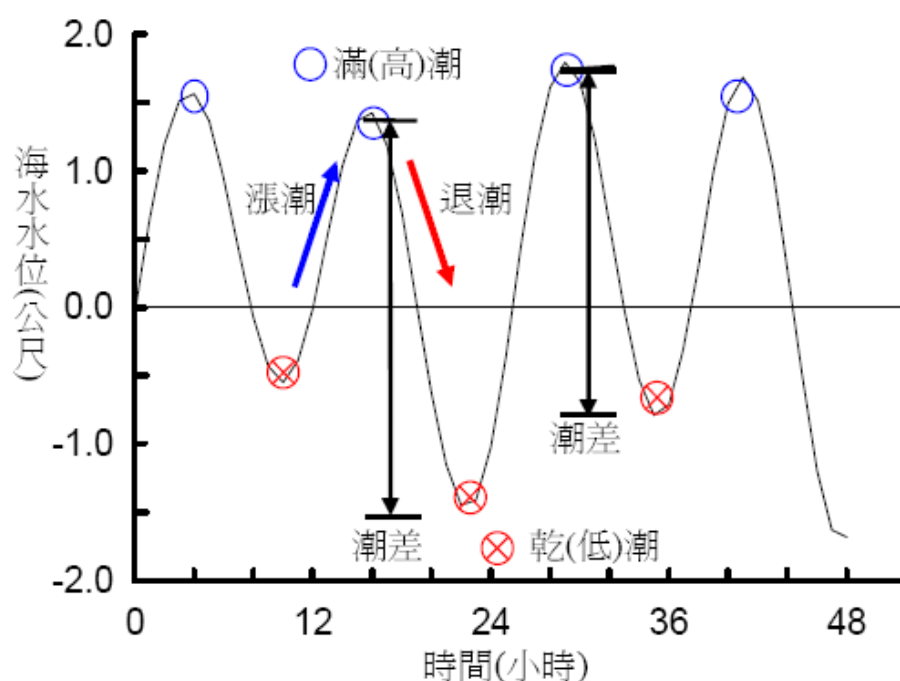


圖 1 潮汐的一些基本定義

一些潮汐特性先由實測之潮汐資料來說明，圖 2 為中央氣象局網站公布 2005 年一月新竹站之潮汐觀測歷時資料。從圖 2 可看出 3 點有關潮汐的現象：

1. 此處之潮汐大約半天漲退一次，亦即一天有兩次漲退潮；
2. 每天兩次之漲退潮之高潮及低潮不同；
3. 潮差有週期性，會由小變大，再由大變小，週期約為 15 日。潮差相對最大時稱為大潮，相對最小時稱為小潮。在半月潮地區(每日兩次漲退潮)，大潮發生在朔、望以後一至三日；小潮則發生在上、下弦以後一至三日。產生上述現象的原因為何，以下來說明之。

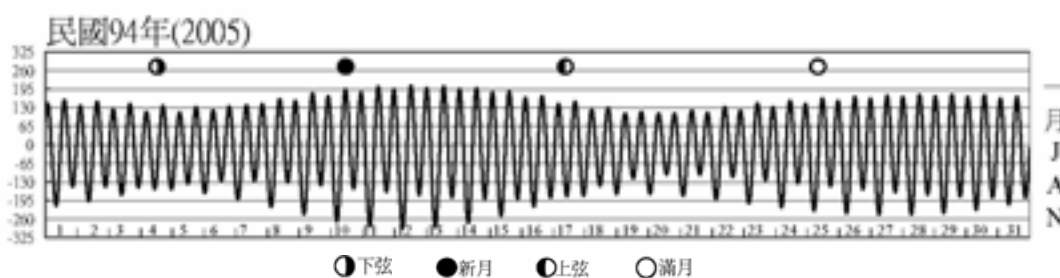


圖 2 由潮位站實測之潮汐歷時圖(新竹站，2005 年一月，中央氣象局網站)

## 1.2 有關潮汐的客問答

### 1. 潮汐如何發生的？

引起潮汐的原因是由於地球受其他天體的萬有引力(*gravitational force*)及二者間公轉之離心力(*centrifugal force*)所造成之引潮力(*tide generating force*)，主要影響地球潮汐的天體是月球，其次為太陽。如果以地球與月球為例，當月球在地球赤道平面上時，二者相對位置示如圖 3。

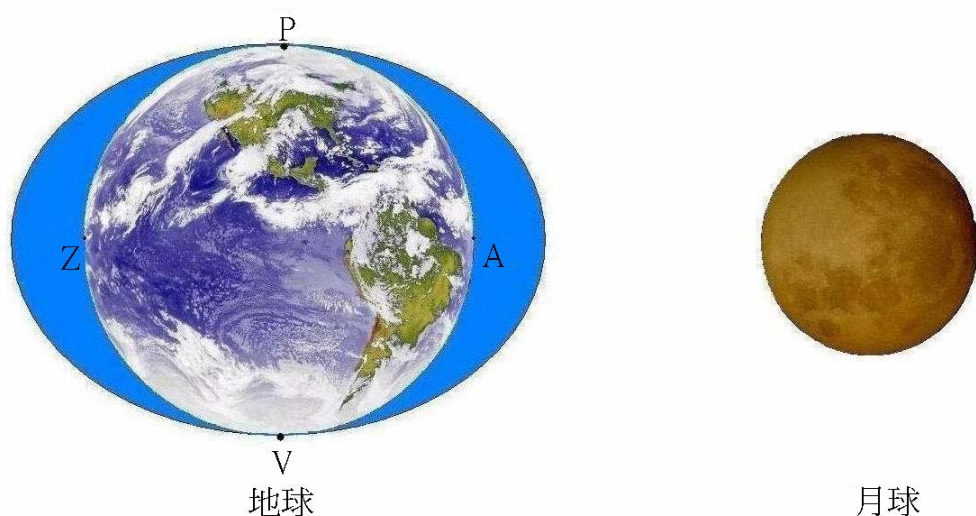


圖 3 地球海水面受到月球牽引力形成一個對稱的潮汐橢圓示意圖

假設地球表面上均勻分佈水體，其受到有效之潮汐牽引力(Tractive force)如圖 4 所示。由圖 4 顯示在地球表面上垂直於地球與月球連線之附近水體(見圖 4 之虛線處)受到有效潮汐牽引力影響會分別指向 A 點及 Z 點，亦即 P 及 V 點之水體會往 A 及 Z 點流動，於是在此處之海水水位會降低，而在 A 點及 Z 點海水會提升，整個地球表面各處引潮力作用的結果，使地球海水面形成一個對稱的潮汐橢圓形，如圖 3 所示。

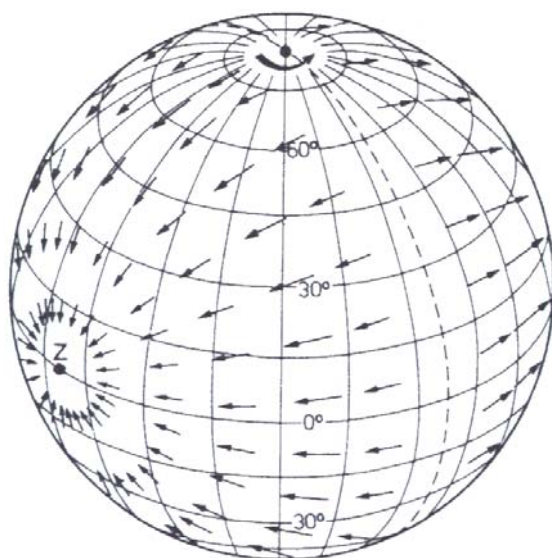


圖 4 有效之潮汐牽引力(Tractive force, Dietrich et al. 1980)

## 2. 為何一天會有兩次潮汐漲退呢?

月球對地球的公轉在一天之內會產生角度約  $12^\circ$  之位移，若先假設月球不動情況下，若當有人在圖 3 中之 A 點正面對月球時，潮汐會漲到高潮；半天後那人因地球自轉而在 Z 點，此時正背對月球，潮汐亦為高潮，再半天後又回到 A 點。而在二次高潮中間(時間約 6 個小時)。若某人所在位置恰垂直於 AZ 連線之地球表面上(如圖 3 之 P 及 V 點)，此處之潮汐為低潮。依上述說明可知地球上大部分地點的潮汐會有一天二次漲退潮的現象，故稱為半日潮(semidiurnal tide)，此現象由牛頓(Newton, 1687)首先提出理論說明。然而，此牛頓理論是假設地球為圓形且表面均勻分佈水體，但實際上地球為橢圓形而表面粗糙又有陸地阻礙，海水深度不同，所以並非海上每一點的潮汐一天均有二次漲退。如果某地之潮汐一天漲退只有一次時稱為全日潮(diurnal tide)，介於半日潮與全日潮之間者稱為混合潮。

## 3. 為何會日潮不等?

在前述潮汐漲退原因說明中，是假設月球在地球旋轉面(赤道)上，潮汐有二次相同漲退之高潮位及低潮位，然而，月球公轉於地球之軌道平面並不與地球赤道平面相同，此位置相對地可視如地球之旋轉軸傾斜於地球與月球之中心連線，示如圖 5。地球旋轉軸傾斜角度在  $18.5^\circ$  至  $28.5^\circ$  間改變，如在圖 5 中 B 點正面對月球時，因有效之潮汐牽引力此時為高潮，但半天後 B 點轉至 C 點，此 C 點不

在地球與月球之中心連線上(因地球旋轉軸傾斜之故)。雖然 C 點此時亦可能漲至高潮，但是此高潮之高度與在 B 點高潮之高度不同，此種現象稱為日潮不等 (diurnal inequality)，其結果可見圖 1 之說明。

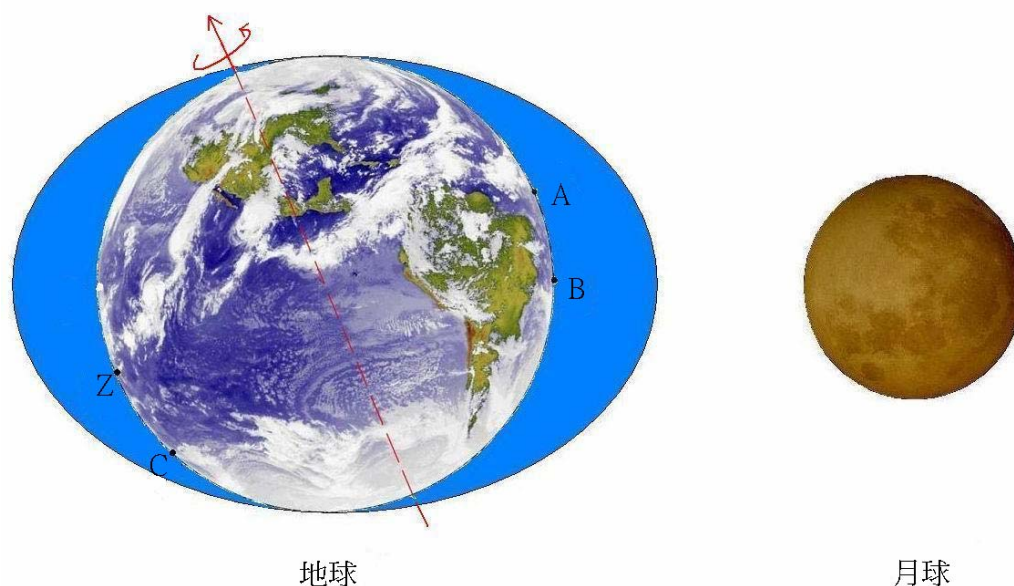


圖 5 因地球傾斜自轉所造成日潮不等的示意圖

#### 4. 每天漲潮時間為何不同呢？

在解釋一天兩次漲退潮汐時假設月球是靜止不動的，僅地球自轉所產生之潮汐變化，但實際上月球會繞著地球公轉，月球繞地球之週期為 29.5306 天(此稱為朔望月 Synodic month)。如圖 6 所示當地球上 A 點正面對於月球時(M 點)，地球自轉一圈的時間，月球已自 M 點移到 N 點處，所以原本在地球上 A 點此時卻不正面對著月球，需再花一點時間旋轉至 N 點。當月球自 M 點轉至 N 點之角度為  $360/29.5306 \sim 12.19^\circ$ ，而地球自轉 1 度所需之時間為  $24*60 \text{ 分}/360 \text{ 度} \sim 4 \text{ 分/度}$ ，因此地球需花  $4*12.19=48.76 \text{ 分}$  才能正面對月球。可是在 48.76 分間月球又從 N 點偏移一點，所以要在花一點時間來補足，地球上 A 點才能再一次真正正面對月球，經過多次修正地球上表面上一點面對月球的時間與再一次面對月球時間相差 50.47 分。因此高潮發生時間每天約晚 50 分鐘。在半月潮明顯地區，兩次滿潮(或乾潮)相距約 12 時 25 分。



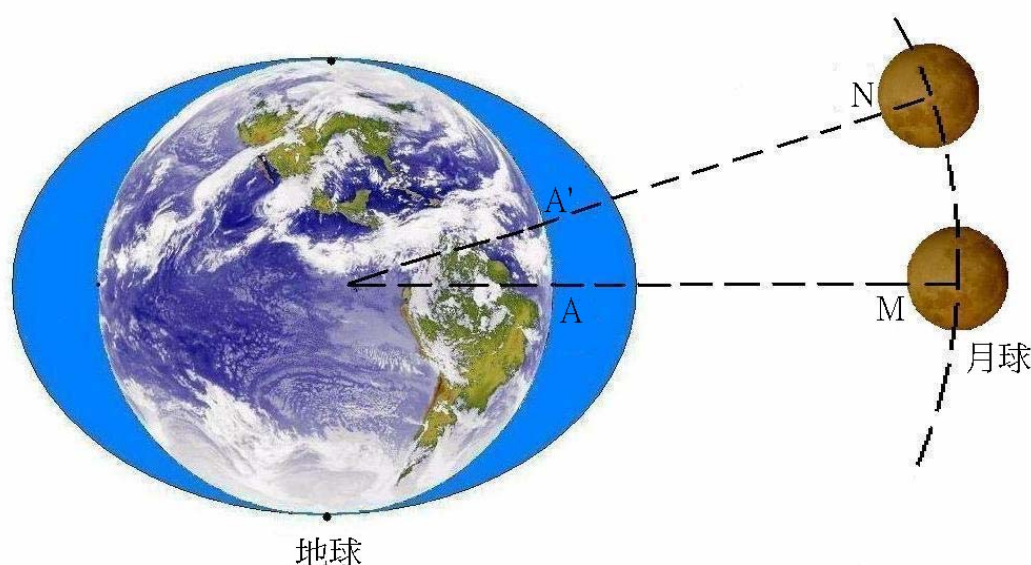


圖 6 因月球繞地球公轉所產生高潮每日延遲的示意圖

### 5. 潮差為何與月亮圓缺有關？

問到這個問題就要提到影響地球潮汐的另一個天體，太陽。如果在圖 3 的天體為太陽時，在地球潮汐分佈特性亦為橢圓形，但其高度與受月球者不同。二者之比較可從有效之潮汐牽引力來說明，有效之潮汐牽引力的大小與影響潮汐之天體之質量成正比但與其距離成三次方反比。太陽與月球之質量比值約為 27,000,000，日地距離約是月地距離的 389 倍，所以太陽引起之潮汐大小比因月球引起者約為  $27,000,000/389^3 \sim 0.459$ 。其它之天體所造成之地球潮汐均較月球與太陽小太多，可忽略不計。

當太陽、月球與地球在一直線上(即朔、望月)，地球上之潮汐因月球與太陽合成之效果產生，其大小估算為  $1+0.459=1.459$ (以月球引起者為一單位)，示意如圖 7(註深藍色為太陽引起之部份而藍色為月球引起之部份)。當太陽、月球分別與地球垂直(即上、下弦月時)，地球上之潮汐因月球與太陽相互抵消，其結果可估算為  $1-0.459=0.541$ ，示意如圖 8。由圖 7 與圖 8 之說明很清楚可瞭解在朔、望時的潮差會大於上、下弦時的原因，而且其比值大約為  $1.459/0.541=2.7$  倍。

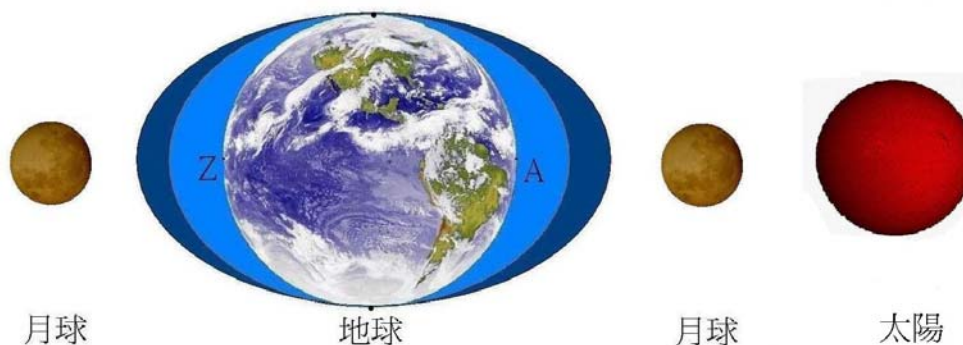


圖 7 朔、望月時因月球及太陽合成產生大潮的示意圖

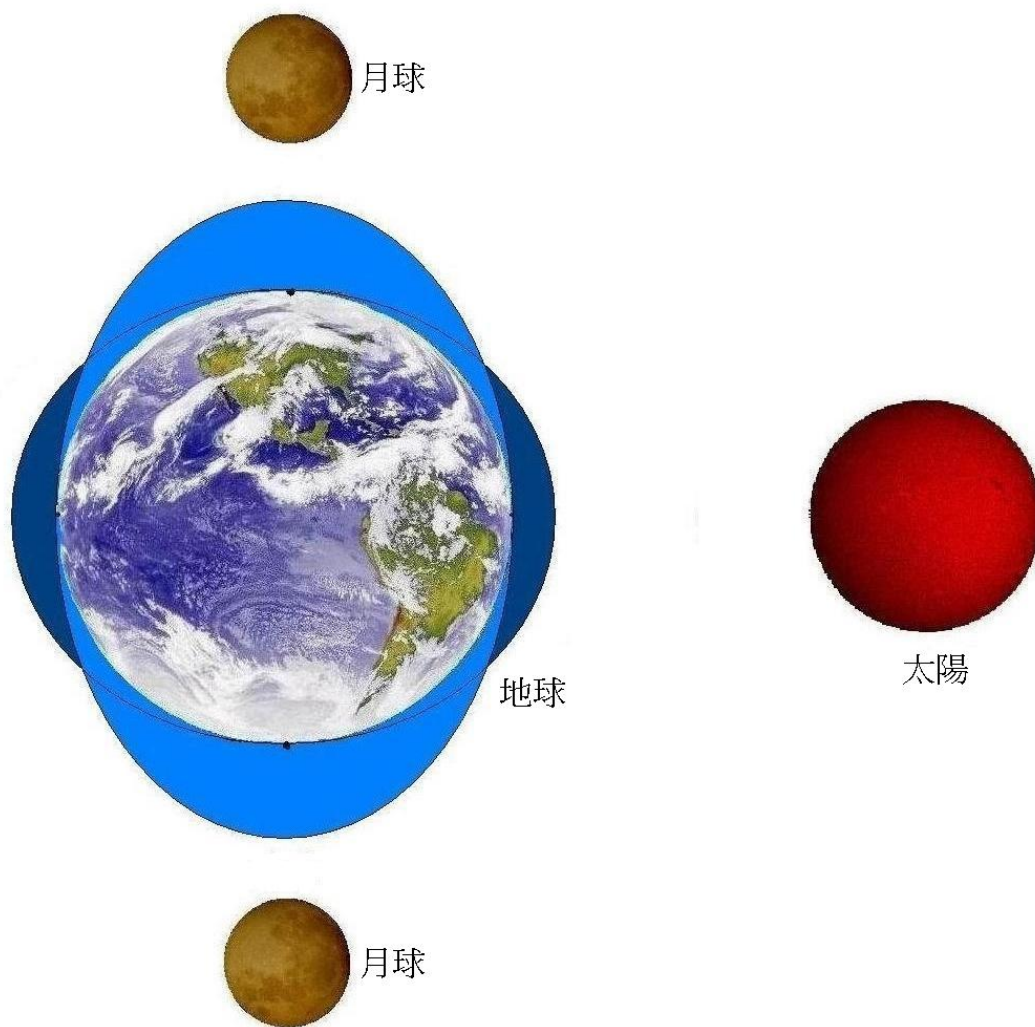


圖 8 上、下弦月時因月球及太陽合成產生大潮的示意圖