

第五場 認識詭異奇妙的海洋（2007年12月23日）

國立成功大學奈米科技暨微系統工程研究所 余思緯記錄整理



各位貴賓，還有我們成大的李教授和高雄應用大學的郭教授，還有我們今天的主講人我們成大的黃副校長。很高興大家有這個熱忱來參加這個會議，也很感謝我們科工館，安排一系列的講座來給高中生有一些探討研究的機會。我們今天十分榮幸，有機會邀請到成大的黃煌輝黃副校長，蒞臨演講。黃校長黃博士專攻於水利

方面的一些研究，他現在是成大的副校長，也是成大水利及海洋工程學系的教授及成大最有名的水工試驗所的所長。他在這方面的專長我們可以肯定，而且黃副校長他也擔任了我們經建會國土復育推動小組的委員，經濟部水資源省立委員會的委員，經濟部水源水質保管保護委員會的委員，台灣省的水利產業發展促進協會的理事長，台灣海洋工程協會的名義理事長。他在國內社會服務方面做的相當多，尤其他也是我們國際海洋科學研究協會中華民國委員會的常務委員。黃副校長涉及的領域專長的研究是「非線性波動力學」和「離岸潛堤在海灘侵蝕防治之最佳配置的研究」方面是我們黃校長的專長。我想在研究方面，他也得到我們國內國外的一些肯定，所以他得過很多獎。他在1975和1990年二度得到中華土木工程水利工程學會論文獎，也得到中國工程師協會的論文獎，中華民國力學學會論文獎，李國鼎科技講座榮譽學者，同時也獲得行政院傑出科技貢獻獎。我們在一般的領域裏面，黃教授在海洋工程技術方面的推動在我們國內是首區一指。因此我們相當的容幸請他來演講，我們週日的科學講座是開放給高中生的，所以我們的對象是以高中生的為主。目前在場有很多的高中生，我們希望大家聽完演講以後踴躍的提問，對各位的研究發展會有相當的幫助。我們以熱烈的掌聲歡迎黃副校長來開始我們今天的講座，我們謝謝黃副校長。

謝謝郭校長的介紹，也謝謝各位來賓今天在週日到科工館來。你們很有福氣，因為你今天聽我演講以後，大概可以保了你許多命。這不是開玩笑的，這的確是真的。因為在座的大部份的都是年輕人，如果是我或像郭校長這種年紀的人，都會有相同經歷。大部份的父母親會跟你說：「不要到海邊去，那邊很多水鬼，你到海邊去常常會被水鬼抓走。」他們都會這麼說，所以讓我們台灣大部份的人，對於海、對於水都感到害怕，這是一個原因。父母親說海邊有水鬼，那

全是騙小孩子的。其實是 50 年來台灣戒嚴時期，幾乎所有的海岸線，一般老百姓是沒有辦法進去的。那有海防部隊看守著，不像現在你們到海邊去很自由。大概在民國 78 年，約 20 年前，那時還戒嚴，你要到海邊去，一定要去警備總部申請。連要到海上去研究調查，也要經過警備總部陳守山上將的核准公文才能出去，這養成所有台灣的子民、老百姓對水跟海存都有一份畏懼的心。所以對海的方面的瞭解便不多，這種歷史你回去問長輩，他們大概會跟你說。所以對海方面的認識越少，存在的危機就越多，因此許多人就很怕到海邊去。但是這幾年來，台灣一直在開放，所以大家慢慢在親近海洋，這種觀念也就越來越淡薄。這幾年我們可以看到的「北海東北角的音樂祭」、「墾丁的海洋音樂祭」都讓數萬個年輕人，甚至超過十萬的老百姓都能夠到海邊去欣賞，所以就發現海越來越可愛。今天要跟各位特別介紹：「詭異奇妙的海洋」這個是夏威夷海灘，我走過世界各地，到目前為止，只有南美洲沒有去過，其他任何一個大洲我都去過，非洲我都去過。那印象中最漂亮的地方，就是夏威夷。夏威夷的海灘，除了海水泛藍十分漂亮外，到夏威夷去讓人一點壓力都沒有。因為不管你不是有錢人，在 ykk beach 走路的時候，大家都是穿著短褲，穿著拖鞋，甚至女孩子穿個比基尼也在街上走。在飯店吃飯也是這樣穿，所以根本沒有貧富之分，因此我到目前為止，印象裏夏威夷是我最喜歡去度假的地方。你看到這張海洋圖片一定很高興吧，這海真的很漂亮，所以在那裡一點都沒有戒心。可是我們台灣，一年大約有 3 點多個颱風通過，颱風來的時候大家都躲在家裏，你就可以瞭解風力有多大。這個時候在海洋當中，這是在上個月 11 月 24 號，米塔颱風經過大湖時候的照片。你看，這防波堤最少也大概 8 米，從那裏跳出來的浪撞擊以後，向上面衝的浪大概也到 8 米，由此可知這樣的波浪一碰撞，大概也可以撞到 10 幾米出來。這力量有多大，很難想像，不過我可以舉一個例子來講，像蘭嶼的開元港，大概 40 噸的消波塊，可以被颱風波浪一打，從外邊跳到裏邊去。40 噸被浪一打，可以跳這麼高，可見波浪的力量有多大。因此今天務必要特別介紹讓各位瞭解，在海洋當中有那些是我們必須要注意的地方。

平常你具備這方面的知識，就可以保住你的命。所以剛才我跟各位報告，聽我演講完後，你們會撿到許多命。在海洋的水體中，有 3 個主要的運動，就是潮汐、水流和波浪。潮汐大家都很清楚，如果想去體驗的話，下午聽完演講 12 點過後，可以到高雄海邊坐個半天，6 小時，就可以感到潮汐漲落的狀況。高雄的潮汐蠻小的，所以感覺比較不強烈，如果你到台中去，潮差大概就會有 5 米，你就可以發現 6 小時前，和 6 小時後的水差高度有到 5 米，將近 1 成半的高度差。潮汐最主要的原因，是因為月亮跟太陽，它們在運轉過程中，我們在地球上的水體受到地球本身自轉跟公轉影響，使得海面的水有上下起伏的運動現象，而產生潮汐。所以在台灣，潮汐是蠻有趣的，且非常獨特的，稍後我再介紹。那這個是「引力潮」，在赤道跟南北兩極之間，由於天體的運動產生出來的力量。大約在赤道裏到 0.7，在南北極大概 0.33，這個角度的分部，由此你就可以得知那邊

的潮力會比較大或比較小。當然也會受到地型的影響，潮汐的應用變化中，台灣有些地方一天可以有一個漲潮一個落潮，有些地方一天有 2 個漲潮 2 個落潮。大概從台南縣將軍以北到淡水這中間，是半日潮。就是半日就有一個潮，所以一天有 2 個潮。台南縣將軍到淡水之間就半日潮。

從將軍以南，就我們高雄跟淡水以北，大概都是混合潮，就是潮差不是很明顯。也是有 2 個潮，但是不那麼明顯。如果再往下，像海南島，越往南方，就變成單潮。一天就只有一個潮，所以這就跟潮省有關。在潮汐應用變化當中，水位在什麼時候最大？朔跟望的時候。朔是農曆初一，望是十五，看到一個大月亮那就是望。這時候就是月亮、太陽、地球呈一直線。一個是月球在中間，一個是月球在我們地球後面。當它們呈直線的時候引力最大，所以可以把潮汐的水位拉的最高，朔望的時候（在滿月陰月的時候，陰月看不到月亮，因為太陽的光被月亮遮住，我們在地球上就看不到月亮），這時候我們在赤道附近，水位引力會最大。上弦跟下弦月：初七、初八 跟 二十二、二十三，上下弦月引力對我們來說是最小，這是一個月當中潮汐的變化。因此潮汐目前在台灣，大概可以說成一天有 2 個漲潮，2 個落潮。一個月裏的大潮，是朔跟望，小潮則是上下弦。有這些概念以後，帶小孩子到海邊時先想好今天是初幾，就可以清楚水位的高低。一年有春分、夏至、秋分、冬至，昨天或今天應該是冬至，是距離是引力最大的時候。公轉時引力最大的是這四天：春分、秋分三月二十二號、二十三號，六月二十二、二十三號，九月二十二、二十三號。這些時候地球引力最大，引力最大時常常發生很怪的現象，例如大地震。記不記得台灣的九二一大地震，就是在秋分，地球的受力，受到天體引力最大的時候，我們的九二一大地震就是在那個時候。稍為查一下，大的地震大多是在靠近這四個時分的時候發生的。因此大家要瞭解潮汐，地球上的潮大概又是何時轉移出來的？大約是 18.6 年，18.6 年是一個潮汐週期。如果由實測紀錄去預測，大約多久潮汐會 repeat 一次？

就是 18.6 年。那潮汐的引力到底有多少個潮力？理論上是無窮個，因為太陽、月亮、地球 3 個星體 3 個星球，相對位置是無窮的。只要差一分鐘角度就變了，因此理論上引潮力，就讓我們地球的水體受力的力量大小有 50 個，只要相對位置不一樣，力量就不一樣，所以有 50 個。但是這很麻煩，所以天文學家就幫我們歸分，分類成 60 個分潮。1.5 度，相差 1.5 度就一個分潮，這樣研究上比較方便。我們目前為止，做潮汐潮力的分析，是以 60 個分潮來分，潮汐表很容易就查出來，是天文學家完成的。就是依月亮、太陽、地球 3 個星球的相對位置來規範，劃分出 60 個分潮。其中有 4 個是最重要的，在台灣非常非常的清楚，不管高雄、台中、淡水任何一個潮位紀錄，一分析大概四個分潮最大：M2 S2 K1 O1 太陰半日潮，是指月亮繞行 12.421 小時的時候，太陽半日潮是繞行 12 小時的時候，K1 全日潮 24 小時，O1 全潮 24 小時，這四個最大。剛才提到的，到底是一個高潮或 2 個高潮呢？可由以下的公式算出來，很簡單

全日潮，2 個全日潮相加，它的正負相加除以半日潮的正負相加。如果是 <0.5 ，那這個地方的潮型就半日潮，一天很明顯有 2 個漲潮落潮。如果是介於 0.5 跟 1.25 之間，它是混合潮，就是一個高一個低，沒有那麼均勻對稱。如果 >1.25 ，那一天就只有一個潮而已。所以由這個很簡單的公式，可以判斷這地區一天有幾個漲潮落潮，可以看出潮汐水位。我們為什麼要研究潮汐水位呢？最主要是我們在海洋工程規劃設計的時候，要清楚水位到底有多高，防波堤須要建多高才不會淹水。所以必須把所有的水位算出來，其中有一個是平均水位中間線，平均水位就是這地區經過長年的水位變化的總平均。

平均水位理論上是不變的，在 1982 年美國哈里斯也做過研究，1984 年我也做了相同的研究，我大概是第二個做的。台灣的平均水位會再上升，最近大家可能有看到一些議題，說地球暖化造成海水位上升，這的確是一個很大的議題。分析台灣或世界上目前大概平均水位一年上升 $0.6-1$ 公分。不要小看 $0.6-1$ 公分，十年就 6 公分到 10 公分，100 年就一公尺。如果上升一公尺，高雄、旗津很多地方，都淹沒了，台南的安平大概也淹掉了，所以不要小看它。這是整個平均水位在上升，其最主要原因是融冰，北極的融冰，冰帽融冰，因此整個地球的二氧化碳量增加，溫度增加所以融冰也增加。台灣現在面臨二氧化碳控制，昨天也看到行政院已經公佈 2025 年台灣要恢復到 2000 年的排放量，這很困難，工業要發展，又得減低二氧化碳排放量，這要花很多的成本去做。所以平均海水面每個地方我們都會算出來，我曾經算過基隆跟高雄這 40 年來的平均變化，台灣大概上升 0.8 公分，每年有小潮平均高潮位，小潮平均低潮位，小潮就是剛才講的上下弦的時候。潮汐比較小的時候它高潮位，大潮平均高潮位就是剛才所說的，朔望比較高的時候它的平均高潮位，可以從實際資料算出來。天文潮最高潮位，由於天體運動裏最高的天文潮位，最後再加上暴潮位。因為像低氣壓來了，颱風來了，會讓水面上升，這時發生最高水位是多少？由這些潮位分析出來後，可以訂定工程的基本面，基礎面為何。

我跟各位解釋一下，就是像我們核能三廠，核能一、二、三、四廠，這四個電廠的反應爐是不可以親水的，所以設計時就要依以往發生的最高潮位，去做他的 base line，它的基礎線無論如何都不能淹到水。至於其他的建築物，如高雄港淹水，不造成影響頂多淹到碼頭而已稍後水就退掉了。因此潮位定完就可以有工程的進度跟需求，來決定高潮的位置。這些對我們來說，所要分析的潮位必須非常精準。在我分析出來約可以保持在誤差 5 公分的範圍內，最精準大概是美國，他們軍方精確度誤差大約是 2 公分，就要 illumination 讓誤差減少下來。為什麼美國要求那麼高？因為美國州際飛彈從美國發射到大陸去的時候，必然經過這些大洋，而大洋的潮位將影響到州際飛彈的彈道，失之毫厘差之千里。飛彈經過太平洋一萬公里潮汐作用，再經過大西洋作用，稍有誤差下來的位置就可能就差 50 公尺，50 公尺誤差將不會炸死人，只有嚇阻作用而已。因此美國都控制很準，

在州際飛彈飛行的時候，重力及潮汐的修正十分講究。

我們在座許多高中生，目前所學的是重力 9.8 m/s^2 ，在州際飛彈算來是小數點 8 位數 $9.79\cdots$ ，只要重力拉飛彈，一點點可能就差 500 公尺了，誤差 50 公尺就可能到北館去，不會到南館，相差很多。類似這些情況，是科學奧妙的地方，如果你對潮汐實驗有興趣的話，想做分析我隨時可以提供資料給你。潮汐分析大約一分鐘就算出來了，並且可以把高雄歷年來潮汐的大小，一分鐘內精準的預測出來。所以台電要爆破，何時爆破，或 3 個月後要爆破，船在何處我們都可以幫他臆測的非常準。若要預測 30 天後的潮位，或在某地潮位多少，我們都可提供非常方便。經過整個台灣潮汐的分部，這 2 個大概你就很清楚了，潮汐會把你帶回來，因為它是循環的，去又回來，所以趁潮汐退回時再找機會，這時已經離岸很近了，儘快能勾住腳的話，能跑就跑。所以你們今天來聽演講可以撿好幾條命，目前說的是保命的方法，記得不管你在什麼地方，掉下水後，就要小心 保持體力。

在水流運動中，暗藏危機，旗津—高雄旗津每年最少死 10 個以上，上個月大約有 3 個中學生死掉。去游泳時，大部分的人都不曉得水裏有水流，水流會產生許多漩渦，像漩渦的暗流，你看不見底下，地層突然有一個變化。因此水流過它就產生一個循環的漩渦，在這邊游泳的時候，會被拉下去，而不自覺，因為是被拉的，等你發現被越拉越深的時候，想游起來，水是反向你無法游起來，此時你若沒有憋氣，就溺斃了，才浮起來。類似狀況太多了，所以到海水浴場，像我們台南秋茂園附近的美軍海水浴場，告示牌寫此處有暗流要小心，就代表他們都有經驗，我們唸海洋的人要游泳時，就會先丟紙張，看它是否有旋轉，紙張若旋轉表示它有 circulation，紙張丟下去就會有這種方向，被拉的方向，因為紙會有浮力，被拉表示可能有 vertical 的 vortex，有垂直的漩渦，必須要小心，帶小孩子到海邊玩或山上有瀑布的地方，跳下去就爬不起來了，為什麼浮不起來？因為瀑布水流下正好產生一個 vortex，跳下去就被帶進去，浮上來就說是被水鬼抓走了。這是不正確的說法，其實是被暗流抓走，不是水鬼是暗流，因此要瞭解水性，到任何海岸、海邊、海洋時若發現有結構體 structure，就要特別小心。防波堤附近絕對有漩渦，因為結構產生漩渦，地形特殊變化時也會有漩渦，地形變化是看不見的因為在海面下，所以要下去的時候要特別小心，先丟一團紙屑，看它運動的現象，即可以判斷出來它有沒有漩渦了。要特別注意，尤其帶小孩子出去玩的時候。台灣一年大概 1-20 個人溺斃是無法避免的，因為小孩沒有經驗，中學生、高中生到海邊一下子就跳下去，他們不曉得底下可能有消波塊，消波塊會產生暗流。水流運動會產生侵蝕，就是我們平常在報紙裏面所講到土體效應，原來函線在這地方，為了某些原因做了一個土體，若飄沙這樣走的話，水流就往這運動，在上游面會產生永遠淤積，泥沙淤積，越淤越多，而下游面則產生侵蝕，越來越侵蝕。所以只要有一個海岸地帶有結構物，新的結構物興建起來

後，就會產生新的流況，新的水流流況。附近的地形會跟著產生變化，大家如果稍微注意一下，像台中港，有了台中港以後北面大安溪、大甲溪就淤了很多沙。有機會可以到台中去看，驗證我所說的。防波堤北面飛沙一大堆，南面台電這邊清的一蹋糊塗，所以台電就得花好幾十億保護電廠。越刷越多，因此你家若是在海岸邊，要做結構之前，必須仔細評估，萬一你的房子位在下游面，經過幾年後，房子都會被刮掉，切記，最簡單的道理，只要是飄沙上游面就淤積，下游面它就侵蝕。上天是公平的，既然你一邊沙子多另一邊就要減少，不會有這邊沙子多另一邊又不減少的，那我們就永遠可以拿很多沙做東西。地形輕淤變化在海洋中是非常非常輕易的現象，我舉實例，台塑王永慶的六輕專用港，它是台灣目前為止最大的專用港，比高雄港大好幾倍。高雄港大約容納 10 萬噸的遊輪，王永慶的六輕專用港可以到 26 萬噸的遊輪，因此造了一個堤，這是王永慶的六輕的堤頭，大概是 minus 24 米，這是還沒有建之前的地形，已規則化，這是 24 米的等出線，建了以後大概 24 米外產生剛所說的「被刷」了，刷到海底下到 minus 25 米，共刷了 26 米，約有 8 層樓高，刷的這麼嚴重後，王永在再來找我說：「糟糕了我們這個堤快倒下去了！」因為它一直刷以後就越逼近，越來越深，結構物就會 slide，會滑，滑下來，跟我說以後，我說把資料先給我，我研判是 vortex 產生的，漩渦產生的。因為以前沒有結構物時，沒有漩渦，現在結構物在這地方，水漲來漲去以後，產生很深強烈的 vortex 漩渦。所以可以做實驗，在一個水桶中用手旋轉，在裏面的沙子會被拉起來，被甩掉，為什麼會被拉起來？很簡單，因為裏面速度等於零，壓力最大，外面速度大壓力就小。白努力 Bernoulli 定律，壓力水頭、速度水頭、水位水頭加起來要 constant。

這一點來講，沙子沒有速度，所以壓力最大，上面的水流速度最小，壓力大往壓力小的地方跑，所以沙子就被拉起來。跟抽煙一樣，你在車子裏抽煙，開著一個小縫，在裏邊抽煙，煙就被抽出去了。為什麼？因為你在車子裏沒有速度，對外面的風來講沒有速度，外面的風對車子來講速度很快，所以外面的速度快壓力小。你在車裏，沒有速度，是車子的速度，人沒有速度，所以你速度等於 0，壓力最大。壓力大往壓力小的方向吹出去，所以在車子裏最好不要抽煙，萬一抽煙，要把門開一個小縫，它就吹出去了，原因在此。那王永慶的堤所，就是因為這邊有發生 vortex，底層的沙就被掏起來甩掉，被掏到 26 公尺深，水深 26 公尺，它掏到 50 公尺深，才委託我們成大 700 萬，要我們幫他做調查。調查出它分布的 3 個點，分析它的水流流速，發現有個漩渦，我們就在實驗室裏，在成大水工實驗所，也是世界上最大的水工實驗所，在實驗所裏做，把水流一動的話，那邊真的產生水流，我們也看到漩渦，把沙子越拉越快，這實驗就証明後，我們幫他做一些預防措施，請他用太空包，把沙子放在太空包裏，堵住漩渦，將它鋪的很平整，使漩渦的結構破壞，就不會往這邊靠，往外海去了。大約 2003 年至今沒有產生這類問題。最近台塑又要改變防波堤，應該又會出問題，只要他出了問題我們就有錢賺。

接下來我要提到波浪，波浪經常在海上看到，波浪分很多種，由表面張力來主宰的力量，是毛細孔波，非常非常小的波，海面上有沒有？有，它能量很小，這是一種。另外一種是風引起的 wind wave 風浪，它屬於 weight wave 重力波，大概從週期 1 秒到 100 秒間，100 秒間都屬重力波，亦即他的運動都是受到重力影響，波浪做反覆向前活動，在上去則變成長波，長波包含海嘯，之後我要特別介紹海嘯。波浪的分類大概可以分做三大類，一般很小很小的 wave 毛細孔波很少用到，最常用的是重力波，會造成損害的是長波跟海嘯。波浪裏有一個特殊現象就是碎波 breaking wave，在海邊去隨時都可以看到碎波，稱為淺海碎波。搭飛機從深海往海面看，會看到白色泡沫，這白色泡沫 white cap 就是碎波，深海碎波。所以碎波分做 2 大類，一大類是在深海發生的碎波，一個是淺海碎波。深海發生碎波主要是波浪在運動當中不穩定，某一種介入物已經到達不穩定了，因此破碎或是單一的波浪衝出來，在群波裏衝出來，你看到的都是單一的波浪，我們研究波浪的人會看到一群波在跑，接著另外一個波出現。這是我們專業人士看出來的，平常看不到，都是用想像的，因為肉眼看不到，海面太大無法看到他們一群，只能靠想像的。在一群在波動，中間有一個特別突出。淺海碎波，是因為波浪從深海到淺海當中，波高度不同，週期也不同，海岸的底床坡度不同，造成不同的波浪的碎波。海面上碎波波浪，週期是很多種的是紊亂型的波浪，如高雄港。高雄海面上的波浪都是好幾種，可能 3 秒、4 秒、5 秒、6 秒結合在一起，所以看起來亂七八糟，和我們實驗室看起來不一樣。實驗室做的很規則，是規則波，海面上是不規則波，有很多 component，很多成分波合在一起的。

碎波大致可以分做四大類：第一種 台灣西海岸最多，叫做溢出型的 spilling breaker，波浪有白色泡沫，並往下推，這碎波就是溢出型碎波。大部分都是在坡度比較大，底床比較平緩的西部比較多。1/100 到 1/300 這波浪碎掉的時候都用推的，慢慢碎下來，這是我們在實驗室用雷射打出來的，實際的海面上沒有辦法看到這麼漂亮的波。這些大都是在 1992 年我在英國的雜誌裏發表的，在當時大概是最先進的，可以看到裏面波浪在碎的時候，它的流向狀況。第二種是 plunging 捲波，在東部台東，搭坐火車往海面看，會看到這形狀的波浪。類似眼鏡蛇的頭一樣，捲舌的，翻轉，這種波浪出現在較陡的海岸線，東部的海岸 1/6 到 1/10，到大嶼港旁邊看到的波浪，東部大概都是這種類型很容易看到。整個波都是這樣捲，捲起來啪，很大聲，撞下來，東部海岸最多捲浪。所以衝浪，若你有印象的話，衝浪，有的人在浪頭衝，騎在浪頭，就是 spilling，有時會看到衝浪高手穿過一個洞，就是穿過它的 rolling，它的中心空的，所以高手得從這穿過去，才算是高手，衝浪高手。用騎的則看平穩度，衝的不但平穩外，角度方向抓的很穩，衝浪的影片的场景，騎在浪上碎下來的是 spilling。在下午看到的大概都是 spilling，高雄這邊到東部才有 plunging。第三個是洶湧型的，就是在剛才所講的碎波前緣已經快碎了，可是它沒有在上面碎掉，底部

開始有氣泡化發生，崩掉了。這種在線數非常難做，可能有外面的風力作用，讓它裏面先碎掉。第四種是崩潰型的 collapsing，介於剛說的捲浪型跟洶湧型在中間，不是在底部，是在中間，波浪的中間有發生捲屈的現象，加上氣泡混入，就產生這種崩潰型的碎波。世界上的碎波型態大約就這四種，波浪為什麼會碎掉？在學理上很簡單，只要波浪的水粒子的分子超過波浪跑的速度，它就衝出去了，衝出去就變成氣泡 particle 跑出去了。理論上 $u/c > 1$ 就是碎波了，我做過這方面研究，非常難量，要抓到它最大的波浪速度 particle 速度，是難上加難。我做的大概在 0.96 不到 1，抓不到正好 1，但這是我們理論來講 $u/c > 1$ 就是碎掉，它已經跑出去了，所以是碎掉了。第二種視尖銳度，波浪的波高跟波浪的週期的 ration 的比例，這叫尖銳度，是 0.142 kd 的水深函數。這 $1/7$ 是用理論推出來的，0.142 是用理論推出來的，是理論的數字。H/L 波浪的尖銳度，到底有多尖，是高尖的還是矮緩的就由這個來做決定。0.142 在深海是這個等於 1，這個等於 0.142，到淺海就水流，這個淺海的指數來做變化 0.142 這樣也是一個碎波的極限。工程上有波高跟水深比，大概在 0.63 到 0.85，可以用數學算出來。0.63 依據不同的入設條件，它的碎波的值也不一樣，但是一般工程使用時，全世界任何一個國家，設計為 0.78，所以到海邊去游泳，你就瞭解什麼地方是碎波。請用此公式 $H/D=0.78$ ，海面上大概 1.5 公尺/0.78，若算出 2 點多公尺的地方有碎波，就不要在 2 點多公尺的地方玩。為什麼？因為碎波的時，所有波浪裏面釋出一半力量很大，被打到時大概都翻掉了。避開它，這公式可以救你的命，記得 $H/D=0.78$ ，若海面上一公尺，一公尺除以 0.78 大概 1.3 公尺，不要在 1.3 公尺的地方，避開它，你就不會被波浪打到。你比它深也沒有受力，你比它淺受力很小，因為它已經碎掉了，能量已經消耗掉，被打到的時候就很小了，千萬不要正好被打到。因此我們處理工程設計時，也要儘量避開這個點，不可將結構體設計在碎波帶，那結構體都要受力。萬一一定要設在碎波帶，也沒有關係 結構體一定要好好做受力設計，算精準它的承受力量有多大，需要用什麼樣的防護措施。一定要記得 $H/D=0.78$ ，你用 0.78 大概這個 average 平均很容易去估算，當你到海面上去，大約水深多少會發生碎波，如果是 10 的波浪太來，大約在 3，4 公尺的地方發生碎波，台灣的結構物，如高雄港防波堤堤頭，就不要坐在正好碎波帶，可以伸長一點超過它，雖然花的錢比較多，可是在維護上就減輕許多。因為每年都得承受幾個颱風的侵襲，所以堤頭很容易被破壞掉，波跟波是會作用的，這是比較難的東西，跟各位講一下，因為每年都發生這樣的事，海上的波有很多 component，可能有第一個某一種週期的波，第二種週期的波，第三種週期的波，所以我說高雄海面上現在可能有 3 秒的波浪在裏面，有 4 秒的、5 秒、6 秒一起。在海面亂七八糟，有好幾種波，它會第一個波跟第二個波作用，它會第一跟第三第二跟第三作用，這已經到第二階了，第三階作用的時候，有兩倍的跟你一倍作用有這麼多。當然很有可能會有高階的作用，或更高階作用，我們在實驗室裏做的很好可以做到七階，非線性 nonlinear 可以做到七階。所以在實際的海面上隨時隨地都在波波交互作用，在波波交互作

用後會發生瘋狗浪，奇異波。上個禮拜東北角海岸一個人跳下去死了，風平浪靜會產生瘋狗浪，就是因為波跟波交互作用，波跟波交互作用在某種特殊的情況下，我實驗室也做過但做不起來，理論上可以算出來，在某種角度某種條件下，它們波跟波之間的相關頻率，還有他們交互作用的角度，會發生共震現象，會發生突然很大的波出來，所以為什麼叫瘋狗浪。釣客在那釣他以為沒事所以在岩石旁邊，反正風平浪靜，突然風向改變所以吹進來的浪跟那邊的浪正好有交互作用，那你運氣不好，你命該絕，正好交互作用就把你捲下去，上個禮拜的報紙新聞報導，如果它有印象，我想郭校長應該有看過，三個人其中有一個還很厲害，第一個就馬上丟冰桶下去沒有用，住在旁邊的那個很黯他們的水性跳下去也死掉，就瘋狗浪而言，台灣一年死在瘋狗浪底下的有幾十人，統計數字超過十人以上，能不能防止？防止不了，因為隨時發生不曉得，可以算，但是不曉得海面上正好有什麼樣的波浪，幾秒的波浪跟幾秒的波浪作用，它們角度是幾度，沒有那種角度就不會發生瘋狗浪，它那角度要正好那個交角會共震起來，所以被瘋狗浪捲走的是命該絕，那個命底就是會遇到瘋狗浪，別人碰不到他就是會碰到，瘋狗浪東西在台灣有很多實例，我在 1984 年要去美國，演講的時候，正好也是做三階波的交互作用，我記得 11 月在大甲溪河口，風平浪靜有 6 個人，在抓蛤蜊，突然之間有一個大浪比燈塔還高，把所有 6 個人都捲走了，瘋狗浪我調閱中央氣象局的資料，記得是在 11 點的時候在某個角度吹 5 公尺每秒的風，15 分鐘以後在某個角度吹更大的風，19 公尺每秒的風，所以 5 公尺的風浪先跑，19 公尺的風浪後跑，正好在海邊前面，淺海前面交互作用，產生一個奇異的波浪。這是 1986 印象很深刻，要去美國演講的時候看到的報紙實例，另外我還看過有國小老師，帶著學生在鼻頭角貓鼻頭的灣內遠足戲水，老師會在大浪的時候帶學生到那邊去嗎？不可能。原本風平浪靜，忽然灣內可能某個角度的浪進來，交互作用，有一個瘋狗浪就把大概 8,9 個小孩學生捲走了，這個瘋狗浪發生在什麼時候沒有辦法去做預測，只能夠提醒大家不要大意，在平直的海岸線大概不會有瘋狗浪，在彎的地方，就可能會產生瘋狗浪。因為彎可能是這邊的浪進來，那邊的浪進來交互作用。平直的海岸線浪是同向的，因為它平直，這樣它只有單一的波向，如果有彎的時候就要特別小心，所以請各位特別注意瘋狗浪，我們一般叫做 MAD-DOG WAVE 這是直譯的，學術名稱叫做 FREAK WAVE，那我也看過一些海事的船長的紀錄，也是風平浪靜在航海當中，突然之間 40 公尺的波浪發生了，這是 FREAK WAVE，能不能去找到它？理論上是可以，可是沒有辦法去預測它，所以大家在海邊遊玩的時候要特別小心瘋狗浪。不要看它風平浪靜，在有彎的型態，要特別小心突然發生浪的時候那就是瘋狗浪。

再談海嘯，海嘯的東西為什麼要討論？在 2004 年南亞發生大海嘯時，因一般老百姓對海嘯都不瞭解，造成超過 30 萬人死亡。我在前幾年參加 APEC 海嘯會議，隔年 2005 年 3 月 5 號富士電台就到台灣來拍攝，原本是去德國拍攝海嘯，德國說他沒有能力，德國人跟他說到台灣來找我才會有辦法。因為我們水工試驗所

的照波設備是世界第一的，日本就來了，來拍海嘯的時候沒有跟他收很多錢，只他收 200 萬日幣，那是工本費，唯一的條件是全國聯播海嘯前，要製作海嘯的電影電視，教育全國的老百姓當海嘯來的時候如何處理，要如何跑，瞭解海嘯的力量。我提出唯一的條件就是，在片頭一定要讓我跟日本人見面，並宣導中華民國臺灣國立成功大學水工試驗所，做廣告。因為富士電視台平常拿 1000 萬給他，也不會幫我做廣告，世界級的電視台不在乎 1000 萬？今天要來拜託我，就配合我所以收 200 萬就好沒有關係。另外一個條件就是版權，日本的版權在台灣我可以用，所以如果你們要看海嘯的影片我可以送給你們，今天這個量太大了放不進去，所以沒辦法做給你們看，所以日本來的時候海嘯力量有多大就可以打給你們看，因為那天我在弄的時候量太大了。海嘯是 2004 年發生的，海嘯歷年來台灣及世界各地發生許多海嘯，但因為不是時常發生，所以一般人對海嘯沒有概念，南亞海嘯為什麼死那麼多人？因為很多人看到海嘯來的時候，在海面上那麼大，跑到海邊去看世界奇觀，沒有危機意識，就是這樣死的，海嘯來時要想辦法爬到樹上去。海嘯為什麼發生，第一個海底地震，是斷層，斷層發生的時候會上下抽動才發生海嘯，平行的抽動不會發生海嘯。地層發生抽動要正斷層或逆斷層，突然升起來或掉下去，會產生海嘯，這第一個概念。所以海底地震一定發生，台灣的東部宜蘭外海花蓮外海台東外海會發生海嘯，但是不要緊張台灣的海嘯，在東部不會造成影響，為什麼？太陡了 距離太短，未形成大海嘯的時候就被我們東部的邊坡反射回去，所以台灣東部海嘯大概 20, 30 公分而已，不用緊張。海底的火山爆發，1983 年在印尼就發生過，高達 40 公尺的巨浪奪走 36,500 條人命，這是海底的火山發生爆發。像這樣爆發出來發生海嘯，或是爆發以後水位下降，才產生海嘯，這都有可能，海底火山爆發及海底的崩移，地震時若整個大量的土石崩移，也會造成很大的海嘯，可達 15 公尺。阿拉斯加最大的是在 1958 年發生，導致維吉亞的列嶼發生山崩，造成高達 520 公尺的大海嘯。520 公尺依我個人看法，不是海嘯，是 RUNUP 受擠壓上去的，看起來是水的痕跡，真正海嘯沒有那麼高。海嘯在 population 的時候會一直往上上升，所以我不認為 520 公尺是海嘯，幾十公尺是一定會有的，發生崩移原來的土石崩下來，所以水突然降下來，海嘯就發生了。殞石撞擊，以前有人在講說墨西哥有被殞石撞到，恐龍為什麼會消失？很可能是外星球撞擊到地球，發生熱量太大所以消失了都有，殞石撞擊到海面上也會發生海嘯，不過最近美國太空科技很發達，可以臆測。Discovery 報導可以預測殞石撞擊地球的速度，甚至那一個慧星都可以預測出來，可以發射火箭從地球發射出去打穿，這是殞石撞擊到海面上產生的水的運動。海嘯的波形大概有四大類，是高速的正高速波形、反高速波形 dislocation 抽動，就是脫臼。海底的地形脫臼，submarine subsidence 就沉陷了，第一個 Positive Gaussian 正的，海嘯波起來的時候正的，如果往下抽動的時候這就負的，這是脫臼，也是剛才所講的 subsidence 的滑動。海嘯速度有多快？淺水波是 $\sqrt{gh}$ ，所以如果你在水深 5000 公尺的地方發生地震，可能海嘯傳播速度每小時 800 公里，約噴射機的速度非常快，在深海裏傳非常非常快。因此這次南亞大

海嘯可以傳到非洲去，速度非常快傳了 800 公里，如果在淺水 500 公尺大概 250 公里，一般我們坐遠東復興的速度要起飛了，飛機起飛速度如果是正好在近岸 10 公尺的位置，時速也大概 36 公里，跟我們 100 公尺的速度一樣快。所以海嘯速度與海嘯發生時的水深有關，所產生波浪的速度，波的速度可以約略計算出來，我們已經整理好，大概相對的波浪速度，波浪的週期，還有波長都可以用理論算出來，海嘯波可以算出來。海嘯跟地震的關係在 1936 年日本就已經做很多了，因為日本人從小到大都在海嘯的威脅下生活，他們大概在這方面歸納的很好， $m=2.61M-18.44$ 代表芮氏地震大概要七級以上才產生海嘯。目前日本政府對海嘯的預警大約超過 7 級，發生地震馬上判定並先發布海嘯警報，至於是否解除，立即由專家試算，有的話多少就馬上發布，所以日本在預警這方面做的很好。當然做的更好的是美國，美國跟蘇俄在 6000 公尺的水深都有布 sensor，只要地層發生震動馬上將參數傳到陸上去，目前整個太平洋包括台灣到南洋到新加坡，都是由美國監測系統在監測。所以美國發生太平洋只要發生大地震，即可判定並通知某個區域有多少海嘯，這部份已經做到非常好了。

在南海大海嘯以後監測系統就建置完成了，台灣雖然沒有加入，但是他也馬上傳給中央氣象局郭主任，就是中央氣象局預報中心主任。所以海嘯級數、地震級數跟著海嘯發生的強度整個都可以歸納出來，這個也是大概第三級第四級以後。第二級大概 4-6 公尺海嘯高度的時產生，2 公尺的時候是會造成影響，陸上遭受的影響不大，4-6 公尺就開始會有影響。整個地球上太平洋的海嘯發生的地帶，從南美洲智利巴西繞行到阿拉斯加，經過日本台灣附近，到南亞跟新加坡、新幾內亞巴布新幾內亞，然後澳洲沒有還有紐西蘭，這就是整個太平洋環帶，80% 的海嘯都發生在這些地方。

20 年來發生過最大的海嘯，1983 年開始日本、智利、墨西哥、阿留申、尼加拉瓜、印尼都有發生過，由海嘯災難實例，可以看這是溯河而上，很多東西都被破壞掉，這是在日本的實例，這是 1946 年阿留申海嘯造成的，原來的鐵塔在這個地方，正好有人拍到海嘯來撞擊在這個結構物的時候，整個都被拉下來。這個是南海大海嘯 2004 年南海大海嘯，整個村莊滿目瘡痍，亂七八糟，這也是南海大海嘯造成的災害，南海大海嘯在泰國的普吉島，汽車都被拉起來了，還有印度巴勒斯坦，整輛火車被平移。海嘯最恐怖的地方，就是它推移力量很強，因為它長波，波很長，波長的東西容易產生推移。波短的不用擔心，沒有力量，一直推的才厲害，而且所有的海嘯的波，第一個波頭有能量，其他的都沒有了，波沒有能量，波頭才有。所以第一個波頭如果忍耐過後就可活命，萬一發生海嘯的時候，請抱著樹木，然後憋氣 2 分鐘就好了，海嘯就跑上去了，等一下下來的時候就要小心了，這是保命的方法。日本作業也這樣教，要往高的地方走，第二個要往有樹木的地方走，海嘯經過南亞帶的時候的調查顯示，有 mangrove 紅樹林區的村莊損害就少，如果外海、海岸中沒有這些樹林的時候，大概都被摧殘一蹋糊塗。為

什麼？因為紅樹林這些樹木把波頭的 energy 把 decrease 掉，所以就比較好一點。不過萬一高雄發生海嘯的時候，往科博館附近的高的樹木爬上去，若來不及的話就抱著樹，憋氣 憋的越久，只要忍過那個時候你就活命了。1661 年台灣海嘯，德國人有記載，餘震有 6 星期，1721 年震了 10 幾天，1781 年也有，全村淹沒，爬到樹上去，不多久水就退了。1781 年的台灣的老百姓都知道要爬到樹上，爬上去就活命了。

1792 年安平發生海嘯，1866 年也有，記錄最完整是在 1867 年基隆發生海嘯，一下子基隆所有的船都被海嘯推上街了，經過 50 分鐘後所有的船又都被拉回海上去，基隆港的港址都看的見，只有幾十分鐘的時間，大概死了 400 人。台灣的地震跟海嘯大概 7.9 這個太大了，我推算過，因為核三、核四廠建廠都得經過海嘯評估。當時評估將是 200 年的地震發生的海嘯，資料送到美國原子能委員會去卻被退件，美國要求我們核能電廠一定要用無窮遠去做推算。發生地震什麼都倒了，核能電廠的反應爐絕對不能倒，這是核能電廠要求的，所以我就推算無窮遠的地震。台灣的無窮遠地震是 8.3 級，200 年是 7.9 級，921 大地震是 7.2 級而已，8.3 級跟 7.2 級相差 10 幾倍，不是差 1 點多倍是差 10 幾倍，它是取 log 的。這是引發海嘯死傷的記錄，我們台灣有沒有能力做？有能力做。核能三廠在做的時候，核能四廠就是由我做的，核能三廠做海嘯，為什麼要做海嘯？因為所有的核能電廠需要大量的水來做 cooling，假設海嘯來的時候你的取水水量不夠，沒有辦法 cooling 的時候，可能會發生熔爐現象，因此必須推算出大約有多少時間海嘯侵襲的時候你的 intake 取水管可以維持多久，海有水可以 cooling，推算出來的結果大概核能三廠東部發生海嘯，我們南部發生海嘯 23.4 分鐘，所以台電就要請顧問公司幫他設計它的 channel 這些水道，必須要海嘯來的時候能夠維持 23.4 分鐘的水，足夠來做 cooling system。等第二波來的時候它已經退水又取水了，就沒問題。當時推算出來大概是這樣，核能四廠是 4.28 分鐘，東北角大概 4.28 分鐘，規模大概 7.93 級，這是我們 20 年前做的。

剛才提到海洋當中很多詭異的東西，其實海洋是最可愛最好的，因為目前我們已面臨能源缺乏的危機，預計再過 20-30 年整個地球上的石油會用光，人類大概能源會出大問題，全世界現在都在找新能源，包括融合科技，最好的東西就是能夠再生的能源，而再生能源從那邊來？solar 太陽或太陽能，風能 wind energy，最近幾年如果你有注意，從台中到新竹有很多風車，那算是小 case，我們現在推動的是在外海，中部外海將要做 400 座直徑 100 公尺的大風車，這是台灣 2007 年產業已經列入的一項大計劃。行政科技顧問提議要 400 億做先起研究，相關的能源、海洋能源、其他能源、生質能源都要做。那我們海洋裏有那些能源？潮汐，台灣潮汐沒有 potential，最少 min max 潮汐要超過 5 米以上，才有潛力和經濟價值。台灣超過 5 米以上的只有台中、馬祖、金門、澎湖一些而已。潮汐台灣沒有，其他地方有，像加拿大、韓國仁川它的潮差到 11 米，所以

他們有 potential 台灣沒有。海潮流發電，可以用潮汐的潮流發電用海流發電，所以台灣的東部海岸已通過目前在動工。水工試驗所已經做過很多先期的試驗，李遠哲李院長有去參觀，並交付我一個任務，希望我多花些心力發展海洋能源，為台灣尋找一些能源。目前波浪發電波浪發電已經開始實施了，國內有廠商有申請到許多專利，也與我們合作第二年，如果有興趣到水工所參觀，可以看到海潮流發電跟波浪發電的實驗。第四個是溫差發電，台灣有很好的 potential 做溫差發電。因為台灣每年有很大的颱風經過，溫差發電一定要足夠 OTEC，一定要差 18 度以上才有可能。表面的溫度跟底層的溫度大概差 18 度以上才有可能做溫差發電，東部海岸有這種 potential，由於技術上的問題，這些能源都是可能再生能源，波浪不會因為被使用就沒有能量。浪的能量是源源不絕的，所以是再生能源。做這些能源利用，不是只有這些水利海洋的人在做，材料，你在海上用什麼材料，才不會讓海生物卡住、附著，提高效率，這得請機械的人做設計。學電機的人，可能設計符合形式的發電機，這是跨領域的整合。

最後我跟各位說明，海洋真的很詭異，但認識它後就可以欣賞他的美麗，也可以避開它的險境，記得人類不要跑得太快，我反對經濟發展，因為它代表人類逐漸走上末路的。如果不浪費能源資源，就可以永續，人類是很愚昧的。可能將陸上的資源耗盡，才發覺其嚴重性。為什麼不先思考我們用的資源跟能源是不是永生不息的，像水流，永遠在動，不會因為使用水就不會動了，因為地球永遠在轉，水就永遠在動。所以可以將這些動能轉化成我們要用的能源，生生不息的能源。波浪，只要水受風吹密度不一樣就產生波浪了，所以波浪在海面上是生生不息的。我們為何不把這些動能跟位能做能源使用？這人類要好好思考的議題，不能夠貪婪的把現成的東西拿來用，我希望各位能夠有寬廣的心為你的子子孫孫著想，否則我預測在 2100 年人類將走上滅亡。

