

第四次初階課程授課紀錄

授課時間	民國 98 年 10 月 7 日 (星期三) 下午 1:15 至 3:05		
授課地點	大仁樓 5 樓階梯教室		
授課師資	許榮中	紀錄	洪郁淳
上課學生	78 人		
請假學生	3 人		
授課大綱 (至少 60 字, 並以 條列方式敘述)	<ul style="list-style-type: none"> 一、內波的活動環境 二、唐存勇教授的現場內波簡報 三、內波實驗室試驗 四、數值模擬 五、結論 		

內容目錄

一、 演講海報-----第 2 頁

二、 師資簡介-----第 3 頁

三、 演講簡報-----第 4 頁

四、 課程照片-----第 12 頁

五、 演講內容-----第 13 頁

一、演講海報



敬邀您參加

教育部補助大學校院培育海洋科技實務人才計畫
初階實務課程 - 船廠經營管理

海洋中內波的傳遞

許榮中

中山大學海洋環境及工程學系教授

98年10月7日

下午 1:15 至 3:05

大仁樓 5樓階梯教室

國立高雄海洋科技大學造船工程系 敬邀



二、師資簡介

中文姓名	許榮中	公司電話	(07) 5252000#5076	
E-mail	jrchs@mail.nsysu.edu.tw			
主要學歷				
畢業學校	國別	主修學門系所	學位	起迄年月
省立成功大學	中華民國	水利工程	工學士	1962-1966
亞洲理工學院	泰國	水資源工程	工學碩士	1969-1971
西澳洲大學	澳大利亞	海岸工程	工學博士	1973-1979
現職及與專長相關之經歷（由最近工作經驗依序往前追溯）				
公司名稱	部門	職稱	起迄年月	
國立中山大學	海洋環境及工程學系	教授	2000.2~迄今	
西澳洲大學	土木及資源工程學系	榮譽研究員	2000~迄今	
荷蘭 Elsevier Science	海岸工程 Coastal Engineering 學術期刊	Headland-Bay Beaches 專刊 Guest Editor	2006~2009	
國立中山大學	海洋物理研究所	（兼）所長	2001~2006	
國立中山大學	海下技術研究所	（兼）所長	2000~2001	
國科會、政府水利單位	多項海洋內波傳遞及海岸防護相關的研究計畫	計畫主持人	2000~迄今	
美國海岸教育及研究基金會	Journal of Coastal Research	編輯	2000~迄今	
World Scientific 代理日本土木工學會	Coastal Engineering Journal	編輯委員會委員	1997~迄今	
荷蘭 Elsevier Science	Coastal Engineering	編輯委員會委員	1996~迄今	
西澳洲大學	環境工程學系	資深講師	1995~2000	
本計畫中負責項目				
<p>初階實務演講課程：</p> <p>主題：海洋中內波的傳遞</p> <p>日期：98年10月7日</p> <p>時間：下午1：15至3：05</p> <p>地點：大仁樓5樓階梯教室</p>				

三、演講簡報

<p style="text-align: center;">海洋中內波的傳遞 Propagation of Internal Solitary Waves in the Ocean</p> <p style="text-align: center;">John R.-C. Hsu^{1,2,3} PhD (UWA) 許榮中</p> <p style="text-align: center;">¹ 國立中山大學 海洋環境及工程學系 教授 ² 西澳洲大學 土木及資源工程學系 榮譽研究員 ³ 國際學術期刊編輯 Coastal Eng., Elsevier; Coastal Eng. Journal, WSPC; J. Coastal Research, USA</p>	<p style="text-align: center;">簡報內容</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 內波的活動環境 2. 唐存勇教授的現場內波簡報 3. 內波實驗室試驗 4. 數值模擬 5. 結論 <p style="text-align: center;">感謝：中山大學海洋環境及工程學系博士生鄭明宏的協助編輯</p>
<p style="text-align: center;">自我介紹</p> <p>NCKU → AIT → UWA → NSYSU NCKU (1967-69; 1971-73) 成功大學 UWA (1973~2000) 西澳洲大學</p> <p style="text-align: center;">John's office Kaohsiung Harbour NSYSU (2000~) 中山大學</p>	<p style="text-align: center;">1. 內波的活動環境</p> <p>密度層化水體 (density stratification) -- 湖泊 Lake Biwa (琵琶湖)</p>
<p style="text-align: center;">密度層化水體 -- 海洋</p>	<p style="text-align: center;">內波的形成</p> <ul style="list-style-type: none"> • 內波是密度穩定層化水體(ocean, continental shelf, estuary, lake)的內部介面 (密躍層, Pycnocline) 所產生的波動 • 促成內波的環境因素: ① 密度穩定層化水體; ② 風、潮、流、海面壓力與波浪; 及 ③ 海底地形變化(海檻、海脊、大陸斜坡、大陸棚) • 內波依上、下不同密度之水層厚度, 分為: <ol style="list-style-type: none"> 1) 下沈型(depression type)內波 -- 上薄下厚 2) 上舉型 (elevation type)內波 -- 上厚下薄
<p style="text-align: center;">Phenomenon of Dead Water (死水現象)</p> <p>1902挪威探險家Nansen在白令海峽航行發展船速減慢 1904德國人Ekman研究: 船的動能在很淺的溫度密躍層造成內波有關</p> <p style="text-align: center;">層化水體裡孤立內波引起的水分子運動軌跡 均勻密度水體呢?</p>	<p style="text-align: center;">SCS is rich in internal solitary wave activity</p>

<p>據說南海內波源自黑潮支流，穿越呂宋海峽後向西傳遞。</p> <p>成熟的內波</p> <ul style="list-style-type: none"> 波峰長 > 200 km 振幅可達 150 m 流切速度可達 3 m/s <p>Copyright ESA ERS-1 1997/20 100 x 300 km</p> <p>[許明光教授提供]</p>	<p>RADARSAT SAR Images</p> <p>東沙島附近內波的淺化、繞射及非線性交會</p> <p>Copyright CSA RADARSAT ScanSAR Wide April 26, 1998 450km x 450km</p> <p>[許明光教授提供]</p>
<p>南海內波空間分布圖 (Hsu et al., 2010)</p>	<p>上舉型與下沉型內波</p> <p>內波波形的演化：下沉型 (Depression type) -> 上舉型 (Elevation type)</p> <p>Hsu, Liu & Liang (1998)</p>
<p>海洋中孤立內波(ISW)的重要性</p> <ul style="list-style-type: none"> Biology - 營養鹽傳輸及深海底床污染物再懸浮, ... Environment - 促進上下層水質交換, ... Engineering - 影響海中鑽油平台基樁安全, ... Military - 聲波折射, 造成潛艇偵測困難, ... <p>內波在大洋中發生、傳遞、淺化、反射、折射、繞射及能量消散等物理現象是海洋學門重要的研究課題之一</p>	<p>如何量測大洋中的內波?</p> <ol style="list-style-type: none"> 溫深儀、溫深串 (CTD) 都普勒流剖儀 (ADCP) - 船載或底碇式 海洋拖曳探測儀 科學魚探機 (Scientific Echo Sounder; EK-500) 氣象雷達 人造衛星 (ERS-1, ERS-2, RADARSAT) 的合成孔徑雷達 (Synthetic Aperture Radar, SAR)
<p>南海北部陸棚的內波孤子 (soliton)</p> <p>(楊穎堅等人2003)</p> <ol style="list-style-type: none"> 最大流速約 2.5 m/s 最大流切約 2.5 m/s 溫度變化可達 12 m 振幅達 110 m 出現於大潮期間, 頻率約 12 小時 	<p>唐存勇教授的現場內波簡報 (16~35)</p> <p>海平面下的巨浪 - 內波</p> <p>唐存勇教授 台灣大學海洋研究所 11/08/2007</p>

內波的定義

海洋垂直密度分佈 兩層模式逼近

- 二不同密度的流體介面上，常因受外在擾動的影響而產生波動，例如海氣介面上，經由風的吹拂擾動而產生我們所知道的波浪（表面重力波）。
- 海洋內部水體的垂直密度變化是呈現非均勻的，若以學界常用的面積觀感簡化之，斜密度層（pycnocline）可視為一界面，其上海水密度小，其下則密度大，在此介面上因周遭環境擾動產生的波動，我們稱之為內波（internal wave）。

台美於北南海內波雙邊合作研究過程

- 台、美、星、日等國科學家合作於2001-2003年期間首次進行對北南海內波較廣泛的觀測與研究，確認了北南海內孤立波是有觀測紀錄以來世界上規模最大的內波，但因其強非線性特性，有許多新現象亟待合理解釋，需要進一步的研究。
- 2003年後，台美雙方皆有意願繼續推動南海內孤立波的雙邊合作研究，美方由美國國家科學基金會（National Science Foundation, NSF）與我國國家科學委員會（National Science Council, NSC）簽定雙邊合作計畫，此雙邊合作研究一直延續至今，雙方共有十數個研究單位和百餘位加入此雙邊合作研究計畫，工作仍在進行中。

全世界有衛星影像發現內孤立波的地點分佈圖

- 幾乎全世界的大陸邊緣海或海脊附近都存在內孤立波。
- 台灣周遭的東海與南海更是內孤立波出現頻繁的海域，尤以南海的內波是全世界有紀錄以來規模最大的內波。

海洋如何產生內波？

分層環境 + 潮流 + 海底地形結構

- 內波有不同的產生機制，海洋中最重要的機制為地形與潮流交互作用，例如半日潮/全日潮與海底地形交互作用，進而擾動密度介面，可產生頻率超過於半日潮/全日潮的半日內潮流/全日內潮流。
- 半日內潮流/全日內潮流亦會演化成更低頻內波，例如內孤立波。
- 南海巨大的橫斷內波即潮流對志氣海峽的海洋作用所產生。

張春海堂

海表面訊號

內波產生的海流 調變 海表面粗糙度

衛星影像下的內波表面訊號

MODIS衛星捕捉到的內波表面訊號

內波表面訊號(雷達影像)

台灣大學 海洋研究所 王賈教授 以海洋雷達觀測到內波表面訊號

內波振幅

振幅-170公尺! ~40層樓高

台北新光大樓

南海實際量測的內波(由內潮流演化而來)

內波產生的海流變化

Yang et al., 2004

- 內波的強大流速與流切可能影響鑽油平台的穩定性

下沉/湧升流可能影響潛艇航行安全

內波再懸浮作用

海水透光度

強烈底層海流捲起的海底沉積物，有如大漠風暴，可造成海底地形的快速變遷

產生海底沙丘

內孤立波/內潮可於北南海陸坡上，於短時間內產生巨大沙波 (Sand wave)，其造成的沙丘高可達16公尺，波長可達320公尺

海軍官校 馮炳剛教授提供

葉綠素海表分佈型態受內波影響

海表葉綠素濃度

http://spg.ucsd.edu/Satellite_Projects/Dongsha_atoll/Dongsha_atoll.htm

造成東沙島附近浮游植物大量生長

內孤立波於環礁外海域破碎後，將低溫且富營養鹽的海水帶入環礁（如重力波破碎後產生的run-up現象）。左圖為王玉慎教授提供的資料，內孤立波破碎後，攜帶冷水且富營養鹽的海水湧上環礁的外緣（觀測點），造成海溫的驟降/昇，數日後，被帶到表層的有機碎屑為細菌所分解（造成海水中溶氧降低），上述兩個機制又直接/間接造成浮游植物大量生長

海軍官校 王玉慎教授提供

影響東沙島周遭珊瑚生長型態

The growth of coral reef communities and their variations induced by NLIW.

Photos provided by Prof. C. F. Chiu

內波產生的生物鏈(food chain)

- 在內波孤立波的前緣，其海表面可看到一系列破裂的表面波
- 內波孤立波後緣，海表面可見因海水湧升作用造成的boil，同時也把營養鹽帶上來，吸引小魚，小魚亦引來領航鯨獵食。

總結(唐存勇教授簡報部份)

- 台美雙邊南海內波的海洋研究，歷時數年，雙方共計投入經費逾億，動員雙方科學家上百位，台美數艘研究船累積在海上作業時間達數個月。
- 我國海上良好觀測研究能力，讓美方主動尋求繼續於西北太平洋的雙邊海洋科學研究。美方已表示願意將其先進研究儀器設備技術轉移到我國。
- 南海為內波盛行海域，有著複雜的傳遞、變形、淺化、破碎等過程，與折射、繞射、反射等現象，相關研究目前已發表有十數篇SCI期刊文章，並且有十數篇研究論文正進行中。這些研究對其他海洋領域(如海洋生物、海洋化學、海洋地質)也有重要貢獻。如其對東沙環礁珊瑚生長的影響亦已初步證實。政府於東沙島國家公園整體規劃時，亦應將這些研究成果列為參考。

News In GRAPHICS 揭開「水下魔鬼」面紗

1 南海內波成因
海區潮流經過崎嶇地形，推動冷熱海水上下震盪。

2 在溫差大的斜溫層，海水對流與震盪加熱，形成逆時針旋轉，上下層反方向漂流，即為內波。

內波會在海東沙島附近海域，觀測到最大規模的內波，內波是潮流流經海底崎嶇地形，海水上下震盪而成，常發生於斜溫層，該處內波造成溫差、海上雲物堆積，有「水下魔鬼」之稱，但很難用肉眼觀察。對海能探測、觀光、海洋生態等均有正面影響。科學家可利用觀測船探測內波生成情況。

觀測內波對南海區域波況的狀況

斜溫層 以水下聲波接收器接收斜溫層信息

海平面 儀器層海水溫度小

0.00公尺

斜溫層 水溫色線下降

1.000公尺

深層層 水溫下降趨性

以聲波探測海流速度、海底生物聚集情形

- 上層海流2.5公尺/秒
- 內波振幅170公尺，相當0.000公尺
- 溫度變化僅差幾度11度
- 下層海流1.5公尺/秒

內波影響
內波對海洋生態環境、氣候變化的影響，包括對海洋生物、海洋化學、海洋地質等均有重要貢獻。

船隻運輸
內波對船隻運輸的影響，包括對船隻的穩定性、航速、燃油消耗等均有影響。

海洋平台
內波對海洋平台的影響，包括對平台的穩定性、結構損傷等均有影響。

潛艇
內波對潛艇的影響，包括對潛艇的穩定性、航速、燃油消耗等均有影響。

海軍電訊
內波對海軍電訊的影響，包括對電訊信號的干擾、傳播等均有影響。

潛水人員
內波對潛水人員的影響，包括對潛水人員的穩定性、航速、燃油消耗等均有影響。

海洋研究船
內波對海洋研究船的影響，包括對研究船的穩定性、航速、燃油消耗等均有影響。

中國南海的內波

雖然我們對南海內波的發生機制已稍有瞭解，但對它的傳遞和演變與潮流通過複雜的海底地形，包括隆起的地物、峽谷及大陸棚架邊緣等，尚缺乏基礎與整體研究。

3. 內波實驗室試驗

Internal Wave Flume
National Sun Yat-sen University
Length=12m
Width=0.5m
Height= 0.7m

設備

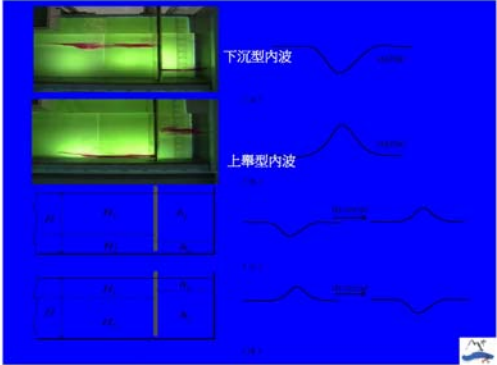

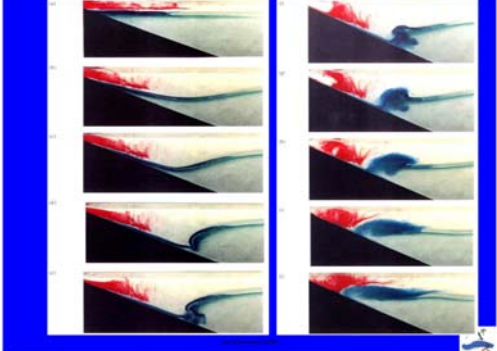

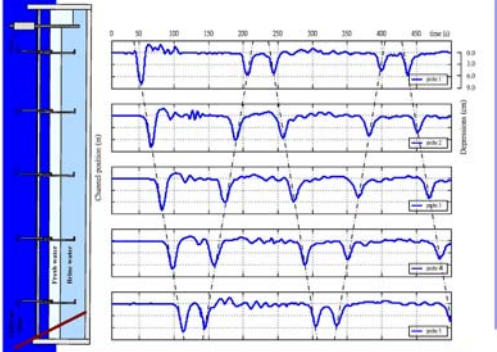
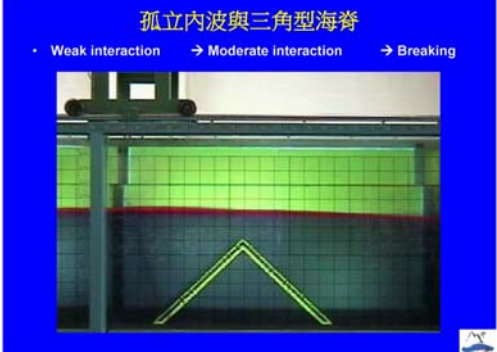
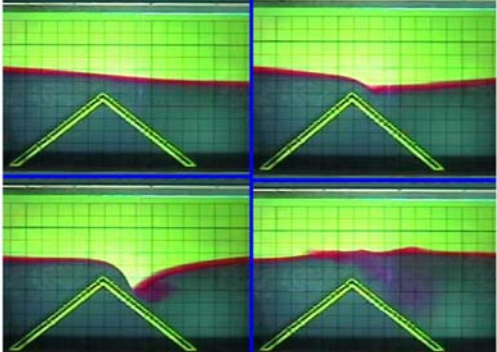
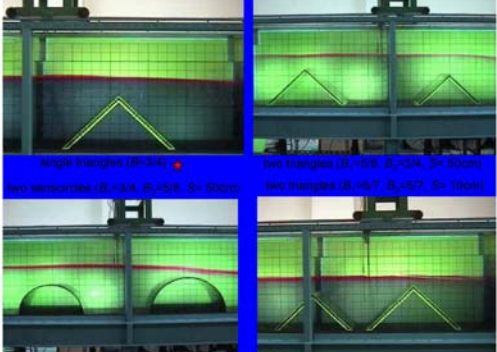
- 液、鹽水分層之兩層水體系統
淡水密度的為 1.0 kg/m³
鹽水密度的為 1.03 kg/m³
- 障礙物
分別設計25cm、30cm等不同高度之兩個三角形組
- 儀器：(1) 超音波計6支
(2) 密度剖面計1支
(3) 表面波高計2支

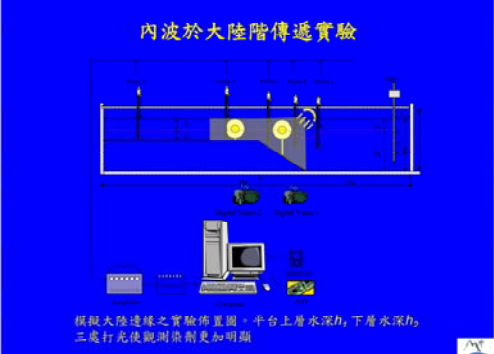
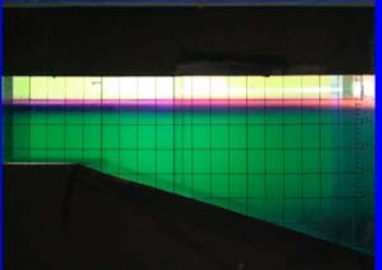
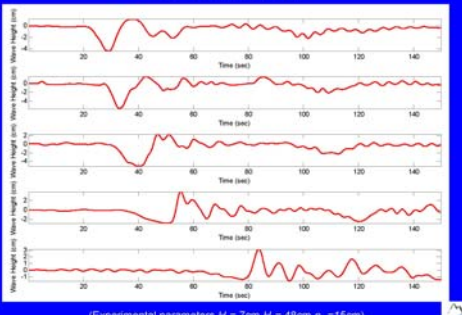
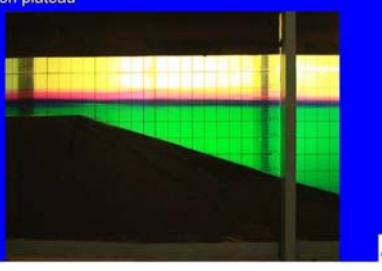
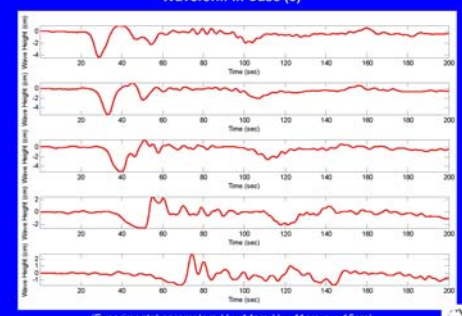
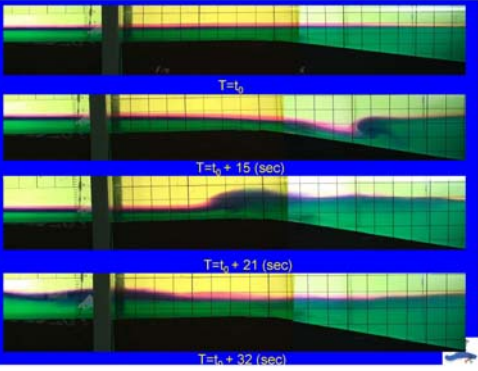
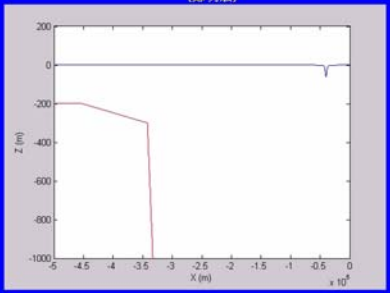
Filter P6 P5 P4 P3 P2 P1

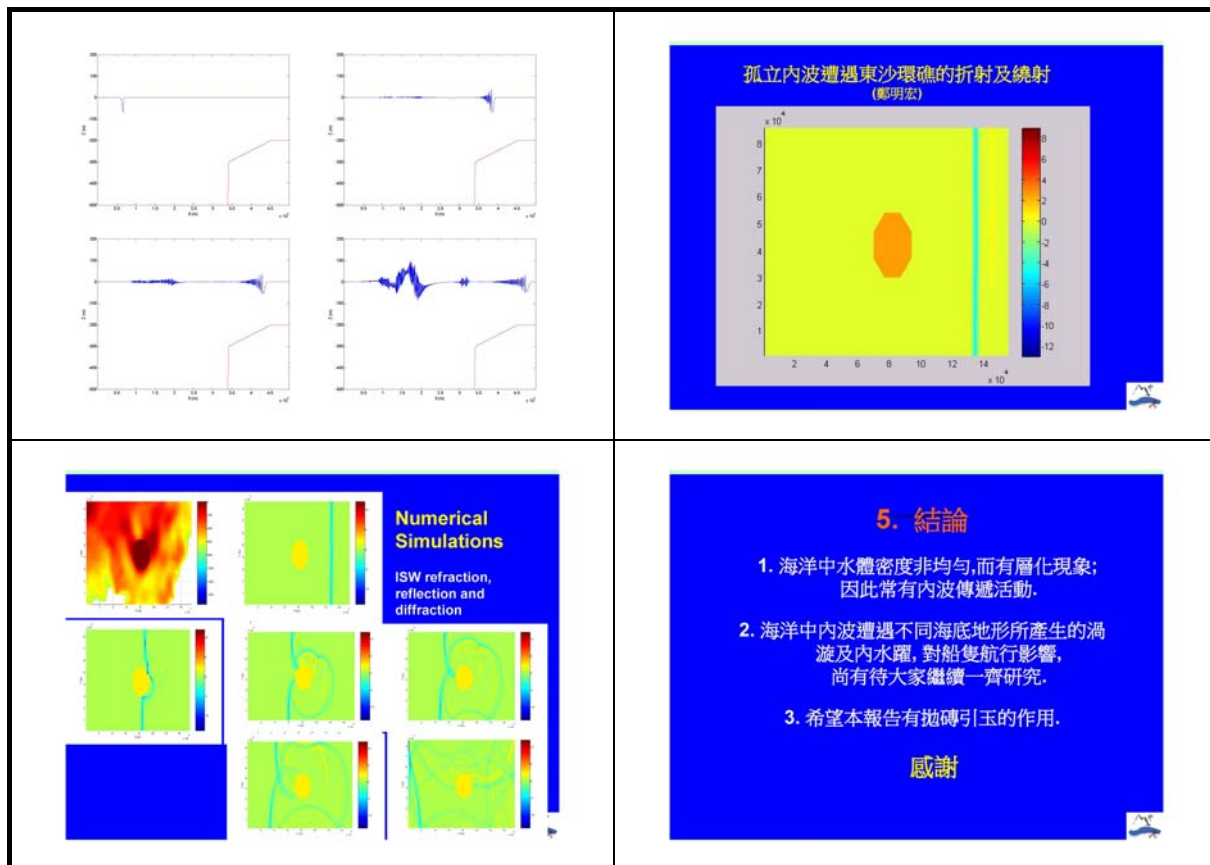
Filter P6 P5 P4 P3 P2 P1

實驗室造波

重力塌陷(gravity collapse)方式造波
利用向裡不同密度的水體位能差，讓其快速混合，在深、鹽水之分層界面處，由產生渦旋轉成內波向前傳遞。

 <p>下沉型內波</p> <p>上舉型內波</p>	<h3>Propagation of a Depression ISW</h3>  <p>02101091</p>
	<h3>ISW of depression on a steep slope</h3> <p>Run-down, run-up, internal hydraulic jump, vortex motion</p> 
	<h3>孤立內波與三角型海脊</h3> <p>Weak interaction → Moderate interaction → Breaking</p> 
	 <p>Single triangles ($\theta=30^\circ$)</p> <p>Two triangles ($\theta=30^\circ, \theta=30^\circ, \theta=30^\circ$)</p> <p>Two triangles ($\theta=30^\circ, \theta=30^\circ, \theta=30^\circ$)</p> <p>Two triangles ($\theta=30^\circ, \theta=30^\circ, \theta=30^\circ$)</p>

<p style="text-align: center;">內波於大陸階傳遞實驗</p>  <p style="text-align: center;">模擬大陸階線之實驗佈置圖，平台上层水深h_1，下層水深h_2，三處打光使觀測景劑更加明顯</p>	<p>Case 1: $h_{s1} < h_{s2}$; $H_1=7, H_2=48$ ($h_1=7, h_2=11$); $a=4$cm. units: cm</p> <p>Fluid draw-down, internal hydraulic jump, vortex motion, run up...</p> 
<p style="text-align: center;">Waveform in Case (1)</p>  <p style="text-align: center;">(Experimental parameters $H_1=7$cm $H_2=48$cm $h_0=15$cm)</p>	<p>Case 3: $h_{s1} > h_{s2}$; $H_1=14, H_2=41$ ($h_1=14, h_2=4$); $a=4$cm. units: cm</p> <p>Fluid draw-down, internal hydraulic jump (內水躍), vortex motion (渦漩), run up (潮升)... waveform inversion (波型反轉) on plateau</p> 
<p style="text-align: center;">Waveform in Case (3)</p>  <p style="text-align: center;">(Experimental parameters $H_1=14$cm $H_2=41$cm $h_0=15$cm)</p>	
<p style="text-align: center;">4. 數值模擬</p> <p style="text-align: center;">對不起 在此不詳列稍為複雜的數學式 僅展示部份結果的動化圖</p>	<p style="text-align: center;">孤立內波遭遇大陸階及大陸棚的反射 (鄭明宏)</p> 



四、 授課照片

98 年 10 月 7 日：海洋中內波的傳遞	
	
陳宏鐘主任介紹演講者-許榮中教授	介紹海洋中內波的傳遞
	
說明海洋層化水體	說明內波的形成
	
上課全景	解釋何謂成熟的內波
	
上課全景	

五、演講內容

本週邀請到中山大學許榮中教授來到本系演講。

今天藉此機會跟同學介紹內波，在座各位是否有人看過內波或是表面波？同學到了西子灣、旗津看到的海浪就是表面波；而在水裡面的水流，包括洋流、海流潮流、漲潮、退潮，在水中所產生的波浪為內波。從小到大我們在教科書裡面得知，海無論在四百、六百、一千公尺的密度都是一樣的，這種假設是不對的，事實上海水隨著溫度會改變密度，當海水密度不同時，中間所產生的交界面遇到風、浪、潮流，海水所產生波動就是內波，所以內波是看不到的。

今天首先跟大家介紹內波的活動，內波活動環境在哪可以看到呢？只要水裡面的密度有變化，分子受到外界影響就會產生內波；在日月潭時，上面的水與下面的水溫度不一樣，密度也會不一樣就會產生內波，所以不管在湖裡面或是海裡面都會有內波的存在。接下來會跟各位介紹台大海洋研究所唐存勇老師的簡報，各位如果有機會可以欣賞黑潮三部曲，主要是介紹黑潮是如何從菲律賓經過台灣到日本，時間大概是三個小時。唐存勇老師在國科會成果展現中報告南海內波起伏達到 170 公尺，大約 40 層樓左右的高度，這速度的快慢在接下來的演說會解釋。而內波是無法用肉眼看見的，因此我們藉由內波實驗室試驗，利用模型來做實驗，而在這個領域裡包含各種學問，例如：數學為數值模擬，或者是模型實驗，若有船舶則可以到現場做模擬實驗。本日主題利用的是數值模擬來做測試，最後得出結論。

在日本的琵琶湖中因為湖中上層及下層水溫的不同，所以導致水密度也不同，加上風及水流的影響，因此造成內波的產生。目前在台灣研究內波的人包含台大海洋所、海洋大學的海洋所、海軍官校、中央大學、中山大學皆在南海研究內波，研究人員中也包含美國人。在泰國普吉島也是內波活躍的海域之一，也許各位沒有考慮過這樣的現象，內波是肉眼沒辦看見的。內波是密度穩定層化水體的內部介面所產生的波動，水體包括海、大陸層、出海口甚至是天上的雲，因此水體或是氣體都會產生內波；促成內波的環境因素包括：密度穩定層化水體、風、潮、流、海面壓力與波浪、海底地形的變化（海檻、海脊、大陸斜坡大陸棚）等因素；內波大致上依上、下不同密度的水層厚度分為：下沉型內波（上薄下厚）、上舉型內波（上厚下薄）；大致上內波分為這兩種型式，事實上內波不會只有這兩種型式，但以實驗模擬而言，學者將複雜環境作某種假設，把問題簡單化，簡單化結果可大眾接受，那麼實驗結果就可被

應用，當然事實上內波不會只有兩層，而是多於兩層，因此在實驗過程中會由最簡單的兩層，足步增加到三層、四層或是更多層的模擬研究。

西元 1902 年挪威的船人在白令海峽、阿拉斯加到蘇聯的交界航行時發現速度時快時慢，儘管引擎出來的功率都一樣，但仍不知道原因，因此在當時船員都感到驚慌，因為這些狀況從來沒有發生；兩年後，德國 Ekman 的研究發現，船的動能在很淺的地方造成內波，哪波使得水分子運動方向不規則，因此造成船舶速度忽快忽慢，這次的研究成果是史上第一次有關於內波的存在。

水流從黑潮支流往西傳遞經過澎湖水道，當經過海水下兩座高山時會造成內波，這是目前國內研究內波最感興趣之區域；據說南海內波源自黑潮支流穿越呂宋海峽向西傳遞，這是目前所被公認的說法；成熟的內波波峰長度達到 200 公里，振幅可達 150 公尺，流切速度(上層速度與下層速度加總)可達每秒 3 公尺(時速約為 170 公里)，黑潮流速每秒約為 1 公尺左右。到較淺的海域時，看不到表面波，而有明顯的內波，到東沙環礁和表面波一樣會產生繞射和相交的現象，所以在現象上是類似的。

許明光教授目前服務於台北科技大學，他透過美國 NASA 得到由東邊呂宋海峽至西邊東沙附近與大陸朋附近的衛星空照圖，並且將所得到的內波記錄下來。內波的律動方式由上層流動至下層，形成一個循環狀態，當上層浪沈至下層時，浪會產生反射狀態，同時帶動周邊的浪連帶往下層走，此狀態為明，所以內波有明與暗的分別，到水深及地的地方，此時內波為不穩定的狀態。

內波所產生的渦漩將海底微生物帶至上層水面，成為營養的傳輸管道，同時二次世界大戰時，美國洛杉磯外海約 60 幾公尺的海域埋下許多 PPD，戰後發現海灘上有 PPD 成份，而這些成份是被內波給帶上海面的，所以說內波對微生物、營養原及污染物有影響是很大的；在環境方面，它促進上下層水質交換，例如水庫的死水就是經由內波所引起的水質交換來達成優良水質的維持；在工程上，內波對鑽油平台基樁的安全有所顧慮；在軍事上，軍艦探測偵測水面下，在探測的過程中聲波遇到內波時產生折射，使得所得到的訊息與實際上有所誤差。內波與表面波有類似的狀態發生，內波在大洋中發生、傳遞、淺化、反射、折射、繞射及能量消散等物理現象，是海洋學門重要的研究課題。

量測的方法，以使用溫度儀或溫度串的方法，利用繩子將溫度串放至水面下兩百公尺、四百公尺甚至一千尺，在不同深度的水深放置溫度計，溫度計與電腦連結記錄，從時間記錄的變化就可以探測海流的流動

方式；或者使用都普勒流剖儀，以船載的方式探測功率，其他還有海洋拖曳探測宜、科學魚探機、氣象雷達、人造衛星的合成孔徑雷達等方式，皆可量測內波。

在表面波裡有孤立波，又稱為孤立子，其最大流速約為 2.5m/s，最大流切約為 2.5m/s，溫度變化可達 12m，振幅達 110m，出現在大潮期間，頻率為 12 小時。

兩不同密度的流體介面上，常因受外帶擾動的影響而產生波動，例如海氣介面上，經由風的吹拂擾動而產生我們所知道的波浪（表面重力波）。其二，海洋內部水體的垂直密度變化是呈現不均勻分佈，若以學界常用的兩層模式簡化，斜密層可視為一界面，其上海水密度一小，下海水密度大，在此界面上因周遭環境擾動產生的波動，稱之為內波（internal wave）。

台、美、星、日等國科學家合作於 2001-2003 年期間首次進行對北南海內波較廣泛的觀測與研究，確認了北南海內孤立波是有觀測紀錄以來世界上規模最大的內波，但因其強非線性特性，有許多新現象亟待合理解釋，需更進一步的研究。

2003 年後，台美雙方皆有意願繼續推動南海內孤立波的雙邊合作研究，美方由美國國家科學基金會（National Science Foundation, NSF）與我國國家科學委員會（National Science Council, NSC）簽定雙邊合作計畫，此雙邊合作研究一直延續至今，雙方共有十數個研究單位，數十個 PI 加入此雙邊合作研究計畫，工作仍在進行中。

世界上不僅僅有南海有內波存在，在任何地方只要擁有三個因素，（一）分層環境（二）潮流（三）海底地形結構，那內波就會存在；在墾丁以南，菲律賓以北呂宋海峽的海底有兩座山，當內波碰到山會產生渦漩，潛水艇遇到渦漩就會遭受毀壞。

在海洋表面上，當內波到達前，海洋表面上呈現平坦的，在內波前海面會有高低起伏的狀態，內波過後海面又呈現平坦的狀況；內波產生後會將海面下微生物往上層帶，此時小魚會出現覓食微生物，而大魚也緊接著出現覓食小魚，這是由研究者觀察我發現的情況。

在衛星影像觀察中發現，內波長達 200~300 公尺現象是非常普遍的；內波代表溫度的變化，溫度隨著時間變化，同一地方溫度不是固定而是有變化的，那就是說水底有變化，且隨著溫度的變化；內波振幅可達 170 公尺，約 40 層樓高，和台北新光大樓高度相同，這是目前世界上內波記錄最大的。

內波對海上平台的影響，對平台上的角柱產生扭力矩，由海洋工程中得知，表面波水分子的加速度影響到角柱，事實上，內波的強大流速與流切可能影響鑽油平台的穩定性；而內波的下沉、湧升流對潛艇安全也有所影響，甚至可能會造成嚴重的後果。對浮游生物的影響，內波造成強烈底層海流捲起的海底沉積物，有如大漠風暴，可造成海底地形的快速變遷。

由王玉懷教授提供的資料得知，孤立波於環礁外海域破碎後，將低溫且富營養鹽的海水帶入環礁（如重力波碎波後產生的 run-up 現象）。而內孤立波破碎後，攜帶冷水且富營養鹽的海水衝上環礁的外緣（觀測點），造成海溫的驟降/昇，數日後，被帶到表層的有機碎屑為細菌所分解(造成海水中溶氧降低)，上述兩個機制又直接/間接造成浮游植物大量生長。

在內波孤立波的前緣，其海表面可看到一系列碎裂的表面波；內孤立波波後緣，海表面可見因海水湧升作用造成的 boil，同時亦把營養鹽帶上來，吸引小魚，小魚亦引來領航鯨獵食。

台美雙邊南海內波的海洋研究，歷時數年、雙方共計投入經費逾億、動員雙方科學家上百位、台美數艘研究船累積在海上作業時間達數個月。而我國海上良好觀測研究能力，讓美方主動尋求繼續於西北太平洋的雙邊海洋科學研究。美方已表示願意將其先進研究儀器設備技術轉移到我國。

南海為內波盛行海域，有著複雜的傳遞、變形、淺化、破碎等過程，與折射、繞射、反射等現象，相關研究目前已發表有十數篇 SCI 期刊文章，並且有十數篇研究論文正進行中，這些研究對其他海洋領域(如海洋生物、海洋化學、海洋地質)也有重要貢獻，如其對東沙環礁珊瑚生長的影响亦已初步證實，政府於東沙島國家公園整體規劃時，亦應將這些研究成果列為參考。

雖然我們對南海內波的發生機制已稍有瞭解但對它的傳遞和演變與潮流通過複雜的海底地形，包括隆起的地物、峽谷及大陸棚架邊緣等，尚缺乏基礎與整體研究，藉由實驗室長達 12 公尺，寬 0.5 公尺，高 0.7 公尺的水槽，在水槽兩側這有內波造波機，在水槽內放鹽水及淡水兩層水體系統，淡水密度約為 1.0 kg/m^3 ，鹽水密度約為 1.03 kg/m^3 ，分別設計 25cm, 30cm 等不同高度之兩個三角形組為障礙物，利用超音波計、密度剖面計、表面波高計來量測內波的狀況。實驗室造波的方式為重力塌陷(gravity collapse)方式，造波利用兩種不同密度的水體位能差，讓其快速混合，在淡、鹽水之分層界面處，由產生渦旋轉成內波向

前傳遞。內波的造波，利用隔板當作閘門製造壓力的變化，造成漩渦之後開始往右邊傳遞，剛開始受到擾動波動不穩定，經過三至四個波之後，波才會呈現穩定狀態。

海底山的上層淺，下層深的介面，會造成下沈型的內波，這時要視水深底和波的大小，有時會產生微弱的交互作用，有時會像是輕度颱風，強度颱風的狀態，所以內波分為不同等級。此外我們的實驗也做了不同的狀態，例如模擬內波遇到一座山時的狀態、兩座山或是兩個半圓桶、兩個不同高度的山等狀態，來得到不同的內波。當我們模擬內波遇到斜面時，在比較淺的區域，水層上淺下深，內波為下沈型；在平台的地方，水層上厚下薄，照道理說，他應該有下沈型、上舉型的波，此波會翻轉，這在現場的量測是不容易的；藉由實驗將這些過程重現出來，在過程中，水層會分成兩個漩渦，接著往上塑升，到平台之後記繼續往前推，會變成上舉型的內波，由記錄可更清楚的瞭解，當波經過斜坡之後，波型成為上舉型，代表內波經過斜坡之後，會經過內水躍、渦漩、溯升、波形反轉。

在五百公尺水深的海，在上面 100~150 公尺的水深為上層，150 公尺以下水身為第二層；我們利用數值模擬下沈型之內波，當波沒有遇到構造物時，波未受到影響；當波遇到水下構造物時，產生反射現象，波開始有所變化，這是利用數值模擬所呈現的狀態。

海洋中水體密度非均勻，而有層化現象；因此常有內波傳遞活動海洋中內波遭遇不同海底地形所產生的渦漩及內水躍，對船隻航行影響，尚有待大家繼續一齊研究。希望本報告有拋磚引玉的作用。