

五、海洋的探測與結構

5-1 海洋觀測

全國海象資料主要由中央氣象局海象中心負責觀測與發佈。

海洋觀測的儀器主要有以下特點：

1. 準確性：海洋儀器必須要達到一定程度的觀測準確性。
2. 抗壓性：能夠抵抗水壓、不讓海水滲入儀器中。
3. 穩定性：能夠在惡劣天氣下能夠工作。
4. 抗蝕性：能夠抵抗海水強烈的腐蝕性。
5. 簡易性：儀器的操作以及安裝步驟必須要很簡單，讓工作人員能夠在海上惡劣的天氣中作業。

5-1-1 波浪與潮汐觀測

1. 波浪的觀測

a. 壓力式潮位儀

原理：將壓力潮位儀放置在海底，利用水壓的變化來感應波浪的起伏。限制：僅適用在淺海（～20 公尺深）的海域。

b. 浮球式波浪儀

原理：用繩索以及重物將浮球固定於海底，浮球隨著波浪的起伏而上下移動，再利用天線將資料回傳到岸上基地，移動所造成的重力加速度有所改變，可以用來紀錄波高、週期以及波浪的方向。

限制：不能偵測大範圍面積，需要很多浮球（成本高）

c. 超音波波浪儀

i. 海上超音波波浪儀

原理：將感應器裝置在岸旁，由上向下發射超音波，量測海面的起伏變化。

限制：氣溫會影響音波的速度，造成測量不準確。

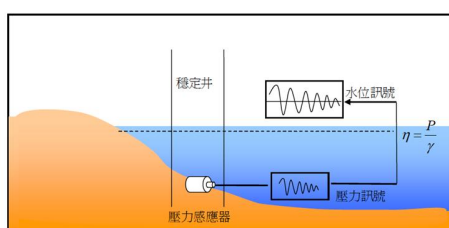
ii. 海下超音波波浪儀

原理：將超音波儀器固定在海面下 30~50 公尺處，利用超音波的發收時間差和波速，就可以計算水面與波浪儀之間的距離，進而得知浪高和週期。

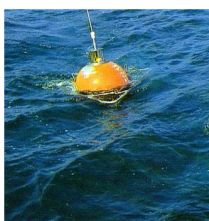
限制：不能偵測大範圍面積且必須要有海底電纜（成本高），保養不易。

d. 資料浮標站

原理：在漂浮載具上裝置具有測量海象、氣象功能的儀器，並且利用繩索和重物固定它，同時配備了太陽能電板供長時間的觀測，也可進行表層波浪和深層海流的觀測，可以測量波高、周期、波向、波譜、水溫、氣溫、氣壓、風速、風向等參數。



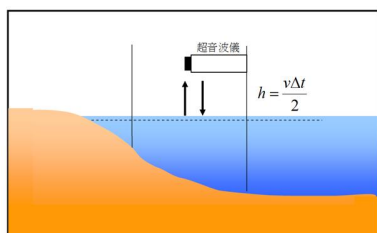
壓力式潮位儀



浮球式波浪儀



浮球剖面



海上超音波波浪儀



資料浮標站

2. 潮汐的觀測

潮汐的觀測會受到短週期波浪的影響而不容易觀察，所以必須要在被隔絕的區域進行潮汐的測量。

a. 超聲波式潮位儀

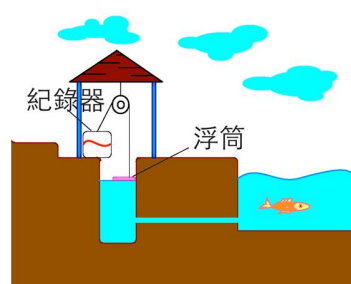
原理：在海岸邊挖一口比平均海平面還深的井，利用導水管連接水井和海水，再將感應器裝置於井的上方，利用超音波訊號發射和接收的時間差來測量水位的高低。

b. 浮筒式潮位儀

原理：和超音波式潮位儀原理一樣，必須要在隔絕風浪的井內測量，但是偵測的方式是用一個浮筒和鉛錘分別懸掛在滑輪兩端，讓浮筒隨著水面升降來記錄水位高度。



超音波潮位儀



浮筒潮位儀示意圖

5-1-2 海流的觀測

1. 移動式測量

a. 航海員的紀錄

原理：早年因為測量技術的不足，只能根據船員目測的方式來收集海流的資訊，紀錄實際的航線以及預定航線的偏離程度可以推算表層海流的流向。

限制：只能紀錄到表層海流的流向且誤差很大。

b. 浮標追蹤

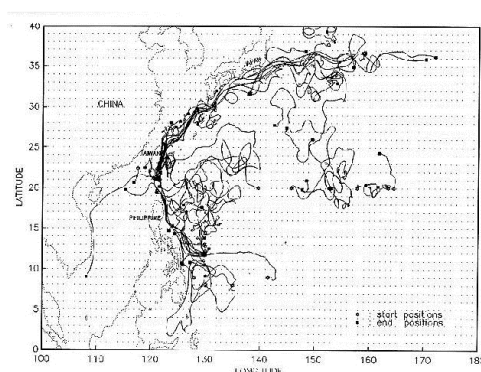
原理：將浮球內裝設無線電/衛星發報器，以繩索連接一個擋流裝置，讓擋流裝置受到海流的推動而將浮球帶走，可以用來測量洋流的速度以及方向。現今的浮球也加裝了溫度、鹽度的測量儀器，可以獲得更多海洋環境資訊。

限制：有可能被漁船拖走造成測量的誤差以及財務的損失。

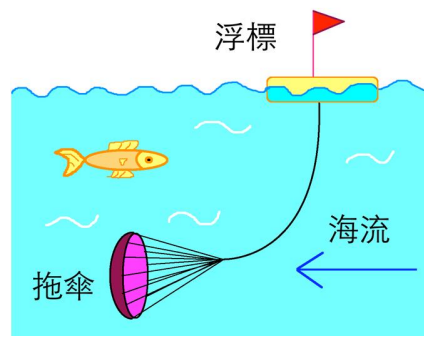


Benjamin Franklin prepared this chart of the Gulf Stream in 1769 to help speed English mail packets across the Atlantic. It was published in 1786 by the American Philosophical Society and combined, for economy's sake, with Henry Gilpin's herring migration chart at upper left.

1770 年，富蘭克林(Benjamin Franklin)依據航海日誌的紀錄，發表的墨西哥灣流圖



WOCE (World Ocean Circulation Experiment) 計畫期間在西菲律賓海施放之 ARGOS drifter 軌跡。摘自梁(1992)「黑潮之 Lagrangian 觀測與分析」，國立台灣海洋大學碩士論文。



浮標追蹤示意圖

2. 定點式測量

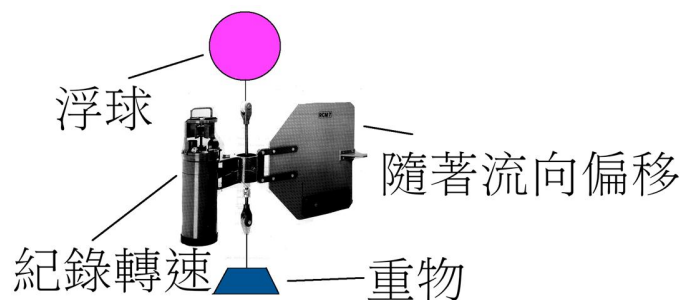
a. 螺旋槳式海流儀

原理：固定在海床上、探測船之下或在資料漂浮站之下，利用葉片的旋轉快慢來計算海流流速以及方向。

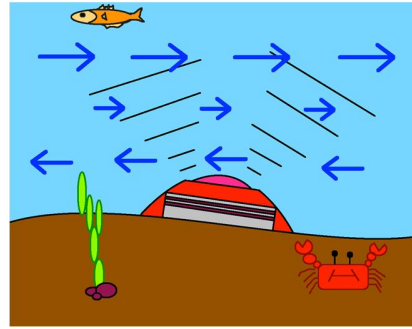
b. 音響式都卜勒流剖儀

原理：主動發出聲波，利用海水中的微小顆粒反射聲波後所產生的都卜勒效應來計算海流流速。

- 表面浮筒式－將裝置放置於浮筒下，用來量測海面下之流速。
- 底碇式－將裝置放置於海床上，為了避免漁網的破壞，此裝置必須要躲在水下 300 公尺處。目前底碇式都卜勒裝置設計成飛碟狀的流線形狀，可避免漁網經過時對儀器的傷害。
- 船碇式－將裝置放置於船底，雖然可以進行多個位置的觀測，但是必須要修正船體的移動速度。



螺旋槳式海流儀



底碇式抗漁拖網錨碇裝置之示意圖。本圖摘自 Flotation Technologies (2003)



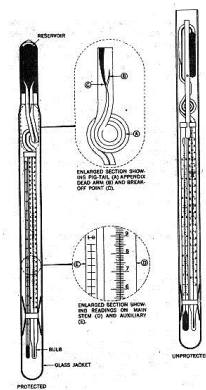
船碇式都卜勒流剖儀示意圖。本圖摘自 RD Instruments (2003)

5-1-3 海水溫度與鹽度的觀測

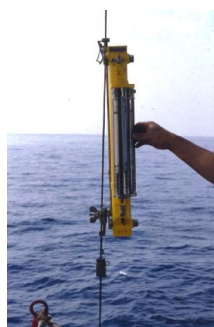
海水溫度鹽度的測量方法：

1. 南森瓶（採水瓶）：早期測量海水性質的儀器，並附有顛倒的水銀溫度計。但是一次只能測量一個深度，而且測量深度有限。為了防止溫度計在往上拉出海面時，被淺海的海水溫度影響，所以要使用顛倒式溫度計。

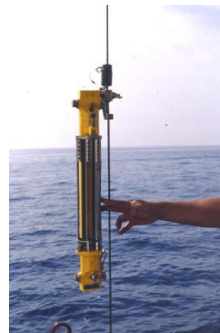
❖ 水銀溫度計顛倒原理：正置溫度計到達需要的深度再進行感溫。感溫大約 5~7 分鐘後，打開連接器讓溫度計顛倒，水銀柱便會在斷點處斷開，保留了現場溫度的讀數。



倒轉水銀溫度計的裝置結構。Neumann, G. and Pierson, W.J., Jr. (1966) "Principles of Physical Oceanography"



南森瓶下放前



南森瓶下放後（已顛倒）

2. 溫鹽深儀（CTD）：現代常用海洋溫度、鹽度測量儀器。

- a. Conductivity：導電度，可以用來換算鹽度。
- b. Temperature：溫度，利用電子溫度計來紀錄不同深度海水的溫度。
- c. Depth：深度，利用水壓的大小來換算所在測量的深度。

3. 輪盤式採水瓶：用來測量海水的成分和特性。可以輪流打開集水平上下的蓋子，在不同的深度收集海水。



海研一號早年用的 CTD



輪盤式採水瓶

4. 螢光計：利用螢光測量計算出海水中葉綠素的含量。
5. 光度計：利用透光度的測量，可以計算出海水中懸浮物的濃度。
6. 溶氧計：測量海水中的溶氧含量。

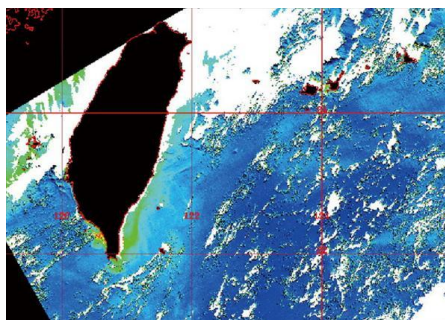
5-1-4 海洋遙測

現代衛星也被利用在海洋的觀測上。衛星可以摒除了海象限制以及可以大範圍連續的觀測，但是解析度自然沒有研究船出航採集的資料來得好。

1. 海洋水色：測量海洋得水色可以了解葉綠素濃度、洋流輸送、海洋汙染、全球氣候變遷以及搜尋漁場等資訊。

原理：當陽光照射在乾淨的海水時，水分子容易吸收長波的黃、紅光；散射短波的藍、綠光。

- a. 海藻：大多會讓海水顏色偏深綠色，藻類的大量繁殖反映了海域中含有大量的營養鹽，陸源的溶解物質以及湧升流都是營養鹽的主要來源。依據海藻的含量分佈 可以推知營養鹽的分佈，再來可以知道洋流的輸送情況、陸源對海洋汙染的情況 以及漁場的分佈位置等資訊。
- b. 陸源的汙染：靠近陸地的淺海處看起來是偏黃綠色，藉由此資訊可以知道河流夾帶的泥沙含量以及它們受到波浪和洋流帶動的情況。

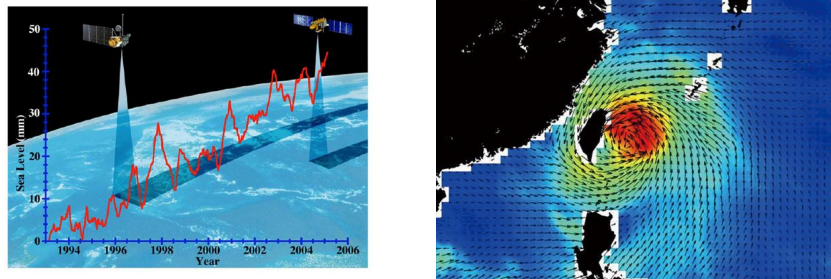


福衛一號海洋水色照相儀拍攝的臺灣附近海域葉綠素濃度的影像（科技部網站提供）

2. 海洋水位：衛星測高

原理：在衛星上裝設雷達測高系統，主動發出無線電訊號，藉由海水表面的反射訊號以及接收到的時間差，就可以大面積的觀測地球上海水水位的變化。

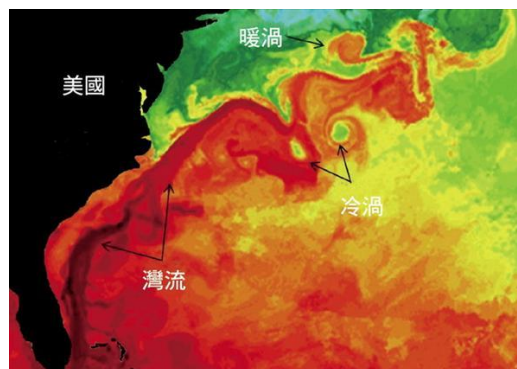
- a. 量測波高：利用雷達回波的強度和頻率變化，可以推算海洋波浪的高度特徵。
- b. 量測風場：利用海水表面對雷達波不同角度的散射程度，可以反推海面的風向和風速，也可以監測海象和氣象的變化。



以人造衛星觀測海水高程示意圖（圖片來源：NASA satellites measure and monitor sea level）、衛星散射計導出的海面風速、風向圖，紅色表示風速較強。圖中顯示在臺灣東部外海有一颱風，風向為逆時針（科技部網站提供）

3. 海洋表面溫度：

原理：利用人造衛星測量海面紅外線、微波的輻射程度，可以大面積的觀測海水表面溫度的高低。



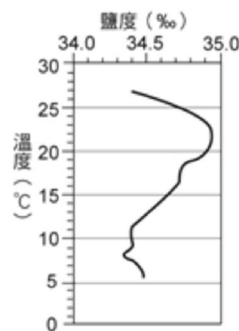
以美東為例，衛星遙測海面溫度，紅色表示溫度較高的水域（科技部網站提供）

4. 海底地形：

原理：在衛星裝置重力儀，利用重力的變化來反推海底地形。地形比較高的地區或海底物質密度比較大的海域，海面會比較高；地形比較低窪的地區或海底物質密度較小的海域，海面比較低。扣除掉人造衛星測量海面高度後，就可以推知海底地形。但是精確度沒有回聲測探法來的好，不過卻可以大面積的測量。

5-1-5 溫鹽圖與水團

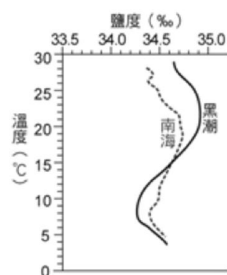
1. **溫鹽圖**：1916 年為韓生提出。以溫度為縱軸、鹽度為橫軸，依照每一個測站觀測紀錄，將各層的溫度和鹽度數值在坐標上劃出各點，連結的曲線就是溫鹽圖。
 - a. 通常情況下，溫度隨著深度的加深而變冷，所以溫度也俱有著深度的意思。
 - b. 藉著溫鹽圖的散佈情況可以讓我們研判水體源自何處。通常溫鹽數值相近（最理想情況是匯聚在一點），這種分佈的意義就代表了水柱有相當厚的一層，此水體也可稱為水型。
 - c. 水型多僅存於源區，離開源區之後，因為溫度、鹽度共同所以決定了海水的密度（輕/重），間接決定了海水是上升/下降，性質相同的水分子聚在一起就是水團。



溫度、鹽度劃出的線圖就是溫鹽圖，不同的水團有著不同的溫度鹽度的特性。

- d. 混合增密作用：兩種不同鹽度、溫度但密度相近的海水混合後，溫度、鹽度是兩者的平均，但是密度則會增大，此現象為混合增密作用。
 - e.
2. **溫鹽圖的用途**：
 - a. 藉由不同地點所得到的溫鹽圖，可以用來追蹤溫鹽特性不同的水型發生混合和移動的情況。
 - b. 台灣附近海域的溫鹽圖：

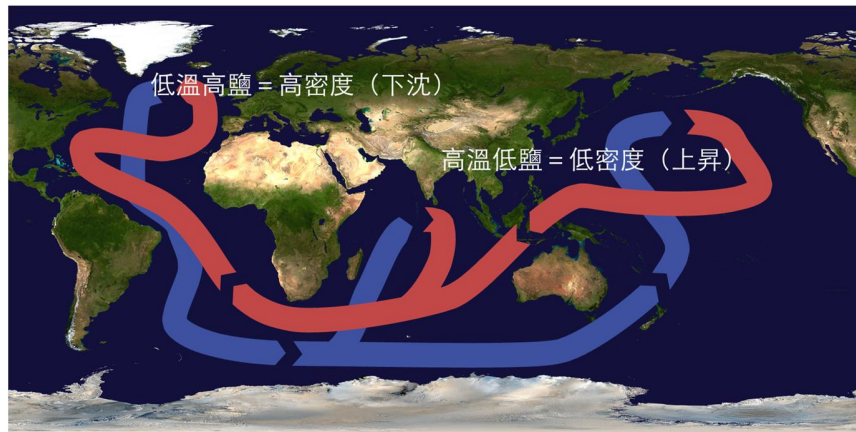
黑潮和南海海水整體的溫鹽曲線都維持一定的形態，利用溫鹽圖的曲線我們可以分辨水團。



黑潮和南海的溫鹽曲線

3. 溫鹽環流

- a. 動力來源：由海水的密度不同而驅動。
- b. 流速緩慢：每天僅數公尺。
- c. 能量調劑：能循環全球各大洋，對於全球海洋與大氣系統有著重要的調節作用。

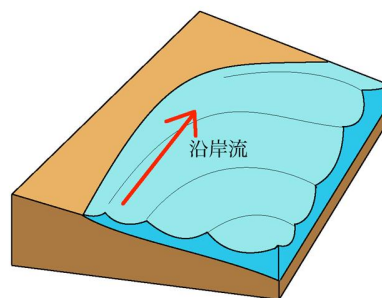


全球溫鹽環流示意圖

5-2 波浪與海岸地形

5-2-1 沿岸流

波浪由外海向陸地行進的時候，受到海岸地形的影響（海岸不會和波浪方向平行），就會造成波浪的折射。折射的作用會讓海岸形成一股平行於海岸的弱流，就稱為沿岸流。



沿岸流形成示意圖