

海水溫度與海軍作戰

Ocean Temperature and Naval Operations

毛正氣

Assistant professor, Coastal water and Environment Center, NKMU

提 要：

- 一、臺灣周邊海域海底地形複雜，位於太平洋海盆、菲律賓海槽、南中國海、亞洲大陸棚(臺灣海峽)、沖繩海槽與琉球島弧匯集處，此一獨特的地理位置，使得臺灣周邊海域的海洋溫度結構在空間及時間上的變化異常複雜，因此如何詳實掌握臺灣周邊海域的海洋溫度結構，實為我海軍在經營大氣及海洋戰場環境中，刻不容緩的工作。
- 二、海水溫度對海軍水下作戰的重要性，眾所皆知。但想要準確預報水下溫度剖面，卻十分不易，唯有瞭解與預報水下溫鹽剖面資料，也才能精準偵蒐目標並投射武器。各國海軍在海洋環境分析及預報所作的努力與所投資在觀測資料蒐集、分析、研究、預測系統開發，其目的無非是支持其海軍在戰術運用上，善用地利之便，發揮武器裝備應有的效能。

關鍵詞：海水溫度、海軍作戰、層次深度

Abstract

1. Taiwan, surrounding with waters, is located among the Pacific Basin, Philippines Trough, South China Sea, the Asian continental shelf (Taiwan Strait), the Okinawa Trough and Ryukyu Island. The unique location of Taiwan makes seawater temperature dramatic complicated in the structure of space and time. So how to understand and use the atmospheric and oceanic naval battlefield environment is an important task.
2. The importance of water temperature for naval undersea operations is well known, but it is not easy to provide the accurate forecast for water temperature profile. Only having and understanding the prediction of underwater thermo-haline profile data, and then warfighters can accurately

use weapons and sensors, and target enemies. Many country navies do their best for analysis and forecast of marine battlefield environment in order to support their tactics, and to make sure they can use the weapons precisely.

Keywords: seawater temperature, thermocline, naval operations, sonar, ASW, underwater operations.

壹、前言

書籍與經驗讓我輩海軍軍官瞭解到「對海洋作戰的環境瞭解愈透徹，對作戰愈有幫助」。正如一般人所瞭解的「海洋作戰環境資料」，其海水物理特性(尤其是聲、光特性)環繞著太多環境因子(Environmental Parameters)，難以頓時掌握。其因子包括海洋周邊環境之海底地形與底質、海水水文現況、海面海象狀況及空中天候、氣象與氣流等變化、地球物理中之海底磁力與重力資料、海水化學循環及生態的分佈等等。然而這些海洋資料肇因千變萬化、錯綜複雜，相互間又有關聯且多有脈絡可循，致使研究分析起來，格外不易。

水下作戰(反潛與水雷作戰)以聲納偵測裝備為主，其因在海洋中，光波和無線電波衰減的非常快，只能傳遞非常短的距離，因此，對海洋表面以下的深測，聲音是最有效的選擇。聲音是一種壓力波，它在海洋中傳播的速度隨著溫度、鹽度、和深度的增加而增加，尤其在海面以下的一、二百公尺中又以溫度最為重要。然而，海水溫鹽特性結構

與其隨時間之變化而有所不同，以臺灣的複雜的地理位置與水文特性而言，決定音傳路徑的重要因素是海水溫鹽結構與海底地形與底質，陳琪芳教授等在臺灣周邊海域聲學研究中¹，已說明這兩項參數在臺灣周邊海域的重要性。但不只是水下偵測裝備受到海水溫鹽的影響，所有水下武器(魚雷、反潛火箭等)使用與操作，皆受是海水溫鹽結構與海底地形與底質所影響。

由於水下偵蒐裝備的效能受海洋環境影響甚巨，舉凡海底地形、地貌、地質、海水鹽溫、海流、重力、磁力等情資均須特別詳盡與精確，方能有效發揮其效能。其中海洋溫度結構對本軍各式海下作戰，特別是反潛作戰，有著決定性的影響，因為聲納裝備在海水中是否能充分發揮其性能，取決於聲音在海水中的行徑方式，這與海水密度分佈有關²；而影響海水密度的主要因素在不同的深度(壓力)為溫度與鹽度，除了在河川出海口或有大量淡水交換的地方外，在一般開放海域因日照變化、季節性氣候變化造成的海水溫度變化較鹽度為大，因此海水溫度對海水密度的分佈有著決定性的影響，加上臺灣

註1：陳琪芳、王崇武、梁克新、苑梅俊、李政恩，〈海洋聲學整合於反潛作戰戰術運用研析〉，第二屆國軍軍事作業研究與模式模擬論壇，民國94年3月8日。

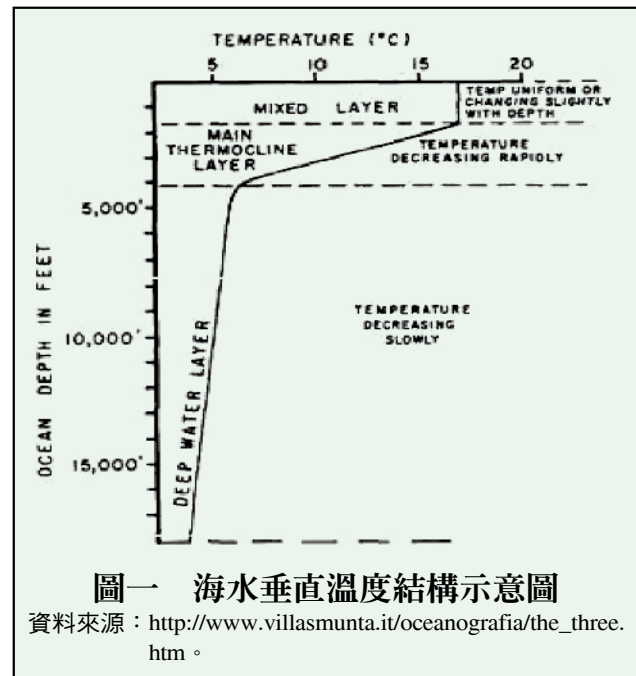
註2：毛正氣，〈臺灣周邊海域與反潛作戰〉，《海軍軍官季刊》，第27卷，第4期。

周邊海域海底地形複雜，位於太平洋海盆、菲律賓海槽、南中國海、臺灣海峽、沖繩海槽與琉球島弧匯集之處，此一獨特的地理位置，使得臺灣周邊海域的海洋溫度結構在空間及時間上的變化異常複雜，因此如何詳實掌握臺灣周邊海域的海洋溫度結構，實為我海軍在經營大氣及海洋戰場環境中，非常重要刻不容緩的工作。

海水物理特性中，溫度最難預測，也最為重要。本文將系統的介紹海水溫度與海軍作戰的關係；第二節將介紹海水的溫度剖面，包括等溫層、斜溫層及深水層，以及影響斜溫層(層次深度)的因素。其次介紹臺灣周邊海域海流系統與環境位置，以及臺灣周邊海域海水溫度分析，使讀者清楚瞭解到我自身「工作環境」的海水溫度現況；再者，另闢專欄介紹美軍在預報海水溫度上的努力。最後將介紹臺灣周邊海域層次深度的月平均值，期能給讀者一個基本水文概念，希我海軍軍官能瞭解海洋環境的優勢，能佔地利之便，確保主導戰場的能力、武器裝備充分發揮以及戰場人員安全³。

貳、海水的溫度剖面

海水溫度雖然少部分來自海底地層活動所產生的熱量，但主要來源仍為空氣與海水交界面的熱交換。太陽輻射能經大氣反射、散射與吸收後，到達海面之輻射量平均約每分鐘 0.221 kal/cm^2 ，若大氣中含煙塵或有雲層，輻射量則降低。海水的溫度介於 -2°C

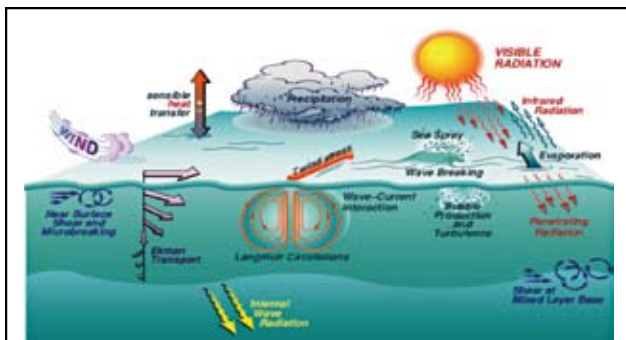


至 35°C 之間，其水平方向之變化雖較小，但在垂直方向變化卻很顯著。一般在高緯度區域的溫度變化大都呈等溫結構，變化較小，亞熱帶區域的層次變化較為明顯，赤道區的變化最大⁴。典型的海水溫度在垂直方向的變化大致上可分為三個層次：等溫層(又名混合層，Isothermal)、斜溫層(又名躍變層，Thermocline)、深海低溫層(又名深海層，Deep Permanent Thermocline)，如圖一所示。

海水溫度的分布結構，除地理位置外，與季節及當日陽光之加熱及海面擾動有密切之關連。冬季時，海水隔熱效用降低，且風浪較大，海洋表層之溫度得以混合，使恆溫表層溫度向下延伸。春季時，海洋表層溫度上升，若海面平靜或僅有輕微風浪，溫度將

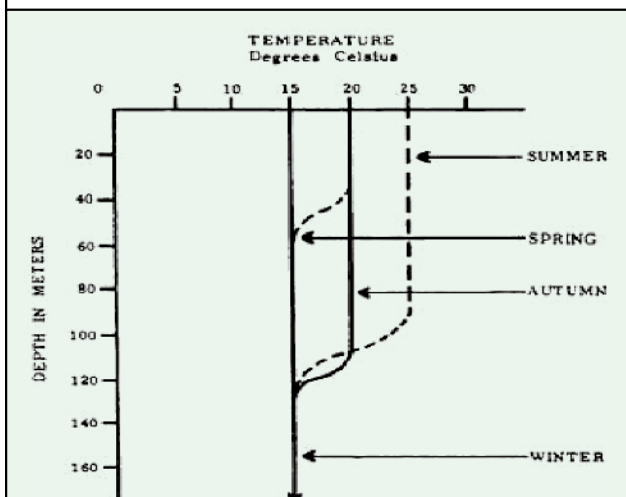
註3：毛正氣，〈濱海環境作戰參數與海戰場環境即時預報模式〉，《國防雜誌》，第22卷，第3期，頁6-32。

註4：毛正氣，〈海水的物理特性〉，《海軍軍官雙月刊》，第17卷，第3期，民國87年6月。



圖二 影響斜溫層深度(Thermocline Depth)的因素，海水中明顯的一條界線，軍事海洋學稱為層次深度(MLD，Mixed Layer Depth)

資料來源：<http://www.ocean-ipsl.upmc.fr/~cdblod/mlm.html>



圖三 濱海區域，季節氣候影響斜溫層深度

資料來源：http://www.villasmunta.it/oceanografia/the_three.htm

保持穩定之分布狀態(等溫層)；當海面有波浪運動時，海面下數公尺深之海水逐漸混合形成等溫層，使太陽輻射熱不再繼續往下傳導，故等溫層與下方海水之間形成一溫度梯度驟增之交界(斜溫層)。因此春夏之際，當海面受風吹而產生浪時，可觀測到逐漸加深

之表面等溫層，其下方變溫面之溫差亦加大；秋冬之初，海水表層隔熱作用逐漸降低，海面波浪增大，表層溫度逐漸下降，最後達冬季等溫狀態。因此，基本上深海水溫因不受表面風及氣溫影響，得以保持其原有之低冷溫度狀態，故形成「深海低溫層」。混合層一般位於海平面到25~200公尺的深度，因受到陽光照射，加上洋流及各種波浪的混合作用而形成。

造成這個等溫的表面層的原理很簡單，就是海水的表面被攪動—混合了；攪動的主要動力是風和日光的照射，但海流、雲的結構、降雨情形等也都會對混合能夠到達的深度產生影響(如圖二)。在海水與空氣的交界面，會因為風的吹動而發生擾動動能(Turbulent Kinetic Energy, TKE)，這些TKE在向外傳遞時，會使海水攪和，將熱往下搬運並消耗這些擾動動能；因此，表面層能夠到達的混合深度，就會隨著風力愈大而愈深，但也隨著日光照射對海水表面的增溫愈強而愈淺⁵。

依前述的混合過程為基礎，以臺灣周邊海域為例說明。由於海水熱量收支達到平衡的時間不在太陽直射地球最北和最南的夏至日或冬至日，所以海水溫度最高的時期不在6月而在8月，最低溫度時期不在12月而在1、2月。這種海水溫度變化滯後於天文季節變化的現象，使秋季的海水溫度比春季的為高，令溫度高於攝氏26-27℃的海域範圍在秋季遠比春季為廣(如圖三)。季節上的變化則是夏季大預測夏季之斜溫層深度(Thermo-

註5：陳企韶，〈簡介海水層次深度及其變化〉，《海軍軍官》，第11卷，第5期，民國81年5月。

cline Depth)小於數十公尺，而冬季可能大於100公尺⁶。

事實上，斜溫層深度除了有季節的變化外，還有每日的變化。一般說來，夜晚較深，白天較淺，而每一個小時都可能因為風、雲、降雨等天候因素產生立即的變化。這也是為什麼本軍要求反潛操演時應隨時採取BT剖面圖的道理之所在。事實上，如果要有效且精準的瞭解當地水文，單一溫度資料是不足的，而是需要以施放CTD⁷來採取當地導電度(Conductivity)、溫度以及深度，做為戰術規劃與裝備設定的參數，而現在美軍反潛作戰也都啟用資料蒐集較多資料的CTD來取代僅有單一溫度數據的BT了。

斜溫層是水溫隨深度極具變化的一個水層，通常這一層比較薄，它將水層分為上下截然不同的兩層。斜溫層會對聲波產生極大的影響，聲波由等溫層射入斜溫層時，發生強烈的折射，根據聲波折射定律(Snell's law)，聲線經斜溫層後間隔增大，也就是說聲束擴大，能量擴散了；此外，會有一部分聲能會向上反射。另外，經斜溫層傳播形會發生畸變。在某水域曾紀錄到頂端起伏不平，時間展寬數倍的信號，這些訊號給聲納接收裝備帶來了嚴重困難。如有這種情形，對線導魚雷追蹤目標影響最大；例如魚雷聲標接收到經過斜溫層的聲音信號，會經過一系列信號處理，並遵循一定的原則。因此，這

種變型的聲音信號給魚雷聲音接收器造成困惑，例如聲音通過斜溫層變而衰減，魚雷聲標可能檢測不到信號，或是信號脈寬判定過寬或過窄(變型)，亦有可能判定不是信號。再者，信號邏輯判斷信號時強時弱，導致魚雷聲標判定不是信號。這些因素會使魚雷在搜尋時，找不到目標或在跟蹤過程中丟失目標⁸。

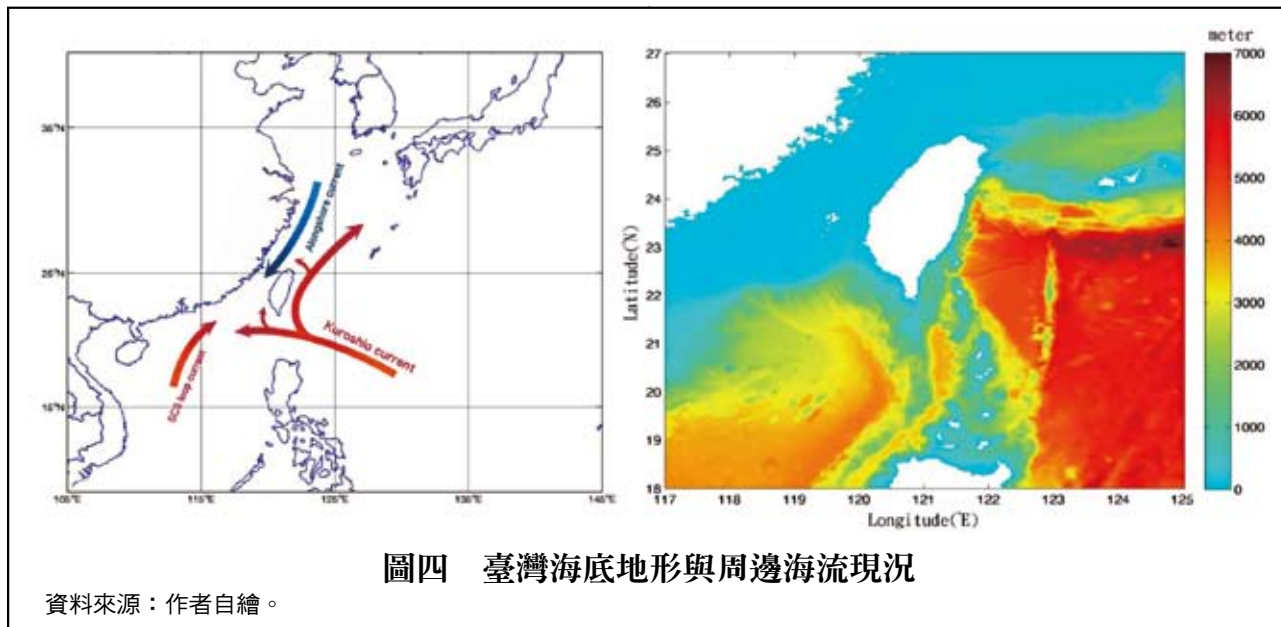
另外，斜溫層是海洋內波(Internal Waves)產生的地方，對潛艦航行安全有嚴重影響。海洋內波是發生在溫度、鹽度變化斜溫層的水下重力波。內波的產生必須具備兩個條件，一是海水密度分層，二是要有擾動能源，擾動使原本穩定的密度分層移位，繼之的重力復原效應(Recovery Force)引發了波動。海水的密度分佈通常處於不均勻狀態，大氣壓波動、引潮力、海底地震以及強海流與起伏海底地形相互作用是重要的擾動能源。內波在各種水深處均可形成。內波並不向海面波那樣僅僅水平傳播，內波提供了從海底到海面的能量傳播手段，所以內波會影響到整個海洋深度上的海水運動⁹。在產生內波處的波高比海面波波高大的多，可達幾百公尺；內波波長一般有幾百乃至上千公尺。在密度差較小的大洋中已經紀錄到內波週期長達12小時、振幅300公尺以上。這主要是由於海水密度和空氣密度的差異不同引起的。內波對潛艦航行、水下武器發射與水下

註6：陳企韶，〈海氣交互作用〉，《海軍軍官》，第17卷，第5期，民國87年10月。

註7：CTD-an acronym for Conductivity, Temperature, and Depth-is the primary tool for determining essential physical properties of sea water. It gives scientists a precise and comprehensive charting of the distribution and variation of water temperature, salinity, and density that helps to understand how the oceans affect life.(www.whoi.edu/instruments/)

註8：《海軍武器裝備與海戰場環境概論》，中國船舶重工集團公司編著，海軍出版社，北京，2007年。

註9：蔣國榮、張軍、施偉來、劉群燕，《海洋內波及其對海戰的影響》，氣象出版社，北京，2009年。



偵蒐裝備的使用嚴重的影響¹⁰。

參、臺灣周邊海域海流系統與環境位置

臺灣是太平洋板塊、歐亞大陸板塊與菲律賓板塊等三大板塊擠壓所造成的；同時亦形成臺灣周邊海域四大不同的海底地質與地勢；臺灣海峽、臺灣東北角、臺灣西南海域以及東岸深海底等四種(如圖四)。東岸水深深達4,000公尺以上，西岸卻是平均僅80-120公尺的臺灣海峽。四種地形的海水與海流驅動力完全不同；分別是南、北向的日、月潮在臺灣海峽臺中外海匯合，造成臺中港嚴重淤沙且潮差過大；流經水深4,000公尺的東岸黑潮主流在彭佳嶼外海轉向，離心力促使西太平洋深層冷海水上湧，造成廣大魚場。

臺灣東南海域是黑潮分流處；東北角是黑潮與大陸沿岸流(非親潮)海水交換處。臺灣位於大陸性冷氣團與太平洋暖氣團交匯處，氣候陰晴不定，加上夏季東南季風與冬季東北季風均影響海象與水流，水文狀況十分複雜^{11, 12, 13}。

臺灣周邊海域海水分布，主要受三大海流系統影響—黑潮、中國沿岸流與南海環流。黑潮，又稱日本暖流(Kuroshio Current)，是太平洋洋流的一環，為全球第二大洋流。黑潮起自民答那峨海流(Mindanao Current)，為北赤道反流，在臺灣東南海域黑潮因地型及地球自轉原因開始分裂為二，主流右轉沿著臺灣東部海底地型，往東北日本方向流去，並與親潮相遇後匯入東向的北太平洋洋流。支流穿過巴士海峽滯留並轉入臺

註10：同註8。

註11：毛正氣，〈濱海環境作戰參數與海戰場環境即時預報模式〉，《國防雜誌》，第22卷，第3期，頁6-32。

註12：羅建育，〈臺灣周邊海域海底地形之概述〉，《海軍軍官季刊》，第23卷，第3期，民國93年7月。

註13：楊穎堅，〈臺灣周邊海域流場〉，《海軍軍官季刊》，第22卷，第4期，民國92年11月。

灣海峽。黑潮流速約為100-200m/sec，厚度約在500-1,000公尺，寬度約200多公里。黑潮年平均水溫約攝氏24-26℃，冬季約為18-24℃，夏季可達22-30℃。黑潮也較鄰近的黃海溫度高7-10℃，冬季更可高出20℃。

南下到臺灣的海流是大陸沿岸之低溫、低鹽海水的中國沿岸流，主要水源是來自沿岸各個淡水河，如長江、黃河等。夏季時，沿大陸海岸向南流主要受西南季風與臺灣海峽北流的海水的影響，僅南流至臺灣海峽北端出口，並未大規模進入臺灣海峽，僅有少部分沿大陸沿岸(馬祖、東引附近)進入海峽。冬季時，中國沿岸流受東北季風影響會擴展至臺灣西岸，與高溫、高鹽之黑潮支流相遇，在臺海南端形成一海洋鋒面。

南海環流南海流場之研究，是目前受到全世界海洋界爭議最大部分，主要原因是受到戰略位置與資源的影響，觀測資料非常少，主要是依海洋數值模式進行模擬、分析，再由周邊海域的觀測資料進行驗證、推演而得來的整體海流系統概念。大致上，整個南海表層環流系統的變化，主要是受到季風的影響。冬季東北季風時期，南海表層環流主要為一大尺度(Basin-Scale)的氣旋式環流，而在此環流中的南北各成一中尺度(Meso-Scale)的氣旋式環流。夏季西南季風時期，南海表面流場主要為由越南東側13° N附近海域的東北向海流蜿蜒(Meandering)至呂宋島西北側。在此東北向海流的東南側，呈一反氣旋式環流，西北側海域則呈一氣旋式環流。而在季風轉換時期，上述之環流系統逐

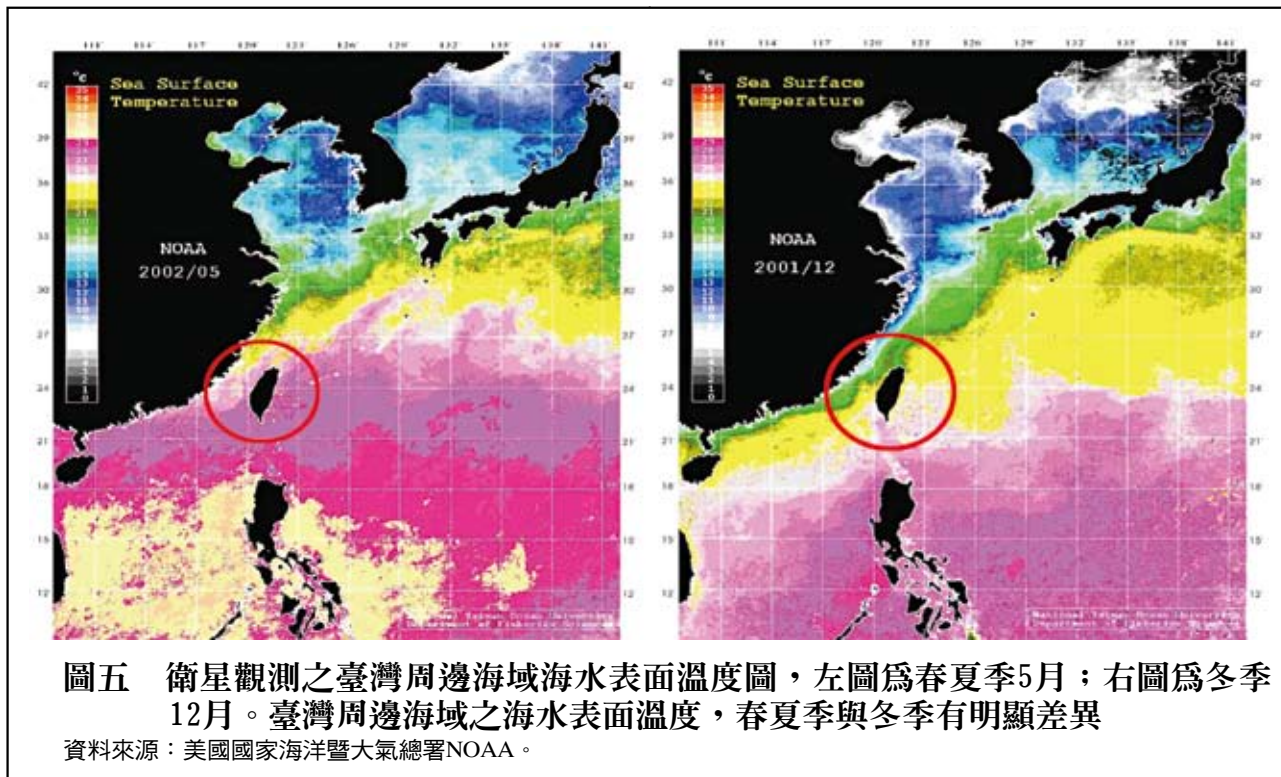
漸原地退化或形成渦旋(Eddy)向西或西南方向移動。黑潮大約於秋冬季(10月)開始由呂宋海峽入侵南海北部，並逐漸與南海北部的氣旋式環流結合，沿著南海西側南流至巽他陸棚，夏季時，黑潮入侵現象則侷限在臺灣西南側。在臺灣海峽則全年為北向海流，夏季的流速則較強，其冬季主要來源為黑潮水，夏季則來至南海水。冬季時，在巽他陸棚西側為南向流，而東側為北向流；夏季時，則與冬季相反。而在巴拉望島南北側的民多羅海峽及巴拉巴海峽附近海域，冬季時主要為西北向海流，夏季則為西南向海流¹⁴。

肆、臺灣周邊海域海水溫度分析

海洋熱結構的變化是漸近式的，水體長期主要是受氣候變化的影響，海水表面是受當日天氣的影響，海水表面溫度(Sea Surface Temperature, SST)的分佈主要受制於三個因素：海流(洋流與當地沿岸流)、季節效應及緯度，在洋流主流內的溫度受洋流本質特性的因素較季節性及緯度因素為大。季節性及緯度的因素包括下列作用：海水水平混合(Convective Mixing)、海水機械性混合(Mechanical Mixing)表面增溫、降雨、蒸發及冰的分佈。不同深度有不同的溫度分佈。

衛星觀測之臺灣周邊海域海水表面溫度顯示(如圖五)，溫度是以沿岸向外以東北-西南方向做漸層的變化，這與海底地形與大陸棚線相吻合的。圖五左圖為春夏季5月衛星觀測資料，觀測資料顯示臺灣海峽溫度約

註14：梁文德，〈南海海域之海流分佈〉，《海軍軍官》，第23卷，第4期，民國93年11月。

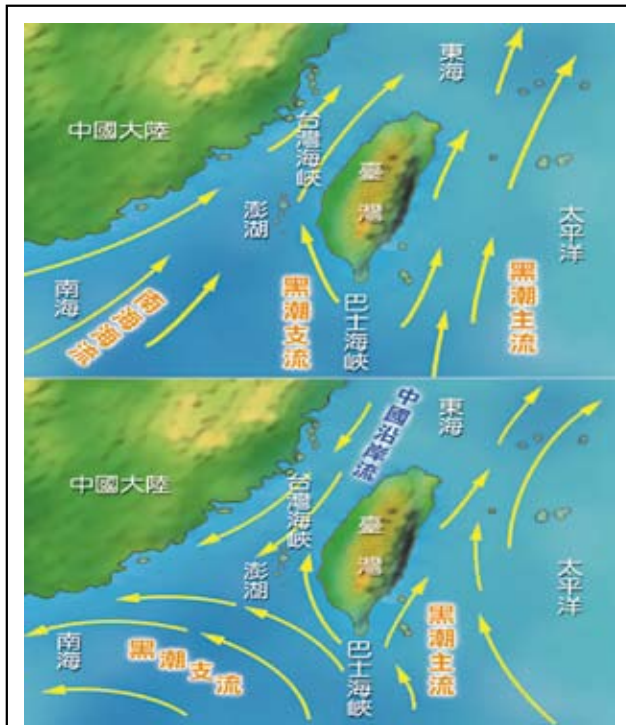


為 24°C – 25°C ，臺灣東北與西南走向為 26°C – 27°C ，東南海域溫度約為 29°C ；圖五右圖為冬季12月衛星觀測資料，觀測資料顯示臺灣海峽溫度約為 19°C – 20°C ，臺灣東北與西南走向為 23°C ，東南海域溫度約為 23°C 。整個臺灣周邊海域春夏天天與冬季，海水表面溫差達 5°C 。而這海水表面溫度的變化，卻與臺灣當地天候、海流系統有密切關連。

圖六顯示，夏季時，低溫、低鹽海水的中國沿岸流，沿大陸海岸向南流至臺灣海峽北出口，僅有少部分沿大陸沿岸之馬祖、東引附近進入海峽。冬季時，中國沿岸流受東北季風影響會擴展至臺灣西岸，與高溫、高鹽之黑潮支流相遇，在臺海南端形成一海洋鋒面。臺灣東北角海域(彭佳嶼附近海域)便存在兩個不同性質的水團，堆積在基隆外海

之大陸沿岸流及黑潮潮水)，在雲林彰化外海凸起之高海床(雲彰隆起)，南北各存在一個水團(南流沿岸流及北流黑潮支流)。

影響臺灣海峽海區的海水溫度化變化的因子以太陽輻射為主，其強度最高值一般出現在8月，最低值出現在2至3月間。全海區表層最高水溫值在 29.0°C 左右，最低值則差異較大。深、底層水溫極值出現時間則受地理環境影響而比較不規則，臺灣周邊海域在夏季時，上層海水因為高溫度、高鹽度的特性，形成強烈的季節性減溫層，更由於太陽輻射的日變化在夏季非常顯著，約在午後，表層海水受太陽直射增溫 3°C ，而夜間則因熱輻散，海面逐漸冷卻；若水面無風、浪或流的混合作用，則混合層次甚淺甚至沒有層次，水面艦的聲納音束點快速下彎，致使聲



圖六 流經臺灣附近的洋流主要黑潮主、支流，中國沿岸流，南海海流。下圖為夏季海流示意圖；上圖為冬季海流示意圖

資料來源：<http://dc311.4shared.com/doc/fdcQHzcq/preview.html>。

納偵測距離大減；換句話說，潛水艦可藉潛航於此層次之下接敵而不虞被偵測到。相反的，如果海水表層經過風、浪或水流的作用使層次混合，形成良好的表面導管，則除非潛艦能潛至更深處，否則便難逃過聲納的偵測範圍。

事實上，水文的研究，單靠溫度圖是不足的，而是要使用溫鹽圖(T-S Diagram)。鹽、溫度在物理上，並無一定的關係，一固定鹽度可為任何溫度，但常於一大水域，其

溫鹽組合是很固定的；表面海水的溫度和鹽度受到形成海域的氣候影響，下沉或流往它處，仍帶著原來的特性，因而自成一個水團。溫鹽圖上不同的曲線型態，可用來分辨出水源的來源。臺灣周邊海域的水文比較特殊，三大水流系統，各有明顯的溫鹽特色，易於分辨，而三水流匯流處為臺灣海峽，水深淺、流速急，加上潮流混合作用(臺中港潮差平均4.5公尺，最大可達6公尺)，三大水流系統的溫鹽特色早已充分混合了。因此有中國大陸書籍稱流經臺灣海峽的水流為「臺灣暖流」¹⁵。因此，臺灣周邊海域的溫度圖，足以解釋水文了。

圖七至圖九不同深度的海水溫度可以說明臺灣周邊海域的海水溫度變化的最重要的因素是太陽輻射(表面溫度與黑潮無關，與季節有關，並證明太陽輻射是最重要的因素)；而海底水溫四季變化不大，且似與海流(黑潮)有關。黑潮水文基本特性為高溫、高鹽，其流經臺灣本島南部時，因地形因素將黑潮原一分为二。黑潮在轉向處(彭佳嶼周邊海域)造成兩水團(堆積在基隆外海之大陸沿岸流及黑潮潮水)大幅度海水交換並促使臺灣東岸深層冷海水向上湧出¹⁶。

圖七是臺灣周邊海域水深20公尺時，四季溫度平均圖。春、秋及冬季，海峽的表面水溫明顯低於臺灣東岸的黑潮潮水，而臺灣海峽的低溫海水來自中國沿岸流，而夏季海峽海水，以黑潮支流與南海環流為主，經過夏天颱風過境風力攪動，明顯海峽水文環境

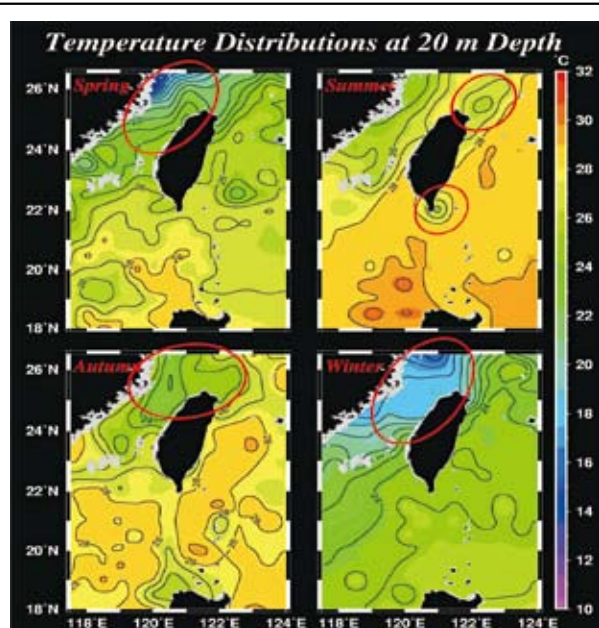
註15：熊學輝等，《中國近海海洋-物理海洋與海洋氣象》，海軍出版社，北京，2012年。

註16：Mau, J.-C. 1992. Internal tidal wave currents over the continental slope off Taiwan (KEEP project). M.S. Thesis. State University of New York at Stony Brook, USA

自成一系統，其 28°C 等溫線沿著中國大陸沿岸，等距離(約200公里)的發展。值得注意的是，臺灣東北角與臺灣屏東鵝鑾鼻附近(南灣)有一低溫區，溫度約為 24°C 左右。根據衛星浮標漂流軌跡統計的結果(Centurioni et al., 2004)，顯示夏季黑潮流軸較冬季大幅退出呂宋海峽，同時南海北部環流向東伸展。一般而言，典型南海水在120公尺以下的水溫比黑潮水大約低 4°C ，若逢大潮期間，呂宋海峽內強烈的內潮現象持續將較冷的南海次表層水往海面湧升，加上垂直混合效應，使得南灣近岸底層水溫下降；大潮過後，內潮的湧升現象減緩，南灣水溫也隨之逐漸回升¹⁷。

黑潮是影響臺灣周邊海域海洋環境的一股強勢暖流，由低緯度挾帶大量高溫、高鹽之海水進入臺海海域，經與其他水團接觸後，不均勻之鹽、溫分佈突顯其強烈之斜溫層特性。臺灣與大陸間海域屬大陸性冷水團，在與黑潮暖水相接處形成一強烈鋒面，為不穩定區域。除了水團特性之影響外，臺灣周邊海域海水鹽溫之垂直分佈受到日照、氣象等因素影響，有不同週期之變化，一般而言，當陽光強烈時，海面水溫高，海水密度較小，如果當時海面的風弱，則密度小的海水浮在表面，無法與下層海水混合，形成強烈的表面斜溫層；反之當陽光較弱，表面海水冷而密度大，增加下沉的趨勢，再加上海面風力強，強力攪拌上層海水，致使上層海水垂直混合後形成一較深之混合層。

當黑潮到達臺灣東北角時，由臺灣通道



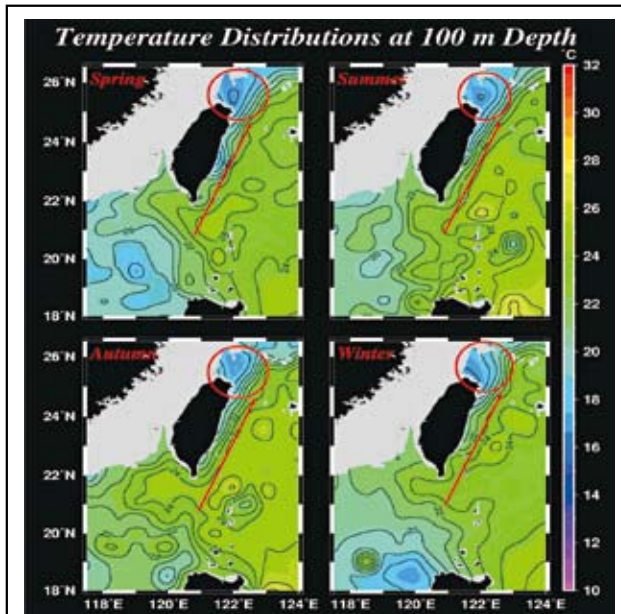
圖七 臺灣周邊海域水深20公尺時，四季溫度平均圖。春、秋、冬季中之紅圈表示低溫區域，此現象顯示有中國沿岸流(水溫較低)流進臺灣海峽之中。夏季紅圈表示湧升流

資料來源：臺灣海洋科技研究中心。

進入沖繩海槽之後，便受到東西方向200公尺深的東海陸棚阻擋，使黑潮主流的流向由原本之北流轉為東流，之後路徑以200公尺等深線的走向接近，大約沿著東海陸棚的邊緣流動。而黑潮分支則棉花峽谷跨過陸棚邊緣進入東海陸棚。

在此黑潮分支的西側，有一反時針旋轉的冷漩渦湧升流區域，冷水主要來自遇地形抬升的黑潮次表層水，根據冬夏季的平均流場，發現有季節性的差異。夏季時此東北海域的冷渦反時針流場在上下層可看見，位置約在棉花峽谷與北棉花峽谷之間；冬季時，

註17：張國平，〈南灣內夏季1-4週溫降與回升現象原因之探討〉，中央大學，碩士論文，臺灣，桃園，2006年。

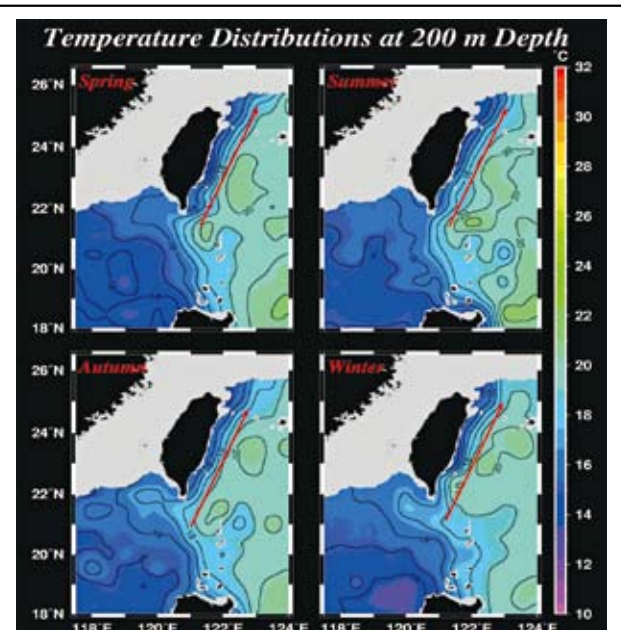


圖八 臺灣周邊海域水深100公尺時，四季溫度平均圖。紅圈表示低溫區域，此現象顯示有深層冷海水向上湧出；紅色箭頭表示黑潮主流

資料來源：臺灣海洋科技研究中心。

則僅下層有反時針流場，上層冷水團與上層環流型態均無法得見。除了季節性的變化週期外，也發現此冷渦流場有約30天的季節內變化週期。根據上層剖面的時序資料以及上層海流空間分布的對比，相信此冷渦湧升流(Eddy-Upwelling)區域的季節性變化與季節內變化的原因，來自黑潮的擺動週期與擺動特性¹⁸。

圖八顯示水深100公尺時的海水溫度。東北角的湧升冷水團還存在，溫度約 16°C – 17°C ，由海水溫度等溫線得知，湧升冷水團的水源來自黑潮的底部。夏、秋兩季，黑潮水流溫度約為 24°C ，臺灣東南海域海水溫



圖九 臺灣周邊海域水深200公尺時，四季溫度平均圖。紅色箭頭表示黑潮主流。

資料來源：臺灣海洋科技研究中心。

度約為 22°C ；春、冬兩季，臺灣東南海域海水溫度約為 20°C 。值得注意的是在水深100公尺時，在臺灣與菲律賓連接海域—巴士海峽(又名呂宋海峽Luzon Strait)已經形成一等溫線(21°C – 23°C)。等溫線的物理意義是在於容易形成等聲速線(需配合鹽度與壓力)。等聲速線如同大氣的等壓線(Isobar)一般，沒有風能穿越等壓線，僅能依等壓線來運動的。

圖九顯示水深200公尺時的海水溫度。可以說明臺灣東岸的黑潮是主要控制海水溫度機制¹⁹。黑潮主流溫度約 20°C ，臺灣東邊沿岸溫度約為 18°C ，西南海域水溫約為 16°C

註18：陳伯姿，〈臺灣東北部海域的黑潮〉，《中正學報》，第8期，臺灣，高雄，2006年。

註19：Tseng, C., C. Lin, S. Chen, C. Shyu, 2000：Temporal and spatial variations of sea surface temperature in the East China Sea. Continental Shelf Research, 20, pp.373-387.

。在這深度以下，臺灣周邊海域的溫度，大致就如圖九，變化不大，這也就是說，臺灣周邊海域的海水溫度的就是從表層往下100公尺，如何掌握這100公尺的垂直溫鹽變化與趨勢，就是我們重要的課題。

伍、臺灣周邊海域月平均層次深度

其實海洋界並沒有使用層次溫度(Mixed Layer Depth)這參數或是定義來進行海洋研究，僅少部分學者使用海洋混合層(Ocean Mixed Layer)的名詞，但大部分海洋學者皆認為為斜溫層是有寬度的，即使很薄也不能用一點來表示。作者研究美國海軍海洋預報多年，也發現美海軍也不再使用層次深度的這個簡單數字做為戰術運用的參考，進而取代使用「海水溫度結構」資料；而中共海軍與海洋界亦不使用此名詞與定義，他們強調的是「躍變層」(斜溫層)的預報。至於我軍長期使用層次溫度這名詞，其界定與變化攸關海軍反潛作戰聲納的拍發及艦船戰術運動作為，請參閱陳企韶所著「簡介海水層次深度及其變化」中說明²⁰。

雖然海洋物理參數如溫度等，月平均值並沒有特別的物理意義與在科學研究上並不能特別代表什麼，但至少給讀者一個基本的概念。但如果能有每日逐時的海水溫度與層次溫度，那在科學研究與軍事運用上，意義就不同了。圖十顯示臺灣周邊海域春季(4月)沒有層次深度，而夏季(7月)除臺灣東岸之

外，其於海域海水攪拌海均勻，並沒有層次深度。秋季(10月)層次深度約少於50公尺，臺灣東北角與西南海域海水因地形與水流的關係，海水混合狀況良好，也沒有層次深度。冬季(1月)層次深度約如同秋季，東北角與西南海域海水混合狀況良好，並沒有層次深度。

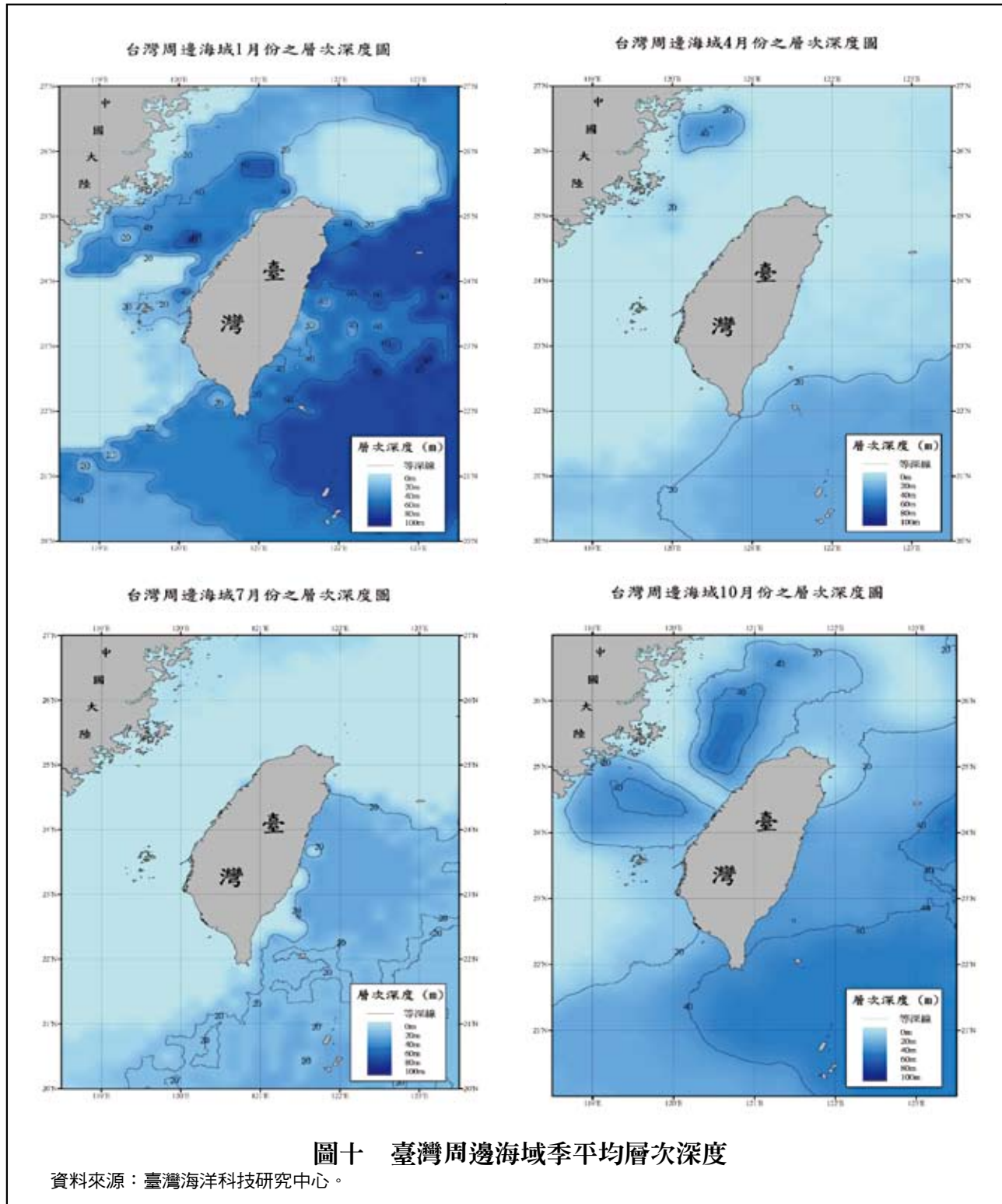
臺灣附近季節性風場與日照的特性，再增加淡水對層次深度影響，筆者將臺灣周邊海域依地形分成東部深水海域、西南部大陸斜坡海域、西部海峽淺水海域、和北部大陸棚海域等四大區域進行分析²¹。

東部為深水海域，離岸數哩之水深即達4千公尺以上，在聲音傳遞路徑中會形成匯音區。東部的淡水注入量不大，僅有蘭陽、立霧、與秀姑巒等小型溪流，除夏、秋二季颱風時會攜帶大量的降水外，鹽度變化僅在河流出海口有顯著差異，大部分海域之垂直密度結構以溫度為主。在本海域冬季日照較弱，水體垂直密度差很小，而東北季風平均風速約20m/sec，層次深度可達近百公尺；夏季日照強，水體垂直密度差大，而西南季風平均風速小於10m/sec，層次深度為淺；春秋二季，季平均風力雖小但陣風變化極大，春季又屬梅雨季而有較大量之淡水輸出，且因雲多故日照時間不定，就理論而言，層次深度的瞬時變化極為劇烈。

西南海域為大陸坡地形，水深雖自岸向西南方漸降可達3千公尺，但不易形成匯音區；本區內有東港、高屏、鹽水、與阿公店

註20：陳企韶，〈簡介海水層次深度及其變化〉，《海軍軍官》，第11卷，第5期，民國81年5月。

註21：陳企韶，〈海氣交互作用〉，《海軍軍官》，第17卷，第5期，民國87年10月。



等溪流，其中以高屏溪注入淡水的量最大，淡水會懸浮在海水上，並被黑潮支流帶向北方，形成一與岸平行的鹽度鋒面；雖然季風與日照情形與東部海域相同，但是此鹽度鋒面將使得近岸與離岸的層次深度迥然不同。

臺灣海峽是標準的淺水海域，平均水深約80-120公尺；海峽兩岸都有大量的淡水輸入，經常在海峽中線靠臺灣側存在一溫鹽鋒面，加上水淺故潮流極強，水流受海底摩擦力作用也會產生擾動混合的功能；因為此區層次混合的動力是來自於海面與海底兩方面，而鹽度差異非常重要。

北部海域是典型的大陸棚海域，平均水深在100-200公尺間；但是此區也是東海水、長江水、臺灣海峽水、黃海海流、與黑潮水的交會處，水體的來源繁複且水性迥異，使得此區存有多道溫、鹽鋒面；在同樣的日照與風場下，這些鋒面是劃分不同層次深度的界限。

陸、美軍現行海水溫度預報現況²²

美國海軍在溫度結構預報上，分為建立海水溫度觀測資料庫、海洋熱動力模式預測，及海洋環境資料融合（又譯「同化」，Assimilation）與分析等三個階段來進行；這三個階段分別為最佳化海洋溫度內插系統（Optimum Thermal Interpolation System, OTIS）、熱動力海洋模式（Thermal Dynamic Ocean Prediction System, TOPS）與海洋環境資料融合系統（Modular Ocean Data Assimilation System, MODAS）。

一、最佳化海洋溫度內插系統(OTIS)

OTIS主要的目的在處理所有可用的即時觀測資料，產生海水溫度資料庫。所有的即時觀測資料都必須與現有的歷史分析資料進行比對並驗證，且因為目前海洋氣象即時觀測資料在空間上並非均勻分佈的，因此還必須用數學方式(OI)加以平滑化(Smooth)，以便能在所需的網格點上，產生適當的溫度資料。

目前OTIS作每日全球資料融合的即時資料約包含200個固定式或漂流式觀測浮球傳回的資料、250個由美國海洋大氣總署(NOAA)繞極衛星量測之熱紅外線(Infrared, IR)雷達影像所求得的多頻道海水表面溫度(MCSST)。

二、熱動力海洋模式(TOPS)

TOPS主要是一個混合層模式包含了海表至水深400公尺的溫度、鹽度及動量守衡方程式。TOPS的起始條件由OTIS方式所提供，海表的邊界條件(如海表風剪力及熱通量)則由美國海軍全球或區域性氣象數值模式NOGAPS或NORAPS提供。TOPS每日運算時，均加入當日OTIS處理的資料。TOPS的預測結果將與次日的OTIS之資料進行比對，以確保資料準確率。OTIS/TOPS兩系統如提供即時而精確的海洋溫度結構預報，並直接輸入其聲學預測模式中，計算聲納效能，對美國海軍全球大洋水下作戰而言，實是莫大的助益。

三、海洋環境資料融合系統(MODAS)

模組化海洋資料融合系統(Modular Ocean Data Assimilation System, MODAS)

註22：黃明哲，〈「本軍海洋溫度結構預報」之發展現況與展望〉，《海軍軍官季刊》，第24卷，第4期，頁22-28。

是一套海洋實測資料與數值結果相融合(As-similation)與分析工具，由融合各種不同的海洋觀測資料到一個起始的溫度與鹽度場之後，建立精確、高解析度、三度空間的海水溫度與鹽度網格。MODAS的產品用來預測聲速環境狀況，相當準確。

美國海軍對海洋溫度結構(特別是混合層)用盡各種方法進行預報。美國海軍在海洋環境分析及預報所作的努力與所投資在觀測資料蒐集、分析、研究、預測系統開發與測試評估的經費與人力都十分可觀，其目的無非是支持其海軍在全球用兵上，運用海洋環境分析與預測成果做為其順利遂行各項獵雷、戰場打擊等任務，從波灣戰爭的過程檢討來看，現代的戰爭模式已非完全由武器裝備所主導，戰場環境的經營也佔了必要的因素。

捌、結語

海水溫度對海軍水下作戰的重要性，眾所皆知，但想要精準預報水下溫度剖面，卻十分不易，也唯有能精準預報水下溫鹽剖面資料，這些數值方法才有意義，也才能精準預測目標與投射武器。美國海軍在海洋環境分析及預報所作的努力與所投資在觀測資料蒐集、分析、研究、預測系統開發與測試評估的經費與人力都十分可觀，其目的無非是支持其海軍在戰術運用上，善用地利之便，趨吉避凶，發揮武器裝備應有的效能。

臺灣周邊海域複雜的海洋環境，對我海軍作戰艦艇各項武器裝備效能，在各個不同的海域也會不同的影響，其複雜程度決不亞

於美國海軍所面對的海洋環境。本文的目的，是讓海軍軍官有系統的瞭解臺灣周邊海域海水的溫度，包括混合層、斜溫層以及深水層，以及影響層次深度的因素。並介紹臺灣周邊海域海水環境與臺灣周邊海域海水溫度分析，讓讀者清楚瞭解到我自身海水溫度現況，希我海軍軍官能瞭解環境的優勢，佔地利之便，確保主導戰場的能力、武器裝備充分發揮以及戰場人員安全。另借由美國海軍對海洋環境分析與預報的發展經驗，做為我軍建立海洋環境資料庫與發展海水溫度數值模式的參考，以充分充實海軍戰備，支持我海軍作戰。

<參考資料>

1. Centurioni, Luca, R., Pearn P. Niiler and D.K. Lee(2004), Observations.
2. Chuang, W.-S., and W. D. Liang, 1994: Seasonal variability of intrusion of the Kuroshio water across the continental shelf northeast of Taiwan. J. Oceanogr., 50, pp. 531-542.
3. Hsueh, Y., 2000: The Kuroshio in the East China Sea. Journal of Marine System, 24, pp. 131-139.
4. Liang, W.-D., T. Y. Tang, Y. J. Yang, M. T. Ko, and W.-S. Chuang, 2003: Upper-ocean current around Taiwan. Deep-Sea. Res. Part II, 50, pp. 1085-1105.
5. Lin, S. F., T. Y. Tang, S. Jan, and C. J. Chen, 2003: Taiwan Strait current in winter. Cont. Shelf Res.,

accepted.

6. Liu, C.-T., 1983: As the Kuroshio turns: (1) Characteristics of the current. *Acta Oceanogr. Taiwanica*, 14, pp.88-95.

7. Liu, K.-K., T. Y. Tang, G.-C. Gong, L.-Y. Chen, and F.-K. Shiah, 2000: Cross-shelf along nutrient fluxes driven from flow fields and chemical hydrography observed in the southern East China Sea off northern Taiwan. *Cont. Shelf Res.*, 20, pp.493-523.

8. Mau, J.-C. 1992. Internal tidal wave currents over the continental slope off Taiwan (KEEP project). M.S. Thesis. State University of New York at Stony Brook, USA.

9. of Inflow of Philippine Sea Surface Water into the South China Sea through.

10. Tang, T. Y., and Y. J. Yang, 1993: Low frequency current variability on the shelf break northeast of Taiwan. *J. Oceanogr.*, 49, pp.193-210.

11. Tang, T. Y., J. H. Tai, Y. J. Yang, 2000: The flow pattern north of Taiwan and the migration of the Kuroshio. *Cont. Shelf Res.*, 20, pp.349-371.

12. Tang, T. Y., J. H. Tai, Y. J. Yang, 2000: The Flow Pattern north of

Taiwan and the migration of the Kuroshio. *Continental Shelf Research*, 20, pp.349-371.

13. Tseng, C., C. Lin, S. Chen, C. Shyu, 2000: Temporal and spatial variations of sea surface temperature in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 20, pp.373-387.

14. Wu, C.-R., T. Y. Tang, S. F. Lin, Y. J. Yang, and W.-D. Liang, 2005: Intra-seasonal variation in the velocity field of the northeastern South China Sea. *Continental Shelf Research*.

15. 中國船舶重工集團公司編著，《海軍武器裝備與海戰場環境概論》，海軍出版社，北京，2007年。

16. 毛正氣，〈臺灣周邊海域地形、地勢與底質對海軍作戰的影響〉，《海軍軍官雙月刊》，第17卷，第3期，1998年。

17. 毛正氣，〈臺灣周邊海域海水的物理特性與現象〉，《海軍軍官雙月刊》，第17卷，第5期，1998年。

18. 毛正氣，〈海水運動及其動力〉，《海軍軍官雙月刊》，第17卷，第4期，1999年，頁65-74。

19. 毛正氣，〈濱海環境作戰參數與海戰場環境即時預報模式〉，《國防雜誌》，第22卷，第3期，2007年，頁6-32。

20. 毛正氣，〈臺灣周邊海域與反潛作戰〉，《海軍軍官季刊》，第27卷，第4期，2008年，頁26-41。

21. 辛宜佳，〈東海及其鄰近海域數值模式研究〉，國立臺灣師範大學地球科學研究所，碩士論文，臺灣，臺北，2003年。

22. 張國平，〈南灣內夏季 1-4週溫降與回升現象原因之探討〉，中央大學，碩士論文，臺灣，桃園，2006年。

23. 梁文德，〈南海海域之海流分佈〉，《海軍軍官》，第23卷，第4期，2007年。

24. 陳企韶，〈簡介海水層次深度及其變化〉，《海軍軍官》，第11卷，第5期，1992年。

25. 陳企韶，〈海氣交互作用〉，《海軍軍官》，第17卷，第5期，1998年。

26. 陳伯姿，〈臺灣東北部海域的黑潮〉，《中正學報》，第8期，臺灣，高雄，2006年。

27. 陳琪芳、王崇武、梁克新、苑梅俊、李政恩，〈海洋聲學整合於反潛作戰戰術運用研析〉，第二屆國軍軍事作業研究與模式模擬論壇，臺灣，左營，2005年3月8日。

28. 黃明哲，〈本軍海洋溫度結構預報之發展現況與展〉，《海軍軍官季刊》，第24卷，第4期，2005年。

29. 楊穎堅，〈臺灣周邊海域流場〉，《海軍軍官季刊》，第22卷，第4期，1993年。

30. 熊學輝等，《中國近海海洋—物理海洋與海洋氣象》，海軍出版社，北京，2012年。

31. 劉康克、劉家瑄，《二十一世紀海洋臺灣》，臺北市，科學月刊雜誌出版社，國家海科中心發行，2002年。

32. 盧鴻復，〈臺灣東北海域模式流場分析〉，國立臺灣師範大學地球科學研究所，碩士論文，臺灣，臺北，2004年。

33. 戴昌鳳，《臺灣的海洋》，臺北縣遠足文化事業有限公司，2003年。

34. 羅建育，〈臺灣周邊海域海底地形之概述〉，《海軍軍官季刊》，第23卷，第3期，民國93年7月，2004年。

作者簡介：

毛正氣先生，備役海軍上校，海軍官校77年班，美國紐約州立大學石溪分校海洋環境科學碩士，美海軍參謀學院2000年班，美國紐約州立大學石溪分校海洋暨大氣科學博士，現服務於民間公司。

老軍艦的故事

美漢軍艦 LSM-355



美漢艦是民國48年2月6日，美國將該艦和另一艘中型登陸艦贈予我國，由我當時駐美海軍武官池孟彬上校及美軍第十三軍區參謀長於西雅圖代表雙方政府舉行交接典禮。我國海軍於接收該艦後立即成軍，命名為「美漢」艦，編號為251，隨即駛往美國聖地牙哥接受為期2個多月的成軍訓練，完成後於5月7日與另一艘中型登陸艦(美文艦)同時啟程，在民國6月24日返抵左營，即奉令隸屬登陸艦隊司令部，開始正式服勤，擔任外島運補等各項任務，民國49年9月1日奉令改隸登陸第二艦隊，並於民國54年元月1日改編號為355，服勤期間曾參加「復國」、「銀鋒」、「鐵拳」、「武昌」、「武嶺」等多次演習，均有很好成果。該艦在服勤12年後，由於裝備老舊，維修困難。無法繼續服勤，乃於民國60年元月16日奉令功成除役。(取材自老軍艦的故事)