

# 澎湖南方四島海域水文環境及底質的觀察

王玉懷<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>國立中山大學海洋科學系；<sup>2</sup>通訊作者 E-mail: yhwang@nssysu.edu.tw

**[摘要]** 澎湖南方四島於 2014 年成為我國第 9 座國家公園，對海底形貌、附著棲息之生物、水文環境等，希望多一點認識。藉由全區水下定點照相，測線上之海流、溫度、鹽度及底床側掃聲納等量測，分析顯示海流主要受到潮汐影響，漲潮向北流，退潮向南流，實測最大流速  $2.3 \text{ m s}^{-1}$ ；海流以夏季較強，因受西南季風增強南海暖流的效果。溫度在表層約  $30^\circ\text{C}$ ，底層約  $20^\circ\text{C}$ ，主要是日照的效應。鹽度介於 32.7~34.6‰，水團特性屬南海水，部分表水受到降雨及河川排水混合稀釋。南方四島地質以玄武岩為主，海底主要以礫石、礁石為主。軟珊瑚可以在較深海域發現，石珊瑚與藻類主要分布在島周圍較淺的礁石區域，珊瑚礁的覆蓋率與水深(光度)有關。水深 30 m 以內，珊瑚普遍生長良好，建議加強保育，避免人為汙染與破壞。

**關鍵字：**海流、水溫、鹽度、底質、珊瑚礁

## Observations of Oceanic and Benthic Types in the Four Islands of Southern Penghu

Yu-Huai Wang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University; <sup>2</sup>Corresponding author E-mail: yhwang@nssysu.edu.tw

**ABSTRACT** The southern four islands of Penghu were established as the ninth national park of Taiwan in 2014. This study was conducted to gain more understandings about the hydrographic environments and benthic habitats there. In this study, two cruises of field observations were conducted in 2012 using hydrographic instruments, a tow camera and side scan sonar. Analysis of observed data revealed that the currents were dominated by tides, southward in ebb and northward in flood with maximum speed of  $2.3 \text{ m s}^{-1}$ . The flow in the summer was enhanced by the southwestern monsoons and the warm current of South China Sea (SCS). The water temperature was approximate  $30^\circ\text{C}$  at the surface, dominated by solar radiation, while the bottom temperature dropped to  $\sim 20^\circ\text{C}$ . Salinity ranged 32.7~34.6‰ with salty water in the bottom, which mostly originated from SCS. The river outflow from Taiwan and rainfall may have diluted the surface salinity. The geology background of southern Penghu was volcanic basalt. The observed benthic types were dominated by rock in the shallow water around the islands. Sandy bottom and gravel/pebbles were observed in the deeper water. The bottom habitats were mainly hard coral in the rocky substrate. There were algae associates and corals in the shallow rocky region. A few soft corals can be found in the deeper gravel bottom. Statistics suggest that the bottom coverage rate of coral is related to water depth (light). It appears that the coral reef grows very well in the rocky bottom at less than 30 m, indicating that human disturbances and pollutions should be avoided there.

**Keywords:** ocean current, water temperature, salinity, benthic habitat, coral reef

## 前言

澎湖南方四島之環境開發度低，人文地景與自然保育條件良好(于錫亮 2011，楊博淵 2011)，具有發展為優質國家公園的潛力。澎湖海域受中國沿岸流、黑潮支流及南中國海季風流的交互作用，水團隨季節有多樣性的變化；海床基礎為火山熔岩的玄武岩基質，可提供珊瑚、海藻及其他底棲生物附著空間，構成生物多樣性甚高的亞熱帶珊瑚礁生態系。澎湖南部海域諸島的地勢平坦，潮間帶寬廣，海底深度下降平緩，有些地區自海岸向外延伸超過十公里都是適合珊瑚生長的环境，因此珊瑚及其形成的珊瑚礁，是澎湖海域生態系的基石。2008 年之澎湖寒災(楊嘉慧 2008，Lee *et al.* 2013)，其範圍南界至東西嶼坪海域北方為止，東西嶼坪以南部分並未遭受寒害，形成能夠保護海洋生物之種源庫(謝恆毅 2008)。為瞭解當地資源情況，海洋國家公園管理處針對澎湖南方海域東嶼坪、西嶼坪、東吉嶼及西吉嶼等四島，以及周邊島嶼海域與陸域生態資源、地形地質景觀等進行調查(林俊全 2009，鄭明修 2009)。澎湖南方四島國家公園劃設範圍，面積達 380 km<sup>2</sup>，海域較深處的水深超過 100 m，為進一步了解廣闊水域內之底質棲地類型，對澎湖南方四島海域進行大範圍的調查，包括海域海流水文及底質等(王玉懷 2012)。本文依據 2012 兩季的水文調查，結合海底攝影，包括測線上 50 個測站及島近岸海域 56 個測站，並引用 2009 年的 24 個測站(鄭明修 2009)，分析澎湖南方四島海域棲地類型分布。

## 材料與方法

2012 年執行的探測範圍(圖 1)，為北緯 23 度 12 分 4.55 秒至北緯 23 度 19 分 28.96 秒，東經 119 度 27 分 51.09 秒至東經 119 度 43 分 4.23 秒，南北約 13.6 km、東西約 27.9 km，以每 3 km 為間隔，共設 5 條測線，於每條測線上規劃 10 個測點，共 50 個測點，進行溫鹽儀

水文量測、水下棲地攝影、側掃聲納測繪及拖曳 ADCP 測流等，另於東嶼坪和西吉嶼間深水處佈放一組錨碇溫度串，測站如圖 1 所示。2012 年 5 月及 9 月各執行一次，每次海上作業 4 天，以雙船分工合作沿測線及點位探測。

海上探測於拖曳架上裝載 ADCP(RDI WH 300KHz)、水質儀(Hydrolab DS5)等儀器，設定高頻(每秒)取樣，沿著規劃測線使用漁船，以船速約 3-5 節拖曳儀器，量測海流剖面及表水溫鹽，因為海流以南北向為主，船隻測流以東西向航行，可以減少流速與船速間之干擾；於拖曳同時，為增加了解底床類型，輔助以側掃聲納(Klein 3000)，沿航線連續測繪，事後依 GPS 定位予以合併為影像拼圖(Mosaic)，由灰暗色調對比，判讀不同之海床地貌特徵。另一艘船執行溫鹽垂直剖面探測及海底照相，到達規劃測站時，停船下水水質儀(Idronaut 316plus)，設定每秒記錄一次，從表層到近海底，測得各定點整層的水溫、鹽度等，共 50 個定點；同時，以攝影器材(RCU Inspeccam LX, 752 x 582 pixels, with 300 m cable)拍攝底床棲地類型。棲地物種的辨識方法，從每個測站的影像中擷取至少 3 張照片，用 CPCe 軟體(Kohler and Gill 2006)以 10 x 10 撒點的方式，每張照片取 100 個點，估計沙、礫石、礁石、石珊瑚、軟珊瑚等的覆蓋率。又選定東嶼坪和西吉嶼間深水處，佈放一錨碇溫度串(圖 1 三角形位置)，溫度計(RBR TDR2050p)從表層至底層，每 4 m 一層、設定 5 分鐘一筆取樣，連續 72 小時觀測溫度在各深度的時間變化。

## 結果與討論

### 一、海流

本區海流主要受潮汐的影響，呈現漲退潮往復之流場，因此將觀測到的海流依漲退潮時間，區分成漲潮時段(圖 2)與退潮時段(圖 3)，圖中棍棒長度代表海流速度，棍棒指向代表海流方向，左上角為潮位(細線)變化及量測

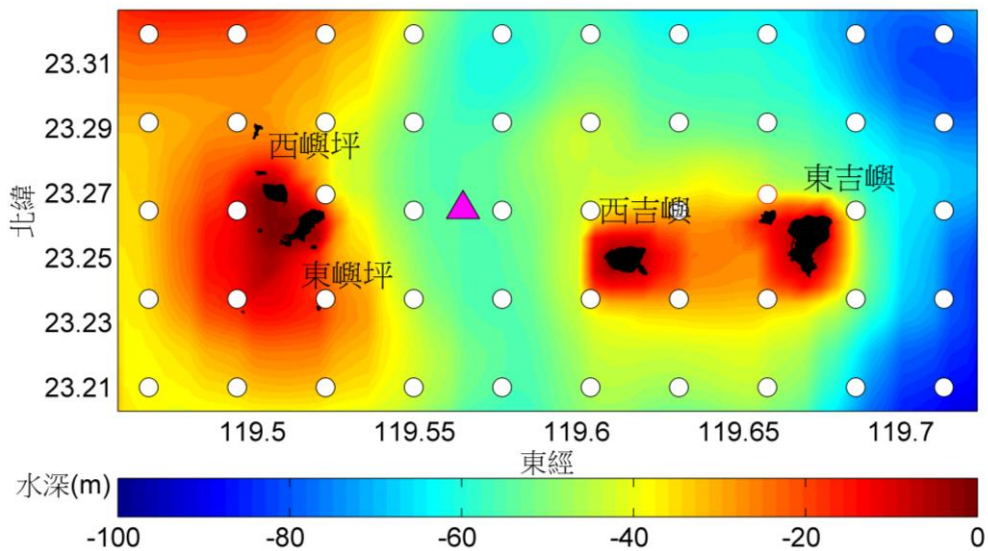


圖 1. 測線點位圖。南北 3 km 間隔共 5 條測線，每條測線上 10 個測點，共 50 個測點(○)。每個測點進行溫鹽剖面量測及水下攝影；沿測線(東西向)拖曳 ADCP 測流及側掃聲納測繪；另於東嶼坪和西吉嶼間深水處(△)佈放一錨碇溫度串。圖中色階表示水深，標示於圖之下方(單位為公尺)

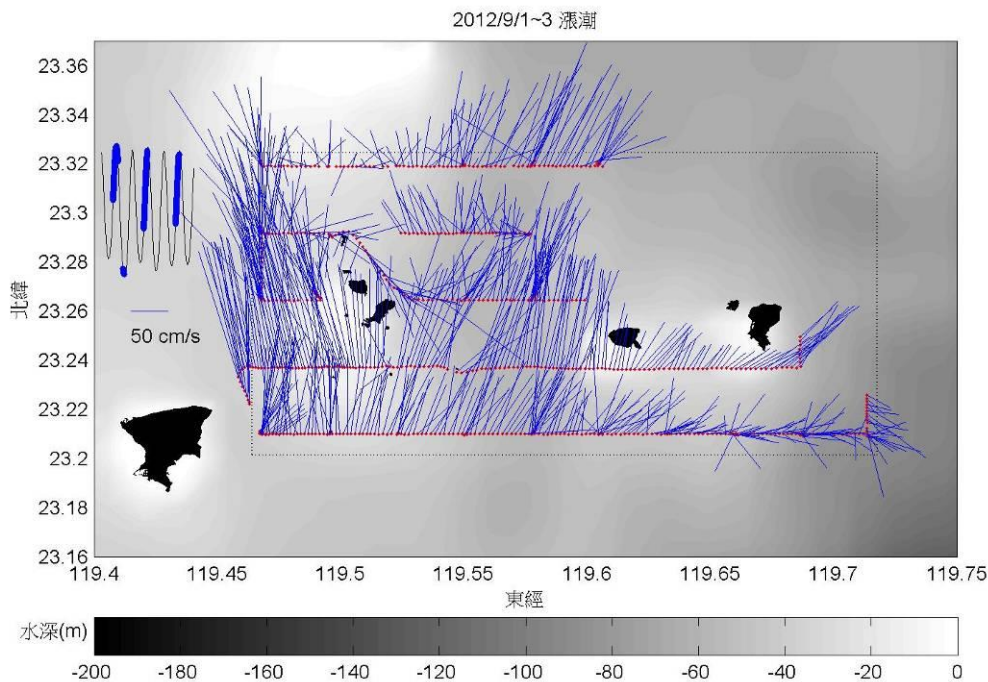


圖 2. 澎湖南方四島漲潮時段表層海流棍棒圖，觀測時間為2012年9月1~3日

海流時的潮位(粗線)。圖 2 中漲潮時段海流主要向北流，量測到的最大流速為  $2.3 \text{ m s}^{-1}$ ，全區平均流速為  $0.92 \text{ m s}^{-1}$ 。圖 3 顯示退潮時段海流主要向南流，退潮時的最大流速為  $2.3 \text{ m}$

$\text{s}^{-1}$ ，全區平均流速為  $0.85 \text{ m s}^{-1}$ 。受到地形影響，島嶼附近的流場變化較大，甚至有旋轉的情形。強流區分布在四個島的西邊與東北邊，以及東嶼坪與西吉嶼的中間。海流在垂直方向

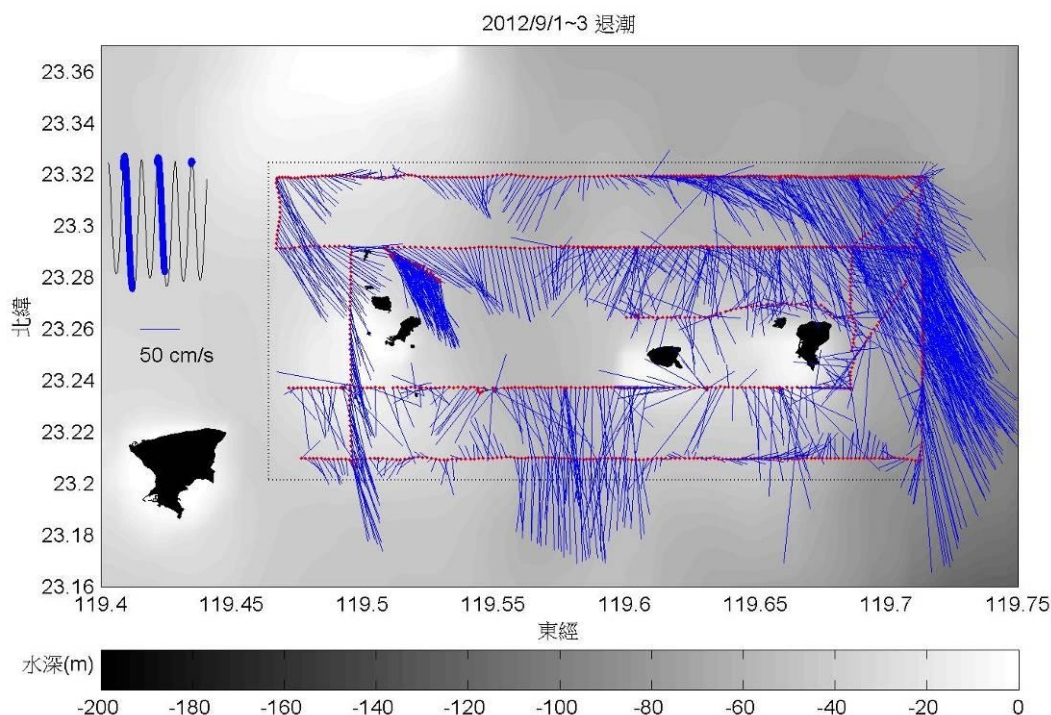


圖 3. 澎湖南方四島退潮時段表層海流棍棒圖，觀測時間為2012年9月1~3日

的分布，綜合各探測資料分析結果顯示，整體海流在垂直結構上一致，無明顯的分層。

海洋研究船一般是將測流儀裝在船底，於行進間連續量測海面到海底的海流剖面。我們使用漁船作業，因此動員的儀器設備及人員比較多，包括拖曳式儀器架、都普勒海流儀、GPS 定位儀、信號接收盒及電腦等。在 2012 年 5 月有 4 天的探測，2012 年 9 月有 3 天的流況探測，得到的流場相似，只是 5 月的流速稍微大些，最大流速約 4 節，全區之平均流速也都超過 1 節。這兩次觀察結果顯示，南方四島海域海流，主要受潮流控制，流向為漲潮往北、退潮往南，此海流觀測接近 Wang *et al.* (2003)分析 1999-2002 年海洋研究船(OR-1-2-3)船測海流，臺灣海峽半日潮( $M_2$ )潮流，在澎湖水道及南方四島之潮流橢圓，以南北向為主，南方四島海域之潮流為臺灣海峽內較強處，主要原因為此處水較淺，包括澎湖以南之臺灣灘，海流有被抬升的現象，流場受到地形淺化，潮流因此被放大。另外，半日潮流( $M_2$ )的特性在海峽中間較小，兩端較強，這點可以

用波長與海峽長度呈 1/4 關係解釋(Juang *et al.* 2001)， $M_2$  潮波以駐波形式存在，節點在台中附近，因此南方四島海域  $M_2$  潮流較強。

南方四島小區域地形效應之影響，由退潮時段潮流平面分布顯示，東吉嶼東側受到澎湖水道影響，海流明顯增強。搭配地形水深圖顯示，東嶼坪與西吉嶼之間為一水道地形(水深約 60 m)，因此當退潮潮流流經此時，受到地形束縮而略微增強，當通過水道後再減弱。漲潮時段潮流平面分布顯示，由南往北的潮流接近西、東嶼坪兩個島嶼時，分成兩個支流繞過島嶼。東嶼坪與西吉嶼之間的海流受到地形影響以西北方向為主。經與歷年海洋研究船 sb-ADCP 資料比對，均顯示全年以夏季漲潮時流速較大，因此時南海暖流向北，加強漲潮向北的流速。此結果與澎湖水道流場有相似效應(Wang *et al.* 2003)，海流受潮汐漲退潮影響，有很明顯的漲潮向北之加強流，退潮之向南流與向北之南海暖流(及黑潮支流)抵銷後，呈現較弱的向南流。Oey *et al.* (2012)利用 mpiPOM 海洋數值模式，模擬臺灣海峽 2012 年 1 至 5

月海表面高度及海流，經主成分(PCA)分析結果顯示，模態 1 的海表面高度佔 78%，模態 1 的海流佔 59%，說明模態 1 之動力來源為南北水位梯度造成往北流，臺灣海峽平均流量約 1.3-1.8 Sv( $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )。臺灣海峽海流也受季節風的影響，長期平均海流季節變化明顯，冬季強勁東北風期間，海流有可能向南；夏季時，西南風吹動南海暖流北上，加上黑潮支流之分量，往北海流達到最大。

## 二、溫鹽分布

於拖曳海流量測時，在拖曳架上裝設水質自動記錄儀，同步進行溫度、鹽度的量測，得到空間上表層溫度、鹽度變化情形，圖 4 為五月份量測之表層溫度空間分布圖，溫度分布介於 22.5-26.3°C，平均為 24°C。表層鹽度空間分布圖如圖 5，鹽度分布介於 32.9-34.5‰之間。

九月份量測溫鹽空間分布與五月份類似，數值略有不同，溫度分布介於 24.6-29.7°C，平均為 27°C，這幾天因颱風剛過，天氣晴朗，水溫受日照變暖些。鹽度分布介於 32.8-33.9‰之間，平均為 33.4‰，因為受到颱風通過降雨的影響，導致鹽度較低。

除了海表觀測外，溫度、鹽度的垂直剖面量測，五月份共進行 50 個測站，最深下放至 96 m，統整全部測站溫度隨深度變化，溫度從表層至底層遞減，表層溫度最高為 26.2°C，底層最低為 19.2°C。鹽度從表層至底層鹽度遞增，鹽度最高為 34.6‰，最低為 33.1‰。九月份 50 個測站調查結果類似，溫度從表層至底層溫度遞減，表層溫度最高為 29.3°C，底層最低為 20.7°C。鹽度從表層至底層鹽度遞增，鹽度最高為 34.4‰，最低為 32.7‰。經蒐集歷史 CTD 資料，溫度範圍 16.8-30.9°C，鹽度範圍 31.6-35.0‰，本研究 2012 年的溫鹽觀測，落在合理範圍。在季節變化上，由中央氣象局所提供之澎湖雨量，顯示雨量在 5 月開始受到梅雨季節的影響，降雨機率增加，夏季有颱風等影響降雨，鹽度受到降雨混合影響較低，因此

呈現出夏季為高溫低鹽的海況。

## 三、錨碇溫度串調查

錨碇溫度串佈放於西吉嶼及東嶼坪中間，東經 119 度 33.920 分、北緯 23 度 16.036 分，水深 58 m，時間為 2012 年 5 月 16 日 11 時至 19 日 12 時，受到潮汐漲退的影響，於漲潮時錨碇串擺動幅度較大，溫度呈現 21.5-24.8°C 的變化，將溫度與深度做時間分布圖，如圖 6，黑線為潮位資料，得知漲退潮為帶動溫度變化的主因，且為一天兩次的半日潮型態，於漲潮時溫度較低，因為較深冷水舉升的效應，退潮時溫度較高，屬於表層較暖的水。2012 年 9 月 1 日 11 時至 4 日 12 時之觀測，其特性與五月份觀測相似，溫度測值介於 23.1-28.5°C。

四季溫度差異情形，夏季溫度較高、冬季溫度較低，主要是日照的影響，此外，季節風也扮演重要腳色，冬天時，受東北風長時間吹拂，驅使溫度較冷的大陸沿岸流向南入侵澎湖海域北部，導致溫度下降，我們的觀測顯示東、西嶼坪北邊海表溫度較低，四個島嶼的南邊海表溫皆呈現較高溫，尤其以東吉嶼南邊海域更顯著，驗證衛星觀測臺灣周邊海表面溫度，發現較暖的水，經常由臺灣西南海域，延伸到澎湖水道及其南邊，尤其是夏季南海暖流及黑潮支流，推動較暖的水北上，到澎湖海域時，受潮流及地形淺化混合，使水溫產生比較複雜的小區域變化。

## 四、海域底質及棲地概況

水下攝影於到達測站時，下放水下攝影器材至海底連續錄影，每次下放 3-5 分鐘，觀察每個測站海底棲地生長樣貌，共 50 站，測站水深最淺 21 m，最深 95 m。棲地物種的辨識，用 CPCe 軟體(Kohler and Gill 2006)估計沙、礁石、珊瑚等的覆蓋率。結果呈現十大類：沙、礫石、岩石、礁石、死珊瑚、石珊瑚、軟珊瑚、藻類、海綿和其它。側掃聲納量測配合海流量測與水下攝影之測線進行調查，測線採東西向

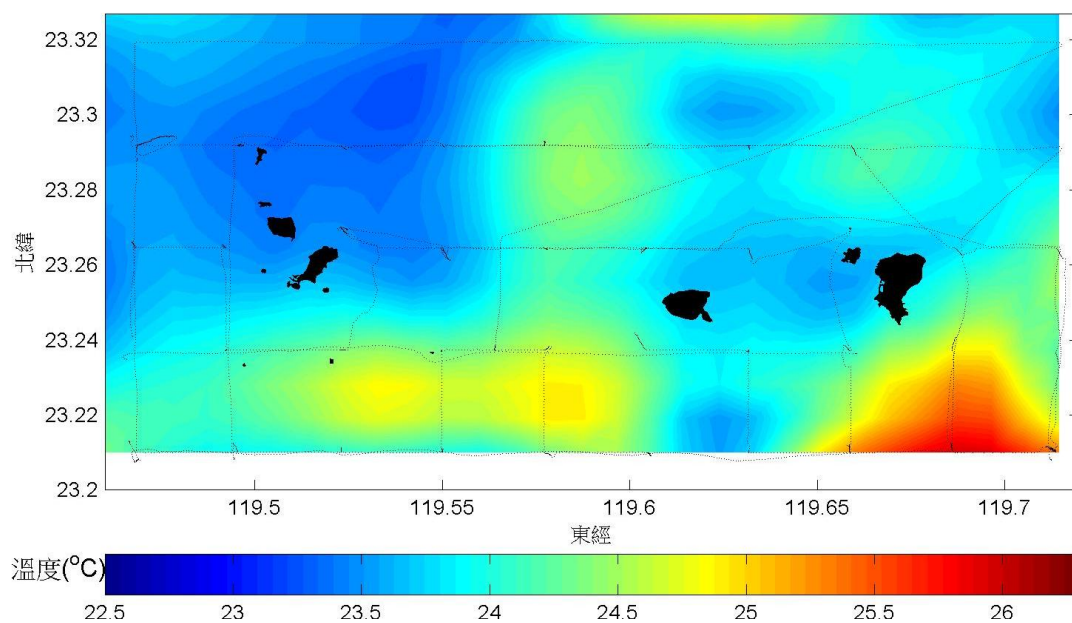


圖 4. 澎湖南方四島海域五月份表層溫度分布圖。色階表示溫度，標示於圖之下方，圖中細點線為探測作業航跡

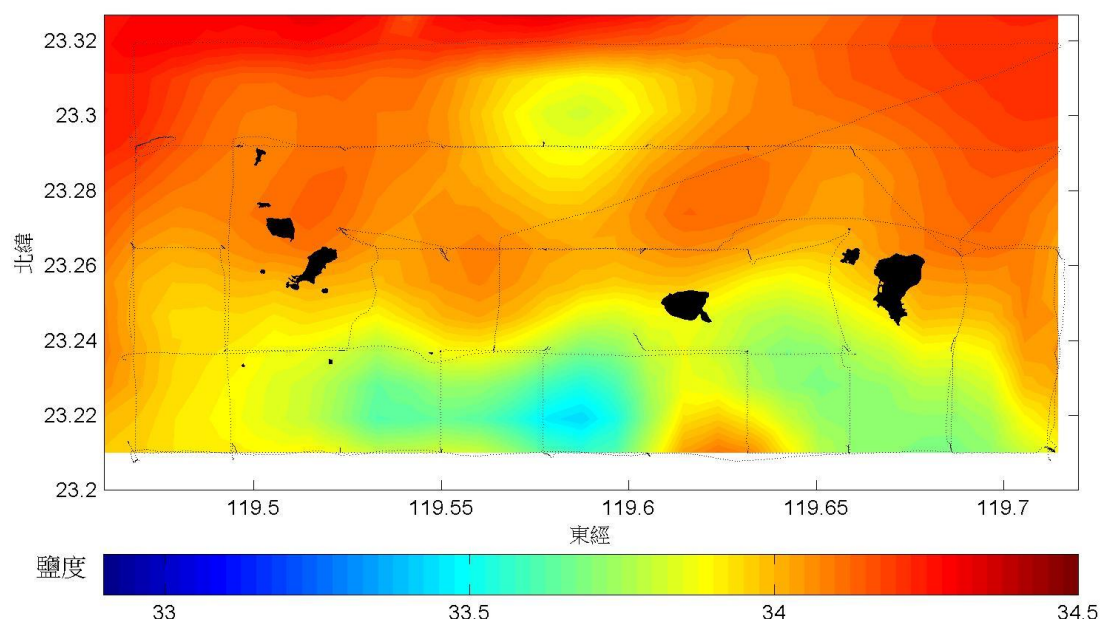


圖 5. 澎湖南方四島海域五月份表層鹽度分布圖。色階表示鹽度，標示於圖之下方，圖中細點線為探測作業航跡

航線調查，本海域主要以礁岩(圖 7 第 32 站)與礫石(圖 7 第 12 站)地形為主，其次為沙(圖 7 第 47 站)，珊瑚必須在礁岩地形較容易生長附著，故有礁岩地形者較有可能會有珊瑚出現。圖 7 為選取代表性之海底棲地影像(左)，

照片大小依鏡頭離海底高度而不同，估計寬約 1.8 m，高約 1.2 m。每次下水下攝影機進行海底棲地觀察，該測站影像經由多張截圖，辨識出的棲地類型，經統計後以圓餅圖呈現(圖 7 中)。側掃聲納之影像拼圖(右)，大小約 10 m

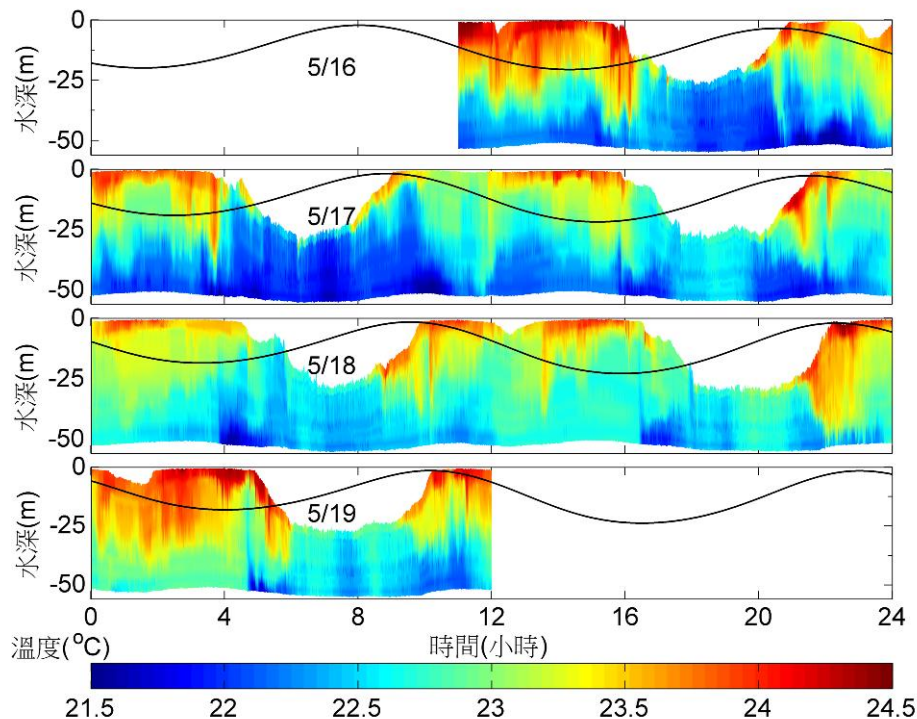


圖 6. 整層水溫隨時間變化圖，色階表溫度標示於圖上方。錨碇溫度串佈放於西吉嶼及東嶼坪中間，水深58 m處，時間為2012年5月16-19日，從上到下分四天，日期標示於圖中。左軸為深度(m)。圖中實線為潮位變化，單位須將公尺(左軸)除以10

x 10 m。側掃聲納輔助棲地調查，主要運用其可達到探測大規模且較深之海底地形、地物之能力，且能以其特殊成像原理找尋海床上之目標物。使用側掃聲納量測成果配合水下攝影調查成果，棲地類型的比較，結果可以辨別沙地、礫石、礁岩等地形，因此大範圍棲地調查可先藉由側掃聲納觀測，再依需求進行小範圍影像探測。

各測站珊瑚種類數量不多，初步依珊瑚型態分為八放珊瑚與石珊瑚兩大類，其中八放珊瑚包含軟珊瑚、海扇、海鞭等，石珊瑚包含微孔珊瑚等，其它有海羊齒、海葵、海星、海鞘及魚等(圖 7)，本文僅以目視分類，正確之珊瑚種類及學名照片，請參閱相關圖鑑(如：戴昌鳳、洪聖雯 2009，戴昌鳳 2011)。在東吉嶼和西吉嶼的附近海域較深，受地形影響海流比較強，適合異營性、濾食浮游生物為主的珊瑚生長，如棘穗軟珊瑚、海鞭、海葵等。島邊地質以礫石為主，其次為礁石。而在東嶼坪和

西嶼坪四周以礫石底質為主，在東嶼坪北邊和西嶼坪西南邊則含有礁石存在，石珊瑚只有在東嶼坪南邊有發現，數量不多，主要是因為這次在東嶼坪南邊測站點位最淺水深只到 24 m。在東嶼坪東邊、南邊和東北邊所看到的物種有海扇、海葵，其次數量上較少的有海鞭、海綿和軟珊瑚。西嶼坪島周遭雖然深度不深，約 20-35 m，但所生長的生物以濾食性珊瑚為主，包括海扇、海鞭以及海羊齒、海綿等。東嶼坪和西嶼坪間海域水深超過 30 m，所發現的珊瑚分布不到 10%，而在西吉嶼和東吉嶼水深超過 30 m 則還有石珊瑚和藻類存在。

澎湖南方四個島 50 站棲地調查中，發現在南方四島周圍生長的珊瑚種類不多，整體底棲生物的組成相似度皆在 70% 以上，有些測站間的相似度甚至在 90% 以上，顯示各測站之間的底棲生物組成相似度高，變化不大，主要是由於此四島的距離近，又處於相似緯度，海洋環境特徵相似所致。從這 50 個定點測站中觀

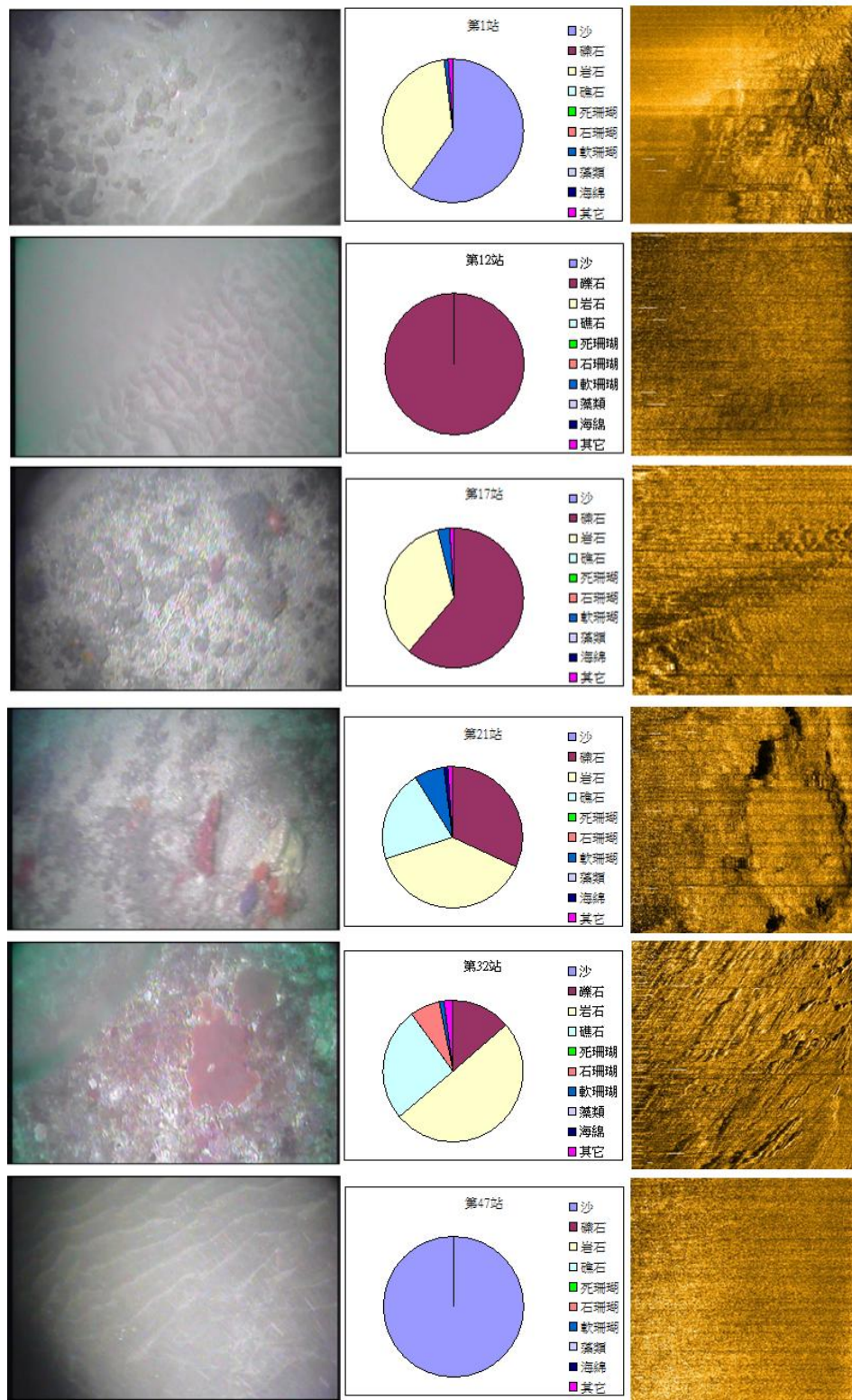


圖 7. 澎湖南方四島代表性之海底棲地影像(左), 照片大小依鏡頭裡海底高度而不同, 估計寬約 1.8 m, 高約 1.2 m。每站影像經由多張截圖, 辨識出的棲地類型, 經統計後以圓餅圖呈現(中)。側掃聲納之影像拼圖(右), 大小約 10 m x 10 m, 第1站主要為沙與礁岩地形; 第12站主要為沙與礫石地形; 第17、21及32站主要為礁岩與礫石地形; 第47站以沙地為主



察到的軟珊瑚種類較多，棘穗軟珊瑚(圖 7 第 21 站)，顏色偏紅，群體呈磨菇形或樹形；海扇，通常生長在海流稍強的礁石上，珊瑚體由數個扇形平面構成，其食物來源是靠海流帶來的浮游生物；海鞭珊瑚，生長在礁石平台上，白鞭珊瑚通常生長在海流或波浪較強的礁石表面，珊瑚體呈直立鞭形，通常沒有分枝，常群集在礁塊上生長。

從水下棲地錄影的影片中，除了珊瑚外，亦觀察到其他生物，常見的有海綿、海羊齒等，生活在堅硬的礁石底質表面，少數生活在軟泥底質，有些攀附在珊瑚或海藻上，以浮游生物為食；海葵多數棲息在淺海和岩岸的礁石縫隙中，少數生活在較深海域。另有海星、海鞘及魚類等棲息於較深水域的岩礁區。

#### 五、四島周邊底質及棲地概況

第一階段觀查的 50 個測站之水深都分布在 20 m 以深，所觀測到的珊瑚覆蓋率不高，考量珊瑚生長水深主要分布在 30 m 以淺，為進一步觀察近岸淺水處之底質情況，加設 56 個測站，最淺 7 m，最深 31 m，這次所量測近岸珊瑚種類以石珊瑚居多。圖 8 為選取代表性測站之照片，因為水下照相沒有比例尺，為估計影像大小，於攝影時加掛 0.35 m 鐵棒，如部分圖中所示(A3\_10m、A5\_09m、D6\_10m)，照片大小依鏡頭距海底高度而不同，估計寬約 1 ~ 1.5 m，高約 0.5 ~ 0.8 m。在分析照片時，以戴昌鳳、洪聖雯(2009)之圖鑑及說明為主要依據。為試著了解此海域珊瑚礁近年的變化，選五處 2012 年的觀測(A1\_09m、B4\_12m、C2\_10m、C5\_10m、D2\_09m)，與鄭明修(2009)鄰近位置觀測作比較，兩次觀測雖已相隔 3 年，百分比顯示，兩者珊瑚物種相近。

珊瑚依外表特徵，通常可分為三大類：石珊瑚、軟珊瑚和柳珊瑚，石珊瑚具有堅硬的碳酸鈣骨骼，軟珊瑚則形態柔軟，而柳珊瑚形態像樹成枝狀或片狀。南方四島周圍以石珊瑚為主，包括五種主要石珊瑚。1. 表孔珊瑚，在澎湖南方四個島嶼看到最多的，以葉片形為主

要形態(圖 8A-A1\_10m，圖 8A-A3\_10m，圖 8B-B3\_08m，圖 8D-D2\_09m，圖 8D-D6\_10m)；也觀察到軸孔珊瑚(圖 8B-B3\_08m)，以分枝形為主要形態，通常形成樹叢狀。2. 雙星珊瑚，群體呈團塊形或大的半球形，珊瑚孔呈圓盤狀排列，周圍的壁甚厚，群體呈淡灰藍色、淡綠色或淡米色(圖 8B-B3\_08m)。3. 鹿角珊瑚，是珊瑚礁常見的造礁珊瑚，大都呈分枝形群體，形似鹿角。4. 微孔珊瑚，群體形態大都為團塊狀，看起來像海底的大石頭或小山丘，表面很結實(圖 8C-C5\_10m)。5. 菊珊瑚，群體呈圓塊形或半球形，表面平滑整齊，沒有丘狀突起，邊緣略呈多角形，是群體型的造礁珊瑚。

由於受地形影響，西嶼坪的測站地形深度變化較陡，海流也比較強，石珊瑚長的也較好。而在東嶼坪的地形和陡度也適合石珊瑚的生長，除了主要的軸孔珊瑚外，也出現了菊珊瑚和微孔珊瑚等，軟珊瑚則有葉形軟珊瑚在此區域生長。在西吉嶼的石珊瑚部分，幾乎每個測站都有軸孔珊瑚的存在，海綿和海藻則較少。在東吉嶼則沒有發現軟珊瑚的足跡，和其它點位一樣，以石珊瑚為主，在東吉嶼也看到一些藻類。

#### 六、底質棲地分布與水深

澎湖的南方東嶼坪、西嶼坪、東吉嶼、西吉嶼四島周邊海域的棲地調查，結合測線上有 50 個測站以及島近岸海域有 56 個測站的水下棲地調查，並整合 2009 年觀測的 24 個測站(鄭明修 2009)，繪製出棲地類型分布圖(圖 9)，由圖可知十大類型分布範圍及百分比，觀測範圍內以礫石所佔百分比最多，分布範圍最廣，包括深水區。其次是岩石，在四島鄰近、及西南海域，發現較多的岩石。沙地分布在西嶼坪附近、及東吉嶼南北。石珊瑚與藻類主要分布在島周圍較淺區域，石珊瑚分布水深從 0-31 m，分布百分比 0-80%不等。礁石與石珊瑚重疊，分布在較淺海域。軟珊瑚分布在較深海域，分布水深從 5-95 m，分布百分比約 0-30%。

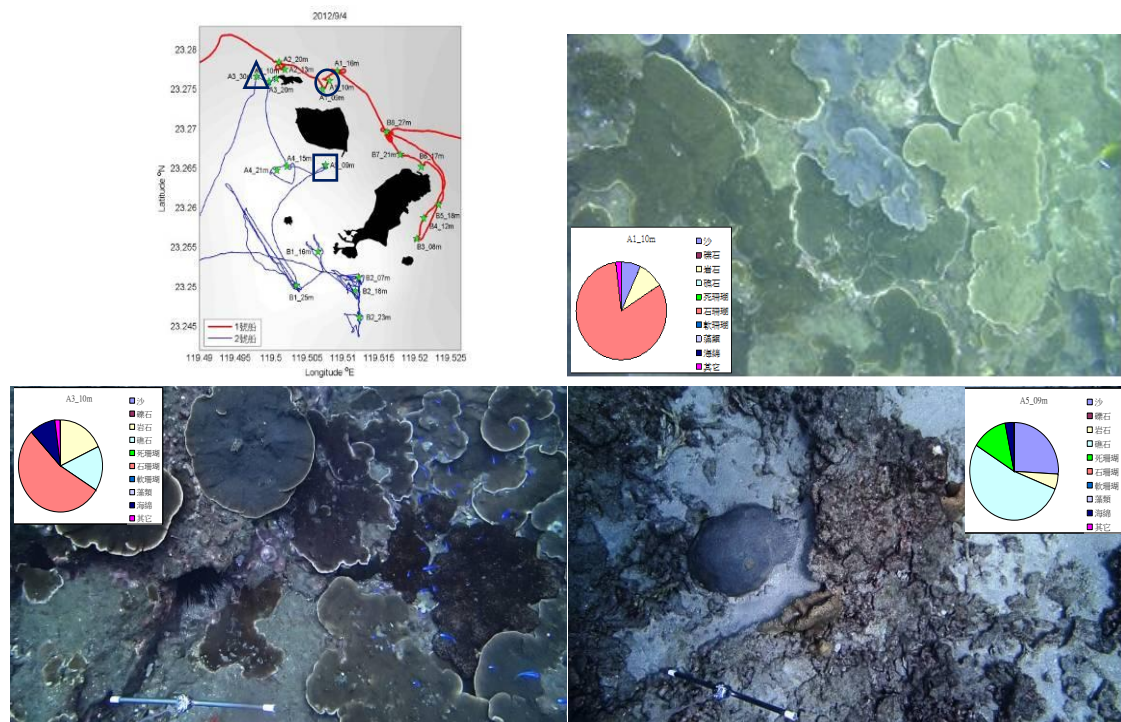


圖 8A. 選取代表性測站之照片，左上為測站位置，實線為雙船作業之航跡，右上為測站A1\_10 m (○)，左下為測站A3\_10 m (△)，右下為測站A5\_09 m (□)

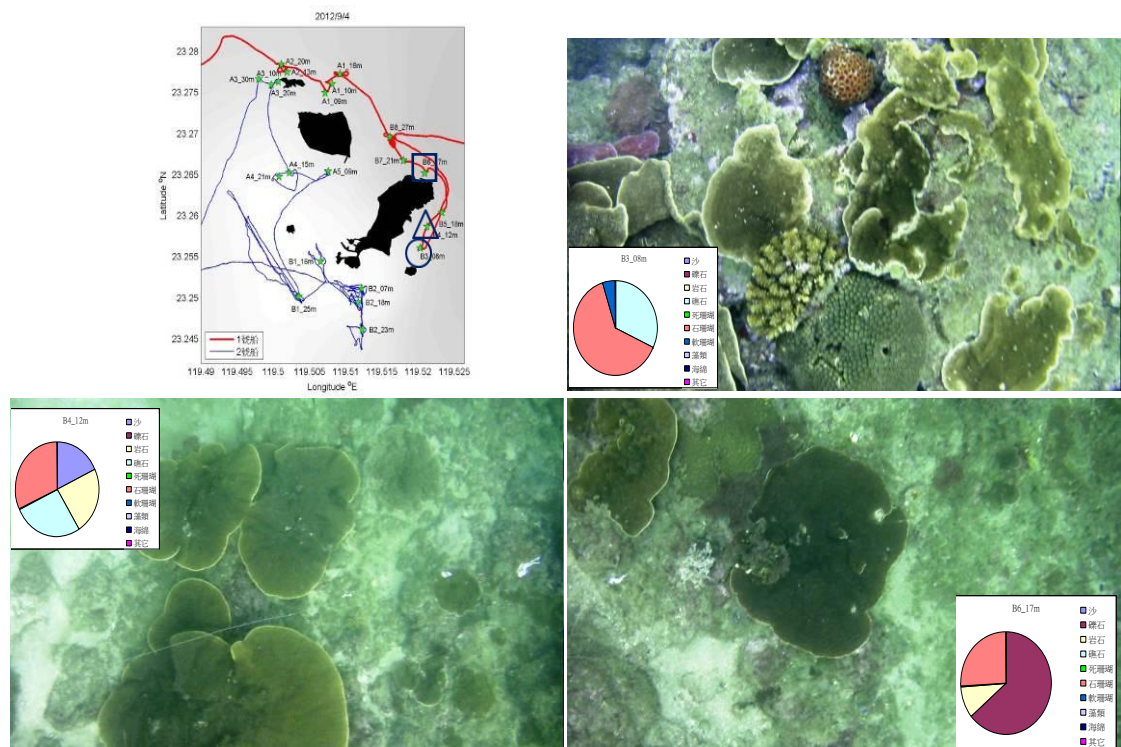


圖 8B. 選取代表性測站之照片，左上為測站位置，實線為雙船作業之航跡，右上為測站B3\_08 m (○)，左下為測站B4\_12 m (△)，右下為測站B6\_17 m (□)

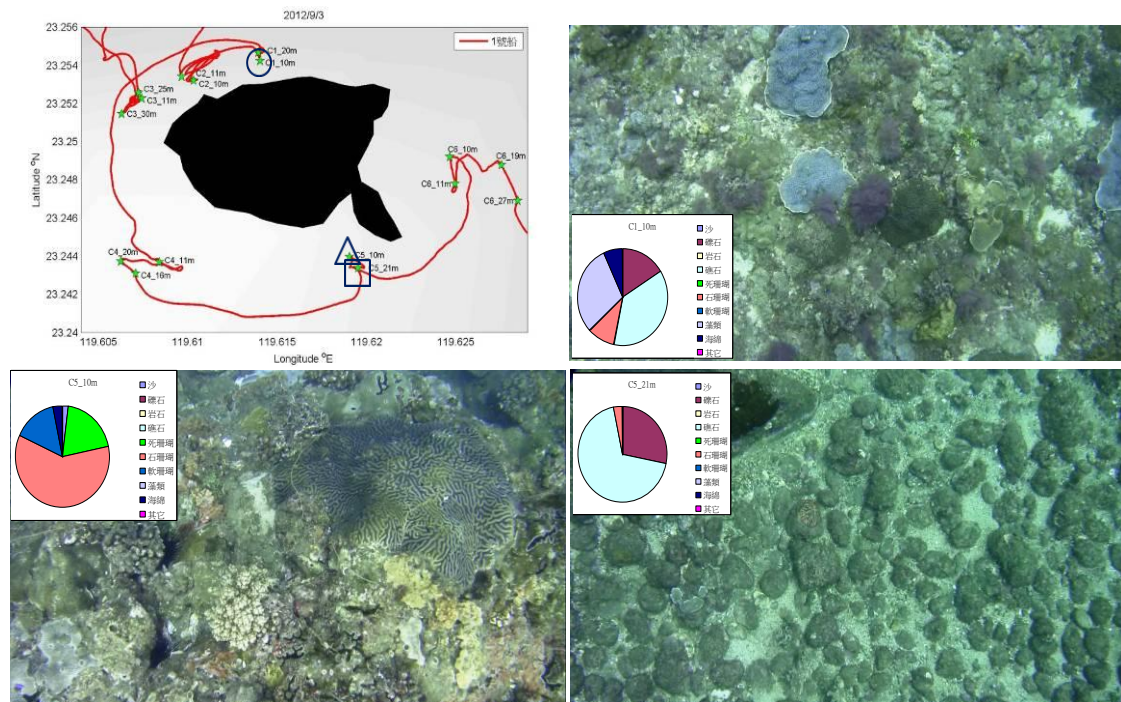


圖 8C. 選取代表性測站之照片，左上為測站位置，實線為作業之航跡，右上為測站C1\_10 m (○)，左下為測站C5\_10 m (△)，右下為測站C5\_21 m (□)

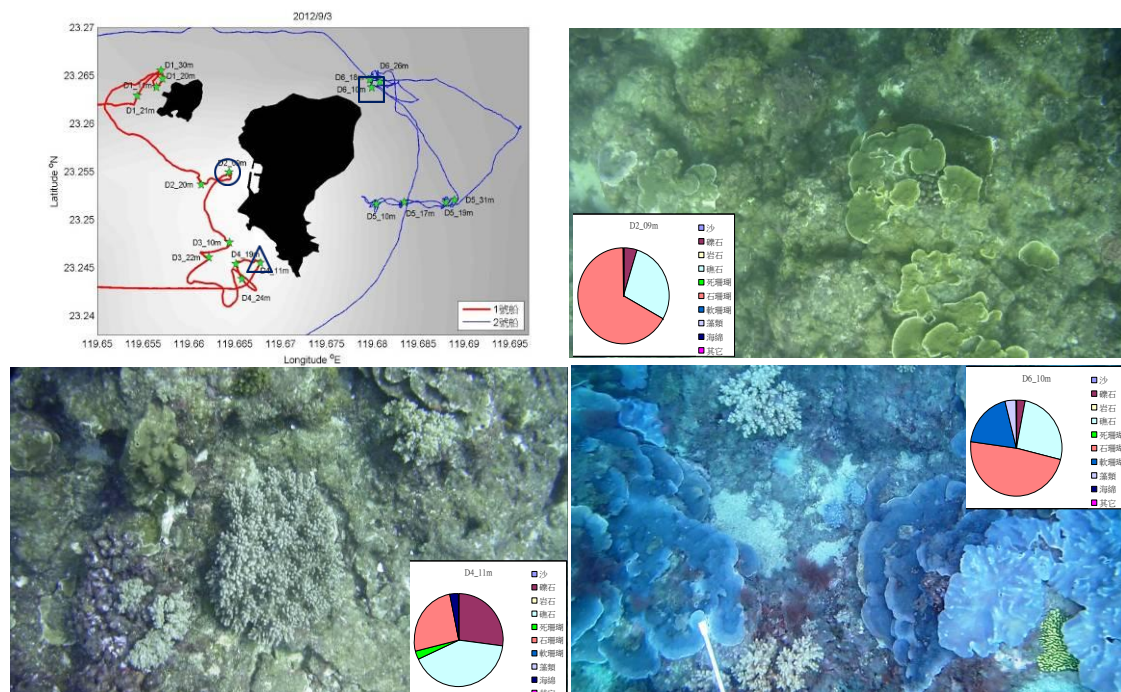


圖 8D. 選取代表性測站之照片，左上為測站位置，實線為雙船作業之航跡，右上為測站D2\_09 m (○)，左下為測站D4\_11 m (△)，右下為測站D6\_10 m (□)

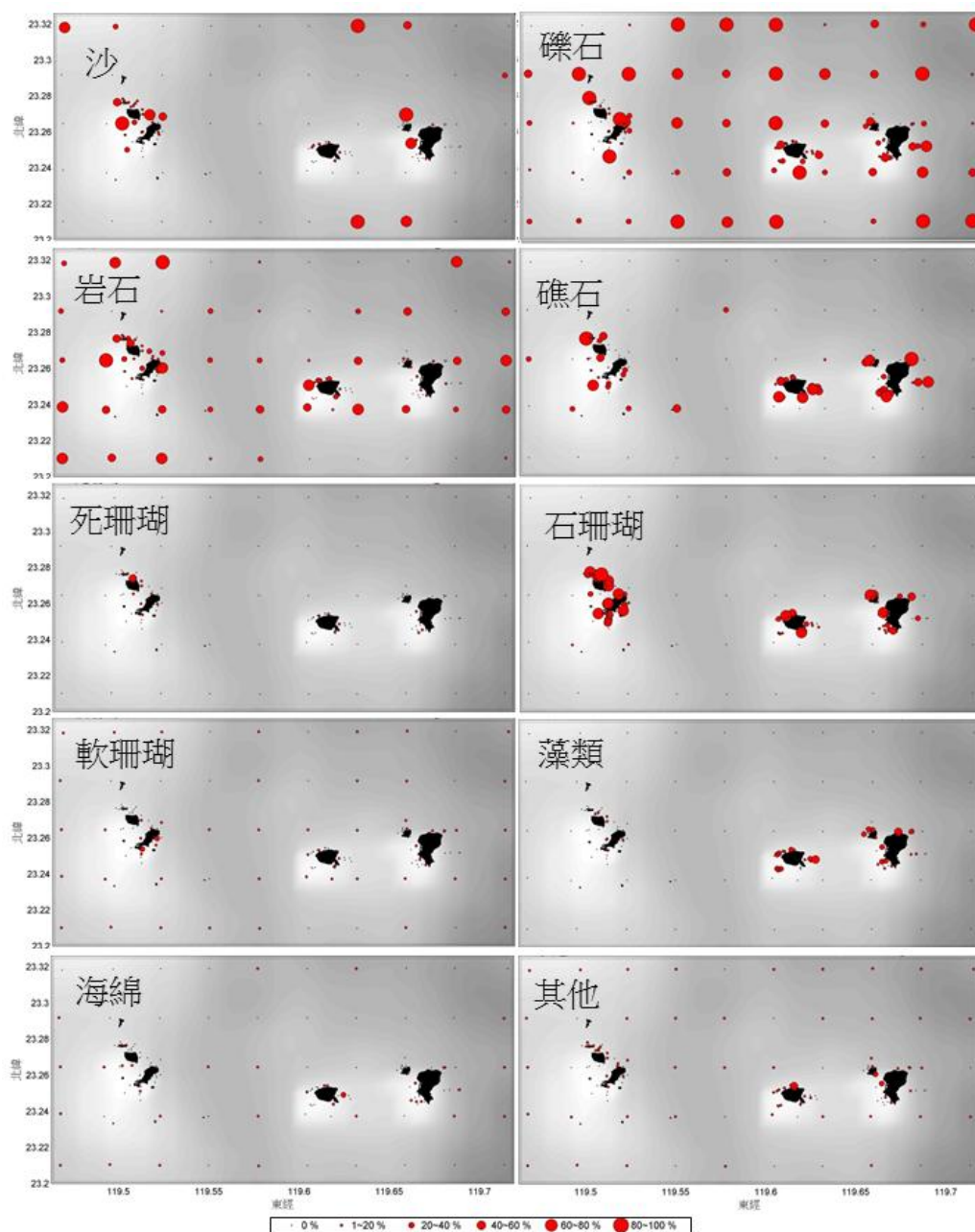


圖 9. 棲地類型分布位置百分比圖，圓點大小代表百分比標示於圖下方

為瞭解各測站棲地分布之變化與相關，嘗試以泰勒圖(Taylor diagram, Taylor 2001)來展示。泰勒圖可提供我們對照組(數組現場觀測資料或不同模式結果)與基準參考點(基準參考現場觀測值)之關係如何，利用計算相關性、均方根誤差、標準差來比較，繪製對照組相對於基準參考點的位置。圖 10 為以水深為基準參考點與其他項目之泰勒圖，圖中 x 軸上的點即為

基準參考點，泰勒圖內三種基本統計分析是：

1. 相關性：對照組與基準參考點之相關性為以 x、y 軸原點為基準之放射線，對照組越靠近 x 軸表示與基準參考點的正相關性越高，本案中水深與石珊瑚有正相關，即水淺珊瑚較多，水深處較少；礁石也是，因為石珊瑚生長在礁石區域。2. 均方根誤差：以基準參考點為圓心之 180 度半圓，對照組越靠近

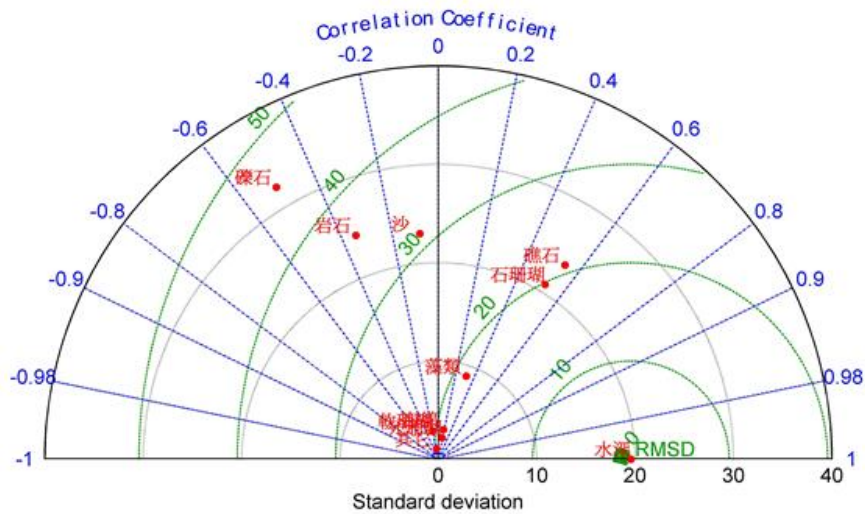


圖 10. 泰勒圖(Taylor diagram)顯示水深與各測站棲地分布之變化與相關

基準參考點越佳。3. 標準差：標準差為以 x 與 y 軸為基準的 90 度弧線，對照組弧線半徑越接近基準參考點半徑越佳。經分析各項目與水深進行比較結果，以石珊瑚和礁石與水深相關性較其他項目好，為 0.5，顯示水淺對石珊瑚生長有很明顯的影響，再來是藻類 0.3、死珊瑚跟海綿 0.2，軟珊瑚與其它為 0，而沙、岩石、礁石則成負相關，表示深水處沙、礫石百分比比較多，而軟珊瑚則於水淺或水深(0 至 95 公尺)皆有，但數量上淺水比較多。

## 結論

由現場觀察及相關佐證資料歸納，澎湖海域海流主要受到潮汐漲退影響，島附近流場方向則受地形主導；全年平均海流以夏季流場較冬季流場強，漲潮流場又比退潮流場強。由溫鹽圖顯示澎湖海域水團特性趨向南海水團。水溫 20-30°C 適合珊瑚生長，潮流定時帶來深層冷水，沒有暖化高溫問題。

海域棲地分布主要以礫石、岩石為主，石珊瑚與藻類主要分布在島周圍較淺區域，石珊瑚分布水深從 0-30 m，百分比分布從 0-80% 皆有，礁石與死珊瑚也分布在較淺海域，而軟珊瑚則可分布在較深海域，分布水深從 5-95 m，百分比分布從 0-30%。側掃聲納辨識海底底床

地形，其解析度雖不足，可以輔助大範圍棲地量測，判別較適合珊瑚生長的礁岩地形。

影響珊瑚生長的因子有底質、水溫、光度、營養鹽、沉積物、海流等，澎湖地處於亞熱帶，為岩礁底質，而且水溫適宜，所以澎湖海域適合珊瑚生長。深水有零星軟珊瑚生長於沙或礫石海底；四島周邊 30 m 水深內石珊瑚生長良好，應加強保護，規範底拖網作業，及注意外來漁船越界捕魚等活動。

## 誌謝

本文係依據 101 年度海洋國家公園管理處委託辦理「澎湖南方四島海域環境及棲地調查」調查報告改寫而成，感謝楊模麟處長及保育研究課的行政協助。對珊瑚及水質的分析，感謝宋克義、洪佳章教授的指導。野外調查蒙曹伯琪先生率兩艘漁船協助作業，海上作業期間受到啟德颱風與天坪颱風的干擾，感謝實驗室成員克服諸多困難、及大量資料分析處理，包括李逸環、楊光哲、林育如、張雅涵、傅科憲、黃莉婷等十多人的協助。感謝審查委員對本文提供許多寶貴的建議，尤其感謝戴昌鳳教授更正許多底棲型態的描述，改善本文的可讀性。最後，作者想表達，本研究測站選定以經費所能支援之工作能量為限，分析照片之採用

等為主觀選取，對全區之代表性不周之處及說明解釋等，期望同行專家不吝指正。

## 引用文獻

- 楊嘉慧。2008。澎湖漁場，原因不單純！科學人雜誌 200807。
- 謝恆毅。2008。澎湖海域生物多樣性基礎研究調查。澎湖海洋生物研究中心。
- 戴昌鳳、洪聖雯。2009。台灣珊瑚圖鑑。貓頭鷹出版社。
- 林俊全。2009。澎湖南方四島及周邊島嶼陸域生態及地形地質景觀資源調查。海洋國家公園管理處委託辦理報告，278 頁。
- 鄭明修。2009。澎湖南方東嶼坪、西嶼坪、東吉嶼及西吉嶼四島周邊海域生態資源調查。海洋國家公園管理處委託辦理報告，265 頁。
- 于錫亮。2011。澎湖南方四島生態旅遊先期規劃。海洋國家公園管理處委託辦理報告，196 頁。
- 戴昌鳳。2011。台灣珊瑚礁地圖(下)－離島篇。天下文化出版公司，台北市。
- 楊博淵。2011。澎湖南方四島文史資源先期調查。海洋國家公園管理處委託辦理報告，198 頁。
- 王玉懷。2012。澎湖南方四島海域環境及棲地調查。海洋國家公園管理處委託辦理報告，264 頁。
- Juang W.J., M.C. Lin and W.J. Liou. 2001. Peculiar appearance of nearly symmetrical flooding time along the western coast of Taiwan. *The Chinese Journal of Mechanics* 17(4):211-220.
- Kohler K.E. and S.M. Gill. 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences* 32:1259-1269.
- Lee M.A., Y.C. Yang, Y.L. Shen, Y. Chang, W.S. Tsai, K.W. Lan and Y.C. Kuo. 2013. Effects of an unusual cold-water intrusion in 2008 on sudden change in catch of the coastal fisheries around Penghu Islands, Taipei, China. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* 16:1189-1204.
- Oey L.Y., Y.L. Chang, Y.C. Lin, M.C. Chang, F.H. Xu and H.F. Lu. 2013. ATOP – the Advanced Taiwan Ocean Prediction System based on the mpiPOM. Part 1: model descriptions, analyses and results. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* 24(1):137-158.
- Taylor K.E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research* 106:7183-7192.
- Wang Y.H., S. Jan and D.P. Wang. 2003. Transports and tidal current estimates in the Taiwan Strait from shipboard ADCP observations (1999-2001). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57:195-201.