

藍海綠洲

東沙海洋篇



處 長 序

東沙環礁國家公園自民國 96 年公告為台灣第 7 座國家公園，亦是第一座海洋型的國家公園，同年海洋國家公園管理處（以下簡稱本處）於高雄市成立，專責東沙環礁國家公園的經營管理，成立以來致力於區內資源調查、監測、復育等保育工作。由於東沙現階段仍以保育為主，尚未開放一般民衆登島生態旅遊，但是為讓民衆有機會認識這位於南海上的明珠，本處透過多年來研究資料的累積，陸續出版了鳥類、昆蟲、植物、魚類與海草床等多本解說叢書，提供民衆認識東沙環礁國家公園的生物多樣性，而這本「藍海綠洲」解說手冊的出版，則是將觸角擴及至海洋，讓大家更全面的認識東沙！

東沙環礁國家公園位於南海北端，是由珊瑚礁歷經千萬年生長堆積而成，形成我國海域唯一發育完整的大型環礁地景，屬於世界級自然資產，並擁有島嶼、潟湖、潮間帶、海草床、珊瑚礁與大洋等不同但相互依存的生態系，孕育著豐富、多樣

的海洋生物。本書為讓民衆對於東沙海洋生態能有整體性認識，以深入淺出、文圖兼備的方式，從東沙環礁形成原因、特殊的地理位置與海洋物理、化學環境，循序介紹給讀者，繼而概要說明東沙海洋生態系中物質循環與東沙海洋生態系統，及珊瑚礁目前面臨的問題，輔以珍貴難得的照片，讓讀者能一口氣瞭解東沙海洋的樣貌，進而珍視這片台灣僅有的藍色珊瑚礁美域。

這本解說手冊的出版要感謝台灣大學戴昌鳳教授，戴教授從民國 83 年間即踏上東沙島，後續更協助本處進行東沙海域生態資源調查研究工作，對近 20 年間東沙環礁因環境變遷所造成的改變與海洋生態保育的重要性均瞭若指掌，基於對海洋生態保育推廣的使命下，戴教授在百忙之中抽空比對資料、撰寫文稿，東沙的前世今生得以詳細且專業地呈現在讀者面前。未來期望透過這本「藍海綠洲」解說手冊，引領讀者暢遊東沙環礁，進而共同為台灣的海洋保育工作，挹注一份心力。

海洋國家公園管理處 處長

楊模麟 謹識



作者序

東沙環礁，對大多數人來說都是遙遠而陌生的地名。從小我們在地理課本裡讀到「中華民國在南海的四大群島：東沙、西沙、中沙和南沙群島」，以及我國的最南疆界是北緯四度的曾母暗沙；這些地名深深烙印在許多人的腦海裡，但是到東沙和南沙走一趟，始終是遙不可及的夢想。

民國 83 年，為了配合執行行政院農委會的南海資源調查，我們搭乘「漁訓二號」探查南海諸島，三個星期多的海上航程，讓我首次有機會踏上南沙太平島和東沙島，並且在二島的周圍潛水觀察。依稀記得，當我們漂浮在海面上時，環顧四周，只見島是如此的渺小，而海洋卻是無比的寬闊廣大。對於習慣在台灣海岸潛水的我來說，南海是完全不一樣的感覺，潛入南海的海水中，就像夢遊仙境一般，有點真實，又有點虛幻。

民國 89 年，第二次拜訪東沙島，為的是想看看記憶中的珊瑚礁是否依然？由於 1998 年的海水溫度異常，已經使



得全球許多海域的珊瑚礁受創嚴重，世界各地都有報導，而東沙環礁這個海洋世外桃源的情況如何？一直是我們很想揭開的謎題。當我們在環礁內部潛入海底時，映入眼簾的是遍地珊瑚屍骨，就像大火燒過的森林，舉目盡是黯淡荒蕪的景象，原本亮麗光鮮的珊瑚城市，已經成為一片死寂的珊瑚墳場，令人怵目驚心，更讓經常與珊瑚礁為伍的我，倍感哀傷。

為了讓這座珊瑚城堡恢復生機，經過各界的呼籲和推動，政府在 2007 年設立東沙環礁國家公園，並且成立海洋國家公園管理處，以推動東沙環礁自然資源的經營管理，期望這片在海洋中歷經千萬年才形成的東沙環礁，能逐漸恢復往昔繁榮興盛的面貌，並且為南海和西太平洋北部海域帶來綿延不絕的生機。

海洋是孕育東沙環礁的母親、形塑東沙環礁地形的巧手，更是主宰東沙環礁未來命運的主要力量，認識海洋就是瞭解東沙環礁的第一步。本書期望打開一扇窗口，讓您認識東沙的過去，珍惜東沙的現在，並且期待您為東沙環礁的未來和保育貢獻心力。

戴昌鳳

藍海綠洲

東沙海洋篇

目錄

處長序	2
作者序	4
東沙與海洋	8

海洋地質與地形 16



19	南海的形成
20	板塊運動與南海形成圖
24	東沙環礁的形成
36	東沙環礁地形
40	東沙環礁海底地形



東沙與海洋

從空中或衛星影像上俯瞰，
被海洋層層包圍著的東沙環礁，
她的過去、現況和未來發展，
都與海洋有著密不可分的關係。

永續海洋 138



海洋生態系 78



- 140 為何要保護珊瑚礁？
- 144 東沙珊瑚礁面臨哪些危機？
- 153 如何保育珊瑚礁？
- 158 珊瑚礁保育活動
- 159 參考文獻

海洋物理 及化學環境 48

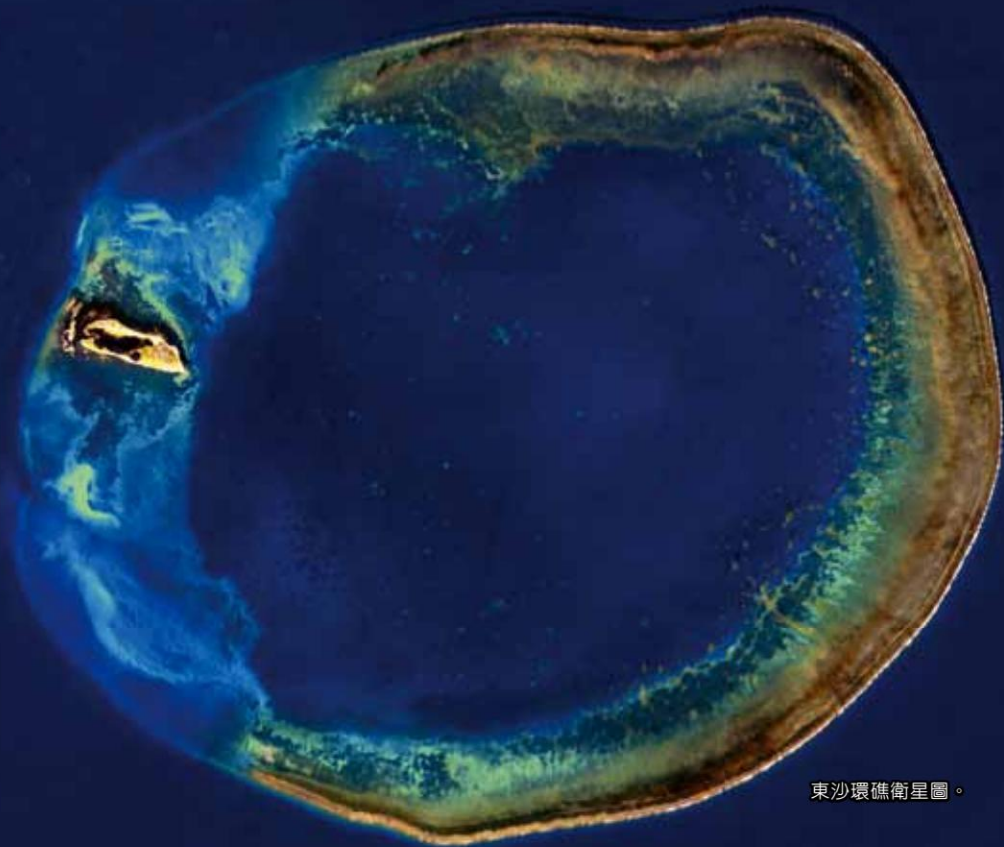


- 50 季風與降雨量
- 51 颱風
- 52 水溫
- 55 海流
- 56 潮汐與潮流
- 60 波浪
- 66 東沙環礁的波浪
- 66 內波
- 76 海洋化學特性

- 80 基礎生產力
- 82 物質循環
- 83 食物網
- 92 東沙環礁生態系
- 92 水體生態系
- 94 底棲生態系
- 134 海洋生物多樣性



東沙島在海洋的懷抱中孕育形成。



東沙環礁衛星圖。

東沙環礁誕生於海洋的襁褓中，在環礁逐漸發育的過程中，海洋是形塑東沙環礁今日面貌的主要力量，東沙的歷史文物和豐富資源都含有濃郁的海洋風情，而東沙的未來發展更是操控在海洋的手中。

東沙環礁位於北緯 20 度 35 至 47 分之間，東經 116 度 42 至 55 分之間，為一直徑約 25 公里，面積約 500 平方公里，近似圓形的標準環礁，環礁中間為一潟湖，潟湖中有許多塊狀礁和淺灘分布，環礁外緣則有發達的珊瑚礁地形和豐富的生物群聚，構成一個完整的珊瑚礁生態系。東沙島位於環礁西

側，是由珊瑚沙與貝殼沙堆積而成的沙丘小島、面積僅 1.74 平方公里，是整個環礁唯一經常露出海面的陸地；東沙環礁孤懸於南海北部，與鄰近陸地都有一段距離，她的北方距離廣東省汕頭市 260 公里，是最接近大陸的距離；西北方距離香港 320 公里，東北方距離高雄市 450 公里，南方距離南沙太平島 1190 公里。在一片廣闊無垠、茫茫無際的大海當中，東沙環礁是一處耀眼的綠洲，因此成為眾多海洋生物聚集的大都會。



東沙環礁座落在一片汪洋之中。



東沙環礁是在海洋的襁褓中誕生的，東沙的命運與海洋緊緊相依。



珊瑚的分支空隙是幼魚避敵的空間。



東沙環礁的地理位置。

不論在地圖或衛星影像上搜尋，東沙環礁都只是浩瀚南海中的一個小點；然而，這個小點在南海的海洋生態系中，甚至對於太平洋西部的海洋生態系，都扮演舉足輕重的角色。原因其實很簡單，因為東沙是南海北部唯一的大型珊瑚環礁，她是南海熱帶海洋生物由南往北散布，以及東亞大陸淺海生物由北往南散布的中繼點。從更大的地理尺度來看，東沙環礁也是自印度洋與西太平洋海洋生物的交會點，在生物地理學研究上，具有關鍵地位。

從海洋生物族群延續的實際角度來看，東沙環礁海洋生態系受到南海水團和黑潮支流的影響，環礁提供的多樣棲地和豐富食物資源，對於西太平洋海洋生物的散布和族群延續都是關鍵棲地；東沙珊瑚礁也是許多海洋生物繁



珊瑚礁是許多魚類的繁殖育幼場。



天竺鯛幼魚以軸孔珊瑚分枝為棲所。



珊瑚礁是海洋生物多樣性寶庫。



東沙珊瑚礁昔日繁榮景象。(1994年，鄭明修攝)



東沙環礁瀉湖區的珊瑚在遭遇浩劫之後大量死亡。(2005年，鄭明修攝)

殖和育幼的場所，在海洋生態資源保育上佔有重要地位。

歷年來，東沙環礁海域的漁產豐富，經常吸引許多中國大陸、越南及台灣漁船前往東沙海域作業，捕獲的漁產主要供銷香港及大陸東南沿海城市，為了因應海鮮的龐大需求，漁民經常使用具有破壞性的漁具和漁法採捕海洋生物，尤其是使用炸藥或氰化鉀毒物捕魚，對東沙海域的生態更造成嚴重傷害，使得大多數具有經濟價值的物種都瀕臨滅絕的危機。

1998年發生的西太平洋海溫異常升高事件，造成東沙環礁潟湖區的珊瑚大量白化和死亡，更是重創這片原本生機盎然的環礁生態系；為了保護東沙環礁珍貴的珊瑚礁生態與海洋資源多樣性，我國政府在2007年核定成立「東沙環礁國家公園計畫」，並設立「海洋國家公園管理處」，執行東沙環礁國家公園的經營管理。東沙環礁國家公園的設立，就是為了保護這個環礁及其周圍廣大的海洋生態系，而了解這個區域的海洋特性，則是經營管理此區海洋生態系的關鍵。

東沙環礁國家公園設立的目標為保育東沙環礁的海洋環境與生態資源。



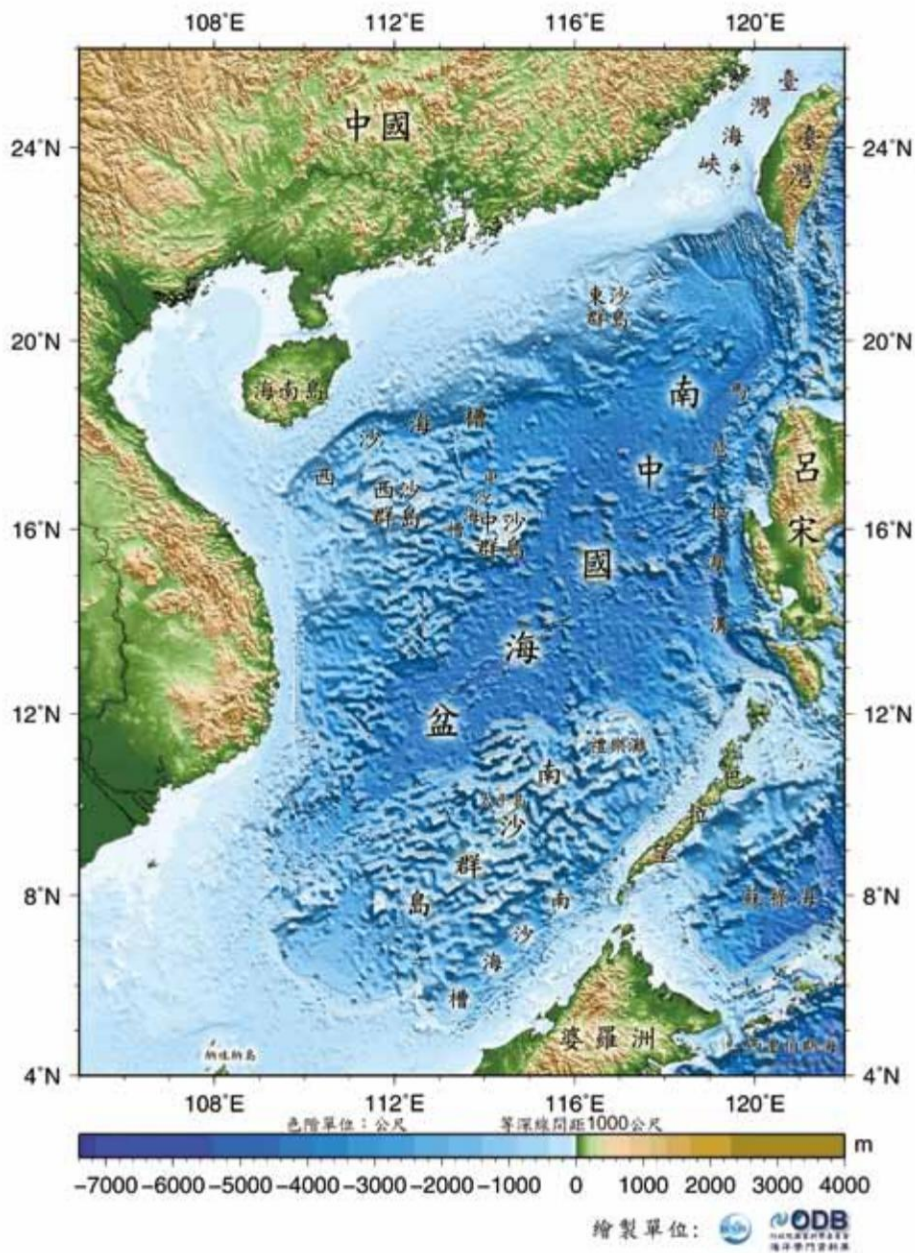


海洋地質與地形

南海是西太平洋最大的邊緣海之一，
因此又被稱為「亞洲地中海」，
她的面積大約有 350 萬平方公里，
一般人大概很難想像，範圍如此廣大的南海，
在 3300 萬年前其實仍是一片陸地或陸地邊緣的淺海，
所謂「今日滄海，昔為桑田」，南海可說是最好的寫照。
東沙環礁則是在南海逐漸擴張的過程中慢慢形成的。

東沙環礁的潟湖區有許多塊狀礁(淺色凸出部分)及海草床(深色部分)分布。





南海海底地形圖 (台灣大學海洋研究所海洋資料庫提供)。

南海的形成

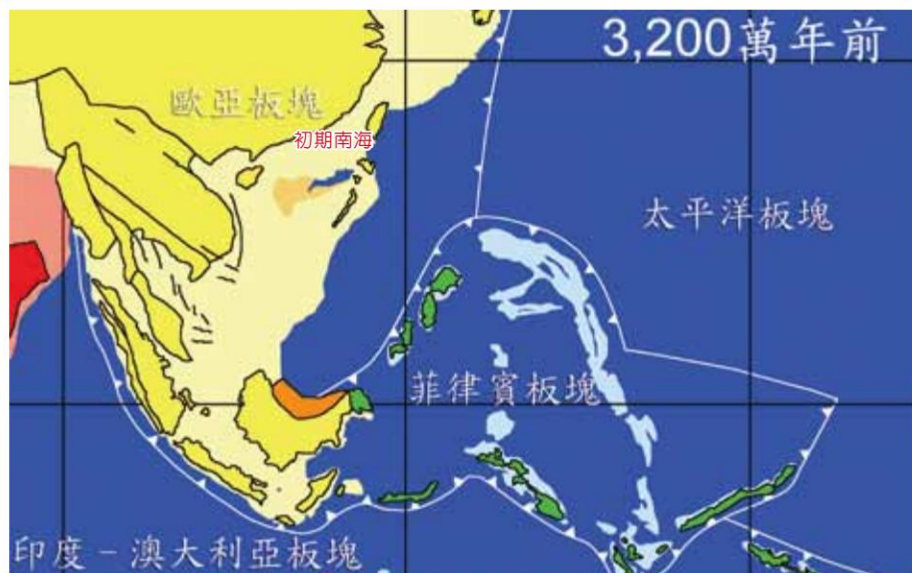
南海是「南中國海」的簡稱，她是一個外觀略呈菱形的半封閉海域，北邊是中國大陸，東面是台灣、呂宋島至巴拉望島的連線，南方至婆羅洲和蘇門答臘，西鄰中南半島及馬來半島東岸；在這個範圍之內，一般認為從北回歸線以南，也就是澎湖群島南方，至麻六甲海峽以北的海域，都屬於南海的範圍。

南海是西太平洋最大的邊緣海之一，因此又被稱為「亞洲地中海」，她的面積大約有 350 萬平方公里，其中包括四個島嶼群，分別稱為東沙、西沙、中沙和南沙群島；這四個島嶼群都是由一些小島、珊瑚礁、沙灘、沙洲或暗礁所組成，也都是在南海逐漸擴張的過程中慢慢形成的，東沙環礁是南海島嶼群中位置最北的珊瑚礁。

一般人大概很難想像，範圍如此廣大的南海，在 3300 萬年前可能仍是一片陸地，所謂「今日滄海，昔為桑田」，南海可說是最好的寫照。當然，南海由陸地變為滄海的過程，並不是短時間內就達成的，整個過程經歷了長達 3000 多萬年的地殼變動，才呈現出今日的面貌，而推動南海由陸地變為滄海的力量，就是板塊運動。

板塊構造學說指出，地球的表面是由數個大陸板塊和海洋板塊拼湊在一起而構成的，這些板塊漂浮在熔融的岩漿上，會隨著地球內部的地函對流而緩慢移動；板塊的移動和互相擠壓，就會導致海洋和陸地形態的改變。當兩個板塊碰撞擠壓在一起時，其中一個板塊就會下沉而隱沒在另一板塊的下方，這個隱沒的地方就凹陷成為深邃的海溝。南海就位於亞洲板塊隱沒至菲律賓板塊的地方，而這個隱沒帶就是水深達 5400 公尺的馬尼拉海溝。

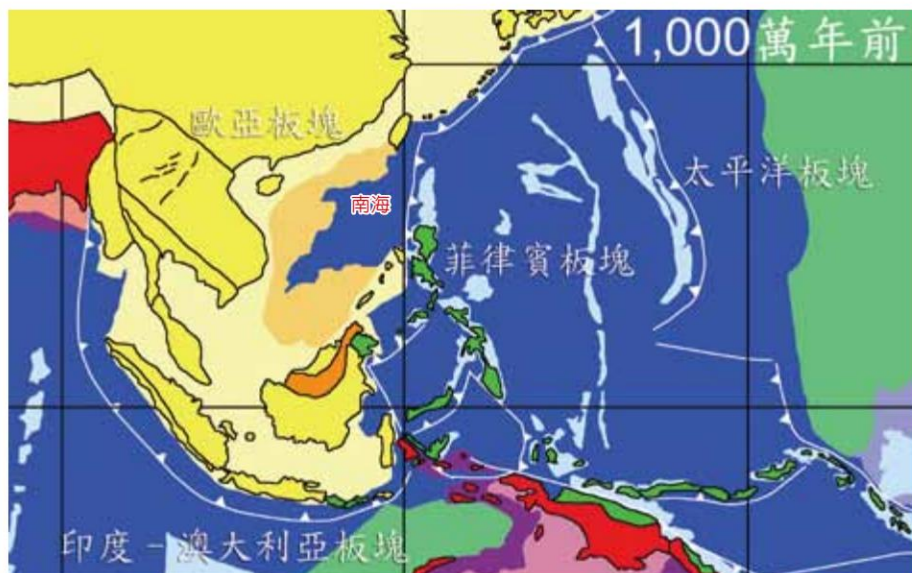
板塊運動與南海形成圖



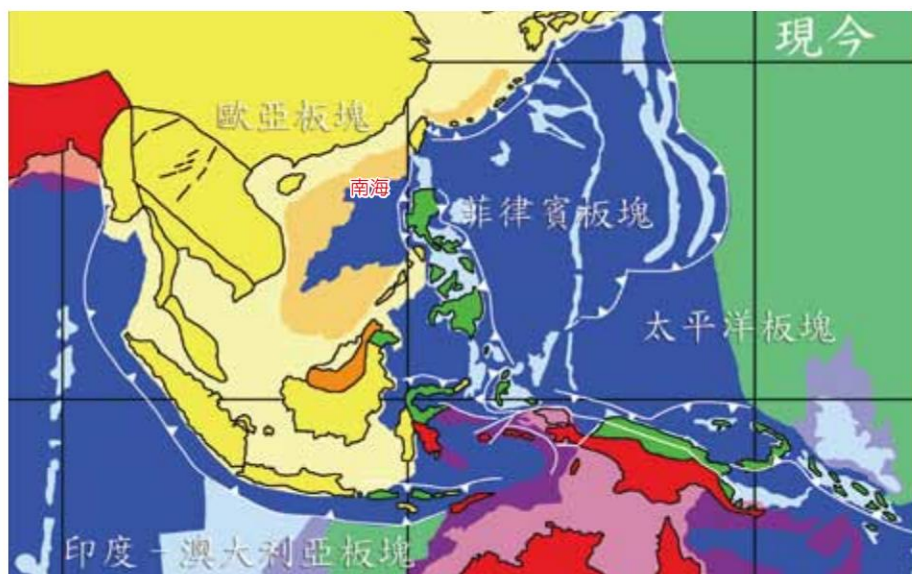
南海張裂初期 (3200 萬年前) 陸地和海洋的相對位置。(重繪自：<http://www.gl.rhul.ac.uk/seasia/welcome.html>)



距今 2000 萬年前，南海逐漸擴大變深。



距今 100 萬年前，南海已大致形成。



現今的南海地形與板塊位置。

板塊運動使得地球的外貌不斷改變，事實上地球自從 46 億年前形成以來，陸地和海洋的外貌就不斷在改變，當然這種改變需要很常的時間；雖然板塊每年大約只移動數公分而已，但是在漫長的地質史上，經過百萬或千萬年的運動，就可能造成陸塊被推移至數千公里之外，甚至碰撞上其他陸塊，導致高山隆起的事件。最明顯的例子，就是發生在 3000 多萬年前，當向北移動的印度板塊，撞上了亞洲大陸板塊，巨大的推擠作用造成了喜馬拉雅山脈隆起，形成現今全球最高聳的山脈。而伴隨著喜馬拉雅山脈隆起的同時，巨大的陸塊擠壓力量也把中南半島往東南方向推擠過去，因而引發了南海由陸地演變為滄海的一系列過程。

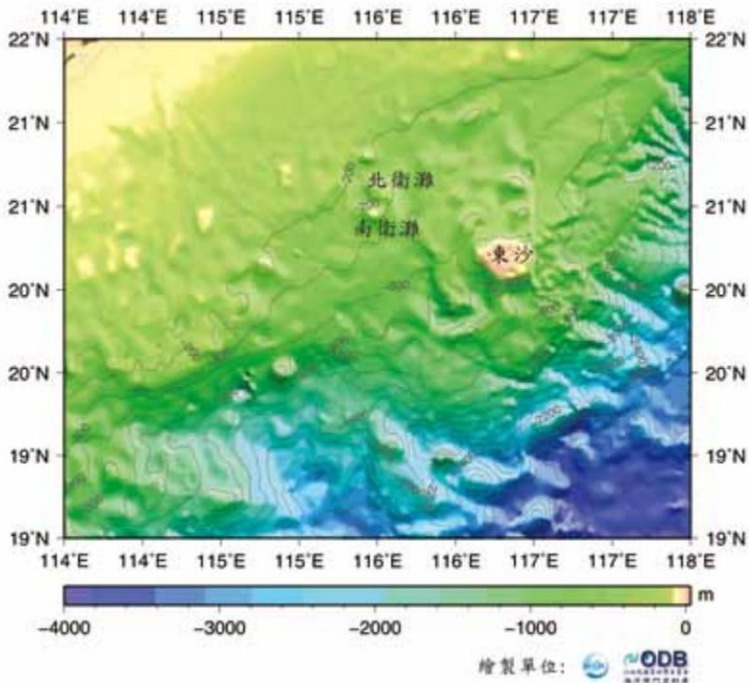
從新生代亞洲東南部的地形演變來看，南海的逐漸擴張、沉降與喜馬拉雅山的隆起，是同時進行的兩大地質作用過程；在喜馬拉雅山脈方面，原來是海洋的底質被推擠而逐漸隆起，成為崇山峻嶺；在南海方面，原來是陸地或陸地邊緣的底質，因為擴張而逐漸下沉，慢慢演變成為深海。這兩項重大的地質事件，同時發生在新生代的古近紀，使海洋和陸地的面貌產生重大改變，對東亞地區的氣候和環境，產生了巨大影響。

科學家如何重建南海由陸地演變成海洋的過程呢？證據就在這個區域古地磁的分布上面。由於各地質時代的岩石有一定的磁性，指示其生成時期的磁極方向，科學家根據南海不同地區古地磁的分布型態，就可以重建不同時期南海的樣貌，並且追溯南海地形演變的歷史。

科學家根據長期以來在南海及鄰近區域的地磁探測結果，描繪出南海擴張的整個過程：南海早在距今約 3300 萬年前的漸新世中期開始海底擴張，在擴張過程中，南海面積逐漸加大、變深；在此同時，菲律賓板塊向東北擠壓，造成台灣島的隆起。一直到大約 1700 萬年前的中新世早期，南海的擴張才逐漸緩和下來，形成今日南海的樣貌。

南海的海底地形相當複雜多樣，依據南海的地形和等深線分布特徵，可以把南海地形劃分為三大部分：大陸棚、礁灘複合區及深海海盆。大陸棚是指水深淺於 200 公尺的區域，主要分布在南海的北部、西部和南部；其中，南海北部的大陸棚是廣東及廣西海岸地區的延伸；南海西部的大陸棚就是中南半島海岸的延伸，它在南北兩端比較寬，中央段比較窄；南海南部的大陸棚，也就是「巽他大陸棚」的北部，大部分區域的水深只有 50 至 70 公尺之內。

深海海盆則在水深 4000 公尺以下，主要位於南海的中部和東部，包括南海東部的馬尼拉弧溝、南部的南沙海槽（位於南沙群島與菲律賓巴拉望島之間），以及南海的中央海盆。整個南海的最深處為呂宋島西側的馬尼拉海溝，水深約 5400 公尺，中央海盆的最深處約 4400 公尺。



東沙附近的海底地形圖 (台灣大學海洋研究所海洋資料庫提供)。

南海的礁灘複合區介於淺海大陸棚至深海海盆之間，包括東沙、西沙、中沙和南沙等群島及鄰近的珊瑚礁區，主要分布於水深 200 至 2000 公尺的大陸坡之上，在這個大陸坡內有逐級下降的台階，包括東沙、西沙和南沙群島的珊瑚礁都分布在大陸斜坡的台階之上；其中，東沙環礁位於南海北部的東沙台階上，基底的水深約有 350 公尺；西沙群島所在的西沙台階水深約有 1000 公尺，南沙群島所在的海台階最深，水深約有 1500 至 2000 公尺。

整個東沙台階的範圍其實相當大，呈東北－西南方向延長，寬度約有 100 公里以上，包括南衛灘和北衛灘都位於其上；在東沙台階的東方，另有一塊水深約 2500 公尺的深海台階。地質學者認為這些台階原來都是華南大陸地塊的一部分，後來在地殼下沉的過程中，分別在不同時期發生斷裂而陷落，形成現今分布在大陸斜坡上的一系列台階。

東沙環礁的形成

東沙環礁是一個典型的環狀珊瑚礁，她是直徑約 25 公里，面積有約 500 平方公里，高度約有 350 公尺的巨大礁體；從立體構造來看，東沙環礁是個高聳的環形柱狀礁體，矗立在南海北部的東沙台階之上；從水深 50 公尺以下，就以很陡峭的坡度下降至水深 350 公尺。如此龐大的地形構造，是由造礁珊瑚歷經千萬年時間所建造完成。若要解讀東沙環礁發育的漫長過程，首先就要先了解珊瑚的造礁過程。

絕大多數的造礁珊瑚屬於刺胞動物門珊瑚蟲綱的六放珊瑚亞綱，牠們生長在熱帶至亞熱帶淺海，體內含有大量的共生藻；在健康的造礁珊瑚體內，每一平方公尺的肉質組織就含有 100 至 500 萬個共生藻細胞。這些共生藻需要陽光來行光合作用，因此造礁珊瑚都生長在陽光充足的淺海；共生藻不但製造營養物質供給珊瑚利用，並且可以促進珊瑚的鈣化作用，幫助珊瑚堆積

東沙海域常見的一種造礁石珊瑚。



碳酸鈣骨骼；這些碳酸鈣骨骼就成為建造珊瑚礁的主要原料。但是，建造珊瑚礁的過程不只是珊瑚的鈣化作用而已，還包括各種侵蝕、沉積和膠結等過程。



合葉珊瑚 (*Symphyllia* sp.) 是常見造礁珊瑚之一。



菊珊瑚是常見造礁珊瑚之一。



桌形軸孔珊瑚 (*Acropora hyacinthus*) 是常見造礁珊瑚之一。



團塊微孔珊瑚 (*Porites lobata*) 為潟湖區常見的造礁珊瑚。



管孔珊瑚 (*Goniopora* sp.) 的珊瑚蟲。



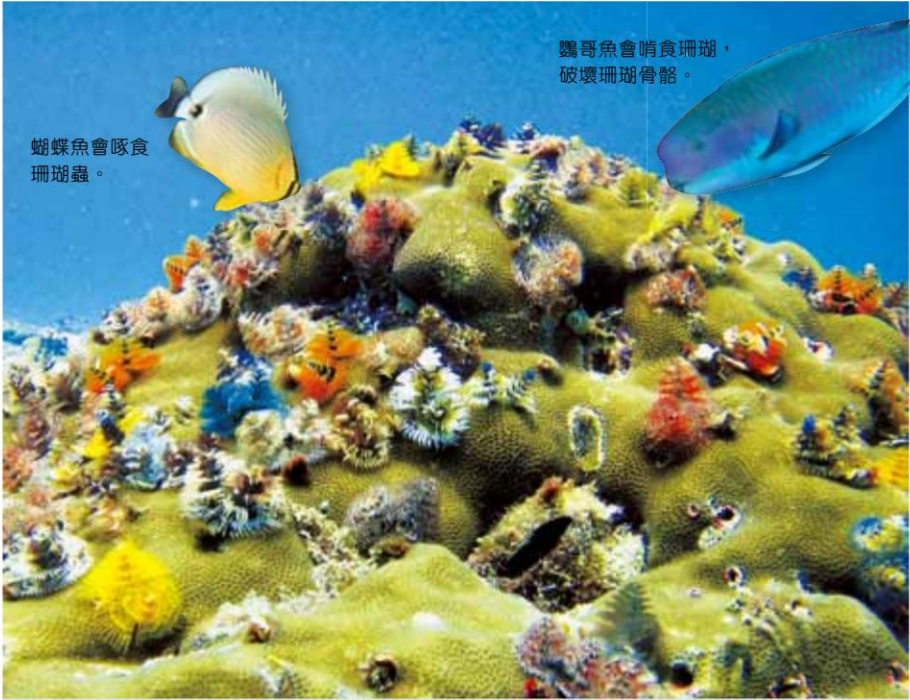
顆粒軸孔珊瑚 (*Acropora granulosa*) 的主軸珊瑚蟲大而鮮艷。



軸孔珊瑚的每一分枝都由許多珊瑚蟲構成。



叢生棘杯珊瑚 (*Galaxea fascicularis*) 的珊瑚蟲具有一環突出的骨片。



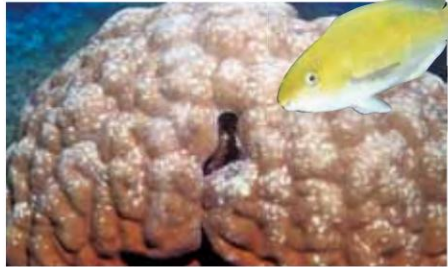
蝴蝶魚會啄食珊瑚蟲。

鸚哥魚會啃食珊瑚，破壞珊瑚骨骼。

大旋鰐蟲 (*Spirobranchus giganteus*) 在微孔珊瑚上築管而居，會影響珊瑚生長。



棘冠海星 (*Acanthaster planci*) 是造礁珊瑚的殺手，牠以珊瑚的肉質組織為食。



微孔珊瑚上的斑紋是鸚哥魚啃食留下的痕跡。

破壞珊瑚礁的侵蝕作用來自生物和物理的力量，也就是生物性的侵蝕和攝食作用，以及颱風和波浪的物理性破壞力量。在珊瑚礁生態系中，有許多海洋生物會破壞珊瑚礁體，常見的有鑿孔生物的活動，這些包括在珊瑚骨骼

上鑿洞居住的生物，如海綿、管蟲、星蟲、鑽孔貝和一些蝦蟹類等，牠們的鑿洞行為會破壞珊瑚骨骼的堅固性，加速礁體崩解。生物攝食也會破壞珊瑚骨骼，例如：鸚哥魚經常啃食珊瑚，會抑制珊瑚骨骼堆積；棘冠海星大量繁衍、攝食珊瑚組織，導致珊瑚死亡，會對珊瑚礁造成嚴重損害；其他珊瑚礁魚類、海膽、貝類等攝食珊瑚的行為，也會減緩或破壞珊瑚骨骼的堆積速度。

物理因子如颱風巨浪侵襲，常會造成珊瑚骨骼折斷或破碎，海流和波浪力量也會造成侵蝕，往往將珊瑚礁切割成複雜的地形；不管是生物或物理侵蝕作用，都會產生大量的珊瑚碎屑或沙，常隨著海流漂送，而成為珊瑚礁海岸邊或潟湖中廣泛分布的沙灘；有些沉積物則被漂送而充填在珊瑚骨骼孔隙中，然後被細菌或藻類的膠結作用凝聚起來，形成堅硬的礁體構造。

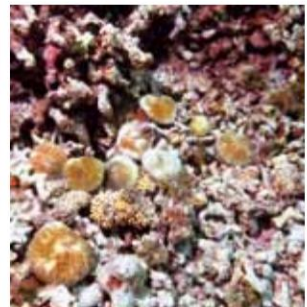
完整的珊瑚礁通常包括三類成份：珊瑚骨骼結構、沈積物及膠結物。在珊瑚礁形成的過程中，造礁珊瑚首先經由鈣化生長而建造礁體的架構；其次，被侵蝕下來的沈積物，逐漸被搬運充填在珊瑚骨架的孔隙中，然後經由鈣化藻類或細菌的膠結作用而形成堅固的礁體；這種過程就像蓋房子需要鋼筋、沙和水泥等三種物質一樣，珊瑚建造的礁體結構如同房子的鋼骨結構，而沈積物及膠結物就像沙和水泥組成的混凝土一樣，使礁體成形、並且更為堅固。



珊瑚礁的鈣質沉積是造礁原料之一。



殼狀珊瑚藻包覆生長在礁石表面，它是造礁生物，也是膠結者之一。



珊瑚骨骼碎片和蕈珊瑚。



乳節藻 (*Galaxaura* sp.) 的鈣質細胞壁為鈣質沉積物的來源之一。



珊瑚礁是造礁珊瑚和其他許多生物經由沉積、侵蝕、搬運、膠結等複雜過程，而建造起來的地形構造，這種構造能抵抗波浪沖擊，並且提供許多生物居住和避敵的空間；在適合的環境中，珊瑚礁可以長得很大，但是大部份的礁體都是沒有生命現象的碳酸鈣骨骼，只有表面一層薄薄的活組織才具有生命；這層組織藉由珊瑚蟲不斷的分裂生殖和細胞更新而持續生長，累積珊瑚骨骼。



造礁珊瑚和沉積物共同構成珊瑚礁。

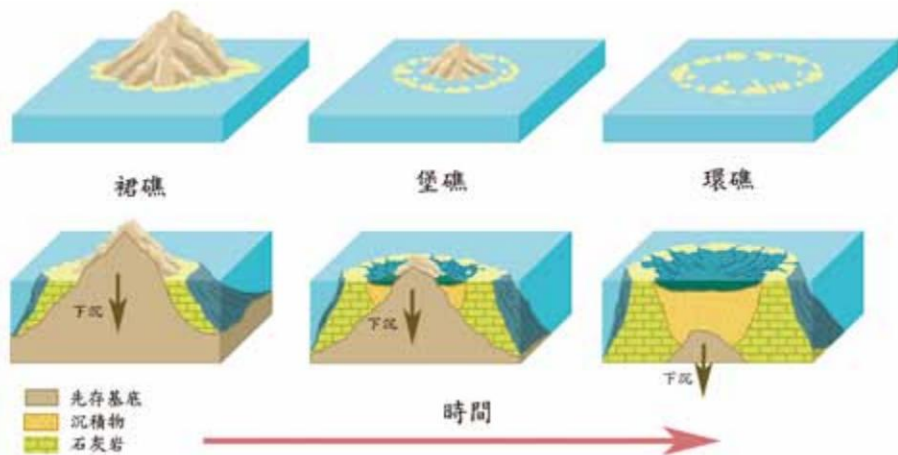
從時間尺度來看，珊瑚礁建造是個漫長的動態過程，一座直徑約 10 餘公尺的小型珊瑚礁，可能就需要數百年至數千年的時間才建造完成；大規模的珊瑚礁廣達數十或數百公里，就需要經過數百萬年或千萬年才可堆積形成；像東沙環礁如此巨大的珊瑚礁，是由許多造礁珊瑚經過千萬年的生長和堆積才建造完成，當然是彌足珍貴的自然資源。



關於環礁的形成，演化學者達爾文於 1842 年所著的「珊瑚礁分布和構造」一書中，提出沉降學說，用來解釋從裙礁、堡礁至環礁的一系列演變過程。他認為大洋中的珊瑚礁在剛形成的時候，都生長在火山島嶼的周圍，也就是裙礁；當這些火山島嶼逐漸下沉，周圍的珊瑚礁由於有旺盛的珊瑚造礁作用，而能持續向上生長，維持在海平面附近；並且由於外圍的水流交換比較好，珊瑚生長比較快，而陸地周圍的水流交換比較差，珊瑚生長比較慢；這種些微的差異，經年累月持續下去，就形成了潟湖，珊瑚礁也演變為堡礁；當島嶼完全沉沒在海面下，若珊瑚礁仍持續生長，就會形成環狀的珊瑚礁在海平面附近，也就是環礁。

達爾文提出的假說，一直到 1951 年，當美國在太平洋的安尼威托 (Eniwetok) 和比基尼 (Bikini) 二環礁進行核子試爆時，才得到驗證。地質學家在向珊瑚礁底部鑽了 1000 多公尺深以後，終於發現了基底的火成岩，而珊瑚礁由淺至深完整的地層，讓地質學家可以解讀環礁形成的歷史，因而證明達爾文的沉降學說是正確的。

由於整個南海是由於陸地逐漸下沉而形成的，因此基本上，東沙環礁的



達爾文提出的環礁形成理論。

形成過程符合達爾文的沉降學說，唯一不同的是，東沙環礁的基底可能不是火成岩；因為根據地質學者在南海的探測紀錄，這個區域尚未發現火成岩地形，因此，東沙環礁的基底可能只是大陸邊緣的岩石底質，或者是由冷泉碳酸鹽構成的硬底質；若要揭開東沙環礁形成的歷史和詳細過程，就必須在環礁上做地質鑽探，經由解讀鑽取的地底岩心，重建東沙環礁發育的地質歷史。

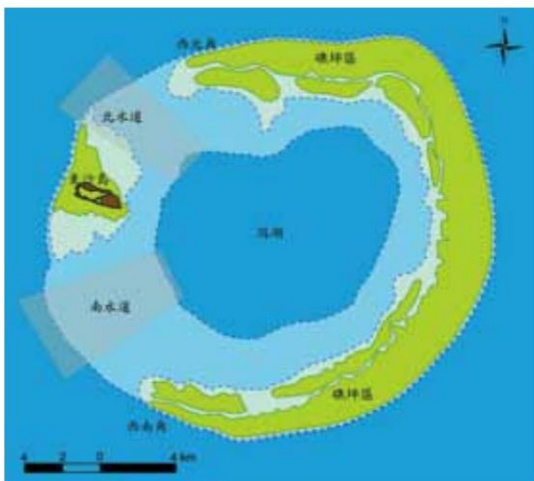
根據達爾文的環礁形成學說和南海的地質歷史，就可以拼湊出東沙環礁形成的大概過程。在 3300 萬年前，南海開始擴張的初期，東沙環礁的基底原先是華南大陸地塊的一部分，它可能是一個直徑 25 公里以上、近似環狀的岩石山丘；由於堅硬的岩石底質提供造礁珊瑚附著生長的基底，因此在當時的淺海環境中，逐漸堆積形成東沙底部的早期珊瑚礁；後來南海的海床持續下沉，這片珊瑚礁不斷向上生長，經由生物沉積、侵蝕、搬運、膠結等複雜過程，堆積更多更厚的碳酸鈣礁體，形成東沙環礁。當然，冰河時期的海平面變動也對東沙環礁有影響，例如在上次冰河時期 (18000 年前)，海平面比現在低 100 餘公尺，那時的東沙環礁整個露出海面，像一座直徑約 25 公里的圓桌狀島嶼，珊瑚只在島嶼周圍生長；等到海平面逐漸回升，珊瑚又廣泛分布在整個環礁淺海，繼續牠們的造礁活動。總而言之，東沙環礁是造礁珊瑚歷經千萬年的沉積，並且經由各種生物、物理和地質因子的交互作用，才形成今日的面貌。

南海中的許多珊瑚礁島嶼，大多也是經由相同的過程建造形成的；然而，許多個珊瑚礁區，由於向上生長的速度趕不上海床下沉的速度，而成為淹沒在海底的暗礁，例如：東沙環礁西北方的南衛灘和北衛灘、中沙群礁的大部分礁區，以及南沙群島最南方的曾母暗沙等，都是由於珊瑚礁成長的速度低於海床下沉的速度，而成為分布在海面下的暗礁。

從整個南海珊瑚礁發展的歷史看來，東沙位於南海北部，在緯度相當高的海域還能形成近乎完美的圓形環礁，這樣的機率其實是非常低的，可以說是各種自然力量的精巧配合，加上造礁珊瑚的旺盛生命力，才促成東沙環礁的誕生。

東沙環礁地形

從衛星影像看東沙環礁，最明顯的地形就是近乎圓形的環狀礁坪、中央的大潟湖及散布其間的塊狀礁、西邊的東沙島、以及西北和西南方的水道，這些都是環礁形成過程中，自然力量長期雕琢的結果，主要的自然力量包括：風、雨、波浪和海流等。



東沙環礁的地形構造，顯示完整的環礁地形。

環狀礁坪區的形成，主要是由於造礁珊瑚的生長受到暴露出海平面的限制。珊瑚是海洋生物，當牠暴露於空氣中，就會因為失水或組織受傷而死亡；珊瑚通常只能忍受短暫時間暴露在空氣中，如果露出水面超過二小時，大多數珊瑚都會死亡；生長在海平面附近的珊瑚，退潮時露出水面，牠們的生長就受到限制，只能往水平方向堆積，久而久之就形成表面非常平坦、寬達數公里的環狀礁坪。

平坦的礁坪區提供許多藻類和底棲生物附著生長的基質，構成生機旺盛的生態系；但是對於航行的船隻來說，這些漲潮時沒入水中的礁坪則是危險

地帶，經常造成船隻因一時疏忽而觸礁擱淺；東沙環礁的礁坪上就有數艘擱淺的船隻，散布在環礁的東、南和北方，代表著航海人傷痛的歷史。

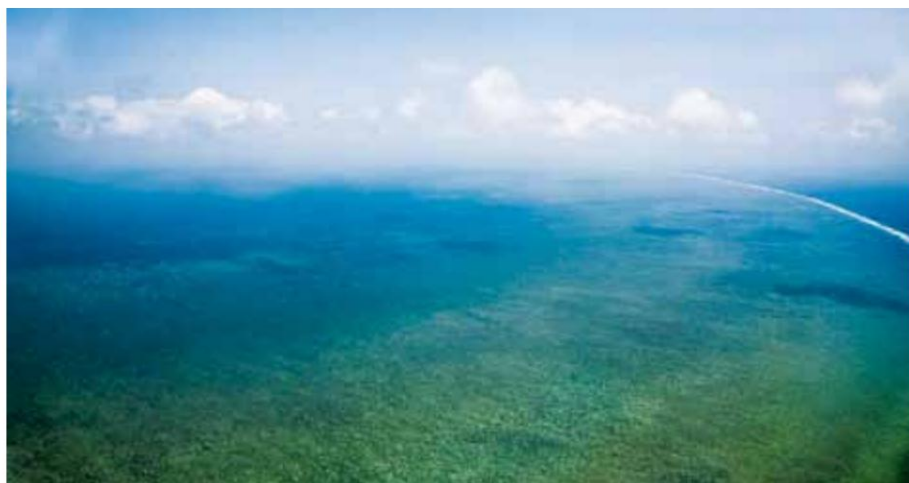
由東沙環礁的外形看來，礁坪區在東方發育較好，礁坪區較寬，並由兩側往西方逐漸變窄，代表珊瑚造礁活動在環礁東方最為旺盛，並且往西方遞減；這種現象與環境因子，尤其是海流和風向有關。由於珊瑚是固著生活的動物，牠們需要充足的水流交換，帶來食物和營養鹽，並且帶走代謝產生的廢物。東沙環礁的盛行風向和海流都來自東方，因此東方迎流面的造礁珊瑚生長較佳，珊瑚礁發育也較好。



礁坪區在退潮時露出水面。



礁坪區上的擱淺船隻殘骸。



東沙環礁的礁坪區相當寬廣而平坦。



另一方面，海流和風浪會造成侵蝕作用，礁區侵蝕產生的珊瑚沙和碎屑，被海流輸送到背流面，在海流較緩的潟湖區堆積，形成厚厚的泥沙沉積；這些沉積物從顆粒粗大的珊瑚骨骼斷枝碎片，到顆粒非常細的粉沙都有，這



珊瑚沙提供海灘植物著生的基質。



東沙島位於環礁西方的礁坪區。

些很細的粉沙主要來自有孔蟲殼體、鈣質藻和軟珊瑚的骨針，而沙質海底也占據潟湖區大半的面積。

在潟湖區泥沙沉積充斥的環境中，珊瑚只能聚集生長在凸出的硬底質上，久而久之就形成了面積不等、形態各異的塊狀礁，星羅棋布的散落在潟湖中，從空中俯瞰，就像繁星點點，裝飾著廣闊的潟湖水域。

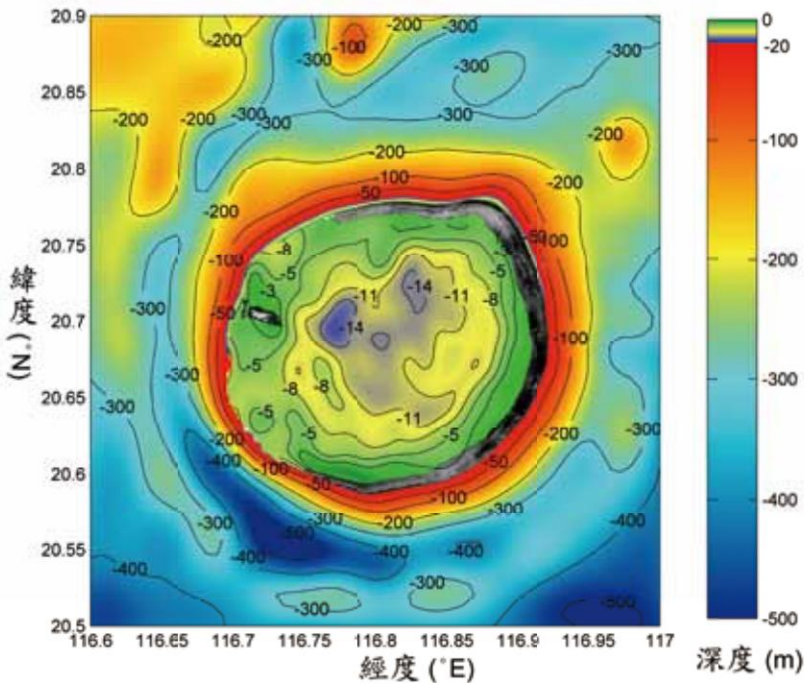
在靠近環礁西部的南和北方，造礁活動較弱、地勢比較低平，就成為漲退潮之際海水進出潟湖的通道，潟湖的海水經由這兩個通道與外界交換，使得潟湖內部可以維持生機蓬勃的生態系。

東沙島位於環礁西方的礁坪區，她是由珊瑚沙和貝殼沙經過長期堆積形成的小島。當珊瑚礁被侵蝕作用產生的珊瑚碎屑和沙，受到海流和風的搬運，就會逐漸在背流面的礁坪區堆積起來，形成沙灘；經常露出水面的沙灘吸引海鳥聚集築巢，植物附著生長，最後就成了沙島，東沙島就是這樣形成的。

東沙環礁海底地形

東沙環礁的海底地形在環礁內和外之間有很大差異，環礁內的潟湖區屬於淺海沉積環境，邊緣較淺而中間較深，整個等深線呈漏斗狀逐漸下降，中央區域比較深，最深的地方有 23 公尺；整個環礁潟湖的平均水深約 10 至 15 公尺，最淺的區域位於東沙島周圍，平均水深只有 2 至 5 公尺，南北水道平均水深也只有 5 至 8 公尺。

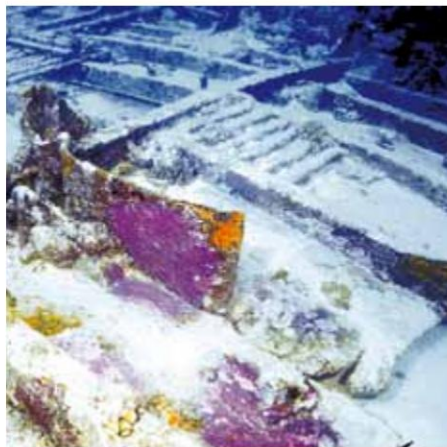
潟湖區有許多突出的塊狀礁散佈，塊狀礁的大小和形態很不一致，直徑從數十公尺至數百公尺，形態則從環形、弧形、長條形至不規則形都有；塊狀礁的頂端通常到達海面附近，因此對於在環礁內航行的船隻來說，往往構成安全威脅。



東沙環礁及周圍的海底等深線圖，顯示她是一個大型圓柱狀礁體（中山大學王玉懷教授提供）。



東沙環礁上的沉船代表航海人傷痛的歷史。



東沙環礁北水道海底沉船殘骸。



海底沉船提供魚類棲息空間。

南北水道位於環礁的西南及西北方，基本上是礁坪區的延伸，因此水深相當淺；其中，南水道寬約 5 公里，底質以砂質沉積和珊瑚礁塊為主，水深大多在 2 至 5 公尺之間，整個水道長度約有 3 公里，出水道後水深驟降至數十公尺，為東沙島對海外海運的主要航道。北水道寬約 3 公里，水深在 3 至 8 公尺之間，底質有珊瑚礁塊散佈，水道長度約有 5 公里，由於是潟湖區海水與外界交流的主要水道，漲退潮之際的水流較強，而且易受東北季風影響，因而較少利用當作航道。



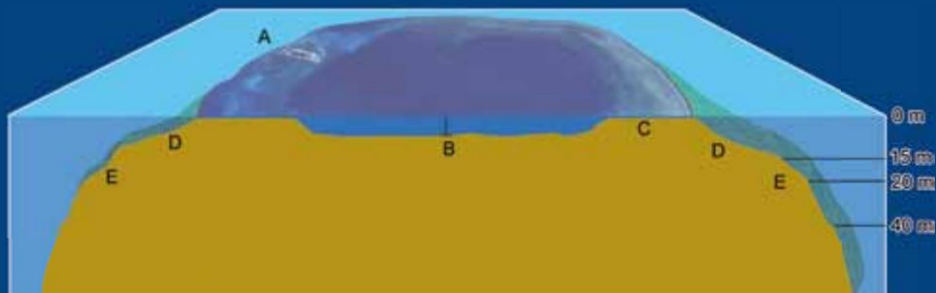
北水道珊瑚群聚。



環礁外圍的地形特徵顯示，淺水域珊瑚礁區的範圍相當狹窄，寬度通常只有數百至一千餘公尺而已。從礁坪區邊緣至水深約 15 公尺之間，有發達的槽溝和狹長的珊瑚礁塊，沿著環礁外圍呈放射狀分布；這種地形是由於淺海珊瑚礁終年受到波浪沖刷侵蝕的結果。當從外海來的波浪行進到珊瑚礁淺海區，當水深不到波長的一半時，波浪就會受到底質摩擦力的影響而破碎，碎浪上湧和離岸流向下的力量，來回沖刷著珊瑚礁區，比較脆弱的地方就被侵蝕成平行水流方向的槽溝，相鄰二槽溝之間則成為突起的礁脊；礁脊表面通常有各類珊瑚密集生長，形成繁茂的珊瑚群聚。



外環礁陡坡及其上的軟珊瑚。



東沙環礁的剖面顯示珊瑚環礁的地形特徵 (A: 東沙島; B: 潟湖; C: 礁坪區; D: 緩降坡; E: 陡降坡)。

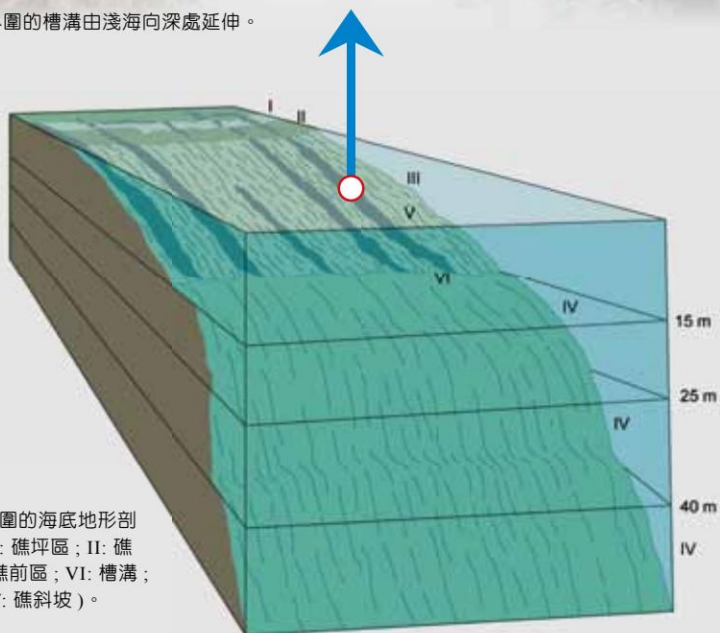


東沙環礁外圍淺海有許多垂直海岸的槽溝。





東沙環礁外圍的槽溝由淺海向深處延伸。



東沙環礁外圍的海底地形剖面示意圖 (I: 礁坪區; II: 礁緣區; III: 礁前區; VI: 槽溝; V: 礁脊; IV: 礁斜坡)。



環礁外圍淺海的珊瑚聚集生長在礁脊表面。



外環礁陡坡礁壁上的橙紅扇珊瑚 (*Melithaea ochracea*)。



外環礁陡坡上的棘穗軟珊瑚 (*Dendronephthya* sp.)。

由於珊瑚生長受到光度不足的限制，在水深 15 公尺以下，光線迅速降低，珊瑚生長速率也迅速降低，這些生長速率的差異使得珊瑚礁的坡度愈往深處愈陡；在水深約 25 至 30 公尺處，光度幾乎已到達適合造礁珊瑚生長的最小值，造礁活動很薄弱，因而形成陡降坡，有些地方幾乎垂直下降至珊瑚礁的基底。

東沙環礁的地形特徵與世界其他海域的環礁相似，代表著它們都是經由類似的造礁作用和自然力量所形成，然而，世界上卻沒有二個環礁是完全相同的，意味著每個環礁都有它獨特的環境條件。

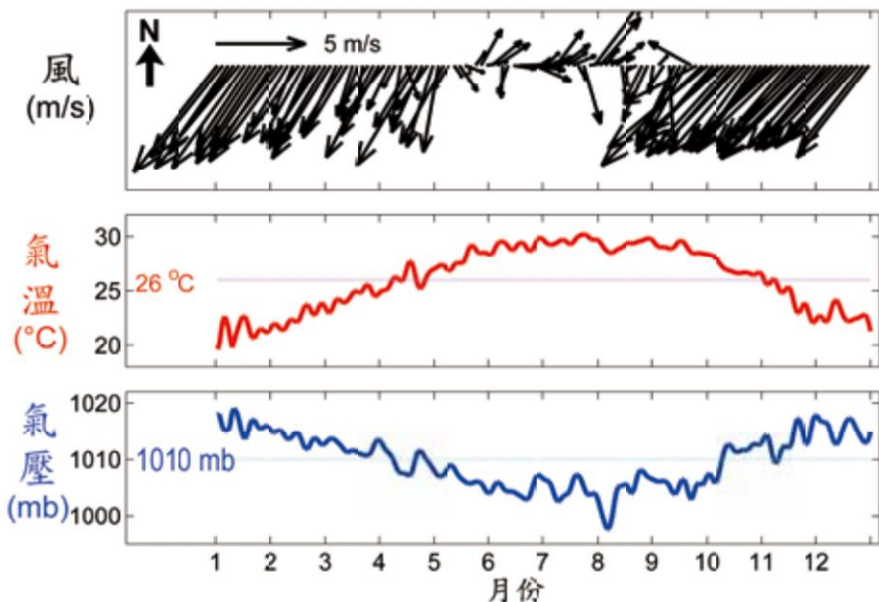
海洋物理 與化學環境

海洋是形塑東沙環礁的巧手，也是左右東沙未來的關鍵力量。海洋的物理特性包括水溫、海流、波浪和潮汐等，海水的化學特性則包括鹽度、酸鹼度、溶氧及營養鹽含量等；這些都是影響東沙環礁生態系的重要因子，並且與氣候及氣象因子，如風力、氣溫、降雨等有關。



海洋的物理和化學作用雕塑著東沙環礁的形貌。

季風與降雨量



東沙島各月份的風向、風速、氣溫和氣壓變動圖（中山大學王玉懷教授提供）。

東沙島屬於標準的亞熱帶海洋氣候，冬季受東北季風，夏季則受西南季風的影響，四季呈現明顯的氣候變化。每年十月至翌年四月為東北季風盛行時期，海面經常波濤洶湧；五月開始轉換季節，風向逐漸轉變為西南季風，六至八月為西南季風盛行時期，風向變化不大，但是經常受到颱風侵襲的影響；九月開始轉換季節，風向又逐漸轉變為東北季風。從一年的時間尺度來看，東北季風盛行的期間較長，風力也較強，對於東沙環礁的形態有深遠的影響。

東沙島上因地形平坦，雨量並不多，雨量以夏季（六至九月）稍多，每月降水量皆超過 170 公厘；冬季較少，並以二月 18.0 公厘最少。由於雨量不大，降雨對海水鹽度的影響很小。

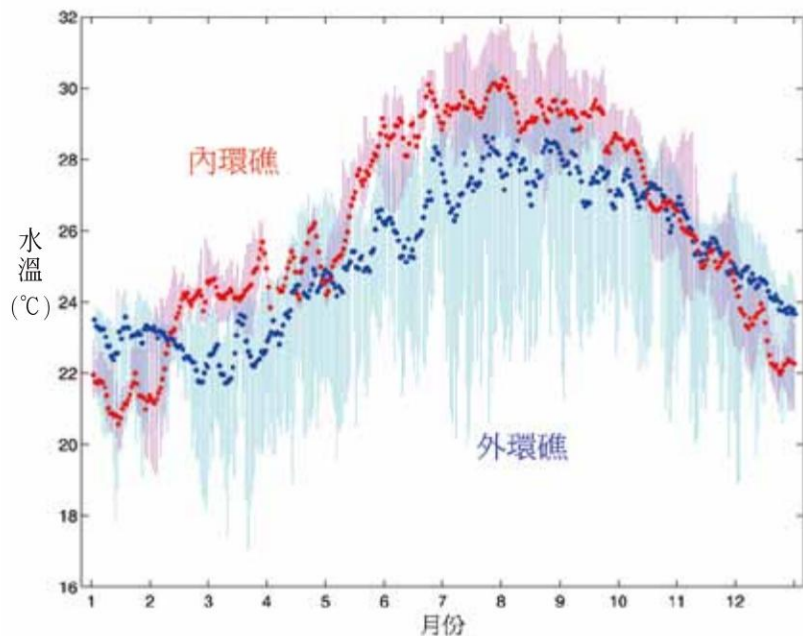
颱風

南海是颱風形成的區域之一，颱風在此形成之後，有相當大的機率會往北行經東沙海域；另一方面，東沙島附近海域也是西太平洋的主要颱風路徑之一，最近十年，東沙島受颱風影響相當頻繁，例如在 2008 及 2009 年，就分別有四個以上的颱風行經東沙島和周圍海域。颱風引起的巨浪衝擊到環礁上時，巨大的力量會對珊瑚產生嚴重破壞，甚至改變珊瑚礁地形，例如 2006 年 5 月中旬的珍珠颱風侵襲東沙，就曾沖毀島上小潟湖南方的沙岸，對小潟湖的水文環境產生影響。颱風巨浪引起的機械性破壞，也是導致潟湖內充滿許多珊瑚斷枝碎屑的主要原因。



東沙環礁是東亞颱風的主要路徑之一，圖為 2006 年 5 月中旬的珍珠颱風路徑 (圖片來源：中央氣象局)。

水溫



東沙環礁內部潟湖區（紅色）和外圍（藍色）的水溫年變化圖（中山大學王玉懷教授提供）。

水溫是影響珊瑚生長的重要環境因子之一，造礁珊瑚通常生長在水溫為 18 至 30°C 之間的淺海，高於或低於這個範圍的水溫都不利於珊瑚生長。

東沙海域位於亞熱帶，水溫變化範圍大約在 20 至 32°C 之間，夏季五至九月的海表水溫都在 26°C 以上，十月至翌年四月的水溫則大多介於 21 至 26°C 之間。東沙環礁的水溫受到季節變化、南海內波及日照的影響，而有相當大的變異，這種變異是導致環礁內部和外圍珊瑚群聚現況大不相同的主要原因。

環礁潟湖區的水溫變化範圍在 23 至 32°C 之間，平均溫度為 28.9°C，每日的溫差變化範圍大多在 1 度以內；夏季水溫因受日照強烈的影響，海水交

換又受到限制，水溫往往接近 30°C，逼近適合珊瑚生長的最高溫度，若超過 30 度的時間延續三日以上，就可能引起珊瑚白化，若持續更久則會造成珊瑚死亡。在全球氣候變遷、水溫逐漸升高的未來，潟湖區珊瑚的保育顯然面臨嚴峻的考驗。

環礁外圍的水溫變化範圍在 20 至 30°C 之間，平均溫度為 26.8°C。當受到內波擾動的影響時，溫度的變化範圍會比較大，水溫可能在短時間內下降 2 至 7 度。由於環礁外圍屬於開放環境，水流交換較好，又有週期性的內波帶動深海冷水湧升，這種降溫作用使得外環礁區的水溫保持在適合珊瑚生長範圍內，即使在水溫異常升高事件中，也未受到影響，珊瑚群聚維持在相當繁盛的狀態，與環礁內部形成強烈對比。



白化的桌形軸孔珊瑚可能因水溫異常或其他因素造成。

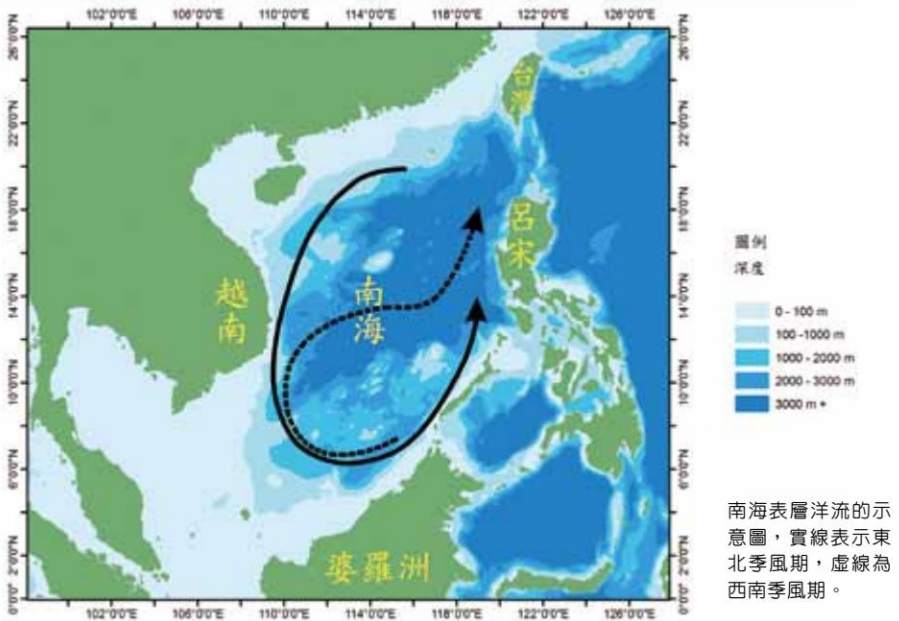


東沙外環礁東側的水流交換良好，珊瑚群聚生長密集。

海流

海洋是流動不居的水體，任何形式的海水流動，包括：洋流、潮汐、波浪、海嘯等，都可稱為海流。海水流動需要能量，風的吹送、海水溫度或鹽度的差異、重力作用等，都可使海水產生大規模的流動，其中，風力是推動大部分洋流的主要力量，而且幾乎所有的表層洋流都是由風力引起的。

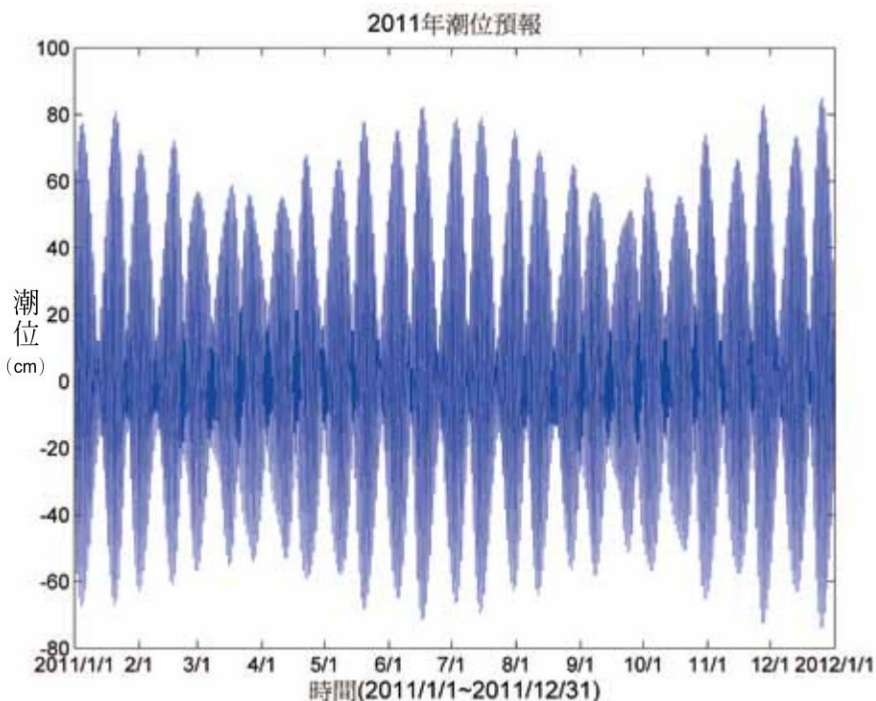
從較大的空間尺度來看，南海的表層海流主要受到季風的影響。在東北季風盛行期間（每年十月至翌年三月），強勁的東北季風把大量的表層海水向西南方吹送，因而在南海西部形成一道由北至南方向行進的強大漂流；此期間在廣東外海附近，逆風而動的「南海暖流」，只在東沙以北海區顯現。夏季在西南季風時期（每年五月至八月），南海的表層環流與冬季的流場大致相反，此時東沙環礁附近以東北向的海流占優勢。春及秋季為季風轉換期，也是表層海流交替的時期。



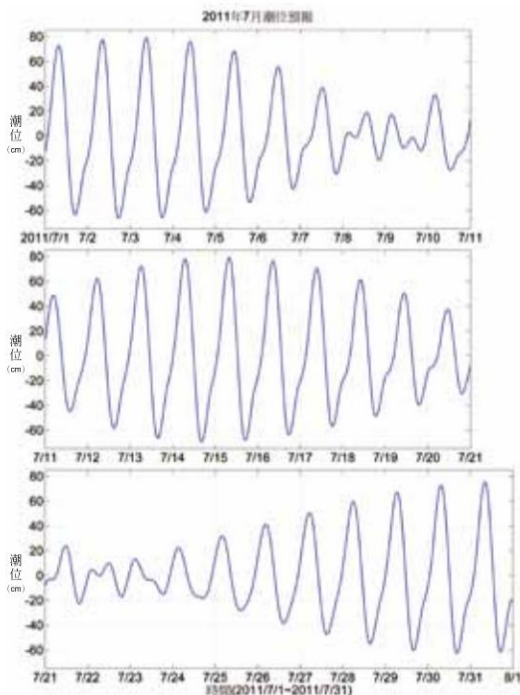
潮汐與潮流

潮汐是海面受到月球和太陽引力的影響而產生週期性的升降現象，而伴隨著海面升降所形成的海水流動就是潮流。當海面逐漸上升時就是漲潮，當海面下降時稱為退潮或落潮。當海水漲到最高位時、稱為高潮或滿潮，退到最低位時就是低潮或乾潮。如果每日有二次漲潮和退潮，而且潮位大致相等的週期，稱為半日潮；如果每日只有一次漲退潮則稱為全日潮，其他的型態都屬於混合潮。

高潮和低潮之間的水位差，稱為潮差。潮差也有週期性，潮差最大時稱為大潮，潮差最小時稱為小潮，大潮通常發生在月球、地球及太陽連成一



東沙環礁的潮位圖，顯示潮汐的月週期性，而且潮差在春(3,4月)、秋季(9,10月)較小，其他季節較大(中山大學王玉懷教授提供)。



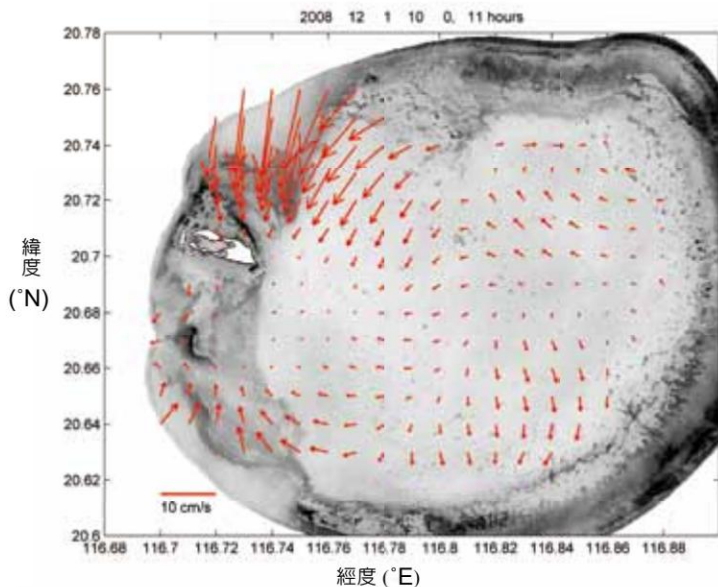
東沙海域的潮汐圖（以 2011 年 7 月為代表），顯示以全日潮為主，半日潮僅在小潮期間（7/8 ~ 7/10，7/21 ~ 7/23）稍明顯（中山大學王玉懷教授提供）。

直線時，小潮則發生在月球、地球與太陽的夾角約成直角時，大潮一般發生在朔或望（農曆每月初 1 或 15 日）之後的 1 至 3 日，小潮則發生在上弦月（農曆每月 7、8 日）或下弦月（農曆每月 22、23）之後的 1 至 3 日。

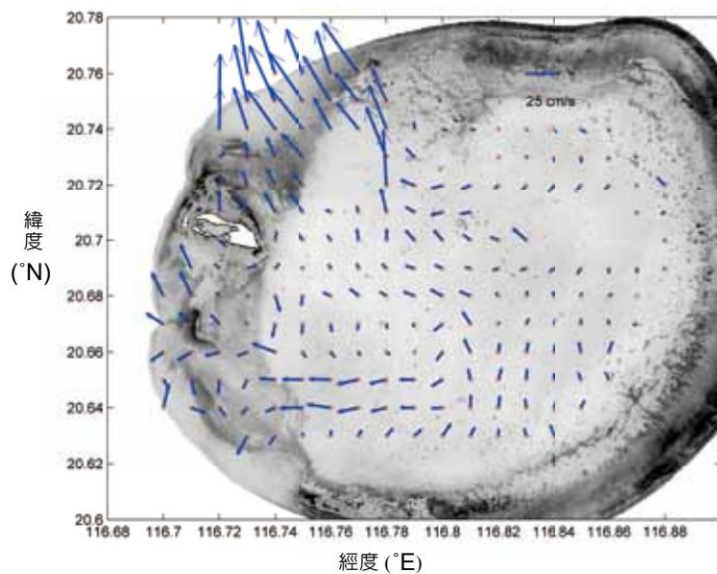
根據中山大學王玉懷教授團隊的長期觀測結果，東沙海域的潮汐以全日潮為主，也就是通常每天只有一次漲退潮；半日潮只在小潮時段比較明顯。東沙環礁內外的潮位

變化大致相似，最大潮差發生在朔望之際，水位落差可達 151 公分，最小潮差則僅 28 公分，平均潮差為 89 公分。海水在漲潮與退潮之間，由於水位差而引起的流動就是潮流。

王教授也指出東沙環礁附近的海流主要受到潮流的影響，由於潟湖區的面積廣達 300 餘平方公里，因此漲退潮之間流動的海水體積非常龐大，平均高達 30 餘億公噸，而海水進出環礁又集中在南、北水道二缺口，因此不論漲潮或退潮時段，南、北水道的表層海流都很強勁，離水道愈遠的海流則愈弱。



東沙環礁在漲潮時段的潮流方向和流速，顯示海水主要由北水道進入內環礁，該處的流速也最強（中山大學王玉懷教授提供）。



東沙環礁在退潮時段的潮流方向及流速圖，顯示海水主要經由北水道流出（中山大學王玉懷教授提供）。

在漲潮時段，大部分海水經由北水道進入環礁內部，然後受到塊狀礁和東沙島周圍的淺地形影響，流速逐漸減弱；王教授的觀測也發現，在漲潮時段，潟湖區上層與下層海水的流動方向可能不一樣，甚至形成相反方向的海流。在退潮時段，潟湖區大部分海水由北水道口流出，而在南水道會出現類似順時針旋轉的渦漩。



北水道底質上的指形軟珊瑚，是該海域經常有強勁海流的指標性生物。



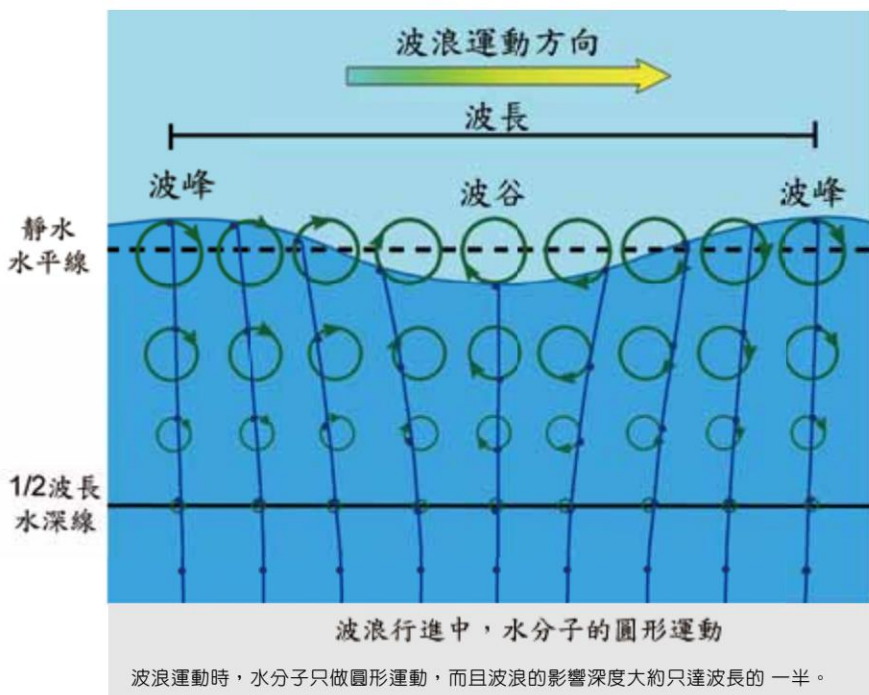
東沙島周圍淺海的海草床和珊瑚礁會使潮流大幅減緩。

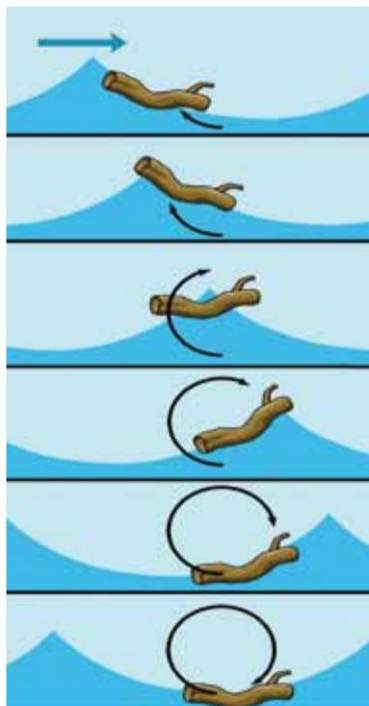


南水道海底的橙紅扇珊瑚，屬形群體直接面對海流，捕捉海流帶來的浮游生物。

波浪

波浪是海面受到外力作用而形成的波動，它是能量傳遞的一種方式；當我們在海面看見波浪向前推進時，其實海水本身並沒有向前流去，這種現象只要觀察水面的漂浮物就可知道；當波浪運動時，它只是隨著載浮載沉，並不會往前推進；形成波浪的水分子也是隨著水面一上一下做圓型運動，當轉到最高點時，水面出現波峰；轉到最低點時，水面凹下去就成為波谷，而海表面水分子的運動軌跡，就是波高，也就是波峰到波谷的距離；兩個波峰之間的距離就是波長，相鄰兩個波通過一定點所需的時間就是週期。當波浪運動時，海面下的水分子也隨著做圓周運動，但是水分子運動的直徑，隨著深度增加而愈來愈小，對海下生物的影響也愈小，通常海面波浪的影響深度大



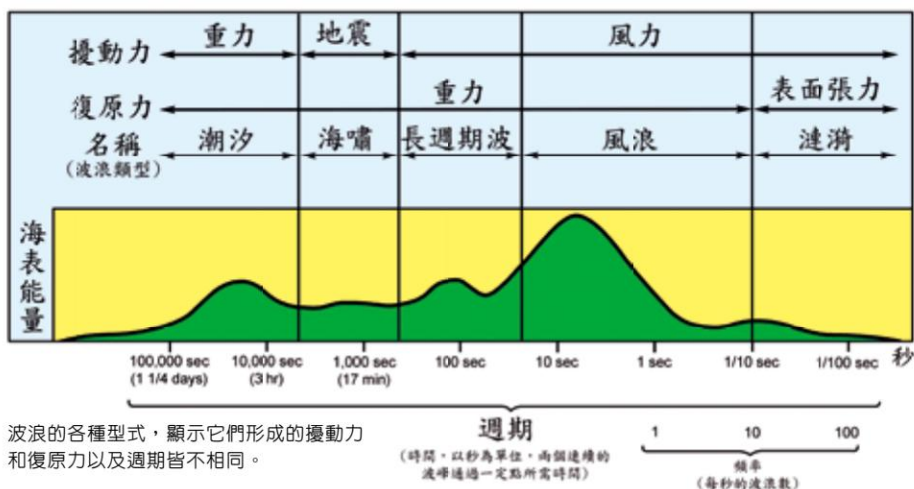


波浪的圓形運動顯示波浪行進時，海面的漂流木並未隨著前進。

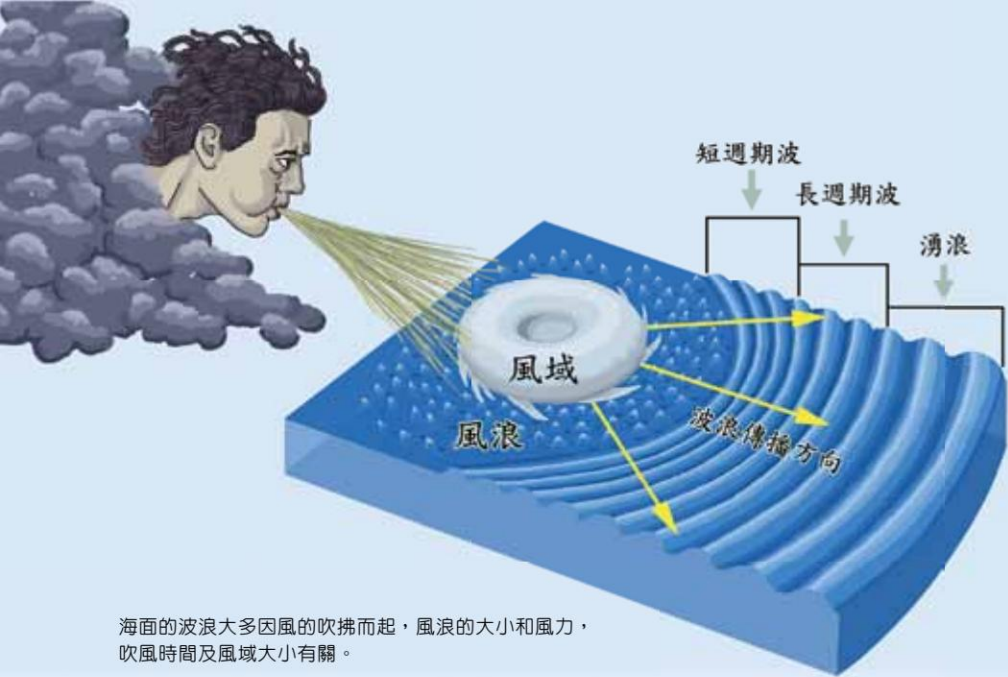
約為波長的一半，也就是波長 2 公尺的波浪，大概只影響到水深 1 公尺處，而波長比較長的湧浪，就會影響到比較深的海底。

海洋中的波浪有很多類型，引起的原因也各不相同，包括風、海底地震或火山爆發、大氣壓力變化、潮汐等都會引起波浪。

平常我們在海面上看到的波浪，大部分是因風的吹拂而興起的，風力的大小和吹風時間的長短，都會影響波浪的大小；也就是小風起小浪，大風起大浪，颱風當然就會引起滔天巨浪；而且風持續吹拂的時間愈久，波浪就愈大，因此當東北季風剛吹起時，波浪仍小，若持續吹個兩三天，波浪就愈來愈洶湧了。

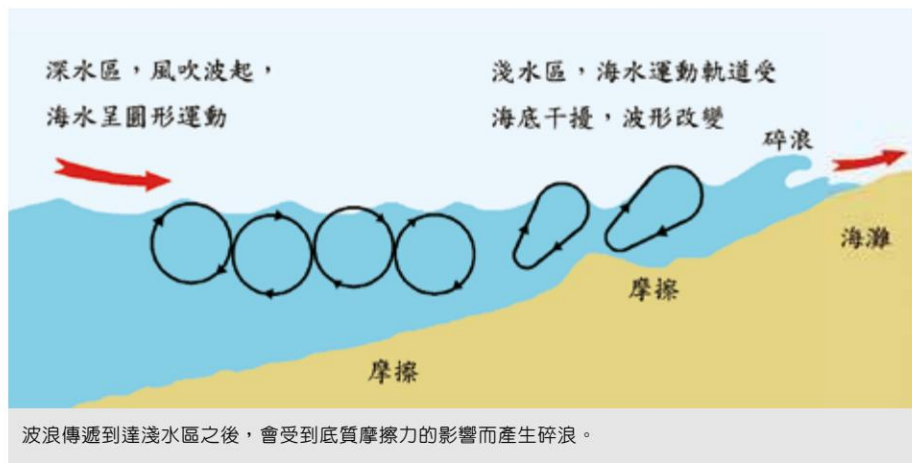


波浪的各種型式，顯示它們形成的擾動力和復原力以及週期皆不相同。



海面的波浪大多因風的吹拂而起，風浪的大小和風力，吹風時間及風域大小有關。

最小的波浪就是漣漪，當微風輕輕吹過水面，會在海面泛起陣陣漣漪，它的波長只有數公分，週期不到一秒，只要不再吹風，海面很快就會恢復平靜無波的狀態。如果風大一些，就會在海面形成波浪，它的週期從數秒到數十秒，波長從數十公分到數百公尺，波高可達十餘公尺；因風而起的波浪，離開吹風區向外傳遞，就稱為「湧」，它的波長比較長，相較於波高來說，



波浪傳遞到達淺水區之後，會受到底質摩擦力的影響而產生碎浪。

表面看起來比較平滑，但是卻具有比較高的能量，會對船隻航行造成影響。而且，湧的傳送速度快，可以傳送到相當遠的地方，在平靜無風的地方掀起波濤，例如在颱風來臨前夕就常如此。

當波浪傳遞到淺海和近岸時，隨著水深變淺，它的行進速度會受到底質摩擦力的影響而減緩，而且波長會變短，波高會變高，此時由於波浪上部的行進速度比較快，波峰就會向前傾斜，當傾斜度增大到一定角度時，波浪就會發生捲倒現象，在岸邊形成驚濤拍岸的景觀。在海中的淺灘、沙洲和暗礁上，經常可觀察到波浪破碎現象；東沙環礁的外圍就是著名的碎浪區。



外環礁的碎浪帶。



波浪破碎之後產生的離岸流與淺海槽溝的形成有關。



波浪破碎產生驚濤拍岸的景象。(攝自墾丁龍坑海岸)。



東沙外環礁的礁坪區是波浪破碎的區域。

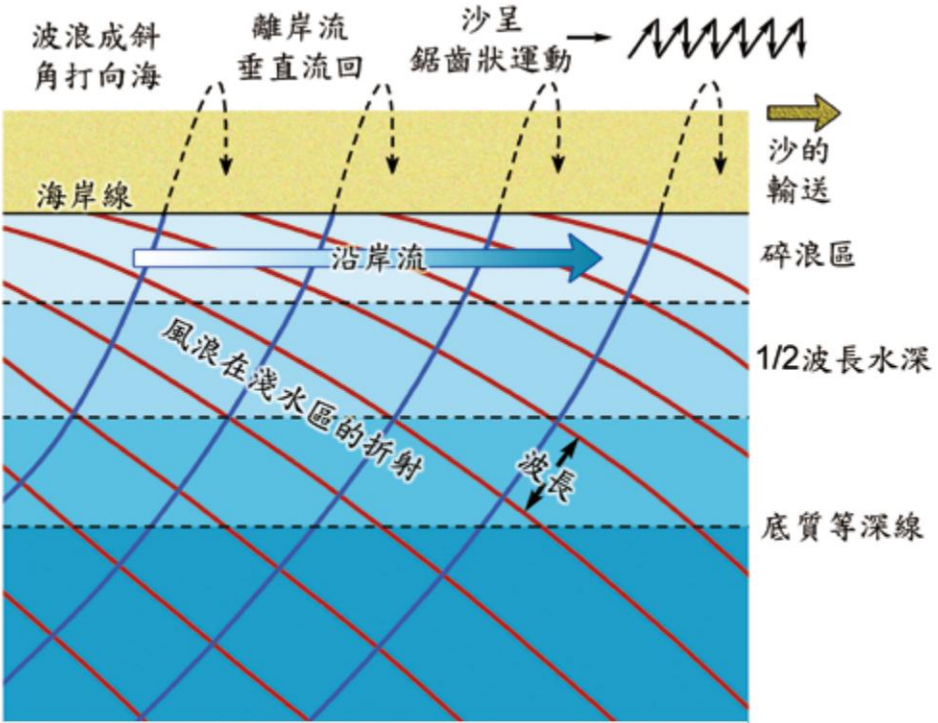
當波浪在近岸破碎時，會把相當多的海水帶入碎浪區，這些海水會先上湧，然後因重力作用而往下沖刷，回流到海洋中，形成所謂的「離岸流」；雖然它的影響範圍不大，但是流速卻可能相當大，對岸邊戲水者構成威脅。波浪破碎時，在珊瑚礁淺海產生的來回沖刷力量，就是在礁體上形成槽溝和浪渠的主要原因。

由於波浪行進的方向往往不是垂直海岸，因而在離岸流之間會形成沿著海岸行進的海流，稱為「沿岸流」。離岸流和沿岸流是淺海主要的水流運動，它們對海岸及淺海的泥沙搬運影響很大，昔日東沙島東側的「龍擺尾」沙灘，就是受到東北和西南季風的風浪和沿岸流影響，而產生來回擺盪，如今這個景觀已經隨著海岸消波水泥塊的堆放，改變沿岸流而消失。

昔日東沙島東側的「龍擺尾」沙灘。



沿岸流與沙的搬運及海岸侵蝕都有關。



波浪與海岸接觸而破碎之後，會上湧，並產生離岸流和沿岸流。

東沙環礁的波浪

東沙環礁附近的波浪主要受到季風、颱風及外洋波浪的影響。整體來說，每年十月至翌年四月初的波高較大，主要是受到東北季風吹拂的影響；五月過後為季風轉換期，西南季風逐漸增強，五至六月開始有西南湧浪出現，七至九月則常受到颱風的影響而有較大的波浪。

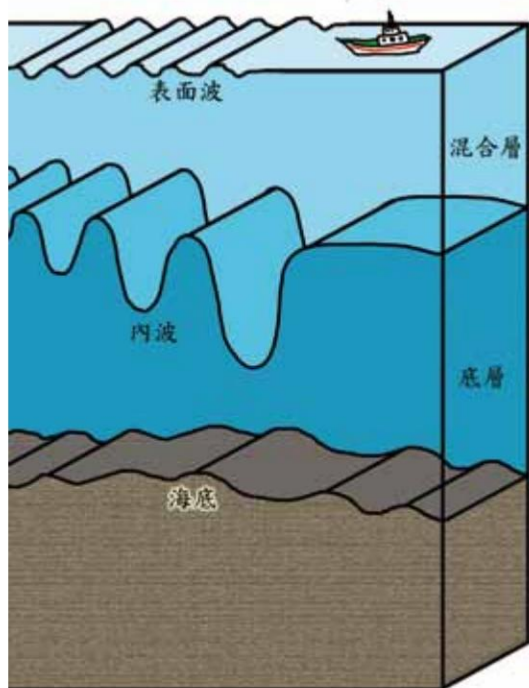
在波浪的空間分布方面，環礁外圍迎風面的波高較大，最大波高約有 5 公尺；其次為南、北水道口附近，由於缺乏地形遮蔽，又受到開放性大洋波浪的影響，最大波高約有 4 公尺。環礁內部則受到地形遮蔽的影響，波浪較小。外海傳來的波浪，經航道進入之後，受到地形影響很快就減弱，因此潟湖的平日波高相當小，介於 0.1 至 0.3 公尺之間，最大波高也不到 1 公尺。但是，環礁內部和外圍的波浪週期都很相似，通常介於 5 至 10 秒之間，這種現象表示東沙環礁的波浪主要受到大洋風浪的影響。

內波

內波是指在流體內部不同層交界處傳遞的波，當流體因密度不同而呈現垂直分層時，在兩層之間的交界面就可能形成內波，由於這種波發生於流體內部，因此被稱為內波。

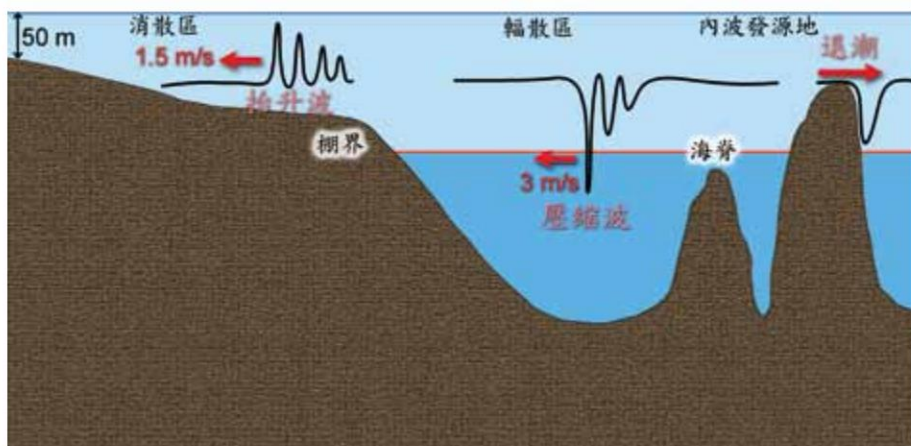
海洋表層的海水，由於受到風浪、對流、碎波等作用的影響，會形成一層密度相當均勻的混合層。如果混合層和底層海水交界處的密度變化較大時，就會有明顯的分層現象。海水分層是相對穩定的狀態，當海洋內部分層的界面受到外力擾動時，就會產生海洋內波；由於海洋內波的能量來源大多是潮汐，因此在農曆每月朔望之際的大潮期間，內波會比較明顯。

海洋內波是相對大尺度的海水運動，它的振幅與波長都比風浪大很多；



一般海面風浪的波高最大為 30 公尺，但是目前所知最大的南海內波振幅可高達 150 公尺，相當於上下震動約有 50 層樓高，這樣巨幅的震動，會對海底下的設施產生巨大衝擊，所幸這個震動發生在海水內部，而且波長達數公里，因此對海水表層的影響相當輕微。

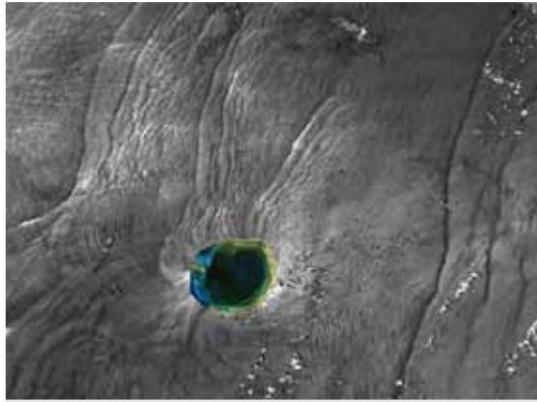
海洋內波是在海洋混合層與底層交界面受到擾動而形成的波動。



南海內波係在呂宋海脊形成，並與潮汐週期有關，當內波傳遞至東沙環礁附近時，因受地形變淺的影響而湧升。

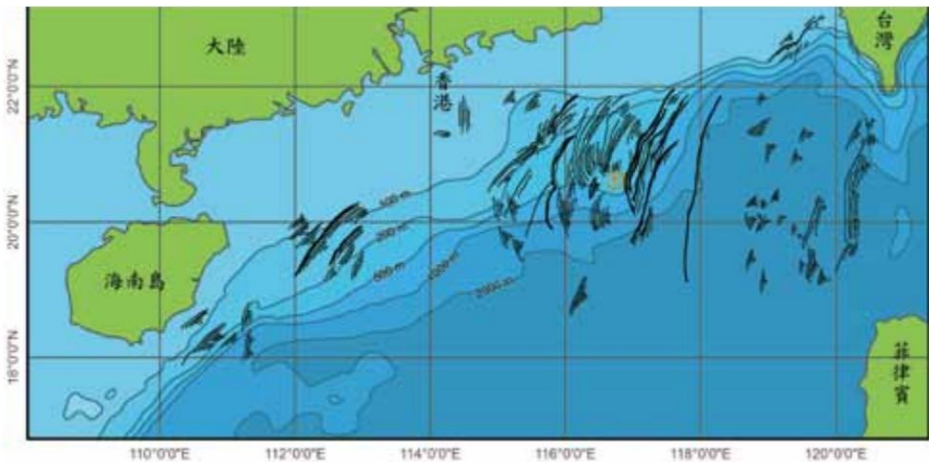
東沙海域附近的內波

根據海洋學者的觀測結果，發生在南海北部的內波是全球最大的海洋內波。雖然南海內波的存在由來已久，但是一直到最近十餘年才引起海洋學家的注意。早期觀測因缺乏長期的連續性資料，縱使發現海面下的異常現象，也難以判別它就是



東沙環礁附近的內波衛星影像(中山大學王玉懷教授提供)。

內波；在 1990 年代初期，美國石油公司在南海探勘石油，當半潛式鑽油平台在作業時，遇到強流而操作困難，並且導致斷纜，調查之後才發現這個強流是內波引起的，南海的內波才開始受到重視。後來，海洋學者經由分析衛星合成口徑雷達所拍攝的影像，才逐漸揭開南海內波的面紗。



南海內波分布圖，本圖係根據合成口徑雷達衛星影像上的內波波峰線所繪製。

研究人員根據衛星影像描繪出的南海內波分布圖，推論南海內波的起源地在呂宋海峽，該處有恆春海脊由北向南延伸，就像海底的分水嶺般，海脊上方是黑潮與南海水團交會的地方，兩個水團的特性本來就有差異，加上潮汐的牽動，就在此交界處形成內波，然後向西傳送。研究人員依據東沙環礁附近的衛星影像，得知在深海的內波波長約 4 至 11 公里，波高可以高達 150 公尺。當內波碰到東沙環礁時，會分裂成南北兩群內波，這兩群內波在東沙環礁西方會合後，繼續向西北進行，最後因碎波而消失不見。

當內波傳送到東沙環礁東方水域，由於深度迅速變淺，內波就會轉變成向上的海流，沿著珊瑚礁邊緣的斜波湧升到淺海來；由於深層海水的水溫較低，當冷、熱海水相遇時就會產生激烈的混合，並且使水溫急遽下降，這種現象在環礁外圍的東方及東北方最為明顯。

如何觀察及偵測海洋內波？

海洋內波雖然主要在海面下活動，海面上依然可以間接觀察到一些徵兆。若要在海面上觀察內波，最好選擇大潮期間、海面風平浪靜時進行；當內波從海面下通過時，每隔一陣子，平靜的海面上會有一排排的白浪花由遠方襲來，它的範圍大約有幾百公尺至數公里寬，最大波高可達 1 公尺，波長約 2 至 3 公尺，海面上到處是碎浪，可聽到嘩啦嘩啦的浪聲，就像爐子上煮開的滾水，非常壯觀。



南海內波通過時，海面出現一大片激浪，並且因碎波而產生嘩嘩的響聲。（中山大學王玉懷教授提供）

利用衛星合成口徑雷達（一種高解析度衛星雷達），以及其他可見光的衛星影像，可藉由海面的粗糙度、反光強度等，間接偵測到水面下的內波活動。當然，也可由船上的雷達螢幕觀測到海面上的內波活動跡象；但是這些觀測都是間接看到從海洋內部傳到海水表面的內波蹤跡。

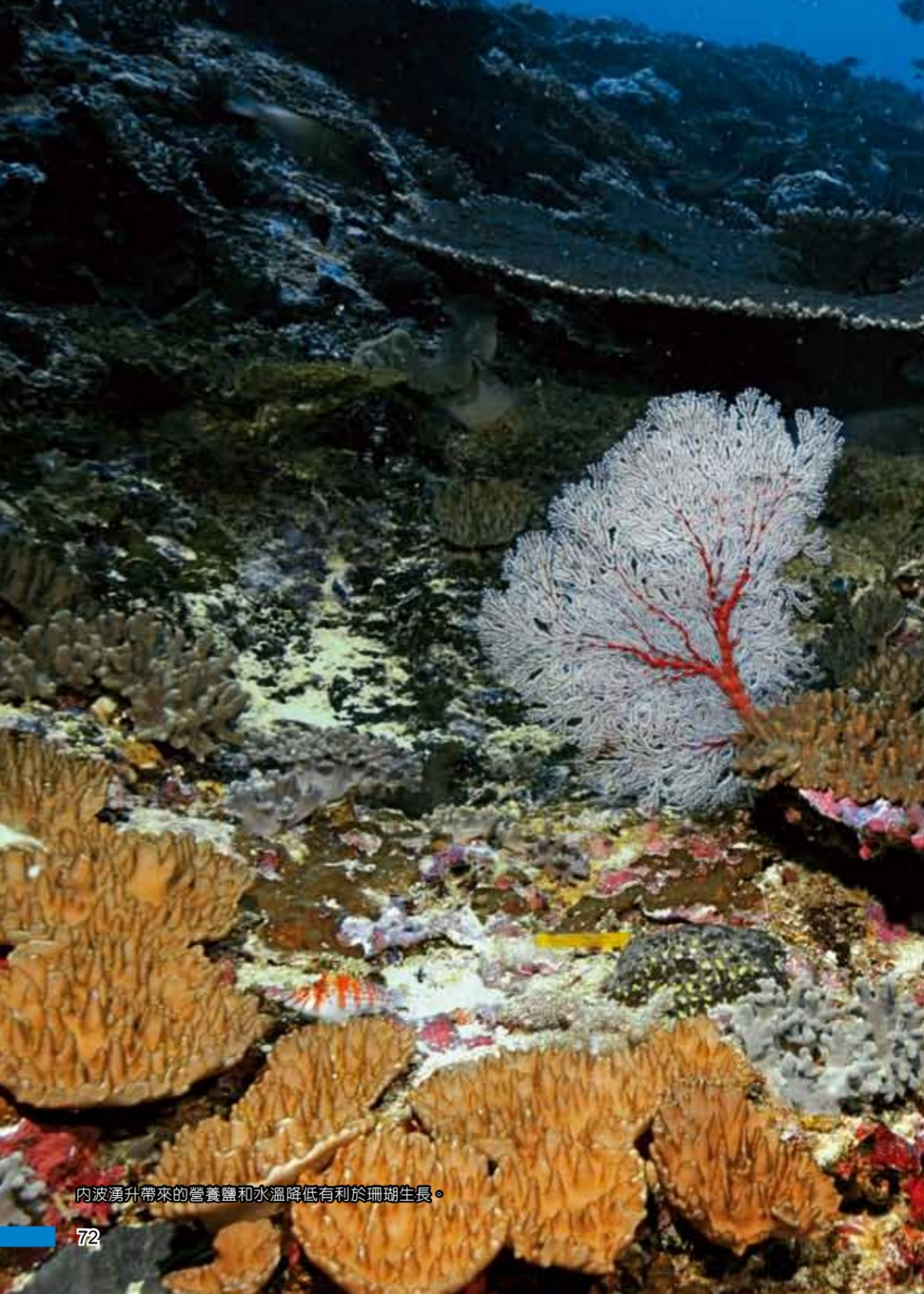
如果要直接觀測內波在海底的運動就需要出動研究船，或是在內波會通過的區域投放錨碇的測量儀器，包括溫度計、鹽度計、壓力計和流速儀等，

A diver is seen in a blue instrument platform underwater, surrounded by coral and marine life. The diver is positioned on the right side of the frame, and the platform is a dark, rectangular structure. The background is filled with various types of coral and other marine organisms, creating a complex and textured environment. The lighting is bright, highlighting the details of the coral and the diver's equipment.

潛水人員在儀器平台換裝環境監測儀器。

從這些儀器記錄到的水溫、鹽度、水位和流速變化，就可以解讀內波運動時的各項特徵。除此之外，海中浮游生物通常會集體停留在某一深度，當內波通過時，生物層會跟著上下波動，因此也可以利用船上的聲納追蹤生物層的位置和波動狀況，得知內波活動的情形。



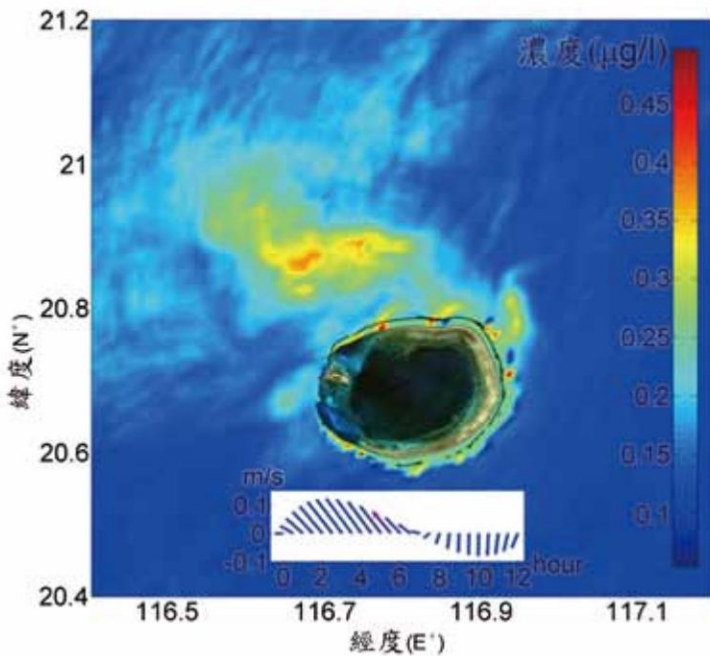


內波湧升帶來的營養鹽和水溫降低有利於珊瑚生長。



內波對東沙海洋生態有何影響？

內波湧升帶來大量的冷水和豐富的營養鹽，對東沙淺海生態有非常巨大的影響。其中，深層海水的降溫作用，使得東沙外環礁的珊瑚在面臨水溫異常升高時，仍可以存活下來，因此至今仍保有很高的珊瑚覆蓋率和生物多樣性。此外，隨著內波湧升的深層海水也帶有豐富的營養鹽，可以提升東沙環礁的基礎生產力。



衛星水色影像，顯示內波通過東沙環礁之後，在環礁的東北至西北方出現葉綠素濃度大幅增加的藻華現象（中山大學王玉懷教授提供）。

一般而言，珊瑚礁海域的營養鹽很快就被浮游植物或底棲質物吸收利用，因此珊瑚礁區通常是營養鹽非常貧瘠的海域，雖然過量的營養鹽會造成藻類大量生長，不利於珊瑚生存，但是適度的營養鹽供應卻有利於珊瑚生長

和珊瑚礁發育；而且，當湧升流把深海的營養鹽帶到海面來，就可以促進海洋表層的生產力，因此全球海洋的湧升流區，都是著名的大漁場。

內波在東沙環礁附近海域造成的湧升現象，把營養鹽從海洋深層帶到表層，大幅提升海域生產力，使得浮游生物變多，養活更多的魚群而成為漁場，甚至吸引鯨類成群前來覓食。



內波湧升帶來的高生產力，形成生物密集區域，常吸引鯨豚類前來覓食。(台灣海洋大學張明輝教授提供)



東沙海域珊瑚礁區的水質非常清澈。

海洋化學特性

海水是成分非常複雜的溶液，海水中溶解有許多鹽類，這些鹽類的總量大約占了海水重量的千分之 35 (稱為 35 psu)；其中含量最多的化學元素是氯、鈉、鎂、硫、鈣、鉀、溴和碳，這些屬於主要元素；其次是含量次多的次要元素，包括：鋁、硼、氟、矽、氮、氫、鋰、銻、磷等；這兩類元素大約就占了海水鹽類的 99.9%；其他元素，如碘、鋇、銅、鋅、鉛…等，屬於微量元素。其實，海水幾乎含有週期表上所有的元素。海水中各種元素都以一定的物理化學型式存在，而且大部分都處於均衡狀態。



東沙外環礁外的水質清澈，透光度高。



東沙水質清澈，有利於魚類和珊瑚生長。

海洋化學特性主要是測量海水中與化學有關的因子 (如：鹽度、溶氧量、各種元素的組成和物理性質)，以及測量和生物有關的物質 (如：各種營養鹽：氮、磷、矽)。其中，各種營養鹽濃度和水中的溶氧量對海洋生態的影響較大。營養鹽主要與海洋的基礎生產力有關，對海洋藻類及植物的生長有重大影響；海水中的溶氧量則受到這些海洋植物光合作用和生物呼吸作用的影響，前者使水中溶氧增加，後者則消耗溶氧。

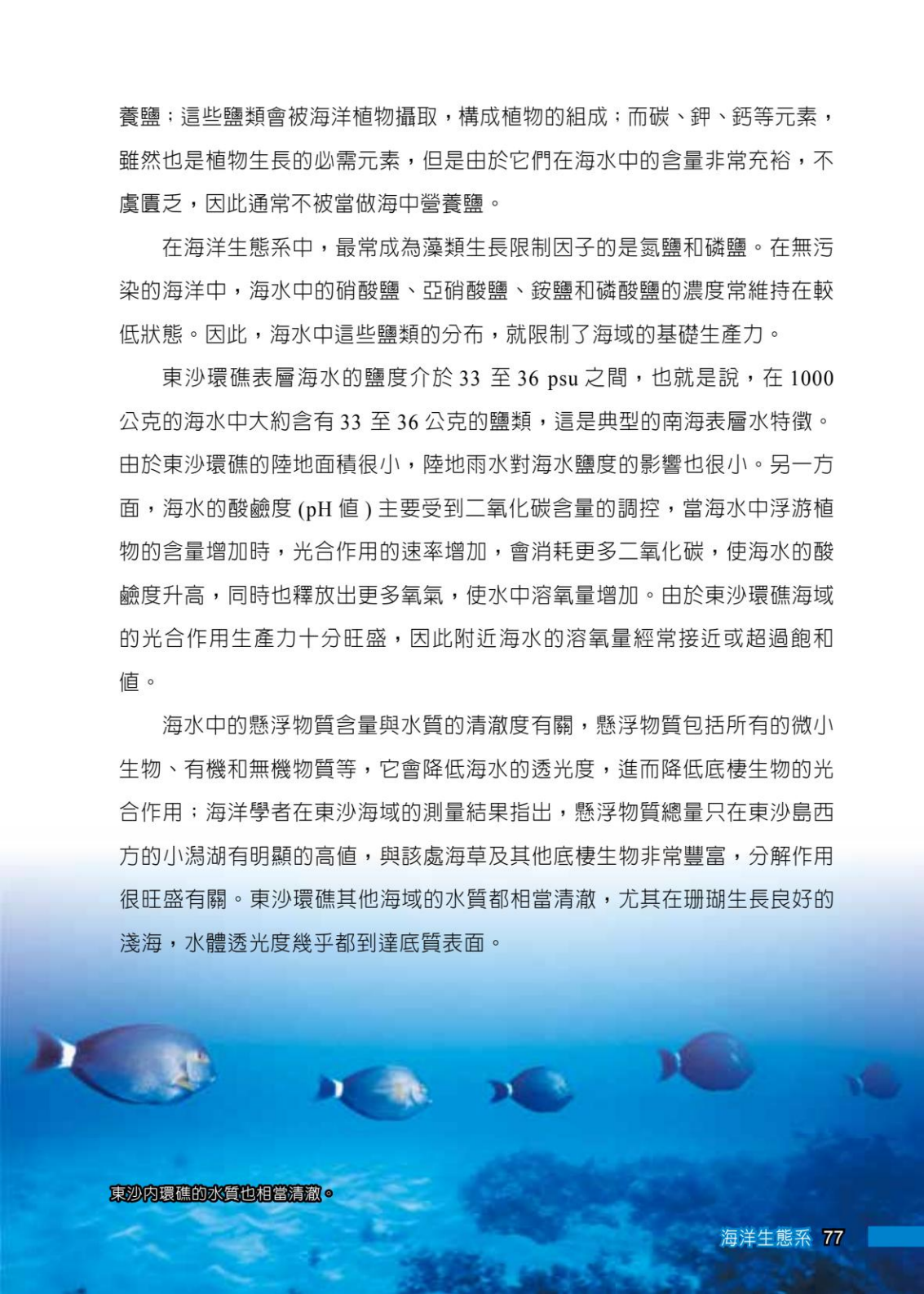
海水中所含的營養鹽濃度是決定基礎生產力高低的主要因子，海水中的亞硝酸鹽、硝酸鹽、銨鹽、磷酸鹽、矽酸鹽等都是主要營養鹽，有時候也把微量金屬 (如鐵)、維生素和生長激素等植物生長必須的成份，稱為微量營

養鹽；這些鹽類會被海洋植物攝取，構成植物的組成；而碳、鉀、鈣等元素，雖然也是植物生長的必需元素，但是由於它們在海水中的含量非常充裕，不虞匱乏，因此通常不被當做海中營養鹽。

在海洋生態系中，最常成為藻類生長限制因子的是氮鹽和磷鹽。在無污染的海洋中，海水中的硝酸鹽、亞硝酸鹽、銨鹽和磷酸鹽的濃度常維持在較低狀態。因此，海水中這些鹽類的分布，就限制了海域的基礎生產力。

東沙環礁表層海水的鹽度介於 33 至 36 psu 之間，也就是說，在 1000 公克的海水中大約含有 33 至 36 公克的鹽類，這是典型的南海表層水特徵。由於東沙環礁的陸地面積很小，陸地雨水對海水鹽度的影響也很小。另一方面，海水的酸鹼度 (pH 值) 主要受到二氧化碳含量的調控，當海水中浮游植物的含量增加時，光合作用的速率增加，會消耗更多二氧化碳，使海水的酸鹼度升高，同時也釋放出更多氧氣，使水中溶氧量增加。由於東沙環礁海域的光合作用生產力十分旺盛，因此附近海水的溶氧量經常接近或超過飽和值。

海水中的懸浮物質含量與水質的清澈度有關，懸浮物質包括所有的微小生物、有機和無機物質等，它會降低海水的透光度，進而降低底棲生物的光合作用；海洋學者在東沙海域的測量結果指出，懸浮物質總量只在東沙島西方的小潟湖有明顯的高值，與該處海草及其他底棲生物非常豐富，分解作用很旺盛有關。東沙環礁其他海域的水質都相當清澈，尤其在珊瑚生長良好的淺海，水體透光度幾乎都到達底質表面。



東沙內環礁的水質也相當清澈。



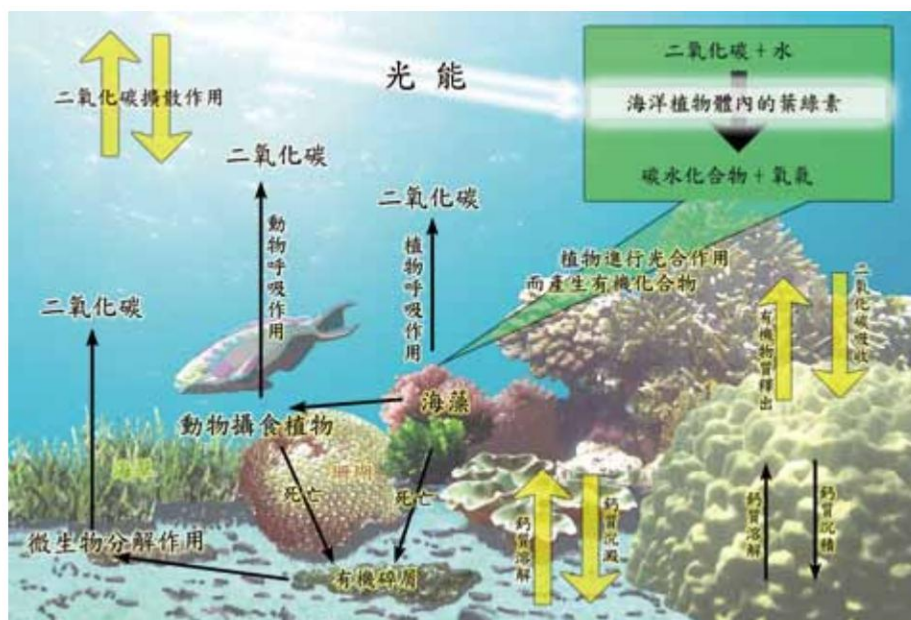
海洋生態系

東沙環礁座落在一片汪洋之中，
是由珊瑚歷經千萬年構築起來的城堡；
環礁附近海域有各式各樣、形形色色的生物，
熙熙攘攘的穿梭在珊瑚構成的立體城堡中，
形成海洋生物聚集的大都會，也是南海北部的海洋綠洲。

陽光是淺海生態系的能量基礎。

珊瑚礁常被稱為「海洋熱帶雨林」，因為它是海洋中生物多樣性最高、生產力最旺盛、生物量最豐富的生態系；而支持這個生態系蓬勃發展的最終能量來源，就是陽光，東沙海洋生態系當然也不例外。然而，充足的陽光只是基本條件而已，就像工廠有足夠的電力供應一樣，還需要配合適宜的環境、足夠的生產者和原料（營養鹽）供應，才能夠維持很高的生產力。

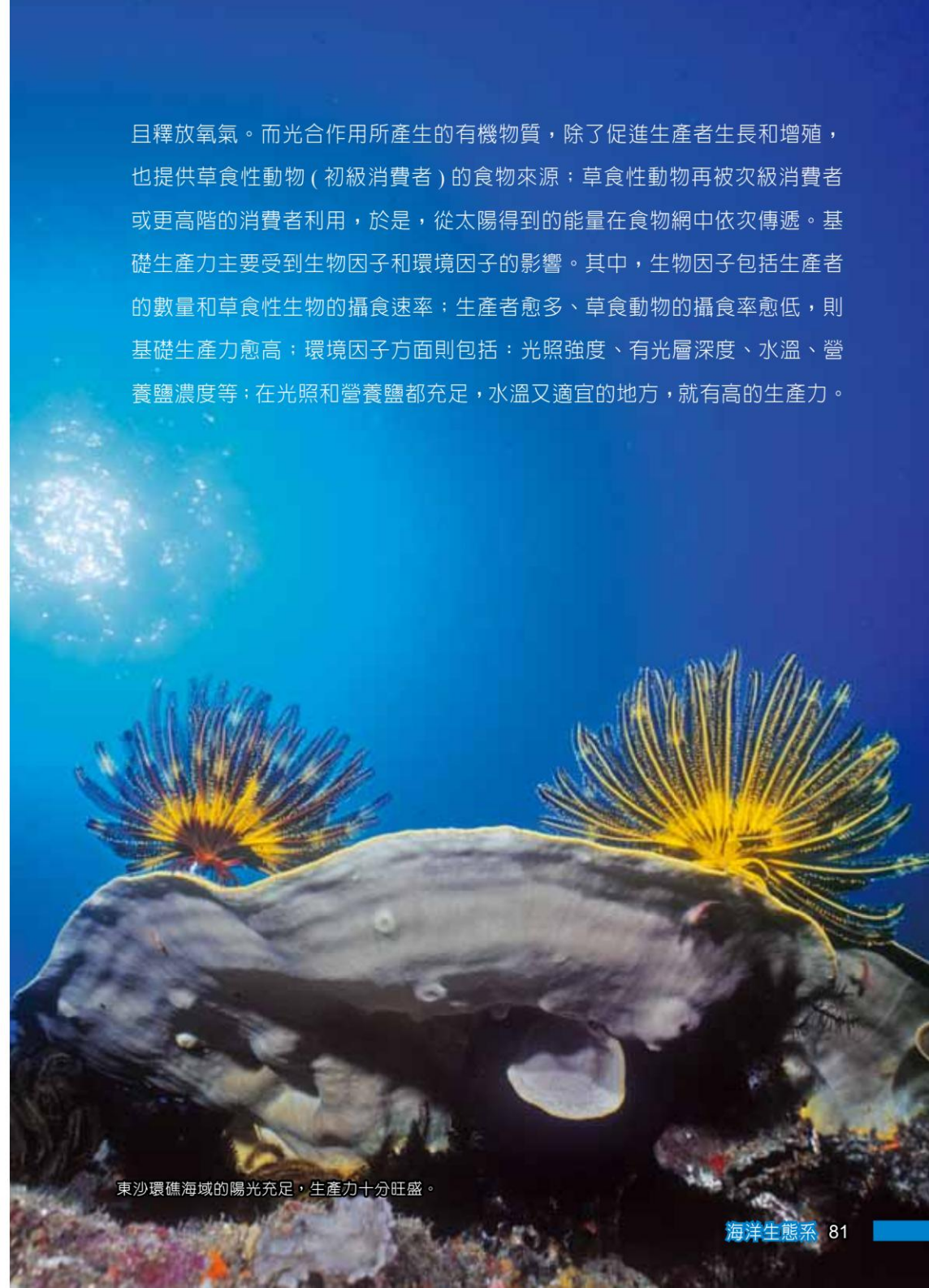
基礎生產力



東沙環礁生態系的碳循環示意圖。所有綠色植物都可行光合作用，固定二氧化碳，鈣化生物可形成碳酸鈣沉積；所有生物的呼吸作用和細菌分解作用則釋放出二氧化碳。

基礎生產力（或稱為初級生產力）是指生產者行光合作用，利用環境中的無機物質合成有機物質，把太陽能轉換為化學能的過程。水中的生產者以陽光為能源、二氧化碳和水為原料，在葉綠素的工廠裡合成碳水化合物，並

且釋放氧氣。而光合作用所產生的有機物質，除了促進生產者生長和增殖，也提供草食性動物（初級消費者）的食物來源；草食性動物再被次級消費者或更高階的消費者利用，於是，從太陽得到的能量在食物網中依次傳遞。基礎生產力主要受到生物因子和環境因子的影響。其中，生物因子包括生產者的數量和草食性生物的攝食速率；生產者愈多、草食動物的攝食率愈低，則基礎生產力愈高；環境因子方面則包括：光照強度、有光層深度、水溫、營養鹽濃度等；在光照和營養鹽都充足，水溫又適宜的地方，就有高的生產力。



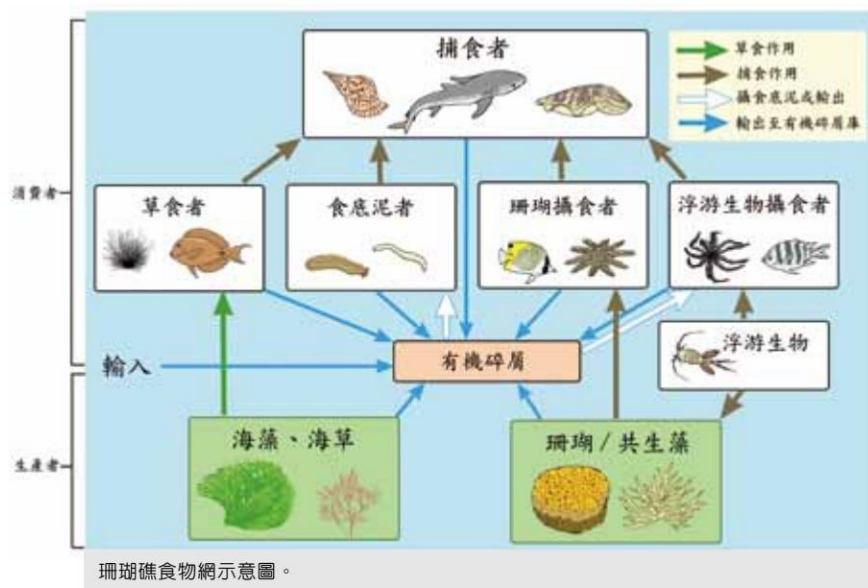
東沙環礁海域的陽光充足，生產力十分旺盛。

東沙環礁位於熱帶海域，全年皆有充足的光照，環礁潟湖區的水體大多屬於有光層範圍內，因此，影響東沙海域基礎生產力的主要因子與生產者數量（葉綠素濃度）、營養鹽濃度及水溫有關。根據海洋學者的測量結果，東沙環礁潟湖的基礎生產力大約為每天每立方公尺水體可生產 60 至 300 毫克的有機碳，屬於典型的珊瑚礁海域生產力；而在基礎生產力的空間分布上，則以環礁潟湖中央或偏東側水域比較高，南水道附近比較低。

環礁外圍的基礎生產力有相當大的變動，高峰發生在內波擾動後的數天，由於有大量營養鹽注入，基礎生產力會大幅增加，尤其在環礁北側及西北側往往會出現浮游植物大量增殖的現象，甚至使得海水變為濃濃的綠色。

物質循環

被海洋生產者（主要為海藻、海草及珊瑚體內的共生藻）固定下來的能量，經由食物網而傳遞，最後都轉變為各類生物生活的能量需求；生物活動



產生的熱量則逸散於環境中，因此，能量在生態系中是單向傳遞的，一去就不復返。但是構成生物的元素或物質，包括碳、氫、氧、氮、磷、硫、鈣、矽…等，卻在生物體、水體和底質等三種介質中，不斷地循環，也就是物質的「生地化循環」。

以碳的循環為例，植物在行光合作用的時候，不斷從水體中吸收無機碳，轉變成碳水化合物，用於自己的生長和繁殖，並且提供食物給動物利用；植物和動物在行呼吸作用的時候，會產生二氧化碳，釋放回海水中；動物的排泄物和所有生物死亡後的屍體，都會被微生物所分解，轉變成有機顆粒；懸浮在水中的有機顆粒提供懸浮物攝食者或濾食動物利用，沉降下來的有機物質則供給底棲的食泥動物利用。這些動物的呼吸作用會釋放出二氧化碳，有機顆粒分解到最後也釋放出無機碳和其他元素，回到水體中，再被生物循環利用。

食物網

生態系中的各種生物靠著食物網而互相聯結在一起，食物網就代表著生態系中，能量傳遞和物質循環的複雜關係。構成食物網的基本成員包括生產者、各級消費者和分解者。三大類生物在東沙海洋生態系中，各自扮演重要的生態功能，建構成生機蓬勃的珊瑚礁生態系。

生產者

東沙海域生態系的生產者，包括大型海藻、海草、以及珊瑚體內的共生藻，當然還有肉眼無法看見的微細藻類和光合自營細菌，它們是支撐東沙海洋生態系的重要基礎。

海草床主要分布在東沙島周圍的淺海、小潟湖及礁坪區，它們有很高的

基礎生產力，能固定太陽能，每天吸收大量的二氧化碳，進行光合作用，產生許多有機物質，提供草食性動物豐沛的食物。海草葉片可以直接給各種海洋動物取食，例如螺類、甲殼類、海膽、海龜及各種草食性魚類等。隨著葉片衰老凋落，所形成的海草碎屑，除了是重要的碳儲存庫之外，也可以提供蝦、蟹、螺和貝類的食物來源。海草碎屑經過微生物分解，形成更細小的有機碎屑之後，可讓更多躲藏在底土中的海洋生物，如多毛類與端腳類等小型動物當作食物來源，甚至如細菌等微生物也可以充分利用。海草碎片也可以藉由海流的輸送，帶往鄰近的生態系，如沙灘、珊瑚礁或外海，提供許多生物當作食物來源。被沖上岸的海草碎屑，不僅是沙灘動物的食物資源，也是躲藏棲息的空間；分解後的海草碎屑更是海岸林的重要營養來源。

海草是東沙海域的主要生產者之一。

東沙海域擁有豐富且多樣的海藻資源，這些藻類包括微細藻和大型藻。大型藻肉眼可見，微細藻則通常需要用顯微鏡才能觀察到。海藻依據其所含色素的類別，而呈現不同顏色，大致可分為綠藻、褐藻和紅藻。

目前東沙海域至少紀錄 38 科 148 種大型海藻，冬末至春初是東沙海域大型藻生物量與種類較多的季節。此時，海草床中常見有頭髮菜、杉葉蕨藻、大型總狀蕨藻、角網藻、凹頂藻、粗硬毛藻和龍鬚菜等；沙質海底上則有仙掌藻、粗硬毛藻、乳節藻、馬尾藻等。潟湖區的珊瑚骨骼碎片表面則有許多絲狀或叢狀海藻覆蓋。整個環礁的礁坪區可說是大型海藻生長最繁盛，覆蓋面積最廣大的區域，但是由於尚未被調查，因此有關其種類和生產力仍缺乏確切資料。

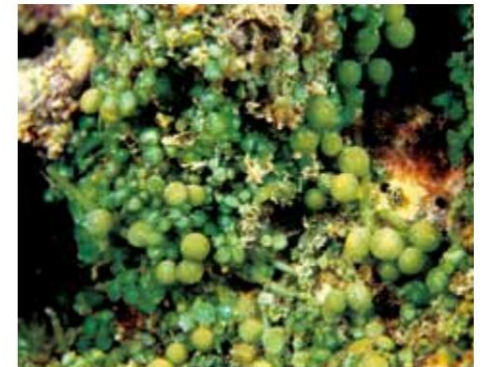
由於大型藻類的生長速率很快，每天可以生長數公分，並且對環境的改變比較不敏感，因此它們



小團扇藻 (*Padina minor*)。



礁石上的海藻是主要生產者之一。



總狀蕨藻 (*Caulerpa racemosa*)。



造礁珊瑚含共生藻，屬於生產者。

在空間競爭上，往往勝過造礁珊瑚，大量生長的海藻類會覆蓋在珊瑚表面，造成珊瑚死亡，引發珊瑚礁生態系的相變，也就是原來以珊瑚為主的群聚被以海藻為主的群聚取代。

造礁珊瑚體內都含有大量的共生藻，在健康的珊瑚群體上，每一平方公分的珊瑚組織內就含有 100 萬至 500 萬個共生藻細胞，這些共生藻的總合，甚至比珊瑚組織還要多；共生藻行光合作用，產生大量有機物質，除了提供珊瑚當作營養來源，幫助珊瑚鈣化、建造骨骼之外，多餘的營養物質就以黏液的方式釋放出來，給居住在珊瑚礁上的許多生物，包括小型魚類、多毛蟲類、蝦蟹、螺類和雙殼貝等利用；另外，有些動物直接以珊瑚組織為食，例



軸孔珊瑚體內含有許多共生藻，因此也屬於生產者之一。



乳節藻 (*Galaxaura* sp.) 與蠟石珊瑚 (*Herpolitha limax*)。



軸孔珊瑚體內含有許多共生藻，因此也屬於生產者之一。

如蝴蝶魚、鸚哥魚、珊瑚螺等、牠們會啄食或啃食珊瑚。由於造礁珊瑚在東沙海域的分布很廣，生物量很龐大，因此，珊瑚共生藻的生產力也很大，並在東沙海洋生態系中佔有舉足輕重的地位。

消費者

草食性動物在珊瑚礁中扮演重要的生態角



多彩海蛞蝓為小型的消費者。

色，因為牠們可以抑制大型藻類的

生長，維持珊瑚礁的生態平衡。海藻是許多草食性魚類喜歡的食物，包括許多刺尾鯛、隆頭魚、鸚哥魚、雀鯛、海膽和螺類，



馬蹄鐘螺 (*Trochus niloticus*)。



霓虹雀鯛 (*Pomacentrus coelestis*)。



橫帶唇魚 (*Cheilinus fasciatus*) 又稱東沙蘇眉。



邁氏條尾魷 (*Taeniura meyeni*) 是一種軟骨魚類。



條紋蓋刺魚 (*Pomacanthus imperator*)。

都以海藻為主食；這些動物的攝食作用可以抑制海藻大量生長，使珊瑚礁維持在健康狀態。

珊瑚礁的肉食性生物種類眾多，包括屬於軟體動物的海兔螺、海蛞蝓、章魚，屬於甲殼動物的蝦蟹類，以及棘皮動物的海星等；其中，海兔螺和玉兔螺都是特化的攝食者，只以軟珊瑚組織為食；棘冠海星和饅頭海星也是特化的攝食者，專門以石珊瑚為食，尤其是棘冠海星的繁殖力很高，當牠的族群大量增加時，會對珊瑚礁生態系造成重大威脅。

肉食性魚類的種類很多，包括雀鯛、羊魚、鰕虎魚、魷、蝴蝶魚、粗皮鯛、鰻、獅子魚、石斑魚、笛鯛、蓋刺魚、裸胸鯨、石狗公、蜥魚等，有的以浮游動物為食，有的攝食珊瑚組織，有的則以小魚為食；牠們的攝食



黃鰷口魚 (*Forcipiger flavissimus*) 以珊瑚蟲為食。

方法各異其趣，有的在水層中積極追逐獵物，有的悠閒地在底質上穿

梭搜尋，有的則以偽裝的體色，隱身於環境中，等待獵物上門；這些魚類的形態和行為都各異其趣，也是珊瑚礁魚類多樣性的表現方式之一。



藍指海星 (*Linckia laevigata*)。



金鱗魚 (*Holocentridae*) 白天棲息於珊瑚礁洞穴附近



粒皮海星 (*Choriaster granulatus*)。



玉兔螺 (*Calpurnus verrucosus*)。



饅頭海星 (*Culcita novaeguineae*)。

濾食者及泥食者

濾食動物也是珊瑚礁生態系的重要成員，牠們以水中的懸浮有機顆粒為食，包括海綿、柳珊瑚、管蟲、海百合、海鞘、雙殼貝等；有的主動製造水流，有的則被動地等待海流漂送過來的食物顆粒，這些動物通常



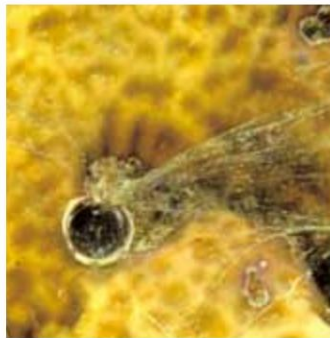
蛇目白尼參 (*Bohadschia argus*) 以底泥中的有機物質為食。

行定棲或固著生活，且都具有發達的濾食構造，例如大旋鰓蟲的觸手和海百合的羽枝。海中懸浮顆粒的來源有很多，包括生物釋放出的有機物質（如珊瑚黏液），以及生物體被分解後產生的碎屑，如海草及海藻分解後產生的有機碎屑，都是食物來源。

當懸浮的有機物質沉到底質表面之後，可被食底泥動物利用，例如海參、蝦蟹類及寄居蟹等。由於有機物質與沙泥底質混合之後，營養價值就大為降低，因此這些生物經常在攝食的時候，有篩選食物顆粒的行為，只吃有營養價值的成分，而把缺乏營養的無機成分排出來。大管蛇螺則會在洞口附近灑出黏液網，吸附沉降下來的食物顆粒，以增加攝食效率。



大旋鰓蟲 (*Spirobranchus giganteus*) 又稱聖誕樹蟲，屬於濾食性多毛類。



大管蛇螺 (*Dendropoma maxima*) 在洞口佈下黏液網，用以黏附食物顆粒。



纓鰓蟲 (*Sabella* sp.) 的羽狀觸手是濾食器官。



海菊海扇蛤 (*Pedum spondyloideum*) 棲息於石珊瑚縫間。



橙紅扇珊瑚 (*Melithaea ochracea*) 的群體延展為平面，利於珊瑚蟲濾食。



壺海鞘 (*Didemnum molle*)。



旋毛管蟲 (*Bispira* sp.) 伸出螺旋形的觸手濾食。



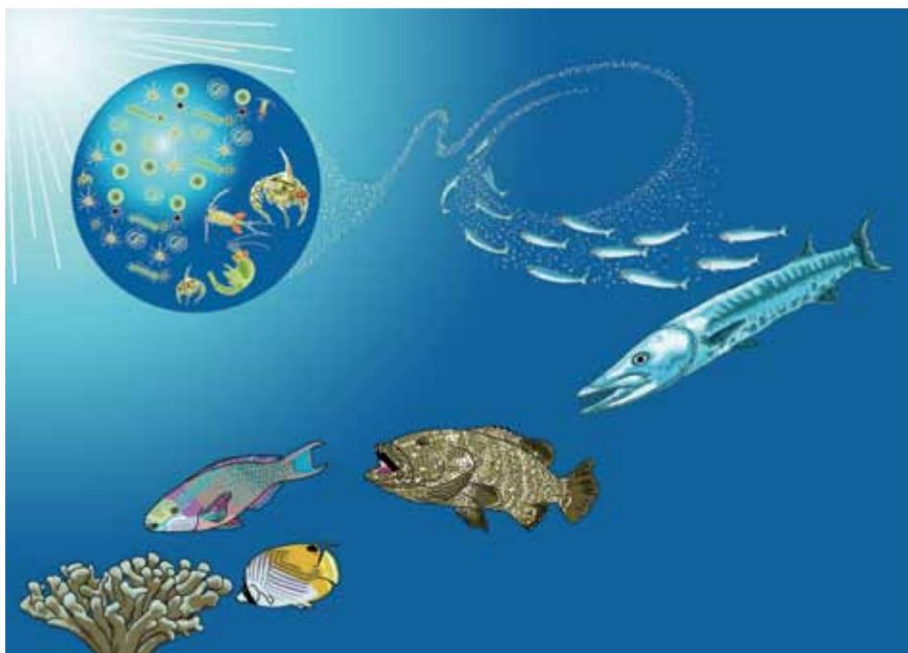
海百合用牠們的羽枝濾食。

東沙環礁生態系

東沙環礁是一個相當獨立的海洋生態系統，她與最近的珊瑚礁區相隔都有數百公里之遙，這個孤立於南海北部的珊瑚環礁，不但形成一個自給自足的生態系統，還可以支援鄰近的大洋生態系統。

一般而言，東沙環礁海洋生態系可以分為水體和底棲環境等兩部分，這兩部分在環礁的內部和外部都有一些差異，主要是由於環境條件的差異所致。然而，同一區域的水體和底棲生態系其實有密切的關係，即使是環礁內部和外部的淺海生態系，也是緊密相連的。

水體生態系



海洋食物鏈的能量由小型生物向大型動物傳遞。



雪花鴨嘴燕魷 (*Aetobatus narinari*) 為肉食性魚類。

水體生態系的生產者主要是浮游植物，它們是支持海洋食物鏈最基層的微小生命體，它們通常以單細胞型式存在，有些則連結成多細胞型式，漂浮於水體中；由於浮游植物的體型很小，因此即使它們在海水中的密度很高，我們仍然無法用肉眼分辨，必須把它們放在顯微鏡下才看得出來。

根據中央研究院夏復國教授與台灣師範大學陳仲吉教授團隊的調查結果，東沙環礁海域浮游植物的種類組成，以矽藻、隱藻與藍綠菌為主要優勢種；其中，藍綠菌生長的最適合溫度約在 27 ~ 28°C 之間，而且它帶有浮體，有助於停留在上層水體，藍綠菌體內又含有玉米黃質，能抵抗紫外線，這些特性使得藍綠菌在溫暖、光照度強的東沙環礁海域成為優勢物種。

該團隊的調查結果也指出，東沙潟湖水體的浮游動物以蝦類幼生為最多，約占總個體數的一半；其次為橈足類哲水蚤（約占 20%）、蟹類幼生（約占 15%）；再其次為橈足類劍水蚤（約 6%）、仔稚魚（約 3%），這種浮游動物的組成反映出珊瑚礁區底棲生物豐富的特性。從整個空間分布來看，浮游動物的豐富度及種類數都以環礁潟湖周圍較高，潟湖中央的浮游動物較少；這種分布型態與浮游植物的分布相反，也就是浮游動物多的區域，浮游植物反而較少。這種現象表示，浮游動物的捕食作用對浮游植物的季節變動和空間分布都有很大影響，它的重要性幾乎與營養鹽濃度的影響相同。

從東沙環礁海洋生態系統的碳收支情形來看，浮游植物的基礎生產力就是有機碳的來源，水體中所有浮游植物和浮游動物的呼吸作用則是消耗有機碳的主要活動，因此基礎生產力與呼吸率的比值 (P/R 比值)，就可做為評估生態系統狀態的指標；如果 P/R 比質大於 1 時，表示有多餘的能量可輸出至其他系統；等於 1 時，代表生產力恰好等於呼吸作用的消耗。根據海洋學者的測量結果，東沙環礁潟湖水體的 P/R 比值接近 1.0，屬於平衡的狀態，也就是說浮游植物生產的有機物質，幾乎都被消耗掉了。

底棲生態系

東沙環礁海域以珊瑚礁及珊瑚砂為底質，由於不同區域的海洋環境條件有差異，因此形成多樣的海洋底棲生物群聚，包括：海草床、潟湖沙底、塊狀礁、小潟湖、礁坪區等，而環礁外圍的東、西、南、北側也各具有不同的生態特性和生物群聚。這些各有特色的生物群聚，彼此之間互相連結，共同構成東沙海洋豐富多樣的珊瑚礁生態系。



沙灘上堆積的海草葉片提供潮間帶生物的棲所和食物來源。

海草床

海草是海洋環境中的沉水性開花植物，具有根、莖、葉、花、果實與種子等構造，它們生長在熱帶至溫帶沿岸淺海，具有直立的枝葉，並以匍匐的地下莖拓展延伸，擴充地盤，形成平鋪淺海底層的大片草原，而被稱為海草床。



海草床生態系的生產力非常旺盛。



海草床的生產力高，而且提供棲所給許多生物利用。



海草床生長於淺海。



海草床生態系中的造礁珊瑚是魚類聚集場所。

海草床為重要的沿岸生態系之一，海草床具有很高的基礎生產力，它們行光合作用產生的有機物質，提供許多草食性動物豐沛的食物，並產生大量的海草碎片輸送到其他礁區或海域，提供其他生物利用；除此之外，海草床可以穩定底質，構成立體空間，提供許多海洋生物棲息和覓食的場所，因而擁有相當高的生物多樣性；海草床也是許多海洋生物的產卵場或育幼場，尤其是珊瑚礁鄰近的海草床，往往是海洋生物完成生命週期不同階段的棲地之一，有助於維持珊瑚礁生態系的健全發展。



海草葉片表面有許多附生物。

東沙島四周淺海有大量的珊瑚與貝殼沙堆積，水深大多不超過 3 公尺，海流大多很平緩，水質清澈，陽光充足，非常適合海草生長，因此在東沙島周圍形成台灣地區面積最大的海草床。根據中興大學生命科學系林幸助教授的估計，光是東沙島周圍海域的海草床面積就有 1,185 公頃，環狀礁坪區的內側還有面積更廣大的海草床，尚未被調查研究。

林教授團隊的調查結果指出，東沙島附近已知的海草有 2 科 6 屬 7 種，是台灣地區海草種類最多的海域。東沙島的海草從潮間帶，綿延生長至亞潮帶海域，主要分布在東沙島周圍的淺海、小瀉湖及礁坪區，在淺海形成青青草原般的景觀。



海草床是許多魚類的育幼場，本圖為雙鰭幼魚。

東沙島沿岸主要的海草中，圓葉水絲草 (*Cymodocea rotundata*) 的分布最廣，並無特別偏好的底質；鋸齒葉水絲草 (*Cymodocea serrulata*) 主要分布在東沙島北岸離岸較遠的區域，偏好中等粗沙的底質，而未出現於鹽度變動較大的小潟湖和近岸處生長；泰來草 (*Thalassia hemprichii*) 的適應環境能力很強，在潮間帶或亞潮帶皆有分布；單脈二藥草 (*Halodule uninervis*) 能適應潮間帶溫度的劇烈變動，是東沙海域中最耐高溫和高鹽的海草；水韭菜 (*Syringodium isoetifolium*) 主要分布在東沙島南岸的亞潮帶，它的葉子很纖細、呈圓柱形，無法忍受退潮時的乾旱，但是可以生長在海流較強的環境；卵葉鹽草 (*Halophila ovalis*) 的植株矮小脆弱，與其他海草生長在一起時，對光線與底土的競爭能力比較弱。東沙海草床的覆蓋面積很廣，平均覆蓋率高達 75% 以上，而且有季節性變化。

東沙島周圍由於環境的差異而發展出不同的海草床地貌。東沙島北方沿岸，在廣闊而平坦的沙地上發展出一望無際的海草床，宛如海底大草原；這片大草原由數種海草混生組成，粗壯的鋸齒葉水絲草是其中最優勢的海草種類，其次為圓葉水絲草和泰來草。在此處密集的海草床中，偶爾可見巨大的微孔珊瑚、團塊形的菊珊瑚科種類和分枝形的軸孔珊瑚。這些珊瑚在海草床中是少有的硬基質結構，常吸引許多珊瑚礁魚類前來活動與覓食。有許多魚種繁忙地在珊瑚礁和海草床間來回游動，充分利用兩邊的生態資源。



黃寶螺 (*Cypraea moneta*)。



白斑烏賊 (*Sepia latimanus*)。

東沙島南方沿岸海域，受到海流擾動的影響較大，使得海草在此大多分布在較深的區域，而且以細長的水韭菜較占優勢，其次為圓葉水絲草和單脈二藥草。由於海流擾動的影響，在此區域的海草床中常形成直徑約 3 至 4 公尺無海草生長的坑穴，有些坑穴甚至在海草床中相連，形成長條狀的沙地。這些異質性的棲地環境使得南岸海域海草床的覆蓋度較低，但是卻提供偏好在沙地區域活動的魚種在此生活，因此呈現不同的生物群聚。

海草床有固沙作用，對於海岸保護非常重要。

東沙島西側是小潟湖與外海交換海水的唯一通道。每天漲退潮時流量大，流速強勁，長年以來堆積厚度達 1 公尺以上的粉泥與有機碎屑。由於從小潟湖中流出的水體營養鹽和有機物濃度高，因此小潟湖出海口的西岸海草生長非常茂盛，種類也很多，並以泰來草最為優勢，由於泰來草擁有粗壯的地下莖，可以協助穩固細沙底質，因此細沙不會被洶湧的潮流沖走。

東沙島沿岸六種主要海草的開花或結果時間，多集中在 12 月至 4 月間，但是水韭菜卻在夏天生殖。各種海草葉片生產力都是以夏季較高、冬季較低。



海草床中的海葵及小丑魚。

東沙島潟湖 (小潟湖)

東沙島的小潟湖，位於東沙島西方，面積約 0.64 平方公里，平均水深大約只有 1 公尺，在退潮時水深甚至不及 1 公尺。潟湖內部受到三面陸地的保護，海流與潮流的影響較小，海面經常波平如鏡；在如此平靜的水體，容易於底層沉積較厚的泥和有機碎屑，水中有機質含量高，使得水體較為混濁，但是因為水淺，光照量十分充足，光合作用非常旺盛。小潟湖又因海水體積較小，在夏季日照強烈時，水溫往往飆升至超過 30°C，而且蒸發作用強烈，海水鹽度也會隨著升高，對於海草和其他生物而言，都是一種環境壓力，因此小潟湖的海草種類和其他海洋生物種類相對較少。



小潟湖的外形如蟹螯。



小潟湖底部的海草和海藻生長繁盛，生產力高。



小潟湖的水淺而平靜。



小瀉湖區的海草生長濃密。

小瀉湖內部的優勢海草種類為泰來草、單脈二藥草和圓葉水絲草，部分區域有卵葉鹽草參雜其中。海草通常沿著岸邊的淺水域生長，在中間較深處，因為水質混濁，加上有機碎屑太多，反而不利於海草生長，一些大型海藻如針葉蕨藻和布氏藻在此成為優勢物種。

在小瀉湖中，經常可見倒立水母 (*Cassiopea andromeda*) 聚集，這種水母屬於刺絲胞動物門水母綱的根口水母目 (Rhizostomeae)，牠們具有共生藻，分布在觸手上，通常停棲在軟底質表面，以圓盤狀傘蓋向下、觸手朝上的方式，行光合作用，以獲取能量。這種生活方式與一般水母漂浮於水面附近，傘蓋向上、觸手朝下，捕食小生物為生的方式大不相同。

東沙島西側的小瀉湖。

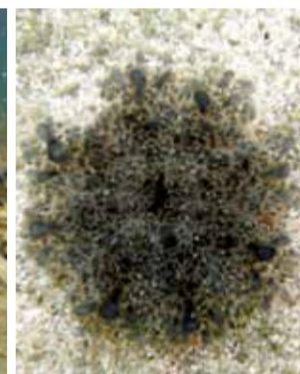


倒立水母常見於小瀉湖中。

倒立水母廣泛分布於全球熱帶海域，主要棲息於潮間帶至水深 10 公尺的沙或泥底質環境。在東沙環礁，倒立水母主要分布於小瀉湖，海草床和大瀉湖中則偶爾可見。除了可利用共生藻光合作用產生的能量之外，牠們與其他水母一樣，會用觸手上的刺絲胞捕食浮游動物；由於觸手上的刺絲胞仍具有微弱毒性，因此最好不要碰觸牠們。



倒立水母的傘蓋。



倒立水母停棲在底質上，露出含有共生藻的觸手行光合作用。



倒立水母常見於小瀉湖中。



四角招潮蟹 (*Uca tetragonon*) 是小潟湖岸邊常見的底棲動物。

小潟湖內側沿岸有紅樹林植物－海茄冬 (*Avicennia marina*) 分布，以小潟湖東側與南側最多，生長在潮間帶的泥灘地上。雖然這些海茄冬的植株相當小，但是和海草床一樣，具有很高的基礎生產力，能在沿岸堆積大量的有機碎屑，發揮固灘護堤的生態服務功能。



小潟湖畔的紅樹林成小叢生長。

環礁潟湖 (大潟湖)

東沙環礁的潟湖區面積廣達 300 餘平方公里，如此廣大的潟湖區其實是個非常多樣的環境，不同地點的生物群聚都有一些差異。從水深觀點來看，中央區域較深 (最深處約 24 公尺)，有較大面積的沙底，塊狀礁分布較稀疏；



許多塊狀礁的頂部接近海面。



環礁潟湖區的塊狀礁。

周圍鄰近礁坪區則較淺，水深大多在 5 公尺以內，底質大多由珊瑚骨骼碎片和鈣質細沙構成。以水流交換來說，大潟湖區的西南和西北方鄰近南北水道，水流交換比較好，底質為塊狀礁和沙底交錯分布的型態，塊狀礁主要由死珊瑚骨骼或團塊形的微孔珊瑚大型群體所構成。



塊狀礁吸引魚群聚集。



大瀉湖西側常見的片形棘孔珊瑚 (*Echinopora lamellosa*) 及微孔珊瑚 (*Porites* spp.) 等。



有些塊狀礁由大型的微孔珊瑚群體構成。



聳立的塊狀礁像海底的桂林山水。



小體型的雀鯛科魚類以珊瑚分枝為庇護所。

大瀉湖西側的底質，幾乎都以分枝形和葉片形的珊瑚殘骸為主，礁石表面大部分被海藻覆蓋；其次是珊瑚沙或貝殼沙堆積的底質，大部分區域的活珊瑚覆蓋面積低於 20%，但也有部分區域的珊瑚覆蓋率高達 50% 以上，目前存活的珊瑚種類主要是能忍受高溫和高濁度的珊瑚，例如片形棘孔珊瑚、蕈珊瑚及微孔珊瑚等，軸孔珊瑚及軟珊瑚很少出現在瀉湖區中。



環礁大瀉湖常見的團塊微孔珊瑚 (*Porites lobata*) 及橙紅扇珊瑚 (*Melithaea ochracea*)。



大瀉湖西側的海底景觀，常見珊瑚有管孔珊瑚 (*Goniopora* sp.) 及微孔珊瑚 (*Porites* spp.)。



傾倒的聯合微孔珊瑚 (*Porites rus*) 群體。



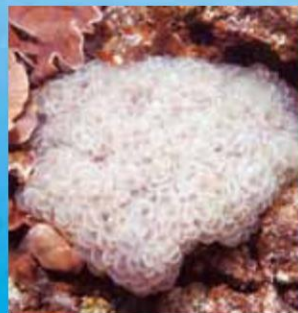
大瀉湖區常見的巨枝珊瑚 (*Hydnophora grandis*) 及軸孔珊瑚。

大瀉湖東側由於離南北水道較遠，而且受到環礁的屏障，屬於隱蔽型的環境，水流比較平緩、波浪能量較低，在這種情況下，細顆粒的沉積物就比較多，底質主要是顆粒很細的珊瑚沙，由底棲有孔蟲的殼體和珊瑚藻碎屑構成；沙底中間有許多塊狀礁分布，這些塊狀礁表面的珊瑚群聚以石珊瑚為主，覆蓋率相當高，大多是分枝形和團塊形的珊瑚種類，軟珊瑚很少；塊狀礁側面的珊瑚群聚則以葉片形、柱形或團塊形的珊瑚為主，包括棘孔珊瑚、棘葉珊瑚、棘杯珊瑚、瓣葉珊瑚、合葉珊瑚、盤珊瑚等都很常見；而最顯眼的就是卷曲氣泡珊瑚 (*Plerogyra sinuosa*)，牠的觸手膨大成圓球狀，像一團亮麗的小氣球般，附著在塊狀礁的背流面。



大潟湖塊狀礁常見的造礁珊瑚包括微孔珊瑚 (*Porites* sp.) 及軸孔珊瑚 (*Acropora* sp.) 等。

整體來說，整個大瀾湖區水深 5 公尺以淺的底質主要是珊瑚殘骸，活珊瑚覆蓋率很不均勻，多數區域低於 10%，但也有高達 50% 以上的區域；水深 5 至 10 公尺之間的珊瑚覆蓋率稍高一些，通常有 25% 以上，常見為塊形的微孔珊瑚和菊珊瑚科種類；水深 10 公尺以下的底質，大多為珊瑚骨骼碎片，表面有許多單體型和群體型的蕈珊瑚種類，覆蓋率約有 20%。



卷曲氣泡珊瑚 (*Plerogyra sinuosa*)。



聯合微孔珊瑚 (*Porites rus*)。



柱形管孔珊瑚 (*Goniopora columna*) 生長在沉積物稍多的環境。



籬枝同孔珊瑚 (*Isopora palifera*)。



藍指海星 (*Linckia laevigata*)。



葉形盤珊瑚 (*Turbinaria frondens*)。

大瀾湖西側常見的景觀—微孔珊瑚群體生長在軸孔珊瑚殘骸之間。

沙質海底

東沙環礁的大潟湖區擁有面積廣大的沙質海底，這些沙的來源包括所有鈣化生物的骨骼和殼體，例如：石珊瑚的骨骼碎片、軟珊瑚的鈣質骨針、腹足類和雙殼類的殼體、有孔蟲殼體、鈣質海藻的細胞壁等。其中，石珊瑚和貝殼的骨骼碎片，顆粒比較粗，需要經過長期的侵蝕作用，才會成為細顆粒的沙或泥；底棲性有孔蟲殼體和鈣質海藻則在死亡後，分解形成顆粒極細的鈣質軟泥，由於這兩類生物在東沙環礁相當豐富，因此潟湖區有很高比例的泥質沉積物，但是它的分布並不很均勻；通常在鄰近南、北水道處，底質沉積的顆粒較粗，在遠離水道處則比較細。



游離形的蕈珊瑚。



蛞蝓匍石珊瑚 (*Herpolitha limax*)。



沙質海底常見的石珊瑚。



沙底偶見的細緻軸孔珊瑚 (*Acropora dewartensis*)。



厚片瓣葉珊瑚 (*Lobophyllia pachysepta*)。



銳孔珊瑚 (*Oxypora* sp.)。



沙底常見的細菊珊瑚 (*Cyphastrea* sp.) 形成圓球形群體，可在沙地上滾動。



沙底常見的歧枝微孔珊瑚 (*Porites negrescens*)。



瓣葉珊瑚 (*Lobophyllia* sp.)。



管孔珊瑚 (*Goniopora* sp.) 群體。



魚群巡遊於塊狀礁與沙底的交界。



海星是沙地上的消費者。

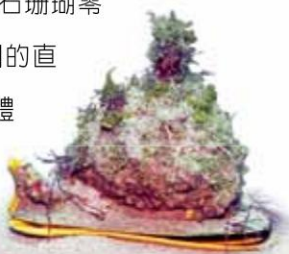
沙質海底的表面通常相當平坦，生活在此的生物缺乏珊瑚骨骼或礁石的天然屏障，只能藉著在底質上挖洞居住，來躲避捕食者的攻擊，有些生物之間發展出互助合作的共生關係，

例如鰕虎魚和槍蝦，牠們平時在洞口附近覓食，遇有捕食者接近，就迅速躲入洞中；有些生物則潛伏在沙地上，或者成群結隊出現在沙底覓食。

在顆粒較粗的珊瑚骨骼斷枝或碎片表面，反而是適合大型海藻生長的底質，大約有三分之一以上的面積被海藻覆蓋，另外有一些石珊瑚零星分布，

最常見的是外表呈圓形的各種蕈珊瑚，這些珊瑚的直徑多數在 10 公分以上，而且由單一珊瑚蟲構成，可說是體型最大的珊瑚蟲；

次多的是群體型的蛞蝓匐石珊瑚、強壯屨珊瑚等，這些珊瑚的成體都與底質游離，可以在底質上緩慢移動，因此被稱為「會走的珊瑚」。



唐冠螺 (*Cassis cornuta*)。

絲絨線塘鱧 (*Nemateleotris magnifica*) 成雙成對在沙地上活動。



海參以有機碎屑為食，是沙底生態系的清道夫。



尾斑鈍鰕 (*Amblygobius phalaena*) 其實是一種喜歡居住在沙地的鰕虎魚。



棘蓋鰕虎 (*Oplopomus oplopomus*) 以沙底洞穴為家。

游離生長的蕈珊瑚，容易受到波浪或人為干擾而翻覆，因此在沙底上經常可看見翻覆或被泥沙掩埋的珊瑚。另外，還有一些微孔珊瑚和細菊珊瑚形成圓球狀的游離群體，可在沙地上隨著海流翻滾，這種生長方式反而可避免被沙掩埋，屬於特殊的珊瑚生長形態。除此之外，偶而可見一些葉片形珊瑚在沙地上固著生長，或有一些細分枝的軸孔珊瑚群集在沙質海底上成叢生長，這些都是對沉積物忍受度較高的珊瑚。



珊瑚礁邊緣的沙底有許多魚類巡遊。

礁坪區

東沙環礁的礁坪區長度約有 40 餘公里，寬度大約 2 公里，而且表面非常平坦，只有一些很淺的潮池和礁溝。礁坪區在漲潮時淹沒在海平面附近，成為碎浪區，經常受到波浪衝擊和海水來回沖刷的影響；退潮之際，礁坪區則露出水面，大約有數小時暴露於空氣中；這樣的環境，對海洋生物來說，顯然是非常嚴苛的，相當於陸地邊緣的潮間帶環境，而礁坪區的生物群聚也顯示相似的適應特徵，包括對波浪衝擊、水分散失、水溫和鹽度劇烈變化等的適應。

礁坪區大部份的底質都被海藻或海草覆蓋，這些植物的體態柔軟，能順應水流和波浪的沖擊；海葵和海綿也是此地常見的動物，也有一些能忍受高溫及鹽度變化的珊瑚種類，例如微孔珊瑚、腦紋珊瑚和角星珊瑚等分布其間，尤其在退潮之後的低窪處，各類生物相當密集。由於礁坪區的陽光充足，水流交換良好，海藻和海草生長十分茂盛，生產力相當高，生物量也非常豐富。



礁坪區常見珊瑚之一，片腦紋珊瑚 (*Platygyra lamellina*)。



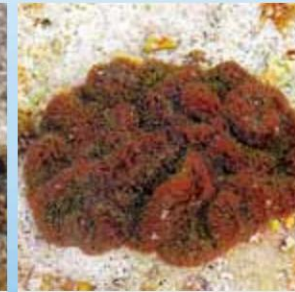
微孔珊瑚 (*Porites* sp.)



琉球迷紋珊瑚 (*Leptoria ryukyuensis*)。



角星珊瑚 (*Goniastrea* sp.)



礁坪區常見的海藻。



礁坪區的海藻生長良好。

礁坪區在退潮時露出海面。

外環礁東側

外環礁屬於開放型環境，海流較強、受波浪影響較大、水質較清澈，珊瑚種數多，活珊瑚覆蓋率也較高。然而，由於環礁四周海域的環境條件不盡相同，因此發展出不同型態的珊瑚群聚；其中，東側及南側是以石珊瑚為主，軟珊瑚為輔的群聚；北側是以軟珊瑚為主，石珊瑚為輔的群聚；西側則是石珊瑚優勢群聚，軟珊瑚較少出現。

外環礁東側珊瑚礁斜坡的海底景觀。



石軟珊瑚競爭空間。



華倫軸孔珊瑚 (*Acropora valenciennesi*)。



灌叢軸孔珊瑚 (*Acropora microclados*)。



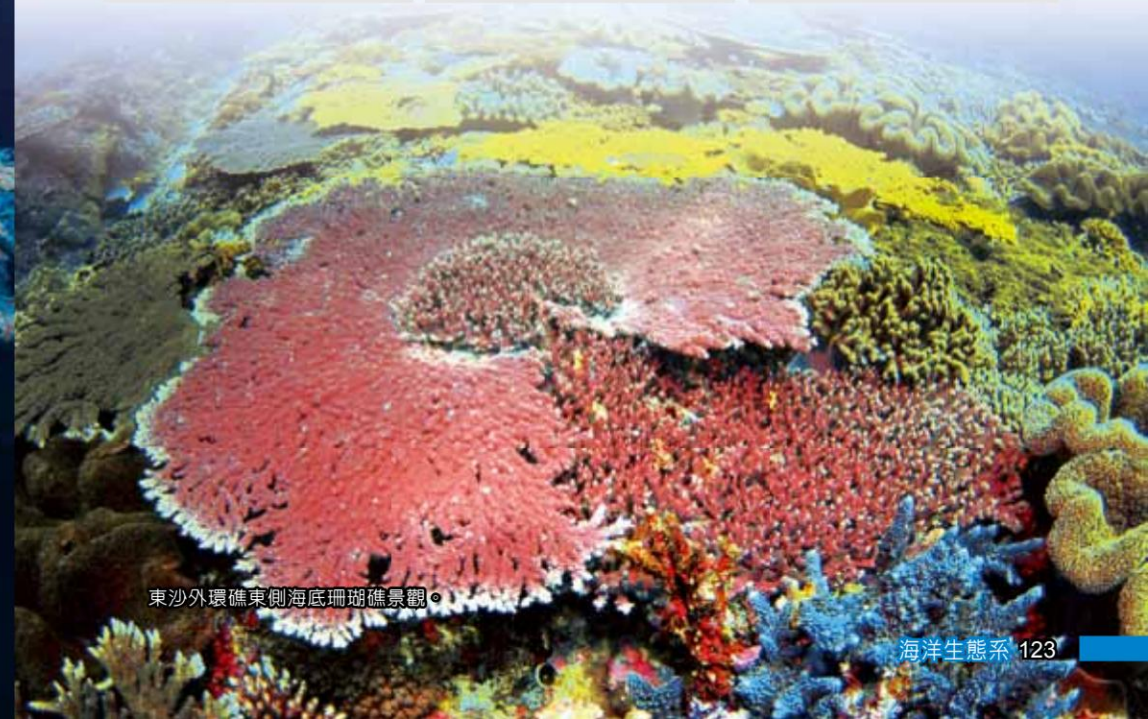
巨枝鹿角珊瑚 (*Pocillopora eydouxi*)



褶曲瓣葉珊瑚 (*Lobophyllia flabelliformis*)



棘穗軟珊瑚 (*Dendronephthya* sp.)



東沙外環礁東側海底珊瑚礁景觀。



黑角珊瑚 (*Antipathes* sp.) 體表有許多白色的珊瑚蟲。



芽枝軸孔珊瑚 (*Acropora gemmifera*)。



輻紋合葉珊瑚 (*Symphyllia radians*)。



杯形肉質軟珊瑚 (*Sarcophyton ehrenbergi*)。



外環礁東側斜坡 (水深 25 公尺) 的軟珊瑚群聚。



環菊珊瑚 (*Favia speciosa*)。



外環礁東側斜坡上的橙紅扇珊瑚。

外環礁的東側，由於長期受到東北季風引起的風浪侵襲，礁體表面有發達的礁脊和槽溝交錯分布，槽溝由淺海向深海延伸，在水深 5 至 15 公尺之間為平緩斜坡，珊瑚覆蓋率高達 85%，其中石珊瑚類約占 60%，軟珊瑚類占 25%，礁石表面密布許多桌形軸孔珊瑚，形成獨特景觀；夾雜分布一些粗分枝的軸孔珊瑚和巨枝鹿角珊瑚，以及一些團塊形的石珊瑚，包括菊珊瑚、角菊珊瑚、角星珊瑚、合葉珊瑚、雀屏珊瑚等。軟珊瑚類則主要是肉質軟珊瑚、葉形軟珊瑚和指形軟珊瑚等。



外環礁東側斜坡區的柳珊瑚群聚。



東沙外環礁東側的桌形軸孔珊瑚群聚。



外環礁東側斜坡上的軸孔珊瑚大群體與暗點石鱸 (*Plectorhinchus picus*)。



各種石珊瑚和軟珊瑚生長密集。



環形波紋珊瑚 (*Pachyseris speciosa*) 上有殼狀珊瑚藻及指形軟珊瑚。



外環礁東側常見的軟珊瑚群聚。

外環礁水深 15 至 25 公尺之間，屬於坡度稍大的斜坡，礁石表面的珊瑚逐漸轉變為軟珊瑚占優勢的群聚；水深 25 公尺以下則為陡坡，表面有許多棘穗軟珊瑚分布，陡坡從水深約 25 公尺處下降至 40 公尺左右，有一狹長台階，再往深處是更陡的坡，幾乎垂直下降。陡坡表面分布著各類柳珊瑚、棘穗軟珊瑚、紅鞭珊瑚和黑角珊瑚等，石珊瑚種類較少，而且分布稀疏。



外環礁東側淺海珊瑚群聚。

外環礁西側

外環礁西側在東北季風盛行期間位於背風面，屬於相對隱蔽的環境，也是沉積物堆積的地方，因此海底的底質相當平坦；在水深 15 公尺以內為平緩的斜坡，水深 15 公尺以下則有一些礁塊散布在岩石底質上，也有一些珊瑚碎屑或砂的堆積。珊瑚群聚以石珊瑚類為主，覆蓋率大約有 30%，軟珊瑚比較少，只出現突出的礁石表面，底質有相當高比例的空白岩石和沙底。珊瑚群聚以團塊形的菊珊瑚科種類為最常見，其次就是分枝粗壯的籬枝同孔珊瑚和團塊形的微孔珊瑚群體。受到沙質沉積物較多的影響，本區是外環礁珊瑚覆蓋率較低的區域。



外環礁西側常見的石珊瑚－鐘形微孔珊瑚 (*Porites lutea*)。



曲紋表孔珊瑚 (*Montipora caliculata*)。



籬枝同孔珊瑚 (*Isopora palifera*)。



卷曲耳紋珊瑚 (*Oulophyllia crispa*)。



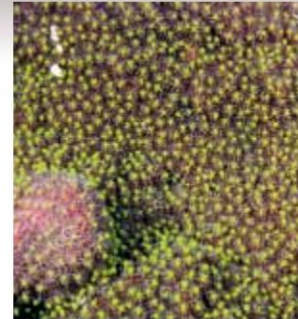
顆粒軸孔珊瑚 (*Acropora granulosa*)。



圈紋菊珊瑚 (*Favia pallida*)。



外環礁西側礁石洞穴常見的金鱗魚群。



變形表孔珊瑚 (*Montipora informis*)。



外環礁西側常見八放珊瑚－笙珊瑚 (*Tubipora musica*)。



指形軟珊瑚 (*Sinularia* sp.)。



隔板葉形軟珊瑚 (*Lobophytum crassum*)。



瓦氏尖鼻魷的小魚 (*Canthigaster valentii*)。



背斑盔魚 (*Coris dorsomacula*) 的雌魚。

外環礁南側

外環礁南方水深 3 至 15 公尺的礁區為平緩斜坡，表面有礁脊和槽溝交錯分布；礁脊寬約數公尺至十餘公尺，槽溝較窄，寬約 2 至 5 公尺，由淺向深彎曲延伸或斷續分布。珊瑚主要生長在礁脊表面和槽溝兩側，以覆蓋面積來說，石珊瑚類約占三分之二，軟珊瑚類約占三分之一。石珊瑚類以桌面形和分枝形的軸孔珊瑚最常見，其次是團塊形的菊珊瑚和瓣葉珊瑚種類；軟珊瑚類則以肉質軟珊瑚、葉形軟珊瑚和指形軟珊瑚為主，穗珊瑚和傘形軟珊瑚的種類很少出現。整體而言，水深 0 至 15 公尺之間以石珊瑚較占優勢，水深 15 公尺以下則軟珊瑚的覆蓋率逐漸增加。此外，由於位在颱風侵襲的路徑上，本區珊瑚容易受到颱風巨浪或西南湧浪的沖擊而產生劇烈變動，經常在颱風過境之後，珊瑚覆蓋率大幅降低。



華倫合葉珊瑚 (*Symphyllia valenciennesii*)。



兩種顏色型的佛州軸孔珊瑚互相競爭空間。



石珊瑚與軟珊瑚生長密集，互相競爭。



外環礁南側礁斜坡的軟珊瑚群聚。



外環礁南側斜坡區的景觀。



棘穗軟珊瑚生長於礁石邊緣。



棘穗軟珊瑚 (*Dendronephthya* sp.)。



美麗骨穗軟珊瑚 (*Scleronephthya gracillimum*)。



輻射海葵與粉紅海葵魚。

薄皮軟珊瑚 (*Phytisma fulvum fulvum*)。

外環礁北側

外環礁北側的珊瑚礁地形，比較平緩；在水深 5 至 10 公尺之間，大部分區域為平緩的斜坡，表面有礁脊和槽溝交錯分布；水深 10 公尺以下則有大型礁塊分布，地形較富變化。礁石表面的珊瑚覆蓋率約有 80 %，其中，軟珊瑚較占優勢，大約佔據三分之二的表面積，主要種類包括肉質軟珊瑚、葉形軟珊瑚和指形軟珊瑚等，這些珊瑚常形成大型群集，密集覆蓋在礁石表面。石珊瑚類約占總覆蓋面積的三分之一，主要是團塊形的菊珊瑚、微孔珊瑚和刺葉珊瑚，以及表覆形的表孔珊瑚，分枝形和桌面形的軸孔珊瑚比較少。偶而有一些大型礁塊，側面常有柳珊瑚分布，以紅扇珊瑚最常見。



外環礁北側常見的軟珊瑚－葉形軟珊瑚。



柔軟指形軟珊瑚 (*Sinularia flexibilis*)。



異軟珊瑚 (*Heteroxenia* sp.)。



外環礁北側斜坡區的海底景觀。



外環礁北側的海底景觀，以軟珊瑚為優勢的群聚。



花環肉質軟珊瑚 (*Sarcophyton trocheliophorum*)。



肥厚肉質軟珊瑚 (*Sarcophyton crassocaule*)。



片形棘乳珊瑚 (*Echinopora lamellosa*)。

海洋生物多樣性

東沙環礁海域的海洋生物資源調查，始於 1975 年，由台灣大學海洋研究所團隊對於東沙島附近的珊瑚、魚類、海藻和地質進行初步調查；其後，在 1990 年代陸續進行過三次概況調查，但是調查範圍大多集中在東沙島周圍海域；直到 2005 年的東沙環礁國家公園籌備階段，以及 2007 年國家公園正式成立之後，才有比較廣泛而深入的調查，範圍擴及環礁的外圍。至 2010 年為止，東沙海域已發現有魚類 72 科 577 種；珊瑚類 281 種，包括石珊瑚類 229 種、八放珊瑚類 47 種、水螅珊瑚 5 種；軟體動物 204 種，甲殼類 42 種，海藻 7 種，大型海藻 38 科 148 種等。



二點刻齒雀鯛 (*Chrysiptera biocellata*) 的小魚。



線紋刺尾鯛 (*Acanthurus lineatus*) 為東沙海域稀有魚種之一。



黑副雀鯛 (*Neoglyphidodon melas*) 的小魚體色艷麗。



越南菊珊瑚 (*Favia vietnamensis*)。



卷曲氣泡珊瑚 (*Plerogyra sinuosa*)。



東沙特有的石珊瑚刺枝珊瑚 (*Achrelia horrescens*)。



大旋鰓蟲 (*Spirobranchus giganteus*)。



印度鍊珠海星 (*Fromia indica*) 一種罕見的海星。



一種稀有的蝦類。



姊妹岩蝦 (*Periclimenes soror*) 的體形細小，與饅頭海星共生。



蟬形齒指蝦蛄 (*Odontodactylus scyllarus*)。



鱗碑碟蛤 (*Tridacna squamosa*)。



東沙特有珊瑚—細緻軸孔珊瑚 (*Acropora derawanensis*)。

從有限的調查資料看來，東沙海域的海洋生物多樣性可說相當豐富，但是由於研究人力和物力的限制，仍有許多生物類別未被研究，例如：海綿、海鞘、環節動物和苔蘚蟲等，因國內缺乏專家，物種迄今仍未知；即使是研究較多的魚類和珊瑚，仍有許多地點，例如較深水域，尚未被調查；因此，目前我們對東沙海域生物多樣性的了解，仍然屬於低估的狀態。

從生物地理學的觀點來看，目前有限的研究結果指出，東沙海域大多數的生物種類屬於黑潮系統，並與台灣南部墾丁、綠島海域的海洋生物有相當高的基因交流，主要是因黑潮有一支流會流入南海，並在南海北部形成一個渦漩，流經東沙環礁附近，再重新匯入黑潮主流。此外，東沙環礁也有一些

獨特的海洋生物，這些生物並不出現於台灣海域，卻與越南或馬來西亞海域的物種較接近，例如：越南菊珊瑚 (*Favia vietnamesis*) 即屬於南海獨特的物種，細緻軸孔珊瑚 (*Acropora derawanensis*) 為環礁潟湖特有的物種。

各式各樣的海洋生物在珊瑚礁區生活，完成牠們的一生，珊瑚礁區的所有生物之間，藉由複雜的食物網而串聯起來。珊瑚礁生態系內大大小小、林林總總的生物，無論身體構造是簡單或複雜，彼此之間都存在著密不可分的關係，任何一部份受到破壞或衝擊，都可能連帶影響到整個珊瑚礁生態系。因此，珊瑚礁生態系中的所有生物，都應該受到保護。因為若缺少其中一員，即可能影響整個珊瑚礁生態系統的平衡。



克氏海葵魚 (*Amphiprion clarkii*)。



褐斑刺尾鯛 (*Acanthurus nigrofuscus*)。



藍鰭鱒 (*Caranx melampelas*)。



伸口魚 (*Epibulus insidiator*) 的雄魚。



六帶蓋刺魚 (*Pomacanthus sexstriatus*) 與飄浮蝴蝶魚 (*Chaetodon vagabundus*)。



長碑碟蛤 (*Tridacna maxima*)。



菱碑碟蛤 (*Hippopus hippopus*) 的數量稀少亟需復育。

永續海洋

東沙環礁國家公園自設立以來，經由加強海域執法與環境管理，已經使得珊瑚礁資源獲得保護，海域資源正在逐漸恢復中，未來若能持續加強執法，並且妥善因應氣候變遷的衝擊，則東沙海域資源的復原和永續，將可期待。

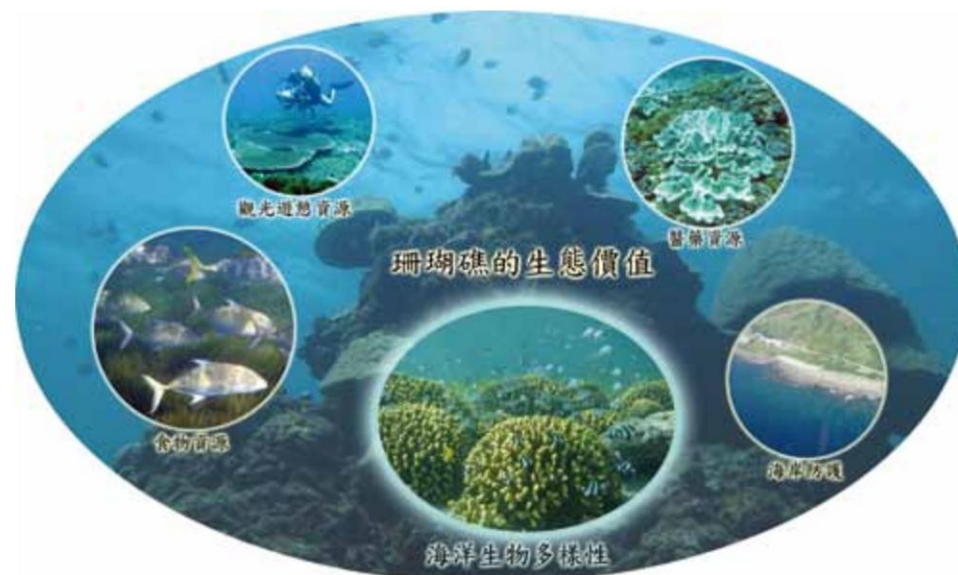
珊瑚礁具有保護海岸的功能。

為何要保護珊瑚礁？

保護珊瑚礁的理由其實很單純，因為珊瑚礁是海洋中的關鍵生態系，也是地球的重要生態系之一。珊瑚礁具有多方面的價值，包括：食物資源、遊憩資源、海岸保護、天然藥物資源和生物多樣性等；如果海洋中的珊瑚礁消失，不僅代表失去眾多海洋生物，更是地球生態系和人類福祉的重大損失。

珊瑚礁提供的食物資源包括：魚類、軟體動物（螺類、雙殼貝、頭足類）、甲殼類（蝦、蟹、龍蝦）及海藻等。單就魚類而言，珊瑚礁魚類約占熱帶地區國家總漁獲量的 10~25%。歷年來，東沙環礁海域是大陸、台灣和越南漁民的重要漁場之一，自從高雄市政府宣布東沙海域為禁漁區及東沙環礁國家

公園成立之後，台灣漁民已不再前往捕魚，但是仍經常有許多中國大陸及越南漁民前來捕魚；早年廣東沿海漁民更有「要發財就去東沙」的傳言，可見東沙海域擁有非常豐富的漁業資源。



珊瑚礁的生態價值包括維繫海洋生物多樣性及其他各項功能。



東沙島是由珊瑚沙堆積而成的島嶼。



石斑魚是重要的漁業資源之一。



龍占魚是珊瑚礁可食用魚類之一。



龍蝦是珊瑚礁的重要漁業資源之一。

觀光遊憩是珊瑚礁地區發展最快速，獲益最大的產業，許多熱帶珊瑚礁區的國家，例如：斐濟、馬爾地夫、模里西斯、索羅門、帛琉和加勒比海的許多小國，都依賴珊瑚礁的遊憩產業為主要收入。觀光收入約占了馬爾地夫國民生產毛額的 45%，在許多加勒比海國家更高達 50%；而加勒比海的觀光產值就有約 100 億美元，並且提供約 35 萬個就業機會；澳洲大堡礁的觀光產值每年約十億美元。這些數據顯示，珊瑚礁區遊憩資源的重要性和高經濟價值。台灣本島及離島，幾乎所有珊瑚分布的區域，都是國家風景區或國家公園的範圍，表示珊瑚礁區的遊憩價值。東沙環礁目前雖然尚未正式開放，但是她所代表的海洋遊憩資源潛力，其實是不容低估的價值。

珊瑚礁分布在陸地邊緣，形成天然屏障，可以保護海岸，使沿海地區免於受到暴風侵襲、海岸侵蝕或海水倒灌等的危害。珊瑚礁的護岸功能，不但保障沿海居民的生命財產安全，也使得鄰近的紅樹林及海草床等棲地受到保護，衆多依賴這些濕地為生或繁衍族群的生物才得以生存下去。從東沙的角度來看，整個環礁都是珊瑚建造的島嶼，東沙島和環礁的存在，使得我國的經濟海域大幅增加，鄰近海域蘊藏的豐富天然資源，都是很重要的資產。



肉質軟珊瑚富含天然活性物質。



水肺潛水觀察珊瑚礁。

許多珊瑚礁生物含有豐富的活性物質，是極具潛力的天然藥物資源，而珊瑚礁生物所生產的天然藥物，可能是人類對抗疾病的重要資源。近幾年來，中山大學海洋生物科技及資源學系的研究人員，已經從東沙海域的軟珊瑚中分離出數十種具有抗癌活性的天然物質，這些物質有做為抗癌藥物的潛力，可能成為未來重要的藥物資源。

珊瑚礁擁有很高的生物多樣性，其中絕大多數種類尚未被充分研究過。珊瑚礁的生物多樣性具有多重價值，包括經濟、生態和審美的價值。珊瑚礁生態系的破壞，將威脅到人類賴以生存的資源。



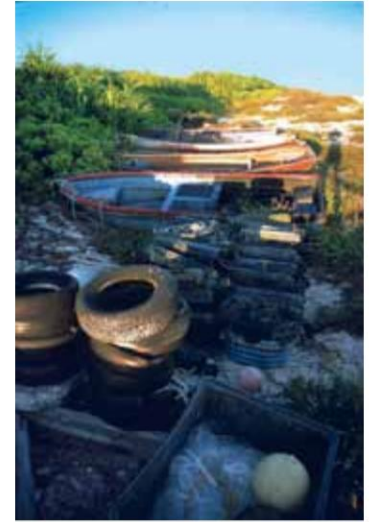
軟珊瑚富含天然活性物質，是潛在的藥物資源。

東沙珊瑚礁面臨哪些危機？

近年來，全球的珊瑚礁在人為活動的劇烈衝擊下，已呈現衰退或破壞的現象，加上全球氣候變遷和海洋酸化的影響，珊瑚礁的存續更受到嚴重威脅。珊瑚礁的危機已引起國際間廣泛的重視，紛紛投入促進珊瑚礁保育和永續經營的研究。

珊瑚礁的破壞因子可分為天然災害和人為破壞等兩大類。天然災害主要是暴風侵襲、掠食者攻擊、大退潮和水溫升高等。其實，這些天然災害很可能是由人為污染間接或直接引起的，例如海水溫度升高或海洋酸化，都與人類排放大量二氧化碳於大氣中有關。

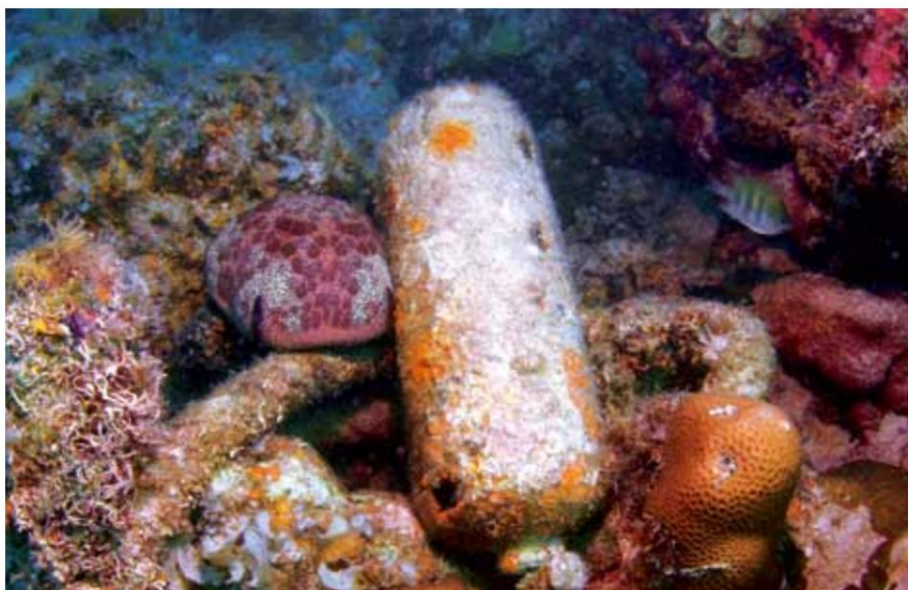
過度捕撈是東沙海域資源破壞的主因之一，也是東沙海洋永續的最大挑戰。海洋生物資源屬於可再生資源，這些資源在適度捕撈的情況下，族群可以持續繁衍，供人類永續利用；但是當捕撈過度時，就會危及生物族群的繁衍或再生能力，使得族群崩潰，甚至滅絕。東沙海域的許多珊瑚礁生物都受到過度捕撈的影響，例如龍蝦、磚磔蛤、鐘螺及各種大型魚類，都面臨這種危機。漁民甚且利用炸藥或毒物捕魚，對珊瑚礁生態系造成更嚴重的傷害。



非法越界漁民非法捕魚所使用的漁具。



非法越界漁民非法捕魚是破壞東沙珊瑚礁的原因之一。



海底垃圾－空氣瓶。



珊瑚礁海底沉船是殘留的污染物質。

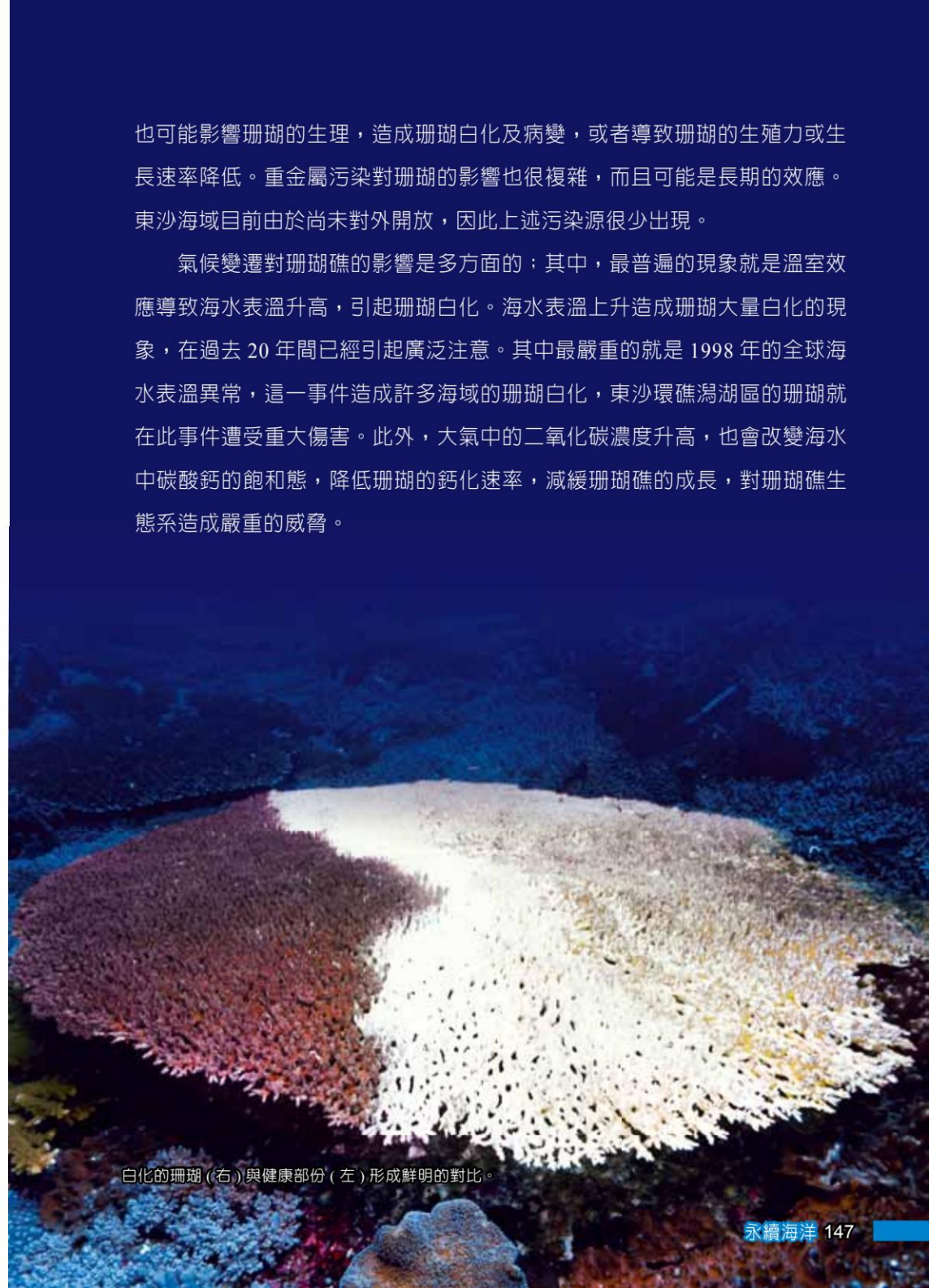


船隻的錨也是海底垃圾之一。

珊瑚礁區的污染來源甚多，包括：沉積物、有機質、油和重金屬等。有機質污染主要來自民生廢水，這些廢水含有過量的營養鹽，若未經妥善處理就排入礁區，會造成藻類大量生長，覆蓋珊瑚，甚至改變珊瑚礁生態系的平衡。油污染的影響則是多元的；重油覆蓋珊瑚組織，可能造成珊瑚窒息死亡，

也可能影響珊瑚的生理，造成珊瑚白化及病變，或者導致珊瑚的生殖力或生長速率降低。重金屬污染對珊瑚的影響也很複雜，而且可能是長期的效應。東沙海域目前由於尚未對外開放，因此上述污染源很少出現。

氣候變遷對珊瑚礁的影響是多方面的；其中，最普遍的現象就是溫室效應導致海水表溫升高，引起珊瑚白化。海水表溫上升造成珊瑚大量白化的現象，在過去 20 年間已經引起廣泛注意。其中最嚴重的就是 1998 年的全球海水表溫異常，這一事件造成許多海域的珊瑚白化，東沙環礁潟湖區的珊瑚就在此事件遭受重大傷害。此外，大氣中的二氧化碳濃度升高，也會改變海水中碳酸鈣的飽和態，降低珊瑚的鈣化速率，減緩珊瑚礁的成長，對珊瑚礁生態系造成嚴重的威脅。



白化的珊瑚(右)與健康部份(左)形成鮮明的對比。



傾覆而白化的桌形軸孔珊瑚。

氣候變遷導致的海平面上升，會對東沙島陸地生態造成重大影響。由於東沙島的地勢低平，海平面若上升一公尺，將使大片沿岸區域淹沒於水中，並且加速海岸侵蝕，危及東沙島的存續。

氣候變遷的另一效應是導致珊瑚礁生物的疾病蔓延，自 1980 年以來，全球珊瑚礁生物的疾病頻頻發生，科學家發現許多怪異的疾病都與氣候變遷有關。聖嬰現象伴隨的降雨異常集中，使珊瑚礁區的海水鹽度產生劇烈改變，都可能引起珊瑚白化。



微孔珊瑚上的腫瘤是一種珊瑚疾病。



板葉雀屏珊瑚上的疾病。



微孔珊瑚上的一種未知疾病。



白化的蕈珊瑚。



微孔珊瑚因疾病而部份死亡（左前半部）。



部份死亡（右半部）的珊瑚群體。



部份被刮除的微孔珊瑚群體，可能是受到颱風巨浪的侵襲所致。



海藻於歧枝微孔珊瑚的底部蔓延，威脅到珊瑚的生長。



被外力傾倒的微孔珊瑚持續向上生長。

珊瑚白化是指珊瑚失去體內的共生藻，導致肉質組織失去顏色而呈現透明狀態，顯現白色的珊瑚骨骼。在正常情況下，造礁珊瑚的大部分能量來自共生藻行光合作用的產物，白化的珊瑚也就失去了主要能量來源，此時的珊瑚已處於衰弱狀態，除非環境變好，珊瑚重新與共生藻建立共生關係，否則白化的珊瑚往往在數天之內就會死亡。

許多環境因子的改變都會引起珊瑚白化，例如：溫度太高或太低、光度過強或不足、鹽度劇烈改變等，這些都可能與氣候變遷有關。造礁珊瑚的最適溫度在 18 至 30°C 之間，超過這個界限，就可能引起珊瑚白化。珊瑚白化代表牠們面對環境壓迫的立即反應，也是珊瑚礁在環境改變時，最早呈現的徵兆。



再生的歧枝微孔珊瑚小型群體。

海藻於歧枝微孔珊瑚的底部蔓延，威脅到珊瑚的生長。

近年來，全球氣候變遷的現象已愈來愈顯著，全球暖化不但會影響生活在陸地上的人類和其他生物，對於海洋的衝擊也非常巨大，珊瑚礁更是首當其衝的生態系。全球暖化對於珊瑚礁的影響，短時間內會造成珊瑚白化與死亡。長期下來，整個珊瑚礁群聚將會瓦解、崩毀。隨著與日俱增的全球暖化現象，珊瑚礁將面臨更嚴峻的挑戰，大規模珊瑚白化和死亡事件可能更為頻繁，珊瑚礁的未來很令人擔憂。

執行珊瑚礁體檢以監測珊瑚礁的健康狀態。

如何保育珊瑚礁？

由於珊瑚礁在海洋和地球生態上的重要性，而且日益受到人類活動的威脅，因此，早在 1992 年的地球高峰會 (Earth Summit)，就被國際間公認為亟需保護的生態系，其後聯合國及各先進國家都在積極推展珊瑚礁保育。自從 1997 年聯合



海巡隊的巡邏艇。

國教科文組織 (UNESCO) 推動「國際珊瑚礁年」開始，珊瑚礁和海洋生態保育的議題，就廣泛受到各界重視。近年來，世界各國紛紛設立海洋保護區和珊瑚礁保育相關措施，更顯示珊瑚礁保育的重要性。

一般而言，珊瑚礁保育是以棲地保育為優先，因為有適合的棲地，才能夠支持物種的生存和延續。其次，要特別重視來自陸地的影響，審慎處理外來物質對珊瑚礁生態系的衝擊。雖然東沙島的陸地面積狹小，除了過度捕撈之外，至目前為止，人為活動對珊瑚礁生態系的影響仍很輕微，但是未來仍應持續注意可能造成棲地破壞、沈積物污染的航道開挖和陸地工程等問題。

海巡隊的執法是保護珊瑚礁生態系的具體做法之一。

在有機污染防治方面，在珊瑚礁區興建污水處理設施，可以防止過多營養鹽與有毒物質輸入珊瑚礁區；營養鹽過高，會造成藻類和細菌滋生，影響珊瑚健康；有毒物質不僅影響珊瑚健康，還會降低牠們抵抗溫度變化的能力。因此，落實污水處理，就可以降低珊瑚礁生態系承受的環境壓力。

加強東沙海域的珊瑚礁調查和研究，增進對珊瑚礁資源現況的瞭解，是

保育工作的基石。唯有對資源有完整的了解，才可能規劃管理與永續發展的對策。珊瑚礁生態系的調查和研究工作，需要投入大量人力，因此，宣導正確觀念，讓更多人關心珊瑚礁問題，鼓勵學生及研究人員積極參與珊瑚礁資源調查與監測，是保育珊瑚礁生態的重要議題。



東沙環礁國家公園研究站是執行珊瑚礁保育的基地。

推廣海洋環境教育則是使海洋生態保育觀念紮根，強化永續經營的最佳途徑。透過教育活動，可以讓社會大眾瞭解海洋生態保育的重要性，瞭解海洋環境在人類開發利用與全球變遷影響下的脆弱性。同時，可以提高民衆的參與感及警覺心，是未來改善台灣海洋環境最根本的做法。

東沙環礁國家公園自成立以來，經由加強海域執法與環境管理，已經使得珊瑚礁生態系獲得保護，海域資源正在逐漸恢復中，未來若能持續加強執法，並且透過國際交涉，杜絕中國大陸及越南漁船來此捕魚，則東沙海域資源恢復昔日盛況的契機，將指日可待。

近年來，全球氣候變遷的影響日益明顯，珊瑚礁則是海洋中首當其衝的生態系，面對未來全球氣候變遷的衝擊，更應及早籌劃因應之道。根據生態模擬的結果，東沙海域珊瑚礁在全球氣候變遷之下，未來 10~20 年內，遭遇大規模珊瑚白化的機會將大增；若珊瑚大量白化及死亡，許多依靠珊瑚礁為生的無脊椎動物和魚類都將無法生存，導致生物多樣性消失及珊瑚礁生態系崩潰，將是非常嚴重的問題。

為了監測水溫升高和環境變動，以及可能伴隨發生的珊瑚大規模白化事件，有必要參考美國海洋暨大氣總署 (NOAA) 建立的「珊瑚礁早期預警系統」(CREWS, Coral Reef Early Warning System)，在東沙環礁的適當地點設置監測站，蒐集海象及氣象資料，並且加入全球珊瑚礁預警系統，不但有助於監測東沙珊瑚礁可能面臨的危機，做為東沙國家公園經營管理的依據，並且可透過全球珊瑚礁監測網與國際間同步保育珊瑚礁，增進國際間對東沙環礁的瞭解。而且，由於東沙環礁的獨特地理位置，在東沙海域所蒐集的環境資訊，有助於瞭解全球氣候變遷對珊瑚礁和海洋生態的衝擊，為海洋生態保育做出重要貢獻。

珊瑚礁保育活動

珊瑚礁保育其實是每個人都可貢獻心力的事情，只要在日常生活中做到下列事項，你就是珊瑚礁生態保育的實踐者：

- (1) 避免傷害、破壞、採集珊瑚和其他海洋生物；
- (2) 不隨意丟棄垃圾和廢棄物，盡力維護海洋環境的整潔；
- (3) 不飼養、購買、食用珊瑚礁生物，並盡力維護海洋生物的生存；
- (4) 遵守法令規定與生態旅遊守則，不做違法和破壞珊瑚礁生態系的行為；
- (5) 積極參與、支持珊瑚礁保育的各項活動，促進珊瑚礁的永續發展。

參考文獻

王玉懷、洪佳章、李逸環，2009。東沙環礁國家公園海洋環境長期調查研究(一)。海洋國家公園管理處，高雄市。

王玉懷、洪佳章、李逸環，2010。東沙環礁國家公園海洋環境長期調查研究(二)。海洋國家公園管理處，高雄市。

李培芬，2010。認識東沙：東沙環礁國家公園解說叢書。海洋國家公園管理處，高雄市。

林幸助、蕭淑娟，2010。「東沙海域大型藻類生物量與海草物候、生產力調查」期末報告書。海洋國家公園管理處，高雄市。

陳正平、詹榮桂、黃建華、郭人維、邵廣昭，2011。東沙魚類生態圖鑑。海洋國家公園管理處，高雄市。

陳仲吉、夏復國、詹森、許世傑，2010。東沙環礁潟湖生態系統研究(一)。海洋國家公園管理處，高雄市。

陳陽益、王玉懷、李忠潘，2008。東沙內環礁海域海流、水深與棲地調查成果報告。海洋國家公園管理處，高雄市。

陳鎮東，2001。南海海洋學。國立編譯館，台北市。

鄭明修、邵廣昭、戴昌鳳、陳正平、林綉美、孟培傑，2005。東沙海域生態資源基礎調查研究。內政部營建署委託辦理報告，台北市。

鄭明修、戴昌鳳、陳正平、孟培傑(2006) 東沙海域珊瑚礁生態資源調查與監測(一)。內政部營建署委託辦理報告，台北市。

鄭明修、戴昌鳳、陳正平、王瑋龍、孟培傑，2008。東沙海域珊瑚礁生態資源調查與監測(二)。海洋國家公園管理處委託研究報告，高雄市。

戴昌鳳、劉倬騰，2005。東沙國家公園土地使用與海域使用分區調查。內政部營建署委託辦理報告，台北市。

戴昌鳳，2007。東沙珊瑚礁生態系：現況與展望。大家來圓東沙環礁的夢研討會論文集，第58-76頁，內政部營建署。

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。

戴昌鳳、洪聖雯，2009。台灣珊瑚圖鑑。貓頭鷹出版社，台北市。

Dai CF (2005) Dong-sha Atoll in the South China Sea: past, present and future. Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium, Okinawan, Japan, pp. 1587-1592.

藍海綠洲

東沙海洋篇



發行人：楊模麟

策劃：林玲、徐韶良、許書國、王君如

編審：林幸助、洪佳章、陳月英、莫顯蕎
曾萬年

撰文：戴昌鳳

攝影：戴昌鳳、蔡明憲、蔡永春、鄭明修、
秦啓翔、鄭安怡

繪圖：鄭安怡

執行編輯：陳麗秋

出版者：海洋國家公園管理處

電話：07-3601898 傳真：07-3601839

地址：81157 高雄市楠梓區德民路 24 號

網址：<http://marine.cpami.gov.tw>

美術編輯：歐昭佩

印刷：舜程印刷有限公司 04-23214125

出版年月：中華民國 100 年 12 月

其他類型版本說明：無附件

版(刷)次：初版

定價：280 元

印製冊數：1000 冊

GPN：1010004205

ISBN：978-986-03-0472-5 (平裝)

展售處

五南文化廣場：台中市中山路 6 號 04-2226033 <http://www.wunan.com.tw/>

國家書店松江門市：台北市松江路 209 號 1 樓 02-25180207 <http://www.govbooks.com.tw/>

海洋國家公園管理處：高雄市楠梓區德民路 24 號 07-3601898 <http://marine.cpami.gov.tw>

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

藍海綠洲. 東沙海洋篇 / 戴昌鳳撰文.

-- 初版. -- 高雄市：海洋國家公園管理處，
民 100.12
面；公分. -- (東沙環礁國家公園解說叢書)

ISBN 978-986-03-0472-5(平裝)

1. 海洋學 2. 解說 3. 東沙環礁國家公園

351.9

100025308

著作權利管理：本書保留所有權。欲使用本書全部或部分內容者，需徵求海洋國家公園管理處同意或書面授權。請洽海洋國家公園管理處，電話：07-3601898