

「東沙環礁珊瑚復育試驗及可行性評估」

海洋國家公園管理處委託研究報告

中華民國 96 年 12 月

「東沙環礁珊瑚復育試驗及可行性評估」

執行單位：國立海洋生物博物館

計畫主持人：樊同雲（國立海洋生物博物館）

協同主持人：方力行（正修科技大學）

參與研究人員：吳秉哲、魏杰、郭富雯、劉弼仁

林科含

海洋國家公園管理處委託研究報告

中華民國 96 年 12 月

目次

| | |
|-------------|-----|
| 表次 | III |
| 圖次 | IV |
| 摘要 | X |
| 第一章 緒論 | 1 |
| 第一節 緒言 | 1 |
| 第二章 研究內容與範圍 | 5 |
| 第一節 調查作業時間 | 5 |
| 第二節 調查作業內容 | 6 |
| 第三章 結論與建議 | 8 |
| 第一節 結論 | 8 |
| 第二節 討論 | 13 |
| 第三節 建議 | 17 |

附錄一 第 11 屆國際珊瑚礁研討會 摘要一 46

附錄二 第 11 屆國際珊瑚礁研討會 摘要二 47

參考書目 48

表次

表 1 珊瑚礁群聚測站的經緯度資料 ····· 18

表 2 移植珊瑚的實驗處理與珊瑚樣本數 ····· 19

表 3 東沙珊瑚復育規劃建議 ····· 20

圖次

圖 1 東沙環礁珊瑚群聚監測線分佈示意圖 23

圖 2 海底監測線照相調查 23

圖 3 水下自計式溫度計 23

圖 4 東沙島東方近岸區的管孔珊瑚 24

圖 5 東沙島東方近岸區的微孔珊瑚 24

圖 6 東沙島東方近岸區的分枝形微孔珊瑚 24

圖 7 東沙島東方近岸區的死亡珊瑚骨骸 24

圖 8 東沙島東方近岸區的軸孔珊瑚 24

圖 9 東沙島東方近岸區的軸孔珊瑚 24

圖 10 東沙島東方離岸區的葉片型棘孔珊瑚 25

圖 11 東沙島東方離岸區的葉片型棘孔珊瑚與分枝形微孔珊瑚 25

圖 12 東沙島東方離岸區游離生活的蕈珊瑚 25

圖 13 東沙島東方離岸區的死亡珊瑚骨骸 25

圖 14 東沙島東方離岸區的軸孔珊瑚 25

圖 29 東沙島西方近岸區翻倒的微孔珊瑚與其上生長的珊瑚 29

圖 30 東沙島西方離岸區的礁體與沙地 30

圖 31 東沙島西方離岸區的軸孔珊瑚 30

圖 32 東沙島西方離岸區的軸孔珊瑚 30

圖 33 東沙島西方離岸區的軸孔珊瑚 30

圖 34 東沙島西方離岸區出現黑帶病的表孔珊瑚 30

圖 35 東沙島西方離岸區的船隻殘骸與其上生長的珊瑚 . 30

圖 36 東沙島西方珊瑚礁群聚的底棲類別 31

圖 37 島北近岸區消波塊上的微孔珊瑚 32

圖 38 島北近岸區消波塊上的分枝形細枝鹿角珊瑚 . . . 32

圖 39 島北近岸區微孔珊瑚遭魚類啃食情形 32

圖 40 島北近岸區微孔珊瑚遭魚類啃食情形 32

圖 41 島北近岸區微孔珊瑚遭魚類啃食情形與鄰近鸚哥魚群 32

圖 42 島北近岸區分枝形軸孔珊瑚近期死亡群體與共生魚類情形 32

| | |
|-------------------------|----|
| 圖 43 東沙島北方的死亡軸孔珊瑚骨骸 | 33 |
| 圖 44 東沙島北方的死亡軸孔珊瑚骨骸 | 33 |
| 圖 45 東沙島北方的軸孔珊瑚 | 33 |
| 圖 46 東沙島北方的軸孔珊瑚 | 33 |
| 圖 47 東沙島北方的管孔珊瑚 | 33 |
| 圖 48 東沙島北方的海葵與共生的小丑魚 | 33 |
| 圖 49 東沙島北方珊瑚礁群聚的底棲類別 | 34 |
| 圖 50 東沙環礁瀉湖東方的珊瑚礁群聚 | 35 |
| 圖 51 東沙環礁瀉湖東方的珊瑚礁群聚 | 35 |
| 圖 52 東沙環礁瀉湖東方的珊瑚礁群聚 | 35 |
| 圖 53 東沙環礁瀉湖東方的軸孔珊瑚 | 35 |
| 圖 54 東沙環礁瀉湖東方的軸孔珊瑚 | 35 |
| 圖 55 東沙環礁瀉湖東方的船隻殘骸 | 35 |
| 圖 56 東沙環礁瀉湖東方珊瑚礁群聚的底棲類別 | 36 |
| 圖 57 東沙環礁瀉湖中央的珊瑚礁群聚 | 37 |
| 圖 58 東沙環礁瀉湖中央的軸孔珊瑚 | 37 |

| | |
|---------------------------|----|
| 圖 59 東沙環礁瀉湖中央的軸孔珊瑚 | 37 |
| 圖 60 東沙環礁瀉湖中央白化死亡的葉片型棘葉珊瑚 | 37 |
| 圖 61 東沙環礁瀉湖中央的紅扇珊瑚 | 37 |
| 圖 62 東沙環礁瀉湖中央的蕈珊瑚 | 37 |
| 圖 63 東沙環礁瀉湖中央珊瑚礁群聚的底棲類別 | 38 |
| 圖 64 東沙島東方測站水溫與潮汐的變動 | 39 |
| 圖 65 東沙島東南方測站水溫的變動 | 39 |
| 圖 66 東沙環礁內瀉湖中測站水溫的變動 | 40 |
| 圖 67 東沙島與東沙環礁不同地點水溫變動的比較 | 40 |
| 圖 68 東沙島東方白化的分枝形微孔珊瑚 | 41 |
| 圖 69 東沙島東方白化的團塊形微孔珊瑚 | 41 |
| 圖 70 瀉湖中白化的微孔珊瑚 | 41 |
| 圖 71 東沙島北方白化的軸孔珊瑚 | 41 |
| 圖 72 東沙島北方白化的鹿角珊瑚 | 41 |
| 圖 73 瀉湖中白化的蕈珊瑚 | 41 |
| 圖 74 東沙島東方珊瑚礁群聚發生白化的底棲類別 | 42 |

圖 75 島東葉片型棘孔珊瑚覆蓋生長在珊瑚骨骸上 . . . 43

圖 76 島東葉片型棘孔珊瑚覆蓋生長在珊瑚骨骸上 . . . 43

圖 77 瀉湖東礁石平台數量較多的分枝形微孔珊瑚 . . . 43

圖 78 瀉湖東礁石平台數量較多的分枝形微孔珊瑚 . . . 43

圖 79 瀉湖東礁石平台數量較多的分枝形軸孔珊瑚 . . . 43

圖 80 瀉湖東礁石平台數量較多的分枝形椎珊瑚 . . . 43

圖 81 東沙島東南方礁塊固定移植區 44

圖 82 東沙島東南方礁塊固定移植區放大圖 44

圖 83 東沙島北方碎珊瑚骨骸固定移植區 44

圖 84 東沙島北方碎珊瑚骨骸固定移植區放大圖 44

圖 85 東沙島北方碎珊瑚骨骸非固定移植區 44

圖 86 東沙島北方碎珊瑚骨骸非固定移植區放大圖 . . . 44

圖 87 美國 NOAA/NESDIS 衛星遙測海洋表層水溫熱點分佈
圖 45

摘要

關鍵詞：東沙、環礁、復育、珊瑚、監測

東沙環礁原本擁有美麗豐富的珊瑚，但於 1998 年因水溫異常過高，造成東沙島沿海和環礁潟湖大量珊瑚白化死亡，珊瑚骨骸堆積，亟待評估珊瑚復原狀況與人工復育的可行性。於 2007 年的 6、9 和 10 月，至東沙島與環礁潟湖進行珊瑚礁群聚監測與珊瑚移植復育評估。進行珊瑚礁群聚調查的 6 個地點中，以東沙島東方珊瑚群聚較佳，硬珊瑚的平均覆蓋率為 50.6%，其中主要是板葉形棘孔珊瑚屬的 34.0%和分枝形微孔珊瑚屬的 9.6%，並且群體直徑皆可達數公尺以上。珊瑚群聚次佳為環礁潟湖中央的斜坡，硬珊瑚的覆蓋率為 39.4%，其中主要是團塊形微孔珊瑚屬的 11.3%、板葉形棘孔珊瑚屬的 5.6%、表覆形表孔珊瑚屬的 3.9%和表覆形星孔珊瑚屬的 2.2%。其次是東沙島西方，硬珊瑚的覆蓋率為 14.3%，其中主要是表覆形表孔珊瑚屬的 10.9%，而 3 至 5 公尺淺水域的鹿角珊瑚科種類呈現正在復原的狀況，建議作為未來自然復育的監測區。環礁潟湖東方的硬珊瑚覆蓋率為 14.1%，其中主要是分枝形微孔珊瑚屬的 5.4%和板葉形棘孔珊瑚屬的 4.1%。東沙島的東南方和北方皆呈現大量死亡珊瑚骨骸分枝分布與堆積的現象，並且可能綿延數公里以上，硬珊瑚覆蓋率僅分別為 3.1%和 2.2%，因此選擇作為人為移植復育的地點，移植種類以分布較廣且數量較豐富的片形棘孔珊瑚和分枝形的柱形微孔珊瑚進行；已於 9 和 10 月分別在東沙島的東南方和北方的監測區附近，分別建立礁岩表面固定移植區和對照區，以及碎珊瑚骨骸固定移植區、非固定移植區和對照區，各區各 3 組，移植區內有 9 株珊瑚，包含片形棘孔珊瑚和柱形微孔珊瑚各 4 或 5 株，尚待後續監測評估。此外，今年夏季各調查地點皆可發現一些珊瑚發生明顯白化現象，估計白化較嚴重的東沙島東方其未白化硬珊瑚的覆蓋率為 37.1%，高於白化硬珊瑚的 14.5%；其中板葉形珊瑚未白化的佔 28.7%、高於白化的佔 0.7%，分枝形珊瑚未白化的佔 7.3%、低於白化的佔 11.6%，團塊形珊瑚未白化的佔 0.6%、低於白化的佔 1.9%。珊瑚白化主要原因是水溫異常過高，水溫於 6 月開始上升至 30°C 以上，最高達 32°C，於 8 月初受颱風聖帕影響下降至 27°C 後，又再上升至 30°C，然後又受颱風影響而下降，其後進入秋季，水溫維持持續下降。整體而言，東沙島與環礁潟湖的珊瑚在 1998 年珊瑚大量白化死亡後至今，歷經約 10 年，珊瑚仍僅呈現非常初步的復原，或幾乎未呈現復原跡象，今年又再次發生水溫不正常過高，珊瑚大量白化事件；因此，未來

非常需要進行適當、持續且有策略的人為復育努力，以使東沙島珊瑚群聚得以永續發展。



ABSTRACT:

Keywords : Dongsha Atoll, restoration, coral, monitoring

The coral reefs surrounding Dongsha Island, South China Sea, were dominated by the branching *Acropora* spp. and massive *Porites* spp., but severe thermal bleaching resulted in mass mortality of *Acropora* spp. that created piles of coral rubble spreading over several kilometers of reef surface in 1998. In 2007, the status of coral reefs at Dongsha Atoll was assessed at 4 coastal reef and 2 lagoon sites using phototranssect surveys, with the objective of assessing the current status of the reef and designing an ecologically appropriate reef restoration program. The percentage cover of turf algae and macroalgae ranged from 48.0 to 92.3% at all 6 sites, and at 4 of the sites, coral cover ranged from 14.1 to 50.6% and consisted largely of the branching coral *Porites cylindrica* and the foliaceous coral *Echinopora lamelosa*. At the 2 other sites, however, coral cover was < 3.1% and the reef was dominated by dead *Acropora* rubble with no sign of recovery. Based on the current success of *P. cylindrica* and *E. lamelosa*, we inferred that they were resistant to higher temperature, and therefore selected them for use in a reef restoration effort designed to accelerate the recovery of corals at this remote atoll. During September and October 2007, more than 80 corals from each species were transplanted to the 2 sites dominated by dead *Acropora* rubble using techniques that either attached the fragments to the reef and rubble or left them scattered over the surface. Preliminary work suggested that both techniques provided viable means to promote reef recovery.

摘 要

於 2007 年 6、9 和 10 月，至東沙島與環礁潟湖進行珊瑚礁群聚監測與珊瑚移植復育評估。6 個調查地點中，以東沙島東方珊瑚群聚較佳，硬珊瑚平均覆蓋率為 50.6%；次佳為環礁潟湖中央斜坡，硬珊瑚覆蓋率為 39.4%；其次是東沙島西方，硬珊瑚覆蓋率為 14.3%，但 3 至 5 公尺淺水域的鹿角珊瑚科種類數量較多，建議作為自然復育的監測區。環礁潟湖東方的硬珊瑚覆蓋率為 14.1%；東沙島的東南方和北方皆有大量死亡珊瑚骨骸堆積，硬珊瑚覆蓋率僅分別為 3.1%和 2.2%，因此移植片形棘孔珊瑚和分枝形的柱形微孔珊瑚各 81 株進行復育試驗，結果尚待後續監測評估。今年夏季珊瑚白化較嚴重的東沙島東方，其未白化硬珊瑚覆蓋率為 37.1%，高於白化硬珊瑚的 14.5%；白化主要原因是水溫異常過高，最高達 32°C。



ABSTRACT:

The coral reefs surrounding Dongsha Island, South China Sea, were dominated by the branching *Acropora* spp. and massive *Porites* spp., but severe thermal bleaching resulted in mass mortality of *Acropora* spp. that created piles of coral rubble spreading over several kilometers of reef surface in 1998. In 2007, the status of coral reefs at Dongsha Atoll was assessed at 4 coastal reef and 2 lagoon sites using phototranssect surveys, with the objective of assessing the current status of the reef and designing an ecologically appropriate reef restoration program. The percentage cover of turf algae and macroalgae ranged from 48.0 to 92.3% at all 6 sites, and at 4 of the sites, coral cover ranged from 14.1 to 50.6% and consisted largely of the branching coral *Porites cylindrica* and the foliaceous coral *Echinopora lamelosa*. At the 2 other sites, however, coral cover was < 3.1% and the reef was dominated by dead *Acropora* rubble with no sign of recovery. Based on the current success of *P. cylindrica* and *E. lamelosa*, we inferred that they were resistant to higher temperature, and therefore selected them for use in a reef restoration effort designed to accelerate the recovery of corals at this remote atoll. During September and October 2007, more than 80 corals from each species were transplanted to the 2 sites dominated by dead *Acropora* rubble using techniques that either attached the fragments to the reef and rubble or left them scattered over the surface. Preliminary work suggested that both techniques provided viable means to promote reef recovery.

第一章 緒 論

第一節 緒言

壹、緒言

珊瑚礁

珊瑚礁兼具高生物多樣性、豐富生物量、以及高生產力等特性，並在孕育高物種多樣性、維持生態平衡、建造陸地、提供食物和藥物、做為觀光遊憩資源、以及提供教育和研究之用等，具有很高的價值而成為最重要且受國際關注的海洋生態系之一(Done et al 1996; Birkenland 1997)。然而，由於人為和自然因素，如過度捕捉藻食性魚類、水質優養化、沉積物、氣候暖化、二氧化碳濃度升高、白化事件、疾病大發生、棘冠海星大發生等，已使得世界上的珊瑚礁長期急劇衰敗和改變 (Knowlton 2001; Roberts et al 2002; Hughes et al 2003; Pandolfi et al 2003)。由於珊瑚礁對人類和生態平衡的重要，並且淺海棲地是影響珊瑚礁生物多樣性最主要的因素(Bellwood & Hughes 2001)，但是卻正在快速消失，此外，各珊瑚礁生物種類的地理分布範圍較侷限而易滅絕(Roberts et al 2002)，這些因素使得珊瑚礁成為需要整合各國的努力，優先保育的生態系之一。

珊瑚移植

珊瑚的移植已在許多國家，如美國、英國、澳洲、日本、泰國、菲律賓和以色列等，被用於加速珊瑚礁生物群聚的發展，和復育重建被破壞的珊瑚礁 (Harriott & Fisk 1988; Clark & Edwards 1995; Rinkevich 1995, 2000; Oren & Benayahu 1997; Edwards & Clark 1998; Epstein et al 2003; Soong & Chen 2003; Yap 2004; Okubo et al 2005; Rinkevich 2005; Sleeman et al 2005; Cote & Reynolds 2006; Dizon & Yap 2006; Grimsditch & Salm 2006; Precht 2006)。整理過去進行移植珊瑚的目的包括：船隻在珊瑚礁觸礁擱淺後加速珊瑚礁的復原；取代因廢水、溫排放水或其他污染而死亡的珊瑚群體；拯救因污染、陸地開發或興建碼頭所造成珊瑚群聚或地區性稀有種類的犧牲；海水暖化、颱風、棘冠海星或紅潮大發生而損害珊瑚後，加速珊瑚群聚的復原；在炸漁或採挖珊瑚後幫助珊瑚復原；減緩因海域遊憩活動造成珊瑚群聚受損；以及在觀光地區強化海底棲地的豐富度與吸引力等方面的應用。珊瑚移植加入的效果是能夠快速提高礁區棲地的複雜度、生

物多樣性、珊瑚成長速度和覆蓋率、以及克服珊瑚早期加入量少、小群體死亡率高、成長慢的限制，加速珊瑚礁區珊瑚群聚的發展速度；當移植珊瑚建立、成長和成熟而能夠進行有性生殖後，便能產生大量子代，促進當地珊瑚的加入量，或經由移植群體的無性斷裂生殖而增加群體數目。

珊瑚移植的過程與步驟通常包括：選擇珊瑚的來源地點與種類，移動和運送珊瑚群體，然後再固定於復育區域。不過，各復育計畫的成功率有所不同，而與移植環境的海流狀況、水質、基質的穩定度、珊瑚的種類、移植固定的方法和人為經營管理等因素密切關連(Edwards & Clark 1998)；分析過去造成失敗的原因有：移動和運送方式不當，造成珊瑚緊迫(stress)；所選擇的珊瑚種類或其體型大小不適當，例如群體的存活率與其體型大小有密切關係，體型小則死亡率較高(Tunncliffe 1981; Hughes & Jackson 1985; Bowden-Kerby 1997)；固定的方式不良，使其在較強風浪作用下脫落等。因此，在進行移植珊瑚的事前地點勘查與移植作業規劃、審慎的執行移植作業與因應特定環境狀況的適當調整等，都對移植成功率有很大的影響。

珊瑚的移植經常使用分枝形軸孔珊瑚，主要是因為其具有是主要的造礁珊瑚、數量通常豐富、生長快、競爭能力強、立體式的生長外型較美而吸引遊客注意、分枝空間大量並且穩固且隱蔽，提供魚類安全棲所等優點；此外，分枝形軸孔珊瑚易受颱風引起的強勁風浪破壞，或因水質惡化、棘冠海星爆發和疾病蔓延等導致受損嚴重而須進行復育(Connell 1973; Bowden-Kerby 1997, 2001; Harriot & Fisk 1988; Lindahl 1998; Rinkevich 2000; Vytopil & Willis 2001; Yap 2004; Okubo et al 2005; Dizon & Yap 2006)。

然而，從未受損害的珊瑚礁區大量採集用於移植的珊瑚群體，將造成其承受珊瑚損失或對當地群聚產生干擾。因此，近年來，利用採集珊瑚群體的部份或分枝進行人工培育珊瑚，待其長大至適當體型後，再將其應用於野外受損害珊瑚礁的復育做法愈益受到重視，並且也已推動進行(Rinkevich 1995; Bowden-Kerby 1997, 2001)。以人工培育珊瑚作為移植復育珊瑚的來源，目前已在一些國家受到重視而在發展(Rinkevich 1995; Franklin et al 1998; Yap 2000; Epstein et al 2003; Shafir et al 2006a, 2006b)。

東沙環礁

東沙環礁是我國海域唯一發展完整之珊瑚環礁，孕育豐富多樣的海洋生物資源，屬於世界級的特殊珍貴自然遺產，行政院於民國 95 年 12 月 19 日正式核

定成立東沙環礁國家公園，規劃以東沙環礁及外圍 12 海浬為國家公園範圍，總面積為 35 萬 6500 公頃。此為我國第一座以海洋資源保育、復育及長期生態監測研究為主要目標之海洋型之國家公園。關於東沙環礁的重要環境資料，包括其是南中國海北部最大的環礁(Dai 2006)，許多海洋生物以此為主要的繁殖與孵育地，其由瀉湖及珊瑚礁台組成，範圍直徑約 25 公里，面積約 500 平方公里，環狀礁台區長約 46 公里，寬約 2 公里，環礁內為水深約 16 公尺，瀉湖面積約 300 平方公里，有許多珊瑚丘與淺灘分布其中。夏季 5 至 9 月受西南季風影響，冬季 10 至 4 月受東北季風影響，每月平均氣溫最高在 6 至 8 月的 29.0 至 29.4°C，最低在 1 至 2 月的 21.6 至 21.9°C。海流夏季表面流向為東北向，流速每小時約 0.37 至 0.93 公里，冬季轉為西北向，環礁內水流受潮汐影響，漲潮時海水由環礁之西側缺口進入環礁，退潮時呈相反流向，平均潮差 1.06 公尺，最大日潮差 1.65 公尺(陳, 2007)。

此外，以東沙島而言，因外圍環礁地形在西南側有一大缺口，而西北側缺口較小，因此東沙島受西南向之波浪影響較明顯。東沙島沿岸為沙岸，附近海域海底地形方面，北側為低潮時裸露於水面之礁岩地形，水深 0 至 1 公尺；東側鄰近環礁中心，高低起伏不定，平均坡度為 0.45%；西側為平緩沙灘緊鄰坡度陡降之環礁地形，平均坡度為 4.8%；南側坡度較緩水深 0.5 至 5 公尺，環礁內水深 0 至 17 公尺，大多在 5 公尺以內。退潮段潮流是由西向東流，在東沙島南北兩側水道之潮流流速較大，在島的東側尖端處流速最大，約每秒 0.8 公尺；平潮段潮流幾乎停止流動；漲潮段潮流由東向西，在東沙島南北兩側水道之潮流流速較大，在島東側的南北尖端處流速最大。西南湧是造成海岸漂砂及岸線變化之主要外力(藍與許, 2007)。

過去關於東沙島珊瑚資源的調查，有楊榮宗等(1975)、Dai et al (1995)、方(1998)、Li et al (2000)、Li & Fang (2002)、Soong et al (2002)、樊等(2005)、戴(2005, 2006)、Dai (2006)以及戴與鄭(2006)等。Dai et al (1995)報導東沙島的珊瑚覆蓋率在西北方約 80%，北方約 80 至 95%，南方約 15 至 20%。其後，東沙海域遭受長期過度漁業或非法漁業活動，以及 1997 至 1998 年全球海水暖化所致，包括日本、菲律賓、馬爾地夫、肯亞和法屬大溪地等，發生珊瑚大量白化與死亡事件等的影響(Arceo et al 2001, Edwards et al 2001, Loya et al 2001, McClanahan et al 2001, Mumby et al 2001, Dai 2006)，許多區域的珊瑚嚴重死亡，導致活珊瑚稀少，而珊瑚覆蓋率非常低。此外，在 1975 至 1994 年珊瑚呈現生長茂盛，其中內環礁

瀉湖內係以分枝形軸孔珊瑚為主，環礁外圍則以桌形軸孔珊瑚與軟珊瑚為主。然而在 1998 年受到水溫升高的影響，使得內環礁瀉湖的珊瑚群聚大量死亡，水深 15 公尺以淺的底質到處都是分枝形及葉片形珊瑚遺留下的殘骸。後續 2004 至 2006 年的調查結果皆發現瀉湖內軸孔珊瑚仍未復原，雖然微孔珊瑚、鹿角珊瑚已開始呈現初步復原，瀉湖內平均珊瑚覆蓋率仍僅有 10-20%；而外環礁的珊瑚則呈現正常健康的狀況，以桌形和分枝形軸孔珊瑚及軟珊瑚為優勢物種，珊瑚覆蓋率達 75-80%。

由於內環礁瀉湖的珊瑚群聚於 1998 年受創至今仍未見明顯復原現象，因此有必要嘗試以人工移植珊瑚的方式，促進珊瑚礁的加速復原(樊等，2005；戴，2005，2006；戴與鄭，2006)，以維持珊瑚礁生態系的正常功能，否則已被破壞的珊瑚礁甚至有可能會繼續惡化。珊瑚礁復育的目標在於使已破壞的珊瑚礁恢復到原來的狀態，由於珊瑚礁破壞除了代表鉅額經濟損失之外，對於海域生態系平衡更是一大衝擊，因此近年來，如何促進珊瑚礁復原成為廣受重視的課題，世界許多國家學者和珊瑚礁管理機構都在探討或進行珊瑚礁的復育並且已經有許多具體成果(Cote & Reynolds 2006; Precht 2006)。

計劃目的

本計劃的主要目的在於在東沙環礁具有較完整過去調查資料與生態代表性的地點，建立長期監測樣區，進行年度珊瑚群聚調查與水溫連續監測，以持續瞭解與掌握東沙珊瑚礁現況，做為珊瑚監測及復育之參考資料；此外，探討以人為努力，促進東沙環礁珊瑚復育之可行性，於東沙當地評估選擇適當之珊瑚品種，特別是能夠在 1998 年珊瑚大量白化死亡後存活生長至今，以及可能具有適應未來環境變化潛力的珊瑚種類，然後進行人工移植復育的可行性評估，以期珊瑚群聚能早日復原，以利東沙環礁生態之永續經營。

第二章、研究內容與範圍

第一節 調查作業時間

調查作業時間

第一梯次作業於 96 年 6 月 21 日開始，一行 5 人，上午搭機抵達東沙，下午在東沙島西岸浮潛；22 日上午搭乘膠筏船潛東沙島西方進行群聚調查，下午在東沙島東岸水肺潛水調查；23 日上午搭乘膠筏船潛東沙島東方進行群聚調查，下午無船；24 日上午搭洋巡快艇船潛環礁瀉湖東方與瀉湖中央進行群聚調查，下午搭膠筏船潛東沙島北方與島東南方進行群聚調查；25 至 27 日皆因風浪大而無法作業；28 日上午搭機返台。

第二梯次作業於 96 年 9 月 27 日開始，一行 4 人，上午搭機抵東沙島，下午搭洋巡快艇船潛環礁內東方；28 日菲律賓南方有低氣壓形成，上午浮潛東沙島東北方，風浪較大，水濁，之後至漁服站碼頭浮潛，下午船潛東沙島東方，採集片棘孔珊瑚和柱形微孔珊瑚，然後運至東沙島東南方監測區進行移植；29 日上午船潛東沙島東方監測站，採集片棘孔珊瑚和柱形微孔珊瑚，移植至東沙島北方，海底可看出珊瑚骨骸受颱風影響而位移變化，風增大，浪增強；9 月 30 日至 10 月 4 日因利奇馬颱風影響，湧浪大而無法作業；4 日上午搭機返台。

第三梯次作業於 96 年 10 月 18 日開始，一行 4 人，上午搭機抵東沙島，東北風強勁；19 日下午先至環礁瀉湖中換溫度計，然後至環礁瀉湖東方，預計換溫度計但未找到；20 日早上原定去東沙島西方換溫深度計，但因有一淺礁環繞，洋巡快艇吃水 1 公尺而無法通過（之前是由岸巡膠筏作業，因其吃水 0.5 公尺而能通過，但岸巡隊已解編），環礁外湧浪過大，折返回東沙島東方，採集分枝形微孔珊瑚和片形棘孔珊瑚，移植至島東南，可看出地形受之前利奇馬颱風影響而改變；21 日無船作業；22 日早上至東沙島東方，採集分枝形微孔珊瑚和片形棘孔珊瑚，移植至東沙島北方，珊瑚完好，似乎未受之前利奇馬颱風影響，但未找到溫度計；23 日海況變差，但仍船潛東沙島東方勘查珊瑚礁群聚；24 日早上岸潛東沙島東北方近岸區域；25 日上午搭機返台。

第二節 調查作業內容

設立永久生態監測站，監測珊瑚礁底棲群聚與水溫。

在珊瑚礁生態調查與監測方面，參考過去調查地點，分別在東沙島的東方、東南方(原先預定在南方，但其為大片礁盤，珊瑚稀少，而改為島東南)、西方、北方、環礁潟湖中的東方與中央(潟湖中與東的地點相近，但因洋巡快艇航行更東淺水域的觸礁擱淺風險高，而潟湖東為平台區，潟湖中為斜坡區，可涵蓋不同環境)等 6 個地點(圖 1)，建立永久生態監測站，設立珊瑚礁底棲群聚監測的永久固定樣區與監測底棲群聚，以及至少包括夏季(7 至 9 月)的水溫連續測量紀錄。外環礁的東方、南方和北方等 3 個地點，則因距離遠，風浪大，船隻作業困難而未能建立監測站與進行珊瑚礁群聚監測。

監測調查珊瑚覆蓋率的方法是在各調查地點依當地珊瑚群聚現況與水深，設立不銹鋼標記樁，標記 3 條 30 公尺橫截線，然後利用水下數位相機(Olympus C-5050)和 35 乘 35 公分的照相框架，照相記錄每條測線的底棲生物與基質(圖 2)，所拍攝的每個 35 乘 35 公分樣框，使用 CPCe (Coral Point Count With Excel extensions) [National Coral Reef Institute, NOVA Southeastern University Oceanographic Center (NSUOC)] 軟體，每個樣框記錄 50 個隨機樣點其下的底棲生物和基質，計數各樣框內底棲生物和基質的樣點數和計算其覆蓋率(Tkachenko et al 2007)。底棲生物和基質分為硬珊瑚、軟珊瑚、柳珊瑚、海葵、大型藻、毛叢狀海藻、基質與其它等大類(English et al, 1994)，並分析各生長形，如分枝形、桌形、柱形、表覆形、團塊形、板葉或葉片形、以及游離生活型等硬珊瑚，以及硬珊瑚各生長形與屬的覆蓋率比較。各底棲生物類別的定義如下，大型藻主要為組織較多、形態直立、高度通常大於 1 公分的較大型海藻。毛叢狀海藻(turf algae)主要為絲狀，高度通常小於 1 公分。覆蓋率數據資料皆以平均值±標準偏差表示。此外，記錄所承受的人為污染和破壞，如泥沙沉積物、捕魚和釣魚所廢棄的漁網和魚線、纜繩、船錨、垃圾、炸魚所導致的物理性破壞和珊瑚白化與疾病等。

水溫監測利用自計式溫度計(Onset Computer, temperature resolution 0.2°C)裝

置在固定監測線附近，每 30 分鐘監測記錄一次(圖 3)。

珊瑚白化調查

於夏季珊瑚發生白化後的 9 和 10 月期間，潛水調查珊瑚白化程度。由於各地點活珊瑚數量少，珊瑚白化並不嚴重，目測估計白化率低於 30%，因此僅在珊瑚數量較豐富的東沙島東方測站進行白化調查。在珊瑚數量較多，白化較明顯的區域，逢機選擇 5 條 10 公尺橫截線，利用前述評估群聚結構的方法量化分析珊瑚的白化程度。

珊瑚移植

由於東沙島的東南方和北方都具有大量碎珊瑚骨骸，珊瑚幾乎沒有復原，活珊瑚的數量稀少，而其鄰近東沙島，直接影響附近珊瑚礁生態的結構(如建造礁體、保護海岸、提供棲地)、功能(如減緩海岸侵蝕、培育漁業和觀光資源)，以及海底景觀，因此選擇為優先復育的區域。

移植復育的方法是於 9 和 10 月，在東沙島東方珊瑚數量較豐富的地點，以鐵鎚和鑿子採集分枝形柱形微孔珊瑚和片形棘孔珊瑚，二種珊瑚分開放置在不同的塑膠籃中，搬運至船上已盛海水的塑膠桶中，運送至移植地點。在東沙島的東南方和北方的監測區附近，在礁岩表面建立 3 組固定移植區和 3 組對照區，以及在碎珊瑚骨骸區建立 3 組固定移植區、3 組非固定移植區和 3 組對照區，各區的面積皆為 1 乘 1 平方公尺，移植實驗處理與移植珊瑚種類和數量的資料如表 2 所示。礁岩表面固定移植區的珊瑚，以鋼釘和塑膠束帶固定於礁岩表面。碎珊瑚骨骸區的珊瑚，以不銹鋼絲網綁珊瑚，並以不銹鋼絲折成的倒勾固定於碎珊瑚骨骸。每組移植區其內固定總共 9 株珊瑚，二種珊瑚各 4 或 5 株，片棘孔珊瑚和柱形微孔珊瑚直徑各約 10 公分。然後以水下數位相機(Olympus C-5050) 照相紀錄。

第三章、結論與建議

第一節 結論

東沙島東方

沿岸水泥消波塊上珊瑚稀少，但有較多魚類棲息其間。近岸海域岸潛調查發現底質為沙地和碎珊瑚骨骼，海草床範圍較小，水質較濁；3 至 8 公尺公尺珊瑚逐漸增多，以團塊形的微孔珊瑚、管孔珊瑚(圖 4)、柱形和板葉形微孔珊瑚(圖 5)、柱形微孔珊瑚(圖 6)、葉片形棘孔珊瑚和游離生活的蕈珊瑚較常見。分枝形的珊瑚骨骸在一些區域堆積(圖 7)。僅發現零星小型軸孔珊瑚出現(圖 8、9)。

離岸海域船潛調查發現，水深 8 至 12 公尺區域有密集分布且大型的片形棘孔珊瑚(圖 10)和柱形微孔珊瑚(圖 11)，群體直徑皆可達數公尺以上；一些區域有數量豐富行游離生活的蕈珊瑚(圖 12)，也有很多珊瑚骨骸分枝堆積(圖 13)，僅發現零星小型軸孔珊瑚出現(圖 14)。有一些珊瑚白化現象(圖 15)。由東沙島東方潛水游向岸邊，由 10 公尺珊瑚狀況較佳，越淺則珊瑚數量呈現越少的趨勢；整體而言，約 8 公尺以下活珊瑚較多。

水深 8 至 12 公尺區域群聚調查結果(圖 16)，底棲類別平均覆蓋率以硬珊瑚的 50.6% 最多，在珊瑚骨骸或礁岩表面生長的毛叢狀海藻的 45.5% 次之，大型藻為 2.5%、而基質與其他為 1.4%。各生長形硬珊瑚的平均覆蓋率方面，以板葉形珊瑚的 34.1% 最高，其次為分枝形珊瑚的 9.6% 與團塊形珊瑚的 3.8%。硬珊瑚生長形與屬的平均覆蓋率由高至低排序分別是，板葉形棘孔珊瑚屬的 34.0% 最高，然後是分枝形微孔珊瑚的 9.6% 與團塊形管孔珊瑚的 1.2%。

東沙島東南方

因在東沙島南方利用船隻拖曳浮潛觀察，發現為廣大平坦海底，珊瑚稀少而無適合監測地點，因此改至東沙島東南方。在東沙島東南方利用船隻拖曳浮潛和船潛，水深 5 公尺以淺區域發現廣大死亡珊瑚骨骸堆積綿延數公里以上(圖 17)，其上零星有群體直徑大多在 30 公分內的小型管孔珊瑚、菊珊瑚和游離生活

的蕈珊瑚出現(圖 18、19、20、21)，也有少數直徑達數公尺的大型微孔珊瑚矗立在珊瑚骨骸堆上(圖 22)。

水深 5 公尺區域群聚調查結果(圖 23)，底棲類別平均覆蓋率以在珊瑚骨骸或礁岩表面生長的毛叢狀海藻的 95.3% 最多，硬珊瑚僅 3.1%，大型藻為 0.4%、而基質與其他為 0.9%。各生長形硬珊瑚的平均覆蓋率以團塊形珊瑚的 2.0% 最高，其餘都低於 1.0%。硬珊瑚生長形與屬的平均覆蓋率僅團塊形管孔珊瑚的 1.26% 較高，其餘都低於 1.0%。

東沙島西方

近岸區域岸潛調查發現，沿岸 2 公尺以淺主要為密集的海草床和沙地，有零星軸孔珊瑚生長(圖 24、25)，群體直徑可達約 50 公分；2 至 4 公尺底質為礁岩，水質清澈，之前死亡軸孔珊瑚殘骸仍可辨識(圖 26)，有較多珊瑚出現，尤其是鹿角珊瑚科的種類有許多中小型的群體，呈現正在復原的狀況(圖 27)，也有少數軸孔珊瑚(圖 28)和直徑達 1 公尺以上的較大型微孔珊瑚(圖 29)，一些群體翻倒表面有一些鹿角珊瑚加入生長。離岸海域水深 5 至 8 公尺區域，地勢平坦，鄰近沙地而漂沙影響明顯(圖 30)，礁岩表面生物少，珊瑚數量呈零星分布，群體幾乎為直徑小於 50 公分的小群體，有一些軸孔珊瑚(圖 31、32、33)，軸孔珊瑚會出現固著礁岩之基座面積展延擴大現象，反映此海域水流可能很強勁，而需要較多固著面積；也發現表孔珊瑚出現黑帶病現象(圖 34)，此外，有數塊船隻殘骸，其上已有珊瑚附著生長(圖 35)。於 8 公尺處大型礁塊發現一株紅扇珊瑚。

水深 6 至 8 公尺區域群聚調查結果(圖 36)，底棲類別平均覆蓋率以在礁岩表面生長的毛叢狀海藻的 82.9% 最多，硬珊瑚為 14.3%，而基質與其他為 2.0%。各生長形硬珊瑚的平均覆蓋率以表覆形珊瑚的 10.9% 最高，其次為團塊形珊瑚的 2.3%，其餘都低於 1.0%。硬珊瑚生長形與屬的平均覆蓋率以表覆形表孔珊瑚的 10.9% 最高，其次為團塊形微孔珊瑚的 1.2%，其餘都低於 1.0%。

東沙島北方

沿岸水泥消波塊上有一些中型群體(直徑可達約 50 公分)的團塊形微孔珊瑚(圖 37)和分枝形細枝鹿角珊瑚(圖 38)固著生長。近岸海域岸潛調查發現底質為沙地和碎珊瑚骨骼，海草床範圍較大，水質較濁；3 至 8 公尺公尺珊瑚逐漸增多，

以團塊形的微孔珊瑚、管孔珊瑚、柱形微孔珊瑚和葉片形棘孔珊瑚較常見。分枝形的珊瑚骨骸在一些區域堆積。此區微孔珊瑚呈現被魚類啃蝕的明顯現象(圖 39、40、41)，魚類啃食是造成一些團塊形微孔珊瑚部份死亡，在群體表面留下缺口的原因。在海草床區有發現一株直徑約 60 公分的分枝形軸孔珊瑚近期死亡群體(圖 42)。

船潛調查結果發現，水深 3 至 5 公尺區域海底為廣大死亡珊瑚骨骸堆積(圖 43、44)，綿延數公里以上，其上零星有少數直徑達數公尺的大型微孔珊瑚，其餘僅零星鹿角珊瑚、軸孔珊瑚(圖 45、46)、管孔珊瑚(圖 47)和菊珊瑚出現，附著生長於死亡珊瑚骨骸上，珊瑚群體體型小；此外，有一些與海葵與共生的小丑魚分布(圖 48)。

水深 5 公尺區域群聚調查結果(圖 49)，底棲類別平均覆蓋率以在珊瑚骨骸或礁岩表面生長的毛叢狀海藻的 79.5% 最多，其次為大型藻的 12.8%，硬珊瑚僅 2.2%，而基質與其他為 5.4%。各生長形硬珊瑚的平均覆蓋率僅團塊形珊瑚為 2.0%。硬珊瑚生長形與屬的平均覆蓋率僅團塊形微孔珊瑚的 2.0% 較高，其餘都低於 1.0%。

整體而言，東沙島沿岸海域的珊瑚現況以東方最佳，並以板葉形棘孔珊瑚和分枝形微孔珊瑚數量最豐富；其次為西方，以分枝形鹿角珊瑚較常見；而東南方和北方則以死亡珊瑚骨骸堆積為主，珊瑚數量稀少。此外，團塊形微孔珊瑚與游離生活的蕈珊瑚在東沙島的東方、東南方與北方，皆有分布且較常見。

環礁內瀉湖東方

船潛調查發現水深僅 3 公尺的大面積淺水礁平台，有一些較大型的團塊形微孔珊瑚、管孔珊瑚和菊珊瑚(圖 50)，較密集的柱形微孔珊瑚(圖 51、52)，一些區域有珊瑚骨骸分枝堆積，其中發現一些軸孔珊瑚生長(圖 53、54)，也發現船隻殘骸其表面有珊瑚生長(圖 55)。

水深 3 公尺區域群聚調查結果(圖 56)，底棲類別平均覆蓋率以在珊瑚骨骸或礁岩表面生長的毛叢狀海藻的 81.4% 最多，硬珊瑚的 14.1% 次之，大型藻為 3.8%。各生長形硬珊瑚的平均覆蓋率方面，以分枝形珊瑚的 6.1% 最高，其次為板葉形珊瑚的 4.2%、表覆形珊瑚的 2.3% 與團塊形珊瑚的 1.1%。硬珊瑚生長形與屬的平均覆蓋率由高至低排序分別是，分枝形微孔珊瑚屬的 5.4% 最高，然後是板葉形棘孔珊瑚的 4.1%，其餘都低於 1.0%。

環礁內瀉湖中央

船潛調查發現一礁平台和礁斜坡，礁平台水深約 3 公尺，珊瑚的覆蓋率與生長情形較差，而礁斜坡區珊瑚生長情形較佳而選擇在此監測(圖 57)。有一些較大型的團塊形微孔珊瑚、管孔珊瑚和菊珊瑚較常見，一些區域有珊瑚骨骸分枝堆積，有發現一些軸孔珊瑚生長(圖 58、59)，也有少數珊瑚正在白化，甚至死亡(圖 60)。斜坡上發現一株紅扇珊瑚(圖 61)。斜坡深至 15 公尺，底質由大量紅藻密集生長覆蓋，同時其中也有許多游離生活且大型的萼珊瑚(圖 62)。

水深 5 至 10 公尺區域群聚調查結果(圖 63)，底棲類別平均覆蓋率以在珊瑚骨骸表面或礁岩生長的毛叢狀海藻的 58.3% 最多，硬珊瑚的 39.4% 次之，大型藻為 0.5%、而基質與其他為 1.2%。各生長形硬珊瑚的平均覆蓋率方面，以團塊形珊瑚的 20.0% 最高，其次為表覆形珊瑚的 9.2%、板葉形珊瑚的 7.3%、分枝形珊瑚的 1.5% 和游離形珊瑚為 1.2%。硬珊瑚生長形與屬的平均覆蓋率由高至低排序分別是，團塊形微孔珊瑚屬的 11.3% 最高，然後是板葉形棘孔珊瑚屬的 5.6%、表覆形表孔珊瑚的 3.9%、表覆形星孔珊瑚的 2.2%、團塊形角星珊瑚的 1.4%、分枝形微孔珊瑚的 1.2%，團塊形角菊珊瑚的 1.2%，其餘都低於 1.0%。

水溫監測

計畫執行期間已在東沙島的東方、東南方、西方和北方，以及瀉湖的東方和中央的監測站附近，分別設置溫度紀錄器或溫度與深度記錄器(表 1)，其中東沙島東方的溫深度計(圖 64)、東南方(圖 65)和瀉湖中央(圖 66)的溫度計有再收回更換並下載資料。

結果顯示，水溫於 6 月開始上升至 30°C 以上，最高達 32°C，於 8 月初受颱風聖帕(警報期間 8 月 16 至 19 日，中央氣象局)影響水溫下降至 27°C 後，又再上升至 30°C，然後又受颱風韋帕(警報期間 9 月 17 至 19 日，中央氣象局)、利奇馬颱風(9 月 27 日至 10 月 4 日，維基百科 2007 年太平洋颱風季)和柯羅莎(警報期間 10 月 4 至 7 日，中央氣象局)影響而下降，其後進入秋季，水溫維持持續下降。至於東沙島與環礁瀉湖的水溫是否受到外環礁內波的影響(Wang et al, 2007)，尚待未來進一步測量評估。

東沙島東方、東南方和瀉湖中央的水溫比較結果顯示(圖 67)，三地點的變

化趨勢相同，都呈現水溫上升又下降的變化；此外，東沙島東南方的水溫短時間的變動較大，最高溫較高，可能是由於其位置較淺，僅 3 公尺深所致。

珊瑚白化

於 9 和 10 月調查期間，在各地點皆可發現一些珊瑚發生明顯白化現象，常見的珊瑚，如分枝形的柱形微孔珊瑚(圖 68)、團塊形微孔珊瑚(圖 69、70)、分枝形的軸孔珊瑚(圖 71)和鹿角珊瑚(圖 72)，以及位於環礁內潟湖中水深 20 公尺的蕈珊瑚(圖 73)等，都有不同程度的白化。

東沙島東方監測站附近水深 8 至 10 公尺區域珊瑚礁群聚白化調查結果(圖 74)，底棲類別平均覆蓋率方面，未白化硬珊瑚為 37.1%，高於白化硬珊瑚的 14.5%；其中板葉形珊瑚未白化的佔 28.7%、高於白化的佔 0.7%，分枝形珊瑚未白化的佔 7.3%、低於白化的佔 11.6%，團塊形珊瑚未白化的佔 0.6%、低於白化的佔 1.9%，其餘都低於 1.0%。

珊瑚移植

根據珊瑚群聚調查結果發現，葉片形棘孔珊瑚(圖 75、76)和分枝形微孔珊瑚廣泛分布在各調查地點(圖 77、78)，並且常是數量最豐富的種類，也是少數能夠覆蓋生長在分枝形珊瑚骨骸區的主要種類，因此可能較適合優先做為東沙島移植復育的珊瑚種類。此外，在 9 和 10 月的後期調查過程中，也發現環礁內潟湖東區的部份礁平台區，有數量較多的分枝形軸孔珊瑚(圖 79)和分枝形椎珊瑚(圖 80)呈現復原成長的情形，因此未來也可能在其數量逐漸增多以後，適合考慮做為後續移植的珊瑚種類。

移植復育珊瑚的部份，已於 9 和 10 月分別在東沙島的東南方和北方的監測區附近，在礁岩表面建立 3 組固定移植區(圖 81、82)和 3 組對照區，以及在碎珊瑚骨骸區建立 3 組固定移植區(圖 83、84)、3 組非固定移植區(圖 85、86)和 3 組對照區，各區的面積皆為 1 乘 1 平方公尺，移植實驗處理與移植珊瑚種類和數量的資料如表 2 所示。移植期間受中度颱風韋帕(警報期間 9 月 17 至 19 日，中央氣象局)的影響，碎珊瑚骨骸有明顯移動現象，以東沙島東南方較明顯，北方則較不明顯；但觀察和計數移植珊瑚的數量並未改變。

第二節 討論

珊瑚群聚

東沙島東方是目前發現珊瑚群聚現況較佳的區域，硬珊瑚平均覆蓋率為 37.5%，Soong 等(2002)、樊等(2005)與戴(2005, 2006)等亦皆報導此區域珊瑚數量較多，一些種類，如棘孔珊瑚(*Echinopora lamellose* 與 *Echinopora gammacea*)、柱形微孔珊瑚(*Porite cylindrica*)、強壯履珊瑚(*Sandalolitha robusta*)、蛞蝓石珊瑚(*Herpolitha limax*)和一些蕈珊瑚種類(*Fungia* spp.)等數量豐富，具有許多直徑達 1 公尺以上的大群體，並且密集分布。不過，東沙島東方珊瑚種類數目較少，環境的水質濁度較高，也有許多死亡珊瑚的大型分枝，並且曾發現有一些棘冠海星攝食棘孔珊瑚，而一些珊瑚，如片形棘孔珊瑚和角星珊瑚正在白化死亡。因此有必要密切追蹤後續發展。東沙島潮流在島東側的南北尖端處流速最大(藍與許, 2007)，因此島東側水流交換應最大，並且深度深，可能因而促進此區域珊瑚的存活與生長。

值得注意的是，雖然東沙島東方是目前東沙島沿海唯一仍維持數量較多的活珊瑚區域，但是整體的珊瑚群聚似乎仍未呈現有開始復原至 1998 年前的跡象，例如珊瑚分枝骨骸仍普遍可見，並且佔據大量基質，這些區域僅有少數活的管孔珊瑚和蕈珊瑚等，而早期數量豐富的分枝形軸孔珊瑚則幾乎沒有。因此，除了需要持續追蹤現存珊瑚群聚的變化，也需要積極尋找適合進行移植復育的分枝形軸孔珊瑚來源，以促進珊瑚群聚的早日復原。

團塊形和分枝形微孔珊瑚在大部份調查地點，都具有數量較多，且直徑可達 1 公尺以上的較大型群體，而鄰近則常出現大量死亡軸孔珊瑚的殘骸，顯示其耐受環境能力較軸孔珊瑚強，受海水暖化和過漁活動的影響可能較小而持續存在。一些研究結果顯示，團塊形的微孔珊瑚對白化的耐受能力較高(Harriott 1985; Marshall & Baird 2000; McClanahan 2000)，Kayanne 等(2002)也報導日本琉球 1998 年白化事件中，團塊形的微孔珊瑚雖然有白化現象，但之後即恢復而維持其覆蓋率。

東沙島與環礁潟湖 6 個地點硬珊瑚的平均覆蓋率介於 2.2 至 50.6%。戴(2005, 2006)亦報導環礁內部潟湖區珊瑚覆蓋率介於 2.8 至 50.0%，呈現大幅度的空間變化。而在呈現珊瑚礁健康狀況方面，珊瑚的覆蓋率和種類組成等指標都具有重要

性。因此雖然東沙島東方的珊瑚平均覆蓋率最高，達 50.6%；但硬珊瑚種類組成主要是板葉形棘孔珊瑚屬(34.0%)、分枝形微孔珊瑚屬(9.6%)與團塊形管孔珊瑚屬(1.2%)。雖然環礁內潟湖中央的硬珊瑚平均覆蓋率較低，為 39.4%，但是硬珊瑚種類組成較豐富，包括團塊形微孔珊瑚屬(11.3%)，板葉形棘孔珊瑚屬(5.6%)、表覆形表孔珊瑚屬(3.9%)、表覆形星孔珊瑚屬(2.2%)、團塊形角星珊瑚屬(1.4%)、分枝形微孔珊瑚屬(1.2%)，團塊形角菊珊瑚屬(1.2%)等，因此也屬於珊瑚群聚較佳的狀況。

水溫

水溫是影響珊瑚的生長、生殖、共生藻生理、和珊瑚礁發育的最重要的環境因子之一。水溫的連續監測，可了解是否發生水溫異常過高，而可能造成珊瑚大量白化；水溫的長期監測，也才能瞭解是否發生海水逐漸暖化的現象；此外，水溫監測的成本較低，但能夠提供許多重要環境變化資料。對照美國 NOAA/NESDIS 衛星遙測海洋表層水溫熱點分布圖(圖 87，<http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/EPS/SST/climo.html>)，其中水溫高於最大夏季時期溫度 1°C 以上的區域以黃至紅色顯示，並可能發生珊瑚白化；一些研究報告顯示，NOAA/NESDIS 衛星遙測海洋表層水溫熱點分布能反映珊瑚大量白化事件的發生，同時有其他水溫分析資料，如 Degree Heating Weeks (DHWs)可供未來進一步分析比較。而其在 7 月初，即顯示西太平洋夏季的表層水溫異常過高，與本計畫的實測海水溫度結果相同，因此；值得後續定期檢視其網頁，以掌握海水溫度異常升高和珊瑚大量白化事件的發生，及早做好因應措施。

颱風能促使深層水與表層水交換良好，降低表層水的水溫，進而有助於減少水溫升高對珊瑚白化所造成的傷害(Manzello et al, 2007)。今年夏季西太平洋表層水溫異常升高，普遍造成東沙島、台灣南部、小琉球和日本琉球的珊瑚都發生大量白化現象。不過，東沙島和台灣皆受惠於颱風的影響，使得水溫下降，而有助於減少水溫過高對珊瑚造成的傷害。至於東沙島與環礁潟湖的水溫是否受到外環礁內波的影響(Wang et al, 2007)，尚待未來進一步測量評估。

自然復原

東沙島西方發現鹿角珊瑚數量較多而呈現初步復原現象，樊等(2005)報導鹿角珊瑚在東沙島一些過去受損礁區，已呈現明顯開始復原跡象，其數量較多，並且新加入的小群體與直徑達 50 公分以上的中型群體常同時存在，顯示其復原能力較佳。鹿角珊瑚是珊瑚群聚演替的主要先驅物種，也常是受損害礁區復原過程

最成功的拓植物種，並且在許多珊瑚礁區的加入量高(Loya 1976; Wallace 1985; Smith 1992; Dunstan & Johnson 1998; Hughes et al. 1999; Soong et al. 2003; Glassom et al. 2004)。建議東沙島西方可列為自然復育區，監測珊瑚自然復原的過程與變化。東沙島西方可能因為底質為堅固礁岩，提供許多穩定的基質供珊瑚幼苗顯著生長，也無大量碎珊瑚骨骸堆積而可能因風浪作用移動造成干擾，加上位處較開放的環礁西側，夏季西南季風盛行，可能輸送珊瑚子代加入，因此呈現明顯自然復原景象。Golbuu 等(2007)也報導，帛琉的珊瑚礁在 1998 年白化造成珊瑚大量死亡的事件後，其西側珊瑚礁斜坡區因地形較開放，有較多珊瑚加入量，因而促進復原較快。

東沙島的東南方和北方海底，都呈現廣大死亡珊瑚骨骸分枝堆積綿延數公里以上的景象，其間零星有不等大小的礁岩分布，基質表面以在珊瑚骨骸或礁岩表面生長的毛叢狀海藻最多，硬珊瑚僅 2 至 3%，並以團塊形管孔珊瑚和團塊形微孔珊瑚較多。Sprecher 等(2003)報導在馬爾地夫 1998 年珊瑚死亡後，產生大量分枝形和團塊形珊瑚骨骸；於 2001 年調查時，珊瑚加入量在團塊形珊瑚骨骸上較多，而在分枝形珊瑚骨骸上很少，且以菊珊瑚和微孔珊瑚科為主。他們認為可能是因為分枝形的珊瑚骨骸幼生較不附著，或是新附著的珊瑚因波浪和海流造成的擾動而較快死亡。Norstrom 等(2007)研究菲律賓與坦尚尼亞的珊瑚礁，發現死亡珊瑚骨骸的類型對珊瑚加入量的組成與幼體的分布有重要影響，分枝形珊瑚與團塊形珊瑚分別傾向於固著在與其形態相似的死亡珊瑚基質上。Tkachenko 等(2007)追蹤台灣南灣跳石海域的分枝形珊瑚骨骸，發現分枝形的星枝表孔珊瑚能夠經由快速的生長與斷裂生殖，迅速覆蓋生長在分枝形珊瑚骨骸上面並形成優勢物種。東沙島的片形棘孔珊瑚、柱形微孔珊瑚和一種分枝形軸孔珊瑚，也呈現覆蓋生長在分枝形珊瑚骨骸上面而復原的情形。

移植復育

珊瑚復育的可行性評估方面，除了之前所提可利用以珊瑚加入量為主的自然復原外，在自然復原很緩慢或具有其他目標，如促進珊瑚礁珊瑚數量增加、珊瑚礁生態功能加強、或增進珊瑚礁對環境變化的抵抗力或恢復力，則可考慮進行人工復育，包括最常使用的移植特定珊瑚種類，或收集珊瑚子代釋放於特定區域以促進加入量。

由於在東沙環礁與東沙島進行潛水作業，受到距離偏遠、船隻支援與海象等限制，並且至目前調查 6 個地點皆未發現軸孔珊瑚群體直徑達 1 公尺以上的較

大群體，因此，利用軸孔珊瑚的斷裂分枝移植以復育的工作尚待後續調查評估。然而，由於在東沙島東方以及潟湖的東方與中央等地點，皆具有群體直徑達 1 公尺以上的葉片形棘孔珊瑚和分枝形微孔珊瑚等種類的大群體，顯示其可能具有忍受較惡劣環境的能力而存活至今，同時考慮未來全球暖化珊瑚大白化的威脅可能逐漸嚴重，因此，利用葉片形棘孔珊瑚和分枝形微孔珊瑚等種類的斷裂分枝進行移植復育，可能較能夠成功；此次計劃執行期間，已在颱風季節末期和東北季風開始盛行的交接月份，在珊瑚數量稀少的東沙島東南方和北方，進行珊瑚移植實驗，包括 2 種珊瑚種類，2 種基質環境，和 2 種移植處理方法的比較；初步經過颱風影響，移植珊瑚仍生存良好；不過，移植復育的長期成效仍尚待後續追蹤評估。也建議未來在東沙島的東方移植復育分枝形軸孔珊瑚。而珊瑚移植復育成功的標準，建議採用移植珊瑚在移植至少一年後，仍然能夠固著在基質上，並且能夠存活和正生長，以及珊瑚移植區的活珊瑚覆蓋率能夠逐年增加。另外，須注意的是，初期珊瑚復原速率緩慢，珊瑚固著生長穩定之後，數量可能呈現幾何級數的較快速成長，例如台灣南部墾丁國家公園龍坑自然保留區，受阿瑪斯號破壞後珊瑚復原的情形(Liu & Fan 2007)。

在估計移植復育成本方面，目前移植復育效率為 4 位訓練良好的專業潛水人員，使用 1 支氣瓶，可在東沙島東方採集活珊瑚，運至東沙島的北方或東南方，可移植復育 6 區 1 乘 1 公尺，每區 9 株，共 54 株固定移植珊瑚。平均每天 4 人，各 2 支氣瓶，可完成 12 平方公尺的移植復育。復育費用包括人事費、業務費、差旅費、租船費等，由於不同復育方法，如移植珊瑚分枝、移植具有有性生殖能力的成熟群體、收集珊瑚子代釋放於特定海域、或以人工培育珊瑚等的作業成本不同，且須依東沙島當地環境條件，如 4 至 6 月期間可進行水下作業天數多，其他月份可進行水下作業天數難以預估、船隻支援的配合度等而調整。因此，尚待相關資料更完整後，才較適合提出評估數據。

東沙島與環礁潟湖的珊瑚礁，目前的最大顧慮在於沒有大量大型分枝形或形成立體結構的珊瑚出現，並且生物性與物理性侵蝕作用強烈，珊瑚的骨骼受侵蝕情形嚴重，許多珊瑚形成頭大頸細的情形，並且碳酸鈣碎屑在海底的沉積量很多，生物性的刮蝕和啄蝕痕跡明顯，雖然仍有一些團塊形微孔珊瑚的大型群體，但大多數倒塌或基部較小，長期而言不穩固；因此使得其生態失去立體複雜結構，無法進行旺盛造礁作用，無法提供大量穩固安全棲所，供其他無脊椎動物和珊瑚礁魚類利用。

第三節 建議

相對於世界各地一些珊瑚礁，如帛琉(Golbuu et al, 2007)、馬爾地夫(Schuhmacher et al 2005)在 1998 年大白化事件後，已陸續呈現明顯復原。而在歷經約 10 年自然生態作用後，東沙島四周與環礁的潟湖內的大部份區域仍未呈現明顯復原跡象，因此非常需要進行適當持續且有策略的人為復育努力，以促進東沙島珊瑚群聚能夠得以永續發展。

未來珊瑚復育的重要工作項目與執行時程建議如表 3 所示，其中包括 1. 持續進行永久監測樣區的珊瑚礁群聚與水溫監測，以掌握珊瑚礁的變化，與瞭解相關重要環境因子的變動；2. 持續調查評估受損珊瑚礁區的分布與面積，以瞭解東沙島與環礁潟湖實際受損的真實情況；3. 持續調查尋找適合進行移植復育珊瑚的種類，特別是 1998 年以前數量豐富的分枝形軸孔珊瑚；4. 持續進行移植復育珊瑚方法的評估與改良，尤其是在面積廣大的碎珊瑚骨骸區，又有颱風引起強勁風浪的搬移作用，和生物性侵蝕作用的影響下，如何有效增加活珊瑚的覆蓋率；5. 評估珊瑚的自然加入量，尤其是東沙島的西方珊瑚礁岩區；6. 進行人工培育珊瑚，以提供多元與豐富的移植珊瑚來源，建議可利用興建完成後的碼頭區設置珊瑚養殖區，進行珊瑚人工培育；7. 密切注意衛星遙測東沙環礁的表層海水溫度變化，搭配現場實測水溫和珊瑚白化程度比較，以掌握全球暖化對東沙環礁未來發展的影響。

建議未來東沙管理站在珊瑚復育的工作上，可進行 1. 建立珊瑚礁潛水調查研究，以及保育復育的人員團隊與船隻艇隊，以有效進行海下相關作業；2. 進行例行性的水溫監測、珊瑚有無大量白化或疾病蔓延發生，或珊瑚捕食者，如棘冠海星和白結螺是否大量出現的巡查，以及通報管理階層，迅速組織調查研究團隊，評估因應措施；3. 進行珊瑚的人工培育，使相關人員熟悉瞭解珊瑚的生理與生態特性，以及培養對環境變化具有抵抗力或恢復力的種類，做為復育的珊瑚來源。

研究成果方面，已將「東沙環礁珊瑚礁群聚的現況與重建努力」(附錄一)，以及「2007 年夏季海水溫度異常升高期間水溫變化與珊瑚白化的異質性」(附錄二)等兩篇摘要，投稿至將於 2008 年 7 月 7 至 11 日，在美國佛羅里達州勞德岱堡舉行的第 11 屆國際珊瑚礁研討會中發表。

格式化

格式化: 字型: 14 點

表 1、珊瑚礁群聚測站的經緯度資料。

| 地點 | GPS (WGS 84) | | 計錄器 | 深度(m) |
|---------|--------------|--------------|-----|-------|
| 東沙島東方 | N20°41.915' | E116°44.786' | 溫深儀 | 9 |
| 東沙島東南方 | N20°41.648' | E116°44.469' | 溫度計 | 3 |
| 東沙島西方 | N20°42.577' | E116°42.168' | 溫深儀 | 9 |
| 東沙島北方 | N20°42.597' | E116°44.264' | 溫度計 | 6 |
| 環礁潟湖內東方 | N20°42.364' | E116°48.470' | 溫度計 | 3 |
| 環礁潟湖內中部 | N20°42.197' | E116°47.965' | 溫度計 | 8 |

刪除:

表 2、移植珊瑚的實驗處理與珊瑚樣本數。

一、東沙島東南方

| 基質類別 | 實驗處理 | 樣區數 | 片形棘孔珊瑚 | 柱形微孔珊瑚 |
|--------|--------|-----|--------|--------|
| 礁岩區 | 固定移植區 | 3 | 13 | 14 |
| | 對照區 | 3 | 0 | 0 |
| 碎珊瑚骨骸區 | 固定移植區 | 3 | 14 | 13 |
| | 非固定移植區 | 3 | 14 | 13 |
| | 對照區 | 3 | 0 | 0 |

二、東沙島北方

| 基質類別 | 實驗處理 | 樣區數 | 片形棘孔珊瑚 | 柱形微孔珊瑚 |
|--------|--------|-----|--------|--------|
| 礁岩區 | 固定移植區 | 3 | 13 | 14 |
| | 對照區 | 3 | 0 | 0 |
| 碎珊瑚骨骸區 | 固定移植區 | 3 | 13 | 14 |
| | 非固定移植區 | 3 | 14 | 13 |
| | 對照區 | 3 | 0 | 0 |

刪除:

刪除: 2

表 3、東沙珊瑚復育規劃建議。

| | 第一年 | 第二年 | 第三年 | 第四年 | 第五年 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 珊瑚群聚與水溫監測 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 需復育礁區評估 | ■ | ■ | ■ | | |
| 適合移植復育珊瑚找尋 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 移植復育方法評估與改良 | ■ | ■ | ■ | | |
| 評估珊瑚自然加入量 | ■ | ■ | ■ | | |
| 人工培育珊瑚 | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 人工培育珊瑚移植復育 | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 移植復育效益評估與改良 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

刪除: .

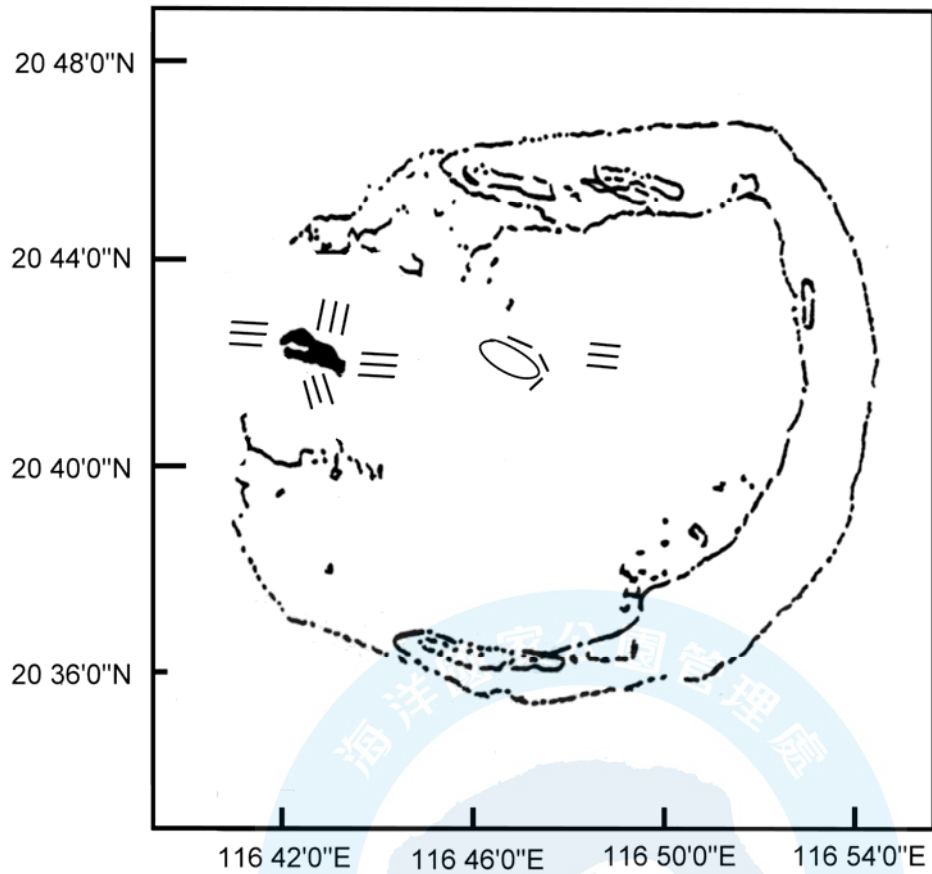


圖 1、東沙環礁珊瑚礁群聚監測線分布示意圖。

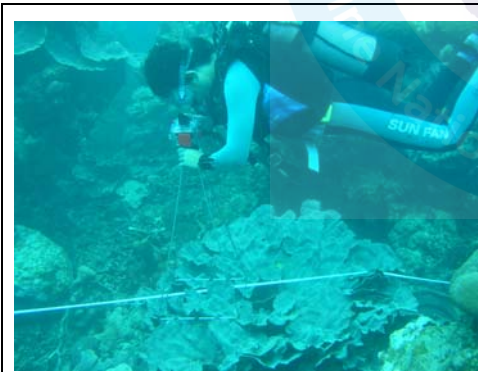


圖 2、海底監測線照相調查。



圖 3、水下自計式溫度計。

刪除:



圖 4、東沙島東方近岸區的管孔珊瑚。

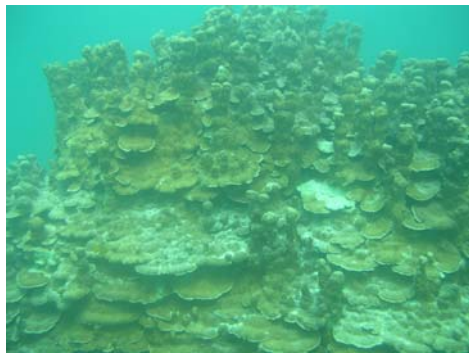


圖 5、東沙島東方近岸區的微孔珊瑚。



圖 6、東沙島東方近岸區的分枝形微孔珊瑚。



圖 7、東沙島東方近岸區的死亡珊瑚骨骸。

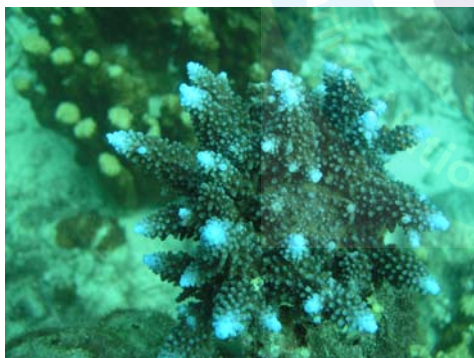


圖 8、東沙島東方近岸區的軸孔珊瑚。



圖 9、東沙島東方近岸區的軸孔珊瑚。

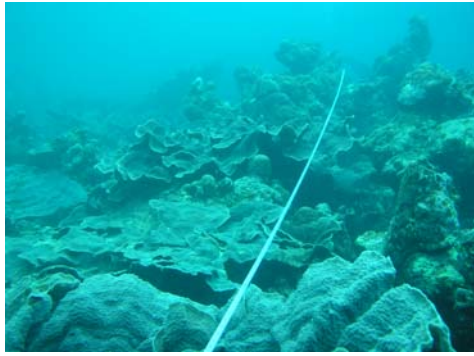


圖 10、東沙島東方離岸區的葉片形棘孔珊瑚。



圖 11、東沙島東方離岸區的葉片形棘孔珊瑚與分枝形微孔珊瑚。



圖 12、東沙島東方離岸區游離生活的蕈珊瑚。



圖 13、東沙島東方離岸區的死亡珊瑚骨骼。



圖 14、東沙島東方離岸區的軸孔珊瑚。

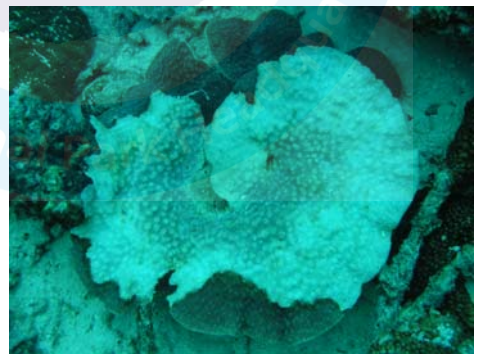


圖 15、東沙島東方離岸區白化死亡的葉片形棘孔珊瑚。

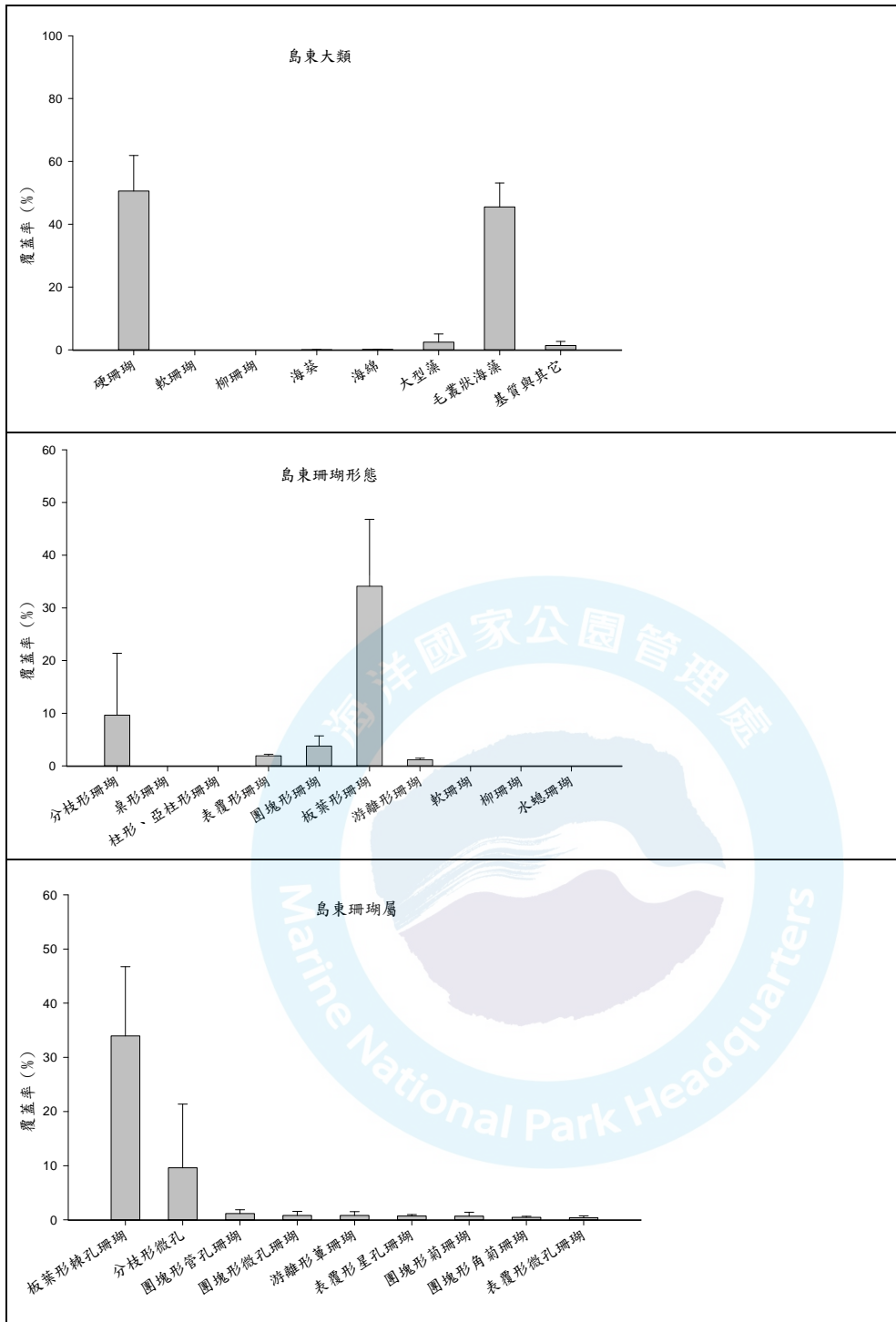


圖 16、東沙島東方離岸區珊瑚礁群聚的底棲類別（上），各生長形硬珊瑚（中），硬珊瑚生長形與屬的數量比較（下）。

刪除:



圖 17、東沙島東南方的死亡珊瑚骨骸。



圖 18、東沙島東南方的死亡珊瑚骨骸與其上生長的管孔珊瑚。



圖 19、東沙島東南方的死亡珊瑚骨骸與其上生長的珊瑚。



圖 20、東沙島東南方的死亡珊瑚骨骸上的蕈珊瑚。



圖 21、東沙島東南方的死亡珊瑚骨骸與其上生長的管孔珊瑚。



圖 22、東沙島東南方矗立在死亡珊瑚骨骸上的團塊形微孔珊瑚。

刪除:

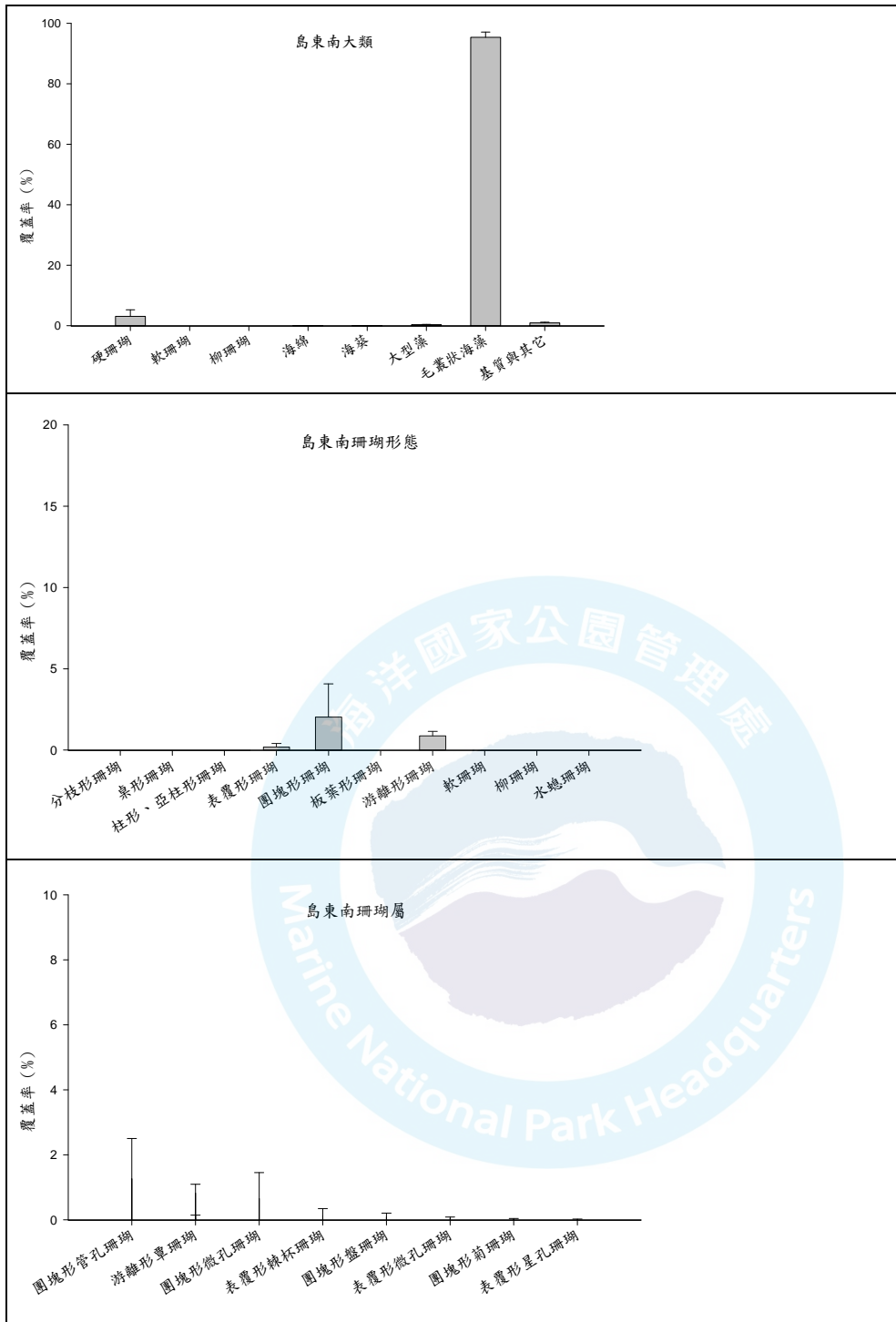


圖 23、東沙島東南方珊瑚礁群聚的底棲類別（上），各生長形硬珊瑚（中），硬珊瑚生長形與屬的數量比較（下）。

刪除:



圖 24、東沙島西方近岸區的軸孔珊瑚。

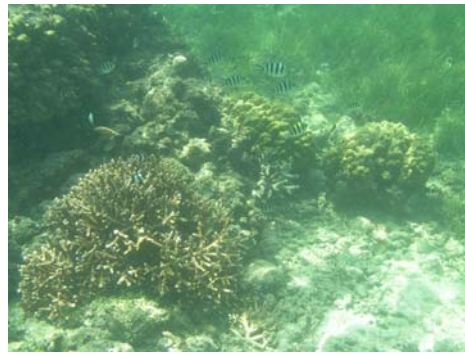


圖 25、東沙島西方近岸區的軸孔珊瑚。

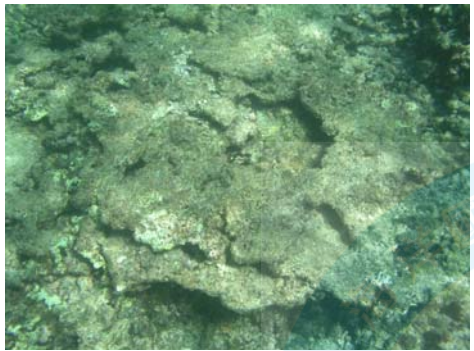


圖 26、東沙島西方近岸區的死亡軸孔珊瑚骨骸。



圖 27、東沙島西方近岸區的鹿角珊瑚。



圖 28、東沙島西方近岸區的軸孔珊瑚。



圖 29、東沙島西方近岸區翻倒的微孔珊瑚與其上生長的珊瑚。

刪除:



圖 30、東沙島西方離岸區的礁體與沙地。



圖 31、東沙島西方離岸區的軸孔珊瑚。



圖 32、東沙島西方離岸區的軸孔珊瑚。



圖 33、東沙島西方離岸區的軸孔珊瑚。

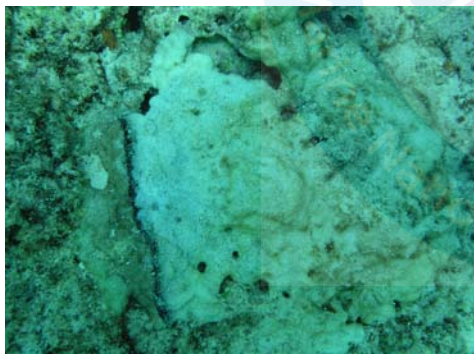


圖 34、東沙島西方離岸區出現黑帶病的表孔珊瑚。



圖 35、東沙島西方離岸區的船隻殘骸與其上生長的珊瑚。

刪除:

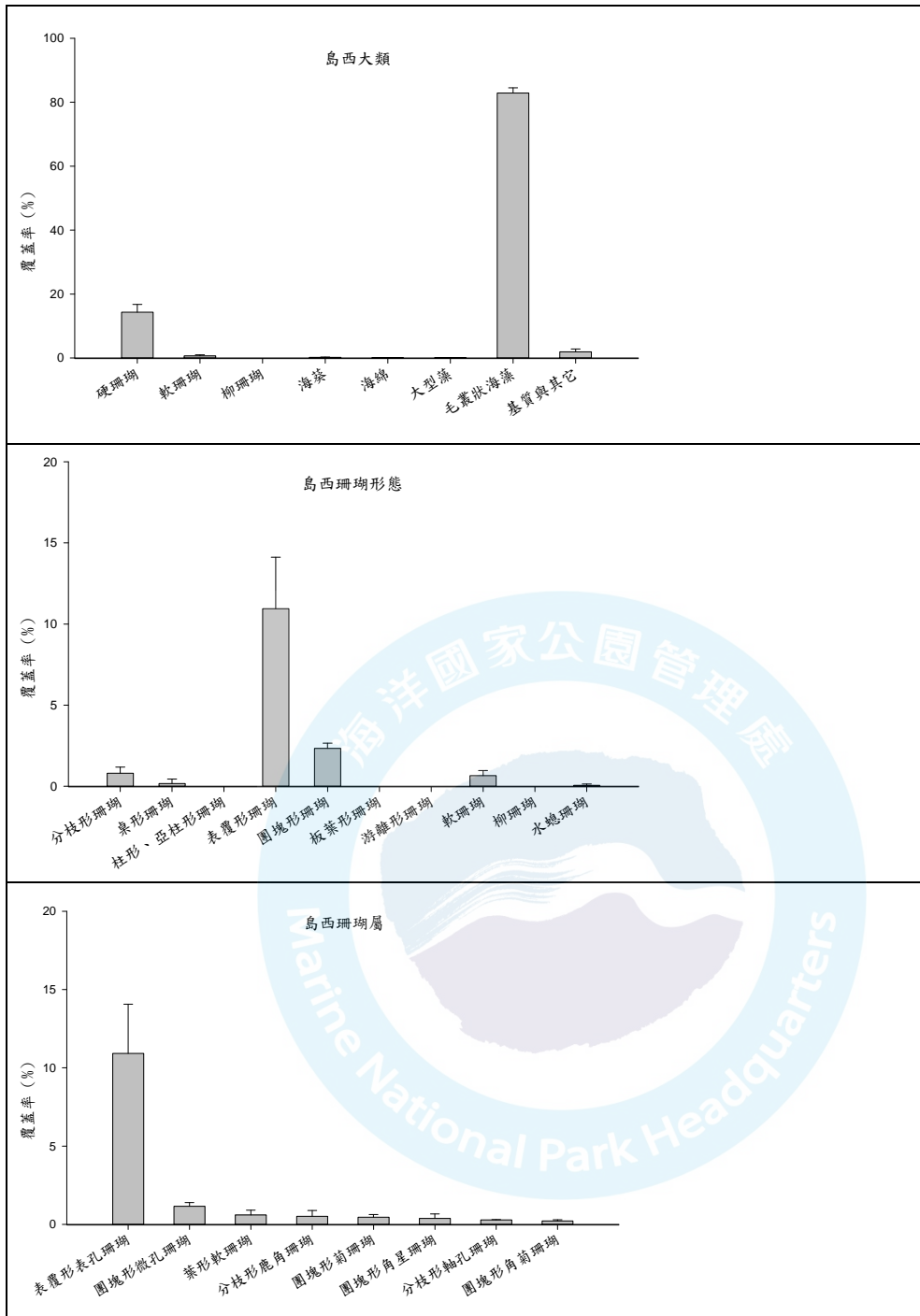


圖 36、東沙島西方珊瑚礁群聚的底棲類別 (上)，各生長形硬珊瑚 (中)，硬珊瑚生長形與屬的數量比較 (下)。

刪除:



圖 37、島北近岸區消波塊上的微孔珊瑚。



圖 38、島北近岸區消波塊上分枝形細枝鹿角珊瑚。



圖 39、島北近岸區微孔珊瑚遭魚類啃食情形。

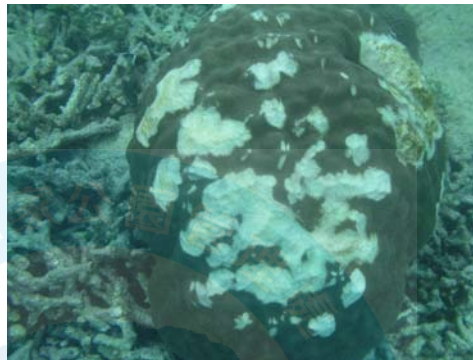


圖 40、島北近岸區微孔珊瑚遭魚類啃食情形。



圖 41、島北近岸區微孔珊瑚遭魚類啃食情形與鄰近鸚哥魚群。



圖 42、島北近岸區分枝形軸孔珊瑚近期死亡群體與共生魚類情形。

刪除:



圖 43、東沙島北方的死亡軸孔珊瑚骨骸。



圖 44、東沙島北方的死亡軸孔珊瑚骨骸。

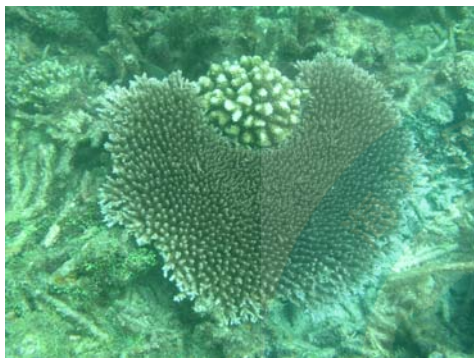


圖 45、東沙島北方的軸孔珊瑚。



圖 46、東沙島北方的軸孔珊瑚。



圖 47、東沙島北方的管孔珊瑚。



圖 48、東沙島北方的海葵與共生的小丑魚。

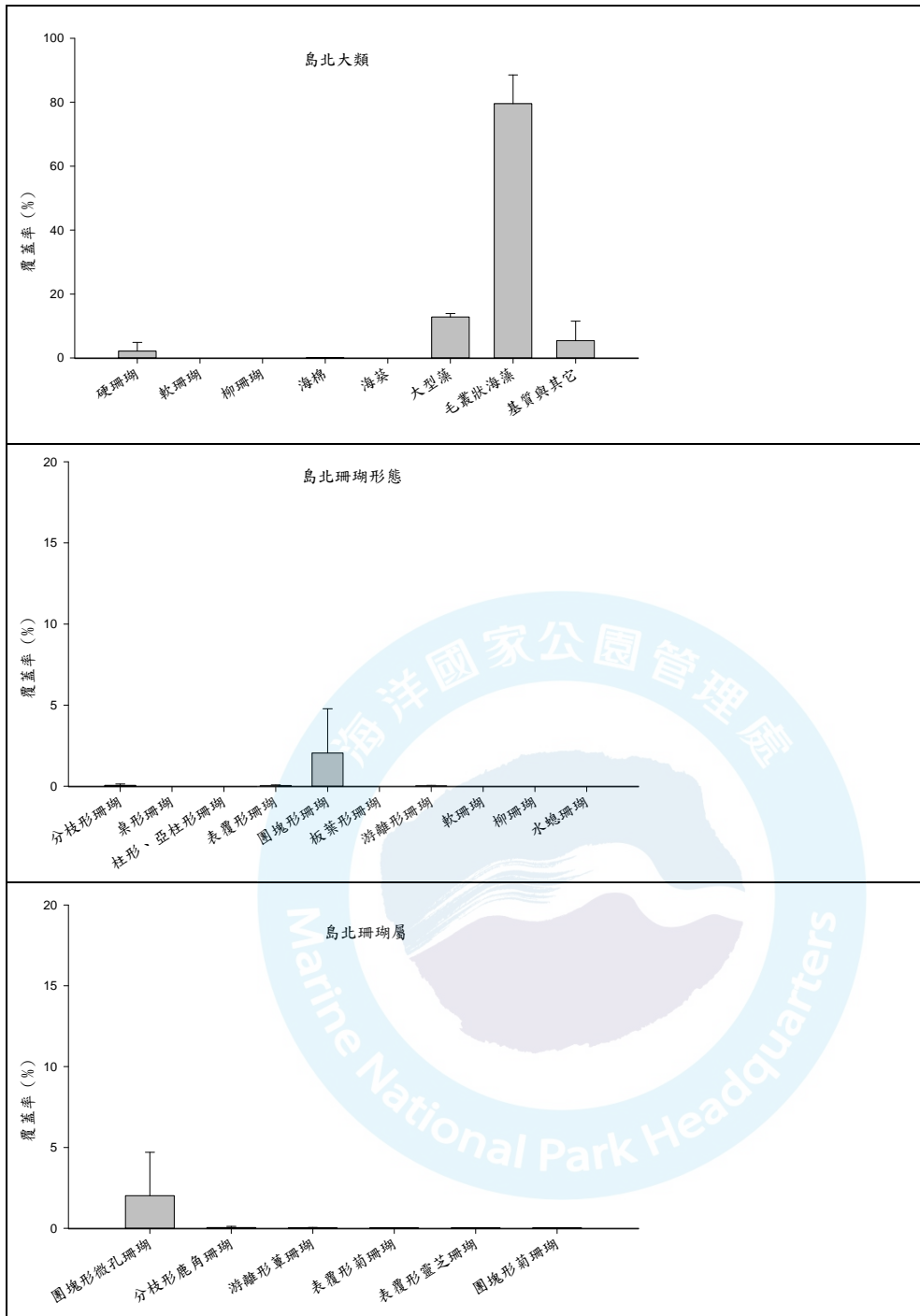


圖 49、東沙島北方珊瑚礁群聚的底棲類別（上），各生長形硬珊瑚（中），硬珊瑚生長形與屬的數量比較（下）。

刪除:



圖 50、東沙環礁潟湖東方的珊瑚礁群聚。



圖 51、東沙環礁潟湖東方的珊瑚礁群聚。



圖 52、東沙環礁潟湖東方的珊瑚礁群聚。



圖 53、東沙環礁潟湖東方的軸孔珊瑚。



圖 54、東沙環礁潟湖東方的軸孔珊瑚。



圖 55、東沙環礁潟湖東方的船隻殘骸。

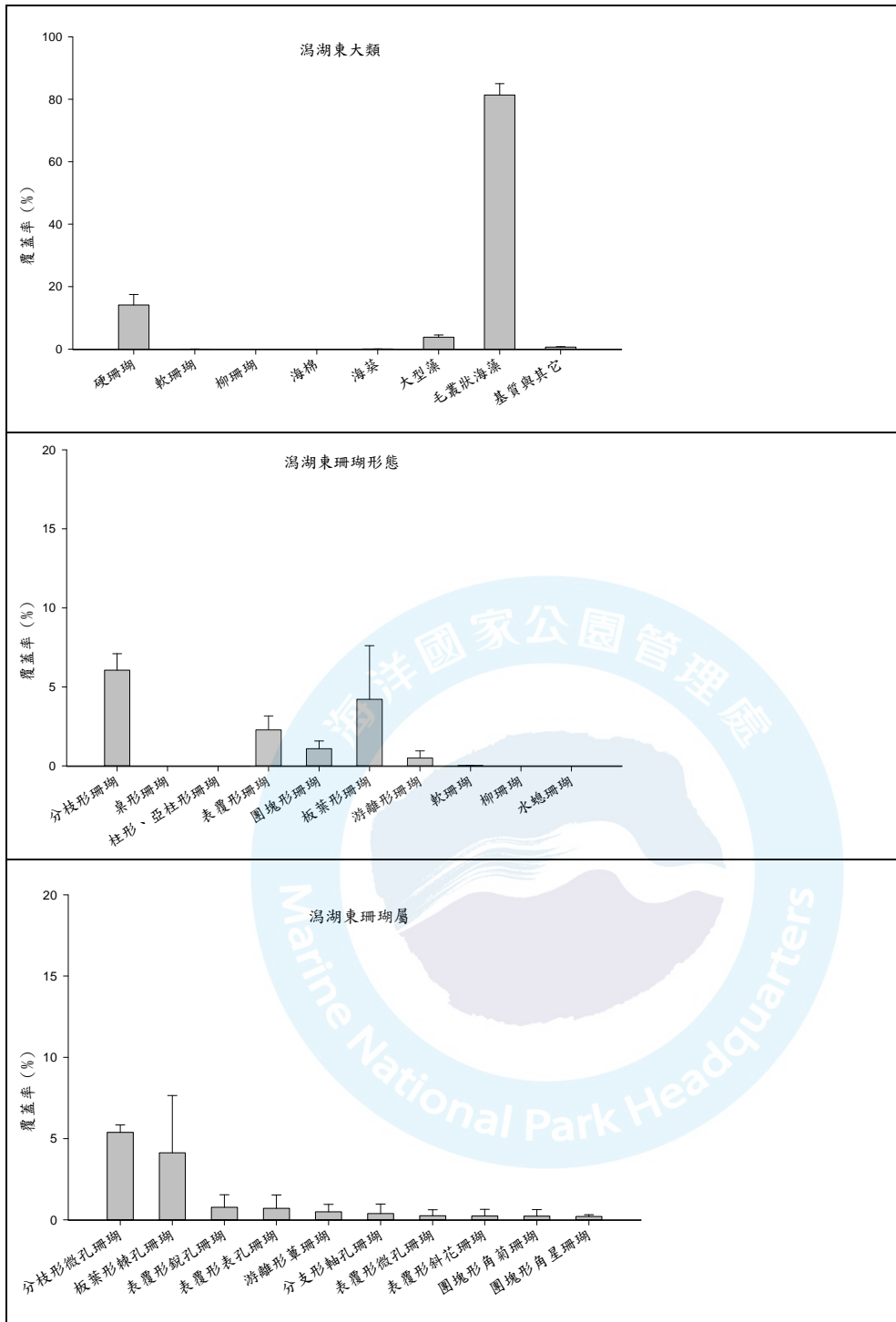


圖 56、東沙環礁瀉湖東方珊瑚礁群聚的底棲類別（上），各生長形硬珊瑚（中），硬珊瑚生長形與屬的數量比較（下）。

刪除:

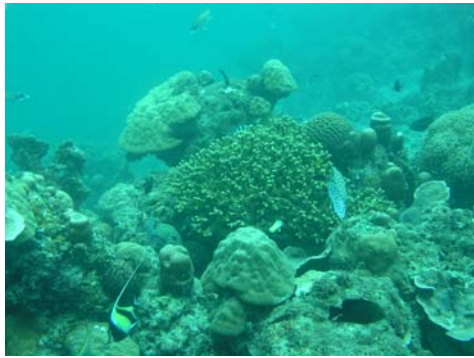


圖 57、東沙環礁潟湖中央的珊瑚礁群聚。

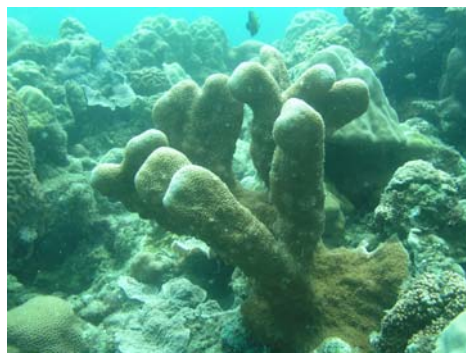


圖 58、東沙環礁潟湖中央的軸孔珊瑚。



圖 59、東沙環礁潟湖中央的軸孔珊瑚。



圖 60、東沙環礁潟湖中央白化死亡的葉片形棘葉珊瑚。



圖 61、東沙環礁潟湖中央的紅扇珊瑚。



圖 62、東沙環礁潟湖中央的萐珊瑚。

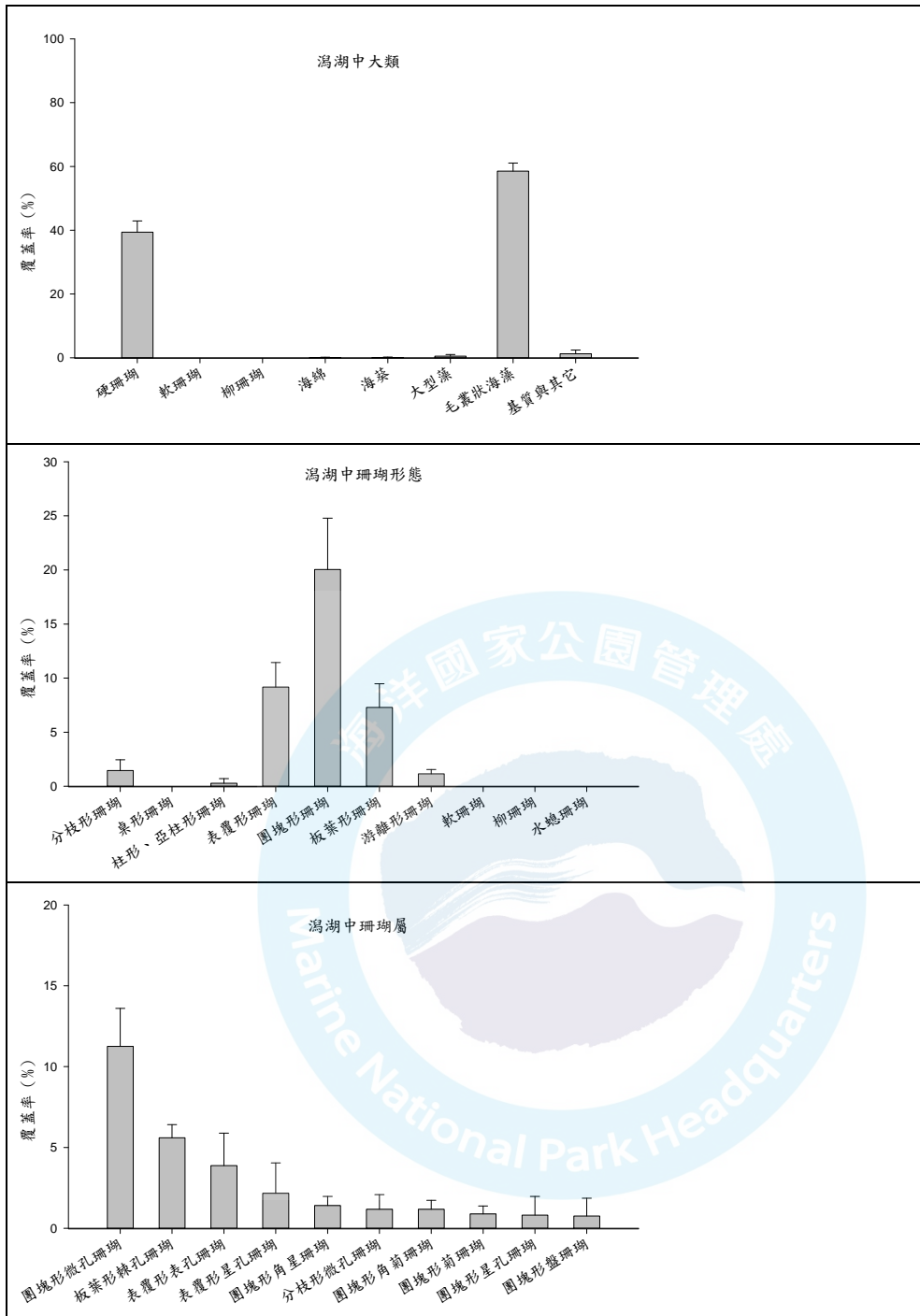


圖 63、東沙環礁潟湖中央珊瑚礁群聚的底棲類別(上)，各生長形硬珊瑚(中)，硬珊瑚生長形與屬的數量比較(下)。

刪除:

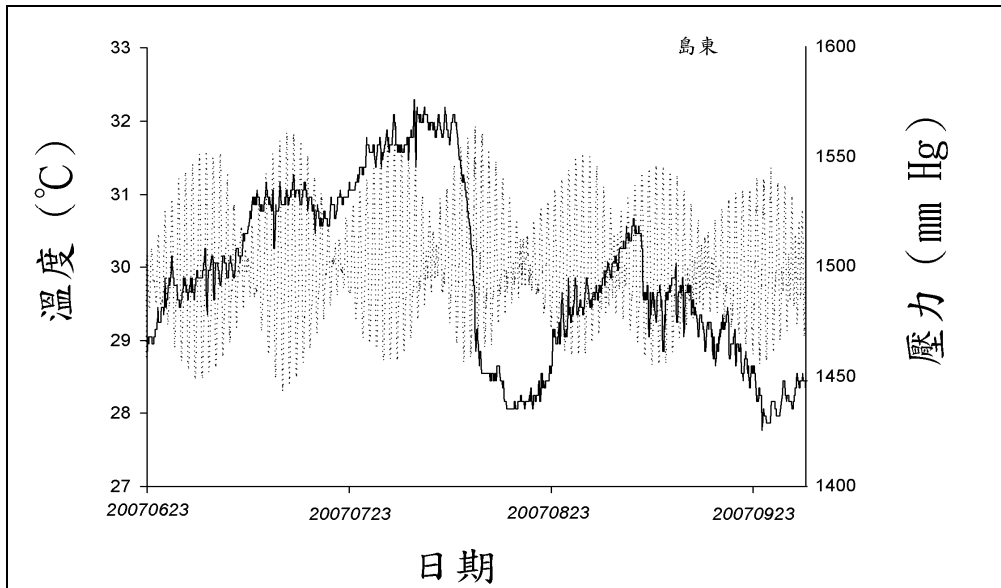


圖 64、東沙島東方測站水溫與潮汐的變動。



圖 65、東沙島東南方測站水溫的變動。

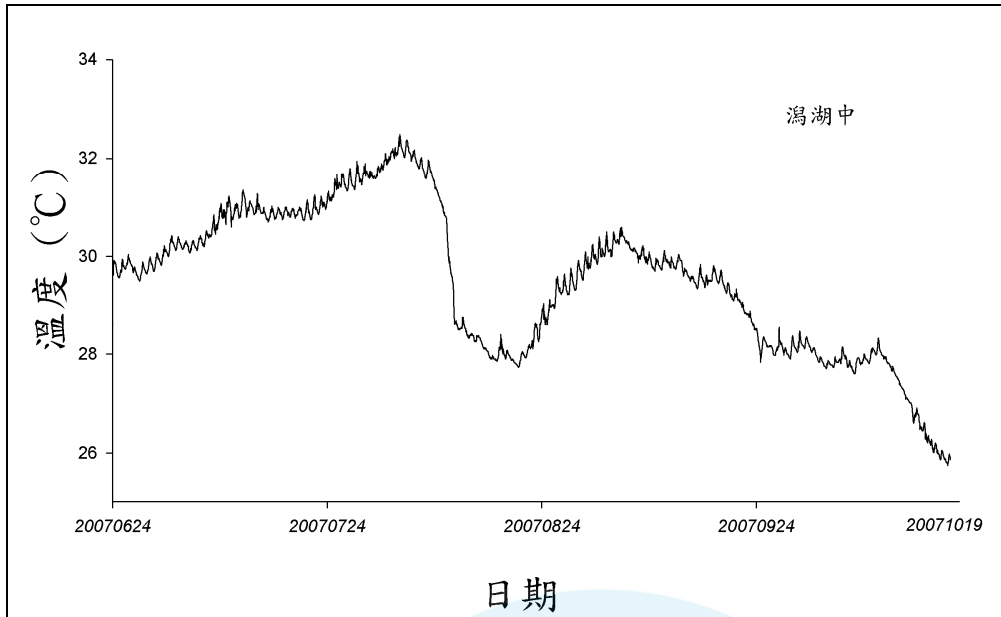


圖 66、東沙環礁內瀉湖中測站的水溫變動。

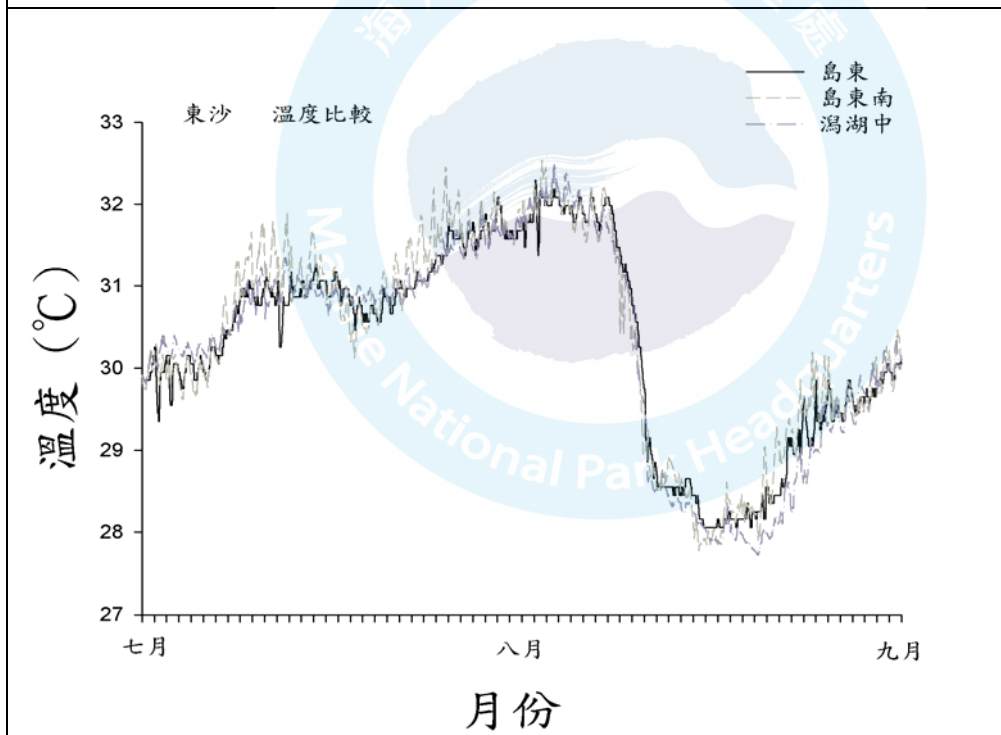


圖 67、東沙島與東沙環礁不同地點水溫變動的比較。

刪除: 佈

刪除:

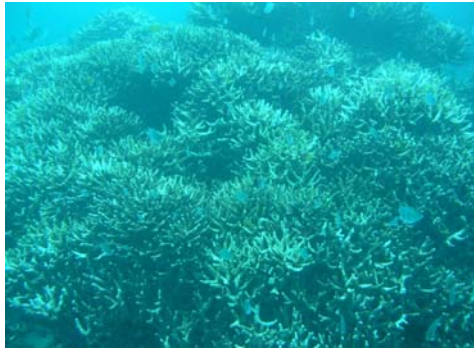


圖 68、東沙島東方白化的分枝形微孔珊瑚。



圖 69、東沙島東方白化的團塊形微孔珊瑚。

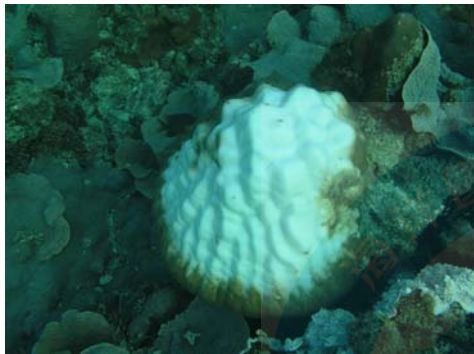


圖 70、瀉湖中白化的微孔珊瑚。



圖 71、東沙島北方白化的軸孔珊瑚。



圖 72、東沙島北方白化的鹿角珊瑚。



圖 73、瀉湖中白化的蕈珊瑚。

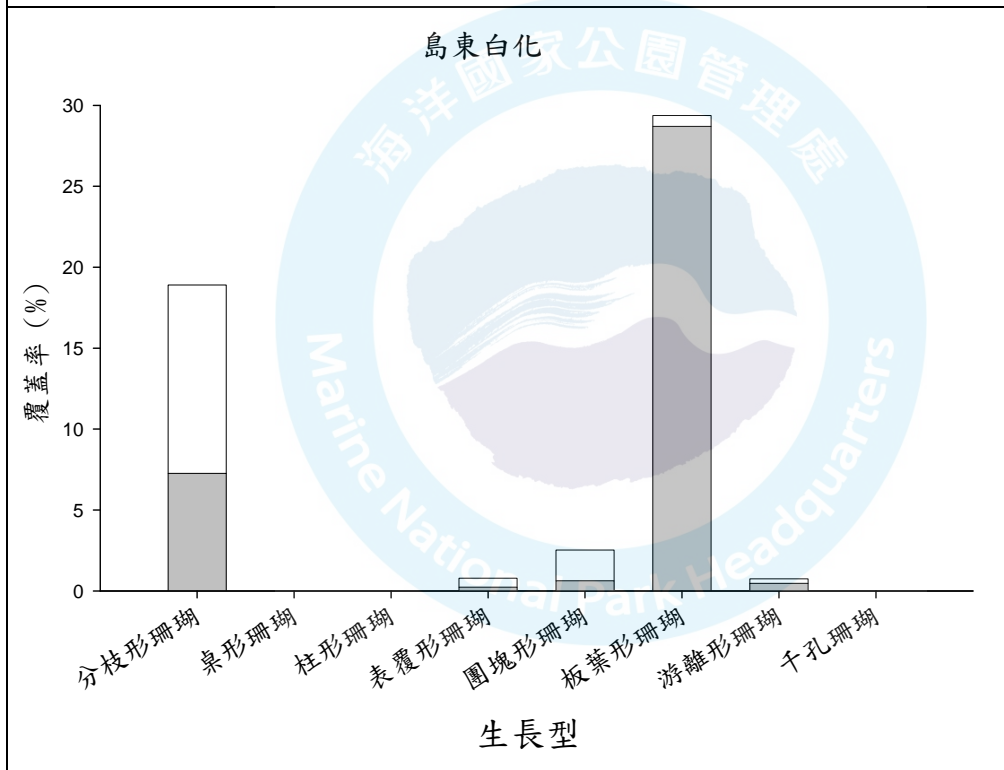
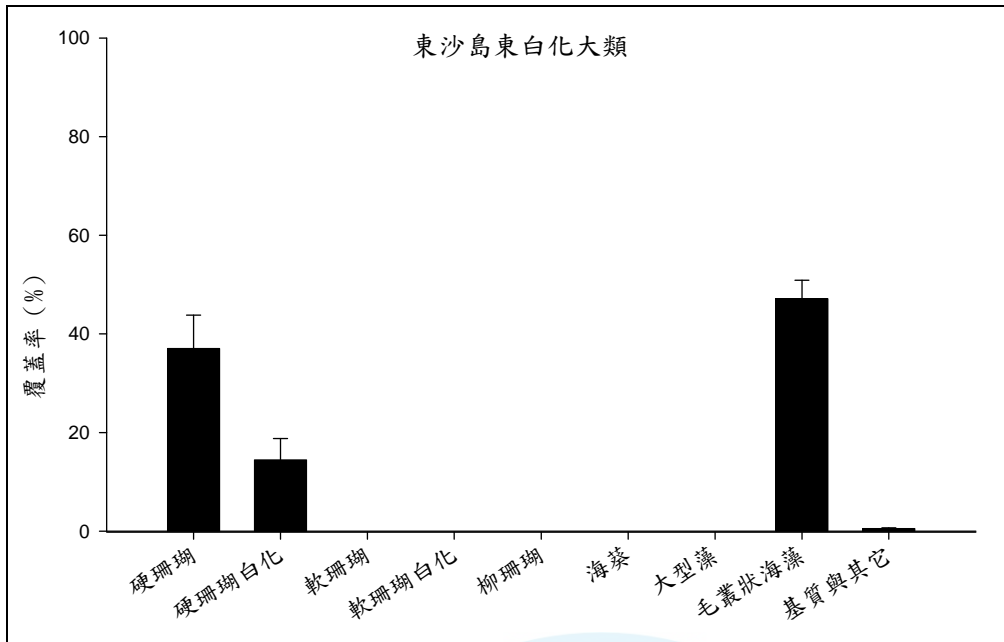


圖 74、東沙島東方珊瑚礁群聚發生白化的底棲類別(上)與各生長形硬珊瑚(下)的覆蓋率。白化珊瑚以白色柱形圖表示，正常珊瑚以灰色柱形圖表示。

刪除: .



圖 75、島東葉片形棘孔珊瑚覆蓋生長在珊瑚骨骸上。



圖 76、島東葉片形棘孔珊瑚覆蓋生長在珊瑚骨骸上。



圖 77、潟湖東礁平台數量較多的分枝形微孔珊瑚與葉片形棘孔珊瑚。



圖 78、潟湖東礁平台數量較多的分枝形微孔珊瑚與葉片形棘孔珊瑚。



圖 79、潟湖東礁平台數量較多的分枝形軸孔珊瑚可能適合後續做為移植種類。



圖 80、潟湖東礁平台數量較多的分枝形椎珊瑚可能適合後續做為移植種類。

刪除



圖 81、東沙島東南方礁塊固定移植區。



圖 82、東沙島東南方礁塊移植前固定移植區放大圖。

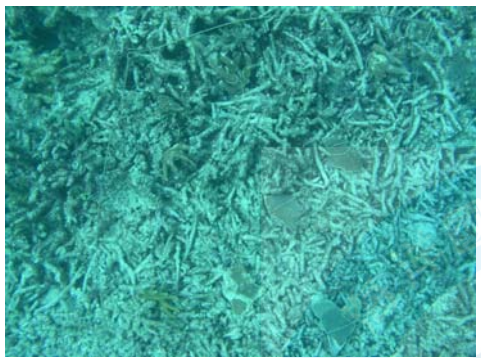


圖 83、東沙島北方碎珊瑚骨骸固定移植區。



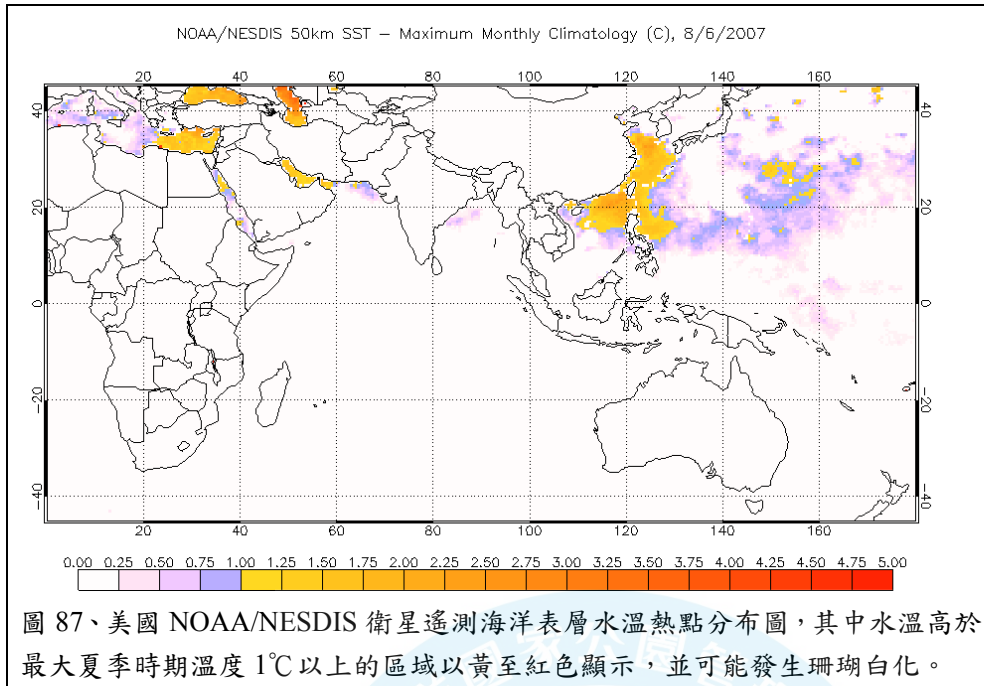
圖 84、東沙島北方碎珊瑚骨骸固定移植區放大圖。



圖 85、東沙島北方碎珊瑚骨骸非固定移植區。



圖 86、東沙島北方碎珊瑚骨骸非固定移植區放大圖。



刪除:

附錄一

第 11 屆國際珊瑚礁研討會(美國佛羅里達州勞德岱堡, 2008 年 7 月 7 至 11 日)

摘要一

Status of coral reef communities and reef restoration efforts at Dongsha Atoll, South China Sea

Tung-Yung Fan^{1, 2}, Chieh Wei¹, and Lee-Shing Fang³

¹National Museum of Marine Biology and Aquarium, Taiwan

²Institute of Marine Biodiversity and Evolution, National Dong Hwa University, Taiwan

³Cheng Shiu University, Taiwan

Abstract

In light of the World-wide decline in coral cover, there is intense interest in the potential for reef restoration to accelerate the regrowth of scleractinian corals on denuded reefs. The coral reefs surrounding Dongsha Island, South China Sea, were dominated by the branching *Acropora* spp. and massive *Porites* spp., but severe thermal bleaching resulted in mass mortality of *Acropora* spp. that created piles of coral rubble spreading over several kilometers of reef surface in 1998. In 2007, the status of coral reefs at Dongsha Atoll was assessed at 4 coastal reef and 2 lagoon sites using phototranssect surveys, with the objective of assessing the current status of the reef and designing an ecologically appropriate reef restoration program. The percentage cover of turf algae and macroalgae ranged from 48.0 to 92.3% at all 6 sites, and at 4 of the sites, coral cover ranged from 14.1 to 50.6% and consisted largely of the branching coral *Porites cylindrica* and the foliaceous coral *Echinopora lamelosa*. At the 2 other sites, however, coral cover was < 3.1% and the reef was dominated by dead *Acropora* rubble with no sign of recovery. Based on the current success of *P. cylindrica* and *E. lamelosa*, we inferred that they were resistant to higher temperature, and therefore selected them for use in a reef restoration effort designed to accelerate the recovery of corals at this remote atoll. During September and October 2007, more than 80 corals from each species were transplanted to the 2 sites dominated by dead *Acropora* rubble using techniques that either attached the fragments to the reef and rubble or left them scattered over the surface. Preliminary work suggested that both techniques provided viable means to promote reef recovery. We plan to compare the techniques in a large-scale trial of a reef recovery program.

- 刪除: 摘要
- 格式化: 字型: (英文) 標楷體, (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體

註解 [PE1]: You should indicate where these 2 sites were – based on the sites surveyed. The interpretation would differ if these were the lagoon sites.

- 刪除: August
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 刪除: 100
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體

註解 [PE2]: I would suggest that you add a broader punchy ... (11)

刪除:

附錄二

第 11 屆國際珊瑚礁研討會(美國佛羅里達州勞德岱堡, 2008 年 7 月 7 至 11 日)

摘要二

The heterogeneity of temperature change and coral bleaching during temperature abnormally warm in summer 2007

Tung-Yung Fan^{1, 2}, Bing-Je Wu¹, Lee-Shing Fang³

¹National Museum of Marine Biology and Aquarium, Taiwan

²Institute of Marine Biodiversity and Evolution, National Dong Hwa University, Taiwan

³Cheng Shiu University, Taiwan

Abstract

The sea surface temperature in the tropical West-Pacific surrounding Taiwan was abnormally warm in summer 2007 and caused mass coral bleaching. To test the hypothesis that temperature and coral bleaching might be different at various sites, the seawater temperature change and coral bleaching were examined in shallow water (< 10m) of coral reefs at 9 sites around southern Taiwan and Dongsha island in South China Sea. Censuses completed over 4 months time frame identified three broad patterns of variation in seawater temperature and coral bleaching (defined as Type I – III). Type I bleaching occurring at 6 sites where the seawater temperature exceeded 30°C and the percentage of coral bleached ranged from 29-60%. Type II bleaching occurred at 2 sites with the temperature higher than 30°C, but the percentage of coral bleached was lower than 5%. Type III bleaching occurred at 1 site with the temperature lower than 30°C and corals did not bleach. The three patterns of variation in seawater and coral bleaching was caused by different effects of geography, as well as upwelling- and typhoon-induced temperature decreasing. The striking spatial variation in seawater temperature and the extent of mass coral bleaching acted together to create large patches of reef affected by bleaching that were interspersed with areas that appear relatively unaffected by bleaching. This pattern may have ecological importance as it suggests that the healthy patches might be capable of functioning as refugia for coral reefs affected by global warming.

- 刪除: 摘要
- 格式化: 字型: (英文) 標楷體, (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體, (符號) 標楷體
- 註解 [BC3]: Not clear where this is going. What is the point/impact of the first sentence – it needs to set the scene and provide a punchy ... [2]
- 註解 [BC4]: This sentence ... [3]
- 註解 [BC5]: This requires ... [4]
- 註解 [BC6]: Need to say ... [5]
- 註解 [BC7]: Is this certain or ... [6]
- 註解 [BC8]: It would be ... [7]
- 格式化: 字型: (中文) 標楷體

刪除:

第 46 頁: [1] 註解 [PE2]

Peter Edmunds

2007/11/26 6:29:00 AM

I would suggest that you add a broader punchy statement at the end that allows you to scale up to more general statements regarding reef recovery.

第 47 頁: [2] 註解 [BC3]

Biology CSUN

2007/11/26 6:29:00 AM

Not clear where this is going. What is the point/impact of the first sentence – it needs to set the scene and provide a punchy context.

第 47 頁: [3] 註解 [BC4]

Biology CSUN

2007/11/26 6:29:00 AM

This sentence needs to indicate a question/hypothesis that the study is addressing. Plus, there should be some mention of biotic processes to provide lead into the next sentence

第 47 頁: [4] 註解 [BC5]

Biology CSUN

2007/11/26 6:29:00 AM

This requires some indication of what this is going to be significant to this study

第 47 頁: [5] 註解 [BC6]

Biology CSUN

2007/11/26 6:29:00 AM

Need to say where these sites are in Taiwan and around Dongsha

第 47 頁: [6] 註解 [BC7]

Biology CSUN

2007/11/26 6:29:00 AM

Is this certain or is it an inference? What data is there that SHOWS this?

第 47 頁: [7] 註解 [BC8]

Biology CSUN

2007/11/26 6:29:00 AM

It would be helpful to specify the scale here – 100 m? 1 km? etc.

參考書目

- 方力行, 1998, 東沙環礁調查及規劃報告。國立海洋生物博物館籌備處, 48 頁。
- 陳陽益、王玉懷、李忠潘、薛憲文、王兆璋、劉金源、李宗霖, 2007, 東沙海域環境調查與測站規劃。內政部營建署委託辦理計畫。
- 楊榮宗、江永棉、陳汝勤, 1975, 東沙島綜合調查報告。台灣大學海洋研究所專刊第 8 號, 33 頁。
- 樊同雲、郭兆揚、方力行, 2005, 東沙環礁的珊瑚相與珊瑚群聚健康狀況。Platax 1:49-69。
- 戴昌鳳, 2005, 東沙海域生態資源基礎調查研究, 第四章 珊瑚類資源的調查。內政部營建署委託辦理報告。
- 戴昌鳳, 2006, 東沙海域珊瑚礁生態資源調查與監測(一), 第四章 珊瑚類資源的調查。內政部營建署委託辦理報告。
- 戴昌鳳、鄭安怡, 2006, 東沙環礁的珊瑚群聚。國家公園學報 16 (1):1-17。
- 藍國華、許泰文, 2007, 東沙島海岸環境變遷調查分析。內政部營建署委託辦理計畫。
- Arceo HO, Quibilan MC, Alino PM, Lim G, Licuanan WY. 2001. Coral bleaching in Philippine reefs: coincident evidences with mesoscale thermal anomalies. Bull Mar Sci 69:579-593.
- Bellwood DR, Hughes TP. 2001. Regional-scale assembly rules and biodiversity of coral reefs. Science 292:1532-1534.
- Birkeland C. 1997. Life and death of coral reefs. Chapman & Hall, New York.
- Bowden-Kerby A. 1997. Coral transplantation in sheltered habitats using unattached fragments and cultured colonies. Proc 8th Int Coral Reef Symp. 2:2063-2068.
- Bowden-Kerby A. 2001. Low-tech coral reef restoration methods modeled after natural fragmentation processes. Bull Mar Sci 69:915-931.
- Bruckner AW, Bruckner RJ. 2001. Condition of restored *Acropora palmate* fragments off Mona Island, Puerto Rico, 2 years after the Fortuna Reefer ship grounding. Coral Reefs 20:235-243.
- Buddemeier RW, Kleypas JA, Aronson RB. 2004. Coral reefs and global climate change: Potential contributions of climate change to stresses on coral reef ecosystem. PEW Center.
- Clark S, Edwards AJ. 1995. Coral transplantation as an aid to reef rehabilitation: evaluation of a case study in the Maldive Islands. Coral Reefs 14:201-213.
- Golbuu Y, Victor S, Penland L, Idip Jr D, Emaurois C, Okaji K, Yukihiro H, Iwase A, van Woosik R. 2007. Palau's coral reefs show differential habitat recovery following the 1998-bleaching event. Coral Reefs 26:319-332.

- Connell JH. 1973. Population ecology of reef building corals. In Jones OA and Edean R, eds *Biology and geology of coral reefs*, Vol. II, Biology 1, Academic Press, New York. P. 205-245.
- Cote IM, Reynolds JD. 2006. *Coral reef conservation*. Cambridge University Press.
- Dai CF, Fan TY, Wu CS. 1995. Coral fauna of Tungsha Tao (Pratas Islands). *Acta Oceanogr Taiwanica* 34: 1-16.
- Dai CF. 2006. Dongsha atoll in the South China Sea: past, present, and future. *Proc 10th Int Coral Reef Symp* p. 1587-1592.
- Dizon RT, Yap HT. 2006. Effects of coral transplantation in sites of varying distances and environmental conditions. *Mar Biol* 148:933-943
- Done TJ, Ogden JC, Wiebe WJ, Rosen BR. 1996. Biodiversity and ecosystem function of coral reefs. In Mooney HA, Cushman JH, Medina E, Sala OE, Schulze ED. eds *Functional roles of biodiversity: A global perspective*. John Wiley & Sons Ltd.
- Dunstan PK, Johnson CR. 1998. Spatio-temporal variation in coral recruitment at different scales on Heron reef, southern Great Barrier Reef. *Coral Reefs* 17:71-81
- Edwards AJ, Clark S. 1998. Coral transplantation: A useful management tool or misguided meddling? *Mar Pollut Bull* 37:474-487.
- Edwards AJ, Clark S, Zahir H, Rajasuriya A, Naseer A, Rubens J, 2001. Coral bleaching and mortality on artificial and natural reefs in Maldives in 1998, sea surface temperature anomalies and initial recovery. *Mar Pollut Bull* 42:7-15.
- English S, Wilkinson C, Baker V. 1994. *Survey manual for tropical marine resources*. Australian Institute of Marine Science, Australia.
- Epstein N, Bak RPM, Rinkevich B. 2003. Applying forest restoration principles to coral reef rehabilitation. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst* 13:387-395.
- Franklin H, Muhando CA, Lindahl U. 1998. Coral culturing and temporal recruitment patterns in Zanzibar, Tanzania. *Ambio* 27:651-655.
- Glassom D, Zakai D, Chadwick-Furman NE. 2004. Coral recruitment: a spatio-temporal analysis along the coastline of Eilat, northern Red Sea. *Mar Biol* 144:641-651.
- Grimsditch GD, Salm RV. 2006. *Coral reef resilience and resistance to bleaching*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Harriott VJ. 1985. Mortality rates of scleractinian corals before and during a mass bleaching event. *Mar Ecol Prog Ser* 21: 81-88.
- Harriott VJ, Fisk DA. 1988. Coral transplantation as a reef management option. *Proc 6th Int Coral Reef Symp*. 2:375-379.
- Hughes TP, Jackson JBC. 1985. Population dynamics and life histories of foliaceous corals. *Ecol Monogr* 55:141-166.

- Hughes TP, Baird AH, Dinsdale EA, Moltschaniwskyj NA, Pratchett MS, Tanner JE, Willis BL. 1999. Patterns of recruitment and abundance of corals along the Great Barrier Reef. *Nature* 397:59-63.
- Hughes TP, Baird AH, Bellwood DR, Card M, Connolly SR, Folke C, Grosberg R, Hoegh-Guldberg O, Jackson JBC, Kleypas J, Lough JM, Marshall P, Nystrom M, Palumbi SR, Pandolfi JM, Rosen B, Roughgarden J. 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science* 301:929-933.
- Kayanne H, Harii S, Ide Y, Akimoto F. 2002. Recovery of coral populations after the 1998 bleaching on Shiraho reef, in the southern Ryukyus, NW Pacific. *Mar Ecol Prog Ser* 239:93-103.
- Knowlton N. 2001. The future of coral reefs. *Proc Natl Acad Sci* 98:5419-5425.
- Li JJ, Fan LS. 2002. The management of Dong-sha Atoll as an effective marine protected area. *Proceedings of the 4th Conference on the Protected Areas of East Asia (IUCN/WCPA/EA-4)*, p. 403-415, Taipei.
- Li JJ, Lee TF, Tew KS, Fang LS. 2000. Changes in the coral community at Dong-Sha Atoll, South China Sea from 1975 to 1998. *Acta Zoologica Taiwanica* 11: 1-15.
- Liu PJ, Fan TY. 2007. Recovery of coral community in a Nature Reserve of southern Taiwan, six years after ship grounding of bulk carrier Amorgos. *Western society of naturalists annual meeting, Ventura, California, USA. (Abstract)*
- Lindahl U. 1998. Low-tech rehabilitation of degraded coral reefs through transplantation of staghorn corals. *Ambio* 27:645-650.
- Loya Y. 1976. The Red Sea coral *Stylophora pistillata* is an r-strategist. *Nature* 259:478-480.
- Loya Y, Sakai K, Yamazato K, Nakano Y, Sambali H, van Woesik R. 2001. Coral bleaching: the winners and the losers. *Ecol Let* 4:122-131.
- Manzello DP, Brandt M, Smith TB, Lirman D, Hendee JC, Nemeth RS. 2007. Hurricanes benefit bleached corals. *Proc Natl Acad Sci* 104:12035-12039.
- Marshall PA, Baird AH. 2000. Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reefs* 19:155-163.
- McClanahan TR. 2000. Bleaching damage and recovery potential of Maldivian coral reefs. *Mar Pollut Bull* 40:587-597.
- McClanahan TR, McField M, Huitric M, Bergman K, Sala E, Nystrom M, Nordemar I, Elfving T, Muthiga NA. 2001. Coral and algal changes after the 1998 coral bleaching: interaction within reef management and herbivores on Kenyan reefs. *Coral Reefs* 19:367-379.
- Morton B. 2002. Dong-Sha Atoll, South China Sea: ground zero! *Mar Pollut Bull* 44: 835-837.
- Mumby PJ, Chisholm JRM, Edwards AJ, Clark CD, Roark EB, Andrefouet S, Jaubert

- J. 2001. Unprecedented bleaching-induced mortality in *Porites* spp. At Rangiroa Atoll, French Polynesia. *Mar Biol* 139:183-189.
- Norstrom AV, Lokrantz J, Nystrom M, Yap HT. 2007. Influence of dead coral substrate morphology on patterns of juvenile coral distribution. *Mar Biol* 150:1145-1152.
- Okubo N, Taniguchi H, Motokawa T. 2005. Successful methods for transplanting fragments of *Acropora formosa* and *Acropora hyacinthus*. *Coral Reefs* 24:333-342.
- Oren U, Benayahu Y. 1997. Transplantation of juvenile corals: A new approach for enhancing colonization of artificial reefs. *Mar Biol* 127:499-505.
- Pandolfi JM, Bradbury RH, Sala E, Hughes TP, Bjorndal KA, Cooke RG, McArdle D, McClenachan L, Newman MJH, Paredes G, Warner RR, Jackson JBC. 2003. Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science* 301:955-958.
- Precht WF. 2006. *Coral reef restoration handbook*. CRC press.
- Rinkevich B. 1995. Restoration strategies for coral reef damaged by recreational activities: The use of sexual and asexual recruits. *Rest Ecol* 3:241-251.
- Rinkevich B. 2000. Steps towards the evaluation of coral reef restoration by using small branch fragments. *Mar Biol* 136:807-812.
- Rinkevich B. 2005. Conservation of coral reefs through active restoration measures: recent approaches and last decade progress. *Environ Sci Technol* 39:4333-4342.
- Roberts CM, McClean CJ, Veron JEN, Hawkins JP, Allen GR, McAllister DE, Mittermeier CG, Schueler FW, Spalding M, Wells F, Vynne C, Werner TB. 2002. Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science* 295:1280-1284.
- Schuhmacher H, Loch K, Loch W, See WR. 2005. The aftermath of coral bleaching on a Maldivian reef—a quantitative study. *Facies* 51:80-92.
- Shafir S, Rijn JV, Rinkevich B. 2006a. Coral nubbins as source material for coral biological research: A prospectus. *Aquaculture* 259:444-448.
- Shafir S, Rijn JV, Rinkevich B. 2006b. Steps in the construction of underwater coral nursery, an essential component in reef restoration acts. *Mar Biol* 149:679-687.
- Sleeman JC, Boggs GS, Radford BC, Kendrick GA. 2005. Using agent-based models to aid reef restoration: enhancing coral cover and topographic complexity through the spatial arrangement of coral transplants. *Rest Ecol* 13:685-694.
- Smith SR. 1992. Patterns of coral recruitment and post-settlement mortality on Bermuda's reefs: Comparisons to Caribbean and Pacific reefs. *Amer Zool* 32:663-673.
- Soong K, Chen T. 2003. Coral transplantation: regeneration and growth of *Acropora*

- fragments in a nursery. *Rest Ecol* 11:62-71.
- Soong K, Dai CF, Lee CP. 2002. Status of Pratas Atoll in South China Sea. *Proceedings of the 4th Conference on the Protected Areas of East Asia (IUCN/WCPA/EA-4)*, p. 739-742, Taipei.
- Soong K, Chen MH, Chen CL, Dai CF, Fan TY, Li JJ, Fan H. 2003. Spatial and temporal variation of coral recruitment in Taiwan. *Coral Reefs* 22:224-228.
- Sprecher SG, Galle S, Reichert H. 2003. Substrate specificity and juvenile faviid predominance of coral colonization at the Maldives Islands following the 1998 bleaching event. *Coral Reefs* 22:130-132.
- Tkachenko KS, Wu BJ, Fang LS, Fan TY. 2007. Dynamics of a coral reef community after mass mortality of branching *Acropora* corals and an outbreak of anemones. *Mar Biol* 151:185-194.
- Tunncliffe V. 1981. Breakage and propagation of the stony coral *Acropora cervicornis*. *Proc Natl Acad Sci USA* 78:2427-2431.
- Vytopil E, Willis BL. 2001. Epifaunal community structure in *Acropora* spp. (Scleractinia) on the Great Barrier Reef: implication of coral morphology and habitat complexity. *Coral Reefs* 20:281-288.
- Wang Y, Dai C, Chen Y. 2007. Physical and ecological processes of internal waves on an isolated reef ecosystem in the south China Sea. *Geophys Res Lett* 34: (in press)
- Wallace CC. 1985. Seasonal peaks and annual fluctuations in recruitment of juvenile scleractinian corals. *Mar Ecol Prog Ser* 21:289-298.
- Yap HT. 2000. The case for restoration of tropical coastal ecosystems. *Ocean & Coastal Manag* 43:841-851.
- Yap HT. 2004. Differential survival of coral transplants on various substrates under elevated water temperatures. *Mar Pollut Bull* 49:306-312.

內政部營建署96年度「東沙環礁珊瑚復育試驗及可行評估」委託辦理案期中審查會議紀錄

壹、時間：96年8月2日（星期四）下午3時

貳、地點：本署B1第2會議室

參、主持人：曾副組長偉宏

紀錄：蕭一鵬

肆、出席審查人員：

| 審查委員 | 單位、職稱 | 簽名 |
|------|-------------------|-----|
| 陳章波 | 中央研究院生物多樣性研究中心研究員 | 陳章波 |
| 戴昌鳳 | 台灣大學海洋研究所教授 | 戴昌鳳 |
| 曾偉宏 | 本署國家公園組副組長 | 曾偉宏 |
| 吳祥堅 | 本署國家公園組東沙小組主任 | 吳祥堅 |

伍、出席廠商代表：國立海洋生物博物館 樊同雲副研究員

陸、列席人員：國家公園組盧視察淑妃、東沙小組王俊堯

柒、業務報告：

一、案由說明及報告事項：

行政院於民國95年12月19日正式核定成立東沙環礁國家公園，此為我國第一座以海洋資源保育、復育、生態監測及環境教育為主要目標之海洋型之國家公園。根據歷年來的東沙珊瑚調查報告，在1975至1994年，珊瑚呈現生長茂盛、豐富美麗的情況，然而在長期以毒電炸之毀滅性方式非法捕魚及

1998年受到水溫升高的影響，使得內環礁瀉湖的珊瑚群聚大量死亡，珊瑚覆蓋率僅有10-20%。因此本計劃的目的在於探討以人為努力，促進東沙環礁珊瑚復育之可行性，以維持珊瑚礁生態系的正常功能。

本委辦案工作期限，自簽約日96年5月16日至96年12月31止，依合約規定，計畫主持人已於本年7月25日提出期中報告，報告中列出於東沙島四週及瀉湖內共6個測站的珊瑚群聚調查結果，以決定適當之復育試驗地點。業務單位於本（8月2日）日召開本案期中簡報審查會議。

二、受託廠商簡報：略（詳期中報告書）

捌、審查人員意見：

陳委員章波：

1. 先請教本計畫經費為多少，因為經費可決定研究結果之產出。
2. 復育屬生態工法，可依4個層面即哲學、技藝學（technology）、技術、技巧來考量，期中報告中沒有提到這些部分，故很難讓人瞭解報告中6個調查地點的選擇判定標準為何？復育到何種指標才算成功；復育過程中之實驗組、對照組為何。
3. 水溫是否為復育成功或失敗唯一因子，若是，此成功的經驗是否可複製到其它地區。珊瑚復育成功的可能因子包括那些？
4. 期中報告第7頁第5行所提「珊瑚復育的目標在於使已破壞的珊瑚礁恢復到原來狀態」，此原來狀態建議係指生態系的服務及功能，請清楚說明。

戴委員昌鳳

1. 監測地點的精確座標，請標示清楚。
2. 底棲生物和基質的分類標準，請加以說明；珊瑚形態之分類亦請說明大約包含的種類，以利往後監測人員參考。
3. 小型珊瑚群體數目可代表珊瑚群聚的回復力，本研究

是否列入統計分析。

4. 復育試驗可挑選近東沙島易到達處，做一小規模試驗，包括種類、生態功能及固著方式等的試驗。
5. 復育可行性評估應包括需(1)優先復育的區域，(2)復育方法(種類、種苗、固著方式)，(3)效益預估：單位面積所需經費與生態效益的預估。
6. 夏季在東沙環礁珊瑚白化的情形，應加以監測或注意並於期末提出。
7. 人工復育與自然復育試驗，應設在同一區，以利對照比較。

吳委員祥堅

1. 珊瑚復育試驗地點的選擇，復育實驗的設計請主持人詳加評估。
2. 有關東沙環礁海域其他水文因子，請參考本署委託中山大學所做東沙環礁海域環境調查報告資料。

盧視察淑妃

1. 除了溫度之外，影響東沙內外環礁珊瑚存活的因子可能有那些，須加以釐清。
2. 選擇復育地點、復育種類、復育方法的考量因素請於報告中說明。

曾委員偉宏

1. 請於期末報告中列出於珊瑚礁地區進行水上遊憩活動時應注意事項，以降低對生態的影響，做為環境教育的材料。

計畫主持人回復

1. 本計畫經費為97萬元，預計前往東沙海域工作3次，每次4-5人，為期1周；研究的有效產出至期末報告時應會有明確完整的結果。
2. 必須先調查瞭解東沙珊瑚的現況後，方可進一步擬定復育作業方式，此部份亦為營建署要求本計畫的工作

- 項目之一。接下來的工作將以復育試驗及可行性評估為主。
3. 東沙海域溫度的資料非常少，無法反應不同地點的差別，而依據近2年於東沙所做的生態調查報告，水質均在正常的範圍內，因此本計畫選擇對珊瑚存活影響顯著的溫度因子為監測項目，此亦為在進行移植復育前須知道之基礎資料。
 4. 東沙島西邊將做為自然復育的監測區；人為復育因船隻支援有限，故選擇東沙島近岸區之北邊及東南邊執行，以對照組（不做任何復育處理）、實驗組（做人為復育處理）做比較，並探討不同種類、移植個體大小、固著方式對復育效果的差異，並估計經費效益。
 5. 珊瑚復育種類的選擇，因目前內環礁之軸孔珊瑚數量稀少，故選擇數量較多之葉片形棘孔珊瑚與分枝形微孔珊瑚，並以分枝形微孔珊瑚為優先，因為其和軸孔珊瑚在生長型、生態功能上接近，且對環境的耐受性較強。選擇葉片形棘孔珊瑚因其可穩定由珊瑚骨骼殘骸堆積所形成之不穩定基質，以利後續珊瑚種類的固著生長，並且其生長速度也算快。
 6. 期中報告第7頁珊瑚復育的部分將於期末修改。
 7. 珊瑚復育成功、失敗的指標將以復育區珊瑚之存活率及生長率之比較而得知。
 8. 監測地點的精確座標將於期末列出。
 9. 底棲生物和基質的分類標準及珊瑚形態之分類將於期末補充。
 10. 除東沙島西邊外，小型珊瑚群體數目於調查地點都很少，不易進行回復力統計分析。
 11. 已參考貴署所做有關東沙環礁海域生態、環境調查報告資料做為本計畫調查後續評估的基礎。
 12. 復原機制除考慮溫度外，水流、湧昇流亦為重要因素。

曾委員偉宏（會議主持人）

本研究案請提供東沙珊瑚復育之基礎資料，以利往後評估

復育之參考，符合合約規定，期中簡報原則同意通過。

玖、決議：請國立海洋生物博物館依審查意見辦理，本案期中審查原則同意通過。

拾、散會（下午 16 時 30 分）



內政部營建署海洋國家公園管理處96年度「東沙環礁珊瑚復育試驗及可行行評估」委託辦理案期末簡報審查會議紀錄

壹、 時間：96年12月11日（星期二）上午10時

貳、 地點：本處會議室

參、 主持人：吳處長全安

紀錄：蕭一鵬

肆、 審查人員：

| 審查委員 | 單位、職稱 | 簽名 |
|-------|-------------------|-------|
| 邵 廣 昭 | 中央研究院生物多樣性研究中心研究員 | 邵 廣 昭 |
| 戴 昌 鳳 | 台灣大學海洋研究所教授 | 戴 昌 鳳 |
| 吳 祥 堅 | 海洋國家公園管理處副處長 | 吳 祥 堅 |

伍、 出席廠商代表：國立海洋生物博物館 樊同雲研究員

陸、 列席人員

海管處企劃經營課課長 徐韶良

柒、 業務報告：

一、 案由說明及報告事項：

行政院於民國95年12月19日正式核定成立東沙環礁國家公園，此為我國第一座以海洋資源保育、復育、生態監測及環境教育為主要目標之海洋型之國家公園。根據歷年來的東沙珊瑚調查報告，在1975至1994年，珊瑚呈現生長茂盛、豐富美麗的情況，然而在長期以毒電炸之毀滅性方式非法捕魚及1998年受到水溫升高的影響，使得內環礁瀉湖的珊瑚群聚大

量死亡，珊瑚覆蓋率僅有10-20%。因此本計劃的目的在於探討以人為努力，促進東沙環礁珊瑚復育之可行性，以維持珊瑚礁生態系的正常功能。

本委辦案工作期限，自簽約日96年5月16日至96年12月31止，依合約規定，計畫主持人已於本年11月30日提出期末報告，業務單位於本（12月11日）日召開本案期末簡報審查會議。

二、受託廠商簡報：略（詳期中報告書）

捌、 審查人員意見：

一、邵委員廣昭：

1. 本計畫僅執行半年，作業三次，即能調查到這麼多的資料，完成50幾頁的報告，已相當不易，值得肯定。由於珊瑚的成長緩慢，故復育試驗之成果仍有待未來再進行較長期之監測，才能加以評估。
2. 調查記錄珊瑚之種類分布很詳實，但不知可與過去的研究作些比較，如監測地點、種類組成、豐度是否一致，是否可做為未來長期監測的測站。此外珊瑚復育試驗與實際推廣應用在國外正如火如荼的進行，希望計畫主持人能提供此方面最新資料之回顧，做為本案的參考及依據。
3. 本研究案包括珊瑚種類組成、覆蓋率調查及移植試驗等，涉及的角度方向或影響因素較多，建議在文章內容中可以分段各給一小標題，較容易閱讀。
4. 珊瑚移植試驗相信在不同地點，因微棲地及環境因子的差異會有不同的結果。為了能使未來的移植復育達到更好的效果，也更有說服力，建議要有對照組，亦即在無人工移植地區僅靠自然入添恢復的資料做對照。此外恢復原來物種組成之恢復力（resilience）涉及移植物種之選擇及復育之速度等，此因素不知是否列入考慮。
5. 復育成效之好壞要比較人工移植及自然入添之差異，故增加自然入添的試驗有其必要。另將東沙研究成果於明年第11屆國際珊瑚礁研討會發表，讓東沙能

推介到國際上也值得鼓勵。

二、戴委員昌鳳

1. 復育可行性評估請加強補充說明其內容，包括復育方法、優先復育的區域及面積、復育經費估計、復育成效評估方法等。
2. 關於珊瑚復育試驗，目前尚無具體結果，應追蹤調查其存活率與生長情形，據以評估其可行性。
3. 有關珊瑚群聚監測，應增加環礁外緣群聚，因外環礁為目前珊瑚生長良好區域。
4. 長期之海洋生態環境監測，建議朝向設立「珊瑚礁早期預警系統」測站，持續蒐集海、氣象資料，透過衛星傳送，並與國際珊瑚礁監測及保育系統連線。在未設立之前，可參考美國 NOAA 之 ICON 影像。
5. 移植用以復育珊瑚群聚之種類，未來應考慮軸孔珊瑚（分枝型，主要的珊瑚架構建造者）為優先。
6. 潟湖內的水溫變化顯示 8 月上旬之水溫下降主要原因可能是內波帶來之冷水湧升流所致，颱風可能僅是加成效應。
7. 珊瑚復育規劃應再明確具體些，建議在第一、二年擴大移植復育試驗區及進行自然加入量調查，以便評估是否持續擴大進行。

三、吳委員祥堅

1. 報告中提到東沙島北邊消波塊珊瑚補充量比南邊多，但北邊及南邊均有大量死亡珊瑚遺骸堆積，不知原因為何。
2. 有關東沙島西邊調查區發現珊瑚黑帶病，是否有進一步研究。
3. 是否有一綜合性指數，能代表調查樣區珊瑚礁生態系之總合狀況。
4. 外環礁珊瑚生長良好，其種源為何無法進到環礁內以增加自然補充量。
5. 不同種類之珊瑚幼苗著床時，是否有不同的基質要求

以利其著床。

6. 國外有在珊瑚移植時，先鑽洞再用環氧樹脂固定珊瑚，是否效果較好。

四、徐課長韶良

1. 所選 6 個樣區緯度相差不遠，是否具有長期監測之代表性。
2. 未來珊瑚復育成功與否之指標應如何訂定。
3. 未來東沙管理站在珊瑚復育的工作上，請建議簡易可行、經濟、可持續之珊瑚復育方式，以利現場工作人員的執行。

五、吳處長全安（會議主持人）

請計畫主持人能建議未來東沙島上東沙環礁國家公園管理站現場長駐人員在進行復育時適合的工作方式，以協助達成復育目標。

六、計畫主持人樊同雲回復

1. 因東沙珊瑚在 1998 年受海水暖化嚴重受損後，至今約 10 年，幾乎未復原，並且受損面積廣大，因此復育工作需時較久。今年進行的移植復育，在珊瑚種類、移植的地點和方法都以當地環境狀況為考量，必須先調查瞭解東沙珊瑚的現況後，方可進一步擬定復育作業方式。
2. 將會在成果報告中之緒言和討論章中加強與東沙過去調查研究結果的比較及有關珊瑚復育最新文獻之回顧。
3. 成果報告討論部分將加次標題，以強調內容的各個主題，以利閱讀。
4. 本計畫在進行珊瑚移植試驗之礁岩區和碎珊瑚骨骸區都設有對照組以比較移植復育之效果。
5. 在評估選擇移植珊瑚種類時，都有考慮珊瑚對東沙環礁現在與未來氣候可能變遷下的抵抗力與恢復力，以提高移植復育效益和未來永續經營。因目前內環礁之

軸孔珊瑚數量稀少，故選擇數量較多之葉片形棘孔珊瑚與分枝形微孔珊瑚做為珊瑚移植種類。

6. 調查研究成果在國際重要會議發表是希望能獲得國際珊瑚復育專家的重視及建議，以促進東沙環礁珊瑚的復原。
7. 將會在成果報告中加強珊瑚復育方法、復育面積、成本的量化估計及復育成效評估方法等說明。
8. 復育試驗部份今年已進行，希望管理處明年能持續辦理珊瑚復育計畫，以維持復育工作的持續性並追蹤調查後續結果，另外亦應將試驗區擴大和評估珊瑚自然加入量。
9. 將會在成果報告討論章節中補充 NOAA 衛星其他水溫分析資料；另水溫下降除颱風影響外，也可能受內波帶來之湧昇流影響，亦會在討論中補充。
10. 東沙島南邊消波塊的珊瑚加入量較北邊少，可能係受南邊夏季湧浪大和漂沙影響。大量珊瑚骨骸堆積可能是歷年颱風引起強勁湧浪搬遷堆積而成。
11. 珊瑚黑帶病僅有零星案例，但不嚴重。
12. 將會在成果報告討論中，補充珊瑚的生長情形進行綜合比較，以輔助覆蓋率資料。
13. 可能在內環礁潟湖週邊區域，有珊瑚種源由外環礁進入而造成珊瑚自然復原，但須進一步調查。潟湖的中部與西部僅呈現非常初步的復原，而東沙島的北邊、東方和東南方則幾乎未呈現明顯復原。
14. 不同珊瑚種類會對附著基質有不同的喜好。
15. 水下環氧樹脂固定珊瑚時先鑽洞較費時，目前以鋼釘直接釘在礁岩上效果好，且工作效率較高。
16. 目前 6 個樣區就地理位置與珊瑚礁狀況應具代表性。過去尚無永久固定樣區，因此造成每次調查位置不同，資料難以比較。外環礁的東方、北方與南方，以及南水道和北水道也應設置永久固定樣區。
17. 珊瑚復育成果指標，建議包括珊瑚覆蓋率、種類、功能群等量化指標。考慮珊瑚對環境變化的抵抗力與恢復力，本計畫以復育數量豐富物種為主較適當。

- 18．將在成果報告討論中補充說明東沙管理站執行珊瑚復育的工作方式及重點。
- 19．報告第7頁之筆誤與第42頁珊瑚白化種類比例圖不清楚之部份將於成果報告中更正。

玖、決議：請國立海洋生物博物館依審查意見辦理，本案期末簡報審查原則同意通過。

拾、散會（上午12時）

