

珊瑚礁的崩壞：日本沖繩的經驗

陳高松¹、謝恆毅²、陳世欽¹ 摘譯

¹水產試驗所企劃資訊組、²澎湖海洋生物研究中心

前言

珊瑚礁是全世界生物歧異度與生物組成結構最複雜的生態系，它提供人類許多重要的經濟與環境資源。為了強調珊瑚礁生態系的重要性，科學家試圖量化其對於社會與經濟的價值，雖然這些以經濟理論為基礎的數據無法讓我們做出對復育珊瑚礁最有利的決策，卻能有效引起大家對於珊瑚礁生態系的了解與關心。Cesar (2003) 估計全球珊瑚礁每年所衍生的經濟價值約為 298 億美元；鄰近台灣的日本沖繩，每年靠珊瑚礁即可帶來約 17 億美元的收益。

儘管有越來越多的科學家、非政府組織及政府機構投入研究與保育，珊瑚礁生態系仍因遭受龐大的人為壓力而不斷的崩解中。以印度太平洋為例，在 2003 年之前的 20 年間，珊瑚覆蓋率每年約以 1% 的速度持續下降，在 1997—2003 年間更以 2% 的速度減少 (Bruno and Selig, 2007)。根據 Wilkinson (2008) 的調查結果，目前全球已有 19% 的珊瑚礁遭到破壞，而且沒有立即復原的跡象；15% 的珊瑚礁面臨即刻的危機，而且在未來的 10—20 年間可能被破壞殆盡，類似的情形同樣也發生在擁有豐富珊瑚礁資源的日本沖繩。沖繩的珊瑚礁面臨了珊瑚白化 (Coral bleaching)、紅土沖刷覆蓋 (Red soil

run-off)、優養化 (Eutrophication)、過漁 (Excessive fisheries)、旅遊觀光事業開發 (Reclamation, land-based construction and tourism) 及棘冠海星爆發 (Crown-of-thorns starfish) 等多項問題。

珊瑚白化

1997—1998 年，聖嬰現象的影響造成全球的珊瑚礁白化 (Hoegh-Guldberg, 1999)。沖繩周遭海域的海水表水溫同樣也有上升的狀況，且在 1998 年的 8 月達到最高，較平均月均溫高出 1—2°C，導致珊瑚發生白化現象，其中又以軸孔珊瑚 (*Acropora*) 與鹿角珊瑚 (*Pocilloporid*) 這兩類造礁珊瑚受到的衝擊最強烈 (Nakano, 2004)。Loya (2001) 的研究指出，沖繩的 Sesoko 島在 1997—1999 年之間，珊瑚物種豐富度減少了 61%，覆蓋度減少了 73%，而且發生了群聚結構改變的現象，即優勢種類由分支狀與葉狀珊瑚轉變為團塊與表覆型的珊瑚。珊瑚白化的現象同樣也發生在 Akajima 島，但由於鄰近大陸棚阻隔了黑潮的暖水團，而使得珊瑚死亡率較低。自 1980 年開始，沖繩發生珊瑚白化的頻率逐漸提高，在 2001、2003、2007 年，海水表水溫上升導致珊瑚白化時，珊瑚死亡率呈現地區性的差異，Nakano (2001) 便推論造成

沖繩地區有不同程度的珊瑚白化與死亡率的主要原因之一就是各區域的海水表水溫不盡相同。

珊瑚白化亦會對珊瑚的生殖力造成負面影響，即便是脫離白化狀態之後。研究發現，表孔珊瑚 (*Montipora digitata*) 在歷經白化後，每個珊瑚蟲蘊含的卵與精子數量均顯著下降 (Dana, 1845; Hirose and Hidaka, 2000)。人工受精的實驗發現，在歷經白化後，亦對軸孔珊瑚屬的受精率有顯著的影響，在精子濃度 10^5 mL^{-1} 的條件下，受精率由正常的 94% 下降至 42%。從這些研究結果可推論，在歷經珊瑚白化事件後，可能會造成新生珊瑚入添量大幅降低 (Omori, 2011)。

紅土沖刷覆蓋及優養化

許多諸如沖繩這樣的熱帶及亞熱帶島嶼，其土壤多含有顆粒細小且富含鐵離子的“紅土”。紅土的沖刷常出現在植被貧瘠的地區，且常伴隨著自然因素而發生。由於這些島嶼的山脈陡峭，河川短又急，受到人類過度開發的區域，在大雨衝蝕過後便很容易發生紅土沖刷的現象，這些土壤顆粒便隨著河川被沖刷到海裡，沉積覆蓋在珊瑚礁等底質上，當颱風或是季風來襲，海浪會將底質上的這些土壤顆粒揚起，懸浮在海水中，造成海水濁度提高。這種沉積與懸浮交替的過程，將會危害珊瑚礁生態，使珊瑚幼生的定著受到嚴重干擾，以致無法順利成長而死亡。另外由於許多農業肥料、工業與民生廢棄物，經由河川進入海洋，也將導致沿近海域的優氧化，生態也會遭到破壞。許多科學

家推論，近年來珊瑚疾病的傳播，與海水水質的劣化、營養鹽的沖刷及海水表水溫的上升有密切的關係。

過漁

健康的珊瑚礁受到破壞後也將喪失其漁業與休閒遊憩的價值。根據沖繩 2008 年漁業統計資料，珊瑚礁魚類的卸魚量相較於 20 年前，石斑魚類 (鮨科) 減少了 31%，鸚哥魚科減少了 41%，笛鯛科減少了 14%。雖然目前並沒有針對沿近海漁業現況的科學研究報告，但學者仍認為沿近海的魚類資源有過度開發的情況，將會影響珊瑚礁生態系動物相與植物相之間的交互作用。當像鸚哥魚這類藻食性魚類的族群減少時，會導致藻類的繁生，造成可供珊瑚幼生定著的基質減少而提高其死亡率。此外，藻類的繁生也可能會造成 *Diadema* 與 *Echinometra* 這類藻食性海膽族群數量增加，由於海膽在刮食藻類的過程中，會對珊瑚礁體產生生物侵蝕，降低珊瑚礁立體結構的複雜度，使得珊瑚礁魚類失去安全的庇護空間供其生活與繁殖而導致族群數量變小。

旅遊觀光事業開發

公共工程，包括沿岸的開發，仍是破壞沖繩珊瑚礁的最主要原因。這個問題是由於當政府單位主導的公共工程開發案一但被允許之後，所有公共工程相關的管理決策將一味的執行下去，即便社會的需求與對於環境保護的輿論已有了顯著的改變。所幸目前大

眾普遍的認為，除非是影響到人們的生活，否則應以保護珊瑚礁為優先考量。

根據沖繩當地的收入統計，觀光旅遊業是當地第二大的收入來源。然而珊瑚礁常受到觀光旅遊業過度利用的威脅。因此，珊瑚礁對於觀光旅遊的承載量是需要被測量與重視的，然而多數的珊瑚礁“使用者”與“利益相關者 (stakeholders)”卻很少考慮到珊瑚礁永續使用的問題。根據 Taniguchi (2004) 的調查指出，在 Nishihama 這個熱門的潛水地點，在 1997—1998 年發生珊瑚白化事件後的 3 年 (1999—2001 年) 內，完全禁止潛水與漁業活動，使得當地珊瑚的覆蓋率呈現顯著的提升，由 35% 上升至 50% 左右，顯示諸如潛水這類的海洋休閒活動的確會對珊瑚礁造成破壞。許多知名的潛水地區，如大溪地、帛琉、印尼的美納多與馬來西亞的西巴丹，皆有對休閒潛水活動收取費用，潛水人員必需在潛水前向當地管理單位購票，且於潛水的時候配戴識別證，否則將遭受罰鍰。另外也有些地區會針對潛水人員的證照等級，如初階、進階或是教練潛水員，而開放不同的潛水區域。這些方式均有助於珊瑚礁的管理與保護。

棘冠海星爆發

棘冠海星 (*Acanthaster planci*) 會啃食珊瑚，造成珊瑚死亡，自從 1969 年開始就被認為是珊瑚礁生態系一大威脅。在 1970—1983 年之間，儘管投入了近 600 萬美元，人工移除了約 1,300 萬隻的棘冠海星，但棘冠海星的數量控制計畫目前看來仍是相當失敗

的，因為幾乎整個沖繩群島海域仍受到棘冠海星的嚴重肆虐，導致珊瑚礁生態系劇烈的改變。在部分地點由原先的石珊瑚群聚轉變為軟珊瑚或褐藻群聚 (Nishihira and Yamazato, 1974)。長久以來沖繩海域一直不斷發生棘冠海星大爆發事件，珊瑚礁群聚也一再地受到影響。在 Akajima，2001 年開始發生棘冠海星大爆發現象，一直持續到 2006 年，棘冠海星卻突然消失無蹤。到目前為止，什麼原因造成棘冠海星大爆發仍無定論，部分學者推論由於人為因素造成海域優氧化，產生了豐富的浮游性植物，為棘冠海星幼生提供豐富的食物來源，因而提高其活存率與族群數量。另一種假設為棘冠海星幼生的掠食者族群數量減少而提高其活存率。Yokochi (2004) 推論由於先前針對棘冠海星大爆發進行人工移除計畫，反而讓剩下的棘冠海星有更豐富的空間與食物來源，這也可能是導致棘冠海星族群量未減少的潛在因素。至目前為止，在野外大範圍的尺度上要控制棘冠海星的族群量似乎仍不可行。

結語

台灣位處熱帶與亞熱帶之間，周圍海域又有黑潮、南中國海水團等流經。又因台灣處於由菲律賓、馬來半島及新幾內亞所構成的珊瑚大三角 (coral triangle) 北端，再加上本身多變的地形地貌，使得台灣擁有相當豐富的海洋資源與極高的生物多樣性。在台灣，沿近海的環境大都適合珊瑚生長，因此只要有硬底質的地方，大都有珊瑚分布，從北海岸的石門、野柳與金山，東北角海域的

基隆、澳底到三貂角 (洪與戴, 2009), 甚至西南沿海的海岸消波塊上 (Wen et al., 2007) 都有珊瑚礁的分布。墾丁、澎湖、小琉球、蘭嶼及綠島的珊瑚礁生態更為豐富, 其多樣的生物資源與自然景觀, 每年均為當地帶來龐大的經濟收益。但近年來在這些發展的背後, 台灣的珊瑚礁也面臨與日本沖繩相同的問題—白化、過漁、人為開發破壞等。2010年在澎湖海域發生了棘冠海星爆發的現象, 本所隨即投入人力, 結合澎湖當地民眾與熱愛海洋的志工執行人工移除棘冠海星的行動 (謝與蔡, 2011), 並進行棘冠海星與其天敵—大法螺的相關研究。

珊瑚礁生態系對於整個地球與人類社會



2005年時澎湖東吉嶼之活珊瑚覆蓋率幾乎達100%

的永續發展有著不可言喻的重要性, 但是防止珊瑚礁生態被破壞絕非只是政府、學術單位與非政府機構團體的責任, 因為光憑這些單位的力量仍不足以保育珊瑚礁。而是必須從個人做起, 透過學校與社會教育的方式, 讓民眾了解海洋及珊瑚礁生態系的重要性, 進而去愛護與保護海洋。

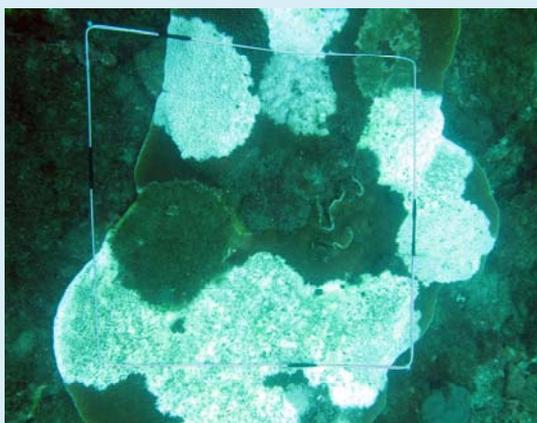
海洋及珊瑚礁生態系的保育刻不容緩, 哪怕只是少撿一顆貝殼, 少用一根吸管, 都可以累積成可觀的力量與成果。海洋生態的保育, 就從你我開始一起努力吧!

註: 本文摘譯自

Omori M. (2011) Degradation and restoration of coral reefs: Experience in Okinawa, Japan. *Marine Biology Research*, 7: 3-12.



於澎湖西吉嶼發現之棘冠海星(謝恆毅攝)



受到棘冠海星啃食留下食疤之膜形盤珊瑚 (謝恆毅攝)



白尖紫叢海膽在珊瑚礁體上啃食一個洞, 然後棲息在洞裡, 不同的海膽其啃食的方式與習性均不同