

墾丁國家公園南灣海域珊瑚群聚的變遷：1987 至 1997 年

戴昌鳳^(1, 3)、陳永澤⁽¹⁾、郭坤銘⁽²⁾、莊正賢⁽²⁾

(收稿日期：1998 年 7 月 16 日；接受日期：1998 年 8 月 10 日)

摘 要

本研究以橫截線取樣法對墾丁國家公園南灣海域的珊瑚群聚進行定量調查，調查結果並與 1987 年的資料比較，以瞭解南灣海域珊瑚群聚的變遷情形。調查地點包括：核三廠排水口附近、後壁湖、跳石及香蕉灣等四處海域。各地點調查範圍自水深 2 ~ 3 m 至珊瑚礁前緣 (約 30 m 水深)。調查結果與 1987 年的資料比較顯示，在四個調查地點中，僅跳石海域的珊瑚群聚已產生明顯的變遷，每一調查線的珊瑚種數、群體數、種歧異度和均勻度都比 1987 年顯著減少；尤其是在水深 10 ~ 20 m 間，除了上述參數值外，珊瑚的覆蓋率也明顯減少。根據歷年來在此海域的調查記錄，泥沙沈積物污染、松藻大量生長和海葵蔓延可能是導致此區珊瑚群聚變遷的主要原因。至於核三廠排水口附近海域和後壁湖海域的珊瑚群聚，僅在少數群聚參數值上有顯著的改變，香蕉灣海域的珊瑚群聚則無顯著的變化，顯示此三處海域的珊瑚群聚大致仍維持在 1987 年間的狀態，尚未產生明顯的變遷。此外，小型珊瑚群體在珊瑚礁上出現的數量甚少，可能是受到底質的沉積物污染及藻類繁生等因素的限制，而珊瑚幼生的加入量少，會影響珊瑚群聚的復原速率。由於珊瑚群聚的改變往往是一種相變的型式，因此，雖然目前南灣海域的珊瑚群聚大多仍處於穩定狀態，但是珊瑚群體遭受污染而白化或部分死亡的現象卻相當普遍，這些跡象顯示該海域的珊瑚群聚可能處於耐受污染的臨界點上，必須儘速落實珊瑚礁的污染防治和生態保育，才能確保珊瑚群聚的永續繁衍。

關鍵詞：墾丁海域，珊瑚群聚，海洋生態。

一、前 言

珊瑚礁是海洋中生物多樣性最高、生物量最豐富的生態系，常被稱為「海中熱帶雨林」，也常被視為地球上重要的自然資產。然而，由於全球工業發展和環境污染的影響，世界上的許多珊瑚礁也面臨了逐漸衰退或嚴重破壞的危機 (Anonymous, 1991; Wilkinson, 1992; Wells, 1995)。Wilkinson (1992) 估計全球有 10% 的珊瑚礁已嚴重破壞至無法恢復的地步；另有 30% 的珊瑚礁面臨崩潰危機，可能在 10 ~ 20 年間從地球上消失，而墾丁海域的珊瑚礁就被歸於這一類。

1. 臺灣大學海洋研究所，台北市 106 羅斯福路四段一號。
2. 墾丁國家公園管理處，屏東縣 946 恆春鎮墾丁路 596 號。
3. 通信聯絡員。

世界各地有關珊瑚群聚變遷的研究結果顯示，珊瑚群聚在過去 10 ~ 20 年間，已因人為破壞和污染而產生重大的變遷，這些變遷包括：物種多樣性降低、珊瑚覆蓋率減少、群聚結構改變等 (Liddell and Ohlhorst, 1992; Done, 1992a; Goreau, 1992; Porter and Meier, 1992; Hughes, 1994; Andres and Witman, 1995; Bak and Nieuwland, 1995; Shulman and Robertson, 1996; Connell et al. 1997)。以牙買加的珊瑚礁為例，自 1978 至 1993 年間，珊瑚的覆蓋率由 50% 降低至 5%，藻類則由 <5% 增加至 95%；底棲生物由以造礁珊瑚為主的群聚，轉變成以藻類為主的群聚，而且珊瑚礁的復原被明顯地抑制 (Hughes, 1994, 1996; Andres and Witman, 1995)。Porter and Meier (1992) 在佛羅里達南端沿海的調查則顯示，1984-1991 年間，該區珊瑚群聚的種多樣性減少了 13-29%，珊瑚覆蓋率降低了 7.3-43.9%，大型珊瑚群體數減少，整個珊瑚群聚也在衰退之中，而造成珊瑚死亡的原因是黑帶病 (black band disease) 和白化 (bleaching)。Done (1992a) 在澳洲大堡礁中部的調查也指出，該區的珊瑚群聚於 1980-1990 年間，經過白化、棘冠海星攝食和颶風的侵襲後，受到重大破壞，群聚型態改變，並且幾乎無復原跡象。

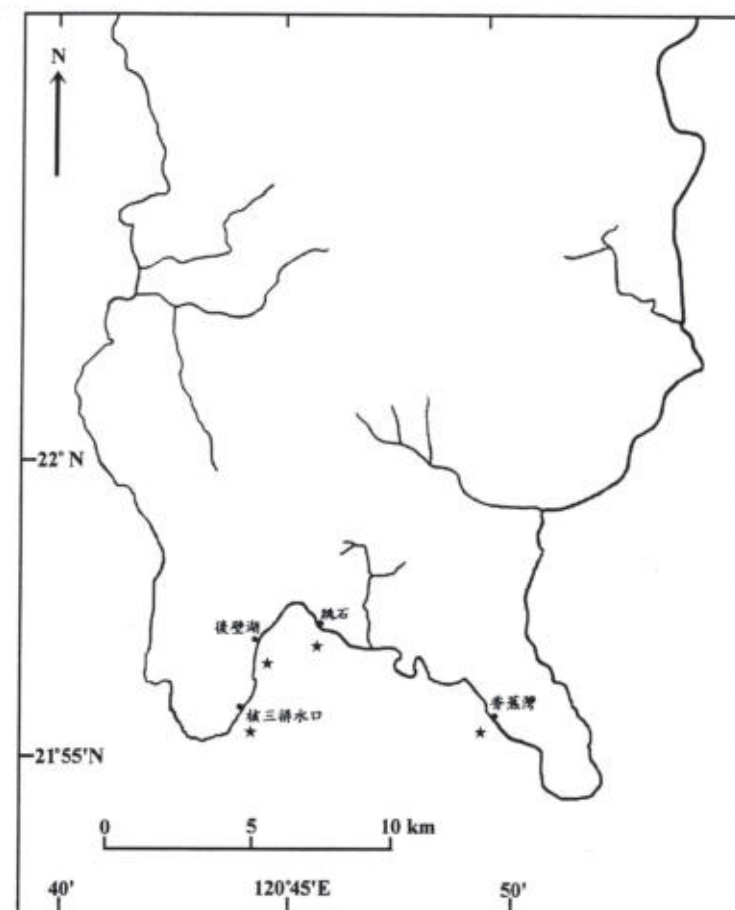
恆春半島由於地處熱帶，沿岸海域環境適合珊瑚生長，因而擁有台灣地區最發達的珊瑚礁。墾丁國家公園在成立之初，即將恆春半島沿岸的珊瑚礁海域劃入國家公園的範圍內，並積極推動海域生態的基礎科學研究，使墾丁海域的珊瑚礁生態研究逐漸受到國際間的重視。其中，有關墾丁海域珊瑚群聚的定量調查，已建立了珊瑚群聚結構、種類組成、種間關係和環境因子的數量性資料 (張及戴, 1987; 戴, 1996; Dai, 1988, 1990, 1991a, b, 1993)，對該海域的珊瑚群聚已有相當完整的瞭解；然而，近年來，由於台灣地區的經濟快速發展，海洋遊憩人口大幅成長，每年約有超過四百萬人次造訪墾丁國家公園，由於墾丁緊鄰海洋，不論遊客是否從事海洋遊憩活動，都會直接或間接給當地的海洋帶來環境壓力，因此最近十年以來，各項海洋污染事件頻傳，根據墾丁國家公園管理處歷年來的自行研究報告 (鄒, 1989, 1990, 1991; 郭, 1992, 1993, 1995)，在 1988-1995 年間，曾經發生的污染和人為破壞珊瑚礁的事件有多起，包括：珊瑚白化、沉積物污染、藻類大量蔓延、海葵肆虐等，都曾引起各界廣泛的關注。在這些環境衝擊之後，墾丁國家公園沿海的珊瑚群聚很可能已產生了變遷 (戴, 1996; Dai, 1997)，但是由於缺乏全面性的定量調查資料，我們無法評估墾丁海域的珊瑚群聚產生了何種變遷？其影響因子是什麼？以及該如何採取適當的對策以保育墾丁的珊瑚礁？這些問題必須經由珊瑚群聚的定量調查，檢查珊瑚群聚的現況，並且與十年前的資料比較，才能找到線索，這就是本研究的目的。

二、材料與方法

(一) 珊瑚群聚定量調查

本研究沿用張及戴 (1987) 和 Dai (1988, 1993) 相同的橫截線取樣調查法，並且在同一地點進行調查，以便做珊瑚群聚變遷的分析比較。橫截線取樣法也是國外許多珊瑚礁定量調查所採用的方法 (Bouchon, 1981, 1985; Loya, 1972; Porter, 1972; Bull, 1982; Riegl et al. 1995; Dai, 1996)，它符合海下潛水作業的高效率和準備度的原則 (Weinberg, 1981; Chiappone and Sullivan, 1991)。

本年度調查的地點以貓鼻頭至鵝鑾鼻的南灣海域為主，調查地點包括：核三廠排水口附近、後壁湖、跳石及香蕉灣等四處 (圖一)。以 10 m 長的尺規為取樣單位，在各調查地點，自水深 2 ~ 3 m 至珊瑚礁前緣 (約 30 m 水深)，以等深線為基準，約間隔 20 m 取樣調查一次，每一地點定量取樣約 30 次。在每一取樣線上，記錄各珊瑚種類 (包括石珊瑚、軟珊瑚及水螅珊瑚，鑑定至種) 的覆蓋長度；其他底棲生物則分為兩大類：藻類和其他生物 (包括海綿、海葵、苔蘚蟲、海鞘等) 計量；此外，未被生物占據的底質則區分為岩石、沙底和死珊瑚體等分別計量；各珊瑚種類和底棲生物的覆蓋率，以其投射至橫截線的長度代表之。同時，也記錄取樣線兩側各 5 cm 範圍內出現的小珊瑚體 (直徑 <2 cm) 數目，當做珊瑚群聚加入量 (recruitment) 的指標。



圖一、墾丁國家公園海域珊瑚礁調查地點。★：執行調查的海域位置。

(二) 珊瑚群聚結構分析

將野外橫截線調查所得的資料，分別以取樣線為單位，統計其上的種數、珊瑚群體數、珊瑚覆蓋率，並且分別計算種歧異度指數 (Shannon-Weiner index)、均勻度指數 (Evenness index) 和優勢性指數 (Simpson's dominance index) 等，當做珊瑚群聚結構的參數值；所有的參數值並與 1986-87 年的調查資料 (張及戴, 1987) 比較，以瞭解珊瑚群聚的現況和變遷情形。各指數的公式如下：

1. 種歧異度指數 (Shannon-Weiner Index)

$$H' = -\sum p_i \log p_i \quad p_i = \frac{\text{第}i\text{種珊瑚的覆蓋率}}{\text{所有珊瑚的覆蓋率}}$$

2. 均勻度指數 (Evenness Index)

$$E = \frac{H'}{H_{\max}} \quad H_{\max} = \log S \quad S: \text{總種數}$$

3. 優勢性指數 (Simpson's dominance index)

$$\lambda = 1 - \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \quad n_i: \text{第}i\text{種珊瑚的群體數}$$

N: 樣本線上的總群體數

4. 珊瑚群體平均大小

$$SI = \frac{L}{N} \quad L: \text{總覆蓋長度}$$

三、結 果

(一) 珊瑚群聚結構的分析和比較

本研究共完成了核三排水口附近海域、後壁湖海域、跳石海域和香蕉灣海域等四個地點的珊瑚群聚定量調查，各地點珊瑚群聚的基本測量值，包括珊瑚的種數、群體數和覆蓋度，以及各種指數值的分析結果如表 1～表 4 所示。由於各調查地點珊瑚礁分佈的寬度不一，因此各地點的取樣線數也不同。由於先前的研究顯示南灣海域的珊瑚群聚，在同一地點內的分布相當均質，並無明顯成帶狀分布的現象 (Dai, 1988, 1993)，因此，以變方分析 (ANOVA) 比較 1997 年和 1987 年同一地點珊瑚群聚的各項計量值，其結果如表 5 所示。珊瑚礁底棲生物的分布型態則如圖二～五所示。綜合上述資料，將各地點珊瑚群聚的現況和變遷情形，敘述如下：

1. 核三廠排水口附近海域

核三廠排水口附近海域的珊瑚群聚，只有珊瑚種類數目和 1987 年調查的結果有顯著的差異 ($p < 0.05$, 表 5)，每一調查線的平均種數比 1987 年稍微減少，而其他的群聚特徵如珊瑚群體數、珊瑚覆蓋率、種歧異度指數、均勻度指數、優勢度指數和平均群體大小，則沒有顯著的差異 ($p > 0.05$, 表 5)。

在珊瑚礁底棲生物和底質的分布型態方面，本海域的石珊瑚和軟珊瑚約各佔底質的 23%，石珊瑚在水深 5 m 以內及 17 - 19 m 之間較多，軟珊瑚則在水深 9 - 11 m 及 23 m 以下較多，空白礁石的比例甚高，約佔 30%，呈現由淺至深逐漸增多的趨勢 (圖二)；藻類的覆蓋率在水深 6 - 8 m 處最高，覆蓋率高達 25.88%，淺處和深處都較少。死亡的珊瑚和其他生物所佔的比例都很少，除了水深 5 m 以內，其他生物較多之外，其餘都低於 10%。

表 1. 核三廠排水口附近海域珊瑚群聚調查，各取樣線的數量性資料，包括：珊瑚種數 (S)、珊瑚群體數 (N)、珊瑚覆蓋率、種歧異度指數 (H')、均勻度指數 (E)、優勢性指數 (λ) 以及平均珊瑚群體大小 (SI)。

取樣線	水深(m)	種數(S)	群體數(N)	覆蓋率(%)	H'	E	λ	SI
301	2	10	19	39.84	1.440	0.625	0.901	20.97
302	3	19	36	49.49	2.427	0.824	0.941	13.75
303	4	24	33	49.68	2.960	0.931	0.981	15.05
304	5	18	36	67.82	2.431	0.841	0.943	18.84
305	6	17	22	15.79	2.680	0.946	0.970	7.18
306	7	23	44	38.28	2.711	0.865	0.959	8.70
307	8	24	37	48.72	2.721	0.856	0.970	13.17
308	9	17	36	76.68	2.213	0.781	0.914	21.30
309	10	21	34	61.30	2.836	0.931	0.970	18.03
310	11	30	39	53.57	3.098	0.911	0.981	13.74
311	12	21	34	46.27	2.519	0.827	0.963	13.61
312	13	22	33	54.65	2.593	0.839	0.972	16.56
313	14	25	39	52.92	2.852	0.886	0.969	13.57
314	15	20	26	38.76	2.738	0.914	0.978	14.91
315	16	17	24	34.08	2.547	0.899	0.967	14.20
316	17	25	34	51.36	2.831	0.879	0.968	15.11
317	18	24	36	56.04	2.816	0.886	0.975	15.57
318	19	15	27	56.28	2.118	0.782	0.937	20.84
319	20	20	23	31.49	2.768	0.924	0.988	13.69
320	21	7	19	28.39	1.269	0.652	0.749	14.94
321	22	12	23	44.52	2.168	0.872	0.929	19.36
322	23	8	16	39.26	1.828	0.879	0.850	24.54

表 2. 後壁湖附近海域珊瑚群聚調查，各取樣線的數量性資料，包括：珊瑚種數 (S)、珊瑚群體數 (N)、珊瑚覆蓋率、種歧異度指數 (H')、均勻度指數 (E)、優勢性指數 (λ) 以及平均珊瑚群體大小 (SI)。

取樣線	水深(m)	種數(S)	群體數(N)	覆蓋率(%)	H'	E	λ	SI
401	4	12	25	65.04	1.751	0.704	0.877	26.02
402	5	19	35	89.88	2.502	0.850	0.958	25.68
403	6	13	27	57.48	1.965	0.766	0.909	21.29
404	7	17	32	55.87	2.460	0.868	0.944	17.46
405	8	17	37	84.19	2.359	0.833	0.946	22.75
406	9	20	35	65.40	2.446	0.816	0.956	18.69
407	10	15	29	75.79	1.994	0.736	0.929	26.14
408	11	15	35	45.96	2.353	0.869	0.934	13.13
409	11	19	41	70.78	2.376	0.807	0.945	17.26
410	12	18	29	35.47	2.487	0.860	0.961	12.23
411	13	12	19	47.52	1.871	0.753	0.918	25.01
412	14	18	34	64.15	2.224	0.769	0.941	18.87

表 2. 後壁湖附近海域珊瑚群聚調查, 各取樣線的數量性資料 (續)

取樣線	水深(m)	種數(S)	群體數(N)	覆蓋率(%)	H'	E	λ	SI
413	15	23	37	61.22	2.489	0.794	0.965	16.55
414	16	17	30	51.94	2.584	0.912	0.956	17.31
415	17	23	35	44.78	2.876	0.917	0.975	12.80
416	18	26	44	54.94	2.985	0.916	0.966	12.49
417	19	21	31	45.19	2.613	0.858	0.976	14.58
418	20	23	33	36.22	2.967	0.946	0.972	10.97
419	21	20	33	40.51	2.623	0.875	0.945	12.28
420	22	26	41	59.42	2.972	0.912	0.961	14.49
421	23	20	34	68.57	2.638	0.880	0.966	20.17
422	24	27	47	63.07	2.968	0.900	0.966	13.42
423	25	17	41	61.58	2.396	0.846	0.909	15.02
424	26	17	34	43.22	2.553	0.901	0.950	12.71
425	27	13	15	13.68	2.442	0.952	0.971	9.12
426	28	7	9	9.31	1.605	0.825	0.944	10.35
427	29	19	29	36.14	2.479	0.842	0.961	12.46
428	30	12	15	12.05	2.359	0.949	0.971	8.03

表 3. 跳石附近海域珊瑚群聚調查, 各取樣線的數量性資料, 包括: 珊瑚種數 (S)、珊瑚群體數 (N)、珊瑚覆蓋率、種歧異度指數 (H')、均勻度指數 (E)、優勢性指數 (λ) 以及平均珊瑚群體大小 (SI)。

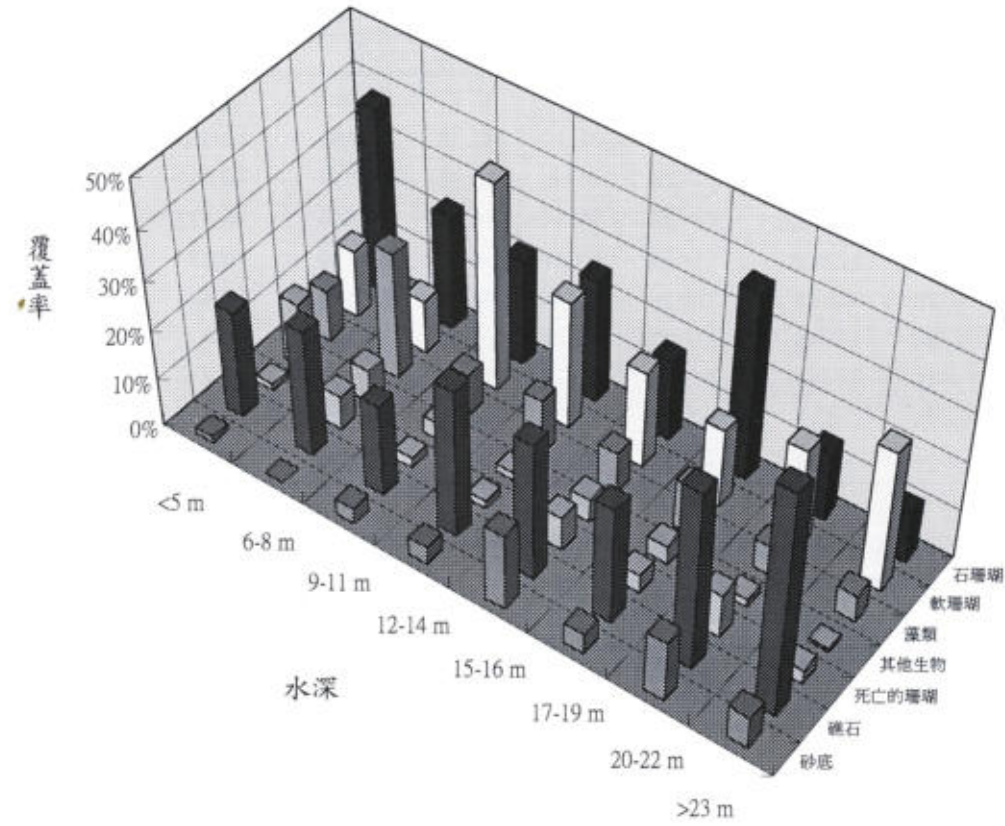
取樣線	水深(m)	種數(S)	群體數(N)	覆蓋率(%)	H'	E	λ	SI
501	2	24	46	52.58	2.713	0.854	0.959	11.43
502	3	11	17	13.03	2.140	0.893	0.934	7.67
503	4	6	15	29.04	0.801	0.447	0.762	19.36
504	5	22	39	32.86	2.738	0.886	0.951	8.42
505	5	18	26	32.52	2.640	0.913	0.972	12.51
506	6	16	31	36.58	2.416	0.872	0.953	11.80
507	7	25	38	36.74	2.914	0.905	0.977	9.67
508	7	17	25	28.80	2.606	0.920	0.960	11.52
509	8	23	31	34.87	2.805	0.895	0.974	11.25
510	9	20	35	35.57	2.678	0.894	0.943	10.16
511	10	22	33	29.16	2.770	0.896	0.973	8.84
512	11	25	35	44.23	2.956	0.918	0.963	12.64
513	12	22	26	32.71	2.874	0.930	0.988	12.58
514	13	15	27	35.54	2.038	0.753	0.920	13.16
515	14	24	38	52.18	2.825	0.889	0.974	13.73
516	15	22	29	27.96	2.877	0.931	0.980	9.64
517	16	17	31	56.16	2.412	0.851	0.951	18.12
518	17	20	40	47.09	2.384	0.796	0.933	11.77
519	17	10	28	49.08	1.903	0.826	0.823	17.53
520	18	15	29	45.24	2.086	0.770	0.894	15.60

表 3. 跳石附近海域珊瑚群聚調查, 各取樣線的數量性資料 (續)

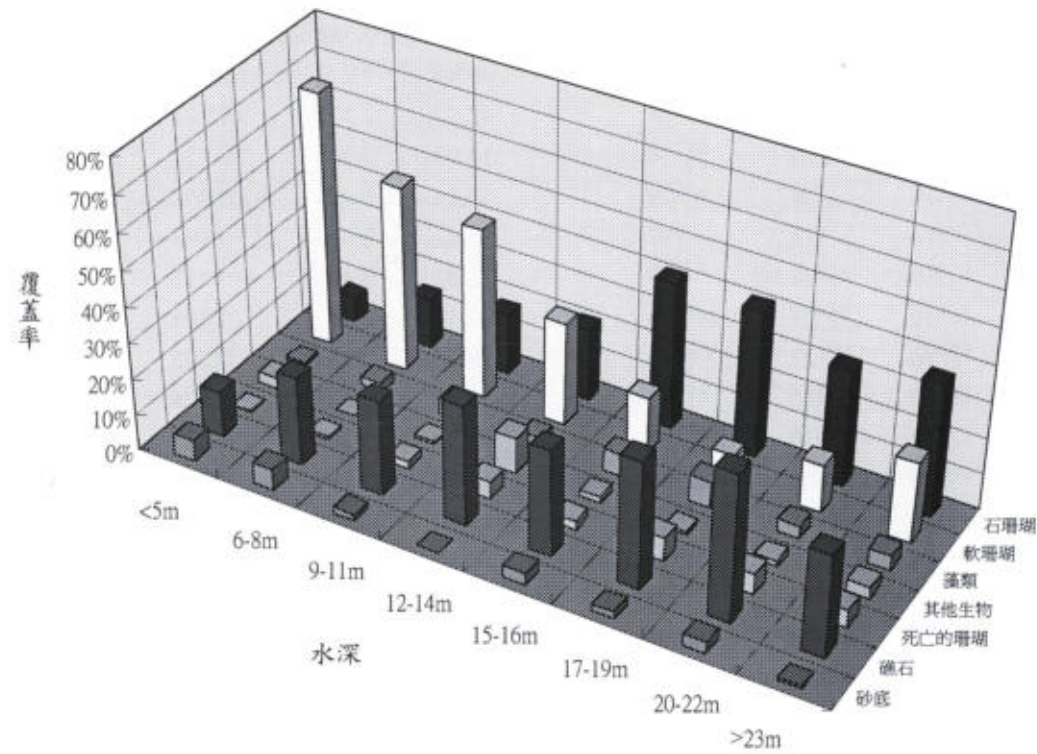
取樣線	水深(m)	種數(S)	群體數(N)	覆蓋率(%)	H'	E	λ	SI
521	19	13	28	45.17	1.963	0.765	0.876	16.13
522	20	7	26	41.38	1.682	0.865	0.852	15.91
523	20	11	28	53.98	1.539	0.642	0.802	19.28
524	21	12	23	66.24	1.669	0.672	0.925	28.80
525	22	10	29	55.44	1.549	0.673	0.855	19.12
526	23	11	26	48.67	1.351	0.563	0.812	18.72
527	24	14	27	47.35	2.461	0.933	0.943	17.54
528	25	11	28	55.25	1.293	0.539	0.794	19.73
529	26	12	29	28.94	2.162	0.870	0.887	9.98
530	27	11	15	15.65	1.909	0.796	0.952	10.43

表 4. 香蕉灣附近海域珊瑚群聚調查, 各取樣線的數量性資料, 包括: 珊瑚種數 (S)、珊瑚群體數 (N)、珊瑚覆蓋率、種歧異度指數 (H')、均勻度指數 (E)、優勢性指數 (λ) 以及平均珊瑚群體大小 (SI)。

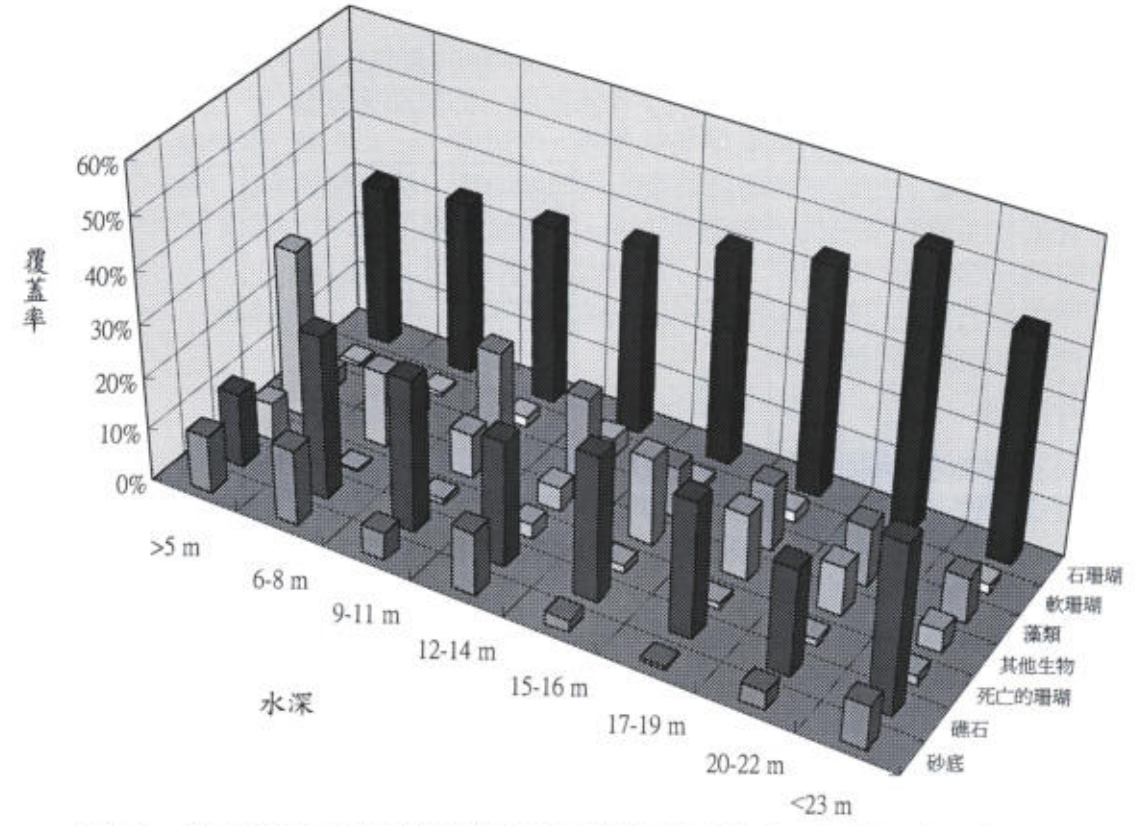
取樣線	水深(m)	種數(S)	群體數(N)	覆蓋率(%)	H'	E	λ	SI
601	3	17	36	55.50	2.410	0.850	0.929	15.42
602	4	16	64	59.86	2.145	0.774	0.813	9.35
603	5	17	43	39.48	2.436	0.860	0.891	9.18
604	6	25	26	48.45	2.860	0.888	0.874	18.63
605	7	25	45	54.85	2.813	0.874	0.944	12.19
606	8	24	38	60.50	2.958	0.931	0.966	15.92
607	9	17	28	52.75	2.352	0.830	0.942	18.84
608	10	20	31	40.34	2.772	0.925	0.963	13.01
609	11	12	34	42.67	2.272	0.914	0.920	12.55
610	12	16	24	34.99	2.368	0.854	0.964	14.58
611	13	8	29	59.23	0.960	0.462	0.613	20.42
612	14	22	37	53.42	2.699	0.873	0.943	14.44
613	15	18	37	72.82	2.463	0.852	0.925	19.68
614	16	27	48	47.59	2.917	0.885	0.952	9.91
615	16	27	50	58.15	2.951	0.895	0.966	11.63
616	17	18	35	39.70	2.625	0.908	0.943	11.34
617	17	19	33	61.80	2.708	0.920	0.953	18.73
618	18	25	39	59.28	2.839	0.882	0.964	15.20
619	19	20	33	60.14	2.464	0.823	0.955	18.23
620	19	19	35	56.16	2.497	0.848	0.943	16.05
621	20	15	31	56.81	2.255	0.833	0.927	18.33
622	21	15	25	55.10	2.106	0.778	0.940	22.04
623	21	17	34	60.94	2.244	0.792	0.948	17.92
624	22	13	27	44.06	1.946	0.759	0.889	16.32
625	23	6	9	13.94	1.335	0.745	0.833	15.49



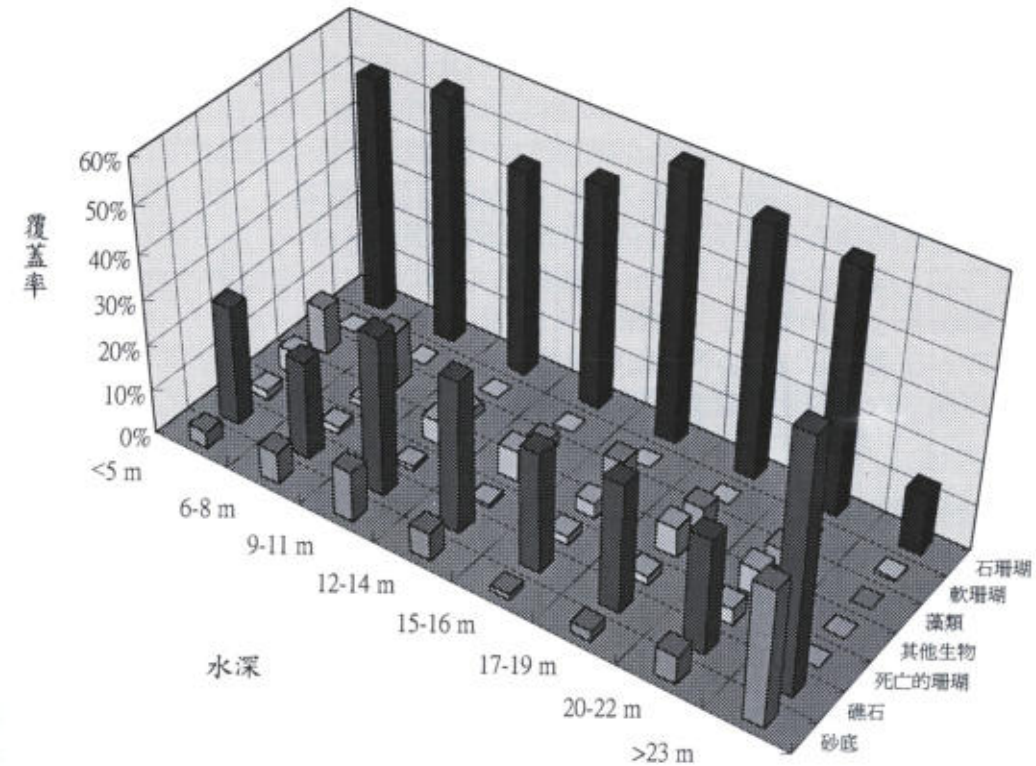
圖二、核三廠排水口附近海域珊瑚礁底質組成的類別及其在不同水深的分布



圖三、後壁湖附近海域珊瑚礁底質組成的類別及其在不同水深的分布



圖四、跳石附近海域珊瑚礁底質組成的類別及其在不同水深的分布



圖五、香蕉灣附近珊瑚礁底質組成的類別及其在不同水深的分布

2. 後壁湖附近海域

後壁湖附近海域的珊瑚群聚測量值與 1987 年的資料比較，珊瑚種數、群體數、珊瑚覆蓋率、種歧異度和平均群體大小等參數值，都無顯著差異 ($p > 0.05$, 表 5)，而在均勻度指數和優勢度指數則有顯著的差異 (均勻度: $p < 0.05$; 優勢度: $p < 0.01$, 表 5)，這些數據顯示此海域的珊瑚群聚的均勻度增加，優勢種效應比 1987 年不明顯。

在底棲生物和底質的分布型態方面，本海域水深 12 m 以內的底棲生物以軟珊瑚為主，約佔底質的 55%，水深 12 m 以下的底棲生物則以石珊瑚為主，約佔全區的 32%，全區空白礁石約佔 28%，由淺至深的分布並不規則 (圖三)；而藻類、其他生物和死亡珊瑚所佔的比例都低於 10%。

3. 跳石海域

跳石海域的珊瑚群聚以石珊瑚類為主，本年度的調查結果與 1987 年的資料比較，顯示在珊瑚種數、群體數、種歧異度和均勻度等參數值上，都有顯著的差異 (珊瑚種數: $p < 0.01$; 群體數: $p < 0.01$; 種歧異度: $p < 0.01$; 均勻度: $p < 0.05$; 表 5)，珊瑚覆蓋率和平均群體大小則無顯著差異 ($p > 0.05$)，顯示此區珊瑚群聚的覆蓋度雖略有降低，大致仍維持 1987 年的水準，但是珊瑚種數、群體數和歧異度則都降低了，有些珊瑚種類可能已自本海域消失。若將本海域的珊瑚群聚分為：水深 10 m 以內、水深 11~20 m 及水深 21 m 以下等三區段來比較，經由變方分析的結果顯示，跳石海域的水深 10 m 以內，除優勢性指數有顯著差異 ($p < 0.05$, 表 6) 外，其餘各項參數並無顯著差異 ($p > 0.05$)；而在水深 11~20 m 之間，珊瑚群聚的種數、群體數、覆蓋率及種歧異度指數則都有顯著的差異 (種數: $p < 0.01$; 群體數: $p < 0.01$; 覆蓋率: $p < 0.05$; 種歧異度: $p < 0.05$)，數據顯示這些測量值都明顯降低，而均勻度指數、優勢性指數和平均珊瑚群體大小則沒有顯著差異 ($p > 0.05$)；水深 21 m 以下的珊瑚群聚則僅種數呈現顯著減少 ($p < 0.01$)，其餘各項參數值，包括：覆蓋率、種歧異度、均勻度和平均群體大小，都有降低的趨勢，但是由於變異較大，因此，與 1987 年的資料相較並無顯著差異；綜合上述的分析顯示跳石海域珊瑚群聚的變遷，主要發生在礁區的中段，較淺和較深的區段則變遷並不明顯。

在底棲生物和底質的分布型態方面，本海域以石珊瑚為主，約佔底質的 40% (圖四)；軟珊瑚在每個調查深度都有分佈，但是比例都很低 (<5%)；空白礁石則約佔 25%，分布相當均勻；藻類在水深 9 - 20 m 之間都佔 10% 以上；其他生物在水深 3 - 8 m 及 15 - 19 m 之間較多，佔 10% 以上，水深 3 - 8 m 處以海葵為主；水深 15 - 19 m 處則以海綿為主；此外，在水深 20 m 以下的珊瑚礁槽溝或窪地上，常可見許多單珊瑚聚集，有些群體的直徑達 30 cm 以上，顯示此區的珊瑚並未受到人為採集的影響。

4. 香蕉灣海域

香蕉灣海域的珊瑚群聚以石珊瑚類為主，本年度的調查結果與 1987 年的資料比較，變方分析的結果顯示各項測量值都無顯著差異 ($p > 0.05$, 表 5)，也就是說本區的珊瑚群聚仍維持在十年前相似的狀態，並未產生明顯的變遷。

珊瑚礁底質的分布及底棲生物的類別組成方面，香蕉灣海域是以石珊瑚為主的群聚，在 22 m 以內，石珊瑚佔全區底質的 50%，軟珊瑚在整個調查中僅在水深 23 m 以下的區域發現，空白的底質則以礁石為主，約佔三分之一 (圖五)；藻類的分布以水深 8 m 以內較多，佔了 10% 以上，其他生物和死亡珊瑚所佔比例都甚少。調查期間也曾在水深 15 m 以下的珊瑚礁槽溝或窪地上發現許多大型的單珊瑚，顯示此區的人為干擾較少。

表 5. 南灣海域四調查地點，1997 年與 1987 年珊瑚群聚各項參數值的變方分析(ANOVA)。參數值包括：S：珊瑚種數；N：珊瑚群體數；珊瑚覆蓋率(%)；H'：種歧異度指數；E：均勻度指數；λ：優勢性指數；SI：平均珊瑚群體大小。

地點	年度	種數(S)	群體數(N)	覆蓋率(%)	H'	E	λ	SI
核三廠排水口	1987	21.96 ± 3.95	34.40 ± 6.20	49.06 ± 14.78	2.66 ± 0.29	0.87 ± 0.06	0.86 ± 0.18	14.21 ± 3.46
	1997	19.05 ± 5.88	30.45 ± 7.79	47.05 ± 13.54	2.48 ± 0.47	0.85 ± 0.08	0.94 ± 0.05	15.80 ± 4.06
	F-value	4.059*	3.734 n.s.	0.233 n.s.	2.586 n.s.	0.385 n.s.	3.954 n.s.	2.094 n.s.
後壁湖	1987	17.63 ± 4.40	29.43 ± 8.81	50.41 ± 18.21	2.32 ± 0.36	0.81 ± 0.07	0.86 ± 0.06	18.07 ± 7.70
	1997	18.07 ± 4.75	31.64 ± 8.80	52.12 ± 19.81	2.44 ± 0.36	0.85 ± 0.07	0.95 ± 0.02	16.33 ± 5.27
	F-value	0.133 n.s.	0.912 n.s.	0.118 n.s.	1.554 n.s.	4.369*	55.354**	0.991 n.s.
跳石	1987	21.21 ± 5.14	34.57 ± 7.34	46.49 ± 14.72	2.62 ± 0.31	0.86 ± 0.05	0.89 ± 0.03	13.70 ± 4.87
	1997	16.11 ± 5.63	29.11 ± 6.01	40.87 ± 11.47	2.23 ± 0.59	0.81 ± 0.13	0.91 ± 0.07	14.43 ± 4.61
	F-value	12.303**	7.978**	2.980 n.s.	9.692**	4.039*	2.890 n.s.	0.101 n.s.
香蕉灣	1987	20.42 ± 3.98	31.96 ± 6.64	48.11 ± 12.92	2.61 ± 0.26	0.87 ± 0.05	0.90 ± 0.04	15.10 ± 3.29
	1997	18.32 ± 5.41	34.84 ± 10.41	51.54 ± 11.87	2.42 ± 0.48	0.84 ± 0.09	0.92 ± 0.07	15.42 ± 3.58
	F-value	2.512 n.s.	1.397 n.s.	0.974 n.s.	3.181 n.s.	2.135 n.s.	1.182 n.s.	0.111 n.s.

*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; n.s.: 無顯著差異。

表 6. 跳石海域不同區段之珊瑚群聚結構 1987 年與 1997 年各項數值的變方分析(ANOVA)，包括：珊瑚種數(S)、珊瑚群體數(N)、珊瑚覆蓋率、種歧異度指數(H')、均勻度指數(E)、優勢性指數(λ)以及平均珊瑚群體大小(SI)。

區段	年度	種數(S)	群體數(N)	覆蓋率(%)	H'	E	λ	SI
<10 m	1987	20.92 ± 5.16	32.42 ± 7.14	34.65 ± 9.97	2.67 ± 0.28	0.89 ± 0.04	0.90 ± 0.03	10.72 ± 2.76
	1997	18.55 ± 5.84	30.55 ± 9.32	32.87 ± 9.31	2.48 ± 0.59	0.85 ± 0.14	0.94 ± 0.06	11.15 ± 3.13
	F-value	1.069 n.s.	0.295 n.s.	0.192 n.s.	1.047 n.s.	0.747 n.s.	4.776*	0.119 n.s.
10~20 m	1987	22.77 ± 4.85	38.00 ± 6.83	52.94 ± 10.57	2.67 ± 0.30	0.86 ± 0.05	0.90 ± 0.04	14.21 ± 3.32
	1997	16.75 ± 5.88	30.42 ± 4.70	44.23 ± 8.61	2.30 ± 0.50	0.83 ± 0.09	0.91 ± 0.06	14.68 ± 2.88
	F-value	7.848**	10.279**	5.062*	5.140*	0.960 n.s.	0.609 n.s.	0.140 n.s.
>20 m	1987	15.67 ± 2.52	28.33 ± 2.08	65.85 ± 6.00	2.21 ± 0.13	0.81 ± 0.01	0.85 ± 0.02	23.43 ± 3.98
	1997	11.57 ± 1.27	25.29 ± 5.00	45.36 ± 17.33	1.77 ± 0.43	0.72 ± 0.15	0.88 ± 0.06	17.76 ± 6.36
	F-value	12.589**	0.987 n.s.	3.762 n.s.	2.842 n.s.	0.906 n.s.	0.824 n.s.	1.971 n.s.

*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; n.s.: 無顯著差異。

(二) 珊瑚幼生的加入量

在四個調查地點的珊瑚群聚中，小珊瑚群體的數量都甚低(表 7)，其中以跳石海域較多，平均每 10 m 的取樣線上也只發現 1~4 隻小珊瑚體(直徑 < 2 cm 者)，香蕉灣和核三排水口附近都較低，每條取樣線上只有 0~3 隻，顯示南灣海域珊瑚幼生的加入量甚低，而且分布並不均勻，而能夠順利長大，成功加入珊瑚族群的群體可能更少，這些因素都會影響珊瑚群聚遭受干擾後的復原速率。

表 7. 南灣海域四個調查地點的珊瑚群聚，不同深度調查線上的小珊瑚群體數(株/m²)。

		出水口	後壁湖	跳石	香蕉灣
水	<5 m	0.4	0.5	3.6	1.33
	6-8 m	0	2	1.5	0
	9-11 m	0.33	0.75	2	2
	12-14 m	2	2	1.67	2.5
	15-16 m	2	3	0.67	0.33
深	17-19 m	1.67	2.33	1	0.6
	20-22 m	1.33	1.33	1	1
	>23 m	2	0.5	1.2	0

四、討 論

(一) 南灣海域珊瑚群聚的變遷

綜合以上的調查結果顯示，南灣海域珊瑚群聚的現況在不同地區之間呈現相當大的變異，四個調查地點中以跳石的珊瑚群聚變化最大，珊瑚群聚的平均種數減少，覆蓋率降低，尤其是在水深 10~20 m 之間的變化最為顯著，顯示這個海域的珊瑚群聚已產生變遷，但是在其他海域的珊瑚群聚則僅有小幅度的變動，整體而言，並未發生明顯的變遷。

珊瑚群聚在不同時間和空間尺度上，往往呈現巨幅的變動，而且這種變異也和取樣的尺度有關(Edmunds and Bruno, 1996; Karlson and Cornell, 1998)。在空間尺度上，同一海域相距數公里的珊瑚群聚就可能有很大變異；在時間尺度上，不同年間，甚至不同季節間，都可能呈現巨幅的變動。由於珊瑚礁位於熱帶地區，遭受暴風或颱風侵襲的頻率相當高，外力的作用很可能在短時間內就使珊瑚群聚改觀，然而短時間內的變動並不能用來評估珊瑚群聚的穩定性，小空間尺度和小取樣單位所得到的結論也是如此，因此，對於由世代和壽命都很長的珊瑚構成的群聚而言，評估它的穩定性就必須在比較大的空間尺度，以及比較長的時間尺度上才能衡量(Jackson, 1992; Connell et al. 1997; Karlson and Cornell, 1998)。Connell et al. (1997) 追蹤調查澳洲大堡礁鸞島(Heron Island)附近珊瑚群聚的變遷，從三十年的資料看來，珊瑚覆蓋率的變動從 <0.1% 到 >80% 都有，而珊瑚群體的密度也呈現相似的巨幅變動。這些珊瑚群聚的變動，與其所承受干擾(disturbance)的強度和頻率，以及干擾在空間和時間尺度上的變

異有關。南灣海域珊瑚群聚在不同調查地點之間的變異，反映出天然災害(如颱風)或人為干擾(如污染)在空間尺度上的變異，也顯示各調查地點所承受的環境壓力不盡相同。

在評估珊瑚群聚的穩定性(stability)時，必須考慮穩定性的本質和影響因子。一般來說，穩定性可用兩種特徵來衡量，一是抗拒力(resistance)，也就是群聚承受干擾而不產生變動的能力；另一為反彈力(resilience)，是指群聚遭受干擾脫離原來狀態，再回到原來狀態所需的時間；這兩種特徵都有助於維持群聚的穩定性。許多研究都顯示珊瑚群聚的穩定性與其遭受干擾的歷程有關；經常遭受干擾的群聚，其抗拒力和反彈力可能都較強(Hughes, 1989; Witman, 1992; Dollar and Tribble, 1993; Karlson and Hurd, 1993; Rogers, 1993; Connell, 1997)。南灣海域位在台灣地區颱風侵襲最頻繁的路徑上，這些珊瑚群聚幾乎每年都會遭受到一次以上的颱風巨浪襲擊，或者每隔數年遭受大規模的颱風破壞(Dai, 1991b)，在這種環境中長期發展出來的珊瑚群聚，對環境變動的抗拒力顯然比較強，而且當遭受破壞後反彈力也較強，可以在較短的時間內恢復原狀，雖然這幾年來南灣海域珊瑚群聚遭受的人為污染衝擊，與天然災害不同，但是在一定的範圍內，珊瑚群聚忍受環境變動的能力，很可能就是使得這些群聚在歷經許多污染事件後，仍然看不出明顯變動的主因。

有關珊瑚群聚變遷的研究指出珊瑚群聚的改變可能是一種相變(phase shift)的型式(Done, 1992b; Karlson and Hurd, 1993; Hughes, 1994)，也就是在一個狀態之下，它可以忍受許多壓力而維持現狀不改變，但是當超過其忍受界限时，可能就會產生劇烈的改變，使得群聚的狀態和原來完全不同。例如：加勒比海巴哈馬的珊瑚礁，在歷經污染後，由珊瑚為主的群聚，轉變成為以藻類為主的群聚(Hughes, 1994)，其他的珊瑚礁也有類似的現象(Done, 1992a; Goreau, 1992; Porter and Meier, 1992; Andres and Witman, 1995; Shulman and Robertson, 1996)。當珊瑚群聚轉變為藻類群聚時，可能就會停留在這個狀態，而難以恢復為原來的珊瑚群聚，這正是群聚的替代穩定狀態(alternate stable state)。許多研究都顯示，底棲生物群聚可能有數個替代穩定狀態，群聚可能維持在一個穩定狀態很久的時間，也可以忍受干擾的侵襲，但當干擾的強度超過其閾值(threshold)時，就可能由一狀態轉移到另一個穩定狀態，而不易復原(Knowlton, 1992)。基於這種觀念，南灣海域的珊瑚群聚很可能正處於忍受污染衝擊的臨界點上，歷年來的污染事件，已經使得許多珊瑚群體遭受破壞，雖然從整體的觀點來看，這些隱伏的危機並未顯現出來，但是當污染加劇或持續時，可能就會超過它的閾值，而完全改變該海域珊瑚群聚的型態，以致於難以復原；因此，目前的穩定狀態可能只是改變的前兆，從近年來南灣海域污染頻傳的角度看來，這種現狀是值得憂慮的，必須儘速進行污染防治和生態保育的措施，才能維持珊瑚群聚在健康的狀態，或使它恢復到更有活力的狀態。

(二) 南灣海域珊瑚群聚變遷的原因探討

根據南灣海域珊瑚群聚的監測記錄(鄒, 1989, 1990, 1991; 郭, 1992, 1993, 1995)和調查期間的野外觀察，泥沙沈積物的覆蓋、松藻大量生長和海葵蔓延可能是導致珊瑚群聚改變的主要原因(戴, 1994; Dai, 1997)。沈積物污染的來源可能是由於沿岸土地開發，水土保持不當所致；松藻的大量生長則可能與有機污染有關。海葵蔓延肆虐的原因及影響珊瑚的機制則仍不明。

1. 沈積物

珊瑚必須生長在水質清澈的環境中，雖然珊瑚在正常情況下，可以自行清除少量的沈積物，牠們卻無法忍受沈積物過多的環境。許多研究已經指出沈積物是影響珊瑚生長的重要因素，包括降低珊瑚的生長速率 (Hubbard and Scaturro, 1985; Tomascik and Sander, 1987a)、能量代謝效率 (Stafford-Smith, 1993; Riegl and Branch, 1995; Telesnicki and Goldberg, 1995) 及繁殖力 (Tomascik and Sander, 1987b; Rogers, 1983, 1990; Sakai and Nishihira, 1991)，甚至降低或影響珊瑚幼生的著生 (Rogers et al., 1984; Hunte and Wittenberg, 1992)；過多的沈積物會使珊瑚窒息死亡，較少量的沈積物也會降低珊瑚的生長速率，妨礙珊瑚幼生的附著。由於不同珊瑚種類對沉積物的反應不同，沈積物又往往不易被分解或清除，會因海浪的翻攪而持續造成污染，因此沉積物的長期作用常會改變珊瑚群聚的結構和種類組成 (Tomascik and Sander, 1987a; Chou and Yamazato, 1990; Wittenberg and Hunte, 1992; Riegl, 1995; Riegl et al. 1995; McClanahan and Obura, 1997)。

造成墾丁國家公園沿岸沈積物污染的主要原因可能是：(1)沿岸地區土地開發的水土保持不良，導致雨季時表土被沖刷入海，使沿岸海域水質變濁；(2)沈積至海底的泥沙受海流、波浪的作用，被重新攪起，造成二度污染；(3)特殊的氣候型態 (降雨集中) 與不良的地質條件 (岩性鬆軟、易受侵蝕的土壤)，導致暴雨時間，大量泥沙被沖刷入海，對海域造成嚴重污染 (莊, 1993)。沈積物污染仍是目前墾丁國家公園海域普遍的污染源，在南灣海域珊瑚群體受沈積物覆蓋而受損或死亡的現象相當常見，尤其是葉片形和表覆形的珊瑚最易受沉積物覆蓋的影響。然而，由珊瑚礁的現況看來，這些沉積物對珊瑚的傷害，雖然普遍存在，但是只造成一些珊瑚群體部分死亡的現象，並未造成大規模的珊瑚死亡，因此，在本研究的四個調查地點中，只有在跳石海域的中段，反映出比較明顯的影響；但是，沉積物會抑制珊瑚幼生的附著，或使附著的幼生窒息而死，這可能是造成目前珊瑚群聚中幼生數量很少的主要原因；而珊瑚幼生的加入量很少，將會減緩或抑制珊瑚群聚的復原，降低珊瑚群聚的更新，這種現象將不利於珊瑚群聚的永續，因此，南灣海域的沉積物污染是必須重視的問題。至於沉積物污染的防治和水土保持，莊 (1993) 已提出具體的防治措施，若能落實這些防治措施，應當可以充分減輕沉積物污染源，改善目前南灣海域沉積物過多的現況。

2. 松藻的影響

松藻在南灣海域大量生長的現象大約始於民國七十六年 (張及戴, 1987; 鄒, 1989)，起初只發生在跳石海域，最近幾年來已蔓延至南灣其他海域，在每年的二月至六月，常可見到數種大型海藻 (包括松藻和乳節藻) 大量繁衍生長，直到 6 月以後，海藻族群的數量才逐漸降低。這種松藻大量生長的現象，尤其在跳石至潭子海域水深 3 至 12 m 的地區最明顯，其中屬於多核管狀綠藻的交織松藻 (*Codium intricatum*)，以匍匐蔓延的生長方式覆蓋於礁石上，使得該處珊瑚與其他固著生物的生長空間受到嚴重威脅，此一現象可能是引起跳石海域珊瑚群聚變遷的主要原因之一。

國外許多研究都指出底棲大型海藻的大量繁生是改變珊瑚礁群聚結構的重要因素 (Maragos et al. 1985; Pastorok and Bilyard, 1985; Hughes, 1994; Andres and Witman, 1995; Grigg, 1995)。一般而言，珊瑚礁屬於貧營養鹽的海域，大型海藻的生長往往受到營養鹽供應的限制，加上草食性魚類及海膽等動物的攝食，海藻的種類應以珊瑚藻及含鈣

質的藻類居多，葉狀大型海藻出現的機會則較低 (Ogden and Lobel, 1978; Hughes et al. 1987)。但當珊瑚礁海域的營養鹽升高時，葉狀大型海藻的生長速率就會增加，使得海藻的競爭能力增強，進而改變整個珊瑚礁群聚的結構與功能 (Pastorok and Bilyard, 1985; Tomascik and Sander, 1987a; Wittenberg and Hunte, 1992; Peckol and Rivers, 1995)。位於夏威夷的 Kaneohe 灣，就因將污水放流至港灣中，導致海藻生物量增加，造成某些地區珊瑚的覆蓋率大幅減少 (Smith et al., 1981)。此外，嚴重的過漁現象，使得草食性魚類與海膽的族群數量驟減，造成攝食海藻的壓力大幅降低，也增加海藻在珊瑚礁上大量繁生的機會 (Hughes et al. 1987; Hughes, 1989, 1994; Coyer et al., 1993)。由於海藻生長的速度較快，因此海藻在與珊瑚接觸時，通常是海藻較佔優勢 (Tanner, 1995)；絲狀的海藻也會限制珊瑚幼生的固著，或直接覆蓋在珊瑚幼生上面，或是使其掉入海藻所聚積的沈積物中而死亡 (Hunte and Wittenberg, 1992)。此外，海藻也可能會分泌化學物質，以抑制軟珊瑚的生長 (de Nys et al. 1991)。由此可見，大型海藻的大量生長可能經由許多不同的機制影響珊瑚的生長。

造成南灣海域松藻大量繁衍的原因，目前仍缺乏具體的證據和生態模式來解釋它，然而，根據國外珊瑚礁藻類大量繁生的前例推測，可能與南灣海域的有機污染物質增加，以及草食性魚類和海膽族群銳減有關。近年來，墾丁國家公園的遊憩人口增加，使得相關的餐旅服務業快速成長，相對的也產生大量的有機廢水，這些富含營養鹽的廢水如果未經適當處理，直接排入海洋，就會對珊瑚礁生態系帶來不利的影響，珊瑚礁海域的廢水污染曾經發生在紅海 (Walker and Ormond, 1982)、加勒比海 (Tomascik and Sander, 1987a, b; Hughes, 1994)，以及夏威夷 (Smith et al., 1981; Maragos et al. 1985; Grigg, 1995) 等地。許多前例都指出有機污染造成藻類大量生長，危害珊瑚的生存。而在增建污水處理設施，污染獲得改善之後，珊瑚礁生物群聚就逐漸呈現明顯的復原 (Maragos et al. 1985; Grigg, 1995)，目前南灣地區正在興建污水處理場，待完工啓用後，未來應可減少南灣海域珊瑚礁區的有機污染源，減輕松藻對珊瑚的影響；然而為了全面防治墾丁國家公園海域的有機污染，應儘速在各個聚落籌建污水處理場，以減輕有機污染對墾丁海域珊瑚礁的影響。

3. 海葵的影響

南灣跳石海域海葵大量生長的現象，可能也是導致該海域珊瑚群聚變遷的原因之一。在野外調查時經常可見海葵密集生長在石珊瑚分枝基部的現象，其接觸部位常造成珊瑚組織壞死。然而，海葵對珊瑚的影響及其作用機制，目前仍不清楚，國外珊瑚礁區也無類似海葵肆虐的前例，僅有擬珊瑚海葵 (corallimorpharian) 與珊瑚競爭空間，造成珊瑚死亡的報導 (Chadwick, 1987, 1991)。跳石海域的海葵出現於該區珊瑚遭受沉積物污染影響之後，而且海葵主要生長在分枝狀珊瑚的基部，因此，究竟是珊瑚先死亡，提供海葵附著的基質，或者係由於海葵大量繁殖造成珊瑚死亡，仍待實驗證明。然而，不論那一機制，海葵大量生長的現象都會妨礙珊瑚幼生的附著和珊瑚群聚的復原，海葵的蔓延生長無疑使得跳石海域原本飽受污染影響的珊瑚群聚更加惡化；而且，海葵附著生長也可能破壞珊瑚骨骼的堅固性，使其更易受外來破壞力量的侵襲，因此使得跳石海域的珊瑚群聚在颱風過後被夷為平地。海葵的防治可能必須借助於其天敵或用人力清除，然而目前尚未發現該種海葵的天敵，而且我們對其生活史特徵也不瞭解，需要更進一步的研究，才能研擬適當的防治對策。

五、結 論

本研究完成了南灣海域四個調查地點(核三廠排水口附近、後壁湖、跳石、香蕉灣等海域)珊瑚群聚的定量調查,並與1978年的資料比較,結果發現僅跳石海域的珊瑚群聚產生了顯著的變遷,其餘海域的珊瑚群聚大多仍維持在1987年的狀態,群聚的各項指數僅有小幅的變動,大致上沒有顯著的改變,然而珊瑚群體受傷或部份死亡的情形卻普遍存在,這種現象顯示南灣海域的珊瑚群聚對環境改變的耐受度相當強,這可能與此海域經常受到颱風侵襲的影響有關。

造成跳石海域珊瑚群聚變遷的原因,可能與歷年來的沉積物污染、松藻及海葵大量生長有關。沉積物污染的來源可能是由於沿岸土地開發時,水土保持不當所致;松藻的大量生長可能與有機污染有關,而海葵蔓延生長的原因和影響機制仍不明。

南灣海域珊瑚群聚幼生的加入量甚低,珊瑚幼生的加入量可能是受底質的沉積物過多及藻類繁生等因素的影響,使得適合珊瑚幼生附著的底質減少,因而降低了珊瑚成功附著的機會。珊瑚幼生的加入量低,將會抑制珊瑚群聚的復原,降低珊瑚群聚的更新速率,這種現象將不利於珊瑚群聚的永續,因此,南灣海域的沉積物污染是必須重視的問題。

由於珊瑚群聚的改變往往是一種相變的型式,珊瑚群聚在一定的限度之內,可以忍受環境因子變遷的衝擊,但是超過此限度時,就會產生難以復原的劇烈變遷,因此,雖然目前南灣海域的珊瑚群聚大多仍處於穩定狀態,但是珊瑚群體死亡和幼生數量很少等現象顯示南灣海域的珊瑚群聚正遭受污染的衝擊,為了防止珊瑚群聚產生無法復原的變遷,應儘速進行污染防治和保育工作以確保珊瑚群聚的永續發展。

六、誌 謝

本研究由內政部營建署墾丁國家公園管理處補助研究經費,林存德副處長、保育研究課劉新明課長提供許多寶貴建議,南北潛水蔡永春及蔡永隆先生協助調查作業,謹此誌謝。

七、引用文獻

- 莊正賢, 1993。墾丁國家公園石牛溪流域泥沙沖蝕調查及防治措施之研究, 自行研究報告第19號, 86頁。
- 張崑雄、戴昌鳳, 1987。墾丁國家公園海域珊瑚礁及海洋生物生態研究—海域珊瑚類的分佈及群聚生態學之研究, 內政部營建署墾丁國家公園管理處保育研究報告第42號之4, 77頁。
- 郭坤銘, 1992。墾丁國家公園海域珊瑚及珊瑚礁底棲生物監測調查報告, 內政部營建署墾丁國家公園管理處自行研究報告第12號, 64頁。
- 郭坤銘, 1993。墾丁國家公園海域珊瑚及珊瑚礁底棲生物監測調查報告, 內政部營建署墾丁國家公園管理處自行研究報告第20號, 82頁。

- 郭坤銘, 1996。墾丁國家公園海域珊瑚礁之機械性破壞與復原情形調查報告, 內政部營建署墾丁國家公園管理處自行研究報告第27號。
- 鄒燦陽, 1989。墾丁國家公園海域珊瑚白化調查分析, 內政部營建署墾丁國家公園管理處自行研究報告第2號, 31頁。
- 鄒燦陽, 1990。墾丁國家公園海域生態環境監測調查報告, 內政部營建署墾丁國家公園管理處自行研究報告第6號, 39頁。
- 鄒燦陽, 1991。墾丁國家公園海域底棲生物監測調查總結報告, 內政部營建署墾丁國家公園管理處自行研究報告第9號。
- 戴昌鳳, 1994。國家公園海洋生態資源保育的回顧與展望, 國家公園保育工作十年的回顧與展望研討會會議手冊第19-31頁, 內政部營建署。
- 戴昌鳳, 1996。墾丁國家公園海域珊瑚相及其生態保育, 第四屆珊瑚礁生物研討會論文集32頁, 內政部營建署墾丁國家公園管理處。
- Andres, N. G. and J. D. Witman. 1995. Trends in community structure on a Jamaican reef. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **118**: 305-310.
- Anonymous. 1991. Reports of UNEP-IOC-WMO-IUCN meetings of experts on a long-term global monitoring system of coastal and near-shore phenomena related to climate change, pilot projects on mangroves and coral reefs. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO.
- Bak, R. P. M. and G. Nieuwland. 1995. Long-term change in coral communities along depth gradients over leeward reefs in the Netherlands Antilles. *Bull. Mar. Sci.* **56**: 609-619.
- Bouchon, C. 1981. Quantitative study of the scleractinian coral communities of a fringing reef of Reunion Island (Indian Ocean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **4**: 273-288.
- Bouchon, C. 1985. Quantitative study of scleractinian coral communities of Tiahura reef (Moorea Island, French Polynesia). *Proc. 5th Int. Coral Reef Congr., Tahiti* **6**: 279-284.
- Bull, G. D. 1982. Scleractinian coral communities of two inshore high island fringing reefs at Magnetic Island, North Queensland. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **7**: 267-272.
- Chadwick, N. E. 1987. Interspecific aggressive behavior of the corallimorpharian *Corynactis californica* (Cnidaria: Anthozoa): effects on sympatric corals and sea anemones. *Biol. Bull.* **173**: 110-125.
- Chadwick, N. E. 1991. Spatial distribution and the effects of competition on some temperate scleractinian and corallimorpharia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **70**: 39-48.
- Chiappone, M. and K. M. Sullivan. 1991. A comparison of line transect versus linear percentage sampling for evaluating stony coral (Scleractinia and Milleporina) community similarity and area coverage on reefs of the central Bahamas. *Coral Reefs* **10**: 139-154.
- Chou, L. M. and K. Yamazato. 1990. Community structure of coral reefs within the vicinity of Motobu and Sesoko, Okinawa, and the effects of human and natural influences. *Galaxea* **9**: 9-75.
- Connell, J. H. 1997. Disturbance and recovery of coral assemblages. *Coral Reefs* **16**: S101-S113.
- Connell, J. H., T. P. Hughes, and C. C. Wallace. 1997. A 30-year study of coral abundance, recruitment, and disturbance at several scales in space and time. *Ecol. Monogr.* **67**: 461-488.

- Coyer, S. A., R. F. Ambrose, J. M. Engle and J. C. Carroll. 1993. Interactions between corals and algae on a temperate zone rocky reef: Mediation by sea urchins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **167**: 21-37.
- Dai, C.-F. 1988. Coral communities on the fringing reefs of southern Taiwan. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp. Australia* **2**: 647-652.
- Dai, C.-F. 1990. Interspecific competitions in Taiwanese corals with special reference to interactions between alcyonacean and scleractinian corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **60**: 291-297.
- Dai, C.-F. 1991a. Distribution and adaptive strategies of alcyonacean corals in Nanwan Bay, Taiwan. *Hydrobiologia* **216**: 241-246.
- Dai, C.-F. 1991b. Reef environment and coral fauna of southern Taiwan. *Atoll Res. Bull.* **354**: 1-28.
- Dai, C.-F. 1993. Patterns of coral distribution and benthic space partitioning on the fringing reefs of southern Taiwan. *Mar. Ecol.* **42**: 185-204.
- Dai, C.-F. 1996. Dynamics of coral communities. In: Turner, I.M., C. H. Diong, S. S. L. Lim and P. K. Ng (eds.), *Biodiversity and the Dynamics of Ecosystems*. DIWPA Series Vol. **1**: 243-260.
- Dai, C.-F. 1997. Assessment of the present health of coral reefs in Taiwan. In Grigg, R. W. and C. Birkeland (eds.), *Status of Coral Reefs in the Pacific*, pp. 123-131. Sea Grant Program, University of Hawaii.
- De Nys, R., J. C. Coll and I. R. Price, 1991. Chemically mediated interactions between the red alga *Plocanium namatum* (Rhodophyta) and octocoral *Simularia cucinata* (Alcyonacea). *Mar. Biol.* **108**: 315-320.
- Dollar, S. J. and G. W. Tribble. 1993. Recurrent storm disturbance and recovery: a long-term study of coral reef communities in Hawaii. *Coral Reefs* **12**: 223-233.
- Done, T. J. 1992a. Constancy and changes in some Great Barrier Reef coral communities: 1980-1990. *Amer. Zool.* **32**: 655-662.
- Done, T. J. 1992b. Phase shifts in coral reef communities and their ecological significance. *Hydrobiologia* **247**: 121-132.
- Edmunds, P. J. and J. F. Bruno. 1996. The importance of sampling scale in ecology: kilometer-wide variation in coral reef communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **143**: 165-171.
- Goreau, T. J. 1992. Bleaching and reef community change in Jamaica: 1951-1991. *Amer. Zool.* **32**: 683-695.
- Grigg, R. W. 1995. Coral reefs in an urban embayment in Hawaii: a complex case history controlled by natural and anthropogenic stress. *Coral Reefs* **14**: 253-266.
- Hubbard, D. K. and D. Scaturo 1985. Growth rates of seven species of scleractinian corals from Cane Bay and Salt River, St. Croix, U.S.V.I. *Bull. Mar. Sci.* **36**: 325-338.
- Hughes, T. P. 1989. Community structure and diversity of coral reefs: the role of history. *Ecology* **70**: 275-279.
- Hughes, T. P. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* **265**: 1547-1551.
- Hughes, T. P. 1996. Demographic approaches to community dynamics: a coral reef example. *Ecology* **77**: 2256-2260.
- Hughes, T. P., D. C. Reed and M.-J. Boyle. 1987. Herbivory on coral reefs: community structure following mass mortalities of sea urchins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **113**: 39-59.

- Hunte, W. and M. Wittenberg. 1992. Effects of eutrophication and sedimentation on juvenile corals. II. Settlement. *Mar. Biol.* **114**: 625-631.
- Jackson, J. B. C. 1992. Pleistocene perspectives on coral reef community structure. *Amer. Zool.* **32**: 719-731.
- Karlson, R. H. and L. E. Hurd. 1993. Disturbance, coral reef communities, and changing ecological paradigms. *Coral Reefs* **12**: 117-125.
- Karlson, R.H. and H.V. Cornell. 1998. Scale-dependent variation in local vs. regional effects on coral species richness. *Ecol. Monogr.* **68**: 259-274.
- Knowlton, N. 1992. Thresholds and multiple stable states in coral reef community dynamics. *Amer. Zool.* **32**: 674-682.
- Liddell, W. D. and S. L. Ohlhorst. 1992. Ten years of disturbance and change on a Jamaican fringing reef. *Proc. 7th Int. Coral Reef Symp.* **1**: 144-150.
- Loya, Y. 1972. Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. *Mar. Biol.* **13**: 100-123.
- Maragos, J.E., C. Evans & P.J. Holthus, 1985. Reef corals in Kaneohe Bay six years before and after termination of sewage discharge. *Proc. 5th Int. Coral Reef Cong., Tahiti* **4**: 189-194.
- McClanahan, T. R. and D. Obura. 1997. Sedimentation effects on shallow coral communities in Kenya. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **209**: 103-122.
- Ogden, J. C. and P. S. Lobel. 1978. The role of herbivorous fishes and urchins in coral reef communities. *Environ. Biol. Fish.* **3**: 49-63.
- Pastorok, R. A. and G. R. Bilyard. 1985. Effects of sewage pollution on coral reef communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **21**: 175-189.
- Peckol, P. and J. S. River. 1995. Physiological responses of the opportunistic macroalgae *Cladophora vagabunda* (L.) van den Hoek and *Gracilaria tikvahiae* (McLachlan) to environmental disturbances associated with eutrophication. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **190**: 1-16.
- Porter, J. W. 1972. Patterns of species diversity in Caribbean reef corals. *Ecology* **53**: 745-748.
- Porter, J. W. and O. W. Meier. 1992. Quantification of loss and change in Floridian reef coral populations. *Amer. Zool.* **32**: 625-640.
- Riegl, B. 1995. Effects of sand deposition on scleractinian and alcyonacean corals. *Mar. Biol.* **121**: 517-526.
- Riegl, B. and G. M. Branch. 1995. Effects of sediment on the energy budgets of four scleractinian (Bourne 1900) and five alcyonacean (Lamouroux 1816) corals. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **186**: 259-275.
- Riegl, B., M. H. Schleyer, P. J. Cook and G. M. Branch. 1995. Structure of Africa's southernmost coral communities. *Bull. Mar. Sci.* **56**: 676-691.
- Rogers, C. S. 1983. Sublethal and lethal effects of sediments applied to common Caribbean reef corals in the field. *Mar. Pollut. Bull.* **14**: 378-382.
- Rogers, C. S. 1990. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **62**: 185-202.
- Rogers, C. S. 1993. Hurricanes and coral reefs: the intermediate disturbance hypothesis revisited. *Coral Reefs* **12**: 127-137.
- Rogers, C. S., H. C. Fitz, M. Gilnack, J. Beets and J. Hardin. 1984. Scleractinian coral

- recruitment patterns at Salt River submarine canyon, St. Croix, U.S.V.I. *Coral Reefs* **3**: 69-76.
- Sakai, K. and M. Nishihira. 1991. Immediate effect of terrestrial runoff on a coral community near a river mouth in Okinawa. *Galaxea* **10**: 125-134.
- Shulman, M. J. and D. R. Robertson. 1996. Changes in the coral reefs of San Blas, Caribbean Panama: 1983 to 1990. *Coral Reefs* **15**: 231-236.
- Smith, S. V., W. J. Kimmerer, E. A. Laws, R. E. Brock and T. W. Walsh. 1981. Kaneohe Bay sewage diversion experiment: perspectives on ecosystem responses to nutritional perturbation. *Pacific Science* **35**: 279-402.
- Stafford-Smith, M. G. 1993. Sediment-rejection efficiency of 22 species of Australian scleractinian corals. *Mar. Biol.* **115**: 229-243.
- Tanner, J. E. 1995. Competition between scleractinian corals and macroalgae: An experimental investigation of coral growth, survival and reproduction. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **190**: 151-168.
- Telesnicki, G. J. and W. M. Goldberg. 1995. Effects of turbidity on the photosynthesis and respiration of two south Florida reef coral species. *Bull. Mar. Sci.* **57**: 527-539.
- Tomascik, T. and F. Sander. 1987a. Effects of eutrophication on reef-building corals. II. Structure of scleractinian coral communities on fringing reefs, Barbados, West Indies. *Mar. Biol.* **94**: 53-75.
- Tomascik T. and F. Sander. 1987b. Effects of eutrophication on reef-building corals. III. Reproduction of the reef building coral *Porites porites*. *Mar. Biol.* **94**: 77-94.
- Walker, D. I. and R. F. G. Ormond. 1982. Coral death from sewage and phosphate pollution at Aqaba, Red Sea. *Mar. Pollut. Bull.* **13**: 21-25.
- Weinberg, S. 1981. A comparison of coral reef survey methods. *Bijd. Dierk.* **51**: 199-218.
- Wells, S. M. 1995. Science and management of coral reefs: problems and perspectives. *Coral Reefs* **14**: 177-181.
- Wilkinson, C. R. 1992. Coral reefs of the world are facing widespread devastation: can we prevent this through sustainable management practices? *Proc. 7th Int. Coral Reef Symp., Guam* **1**: 11-21.
- Witman, J. D. 1992. Physical disturbance and community structure of exposed and protected reefs: a case study from St. John, U.S. Virgin Islands. *Amer. Zool.* **32**: 641-654.
- Wittenberg, M. and W. Hunte. 1992. Effects of eutrophication and sedimentation on juvenile corals. I. Abundance, mortality and community structure. *Mar. Biol.* **112**: 131-138.

Changes of Coral Communities in Nanwan Bay, Kenting National Park: 1987-1997

Chang-Feng Dai^(1, 3), Yung-Tse Chen⁽¹⁾, Kun-Ming Kuo⁽²⁾ and Cheng-Hsien Chuang⁽²⁾

(Manuscript received 16 July 1998 ; accepted 10 August 1998)

ABSTRACT: Coral communities at four sites in Nanwan Bay (outlet of the Third Nuclear Power Plant, Hou-bi-hu, Tiao-shi, and Hsiang-chiao-wan), Kenting National Park were resurveyed by the line-transect method. Comparisons with the data obtained in 1987 were made to elucidate the changes of coral communities. The results show that only the coral community at Tiao-shi displays significant decreases in species richness, number of colonies, living coral cover, species diversity and evenness indices. In particular, significant changes were found at depths between 10 and 20 m at Tiao-shi indicating that phase-shift of the coral community may have occurred. Possible factors responsible for the changes of coral communities are sedimentation pollution, bloom of macroalgae, and extensive growth of sea anemones. Minor changes were found in coral communities near the outlet of the Third Nuclear Power Plant and Hou-bi-hu, while no changes were detectable for the coral community at Hsiang-chiao-wan. Very few small coral colonies were found during the survey on coral communities indicating that recruitment rates (<3 recruits/m²) were low. Heavy sedimentation and the profusion of benthic algae are the possible factors that restrict the recruitment of juvenile corals. Low coral recruitment will inhibit the recovery of coral community following disturbances. Bleaching and partial mortality of coral colonies were frequently found in Nanwan Bay indicating that the coral communities were under severe pollution stresses and protective measures must be taken to ensure the sustainable development of coral communities.

KEYWORDS: Kenting, Coral Community, Marine Ecology.

1. Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, Republic of China.

2. Kenting National Park Headquarters, 596 Kenting Road, Hengchun, Pingtung 946, Taiwan, Republic of China.

3. Corresponding author.