

人為活動對墾丁國家公園海域生態衝擊之長期監測研究及生態與環境資料庫建立

孟培傑¹、陳正平¹、鍾國南¹、劉銘欽¹、樊同雲¹
、張家銘¹、田文敏²、張揚祺²、林幸助³、方力行¹、邵廣昭^{4,5}

(收稿日期：2004年9月27日；接受日期：2004年11月2日)

摘 要

本研究目的主要在調查及評估，各種人為活動因子對墾丁國家公園珊瑚礁海域及生態環境的衝擊，希望就人為活動對海域的衝擊研擬解決對策，以期結果能提供決策單位作為參考。此計畫已進行三年，由資料統計分析結果可知，影響墾丁海域珊瑚礁生態環境的主要因子為：漁業活動、棲地破壞（沉積物）、廢水排放、遊憩活動...等，由於人為活動彼此相互牽連且共同影響，因此會造成更大的衝擊。為保育墾丁海域珊瑚礁生態環境，結合具有地理座標屬性之高解析度海床影像—以側掃聲納系統與水下攝影系統，進行墾丁海域現生珊瑚礁分布調查，建立珊瑚礁所在位置與珊瑚礁之現況等地理資訊資料作為計畫的背景資料，以比對人為因子對海域的衝擊。此外，資料庫建立，將研究內容與成果提供給社會大眾，藉由網站的資料收集使決策者能夠更了解生態系之運作，在制定相關政策與規劃環境時，重視到生態問題，落實自然資源保育與環境保護，推行各項海洋環境相關保護措施，加強珊瑚礁保育之教育宣導，輔導不採捕珊瑚礁生物或食用珊瑚礁魚類，訂定海上遊憩活動管理辦法，重新檢討與積極劃設推動海洋保護區，並且落實管理觀光事業有機廢水排放與執行取締，有效控制海岸之開發，減少對環境負面影響，以達永續發展的最終目標。

關鍵詞：墾丁海域，人為活動，珊瑚礁，生態環境，永續發展

一、前 言

-
1. 國立海洋生物博物館。
 2. 國立中山大學。
 3. 國立中興大學。
 4. 中央研究院動物研究所。
 5. 通訊作者。

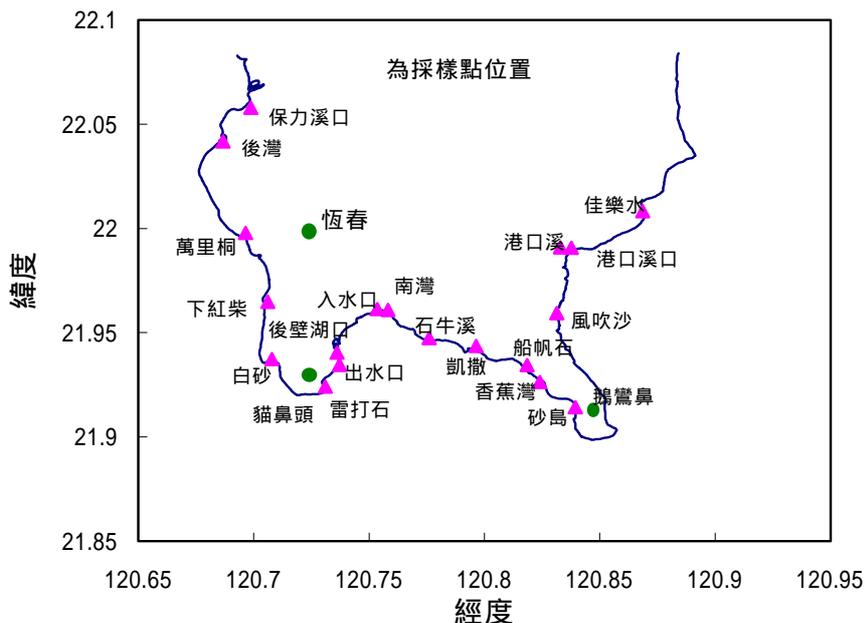
墾丁國家公園是國內唯一涵蓋海域的國家公園。擁有珊瑚礁海洋生態系，是台灣海洋生物多樣性最高的區域之一，由於人為破壞、觀光事業發展...等，正直接或間接破壞這片珍貴且富觀光價值的海洋生態系，為了保育墾丁的珊瑚礁生態系，國內已經有許多學者投入大量的心力從事本區海域生態的研究。在行政院國科會的支持下，正推動「墾丁國家公園海域長期生態研究計畫」計畫（簡稱墾丁 LTER 計畫），整合水層乃至海底棲所、生物群聚及生態系兩層次的研究資料。因沿岸海域環境變化與鄰近陸域的人為活動息息相關，因此人為因素的干擾極為重要的，由墾管處推動此長期生態研究計畫第三年—墾丁國家公園海域長期生態研究計畫-人為活動對海域生態衝擊之長期監測研究(III)及生態與環境資料庫建立(II)，持續不斷的監測紀錄及發現新議題，並於 92 年加入海洋生物及海域監測調查（墾丁海域現生珊瑚礁的分布與現況普查、海草床生態監測、潮間帶水質監測）。以期學術成果能有更精確更完整的資料，提供給決策單位做參考。而墾丁海域長期生態監測的研究成果應為全民共享，將研究內容與成果提供給社會大眾，並協助決策者規劃及制定相關政策時，能重視生態與環境的議題，如此可期減少負面影響，落實自然資源保育及永續性與環境保護。

二、材料及方法

(一) 人為活動對海域生態所造成之衝擊研究

廢水排放監測：

本計畫之目標在九十二年一月起至九十二年十二月止，監測墾丁國家公園沿岸海域各珊瑚生長區域、排水溝渠及河川出海口附近，共十九個測站(如圖一)之水樣，每季進行一次水質採樣及分析，以持續追蹤瞭解沿岸海域海水中各種水質因子及營養鹽之時空分佈變化情形，進而對該海域水質環境品質是否遭受人為活動影響加以評估。現場立即進行物理儀器測量(溫、鹽、溶氧及酸鹼度)後，將水樣分裝成不同之保存瓶，依環保署公告之方法加以保存(NIEA W102.50A)，在規定時限之內送回實驗室，並依規定之時限內進行化學分析;其採樣程序及分析過程皆經由嚴密的品保/品管(QA/QC)流程(包括重複分析、添加回收率、檢量線製作、方法偵測極限之建立、空白實驗、查核樣品分析等步驟)，利用控制圖(Control chart)之方式加以控管分析數據之品質。



圖一. 廢水排放、沉積物採樣監測點

遊憩活動：

1. **調查範圍：**墾丁國家公園沿海。

2. **遊憩強度：**本計畫針對9項海岸活動共進行17個遊憩點（後灣、石株、萬里桐、山海、紅柴坑、合界、白砂、出水口右、出水口左、南灣、小灣、船帆石1、船帆石2、香蕉灣、砂島、風吹沙、佳樂水之觀測統計。每月調查二假日及二非假日共四日，每天上下午各進行一次觀測計數，統計各遊憩點進行遊憩之人數或工具數，各遊憩點每月遊憩強度計算方式為： $[(\text{假日兩天上下午總人數})/2 \times \text{當月假日天數}] + [(\text{非假日兩天上下午總人數})/2 \times \text{當月非假日天數}] = \text{當月總人數}$ 。

3. **潮間帶珊瑚覆蓋率：**對出水口左、出水口右、跳石、船帆石、香蕉灣及萬里桐等6個點遊客下水浮潛處之潮間帶進行穿測線調查。即取與海岸垂直方向拉出一直線至水深2米為止，其間每500cm為一單位，不滿500cm則記錄實際長度，記錄每單位測線所壓過的每株珊瑚型態及公分數。每單位珊瑚覆蓋率 = 所壓過珊瑚總公分數/500 × 100%。測站覆蓋率 = 各單位覆蓋率平均數。珊瑚型態組成 = 單一型態珊瑚總公分數/測站全部珊瑚總公分數 × 100%。各種珊瑚型態以S表示軟珊瑚、M表示團塊形珊瑚、L表示葉片狀珊瑚、B代表樹枝狀珊瑚（含指狀珊瑚）、C代表表覆形珊瑚、W代表脆弱的軸孔珊瑚。

4. **潮間帶珊瑚之毀損率調查：**總計穿測線上受損珊瑚之個體數，除以總珊瑚個體數，即得0至1間之毀損率。

5. 採計海生館每月之入館人數作為比對之參考，資料來源為海景公司每月統計報表。

6. 水上摩托車之慢車測試以車齡兩年內之YAMAHA水上摩托車為對象，於上岸後清洗車輛時灌入系統後之排水為檢測目標。

漁業活動：

本年度延續去年之調查方法，以漁民及海產店的問卷與實際訪問調查為方式，來了解墾丁地區漁業活動情形，用以了解沿岸珊瑚礁魚類被捕獲數量與種類。漁民之調查，以目前在墾丁海域較常見之兩種作業：一支釣及潛水打魚者為調查對象，各選三個標本戶，請其詳細填寫日報表，來看本海域珊瑚礁魚類之人為捕捉量之情形。

所有標本戶之問卷均以每日填寫方式進行，得到之每月捕獲或使用資料均為實際值而非推估值。但捕獲魚種上，標本戶填寫之魚種資料為大類之資料；我們委託漁民漁獲拍照，與海產店及漁市場自行前往記錄之方式，來記錄墾丁國家公園內人為利用魚種之名錄，以補問卷之不足。

棲地破壞-水中懸浮固體：

1. **濁度分析：**在墾丁國家公園海域範圍內之沿岸選擇13處具代表性之測站，包括保力溪口、後灣、萬里桐、白砂、核三出水口、核三入水口、南灣、石牛溪、小灣、香蕉灣、龍坑、風吹沙、港口溪口（如圖一），每月進行一次濁度資料調查及一小時沈積物分析，以建立

墾丁國家公園海域水中懸浮固體分布狀況之資料。測站之選擇主要考慮為河口地區、人為排放口及主要遊憩點。

2. **粒徑分析與總有機碳量及總氮量**：分別於雨季及非雨季於墾丁國家公園海域範圍內，利用潛水方式進行沉積物採樣，並攜回實驗室分析沈積物之粒度、粉泥黏土 (silt) 含量、篩選係數 (Sorting coefficient)，以及總有機碳量 (TOC) 及總氮量 (TN)，藉以了解該海域不同季節沈積環境的變化，包括了沈積物沈降環境之變化及海域之擾動。如此有助於了解海域環境變化的趨勢。

(二) 生態與環境資料庫

海床地貌：

本研究計畫之主旨在於使用工程探勘之方式(側掃聲納系統與水下攝影機)進行大範圍(墾丁海域)珊瑚礁之現況調查，並將成果以半定量方式繪製珊瑚礁分布圖。本研究所使用之探測系統分為聲學與光學二部分，主要儀器設備項目如下：

1. 側掃聲納〔以Klein Hydroscan 590 Sonar 為主體〕：

- (1)數位聲納圖像記錄器 (Klein 595 digital graphic sonar recorder)。
- (2)雙頻拖魚〔100 與500 kHz〕(Klein 422S-101HF towfish)。
- (3)Sea Mac 船用絞機與Kevlar 強化輕拖纜。

2. 資料收集、儲存與處理系統：

- (1)聲納資料收集與處理系統〔EOSCAN™, Polaris Imaging, Inc.〕。
- (2)聲納資料拼圖軟體〔EOMAP™, Polaris Imaging, Inc.〕。
- (3)聲納資料檢視軟體 (Image Viewer, 自行研發)。
- (4)聲納資料斜距修正軟體 (Slant Range Corrector, 自行研發)。

3. 定位與導航系統：

- (1)差分式全球衛星定位系統 (DGPS) (KGP-931D, Koden ElectronicsCo.)。
- (2)可攜帶式個人電腦。

4. 水下定位系統〔LXT Underwater Tracing System, ORE International, Inc.〕：

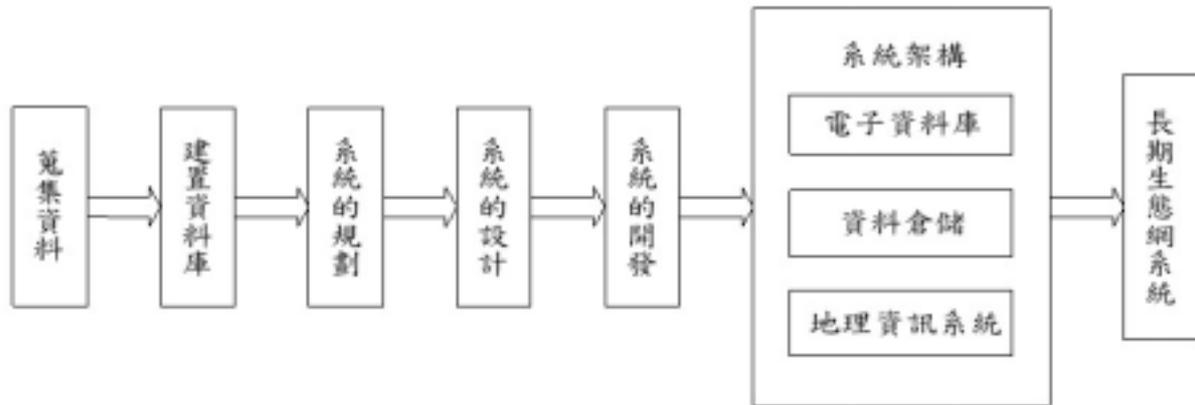
- (1)控制與顯示單元〔Model 4430B〕。
- (2)聲波發射與接收組件〔Model 4213B〕。
- (3)深距多重信號產生器〔Model 4337B〕。
- (4)電子羅盤〔Model 4411B〕。
- (5)整合定位軟體〔IPS software, V3.26〕。

5. 水下攝影系統：

- (1)拖曳式水下攝影機(TOV-1, J.W. Fishers MFG Inc.)。
- (2)影像監視與儲存裝置(TV & VCR)。

環境資料庫建立：

本計畫共分為下面幾項階段，分別為資料蒐集與資料庫建置、網站的開發(包含系統規劃、設計與開發)、系統架構(包含網路地理資訊系統、電子資料庫及資料倉儲等三大部分)，如圖二所示。



圖二. 墾丁長期生態網工作流程圖

(三) 海洋生物及海域監測調查研究

墾丁海域珊瑚監測調查計畫：

利用全球定位系統以及水下數位錄影(Sony, DCR-VX2000)與照相(Olympus C-4040)的方式，調查現生珊瑚礁的分布與現況。全球定位系統所標示地圖上之監測位置，係由 GPS (Garmin XL12)所量測，在沒有差分校正的操作環境下，精確度仍可達 15 公尺；地圖的座標系統採用台灣二度分帶(Taiwan Grid)方格座標。

調查資料包括：現生珊瑚礁的分布範圍；由淺水域至礁區末端深水域的珊瑚群聚現況；珊瑚的覆蓋率分為 <25%、25 至 50% 以及 50 至 100% 等三等級；優勢群集是屬於石珊瑚、軟珊瑚、柳珊瑚、海葵和海藻；代表性珊瑚的種類與群體型態，如分枝形、表覆形、團塊形和葉片形等；底質類別分為沙灘、礁石、礫石和露出裸岩等；以及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等。

墾丁沿岸海草床生態監測計畫：

研究地點位於台灣南部墾丁地區核三廠入水口西側，大光里附近約二公里處之海草床 (120°44'30" E; 21°57'12" N)。海草床位於珊瑚礁棚之潮間帶，底質大多由珊瑚礁、貝殼及有孔蟲等形成之碎屑所組成。海草床主要由泰來草及單脈二藥草所組成。

1. 葉綠素螢光：本實驗所使用沈水式葉綠素螢光測定儀(Diving-PAM, Waltz, Germany)。其測量的方式可分為兩部分：暗適應(dark adaption)及光適應(light adaption)。

- 2.海草最大光效能(Fv/Fm)及實際光效能(Φ)之一日變化。
- 3.缺水實驗：使海草呈現類似低潮時缺水狀態，待分別在處理 30-120 分鐘的缺水後，進行暗處理後，再測定最大光效能。再將海草覆水處理 2h(遮光)後，再測一次最大光效能。以此實驗可得知這兩種海草對於缺水的耐受力如何。
- 4.海草交換棲地移植實驗：分別將 5 個 25×20cm² 樣框內的泰來草及單脈二藥草連同底土挖起，並交換棲地移植，記錄交換棲地前後海草之葉長及葉寬，以代表植株之健康狀態。
- 5.光合作用與光度相關曲線(photosynthesis irradiance curve, P-I curve)海草光合作用與光度的關係，以葉綠素螢光法所得之 ETR 繪製而得。

墾丁海域潮間帶水質監測計畫：

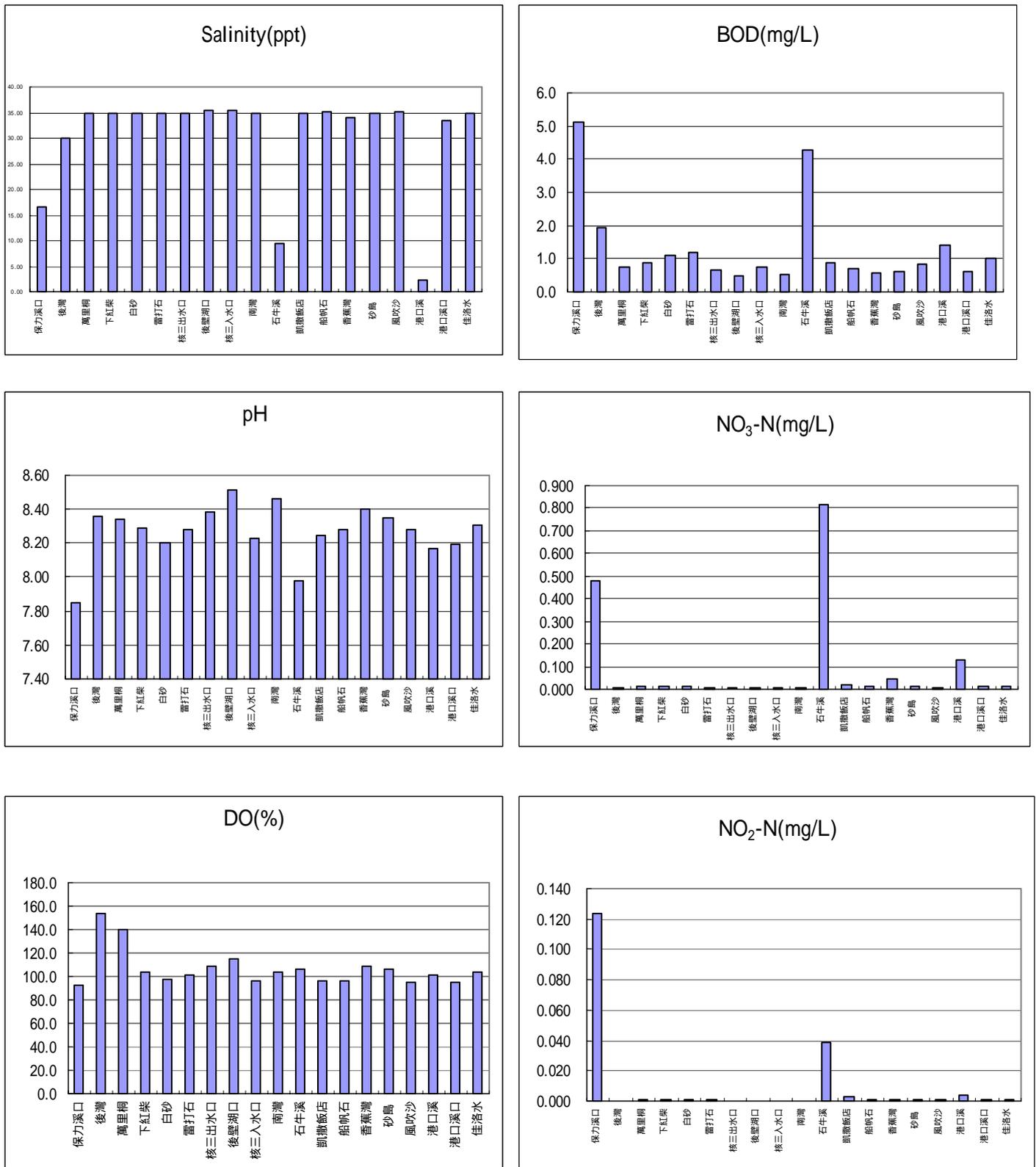
嚴密監測墾丁國家公園沿岸海域各珊瑚生長區域潮間帶附近（萬里桐、跳石、出水口、香蕉灣），共四個測站(如圖一)之水樣，每季進行一次水質採樣及分析，以持續追蹤瞭解沿岸海域海水中各種水質因子及營養鹽之時空分佈變化情形，進而對該海域珊瑚生長之水質環境品質是否遭受人為活動影響加以評估。以每季頻率為原則，採集墾丁國家公園各珊瑚生長之潮間帶附近四個測站表層之水樣，現場立即進行物理儀器(包括溫、鹽、溶氧、酸鹼度)監測後，並將水樣分裝成不同之保存瓶，依環保署公告之方法加以保存(NIEA W102.50A)，在規定時限之內送回實驗室，並依規定之時限內進行化學分析;其採樣程序及分析過程皆經由嚴密的品保/品管(QA/QC)流程(包括重複分析、添加回收率、檢量線製作、方法偵測極限之建立、空白實驗、查核樣品分析等步驟)，利用控制圖(Control chart)之方式加以控管分析數據之品質。

三、結果與討論

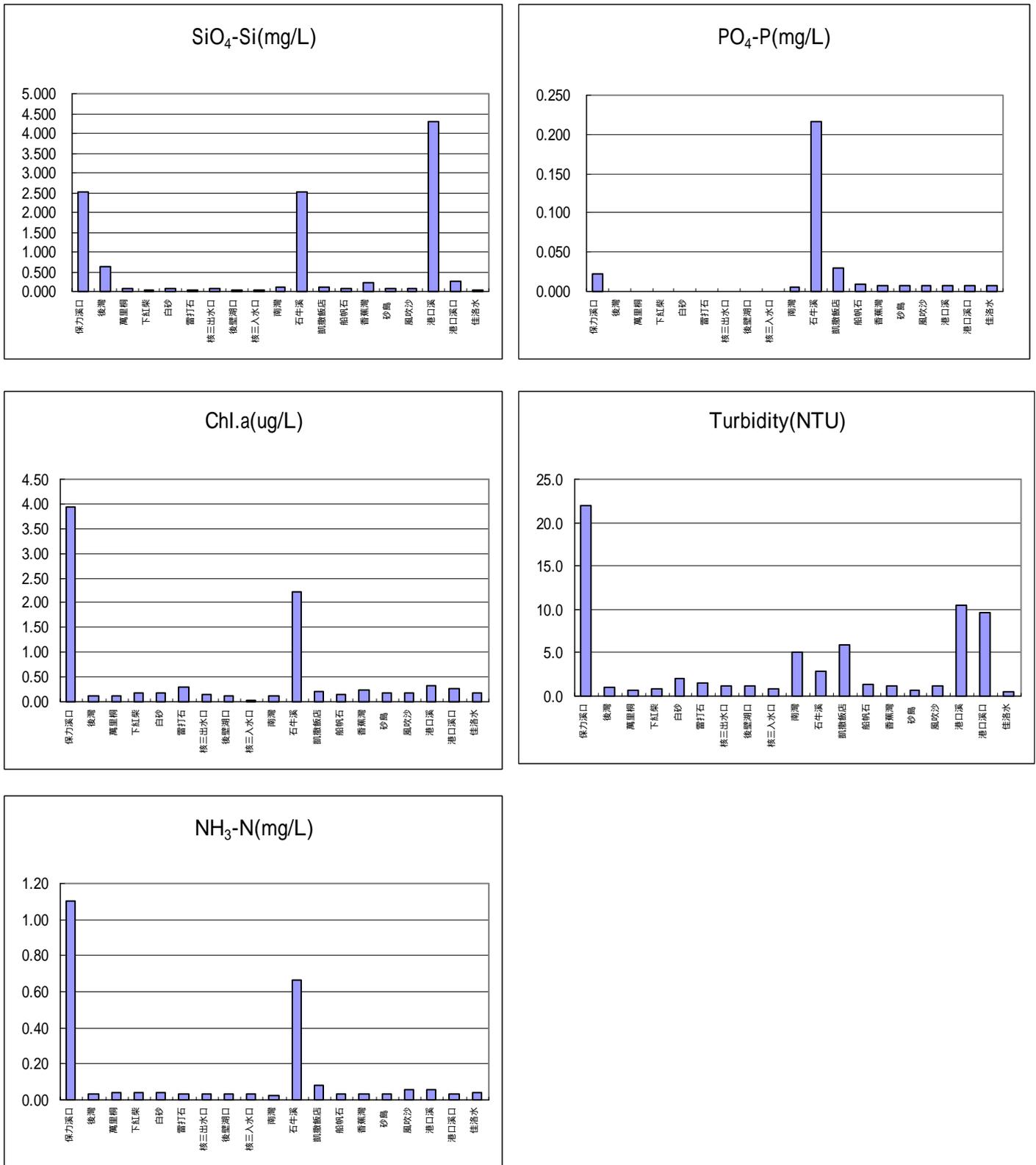
(一) 人為活動對海域生態所造成之衝擊

廢水排放監測：

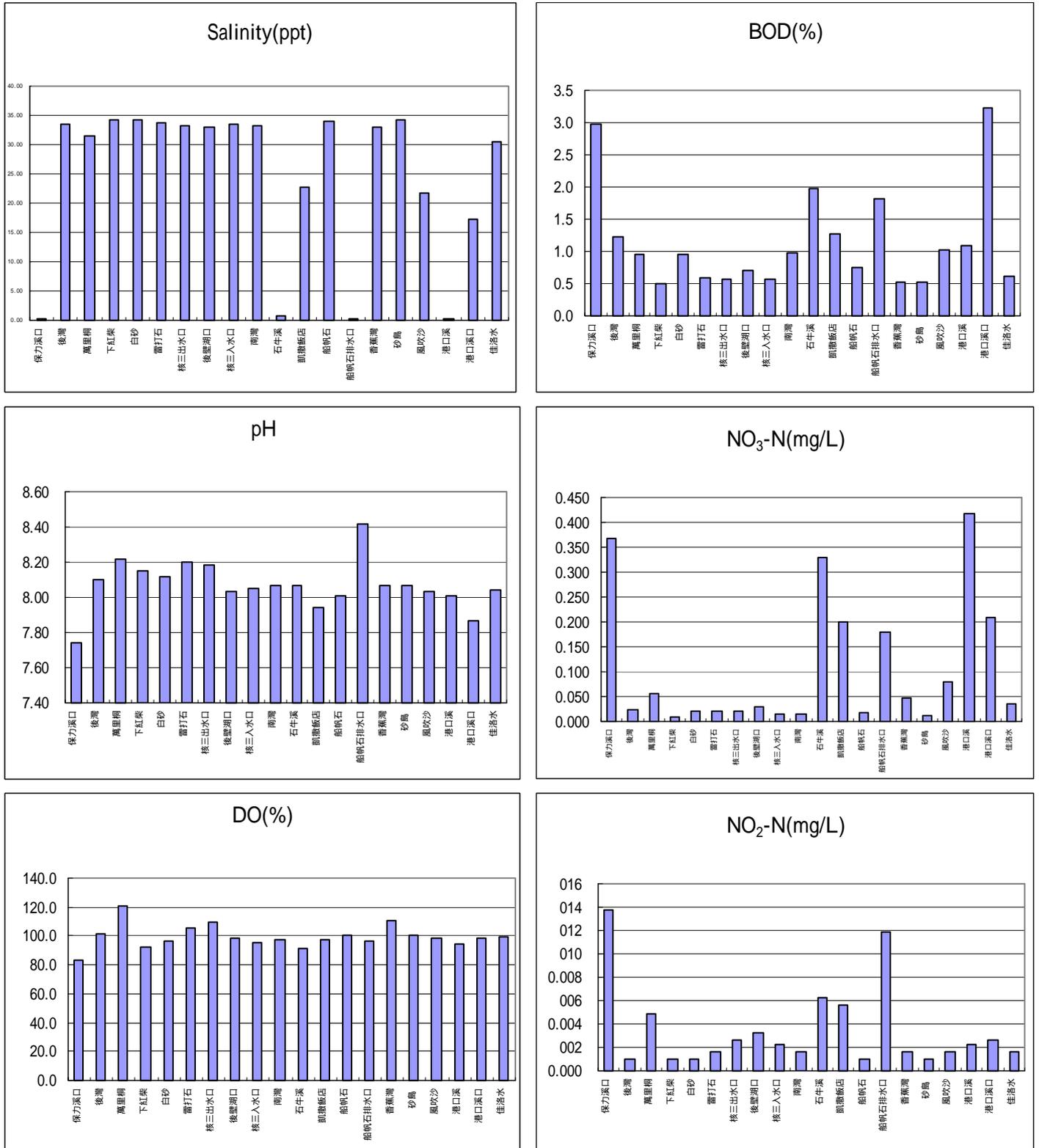
本計畫調查區域之海域，資料顯示部分測站水體已遭受耗氧性污染物質之影響，主要以保力溪及石牛溪較為嚴重，尤其是石牛溪在此監測期間營養鹽、葉綠素甲、溶氧、五天生化需氧量、pH 值及濁度皆出現極高之測值(圖三、四)，顯示其優養化現象明顯，值得主管單位注意。由於台灣中南部降雨月份明顯；在乾旱季時河水近乎乾涸，此時未經處理之都市與畜牧性耗氧性廢水流經河床，被河床之沈積物所吸收累積，待次年春季首次大雨時，突來的大量河水便將上述污染物質沖刷至沿岸海水，並消耗水體中的溶氧，致使魚貝類大量死亡，造成漁民的損失，因此石牛溪水質優養化現象與上述情況極為類似。此外，監測期間部分測站受到陸源河川或溝渠排放之影響含有較高的營養鹽，再者，受到颱風及雨季帶來豪雨之影響，大量雨水沖刷陸地土壤，使得部分海域濁度偏高，相信對該海域生態環境，特別是珊瑚之生長環境條件，已造成相當程度之影響。



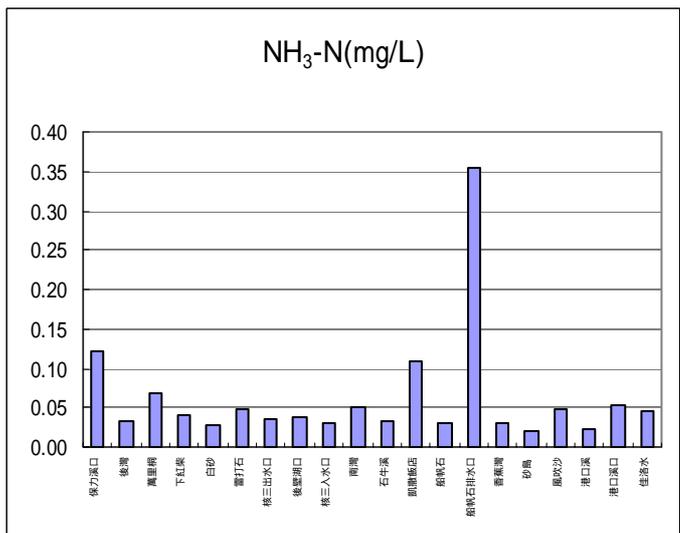
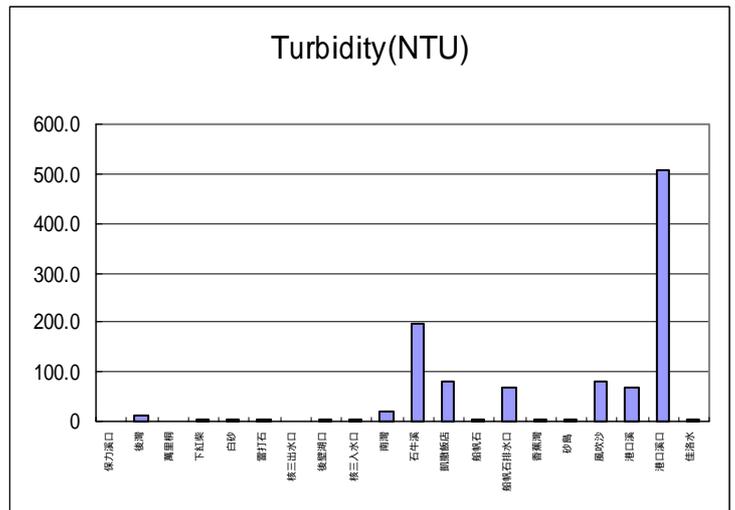
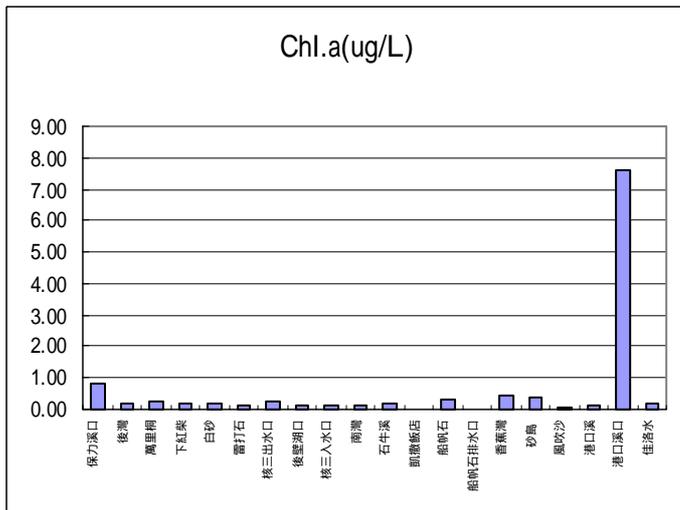
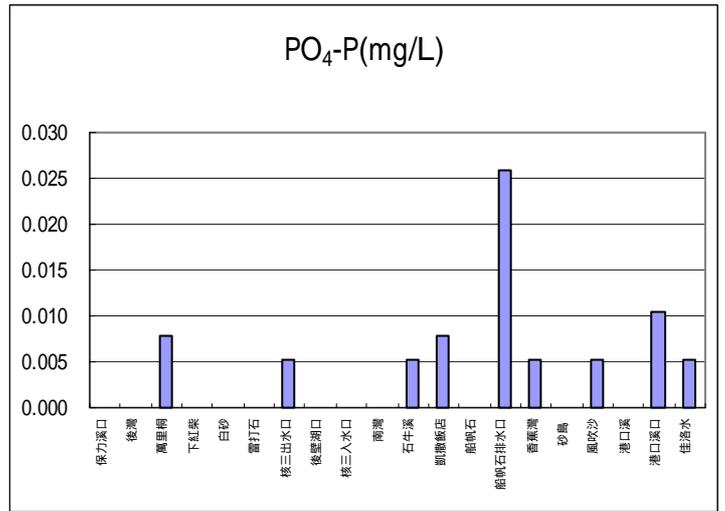
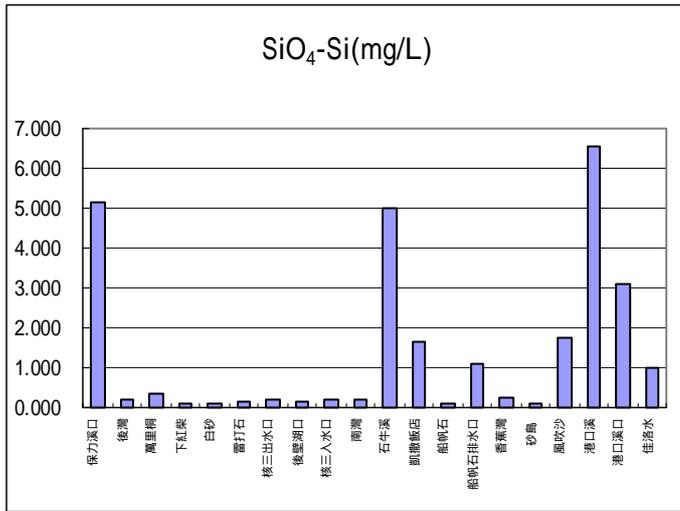
圖三. 墾丁國家公園沿岸海域旱季水質分析資料(92年1月22日)



圖三。(續)墾丁國家公園沿岸海域旱季水質分析資料(92年1月22日)



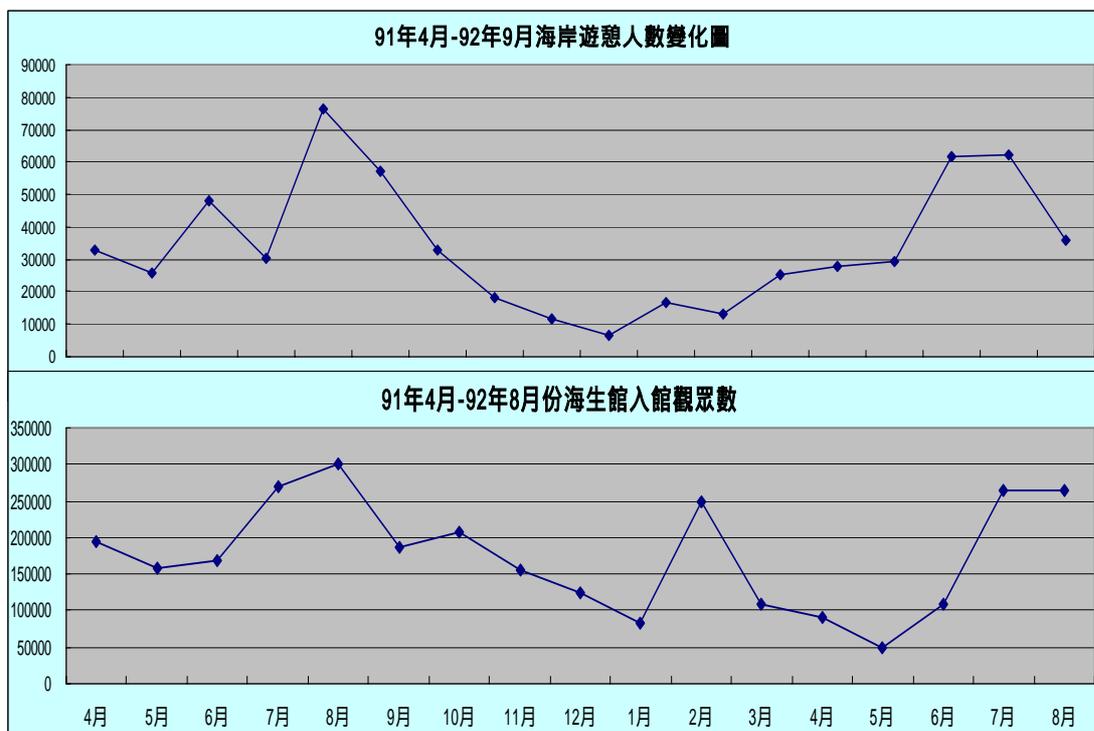
圖四. 墾丁國家公園沿岸海域雨季水質分析資料(92年9月3日)



圖四。(續)墾丁國家公園沿岸海域雨季水質分析資料(92年9月3日)

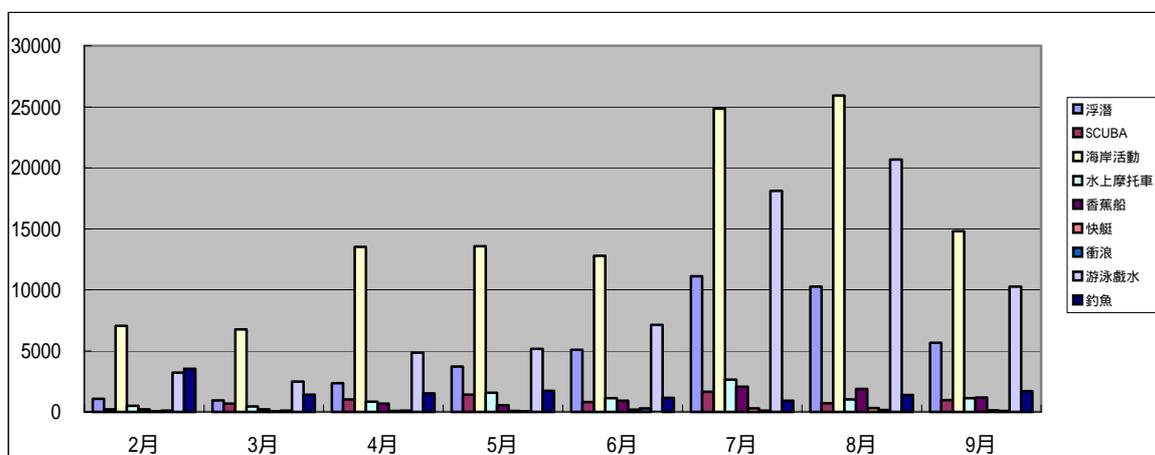
遊憩活動：

就 91 年 4 月至 91 年 9 月份海岸遊憩活動總人次調查結果（如圖五），並對照海生館 91 年 4 月至 92 年 9 月份入館人數來看（如圖 5），二者均可見：(1) 91 年 11、12 月份是遊憩人數最低，92 年 1、2 月遊憩總人數由於農曆過年而高於 11、12 月。(2) 7、8 月應該是全年旅遊人數最多的月份。(3) 9 月後旅遊人數開始下降。



圖五. 海岸遊憩活動總人次與海生館入館人數對照圖

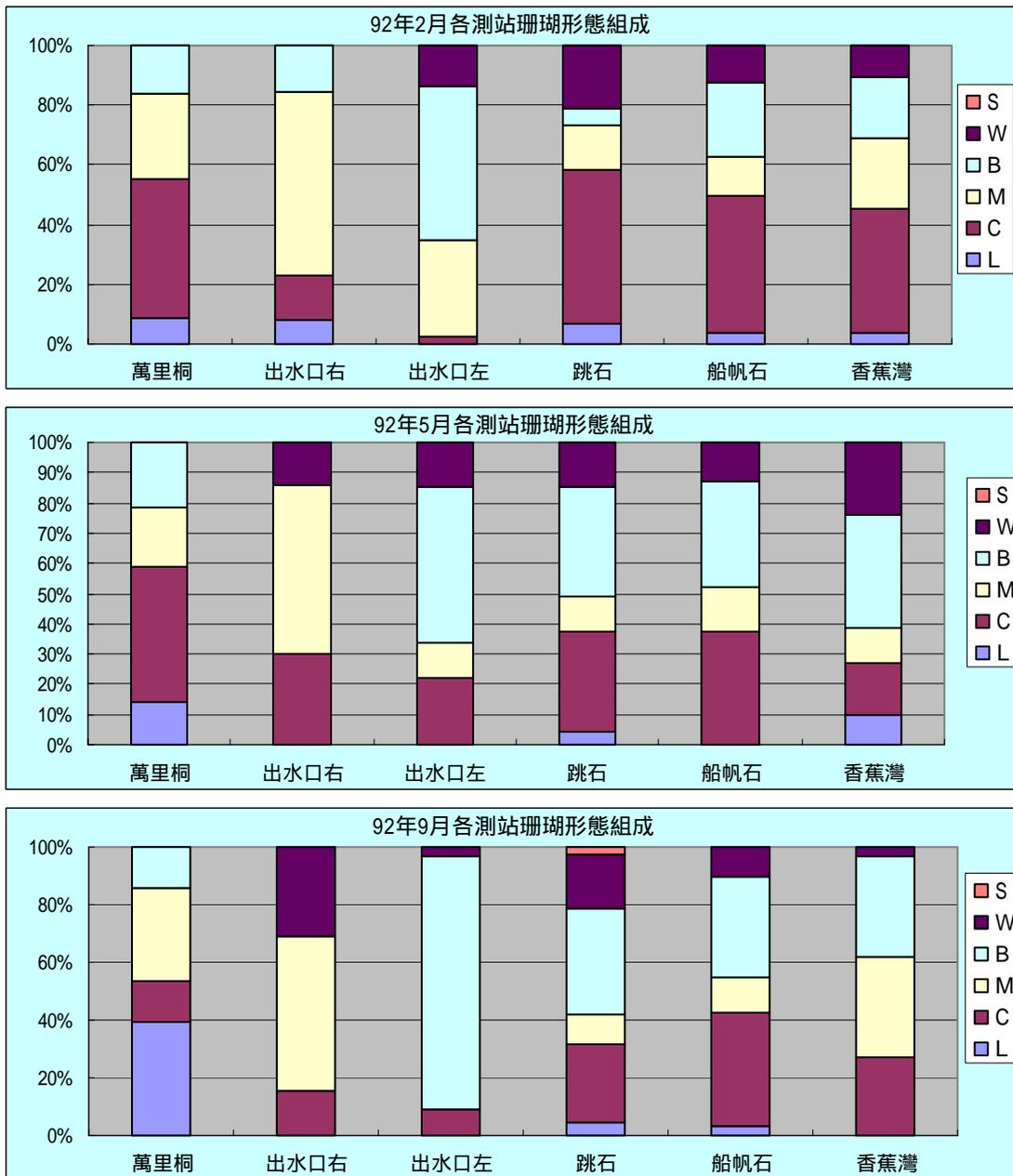
就遊憩地點活動人次來看，南灣及出水口右為活動強度最高及次高的地點，小灣及出水口左為第三及第四順位，由於選擇水中活動影響地點的選擇。遊憩活動中以「海岸活動」遊客數最多，「游泳戲水」及「浮潛」次之，「釣魚」雖列第四位，但須注意釣魚活動地點分佈十分廣泛（如圖六）。



圖六. 遊憩活動人次表

各測站間潮間帶珊瑚覆蓋率的變化(如圖七),跳石和萬里桐兩處的覆蓋率分占第一、二名,覆蓋率也穩定,可能表示此二處受到人為活動的影響較小。

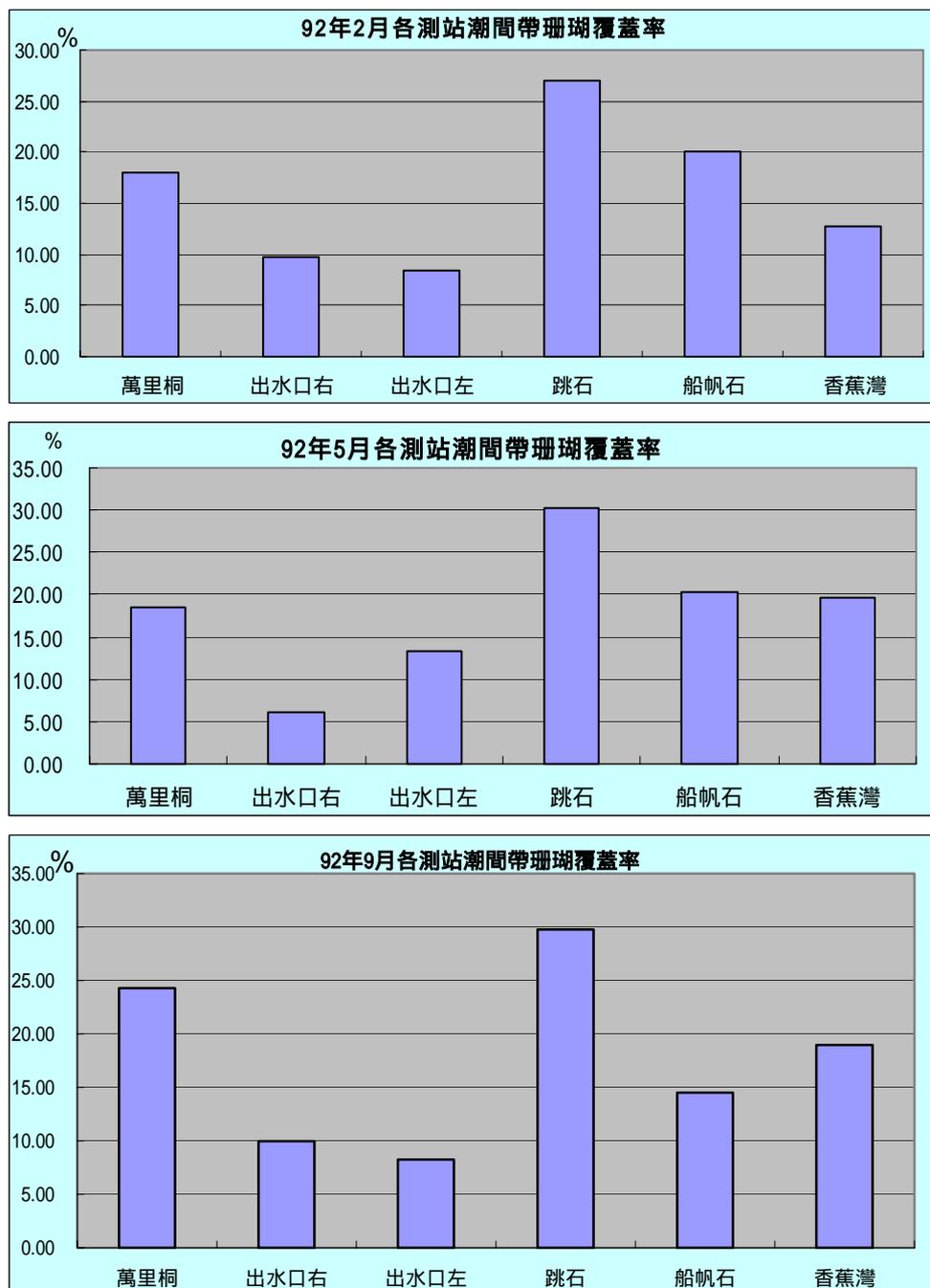
雖然無法在統計上正確顯示珊瑚形態與浮潛活動強度之相關,但以目前所得珊瑚形態的組成變化十分穩定來看,仍然可能從更多的數據來推斷浮潛活動對珊瑚形態組成的影響。另一方面,由各測站調查的變化發現:遊憩強度較低的測站如跳石、香蕉灣、船帆石及萬里桐等,珊瑚形態組成至少較為豐富,出水口左右兩側就顯得比較偏低(如圖七)。



圖七. 珊瑚形態的組成變化(S:軟珊瑚、W:脆弱型珊瑚、B:分枝狀珊瑚、

M：團塊狀珊瑚、C：表覆型珊瑚、L：葉片型珊瑚)

計畫進行至今已可看出幾個關鍵的影響，其一是踩踏的直接破壞應該立即顯現在珊瑚覆蓋率上，但顯然是指覆蓋率還在 20% 以上的地點，低於 20% 的覆蓋率踩踏的立即破壞已經不明顯了(如圖八)。



圖八. 各測站間潮間帶珊瑚覆蓋率的變化

$$\text{每月總排油量 (g)} = \frac{\text{當月活動人數 (人)}}{2} \times 30 \text{ (min./人)} \times 12 \text{ (L/min.)} \times 0.036 \text{ (g/L)}$$

其中人數除 2 表示每台車以兩人搭乘計算，每台車每次以 30 分鐘計（即出租車之計量單位），慢車(slow)時每分鐘排水量 12 公升。以此計得之數值應為較保守的估算（如表一）。

表一. 水上摩托車排油量

南灣水上摩托車	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
總人數	234	209	437	808	623	1858	380	767
台數 (/2)	117	104.5	218.5	404	311.5	929	190	383.5
總分鐘數 (*30)	3510	3135	6555	12120	9345	27870	5700	11505
總排水量 (*12) L	42120	37620	78660	145440	11214	334440	68400	138060
總排油量 (*0.036) g	1516.3	1354.3	2831.8	5235.8	4037	12040	2462.4	4970.2
2-9 月總排油量								34447.8

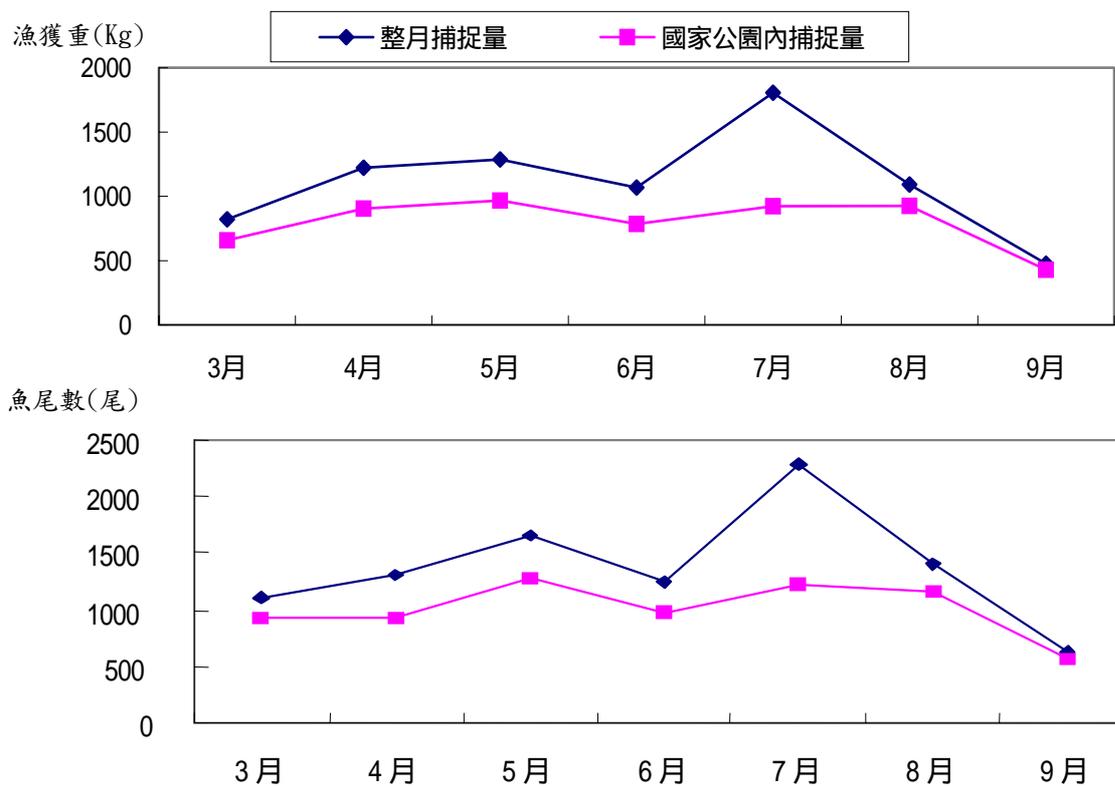
漁業活動：

本年度之問卷方式為漁民或海產店逐日填寫之資料，得出之資料為實際值而非估算值，約略可算知本海域漁民之捕捉情形。

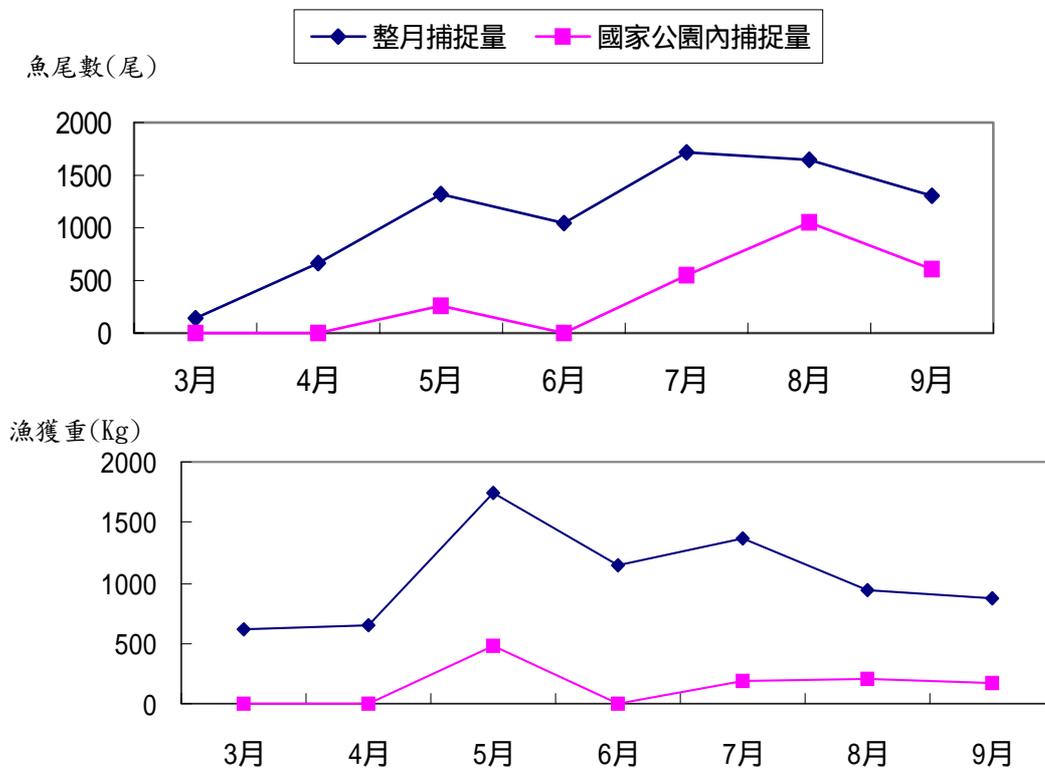
3~9 月潛水打魚 3 位漁民共計捕獲 10350 尾，7439.5 公斤魚類；大半在國家公園內捕捉，有 5565.3 公斤，7908 尾魚類。5 月份量最高，9 月份最少。以鸚哥魚及粗皮鯛科為大宗，佔 63% 漁獲以上（如圖九）。

3~9 月間 3 名一支釣漁民釣獲 7310.3 公斤，7835 尾魚類；底棲魚類以釣獲紅甘、青雞仔及海鯽仔為主對象魚，表層魚類則以黃鰭鮪與石喬為主。在國家公園內只捕獲 1050.8 公斤，2470 尾魚類，且以烏尾冬為主，雜魚為大宗。漁獲組成和潛水漁獲明顯不同（如圖十）。

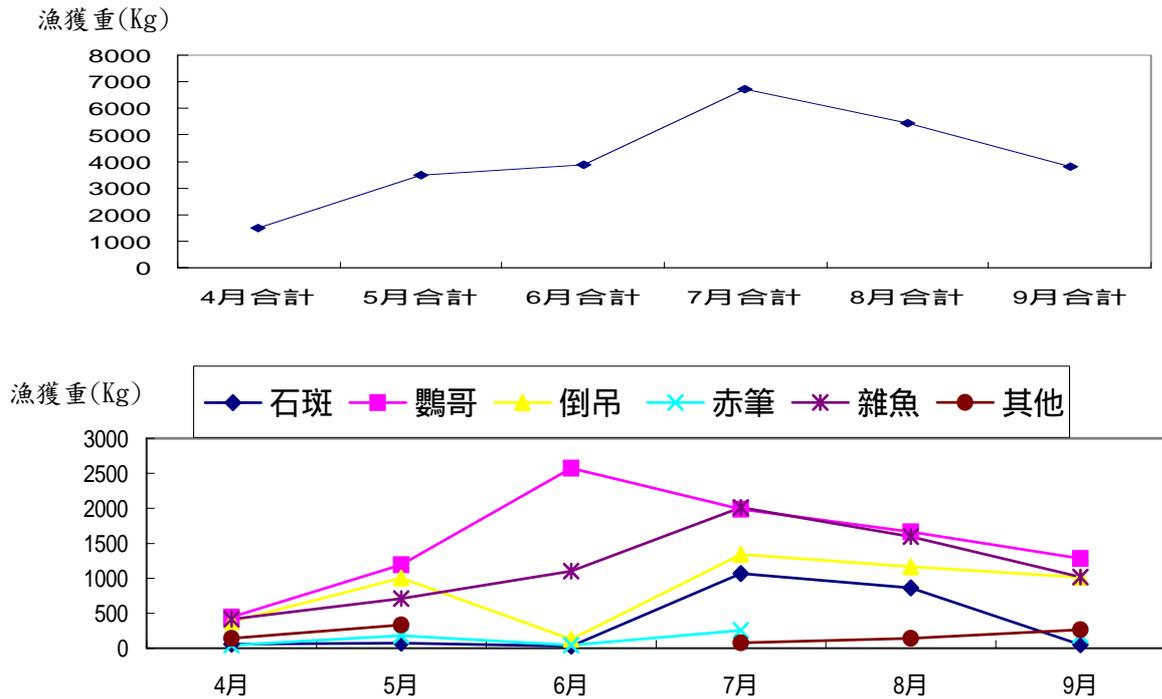
海產店各店使用量差異大，整體而言 7 月份量最高達 6737.6 公斤，8 月份次之，亦有 5427 公斤；均明顯較最少的 4 月份 1490.2 公斤為高。七個月合計使用 25054.4 公斤之魚類（如圖十一）。



圖九. 92 年度潛水打魚所捕獲的魚類總值與國家公園範圍內捕捉量的月別變動



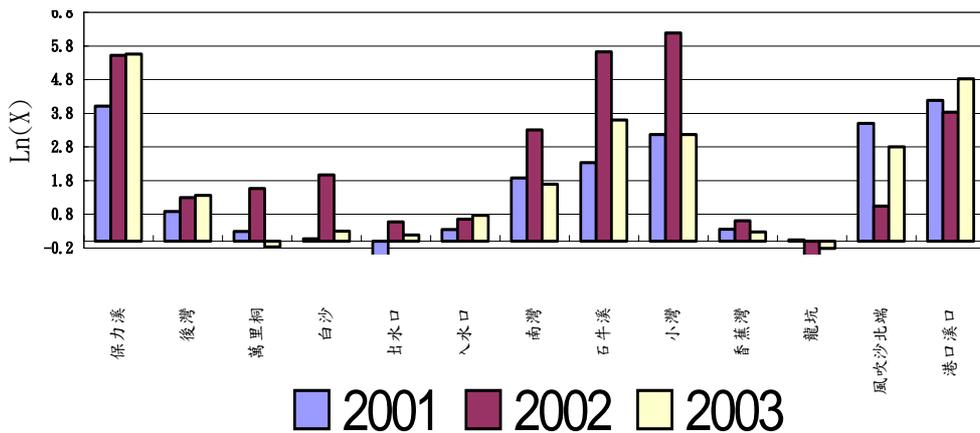
圖十. 92 年度以一支釣捕獲的魚類總值與在國家公園範圍內魚獲的月別變動



圖十一. 92年4月至9月墾丁國家公園內海產店所消耗之各食用魚類總數及魚種類的分布

棲地破壞—水中懸浮固體：

根據（圖十二）顯示，十三個測站中若以月平均來看，以龍坑、萬里桐、三個測站之海水濁度最低，而出水口、香蕉灣、白沙濁度次低。而海水濁度較高的區域為保力溪、港口溪口、石牛溪口、小灣、風吹沙北端。此次八次調查期間，六月及九月調查期間遇到大雨。因此除此兩月外，其餘各月各測站間之變化不大。海水濁度變化受天候影響明顯。依過去的數值分析，高濁度的海域主要都與河川的注入有關，包括了港口溪口、保力溪及石牛溪口。



圖十二. 墾丁國家公園海域各測站調查 2001 年 7 月至 2003 年 7 月各年度採樣之月平均濁度資料圖

在沈積物的粒度分析、篩選係數方面，下水掘屬於長年的沈降區域，粉泥黏土含量都在 30%

以上，今年不論雨季或乾季又較去年為高。而其沈積物之總有機碳（TOC）及總氮量（TN）相較於各測站也偏高。另外較特別的是跳石及香蕉灣，其粉泥黏土含量不高，不過 TOC 及 TN 相較於其他測站偏高。尤其是 92 年乾季時，TOC 兩測站都在 0.3% 以上，TN 都在 0.04% 以上，都與下水堀測站差不多。而針對在跳石海域所做的粒度分析中，該海域的情況已逐漸好轉，雖然乾季時粉泥黏土含量會升高，但已逐年遞減（表二）。其原先懸浮或沈積於該水域的粉泥，可能已被水體帶走，而從低擾動、高沈積的海域底質，轉變為適度擾動，低沈積的海域。

表二. 墾丁國家公園海域跳石測站 2000 年 2 月至 2002 年 6 月之粒度分析及篩選係數表

樣品		粒度分析				篩選度		
Date	Md(mm)	SD	level	% silt/clay	SD	Sorting coefficient	SD	level
Feb-00	0.185	0.013	Fine sand	1.549	0.446	0.665	0.104	Moderately well sorted
Mar-00	0.185	0.014	Fine sand	2.845	1.373	0.704	0.111	Moderately well sorted
Sep-00	0.127	0.006	Fine sand	12.324	1.546	1.001	0.022	Very well sorted
Oct-00	0.124		Very fine sand	4.186		0.872		Moderately well sorted
Dec-00	0.126	0.003	Fine sand	11.684	1.302	0.955	0.027	Moderately well sorted
Apr-01	0.242	0.030	Fine sand	3.576	0.578	1.056	0.007	Poorly sorted
Jun-01	0.419	0.016	Medium sand	0.668	0.279	0.809	0.063	Moderately well sorted
Oct-01	0.028		Silt	80.641		1.720		Poorly sorted
Jan-02	0.030		Silt	34.520		1.046		Poorly sorted
Feb-02	0.217		Fine sand	14.370		1.537		Poorly sorted
Jun-02	0.157		Fine sand	4.180		0.743		Moderately well sorted
Jul-02	0.140		Fine sand	11.07		0.841		Moderately sorted
Aug-02	0.289		Medium sand	0.73		0.663		Moderately well sorted
Feb-03	0.164		Fine sand	5.38		9.640		Moderately sorted
Jun-03	0.315		Medium sand	0.30		0.714		Moderately sorted

（二）生態與環境資料庫

海床地貌：

本年度，調查與描繪區域以貓鼻頭至鵝鑾鼻間之海床為主，工作要點包括辨識海床組成〔砂質海床或石質海床〕以及地理分布狀況，並針對石質海床區域進行現生珊瑚分布圖繪製，以及現生珊瑚覆蓋率評估等。現場調查部分已分階段完成側掃聲納探測與水下光學影像收集〔包含後壁湖至貓鼻頭海域、南灣至伏牛石海域，以及香蕉灣附近海域等〕。由於研究區域內已知之珊瑚種類繁多〔外形包含枝狀、球狀以及葉片狀等〕且受到地質環境〔地形隆昇、落石〕與自然環境〔沉積物、海水溫度等〕之影響，現生珊瑚之外形特徵、尺度與現況有極為明顯之差異。

為減少誤判以及增加影像辨識之正確率，除採取聲納影像重複掃描的策略外，並以光學影像進行定點驗證，已初步建立完成。水下光學影像處理以及光學影像與聲學影像之定點驗證工作，已完成驗證模式的確認工作。受到資料規模與地理尺度之限制，相關成果無法完整展示。在研究成果之展示上，受資料規模之限制，將以南灣至伏牛石海域之調查成果為主體。

1. 側掃聲納探測結果

墾丁國家公園所屬海域中南灣至伏牛石海域之側掃聲納探測工作係採取與海岸線約略平行之航線為主〔如圖十三〕；探測區間由極近岸至明顯沙質海床出現為止。探測進行時，聲納頻率設定為 500 kHz，斜距以 30 m 為主。在此設定下，影像中每像素之近似尺度約為 3 cm x 3 cm。為避免影像死角以及影像處理與判讀所需時間也相對增加。掃描位置造成之影像扭曲，採取重複掃描之策略。此方式有減少誤判及增加辨識正確率之功效，但因原始影像資料增加至基本影像規模的三倍以上，側掃聲納影像經海床面修正、影像格式轉換、影像拼圖、地理座標投影以及座標格線繪製等步驟取得原始（解析度未經稀釋）之點距陣圖像資料與整體拼圖（解析度已降低）資料。本區之有效探測面積約為 0.4 平方公里〔如圖十四〕。由海床地貌特徵顯示：本區海床可分為礁石質與砂質二種類型〔圖十五〕。其中礁石質海床可分為四個獨立區域以砂質海床為其界限，外觀均約略呈現三角形之特徵，尖端指向離岸方向。此四個礁石質海床區域，根據地理位置，按由北而南的順序，分別命名為眺石區、潭子灣北區、潭子灣南區與石牛石區。礁石質海床地形崎嶇，夾雜著大型突起岩塊與深溝或凹陷；部分大型凹陷底部為具有沙連構造之沙質沉積物所覆蓋。

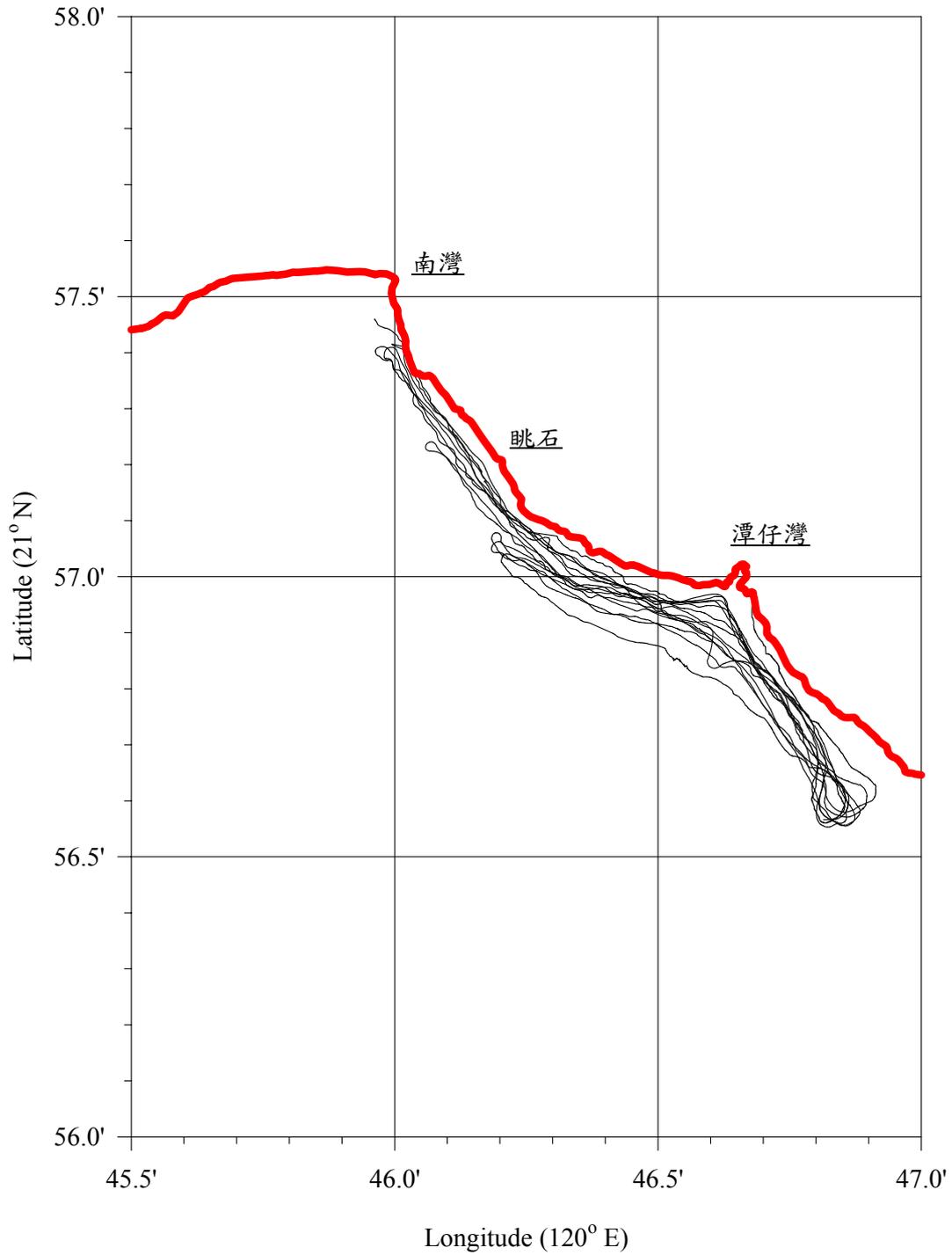
2. 水下攝影探測結果

本區域整體影像特徵顯現調查區域之現生珊瑚種類繁多，包含枝狀、球狀與葉片狀等類型。出現狀況以呈叢狀分布最為普遍。部分珊瑚，尤其是外形呈樹枝狀者，有明顯遭外力破壞之現象。現生珊瑚之區域分布以及現況以眺石區最佳，單一珊瑚叢體可達公尺級的規模；整體覆蓋率極高，約可達 60% 之規模。其餘地區包括潭子灣北區、潭子灣南區與石牛石區，現生珊瑚之分布以及現況均較差，僅有極少數地區有較小型之現生珊瑚出現；整體覆蓋率低於 10% 之規模。

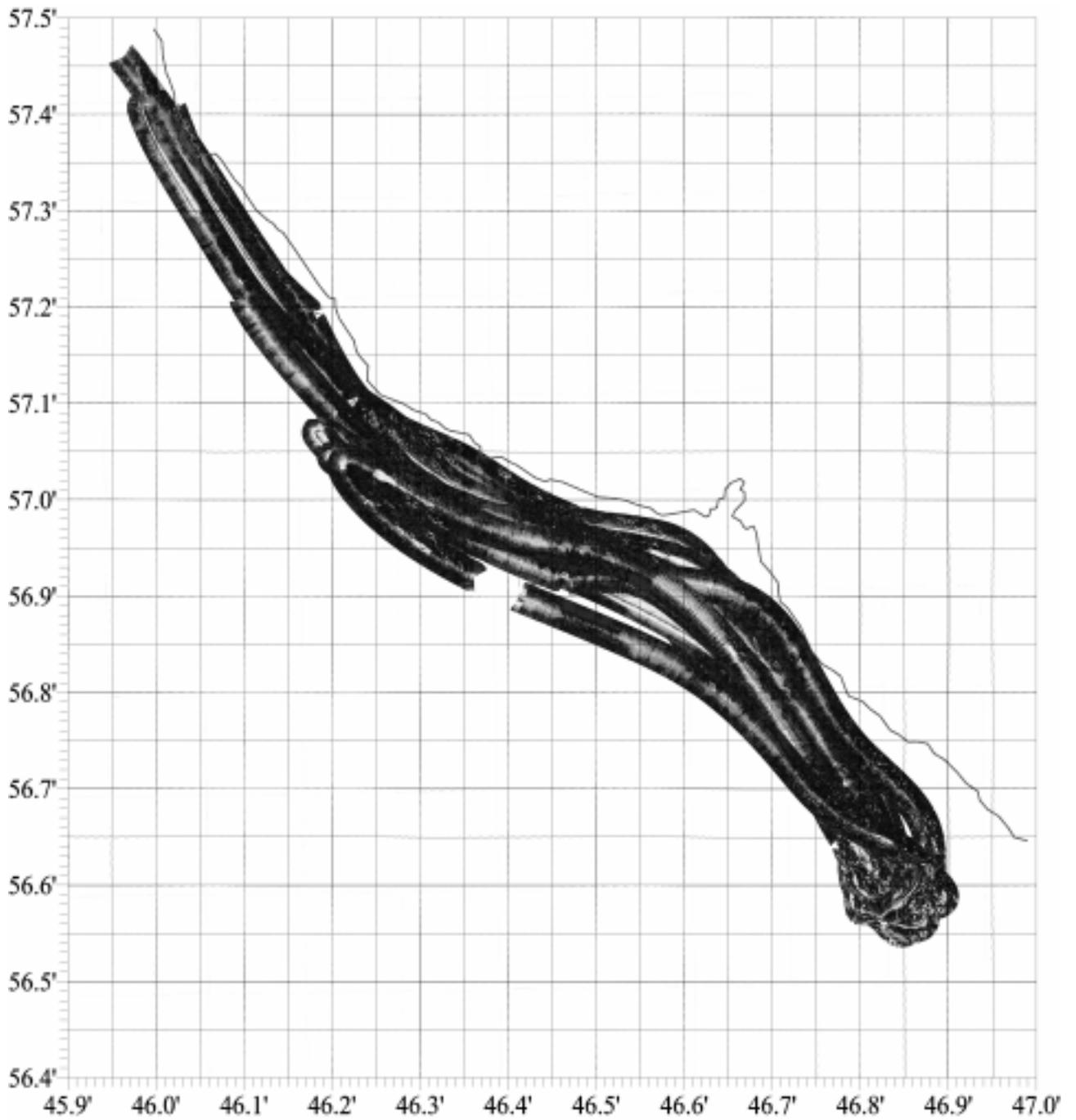
3. 聲學與光學影像對比

在光學影像與聲學影像之對比與驗證方面，由於此二類影像之尺度有明顯差異（約為 50 cm 與 50 m 之差異）。因此，採取將光學影像路徑併入聲學影像的模式進行對比，並據以進行現生珊瑚細部地理分布狀況描繪。由處理完成之範例區資料顯示：具樹枝狀外觀之現生珊瑚（如軸孔珊瑚或鹿角珊瑚），於側掃聲納影像中顯示出極為明顯的特徵；圓球狀外觀之現生珊瑚（如腦紋珊瑚），特徵較不明顯，甚至呈現不易辨識的情形。

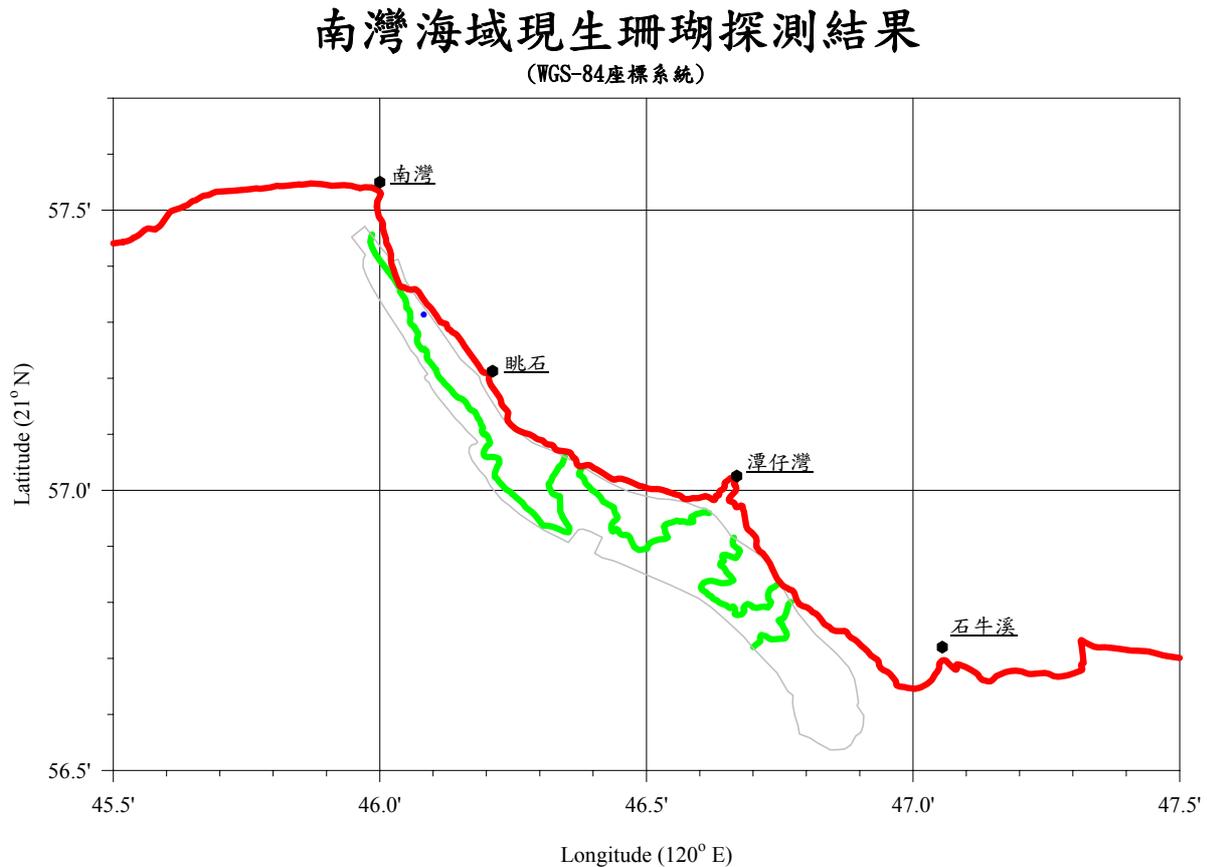
南灣海域側掃聲納探測路徑 (WGS-84座標系統)



圖十三. 南灣-伏牛石側掃聲納探測路徑



圖十四. 南灣-伏牛石海域側掃聲納影像拼圖，帶狀區域
面積：430,388 m² (0.43 km²)。



圖十五. 南灣-伏牛石海域岩石質海床邊界與分布狀況

資料庫建立：

在今年度計畫中以完成多項工作，其中包括下列各項：

1. **資料蒐集與建置：**蒐集所能掌握之屬性及空間資料，屬性資料主要為魚類、珊瑚和浮游動物等相關資料，而空間資料則為墾丁基本資料等圖層，並經過空間資料轉檔程序，與串接不同生態調查資料。
2. **系統功能之開發：**系統功能之開發：根據計畫的所做的系統規劃，目前本子計畫已完成大部分子系統相關功能。
3. **資料倉儲：**已完成魚類與珊瑚等資料倉儲的建置雛型。
 - (1) http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/library/en-us/olapdmpr/pt_clien_9cog.asp
 - (2) <http://ngis.moi.gov.tw/doc/report.htm?SelectBoard=G1>

長期生態監測研究成果，除了肩負國家環境生態基礎資料之調查與研究外，在另一方面也必須將計畫的成果提供給社會大眾，作為一般國民環境教育之用。然而這兩年的工作則是著重

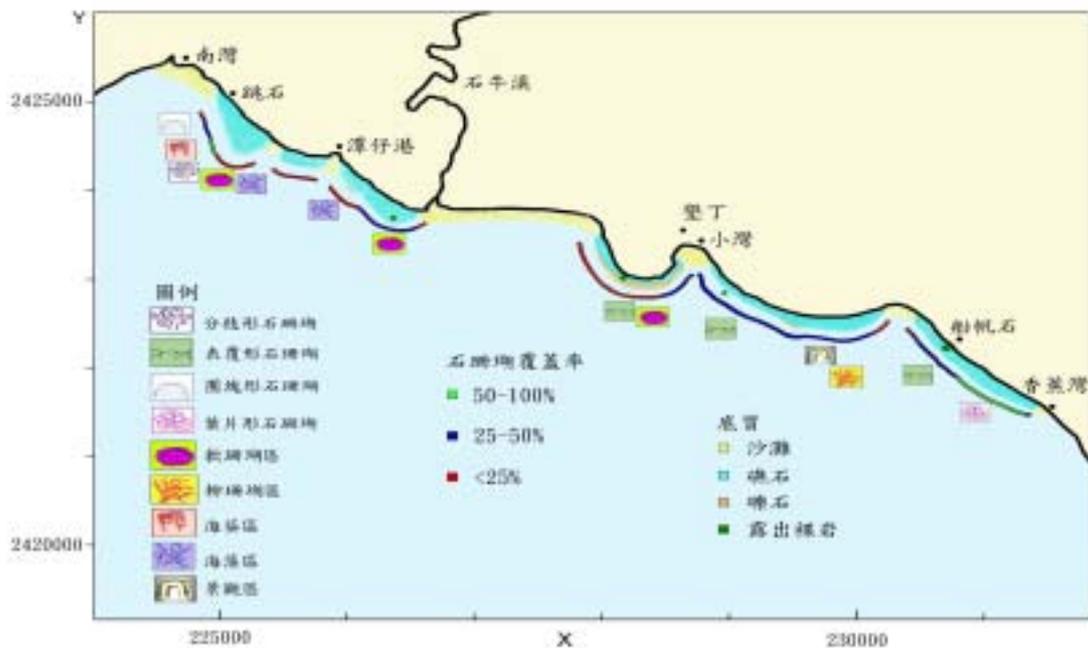
於系統架構的設計與開發，並以生態調查之空間與屬性資料庫建置為主，而對系統網站所應提供的環境教育功能，則付之闕如，因此未來的工作計畫中，將開始開發建立環境生態教育之應用，以期發揮長期生態調查研究之社會責任與使命。

(三) 海洋生物及海域監測調查研究

墾丁海域珊瑚監測調查計劃：

台灣南部墾丁國家公園的跳石海域原先以石珊瑚為主，其中分枝形的軸孔珊瑚在此形成一些長度可達數十公尺的大型群體，並呈現區塊分布。過去數十年來，此海域陸續受水質優養化、松藻(*Codium sp.*)大量繁生、泥沙沉積物污染使海水混濁、和颱風侵襲造成珊瑚的骨骼殘骸堆積如山，其後單體型的南灣結節海葵(*Condylactis nanwannensis*)大發生而佔據軸孔珊瑚骨骼殘骸。海葵大量繁生取代珊瑚對珊瑚礁產生的影響，原本是許多與珊瑚共生的生物，包括各種甲殼類、螺貝類、棘皮動物和魚類棲息與躲避掠食者的生活空間(樊與戴, 1995)，海葵的密集生長不但使這些共生生物無容身之處，其具攻擊作用的刺絲胞更使得牠們不敢接近，造成珊瑚礁供應多樣豐富棲息空間的功能減弱，連帶使得被海葵覆蓋區的生物多樣性降低。

整體而言，跳石至石牛溪海域的珊瑚礁包括以硬珊瑚為主，如團塊形、分枝形和葉片形珊瑚種類為優勢群集的組成，以軟珊瑚為主、以海葵為主和以海藻為主的的不同類型群聚；墾丁至船帆石的珊瑚礁以表覆形的石珊瑚和軟珊瑚為主，此外特別具有地形景觀區並擁有許多柳珊瑚；船帆石至香蕉灣的珊瑚礁群聚則以表覆形和葉片形的石珊瑚為主(圖十六)。



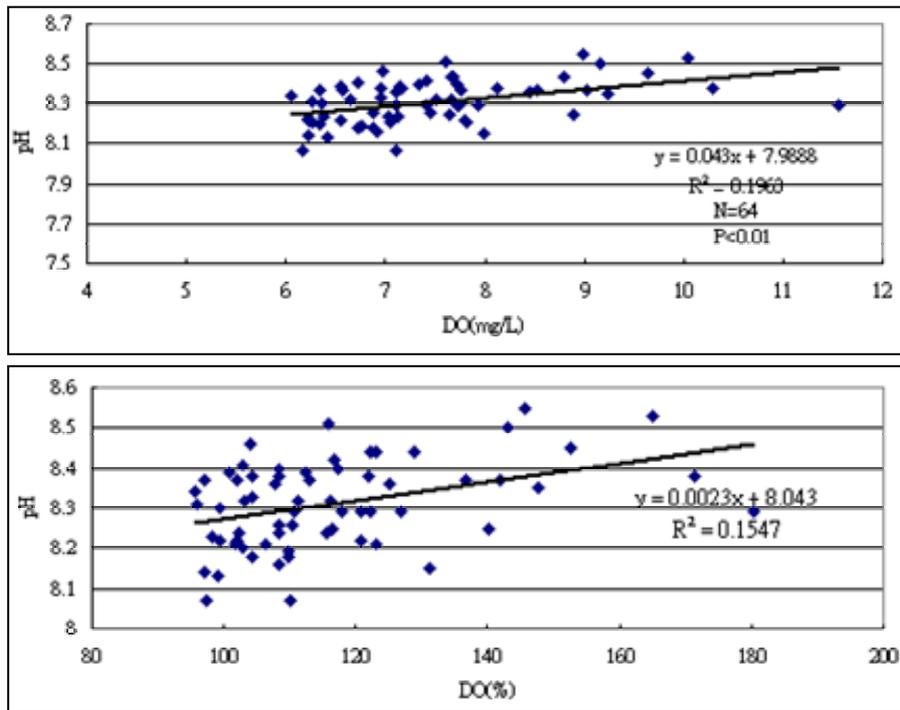
圖十六. 墾丁國家公園跳石至香蕉灣海域珊瑚礁簡明示意圖

墾丁沿岸海草床生態監測計劃：

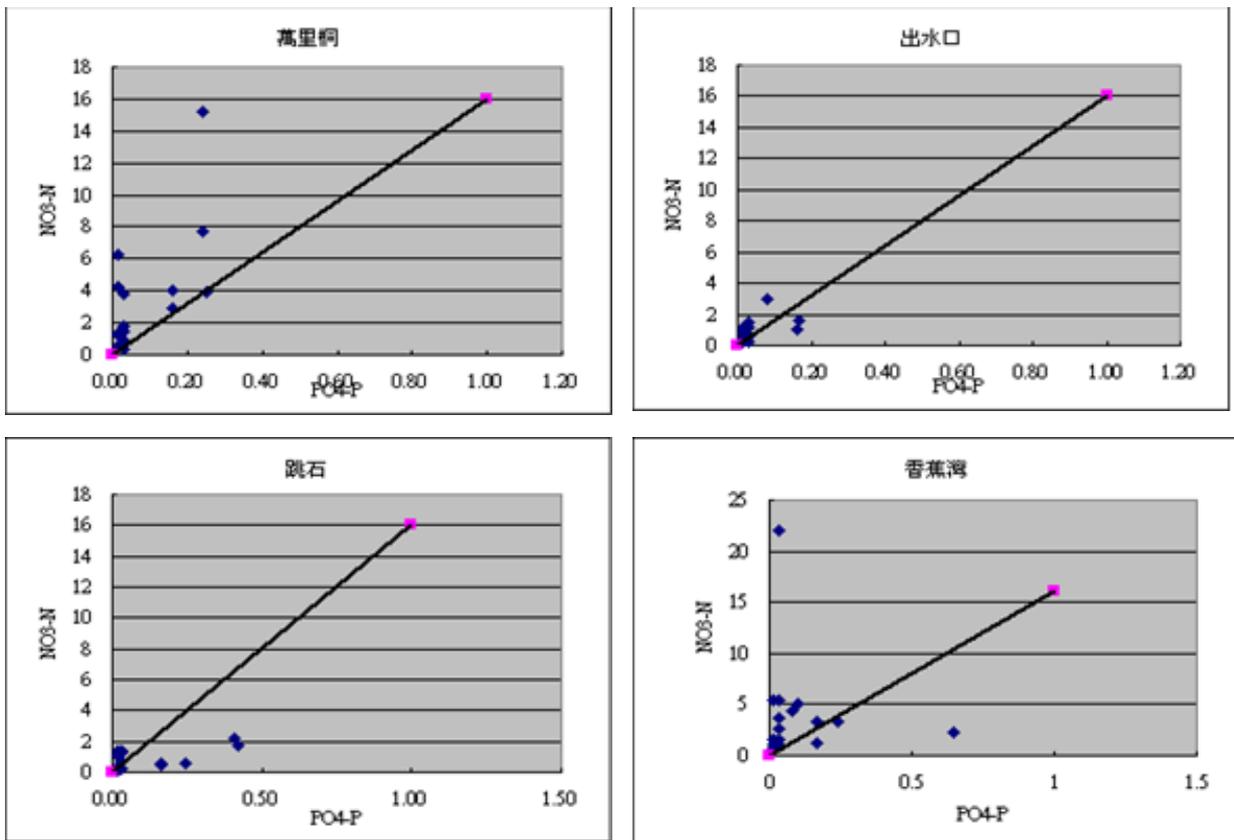
泰來草與單脈二藥草之實驗比較可知，泰來草因為較耐缺水對光度的需求又高，因此可生長在高高程；單脈二藥草因為較不耐缺水且較適應低光度的環境，因此適合生長在低高程，且單脈二藥草之營養繁殖方式屬於遊擊式拓殖，當環境適合時葉片生長快，很快會佔據泰來草生長所需的空間，抑制了泰來草的拓植。由海草交換棲地實驗的結果，更證實了單脈二藥草是不適合生長在高高程的。因此泰來草在高高程佔優勢，而單脈二藥草在低高程佔優勢。

墾丁海域潮間帶水質監測計劃：

本計畫海域水質應歸類於甲類海域，結果顯示，該海域各測站之水溫介於 24.2~33.1°C 之間，鹽度介於 29.78~34.52psu 之間，屬正常近岸海域之範圍；一般而言，近岸海域之溫、鹽主要受到潮流漲落、陸上逕流及河川、溪流之淡水影響，呈區域性之變化，於河川、溪流、溝渠及河口附近區域會呈現較低之鹽度測值。pH 值介於 8.07~8.55 之間，溶氧量介於 6.05~11.6 mg/l 之間，而溶氧飽和度則介於 95.5%~180.4% 之間。值得注意的是，pH 值較高值出現時，同時具有較高溶氧量及溶氧飽和度，顯示當時由於水體中附著藻類或是浮游植物正進行強烈的光合作用，增加了水體的 pH 值；整體而言，墾丁國家公園附近沿岸潮間帶海域各測站之 pH 值與溶氧量及溶氧飽和度，大致呈現正相關之趨勢(如圖十七)，顯示生物之呼吸作用與光合作用，對水體之 pH 值具相當之影響力。pH 測值偏高，使其不合乎環保署公告保護生活環境之甲類海域水質標準，但此現象應屬於自然現象而非人為因子所致；在溶氧量及溶氧飽和度方面，由於受到水體中附著藻類或是浮游植物進行強烈的光合作用，增加了水中的溶氧，使得溶氧飽和度經常出現過飽和現象，因此所有測站皆合乎環保署公告保護生活環境之甲類海域水質標準(環保署，1998) (該標準規定：溶氧量不得低於 5 mg/L，pH 測值應介於 7.5~8.5 之間)。再由五天生化需氧量測值介於 0.1~3.1 mg/l 之間，其中僅有兩個站次不合乎環保署公告保護生活環境之甲類海域水質標準 (不得大於 2 mg/L)，其分別出現在跳石及萬里桐測站，顯示在跳石及萬里桐測站曾遭受都市家庭耗氧性污染物質之污染。在營養鹽方面，本計畫各測站之分析結果顯示，硝酸鹽介於 0.001~0.308mg/l 之間，亞硝酸鹽介於 nd0.057mg/l 之間，磷酸鹽介於 nd~0.020mg/l 之間，矽酸鹽分析結果介於 0.047~0.562mg/l 之間，氨氮介於 nd~0.16 mg/l 之間，葉綠素甲分析結果介於 0.02~1.23 ug/l 之間，部分測站如香蕉灣及萬里桐南界含有較高的營養鹽，其來源主要可能是陸源之河川溪流、人為活動排放溝渠或是深層海水被湧昇時，伴隨著豐富的無機營養鹽(包括：硝酸鹽、磷酸鹽與矽酸鹽)也被抬升至海水表層所致；在各測站之氮/磷比方面，由圖 18 可發現，不同測站具有不同之特性。部分營養鹽測質偏高其來源為何?仍有待進一步釐清；而部分海域濁度偏高，是否會對該海域生態環境，特別是珊瑚之生長環境條件造成影響，仍有待更進一步之資料證實。



圖十七. 墾丁國家公園附近沿岸海水中溶氧量與 pH 及溶氧飽和度與 pH 之關係



圖十八. 墾丁國家公園附近沿岸各測站海水中之氮/磷比

四、結 論

從 90 年 5 月~92 年 9 月，由過去資料統計可看出影響墾丁海域珊瑚礁生態，是由陸域人為活動所造成直接與間接的破壞。人為活動包括漁業活動、棲地破壞（沈積物）、廢水排放及遊憩活動...等，而這些人為活動彼此又相互影響，所以使墾丁海域珊瑚礁生態帶來更大的衝擊。

墾丁地區每年湧入的數百萬遊客，所帶來直接間接的破壞，再加上颱風的影響，都反應在生態環境上，為了保育墾丁的珊瑚礁生態系，使當地之生態旅遊得以永續發展。因此建議墾管處應積極推動海洋環境相關保護措施：

- (一) 加強珊瑚礁保育之教育宣導，建立遊客正確之保育觀念，輔導不採捕、不破壞珊瑚礁生物，特別是勸導遊客少吃珊瑚礁魚類。
- (二) 設法能管制海岸土地或山坡地之開發利用，特別要加強在水土保持部分的規範與管理，並力求落實執行取締與管理工作。
- (三) 落實執行取締非法污水排放與管理工作。
- (四) 訂定海上遊憩活動管理辦法，並規劃完善之沿岸遊憩設施及範圍，減少人為活動的破壞。

隨著電腦科技快速成長與普及，網際網路(Internet)早已融入學校的學習活動與一般人日常生活之中，全球資訊網(WWW)逐漸取代過去的訊息傳達型態。有鑒環境生態教育的推廣工作日趨重要，就墾丁海域生態環境教育為基礎，將國內第一個海域長期生態調查場址之研究成果，以多媒體的相關技術加以整合於現有之網站中，以提昇長期生態研究之成效並作為一般國民環境教育之用，以達永續發展的最終目標。

五、誌 謝

本計畫的全體同仁首先要藉此機會感謝內政部營建署及墾丁國家公園管處能在政府保育預算日益緊縮的情況下，仍願撥付經費，配合國科會 LTER 計畫來推動本計畫，以彌補國科會計畫的不足。此外營建署署長、副署長、盧科長及墾管處同仁，以及國科會生物處處長，林敏雄研究員、林曜松、戴昌鳳、宋克義、陳章波、金恆鑣、夏禹九等教授、蔡永春教練對本計畫之支持、鼓勵與指導，還有許多配合本計畫資料蒐集的許多助理、學生民間友人、漁友等的協助，容我們在此一併致上十二萬分的謝忱。在有限的人力與物力條件下，各分支計畫主持人仍願盡力而為之，共同為墾丁海域生態的保護，以及墾丁生態旅遊的永續發展而盡一份心力，在此亦表示敬意與謝意。

六、參考文獻

行政院環境保護署編印 (1998)水污染防治法規。

沈世傑主編，(1993)。台灣魚類誌。國立台灣大學動物系。

鍾國南、李展榮、孟培傑、韓僑權、郭鑫沅、宋國士、梁乃匡、方力行、邵廣昭，(2002)。

墾丁國家公園海域長期生態研究-人為活動對海域生態衝擊之長期監測研究(II)及生態與環境資料庫建立。內政部營建署墾丁國家公園管理處。

鍾國南、李展榮、孟培傑、韓僑權、郭鑫沅、宋國士、梁乃匡、方力行、邵廣昭，(2002)

墾丁國家公園南灣海域長期生態研究計劃-人為活動對海域生態衝擊之長期監測研究(II)及生態與環境資料庫建立之初報。國家公園學報。

樊同雲、戴昌鳳。1995。珊瑚與其他海洋無脊椎動物的交互作用。生物科學
38：91-199。

**Long-term ecological studies in Kenting National Park
neighboring marine areas, on monitoring the impact factors from
anthropogenic activities to the marine ecosystem and a preliminary
database of its marine ecosystem**

Pei-Jie Meng¹, Jeng-Ping Chen¹, Kuo-Nan Chung¹, Ming-Chin Liu¹,
Tung-Yung Fan¹, Chia-Ming Chang¹, Wen-Miin Tian², Yang-Chi Chang²,
Hsing-Juh Lin³, Lee-Shing Fang¹, Kwang-Taso Shao^{4,5}

(Manuscript received 27 September 2004 ; accepted 2 November 2004)

ABSTRACT : The purpose of this project is to study, monitor, quantify, and assess the impact of anthropogenic factors on the ecosystem of coral reefs in the Kenting National Park. With these scientific data, we can then suggest the authorities to improve their future conservation and management plans. The statistical analysis of the previous three-year project clearly showed that the major impacts on kenting coral reefs were fishery activities, habitat destructions (sedimentation), sewage discharges, and inappropriate recreational activities. The interactions among these factors impact the reefs even more. Therefore, we strongly recommend the following actions/strategies be taken seriously : Increase public awareness of the coral reef conservation; ask the public not to catch or consume coral reef fishes. Review, establish, and enhance the enforcement of the marine protected areas. Draft the Marine Recreation Act. Enforce the prohibition of illegal discharges of polluted water. Control the coastal development more effectively. This project will also try to use sidescan sonar and underwater photography to do small scale mappings of coral reef distribution in the Kenting water and use them as the baseline data for further detailed analysis. In addition, all data or information collected from the subprojects will be integrated into one database and put on the web for public access. It is hoped that through the work of quantitative data collection, analysis, and publication; people, including the tourists and stakeholders, can have a better understanding of the current status of coral health in Kenting. The public can then be more concerned about the issues on environmental protection and ecological conservation, and the government can then take appropriate actions to reverse the current deteriorating situation.

KEYWORDS : Kenting National Park, anthropogenic factor, coral reef, ecosystem

-
1. National Museum of Marine Biology and Aquarium
 2. National Sun Yat-Sen University
 3. National Chung Hsing University
 4. Institute of Zoology, Academia Sinica
 5. Corresponding author