

龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸 及對珊瑚礁損害的監測

內政部營建署墾丁國家公園管理處委託調查報告

中華民國 94 年 12 月

龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪 殘骸及對珊瑚礁損害的監測

受委託者：國立海洋生物博物館

研究主持人：盧重光

協同主持人：樊同雲

研究助理：魏 杰

內政部營建署墾丁國家公園管理處委託調查報告

中華民國 94 年 12 月

目次

表次	III
圖次	V
摘要	XI
第一章 緒論	1
第二章 龍坑海域實地調查與結果	5
第一節 計畫目的與方法	5
第二節 結果	7
第三章 討論與建議	13
第一節 討論	13
第二節 建議	23
附錄一、期初簡報會議記錄	51
附錄二、期中簡報會議記錄	53
附錄三、期末簡報會議記錄	57
附錄四、共同調查報告 1	63
附錄五、共同調查報告 2	79

附錄六、共同調查報告 3	83
附錄七、2005 年世界生態重建研討會報告	87
附錄八、2005 年珊瑚礁生物學術研討會報告	89
參考書目	91

表次

表 1 龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸及對珊瑚礁損害
監測工作表 25

表 2 阿瑪斯號殘骸分佈的經緯度 26

表 3 龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸及對珊瑚礁損害
監測各地點在颱風前後狀況比較表 27

龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸
及對珊瑚礁損害的監測

圖次

圖 1 龍坑位置圖	29
圖 2 龍坑海域調查地區與阿瑪斯號殘骸分布圖	30
圖 3 龍坑阿瑪斯號殘骸分佈示意圖	31
圖 4 潛水人員利用水下推進器進行大面積勘查	32
圖 5 潛水人員正在固定與釋放標記浮球	32
圖 6 浮在海面上的 3 個橘色標記浮球	32
圖 7 龍坑海下珊瑚礁的脈脊與槽溝地形	32
圖 8 龍坑近岸區聚集的小型石灰岩塊	32
圖 9 沙地	32
圖 10 龍坑海底的海床岩盤	33
圖 11 海床岩盤區的小岩石	33
圖 12 鄰近 5 號艙蓋的珊瑚礁體裂縫與鄰近生物群聚	33
圖 13 鄰近 5 號艙蓋的珊瑚礁體裂縫與鄰近生物群聚	33
圖 14 鄰近 5 號艙蓋的珊瑚礁體裂縫與鄰近生物群聚	33
圖 15 鄰近 5 號艙蓋的珊瑚礁體裂縫與鄰近生物群聚	33

圖次

- 圖 16 潛水調查人員以皮尺測量 5 號艙蓋殘骸 34
- 圖 17 5 號艙蓋殘骸表面有許多大型藻附著生長 34
- 圖 18 5 號艙蓋殘骸中的小片殘骸 34
- 圖 19 5 號艙蓋上附著生長的肉質軟珊瑚小群體與大型藻 34
- 圖 20 鄰近 5 號艙蓋殘骸附近珊瑚礁岩上的艙蓋刮痕 . . . 34
- 圖 21 5 號艙蓋殘骸移動刮損礁岩表面 34
- 圖 22 5 號艙蓋殘骸移動刮損礁岩表面 35
- 圖 23 4 號艙蓋倒躺在瀉湖區 35
- 圖 24 4 號艙蓋的一角嵌在珊瑚礁岩之間 35
- 圖 25 4 號艙蓋內堆積一些石灰岩塊與沉積物 35
- 圖 26 4 號艙蓋表面附著生長許多大型藻 35
- 圖 27 4 號艙蓋的鐵板破損 35
- 圖 28 4 號艙蓋所在的瀉湖區有許多小型石灰岩塊，其表面藻類繁盛 36
- 圖 29 4 號艙蓋鄰近的珊瑚礁上有許多大型藻繁盛發展 . . . 36
- 圖 30 位於 2 號艙蓋破壞區內固定樣區的標記樁 36

圖次

圖 31 潛水調查人員進行測量 2 號艙蓋破壞區面積的情形	36
圖 32 進行測量 2 號艙蓋破壞區面積的情形	36
圖 33 2 號艙蓋破壞區內珊瑚礁被艙蓋磨蝕出的刮痕 . .	36
圖 34 2 號艙蓋破壞區內珊瑚礁被艙蓋磨蝕出的刮痕 . .	37
圖 35 2 號艙蓋破壞區內珊瑚礁被艙蓋磨蝕出的刮痕 . .	37
圖 36 2 號艙蓋破壞區的珊瑚稀少而藻類繁盛	37
圖 37 2 號艙蓋破壞區的藻類繁盛	37
圖 38 鄰近 2 號艙蓋破壞區旁未受破壞的珊瑚群聚 . . .	37
圖 39 鄰近 2 號艙蓋破壞區旁未受破壞的珊瑚群聚 . . .	38
圖 40 鄰近 2 號艙蓋破壞區旁未受破壞的珊瑚群聚 . . .	38
圖 41 2 號艙蓋破壞區內新出現的小型殘骸	38
圖 42 2 號艙蓋破壞區內位置移動的小型殘骸	38
圖 43 鄰近 2 號艙蓋破壞區天然珊瑚礁底棲生物群聚與基質 的類別與覆蓋率	39
圖 44 船頭區所遺留的殘骸	40
圖 45 船頭區位於殘骸旁裂縫的測量	40

圖次

圖 46 船頭區位於殘骸旁裂縫的測量	40
圖 47 船頭區位於殘骸旁裂縫的測量	40
圖 48 船頭區位於殘骸旁的裂縫與粗索	40
圖 49 船頭區位於殘骸旁的粗索	40
圖 50 船尾區大型殘骸的測量作業	41
圖 51 船尾區殘骸的測量	41
圖 52 船尾區的殘骸	41
圖 53 船尾區的殘骸	41
圖 54 船尾區的殘骸與旁邊岩石摩擦，使得松藻無法覆蓋生長	41
圖 55 船尾區松藻繁盛的現象	41
圖 56 船尾區的碎石	42
圖 57 船尾區的殘骸與其表面附著生長的珊瑚	42
圖 58 船尾區的殘骸與其表面附著生長的珊瑚	42
圖 59 船尾區殘骸上蝶魚產卵孵育的現象	42
圖 60 船尾區殘骸與旁邊岩石接觸區的表面無大型藻生長，顯示彼此互動情形	42

圖次

圖 61 船尾區殘骸在颱風季節過後情形	42
圖 62 船尾區殘骸在颱風季節過後情形	43
圖 63 船尾區殘骸在颱風季節過後情形	43
圖 64 船尾區殘骸在颱風季節過後情形	43
圖 65 船尾區殘骸在颱風季節過後情形	43
圖 66 阿瑪斯號船身區的引擎殘骸	43
圖 67 2001 年標記調查線的固定樁鄰近引擎殘骸	43
圖 68 船身區大型殘骸	44
圖 69 船身區大型殘骸	44
圖 70 船身區大型殘骸	44
圖 71 船身區大型殘骸	44
圖 72 船身區大型殘骸與其表面附著生長的珊瑚	44
圖 73 船身區殘骸表面蝶魚產卵孵育的現象	44
圖 74 船身區的破碎殘骸	45
圖 75 船身區的銅製螺旋槳殘骸	45

圖次

圖 76 錨鏈	45
圖 77 錨鏈與其表面附著生長的珊瑚	45
圖 78 錨	45
圖 79 錨與其表面附著生長的珊瑚	45
圖 80 船身區殘骸移動造成磨蝕鏽斑的情形	46
圖 81 船身區殘骸移動造成磨蝕鏽斑的近照圖	46
圖 82 鐵礦砂	46
圖 83 礦砂區岩石上的珊瑚	46
圖 84 礦砂移動後暴露其底下的阿瑪斯號殘骸	46
圖 85 龍坑水溫連續變化圖	47
圖 86 龍坑水溫每小時溫度變化與農曆日期和潮汐週期變化的關係	48
圖 87 鐵礦砂與著苗於玻璃壁上的珊瑚	49
圖 88 2 號艙蓋破壞區的移植藍珊瑚群體與沉積物收集管	49

摘要

關鍵詞：龍坑生態保護區、阿瑪斯號貨輪、殘骸、鐵礦砂、損害監測

希臘籍 3 萬 5 千噸級的貨輪阿瑪斯號，於 2001 年 1 月 14 日在墾丁國家公園龍坑生態保護區東北方觸礁擱淺，受颱風影響碎裂，破碎大型船身、殘骸與礦砂仍滯留龍坑海域。本計畫的目的在於監測龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸的分布與移動變化，以及評估其對珊瑚礁所造成的損害，或是否影響航道等。

於龍坑近岸珊瑚礁區北段新發現 2 個艙蓋，較北的 5 號艙蓋在水深 4 至 7 公尺，斷成 3 大部份，長寬分別為 15 乘 3.5、7 乘 3.5 和 6 乘 2 公尺，成直立或斜立卡在水道兩側的礁體之間，颱風造成其在原地晃動而在礁石表面產生刮痕，建議進行固定或移除處理；較南的 4 號艙蓋在水深 7 公尺，結構完整，長 15 公尺寬 7.5 公尺，倒躺在潟湖石灰岩碎石上，卡在高起且其表面有活珊瑚生長的化石珊瑚礁體間；2 號艙蓋破壞區在水深 4 至 12 公尺，總破壞面積為 398.5 平方公尺，包括垂直面積為 225.5 平方公尺和水平面積為 173 平方公尺，珊瑚在自然復原中但速度較慢，建議進行珊瑚移植以促進復育；監測此區底棲群聚結果，硬珊瑚平均覆蓋率在 2005 年 4 月為 27.3%，10 月為 26.9%，軟珊瑚在 2005 年 4 月為 7.7%，10 月為 5.3%而皆呈現穩定。於岩石海床區的船頭區在水深 9 至 12 公尺，固結石塊礁區邊緣有長度約 2 公尺的殘骸和長 41 公尺的裂縫；船尾區在水深 7 至 11 公尺，殘骸覆蓋影響區總面積為 3,978 平方公尺，颱風過後估計約 20 至 25%殘骸有明顯變動；船身區在水深 15 至 23 公尺，船身殘骸與鐵礦砂覆蓋影響區域的測量總面積為 54,700 平方公尺，其中殘餘鐵礦砂區面積為 18,215 平方公尺，而殘餘殘骸區面積為 36,485 平方公尺；引擎、銅製螺旋槳葉的破碎殘骸、錨鏈與錨皆有發現；颱風過後有一片長約 10 公尺的殘骸滑動。整體而言，殘骸目前尚未對航道安全構成威脅。

第一章 緒 論

一、珊瑚礁的重要性

珊瑚礁是海洋中具有最高生物多樣性，並且同時擁有豐富生物資源量、以及高生產力的重要生態系之一，因而在做為觀光旅遊資源、發展漁業經濟、維繫高物種多樣性、維持生態平衡、建造陸地、提供食物和藥物以及提供教育和研究之用等方面，都有非常高的價值(Done et al., 1996; Birkenland, 1997; Roberts, 2002)。

二、珊瑚礁面臨的威脅與現況

然而，由於人口成長、土地開發和社會發展所造成的資源過度利用、沉積物和廢水污染，以及全球氣候變遷等因素，已使得世界上許多珊瑚礁面臨滅亡和衰敗的威脅。根據全球珊瑚礁監測網(Wilkinson, 2004)的報導，全球各地區的珊瑚礁有 20% 已嚴重衰敗，並且在短期內沒有復原的跡象；24% 則受到人為開發的壓力，正處於崩潰的邊緣；26% 則長期具有面臨崩潰的威脅。由於珊瑚礁與其生物資源的重要，並且嚴重承受各種自然與人為因素的威脅，因此各國政府都非常重視瞭解其珊瑚礁的現況與未來發展，而積極且廣泛地進行各類珊瑚礁普查與監測計畫。

近數十年來，珊瑚礁的健康受各種天然和人為因素影響而衰退的報導愈益增加。天然的因素包括颱風、白化、掠食、疾病爆發等；而在人為的干擾方面，直接的衝擊包括船隻擱淺、破壞性漁法和污染等。在船隻擱淺的調查研究方面，主要針對受破壞區結構破壞的永久性，以及生物群聚的復原與人為重建復育等方面，由於各地區受船隻擱淺的污染與破壞型態，以及受破壞區的生態系類別與生物群聚的復原狀況變化很大，因此復育與監測的方式也

有所不同(Curtis, 1985; Smith, 1985; Hudson and Diaz, 1988; Jaap, 2000; Hudson and Goodwin, 2001; Precht et al., 2001; Rogers and Garrison, 2001)。

三、船隻觸礁擱淺事件在世界各地珊瑚礁發生的情況

船隻在珊瑚礁觸礁擱淺的事件在一些地區皆有報導，例如動力輪船 Wellwood 於 1984 年 8 月 4 日在美國的佛羅里達 Molasses 礁區擱淺，破壞當地珊瑚礁的礁體結構與生物，估計有 1282 平方公尺礁區內，70 至 100% 的珊瑚損失，其中 644 平方公尺的礁體結構受船隻重壓而破碎(Curtis, 1985; Gittings et al., 1988; Hudson and Diaz, 1988; Precht et al., 2001)；貨輪 Mari Boeing 於 1978 年 12 月在百慕達北邊礁區擱淺，造成約 0.44 平方公里礁區受損，礁體被磨平和產生大量碎石，而其周圍約 25 至 50 公尺範圍的珊瑚則受干擾而傷亡(Smith, 1985)；動力輪船 Fortuna Reefer 於 1997 年 7 月 24 日在波多黎各 Mona 島擱淺 8 天後被拖離，造成約 300 公尺長 30 公尺寬範圍的礁區受損，當地大型分枝形軸孔珊瑚和團塊形珊瑚受損嚴重(Bruckner and Bruckner, 2001)；貨輪 Florida 於 1976 年 6 月 8 日在澳洲大堡礁 Myrmidson 礁區擱淺，沉沒在水深 2 至 4 公尺處，造成淺水域槽溝的結構傷害，以及 700 噸火山石船貨的外洩，並且可能與此海域出現大型藻群聚有關(Hatcher, 1984)；貨輪 Bunga Teratai Satu 於 2000 年 11 月 2 日在大堡礁 Sudbury 礁區擱淺，經處理後船隻浮起脫離礁區，船貨與燃油皆未外洩，但造成礁體結構受損，產生大量碎石，沉積物中含有抗附著生物塗料、銅和鋅等，並且散佈至離擱淺處達 250 公尺(Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2002)；和貨輪 Safir 於 1989 年 9 月 12 日在以色列的 Ras Nasrani 礁區擱淺與洩漏磷酸鹽，造成約 500 平方公尺礁區底棲生物幾乎被完全清除，其後船隻被拖離沉沒在水深 1100 公尺處(Hawkins et al., 1991)等。整體而言，以位居主要航海運輸路徑和以海域觀光遊憩活動為主等的區域，發

生觸礁擱淺事件的次數較多，同時受到政府和當地民眾的長期關注與重視，例如美國的佛羅里達角國家海洋保護區(Florida Keys National Marine Sanctuary, 2005)和澳洲的大堡礁管理局(Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2002)，都有針對船隻在珊瑚礁區航行與擱淺發生處置的規劃管理，以預防意外事件的發生和在事故發生後能夠快速有效處理。

四、船隻觸礁擱淺事件－物理傷害

船隻觸礁事件對珊瑚礁造成不利影響的原因，包括：船身的撞擊使珊瑚礁斷裂與破碎(Hudson and Diaz, 1988; Hawkins et al., 1991; Bruckner and Bruckner, 2001)，船身受風浪作用不斷磨損珊瑚等固著性生物與礁體(Curtis, 1985)。一些對船隻觸礁的研究結果發現，船身對礁體的撞擊與磨損會造成生物群聚的嚴重損害，甚至完全破壞(Edgara and Barrett, 2000; Bruckner and Bruckner, 2001)。

五、船隻觸礁擱淺事件－化學傷害

船隻觸礁漏油和其他漏油事件在一些珊瑚礁區，如紅海(Loya and Rinkevich, 1980)、巴拿馬(Jackson et al., 1989)和阿拉伯灣(Vogt, 1995)等地區都曾經發生過。有些地區，如阿拉伯灣的研究結果顯示，1991年的油污染在1992至1994年調查時，並未發現對珊瑚礁造成明顯不良後果，可能與其影響僅有部份區域有關(Vogt, 1995)；有些地區的珊瑚礁，如紅海因長期承受漏油污染(Loya and Rinkevich, 1980)，和巴拿馬遭受大量原油污染(Jackson et al., 1989)，則明顯受油污染傷害，其現象包括油污染可能造成珊瑚廣泛死亡，使得珊瑚覆蓋面積減少(Jackson et al., 1989)；或使得珊瑚不健康，表現出白化、組織緊縮或潰爛、分泌黏液等受環境緊迫的症狀(Jackson et al., 1989)；或是影響珊瑚生殖能力，造成生殖腺變小、生殖力降低(Guzman and Holst, 1993)等。此外，油污染對珊瑚群聚的發展可能

具有長期的影響，1986年在巴拿馬的油污染，受損害的珊瑚由於其鄰近紅樹林的沈積物中含有油污而持續分解釋放，在五年之後仍無復原的跡象(Guzman et al., 1994)。

除了油污之外，船隻觸礁事件對珊瑚礁造成不利影響的原因，還包括：船身表面抗附著生物的塗漆剝落，沉積在礁石縫隙和砂石中造成毒性污染(Haynes et al., 2002; Negri et al., 2002);一些研究結果發現，抗附著生物的塗漆與油污和分解油污用的清潔劑一樣，都具有阻礙珊瑚配子和胚胎正常發育(Rinkevich and Loya, 1979; Guzman and Holst, 1993)，受精作用(Negri and Heyward, 2000)以及抑制幼生附著的不良影響(Epstein et al., 2000; Negri et al., 2002);其中抗附著生物塗漆的影響，直到最近才引起注意並被實驗證實(Negri et al., 2002)。

六、阿瑪斯號事件

希臘籍，3萬5千噸級的貨輪阿瑪斯號，於2001年1月14日在墾丁國家公園龍坑生態保護區東北方，離岸約1公里處觸礁擱淺，船上載有6萬噸鐵沙和2百噸燃油。阿瑪斯號對龍坑海域海底生態所造成的最大傷害來自於其船身觸礁、覆蓋礁體，以及受颱風影響，碎裂的船身鐵片經海浪作用破壞海底，磨損珊瑚及其他礁體表面的附著生物(方等; 2001; 2002)。而到目前，阿瑪斯號貨輪的破碎大型船身與殘骸仍滯留龍坑海域，可能由颱風所引起的風浪逐漸推動接近淺水域的珊瑚礁，而產生破壞珊瑚礁、阻礙航道、甚至衝上陸地等影響。

第二章 龍坑海域實地調查與結果

第一節 計畫目的與方法

一、本計畫的目的

本計畫的目的在於監測龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸的分布與移動變化，以及評估其對珊瑚礁所造成的損害，或是否影響航道等。

二、材料與方法

本計畫在台灣南部墾丁國家公園龍坑生態保護區(圖 1)，阿瑪斯號貨輪殘骸分布區海域(圖 2、3)，利用全球定位系統、水下推進器(圖 4，Apolo AV-1)、浮球標記(圖 4、5)、潛水錄影照相的方式，密集調查監測阿瑪斯號貨輪殘骸的分布與移動變化，測量記錄殘骸所在經緯度、深度、大小、覆蓋區為珊瑚礁或珊瑚群聚，以及其對珊瑚礁所造成的損害，或是否影響航道等；此外，並目視估計珊瑚的覆蓋率。調查日期、作業地點與參與人員如表 1 所示。

調查地點涵蓋龍坑海域可能受阿瑪斯號船身擱淺撞擊，及其外漏之鐵砂影響的區域，其中特別搜尋明顯特定殘骸，包括較深水域的引擎、螺旋槳、錨鏈與錨，以及近岸區的艙蓋等殘骸位置。調查區域由近岸區至外海區，依序分為 5 號艙蓋、4 號艙蓋、2 號艙蓋破壞區、近岸區、船頭區、船尾區和船身區等。

三、天然珊瑚礁群聚的監測

在近岸區鄰近 2 號艙蓋破壞區（圖 2，D 點）的天然珊瑚礁群聚，水深 4 至 6 公尺的區域，平行於海岸線，沿著等深線，分別設立 3 條各長約 30 公尺的橫截線，橫截線的兩端與中間以鑿子固定於硬基質上，橫截線的位置盡量避開底棲生物無法作為基質的沙地。調查時先將塑膠捲尺沿著之前固定的鑿子拉好，然後以 20 乘 20 公分的不銹鋼正方形方框和數位相機，拍攝紀錄樣區內底棲生物和基質，所拍攝的每個 20 乘 20 公分樣框在電腦軟體各灑 60 個隨機樣點，再計數各樣框內底棲生物和基質的樣點數和計算其覆蓋率。底棲生物和基質分為硬珊瑚、軟珊瑚、柳珊瑚、海葵、海綿、大型藻類、基質（包括附著藻）與其他、以及砂與礫石等大類。調查時間分別為 4 月和 10 月。此外，在此區域水深 6 公尺處，設置一溫度記錄器（HOBO，美國 Onset 電腦公司），每小時記錄水溫一次；水溫資料除了連續做圖呈現每小時變化之外，也將日期轉換為農曆日期，並計算每日各小時間的溫度變化，將溫度變化以柱形圖的方式與農曆日期和潮汐週期做圖，以了解溫度變化與潮汐週期的關係。

第二節 結果

一、 調查地點

調查地點如圖 2 所示，所涵蓋調查地點的名稱包括：龍坑外海露出海面的獨立礁(A)、調查近岸區時新發現的 5 號艙蓋(B)、4 號艙蓋(C)、於 2001 年在近岸區 2 號艙蓋所造成的破壞區(D)、經 2001 年颱風作用後的船頭(E)、船尾(F)、引擎(G)、鐵礦砂邊緣(H)、錨(I)和其他殘骸等。在殘骸分布區主要邊緣地點標記浮球所測量的經緯度資料，如表 2 所示。

在海底地形方面，龍盤至龍坑的近岸區為初步發展的裙狀珊瑚礁，具有脈脊與槽溝(圖 7, spur and groove)地形，珊瑚礁延伸至海面下約 10 至 20 公尺，部份區域有一些小型石灰岩塊聚集(圖 8)，其下則為沙地(圖 9)，然後是岩石海床，呈現層狀相疊或平坦地形(圖 10)，有時有大型岩塊矗立，一些區域有許多小型岩塊聚集(圖 11)。

二、5 號艙蓋

在 2005 年 5 月 23 日調查龍坑北段時，首先觀察到一不尋常的裂縫(圖 12、13、14、15)，進一步勘查發現 5 號艙蓋，其斷成 3 大部份，最大的長 15 公尺寬 3.5 公尺(圖 16)，第二大的長 7 公尺寬 3.5 公尺(圖 17)，小片的長 6 公尺寬 2 公尺(圖 18)，其他尚有少數碎片，3 大塊殘骸都成直立或斜立，卡在水道兩側的礁體之間，水深 4 至 7 公尺。殘骸的大部份表面被許多紅色大型藻和鈣化藻覆蓋生長(圖 19)，只有零星珊瑚小群體(直徑 < 5 公分)，如花環肉質軟珊瑚出現，殘骸可能不穩定而容易在較強海流情況下晃動。所觀察到的不尋常礁體裂縫鄰近(< 10 公尺)艙蓋殘骸，因裂縫表面只有一些底棲生物生長，推測其所形成的時間短，可能只有數年，旁邊也發現有艙蓋磨蝕

出的直角礁面痕跡(圖 20)，裂縫可能為艙蓋撞擊所造成，但缺乏直接證據。另外此區域尚有其他一些裂縫，這些裂縫顯示此區域的礁體結構可能較脆弱。部份區域珊瑚覆蓋率達 40%。在颱風季節過後的 9 月調查時，發現較大的 2 片破損艙蓋有在原地晃動，造成珊瑚礁體表面刮損面積約 150 公分乘 50 公分(圖 21)和 50 公分乘 10 公分(圖 22)，而較小的破損艙蓋(6 公尺乘 2 公尺)未發現，可能已移動，或因能見度差(僅有約 2 公尺)而未發現。

三、4 號艙蓋

在 2005 年 5 月 18 日調查龍坑北段近岸區的瀉湖時發現 4 號艙蓋(圖 23)，其結構完整，長 15 公尺，寬 7.5 公尺，在水深 7 公尺，卡在高起且其表面有活珊瑚生長的化石珊瑚礁體間(圖 24、25、26)，艙蓋平躺而翻倒，內部堆積一些沙和礁石，並有部份破損(圖 27)，可能較不易移動。艙蓋表面有許多大型藻類，包括松藻和乳節藻覆蓋生長。艙蓋位置的底質是石灰質礁石，珊瑚覆蓋低於 5%。鄰近有許多小型石灰岩塊聚集，其表面大型藻類繁生(圖 28、29)。

四、2 號艙蓋破壞區

此艙蓋破壞區於 2001 年辨認並標記此區域作為監測地點，在水深 4 至 12 公尺(圖 30)。以皮尺沿著明顯被破壞區與未破壞區的交界測量(圖 31、32)，結果總破壞面積為 398.5 平方公尺，包括垂直面積為 225.5 平方公尺和水平面積為 173 平方公尺，此區域多處有被艙蓋磨蝕出的直角和平面礁面痕跡(圖 33、34、35)；被破壞區珊瑚礁礁體表面骨架(framework)遭受破壞，失去複雜起伏的變化而使得表面平坦，表面的附著生物，如珊瑚幾乎完全被刮除，而至今約 4 年後(2005 年)的珊瑚數量仍非常稀少，只有零星小珊瑚出現，2005 年 4 和 5 月調查時大部份面積為大型藻和泥沙覆蓋(圖 36、37)。

鄰近未受破壞區的珊瑚則明顯較豐富(圖 38、39、40)，常見珊瑚種類包括菊珊瑚、腦紋珊瑚、鹿角珊瑚、藍珊瑚、葉形軟珊瑚、指形軟珊瑚、微孔珊瑚等，估計鄰近未破壞區垂直面的平均珊瑚覆蓋率為 60%，而水平面的平均珊瑚覆蓋率為 45%。有發現新出現長度小於 1 公尺的小型殘骸 4 塊，夾在礁塊之間(圖 41)。在颱風季節過後的 9 月調查時，有 1 片小型殘骸位置移動約 5 公尺，與另一片殘骸位在礁石間(圖 42)。此外，大型藻和泥沙覆蓋情形亦明顯減少。

鄰近 2 號艙蓋破壞區天然珊瑚礁底棲生物群聚與基質類別的平均覆蓋率方面(圖 43)，硬珊瑚在 2005 年 4 月為 27.3%，10 月為 26.9%而呈現穩定；軟珊瑚在 2005 年 4 月為 7.7%，10 月為 5.3%而呈現穩定；大型藻在 2005 年 4 月為 35.2%而明顯減少至 10 月的 18.9%；而附著藻、空基質和其他生物在 2005 年 4 月為 26.7%，10 月明顯增加為 38.1%。此外，沙和礫石的比例也由 2005 年 4 月的 0.1%，明顯增加至 10 月的 7.8%。

五、近岸區

近岸區珊瑚覆蓋呈相當變化，珊瑚覆蓋在龍坑中段較高，中段向北有一淺水瀉湖區，具有許多會移動的石灰岩礁石和沙地，水深達 7 公尺(4 號艙蓋地點)。北段珊瑚覆蓋介於 30 至 60%，包括 5 號艙蓋區。南段珊瑚覆蓋介於 30 至 50%。4 和 5 月調查時，一般而言有許多大型藻類廣泛生長，在中段區數量更明顯。一些沙地也有藻類，可能是矽藻覆蓋生長。部分區域石珊瑚和軟珊瑚密集生長，尤其是一些分離指形軟珊瑚和肉質葉形軟珊瑚的群體相當大，直徑達 2 公尺以上。在颱風季節過後的 9 和 10 月調查時，大型藻類已明顯減少。

六、船頭區

鄰近船頭區的海床包括兩區，9 公尺處有由固結石塊形成的礁區，表層（最厚達 10 公分）有珊瑚藻、藻類、海綿、海鞘和珊瑚區塊生長，而將石塊連接。珊瑚覆蓋成區塊分布，範圍介於 10 至 40%。另一區在固結石塊形成的礁區西方，此區海床斜向分布，有會移動石塊和沙地，水深 10-12 公尺，此區珊瑚覆蓋 5-10%。延著固結石塊礁區邊緣有長度約 2 公尺的殘骸（圖 44、45）和一明顯的裂縫（圖 46、47、48），裂縫中的石塊上有一點生物和珊瑚生長，裂縫長 41 公尺，旁邊（<10 公尺）另有數個小殘骸碎片和約 10 餘公尺長的粗索（圖 46、48、49），裂縫可能因 2001 年颱風造成船頭移動撞擊而產生。鄰近沙地有附著藻覆蓋生長情形（圖 9）。

七、船尾區

此區域包含具有大型殘骸區塊（圖 50、51）和小型殘骸密集聚集（圖 52、53），一些破碎的石塊，石塊和海床岩石的岩石脊溝渠。殘骸覆蓋影響區平均長度為 170 公尺，平均寬度為 23.4 公尺，共計總面積為 3,978 平方公尺，深度 7 至 11 公尺。目測鄰近船尾殘骸區的珊瑚覆蓋介於海床岩石區的 15% 到大石塊區的 5% 變化範圍，平均覆蓋率為 10%。發現有松藻繁盛大量覆蓋生長在殘骸與岩塊表面的情形（圖 54），而在一些殘骸與岩塊交界則松藻並未出現，顯示可能因殘骸晃動而使松藻無法覆蓋生長（圖 55），繁生的松藻也與珊瑚競爭生長空間。也發現殘骸區有許多碎岩塊（圖 56）。殘骸表面有一些珊瑚附著生長（圖 57、58），以鹿角珊瑚科、軸孔珊瑚科和菊珊瑚科的種類為主，其他尚有花環肉質軟珊瑚、棘穗軟珊瑚等，石珊瑚的群體大多低矮，並常有較大面積的基座延伸生長，一些軸孔珊瑚和鹿角珊瑚群體的直徑已有 10 公分以上；部份殘骸也有蝶魚類將卵產在殘骸表面進行孵育照顧的現象（圖 59）。

在颱風季節過後的 10 月調查時，一些殘骸與岩塊交界表面無松藻覆蓋生長的情形仍可見（圖 60），許多 1 公尺以上大小的殘骸已移動（圖 61、62、63、64、65），可看到新的生鏽斑痕和附著生物被磨蝕清除的區域，一些大型

殘骸也移動，估計至少二片(16 乘 5 公尺和 17 乘 8 公尺)的大殘骸明顯不在原來位置，與 5 月比較，約 20 至 25%的殘骸區有變動，水下有殘骸隨湧浪晃動摩擦聲音，顯示一些殘骸不穩定。此區圓石也移動，一些原石移動可能與殘骸移動有關，暴露新的清除表面；海床岩石也破碎，表面生物被清除。殘骸現況尚不影響航道。

八、船身區

於 2005 年 4、5 和 7 月調查結果，船身殘骸與鐵礦砂覆蓋影響區域的測量總面積為 54,700 平方公尺，其中殘餘鐵礦砂區面積為 18,215 平方公尺，而殘餘殘骸區面積為 36,485 平方公尺，深度 15 至 23 公尺，船身周圍海床包括殘骸南方和西方有大石塊、小石塊；殘骸北方有海床岩石露頭、大石塊、沙地。目測船身殘骸鄰近珊瑚平均覆蓋率低於 5%。

船身殘骸南方為引擎(圖 66)，也發現 2001 年標記調查線的固定樁在引擎旁(圖 67)，引擎以北是大型殘骸主要分布區域(圖 68、69、70、71)，大部份殘骸表面只有零星小珊瑚出現，但少數區域有較多珊瑚的加入量(圖 72)，以鹿角珊瑚科、軸孔珊瑚科和菊珊瑚科的種類為主，其他尚有棘穗軟珊瑚、微孔珊瑚、花環肉質軟珊瑚、葉形軟珊瑚、羽珊瑚等，石珊瑚群體大多低矮並常有較大面積的基座延伸生長。部份殘骸也有蝶魚和雀鯛魚類將卵產在殘骸表面進行孵育照顧的現象(圖 73)，也發現有廢棄漁網纏繞在殘骸上的情形。此外，一些區域有許多小型殘骸聚集的現象(圖 74)，也發現銅製螺旋槳葉的破碎殘骸(圖 75)。船身前方發現錨鏈(圖 76)，其表面有一些珊瑚著生，主要是鹿角珊瑚(圖 77)；沿著錨鏈至其末端發現錨與其相連(圖 78)，錨位於水深約 13 公尺處，其表面有一些珊瑚著生，主要是鹿角珊瑚(圖 79)，可看到一些損害現象，如岩塊碎裂等。錨區海流經常強勁。在颱風季節過後的 9 月調查船身時，發現一片長約 10 公尺的殘骸滑動(圖 80、81)，而在其底下的殘骸表面留下約 6 公尺清楚且新形成的刮痕。殘骸現況尚不影響航道。

鐵礦砂分布廣(圖 82)，沉積厚度有的區域可能達 10 公分以上，鐵礦砂分布區的岩塊上有少數珊瑚，如花環肉質軟珊瑚、鹿角珊瑚的小群體生長(圖 83)。在颱風季節過後的 9 月調查時，礦砂貨物也有移動而暴露其底下殘骸與岩石(圖 84)。

九、水溫

在近岸區水深 6 公尺監測水溫的結果顯示，水溫呈現明顯變動(圖 85)，其中受到今年一系列颱風，包括海棠強烈颱風(7 月 16 至 20 日)、馬莎中度颱風(8 月 3 至 6 日)、泰利強烈颱風(8 月 30 日至 9 月 1 日)等的影響可清楚辨識。而不同月份每日溫度變化與農曆日期的關係顯示，在夏季 7 和 8 月的大潮期間，即滿月和新月，溫度變化較大，有 3 至 5 天發生 1 小時內 3 至 4°C 以上溫差的變化，顯示溫度變化與潮汐變化有關(圖 86)。

第三章 討論與建議

第一節 討論

一、龍坑海底地形

Jones 等人 (1972) 報導在恆春半島東岸的龍坑至出風鼻雖有裙狀珊瑚礁，但其呈初步發展與零星分布(occasional)；而 Randall 和 Cheng (1977) 調查台灣沿海珊瑚礁與生物，並報導在恆春半島東岸的龍坑為裙狀珊瑚礁的石灰岩地質，但呈初步發展，而其北方的風吹砂、加樂水至出風鼻則為大型圓狀岩石海岸。此次調查目前結果與 Randall 和 Cheng (1977) 的敘述相似。推測龍坑珊瑚礁僅呈初步發展，主要是受水溫較低(低於鄰近的香蕉灣和綠島，樊，未發表資料)、冬季風浪大和陸地上升等因素的影響所致。

海底底質類別是珊瑚礁、沙地或岩石海床的明確區分，以及不同區域珊瑚數量的變化，在計算阿瑪斯號所造成損害時非常重要，除了因為不同生態系的結構、功能與價值不同之外，在實際估算合理復育費用時也會因為復育方式的差異而有較大的改變。

二、阿瑪斯號擱淺移動過程

阿瑪斯號艙蓋受觸礁擱淺期的強勁東北季風影響，大多漂流至船身西南方的龍坑近岸區，如 2、4、5 號艙蓋。此外，尚有一船艙蓋擱淺於龍坑南方，以及工作船也曾在南方擱淺。漂流擱淺在近岸的艙蓋，如 2 號艙蓋造成珊瑚礁礁體表面骨架(framework)的破壞，高低起伏的複雜表面受到損害，表面的附著生物，如珊瑚幾乎完全被括除；而至今約 4 年後，目前的珊瑚數量仍稀少，只有零星小珊瑚出現。

然而，颱風的影響則是將船頭、船尾以及其他殘骸沿著海底隆起，向西北方的岸邊移動。阿瑪斯號的船身擱淺在岩石海床上，而經颱風造成斷裂移動的船頭、船尾和其他殘骸都位於岩石海床區，但此區域有珊瑚群聚發育。本年度發生颱風的強度較大，並且次數較多；在颱風季節過後的9和10月調查時，可清楚觀察到殘骸移動所留下的痕跡，因此顯示許多殘骸，特別是船尾區並不穩定，會受到颱風影響而變動，值得日後追蹤觀察。

三、阿瑪斯號造成的物理傷害－珊瑚礁結構、骨架、珊瑚和其他生物的損失

大型船隻觸礁擱淺所造成的傷害，主要包括珊瑚礁岩斷裂破碎、受破壞區大面積或全部的珊瑚群聚被清除死亡、高起伏的立體棲地地形被粉碎或刮除、並且產生大量的空基質、以及不穩定的基質，如圓石(boulder)和礫石(rubble) (Precht et al., 2001)。復育工作最優先的是將不穩定的基質穩固，以避免風浪造成碎石滾動而繼續危害珊瑚與其他底棲生物，以及不斷產生沉積物等負面的作用。缺少穩定的基質是阻礙珊瑚在被破壞區再生或加入的重要因素，此在其他船隻擱淺事件調查中皆有報導(Gittings et al., 1988; Hudson and Diaz, 1988; Gittings et al., 1994)。

四、鐵礦砂

將尖枝列孔珊瑚、細枝鹿角珊瑚和萼柱珊瑚的幼生收集，放入含有鐵礦砂或曾浸泡過鐵礦砂的海水中，結果三種珊瑚的幼生皆會變態和著苗，(圖87)，顯示礦砂可能不會釋出有毒物質而影響這三種珊瑚幼生的著苗(樊，未發表資料)；不過，礦砂的負面影響在於其為不穩定的沉積物基質，會抑制珊瑚幼生附著成長，並且會隨海流移動而傷害珊瑚和其他底棲生物(Gittings et al., 1988; Hawkins et al., 1991)。

五、破壞後復原－自然復原

自 2002 年 6 月至 2005 年 9 月監測 2 號艙蓋破壞區 3 個 1 乘 1 平方公尺的固定樣區，2005 年 9 月調查的結果顯示，珊瑚群體密度每平方公尺平均為 38.3 株，珊瑚群體平均體型為 9.3 平方公分，珊瑚覆蓋率為 4.4%；新加入的珊瑚種類主要是菊珊瑚科、微孔珊瑚科、鹿角珊瑚科的種類(Liu et al., 2004; Fan et al., 2005; 樊與劉，未發表資料)。Precht 等人(2001)認為礁區高起伏的地形被船隻擱淺破壞後，若無復育重建，破壞區將無法復原到其原始的群聚結構；取而代之的則是改變為硬底質(hardground)的穩定群聚型態，並發現 MV Wellwood 擱淺地點的狀況與硬底質較相似，而非鄰近礁區脈脊與槽溝 (spur and groove)棲地的對照地點。值得注意的是，龍坑近岸區淺水域即為珊瑚礁脈脊與槽溝地形，不過，由於主要是艙蓋在強勁風浪作用下所造成礁體表面磨蝕的傷害，因此其長期復原結果尚待監測評估。

Rogers 和 Garrison (2001)報導在美國 Virgin 島被船錨破壞區，雖然有較高的珊瑚加入量密度，珊瑚覆蓋率卻在 10 年中並未明顯增加，反映新加入群體的存活率和生長不佳；原因可能是被破壞區表面平坦，使珊瑚加入量易受不穩定的碎石和漂砂磨蝕而傷亡。龍坑近岸區被破壞區珊瑚加入量的群體體型小，並且許多群體呈現被大型藻覆蓋生長的情形，也反映加入量的存活與生長受到抑制。

六、自然復原珊瑚加入量的種類

Smith (1992)調查百慕達礁區被一貨輪擱淺而嚴重破壞區，在 8 年後加入量最多的種類為生殖型式為孵育幼生型的微孔珊瑚 *Porites astreoides*，並且有所成長。龍坑海域近岸區珊瑚加入量的種類主要是菊珊瑚科，而較深海域的船身殘骸表面的珊瑚加入量種類則主要是軸孔珊瑚和鹿角珊瑚，顯示不同深度海域的環境狀況可能不同，而造成加入種類的差異。

七、自然復原所需時間比較

在龍坑近岸 2 號艙蓋破壞區監測 3 個 1 平方公尺固定樣區的結果顯示，歷經 4 年珊瑚恢復至覆蓋率為 4.4%，因此估計需約 45 年才能恢復至珊瑚覆蓋率達 50% (Liu et al., 2004; Fan et al., 2005; 樊與劉，未發表資料)。

在被破壞區珊瑚的復原率方面，Riegl (2001)估計在紅海迎風面礁斜坡的珊瑚群聚，在船隻擱淺破壞後，依自然復原的方式需要約 100 至 150 年才能夠恢復至被破壞前的狀態；在美國佛羅里達，Gittings 等人 (1988)報導在 MV Wellwood 擱淺後 27 個月，有原來覆蓋的 13%復原，而估計將在 17 年內完全復原；不過，Aronson 和 Swanson (1997)報導 MV Wellwood 擱淺地點的狀況與硬底質(hardground)較相似，而非鄰近礁區的對照地點，顯示珊瑚的復原並不如 Gittings 等人(1988)預期的快速。Smith (1985)報導百慕達船隻擱淺後，珊瑚復原率為 $25 \text{ cm}^2\text{m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ，而 Cook 等人(1994)估計需 80 至 160 年此區域才能復原，此外，在有颱風經常干擾的地區，珊瑚復原的速度也會減緩(Dollar and Tribble, 1993; Riegl, 2001)。

八、破壞區藻類繁盛現象

龍坑近岸 2 號艙蓋破壞區大型藻繁盛的現象，以及船尾區松藻大量生長的情形，對珊瑚的復原可能有抑制作用。Hatcher (1984)報導被船隻擱淺破壞的地區成為藻類為優勢的穩定群聚型態，而在紅海 Belteski Zuri 船隻擱淺破壞區，密集的红藻在事件發生後 3 年仍持續存在(Riegl, 2001)。另外，在中太平洋的 Rose 環礁船隻鋼鐵殘骸滯留海底也會長期釋放溶解性鐵，造成污染和藻類繁生(Green et al., 1997)。

藻類對珊瑚礁底棲群聚的發展影響很大。珊瑚藻含有促進珊瑚幼生附著與變態的化學誘導物質，並且抑制其他大型藻的加入生長，因此對珊瑚的復

原有重要的正面影響。然而，大型藻則抑制珊瑚加入、與珊瑚競爭生長空間、並且會聚集沉積物或釋放抑他化學物質而對珊瑚的復原有負面影響(Miller and Barimo, 2001)。

九、遺留的船身殘骸

值得注意的是，在一些船隻擱淺事件中，遺留的船身殘骸其表面有較多的珊瑚加入量，例如 Riegl (2001)發現紅海 Camel-Nabq 2 船身殘骸的珊瑚覆蓋幾乎高出被破壞礁區的 4 倍，且在其他船隻擱淺事件亦相似。此現象在龍坑阿瑪斯號殘骸也有相似情形，但珊瑚的加入量在殘骸的不同區域有很大的變化，原因可能是在被破壞礁區有許多不穩定的碎石造成干擾，而大型殘骸則提供穩定基質，並且高起的船身殘骸可能使得其表面的珊瑚較不受沉積物漂砂和碎石滾動的影響。

十、破壞後復原—人為復原

與陸地和溼地已有上千個重建案例相比，珊瑚礁只有約十餘個，尚處於正在發展中的狀況(Precht et al., 2001)。在規劃重建復育時需考慮(1)在無人為努力下，自然復原需耗時多少年？(2)自然復原是否形成與其原始群聚型態不同的群聚？(3)人為重建應與被破壞區原來的型態相似。

十一、珊瑚移植復育

由於珊瑚自然加入量的復原速率受到抑制，利用人工移植珊瑚以重建復育受破壞區將是有必要，並且能加速珊瑚復原的復育做法。在移植重建方面，必須考慮不造成其他地區的傷害，並且移植的珊瑚種類組成與被破壞區原來的型態相似，同時具有高的存活率。美國佛羅里達有案例，船隻在 1989 年擱淺破壞礁區，而於 1995 年(即 6 年後)進行重建復育(Miller and Barimo, 2001)。

珊瑚的移植已在許多國家被用於復育重建被破壞的珊瑚礁(Harriott and Fisk, 1988; Hudson and Diaz, 1988; Clark and Edwards, 1995; 1998; Rinkevich, 1995; 2000; Oren and Benayahu, 1997; Edwards and Clark, 1998)。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；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。

珊瑚的移植經常使用分枝形珊瑚，主要是因為其具有生長快、競爭能力強、是主要的造礁珊瑚、立體式的生長外型、分枝空間大量並且穩固且隱蔽，提供魚類安全棲所等優點(Connell, 1973; Harriot and Fisk, 1988; Bowden-Kerby, 1997; 2001; Lindahl, 1998; Rinkevich, 2000)。而團塊形珊瑚過去受限於其生長速率慢，較少被應用於移植(Ortiz-Prosper et al., 2001)；但團塊形珊瑚也經常是主要的造礁珊瑚，一些種類也會進行無性分裂生殖，並且團塊形珊瑚在連結不同礁體之間的效果也可能較分枝型珊瑚佳；此外，有學者認為因為團塊形珊瑚的生長率慢，但移植後的存活率較高，因此而更需要儘早移植，以使其有較長的時間成長而建立群聚(Edwards and Clark, 1998; Edwards et al., 2001)。由於龍坑海域珊瑚以表覆形和團塊形為優勢，因此進行移植復育應選擇此類珊瑚進行。

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)。Becker 和 Mueller (2001)曾報導可在水族箱中培育珊瑚至適合移植體型，並且在人為環境下比較方便照顧維護，減少不當環境，如沉積物、污染、掠食與競爭所造成的傷亡，但須注意降低飼育成本與預防疾病蔓延危害。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)；國內方面，海洋生物博物館已建立珊瑚大量培育生產的技術與規模(樊等 1999, 2001, 2002, 2004; 樊 2001, 2002)。

十二、考量中的復育方法

2 號艙蓋破壞區移植珊瑚

2 號艙蓋破壞區其天然珊瑚復原正在進行中，由於珊瑚主要是團塊形和表覆形的種類，因此生長速度較緩慢(Liu et al., 2004; Fan et al., 2005; 樊與劉，未發表資料)；而在移植珊瑚復育實驗方面，於 2005 年 4 月將採集自萬里桐的藍珊瑚分株，固定於水泥的人工基座，再移植固定於龍坑近岸區，共移植 92 株(圖 88)；而於 5 月調查時，有 71 株健康、8 株負成長、5 株白化、8 株遺失；負成長和白化可能與此區大型藻類大量出現有關，其覆蓋生長在移植珊瑚群體表面(樊與郭，未發表資料)。但在颱風季節過後的 9 月調查時僅發現 12 株，其他移植珊瑚因能見度差調查困難而尚待確認，移植珊瑚的損失主要是受颱風影響。移植實驗結果顯示，移植珊瑚雖然能夠促進復原但目前成效較低。建議在規劃未來珊瑚復育計畫時，先設定珊瑚復原率的目標，例如擬定珊瑚平均覆蓋率為第 1 年達 10%、第 2 年達 25%、第 3 年達 40% 和第 4 年達 50%；然後依據自然復原率監測資料，在自然復原率未達設定目標時進行珊瑚移植復育。此外，建議未來復育目標為強化珊瑚復原至破壞前

狀況，即珊瑚覆蓋在垂直面達 65%，水平面達 45%，一些區域(如沙地/會移動的礁石)則並不適合移植珊瑚。而移植珊瑚種源取自環境和距離都與龍坑相近的佳樂水，在人工環境下培育增殖，以減少野外珊瑚的採集量，預計進行復育的總破壞面積為 398 平方公尺，復育期 4 年。除了移植珊瑚之外，可能需要放養食藻的無脊堆動物如螺類和海膽，以抑制藻類生長與強化珊瑚加入量與存活。

4 和 5 號艙蓋與船頭區裂縫的結構問題

4 和 5 號艙蓋與船頭區裂縫中目前已有一些珊瑚附著生長；不過，其結構是否穩定尚待繼續追蹤監測。

4 和 5 號艙蓋的處裡

現況為 4 和 5 號艙蓋位於淺水區(<8 公尺)，易受東北季風和颱風引起的強勁風浪影響，尤其是 5 號艙蓋已破碎，斜立在礁石間，將不斷撞擊測邊珊瑚礁體以及刮磨礁岩表面，對當地生態構成潛在威脅，因此建議應儘早將其固定或移除，然後監測復原與評估是否需要進行生態重建。

船身附近礦砂移除

現況為礦砂不穩定，會隨海流移動，使底棲生物無法長期著生，也會磨蝕其他海床岩石上的生物，造成傷亡，因此建議移除。以潛水人員利用氣流提升的方式，將船身殘骸周圍礦砂清除，估計面積為 18,215 平方公尺。建議可參考澳洲大堡礁清除含有抗生物附著塗料砂石與碎基質的方式進行(Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2002)。

殘骸穩定性的問題

由於目前殘骸區所在的水深 20 公尺內仍會受到颱風的影響，長期而言殘骸仍為不穩定，而有被移動至岸邊的風險，尤其是目前發現在今年颱風的影響下，船尾區有 20 至 25%的殘骸受到影響而變動，船身區也觀察到 10 公尺長的殘骸滑動現象，因此建議將其固定或移除。不過，由於龍坑海域的海況較不易預測掌握，處裡殘骸所需的設備、技術與費用高昂，因此殘骸處裡的規劃與執行也須特別謹慎。

龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸
及對珊瑚礁損害的監測

第二節 建議

建議一：收集彙整分析過去台灣沿海船隻觸礁擱淺事故原因與處置：中長期建議

主辦機關：交通部

協辦單位：墾丁國家公園管理處

台灣位於主要國際航行運輸路線途中，因此遭遇船隻觸礁擱淺意外事故發生的風險較高，建議應將過去事故資料收集彙整，分析研擬預防措施與緊急應變流程與編組，並且定期演練，以有效降低意外事故所造成的損害。

建議二：規劃船隻觸礁擱淺處理流程與損害評估方法：中長期建議

主辦機關：交通部

協辦單位：墾丁國家公園管理處

船隻觸礁擱淺後，應儘快進行空中錄影和照相，以確切掌握擱淺船隻狀況，規劃船隻移除作業和損害調查；利用拖船在潮位較高、卸除船貨和擱淺船隻停俾的較佳情況下，將其拖離礁區，以防止後續損害，然後立即進行損害調查，步驟包括以浮球和全球定位系統(GPS)標記範圍，再將區域以格網方式劃分，在受損害區以水下錄影或照相等快速記錄影像器材進行資料收集、測量與書面記錄(Curtis, 1985; Smith, 1985; Hudson and Diaz, 1988; Hudson and Goodwin, 2001)。由於珊瑚礁生物附著生長快，因此若未盡快調查，將因生物附著生長而難以辨認被破壞的證據與跡象(Hudson and Goodwin, 2001)。

建議三：阿瑪斯號殘骸的固定或移除：中長期建議

主辦機關：環境保護署

協辦單位：交通部、墾丁國家公園管理處

由於目前殘骸區所在的水深 20 公尺內仍會受到颱風的影響，長期而言殘骸仍為不穩定，而有被移動至岸邊的風險，因此建議固定或移除。不過，由於龍坑海域的海況較不易預測掌握，移除殘骸所需的設備、技術與費用高昂，因此移除的規劃與執行也須特別謹慎，衡量可能造成的二次傷害與長期利益的平衡。

建議四：龍坑海域珊瑚的重建復育：立即可行的建議

主辦機關：墾丁國家公園管理處

協辦單位：國立海洋生物博物館

由於船隻觸礁擱淺所造成的生態損失，難以以貨幣金額正確估計，因此是以將所造成的破壞，復原為破壞前的狀態所需的合理經費為賠償金額的依據，因此建議儘早進行龍坑海底，特別是近岸區珊瑚礁的重建復育工作。

表一

表 1、2005 年龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸及對珊瑚礁損害監測計畫工作表。

日期	工作內容摘要	調查人員
4月21日	2號艙蓋監測區拍測線，放置溫度計	樊同雲 魏杰 梅立青 林科含
4月22日	船身監測	樊同雲 魏杰 梅立青 郭兆揚
5月12日	船錨，近岸區	樊同雲 魏杰
5月16日	船尾區，船頭區，2號艙蓋破壞區	樊同雲 魏杰 梅立青 蔡永春
5月17日	船身區、礦砂區、2號艙蓋破壞區	樊同雲 魏杰 梅立青 蔡永春
5月18日	船頭區、2號艙蓋破壞區、4號艙蓋	樊同雲 魏杰 梅立青 蔡永春
5月19日	船頭區裂縫、近岸破壞區以南	樊同雲 魏杰 梅立青 蔡永春
5月23日	近岸破壞區以北發現5號艙蓋及裂縫調查	樊同雲 魏杰 梅立青 蔡永春
7月4日	船身調查	樊同雲 魏杰 梅立青 郭兆揚
7月10日	船身調查	樊同雲 魏杰 郭兆揚 林乃正
9月29日	2號艙蓋監測區，5號艙蓋及裂縫調查，船身	樊同雲 魏杰 蔡永春
9月30日	2號艙蓋破壞區監測，船身	樊同雲 魏杰 蔡永春
10月12日	船尾殘骸區調查	樊同雲 魏杰 蔡永春
10月13日	船頭區調查，監測區拍測線	樊同雲 魏杰 蔡永春

(資料來源：本研究)

表二

表 2、阿瑪斯號殘骸分佈的經緯度

標號	殘骸名稱	東經	北緯
A	獨立礁	120°52.130	21°56.146
B	5 號艙蓋	120°51.724	21°54.920
C	4 號艙蓋	120°51.716	21°54.656
D	2 號艙蓋破壞區	120°51.676	21°54.465
E	船首	120°51.718	21°55.572
F	船身殘骸	120°52.242	21°55.514
	船身殘骸	120°52.273	21°55.544
	船身殘骸	120°52.331	21°55.473
	船身殘骸	120°52.359	21°55.427
	船身殘骸	120°52.428	21°55.460
	船身殘骸	120°52.430	21°55.444
	船身左側礦砂邊緣	120°52.450	21°55.371
	船身左側殘骸邊緣	120°52.465	21°55.332
	G	引擎	120°52.475
錨鏈&船板連結處		120°52.494	21°55.443
H	船身右側殘骸邊緣	120°52.530	21°55.321
I	錨	120°52.557	21°55.407

(資料來源：本研究)

表三

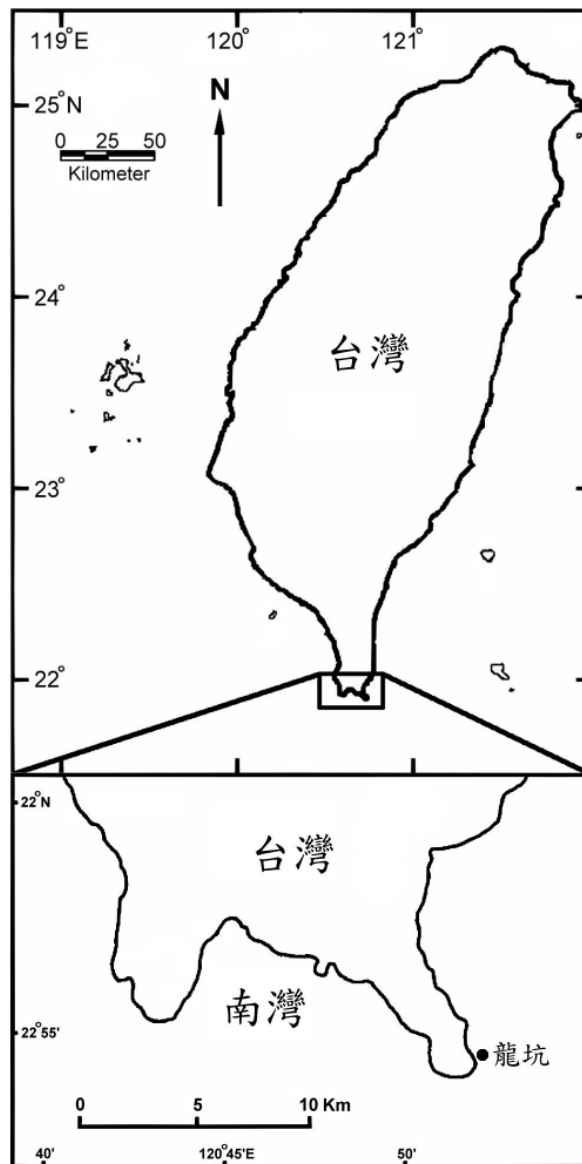
表 3、2005 年龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸及對珊瑚礁損害監測各地點在颱風前後狀況比較表。

地點	颱風前	颱風後
5 號艙蓋	發現 5 號艙蓋，斷成 3 大部份最大的長 15 公尺寬 3.5 公尺，第二大的長 7 公尺寬 3.5 公尺，小片的長 6 公尺寬 2 公尺，其他尚有少數碎片都成直立或斜立，卡在水道兩側的礁體之間，旁邊也發現有艙蓋磨蝕出的直角礁面痕跡。	發現較大的 2 片破損艙蓋有在原地晃動，造成珊瑚礁體表面刮損。而較小的破損艙蓋未發現，可能已移動，或因能見度差(僅有約 2 公尺)而未發現。
4 號艙蓋	發現 4 號艙蓋，其結構完整長 15 公尺，寬 7.5 公尺，在水深 7 公尺處，卡在高起且其表面有活珊瑚生長的化石珊瑚礁體間艙蓋平躺而翻倒。可能較不易移動。	由於海況及能見度差而無法調查。
2 號艙蓋破壞區	此艙蓋破壞區於 2001 年辨認並標記此區域作為監測地點，以皮尺沿著明顯被破壞區與未破壞區的交界測量，結果總破壞面積為 398.5 平方公尺，此區域多處有被艙蓋磨蝕出的直角和平面礁面痕跡；被破壞區珊瑚礁礁體表面骨架 (framework) 遭受破壞，失去複雜起伏的變化而使得表面平坦，表面的附著生物，如珊瑚幾乎完全被刮除。	有 1 片小型殘骸位置移動約 5 公尺，與另一片殘骸位在礁石間。此外，大型藻和泥沙覆蓋情形亦明顯減少。
近岸區	近岸區珊瑚覆蓋呈相當變化，珊瑚覆蓋在龍坑中段較高，中段向北有一淺水瀉湖區，具有許多會移動的石灰岩礁石和沙地，北段、南段珊瑚覆，一般而言有許多大型藻類廣泛生長。	大型藻類已明顯減少。
船頭區	延著固結石塊礁區邊緣有長度約 2 公尺的殘骸和一明顯的裂縫，裂縫中的石塊上有一點生物和珊瑚生長，裂縫長 41 公尺，旁邊另有數個小殘骸碎片和約 10 餘公尺長的粗索。	船頭區因海流強而取消調查。

<p>船尾區</p>	<p>此區域包含具有大型殘骸聚集區塊和小型殘骸，一些破碎的岩石和海床岩石的殘骸覆蓋影響區域為170公尺，平均寬度為23.4公尺，共計總面積為3,978平方公尺。發現有藻類繁盛大量覆蓋生長在殘骸與岩塊表面的情形，而一些殘骸與岩塊交界處則並未出現，顯示可能因殘骸晃動而使松藻無法生長。</p>	<p>一些殘骸與岩塊交界表面仍無松藻覆蓋生長的情形，許多1公尺以上的殘骸已移動，可看到新的生鏽斑痕和附著生物被清除的區域，估計至少二片殘骸也移動，不在原來位置，與5月比較，約20至25%的殘骸區有變動，水下有殘骸隨湧浪晃動摩擦聲音，顯示一些殘骸不穩定。</p>
<p>船身區</p>	<p>船身殘骸與鐵礦砂覆蓋影響區域的測量總面積為54,700平方公尺，其中鐵礦砂區面積為18,215平方公尺，而殘餘殘骸區面積為36,485平方公尺，船身殘骸南方為引擎，引擎以北區是大型殘骸主要分布區域，一些區域有許多小型殘骸聚集的現象，也發現銅製螺旋槳葉的破碎殘骸。船身前方發現錨鏈；沿著錨鏈至其末端發現錨與其相連。</p>	<p>發現一片長約10公尺的殘骸滑動，而在其底下的殘骸表面留下約6公尺清楚且新形成的刮痕。礦砂貨物也有移動而暴露其底下殘骸與岩石。</p>

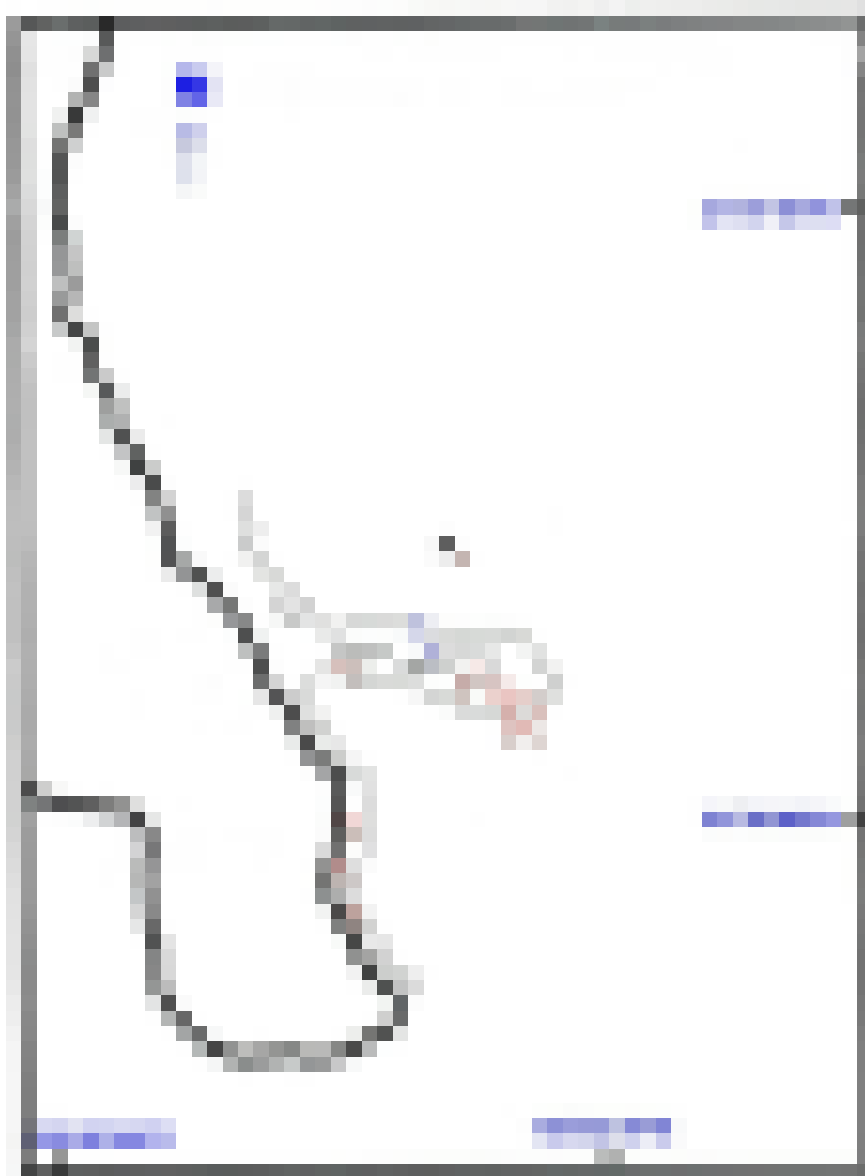
(資料來源：本研究)

圖 1、龍坑位置圖。



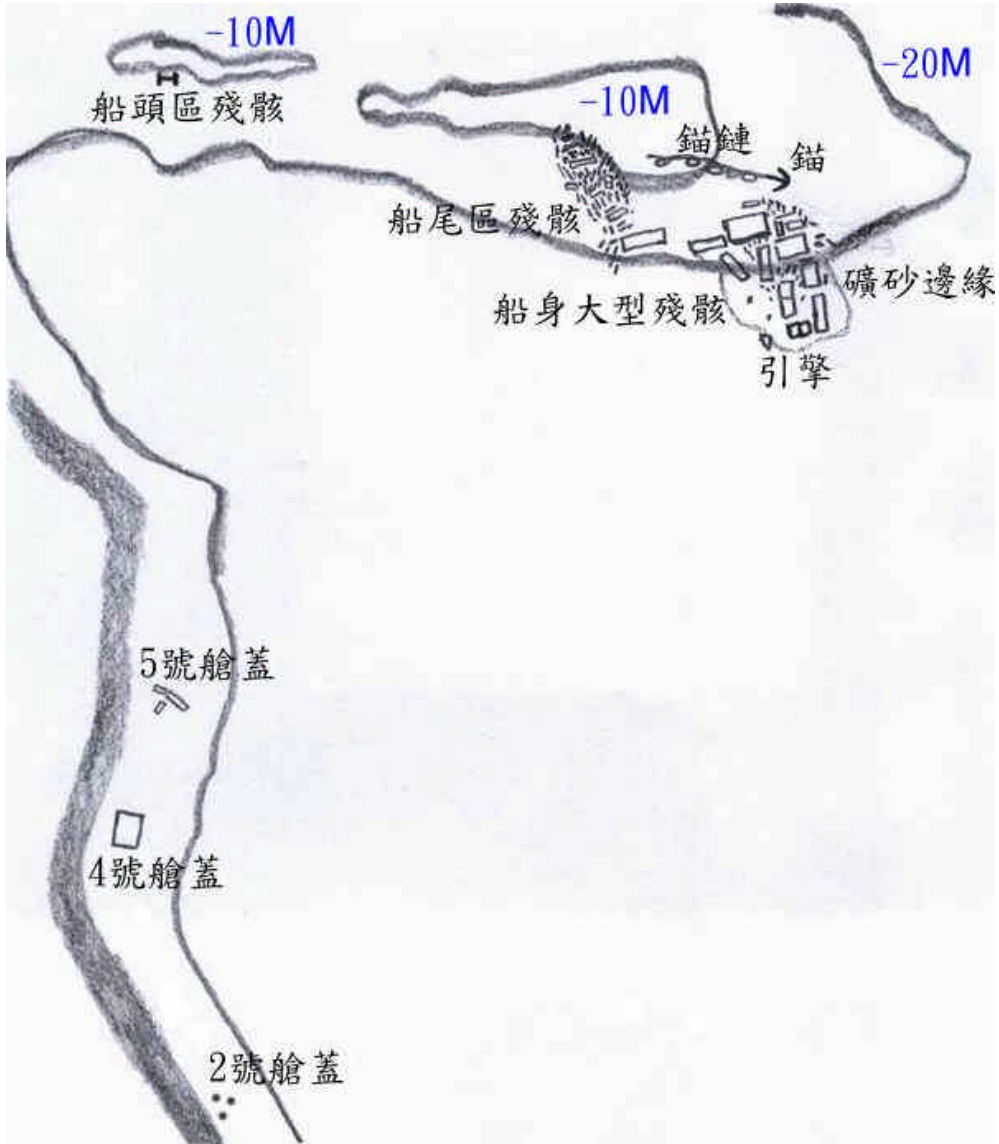
(資料來源：本研究)

圖 2、龍坑海域調查地區與阿瑪斯號殘骸分布圖。圖中顯示 10 與 20 公尺等深線。A：龍坑外海露出海面的獨立礁，B：5 號艙蓋，C：4 號艙蓋，D：2 號艙蓋破壞區，E：船頭，F：船尾，G：引擎，H：船身右側殘骸邊緣，I：錨。



(資料來源：本研究)

圖 3、龍坑阿瑪斯號殘骸分佈示意圖。



(資料來源：本研究)



圖 4、潛水人員利用水下推進器進行大面積勘查，以及利用浮球定位殘骸與礦砂範圍。(20050517 船身)

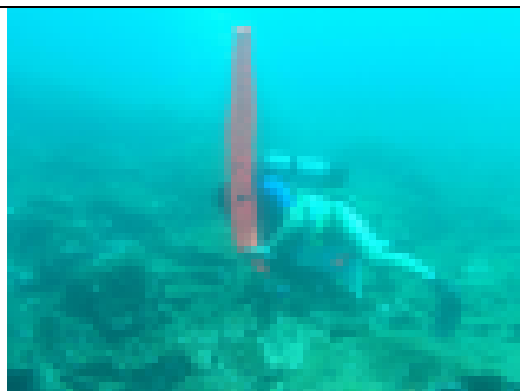


圖 5、潛水人員正在固定與釋放標記浮球。(20050517 船身)



圖 6、浮在海面上的 3 個橘色標記浮球，後方為龍坑外海露出海面的獨立礁。(20050517 船身)

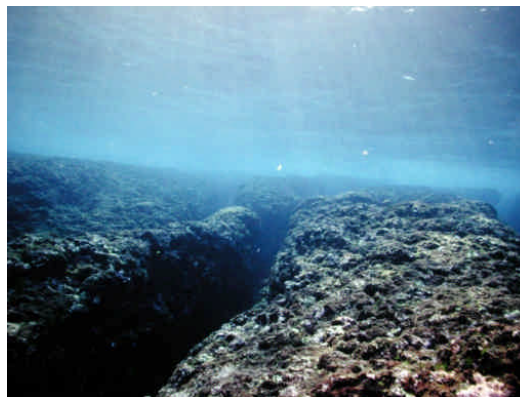


圖 7、龍坑海下珊瑚礁的脈脊與槽溝地形。(20050422 近岸區)

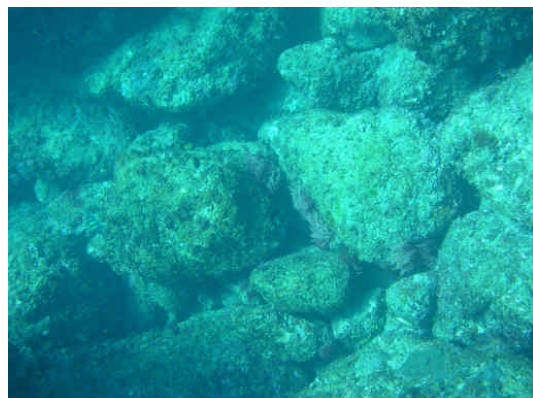


圖 8、龍坑近岸區聚集的小型石灰岩塊。(20050422 近岸區)

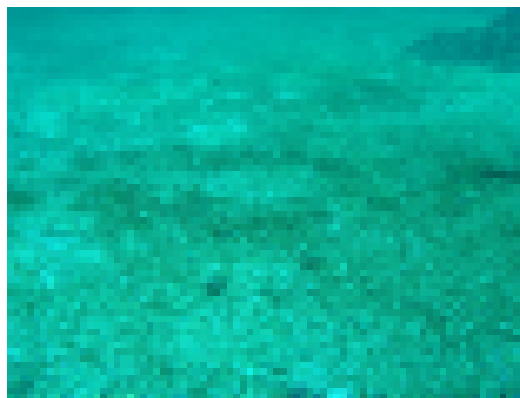


圖 9、沙地。(20050422 近岸區)

(資料來源：本研究)

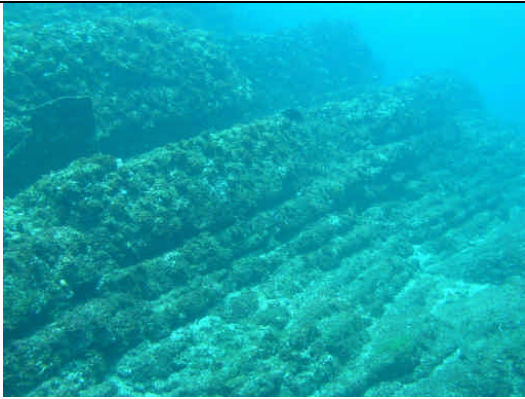


圖 10、龍坑海底的海床岩盤。(20050516 船尾區)



圖 11、海床岩盤區的小岩石。(20050516 船尾區)



圖 12、鄰近 5 號艙蓋的珊瑚礁體裂縫與鄰近生物群聚。(20050523 近岸區)



圖 13、鄰近 5 號艙蓋的珊瑚礁體裂縫與鄰近生物群聚。(20050523 近岸區)



圖 14、鄰近 5 號艙蓋的珊瑚礁體裂縫與鄰近生物群聚。(20050523 近岸區)



圖 15、鄰近 5 號艙蓋的珊瑚礁體裂縫與鄰近生物群聚。(20050523 近岸區)

(資料來源：本研究)



圖 16、潛水調查人員以皮尺測量 5 號艙蓋殘骸。(20050523 近岸區)



圖 17、5 號艙蓋殘骸表面有許多大型藻附著生長。(20050523 近岸區)

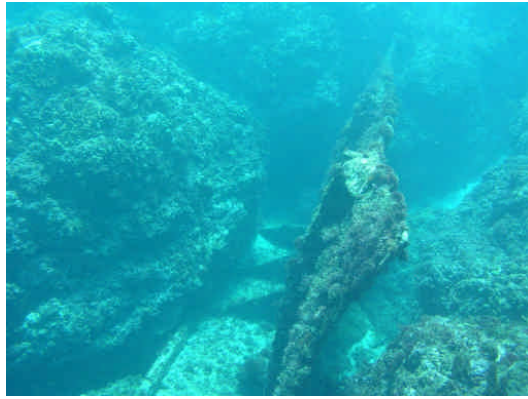


圖 18、5 號艙蓋殘骸中的小片殘骸。(20050523 近岸區)

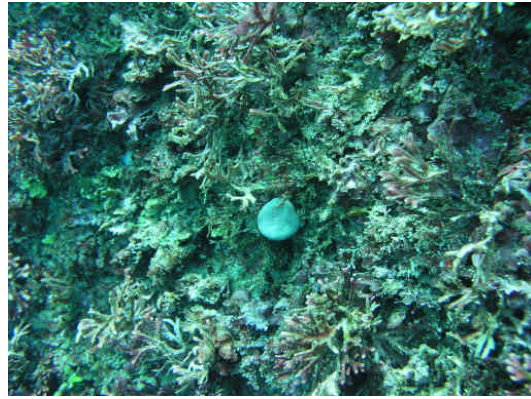


圖 19、5 號艙蓋上附著生長的肉質軟珊瑚小群體與大型藻。(20050523 近岸區)

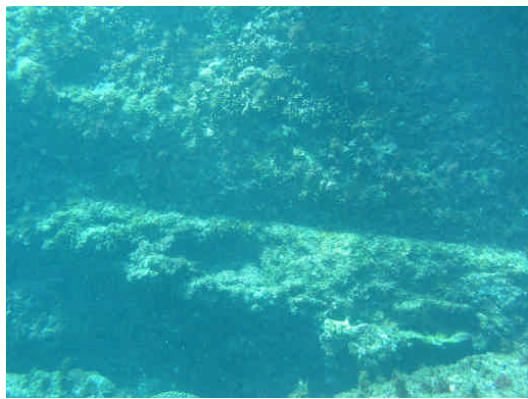


圖 20、鄰近 5 號艙蓋殘骸附近珊瑚礁岩上的艙蓋刮痕。(20050929 近岸區)

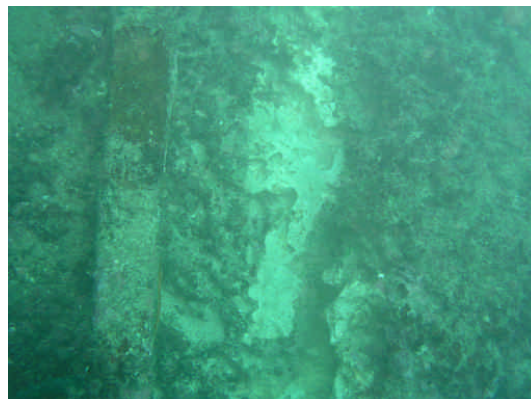


圖 21、5 號艙蓋殘骸移動刮損礁岩表面。(20050929 近岸區)

(資料來源：本研究)

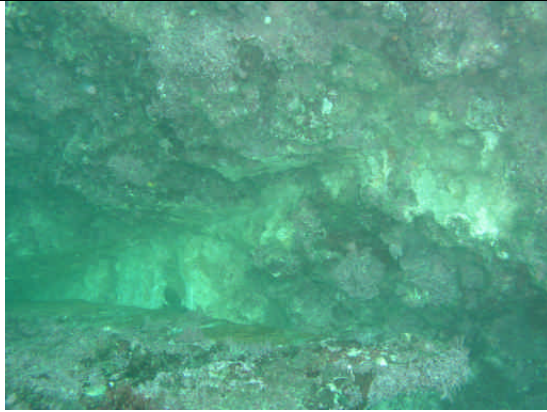


圖 22、5 號艙蓋殘骸移動刮損礁岩表面。(20050929 近岸區)

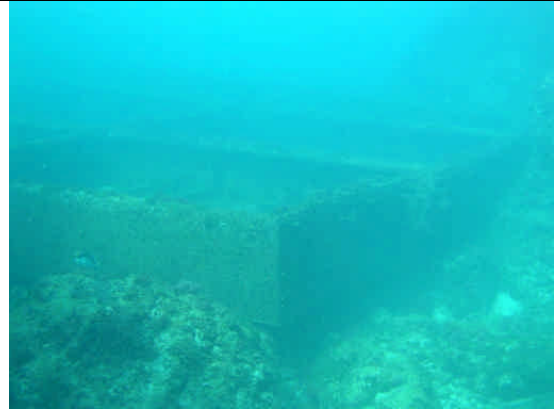


圖 23、4 號艙蓋倒躺在潟湖區。(20050517 近岸區)

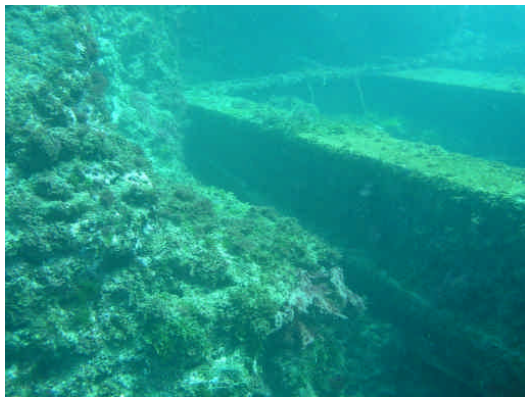


圖 24、4 號艙蓋的一角嵌在珊瑚礁岩之間。(20050517 近岸區)

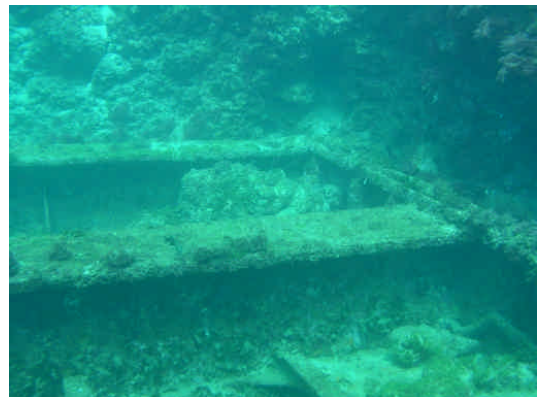


圖 25、4 號艙蓋內堆積一些石灰岩塊與沉積物。(20050517 近岸區)



圖 26、4 號艙蓋表面附著生長許多大型藻。(20050517 近岸區)



圖 27、4 號艙蓋的鐵板破損。(20050517 近岸區)

(資料來源：本研究)



圖 28、4 號艙蓋所在的渦湖區有許多小型石灰岩塊，其表面藻類繁盛。(20050517 近岸區)



圖 29、4 號艙蓋鄰近的珊瑚礁上有許多大型藻類繁盛發展。(20050517 近岸區)



圖 30、位於 2 號艙蓋破壞區內固定樣區的標記樁。(20050516 近岸區)



圖 31、潛水調查人員進行測量 2 號艙蓋破壞區面積的情形。(20050516 近岸區)

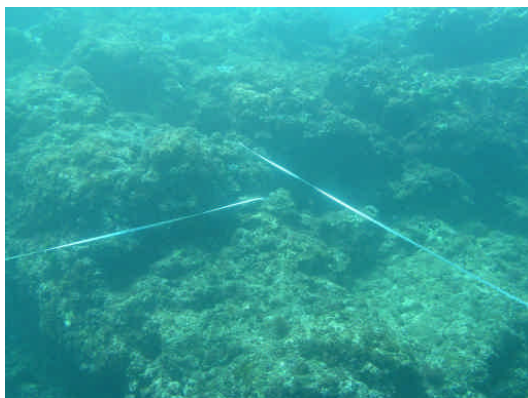


圖 32、進行測量 2 號艙蓋破壞區面積的情形。(20050516 近岸區)



圖 33、2 號艙蓋破壞區內珊瑚礁被艙蓋磨蝕出的刮痕。(20050516 近岸區)

(資料來源：本研究)



圖 34、2 號艙蓋破壞區內珊瑚礁被艙蓋磨蝕出的刮痕。(20050516 近岸區)



圖 35、2 號艙蓋破壞區內珊瑚礁被艙蓋磨蝕出的刮痕。(20050516 近岸區)

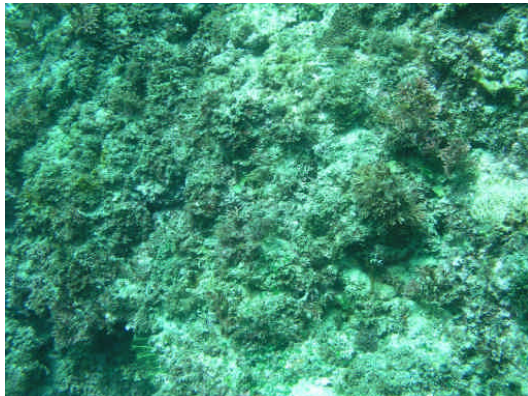


圖 36、2 號艙蓋破壞區的珊瑚稀少而藻類繁盛。(20050516 近岸區)



圖 37、2 號艙蓋破壞區的藻類繁盛。(20050516 近岸區)

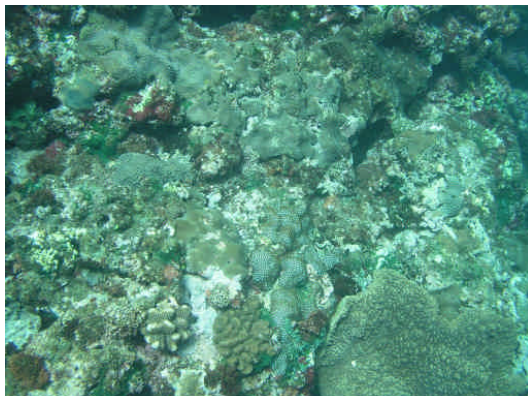


圖 38、鄰近 2 號艙蓋破壞區旁位受破壞的珊瑚群聚。(20050519 近岸區)



圖 39、鄰近 2 號艙蓋破壞區旁未受破壞的珊瑚群聚。(20050519 近岸區)

(資料來源：本研究)

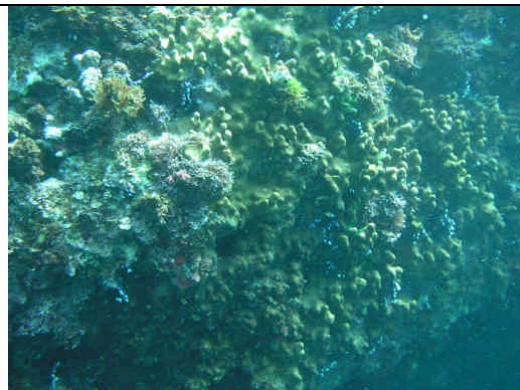


圖 40、鄰近 2 號艙蓋破壞區旁位受破壞的珊瑚群聚。(20050519 近岸區)



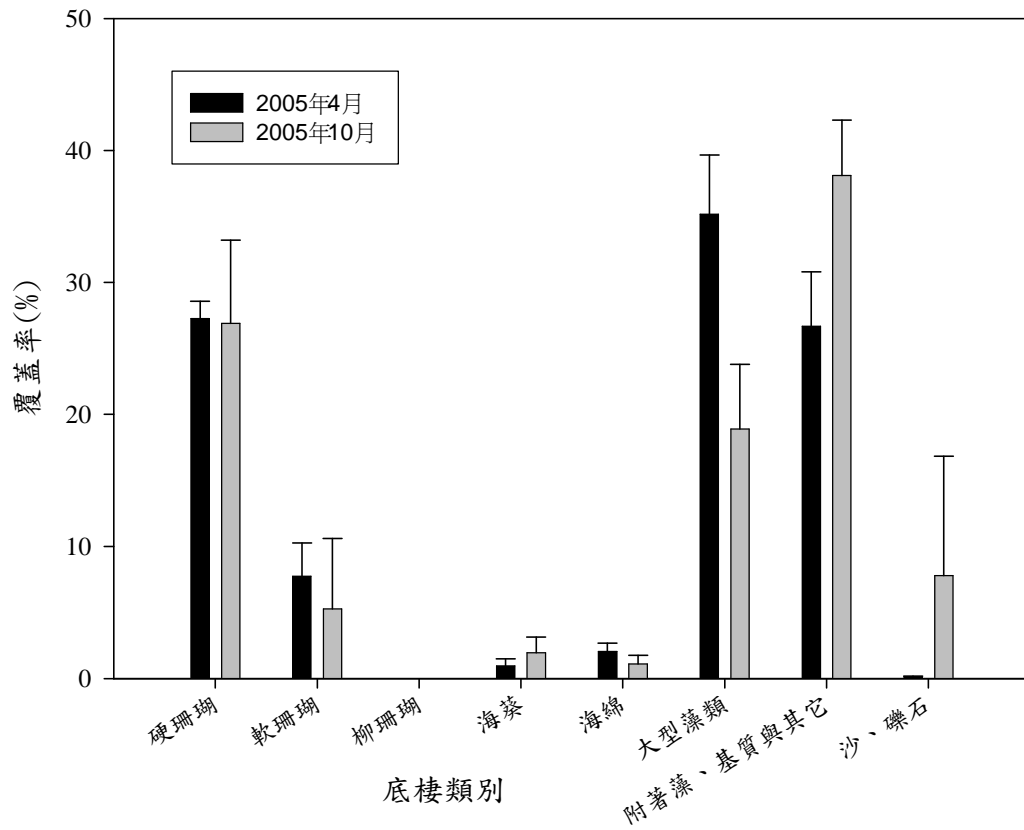
圖 41、2 號艙蓋破壞區內新出現的小型殘骸。(20050930 近岸區)



圖 42、2 號艙蓋破壞區位置移動的小型殘骸。(20050930 近岸區)

(資料來源：本研究)

圖 43、鄰近 2 號艙蓋破壞區天然珊瑚礁底棲生物群聚與基質的類別與覆蓋率(平均值±標準偏差)。



(資料來源：本研究)



圖 44、船頭區所遺留的殘骸。
(20050518 船頭)

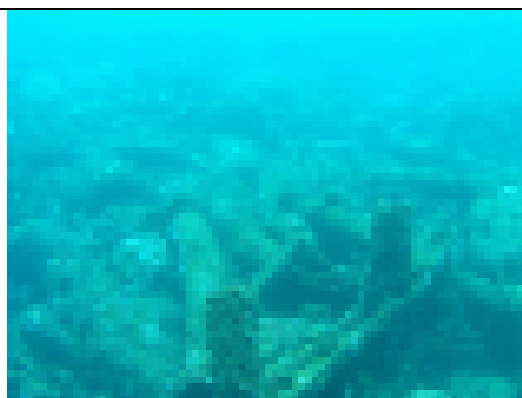


圖 45、船頭區位於殘骸旁裂縫的測
量。(20050518 船頭)

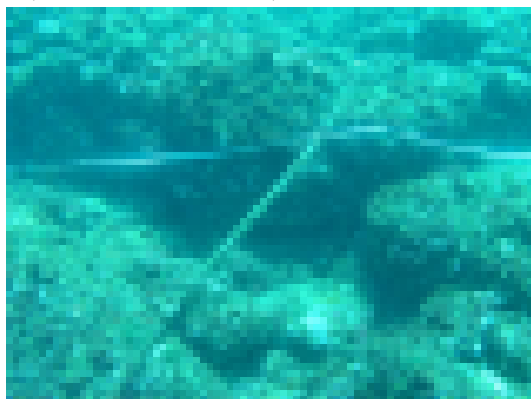


圖 46、船頭區位於殘骸旁裂縫的測
量。(20050518 船頭)

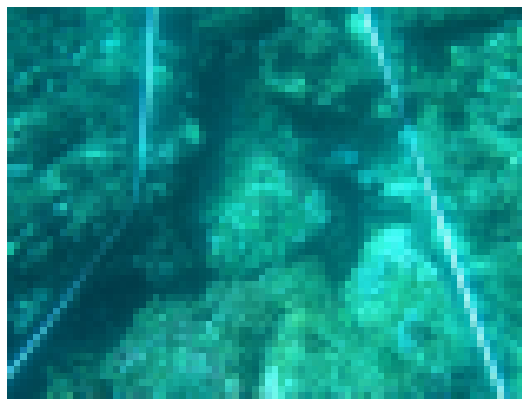


圖 47、船頭區位於殘骸旁裂縫的測
量。(20050518 船頭)



圖 48、船頭區位於殘骸旁的裂縫與
粗索。(20050518 船頭)

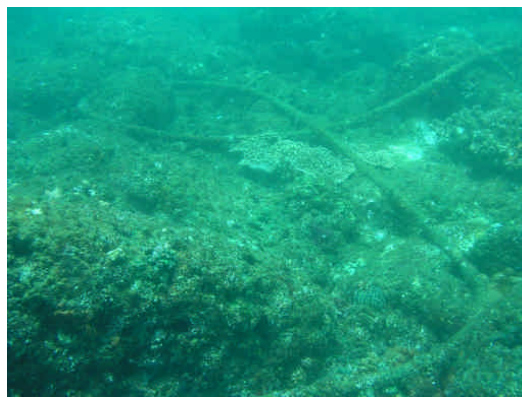


圖 49、船頭區位於殘骸旁的粗索。
(20050518 船頭)

(資料來源：本研究)



圖 50、船尾區大型殘骸的測量作業。(20050516 船尾)



圖 51、船尾區殘骸的測量。(20050516 船尾)



圖 52、船尾區的殘骸。(20050516 船尾)



圖 53、船尾區的殘骸。(20050516 船尾)

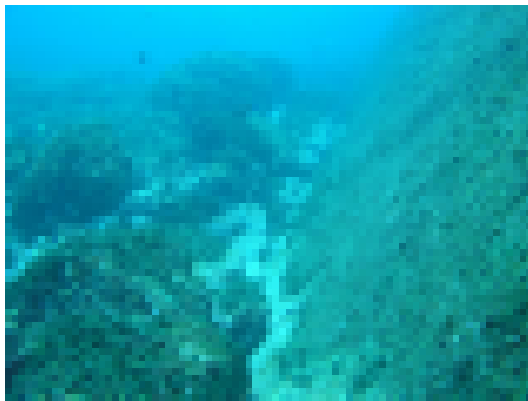


圖 54、船尾區的殘骸與旁邊岩石摩擦，使得松藻無法覆蓋生長。(20050516 船尾)



圖 55、船尾區松藻繁盛的現象。(20050516 船尾)

(資料來源：本研究)



圖 56、船尾區的碎石。(20050516 船尾)



圖 57、船尾區的殘骸與其表面附著生長的珊瑚。(20050516 船尾)



圖 58、船尾區的殘骸與其表面附著生長的珊瑚。(20050516 船尾)



圖 59、船尾區殘骸上蝶魚產卵孵育的現象。(20050516 船尾)

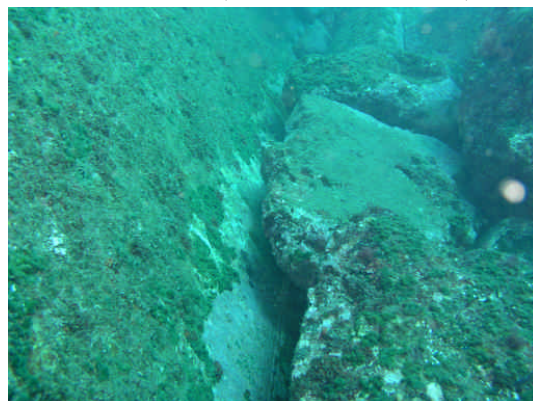


圖 60、船尾區殘骸與旁邊岩石接觸區的表面無大型藻生長，顯示彼此互動情形。(20050516 船尾)



圖 61、船尾區殘骸在颱風季節過後情形。(20051012 船尾)

(資料來源：本研究)

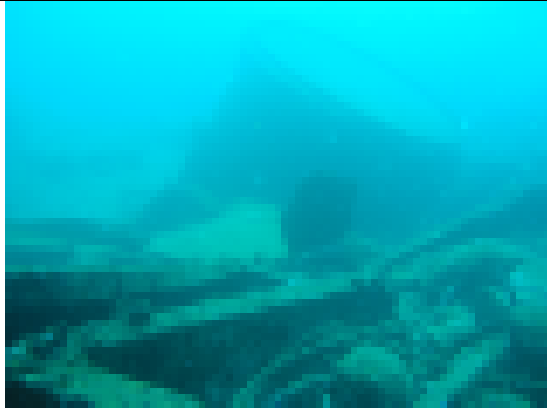


圖 62、船尾區殘骸在颱風季節過後情形。(20051012 船尾)



圖 63、船尾區殘骸在颱風季節過後情形。(20051012 船尾)

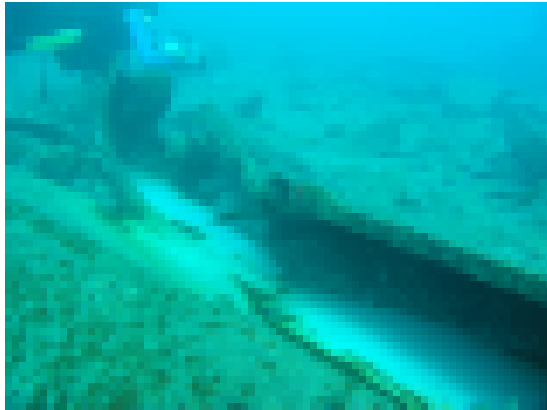


圖 64、船尾區殘骸在颱風季節過後情形。(20051012 船尾)

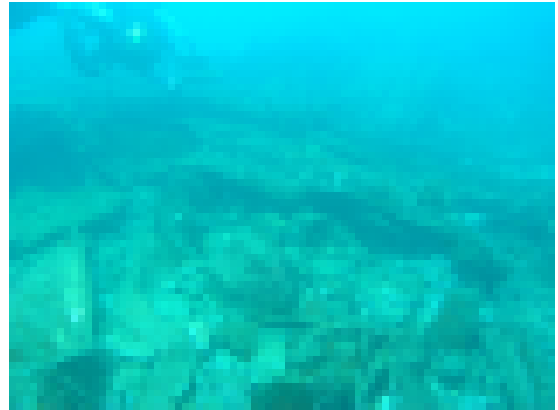


圖 65、船尾區殘骸在颱風季節過後情形。(20051012 船尾)

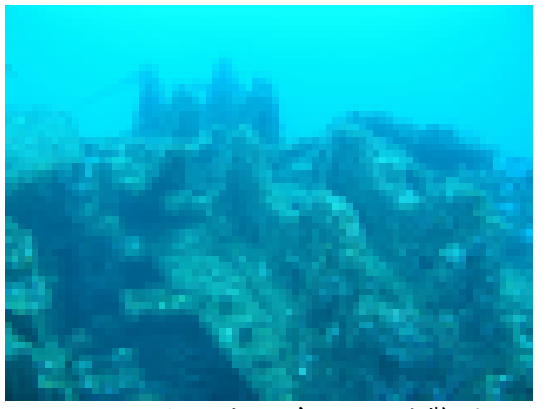


圖 66、阿瑪斯號船身區的引擎殘骸。(20050930 船身)

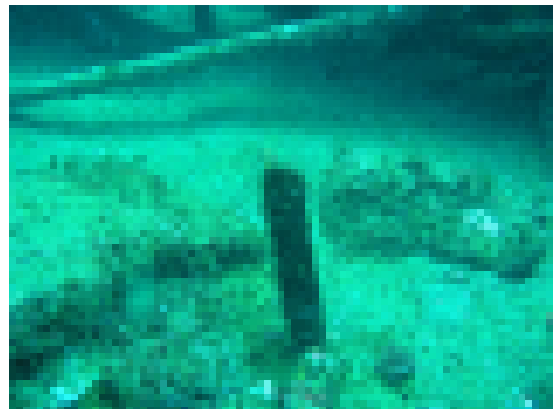


圖 67、2001 年標記調查線的固定樁鄰近引擎殘骸。(20050517 船身)

(資料來源：本研究)

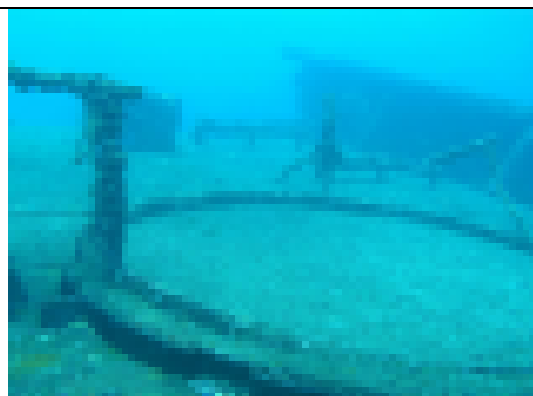


圖 68、船身區大型殘骸。(20050517 船身)



圖 69、船身區大型殘骸。(20050517 船身)



圖 70、船身區大型殘骸。(20050517 船身)

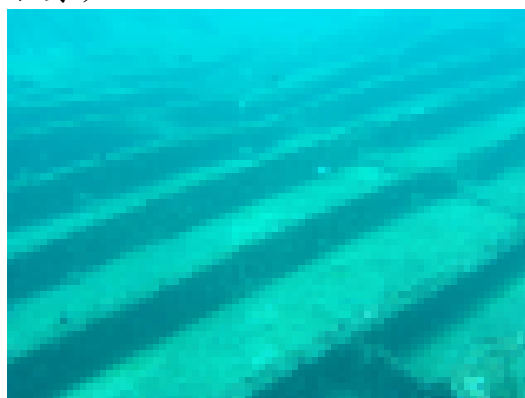


圖 71、船身區大型殘骸。(20050517 船身)



圖 72、船身區大型殘骸與其表面附著生長的珊瑚。(20050517 船身)

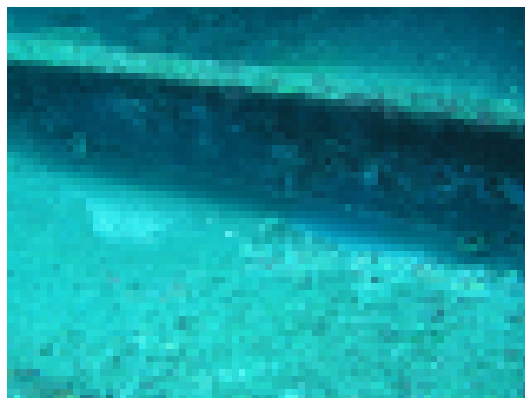


圖 73、船身區殘骸表面蝶魚產卵孵育的現象。(20050517 船身)

(資料來源：本研究)

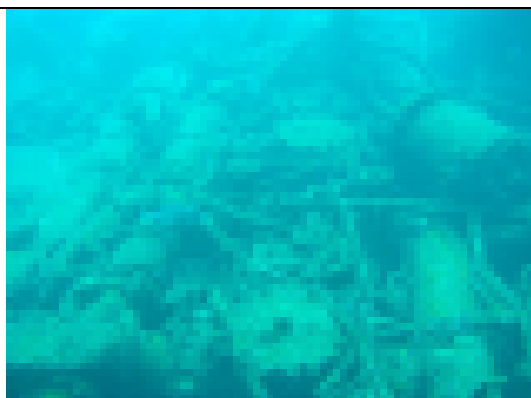


圖 74、船身區的破碎殘骸。
(20050517 船身)

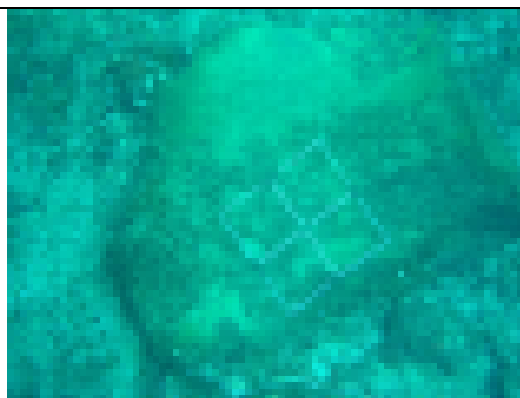


圖 75、船身區的銅製螺旋槳殘骸。
(20050517 船身)

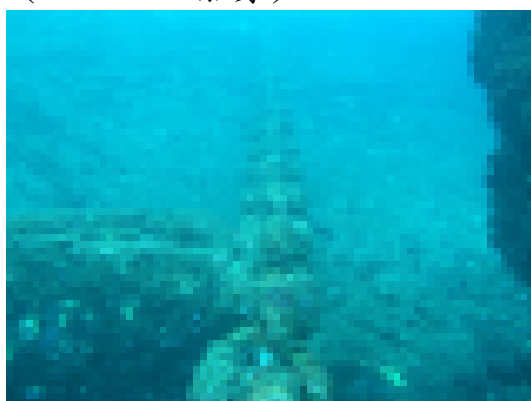


圖 76、錨鏈。(20050517 船身)

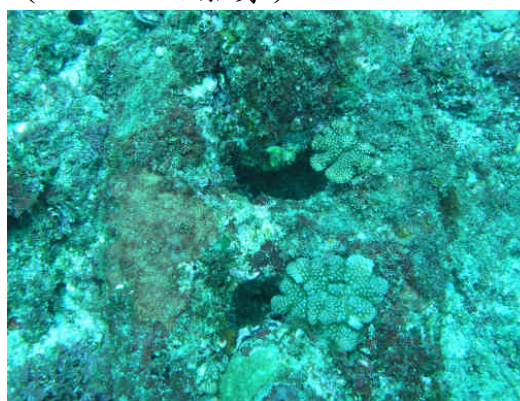


圖 77、錨鏈與其表面附著生長的珊瑚。
(20050517 船身)



圖 78、錨。(20050512 船身)



圖 79、錨與其表面附著生長的珊瑚。
(20050512 船身)

(資料來源：本研究)

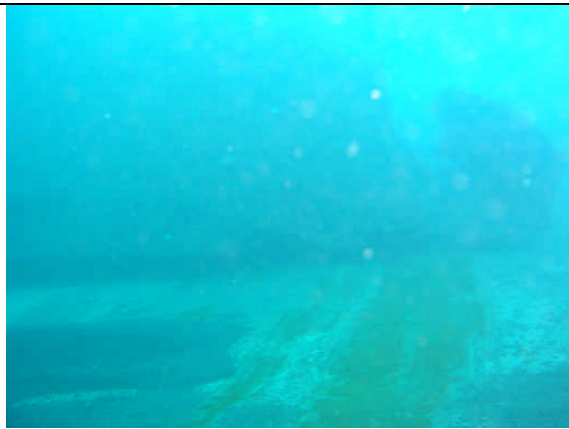


圖 80、船身區殘骸移動造成磨蝕鏽斑的情形。(20050930 船身)

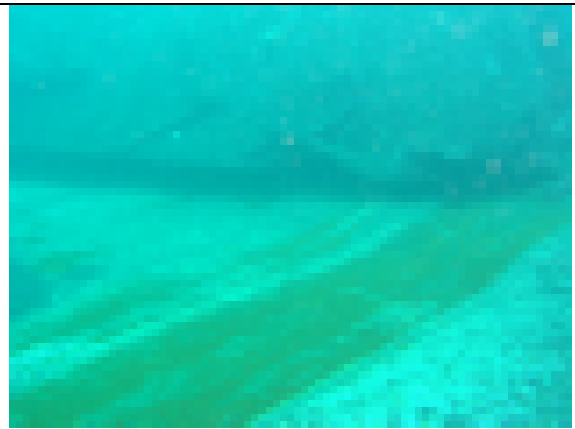


圖 81、船身區殘骸移動造成磨蝕鏽斑的近照圖。(20050930 船身)



圖 82、鐵礦砂。(20050517 船身)

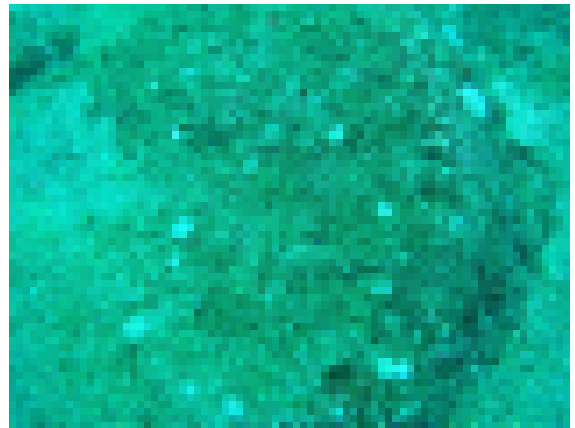


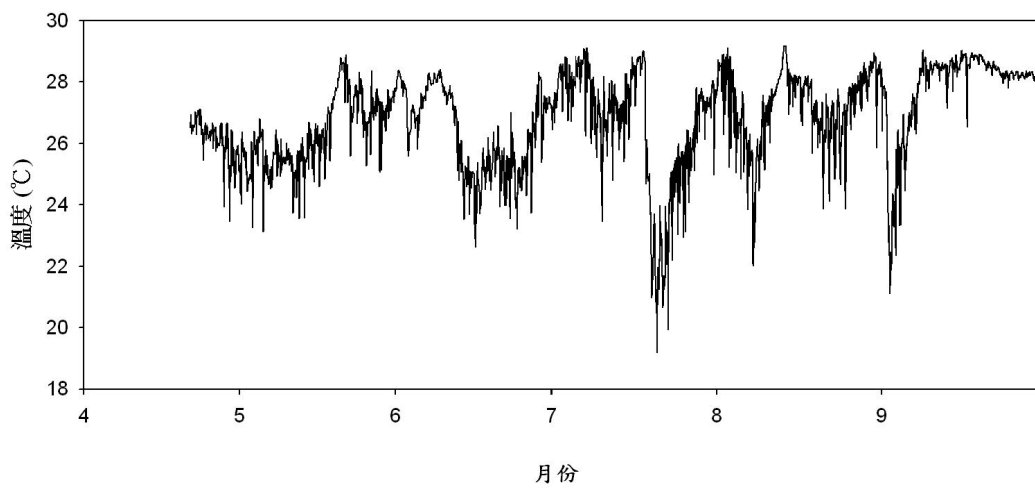
圖 83、礦砂區岩石上的珊瑚。(20050517 船身)



圖 84、礦砂移動後暴露其底下的阿瑪斯號殘骸。(20050930 船身)

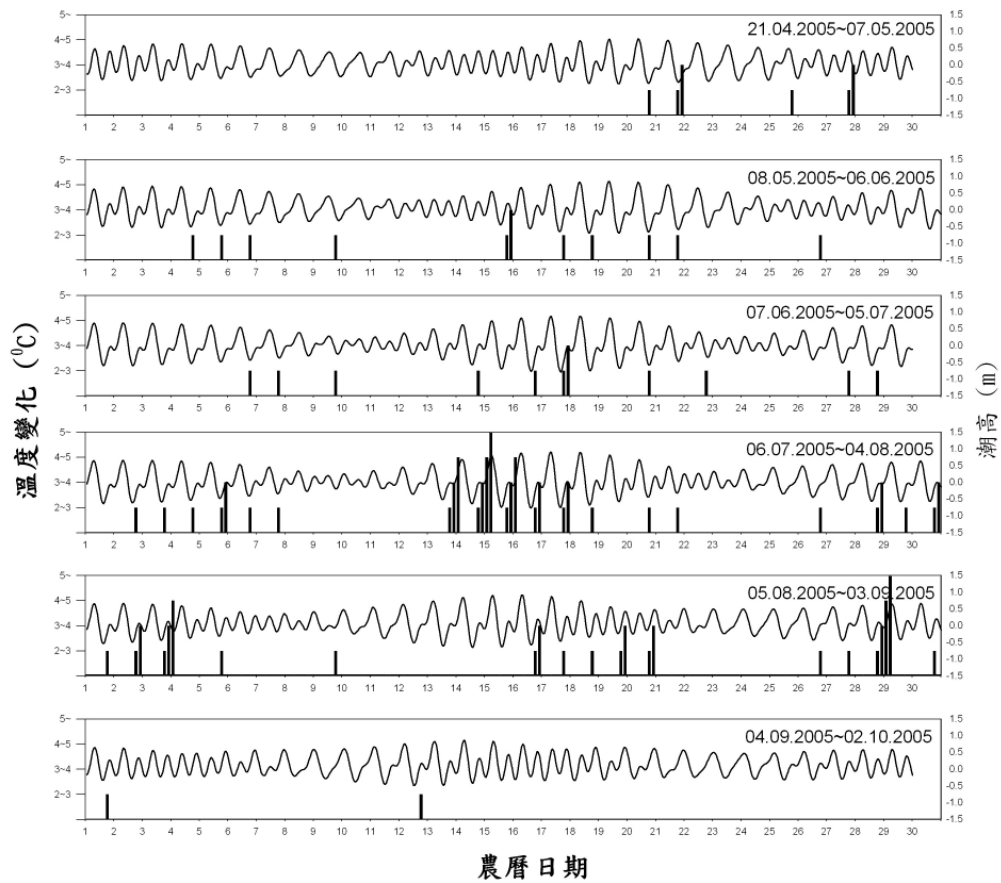
(資料來源：本研究)

圖 85、龍坑水溫連續變化圖。



(資料來源：本研究)

圖 86、龍坑水溫每小時溫度變化與農曆日期和潮汐週期變化的關係。



(資料來源：本研究)



圖 87、鐵礦砂與著苗於玻璃壁上的珊瑚。(20050422 實驗室)



圖 88、2 號艙蓋破壞區的移植藍珊瑚群體與沉積物收集管(20050421 近岸區)

(資料來源：本研究)

龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸
及對珊瑚礁損害的監測

附錄一、期初簡報會議記錄

墾丁國家公園管理處九十四年度「龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸及對珊瑚礁損害的監測」委託辦理監測案服務企劃書評審會議紀錄

壹、開會日期：中華民國九十三年十二月三十一日下午十四時整 紀錄：活世軒

貳、開會地點：墾丁國家公園管理處大型會議室

參、主持人：李崇峻

肆、評審委員：

國立中山大學： 李克義

國立中山大學： 羅文增

墾丁國家公園管理處： 林欽也

墾丁國家公園管理處： 烏松輝

墾丁國家公園管理處： 劉新明

伍、出席單位及人員：

許書園

盧重光

樊同亨

陸、主席致詞：略

柒、業務單位報告：略

捌、會議討論：

一、羅委員文增：是否每月至龍坑做監測？對於龍坑珊瑚礁生長情形逐年下降是否有利用其它環境來做一個比對。

回應：龍坑地區因處東海岸，且一年當中亦有颱風之影響，海況不是很穩定，當然這要看天氣狀況方可下海進行潛水調查監測工作。本次監測有了初步的資料整理後會尋找一處來作為對照。

二、宋委員克義：舉証龍坑与其它海域不同是一回事，如何和油污、沈船扯上因果是另一回事，後者是本計畫的目的。

回應：此監測計畫將努力檢驗阿瑪斯號對龍坑所造成的傷害，如殘骸撞擊珊瑚礁造成其破碎斷，裂殘骸直接覆蓋掩埋珊瑚，殘骸對珊瑚群體所造成的物理性刮傷和切傷等，應較易發現。油污和礦砂影響在此殘骸監測中較難驗證是否有直接因果關係。

三、馬委員協群：對於造成之傷害如何去量化？對於殘骸之分布如何去作標示？

回應：阿瑪斯號殘骸可能蓋住珊瑚，造成其底下珊瑚死亡，或對珊瑚造成物理性切割磨損，將以殘骸面積或在測線出現珊瑚物理性切割磨損的比例，去量化對珊瑚造成的損害。將設立監測固定參考點標記，如水泥塊或在鄰近礁岩上做標記，測量殘骸與標記距離，並畫出殘骸分布圖。由不同的調查時間、殘骸分布的變化，評估其移動可能性。

四、林委員欽旭：鐵砂是否可考量列入監測項目？另有關估價單中差旅費金額，是否適宜？

回應：可以把鐵砂列入潛水監測項目中；有關估價單會後會予以修正。

五、李委員養盛：監測方面可以做機動性的執行，安全為要，並隨時保持聯繫以為配合。

回應：配合辦理。

玖、會議結論：本案評審成績為 87.8 分，合格，請續辦議價及日後訂約事宜。

拾、散會：同日下午十六時二十分。

附錄二、期中簡報會議記錄

墾丁國家公園管理處 94 年度「龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸及對珊瑚礁損害的監測」期中簡報會議紀錄

壹、開會日期：中華民國 94 年 7 月 28 日上午 10 時 記錄人：唐煥軒

貳、開會地點：本處大型會議室

參、主持人：李素堂

肆、出席單位及人員：

內政部營建署：

行政院環境保護署：

交通部：高雄港務局 傅安

國立中山大學：游文增

國立中山大學：

國立海洋生物博物館：樊同雲

本處出席人員：林鈺旭

吳俊彰 賴怡璇 藍尚儀

張志娟 沈昭榮 陳文成

傅萃祥 林瓊瑤 傅文明

甘清平 傅文成

李素堂 孫伊 傅松茂

蔡乙榮 吳素祐 蔡豐富

蔡正毅 溫錦皇 傅海成

伍、主席致詞：略

陸、業務承辦單位報告：略

柒、研究單位報告：略

捌、討論：

一、主席：首先歡迎中山大學羅文增副教授、高雄港務局傅安先生及在場的同事們蒞臨指導。有關上次張金輝先生申請移除阿瑪斯號貨輪殘骸鋼鐵乙事，後續情形為何？

*許課長書國回應：張先生上次所作簡報不是很完整，所以當天與會人員對他提出很多質疑，且簡報中表示希望政府能予以融資，這與當初其承諾之事實有所出入，會中沒人贊同其計畫，他表示說會好好考慮一下。

*主席：根據樊博士的報告，阿瑪斯號殘骸移除是必然的，如果是這樣的話，也可考量編列預算協助或另尋其它方式。有關在挪威訴訟時也承蒙樊博士的協助，但由於法庭上承審法官與承審地點的各種主客觀因素，以及BMT取得資料的不完備，使得判決結果不盡理想。

二、蔡技士乙榮：簡報中水溫差的差異，調查方式是否每小時都有記錄？是否可從時間上去分析與潮汐的關聯性。

*樊博士回應：有關其差異是否與潮汐有關？這也是最近才開始研究的，而目前正在做這方面的資料分析，看看是否所有地點皆是如此？

三、許課長書國：剛剛有提到船貨移除會造成二次傷害，但有些學者認為痛很多次不如痛一次就好，不知樊博士有何看法？

*樊博士回應：龍坑的狀況非常複雜，要做怎樣的決定一定要慎重，經過了四年了，看不出其殘骸有明顯的變動，颱風過去了，待海水清澈之後再下水去做觀察再進一步評估。但是，以5年、10年的尺度來看，它也許會穩定，但是20年、30年甚至50年呢？那就沒把握了，所以就長遠來看，移除是有必要的。當初移除時有發生了一些事件，然後它所需要的經費與移除技術，都超過生物學家或生態學家瞭解的範圍，當初於環保署開會時環保署也同意要移除，就長遠來講，這個政策這個方向是正確的，那目前在龍坑要移除的，可能先移除接近岸邊的兩塊船艙蓋及鐵砂優先，因為短期間這對珊瑚礁生態會有明顯的改善，在經費上及技術上也比較有可行性，可是其它的大型殘骸要移除的話，水下作業是很困難的，且受限於氣候的因素也蠻大的。

四、高雄港務局傅安先生：龍坑地區風向蠻怪的，如果能從風玫瑰圖及海象來評估哪個點較穩定，再從那裡去切入，那所做的工作也會較落實，將來打官司也可做為一項蠻好的佐證。

五、中山大學海洋資源學系羅文增副教授：樊博士做的蠻好的，墾管處處長也在這件事情中付出了許多心力。剛剛簡報的資料內容很多，可是在書面上沒有顯現出來，如果加入的話可以支持你對某些事的看法。有關水文的敘述能較具體一點。這個計畫最主要目的是要求賠償，如果以一個外行人來看，在一些數據或圖像如能以簡單與具體化呈現，一般人也能很清楚的了解。那在做生態的部份很注重時空上的變化，在報告中也很注重這一點，可是對於材料與方式沒有敘述到，尤其是時間。固著性的生物可能牠的季節性變化比較小，所以1年作1次或2次的話就可以來做評估，但是對其它生物，它的季節性變化很明顯，尤其是藻類，在圖3裡面，沒有把偵測的時間類別顯現出來。簡報內容講得很詳盡，可是在前言中就比較大而化之，於第2頁中，有關各地發生擱淺的事件，能舉例說明，作具體性的描述，會更好一點。畢竟不同地區所發生不同的事件，它所呈現的結果與處理方式也會不一樣的。另外在某些說明上也要做修正的，像在第2頁第2段第1行裡寫到【加勒比海的百慕達】，這是錯誤的，請改正。第3頁的第3行有寫到（Vogt, 1995）中的一段話，那這段話不能用在其它地方的，因為不同的油其所影響的層面會不同，那沒有明顯的影響是對珊瑚呢？還是其它生物？能更具體的說明會更好一點。有關年份的書寫建議統一用西元會比較好一點。第12頁中有一段話是否請解釋一下。

*樊博士回應：有許多資料是後來才加入的，像鐵砂對珊瑚礁生物的影響，在當初並沒有列入此監測工作項目中，之前評審會議中曾提出來是否可以評估一下，所以就要研究人員順便做一些。有關第12頁中報導恆春半島東岸的龍坑為裙狀珊瑚礁的石灰岩地質，但發展較有限，此為各地珊瑚生長狀況不一，有些地區非常發達，有些地區其發展則可能是初步的，那在墾丁地區發展最好的是在後壁湖，因為它整個礁是延伸到海裡面去，且有一個寬廣的平台區，可是在龍坑卻很短，所謂發展較有限係指其規模較小而已。

六、林秘書欽旭：在結果中的第二項5號船艙蓋附近有裂縫，推測可能是撞擊的，但到底是晃動呢？還是移動造成的？另外在第六項船頭區敘述到2001年時調查到船頭區有裂縫，推測可能是船頭移動造成的，所以到底是移動或是晃動，可能要釐清一下。在破壞區有作一合理的復育費用來當作以後訴訟的依據，但是四年過後不知道挪威法庭能夠等我們四年嗎？這在時空上面到底可行性如何？是比較有問題的。有關水溫變化方面，因潮汐而變化，這也要補進去。此期中簡報事實上也要回顧到服務建議書裡面所提到的內容，像剛剛羅老師有提到一些工作時程的管理，還有辦理的次數頻率等等，在此報告中沒有把它顯示出來。還有簡報

的內容，如果報告中沒有的亦請加進去以充實期中報告之內容。

*樊博士回應：剛剛提到的裂縫，是在做調查時先發現裂縫，覺得蠻奇怪的，於是順著它往岸邊方向游去才發現這些殘骸，而這裂縫與其它裂縫不一樣，但是現在也沒有直接證據了，在 2001 年剛撞裂的話，會很清楚，就是當時的情況，那經過 4 年以後，我推測它可能是 2001 年它擱淺在淺區，因風浪的影響，它會在那兒拍打，在當時其底下結構不穩定的話，它就有可能被撞擊出裂縫。2001 年剛裂開我們可以去認定它是受到撞擊的，但是到了 2005 年就不太容易去認定了，站在我們的立場，我們是有直接或間接的證據都把它提出來，那法官認不認定是他們決定的事，這可能性是蠻高的；那船頭區的裂縫於 2001 年調查時就已有發現了，且上面有些地方沒有或只有一些生物生長，所以可以判斷它是一個新形成的，在挪威法庭上當初就也提到了，船頭是因颱風關係而被拍打移動了約 1500 公尺，當初去調查船頭時，殘骸大多已清除了，但有發現絞盤，算是少數還遺留在現場沒有清走的殘骸，所以剛剛提到的裂縫就是船頭滾動時所撞擊形成的；另外 4 年後復育的可行性，美國有一篇報告提到船隻擱淺造成珊瑚礁破壞之後，他們進行復育是 4、5 年後的事了，這是合理的，因為一開始是不是可以靠自然復原，所以之前我們所做的監測，結果發現 4 年來它的復原只有 2.5%，可是相較其周圍來比就相差有 20 倍，那這段期間所作監測看來，自然復育是很緩慢的，所以再去進行人為復育的話，那理由就比較充份了。其次是復原的可行性就是所作的移植復育，當初挪威法庭的判決是認為靠自然復原就可以達到恢復，但沒提到需要多少年，現在我們有比較明確的資料來評估，如果順利的話至少也要 80 年以後才可恢復原狀。如果認為這個時間太長，那麼經由人為努力來加速復原的話，那移植復原的可行性也有了初步的資料，相對去年在挪威法庭上來說，現在有更完整的資料提供給法庭及對方去評估阿瑪斯號對當地的影響；另外有關水溫資料，會於期末報告將地點、深度等資料補充進去。

玖、主席總結：感謝高雄港務局傅先生及中山大學羅副教授的指導，未來本處需要學習之處甚多，還望大家共同去努力。未來有關船貨移除方面也請高雄港務局屆時予以指導，保育課也密切注意清除工作，如果沒有很激烈的 2 次傷害的顧慮下，也共同去努力解決。在挪威法庭上他們認為珊瑚復育的技術在國際上還無經驗，那這次我們就可以提供實際的資料給他們以求更好的判決結果。本次期中報告通過。

拾：散會。(同日 11 時 45 分)

附錄三、期中簡報會議記錄

墾丁國家公園管理處 94 年度「龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸及對珊瑚礁損害的監測」期末簡報會議紀錄

壹、開會日期：中華民國 94 年 11 月 28 日上午 10 時

記錄人：唐洪軒

貳、開會地點：本處大型會議室

參、主持人：李亨堂

肆、出席單位及人員：

內政部營建署：劉智仁

國立中山大學：羅文增

國立海洋生物博物館：樊同雲

本處出席人員：

李瑞志 林欽旭

傅卓隆 曾添丁
柯書國

吳俊弘 陳文明 蔡乙榮

李海成 林文敏 邱伊

顏倚蓮

伍、主席致詞：略

陸、業務承辦單位報告：略

柒、研究單位報告：略

捌、討論：

1. 蔡技士乙榮：有關本報告封面底下之「委託研究報告」應更正為「委託調查報告」。

* 樊副研究員同雲回應：會予以更正。

2. 唐約聘助理研究員洪軒：有關本報告需修正之處已以書面資料交予受委託研究調查單位，請依內政部委託研究期末報告印製格式撰寫。

* 樊副研究員同雲回應：會予以更正。

3. 保育課許課長書國：簡報內容除了本次研究外，也包括了其它其它研究的資料結果，是否能把它們也納入本報告中之附錄內，以讓未來擬定復育計畫或其它經營管理時能作為參考。如歷年來珊瑚覆蓋率的變化，這也是很需要取得的資料。

* 樊副研究員同雲回應：會把一些參加過會議曾發表的資料納入。

4. 營建署劉智仁先生：首先感謝樊博士的支持與協助，環保署持續進行著阿瑪斯號貨輪求償程序，那第 1 個建議是出席單位能邀請環保署出席。第 2 個建議是，剛剛簡報中殘骸分布的示意圖，是否可整理出從 2001 年開始，每年隨著時間的變化，可不可能有那些是新增出來的位置或艙蓋，如果是很明顯的，可不可以用疊圖的方式，這樣對未來出庭求償或有幫助。另外這可能是額外的請求，就是剛剛有一些簡單的調查與示意圖，是否能簡易的翻成英文，將來出庭時也能提出來，以表示我方是非常重視與用心於此案。

* 樊副研究員同雲回應：關於示意圖先說明一下，其實到今年才清楚海底殘骸分布的情況，因為 2001 年的颱風侵襲後，其範圍變化很大，當時有台大海洋所的掃瞄資料，但因其為海底掃瞄出來的資料，不像以人力親自下海觀測，所以其訊息較無法充份掌握，那今年以人力大範圍的搜索，就較能清楚其變動，與歷年來的比較方面，就殘骸的分布狀況，應該說是 2001 年颱風過後是這樣的分布，那詳細的變動是無資料的，因為今年去做，也是希望能標定一些大型殘骸，但因海底狀況多且複雜，要詳細去標定它，有實際上的難處。另外補充一點，我們在做這些調查，所寫的這些報告資料，都有與對方委請的專家討論過，所以，基本上有共識的部份都把它們寫下來，有不同意見者，假如到時候真的要打官司的話，就是在法庭上去解釋了，所以，剛剛有提到資料要提供在法庭上使用的，理律法律事務所與環保署也都有，這些共同報告也都是中英文的。

5. 中山大學羅文增教授：有關樊博士所作的簡報，大致上蠻不錯的，於海況不佳且海流險惡地區所作的調查報告也真的很難能可貴。據了解，黑潮的流速非常強，龍坑地區是它流經之處，尤其在冬天，黑潮主流會更接近岸邊，根據科學數據顯示，每秒可以有 2 公尺的流速，個人也曾深深體驗過了，所以樊博士能貢獻所長，實屬難得。不過，對此報告，有一些小小的建議，如第 2 頁中所提到的因

擱淺而造成損害與洩漏磷酸鹽使珊瑚礁受損等，如能描述更具體一點，因為受損又怎樣的一種情況？是輕呢或嚴重到甚麼程度？若再更加敘述的話，其可看性會好一點。另外第3頁提到化學的傷害，有些地方並未造成傷害而有些地方卻有，為什麼有這些不同？以你專業的角度來看，是否可以把它具體再敘述一下，是不是因為污染是輕油或重油的因素，因為重油會沉到海底造成對珊瑚的污染破壞，那有些地方是輕微的，那是因為輕油的關係，所以這種破壞的情形要區別清楚；最後一段概括性的說法「受損的珊瑚礁在5年之後仍無復原的跡象」，這是針對那個事件嗎？因為我們在談到科學性的時候，最重要掌握的是人、事、時、地、物，因為不同的地方它的結果大都不太會一樣，所以，如果就這樣直接反映出來，可能會造成質疑之處。在整個調查當中是否只有拍照？還是有另外有錄影？如果剛剛簡報時有錄影畫面，效果會更好一些。在第6頁中有提到天然珊瑚礁群聚監測，它是在受污染地區？或是再另外尋找的？它是沒有被破壞的地方嗎？是要作為與受傷害區域比較嗎？另外有提到「分別設立3條各長約30公尺的橫截線」在這裡看不到所採樣的圖示。希望能把它附個圖說明清楚標示上去，就一般人來看的話，才知道它是在何處。報告中所註明這個點分別於4月及10月作調查，那其結果是否有與受破壞區域作比較？與殘骸主要分布區比較的話，其珊瑚覆蓋率有何差別？

***樊副研究員同雲回應：**是的，調查時除了拍照外，也有錄影。第6頁所提的點是在2號艙蓋破壞區附近，也就是在4號艙蓋的南邊，那其實也很難說當初它是不是受到破壞？不過，因為它在我監測區旁邊，而且又是在龍坑地區珊瑚數量比較多的地方，所以我們在那區域作監測的話，它的意義比較大，並且也有去比對颱風前與颱風後其變化情形，那結果是相似的。目前船身殘骸大致上是往西北方向散布，最北接近風吹沙，這個區域實際上珊瑚也很少，而殘骸影響南區可能性也很低，至少目前看起來是如此，

6. 中山大學羅文增教授：這個計畫係屬監測性質，就如剛剛營建署劉先生所提到的，最重要的是時間性的改變，那把以前的資料拿出來作比對，在求償方面也可作為一個依據，把附近最好的情況與受損區的差異量化估算出來，現在國際上很重視生物多樣性，如果把這地區多樣性變得很低，與其它地方相較起來，如果能量化的話，那在求償上也較具體些。報告中很多圖片很珍貴，建議於圖片中加註時間地點，好讓日後審驗的人能一目了然。像「表一」部份，建議加上年度。另外，為什麼較關心水溫的問題？水溫變化是一個很重要的影響因素嗎？

***樊副研究員同雲回應：**好的，會把「表一」所屬年度加上。如果就本監測案的考量而言，溫度其實不是一個影響的因素，在此提出來，是因為要做後續的復育或珊瑚在此成長的情形，那溫度就就扮演了一個很重要的角色了，以前一直認為龍坑都是珊瑚礁，在此案中，對方提出來認為龍坑不是珊瑚礁，那這對我們是一個蠻大的衝擊，與過去一些學者的看法不同，所以特地去找了一些早期的報告出來，嚴格來說，龍坑是屬於珊瑚礁的邊緣，這點與對方的專家爭執過，那他們最後也同意用邊緣的名詞，他們也接受了。那如果在邊緣的話，我們也了解為

什麼這個地方的發育不像在南灣裏面的珊瑚發育那麼好，那水溫可能是一個因素，另外，這邊的風浪也是一個因素。我個人也有在做墾丁海域長期監測工作，所以有機會能在此放個溫度計，這個溫度計的資料，其實也提供我們許多生態上的訊息，例如颱風來襲期間，為何海水溫度持續下降許多？

7. 中山大學羅文增教授：一般而言，鹽度與溫度可以來了解海水變化的因素，這可以來判斷黑潮是進來還是出去，那這水溫變化也提供了另外一個訊息，就是它都是在 20 度至 28 度之間，也是珊瑚生長最適合的水溫範圍。另外有提到龍坑地區水溫比較低，不知這是與何處來做比較？其測溫水深如何？是否有差異？其原因為何？

*** 樊副研究員同雲回應：**這裡的水溫是與香蕉灣及綠島來做比較，因為相對位置與緯度較接近的原因，香蕉灣是在南灣海域裏面，而綠島其實緯度要比龍坑為高，但因其位在外海，且是黑潮主要流經之地，那圖表是以連續溫度表現出其差異的狀況，香蕉灣與龍坑放置的水深差不多，約 6 米處，綠島則是放 20 米處，因那個地方有人工漁礁，綠島雖然放於較深之處，其水溫一般來說，還是較高的，而龍坑水溫較低的原因，個人認為，第一是黑潮的影響可能是比較外海區域，綠島是在黑潮的流線上，它的水溫較穩定，而龍坑位於內側，所以水溫就較低。另外，可能與潮汐的變化有關，在潮汐變動的時候，表層水退掉，也許深層水補充上來而造成水溫變低，這是我們做水溫變動資料分析的一個推測，根據此資料，海水溫度可能隨著潮汐週期海水溫度有一個比較劇烈的變動，那這可能與漲退潮是有關係的，但詳細的作用，還不是很了解。

8. 中山大學羅文增教授：我們東部海域因為整個大洋的環流，所以在北半球的部份是順時鐘且呈拱形往大洋集中，在一般沿岸的物理現象會產生些微的湧昇現象，所以龍坑地區可能就是因為此因素。那綠島位於黑潮的主流區域，所以其溫度變化就比較穩定。圖 86 為何要用農曆日期？其實潮汐變動大小在氣象局網站上可以很容易就拿到，不論是 1 日潮或 2 日潮，整個的潮差變化與水溫變化是否有變動性，其實是可以把它畫出來，那就更容易解釋了。

*** 樊副研究員同雲回應：**因為把它轉換成農曆來看的話，整個模式會更清楚，在最近的一些投稿文章裏面，我們也都這樣去嘗試，因為用陽曆日期又掛上新月與滿月，是沒有這個圖呈現得那麼清楚。那於圖 86 加入潮汐的線狀變化應會更清楚了。

9. 中山大學羅文增教授：整個計畫中固定的測點資料很多，如果有測點重要變化的綜合表顯現出來的話會更好一點。慢慢累積出來的資料，也可讓讀者更清楚其變動情形。建議中有提到移除，是否有更具體的執行方式？

*** 樊副研究員同雲回應：**殘骸之移除還須大家的意見，在經費、技術及可執行上要有一個共識，龍坑海底地形是海床，其結構變化是很簡單的，表面也較平滑，珊瑚長得很少，可是阿瑪斯號殘骸在此也提供了類似人工漁礁的功能，其實也有它的好處，但也有它的隱憂，在短期的 2 次傷害與長期的利益而言，這是值得探討的。

10. 中山大學羅文增教授：不過，可以把它移除的經費列出來，根據上次有一家公司所列的加上珊瑚復育的經費，這樣在賠償的談判上也較有具體的數字。

* 樊副研究員同雲回應：有關移除的經費是屬海事工程領域，所以也無法具體有效的列出來，其實跟對方談判的時候，移除的經費當初業已賠償過，此復育經費其實是我們要做復育這件事它才可能爭取到的，移除是我們在國內談的時候，反正已經爭取到了，然後再放些經費到那邊去，可是與對方談判時受到損害賠償的上限，而且對方也賠過了，復育的部份談判起來也不是很容易的。

11. 李副處長登志：今年 10 月份殘骸有 20% 至 25% 的移動？

* 樊副研究員同雲回應：這指的是船尾區的部份，那當初我們估計殘骸覆蓋面積是 3978 平方公尺，即 7~11 公尺處，估計其變動是 20% 至 25%。

12. 李副處長登志：颱風過後可能有部份殘骸找不到，或移到別處去？

* 樊副研究員同雲回應：事實是如此的，10 月份去看時候，很多聚集的小殘骸已經不像以前那麼多了，有幾塊大片的也明顯不在原來位置上。

13. 李副處長登志：那將來颱風來時，20 公尺處的殘骸就很難固定了，那在獨立礁的較深的就會固定在那兒。岸邊的比較不穩，需要移除的就是這些了。那現在每個區塊是否都有做上記號標示起來？

* 樊副研究員同雲回應：深的地方的殘骸受影響較小，有可能較穩定。如果移除的話，我們當初建議的一個順序是岸邊淺區的那 2 個艙蓋，然後再來是船尾區，但是船尾區移動的方向與船頭區中間有一片沙地，因為無法確切掌握它的行蹤，它也許會漂過沙地跑到岸邊，也許就埋在沙地上。至於標記部份，在船頭區、5 號艙蓋及 4 號艙蓋我們有做標記，引擎旁邊也有，但其它因範圍太廣，所以沒有做上記號。

14. 李副處長登志：有關珊瑚復育 1 平方公尺要 4 萬多元經費，那如果 2 倍的面積，是否要同樣的經費呢？那如果把要復育的地區作一整體的規畫，這樣可能會比較好。有關賠償情形，國外是否有案例可循？

* 樊副研究員同雲回應：當初我們估算時並沒有這樣想法，我們是從移植珊瑚到培養牠再把牠移植回去監測這樣估算的，那 2 倍面積的經費，其中會有共同的開銷，所以應該用不到 2 倍的經費。至於復育珊瑚整體規畫，它會是一個很龐大的計畫案，當初只是就現況做一優先順序的估算。每個地方的賠償情形不盡相同，國外比較多的案例通常是在遊憩區，假如阿瑪斯號當初是撞沉在出水口附近的話，由於那地方是珊瑚生長良好且有人常潛水的地方，那其賠償金額費用就很高了，但現在是撞沉在龍坑地區，此區不是遊客常去的地方，且位於珊瑚礁生長區的邊緣，所以就這種情況而言，一般能獲得賠償的費用會比較少。

玖、主席總結：感謝樊博士及中山大學羅教授的指導，以上所提的問題請受委辦單位考量修正，本次期末報告原則通過。

拾：散會。(同日 11 時 45 分)

龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸
及對珊瑚礁損害的監測

附錄四、共同調查報告 1

MV Amorgos – Joint Survey Results

阿瑪斯號 - 聯合調查結果

May 2005

2005 年 5 月

A joint survey of the wreckage and surroundings of the MV Amorgos in the Lungken area of Southern Taiwan was conducted by Dr TY Fan of the National Museum of Marine Biology and Aquarium (NMMBA) and his two assistants, Mr Wei Jia and Mr Mei Li Chi, Ms Helen Newman of Newman Biomarine Pte Ltd and Mr. Tsai undertaking underwater video recording of the surveys.

台灣南部龍坑地區阿瑪斯號殘骸與周圍的聯合調查，由國立海洋生物博物館的樊同雲博士和他的 2 位助理魏杰先生與梅立青先生，Newman Biomarine 公司的 Helen Newman 小姐和進行水下調查錄影的蔡先生共同進行。

The Survey Programme was as follows:

調查計畫如下

15th May 2005 Meeting

Meeting with Dr Fan and Helen Newman to discuss objectives and survey methodology and programme details.

2005 年 5 月 15 日 開會

樊博士與 Helen Newman 討論調查目標方法與計畫細節。

16th May 2005. Dive Surveys

1. Dive Survey and measurement of the area affected by the salvaged accommodation block (stern), description of the sea bed and assessment of coral cover in the surrounding area.
2. Dive Survey and measurement of near shore area affected by hatch cover 2. Examination of coral transplants and permanent quadrat sites in affected and unaffected areas.
3. Dive search to locate site of salvaged hatch cover (hatch cover 3).

2005 年 5 月 16 日 潛水調查

1. 潛水調查和測量受船尾影響區域，描述海床，評估周圍珊瑚覆蓋。

2. 潛水調查和測量近岸受 2 號艙蓋影響區域，檢查珊瑚移植，以及受影響和未受影響區的永久方塊樣區。
3. 潛水搜尋定位已清除的 3 號艙蓋區。

17th May 2005. Dive Surveys

1. Dive survey and measurement of the area affected by the hull and iron ore cargo, description of the surrounding seabed and estimate of coral cover.
2. Dive survey and measurement of hull area connecting to the area affected by the stern. Estimate of coral cover and description of seabed.

2005 年 5 月 17 日 潛水調查

1. 潛水調查和測量受船身和鐵礦砂影響區域，描述周圍海床，估計珊瑚覆蓋。
2. 潛水調查和測量船身連接船尾影響區域，描述周圍海床，估計珊瑚覆蓋。

18th May 2005. Dive Surveys.

1. Dive mid section of anchor chain and attempt to locate initial grounding position based on the bathymetric survey results. General description of area.
2. Dive area adjacent to the salvage site of the bow. Determine nature of the seabed and coral cover. Examine site for structural damage.
3. Dive survey near shore area. Measure size of newly located hatch cover 4 by Dr Fan's assistants. Quadrature survey of damaged and undamaged area affected by hatch cover 2.

2005 年 5 月 18 日 潛水調查

1. 潛水調查錨鏈中段，企圖定位海底掃描調查所得的最初擱淺位置，區域的一般描述。
2. 潛水調查鄰近船頭清除地點，決定海床的性質和珊瑚覆蓋，檢查結構受損地點。
3. 潛水調查近岸區，樊同雲的助理測量新發現的 4 號艙蓋，調查 2 號艙蓋破壞與未破壞區的方塊樣區。

19th May 2005. Dive Surveys

1. Dive bow area, measure length of "crack". Transect survey of adjacent area. Swim survey of area for general seabed description and estimate of coral cover.
2. Dive near shore area. Dr Fan's assistants and Mr Tsai try to locate any damaged areas affected by salvaged hatch cover 1. Then undertake visual

survey of south Lungken near shore area for general observations of coral cover. Dr Fan and Ms Newman surveyed the near shore area near the site of hatch cover 2, to estimate coral cover in undamaged areas close to the affected site.

2005 年 5 月 19 日 潛水調查

1. 潛水調查船頭區，測量裂縫長度，鄰近區域的橫截線調查，一般海床描述與估計珊瑚覆蓋。
2. 潛水調查近岸區，樊博士的助理與蔡先生搜尋移除 1 號艙蓋影響的區域，進行龍坑近岸區珊瑚覆蓋的目測，樊博士與 Helen Newman 小姐調查近岸區鄰近 2 號艙蓋地點，在接近破壞區的未破壞區估計珊瑚覆蓋。

20th May 2005. Meeting at NMMBA - Summary of results to date.

2005 年 5 月 20 日 在海生館開會，總結至今調查結果。

21st May 2005. Meeting NMMBA. Demonstration of Coral Survey data processing

2005 年 5 月 21 日 在海生館開會，說明珊瑚調查資料處理流程。

22nd May 2005 Data Processing

Prepare draft document of joint survey results. Calculate area affected by hatch cover 2 from the measurements in the field.

2005 年 5 月 22 日 資料處理，撰寫聯合調查結果資料，由實地測量資料計算受 2 號艙蓋影響面積。

23rd May 2005 Dive Survey Lungken Near Shore Area and Banana Bay

Visual estimates of overall coral cover along the Lungken shoreline, south central and north. Check for any indications of residual oil in the nearshore area. Dive at Banana Bay at Dr Fan's coral monitoring site and generally to determine how comparable this site is as a control to Lungken.

2005 年 5 月 23 日 潛水調查龍坑近岸區和香蕉灣

沿著龍坑海岸線南段、中段與北段，目測整體珊瑚覆蓋，在近岸區檢查殘油跡象，在香蕉灣樊博士的珊瑚監測點潛水評估其作為龍坑對照區。

24th May 2005 Joint Survey Lungken Intertidal Zone.

Survey Lungken intertidal zone at spring low tide. Check for any residual oil as potential source of nutrient pollution.

2005 年 5 月 24 日 聯合調查龍坑潮間帶

在大潮低潮期間調查潮間帶，檢查殘油作為營養污染的可能。

25th May 2005 Meeting NMMBA .

Data duplication. Calculate area affected by the main hull, stern and cargo based on the dive survey results and bathymetric survey.

2005 年 5 月 25 日 在海生館開會

資料複製，以潛水調查全球定位系統的經緯度資料，計算受主船身、船尾和鐵礦砂影響面積。

26th May 2005 Meeting NMMBA

Data duplication. Update joint survey document. for discussion

2005 年 5 月 26 日 在海生館開會

資料複製，更新聯合調查結果資料，討論。

27th May 2005 Discussion and finalization of joint survey results

2005 年 5 月 27 日 聯合調查結果資料的討論與完成。

28th May 2005 Discussion and finalization of joint survey results

2005 年 5 月 28 日 聯合調查結果資料的討論與完成。

29th May 2005 Discussion and finalization of joint survey results

2005 年 5 月 29 日 聯合調查結果資料的討論與完成。

Summary of Agreed Results

共識結果的總結

These results are based on extensive joint underwater surveys undertaken in May 2005 and on examination and discussion of historic survey and video data.

這些結果以 2005 年 5 月聯合水下調查，以及過去調查和錄影資料的檢查討論為基礎

1. Stern Area (Accommodation Block salvaged in 2002)

船尾區 (2002 年清除的住宿區船體)

Measurement of extent of the affected area.

This area comprised a channel along the rock ridge with patches of residual wreckage, some crushed boulders, boulders and bedrock.

Length of affected area = 170m

Average width = 23.4 m

Total area = 3,978 sq m sq m.

Depth 11m - 7m

影響區域的測量

此區域包含具有殘骸區塊，一些破碎的石塊，石塊和海床岩石的岩石脊溝渠。

影響區長度 = 170 公尺

平均寬度 = 23.4 公尺

總面積 = 3,978 平方公尺

深度 11 - 7 公尺

Stern Area –Description of the seabed.

The area comprises bedrock and boulders with a growth of algae, sponges, tunicates and some corals.

船尾區 - 海床描述

此區域包含海床岩石，具有藻類、海綿、海鞘和一些珊瑚生長的石塊。

Visual estimate of the coral cover in areas adjacent to the wreckage of the stern

Coral cover varied from about 15% in areas of bedrock to 5% in areas of large boulders.

The average coral cover in the area was 10%,

目測鄰近船尾殘骸區的珊瑚覆蓋

珊瑚覆蓋介於海床岩石區的 15%到大石塊區的 5%變化範圍，平均覆蓋率為 10%。

Status of the seabed and residual wreckage at the stern area.

The larger pieces of wreckage seem to be stable. The accumulated small pieces of residual wreckage consolidated by marine organisms in the affected area seem to be stable. Some small isolated pieces are unstable.

船尾區殘骸與海床現況

在受影響區大型殘骸似乎穩定，聚集而有生物固結作用的小型殘骸可能穩定，但小型分散的殘骸則較不穩定。

2. Hull Area

船身區域

Measurement of extent of the affected area.

Total area = 54,700 sq m

Area of residual cargo = 18,215 sq m

Area of residual wreckage = 36,485 sq. m

Depth 23m-15m

影響區域的測量

總面積 = 54,700 平方公尺

殘餘鐵礦砂區面積 = 18,215 平方公尺

殘餘殘骸區面積 = 36,485 平方公尺

深度 23 - 15 公尺

Description of the seabed

The seabed around the hull area comprised large boulders and cobbles to the south and west of the wreckage with outcrops of bedrock, boulders and sand patches to the north.

海床描述

船身周圍海床包括殘骸南方和西方有大石塊、小石塊；殘骸北方有海床岩石露頭、大石塊、沙地。

Visual estimate of the coral cover in areas adjacent to the wreckage of the hull

Average coral cover was less than 5%.

目測船身殘骸鄰近珊瑚覆蓋

平均珊瑚覆蓋低於 5%。

Status of the seabed, residual wreckage and cargo in the hull area.

Generally the hull area comprises large sections of wreckage, which seem stable. In some locations the wreckage has seen significant recruitment and growth of corals and other benthic organisms. The complex structure of the wreckage has provided a variety of habitats that have been well colonized by a variety of marine organisms. The majority of the wreckage is only colonized by a few small corals.

There is no indication of any toxic effects due to the iron ore cargo. Some large boulders were observed that had been crushed or broken by the wreckage. The anchor and chain were found.

船身區域海床殘骸和礦砂的現況

船身區域包含大型殘骸似乎穩定，在一些地點殘骸已有珊瑚和其他底棲生物的加入量和成長，殘骸的複雜結構提供各種棲地，已被各種海洋生物利用，但大部份殘骸表面只有零星小珊瑚出現。礦砂並未呈現毒性作用，觀察到一些大岩塊破碎或因殘骸而破裂。也發現錨鏈和錨。

3. The Bow Area – Salvaged in 2002

船頭區-2002 年清除

Description of the seabed and coral cover

The seabed adjacent to the area the bow was salvaged comprises two distinct areas. One area (50 x 50 m) comprised a consolidated boulder reef at about 9m deep. A veneer (up to 10 cm) of coralline algae, algae, sponges, tunicates and patches of corals grow on the surfaces and around the boulders binding them together. Coral cover in this area is patchy ranging from 10% – 40%.

The other area is west of the consolidated area where the seabed slopes off to an area of more mobile boulders and sand patches in 10m-12m. Coral cover in this area is 5-10%

海床和珊瑚覆蓋的描述

鄰近船頭清除區的海床包括兩區，9 公尺處有由固結石塊形成的礁區(50 乘 50 公尺)，表層(最厚達 10 公分)有珊瑚藻、藻類、海綿、海鞘和珊瑚區塊生長，而將石塊連接。珊瑚覆蓋成區塊分布，範圍介於 10-40%。

另一區在固結石塊形成的礁區西方，此區海床斜向分布，有會移動石塊和沙地，水深 10-12 公尺，此區珊瑚覆蓋 5-10%。

Observations of Structural Changes

Along the edge of the consolidated boulder reef area, a crack was evident from the shape and appearance of boulders with little marine growth. The complex crack was measured to be 41m long. A piece of wreckage (a winch) and a thick rope were found within 10m of the crack. The crack may have been induced by the impact of the bow coming to rest in the adjacent area during a typhoon in 2001. Ms Helen Newman considered it may alternatively be a process of natural “slumping”.

結構改變的觀察

延著固結石塊礁區邊緣有明顯裂縫，石塊上只有一點生物生長，裂縫長 41 公尺，旁邊 (<10 公尺) 有一殘骸(絞盤)和粗索，裂縫可能因 2001 年颱風造成船頭移動撞擊而產生，Helen Newman 認為也可能是天然的崩裂。

4. Near Shore Area

近岸區

a) Area Damaged by Hatch Cover 2 (salvaged May 2002 -site of experimental transplant programme)

This area was identified and marked as a study site by Dr Fan in 2001 prior to the salvage of the hatch cover in 2002.

2 號艙蓋破壞區 (2002 年 5 月清除-移植實驗地點)

在 2002 年艙蓋清除之前，樊博士於 2001 年辨認並標記此區域作為監測地點。

Total area affected = 398.5 sq m

甲、Vertical = 225.5 sq m

乙、Horizontal = 173 sq m

Average coral cover on adjacent undamaged vertical surfaces = 60%

Average coral cover on adjacent undamaged horizontal surfaces = 45%

總破壞面積 = 398.5 平方公尺

垂直面積 = 225.5 平方公尺

水平面積 = 173 平方公尺

鄰近未破壞區垂直面的平均珊瑚覆蓋 = 60%

鄰近未破壞區水平面的平均珊瑚覆蓋 = 45%

b) Area affected by hatch cover 1 (salvaged May 2002). The probable area of this hatch cover was identified from the salvers diagram and was investigated by 5 divers during the survey.

The site was not distinguishable from surrounding area during our joint surveys.

1 號艙蓋影響區 (2002 年 5 月清除)。此艙蓋的可能地點由清除者所繪圖片推測而由 5 位潛水人員勘查。

在聯合調查時並未發現此地點與周圍地區有所不同。

c) Area affected by hatch cover 3 (salvaged May 2002)

The probable area was identified from the salvagers diagram, photographs and video footage of the salvage operation. The site was not distinguishable from surrounding area. The area comprises a lagoon with smaller rocks, boulders and sand patches in 3-5m dominated by algae with low coral cover less than 5%. During the search for hatch cover 3 (survey range about 200m), the survey team discovered the hatch cover 4.

3 號艙蓋影響區 (2002 年 5 月清除)

如 b)，此艙蓋的可能地點由清除者所繪圖片、所拍照片和錄影帶推測而勘查。在聯合調查時並未發現此地點與周圍地區有所不同，此區域包括有較小岩石、石塊和沙地的潟湖，水深 3-5 公尺，有許多藻類，珊瑚覆蓋低於 5%，在尋找 3 號艙蓋過程中(調查範圍長約 200 公尺)，調查團隊發現 4 號艙蓋。

d) Area affected by hatch cover 4 (discovered May 2005)

A complete hatch cover (length 15m, width 7.5m, water depth 7m) was discovered in May 2005 during the survey. The hatch cover is wedged in between two outcrops of fossil coral reef with living corals growing on them in an area of small limestone boulders with low coral cover less than 5%. The hatch cover is partially filled with sand and rocks and appears to be stable. It is located around Channel 10.

4 號艙蓋影響區 (2005 年 5 月發現)

在調查過程中所發現的 4 號艙蓋，其結構完整，長 15 公尺，寬 7.5 公尺，艙蓋在水深 7 公尺潟湖區，卡在高起且其表面有活珊瑚生長的化石珊瑚礁體間，底質是小石灰質礁石，珊瑚覆蓋低於 5%。艙蓋平躺而翻倒，內部堆積一些沙和礁石，似乎穩定，位於 10 號水道。

e) Area affected by hatch cover 5 (discovered May 2005)

Dr. Fan observed an unusual crack during the coral survey. Further investigation, revealed a damaged hatch cover in 4-7m depth water north of Channel 1. GPS 21 deg 54.920 N, 120 Deg 51.724 E. The hatch cover is in two main sections 15m(L) x 3.5m (H) and 7m(L) x 3.5m(H) and one smaller section 6m(L) x 2m(H), and a few small pieces, jammed into crevices between the reef. It is covered with substantial amounts of red macroalgae and calcareous algae and the occasional coral. It may be unstable. An angular scarp in the reef adjacent to the hatch cover was observed. This was probably caused by the hatch cover. Regarding the crack (< 10m from the hatch cover), this appeared to have formed relatively recently as marine growth in the crack was limited mostly to calcareous algae. It is possible that the “crack” was formed by the impact of the hatch cover on the reef. However, “cracks” or crevices are a regular feature of this area.

5 號艙蓋影響區 (2005 年 5 月發現)

在調查龍坑北段珊瑚覆蓋時，樊博士觀察到一不尋常的裂縫進一步勘查發現 5 號艙蓋，其斷成 3 大部份，最大的長 15 公尺寬 3.5 公尺，第二大的長 7 公尺寬 3.5 公尺，小片的長 6 公尺寬 2 公尺，其他尚有少數碎片，都成斜立，卡在 1 號水道附近礁體之間，水深 4-7 公尺。GPS 21 deg 54.920 N, 120 Deg 51.724 E。表面雖有許多紅色大型藻和鈣化藻與少數珊瑚小群體，但並不穩定。礁體裂縫鄰近(<10 公尺)艙蓋處，形成時間短，因裂縫表面只有一些底棲生物生長，旁邊有艙蓋磨蝕出的直角礁面痕跡，裂縫可能為艙蓋撞擊所造成。不過此區域尚有其他裂縫。

Coral Cover and Observations in the Near Shore Area – General

近岸區珊瑚覆蓋與觀察-整體描述

Coral cover in the near shore area is quite variable. Extensive swim surveys over 300m each, indicated that coral cover in the central area (~Channel 20-30) was the highest between 40-70%.

Further to the north there is a shallow lagoon area with more mobile limestone boulders and sand patches up to 7m deep (site of hatch covers 3 & 4). Coral cover is lower at 5%. North of this, coral cover is 30-60% including the site of hatch cover 5.

Further to the south, (~Channel 40-56) coral cover is also patchy ranging from 30-50%.

近岸區珊瑚覆蓋呈相當變化，以每次游泳超過 300 公尺的範圍，顯示珊瑚覆蓋在龍坑中段(水道 20-30)較高，介於 40-70%。

中段向北有一淺水瀉湖區，具有許多會移動的礁石和沙地，水深達 7 公尺(3 和 4 號艙蓋地點)。珊瑚覆蓋 < 5%。

北段珊瑚覆蓋介於 30-60%，包括 5 號艙蓋區。

南段(水道 40-56)珊瑚覆蓋介於 30-50%。

There was no indication of residual oil in the near shore area.

近岸區未發現殘餘油

There was extensive growth of macro algae in the near shore area generally, which appeared more pronounced in the central area. Algae, possibly diatoms was also noted growing on the sand. This is normally associated with high levels of nutrients or may be seasonal. It may be necessary to compare Lungken with other control sites. The lack of grazing fish was noted, which probably contribute to algae growth in general.

一般而言有許多大型藻類廣泛生長，在中段區數量更明顯。一些沙地也有藻類，可能是矽藻覆蓋生長。這通常與較高營養鹽有關，或可能是季節性現象。可能需要比較龍坑與對照地點，食藻魚類少也可能使得藻類多。

Intertidal Zone – Lungken

There is no observed evidence of residual oil that may be a source of on going nutrient or other pollution to the near shore area.

潮間帶-龍坑

並未觀察到殘油可能是營養鹽來源的證據或其他污染。

Restoration measures under consideration

考量中的復育方法

1. Coral transplants to site damaged by hatch cover 2.

2 號艙蓋破壞區移植珊瑚

Status: The area damaged by the hatch cover is covered by macroalgae and sediment. The natural recovery rate is very slow. The coral transplant experiment has demonstrated that it is possible to enhance process of recovery using transplants so far after 1 month.

Objective; To enhance the recovery of coral cover to pre-damaged levels in the affected area. That is 65% coral cover in near vertical surfaces and 45% cover in near horizontal surfaces. Some areas (e.g. sandy patches/mobile boulders) are not suitable for coral transplant

現況：破壞區有許多藻類和泥沙覆蓋基質，天然珊瑚復原速度非常緩慢，移植實驗至今約 1 個月顯示移植珊瑚可能能夠促進復原。

目標：強化珊瑚復原至破壞前狀況，即珊瑚覆蓋在垂直面達 65%，水平面達 45%，一些區域(如沙地/會移動的礁石)並不適合移植珊瑚。

Source of corals – Jialashuei.

Total area affected = 398 sq m

Timeframe total = 4 years

珊瑚來源 - 佳洛水

總破壞面積 = 398 平方公尺

復育期 4 年

In addition to coral transplants, Dr Fan proposed to transfer grazing invertebrates such as sea urchins and snails to see if this will limit algae growth and enhance coral recruitment and survival.

除了移植珊瑚，樊博士提出需要放養食藻的無脊椎動物如螺類和海膽，以評估此方式是否能抑制藻類生長與強化珊瑚加入量與存活。

Dr. T. Y. Fan: proposes this measure

Ms Helen Newman: This measure is possible subject to the results following the typhoon season.

樊博士：提出此重建計畫

Helen Newman 小姐：此計畫有可能但尚需颱風之後的結果

2. Removal of hatch cover 4 and 5

4 和 5 號艙蓋的移除

Status; Hatch cover 4 and 5 lie in less than 8m depth. This shallow area is influenced by the NE Monsoon and typhoons. As the hatch cover pieces are upright they may be moved by swell and surge, and so damage the surrounding coral. Therefore it is proposed that the hatch covers are removed. The site should then be monitored for recovery and assessed to see if any restoration is necessary

現況：4 和 5 號艙蓋位於淺水區(<8 公尺)，易受東北季風和颱風引起的強勁風浪影響，尤其是 5 號艙蓋已破碎，斜立在礁石間，將不斷撞擊測邊珊瑚礁體，因此建議應儘早移除，然後監測復原與評估是否需要進行重建。

Dr. T. Y. Fan: proposes this measure

Ms Helen Newman: This measure is possible but will probably cause damage to surrounding corals.

樊博士：提出此重建計畫

Helen Newman 小姐：此計畫有可能但將可能對周圍珊瑚造成傷害

3. **Structural concerns regarding the cracks near the bow area and hatch cover 5. Concerns regarding the stability of small and isolated pieces of residual wreckage.**

船頭與 5 號艙蓋區裂縫的結構問題，小型且分散的殘骸穩定性的問題。

Dr Fan will discuss his findings on these matters with his colleagues before making any proposals regarding these issues.

樊博士將與相關人士討論後再提出建議

4. **Removal of iron ore cargo near the hull.**

船身附近礦砂移除

Status; The iron ore is unstable and can be moved around in the swells and surges during typhoons. When the iron ore moves it may damage surrounding benthic organisms. Therefore it is recommended that the iron ore should be removed from the major affected area, subject to finding a suitable method that will not cause significant additional damage to the surrounding environment,. Divers using airlifts in selected areas may be able accomplish this subject to further input from appropriate commercial operators. The approximate area of mobile cargo of concern adjacent to the hull is 18,215 sq m.

現況：礦砂不穩定，會隨海流移動，使底棲生物無法長期著生，也會磨蝕

其他海床岩石上的生物，造成傷亡，因此建議移除。
以潛水人員利用氣流提升的方式，將船身殘骸周圍礦砂清除，估計面積為
18,215 平方公尺。

Dr. T. Y. Fan: proposes this measure

Ms Helen Newman: This measure is possible but will require input from
salvers for an appropriate method that will not cause additional damage.

樊博士：提出此重建計畫

Helen Newman 小姐：此計畫有可能但將需要清除者提供不會造成額外傷
害的適當方法信息

5. On Going and Proposed Research in Lungken

龍坑正在進行與計畫中的研究

Dr Fan is proposing to undertake the following surveys;

樊博士將進行下列調查

1. Measurement and video of the length of the crack observed near hatch
cover 5. May/June 2005
測量和錄影 5 號艙蓋旁裂縫的長度。2005 年 5/6 月。
2. Survey and video entire length of Lungken nearshore area to look for
additional hatch covers or wreckage and any associated damage to the
reefs. This will be done using underwater scooters in May-Oct/ 2005.
調查近岸區是否有其他艙蓋或殘骸與所造成的損害。2005 年 5-10
月。
3. Survey status of coral transplants and add additional transplants. Sept/Oct
2005
調查移植珊瑚的存活狀況，並加入其他移植珊瑚。2005 年 9-10 月。

I TO PF with the assistance of SINTEF and Helen Newman, collected sediment
and water samples from Lungken, Longpan, Banana Bay, Baishi, and
Moubitou for analysis for oil pollution.

I TO PF 在 SINTEF 和 Helen Newman 的協助下，在龍坑、龍盤、香蕉灣、
白沙、貓鼻頭採集沉積物和水樣以分析油污染。

In May 2005, Helen Newman with the NMMBA/KNP collected oyster
samples from Lungken (Ch H1), Longpan (Ch 1), Banana Bay and Baishi for
analysis for oil pollution.

2005 年 5 月，Helen Newman 與海生館和墾管處人員在龍坑(水道 H1)、龍盤

(水道 1)、香蕉灣和白沙採集牡蠣以分析油污染。

Other Surveys in the Area

其他調查

4. Dept of Geology, National Taiwan University. A research student will collect Porites coral heads for sectioning . Cores will be chemically analyzed for environmental indicators of pollution.
台大地質系所研究生採集微孔珊瑚，進行環境污染指標分析。
5. LTER project may continue in Lungken subject to funding
長期生態研究若有經費補助可能繼續。
6. KNP has commissioned the NMMBA (Dr Fan) to assess the general status of the corals from Lungken to Jialashei.
墾管處補助海生館樊博士進行龍坑至佳洛水珊瑚一般狀況的評估。

Prepared and agreed by

撰寫與同意

樊同雲博士

國立海洋生物博物館

Dr TY Fan

NMMBA

2005 年 5 月 29 日

Helen Newman

Newman Biomarine Pte Ltd

29 May 2005

附錄五、共同調查報告 2

Joint Coral Survey Report September 2005

2005 年 9 月聯合珊瑚調查報告

Amorgos Marine Survey

阿瑪斯號調查

Dr T.Y. Fan, National Museum of Marine Biology and Aquarium

樊同雲博士，國立海洋生物博物館

Helen Newman, Newman Biomarine Pte Ltd

Introduction.

This is a follow up survey to the Joint Survey undertaken in May 2005 of the wreckage and area affected by the M/V Amorgos.

Since that survey, between June and September 2005, Taiwan was subject to a series of typhoons including a super typhoon that affected Southern Taiwan in July 2005.

前言

接續 2005 年 5 月的調查，因為 6 至 9 月期間有數個颱風，包括 7 月有一個強烈颱風影響南台灣。

Programme

計畫

23rd September 2005 Meeting Dr Fan and Helen Newman at NMMBA to discuss the objectives and program.

2005 年 9 月 23 日 樊博士與 Helen 女士在海生館討論目標與計畫

Objectives

目標

1. Assess the status of the coral transplants made to the near shore area affected by a hatch cover.
 2. Determine if the broken hatch cover pieces located near Longpan had moved during the typhoons in July/Aug/Sept and if they had caused any damage to the surrounding environment.
 3. Check on the main part of the wreckage and determine if there had been any significant movement of the wreckage and cargo.
 4. Check on the stern area to determine if smaller pieces of wreckage had moved and to compare this with areas nearby.
1. 調查近岸區受艙蓋破壞區珊瑚移植狀況。
 2. 調查靠近龍盤地點的破碎艙蓋有否受颱風影響而移動，以及是否造成周圍

環境破壞。

3. 調查船隻殘骸與貨物是否有明顯移動。
4. 調查船尾區的小殘骸是否有移動並與周圍比較。

Diving program delayed due to poor visibility at proposed dive locations.

潛水計畫因能見度差而延遲

29th September 2005 Dive survey coral transplant site

Dive survey site of broken hatch cover

Dive survey main wreckage

2005年9月29日 潛水調查珊瑚移植區、破損艙蓋區、主要殘骸區。

30th September 2005 Dive transplant site –

Dr Fan – Permanent quadrat survey

HN – General survey

Dives on the Bow and Stern area aborted due to strong currents

Additional dives aborted due to incoming typhoon

2005年9月30日 潛水調查移植區，樊博士調查永久樣區，Helen女士調查
周邊

船頭與船尾區因海流強而取消

因颱風接近而取消其他調查

1st October 2005 Meeting at NMMBA to discuss findings and prepare joint
survey results.

2005年10月1日 在海生館討論調查結果與準備報告

Survey Findings

調查結果

1. Coral Transplant Site

In May 2005, a total of 92 transplants were placed initially within the affected area. Sixty six days later 58 were healthy, 9 showed negative growth and 25 (27%) were missing.

On 29th Sept 2005 we found a total of 12 coral transplants still in place, additional transplants may not have been located due to the poor visibility. Dr. Fan will try and resurvey and compare the status of the transplants in better conditions in October 2005. The loss of the transplants was caused by the typhoons. Dr. Fan noted that a remaining piece of hatch cover (50 cm in diameter) had moved.

1. 珊瑚移植區

2005年5月在被破壞區共移植92株；66天後，58株健康、9株負成長、25株(27%)遺失。

2005年9月29日共發現12株，其他移植珊瑚尚待確認，因能見度差調查困難，樊博士將在10月再次調查與比較移植結果。移植珊瑚的損失主要是受颱風影響。樊博士注意到此區有殘骸(直徑約50公分)移動。

Generally there was less macro algae in the area. In one of Dr Fan's permanent quadrates, the size of some coral recruits had increased. Some colonies had started to meet. In other locations coral recruits remained low. Ms Helen Newman considered that coralline algae had apparently increased but required further examination.

整體而言此區大型藻較少，樊博士永久樣區之一的一些珊瑚加入群體體型有增長而彼此相接近，其他區域珊瑚加入群體仍很少。Helen Newman女士認為珊瑚藻有明顯增加但需要進一步檢查。

The only noticeable difference was a decrease in macro algae and relatively clean boulders and limestone rock formations adjacent to the sand. This is probably due to abrasion by sand and movement during the typhoons.

此區明顯的變化是大型藻減少，並有石灰岩岩石和圓石表面因颱風引起的漂砂和移動而磨蝕裸露。

2. Broken Hatch Cover. GPS 21 deg 54.923 N, 120 deg 51.723 S.

The hatch cover was located and two of the three pieces had moved little. A few small scrapes on the surface of the fringing coral reef were observed in the gullies about 150cm by 50cm and 50cm by 10cm. One piece of hatch cover (6m by 2 m) was not found, either because it had moved, or because we could not find it due to the poor visibility and swell. These results indicate that the pieces of the broken hatch cover are not very stable.

2. 破損艙蓋

發現2片破損艙蓋有移動，造成珊瑚礁體表面刮損面積約150公分乘50公分和50公分乘10公分，較小的破損艙蓋(6公尺乘2公尺)未發現，可能已移動或因能見度差而未發現。這些結果顯示破損艙蓋不穩定。

3. Main Area of Wreckage

The survey commenced at the engine block as a point of reference and then we circumnavigated the wreckage. Generally there had been no apparent gross movement of the wreckage, although some areas may have changed. One section about 10m long had slid about 6m along the top of another piece of wreckage leaving a clearly visible fresh scrape mark. There was evidence that smaller boulders and rocks had moved around and some of the cargo exposing "clean" rock surfaces.

3. 主要殘骸區

由引擎區開始在殘骸週邊調查，整體而言尚無明顯大距離移動，雖然部份區域似乎有些改變。有發現一片長約 10 公尺的殘骸滑動，而在其底下的殘骸表面留下約 6 公尺清楚且新形成的刮痕，也發現小圓石和岩石移動，礦砂貨物也有移動而暴露其底下岩石。

4. Due to adverse conditions, it was not possible to dive the Bow and Stern areas. Dr Fan plans to undertake a survey in this area subject to suitable conditions in October 2005.

4. 由於海況差而無法調查船頭和船尾區，樊博士預計 2005 年 10 月海況較佳時再進行調查。

Proposed Restoration Measures

復育方法

Based on the results of this most recent survey Dr Fan proposes the following;

基於目前最新結果樊博士提出下列方案

i) To try and improve the method of attachment of the coral transplants so they are flush with the surrounding surface.

改良移植珊瑚的固定方法，使珊瑚與周圍礁體表面融合。

ii) To transplant corals based on the latest monitoring results annually.

基於每年最新的監測結果進行移植復育工作

Prepared and agreed by

撰寫與同意

樊同雲博士

國立海洋生物博物館

Dr TY Fan

NMMBA

2005 年 10 月 2 日

Helen Newman

Newman Biomarine Pte Ltd

2 October 2005

附錄六、共同調查報告 3

AMORGOS JOINT SURVEY REPORT

阿瑪斯號聯合調查報告

15th October 2005

2005 年 10 月 15 日

Dr T.Y. Fan, NMMBA

海生館樊同雲博士

Helen Newman, Newman Biomarine Pte Ltd

Newman Biomarine Pte Ltd 公司 Helen Newman 女士

Programme

計畫

- | | |
|--------------------------|--|
| 12 th Oct 05 | Dive 1 - STERN AREA- To asses any movement of wreckage
Further dives at site aborted due to poor sea conditions |
| 10 月 12 日 | 第 1 次潛水-船尾區-評估殘骸的移動
由於海況不佳後續潛水取消
Dive 2 – Fengshuisha
第 2 次潛水-風吹砂 |
| 13 th Oct | Dive 3 – NEAR SHORE AREA – To survey permanent transects |
| 10 月 13 日 | 第 3 次潛水-近岸區-調查永久橫截線
Dive 4 – BOW AREA – To collect sediment sample and assess
movement in the area. Dive at stern area aborted due to strong currents
第 4 次潛水-船頭區-採沉積物標本，評估殘骸移動，由於海況不佳
船尾區潛水取消
Dive 5 – Banana Bay – To survey coral cover at permanent transects
第 5 次潛水-香蕉灣-調查永久橫截線珊瑚覆蓋率 |
| 14 th October | Dive 6 – STERN AREA – To further determine movement of wreckage
canceled due to poor sea conditions. |
| 10 月 14 日 | 第 6 次潛水-船尾區-由於海況不佳，船尾區潛水取消 |

Joint Survey Findings

聯合調查發現結果

1. STERN AREA

Sea conditions were difficult during the surveys with both strong currents and swell 3

m. Visibility was about 10 m. There were indications that many smaller pieces of wreckage 1-3m had moved. This could be seen from new areas of rust and areas “cleaned” of marine growth apparently by abrasion. Some larger pieces of wreckage have also moved. It was estimated that at least two pieces of wreckage (16 m x 5 m and 17 m x 8 m) had moved significantly from their original position. Mr. Wei and Mr. Tsai estimated that 20-25% of the large pieces of shipwreck had changed compared to May 2005. During the dive there was a groaning sound of wreckage being moved by the swell reflecting that some wreckage is not stable. It was apparent that boulders in the area had also moved, some movement may also have been related to movement of the wreckage, exposing new clean surfaces some of which had coralline algae starting to grow. Pieces of bedrock had also broken off and areas were scoured clean of marine growth.

Dr. Fan believes that it is necessary to continue to monitor the wreckage to determine if it migrating toward the seashore where it may affect the coral reef area.

船尾區

強的海流和高 3 公尺的湧浪使調查困難，能見度約 10 公尺，許多 1-3 公尺大小的殘骸已移動，可看到新的生鏽區和附著生物被磨蝕清除的區域，一些大型殘骸也移動，估計至少二片(16 乘 5 公尺和 17 乘 8 公尺)的大殘骸明顯不在原來位置，以及魏先生和蔡先生估計，與 2005 年 5 月比較，約 20-25% 的大殘骸區有變動，水下有殘骸隨湧浪晃動摩擦聲音，顯示一些殘骸不穩定。此區圓石也移動，一些原石移動可能與殘骸移動有關，暴露新的清除表面，部份有珊瑚藻開始生長；海床岩石也破碎，表面生物被清除。樊博士相信有必要繼續監測殘骸，以確定殘骸是否向岸邊移動，而影響珊瑚礁。

2. BOW AREA

A very brief dive was made to collect a sediment sample. There was a strong current about 2 knots and we drifted down to the site. Mr Wei and Mr Tsai estimated we ended up about 30-50m away from the original site surveyed in May 2005. The area comprised rounded boulders up to 1 m diameter. Some boulder surfaces were clean of benthic organisms. It appears that these boulders had moved during the typhoons.

船頭區

一次快速的潛水以採集沉積物標本，約 2 節的強海流使我們漂流至此區，魏先生和蔡先生估計離 2005 年 5 月的調查點約 30-50 公尺，此區由直徑可長達 1 公尺的圓石組成，一些圓石表面底棲生物被清除，其似乎在颱風期間移動。

3. NEAR SHORE AREA

The transect survey was abandoned due to the heavy swell. Diving conditions were very poor due to the swell and low visibility (3m). This made even a visual survey of corals in the area difficult.

近岸區

由於湧浪強，橫截線調查放棄；由於湧浪大和能見度低，僅 3 公尺，使觀察調查困難。

Restoration measures under consideration updated following September and October 2005 surveys

在 2005 年 9 和 10 月調查後，考量中的復育方法

2. Coral transplants to site damaged by hatch cover 2.

2 號艙蓋破壞區移植珊瑚

Update

更新

Dr. Fan proposed that an acceptable natural recovery rate should be determined, then coral transplants only made if this rate is not achieved based on monitoring data.

樊博士建議設定自然復原率的目標，依據自然復原率監測資料，珊瑚移植僅在自然復原率未達設定目標時進行。

2. Removal of hatch cover 4 and 5

4 和 5 號艙蓋的移除

As before

如 5 月報告

3. Structural concerns regarding the cracks near the bow area and hatch cover

5. Concerns regarding the stability of small and isolated pieces of residual wreckage.

船頭與 5 號艙蓋區裂縫的結構問題，小型且分散的殘骸穩定性的問題。

As before

如 5 月報告

4. Removal of iron ore cargo near the hull.

船身附近礦砂移除

As before

如 5 月報告

5. Removal of wreckage at the stern area

船尾區殘骸的移除

Dr. T. Y. Fan: suggests the wreckage in this area should be salvaged

Ms Helen Newman: Does not think this measure is necessary. The wreckage provides additional habitat and is very unlikely to migrate to the nearshore area.

樊博士：建議應該移除

Helen Newman 小姐：不認為此計畫有必要，殘骸提供額外棲所，並且非常不可能移動至近岸區。

Prepared and agreed by

撰寫與同意

樊同雲博士

國立海洋生物博物館

Dr TY Fan

NMMBA

2005 年 10 月 15 日

Helen Newman

Newman Biomarine Pte Ltd

15 October 2005

附錄七、2005 年世界生態重建研討會報告

Monitoring and Restoration of A Coral Reef Damaged by the Ship Grounding of the Bulk Carrier Amorgos in Kenting National Park, Taiwan

Fan T. Y.¹, P. J. Liu², C. Y. Kuo³ and L. S. Fang^{1, 4}

¹ National Museum of Marine Biology and Aquarium, Pingtung, Taiwan 944, ROC

² Department of Life Sciences, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 250, ROC

³ Institute of Marine Biology, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung, Taiwan 804, R. O. C.

⁴ Institute of Marine Resources, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung, Taiwan 804, ROC

Abstract

The bulk carrier Amorgos grounded on coral reefs of Lungken Nature Reserve, Kenting National Park in southern Taiwan on 14 January 2001. Coral coverage of damaged area had been denuded as a result of the mechanical abrasion of broken wrecks during typhoon period. The recovery process of coral community at the damaged spur-and-groove site was monitored by 3 permanent 1x1 m quadrates on denuded natural substrata at a depth of 6 to 12 m from June 2002 to April 2005. The density of corals was 1 colonies m⁻² in June 2002, then increased and remained stable at approximately 30 colonies m⁻² from 2003 to 2005. The mean coral coverage was 0.2 % in June 2002 and increased to 2.4 % in April 2005. These results suggest poor survival and growth of recruited and juvenile corals. Recovery is likely to be inhibited by sedimentation and macroalgae, which expected to inhibit coral settlement and reduce growth. The family Faviidae (80.5 %) was the most abundant recruited colonies, followed by the genus *Pocillopora* (5.8 %), *Porites* (4.6 %), and *Hyalopora* (4.6 %). The recruitment at Lungken might be influenced by nearby coral communities. Since the natural recovery was very slow, a restoration study using transplantation of the blue coral *Heliopora coerulea* (n = 92) was conducted to assess the feasibility. After 66 d transplantation, 63% of the transplanted colonies were healthy, 10% were negative growth and 27% were missing. This result indicates a preliminary success.

Introduction

Ship groundings caused reduction of the reef to rubble, coral cover decreased, bare substratum and rubble increased. These physical disturbances have profound and long-lasting effects on regenerative process of coral communities (Aronson and Swanson, 1997). Natural re-establishment of reef corals has been slow because of poor sexual recruitment and/or post-settlement survival. Thus, natural recovery from such extensive damage may take decades. Transplantation of hard corals has been used to accelerate the formation of coral communities and regenerate damaged coral reefs (Edwards and Clark, 1998).

The MV Amorgos ran aground on a coral reef of Lungken Nature Reserve, Kenting National Park in southern Taiwan on 14 January 2001. Damage at spur-and-groove site from the mechanical abrasion of broken wrecks during typhoon period extended approximately 400 m² with coral coverage of damaged area had been denuded. The purpose of this study was to access the process and rate of natural coral recovery in denuded areas. In addition, corals were transplanted to examine the feasibility of restoration.

Transplantation

The blue coral *Heliopora coerulea* were collected from Wanding (120°42'40"E; 21°59'75"N; Fig. 1), fragmented (about 6 cm in diameter), mounted onto cement bases using epoxy (Devcon) and cultured in the National Museum of Marine Biology and Aquarium (NMMBA) in March 2005. Transplantation was conducted in April 2005. Photographs were made of each transplanted coral in April, May, and July 2005.

To determine the status of transplantation, the colonies were categorized as (1) healthy and showing similar or larger colony size; (2) negative growth: alive but size was apparently decrease or in a status of bleaching; (3) dead: no remaining live tissue and overgrown by algae or covered by sediments and (4) missing: entire colony detached and lost but attachment base still present.

Table 1. The number of coral recruits observed at monitoring sites.

Genus	2002		2003		2004		2005	
	October	August	March	September	April	April	April	April
Favidae	1	33	44	75	70			
Pocillopora		3	5	4	3			
Porites		13	6	11	6			
Hyalopora		1	3	3	4			
Montipora		4	2	2	3			
Acropora		1		1	1			
Echinophyllia		1						
Euphyllia				1				
Halysora		3	1	1				
Safranal		4	2	2				1
Milopora		1	1					

Summary

The monitoring results suggest poor survival and growth of recruited and juvenile corals. The nearby coral coverage was estimated approximately 60%. Assuming that the linear increase in damaged area with time indicated in Fig. 2 continue to hold, extrapolations of regressions calculated for these data indicate that about 100 years of regrowth will have been required to achieve 60% coverage.

The recruited coral community at damaged site was similar as nearby undamaged site. It suggests that recruitment pattern of corals might be influenced by nearby coral communities.

The survival rate of the transplants at Lungken was 73 %, indicating an initial success.

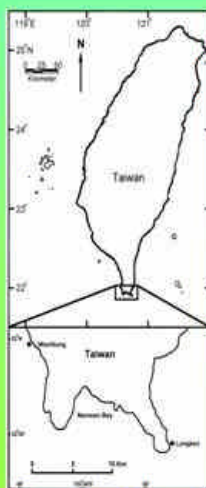


Fig. 1. Map of southern Taiwan.

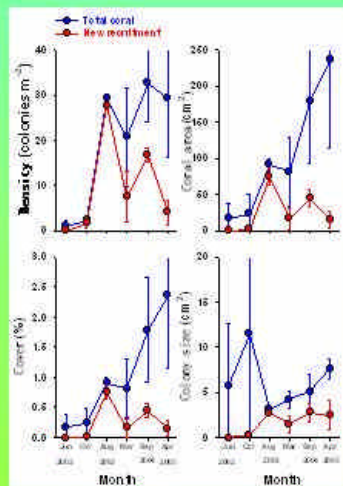


Fig. 2. Density, cover area, cover percentage and colony size of corals per m² at damaged sites. Mean ± SE.

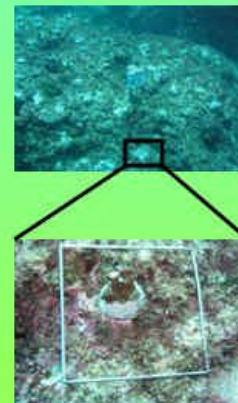


Fig. 3. The transplanted blue coral, *Heliopora coerulea*.

Acknowledgements

We thank C. Wei and L. C. Mei for their assistance in the field. This study was supported by a grant from the National Science Council, Taiwan, ROC (NSC 93-2621-B-291-002).

References

- Aronson RB, Swanson DW. 1997. Video surveys of coral reefs: uni- and multivariate applications. Proc 8th Int Coral Reef Symp 2:1441-1446
- Edwards AJ, Clark S. 1998. Coral transplantation: a useful management tool or misguided meddling? Mar Polyt Bull 37: 474-487

Material and methods

Monitoring

The monitor site (120°51'73"E; 21°54'51"N; Fig 1) is located at Lungken Nature Reserve. Digital photographs took using an underwater digital camera (Olympus U5050). The number, size and genus (family) of corals present in the quadrates were recorded.

附錄八、2005 年珊瑚礁生物學術研討會報告

台灣南部龍坑海域受損珊瑚礁的復原：在船隻擱淺4年後

劉炳仁¹、吳同雲^{2,3}、方力行^{2,3}

¹國立中興大學生命科學系 ²國立海洋生物博物館 ³國立東華大學海洋生物多樣性及演化研究所

摘要

台灣南部墾丁國家公園龍坑自然保護區海域，於2001年1月發生阿瑪斯號貨輪擱淺事件，並因颱風作用使得船殼分解，殘留損壞珊瑚礁，造成珊瑚和底棲生物幾乎完全被清除而裸露出礁岩。本研究在受破壞區與鄰近未受破壞區，分別設立3個1x1m²的固定樣區，於2002至2005年，每年照相監測海底群落的復原過程。結果發現，未受破壞區的珊瑚群聚穩定，在2005年9月的平均覆蓋率分別為41.1%，而大型海藻、珊瑚藻和草皮海藻分別為1.4、10.6和23.7%。受破壞區自2002年6月至2005年9月，珊瑚的平均覆蓋率由0.2增加至4.4%，平均群體型由5.6增加至9.3 cm²，群體平均密度由1.0增加至38.3 colonies/m²。而大型海藻、珊瑚藻和草皮海藻在2005年9月的平均覆蓋率分別為5.2、5.7和29.9%。這些結果顯示受破壞區的珊瑚雖然呈現復原，但其速度非常緩慢。

前言

阿瑪斯號貨輪於2001年1月14日在墾丁國家公園龍坑自然保護區海域擱淺(圖1, 2a)。珊瑚礁受到船身撞擊，礁砂於殘塊積和油污污染，而在當年的颱風作用下，阿瑪斯號貨輪斷成數截，並產生許多的碎片殘骸，這些殘骸在波浪和颱風作用下不斷的機械性磨擦珊瑚礁，使許多的底棲生物和珊瑚枝移移(圖2b)。監測目的在瞭解阿瑪斯號殘骸所造成的裸露珊瑚礁，珊瑚群聚復原的情形和過程。



圖2. (a) 擱淺破損的阿瑪斯貨輪，(b) 破損的船殼和遺棄造成的裸露珊瑚礁。

圖1. 墾丁國家公園龍坑自然保護區海域。

材料與方法

1. 研究地點：墾丁國家公園龍坑自然保護區海域(圖1)。
2. 分別於殘骸破壞區與鄰近未受破壞區，設立三個1x1 m²的固定樣區(圖3)。
3. 以水肺潛水照相機調查。
4. 於2002至2005年每年照相監測珊瑚群聚的復原過程。
5. 以影像分析軟體(ImagePro Plus 4.51)分析珊瑚群體的覆蓋面積。

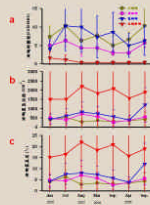


圖4. 2002年6月到2005年9月非破壞區區(a)珊瑚種類數(b)珊瑚覆蓋面積(c)珊瑚群體大小。(mean±SE)

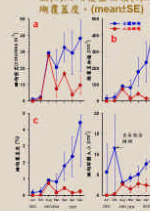


圖6. 龍坑破壞區區(a)珊瑚種類數(b)珊瑚覆蓋面積(c)珊瑚群體大小。(mean±SE)

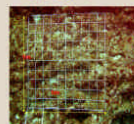


圖3. 1x1 m²的固定樣區。

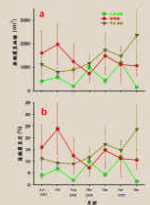


圖5. 2002年6月到2005年9月非破壞區區(a)藻類覆蓋面積(b)藻類覆蓋量(c)藻類種類數。(mean±SE)

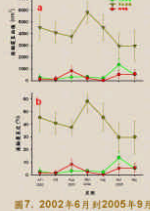


圖7. 2002年6月到2005年9月破壞區區(a)藻類覆蓋面積(b)藻類覆蓋量(c)藻類種類數。(mean±SE)

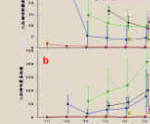


圖8. 2002年6月到2005年9月龍坑破壞區區(a)入海珊瑚種類數(b)入海珊瑚覆蓋面積。(mean±SE)

結果和討論

1. 未破壞區

● 在2005年9月時，石珊瑚、軟珊瑚、藍珊瑚和水母珊瑚的平均覆蓋率分別是4.5、5.5、12.2、19.0%，總共為41.1%(圖4c)

● 大型海藻、珊瑚藻和草皮海藻的平均覆蓋率分別為1.4、10.6和23.7%(圖5b)

● 大型海藻有季節的變化，夏秋較低，冬春時較高，珊瑚藻有下降趨勢，草皮海藻有增加的趨勢

2. 破壞區

珊瑚群體自2002年6月至2005年9月

● 群體平均密度由1.0增加至38.3 colonies/m² (圖6a)

● 珊瑚的平均覆蓋率由0.2增加至4.4% (圖6c)

● 平均群體型由5.6增加至9.3 cm² (圖6d)

● 大型海藻、珊瑚藻和草皮海藻在2005年9月平均覆蓋率分別為5.2、5.7和29.9%(圖7b)

● 草皮海藻占優勢，其覆蓋率在2004年曾增加到58.4%，但隨後呈下降的趨勢

顯示受破壞區的珊瑚雖然呈現復原，但其速度非常緩慢

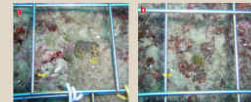


圖9. 破壞區入海的小珊瑚 (a) 菊珊瑚和 (b) 鹿角珊瑚。

● 入海珊瑚種類以菊珊瑚科(Favidae, 圖9a)最多，至2005年9月有85個群體，其次為鹿角珊瑚科(Poritidae, 圖9b)，有21個，鹿角珊瑚科(pocilloporidae)跟棘孔珊瑚科(Acroporidae)則少見

● 鄰近未破壞區的珊瑚以菊珊瑚和藍珊瑚(Helicopora coerulea)占優勢

龍坑生態保護區海域阿瑪斯號貨輪殘骸
及對珊瑚礁損害的監測

參考書目

- 方力行、李展榮、樊同雲、何平合。2001。阿瑪斯號貨輪重油污染事件調查 — 墾丁國家公園珊瑚（礁）及大型底棲動物損害評估。內政部營建署墾丁國家公園管理處，保育研究報告第 109 號。
- 方力行、孟培傑、郭漢鎧、張文炳、呂明毅、陳義雄、樊同雲、何平合、李展榮、林秀美、陳正平、周偉融。2002。阿瑪斯號貨輪擱淺地區生態資源監測與復舊計畫。內政部營建署墾丁國家公園管理處，保育研究報告第 118 號。
- 宋國士。2001。阿瑪斯號貨輪重油污染事件調查 — 墾丁國家公園龍坑及其周遭地區海域海床之地形地貌調查。內政部營建署墾丁國家公園管理處，保育研究報告第 114 號。
- 樊同雲。2001。珊瑚礁自然生態缸的建立與維護。科學月刊 32 (11):986-990。
- 樊同雲。2002。人工培育珊瑚與礁岩生態缸。觀賞魚大百科系列 54:112-115。
- 樊同雲、呂明毅、李展榮、方力行。1999。水族館活珊瑚養殖的現況與展望。中國水產 561:11-24。
- 樊同雲、李展榮、王志騰、方力行。2001。不斷創新領先的百年博物館—摩納哥海洋博物館。科學月刊 32 (8):715-719。
- 樊同雲、陳慧如、李展榮、方力行。2004。珊瑚礁生態缸的生態學理。科學月刊 35(2):132-136。
- 魏靜芬。2002。海洋污染防治之國際法與國內法。神州圖書出版公司。
- Aronson, R. B. and D. W. Swanson. 1997. Video surveys of coral reefs: uni- and multivariate applications. Proc. 8th Int. Coral Reef Symp., 2:1441-1446.
- Becker L. C. and E. Mueller. 2001. The culture, transplantation and storage of *Montastrea faveolata*, *Acropora cervicornis* and *Acropora palmate*: What we have learned so far. Bull. Mar. Sci. 69: 881-896.
- 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, A. W. and R. J. Bruckner. 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.
- Clark, S. and A. J. Edwards. 1995. Coral transplantation as an aid to reef rehabilitation: evaluation of a case study in the Maldivian Islands. Coral Reefs 14:201-213.
- Clark, S. and A. J. Edwards. 1999. An evaluation of artificial reef structures as tools for marine habitat rehabilitation in the Maldives. Aquatic Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst. 9:5-21.
- Coles, S. L. 1984. Colonization of Hawaiian reef corals on new and denuded substrata in the vicinity of a Hawaiian power station. Coral reefs 3:123-130.
- Connell, J. H. 1973. Population ecology of reef building corals. In Jones, O. A. and R. Endean, eds. Biology and geology of coral reefs, Vol. II, Biology 1, Academic Press, New York. P. 205-245.
- Curtis, C. 1985. Investigating reef recovery following a freighter grounding in the Key Largo National Marine Sanctuary, Florida Keys, USA. Proc. 5 th Int. Coral Reef Cong., Tahiti 6:471-476.
- Done, T. J., J. C. Ogden, W. J. Wiebe and B. R. Rosen. 1996. Biodiversity and ecosystem function of coral reefs. In Mooney, H. A., J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala and E. D. Schulze. (eds) Functional roles of biodiversity: A global perspective. John Wiley & Sons Ltd.
- Edgara, G. J. and N. S. Barrett. 2000. Impact of the Iron Baron oil spill on subtidal

- reef assemblages in Tasmania. *Mar. Poll. Bull.* 40:36-49.
- Edwards, A. J. and S. Clark. 1998. Coral transplantation: A useful management tool or misguided meddling? *Mar. Pollut. Bull.* 37:474-487.
- Edwards, A. J., S. Clark, H. Zahir, A. Rajasuriya, A. Naseer and J. Rubens. 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.
- Epstein, N., R. P. M. Bak, B. Rinkevich. 2000. Toxicity of third generation dispersants and dispersed Egyptian crude oil on Red Sea coral larvae. *Mar. Poll. Bull.* 40:497-503.
- Fan, T. Y., P. J. Liu and L. S. Fang. 2005. Monitoring and Restoration of Coral Reefs Damaged by the Ship Grounding of the Bulk Carrier Amorgos in Kenting National Park, Taiwan. The World Conference on Ecological Restoration, Zaragoza, Spain. (Abstract)
- Florida Keys National Marine Sanctuary. 2005. Florida Keys National Marine Sanctuary annual report. <http://www.fknms.nos.noaa.gov>
- Franklin, H., C. A. Muhando and U. Lindahl. 1998. Coral culturing and temporal recruitment patterns in Zanzibar, Tanzania. *Ambio* 27:651-655.
- Gittings, S. R., T. J. Bright, A. Choi and R. R. Barnett. 1988. The recovery process in a mechanically damaged coral reef community: recruitment and growth. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp., Townsville* 2:225-230.
- Great Barrier Reef Marine Park Authority. 2002. Response to the grounding of MV Bunga Teratai Satu on Sudbury reef. http://www.gbrmpa.gov.au/corp_site/management/eim/sudbury/
- Green A., J. Burgett, M. Molina, D. Palawski, P. Gabrielson. 1997. The impact of a ship grounding and associated fuel spill at Rose Atoll National Wildlife Refuge, American Samoa. Report to US Fish and Wildlife Service, Pacific

Islands Ecoregion, Honolulu, Hawaii.

- Guzman, H. M. and I. Holst. 1993. Effects of chronic oil-sediment pollution on the reproduction of the Caribbean reef coral *Siderastrea sidereal*. Mar. Poll. Bull. 26:276-282.
- Guzman, H. M., K. A. Burns and J. B. C. Jackson. 1994. Injury, regeneration and growth of Caribbean reef corals after a major oil spill in Panama. Mar. Ecol. Prog. Ser. 105:231-241.
- Guzman, H. M., J. B. C. Jackson and E. Weil. 1991. Short-term ecological consequences of a major oil spill on Panamanian subtidal reef corals. Coral Reefs 10:1-12.
- Hatcher, B. 1984. A maritime accident provides evidence for alternative stable states in benthic communities on coral reefs. Coral Reefs 3:199-204.
- Hawkins, J. P., C. M. Roberts and T. Adamson. 1991. Effects of a phosphate ship grounding on a Red Sea coral reef. Mar. Poll. Bull. 22:538-542.
- Harriott, V. J. and D. A. Fisk. 1988. Coral transplantation as a reef management option. Proc. 6th Int. Coral Reef Symp., 2:375-379.
- Haynes, D, C. Christie and P. Marshall. 2002. Antifoulant concentrations at the site of the Bunga Teratai Satu grounding, November 2000, Great Barrier Reef, Australia. Mar. Poll. Bull. 44:968-972.
- Hudson, J. H. and R. Diaz. 1988. Damage survey and restoration of M/V Wellwood grounding site, Molasses Reef, Key Kargo National Marine Sanctuary, Florida. Proc. 6th Int. Coral Reef Symp., Australia 2:231-236.
- Hudson, J. H and W. B. Goodwin. 2001. Assessment of vessel grounding injury to coral reef and seagrass habitats in the Florida Keys National marine Sanctuary, Florida: Protocol and methods. Bull. Mar. Sci. 69:509-516.
- Hughes, T. P. and J. B. C. Jackson. 1985. Population dynamics and life histories of foliaceous corals. Ecol. Monogr. 55:141-166.

- Jackson, J. B. C., J. D. Cubit, B. D. Keller, V. Batista, K. Burns, H. M. Caffey, R. L. Caldwell, S. D. Garrity, C. D. Getter, C. Gonzalez, H. M. Guzman, K. W. Kaufmann, A. H. Knap, S. C. Levings, M. J. Marshall, R. Steger, R. C. Thompson and E. Weil. 1989. Ecological effects of a major oil spill on Panamanian coastal marine communities. *Science* 243:37-44.
- Jaap, W. C. 1999. Coral reef restoration. *Ecol. Eng.* 15:345-364.
- Jones, R. S., Randall, R. H., Cheng Y. M., Kani H. T. and Mak S. M. 1972. A marine biological survey of southern Taiwan with emphasis on corals and fishes. Special Pub. No. 1, Inst. Of Oceanogr., Nat. Taiwan Univ., 93p.
- Lindahl, U. 1998. Low-tech rehabilitation of degraded coral reefs through transplantation of staghorn corals. *Ambio*. 27:645-650.
- Liu, P. J., L. S. Fang and T. Y. Fan. 2004. Recovery of coral community in a Nature Reserve of southern Taiwan, two years after a ship grounding. 10th International Coral Reef Symposium, Okinawa, Japan. (Abstract)
- Loya, Y. and B. Rinkevich. 1980. Effects of oil pollution on coral reef communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 3:167-180.
- Miller, M. W. and J. Barimo. 2001. Assessment of juvenile coral populations at two reef restoration sites in the Florida Keys National marine sanctuary: Indicators of success? *Bull. Mar. Sci.* 69:395-405.
- Negri, A. P. and A. J. Heyward. 2000. Inhibition of fertilization and larval metamorphosis of the coral *Acropora millepora* (Ehrenberg, 1834) by petroleum products. *Mar. Poll. Bull.* 41:420-427.
- Negri, A. P., L. D. Smith, N. S. Webster, A. J. Heyward. 2002. Understanding ship-grounding impacts on a coral reef: potential effects of anti-foulant paint contamination on coral recruitment. *Mar. Poll. Bull.* 44:111-117.
- Oren, U. and Y. Benayahu. 1997. Transplantation of juvenile corals: A new approach for enhancing colonization of artificial reefs. *Mar. Biol.*

127:499-505.

- Ortiz-Prosper A. L., A. Bowden-Kerby, H. Ruiz, O. Tirado, A. Caban, G. Sanchez and J. C. Crespo. 2001. Planting small massive corals on small artificial concrete reefs or dead coral heads. *Bull. Mar. Sci.* 69:1047-1051.
- Precht, W. F., R. B. Aronson and D. W. Swanson. 2001. Improving scientific decision-making in the restoration of ship-grounding sites on coral reefs. *Bull. Mar. Sci.* 69:1001-1012.
- Randall, R. H. and Y. M. Cheng. 1977. Recent corals of Taiwan. Part 1. Description of reefs and coral environments. *Acta Geologica Taiwanica* 19:79-102.
- Riegl, B. 2001. Degradation of reef structure, coral and fish communities in the Red Sea by ship groundings and dynamite fisheries. *Bull. Mar. Sci.* 69:595-611.
- 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. and Y. Loya. 1979. Laboratory experiments on the effects of crude oil on the Red Sea coral *Stylophora pistillata*. *Mar. Poll. Bull.* 10:328-330.
- Roberts, C. M., C. J. McClean, J. E. N. Veron, J. P. Hawkins, G. R. Allen, D. E. McAllister, C. G. Mittermeier, F. W. Schueler, M. Spalding, F. Wells, C. Vynne and T. B. Werner. 2002. Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science* 295: 1280-1284.
- Rogers C. S. and V. H. Garrison. 2001. Ten years after the crime: Lasting effects of damage from a cruise ship anchor on a coral reef in St. John, U.S. Virgin Islands. *Bull. Mar. Sci.* 69:793-803.
- Smith, S. R. 1985. Reef damage and recovery after ship grounding on Bermuda.

- Proc. 5th Int. Coral Reef Cong., Tahiti 6:497-502.
- Smith, S. R. 1992. Patterns of coral recruitment and post-settlement mortality on Bermuda's reefs: comparisons to Caribbean and Pacific reefs. *Am. Zool.* 32:663-673.
- Tunncliffe, V. 1981. Breakage and propagation of the stony coral *Acropora cervicornis*. *Proc. Nat'l. Acad. Sci. USA* 78:2427-2431.
- Vogt, H. P. 1995. Coral reefs in Saudi Arabia: 3.5 years after the Gulf War oil spill. *Coral Reefs* 14:271-273.
- Wilkinson, C. 2004. Status of coral reefs of the world: 2004. Vol. 1, Australian Institute of Marine Science.
- Yap, H. T. 2000. The case for restoration of tropical coastal ecosystems. *Ocean & Coastal Management* 43:841-851.