

「墾丁國家公園龍坑海域底棲群聚與 阿瑪斯號殘骸的生態監測」

墾丁國家公園管理處委託辦理調查報告

中華民國九十七年十二月

「墾丁國家公園龍坑海域底棲群聚與 阿瑪斯號殘骸的生態監測」

計畫主持人：樊同雲 研究員

參與研究人員：劉弼仁、魏杰、郭富雯、林乃正

執行單位：國立海洋生物博物館

墾丁國家公園管理處委託辦理調查報告

中華民國九十七年十二月

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	8
第三章 討論與建議	13
第一節 討論	13
第二節 建議	16
附錄	19
參考書目	29

墾丁國家公園龍鑾坑海域底棲群聚與
阿瑪斯號殘骸的監測

表次

表 1 阿瑪斯號殘骸名稱與分佈的經緯度座標	35
---------------------------------	----

墾丁國家公園龍鑾坑海域底棲群聚與
阿瑪斯號殘骸的監測

圖次

圖 1 龍坑位置圖	37
圖 2 龍坑海域調查地區與阿瑪斯號殘骸分布圖	38
圖 3 龍坑阿瑪斯號殘骸分佈，2 號艙蓋區 3 條約 30 公尺橫 截線，以及船身殘骸區三區各 5 條 10 公尺橫截線的示 意圖	39
圖 4 龍坑近岸海底地形與阿瑪斯號殘骸分佈示意圖	40
圖 5 4 號艙蓋倒躺在潟湖區	41
圖 6 4 號艙蓋倒躺在潟湖區	41
圖 7 4 號艙蓋的鐵板破損	41
圖 8 4 號艙蓋的鐵板	41
圖 9 4 號艙蓋的一角嵌在珊瑚礁岩之間	41
圖 10 4 號艙蓋的一角嵌在珊瑚礁岩之間	41
圖 11 4 號艙蓋內堆積一些石灰岩塊與沉積物	42
圖 12 4 號艙蓋內堆積一些石灰岩塊與沉積物	42
圖 13 潛水調查人員以皮尺測量 5 號艙蓋殘骸	42
圖 14 5 號艙蓋殘骸	42

圖 15	5 號艙蓋殘骸表面有許多大型藻附著生長	42
圖 16	5 號艙蓋殘骸表面有許多大型藻附著生長	42
圖 17	5 號艙蓋殘骸移動刮損礁岩表面	43
圖 18	5 號艙蓋附近刮損的礁岩表面	43
圖 19	船頭區所遺留的殘骸	43
圖 20	船頭區所遺留的殘骸	43
圖 21	船頭區所遺留的殘骸	43
圖 22	船頭區所遺留的殘骸	43
圖 23	船尾區大型殘骸的測量作業	44
圖 24	船尾區的大型殘骸	44
圖 25	船尾區的殘骸	44
圖 26	船尾區的殘骸	44
圖 27	船尾區的殘骸	44
圖 28	船尾區的殘骸	44
圖 29	船尾區的殘骸與其表面附著生長的珊瑚	45
圖 30	船尾區的殘骸	45
圖 31	船尾區的殘骸	45
圖 32	船尾區的殘骸	45

圖 33 船尾區的殘骸	45
圖 34 船尾區的殘骸	45
圖 35 船尾區的殘骸	46
圖 36 船尾區的殘骸	46
圖 37 船身區殘骸移動造成磨蝕鏽斑的近照圖	46
圖 38 船身區殘骸的銹蝕	46
圖 39 船身區大型殘骸	46
圖 40 船身區大型殘骸	46
圖 41 船身區大型殘骸與其表面附著生長的珊瑚	47
圖 42 船身區大型殘骸與其表面附著生長的珊瑚	47
圖 43 錨鏈	47
圖 44 錨鏈	47
圖 45 錨鏈與其表面附著生長的珊瑚	47
圖 46 錨鏈與其表面附著生長的珊瑚	47
圖 47 錨	48
圖 48 錨	48
圖 49 錨與其表面附著生長的珊瑚	48
圖 50 錨與其表面附著生長的珊瑚	48
圖 51 阿瑪斯號船身區的引擎殘骸	48

圖 52 阿瑪斯號船身區的引擎殘骸	48
圖 53 潛水人員進行船板拍照調查	49
圖 54 監測線拍照調查	49
圖 55 龍坑外海海底的階梯狀岩石海床	49
圖 56 停滯在階梯狀岩石海床的小殘骸	49
圖 57 著生在 5 號艙蓋的珊瑚	49
圖 58 著生在 5 號艙蓋的珊瑚	49
圖 59 著生在船板殘骸的珊瑚	50
圖 60 著生在船板殘骸的珊瑚	50
圖 61 著生在船板殘骸的珊瑚	50
圖 62 著生在船板殘骸的珊瑚	50
圖 63 著生在船板殘骸的珊瑚	50
圖 64 著生在船板殘骸的珊瑚	50
圖 65 船板殘骸附近的魚群	51
圖 66 船板殘骸附近的魚群	51
圖 67 4 號艙蓋殘骸附近的魚群	51
圖 68 船板殘骸鏽蝕情形	51
圖 69 船板殘骸鏽蝕情形	51
圖 70 船板殘骸鏽蝕情形	51

圖 71 船板殘骸銹蝕情形	52
圖 72 堆積在海床的礦砂	52
圖 73 船頭殘骸區附近的白化珊瑚	52
圖 74 船頭殘骸區附近的白化珊瑚	52
圖 75 船身殘骸附近的棄置船錨	52
圖 76 船身殘骸附近的珊瑚被廢棄魚線纏繞	52
圖 77 2004 年至 2008 年，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)	53
圖 78 2008 年，鄰近 2 號艙蓋破壞區天然珊瑚礁底棲珊瑚生長形態類別和種類的覆蓋率(平均值±標準偏差)	54
圖 79 2008 年，鄰近 2 號艙蓋破壞區天然珊瑚礁底棲藻類組成的覆蓋率(平均值±標準偏差)	55
圖 80 阿瑪斯號的引擎區、大型船身殘骸區和海床上的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)	56
圖 81 阿瑪斯號的引擎區、大型船身殘骸區和海床上的珊瑚生長形態類別和種類的覆蓋率(平均值±標準偏差)	57

圖 82 阿瑪斯號的引擎區、大型船身殘骸區和海床上的底棲

藻類組成覆蓋率(平均值±標準偏差) 58

圖 83 2005 至 2008 年龍坑水溫連續變化圖 59

圖 84 2005 至 2008 年龍坑水溫連續變化的比較圖 60

**圖 85 2005 至 2008 年龍坑水溫的月平均(三角形)與最高溫和
最低溫變化圖 61**

摘 要

關鍵詞：墾丁國家公園、龍坑、阿瑪斯號貨輪、船隻殘骸、群聚監測

一、研究緣起

本計畫進行龍坑海域底棲群聚與阿瑪斯號殘骸的生態監測，以瞭解底棲群聚結構現況，以及確切掌握阿瑪斯號殘骸的分布、數量與移動變化，提供作為經營管理的重要基礎資料。

二、研究方法及過程

在台灣南部墾丁國家公園龍坑生態保護區，阿瑪斯號貨輪殘骸分布區海域，利用全球定位系統、浮球標記、潛水橫截線照相的方式進行調查。

三、重要發現

調查結果顯示，近岸珊瑚礁的船艙蓋仍在原地，但較大風浪會造成其在原地晃動，殘骸表面大多有許多藻類覆蓋生長，只有少數的小珊瑚群體著生。位於較深岩石海床的殘骸大部份仍可發現，不過，許多殘骸呈現破損與表面嚴重銹蝕現象，並且分布較分散，以及船尾一些殘骸有越過2至3階海底階梯狀海床岩石而略向岸邊移動。鄰近2號艙蓋破壞區的珊瑚礁底棲群聚於2005至2008年間持續維持穩定，硬珊瑚平均覆蓋率介於26.9至29.2%，軟珊瑚介於5.3至7.7%。硬珊瑚平均覆蓋率在引擎與大型殘骸分別為2.7和2.3%，略高於海床區的1.1%；軟珊瑚平均覆蓋率在引擎與大型殘骸分別為0.9和0.5%，也略高於海床區的0.1%。相對於南灣，龍坑海域的水溫易受東北季風和颱風的影響而較低。

四、主要建議事項

雖然目前龍坑海域的底棲群聚與阿瑪斯號殘骸呈現某程度的穩定，但未來宜注意與氣候變遷有關之颱風增強的可能影響。建議未來持續進行龍坑海域底棲群聚與阿瑪斯號殘骸的調查監測、阿瑪斯號殘骸的固定或移除、規劃船隻觸礁擱淺處理流程與損害評估方法、以及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。

ABSTRACT

Keywords: Kenting National Park, Lungken, Amorgos, shipwreck, ecological monitoring

The benthic community and shipwreck of grounded cargo Amorgos were surveyed at Lungken in Kenting National Park, southern Taiwan using Manta tow and phototranssect surveys. The majority of main shipwrecks were found and remained at sites located by global position system in 2005. However, many pieces of shipwrecks were broken, corroded, and dispersed compared to previous conditions. Some stern shipwrecks moved toward the shallow area. The structure of benthic community at coral reefs near shore, close to the area damaged by hatch cover #2, was stable between 2005 and 2008. The mean cover of the hard coral and soft coral was ranged 26.9-29.2 and 5.3-7.7%, respectively. The mean cover of the hard coral was 2.7 and 2.3% on shipwrecks near Engine and hull, respectively, and higher than 1.1% on hard seabed. The mean cover of the soft coral was 0.9 and 0.5% on shipwrecks near Engine and hull, respectively, and higher than 0.1% on hard seabed. The seawater temperature at Lungken was usually lower than that at Nanwan Bay because the influence of strong north-eastern monsoon and typhoon. Although the benthic community and shipwrecks seem to be stable, there is uncertainty for the impact of global climate change, especially the more strong typhoons.

墾丁國家公園龍鑾坑海域底棲群聚與
阿瑪斯號殘骸的監測

第一章 緒 論

珊瑚礁兼具高生物多樣性、豐富生物量、以及高生產力等特性，並在孕育高物種多樣性、維持生態平衡、建造陸地、提供食物和藥物、做為觀光遊憩資源、以及提供教育和研究之用等具有很高的價值，而成為最重要且受國際關注的海洋生態系之一(Done et al 1996, Birkenland 1997)。然而，由於人為和自然因素，如過度捕捉藻食性魚類、水質優養化、沉積物、氣候暖化、二氧化碳濃度升高、白化事件、疾病大發生、棘冠海星大發生等，已使得世界上的珊瑚礁長期急劇衰敗和改變 (Knowlton 2001, Roberts et al 2002, Hughes et al 2003, Pandolfi et al 2003)。由於珊瑚礁對人類和生態平衡的重要，並且淺海棲地是影響珊瑚礁生物多樣性最主要的因素(Bellwood & Hughes 2001)，但是卻正在快速消失，此外，各珊瑚礁生物種類的地理分布範圍較侷限而易滅絕(Roberts et al 2002)，這些因素使得珊瑚礁成為需要整合各國的努力，優先保育的生態系之一(West & Salm 2003, Schuttenberg et al 2006)。

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 (Curtis 1985, Smith 1985, Hudson & Diaz 1988, Jaap 1999, Hudson & Goodwin 2001, Precht et al 2001, Rogers & Garrison 2001)。近年來，廢棄在珊瑚礁船隻的調查、監測與設法清除也逐漸受到重視(Helton & Zelo 2003)。

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，造成 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 & 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(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(Bruckner & 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(Anonymous 2002)；以及貨輪 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(Hawkins et al 1991)等。

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 & Diaz 1988, Hawkins et al 1991, Bruckner & 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 & Barrett 2000, Bruckner & Bruckner 2001)。

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，Chiau 2005，樊 2005，陳 2006)。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。

過去關於龍坑海域生態的調查研究很有限。Jones 等人(1972)調查發現在龍坑有珊瑚裙礁的初步發展且珊瑚群聚常見。Randall 與 Cheng (1977)報導恆春半

島珊瑚裙礁的發展位於海口至龍坑之間。石等(1989)研究包括龍坑的鵝鸞鼻石灰岩，認為 50 萬年前海進，當海水徐徐上升時，珊瑚礁由低處的龍坑沿斜面向上生長，一直持續到現今高 300 公尺的森林公園。此外，龍坑海蝕溝內所露出的剖面顯示至少有二次急劇的地震性隆起海退。宋(2001)進行龍坑及其週遭地區海域海床之地形地貌，以及阿瑪斯號貨輪之殘骸及其大件物品的形貌及散落位置調查。趙(2007)調查監測龍坑海域在阿瑪斯號貨輪擱淺事件後，海岸潮間帶的無脊椎動物。

本計畫的目的在於進行龍坑海域底棲群聚與阿瑪斯號殘骸的生態監測，以瞭解底棲群聚結構現況，以及確切掌握阿瑪斯號殘骸的分布、數量與移動變化，提供作為經營管理的重要基礎資料。

墾丁國家公園龍鑾坑海域底棲群聚與
阿瑪斯號殘骸的監測

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

希臘籍 3 萬 5 千噸貨輪阿瑪斯號於民國 90 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，造成鐵沙和燃油外漏。阿瑪斯號貨輪對龍坑海域所造成的最大傷害來自於其船身觸礁、覆蓋礁體，以及受到颱風破壞，碎裂的船身鐵片經海浪作用，磨損珊瑚及其他礁體表面的附著生物。至今阿瑪斯號貨輪的大量大型船身碎片與殘骸仍滯留龍坑海域海底，其對當地海域生態的影響並不明瞭，有必要進行監測評估。此外，阿瑪斯號殘骸可能經由颱風所引起的強勁風浪推移，逐漸朝向淺水域的珊瑚礁區接近，而造成破壞珊瑚礁、阻礙航道、甚至衝上陸地等影響。

本年度計畫的目的在於進行龍坑海域底棲群聚與阿瑪斯號殘骸的生態監測，以瞭解底棲群聚結構現況，以及確切掌握阿瑪斯號殘骸的分布、數量與移動變化，提供作為經營管理的重要基礎資料。

預期目標：

- (一) 調查龍坑海域底棲群聚現況，並建立長期監測的地點與方法。在龍坑海域近岸珊瑚礁區與離岸岩石海床區，利用橫截線照相的方法，調查底棲群聚現況，並提出未來長期生態監測的適當地點與方法。
- (二) 調查阿瑪斯號殘骸的分布、數量與大小：量化調查阿瑪斯號殘骸的分布與數量，記錄其全球定位系統 GPS 座標，建立分布圖，並量化估計主要大型殘骸的大小和殘骸集中分布區位置。

- (三) 比較阿瑪斯號殘骸表面與鄰近天然海底基質表面的珊瑚群聚。利用橫截線照相的方法，比較阿瑪斯號殘骸表面與鄰近天然海底基質表面的珊瑚群聚結構，評估阿瑪斯號殘骸對當地珊瑚群聚發展的影響。
- (四) 評估阿瑪斯號殘骸是否移動與可能移動的方向和路徑。調查所得阿瑪斯號殘骸的分布現況與過去結果比較，評估阿瑪斯號殘骸是否移動，可能移動的方向和路徑，以及對沿岸底棲群聚生態與船隻航行安全的潛在影響。

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、浮球標記、潛水錄影照相的方式進行調查。

(一) 調查龍坑海域底棲群聚現況，並建立長期監測的地點與方法。在龍坑海域近岸珊瑚礁區與離岸岩石海床區，利用橫截線照相的方法，調查底棲群聚現況，並提出未來長期生態監測的適當地點與方法。

在龍坑海域近岸珊瑚礁區與離岸岩石海床區建立永久生態監測站，設立珊瑚礁底棲群聚監測的永久固定樣區與監測底棲群聚。監測調查珊瑚覆蓋率的方法是在各調查地點適當水深，設立不銹鋼標記樁，標記 3 條 30 公尺橫截線，然後利用水下數位相機(Olympus C-5050)和 35×35 公分的照相框架，照相記錄每條測線的底棲生物與基質，所拍攝的每個 35×35 公分樣框，使用 CPCe (Coral Point Count With Excel extensions) [National Coral Reef Institute, NOVA Southeastern University Oceanographic Center (NSUOC)] 軟體，每個樣框記錄 50 個隨機樣點其下的底棲生物和基質，計數各樣框內底棲生物和基質的樣點數和計算其覆蓋率(Tkachenko et al 2007)。底棲生物和基質分為硬珊瑚、軟珊瑚、柳珊瑚、海葵、大型藻、毛叢狀海藻、基質與其它等大類(English et al 1994)，並分析各生長形，如分枝形、桌形、柱形、表覆形、團塊形、板葉或葉片形、以及游離生活型等硬

珊瑚，以及硬珊瑚各生長形與屬的覆蓋率比較。各底棲生物類別的定義如下，大型藻主要為組織較多、形態直立、體型較大型海藻。毛叢狀海藻(turf algae)主要為絲狀，體型較小。覆蓋率數據資料皆以平均值±標準偏差表示。此外，記錄所承受的人為污染和破壞，如泥沙沉積物、捕魚和釣魚所廢棄的漁網和魚線、纜繩、船錨、垃圾、炸魚所導致的物理性破壞和珊瑚白化與疾病等。

(二) 調查阿瑪斯號殘骸的分布、數量與大小：量化調查阿瑪斯號殘骸的分布與數量，記錄其全球定位系統 GPS 座標，建立分布圖，並量化估計主要大型殘骸的大小和殘骸集中分布區位置。

利用全球定位系統、設立監測固定參考點標記、潛水錄影照相，調查監測阿瑪斯號貨輪殘骸的分布與移動變化(表 1)，將測量記錄殘骸所在經緯度、深度、大小、與監測固定參考點距離、覆蓋區為珊瑚礁或珊瑚群聚，是否有珊瑚白化和群體分枝被硬物削斷現象，以及其對珊瑚礁所造成的損害，如礁體斷裂，或是否擱淺於水深 10 公尺內而影響航道等。

(三) 比較阿瑪斯號殘骸表面與鄰近天然海底基質表面的珊瑚群聚。利用橫截線照相的方法，比較阿瑪斯號殘骸表面與鄰近天然海底基質表面的珊瑚群聚結構，評估阿瑪斯號殘骸對當地珊瑚群聚發展的影響。

在阿瑪斯號殘骸表面與鄰近天然海底基質表面的珊瑚群聚，設立位置標記，隨機選擇 5 條 10 公尺橫截線，然後利用水下數位相機(Olympus C-5050)和 35 乘 35 公分的照相框架，照相記錄每條測線的底棲生物與基質，其餘分析方法與之前底棲群聚調查方法相同。

(四) 評估阿瑪斯號殘骸是否移動與可能移動的方向和路徑。調查所得阿瑪斯號殘骸的分布現況與過去結果比較，評估阿瑪斯號殘骸是否移動，可能移動的方向和路徑，以及對沿岸底棲群聚生態與船隻航行安全的潛在影響。

利用全球定位系統、設立監測固定參考點標記、潛水錄影照相，輔以水下推進器的方式，調查監測阿瑪斯號貨輪殘骸的分布與移動變化，將測量記錄殘骸

所在經緯度、深度、大小、與監測固定參考點距離、覆蓋區為珊瑚礁或珊瑚群聚，是否有珊瑚白化和群體分枝被硬物削斷現象，以及其對珊瑚礁所造成的損害，如礁體斷裂，或是否擱淺於水深 5 公尺內而影響航道等。所得結果將與樊(2005)的資料進行比較，以評估阿瑪斯號殘骸是否移動，以及可能移動的方向和路徑。

第二節 結果

一、調查地點

龍坑的陸地為隆起珊瑚礁；近岸為初步發展的裙狀珊瑚礁，具有礁脊與槽溝地形，在水深約 10 至 20 公尺以下為沙地，部份區域有一些小型石灰岩塊聚集，然後則是岩石海床，並且許多地區呈現階梯狀現象(圖 4)或是平坦地形，有時有大型岩塊矗立，一些區域有許多小型岩塊聚集。

調查地點如圖 2 和 3 所示，包括近岸區的 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)、船頭區(E)、船尾區(F)、引擎(G)、鐵礦砂區(H)、錨(I)和其他殘骸等。殘骸分布區主要地點的經緯度資料如表 1 所示。

二、4 號艙蓋

4 號艙蓋在 2005 年與 2008 年的調查照片比較如圖 5 至 12 所示。在 2005 年調查龍坑北段近岸區的潟湖時發現 4 號艙蓋，其結構完整，長 15 公尺，寬 7.5 公尺，在水深 7 公尺，卡在高起且其表面有活珊瑚生長的珊瑚礁體間，艙蓋平躺而翻倒，內部堆積一些沙和礁石，並有部份破損，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。2008 年呈現艙蓋仍非常完整的平躺在底質上，有二端卡在礁岩下，但四角的礁壁則有磨蝕出的直角礁面痕跡。雖然目前的形狀尚很完整，但艙蓋中間的結構已有崩解的情況，底部呈中空的情形。

三、5 號艙蓋

5 號艙蓋在 2005 年與 2008 年的調查照片比較如圖 13 至 18 所示。在 2005 年調查龍坑北段時發現 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，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，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。2008 年調查顯示殘骸主要還是分 3 大部份，成直立或斜立卡在水道兩側的礁體之間，並沒有明顯移動，但仍可觀察到碎片在其週邊造成的磨損情形(艙蓋磨蝕出的直角礁面痕跡)；其他尚有少數碎片散落周邊。3 大塊殘骸主要受到沉積物和毛叢狀海藻覆蓋，有些表面則被紅色鈣化藻覆蓋生長。珊瑚群體都很小(直徑<5 公分)，且零星分布，無法發展成較大的群體。

四、船頭區

船頭區殘骸在 2005 年與 2008 年的調查照片比較如圖 19 至 22 所示。2005 年在固結石塊礁區邊緣有長度約 2 公尺的殘骸，旁邊有數個小殘骸碎片和約 10 餘公尺長的粗索。2008 年仍可發現長度約 2 公尺的殘骸，以及數個小殘骸碎片和約 10 餘公尺長的粗索。

五、船尾區

船尾區殘骸在 2005 年與 2008 年的調查照片比較如圖 23 至 36 所示。2005 年此區域包含具有大型殘骸區塊和小型殘骸密集聚集，一些破碎的石塊，石塊和階梯狀岩石海床。殘骸覆蓋影響區長約 170 公尺，寬約 23 公尺，深度 7 至 11 公尺。發現有松藻繁盛大量覆蓋生長在殘骸與岩塊表面的情形，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，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。殘骸表面有一些珊瑚附著生長，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。在颱風季節過後一些殘骸與岩塊交界表面無松藻覆蓋生長的情形仍可見，許多 1 公尺以上大小的殘骸已移動，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，與之前比較約 20 至 25%的殘骸區有變動。殘骸尚不影響航道。

2008 年調查發現此區主要大型殘骸仍滯留在原地，並且形狀也相似；許多藻類覆蓋生長在殘骸與岩塊表面。殘骸表面有一些珊瑚附著生長，以鹿角珊瑚科、軸孔珊瑚科和菊珊瑚科的種類為主，以及花環肉質軟珊瑚、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有 10 公分以上。值得注意的是，許多殘骸呈現破損與表面嚴重鏽蝕現象，殘骸表面常見許多生鏽斑痕，較小型殘骸的分佈有逐漸分散的現象，並且一些殘骸有越過 2 至 3 階海底階梯狀海床岩石而略向岸邊移動。

六、船身區

船身區殘骸在 2005 年與 2008 年的調查照片比較如圖 37 至 52 所示。2005 年調查結果，殘骸區面積估計為 36,485 平方公尺，鐵礦砂區面積估計為 18,215 平方公尺，深度為 15 至 23 公尺。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，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。在颱風季節過後，船身發現一片長約 10 公尺的殘骸滑動，在其底下的殘骸表面留下約 6 公尺清楚且新形成的鏽蝕刮痕。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。船身前方為錨鏈，其表面有一些珊瑚著生，主要是鹿角珊瑚；沿著錨鏈至其末端為錨，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。船身殘骸南方為引擎。殘骸情況尚不影響航道。鐵礦砂分布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。

2008 年調查結果，殘骸區與鐵礦砂區深度為 15 至 23 公尺。大部份殘骸表面只有零星小珊瑚出現，少數區域有較多珊瑚的加入量，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。一些區域有許多小型殘骸聚集的現象。船身前方為錨鏈，其表面有一些珊瑚著生，主要是鹿角珊瑚；沿著錨鏈至其末端為錨，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。值得注意的是，與之前比較，大型殘骸呈現較破碎情形，不如之前較大型和較完整，許多殘骸呈現破損與表面嚴重銹蝕現象，殘骸表面常見許多生銹斑痕。船身殘骸南方為引擎。殘骸情況尚不影響航道。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。

除了調查比較阿瑪斯號殘骸的變化之外，潛水調查人員也在近岸珊瑚礁區、阿瑪斯號的引擎區殘骸、船身殘骸和鄰近海床區進行監測線拍照調查(圖 53、54)，也觀察海底階梯狀岩石對殘骸移動的可能影響(圖 55、56)，同時留意著生在各區殘骸表面的各種珊瑚(圖 57 至 64)，以及殘骸附近活動的魚群(圖 65 至 67)，殘骸的銹蝕狀況(圖 68 至 71)，礦砂的分布(圖 72)。此外，在船頭區有發現數株正在白化中的珊瑚(圖 73、74)，造成原因尚不清楚；以及船身殘骸附近有廢棄的船錨(圖 75)和廢棄魚線纏繞在珊瑚群體表面(圖 76)，顯示有捕魚活動在此海域進行。

七、天然珊瑚礁底棲群聚

在近岸區鄰近 2 號艙蓋破壞區（圖 2、3）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，監測 3 條各長約 30 公尺的橫截線。此區的珊瑚礁底棲群聚於 2005 至 2008 年間持續維持穩定，硬珊瑚平均覆蓋率介於 26.9 至 29.2%，軟珊瑚介於 5.3 至 7.7% (圖 77)。

在 2008 年的調查中，珊瑚生長形態與種類的平均覆蓋率以藍珊瑚占最多 (13%，圖 78)，其次分別是表覆形(8.3%)、分枝形(3.0%)與水螅珊瑚(2.3%)。藻類的平均覆蓋率則以毛叢狀海藻為主(48%，圖 79)，其次分別是珊瑚藻(9.4%)與大

型海藻(2.7%)。

八、比較阿瑪斯號殘骸表面與鄰近天然海底基質表面的珊瑚群聚

引擎殘骸、船身大型殘骸與鄰近海床區各 5 條 10m 測線的調查結果顯示，硬珊瑚平均覆蓋率在引擎與大型殘骸分別為 2.7 和 2.3%，略高於海床區的 1.1% (圖 80)；軟珊瑚平均覆蓋率在引擎與大型殘骸分別為 0.9 和 0.5%，也略高於海床區的 0.1%。珊瑚生長形態與種類以分枝形與表覆形為主(圖 81)。大部份的殘骸主要覆蓋以毛叢狀海藻為主的大型藻類(>80%，圖 82)，珊瑚藻與大型海藻的覆蓋率非常低。

九、水溫

在近岸區水深 6 公尺監測水溫的結果顯示，水溫呈現明顯季節性變動(圖 83 至 85)，冬天水溫較低，夏天水溫較高，但在 5 至 9 月的颱風季節期間，明顯受到颱風過境的影響水溫急劇變動，夏季最低溫出現在 2005 年。龍坑夏季月平均溫度最高為 27.9℃，冬季月平均溫度最低為 23.8℃，夏季月平均溫度較南灣的水溫低。

第三章 討論與建議

第一節 討論

本年度的調查結果顯示大部份阿瑪斯號的殘骸並沒有明顯的位移情形，殘骸大都還留在岩石海床區，與 2005 年的調查結果相比較，這些殘骸呈現尚穩定的狀態。不過，許多殘骸呈現破損與表面嚴重銹蝕現象，並且分布較分散，以及船尾一些殘骸有越過 2 至 3 階海底階梯狀海床岩石而略向岸邊移動。由於此區常有強勁的海流，再加上颱風造成強勁海流所產生搬移作用的影響，仍有可能將殘骸沿著海底逐漸越過石階，以西北方的方向向岸邊移動，因此這些殘骸值得日後追蹤觀察。

龍坑近岸珊瑚礁區的 4 和 5 號艙蓋緊鄰珊瑚數量較多的區域，此區珊瑚的平均覆蓋率約在 30%；但此區的珊瑚的生長環境較嚴苛，其水溫較低、常受強勁風浪影響，並且近年來龍坑海域的海水常常較混濁，這些因素都對珊瑚的生長與珊瑚礁的發展造成很大的限制。而這些殘骸也都有可能再對近岸的珊瑚礁產生破壞，一旦破壞，即可能造成長久性的傷害，因此建議優先進行固定或移除。但可能受限於移除殘骸所需的設備、技術、以及風險較高與費用高昂。至於其他殘骸雖位在水深 10 公尺以下較深的地方，近年似乎並未造成較大距離位移的現象，但有逐漸破碎與分散的情形，未來仍有機會受到颱風的影響而移向陸地，長期而言殘骸可能仍不穩定，因此建議定期進行監測，依據監測結果評估後續利用固定或移除殘骸方式的可行性。但也同樣受限於龍坑海域的海況較不易預測掌握，移除殘骸所需的設備、技術以及風險較高與費用高昂等狀況。目前建議應定期持續進行監測，瞭解這些殘骸的最新狀況與週邊底棲環境的情形。近年來，廢棄在珊瑚礁船隻的調查、監測與設法清除也逐漸受到人們重視值得參考學習(Helton and Zelo, 2003)。

硬珊瑚平均覆蓋率在引擎與大型殘骸分別為 2.7 和 2.3%，略高於海床區的

1.1%；軟珊瑚平均覆蓋率在引擎與大型殘骸分別為 0.9 和 0.5%，也略高於海床區的 0.1%。這些結果顯示部份阿瑪斯號的殘骸，如引擎區附近與船身的殘骸都有許多珊瑚固著生長，提供作為珊瑚著苗的基質。在一些船隻擱淺事件的調查發現，遺留的船身殘骸其表面有較多的珊瑚新添量，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。不過，Rogers 和 Garrison (2001)報導在美國 Virgin 島被船錨破壞區，雖然有較高的珊瑚新添量密度，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。龍坑殘骸上的珊瑚加入量的群體體型小、覆蓋度低，反映新添量的存活與生長受到抑制，可能受到海流、濁度等的影響。

趙(2007)報導龍坑海域在阿瑪斯號貨輪擱淺事件後，海岸潮間帶的無脊椎動物已恢復到相當程度。另外，在龍坑淺水域監測 2 號艙蓋破壞區的結果顯示在較不受漂沙限制而珊瑚自然復原較佳的區域珊瑚群體的數目由 2002 年的 0 株持續穩定增加至 2008 年的 60 株而珊瑚覆蓋率由 2002 年的 0%持續穩定增加至 2008 年的 21% (Liu and Fan, 2007；劉與樊，未發表資料)；以及利用固定於礁岩表面的著苗瓷磚研究珊瑚新添量的結果顯示，珊瑚新添量的平均值在 2007 年 4 至 9 月為每平方公尺 75 株，在 2007 年 9 月至 2008 年 4 月為每平方公尺 157 株，換算為一年每平方公尺 232 株(Jheng and Fan, 2008)，顯示龍坑海域珊瑚的自然新添量與恢復力較高。珊瑚加入量在影響族群與群聚的補充與變動，維持珊瑚礁的健康，以及受干擾影響損害礁區的復原等方面，都扮演重要作用並具有地區性差異。例如 Hughes et al (1999)比較澳洲大堡礁珊瑚的成體群聚與加入量的關係，發現具有相似豐富度的群聚間，其變動與轉換卻有很大的不同。而一些研究顯

示，加入量是影響珊瑚覆蓋率的主要因素(Coles and Brown 2007)。研究結果也顯示，地區性的加入量和地區性產生幼生被保留在親代礁區，可能常發生在許多具有浮游幼生期的海洋生物(Strathmann et al 2002)。因此，珊瑚加入量對珊瑚礁的保育與管理非常重要，常被列為優先研究的項目。世界各地，包括法屬波里尼西亞、關島、大堡礁、澳洲東南部、日本西南部、紅海、加勒比海等，珊瑚加入量的變化很大，其中以在澳洲大堡礁中區的加入量最高，每年每平方公尺可達 4590 株。此外，珊瑚加入量的種類，一般以鹿角珊瑚科、軸孔珊瑚科、微孔珊瑚科和菊珊瑚科的種類為主，並具有季節差異。另外，加入量受研究方法、珊瑚附著板的材料與固定方式、深度、藻食性動物數量、珊瑚生活史策略等的影響(Glassom et al 2004, Nozawa et al 2006, Adjerdoud et al 2007)。

阿瑪斯號殘骸表面附著生長許多藻類，部份殘骸區也出現魚群。有調查發現船隻殘骸附近藻食魚類的數目和生物量較高，並認為與當地有銹蝕的鋼鐵廢棄物和毛叢狀海藻與藍綠藻較多有關(Schroeder et al 2008)。另外，中太平洋 Palmyra 環礁未受人為開發活動影響，仍保持較原始狀況；一艘捕漁船於 1991 年觸礁擱淺，2004 年其週邊底棲群聚以珊瑚為主，僅有非常少的擬珊瑚海葵(*Rhodactis howesii*)，但至 2007 年擬珊瑚海葵已擴張，覆蓋生長於 2100 乘 700 公尺的廣大區域並成為優勢種，此群聚結構相變可能與一些物質，如溶解性的鐵由船隻溶解有關(Work et al 2008)。雖然至今並未在阿瑪斯號殘骸附近發現擬珊瑚海葵大量出現現象，但由於在南灣的小灣和後壁湖都有擬珊瑚海葵在一些地點密集覆蓋生長成為優勢種的情形，因此值得日後密切留意(Tkachenko et al 2007)。

船隻觸礁擱淺尚須注意漏油污染的發生。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。

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)。

第二節 建議

建議一：

龍坑海域底棲群聚與阿瑪斯號殘骸的持續調查監測：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

由於阿瑪斯號船隻殘骸仍棄置在近岸珊瑚礁和海底岩石海床區可能因颱風或強勁風浪造成破損和移動而對海域生態和珊瑚礁資源造成不利影響以及因船隻銹蝕鐵銹溶於海水中引起生態改變，因此建議定期進行龍坑海域底棲群聚與阿瑪斯號殘骸的持續調查監測。

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、海洋國家公園管理處

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：交通部

協辦單位：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，且受氣候變遷影響強烈颱風可能增多，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。

墾丁國家公園龍鑾坑海域底棲群聚與
阿瑪斯號殘骸的監測

建議四：

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。

誌謝

本調查由內政部營建署墾丁國家公園管理處補助經費，萬里號潛水船船長陳瑞民先生協助調查作業，謹此誌謝。

附錄



陸、主席致詞：歡迎各位評審委員蒞臨指導。

柒、參選廠商報告：略

捌、討論與建議：

*主席：本案調查底棲群聚的測線預定設立於何處？另破碎區的殘骸，是否可能去移除？當初只有大型殘骸上有標記，小型殘骸則沒有，而小型殘骸則隨水流或其它因素形成群體堆積。

*參選廠商回應：2005 年調查工作中發現，於水深 8 米處是目前珊瑚生長較好的區域，越往北邊的生長情況就不是很理想了。2005 年亦曾隨同阿瑪斯號船公司委託之外國專家下海勘查並畫出相關位置，因此有估計船尾殘骸區有多大，因損害賠償需有數據來評估它造成損失的面積及經費。今年也會使用如此的方法來把它估算出來，那每年就有一個估算的數據可以拿出來作評估。破碎區的殘骸要移除，其實是最花工夫的，從破碎區至岸邊，其中間隔著一片沙地，殘骸一旦進到了沙地，是否會被埋下去，或有可能越過沙地進入近岸區內，這也是今年想去了解的。

*詹委員榮桂：有關使用 3 條橫截線評估珊瑚覆蓋率的方法中，樣框內所有拍下的資料是否會全部做分析？岩石區域其深度是多少？您所謂的遠方區域是指何處？當颱風過後，這些殘骸會不會造成 2 度傷害？如果會，這些情形還是要提出來。貴處所委託辦理有關阿瑪斯號一連串的調查資料，於日後針對沉船發生至目前狀況，其實都是有脈絡可循的發展情形，至少目前的情形是好的。

*參選廠商回應：橫截線所做的樣框皆會去分析，樣框內為何要隨機撒下 50 個點做紀錄，係因以此方式所採樣本數才足夠大，且此方式於成本及效率上，所得到的資料正確性是較好的。龍坑海域其實已在珊瑚礁分佈區域的邊緣，大概只有在岸邊淺區分佈較多，外海大部份是岩石海床，但有一約 10 公尺的突出地方，其餘大概是 20 公尺以下的深度了。另所謂遠方區域是指有大型殘骸分佈區域，本次調查會於此區設立監測站來比較附近區域的底棲群聚。2005 年所做調查資料顯示，颱風過後有些殘骸被移動過了，那移動的過程中，還是會造成當地的影響。依目前的狀況，其實有些地方是有正面的影響，但也有負面的，像小殘骸的區域，常年可能會有移動的跡象，尤其冬天或颱風季節，當時海況惡劣無法做調查，又因墾丁海域生物生長速率甚快，事後殘骸所刮過的區域，可能已為其它生物覆蓋而無法辨認，因此，大型殘骸可能有正面的影響去幫助珊瑚生長，而小殘骸可能持續造成破壞。

- *趙委員世民：2006 年的調查資料好像有做過定位工作，屆時可能要比對參考其變化情形。珊瑚附著在沉船上，其穩定度可能不夠，因表面鏽蝕或海流流速強可能隨之脫落，因此較無大型珊瑚存在。從 90 年一直到 97 年都持續有作調查監測，雖然可能不被採納，但總要有一建議方案提出來。
- *參選廠商回應：2005 年本人有做過定位工作，2006 年的資料可能需請貴處協助提供，至於其定位誤差大概 10 公尺左右，當初有設立幾處參考點，可對照出其有否變化。另外，會於岸邊再一次重新做大範圍的勘查，調查是否有殘骸再次移至岸邊。大型殘骸上附著的珊瑚，其基座擴展得很大，常以包覆方式附著其上，然而在大型殘骸區會提供一個抵抗風浪的區域，因此較有可能看到大型珊瑚出現，原本岩石海床的珊瑚覆蓋率不到百分之十，有些地方甚至不到百分之五，可是於一些較隱密的地方卻出現許多珊瑚，當然經過這幾年之後，也蠻有興趣想去比對一下其生長情形，這在期中報告中會再作一說明。就清除而言，危害到珊瑚生長或航行安全的殘骸，會特別將它提出來，也許貴處要去考慮有必要儘早移除，其它很穩定的殘骸，在輕重緩急上，也許不需要急著去處理它們，清除殘骸工作實際上是有其困難度，且要考慮到造成 2 度傷害的程度。
- *馬委員協群：有關樣點的選擇，基本上是有幾點？是不是每個樣點有 3 條穿越線？剛才所提可能會移動的是小型殘骸，那您所定的 GPS 資料，會不會是屬於比較大型的殘骸，那對於有沒有移動？有沒有影響？是不是會有所誤差？另外，要判斷其移動方向或路徑要特別去標定出來才能根據它來追蹤。
- *參選廠商回應：在靠岸邊是拉 3 條橫截線，一端打固定樁，做調查時拉皮尺，人員沿線作 35x35 的連續拍照，回到實驗室之後，以電腦軟體打逢機樣點並分析樣點內的資料是否為藻類或珊瑚，再統計出來其生物覆蓋率，這在其它海域做調查時亦是使用此方式，因此可以拿來做比較。另外在殘骸區與非殘骸區亦各拉有 5 條 10 公尺的測線，來做相互間之比較，一般在做珊瑚礁普查時就是採用此方式，也就是在不適合拉很長距離的地方即採取此方法來估算當地珊瑚礁的情形。造成誤差是會有的，因為船隻在海上作業時原本就不是很精確，我們判斷它是否有移動，GPS 是其中一個參考資料，另外再對照之前所拍的照片或錄影帶，看其形狀有否不同？或與參考點之間的距離或位置有所不同？殘骸移動後會也會留下痕跡，這都是判斷有否移動的依據。我們估出來的大都是移動較大的，小的移動除非有明顯留下痕跡，否則是很難看得出來的。是否移動？還有幾個因素可以拿來參考的，就是殘骸相對之

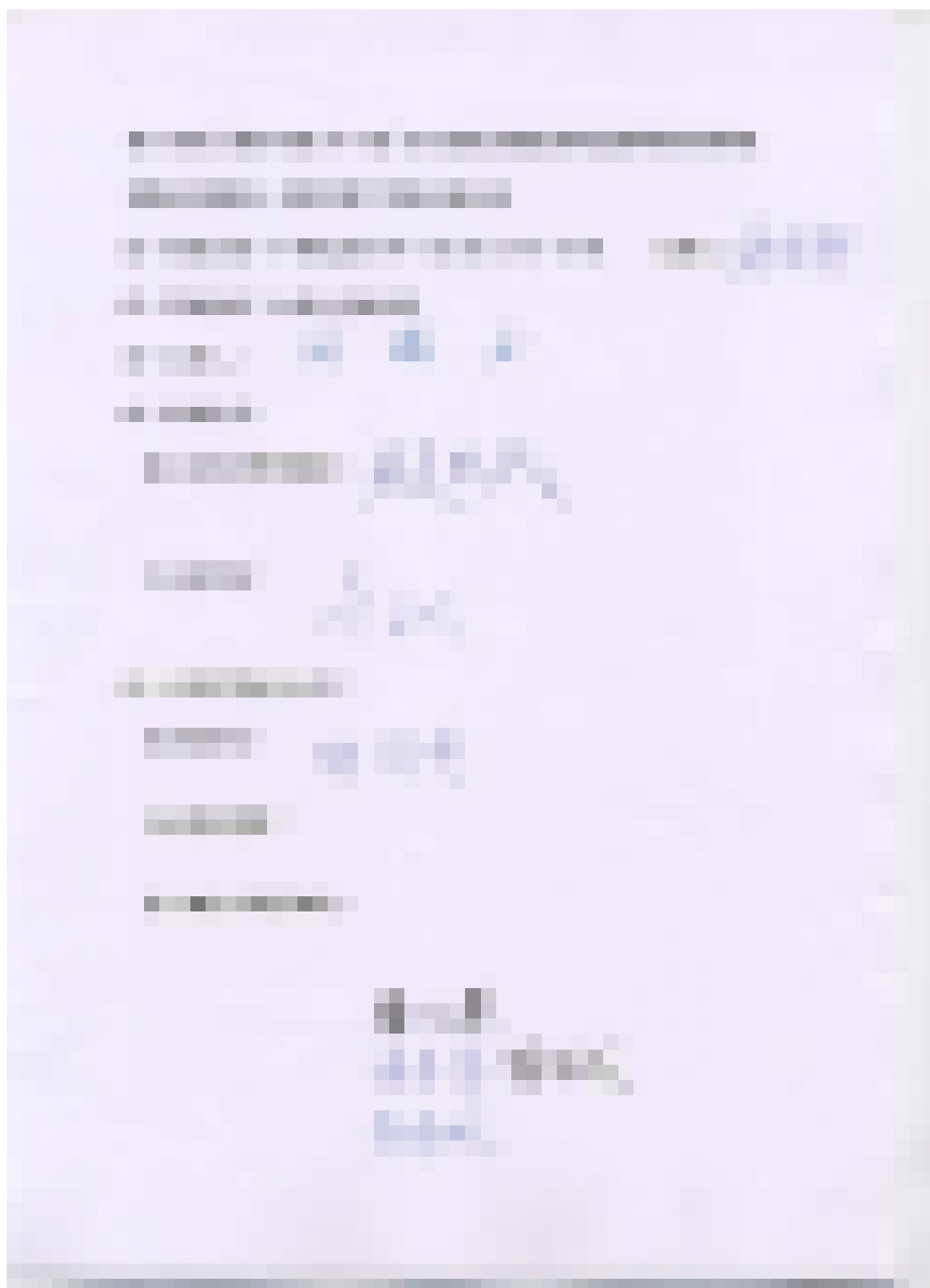
墾丁國家公園龍鑾坑海域底棲群聚與

阿瑪斯號殘骸的監測

前所作標記的紀錄或海底作調查時，發現一路上有許多毀壞了的珊瑚碎片，這應該是移動所造成的結果。

玖、主席總結：本案評審成績平均為 88 分，合格，請續辦議價事宜。

拾、散會：同日上午 11 時 20 分。



陸、主席致詞：略。

柒、業務單位報告：受委託單位已依合約書第2 條規定，於7 月31 日前提出期中報告，並出席期中簡報會議。

捌：受委託單位報告：略。

玖、討論與建議：

*趙委員世民：時間已近8 月份，龍坑海域能進行潛水調查的時間已不多，可能 要好好掌握時段。本次研究中有發現部份殘骸上有珊瑚附著，但與鄰近區域比較，卻是非常低的覆蓋率。未來並計畫於較深的殘骸區域來做比較，假設殘骸上珊瑚附著的比率在統計上高過岩石區域的話，而長期殘骸亦未 移動或移動幅度很小，屆時可能會提出何種解釋。

*受委託單位回應：潛水調查時是有發現一些區域，尤其是有屏障的區域，例如 凹陷處或大型殘骸旁較能避風浪之處，珊瑚生長情形較好，但這些區域是有限的，因此，也想去了解的是這些殘骸提供了這樣的環境，在比較不受 風浪影響下，珊瑚有機會生長，並去了解其數量與種類，如果調查出來的 數量是比較多，也會把它呈現出來，提供國內相關單位及墾管處參考。當然，殘骸存在於海底有其正面與負面之處，兩者如何去平衡，可能是需要 去探討的話題。

*詹委員榮桂：目前於部份殘骸上硬珊瑚覆蓋率分別有2.2%及2.7%，而藻類有 高達80%以上的覆蓋率，藻類亦是生物，那殘骸是否要移除？10米處殘 骸是否會影響航道安全？由於截至目前為止並沒有強烈颱風真正經過此 處的紀錄，因此，這可能未來作評估時要做為但書。礦砂部份現況如何？

*受委託單位回應：之前之研究報告有建議優先移除較小型之殘骸，因其較不穩定，且幾乎無珊瑚附著，其對生態負面的作用亦較大，因此，一些淺區較 零散的殘骸應先移除。一般較靠岸航行的大多為管筏，10米的深度對於 這些船隻航行安全應無影響。其實還是一些不確定性在那兒，這幾年來 看，大約2005 年有2 次強烈颱風產生，但是岸邊的船艙蓋似乎無受到影 響而移動。目前礦砂是散佈在較深處，且表面已礦化而行成一薄硬層。當初礦沙是由船身外漏而散佈於約20 米深的地方，20 米深之處要產生較大 風浪是較困難的，且因已礦化而穩固於現場，至於是否會溶解於海水中，此非為本人專業領域，如有，也會因當地海流強勁而迅速被帶走。

*蔡技士乙榮：接續詹委員所提颱風的部份，因位置靠岸邊且又位於臺灣南端，因此，颱風路徑、強度與接近之情形，對殘骸是有不同的影響，尤其是對一些比較小塊或重量較輕的，是否能從發生之後到目前為止，在東部或南部的颱風路徑上有可能影響的颱風作一個比例分析，以另一個角度來說，颱風接近，強度又強，那它是以哪一個路徑會比較可能造成殘骸的移動。如詹委員所提的，是因

強烈颱風還沒有經過，或許留下一個伏筆，未來有這樣一個颱風發生後，而殘骸有移動的話，那些就是我們預先已經推測會有這樣的結果，然後再下去作處理，反之，如有這樣一個颱風發生，而殘骸沒有移動，那大概要再讓它移動是不大可能了。

*受委託單位回應：我們能做的是收集颱風路徑圖，另外就是收集水溫變動資料來評估颱風對它的影響，評估過去有哪些颱風經過，對應颱風經過水溫有哪些劇烈變動，變動越大，表示水層攪動越大，這是在生態學上我們能作的分析，不過，真正颱風對這邊造成的影響，我想也無法真正預測得出來。

*謝約聘解說員桂禎：為何今年龍坑水質較濁？比較其它海域其程度為何？

*受委託單位回應：實際上龍坑的水質是比較混濁，這可能與其北邊有港口溪出海影響有關。龍坑因海岸屬群礁海岸，往外就是岩石海床，所以它就不是一個與南灣水質比較的環境。

拾、主席總結：感謝審查委員的指導，本期中報告通過。

拾壹、散會：同日下午15 時20 分。

墾丁國家公園龍鑾坑海域底棲群聚與
阿瑪斯號殘骸的監測

墾丁國家公園管理處 97 年度「墾丁國家公園龍坑海域底棲群聚與阿瑪斯號

殘骸的生態監測」委託辦理案期末報告審查會議紀錄

壹、開會日期：中華民國 97 年 12 月 2 日下午 14 時

記錄人：唐世軒

貳、開會地點：墾丁國家公園管理處行政中心大型會議室

參、主持人：林青

肆、審查委員：

國立自然科學博物館：趙世民

中央研究院：請假未出席

伍、受委託單位〈國立海洋生物博物館〉：樊同予

陸、出席單位：

內政部營建署：謝嘉真

柒、墾丁國家公園管理處：

林欽旭

顏錦蓮 簡和成 林小敏

吳文龍 郭俊良 張瑞龍

鍾亞聖 郭晴敏

陸、主席致詞：略。

柒、業務單位報告：受委託單位已依合約書第 2 條規定，於 11 月 30 日前提出期中報告，並出席今日本處舉行之期末審查會議。

捌：受委託單位報告：略。

玖、討論與建議：

*趙委員世民：第 29 頁的衛星定位資料是哪一年的？大型殘骸未來幾年內可能會有位移現象？沿岸區域似乎沒有資料呈現？就之前潛水經驗，亞潮帶的珊瑚生長情形不像南灣那麼好，可能也是因龍坑於冬季時盛吹強勁東北季風所影響。

*受委託單位回應：2005 年與 2008 年所用的定位資料是相同的，還是能找得到這些殘骸位置。目前並無明顯位移現象，但因這些殘骸目前有破碎及銹蝕現象發生，所以這幾年還是有受到衝擊，另外，由於全球氣候環境變遷之影響，預測颱風有次數增加的趨勢，對當地的衝擊可能更大，這是要注意的。本計畫中，於沿岸有做潛水調查，除了原先就已有的 4、5 號船艙蓋之外，並沒有新發現其它殘骸，由於水混濁的因素，能觀察的範圍有限，對於殘骸雖然不傾向特別去移除它，但如果移動到岸邊且呈不穩定狀態，那就要立即移除掉，以免嚴重影響岸邊珊瑚生態，就目前觀察是沒有上述的情形。依目前殘骸移動的方向來推測，是比較沒機會會干擾到近岸珊瑚生長較好之區域，只會干擾到珊瑚礁初步發展且臨最北界的區域，這是往好的方向來想，但也許有人會質疑靠北邊較少珊瑚生長的地方就更要去好好保護它，這也是要考慮到的。監測計畫也不需每年去做，因為那些大型殘骸自 2001 年以來，大致上無位移現象，只有零星破碎及銹蝕的情形發生，也許 2~3 年再去評估它們是否有位移的現象。龍坑近岸區目前調查結果約有 25%~30%的珊瑚覆蓋率，可算是蠻好的了。

*林秘書欽旭：本計畫有將殘骸標示，但於圖示中無出現。殘骸銹蝕是否與海水酸化有關？龍坑珊瑚白化的原因是否係因颱風與海流的影響？珊瑚之覆蓋率及橫截線佈置，可否將其地點以示意圖方式呈現？第 9 頁及 12 頁有印刷錯誤的部份請更正。報告建議中有提到殘骸不外是移除或固定的方式，龍坑因氣候及海洋環境的因素，其殘骸固定的方式為何？是否有進行殘骸區與非殘骸區橫截線的比較？

*受委託單位回應：2 號船艙蓋於事件發生當時，因被浪打上岸，已清除了，圖示中係僅標明當初之位置。海水酸化是目前國際上一個討論的議題，龍坑海域海水酸化還不是很明顯，但以長遠的角度來看，應該是要重視的問題。此區珊瑚白化原因，除颱風與海流之外，幾次潛水經驗都遇到水質混濁現象，調查時亦僅發現幾株有白化情形，因此很難去判定其造成白化的

真正原因，這也許與沉積物亦有關聯。相關問題會補充及修正。至於殘骸固定的方法，係提供一個思考的方式，至於要如何去固定住殘骸，可能要請教海事專家。所謂非殘骸區即第 34 頁圖 4 上標明之階梯狀岩石海床。

*林主任文敏：龍坑海域海水混濁係長年或於特殊情形下才會發生？岸邊 2 號船艙蓋既然已經移除了，4、5 號船艙蓋是否亦應移除？如果可以做成建議，或許可與相關單位協調清除。船艙主體附近有一些小型殘骸，對岩床較有影響，是否也應列為清除的對象？建議 3 提到固定或清除，其主辦單位為環保署嗎？

*受委託單位回應：水質混濁部份，實際上並沒有去測量，係根據這幾年於龍坑下海研究調查所遇到的情形，覺得有變混濁的趨勢。慶幸的是龍坑並不會因海水混濁而造成當地珊瑚生長變得更差的情形，這也可能與當地海水流速快有關聯。4、號船艙蓋是無必要刻意去清除它，因它們已固定於礁岩中，雖然有些許晃動的情形，但也只是影響到岩壁部份。小型殘骸分佈的範圍廣大，當初建議其危害到岸邊時應立即清除，海事工程評估移動大型與移動小型殘骸都是要用到同樣的機具，且都要固定於海底，當初也考量這樣的移除動作，可能會造成蠻大的 2 次傷害。

*陳技士玄武：為何夏季測得的水溫會比冬天低？其地點與水深為何？依今年所調查結果，龍坑的珊瑚覆蓋率已可達穩定狀態，為何這個數值是其極限值？另如何推斷殘骸係往西北方向移動？

*受委託單位回應：2005 年紅線下降的溫度是這幾年最低的記錄，這是受到颱風的影響，因它把深層的海水攪動至較淺處所致，如果以時間點來對照，都會對到有颱風的發生，一旦颱風遠離了，其溫度又會逐漸回升，這也是每年都會發生的現象。監測水溫大約設定於 6 米處，目前已進行 9 年了，其位置都無變動。此區珊瑚覆蓋率約 25%~30%，這也是環境上限的影響所致，因長年風浪大，以表覆型及團塊型為主，一些監測地點，第 1 年有些珊瑚長至一定程度後，第 2 年即不見了，這可能係因風浪大的影響。當初依殘骸分佈地點畫出圖示，即呈現目前所看到的情形，這些殘骸的移動並非當地冬天東北季風所致，應該是颱風這麼大的能量造成的，且也可能受海底地形影響，而朝西北方向散佈。

拾、主席總結：感謝審查委員的指導，本期末報告審查通過。

拾壹、散會：同日下午 15 時 30 分。

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，共 29 頁。
- 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，共 187 頁。
- 石再添、蔡文彩、許民陽、目崎茂和、木庭元晴，1989。墾丁國家公園地區的珊瑚礁定年及地形研究，內政部營建署墾丁國家公園管理處，保育研究報告第 57 號，共 58 頁。
- 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。
- 陳正平。2006。墾丁國家公園龍坑海域生態保護區生態復育情形調查。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託調查報告。40 頁。
- 趙世民。2007。龍坑海岸潮間帶無脊椎動物多樣性之調查及監測研究。內政部營建署墾丁國家公園管理處。
- 樊同雲。2005。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。97 頁。
- Adjeroud, M., L. Penin and A. Carroll. 2007. Spatio-temporal heterogeneity in coral recruitment around Moorea, French Polynesia: Implications for population maintenance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 341:204-218.
- Anonymous. 2002. Great Barrier Reef Marine Park Authority. Response to the grounding of MV Bunga Teratai Satu on Sudbury reef.

http://www.gbrmpa.gov.au/corp_site/management/eim/sudbury/

- Bellwood, D. R. and T. P. Hughes. 2001. Regional-scale assembly rules and biodiversity of coral reefs. *Science* 292:1532-1534.
- Birkeland, C. 1997. Introduction. p. 1-12, Chap. 1, In: Birkeland, C., (ed.), *Life and death of coral reefs*. Chapman & Hall.
- 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.
- Chiau, W. Y. 2005. Changes in the marine pollution management system in response to the *Amorgos* oil spill in Taiwan. *Mar. Pollut. Bull.* 51:1041-1047.
- Coles, S. L. and E. K. Brown. 2007. Twenty-five years of change in coral coverage on a hurricane impacted reef in Hawaii: the importance of recruitment. *Coral Reefs* 26:705-717.
- Curtis, C. 1985. Investigating reef recovery following a freighter grounding in the Key Largo National Marine Sanctuary, Florida Keys, USA. *Proc. 5th Int. Coral Reef Cong., Tahiti* 6: 471-476.
- Done, T. J., J. C. Ogden, W. J. Wiebe, B. R. Rosen. 1996. Biodiversity and ecosystem function of coral reefs. In Mooney, H. A., J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, 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.
- Engilsh, S., C. Wilkinson. and V. Baker. 1994. *Survey manual for tropical marine resources*. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.
- 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.
- 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.
- Glassom, D., D. Zakai and N. E. Chadwick-Furman. 2004. Coral recruitment: a spatio-temporal analysis along the coastline of Eilat, northern Red Sea. *Mar. Biol.* 144:641-651.
- 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.
- 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.
- 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.
- Helton, D. and I. Zelo. 2003. Grounded and abandoned vessel in coral reef ecosystems. <http://response.restoration.noaa.gov/dac/vessels/documents>.
- 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., A. H. Baird, E. A. Dinsdale, N. A. Moltschaniwskyj, M. S. Pratchett, J. E. Tanner and B. L. Willis. 1999. Patterns of recruitment and abundance of corals along the Great Barrier Reef. *Nature* 397:59-63.
- Hughes, T. P., A. H. Baird, D. R. Bellwood, M. Card, S. R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J. B. C. Jackson, J. Kleypas, J. M. Lough, P. Marshall, M. Nystrom, S. R. Palumbi, J. M. Pandolfi, B. Rosen and J. Roughgarden. 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral

- reefs. Science 301:929-933.
- Jackson, J. B. C., J. D. Cubitt, 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.
- Jheng Y. T and T. Y. Fan. 2008. Coral recruitment around southern Taiwan. 11 International coral reef symposium, Fort Lauderdale, USA. (Abstract)
- 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.
- Knowlton, N. 2001. The future of coral reefs. Proc Natl Acad Sci 98:5419-5425.
- Liu P. J. and T. Y. Fan. 2007. Recovery of coral community in a Nature Reserve of southern Taiwan, six years after ship grounding of bulk carrier Amorgos. Western society of naturalists annual meeting, Ventura, California, USA. (Abstract)
- Loya, Y. and B. Rinkevich. 1980. Effects of oil pollution on coral reef communities. Mar. Ecol. Prog. Ser. 3: 167-180.
- 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.
- Nozawa, Y., M. Tokeshi and S. Nojima. 2006. Reproduction and recruitment of scleractinian corals in a high-latitude coral community, Amakusa, southwestern Japan. Mar. Biol. 149:1047-1058.

- Pandolfi, J. M., R. H. Bradbury, E. Sala, T. P. Hughes, K. A. Bjorndal, R. G. Cooke, D. McArdle, L. McClenachan, M. J. H. Newman, G. Paredes, R. R. Warner and J. B. C. Jackson. 2003. Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science* 301:955-958.
- 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. 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.
- Schroeder, R. E., A. L. Green, E. E. deMartini and J. C. Kenyon. 2008. Long-term effects of a ship grounding on coral reef assemblages at Rose Atoll, American Samoa. *Bull. Mar. Sci.* 82:345-364.
- Schuttenberg, H., et al. 2006. Building resilience into coral reef management: key findings and recommendations. Summary prepared for the conference proceedings of the International Tropical Marine Ecosystem Management Symposium 2006, Cozumel, Mexico; see Supporting Online Material at www.sciencemag.org/cgi/content/full/318/5847/42b/DC1.
- Smith, S. R. 1985. Reef damage and recovery after ship grounding on Bermuda. *Proc. 5th Int. Coral Reef Cong., Tahiti* 6: 497-502.

- Strathmann, R. R., T. P. Hughes, A. M. Kuris, K. C. Lindeman, S. G. Morgan, J. M. Pandolfi and R. R. Warner. 2002. Evolution of local recruitment and its consequences for marine populations. *Bull. Mar. Sci.* 70:377-396.
- Tkachenko K. S., B. J. Wu, L. S. Fang and T. Y. Fan. 2007. Dynamics of a coral reef community after mass mortality of branching *Acropora* corals and an outbreak of anemones. *Coral Reefs* 151: 185-194.
- Vogt, H. P. 1995. Coral reefs in Saudi Arabia: 3.5 years after the Gulf War oil spill. *Coral Reefs* 14: 271-273.
- West, J. M. and R. V. Salm. 2003. Resistance and resilience to coral bleaching: Implications for coral reef conservation and management. *Conser. Biol.* 17:956-967.
- Work, T. M., G. S. Aeby and J. E. Maragos. 2008. Phase shift from a coral to a corallimorph-dominated reef associated with a shipwreck on Palmyra atoll. *PLoS ONE* 3(8):e2989. doi:10.1371/journal.pome.0002989

表 1、阿瑪斯號殘骸名稱與分佈的經緯度座標

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	21°55.325
	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)

墾丁國家公園龍鑾坑海域底棲群聚與
阿瑪斯號殘骸的監測

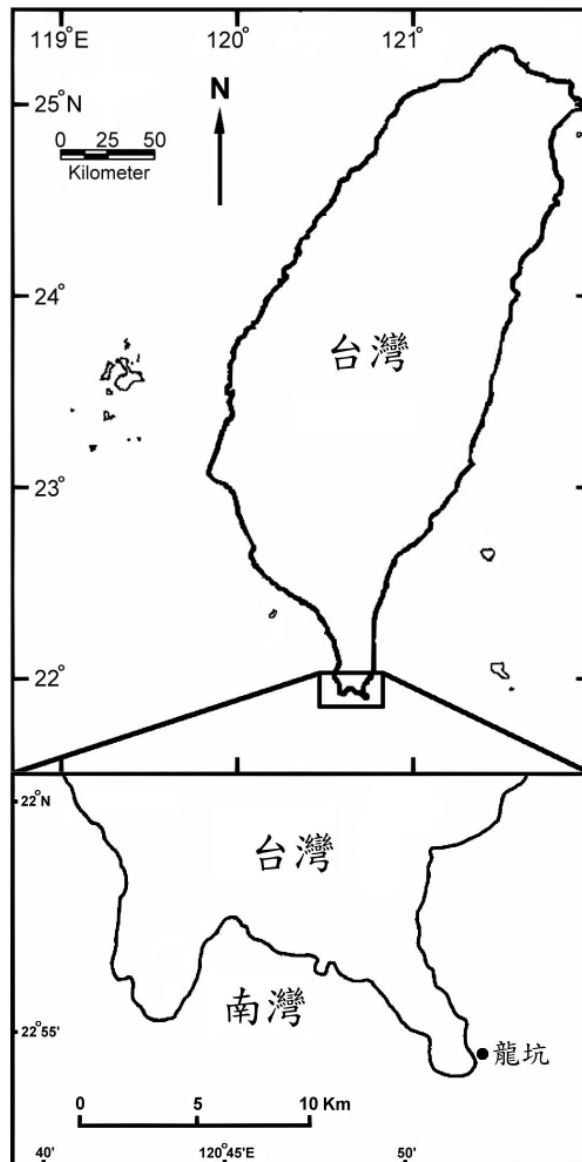


圖 1、龍坑位置圖
(資料來源：本研究)

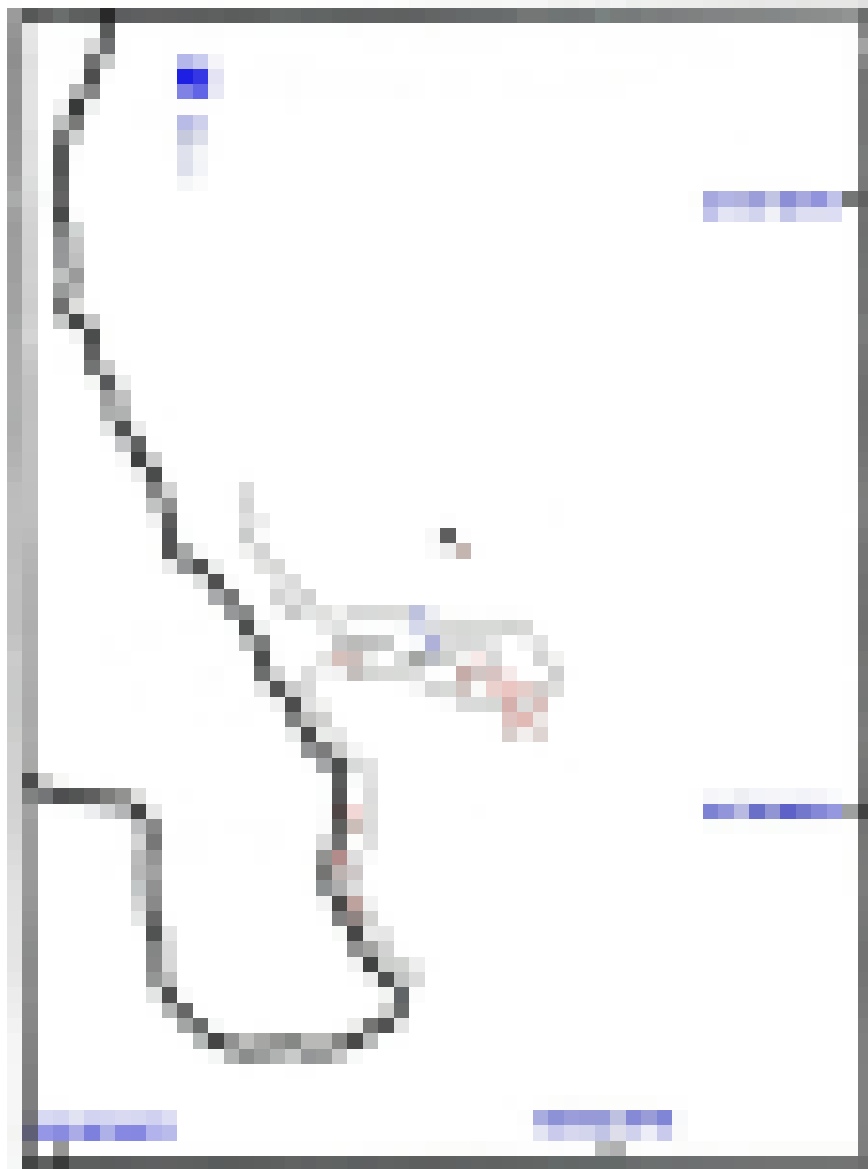


圖 2、龍坑海域調查地區與阿瑪斯號殘骸分布圖

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)

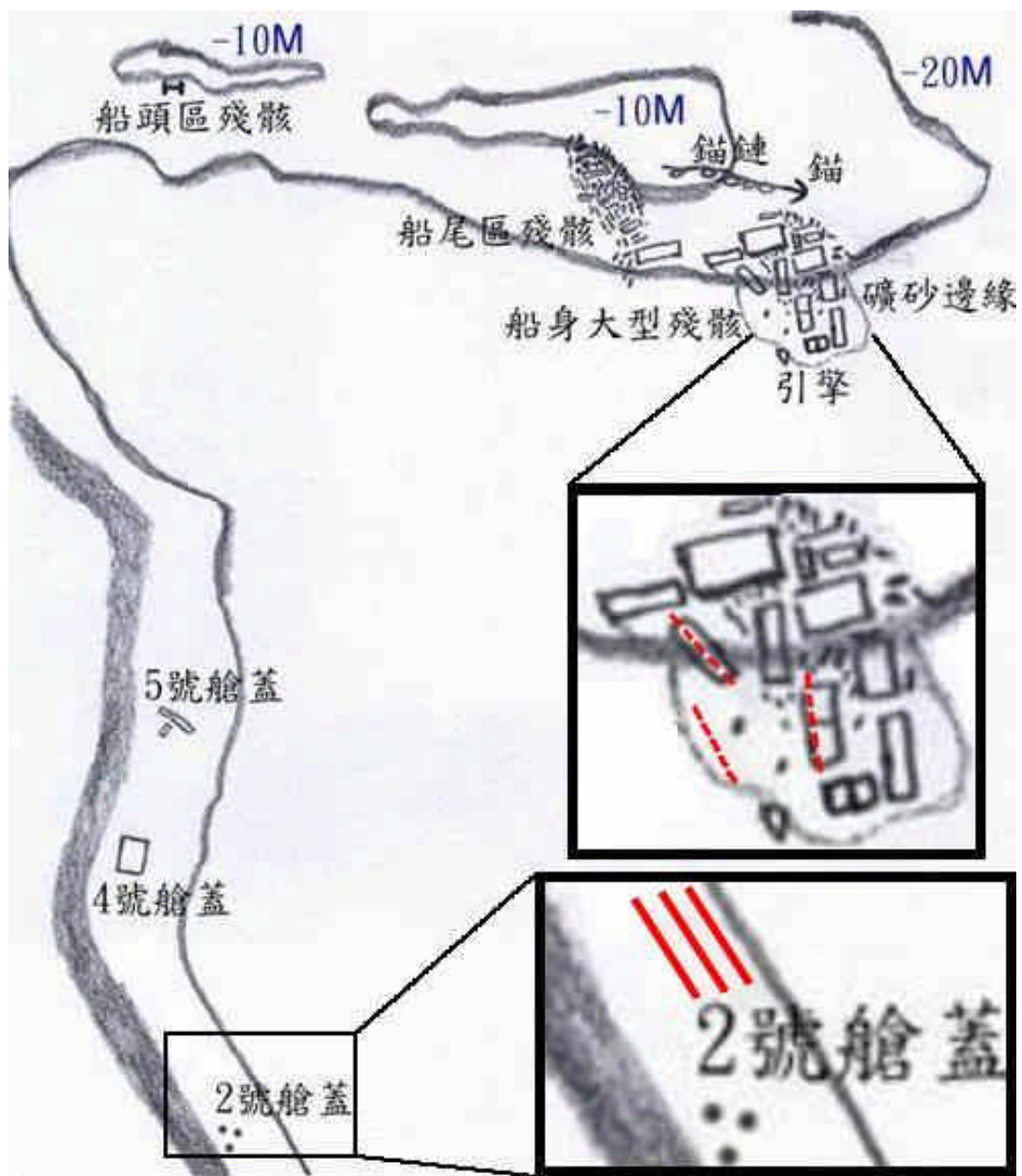


圖 3、龍坑阿瑪斯號殘骸分佈，2 號艙蓋區 3 條約 30 公尺橫截線，以及船身殘骸區三區各 5 條 10 公尺橫截線的示意圖

(資料來源：本研究)



圖 4、龍坑近岸海底地形與阿瑪斯號殘骸分佈示意圖

(資料來源：本研究)

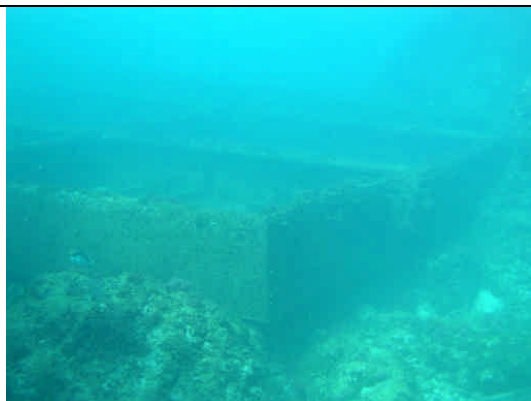


圖 5、4 號艙蓋倒躺在潟湖區
(20050517 近岸區)
(資料來源：本研究)

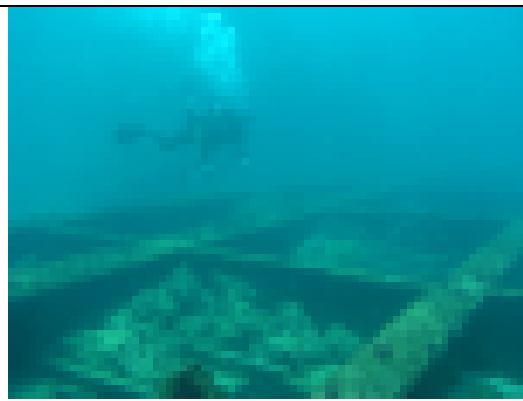


圖 6、4 號艙蓋倒躺在潟湖區
(20080610 近岸區)
(資料來源：本研究)



圖 7、4 號艙蓋的鐵板破損
(20050517 近岸區)
(資料來源：本研究)

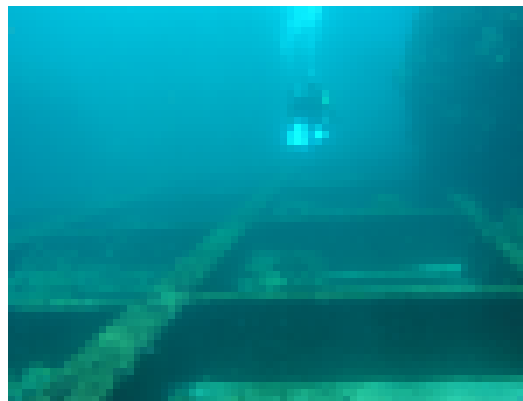


圖 8、4 號艙蓋的鐵板 (20080610
近岸區)
(資料來源：本研究)

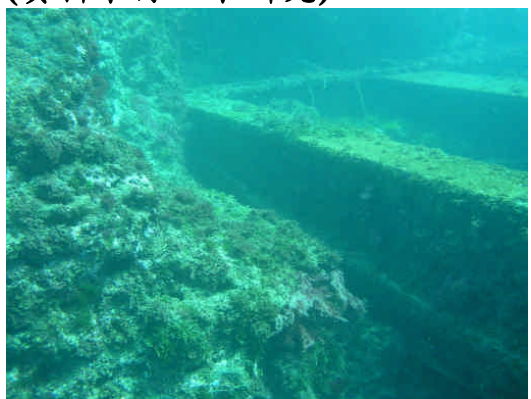


圖 9、4 號艙蓋的一角嵌在珊瑚礁
岩之間 (20050517 近岸區)
(資料來源：本研究)

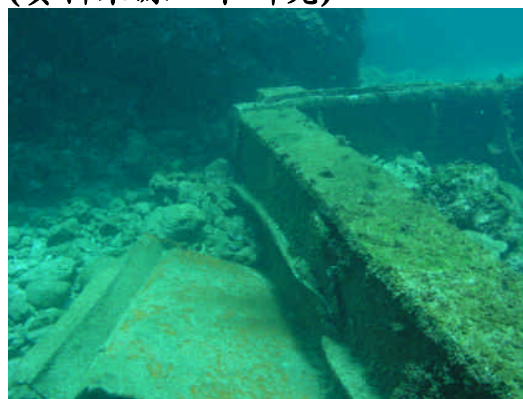


圖 10、4 號艙蓋的一角嵌在珊瑚
礁岩之間 (20080610 近岸區)
(資料來源：本研究)

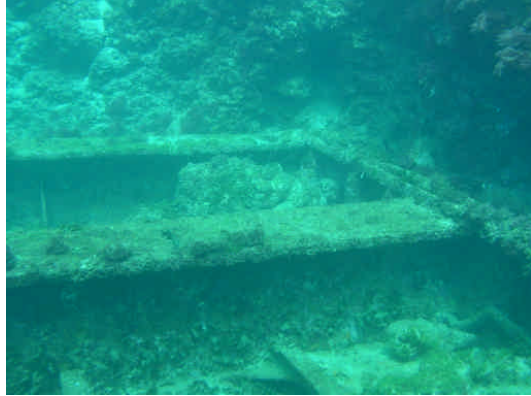


圖 11、4 號艙蓋內堆積一些石灰岩塊與沉積物 (20050517 近岸區)

(資料來源：本研究)



圖 12、4 號艙蓋內堆積一些石灰岩塊與沉積物 (20080610 近岸區)

(資料來源：本研究)



圖 13、潛水調查人員以皮尺測量 5 號艙蓋殘骸 (20050523 近岸區)

(資料來源：本研究)



圖 14、5 號艙蓋殘骸 (20080610 近岸區)

(資料來源：本研究)

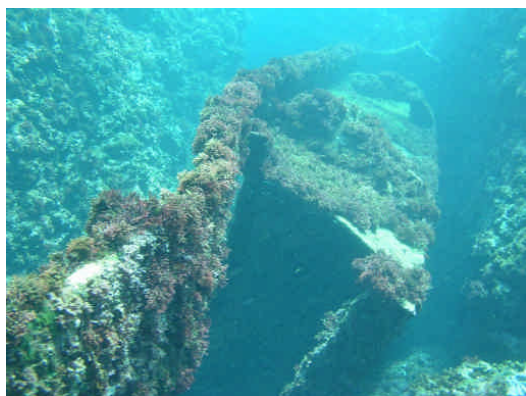


圖 15、5 號艙蓋殘骸表面有許多大型藻附著生長 (20050523 近岸區)

(資料來源：本研究)



圖 16、5 號艙蓋殘骸表面有許多大型藻附著生長 (20080610 近岸區)

(資料來源：本研究)

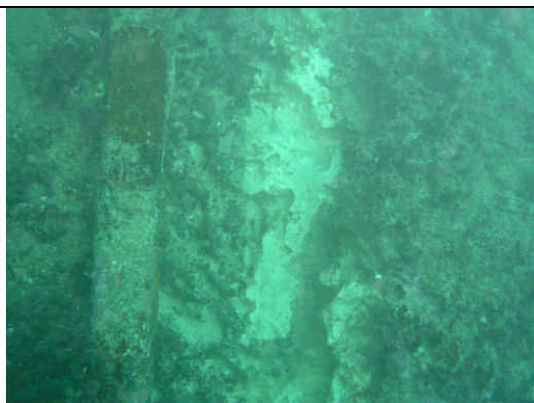


圖 17、5 號艙蓋殘骸移動刮損礁岩表面 (20050929 近岸區)
(資料來源：本研究)

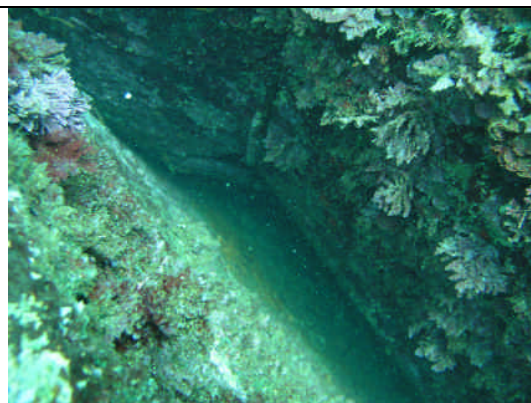


圖 18、5 號艙蓋附近刮損的礁岩表面(20080610 近岸區)
(資料來源：本研究)



圖 19、船頭區所遺留的殘骸 (20050518 船頭)
(資料來源：本研究)



圖 20、船頭區所遺留的殘骸 (20081006 船頭)
(資料來源：本研究)



圖 21、船頭區所遺留的殘骸 (20050518 船頭)
(資料來源：本研究)



圖 22、船頭區所遺留的殘骸 (20081006 船頭)
(資料來源：本研究)



圖 23、船尾區大型殘骸的測量作業(20050516 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 24、船尾區的大型殘骸
(20081006 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 25、船尾區的殘骸 (20050516 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 26、船尾區的殘骸 (20081006 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 27、船尾區的殘骸 (20050516 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 28、船尾區的殘骸 (20081006 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 29、船尾區的殘骸與其表面附著生長的珊瑚 (20050516 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 30、船尾區的殘骸 (20081006 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 31、船尾區的殘骸 (20051012 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 32、船尾區的殘骸 (20081006 船尾)
(資料來源：本研究)

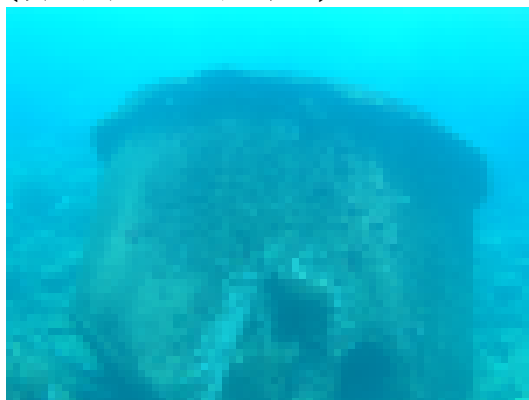


圖 33、船尾區的殘骸(20051012 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 34、船尾區的殘骸 (20081006 船尾)
(資料來源：本研究)

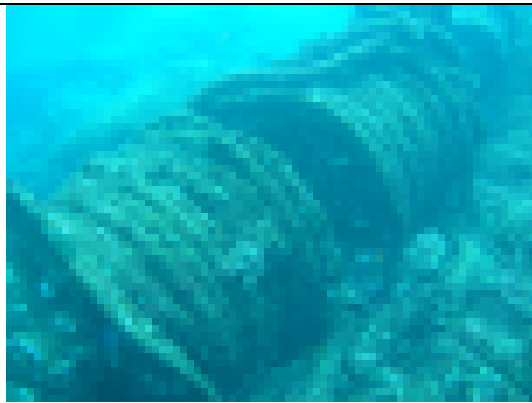


圖 35、船尾區的殘骸 (20051012 船尾)
(資料來源：本研究)



圖 36、船尾區的殘骸 (20081006 船尾)
(資料來源：本研究)

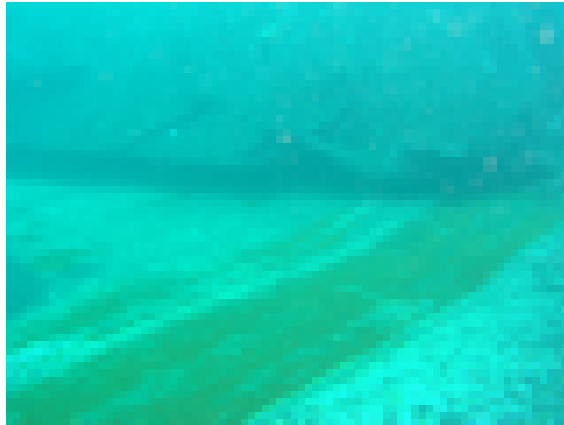


圖 37、船身區殘骸移動造成磨蝕鏽斑的近照圖 (20050930 船身)
(資料來源：本研究)

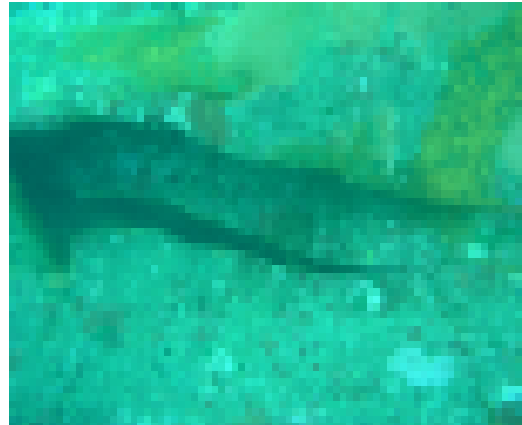


圖 38、船身區殘骸的銹蝕 (20081006 船身)
(資料來源：本研究)

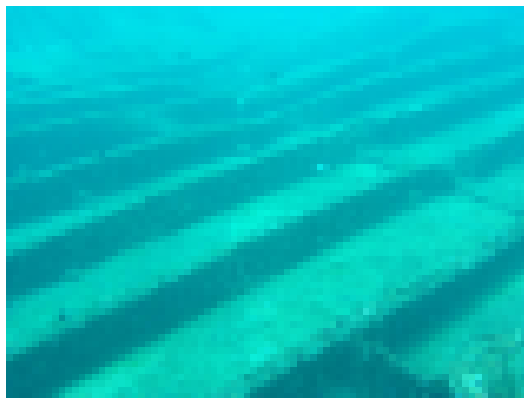


圖 39、船身區大型殘骸 (20050517 船身)
(資料來源：本研究)

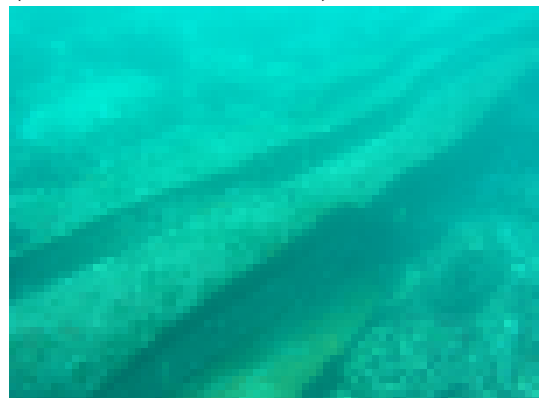


圖 40、船身區大型殘骸 (20081006 船身)
(資料來源：本研究)



圖 41、船身區大型殘骸與其表面
附著生長的珊瑚 (20050517 船
身)

(資料來源：本研究)

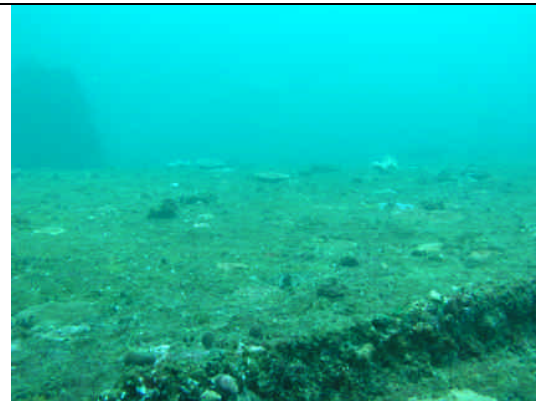


圖 42、船身區大型殘骸與其表面
附著生長的珊瑚 (20081006 船
身)

(資料來源：本研究)

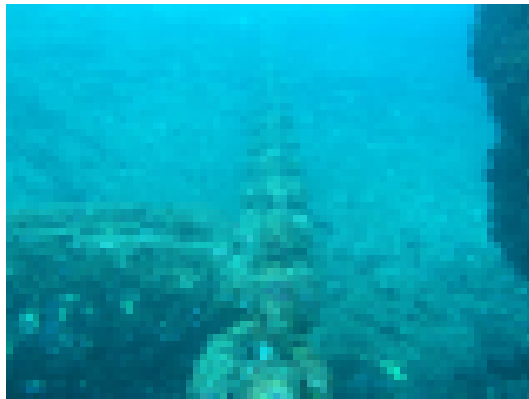


圖 43、錨鏈 (20050517 船身)

(資料來源：本研究)

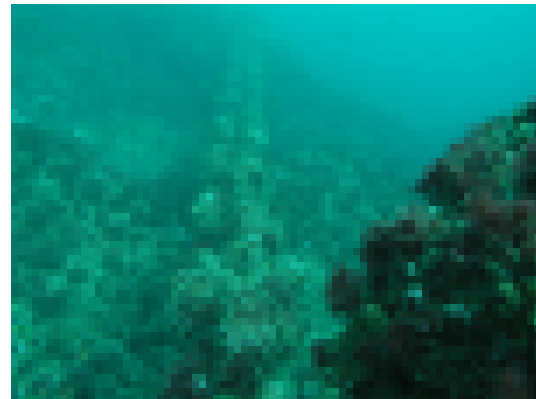


圖 44、錨鏈 (20081006 船身)

(資料來源：本研究)

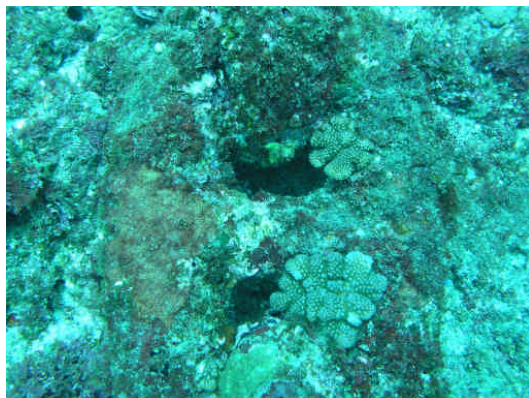


圖 45、錨鏈與其表面附著生長的
珊瑚(20050517 船身)

(資料來源：本研究)



圖 46、錨鏈與其表面附著生長的
珊瑚(20081006 船身)

(資料來源：本研究)



圖 47、錨 (20050512 船身)
(資料來源：本研究)



圖 48、錨 (20081006 船身)
(資料來源：本研究)



圖 49、錨與其表面附著生長的珊瑚(20050512 船身)
(資料來源：本研究)



圖 50、錨與其表面附著生長的珊瑚(20081006 船身)
(資料來源：本研究)

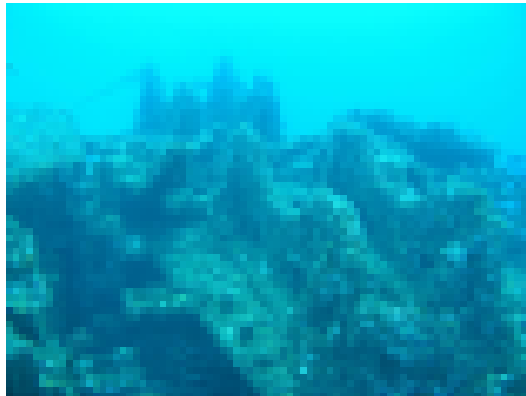


圖 51、阿瑪斯號船身區的引擎殘骸(20050930 船身)
(資料來源：本研究)

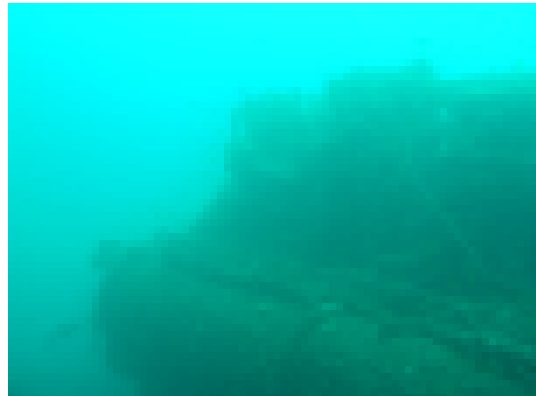


圖 52、阿瑪斯號船身區的引擎殘骸(20080612 船身)
(資料來源：本研究)



圖 53、潛水人員進行船板拍照調查
(資料來源：本研究)

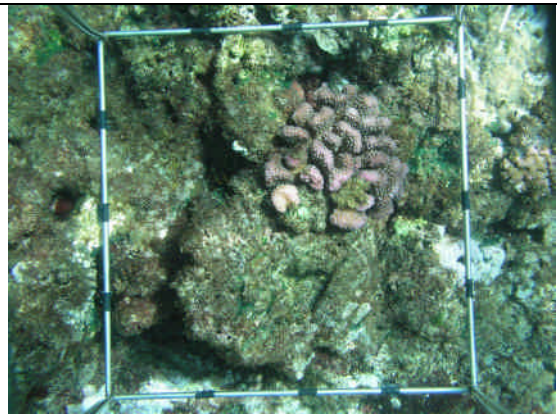


圖 54、監測線拍照調查
(資料來源：本研究)

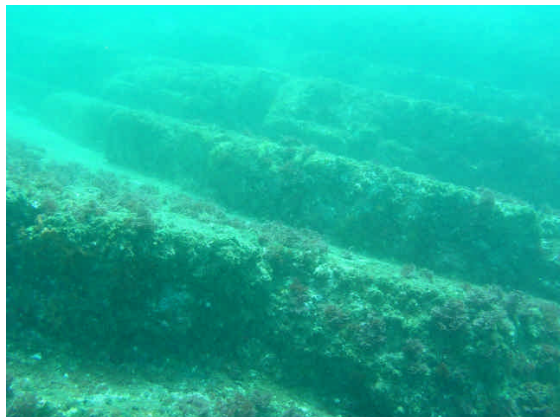


圖 55、龍坑外海海底的階梯狀岩石
海床
(資料來源：本研究)



圖 56、停滯在階梯狀岩石海床的
小殘骸
(資料來源：本研究)



圖 57、著生在 5 號艙蓋的珊瑚
(資料來源：本研究)

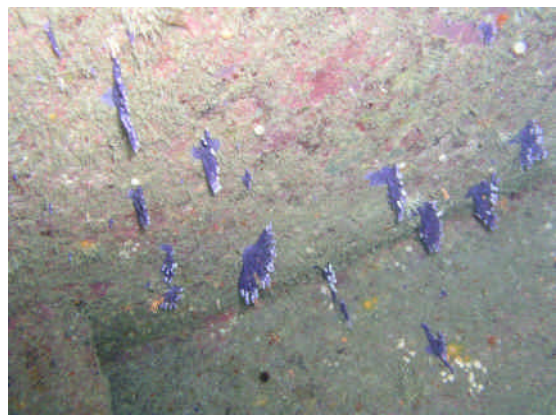


圖 58、著生在 5 號艙蓋的珊瑚
(資料來源：本研究)



圖 59、著生在船板殘骸的珊瑚
(資料來源：本研究)

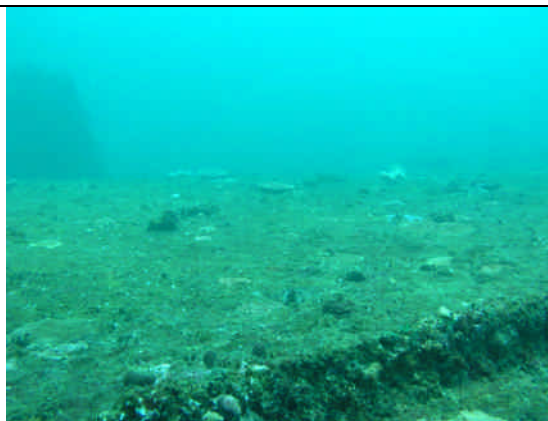


圖 60、著生在船板殘骸的珊瑚
(資料來源：本研究)



圖 61、著生在船板殘骸的珊瑚
(資料來源：本研究)

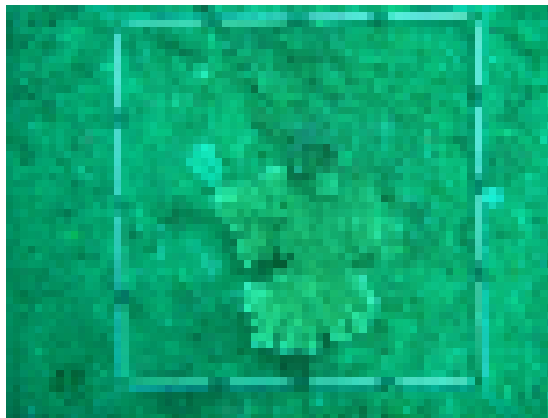


圖 62、著生在船板殘骸的珊瑚
(資料來源：本研究)

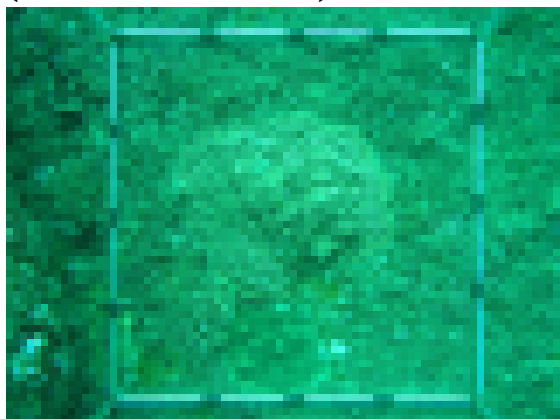


圖 63、著生在船板殘骸的珊瑚
(資料來源：本研究)

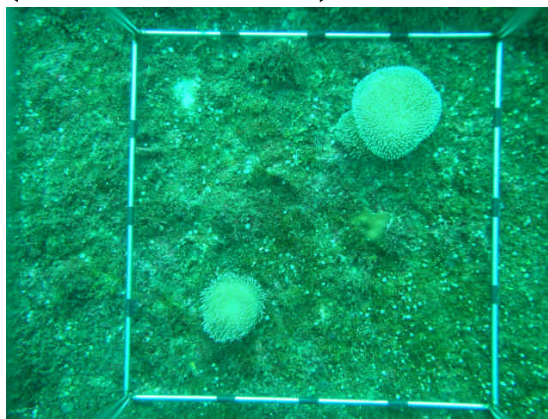


圖 64、著生在船板殘骸的珊瑚
(資料來源：本研究)



圖 65、船板殘骸附近的魚群
(資料來源：本研究)



圖 66、船板殘骸附近的魚群
(資料來源：本研究)

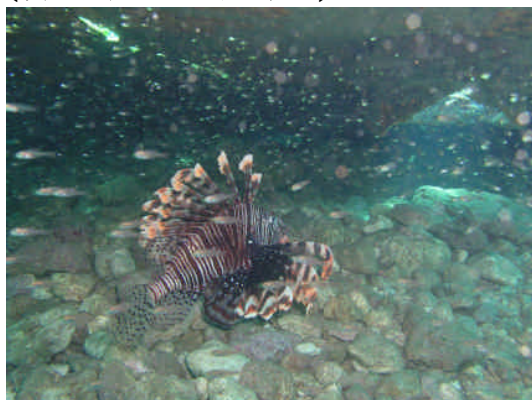


圖 67、4 號艙蓋殘骸附近的魚群
(資料來源：本研究)



圖 68、船板殘骸鏽蝕情形
(資料來源：本研究)



圖 69、船板殘骸鏽蝕情形
(資料來源：本研究)



圖 70、船板殘骸鏽蝕情形
(資料來源：本研究)

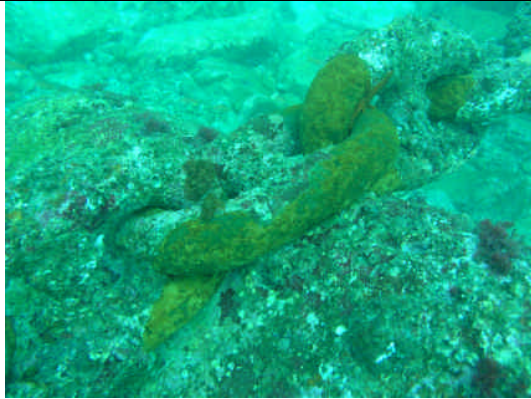


圖 71、船板殘骸銹蝕情形
(資料來源：本研究)



圖 72、堆積在海床的礮砂
(資料來源：本研究)

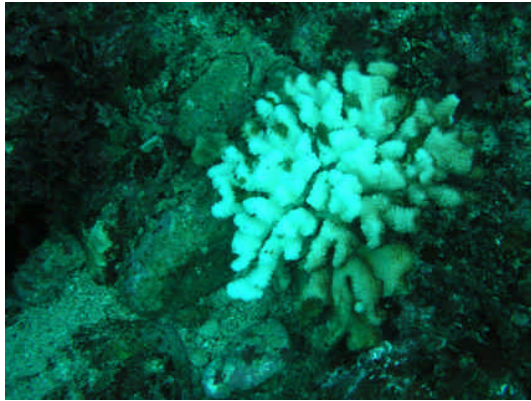


圖 73、船頭殘骸區附近的白化珊瑚
(資料來源：本研究)

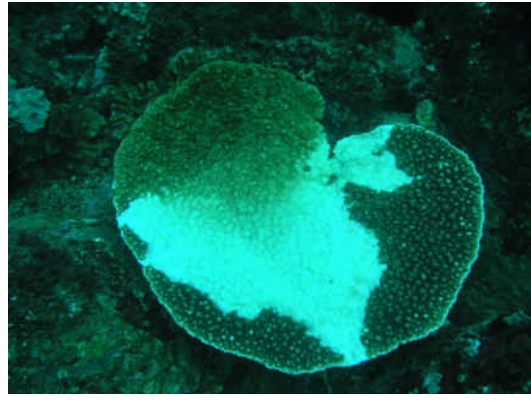


圖 74、船頭殘骸區附近的白化珊瑚
(資料來源：本研究)



圖 75、船身殘骸附近的棄置船錨
(資料來源：本研究)



圖 76、船身殘骸附近的珊瑚被廢棄魚線纏繞
(資料來源：本研究)

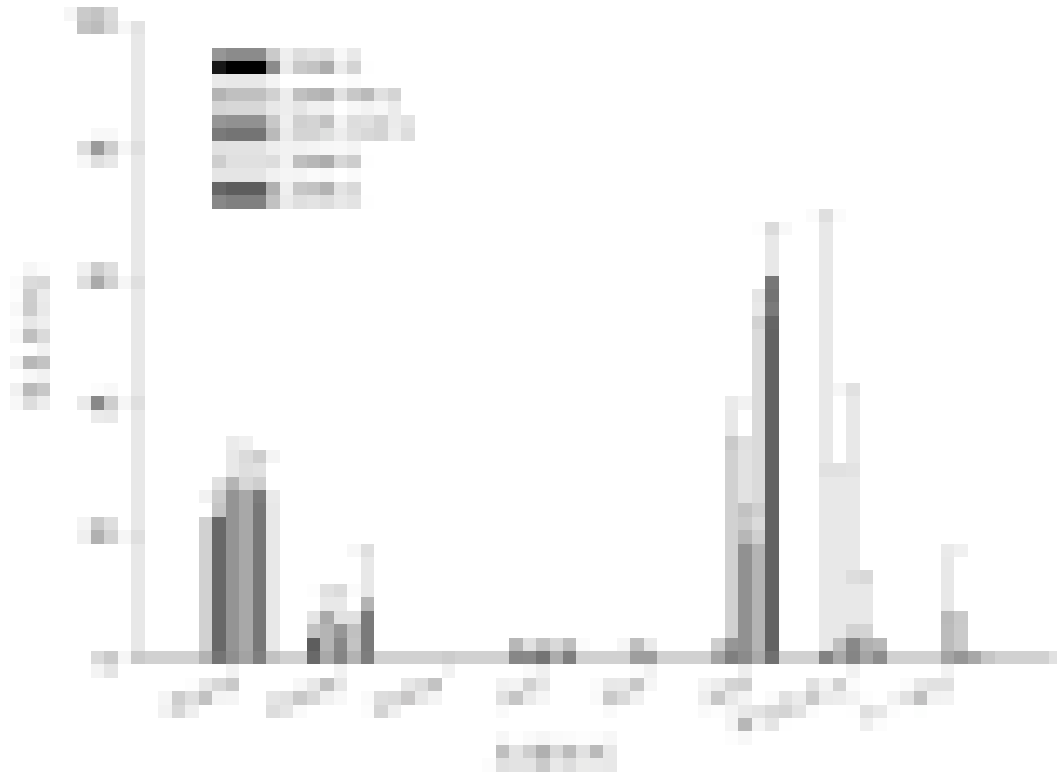


圖 77、2004 年至 2008 年，鄰近 2 號艙蓋破壞區天然珊瑚礁底棲生物
 群聚與基質的類別與覆蓋率(平均值±標準偏差)
 藻類包含大型藻類、珊瑚藻與毛叢狀海藻，但 2004 年的監測調查並未包含毛叢狀海藻

(資料來源：本研究)

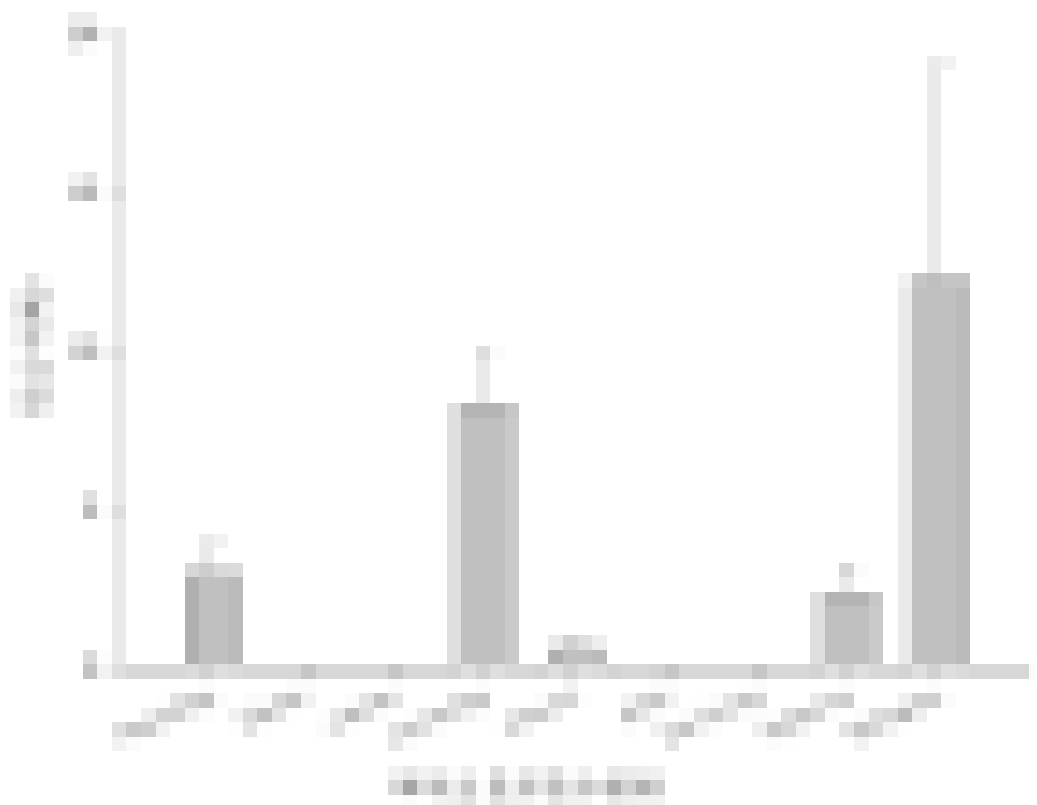


圖 78、2008 年，鄰近 2 號艙蓋破壞區天然珊瑚礁底棲珊瑚生長形態
類別和種類的覆蓋率(平均值±標準偏差)

(資料來源：本研究)

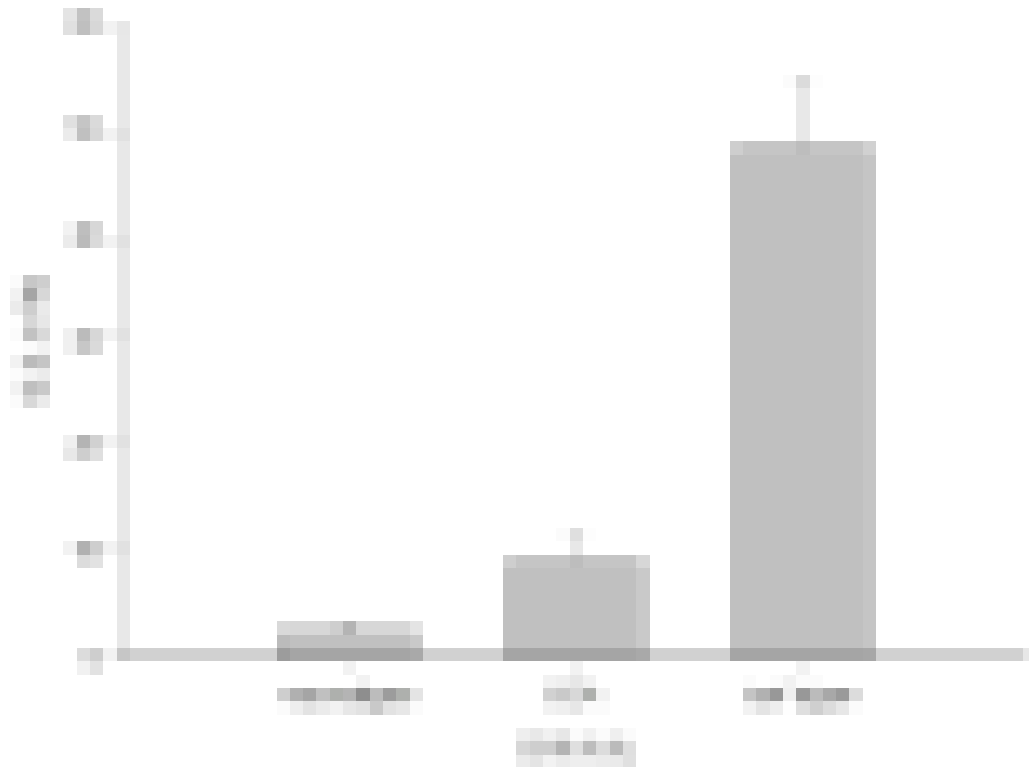


圖 79、2008 年，鄰近 2 號艙蓋破壞區天然珊瑚礁底棲藻類組成的覆蓋率(平均值±標準偏差)

Macroalgae:大型藻類、CCA:珊瑚藻、turf algae: 毛叢狀海藻

(資料來源：本研究)

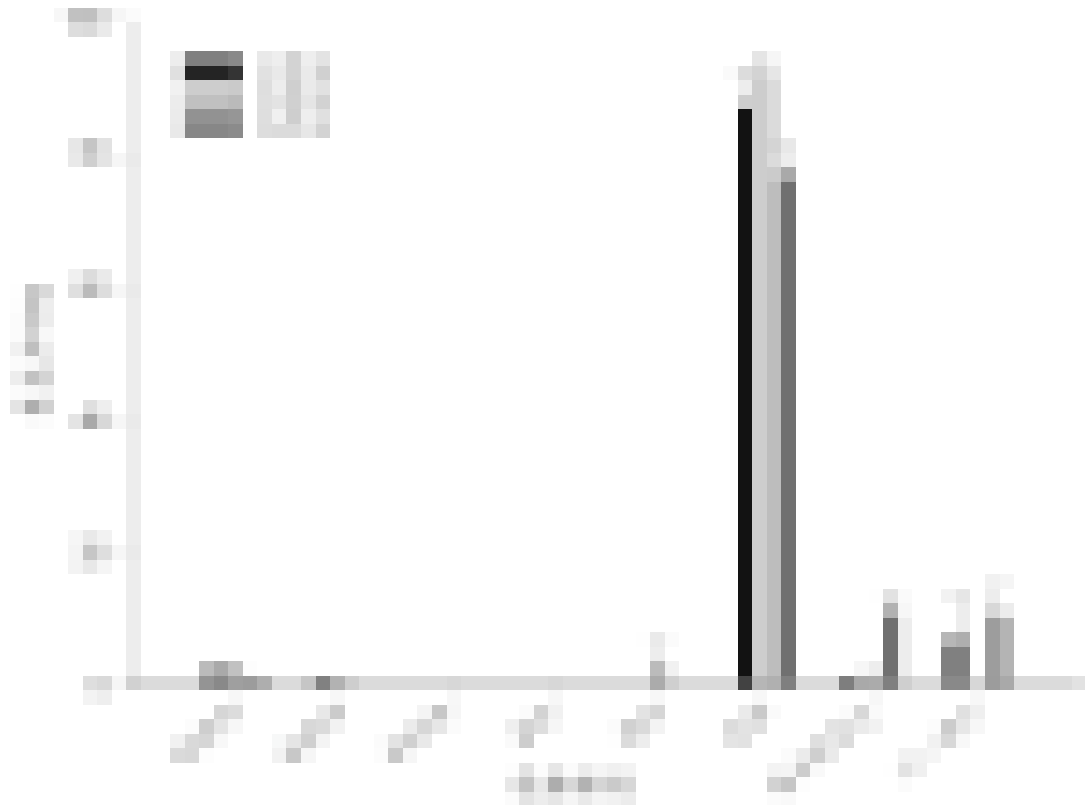


圖 80、阿瑪斯號的引擎區、大型船身殘骸區和海床上的珊瑚礁底棲生物群聚與基質的類別與覆蓋率(平均值±標準偏差)，藻類包含大型藻類、珊瑚藻與毛叢狀海藻

(資料來源：本研究)

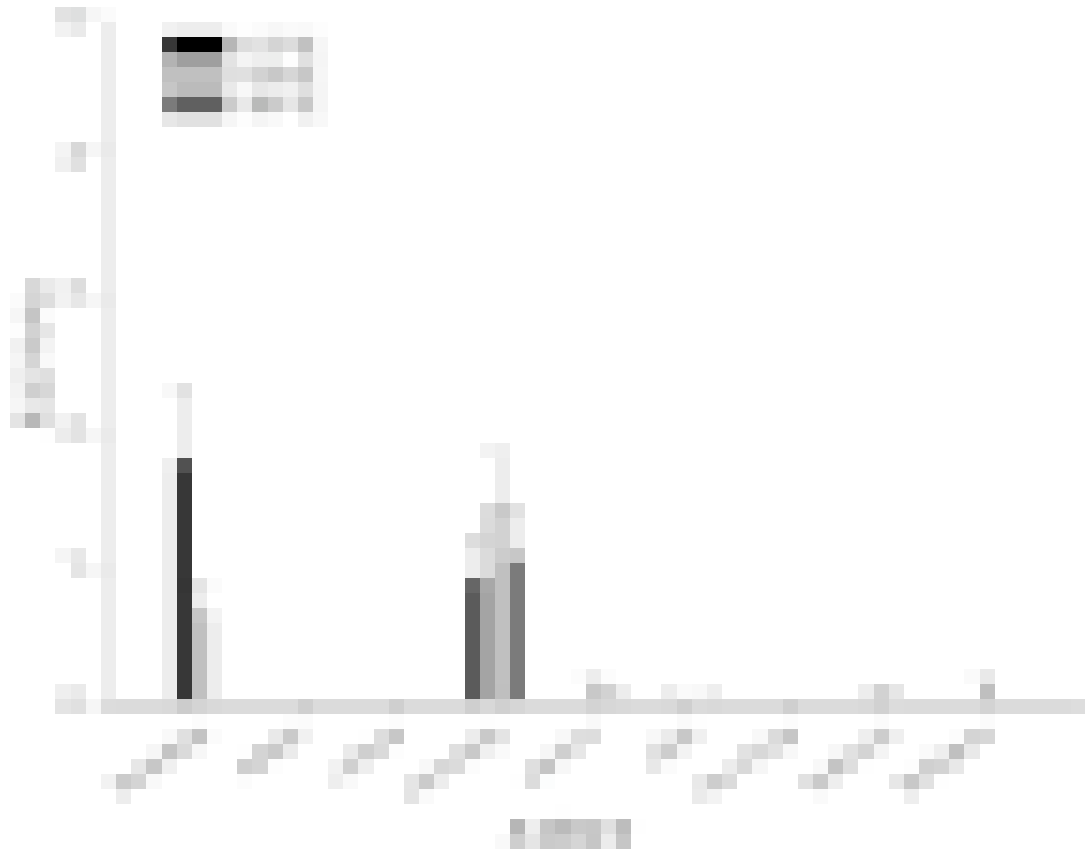


圖 81、阿瑪斯號的引擎區、大型船身殘骸區和海床上的珊瑚生長形態類別和種類的覆蓋率(平均值±標準偏差)

(資料來源：本研究)

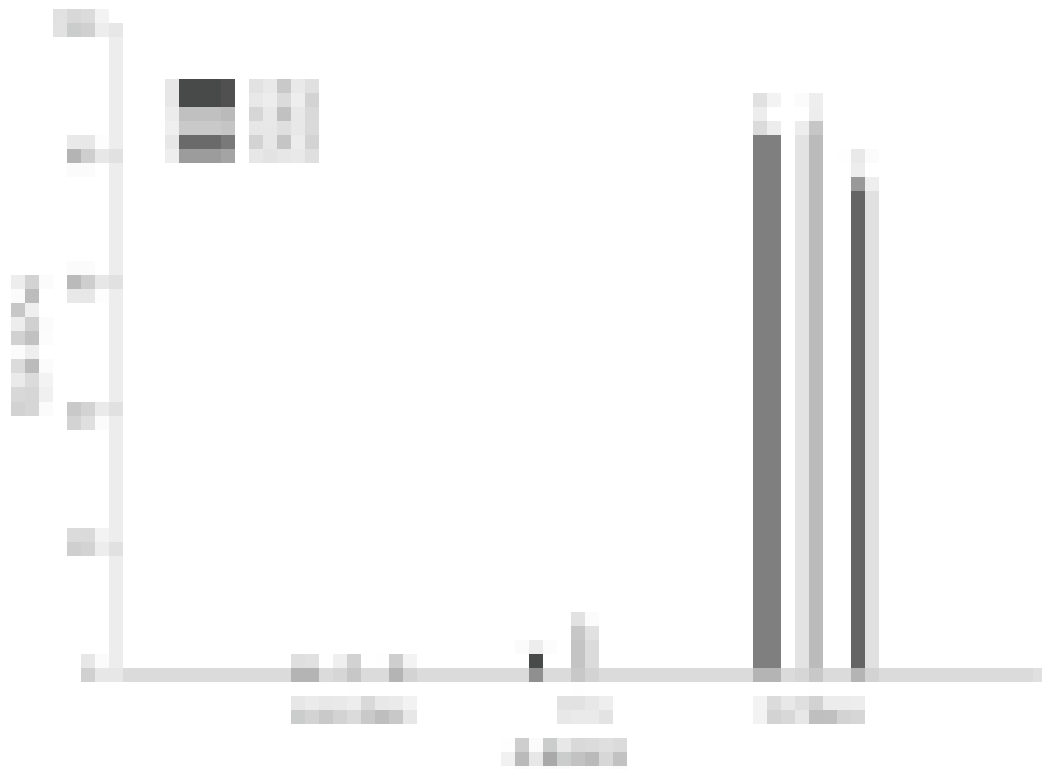


圖 82、阿瑪斯號的引擎區、大型船身殘骸區和海床上的底棲藻類組成覆蓋率(平均值±標準偏差)
Macroalgae:大型藻類、CCA:珊瑚藻、turf algae: 毛叢狀海藻
(資料來源：本研究)

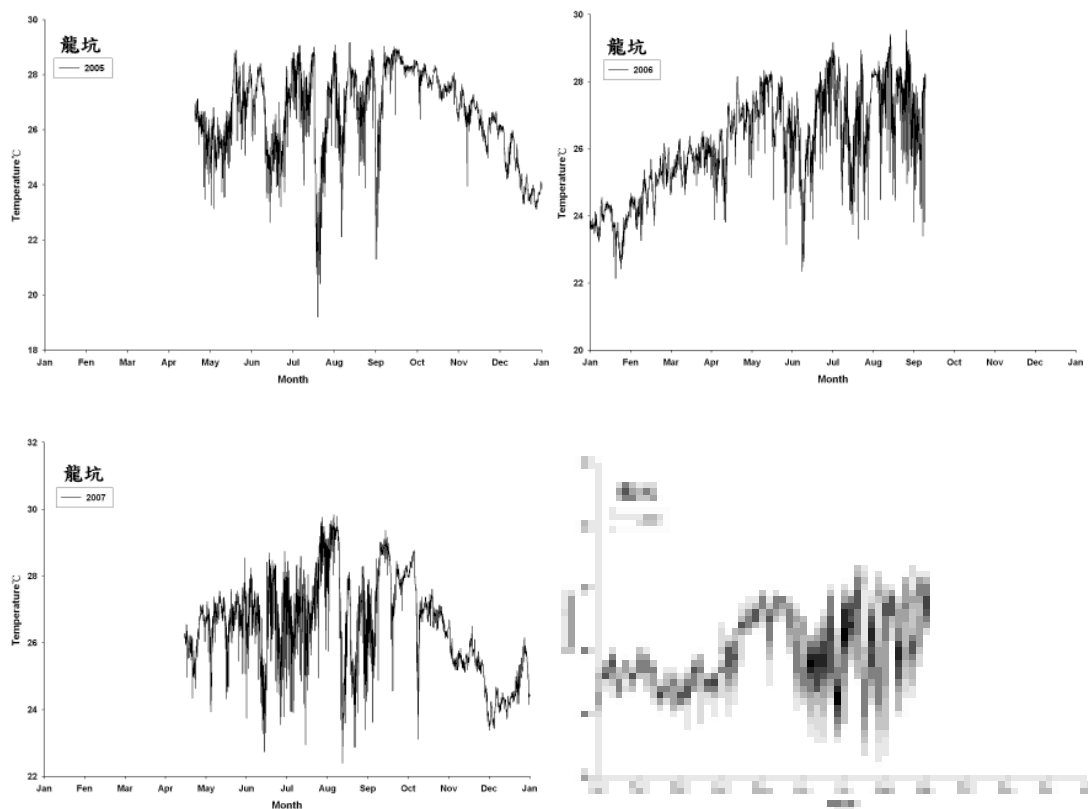


圖 83、2005 至 2008 年龍坑水溫連續變化圖
 2006 年 7 月至 2007 年 7 月因記錄器沒電而未記錄到任何資料
 (資料來源：本研究)

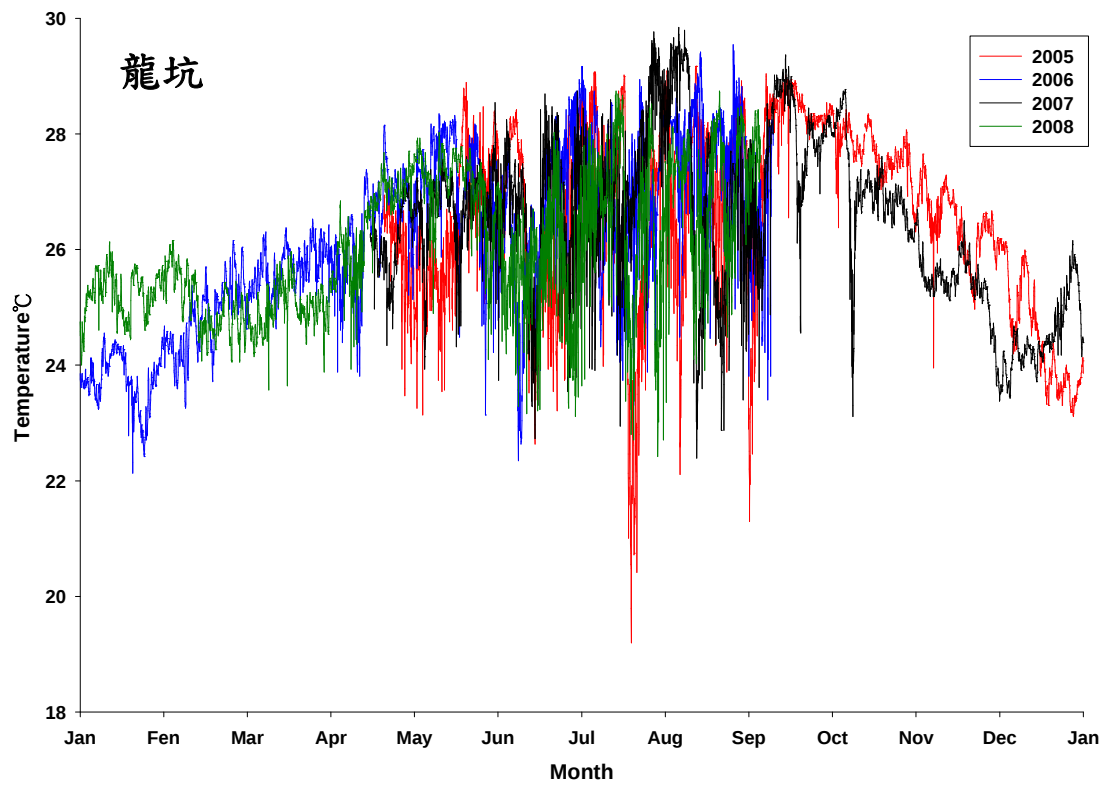


圖 84、2005 至 2008 年龍坑水溫連續變化的比較圖
2006 年 7 月至 2007 年 7 月因記錄器沒電而未記錄到任何資料

(資料來源：本研究)

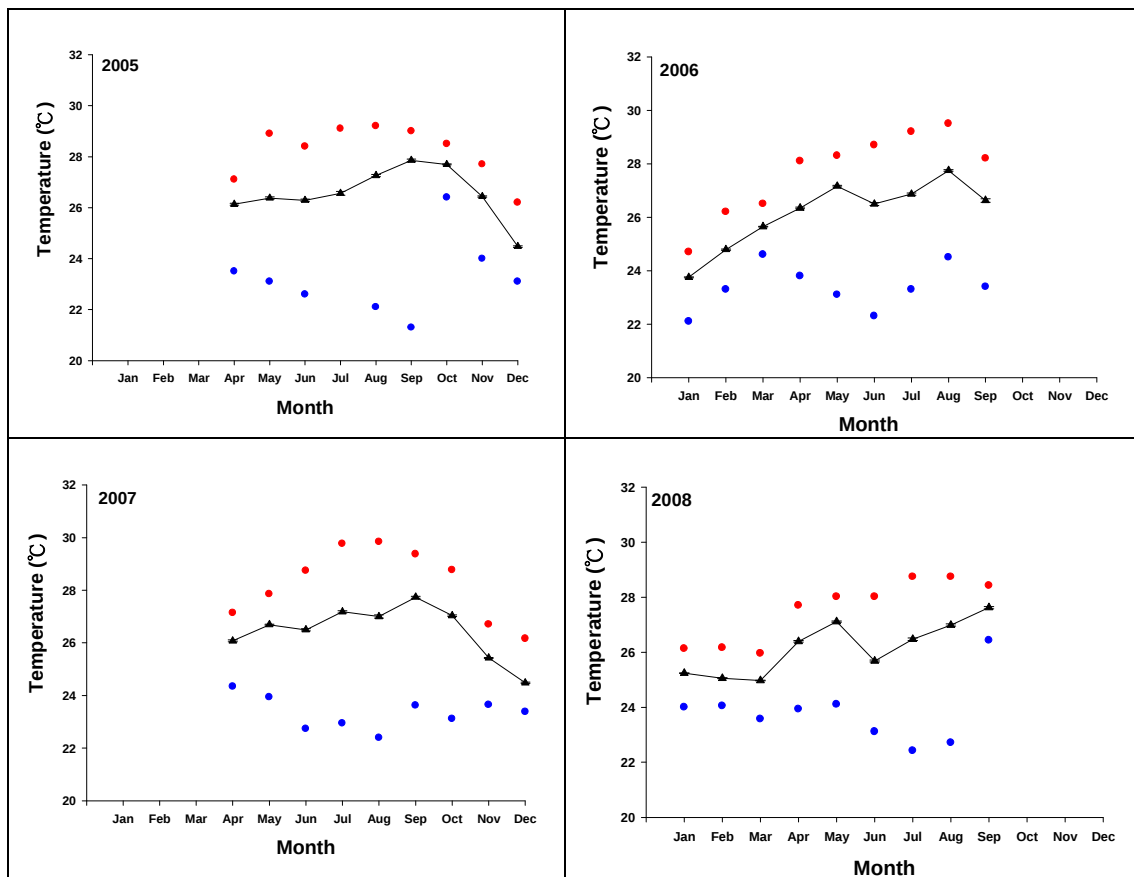


圖 85、2005 至 2008 年龍坑水溫的月平均(三角形)與最高溫和最低溫變化圖

2006 年 7 月至 2007 年 7 月因記錄器沒電而未記錄到任何資料

(資料來源：本研究)