

# 利用福衛二號衛星資料探討東沙環礁的棲地變化

黃世任 顧宗祥

國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系

本研究利用 2004 年及 2008 年 FORMOSAT 2 (福衛 2 號) 衛星所拍攝的東沙環礁資料進行影像分類, 並配合現場海底基質調查結果顯示: 珊瑚主要出現的區域為大環礁內海域及大環礁外側邊緣, 海草主要出現在東沙島附近、大環礁內側海域。另外, 從 2004 年與 2008 年衛星資料呈現, 大環礁外沿及環礁內西南區的珊瑚及珊瑚殘骸, 和東沙島周圍與北方與東北方環礁的海草在這 2 個時間都存在。本研究亦發現, 具有生命的珊瑚或海草在 2008 年普遍較 2004 年為廣泛, 顯見各執法及管理單位之努力皆已見成效。而從大環礁東北方延伸至南方之弧形分布區域之沙、珊瑚殘骸與礁岩等, 在 2004 年存在, 但未出現在 2008 年, 其可能受到颱風侵襲所造成。

關鍵詞: FORMOSAT 2、東沙環礁、影像分類

## 一、前言

近年來, 先進國家不遺餘力地投入科學研究工作, 除了傳統的野外調查外, 隨著科技發展, 亦逐漸利用新穎的調查方法進行研究。其中遙測技術已被應用於海岸環境(Manzello et al., 2009; Thompson & Flower, 2009)、農林植被(Barcza et al., 2009; Hoover, 2008)、都市規劃(Miller & Small, 2003)及土地變遷的監測與管理(陳, 2003)等方面。尤其對於一些交通不便或人力難以抵達的偏遠區域, 提供了人們不必親自到現場勘查, 即可瞭解並掌握現地狀況的機會與便利性。

2007年內政部營建署成立海洋國家公園管理處(簡稱海管處)(Marine National Park Headquarters, MNPH), 並將東沙環礁列為我國第一座海洋國家公園, 並以環礁外圍100浬(180公尺)等深線範圍為核心保護區。目前海管處正積極進行東沙島各項環境研究調查與復育等工作, 預計於2012年開放觀光(李與柯, 2006)。

東沙環礁因受其地理位置與特殊背景的限制, 正是可善加利用遙測技術的研究區域。本研究即針對東沙環礁內海域之海底基質分佈情形, 以福爾摩沙2號(FORMOSAT-2, 簡稱福衛2號)衛星遙測影像多波段的光譜特性與現場潛水實測資料, 並參考海管處之海底基質類別調查等資料, 進行影像分類與分析, 進行時間及空間分析, 藉以了解整個環礁內海底基質狀況。

## 二、研究區域

東沙環礁地處南海, 位於東經 $116^{\circ}42'$ 至 $116^{\circ}55'$ , 北緯 $20^{\circ}35'$ 至 $20^{\circ}47'$ 之間, 距高雄港240浬、澎湖230浬、香港170浬、汕頭140浬、海南島360浬、馬尼拉420浬、南沙太平島640浬(如圖1)。東沙環礁為環狀珊瑚礁, 直徑約25公里, 底層為堅硬的礁盤, 表層由造礁珊瑚所聚結, 含有礁台、潟湖、沙洲、淺灘、水道及島嶼等特殊自然地形, 以及沙地、海藻、海草、珊瑚、礁石與珊瑚殘骸等六種棲地底質(王等, 2008)。

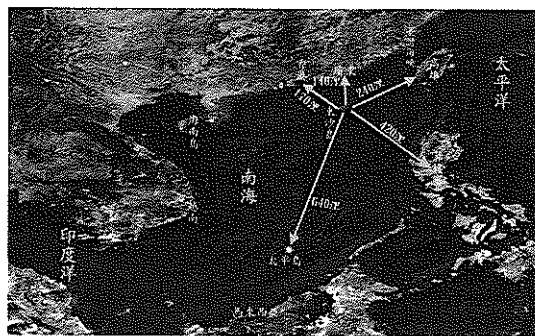


圖1 東沙環礁地理位置

## 三、研究資料

### (一)現場觀測

本研究以拖曳浮潛方式, 並利用GPS定位進行海底基質調查實地潛水觀測, 觀測日期為2008年8月9日及8月10日以2日時間進行潛水調查。範圍北起北緯 $20^{\circ}42.739'$ 南迄北緯 $20^{\circ}41.209'$ , 東自東經 $116^{\circ}44.892'$ 西至東經 $116^{\circ}42.110'$ 之間, 於東沙島週邊海域進行, 共計調查並蒐集27個調查點之基質資料。

本研究並蒐集海管處於東沙環礁內的棲地調查資料(王等, 2008), 其調查範圍北自北緯 $20^{\circ}45.810'$ 南迄北緯 $20^{\circ}36.543'$ , 東起東經 $116^{\circ}52.943'$ 西至東經 $116^{\circ}41.445'$ 之間。測量日期自2008年5月15日起至2008年8月26日止, 共計296個調查點之海底基質資料。

### (二)衛星資料

我國第一顆自主性衛星—福爾摩沙二號(FORMOSAT-2, 簡稱福衛二號), 於2004年5月21日發射成功並順利進入軌道, 其影像解析度為彩色8公尺、黑白2公尺。可提供即時與長期監測資料, 供自然資源、環境污染與氣候變遷等調查。本研究所使用的福衛2號衛星資料分別為2004年11月6日0146z及2008年4月11日0208z, 於東沙島上空所拍攝。

## 四、研究方法

### (一) 監督式分類法

由已知類別的光譜資訊對影像做分類的方法稱為監督式分類，而監督式分類的最基本需求是要對每個分類都有足夠的代表性資料來做為訓練樣本，以此訓練樣本進行學習，將所萃取的規則用來對他未知區域進行分類辨識，以了解未知區域分類的情況。當訓練樣本愈充分，則愈具代表性，辨識結果就愈佳。本研究以最大似然法(Maximum Likelihood)進行監督式分類。最大似然法之基本假設為考慮所有的類別之光譜值於所有的波段都為常態分佈。利用此基本假設的特性，配合已知類別的平均值以及標準偏差，來計算每個像元落於每種類別之機率，機率大者，則屬於該類別。

### (二) 非監督式分類法

非監督式分類法是在沒有任何地表相關資訊的提供下進行分類，此分類法以多頻譜遙測影像，利用目標物的光譜特性差異進行群聚分析。它們僅僅表現出群聚的特性而與地表覆蓋類型尚未建立對應關係，所以還需要將每個資料群和地表覆蓋類型互相做個對應，如此多頻譜遙測影像分類才算被建立。本研究以ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm)法，依據像元到各群聚中心平均值的距離，代表像元數據和分類類別特徵的相似度，距離越短其相似度越高，計算每一個像元到每群聚中心的距離，將此點歸於距離最短之類別。基本步驟如下：

- (1) 選擇群聚中心的起始平均值。
- (2) 計算每一個像元到各群聚平均值的距離，將像元歸類至最短距離的類別，並重新計算各群聚中心之平均值。
- (3) 檢查每一個群聚之標準差，若大於使用者所設定之最大標準差，則將此群聚分成兩個群聚，重新分類此群聚之像元，並重新計算群聚中心。
- (4) 檢查兩群聚中心之間的距離，如果小於使用者所設定之群聚合併間距，則將之合併，然後重新分類此兩群聚之像元，並重新計算群聚中心。
- (5) 重新計算每個群聚之平均值，以此新的平均值重新進行最小距離的分類，前後兩次迭代的結果若像元群聚多數有變動則回到步驟(2)重新計算，直到達到收斂則停止。

## 五、結果與討論

本研究係利用福衛2號衛星於2004年11月6日01:46z與2008年4月11日02:08z分別在東沙群島上空拍攝之2幅衛星空照(2004年拍攝照片時，東沙環礁海域潮位為0.49m，屬低潮位，而2008年拍攝照片時，東沙環礁海域潮位為1.45m，屬高潮位)，以探討東沙環礁內水域的海底基質分佈。由於本研究與海管處現場海底基質調查時間均為2008年，所以本研究先以非監督

式ISODATA分類法，經多次迭代達類別穩定後，得到21種基質類別，並與本研究及海管處的現場海底基質資料比對。然後再依衛星資料的光譜特性及現場海底基質資料，將2004年及2008年的衛星資料以監督式分類的最大似然法，將這二組衛星資料分析後各得到21種基質類別，圖2為2008年的分類圖。由於福衛二號衛星影像解析度為8m×8m，故每一像元面積為64m<sup>2</sup>。在此範圍內之影像，可能會存在2種以上不同基質物體的現象。例如：珊瑚與珊瑚殘骸並存，因其各自所佔比例不同，對不同光譜的反應也可能不同，而造成影像分類的差異。

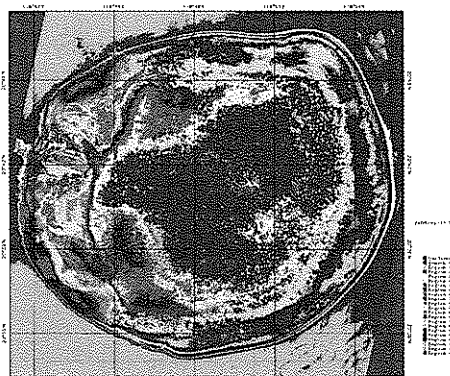


圖2 2008年衛星影像分類圖

本研究以監督式分類法將2004年與2008年福衛二號所拍攝的東沙環礁衛星資料分類後，再予比較東沙環礁海域於2004年與2008年4年間之棲地基質變化情形。圖3為各類別的分布情形，不同顏色表示在相同位置上，這二年的棲地基質類別相同，而黑色表示同一地點上，這二年的棲地基質類別不同。

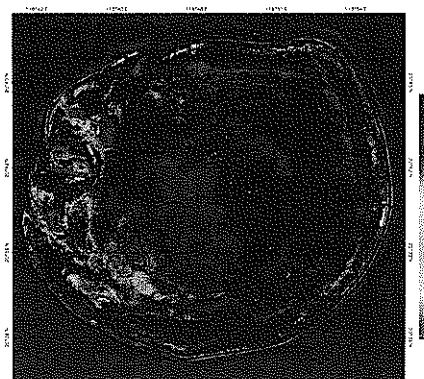


圖3 2004年與2008年衛星資料分類結果，同一位置出現相同類別的分布圖，各類別以不同顏色表示，而黑色表示同一地點上，這二年的棲地基質類別不同。

表 1 2004 年與 2008 年各棲地基質類別面積

類別	(R)同時有 2004 和 2008		(G)只有 2008		(B)只有 2004	
	面積(km <sup>2</sup> )	佔第 N 類%	面積(km <sup>2</sup> )	佔第 N 類%	面積(km <sup>2</sup> )	佔第 N 類%
2	84.41	54.38%	18.30	11.79%	52.52	33.83%
3	66.03	30.74%	111.50	51.91%	37.29	17.36%
4	20.42	19.69%	43.54	41.99%	39.73	38.32%
5	14.71	30.94%	16.81	35.35%	16.03	33.71%
6	13.42	14.21%	19.15	20.27%	61.90	65.52%
7	3.62	11.91%	15.20	50.06%	11.55	38.03%
8	2.93	11.24%	15.85	60.86%	7.27	27.91%
9	5.06	19.16%	9.83	37.25%	11.51	43.59%
10	4.78	19.02%	11.62	46.23%	8.74	34.76%
11	4.98	25.85%	7.77	40.33%	6.52	33.82%
12	0.57	74.22%	0.02	2.87%	0.17	22.91%
13	1.02	8.82%	1.20	10.36%	9.38	80.81%
14	5.68	21.52%	10.53	39.86%	10.21	38.63%
15	2.13	11.02%	3.97	20.55%	13.21	68.43%
16	5.95	18.50%	20.19	62.78%	6.02	18.72%
17	7.30	19.31%	15.94	42.20%	14.54	38.49%
18	6.98	23.23%	8.71	28.98%	14.36	47.79%
19	0.32	22.90%	0.20	14.43%	0.88	62.67%
20	0.01	0.15%	0.51	7.72%	6.06	92.13%
21	3.80	28.36%	3.32	24.73%	6.29	46.91%

Class 1 分佈區域範圍因2004年與2008年之資料均已超出衛星空照範圍，不予討論。

Class 2 屬較深海域，2004年該類別面積為152.74km<sup>2</sup>，佔整幅影像的24.86%，2008年該類別面積為102.71km<sup>2</sup>，佔整幅影像的16.72%。此類別在這二年均出現的區域主要分佈於大環礁外南方至西南方海域，與大環礁外西北方至東北方外量海域，面積為84.41 km<sup>2</sup>，佔此類別的54.38%。此類別僅在2008年出現，主要分佈於大環礁外西北方海域，面積為18.30km<sup>2</sup>，佔此類別的11.79%。此類別僅出現在2004年的區域，主要分佈於大環礁外東北方至東方海域，與大環礁外西方少量海域及大環礁內中央偏西等區域，其面積的52.52km<sup>2</sup>，佔此類別的33.83%，因皆屬於大環礁外深海區域，故不予討論（如表1）。

Class 3 的海底基質為沙、珊瑚及珊瑚殘骸，2004年該類別面積為105.29km<sup>2</sup>，佔整幅影像的17.14%，2008年該類別面積為177.53km<sup>2</sup>，佔整幅影像的28.89%。此類別於2004年和2008年均出現的區域，主要分佈於大環礁內中央區域，與大環礁外邊緣區域，面積的66.03km<sup>2</sup>，佔此類別的30.74%，顯示該等區域

2004年及2008年的海底基質分佈相似，屬沙、珊瑚及珊瑚殘骸等。只在2008年出現此類別的區域，大多分佈於大環礁內偏北北東及中央偏西與南方區域，大環礁外之東方至東北方及西方，其面積為111.50km<sup>2</sup>，佔此類別的51.91%。顯示該等區域2008年之沙、珊瑚及珊瑚殘骸等海底基質較2004年分佈為多。只在2004年出現此類別的區域相對較少，僅於少量分佈於大環礁內偏西至北方區域，與大環礁外西北方海域，面積為37.29km<sup>2</sup>，佔此類別的17.36%。顯示該等區域在2004年之沙、珊瑚及珊瑚殘骸等少量海底基質，於2008年時已不存在（如表1）。

Class 4 的海底基質為珊瑚及珊瑚殘骸，2004年該類別面積為60.18km<sup>2</sup>，佔整幅影像的9.80%，2008年該類別面積為63.96km<sup>2</sup>，佔整幅影像的10.41%。此類別在這二年均出現的區域，主要分佈於大環礁內北方與南方海域及東沙島南邊，其面積為20.42 km<sup>2</sup>，佔此類別的19.69%，顯示該等區域2004年及2008年間的海底基質均為珊瑚及珊瑚殘骸等。此類別只出現在2008年的區域，大多出現於大環礁內中央區域呈圓周狀向外擴散，也出現在東沙島南邊，面積為43.54km<sup>2</sup>，佔此類別的41.99%。顯示這些區域2008年之珊瑚及珊瑚殘骸等海底基質較2004年分佈為多。只在2004年出現此類別的區域僅零星分散於大環礁內北方、東方至南方等環礁內緣，與大環礁外北方邊緣區域，其面積為39.73km<sup>2</sup>，佔此類別的38.32%。顯示該等區域2004年分佈之珊瑚及珊瑚殘骸等少量海底基質，於2008年時已不存在（如表1）。

Class 5 屬海草床，2004年該類別面積為30.74 km<sup>2</sup>，佔整幅影像的5.00%，2008年該類別面積為31.52km<sup>2</sup>，佔整幅影像的5.13%。此類別在這二年均出現的區域呈弧形狀分佈於大環礁內北方延伸至東方海域，東南方及南方亦有少許，也出現在東沙島之南邊及北邊，其面積為14.71km<sup>2</sup>，佔該類別的30.94%。顯示這些區域2004年及2008年的海底基質均為海草床。只在2008年出現此類別的區域面積為16.81km<sup>2</sup>，佔該類別的35.35%，主要分佈於大環礁內東南方至南方與東沙島南邊海域。此類別只出現在2004年的面積為16.03km<sup>2</sup>，佔該類別的33.71%。顯示在2008年之海草床海底基質較2004年分佈為多（如表1）。

Class 6 為珊瑚、珊瑚殘骸與礁岩，2004年該類別面積為75.33km<sup>2</sup>，佔整幅影像的12.26%，2008年該類別面積為32.57km<sup>2</sup>，佔整幅影像的5.30%。這類別均出現在2004年和2008年的區域多集中於大環礁內偏西南方，少部份分佈於大環礁內偏西北方區域，其面積為13.42 km<sup>2</sup>，佔該類別的14.21%。只在2008年出現此類別的區域大多集中於大環礁內北方，少部份分佈於大環礁內南方及偏西南方區域，其面積為19.15 km<sup>2</sup>，佔此類別的20.27%。只出現在2004年的區域大多集中於大環礁中央及偏東方，少部份分佈於大環礁西北方及東沙島南方等區域，其面積為61.90 km<sup>2</sup>，佔該類別

的65.52%。顯示有些珊瑚、珊瑚殘骸及礁岩等海底基質，在2004年出現，但於2008年時已不存在(如表1)。

Class 7 為珊瑚殘骸、沙、珊瑚與礁岩，2004年該類別面積為15.16km<sup>2</sup>，佔整幅影像的2.47%，2008年該類別面積為18.82km<sup>2</sup>，佔整幅影像的3.06%。在2004年和2008年這類別均出現的區域，主要分佈於東沙島東北邊及南邊，極少量位於大環礁外西北方邊緣，其面積為3.62km<sup>2</sup>，佔此類別的11.91%。這類別只出現在2008年的區域集中分佈於大環礁內北方及南方與東沙島四周，少量稀疏分散於大環礁內中央區域，其面積為15.20km<sup>2</sup>，佔該類別的0.06%。此類別只出現在2004年的區域較集中於大環礁內西北方、東方與南方區域及東沙島南邊與西邊，少量稀疏分散於大環礁內中央區域。其面積為11.55km<sup>2</sup>，佔此類別的38.03%，顯示2004年分佈在這些區域之珊瑚殘骸、沙、珊瑚及礁岩等海底基質，於2008年時已不存在(如表1)。

Class 8 為東沙島陸域中央之潟湖、海域之海草床、珊瑚與礁岩。2004年該類別面積為10.2km<sup>2</sup>，佔整幅影像的1.66%，2008年該類別面積為18.78km<sup>2</sup>，佔整幅影像的3.06%。此類別出現在2004年和2008年的區域零星分佈於東沙島沿岸周邊，及大環礁外北方延伸至東北方與東南方週邊等區域，其面積為2.93km<sup>2</sup>，佔此類別的11.24%。此類別只出現在2008年的區域範圍較廣，除東沙島陸域中央之潟湖、北邊與西南邊區域外，呈弧形狀擴散分佈於大環礁內自北方延伸至南方。其面積為15.85km<sup>2</sup>，佔此類別的60.86%。顯示東沙島潟湖之海草與該等區域2008年之海草床、珊瑚與礁岩等海底基質較2004年分佈為多。此類別出現在2004年的區域，大多分佈於大環礁外北方延伸至東北方與東南方週邊等區域，有少許部份分散於東沙島西邊與西南邊區域。其面積為7.27km<sup>2</sup>，佔此類別的27.91%(如表1)。

Class 9 為珊瑚殘骸、沙、珊瑚與礁岩。2004年該類別面積為16.56 km<sup>2</sup>，佔整幅影像的2.70%，2008年該類別面積為14.89km<sup>2</sup>，佔整幅影像的2.42%。此類別在2004年和2008年均出現的區域集中於大環礁內之西南方，其他則零星散佈於大環礁內之北方、西北方、西方與南方等區域。其面積的面積5.06km<sup>2</sup>，佔該類別的19.16%。只在2008年出現此類別的區域，主要分佈於大環礁內之西南方。其面積為9.83km<sup>2</sup>，佔此類別的37.25%。此類別只出現在2004年的區域，主要分佈於大環礁內之西南方，與呈弧形狀分佈於大環礁內自東北方延伸至南方海域，及大環礁內西方(東沙島南方)之海域。其面積為11.51km<sup>2</sup>，佔此類別的43.59%。顯示這些區域在2004年之珊瑚殘骸、沙、珊瑚與礁岩等海底基質，於2008年時已不存在(如表1)。

Class 10 為沙、珊瑚與珊瑚殘骸。2004年該類別面積為13.51km<sup>2</sup>，佔整幅影像的2.20%，2008年該類別面積為16.4km<sup>2</sup>，佔整幅影像的2.67%。此類別出現在2004年和2008年的區域，主要分佈於大環礁內西北

方、西方與西南方區域，其面積為4.78km<sup>2</sup>，面積百分比為19.02%。此類別只出現在2008年的區域，分別分佈於大環礁西北方、西方與西南方等區域，其面積為11.62 km<sup>2</sup>，佔此類別的46.23%，顯示該等區域2008年之沙、珊瑚與珊瑚殘骸等海底基質較2004年分佈為多。只出現在2004年的此類別區域，主要分佈於大環礁西北方、西方與西南方等區域，與大環礁內呈弧形狀零星分佈自東北方延伸至南方區域，其面積為8.74km<sup>2</sup>，佔此類別的34.76%(如表1)。

Class 11 為沙、珊瑚及珊瑚殘骸。2004年該類別面積為11.5km<sup>2</sup>，佔整幅影像的1.87%，2008年該類別面積為12.76km<sup>2</sup>，佔整幅影像的2.08%。此類別在2004年和2008年均出現的區域，主要分佈於大環礁內西北方，少許分佈於西方與西南方區域。其面積為4.98km<sup>2</sup>，佔該類別的25.85%。只在2008年出現此類別的區域，大多分佈於大環礁內西方，少許分佈於西北方與西南方區域。其面積為7.77km<sup>2</sup>，佔該類別的40.33%。顯示該等區域2008年之沙、珊瑚與珊瑚殘骸等海底基質較2004年分佈為多。只出現在2004年的此類別區域，則分佈於大環礁內西北、西方與西南方區域，另於大環礁內呈弧形狀分佈於東北方延伸至南方區域。其面積為6.52km<sup>2</sup>，佔此類別的33.82%(如表1)。

Class 12 為東沙島陸域植被。2004年該類別面積為0.74km<sup>2</sup>，佔整幅影像的0.12%，2008年該類別面積為0.59km<sup>2</sup>，佔整幅影像的0.10%。此類別在2004年和2008年均出現的區域，均集中於東沙島陸域地區，其面積的0.57km<sup>2</sup>，佔此類別的74.22%，顯示2004年與2008年間東沙島區域之陸域植被完全一致。此類別只出現在2008年的區域則非常少，佔此類總面積的0.02km<sup>2</sup>，面積百分比為2.87%，顯示2004年與2008年間東沙島區域之陸域植被被新增面積有限。只出現在2004年的此類別區域散佈在東沙島陸域區域中，其面積為0.17km<sup>2</sup>，佔此類別的22.91%，顯示2004年東沙島區域有少許部份之陸域植被已消失不在(如表1)。

Class 13 為沙、珊瑚與珊瑚殘骸。2004年該類別面積為10.4 km<sup>2</sup>，佔整幅影像的1.69%，2008年該類別面積為2.23km<sup>2</sup>，佔整幅影像的0.36%。此類別出現在2004年及2008年的區域甚少，分佈於大環礁內東方環礁邊緣，及東沙島西北方與東方龍擺尾區域。其面積為1.02km<sup>2</sup>，佔此類別的8.82%。此類別只出現在2008年的區域更少，零星分佈於大環礁內西北方區域，及東沙島西北方、西方及東方之龍擺尾區域。其面積為1.20km<sup>2</sup>，佔此類別的10.36%。只在2004年出現該類別的區域，以弧形狀分佈於大環礁內北方延伸至南方區域，而東沙島之西北方與東北方亦有少量分佈。其面積為9.38km<sup>2</sup>，佔此類別的80.81%，顯示該等區域原2004年存在之沙、珊瑚與珊瑚殘骸等海底基質，於2008年時已消失不在(如表1)。

Class 14 為珊瑚與礁岩。2004年該類別面積15.89km<sup>2</sup>，佔整幅影像的2.59%，2008年該類別面積為

16.22km<sup>2</sup>，佔整幅影像的2.64%。紅色、綠色及藍色等區域皆呈弧形狀均勻分佈於大環礁內北方延伸至南方區域，及少量星點狀散佈於東沙島四周，與東沙島西邊等區域。此類別出現在2004年和2008年的區域面積為5.68km<sup>2</sup>，佔此類別的21.52%。只出現在2008年的此類別區域的面積為10.53km<sup>2</sup>，佔此類別的39.86%。此別只出現在2004年的區域的面積為10.21km<sup>2</sup>，佔此類別的38.63%(如表1)。

Class 15 為海草床。2004年該類別面積為15.34 km<sup>2</sup>，佔整幅影像的2.50%，2008年該類別面積為6.09 km<sup>2</sup>，佔整幅影像的0.99%。此類出現在2004年和2008年的區域，集中分佈於大環礁內西北方及南方，與東沙島北方、東方及南方等區域。其面積為12.13km<sup>2</sup>，佔此類別的11.02%。此類別只出現在2008年的區域，分佈於大環礁內西北方及南方區域，與東沙島北方、東方及南方等區域。其面積為3.97km<sup>2</sup>，佔此類別的20.55%。只出現在2004年的區域較寬廣，呈弧形狀集中分佈於大環礁內東方延伸至南方區域，及少量散佈於大環礁北方區域，與東沙島之西北方。其面積為13.21km<sup>2</sup>，佔此類別的68.43%，顯示該等區域2004年分佈之海草床海底基質，於2008年時已不存在(如表1)。

Class 16 為珊瑚及礁岩。2004年該類別面積為11.97km<sup>2</sup>，佔整幅影像的1.95%，2008年該類別面積為26.14km<sup>2</sup>，佔整幅影像的4.25%。此類別出現在2004年和2008年的區域少量分佈於大環礁內北方，大多集中於大環礁東方延伸至南方之區域，東沙島西方亦有少許分佈區域。其面積為5.95km<sup>2</sup>，佔此類別的18.50%。只出現在2008年的此類別只出現在2008年的區域廣闊呈弧形狀分佈於大環礁內北方延伸至南方，東沙島四周海域亦有零星分佈。其面積為20.19km<sup>2</sup>，佔此類別的62.78%，顯示該等區域2008年之礁岩與珊瑚等海底基質較2004年分佈為多。只在2004年出現此類別的區域，少量分佈於大環礁內北方區域，及散佈於大環礁東方延伸至南方之區域。其面積為6.02km<sup>2</sup>，佔此類別的18.72%(如表1)。

Class 17 為沙與礁岩。2004年該類別面積為21.84km<sup>2</sup>，佔整幅影像的3.55%，2008年該類別面積為23.24km<sup>2</sup>，佔整幅影像的3.78%。此類別出現於2004年和2008年的區域呈弧形狀分佈於大環礁內北方延伸至南方，東沙島之西邊、北邊與東北邊皆有少許。其面積為7.30km<sup>2</sup>，佔此類別的19.31%。此類別只出現在2008年的區域廣，呈弧形狀分佈於大環礁內北方延伸至南方，東沙島之西邊、東南邊與西南邊均有少量。其面積為15.94km<sup>2</sup>，佔此類別的42.20%，顯示該等區域2008年之沙與礁岩等海底基質較2004年分佈為多。只在2004年出現此類別的區域亦呈弧形狀分佈於大環礁內北方延伸至南方。其面積為14.54km<sup>2</sup>，佔此類別的38.49%，顯示該等區域2004年分佈之少量沙與礁岩等海底基質，於2008年時已不存在(如表1)。

Class 18 為沙及珊瑚。2004年該類別面積為21.34km<sup>2</sup>，佔整幅影像的3.47%，2008年該類別面積為15.69km<sup>2</sup>，佔整幅影像的2.55%。此類別在2004年和2008年均出現的區域，集中分佈於大環礁內西北方、西南方與中央偏西南區域。其面積為6.98km<sup>2</sup>，佔此類別的23.23%。此類別只出現在2008年的區域，主要分佈於大環礁內西北方、北方、西南方與中央偏西南區域。其面積為8.71km<sup>2</sup>，佔此類別的28.98%。只出現在2004年的此類別區域，主要分佈於大環礁內西北方、北方、西南方與中央偏西南區域，在大環礁內東方延伸至南方與中央偏東區域皆有蹤跡。其面積為14.36km<sup>2</sup>，佔此類別的47.79%(如表1)。

Class 19 為東沙島陸域之水泥建築物、機場跑道、道路與礁岩等。2004年該類別面積為1.21km<sup>2</sup>，佔整幅影像的0.20%，2008年該類別面積為0.53km<sup>2</sup>，佔整幅影像的0.09%。此類別出現在2004年和2008年的區域面積為0.32km<sup>2</sup>，佔該類別的22.90%，主要分佈於東沙島陸域區域，為東沙島陸域之水泥建築物、機場跑道與道路等。2004年與2008年間分佈情形一致，無太大改變。此類別只出現在2008年的區域面積為0.20km<sup>2</sup>，佔此類別的14.43%，零星分佈於東沙島陸域區域。顯示該等區域2008年之陸域水泥建物較2004年稍微增多，而出現在東沙島西方海域之區塊，研判為雲朵並非2008年新增之基質。只出現在2004年的區域面積為0.88km<sup>2</sup>，佔此類別的62.67%，分佈於東沙島沿岸與西方潟湖口及呈弧形狀微量分佈於大環礁北方延伸至南方，顯示該等區域2004年分佈之礁岩海底基質，於2008年時已不存在。研判可能是2004年福衛2號衛星拍攝照片時，東沙環礁為低潮時段(潮高49cm)，而2008年福衛二號衛星拍攝照片時，東沙環礁為高潮時段(潮高145cm)兩時期潮差96cm，以致於某些位於潮間帶海域的基質會受到潮汐高低的影響(如表1)。

Class 20 為沙灘與礁岩。2004年該類別面積為6.07km<sup>2</sup>，佔整幅影像的0.99%，2008年該類別面積為0.52km<sup>2</sup>，佔整幅影像的0.08%。此類別出現在2004年和2008年的區域很少，佔此類總面積的0.01km<sup>2</sup>，面積百分比為0.15%。此類別只出現在2008年的區域零星分佈於東沙島陸域區域與西方海域，其面積為0.51 km<sup>2</sup>，佔此類別的7.72%，而在東沙島西方海域之區塊，研判為雲朵並非2008年新增之基質。只出現在2004年的區域，分佈於東沙島陸域與呈弧形狀分佈於大環礁邊北方延伸至南方區域。其面積為6.06km<sup>2</sup>，佔此類別的92.13%，顯示該等區域2004年分佈於該等區域之沙灘及陸域之物質與海底礁岩等海底基質，於2008年時已不存在。研判此類別可能屬潮間帶位置，於低潮時會出現在水面上，但高潮時則被淹沒在水面下(如表1)。

Class 21 為沙及海草床。2004年該類別面積為10.1km<sup>2</sup>，佔整幅影像的1.64%，2008年該類別面積為7.12km<sup>2</sup>，佔整幅影像的1.16%。此類別出現在2004年

和2008年的區域，主要分佈於大環礁內西北方(東沙島之東北方)與西南方(東沙島之南方)等區域。其面積為3.8km<sup>2</sup>，佔此類別的28.36%。此類別只出現在2008年的區域，大多分佈於大環礁內西北方(東沙島之東北方)與西南方(東沙島之南方)區域。其面積為3.32km<sup>2</sup>，佔此類別的24.73%。只在2004年出現此類別的區域則呈弧形狀分佈於大環礁內東南方延伸至西南方區域，其面積為6.29km<sup>2</sup>，佔此類別的46.91%。顯示該等區域2004年分佈於該等區域之沙及海草床等海底基質，於2008年時已不存在(如表1)。

從以上討論發現，除了東沙島陸域區域之水泥建築物、機場跑道、水泥道路等無變化外，大環礁外沿及環礁內西南區的珊瑚及珊瑚殘骸，和東沙島周圍與北方及東北方環礁的海草在這2個時期都存在。然而在這4年間的海底基質仍有許多變化，從2004年與2008年之衛星分類圖中顯示各類別面積互有增減，出現位置亦有所變化。整體看來，於大環礁內海域之第3、4、5、7、8、10、11、14及16類，在2008年的面積較2004年為大，顯示這些類別佔有面積較2004年為多。而這些類別除了沙與礁岩外，其共同特性是具有生命力的珊瑚或海草，這項結果與鄭等(2008)的研究發現東沙環礁的珊瑚群聚已逐漸復原結論相同。

反之，於大環礁上及環礁兩測，尤其是呈弧形分佈於大環礁內自東北方延伸至南方區域之沙、珊瑚殘骸與礁岩等，與大環礁中央、東方及西北方及東沙島南方等區域之珊瑚、珊瑚殘骸及礁岩等海底基質，於紅色及綠色區塊均未出現，顯示各該等區域曾於2004年存在之基質至2008年時已消失不在。另於東沙島陸域中之植被，顯示有部分原2004年東沙島陸域植被，至2008年時業已消失，其可能發生之原因如前述由颱風侵襲所造成。

本研究另外發現衛星拍攝照片時間與當時環境之潮汐有相當關聯性，據資料顯示2004年當福衛二號衛星拍攝照片時，東沙環礁海域為低潮位，而2008年福衛二號衛星拍攝照片時，東沙環礁海域卻逢高潮位，兩時期潮高相差96cm，某些淺海域之海底基質，對於衛星光譜反應亦會有相當程度之差異，例如 Class 19位於東沙島西方潟湖口海域之淺礁，於2004年時可清楚顯現分佈情形，但於2008年時便已消失未現。

## 六、結論

本研究為了瞭解東沙環礁內海域的海底基質隨時間變化情形，將2004年與2008年2幅衛星資料的分類結果進行比對後顯示，除了東沙島陸域區域之水泥建築物、機場跑道、水泥道路等無變化外，大環礁外沿及環礁內西南區的珊瑚及珊瑚殘骸，和東沙島周圍與北方與東北方環礁的海草在這2個時間都存在。整體看來在研究期間內，2008年於大環礁內海域之各類海底基質分佈與擴張情形除了礁岩外，其他具有生命力的珊瑚或海草等海底基質普遍較2004年為廣泛，此情況與

鄭等(2008)的研究發現東沙環礁的珊瑚群聚已逐漸復原結論相同。

顯示海巡署海洋總局東沙分隊執行東沙環礁海域生態維護任務，及海管處委託之各學術研究單位進行東沙環礁珊瑚保育及復育等工作，皆已具初步成效。故2008年東沙環礁內海域之珊瑚及海草床等類海底基質生態分佈與擴張情形均較2004年為之豐富與活躍。

## 參考文獻

- 王玉懷、蕭一鵬、蔡雅如、林育如、戴昌鳳(2008)，東沙內環礁海域海流、水深與棲地調查，海洋國家公園管理處，224頁。
- 李培芬、柯佳吟(2006)，東沙環礁國家公園生態解說手冊，海洋國家公園管理處，183頁。
- 陳添水(2003)，應用遙測於濁水溪口海岸地區土地覆蓋變遷分析，特有生物研究，第五期，第二卷，第61-72頁。
- 鄭明修、戴昌鳳、陳正平、王瑋龍、孟培傑(2008)，東沙海域珊瑚礁生態資源調查與監測(二)，海洋國家公園管理處，第51頁。
- Barcza, Z., A. Kern, L. Haszpra and N. Kljun (2009), Spatial representativeness of tall tower eddy covariance measurements using remote sensing and footprint analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(5): 795-807.
- Hoover, C. M.(2008), Integrating Field Measurements with Flux Tower and Remote Sensing Data, *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring: A Landscape-Scale Approach*, pp: 207-225.
- Manzello, D., M. Warner, E. Stabenau, J. Hendee, M. Lesser and M. Jankulak (2009), Remote monitoring of chlorophyll fluorescence in two reef corals during the 2005 bleaching event at Lee Stocking Island, Bahamas. *Coral Reefs*, 28(1): 209-214.
- Miller, R. B and C. Small (2003), Cities from space: potential applications of remote sensing in urban environmental research and policy. *Environmental Science & Policy*, 6(2): 129-137.
- Thompson, J. R. and R. J. Flower (2009), Environmental science and management of coastal lagoons in the Southern Mediterranean Region: key issues revealed by the MELMARINA Project. *Hydrobiologia*, 622: 221-232