

## 找礁、藻礁、找藻礁

### 摘要

文・圖／王士偉

礁是由生物原地生長作用所形成的地形構造，藻礁則是以殼狀珊瑚藻為主體所建造的礁體。與其他造礁生物相比較，殼狀珊瑚藻的生長與其鈣質藻體的累積速率都很低，因此，藻礁的建造即表示過去較為嚴苛的環境。從野外長期調查結果，發現在臺灣各地區藻礁的分布，以桃園縣海岸最為廣泛，在這個地區的藻礁主要出露於潮間帶，局部礁體雖為礫石或砂所掩埋，但實地全區觀察則發現藻礁的發育連續，在地理分布上相當寬廣。沿海岸線的礁體南北綿延近 27 公里，並且在海岸沙丘受侵蝕後亦顯露其下有較早時期藻礁的發育。經由地質鑽探結果，顯示桃園海岸的礁體是以「古石門沖積扇」的礫岩為最初發育基底，並且大部分礁體的初期發育，以對陸源沉積物耐受性較高的石珊瑚為主要造礁生物，後期則以珊瑚藻為主。再從岩心中挑選珊瑚骨骼樣本，進行放射性定年分析的結果，顯示桃園海岸生物礁最早的發育時間大約是在 7500BP，另在大約 4400 BP 以後殼狀珊瑚藻逐漸成為礁體的主要建造者，這顯示古環境發生了某種改變。由於早期發育礁體中的珊瑚組成均為較能耐受沉積物的種屬，後期的轉變現象，是否為陸源沉積物供應量增加的結果，仍有待持續探討。

關鍵詞：藻礁、殼狀珊瑚藻、生物礁、全新世、桃園、古石門沖積扇

## 找礁

1997年10月15日的午後，依照潮汐預報資料，帶著 1/25,000 地形圖，還有一本全新的野外筆記，與指導教授從臺北前往桃園縣觀音鄉大潭村的附近海岸看生物礁；車子沿北二高南下，接臺 15 線省道，然後在 49.5Km 路標前右轉；由於時間有限，當下決定就從大潭海岸北端的塘尾開始這天的工作。

這是極不尋常的野外觀察，因為很多資料裡都記載臺灣西部大多為沙岸、泥灘，或者礫灘，怎麼會有生物礁？

那天，一同站在塘尾的海岸沙丘上，就看見大片礁岩的出露，在垂直海岸方向向海延伸至少有 200m，並且出露礁岩有類似在恆春半島所見緣礁（或稱裙礁 fringing reef）的脊—槽(spurs and grooves)地貌發育，在槽溝較高處則有紫紅色的珊瑚藻生長，並且在退潮出露的礁岩表面上隨處可見黑色的細砂。在當時的野外筆記本裡簡單記載著，這裡有類似東北海岸所見現生的寶螺、芋螺等貝類死殼；還有一些石珊瑚骨骼的碎塊，但未見活的石珊瑚。

真的是礁！而且是主要由珊瑚藻類所建造而成多孔隙的藻礁，突然有種終於得見國外文獻中所謂藻礁的感動。但很可惜地，此處礁岩的最底部都沒有出露，無從得知礁體的發育基底、生物礁厚度，以及生物礁發育歷程中的生物組成改變。離去前裝了一小袋沙，回學校後在顯微鏡下看到了有孔蟲、苔蘚蟲、軟珊瑚骨針，還有翼足類殼體等生物碎屑。真是特別的一天。

第二次的野外觀察還是得配合潮汐預報，時間選在 1997 年 11 月 20 日的早上，地點則是小飯壠溪出海口以南的海岸。這天的礁體觀察結果與第一次所見略同，但是卻看到塑膠筷、磁碗、養樂多瓶，以及某牌飲料玻璃瓶與鐵罐，被紫紅色的珊瑚藻表覆生長而固定在礁岩表面，雖然還是沒能看到活的石珊瑚，但是礁岩槽溝的砂裡有活文蛤，潮池水裡還有日本對蝦（俗稱斑節蝦），真是奇特的景觀。

由於之後還是很是好奇，就這樣一直至隔年的 6 月底止，從淡水河以南直至新竹新豐海岸、北海岸，以及恆春半島沿岸，開始了到處找礁的工作，然後也斷斷續續地「找」到現在；不過，當時對藻礁的調查，其實與進行中的論文題目無關，純粹只是好奇，而當時所用的筆記本成為十年後重啟調查的基礎；另外，當年第一次觀察藻礁的地點，已在多年前蓋了海堤與水泥圍堤。

## 藻礁

「礁」(reef) (註 1)，在地質學領域中，一般是指「生物礁」(biotic reefs)，就是由生物原地生長作用所建造的地形構造。在新生代地層記錄裡的藻礁，則是指以殼狀珊瑚藻（註 2）為主體所建造而成的礁體。

在熱帶海域的生物礁中，殼狀珊瑚藻提供大量的生物碎屑(Adey & Macintyre, 1973)，同時因為鈣化藻體表覆生長粘結的特性，所以在新生代生物礁的發育歷程中，殼狀珊瑚藻也是穩定底質與形成強固礁體架構極為重要的生物類別(Scoffin,

1992)。

根據對造礁生物的研究，在造礁石珊瑚類生長較差的潮間帶和較深水域（約 50 m 以下），殼狀珊瑚藻經常成爲主要的造礁生物(Minnery, *et al.*, 1985)；此外，由於無節珊瑚藻表可耐受持續高能量水流或波浪的衝擊(Bosence, 1983)，因此在生態條件嚴苛的環境中，往往只有殼狀珊瑚藻能夠生長而形成藻礁。

然而，就過去對加勒比海美屬維京群島殼狀珊瑚藻的研究結果(Adey & Vassar, 1975)，顯示即使在去除生物啃食作用的情況下，藻體的生長速率其實很慢，厚度增長速率僅有 1~5.2 mm/年，側向表覆生長率則爲 0.9~2.3 mm/月。如果，再加上礁體發育期間的生物侵蝕作用、暴風與海浪的物理破壞作用、海水對碳酸鈣的溶蝕作用、陸源沉積物覆蓋，以及各種成岩作用等等因素，藻礁的生長或積累速率應該更小於這個觀測結果。與其他造礁生物相比較，殼狀珊瑚藻的生長與鈣質藻體的累積速率都很低；所以，藻礁的建造即顯示過去較爲嚴苛的環境。

目前所知現生的藻礁，主要位於太平洋中部海域各個小島的環礁(Emery *et al.*, 1954)，與加勒比海各小島的向風面海岸(Adey, 1975；Glynn, 1973)；在這些地方，藻礁大多形成可抗浪的藻脊 (algal ridges)地形。但在挪威靠近極區的淺海中(Freiwald & Henrich, 1994)，以及在地中海突尼西亞(Tunisia)高鹽度的潟湖中（夏季：45~51‰；冬季：41~45‰）(Thornton *et al.*, 1978)，也都有由殼狀珊瑚藻所形成的大規模現生藻礁；甚至，在中南美洲東西兩岸(Schlanger & Johnson, 1969)、加勒比海各小島及澳洲等地海域的外大陸棚與大陸斜坡上部的深海底，也有厚達 1~5 m 的藻礁發育(Adey & Burke, 1976; Milliman, 1974)。

值得注意的是，曾經有學者透過地質鑽探採樣研究，發現有些早先被認定是典型加勒比海藻礁的礁體，其實只是殼狀珊瑚藻表覆生長在早先形成的暴風堆積物上，例如，在巴拿馬 San Blas 群島中 Holandés Cays 島海岸的藻礁(Macintyre, *et al.*, 2001)，現今在外表上雖然看來是主要由殼狀珊瑚藻所形成的礁，其實「礁的本體」只是距今 2000~2800 年前由暴風浪所造成的珊瑚碎塊堆積，這個「礁體」還是被海洋成岩作用產生的鎂方解石泥晶(micritic submarine Mg-calcite cement)所膠結（並非珊瑚藻），後來才有現今所見殼狀珊瑚藻的表覆生長。並且也由於廣泛生物侵蝕作用的影響，在暴風堆積後的「礁體」其實並沒什麼增長。所以，對「生物礁」而言，眼見並不足爲憑。

## 找藻礁

累積過去野外長期調查的結果，發現在臺灣各地區的藻礁地理分布，除了桃園海岸外，另有臺北縣石門、三芝鄉與淡水鎮海岸，以及恆春半島的局部海岸；其中，尤以桃園縣海岸礁灰岩的分布範圍最爲廣泛。但由於還是沒能觀察到桃園海岸礁岩的最底部，與其完整的礁灰岩垂直層序，還是無法進行後續的系統化採樣與相關研究。另外，對於這些「藻礁」是否真的由殼狀珊瑚藻爲主體所形成的生物礁，也一直無法作最後確認。

2007 年，由於一個特殊的機緣，得以重啓桃園海岸藻礁延宕已久的研究，

對此投入大量的人力與物力（戴昌鳳等，2009）。調查結果，確認「藻礁」主要分布於桃園大園至新屋鄉間的潮間帶；在地理分布位置上，相當於所謂「古石門沖積扇」的向海側邊緣，並且在幾條主要河川出海河道、海岸沙丘下方，以及近海岸漁塹開挖面，也都可見到較早時期藻礁的發育。本區礁體沿海岸線南北綿延分布近 27 公里，垂直海岸最寬處可達 450 公尺，藻礁的發育顯得相當廣泛而連續。不過，由於這個地區每月的最大潮差超過 4 公尺，加上有些地方的礁體出露平臺地勢較低，並且局部礁體表面為礫石或砂所掩埋，如果不是在冬季最低潮期間的實際調查（圖 1），實難窺其全貌，這也難怪過去桃園海岸會被認為是砂岸與礫灘了。



圖 1. 桃園縣觀音鄉保障村海岸，潮間帶中部藻礁在冬季的出露情況（拍攝日期 2008-01-24）。

2008 年，再經由 26 處藻礁地質鑽探（圖 2~4）結果，顯示桃園海岸的礁體確實是由珊瑚藻與石珊瑚類，以「古石門沖積扇」的礫岩（圖 5）為最初發育基底，所形成的多孔隙生物礁，礁體最大厚度超過 6 公尺。從岩心標本的觀察結果（圖 6），顯示大部分礁體的初期發育，是以對陸源沉積物耐受性較高的石珊瑚為主要造礁生物，後期則以珊瑚藻為主。由於各地礁體最初發育基底均為礫岩，礁體中目前未見礫石沉積，亦無灘岩、牡蠣、藤壺、泥炭等可表示古海水面的現象與沉積物，顯示礁體的發育過程，可能都是處於地體構造較為穩定的狀態，並且在礁體發育期間海水面的相對變化幅度不大。

從岩心中挑選珊瑚骨骼樣本，進行碳十四放射性定年分析的結果，顯示桃園海岸生物礁最早的發育時間大約是在 7500 BP（註 3），另在大約 4400 BP 以後殼狀珊瑚藻逐漸成為礁體的主要建造者（戴昌鳳等，2009）。再根據鑽探結果，生物礁的開始發育，是在古石門沖積扇最後一期沉積的礫岩之後，礫岩層中並沒有任何礁體或造礁生物，顯示礁體的發育很可能與古海面相對快速上升(Cronin,

*et al.*, 2007)有關。至於造礁生物主要組成改變的現象，由於早期發育礁體中的石珊瑚組成均為較能耐受沉積物的種屬，此一轉變很可能是陸源沉積物供應量增加的結果，但仍有待後續相關同位素地球化學的探討。



圖 2. 桃園縣大園鄉內海村海岸，潮間帶藻礁深鑽孔搭架工作情況，內嵌小圖拍攝於開始漲潮期間。



圖 3. 圖 2 地點深鑽完成後，於退潮期間之孔位（位於紅色標桿左側）拍照。



圖 4. 桃園縣觀音鄉觀音溪出海口南側潮間帶，夜間藻礁淺孔鑽探作業。



圖 5. 桃園縣觀音鄉大堀溪出海口南側潮間帶深鑽孔作業，剛從岩心管取出的古石門沖積扇礫岩岩心，圖中 1 公尺深度的岩心鑽探需 4 小時。





圖 6. 桃園縣觀音鄉潮音海岸潮間帶淺鑽孔岩心，礁體厚度 6.2 公尺。黃箭頭 1 指示礁體主要組成生物改變位置；黃箭頭 2 指示礁體發育基底位置。

#### 附註

1. 請參見本館館訊第 251 期第五版「Reef『礁』—概說」(民國 97 年 10 月刊行)(王士偉, 2008)。
2. 請參見本館館訊第 159 期第六版「不是珊瑚—是藻」(民國 90 年 2 月刊行)(李曼玲, 2001)。
3. BP (= before present, 「距今計年」), 國際通常是以 1950 年為起算零年。

#### 參考文獻

- 王士偉, 2008。Reef「礁」—概說。國立自然科學博物館館訊, <http://web2.nmns.edu.tw/PubLib/NewsLetter/97/251/5.pdf>。
- 李曼玲, 2001。不是珊瑚—是藻。國立自然科學博物館館訊 <http://web2.nmns.edu.tw/PubLib/NewsLetter/90/159/06.htm>
- 戴昌鳳、王士偉、張睿昇, 2009。桃園觀音藻礁生態解說手冊。臺中：臺灣中油股份有限公司液化天然氣工程處。
- Adey, W. H., 1975. The algal ridges and coral reefs of ST. Croix. *Atoll research Bulletin*, No. 187.
- Adey, W. H. and Burke, R., 1976. Holocene bioherms (algal ridges and bank-barrier reefs) of the eastern Caribbean. *Geological Society of America Bulletin*, 87: 95-109.
- Adey, W. H. and Macintyre, I. G., 1973. Crustose coralline algae: a re-evaluation in the geological sciences. *Geological Society of America Bulletin*, 84: 883-904.
- Adey, W. H. and Vassar, J. M., 1975. Colonization, succession and growth rates of tropical crustose corallinealgae (Rhodophyta, Cryptonemiale). *Phycologia*, 14: 55-69.

- Bosence, D. W. J., 1983. Coralline algal reef frameworks. *Journal of the Geological Society* (London), 140: 365-376.
- Cronin, T. M., Vogt, P. R., Willard, D. A., Thunell, R., Halka, J., Berke, M. and Pohlman, J., 2007. Rapid sea level rise and ice sheet response to 8,200-year climate event. *Geophysical Research Letter*, Vol. 34, L20603, doi:10.1029/2007GL031318, 2007.
- Emery, K., Tracey, J. and Ladd, H., 1954. Geology of Bikini and nearby atolls. I. Geology. *United States Geological Survey Professional Paper*, 260-A.
- Freiwald, A. & Henrich, R., 1994. Reefal coralline algae build-ups within the Arctic Circle: morphology and sedimentary dynamics under extreme environmental seasonality. *Sedimentology*, 41: 963-984.
- Glynn, P., 1973. Aspects of the ecology of coral reefs in the western Atlantic region. In: Jones, O. & Endean, R. (eds.), *Biology and geology of coral reefs*, pp. 271-324. New York: Academic Press.
- Macintyre, I. G., Glynn, P. W. and Steneck, R. S., 2001. A classic Caribbean algal ridge, Holandés Cays, Panamá: an algal coated storm deposit. *Coral Reefs*, 20: 95-105.
- Milliman, J. D., 1974. *Marine carbonates*. Springer-Verlag.
- Minnery, G. A., Rezak, R. and Bright, T. J., 1985. Depth zonation and growth form of crustose coralline algae: Flower Garden Banks, northwestern Gulf of Mexico. In: Toomey, D. F. & Nitecki, M. (eds.), *Paleoalgology: Contemporary research and applications*. Springer-Verlag, p.237-246.
- Schlanger, S. O. & Johnson, C. J., 1969. Algal bank near La Paz, Baja California-modern analogues of source areas of transported shallow-water fossils in Pre-Alpine Flysch deposits. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 6: 141-157.
- Scoffin, T. D., 1992. Taphonomy of coral reefs: a review. *Coral Reefs*, 11: 57-77.
- Thornton, S. E., Pilkey, O. H. and Lynts, G. W., 1978. A lagoonal crustose coralline algal micro-ridge: Bahiret El Bibane, Tunisia. *Journal of Sedimentary Petrology*, 48(3): 743-750.

## 誌謝

在長期的找礁、採樣與研究過程，感謝許多公部門、民間團體、學術界前輩同行與同學，以及博物館同事們的幫忙。