

海底地殼裡 令人想像不到的

深層生物圈

文 / 郭傑民 | 國立海洋生物博物館
企劃研究組 副研究員

當我們想到海底，心裡總有一幅類似的圖畫—海床上鋪著軟軟的沈積物，並有一些底棲動物在上面爬來爬去。但實際上，在海底沈積物之下則是厚達數公里深度的海洋地殼（oceanic crust），主要由玄武岩等岩石構成。由於海洋的面積約佔了地球的百分之七十，海底海床之下，有沒有可能存在一個體積龐大的潛在生態系呢？如果有生物生存於此，這些生物難道要靠吃岩石維生嗎？

美國喬治亞大學海洋微生物學家 Dr. Whitman 等人，於1998年一篇估計全球微生物數量的文章中，首次提出了令人驚訝的數據—海底海床之下的玄武岩裡的微生物數量竟有 3.6×10^{30} 個，這大約相當於百分之三十地球上所有的生物的總質量，儘管這個數據在2014年被 Parkers 等人修正為原來的

▼海床下之地質構造（陳冠廷繪圖）





▲使用柱狀採樣器採集海底沈積物以研究海底深層生物圈。(黃永森攝)

15% (5.4×10^{29})，但海洋地殼裡有大量微生物已受到科學家注意，因為如此龐大的微生物量一定與全球的生化循環 (biogeochemical cycle) (註1) 有關，故有人稱此為「深層生物圈 (deep biosphere)」。

「深層生物圈」通常定義為海床底下1公尺至幾百公尺的海底底層深處的範圍，有些微生物甚至被發現可生存在海底2.5公里處，大部份在此處的微生物都是靠海底沈積物經由擴散或是慢慢被埋入岩層中維生，而這些海底沈積物有可能已存在數百萬年之久。為了研究深層生物圈，國際間組織了幾個大型的鑽探計畫ODP (Ocean Drilling Program) 與IODP (International Ocean Discovery Program) 進行海洋地殼鑽探研究，也獲得了不少重要的結果，使我們對深層生物圈有更進一步的瞭解。

目前已知深層生物圈裡有著多樣的微生物，包括細菌、古菌、真核微生物與病毒等，其微生物密度約介於每立方公分 10^6 - 10^{10} 個，與其所在水域的海底沈積物多寡有關，而深度越深則沈積物越少也導致微生物密度越小，但若與其上方的海洋每毫升海水所含微生物數 (平均約每立方公分 10^5 個) 相比，很明顯大部份海底底層微生物密度大於其上面的海水2-3個數量級 (10^2 - 10^3 倍)。如此大量的深層生物圈微生物，想必會耗費不少能量以維持代謝，但分析顯示所有的深層生物圈微生物僅用了約1%上方海洋藻類所固定下的碳源，因此科學家認為這些微生物的生長應該極為緩慢，其世代時間與其深度有關，一般來說海底1公尺處微生物的世代時間 (generation time，生物數量增加一倍所需的時間，以人來說約30年) 約100年，而海底40公尺處微生物的世代時間約2000年。這些微生物為了適應海底底層的生活，已經演化出極有效率的營養鹽使用與傳輸方式，所以即便在如此高壓與高溫的惡劣環境下，其數量也呈現極為緩慢的增加，這或可解釋它們的數量為何如此龐大的原因—經由數百萬或數千萬年的累積。

註1. 在地球科學裡，化學物質可經由生物或非生物作用，在生物圈與非生物圈(如大氣圈、土壤圈或海洋圈等)中重複循環使用。

參考文獻

1. Jorgensen, B.B.; Marshall, I.P.G.; 2016. Slow Microbial Life in the Seabed. Annual Review of Marine Science, 8, 311-332.
2. Whitman, W.B.; Coleman, D.C.; Wiebe, W.J.; 1998. Prokaryotes: The unseen majority. Proceedings of the National Academy of Sciences, 95, 6578-6583.