

孕育中的 龜山海底火山

■ 李昭興

龜山島熱液噴泉

是一個很特別的自然景觀，
它有熱液循環的地質現象，
有海水與火山岩交換離子
的化學作用，
更有生物共生的生態環境。

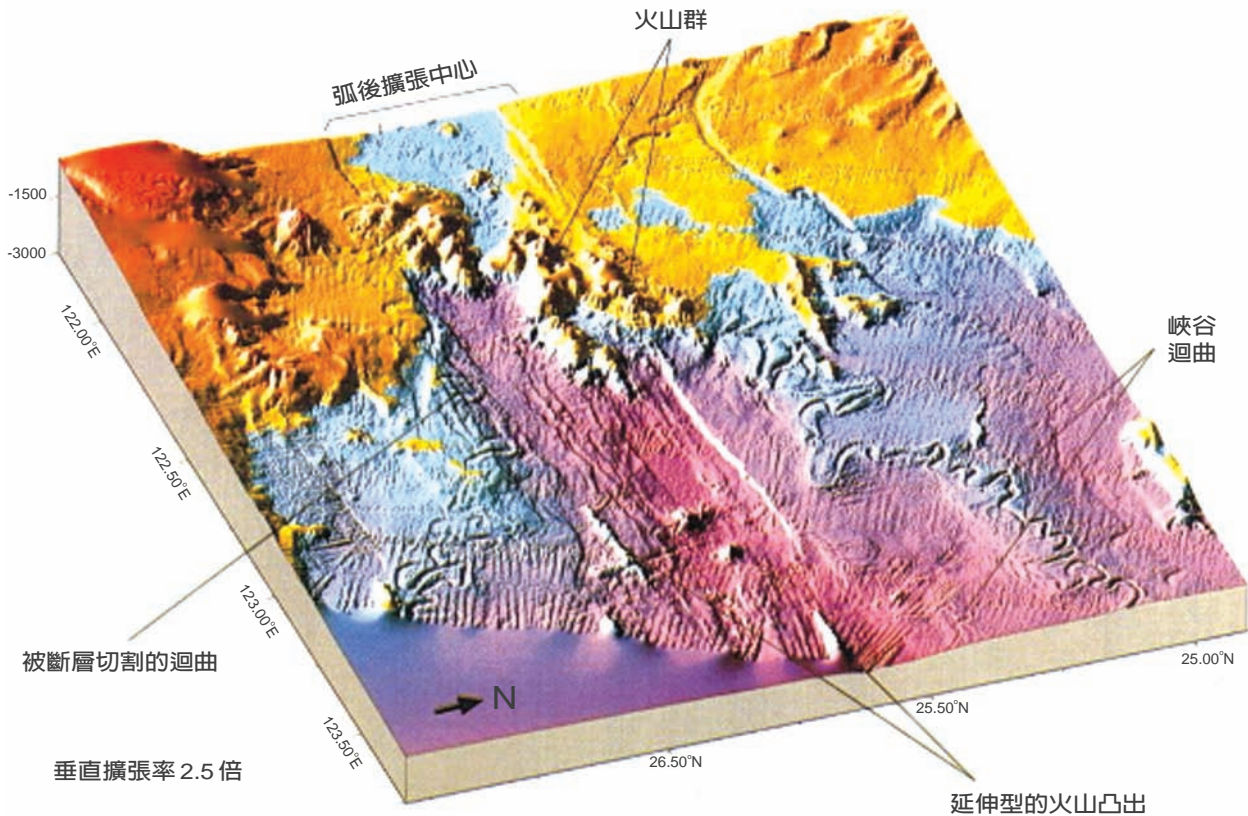
海底火山的由來

在人類一萬年的歷史洪流中曾經噴發過，或底部仍然與岩漿庫有連通的火山，都可歸類為活火山。許多科學證據都顯示，宜蘭龜山島及其東方海域的海底火山兼具這兩種特性，應可以把它們歸類為活火山。

台灣東北海域就是沖繩海槽，它使琉球島弧後方張裂形成一個海盆。雖然面積不大，但區內地震頻繁，地熱流很高，海底地形複雜，火山林立，是一個難得的地球科學天然實驗場。

龜山島周圍 60 海里內至少有 70 座火山，其中十幾座屬於活躍型的火山，而龜山島是唯一露出水面的。宜蘭平原地下也有潛伏的火山岩體，提供陸上溫泉的熱源。透過高音頻的水下聲納系統，可以探測出海底火山的外貌。第 2 號的火山座落於水深 1 千 5

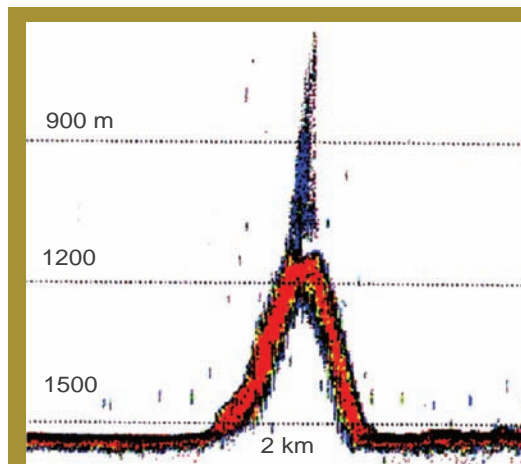
龜山島東方的海底火山立體地形



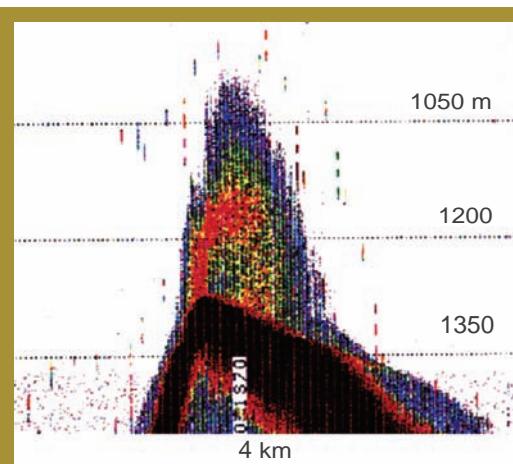
百公尺處，體積與龜山島相近：底座約2公里，高度400公尺，火山口的噴煙有400公尺高，景象壯觀。

至於位於南沖繩海槽中心地帶的第4號火山，可能是區域內最活躍的。在大約500

×500平方公尺的一區海床上，日本「深潛6500」潛水艇觀測到約100根的柱狀「煙囪」。在熱液循環的環境中，熱水把岩漿中的重金屬和硫化物帶出海床的表層，堆積成柱狀，熱液持續噴出，類似「煙囪」。透

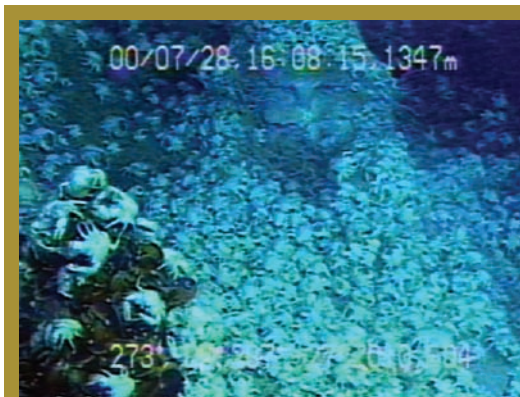


第2號海底火山的聲納影像



第4號海底火山的聲納影像

台灣東北海域就是沖繩海槽，它使琉球島弧後方張裂形成一個海盆。雖然面積不大，但區內地震頻繁，地熱流很高，海底地形複雜，火山林立，是一個難得的地球科學天然實驗場。



海底熱液「煙囪」爬滿了深海螃蟹。



「煙囪」附近深海蛤密集的情景。

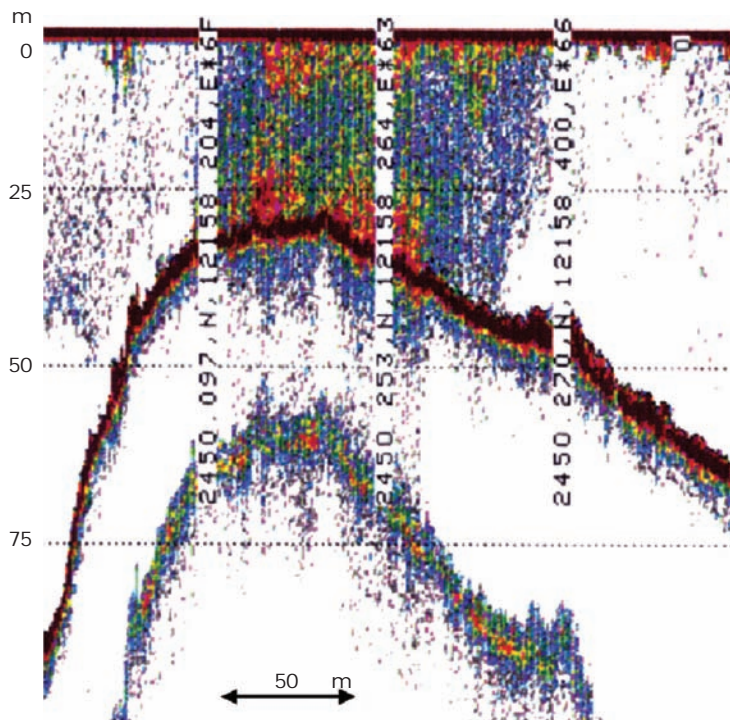
過潛水艇的圓形窗戶看出去，火山口到處都是「煙囪」，高度介於1至10公尺。再把鏡頭拉近一些，赫然發現每根柱子上都爬滿了密密麻麻的深海螃蟹及深海蛤。這是研究人員在龜山島以東50海里，水深一千多公尺處的第5號海底火山所觀測到的奇異現象。

經潛水艇的儀器測量，「煙囪」出口處的海水溫度高達攝氏170度，熱液的pH值是4.5，屬酸性。深海螃蟹及蛤都依靠嗜熱

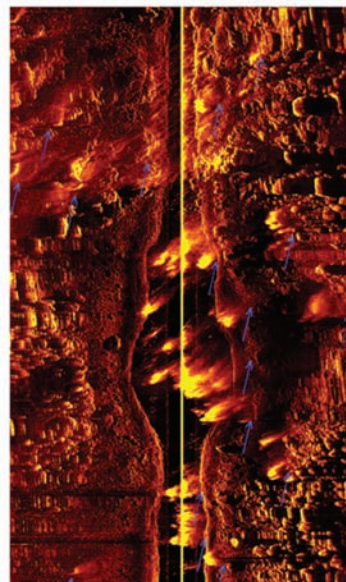
且具化學合成作用的細菌來分解硫化物，並生成碳氫化合物以供食用，形成一個與光合作用截然不同的生態系統。地球上最早的生命是否在這樣的環境中起源，是近年來科學家爭論的熱門話題。

龜山島的淺海熱泉

龜山島是海底火山群的延續。在龜首有多處淺海熱泉，終年可見乳白的熱泉和氣泡從海底湧出，在海上形成一大片白紗



龜山島淺海熱泉的聲納影像



50 m

龜山島淺海熱泉的側掃聲納影像

狀，隨著海流漂移，還夾帶著刺鼻的硫磺氣味。這是龜山島周圍很特殊的火山熱泉活動景象。

火山一般會有明顯的噴口，龜山島的火山口卻模糊不清。主要原因是台灣附近的火山，不像日本的富士山或南美洲的火山有穩定岩漿庫及固定火山口。龜山島的火山呈跳躍式的噴發，因此火山口不容易追蹤，體積也相對較小。唯一具火山口形貌的是龜頸背後的一個內陸湖。在龜甲北方 0.5 海里，有一高處，最淺只有 15 公尺深，可能也是火山口。

龜山島的火山特性大部分都顯示在水下，高頻水下聲納資料能清楚地描繪出海底地形和水中的異狀。龜首東方海域有一密集的熱液噴泉區域，熱泉口位在水下 30 公尺的高處，硫磺熱泉、蒸氣和氣泡如萬馬奔馳地往上噴出。根據海洋大學和中山大學以高頻水下聲納探測器、側掃聲納和水肺潛水的觀測結果顯示：龜首前方水深介於 10 至 80 公尺之間的海域，至少有五十多處熱液噴泉。

由側掃聲納影像可看到龜山島東部海域熱泉區兩側海床的構造，熱泉向上噴出的情景在影像中呈現出閃亮的光團，如同夜間煙火齊放。熱泉口的附近瀰漫著煙氣和氣泡，

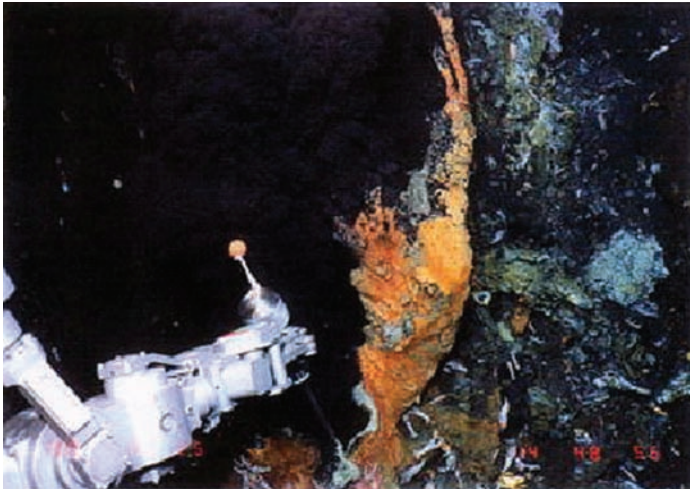


龜山島淺海熱泉的水中攝影

圖上來源：宋永銘

噴泉聲響隆隆震耳，彷彿是地球的心臟在跳動。熱液的溫度介於攝氏 45 至 60 度之間，愈往噴口內部溫度愈高，最高可達攝氏 126 度。但因為海水的迅速稀釋，所以不會對潛水人員造成傷害。

根據水下照相，這些熱泉噴口周圍有硫磺集結的現象。研究人員曾採集水中的氣泡進行氫氣同位素的分析，結果顯示：龜山島下的岩漿庫位於地殼深部，熱液含有大量的還原氣體，如甲烷、氫、硫化氫等，和濃度極高的金屬離子，如錳、鋅、



圖片來源：日本海洋科技中心

深海熱泉的水中攝影

銅、鐵等。根據這些來推論，龜山島的熱液噴泉應該也具有這種特性。惟目前的研究尚屬開始的階段，需要更多的資料加以佐證。

在熱泉裡，常常觀測到許多濃煙伴隨氣泡蜂湧而上。噴口大多位在高區，也就是「煙囪」和硫磺堆的上方。但也發現有些熱泉是在斷層線上或洞穴中，可能和活躍的地殼運動有關。

「烏龜怪方蟹」是台灣特有的新種螃蟹，屬於方蟹科，弓蟹亞科，怪方蟹屬。被命名為「怪方蟹」，是因牠的外形與日本的怪方蟹相似，「烏龜」則是取它的頭胸甲背面隆起，長相類似烏龜外殼而得。巧合的是被發現的地點又是在龜山島海域，因此命名為「烏龜怪方蟹」。

這裡的海水混濁且含高濃度具生物毒性的硫化物，海水溫度又略高於周圍非湧泉區，在如此惡劣的環境中，為何「烏龜怪方蟹」可以高密度群集？可能是因為硫化物的毒性或其他環境因素，造成大量漂流至這裡的浮游生物死亡而沉降至底層，成為怪方蟹豐富的食物來源。再加上怪方蟹的競爭物種或捕食者無法在這裡生存，造就了怪方蟹獨霸的棲地環境。至於怪方蟹體內是否有特殊



龜首海底熱泉的優勢生物——烏龜怪方蟹

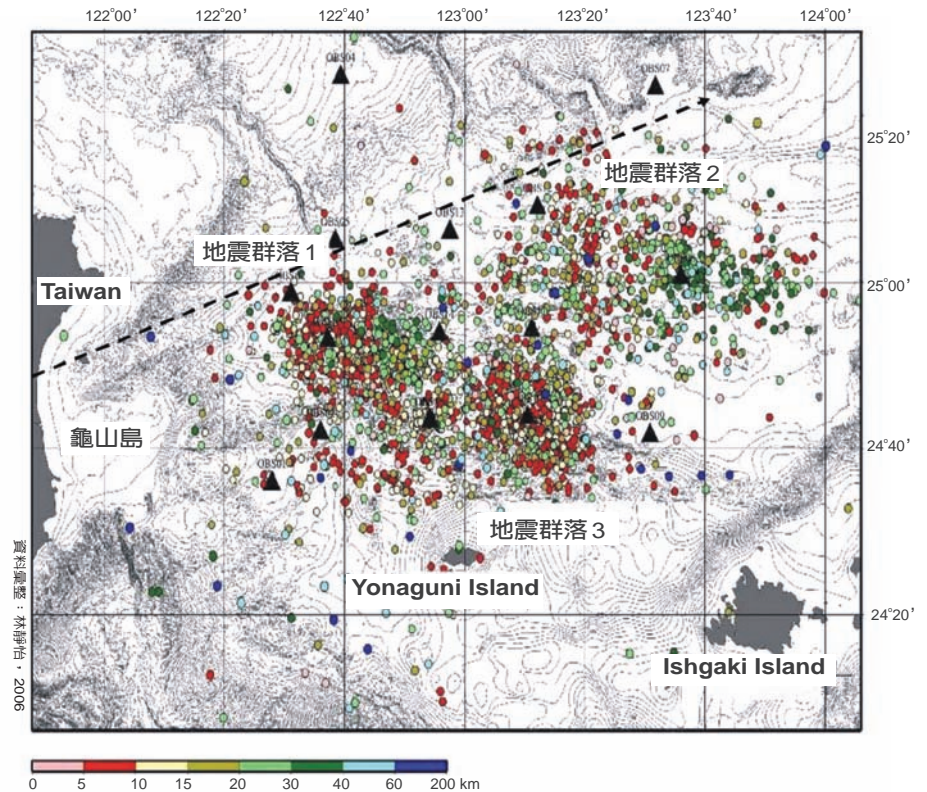
海底熱液噴口周圍出現一個與只進行「光合作用」的生態系統完全不同的生態，被科學家認為是地球最初生命的起源地。

的排硫或解硫機制？體內是否含有硫化菌？對溫度及酸度為何有較大的耐受度？這些疑問都有待進一步研究。

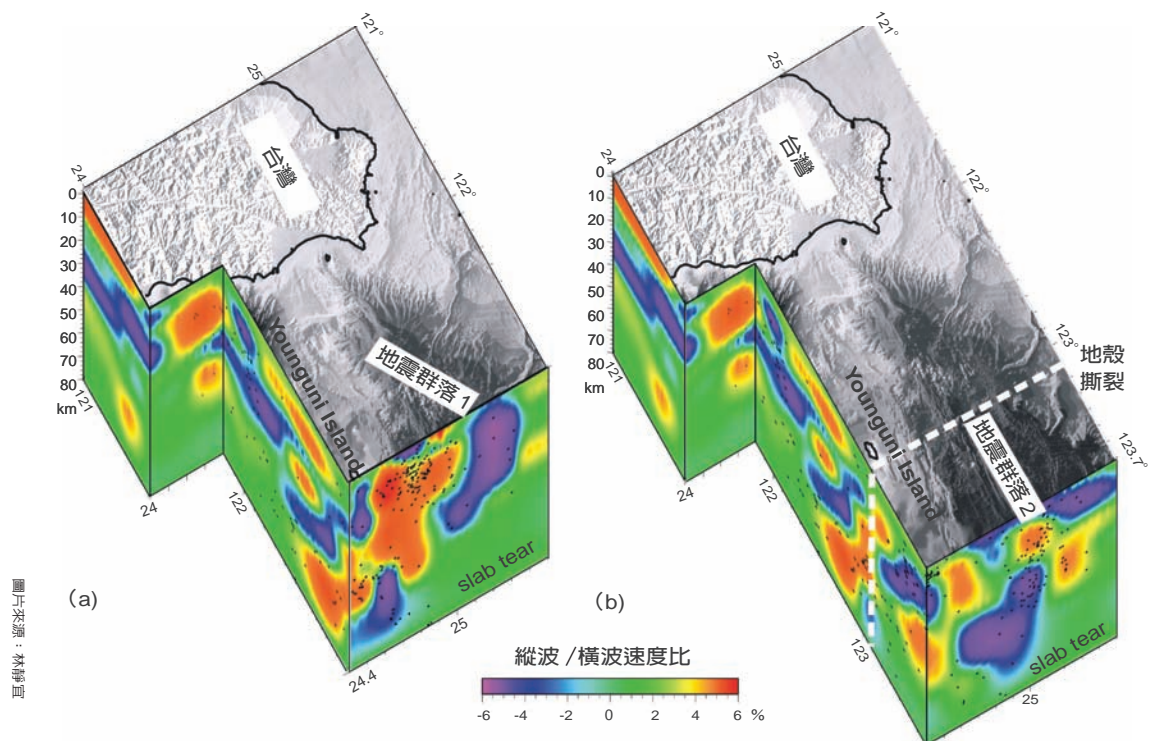
龜山島熱液噴泉處是一種陽光能到達的淺海「光合」作用系統，有別於深海熱泉完全沒有陽光的「化合」作用系統，兩者間有極大的差異，值得深入研究。

世界其他海底熱泉

自從1977年美國潛水艇「Alvin」在東太平洋海底山脊探測到在水溫高達攝氏350度的熱液噴泉中，仍有大批的



2003年11月19日至12月1日，投置15顆法國製的海底地震儀於龜山島以東的外海，共蒐集規模0.9至4的天然地震3,253次的資料。這些微震大部分在地殼淺層，表現出海底火山的特性。



以地震資料推論琉球島弧之下，板塊向北隱沒，岩漿湧升而造成沖繩海槽和龜山島火山的形成。



圖片來源：劉秀美

高倍顯微鏡下的長桿形細菌，大小介於5~10微米。

生物群集在「煙囪」狀的噴水口，人類對於深海環境的認識便完全改觀。接著，法國潛水艇「Nautilus」在大西洋的中洋脊上，以及日本「深海2000」/「深海6500」潛水艇在日本火山島弧、馬里亞納海溝、沖繩海槽和印度洋中洋脊，也相繼發現熱液噴泉。

海底熱液噴口周圍出現一個與只進行「光合作用」的生態系統完全不同的生態，被科學家認為是地球最初生命的起源地。這可能是本世紀最受矚目的生命科學研究之一。

「黑煙囪」湧出大量的鐵、錳、銅、鋅等金屬離子，是海水與火山岩交換離子的重要管道。世界80%以上的金屬礦產，包括金和銀，都是經過這種熱水作用產生的。日本人甚至曾在沖繩海槽的一處熱液噴口發現可觀的金。

到目前為止，全世界海底熱液噴泉周圍發現的生物種類，有些相同，也有很多不同，不過這些生物都是依靠熱液供給的硫化氫和碳氫化合物為主要食物。科學家認為地球

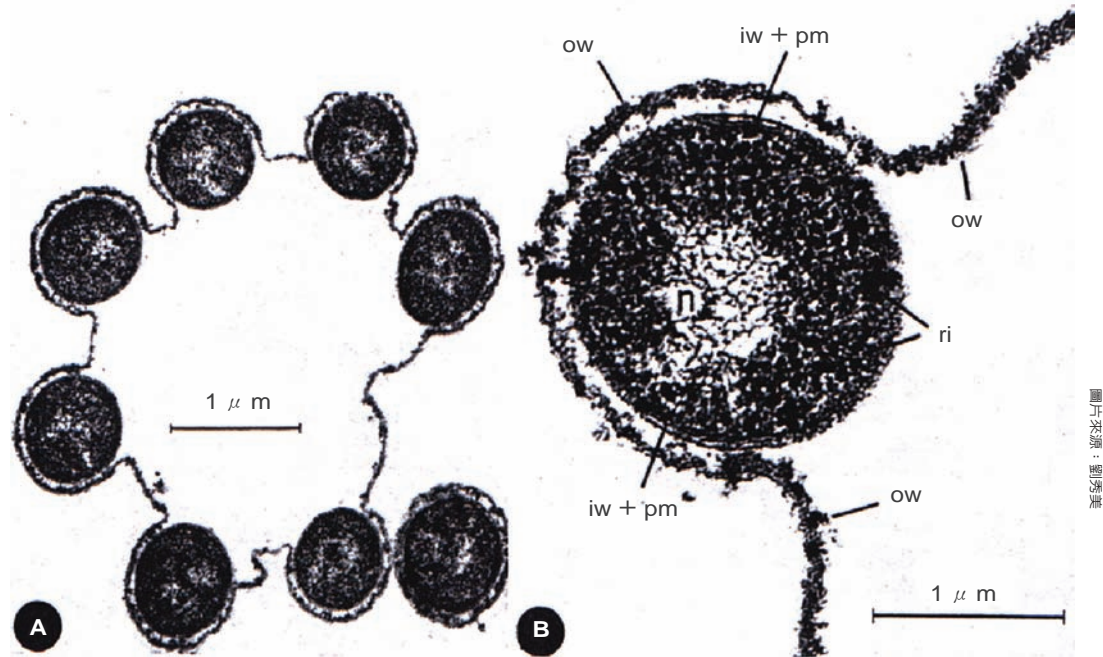
上的生命大約在30億年前誕生於海洋，因為生物細胞的組成和海水非常相近；加上4億年前的古生物都是海洋生物，這些都印證了生命起源於海洋的說法。

活動中的孕育過程

2003年經濟部中央地質調查所曾委託本所進行利用海底地震儀（ocean bottom seismometer, OBS）觀測的研究，在短短的13天中，共蒐集了3,253次規模介於0.9至4.0的微震資料。這些微震數據結合台灣氣象局、日本氣象廳和海底地震儀同時間觀測



從潛水艇取回的熱泉深海蟹



圖片來源：劉秀英

高倍顯微鏡下的扁圓形細菌，大小約1微米。

到的資料，經過反覆處理，才把震源定位出來。因為地震多，手續繁雜，所以相當費時，但所得結果可信度非常高。

這些微震的分布範圍與龜山島斜交的主要構造帶下方，和台灣海洋大學應用地球科學研究所發現的12座活動火山的位置頗為吻合，顯示地震與火山的關係密切。

地震資料是探討海底火山成因很有效的工具。分析的結果發現：來自隱沒帶大約60公里深的岩漿庫，朝沖繩海槽東南底部徐徐向西北上方移動，可能沿著正斷層擴張出來，形成海底火山。如果這些分析是可信的，火山的成因、岩漿庫的洄游和地體構造之間的關係，將可以得到一個良好的解釋。可確定的是，這個目前我國唯一露出水面的活火山與深層岩漿應有連結。

結論

熱泉深海蟹的第1隻是我國在龜山島東方海域一處海底火山附近撈取上來的，從

文獻得知：牠體外多毛，可提供其他生物寄棲。這些寄棲生物能分解火山噴口的硫化氫變成碳氫化合物來供應深海蟹，這種「共生」的生活型態真是奇妙。

熱液噴泉區有嗜熱、嗜壓和嗜鹼的細菌，它的大小介於1~10微米。科學家正在研究這些細菌，預期它們會有廣泛的用途，例如石油分解菌可以分解污染港口的漏油；嗜熱菌可以處理熱分解的問題等。

龜山島熱液噴泉是一個很特別的自然景觀，它有熱液循環的地質現象，有海水與火山岩交換離子的化學作用，更有生物共生的生態環境。對於龜山島及附近眾多火山詳細生成過程及奇特生物的了解，需要更多的地球物理，地球化學與生物學的研究，值得大家關注。 □

李昭興

台灣海洋大學應用地球科學研究所