

# 跟著達爾文， 來趟地質「探索與發現」之旅

A Geological Voyage with Darwin for Discovery and Exploration

梁勝雄 經濟部中央地質調查所

Liang, Shen-Hsiung Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs

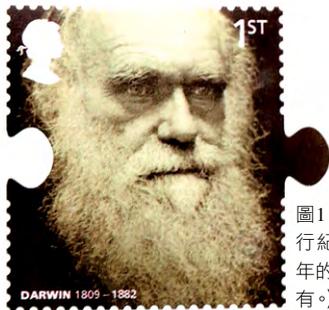


圖1 2009年大英國協發行紀念達爾文誕辰200年的郵票。(作者自行擁有。)

達爾文(Charles Robert Darwin, 1809- 1882)(圖1)，出生於醫生世家，為近代英國知名的博物學家與生物學家。世人普遍聽過他的學說「演化論(theory of evolution)」，或稱「達爾文主義」。學說主要意涵為「所有生物物種為少數共同起源，經長時間的自然選擇後演化而成，藉此解釋生物在發展中逐漸變異的現象，從原始簡單的生物成為複雜的物種」，學說至今仍然持續影響後世。可是他年輕時又是如何呢？

達爾文從小熱衷於書本以外的任何事務，包括標本採集、騎馬狩獵及宴會跑趴等，外人看起來幾乎不務正業。在劍橋大學念書時期，課業總是低於均標，而父親的金援是他唯一收入，可說是典型「尼特族」代表<sup>1</sup>。鮮少人知道達爾文也是一位地質學家，而且研究思維深受萊爾爵士(Sir Charles Lyell, 1797-1875)著述影響，透過野外實地探查，提出證據與理論來支持。達爾文曾自述「如果沒有萊爾的《地質學原理(Principles of Geology)》這本書，就沒有《物種源始(On the Origin of Species)》」。

雖然後人研究達爾文時，認為他的課外活動技能，尤其從小對自然的好奇及標本蒐集的扎實基礎，功不可沒。真正使達爾文由「紈褲子弟」成熟蛻變為「科學大師」的轉捩點是在「小獵犬號(H.M.S. Beagle)」(圖2)上的自然科學研究工作。

## 改變的緣起、「小獵犬號」揚帆啟航

達爾文曾經「妥協」，接受父親的安排，準備成為一位神職人員，但其內心深處卻不這麼想，剛好有一個大好機會降臨。小獵犬號希望招募一名自然科學家，協助大英國協，採集標本，進行各式自然科學調查工作。小獵犬號成軍目標有三，其一、繪製南美洲海岸線；其二、求得精確的經度數值；其三、竭盡可能的收集生物(圖3)與化石(4)標本、地質調查(圖

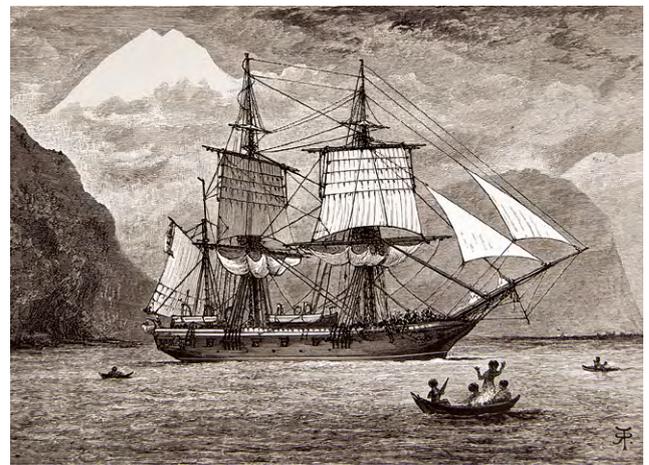


圖2 小獵犬號之素描。摘自達爾文1890年「小獵犬號航海記」再版。(圖片來源：奧克拉荷馬大學圖書館科學歷史典藏《Image courtesy History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries》。網址：<http://hos.ou.edu/galleries/>，2014年12月10日檢索。)

<sup>1</sup>「尼特族」英文為NEET，全稱為Not in Employment, Education or Training，意指「不工作、不教育、不接受就業訓練的年輕人」。

5)等各項基礎自然科學研究工作。基於第三個理由，達爾文以自然科學研究人員身分「自費」上船，探索新的知識。

1831年12月底至1836年10月中，小獵犬號從英國出發，途經維德角群島(Cabo Verde)、南美洲、加拉巴哥群島(Galápagos)、大溪地(Tahiti)、紐西蘭、澳洲、南非好望角(Cabo da Boa Esperança)等地，最終回到英國，耗費五年多的時間，環行世界一周(圖6)。完成環遊世界的航行後，達爾文先後發表《小獵犬號航海記(The Voyage of the Beagle)》、《南美洲地質觀察(Geological Observations on South America)》、《物種源始(On the Origin of Species)》、《人類的由來及性別選擇(The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex)》等眾多知名著作，許多著作翻譯成十多種語言，學說至今仍有相當大的影響力，世人對於達爾文的文字掌握與科學研究的功力深感佩服！

達爾文在小獵犬號的旅程之中，觀察與紀錄到哪些地質現象？就讓我們跟著達爾文，來趟地質「發現」之旅。

## 第一站、維德角群島的火山地質現象

維德角群島(或譯為佛得角群島，Cabo Verde為葡萄牙語)(圖7)，位於非洲西岸外海400-700公里處，由基性火成岩與火山碎屑岩組成的火山島，群島面積總和約4,100平方公里。現今的地質科學家研究認為，此群島為地函熱柱上湧造成的熱點(hot spot)而形成一連串火山島嶼，最早噴發年代距今約180-150萬年前。其中聖地牙哥島(Santiago island)為群島中



圖3 達爾文1890年「小獵犬號航海記」再版中，海鬣蜥(Amblyrhynchus demarillii)的素描。達爾文形容他在加拉巴哥群島見到的海鬣蜥為「擁有不太好看的外表黑色，長2至3英尺，個性感覺懶洋洋的生物」。(圖片來源：奧克拉荷馬大學圖書館科學歷史典藏《Image courtesy History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries》。網址：<http://hos.ou.edu/galleries/>，2014年12月10日檢索。)

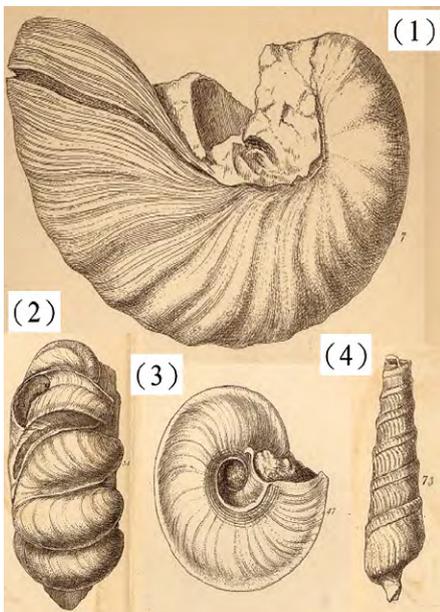


圖4 安地斯山脈出土的海貝化石。(1)卷嘴屬(*Gryphaea Darwinii*)、(2)履螺屬(*Crepidula gregaria*)、(3)鐘螺屬(*Trochus levis*)，以及(4)筍螺屬(*Terebra costellata*)。(圖片修改自達爾文《南美洲地質觀察》，網址：[http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1846\\_SouthAmerica\\_F273.pdf](http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1846_SouthAmerica_F273.pdf)，2015-08-03檢索。)

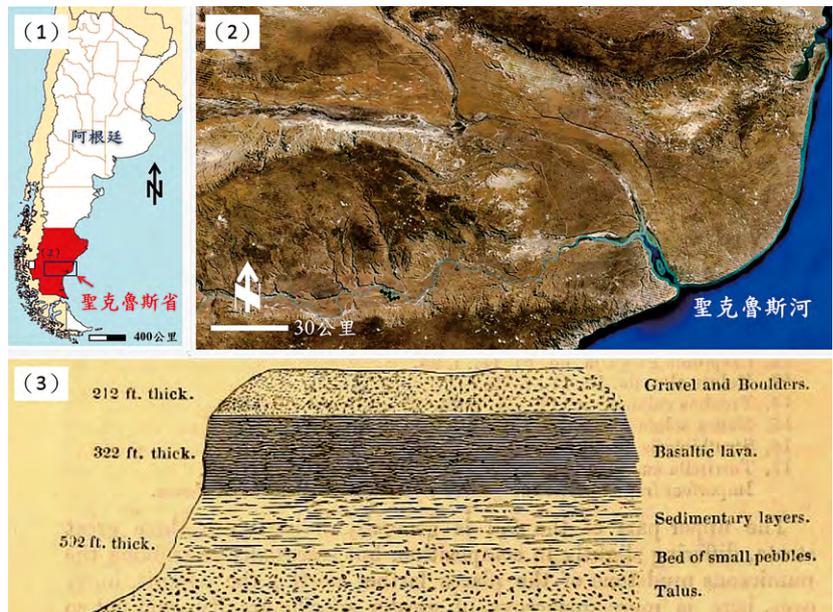


圖5 (1) 阿根廷與聖克魯斯省(Santa Cruz Province)地理位置圖，藍色長框為(2)之位置。(2) 阿根廷聖克魯斯河(Santa Cruz River)近海口。(3) 達爾文發表的《南美洲地質觀察》一書中所節錄的第18號聖克魯斯河(Rio de Santa Cruz)近海口地質露頭素描。達爾文將露頭分為五層，由上而下分別為碎石與巨礫(Gravel and Boulders)、玄武岩質熔岩(Basaltic lava)、沉積層(Sedimentary layers)、小卵礫石層，以及崩塌岩堆(Talus)。(《南美洲地質觀察》，網址：[http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1846\\_SouthAmerica\\_F273.pdf](http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1846_SouthAmerica_F273.pdf)，2015-08-03檢索。)

最大島嶼，而福戈島(Fogo island)更曾於2014年11月23日噴發(圖8)。

回到18世紀晚期，當時地質界熱烈討論的重點是岩石的來源究竟為「火成論」或是「水成論」，兩大門派爭辯數十年之久。當時達爾文能親眼見到火山，對他個人而言，極具意義，同時與「珊瑚礁分類與珊瑚礁形成機制」學說的提出，緊緊相扣。看完火山，緊接著前往南美洲。不過在此之前，要以美國加州大學柏克萊分校地理學教授斯塔特(David Stoddart)評論達爾文的話，作為引言。

斯塔特教授曾經以此段文字評論《小獵犬號航海記》：「達爾文描述景觀與激起情緒的言語表達能力遠高於他將視覺觀察轉化為圖像的表現能力(*the*

*contrast between Darwin's verbal facility in describing landscapes and evoking mood, and his general inability to translate his images into visual representations)*。」此段文字告訴我們，達爾文對於文字的掌握功力一流；殊不知，達爾文的圖像表現能力也是頂尖！

## 第二站、達爾文與巴塔哥尼亞地質圖

後人在達爾文眾多未發表之研究資料中，發現一幅標示1840年的南美洲「巴塔哥尼亞地質圖(Geological Map of Patagonia)」(圖9)。在此地質圖中，達爾文將觀察的岩體或地層劃分為七大單元，分別為(1)花崗岩與雲母板岩(Granite, Mica slate)、(2)玄武質岩石與斑岩(Trappean rock and porphyries)、(3)紫斑岩與基部變質岩(Purple porphyries and infra metamorphics)、(4)黏土板岩(Clay slate)、(5)第三系(Tertiary [Pliocene?]<sup>註</sup>)、(6)近代(Recent)，以及(7)玄武質熔岩(Basaltic lava)。此外，他於圖幅中標註的文字顯示他認為(2)與(3)的岩石特性可能非常接近。

從現代地質科學角度，該圖幅展現巴塔哥尼亞的複雜地質構造，更充分流露出達爾文將「地質觀察轉變為圖像的能力」。此外，值得強調的是「若此圖幅依原先計畫時程順利出版的話，它勢必對後人在南美大陸的地質製圖構成貢獻(*if it had been published when originally planned, it would have constituted a singular initial*

<sup>註</sup> Pliocene原意為「上新世」，因為達爾文不確定這個區塊的年代是Tertiary或是Pliocene，因此在圖片手稿上做了如此註記。

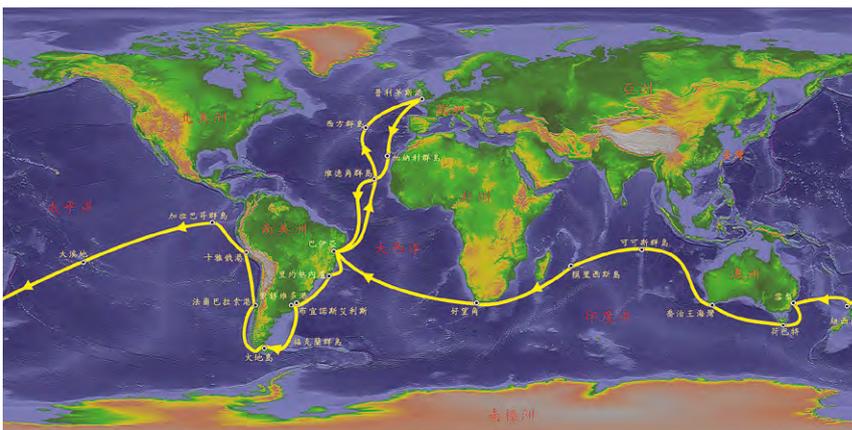


圖5 (1)阿根廷聖克魯斯省(Santa Cruz Province)地理位置圖，藍色長框為(2)之位置。(2)阿根廷聖克魯斯河(Santa Cruz River)近海口。(3)達爾文發表的《南美洲地質觀察》一書中所節錄的第18號聖克魯斯河(Rio de Santa Cruz)近海口地質露頭素描。達爾文將露頭分為五層，由上而下分別為碎石與巨礫(Gravel and Boulders)、玄武質熔岩(Basaltic lava)、沉積層(Sedimentary layers)、小卵礫石層，以及崩塌岩堆(Talus)。(《南美洲地質觀察》，網址：[http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1846\\_SouthAmerica\\_F273.pdf](http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1846_SouthAmerica_F273.pdf)，2015-08-03檢索。)

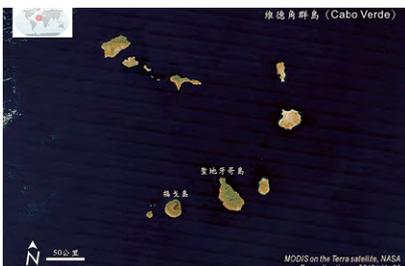


圖7 維德角群島衛星影像圖。其中聖地牙哥島是當中最大的島嶼，而福戈島為活火山，曾於2014年11月23日噴發。(影像編修自美國太空總署地球觀測站。網址：<http://earthobservatory.nasa.gov/>，2015-02-04檢索。)

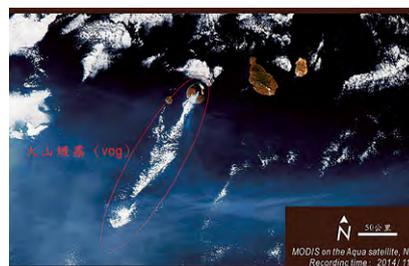


圖8 福戈島於2014年11月23日噴發後，於11月29日拍攝之衛星影像。紅圈為VOG，為「火山的(volcanic)、煙霧(smog)、及霧(fog)」之混合字，在此翻譯為火山煙霧。(影像編修自美國太空總署地球觀測站。網址：<http://earthobservatory.nasa.gov/>，2015-02-04檢索。)

contribution to the geological cartography of the South American continent.)。言下之意，達爾文雖然在1840年就將此圖幅完成，但最終僅就部分內容刊登於他的著作中。筆者個人認為可能原因在於法國博物學家道比尼(Alcide Charles Victor Marie Dessalines d'Orbigny, 1802- 1857)已於1842年發表「南美洲地質圖(Carte de l'Amérique méridionale indiquant ses différentes époques géologiques)」所致。

### 第三站、安地斯山脈的地質剖面與事件

達爾文於1846年在其著作《南美洲地質觀察(Geological Observations on South America)》中發表三條南美洲西部安地斯山脈之地質剖面(圖10)。原文是「Geological Sections Through the Cordillera」, Cordillera此單字字源來自西班牙文cordilla, 本意為「線」, 延伸應用為「一連串的山脈」。因達爾文敘述之地點是「安地斯山脈」, 因此, 筆者於內文直譯為安地斯山脈。

三條地質剖面分別由「貝格尼斯或波迪路穿越安地斯山脈剖面(sketch- Section of the Peouquenes or Portillo Pass of the Cordillera)」、「功博勒或烏斯帕亞塔穿越剖面(sketch- Section of the Cumbre or

Uspallata Pass)」, 以及「科皮亞坡河谷至安地斯山脈剖面(sketch- Section up the Valley of Copiapó to the Base of the Main Cordillera)」。

剖面中, 共區分為十一單元, 粉紅色為「花崗岩與安山岩(Granite & Andesite)」、粉紅黑斜線為「雲母板岩(Mica slate)」、粉藍色為「斑岩(Porphyrries)」、粉藍黑斜線為「斑岩礫岩(Porph Conglomerate)」、深綠色為「長石質黏土-板岩(Feldspathic Caly-clate)」、黃色為「石膏或石膏層(Gypsum or Gypseous formation)」、橘色為「紅砂岩(Red sandstone)」、褐色為「鈣質板岩(Calc Slate-rock)」、藍色(含深灰直線)為「烏斯帕亞塔地區的凝灰岩及早期熔岩(Tuffs & ancient lavas)」、「特納亞恩礫岩(Conglomerate of Tenayan)」, 以及灰黑色為現代火成岩「(Modern Volcanic Rocks)」。

為什麼在安地斯山脈中能採集到海底生物遺骸? 曾經在旅程中深深困擾著達爾文。直到1835年南美

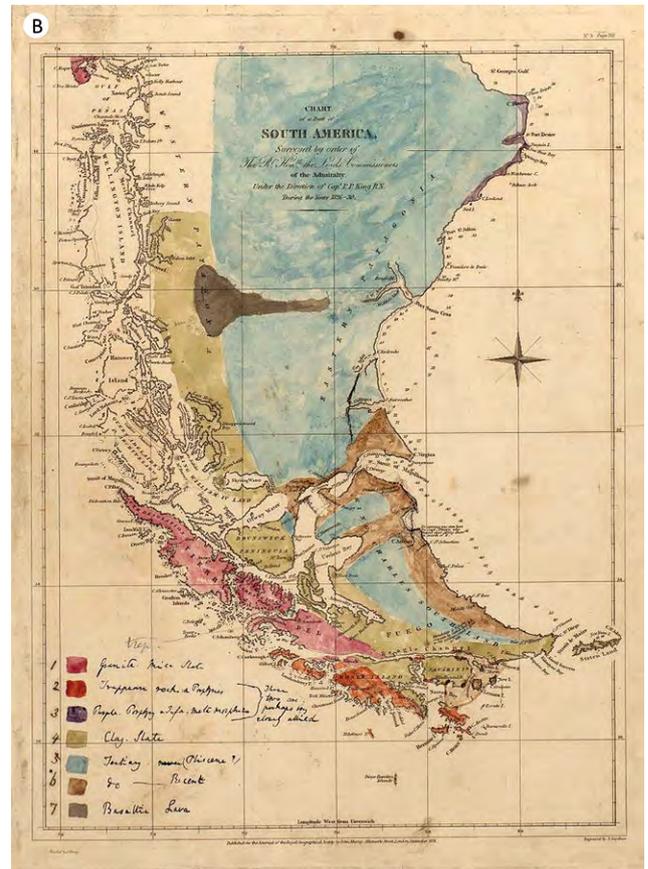


圖9 圖A為達爾文於南美洲之航程圖, 其中淺藍框為「巴塔哥尼亞地質圖」涵蓋範圍(影像編修自: GOOGLE Earth)。圖B為達爾文繪製的巴塔哥尼亞地質圖(圖幅典藏於英國劍橋大學圖書館。網址: [http://www.lib.cam.ac.uk/exhibitions/Keeping\\_Time/images/large/darwin.jpeg](http://www.lib.cam.ac.uk/exhibitions/Keeping_Time/images/large/darwin.jpeg); 2015-02-04檢索。)

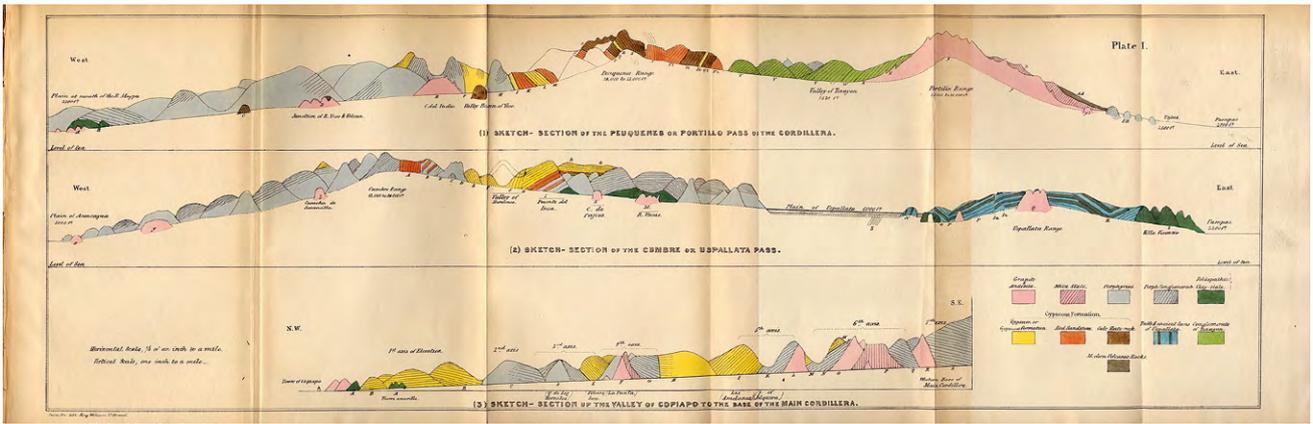


圖10 達爾文於1846年發表的三條地質剖面「貝格尼斯或波迪路穿越安地斯山脈剖面」、「功博勒或烏斯帕亞塔穿越剖面」，以及「科皮亞坡河谷至安地斯山脈剖面」。(圖片引用自達爾文《南美洲地質觀察》。網址：[http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1846\\_SouthAmerica\\_F273.pdf](http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1846_SouthAmerica_F273.pdf)，2015-08-03檢索。)

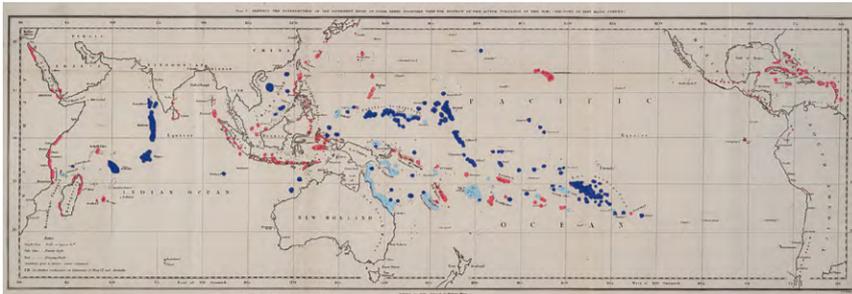


圖11 達爾文劃分之三大類珊瑚礁體於全世界分布狀況。其中紅色為「岸礁或裙礁」、淺藍色為「堤礁或堡礁」、深藍色為「環礁」，筆者將顏色適度加強，以便於觀察。(圖片引用自達爾文《珊瑚礁的結構與分布：作為小獵犬號航海記地質學的第一部分》。網址：[http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1842\\_Coral\\_F271.pdf](http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1842_Coral_F271.pdf)，2015-08-03檢索。

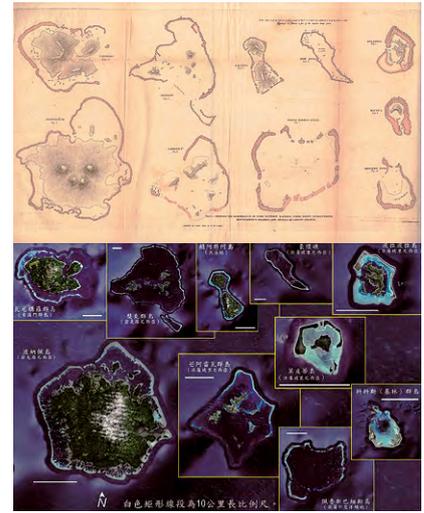


圖12 上圖為《珊瑚礁的結構與分布》一書中，達爾文繪製的珊瑚礁島地貌。下圖為現今珊瑚礁島的衛星影像套合圖。(上圖引用自達爾文《珊瑚礁的結構與分布：作為小獵犬號航海記地質學的第一部分》，網址：[http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1842\\_Coral\\_F271.pdf](http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1842_Coral_F271.pdf)，2015-08-03檢索；下圖影像修改自GOOGLE Earth。)

洲發生火山噴發事件與規模達8.5的智利地震，達爾文終於融會貫通萊爾爵士的「均變說理論 (Uniformitarianism)」，並以此理論為基礎，發表他的論文—安地斯山脈隆起！

此三條剖面的建立及山脈能從海底隆起的論述，無疑為後人認識安地斯山脈，研究其中的地質與構造現象，乃至造山運動的學說，提供最初的藍圖。

#### 第四站、達爾文與最早珊瑚礁分類法

現今的各位想必聽說過臺灣恆春半島等沿海地區有「隆起珊瑚礁(Raised Coral Reef)」，但什麼是珊瑚礁？珊瑚礁是指由造礁石珊瑚(Hermatypic Scleractinia)與其他生物(石灰藻、有孔蟲等)遺體長時間堆積而成，因不是只有石珊瑚，所以有人主

張以生物礁(Organic Reef)為名較適合；又因為主要成分為石灰質，故又可稱為石灰質岩礁(Limestone Reef)。達爾文是第一位有系統、科學性的觀察紀錄並分類珊瑚礁的第一人。

在1842年發表的《珊瑚礁的結構與分布(The Structure and Distribution of Coral Reefs)》一書中，達爾文依照他在小獵犬號旅程中所經過的各火山群島嶼(圖11、圖12)，根據火山島基質與珊瑚礁的相對關

係，將珊瑚礁分為三類，至今仍為地質科學教科書所使用。第一類為岸礁或裙礁(fringing reef)，直接生長在海岸岩床上，與陸地或是島嶼連結的礁體。第二類為堤礁或堡礁(barrier reef)，和陸地或是島嶼間隔著潟湖(lagoon)而生長的礁體。第三類為環礁(atoll)，中間只有潟湖而沒有陸地或是島嶼，形成環狀礁石島。

達爾文認為：「珊瑚礁的形成過程是陸地相對下降或是海水相對上升造成。以一個假想火山島為例，最初珊瑚礁以裙礁型式，沿島嶼生長。當火山島冷卻下沉，珊瑚礁向上生長，中間構成一個潟湖地形，成為堤礁。最終小島淹沒於海水面下，珊瑚礁持續向上生長，形成環礁。(圖13)」的確，此學說能解釋三者的發展的一定順序，為現今地質科學家所肯定，但此學說並非顛撲不破，部分珊瑚礁島嶼的現象卻無法解釋。例如：環礁中的潟湖各處水深幾乎一樣又是哪一種現象造成？此時，再加入「冰河期控制學說」就完美了。

原來，冰河時期，全球海水面曾經下降逾150公尺，使環礁中的小島露出海水面受到侵蝕與海浪作用，頂部被夷平，故產生的潟湖各處水深皆相同。

### 探索與發現、探尋智者尋找與追求新知識

義大利有句諺語：「不要試圖步智者後塵，要去探尋智者尋找的東西(Non cercare di seguire le orme dei saggi, cerca ciò che essi cercavano.)」。誠

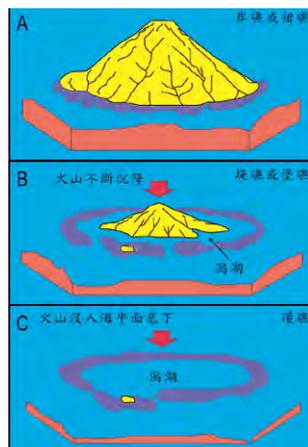


圖13 珊瑚礁的形成過程是陸地相對下降或是海水相對上升造成。以一個假想火山島為例，最初珊瑚礁以裙礁型式，沿島嶼生長。當火山島冷卻下沉，珊瑚礁向上生長，中間構成一個潟湖地形，成為堤礁。最終小島淹沒於海水面下，珊瑚礁持續向上生長，形成環礁。(圖片修改自海洋國家公園管理處，網址：[http://marine.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com\\_content&view=article&id=109&Itemid=43](http://marine.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=109&Itemid=43)，2015-08-03檢索。)

如此言，達爾文一生「探索」新知識，追求新「發現」，《小獵犬號航海記》幾乎是他的人物象徵。本文所羅列達爾文對於地質科學的貢獻，僅是鳳毛麟角，主要目的為闡明：當前人類世界似乎接二連三地出現不少令人困擾的大問題，如：全球氣候變遷、人口膨脹與糧食短缺、地質災害的發生、新型態疾病的爆發等狀況，不斷的考驗著我們。而達爾文的精神——「探索與發現」無疑是最佳的良方解藥。

今日的你我皆不可能置身事外，應該比達爾文更需投身探索，尊重舊有範例，但對新事物永遠保持開放態度，如此才有機會發現解決之道。雖然後人對達爾文的評價褒貶不一，但毫無疑問的，對於自然界的探索與發現，達爾文無疑是全人類最佳典範之一。

#### 延伸閱讀

網頁資料：

1. 達爾文在線(Darwin-online)，網址：<http://darwin-online.org.uk/>，2014年12月5日檢索。

中文部分：

1. 許民陽，2013。恆春半島的隆起珊瑚礁。臺灣博物季刊，117，第32卷，第1期，第22-29頁。
2. 達爾文(Charles Robert Darwin)著，馬景文譯，吳永村編輯(2010)達爾文自傳。MyOOPS開放式課程—開放共享中譯本(免費下載)。網址：<http://www.myoops.org/main.php?id=2178&act=course>，2014年12月1日檢索。
3. 錢憲和(1992)達爾文、達爾文主義與進化論。地質，第12卷，第2期，第227-236頁。
4. 諾維利(Luca Novelli)著，倪安宇譯(2006)跟著達爾文去旅行。臉譜出版-城邦文化事業股份有限公司，共196頁。
5. 穆爾黑德(Alan Moorehead)著，楊玉齡譯(2009)達爾文與小獵犬號：物種原始的發現之旅。天下遠見出版股份有限公司出版，共283頁。

英文部分：

1. Darwin, C. R. (1839, republic in 1890) "The voyage of the Beagle: with introduction and notes". New York: P. F. Collier & Son.
2. Darwin, C. R. (circa 1840) "Geological Map of Patagonia". Image courtesy the Cambridge University Library (Manuscript MS.DAR.44:13). Available at the Keeping time exhibition web-site (網址檢索日期:2014年12月5日檢索。): [http://www.lib.cam.ac.uk/exhibitions/Keeping\\_Time/images/large/darwin.jpeg](http://www.lib.cam.ac.uk/exhibitions/Keeping_Time/images/large/darwin.jpeg)
3. Zappettini, E. O. and J. Mendia (2009) "The first geological map of Patagonia". Revista de la Asociación Geológica Argentina, 64 (1), p. 55-59.