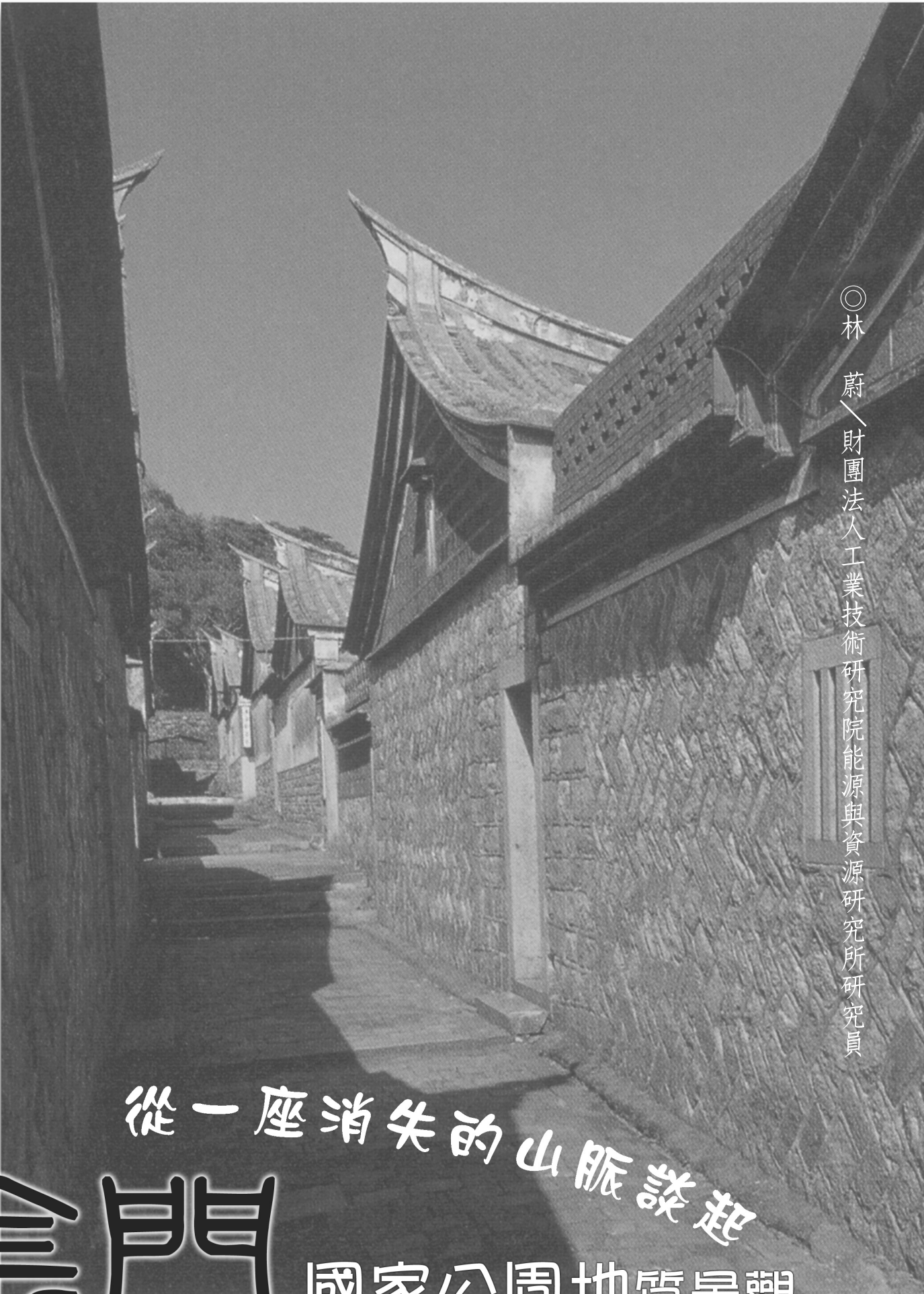




◎林蔚／財團法人工業技術研究院能源與資源研究所研究員

從一座消失的山脈談起

金門

國家公園地質景觀

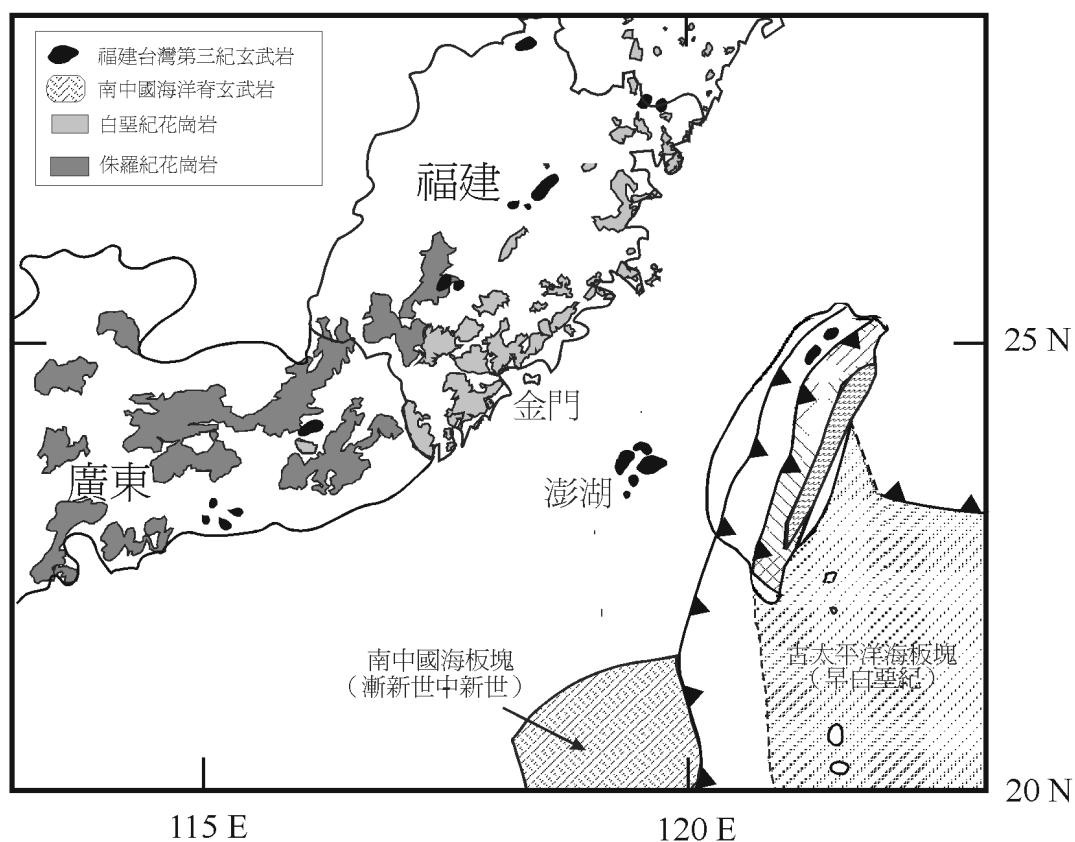
一、前言

金門地質的特色在於遍地的花崗岩。這些花崗岩自形成到出露於地表，過程並不單純；它們包含了從一億四千萬年到一億年前，大規模岩漿侵入活動所形成的花崗岩，它們還代表著此區域剝蝕出一段原本屬於二十餘公里深處的地殼，讓我們在金門如同身處大自然的高溫高壓實驗室，俯拾皆是地殼深部特有的自然奇觀。用地質學的角度來看，解讀金門地質演育的過程，就像剖析一部用岩石寫成的『史記』，詳實記錄了岩漿活動與地殼變動的事蹟。

二、金門地質概說

金門島與烈嶼（小金門）位於福建東南九龍江口，此二島均為花崗片麻岩、花崗岩及含瓷土的沈積層所構成。宏觀而言，金門位於華南沿海綿延數百公里花崗岩帶的東南隅（圖一）。地形上，金門地區的地勢已相當平緩，其丘陵地形多為花崗片麻岩的殘丘，最高的北太武山標高僅 262 公尺。從花崗岩地形來看，在丘陵或海岸，常呈現出陡峭的岩壁、大型洋蔥狀剝蝕的穹隆地形、球狀風化的礫石及風動石等景觀（圖二），如『毋忘在莒』、『寒舍花』、『頑石點頭』等列為旅遊景點者不勝枚舉。這些花崗片麻岩景觀的形成，是受到節理(joints)所控制，並經過剝離風化作用(exfoliation)的影響，才形成相當發達的突岩地形(Tors)。世界上有許多以此景觀聞名的風景勝地，例如在英國西南的『大地之端(Land's End)』，即以花崗岩地表的各式各樣突岩奇景著稱。此外，低平的地區常見富含瓷土的金門層、紅土礫石台地、現代沖積平原（已發現幾處新石器時代的文化層）及風成砂丘等地形景觀。

金門雖沒有峻嶺奇峰，岩層卻包含了白堊紀到第三紀（一億四千萬年前至一千三百萬年前）的火成岩、變質岩及沈積層。單從侵入體互相截切的先後關係與現代定年資料的整合，金門火成岩岩層由老到新、由深到淺可分為（參見表一）：（一）太武山花崗片麻岩（圖三，標準地點位於太武山東南麓）；（二）成功片麻岩（圖四，標準地點在成功至尚義之間的海岸）；（三）田埔花崗岩（圖五，標準地點在田埔採石場）；（四）料羅輝綠岩（圖六，標準地點在料羅採石場，但全金門都有分布，例如圖三）；以及（五）烈嶼玄武岩（圖七，標準地點在烈嶼南山頭），則為最後一期火成岩，屬於地表噴出的熔岩流，年代跟澎湖的相當，也具有發達的柱狀節理景觀。



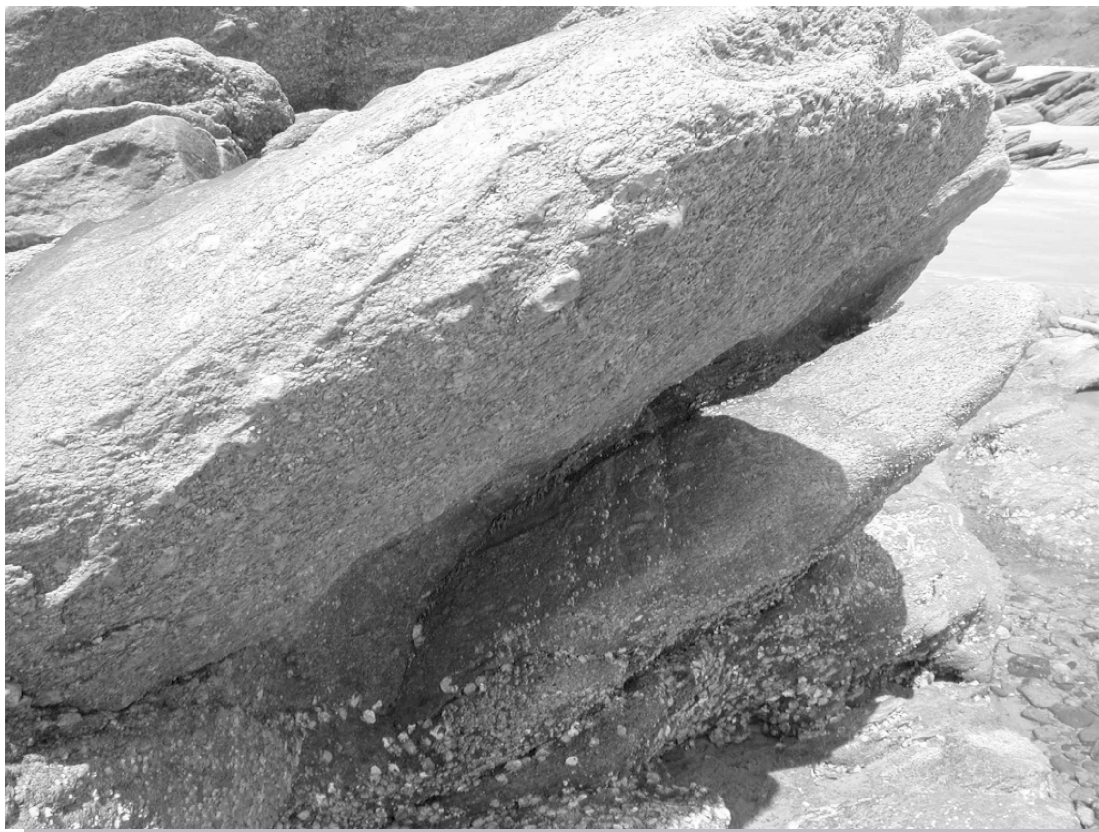
圖一



圖二



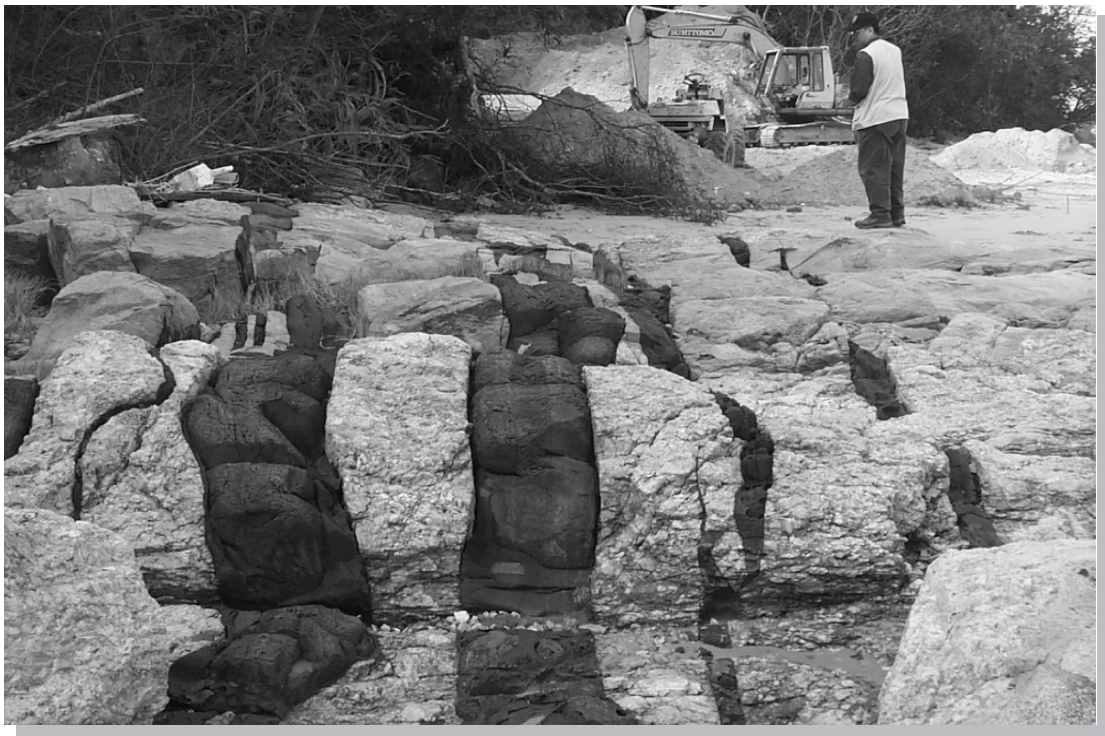
圖三



圖四

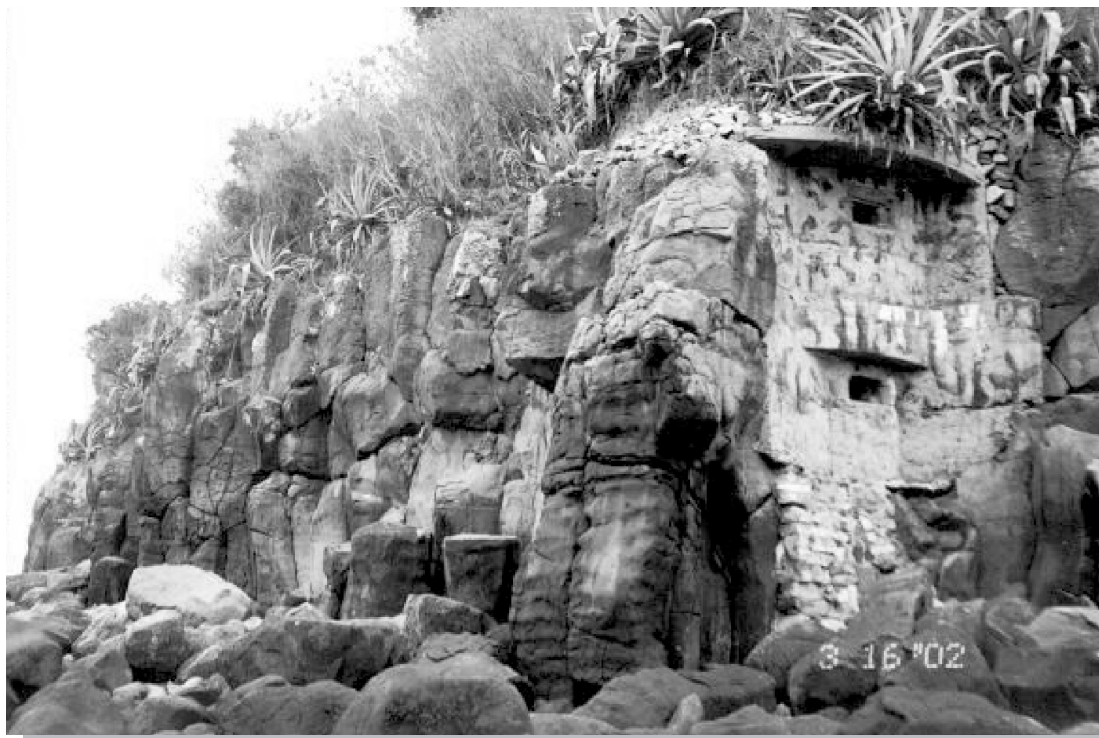


圖五

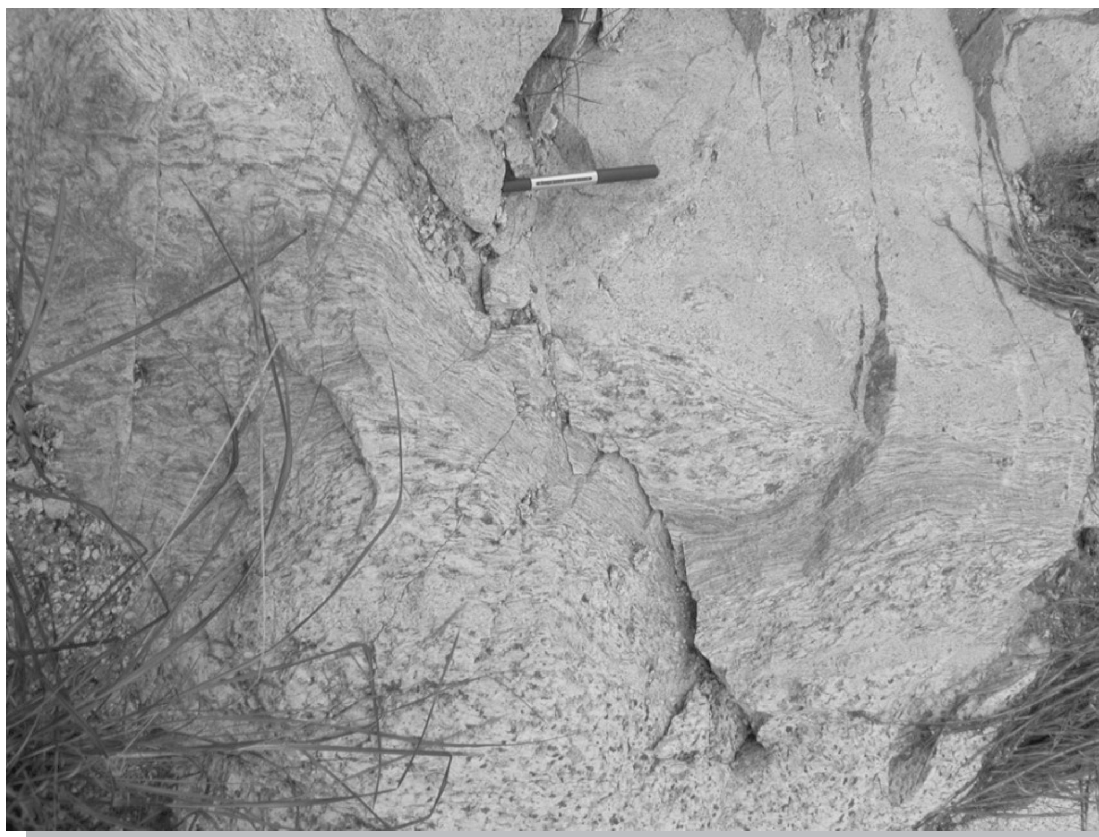


圖六





圖七



圖八

這些花崗片麻岩、花崗岩、玄武岩都是岩漿活動的產物，也就是說，金門地方雖不大，但卻發生過多期次的岩漿活動，此地質現象早在六十多年前，日本地質學家市村毅先生進行金門島的地質調查時即已報導（市村毅，1941）。這些火成岩對華南的地質，甚至於西太平洋地區的意義，一直是學界關注的焦點；事實上，過去研究顯示從金門花崗岩的研究，更助於了解深藏在台灣沈積層及變質岩之下花崗岩基盤的地質(Jahn, 1974; Yui et al., 1996; Lan et al., 1997; Lin and Chen, 2003)。

表一 金門地區的地層及地質史簡表

時代（百萬年）	金門地層及火成岩	地質事件
全新世	現代沈積物	海水面上升使金門島四面環海
晚更新世	紅土礫石層	古九龍江河口堆積
中新世(13.7 Mys)	烈嶼玄武岩	大陸內部玄武岩噴發
早第三紀	金門層	台灣海峽張裂活動、南中國海板塊形成
晚白堊紀(94-76 Mys)	料羅輝綠岩	沈積間斷 被動大陸邊緣張裂
早白堊紀(101 Mys)	田埔花崗岩	晚燕山期後造山運動（包括地體抬升、剝蝕及岩漿活動）
早白堊紀(122 Mys)	寒舍花角閃岩脈、成功片麻岩、羅厝片岩	燕山運動（造山運動——包括地體抬升、斷層活動、岩漿活動與變質作用）
早白堊紀	后頭流紋岩	噴出活動
早白堊紀(139 Mys)	太武山花崗片麻岩（變形花崗岩）	大陸內部張裂型岩漿侵入活動
古生代	夾於羅厝片岩中的變質沈積岩	



表二、金門地區花崗岩類侵入特徵與深度的關係

花崗岩類侵入體類型	深位侵入體(>10-15 km)	淺位侵入體(~15-6 km)
種類	花崗片麻岩、角閃石-黑雲母-片麻岩	花崗岩、細粒花崗岩脈、偉晶岩脈、細晶岩脈
侵入體產狀	岩基（含混合岩構造）	岩株或岩脈
岩理	粗粒、等粒狀、斑狀、花崗斑狀、斑狀變晶、眼球狀斑晶	細粒、等粒狀、斑狀
與圍岩接觸關係	漸變	驟變，有明顯接觸邊
流動構造	不明顯	明顯，且平行接觸邊緣
接觸帶	不明顯	冷卻邊緣
侵入體變形特徵	同構造侵入體或變形花崗岩（構造型葉理）	後構造型（無葉理）
構造型態	塑性變形	半塑性至脆性變形
混合岩	廣泛的混合岩化構造	侷限在接觸帶附近的接觸圈型混合岩
伴生侵入體類型	葉理發達的角閃岩脈	無葉理構造的輝綠岩脈



三、金門地質暗藏的玄機

在深入探討金門花崗岩地質的奧祕之前，先大略了解華南沿海地區宏觀的地質架構。台灣島現在的形貌，主要是受到這數百萬年來呂宋島弧與歐亞大陸的碰撞活動影響，形成了中央山脈，這造山的過程我們稱為『蓬萊（造山）運動』。台灣島上的地層，很多是海洋沈積層變形與變質形成的。若時光追溯到白堊紀之初（約一億二千萬年前），在現在所見的東海、台灣海峽、南海還沒有形成以前，古太平洋海板塊當時正對歐亞大陸發生劇烈的隱沒作用。

事實上，環太平洋地區(Circum-Pacific)所有聚合板塊邊界都發生大規模的花崗岩漿活動和造山運動（包括北美西部的落磯山脈、南美的安地斯山脈，以及亞洲東部北至日本、韓國、大陸華北、東北，南至華南沿海、中南半島及菲律賓等地），類似我們現在稱為『火環(Ring of Fire)』的環太平洋火山及地震帶，但規模明顯大得多。對台灣和大陸東部在白堊紀之初所受到的相同地質事件，在台灣地質文獻中稱為『南澳運動』，在大陸則稱為『燕山運動』。不過，這環太平洋一致的古地質事件發生之後，東、西太平洋兩岸的地質歷史發展卻大為不同——直到今天仍能看到當時美洲西部綿延千里的山脈地形存留至今；但在亞洲東部卻在白堊紀末（約六千萬年前）持續發生地殼張裂、山脈坍塌、終至形成一連串的邊緣海（例如：日本海、黃海、東海、南海等）。

為何一億年來的東、西太平洋的地質演化，會有如此大的差異，從板塊學說提出以來尚無定論；對於這難解的問題，很大一部份的困難是在於，現在這亞洲東部的古造山帶所在的地區，陸上地形多以平緩的丘陵及盆地為主，或大範圍都被邊緣海所淹沒，只殘留了綿延千里的花崗岩帶的地質證據，實在很難讓人連想到那裡曾有座像安地斯山脈的造山帶存在過。其中一個突破性研究，就在 1974 年，由江博明教授（現回國擔任台大地質科學系教授）撰文發表在國際知名期刊『自然(Nature)』之上(Jahn, 1974)，首次從金馬地區花崗岩同位素定年學的研究成果，指出這些花崗岩的形成與影響亞洲東部地質最重要的『燕山運動』有關，可能導因於古太平洋海板塊對歐亞大陸的隱沒作用。這一發現，立下了華南沿海地區板塊學說研究的新里程碑。

四、岩漿活動與地殼變動的見證

前面提到地質學長年累月運用當代新技術，才發現包括金門所在的華南沿海地區，曾



存在一座巨大的山脈。經一億年來的剝蝕、移除，才成為現今的丘陵、盆地等地形。金門島所呈現的地質舞台尤有特色，因為此地岩石多為山脈核心的部位，屬於深部地殼的花崗岩（註：根據台大地質科學系羅清華教授的研究(Lo et al., 1993)，北太武山花崗片麻岩形成深度約 28 公里深）。世界上許多這類岩石大多出現在高山峻嶺、沙漠（如美國加州及內華達州）或冰河侵蝕處（如加拿大）；相較之下，金門的花崗岩出露的岩石剖面多在山麓、海邊，岩理清晰，甚至有坑道貫穿，讓我們很便利地觀察一些特殊的現象——包括岩漿來源區才具有的融熔、混合、侵入等深部地質作用的景觀。

此外，因為地殼變動的關係，金門有不同侵位深度的花崗岩，所以也可以在野外觀察到岩漿隨深度不同而固結留下的特徵（參見表二）。金門常見的兩種主要深位侵入型花崗岩為：（一）淺粉紅色粗粒的太武山花崗片麻岩；（二）灰黑色含長石斑晶的成功片麻岩。這些花崗岩不僅形成於深部地殼，且受到『燕山造山運動』影響，導致地殼的變形(crustal deformation)與變質作用(metamorphism)，常常具有部份融熔(partial melting)現象（圖八），構成生成某些花崗岩漿的源區。此外，在高溫高壓的條件下，深部地殼的環境也會形成超塑性變形（圖八），或岩漿流竄與侵入作用而形成『詭譎地層』(ghost stratigraphy)等地質景觀（圖九）。

至於屬於淺位侵入型的田埔花崗岩，由於灰白色細粒點狀的花色優美，中正紀念堂的建築及赤崁樓的御龜碑都是採用金門產的這種花崗岩。不過這類型花崗岩規模不大，多以細粒花崗岩株(stock)或岩脈(dike)的方式侵入前述花崗片麻岩體中（圖五、圖十），這種後期侵入體並無構造變形特徵，常顯示出淺位侵入(shallow emplacement)、快速冷卻的現象（圖十一）。有些地方還可見到花崗岩漿和同期侵入的基性岩漿發生效作用（圖十二），並在岩體固結後，又再被後期的基性岩脈群(mafic dike swarm)所截切（圖六及十二）。金門地區多期岩漿活動，伴隨明顯的地質環境轉變，反映的是此區造山帶多災的命運。

五、高山變滄海

在表一整理的金門地區地層與地質史簡表中，影響金門地質最大的，就是早白堊紀發生的燕山運動——在金門形成了成功片麻岩及寒舍花角閃岩脈等。這類屬於造山運動特有之岩漿活動的產物，目前只有在安地斯山脈、青康藏高原等地偶有發現。其成因是由於地殼在造山運動過程中受到擠壓作用而增厚，使得角閃岩質下部地殼物質發生部份融熔，才會出現具有英雲閃長岩質岩性特徵的花崗岩類及高鋁輝長岩質岩性特徵的基性岩類侵入體

（林蔚，2001）。從江西、湖南一帶古環境的研究也說明此山脈形成之後，阻擋了來自太平洋的水氣，因此白堊紀中晚期以後，華南內陸環境轉變為沙漠型氣候（陳丕基，1997）。



圖九



圖十





圖十一



圖十二

根據目前地質學對造山帶生命史的研究顯示，造山規模達到一定程度，會進入『後造山(post-orogenic)』階段——因造山增厚的岩石圈，其底部因過重而脫落，並引發岩石圈的減薄與張裂，即反映該造山帶開始發生崩毀(collapse)——此時，會在地殼中產生大量的花崗岩漿淺位侵入的活動，並伴隨著廣泛的基性岩脈群的出現。金門地區的田埔花崗岩及廣佈全金門的料羅輝綠岩脈群，已被證實是此一岩漿活動的典型（李寄嶠，1994；林蔚，1994）。這些岩脈群分布的方向常常是東北-西南向，與台灣海峽後來形成的大部分張裂盆地的分布方向一致，可能是台海張裂的開端（林蔚，2001；Lin and Chen, 2003）。在岩石圈為受到新一期板塊運動的擠壓與造山作用之前，張裂作用可以長期發展，讓岩石圈厚度減薄到足以使底下的軟流圈物質(asthenosphere)上湧到相當淺部的位置，產生板內型玄武岩(intraplate basalts)的噴發活動(Chung et al., 1997)，這也就是澎湖與烈嶼（圖七）都可見到一千六百萬至八百萬年前形成，具有柱狀節理特殊景觀的玄武岩熔岩流。

金門地區在花崗岩隆升、剝蝕到地表之前，並沒有巨厚的地層堆積（有數千萬年的沈積間斷），只有在古九龍江河道上沈積一些含黏土、細砂及少部份礫石的金門層。其黏土可能源於花崗岩或流紋岩經過強烈風化形成的高嶺石，常用來作為金門陶瓷的原料。相較於台灣東部及台灣海峽，在早第三紀（約兩千四百萬年前）以前即有海相地層的沈積，而金門地區則要到了一千五百萬年前，全球海水面上升到與今天相當的位置，地勢才較為平緩，在烈嶼南山頭的金門層上，有一些濱海生物的活動痕跡（即生痕化石）及海蝕平台的地形形成。此一海進時期可能類似今日一般，讓金門四面環海，因此古九龍江的河道堆積停止（金門層沈積結束）。但隨後海水面下降，玄武岩流在一千三百萬年前噴發時，此地區又顯示為陸相環境，後期堆積的紅土礫石層仍可能由古九龍江河道所堆積（含有許多福建地區岩層風化搬運形成的礫石）。大約七千年前，全球海水面上升（甚至高於現在海平面兩公尺左右），金門再度四面環海與大陸隔絕（表一），形成現有的地質與地理環境。

六、結語

在金門國家公園，除了閩南傳統聚落、戰役歷史及自然生態的特色外，在花崗岩基石裡，蘊含著有關華南沿海造山、以及山脈夷平變成滄海過程的縮影。其地質景觀雖非壯闊，但過去已顯示出金門地質研究對了解華南地質扮演過關鍵性的角色，很可能未來更進一步結合台海地質的研究，而能對山脈生命史及西太平洋地質的知識有更重要的貢獻。也許這已經離世界遺產要保育的目標不遠，但在我們還未透徹認識這部自然寶典，未能了解其地



質可貴之處之際，金門這些尚待珍視的地質景觀是否能受到維護、能免於不當的破壞呢？

參考書目

市村毅

1941 金門島的地質（概要）。台灣地學記事，第 12 卷，2-3 號，27-37 頁。

李寄嶠

1994 澎湖地區玄武岩類與福建地區基性脈岩之定年學與地球化學研究兼論中生代晚期以來中國東南地函之演化。國立台灣大學地質學研究所博士論文，243 頁。

林 蔚

1994 金門地區燕山晚期花崗岩類之地球化學及熱歷史研究。國立台灣大學地質學研究所碩士論文，共 108 頁。

林 蔚

2001 華南沿海地區晚燕山期侵入岩漿活動及大地構造意義。國立台灣大學地質科學研究所博士論文，共 237 頁。

陳丕基

1997 晚白堊世中國東南沿海山系與中南地區的沙漠和鹽湖化。地層學雜誌，第 21 卷，第 3 期，204-213 頁。

Chung, S. L., Cheng, H., Jahn, B.-m., O'Reilly, S. Y. and Zhu, B. Q.

1997 Major and trace element, and Sr-Nd isotope constraints on the origin of Paleogene volcanism in South China prior to the South China Sea opening. *Lithos*, v. 40, p. 203-220.

Jahn, B.-m.

1974 Mesozoic thermal events in southeast China. *Nature*, v. 248, p. 480-483.

Lin, W. and Chen, C.-H.

2003 Evolving Yanshanian orogenic belt in SE China: Magmatotectonic evidence and its implication to Cretaceous-Tertiary tectonics of the western Pacific. Abstract in the fifth Hutton Symposium on the origin of granites and related rocks, Aichi University, Toyohashi, Japan.

Lan, C. Y., Chung, S. L. and Mertzman, S. A.

1997 Mineralogy and geochemistry of granitic rocks from Chinmen, Liehyu and Dadan Islands, Fujian. *J. Geol. Soc. China*, v.40(3), p. 527-558.

Lo, C. H., Onstott, T. C. & Wang Lee, C. M.

1993 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of plutonic/metamorphic rocks from Chinmen island off southeast China and its tectonic implications. *Journal of the Geological Society of China*, v. 36, p. 35-55.

Yui, T. F., Heaman, L. & Lan C. Y.

1996 U-Pb and Sr isotopic studies on granitoids from Taiwan and Chinmen-Lieyu and their tectonic implications. *Tectonophysics*, v. 263, p. 61-76.