



一粒塵土看世界

——中研院地球所所長 江博明專訪

戴予辰

在浩瀚無涯的宇宙當中，我們居住的這個美麗的藍色星球，從隨著太陽旋轉而產生的氣體塵埃中誕生，在 46 億年間，地球從一團火熱的岩漿慢慢形成地殼、海洋、陸地，孕育了世界上各式各樣的生物。

地球同時是滋養萬物的母親與陰晴不定的女孩，我們吃的食物、喝的清水、居住的房屋、使用的電力及能源皆是地球的資源。人類生活所需，無一不是從地球而來，但是地球同時也帶給人類地震、山崩、火山爆發等天然災害，不論是四川地震、卡翠娜颶風或是南亞大海嘯，都在一瞬間奪走數不盡的人命及上億元的金錢損失。

人類跟地球比起來，就像雪梨歌劇院屋頂上的一粒灰塵一樣渺小；以人類不過百年的生命，要如何知道地球形成的來龍去脈以及數十億年間的推移演變呢？中研院地球科學研究所（以下簡稱地球所）身為中研院最早成立的研究所之一，在經歷抗戰、遷台重組的變化，現在正以多元化的研究方向，研究我們所居住的地球。

淵遠流長的地球科學所

早在中央研究院還在籌備時期的 1928 年 1 月，地質與氣象研究所就已於上海成立，比物理及化學所都還早，是民國早期最先進的科學之一。中研院成立後先後經過對日抗戰及國共內戰的戰亂時期，最後在 1949 年遷到台灣，於 1954 年於南港設立院區。而地球所也在台灣重新誕生，最先是由國科會成立「地震專案小組」，後來又改為隸屬於中研院物理所地震組，最後終於在 1982 年正式成為地球科學研究所，從本來以研究台灣地震為主，逐漸加入其他非地震領域的研究方向。

江博明在 2004 年接任地球所所長，他的研究室裡，堆滿了許多的資料及文件，牆上更是滿滿地貼著台灣及世界各地的地質圖，除了地球所所長一職外，江博明還是《亞洲地球科學期刊》（*Journal of Asian Earth Sciences*）的總編輯，每天要審理許多的投稿文章。由他口中，我們逐漸了解這個比中研院還要老的研究所，在換上新裝之後所做的各式研究以及豐富成果。



圖一：在圓弧形的地球所裡，有同位素水文、地震、高壓及鈾系實驗室與電子微探儀室、質譜儀室等許多與地球科學相關的實驗室。

基礎與應用並進的地球科學

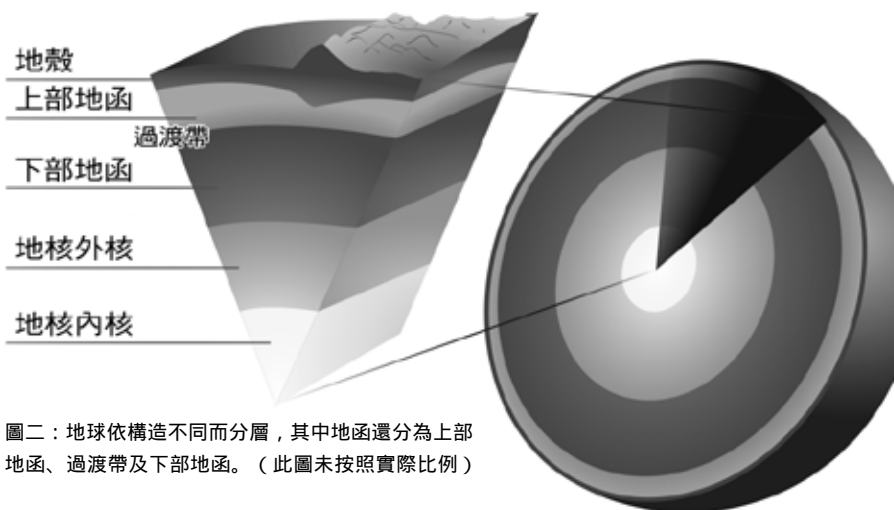
在921大地震後，以地球所王錦華研究員為首，進行一連串921地震的研究。以前地球所還會負責預報、發布地震新聞，這部分後來雖移轉給氣象局，但是每次地震之後，研究人員還是會收集相關資料，以震波研究地球內部構造、地震發生原因及解釋造山運動的過程。同時，也利用全球定位系統 (global positioning

system, GPS) 及應變儀 (strain-meter) 進行大地測量及觀測地殼變動，研究地球的架構、動力與組成。

除了地震相關的研究之外，地球內部結構及礦物相變化也是地球所重要的研究項目。地球內部的溫度與壓力均會隨深度增加而升高，每往地表下深入1公里，溫度便會升高30℃，地殼深度平均40公里，壓力大約15千巴，而地函的深度可達2900公里，其壓力之高更是難以想像。在這樣高溫高壓的環境裡，地表所看到的礦物幾乎都不存

指著親自整理的資料，江博明告訴我們：「中研院地球所雖然只有30個研究員，但是研究的題材非常多元，成員之間也相處融洽，研究的成果相當豐富。」不過江博明認為中研院地球所雖然已經有許多不同的研究領域，但還不算完備，目前地球所是以地球物理與地球化學兩大學門為主，仍缺乏一些傳統地球科學的部分，如古生物學，地層學，沉積學等。

雖然如此，但因地球演變的時間漫長，研究的範圍廣大，光是目前地球所研究的內容，就已經讓人眼花撩亂。地球所主要以基礎科學為主，不過也會涉獵應用方面的研究。基礎研究包含了解地球系統的發生、演化及動力過程等問題；應用方面則是為了符合社會需要，以減緩自然災害、天然資源管理、環境變遷為主。



圖二：地球依構造不同而分層，其中地函還分為上部地函、過渡帶及下部地函。（此圖未按照實際比例）

在，而轉變成高壓相，例如石英在高壓下會變成柯石英（coesite）或是斯石英（stishovite），也會發生兩種礦物結合變成另一種礦石的現象。這些高壓礦物相的研究有助於科學家了解地球深部構造。

此外，地球所的研究也推翻了一些根深蒂固的理論，原本公認的板塊學說認為，由於花崗岩組成的大陸板塊較輕（比重2.7），而玄武岩為主的海洋板塊（比重2.9）較重，所以當海洋板塊與陸地板塊相撞時，較重的海洋板塊會俯衝沉到大陸板塊之下，可是江博明等研究團隊在2001年利用同位素追蹤

研究提出不同的看法，他們利用以陸源物質形成的超高壓岩石，證實大陸地殼也會俯衝到100公里的地函以下，打破傳統板塊理論中大陸板塊不可俯衝性的觀念。

江博明的專長，乃是利用地球化學研究大陸地殼的成長及演化。地球演化的過程其實都記錄在大陸地殼中，而目前世界共有六大主要的板塊，其中亞洲大陸乃由許多大陸板塊與微大陸在漫長的時間裡逐漸合併而成，根據古地磁變化及現今板塊相對運動等資料顯示，亞洲大陸正逐漸形成一巨大的「超大陸」（supercontinent）。利用精密的同

地球科學神兵利器之一

深海下的千里眼：海底地震儀

海底地震儀是放置在海床上接收震波，並可在工作完成後回收重複使用的裝置，作用和陸地上使用的地震儀相同，但因為通常放置在6000~7000公尺的深海海床上，所以在抵抗壓力、低溫、海流及海底地形上，有特殊的設計。

海底地震儀發展已超過20年，過去的海底地震儀為短週期地震儀，只能接收頻率在1赫以上的地震波，在了解海底孕震帶的細微構造上，有很多幫助。美國木洞海洋研究所（The Woods Hole Oceanographic Institution）和麻省理工學院共同研發出的「寬頻海底地震儀」，可接收1/30~50赫頻率的地震波，有利於研究規模六以上強震的震源特性。

地球所也與美國木洞海洋研究所合作，開發4部寬頻海底地震儀，於台灣的東北、東方以及南方外海同時部署寬頻和短週期海底地震儀，全盤監測地震活動與研究地體構造。結合寬頻和短週期儀器對外海的地震和結構做全面的觀測，包括地殼內之微震與地函中之大地震。此外，地球所也計畫建立寬頻海底地震儀小型陣列，從海洋的角度來研究台灣島的3D構造。（地球所負責人為郭本垣研究員。）



地球所寬頻海底地震儀由4個外加塑膠保護殼的玻璃球組成，一個放置記錄器，一個放置回收系統及電池，一個專門放置記錄用電池，一個為浮力球。懸掛在外的鋁合金球體為感震器球。整個系統放入水中後，以約每分鐘40公尺的速率下沉到海床，過數小時後，感震器球著地，經過數天的重力調整後，即能正式記錄地震。

位素化學分析，可以對山脈形成及大陸構造併合的過程有更多的了解。

除了地震學及大陸地殼演變的研究，地球所還有許多研究人員，進行各種與地球相關的研究，包括利用隕石的定年及同位素分析，研究早期太陽系行星演化的宇宙化學；研究水文、侵蝕、古環境變遷等地表變化的環境地球化學；利用結晶化學、地質速度計 (geospeedometry) 技術以及火山氣體的地球化學研究火山學與岩漿學；此外，還運用

了許多先進的技術，例如海底地震儀 (ocean bottom seismometer, OBS)、海底全球定位系統 (OB-GPS)、雷射測距掃描技術 (LiDAR) 等，研究台灣島的地體結構及地形變化。

江博明認為：「對我們來說，台灣或許很大，但相對於世界板塊而言，台灣其實是非常小的尺度。」而台灣島的形成及變化，更是與中國大陸的地殼演變息息相關，所以地球所的許多研究，也跟中國有密切的往

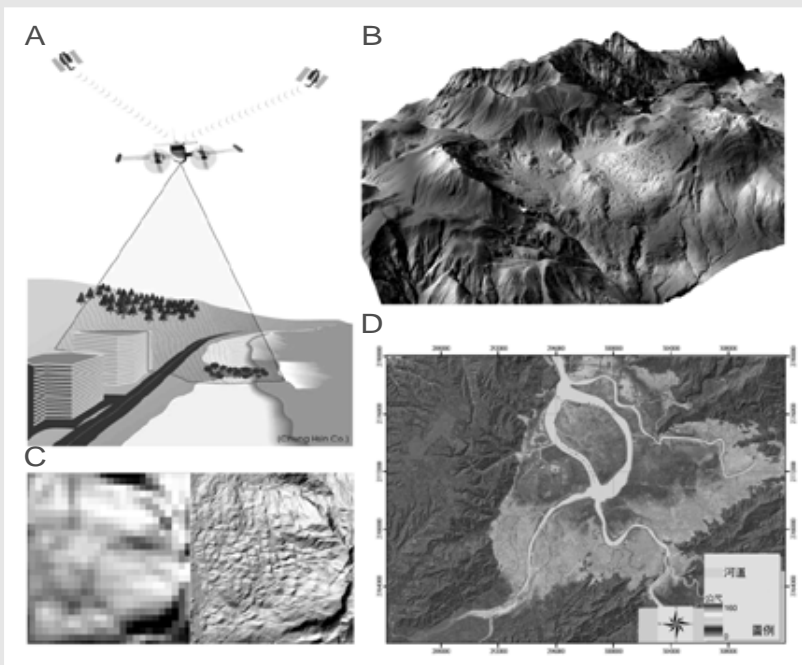
地球科學神兵利器之二

看透地表真面貌：LiDAR

雷射測距掃描技術 (light detection and ranging, LiDAR) 是利用雷射光測定物體的距離，其原理在於光速是固定的，所以只要知道雷射光脈衝從發射到接收的時間，就可以換算成發射器到物體的距離。早期的雷射系統只能簡單地用來測量飛行器與地面的單點距離，但現代的高性能雷射測距掃描儀，則可以精確記錄暴露在地表上的任何物體。

當雷射發出脈衝時，涵蓋多種地形構造，包括樹木、建築物以及地表，距離各有不同，因此會有多個反射訊號。從雷射掃描所獲取的資料，不但

可以提供地面的高度資料，同時也能獲得植被與建築物等訊息。此外，LiDAR 最獨特的功能就是能夠移除樹木及房舍等建築物，建立起最接近實際地面的數值高程模型，目前沒有其他方法可取代這種特殊功能，因此這項掃描技術是地球科學研究的利器。(地球所負責人為詹瑜璋副研究員。)



(A) 以航空器空載雷射測距掃描的示意圖。(B) 以LiDAR 數值高程資料展示的大屯火山群立體圖。(C) 大屯火山群小油坑地區的數值高程模型比較，左方為台灣農林行測常用的 40 公尺數值高程模型，右方為 LiDAR 數值高程模型。(D) LiDAR 數值高程圖清楚呈現台北盆地的高程分布與變化。

來。江博明參與的中國大陸科學鑽探工程（Chinese Continental Scientific Drilling Project, CCSD），探鑽地點位於中國江蘇山東的蘇魯大別造山帶，是世界有名的超高压變質岩分布的地帶，也是全球唯一在碰撞造山帶板塊匯聚邊界進行鑽探岩心的計畫。

從探鑽井採取到地下 5000 公尺的岩心樣本，可以研究板塊匯聚邊界的深部物質組成及分布、殼幔相互作用及深部流體作用等。

比中央研究院還要老的地球科學研究所，在

歷經許多轉變之後，現在已經是台灣地球科學研究中的佼佼者，2009 年發表超過 100 篇文章，也是全世界研究機構期刊被引用次數的前百分之一。未來江博明希望中研院地球所能夠更加國際化，透過招聘更多國外研究員、博士後研究員、訪問學者及參與國際合作項目增加地球所在國際間的能見度。而江博明接下《亞洲地球科學期刊》總編輯的職務，也是為了增加台灣的能見度，看著《亞洲地球科學期刊》封面上江博明的名字，我們也對於台灣科學界邁向國際化的未來，有了許多期待。

從小石頭窺探大世界

「地球科學常常是由小地方看大世界，用這些小小的岩石去假設地球誕生的過程，更不用說宇宙間星體的研究，都是從一粒塵

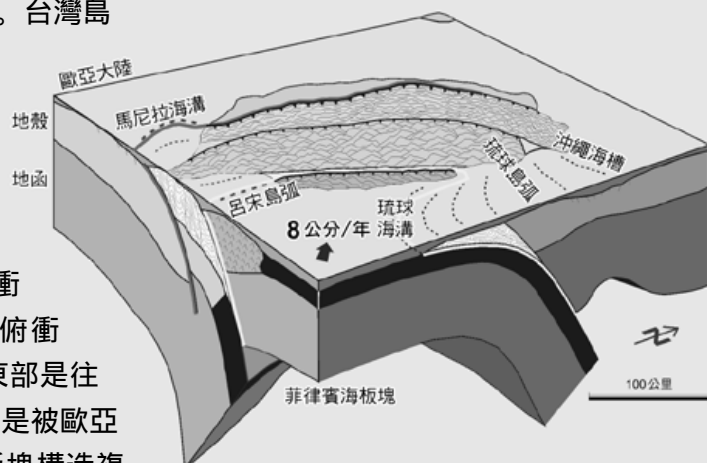


《亞洲地球科學期刊》

獨特的台灣地質研究

台灣位於歐亞板塊跟菲律賓海板塊的交界處，兩個板塊每年匯聚 8 公分，所以台灣的地殼變動非常劇烈，在地殼構造上相當獨特，具有地震發生頻率高、地殼抬升速率居世界之冠、地層侵蝕率高的特性。台灣島

主要由新生代（Cenozoic）沉積物形成的年輕岩石組成。這些特點使得台灣成為適合研究新構造運動學、天然災害以及地殼演變的天然實驗室。此外，台灣位於太平洋海洋板塊俯衝的西太平洋島弧上，為重要的俯衝帶，加上菲律賓海板塊在台灣東部是往下俯衝，可是在南海的地方反而是被歐亞板塊推擠而浮起來，所以台灣板塊構造複雜，適合研究俯衝帶包括岩漿作用、脫水等多種現象。關於台灣的演化爭議很多，不過已經發現台灣最老的岩石為東部花蓮太魯閣的晚古生代的大理岩，而這些岩石可能是從中國南部的華夏地塊分裂演變而來。



士去訴說宇宙形成的歷史。」在介紹完地球所眾多研究之後，江博明對於地球科學研究下了一個簡單的結論。而 1974 年江博明發表在 *Nature* 的研究，也為此提供了一個最好的例子。當時江博明在美國航太總署強森太空中心 (NASA Johnson Space Center) 做博士後研究員，雖然他主要的工作是分析月球岩石，但是他透過台灣大學地質系的陳培源教授從福建考察帶回的岩石樣本，利用晚上及週末時間，對這些樣本進行化學分離及同位素分析，在中國尚未開放之前，就成功地發表關於中生代時期，大陸東南方岩基與

環太平洋岩漿活動情形的研究。這讓我們發現，原來不論是山路邊陡峭的岩壁還是河床中圓潤的石塊，都可能記錄著地球過去的歷史，這些小小的石塊裡，其實是地球 46 億年的變化的縮影。

網球校隊與地球科學？

除了有美國航太總署研究的經歷之外，江博明也曾到日本當過訪問教授，在接任中研院地球所所長前，更是曾經在法國雷恩第一大學 (Universite de Rennes 1, France) 任教 27 年。在多年的研究過程中，江博明也

追尋地心之旅

地球內部深處的結構，一直以來都是地球科學家想要研究的問題，所以採集地球內部岩石樣本的計畫也一直不曾停止。歷史上最著名的地底探井採樣計畫，當屬前蘇聯在科拉半島所進行的科拉超深鑽孔工程 (Kola Superdeep Borehole)，該研究計畫由前蘇聯地質部長直接領導進行，於 1970 年 5 月 24 日開始，在鑽井現場成立了 16 個實驗室對岩心進行研究，只有少數的科學家得以到現場參加此項研究工作。科拉超深鑽孔工程於 1994 年終止，其鑽探深度達到了 12262 公尺，也是目前世界上最深的探鑽工程。

科拉超深鑽孔工程的終止，官方的理由是經費不足，不過，最直接的原因，其實是技術與工具的問題，由於地底下 1 萬公尺的溫度已經達到 300℃，再加上鑽頭運作時產生的熱度，高溫高壓導致機具毀損，所以在技術無法突破之下，這個計畫面臨了終止的結局。

相較於人類對太空的探索，已經到達太陽系的邊緣，對地底的探索，卻顯得困難重重。但是，採取地心深處的岩石樣本，始終是地球科學家不斷追尋的夢想。目前世界上關於地心深鑽規模最大的組織為「國際陸地鑽探計畫」(The International Continental Scientific Drilling Program, ICDP)，是由美國、日本、德國和中國大陸等 15 個國家於 1995 年在德國柏林發起成立的跨國性研究組織。結合各國科學家，在世界各地推動陸地鑽探研究，多年來已陸續在世界各地展開鑽探井的計畫。江博明所參與的中國蘇魯(江蘇北部及山東南部)超高壓變質帶深鑽計畫，也是 ICDP 的子計畫之一，而台灣在 921 地震後，我國科學家也分別在台中縣豐原市東陽橋與南投縣千秋國小，也就是車籠埔斷層的南北段鑽井採集岩心，以研究車籠埔斷層引發地震的啟動機制，並了解台灣地質構造機制。



蘇聯在科拉半島所進行的深鑽工程，是目前世界上最深的地心深鑽研究。

(圖片來源：維基百科)

地球科學神兵利器之三

同位素定年的 different talks

在同位素定年法尚未發展之前，地質學家利用岩層中的化石、岩石及礦物，決定地層沉積的次序，建立相對的地質年代。不同的地質年代的地層中會有不同時期的特殊化石，例如三葉蟲化石會出現在古生代地層、恐龍是中生代的代表性化石，而哺乳動物化石則出現於新生代。依據地層中的化石種類，就可判斷地層沉積的地質年代，但是這種方式所測定的地層沉積時間序列是相對的，而非精確的絕對時間定量數值。

直到二十世紀初，因為物理學家對放射性元素的研究，發展出同位素定年法，可以測定岩石生成的絕對時間，可以說是地球科學的一大進步。放射性元素能放射出多種高能粒子及電磁波型的能量；同時，這些放射性元素也以一定的衰變速率崩解為另一元素，而其原子數衰變成為原來的一半所需的時間，稱為「半衰期」。

由於放射性元素的衰變速率不受溫度及壓力變化所影響，所以利用這個特性，便可用放射性同位素定年法測得岩石的年齡。基本原理為：已知某一放射性元素的衰變速率，則測量礦物岩石中衰變前的母元素及衰變後的子元素的相對比例，便可知道此岩石形成的確切年代。

江博明引用一句著名的同位素地球化學家華舍伯（G. J. Wasserburg）的話，為同位素定年下了個註解——「Different folks, different talks; different rocks, different clocks.」。見人說人話，見鬼說鬼話，要測定岩石的年代，也要選擇對的時鐘。同位素定年法有許多種，包含鈾鉛法、釷鉛法、鉀氬法、鉀氩法、碳14等，不同的元素衰變的半衰期各不相同。碳14的半衰期為5730年，常用於千年尺度的定年，而鉀氬法、鉀氩法等，半衰期長達數億年，可測定較老的岩石，而鈾鉛法、釷鉛法則可測定億年以上更古老的岩石。除了定年之外，還可以利用同位素追蹤技術，區別不同的同位素成分以鑑別岩石的成因，得知每個石頭的來源及年紀。同位素可說是石頭的DNA，每塊岩石各有不同，也讓科學家可以從中探究岩石的演變。

但是同位素定年法還是有所限制，因為自然環境並不是封閉的系統，所以會產生「漏失」——即因為地質作用改變了樣品中母元素及子元素原子的相對含量，造成定年結果產生誤差。產生「漏失」的原因有很多種，其中較常見的是岩石的風化作用及變質作用，所以在採取岩石樣本時，要儘量採取沒有長期暴露在地表的樣本，並且同時對同一礦物岩石樣品測定不同的放射性元素。

雖然變質作用也會導致同位素定年的不準確，但我們反而可以利用這個結果，得知岩石在過去所發生的地質事件。使用遭遇變質作用的礦岩樣品進行定年，定年結果通常是顯示變質作用後再結晶的時間，所以根據岩石的不同地質時間，可以得到岩石形成晶體後，經歷造山運動等熱或壓力的變質事件的紀錄。

常到世界各地訪問或考察，「這些經歷都讓我增廣了許多見聞及想法，而因為實地接觸地球環境越多，對於地球的了解就更深入，也就對研究更有興趣。」話語中都透露出江博明非常熱愛地球科學的研究，也投注許多熱情在此。而江博明為什麼會一腳踏入地球科學的研究，又是在什麼樣的機緣下，在法國執教這麼多年呢？

江博明小時候家住苗栗，而當時在苗栗中油公司的地質探勘研究中心出入的探勘人員，看起來學識充足，社會地位很高；再加上當時就讀的新竹中學校長辛志平，認為中國礦產豐富，會需要許多地質人才開發，所以也讓當時對未來還沒有什麼主意的江博明，把台大地質系設定為目標之一。

「其實我把台灣大學設定為第一志願的原因，是因為很想進入台大網球校隊。」當江博明笑著說出這句話的時候，我們頭一偏卻也剛好發現放在他身後桌上的網球袋，原來江博明從國小4年級就開始打棒球，常常代表學校出去比賽，進入新竹中學後，校長強調德智體三育並重，江博明也開始打網球並加入校隊，直到現在仍然持續接觸網球運動，甚至採訪當晚正好有打網球的行程呢。



江博明常常到世界各地考察，也在許多地方留下足跡，圖中背景為雲南蛇綠岩套中的枕狀玄武岩。

江博明在大學時期，也跟現在的年輕學生一樣，不是很確定未來的方向，不過他認為船到橋頭自然直，不管將來做什麼，只要好好做，自然會有好結果。直到大四的時候，一位來自麻省理工學院的訪問教授溫徹斯特（J. Winchester），在台大物理系及地質系開設宇宙化學跟地球化學的課程。江博明上了課之後受到感動，因為他本來對化學就相當有興趣，當發現可以利用化學的方式研究地球科學，便為此深深著迷，也決定了研究地球化學的方向，並到美國繼續進修，至今仍浸淫在這個領域之中。

27年的法國經驗

1974年當江博明還在美國航太總署時，去英國開會，之後便順道去德國與法國，對法國留下美好的印象。江博明跟我們說，美國的研究人員其實也很少到歐洲，對歐洲的了解也不多，「很多人問我為何去法國雷恩第一大學教書，其實會去那邊教書也是一個很偶然的情況。」江博明打開寫滿法文的地質書，翻到畫著法國地圖的地方，指出雷恩大學的位置。雷恩位於法國西北邊布列塔尼半島，是布列塔尼大區的首都。

1975年江博明參加美國地球物理學會議（American Geophysical Union, AGU），當他演講完離場時，雷恩第一大學的人便上前與他攀談，因為看重江博明在地球化學及前寒武紀岩石地質的專長，想邀請他去法國研究。在深談之後，江博明決定接受雷恩第一大學的聘用到法國教書，原來只準備待一年，結果一年過後又一年，一待就是27年，成為法國為數稀少的華人外國教授。

2003年，江博明本著想要提升台灣地科研究在國際能見度的使命感，放棄雷恩第

一大學的教職回到台灣。回台後也致力於中法地科研究的合作，並在 2007 年促成台法第一個地球科學國際研究組織——「台法國際聯合實驗室」(LIA)。該實驗室是由台法各四個研究機構組成，台灣的四個研究單位分別為中研院、台灣大學、中央大學，以及海洋大學；法國的研究機構則是尼斯地球科學實驗室(Géoazur)、蒙波里耶地球科學實驗室(Géosciences Montpellier)、艾克斯歐洲環境與地球科學教學研究中心(Cérège)以及格勒諾柏地球物理及地殼構造物理實驗室(Laboratoire de Geophysique Interne et Tectonophysique, LGIT)。致力於中法科學教育合作的結果，也讓江博明在 2008 年獲得法國教育部騎士勳章，表彰他在這段期間為中法教育與文化推展所作的努力。

「法國的教育非常注重觀察，會要求學生把事物看個清楚明白，所以當學生對每件事的本身及背景都了解時，自然會有深刻的印象，這可能也是法國人美術發達的原因。法國的小孩都很會畫畫，所以法國的地質學家在野外觀察時，都可以畫出漂亮的圖，這點台灣學者常常做不到。」談到法國學者的研究特性時，江博明認為跟法國從小的教育有相當大的關聯，法國的教育也注重啟發及想像，不像台灣非常注重考試的成績，法國教育不要求學生考試完美，所以法國的大學生幾乎從不作弊，考試沒準備就交白卷，考 0 分也不在乎，下一次再好好準備就好。而台灣學生被要求能完美地考試，導致要用填鴨的教學才能考滿分上好學校，有如考試的機器。江博明認為，台灣現在的學生壓力很大，每天都努力地為考取滿分努力，但是卻忽略了許多比考試更重要的事。

「我希望每個學生不要為了做功課而忘

掉做體育的時間，沒有好身體，就做不了好學問。我年紀雖然很大了，但還是常常打網球，許多人年紀一到就油燈枯竭，而我的蠟燭還沒燒完。」江博明在科學研究之路的一路順暢，也許是歸功於他對這些小地方的注意，年輕學子常常放眼未來，有雄壯的志向，但其實要在人生旅途中成功，應該要從基本之處做起。江博明認為，不論將來要做什么，學生都應該要發揚德智體群的精神。「德」——品德行止要端正；「智」——仔細觀察，培養想像力，累積知識；「體」——平時注重體育活動，保持身體健康；而最重要的「群」——要作文明社會的公民。這些小時候老師就告訴學生該做的事情，其實就是江博明一路走來，不論到美國還是法國、不論研究月球岩石或是大陸地殼的成功之道。在現在這個急於求取成功的社會，也許我們都忘了這些微小卻基本的道理。

一沙一世界 一葉一菩提

江博明辦公室牆上滿滿貼著到世界各地考察留下的照片，茶几上，擺放著許多各式形狀及顏色的岩石塊，與辦公室一角的地球儀互相輝映。在與江博明所長的訪問之中，我們知道地球科學這個學問，是從一小粒的塵土，觀察廣大的世界；從一小塊岩石中，發現億萬年前的歷史。而一個人要如何在時代的洪流當中，站穩腳步，找到喜好發揮所長，也許我們不該只隨著四周的變化打轉，而是要從最小的內心出發，因為我們平常不經意所展現出來的樣貌，也許就是我們人生整體的縮影，就如同古老佛經智慧「一沙一世界，一葉一菩提」。

戴予辰：本刊編輯