

大屯火山群的科學研究史 (1907-2021)

A Preliminary Study of the Scientific Research History at Tatun Volcano Group (1907-2021)

梁廷毓

國立臺北藝術大學美術學系藝術批判與研究博士生

Liang, Ting-Yu

The Ph.D. Program Artistic Practice and Critical Research,
Department of Fine Arts, Taipei National University of the Arts

盧冠宏

國立臺北藝術大學藝術創作研究所碩士

Lu, Guan-Hong

M.F.A. Department of Fine Arts, Taipei National University
of Arts

盧均展

國立臺南藝術大學造型藝術研究所碩士

Lu, Chun-Chan

M.F.A. Graduate Institute of Plastic Arts, Tainan National
University of the Arts

許博彥

國立臺北藝術大學美術學系學士

Hsu, Po-Yen

B.A. Department of Fine Arts, Taipei National University of
Arts

回顧既往資料，關於大屯火山群的文獻，多數以科研論文及調查報告為主，較少涉及科學研究史向度的資料梳理。本文依研究資料的時序編寫，整理各時期的重要研究貢獻與進展，試圖從早期研究者的自然資源調查、岩石學、定年學、火山學、地球化學與地球物理學等面向的研究，呈現大屯火山群地球科學研究史的輪廓。

一、前言

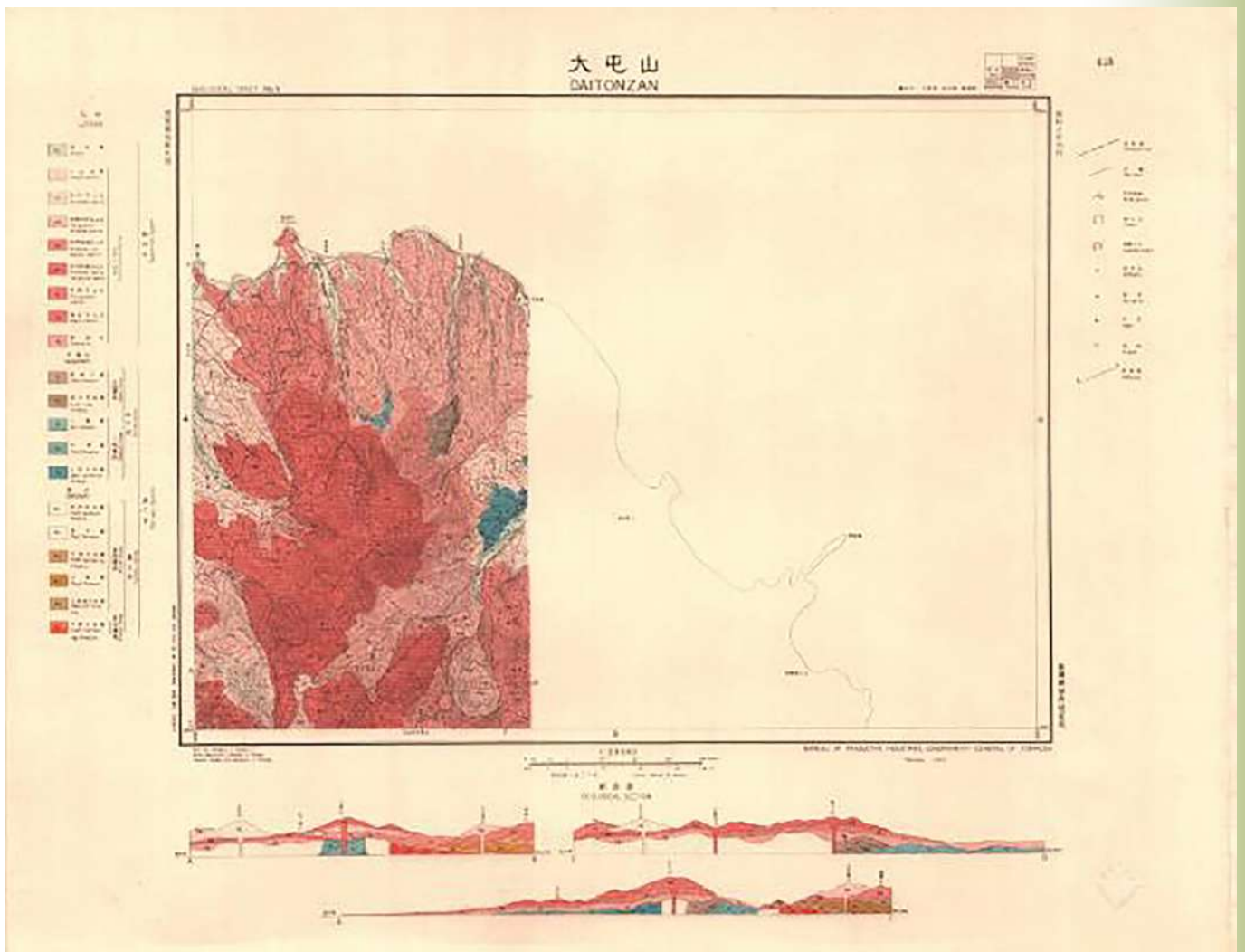
臺灣島雖然位於環太平洋的火環帶 (Ring of Fire) 上，但相較於其他同樣位在火環帶上的島嶼，臺灣的火山活動並不劇烈，除了北部的大屯火山群 (Tatun volcano group) 仍有明顯的後火山活動之外，臺灣島上並無其他任何現生的火山存在 (外島方面，龜山島為活火山，北方三島亦可能是活火山)。大屯火山群位處於臺北盆地北方，面積達 250 平方公里，主要由七星山、紗帽山及竹子山等 50 餘座火山組成。

回顧既往相關資料，目前關於大屯火山群的文獻，多數以科研論文與委託調查報告為主，較少涉及科學史向度的資料梳理。因此，本文作為初探性的考察，定位於相關研究資料的時序性編寫與整理，以歷史事件發生的時間為順序編撰之編年史敘事為主。一方面以時間分期方式，整理各個時期的科學研究成果與調查工作；另一方面，不僅撰寫筆者認為具有重要貢獻的研究，也盡量地編寫入各時期針對大屯火山群的研究工作與調查進展，試圖對早期研究者的自然資源調查、岩石學、定年學、火山學、地球化學與地球物理學等面向的研究，呈現大屯火山群地球科學研究史的輪廓。

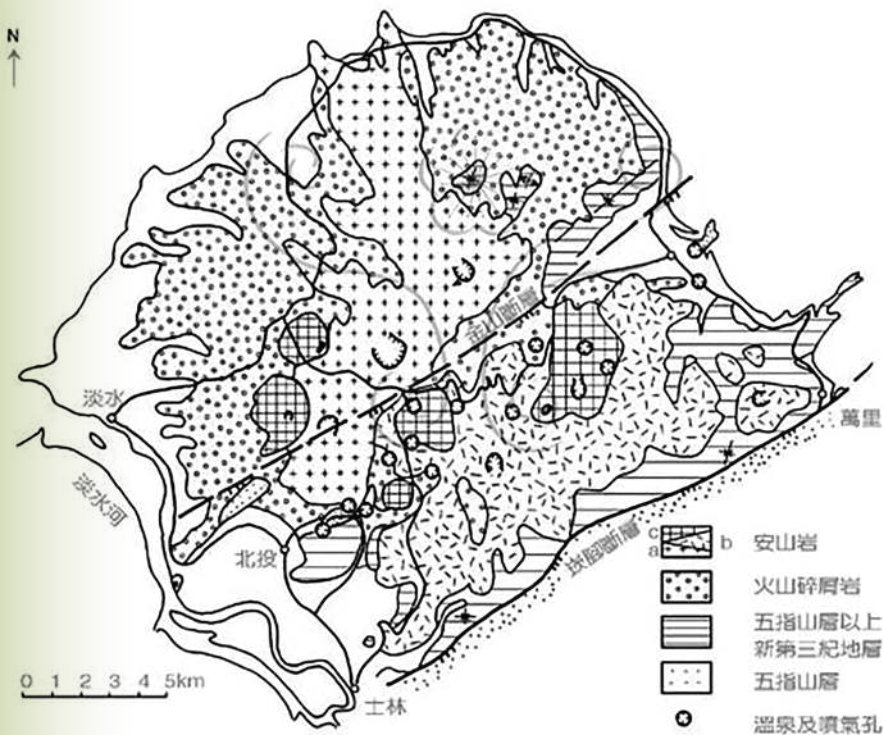
二、1990年代前的火山活動之研究

大屯火山群在漢人的歷史上並沒有任何火山噴發的文字紀錄，而是以地震、地鳴、磺煙等現象出現在清代的文獻。例如《淡水廳志》記載1853年「大屯山鳴三日，持續三晝夜」（陳培桂，1870），大屯山一帶發生地鳴聲長達三天之久。而1867年的基隆海嘯則造成「雞籠頭、金包里沿海山傾地裂、海水暴漲，屋宇傾壞，數百人溺斃」。根據詹姆斯·惠勒·達飛聲(James Wheeler Davidson)在1903年出版的《臺灣島之過去與現在》(The Island of Formosa Past and Present)書中紀錄「當時在沿海許多地方，大地裂開而再封閉，有一座山裂開而形成大山峽，而從山的側面流出熱水。這些熱水來自火山坑，而富有硫磺質溫泉和噴泉」(Davidson, 1903)。

然而，清帝國並沒有對火山進行過相關研究。大屯火山群的科學與地質研究始於日治時期。1907年，日本學者大島十郎(Juro Oshima)開始進行大屯火山群的初步研究，其後在1912年有出口雄三(Yuzo Deguchi, 1912)。1931年，丹桂之助(Keinosuke Tan)的研究認為大屯火山群四周，有數段可與臺北盆地四周對比的平坦面，其上並有種類甚多的沈積岩水蝕圓礫，加上火山群四周溪谷呈峽谷狀態，流路上有顯著的遷急點，故判斷大屯火山群係由海底火山間歇隆起生成，而大屯火山群四周之平坦面，乃海階面而非熔岩臺地面(丹桂之助, 1931)。1932年有小笠原美津雄(Mitsuo Ogasawara)與大江二郎(Ziro Ooe)針對火山及地質圖的繪製。



|| 縮尺五萬分之一地質圖——大屯山圖幅(圖片來源：臺灣總督府殖產局，1934)



|| 大屯火山群與火山亞群略圖 (圖片來源：陳肇夏、吳永助，1971)

第二次世界大戰過後，本區主要的地質研究和探礦、採礦相關，因此臺灣大學地質系的學術研究以礦物學為重點；礦產測勘團以礦產調查為導向，進行許多研究工作(王鑫，1991)。1946年7月，畢業於臺北帝國大學古生物學部的顏滄波，在臺灣大學兼課並進行北臺灣火山地層的相關研究，認為臺灣北部火山有大屯與基隆兩個火山群及龜山島等為琉球島弧之西緣(顏滄波，1958)。

1971年，陳肇夏與吳永助認為大屯火山群鄰近於大臺北都會區，由多座火山多次噴發所形成。大屯火山群的活動可分為早期、中期、晚期三個階段(Chen and Wu, 1971)。

① 1979年，顏滄波則認為大屯火山群主要活動期間為晚上新世至早或中更新世，活動順序(自老至新)為觀音山→竹子山系→磺嘴山系→七星山系。紗帽山可能是最年輕的火山(顏滄波，1979)。1965至1972年前後，工業技術研究院礦業研究所在本區積極進行地熱探勘，尤其鑽井調查獲得大量的地下岩芯資料(王鑫，1991)。這項調查研究也促進今日政府推動使用地熱綠能的開發調查，大屯火山地區已成為開發的重點區域。

大屯火山群地區的地動監測與調查研究方面，始於1980年中國石油公司探採研究中心，委託當時的中央研究院地球

科學研究所籌備處的余水倍助理研究員，於大屯火山群內進行微震及地動雜波的研究。南起新北投、北至金山，共設立13座臨時地震站。根據當時大屯火山群的地動監測與調查研究。幾乎所有微震皆發生於紗帽山燒煨寮與三重橋磺嘴山之間，長約7公里寬約3公里，呈東北狹長地帶。微震深度大多淺於1公里，且隨深度增加而有次數急遽減少現象(余水倍，1980)。

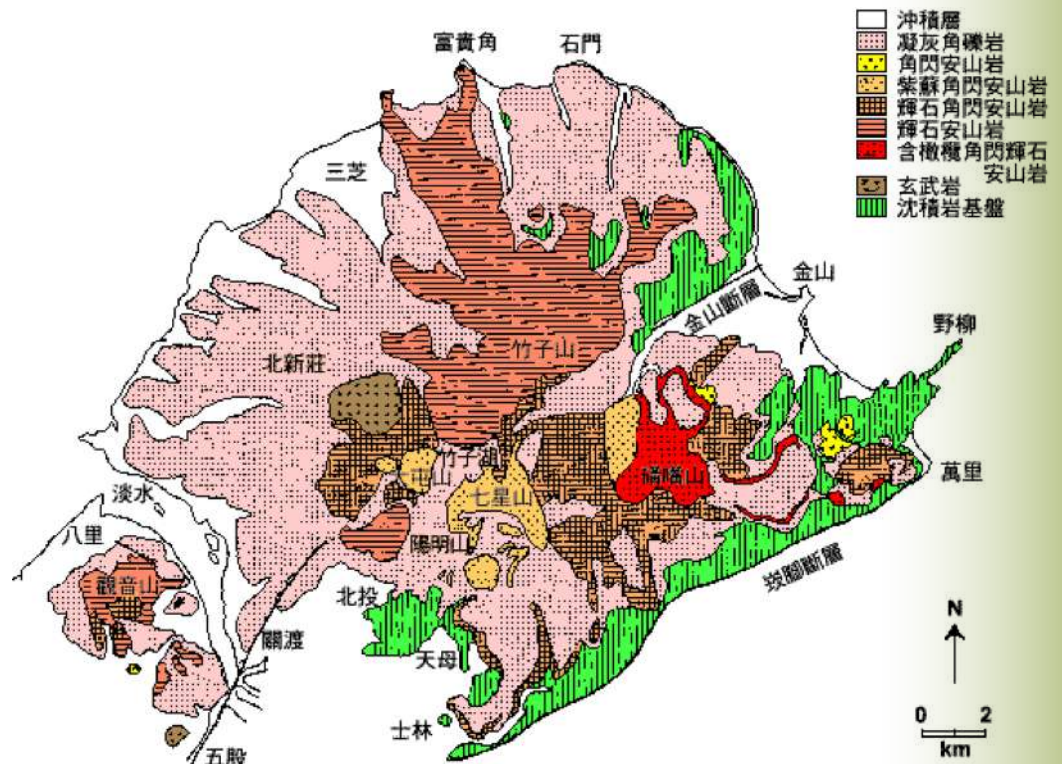
1982年，劉聰桂與王源從地形與及岩石化學特徵，推斷臺灣北側被隱沒菲律賓海板塊西緣切過大屯火山群之西側(Liu and Wang, 1982)。在岩石學與地球化學方面，陳正宏認為從噴發時代，稀土元素分布及鉛同位素成分資料，認為包括洪爐山、草嶺山、觀音山等更新世玄武岩，屬於島弧型火山活動之產物(Chen et al., 1983)。根據實驗岩石學之證據，劉德慶與黃武良認為造成洪爐山、面天山等火山之岩漿庫淺於70公里(Liu and Huang, 1983)。在地球物理方面，李德貴與蔡義本從古地磁的研究中，認為大屯火山群在活動之後，本區並無顯著之大地運動，並依古地磁世代推斷，竹子山、大屯山、七星山、紗帽山等熔岩流之噴發年代應不早於更新世(Lee et al., 1985)。

1984年，顏滄波、鄒玉華與林偉雄的研究指出，大屯火山群境內火山體的分布大致上亦成東北—西南走向，且分布在斷層的兩側，據推測是因火山活動與斷層活動有關(Yen et al., 1984)。認為大屯火山群的噴發管道與金山逆衝斷層有密切之關係。同年，在地質定年方面，莊文星與赫夫·貝隆(Herve Bellon)以鉀—氬定年法(Potassium-Argon dating)②將大屯火山群的活動時代分為三期：即250萬年前(上新世)、75萬年前(更新世)、50萬年前(更新世)(Juang and Bellon, 1984)。但之後朱美妃等(Chu et al., 2019)利用鉛石鉍鉛定年法的研究，指出大屯火山群的活動時代分為約90萬年前、50萬年前，以及小於30萬年前等三個主要時期。1987年8月到10月間，中央研究院地球科學研究所以金山斷層、大屯火山群為研究對象，設置12個臨時測震站，在為期大約兩個月的觀測中，總共蒐集2百多個地震，發現地震的發生應與大屯山及七星山的地熱活動有關(Chen et al., 1991)。1988年，許民陽判釋地貌特徵與堆積物狀況，加上其他資料的綜

合研究，釐清何者為火成臺地(熔岩或碎屑臺地)或海階，推知大屯火山群並非海中噴出，而係陸上火山，現今西北及北部約220公尺以下的部分曾經沈水後呈逐漸隆起。

同年，莊文星的研究認為它不會再度活動，主要原因是依據早期的火成岩定年分析研究，推估最後一次火山噴發可能發生於10到20萬年前(莊文星、陳汝勤, 1989)。各亞群中首先噴發的是竹子山亞群，接著幾乎所有的亞群都陸續噴發，最後一次噴發是20萬年前，只剩下大屯山亞群的烘爐山、面天山兩處噴發與紗帽山形成，之後整個大屯火山群的活動就逐漸趨於停止(王文祥, 1989)。隔年，陳正宏的研究指出，北部火成岩區是琉球島弧向西的延伸，也就是北部火山區的生成原因是因為菲律賓海板塊向西北隱沒，而生成一系列的琉球島弧，臺灣北端的火山活動正是在其最西端(陳正宏, 1990)。鄧屬予則更進一步推測，臺灣北部的岩漿活動因為沖繩海槽逐漸向西張裂而將停止活動(Teng et al., 1992)。

- ① 該研究指出，早期活動可能包括南勢山(金山西南方的大崙尾)、大油坑礦溪、觀音山的噴發。當時火山活動極為強烈，本地區的火山碎屑岩，大部分在該時期生成。至於主要火山與岩流，則多生成於火山活動中期，以竹子山、面天山、八煙山、丁火朽山等岩流為代表。晚期之噴發僅發生於中部地區，以礦嘴山、七星山、大屯山、紗帽山等岩流為代表。這些火山與岩流，大多已遭受相當程度的侵蝕。礦嘴山亞群中，大部分的火山與岩流，以及七星山亞群的全部火山與岩流，都生成在火山活動的晚期，大屯山也可能在此時期生成(Chen and Wu, 1971)。
- ② 鉀氬定年法(Potassium-argon Dating)是分析岩石礦物形成年代的方法之一，是利用鉀氬同位素的蛻變關係，量測岩石礦物的「絕對年代」，即是分析既有的岩石礦物已在地球上存在了多久。一系列的岩石礦物年代配合其它地質數據，也可以解析漫長的地質年代中岩石所曾經歷的種種地質作用，進而建立整個區域的地質演化歷史。



大屯火山群地質略圖
(圖片來源：莊文星, 1989)

1992年，莊文星利用鉀—氬定年法與核飛跡定年法(Fission Track Dating)^③的研究結果，認為大屯火山群的火山活動可以分為早、中、晚三期。早期約在250萬年前上新世末期開始，當時的火山以本區東北角之丁火朽山亞群為代表，中期的活動約發生於75萬年前，為火山活動之主要時期，如西側之小觀音山與竹子山系列及南大屯山等均屬這一時期中的產物。這一時期也是大屯火山群之火山活動最旺盛，幾乎是所有亞群都有熔岩的噴發。在大約50萬年前時，火山活動度銳減。後期火山活動(post-volcanic action)可能延續到50萬年前(莊文星，1992)。進入後火山活動時期，意味著火山活動也被認為處在活動度逐漸衰弱的過程。

就這段時期而言，1995年以前的定年研究中，大屯火山最近的一次噴發是在10萬年前，故將之歸類為休眠火山或死火山(莊文星、陳汝勤，1989)。並認為臺灣北部大屯山與東北外海之諸火山島，是屬於琉球島弧西延的一部分(陳正宏，1990)。因為沒有10萬年以內的噴發作用，故過去一直都認為其可能為一座死火山。根據此結果，學者們認為大屯火山可能為休火山或死火山，即未來大屯火山群不會在發生任何火山噴發活動。推論大屯火山群地表之火山地質特徵，也許屬於後火山作用所殘餘的現象(林正洪，2014)。

三、活火山的證據與認定 (1996-2010)

1996年之後，伴隨科學儀器的進步，以及地球物理學家與地球化學家的投入，開始從大屯火山的活動現象來判斷火山的活躍程度。例如從1996年起，為瞭解大屯火山群火山活動的可能性，由美國系統科技工程公司，再次委託中研院地球所及中央大學，進行包括微震(microearthquake)、地形變動(GPS)、重力、磁力及地球化學等項目之監測研究。其中微震研究再次顯示，該地區之地震活動大多數是位於大屯山之東南側地區(葉義雄等人，1999)，而馬國鳳等人則利用地震斷層掃描法(Seismic tomography)研究臺灣北部地區，顯示在15公里左右有一低速異常帶，推測可能有岩漿庫的存在(Ma et al., 1996)。

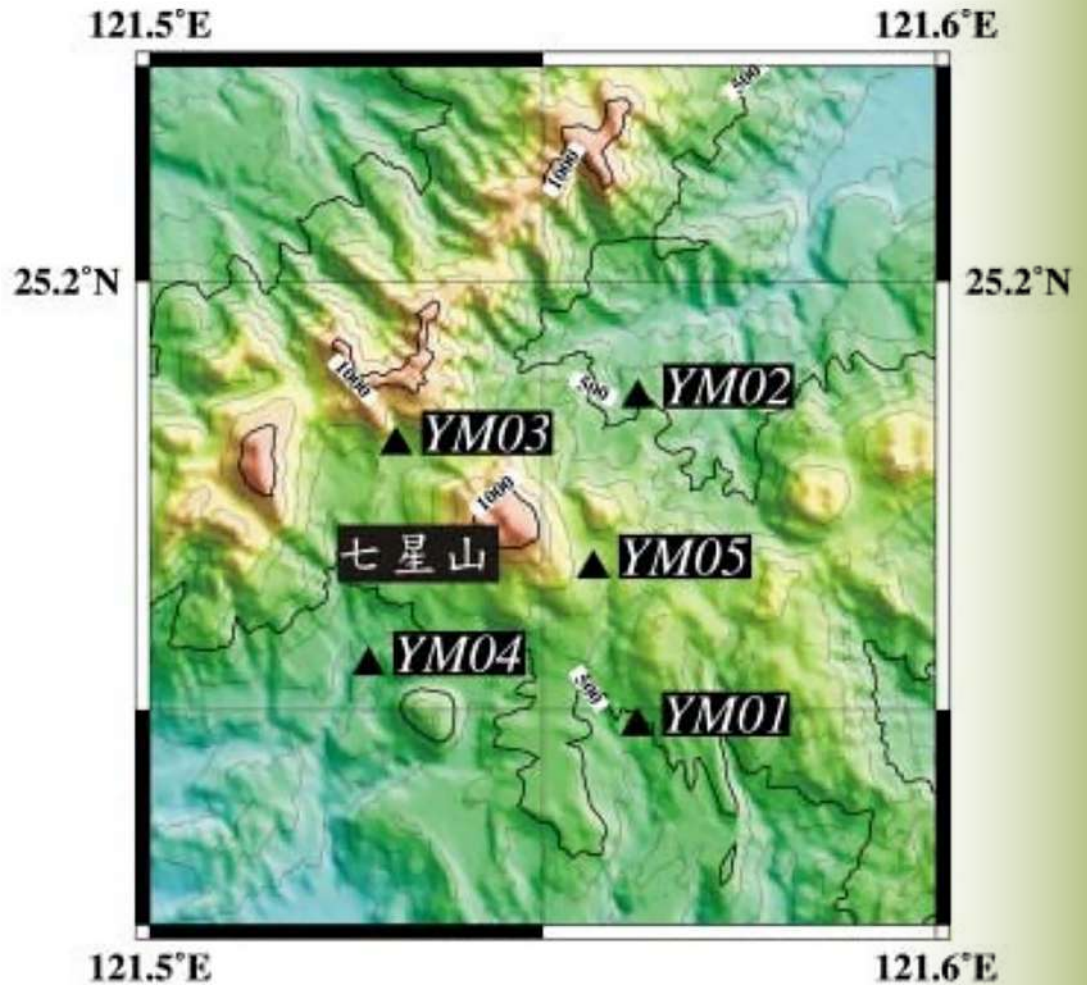
在1997年起，陽明山國家公園管理處也與臺灣大學地質研究所進行為期五年之「火山噴氣氣體監測」的合作研究計畫。隔年，楊燦堯從大屯火山群之氬氣及其同位素地球化學的研究中發現地底深處可能存在岩漿庫存在的氣體證據，並開始針對大屯火山群進行系列性的研究。1999年，楊燦堯的

研究分析大屯火山群氣體中的氬同位素(helium isotope)。發現大屯火山地區的氣體中超過60%氬氣來自地函，進一步增加地底下可能還有岩漿庫存在的可能性。而在當時的氬同位素比值的分布圖中，大屯火山群地區中大油坑和煥子坪氬同位素比值最高，推論此處是岩漿庫最可能存在的地方(Yang et al., 1999)。

同年，王國隆的研究也開始挑戰傳統學界認為臺灣北部火山活動是導因菲律賓海板塊隱沒所造成島弧岩漿活動的看法。他認為這些具有「島弧」地球化學特徵的熔岩，不一定與現在正在進行中琉球海溝隱沒作用所生成的島弧系統直接有關；王國隆指出這些岩漿活動，可能與臺灣北部因為碰撞作用所生成的造山崩解張裂作用(extensional collapse)有關(Wang et al., 1999)。換言之，臺灣北端的火山活動可能是因張力陷落造成正斷層，而後岩漿沿著斷層裂縫湧出所產生的火山活動。楊燦堯也認為，若是此說法是正確的，則傳統認為大屯山及北部諸火山島已經逐漸停止活動的看法將必須要作很大的修正。因為臺灣北部的張裂活動現正逐步加強發育當中，若是地殼下方有火山岩體存在，則隨時有可能提供管道給岩漿噴發至地表(楊燦堯，2000)。

接著，宋聖榮進一步整理當時大屯火山群的地震、地熱、火山氣體和氬同位素等數據資料，並根據微震分布、氬同位素、噴氣口的火山氣體、及地下溫度的測量及遍布高溫的溫泉，推測大屯火山群地底下應還有岩漿庫的存在，故認為大屯火山群可能為一座活火山(Song et al., 2000b)。2002年，林泗濱與陳正宏也在臺北盆地岩心的沉積物中發現有原生的火山灰，由礦物成分推論為鄰近大屯火山群噴發的產物，其結果發現大屯火山最後一次的火山噴發並不在10萬或20萬年前。在靠近大屯山地區臺北盆地的鑽井岩心中，發現大約1萬8千年的火山噴發紀錄，並由地層層序控制推論此一噴發事件至少年輕於2萬年前(Chen and Lin, 2002)。此一年輕的噴發紀錄，又加強了大屯山底下可能仍有岩漿庫活動的說法(林正洪，2009)。

2003年5月，在行政院國家科學委員會及陽明山國家公園管理處的支持、協助下，中央研究院地球科學研究所林正洪研究員，計畫性地在七星山周圍架設一個5座測站組成的小型微震觀測網(YM01至YM05)，之後又陸續建置數個寬頻地震觀測站(YM06至YM12)，成立大屯火山群地區地震監測網，對大屯火山群進行長期性監測。^④同年，陳文山等人首先以數值地形模型(DTM)判讀火山地形，初步認定大屯火山群具有29個火山錐體與40多道熔岩流(陳文山等人，2003)。



|| 七星山的小型微震觀測網(圖片來源：大屯火山觀測站，2003)

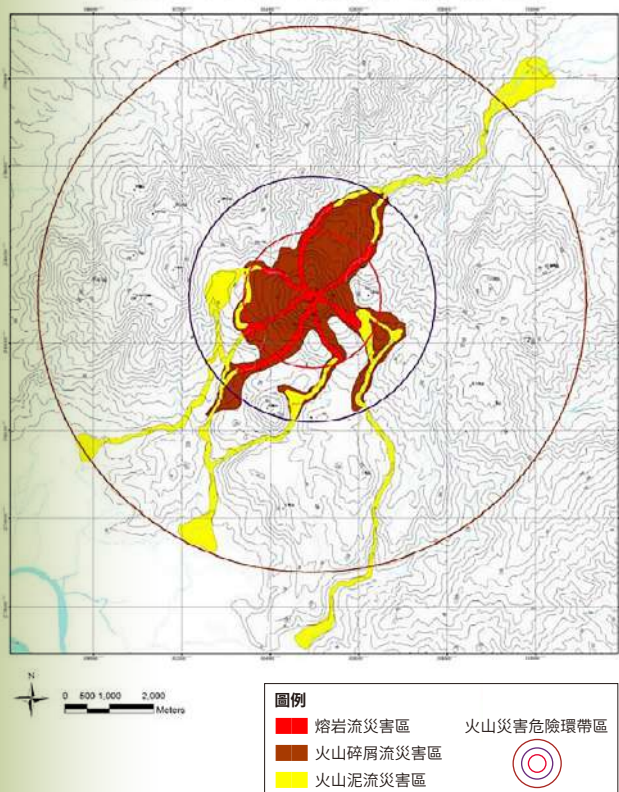
接續於2004年起，先後在菁山自然保育中心、竹子湖和擎天崗鑽探3口地溫監測井(深度各是200、200和480公尺)，井內放置溫度記錄器，連續記錄井內不同深度的溫度變化，開始監測地底的溫度變化。其中，李曉芬在此區域火山氣體的研究中，發現主要成分為水氣(H₂O)，後以二氧化碳(CO₂)含量最高，其次為硫化物，又以硫化氫(H₂S)為主；另外還有氮氣(N₂)和甲烷(CH₄)，皆是典型的低溫火山氣體組成成分(李曉芬，2004)。

接著，宋聖榮假設未來火山噴發的規模為介於1980年美國西部聖海倫斯火山和1991年菲律賓皮納土坡火山的規模，火山噴發量為1立方公里，火山災害為熔岩流、火山碎屑流

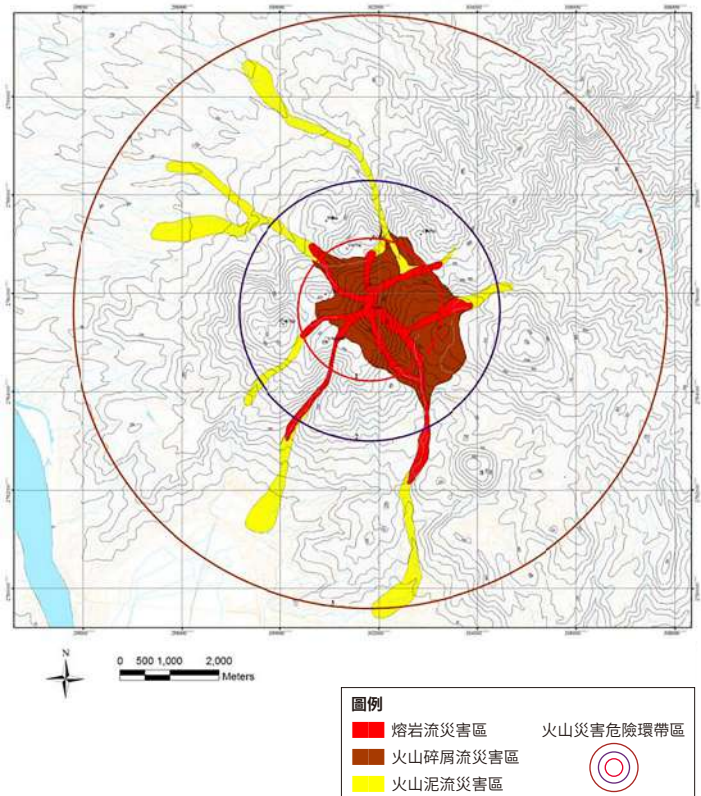
堆積物和火山泥流堆積物等三種，配合現今地形特徵，繪製得出大屯火山群的第一張火山災害潛勢圖(宋聖榮，2005)。同年，林正洪從地震紀錄與分析發現，密集的微地震在記錄儀上所表現的波形和頻率等訊號，和一般斷層作用引起的地震訊號有所差異，反而呈現許多具有活火山地區「火山型地震」(volcanic earthquake)訊號的相似特性，諸如群震(swarm)、長週期振動(long-period)、長時微振動(tremor)等(Lin et al., 2005a,b)。接著在2006年，林正洪從地震監測資料分析結果顯示，在七星山底下有異常的地震活動，可能與岩漿熱液活動所引發的微震有關，認為非常值得對當地的可能岩漿活動進一步探測(Lin et al., 2006)。

- ③ 核飛跡定年法(Fission Track Dating)的原理是測量放射性元素核分裂後，在礦物的結晶面所產生的分裂徑跡為依據，是利用一般鈾元素所含的鈾-238自動核分裂來分析。只要知道核分裂的半衰期和該礦物的鈾含量，那核飛跡的數目就可以計算出這個礦物的生成年齡。
- ④ 此時之測震網以監測大屯火山地區火山活動所引起的地震為主要目的，為蒐集微小之地震訊號，並連續觀測該地區之地震活動，架設的臨時地震觀測網中採取兩種感應器，一為短週期三向量速度型感應器，另一為中長週期三向量速度型感應器，搭配日本東海測震公司發展之地震記錄器(林正洪，2004)。

七星山火山災害潛勢圖



大屯山火山災害潛勢圖



|| 大屯山火山災害潛勢圖(圖片來源：中華民國內政部營建署，2005)

2007年，村瀨雅之(Masayuki Murase)在大屯山地震進行全面性高精確度的水準量測(precise levelling)。發現有部分局部地區附近有明顯的抬升現象，平均每年約為0.5公分。故推斷大屯火山地區淺部地殼，仍有很大的壓力存在，方可造成如此的局部地殼抬升(Murase et al., 2007)。而擎天崗附近更有達7公釐左右的地表變形量，為大屯火山群並非死火山再增添一項證據。值得注意的是，同年陳文山等人也提出：過去學界對更新世火山岩地層層序的劃分依據定年法(核飛跡法、鉀氬法、氬氬法)，來決定層序會造成許多錯誤，因為定年年代的誤差可能涵蓋數個地層層序，而無法判定何者為老或新地層(陳文山等，2007)。依據核飛跡、鉀氬與氬氬定年分析(莊文星、陳汝勤，1989；曹恕中，1994；李淑芬，1996；Wang and Chen, 1990)，大屯火山主要噴發年代大都小於百萬元，如此年輕的火山岩的同位素定年往往具有很大的誤差值，造成各地層的年代相互重疊，因此難以年代來劃分地層層序。認為應先以野外建立火山層序為依據，再參考定年的年代，才能逐步有效的探究大屯火山群的噴發史(陳文山等，2007)。

陳文山等人利用新的火山地形數據、鑽井資料以及野外調查來建立大屯火山群的層序，修改陳肇夏與吳永助的「三階段火山活動分期」。並重新劃分為七期的噴發層序。以解析度40公尺的數值地形模型(DTM)與高解析度2公尺的空載雷射掃描(光達，LiDAR)，辨識出多達51座火山噴發口，再以熔岩流堆疊關係判斷局部區域火山岩的層序與分布範圍。(陳文山等，2007)，更新2003年提出的29座火山錐體之論點。透過空載光達得到的高精度影像，幫助科學家們辨認出火山的地形特徵，確認火山口的位置與數量。火山口(crater)、火山錐(cone)、熔岩流平臺等火山地形都完整清晰地表現，認為是相當年輕的火山群，噴發活動停歇不久。另一方面，宋聖榮也認為光達高解析度影像圖，顯示七星山和磺嘴山區內，有許多保持完整的火山體和火山口沿著可能的斷層線分布，表示大屯火山群的最後噴發年代可能相當年輕。

在2008年5月起，林正洪的研究團隊在經濟部中央地質調查所的支持下，在七星山與大油坑附近再增設6個地震測站(YM13至YM18)。同時為提高訊號解析能力，增加定位精準度，安裝Guralp CMG - 6TD地震儀。^⑤同年，陽明山國

家公園管理處於竹子湖、菁山、萬里、八煙、冷水坑設置地殼變形觀測站(GPS)，於小油坑遊客服務站設置地表噴氣孔長期監測系統。林正洪指出，綜合所有地殼變形及地震觀測之結果，並考慮地表地熱和地球化學等之證據，陽明山國家公園內的大屯火山群之特性，與其他活火山非常相近，故認為仍有岩漿庫可能存在於大屯山地區(林正洪，2008)。

同年，吳政忠以籠罩臺灣地區達半年之久的東北季風盛行時期，模擬大屯火山噴發，不同高度火山灰傳送方向及落塵之地理分布特徵(吳政忠，2008)。^⑥而陳洲生執行「大屯火山群地底岩漿庫之調查與監測—音頻大地電磁法之觀測調查計畫」，^⑦在山區設置8個大地電磁法測站。該計畫初步發現從七星山到大油坑之地下約6公里深處存在疑似岩漿庫，認為確有追查探究之必要(陳洲生，2008)。隔年，陽明山國家公園管理處也開始對大屯火山區的大油坑和小油坑噴氣孔執行溫度監測計畫，希望藉由長期監測地表噴氣孔和地底下的溫度變化，得知大屯火山區內部熱液的活動情形(江協堂等人，2015)。

另一方面，林正洪、黃柏壽根據當時大屯火山群地震觀測網所記錄多種具有火山特性的地震訊號，包括高頻、單頻及多頻等，強烈顯示該地區淺部地殼中，存在明顯地熱來源。這些地熱可能來自七星山與大油坑間淺部地殼的岩漿庫。根1999年陳州生的大地電磁法資料的分析，推測深度6公里下有一冷卻中的岩漿庫，此岩漿庫將逐漸死亡，大屯火山群將不是活火山，但是臺灣北部因碰撞作用所生成的造山崩解張裂活動亦逐步加強發育當中，張裂活動隨時有可能提供充分管道給岩漿噴發至地表，致七星山地區觀測到類似岩漿相關活動，如噴氣、微震活動等(Wang et al., 1999)。尤其臺灣北部的幾個火山群(大屯火山群、基隆火山群、龜山

島)，是否其構造已由隱沒帶(碰撞帶)的逆斷層轉變成張裂環境的正斷層型式而轉型成了活火山，值得深入探討(宋聖榮等，2005)。其中，大屯火山群緊鄰大臺北都會區，是否會造成火山災害，也開始備受社會關注。

接著在2010年，瑪麗娜·貝洛索娃(Marina Belousova)與亞歷山大·別洛索夫(Alexander Belousov)等人使用碳十四定年法(Radiocarbon dating)^⑧分析大屯火山群的火山碎屑沉積物，研究結果指出七星山、小觀音山、磺嘴山岩漿噴發(Magnetic Eruption)約在1萬3千年到2萬3千年前發生，而七星山在6千年前發生過蒸汽噴發(Phreatic Eruption)(Belousova et al., 2010)。同年8月，中央地質調查所召開國內火山學者專家諮詢會議，會議中整合專家學者的共識，根據1994年國際學界對火山的分類、噴發年代及活動現象定義，依據最近一次噴發年代落於國際活火山定義的1萬年內，且地殼深部可能有高溫的岩漿存在等因素。將大屯火山群正式歸類為「潛在性活火山」(Potentially active volcano)或「休眠活火山」(Dormant active volcano)。即大屯火山群屬於活火山，但目前處於休眠狀態，短期內不會噴發，但火山地區地殼內部仍有岩漿活動，不排除未來有噴發的可能性。

大體來說，1999年之後由於儀器設備及調查技術的提升，楊燦堯與林正洪等人的研究結果皆指出大屯火山群底下的地殼中可能仍有岩漿庫存在。楊燦堯在氫同位素研究結果顯示，大屯山地區的噴氣與溫泉氣仍有大於60%源於深部地函源的氣體組成，暗示臺灣北部地底下極可能有岩漿庫的存在。林正洪則藉由地震測站發現活火山地區特有的「火山地震」訊號，加上火山灰定年研究將噴發年代從20萬年前，往前修正至2萬年前、6千年前，已經符合國際上「火山在1萬年內曾噴發過」之活火山定義。^⑨

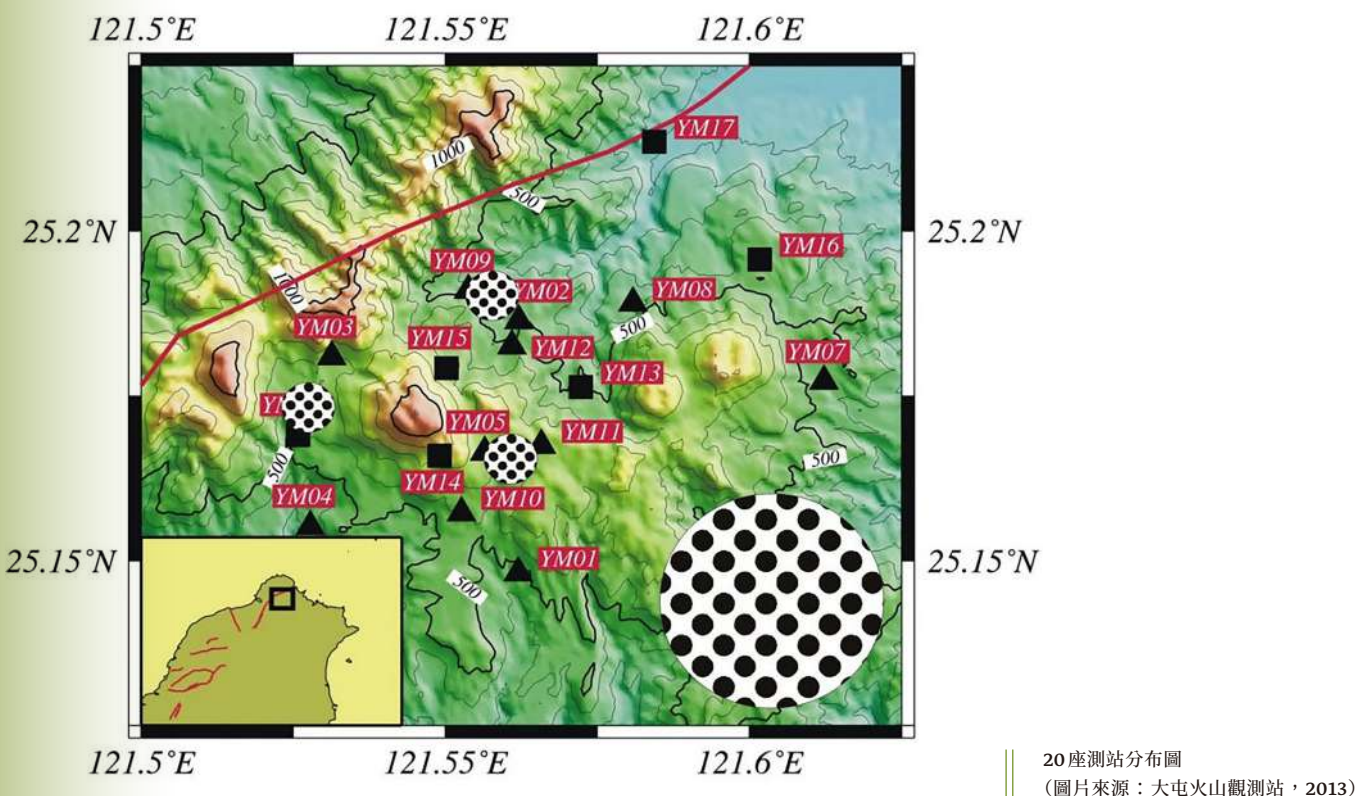
- ⑤ 由英國 Guralp 公司所生產的 CMG-6TD，為中長週期三向量速度型地震儀，數據資料存放在硬碟，高容量硬碟已大幅度減少前往測站蒐集資料的次數。
- ⑥ 該研究發現，若噴發高度低於3千公尺，且大陸冷高壓位於大陸華北至華中一帶時，大屯山噴發之火山灰將順著低層風場，朝向桃園方向傳送，高層則由西風帶往東部地區，因此36小時內火山灰將順風向臺灣西南方傳送，籠罩全臺灣地區(吳政忠，2008)。
- ⑦ 音頻大地電磁法(audiomagnetotelluric method, AMT)是通過觀測由遠程天電引起的天然平面電磁波信號以確定地下的電阻率值的方法。這項方法用於量測地下地層，對不同頻率之入射電磁波所產生的感應磁場與電場，由電磁場的比值大小與相位，可計算地層電阻率以推斷地下地層的結構；野外施測方法有二，一為剖面法，類似震測剖面，可得到剖面下不同深度之電阻率變化情形，以解釋複雜之二維或三維地下構造形貌；其二為單點施測法，此法和直流電阻法中之垂直測深探測類似，其目的是在了解測點下垂直深度之電阻率變化，進而解釋地下構造。
- ⑧ 放射性碳定年法(Radiocarbon dating)，又稱「碳十四斷代法」或「碳-14年代測定法」(Carbon-14 dating)，是利用自然存在的碳14同位素的放射性定年法，用以確定原先存活的動物和植物的年齡的一種方法。該方法可以測定早至5萬年前有機物質的年代。
- ⑨ 必須注意，大屯火山是否為活火山的討論，其中的關鍵資料是定年的年代，這些年代研究結果，其實有很多被質疑的，但這些質疑的問題，多沒有被寫在文章當中(僅在研討會上被討論)。例如，火山灰的碳十四定年，定年方法通常沒有問題，但關鍵問題在於：是否為火山直接噴發後堆積的火山碎屑岩(pyroclastics)，還是經過再積的火山碎屑(epiclastics)，此兩種產狀就會造成兩種完全不同的解釋，這些問題經常被提出來質疑這些碳十四定年的年代研究解釋。此處非常謝謝匿名審查人的重要提醒。

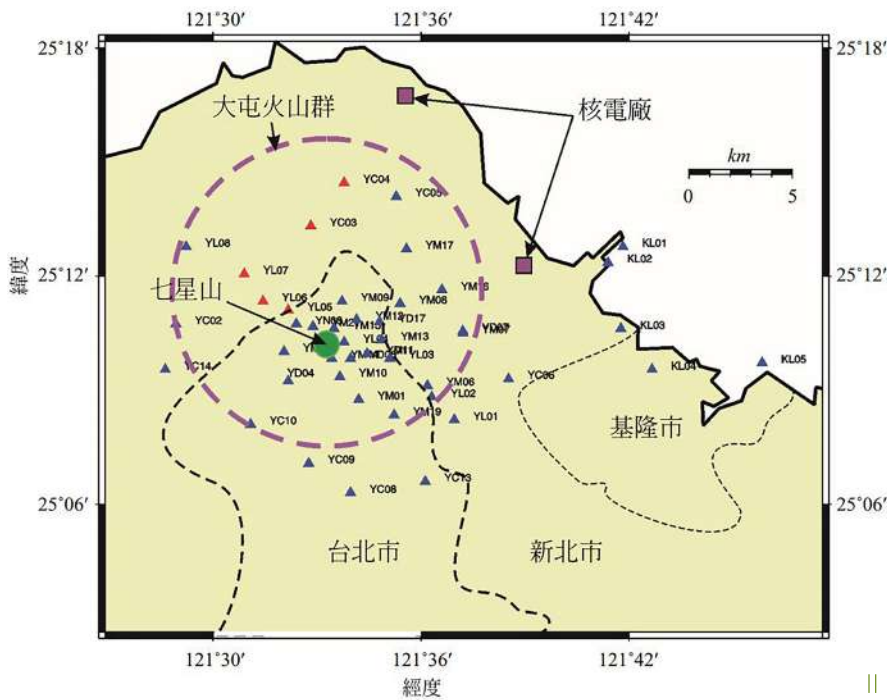
一方面，大屯火山群保留許多完整的火山地形特徵(例如熔岩流動形成的舌狀平臺、火山錐體、火山口)，尚未受到強烈的侵蝕作用，學者推斷是年輕的火山。另一方面，火山氣體的成分顯示來自岩漿庫的供應，而地殼因氣體及液體在裂隙中流動或受擠壓破裂引起的大量密集、微小地震，皆被視為岩漿庫可能存在的線索。這也使得大屯火山群是否會再度活動的可能性，不僅成為學界值得研究的科學問題，更關係大臺北都市附近民眾的生命財產安全，成為一項居住安全與風險防災的議題。再者，雖然這一時期種種的研究都說明著大屯火山並非死火山，且臺灣北部地底有岩漿庫存在之可能，但是尚未確切地找到有利的證據來證實，這讓尋找岩漿庫與理解更細緻的火山構造與活動現象，成為科學家們極欲研究的課題。

四、火山觀測站建置與岩漿庫的證據(2011-2021)

2011年，有鑑於大屯火山群未來有再噴發的可能，國科會自然科學發展處、中央研究院地球科學研究所與陽明山國家公園管理處商討共同合作於菁山自然中心設置火山監測所事宜。接著，遂由國科會主導，將中央研究院地科研究所、中央氣象局、中央地質調查所及國內各大學於大屯火山群所建立的各项觀測資料，整合於陽明山國家公園的菁山自然中心。並於2011年10月17日設置大屯火山觀測站(TVO: Taiwan Volcano Observatory—Tatun)，推動長期的大屯火山群整合性研究與觀測系統(林朝宗, 2012)。主要的火山即時監測方法為「地震活動監測」、「火山氣體與溫泉水的化學成分分析」、「地殼變形的量測」、「地溫監測」、「噴氣即時影像監測」(林正洪, 2011)。建立各項即時觀測系統，包括地球化學、地震網、地殼變形、地溫與火山噴氣即時影像等，專職負責火山監測之工作(林正洪, 2014)。

同年，吳逸民等人進行了大臺北地區之完整地震波層析，解算地底三維空間之速度構造，發現大屯火山群底下微震活動明顯分成大油坑與七星山兩群，此兩群地震在空間分布上的走向不同，暗示大屯火山區的地熱活動可能有多處來源，認為若欲進一步釐清岩漿庫是否存在，則需持續收集地震資料，以增加震波射線涵蓋之範圍(吳逸民, 2011)。對此，曹恕中等科學家也呼籲，若需要先確定岩漿庫存在的範圍和狀態，大型的科學整合調查計畫十分必要，尤其是採取類似國外以高密度地震儀陣列，接收炸測地下地層反射折射等訊號，利用震波層析成像判讀火山底下是否有岩漿庫存在。





|| 40座測站分布圖(圖片來源：大屯火山觀測站，2017)

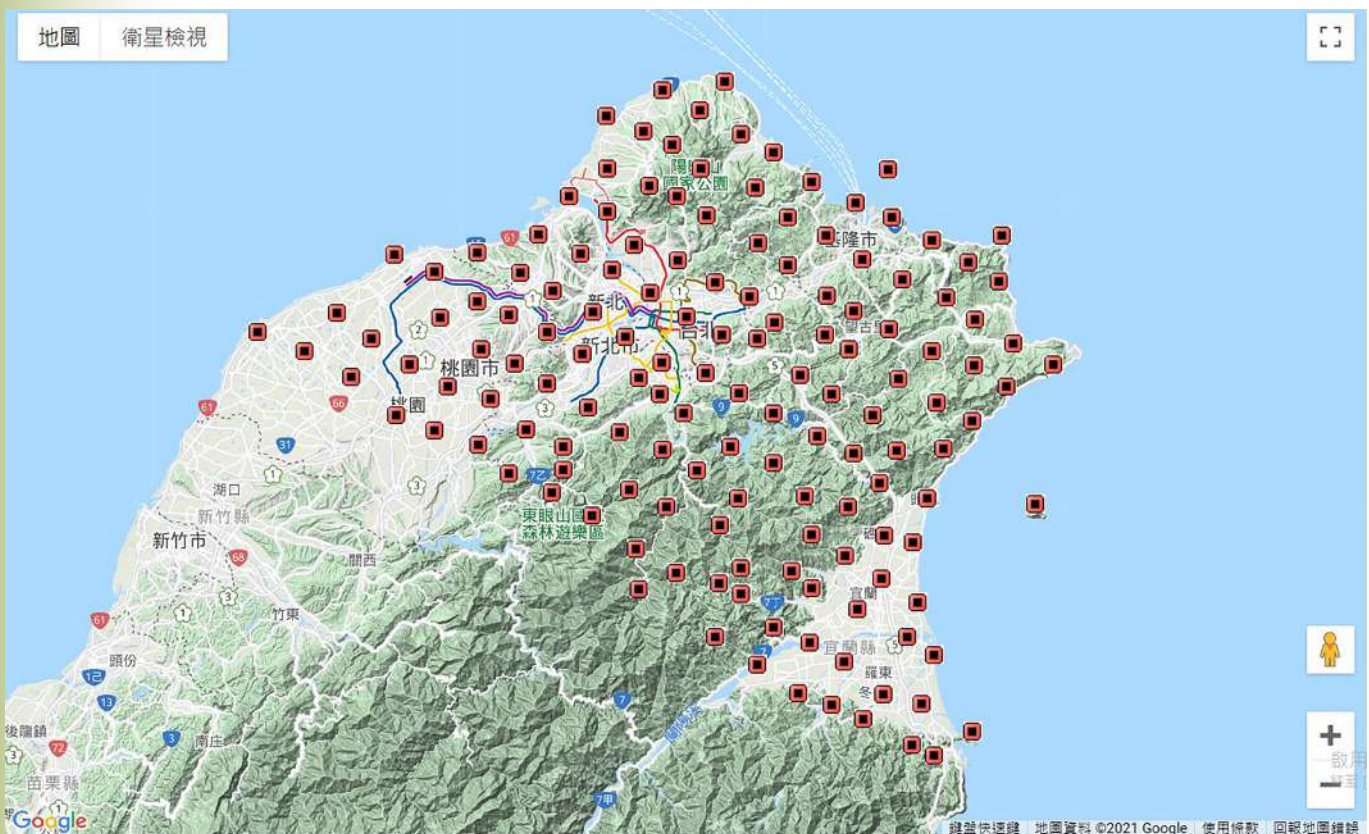
2013年，大屯火山區的寬頻地震測站數量已達20處，該時期監測到的地震數量大幅增加，反應著地震網偵測能力的提升(此時地震網分布範圍主要七星山至大油坑區域為主)。2014年開始，大屯火山觀測站為增加大區域地震定位的包覆性，於外圍增加一個圓形陣列，以及一條西北—東南向橫跨大屯火山群的臨時監測線，寬頻測站總計達40處，大幅擴展大屯火山觀測站的寬頻地震觀測網範圍。高密度的測站分布，不論是低頻深部的內部震動，還是岩漿經過內部通道，因壓力可能產生的窄頻噪音，皆已經可以清楚記錄到，大幅提高該地震網的解析範圍(賴雅娟等，2018)。同年，村瀨雅之(Masayuki Murase)藉由精密水準測量發現擎天崗附近地殼明顯的局部抬升，綜合過往種種證據，皆一再顯示大屯火山群仍屬於活火山(Murase et al., 2014)。

2015年，喬治·澤爾默(Georg Zellmer)等人分析大屯火山群岩石和礦物的放射性同位素(U-Th-Ra)，研究成果指出大屯火山群最後一次噴發可能小於1370年前，而紗帽山熔岩穹窿活動冷卻的年代可能是1千多年前(Zellmer et al., 2015)。¹⁰ 接著在2016年，林正洪根據大屯火山觀測站設置的地震觀測網，進一步觀測到S波的陰影與P波的緩達現象，這兩項

重要的結果充分地證實臺灣北部存在一個岩漿庫，估算位置是約在金山一帶地底20公里深之處。但是，當時資料推估岩漿庫的位置可能是在下部地殼，但是它真正的位置與幾何形貌卻還不能非常清楚地描繪出來(林正洪，2017)。為了詳細瞭解岩漿庫的生成原因與幾何形貌，科技部(現為國家科學及技術委員會)規劃於2018年起，進行一項「臺北都會防災科學任務：確認大屯火山地下岩漿庫的位置與形貌」的研究計畫，在北臺灣地區設置高密度地震站陣列。

此計畫由中央研究院地球科學研究所(IES)與大屯火山觀測站(TVO)共同執行。這項「臺灣陣列」(Formosa Array)由2018年開始於北臺灣地區設置寬頻地震站，於2019年開始逐步涵蓋北臺灣地區，全面性地設置測站間距大約5公里左右的棋盤式寬頻地震網，地震網包含有146個測站，安裝有寬頻地震儀並即時將資料傳送回資料處理中心，為研究人員提供了北臺灣地區高密度且高解析的地震資料。進行高解析度的深部地下構造觀測。而朱美妃等(Chu et al., 2019)研究也指出，位於北臺灣近海的基隆嶼，根據鉛石(U-Pb)年代測定和鉛(Hf)同位素，與大屯火山群一致；因此基隆嶼被認為應是大屯火山群的一部分，而非是基隆火山群一部分。

¹⁰ 必須注意，當初為了此文章的研究結果，經濟部中央地質調查所成立了一個為期2年的計畫，專請臺灣的相關學者，到喬治·澤爾默(Georg Zellmer)實驗室進行U-Th-Ra的定年研究，研究之後，喬治·澤爾默不提供年代結果。因此，目前仍不了解此種定年新方法是否可行，限於種種因素而無法評估。此處非常謝謝匿名審查人的重要提醒。



|| 「臺灣陣列」測站分布圖 (圖片來源：中央研究院地球科學研究所，2019)

同年，廖陳侃的研究顯示七星山兩側張裂帶和爆裂口的形成時間皆為約6千年前，西側張裂帶應稍早於東側張裂帶。年輕的爆裂口相對較晚形成，時間推測可能晚於約4千年前。而七星山的鴨池之中池，為近5百年的一次蒸氣噴發 (phreatic or steam eruption) 事件直接堆積的產物，判斷以小油坑至沿線的張裂帶為可能的噴發來源 (廖陳侃，2018)。後續宋聖榮的研究也指出，分佈於七星山兩側的爆裂口可能是由蒸氣式噴發所形成的。此種蒸氣型噴發屬於地下有熱液儲集層、累積氣體壓力後噴發形成，其熱源可能來自於紗帽山熔岩穹窿的岩漿活動。由定年資料顯示夢幻湖形成於距今約5,600年前、其中一處爆裂口形成的年代約為3,800年前、另一處爆裂口形成的年代約為1,800年前 (宋聖榮，2021)。此系列研究將火山活動的現象與時間又往前拉近。

2019年，林正洪的研究團隊整理2014年至2017年的觀測數據發現，多數地震集中在大油坑與擎天崗附近，形成約深度2公里、直徑500公尺的柱狀空間，就像是一個火山通道 (Volcano Conduit)，再次提供大屯火山群是活火山的佐證 (Pu and Lin et al., 2019)。2020年，中研院地科所與火山觀測站的團隊利用「臺灣陣列」觀測遠地的地震資料，逆推地殼構造速度特性，再次證實大屯火山群有岩漿庫存在的事實 (Huang et al., 2020)。2021年，中研院地科所的團隊利用「臺灣陣列」，以3D技術監測大屯火山群，發現岩漿庫頂部約在地底下8公里深，岩漿庫位置約在大油坑、磺嘴山的下方，呈圓柱狀，長約12公里、半徑約4公里，估算剖面大小約50平方公里。這項研究提供了更清楚的岩漿庫形貌資訊，位置更接近地表 (Huang et al., 2021) (Huang et al., 2020)。同年，在「火山災害潛勢評估及觀測技術強化」計畫中，建構完備的整合型觀測網，更新地球化學分析設備以及即時定期觀測、地表變形觀測、火山災害潛勢研判分析及火山災害潛勢圖，持續進行火山監測技術與設備的提升。

五、結語

雖然大屯火山群之火山地質特徵極為明顯，但在1990年代以前，學界普遍認為它不會再活動，主要原因是依據早期的火成岩定年分析研究，推估最後一次火山噴發大約在10到20萬年前(莊文星、陳汝勤，1989)。然而，1999年之後的諸多研究成果，卻重新判定大屯火山群很可能是屬於活火山，主要的證據包括地球化學、地震活動、地殼變形與火山灰定年等等。首先，是楊燦堯的研究發現，氮氣同位素的比值極高，強烈地認為有深部地幔物質由下而上滲入到大屯火山群的現象(Yang et al., 1999)。接著是2000年，宋聖榮整理大屯火山的種種數據資料，認為應當重新定義大屯火山的類屬。此時，如何探測地底下是否有岩漿庫存在的可能，開始成為科學家們所關切的問題。2005年，林正洪在大屯火山群偶然發現只有活火山地區特有的地震波形。地震波形有單頻水滴狀、多頻螺絲釘狀及超長週期的火山地震訊號(Lin et al., 2005a)。經由分析連續地震紀錄，並仔細地震定位後更發現有些微震，常在短時間內發生於很小的地區內，這現象與一般火山地熱區所觀測到之群震現象相同，為岩漿庫的存在再增添一項可能的證據。

2010年一項火山灰定年結果，將大屯火山最後一次噴發的時間拉近至幾千年之內。顯示大屯火山群離現今最近一次的噴發時間約在6千年前，符合國際火山學會對於活火山的定義。另一方面，林正洪等科學家也紛紛撰文呼籲，大屯火山群緊鄰臺北市，其中特別是天母、北投與士林區，更僅位於其山腳下，即使是臺北市中心的101大樓與七星山的距離也小於15公里。因此，大屯火山群是否再度的活動，不僅是科學問題，更是大臺北都會區一項重要安全的考量。宋聖榮也認為，因為過去臺灣和周遭島嶼的火山一直都被認為是休眠火山或是死火山，從未有活火山的報導，以致對於臺灣火山的研究和瞭解都不夠，而一般大眾對於火山的知識更是缺乏。

2011年起，隨著科學證據的發現與進展，諸多計畫開始投入臺灣北部火山活動徵兆的監測工作，包括火山微震、地球化學、地表變形監測、大地自然電位元觀測及地球物理探測等，監測範圍與規模也大於以往。以瞭解大屯火山群的岩漿庫與熱液活動，作為火山災害潛勢評估及火山防救災政策制定依據。2016年，研究團隊更透過大屯山區布設的地震網，由觀測到的S波陰影及P波延遲現象，首度證實臺灣北部大屯火山底下存在岩漿庫。使國家投入更多的資源建立「臺灣陣列」火山監測網，並於2020年再次確認岩漿庫存在的事實。

總體而言，大屯火山群在1990年代以前，一直被認為是一座死火山或休眠火山，1999年之後，學者楊燦堯、宋聖榮、林正洪等人開始尋找活火山活動現象的證據。隨著監測技術與定年技術的進展，2002年發現大約1萬8千年的火山噴發紀錄。2010年更發現大屯山的最後一次噴發，可能在1萬年以內。而在2010年代，隨著大屯火山觀測站的設立，更多的研究證實了地底岩漿庫的存在，火山活動也被更為細緻的看到，呈現一段火山「由死轉生」的科學研究歷程。科學知識與技術的進展，不僅是對地底岩漿庫位置與火山構造的可視化，也隨著媒體的關注，逐漸帶給臺灣社會對於火山與城市環境的認識。

參考文獻

- 王文祥(1989)。臺灣北部大屯火山群之火山地質及核分裂飛跡定年研究。臺灣大學地質研究所碩士論文。
- 王鑫(1991)陽明山國家公園火山地質文獻之整理研究。臺北：陽明山國家公園管理處。
- 林正洪(2014)。大屯火山群火山監測展示計畫。臺北：陽明山國家公園管理處。
- 林正洪(2005)。大屯火山群潛在岩漿庫及微震觀測網長期監測計畫(三)。臺北：內政部營建署陽明山國家公園管理處。
- 宋聖榮(2007)。臺灣第四紀火山活動。中央地質調查所特刊，18，111-142。
- 宋聖榮(2021)。109-110年度「七星山張裂帶爆裂口之研究」。內政部營建署陽明山國家公園管理處委託研究報告。臺北：內政部營建署。
- 陳文山、楊志成、楊小青、劉進金(2003)。從火山地形探討大屯火山群的地層層序與構造。經濟部中央地質調查所彙刊，16，99-123。
- 陳文山、楊志成、楊小青等(2007)。從LiDAR的2公尺×2公尺數值模擬地形分析大屯火山群的火山地形。中央地質調查所彙刊，20，101-128。
- 楊燦堯(1999)。陽明山國家公園大屯火山群之氮氣及其同位素地球化學之研究。內政部營建署陽明山國家公園管理處委託計畫。臺北：內政部營建署。
- 楊燦堯(2000)。利用氣體成份監測臺灣北部潛在的岩漿活動。臺北：行政院國家科學委員會。