

台北盆地之地質研究

鄧屬予¹

國立台灣大學地質科學系暨研究所

摘 要

從20世紀初至今,台北盆地的地質研究已有百年的歷史。早期工作著重在週遭山區的地質勘查和盆地內的淺井探測,在缺乏深部地質資訊的狀況下,盆地的基盤形貌和沈積物特性難以確認。雖然盆地的型態和成因有不少猜測,但並無共識。

1992年深井鑽測開始,台北盆地的地質研究從此進入新紀元。在深井資料的衝擊下,各項基礎研究全面展開,不但重寫了盆地的基盤形貌、地層架構、構造型態、沈積物特性和地質演變史,並且帶動新一輪的山腳斷層和大屯火山群研究。本刊即有多篇論文展示盆地探井、山腳斷層和區域地震的研究成果。在這一波研究高潮中,台北盆地的地質資訊獲得了長足的進展,但盆地西北角仍缺乏深部地層資料。由於該處可能是盆地基盤最深處,也是探究地層架構和早期地史的關鍵點,亟需進一步鑽探。

鑑於台北盆地和台北都會區的關連,未來地質研究仍將與都會區發展和工程建設緊密結合。除了在特定地點持續鑽探外,更需將現有資料加以彙整,編製地下地質圖以供社會使用。一些與都會區有關的環境地質議題,如山腳斷層活動性、大屯火山噴發潛能和氣候變化的環境衝擊等,都是未來值得探究的方向。

關鍵詞：台北都會區、地下地質、環境地質、研究史

1. 鄧屬予電子郵件信箱：tengls@ntu.edu.tw

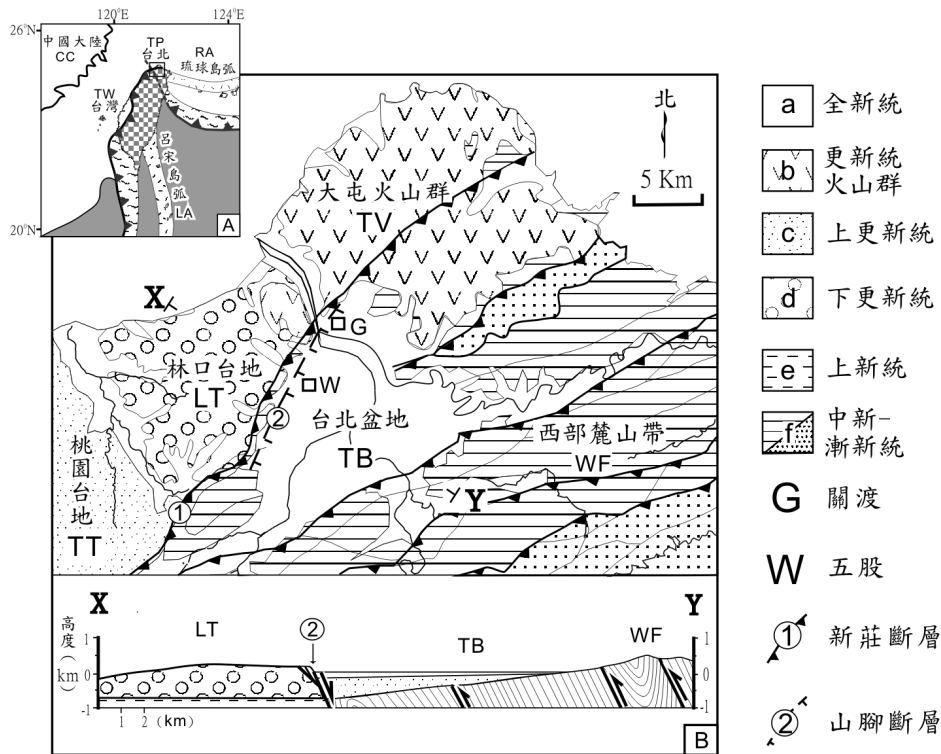
緒 論

在台灣眾多地形單元中，台北盆地無疑是一特殊的地質區。盆地面積約243 km² (石再添等, 1996)，不到全台1/150，然而卻容納了台灣最大的都會區。對都會區發展和建設而言，盆地複雜多變的地質環境是一項不可忽視的背景因素。因此，盆地地質研究不但是一項純科學的課題，也是深具社經意義的工作。這項兼具學術和應用的價值，使得台北盆地很早就受到地學界注目(出口雄三, 1911；丹桂之助, 1939)，近年來更成為地質探測的重心(賴典章, 1999；Chou, 2004)。本刊內容即反應這股研究潮流的現況。

回顧以往的發展過程，台北盆地研究並非一帆風順。20多年前，台北盆地還是一塊被遺忘的角落。當時板塊運動學說風靡台灣，呂宋島弧和中國大陸的碰撞吸引了所有人的注意，地學界對恆春半島的關注可能超過了台北盆地。我也不例外，雖然身居台北，探索的眼光卻始終放在遠方的中央山脈。直到有一次，我和一群學生從台北出發，環島考察地質。我們在海岸山脈檢視呂宋島弧的火山岩，在中央山脈探討大陸岩盤的變形，似乎旅途所見的地質現象都在碰撞造山的掌握中。然而當我們滿意地回到台北時，突然有位同學問：「既然在碰撞造山，台北盆地是怎麼形成的？」

我思索了一會，嘗試從碰撞造山模式裡找答案，卻始終無法說明「上升山脈裡何以出現一個下陷盆地？」。困惑之餘，我開始從文獻中尋找線索，卻赫然發現台北盆地的地質資料並不多。雖然前人論著對盆地的成因和地下地質多有著墨，不過在缺乏足夠的資料支撐下，許多根本問題，包括盆地型態、基盤深度和地層年代，都沒有明確的交待。這令我感到詫異，心想如此重要都會區的地質資訊怎麼會那麼少？於是在好奇心的驅使下，我開始認真關心台北盆地，並且和志趣相投的同仁們展開合作研究。

由於台北盆地的地表是一片沖積平原(圖一)，除了週遭山區的露頭可供觀察外，盆地本身必須靠鑽井來探測。我和合作夥伴們先從週遭地區著手，整理盆地的地質背景，再由探井資料來探索盆地的地下地質。在這個過程中，我不斷回顧前人的想法和爭議，並和同仁們討論台北盆地研究的過去、現在和未來。在此藉由本刊的編纂，我嘗試把台北盆地研究的歷史軌跡做一整理，勾劃出目前的研究近況，並提出一些對未來發展的看法。



Legends:
a. Holocene; b. Pleistocene volcanics; c. Upper Pleistocene; d. Lower Pleistocene; e. Pliocene;
f. Oligo-Miocene; G. Guandu; W. Wugu; ① Hsinchuang Fault; ② Shanjiao Fault; TT. Taoyuan
Tableland

圖一、地質背景。

(A)台北盆地位於台灣島的北端，原本屬於呂宋島弧和中國大陸碰撞所產生的造山帶。如今因板塊隱沒方向反轉而移入琉球島弧系統。

(B)台北盆地的東面和南面是西部麓山帶的丘陵區，西面有林口台地，北面是大屯火山群。盆地剖面類似一個楔型的半地塹，以褶曲的第三系地層為基盤，上覆更新統和全新統的沈積物。

Figure 1. Geological Background.

(A) Located in northern Taiwan (TW), the Taipei area (TP) was part of the rising orogen formed by the collision between the Luzon Arc (LA) and the China continent (CC). Presently the area has been incorporated in to the Ryukyu Arc system (RA) as a result of flipping of subduction polarity in late Quaternary time.

(B) The Taipei Basin (TB) is bordered by the Western Foothills (WF) to the east and south, the Linkou Tableland (LT) to the west, and the Tatun Volcanoes (TV) to the north. The cross section of the Basin appears like a half-graben floored with deformed Tertiary strata and filled with upper Pleistocene and Holocene sediment.

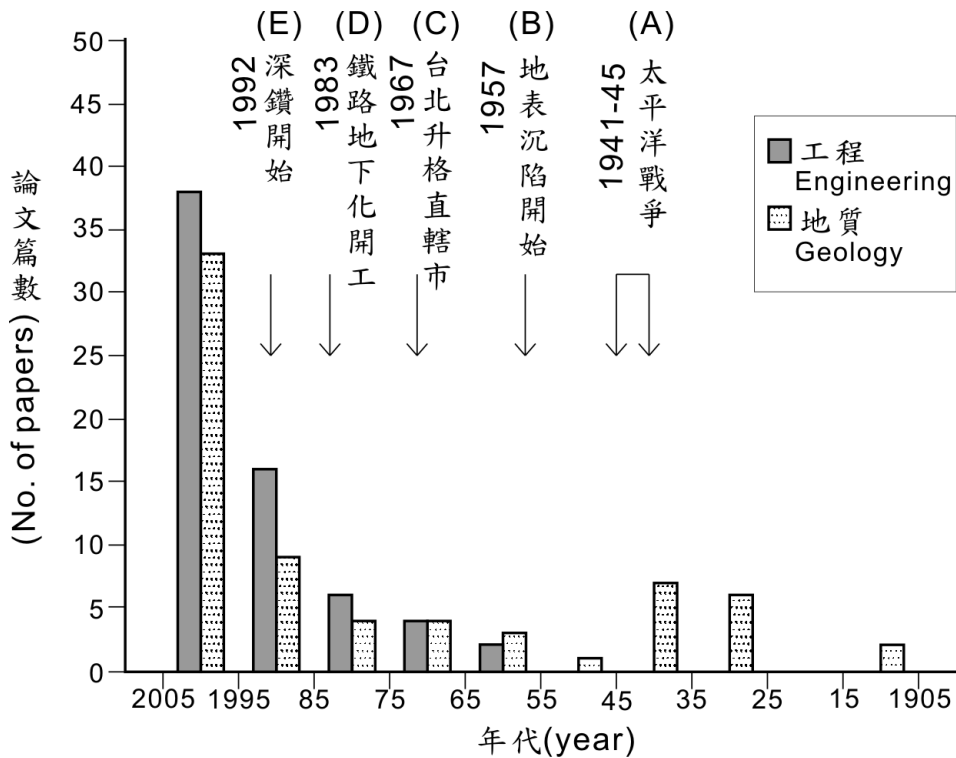
百年的沿革

撇開早期的遊記(如郁永河, 1697)不談, 台北盆地的地質研究大約在20世紀初開始。當時為了因應台北城用水所需, 在盆地中鑽取大量水井, 首度揭露台北盆地的地下地質(出口雄三, 1911)。這些井以沖洗方式鑽進, 深度多在 100 公尺以內, 取得之樣品為鬆散的岩屑, 雖然無法提供詳細的岩層資料, 但已可用來建立初步的地層架構(丹桂之助, 1937a)。尤其是這些探井中, 常出現一層富含貝殼化石的泥層(出口雄三, 1911), 在盆地中分布廣闊, 許多工程開挖剖面中也可見到(丹桂之助, 1937b)。地質學家就據此推斷盆地曾經是一個半淡水湖或海灣, 類似今天台灣西南部的潟湖(丹桂之助, 1938)。

另一方面, 隨著區域地質調查工作的開展(出口雄三, 1912; 市川雄一, 1931), 台北盆地週遭地質狀況日趨明朗。在區域地質架構支撐下, 學者開始全面探討台北盆地的成因, 並且提出許多不同模式; 包括火山陷落湖(出口雄三, 1912)、火山堰塞湖(牧山鶴彥, 1933)、斷層逆衝裂谷(花井重次, 1932)和斷層下陷盆地(丹桂之助, 1939)。由於當年地質資訊有限, 這些模式孰是孰非很難定論, 不過已為台北盆地研究開拓了許多重要的思路。

1941 太平洋戰爭爆發, 台北盆地研究陷於停頓(圖二)。1945 年大戰結束後, 研究逐漸恢復。初期有一些盆地成因探討和化石分析工作(陳正祥, 1953; 林朝榮, 1953), 後來隨著煤及石油探勘的開展, 盆地週遭地區陸續進行基礎地質調查(何春蓀等, 1964; Chang, 1971), 部分探勘工作深入盆地內部(楊玉璠、葉天順, 1964; Wu, 1965)。同時台北都會區逐漸擴展, 工程建設與日俱增, 與基礎工程有關的地層特性開始受到關注(Hung, 1963; 洪如江, 1966)。尤其是盆地內曾因抽取地下水而引發嚴重的地盤下陷(吳建民, 1968; 楊萬全, 1972), 使得盆地的地下地質再度受到重視(楊應塘, 1975), 也促成了盆地中第一口研究探井開鑽(王執明等, 1978)。這口探井提供了重要的地質資訊, 使我們對台北盆地基盤形貌和沈積物特性有了比較完整的認識(圖三 A)。

1980 年後, 翡翠水庫開始興建, 台北都會區獲得了新水源, 地下水抽取受到管制, 地層下陷因而獲得改善。地質研究又復歸平靜, 唯盆地週緣仍有零星的地層、構造和定年分析工作(何春蓀, 1983; Lee and Wang, 1988; Chen and Teng, 1990; Wang and Chen,



圖二、台北盆地百年來的研究發展與期刊論文。太平洋戰爭前有一波研究風潮，戰後隨著台北都會區的發展，地質研究逐步復甦，並在深鑽開始後達到高峰。與工程研究相比，地質研究在早期領先，1970年後落居下風。(本圖之工程包括與地質相關之大地工程、水利工程及地震工程。資料摘自國家圖書館：<http://www.ncl.edu.tw/>；國立台灣大學電子論文服務：<http://www.cetd.com.tw/ec/index.aspx>；台灣地質知識服務網：<http://twgeoref.moeacgs.gov.tw/>；Web of Science：<http://portal.isiknowledge.com/portal.cgi>)

Figure 2. Scientific publications on Taipei Basin in the past century. Except a wave of research before the Second World War (A), geologic studies gradually developed as the Taipei Metropolis started expanding during the 1960s (C) and reached a climax after deep drilling commenced (E). Compared with engineering studies (including geotechnical, hydraulic, and earthquake engineering), geologic research led in early years but has fallen behind since 1970.

Major events: (A) Second World War; (B) Initiation of land subsidence; (C) Taipei City raised to special status; (D) Initiation of subsurface railway construction; (E) Initiation of deep drilling. (Data compiled from websites shown above)

1990)。與此同時，台灣地區的大地構造研究蓬勃發展，台北盆地的構造框架日益清晰(圖一 A)。尤其在認識台灣北部和琉球島弧的關連後(李昭興與盧世民, 1976；Bowin *et al.*, 1978；Yen, 1978；Suppe, 1984)，我們瞭解到台北盆地雖曾受到造山運動的擠壓，如今卻處於張裂的大地應力環境中(Lee and Wang, 1988；Yeh *et al.*, 1991)。這項觀點替盆地成因研究開闢了一條新思路。

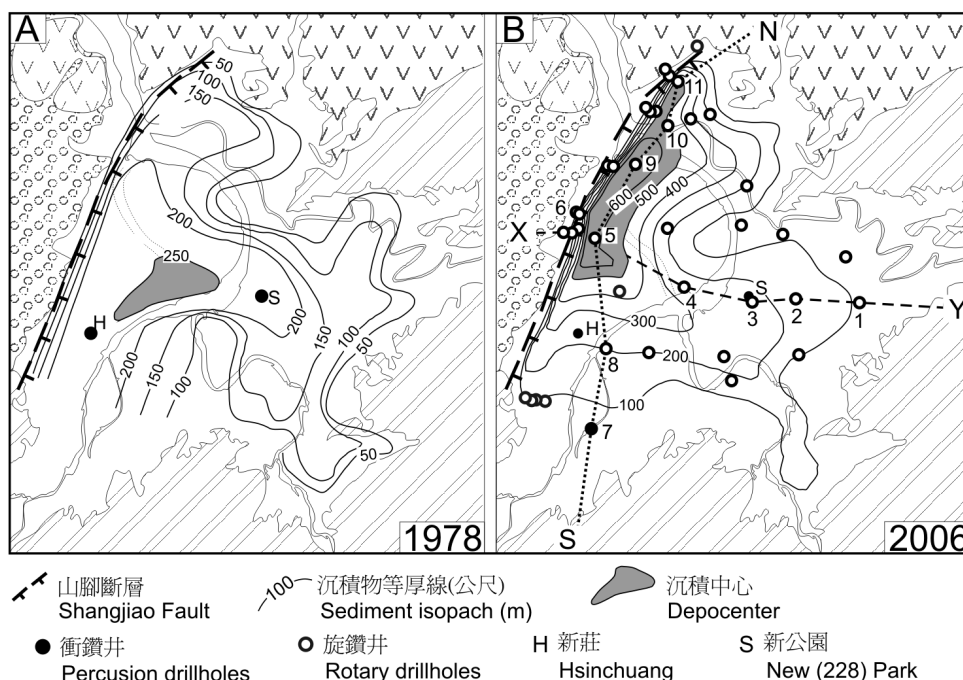
另一方面，隨著都會區的快速發展，台北盆地逐步全面都市化(蕭國鑫, 1986；石再添等, 1989)。自然環境的變動對都會區的影響日益擴大。在土地短缺的限制下，盆地內的工程建設朝垂直方向發展，除了高層建築物不斷地興建外，多項重大公共工程如高速公路、快速道路、鐵路地下化、捷運系統、污水下水道以及基隆河截彎取直等也陸續登場。這些工程大都深入盆地的地層和基盤，遭遇不少地下水和地盤下陷問題(歐晉德等, 1983；吳偉特, 1987)。為了因應這些問題，台北盆地的工程研究迅速發展，大幅超越地質學研究的進度(圖二、四)，並引發了工程界對盆地地質資訊的需求，因而促成了深井鑽探的開展(賴典章, 1999)。

近十年的突破

1992年深鑽計劃登場，台北盆地的地質研究從此進入新紀元。在中央地質調查所主持下，多所大學及研究機構結合力量，展開「台北盆地地下地質及工程環境」大規模合作研究(賴典章, 1999)。除了地質學界外，地球物理學和土木工程學界也投入了大量人力。深鑽計畫第一階段在台北盆地西部鑽取5口探井，其中3口鑽抵基盤(林朝宗等, 1999)。1997年第一階段結束後，地質調查所持續深鑽(蘇泰維等, 2001, 2003；劉桓吉等, 2002)，逐年添加新井，至今已累積至38口；井位遍布全盆地(圖三 B)，最深達760公尺。

由於深井大多以旋鑽進行，可以獲得較為完整的岩心，因此提供了良好的素材，讓地質學家能夠明確而深入地探究台北盆地的地下地質。在深鑽帶動下，台北盆地地質研究全面開展，各項基本課題，包括地層、古生物、岩石、礦物和年代，都獲得輝煌的成果。這些成果在1994年後陸續發表，促成了一系列的專題研討會(中國地質學會第四紀

研究會, 1994, 1996, 2004)、研習會(臺灣省立博物館, 1998 ; 國立臺灣大學地質學系, 1999 ; 經濟部中央地質調查所, 2001)和兩本學術專刊(經濟部中央地質調查所, 1999 ; 臺灣省立博物館, 1999)。就量而言, 近10年來以台北盆地為主題的期刊論文有33篇, 幾乎和過去90年所累積的總數(35篇)相當(圖二)。就質而言, 深鑽所獲得的地質資訊遠遠超越過去, 不但釐清一些過去的爭議, 更帶來許多嶄新的認識。主要貢獻如下:



圖三、探井位置與基盤形貌。

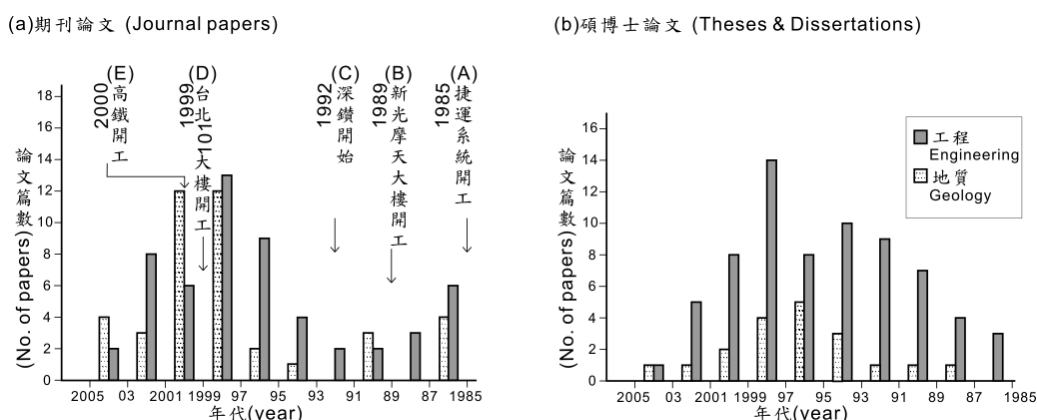
- (A) 早年台北盆地中心僅有兩口探井鑽抵基盤, 所推斷的盆地形貌類似一淺盤, 最深處在新公園和新莊之間。(基盤深度取自王執明等, 1978)。
(B) 自1992年以來, 盆地增加了38口新探井, 大多深達基盤。所獲得的基盤頂面由東南向西北傾斜, 最深處緊貼山腳斷層。剖面X-Y, N-S 及井位1~11見圖五。(井位與基盤深度取自蘇泰維等, 2001, 2003 ; 賴慈華等, 2006)

Figure 3. Borehole locations and basement configuration.

- (A) Before 1992, the central Taipei Basin had only 2 boreholes drilled through to the basement. The sediment isopachs show a disk-like basin with the center located between Hsinchang (H) and New Park (S). (modified from Wang Lee *et al.*, 1978).
(B) Since 1992, 38 new boreholes have been drilled, mostly to the basement. The basement depth increases dramatically, reaching over 600m near the Shanjiao Fault in the northwestern part of the basin. Sections X-Y and N-S and boreholes 1~11 shown in Figure 5. (Data from Central Geological Survey)

盆地型態與基盤形貌

在深鑽計畫開始之前，台北盆地的中心部位雖有不少探井(丹, 1939；林朝榮, 1953)，但只有兩口鑽抵基盤(圖三A)。王執明等(1978)利用這兩口井，配合其他探井和地物資料，推測出台北盆地的基盤深度，顯示台北是一個淺盤式盆地，沈積中心位於新(228)公園和新莊之間，最深約250公尺。深鑽開始至今，盆地中有33口探井鑽抵基盤，所繪製的基盤深度圖徹底改變了原有的盆地形貌(圖三B)，顯示基盤由東南向西北傾斜，最深處位於盆地西北角，深度超過670公尺。從橫剖面看來(圖五)，台北盆地像似一半地塹，緊貼山腳斷層(圖一B)。



圖四、近20年地質與工程之研究發展與論文。在大型工程的激勵下，工程研究的發展大幅度超越了地質研究。不過1992年開始的深鑽帶來新的契機，使地質研究急起直追，在1999-2001年間趕上工程研究。這一波地質和工程的研究高峰似乎已經過去，2001年以來兩者都呈現衰減的趨勢。資料來源同圖二

Figure 4. Geologic and Engineering publications for the past 20 years. Spurred by large-scale constructions, engineering research activities generally exceeded those of geology, which, however, have gained momentum since deep drilling started in 1992. Both engineering and geologic studies peaked in 1997-2001 and began to fall afterwards. (Data source shown in Figure 2)

- (A) Initiation of subway construction.
- (B) Initiation of Hsingguang Building construction.
- (C) Initiating of deep drilling.
- (D) Initiation of Taipei 101 Building construction.
- (E) Initiation of High-speed railway construction.

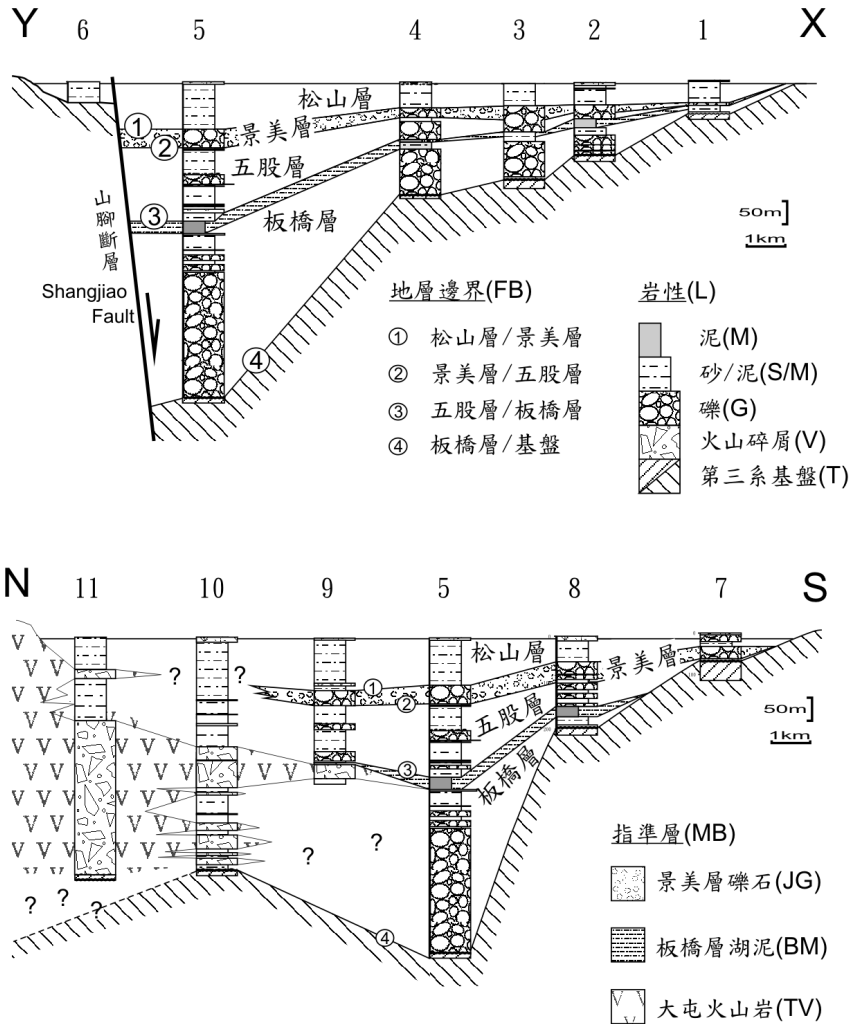
盆地成因與演化

在過去的研究中，台北盆地的成因說法甚多，莫衷一是。深井鑽探顯示台北盆地位於山腳斷層的上盤，證實了「構造陷落盆地」的推測(丹桂之助, 1939; Wu, 1965)，同時也否定了「斷層逆衝裂谷」(花井重次, 1932)的看法。從深井資料中，我們瞭解台北盆地基盤是褶曲第三系(圖五)，岩性和週遭褶皺山脈的岩盤相同(圖一)。這表示台北地區在陷落之前，並非丹桂之助(1939)所推測的河川平原，而是造山帶的一部份(王執明等, 1978; Chen and Teng, 1990; Chou, 2004)。探井同時也提供了盆地的地層年代資料，讓我們能推斷台北地區在第四紀早期先上升成山脈，爾後再垮塌下沉(圖六)。地層資料也指示台北盆地曾一度被火山岩堰塞成湖(鄧屬予等, 2004a)，呼應了牧山鶴彥(1933)早期的猜測。不過牧山鶴彥(1933)認為堰塞發生在松山層堆積時，堰塞的地點在關渡；新井記錄則顯示堰塞發生在板橋層堆積時(圖五)，地點在大屯山區(鄧屬予, 2004a)。

古環境變遷

以往的探井研究中，盆地淺部地層(松山層)的環境變遷有不少論述(丹桂之助, 1938; 林朝榮, 1953; Huang, 1962)，深部地層的岩相和沈積環境則所知不多(Wu, 1965; 王執明等, 1978)。深鑽揭露了盆地深部的地層和沈積特性(Liew *et al.*, 1997; 鄧屬予等, 1999; 彭志雄等, 1999)，使我們能依序推斷出盆地的沈積環境變化(Teng *et al.*, 2001)；配合礦物和岩石學分析(林泗濱、陳正宏, 1999; 陳正宏、林泗濱, 1999; Lin and Chen, 2000)，我們還可瞭解新店溪和基隆河是盆地沈積物的主要供應源，大漢溪在兩萬五千年前才流入盆地(鄧屬予等, 2004b)。

另一方面，孢粉地層研究也帶來了重要的古環境訊息，顯示盆地曾經歷冷暖交替的氣候變化(Liew *et al.*, 1997; 蕭承龍等, 1999; 曾美惠、劉平妹, 1999)。這些變化和全球冰川消長互相呼應，不但影響到盆地週遭山區的風化和侵蝕作用，使盆地沈積物性質產生變化(Teng *et al.*, 2000)，並且透過海水面升降改變了盆地的沈積環境(曾美惠、劉平妹, 1999; Teng *et al.*, 2000)。



Formational boundaries (FB) :

① Sungshan/ Jiingmei; ② Jiingmei/ Wugu; ③ Wugu/ Banchiao; ④ Banchiao/ Basement

Lithology (L) :

M: mud; S/M: sand/mud; G: gravel; V: volcanics; T: Tertiary basement

Marker beds (MB) :

JG: Jiingmei gravel; BM: Banchiao lake mud; TV: Tatun volcanics. Location shown in Figure 3

圖五、地層架構與沈積物特性。

上圖：東西向剖面，顯示台北盆地的沈積物為主要是礫、砂、泥層及其互層。其中景美層礫石和板橋層湖泥廣布全區，是分層和對比的指準層。

下圖：盆地西部之南北向剖面，顯示盆地中南區的地層到西北角產生相變，其中礫層多尖滅，且被火山碎屑岩層取代。由於指準層無法延伸至西北角，因此西北角的地層系統難以認定。值得注意的是，板橋層上部的湖相紋泥層在五股-蘆洲(5-9號井)一帶，緊貼火山碎屑岩層之上，指示火山碎屑岩層曾將盆地堰塞成湖。位置見圖三。

Figure 5. Stratigraphic framework and sediment characteristics.

Upper panel: The stratigraphic section cutting through the central Taipei Basin shows that the Basin sediment, dominated by gravel, sand, mud and their interbeds, can be divided into four lithostratigraphic units with two basin-wide marker beds (JG and BM).

Lower panel: The stratigraphic section across the western Taipei Basin shows prominent facies change from the gravel / sand / mud layers in the south-central Basin to the volcanic deposits in the northwestern part. Because of the pinchout of marker beds, the stratigraphy is hard to ascertain in the northwestern Basin. Note that the lacustrine mud of the upper Banchiao Formation (BM) overlies the volcanic layer (TV) in Luzhou-Wugu area (Boreholes 5~9), indicating that the Basin was once dammed into a lake by volcanic deposits.

山腳斷層

最早丹桂之助(1939)推定山腳斷層時，主要的依據是台北-林口之間的地形和地層關係。由於缺乏野外露頭和構造地質證據，山腳斷層存在與否始終受人懷疑。探井不但顯示山腳斷層是台北盆地的邊界斷層(圖五)，而且直接貫穿了山腳斷層的破碎帶(李錦發等, 1999；劉桓吉等, 2000)，證實了斷層的存在。由於台北盆地緊鄰山腳斷層處累積了 670 公尺以上的沈積物，表示斷層上盤在晚第四紀下滑了至少 670 公尺，平均每年 1~2mm (Wei *et al.*, 1998)。因此，山腳斷層很可能是具發震潛能的活斷層(林啟文等, 2000；Campbell *et al.*, 2002；Shyu *et al.*, 2005)。

大屯火山活動

早期研究曾經報導台北盆地中可能有火山噴發物(丹桂之助, 1939；王執明等, 1978)，尤其在靠近大屯火山群的盆地北緣。由於缺乏明確的岩性描述，這些火山岩層的分布範圍和地質意義不明。如今深井中發現許多新的火山岩塊和火山岩層，在盆地中分布廣泛(陳正宏、林泗濱, 1999)；特別是在盆地的西北角，有厚層(>30m)火山碎屑岩和河湖相地層穿插(圖五)，表明了火山岩層是盆地的堆積物。由於火山岩層的岩性與大屯火山岩相當(曹恕中等, 2000；Tsao *et al.*, 2001)，因此在台北盆地沈積的過程中，大屯火山曾持續噴發，不但堆疊出成群的火山體，屏障盆地的北緣(Teng *et al.*, 2001)，還一度堵塞淡水河道，使盆地氾濫成湖(鄧屬予等, 2004a)。根據以往火山岩年代學研究(莊文星、陳汝勤, 1989；Wang and Chen, 1990；曹恕中, 1994)，大屯火山大約在 10 萬年前停止噴發，然而盆地井錄指示火山作用可能延續到兩萬年前(Chen and Lin, 2002)。這不僅更新

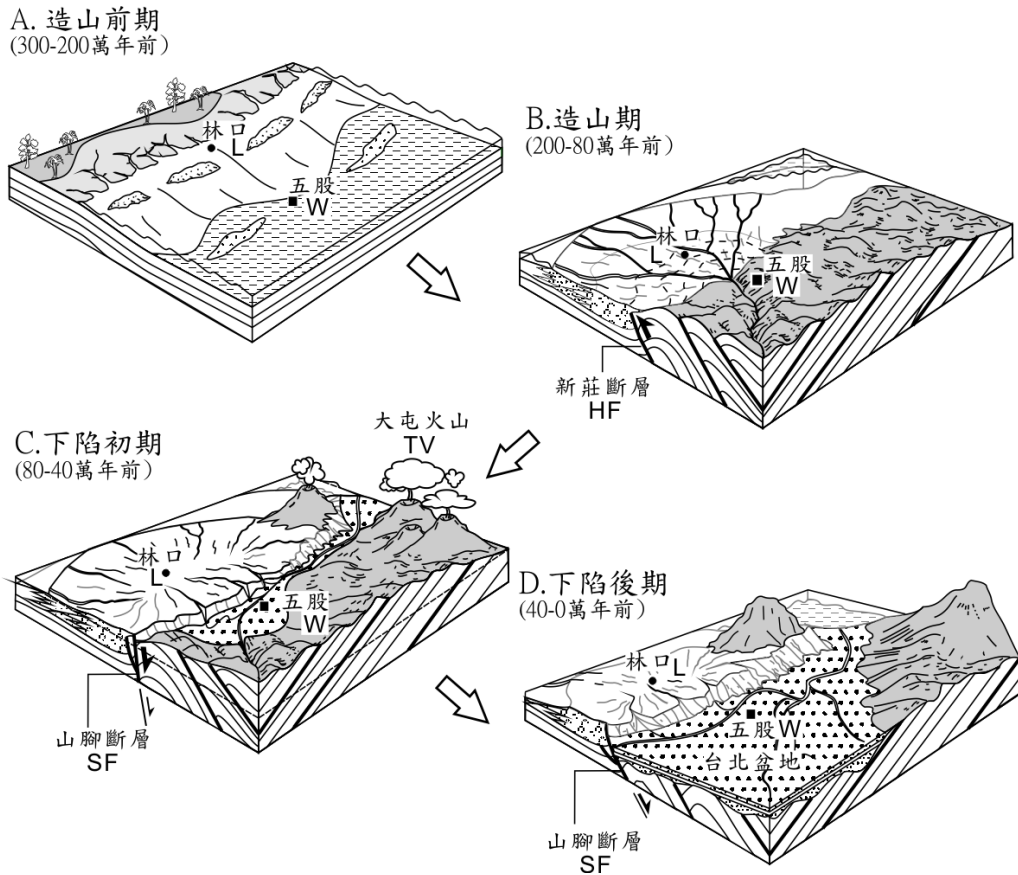
了大屯火山活動的年代，也提醒我們大屯火山群可能尚未休止(Song, 2000)，需重新評估再度噴發的潛能(鄧屬予等, 2004a)。

目前的進展

在深鑽的推動下，台北盆地研究獲得了長足的進展，大幅提升了我們對台北盆地地下地質的認識。隨著深井持續的鑽取，新岩心不斷出籠，相應的基本研究也跟著進行。不過在計畫時程的壓力下，以往研究大都匆匆趕工，許多資料至今尚未整理。為了彌補這項缺失，本刊特別邀約多位專家學者撰稿，將他們從事台北盆地研究的心得發表。內容包括古生物和地層資料展示、古環境研究、斷層追蹤和區域地震評估。希望藉此擴展我們對台北盆地的瞭解，並為未來進一步的研究催生。

本刊中，黃奇瑜發表台北盆地西部4口探井的有孔蟲組群，洪奕星等陳述新探井之地層和沈積相；劉平妹等公布各探井的孢粉組群；陳炳誠等展示景美溪口新發現的古樹林。這些資料填補了許多過去的缺失，使我們能夠在新舊資料結合的基礎上，深入探討台北盆地的古環境和古氣候。謝英宗承繼以往的有孔蟲研究(謝英宗, 2001；謝英宗等, 2005)，配合探井岩心岩相，解釋盆地東部的地層和沈積環境。劉平妹等整合孢粉資料，提出涵括全盆地的孢粉地層架構，並勾畫40萬年來的古氣候變遷史。洪奕星等彙整岩心沈積相特徵，全面檢討盆地的沈積架構和沈積環境變化。陳炳誠等剖析古樹林和上下地層之間的沈積環境，探討全新世的氣候及海水面變化。此外，台北盆地研究也喚醒了地學界對山腳斷層的注意，使學界開始認真關注它的活動性和發震潛能(Shyu *et al.*, 2005；Wang, 2006)。石瑞銓等承續以往關渡平原的震測探勘(石瑞銓等, 2004)，進一步追蹤山腳斷層北延的金山斷層。王錦華重新整理台灣北部過去100年內的地震記錄，探討區域性的地殼構造以及發震機制。陳文山等則指出台北盆地岩心中有地震所造成的沈積變形現象，可作為古地震研究的參考依據。

到目前為止，台北盆地在這波深鑽探勘高潮中，獲得了輝煌的知識成果，讓我們瞭解台北都會區的環境地質問題非僅限於盆地本身，而涉及鄰近的大屯火山區。這份新認



圖六、台北盆地及週遭地區的地質演化史。

(A) 早期本區是一片淺海，由西北向東南變深。

(B) 碰撞造山運動將台北地區(以五股作代表)推擠成山，山脈沿新莊斷層向西仰衝，林口地區為山前沖積扇。

(C) 造山運動停止，山脈開始垮塌，並隨著山腳斷層的上盤下滑，形成台北盆地的雛形。林口地區上升成台地。大屯火山群大量噴發。

(D) 山腳斷層持續滑動，台北盆地不斷擴展。大屯火山活動休止，林口地區接受侵蝕。

Figure 6. Geological evolution of Taipei Basin and neighboring areas.

(A) 3-2 Ma, the area was a shallow sea deepening to southeast.

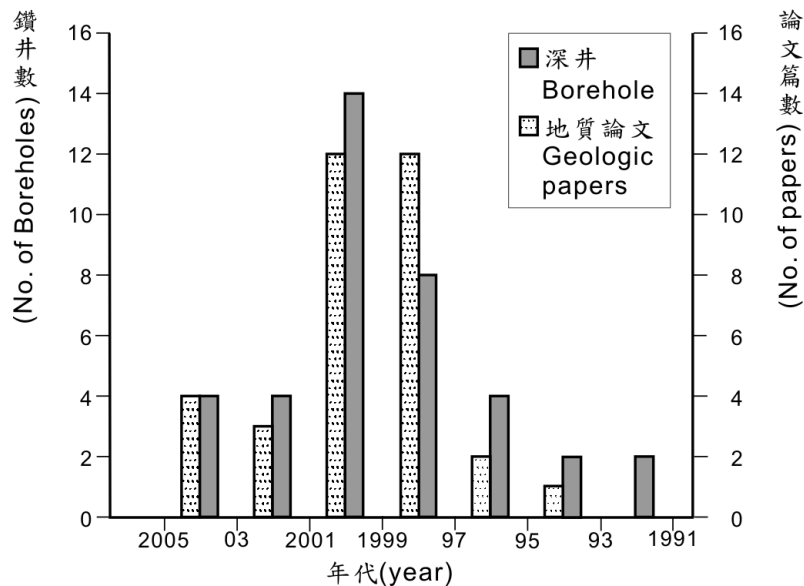
(B) 2-0.8 Ma, the Taipei area (W) was uplifted as part of the rising mountain belt that was thrust westward along the Hsinchuang Fault (HF) over a fan-delta in the Linkou area (L).

(C) 0.8-0.4 Ma, the orogeny terminated and the mountain belt began to collapse. The Taipei area slid down with the hanging wall of the Shanjiao Fault (SF) to form a basin. The Linkou area was uplifted as a tableland, while volcanism took place in the Tatun area (TV).

(D) 0.4 Ma-Present, the hanging wall of the Shanjiao Fault kept sliding and the Taipei Basin expanding, whereas the Tatun volcanism diminished and the Linkou Tableland was subjected to erosion.

識維持了深井鑽探的動能，並擴展到盆地週遭地區(蘇泰維, 2001, 2003)。如今深鑽尚未停歇，新井仍逐年增加。不過從論文的發表狀況看來(圖七)，地質研究似乎並未因探井增加而增強；2001年後，論文篇數反而逐年下降(圖四)。這是否暗示我們對台北盆地的研究已趨近飽和，無需進一步探究？

如果細究近年所發表的文獻內容，就可發現目前的研究成果大都源自1999年前的探井，尤其是盆地西部的5口井(如Liew *et al.*, 1997；蕭承龍等, 1999；黃奇瑜, 本刊)。爾後的探井雖有部分成果刊出，但多為片段的專題論述(如謝英宗, 2001；Lin and Chen, 2001)，綜合性研究並不多。在新舊資料尚未完全融合的狀況下，許多基礎性問題仍未解決。以最基本的地層架構而言，早期地層系統(丹桂之助, 1939；Wu, 1965；王執明等,



圖七、深井與地質期刊論文之比較。整體看來，深井數的多寡似乎直接影響地質研究的成果。不過通常從鑽井、研究到發表需要2~4年的時間。因此1997-2001年間的論文高潮主要出自1999年以前的探井。1999年後的探井資料至今多未發表。資料來源見圖二。

Figure 7. Comparison of geological journal papers with deep boreholes. It appears that the number of geologic papers varies with that of boreholes. Since it takes about 2-4 years to proceed from drilling, research to publication, the papers published in 1997-2001 resulted mainly from studies of the boreholes obtained before 1999. Few data from boreholes drilled afterward have been released. Data source shown in figure 2.

1978)雖然難以反映新井的地層特性，但仍繼續沿用(Lin and Chen, 2000)。新地層架構雖然適用範圍較廣(鄧屬予等, 1999)，但難以涵蓋盆地深部的地層(圖五)。另一方面，現行地層系統在盆地中心地帶較為適用，延伸到盆地邊緣就常出現問題(鄧屬予等, 1999, 2004a)；尤其是盆地的西北角，許多指準層在此尖滅，且出現多層火山岩層(圖五)，這些因相變而產生的地層問題該如何協調？目前還沒有認真去探討。

地質研究替台北都會區帶來了兩項新議題：一是北邊的大屯火山群，另一是西邊的山腳斷層。盆地的地質記錄告訴我們大屯火山群比以前的想像要年輕，而山腳斷層比以前更真實。兩者的活動性均事關重大，需審慎評估。目前這兩項議題都有持續的追蹤研究，但還沒有明確的答案。以大屯火山群為例，地形分析顯示火山的外形完整(陳文山等, 2004)，有活躍的地震活動和來自地底深部的氣體(楊燦堯等, 2003；Kim *et al.*, 2005；Lin *et al.*, 2005)，顯示火山可能尚未休止(Song, 2000)。不過在缺乏火山岩定年和地層記錄的支持下，這項推論仍有待考驗。就山腳斷層而言，密集的探井雖然證實了斷層的存在，但它究竟是正斷層(Wu, 1965；王執明等, 1978)或走滑斷層(李錦發等, 1999)？可分成四段(Teng *et al.*, 2001)或三段(劉桓吉等, 2000)？近期是否活動過(劉桓吉等, 2000；Huang *et al.*, in press)？這些都尚未定論。

台北盆地的基盤是褶曲第三系，這已是大家的共識。目前有超過30口井鑽抵基盤，獲得不少基盤的岩性和層位資料。但確實的地層和構造形態為何？至今還沒有明確的概念。整體看來，山腳斷層似乎是盆地最主要的邊界斷層，但盆地內部是否還有其他相似的正斷層？目前仍無定論。從現有的探井(Teng *et al.*, 2001；洪奕星等, 本刊)和微震(Lin, 2005)資料推斷，盆地中似乎另有活斷層。不過探井僅提供點的控制，除非正巧鑽穿斷層帶，否則難以論斷。微震活動雖表示岩盤曾發生破裂滑動，然而若非已知有相關的斷層存在，亦無法確認其實質意義。

受限於探井深度和資料品質，我們對台北盆地淺部地層的瞭解較多，對深部地層則所知有限。尤其是盆地西北部的蘆洲到北投一帶。現有的資料推測該區基盤向北迅速抬升，出露於大屯山區的南緣(圖三B)。然而探井記錄表明大屯火山岩可伸入盆地，與沈

積物相互穿插(圖六), 因此大屯火山岩並非盆地基盤, 而是沈積物。真正的第三系基盤岩在蘆洲和北投一帶有多深? 上覆的沈積物有多厚? 岩性和年代為何? 這些都還是未知數。正因為我們對深部地層的掌握不佳, 使得盆地早期地史產生許多爭議。以盆地的成因和演化而論, 雖然構造陷落模式已漸成共識, 然而陷落的機制來自正斷層(Wu, 1965; 王執明等, 1978)、走滑斷層(李錦發等, 1999)或火山活動(出口雄三, 1912; 洪奕星等, 本刊)? 導因於斷塊逃脫(Lu *et al.*, 1994)或山脈垮塌(Teng *et al.*, 2001)? 還有待深入探討。

未來的展望

從過去百年來的發展過程, 我們不難看出台北盆地的地質研究和都會區的需求息息相關(圖二)。早年在地下水取用和基礎建設的推動下, 鑽探和地基開挖提供了地質測勘所需的岩心和剖面, 啟動了地下地質的研究(如出口雄三, 1911; 丹桂之助, 1939; 林朝榮, 1953)。當台北逐步擴展成現代化都會時, 早期研究的成果提供了地盤下陷和工程基礎研究所需的地質資訊(洪如江, 1966; 吳建民, 1968)。1980年後, 大型地下工程的開展迫使工程界需求更為詳細的地質資訊, 因而促成了深鑽的合作研究。這種工程和地質相互需求的共生關係, 未來仍將是台北盆地地質研究的主要動力。

台北都會區擴展至今, 幾乎將盆地完全都市化。未來在缺乏土地資源的限制下, 地下空間的開發和利用勢所難免, 地下水變動、地盤下陷和地下工程環境仍將是各界關心的議題(林美聆、王泰典, 1995; 胡逸舟等, 1996; 闕河淵等, 1997)。另一方面, 台北都會區在過去10年數度遭受大地震侵襲, 造成相當可觀的損害(Chen, 2003; Loh *et al.*, 2003; Shin and Teng, 2001)。這使得都會區地震工程和震災潛勢愈來愈受重視。由於震波在傳送到地表時, 會受到基盤岩性和沈積物厚度的影響, 因此台北盆地內的地振動與地下地質也有所關連(Wen and Peng, 1998; Fletcher and Wen, 2005)。這些問題未來必將驅動對地質資訊更多的需求。

毫無疑問地, 深井鑽探推動了許多新研究, 大幅充實了盆地的地質資訊。不過目前的資訊大多來自學術性論述, 是否能充分為外界瞭解或利用, 仍有待觀察。倘若能將現

有資料做一整理，編製一系列地下地質圖出版，相信可以把繁雜的地質研究成果轉化成簡明的地質資訊(如黃鎮台, 1987；李咸亨, 1996；李錫堤等, 2002a, 2002b)，不但方便各界使用，也可為未來的地質研究奠定新基礎。以目前累積的深井和論文而言，基本資料已有一定規模，待地層和構造框架統整後，即可著手編製地質圖。

對台北都會區的環境地質而言，大屯火山群和山腳斷層的活動性為何？台北盆地內是否還有其他活斷層？這些都是懸而未決的重大問題。雖然大屯火山群和山腳斷層各自有追蹤研究，但問題的關鍵答案可能還是隱藏在台北盆地中。由於台北盆地是台灣北部近期地層記錄保留最完整的地區，如果大屯火山或山腳斷層曾經活動過，很可能會在台北盆地的地層中留下遺跡。尤其是盆地的西北角，也就是五股到北投一帶(圖五)。從現有的資料看來，此區很可能是盆地沈積物最厚的地方(鄧屬予等, 2004a)，也是大屯火山群和山腳斷層活動記錄最多的地方(Tsao *et al.*, 2001；Chen and Lin, 2001；Huang *et al.*, in press；陳文山等, 本刊)。目前這個地區雖有深井，但多未鑽至基盤最深處，未來還需深鑽來探明。此外，反射震測也是一項探索地下地層和構造的利器。由於台北盆地的地表多被建築物覆蓋，震測工作不易展開，過去雖有零星片段的施測(Wang, 1994, 1995；王乾盈、孫志財, 1999；石瑞銓等, 2004)，但始終未能取得長距離的剖面。如何突破困局，在都會區中施作長距離震測，將是未來台北盆地地質探測的重要挑戰。

台北都會區的發展徹底改變了台北盆地的地表面貌(蕭國鑫, 1986；石再添等, 1989)，但無法阻止大自然的地質作用。台北盆地原本是淡水河系的沖積平原，河川作用所帶來的洪水和泛濫在所難免(Chen *et al.*, 2005；Liaw *et al.*, 2006)。隨著都會建設不斷的擴展，洪泛所造成的損害也日益升高。尤其是近年來全球暖化現象日益明顯，讓人擔心極區冰川正快速消融(Vaughan, 2006；Nghiem *et al.*, 2006)，海水面會隨之上升(Alley *et al.*, 2005；Oerlemans *et al.*, 2005)，因而影響近海地區的都市和自然環境。台北盆地地勢低平，距海僅十餘公里，如今海水仍可隨著潮汐進入盆地(張瑞津等, 1988；Liu *et al.*, 2001)，海水面如有變化，必將衝擊盆地的自然環境。然而確實的影響為何？目前難以估計。事實上，冰川消長並非近代才有。在過去百萬年內，全球冰川已進退數十次以上(Petit *et al.*,

1999), 它對地表環境的影響斑斑可考(Lambeck and Chappell, 2001)。台北盆地內累積了670公尺厚的第四系沈積物, 裏面包含多次冰河消長和海水進退的地質記錄(Liew *et al.*, 1997; Teng *et al.*, 2000; 劉平妹等, 本刊)。如果我們能從中解讀出古氣候和古海水面對盆地環境的影響, 就可預估未來氣候變遷可能造成的環境變化。目前我們在盆地的地層中已看出些端倪(曾美惠、劉平妹, 1999; Liew and Hsich, 2002; Teng *et al.*, 2000), 不過仍有不少殘缺處。未來如何截長補短, 拼貼出一個「氣候-海水面-沈積環境」連動的藍圖, 還有待進一步努力。

在都會區發展和環境變遷的應用範圍外, 台北盆地研究也是一項深具學術意義的課題。台北盆地位於琉球島弧和台灣造山帶的交會處, 是山脈從隆昇轉化到垮塌的過渡帶(Teng, 1996)。盆地的地質記錄中有造山運動的遺跡, 也展現出垮山作用的特徵(Teng *et al.*, 2001)。它不但是台灣大地構造活動的迷你陳列館, 也可能作為世界造山運動研究的天然試驗場。對台北都會區而言, 這個活潑的地質環境提供了一個良好的鄉土教材, 讓我們了解週遭環境如何不斷地變動, 並學習如何在開發中和自然環境取得妥協。這些地質和社會相互交流的課題, 也是未來值得探索的方向。

結 論

歷經百年的研究, 台北盆地的地質背景和地下地質已有了大致的輪廓, 殘缺的部份主要在盆地的西北角, 也就是蘆洲到北投一帶。該區可能是盆地基盤最深處, 也是大屯火山岩層和盆地碎屑沈積物穿插最頻繁的地方。未來在該區深鑽不但可揭露盆地深部的地層特性, 協助推斷盆地早期的地史, 也可對大屯火山與山腳斷層的活動性提供重要的線索。

鑽井之外, 反射震測將是台北盆地地質探測的重要突破口。如能克服地表建築物的障礙, 在盆地內取得長距離之連續震測剖面, 將可獲得細緻的地下地質影像, 有助於探尋盆地內的潛在活斷層; 再搭配探井資料解釋, 將大幅提升我們對盆地地層、沈積和構造的瞭解。

作為台灣最大都會區的所在地，台北盆地未來的地質研究理應和都市發展緊密結合。如何因應社會的需求，將現有的地質研究成果加以整理，以簡明的地下地質圖及刊物發表，提供都市計畫及工程設計使用，是目前拓展台北盆地地質工作的首要任務。長遠看來，都會區的環境地質議題，包括山腳斷層和大屯火山群的活動性、地震災害潛勢及古地震紀錄，以及氣候和海水面變化的環境衝擊等，都是未來值得發展的方向。

誌 謝

本輯專刊能夠編印成冊，首先要感謝所有熱心投稿的論文作者，將多年的研究心得公布與大眾分享。在審查和編印的過程中，承蒙李錫堤、吳樂群、林蔭、袁彼得、陳明德、陳文山、莊釗鳴、游能悌、黃敦友、葉孟宛、詹瑜章、楊欣穎、劉平妹、劉聰桂、謝英宗、謝昭輝、謝凱旋、鍾令和、魏國彥、饒瑞鈞(依姓名筆劃排序)費心審稿，提出寶貴修正意見，使本輯內容得以不斷精進。會刊主編陳汝勤教授的全力支持及助理編輯邱淑美小姐的熱心協助，是本輯能夠順利出刊的重要支柱。

本文是我多年來參與台北盆地研究的心得和感想。感謝合作伙伴們給我的督促、協助和啟發。這篇文章得利於他們的指導甚多，不過個人觀點難免有偏頗之處，是否允當，還望同仁們指正。本文準備期間，承蒙王錦華和林美聆教授、賴慈華、王芊和魏韶箴小姐提供資料，林朝宗所長、游能悌、李錫堤和洪如江教授校閱文稿，王芊小姐和莊釗鳴先生協助編校繪圖，國家科學委員會資助研究，特此敬申謝忱。

參考文獻

- 丹桂之助 (1937a) 台北盆地的最深鑿井資料與其之考察。台灣地學記事，第8卷，第10-12號，第126-131頁。
- 丹桂之助 (1937b) 川端架橋工事場取得的化石。科學的台灣，第5卷，第5號，第13-15頁。
- 丹桂之助 (1938) 在臺北盆地湖水沉積層的化石。臺灣地學紀事，第9卷，第3號，第39-47頁。

- 丹桂之助 (1939) 台北盆地之地質學考察。矢部教授還曆紀念論文集, 第1卷, 第371-380頁。
- 王執明、鄭穎敏、王源 (1978) 台北盆地之地質及沈積物研究。台灣礦業, 第30卷, 第4期, 第350-380頁。
- 王乾盈、孫志財 (1999) 臺北盆地地震測地層解釋。經濟部中央地質調查所特刊, 第11號, 第273-292頁。
- 中國地質學會第四紀研究會 (1994) 「台灣之第四紀」第五次研討會暨「台北盆地地下地質與工程環境綜合調查研究」成果發表會論文集, 共237頁。
- 中國地質學會第四紀研究會 (1996) 「台灣之第四紀」第六次研討會暨「台北盆地地下地質與工程環境綜合調查研究」成果發表會論文集, 共288頁。
- 中國地質學會第四紀研究會 (2004) 第十屆「台灣之第四紀」暨「台北盆地環境變遷」研討會論文集, 共261頁。
- 出口雄三 (1911) 台北附近的鑽井。地質學雜誌, 第18卷, 第216號, 第260-262頁。
- 出口雄三 (1912) 大屯火山暈調查報告。臺灣總督府民政部殖產局, 共102頁。
- 市川雄一 (1931) 台北圖幅說明書。臺灣總督府殖產局, 第583號, 共29頁。
- 石再添、張瑞津、陳美鈴、林清泉、曾正雄 (1989) 台北盆地動態環境的綜合研究。國立台灣師範大學地理研究所地理研究報告, 第15期, 第1-71頁。
- 石再添、張瑞津、鄧國雄、黃朝恩 (1996) 地形(土地志 地理篇 第一冊): 台灣省通志稿卷一, 臺灣省文獻委員會出版, 修訂版, 共957頁。
- 石瑞銓、詹益湘、劉桓吉 (2004) 山腳斷層於關渡平原之淺層震測調查。經濟部中央地質調查所特刊, 第15號, 第1-11頁。
- 何春蓀、徐茂揚、任樂孫、方傑士 (1964) 台灣北部沿海之地質及煤礦資源。台灣省地質調查所彙刊, 第15號, 第1-23頁。
- 何春蓀 (1983) 臺灣基隆沿海區至桃園縣大溪間煤田地質及構造。經濟部中央地質調查所彙刊, 第2號, 第17-70頁。
- 吳建民 (1968) 台北盆地地盤沉陷問題之研究(上)。水利, 復刊4, 第53-81頁。
- 吳偉特 (1987) 地下水引致地盤下陷對工程設施之影響。土工技術, 第20期, 第5-18頁。
- 李昭興、盧世民 (1976) 琉球內背西南段在宜蘭附近地熱資源探勘上的意義。礦業技術, 第14卷, 第4期, 第114-120頁。
- 李咸亨 (1996) 台北市區工程地質分區。土工技術, 第54期, 第25-34頁。
- 李錦發、林朝宗、賴典章、蘇泰維、邱禎龍、曾俊傑 (1999) 臺北盆地成因之探討。經

- 濟部中央地質調查所特刊，第 11 號，第 207-226 頁。
- 李錫堤、黃慈銘、廖啟雯、陳宏仁 (2002a) 地下地質資料庫系統的建置與應用-以台北盆地為例。地工技術，第 89 期，第 13-26 頁。
- 李錫堤、黃慈銘、廖啟雯 (2002b) 台北盆地松山層土壤性質及剪力波速之空間分析。地工技術，第 90 期，第 41-54 頁。
- 花井重次 (1932) 有關臺北盆地成因之考察。全國中等學校地理歷史科教員第 9 回協議會及臺灣南支旅行報告，第 266-272 頁。
- 牧山鶴彥 (1933) 臺灣北部的洪積層。地質學雜誌，第 40 卷，第 477 號，第 398-400 頁。
- 林朝榮 (1953) 「松山層」 臺北盆地沉積層。臺北文獻，第 3 卷，第 1 期，第 43-48 頁。
- 林美聆、王泰典 (1995) 台北盆地因抽取地下水導致之地盤下陷研究。中國土木水利工程學會，第 7 卷，第 2 期，第 121-131 頁。
- 林朝宗、賴典章、費立沅、劉桓吉、蘇泰維 (1999) 臺北盆地八十一至八十五年度地質深井鑽探取樣成果。經濟部中央地質調查所特刊，第 11 號，第 7-39 頁。
- 林泗濱、陳正宏 (1999) 台北盆地西部沉積物岩性與粘土沉積物質之研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 11 號，第 101-117 頁。
- 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正 (2000) 台灣活動斷層概論 - 五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說明書，第二版。經濟部中央地質調查所特刊，第 13 號，共 122 頁。
- 洪如江 (1966) 台北盆地各土層土壤之物理特性。國立台灣大學工程學刊，第 10 期，第 194-217 頁。
- 郁永河 (1697) 裨海紀遊。台灣文獻叢刊第 44 種，台北：眾文圖書公司。
- 胡逸舟、秦中天、劉泉枝 (1996) 臺北盆地大地工程相關特性之探討。地工技術，第 54 期，第 5-14 頁。
- 陳正祥 (1953) 臺北盆地之構造與成因。學術季刊，第 2 卷，第 2 期，第 88-92 頁。
- 陳正宏、林泗濱 (1999) 台北盆地西部砂礫粒級與火山碎屑沉積物質之研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 11 號，第 119-143 頁。
- 陳文山、楊志成、楊小青、劉進金 (2004) 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，第 16 號，第 99-123 頁。
- 張瑞津、石再添、周坦弘、曾正雄 (1988) 淡水河 - 大漢溪及新店溪感潮之研究。地理學研究，第 12 期，第 61-90 頁。

- 莊文星、陳汝勤 (1989) 臺灣北部火山岩之定年與地球化學研究。經濟部中央地質調查所彙刊, 第5號, 第31-66頁。
- 曹恕中 (1994) 大屯火山群火山岩的鉀氫年代分析。經濟部中央地質調查所彙刊, 第9號, 第137-154頁。
- 曹恕中、宋聖榮、李寄嶠、王詠絢、許銘義、林明昌、蘇泰維 (2000) 臺北盆地關渡一號井火山泥流堆積物初步研究。經濟部中央地質調查所彙刊, 第13號, 第103-118頁。
- 國立台灣大學地質學系 (1999) 滄海桑田台北城-台北鄉土故事之二, 共81頁。
- 黃鎮臺 (1987) 台北市地層大地工程性質分區研究。地工技術, 第20期, 第71-77頁。
- 彭志雄、鄧屬予、袁彼得 (1999) 臺北盆地的岩相特徵。經濟部中央地質調查所特刊, 第11號, 第67-99頁。
- 曾美惠、劉平妹 (1999) 臺北盆地二萬年來孢粉組合與古環境初探。經濟部中央地質調查所特刊, 第11號, 第159-179頁。
- 楊玉璠、葉天順 (1964) 臺北盆地沼氣之研究。礦業技術, 第2卷, 第10期, 第2-6頁。
- 楊萬全 (1972) 台北盆地地下水蘊藏量與超抽情況之研究。台灣銀行季刊, 第23卷, 第4期, 第235-253頁。
- 楊應塘 (1975) 台北盆地之地盤下陷。地質, 第1卷, 第2期, 第49-71頁。
- 楊燦堯、何孝恆、謝佩姍、劉念宗、陳于高、陳正宏 (2003) 大屯火山群火山氣體成分與來源之探討。國家公園學報, 第13卷, 第1期, 第127-156頁。
- 經濟部中央地質調查所 (1999) 台北盆地地下地質與工程環境專輯, 共406頁。
- 經濟部中央地質調查所 (2001) 台北都會區地質災害研討會論文集, 共220頁。
- 臺灣省立博物館 (1998) 台北盆地研習營教育研習手冊, 共148頁。
- 臺灣省立博物館 (1999) 台灣博物季刊, 第18卷, 第1期, 共100頁。
- 歐晉德、李延恭、鄭在仁 (1983) 臺北盆地松山層地下水位及水壓分佈對基礎工程影響。土木水利, 第10卷, 第3期, 第89-102頁。
- 鄧屬予、袁彼得、陳培源、彭志雄、賴典章、費立元、劉桓吉 (1999) 臺北盆地堆積層的岩性地層。經濟部中央地質調查所特刊, 第11號, 第41-66頁。
- 鄧屬予、李錫堤、劉平妹、宋聖榮、曹恕中、劉桓吉、彭志雄 (2004a) 臺北堰塞湖考證。地理學報, 第36期, 第77-100頁。
- 鄧屬予、劉聰桂、陳于高、劉平妹、李錫堤、劉桓吉、彭志雄 (2004b) 大漢溪襲奪對臺北盆地的影響。國立臺灣師範大學地理研究報告, 第41期, 第61-78頁。

- 劉桓吉、蘇泰維、李錦發、紀宗吉、林朝宗 (2000) 山腳斷層之活動性及其對工程安全之影響。經濟部 89 年度研究發展專題報告，第 89-015 號，共 47 頁。
- 劉桓吉、蘇泰維、邱禎龍、曾俊傑、紀宗吉、林文哲、李錦發、費立沅、賴典章、林朝宗、黃健政 (2002) 臺北盆地地下地質與工程地質研究 環境與工程地質調查研究。90 年度中央地質調查所年報，第 59-64 頁。
- 蕭承龍、劉平妹、蘇夢淮 (1999) 臺北盆地花粉化石研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 11 號，第 145-157 頁。
- 蕭國鑫 (1986) 臺北盆地近十年之環境變遷。礦業技術，第 24 卷，第 4 期，第 238-242 頁。
- 賴典章 (1999) 臺北盆地地下地質與工程環境綜合調查研究計畫之緣起。經濟部中央地質調查所特刊，第 11 號，第 1-5 頁。
- 賴慈華、陳瑞娥、陸挽中、林燕初、黃智昭 (2006) 臺北盆地水文地質調查。95 年度經濟部中央地質調查所年報，第 50-51 頁。
- 謝英宗 (2001) 關渡一號井的有孔蟲化石及其古環境初探。經濟部中央地質調查所彙刊，第 14 號，第 83-102 頁。
- 謝英宗、費立沅、黃智昭、陳瑞娥、賴慈華 (2005) 臺北盆地二二八公園鑽井之古環境意義。國立臺灣博物館學刊，第 58 卷，第 2 號，第 67-77 頁。
- 闕河淵、張修碩、于中原、方仲欣 (1997) 台北捷運北投機廠填土沉陷案例。土工技術，第 64 期，第 69-78 頁。
- 蘇泰維、邱禎龍、紀宗吉、劉桓吉、黃健政、呂學彥、朱家輝 (2001) 台北都會區地質深井鑽探結果 環境與工程地質調查研究。88 下半年及 89 年度中央地質調查所年報，第 85-86 頁。
- 蘇泰維、劉桓吉、劉憲德、黃健政 (2003) 台北盆地西緣山腳斷層調查研究初步成果 環境與工程地質調查研究。91 年度經濟部中央地質調查所年報，第 118-121 頁。
- Alley, R.B., Clark, P.U., Huybrechts, P. and Joughin, I. (2005) Ice-sheet and sea-level changes: *Science*, **310**, 456-460.
- Bowin, C., Lu, R.S., Lee, C.S. and Schouten, H. (1978) Plate convergence and accretion in Taiwan-Luzon region: *Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **62**, 1645-1672.
- Chang, S.S.L. (1971) Subsurface geologic study of the area from the Taipei Basin to the Kuanyin shelf, Taoyuan, Taiwan: *Petrol. Geol. Taiwan*, **9**, 123-144.
- Campbell, K.W., Thenhaus, P.C., Barnhard, T.P. and Hampson, D.B. (2002) Seismic hazard model for loss estimation and risk management in Taiwan: *Soil Dynamics Earthquake*

Engineering, 22: 9-12, 743-754.

- Chen, W.F. and Teng, L.S. (1990) Depositional environment of Quaternary deposits of the Linkou Tableland, northwestern Taiwan: *Proc. Geol. Soc. China*, **33**, 39-63.
- Chen, C.H. and Lin, S.B. (2002) Eruptions younger than 20 Ka of the Tatun Volcano Group as viewed from the sediments of the Sungshan Formation in Taipei Basin: *Western Pacific Earth Sci.*, **2**(2), 191-204.
- Chen, K.C. (2003) Strong ground motion and damage in the Taipei Basin from the Moho reflected seismic waves during the March 31, 2002, Hualien, Taiwan earthquake : *Geophys. Res. Lett.*, **30**(11): Art. No. 1551.
- Chen, A.S., Hsu, M.H., Chen, T.S. and Chang, T.J. (2005) An integrated inundation model for highly developed urban areas: *Water Sci. Tech.*, **51**(2), 221-229.
- Chou, J.T. (2004) Geological structure and characteristics of subsurface formations of the Taipei Basin in northern Taiwan: *Western Pacific Earth Sci.*, **4**(2), 1-24.
- Fletcher, J.B. and Wen, K.L. (2005) Strong ground motion in the Taipei basin from the 1999 Chi-Chi, Taiwan: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **95**(4), 1428-1446.
- Huang, T.C. (1962) The Sungshan formation in the Taipei Basin: *Mem. Geol. Soc. China*, **1**, 133-151.
- Huang, S.Y., Rubin, C.M., Chen, Y.G. and Liu, H.C (in press) Prehistoric earthquakes along the Shanchiao fault, Taipei Basin, northern Taiwan: *J. Asian Earth Sci.* (in press), doi:10.1016/j.jseas.
- Hung, J.J (1963) X-ray study on clays from quaternary sediments in Taipei Basin: *Bull. College of Engineering, Natl. Taiwan Uni.*, **8**, 124-134.
- Kim, K.H., Chang, C.H., Ma, K.F., Chiu, J.M. and Chen, K.C. (2005) Modern seismic observations in the Taiun volcano region of northern Taiwan: Seismic/ volcanic hazard adjacent to the Taipei Metropolitan area: *Terr. Atmos. Ocean.Sci.*, **16**(3), 579-594.
- Lambeck, K. and Chappell, J. (2001) Sea level change through the last glacial cycle: *Science*, **292**, 679-685.
- Lee, C.T. and Wang, Y. (1988) Quaternary stress changes in northern Taiwan and their tectonic implication: *Proc. Geol. Soc. China*, **31**, 154-168.
- Liaw, C.H., Tsai, Y.L. and Cheng, M.S. (2006) Assessing flood mitigation alternatives in Shijr area in metropolitan Taipei: *J. Am. Water Resources Assoc.*, **42**(2), 311-322.
- Liew, P.M., Huang, C.Y. and Tseng, M.H. (1997) Preliminary Study on the Late Quaternary

- Climatic Environment of the Taipei Basin and Its Possible Relation to Basin Sediments: *J. Geol. Soc. China*, **40**(1), 17-30.
- Liew, P.M. and Hsieh, M.L. (2000) Late Holocene (2 ka) sea level, river discharge and climate interrelationship in the Taiwan region: *J. Asian Earth Sci.*, **18**(4), 499-505.
- Lin, S.B. and Chen, C.H. (2000) Variations of lithologic characters and clay-mineral compositions of sediments in the Taipei Basin: *J. Geol. Soc. China*, **43**(2), 311-332.
- Lin, S.B.B. and Chen, C.H. (2001) Geological implications of the basin sediments from the Ta-An No.1 and the extended Wuku No.1 boreholes in the Taipei Basin: *Western Pacific Earth Sci.*, **1**(4), 473-486.
- Lin, C.H. (2005) Seismicity increase after the construction of the world's tallest building: An active blind fault beneath the Taipei 101: *Geophys. Res. Lett.*, **32**(22): Art. No. L22313.
- Lin, C.H., Konstantinou, K.I., Liang, W.T., Pu, H.C., Lin, Y.M., You, S.H. and Huang, Y.P. (2005) Preliminary analysis of volcanoseismic signals recorded at the Tatun Volcano Group, northern Taiwan: *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L10313, doi:10.1029/2005GL022861.
- Liu, W.C., Hsu, M.H., Kuo, A.Y. and Kuo, J.T. (2001) The influence of river discharge on salinity intrusion in the Tanshui estuary, Taiwan: *J. Coast. Res.*, **17**(3), 544-552.
- Loh, C.H., Tsai, K.C., Chung, L.L. and Yeh, C.H. (2003) Reconnaissance report on the 31 March 2002 earthquake on the east coast of Taiwan: *Earthquake Spectra*, **19**(3), 531-556.
- Lu, C.Y., Angelier, J., Chu, H.T. and Lee, J.C. (1994) Contractional, transcurrent, rotational and extensional tectonics-examples from northern Taiwan: *Tectonophysics*, **246**, 129-146.
- Nghiem, S.V., Chao, Y., Neumann, G., Li, P., Perovich, D.K., Street, T. and Clemente-Colon, P. (2006) Depletion of perennial sea ice in the East Arctic Ocean: *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L17501, doi:10.1029/2006GL027198.
- Oerlemans, J., Bassford, R.P., Chapman, W., Dowdeswell, J.A., Glazovsky, A.F., Hagen, J. O., Melvold, K., de Wildt, M.D. and van de Wal, R.S.W. (2005) Estimating the contribution of Arctic glaciers to sea-level change in the next 100 years: *Ann. Glaciology*, **42**, 230-236.
- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pepin, L., Ritz, C., Saltzman, E. and Stievenard, M. (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica: *Nature*, **399**, 429-436.
- Song, S.R., Yang, T.F., Yeh, Y.H., Tsao, S.J. and Lo, H.J. (2000b) The Tatun Volcano Group

- is active or extinct: *J. Geol. Soc. China*, **43**(3), 521-534.
- Suppe, J. (1984) Kinematics of arc-continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan: *Mem. Geol. Soc. China*, **6**, 21-33.
- Shin, T.C. and Teng, T.L. (2001) An overview of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**(5), 895-913.
- Shyu, J.B.H., Sieh, K., Chen, Y.G. and Liu, C.S. (2005) Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes: *J. Geophys. Res.*, **110**, B08402, doi:10.1029/2004JB003251, 2005.
- Teng, L.S. (1996) Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt: *Geology*, **24**, 945-952.
- Teng, L.S., Yuan, P.B., Yu, N.T. and Peng, C.H. (2000) Sequence stratigraphy of the Taipei Basin deposits: a preliminary study: *J. Geol. Soc. China*, **43**(3), 497-520.
- Teng, L.S., Lee, C.T., Peng, C.H., Chan, W.F. and Chu, C.J. (2001) Origin and geological evolution of the Taipei Basin, northern Taiwan: *Western Pacific Earth Sci.*, **1**(2), 115-142.
- Tsao, S.J., Song, S.R. and Lee, C.Y. (2001) Geological implications of lahar deposits in the Taipei Basin: *Western Pacific Earth Sci.*, **1**(2), 199-212.
- Vaughan, D.G. (2006) Recent trends in melting conditions on the Antarctic Peninsula and their implications for ice-sheet mass balance and sea level: *Arctic Antarctic Alpine Res.*, **38**(1), 147-152.
- Wang, W.H. and Chen, C.H. (1990) The volcanology and fission track age dating of pyroclastic deposits in Tatun Volcano Group, northern Taiwan: *Acta Geol. Taiwanica*, **28**, 1-30.
- Wang, C.Y., Hsiao, W.C. and Sun, C.T. (1994) Reflection seismic stratigraphy in the Taipei Basin; I, Northwestern Taipei Basin: *J. Geol. Soc. China*, **37**(1), 69-95.
- Wang, C.Y., Tasi, Y.L. and Ger, M.L. (1995) Reflection seismic stratigraphy in the Taipei Basin; II, Western and southern Taipei Basin: *J. Geol. Soc. China*, **38**(2), 141-172.
- Wang, J.H. (2006) SAFE-Taipei: A program project for Strong Motions, Active Faults, and Earthquakes in the Taipei Metropolitan Area: in *Advances in Geosciences Vol.1*, 61-74, World Scientific, Singapore.
- Wang, J.H. (in press) Potential Earthquakes Rupturing the Chinshan and Shangjiao Faults in the Taipei Metropolitan Area: *Terr. Atmos. Ocean.Sci.*, **18**(5).
- Wei, K., Chen, Y.G. and Liu, T.K. (1998) Sedimentary History of the Taipei Basin With Constraints from Thermoluminescence Dates: *J. Geol. Soc. China*, **41**(1), 109-125.

- Wen, K.L. and Peng, H.Y. (1998) Site effect analysis in the Taipei Basin: Results from TSMIP network data: *Terr. Atmos. Ocean.Sci.*, **9**(4), 691-704.
- Wu, F.T. (1965) Subsidence geology of Hsinchuang structure in the Taipei Basin: *Petrol. Geol. Taiwan*, **4**, 271-282.
- Yeh, Y.H., Barrier, E., Lin, C.H. and Angelier, J. (1991) Stress tensor analysis in the Taiwan area from focal mechanisms of earthquakes: *Tectonophysics*, **200**, 267-280.
- Yen, T.P. (1978) Geologic relations between northern Taiwan and southern Ryukyu Islands: *Acta Oceanogr. Taiwan.*, **8**, 1-21.

GEOLOGIC RESEARCH OF TAIPEI BASIN

LOUIS S. TENG¹

Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

The geology of the Taipei Basin has been investigated since the early 20th century. Early work dwelled mainly on examination of shallow boreholes in the Basin and field survey of the surrounding mountainous areas. Owing to the lack of geologic information about the deeper part of the basin, the basement configuration and sediment characteristics were not fully understood, and the origin and structural style of the Basin remained speculated.

The situation had changed since 1992 when the deep drilling was conducted in the Taipei Basin. Under the impetus of deep boreholes, a whole gamut of new geologic research has been advanced. The results have not only revealed the basement configuration, structural style, stratigraphic framework, sediment characteristic and geologic history of the Basin but also induced a new wave of investigations on the Shanjiao Fault and Tatun volcanoes. This volume illustrates portions of up-to-date research developments with articles demonstrating the results of borehole analyses, siting of the Shanjiao Fault and assessment of earthquake potential. In spite of the significant achievements obtained for the past decade, the northwestern part of the Taipei Basin, which may provide key insights into the deep stratigraphy and early history, remains less than fully understood and requires more deep drillings.

Judging from the intimate association of the Taipei Basin with the Taipei metropolis, future geologic research needs to progress along with urban planning and engineering construction. Aside from continued drilling and research at specific sites, it is important to integrate available geologic information into geologic maps and associated texts for public use. Various geologic issues related to urban environments, such as the seismogenic potential of the Shanjiao Fault, the eruption history of the Tatun volcanoes, and the environmental impacts of climate change, all bequeath future in-depth investigations.

Key words: Taipei metropolis, subsurface geology, environmental geology, history of research

1. Louis S. Teng, e-mail: tengls@ntu.edu.tw