

火神的溫度監測

■ 江協堂、莊雅惠

地底下的岩漿像一個沉睡中的火神，何時甦醒，在哪裡甦醒，以何種方式甦醒，都會對地表上的生物形成嚴重的威脅。人類是否能偵測到這位地下火神甦醒的氣息？

啟動監測

義大利龐貝城被無預警爆發的火山灰吞沒事件，早已成為教科書闡述火山活動的最佳範例。最近的研究顯示，台灣北部的大屯火山可能是一座活火山。雖然歷史上大屯火山的火神沒有甦醒過的紀錄（因此有人稱為休眠式的活火山），但既然有火神住在人口稠密的台北旁邊，我們對這位行蹤神祕的鄰居就應該有某種程度的了解。

中央地質調查所為了探討這位火神居住環境的潛在地質災害，2004年起在大屯火山區進行一系列的監測計畫，其中一項是監測地底下的溫度變化。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，井內放置許多溫度記錄器，連續記錄井內不同深度的溫度變化。

2009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，以對這位火神的活動氣息有進一步的了解。

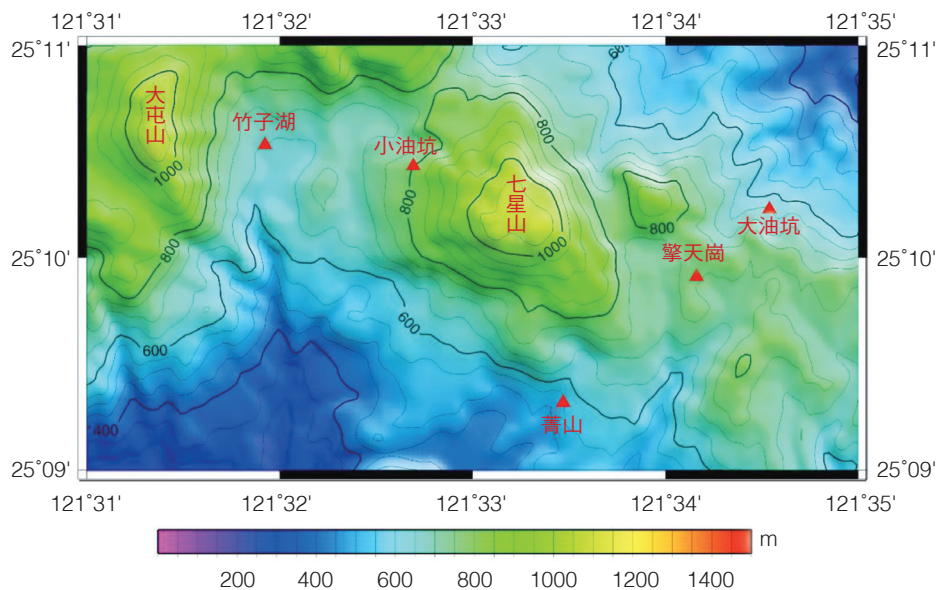
監測原理和方法

阿基米德說：「給我一個支點，我就可以移動地球。」理論上，如果地底下有岩漿活動，地下的溫度就會變化。由於岩石的導熱能力很差，因此地底下的溫度變化通常很小。但如果「給我一根解析度很高的溫度計，我就有機會偵測到岩漿的活動」，尤其是當岩漿



監測井內熱探針放置情形的示意圖

藉由長期監測地表噴氣孔和地底下的溫度變化，可得知大屯火山區內部熱液的活動情形。



菁山、竹子湖、擎天崗、大油坑和小油坑地溫監測井的位置。

很靠近地表時，溫度變化較大，偵測到岩漿活動的機會就更高了。

基於以上的想法，臺灣大學海洋研究所地熱研究人員以運用在海洋地熱探測的熱探針來監測地溫，熱探針的解析度高達攝氏 0.0001 度。由於地底下越深越熱，以全球淺部地殼平均每往地底下 1 公尺溫度約升高攝氏 0.03 度來看（地表下溫度隨深度的增加量稱為地溫梯度），這個熱探針約可分辨出垂直方向 1 公分距離內的溫度差異。把熱探針放在井內，一方面可以靠近熱源，比較能得到地底下溫度變化的訊號，另一方面可以避免地表上氣候變化的干擾。

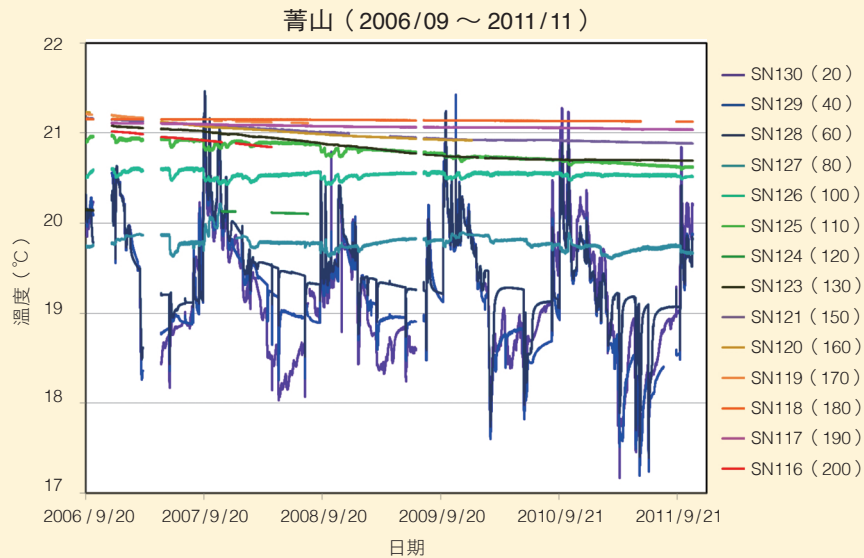
地底下的溫度環境通常不是我們想像的那麼單純，不同深度的溫度變化可能不同。因此，在 3 口監測井內，以與井深同長的尼龍線每隔一段距離懸掛一根熱探針，記錄所在深度的溫度。研究人員每 1 ~ 2

個月前往監測井，下載熱探針的溫度資料進行分析。

大油坑和小油坑噴氣孔的監測方式稍有不同，這兩個測站各架設一套監測資料自動回傳系統。大油坑測站使用全球行動通訊系統，只要撥打測站電話，記錄器內的數據便可以經由電話傳回研究室的電腦。小油坑測站則使用網路，記錄器內的數據同樣可以即時傳送回來。兩種方式都不需人員定期去收取資料，傳送回的資料目前都即時展示於菁山保育中心內的大屯火山觀測站。

紀錄裡的訊息

研究人員總希望熱探針記錄的資料只含有火山活動的訊息，但自然界終究不是一塵不染的實驗室，尤其是要量測的溫度是很微小的變化時，許多其他環境因子的



2006 ~ 2011 年菁山監測井深度 20 ~ 200 公尺的溫度變化。圖例中，SN 數字是熱探針編號，其後面括弧內的數字是熱探針所在深度，淺於 110 公尺的溫度受降雨影響，溫度變化很大，1 年內的變化幅度可達攝氏 4 度，其餘深度的溫度變化很小。

訊號就會出現在紀錄中，包括降雨、地下水、大氣溫度、岩層性質、人為抽取地下水等。

降雨後，雨水帶著大氣的溫度往地表下入滲，若監測井的井管與岩層的縫隙太大，大量雨水向下流動，地溫便會變化。地下水的流動會受到潮汐、降雨、人為抽取、乾溼季節等的影響，凡是其流過的地方，溫度也會受到影響。大氣溫度的日變化、年變化都會影響地底下的溫度，地表上周期越長的溫度變化影響地底下的深度越深，日變化的影響深度約數十公分，年變化約數公尺。

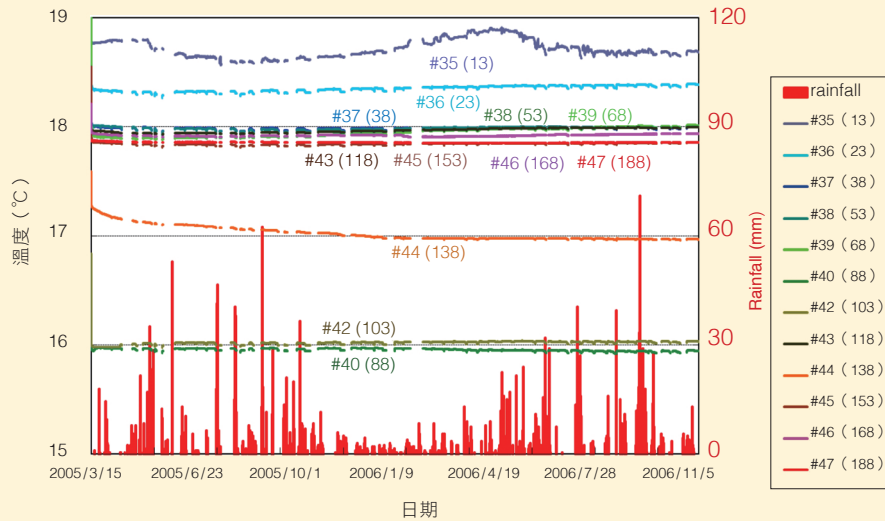
這些影響因子通常有周期性，即使是人為抽取地下水也會有白天晚上、乾溼季節的周期性差異。例如，灌溉農田白天抽

水比較多，晚上抽水比較少；抽取溫泉反而白天抽水比較少，晚上因為泡澡，抽水比較多。具有周期性的訊號可以採用濾波方式去除或降低其影響，較無周期性的訊號（如降雨）就必須做資料比對，探討其影響程度。

一些發現

大屯山過去幾年來的地溫監測結果，並沒有發現明顯上升或下降的趨勢，淺部的溫度受降雨、大氣溫度等環境因子影響很大。例如菁山監測井，深度 110 公尺以內的溫度只要一下雨就會變化，一年內溫度的變化幅度可達攝氏 4 度以上。100 公尺以下的地溫變化則非常小，溫度變化的標準差約攝氏 0.02 度而已。

竹子湖 (2005/03 ~ 2006/11)

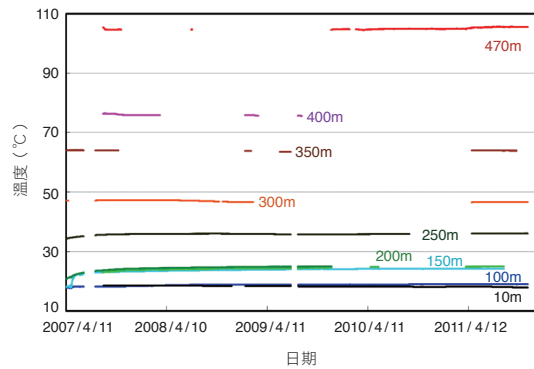


2005 ~ 2006 年竹子湖監測井深度 13 ~ 188 公尺的溫度變化。圖例中，SN 數字是熱探針編號，其後面括弧內的數字是熱探針所在深度，X 軸上長條柱顯示雨量。這個監測井的地溫跟雨量較無關係，但受地下水流動影響，深度 88 ~ 138 公尺溫度最低。

竹子湖監測井 2005 ~ 2006 年的資料顯示 (2006 年 11 月停止監測) 深度 13 ~ 188 公尺的地溫受地下水流動影響，溫度最低，地表至深度 138 公尺地溫梯度呈現負值。監測發現這區段的溫度有些微下降，其餘各深度的溫度變化不大。

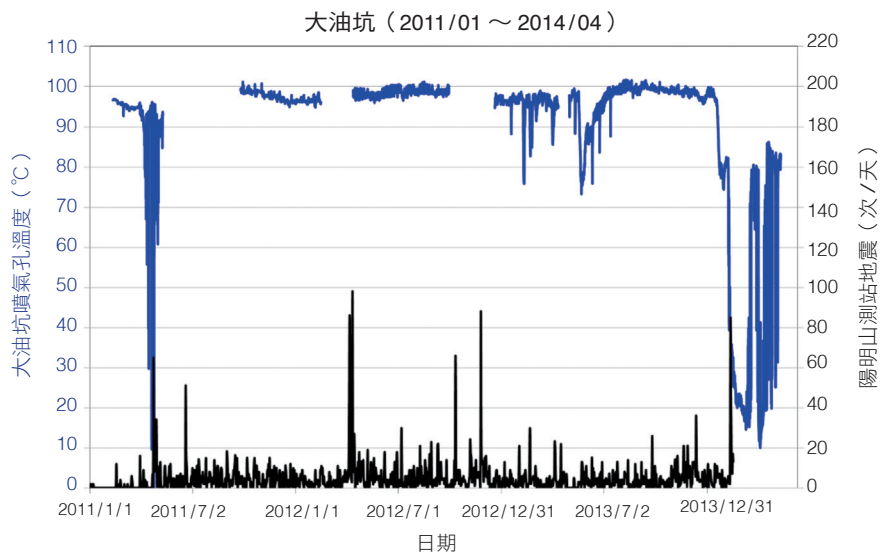
擎天崗監測井的溫度同樣沒有明顯上升或下降的趨勢，淺部 10 公尺的溫度受大氣溫度的影響很大，具明顯的年周期變化。經去除大氣溫度的影響後，發現在 2007 ~ 2011 年間，溫度都是一直下降，幅度約攝氏 0.8 度。然而，100 公尺以下的溫度並沒有下降，可能監測井附近發生過山崩，新鮮的岩層裸露，受到大氣溫度的影響，地表的低溫訊號會往地底下傳遞，因而造成淺部的岩層溫度下降。另外，470 公尺處的溫度在 2011 年升高約攝氏 0.5 度，這是首

擎天崗 (2007/04 ~ 2011/11)

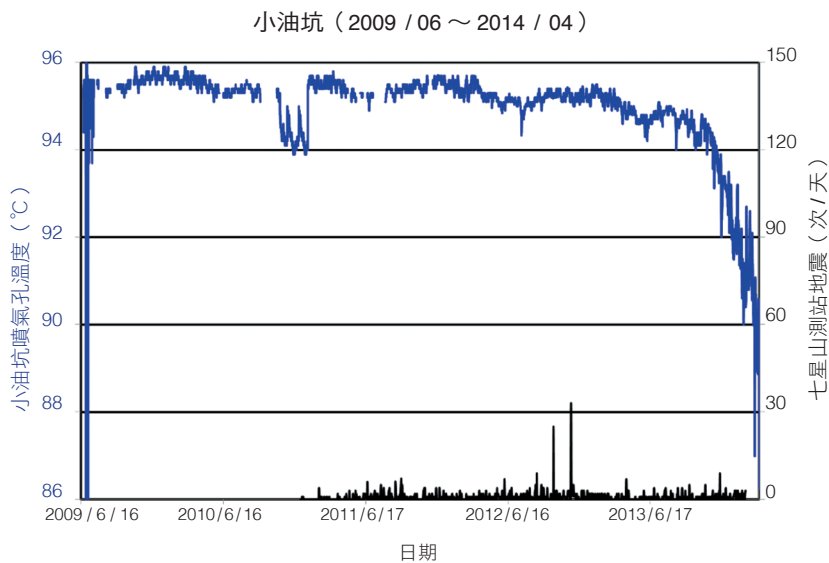


2007 ~ 2011 年擎天崗監測井深度 10 ~ 470 公尺的溫度變化。圖中曲線旁邊的數字是深度。

次在這麼深的地方發現顯著的溫度變化。大油坑的溫度感測器在 2011 年 9 月 ~ 2014 年 1 月期間顯得比較穩定，其餘時段受酸性流質腐蝕而影響讀值。紀錄資料顯



2011 ~ 2014 年大油坑噴氣孔的溫度變化與地震次數的關係。X 軸上黑色長條柱顯示陽明山的地震個數，比對顯示溫度變化和地震發生次數的關係不大。



2009 ~ 2014 年小油坑噴氣孔的溫度變化與地震次數的關係 (2009 ~ 2010 年未蒐集地震次數資料，並非無地震)，X 軸上黑色長條柱顯示七星山的地震個數，比對顯示溫度變化和地震發生次數的關係不大。

有鑑於冰島、日本、菲律賓等國都有火山爆發造成嚴重損失的情形，政府一直對大屯山底下的火神這位鄰居的行蹤不敢掉以輕心。

示噴氣孔的溫度約攝氏 95 ~ 102 度，變化很大。紀錄資料與地震發生的比對，顯示二者的關聯性不大。

小油坑噴氣孔的溫度變化比大油坑小很多，2009 年 6 月 ~ 2013 年 10 月期間，溫度大都是攝氏 95 ~ 96 度，2014 年 1 月下降至攝氏 50 ~ 60 度，經檢查溫度感測器發現有受酸性流質腐蝕的現象，因此這區段資料的可信度較低。可信度較高的紀錄資料與地震發生的比對，同樣顯示關聯性不大。

有鑑於冰島、日本、菲律賓等國都有火山爆發造成嚴重損失的情形，政府一直

對大屯山底下的火神這位鄰居的行蹤不敢掉以輕心。目前，透過溫度的監測和其他科學上的研究結果，推測這位鄰居應該還在睡覺，至於何時醒來，有待繼續觀察。

江協堂

臺灣大學海洋研究所

莊雅惠

宜蘭大學人文暨科學教育中心

