大屯火山地熱資源評估-紐西蘭 GNS 國際合作

工研院綠能與環境研究所研究員 廖彥喆

工研院綠能所為協助政府儘速達成再生能源政策目標，積極尋求地熱開發先進國家針對大屯火山地熱資源進行評估，以釐清大屯火山區地熱潛能分布狀況，區塊劃設範圍及優先開發順序。綜觀國際，紐西蘭已有六十年地熱成功發展經驗，相關地熱產業與開發技術成熟，全國地熱發電裝置容量更已達千兆瓦。GNS Science 屬紐西蘭政府皇冠研究所(Crown Research Institute)，負責紐西蘭地熱資源評估研究，及擔任地熱開發顧問等角色，並參與多數紐西蘭國內地熱計畫，亦協助國際間地熱電廠開發合作，如印尼、菲律賓及日本等國家，正積極推動國際技術交流與合作。因此，於 2019 年工研院綠能所透過國際合作與 GNS 共同進行大屯火山地熱資源評估工作，期汲取 GNS 於國際案場多年累積之經驗協助大屯山資源評估，並透過國際合作過程，提升國內地熱資源評估技術能量。

本合作計畫執行內容包括：1、重新盤點及審視我國現有地熱探勘調查成果，透過檢視調查方法、資料數量和品質等項目，確保評估結果嚴謹度及正確性；2、依審查確認後之資料進行彙整與分析，修訂大屯火山三維地熱地質概念模型，並提供後續開發策略參考建議。摘錄重要成果如下：

1、地表溫泉及噴氣口地熱徵兆位置呈東北-西南向，由東北至西南依序為金山(ZH)、大埔(DP)、四磺子坪(SHP)、庚子坪(GTP)、大油坑(DYK)、馬槽(MT)、小油坑(SYK)、龍鳳谷(LFK)、新北投(SPT)等處，其中以大油坑(DYK)及庚子坪(GTP)噴氣口處溫度最高(圖 1)，且具硫磺礦產徵，具備活躍火山型地熱系統特性。

2、地表流體採樣 pH 值分佈自-0.7~7.4 不等，其中近中性地熱流體(pH 5~7)分布於冷水坑(LSK)、頂筆橋(TBQ)、馬槽(MT)、湖山(HS)

及龍鳳谷(LFK)等處，但鄰近處亦曾取得酸性流體；大油坑(DYK)採得 pH<1 強酸性流體，推估可能與火山型流體冷凝有關；兩者間弱酸性(pH 1~5)流體則可能來自於五指山層地層熱液(圖 2)。

3、依據前人研究(Liu et al., 2011)將大屯山地熱流體來源分為三類：第 1 類-酸性硫酸鹽泉(SO_4^{2-} >> Cl^-)；第 2 類-中性碳酸氫鹽泉，受安山岩中和作用；第 3 類-酸性硫酸鹽氯化物泉(Cl^- >> SO_4^{2-})，屬五指山層酸性地熱流體。依據地化採樣資料分析 SO_4^{2-}、Cl^-、HCO_3^-離子比例進行來源成果如圖 3 所示。依據該結果並參照地表分布位置(圖 4)，與既有大屯火山群熱液來源概念模型(圖 5)相符。進一步利用 CH_4/CO_2 地質溫度計進行氣體來源溫度分析，結果顯示在大油坑(400 ˚C)和龍鳳谷、地熱谷(340 ˚C)地區，分為兩處主要熱液上湧區(Upflow)(圖 6)。SO_2/CO_2 地熱氣體成分(圖 7)與氣體同位素比例分析結果(圖 8)亦呈現類似特徵。

綜上所述分析結果，更新大屯火山地熱概念模型成果如圖 9 所示，條列主要重點如下：

1、除馬槽、大油坑為大屯山主要地熱上湧區外，西南方北投龍鳳谷地區下方存在第二上湧區，且井下溫度資料顯示較東北側四磺子坪，具備更高地熱開發潛能。

2、第三類酸性硫酸鹽氯化物泉來源可能為地層原生水與天水混合，其酸性並非來自於岩漿成份來源，只是在於沈積岩缺乏安山岩類礦物，其圍岩反應無法中和；

3、推估七星山西南翼底下之安山岩層中可能存在高溫、近中性的第四類熱液儲集層，有待進一步補充調查及驗證。

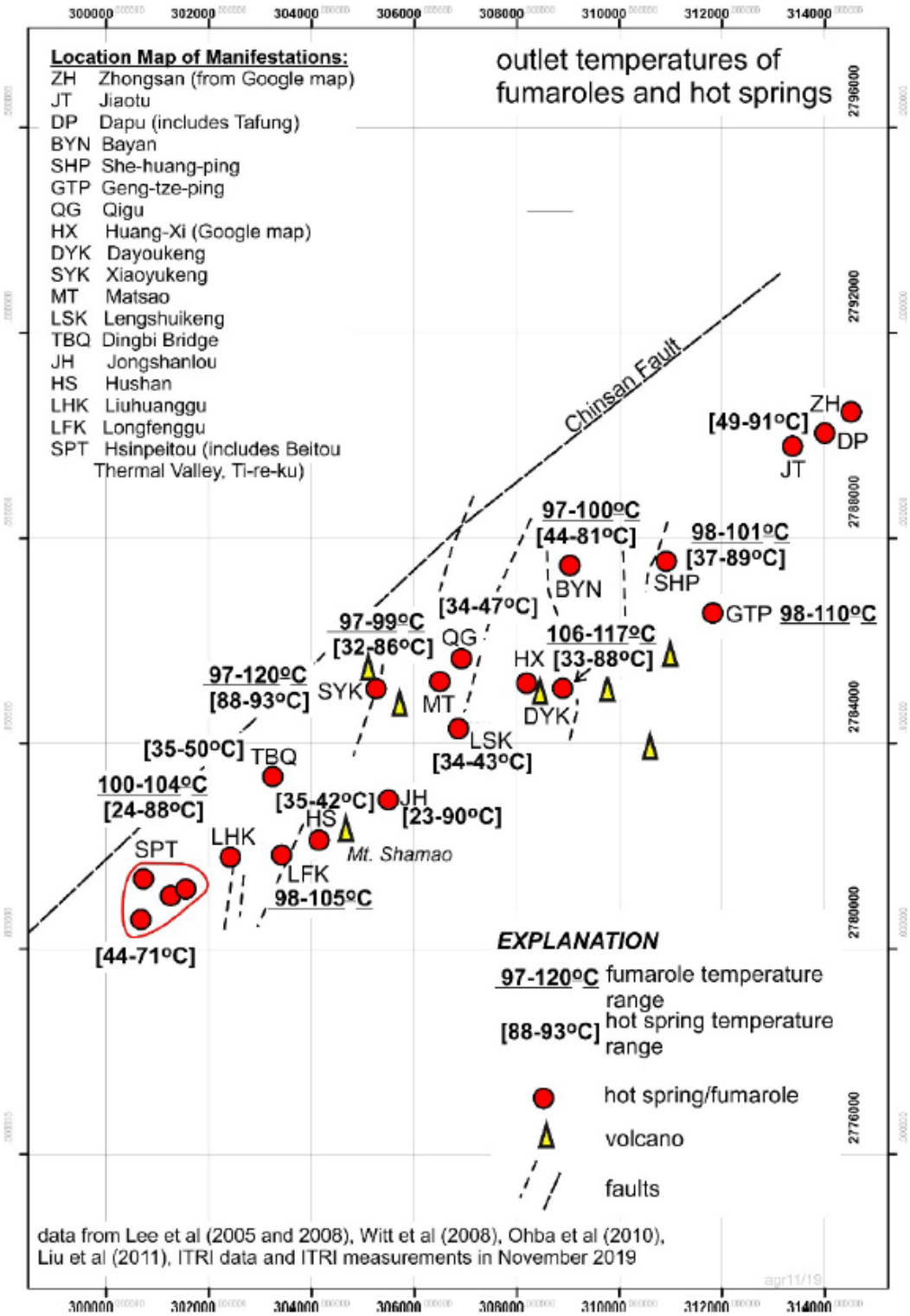

圖 1、大屯火山群溫泉與噴氣口溫度分布

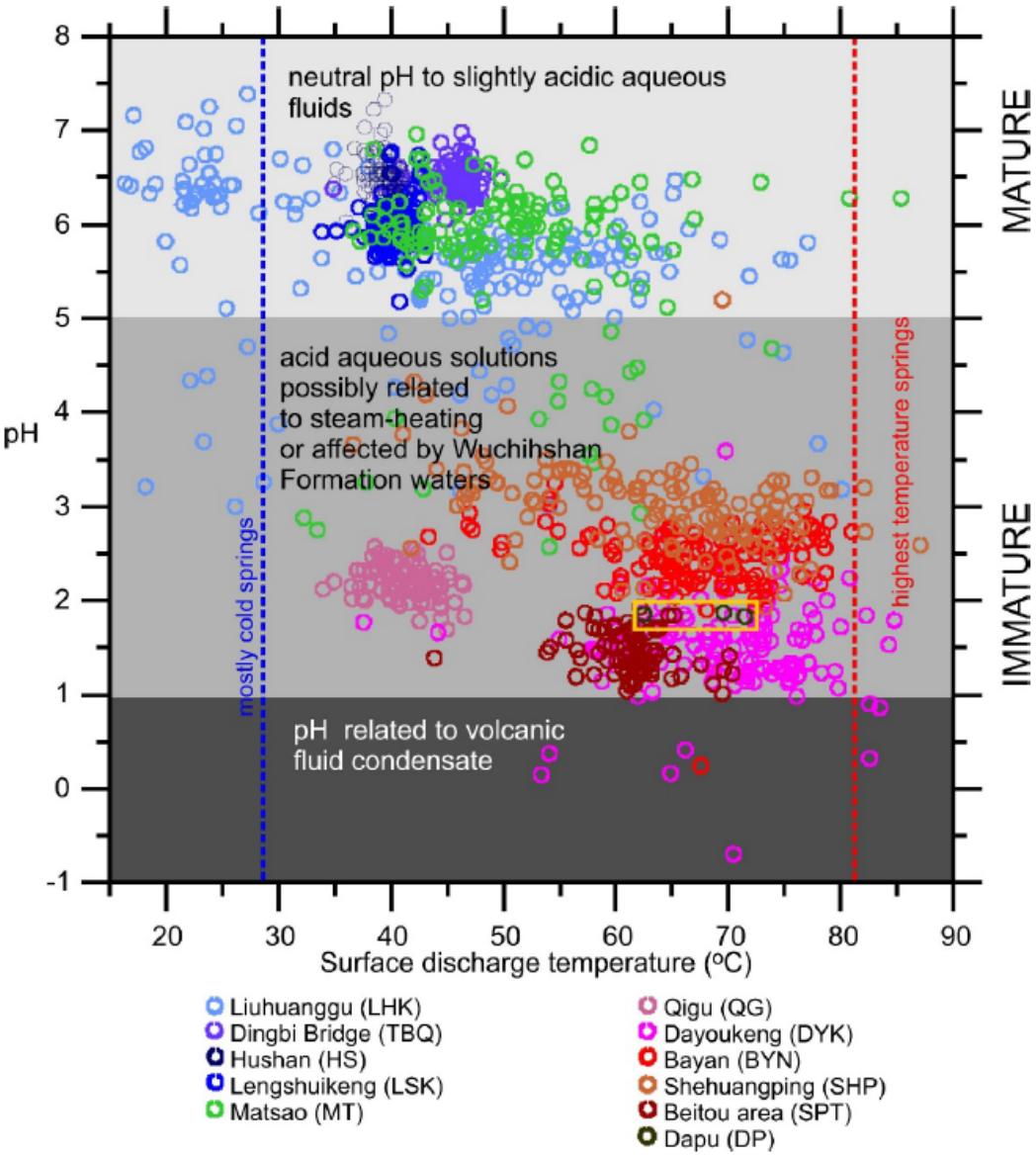

圖 2、pH 值與地表溢流溫度關係圖

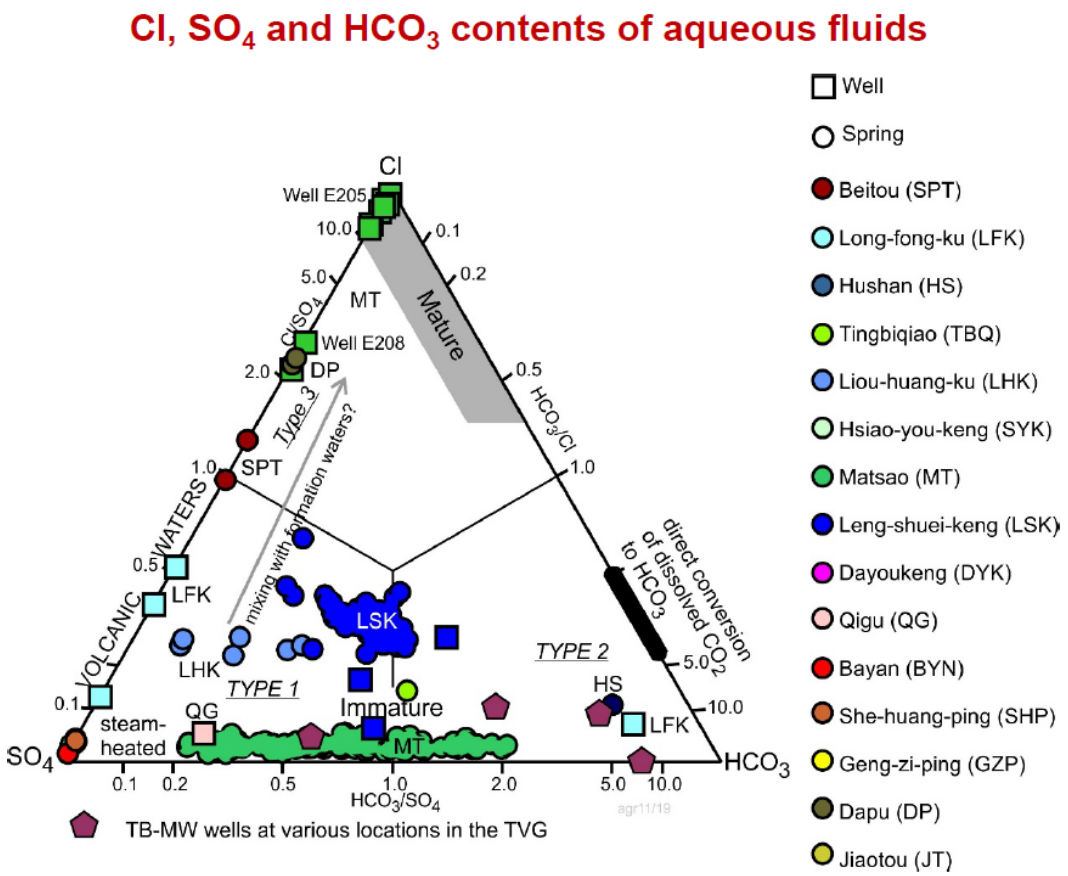

圖 3、地熱流體離子比例三元相圖

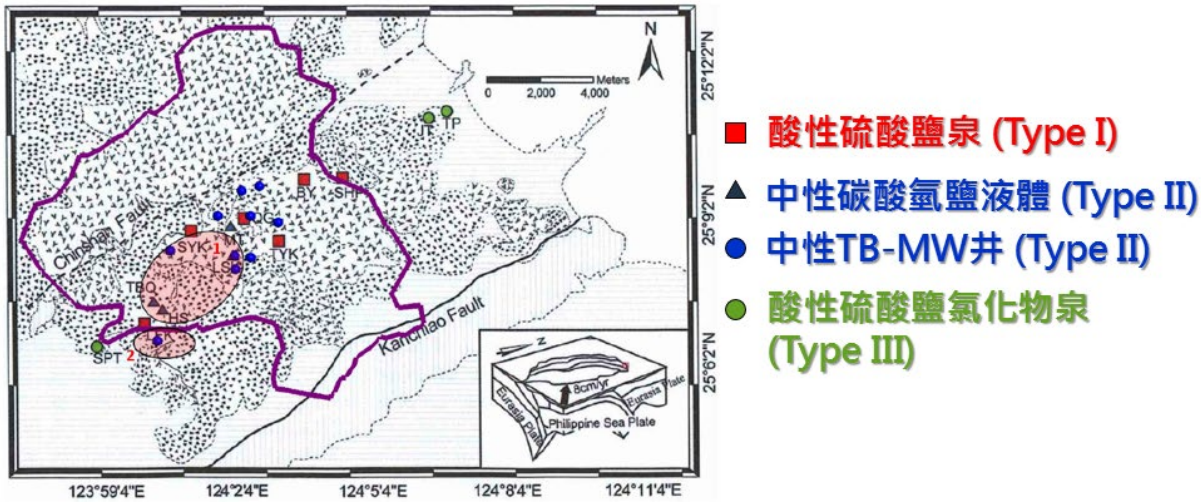

圖 4、地熱流體類別與地表分布圖

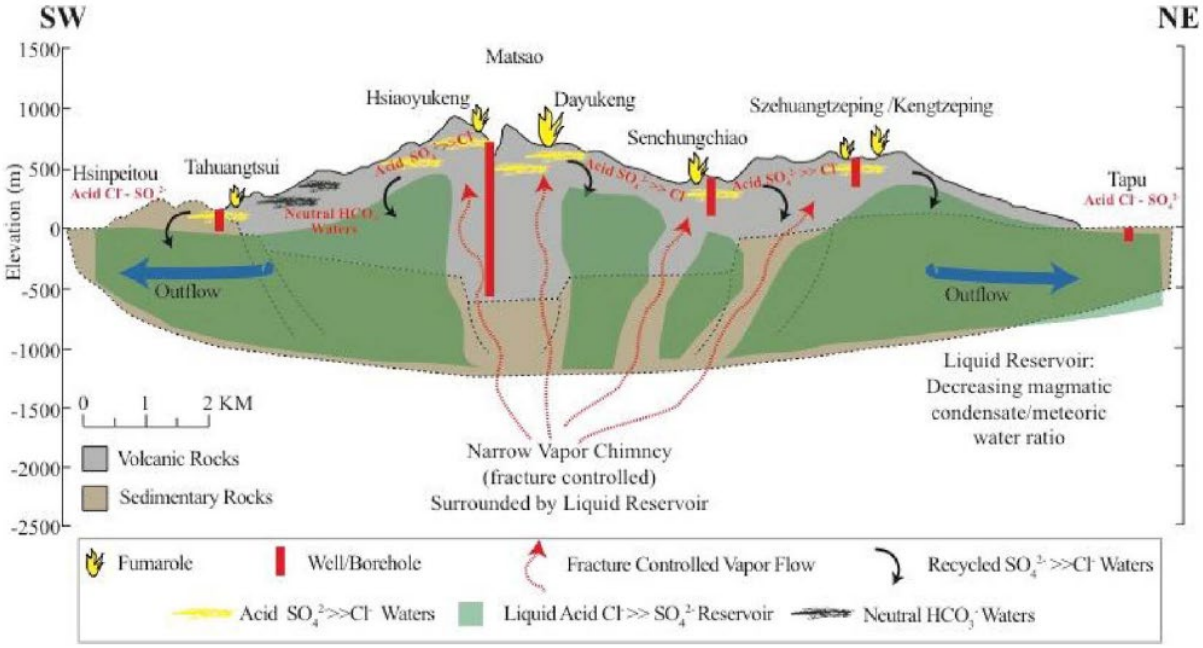

圖 5、既有大屯山地熱概念模型

註：摘自 Dobson et. al., 2018.

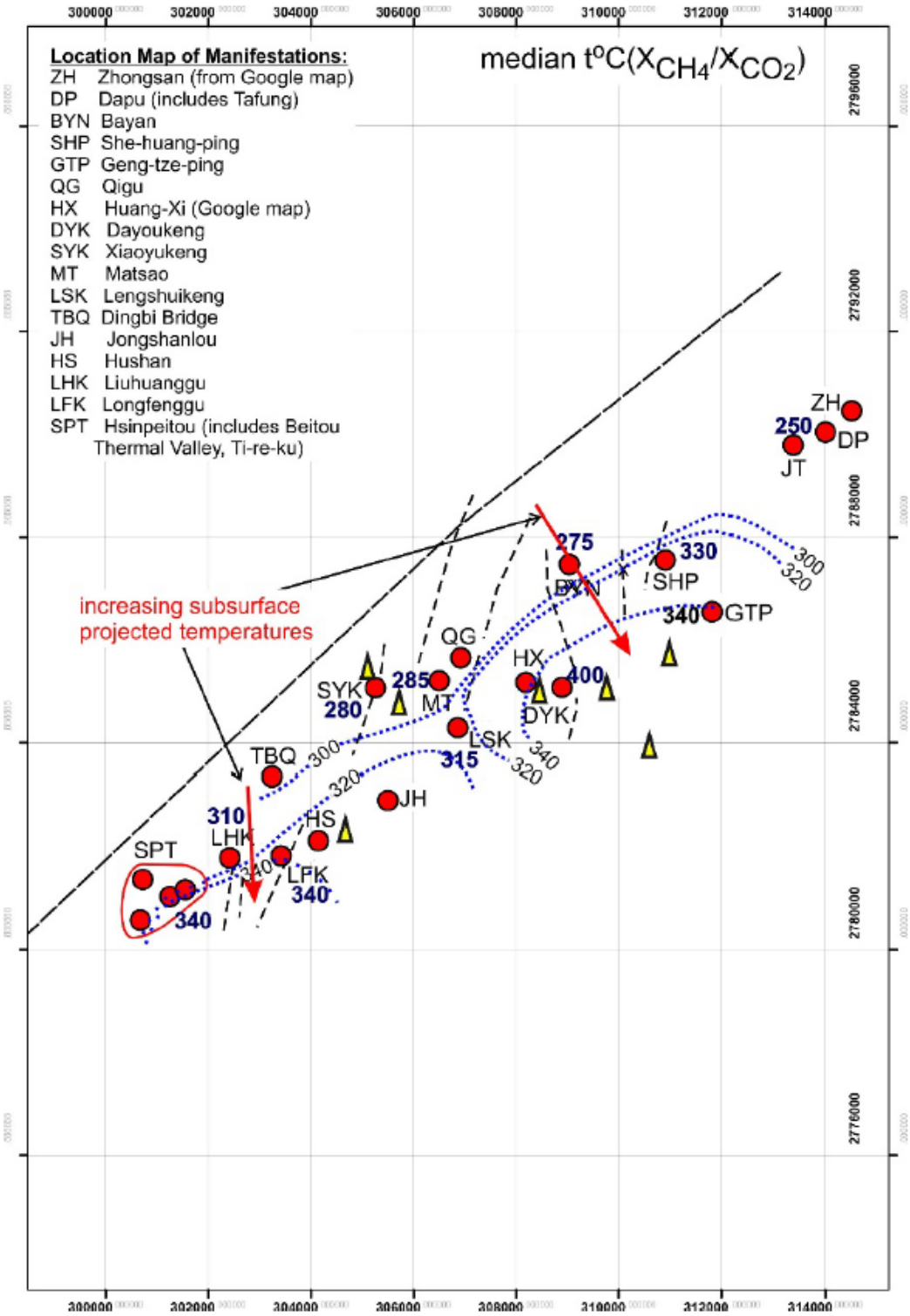

圖 6、CH_4/CO_2 地質溫度計推估來源溫度

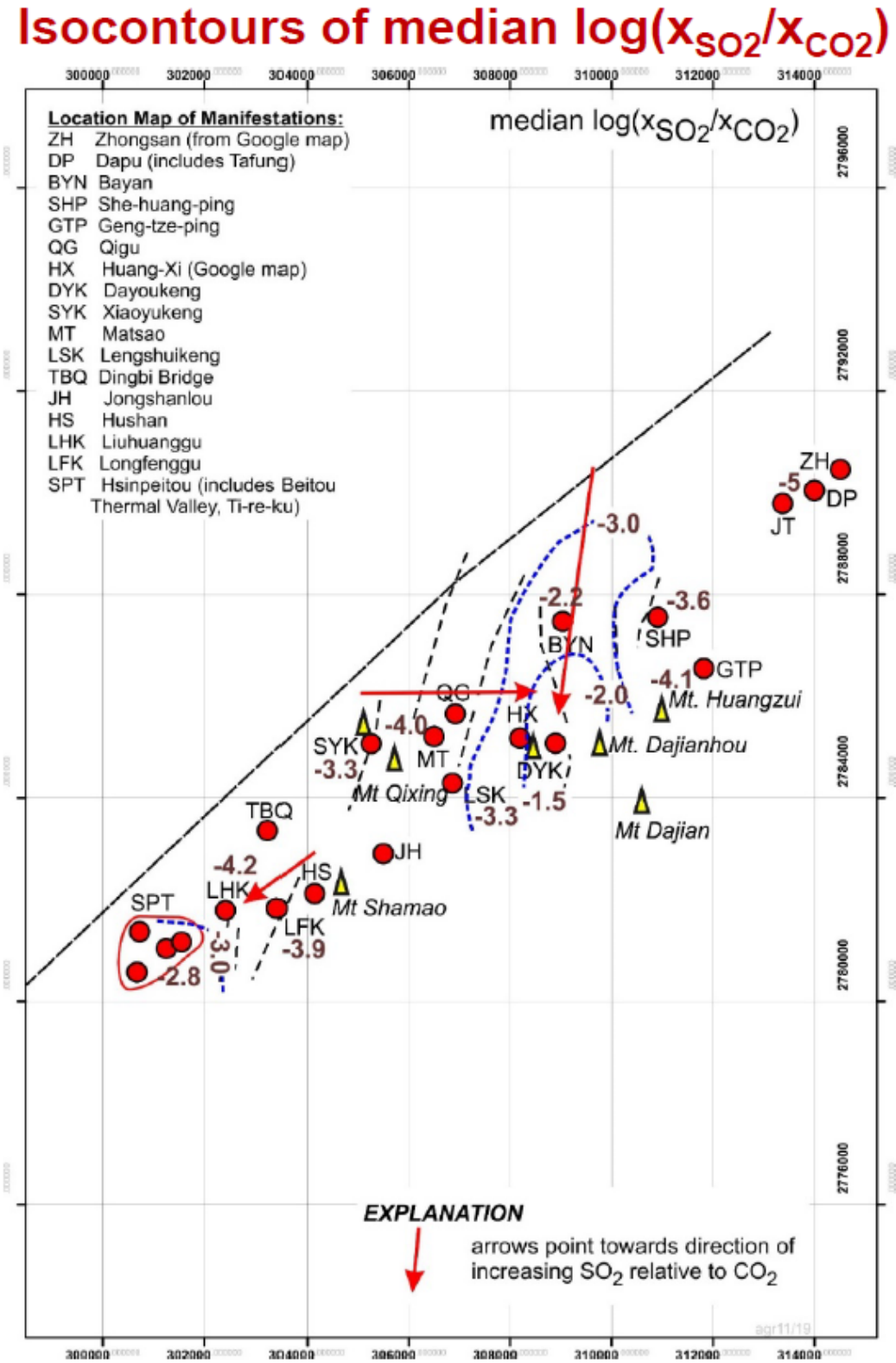

圖 7、SO_2/CO_2 地熱氣體成分分析

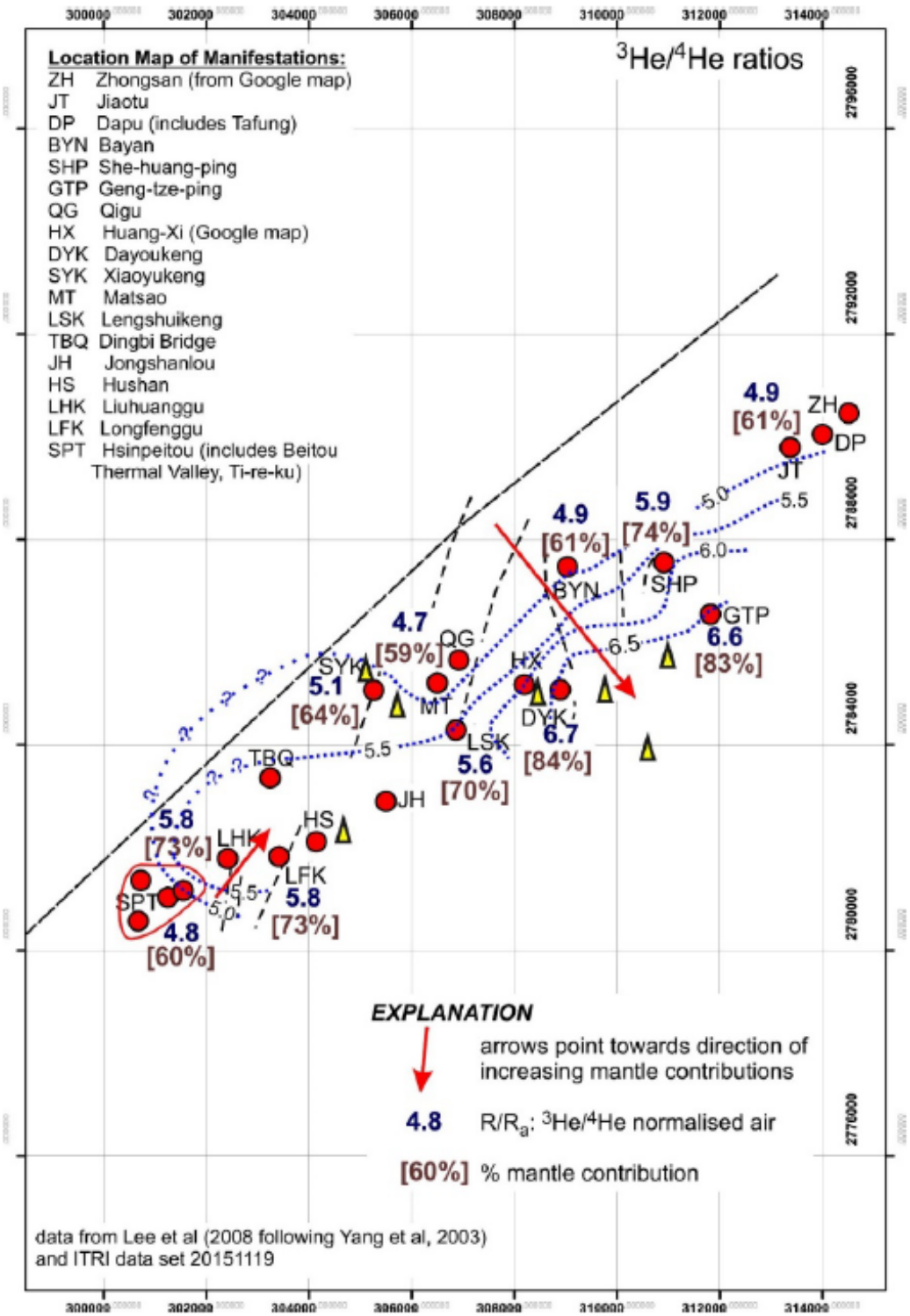

圖 8、地熱氣體氦(He)同位素比例分析

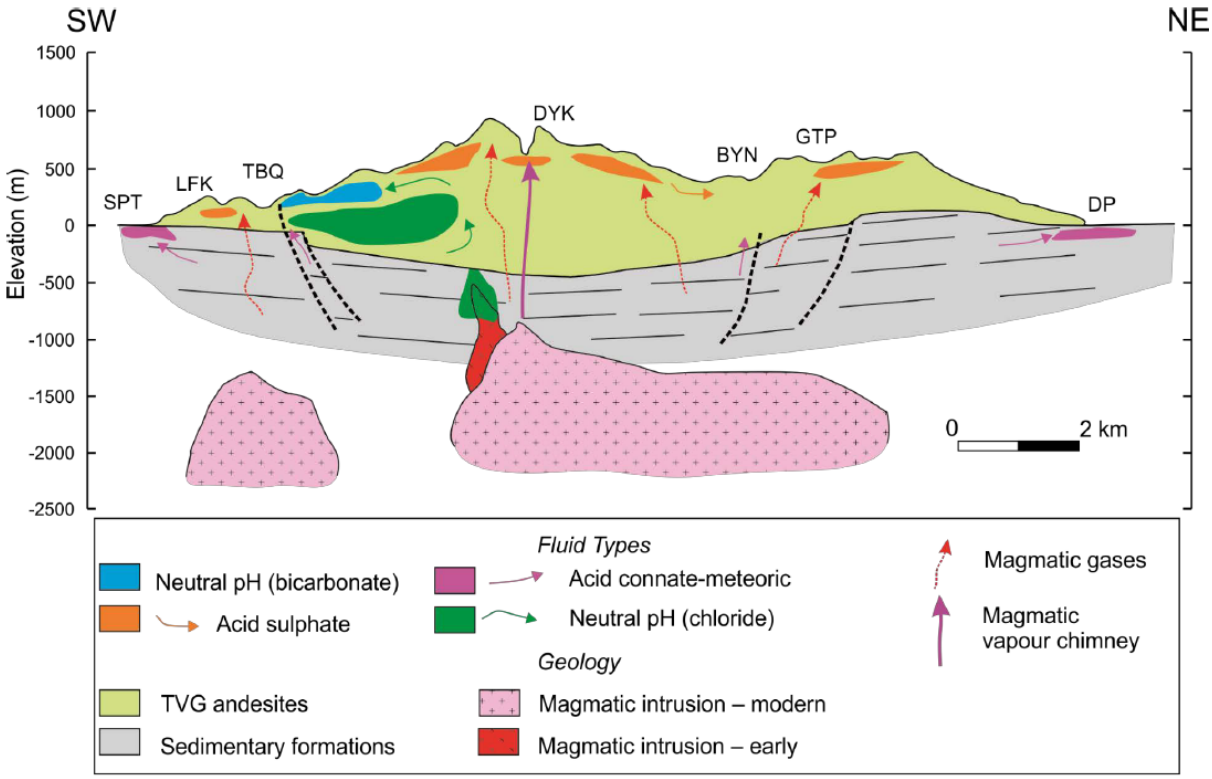

圖 9、2019 大屯山地熱概念模型更新

參考文獻：

Dobson, P, Gasperikova, E., Spycher, N., Lindsey, N. J., Guo, T.R. Chen, W. S., Liu, C. H., Wang. C. J., Chen, S. N., & Fowler A. P. G. 2018. Conceptual model of the Tatun geothermal system, Taiwan. Geothermics. 74:273-297. Doi:10.1016/j.geothermics.2018.01.001.

Liu, C. M. Song, S. R., Chen, Y. L. & Tsao, S. 2011. Characteristics and origins of hot springs in the Tatun Volcano Group in Northern Taiwan. Terrestrial Atomspheric and Oceanic Sciences. 22(5): 475-489. Doi:10.3319/TAO.2011.05.25.01(TT).