

科技部補助專題研究計畫成果報告

期末報告

嘉南高雄地區地表面溫度及地溫之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：MOST 107-2116-M-041-001-

執行期間：107年08月01日至108年07月31日

執行單位：嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學觀光事業管理系(含溫泉產業碩士班)

計畫主持人：陳文福

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：王睿騰

報告附件：出席國際學術會議心得報告

中華民國 108 年 09 月 15 日

中文摘要：垂直井溫除了受到上下邊界溫度的控制，也受到地下水流動的影響，因此可用來找尋溫泉地熱資源、了解地下水流動或是全球暖化的地區性影響。本研究量測嘉南高觀測井的垂直井溫及表面土壤溫度，主要有三個目標：(1)了解本研究區表面土壤溫度(SST)的變化及影響因素：例如地表覆蓋及氣溫的影響；(2)評估淺層暖化的程度及其可能的原因；(3)以溫度分布推算地下水水流場(流向及流速)及應用。

本研究區的 SST 比氣溫高，所以除了氣溫影響，日照也有影響。有陰影遮蔽，例如樹林及建築物，SST 比較接近氣溫；沒有遮蔽，例如裸土，直接日曬會造成 SST 升高。2018-2017 之 SST 實測值變化以降低為主，可能因為氣溫降低的影響。

由垂直井溫推算的表面溫度改變，其中 94% 的井溫度呈現暖化，增加溫度最大可達 4.5°C ，百年來氣溫增加約 2°C ，因此大於 2°C 的增溫，應該和土地利用有關，例如樹林砍伐、水泥及空地增加。

使用垂直井溫推算北門井第一阻水層的垂直流速，誤差值 MAEs < 0.2°C 時，向下的垂直流速大約 $0.5-6 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ 。誤差最小的模擬值 MAE 為 0.032°C ，垂直流速 $3.5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ 。以一平方公里的第二含水層計算，垂直流入的水量是水平方向的 50 倍。

中文關鍵詞：地表面溫度、垂直井溫、地下水、嘉南、高雄

英文摘要：The temperature-depth profile (TDP) is affected by upper and lower boundary and groundwater flow which is a common method for exploring hot spring and geothermal resource and evaluate temperature change of surface soil. The study collects TDP and surface soil temperature (SST) by using the groundwater monitoring wells in Chianan and Kaohsiung area.

The results show that SSTs are generally greater than the air temperatures. The SSTs are greater in bare soil and no shading area. There are 94% of wells with a warming trend in surface soil temperature from the TDP data. The vertical velocity is $0.5-6 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ in the first aquitard of the M1 well with MAEs < 0.2°C while the vertical velocity is $3.5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ with the minimum MAE of 0.032°C . The vertical groundwater flux is 50 times larger than the horizontal flux within an area of one square kilometer.

英文關鍵詞：surface soil temperature, borehole temperature, groundwater, Chianan, Kaoshiung

1. 前言

地表面溫度或稱表面土壤溫度(SST, surface soil temperature)是指地面淺部數公分的溫度，是地下溫度(或稱地溫 subsurface temperature)的上邊界。地下溫度的調查通常透過垂直井溫(temperature-depth profile)的量測，沿著觀測井井管在不同深度所量測到的溫度，代表該地點垂直向的地下溫度分布，透過同一研究區，但不同井的調查，可整合出該地區的三維地下溫度；每隔一段時間，重複量測各井的垂直井溫，即可得到該區三維地下溫度不同時間的變化。

垂直井溫除了受到上下邊界溫度的控制，也受到地下水流動的影響，因此可用來找尋溫泉地熱資源、了解地下水流動或是全球暖化的地區性影響(Chen and Chiang, 2016; Chen and Bense, 2019; Chen, 2019)。本研究量測嘉南高觀測井的垂直井溫及表面土壤溫度，主要有三個目標：(1)了解本研究區表面土壤溫度的變化及影響因素：例如地表覆蓋及氣溫的影響；(2)評估淺層暖化的程度及其可能的原因；(3)以溫度分布推算地下水水流場(流向及流速)及應用。

2. 研究方法

2.1 表面土壤溫度變化

本研究計畫於嘉南高雄地區水利署的地下水觀測站，埋設自記式溫度計，嘉南地區共約 40 站(表 1，圖 1)，埋設深度約 5cm，2017-2018 為期 2 年，每月人工收取一次數據。自記式溫度計為美國 Hobo Onset 公司製造的 Tidbit-v2-UTB1，適用的量測溫度範圍-20 至 70°C，準確度 0.2°C，解析度 0.02°C(圖 2)。氣溫資料來自中央氣象局，位於本研究區共有 5 站(圖 1)。

辨別地表覆蓋類別及其所占面積百分比，使用 Google 衛星影像並以人員實地查證(圖 3)，例如第 28 號井：首先使用衛星影像判別地表覆蓋的類型，分類為裸露土壤、作物、建物、魚池或樹林，劃出各地表覆蓋類型之後，再計算其百分比(Chen, 2019)。

2.2 淺層暖化程度

以垂直井溫推算表面土壤溫度的變化，假設正常地溫深度線為直線，並且沒有地下水的干擾，也就是曲線的曲折並非由流動所造成，完全由熱傳導所造成，上部彎曲表示淺層溫度變化，例如 14 號井上部溫度變大(圖 4)，因此以彎曲部分推算 PSST (Present Surface Soil Temperature 現在表面土壤溫度)，以直線部分推算 ISST (Initial Surface Soil Temperature 始初表面土壤溫度)，淺層暖化程度可以

由 PSST 減去 ISST 來評估(Chen, 2019)。

例如 14 號井(圖 5)，彎曲線外插於表面零點為 PSST，以上部 20-50m 為實測數據、以一元二次方程式，0-20m 為外插曲線($R^2 = 0.9987$)，推算出 PSST 為 27.2°C 。推算 ISST 則以 70-120m 直線外插交於地表溫度約 23.5°C 。所以淺層暖化程度由 PSST 減去 ISST，即 14 號井 PSST 為 27.2°C ，ISST 為 23.5°C ，因此增加溫度 $\text{PSST-ISST}=3.7^\circ\text{C}$ ，呈現暖化趨勢。

2.3 地下水流場之反推

因為區域性的水文地質分布通常非均一性，在空間上有不同的分層，不同地層的導熱性質及導水性(流動性)並不一樣，因此需經過簡化及分割，以最基本的單位來分析。假設有一層阻水層(半洩漏層)，其上下為含水層，若上下含水層有水壓差，即有可能通過此阻水層產生垂直流動，而此流動會反應在垂直井溫(溫度深度曲線)上(圖 6)。例如在正常地溫梯度下，若水由下往上流、則垂直井溫會呈現向上凸起，反之、若水由上往下流，則垂直井溫會呈現向下凸起。

前人使用垂直一維(1D)熱方程式來推算垂直流速(Stallman, 1963, Suzuki 1960; Stallman, 1965; Bredehoeft and Papadopoulos 1965):

$$(\kappa/\rho C)(\partial^2 T/\partial Z^2) - q_z (\rho_w C_w/\rho C)(\partial T/\partial Z) = \partial T/\partial t \quad (1)$$

左邊第一項維熱傳導項(heat conduction); κ , ρ , C 分別是地層的熱傳導係數(thermal conductivity W/m °C), 比重 (density kg/m³), 比熱 (specific heat J/kg °C), T 是溫度(°C); Z 是深度 (m)。左邊第二項是熱流動項(advection) q_z 是垂直流速(Darcy flux, m/s), ρ_w 及 C_w 是水的比重及比熱。等號的右邊是溫度隨時間的變化， t 是時間(s)。

利用公式(1)，如果地層的熱傳導係數、比重、比熱及水的比重及比熱皆為已知，溫度隨時間的變化是實測值(垂直井溫)，因此只有 q_z 垂直流速為未知，所以可以從兩次測量垂直井溫來計算垂直流速。

本研究自行發展公式(1)的數值解，一維垂直向地溫變化之數值模擬網格如圖 7，每一網格高度為 1m，左側為始初溫度(由第一次垂直井溫得之)，因為上下邊界溫度的改變，以不同的流速帶入公式，經過多次計算，得到右邊為最後溫度(第二次垂直井溫)。比較實測與模擬的井溫可以得到平均絕對誤差(MAE, mean absolute error):

$$MAE = \Sigma | Ts - Tm | / n \quad (2)$$

Ts 是模擬的井溫、Tm 是實測的井溫、n 為模擬範圍的層厚(阻水層的厚度)，計算出 MAE 最小的流速，即為最佳解。

3. 結果與討論

3.1 表面土壤溫度變化

2017-2018 年嘉南地區實測的表面土壤溫度(MSST measured surface soil temperature) 如表 1 及表 2。2017 年年平均最低值為 23.82°C (No. 7)、最高值為 28.37°C (No. 28)、平均為 25.83°C。

2017 表面土壤溫度(SST)與氣溫及土地覆蓋的關係(圖 8)，中央氣象局鄰近 5 個測站，年均溫約 23.93-25.29 °C，可見 SST 比氣溫高，所以除了受到氣溫影響，也受到日照影響；有陰影遮蔽，例如樹林及建築物，SST 約為 23.82-26.23 °C，會比較接近氣溫；沒有遮蔽，例如裸土溫度約 26.02-28.37 °C，因為直接日曬會造成 SST 升高(圖 8B)。這個結果與前人研究相符(Herb et al. 2008)，前人研究顯示，樹林與植物會造成地面遮蔽效果，所以 SST 較低。

2018-2017 表面土壤溫度實測值之增減如圖 9，總數 29 站、以溫度降低較多 21 站降低(72%)、8 站升高(28%)，降低幅度以<0.5°C 較多、有 13 站(45%)。嘉南地區 5 個氣象站 2018-2017 年氣溫比較如表 3，顯示 3 站氣溫降低、2 站升高。氣溫 2018-2017 變化幅度統計如圖 9，溫度差-1.5 至+1.0°C，每隔 0.5°C 為一統計區間，圖 9 顯示 2018-2017 溫度變化呈現平均分布，五站平均分布於各區間。

3.2 淺層暖化程度

垂直井溫調查 2015 年有 36 口井有數據(圖 10)，由垂直井溫推算的 PSST(現在表面土壤溫度)的分布如圖 11。溫度改變(PSST-ISST)有 36 口有數據，其中 34 口(94%)的井溫度呈現暖化(圖 12)，只有 2 口溫度降低，增加溫度最大可達 4.5°C，百年來氣溫增加約 2 °C (Hsu et al. 2011; EPA 2016)，因此大於 2°C 的增溫，應該和土地利用有關。例如樹林砍伐、水泥及空地增加，造成土壤暖化幅度大於氣溫上升的幅度(Chen, 2019)。

3.3 地下水流場之反推

嘉南平原大都由為固結砂泥層所構成(圖 13)，為古河流及三角洲沉積(Lu et al. 2008 ; Chen and Bense, 2019)。上部 200 m 可以分成三個含水層，含水層大都由砂所組成，經常夾有薄泥層；阻水層則由泥組成，也經常夾有薄砂層。根據沉積物碳十四定年，沿海地區上部 200 m 的沉積年代大約 3 萬 2 千年，往東側陸地同一深度的年代則較老(CGS, 2018)。

圖 14 的 M1 井(北門井編號 14)有 2 個含水層，第一含水層的導電度為 34,600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (at 25 °C)，第二含水層的導電度為 4,360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。第一含水層的水質偏鹹接近海水，不適合飲用，第二含水層的水質較淡，有很久的開發歷史。但是含有高砷濃度 0.23 mg/L，因此產生的烏腳病，最高峰約發生在 1956-1960 (Tseng 1989; Sengupta et al. 2014; Yang et al. 2016)。

第二含水層因為多年的抽用，水壓降至很低，以 2016 年為例，第一含水層水壓為 -0.18 m、第二含水層水壓為 -9.58 m(圖 15)。因為第二含水層的水壓較低，所以有可能垂直流的流向為第一含水層往下流至第二含水層。

M1 井(北門井編號 14)有 3 次量測垂直井溫(2013-2016) (圖 16)，溫度介於 25-31 °C，上部 15-60 m 有明顯的暖化趨勢(e.g., Bense and Kurylyk, 2017)，在深度 25 m 溫度上升 0.41 °C，深度 140 m 溫度上升達 1.0 °C。

第一阻水層(AT1)深度約 60-140 m，溫度線呈現向下凸起，表示有向下的垂直流，此趨勢與水壓的推測的流向一致。如果將上下邊界連成一線(表示沒有流動之溫度)，實測溫度(2016)最多偏離此線約 0.31 °C(圖 16C)。

使用一維垂直流數值模擬，來計算第一阻水層的向下流速，把 2013 的溫度線當作始初溫度、2016 年作為最後溫度，總共模擬時間 43 個月。阻水層的上下溫度為上下邊界，上邊界在 2013 年為 26.02 °C、2016 年為 26.07 °C；下邊界 2013 年 29.48 、2016 年 28.45 °C。

文獻中記載未固結沉積物的熱參數，細顆粒的砂泥層的熱傳導係數、比熱、比重分別為 1.0-4.0 W/m °C, 1,500-2,300 J/kg °C, 1,800-2,000 kg/m³(表 4; Hamdhan and Clarke 2010)。

使用不同的熱參數及流速，代入數值模擬程式所得結果如圖 17。誤差值較小時(MAEs < 0.1 °C)，垂直流速大約為 $2-5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ ，如果提高誤差值(MAEs < 0.2 °C)，垂直流速大約 $0.5-6 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ 。誤差最小的模擬值 MAE 為 0.032 °C，垂直流速 $3.5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ 、熱傳導係數 4 W/m°C 、比熱 1,500 J/kg °C 、比重 1,800 kg/m³。因為測棒的誤差為 +0.1 °C，所以比較可信的垂直流速大約 $0.5-6 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ 。

截至目前、嘉南平原尚沒有垂直流速(流量)的研究，然而、垂直方向的流量可能對整體的地下水影響很大。例如以一平方公里的含水層為例，假設第二含水層厚度為 50 m (圖 18)，水平的水力傳導係數為 $6.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (Water Resource Agency Taiwan 2019)，垂直水平方向的截面積 $50 \times 1000 = 5.0 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，水力梯度為 $dh/dL = (-8.12 - -9.58)/6000 = 2.4 \times 10^{-4}$ ，根據達西公式，水平方向的流量 Qh 為 $(6.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}) (5.0 \times 10^4 \text{ m}^2) (2.4 \times 10^{-4}) = 7.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 。

垂直方向流量的計算，以誤差最小的流速為 $3.5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ ，假設一平方公里的面積，所以垂直向(由第一阻水層流向第二含水層)的流量為 $(3.5 \times 10^{-8} \text{ m/s}) (10^6 \text{ m}^2) = 3.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ 。即以一平方公里的含水層計，垂流入的水量是水平方向的 50 倍。

4. 結論

臺南表面土壤溫度分布: SST 比氣溫高，所以除了受到氣溫影響，也受到日照影響。有陰影遮蔽，例如樹林及建築物，SST 約為 $23.82\text{--}26.23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，會比較接近氣溫；沒有遮蔽，例如裸土溫度約 $26.02\text{--}28.37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，因為直接日曬會造成 SST 升高。

2018-2017 之 SST 實測值變化顯示降低為主，可能因為氣溫降低的影響。SST 總數 29 站、以溫度降低較多，21 站降低(72%)，8 站升高(28%)，降低幅度以 $<0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 較多：13 站(45%)。研究區 5 個氣象站 2018-2017 年氣溫有 3 站降低、2 站升高。

由垂直井溫推算的表面溫度改變，其中 94% 的井溫度呈現暖化，只有 2 口溫度降低，增加溫度最大可達 $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，百年來氣溫增加約 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，因此大於 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的增溫，應該和土地利用有關。例如樹林砍伐、水泥及空地增加，造成土壤暖化幅度大於氣溫上升的幅度。

使用垂直井溫推算北門井第一阻水層的垂直流速，誤差值 MAEs $<0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 時，向下的垂直流速大約 $0.5\text{--}6 \times 10^{-8}\text{ m/s}$ 。誤差最小的模擬值 MAE 為 $0.032\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，垂直流速 $3.5 \times 10^{-8}\text{ m/s}$ 。以一平方公里的第二含水層計算，垂流入的水量是水平方向的 50 倍。

參考文獻

- Bense VF, Kurylyk BL (2017) Tracking the subsurface signal of decadal climate warming to quantify vertical groundwater flow rates. *Geophys Res Lett* 44: 12244-12253.
- Bredehoeft, J. D., and I. J. Papadopoulos (1965), Rates of vertical groundwater movement estimated from the Earth's thermal profile, *Water Resour. Res.*, 1(2), 325-328.
- Chen Wenfu, Chiang Hsietang (2016) Subsurface temperature trends in response to thermal water exploitation in the Jiashi Hot Spring, northeastern Taiwan. *Geothermics*, 60, 126-133.
- Chen WF (2019) The surface soil temperatures of different land covers in Chianan plain, southern Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* (accepted)
- Chen WF, Bense VF (2019) Using transient temperature-depth profiles to calculate groundwater flow across semi-confining layers in the Chianan coastal plain aquifer system, southern Taiwan. *Hydrogeology J*, 27, 2155-2166.
- CGS (Central Geological Survey) (2018) Hydrogeological database. <https://hydro.moeacgs.gov.tw/plain>.
- EPA, 2016: Climate change indicators in the United States: U.S. and global temperature. WWW.epa.gov/climate-indicators.
- Eppelbaum LV, Kutasov IM and Barak G, 2006, Ground surface temperature histories inferred from 15 boreholes temperature profiles: comparison of two approaches.

- Earth Sci. Res. J. 10/1, 25-34.
- Hamdhan IN, Clarke BG (2010) Determination of thermal conductivity of coarse and fine sand soils. Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.
- Hsu, H.H., C. Chou, Y. Wu, M. M. Lu, C. T. Chen, Y. M. Chen, 2011: Climate change in Taiwan: scientific report 2011 summary, National Science Council, Taipei, Taiwan, ROC, 67pp.
- Irvine DJ, Cartwright I, Post VEA, Simmons CT, Banks EW, 2016, Uncertainties in vertical groundwater fluxes from 1-D steady state heat transport analyses caused by heterogeneity, multidimensional flow, and climate change, Water Resources Research, 52, 2, 813.
- Lu HY, Liu TK, Chen WF, Peng TR, Wang CH, Tsai MH, Liou TS (2008) Use of geochemical modeling to evaluate the hydraulic connection of aquifers: a case study form Chianan Plain, Taiwan. Hydrogeology J 16: 139-154.
- Roy S and Chapman DS, 2012, Borehole temperatures and climate change: ground temperature change in south India over the past two centuries, J Geophys Resea 117
- Sengupta S, Sracek O, Jean JS, Lu HY, Wang CH, Palcsu L, Liu CC, Jen CH, Bhattacharya P (2014) Spatial variation of groundwater arsenic distribution in the Chianan Plain, SW Taiwan: Role of local hydrogeological factors and geothermal sources. Journal of Hydrology 518 C: 393-409.
- Stallman, RW (1963) Methods of collecting and interpreting ground-water data: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1544-H, p. 36-46.
- Stallman RW (1965) Steady one-dimensional fluid flow in a semi-infinite porous medium with sinusoidal surface temperature. J Geophys Res 70(12): 2821-2827.
- Suzuki S (1960) Percolation measurements based on heat flow through soil with special reference to paddy fields. J Geophys Res 65(9): 2883-2885.
- Tseng WP (1989) Blackfoot disease in Taiwan: a 30-year follow-up study. Angiology 40(6): 547-558.
- Water Resource Agency Taiwan (2019) Water resource GIS platform web page.
<https://gic.wra.gov.tw/>. Accessed Jan 18, 2019

Yang HJ, Lee CY, Chiang YJ, Jean JS, Shau YH, Takazawa E, Jiang WT (2016) Distribution and hosts of arsenic in a sediment core from the Chianan Plain in SW Taiwan: Implications on arsenic primary source and release mechanisms. *Science of The Total Environment* 569–570: 212-222.

USCRN (US Climate Reference Network), 2016, <https://www.ncdc.noaa.gov/crn/>

表 1. 嘉南地區 2017 實測的表面土壤溫度 (MSST, measured surface soil temperature °C)

Well No	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Average
1	19.00	19.21	21.29	24.30	26.56	28.22	28.41	28.99	29.90	26.46	23.41	19.32	24.59
2	20.63	20.91	22.67	24.94	27.66	27.78	28.46	29.52	30.84	28.22	24.86	20.79	25.61
3	18.06	18.16	21.78	24.78	27.62	28.84	29.42	29.92	28.87	25.78	22.63	17.73	24.47
5	22.72	22.64	24.06	26.26	29.63	30.53	30.33	29.32	34.00	30.37	26.76	22.24	27.41
6	19.01	19.26	21.93	24.01	26.09	27.11	27.28	27.97	28.66	25.97	23.36	19.58	24.19
7	18.72	18.52	20.24	22.88	25.36	27.13	27.78	28.02	27.92	26.04	23.47	19.72	23.82
8	19.07	19.62	21.87	24.84	30.27	30.02	31.15	31.03	31.19	28.55	24.35	20.29	26.02
9	21.04	21.87	24.98	27.12	30.35	29.99	30.64	31.22	32.16	28.96	25.53	21.95	27.15
10	19.13	19.98	23.09	25.72	28.37	29.78	30.71	30.83	30.88	28.31	24.83	21.09	26.06
12	20.69	20.65	23.22	25.45	28.89	30.08	31.63	31.52	31.45	28.39	25.01	20.88	26.49
13	19.20	19.51	21.94	25.30	27.11	27.88	28.12	28.57	28.73	27.32	24.38	21.77	24.99
14	22.49	22.51	24.95	27.52	30.47	29.35	31.56	31.10	31.01	28.29	25.43	22.23	27.24
15	18.22	19.78	24.86	27.61	31.25	31.47	31.46	31.38	31.63	27.91	24.02	19.64	26.60
16	20.33	20.18	21.74	23.79	26.42	28.01	28.55	28.35	28.67	27.02	24.98	21.61	24.97
17	19.52	19.94	22.00	24.00	27.21	28.48	30.01	29.73	30.19	27.5	24.03	19.73	25.20
18	20.09	20.27	22.65	24.73	27.64	29.50	30.32	30.50	30.74	27.89	24.97	20.70	25.83
19	20.70	21.09	24.06	26.70	30.25	30.45	31.56	31.52	31.83	29.73	26.69	22.54	27.26
20	19.90	19.66	21.59	24.48	27.21	28.24	28.96	29.14	29.14	26.74	23.81	20.37	24.94
21	18.16	18.64	21.30	25.05	28.59	29.66	30.27	30.00	28.9	26.47	23.18	19.13	24.95
22	19.58	20.10	22.58	25.35	28.24	29.50	29.94	29.40	29.47	28.05	25.21	19.37	25.57
23	21.51	21.29	23.61	26.09	29.76	30.38	31.41	31.01	30.80	28.40	25.75	21.82	26.82
24	19.62	19.94	23.39	25.31	27.71	28.21	28.47	28.83	29.27	26.53	24.36	20.58	25.19
25	19.84	20.14	21.70	24.13	27.34	28.08	28.62	28.24	28.93	26.58	24.23	20.84	24.89
26	20.75	20.75	22.50	25.00	27.34	28.59	29.23	29.52	30.31	27.83	26.15	22.23	25.85
27	18.77	19.21	22.26	25.28	28.30	30.20	31.10	31.43	31.30	27.92	25.04	18.61	25.79
28	25.39	24.99	27.72	28.49	31.61	30.15	31.11	30.06	30.62	28.71	26.38	25.19	28.37
29	22.06	22.78	25.00	27.50	29.34	30.83	31.45	31.13	30.99	28.56	25.68	21.94	27.27
30	18.69	19.64	22.38	25.38	29.22	30.25	30.69	30.92	31.27	28.82	24.28	19.91	25.95
31	19.81	20.14	23.00	26.00	28.42	29.82	30.34	30.21	30.00	27.20	23.95	19.74	25.72
32	22.25	22.04	23.56	25.25	27.69	28.55	28.61	29.72	30.39	28.32	25.88	22.46	26.23
33	20.89	21.11	23.97	26.38	28.13	28.03	27.86	28.96	29.91	26.88	24.95	20.98	25.67
34	19.64	20.29	23.01	24.96	26.90	29.17	29.35	29.52	29.28	26.90	24.26	20.48	25.31
35	19.06	19.73	23.05	26.08	28.85	29.93	29.82	29.82	29.25	26.88	23.98	20.05	25.54
36	19.47	20.22	23.8	25.46	28.56	28.78	29.31	31.28	32.42	29.03	25.78	20.36	26.21
37	20.29	20.34	22.58	24.62	27.91	28.72	29.24	29.75	30.15	28.43	25.24	21.02	25.69

38	21.42	21.96	24.93	27.17	30.10	30.79	31.39	31.59	31.92	29.82	26.91	23.06	27.59
39	18.33	18.43	20.66	24.25	27.91	28.75	29.58	29.90	29.20	27.14	23.75	19.83	24.81
40	20.00	22.01	23.64	24.96	27.36	27.89	28.12	28.46	29.14	27.72	25.84	19.87	25.42

表 2. 嘉南地區 2018 實測的表面土壤溫度 (MSST °C)

No	站名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	均溫	分類
1	安和	17.36	16.34	20.66	25.23	30.10	29.35	28.12	27.92	27.95	24.61	23.30	20.83	24.31	建物
2	大崙	18.51	17.78	22.26	26.49	29.90	29.15	28.35	28.48	28.73	27.49	25.14	23.18	25.46	樹林
3	竹圍									27.54	24.62	23.52	20.96		樹林
4	東石	18.89	18.55	22.16	26.55	29.55	29.58	30.57	29.52	29.34	26.89	24.67	22.81	25.76	樹林
5	下半天	20.38	19.63	23.87	28.10	31.76	31.21	29.02	29.32	30.43	29.23	26.57	24.64	27.01	草地
6	玉豐	17.39	16.64	20.88	24.05	27.12	27.31	26.99	26.59	26.57	24.46	23.53	21.56	23.59	樹林
7	平溪	18.21	17.30	20.46	23.24	26.59	27.33	27.68	27.13	27.48	25.11	23.63	21.36	23.79	樹林
8	新東	18.59	17.35	22.57	26.76	30.93	30.85	30.78	29.92	29.28	26.14	24.43	22.66	25.86	裸地
9	白河	19.85	18.56	23.02	27.33	32.58	31.45	30.16	29.43	30.16	27.82	26.11	24.40	26.74	草地
10	歡雅	19.60	18.79	22.32	25.30	28.84	28.93	29.53	28.98	29.49	27.23	24.69	22.24	25.49	草地
11	太康	19.17	18.32	22.25	25.72	29.71	29.45	29.04	28.08	28.19	27.08	25.48	23.40	25.49	草地
12	錦湖	19.23	18.71	22.87	26.71	31.25	30.60	30.45	28.74	30.80	28.45	26.01	23.70	26.46	裸地
13	柳營	19.17	18.32	22.25	25.72	29.71	29.45	29.04	28.08	28.19	27.08	25.48	23.37	25.49	樹林
14	北門									30.46	29.06	26.53	23.60		裸地
15	賀建	17.89	17.97	23.43	29.14	34.27	32.42	31.18	30.12	30.13	27.13	24.06	21.20	26.58	草地
16	下營	19.53	18.36	21.07	23.95	27.59	28.15	28.15	27.68	27.46	26.88	26.76	25.35	25.08	樹林
17	文山	17.84	17.07	21.09	24.98	28.04	28.12	28.64	27.56	28.30	26.37	24.70	22.01	24.56	樹林
18	六甲	19.20	18.56	23.53	27.22	30.52	29.78	29.69	28.94	29.48	27.20	24.64	22.00	25.90	樹林
19	港尾	20.87	20.14	24.86	28.84	32.72	31.40	31.30	30.13	30.92	28.53	26.13	23.28	27.43	草地
20	總爺	18.50	17.54	22.09	26.17	29.10	28.68	28.00	27.34	27.84	25.96	24.10	22.13	24.79	樹林
21	官田	17.75	16.76	19.85	23.36	27.58	28.11	27.75	26.82	26.57	23.71	22.54	20.14	23.41	樹林
22	頂山									28.56	26.05	24.25	22.14		草地
23	大文	19.69	19.06	23.47	27.86	31.80	30.98	30.50	29.32	29.11	27.67	25.59	23.46	26.54	裸地
24	紀安	18.76	18.34	23.37	26.98	30.41	29.02	28.57	27.56	28.86	27.67	25.00	22.82	25.61	草地
25	善化	18.57	17.17	21.77	25.23	28.87	29.54	29.54	27.24	28.26	26.35	24.88	23.55	25.08	建物
26	小新	19.90	19.20	24.64	28.60	32.88	30.43	29.82	28.89	29.92	28.29	25.89	23.88	26.86	樹林
27	光復									29.40	27.07	25.07	22.60		草地
28	十份									31.45	29.83	26.51	24.22		裸地
29	進學														草地
30	三股	17.78	17.68	23.01	27.62	31.86	30.93	30.26	28.72	28.54	25.63	23.47	20.96	25.54	樹林
31	南興									28.87	28.06	25.75	23.39		樹林

32	南科	20.33	19.19	22.78	25.22	27.92	28.16	27.83	27.31	28.04	26.27	25.34	23.72	25.18	樹林
33	新市	18.73	18.33	23.00	28.39	30.36	28.31	27.53	26.89	26.47					建物
34	那拔	18.74	17.52	21.69	26.17	29.75	29.04	28.67	27.37	27.82	25.35	23.95	21.66	24.81	樹林
35	新化	18.52	17.67	21.89	27.02	30.50	29.54	28.84	27.73	27.62	25.26	24.20	22.30	25.09	草地
36	永康	18.08	18.13	23.63	28.75	32.25	30.70	29.19	28.37	28.90	27.99	25.21	22.32	26.13	樹林
37	安慶	18.65	17.88	22.63	26.31	29.35	28.39	27.78	27.10	27.91	27.02	25.02	22.29	25.03	樹林
38	台南	20.27	19.96	25.81	30.65	33.83	32.07	31.54	29.76	30.00	28.61	25.74	23.82	27.67	草地
39	安平	17.58	16.51	20.45	25.46	28.00	27.96	28.75	27.72	27.36	24.84	23.77	21.56	24.16	建物
40	仁德									27.18	26.50	25.39	23.50		樹林

空白處為儀器故障

表3 中央氣象局之嘉南地區氣象站 2017-2018 之氣溫差

	2017 年均氣溫	2018 年均氣溫	2018-2017 溫度差
七股	24.21	23.93	-0.28
大內	23.93	24.41	0.48
大林	25.29	23.83	-1.46
仁德	23.96	24.82	0.86
後壁	24.64	23.66	-0.98

表4. 文獻中記載的未固結礫砂泥的熱參數 (Hamdhan and Clarke 2010).

	Thermal conductivity W/m°C	Specific heat J/kg°C	Density kg/m ³
Sandy gravel	4.44	1175	1983
Coarse sand, dry	0.25	800	1800
Coarse sand, saturated	3.72	1483	2080
Medium sand, dry	0.27	800	1700
Medium sand, saturated	3.34	1483	2080
Fine sand, dry	0.15	800	1600
Fine sand, saturated	2.75	1632	2010
Fine sand and silt	2.15	1747	1848
Clay, dry	0.25	800	1390
Clay, saturated	1.52	2362	1760

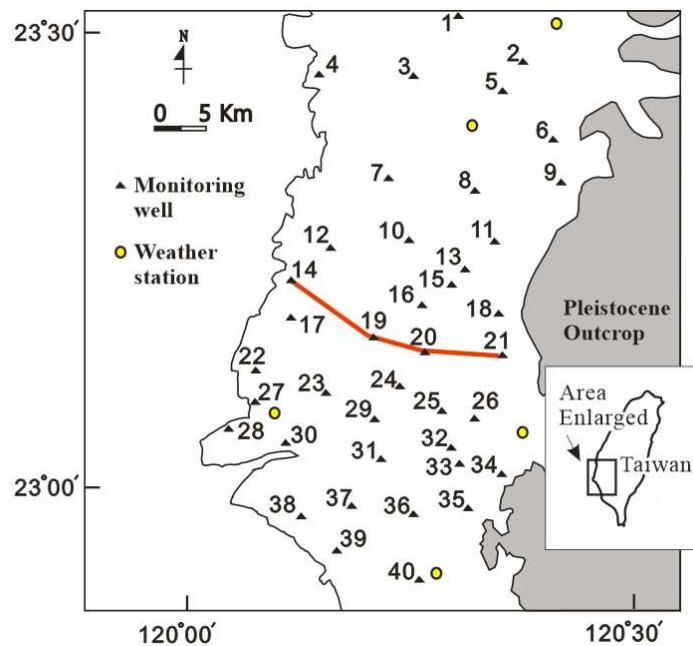


圖 1 嘉南地區地下水觀測站及氣象站位置



圖 2 美國 Hobo Onset 公司製造的 Tidbit-v2-UTB1 自記式溫度計

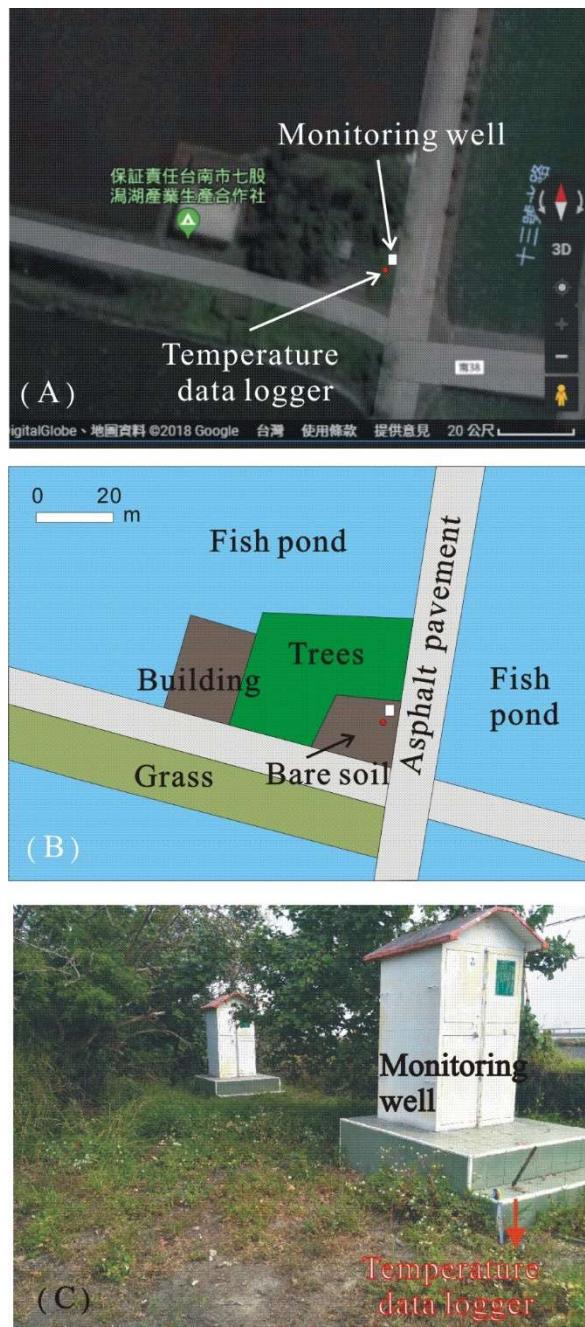


圖 3 (A) 第 28 號井的 Google 衛星影像；(B)使用衛星影像判別地表覆蓋的類型，並皆有人員實地查證；(C)觀測井之照片，現地可見裸露土壤和樹林，紅色箭頭指出溫度計所埋設的位置。

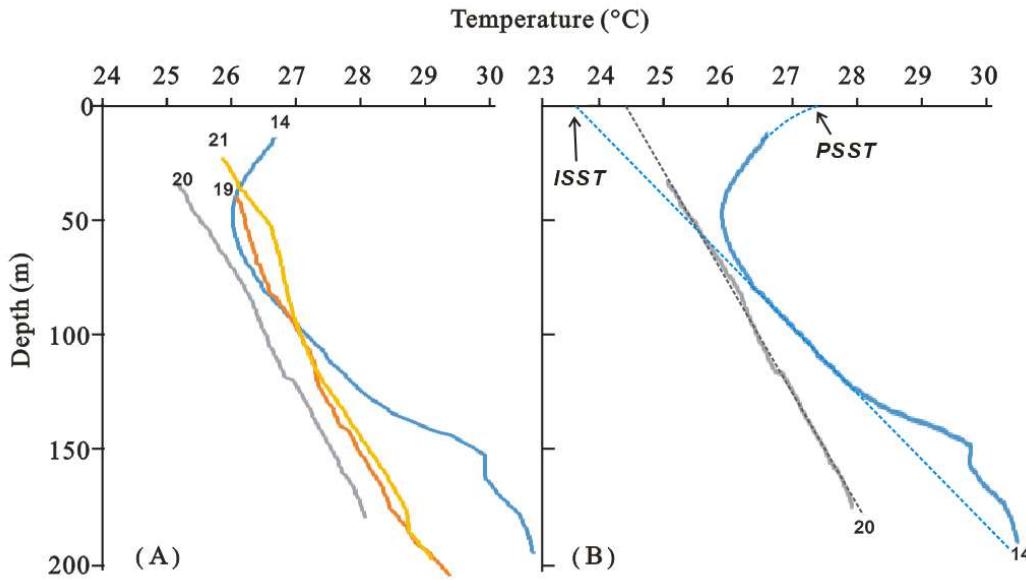


圖 4. (A) 圖 1 水文地質剖面沿線 4 口監測井之垂直井溫 (2015)；(B) 現在表面土壤溫度 PSST (present SST) 與始初表面土壤溫度 ISST (initial SST) 的推算方法，以 14 號井為例，使用一元二次方程式利用上部 20-50m 的數據來外插 0-20m 的溫度值(虛線部分), 0m 的溫度值即為 PSST；使用直線 80-120m 的數據來外插 0-80m 的溫度值(虛線部分), 0m 的溫度值即為 ISST。80-120m 的數據假設不受地下水及地表暖化的影響。

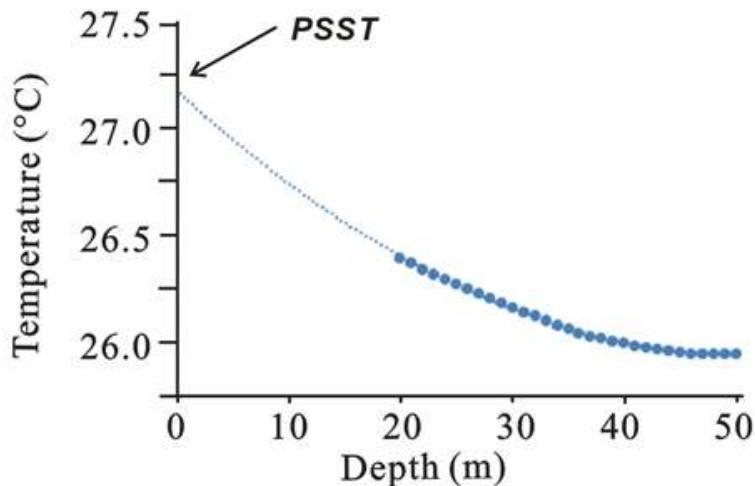


圖 5 以彎曲線外插於表面零點為 PSST，以上部 20-50m 為實測數據、以一元二次方程式，0-20m 為外插曲線($R^2 = 0.9987$)，推算出 PSST 為 27.2°C 。

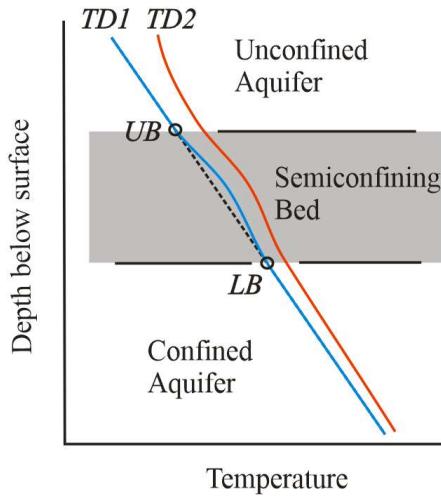


圖 6 計算阻水層(半洩漏層)垂直流速的假設狀況，假設兩含水層夾一阻水層，標注 TD1 及 TD2 為兩次量測之垂直井溫，UB 為阻水層的上邊界、LB 為下邊界。在正常地溫梯度下，若水由下往上流、則垂直井溫會呈現向上凸起。

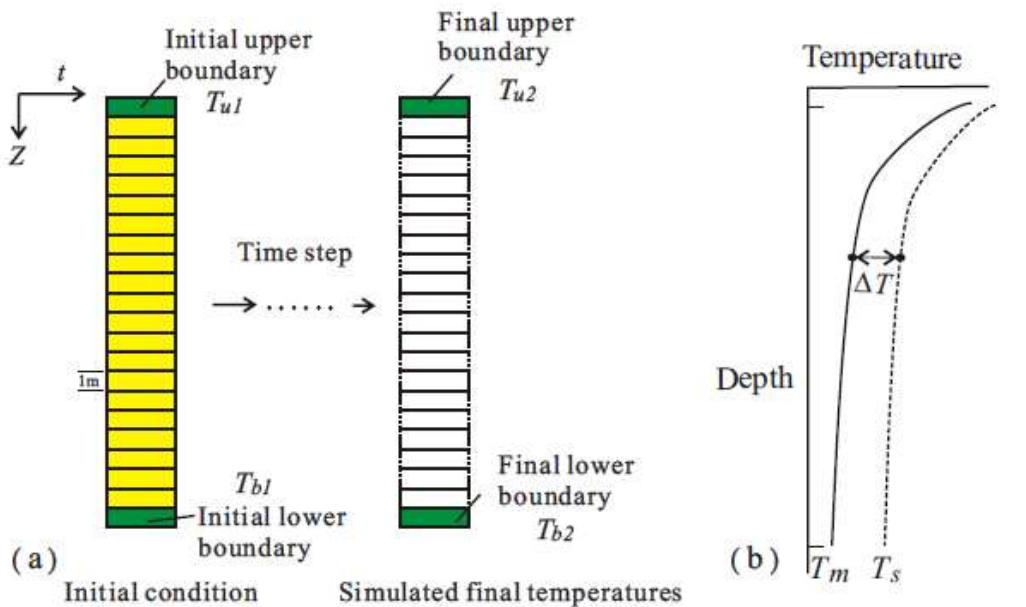


圖 7(A)一維垂直向地溫變化之數值模擬網格，每一網格高度為 1m，左側為始初溫度(由第一次垂直井溫得之)，因為上下邊界溫度的改變，經過多次計算，得到右邊為最後溫度(第二次垂直井溫)。(B) T_m 為實測的垂直井溫 T_s 為模擬的井溫

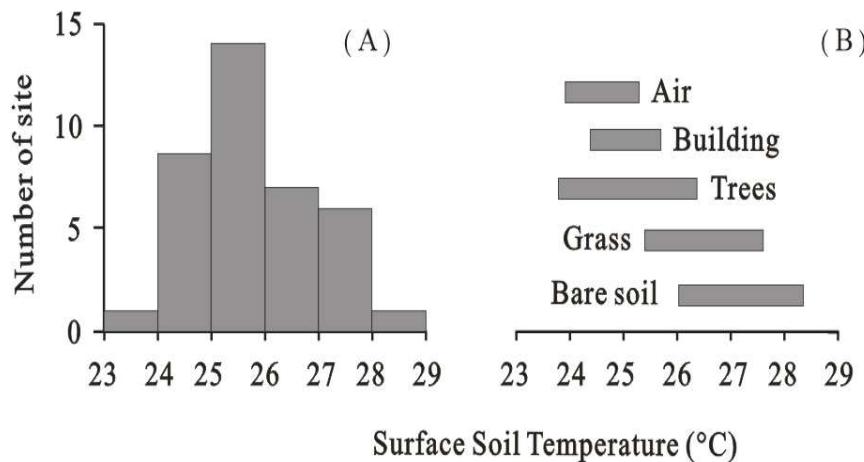


圖 8 (A)實測表面土壤溫度的統計分布；(B)土地覆蓋分為四類

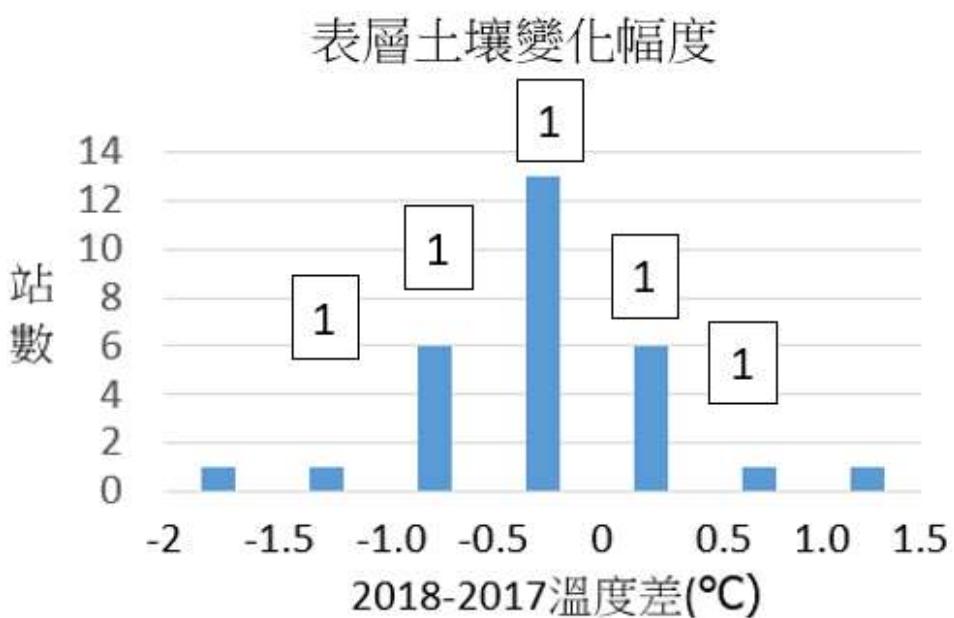


圖 9 2018-2017 表面土壤溫度實測值之溫度差，方框為氣溫的站數

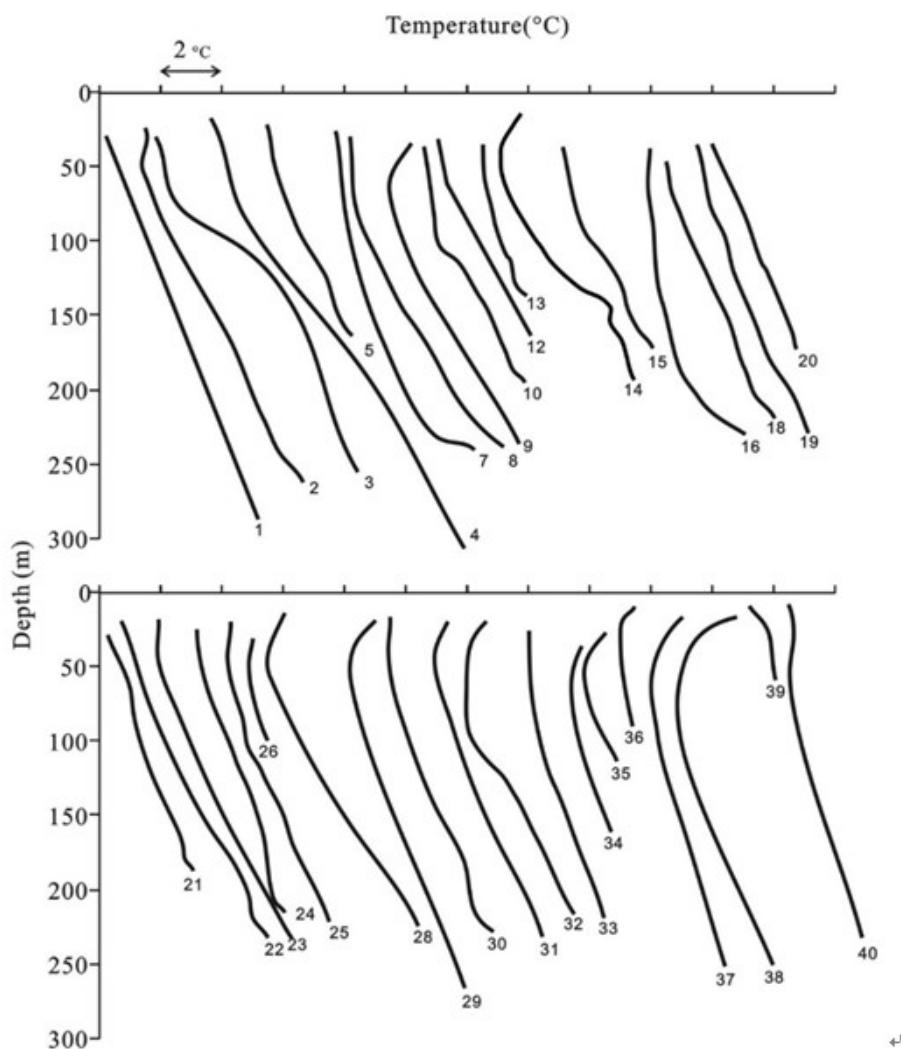


圖 10 嘉南平原觀測井 2015 年的垂直井溫

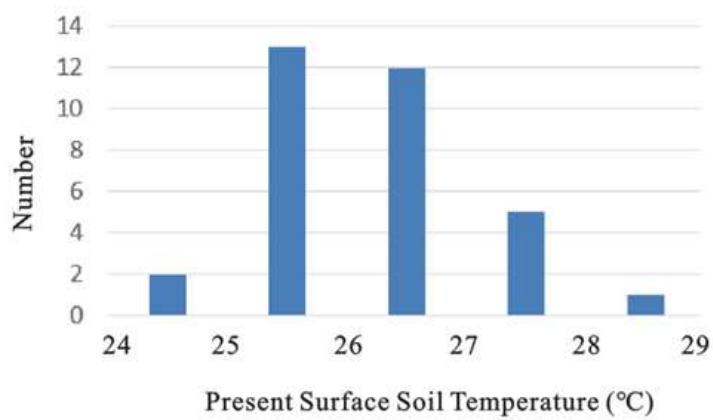


圖 11 由垂直井溫推算的現在表面土壤溫度(PSST)

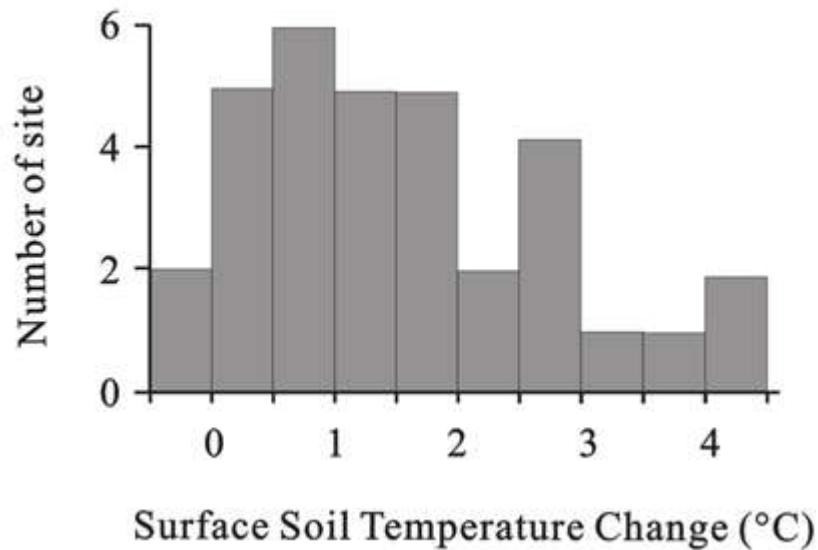


圖 12 由垂直井溫推算的表面土壤溫度差，大多數的井有暖化的趨勢

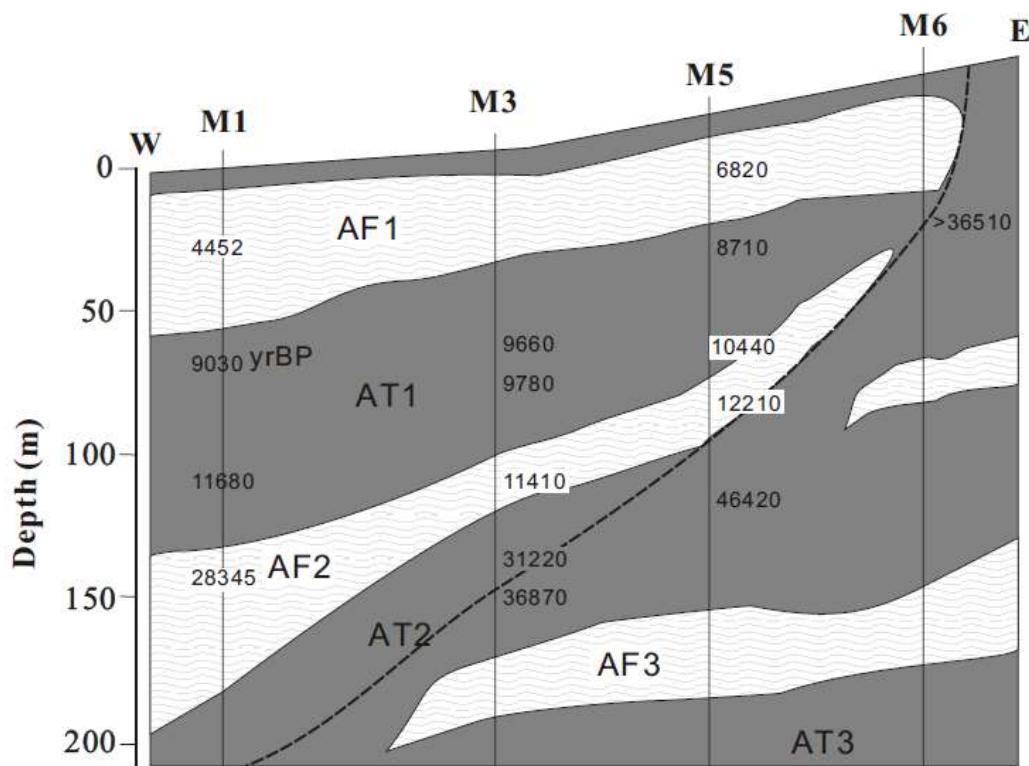


圖 13 水文地質剖面，位置參看圖 1 的紅線(M1 為 14 號井--北門井)

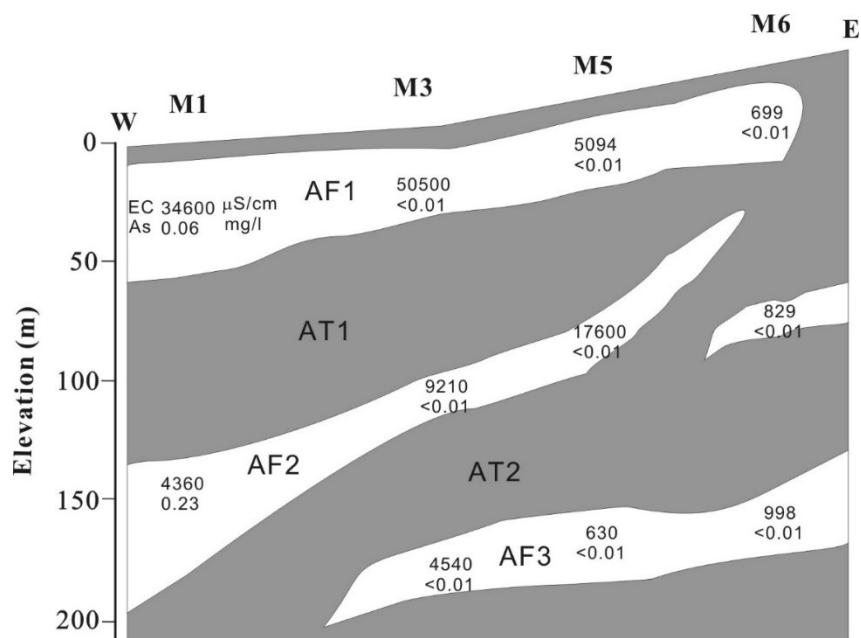


圖 14 水文地質剖面各含水層地下水的導電度 ($\mu\text{s}/\text{cm}$ at 25°C)和砷濃度 (mg/l)

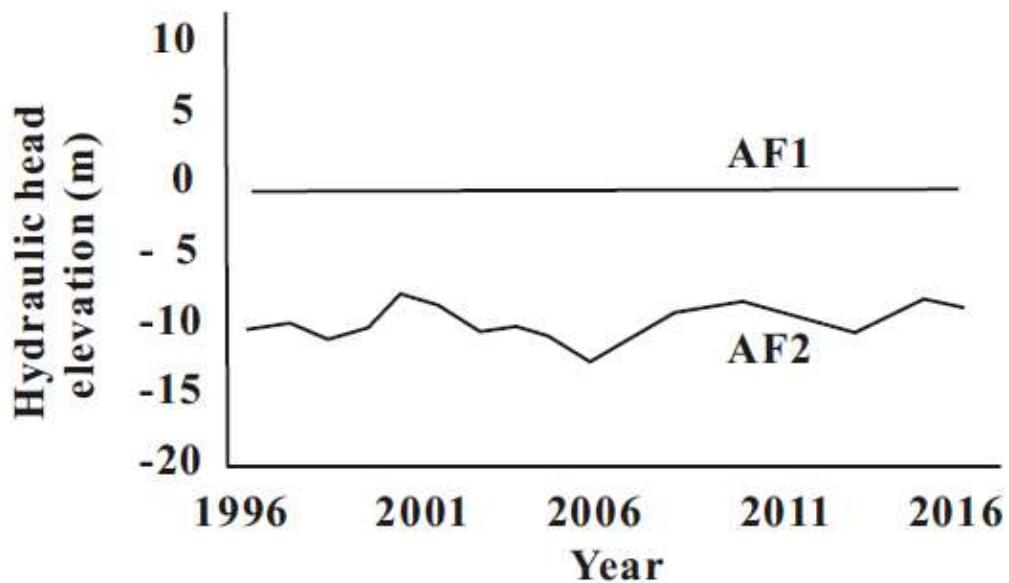


圖 15 北門井之含水層之歷年水壓

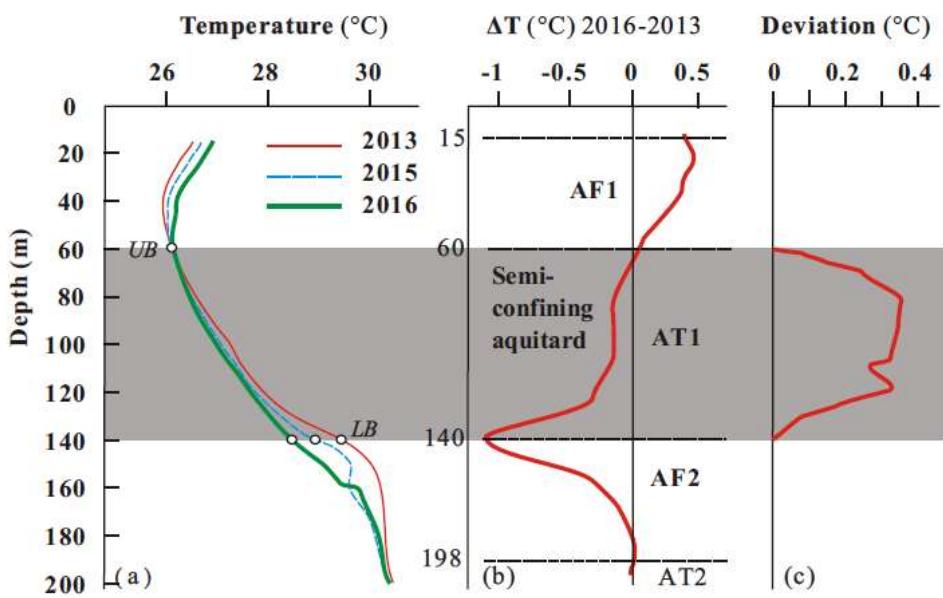


圖 16 (A)北門井之三次垂直井溫，UB 為上邊界，LB 為下邊界；(B)2016-2013 的溫度差，AF1 為第一含水層，AT1 為第一阻水層；(C)2016 年的偏離溫度--比較實測溫度與連接上下邊界的直線的溫度差。

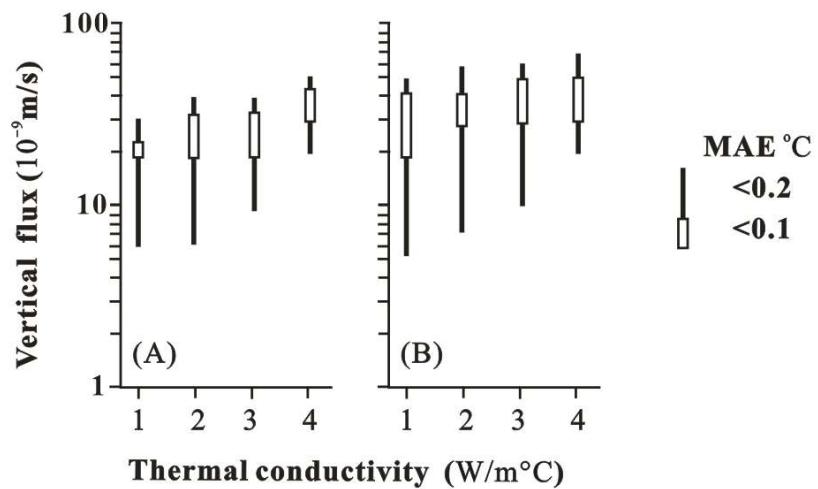


圖 17 不同假設之熱傳導係數、比熱及比重狀況下，所推算的垂直流速 (A)比熱 $1,500 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ 比重 $1,800 \text{ kg/m}^3$ (B) 比熱 $2,300 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ 比重 $2,000 \text{ kg/m}^3$ 。MAE 為模擬值與實測值的絕對溫度差。

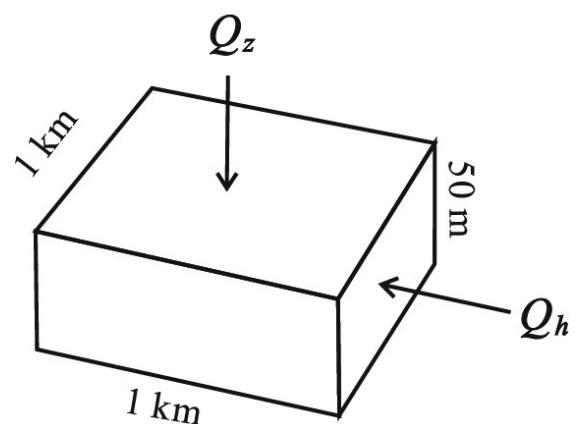


圖 18 第二含水層假設有兩個方向的流量， Q_z 從上方(第一阻水層)流入， Q_h 為第二含水層的水平流量。

科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告

日期:108 年 9 月 12 日

計畫編號	MOST 107-2116-M-041 -001 -		
計畫名稱	臺南高雄地區地表面溫度及地溫之研究		
出國人員姓名	陳文福	服務機構及職稱	嘉南藥理大學 副教授
會議時間	108 年 4 月 8-12 日	會議地點	奧地利維也納
會議名稱	2019 歐洲地科年會 (European Geoscience Union 2019)		
發表題目	嘉南平原各種土地利用的表層土壤溫度 Surface Soil Temperatures of Various Land Cover Types within the Chianan Plain, Southern Taiwan		

一、參加會議經過

參加 2019 EGU 並發表論文

4/8 (一) 啟程往奧地利維也納

4/9-10 (二至三) 報到、參加會議；

4/11 (四) 參加會議發表論文

4/12 (五) 繼續參加會議

4/13 (六) 自由活動

4/14-15 (日一) 搭機返台灣

二、與會心得

歐洲地球科學學會是重要的地球科學組織之一，參加 2019 年會的人數約達 16,273 多人，來自 113 國，論文有 5,531 口頭報告、9,432 壁報，參予國家別以德國人數最多(2587 人)，台灣第 15 名(258 人)，次於中國及南韓，但多過日本(表 1)。此會議涵蓋的題目很廣，有 666 個領域子題(session)，共發表一萬六千多篇論文，我比較感興趣的科目為水文學 Hydrological Science (表 2)，水文學底下又有 12 個分組(表 3)。

表 1 各國參予的人數

Germany	2.587
United Kingdom	1.355
China	1.194
Italy	1.191
France	1.151
United States	1.068
Austria	754
Switzerland	723
Netherlands	494
Spain	444
Korea, Republic Of	391
Norway	341
Russian Federation	329
Canada	278
Taiwan	258
Belgium	257
Sweden	253
Japan	235

表 2 大會分為 43 個領域

Union-wide	Disciplinary Sessions	
<p>■ Union Symposia (US) ■ Great Debates (GDB) ■ Science and Society (SCS) ■ Medal and Award Lectures (MAL) ■ Short Courses (SC) ■ Education and Outreach Sessions (EOS) ■ EGU Plenary, Ceremonies and Networking (PCN) ■ Feedback and administrative meetings (FAM) ■ Townhall and splinter meetings (TSM)</p>	<p>■ Atmospheric Sciences (AS) ■ Biogeosciences (BG) ■ Climate: Past, Present, Future (CL) ■ Cryospheric Sciences (CR) ■ Earth Magnetism & Rock Physics (EMRP) ■ Energy, Resources and the Environment (ERE) ■ Earth & Space Science Informatics (ESSI) ■ Geodesy (G) ■ Geodynamics (GD) ■ Geosciences Instrumentation & Data Systems (GI) ■ Geomorphology (GM)</p>	<p>■ Geochemistry, Mineralogy, Petrology & Volcanology (GMPV) ■ Hydrological Sciences (HS) ■ Natural Hazards (NH) ■ Nonlinear Processes in Geosciences (NP) ■ Ocean Sciences (OS) ■ Planetary & Solar System Sciences (PS) ■ Seismology (SM) ■ Stratigraphy, Sedimentology & Palaeontology (SSP) ■ Soil System Sciences (SSS) ■ Solar-Terrestrial Sciences (ST) ■ Tectonics & Structural Geology (TS)</p>
<p>Side Events</p>	<p>■ Inter- and Transdisciplinary Sessions</p>	
<p>■ Science-Art-Public Events (SCA) ■ Lectures organized by related scientific societies (LRS) ■ Stand-Alone Lectures (SAL) ■ GA Job Centre (JC) ■ Press conferences (PC) ■ Pre- & post-assembly activities (PPAA)</p>	<p>■ History and Philosophy of Earth, Planetary and Space Sciences ■ Resources and the energy transition ■ Contributions of Earth, Planetary and Space Sciences to changes in society ■ Scientific challenges posed by global warming ■ The Anthropocene ■ Urban Geoscience</p>	

表 3 水文學有 12 個分組

- HS1 – General Hydrology
- HS1.1 – Innovative sensors and monitoring in hydrology
- HS1.2 – Cross-cutting hydrological sessions
- HS2 – Catchment hydrology
- HS2.1 – Catchment hydrology in diverse climates and environments
- HS2.2 – From observations to concepts to models (in catchment hydrology)
- HS2.3 – Water quality at the catchment scale
- HS2.4 – Hydrologic variability and change at multiple scales
- HS2.5 – Global and (sub)continental hydrology
- HS3 – Hydroinformatics
- HS4 – Hydrological Forecasting
- HS4.1 – Forecasting hydrological extremes: (flash) floods, droughts and water scarcity
- HS4.2 – Improving and quantifying forecasting methodologies and uncertainties
- HS4.3 – Operational and impact forecasting, preparedness and decision making
- HS5 – Water policy, management and control
- HS5.1 – Water policy and management
- HS5.2 – Water, society, and change
- HS5.3 – Water systems analysis and operations
- HS5.4 – Water, energy and/or food nexus
- HS5.5 – Water quality management
- HS6 – Remote Sensing and Data Assimilation
- HS7 – Precipitation and Climate
- HS8 – Subsurface Hydrology
- HS8.1 – Subsurface Hydrology – General sessions
- HS8.2 – Subsurface Hydrology – Groundwater
- HS8.3 – Subsurface Hydrology – Vadose zone hydrology
- HS9 – Erosion, sedimentation & river processes (covering all temporal and spatial scales)
- HS9.1 – Erosion, sedimentation & river processes: measurement and monitoring approaches
- HS9.2 – Erosion, sedimentation & river processes: modelling and management approaches
- HS10 – Ecohydrology, wetlands and estuaries: aquatic and terrestrial processes and interlinkages
- HS11 – Interdisciplinary sessions related to Hydrological Sciences
- HS12 – Short Courses in Hydrological Sciences

我這次參加的分組為水文學 HS823 與能源環境 ERE53 的小組：熱與力學作用能源儲存於孔隙及裂隙含水層(HS8.2.3/ERE5.3 - Thermal and mechanical processes and energy storage in porous and fractured aquifers) ，召集人 Martin Bleimendal。本分組主要的研究主題為地下熱的傳播與儲存，研究者來自歐洲各國及其他國家。去年會議中認識的荷蘭的 Victor Bense 教授(Wageningen University)，今年也有發表，並且也引介認識另一個做溫度研究的加拿大學者 Barret Kurylyk (Department of Civil and Resource Engineering, Dalhousie University)，我也邀請海洋大學的邱永嘉老師加入，並在科技部提出台荷科技研究互訪計畫(已通過台荷兩國的審核)，初步敲定荷蘭方面於 2019 年 11 月來台灣訪問一周，雙方的合作主題為：地下溫度方法應用於海水入侵的研究。

Bense 教授今年在 EGU 發表的研究為 Subsurface temperature impacts of groundwater abstraction (Jelte de Bruin, Philip Visser, and Victor Bense)地下水抽用與地下溫度變化； Kurylyk 教授發表的論文 Temperature-depth profiles: An overlooked source of hydrogeological information (Barret Kurylyk, Victor Bense, and Dylan Irvine) 溫度深度剖面--被忽視的水文地質訊息。

我個人近 10 年都在從事地下溫度的研究，2009 年執行國科會的計畫，調查礁溪地區的觀測井溫度分布，發現該地的地下水溫受到地下水流動影響較大（陳文福等，2012），較完整的結果已投稿到 geothermics 期刊，已於 2016 年正式發表(Chen and Chiang, 2016)。

2010 年執行地調所研究案，調查濁水溪地區觀測井的地下水溫，發現三點現象：(1)沖積扇許多井的上部有溫度增加的趨勢，可能和全球暖化及都市化有關。(2)扇頂的井常呈現零或負的地溫梯度，因為含水層沒有泥層阻隔，地下水容易上下流動，所以地溫梯度為零（即上下溫度相同），(3)扇尾的地溫梯度則較正常，因有許多泥層分隔，所以主要由下方往上傳熱，有正常地溫梯度。

2012-2013 年國科會補助的屏東地區地溫量測共 48 口井，也發現向上變暖的

井高達 40 口。2014 年科技部補助之嘉南地溫量測共 48 口井，也發現向上變暖的井高達 40 口。以上研究成果正進行整理投稿國內外期刊。2015-2016 科技部計畫，再度調查彰雲地區地溫，確認 2010 年發現的現象，另外藉由兩次地溫變化(2010-2015)，也可計算地下水的流速及上部地溫變化的速率。2017 科技部計畫，調查嘉南地區表層土壤的溫度(已接受 Chen, 2019)，2018 科技部計畫，調查高雄嘉南地區表層土壤及地下溫度並計算地下水的流速(已發表 Chen and Bense, 2019)，此次會議即報告嘉南地區地溫研究的進一步結果，也和各國同一主題的研究者交換研究心得。

溫度及熱傳是地下水研究的重要參數之一，但在台灣的研究仍在起步階段，未來希望能持續建立全台的地下水溫度(地溫)、地溫梯度等數據，經由多年多次量測，以了解地下水的流動及地表地溫變遷等問題，也經由參加國際會議的機會了解其他各國的研究現況，並成為全球觀測網的一員，提供台灣的觀測數據。



圖 1：EGU-2019 會場--國際會議中心

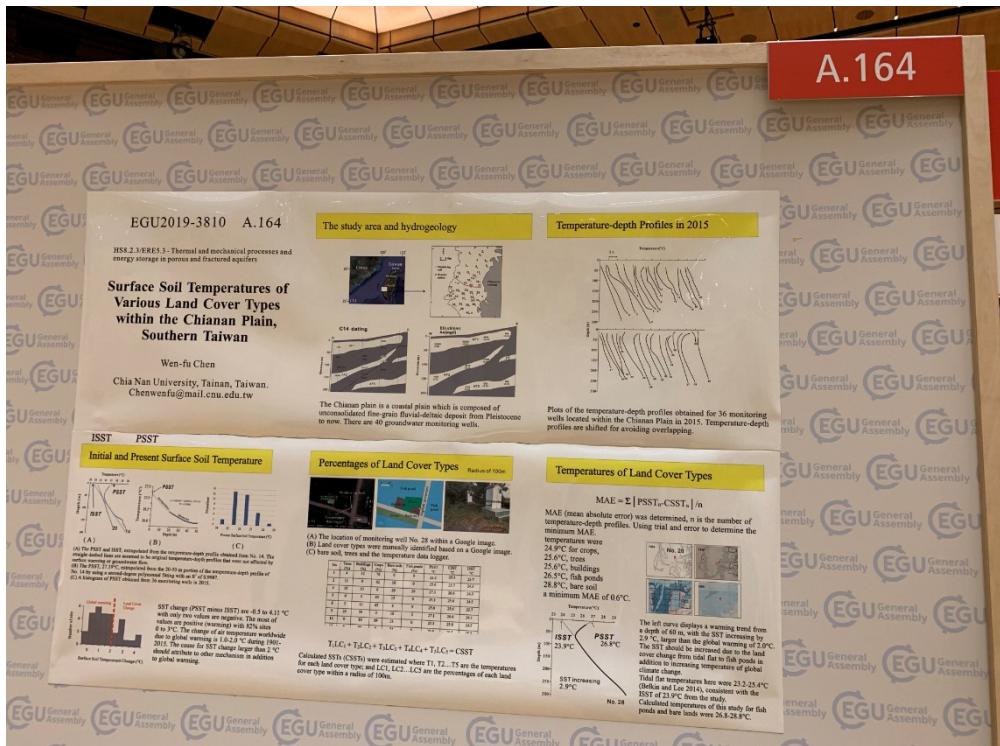


圖 2：此次發表的海報

三、發表論文摘要

Geophysical Research Abstracts
Vol. 21, EGU2019-3810, 2019
EGU General Assembly 2019
© Author(s) 2019. CC Attribution 4.0 license.



Surface Soil Temperatures of Various Land Cover Types within the Chianan Plain, Southern Taiwan

Wenfu Chen

Chia Nan University, Tainan, Taiwan (chenwenfu@ntu.edu.tw)

Surface Soil Temperature (SST) is defined as the surface or near-surface temperature of the ground that consists of the upper boundary of the subsurface temperature-depth curve. SST is an important parameter for understanding subsurface heat transfer and climate change. In this research, I define two types of SST: 1) Measured Surface Soil Temperature (MSST), measured with a data logger in the uppermost centimeters of the ground, and 2) Present Surface Soil Temperature (PSST), estimated from temperature-depth curves.

Results from the experiment indicate that land covers at a 1 m radius above data loggers consist of three types: trees, grass, and bare soil. Values for MSST in 2017 were 23.8-28.3°C, while average annual air temperatures were 23.9-25.2°C. Temperatures for the trees were 23.8-26.2°C, lower than average, while temperatures for bare soil with no shield to solar radiation were higher, 26.0-28.3°C. Land cover types within a 100 m radius surrounding monitoring wells included: trees, buildings, crops, bare soils, and fish ponds. Values for PSST were 24.5-28.5°C and were correlated with the percentage of land cover area to estimate the temperature of various land cover types. Temperatures were 25.2, 25.6, 25.9, 26.8, and 27.6°C for crops, trees, buildings, fish ponds, and bare soils, respectively, with a minimum mean absolute error of 0.5°C. Both PSST and MSST within the study area displayed a correlation with land cover types that indicated a wide range of temperatures, 23-29°C. Studies of surface temperature history using temperature-depth curves should consider the impact of land cover change.

四、建議

參加 EGU 能見到許多科學家孜孜不倦的作研究，親身參與歐洲最大的地球科學集會，能見到許多研究的最新發展，對我自己的研究教學及發表 SCI 論文都有很大的幫助。並且也讓國際看見我們的研究，例如此次會議也和日本及荷蘭的學者討論合作研究，並加入國際地下溫度的觀測網中。希望科技部仍能持續補助科學家參加會議。

五、攜回資料

EGU 會議的議程及論文都已公開上網，並未帶回紙本論文集。

1. Chen WF* (2019) The surface soil temperatures of different land covers in Chianan plain, southern Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* (accepted)
2. Chen WF*, Bense VF (2019) Using transient temperature-depth profiles to calculate groundwater flow across semi-confining layers in the Chianan coastal plain aquifer system, southern Taiwan. *Hydrogeology J.* 27, 2155-2166. (SCI, IF-2018 2.4)
3. Chen Wenfu*, Chiang Hsietang (2016) Subsurface temperature trends in response to thermal water exploitation in the Jiashi Hot Spring, northeastern Taiwan. *Geothermics* 60, 126-133. (SCI, IF-2013 2.86)

107年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：陳文福				計畫編號：107-2116-M-041-001-					
計畫名稱：嘉南高雄地區地表面溫度及地溫之研究									
成果項目			量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)				
國內	學術性論文	期刊論文		0	篇				
		研討會論文		0					
		專書		0					
		專書論文		0					
		技術報告		0					
		其他		0					
國外	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	0	件			
				已獲得	0				
			新型/設計專利		0				
		商標權			0				
		營業秘密			0				
		積體電路電路布局權			0				
		著作權			0				
		品種權			0				
		其他			0				
		技術移轉		件數	0	件			
		收入		0	千元				
國外	學術性論文	期刊論文			1	篇	Chen WF, Bense VF (2019) Using transient temperature-depth profiles to calculate groundwater flow across semi-confining layers in the Chianan coastal plain aquifer system, southern Taiwan. <i>Hydrogeology J.</i> , 27, 2155–2166.		
		研討會論文			1		Chen Wen-Fu, 2018, Vertical velocity in semi-confining layers in Chianan plain, southern Taiwan, The 2018 EGU (European Geosciences Union) Meeting, 9 to 13 Apr, Vienna, Austria.		
		專書			0	本			
		專書論文			0	章			
		技術報告			0	篇			
		其他			0	篇			
		智慧財產權	專利權	發明專利	申請中	0	件		

及成果	已獲得	新型/設計專利	0	
		商標權	0	
		營業秘密	0	
		積體電路電路布局權	0	
		著作權	0	
		品種權	0	
		其他	0	
	技術移轉	件數	0	件
		收入	0	千元
參與計畫人力	本國籍	大專生	0	人次
		碩士生	1	
		博士生	0	
		博士級研究人員	0	
		專任人員	0	
	非本國籍	大專生	0	
		碩士生	0	
		博士生	0	
		博士級研究人員	0	
		專任人員	0	
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動 、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國 際影響力及其他協助產業技術發展之具體 效益事項等，請以文字敘述填列。)				

科技部補助專題研究計畫成果自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否具有政策應用參考價值及具影響公共利益之重大發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以100字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形（請於其他欄註明專利及技轉之證號、合約、申請及洽談等詳細資訊）

論文：已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利：已獲得 申請中 無

技轉：已技轉 洽談中 無

其他：（以200字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，以500字為限）

可應用於計算地下水的垂直流速

4. 主要發現

本研究具有政策應用參考價值：否 是，建議提供機關經濟部，
(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)

本研究具影響公共利益之重大發現：否 是

說明：（以150字為限）