

科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

屏東平原之地溫分布與暖化趨勢

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：NSC 102-2116-M-041-002-
執行期間：102年08月01日至103年07月31日
執行單位：嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學溫泉產業研究所

計畫主持人：陳文福

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：王書斌

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：

1. 公開資訊：本計畫可公開查詢
2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否
3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考：否

中華民國 103 年 10 月 29 日

中文摘要： 井孔溫度量測可幫助我們建立地下溫度場的分布，在地下水流動顯著的地區，可反應出地下水的流場，另外，也可用來反推地表溫度歷史。本研究總共量測了屏東平原 48 口觀測井的井孔溫度，結果顯示溫度最低為高樹井（23.5°C），位於荖濃沖積扇的扇頂補注區，分布深度約為地面下 90-100m 深。屏東平原的地溫呈現北邊較低、南邊較高，反應出補注區冷水流入的影響。48 口井中有 40 口都呈現上段變暖，但這些井大都受到地下水流動的影響，不適合定量的地表暖化分析。只有 3 口井的地溫梯度界於 2.0-3.5 °C/100m 之間，地表暖化分析結果顯示，反曲點 H 的深度約 45-63m、始初地表溫度約 23.9-25.5°C、現在地表溫度約 25.8-27.5°C、增加溫度約 1.9-3.0°C、增溫時間約 65-89 年。此次研究結果為首次調查，還有許多的不確定性，未來若進行第 2 次調查，累積 2 次的時間變化，應可對於屏東平原補注的水流場，及地表溫度變化對地溫的影響，有些定量的結果。

中文關鍵詞： 屏東平原，地溫，地下水，地表暖化

英文摘要： Subsurface temperature distribution determined by measuring boreholes temperature could be used to infer direction of groundwater flow or to invert the ground surface temperature history. This research investigates borehole temperature of 48 groundwater monitoring wells in Pingtung Plain, southern Taiwan. The results show that the lowest temperature is about 23.5 °C with a depth of 90-100m below surface in the Kaushu Well located at the upper fan recharge area of the Loanon alluvial fan. The subsurface temperature in Pingtung Plain is lower in the recharge area of northern part and higher to the downstream side of southern part. There are 40 wells in the total of 48 wells that show a trend of warming upward. Most of these wells were affected by groundwater flow, only 3 wells can be used for surface temperature history analysis. For analyzing the 3 wells, we determine the initial surface temperatures are approximately 23.9-25.5 °C, the current surface temperature are 25.8-27.5 °C, and the surface temperature were increased by 1.9-3.0 °C during a period of 65-89 years.

英文關鍵詞： Pingtung Plain, Subsurface temperature, Groundwater, Surface temperature warming

屏東平原之地溫分布與暖化趨勢

The Warming Trend and Subsurface Temperature in the Pingtung Plain, Southern Taiwan

摘 要

井孔溫度量測可幫助我們建立地下溫度場的分布，在地下水流動顯著的地區，可反應出地下水的流場，另外，也可用來反推地表溫度歷史。本研究總共量測了屏東平原 48 口觀測井的井孔溫度，結果顯示溫度最低為高樹井 (23.5°C)，位於荖濃沖積扇的扇頂補注區，分布深度約為地面下 90-100m 深。屏東平原的地溫呈現北邊較低、南邊較高，反應出補注區冷水流入的影響。48 口井中有 40 口都呈現上段變暖，但這些井大都受到地下水流動的影響，不適合定量的地表暖化分析。只有 3 口井的地溫梯度界於 2.0-3.5 °C/100m 之間，地表暖化分析結果顯示，反曲點 H 的深度約 45-63m、始初地表溫度約 23.9-25.5°C、現在地表溫度約 25.8-27.5°C、增加溫度約 1.9-3.0°C、增溫時間約 65-89 年。此次研究結果為首次調查，還有許多的不確定性，未來若進行第 2 次調查，累積 2 次的時間變化，應可對於屏東平原補注的水流場，及地表溫度變化對地溫的影響，有些定量的結果。

關鍵詞：屏東平原，地溫，地下水，地表暖化

ABSTRACT

Subsurface temperature distribution determined by measuring boreholes temperature could be used to infer direction of groundwater flow or to invert the ground surface temperature history. This research investigates borehole temperature of 48 groundwater monitoring wells in Pingtung Plain, southern Taiwan. The results show that the lowest temperature is about 23.5 °C with a depth of 90-100m below surface in the Kaushu Well located at the upper fan recharge area of the Loanon alluvial fan. The subsurface temperature in Pingtung Plain is lower in the recharge area of northern part and higher to the downstream side of southern part. There are 40 wells in the total of 48 wells that show a trend of warming upward. Most of these wells were affected by groundwater flow, only 3 wells can be used for surface temperature history analysis. For analyzing the 3 wells, we determine the initial surface temperatures are approximately 23.9-25.5 °C, the current surface temperature are 25.8-27.5 °C, and the surface temperature were increased by 1.9-3.0 °C during a period of 65-89 years.

Keywords: Pingtung Plain, Subsurface temperature, Groundwater, Surface temperature warming

一、 前 言

地溫指地面下的溫度，為一具有三維空間分布並隨時間改變的性質。地溫的量測通常經由鑽井的井孔溫度 (borehole temperature) 所得。井孔溫度為單個地點的地溫量測為沿著井孔，垂直往下 (或往上) 測量的溫度分布，或稱為溫度井測。井孔溫度反應地底下之岩層 (固定) 及地下水 (可流動) 的溫度。

地溫分布受到五方面的影響：(1) 地表面溫度 (ground surface temperature) 為日照、植被、氣溫、地形等的影響；(2) 過去氣溫變化，例如全球暖化及都市化；(3) 岩層的構造、分布及導熱性質；(4) 地下水流動；(5) 較深部地熱源的位置，例如岩漿庫等之影響 (Kohl, 1999; Anderson, 2005; Ferguson et al., 2006; Verdoya et al., 2007; Bense and Beltrami, 2007)。

井孔溫度除了可幫助我們瞭解地下溫度場的分布，在地下水流動顯著的地區，可反應出地下水的流場 (Anderson, 2005)，另有一個重要的應用，反推過去的地表面溫度。地表面溫度為地面之土壤表面所量測的溫度，與氣溫並不相同，地表面溫度代表比較局部的溫度 (例如數百公尺內)，受日照、植被、氣溫、地形、水文等影響；而氣溫起因於大氣的流動，相對代表較廣的溫度，可能達數公里。地表面溫度與氣溫通常具有相同的變化趨勢，因此研究井孔溫度，以回推過去的地表面溫度變化，可代表某種程度的過去氣候變化 (Pollack et al., 1998; Huang et al., 2000; Pollack and Huang, 2000; Taniguchi et al., 2003)。

近百年來的全球暖化及都市開發的熱島效應，造成許多地區上部 70m 的井孔溫度顯著上升 (Taniguchi et al., 1999; Stevens et al., 2008; Yamano et al., 2009)。然而學界對於台灣的地下水溫及井溫研究仍少 (江協堂等, 2008)，本研究計畫首次調查屏東平原觀測井之井孔溫度，了解該地區的地溫分布、地溫梯度、水流狀態及是否有變暖的趨勢，評估台灣南部受到全球暖化及都市化的影響程度，將來再次調查屏東平原的地溫分布，可以定量瞭解其變化。

二、研究方法

井孔溫度之量測方法，使用美國 In-situ 公司 Troll 200 測棒（圖 1），進入地下水後，每間隔 4m 測量一點水溫數據，每點停留至少 2min，因每點溫度同時有水壓數據，即可換算該井深的溫度。量測時由上往下量一次，第一點需停留 10min 以上，以待測棒與地下水之間溫度達到平衡。原始的測量數據，根據當時的水深，校正為井口下（相當於地面下）的深度，再標準化為間隔每一公尺的溫度，經由實測的數據內插推算。

井內效應：有些研究的地溫量測，將井內井管封閉，以隔絕地下水進入（江協堂、徐春田，2009）。但本研究所用的井為地下水觀測井，因此井內有地下水的流動，濾水管若太長，跨過不同含水層，可能會有層間對流的情況。另外，因為井內水柱在垂直向有溫度差異，所以會形成熱對流，其對流胞的大小約井管口徑的數倍（Diment, 1967）。本研究的觀測井直徑為 15cm，以 10 倍計算，對流胞約 1-2m，表示井下溫度的測量間距需大於 2m。至於井管為不鏽鋼管，對於地溫的干擾很小，可以忽略（吳書恒等，2008）。

美國 In-situ troll 200 為水壓、導電度與溫度三合一自記式測棒。溫度量測範圍 -20—80°C、準確度 0.1°C、解析度 0.01°C；壓力量測範圍可達 350m 水壓、準確度 0.1%（相當於 2cm）、解析度 0.005%（1mm）。水溫確認方式為比對標準溫度計的讀數，誤差需在 0.1°C 內，超過此值，需送回原廠校正。

因為地心是熱的來源，正常的地溫梯度，呈現往深部溫度漸增；反之往下地溫漸減，稱為負的地溫梯度。實測的井孔溫度垂直剖面通常呈現三種狀態：（1）直線--全段為正的地溫梯度，溫度往深部漸增（圖 2 中的 aa 線）；（2）往上變暖--下段為正值地溫梯度，上段為負值（圖 2 中的 ab 線），其中 H 點為地溫梯度正負值交接處，此點的地溫梯度為零；（3）往上變冷--下段為正值地溫梯度，上段也為正值，但是上段的梯度大於下段（圖 2 中的 ac 線）。

圖 2 中虛線的部分，為井孔中地下水水位線以上，空氣部分的溫度量測較不準（因空氣比熱小及黏滯性小較易受擾動），故此段無數據，需以水位線下的數據外插得之（Eppelbaum et al., 2006）。如果地表溫度過去長時間（例如數十至數百年）都沒有變動，理論上、地下深度/溫度線應如圖 2 的 aa 線，即地表溫度與地下深度的熱源往上傳導達成穩態平衡（steady state）。根據下式可求出平均地

表面溫度 T_a (mean ground surface temperature)及地溫梯度 G ：

$$T(z) = T_a + GZ \quad \text{公式 1}$$

$T(z)$ 為實測的溫度-深度迴歸線， Z 為深度。

井孔溫度曲線通常受到地下水的干擾，可分為兩方面，垂直向及水平向。地下水若為水平流動，常造成地溫梯度在該含水層位置的曲線轉折（圖 3）。例如遠處有較冷的水補注，沿著含水層水平流動，因為上下阻水層的水沒有流動，因此含水層的溫度變化較大，而形成轉折。至於轉折的形狀，及上下地層溫度的反應，與此含水層的溫度與上下層的差異有關。因此，若井孔溫度曲線不是直線，而呈現局部向左或向右突起，很可能是受到地下水水平流動的影響。

地下水垂直向的流動，也會造成地溫梯度曲線的變化（圖 4）。在地下水流出區，地下水往上流，洩漏層以上的溫度會增加，地溫梯度會減少；在補注區、地下水往下流，洩漏層以下的溫度會降低，地溫梯度也減少（Anderson, 2005）。

進行變暖趨勢分析的井，需選取沒有或較少受地下水干擾，並且呈現向上變暖的井，如圖 2 的 ab 線。先求出 H 點—即地溫梯度正負值交接處，此點的地溫梯度為零，再沿 aH 方向外插求得 T_a ，此時的 T_a 為始初地表溫度（initial ground surface temperature）；再沿 Hb 線外插，可求出 T_b —現今地表溫度（current ground surface temperature）， T_b 減去 T_a 即是地表在增溫時間（duration time, t^* ）所增加的溫度 ΔT （warming magnitude）。

$$\Delta T = T_b - T_a \quad \text{公式 2}$$

增溫時間（ t^* ）為現在年度（例如 2014 年的測量數據）減去開始增溫的年度 t_0 （onset year），如下式（單位為年）：

$$t^* = 2014 - t_0 \quad \text{公式 3}$$

增溫時間（ t^* ）可由公式 4 求得。假設井孔溫度僅受到地面溫度及深度熱傳導的影響，沒有地下水對流的影響，如下式。

$$(\kappa/\rho c)\nabla^2 T = \partial T/\partial t \quad \text{公式 4}$$

κ 為地層熱傳導係數、 ρc 為地層的比重及比熱、 T 為溫度、 t 為時間。假設地層的熱傳導係數已知，並給予適當的邊界條件及始初條件，由已知的溫度/深度曲

線，可求得時間 t 。本研究假設增溫的過程為平均增溫，即每一年的增溫幅度都一樣（圖 5）。

本研究使用自行開發的數值解熱傳導的微分方程式(公式 4)，為了測試數值程式的可靠性，採用文獻中的數據來驗證。根據 Roy and Chapman (2012)的數據，增溫時間為 80 年、增加溫度為 1.7°C ，本研究的程式解與原始數據的方均根（root mean square）為 0.001°C ，因為量測值的準確度為 0.1°C ，而此誤差已小於準確度，所以本程式的計算結果應可接受（圖 6）。

三、水文地質背景

屏東地區地層以多個沖積扇組成，由北至南為：荖濃溪、隘寮溪、林邊溪、力力溪等沖積扇。標高由東向西降低，扇頂以厚層礫石層為主，分別向西、西北、西南扇狀展開，地層向西砂、泥層厚度漸厚，層次漸多（圖 7）。以林邊溪沖積扇的水文地質剖面為例（圖 8），該剖面由東北向西南，顯示深度約 250 公尺內的地質概況（經濟部中央地質調查所，1997）。東北部地層（萬隆以東）分層較不明顯，以礫石層為主，主要的阻水層（泥層）只有一至二層，地下水上下流通限制較少。西南部地層（潮州至林園）分層明顯，大致有二至六層主要的阻水泥層，地下水上下流通已受限制。

若以深度作為分層參考，第一含水層的深度約在 0-60m，第二含水層的深度約在 60-120m，第三含水層的深度約在 120-250m，第三含水層又可分為兩段，但需注意，不同含水層分層深度隨區域而變。地下水的流向，基本受到地形、水文地質及沖積扇地層控制，流向有兩個主要分量：由東向西（沖積扇）及由北向南（由陸至海），合成區域流向為由東北向西南流（圖 9）。

經濟部水利署在民國 78-87 年間，在屏東平原共建有地下水觀測站 54 站（圖 7），分層觀測井 134 口，本研究選擇每站中最深的觀測井共 54 口量測井孔溫度，該井的位置、深度及座標如表 1 及表 2 所示，最淺的井約 36m（枋山一）、最深

的井約 264m (港東四)。地下水觀測井大都為 6 吋井，材質為不銹鋼，純為觀測用，都沒有抽水，井內放置觀測儀器 (自記式水位計)，作井孔溫度量測時，需先將儀器拉出井外，以防兩者纏繞。

四、結果與討論

本研究總共量測了 48 口井，其深度溫度曲線及數據如圖 10 及表 3 所示。溫度最低的數據出現在高樹井，最低溫為 23.5°C，分布深度約為地面下 90-100m 深。溫度最低的地溫位於荖濃沖積扇的扇頂補注區，可推測其補注來源可能溫度更低。高樹井的下游是新南井，其溫度最低為 23.76°C，分布深度約為地面下 200m 深，推測這一層次可能因局部大量抽水，所以有冷水補充，造成溫度最低 (圖 10A)。屏東平原由北到南的地溫曲線也顯示，北邊的溫度較低、南邊較高，反應出補注區的影響 (圖 11)。

本次調查屏東平原地溫最高出現在赤山井，最高溫為 30.7°C，高於 30°C 的分布深度約為地面下 165-198m 深 (圖 10C)。赤山井呈現標準的穩態地溫直線，上段沒有變暖也沒有變冷的趨勢，地溫梯度約 2.61 °C/100m。對比中油探勘井的地溫梯度約 2.0-3.5 °C/100m (黃立勝, 1990)，顯示赤山井的地溫梯度應屬正常，再則，赤山井並非位於扇頂補注區，且地層中泥層甚多，地下水流動不易，應該沒有受到地下水的干擾 (圖 12)。

屏東平原不同深度的地溫分布如圖 13，分成 25-50-100-150-200-250m 來討論。地面下 25m 的地溫分布，以 25-26°C 為主，沖積扇地區的地溫較低，高屏溪以西的隆起丘陵地溫較高，推測和補注有關，沖積扇地區以礫砂層為主，上游的冷水較易進入，隆起丘陵以砂泥互層為主，地面冷水補入不易。地面下 50m 的地溫比 25m 處低，出現 23-24°C 的低溫，例如三個沖積扇的扇頂區，及中州土庫一帶，推測也應是和補注有關，中州以西雖是隆起丘陵以砂泥互層為主，但可能有局部通道讓地面冷水補入。100-150m 地溫顯示，北方高樹地區是主要的補注區。200-250m 因數據點較少，僅供參考。

屏東平原 48 口井中有 40 口井都呈現上段變暖的趨勢，只有 8 口沒有，但這 8 口中有 6 口應該是井不夠深，不足以判斷是否有變暖的趨勢。以目前的數據來看，井夠深又沒有變暖趨勢只有 2 口：赤山及崎峰。上段變暖曲線之形成原因的三種解釋（圖 14）：(A) 沒有受到地下水影響，但是地表溫度一直增加；(B) 受到冷的補注地下水水平流入影響，但是地表溫度沒有變化；(C) 受到冷的補注地下水水平流入影響，而且地表溫度也一直增加。

如果受到地下水干擾，地溫梯度應有很明顯的變化。中油探勘井顯示屏東平原的地溫梯度約 $2.0-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ （黃立勝，1990），因此選擇地溫梯度界於 $2.0-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 的井來進行暖化分析，推算其增溫時間(t^*)及增加的溫度(ΔT)。40 口上段變暖的井只有 3 口的地溫梯度界於 $2.0-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 之間：中州、德興、潮寮（表 4），可見屏東平原的觀測井大都受到地下水流動的影響。這三口井的地溫梯度 $2.06-2.37\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、反曲點 H 的深度 45-63m、始初地表溫度 $23.9-25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、現在地表溫度 $25.8-27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、增加溫度 $1.9-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、增溫時間 65-89 年。

五、結論

本研究總共量測了 48 口井，溫度最低的數據出現在高樹井 ($23.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)，位於荖濃沖積扇的扇頂補注區，分布深度約為地面下 90-100m 深。屏東平原由北到南的地溫曲線顯示，北邊的溫度較低、南邊較高，反應出補注區冷水流入的影響。48 口井中有 40 口井都呈現上段變暖的趨勢，但這些觀測井大都受到地下水流動的影響，不適合進行定量的地表暖化歷史分析。只有 3 口井的地溫梯度界於 $2.0-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 之間，地表暖化歷史分析推算結果顯示，反曲點 H 的深度約 45-63m、始初地表溫度約 $23.9-25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、現在地表溫度約 $25.8-27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、增加溫度約 $1.9-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、增溫時間約 65-89 年。此次研究結果為首次調查，還有許多的不確定性，未來若進行第 2 次調查，累積 2 次的時間變化，應可對於屏東平原補注的水流場及地表溫度變化對地溫的影響有些定量的結果。

參考文獻

- 江協堂、徐春田、張宏毅，2008，台灣東北部宜蘭平原淺部地熱水研究，*鑛冶*，52/2，112-121。
- 黃立勝（1990）臺灣西部新生代沉積盆地之地下溫度及地溫梯度之研究，*經濟部中央地質調查所彙刊*，第6號，117-144頁。
- 經濟部中央地質調查所（1997）屏東平原水文地質調查研究報告，共163頁。
- Anderson MP, 2005, Heat as a ground water tracer, *Ground Water* 43/6, 951-968.
- Bense V and Beltrami H, 2007, Impact of horizontal groundwater flow and localized deforestation on the development of shallow temperature anomalies, *Jour Geophysical Research* 112,
- Chi WC and Reed DL, 2008, Evolution of shallow, crustal thermal structure from subduction to collision: an example from Taiwan, *Geological Society of American Bulletin* 120, 679-690.
- 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.
- Ferguson G, Beltrami H, Woodbury AD, 2006, Perturbation of ground surface temperature reconstructions by groundwater flow? *Geophysical Research Letters*, 33,
- Huang S, Pollack HN and Shen PY, 2000, Temperature trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures, *Nature* 403, 756-758.
- Kataoka K, Matsumoto F, Ichiose T, Taniguchi M, 2009, Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years, *Science of the Total Environment* 407, 3112-3119.
- Kohl, T, 1998, Palaeoclimatic temperature signals-Can they be washed out? *Tectonophysics* 291, 225-234.
- Kohl, T, 1999, Transient thermal effects below complex topographies, *Tectonophysics* 306, 311-324.
- Lin CH, 2000, Thermal modeling of continental subduction and exhumation constrained by heat flow and seismicity in Taiwan, *Tectonophysics* 324, 189-201.
- Pollack HN, Huang S, Shen P, 1998, Climate change record in subsurface temperatures: a global perspective, *Science* 282, 279-281.
- Pollack HN and Huang S, 2000, Climate reconstruction from subsurface temperatures, *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* 28, 339-365.

- Stevens MB, Gonzalez-Rouco JF, and Beltrami H, 2008, North American climate of the last millennium: underground temperatures and model comparison, *Jour Geophysical Research* 113,
- Taniguchi M, Shimada J, Tanaka T, Kayane I, Sakura Y, Shimano Y, Dapaah-Siakwan S, and Kawashima S, 1999, Disturbances of temperature-depth profiles due to surface climate change and subsurface water flow; 1. An effect of linear increase in surface temperature caused by global warming and urbanization in the Tokyo metropolitan area, Japan. *Water Resources Research* 35/5, 1507-1517.
- Taniguchi M, Shimada J, Uemura T, 2003, Transient effects of surface temperature and groundwater flow on subsurface temperature in Kumamoto Plan, Japan. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 28, 477-486.
- Verdoya M, Chiozzi P, Pasquale V, 2007, Thermal log analysis for recognition of ground surface temperature change and water movements, *Climate Past* 3, 315-324.
- Yamano M, Goto S, Miyakoshi A, Hamamoto H, Lubis RF, Monyrath V, and Taniguchi M, 2009, Reconstruction of the thermal environment evolution in urban areas from underground temperature distribution, *Science of the Total Environment* 407, 3120-3128.

表 1 屏東地區地下水觀測站之位置

建井年度	站名	住址
85	1. 海豐	屏東市海豐里海豐街 3 號(海豐國小)
87	2. 前進	屏東市台糖屏東總廠六塊厝農場(農場內)
78	3. 塹豐	屏東縣佳冬鄉塹豐海堤邊側
79	4. 土庫	屏東縣里港鄉土庫村(三和國小)
84	5. 里港	屏東縣里港鄉過江村過江路 41 號 (里港國小)
84	6. 瑪家	屏東縣瑪家鄉三和村三和巷 16 號 (瑪家國中)
84	7. 建興	屏東縣內埔鄉建興村建興路 216 號 (榮華國小)
84	8. 西勢	屏東縣竹圍鄉西勢村光明路 8 號 (西勢國小)
84	9. 新庄	屏東縣萬丹鄉新庄村 43 號 (新庄國小)
84	10. 新園	屏東縣新園鄉媽祖路 49 號 (新園國小)
84	11. 萬巒	屏東縣萬巒鄉佳佐村佳佐路 59 號 (佳佐國小)
84	12. 新埤	屏東縣新埤鄉新埤村新華路 165 號 (新埤國小)
84	13. 萬隆	屏東縣新埤鄉萬隆村中山路 26 號 (萬隆國小)
84	14. 大潭	屏東縣東港鎮大潭里大潭路 93 號 (大潭國小)
84	15. 崎峰	屏東縣林邊鄉崎峰村裕後路 2 號 (崎峰國小)
85	16. 高樹	屏東縣高樹鄉高樹村華光路 32 號(高樹國小)
85	17. 泰山	屏東縣高樹鄉泰山村產業路 225 號(高泰國中)
85	18. 鹽埔	屏東縣鹽埔鄉鹽南村光復路 90 號(鹽埔國小)
85	19. 九如	九如鄉東寧村九如路二段 226 號(九如國小)
85	20. 萬丹	屏東縣萬丹鄉社皮村 73 號(社皮國小)
85	21. 老埤	屏東縣內埔鄉老埤村壽比路 116 號(泰安國小)
85	22. 內埔	屏東縣內埔鄉內埔村廣濟路 2 號(內埔國小)
85	23. 潮洲	屏東縣潮洲鎮光春里光春路 311 號(光春國小)
85	24. 崁頂	屏東縣崁頂鄉崁頂村中正路 119 號(崁頂國小)
85	25. 大響	屏東縣新埤鄉新力路 830 號(臺糖大響營農場)
85	26. 枋寮	枋寮鄉太源村太源路 36 號(東海國小太源分校)
85	27. 枋山	屏東縣枋山鄉加祿村會社 28 號(加祿國小)
85	28. 東港	東港鎮興東里中正路一段 10 號(東港國小)
85	29. 大庄	屏東縣枋寮鄉大庄村下寮遊樂區(海鷗公園)
87	30. 赤山	屏東縣萬巒鄉赤山村建興路 40 號(赤山國小)
87	31. 德興	屏東縣枋寮鄉枋寮村德興路 197 號(德興國小)
87	32. 新南	屏東縣高樹鄉新南村興店路 5 號(新南國小)
87	33. 彭厝	屏東縣鹽埔鄉洛陽村七份路 21 號(彭厝國小)
87	34. 大湖	屏東縣竹田鄉泗洲村洲中路 40 號(大湖國小)

續表 1

建井年度	站名	住址
87	35. 關福	屏東縣高樹鄉廣福村中央路 60 號(關福國小)
87	36. 餉潭	屏東縣新埤鄉南州糖廠興華農場(農場內)
87	37. 繁華	屏東縣長治鄉繁華村水源路 96 號(繁華國小)
87	38. 港東	屏東縣崁頂鄉復興路 96 號(港東國小)
79	39. 石化	林園鄉仙尾村石化三路(林園石化工業區)
79	40. 吉洋	美濃鎮吉東里(高雄農田水利會吉洋工作站)
84	41. 溪埔	高雄縣大樹鄉溪埔村 23 號 (溪埔國小)
84	42. 九曲	高雄縣大樹鄉九曲村九曲路 15 號 (九曲國小)
84	43. 林園	高雄縣林園鄉林園村忠孝西路 20 號 (林園國小)
85	44. 中州	高雄縣旗山鎮中洲里(堤防樁 1K+100)
85	45. 永芳	高雄縣大寮鄉永芳村鳳林三路 499 號(永芳國小)
85	46. 潮寮	高雄縣大寮鄉潮寮路 61 號(潮寮國中)
85	47. 美濃	高雄縣美濃鎮東門里民族路 36 巷 2 號(東門國小)
87	48. 旗山	高雄縣旗山鎮旗山糖廠(糖廠內)
87	49. 新威	高雄縣六龜鄉新興村新威路 212 號(新威國小)
87	50. 中正	高雄縣鳳山市勝利路 2 號(中正國小)
87	51. 大樹	高雄縣大樹鄉中興南路新立巷 2 號(大樹國小)
87	52. 吉洋	高雄縣美濃鎮吉東里(水利會吉洋工作站)
87	53. 鳳鳴	高雄縣小港區鳳鳴路 191 號(鳳鳴國小)
87	54. 昭明	高雄縣大寮鄉鳳林一路 300 巷 80 號(昭明國小)

表 2 井溫量測觀測井之基本資料

站名	濾水管		靜水位 m	X m	Y m	Z m
	起點 m	終點 m				
1. 枋山一	3	36	6.17	210142	2470440	6.89
2. 德興三	162	174	9.78	207000	2474613	3.58
3. 水底寮	28	70	3.57	207650	2475845	7.96
4. 大庄二	151	193	14.91	202810	2477706	2.9
5. 枋寮二	111	135	34.70	207476	2479160	31.52
6. 塭豐	31	52	10.38	200355	2479195	2.690
7. 崎峰四	181	202	4.68	197199	2480945	3.47
8. 佳冬四	156	180	3.97	203012	2479839	7.223
9. 大嚮二	92	110	41.41	210206	2481360	44.87
10. 大潭二	161	188	2.10	197221	2484469	3.42
11. 東港四	165	195	5.36	193156	2485971	3.00
12. 石化二	74	104	4.19	187485	2487965	3.99
13. 港東四	240	264	6.73	195798	2490241	4.37
14. 新園二	165	189	9.13	192774	2491800	5.98
15. 林園三	168	192	3.42	186809	2490130	5.04
16. 昭明四	216	228	1.98	188414	2493802	8.91
17. 鳳鳴一	24	48	9.60	182982	2490949	10.56
18. 潮寮三	182	194	8.57	190004	2496500	9.02
19. 永芳三	190	214	23.08	186942	2500950	18.56
20. 中正二	89	113	20.58	185015	2503504	16.34
21. 新庄三	96	126	6.88	195738	2496246	10.67
22. 崁頂三	186	198	1.46	198929	2490845	9.26
23. 潮州二	118	184	6.45	202232	2492984	16.66
24. 新埤四	193	205	10.58	202895	2485957	12.28
25. 萬隆二	144	168	18.60	206802	2490112	44.78
26. 萬巒二	124	136	14.62	207502	2497136	29.32
27. 赤山三	158	191	0.19	209521	2499542	27.03
28. 大湖四	208	217	-3.46	200368	2497500	11.09
29. 餉潭二	84	96	16.65	208707	2486714	37.33
30. 萬丹三	132	174	10.07	194540	2501970	16.73
31. 前進四	235	247	5.24	193652	2505845	18.25

續表 2

站名	濾水管		靜水位 m	X m	Y m	Z m
	起點 m	終點 m				
32. 九曲二	186	198	16.65	190015	2506507	27.01
33. 大樹四	226	244	7.89	191135	2510159	23.82
34. 溪埔三	120	144	-10.70	191978	2513893	29.18
35. 內埔二	187	199	-1.00	204588	2501296	22.92
36. 西勢四	109	148	1.40	200397	2502704	17.97
37. 老埤二	124	154	8.64	207504	2503670	35.15
38. 建興二	118	142	9.21	204395	2507086	36.98
39. 繁華二	216	246	23.39	205264	2511656	44.22
40. 瑪家三	174	192	38.26	208976	2511539	81.75
41. 海豐三	187	202	5.82	198476	2511130	33.34
42. 九如二	180	204	13.21	196776	2515370	34.62
43. 彭厝二	192	204	2.07	201104	2515658	35.61
44. 鹽埔二	106	160	15.59	205622	2517240	58.10
45. 里港二	144	174	10.87	197514	2520447	38.41
46. 關福二	162	186	14.21	209883	2518620	75.06
47. 新南二	220	238	8.00	203915	2520763	52.69
48. 高樹二	114	138	35.21	208068	2525407	87.62
49. 泰山二	165	189	18.36	209266	2521392	67.25
50. 土庫	10	46	2.28	198425	2524645	40.93
51. 吉洋二	192	216	12.20	200032	2529333	54.53
52. 中州二	174	204	7.55	195993	2528009	39.44
53. 美濃二	52	70	3.98	205000	2533450	54.03
54. 旗山二	62	92	12.10	197100	2531368	43.8

表 3 各井不同深度之地溫

深度(m)	高樹	新南	美濃	土庫	旗山	中洲	關福	泰山	吉洋
10			26.4	26.5		25.4		26.5	
20		25.7	26.3	26.1	26.7	25.1	25.3	26.0	26.2
30		25.6	26.3	25.8	26.4	24.9	25.1	25.8	26.1
40		25.4	26.2	25.6	26.3	24.7	24.8	25.6	26.0
50	23.8	25.2	26.3		26.4	24.7	24.6	25.5	25.9
60	23.6	25.0	26.3		26.6	24.8	24.3	25.3	25.6
70	23.6	24.8	26.4		26.6	24.8	24.3	25.3	25.2
80	23.5	24.6			26.7	24.9	24.2	25.2	24.9
90	23.5	24.5			26.7	24.9	24.2	25.1	24.8
100	23.6	24.4				25.0	24.2	25.0	24.7
110	23.6	24.4				25.2	24.2	25.0	24.7
120	23.6	24.3				25.4	24.2	25.0	24.6
130	23.7	24.1				25.5	24.2	25.0	24.7
140		24.0				25.7	24.3	25.1	24.7
150		23.9				25.9	24.3	25.1	24.8
160		23.9				26.1	24.5	25.2	25.0
170		23.8				26.5	24.6	25.3	25.3
180		23.8				26.9	24.6	25.3	25.5
190		23.8				27.1	24.7	25.3	25.7
200		23.8				27.4			25.9
210		23.8							26.2
220		23.8							
230		23.8							
240		23.9							

單位：℃

表 3(續)

深度(m)	瑪家	繁華	建興	彭厝	里港	九如	海豐	清溪	鹽埔	老埤	內埔	西勢	前進
10				26.1						25.9	26.4	26.4	
20		25.6	27.0	25.9	26.1	25.6	25.7	27.0	25.1	25.8	26.2	25.8	27.1
30	24.9	25.4	26.9	25.7	25.7	25.4	25.6	27.0	24.9	25.8	26.0	25.5	26.7
40	24.8	25.2	26.7	25.4	25.2	25.1	25.4	26.8	24.7	25.7	25.8	25.3	26.4
50	24.7	25.0	26.4	25.1	24.7	24.7	25.3	26.6	24.6	25.6	25.6	25.3	26.1
60	24.6	24.8	26.1	24.9	24.5	24.5	25.2	26.1	24.7	25.4	25.5	25.2	25.9
70	24.5	24.8	25.9	24.8	24.5	24.5	25.0	25.9	24.8	25.3	25.4	25.2	25.7
80	24.4	24.7	25.6	24.7	24.6	24.5	24.9	25.7	24.9	25.2	25.4	25.2	25.6
90	24.3	24.6	25.3	24.7	24.9	24.4	24.9	25.5	24.9	25.3	25.4	25.2	25.5
100	24.2	24.5	25.0	24.7	25.1	24.5	24.8	25.4	24.9	25.5	25.3	25.1	25.5
110	24.1	24.4	24.8	24.7	25.4	24.6	24.8	25.4	24.9	25.6	25.3	25.0	25.4
120	24.1	24.3	24.6	24.8	25.5	24.7	24.8	25.4	24.8	25.8	25.3	24.8	25.5
130	24.0	24.2	24.5	24.8	25.7	24.9	24.9	25.4	24.8	25.9	25.4	24.6	25.5
140	24.0	24.2	24.3	24.9	25.8	25.1	24.9	25.5	24.7	26.0	25.4	24.5	25.6
150	24.0	24.2		24.9	25.9	25.4	25.0	25.6	24.6	26.1		24.4	25.7
160	24.0	24.2		25.0	26.0	25.7	25.1	25.7	24.6				25.8
170	24.0	24.2		25.0	26.1	25.9	25.2	25.8					26.0
180	24.0	24.2		25.0		26.1	25.3	25.9					26.1
190		24.2		24.9		26.2	25.4	26.0					26.2
200		24.2		24.9		26.2	25.5	26.1					26.3
210		24.3						26.3					26.4
220		24.3											26.6
230		24.3											26.7
240		24.3											26.8
250													27.0

單位：℃

表 3(續)

深度(m)	萬巒	萬隆	新埤	新庄	港東	東港	赤山	大湖	大潭
10				26.1	26.4	27.7	26.2	26.8	26.9
20	26.0		26.3	26.0	26.1	27.3	26.5	25.6	26.6
30	25.9		25.9	25.9	25.8	26.9	26.7		26.2
40	25.9	24.9	25.7	25.7	25.5	26.6	26.9		25.9
50	25.8	24.8	25.4	25.6	25.4	26.4	27.1		25.8
60	25.8	24.7	25.3	25.7	25.4	26.3	27.3		25.7
70	25.8	24.7	25.2	25.7	25.4	26.4	27.5		25.7
80	25.8	24.9	25.2	25.9	25.4	26.4	27.7		25.8
90	25.9	25.0	25.2	26.0	25.4	26.5	28.0		25.8
100	26.1	25.2	25.3	26.2	25.5	26.6	28.2		25.9
110	26.3	25.3	25.3	26.2	25.6	26.8	28.5		26.0
120	26.5	25.6	25.4	26.3	25.7	26.9	28.7		26.2
130	26.7	25.8	25.4	26.4	25.7	27.1	29.0		26.4
140	26.9	26.1	25.5		25.8	27.1	29.3		26.8
150		26.2	25.5		25.9	27.2	29.6		27.1
160		26.3	25.6		25.9	27.2	29.9		27.2
170		26.5	25.6		26.0	27.2	30.1		27.3
180			25.7		26.1	27.2	30.3		27.3
190			25.8		26.2	27.2	30.5		27.3
200			25.9		26.3				
210			26.1		26.4				
220					26.5				
230					26.5				
240					26.6				
250					26.7				
260					26.8				

單位：℃

表 3(續)

深度(m)	九曲	大樹	溪埔	萬丹	新園	永芳	潮寮	昭明	林園	鳳鳴	石化	中正
10		26.6	25.5	27.0	27.5		27.2	27.2				
20		26.4	25.4	26.6	27.2		27.0	27.1	26.9		28.0	
30	26.6	26.2		26.1	26.8	26.4	26.7	27.0	26.7		27.8	25.8
40	26.4	25.9		25.8	26.6	26.3	26.3	26.9	26.6		27.6	25.8
50	26.1	25.6		25.6	26.4	26.1	26.2	26.9	26.7		27.4	25.9
60	25.9	25.5		25.5	26.3	26.0	26.1	27.0	26.9		27.3	26.0
70	25.6	25.4		25.4	26.2	26.0	26.2	27.1	27.1		27.2	26.0
80	25.4	25.3		25.3	26.2	26.0	26.3	27.3	27.3		27.2	26.1
90	25.2	25.2		25.3	26.3	26.0	26.4	27.4	27.5		27.2	26.2
100	25.2	25.0		25.4	26.3	26.0	26.6	27.5	27.8		27.3	26.4
110	25.2	24.9		25.5	26.4	26.1	26.8	27.6	28.0		27.4	26.5
120	25.2	24.8		25.6	26.5	26.2	27.0	27.7	28.2			
130	25.2	24.6		25.8	26.6	26.4	27.2	27.8	28.5			
140	25.2	24.5		25.9	26.7	26.5	27.5	28.0	28.7			
150	25.2	24.5		26.0	26.9	26.6	27.7	28.1	28.9			
160	25.2	24.5		26.1	27.1	26.8	28.0	28.2	29.1			
170	25.2	24.4		26.1	27.2	26.9	28.2	28.4	29.2			
180	25.2	24.4			27.3	27.1	28.5	28.6	29.3			
190	25.2	24.4			27.4	27.2	28.7	28.7	29.4			
200		24.4				27.3		28.9				
210		24.5				27.4		29.2				
220		24.5						29.4				
230		24.5						29.6				
240		24.6										

單位：℃

表 3(續)

深度(m)	大響	枋寮	德興	大庄	崎峰
10			27.2		
20			27.0	27.0	26.6
30			26.9	26.7	26.7
40			26.9	26.5	26.7
50	25.4	25.0	26.9	26.3	26.7
60	25.3	25.0	26.9	26.1	26.7
70	25.2	24.9	27.1	26.0	26.9
80	25.1	25.0	27.3	25.9	27.0
90	25.1	25.2	27.5	25.9	27.1
100	25.1	25.7	27.7	25.9	27.3
110	25.3	26.5	28.1	25.9	27.4
120		27.2	28.3	26.0	27.5
130		27.7	28.5	26.2	27.6
140			28.7	26.4	27.7
150			28.9	26.7	27.8
160			29.1	26.8	28.0
170			29.3	26.9	28.2
180				26.9	28.3
190				26.9	28.4
200					28.4

單位：℃

表 4 暖化井之分析結果

井名	地溫梯度 ℃/100m	反曲點 H 深度 m	始初地表溫度 Ta	現在地表溫度 Tb	增加溫度 ΔT	增溫時間 t*
中州	2.06	46	23.9	25.8	1.9	65
德興	2.34	45	25.5	27.4	1.9	66
潮寮	2.37	63	24.5	27.5	3.0	89



圖 1 美國 In-situ Troll-200 水壓、水溫及導電度自記測棒

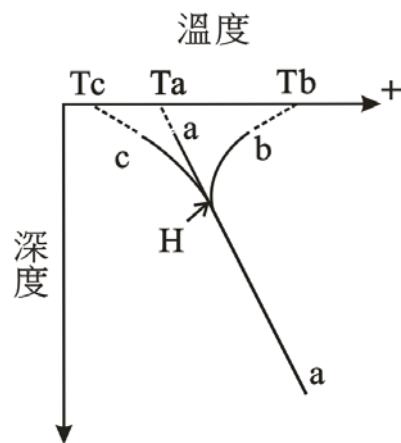


圖 2 井孔溫度剖面可分三類：直線 (aa)、向上變暖 (ab)、向上變冷 (ac)

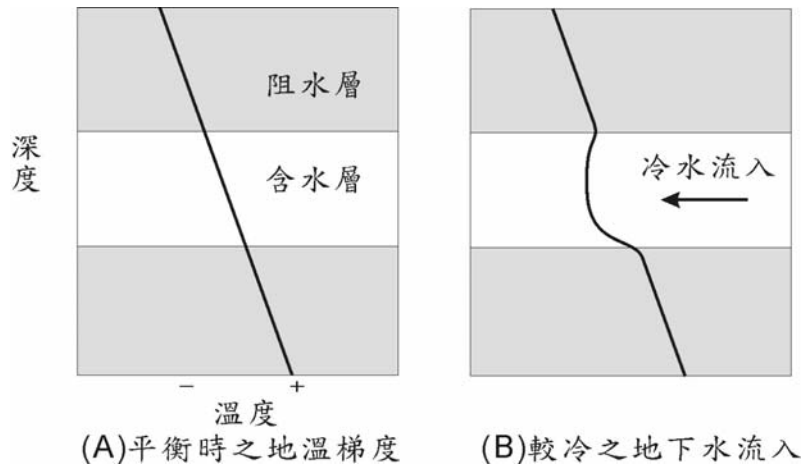


圖 3 地下水水平流動對地溫梯度的影響

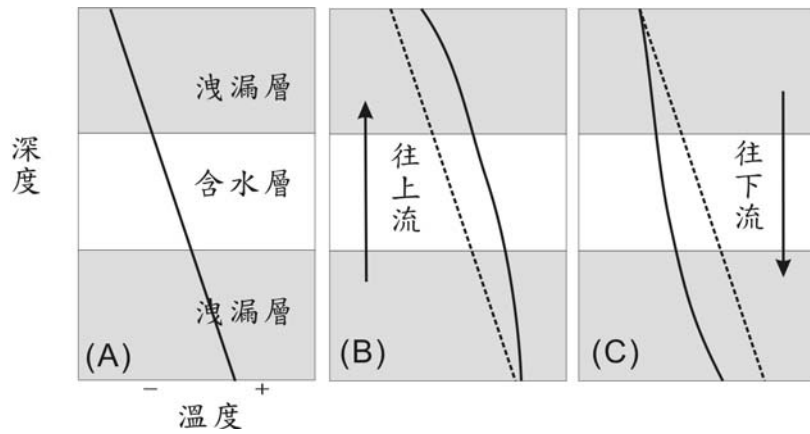


圖 4 地下水垂直流動對地溫梯度的影響 (A) 平衡時之地溫梯度；(B) 地下水往上流動；(C) 地下水往下流動。虛線為原地溫梯度，實線為受地下水流動影響之地溫梯度。

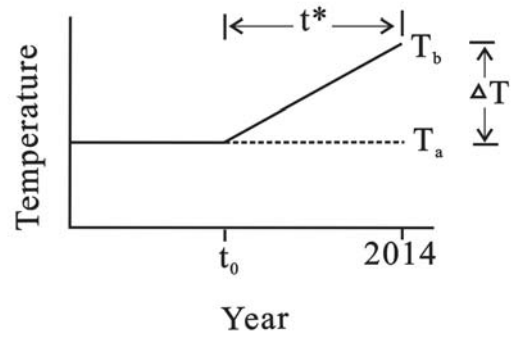


圖 5 變暖趨勢假設為平均增加

ΔT Warming magnitude 1.7°C
 t^* Duration time 80yr
 RMS 0.001°C

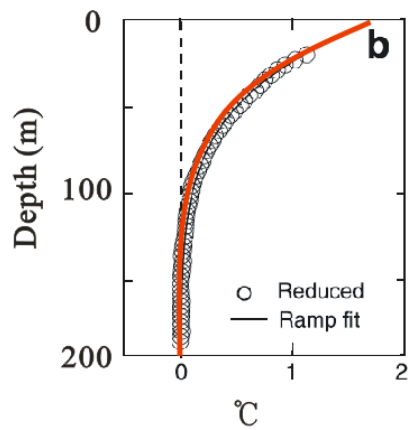


圖 6 使用文獻中的數據來進程式驗證(Roy and Chapman, 2012)，圓圈為數據、
 曲線為本研究程式計算結果

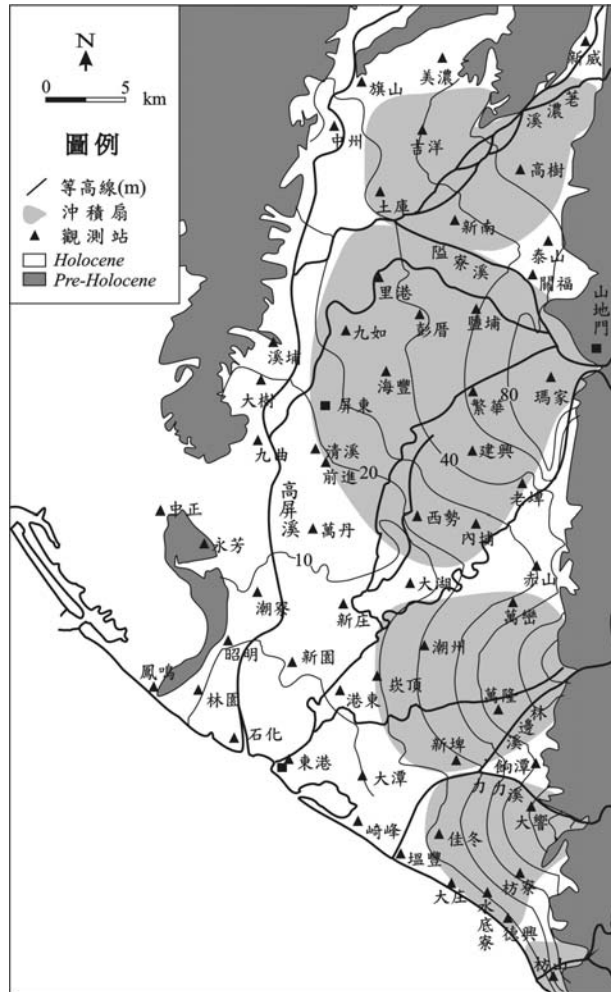


圖 7 屏東平原之沖積扇與觀測井位置

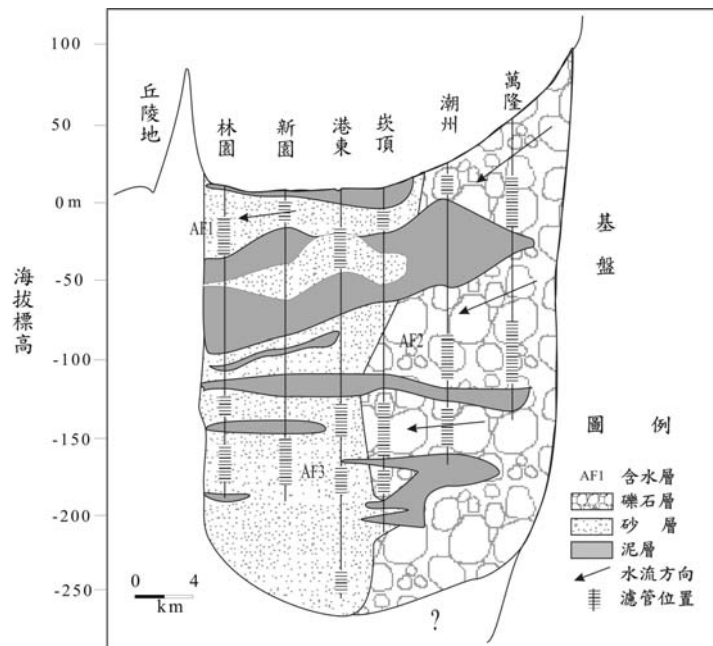


圖 8 林邊溪沖積扇的水文地質剖面

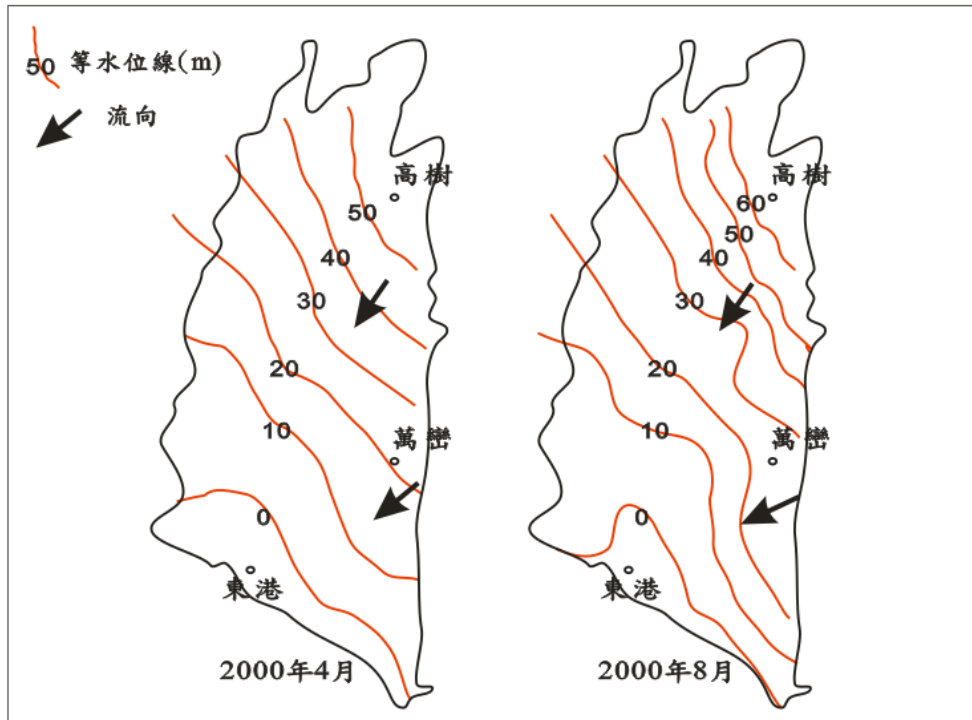


圖 9 屏東平原第 1 含水層水位及流向

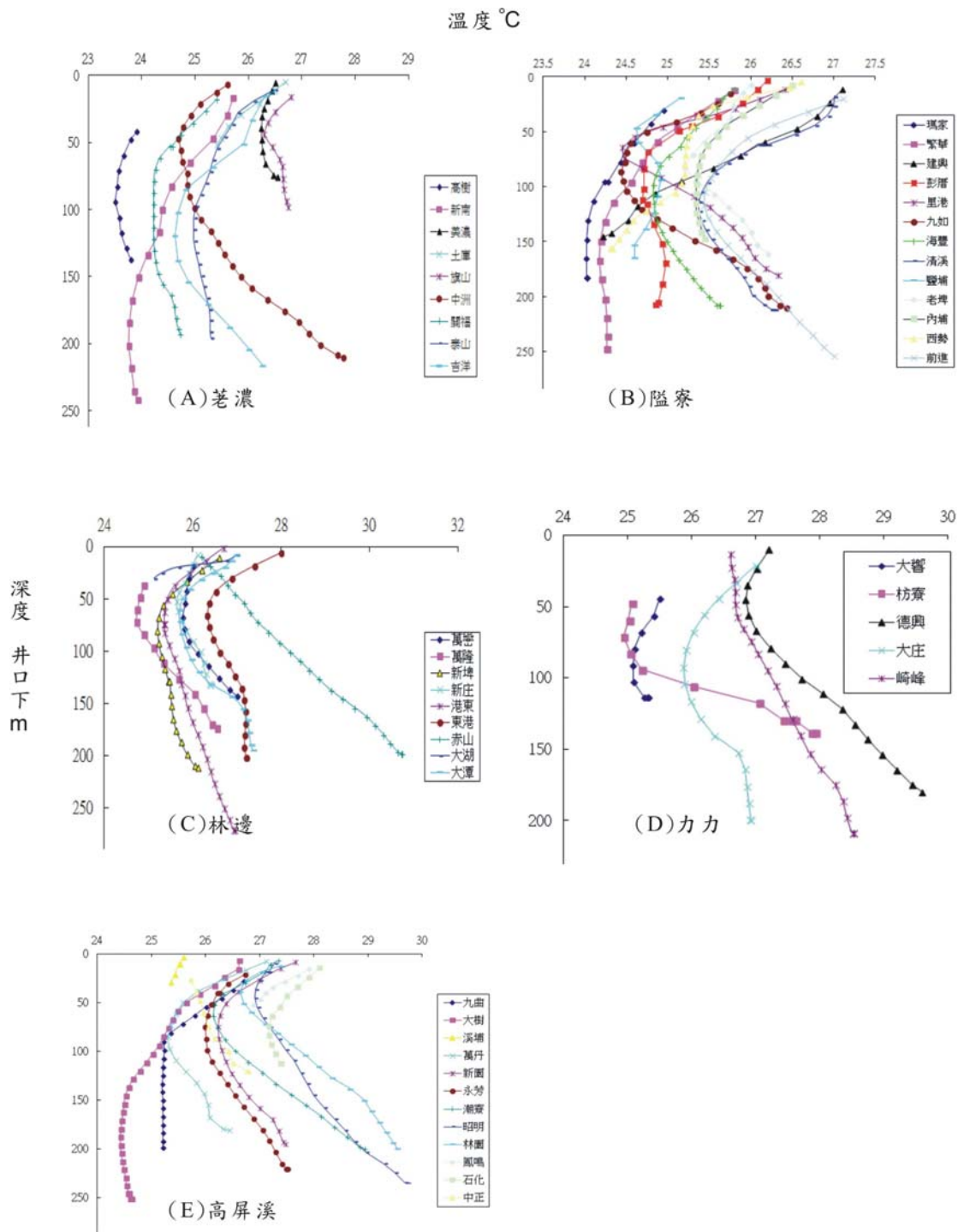


圖 10 屏東平原 48 口觀測井之地溫剖面

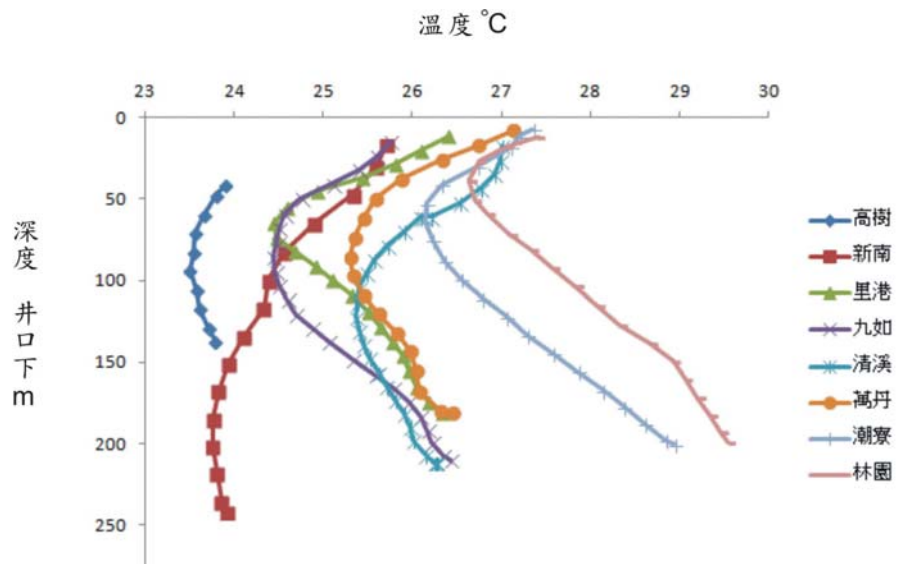


圖 11 屏東平原上游至下游 8 口觀測井之地溫剖面

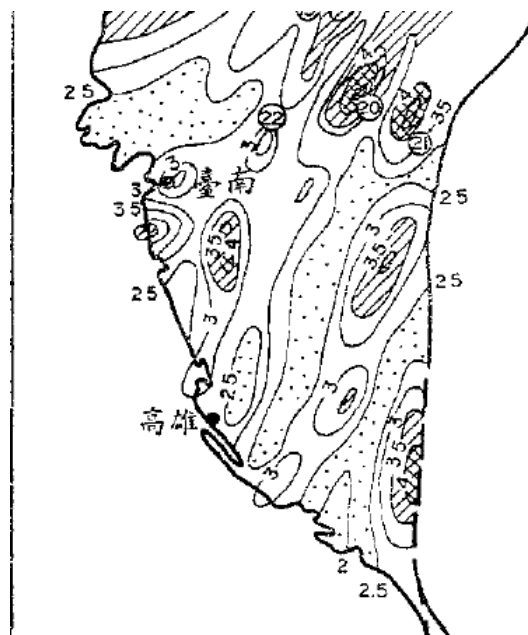


圖 12 屏東平原油井探勘所推算的地溫梯度 (黃立勝, 1990)

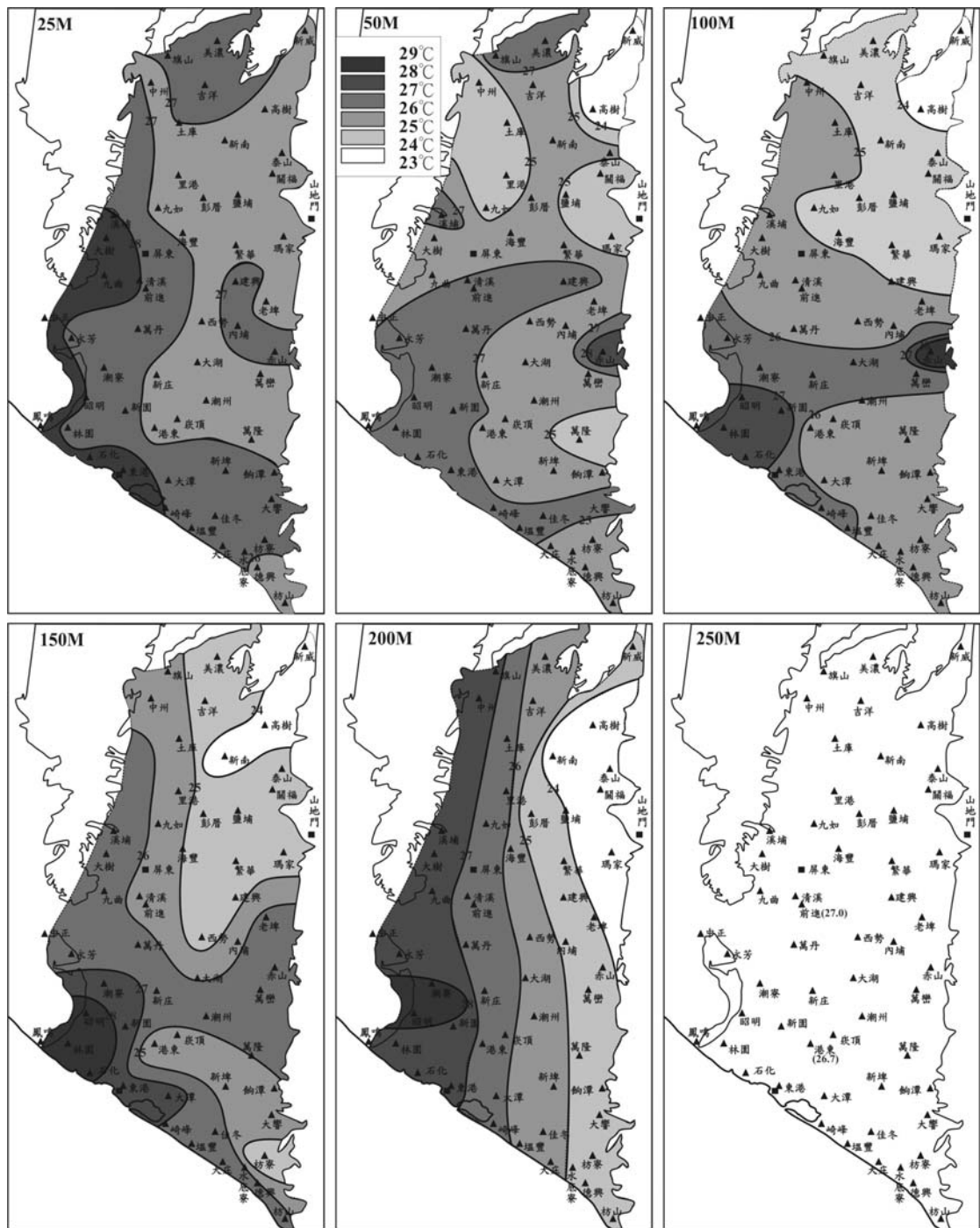


圖 13 屏東平原不同深度之地溫分布

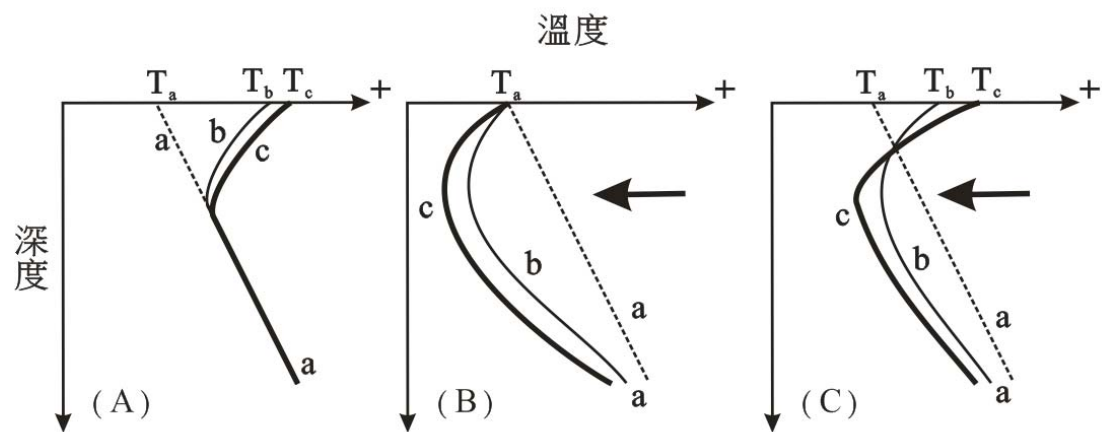


圖 14 上段變暖曲線之形成原因的三種解釋：(A) 沒有受到地下水影響，地表溫度一直增加；(B) 受到冷的補注地下水水平流入影響（箭頭所指的層次），但是地表溫度沒有變化；(C) 受到冷的補注地下水水平流入影響，而且地表溫度也一直增加。aa 線代表過去、ab 線代表現在、ac 線代表未來；Ta 線代表過去地表溫度、Tb 線代表現在地表溫度、Tc 線代表未來地表溫度。

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:102 年 12 月 30 日

計畫編號	NSC 102-2116-M-041 -002 -		
計畫名稱	屏東平原之地溫分布與暖化趨勢		
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	102 年 12 月 9-13 日	會議地點	美國舊金山
會議名稱	2013 美國地球物理年會 (American Geophysical Union Fall Meeting 2013)		
發表題目	濁水溪沖積扇地表溫度之暖化趨勢 The warming trend of ground surface temperature in the Choshui Alluvial Fan, western central Taiwan		

一、參加會議經過

12/8 (日) 啟程往舊金山

12/9 (一) 報到、參加會議；下午 1 點論文海報發表討論 GC: Global Environmental Change

12/10 (二) 上午 8-12 時參加 workshop: Instructional Approaches to Access, Accommodation, and Inclusion for Students with Disabilities in the Geosciences；下午參加 GC: Global Environmental Change

12/11 (三) 繼續參加會議

12/12 (四) 繼續參加會議；下午 6:30 Taiwan Night

12/13 (五) 返程回台灣

12/14 (六) 深夜抵達桃園國際機場

二、與會心得

美國地球物理學會是重要的地球科學組織之一，全球會員約有五萬多人，參加秋季年會的人數也高達二萬二千多人，此會議涵蓋的題目很廣，我比較感興趣的科目為：Hydrology 和 Global Warming。

此次開會我的論文發表題目為 The warming trend of ground surface temperature in the Choshui Alluvial Fan, western central Taiwan，以海報發表（表 1 及圖 1），因為口頭發表登記的人太多了，主持人希望大家也多用海報發表，其實海報時間比較長，來討論的人相對多很多，在實質效果上更有收獲。大會安排在 12 月 9 日下午場次，GC: Global Environmental Change, GC051 Thresholds in Soil Response to Global Change. 該場次的論文主題為全球變遷之土壤反應（圖 2）。

表 1：發表之論文摘要

CONTROL ID: 1795160
TITLE: The warming trend of ground surface temperature in the Choshui Alluvial Fan, western central Taiwan
PRESENTATION TYPE: Assigned by Committee (Oral or Poster)
CURRENT SECTION/FOCUS GROUP: Global Environmental Change (GC)
CURRENT SESSION: GC051*. Thresholds in Soil Response to Global Change
AUTHORS (FIRST NAME, LAST NAME): Wen-fu Chen ¹ , Minhsiang Chang ² , Juier Chen ² , Wanchung Lu ² , Chih C Huang ² , Yunshuen Wang ²
INSTITUTIONS (ALL): 1. Chia Nan University, Tainan, Taiwan. 2. Central Geological Survey Taiwan, Taipei, Taiwan.
ABSTRACT BODY: Heat storage in subsurface of the continents forms a fundamental component of the global energy budget and plays an important role in the climate system. Several researches revealed that subsurface temperatures were being increased to 1.8-2.8°C higher in mean ground surface temperature (GST) for some Asian cities where are experiencing a rapid growth of population. Taiwan is a subtropic-tropic island with densely populated in the coastal plains surrounding its

mountains. We investigate the subsurface temperature distribution and the borehole temperature-depth profiles by using groundwater monitoring wells in years 2000 and 2010. Our data show that the western central Taiwan plain also has been experiencing a warming trend but with a higher temperatures approximately 3-4 °C of GST during the last 250 yrs. We suggest that the warming were mostly due to the land change to urbanization and agriculture. The current GSTs from our wells are approximately 25.51-26.79 °C which are higher than the current surface air temperature (SAT) of 23.65 °C. Data from Taiwan's weather stations also show 1-1.5 °C higher for the GST than the SAT at neighboring stations. The earth surface heat balance data indicate that GST higher than SAT is reasonable. More researches are needed to evaluate the interaction of GST and SAT, and how a warming GST's impact to the SAT and the climate system of the Earth.

INDEX TERMS: 1632 GLOBAL CHANGE Land cover change.

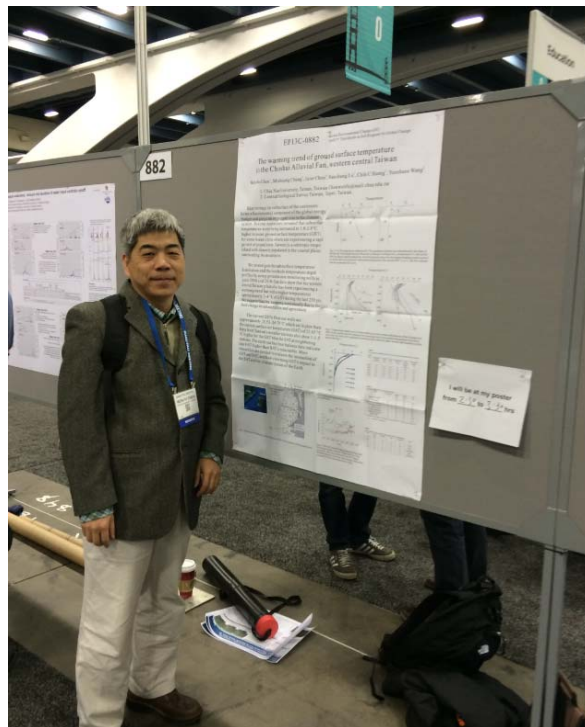


圖 1：發表之論文海報

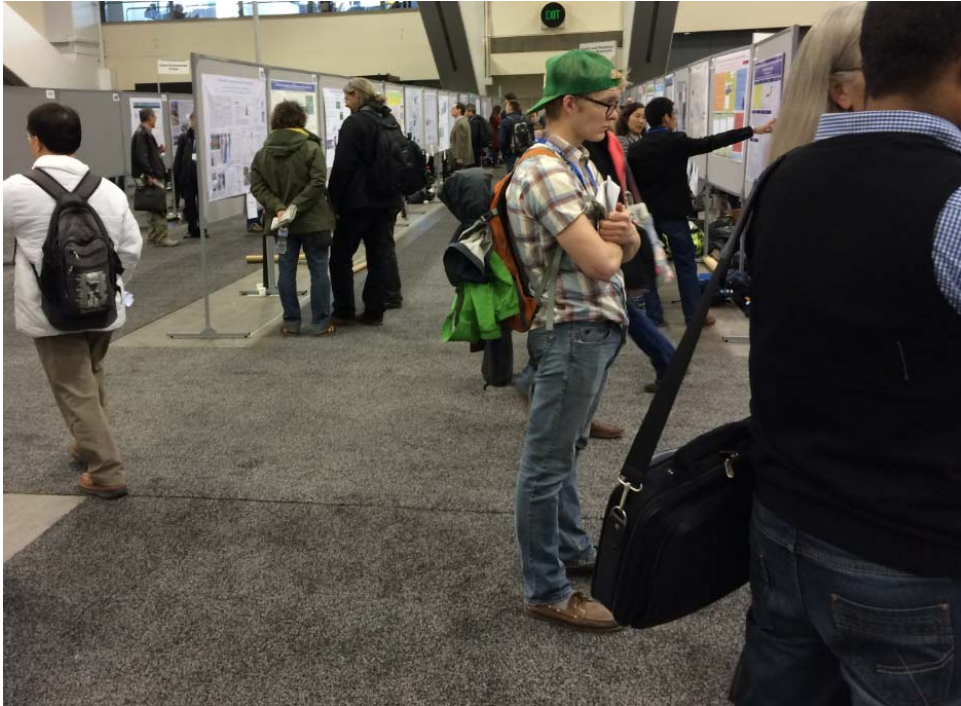


圖 2：會場討論情況

此篇發表的論文為我近年調查台灣彰雲地下水的溫度分布成果（圖 3），討論地下水溫度是否受到全球暖化的影響。地溫分布通常受到五方面的影響：（1）地表面溫度（ground surface temperature）為日照、植被、氣溫、地形等的影響；（2）過去氣溫變化，例如全球暖化及都市化；（3）岩層的構造、分布及導熱性質；（4）地下水流動；（5）較深部的地熱源，例如岩漿庫等之影響（Kohl, 1999; Anderson, 2005; Ferguson et al., 2006; Verdoya et al., 2007; Bense and Beltrami, 2007）。

本篇論文主要討論地下水溫度是否受到全球暖化的影響，彰雲地區有 5 口井的井溫剖面很明顯受到暖化的影響（表 2），表面地溫(ground surface temperature)變暖幅度達到 3-4°C（圖 4），比較全球百年來氣溫(surface air temperature)增加只有 1-2°C，顯然彰雲地區表面地溫增加幅度比較大，推測除了受到全球暖化的影響，應該也有土地利用變化所造成。

會場有多位各國研究全球暖化的專家，也對彼此題目有興趣，有許多熱烈的討論，讓我也收獲不少。例如大會有一場演講，美國佛州大學 James B Elsner 教授演講 Are Tornadoes Getting Stronger?引起很多注意，他的研究顯示，20 年來（1994-2012）美國的龍捲風強度有增加的趨勢（圖 5），但在場也有許多反對（懷疑）的意見，因為龍捲風的強度很難直接量測（使用 Doppler 雷達），多依賴地面破壞的軌跡，回推其強度，因此在座的科學家，認為不夠客觀。

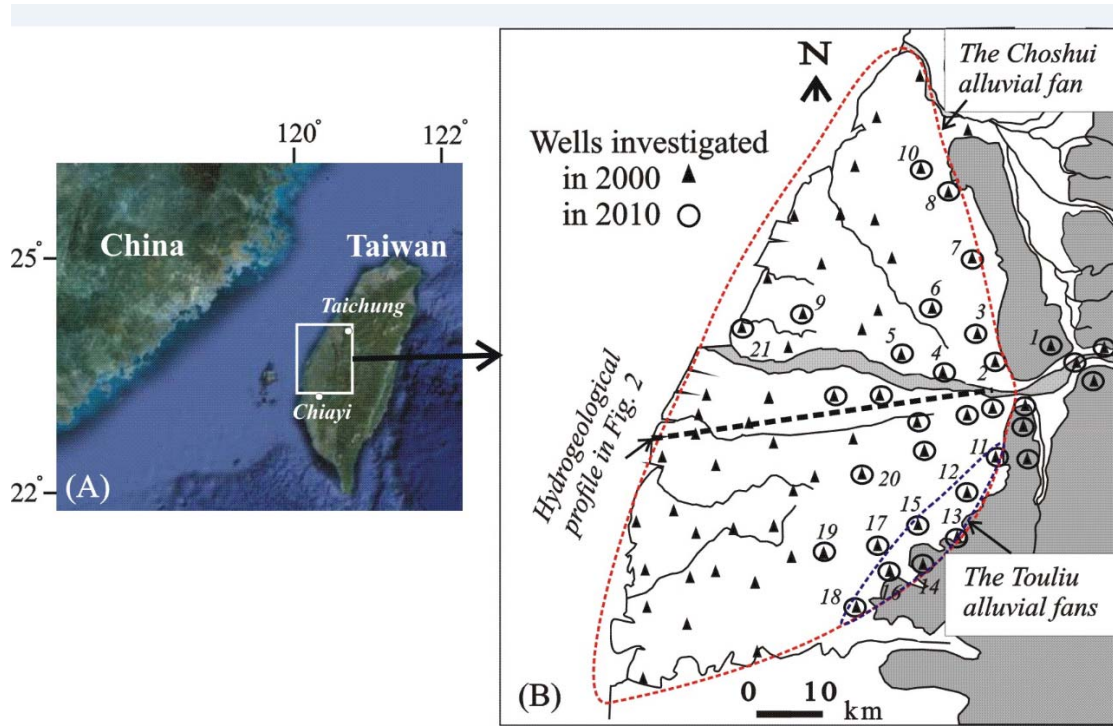


圖 3: 彰雲地區溫度剖面調查的井位

表 2: 彰雲地區 5 口井之地溫變化

Site	Geothermal Gradient ($\times 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C/m}$)	Initial GST ($^\circ\text{C}$)	Current GST ($^\circ\text{C}$)	Temperature Increase ($^\circ\text{C}$)	Onset Time (yr before 2010)	Root Mean Square ($^\circ\text{C}$)
W08	2.35	21.40	25.51	4.11	240	0.05
W09	2.57	21.30	25.56	4.26	228	0.07
W10	2.12	22.44	25.52	3.08	116	0.04
W18	2.37	23.10	26.39	3.29	108	0.08
W19	2.23	22.32	26.79	4.47	76	0.07

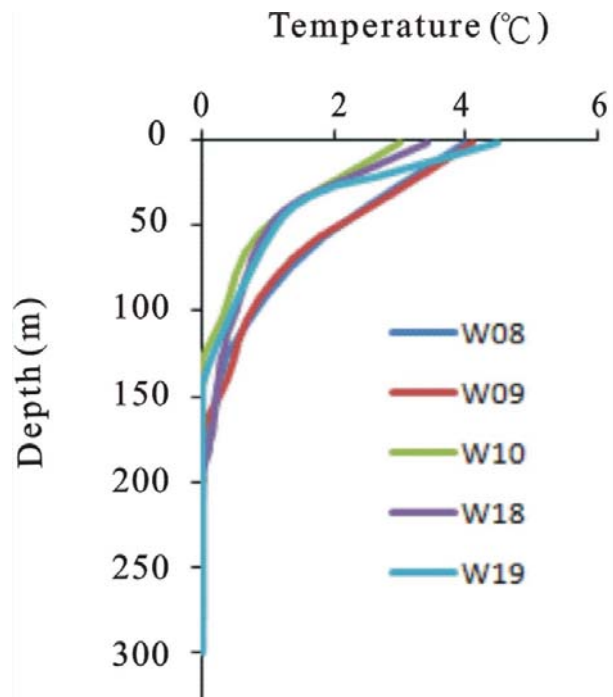


圖 4: 彰雲 5 口井的變暖曲線

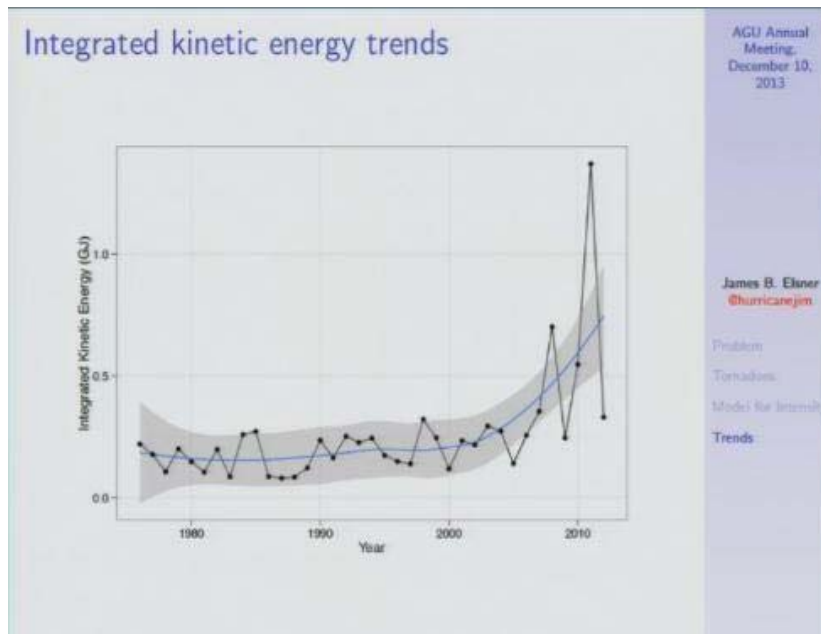


圖 5: 20 年來美國龍捲風強度增加

另外一場演講是維吉尼亞大學環境科學系教授 William F. Ruddiman 在 12 月 12 日下午，題目：Early Agriculture: Land Clearance and Climate Effects。此演講的觀念很大膽，他認為早期人類的農耕，造成大規模森林的砍伐，熱帶地區的稻作也造成甲烷氣的增加，人類的農業製造溫室氣體反轉了冰期作用（圖 6）。我的研究只涵蓋數百年的時間，但也發現人為土地利用的影響，比較全球百年來氣溫(surface air temperature)增加只有 1-2°C，但彰雲地區表面地溫(ground surface temperature)變暖幅度達到 3-4°C，顯然表面地溫增加幅度比較大，應該也有土地利用變化所造成，例如森林砍伐、鋪路、建停車場等。

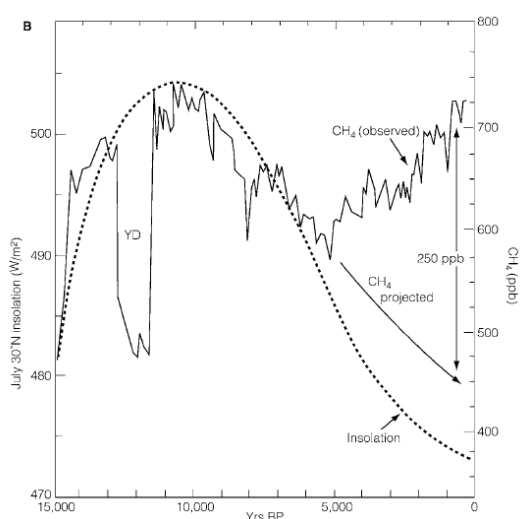


圖 6:冰核(ice core)的甲烷濃度與模式預測差

德國 Potsdam 氣候研究所的 Lehmann 博士分析全球的雨量紀錄，發現 1980 年以來極端降雨的天數增加，近年的降雨量比平均增加了 30%（圖 7）。中研院的劉紹臣教授分析臺灣的雨量紀錄 Increasing Risk of Droughts and Floods in Taiwan: Aerosols or Global Warming?也有類似的結論（圖 8），全球暖化造成台灣雨量極端化，洪水成災或乾旱成災的機率都增加了。

美國 Iowa 大學 Acar 等人的研究 Assessing the impacts of extended drought conditions and global warming on groundwater resources in Iowa，探討降雨減少時，地下水資源的衝擊，使用數學及電腦數值模擬，預測地下水資源的影響。

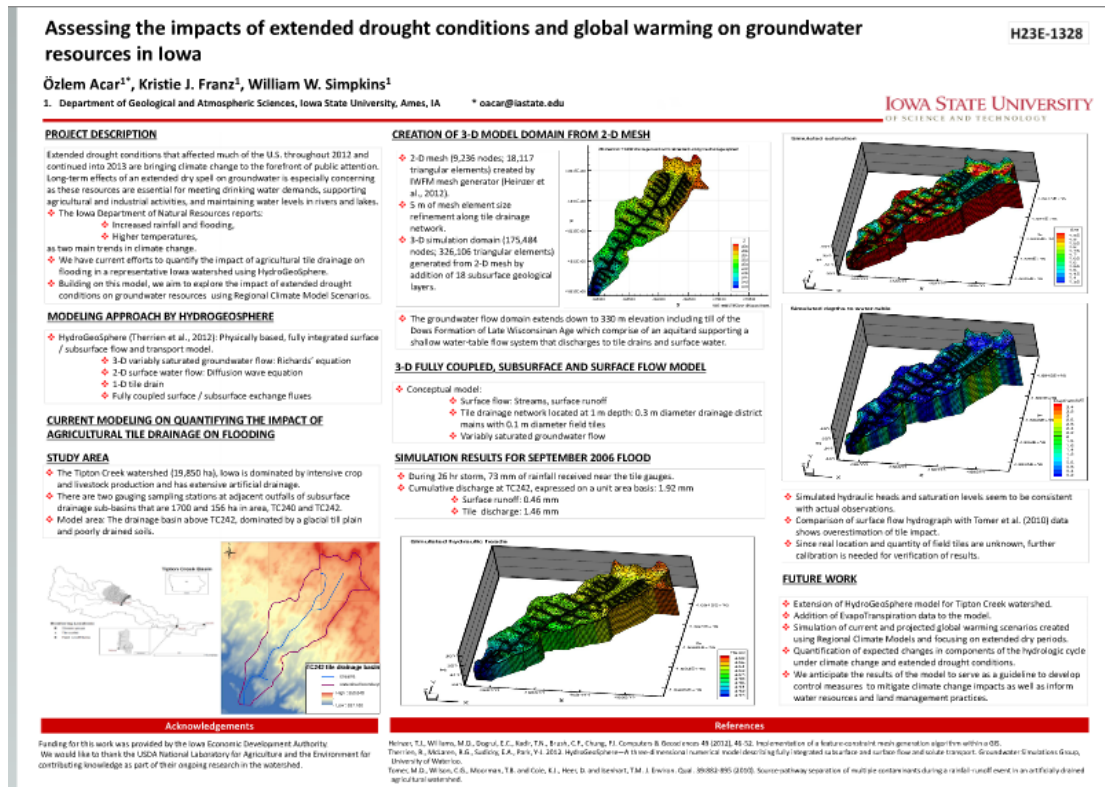


圖 9: 美國 Iowa 大學 Acar 探討降雨減少時，對地下水資源的衝擊

另外我在 12 月 10 日早上參加了一場 workshop: Instructional Approaches to Access, Accommodation, and Inclusion for Students with Disabilities in the Geosciences. 因為近年班上開始有身心障礙學生，有「聽障」、「高功能自閉症」、「腦麻」學生，所以想看看美國大學教育在這方面的狀況，參加這個 workshop 約有 20 位，有高中老師、大學助教、大學教授及行政人員。我算是唯一的外籍人士。講師有兩位 Chris Atchison 及 Gina Ceylan，兩位都在大學教書（Chris 在喬治亞大學，Gina 在密蘇里大學），其中 Gina 本身是視障人士（圖 10）。Chris 在大學的地質課，曾帶了 6 個行動不便的學生去 mammoth cave，而且不是走馬看花，真正把學生帶入洞中，讓行動不便的學生也能親自體驗野外考察的樂趣。Gina 因本身是視障人士，所以在課堂及教材的設計，有許多親身的體驗。在一上午的課程中，體會到觀念的改變是最重要的，其實每個人從不同角度都有點 disability，例如高度近視眼、體力差、記憶力不好等，如何激發每個學生的潛力，給予每個學生適當幫助，應是老師應該做的事。



圖 10: Workshop 的講師 Gina 是視障人士 (右)

結語：雖然來 AGU 已經很多次了，但每次參加，仍能見到許多科學家孜孜不倦的作研究，親身參予地球上最大的地球科學集會，能見到許多研究的最新發展，對我自己的研究及教學都有很大的幫助。

三、發表論文摘要

Heat storage in subsurface of the continents forms a fundamental component of the global energy budget and plays an important role in the climate system. Several researches revealed that subsurface temperatures were being increased to 1.8-2.8°C higher in mean ground surface temperature (GST) for some Asian cities where are experiencing a rapid growth of population. Taiwan is a subtropic-tropic island with densely populated in the coastal plains surrounding its mountains. We investigate the subsurface temperature distribution and the borehole temperature-depth profiles by using groundwater monitoring wells in years 2000 and 2010. Our data show that the western central Taiwan plain also has been experiencing a warming trend but with a higher temperatures approximately 3-4 °C of GST during the last 250 yrs. We suggest

that the warming were mostly due to the land change to urbanization and agriculture. The current GSTs from our wells are approximately 25.51-26.79 °C which are higher than the current surface air temperature (SAT) of 23.65 °C. Data from Taiwan's weather stations also show 1-1.5 °C higher for the GST than the SAT at neighboring stations. The earth surface heat balance data indicate that GST higher than SAT is reasonable. More researches are needed to evaluate the interaction of GST and SAT, and how a warming GST's impact to the SAT and the climate system of the Earth.

四、建議

雖然來 AGU 已經很多次了，但每次參加，仍能見到許多科學家孜孜不倦的作研究，親身參予地球上最大的地球科學集會，能見到許多研究的最新發展，對我自己的研究及教學都有很大的幫助，希望科技部仍能持續補助科學家參加會議。

五、攜回資料

AGU 會議的議程及論文都已公開上網，並未帶回紙本論文集。

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2014/10/29

科技部補助計畫	計畫名稱: 屏東平原之地溫分布與暖化趨勢
	計畫主持人: 陳文福
	計畫編號: 102-2116-M-041-002- 學門領域: 水文學
無研發成果推廣資料	

102 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：陳文福		計畫編號：102-2116-M-041-002-					
計畫名稱：屏東平原之地溫分布與暖化趨勢							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	1	1	100%		

<p style="text-align: center;">其他成果</p> <p>(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。)</p>	<p>正在寫成期刊論文</p>
---	-----------------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

科技部補助專題研究計畫成果報告自評表

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：

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 100 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）

井孔溫度量測可幫助我們建立地下溫度場的分布，在地下水流動顯著的地區，可反應出地下水的流場，另外，也可用來反推地表溫度歷史。本研究總共量測了屏東平原 48 口觀測井的井孔溫度，結果顯示屏東平原的地溫呈現北邊較低、較高，反應出補注區冷水流入的影響。48 口井中有 40 口都呈現上段變暖，增加溫度約 1.9-3.0°C、增溫時間約 65-89 年。此次研究結果為首次調查，還有許多的不確定性，未來若進行第 2 次調查，累積 2 次的時間變化，應可對於屏東平原補注的水流場，及地表溫度變化對地溫的影響，有些定量的結果。可知地下水補注來源及地表暖化的趨勢