

● 應用專家系統與地下水模式於區域補注
量與抽水量推估：

以屏東平原與蘭陽平原為例

蔡瑞彬 博士

國立交通大學 土木所



個人簡介

- 2010 -10 交通大學土木所博士
- 2011-11~ 交通大學博士後研究員
- 研究方向
 - 地下水流與污染傳輸
 - NAPL移運機制研究
 - 應用地球物理資料於地下水相關研究
 - 水文地質參數推估
 - 水文地質架構推估
 - NAPL傳輸機制分析



Outline

- 前言
- 研究方法
- 研究成果
 - 屏東平原
 - 蘭陽平原
- 結論與建議

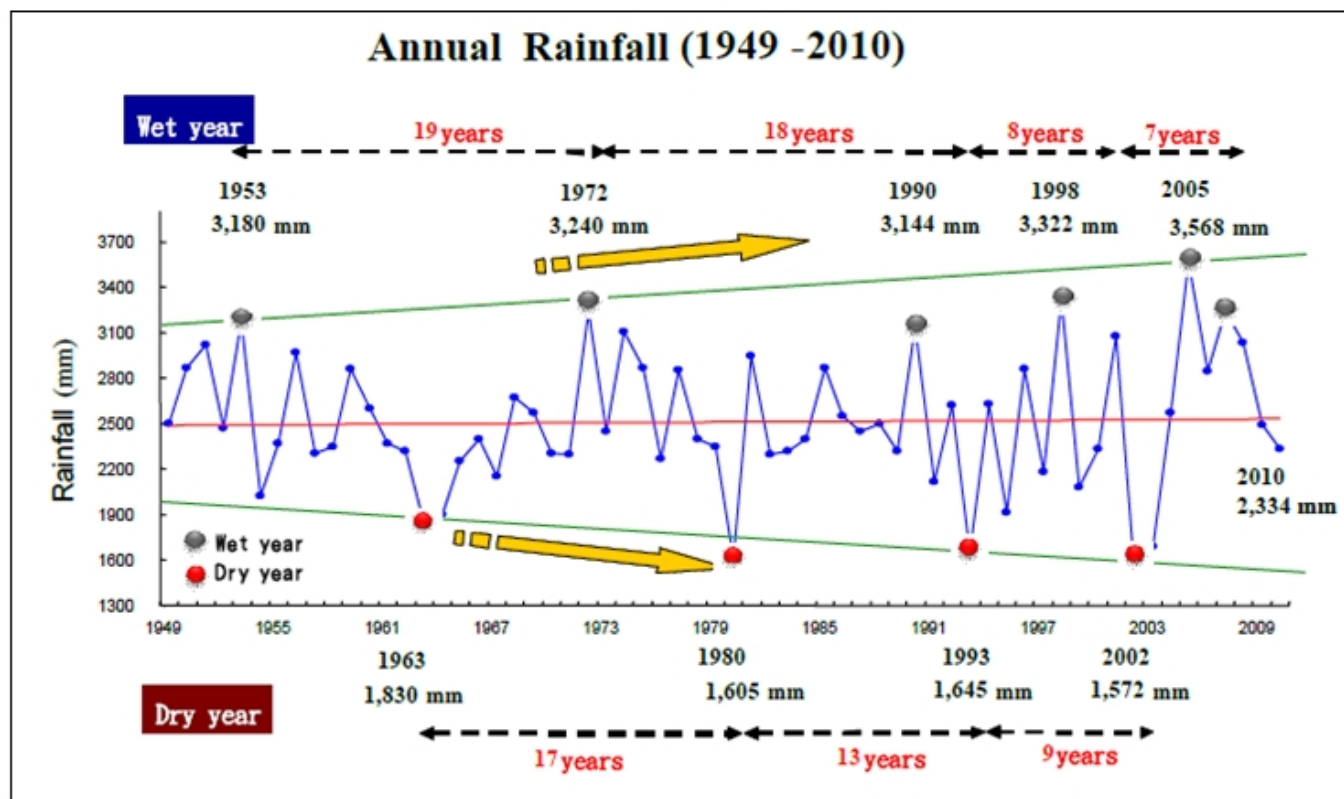


前言

- 受到全球氣候變遷影響，台灣氣候產生極大的變異，引發極端降雨造成洪水及乾旱頻率增加
 - 水利署評估近期(2020~2039)之**豐水期**有**縮短**之趨勢，**枯水期**在北部與東部有**延長**之特性，且各水資源分區**枯水期**流量均有**減少**之趨勢，導致可用水量減少，造成水資源供水能力改變。



前言



台灣地區近年(1949~2010)癆旱頻率增加，降雨量差異變大。

(資料來源：2011年氣候變遷國際研討會)



前言

- 相對於地表水源的劇烈變化，地下水為相對穩定之水源，可作為平時與乾旱時期之用水來源。
- 過度依賴地下水，將造成地質災害。
 - 地層下陷
 - 海水入侵
- 如何使用地下水資源且避免災害發生？
 - 了解地下水系統的水平衡
 - 補注量(垂向補注量)
 - 抽水量
 - 其他



前言

- 建立一**推估系統**，利用觀測井資料，求得研究區域的補注量與抽水量，所得結果可作為地下水資源管理的參考。



研究方法

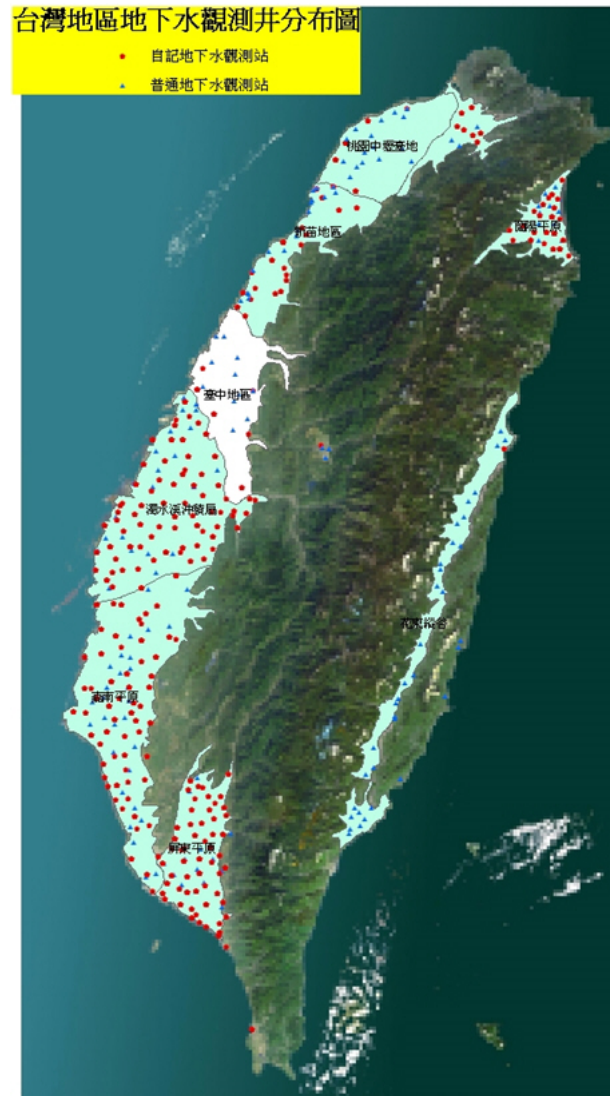
- 拘限含水層地下水流控制方程式

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial X^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial Y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial Z^2} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} + Q + R$$

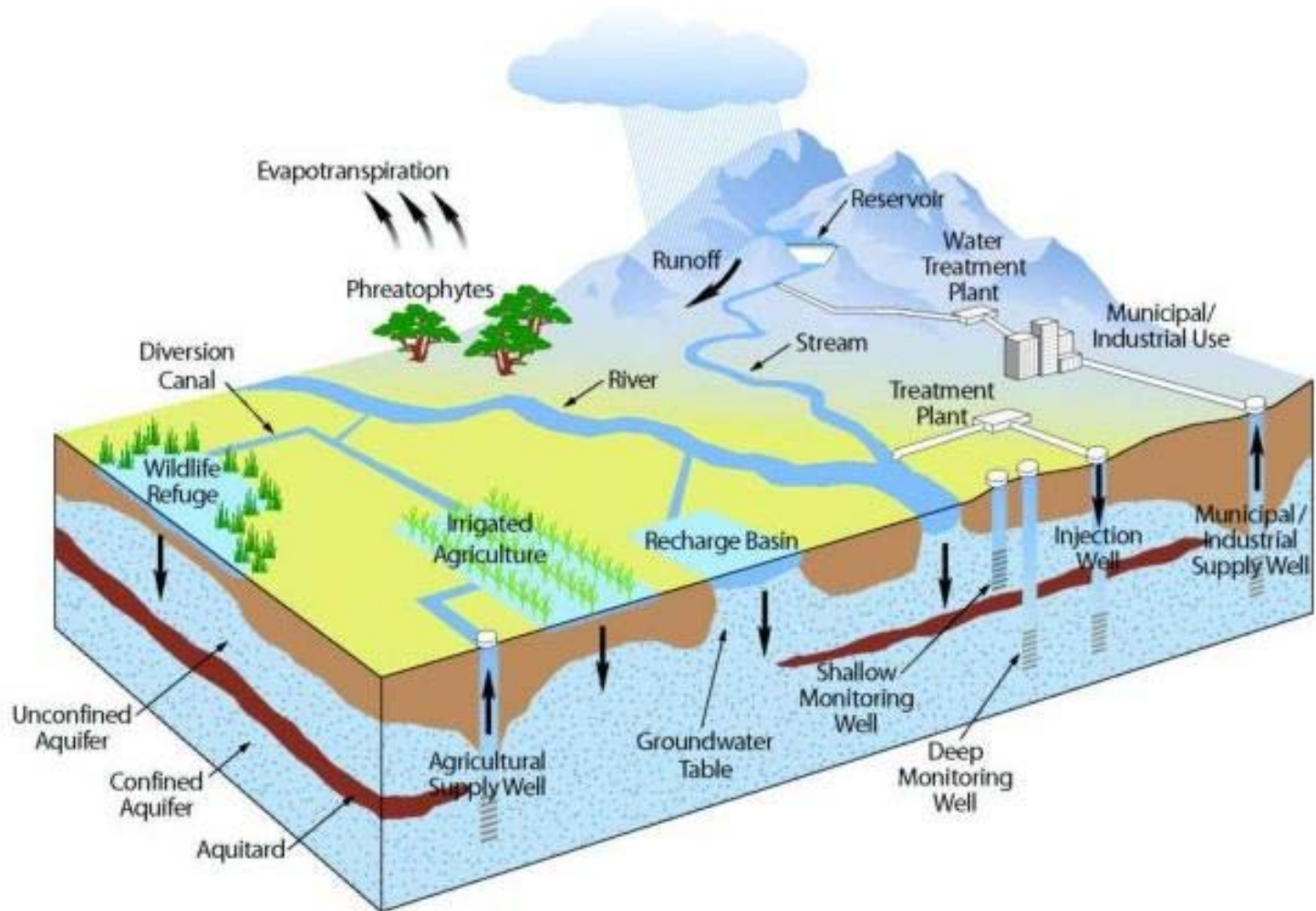
- 前向模擬
 - 已知參數，計算水位 h
- 逆問題
 - 已知水位，反推參數
 - 本研究即利用觀測水位反推 Q 與 R 值



台灣地下水觀測井網



研究方法



研究方法

Q : 抽水量

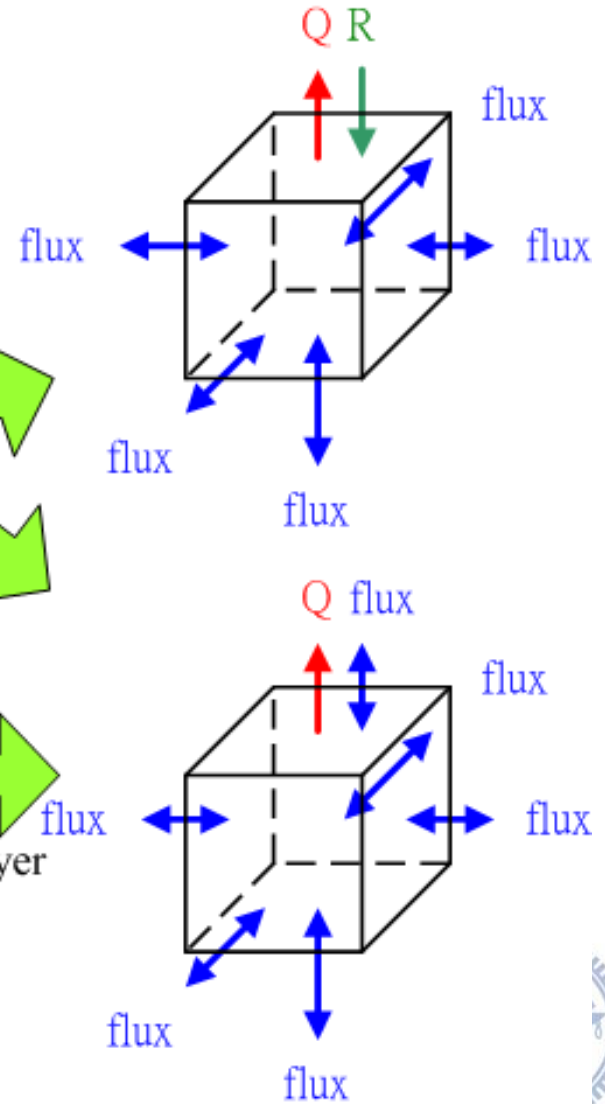
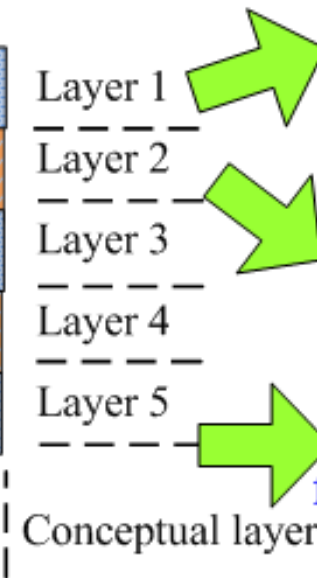
R : 補注量

淺層淨補注量 = $Q + R$

深層抽水量 = Q

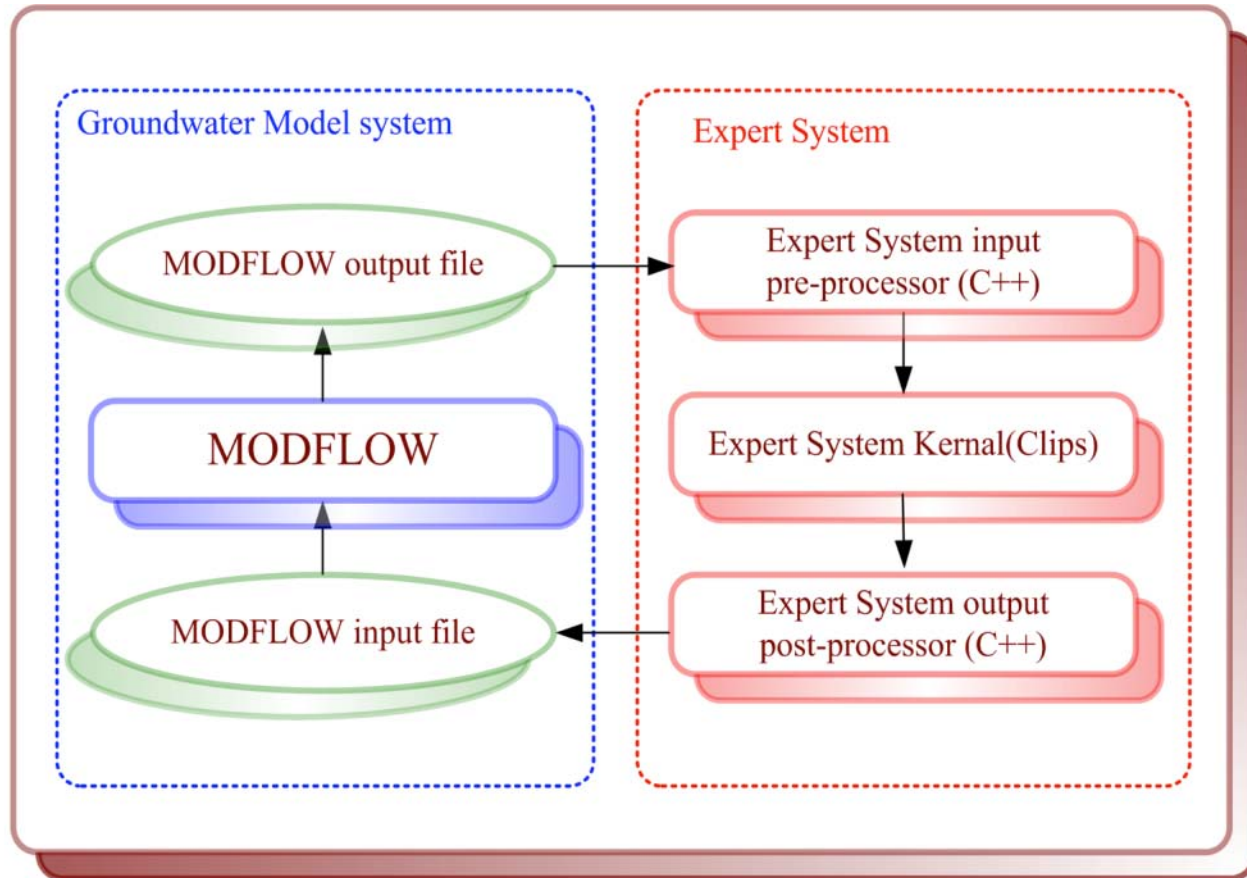


Conceptual model



研究方法

- 應用地下水模式與專家系統建立補注量與抽水量推估模式。



研究方法

- Modflow
 - USGS 所開發之地下水流模擬模式。
 - 可免費下載。
 - 目前為全世界最廣為使用之地下水模式之一。
 - 本研究採用Modflow 2005進行地下水流模式建置。



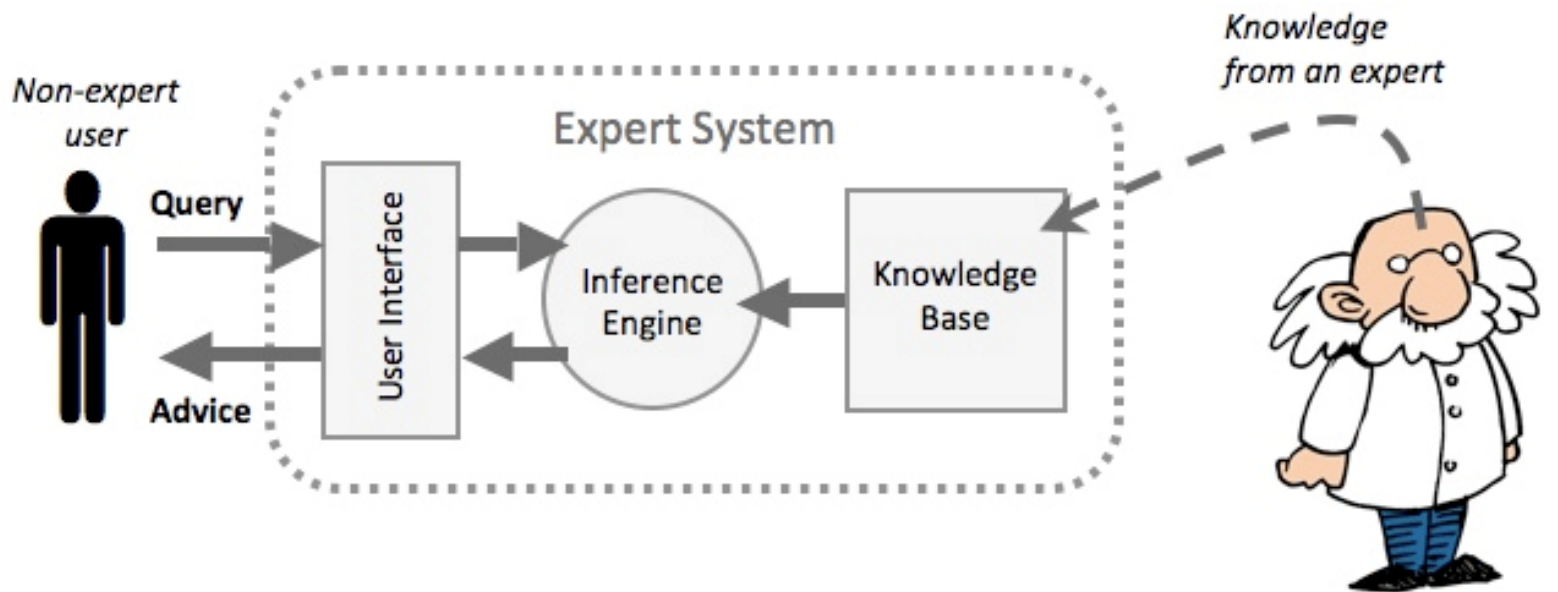
研究方法

- 專家系統
 - 採用NASA所研發之專家系統CLIPS。
 - 為規則式專家系統。
 - 為目前世上最廣為使用之專家系統之一。
 - 可免費下載。
 - 本研究利用CLIPS建立淨補注量推估專家系統。



研究方法

- 專家系統



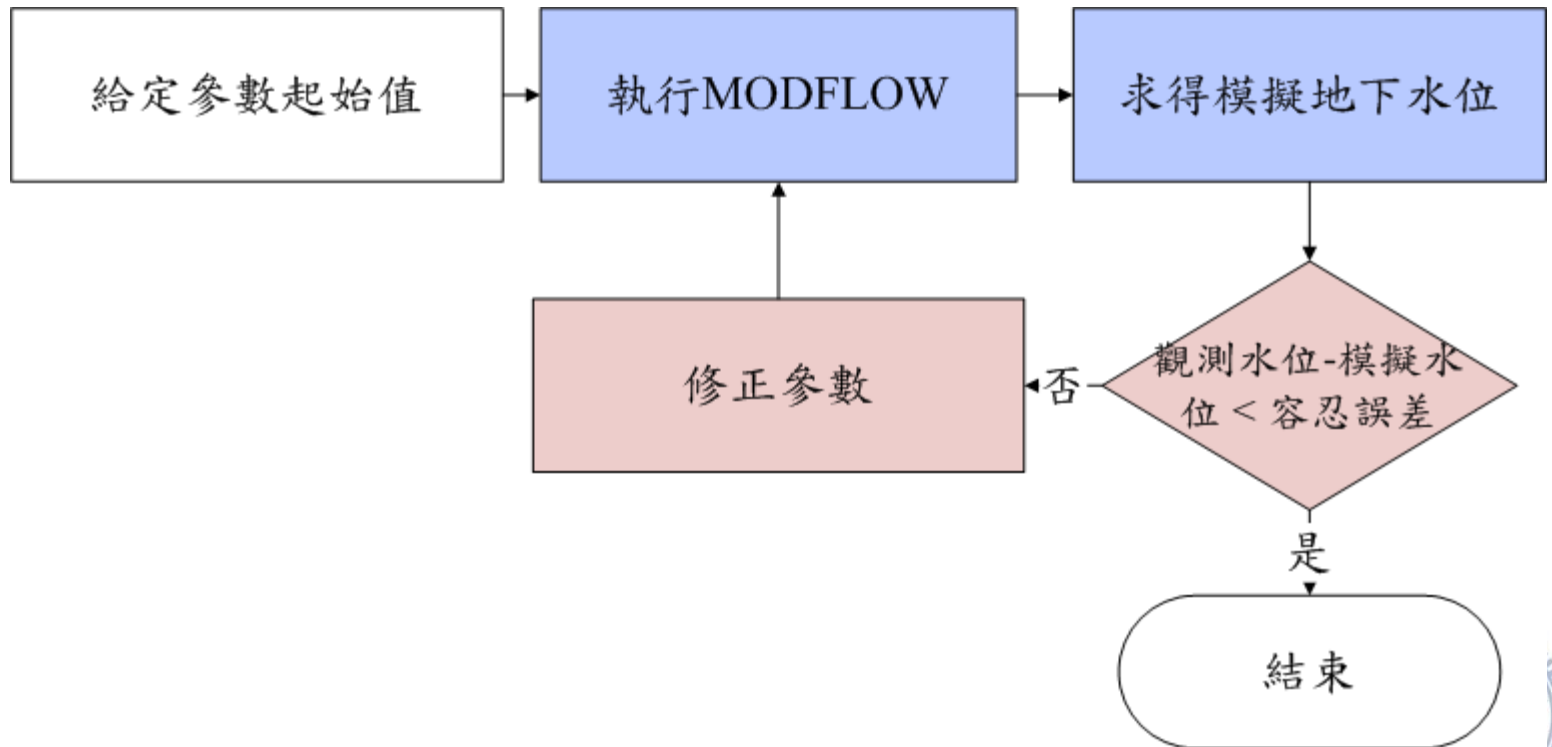
研究方法

- 檢定規則
 - 共七條檢定規則
 - 決定參數修正方向與修正量
 - 適用於參數分區
 - 以觀測井點位繪製徐昇式網格，一個徐昇式網格範圍代表一個參數分區
 - 一個分區包含一個觀測井
 - 水文地質參數(K , S_s/S_y)採用抽水試驗資料，不進行調整



研究方法

- 透過專家系統與地下水模式迭代(溝通)，找出合適的補注量與抽水量值



由前處理器接收
MODFLOW
模擬後相關資訊

Rule 1

系統是否有效率地檢定？

$$\eta = \left| \frac{\max(\varepsilon^{n-1}) - \max(\varepsilon^n)}{\max(\varepsilon^n)} \right| < 1/200$$

否

修正量放大3倍

是

Rule 2

該分區是否
位於第一層

否

是

Rule 3

該分區淨補注量是
否為正

Rule 4

該分區
是否已抽乾

否

否

是

是

觀測水位大於模擬
水位

Rule 5

否

是

修正方向 $I^n = -1$

修正方向 $I^n = 1$

接續下頁
之推論鏈



修正方向 Γ^n

Rule 6

$$\Gamma^n \times \Gamma^{n-1} > 0$$

否

是

Rule 7

$$\Delta Q^{n-1} \leq 10^{-8} \text{ (m/day)}$$

否

是

$$\Delta Q^n = \Delta Q^{n-1} / 2$$

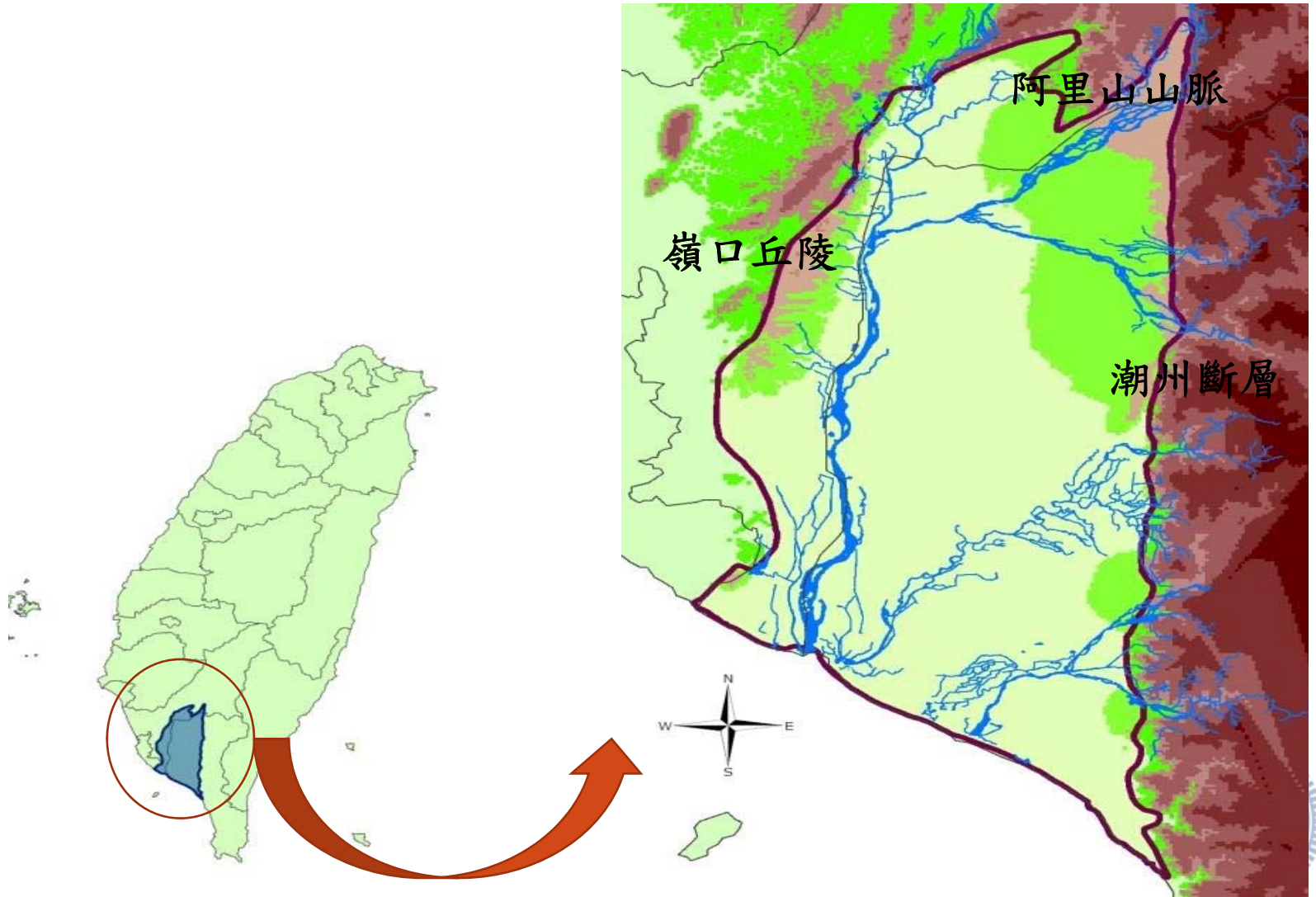
$$\Delta Q^n = \Delta Q^{n-1}$$

$$\Delta Q^n = \Delta Q^{n-1}$$

$$Q^{n+1} = Q^n + \Gamma^n \Delta Q^n$$

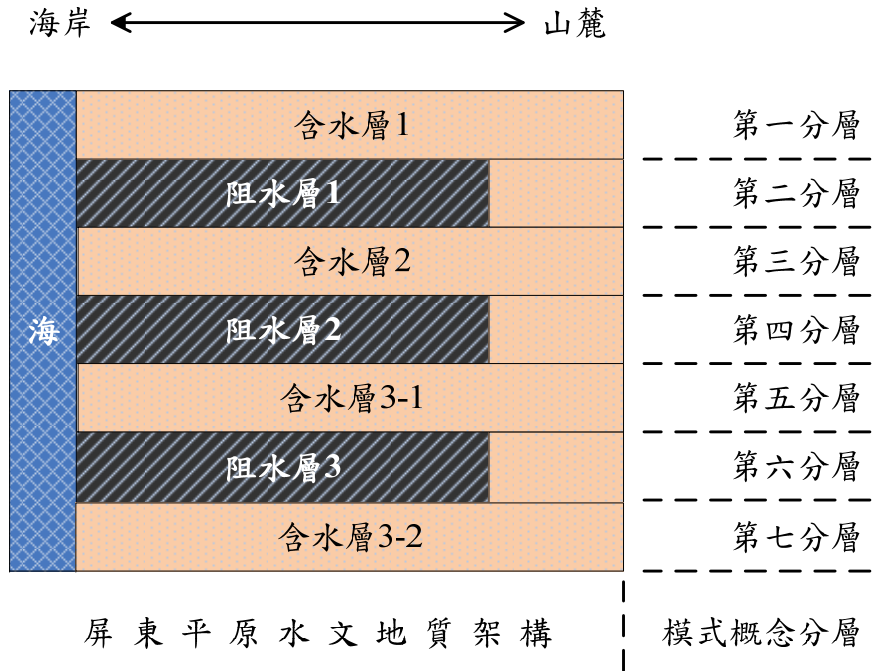


研究成果-屏東平原



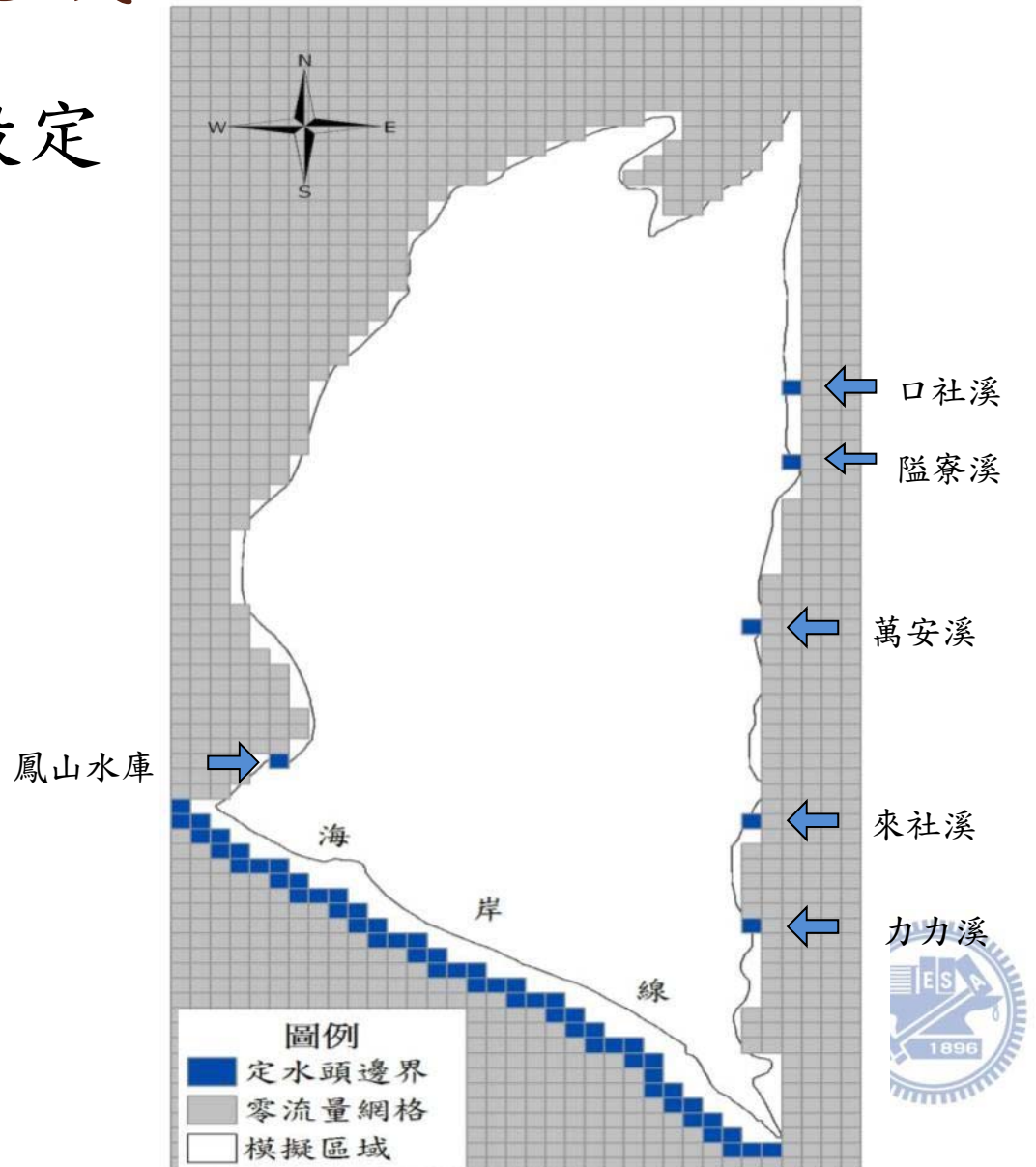
研究成果-屏東平原

- 水文地質架構
- 因第七層之觀測資料不足，故本研究於模式建置時，將考量分層第一至五層。



研究成果-屏東平原

- 邊界條件設定



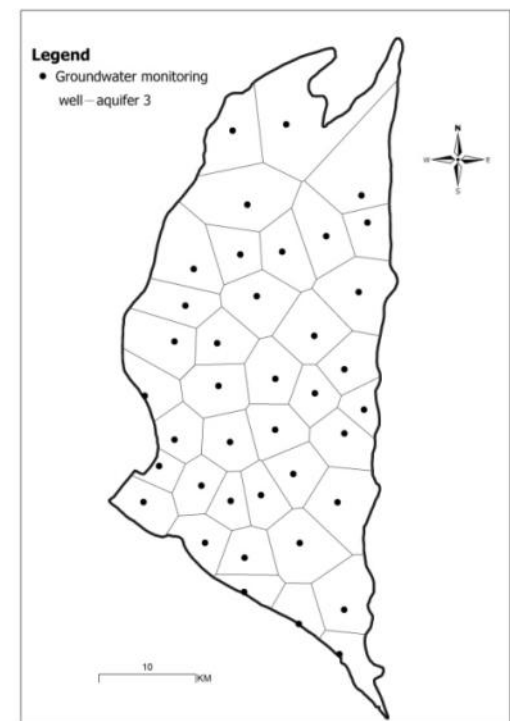
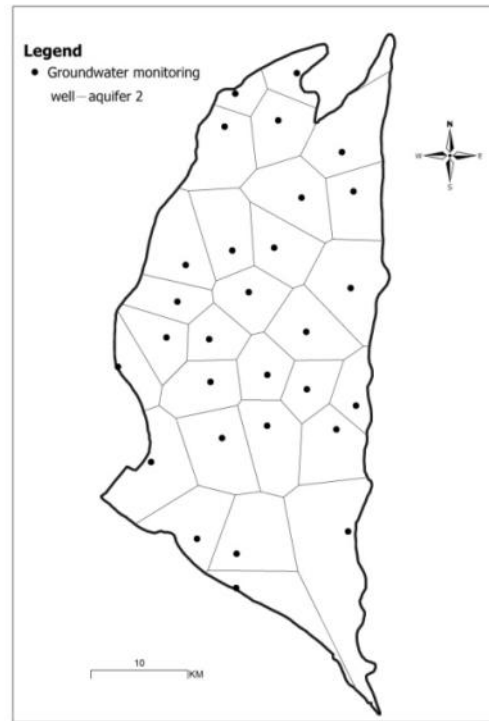
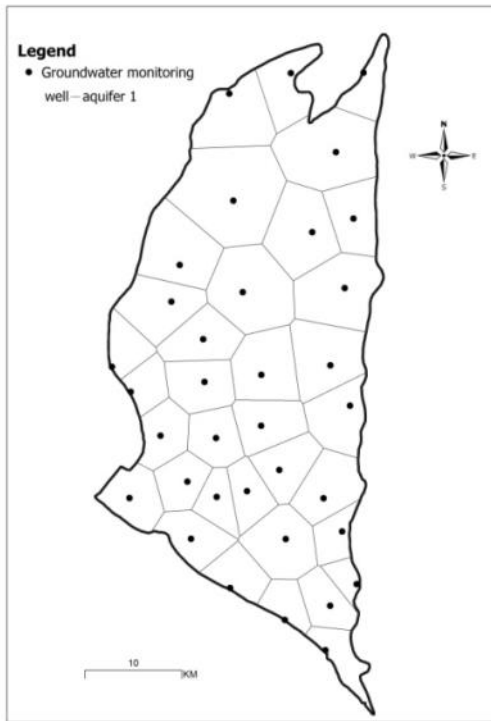
研究成果-屏東平原

- 模式參數
 - 時間參數
 - 模擬時間為西元1999年
 - Time step 設定為月，共模擬12個月
 - 含水層參數
 - K與 S_y/S_s 採用抽水試驗結果
 - 起始地下水水位：
 - 1998年12月之觀測水位月平均值，以克力金法內插至各格網產生初始地下水水位。



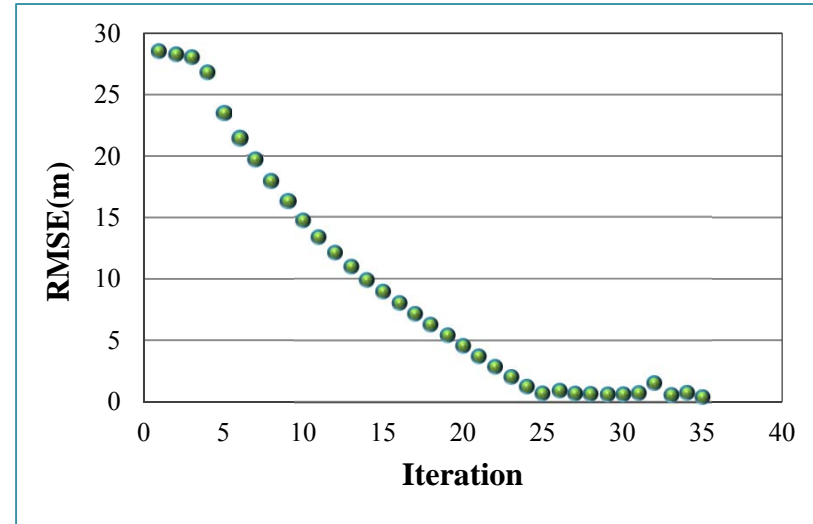
研究成果-屏東平原

● 參數分區



研究成果-屏東平原

- 1999年1月檢定歷程
- 收斂條件
 - 所有分區之檢定誤差小於2公尺
 - 檢定誤差
= |模擬水位-觀測水位|

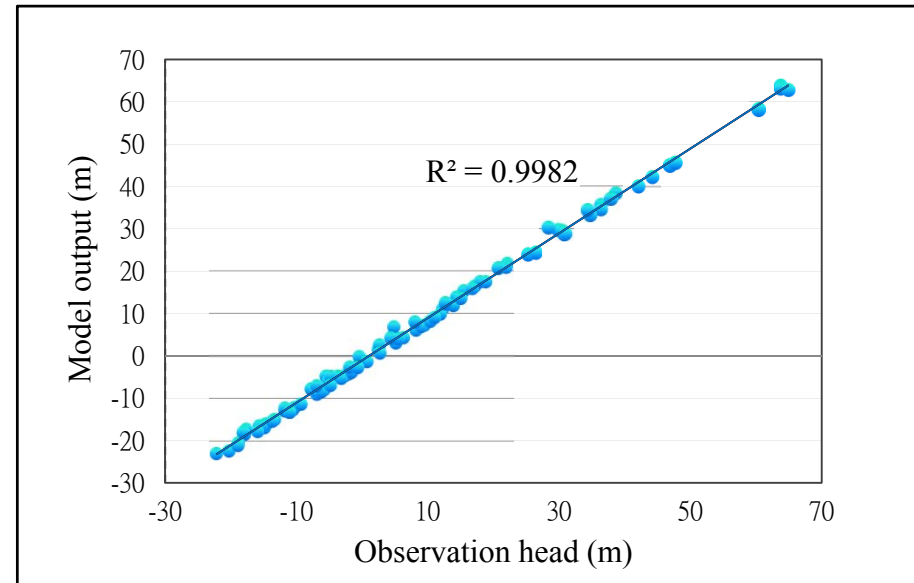


參數檢定過程之全區水位誤差均方根變化



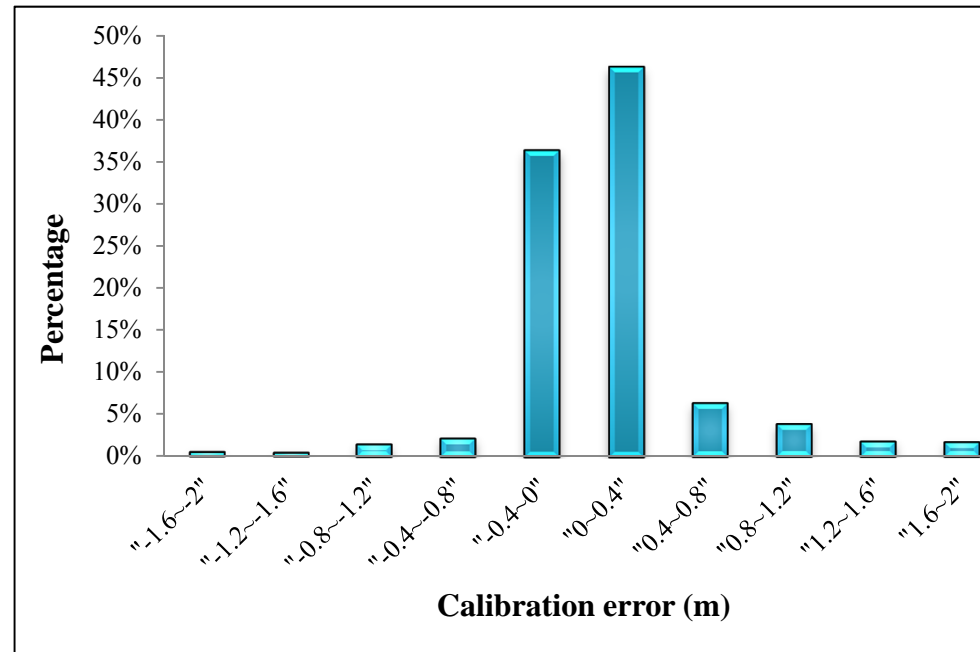
研究成果-屏東平原

- 將1999年各月份之觀測井位置的模擬水位與觀測水位繪圖
- 觀測水位與模擬水位相當吻合



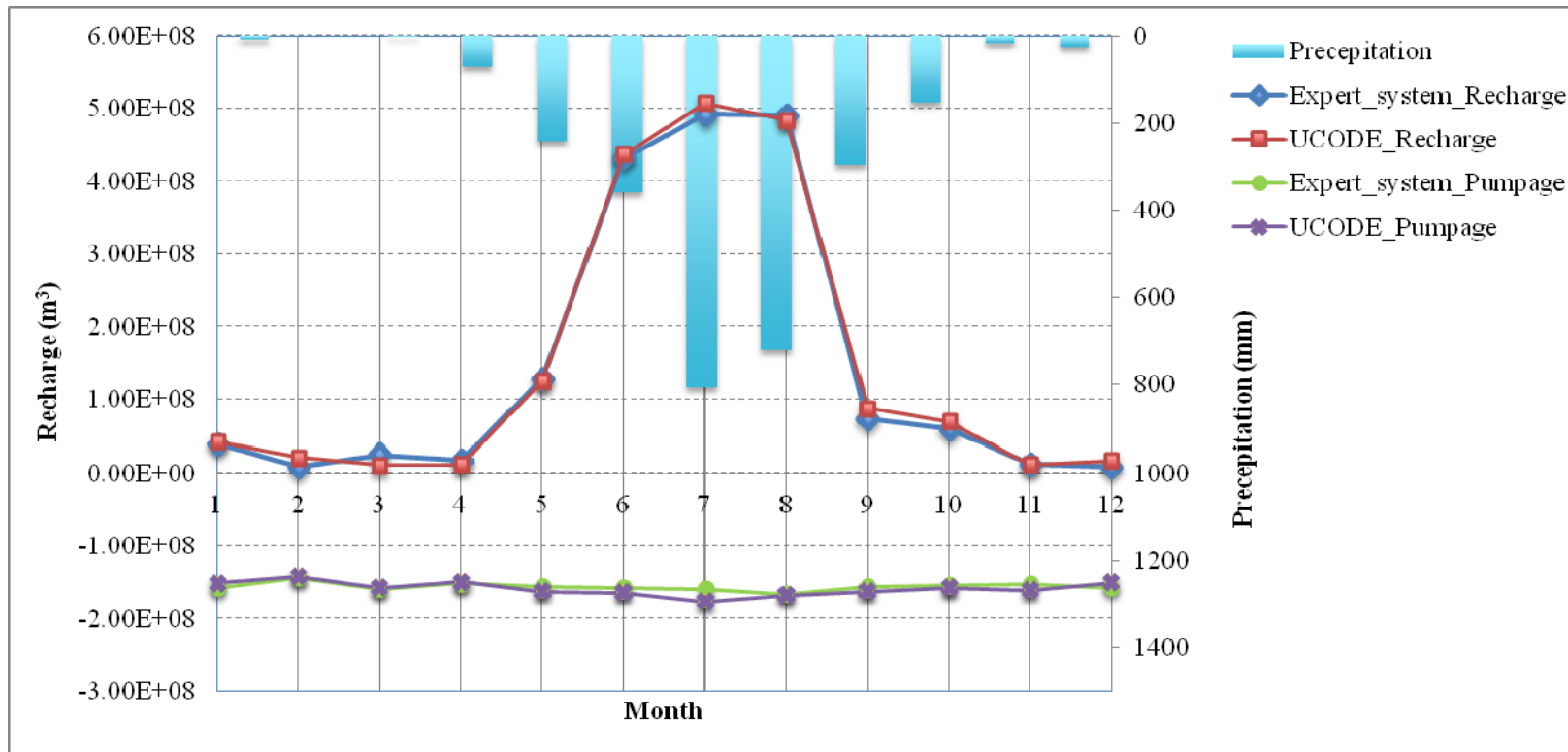
研究成果-屏東平原

- 36%之分區檢定誤差位在-0.4~0公尺之間
- 46%之分區檢定誤差位在0~0.4公尺之間
- 總共約82%之分區檢定誤差在0.4公尺以內。



研究成果-屏東平原

● 與UCODE檢定結果比較



研究成果-屏東平原

- 穩健性測試
 - 以1999年1月之模式進行檢定測試(僅檢定一個時刻)
 - 以-30000至30000(m^3/day)為值域，以均勻分布隨機函數產生20組初始值
 - 以專家系統與UCODE進行檢定
 - 專家系統不易受初始值影響



研究成果-屏東平原

● 穩健性測試

編號	Expert System		UCODE		編號	Expert system		UCODE	
	最大 誤差	迭代 次數	最大 誤差	迭代 次數		最大 誤差	迭代 次數	最大 誤差	迭代 次數
1	1.90	131	37.12	200	11	1.90	133	8.73	200
2	1.95	126	8.07	200	12	1.57	124	4.90	200
3	1.98	123	53.29	200	13	1.87	122	2.03	200
4	1.96	27	41.00	200	14	1.81	121	34.58	200
5	1.71	123	48.90	200	15	1.65	141	6.86	200
6	1.99	136	35.52	200	16	1.70	128	35.90	200
7	1.59	125	4.79	200	17	1.74	121	1.71	59
8	1.99	146	54.84	200	18	1.84	131	19.02	200
9	1.96	140	7.15	200	19	1.90	20	12.65	200
10	1.88	127	8.75	200	20	1.96	131	12.13	200



研究成果-屏東平原

- 檢定效率分析
 - CPU: Intel Core2 Quad 2.66GHz
 - Memory size: 4GB
 - OS: Fedora 14



研究成果-屏東平原

● 檢定效率分析

時刻(月)	檢定次數	執行modflow 次數	累積執行次數	累計時間(sec)
1	31	31	31	59.89
2	101	101	132	255.02
3	46	46	178	343.90
4	67	67	245	473.34
5	44	44	289	558.35
6	48	48	337	651.08
7	244	244	581	1122.49
8	49	49	630	1217.16
9	33	33	663	1280.92
10	26	26	689	1331.15
11	45	45	734	1418.09
12	91	91	825	1593.90



蘭陽平原

- 前述屏東平原乃檢定淺層淨補注量與深層抽水量
- 因進行月模擬，故無法由淺層淨補注量直接拆出淺層抽水量與淺層補注量
 - 搭配水位歷線法推估
- 因專家系統檢定參數效率高，將月模擬提升為日模擬，以直接求得淺層補注量與抽水量。



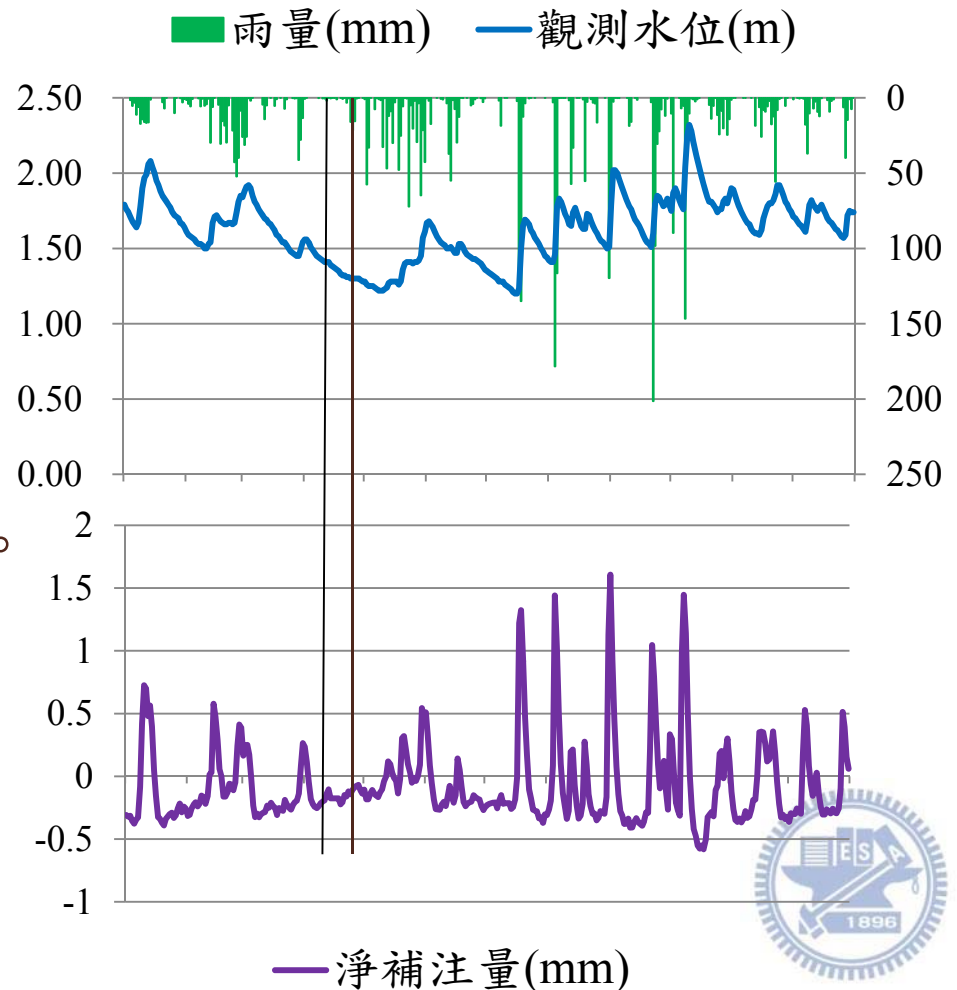
蘭陽平原

• 岳明(1)_2005年

• 淺層抽水量

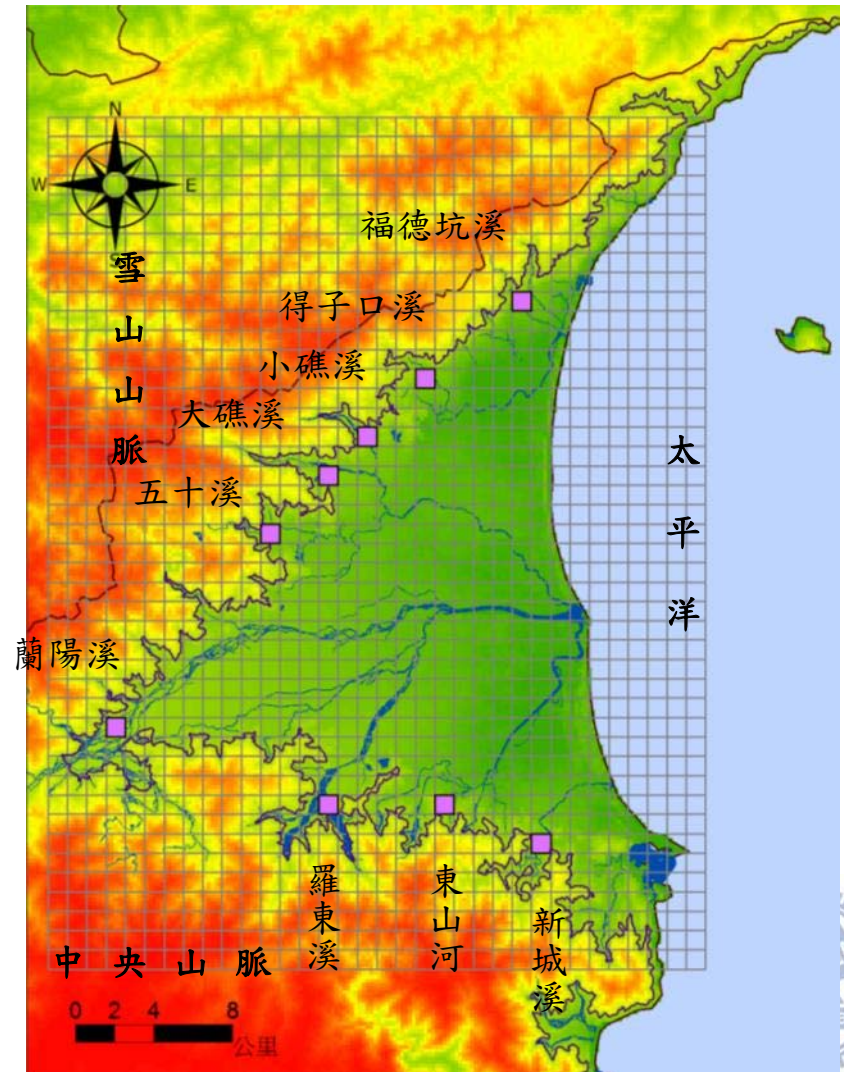
- 選取長時間未降雨之時段，以其淨補注量作為日均抽水量。

- 由淺層抽水量與模式檢定淨補注量可計算得淺層補注量。

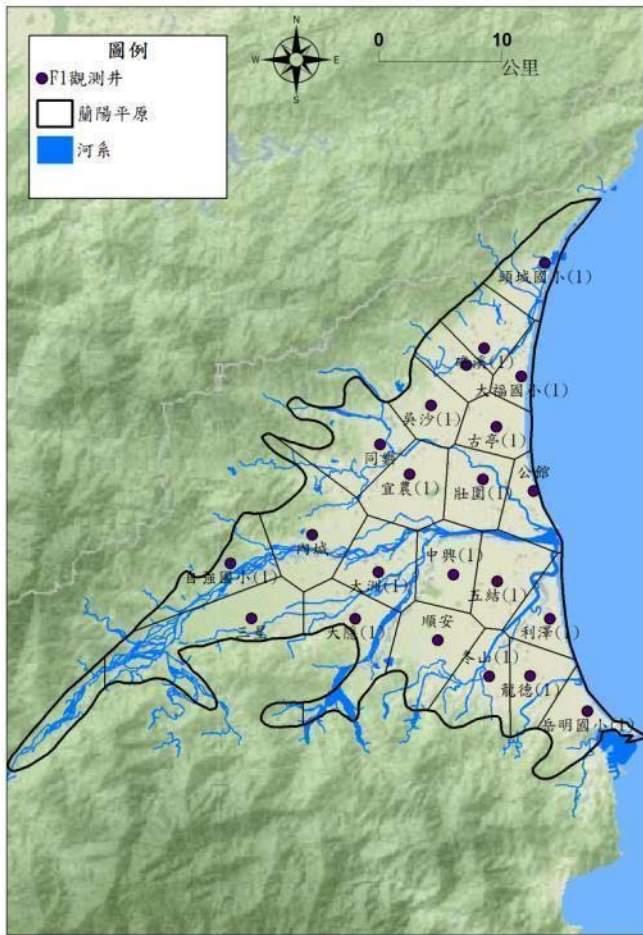


研究成果-蘭陽平原

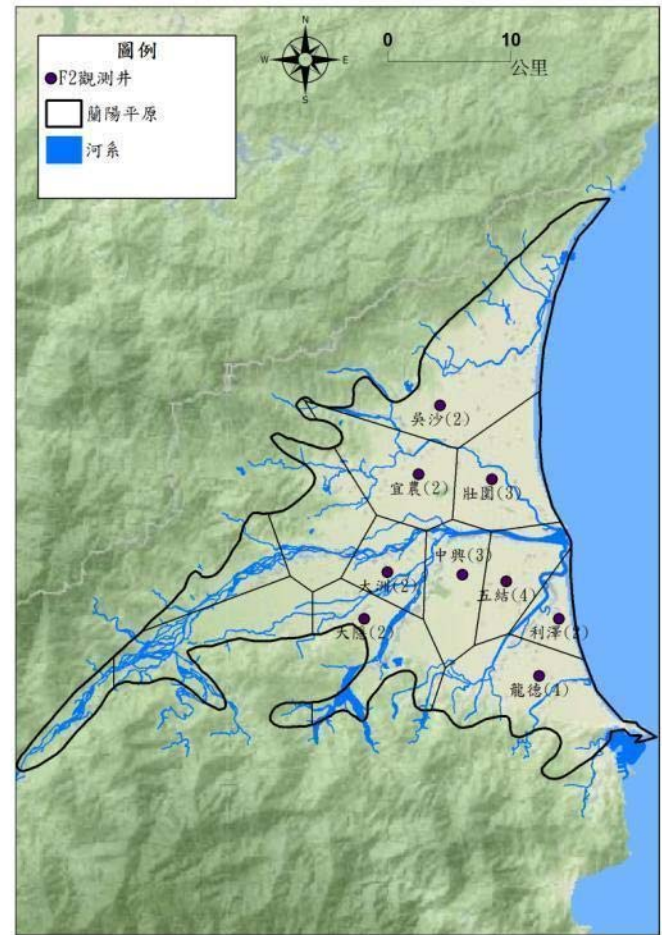
- 研究區域說明
- 邊界條件設定



研究成果-蘭陽平原



含水層一徐昇式分區



含水層二徐昇式分區

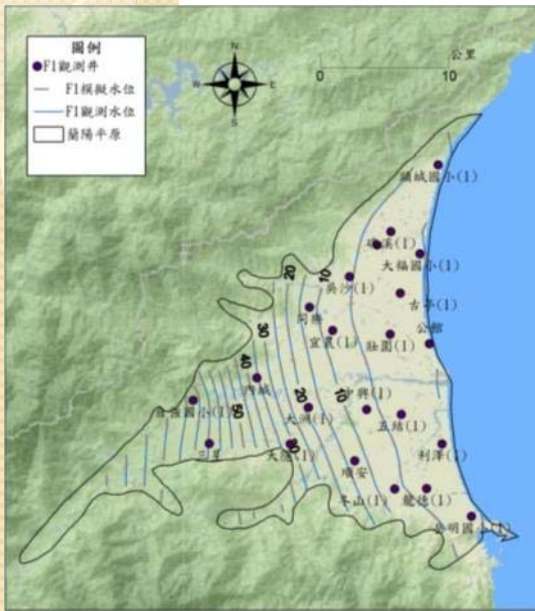
研究成果-蘭陽平原

- 模式參數
 - 時間參數
 - 模擬時間為西元2004年~2012年
 - Time step 設定為日，進行日模擬
 - 含水層參數
 - K與 S_y/S_s 採用抽水試驗結果
 - 起始地下水水位：
 - 西元2003年12月31日之日觀測水位，以克力金法內插至各格網產生初始地下水水位。
- 檢定成果再以UCODE優化

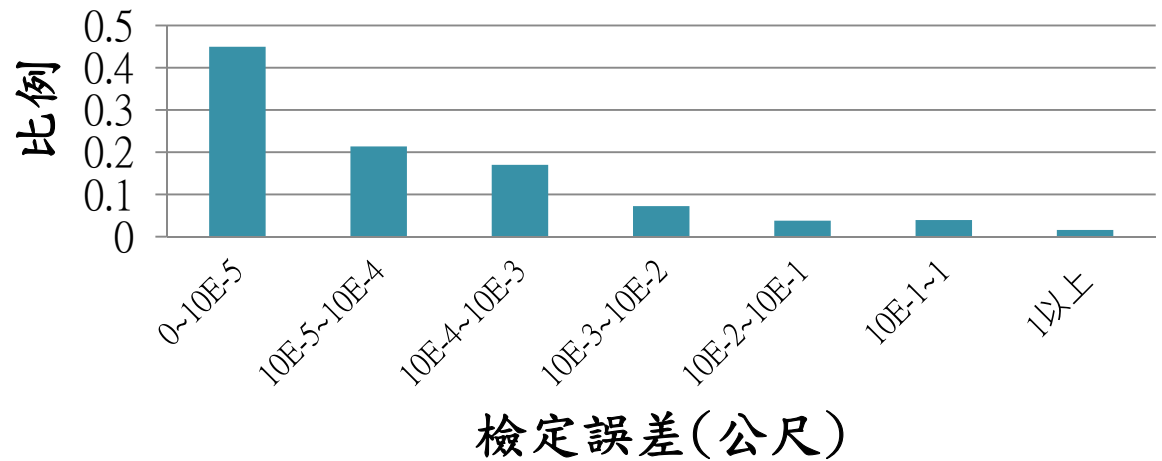


研究成果-蘭陽平原

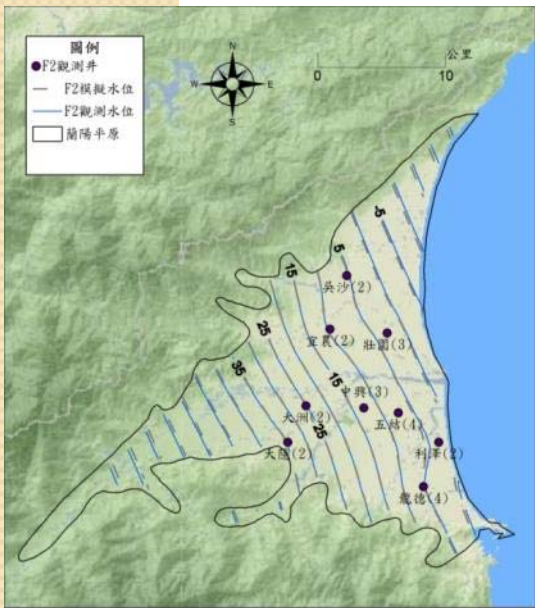
Max ϵ :1.92m, RMSE:0.187m



F1觀測與模擬水位等值圖

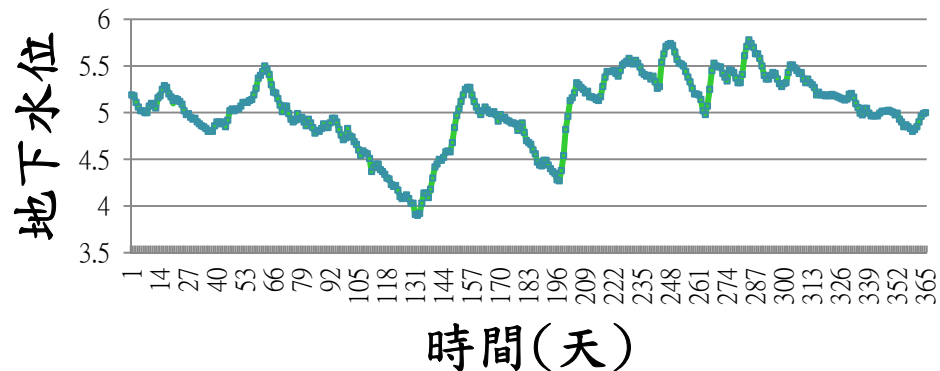


檢定誤差(公尺)



F2觀測與模擬水位等值圖

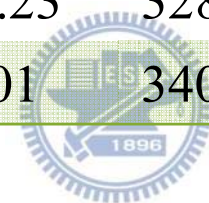
冬山(1)_2005年



研究成果-蘭陽平原

年分	F1 抽水量	F2 抽水量	F1補注量		海岸流出	儲蓄 改變量	雨量
			垂向補注	山邊流入			
2004	-190.44	-27.14	104.26	135.09	-9.49	12.30	3059
2005	-195.42	-31.26	102.74	134.60	-17.35	-6.66	3684
2006	-188.12	-29.41	106.34	132.63	-16.61	4.85	3274
2007	-179.39	-29.59	97.20	135.16	-17.37	6.03	3899
2008	-198.28	-30.85	92.16	134.37	-15.84	-18.42	3365
2009	-176.73	-26.72	97.22	132.09	-16.64	9.24	3858
2010	-214.11	-29.65	130.45	131.30	-16.55	1.45	3026
2011	-171.68	-29.99	101.59	130.86	-17.32	13.49	3203
2012	-197.61	-31.84	103.27	131.52	-18.60	-13.23	3283
平均	-190.20	-29.61	103.92	133.07	-16.20	1.01	3406

單位：百萬噸(10^6m^3)



研究成果-蘭陽平原

- 與文獻推估值比較

推估單位	補注量	抽水量
水資會(72)	1.2	1.83
能邦工程顧問公司(89)	3.04	-
中興工程顧問公司(91)	2.6	2.1
水位歷線法(102)	2.146	2.044
數值模式(102)	2.370	2.198

單位：億噸



結論與建議

- 本研究應用專家系統與地下水模式，可有效率地推估區域補注量與抽水量。
- 與其他文獻結果比較，本研究推估之抽水量與補注量值屬於合理範圍。
- 專家系統相較於UCODE等傳統優選法，不易受初始值影響，且效率更佳。
- 專家系統結合UCODE可以有效提昇參數推估精度



結論與建議

- 未來可進一步與其他啟發式演算法比較，如GA，SA或DDS等。
- 含水層參數可參考水位以外的資訊進行推估
 - 地電阻推估 K值
 - 重力推估 S_y



簡報到此結束，歡迎大家共同討論

