

經濟部水利署出國報告（出國類別：進修）

聯合國水利環境教育學院
於缺乏水文觀測資料下估算設計參數

UNESCO- IHE

Where there is little data: How
to estimate design variables in
poorly gauged basin

服務機關：經濟部水利署、第九河川局

職稱姓名：副工程司 鄒侑達、正工程司 陳彥旭

派赴國家：荷蘭

出國期間：105年10月29日至11月14日

報告日期：106年01月

目 錄

頁 次

摘 要.....	I
第一章 UNESCO-IHE 簡介.....	1
第二章 受訓課程內容.....	4
(一) 課程目的.....	4
(二) 課程大綱.....	4
(三) 授課師資.....	5
(四) 參與學員.....	7
第三章 課程簡介.....	9
(一) R 語言簡介.....	9
(二) 流域水文分析.....	11
(三) 水文模式.....	20
(四) 地理資訊統計.....	25
GIS 與遙測.....	33
(一) 介紹 QGIS 與實作.....	33
第四章 心得與建議.....	38
(一) 心得.....	38
(二) 建議.....	40
(三) 附記.....	41
參考文獻.....	44
參訓證明.....	45

摘 要

聯合國教科文組織水利環境教育學院 (UNESCO-IHE) 位於荷蘭台夫特 (Delft)，於 105 年 10 月 31 日至 11 月 12 日開設「**Where there is little data: How to estimate design variables in poorly gauged basin**」兩週短期課程，教授水文規劃設計的理論及 R 軟體實機操作，進修期間除學習相關新知外，並利用課餘時間向當地的專家學者請益水利相關議題，還有參訪重要水利設施馬仕朗防潮閘 (Maeslant Barrier) 及世界遺產小孩堤防 (kinderdijk)。

對水利工程或是水資源管理而言，估算設計流量或是雨量永遠是一件困難的任務。原因就在於充滿著各種不確定性 (uncertainties)，且受限於觀測點的時間與空間限制，特別是在一個觀測站不多的流域或是觀測資料不長的情況下更是如此。但現在可以利用一些 GIS 系統以及水文統計方法進一步延展資料，以滿足規劃設計上的需求。

課程目標主要從理論開始講授逕流歷線、水文降雨極端值、平均年逕流量等，接著學習應用各種不同的統計方式，分別估算降雨量或逕流量，例如克利金 (Kriging) 內插法。以實機操作 R 語言程式軟體，應用理論介紹的統計方式，估算各項水文變數；另一個學習目標為應用較新的 GIS 軟體 (QGIS) 與數據並實機操作該軟體。

經由本次的短期課程能更清晰的了解如何從較進階的統計方式去估算設計流量，並了解不同統計方法之間的差異，例如以各站雨量資料去交互驗證，即可明瞭如何正確地估算目標值。

關鍵字：不確定性、克利金、逕流歷線、目標值。

第一章 UNESCO-IHE 簡介

UNESCO-IHE 水教育學院(Institute for Water Education)是一家進行水教育的國際院校，成立於 2003 年，脫胎於原 IHE 學院。IHE 學院從水利工程國際課程(成立於 1957 年)發展而來，1976 年該課程更名為水利和環境工程國際學院(IHE)。UNESCO-IHE 外觀如圖 1 所示，位於荷蘭的代爾夫特市(Delft)，由所有聯合國教科文組織成員國共同擁有。由聯合國教科文組織和荷蘭政府共同成立，屬於聯合國教科文組織的機構。



圖 1 UNESCO-IHE 外觀

學院完全靠預算外資金進行運作，代表了聯合國教科文組織內部一種新穎獨特的模式，即通過創新的企業方式確保資金來源。該學院是世界上最大的水教育機構，是[聯合國系統](#)中唯一被授權可以授予理學碩士學位(MSc)的機構。UNESCO-IHE 在強化其他院校和研究機構的成果、增加水領域專業人士的知識技能方面起到了重要的作用。[聯合國教科文組織](#)的成員國可以在人力資源和機構能力培養方面獲得 UNESCO-IHE 提供的知識和服務，對於實現[千年發展目標](#)、約翰內斯堡實施計劃([21 世紀議程](#))和其他全球水目標的努力具有極其重要的意義。

UNESCO-IHE 的功能包括：

1. 在制定水教育碩士研究生項目和職業再教育的國際標準方面發揮領導作用。
2. 為發展中國家提供能力建設培訓。

3. 提供教育、培訓和研究項目。
4. 在世界範圍內建立並管理教育、水領域機構和組織的網路。
5. 作為聯合國教科文組織成員國和其他利益相關者的「政策論壇」。
6. 提供水教育方面的專業知識和建議。

自 1957 年成立之日起，IHE 已為來自 160 個國家、超過 13,500 名專業人士（包括工程師和科學家）提供了碩士研究生教育，幾乎涵蓋了所有發展中國家 / 轉型國家。已有超過 50 位博士研究生從學院畢業，並在世界範圍內實施了大量研究和能力建設項目。

UNESCO-IHE 為全球水利專業教學學院，位於台夫特(Delft)地區，該地區本身為荷蘭一個重要的水利產業發展地，緊鄰的 Deltares 亦為一個重要的水利研究機構、鄰近的 TU Delft 為荷蘭著名的大學，學術研究能力亦備受肯定。荷蘭將其水利工程技術輸出，台夫特為其一個重要根據地，尤其 UNESCO-IHE 更為一個重要的據點，而台灣雖然也有合作機構 TIIWE，但整體與 UNESCO-IHE 的交流並不算頻繁，未來水利事務如需拓展國際視野以及技術學習等，可考量 UNESCO-IHE 作為一個重要對象。

105 年由經濟部水利署工程事務組副工程司鄒侑達及第九河川局正工程司陳彥旭，於 105 年 10 月 29 日至 11 月 12 日親赴 UNESCO-IHE 本部參加「於缺乏水文觀測資料下估算設計參數」短期課程。



圖 2 機構目標



圖 3 課程教室

第二章 受訓課程內容

(一) 課程目的

1. 瞭解 R 語言並應用於水文分析實作。
2. 理解水文變數:流量、流量延時曲線、水文極端事件、降雨逕流模式等。
3. 地文統計，瞭解單一變數與多變數間的差異、線性回歸、隨機歷程、地文統計基礎、變異函數、普通克利金、拓樸克利金，並應用 R 語言實際操作。
4. 理解基本水文分析應用於極端流量、估算設計流量、單一測站的頻率分析、流域流量的洪水頻率分析、建立地區流量模式使用 L 動差予以估算，並以 R 語言實機操作。
5. 學習 QGIS 軟體並且下載不同的免費 DEM 資料，並學習如何分析出流域、子集水區、河川網圖。

(二) 課程大綱

表 1 課程大綱

編號	課程	內容說明
1	R 語言簡介	簡介 R 語言並指導學員實機作示範練習
2	流域水文分析	單一測站水文分析、區域水文分析，並於 R 軟體上實作練習
3	水文模式介紹	講解概念型水文模式的建立及相關應用，並於 R 軟體上實機操作。
4	模式率定及不確定性	介紹模式率定方式與參數優選方式，並實機操作練習。
5	地理資訊統計	講解地理資訊統計的理論。
6	克利金	講解克利金的理論與實作。
7	QGIS	介紹 QGIS 軟體的安裝與實作。

(三) 授課師資

課程由 UNESCO-IHE 資深地球科學與遙測資深專家 Dr. Paolo Paron 教授為召集人，並邀請相關專家予以教學，師資如下：

1. Dr. Paolo Paron

課程召集人，UNESCO-IHE 博士，水科學及工程系河川流域發展團隊，本次學程主要講授 GIS 與遙測。



圖4 與 Dr. Paolo Paron 合影

2. Dr. Alberto Viglione

現於維也納科理工大學水管理與土木地理科學系授課，是 IHE 的合作研究團隊成員之一，本次學程主要講授水文分析及 R 軟體的簡介。



圖 5 與 Dr. Alberto Viglione 合影

3. Dr. Markus Hrachowiz

現於台夫特理工科技大學水管理與土木科學系授課，係水文領域副教授，本次學程主要講授水文模式與率定及不確定性。

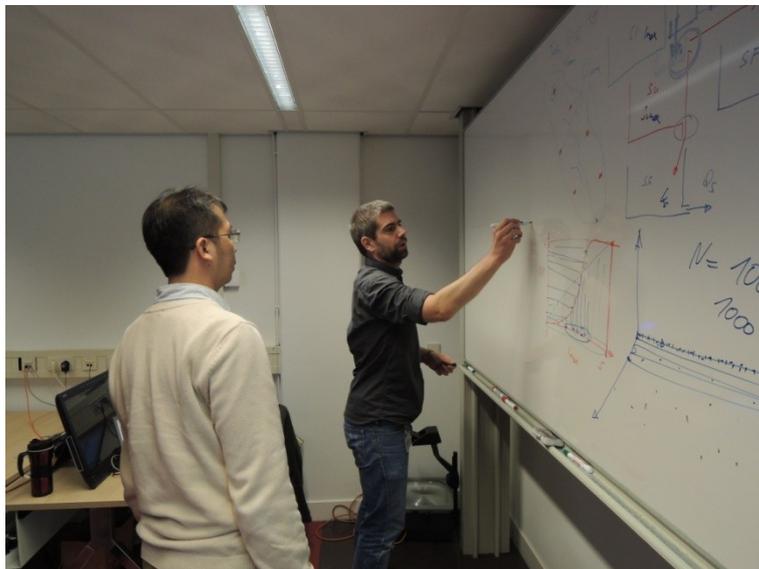


圖 6 與 Dr. Markus Hrachowiz 合影

4. Dr. Jose Luis Salinas

現為維也納理工大學水管理與土木地理科學系教授，本次學程主要講授地理統計系統及克利金實作練習。

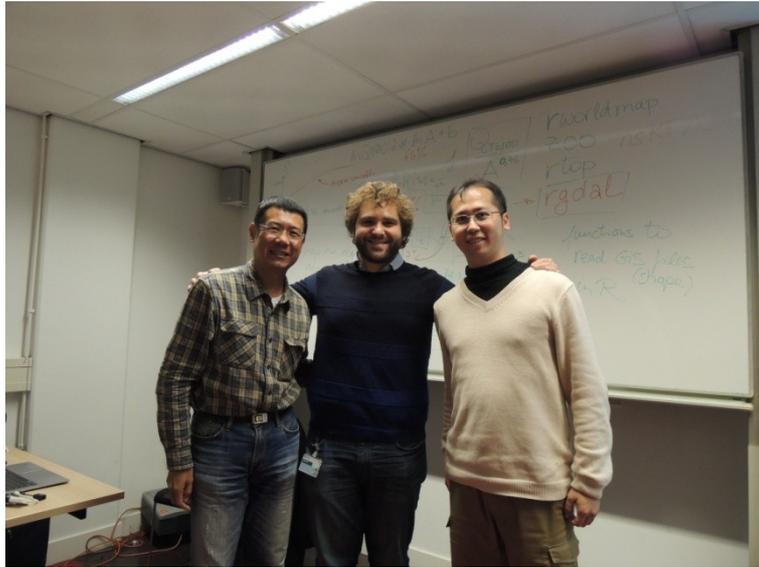


圖 7 與 Dr. Jose Luis Salinas 合影

5. Dr. Remko Nijzink

現於台夫特理工科技大學水管理與土木工程系博士後研究，主要在 R 軟體實作上協助指導學員。



圖 8 與 Dr. Remko Nijzink 合影

(四) 參與學員

學員計 17 人，除 1 位為 UNESCO-IHE 碩士班學生外，其餘均為短期研習課程學員，來自於不同國家，包含約旦、阿爾及利亞、臺灣、奈及利亞、埃及、衣索比亞、尼泊爾、印尼、法國、菲律賓以及斐濟。

第三章 課程簡介

(一) R 語言簡介

1. R 語言

R 語言是一個免費的軟體程式語言，其操作環境相當簡單，主要功能係應用於統計分析與繪圖等。R 的原始碼均可自由下載使用，在網路社群中亦有各種套件(package)可以下載應用。R 語言已編譯的執行檔版本在網路上均可以自由下載，並可在多平台下執行，例如 UNIX（也包括 FreeBSD 和 Linux）、Windows 和 MacOS。R 主要是以命令列操作，在統計上可以直接且快速地看到程式結果。

R 內建多種統計學及數字分析功能。R 的功能也可以透過安裝 [套件](#) (Packages, 用戶撰寫的功能) 增強。因為 S 的血緣，R 比其他統計學或數學專用的編程語言有更強的 [物件導向](#) (物件導向程式設計) 功能。R 的另一強項是繪圖功能，雖然 R 主要用於統計分析或者開發統計相關的軟體，但也有人用作 [矩陣](#) 計算。其分析速度可媲美專用於矩陣計算的自由軟體 [GNU Octave](#) 和商業軟體 [MATLAB](#)。

2. 下載及安裝

下載網址 R 語言 <https://cran.r-project.org/>

Rstudio <https://www.rstudio.com/>

Rstudio 目前的版本是 RStudio Desktop 1.0.136

必須同時裝 R 與 R studio，如圖選擇 windows 版本。



圖 11 下載網頁 1

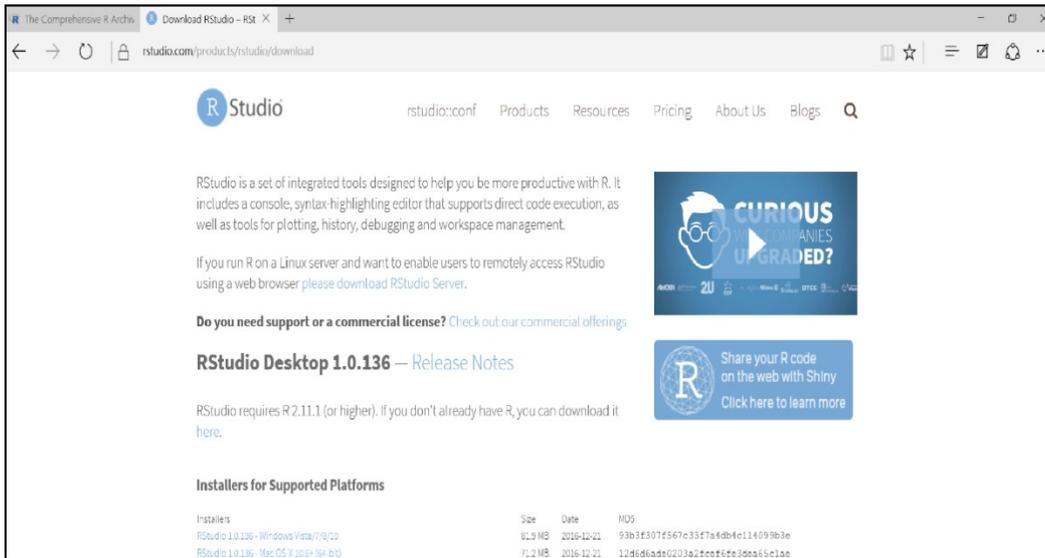


圖 12 下載網頁 2

3. 程式簡介

啟動Rstudio如下圖，左邊視窗為編輯程式區，右上方可以看到程式運行的歷史資料，右下方有工作區的位置以及繪圖區的結果，所安裝的套件 (packages)，幫助功能等。

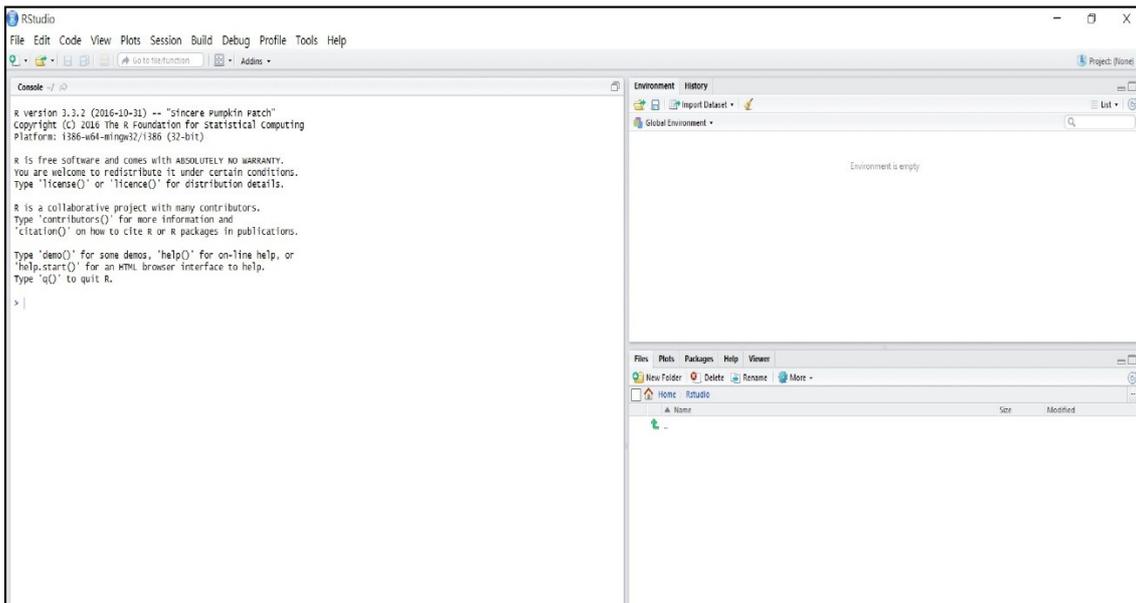


圖 13 程式操作介面

4. 基本功能

除基本運算功能外，尚有向量、邏輯、矩陣運算、資料運算及處理、繪圖等功能。有很多的範例可供練習，如果有需要可以從 help 功能選單選取需要的函數，內容皆有簡要的範例輔以介紹。以下僅以 plot 函數(繪圖)為例，分別繪製 $x=1\sim 10, y=1\sim 10$ 的各點。

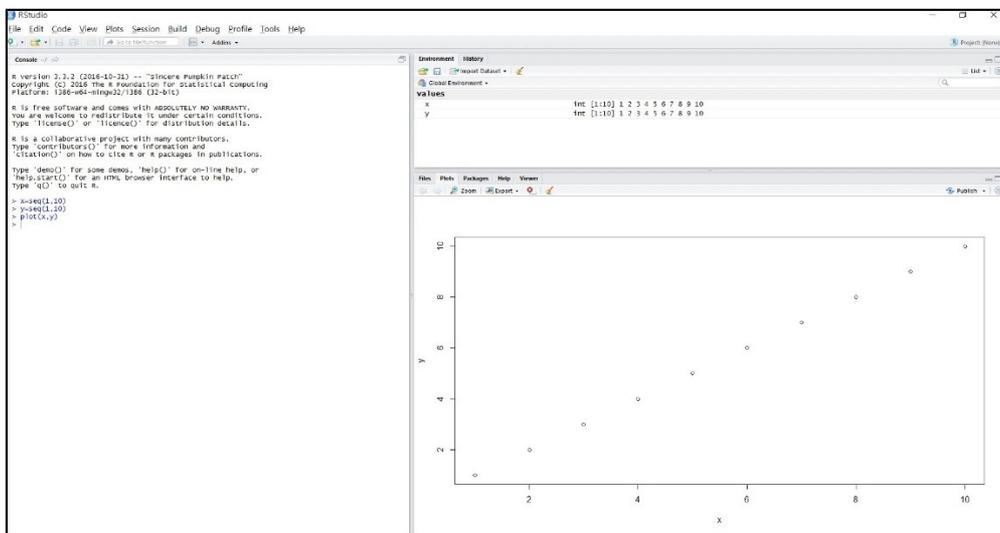


圖 14 繪圖視窗

(五) 流域水文分析

1. 水文極端事件之頻率分析

設計流量估算可分為直接估算與間接估算，直接估算係以觀測值的序列做頻率分析，而間接估算則是以降雨數值運用降雨-逕流關係轉換而來。直接估算又分為測站的分析將歷史測站資料做內插以及地區的測站分析-利用數個鄰近的測站分析而得。

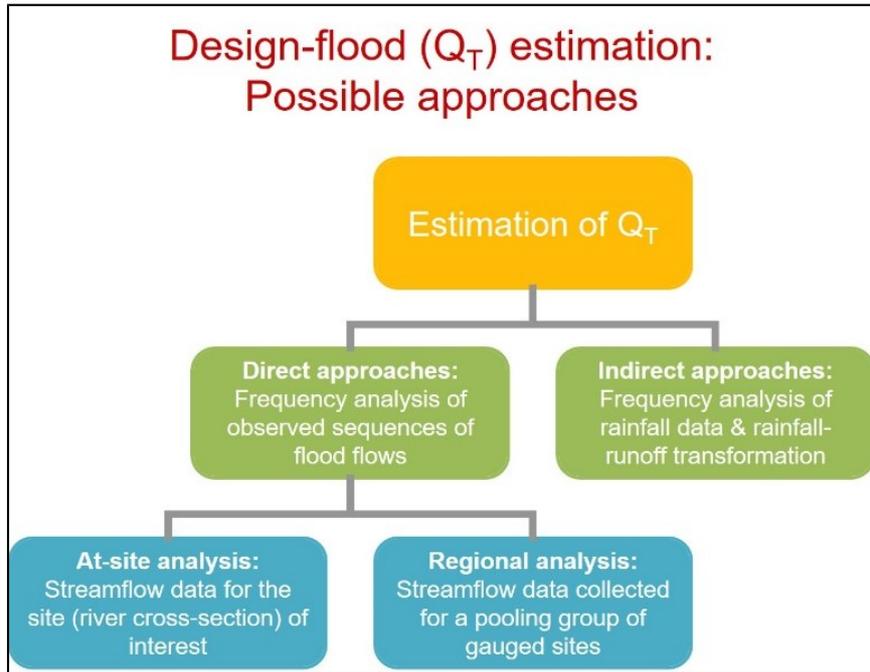


圖 15 設計流量估算方法示意圖

首先就單一測站的頻率分析作介紹，基本步驟如下：

先將歷年最大的流量繪圖觀察，訂定一個門檻值，超出門檻值部分如圈起來的位置，再來則是設定重現期 T 。

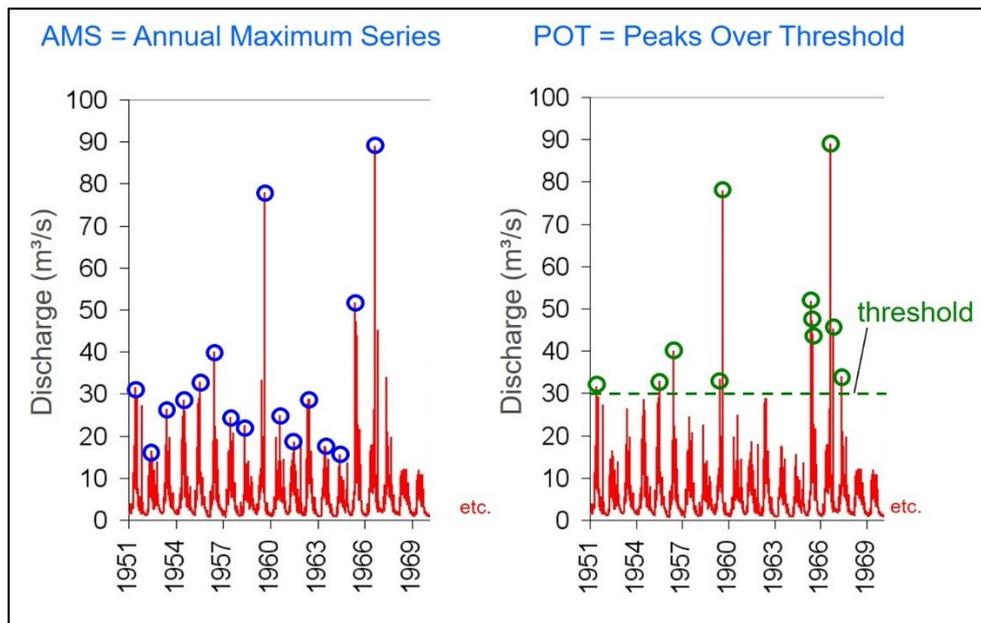


圖 16 歷年最大的流量

將最大流量資料轉為累積頻率可繪製重現期(T)與流量的關係曲線

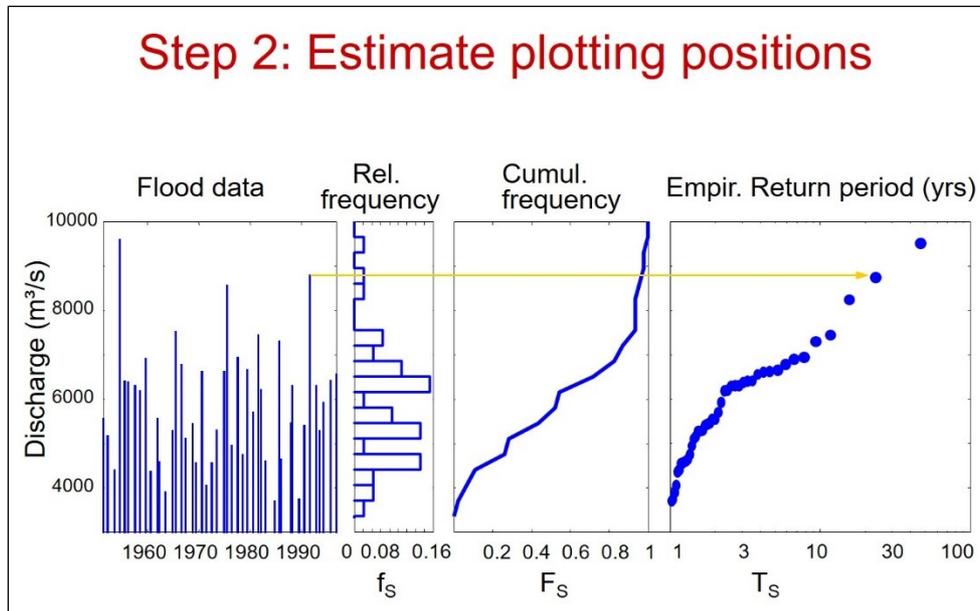


圖 17 重現期(T)與流量的關係曲線

再利用分布函數去率定該曲線 可利用函數有雙參數(Gumbel 分布、對數分布、對數常態分佈等)、三參數(GEV、皮爾森 Type3、對數皮爾森 Type3)、四參數、五參數等去率定，但是要特別注意合理性，避免 overfitting。

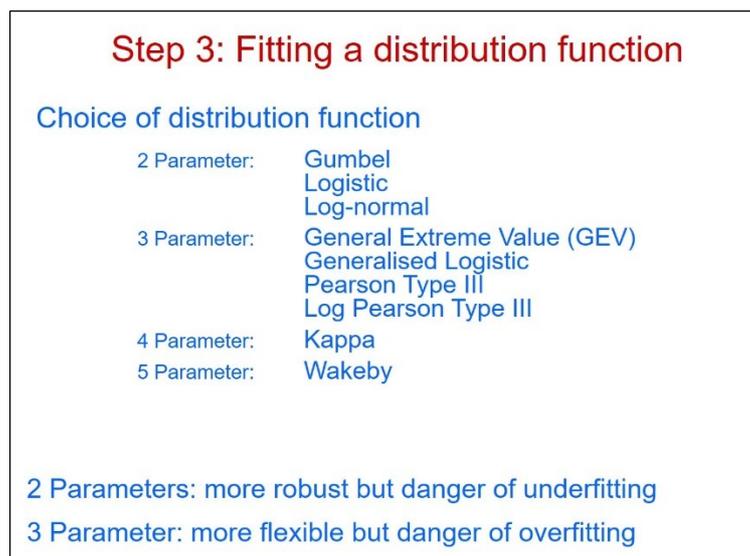


圖 18 分布函數

繪製該分布曲線，由重現期對應該曲線之流量即為估算之最大流量以 10 年重現期為例，繪圖法約為 7600cms，若以 Gumbel 分布函數計算則約 7,596cms。

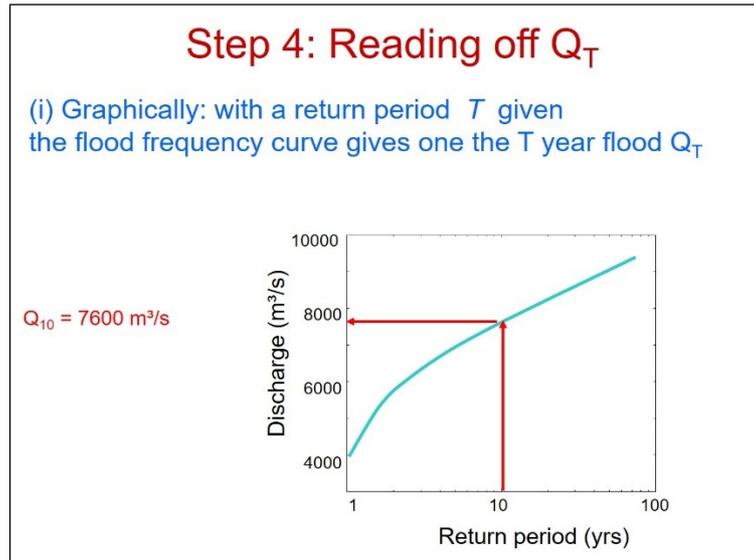


圖 19 分布函數對應十年重現期流量

然後實際以奧地利 Kamp 流域為例，將實際流量資料在 R 軟體上實作運算，得到的結果如下圖：

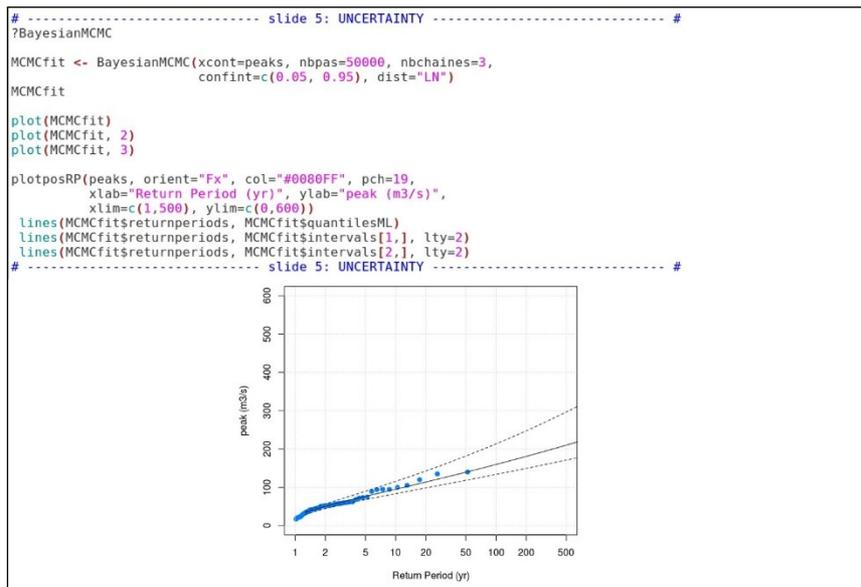


圖 20 R 軟體上實作運算

2. 區域頻率分析(Regional Frequency Analysis)：

利用整個區域的測站資料分析估算流量，假設流域內的水文條件是均一性的 (homogeneity)。Qt 可以由各測站權重組成。

Hp: identification of **homogeneous regions** (pooling-group of sites) within which the **flood frequency distribution is invariant** except for a site-dependent scale factor termed index flood. Therefore:

$$Q_T = \mu_Q x'_T$$

Q_T	T-year flood	
μ_Q	index-flood (e.g. mean annual flood)	scale factor
x'_T	dimensionless regional quantile	growth factor

1st Stage: Estimation of the regional growth factor x'_T

2nd Stage: Estimation of the index-flood (gauged/ungauged basin)

圖 21 區域流量估算

第 1 步驟先估算地區的因子，由歐幾里得的幾何學距離，計算兩兩測站的距離，以表現河川階層的相似程度，如以下計算式 $D_{i,j}$

1st Stage: Estimation of the regional growth factor x'_T

Definition of the site-oriented pooling group

Similarity measure
e.g. Euclidean distance between sites i and j

$$D_{i,j} = \left[\sum_{m=1}^M w_m (X_{m,i} - X_{m,j})^2 \right]^{1/2}$$

$X_{m,i}$ standardised value of the m^{th} attribute for site i
 w_m weight for the m^{th} index
 M number of indexes

Dimension of the pooling group

Reliability of the T-year flow estimate 5T-guideline (Jakob et al., 1999)	trade-off	Homogeneity (e.g. Hosking and Wallis, 1993; Castellarin et al., 2008)
---	-----------	---

圖 22 計算測站間幾何距離

第 2 步驟:計算測站獨立尺度因子，分為有測站及無測站，有測站時，以平均值計算，若無測站時則以回歸模式計算。

2nd Stage: Estimation of the site dependent scale factor (index-flood, μ_X)

Gauged target-site: for an annual sequence of record length n

$$\hat{\mu}_Q = n^{-1} \sum_{i=1}^n Q_i = \bar{Q} = l_1(Q)$$

(direct estimation)

Ungauged target-site: indirect estimation e.g. multiregression model

$$\ln(\hat{\mu}_Q) = A_0 + A_1 \cdot \ln(\omega_1) + \dots + A_n \cdot \ln(\omega_n) + \varepsilon$$

(i.e. $\hat{\mu}_Q = \exp(A_0 + \varepsilon) \cdot \omega_1^{A_1} \dots \omega_n^{A_n}$)

A_j : parameters of the model
 ω_j : are the explanatory variables of the model (i.e., a suitable set of geomorphic and climatic indexes)
 ε : model residual

2-13 Nov 2015 UNESCO-IHE 46

圖 23 計算測站獨立尺度因子

3. L-moment (L 動差)於水文資料上的應用

如下圖在統計上，以甘布分布生成 10 次的群體資料，其偏度(skewness)與峰度(kurtosis)相關性理論值為 1.14 與 5.40，但是若由各群體以平均值計算可發現與理論值仍出現偏誤。若以 L 動差計算後，可發現同樣的群體資料，理論值為 0.17 與 0.15，平均值相當接近理論值。

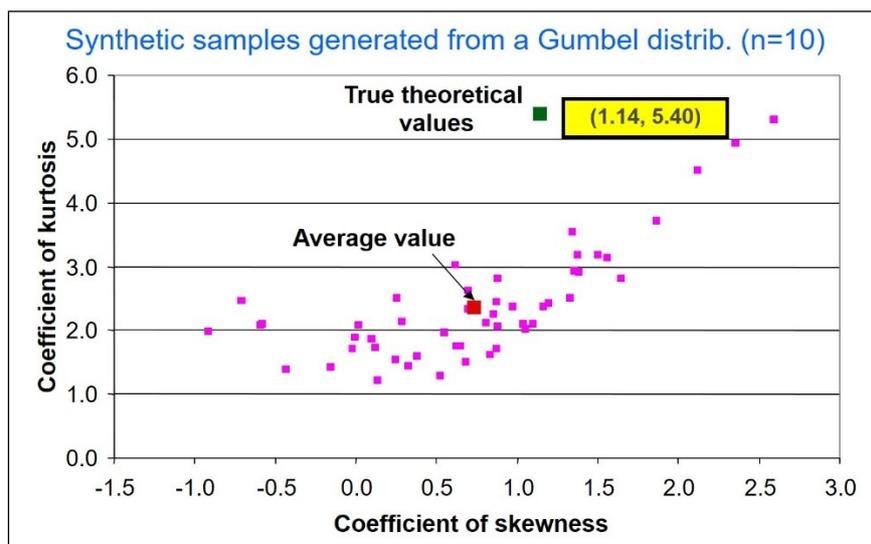


圖 24 理論值與平均值差異

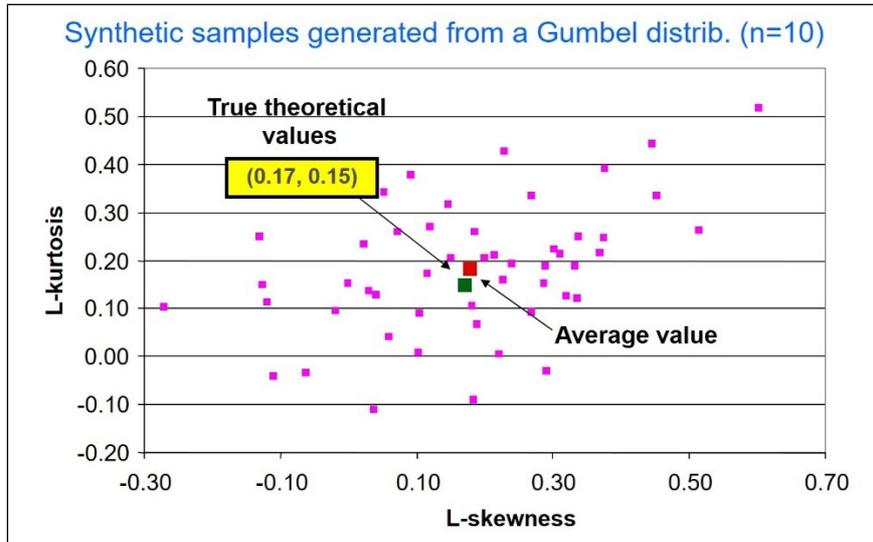


圖 24 L 動差後理論值與平均值差異

4. 實際以奧地利流域為例

首先讀入各測站歷年資料，包含經緯度、高程、面積、歷年最大流量並套繪 GOOGLE 地圖。紅色區塊則是所要估算的流域，各圓圈表示測站位置，此例共有 33 個測站。

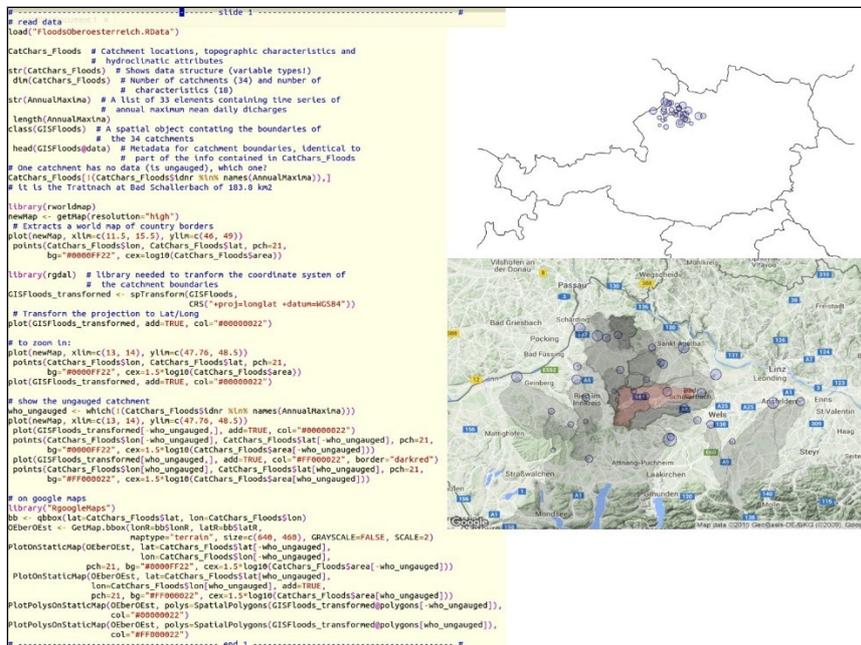


圖 25 R 軟體套繪 GOOGLE 地圖

繪製各測站的歷年流量資料、並利用前一章節計算單一測站重現期距的步驟，逐一繪製各測站重現期流量圖。

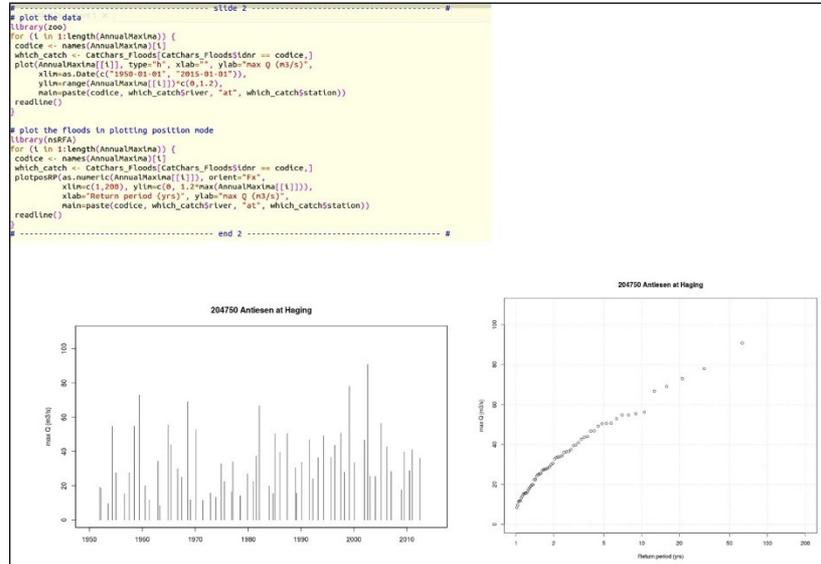


圖 26 R 軟體各測站的歷年流量資料

計算 L-moment 權重後，繪製各分部曲線圖，可判別此資料適合用極端值分布 (generalized extreme value distribution, GEV)。

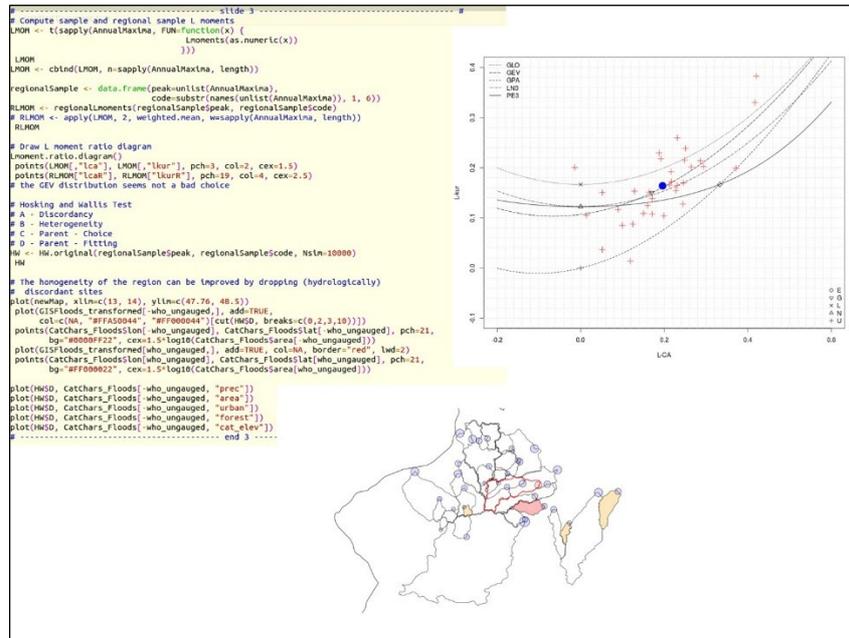


圖 27 判別適合用極端值分布

計算各測站的均一性是否通過檢定。藍色區域代表具有均一性的測站。

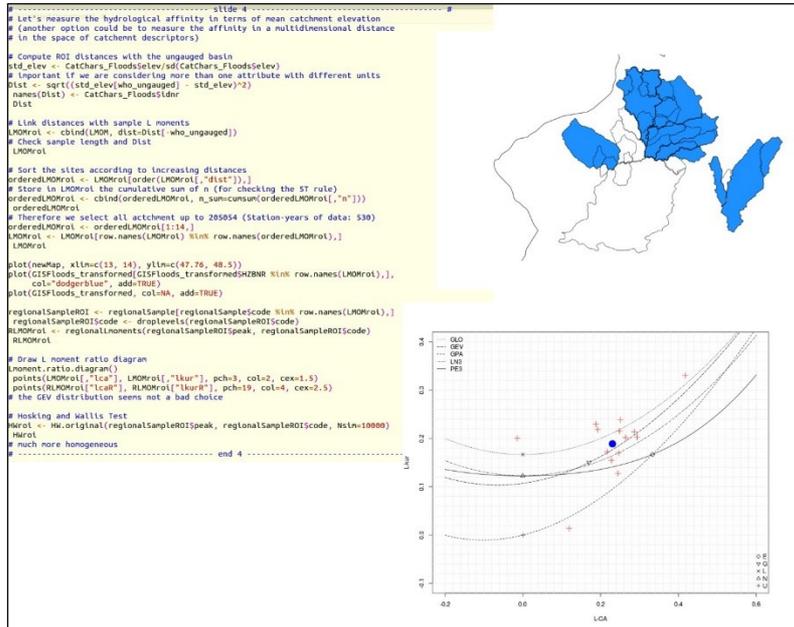


圖 27 統計檢定

繪製區域水文分析的重現期與流量關係圖，並繪製 GEV、LN3、GLO 分布曲線

圖。

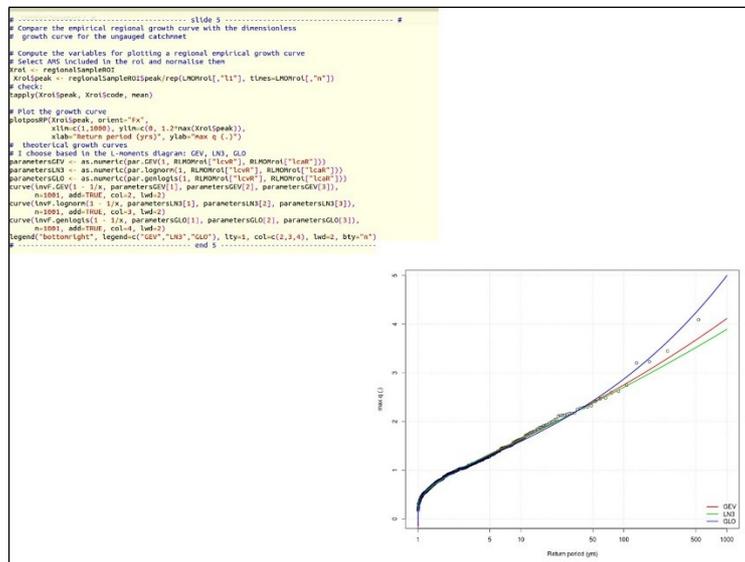


圖 28 繪製區域水文分析的重現期與流量關係圖

(六) 水文模式

1. 簡介模式概念

在課程介紹完一系列的水文分析後，從統計上的應用可以從單一測站或是區域測站推算出各重現期距的流量，惟此方法似乎缺乏物理意義，而僅是去找出適合的分布曲線(curve fitting)描述該數據資料。此節進入如何建立具有物理意義的水文模式。

以降雨-逕流模式為例，過程可分為決定模式的歷程、物理方程式、建立電腦運算模式、計算模式參數值、率定及驗證模式。模式的參數如何率定、方程式的邊界條件(boundary conditions)與初始條件(initial conditions)如何設定都是相當重要的關鍵。模式沒有絕對的好與壞，這是一種類似藝術的概念，如何去設定適合的模式歷程與經驗值也有相當的關係。對於參數的設定有幾種方式，第一是從期刊論文等文章搜尋，第二種是經驗(比較具有藝術)，第三是透過反覆的率定。而模式幾乎沒有不需要率定參數的，原因在於參數無法直接被量測，所以必須找到有效的參數，若能對該參數率定，對於模式的結果將有重大影響。

水文歷程是水在大自然的循環過程，從降雨、截流、蒸發、蒸散、逕流、入滲、再回到大氣中完成一個水的循環。

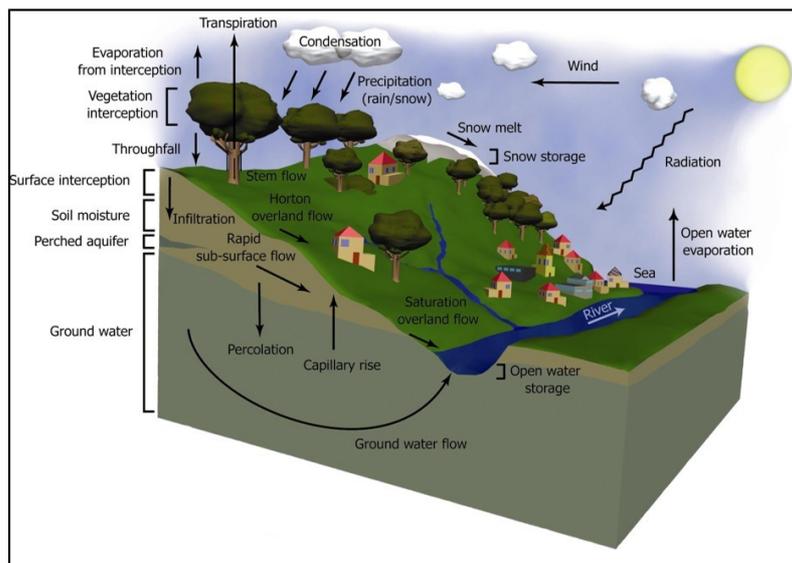


圖 29 水文歷程示意圖

所有的過程都可以由以下數學式表示，儲存的水量 S 由 Input - Output:

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - O(t)$$

再依照質量守恆原理
$$\frac{dS}{dt} = P(t) - E(t) - T(t) - Q(t)$$

2. 線性水庫模式

線性水庫的模式如下圖:

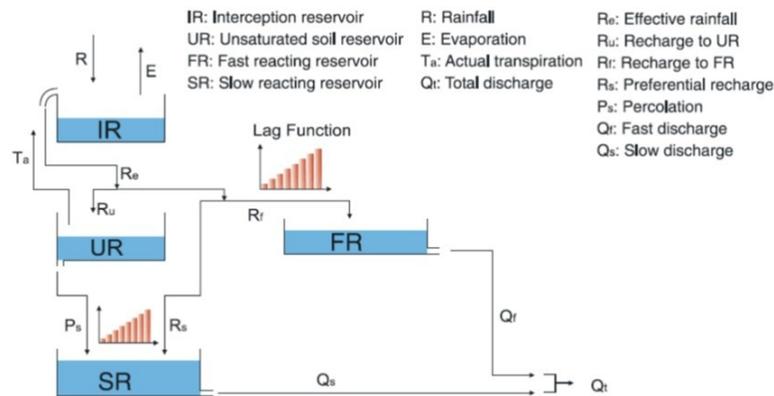


圖 30 線性水庫示意圖

模式是由 4 個水庫組成:

- (1) 第一個 IR(截流)由降雨、入滲、蒸發組成。
- (2) 第二個 UR(非飽和土壤)由 R_e 有效降雨、 T_a 有效蒸發。
- (3) 第三個 FR(快速反應)由 R_f 、 Q_f 緩慢逕流組成
- (4) 第四個 SR(慢速反應)由 R_s 、 P_s 、 Q_s 組成。

最終的流量由 $Q_f + Q_s$ 組成。在逐步建立模式前必須先確定以下 6 點:

- (1) 模式內所需定義或假設條件。
- (2) 選擇流量方程式。
- (3) 必須維持質量守恆。

- (4) 定義模式參數與單位。
- (5) 定義模式各項變數。
- (6) 蒐集降雨量、降雪量及觀測流量。

3. 模式不確定性(uncertainty)

(1) 模式的不確定性

模式內的每一個組成(X, θ, S_0)都具有不確定性。

$$Q \leftarrow m(X, \theta, S_0)$$

Q : 系統流量

m : 水文模式

X : 輸入(雨量)

θ : 模式參數

S_0 : 初始條件與邊界條件

(2) 不確定性又分為以下三種:

觀測的不確定性(observation uncertainty)

模式的不確定性(model structure uncertainty)

參數的不確定性(model parameter uncertainty)

4. 參數的率定(calibration)

參數率定是一種修正參數的過程，有分為自動與手動兩種，目的是為了讓模式的結果與觀測值能呈現高度的吻合。模式的參數可以表現出集水區的特性。

手動率定(manual calibration)又稱為試誤法(trial and error)。不同的參數下視覺水文歷程結果，但是過程中很花費時間，沒有目的的嘗試各種可能的參數去調整到符合觀測流量。

自動率定(automatic calibration)與手動率定不同，有目標函數下使用電腦運算去找尋較佳解。但是缺點是常有可能較差於手動的率定結果。參數的率定可以視為是優選的問題，優選(optimization)是從函數中找尋最大值或是最小值。該函數可以表示為模式產出結果與觀測值的函數式。 $N_{obj}=f(Q_m, Q_o)$, Q_o :觀測值。

目標函數(objection function)可以定義為觀測值與模擬值差異的最小值。

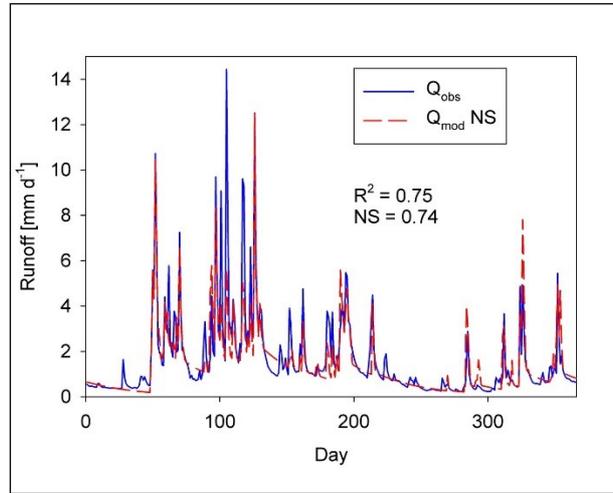


圖 31 模擬結果與觀測值比較圖

優選參數時常會有參數是否為區域最佳解(local minima)與全域最佳解(global minima)的問題，解決的方式建議使用隨機的搜尋。

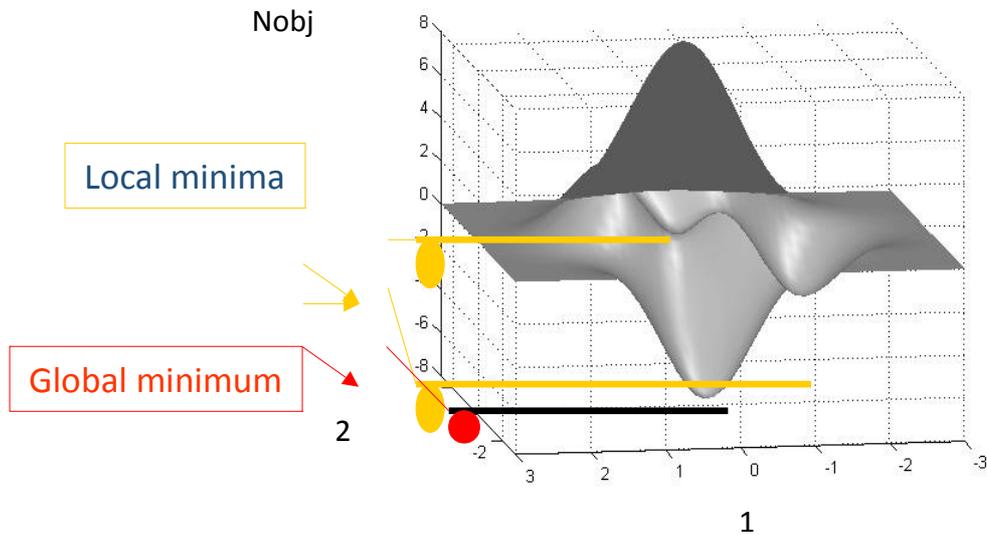


圖 32 參數較佳解與全域最佳解

而搜尋參數的最佳解所應用的方法，除了隨機的蒙地卡羅(Monte-Carlo)演算法外，目前也已發展出許多的演算法，例如遺傳演算法(Genetic algorithms)、螞蟻最佳化演算法(Ant-Colony)、粒子演算法(Particle Swarm methods)、退火演算法、類神經演算法等。蒙地卡羅(Monte-Carlo)演算法優點

是簡單，但缺點是較無效率且不容易找到全域最佳解。

GLUE – example

Likelihood measure: Nash-Sutcliffe efficiency
(NSE)

Threshold of acceptance: $N_{NS} > 0.6$

參數的模擬結果此處提供一個檢驗的方式NSE值，透過觀測值與模擬值的計算，當越接近1時，模擬效果越好。

$$N_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_{o,i})^2}$$

5. 於電腦上實際演算模擬成果

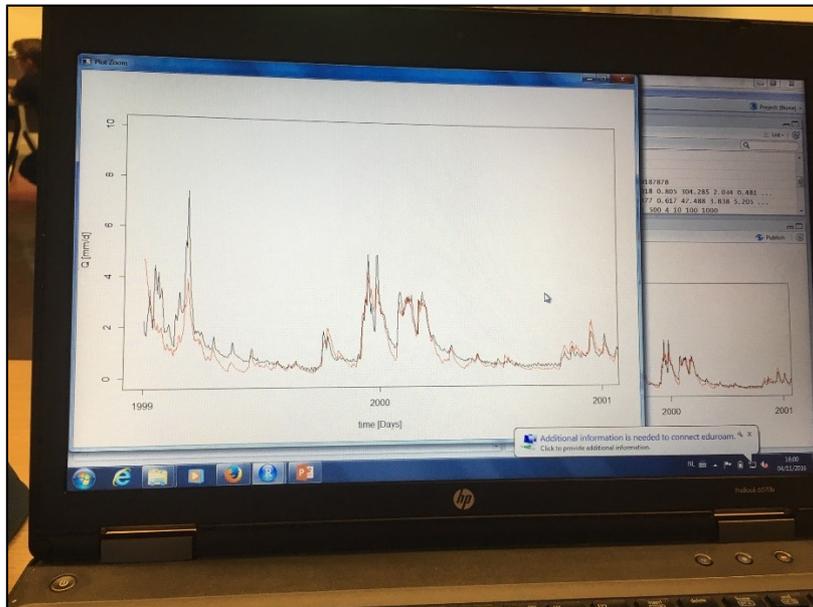


圖 33 電腦上實際演算模擬成果

(七) 地理資訊統計

1. 單變量隨機變數(Univariate Random Variables)

隨機變數非指一個固定的值，而是相對於實數領域的機率函數，在水文領域中常見的有全年蓄水量、年降雨量、年洪峰流量等。如隨機變數 Z ，單一實現值 $z_1, z_2, z_3 \dots$ ，為表示隨機變數通常以期望值 $E[Z]$ 及變異數 $\text{Var}[Z]$ 來表示。

在 R 軟體上相關的指令如下：

Simple operations, concept of vector in R

- `c()` 向量
- `[]` “square brackets”
- (pseudo-)Random numbers generation
- `runif()` / `rnorm()` 生成隨機函數
- Functions for descriptive statistics
- `mean()` 平均值
- `sd()` / `var()` 變異數
- `hist()`

2. 雙變量隨機變數(Bivariate Random Variables)

雙變量 Z, Y ，期望值為 $E[Z]$ ， $E[Y]$ ，共變異數(Covariance)

$$\text{Cov}[Z, Y] = E[(Z - E[Z]) \cdot (Y - E[Y])]$$

相關係數(Correlation coefficient)

$$\text{Cor}[Z, Y] = \frac{\text{Cov}[Z, Y]}{\sqrt{\text{Var}[Z] \cdot \text{Var}[Y]}}$$

在 R 軟體上相關的指令如下：

Loading data and concept of a data frame/matrix in R

- `read.table()` 讀取檔案
- `data.frame()` / `matrix()` 讀取為矩陣
- `[,]` “square brackets with several indexes”

- Functions for descriptive statistics
- cov() 共變異數
- cor() 相關係數
- ..., method = c("pearson", "kendall", "spearman")

3. 線性回歸分析(Linear Regression Analysis)

線性回歸可以下數學式表示：

$$Y = a \cdot Z + b + \epsilon$$

Y 變數，Z 描述值、 ϵ 偏差值 $N(0, \sigma)$

在 R 軟體上相關的指令如下：

Concept of list in R

- [[]] “double square bracket”
- \$ “dollar operator”
- Functions for linear regression analysis
- lm() 線性回歸
- plot(linear_models) 繪圖

4. 時間序列分析(Time Series Analysis)

隨機歷程(Stochastic process)為一變數隨時間演變的過程。

時間序列變數 Z_t 期望值 $E[Z_t]$ 與 變異數 $\text{Var}[Z_t]$ 為常數。

自相關函數如下

$$\text{Cov}[Z_t, Z_{t+\tau}] = C_Z(\tau) = E[(Z_t - E[Z_t]) \cdot (Z_{t+\tau} - E[Z_{t+\tau}])]$$

$$C_Z(0) = \text{Cov}[Z_t, Z_t] = \text{Var}[Z_t] = \sigma_z^2$$

自相關函數：

$$\text{Cor}[Z_t, Z_{t+\tau}] = \rho_z(\tau)$$

圖 34 自相關係數遞減示意圖

時間序列在無時間差的時候，自相關性為 1，之後隨著時間而遞減相關性。

在 R 軟體上相關的指令如下：

Function for autocorrelation

- acf() 自相關函數

5. 普通克利金(Ordinary Kriging)與拓樸克利金(Topological Kriging)
普通克利金與拓樸克利金是利用地理資訊統計方法應用於水文變數的估算。

普通克利金

普通克利金是線性推估的方式，空間中的推估數只與觀測點的距離有關，是一種線性組合，同時需符合三個條件，分別是 best、linear、unbiased:

Best $E[(Z_0 - \hat{Z}_0)^2] \rightarrow \text{minimize}$ **minimum square error**

Linear $\hat{Z}_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_{0,i} \cdot Z_i$ **weighted average**

Unbiased $E[Z_0 - \hat{Z}_0] = 0$ **no systematic error (*bias*)**

普通克利金常用於推估平均降雨、降雪深度、地下水、氣溫的空間分布等。
在R軟體上也有相關的函數已經被建立(gstat)。

Full process of Kriging estimation

- Normalisation of variable
- check specific functions in manual
- package 'gstat'

6. 普通克利金實作練習

此處以內插降雪深度為例，數據是奧地利 1998 年 12 月 10 日的降雪數據。並分別比較以下四種方式的估算結果(Thiessen Polygons, Inverse Square Distance, Ordinary Kriging, and Kriging with External Drift)。

- (1) 讀取流域內高程資料 1km*1km。

讀取降雪量資料。格式需要 x,y 座標、高程、降雪量。

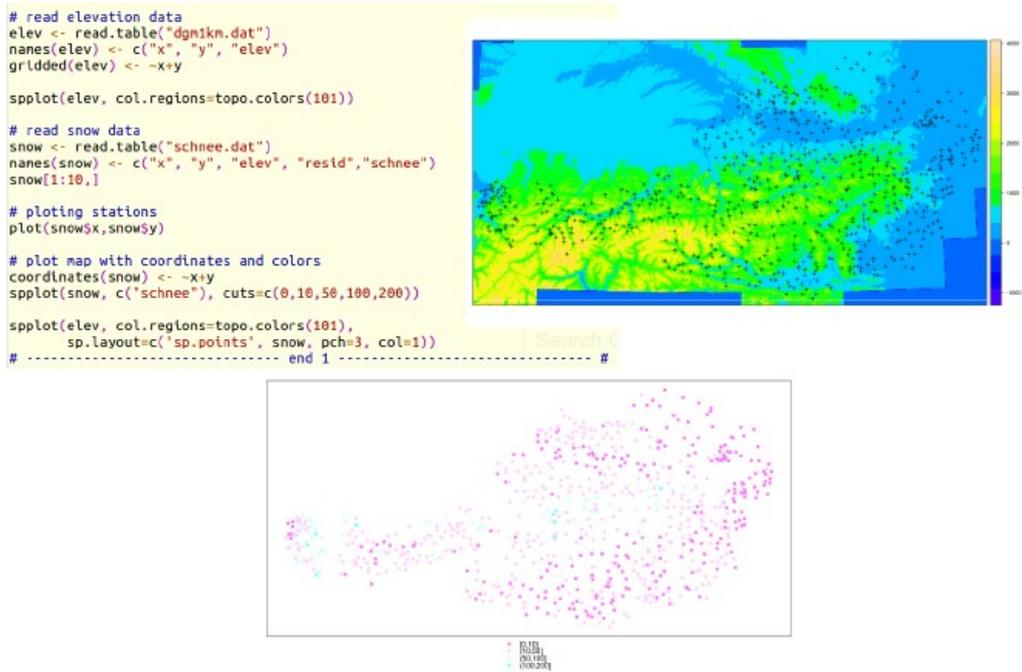


圖 35 讀取降雪量資料

(2)分別用徐昇式法與距離平方反比法

徐昇式法計算後結果如下圖

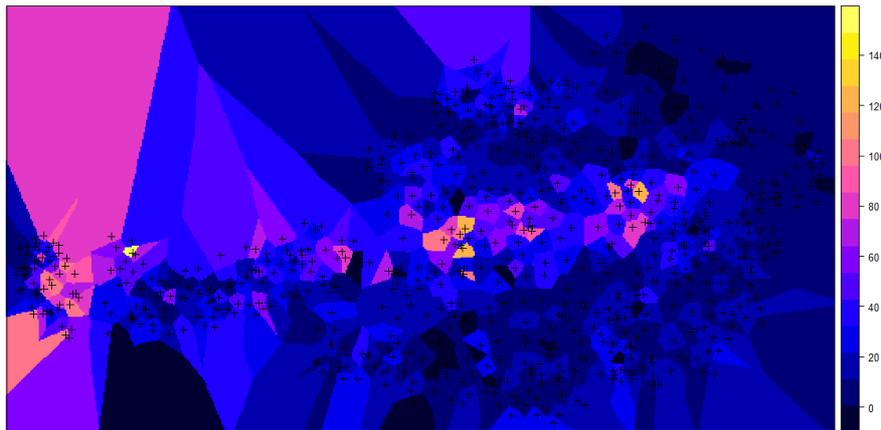


圖 36 徐昇式法計算結果

距離平方反比法計算後結果

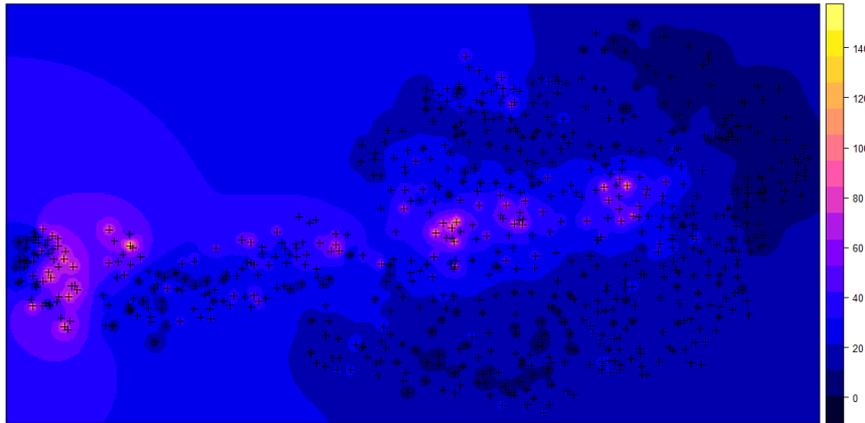


圖 37 距離平方反比法計算結果

(3) 繪製半變異數圖 (variogram) 並套用對數分布，計算後的
nugget=164.58，psill=279.75

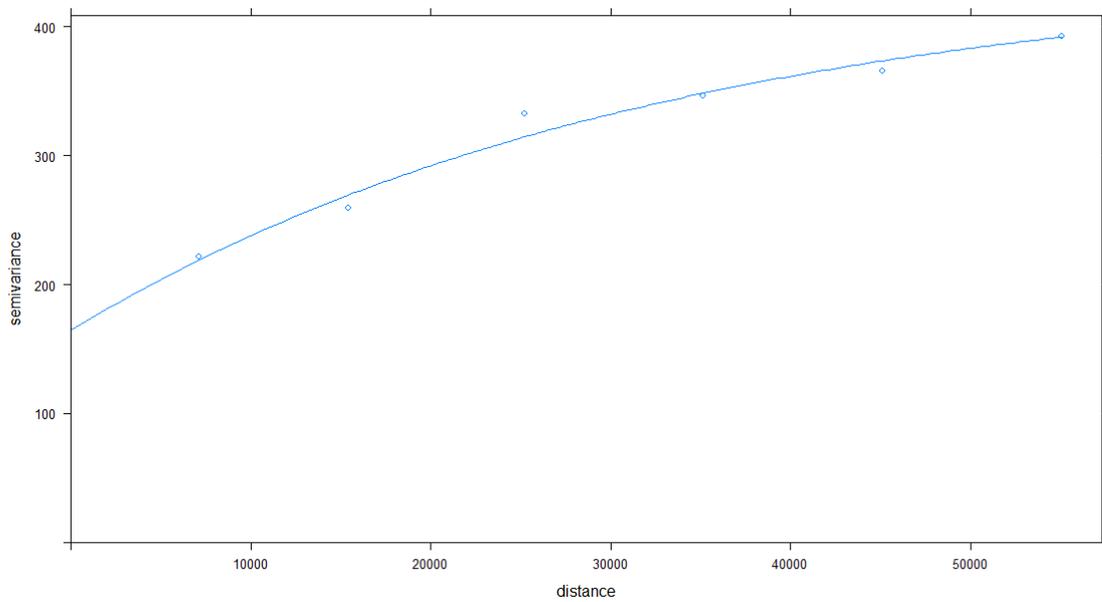


圖 38 繪製半變異數圖

(4) 使用普通克利金計算，可以看出比起前面兩個方法，更為平滑且更精密。
同樣繪製變異數圖。

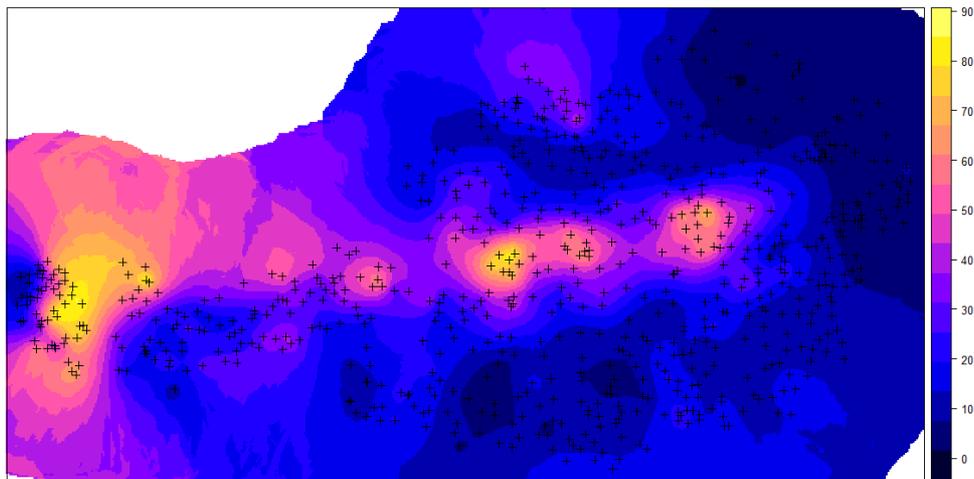


圖 39 普通克利金計算結果

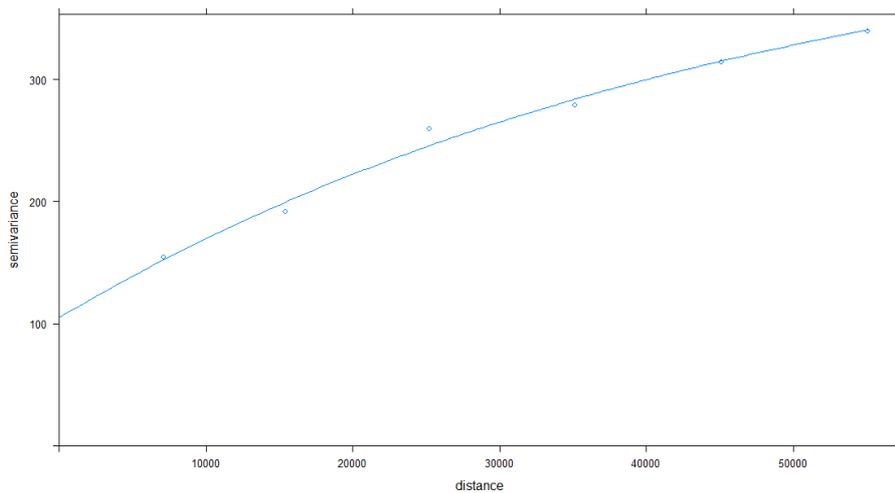


圖 40 繪製普通克利金半變異數圖

(5)交叉驗證，拿掉一個測站資料重新由此三種方式推估，並將差異繪圖表示，可以觀察出徐昇式法差異性較大，克利金的結果較佳。綠色代表實際值與推估值較為接近，圓圈越大代表關聯性愈大，紅色代表實際值與觀測值差異性大。

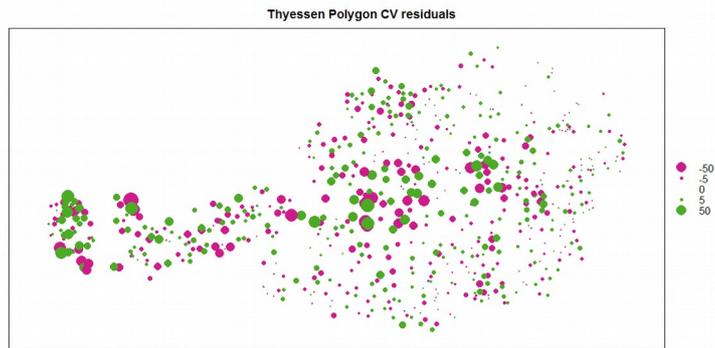


圖 41 徐昇式法驗證結果

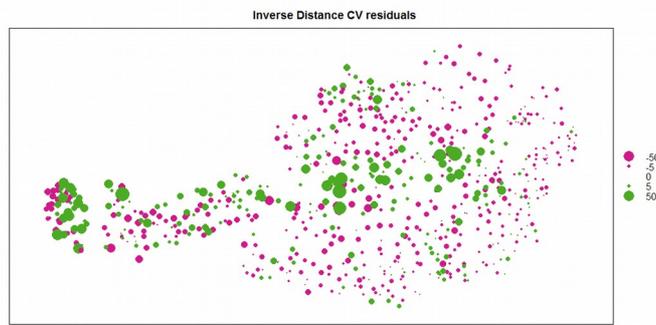


圖 42 距離平方反比法驗證結果

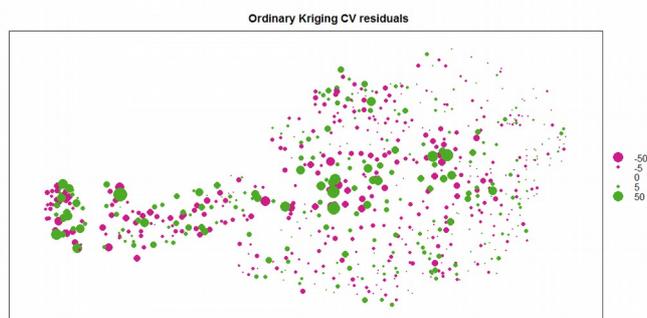


圖 43 普通克利金法驗證結果

7. 拓樸克利金

此處僅說明需在 R 軟體上安裝的 package，如下

- Install package “sp “
- By typing `>>install.packages(“sp “)`
- From the menu (GUI): Packages -> Install package(s)

- Install package “gstat “ [idem]
- Install package “rgdal “ [idem]
- Install package “rtop “ [idem]

GIS 與遙測

(一) 介紹 QGIS 與實作

課程主要介紹使用 QGIS 的主要功能，依序如下：

- 從網際網路下載 DEM 數據
- Re-project a raster file
- Re-size a raster file
- Mosaic two rasters (merge)
- DEM 應用於水文模組
- 描繪河川網路
- 匯出集水區
- 從集流點切割出河川流域

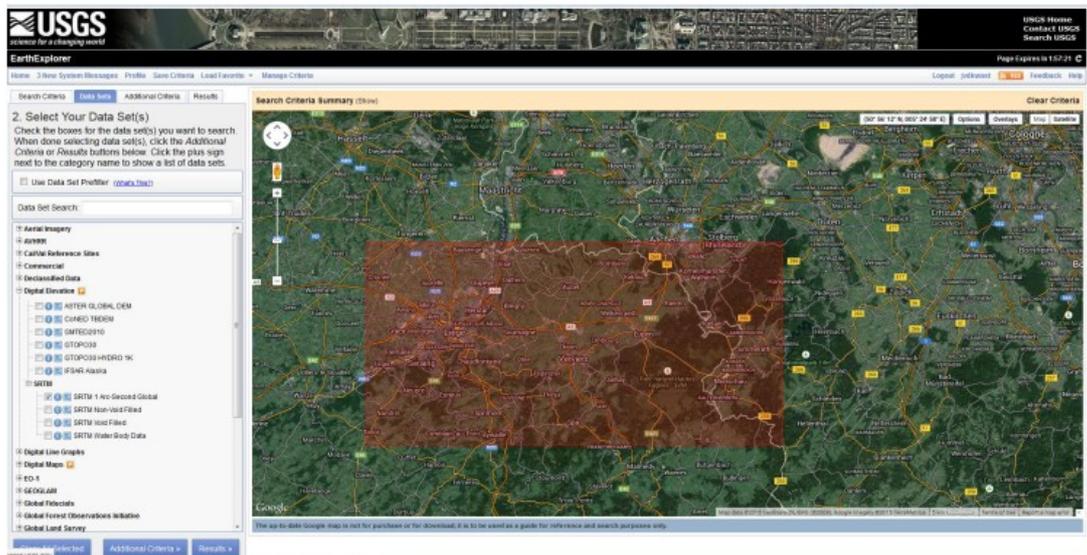


圖 44 下載 DEM 資料

1. 下載 DEM 資料，確定研究區域在此 DEM 範圍內，並且組合相鄰圖層。

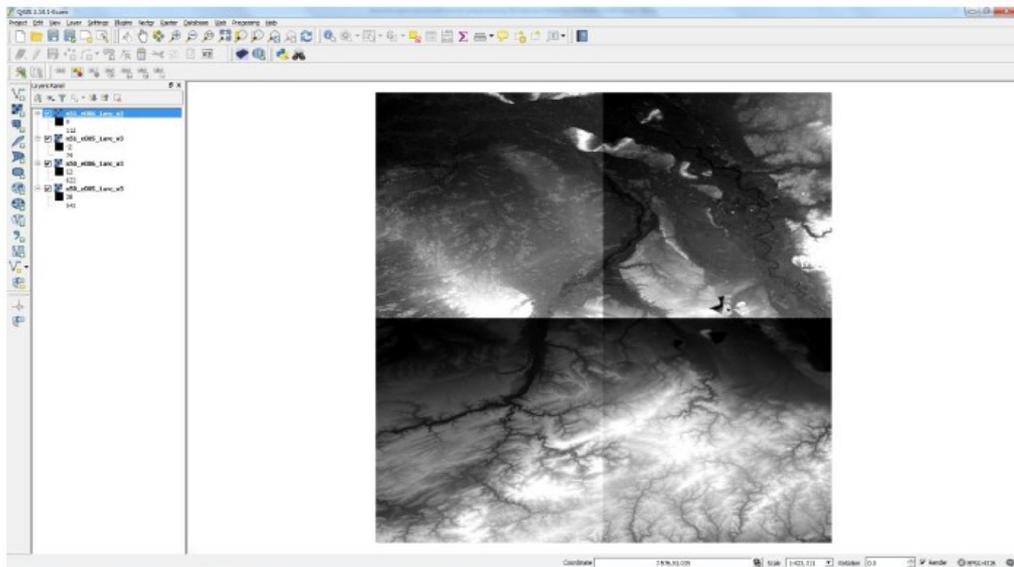


圖 45 組合相鄰圖層

2. 轉換座標系統，因為下載的圖層與所研究區域的座標系統不同，因此必須確認是否為同一座標系統，此處選擇 EPSG:4326，然後按下”確定”。

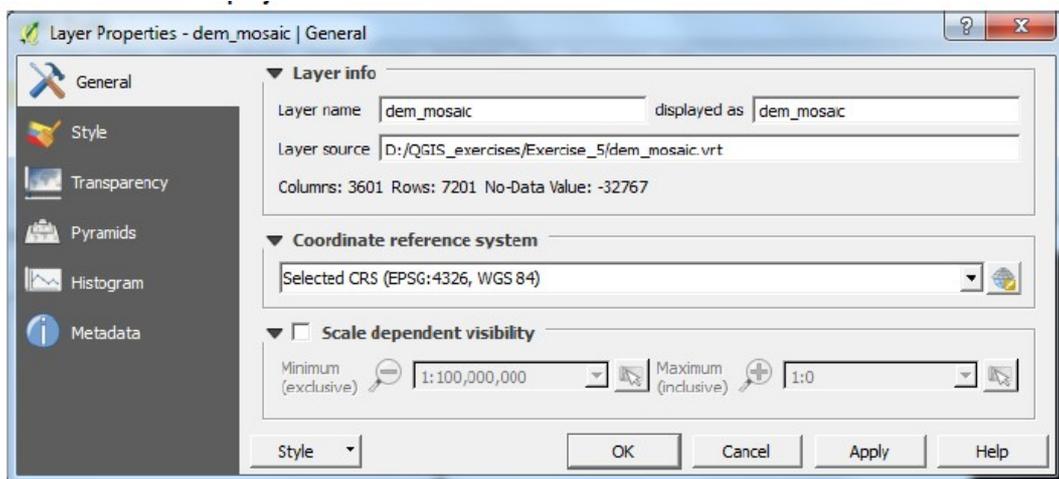


圖 46 轉換座標系統

3. 切割出所研究範圍的圖層，從 Extraction 的選單中，選擇 Clipper 功能，可選擇切割模式，例如在地圖上框選形狀，亦可輸入座標作切割。

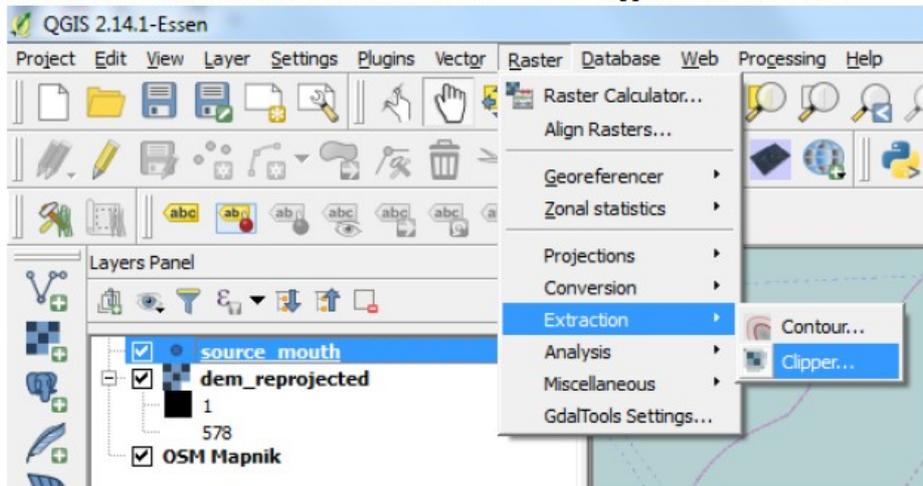


圖 47 切割圖層選單

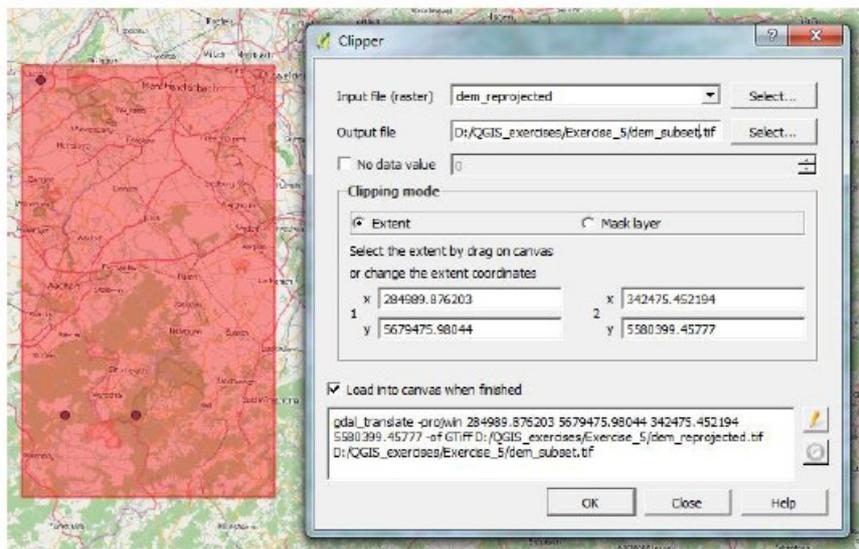


圖 48 切割研究區域

4. 計算河川流向，從高層數據中可以判斷出窪地是在何處，代表水的流向，從運算法中可以將不合理的流向剔除，並計算出窪地，在 QGIS 中提供已開發的工具箱(tool box)套用窪地計算及填充(fill sinks)，可從選單中設定輸出圖層路徑後，按下確定。

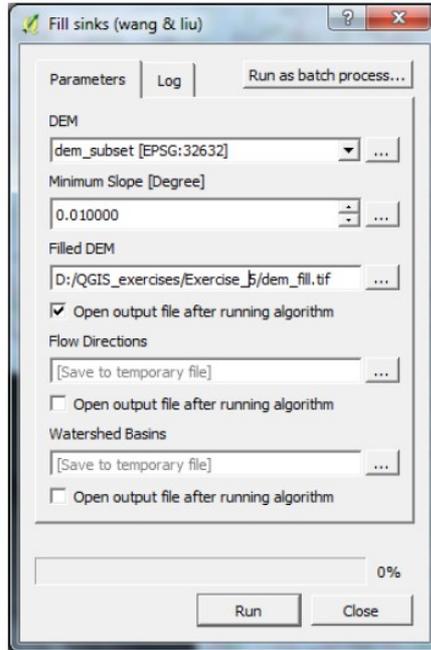


圖 49 切割圖層設定路徑

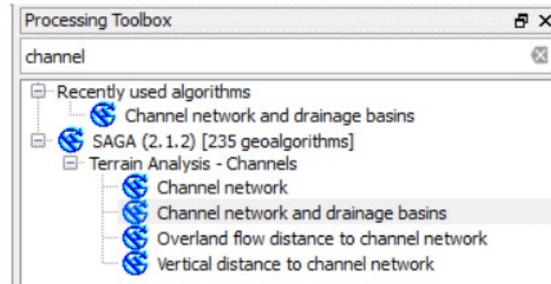


圖 50 組合各河川階層(由工具箱選擇適合的模組)

5. 繪出河川網路套繪地圖，定義流域的集流點之後，從工具箱中的 Upslope Area 工具計算出集流點的流域，即可匯出河川網路，最後移除其他不需要的圖層。

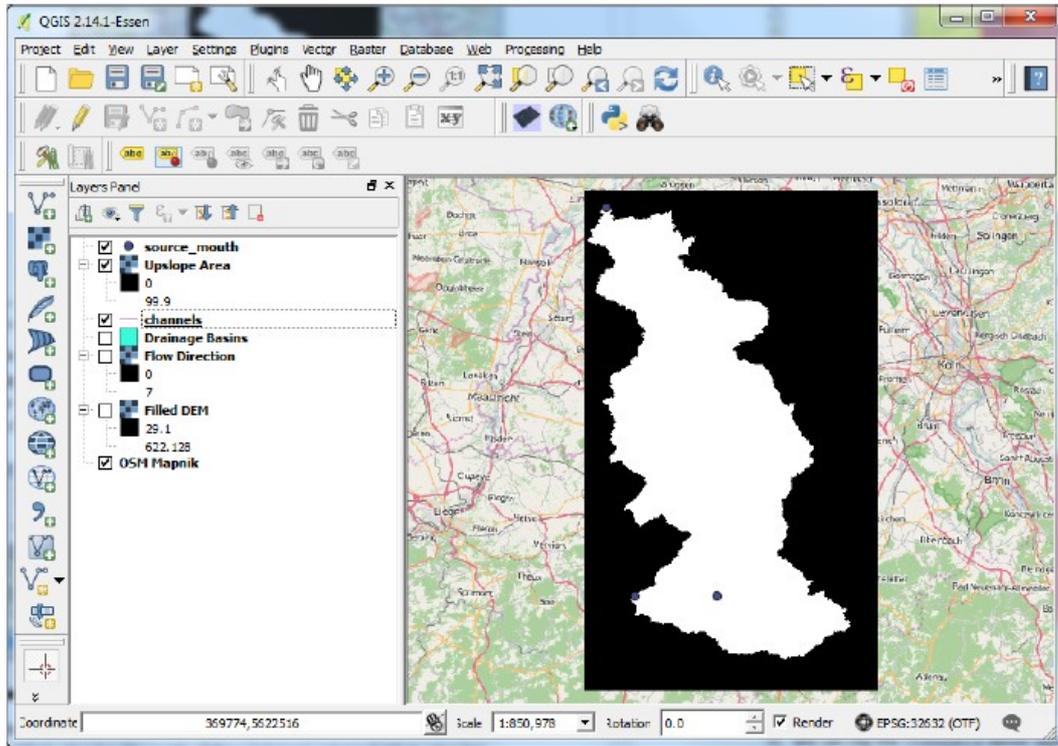


圖 51 河川網路套繪地圖

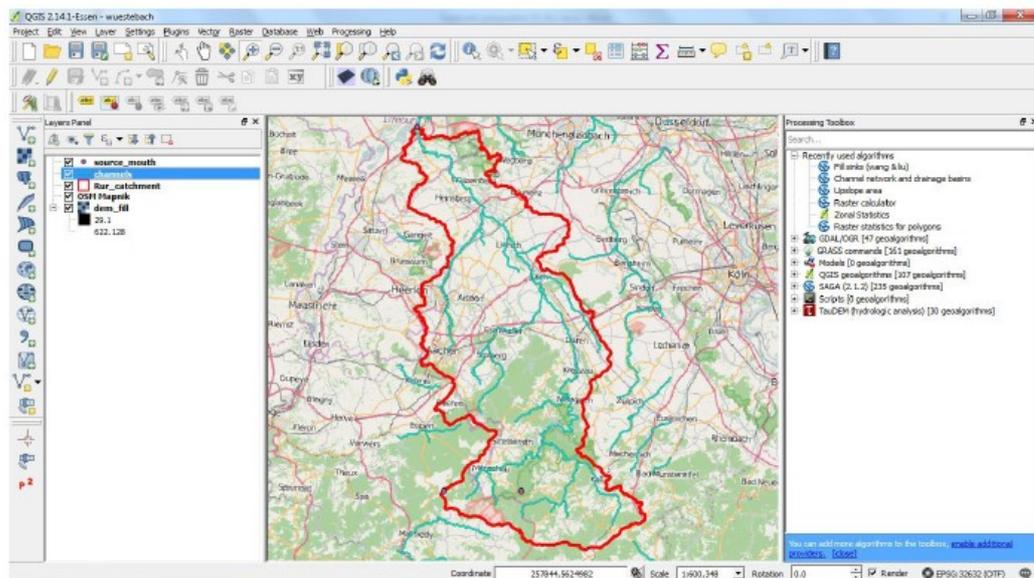


圖 52 河川網路

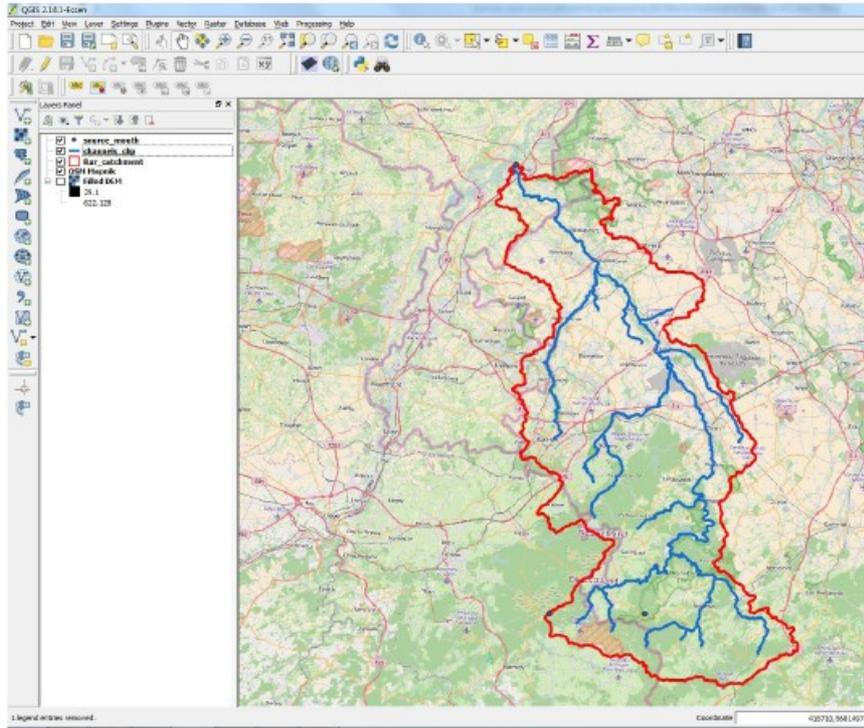


圖 53 僅留下區域內的河川

第四章 心得與建議

(一) 心得

1. R 軟體的安裝與練習

課程首先從 R 軟體的基本架構開始解說，從安裝、啟動程式、簡單的計算，函數、矩陣、資料結構處理等，充分的表現出 R 軟體在統計上的優勢，不僅容易操作，而且可以立即得到計算的結果，並且有繪圖視窗，能看出統計上的結果，因為只是要輸出統計的圖表，並不如其他繪圖軟體那樣多功能，但是對於一個以統計軟體而言，已相當足夠。此外，內建的許多函數，已經將大多數的統計方程式、檢定、驗證等功能含括其中，操作者只需去學習如何設定函數的參數即可立即應用，或是從網路論壇等處搜尋相關應用範例也是一個不錯的方式。因為課程中必須不斷的使用 R 軟體，因此在課程的開始就練習並且熟悉 R 軟體的操作是非常重要的，而講師也非常認真的逐步教學，讓初次使用的學員都能盡快上手。

2. 水文分析

講師由淺入深逐步講授統計學在水文分析上的應用，從單一測站的水文分析至區域測站的水文分析，都先從理論開始講授，建立很扎實的基礎，這些課程在臺灣多為碩士班的課程，要濃縮在二至三天上完實在不容易，但講師也不因此而省略太多，反而是在基礎的理論上花費很多時間講解，並且每個課程都有相關的實例當作說明，不僅可以讓課程較為生動，也讓學員留下深刻的印象。在以統計學為基礎的水文分析領域，講師說明了如何應用，及其可能的不確定性，提供了水利工程應用的重要工具。

3. 水文模式

講師從模式的架構、假設條件以及為何要建立水文模式都有清楚的講授，並從水文循環開始逐步建立模式的架構，每一個參數都必須有其物理意義，以模式而言，參數是非常關鍵的因素，常常有許多模式的參數過多且缺乏物理意義，可能只是為了去接近預測的觀測結果，而講師從簡單的水文循環將主要的歷程做出分析，並建議應用於研究的集水區時，應該注意其地表的植被以及土壤條件，這些都是影響參數的重要原因。而模式之間並沒有誰好誰壞，有的只是如何去應用

該模式，水文模式提供了另一個方向的研究，這是除了水文分析外的具有物理意義的一種方式，對於水利工程規劃而言相當重要。

4. 地理資訊統計與克利金

地理資訊統計在臺灣是研究非常廣泛的一項課題，尤其是克利金的應用，講師依然從淺入深，非常有次序、清晰的講解理論，並且由 R 軟體逐步計算每一個步驟，印象深刻的是能具體的展現出相同的數據下，由克利金、距離平方差、徐昇式法等方式所計算出的差異，這在過去研究所的課程中很少有這樣的訓練，過去可能都是要自己撰寫程式，而在 R 軟體的函數中都已建立完成，相對而言，對學習者較能清楚的認識克利金的理論。

5. QGIS 與實作

QGIS 也是初次接觸到的軟體，當然也是免費，講師從軟體的安裝、DEM 資料的網路下載均花費相當多的時間去解說，並逐步教導學員練習與實作，過程中遇到相當多的挑戰，例如座標轉換、圖層的分割以及工具箱的函數套用，尤其是末者，在實例練習中許多學員都遇到困難，雖無法於課堂中一一解決，但是講師仍然非常有耐心的逐一了解每個學員遇到的困難並試圖找到解決的方法，我想這就是國外的教育方式與台灣很顯著的差異，從講師如何解決問題的過程中，才能學習到整個思考邏輯與解決問題的方式。此次的短期課程中深刻的了解荷蘭的教學並不只是講義中的理論，更重要的能否實際操作並獲得相關的結果，像類似這樣的理論與實作結合的訓練，真的是此行最大的收穫。此外，DEM 資料共享的 Open Data 概念，在歐洲已行之有年，所有的運作端賴捐款及全球資料上載，對於後端應用的相關產業確實產生指數型效益的擴充，也足以證明臺灣勢必朝向此一目標邁進。

6. 以專案管理的態度面對出國研習

出國研習需要考量的面向相當多元，從選定國家、機構、課程，到後續之交通動線、食宿安排、預算控制、拜訪對象，都需要妥善的規劃及準備，相關備案及臨機應變亦不可或缺，以專案管理的態度面對才能確保一切順利；此外，兩人以上一起參與，除可相互照應，更能就學習內容多加討論而獲益更多。

(八) 建議

1. 增加赴 UNESCO-IHE 學習機會

UNESCO-IHE 是全球水利專業教學學院，有許多合作的國際學者均會擔任講師，建議爾後可多增加前往 UNESCO-IHE 參與短期課程的名額，除了學習較先進的領域之外，對於基礎的理論實作也能有更扎實的訓練，此一部份在臺灣的教育學習過程中仍然較為缺乏，極少能有講師能同時講授專業理論，又能在課堂上以實作範例帶領學員逐步操作。

2. 地理資訊統計

國內對於降雨量的推估仍多以徐昇式法為主，建議可加入克利金法作為比較驗證，對於集水區的雨量推估應有相當的幫助。

3. 以荷蘭作為標竿學習的對象

荷蘭這個國家不論在公民素質、生活型態、交通運輸、水利設施、環境永續、都市規劃等各個面向，都很值得臺灣各部會前往取經仿效，進而發展出自己的一套系統；經過這兩週的難得體驗，充分感受到何謂生活、生產、生態三生合一的生存空間，爰此，建議在預算可容納的條件下，能儘量鼓勵產、官、學、研各界多作交流。

4. 非正式外交關係

如非親身經歷，對於臺灣在國際關係上的困窘，感受不會那麼深刻。在製作結訓證明前夕，主辦單位特別針對國籍跟我們協商，制式的國籍認定是將臺灣定位為 Taiwan of China，也無法接受只有 Taiwan 或 Taiwan, R.O.C.；最終只好妥協僅留出生地 Taichung City 及 Hualien County。建議相關單位對於公務員出國研習或進修時，面臨這種狀況，能提供應對的準則或標準，以避免類似情形層出不窮。

(九) 附記

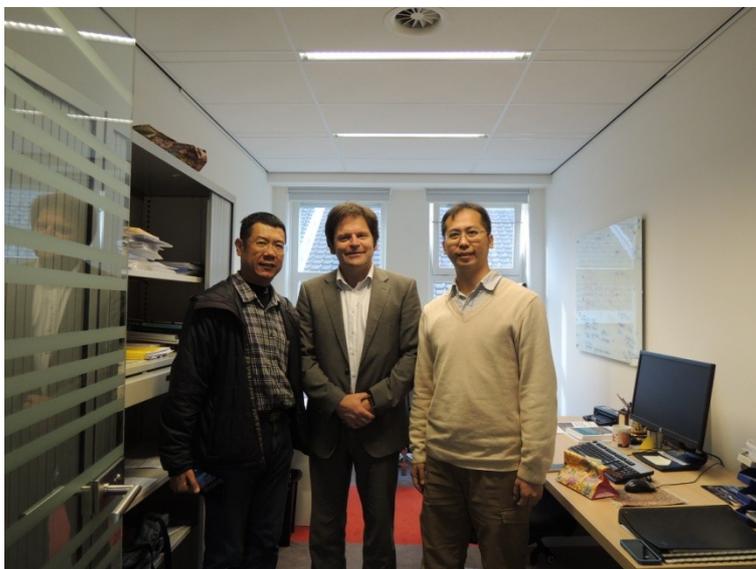


圖 54 向 IHE 資深教授 Dr. Chris Zevenbergen 請益
有關荷蘭國家水利政策相關議題



圖 55 獲贈荷蘭國家水利政策白皮書一冊

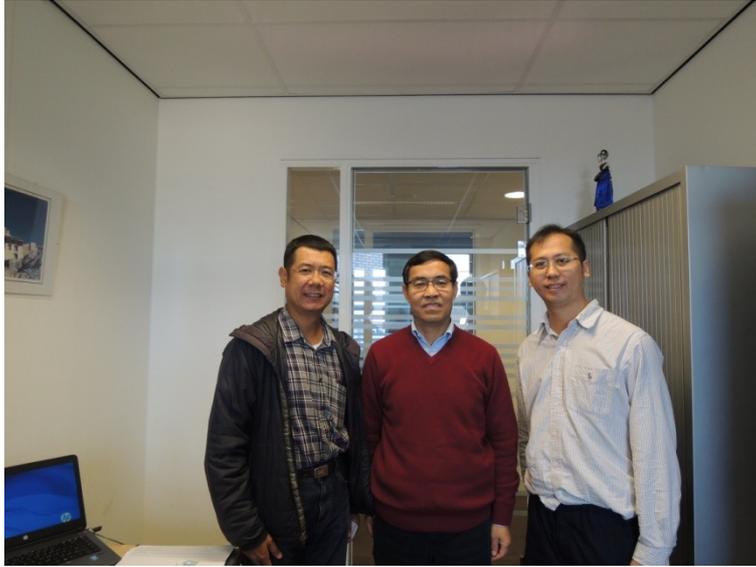


圖 56 向 IHE 副教授 Dr. Yangxiao Zhou 請益有關伏流水、地下水庫等相關議題



圖 57 會同獲公費留學荷蘭之營建署李晨光科長探究台灣溼地保育的政策佈局



圖 58 參訪荷蘭重要水利設施：馬仕朗防潮閘(Maeslant Barrier)



圖 59 參訪荷蘭珍貴水利世界遺產：小孩堤防(kinderdijk)

參考文獻

1. 李友平、徐誌國、陳明城、李亞儒 (2010) 聯合國水利和環境工程國際學院
氣候變遷下綜合性水經營管理研習
2. 陳芳瓊 (2012) 聯合國教科文組織國際水利環境工程學院上游集水區綜合治
理研習
3. 張逸凡 (2013) 荷蘭國際水利環境工程學院洪災風險管理研習
4. 鮑俊宏(2014) 荷蘭國際水利環境工程學院洪災風險管理研習
5. Where there is little data: How to estimate design variables in
poorly gauged basin 課程講義

參訓證明



CERTIFICATE

Short Course
Where there is Little Data:
How to Estimate Design Variables
in Poorly Gauged Basins

This is to certify that

Tsou, Yu-Ta

born on 20 November 1979 in Taichung City

has followed and successfully completed the short course Where there is Little Data: How to Estimate Design Variables in Poorly Gauged Basins held at UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands from 31 October 2016 – 11 November 2016.

A blue ink signature of E.L. Ploeger, consisting of stylized, overlapping lines.

E.L. Ploeger, MSc
Academic Registrar

A blue ink signature of P. Paron, written in a cursive style.

P. Paron, PhD, MSc
Course Coordinator

Delft, the Netherlands, 11 November 2016

CERTIFICATE

Short Course
Where there is Little Data:
How to Estimate Design Variables
in Poorly Gauged Basins

This is to certify that

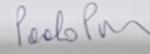
Chen, Yen-Hsu

born on 07 December 1974 in Hualien County

has followed and successfully completed the short course Where there is Little Data: How to Estimate Design Variables in Poorly Gauged Basins held at UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands from 31 October 2016 – 11 November 2016.



E.L. Ploeger, MSc
Academic Registrar



P. Paron, PhD, MSc
Course Coordinator

Delft, the Netherlands, 11 November 2016