

出國報告(出國類別：研習)

氣候變遷水資源管理研習班

Integrated Basin Management under Changing Climate (The 28th IHP Training Course)

出國人員：南區水資源局副工程司詹成富
水利規劃試驗所工程員吳乃光

派赴國家/地區：日本/京都

出國期間：107年11月27日~107年12月8日

報告日期：108年2月

附件二

出國報告審核表

出國報告名稱： 氣候變遷水資源管理研習班			
出國人姓名 (2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位	
吳乃光	工程員	水利規劃試驗所	
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input checked="" type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 視察 <input type="checkbox"/> 訪問 <input type="checkbox"/> 開會 <input type="checkbox"/> 談判 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (出國類別請依預算書之計畫預算類別填列)		
出國期間： 107年 11月 27日至 107年 12月 8日	報告繳交日期：108年 2月 13日		
出國人員自我檢核	計畫主辦機關審核	審 核 項 目	
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告 2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」) 3.無抄襲相關資料 4.內容充實完備 5.建議具參考價值 6.送本機關參考或研辦 7.送上級機關參考 8.退回補正，原因： (1) 不符原核定出國計畫 (2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 (3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 (4) 抄襲相關資料之全部或部分內容 (5) 引用相關資料未註明資料來源 (6) 電子檔案未依格式辦理 9.本報告除上傳至公務出國報告資訊網外，將採行之公開發表： (1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 (2) 於本機關業務會報提出報告 (3) 其他 _____ 10.其他處理意見及方式：	
出國人簽章(2人以上，得以1人為代表)	計畫主辦機關審核人	一級單位主管簽章	機關首長或其授權人員簽章

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。

目錄

摘要	3
第壹章 目的	4
第貳章 過程	5
一、行程	5
二、課程內容介紹	7
(一) 地表水循環過程	7
(二) 流域內的水理分析	8
(三) 地理資訊與氣象數據之處理方法練習	8
(四) 水庫淤砂治理與永續發展	9
(五) RRI 降雨逕流模式的架構理論介紹	16
(六) 氣候變遷對環境災害的影響評估、社經發展策略調適 ...	18
(七) 極端氣候頻率分析理論與差異性	21
(八) 河川生態系統基礎	23
(九) 氣候變遷下營造出具韌性之社會環境	26
(十) 國際水文計劃和亞洲氣候變化下的水資源預測	27
(十一) 水庫營運最佳化基本原理及練習	28
(十二) 實機操作演練	29
(十三) 現地、室內實驗與參訪	40
(十四) 個人簡報學習成果與未來發展應用	49
(十五) 結業式與團體合照	51
第參章 心得與建議	54
附件 結業證書	59

摘要

本計畫主要藉由參加日本聯合國教育、科學及文化組織(UENSCO)項下國際水文學計畫(International Hydrological Programme; IHP)開設訓練課程，了解亞太地區在氣候變遷下水資源管理、洪水災害模擬等相關議題。UENSCO-IHP Course 每年由日本名古屋大學與京都大學輪流主辦，今年(第28屆)由京都大學防災研究所(DPRI)舉辦，本次短期課程主要為理論基礎講授、數值模式電腦實機操作、野外現地實驗與室內實驗室參訪等。

其中理論基礎講授包含基本的水文、水理概念；上游水庫因砂至下游海岸侵蝕全面性的系統土砂治理；在氣候變遷下彈性調整社經發展策略；極端氣候不同分析方式差異與適當性；亞太地區在氣候變遷下水資源的預測與調度；水庫的操作與功用(含水庫最佳化、滯洪等)；與如何維持河川生物多樣性等課題。

數值模式與電腦實機操作包含地理和氣象數據的處理方法；如何將原始GCM資料進行降尺度分析；RRI降雨逕流模式的基礎理論架構與模式實際操作；極端氣候水文分析過程操作；水庫最佳化計算與視覺化圖形解析等。

野外現地實驗包含河川擺盪流路上沙洲下湧流觀測；室內實驗包含水庫滯洪對河道流量歷線的影響量測與小尺度室內模型河川擺盪流路模擬。期間並參訪宇治水工實驗室、天瀨水壩排水道工程、淀川上游擺盪河川(Kizu河)就地取材製造石籠工程觀摩、與勢田川堰等。

日本在面臨防災課題與台灣時空背景非常相似(坡陡雨急甚至土砂治理問題等)，在許多整治、管理方面的創新思維都非常值得我國借鏡。

關鍵字：氣候變遷、國際水文學計畫(IHP)、水資源管理、洪水災害

第壹章 目的

鑒於氣候變遷下極端事件頻繁發生，台灣亟需積極發展多元化水資源以穩定供水，發展具復原能力的社會(Resilient society)已成為氣候變遷下不可避免的問題，氣候變遷影響著前所未有的洪水和嚴重乾旱等極端現象的發生頻率。為了使我們的社會更具復原能力、適應災害的能力以及發展因應災害的對策等，應基於對水資源未來狀況的預測和評估技術的提升。

根據國際水文計畫第八階段「水文變化下與水有關的災害」的焦點領域「風險管理適應全球變化」和「理解人與自然環境間的發展過程」，第28屆國際水文計畫培訓課程的重點在以下三個目標：（1）獲取有關氣候變化對水資源，與水有關的災害和生態系統服務的影響的最新知識；

（2）在流域尺度上進行降雨 - 徑流 - 淹沒估算的實踐，以及（3）討論統一流域管理策略，以實現氣候變化下的具復原能力的社會。

本次研習課程由聯合國教育、科學及文化組織(UENSCO)項下國際水文學計畫委由京都大學防災研究所(DPRI)開設之訓練課程。課程主要訓練目的為氣候變遷下水資源管理、洪水災害模擬等相關議題，實際操作演練則包含資料進行降尺度分析、降雨逕流模式、極端氣候水文分析方法等。希望藉由研習操作經驗與過程從中訓練最新技術能力與管理策略，在未來執行水文業務、相關防洪計畫、土砂治理等能有新思維，以提供本署作為參考。

第貳章 過程

一、行程

本次赴京都大學宇治校區參加防災研究所(DPRI)所舉辦「氣候變遷水資源管理研習班」及水工實驗室、現地參觀行程，其往返程搭機時間共計 12 天。上課地點主要於京都大學宇治校區防災研究所教室內進行授課(圖 1)、並電腦實機操作軟體進行模擬分析，期間包含宇治川水工實驗室參觀並實際體驗洪災逃生模擬試驗、淀川水系參觀(如桂川、Kizu 河、琵琶湖、天瀨水壩、勢田川堰等)。並在結業頒發證書前每名學員分別上台進行個人簡報，分享學生個人在授課期間所學練習內容與要如何更進一步應用於水利未來發展，講師並分別提供學生發展應用的看法與建議探討可行性與否。研習行程如表 1 所列。



圖 1 氣候變遷水資源管理研習班

表 1 研習行程表

日期	地點	課程主題內容
11/27(二)		啟程(桃園-京都)
11/28(三)	防災研究所教室內	校區、課程簡介，學員自我介紹； 課程 1：地表水循環過程 實機操作 1：地理和氣象數據的處理方法
11/29(四)	防災研究所教室內	課程 2：流域內的水理分析 課程 3：水庫淤砂治理與永續發展 實機操作 2：GCM 資料進行降尺度分析
11/30(五)	防災研究所教室內	課程 4：RRI 降雨逕流模式的架構理論介紹 課程 5：氣候變遷對環境災害的影響評估 實機操作 3：RRI 降雨逕流水文水理分析
12/1(六)	防災研究所教室內	實機操作 1、2、3 複習與作業
12/2(日)	嵐山、桂川	參訪：嵐山桂川、琵琶湖疏水等。
12/3(一)	防災研究所教室內	課程 6：因應氣候變遷調整社經發展策略 課程 7：氣候變遷下水資源的預測與調度 課程 8：極端氣候頻率分析理論與差異性 實機操作 5：極端氣候頻率分析操作
12/4(二)	防災研究所教室內、琵琶湖、宇治川	課程 9：河川生態系統基礎 參訪：琵琶湖與宇治川
12/5(三)	宇治川	參訪：宇治川水工實驗室 現地實驗：宇治川與 Kizu 河現地調查與棲地評估
12/6(四)	防災研究所教室內	課程 10：水庫最佳化操作分析 實機操作 7：水庫最佳化分析與視覺展示 室內實驗 1：水庫滯洪對下游河道流量歷線分析 室內實驗 2：小尺度模型模擬河川輸砂過程
12/7(五)	防災研究所教室內	實機操作 1、2、3、5、7 複習與作業 學生個人簡報學習成果與未來發展應用 頒發結業證書、歡送會
12/8(六)		返程(京都-桃園)

二、課程內容介紹

(一) 地表水循環過程

本課程解紹地表水的循環過程及重要特性。水循環主要係透過降雨、逕流、滲透、蒸發及凝結等作用來進行。在大氣與陸地間的水循環作用係透過凝結、降雨及蒸發或蒸散等作用來進行；在陸地與湖泊或海洋間，主要是透過逕流、滲透或融冰等方式。而驅使水循環作用的能量則是來自於太陽的熱能。由陸地吸收太陽的熱能後，再以顯性熱交換(sensible heat)或潛性熱交換(latent heat)方式返回大氣中。此兩種作用方式在環境及水循環中有極大的差異，而此兩種方式的作用程度取決於地表特性以及水文狀態，而此兩種作用方式的比例對水文循環非常重要。

本課程即是介紹地表模型的各項特性對水循環作用的影響，例如土壤大氣的溫溼程度、地表植被等，並介紹熱能與水分子狀態變化之關係。最後並以琵琶湖流域為例，說明熱能與水循環作用的分析。課程中，也分享日本地區對水資源循環的大氣環境監測辦理情形及相關成果，並分享全球性分佈的乾旱指數、蒸發率與降雨資料等，以利於地表模型於水資源循環的分析使用。

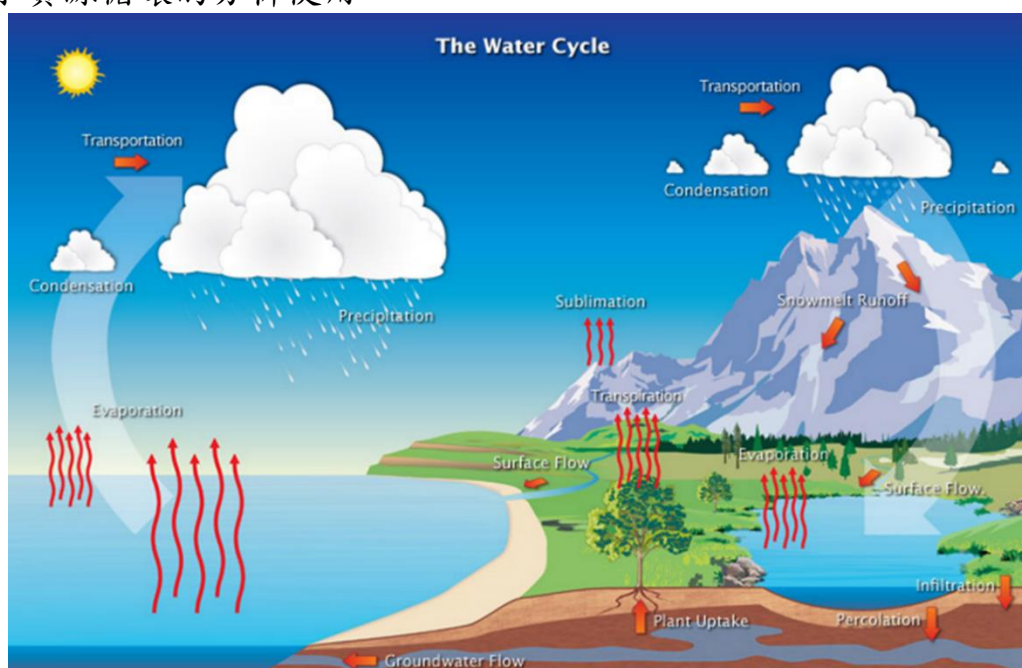


圖 1 水資源循環系統圖(by Prof. Kenji Tanaka, DPRI)

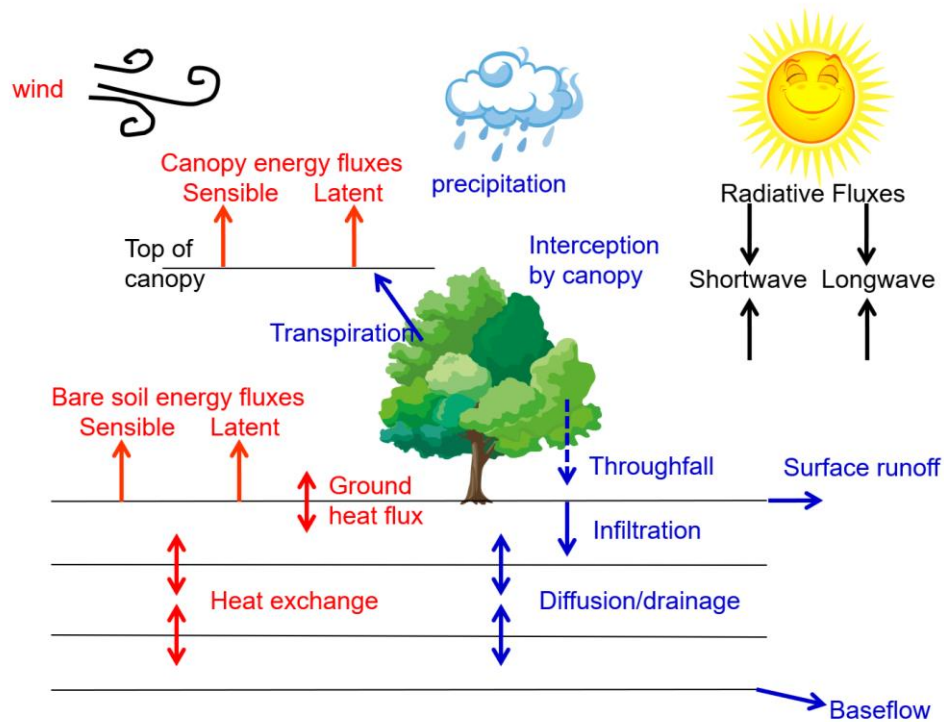


圖 2 熱交換模式與水資源循環機制(by Prof. Kenji Tanaka, DPRI)

(二)流域內的水理分析

本堂課內主要是在介紹一般進行水理分析時常見的課題-緩變流，並且在課堂上進行常見的非定常(Unsteady)的統御方程式推導(Saint-Venant equations)。包含非定常的連續方程式推導，與非定常的動量方程式推導。由於參加本次課堂有部份學生是大氣領域的學生，授課老師 Ichikawa 老師花了全部時間解說上兩式的推導由來，基本觀念於此不進行贅述。

(三) 地理資訊與氣象數據之處理方法練習

本課程為水文分析應用之相關練習，主要內容為學習如何將調查成果或水文資訊以開放式地理資訊軟體(如 GrADS)展現調查或分析成果。內容包括前置調查數據處理、網格規劃與數據匹配等程序，利用軟體圖層套疊原理，可以呈現具時變性之地理資訊。並練習利用統計方法展現調查資訊之特性，例如極值、週期等資訊。

Data description file (ctl file)

Ex. BC-GSMAP-Nile-20km-1hr200003.ctl

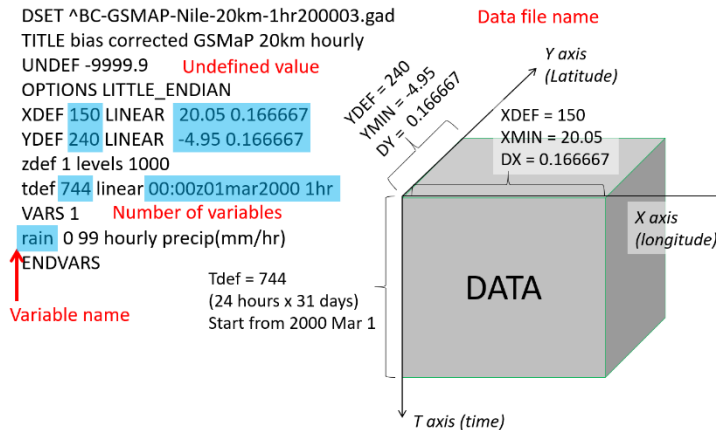


圖 3 為輸入數據格式設定

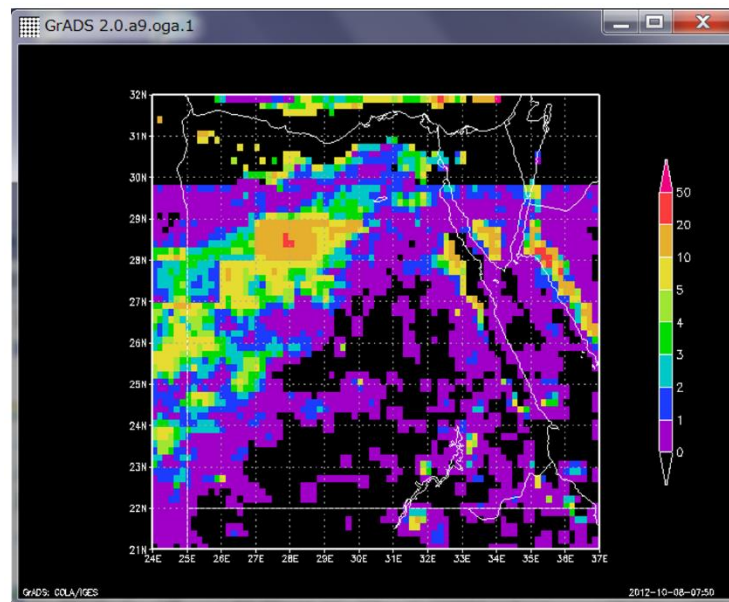


圖 4 地理資訊軟體呈現調查或分析數據

(四) 水庫淤砂治理與永續發展

水庫淤積是世界各水庫持續發生且重要的問題之一(ICOLD 2009)。在許多國家，已採取各種對策來減緩水庫淤積的情形，進而延長水庫使用壽命。這些策略包括 1. 減少沉積物流入，2. 浚挖水庫淤泥以及 3. 水力排砂等方式。而這些方法中可能也必須考量面對不同沉積物類型或水庫條件，而選擇所適合的清淤方式。

由於地形、地質和水文條件，日本河流的沉積物產量很高，導致許

多水庫面臨嚴重的淤積問題。本課程分享了目前日本正積極規劃的水庫排砂概念。有別於傳統的浚挖或抽泥，繞庫排砂以及水力排砂是相對有效率的減緩淤積方式。課堂中並舉黑部河上的 Unazuki 和 Dashidaira 水壩以及 Tenryu 河上的 Miwa 水壩等數個利用水力排沙及繞庫排砂的例子。日本在土砂治理方面所遭遇的課題與台灣有高度相似性，如坡陡、上游水土保持不良造成水庫淤積；水庫攔砂造成下游河川、海岸線供砂不足而造成侵淤失衡。課堂上所介紹的正與我國水利工程上遭遇的課題極為類似(水庫淤積、擺盪河川侵淤失衡、海岸侵蝕等)，其中 Sumi 老師於介紹處理水庫淤積問題時的工程解決方法更多次提到與本署有著密切的交流與合作，深感榮幸。

常見的水庫淤積處理方式如下圖 5 所示，如在上游興建攔砂壩，進行空庫、繞庫排砂，旱季時的人工疏濬、抽泥船浚淤，與異重流排砂等等。

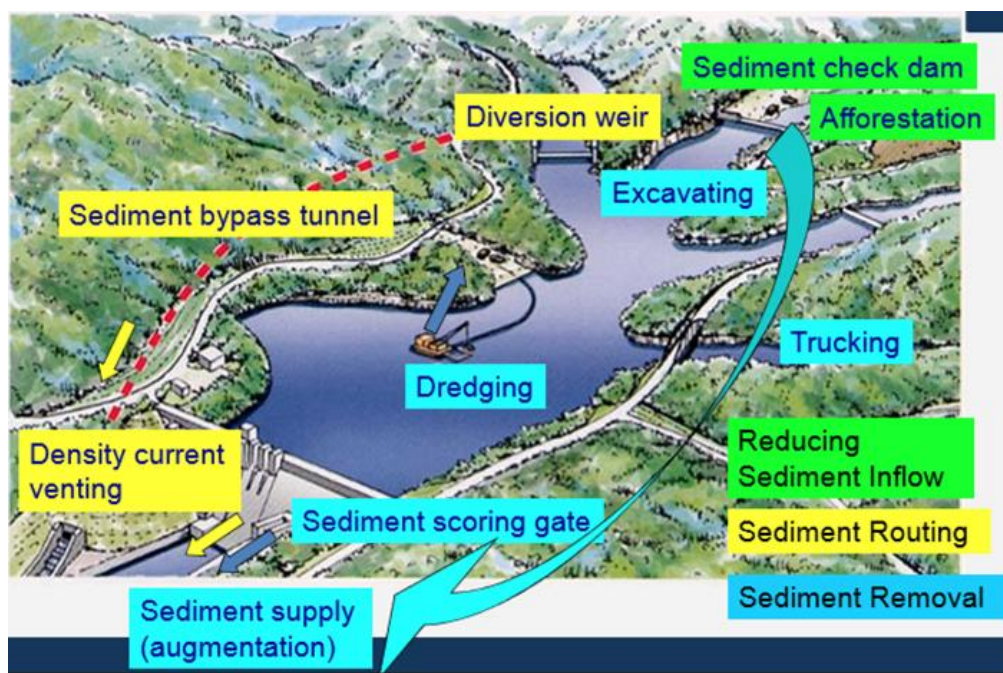


圖 5 水庫淤積處理方式

(資料來源：Tetsuya Sumi 上課講義)

其中值得一提的是 Sumi 老師實際研究發現，日本現今海岸侵蝕的問題主要需歸因於日本河川上游水庫的興建後，造成供砂不連續。絕大多數的泥砂被囚禁在水庫，久而久之下游海灘線因缺乏砂源，漸漸退縮造成海岸侵蝕問題。日本政府在 1936 到 1969 年間靜岡縣內的天龍川的上游興建了一系列的水庫(圖 6)，隨後所伴隨的下游侵蝕問題可以很明顯由衛星影像分析得到結果。如圖 7 所示，天龍川出海口的地方周圍並無人為開發結構物造成突堤效應，但出海口附近灘線卻在上游水庫興建完成後逐漸退縮，很明顯地可以推論出海岸侵蝕的問題與當地上游水庫攔砂造成砂源缺乏有很大的關聯性。

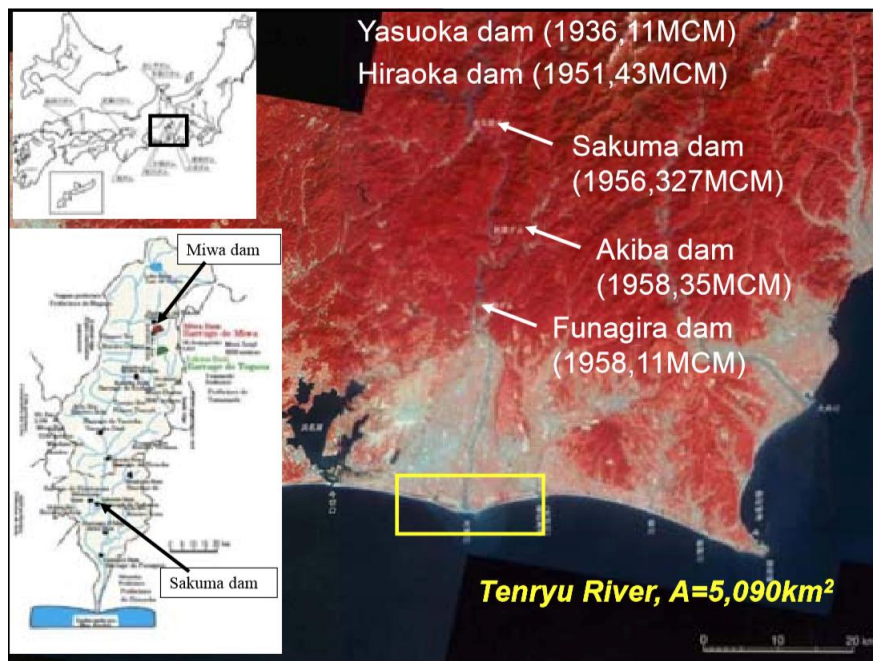


圖 6 1936-1969 年間天龍川上游水庫興建年份

(資料來源：Tetsuya Sumi 上課講義)

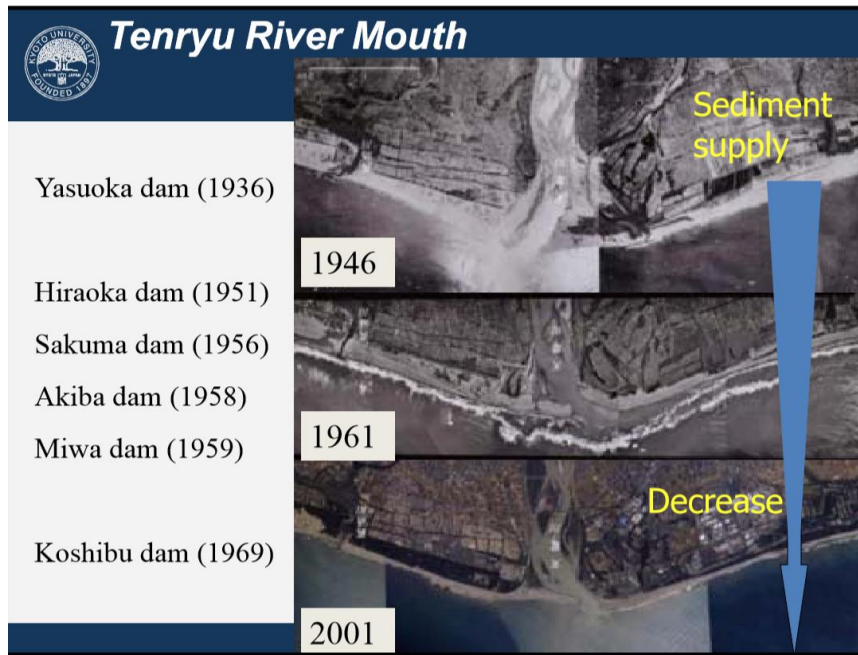


圖 7 天龍川下游出海口灘線變化衛星影像圖

(資料來源：Tetsuya Sumi 上課講義)

而對於這一系列的水庫淤砂與河道土砂治理問題，Sumi 老師也提出了日本目前的處理方式與思維。除了前面所提的幾個眾所皆知的水庫排砂、人工疏濬外，更進一步提出這些由水庫清理出來的砂源日本目前的處理方式-由旱季先行將土砂置於灘地，並藉由汛期上游水庫放洪以自然的方式將這些土砂沖往下游(如圖 8)。但由於擱置這些疏濬後的土砂會大幅影響河道的通洪能力，也會造成下游生態棲地的影響。在實際執行前進行了一系列的實驗，包含上游水庫最少需放流多少才能將這些暫置的土砂攜帶走，同時要兼顧輸砂濃度對下游生態影響的最低限度，作為汛期時水庫放流的指標之一。

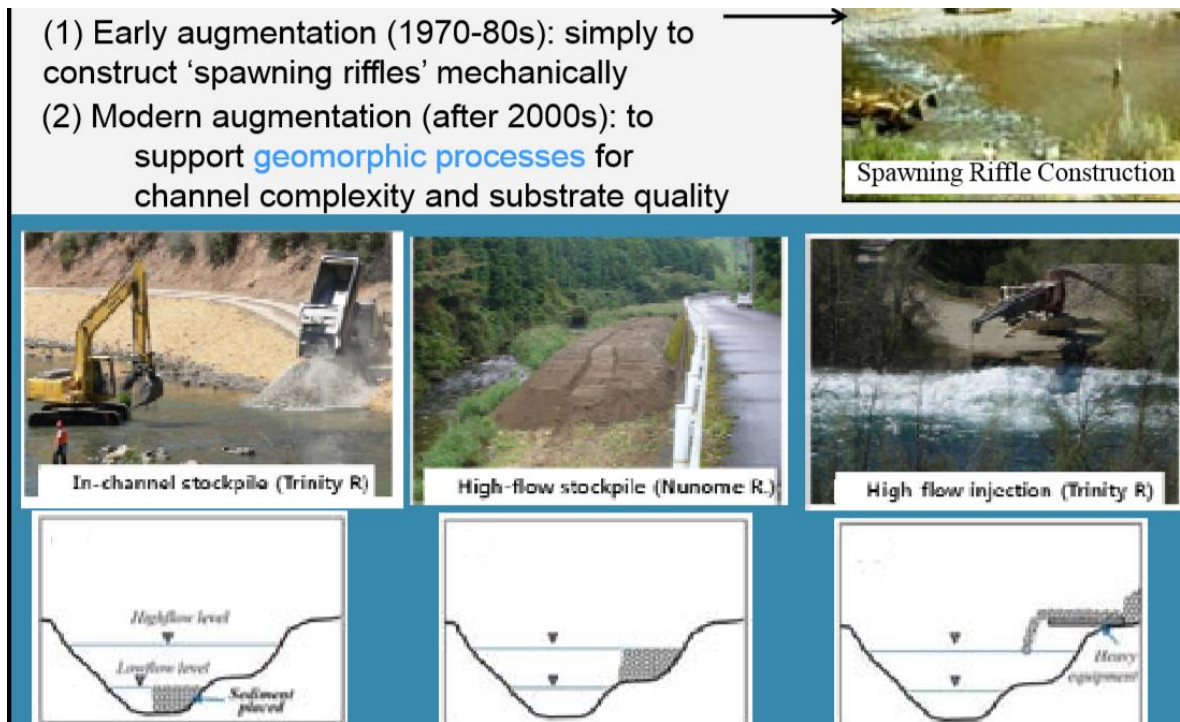


圖 8 疏濬砂暫置水庫下游示意圖

(資料來源：Tetsuya Sumi 上課講義)

水庫淤砂主要可分成三個淤積區域(圖 9)分別為上中下，上區主要為砂與礫石；而水庫主要的淤積區位於中間區域，組成主要為砂；下區則是由黏土、粉土等沖洗載沉澱組成。並由進一步粒徑分析可發現(圖 10)，於下游河道中採樣的均值粒徑、與海灘線採樣的均值粒徑與中間區域砂比較可觀察到皆非常相似。而進一步可推論出將來若需養灘，中間這區的土壤是最適合用於岸邊養灘。因為能長期留在灘線上，代表此一粒徑組成的土壤即可抵抗海洋營力的作用而達到平衡。

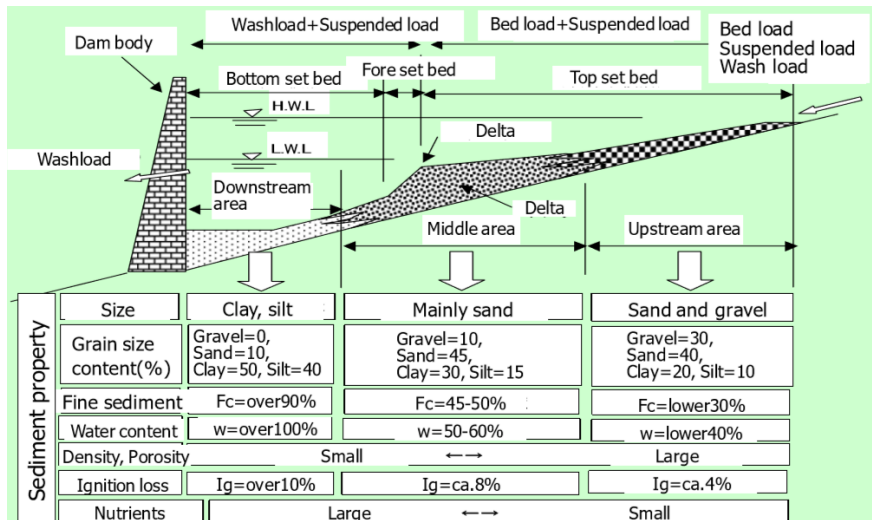


圖 9 水庫淤砂分區示意圖

(資料來源：Tetsuya Sumi 上課講義)

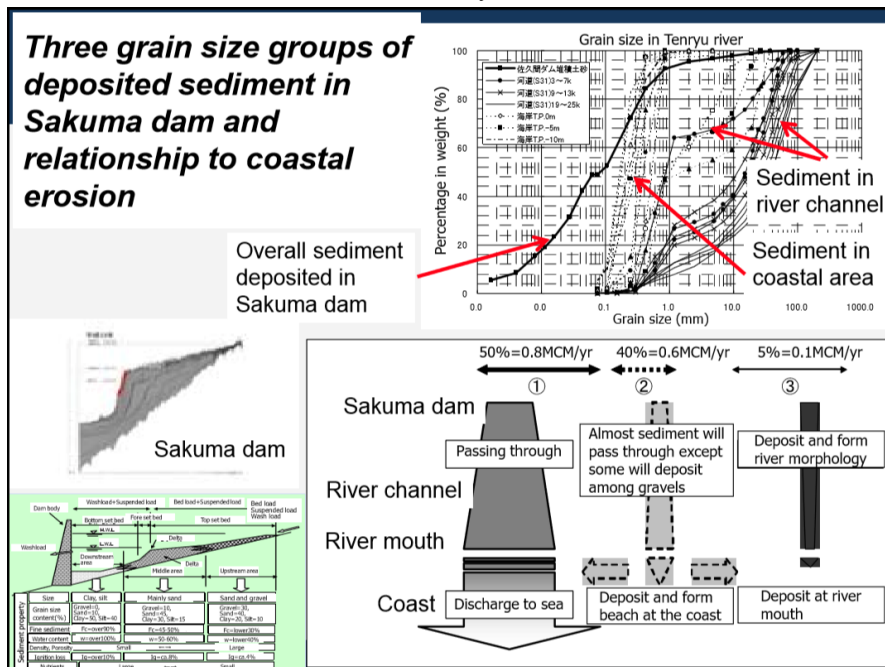


圖 10 水庫淤砂分區示意圖

(資料來源：Tetsuya Sumi 上課講義)

實際操作部分，黑部川流域上游水庫於汛期來臨前一系列空庫排砂操作(圖 11)解決了原本上游水庫淤砂問題，同時間並改善了黑部川出海口灘線侵蝕的問題。由圖 12 可觀察到，在經過幾次的操作後黑部川下游出海口灘線在 2000 年後明顯往外推進、恢復灘線。

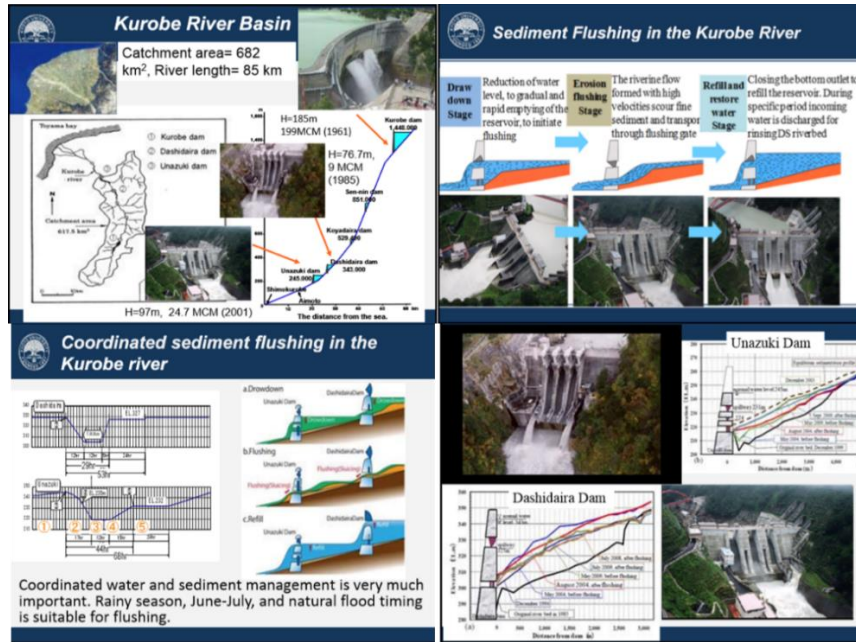


圖 11 黑部川流域上游水庫排砂操作

(資料來源：Tetsuya Sumi 上課講義)

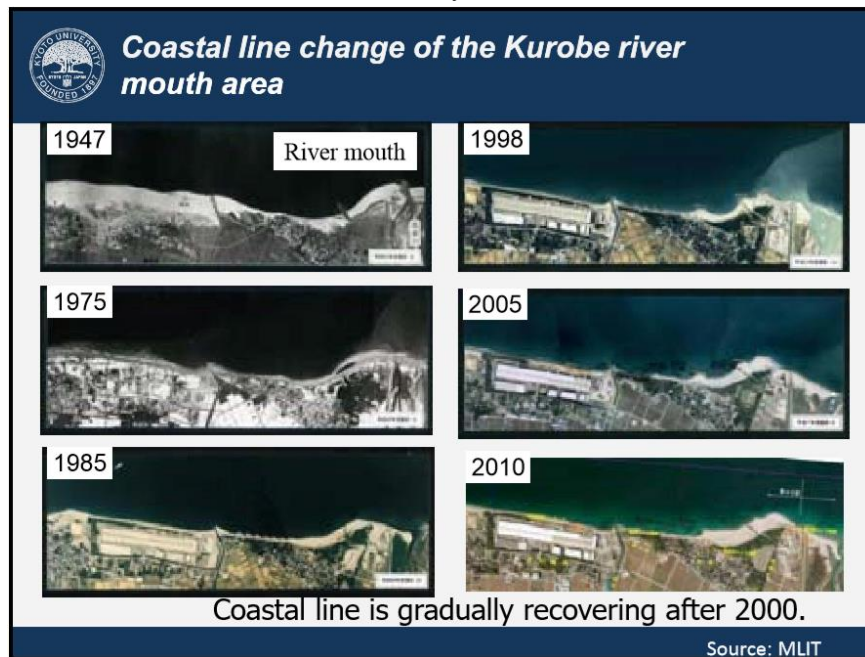


圖 12 黑部川下游出海口灘線變遷

(資料來源：Tetsuya Sumi 上課講義)

(五) RRI 降雨逕流模式的架構理論介紹

降雨逕流淹水模型 Rainfall-Runoff-Inundation model (RRI model)係由 Takahiro Sayama 老師研發能同時模擬降雨徑流和洪水淹沒範圍的二維模型，此模型將斜坡與河道分別由不同統御方程式分開來處理問題(圖 13)。而在模型的網格中允許河道與斜坡同時存在於同一個網格內，河道部分以單線作為代表置於網格中心。演算部分於河道外部主要由二維擴散波方程計算漫地流行為；河道演算部分則是統一簡化河道為矩形渠道形狀並使用一維擴散波方程減少計算時間。除此之外本模型亮點為同時間考慮伏流水於側向流出的條件，此一部分能進一步模擬出山區地區伏流水流出的行為；同時間並考慮了入滲行為(由 Green-Ampt 模型計算垂直入滲量)。

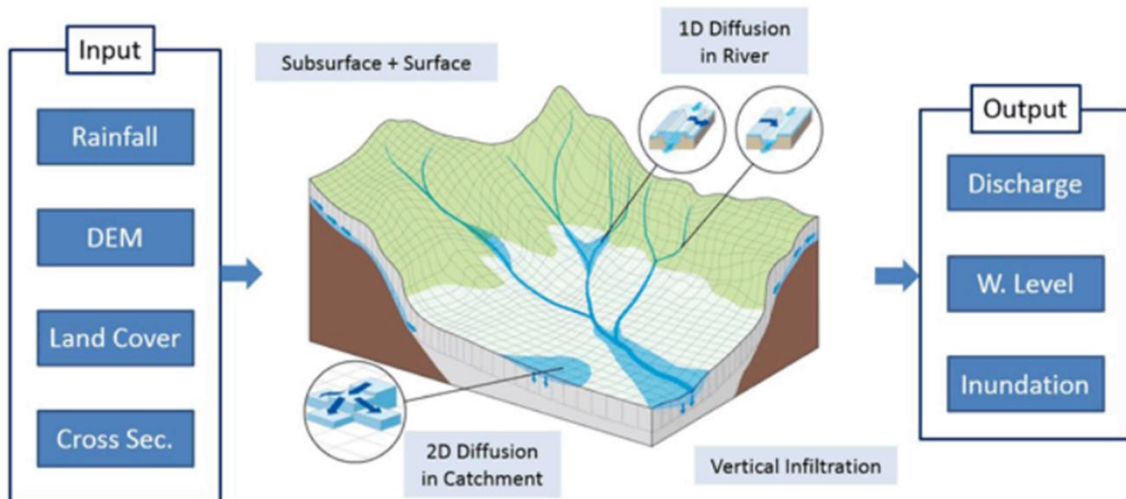


圖 13 降雨逕流淹水(RRI)模型示意圖

(資料來源：Takahiro Sayama 上課講義)

另外本模型亮點之一為可以用於模擬河道與斜坡之間的水體交換行為(也就是說可模擬河道匯流處，亦可模擬外水溢淹出來之範圍情境)，這是一般本署用於河川治理規劃常使用之模型所欠缺使用的功能項目(一般 HEC-RAS 於本署僅用於一維河道演算，如有溢堤等行為尚須進行溢流量假設並使用二維模擬軟體如 sobek 等計算淹水範圍等)。

而河道與斜坡之間的水體交換行為一般可分為四種情形(如圖 14)，分別為 a. 河道水位低於地表水位(如圖 13 河川交界處) b. 河道堤外水位高於堤內水位(但兩者皆低於堤防高度無水體交換) c. 河道堤外水位高於堤內水位且發生外水溢流情形 d. 堤內水位高於河道堤外水位發生內水溢流情形(較少發生)各情形所使用之統御方程式請參閱原廠使用說明。而與傳統降雨逕流(RR)模型比較可充分看出降雨逕流淹水(RRI)模型在一維河道演算上與二維漫地流計算上之差異性(圖 15)。傳統降雨逕流(RR)模型在河道演算與漫地流演算上兩者為分開個別進行計算，也就是說在計算上兩者分別做獨立計算、擁有彼此的邊界條件，也由於不會彼此影響形成漫地流與河道流路僅會有單向流路行為；而降雨逕流淹水(RRI)模型則是河道演算與漫地流演算同時間耦合，考慮兩者間的交互影響。如圖 15 所示，漫地流與河道流路因兩者間有交互作用，所呈現結果會出現河道或是漫地流因外在水位條件影響而形成雙向(迴水)流路模擬結果。

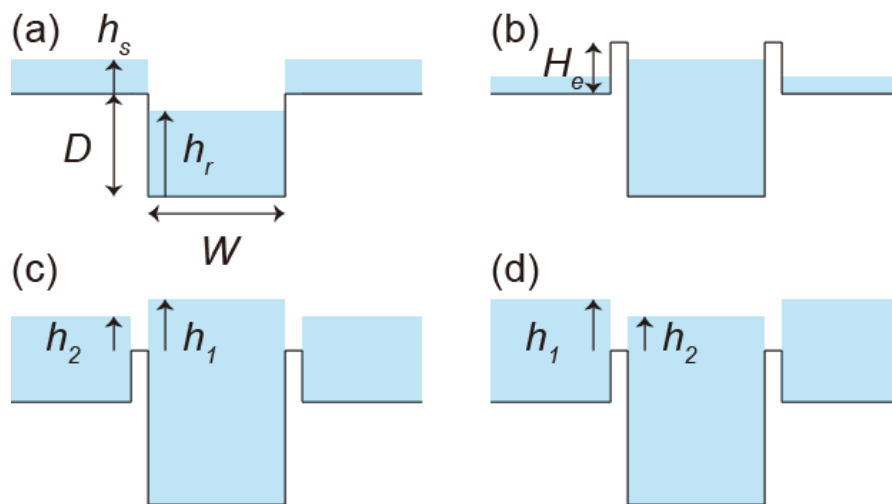


圖 14 RRI 於河道與斜坡之間的水體交換四種情況假設

(資料來源：Takahiro Sayama 上課講義)

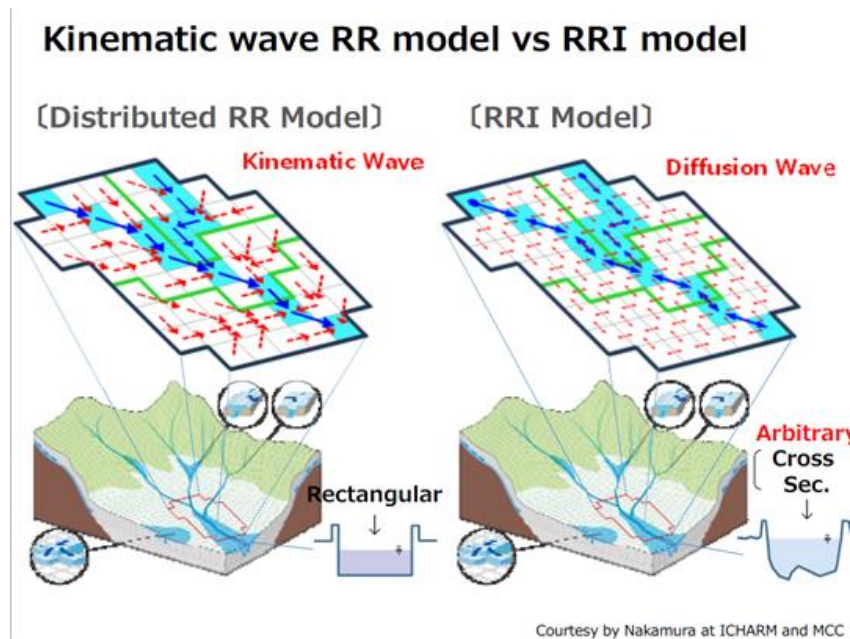


圖 15 RR 與 RRI 模型差異性比較

(資料來源：Takahiro Sayama 上課講義)

(六) 氣候變遷對環境災害的影響評估、社經發展策略調適

本課程是介紹日本文部科省所支持的一項計畫-評估未來 100 年間的氣候變遷模型。其內容說明，有大量的數據指出氣候變遷與溫室效應具有高度密切的相關性。隨著溫室效應持續存在，未來 100 年內的災害型態及強度，對日本環境及社會將是一大挑戰。該計畫中的子計畫之一，即有針對溫室效應與氣候變遷相關性進行科學化的分析與評估。並展望或評估未來 100 年內的氣候發展模式。

此研究結果將作為政府機關因應未來氣候變遷所造成的防災減災政策及行動的參考標的。而在該計畫主題 D 中即利用過往有限的調查數據，推估及建立未來氣候變遷模型或是水文模型，並應用於包括「氣候變遷對自然災害的影響」、「氣候變遷對水資源的影響」以及「氣候變遷對生態系統及生物多樣性的影響」等三個面向進行研究。

在氣候變遷下因應災害強度的提升所調適策略，在溫室氣體不斷增加與全球暖化的過程中，災害強度有不斷增加的趨勢(圖 16)。爰此，災害強度容許範圍若以當下條件作為定常性設計就會因時間的增長而顯不

足發生災害。而調適方式主要為預估一個年限目標(如一百年)，考慮在這年限內全球暖化所造成災害強度的增量趨勢與其不確定性，進而預估調整容許範圍使其在年限後仍能符合設計標準。舉例來說現今的兩百年重現期分析值會因氣候變遷造成幾年後的分析值增加，所以必須因應此一增量做合理的设计調適。

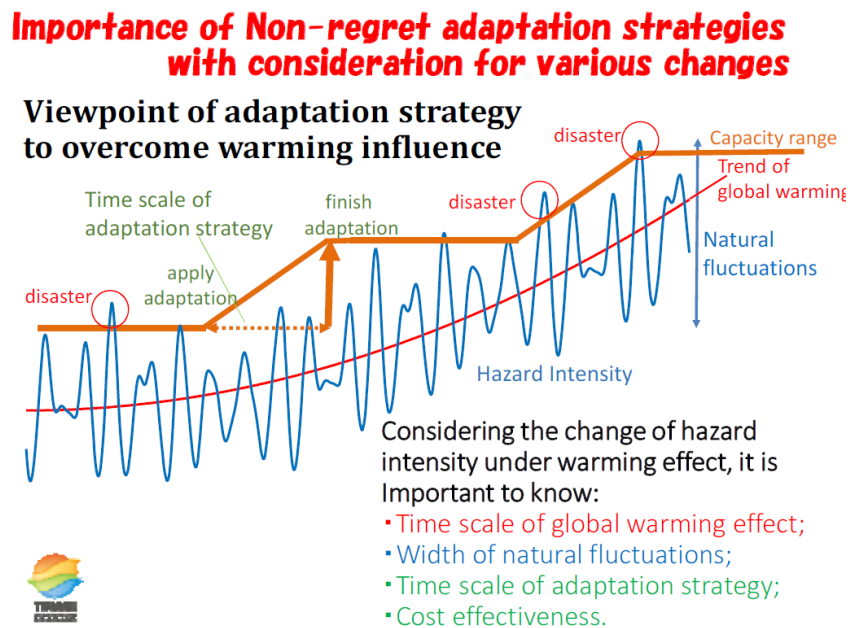


圖 16 因應氣候變遷下災害強度增加趨勢所調適方法

(資料來源：Eiichi Nakakita 上課講義)

更進一步來說，使用大數據資料來進行分析(圖 17)，可以發現若將未來兩百年的流量依據過去九百年的流量所推估出來、並進行頻率分析所做出機率紙點繪可以發現在高重現期距將有明顯的增量(由藍線變為紅線)。若與日本建設部所分析降雨與流量資料做比對更可以明顯發現(圖 18)：兩百年重現期年最大(72 或 24 小時)降雨與流量在尚未考慮氣候變遷所造成的影響下日本建設部所分析值(綠點)與本大數據模型(d4PDF)所分析值是十分接近的，然而當考慮到了氣候變遷所造成的影響下兩百年重現期年最大降雨與流量將會大幅增加。如降雨量將會增加至 1.3-1.4 倍，流量增至 1.5-1.7 倍

Present(Blue) and Future(red) annual maximum river discharge by d4PDF rainfall data

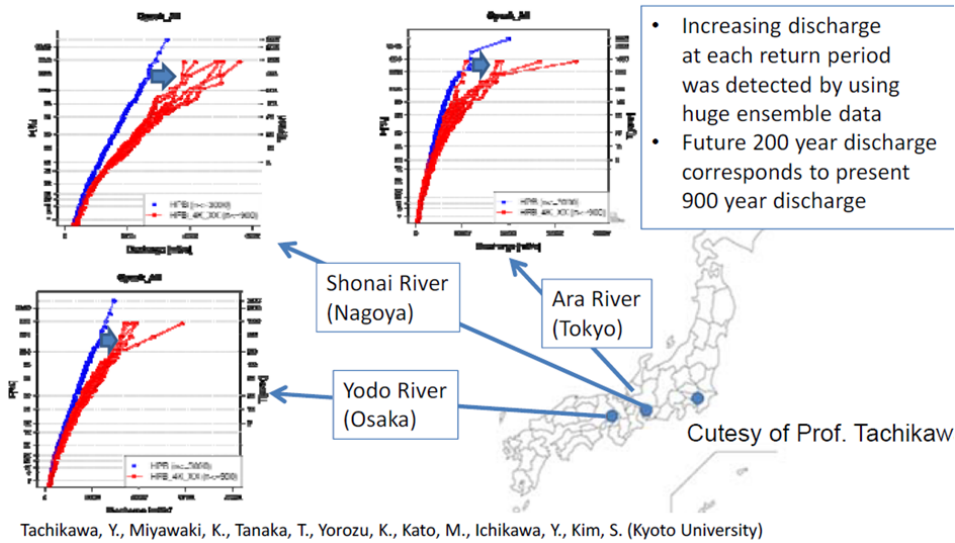
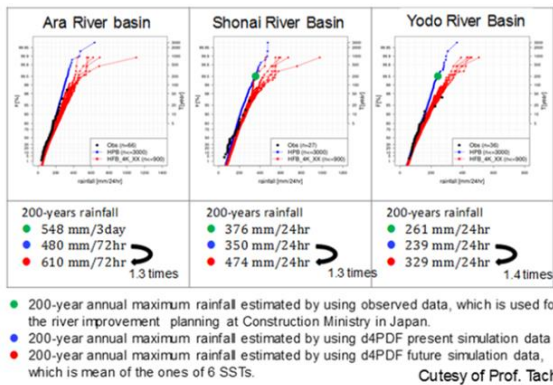


圖 17 年最大流量機率點繪因氣候變遷所造成差異比較

(資料來源：Eiichi Nakakita 上課講義)

Annual Maximum 24hrs Catchment Average Rainfall



Change of Annual Maximum Hourly Discharge

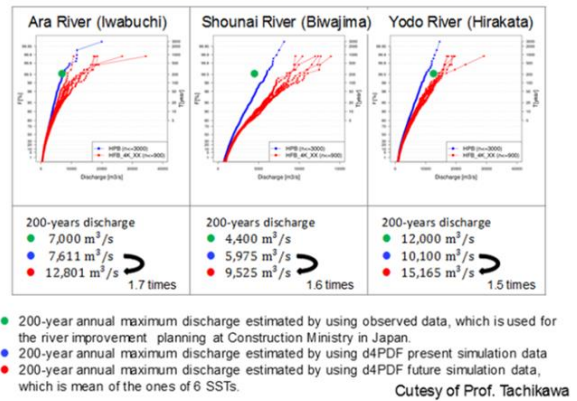


圖 18 考慮氣候變遷下造成降雨(左)流量(右)頻率分析差異

(資料來源：Eiichi Nakakita 上課講義)

爰此，未來在進行防洪設施基礎設計的時候請務必考慮到氣候變遷所造成的增量，而堤防高度不可能無限量增加，因此政府機關在進行基礎公共建設時，面對防災設計的標準具有高度的不確定性，建議採防災設計方式，利用大數據模式，妥適的以過去已發生過的災害危害程度以及未來評

估災害程度進行適度的匹配，讓設計出的基礎建設更能面對未來的災害衝擊。所以在超過重現期設計標準時請務必預留減災的餘裕空間(圖19)，並適度進行土地調適來因應。採用減災設計方式，以風險管理方式來面對，亦即強制將最惡劣的情況作為氣候變遷下災害風險管理的危害條件，將危害以風險轉移方式(例如保險)處理，較符合實務需求。

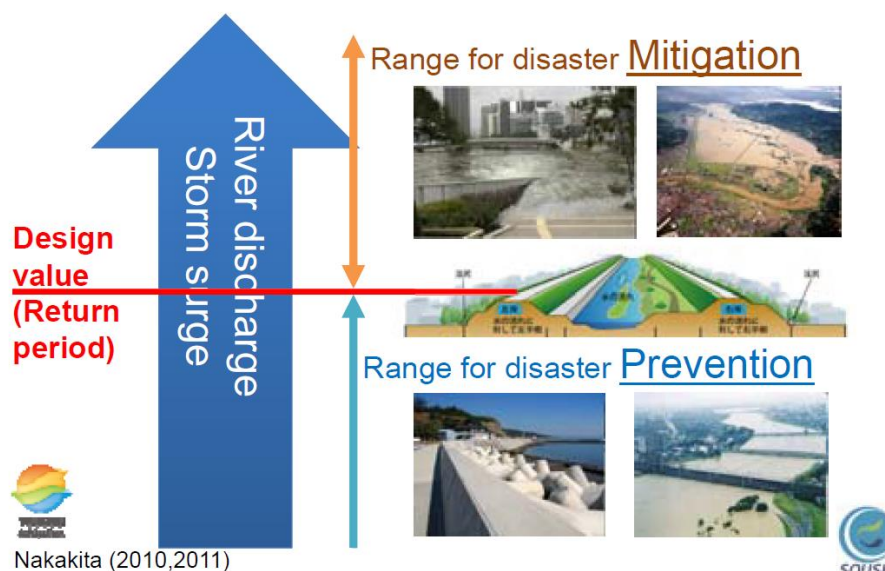


圖 19 因應氣候變遷下防洪策略調適思維

(資料來源：Eiichi Nakakita 上課講義)

(七) 極端氣候頻率分析理論與差異性

常見的水文分析方式分別有兩種方法 1.年最大值序列(Annual Maximum Series, AMS) 2.年超越值序列(Peaks Over Threshold, POT)，年最大值序列一般適用於平均每年皆容易產發生極值的地區來進行分析。然而，若所處的地區每年不常發生峰值、卻在同一年內接連出現好幾次相對於其他年的極值(如降雨量不穩定的地方，常常連續乾旱多年、卻在某一年內降下好幾次超量降雨)，使用年最大值序列來進行重現期推估將會大幅低估，而另一種推估方式相對下來會比年最大值序列來的優越-年超越值序列。此節將介紹年最大值序列與年超越值序列在機率紙上點繪的差異性，並進一步建議如何訂出合理門檻值供年超越值序列進行取樣、分

析。

若將適用年最大值序列的雨量資料進行機率直方圖繪製，可以發現其分佈情形與 Gumbel 分佈的機率密度方函數相近；然而若將適合年超越值序列的資料進行機率直方圖繪製，可以觀察到在刪去低於門檻值的資料後，其機率密度方函數則是與指數分佈較於相近(圖 20)。由此可知不同的資料序列，應該根據其實際分佈情形決定其分析方式，否則使用錯分析方式、選錯套配曲線將會低估同樣重現期距所對應的雨量。

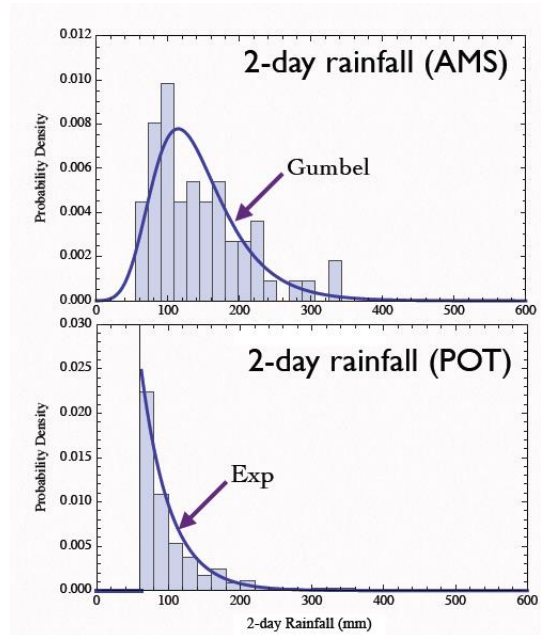


圖 20 年最大值序列與年超越值序列直方圖比較

(資料來源：Shigenobu Tanaka 上課講義)

如欲使用年超越值序列進行分析，其門檻值該如何訂定？於此樣本平均超越函數(SMEF)為決定門檻值選定的重要參數。如圖 21，SMEF 值於 95 至 115 時約略呈穩定狀態，於此案例則選定 2 日最大降雨 110mm 作為年超越值序列之門檻值。

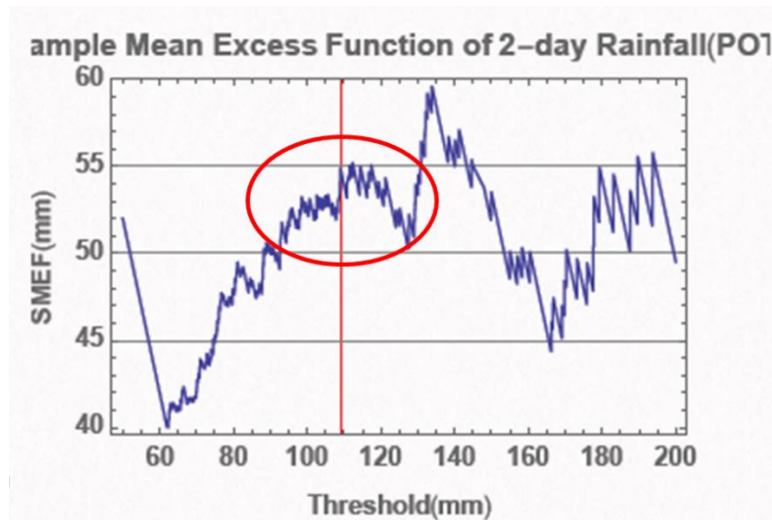


圖 21 由 SMEF 選定門檻值

(資料來源：Shigenobu Tanaka 上課講義)

(八) 河川生態系統基礎

本課程討論河川生態相關議題，課程中簡要介紹了生態學，生物多樣性，生態水力學和生態水文學的幾個基本概念，然後從各種河岸生物和物質的棲息地結構面向解釋淡水生態系統的結構及其功能，以及在生態系統中的主要物質循環。

課程中提及河川生態系統為我們提供各種系統性的需求，例如供水、提供食物、淨化水源、洪災調節、保水以及文化、娛樂及環境教育的需求等。然而，因部分的開發行為所帶來與河川生態的競爭，影響前開生態系統的各項功能。所以，課堂中主張，為了維持下一代的生態系統服務，我們應該改變流域管理方式，使未來能夠更加明智地利用淡水生態系統，應用科學知識，讓河川生態可以為我們提供永續性的服務。

有關氣候變遷對河川生態的影響，依據淡水生態學的知識，有兩個主要的關鍵詞彙，分別是「閾值(某種門檻或條件)溫度」及「累積溫度」。這些將是評估環境熱源對生物之影響程度，這些理論被應用於電廠廢水、汗水處理設施以及其他溫水排放工廠對環境的影響評估。

然而，在淡水系統中最被關注的問題除了水質污染外，對於水資源建設造成水文地貌改變的情形(如築壩、河防工程)，對河川生態也將產生重

大的影響，包括淡水族群生物量以及生物多樣性的改變等。特別是因建設造成河床淤積、沖刷等行為，造成生物棲地的改變等。因此，未來流域管理需要有分析棲地結構及其維護機制的單元及相關科學方法，一般被稱為生態環境學(Habitatology)。本節主要介紹河道內生物棲地研究，並且將上課所學習到的幾個量測指標用於隔日的野外現地調查。在日本河川擺盪特性與台灣非常相似，擺盪河川常呈現 S 型流路。而一般在河道流路上又可區分成淺灘區、淺灘頭、淺灘尾、深、低水流路、二次流路等等(如圖 22)。學者研究發現到一件很有趣的事情，位於淺灘頭的的地方往往有許多生物會選擇在此產卵(如蝦虎魚等)。為何許多生物容易聚集於此根據進一步研究可發現主要有幾個因子造成此地適合生物棲息。

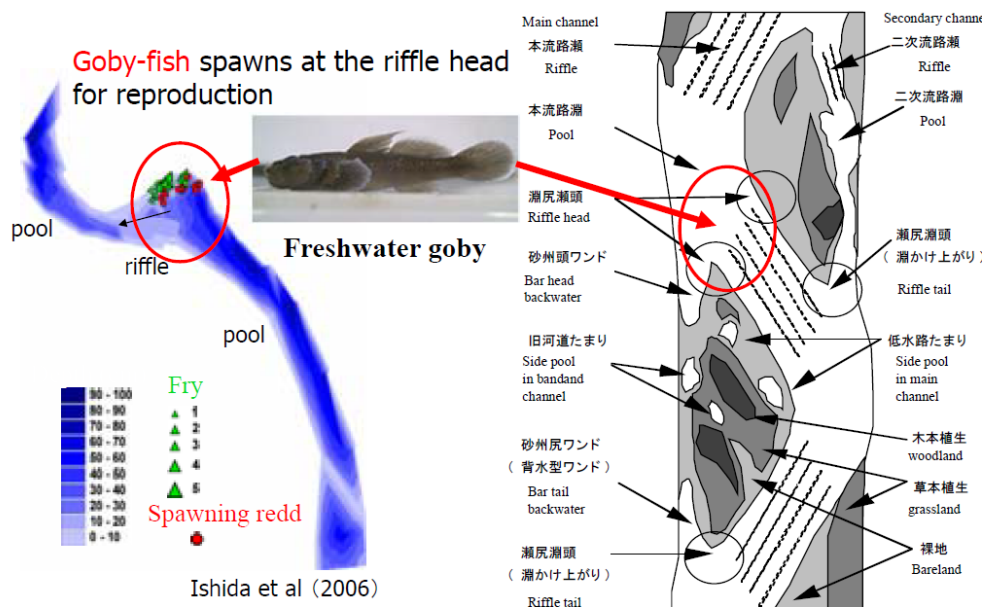


圖 22 水生物棲地與地貌關係示意

(資料來源：Yasuhiro Takemon 上課講義)



圖 23 河床水溫及滲透性調查練習

由於淺灘頭位於上游水頭較高區域，因此在流向下游流路過程中除了主河道外亦會經由沙洲下以下沉流-上升流方式流出。而在此一過程中也出現了一些物理現象(圖 24) 1.流速於上游下沉區與下游上升區比較較於穩定 2.泥砂量下游比上游來的濃 3.水中溶氧量上游下沉區遠高於下游。綜合上述可發現生物多樣性從下沉流至上升流為由高至低，而垂直方向隨著沙洲表層至底部由高至低(圖 25)。

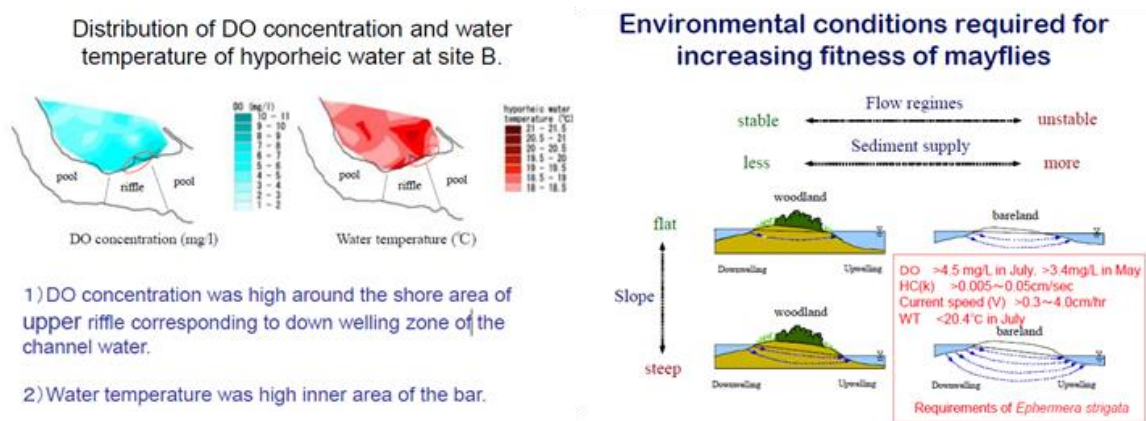


圖 24 沙洲溶氧量分布(左)與上下游流速、供砂差異(右)

(資料來源：Yasuhiro Takemon 上課講義)

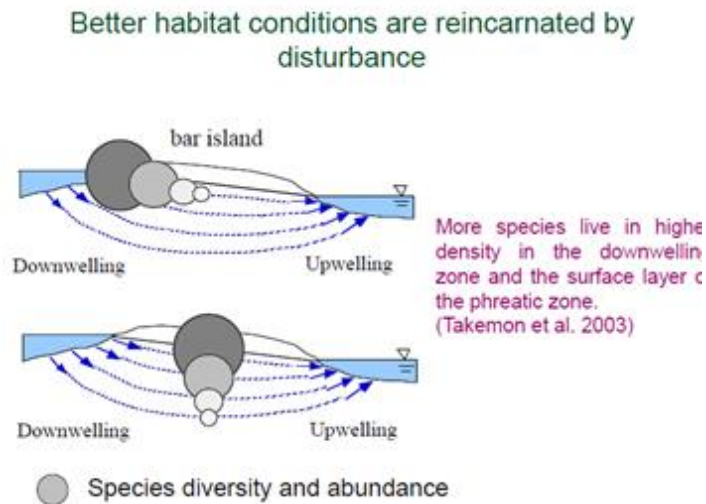


圖 25 生物多樣性與沙洲空間關係

(資料來源：Yasuhiro Takemon 上課講義)

(九) 氣候變遷下營造出具韌性之社會環境

本課程是將危害分析與風險評估應用於防災減災方面。主要是經由危害識別，將危害風險定義由三個因子所組成，分別是危害(H, hazard)、暴露(E, exposure)與弱點(V, Vulnerability)。其中，危害(H)是指由自然現象所造成之危害、暴露(E)係指受自然災害影響的事物、弱點(V)被定義為由物理，環境，社會或經濟因素或過程產生的條件，因危害所造成損害的面向。

經由前開歸納，可按危害類別建置出危害地圖，例如依地理條件建置海嘯危害地圖、依斷層分布建置地震危害地圖、依颱風路徑及發生時序建置颱風災害危害地圖等。課程中並舉日本數個災害案例，來說明各項因子的影響性，例如仙台海嘯事件，因該事件之危害(H)超出回歸期最大危害，造成不僅原評估曝露區(E)受到侵害，地圖中之非曝露區亦受到侵害，使 E 增加了，進而使得危害程度提高。另一例子為廣島市因山體滑坡和土石流受到嚴重破壞的案例，這案例因坡地災害的危害程度高(H 大)，以及市區中人員及財產聚集(E 大)，兩者的加乘效果，造成巨大的損失。相關的評估理論如圖十所示。

課程中並提及防災教育的重要性，受過良好教育的人或群體，忍受危害程度相對較高。配合建置各類危害地圖，可使人民了解身處環境之危害種類、危害程度及相應的風險。進而能提升防災、減災意識。並藉由事前規劃各種防災應變機制，使災後復原階段能夠更有效率。

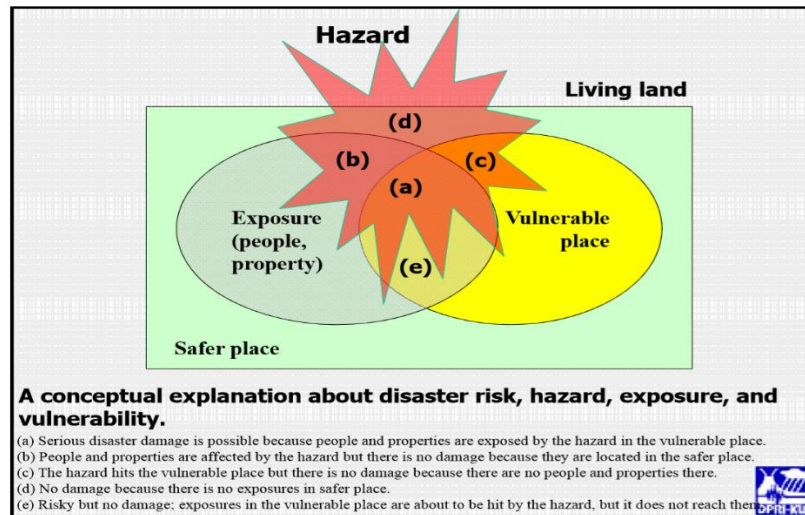


圖 26 危害、暴露狀態與脆弱點關係

(十) 教科文組織 - 國際水文計劃和亞洲氣候變化下的水資源預測

本課程介紹了聯合國教科文組織國際水文計劃的歷史和作用，然後討論了水文循環和氣候變遷對東南亞水資源的影響。課程中並利用水文學的基礎概念，建立簡易水資源循環系統的控制方程式，如圖 27，用以概略預測水資源分配情形。如圖 28 所示。

課程中並以印度地區為例，利用上開建立之控制方程式，評估在氣候變遷的狀態下，影響水資源分配預測情形。其中，分析面向包括河川流量計算、水資源量的改變、洪災風險的改變以及旱災風險的改變等多方面的應用。本項評技術可應用於配合上開各種情形進行預防性的水資源調度使用。

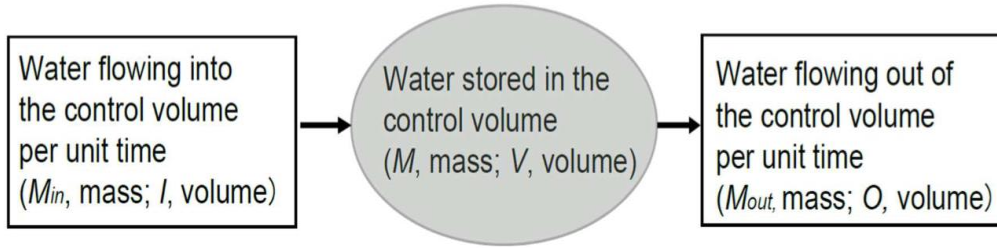


圖 27 水資源平衡及連續性關係

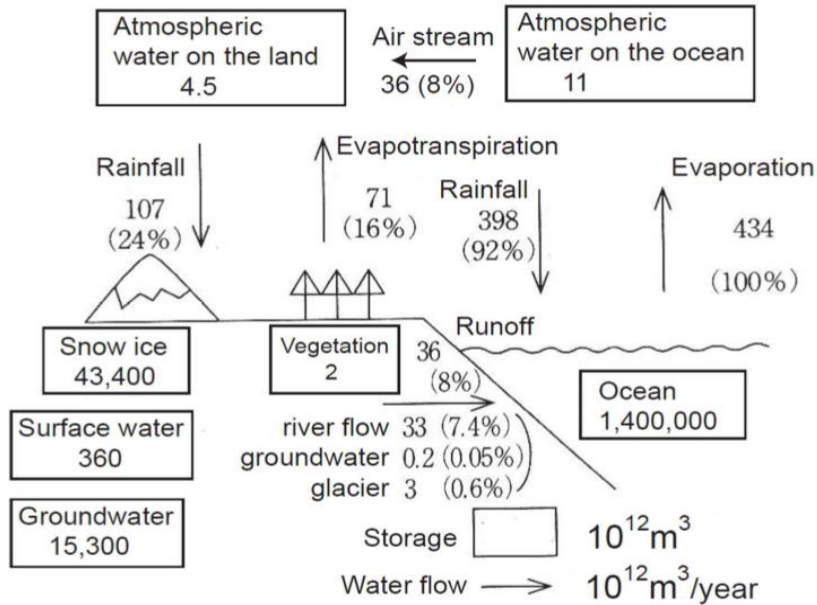


圖 28 地球上整體水資源概略的分佈狀態

(十一) 水庫營運最佳化基本原理及練習

本課程係在學習對於兼具防洪功能及供水功能之水庫最佳佳化操作策略。透過動態規劃(dynamic programming ,DP)的程序及目標函數的應用，來優化水庫操作的策略。本課中先透過簡單的例子說明 DP 的應用，並利用典型的反向推算法練習評估水庫最佳儲水量控制的評估。

其中並提供現有日本多功能水庫的相關數據，用來示範實際演練最佳化的操作策略。透過前些介紹，說明水庫最佳化操作策略的擬定，所需的相關水庫參數、水庫數學模型的分層數量、分析時間之單位長度等，依據所設定的目標狀態(例如最佳的儲水量)，以及實際的設施排水量限

制等相關水文資料及水庫條件等。並練習由 DPRI 開發的最佳化程式來呈現最佳化程序的操作結果。

PRINCIPLE OF OPTIMALITY - CONCEPT

Shortest path problem

Minimize time (minutes) to reach Town H from Town A

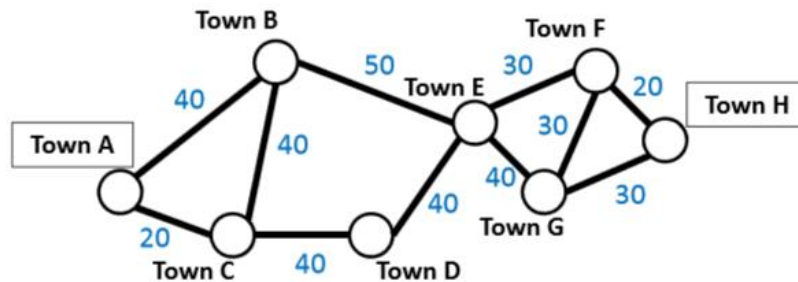


圖 29 水庫最佳化操作原理的概念

(十二) 實機操作演練

● GCM 資料進行降尺度分析

氣候變遷研究領域經常性的會使用到現地調查資料或模擬之成果以時變方式在地圖上呈現之需求。又常因調查資料或分析資料所規劃之網格與地理資訊資料之網格規模或尺度無法匹配，而須進行前置處理，資料降尺度分析是一種常用於全球氣候模型(GCM)的技巧，在幾款常見的全球氣候模型常會因為尺度、網格大小與小區域模型不一而造成轉換困難。本訓練為使用 R 語言所撰寫之程式，練習如何將大尺度 AGCM 60km 的全球氣候模型氣象模擬結果，降為小尺度 AGCM 20km 區域模型大小、使其能適用於日本區域，若有進一步所需可依相同道理再更進一步降為 5km 甚至 1km 網格作使用(圖 30)。

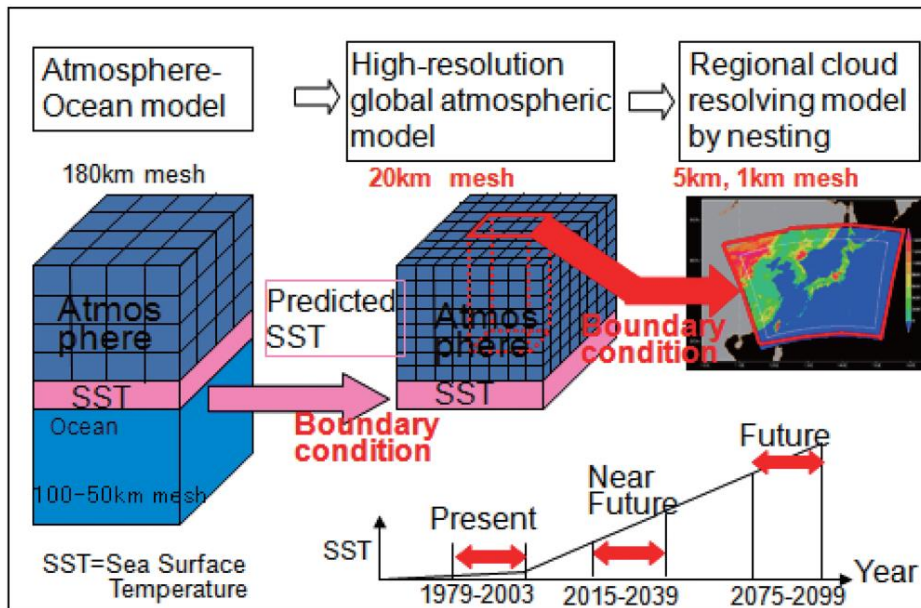


圖 30 不同尺度全球氣候模型尺度轉換示意圖

(資料來源：Sunmin Kim 上課講義)

而該程式主要透過將 60km 的網格資料運用多變數限制性回歸的方式，回歸分析出各個更小網格的參數為何。舉例來說將 60km 網格要降成 20km 的網格因長跟寬各差 3 倍，所以每格 60km 的網格將會被切成 9 個 20km 網格的網格從而由鄰近 8 個與本身大尺度網格多變數回歸出各小網格(變異數)之係數。並且可利用殘差最小平方法，由矩陣解出各係數與殘差大小(圖 31)。

$R_{1,i}$	$R_{2,i}$	$R_{3,i}$
$R_{4,i}$	$r_{1,i}$ $r_{2,i}$ $r_{3,i}$	$R_{6,i}$
$R_{7,i}$	$R_{8,i}$	$R_{9,i}$

$Z = Ax + v$

$$r_{k,1} = (C_{k,1}R_{1,1} + C_{k,2}R_{2,1} + \dots + C_{k,9}R_{9,1}) + \varepsilon_{k,1}$$

$$\begin{bmatrix} r_{k,1} \\ r_{k,2} \\ \vdots \\ r_{k,i} \\ \vdots \\ r_{k,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{2,1} & R_{3,1} & \dots & R_{9,1} \\ R_{1,2} & R_{2,2} & R_{3,2} & \dots & R_{9,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ R_{1,i} & R_{2,i} & R_{3,i} & \dots & R_{9,i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ R_{1,n} & R_{2,n} & R_{3,n} & \dots & R_{9,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{k,1} \\ C_{k,2} \\ C_{k,3} \\ \vdots \\ C_{k,9} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{k,1} \\ \varepsilon_{k,2} \\ \vdots \\ \varepsilon_{k,i} \\ \vdots \\ \varepsilon_{k,n} \end{bmatrix}$$

圖 31 以多變數回歸求各小尺度網格係數

(資料來源：Sunmin Kim 上課講義)

其中撰寫程式中已包含各項計算如均方根誤差與出圖、模型預估偏差更正等等。唯輸入內容須以下列方式排列分別輸入：(如圖 32 由左而右依序為)20km 網格資料、60km 網格雨量資料、60km 網格壓力資料、60km 網格高程資料、60km 網格溫度資料。而資料長度則以歷年資料各別月份所佔天數為單位，舉例來說 5 年來 7 月份的資料將有 $5*31$ 共 155 筆 Data (列數)。

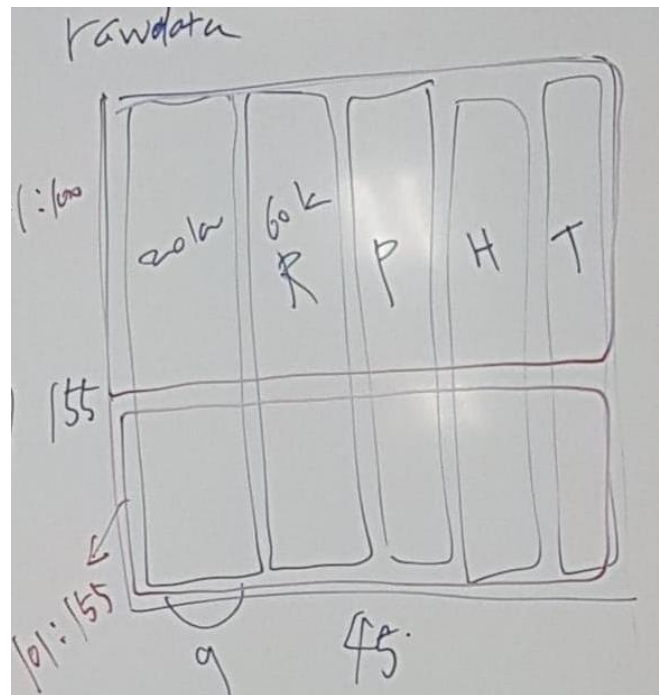


圖 32 輸入模型資料排列方式

而本次作業練習則為設法將 25 年 6 月份 20km 網格雨量原始資料($25*30=750$ 行)檔對映到 60km 網格內並取平均值代表，作為多變數限性回歸資料來源，並排列成圖 25 可讀取之形式。由於本次資料來源 20km 僅有 81 個網格($9*9$)，故輸入資料會是一個 $750*(9+9)$ 的矩陣(作業撰寫程式碼如圖 33、結果如圖 34)。

經系統分析後可得到七月份回歸分析後估計值與原始資料做差異比較(圖 35)、降雨頻率組體圖差異(圖 36)。

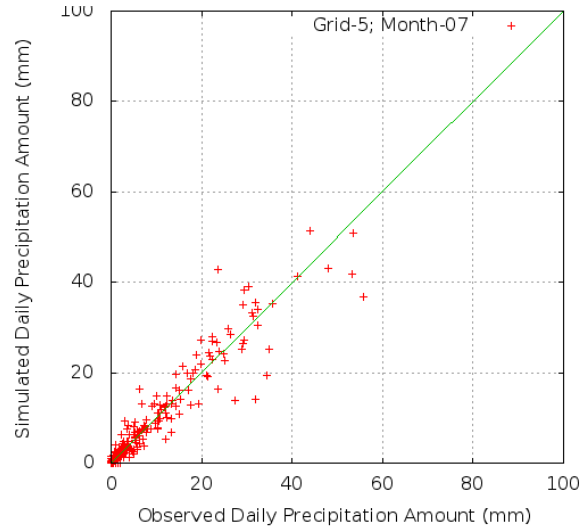


圖 35 七月份降雨量回歸值 v. s. 觀測值

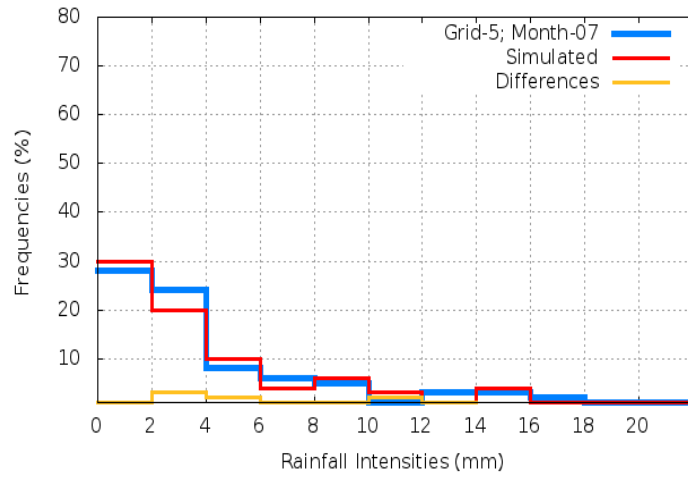


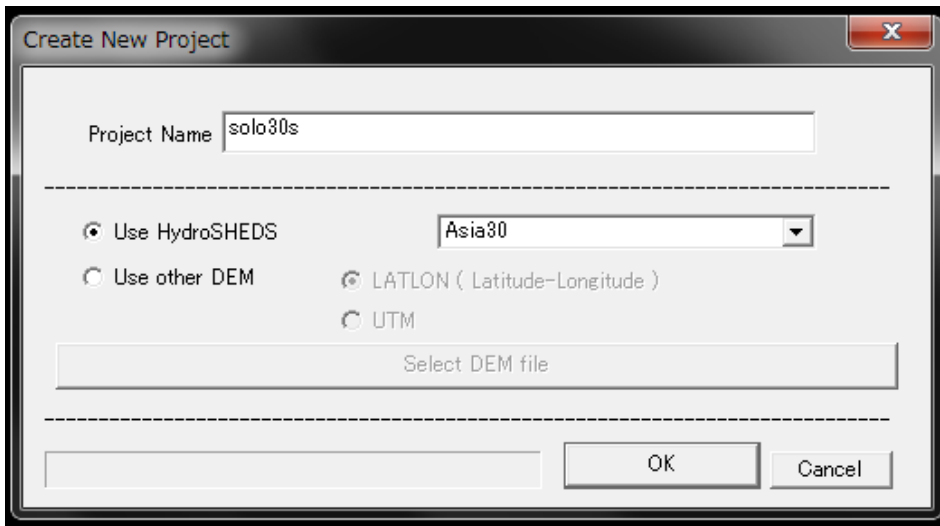
圖 36 七月份降雨頻率組體圖回歸值 v. s. 觀測值

- **RRI 降雨逕流水文水力分析**

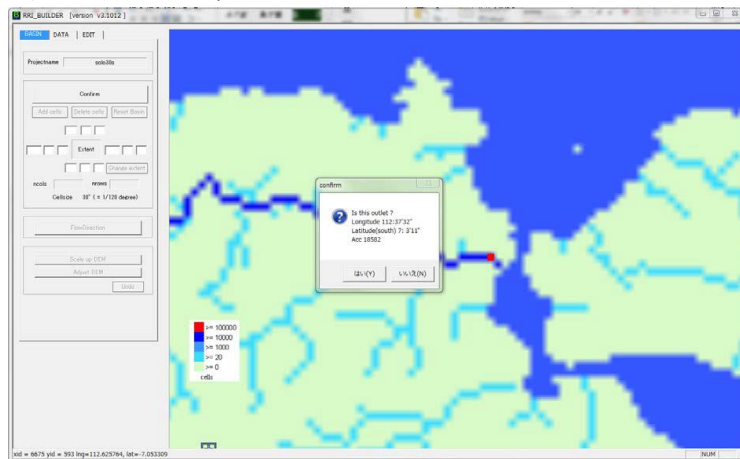
本程式在給定降雨主體、地文因子後能模擬整個降雨逕流到溢淹的過程，並能將淹水深度隨時間空間變化作圖。操作步驟如下：

因課堂時間有限，DEM 等地文因子資訊已先建置完成(網格非常粗糙)，若研究區域需更細部研究探討建議使用 ARC-GIS 或是 QGIS 等軟體先行匯出，詳細匯出過程請參閱原廠 manual。首先在新增計畫後選擇地文因子背景資料。

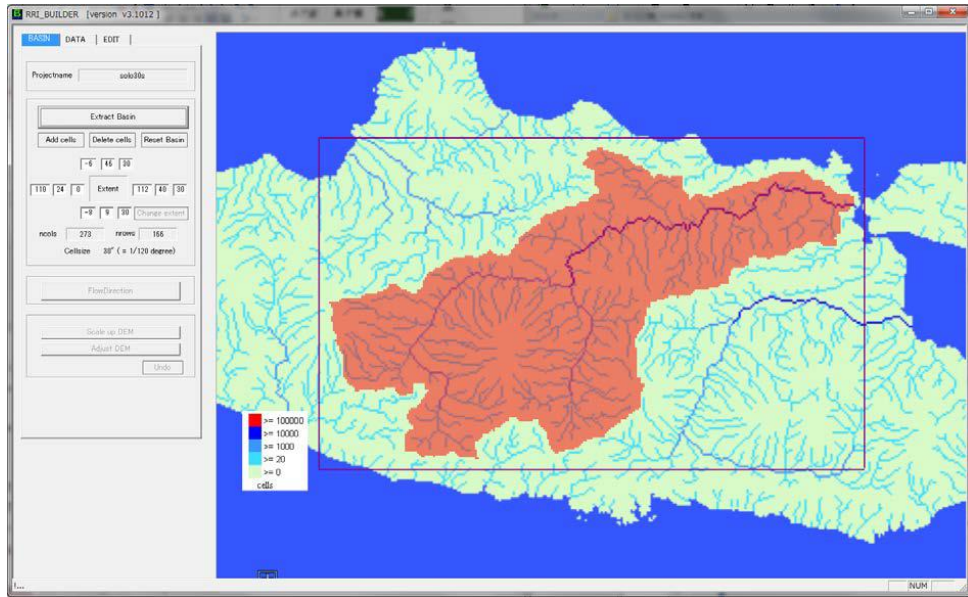
(以下資料來源：RRI_Manual)



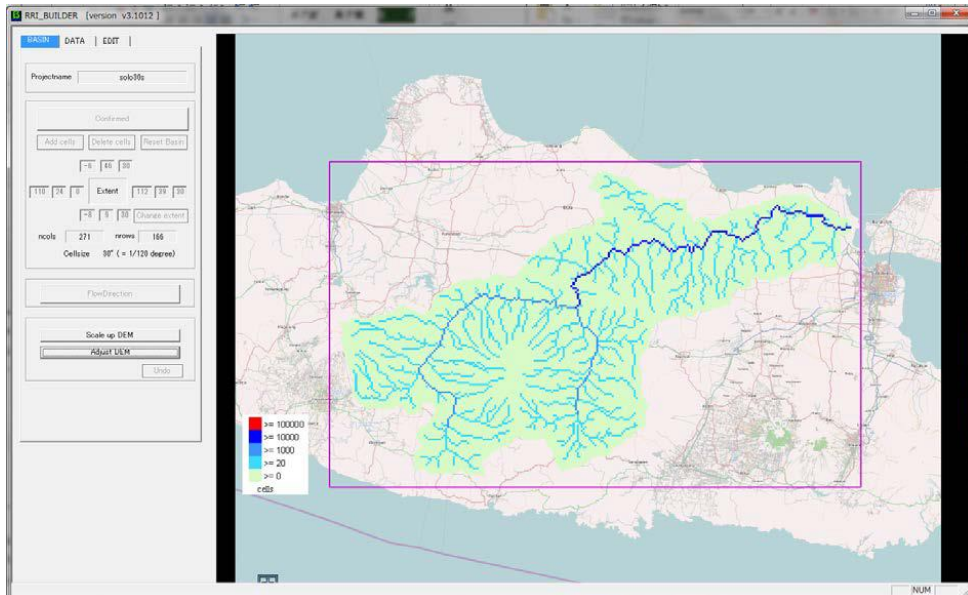
- 以本次練習為例研究地點為印尼爪哇島集水區，須選出集水區河川出海口做為控制點。



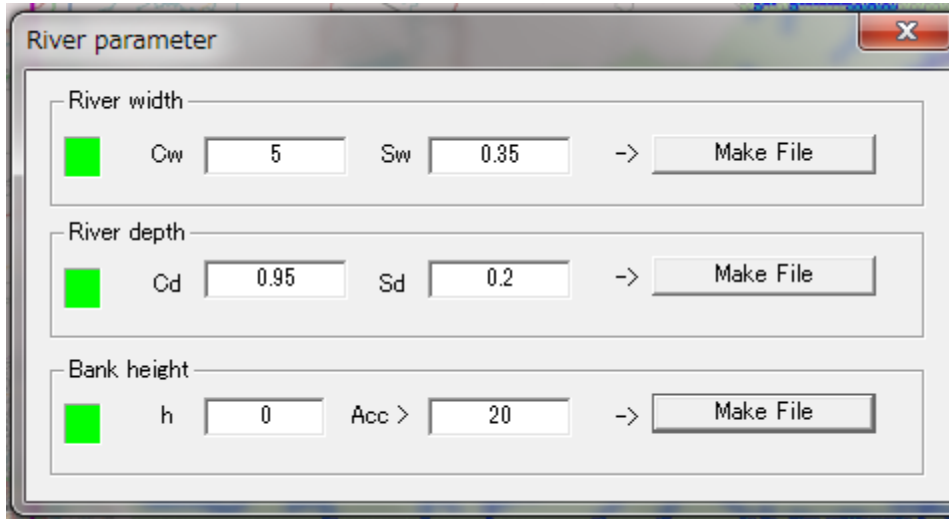
- 而當出海口控制點選擇好並確認後，整個上游的集水區便會自動產出並標示出範圍提供檢核。



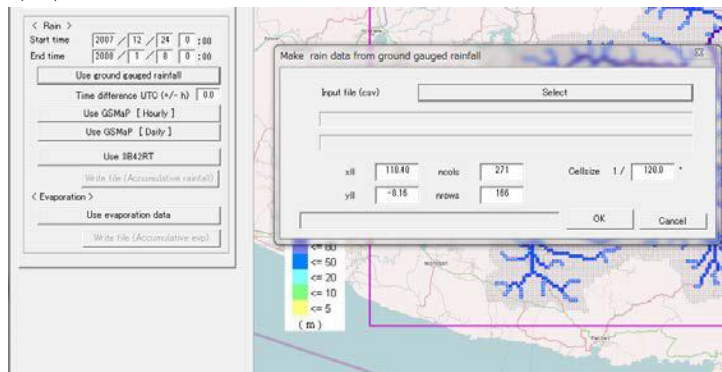
- 確定集水區範圍後因尺度關係如須修正 DEM 大小故須在匯入後點擊修正，修正後即可看到網格出現。



- 而在河道方面本模型假設河道為矩形渠道，因此須在此依序輸入幾個河道參數，如河槽寬、河槽深、灘地高度等；而天然渠道複式斷面要如何轉換成等同矩形渠道的上述參數，請參閱原廠 manual；點擊 make file 後若匯入成功左方燈號即變為綠燈。

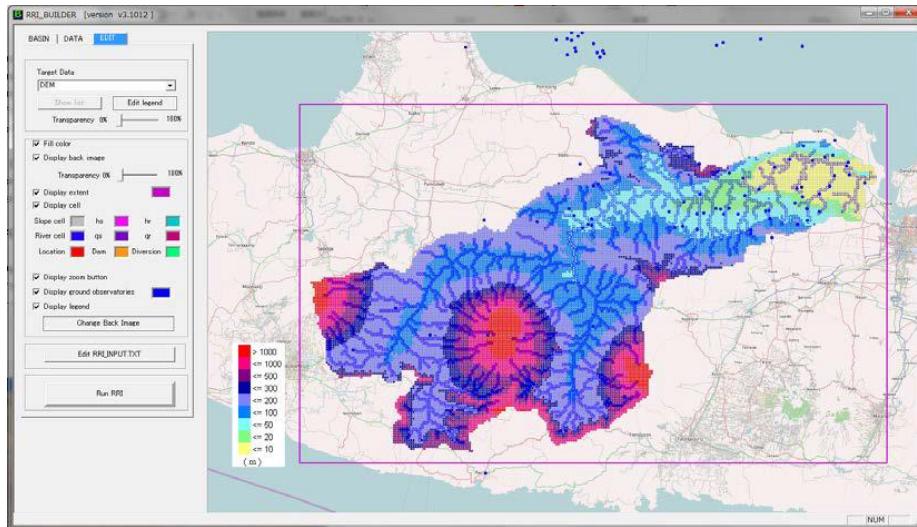


- 在給妥河道參數後須準備輸入雨量組體資料，在指定好模擬期間範圍後(注意模擬期間不可大於匯入資料範圍)匯入雨量資料，格式須為 CSV 檔，而匯入雨量資料排列縱軸為日期橫軸為單位小時降雨量 mm。

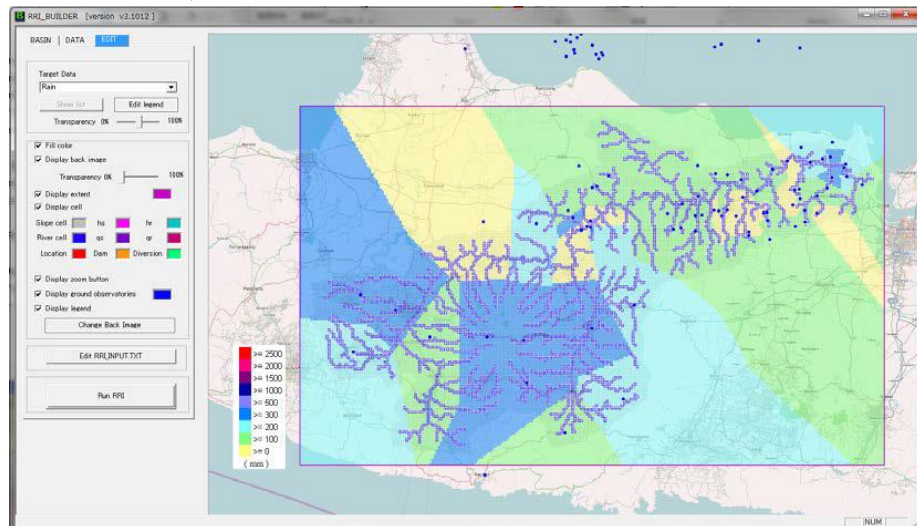


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	125															
2	lat	-7.1945	-7.12661	-7.08353	-7.22057	-7.2496	-8999	-7.23782	-7.24462	-7.19858	-7.19815	-7.25191	-8999	-7.17517	-7.19885	-7.25725
3	lon	111.954	112.1116	111.5484	111.1092	111.8431	-8999	111.5095	111.8725	112.0301	111.9285	111.4876	-8999	112.0516	112.086	111.9287
4	2007/12/24 0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2007/12/25 0:00	15	5	14	0	2	2	6	0	0	0	0	2	3	9	1
6	2007/12/26 0:00	46	40	52	42	85	61	30	65	68	59	70	48	4	40	61
7	2007/12/27 0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0
8	2007/12/28 0:00	14	5	15	0	5	8	0	3	0	0	11	5	0	11	5
9	2007/12/29 0:00	0	3	3	3	7	0	0	7	8	0	0	0	0	0	8
10	2007/12/30 0:00	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
11	2007/12/31 0:00	16	2	9	0	8	2	0	4	0	15	0	1	5	0	2
12	2008/1/1 0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	0	0
13	2008/1/2 0:00	4	7	8	0	0	0	0	0	4	3	0	3	0	2	0
14	2008/1/3 0:00	6	0	7	0	0	0	3	0	0	0	0	0	6	0	4
15	2008/1/4 0:00	8	0	25	15	20	22	0	25	2	20	0	5	3	10	16
16	2008/1/5 0:00	9	13	0	2	15	0	20	0	0	0	0	7	0	0	0
17	2008/1/6 0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	8
18	2008/1/7 0:00	42	0	2	0	0	0	10	0	0	0	0	0	2	0	0
19	2008/1/8 0:00	8	8	37	3	5	22	0	6	12	30	0	40	7.5	0	31

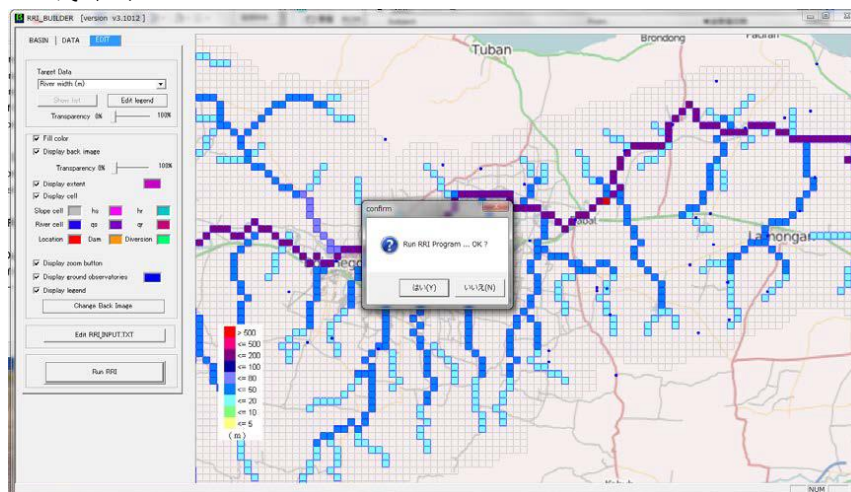
- 按下編輯後即可出現各項資訊於圖面如數值地形高程 DEM



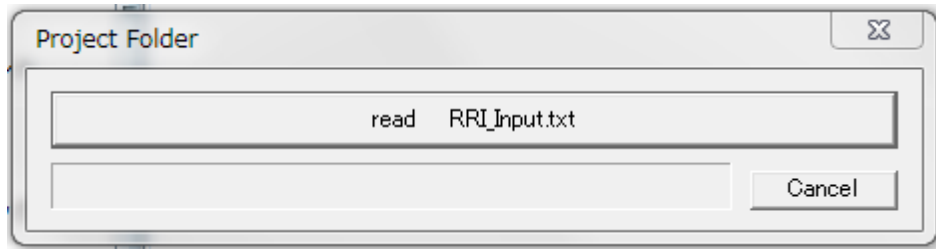
- 或是累計降雨量



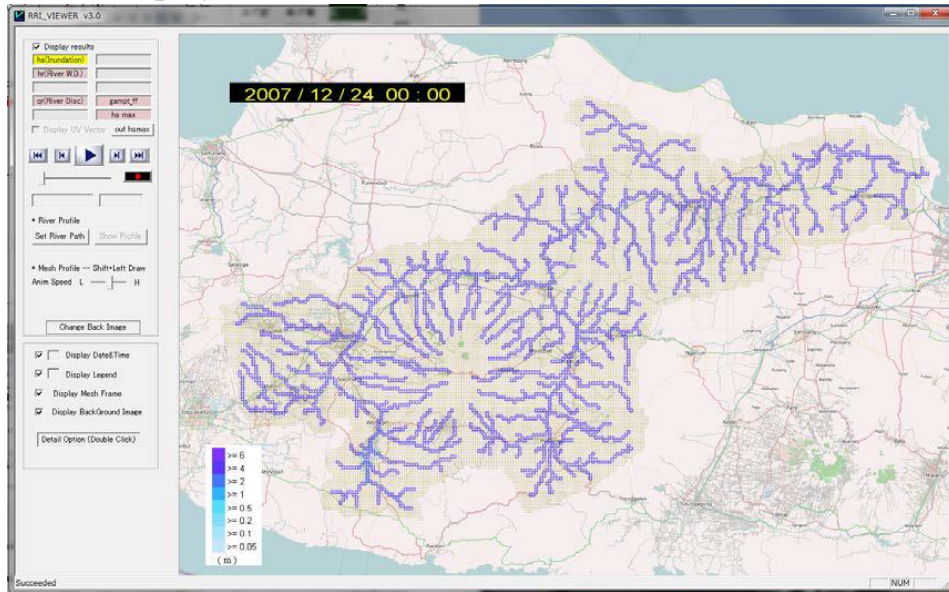
- 執行完 RRI 後即可將結果會出成 txt 檔(RRI_Input.txt)做為視覺化成果展現。



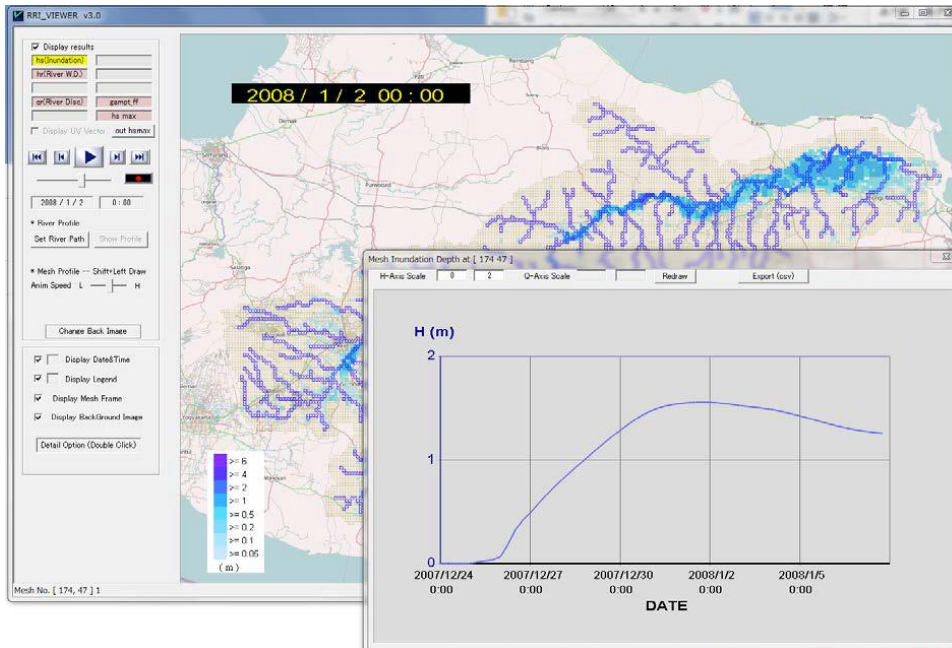
- 關閉程式後執行 RRI_VIEWER_64.exe 並讀取剛剛 RRI_Input.txt 資料檔做圖。



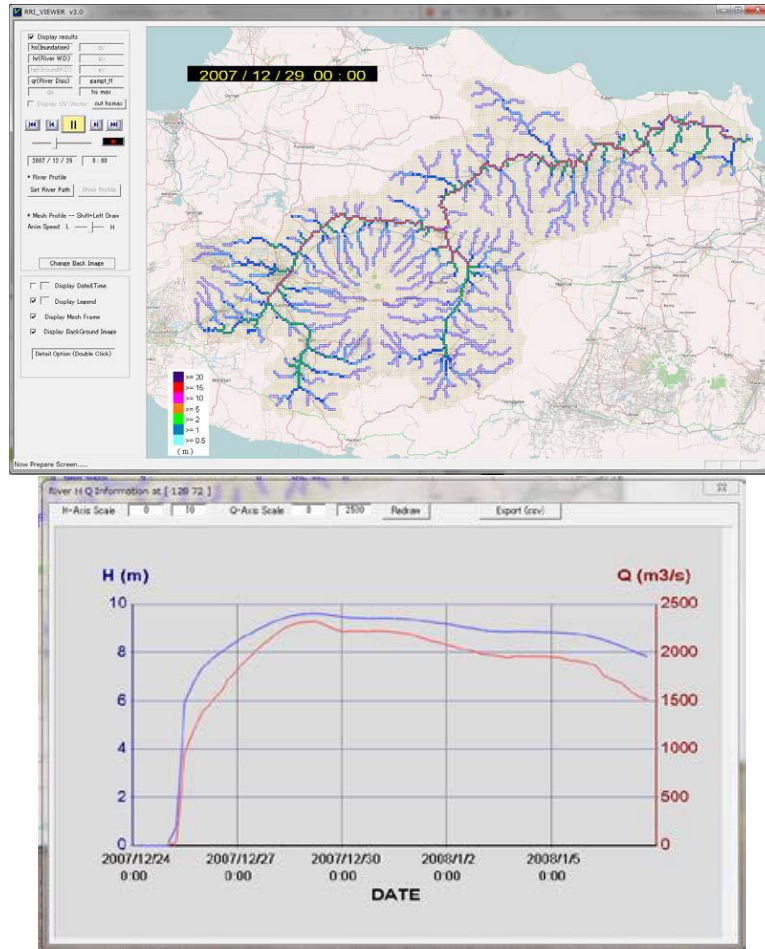
- 按下 play 鍵後即可展示淹水範圍隨時間變化。



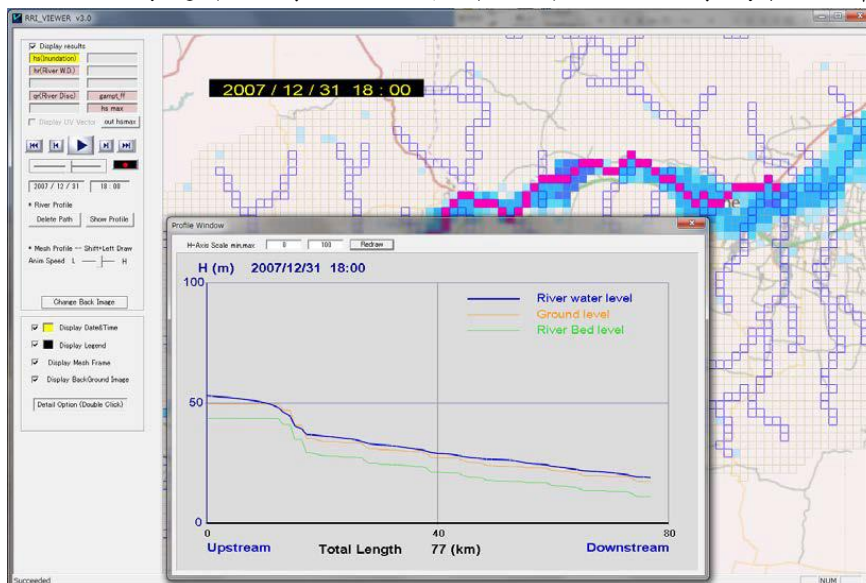
- 洪範區也可依網格點個別選取做淹水深度歷線。



- 同理，也可依河道內任一網格點作選取，做圖了解該處水位歷線(藍)與流量歷線(紅)變化。



- 也可沿河道中心線由上游往下做水位、溪線高程縱斷面圖。



(十三) 現地、室內實驗與參訪

● 現地實驗

現地實驗部分為課堂上河川生態系統基礎之延伸，實際量測宇治川(圖 37，位於宇治防災研究所水工試驗室旁)與 Kizu 河(圖 38，位於 JR 奈良線玉水站旁)兩條河川內沙洲、淺灘的幾項生物棲地重要指標：包含水利傳導係數、河川含氧量、河床土壤柔軟度等。

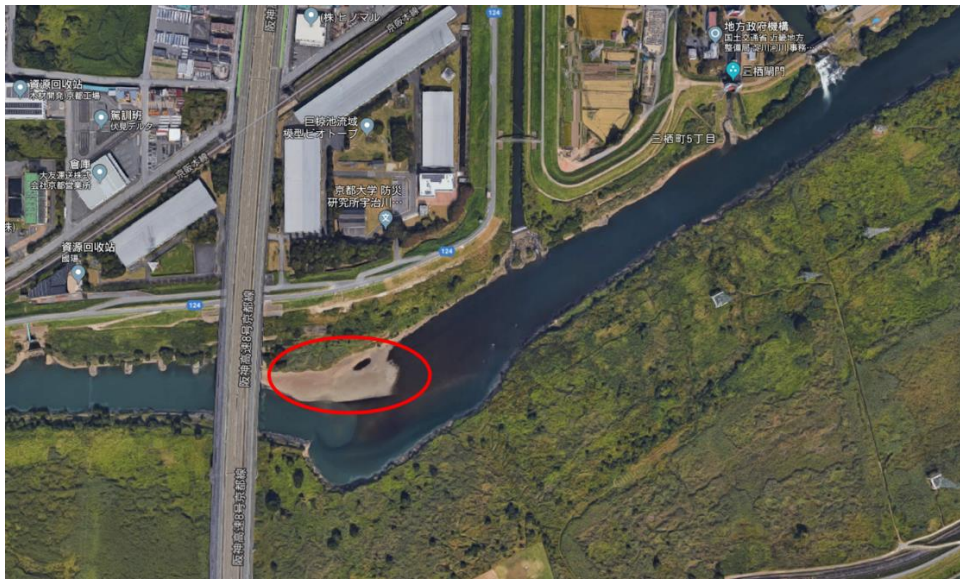


圖 37 現地實驗位置(宇治川)



圖 38 現地實驗位置(Kizu 河)

量測項目學員共被分為四組：

第一組為量測沙洲中土壤柔軟度，量測方式分為兩種；第一種為使用類似犀牛角叉子(如圖 39 左方器具)插入土壤中，並記錄每次插入深度做為土壤柔軟度依據。優點為攜帶方便且能迅速評估土壤柔軟度，缺點為插入深度會因使用者力道不同而失去客觀評估。第二種為使用使用重錘於固定高度自由落下所能插入土壤中的深度(如圖 39 右方器具)，此一量測方式較為客觀，且能依據多次實驗結果繪製曲線取其平均值(圖 40)。



圖 39 常見現地土壤柔軟度測量器具

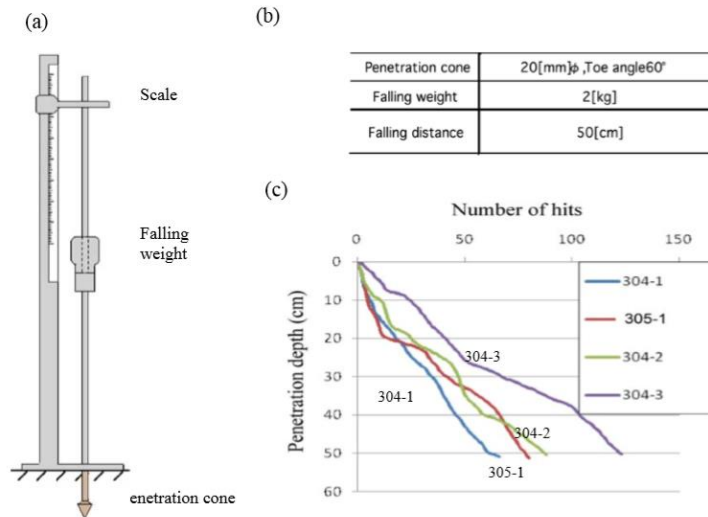


圖 40 較客觀的土壤柔軟度測量方式

第二組為量測水面水位高程差，與量測水平距離(圖 41)，用以計算水利梯度 i 值。



圖 41 量測水面水位高程差用以計算水利梯度

第三組則在上游處加入鹽水，同時間並開始量測下游挖洞處土壤內因上游滲流來的鹽水所造成的導電度改變(圖 42)，使用導電計於 30 秒量測一次並記錄其歷線。當其導電度不再改變即視為上游水體流經此水平距離所需時間，用以計算其流速 V 。



圖 42 注入鹽水(左)，量測導電度變化與計時(右)

第四組則為使用儀器量測河川內溶氧量。當第二組與第三組量測、計算出水利梯度與地下水流速後，即可依據達西定律 (Darcy's Law, $V=ik$) 計算出當地水利傳導係數。即可得知河川內沙洲、淺灘的幾項生物棲地重要指標參數，本次實驗量測計算成果如圖 43 所示。

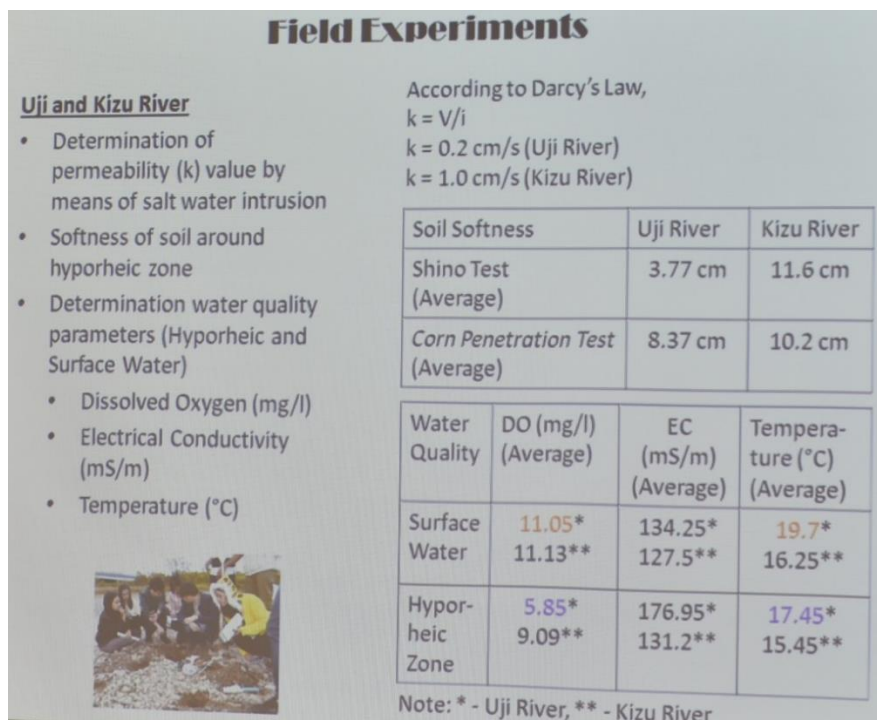


圖 43 現地實驗量測成果

其中進行第二次現地實驗時，Takemon 老師順道介紹了 Kizu 河當地特有的整治工法。由於該河段左岸為凸岸，有非常嚴重淤積問題。右岸則是凹岸不斷侵蝕，高灘線退縮接近至堤線處有堤腳沖刷破壞疑慮(如圖 44)，故嘗試佈設石籠定砂並進行挑流。

此石籠並結合當地特產-竹子，使用其作為外框編織材料(如圖 45)。進而取代掉常見的鐵絲材料，大幅減少與環境景觀之突兀性。而在測試放置了幾年後，可以明顯觀察到定沙效果十分顯著。如圖 46 所示，在石籠佈置完成後凹岸灘地明顯往外擴張。相對地左岸凸岸灘地則是因為受到挑流的效果逐漸往內侵蝕，達到初步預定目標。接下來第二期計畫則是預定另外增設三組石籠，加強挑流效果使其左岸凸岸嚴重淤積區塊與植被能盡快利用大自然的力量所移除、增加其通洪能力。



圖 44 Kizu 河川左右岸現況



圖 45 用於定砂之竹製石籠



圖 46 定砂後右岸灘地之擴張

● 室內實驗

1. 以小尺度模型模擬河川輸砂過程：

此實驗由 4 種粒徑(0.4-2mm)的塑膠顆粒試驗砂所構成河床底質，上游處設有一口定量流出之水管用以模擬河川在低流量與高流量水流下河道的擺盪變化過程(圖 47)，並在實驗過程中嘗試插入塊石、植被等用以穩固河床。下游處則設有一開口用以排出水流用以模擬河川出海口之情境，並可以觀察到整個河川下游整個三角洲形成的過程變化。最後藉以實驗成果可以觀察到下游三角洲粒徑組成方式(如圖 48，粒徑由大至小分別為黃→米→咖啡→紅)，可以發現三角洲的組成僅會有黃、米、咖啡三種顏色，且咖啡色顆粒較易停留於底層，最細的紅色顆粒則是直接飄向外海並沉澱。



圖 47 使用小尺度模型模擬河道的擺盪變化



圖 48 下游三角洲形成與顆粒組成型態

2. 水庫滯洪對下游河道流量歷線分析：

此實驗為一小型水庫模型(圖 49)，並在水庫下方開了一個矩形開口，水庫上游則是放置一水桶下方分別開出大、小流量用於模擬上游集水區水桶模式。第一組實驗水庫下方矩形開口選擇打開，上游降雨入流量等於開口出流量，代表著水庫並不存在，由此一實驗可發現下游河道在上游入流量大時很快地就發生溢堤現象。第二組實驗水庫下方矩形開口選擇關閉，而洪水則是會由上方矩形開口堰自然溢流出。同時依據水桶內水位高度計算出上游入流量理論值之流量歷線，與矩形堰依照壓克力板上刻度觀察堰內水位高度並用堰流公式計算出流量理論值之流量歷線。將實驗結果兩歷線合併作圖(圖 50)可發現，水庫的興建(紅色歷線)能有效稽延洪峰來臨的時間，且降低洪峰值。這也就解釋了為何實驗時上游使相同的入流量作為條件，下游城市卻在興建水庫後由原本的溢淹改成為沒有災害發生；以實際操作案例了解水庫對於河道調節流量的貢獻。

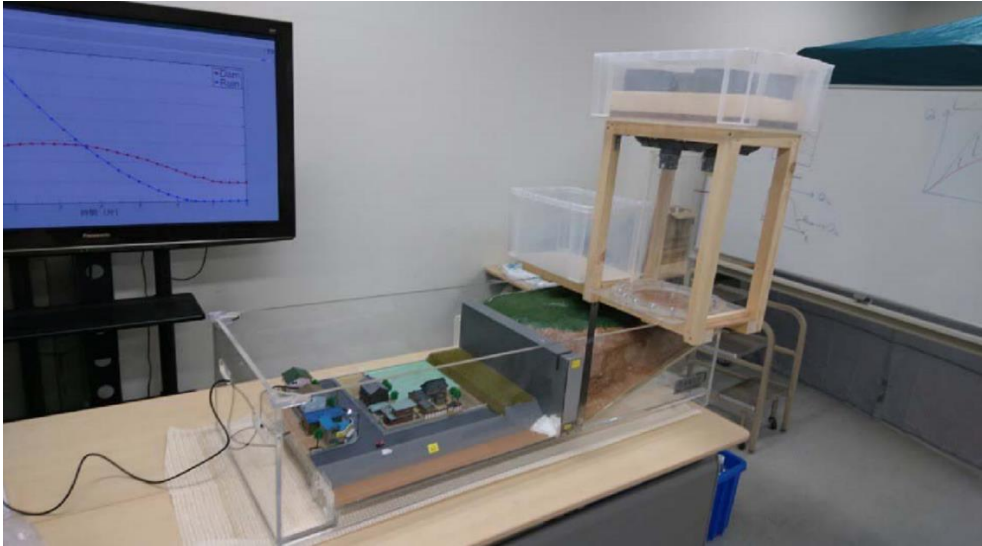


圖 49 小型水庫模型

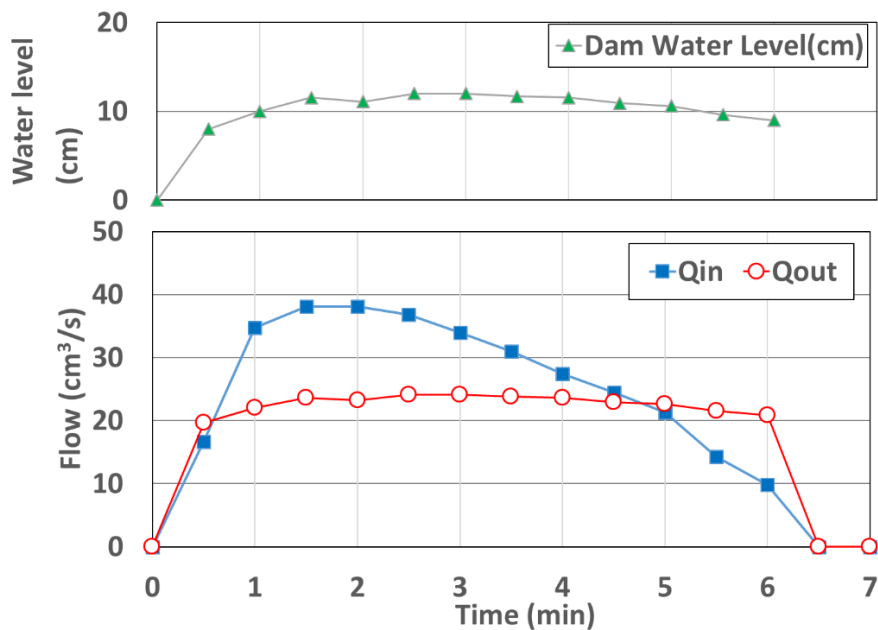


圖 50 水庫水位歷線與流量(藍色入流、紅色出流)歷線

● 水工實驗室參訪

靜水壓對逃生門影響試驗：

此一試驗為模擬當門外淹水時(圖 51)，靜水壓對逃生門上所作用力之大小，並讓大家體驗看個人能打開門的臨界值為何。過程中大部分的人在水深 4 米時就幾乎打不開門，而 4 米水深由流體靜力學公式可知，作用於門板上的總靜力為 64 公斤重(圖 52)。可見水位雖不深，卻對密閉逃生造成很大的影響。



圖 51 密閉空間於淹水時逃生模擬

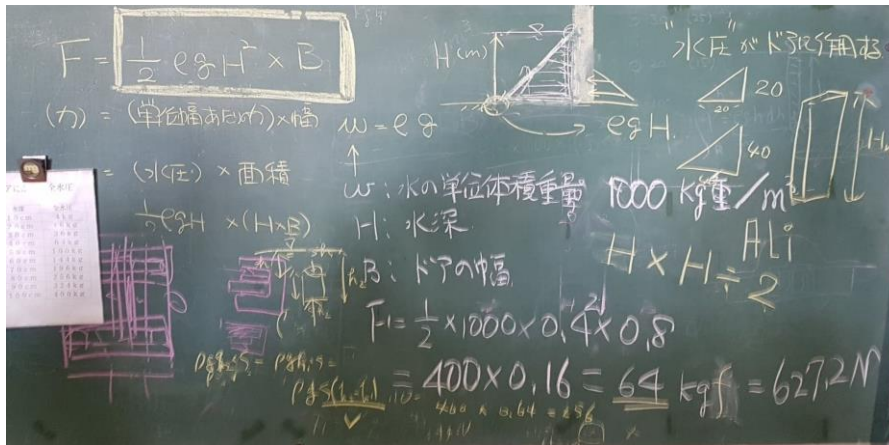


圖 52 流體靜力學計算靜水壓作用於門上總力

(十四) 個人簡報學習成果與未來發展應用

研習結業前尚有參訓學生個人簡報，分別對於上課學習到了什麼內容，以及學習到了這些東西以後將來要如何應用於未來發展等。學員詹成富(圖 53)發表對於水庫發展應用；學員吳乃光(圖 54)則是對於極端氣候頻率分析理論與差異性所學對於本署海岸防護規劃暴潮位設計的應用有新的想法與實際應用(詳第參章心得二)，並且對於上課所學到分析庫區內囚砂對於灘線養護最適粒徑研究表達高度興趣，這都是台灣在未來值得向日本學習、交流的內容。

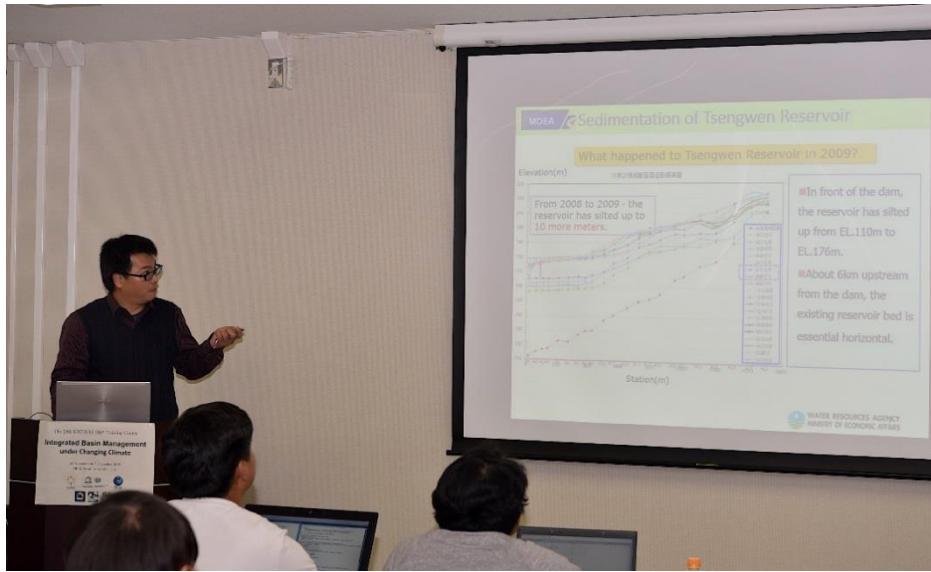


圖 53 學員詹成富發表學習成果與未來發展應用



圖 54 學員吳乃光發表學習成果與未來發展應用

(十五) 結業式與團體合照



圖 55 結業學員與講師(前排左起 1.Kenji Tanaka, 2.Tetuya Hiyama 3.Shigenobu Tanaka, 4.Yasuhiro Takemon, 5.上課助教, 6.Daisuke Nohara)合照



圖 56 Shigenobu Tanaka 老師頒發結業證明(詹成富、吳乃光)



圖 57 天籟水庫參訪



圖 58 勢田川攔河堰參訪



圖 59 流域災害實驗室參訪



圖 60 野外現地實驗與 Kizu 河定砂工程

第參章 心得與建議

一、心得

(一) 水庫淤砂治理與永續發展

在了解到日本目前在整個流域內的土砂治理課題後，結果滿令人驚訝的，日本在整個流域內的土砂治理所遭遇到的課題與台灣目前所遭遇到的相似度極高。因坡陡，從上游崩塌地的水土保持不良衍伸為水庫淤砂的問題；中游河川因流路擺盪，凹岸侵蝕加劇進而造成危及堤腳穩定的問題；最後到下游海岸侵蝕的課題。正與本署職掌之水庫維護管理、河川治理、海岸防護計畫等三大項目所遭遇的挑戰完全命中。雖然台灣在面臨這些挑戰同樣有著不錯的表現成果，但在理解完日本的治理方式後有了些想法如下：

- (1) 日本在面臨這一系列的問題的處理方式是有系統性的將上、中、下游的土砂視為統一單元來治理。水庫的淤砂除了底部運用排砂道於洪水期間有效率排除外，另外還多做了將水庫中間段人工疏濬砂暫置於下游河道、透過洪水自然攜帶方式減緩水庫所造成的下游供砂不平衡；同時間並研究水庫能有效帶走暫置土砂的放流量。台灣方面實務層面上管理水庫為水資源局，河川則為河川局，不同單位在各自規劃、管理間是否能達到統一輸砂單元與協調工作內容？仍需進一步探討成效。
- (2) 承上，目前各河川局與縣市政府辦理中之一、二級海岸防護規劃/計畫，在海岸侵蝕課題方面主要是對於沿岸事業開發單位所造成突堤效應、供砂不連續的海岸侵蝕為主。但卻鮮少針對河川上游水庫供砂不連續、中游河川土石採售等所造成出海口砂源補充減少的海岸侵蝕多做著墨。從本次日本案例研究可發現，天龍川出海口因上游水庫開發造成案現嚴重退縮。未來水庫供砂是否納入考量？河川疏濬所賺取的水資源作業基金是否拿來補助下游灘線

養護？值得更全面考量。

- (3) 由野外調查實際參訪 Kizu 河右岸固砂、並挑流以自然流路方式侵蝕左岸淤砂的案例，可發現效果十分顯著；且該工程就地取材使用當地盛產的竹子做為石籠網編織材料，可回收再利用，十分美觀且環保。相對台灣，河道淤砂疏濬並非唯一解，且其將影響到下游砂源補充。應參考日本，若不會立即造成河道通洪能力不足的地方可多嘗試以河道自然擺盪的方式束水攻砂，並增加擺盪河道治理經驗，而非一味擺設硬式護岸工等。

(二) 極端氣候頻率分析理論與差異性

本署頒布之「水文分析報告審查作業須知」現雖沒有限制水文分析在取樣時該用年最大值序列或是年超越值序列來進行分析(審查要點兩者皆可)。但因方便性，在實際操作上絕大多數報告皆使用年最大值序列作為取樣分析。依據課文敘述(詳課程內容)在台灣使用年最大值序列來進行降雨量頻率分析是毫無疑問的。

然而在海岸工程方面使用年最大值是否合適則有待討論，暴潮水位的頻率分析往往因潮位站資料年限長度不足而使用數值模擬來重現各場颱風暴潮水位。此法雖合理但卻受限於數值模型模擬值在超過颱風 10 級暴風半徑外會嚴重低估-換句話說若是該地若常年沒遭遇颱風、卻在某年接連遭遇颱風侵襲，若使用最大值序列分析值將會低估。職於先前自辦研究案中即有發現此現象，當時雖明白取樣工具應採用年超越值序列，卻苦無詳細分析方式與門檻值選取等文獻相關建議。

在參與到這次研習課程後，很幸運地能從中學習到台灣鮮少使用的年超越值序列分析方式、獲益良多。此亦為職於結業前簡報課堂所學應用於未來發展內容，主辦講師 Tanaka 老師在聆聽後表示此問題值得進一步深入研究，並期待未來能找到海岸工程合理的水文分析方法與新的思維模式。

二、建議

(一)日本在因應氣候變遷造成極端降雨加劇所進行的調適策略與台灣有著相同的做法，無法經由河道疏洪方式處理的水體則透過減災、避災方式因應。更進一步探討台灣過往在堤防設計高程時即加上餘裕出水高來因應未知的增量頗有遠見，減災部分則是本署現行推動之逕流分擔方式試圖透過土地容納氣候變遷超額水體，與日本建議調適策略十分吻合。期待未來在氣候變遷課題上能有好的表現。

(二)土砂治理方面建議考慮到一致性，避免各所屬單位只著眼自己轄區內問題，缺乏整個流域的通盤考量、忽略整著輸砂單元的一致性。

(三)海岸防護如有養灘計畫，請參考日本研究案例，進行水庫庫區中段沉積物與灘線上現存砂粒之粒徑分析，試圖找出最適合、穩定存在於沙灘上之土砂來源，避免養灘後卻因土砂立即被帶走降低向效益。

(四)石籠設計可參考 Kizu 河案例、就地取材。台灣也盛產竹子等耐水材質植被，發展潛力無限。而非大量使用鐵絲來進行網綁，造成環境及景觀上的衝突。

(五)未來參加研習人員建議事項：本課程全程英語授課。講師、學員大多來自非英語系國家，於溝通節奏速度尚可適應、理解對方內容，然大部分參訓學員均為留學研究生代表，詞彙程度方面仍有不小差距。建議未來參訓人員在上課前預習上課內容，並將特殊專有名詞牢記(以本次上課經驗，與其他溝通時常為一些不常見水利專有名詞英語所困擾)，才能更快進入狀況；本次課堂基礎理論與應用介紹相當詳盡，對於水利人員觀念思維啟發幫助非常顯著；程式語言方面本次實操課程並無相關套裝軟體使用，大多為日本學者自己所撰寫程式(本次程式語言相當多種，含 fortran, R 語

言, mathematica 等等)同時並需改寫內容架構與調整參數以因應不同已知條件做為 input data；參訓人員雖有其他程式語言背景，但在陌生程式語言架構轉換間仍有不少困難挫折點。若是以訓練軟體操作為目標，考量到學習與應用時效性，建議未來派遣人員參訓時可以套裝軟體課程為優先考量、以求更好使用效率。

(六)本系列課程為氣候變遷下之流域管理相關應用技術的研習，其中除相關水文技術學理外，課程及練習中使用很多實際的調查成果或數據，來與理論進行比對與研討。所以，了解各項水文學理之適用性及使用方法是重要的。而且，使用實際調查數據來佐證是必要的。所以，建立必要的調查作為，並依據本國水文環境的特性建立自己的分析模型，可以讓水文分析技術更具本土化，更能切合我們的需求。

(七)有關水庫管理部分，目前台灣與日本水庫皆面臨相同的問題-淤積。目前除了傳統的浚挖外，也開始規畫使用較有效率的水力排沙及繞庫排砂方式，以期延長水庫壽命。惟，當水力排沙或繞庫排砂設施完成後，雖可部份解決淤積問題，但也帶來了新的問題，包括(一)排砂效率與水資源利用(排砂比最佳化)之議題，在水資源彌足珍貴的台灣，如何透過排砂操作策略(如時機、持續時間及流量等)讓排砂效率最佳化。(二)水庫內不同粒徑沉積物或漂流木等無法透過水力排沙移除物的處理問題，是否有先進的清除方法，讓未來在災後能夠使水庫更快速的恢復功能。(三)水庫排砂造成下游生態環境改變之議題，在課堂上已被提及，在台灣，目前雖無顯著數據顯示排砂對下游環境造成衝擊，但隨著台灣數座水庫防淤隧道將陸續地完工啟用，此議題未來勢必持續受到關注，機關該如何因應，皆是未來需要更進一步去研究之課題。

(八)有關公共工程設計部分，考量氣候變遷以及極端氣候之常態化，工程規劃設計的思維確實需要與時俱進。倘若持續追求最大超越機率的設計

標準，除經濟效益上不盡合理外，實際上可能也不見得可行。故，面對極端氣候常態化的未來，適時引入風險移轉(例如保險)的思維，也許是我們可以思考的方向。

(九)危害分析與風險評估技術，國內目前常見於職業安全領域的使用。由本次課程可見，日本將此技術適切的應用於防災策略與作為，已見一定程度的效果，這是我們可以學習的方向。於水資源防災領域，除淹水風險外，在極端氣候下，水資源的缺乏亦是我們必須去正視的問題。如何妥善的調查、清點既有的資源、方法以及危害因子；並將危害分析與風險評估引入水資源管理領域，及早備妥必要的面對危害的策略與資源，是我們可以努力的方向，例如提升水資源聯合運用的策略、備援水源方案的建置等，皆是我們可以去努力的方向。

(十)台灣因位處西太平洋邊陲，原本就是熱帶氣旋侵襲的高風險地區。再加上極端氣候的影響，颱風威力日趨強大，提升土地耐災能力、減災條件以及迅速復原的能力是我們不得不去面對的問題。以往策略方向，大部分皆著眼於防災、減災的面向，對於土地耐災韌性及快速回復能力，也是減少災害損失非常重要的課題。

(十一)從水資源的角度，也許環境保護不應只是從限制開發方向去思考，做好水庫上游的水土保育、提升抗沖刷能力的作為不應該過度限制。讓水庫上游的保育工作得以更順利更有效。

(十二)在水資源利用及颱風災害分析上，使用本土化的地理資訊及水文條件是必須的，為了能使相關分析更具可靠度、能使警戒作為更有效率，提升現有資訊的調查密度及精度，以及有系統的建置防災監測系統，是我們可以持續再努力的方向。

附件 結業證書

