

出國報告（出國類別：研習）

國際水文計畫  
氣候變遷-流域綜合管理研習班

International Hydrological Programme  
Integrated Basin Management under  
Changing Climate

服務機關：經濟部水利署

姓名職稱：李恩彤副工程司、朱明珍工程員

派赴國家/地區：日本

出國期間：108 年 12 月 02 日~ 108 年 12 月 13 日

報告日期：109 年 3 月



## 摘要

聯合國教科文組織（UENSCO）第二十九屆國際水文計畫（International Hydrological Programme, IHP），於 2019 年 12 月 3 日假日本京都大學防災研究所舉行。IHP 計畫主要目的為分享亞太地區於氣候變遷下的水資源和洪水災害的綜合流域管理方式。本次的訓練課程共有來自 15 個不同國家、25 位學員一同與會。

課程核心係以流域綜合管理為主軸，以水文水理分析理論為基礎，搭配數值模式分析(含電腦實機操作)及現地實驗與野外調查，內容主題包含地表水運用、流域水理分析、降雨逕流分析、水文極端分析、水庫的操作功用、綜合泥砂管理(含最佳化的顯示)，以及氣候變遷對環境災害之影響、洪患管理、生態平衡等綜合課題。

透過學循序漸進的系列課程及實作練習安排，提供研習人員所需的水文分析背景知識、操作應用程式及評估分析結果資料。其中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練習，並採用統計降尺度方法(SDS)將原始GCM資料進行降尺度分析，進而利用蒐集整理後之數據匯入降雨逕流模式(RRI)，在基礎理論架構與模式實際操作下闡述極端氣候水文分析的理論及氣候變遷對水資源影響的相關議題，並展示已建構的模式架構，其具備宏觀的管理方法，有水資源管理、防洪應變、經濟發展與及環境保護等跨領域面向。

野外實驗是前往宇治河和木津川，進行河床調查和棲息地評估實作，獲得實驗數據可代表流域的生態情形；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。期間京都大學安排參訓人員至宇治校區水工實驗室、琵琶湖及天籟水壩排水道進行參訪。

研習過程中瞭解日本在氣候變遷下對於河川治理規劃的新思維，近年採用氣候變遷決策模式推算未來的降雨量與計畫流量，並以全流域通盤考量，強調以預測值作為規劃設計時的參考數據，日本研究單位相當重視數值驗證，因此課程有現地實驗與現場調查，結合學理依據與實務應用，以利瞭解日本在流域綜合管理的策略、執行方向與相關分析技術，未來可轉化為推動國內水利業務的參考依據。

關鍵字：氣候變遷、水資源管理、洪水災害、流域綜合管理

# 目錄

## 摘要

第壹章目的 .....	1
第貳章過程 .....	2
一、 課程摘要 .....	2
二、 課程內容簡介 .....	4
(一) 地表水循環過程的基本原理.....	4
(二) 地理和氣象數據的處理方法練習 .....	6
(三) 流域內的水理分析基礎.....	7
(四) GCM 資料降尺度分析練習 .....	7
(五) 全球暖化對災害環境變化的綜合研究.....	8
(六) 水庫系統最佳操作原理及實機操作 .....	10
(七) 降雨-徑流-淹水模型的介紹及實機操作 .....	11
(八) 水文極端理論分析 .....	15
(九) 氣候變遷下發展韌性社會.....	16
(十) 乾旱和半乾旱地區的山洪管理 .....	17
(十一) 水庫淤砂綜合永續管理.....	18
(十二) 教科文組織 - 國際水文計劃 (UNESCO-IHP) 和亞洲氣候變遷 下水資源預測.....	21
(十三) 淡水河川生態系統基礎介紹及現地調查.....	25
(十四) 模擬河川輸砂過程及小型水庫放水情形.....	29
(十五) 現地參訪天籟大壩及瀨田川攔河堰 .....	31
(十六) 水工實驗.....	34
(十七) 個人簡報學習成果與未來發展應用 .....	35
第參章心得與建議.....	38
附件：參訓證明 .....	42

# 圖目錄

圖 1 授課歷程.....	2
圖 2 水循環圖.....	4
圖 3 水循環資源系統圖.....	5
圖 4 熱交換模式與水資源循環機制.....	5
圖 5 實機操作氣象數據整理.....	6
圖 6 GrADS 的數據結構.....	6
圖 7 SDS 基本架構.....	7
圖 8 動力降尺度由 GCM(全球)到 RCM(區域)示意圖.....	8
圖 9 面對全球暖化重要的關鍵三個要素.....	9
圖 10 課堂範例優化結果.....	11
圖 11 水庫最佳化操作原則概念示意圖.....	11
圖 12 降雨-徑流-淹水模型的示意圖.....	12
圖 13 Gumbel 概率紙，具有時間序列和 SMEF 的 AMS 和 POT 比較的示意.....	15
圖 14 災害風險的概念圖.....	16
圖 15 以廣島展示風險地圖.....	17
圖 16 洪水管理策略圖.....	18
圖 17 選擇適當水庫泥砂管理示意圖.....	19
圖 18 水庫繞庫及通過水庫排砂.....	20
圖 19 學員李恩彤與 SUMI 教授合影.....	20
圖 20 水循環的主要組成部分.....	21
圖 21 水平衡與連續性關係.....	22
圖 22 儲存在地球上的水和年度運動.....	22
圖 23 分水嶺集水盆地.....	22
圖 24 與 MRI-AGCM 中的水文循環有關的 GCM 輸出.....	23
圖 25 氣候變化下的資源預測.....	24
圖 26 近期氣候和未來氣候的年平均最大排放量相對於當前氣候實驗的變化率.....	24
圖 27 乾旱風險的變化.....	25
圖 28 生物多樣性熱點的全球分佈.....	26

圖 29 日本聖牛現地.....	27
圖 30 以聖牛作為丁壩高灘成效現地.....	27
圖 31 圓錘落體之土壤硬度測量方式 .....	27
圖 32 水面水位高差量測 .....	28
圖 33 量測河川溶氧量 .....	28
圖 34 河道過程模型模擬河川輸砂過程 .....	29
圖 35 下游三角洲形成與顆粒組成型態 .....	29
圖 36 水庫水位與流量歷線 .....	30
圖 37 小型水庫模擬.....	31
圖 38 現地參訪天瀨大壩 .....	32
圖 39 瀨田川攔河堰.....	33
圖 40 瀨田川攔河堰參訪 .....	33
圖 41 真實樓梯比例模型疏散實驗.....	34
圖 42 門上總水壓一覽表 .....	34
圖 43 李恩彤學員實作靜水壓逃生門實驗 .....	35
圖 44 流域災害實驗室參訪 .....	35
圖 45 學員李恩彤學習成果與未來發展應用簡報.....	36
圖 46 學員朱明珍學習成果與未來發展應用簡報.....	36
圖 47 結業學員與講師合照 .....	37
圖 48 T.Sumii 教授頒發結業證明.....	37

## 第壹章 目的

台灣地形陡峭、地質脆弱、山坡地廣大的天然條件，導致河川坡短流急的特性，加上近年來面臨氣候變遷的影響、極端降雨事件常態化，使的水資源的蓄存不易，然面臨社會的發展需求、環境保育意識日漸高漲的趨勢下，水庫、堤防的興建同時面對支持與反對的聲浪，執行上同樣遭遇極大的挑戰與困難。爰此，如何更有效率的管理與永續利用，是當前國內水資源管理議題亟待克服與解決的關鍵。

近年氣候變遷情勢加劇，旱澇交替頻繁，我國除易遭受短延時強降雨所致淹水衝擊外；在水資源管理也因降雨空間及時間分布不均，使環境受到影響造成各地不同的極端洪患與乾旱現象，因此以現有的防洪標準，可能都不足以處理未來氣候變遷造成的災害。因此日本致力於評估技術的發展與精進，期提高預警準確度，爭取更充裕防範洪患時間，惟實務上各種氣候變化現象充滿不確定性，不易以定量分析，然可採用脆弱度指標方法來評估各地之脆弱度，仍須採取因地制宜之調適方法。課程目標主要由理論闡述逕流歷線、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，分別分析降雨量或逕流量，作為降雨、逕流、淹水的推估模式的基本數據，進一步透過實際情形來加以驗證與修正，提升模式的準確性，提供最有效的預測數值，以降低災害風險。

透過第二十九屆 IHP 培訓課程，擬將日本流域管理研究發展成果包括：(1)氣候變遷對水資源的影響；(2)洪水災害和生態系統之關聯探討；(3)流域尺度之”降雨-逕流-淹水”分析；(4)在科學知識應用下的流域綜合管理，分享予本次與會學員，期有機會將日本經驗導入各國，以提升各國水利、防災技術發展。

期藉由本次研習課程，瞭解流域綜合治理與管理之資訊及技術，透過國際交流分享專業經驗，了解國外現況與研究成果至推動執行的經驗，以提升我國水利、防災技術發展，作為本署水利業務執行參考。

## 第貳章 過程

### 一、課程摘要

本次研習時間為 10 日，我國水利署成員有臺北水源特定區 朱明珍工程員及第九河川局 李恩彤副工程司 2 員，共同赴日本京大學宇治校區防災研究所（DPRI）參加「氣候變遷-流域綜合管理研習班」，研習內容包括水文水理基礎理論介紹、模式分析與軟體實機操作、水工實驗、現地參訪及河川特性現地調查，課程結束後每位學員皆須發表研習成果與未來發展應用，作為國際交流的成果分享。

上課地點主要在京都大學宇治校區防災研究所教室內，研習照片如圖 1，研習及參訪行程如表 1。



A-研習班上課情形



B-李恩彤學員課堂與教授討論情形



C-野外調查練習情形



D-竹門教授講解野外調查步驟

圖 1 授課概況



表1 研習行程表

日期	課程主題內容	地點
12/03 (二)	訓練計畫說明、學區介紹及學員自我介紹 課程 1：地表水循環的基本過程 練習 1：地理和氣象數據的處理方法	京都大學 宇治校區
12/04 (三)	課程 2：流域內基本水理分析 課程 3：氣候變遷對災害環境的影響評估 練習 2：GCM 資料進行降尺度分析	京都大學 宇治校區
12/05 (四)	課程 4：水庫系統最佳操作的基本原理 課程 5：降雨-逕流-淹水模式基本介紹 課程 6：極端氣候頻率分析基本介紹 練習 3：極端氣候頻率分析練習	京都大學 宇治校區
12/06 (五)	練習 4：降雨-逕流-淹水模式(RRI)練習 課程 7：氣候變遷下的韌性社會發展 課程 8：乾旱和半乾旱地區的洪水氾濫管理	京都大學 宇治校區
12/07 (六)	課程 9：水庫可持續性的綜合泥沙管理 練習 1、2、4 作業複習	京都大學 宇治校區
12/08 (日)	參訪：嵐山桂川、鴨川	嵐山桂川 鴨川
12/09 (一)	課程 10：國際水文計劃與亞洲氣候變遷的因應策略 練習 6：水庫最佳化分析與視覺展示 練習 7：水庫最佳化分析操作	京都大學 宇治校區
12/10 (二)	參訪：琵琶湖、天籟大壩 現地實驗：宇治川水工實驗室	琵琶湖、宇治 川
12/11 (三)	課程 11：河流生態系統的基礎介紹 練習 8：河川環境的現地調查與棲地評估 Uji 與 Kizu 河	京都大學 宇治校區 宇治川、濟津 河
12/12 (四)	練習 2、4、6 作業 複習 參加者簡報學習成果與未來發展應用 頒發參訓證明、閉幕式	京都大學 宇治校區
12-13 (五)	返程 (京都-臺灣)	

## 二、課程內容簡介

### (一) 地表水循環過程的基本原理

(Kenji TANAKA, 京都大學防災研究學院 副教授)

因極端氣候讓水循環系統產生極大變化，致極端的乾旱或水災害頻頻發生，水資源供需嚴重失衡；地表和大氣之間的水循環，透過降雨過程在大氣和陸地表面之間凝結、降雨、蒸發和蒸散，形成一個水循環過程（圖 2）。地表水藉由陽光的熱能所產生的蒸發作用，轉換成水氣傳送到大氣層中，在大氣中形成水氣；大氣層中的水氣再經由凝結（雲、霧）與降水（雨、雪）的形式回到地表，最後經由河流或地下水的途徑匯入海洋，形成水循環。

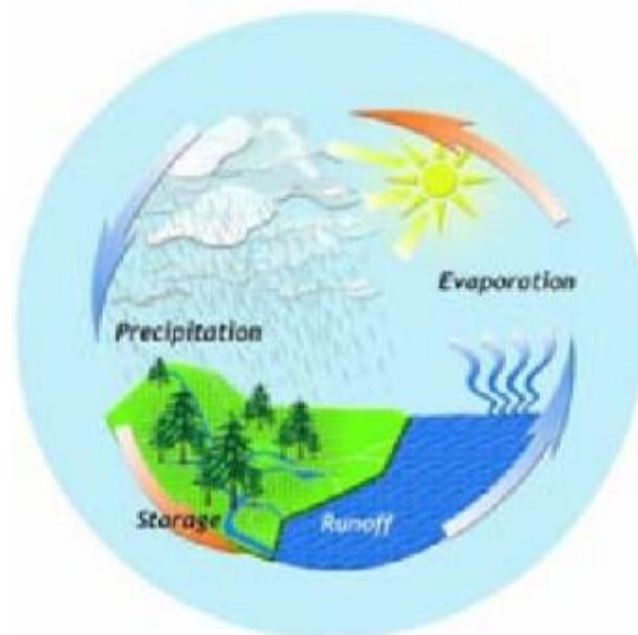


圖 2 水循環圖（Hydrological Cycle 圖）

(資料來源：Tanaka 上課講義)

水循環（圖 3）的驅動力來自太陽的能量，而陸地表面吸收的能量則以顯性熱交換和潛性熱交換的形式再返回大氣中（圖 4），這種能量分配取決於土地覆蓋特徵(濕/乾)及水文狀態。由於顯性熱交換和潛性熱交換的加熱方式不同，這兩種作用方式的比例對於水循環非常重要。

在不同植被和氣候條件下的野外實驗，地表模型是由地表狀態（土壤濕度，溫度，積雪）的預後方程式構成的，該方程式描述了通過能量和水平衡成分的狀態變化。

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，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，第二種是經驗式，第三是透過反覆的率定。模式皆需要率定參數，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。

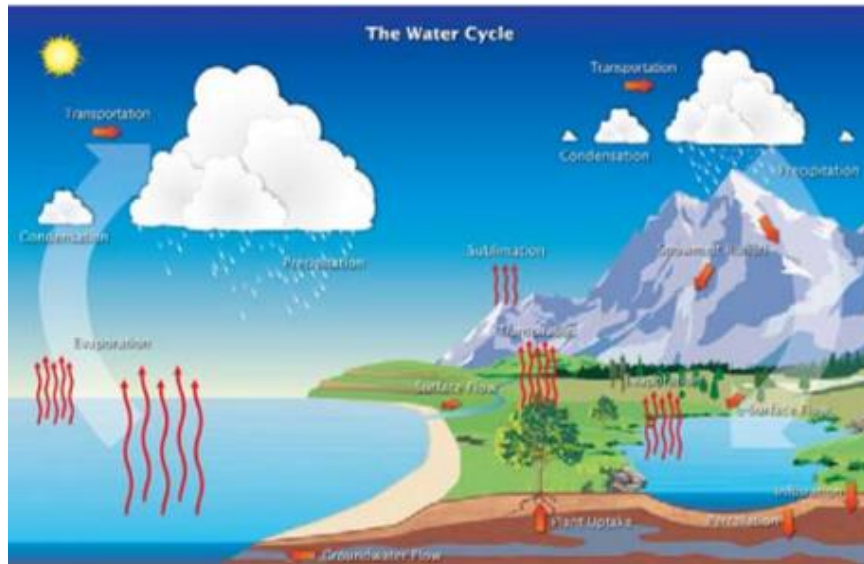


圖 3 水循環資源系統圖  
(資料來源：Tanaka 上課講義)

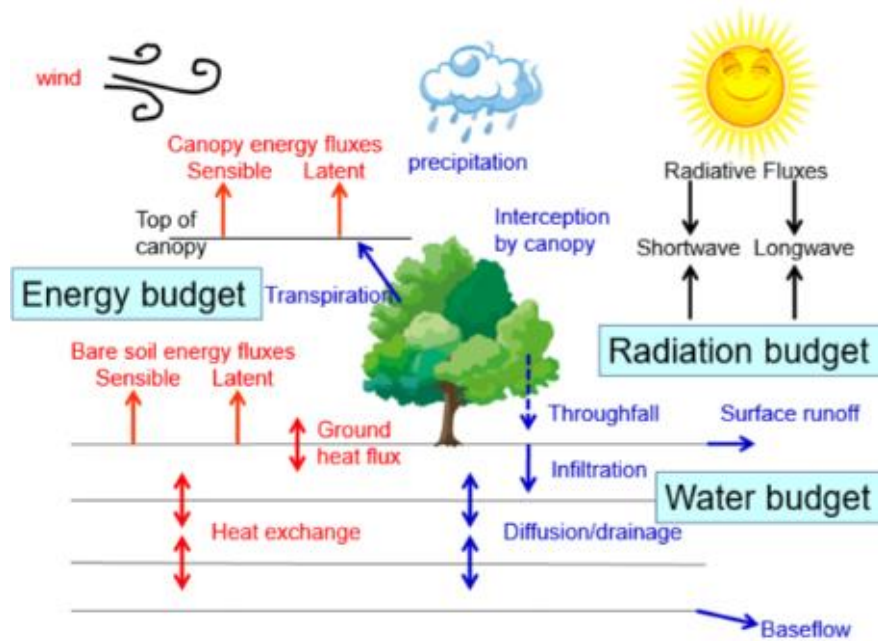


圖 4 熱交換模式與水資源循環機制  
(資料來源：Tanaka 上課講義)

## (二) 地理和氣象數據的處理方法練習

(Kenji TANAKA，京都大學防災研究學院 副教授)

本練習在介紹水文分析中的地理和氣象數據方法，水文分析的基本地理資訊包括地形、土地利用和土壤類型，而基本氣象資訊為降雨和氣溫。可透過研究區域的基本資料調查，再利用程式(glcc)編輯縮小尺度，依據目標流域網格選擇研究範圍，可更改分辨率及整體資訊，並檢視統計分析資料，例如：雨量的年度最大值、每月平均值等；此種概念與國內地理資訊系統雷同，這裡使用 GrADS，依不同屬性資料進行套疊。講座也分享生態氣候圖（**Ecoclimap**）的基本概念，它是一個全球數據庫，可用於初始化土壤-植被-大氣傳輸方案（**SVAT**）的氣象和氣候模型（在水平範圍內），係使用超高分辨率輻射來計算（**AVHRR**）衛星數據，並結合現有的土地覆蓋圖和氣候圖，來得出代表同質植被區域的 215 個生態系統，當然不同參數(氣候值與校正因子)皆需要進行驗證。<https://opensource.umr-cnrm.fr/projects/ecoclimap/wiki>

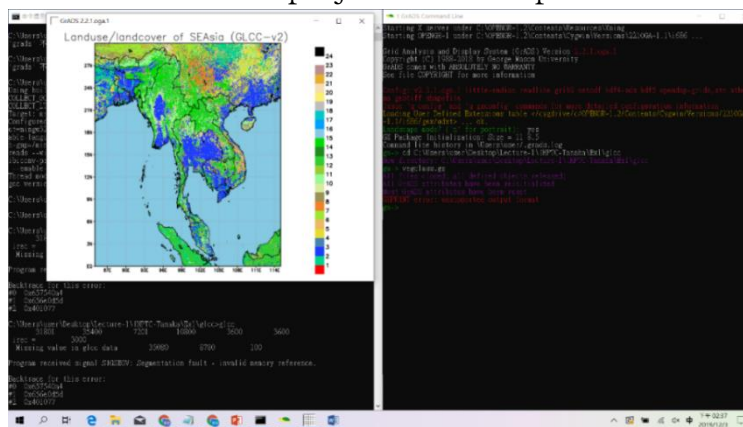


圖 5 實機操作氣象數據整理

(資料來源：Tanaka 上課講義)

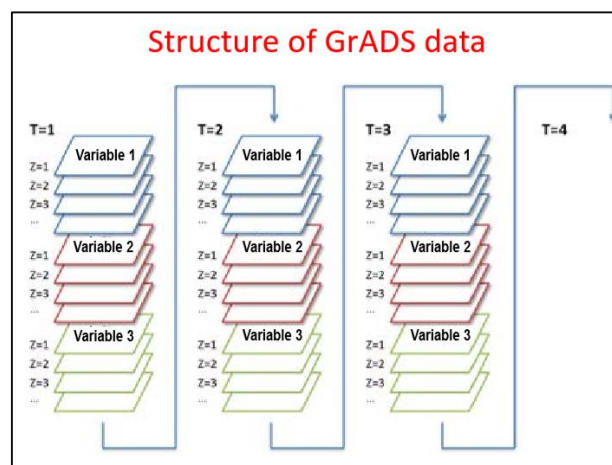


圖 6 GrADS 的數據結構

(資料來源：Tanaka 上課講義)

### (三) 流域內的水理分析基礎

(Yutaka ICHIKAWA, 京都大學工學院副教授)

預測河流流量可依據流域的初始條件（初始土壤水）和集水區物理特徵（地形、土壤、植被）以及降雨、融雪和蒸散等資訊，用以建立降雨徑流模型，流域中的水運動可以看作是一個系統，收集土地利用或氣候變遷引起的徑流模式變化相對應的河流流量，透過降雨徑流模型獲得的訊息，可用於中長期的流域管理及短期的即時洪水預報。其中模型的建構係依據水理演算控制方程式推導而得，此講座推導變量流連續方程式及動量方程式，並分析說明參數值的影響及計算時的合理性，以琵琶湖做為案例解析。

### (四) GCM 資料降尺度分析練習

(Sunmin KIM, 京都大學防災研究所副教授)

在氣候變遷下，預測及掌握未來氣候發展趨勢是重要課題，方法之一是採用全球氣候模型（GCM）進行模擬，但 GCM 的模擬是屬全球性的大尺度推估，相對的忽略了小尺度區域的變化，因此透過降尺度（Downscaling）過程，作為小尺度區域代表的氣候變遷資訊，其中在降尺度方法上有動力降尺度方法(DDS)及統計降尺度方法(SDS)。與 DDS（動態縮減）相比，SDS 的主要優勢在於它不需要佔用大量計算資源，並且可以輕鬆地將其應用於觀測數據較少的地區；即使具有區域氣候模型（RCM）的 DDS 方法可以根據物理背景提供穩定且合理的輸出，但 RCM 仍需要許多計算資源空間；此兩種方法均有優勢，本練習應用 SDS 方法將 60km AGCM 輸出縮減為 20km 分辨率（針對雨量資料），並進行迴歸分析作為預測資料。

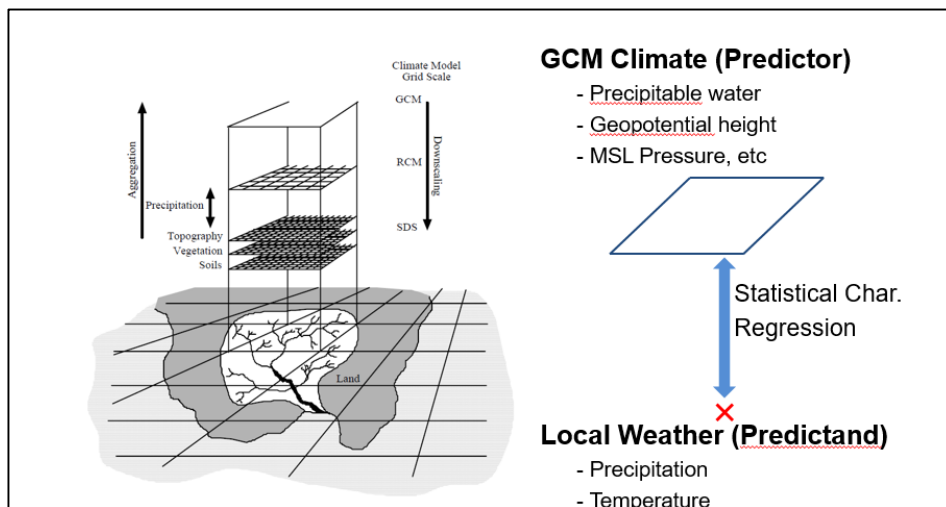


圖 7 SDS 基本架構

(資料來源：Sunmin KIM 上課講義)

講座提及因考慮各研究區域降雨的空間結構不同，因此採用線性化回歸框架的 SDS 技術，將 3x3 60 公里網格縮小為 9 個 20 公里空間分辨率的網格；但須考慮 SDS 方法的估計偏差及該方法在不同地區和不同氣候條件下的適用性；該項研究適用區域為日本，因進行預測的原始資料來源多樣化，且格式、數量皆會影響降尺度的品質，可以運用此概念在我國氣象資料數據較為缺乏的研究區域。

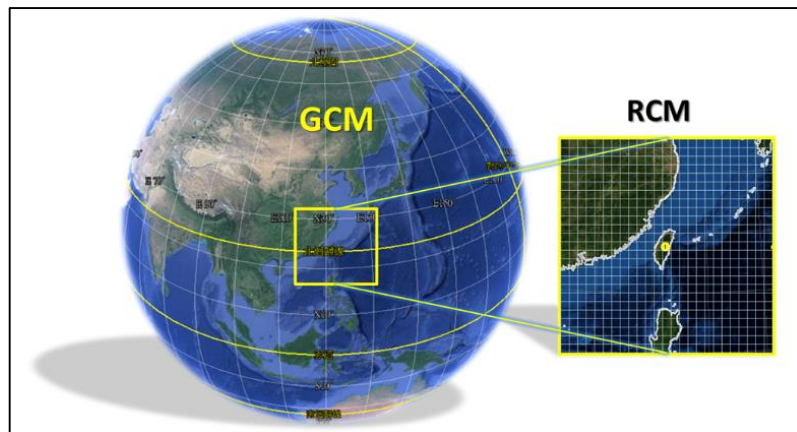


圖 8 動力降尺度由 GCM(全球)到 RCM(區域)示意圖

(資料來源：Sunmin KIM 上課講義)

## (五) 全球暖化對災害環境變化的綜合研究

(Eiichi NAKAKITA，京都大學防災研究學院 教授)

暖化現象是全球面臨的課題，其造成大氣、海洋暖化、雪和冰量減少及海平面上升的情形，除此之外，更影響氣候的變化，致天然災害增加且更難以預測。東南亞地區頻率較高的天然災害有颱風、強風、淹水、河流溢堤、暴潮與土石流等。隨著全球氣候的暖化現象，這些災難可能會加劇，日本成立專案小組針對氣候變化所做的精確影響評估，藉由科學方法來證明上述的天然災害劇增與全球暖化之間的關聯性，並建立適當的模式用以推估未來一百年災害可能發生的嚴重程度；該研究結果將採「實際數字」方式作呈現，它作為政府部門用來規劃及保護受影響地區人民生命財產安全的數據。

日本京都大學研究所與風險管理卓越中心（ICHARM/PWRI）共同處理了幾個氣候變遷的議題，有「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和生物多樣性的影響」，其目標是針對最壞情況的預測，特別是在日本遭受最嚴重颱風、暴雨天然災害襲擊的情況下，分析災害的頻率、規模、豪雨、強風、漲潮和大浪等，掌握災害未來可能的風險數值，作為預測模式的參考。

由於全球暖化雨量 and 降雨型態發生顯著變化，極端降雨事件在各國也變得強烈且頻繁，然而乾旱的時間也持續增加。我們面臨全球暖化的現象，除須減少溫室氣體的排放外，也需具備適應能力，包含了風險管理、減少社區的脆弱面，並採取恰當的方法因應。

講座也提到日本使用 MEXT 以高性能計算器進行未來的氣候預測，並進行一項五年期的新計畫-「推進氣候模式綜合研究計劃」，計畫內容有「極端現象的強度和頻率進行長期評估」、「100 年無縫分析」、「過去災害的危險分析和氣候變化因素的評估」、「亞太國家的危險評估和國際合作」、「偏倚校正方法和極值評估技術的發展」；其中模型建構上的設計值與最不理想的預測，應考慮兩者間的變化，分析災害最大的地點及時間點，也就是危險度的掌握，日本採用 d4PDF 作為有用的參考依據。

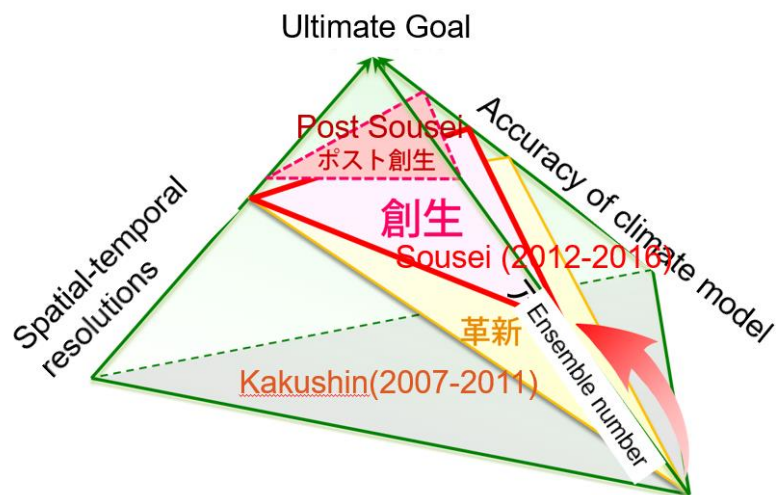


圖 9 面對全球暖化重要的關鍵三個要素

(資料來源：Sunmin KIM 上課講義)

## (六) 水庫系統最佳操作原理及實機操作

(Tomoharu HORI, 京都大學水資源研究中心 教授)

水庫系統是水資源管理最重要的工具之一，用以調節流量來增加水資源的利用及防洪調節。現今的降雨分布範圍將隨著極端氣候影響而變化，時空分布不均帶來的極端洪水災害，因此水庫在防洪與供水功能的應用上扮演重要角色。本課題內容包括三個部分：水庫操作、水庫操作優化框架及對應不確定性的措施。

講座先說明與水庫操作有關的基本概念，總結了大壩水庫的各種用途，目的不同下，其操作策略也有所不同，並討論即時的線上控制和離線控制的區別。其次以方程式運算表達典型的水庫控制問題，顯示水庫控制問題特有的目標函數類型和約束條件，討論如何獲得目標函數最佳值的釋放順序。另也推導動態規劃 (Dynamic Programming) 應用的遞歸函數公式，獲得最佳的釋放放水順序，確定流入量的動態編程 (DP)，並學習 DP 方法的效果和侷限性。動態規劃是解決每種最佳化問題的典型策略之一，透過動態規劃原理及目標函數的運用操作，可以找出水庫操作的最佳化 (Optimization Problem) 及可行的最佳解 (Optimal Solution)。

在實機練習上，採用日本 DPRI 自行開發的程式，學習如何使用動態規劃 (DP) 的優化技術來優化儲水控制的評估，第一部分採通過 DP 技術優化儲層運行的單一多功能水庫，使用確定性的 DP 方法優化供水的水庫運行，學習典型的後向算法，以估算儲層的優化釋放策略。

在將通過使用確定性 DP 和隨機 DP 模型來處理供水的水庫運行優化，整理計算準備工作，包括：選擇水位數量以離散化水庫的時間狀態；根據目標設定函數進行優化；設置物理限制及法規定義的存儲量；準備水文數據和水庫的釋放量，設定時間範圍以優化放水策略，即可進行演算。



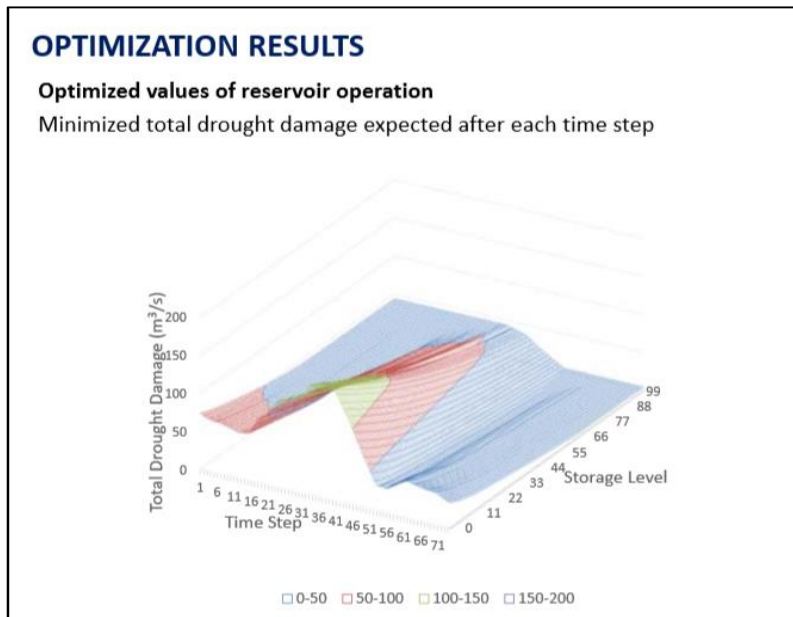


圖 10 課堂範例優化結果  
(資料來源：Tomoharu 上課講義)

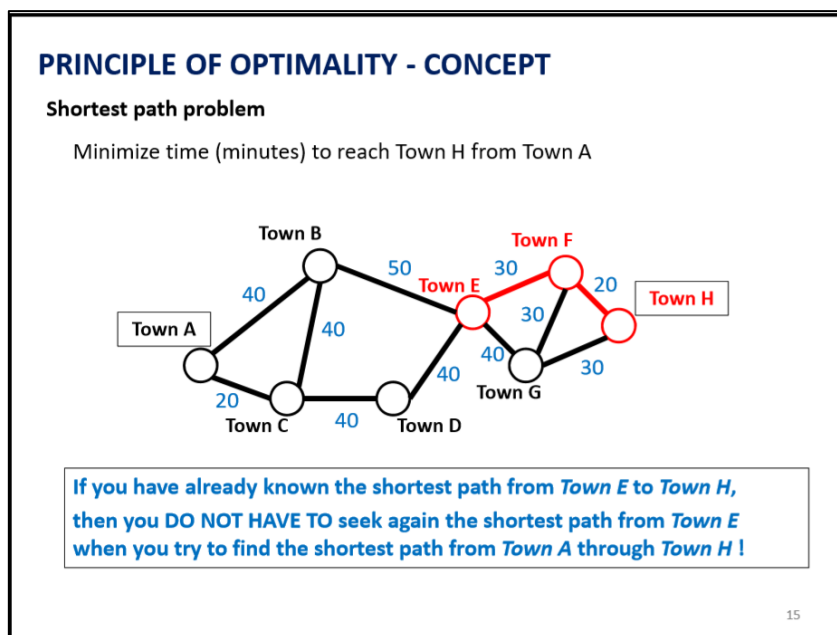


圖 11 水庫最佳化操作原則概念示意圖  
(資料來源：Tomoharu 上課講義)

## (七) 降雨-逕流-淹水模型的介紹及實機操作

(Takahiro SAYAMA, 京都大學防災研究所副教授)

降雨-逕流-淹水模型 Rainfall-Runoff-Inundation modelling (RRI) 是由日本京都大學教授所開發，此模型能夠同時模擬降雨逕流和淹水情形的二維模型，有別於本署因屬性

考量，將河道模擬與淹水模擬以不同模式分析，署內一般採用 SOBEK 模式作為淹水模擬、採用 RESED2D、CCHE、SRH-2D 作為河道二維模擬。

RRI 模式分別處理斜坡和河道，在研究範圍的河道中，模型假設坡度和河流都位於同一網格單元內，沿著上斜網格單元的中心線離散為一條直線，用 2D 擴散波模型計算邊坡網格單元上的流量，而用 1D 擴散波模型計算通道流量。為使更容易表示降雨-徑流-淹水過程，RRI 模型還可以模擬地表下的流量、垂直入滲流量和地表逕流。通常在山區比較重要的是流量與水力的梯度關係，其中垂直滲透流量是通過 Green-Ampt 模型估算，根據不同的溢流公式，運用水位和堤壩高度條件，估算河道與斜坡之間的水流相互作用。RRI 模式透過降雨資料、地文因子等要件，模擬該區域的整體降雨逕流及溢淹過程，除同時顯示淹水深度亦可依時間、空間變化動態圖示，結果顯示易懂且方便，講座也提及模型變量是模型方程式須解決的一部分，模擬過程中會隨時間而變化，並非通量或質量交換，因此需要考慮初始條件及邊界條件，若針對特定的區域和時間進行模擬時也須進行驗證及校準。

然 RRI 細節處理上，IPCC 提供的 GCM 資料網格約為 250 公里\*250 公里，所以要進行降尺度的資料處理，採用前述 GCM 的概念，但是在台灣降尺度的成果是否準確，須進一步的驗證。採用 GCM 的優勢係可以評估未來的生態影響情境，日本將此應用在淹水預警及長期推估上，並且作為模式建構的依據，惟臺灣較強調即時淹水模擬情境。

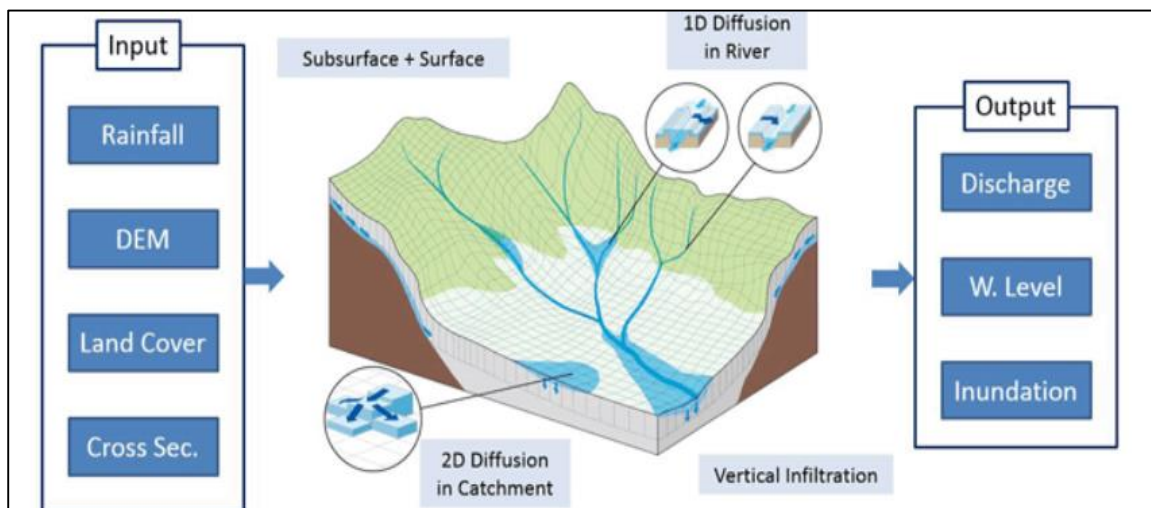
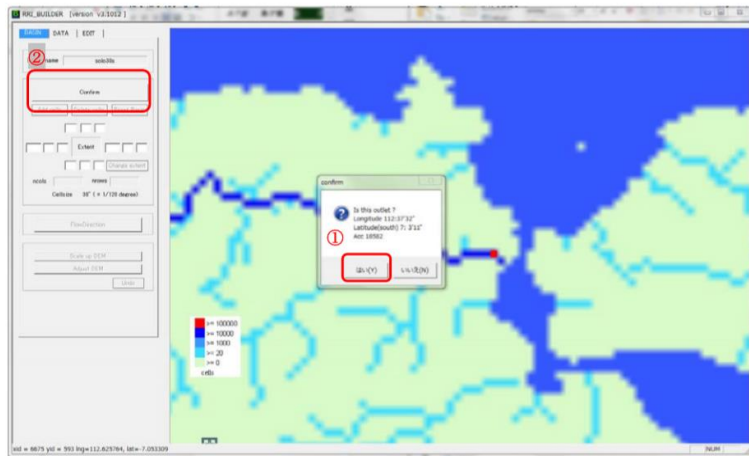


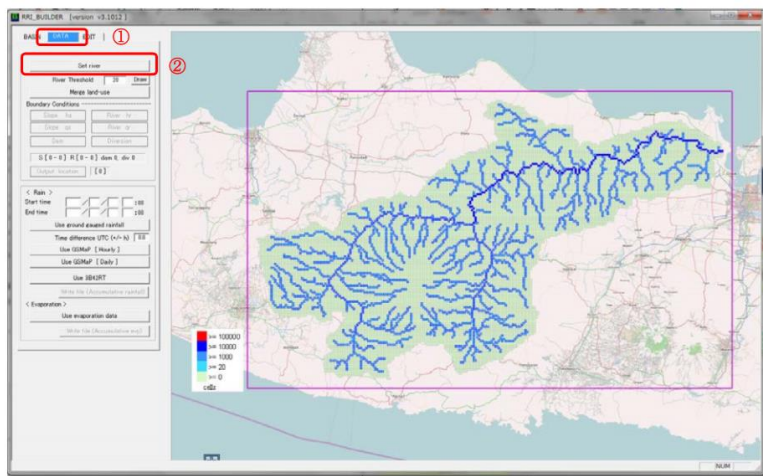
圖 12 降雨-徑流-淹水模型的示意圖  
(資料來源：Takahiro SAYAMA 上課講義)

實機操作 RRI 模式過程摘要如下：

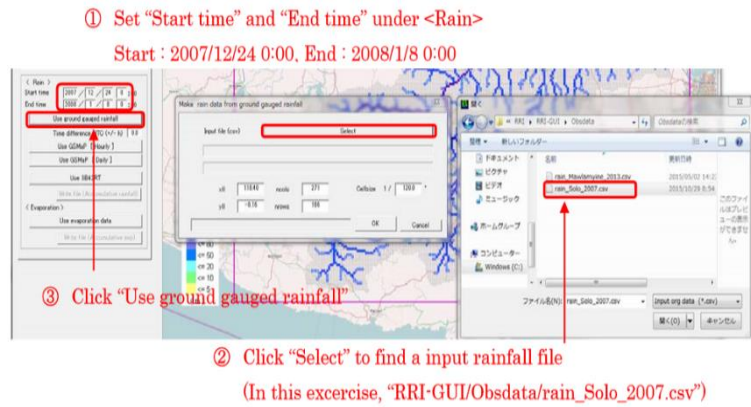
1. 選擇研究流域及出海  
口控制點，模式會自  
行產出集水區範圍。



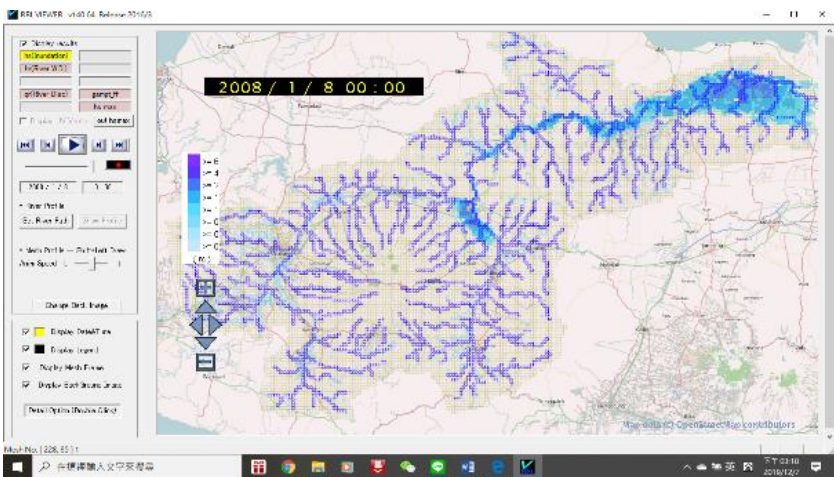
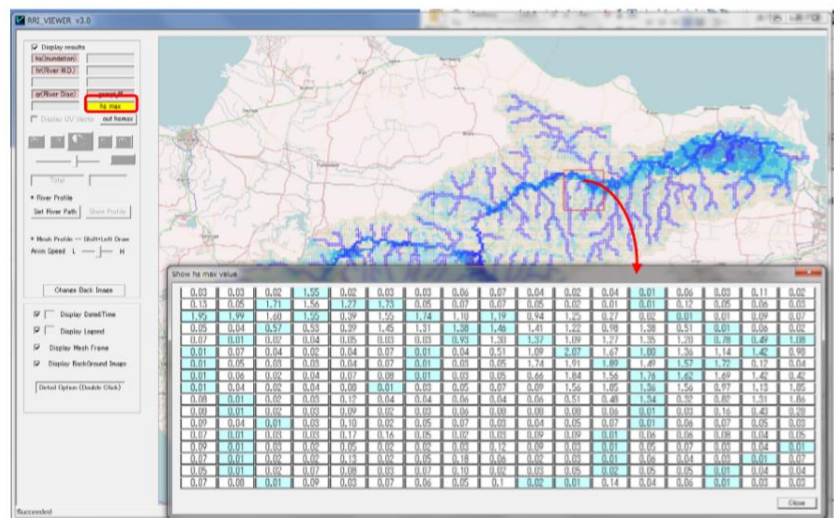
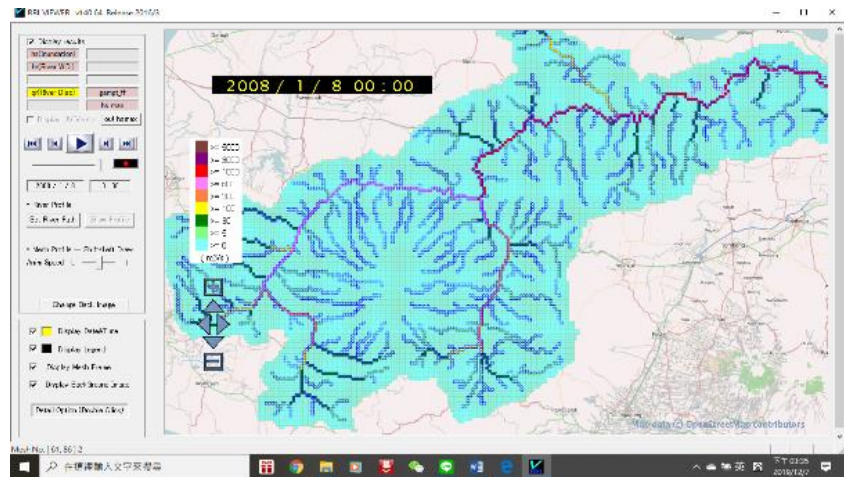
2. 集水區可透過網格來  
修正DEM，實際可以  
參用航拍後的資料來  
驗證。



3. 依照該模式資料格式  
輸入雨量，即可自動  
產出各項資訊，過程  
須依實際輸入參數  
(河寬、槽深及高灘  
地高度)。



4. 模擬成果-(可視化淹水範圍並隨時間變化、各淹水網格可查詢深度、土地利用情形、流量、水深及累積降雨量等)，也可匯出模擬情形。



## (八) 水文極端理論分析

(Shigenobu TANAKA ,京都大學 DPRI 教授)

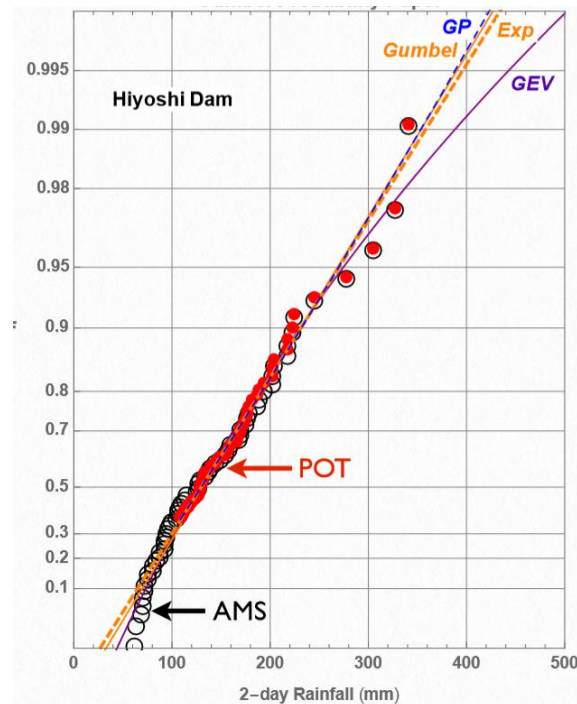
本章在介紹洪水頻率分析，一般計算設計洪水量與設計雨量經常使用的方法有兩種，包括年最大值（Annual Maximum Series, AMS）和年超越值（Peaks Over Threshold, POT），這部分是屬於分析階段中的資料準備與整理的前置作業。

使用 AMS 的方法在洪水頻率分析中很常見，對應於 AMS 的分析，使用包括 Gumbel 分佈作為廣義極值分佈（GEV），AMS 由年度發生獨立洪水事件的區域中挑選較大事件組成；但在部分半乾旱地區使用 POT 相對有效益。洪水的大小通常取決於降雨，在分析極值上通常以年最大日降雨量、年最大溫度、年最大峰值流量、年最大淹水面積等代表，然而在峰值的選取是重要的一環，我們可以透過方程式來分析與比較，在下式中：

$$e_n(u) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - u) I(u < x_i)}{\sum_{i=1}^n I(u < x_i)}$$

$I(u < x)$ ：1，如果  $u < x$ ，則為 0；當  $x$  大於  $c$  是指數分佈的數據時，等式在  $u > c$  範圍內是常數，以兩日降雨時序作為分析，可概估峰值分別為 108 和 98 mm。(圖 13)

圖 13 Gumbel 概率紙，具有時間序列和 SMEF 的 AMS 和 POT 比較的示意



(資料來源：Shigenobu TANAKA 上課講義)

## (九) 氣候變遷下發展韌性社會

(Kaoru TAKARA, 京都大學高級綜合研究所 院長)

本章在闡述防災應用面及災害風險的辨識，災害風險取決於位置、地質、氣象和水文學，其中災害風險因子係由危險度、脆弱性及暴露率所組成。災害風險(DR)=危險(Hazard)\* 暴露(Exposure)\*脆弱(Vulnerability)/ 策略(countermeasure)。

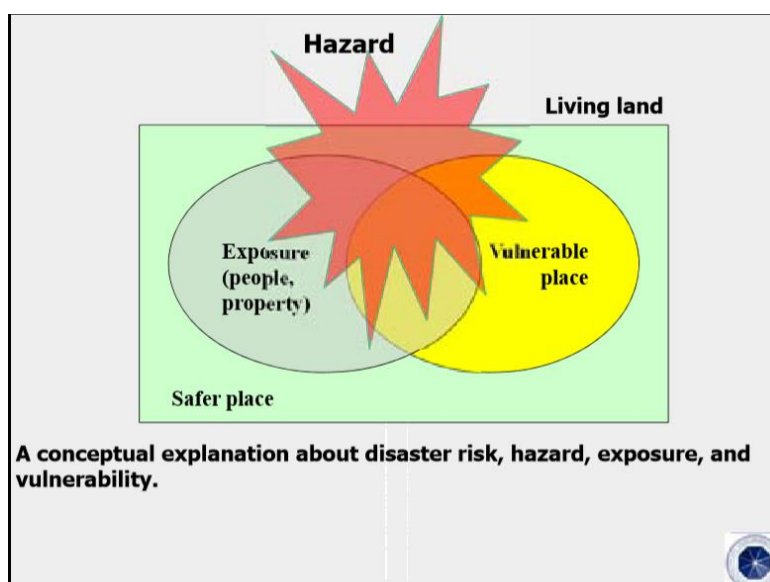


圖 14 災害風險的概念圖

(資料來源：Kaoru TAKARA 上課講義)

在防災的過程中，盤點災害因子掌握風險區域，可加強災害風險管理，減少災害損傷度，其中災損包含人民生命財產、環境、社會結構及經濟，因此建立風險地圖了解區域內的危害、脆弱與暴露，有利於災中的應變與災後的復原，日本研究也指出曾遭受災害及有良好防災意識的社區，其脆弱度相對較低，這表示建構有復原力的社會是重要的。

日本依此製作風險地圖與本署推動的風險評估概念相似，掌握風險潛勢提前預警，提供資訊給脆弱度較低的區域，可達到提前預警的作用，惟日本 19 號颱風，因時雨量與風速超過歷史紀錄，造成潰堤及基礎掏刷等嚴重災害以致傷亡。在災害發生後，透過資源的盤點，在最短時間內降低災害擴大，並儘速進行災害復原作業。

氣候異常與極端變化的影響，致受損壞的社區有一定程度的影響，為使社會更具有韌性，我們須瞭解 3 個重要關鍵 1.減輕系統中的災難級別；2.減少系統的恢復時間；3.在災難期間增強學習能力。運用此概念可建構較完備的預警系統、擬定應急措施、妥善規劃土地利用及風險地圖的製作，可提升防災應變能力。

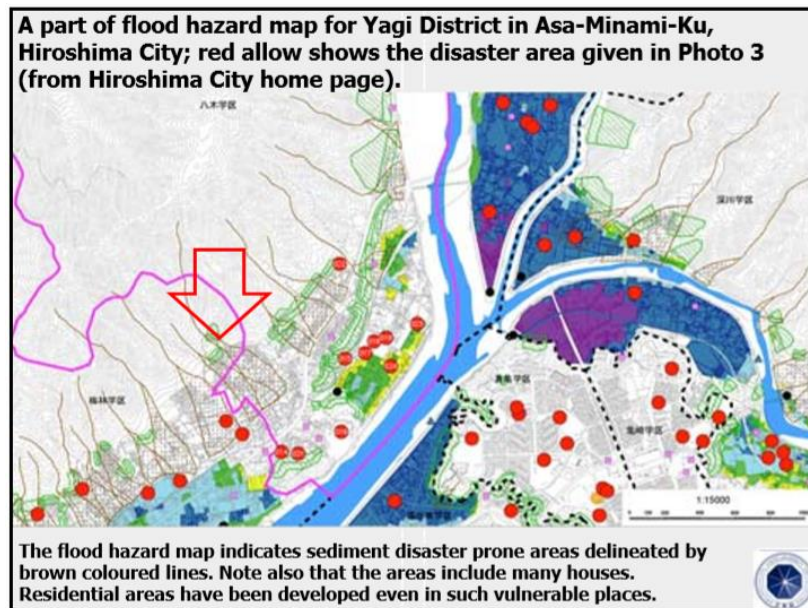


圖 15 以廣島展示風險地圖

(資料來源：Kaoru TAKARA 上課講義)

## (十) 乾旱和半乾旱地區的山洪管理

(Sameh KANTOUSH, 京都大學 DPRI WRRC 副教授)

本章主要介紹中東乾旱和半乾旱地區的旱災山洪氾濫的現狀，以洪水管理的概念介紹減災措施和現有 WFF (Wadi Flash Floods, 旱谷山洪) 緩解策略的最新資訊。在乾旱地區，早期預警系統有少見的存儲水壩、補給水壩、人工湖和堤防在內的單一緩解措施。

現今的氣候現象及遭受天然災害損害程度，若依早期採行的單一管理戰略已不足以因應，一般多數的旱谷系統需要一種集成策略，此集成策略可做為台灣地區的借鏡。課程中以中東和北非地區旱災山洪氾濫為例，說明當地以新思維策略利用洪水來維持農村荒漠地區的水資源。在過去 (2003 年之前，通常在 10 月下旬或 11 月) 降雨是偶發性的，但在 2003 年之後的 15 年中，由於氣候變遷的影響，乾旱地區的「旱災山洪」(WFF) 變成了災難。2018 年 10 月，與各種山洪暴發高峰有關的極端降雨事件頻率增加，在大多數中東乾旱地區 (約旦，科威特，卡塔爾，沙特阿拉伯，阿聯酋，摩洛哥，突尼斯，阿爾及利亞，毛里塔尼亞，蘇丹) 造成了廣泛的破壞，然而短延時強降雨 WFF 可以產生足夠的逕流，在某些淺水區中，收集的洪水可以成為重要的發展來源。

講座說明，WFF 的預測是中東地和北非地區區設計防洪結構和開發有效預警系統的唯一開端。但該區域的降雨、水文監測設備不足，因此很難在旱谷區域中進行逕流量和淹水深度的校準和驗證，其在有限的數據下導致涵洞、堤防、排水系統和水壩等建物設計不佳。因此，需要在中東和北非地區開發水文監測技術，以改善旱谷管理方式並利用測量技術進行預測和評估。

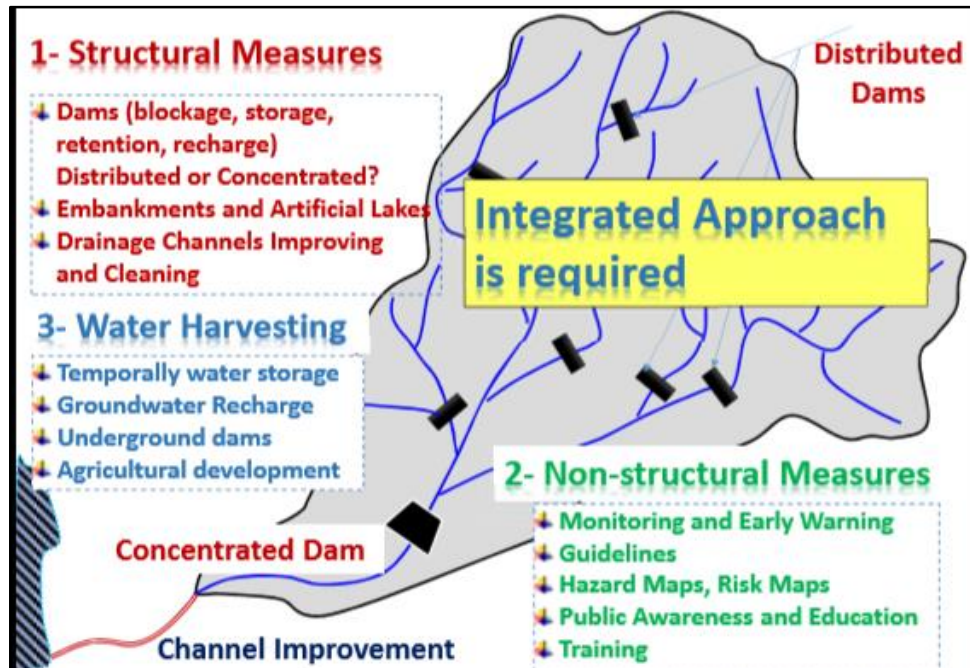


圖 16 洪水管理策略圖

(資料來源：Sameh KANTOUSH 上課講義)

在 Wadi Flash 洪水 (WFF) 問題，乾旱地區旱谷盆地的重要特徵，WFF 具有非常獨特的特徵和挑戰；遙測數據在水文建模或形態計量分析中非常有效，克服了乾旱地區數據匱乏的問題，採用分佈式水文模型的先進方法，以更好地再生水文特徵通過水文建模，監測降雨和覆蓋目標區域的氣象站來評估預警系統的應用效率，比較和評估不同的水文模型性能，以在旱作系統中使用最佳方案；長期預測氣候變化以及對 WFFs 的人為影響（作為土地利用變化），並建議在 WFFS 期間對沉積物進行泥沙遷移評估。

### (十一) 水庫淤砂綜合永續管理

(Tetsuya SUMI, 京都大學防災研究所 教授)

水庫的泥沙管理目的主要是為了避免上游洪災風險，並確保用水的存儲容量，然水庫淤積是世界水庫長久以來關心的問題之一 (ICOLD 2009)，在日本有 2,730 座水壩 >15M 高以上，現今許多國家，已採取各種對策來減緩水庫淤積的情形，使水庫使用壽命延長，其策略包含減少沉積物流入、浚挖水庫淤泥以及水力排砂等方式。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，因此水庫在清淤前應維持基本定量並考慮下游環境改善等要件及季節性流量、洪水變化，且需加強生物多樣性調查、水質及農業取水問題，加以評估技術及經濟進而選擇對下游生態系統影響較小的方案。

水庫不僅解決用水問題，延伸至環境、經濟及海岸侵蝕等議題，每一大壩適用的方法，須因地制宜，如輸砂它可以將不常見的沉積物排入尾水而不會在水庫中沉降，可以應用隧道或通道直接繞過大壩，分流到非通道水庫，並通過洩流排放使沉積物通過水庫，講座特別提及 Unazuki 大壩，此壩採用沉積物沖洗出口和沉積物旁路系統（繞庫排砂）進行沉積物沖洗，目的是從根本上減少沉積物的流入和沉積，另其他方案採用以泥沙沖刷、泥砂繞庫和水力排砂的先進實例，考慮到從山區到沿海地區的泥沙運動帶，期採取恢復泥沙輸送系統中有效泥沙輸送的綜合方法，因解決社會問題也是重要課題，例如在流域居民之間就沉積物管理的需要建立共識，以及建立法律和成本分配系統；在減少上游流域的泥沙產量、採用繞庫排砂方法以恢復或增加及重新分配水庫容量，對水庫淤砂的綜合管理是水資源重要的一環。

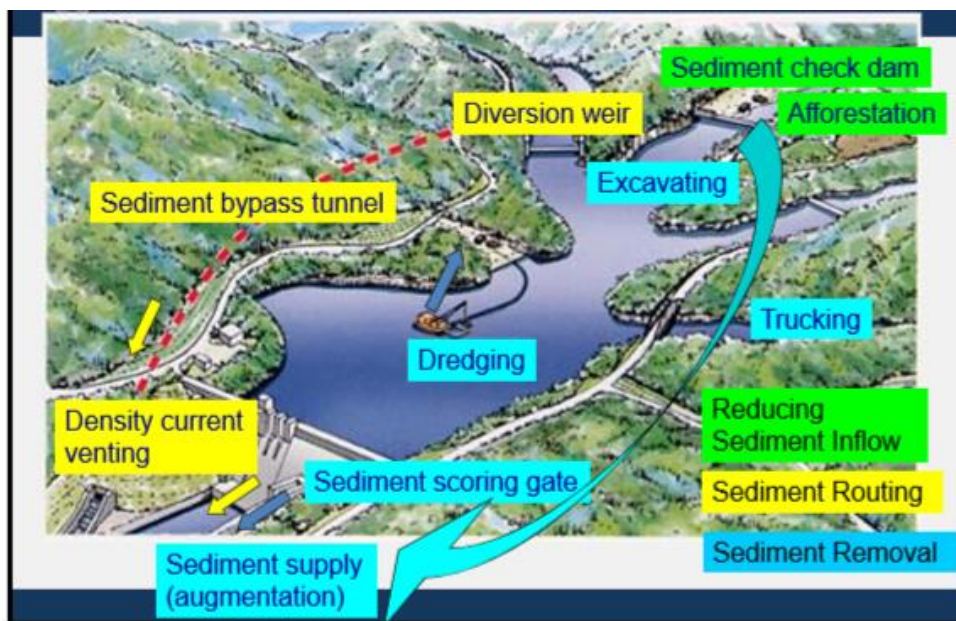


圖 17 選擇適當水庫泥砂管理示意圖  
(資料來源：Sameh KANTOUSH 上課講義)

講座也分享他在 2019 年前來台灣共同分享第三屆國際水庫防淤通砂隧道研討會的經驗，對本署石門水庫、曾文水庫及白河水庫印象深刻，也期雙方後續有更多的交流機會。

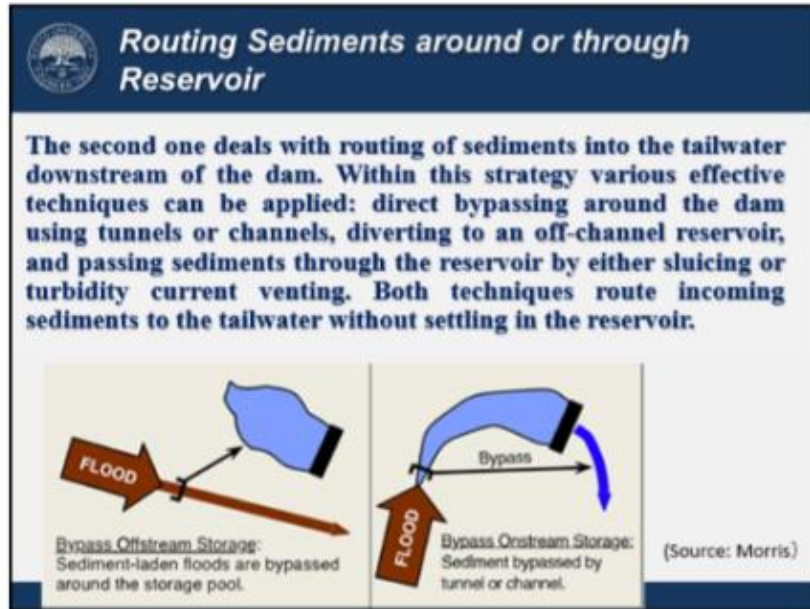


圖 18 水庫繞庫及通過水庫排砂  
(資料來源：Sameh KANTOUSH 上課講義)



圖 19 學員李恩彤與 SUMI 教授合影

## (十二) 教科文組織 - 國際水文計劃 (UNESCO-IHP) 和亞洲氣候變遷下水資源預測

本講座介紹教科文組織國際水文計劃的歷史和作用，並討論水文循環以及氣候變化對東南亞水資源的影響，水資源預測的分析項目包括有河川、水質水量、洪(旱)災風險管理，透過模式來預測以因應氣候變遷下之災害影響。

水文學是一門涉及地球學科、水域、物理及生物環境相互作用的學科，預測氣候變化對水文循環和水資源的影響甚大，水文學闡明地球表面及其水運動以及時空間的分佈，其中亦涉及沉積物、溶解物和污染物的運輸等，也作為工程和農業科學的分析應用基礎。圖 20 說明了水循環的主要組成部分，降雨落到地面後，由樹木和植被先行攔截了部分降水，隨後被蒸發到大氣中而未到達地面。

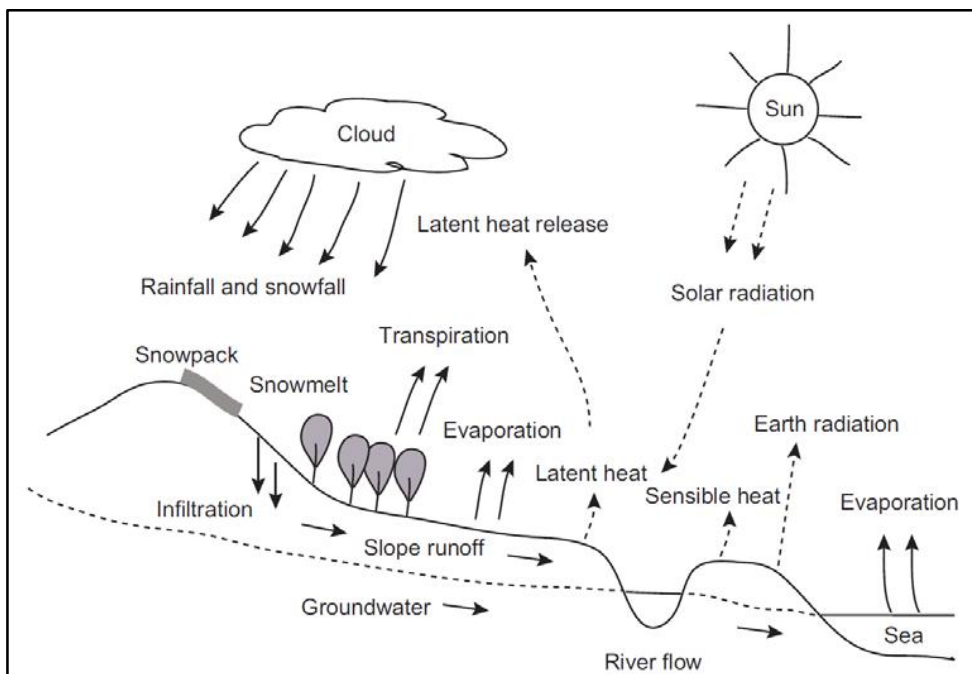


圖 20 水循環的主要組成部分

(資料來源：上課講義)

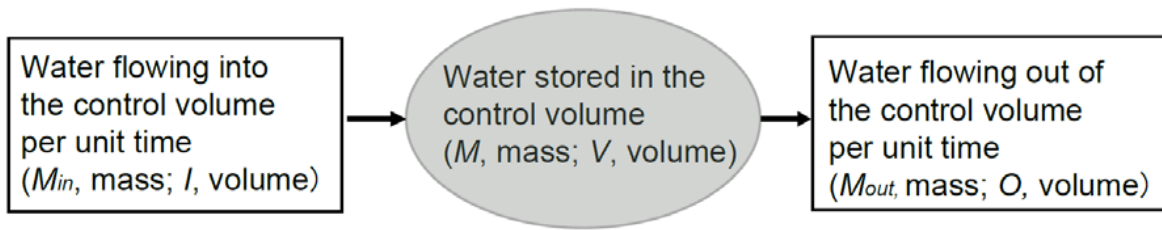


圖 21 水平衡與連續性關係

(資料來源：上課講義)

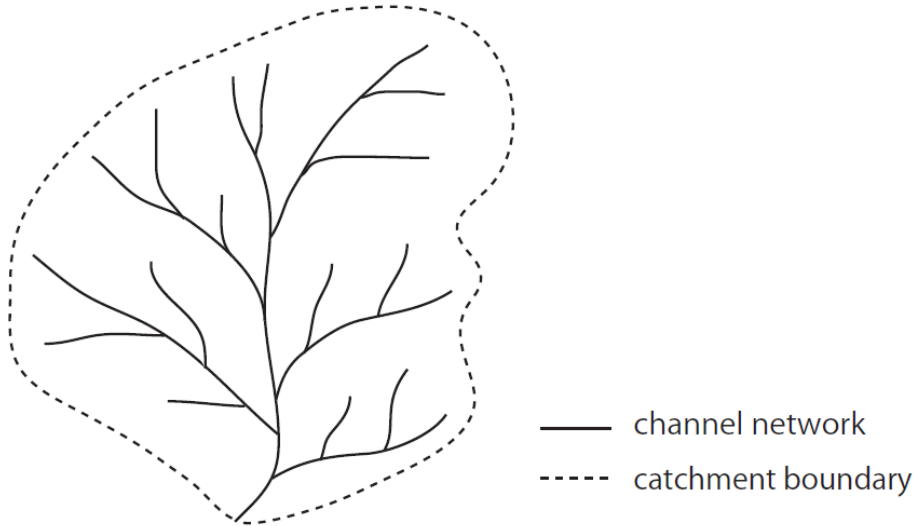


圖 22 儲存在地球上的水和年度運動

(資料來源：上課講義)

### 1. 集水平衡

如圖 23 所示，集水區是雨水排入渠道網絡的區域（河網），最後流到河口，集水區由地形定義的分水嶺邊界。

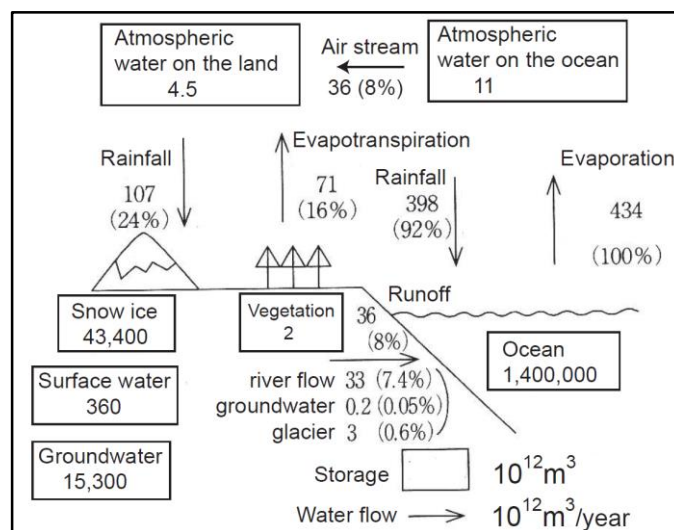


圖 23 分水嶺集水盆地

(資料來源：上課講義)

## 2. 氣候變化下的資源預測

使用5分鐘的空間分辨率，彙總一天中的每日平均流量和每小時的最大小時流量，並對其進行分析，以確定水資源、洪水和乾旱發生重大變化的流域。

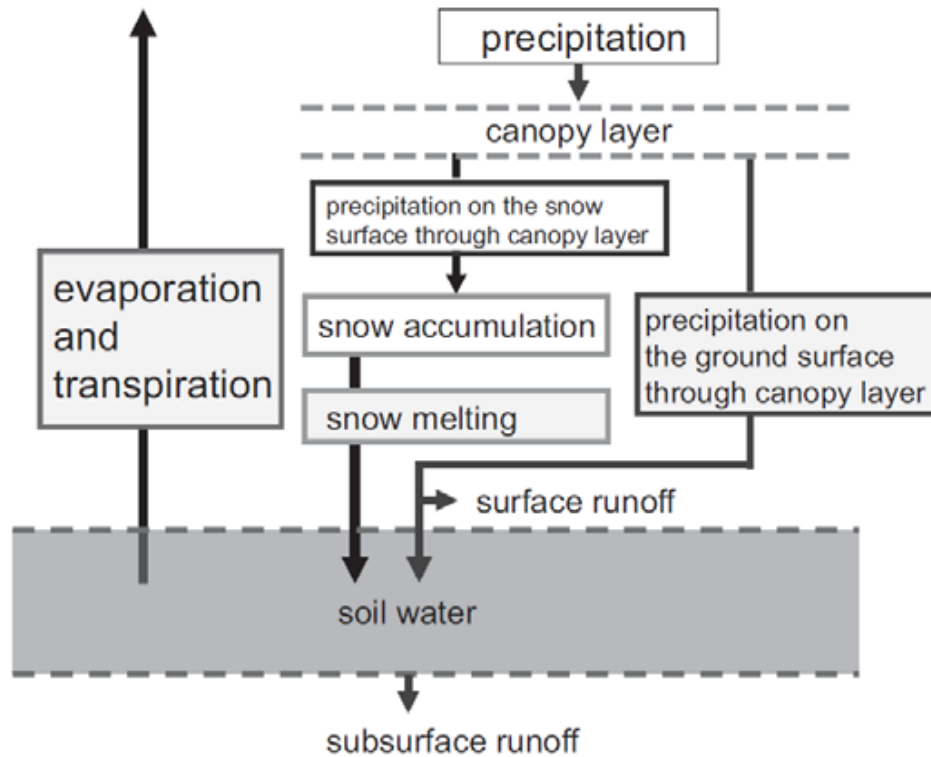


圖 24 與 MRI-AGCM 中的水文循環有關的 GCM 輸出  
(資料來源：上課講義)

課堂中，計算三個氣候實驗的年均模擬河流量，並將其用於分析印度支那半島地區的水資源變化預測，圖 25 顯示出相對於當前氣候實驗的近期未來氣候和未來氣候的年平均排放量的變化率。圖 25 (a) 顯示了不久的將來年均排放量的微小變化。薩爾溫江和湄公河流域的最上方，伊洛瓦底江流域的下方和越南西部的年平均流量略有增加，比率小於 1.5。僅湄南河流域東部顯示出年平均河流量減少的趨勢，比率在 0.5-0.9 之間；圖 25 (b) 中顯示了類似的趨勢，但在未來的氣候實驗中強度更高。年平均流量和比率範圍變化的區域變大，特別是在伊洛瓦底江流域的中下方和湄南河流域的東部，但是，越南中部未來氣候的年均流量趨於下降，變化率低於 0.9。

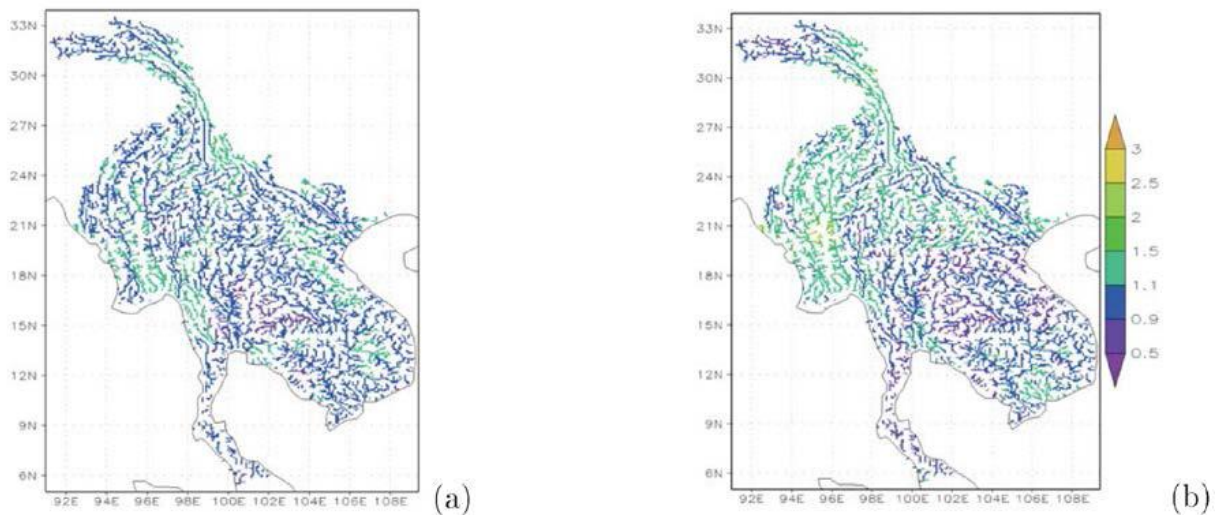


圖 25 氣候變化下的資源預測  
(以印度支那半島地區為例)

### 3. 洪水風險的變化

以上述印度支那半島地區為例，分析了三個氣候實驗的年度最大排放數據，圖 26 顯示了近期氣候和未來氣候的年平均最大排放量相對於當前氣候實驗的變化率。(1) 對於近期氣候實驗，年最大排放量的平均值在 Salween 河流域的上方以及越南西北部和湄南河流域的東部。(2) 實驗中也發現，在不久的將來的氣候實驗中發現的變化，在將來的氣候實驗中更加明顯。(3) 在未來的氣候實驗中，伊洛瓦底江和紅河流域的年平均最大流量顯著增加，部分地區的比率超過 2.5，表示這些地區發生洪水的風險增加。

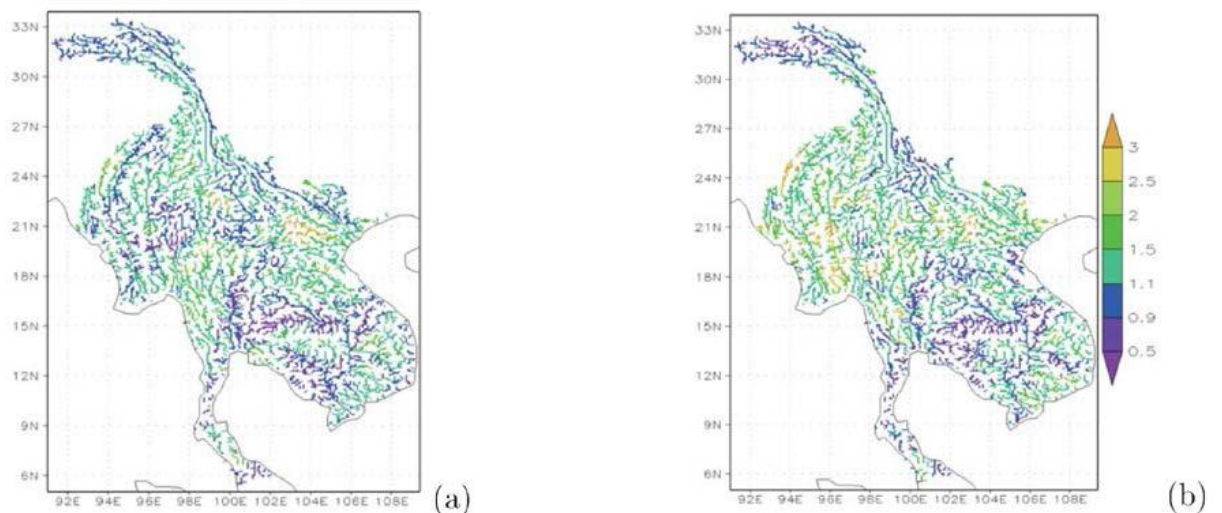


圖 26 近期氣候和未來氣候的年平均最大排放量相對於當前氣候實驗的變化率  
(以印度支那半島地區為例)

### 4. 乾旱風險的變化

最後，通過將近期和未來氣候實驗中的年度最小排放量平均值與當前氣候實驗中的值進行比較，分析印度支那半島地區的乾旱風險變化。圖 27 顯示了湄公河流域中部、湄南河盆地西部和印度支那半島東南部，特別是越南的南方有下降趨勢，透過預測，在未來的氣候實驗中，這種趨勢更加明顯。

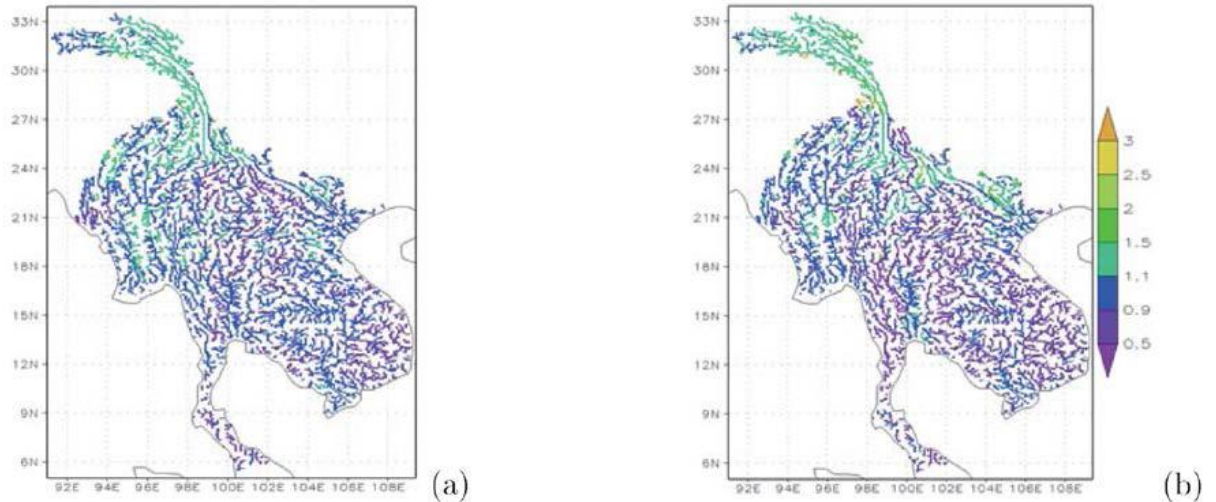


圖 27 乾旱風險的變化

### (十三) 淡水河川生態系統基礎介紹及現地調查

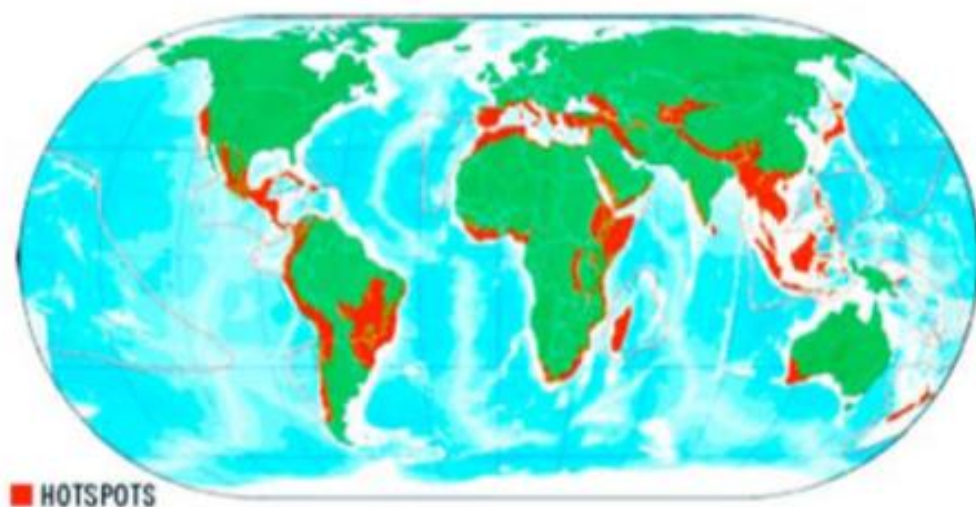
(TAKEMON Yasuhiro, 京都大學 DPRI 副教授)

河流生態系統提供了各種「生態系統服務」，包括供水、提供食物、通過養分循環進行水淨化、沉積物的運輸，通過颱風來進行蓄水及洪水調節，提供娛樂、文化和環境教育；但在人類的影響下，生態系統已經逐漸惡化；為了維持下一代的生態系統服務，我們應採取流域管理的方式，進一步瞭解該淡水河川生態系統科學知識，方能更柔性化的親近河川。

河溪生態工程即遵循自然法則，落實河溪生物多樣性及永續發展的理念，以生態為基礎、安全為導向，使河溪生態系統、棲息地呈現多樣性，對自然環境之衝擊降至最低。在人類對淡水生態系統的影響中，水污染仍然是許多發展中的國家最憂心的課題，由於大壩的建設和渠道的改善、水文地貌動力的惡化，導致全世界淡水和沿海生態系統發生了嚴重的變化。

課程當中介紹生態學、生物多樣性和生態水文學的基本概念，並從各種河岸生物的棲息地結構角度來解釋淡水生態系統的結構及其生態系統循環。淡水生態學中也討論「閾值溫度」和「累積溫度」的影響，這是對生物熱影響的兩個關鍵名詞，因此在野外調查的課程中也進行了水溫含滲透性的練習；講座說明河川生態經營是重要的，像是日本許多居酒屋的香魚都是來自當地的河川，河川裡的生物生存狀態代表了河川的健康度，管理過程也須避免外來物種破壞。圖 28 為自然保護聯盟國際（CI）指定的全球分佈生物多樣性的 34 個熱點。

圖 28 生物多樣性熱點的全球分佈



(資料來源：TAKEMON Yasuhiro 上課講義)

河川的流路擺盪並無規律性，但會依據河川的特性有自然的變化，人們進行河川棲地研究、河岸發展、水潭研究及淹水頻率研究，為達河川的平衡，近年趨勢已朝向河川復育的思維邁進，盡量採取河川資源不外取、不做過度的保護工程，像是日本的丁壩、蛇籠在適當地區會將塊石結合竹繩取代蛇籠的功用，其名為聖牛，可具有河川防洪安全及養灘的功效，此法以近自然方式恢復河床自然流向，在日本頗受在地 NPO 認同。

為解決水資源的中長期環境問題，京都大學防災研究所致力於自然（地理生態）和社會環境變化影響水資源系統的相關研究。在綜合流域管理方面，目標為防洪保護、水質和生態環境並重發展，希望改善河川生態消失的困境，本講座 Takemon（竹門康弘）副教授致力於河川生態復原的研究與實踐，通過棲息地結構開發生態系統，以恢復自然與多元性的河川流域。





圖 29 日本聖牛現地



圖 30 以聖牛作為丁壩高灘成效現地

本課程搭配河川現地調查，前往宇治河和 Kizu 河（木津川）進行河床調查和棲息地評估實作，本調查單元的量測項目包括（A）量測沙洲土壤柔軟度、（B）量測水面水位高程差、（C）量測河川溶氧量。學員共分為三組，分別進行以上實驗量測，可分析兩條不同地理環境的河川，土壤硬度可以表示河床材料的孔隙率和滲透率的良好指標，氧氣易溶於冷水，其氧氣溶解度隨溫度升高而降低，會對生物造成嚴重影響，因此透過現地調查可以掌握研究流域的生態情形，對河川復育具有相當程度的貢獻。

#### （A）量測沙洲土壤柔軟度

第一組，進行土壤硬度量測方式，使用類似犀牛角長叉插入土壤中，提起長叉桿上之黃色圓錐使其自然落下，並記錄長叉每次插入土壤之深度，直到數據呈現定值，將其數據平均做為土壤硬度代表。



圖 31 圓錐落體之土壤硬度測量方式

(B) 量測水面水位高程差

第二組，量測水面水位高程與水平距離（圖32），用以計算水利梯度 $i$ 值。



圖 32 水面水位高差量測

(C) 量測河川溶氧量

第三組，進行河川溶氧量量測，於上游處加入鹽水，鹽水瞬間流入下游，即同時進行下游土壤（挖洞處）因上游鹽水滲流所造成的導電度變化量測（圖33），使用導電計每60秒量測與記錄導電度變化值。當導電度變化值由上升值開始下滑或不再變化，即視為上游水體流經此水平距離所需的時間，即可求得流速值 $V$ 。



圖 33 量測河川溶氧量

## （十四）模擬河川輸砂過程及小型水庫放水情形

（Sameh KANTOUSH,京都大學防災研究所 助理教授）

### 1. 小尺度河川輸砂模擬實驗

利用 Emriver 河道過程模擬器模擬河川輸砂的過程樣態，這些模型是由 Little River Research 以及 Design 的經驗豐富的河流地貌學家和地質學家設計和建造的。Emriver 造型沉積物是由工業後回收材料製成的特殊熱固性塑料，包括按顏色區分大小的沉積物，沉積物顆粒介於 0.4 到 2.0 毫米之間，可根據尺寸輕鬆查看沉積物的運輸和沉積情況，它展示了河流行為、微妙的河道形態和泥沙輸送過程的原理，該實驗適用於各類地貌模擬，例如洪氾區、三角洲區、地下水過程和沉積物遷移等。

實驗中，除了運用特別設計的特殊熱固性塑料的河床底質外，並在上游處設有定量流出水口，以模擬河川在低流量與高流量的不同水流狀態下產生出不同的河道擺盪過程，同時讓學員自行選取與擺置各式的植被、模型屋、塊石、橋梁等，下游處並設有開口作為水流排出用，以模型模擬河川流至出海口的情境，實驗過程中，上游出水，流經沙洲，流至出海口，觀察三角洲崩塌、穩固狀態，再形成河道樣式，再從實驗成果中得到下游三角洲粒徑組成結果，以顏色區分其大小分別為黃、米、咖啡及紅色（紅色粒徑最小），咖啡色顆粒較易停留於底層的顆粒以咖啡色最多，粒徑最小的紅色顆粒則直接留入出海口及沉澱。過程中學員們觀察了河川的流動行為、河道的微妙變化（例如攻擊面的形成）以及泥沙輸送過程等。



圖 34 河道過程模型模擬河川輸砂過程



圖 35 下游三角洲形成與顆粒組成型態

### 2. 小型水庫模擬滯洪對下游影響的流量歷線分析實驗

以水庫模型實驗滯洪狀態說明水庫的興建對下游河道及城市的溢洪等影響。水庫模型設計上，在水庫下方設計有矩形開口，水庫上游則以控制器設定二種水量作為上游集水區流量的模擬模式。實驗時，以下方矩形開口為關閉或開放等兩種方式分別實驗；首先，模擬未有水庫時的狀態，即將水庫下方矩形開口打開，上游注入與出口流量相當的降水量，發現當上游降下大雨時，下游於極短時間內即發生溢堤現象；第二回，則將水庫下方的矩形開口關閉，即水庫存在狀態，再於上游注入相同流量的降雨，此時洪水則順著上方矩形開口處的堰口自然溢流而出，即可減緩下游水道及城市發生洪水災難的機率，有效降低洪災的形成。

接著再根據實驗注水量的多寡（高度）計算上游流量理論值的流量歷線，再對照矩形堰上顯示的數值（壓克力板上的刻度）得知堰內的水位高度，再利用堰流公式算得流量理論值而得到實驗的流量歷線。最後再將兩階段實驗分別得到的流量歷線作一合併，即可看出水庫興建與否對於洪峰的量與時間的有效抑制成效，紅色歷線即是水庫興建後的洪峰稽延時間，除了時間上的稽延外，也大大降低其洪峰值，產生極大的保護效果。該實驗清楚解釋水庫的本質功能，透過實驗讓學員了解水庫對河道下游處的調節和人民生命財產保障上所發揮的重要功能。

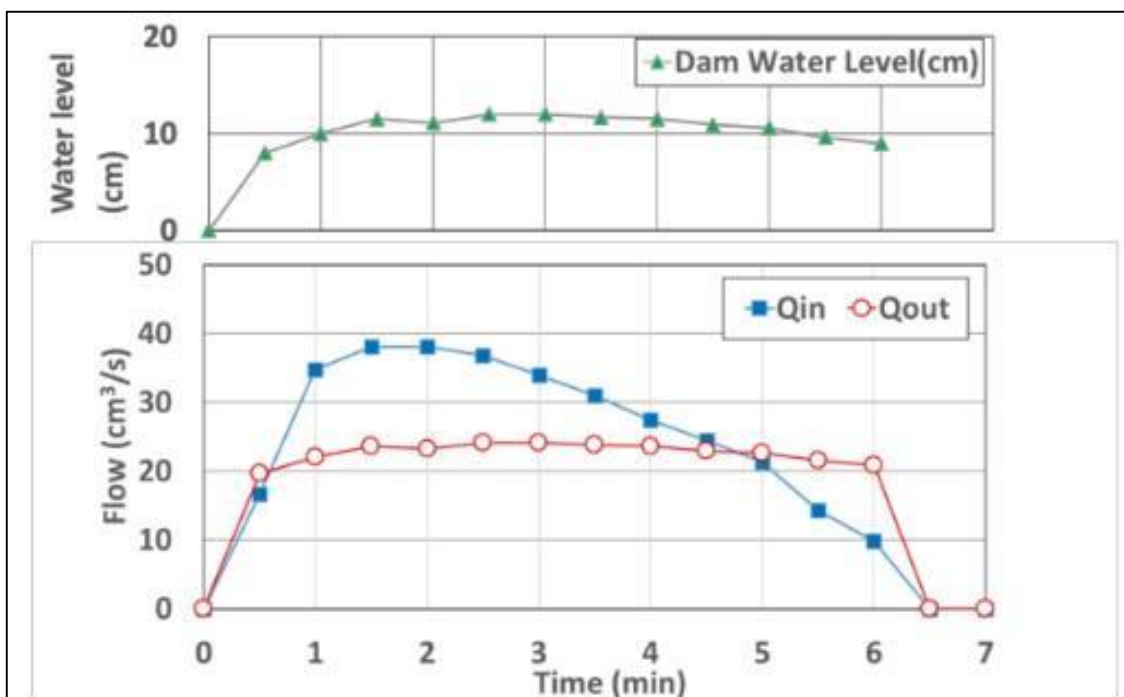
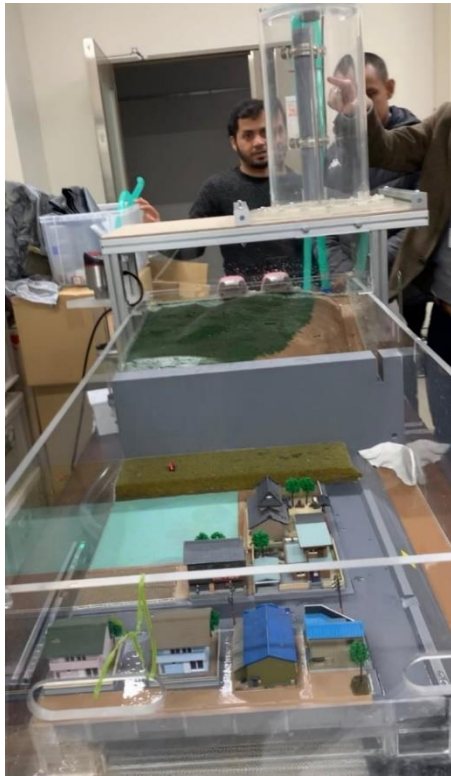
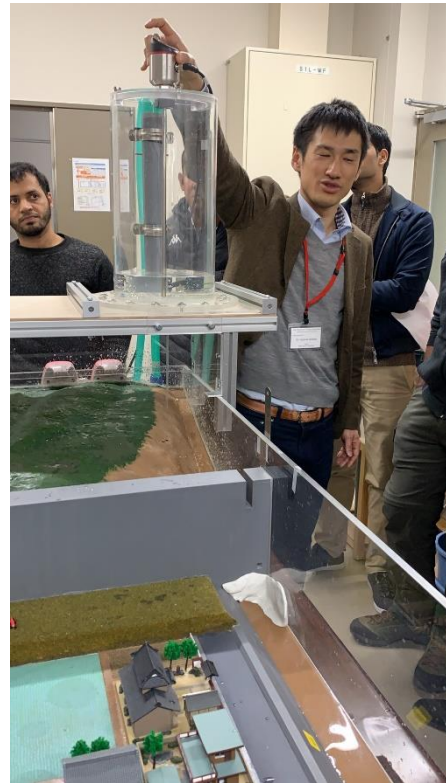


圖 36 水庫水位與流量歷線  
（藍色入流、紅色出流）



A-小型水庫模型



B-水庫流量歷線分析實驗解說

圖 37 小型水庫模擬

## (十五) 現地參訪天籟大壩及瀨田川攔河堰

### (1) 天瀨大壩

天瀨大壩（Amagase Dam）建造於 1961 年，完工於 1964 年，是一座由重力混凝土和填充壩（複合）建製而成的拱型大壩，堤高 73m、堤頂長 254m，總儲水量為 2,628 萬噸。它的用途包括農業灌溉、防洪、工業用水及供水等。天瀨大壩的區域覆蓋了天瀨大壩和瀨田河堰之間的宇治河沿岸地區，其中包括京都的宇治和上田原，以及滋賀縣的大津（南部）和古賀。天瀨大壩的流域面積為 352 平方公里，琵琶湖（Lake Biwa）的流域面積為 3,848 平方公里，合計天籟水庫的集水區有 4,200 平方公里。大壩的上游是日本最大的湖泊琵琶湖，在大壩的下游約 2 公里的區域，有許多旅遊資源，例如世界遺產，平等院和宇治上神社，而讓此區域的社會、經濟和文化蓬勃發展。

Amagase 大壩目前正在進行一項重建項目，建造隧道式[最大隧道直徑 23m 寬，26m 高]排放設施，以增強現有大壩的功能，建成後將成為日本最大的水路隧道。



A-天瀨大壩



B-天瀨大壩參訪

圖 38 現地參訪天瀨大壩

## (2) 瀨田川攔河堰

瀨田川攔河堰，位於滋賀縣大津市，所在河流為淀川，屬活動堰型式，主堰高度 6.114m，水道高度 8.824m，隸屬日本國土交通省水利廳及水資源機構管轄；堰體建造於 1957，完成於 1961 年，水道則建造於 1985 年，於 1992 完成。



圖 39 瀨田川攔河堰



圖 40 瀨田川攔河堰參訪

## (十六) 水工實驗

### (1) 流域災害實驗室：城市洪水的實際比例模型實驗

當發生城市洪水時，從地下空間迅速撤離是減少洪水災害的有效措施之一，本實驗使用此模型，研究了樓梯上的流動特性。該實驗提供樓梯真實比例模型模擬洪水流入地下空間的設備，實驗設備包括鋼製樓梯（20 個踏步），寬度為 1m，流量為  $0.8\text{m}^3/\text{s}$ （最大），以及胎面 0.3m 和立管 0.15m，每位學員實際體驗從地下空間疏散的情境。



圖 41 真實樓梯比例模型疏散實驗

### (2) 靜水壓對逃生門影響實驗

真實模擬門上靜水壓力的實驗。實驗的模型由一個水箱組成（水庫的模擬）；水庫模型為，水庫寬度 1.8m、高度 3m、深度 0.9m（水深由堰控制），門板為鋼製門，寬度為 0.8m、高度 2m，泵 11kW-37A，最大排放  $0.06\text{m}^3/\text{s}$ 。讓學員嘗試從另一側打開門，實際體驗在壓力作用下打開門的困難度。這樣的經驗有助於人們在洪水事件發生時能夠有所警覺並迅速採取撤離的行動。

該實驗係模擬門外淹水時的靜水壓對應逃生門作用力的大小，以所提供的門上總水壓來看（圖 42），講師讓大家從 20 公分水深對應的 16KG 重的水壓開始作逃生測試，學員全數闖關成功；接著增至 30 公分的 36KG 靜水壓，已剩下不到一半的學員成功打開逃生門，當水

ドアにかかる全水圧	
水深	全水圧
10 cm	4 kg
20 cm	16 kg
30 cm	36 kg
40 cm	64 kg
50 cm	100 kg
60 cm	144 kg
70 cm	196 kg
80 cm	256 kg
90 cm	324 kg
100 cm	400 kg

圖 42 門上總水壓一覽表



壓增至40公分水深的64KG靜水壓時，僅有一位學員在吃力的情況下勉強推開逃生門，實驗即大致告段落。40公分的水位其實沒有太深，但總靜水壓已達64KG，對逃生已有很大的挑戰甚至已逃生不易了。

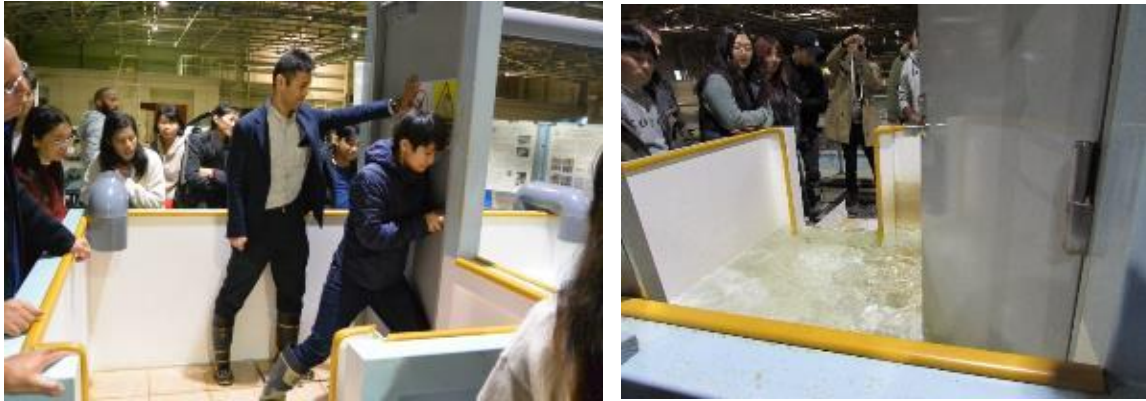


圖 43 李恩彤學員實作靜水壓逃生門實驗



圖 44 流域災害實驗室參訪

### (十七) 個人簡報學習成果與未來發展應用

每位學員在研習結束前皆分享學習成果，學員李恩彤分享，在本次研習中將台灣花蓮地區的數據整理應用於降尺度及RRI模型上，我們一般常用HEC-RAS、CCHE-2D、SRH-2D來模擬河道二維，用SOBEK來模擬淹水情形；惟模擬範圍區域一樣採用不同模式，且在台灣有極端降水降雨超過雨水下水道系統的洪水能力，導致洪水氾濫情形，我們有必要了解河流的二維情況，並預先預測可能已被洪水淹沒的地區，這些地區可以提供預警。透過學習RRI模型，將有助於預測氣候變化並評估不同氣候條件下各個地區未來的洪水風險，它還具有二維模型，能夠同時模擬降雨徑流和洪水氾濫，減少界面誤差，模擬水流從山區開始，並且精度越來越高。在模型的使用中，我們必須考慮上游降雨和下游海洋影響的共同影響，從小區域擴大到集水規模，並在此過程中使用降尺度的方法，但後續研究仍需納入驗證部分，並開始討論使用所提出的理念來更新

洪水保護總體規劃的可行性，講評者也建議李員研究區域可以同時考慮設計價值及未來可持續發展的最惡劣危害程度。因其在RRI模型可以用來評估未來氣候變化狀況的影響，並搭配臺灣3-6小時洪水預報的相互應用下，於未來的長期預測並結合即時洪水預警，是可以有效的預測災害，有效達到預警及應變。



圖 45 學員李恩彤學習成果與未來發展應用簡報

學員朱明珍分享，基於洪水氾濫迅速、洪水高峰突然高漲、時空變化和降雨發生的地點，以及快速發展的位置不佳，正當目前台灣地區的問題，因此對於「乾旱和半乾旱地區的山洪管理」課程有深刻印象；台灣當前問題包括河流短、坡度大、降雨的時間和空間不平衡以及水資源有限；氣候變化影響下的單一管理策略不足以減少山洪災害和風險，它的確是目前全球各地的困境；將洪水作為新的供水，對台灣而言是一個好的想法。



圖 46 學員朱明珍學習成果與未來發展應用簡報

(十六) 結業式與團體合照



圖 47 結業學員與講師合照

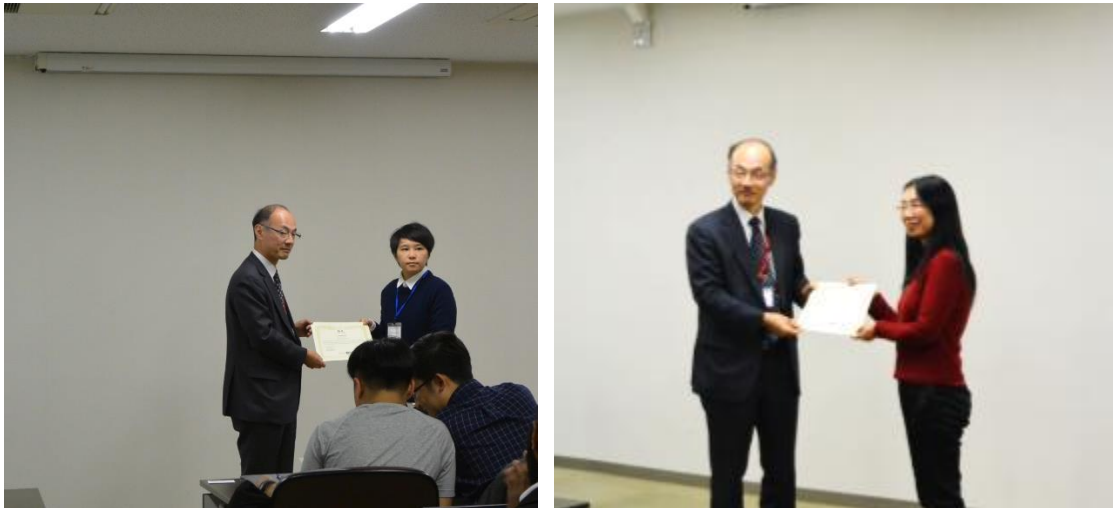


圖 48 T.Sumu 教授頒發結業證明  
(學員李恩彤、學員朱明珍)

## 第參章 心得與建議

一、面臨氣候變遷的影響、短延時強降雨的常態化，導致複合型災害、旱澇加劇等境況。因此，全流域的綜合管理思維，永續經營水資源，已是全球化的趨勢。茲將日本管理的經驗與策略，歸納如下：

- (一) 日本在全流域的相關研究方面，具備完善的模式分析架構。從針對上游集水區至水庫間的土砂收支與運行情形，延續到中下游的河川排水及河口的海岸，有著整體性的串聯與通盤性的管理方法，其包含了水資源管理、防洪應變、經濟發展與及環境保護等跨領域面向。
- (二) 氣候變遷衝擊評估方面，目前日本也將發展氣候模型之議題，定為當前重要之研究課題。同時，除了傳統的大氣變化模擬外，也特別將生態系統及未來社會經濟發展狀況等一併納入評估。
- (三) 透過京都大學防災研究所無私的分享相關研究成果，使處於不同研究環境的國家或研究單位有機會互相學習和參與研究。並藉由研究的過程，進行交流與共學，激發出更多的新思維。此種公私協力、資源共享、知識傳承與加值的思維與概念，與本署目前正推廣的民生公共物聯網的核心理念相似，將我國政府投資建設的感知設備及成果回饋至民間及學界，使政府的投資效益發揮到最大，也避免研究資源的重疊，有效的提升時間與成本效益。

二、在有關災害防治策略的探討方面，透過研習課程的交流，主要傳達了一個重要的理念，要做到災害的零損失，是相當困難的。然而，透過提前的預警、事前佈署，可以有效的降低災害所造成的損害。因此，對於脆弱度較低、災害風險較高的區域，有加強相關防災整備與應變方案的必要性。茲將災害防治策略與調適方法歸納說明如下：

- (一) 一般水災之調適方法大略分為：
  1. 水利設施：興建新的水壩水庫、堤防、地下排水渠道、滯洪池以及透水鋪面等。
  2. 國土規劃：於土地利用規範中考量洪水管理，如本署推動流域內逕流分擔及土地開發出流管制之治水新政策，藉由水道及土地共同分擔洪水方式，提升國土耐災程度，並研提相關水利法修正條文。

3. 風險管理：繪製洪水風險圖(flood hazard map)，配合即時資訊進行危機管理與決策。
4. 監測：持續的監測，以提供即時資訊進行或修正規劃案。

(二) 參考日本洪水地圖，可作為本署研究風險評估案延伸的參考，後續可製作災害風險地圖，包含水資源管理、災害、保全對象、脆弱地區及社會經濟重要區域，並將定義、作法、流程標準化，提供予決策者參考，於災中進行資源調度及重要決策，有效降低風險及減少災損，並搭配前端感測設備，達到智慧河川管理之成效。

三、日本的河川整治計畫為流域綜合治理的骨幹，通常會在河川的下游地帶，設定一個基準點。首先，透過降雨-逕流模式，計算該點的高水流量(不考量中上游滯洪、蓄洪)，再根據中、上游的河川條件，例如蓄洪、滯洪、分洪等，再計算下游基準點的計畫洪水水位與計畫堤頂高。此種規劃方式，與本署治理計畫大抵相同。然而，因日本中、上游水庫較多，且多數有調節水量功能，故日本河川下游的計畫流量，已考量流域的逕流分擔的效應。

四、承上點所述，日本於河川中、上游段水庫之正常水位線設定上，有利用該水庫全年豐枯水期蓄存量高低起伏變化情形，評估安全且適當的上調水庫水位線，進而讓豐水期所增加的水庫蓄水量，增加為枯水期之水資源調度量，使水庫防洪與蓄水功能操作效益最佳化。

五、在氣候變遷的影響下，除沿海的水位將會升高、長浪增加外，颱風的強度也將有增強的趨勢。此種情況，可能使得堤防高度不足，進而使致災的風險有所提升；日本在公民參與討論時，納入堤防加高工程的可行性評估。其中，更進一步的將海堤的經濟壽命和生態等議題一併納入設計，並採分階段及不同的施作工法，以細砂、粗粒材及部分水庫淤沙處理後進行養灘；整體而言，希望藉由綜合土砂管理的概念，進一步到海岸線的沖淤平衡狀態。

六、在洪水的治理上，日本政府也在前端感測設備上進行研究。希望透過感測技術的發展，一方面作為即時掌握災情現況的管理工具，另一方面也可提供情境模擬分析模式的基礎參考與回饋資訊，藉以提升災害預測技術的可靠性。同時，也綜合考量了降雨預測、流量模擬以及流域管理的完整性，期能有效的控制洪水發生，以及可能帶來的災害。

- 七、整合型洪水分析系統（IFAS，Integrated Flood Analysis System）是一套值得探究的系統，它可藉由衛星取得降雨資料，以彌補地面雨量站資料不足的問題，再利用分散式降雨逕流模式，模擬區域的逕流量。該系統可在地表雨量站缺乏的區域進行更精確的推估與適當的管理，可在研究及預警作業上暫時補足雨量站資料不足的情形；甚或在經費有限下，若可參採衛星取得的降雨資料，即可進行洪水分析處理。
- 八、綜合流域管理模式，也是一種結合水量與水質評估計算的水文模式。同時，係以整體流域為建構尺度，期望以水文和物質循環的模式進行流域管理的整合。其中，也考量土地利用的改變、都市化的效應以及地表地下水之間的交互作用，並加入生物化學模式進行水質部份的討論分析。其後，再配合沖蝕與輸砂的計算，整合成完整的水量與物質循環模擬模式，以提供流域水資源管理之用。
- 九、日本政府透過公民參與的機制將防災觀念落實到學校及社區，使其瞭解災害防治不僅僅是政府部門的工作，更是大家的責任，讓民眾了解本身所處地區的災害潛勢情形並具備防災知識，當災害來臨時能夠在最短時間內作自我防護與因應，讓損傷降至最低；另一方面也在國土利用改變面向上著手努力，並逐步推廣與加強土地耐災韌性及災後復原的能力。
- 十、日本近年採用氣候變遷決策模式推算未來的降雨量與計畫流量，強調以預測值作為規劃設計時的參考數據，研究單位相當重視數值驗證，因此課程有現地實驗與現場調查，結合學理依據與實務應用，使參訓人員充分瞭解日本在流域綜合管理的策略、執行方向與相關分析技術。
- 十一、近年的極端氣候變遷影響下，增加了許多史無前例的洪水和嚴重乾旱等極端現象的頻率，因此，適應社會的發展已成為全球性的議題，台灣也不例外。為了使我們的社會更具韌性，我們亟需要對水資源未來的狀況作較準確的預測和評估技術的提升，依據台灣目前的水資源狀態，透過水利、環境、生態及科技專業共同合作，研擬適當的水資源管理策略，以共創美好的水環境。
- 十二、水庫淤砂綜合管理課題中，對於水庫上游集水區的崩塌問題仍需以工程措施解決，以減少水庫淤積。聯合排砂因水庫主要功能為發電，且水資源豐沛，每年可操作空庫排砂，而臺灣目前的水庫以水資源供應為主要功能，尚無法採用類似空庫排砂方式，須以繞庫排砂等其他方式解決水庫淤積問題，建議爾後可就日本繞

庫排砂實際案例作探討，期成效上除了提升或恢復水庫蓄水容量外，也一定程度的降低水庫的管理成本及改善社會問題。

十三、 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，分別估算降雨量及逕流量，在以實機操作 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；另一個學習目標為使用 RRI 模式進行模擬分析應用，可作為本署開設相關教育訓練之參考。

十四、 本次研習現地調查過程中看見日本俗稱為聖牛的工法，河川在高灘、堤前以加勁網包裹塊石作為基礎保護工之工法，可兼顧生態及自然景觀，因此值得學習參考，未來可在流速較緩之河川中試辦，提供爾後工程設計之參考。

十五、 日本在相關研究與模式建置的過程中，係以細緻化的思維進行探討。河道沖刷變化與河川動床的模擬是模型的基本要素，京都大學採用衛星影像及河川船隻量測數據做為模式建構之基礎，並透過每一次重大颱風豪雨事件進行模式的修正。目前我國針對河川動床的掌握情形尚在部分流域或是研究區域的階段，尚未建置流域上、中、下游的動床模型；未來倘可完整掌握整條流域的動床情形，將是水資源管理與治理的一大里程碑。

十六、 本次研習收獲豐富，綜合彙整各項經驗提出出國研習建議事項如下，供未來參訓人員參考：

(一) 參訓前建議須先將上課講義完整閱讀，蒐集本署相議題資料，預先整理擬待請益問題，可於課堂中與講座交流。

(二) 上課內容豐富，每日課程相當緊湊，建議使用錄音工具全程錄音，可利於課後整理與後續應用。

(三) 電腦實機操作所需軟體，建議爾後參訓同仁可依據課前提供之講義先行安裝熟悉 R 語言程式，以利加速課內容之吸收。

(四) 可針對課前講義與自身已在研究的項目，備妥以整理過之數據，如:雨量站、年度水位資料、河道斷面基本資料...等，可於課堂中採用日本軟體模擬實際案例，其結果可直接進行差異分析與討論，以提升國際交流與經驗學習。

附件：參訓證明

