

應用 WFLOW 模式於全臺集水區降雨逕流分布推估

林駿恩^{1*}

沈志全²

宋威毅³

陳俊廷⁴

1.農業部農村發展及水保署，聘用研究員

2.方圖科技股份有限公司，執行長

3.方圖科技股份有限公司，工程師

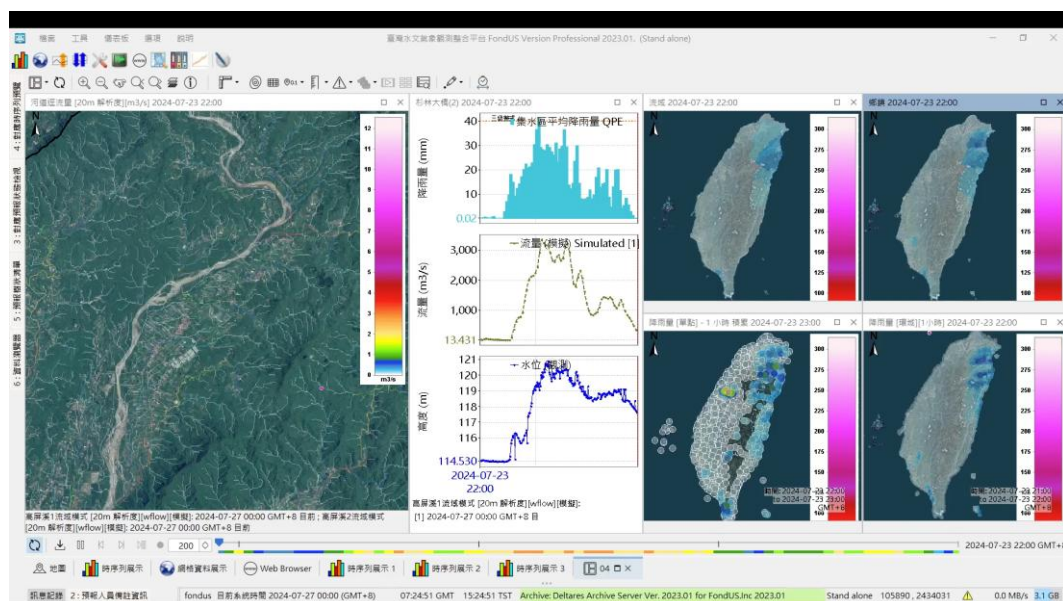
4.財團法人農業科技研究院，助理研究員

* 通訊作者 Email: jasonsinline@gmail.com

摘 要

針對土石流潛勢溪流及不安定土砂集水區主要位於山坡地及林班地範圍內，其缺乏足夠的監(觀)測雨量、水位與流量站，於颱風豪雨發生時，無法有效獲得集水區降雨逕流時、空間分布資訊。本研究整合分布式降雨逕流 WFLOW 模式與 Deltf-FEWS 平台，提供全臺集水區於颱風豪雨事件之降雨逕流時、空間分布資訊，其平台介接氣象署即時氣象資料、執行降雨逕流模擬及產製網格化資料。配合雲端運算平台之網路服務及成果供應架構，設定標準化作業流程與防汛期間 24 小時自動化排程運算，於接收氣象資訊後即可自動演算並產出全臺土石流潛勢溪流集水區或不安定土砂集水區降雨逕流分布情況，以提供農村水保署應變作業期間之情資研判與警戒分析使用。

關鍵字：WFLOW 模式、Deltf-FEWS 平台、降雨逕流時空間分布、警戒分析



圖：全臺集水區降雨逕流時空分布資訊



應用WFLOW模式於全臺集水區 降雨逕流分布推估

林駿恩¹

沈志全²

宋威毅³

陳俊廷⁴

- 1.農業部農村發展及水保署，聘用研究員
- 2.方圖科技股份有限公司，執行長
- 3.方圖科技股份有限公司，工程師
- 4.財團法人農業科技研究院，助理研究員

簡報人：沈志全博士

114 年09月30日



簡報大綱

研究背景

關鍵問題

方法概述

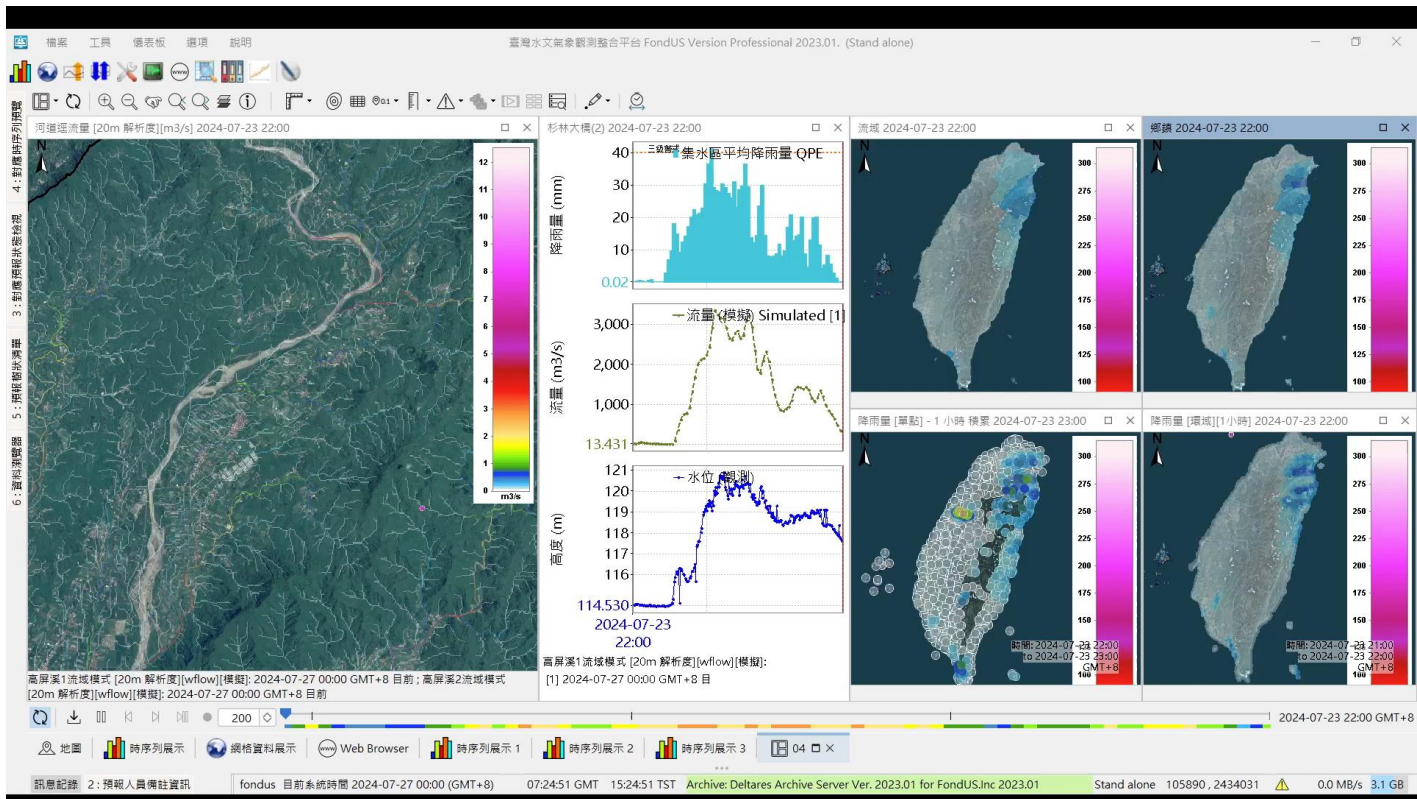
資料前處理

WFLOW模式專案建置

Delft-FEWS平台串接與驗證

自動化排程

結論與建議



研究背景

- 土石流潛勢溪流及不安定土砂集水區
 - 位於山坡地及林班地範圍
 - 監(觀)測雨量、水位與流量資訊較不完整
 - 災害發生時無法有效即時掌握降雨與逕流空間分布
- 降雨時間與空間變化量大
 - 雨量站無法掌握整體集水區降雨變化情況
- 颱風豪期間
 - 整合模式與資料來源，自動化產出集水區降雨逕流分布情況，支援農村水保署應變作業期間之情資研判與警戒分析使用。

關鍵問題

第27屆水利工程研討會

- 土砂災害發生期間降雨量與流量
 - 時間與空間分布
 - 土石流潛勢溪流集水區
 - 不安定土砂集水區
- 如何有效提供降雨量與流量資訊
 - 標準化 → API, netcdf
 - 自動化 → 資料與模式 串接與整合
 - 作業化 → 定期排程、彈性擴充





關鍵問題

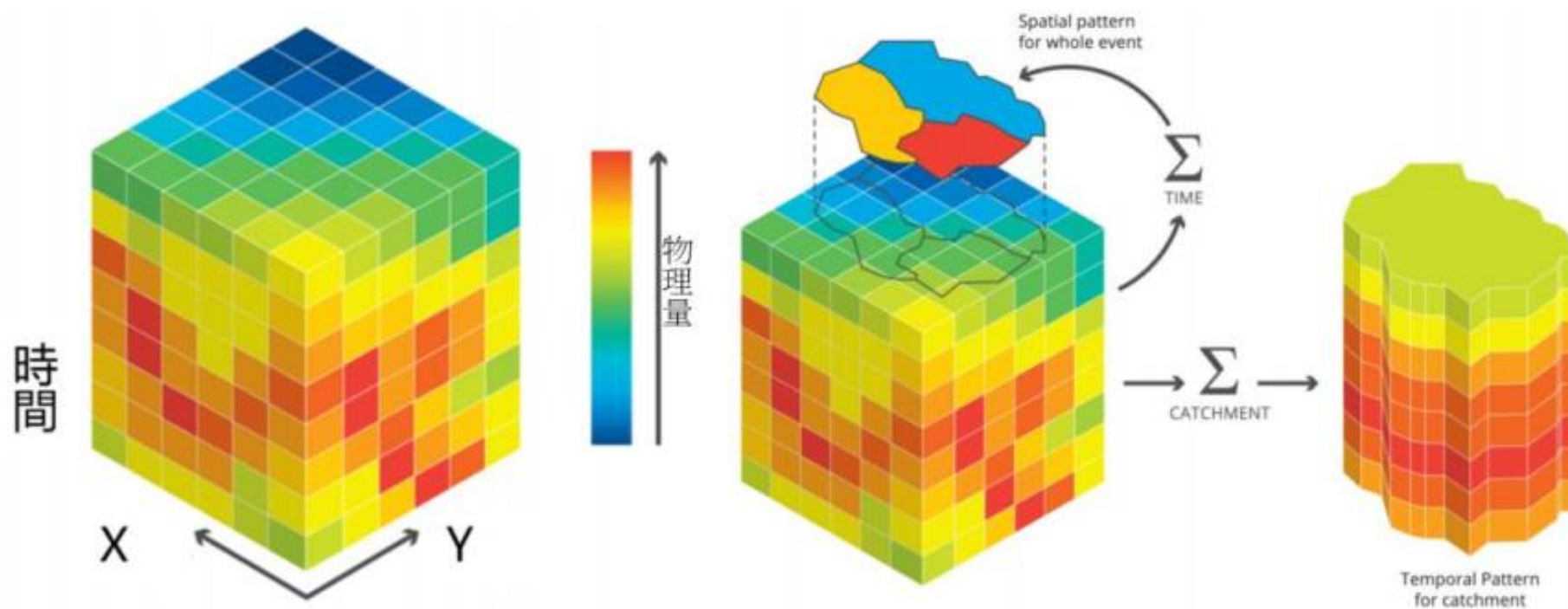
標準化、自動化、作業化

- 資料來源
- 模型與模式
- 水文氣象資料來源
- 模式運算
- 模式檢定驗證
- 風險警戒成果應用
- 資料維護更新



方法概述

- 網格化空間與時間資料應用
 - 雷達降雨量、降雨逕流流量資訊





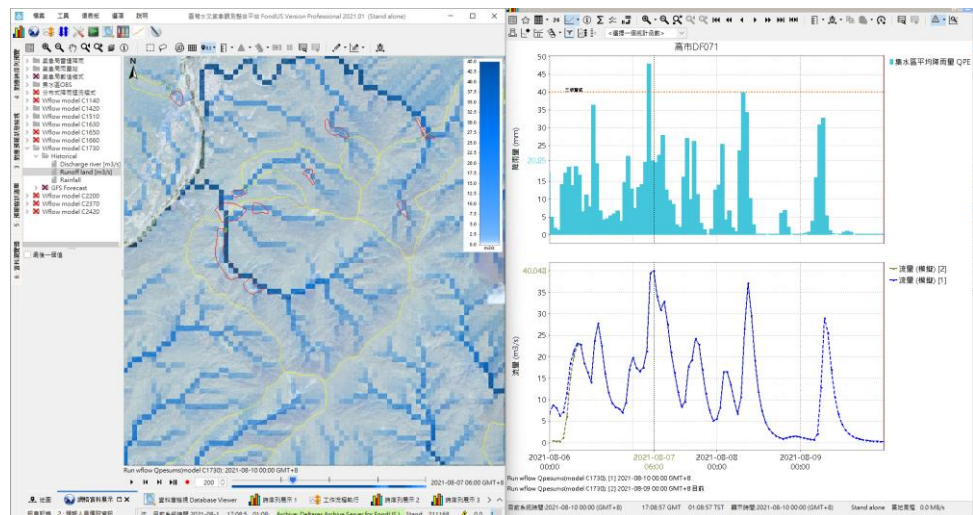
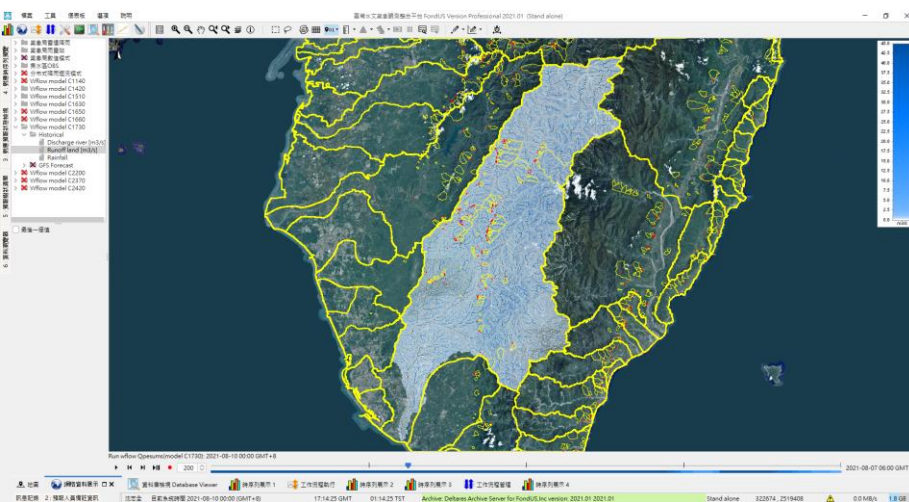
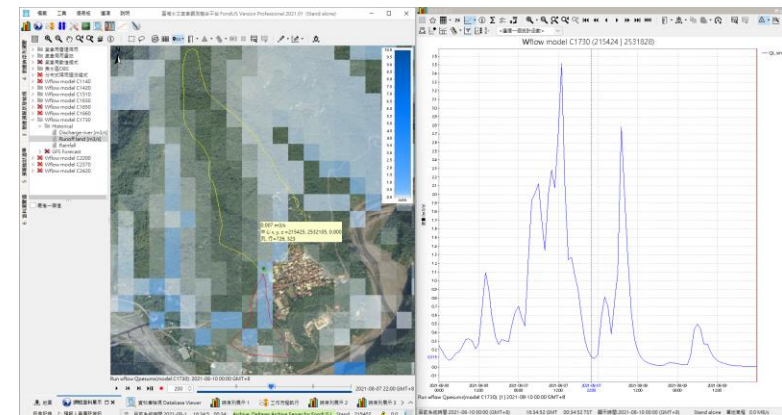
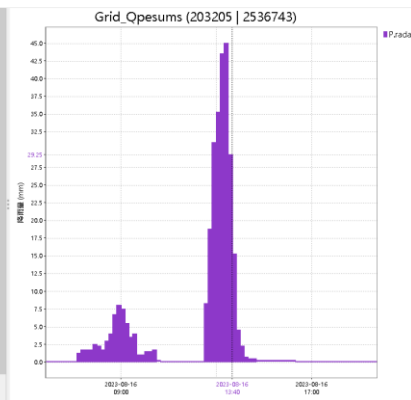
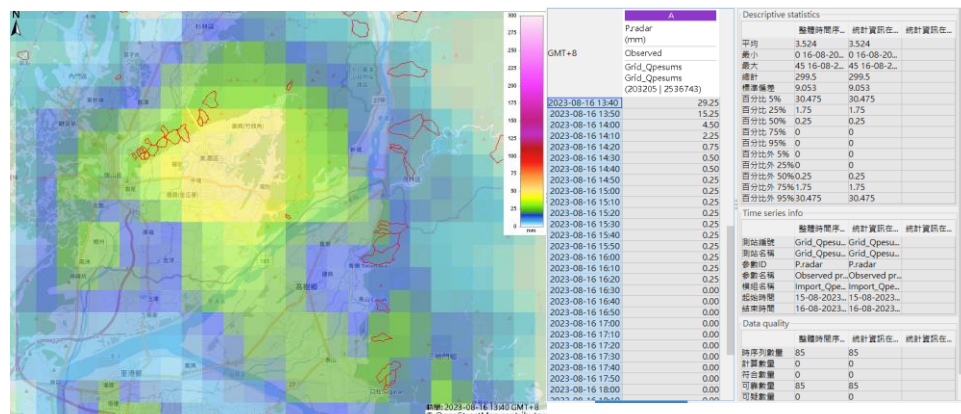
方法概述

第27屆水利工程研討會



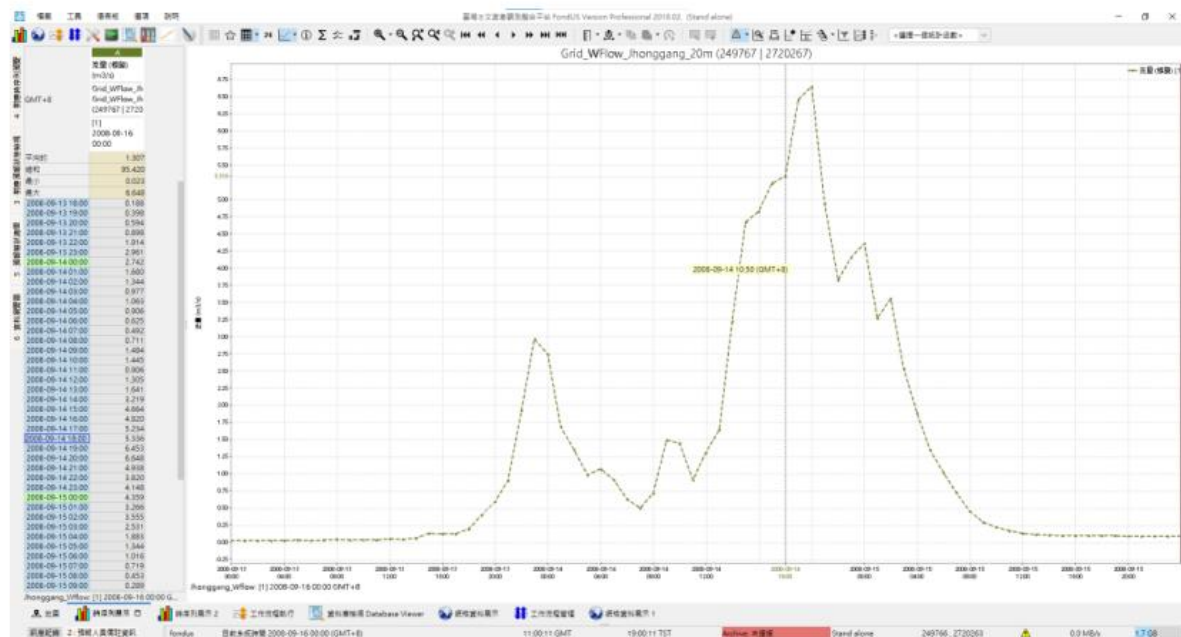
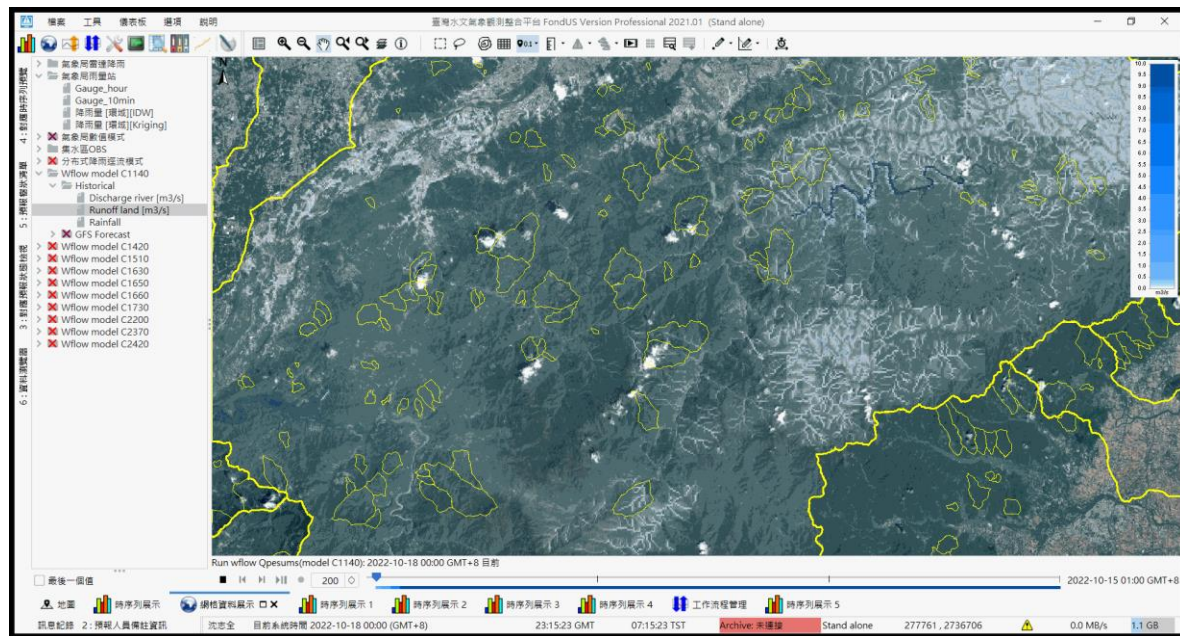


定時定期提供內容 流域範圍內每一個位置點的降雨量與流量資訊 不安定土砂集水區降雨量與流量資訊





定時定期提供內容 流域範圍內每一個位置點的降雨量與流量資訊 不安定土砂集水區降雨量與流量資訊





集水區水文氣象與地文資料前處理

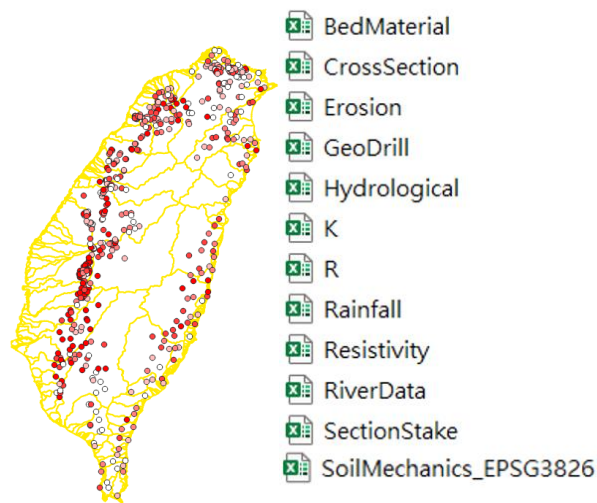
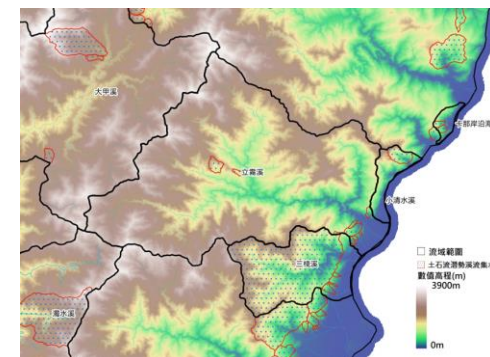
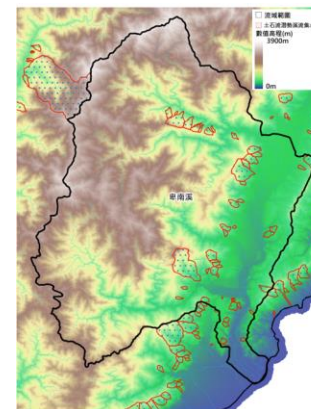
第27屆水利工程研討會

全臺集水區地文資料前處理

土石流潛勢溪流集水區與不安定土砂集水區
溢流控制點範圍

數值高程模型 20m、

土地利用、土壤類型、土壤厚度、土壤沖蝕 (K)、降雨沖蝕 (R)、斷面、粒徑、水工構造物等。



收集更新與前處理轉換工作

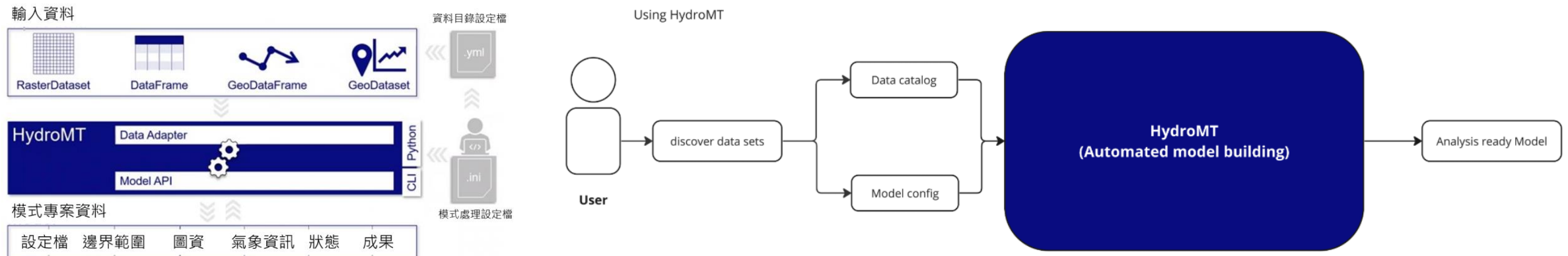
編號	檔案	內容	資料型態	資料筆數
1	SoilMechanics_EPSG3826.xlsx	土壤力學參數	點	673
2	Erosion.xlsx	沖蝕觀測	點	79
3	R.xlsx	R降雨沖蝕指數	點	323
4	K.xlsx	K 土壤沖蝕	點	526
5	CrossSection.xlsx	斷面	點	1068
6	BedMaterial.xlsx	河床質	點	487
7	SectionStake.xlsx	斷面樁	點	2168
8	Resistivity.xlsx	地電阻	線	1120
9	GeoDrill.xlsx	鑽探試驗(工地試驗 貫入度試驗)	點	748+1413
10	Rainfall.xlsx	雨量站資訊	點	249
11	RiverData.xlsx	水理參數資料	點	536
12	Hydrological.xlsx	水文參數資料	點	717

資料前處理

應用HydroMT進行Wflow模式 地文與水文氣象資料前處理

-HydroMT資料前處理

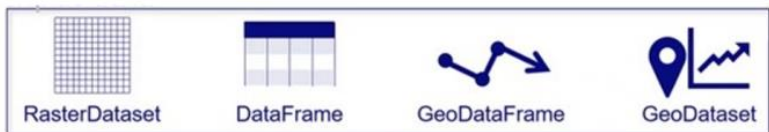
- 利用HydroMT將地文與水文氣象資料轉換為**資料集目錄**。
- HydroMT是由荷蘭國家水文研究院（Deltares）開發的**自動化模式建置工具**，搭配Python與多種程式庫進行空間和時間轉換，提供模式運算所需的資料與檔案格式。
- **資料來源目錄**使用yaml檔案進行資料來源端的彙整與**版本管理**，並提供模式專案設定、資料與參數對應、空間關聯性、初始狀態等標準化內容。





• HydroMT 前處理流程

輸入資料



模式專案資料



資料目錄設定檔



模式處理設定檔

```
1 root: c:\Users\fondus\.hydromt_data\data\Global_TaiwanArea
2 chelsa:
3 chelsa_v1.2:
20 grdc:
32 era5:
50 era5_orography:
70 merit_hydro:
82 merit_hydro_index:
84 merit_hydro_index_v1.0:
94 rivers_lin2019_v1:
95   data_type: GeoDataFrame
96   driver: vector
97   meta:
104   path: hydrography/rivers_lin2019/rivers_ge30m_Taiwan.gpkg
105   rename:
107 asriv:
115 merit_hydro_ihu:
117 merit_hydro_ihu_30sec_v1.0:
141 taiwan_20m:
142   path: topography/20m/{variable}.tif
143   data_type: RasterDataset
144   driver: raster
145   crs: 4326
146   kwargs:
147     chunks: {x: 10314, y: 17628}
```

1.準備資料集目錄

```
merit_hydro_v1.0:
  crs: 4326
  data_type: RasterDataset
  driver: raster
  kwargs:
    chunks:
      x: 6000
      y: 6000
  meta:
    category: topography
    paper_doi: 10.1029/2019WR024873
    paper_ref: Yamazaki et al. (2019)
    source_license: CC-BY-NC 4.0 or ODbL 1.0
    source_url: http://hydro.iis.u-
    tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_Hydro
    source_version: 1.0
    path: topography/merit_hydro/*.*vrt
```

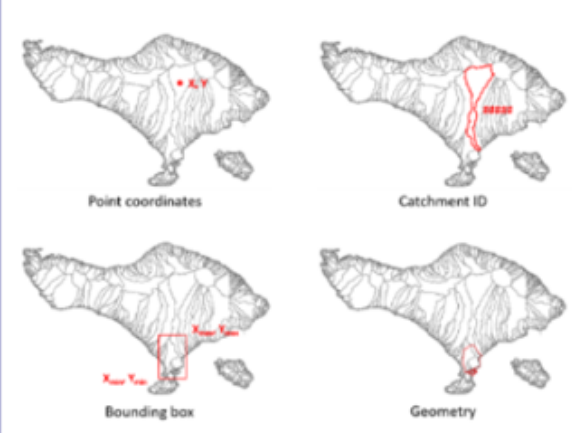
3.設定模式資料與參數

```
[setup_config] # options parsed to wflow :
starttime = 2010-01-01T00:00:00
endtime = 2010-03-31T00:00:00
timestepsecs = 86400
input.path_forcing = inmaps-era5-2010.nc

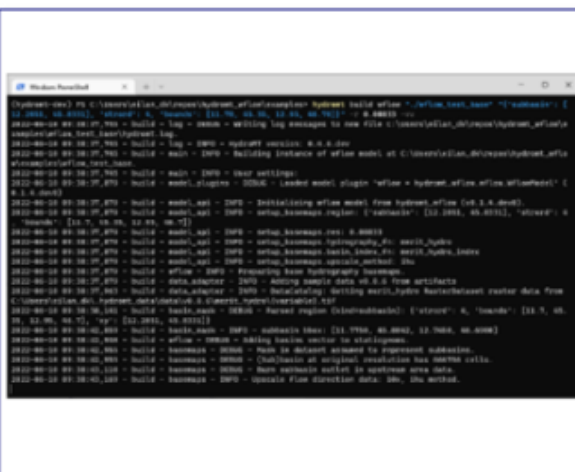
[setup_basemaps]
hydrography_fn = merit_hydro # source hydrography dat
basin_index_fn = merit_hydro_index # source of basin inde
upscale_method = ihu # upscaling method for flow

[setup_rivers]
hydrography_fn = merit_hydro # source hydrography d
river_geom_fn = rivers_lin2019_v1 # river source data w
river_upa = 30 # minimum upstream are
rivdph_method = powlaw # method to estimate d
min_rivdph = 1 # minimum river depth |
min_rivwth = 30 # minimum river width |
slope_len = 2000 # length over which tp
smooth_len = 5000 # length over which to
```

2.確認模式範圍



4.建立模式專案





WFLOW模式專案建置

目的：

了解流域集水區**降雨量**、**流量**與**時間**與**空間**分布成果。

使用開源分布式降雨逕流模式Wflow，提供完整流量資訊。

WFLOW模式特色：

由荷蘭國家水文研究院（Deltares）開發，使用Julia語言，MIT授權機制。

涵蓋降水、截流、蒸發散、土壤、地表水和地下水等。

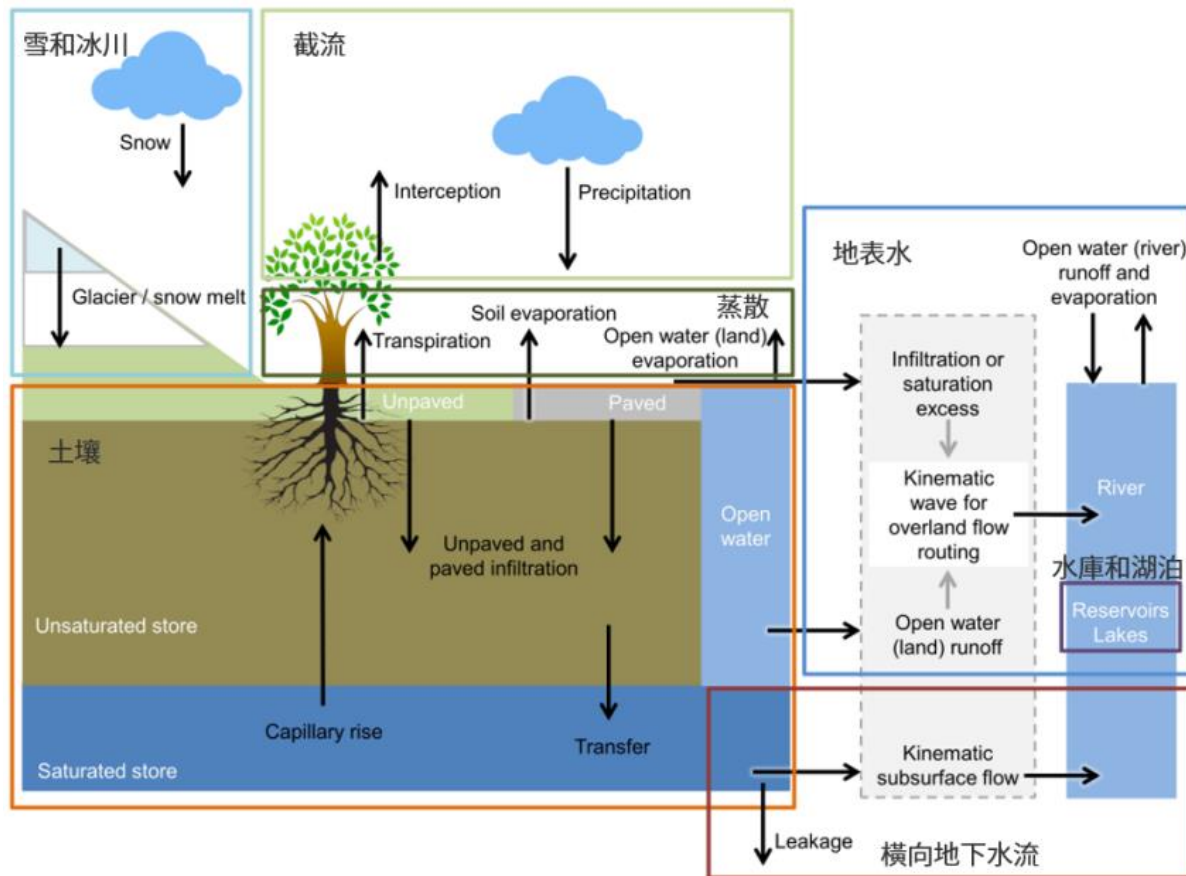
已應用於全球多國，用於分析洪水、乾旱、氣候變化和土地利用變化。

分布式降雨逕流模組（WFLOW_sbm）：

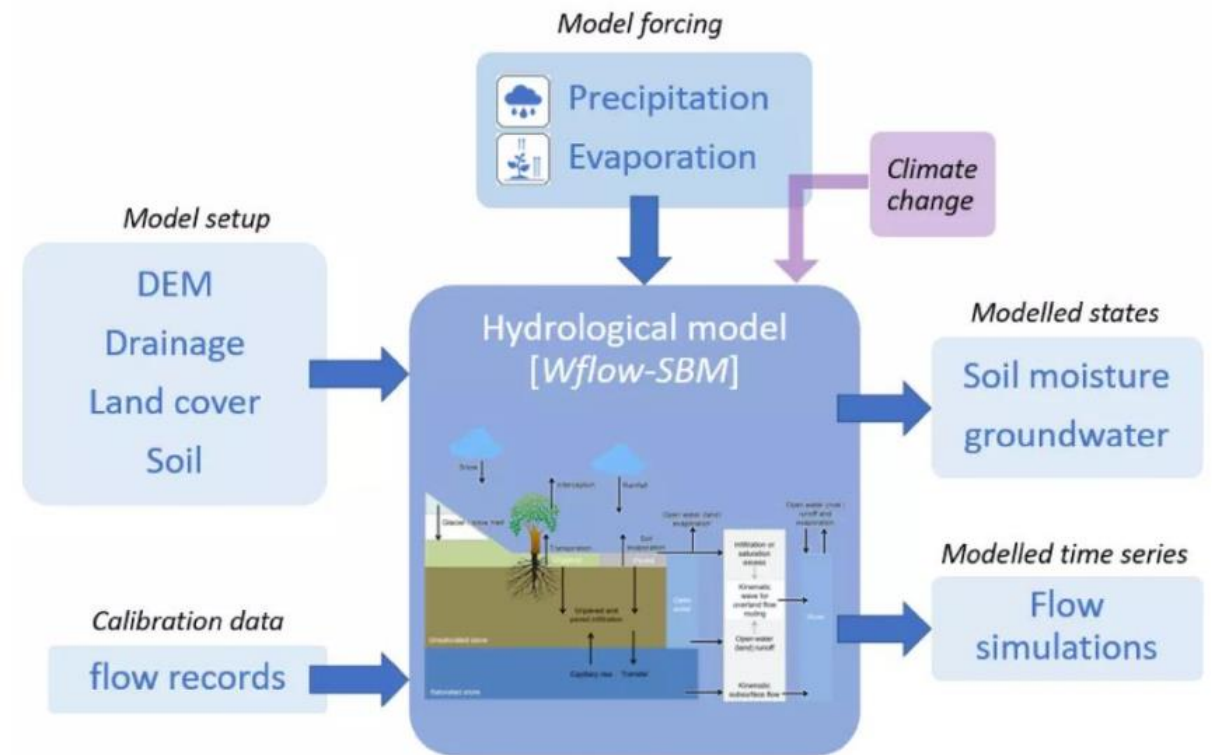
1. 使用Wflow_sbm模組，基於Topog_SBM概念，可適用不同土地利用特性和水庫操作。
2. 以網格式（Raster）資料型態進行建置，包含高程地形模型、土地利用、土壤種類、集水區範圍、河川路網等。

WFLOW模式SBM模組

模式概念



模式輸入與輸出



圖片來源 https://deltares.github.io/Wflow.jl/dev/model_docs/model_configurations/



WFLOW模式專案建置

模式專案與控制點建置

各流域集水區建置

- 針對模式專案進行調整與更新
- 資料夾命名規則與流域編號名稱
- 提供 Delft-FEWS平台參數化方式控制



名稱	類型
inmaps	檔案資料夾
instate	檔案資料夾
run_default	檔案資料夾
staticgeoms	檔案資料夾
hydromt	文字文件
hydromt_data	YAML Ain't Markup Language
log	Normal text file
run_model	Windows 命令指令碼
staticmaps	NC 檔案
wflow_sbm.toml	TOML 檔案

輸入氣象資料夾

狀態檔資料夾

輸出資料夾

向量圖徵資料夾

模式建置log

模式資料集目錄檔

模式運算記錄檔

批次模擬啟動檔

模式基礎資料與參數網格

模式參數設定檔



WFLOW模式專案建置

模式專案與控制點建置

專案資料夾與資料夾內容

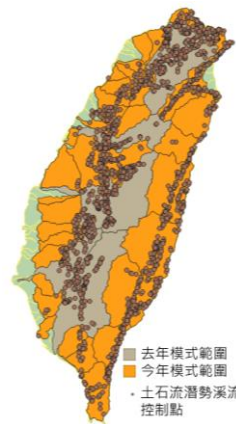
- C2370_20M
- Wflow_C02_20m
- Wflow_C07_20m
- Wflow_C12_20m
- Wflow_C20_20m
- Wflow_C27_20m
- Wflow_C31_20m
- Wflow_C1300_20m
- Wflow_C1430_20m
- Wflow_C1550_20m
- Wflow_C1820_20M
- Wflow_C2460_20m
- Wflow_C2640_20m

- C2620_20M
- Wflow_C03_20m
- Wflow_C08_20m
- Wflow_C13_20m
- Wflow_C24_20m
- Wflow_C28_20m
- Wflow_C32_20m
- Wflow_C1340_20m
- Wflow_C1430a_20m
- Wflow_C1580_20m
- Wflow_C1840_20M
- Wflow_C2500_20m

- C2640_20M
- Wflow_C04_20m
- Wflow_C09_20m
- Wflow_C14_20m
- Wflow_C25_20m
- Wflow_C29_20m
- Wflow_C33_20m
- Wflow_C1350_20m
- Wflow_C1510a_20mc
- Wflow_C1740_20m
- Wflow_C2370_20m
- Wflow_C2560_20m

- Wflow_C01_20m
- Wflow_C06_20m
- Wflow_C10_20m
- Wflow_C15_20m
- Wflow_C26_20m
- Wflow_C30_20m
- Wflow_C1290_20m
- Wflow_C1400_20m
- Wflow_C1540_20m
- Wflow_C1760_20m
- Wflow_C2420_20m
- Wflow_C2620_20m

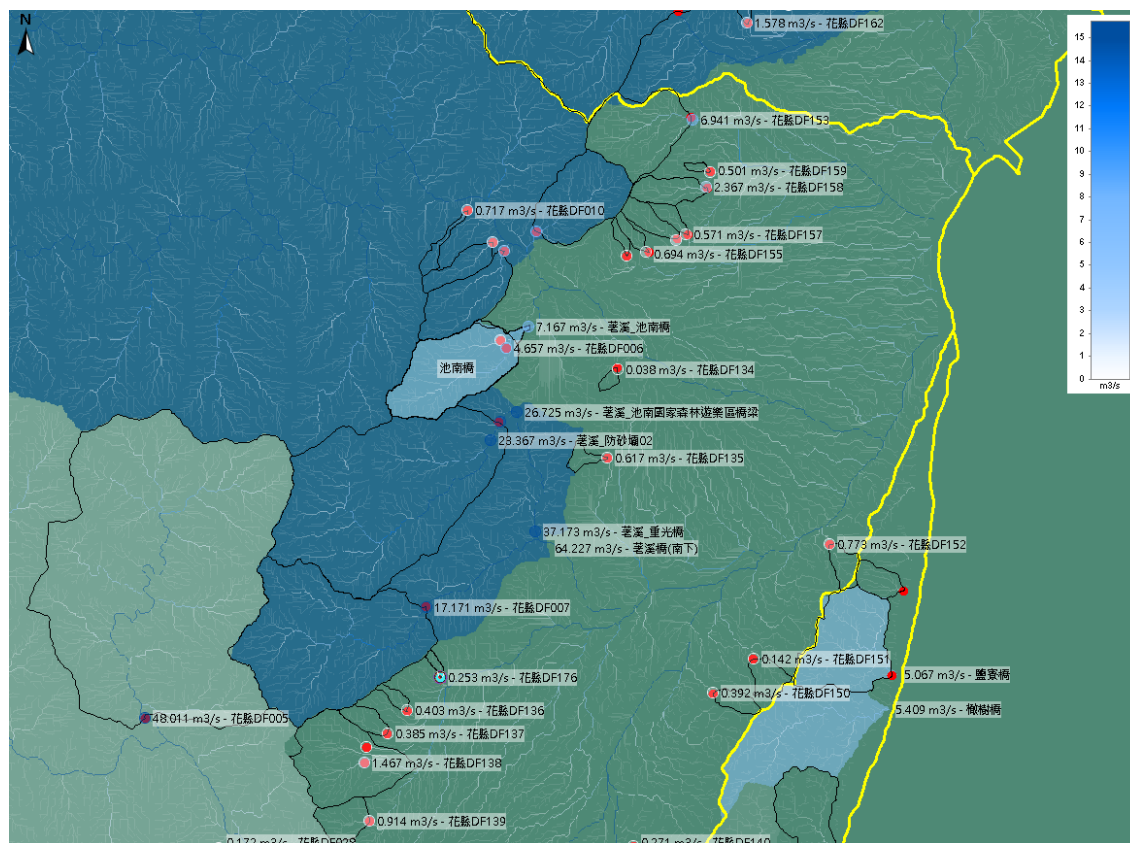
- [instate]
- [run_default]
- [staticgeoms]
- hydromt log
- hydromt_data yml
- inmaps nc
- run_model cmd
- staticmaps nc
- wflow_sbm toml





WFLOW模式專案建置

模式專案與控制點建置





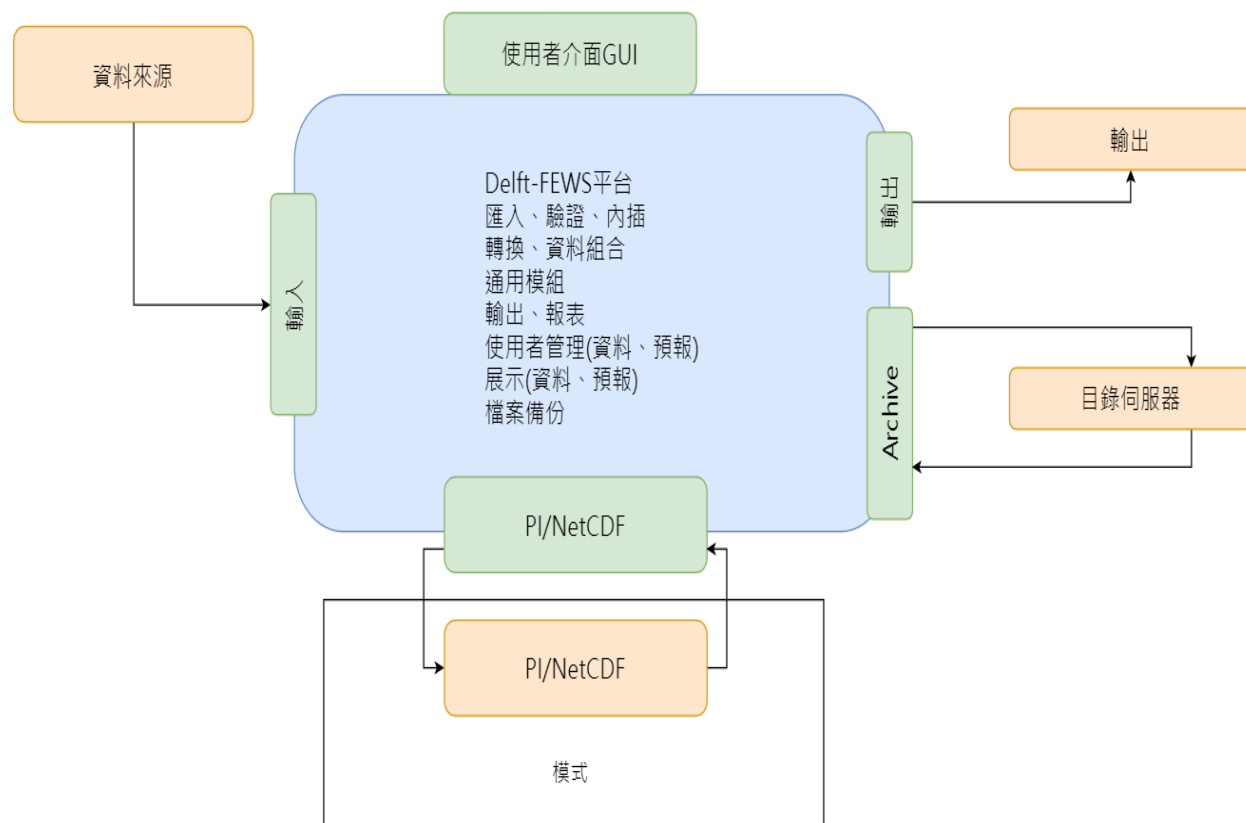
Delft-FEWS平台串接與驗證

各流域專案與平台串接更新

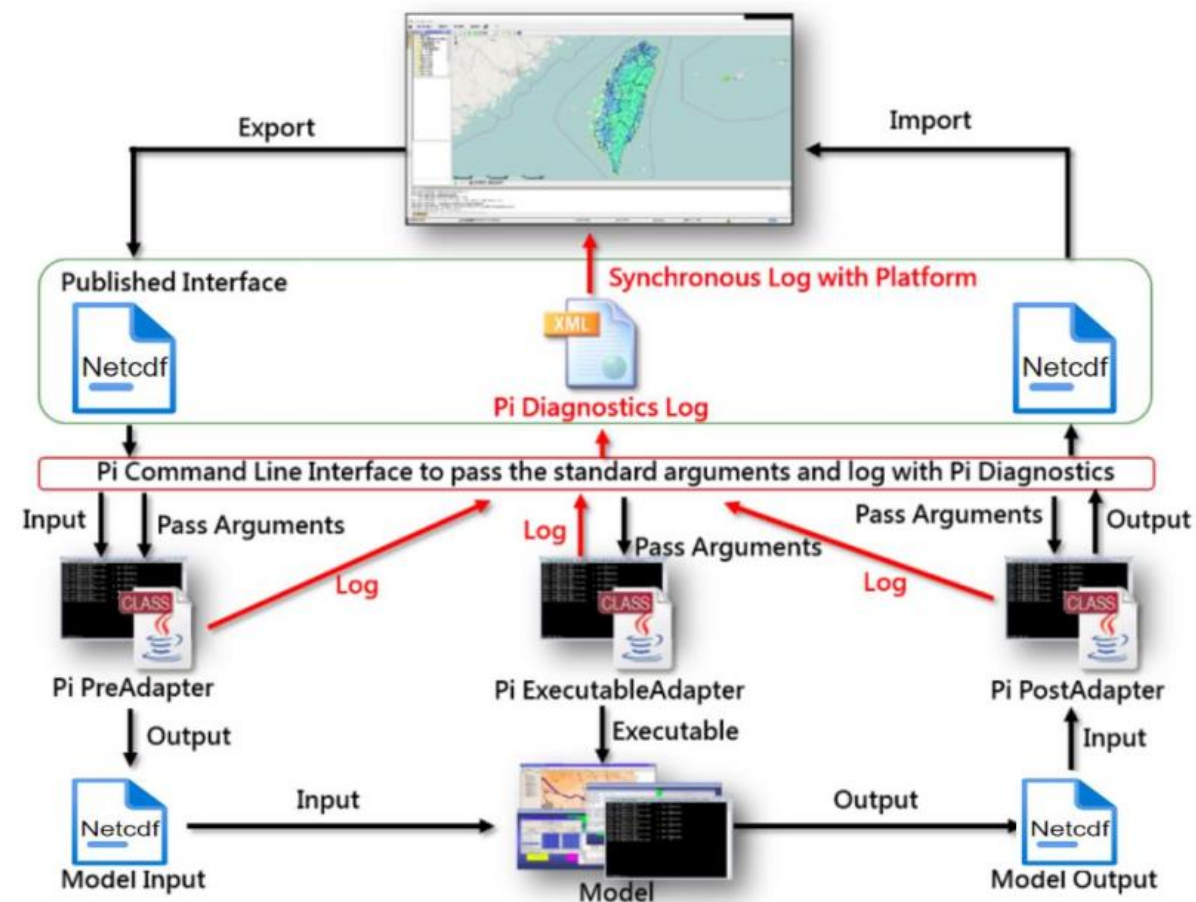
使用Delft-FEWS平台

- Delft-FEWS介紹
 - 利用荷蘭Deltares開發的Delft-FEWS平台進行水文氣象資料與模式整合，提供流量成果推估與供應。
 - 使用通用模式銜接技術，將Wflow模式與Delft-FEWS平台進行串接。
- 串接流程：
 - Wflow分布式降雨逕流模式建置完成。
 - 通用模式銜接技術將降雨量成果標準化轉換，通過Delft-FEWS匯出模式所需的輸入降雨量。
 - 模式進行運算，計算完成後將流量成果轉換為netcdf格式回傳給Delft-FEWS平台。
- 視覺化與操作介面：
 - 動態網格資料展示。
 - 土石流潛勢溪流位置的流量成果展示。

Delft-FEWS平台串接與驗證



Delft-FEWS運作概念圖

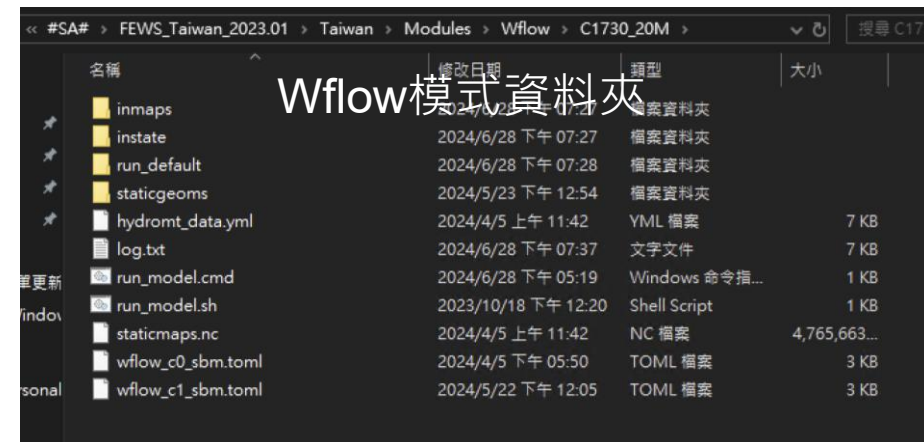
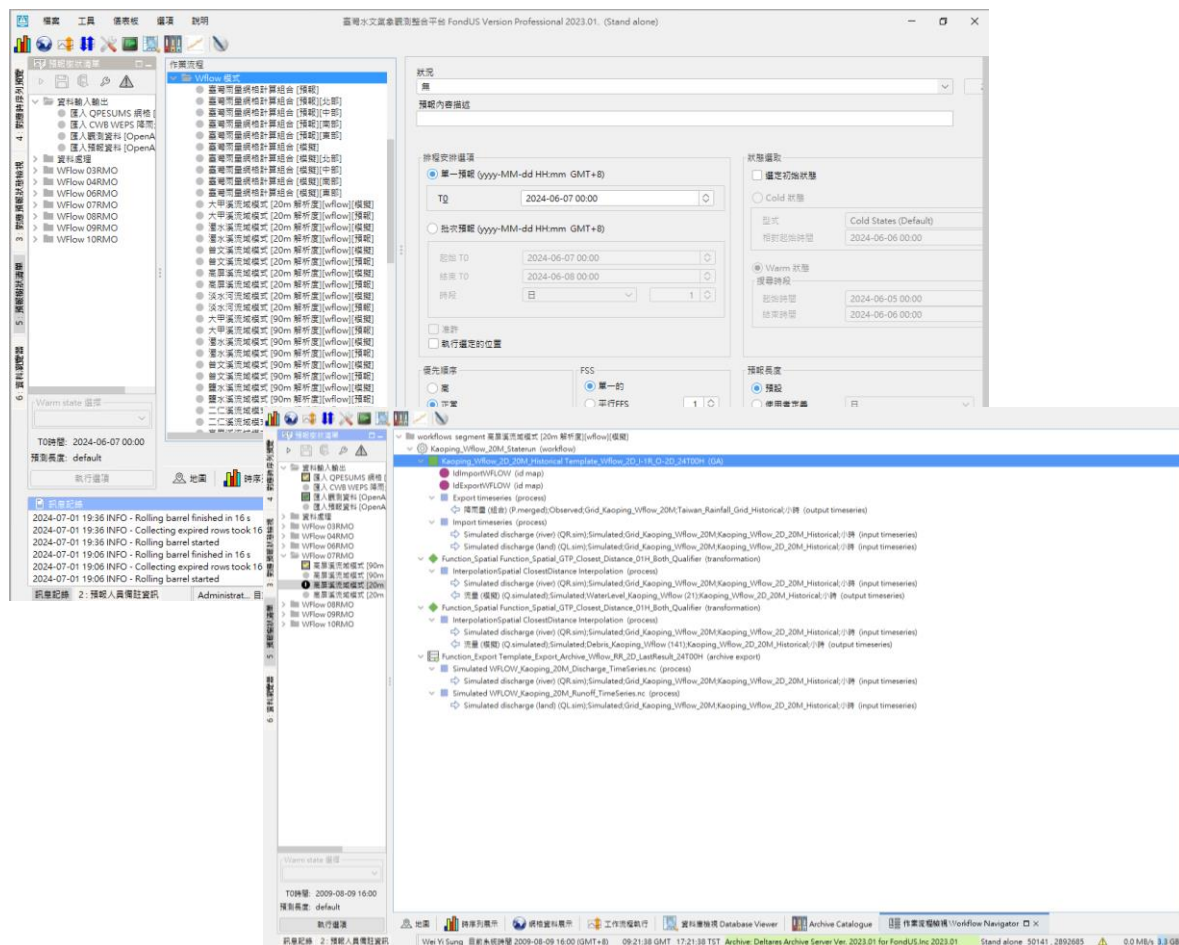


模式銜接架概念圖

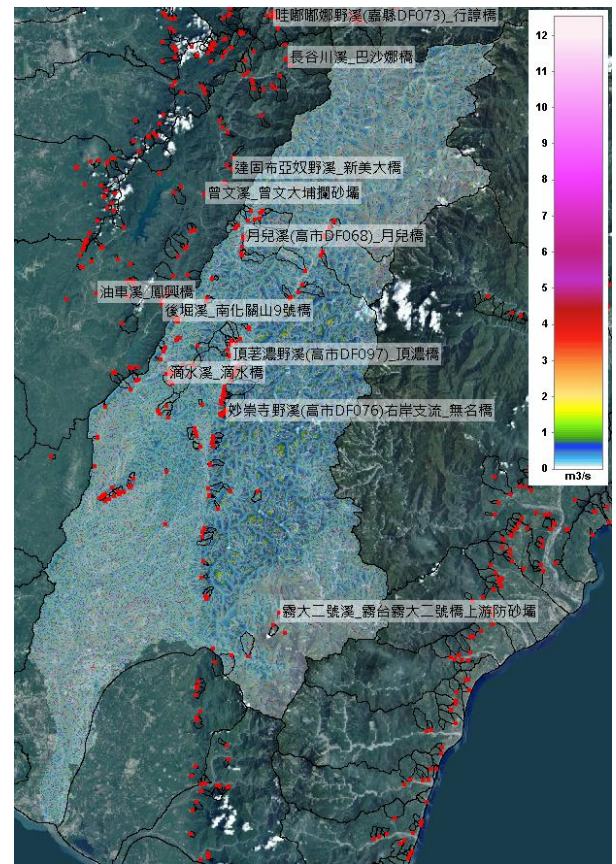
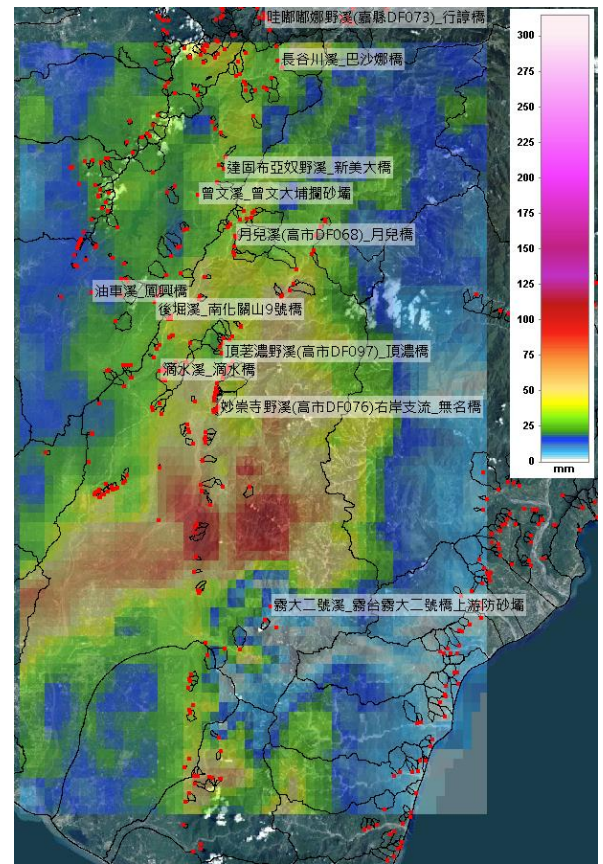
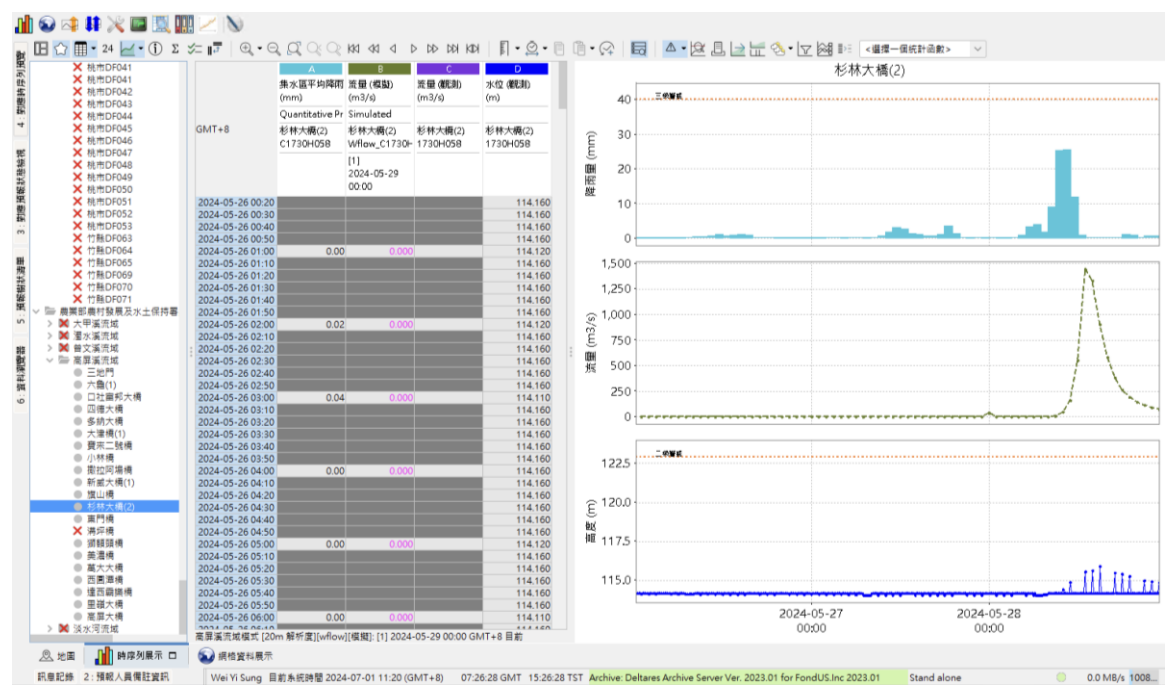


Delft-FEWS平台與WFLOW專案串接及成果驗證

各流域專案與平台串接更新



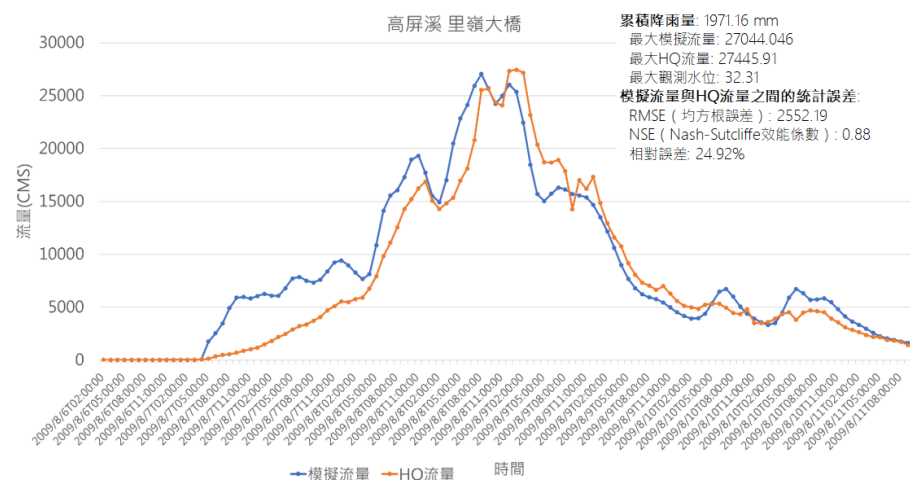
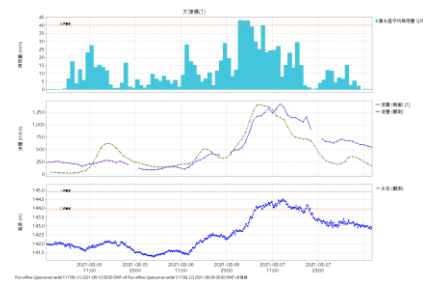
各流域專案與平台串接更新





Delft-FEWS平台串接與驗證

使用水位流量站或土砂觀測站資料



取上游河道控制點，使用 RMSE, RE, NSE統計指標進行評估

- 均方根誤差 (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}}$$

- 相對誤差 (RE)

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100\%$$

- 模式效率係數 (NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

O_i 是觀測值 (觀測流量)。

P_i 是模式預測模擬值。

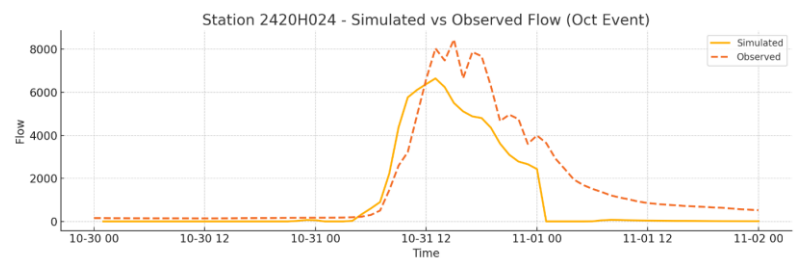
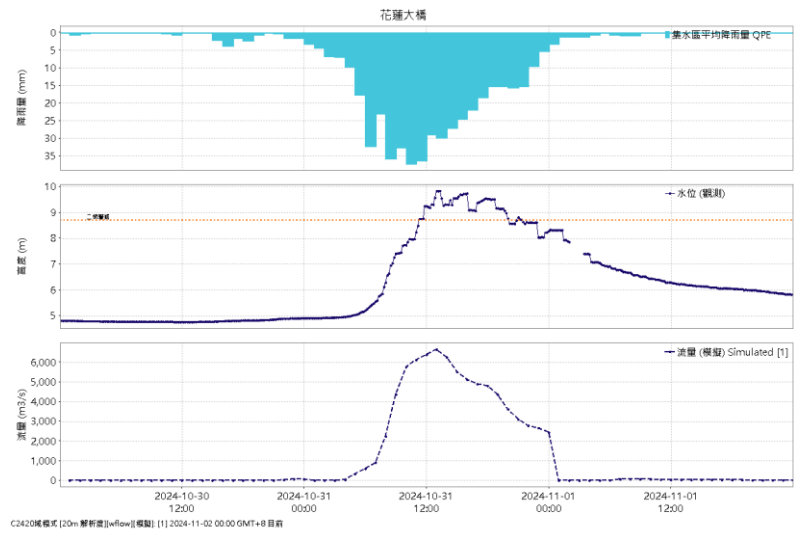
n 是樣本數。

$\bar{O}$ 是觀測值的平均值。

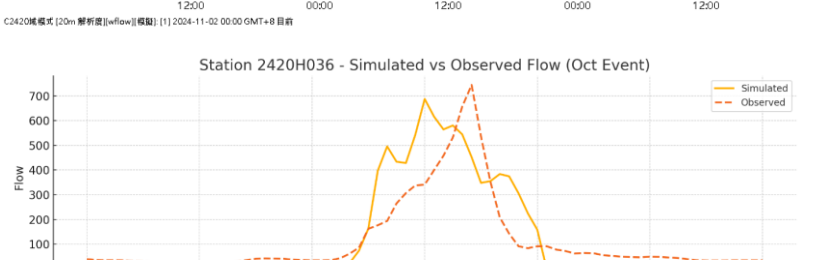
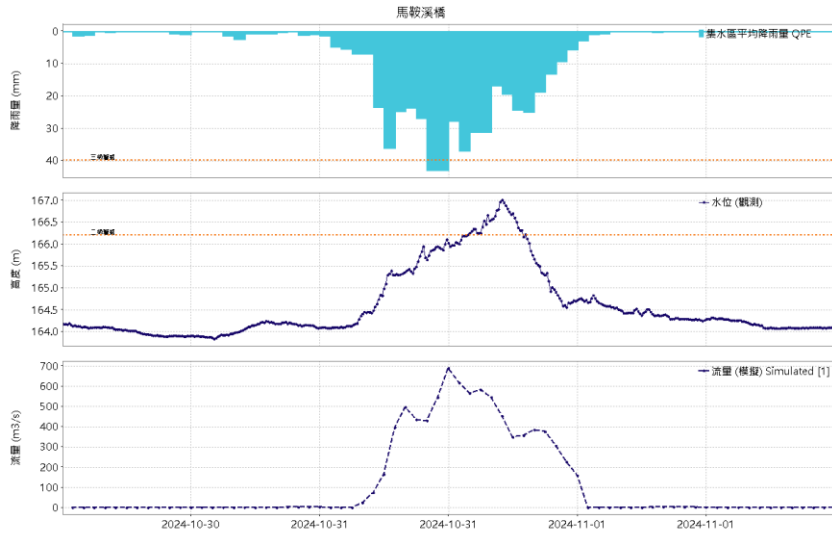


Delft-FEWS平台串接與驗證

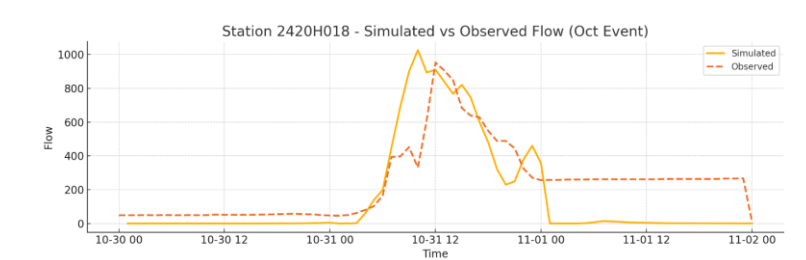
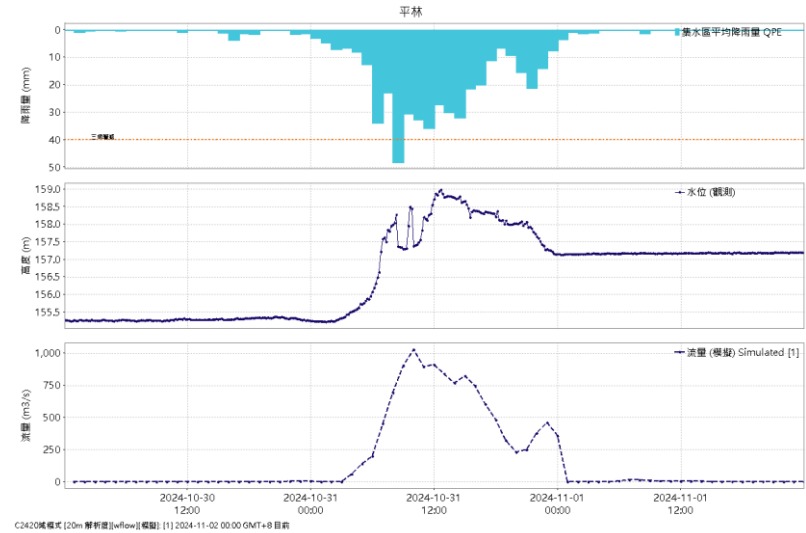
花蓮溪流域



Station	RMSE (cms)	Relative Error (RE)	NSE
2420H024	1225.24	0.486	0.735



Station	RMSE (cms)	Relative Error (RE)	NSE
2420H036	104.43	0.631	0.559



Station	RMSE (cms)	Relative Error (RE)	NSE
2420H018	193.71	0.614	0.207



Delft-FEWS平台串接與驗證

草嶺堰塞湖

-草嶺堰塞湖下游鄰近有流量觀測站為龍門橋站，比對流量率定曲線使用2022年資料，符合目前Wflow模式推估流量之趨勢。進一步用用比面積法與Wflow模式成果進行比對討論。

以龍門橋水位流量率定曲線 對應事件洪峰分別為

0705~0708案例龍門橋水位190.2公尺對應洪峰流量1379CMS (Wflow模式推估1397.815CMS)

0724~0801案例龍門橋水位190.7公尺 對應洪峰流量1804CMS (Wflow模式推估1797.699CMS)

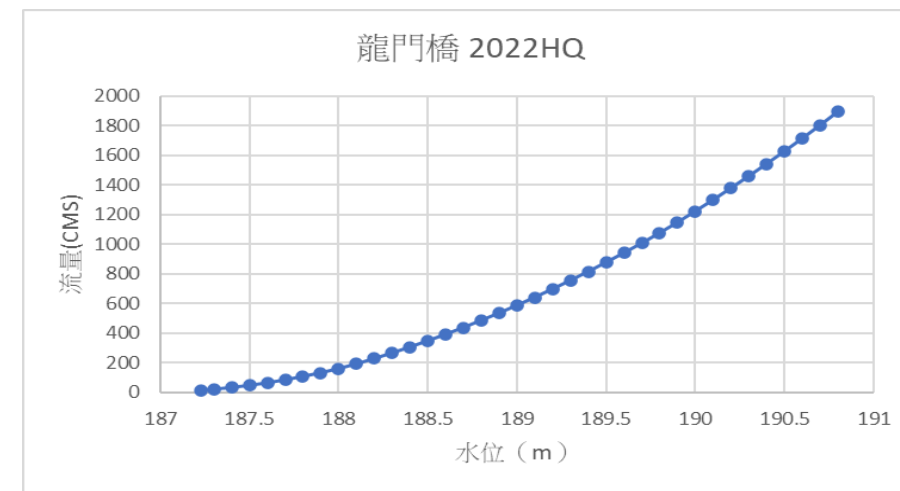
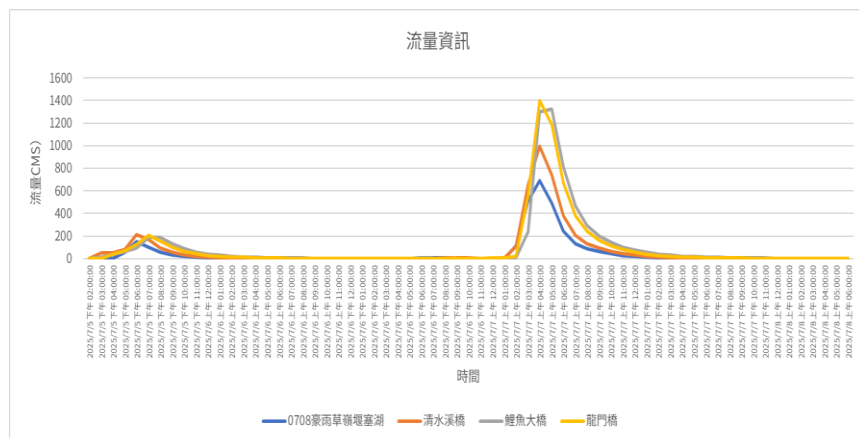
HQ流量成果與Wflow流量成果誤差在2%以內。

因此利用WFLOW模式龍門橋成果為基準，搭配清水溪橋成果進行草嶺堰塞湖流量比面積法的推估。

在0705~0708案例草嶺堰塞湖 洪峰流量**694.278CMS**與比面積法成果誤差介於0.6~8.8%

與 0724~0801案例草嶺堰塞湖 洪峰流量**987.150CMS**與比面積法成果誤差介於17.62~12.15%之間。

0705~0708案例





草嶺堰塞湖

0705~0708案例

集水區	面積 (平方公里)	比面積 (%)	距離堰塞湖(KM)	wflow洪峰 模擬流量 (cms)	比面積法推 估草嶺堰塞 湖最大流量 (cms)	比面積法與草 嶺堰塞湖 wflow流量相 對誤差(%)	2022年 水位流量 率定曲線 (cms)
草嶺堰塞湖	163.73	1	0	694.278	-	-	-
清水溪橋	236.38	69.26	7.7	996.486	690.06	0.61	-
龍門橋	361.88	45.25	17.7	1397.815	632.63	8.88	1379

0724~0801案例

集水區	面積 (平方公里)	比面積 (%)	距離堰塞湖 (KM)	wflow洪峰 模擬流量 (cms)	比面積法推 估草嶺堰塞 湖最大流量 (cms)	比面積法與草 嶺堰塞湖 wflow流量相 對誤差(%)	2022年 水位流量 率定曲線 (cms)
草嶺堰塞湖	163.73	1	0	987.150	-	-	-
清水溪橋	236.38	69.26	7.7	1252.669	813.23	17.62	-
龍門橋	361.88	45.25	17.7	1797.699	867.23	12.15	1804

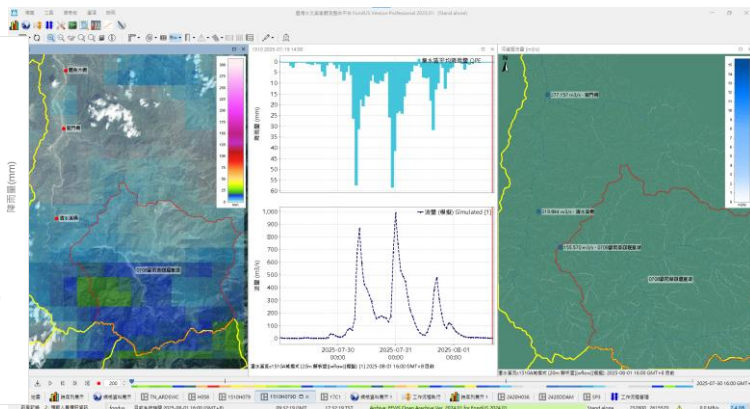
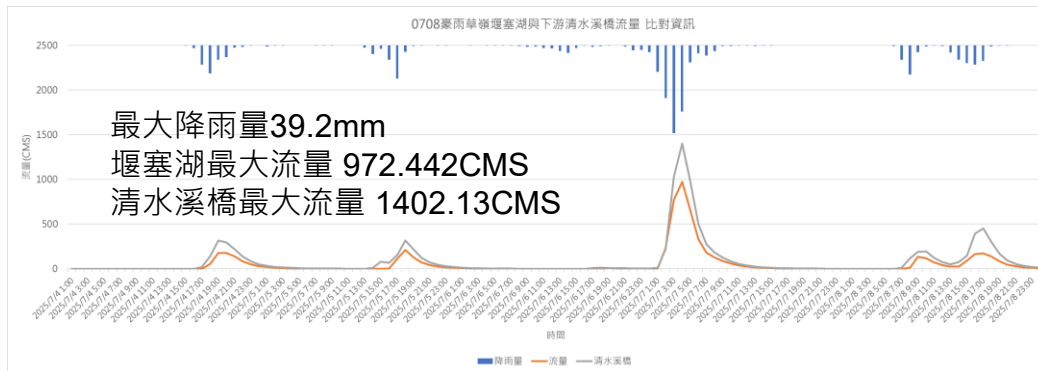


降雨量與流量案例分析

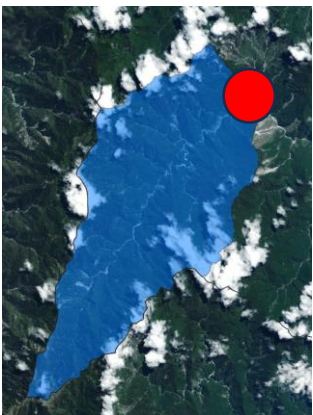
草嶺堰塞湖



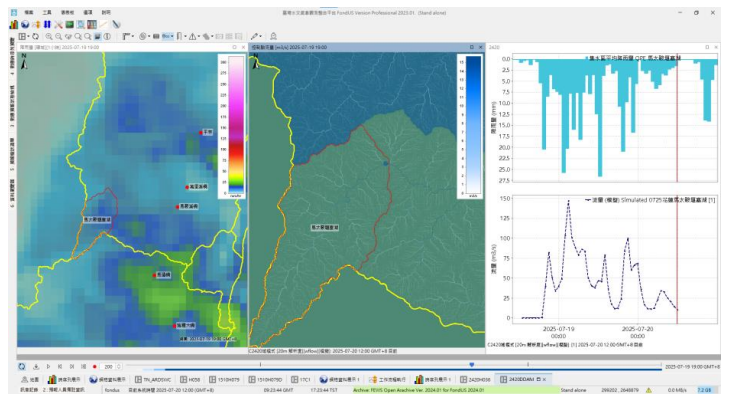
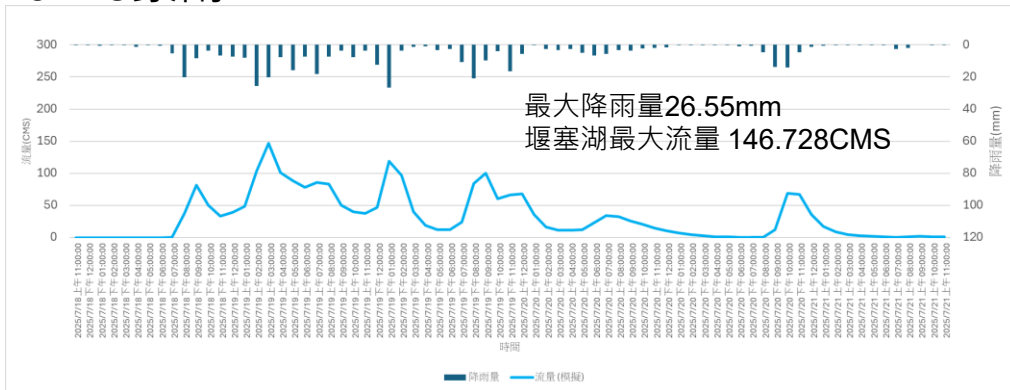
0708豪雨



馬太鞍溪堰塞湖

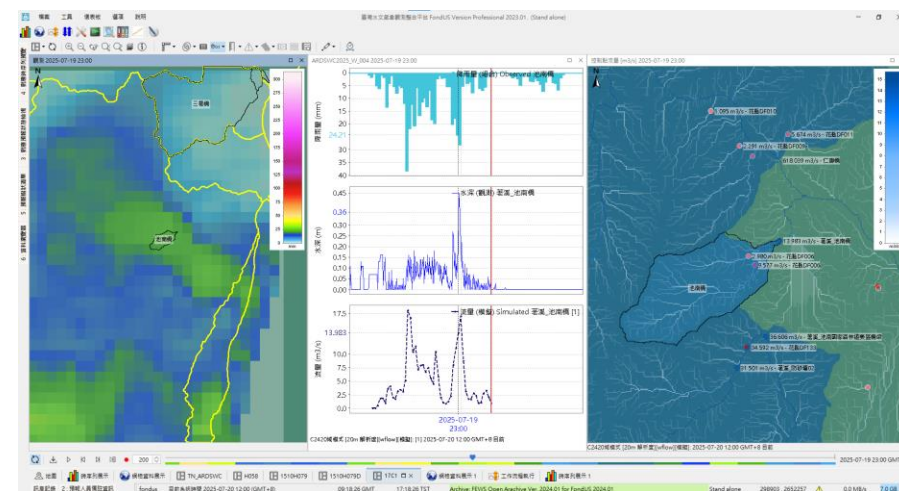
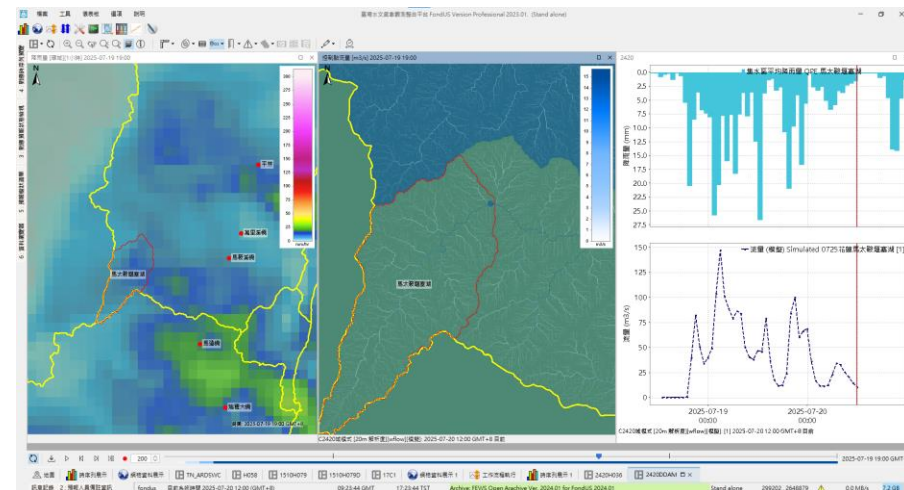
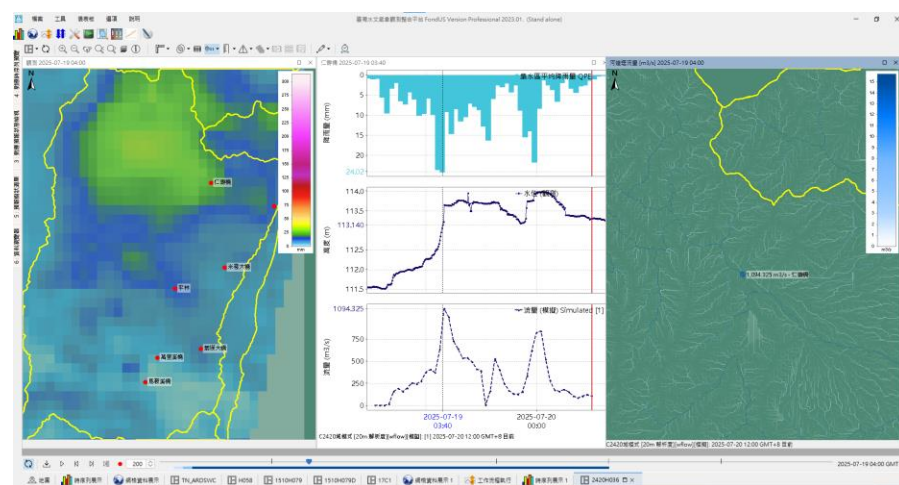
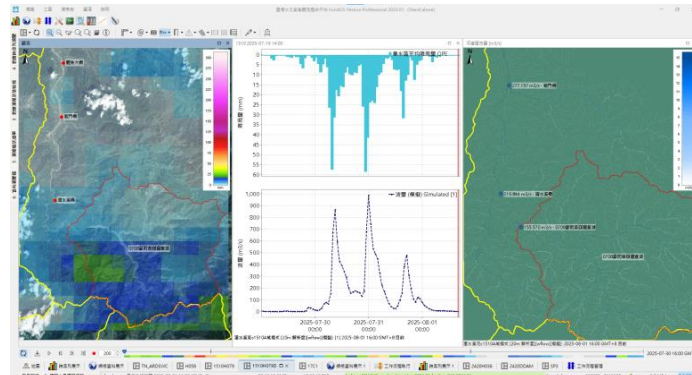
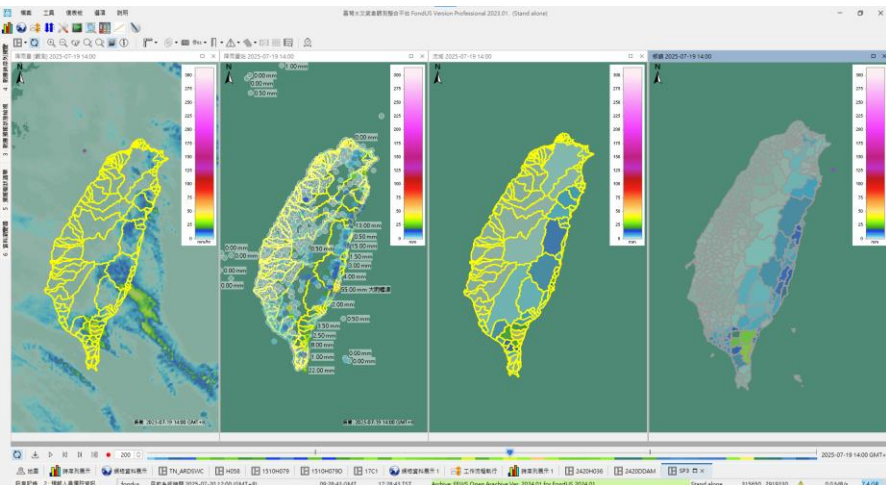


0718豪雨





Delft-FEWS平台串接與驗證



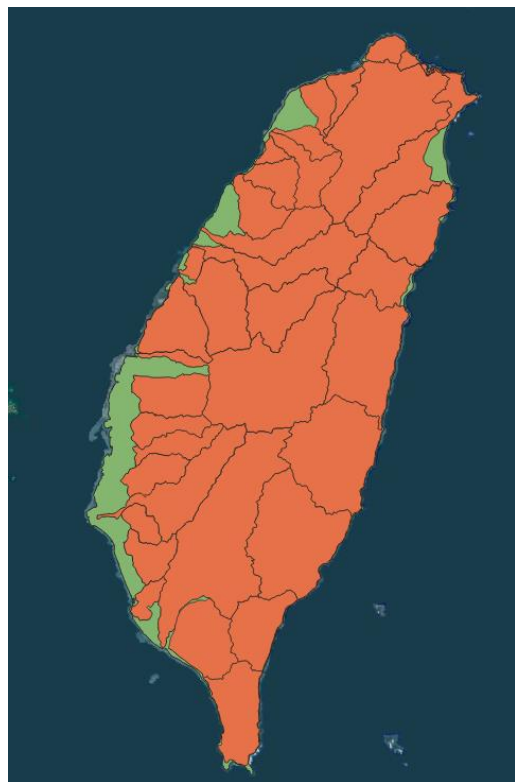
動態成果展示



自動化排程運算

各分署模式對應流域模式

六個分署 40個專案



■ 模式模擬區域範圍

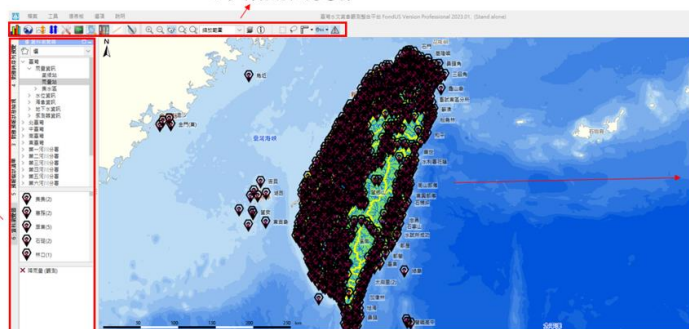
分署	流域名稱
臺北分署	和平溪、蘭陽溪、瑪鍊溪、雙溪、南崁溪、老街溪、觀音溪、鳳山溪、頭前溪、客雅溪、中港溪、磺溪、淡水河
臺中分署	後龍溪、西湖溪、大安溪、大甲溪、烏溪(上游、下游)、台中港沿海
南投分署	舊濁水溪、濁水溪、北港溪、朴子溪、八掌溪、急水溪
臺南分署	曾文溪、鹽水溪、二仁溪、高屏溪、林邊溪、東港溪、枋山溪、四重溪、左營沿海
臺東分署	知本溪、卑南溪
花蓮分署	秀姑巒溪、花蓮溪、立霧溪



自動化排程運算

維護與更新Delft-FEWS平台排程設定

1. 各項功能快捷選項

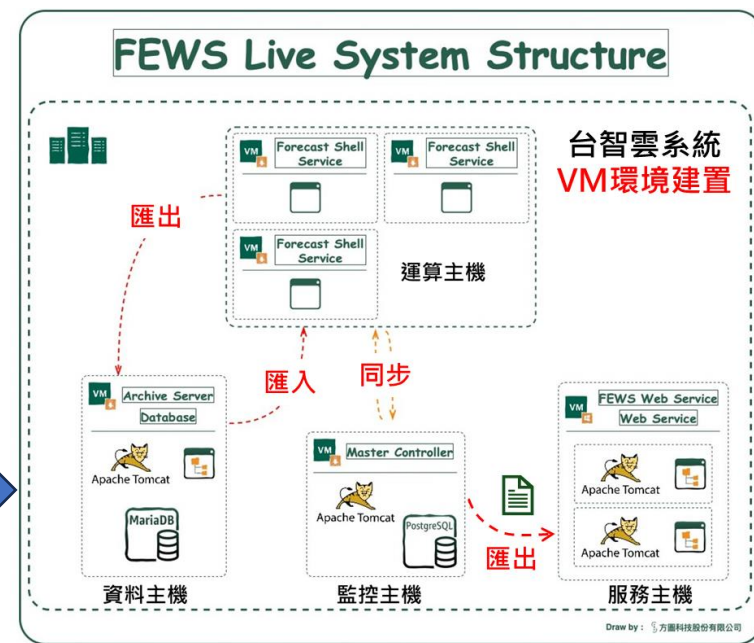


4. 圖台展示

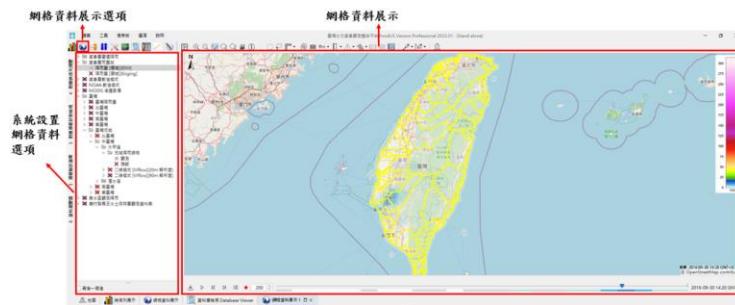
介面設定

- ⚙️ Dajia_Wflow_Staterun (workflow)
 - Dajia_Wflow_2D_20M_Historical Template_Wflow_2D_I-1R-O-2D_24T00H (GA)
 - IdImportWFLOW (id map)
 - IdExportWFLOW (id map)
 - > Export timeseries (process)
 - > Import timeseries (process)
- ◆ Function_Spatial Function_Spatial_GTP_Closest_Distance_01H_Both_Qualifier (transformation)
 - > InterpolationSpatial ClosestDistance Interpolation (process)
- ◆ Function_Spatial Function_Spatial_GTP_Closest_Distance_01H_Both_Qualifier (transformation)
 - > InterpolationSpatial ClosestDistance Interpolation (process)
- 📄 Function_Export Template_Export_Archive_Wflow_RR_2D_LastResult_24T00H (archive export)

模式作業流程



相關設定與作業流程於單機版完成確認後上傳到伺服器主機



展示設定

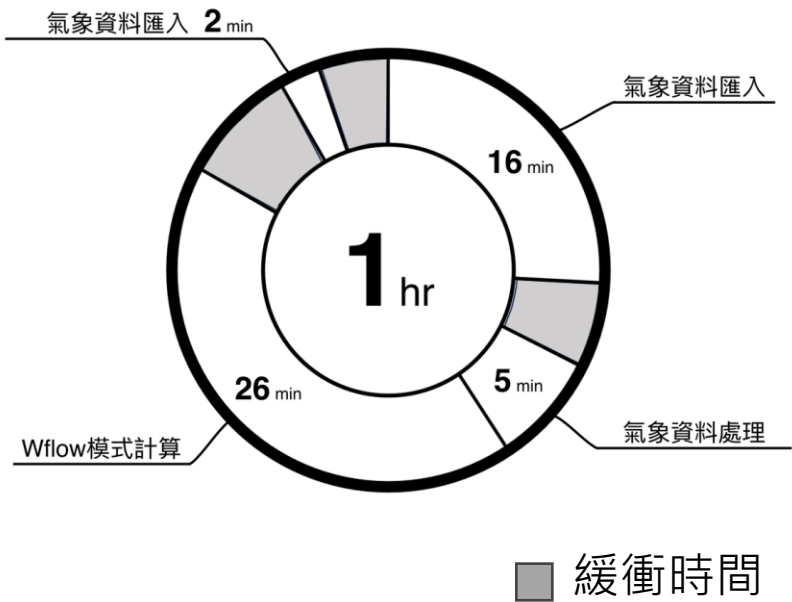


自動化排程運算

24小時自動化作業排程 / 每小時作業流程

● 每小時作業流程與時間配置

- 資料匯入00:06~00:18
- 集水區降雨量計算 00:24~00:31
- 模式運算00:30~00:45
- 模式成果輸出 00:45~00:55



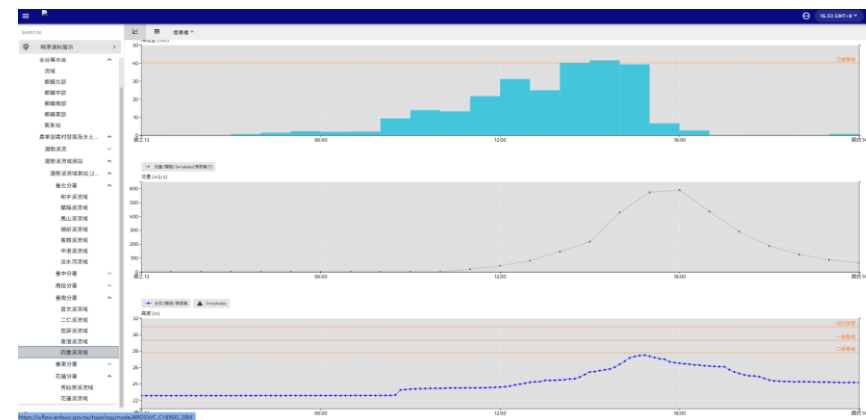
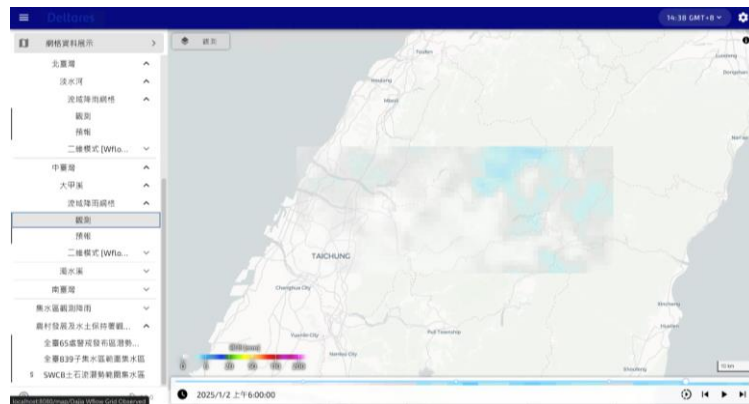
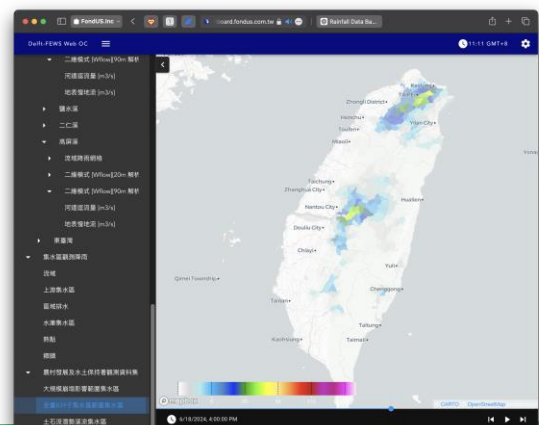
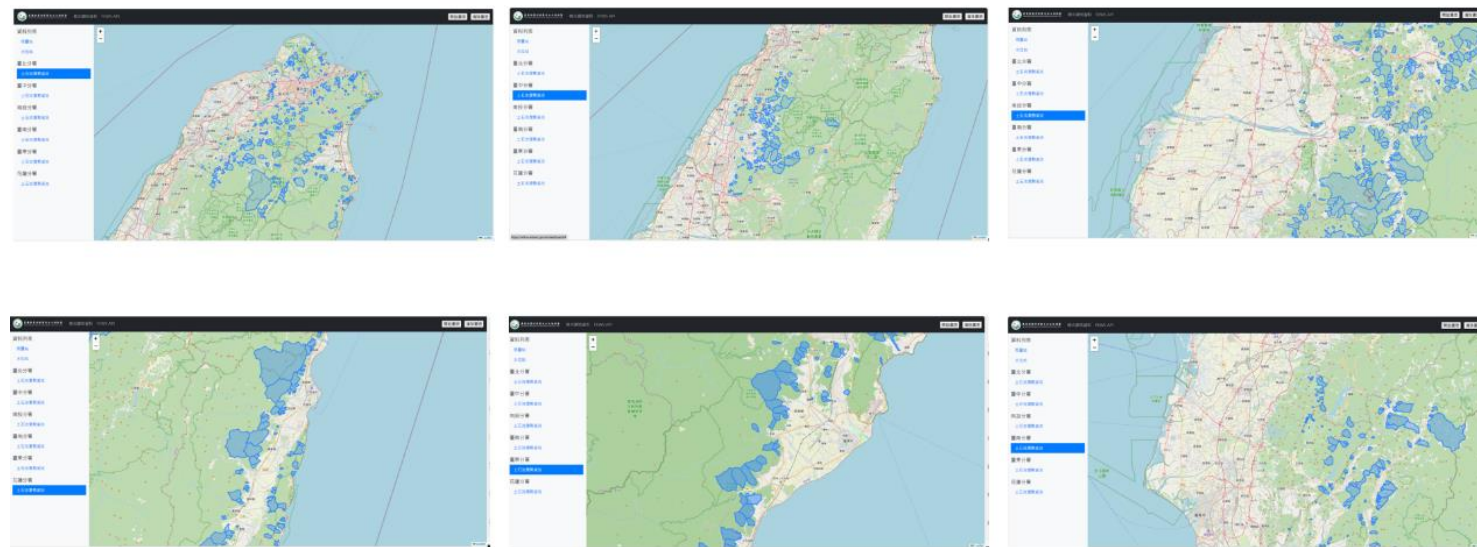
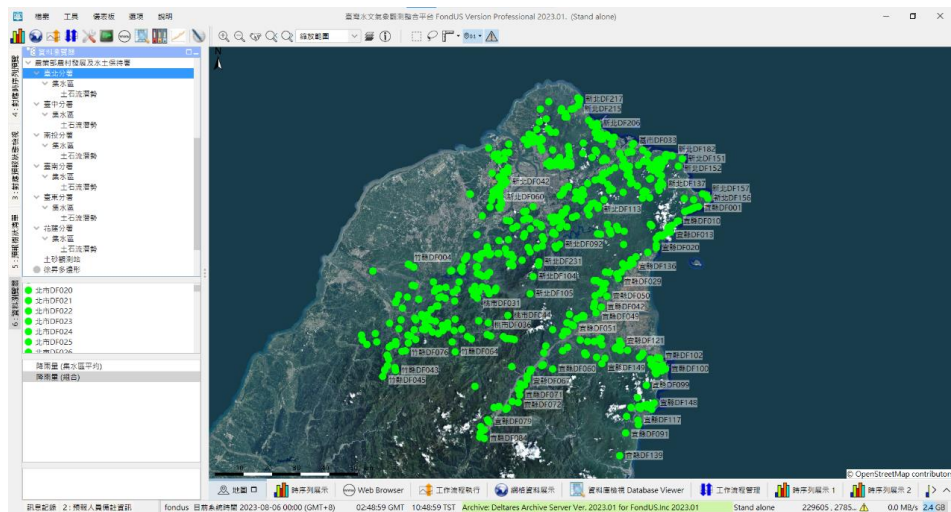
工作類型	工作流程	工作描述	執行時間	執行頻率	優先序
匯入	Import_CWA_WRF	匯入氣象署 WRF 預報資料	00:06	6 hr	一般
匯入	Import_OpenData_Waterlevel	匯入水利署水位 Opendata 資料	00:06	10 min	一般
匯入	Import_Qpesums	匯入氣象署 QPESUMS	00:16	30 min	一般
匯入	Import_OpenData_Rainfall	匯入氣象署雨量站 Opendata 資料	00:17	30 min	一般
資料處理	Process_CWA_Rainfall_IDW	雨量站 IDW 內插計算	00:18	1hr	一般
資料處理	Taiwan_Northern_Rainfall_Grid_Historical	計算臺灣北部觀測降雨網格外插	00:19	1hr	高
資料處理	Taiwan_Central_Rainfall_Grid_Historical	計算臺灣中部觀測降雨網格外插	00:19	1hr	高
資料處理	Taiwan_Southern_Rainfall_Grid_Historical	計算臺灣南部觀測降雨網格外插	00:19	1hr	高
資料處理	Taiwan_Eastern_Rainfall_Grid_Historical	計算臺灣東部觀測降雨網格外插	00:19	1hr	一般
資料處理	Taiwan_Other_Catchments_Average_Historical_IDW	計算臺灣集水區觀測降雨內插	00:19	1hr	高
匯入	Import_OpenData_Meteo	匯入氣象署氣象站 Opendata 資料	00:23	30 min	一般

模式計算	Wflow_20M_Staterun	Wflow 模式狀態模擬	00:30	1hr	高
資料處理	Process_Waterlevel_Fill_Gap_Transform	水位站內插、補遺計算	00:45	1hr	高
成果匯出	Export_Waterlevels	匯出臺灣觀測雨量網格外插	00:54	1hr	一般
成果匯出	Export_Rainfall	匯出臺灣集水區平均降雨	00:55	1hr	一般
成果匯出	Export_000_Wflow_20M_Depth	匯出 20 米 Wflow 模式成果	00:55	1hr	高
成果匯出	Export_Rainfall_Grids	匯出臺灣觀測雨量網格外插	00:56	1hr	一般
成果匯出	Export_Taiwan_Catchments	匯出臺灣集水區平均降雨	00:56	1hr	一般



自動化排程運算

提供模式運算成果 透過網頁,API,Netcdf, CSV等格式供應





結論與建議

- **完成全台40個Wflow模式專案建置**
 - 提供1745條土石流潛勢溪流與 325處不安定土砂集水區
 - 控制點流量與集水區平均降雨成果供應
 - 事件資料供應草嶺、馬太鞍
- **模式率定、觀測資料比對驗證**
 - 持續進行模式專案更新與率定檢核工作以提升模式準確度
- **自動化排程定時集水區降雨量與流量成果供應**
 - 配合作業需求持續進行使用者介面與資料維護更新
 - 結合更多監測與模擬資料進行成果比對應用

致謝：本研究為農業部農村發展及水土保持署 **114年全臺集水區分布式降雨逕流模式與平台建置計畫**成果

報告完畢 敬請指教



農業部農村發展及水土保持署
與您一起打拼