

第40屆天氣分析與預報研討會

應用雷達降雨與數值天氣預報資料於全臺 集水區分布式降雨逕流模式之探討

沈志全、宋威毅、林駿恩、陳國威、陳振宇

方圖科技股份有限公司

簡報人：沈志全博士

115 年09月2日

簡報大綱

緣起與目的

整體架構

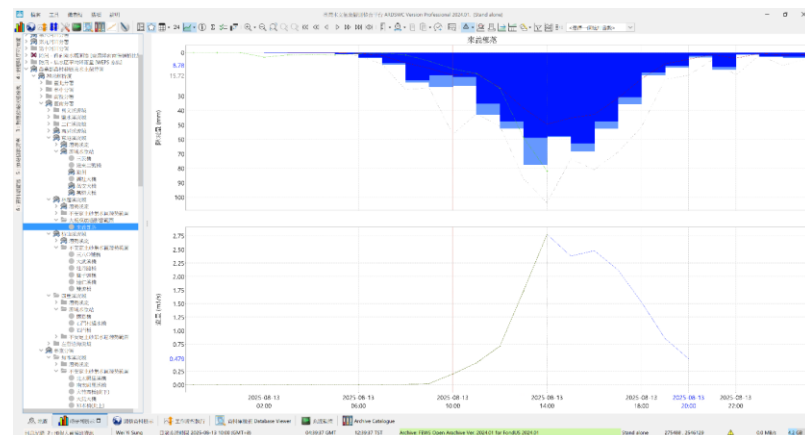
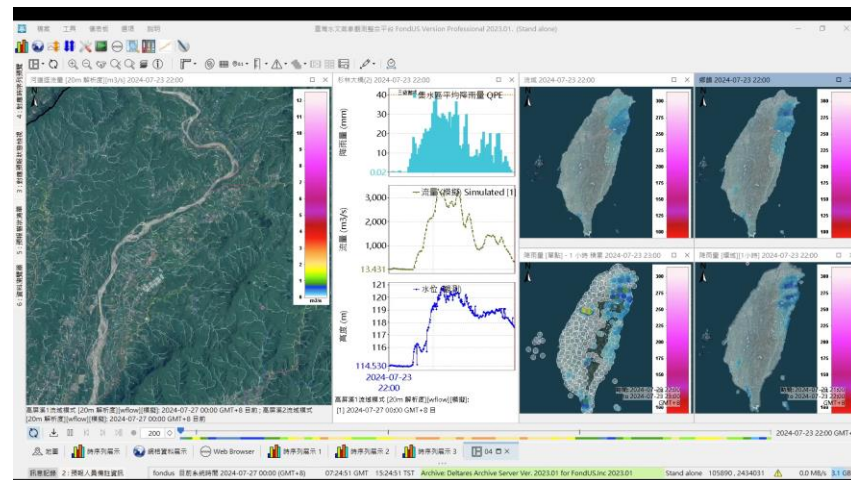
集水區地文與水文氣象資料前處理

雷達降雨與數值天氣預報資料整合

WFLOW 分布式模式專案建置

Delft-FEWS平台整合與串接

結論與建議



緣起與目的

- 自動化供應全臺降雨逕流時空分布資訊

- 颱風豪雨事件應變作業期間**自動化提供**全臺集水區**降雨逕流時空分布資訊**，提供**高潛勢**或重點**不安定土砂**於**災害警戒**分析所需資訊。

- 模式與平台整合技術應用

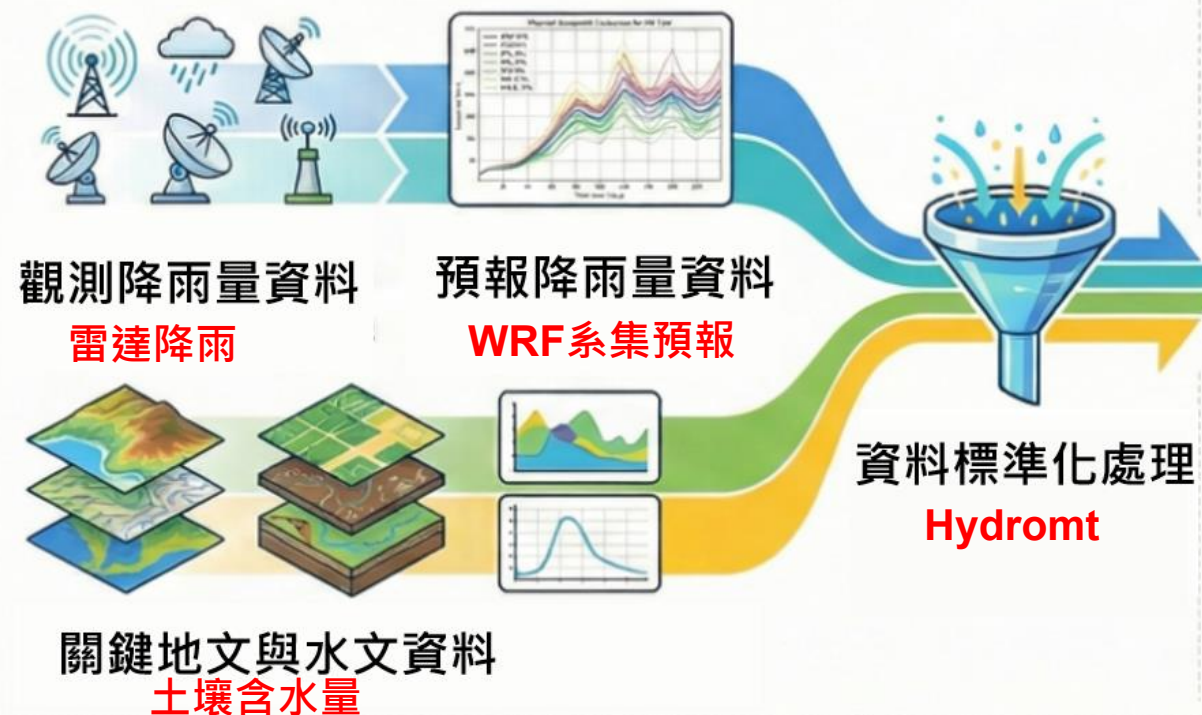
- **應用HydroMT更新模式資料**，使用**Wflow****開源分布式降雨逕流模式**結合**Delft-FEWS 平台**進行土石流潛勢溪流與關注**集水區逕流流量**成果供應
- 結合現地調查與觀測成果，成果提供 署內使用。

- 流量資料供應範圍

- 土石流潛勢溪流、不安定土砂集水區、二次災害高風險區、水砂觀測站、特定集水區、17處處水位站



1. 多源資料輸入與前處理 (Data Input & Pre-processing)



2. 核心模擬與整合平台 (Core Simulation & Integration Platform)



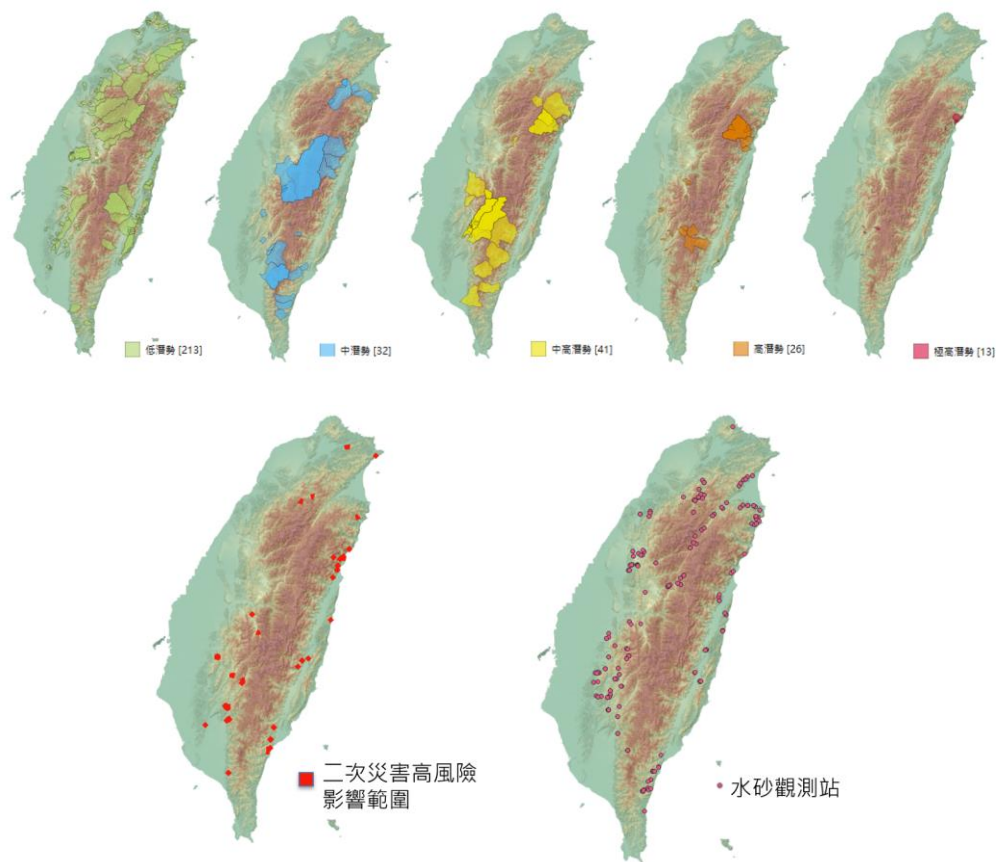
3. 成果產出與防災應用 (Output & Disaster Prevention Application)



集水區水文氣象與地文資料前處理

全臺集水區地文資料前處理

確保集水區降雨量與控制點流量成果可以正常輸出



■ 模式輸出網格
● 控制點位

集水區水文氣象與地文資料前處理

全台集水區水文料前處理與串接

針對 即時觀測、預報模擬、歷史案例資料進行彙整

水位流量

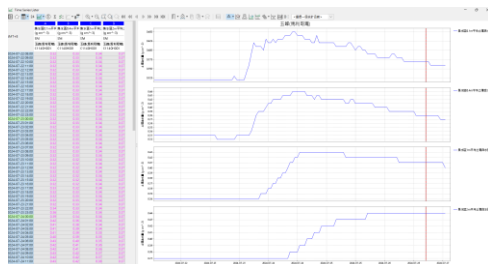
- 水位、流量（水利署資料）
- 土石流觀測站、水砂觀測站（署內API）

降雨量

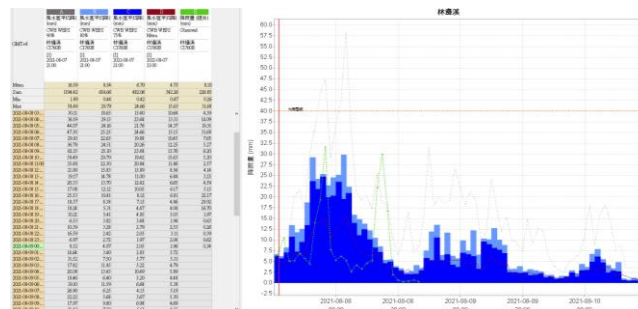
- QPESUMS降雨雷達、防災降雨雷達（樹林、南屯、林園）、雨量站（CWA PDS）
- WEPS (WRF系集預報 21組) (CWA PDS)

土壤含水量

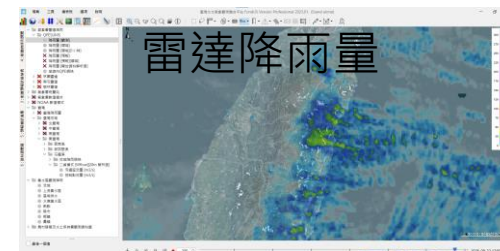
- 氣象署HRLDAS土壤含水量(CWA PDS)



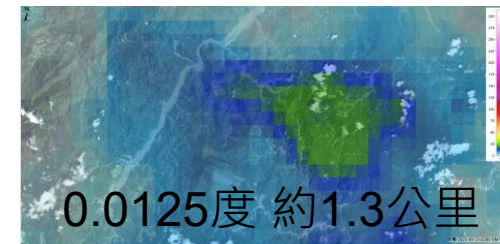
HRLDAS 土壤含水量



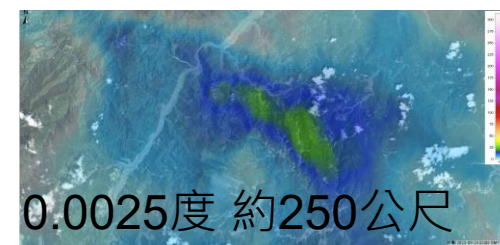
WEPS流域集水區降雨



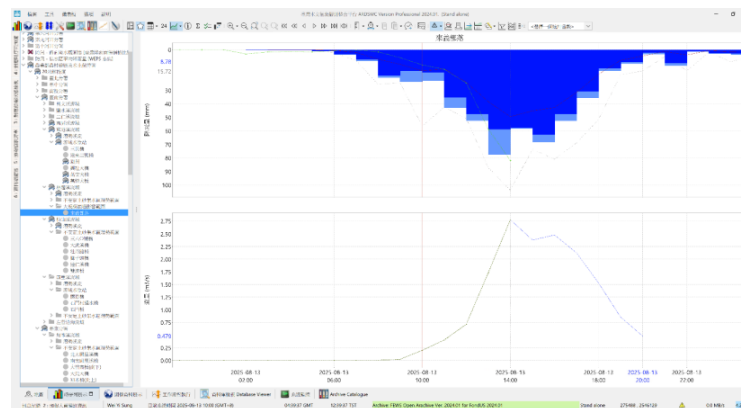
雷達降雨量



0.0125度 約1.3公里



0.0025度 約250公尺



HRLDAS 土壤含水量網格

集水區水文氣象與地文資料前處理

全臺集水區地文資料前處理

土壤含水量(土壤濕度)

氣象署HRLDAS土壤濕度

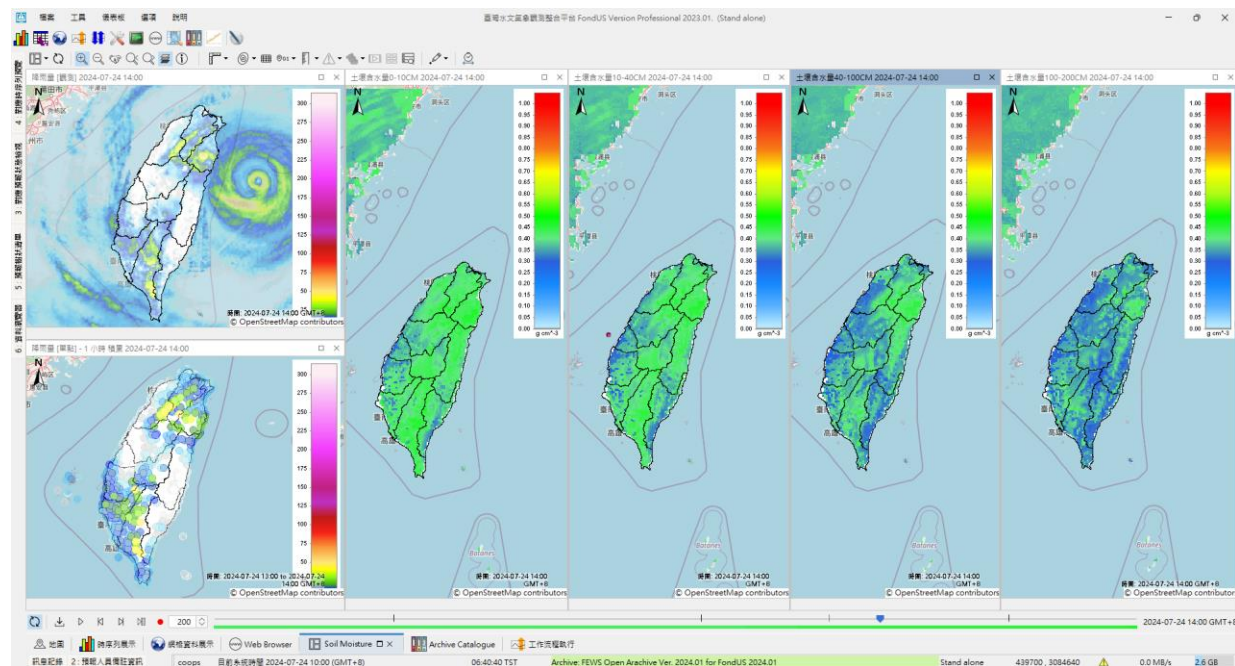
更新頻率: 一天四次

時間解析度: 小時

空間解析度: 3公里

網格維度: 263×303

深度: 10、40、100 及 200 公分



crs	coordinate reference system
SM_0	Soil Moisture at Layer 0
SM_1	Soil Moisture at Layer 1
SM_2	Soil Moisture at Layer 2
SM_3	Soil Moisture at Layer 3
time	time
x	x coordinate according to WGS 1984
y	y coordinate according to WGS 1984



雨量資料檢核

本研究針對 2024 年 5 至 9 月汛期，將雷達降雨 (QPE) 與全台地面雨量站實測進行深度對照。分析涵蓋 1,409 處地面站、1,753 條土石流潛勢溪流與 379 處水位站上游集水區，探討在凱米颱風等重大事件下的觀測一致性。

三大核心水文物件觀測對比

地面雨量站 (Raingauge)

- 地面雨量站 (Raingauge) 為對位標竿。
- 相關係數 $R=0.788$ ，誤差最低。
- QPE/Rain 比值為 $1.36x$ ，在平原與低海拔區最為收斂。

1,409 站

土石流潛勢溪流 (Landslide Potential Stream)

- 土石流潛勢溪流捕捉深山降雨。
- 彌補高海拔無人測站之盲区。
- 比值達 $1.42x$ ，雷達能捕捉地形抬升產生的水氣適量。

1,753 站

水位站上游集水區 (Upstream Catchment)

- 水位站上游集水區相關性全台最高。
- 空間相關性達 $R=0.8396$ 。
- 度關集水面積體現「空間削峰平滑效應」，利於流域防洪推估。

379 站

三大觀測群組 (5~9月) 總體統計指標對照

	地面雨量站	土石流潛勢溪流	水位站上游集水區
納入評估總站數 (N)	1,409 站	1,753 站	379 站
累積總量比值 (QPE/Rain)	1.36x	1.42x	1.42x
總量相關係數 (R_SUM)	0.7881	0.6644	0.8396

極端事件響應與強度特性分析

凱米颱風超大豪雨表現最優。
強降雨下相關性突破 $R=0.90$ 。
在廣域強降雨事件中，雷達與實測總量比值收斂至 $1.25x$ 左右。

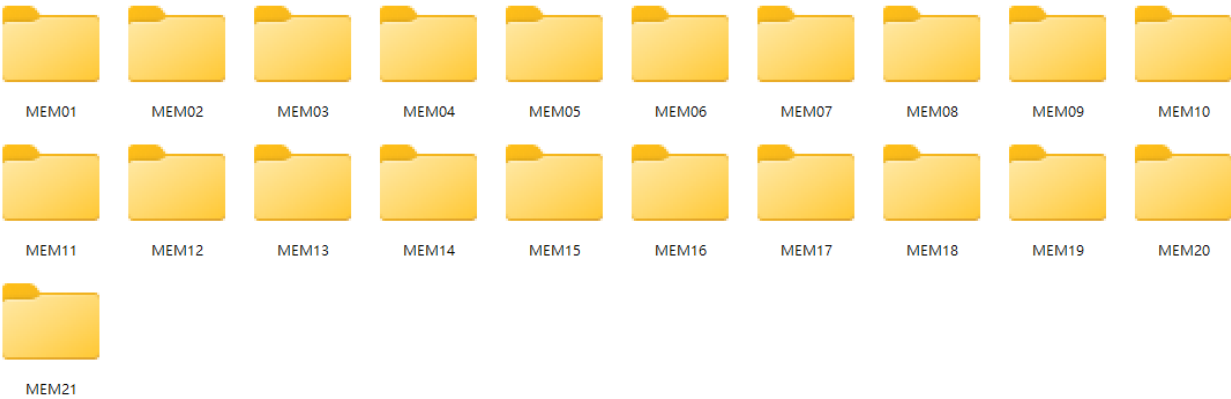
降雨強度分級之物理差異。
中雨區間 (5-15 mm/hr) 最精確。
此區間比值 $0.95x$ ；豪雨時雷達網格面雨量會產生約 25% 之空間平滑。

中部流域為全台觀測最穩定區域
大甲/烏溪/濁水溪相關性冠絕全台。
逐時同步性 $R > 0.90$ ，船隻中部測站與雷達幾何配置高度精確。

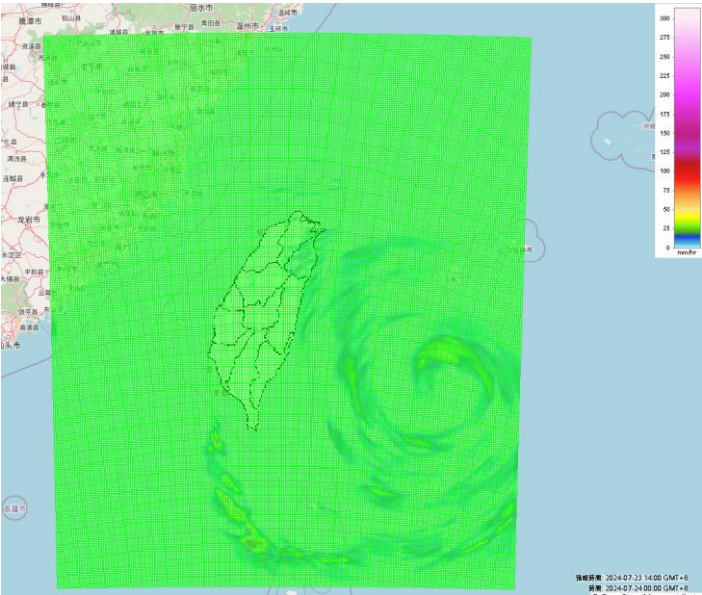
預報降雨量與統計資料產製

WEPS

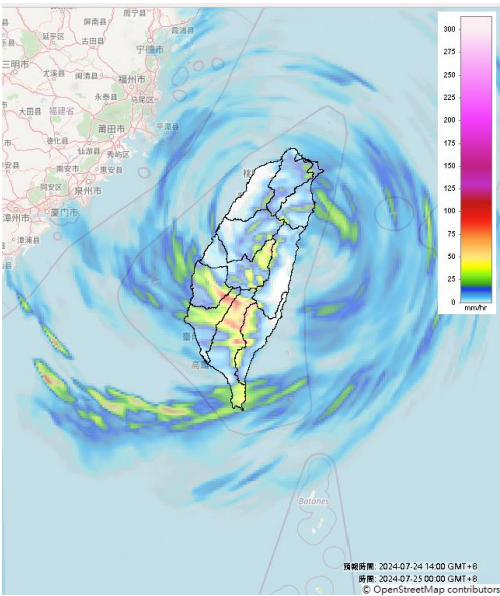
21組預報成果進行網格統計
平均 超越機率20% 超越機率10%成果



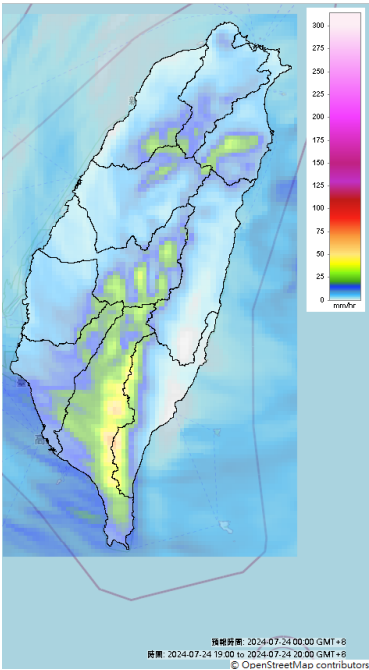
環域臺灣本島範圍



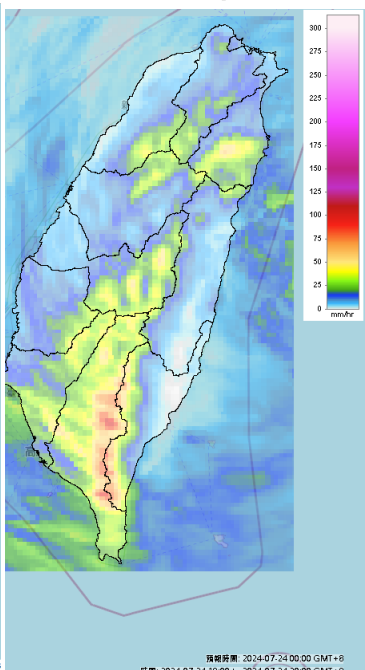
網格原始範圍



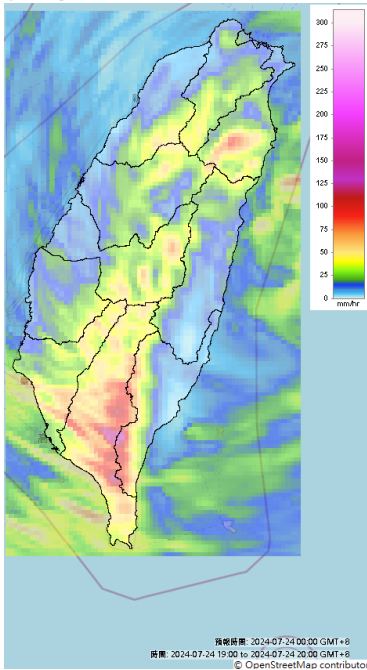
網格原始範圍



系集預報平均

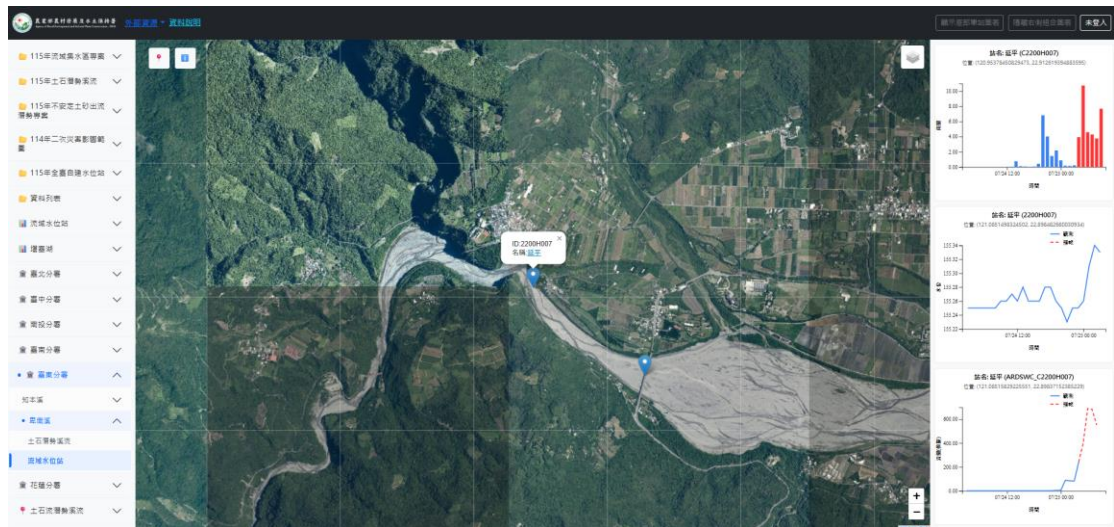
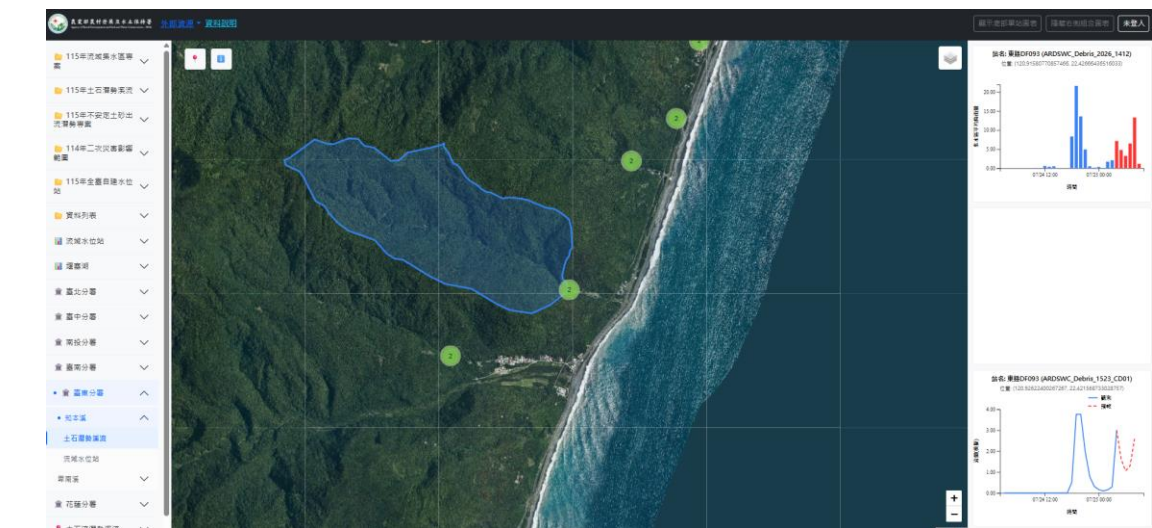
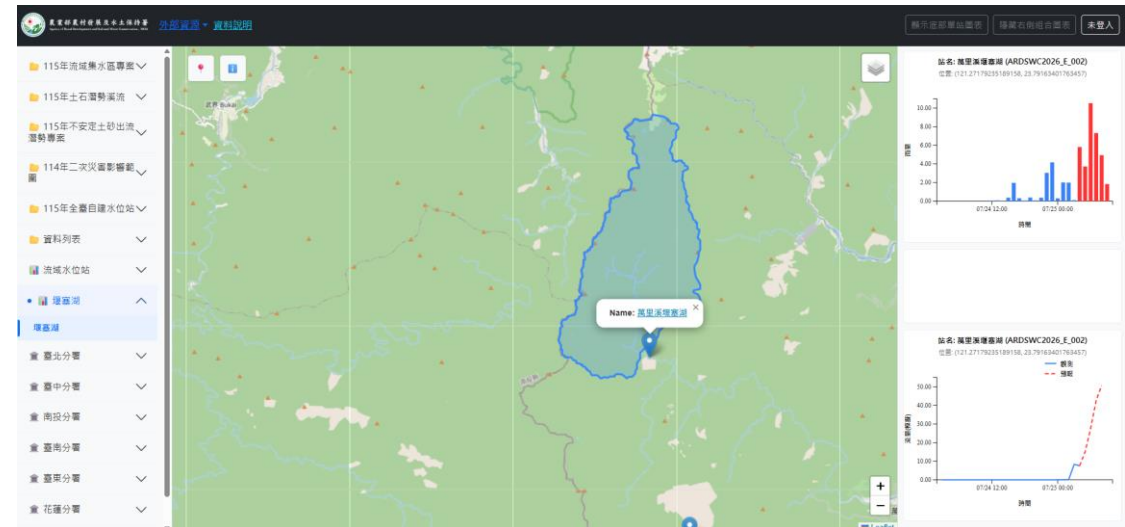
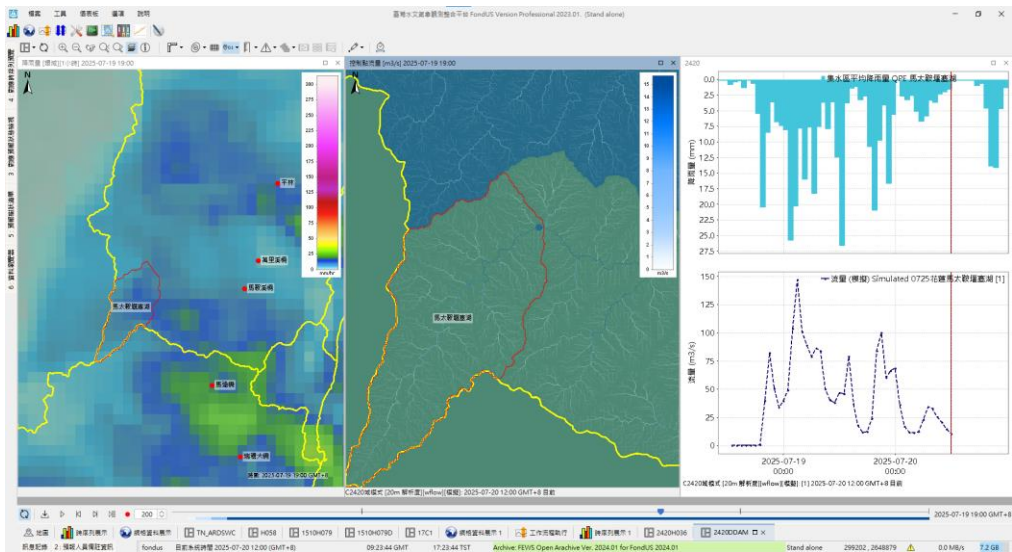


超越機率20%



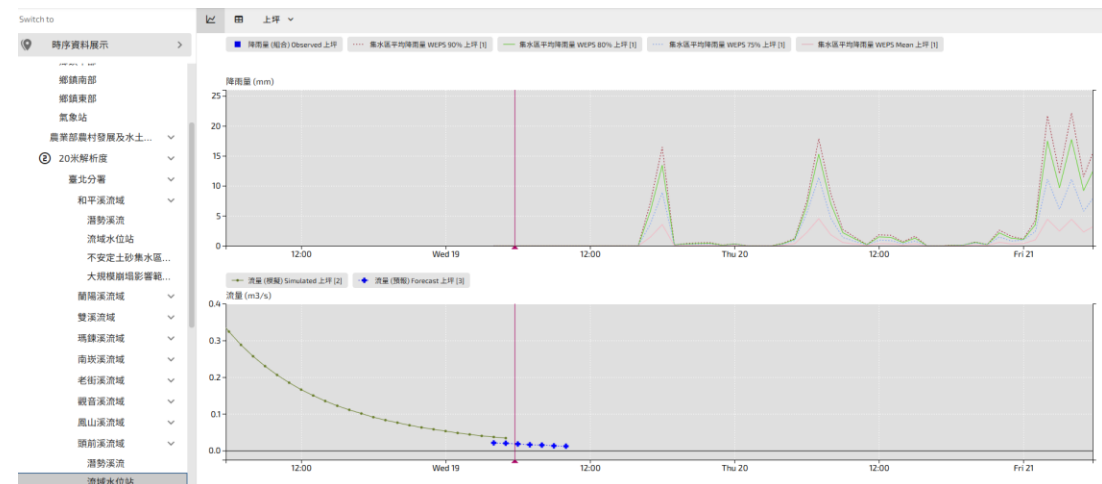
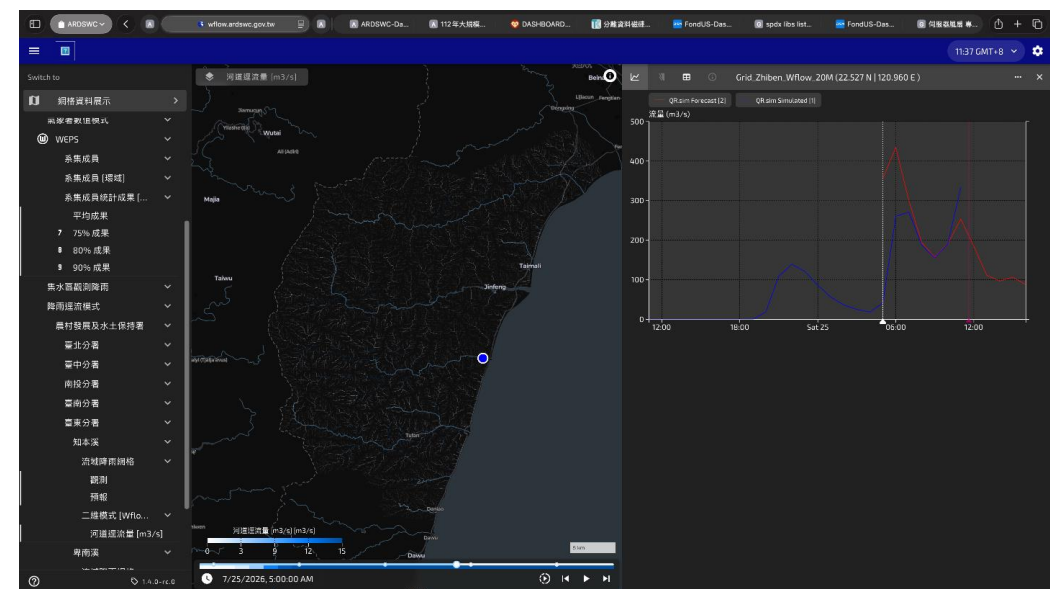
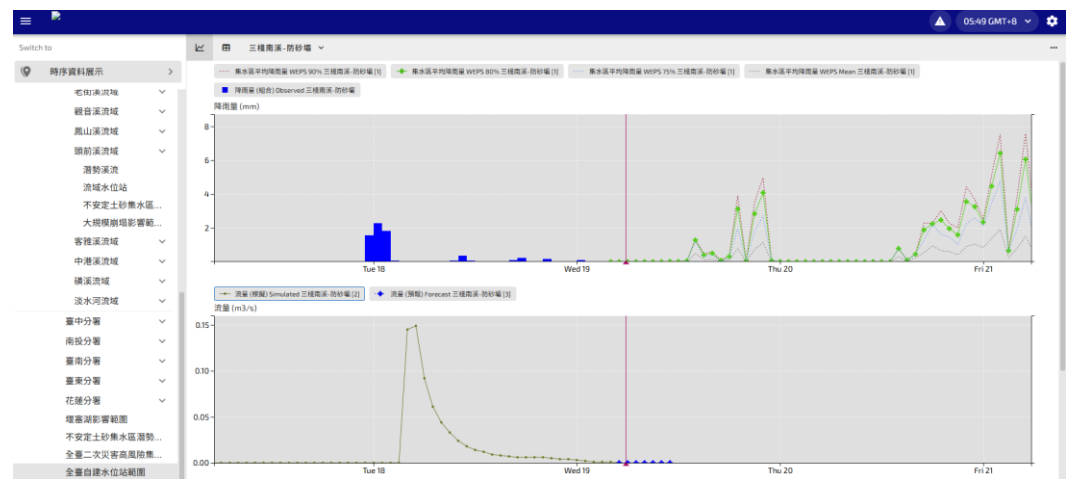
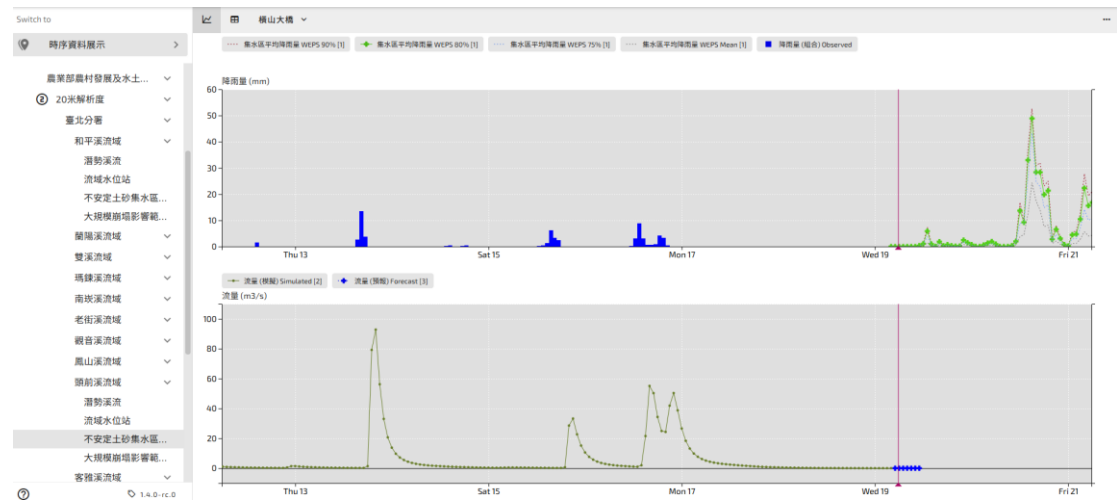
超越機率10%

預報降雨與推估流量



預報降雨與推估流量

計算未來24小時預報降雨量 使用未來6小時計算流量
使用超越機率20% (統計80%)進行流量計算

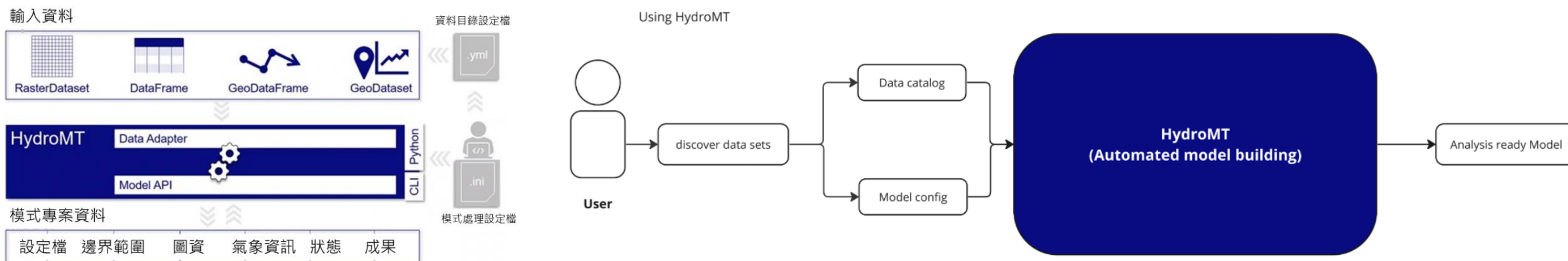


集水區水文氣象與地文資料前處理

應用HydroMT進行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



資料目錄設定檔



Python

模式專案資料



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:
55 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. Prepare data catalog

```
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
```

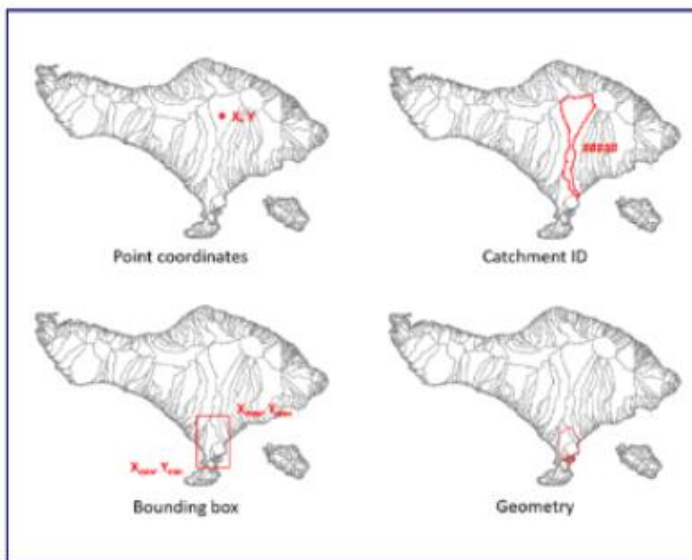
3. Configure model setup

```
[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

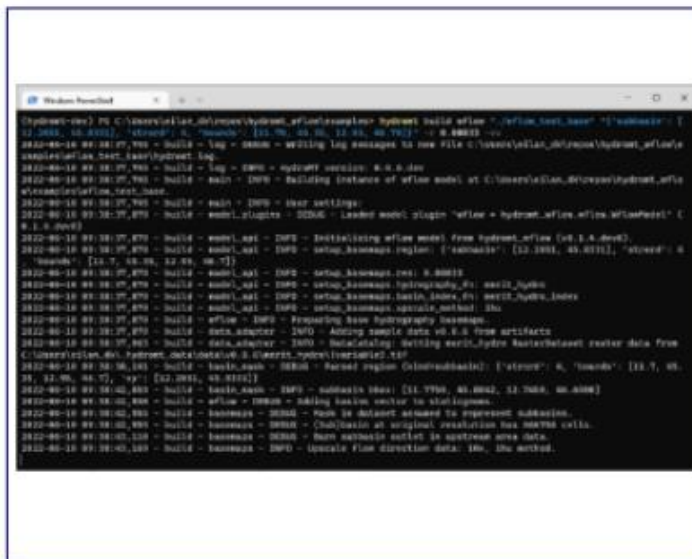
[setup_basemaps]
hydrography_fn = merit_hydro # source hydrography dat
basin_index_fn = merit_hydro_index # source of basin index
upscale_method = ihu # upscaling method for flow

[setup_rivers]
hydrography_fn = merit_hydro # source hydrography dat
river_geom_fn = rivers_lin2019_v1 # river source data w:
river_upa = 30 # minimum upstream area:
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. Define model region



4. Run HydroMT



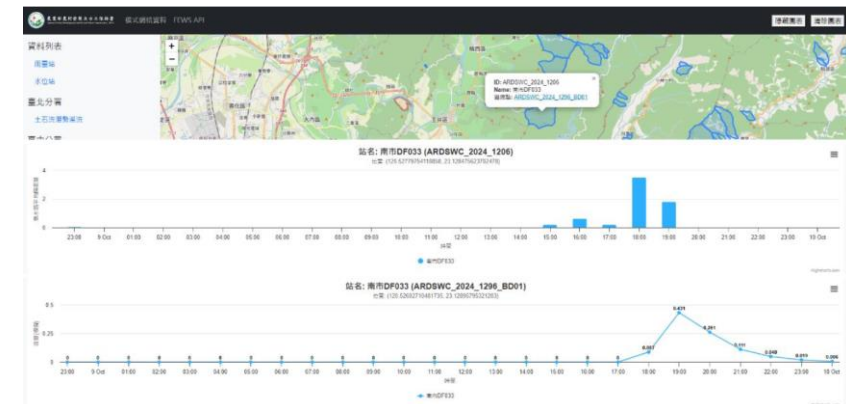
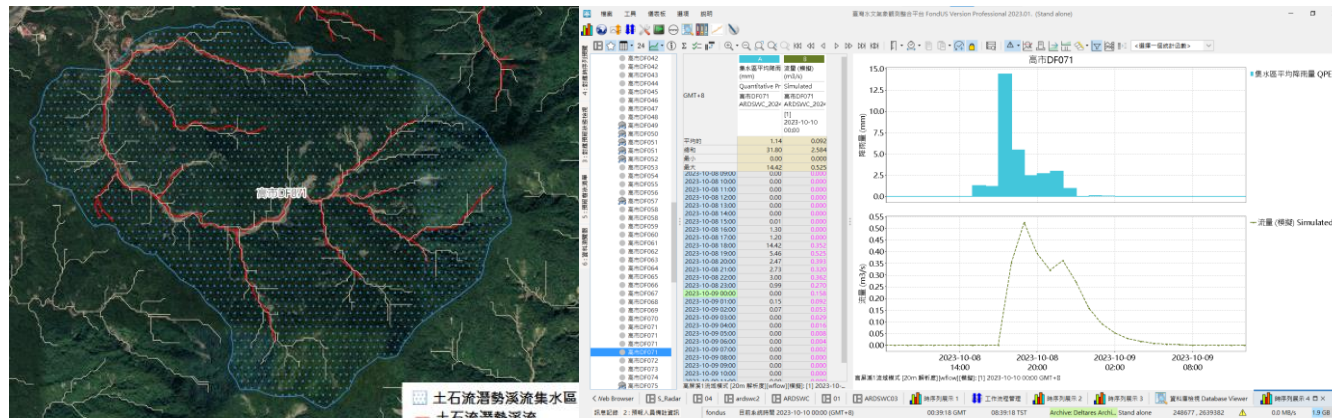
WFLOW 分布式模式專案建置

模式專案與控制點建置

土石流潛勢溪流1753條： 60處
不安定土砂集水區323處 高潛勢區： 39處
二次災害高風險影響範圍： 42處
水砂觀測站： 12處
17處自建水位觀測站



■ 模式輸出網格
● 控制點位



WFLOW 分布式模式專案建置

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。

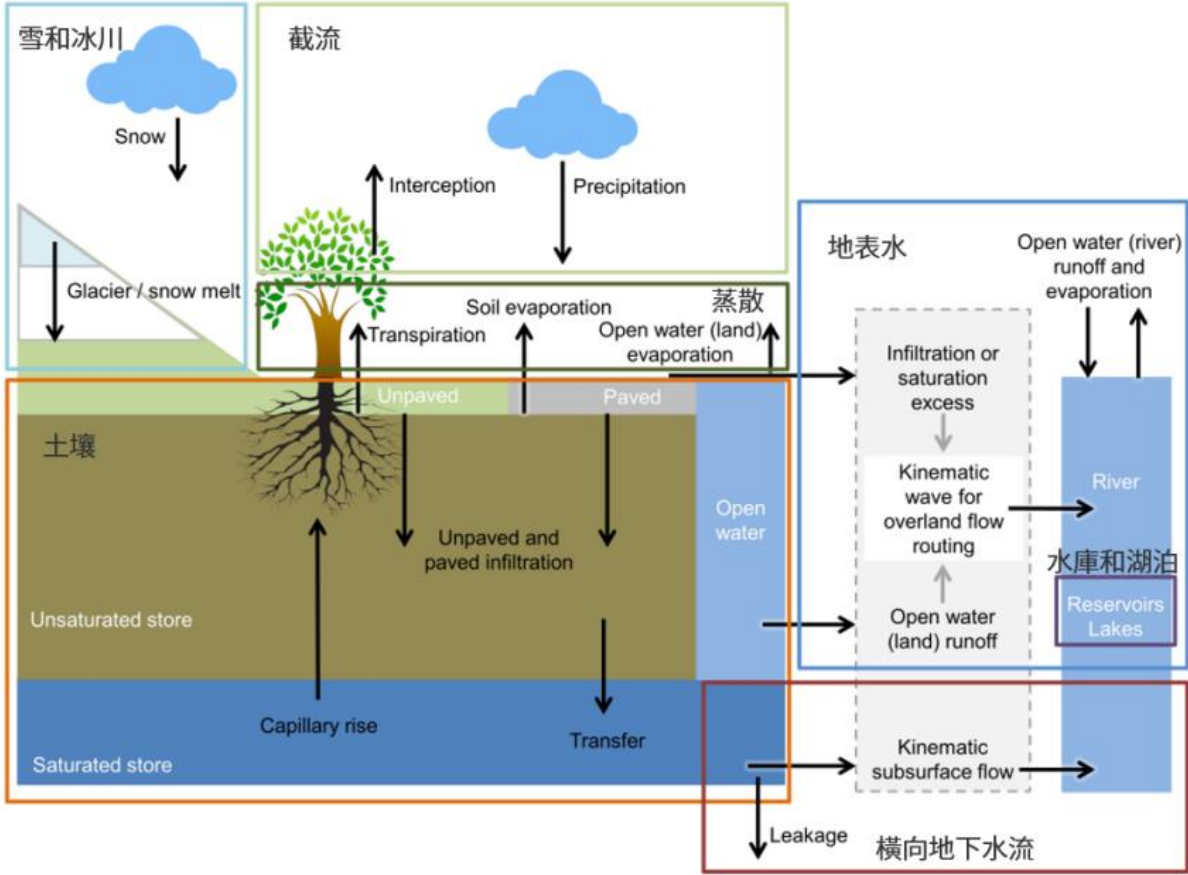
已應用於全球多國，用於分析洪水、乾旱、氣候變化和土地利用變化。

分布式降雨逕流模組（WFLOW_sbm）：

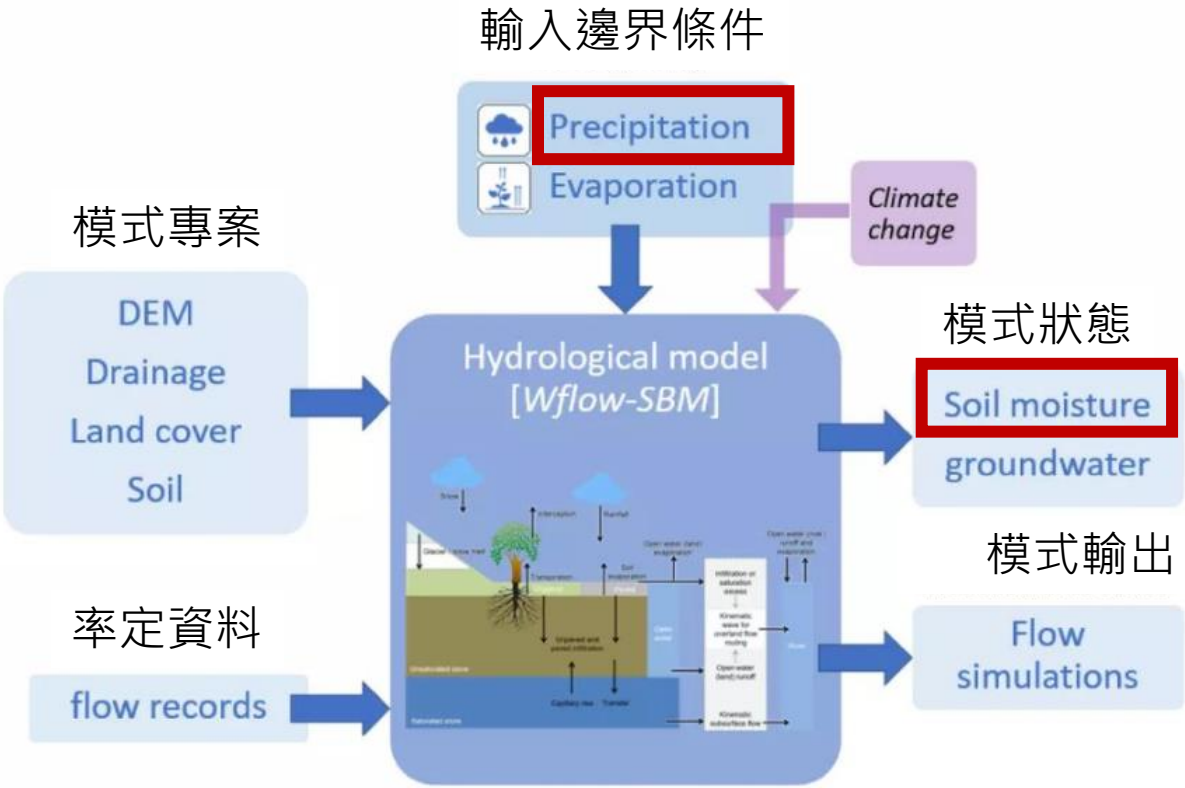
1. 使用Wflow_sbm模組，基於Topog_SBM概念，可適用不同土地利用特性和水庫操作。
2. 以網格式（Raster）資料型態進行建置，包含高程地形模型、土地利用、土壤種類、集水區範圍、河川路網等。

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 分布式模式專案建置

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機制



名稱

類型

inmaps

檔案資料夾

inststate

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

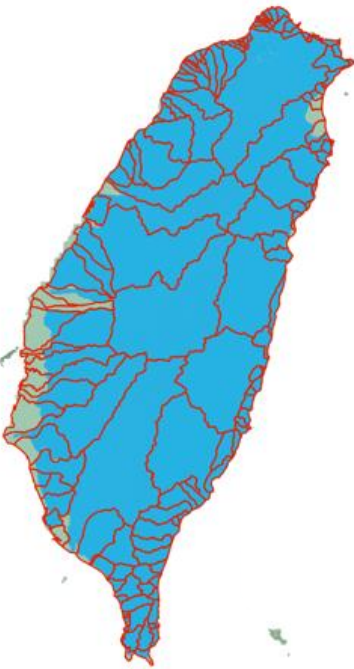
模式基礎資料與參數網格

模式參數設定檔

Delft-FEWS平台與WFLOW專案串接

各分署模式對應流域模式

六個分署 40個專案



■ 115年度模式模擬範圍
□ 流域範圍

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

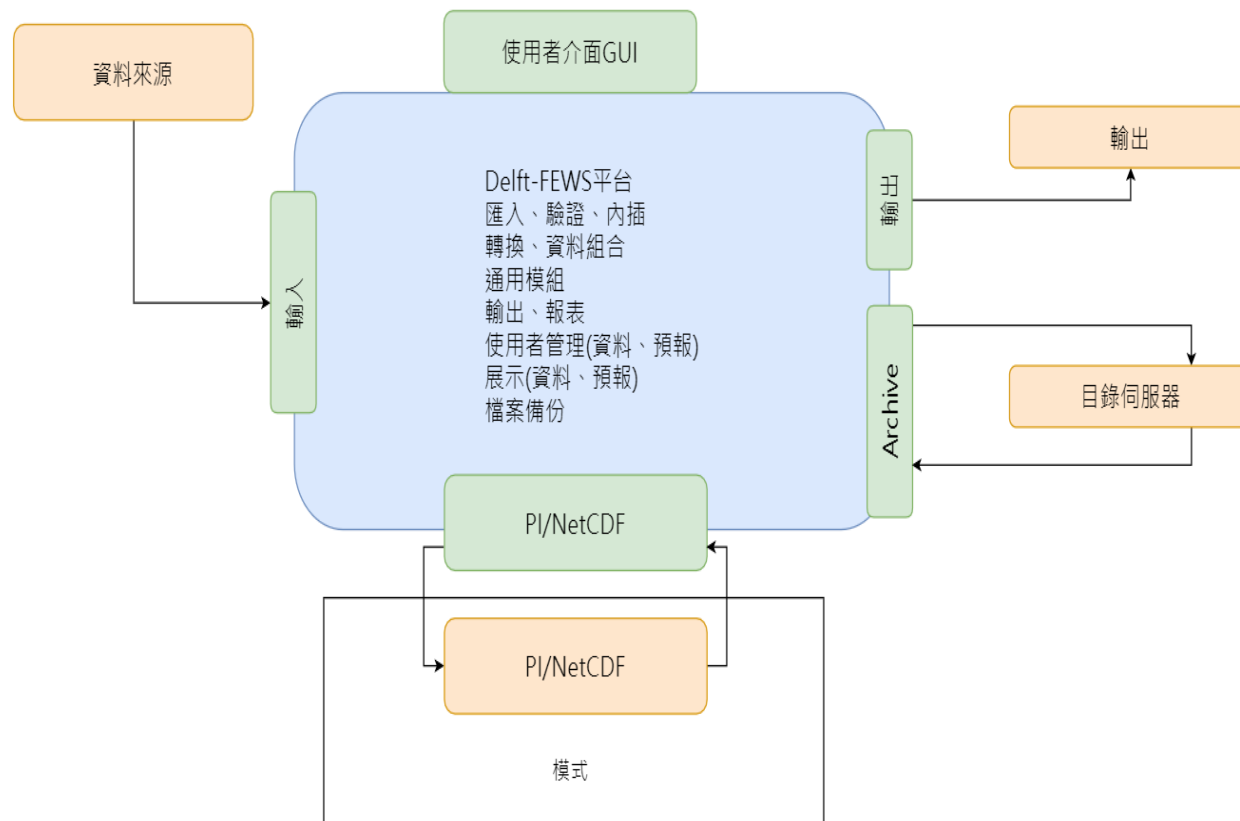
Delft-FEWS平台與WFLOW專案串接

Delft-FEWS 平台之建置與串接

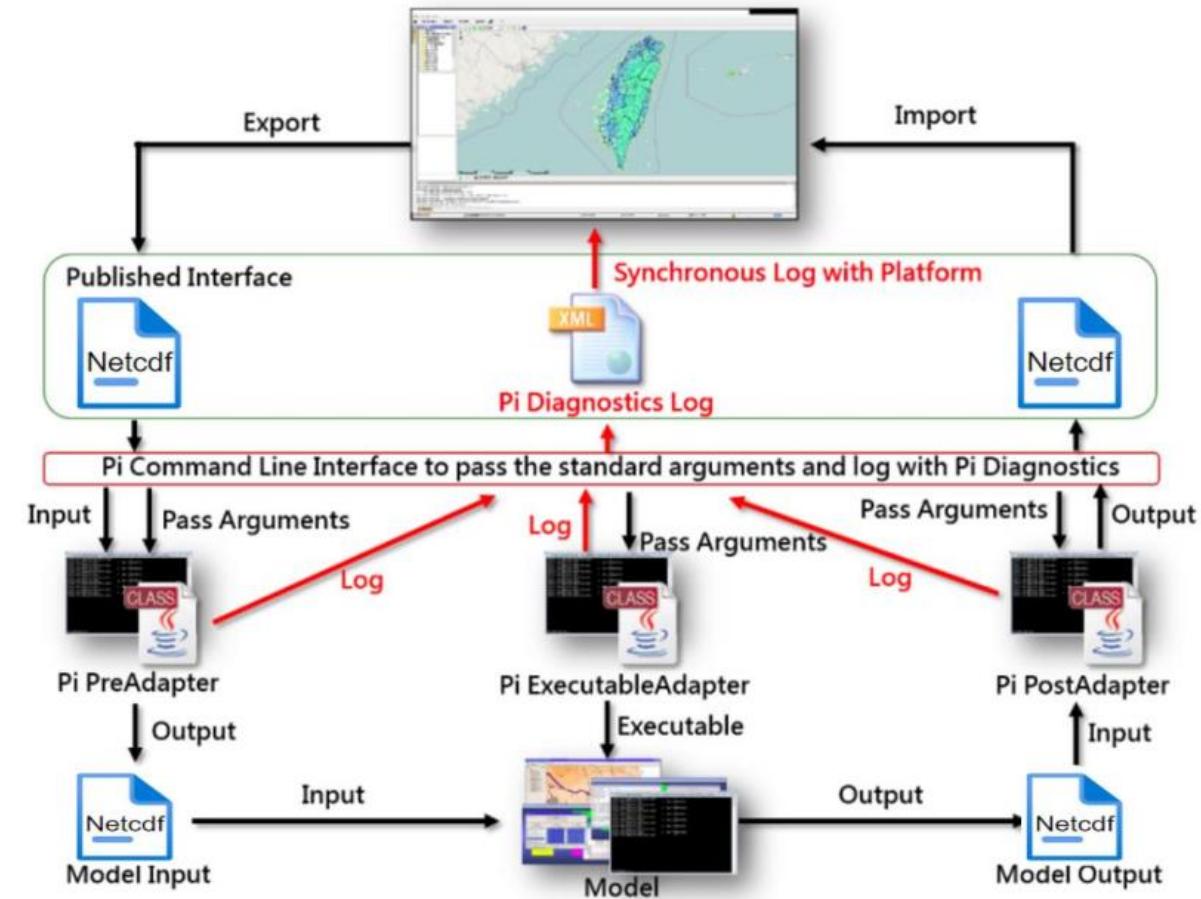
使用Delft-FEWS平台

- 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。
- WEB與API成果供應

Delft-FEWS平台與WFLOW專案串接



Delft-FEWS運作概念圖

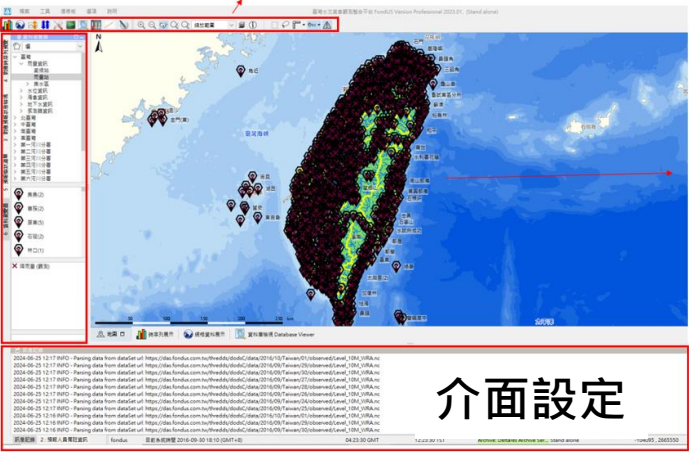


模式銜接架概念圖

Delft-FEWS平台與WFLOW專案串接

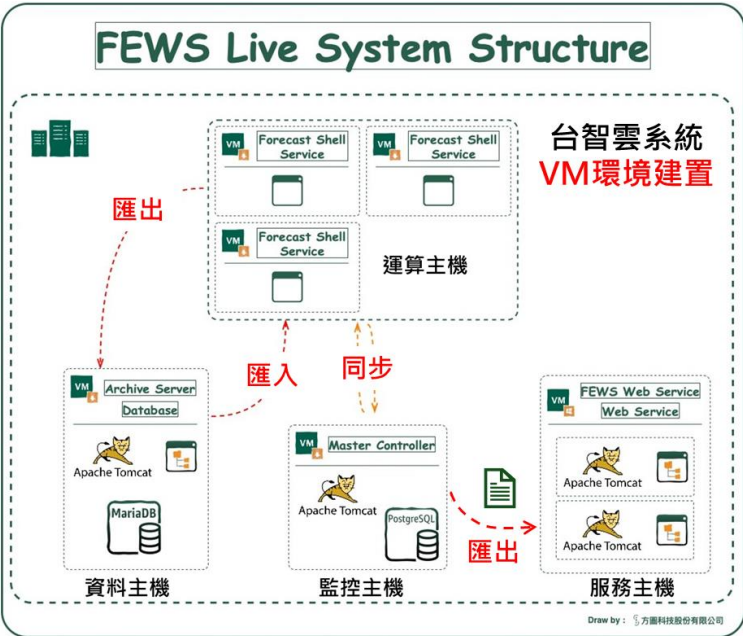
維護與更新Delft-FEWS平台排程設定

1. 各項功能快捷選項

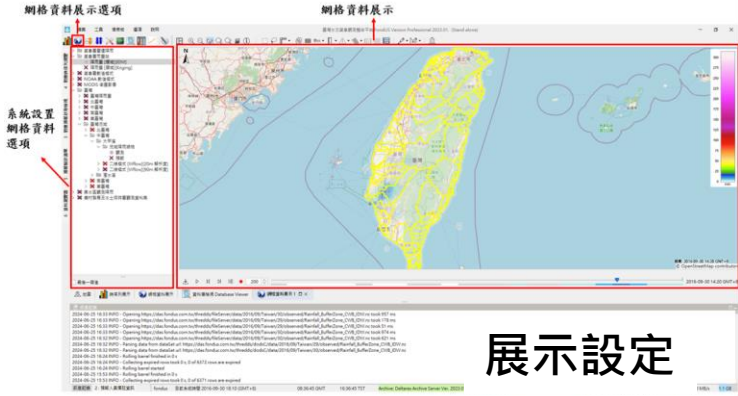


- ⚙️ Dajia_Wflow_Staterun (workflow)
 - Dajia_Wflow_2D_20M_Historical Template_Wflow_2D_I-1R-O-2D_24T00H (GA)
 - IdImportWFLOW (id map)
 - IdExportWFLOW (id map)
 - > Export timeseries (process)
 - > Import timeseries (process)
 - ◆ Function_Spatial Function_Spatial_GTP_Closest_Distance_01H_Both_Qualifier (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



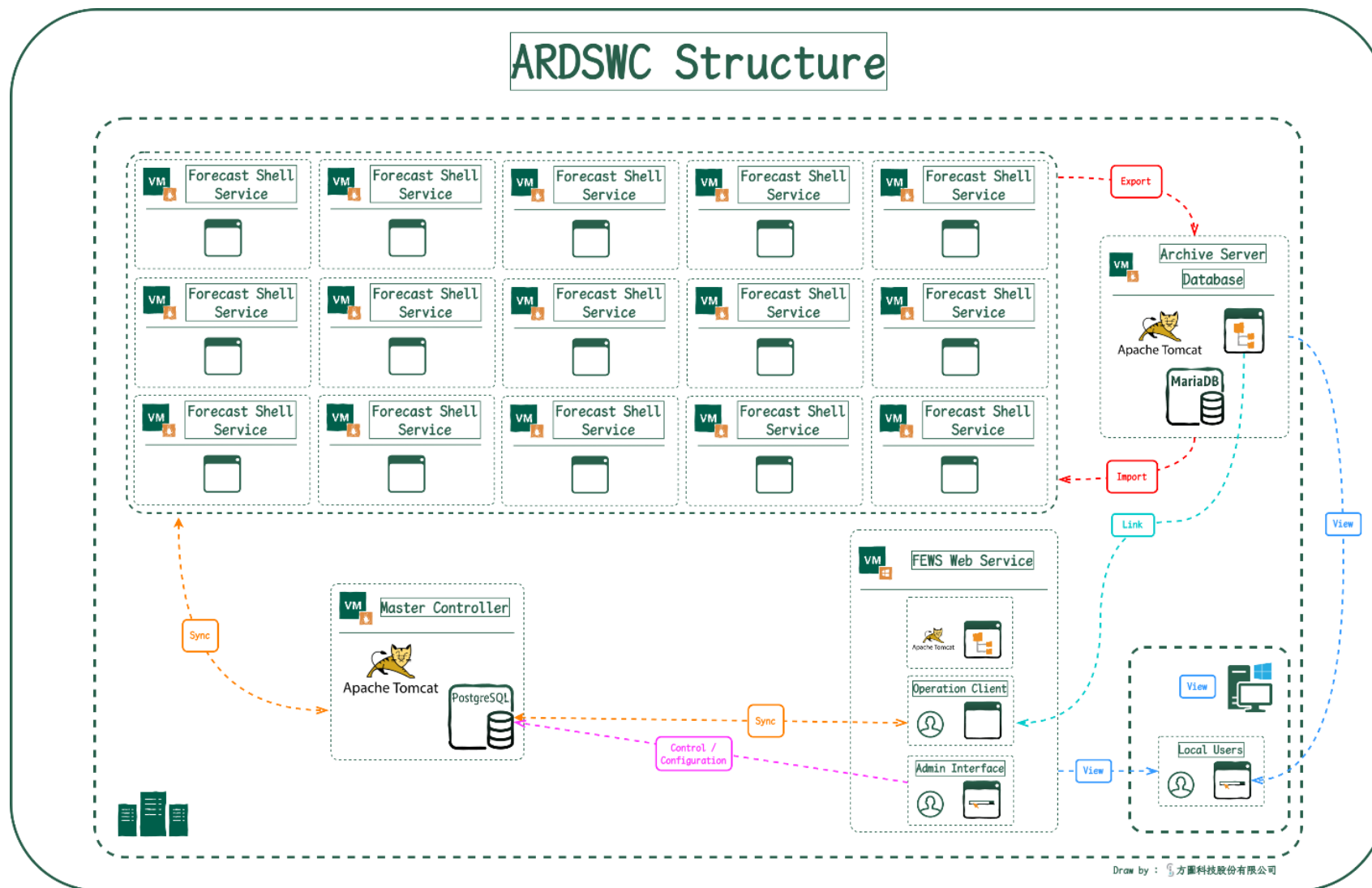
相關設定與作業流程於單機版完成確認後上傳到伺服器主機



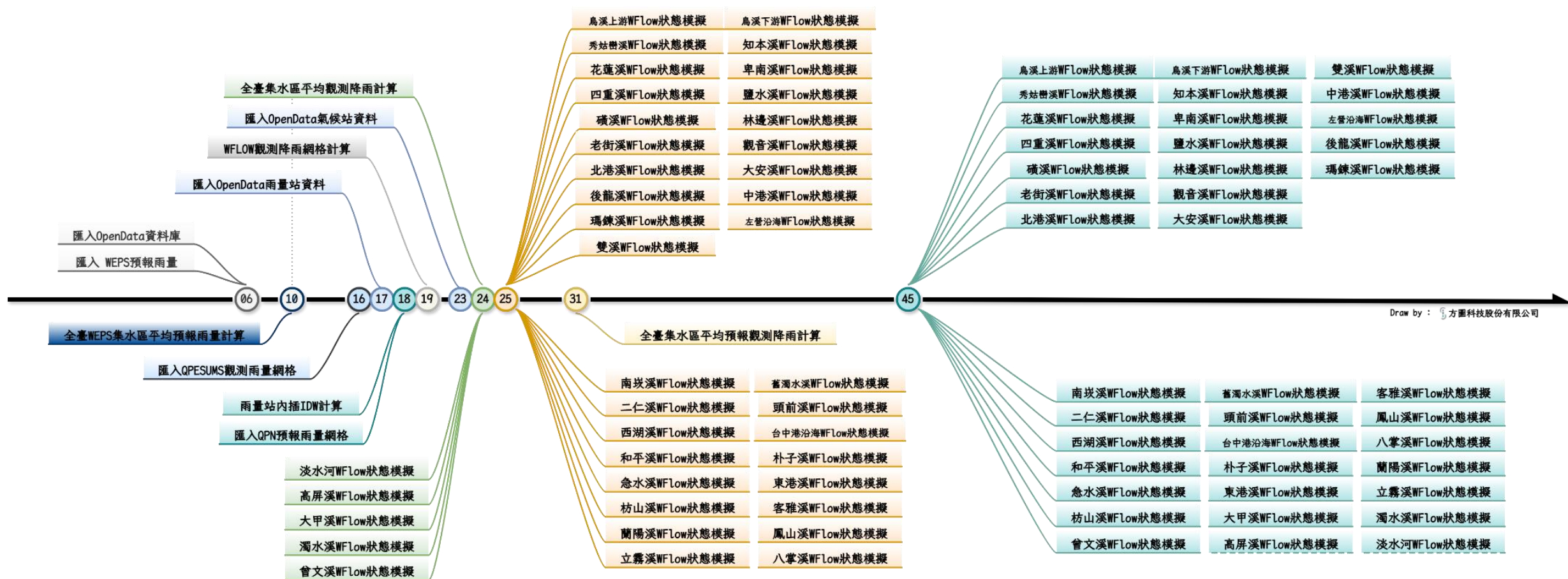
Delft-FEWS平台與WFLOW專案串接

-TWSC台智雲環境配置

網路版多伺服器執行架構



Delft-FEWS平台與WFLOW專案串接



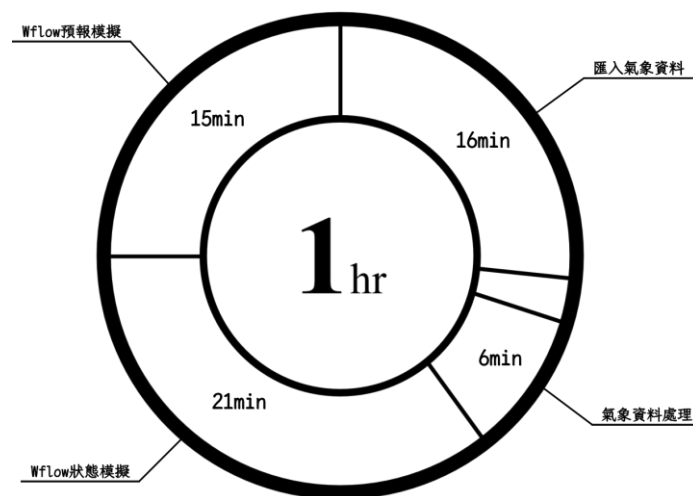
水文氣象資料前處理與 40個模式專案模擬運作 作業排程規劃

Delft-FEWS平台與WFLOW專案串接

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

- 資料氣象匯入00:06~00:18
- 氣象資料處理00:18~00:24
- 模式狀態模擬00:25~00:45
- 模式預報模擬00:45~00:55
- 成果輸出00:55



工作流程	描述	執行時間	執行頻率	執行優先序
Import_CWB_WRF	匯入 CWB WRF	00:06	每 6 小時	一般優先序
Import_DataBase	匯入 OpenData 氣象資料	00:06	每 10 分鐘	一般優先序
Taiwan_Northern_Catchments_Average_WEPS	計算臺灣北部集水區平均 WEPS 降雨	00:10	每 6 小時	一般優先序
Taiwan_Central_Catchments_Average_WEPS	計算臺灣中部集水區平均 WEPS 降雨	00:10	每 6 小時	一般優先序
Taiwan_Southern_Catchments_Average_WEPS	計算臺灣南部集水區平均 WEPS 降雨	00:10	每 6 小時	一般優先序
Taiwan_Eastern_Catchments_Average_WEPS	計算臺灣東區集水區平均 WEPS 降雨	00:10	每 6 小時	一般優先序
Taiwan_Other_Catchments_Average_WEPS	計算臺灣其他集水區平均 WEPS 降雨	00:10	每 6 小時	一般優先序
Import_ManaySplendid_RWRF	匯入 RWRF	00:12	每 1 小時	一般優先序
Import_QPESUMS	匯入 QPESUMS	00:16	每 1 小時	一般優先序
Import_OpenData_Rainfall	匯入 OpenData 雨量資料	00:17	每 20 分鐘	一般優先序
Import_QPESUMS-Forecast	匯入 QPESUMS-Forecast	00:18	每 1 小時	一般優先序
Taiwan_Northern_Catchments_Average_Historical	計算臺灣北部集水區平均觀測降雨	00:24	每 1 小時	一般優先序
Taiwan_Central_Catchments_Average_Historical	計算臺灣中部集水區平均觀測降雨	00:24	每 1 小時	一般優先序
Taiwan_Southern_Catchments_Average_Historical	計算臺灣南部集水區平均觀測降雨	00:24	每 1 小時	一般優先序

Taiwan_Eastern_Catchments_Average_Historical	計算臺灣東區集水區平均觀測降雨	00:24	每 1 小時	一般優先序
Taiwan_Other_Catchments_Average_Historical	計算臺灣其他集水區平均觀測降雨	00:24	每 1 小時	一般優先序
Tanshui_Wflow_Staterun	淡水河流域狀態模擬	00:30	每 1 小時	最高優先序
Dajia_Wflow_Staterun	大甲溪流域狀態模擬	00:30	每 1 小時	最高優先序
Choushui_Wflow_Staterun	濁水溪流域狀態模擬	00:30	每 1 小時	最高優先序
Tsengwen_Wflow_Staterun	曾文溪流域狀態模擬	00:30	每 1 小時	最高優先序
Kaoping_Wflow_Staterun	高屏溪流域狀態模擬	00:30	每 1 小時	最高優先序
Taiwan_Catchments_Average	計算臺灣集水區平均預報降雨	00:31	每 1 小時	一般優先序
Tanshui_Wflow_Forecast	淡水河流域狀態模擬	00:36	每 1 小時	最高優先序
Dajia_Wflow_Forecast	大甲溪流域預報模擬	00:36	每 1 小時	最高優先序
Choushui_Wflow_Forecast	濁水溪流域預報模擬	00:36	每 1 小時	最高優先序
Tsengwen_Wflow_Forecast	曾文溪流域預報模擬	00:36	每 1 小時	最高優先序
Kaoping_Wflow_Forecast	高屏溪流域預報模擬	00:36	每 1 小時	最高優先序
Export_Tanshui_Wflow	匯出淡水河流域模式成果	00:45	每 1 小時	最高優先序
Export_Dajia_Wflow	匯出大甲溪流域模式成果	00:45	每 1 小時	最高優先序
Export_Choushui_Wflow	匯出濁水溪流域模式成果	00:45	每 1 小時	最高優先序
Export_Tsengwen_Wflow	匯出曾文溪流域模式成果	00:45	每 1 小時	最高優先序
Export_Kaoping_Wflow	匯出高屏溪流域模式成果	00:45	每 1 小時	最高優先序

Delft-FEWS平台與WFLOW專案串接

核心參數

河道曼寧糙率（ N_River ） 、側向導水率（ KsatHorFrac ） 、入滲f

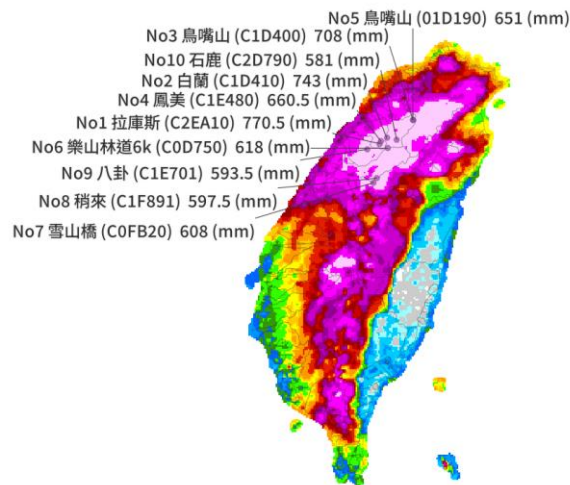
參數	頭前溪	中港溪	後龍溪	調整後	調整目的與概念
河道曼寧數 N_River	平均值 0.0493 最小值 0.0300 最大值 0.0781	平均值 0.0468 最小值 0.0300 最大值 0.0625	平均值 0.0488 最小值 0.0300 最大值 0.0781	山區上游 (streamorder ≤ 3) 調高 +25% (0.0437)	增加山區陡坡河道粗糙度，可顯著延後洪峰早到時間
側向導水率 KsatHorFrac	平均值 107.39 最小值 100.00 最大值 150.00	平均值 106.99 最小值 100.00 最大值 150.00	平均值 107.25 最小值 100.00 最大值 150.00	全區統一調高至 150.0	增加側向飽和土壤導水率，使退水歷線更平緩順滑
入滲係數 f	平均值 0.0020 空間分布範圍 0.0003 ~ 0.0088	平均值 0.0024 空間分布範圍 0.0003 ~ 0.0068	平均值 0.0027 空間分布範圍 0.0003 ~ 0.0166	保持基準值（空間平均約 0.002 ~ 0.003）	土壤滲透衰減係數，主導洪峰流量 Qmax 總量

Delft-FEWS平台與WFLOW專案串接

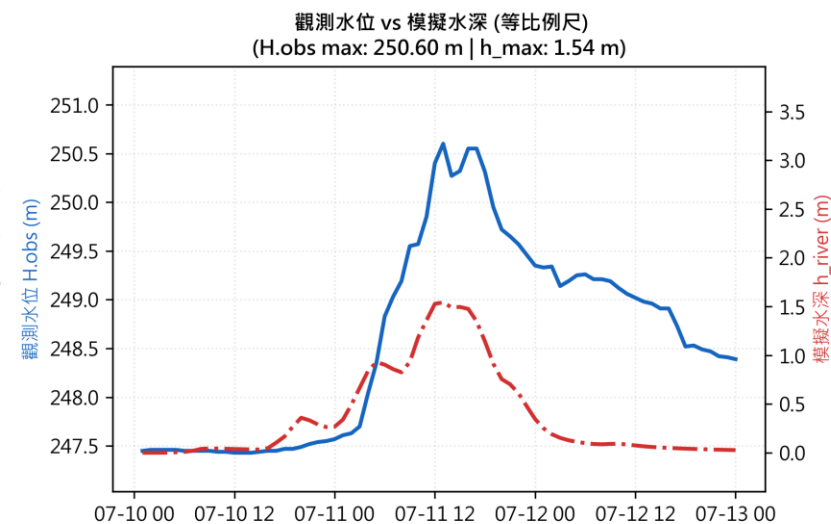
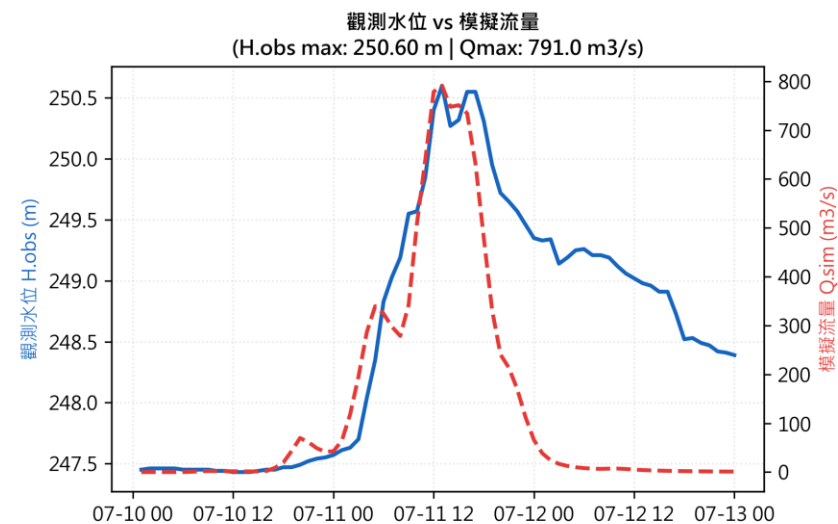
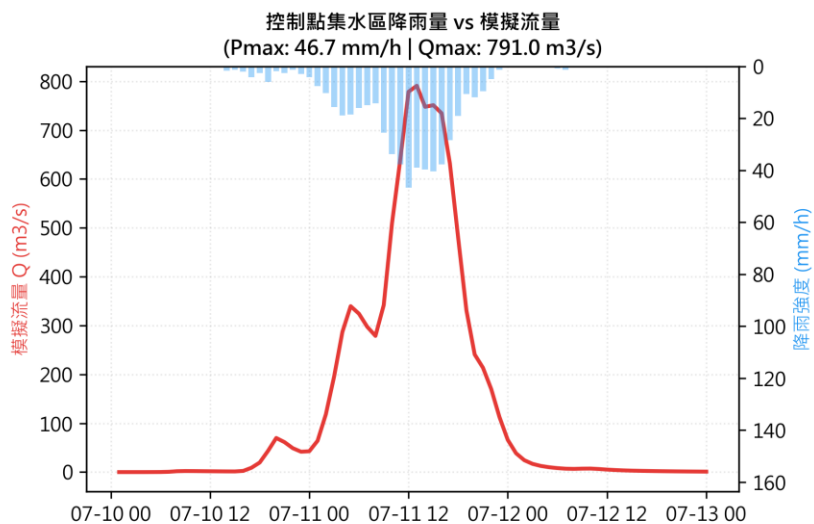
WFLOW模式率定驗證

針對中港溪、頭前溪之中央管河川水位站控制點進行校核
115年7月10日至13日巴威颱風降雨事件進行率定

優先「洪峰時間偏早」與「退水過快」，問題進行調整
相關係數 (R) 最高可達 0.95 以上，並大幅減少洪峰稽延時間差。



單站物理極值與多維度對位彙整: 1300H013 內灣
[Pmax=46.7mm/h | Qmax=791.0m3/s | H.obs_max=250.60 m | h_max=1.54m]



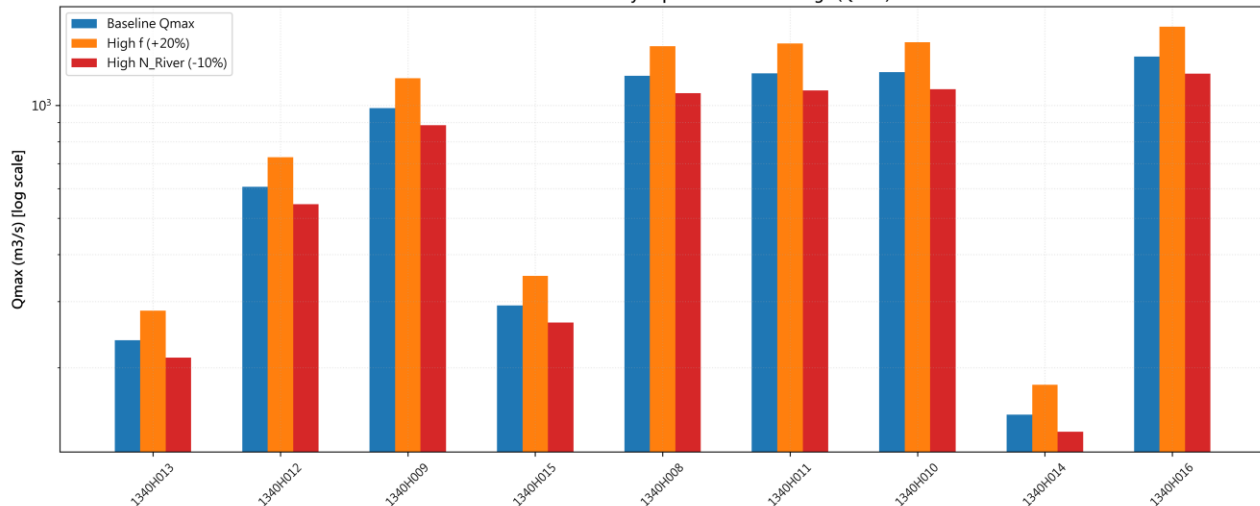
中港溪

參數敏感度

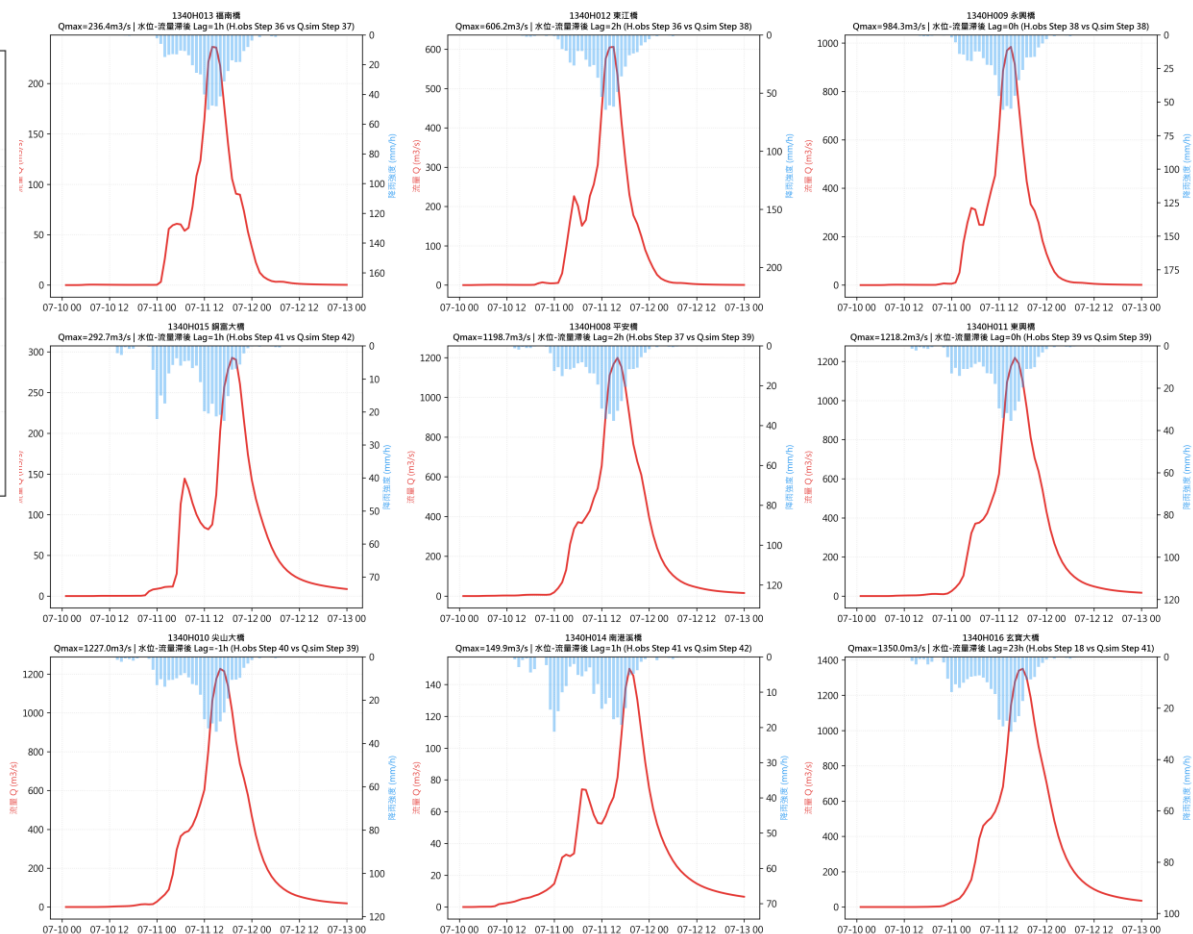
降雨量與流量

C1340 流域全區降雨 vs 各控制點模式流量滯後時間 (Lag-Time) 分析圖

C1340 Parameter Sensitivity Impact on Peak Discharge (Qmax)

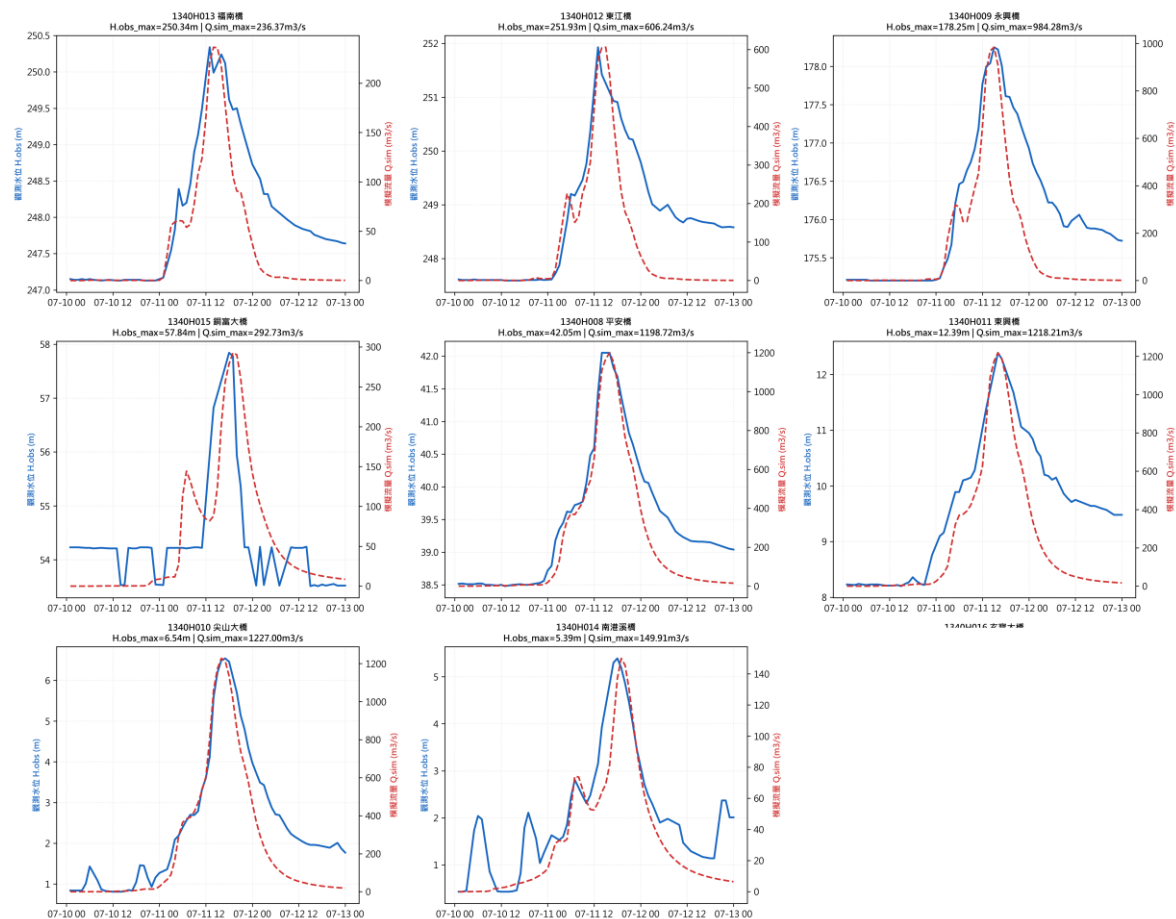


- 相關係數 (R)：絕大多數測站之 R 達 0.85 以上。其中平安橋最高達 0.973、尖山大橋達 0.957、東興橋達 0.928。
- 洪峰到達時間差：多數控制點成功收斂至 $\pm 1 \sim 2$ 小時內 (其中永興橋與東興橋時間差為 0h)

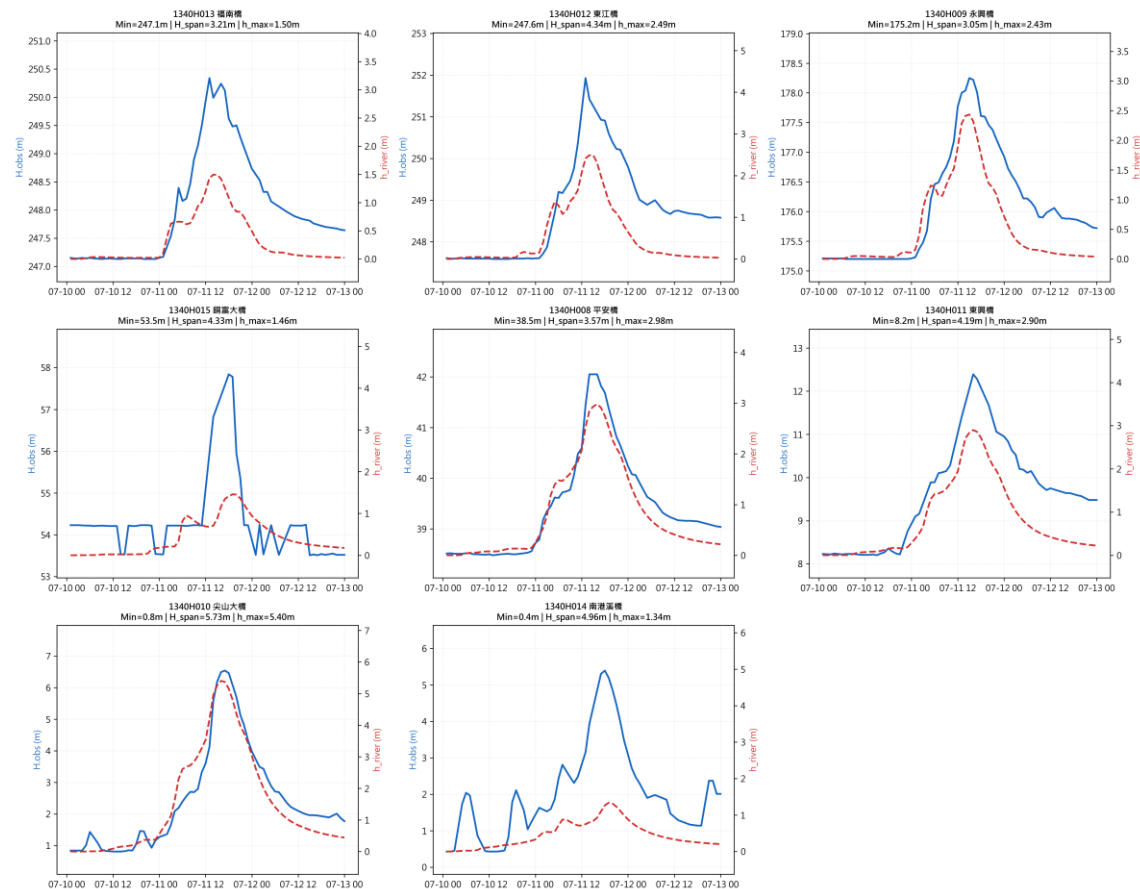


中港溪

流量與觀測水位

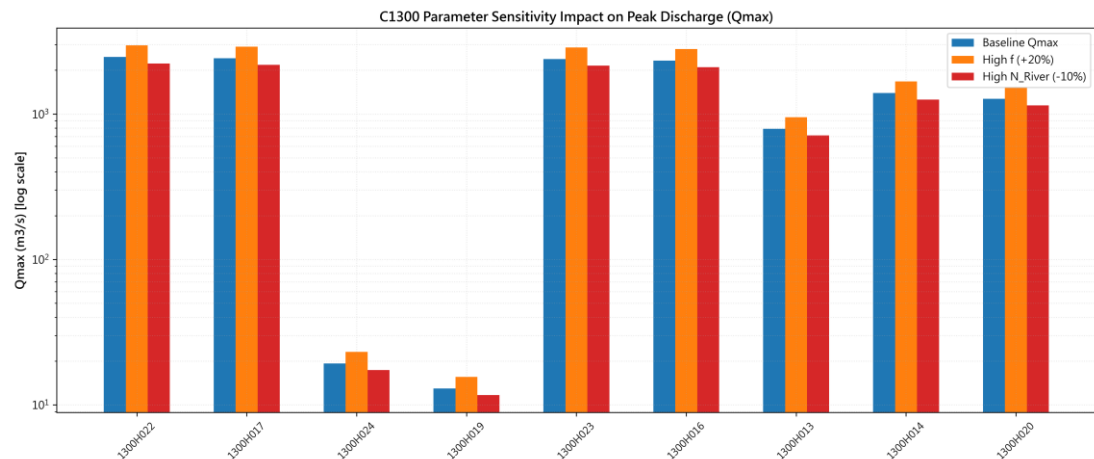


觀測水位與模擬水深



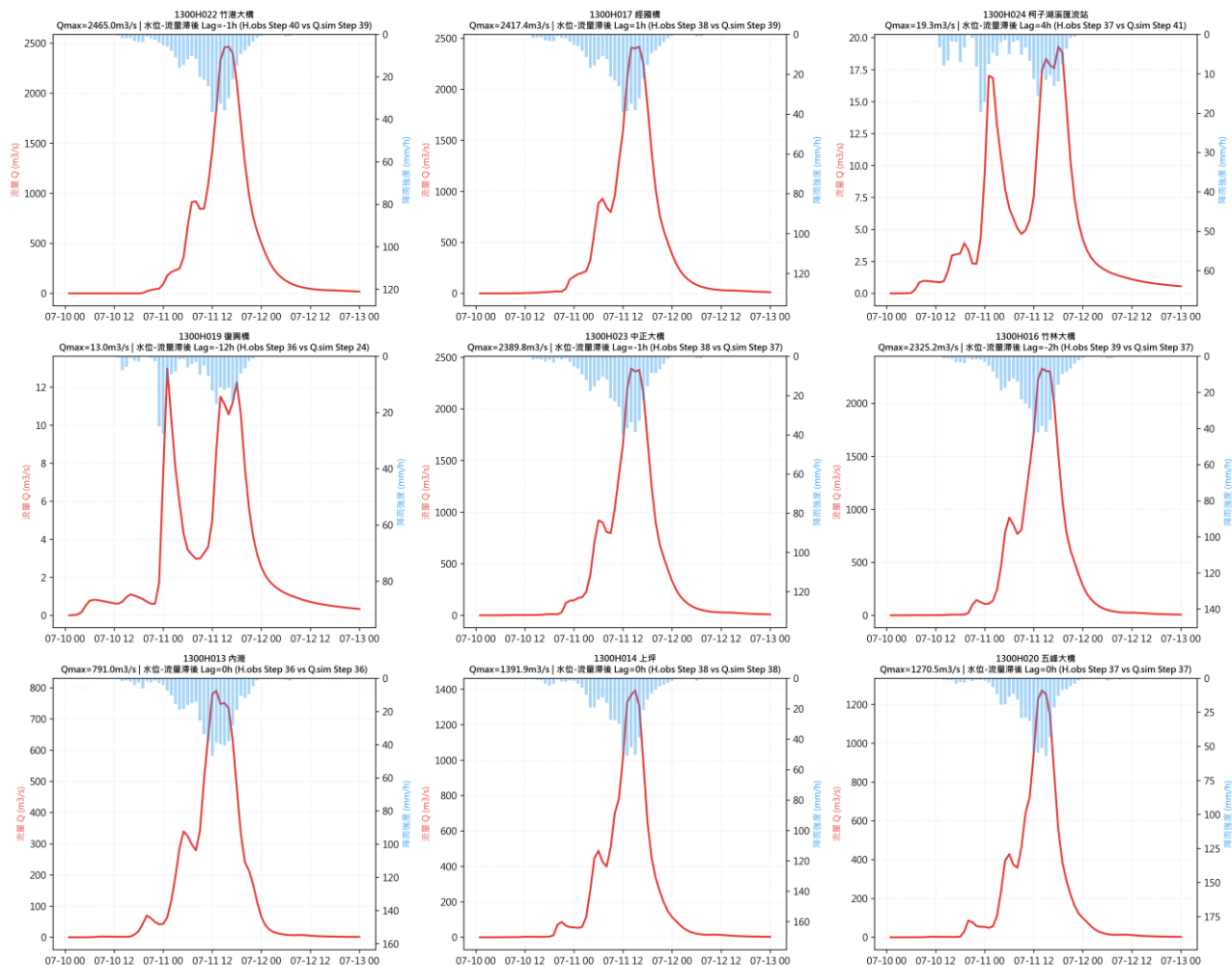
頭前溪

參數敏感度



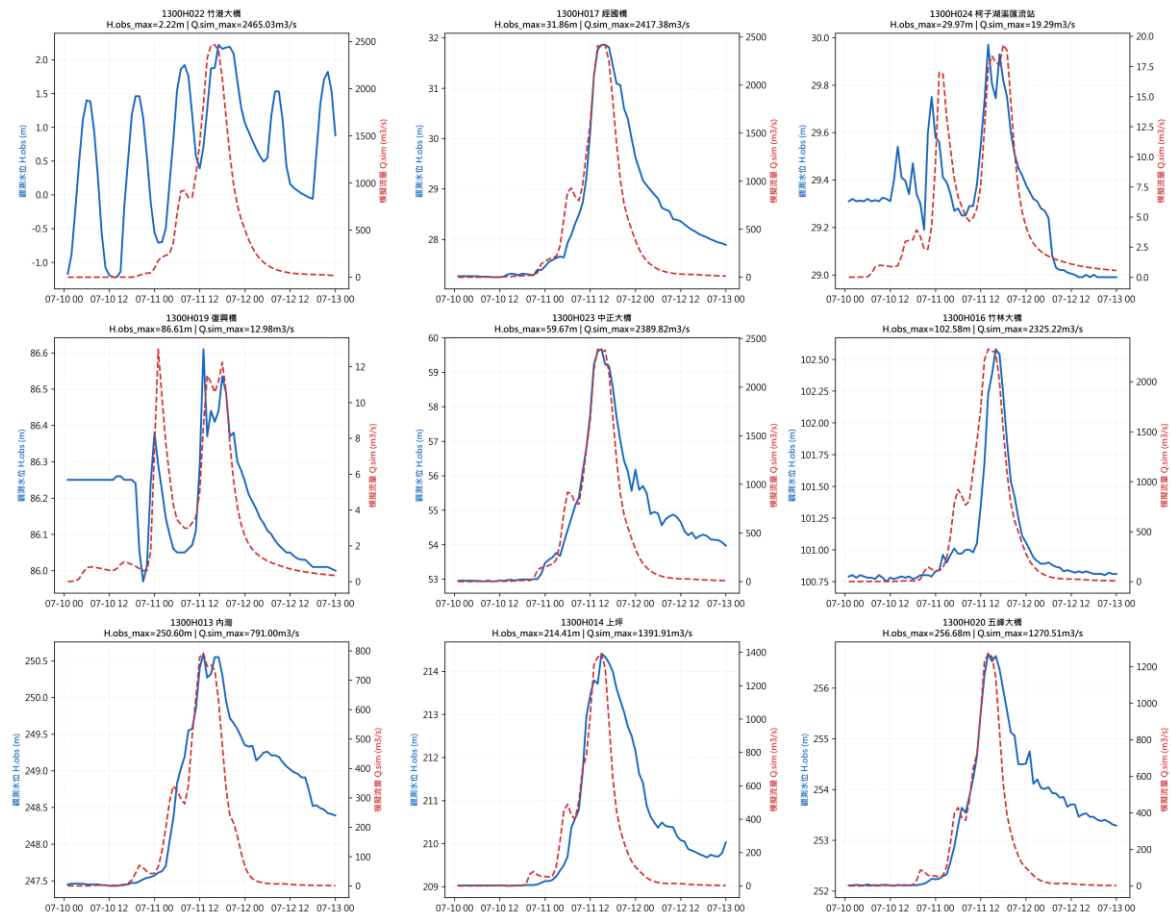
- 相關係數 (R)：中正大橋 R 達 0.899，經國橋與竹林大橋為 0.860，上坪站達 0.820。
- 洪峰到達時間差：多數主流測站（如五峰、上坪、內灣）時間差皆為 0 小時，中正大橋與經國橋控制於 ± 1 小時內。

降雨量與流量

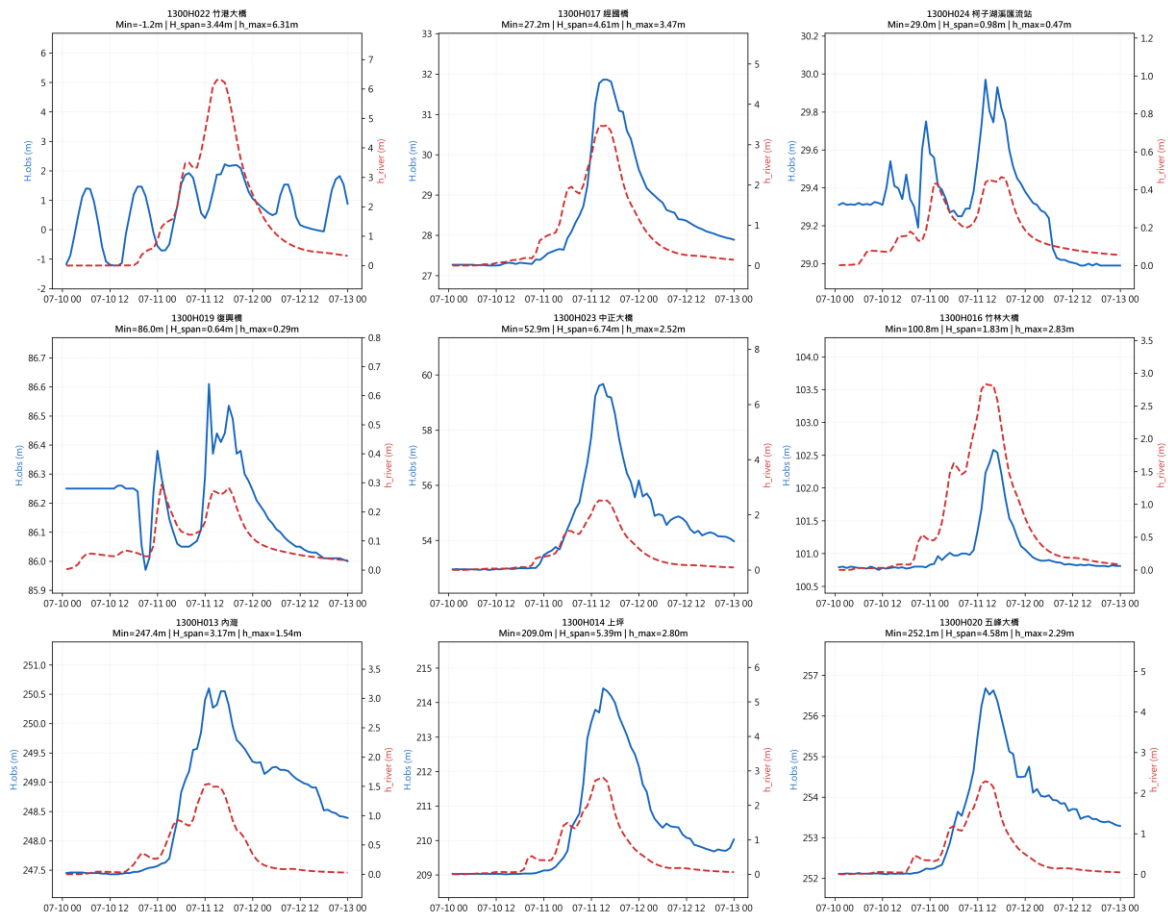


頭前溪

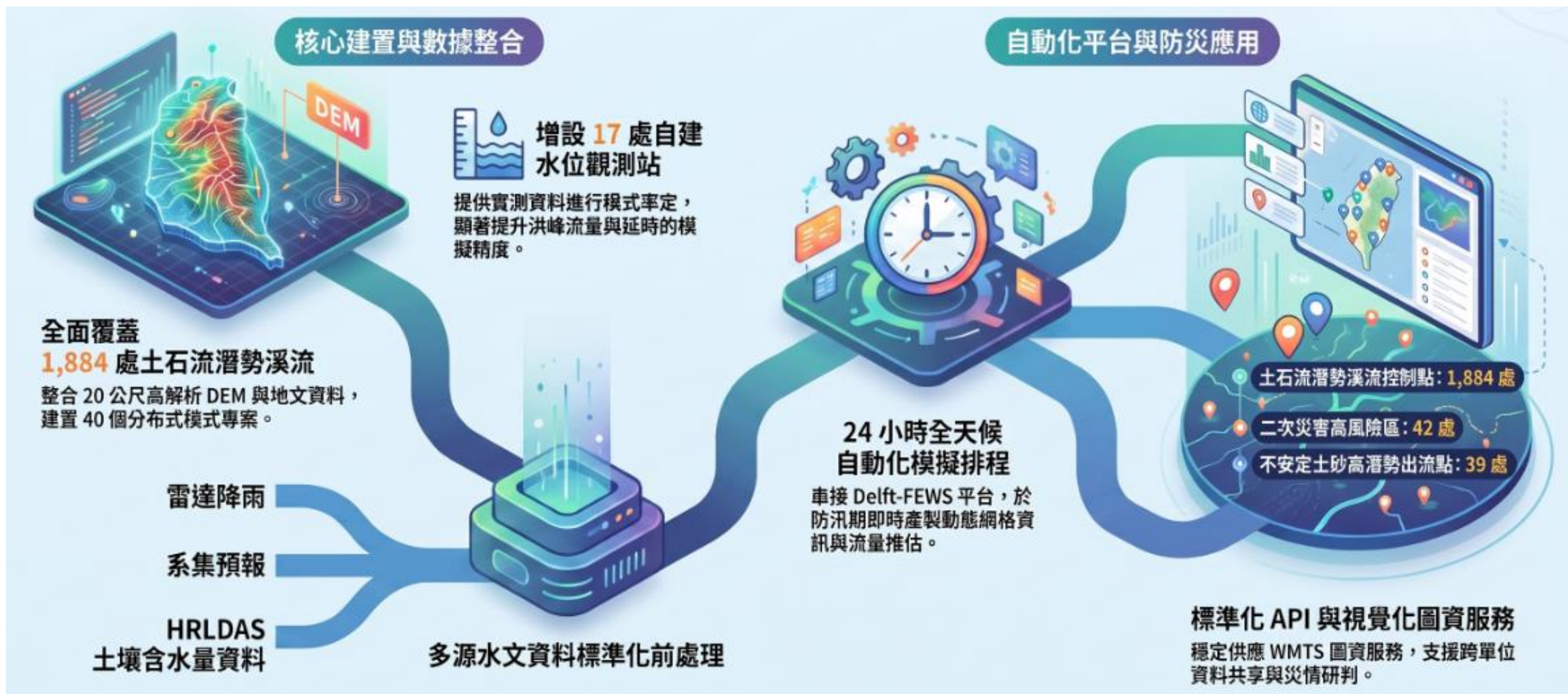
流量與觀測水位

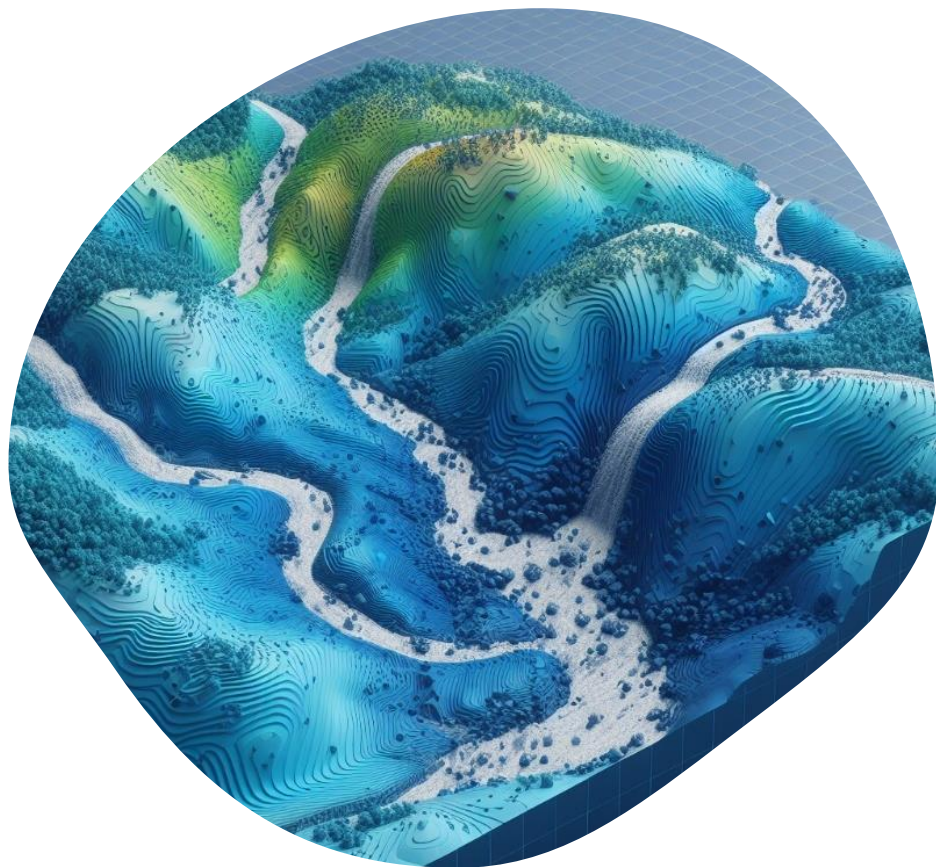


觀測水位與模擬水深



結論與建議





簡報完畢 敬請指教

方圖科技股份有限公司