

台灣各鄉鎮市區歷史淹水損失推估

王鈺

中華民國 114 年 2 月

目錄

第一章 緒論.....	4
一、研究目標與報告框架.....	4
第二章 資料介紹與資料前期處理.....	4
一、資料來源	4
(一) 淹水感測器紀錄資料.....	4
(二) 淹水感測器資料.....	4
(三) 鄉鎮市區界線 Shapefile	5
(四) 各鄉鎮市區面積.....	5
(五) 歐盟聯合研究中心全球淹水深度損失函數研究成果 (2017)	5
(六) 歐盟區消費者物價指數與新台幣匯率	6
二、資料前期處理流程與資料綱要.....	6
(一) 讀取與過濾淹水感測器紀錄資料.....	6
(二) 讀取與過濾淹水感測器資料.....	7
(三) 合併淹水感測紀錄資料與淹水感測器資料	7
(四) 讀取 Shapefile 檔並將其合併至感測器紀錄檔	8
(五) 資料綱要.....	9
第三章 淹水事件判定與淹水損失計算.....	10
一、淹水事件判定	10
(一) 淹水深度上限、淹水深度門檻與時間間隔	10
(二) 淹水事件判定方法與各鄉鎮市區歷史淹水紀錄資料	10
二、淹水損失計算	17
(一) 淹水損失計算方式.....	17
(二) 各鄉鎮市區淹水損失.....	19
第四章 資料視覺化	21
第五章 研究限制與建議方向	22
一、研究限制	22
(一) 淹水感測站資料	22
(二) 淹水感測站紀錄資料.....	23
(三) 淹水事件定義	23
(四) 淹水損失計算	24

二、建議方向	25
（一）更完善、多元的淹水資料來源.....	25
（二）更細緻地處理村里等級資料.....	25
（三）更明確的淹水事件判定標準.....	25
（四）分層分區的損失計算.....	26

第一章 緒論

一、研究目標與報告框架

本報告採用民生公共物聯網的淹水感測器資料，結合歐盟聯合研究中心所提出的全球淹水深度損失函數試圖推估台灣從西元 2019 年到 2023 年的淹水紀錄。本報告的書寫架構是根據資料分析的流程，分為資料介紹、資料清理、資料分析、資料視覺化四階段分項討論，並在報告最後提出本方法的研究限制與未來改善方向。

第二章 資料介紹與資料前期處理

一、資料來源

以下的段落將針對各資料或數據的簡介、用途、顆粒度與來源進行說明。

（一）淹水感測器紀錄資料

- 資料簡介：本資料集下載自民生公共物聯網，包含其中的「水利署__淹水感測器」與「水利署（與縣市政府合建）__淹水感測器」兩個資料夾中依照時間整理的每一筆觀測紀錄。
- 資料用途：在本分析中作為事實表（**Fact Table**）的骨幹，作為核心並連結其他的資料集。
- 資料顆粒度：一行資料是「一部淹水感測器在一個時間點的觀測紀錄」。
- 資料來源：[點擊超連結](#)

（二）淹水感測器資料

- 資料簡介：本資料集下載自民生公共物聯網，包含其中的「水利署__淹水感測器」與「水利署（與縣市政府合建）__淹水感測器」兩個資料夾中所對應的感測器資料（**station_水利署_淹水感測器.csv**、**station_水利署（與縣市政府合建）_淹水感測器.csv**）。
- 資料用途：包含淹水感測器的座標地理位置，提供視覺化時以地圖呈現的基礎，並且在後續的 **aggregation** 中
- 資料顆粒度：一行資料是「一部淹水感測器的資料」。

- 資料來源：[點擊超連結](#)

（三）鄉鎮市區界線 Shapefile

- 資料簡介：本資料集下載自內政部國土測繪中心—國土測繪圖資服務雲網站。本分析中所採用的 Shapefile 為「[政府開放資料]最新村里界圖(TWD97 經緯度 EPSG:3824)(SHP 檔)」。
- 資料用途：透過 Shapefile 可以將經緯度座標與具體行政區連結，確定每一筆觀測紀錄在哪一個行政區之中。
- 資料顆粒度：一行資料是「一個村里級行政區的地理資料」。
- 資料來源：[點擊超連結](#)

（四）各鄉鎮市區面積

- 資料簡介：本資料下載自內政部戶政司全球資訊網，並採用民國 112 年的各鄉鎮市區面積。
- 資料用途：由於本分析最後需要呈現鄉鎮市區層級的淹水資訊，若使用村里層級的座標計算面積會產生誤差，並且由於地方自治結構，目前網路上沒有公開的全台各村里面積資料。故，在最後統計鄉鎮市區層級的淹水損失時，面積計算會以內政部的各鄉鎮市區面積資料（本資料）為主。
- 資料顆粒度：一行資料是「一個鄉鎮市區的面積」。
- 資料來源：[點擊超連結](#)

（五）歐盟聯合研究中心全球淹水深度損失函數研究成果（2017）

- 資料簡介：本資料下載自競賽主題說明文件的連結，包含一份說明研究方式與各項係數定義的 pdf 文件（global_flood_depth_damage_functions__10042017.pdf）以及一份整理各項係數的 excel 文件（copy_of_global_flood_depth-damage_functions__30102017.xlsx）。
- 資料用途：本資料中提供基於不同建物類型、國家類型的傷害函數與淹水損失計算方式。本分析中的損失計算是基於這個研究的研究結果。
- 資料顆粒度：無。
- 資料來源：[點擊超連結](#)

（六）歐盟區消費者物價指數與新台幣匯率

- 資料簡介：本數據包含 2010 年歐元區的消費者物價指數、2025 年的消費者物價指數、以及當下的新台幣匯率作為換算基礎。
- 資料用途：由於歐盟聯合研究中心研究中計算淹水損失的幣值是基於 2010 年的歐元價值，若要將其換算至 2025 的新台幣價值則需要這三筆資料方能進行換算。
- 資料顆粒度：無
- 資料來源：新台幣匯率是以 Google 查詢 2025 年 2 月 11 日的匯率；歐元區的消費者物價指數是來自[本連結](#)。

二、資料前期處理流程與資料綱要

以下的段落將依照程式碼中的處理順序針對各資料的前期處理方式進行說明。每個資料括號後的英文名稱是在程式碼中使用的 `Pandas DataFrame` 名稱，可以將其搭配原始碼作為參考。

（一）讀取與過濾淹水感測器紀錄資料

在讀取淹水紀錄（`records`）時，由於資料數量龐大，在讀取資料時即進行資料過濾。資料過濾的原則為：

原則一：淹水感測器的觀測對象是淹水深度，且觀測單位為公分

原則二：淹水感測器的觀測值（淹水公分）大於零

會依照這兩項原則進行分析的原因是本資料集中的淹水觀測器有不同的觀測對象與相對應的單位，例如通訊訊號強度（`dBm`）、充電電壓（`V`），若將這些少數採用不同單位的淹水感測器納入分析，可能會造成分析上的不一致。因此，本分析中不考慮無法直接作為淹水深度損失函數的自變數的觀測對象，故僅包含觀測單位為淹水深度（公分）的淹水紀錄。另外，由於絕大部分的淹水紀錄皆是沒有淹水時所紀錄的觀測結果，若讀取全部的資料，會大幅增加後續分析的運算成本。考慮到本研究聚焦在淹水所造成的損失，故，觀測值沒有大於零的觀測紀錄也在本階段中過濾，不納入後續分析。感測紀錄資料中的許多欄位在本分析中並不會提供額外分析價值，故，在讀取進入 `DataFrame` 時也並沒有包含這些欄位。

下圖是本資料在讀取、過濾並去除重複值後呼叫 `.head()` 的最後輸出結果，共有 9,984,079 筆：

	station_id	timestamp	value
0	38505796-1525-4c8b-9d5c-27fea47db00f	2022-07-21 00:00:31.039	0.019717
1	38505796-1525-4c8b-9d5c-27fea47db00f	2022-07-21 00:09:31.974	0.020480
2	38505796-1525-4c8b-9d5c-27fea47db00f	2022-07-21 00:11:01.615	0.020215
3	38505796-1525-4c8b-9d5c-27fea47db00f	2022-07-21 00:19:31.676	0.019876
4	38505796-1525-4c8b-9d5c-27fea47db00f	2022-07-21 00:21:01.238	0.018207

圖一、`records.head()` 的輸出結果，`value` 為觀測值

（二）讀取與過濾淹水感測器資料

在讀取淹水紀錄後，接下來讀取淹水感測器（`sensors`）的紀錄。同樣地，因為本研究不考慮不是觀測淹水深度的淹水感測器，在讀取淹水感測器紀錄後過濾了觀測單位並非公分的淹水感測器。另外，淹水感測器包含了多項在本研究中不會使用到的欄位，在讀取後也將其移除。最後，有 18 筆位於不同地點的觀測站的經度、緯度皆分別為 120 度、23 度，在人工判斷後認定為異常值，這些感測器的紀錄也在讀取後將其移除。下圖是本資料在讀取、過濾並去除重複值後呼叫 `.head()` 的最後輸出結果，共有 1,965 筆：

	station_id	Longitude	Latitude	SIUnit
0	648c0721-9ae3-4a3b-9007-31dd06a5f293	120.241250	23.450130	cm
1	b320d298-d3aa-4954-874a-79696f550efa	120.188995	23.428696	cm
2	c7c0c173-be6c-4fd2-b743-921d987e7330	120.392550	23.483112	cm
3	bc5af470-def9-4712-95da-8cc29c35fd60	120.160995	23.508854	cm
4	54c2b021-edc6-418f-bff5-ec96067b24e6	120.433920	23.441912	cm

圖二、`sensors.head()` 的輸出結果

（三）合併淹水感測紀錄資料與淹水感測器資料

在兩個資料皆讀取、處理完畢後，便以 `records` 作為合併的主體與 `sensors` 在 `station_id` 上進行 `inner join`。在此使用 `inner join` 的原因是由於後續的分析需要經緯度（來自於 `sensors`）與觀測值（來自於 `records`），缺乏任何一項資料皆會無法進行後續分析。故，使用 `inner join` 可以確保合併後的資料（`df`）中

不會有任何 N/A 值。下圖是使用 inner join 合併後的資料，共有 7,033,458 筆：

	station_id	timestamp	value	Longitude	Latitude	SIUnit
559	d83ac636-3d28-43fe-96a9-5c33dde8aebe	2022-07-21 00:08:57.2	0.001	120.691	23.9032	cm
560	d83ac636-3d28-43fe-96a9-5c33dde8aebe	2022-07-21 00:18:57.382	0.001	120.691	23.9032	cm
561	d83ac636-3d28-43fe-96a9-5c33dde8aebe	2022-07-21 00:28:58.358	0.001	120.691	23.9032	cm
562	d83ac636-3d28-43fe-96a9-5c33dde8aebe	2022-07-21 00:38:58.793	0.001	120.691	23.9032	cm
563	d83ac636-3d28-43fe-96a9-5c33dde8aebe	2022-07-21 00:48:59.713	0.001	120.691	23.9032	cm

圖三、df.head() 的輸出結果

(四) 讀取 Shapefile 檔並將其合併至感測器紀錄檔

在合併紀錄資料與感測器座標後，接下來需要將各鄉鎮市區的資料併入感測器紀錄檔 (df)。具體的合併步驟如下：

步驟一：讀取個村各里的 Shapefile (counties)

步驟二：將村里級的邊界 (POLYGON) 合併為鄉鎮市區級的邊界 (POLYGON)，並以縣市名加上鄉鎮市區名建立新欄位 district 代表行政區，建立新物件 (towns)

步驟三：將感測器紀錄檔 (df) 的經緯度轉換為可以使用 GeoPandas 進行運算的物件，並建立新的 GeoDataFrame (df_geo)

步驟四：將 df_geo 與 towns 進行 spatial join，得到具有村里級地理資訊的洪水紀錄物件 (flood_with_location)

步驟五：將 flood_with_location 中的縣市、鄉鎮市區、村里、行政區 (district) 的資訊併回原始檔案 (df)

步驟六：將 towns 中的各行政區的 POLYGON 併回原始檔案 (df)，取代原先從經緯度轉換而成的點座標

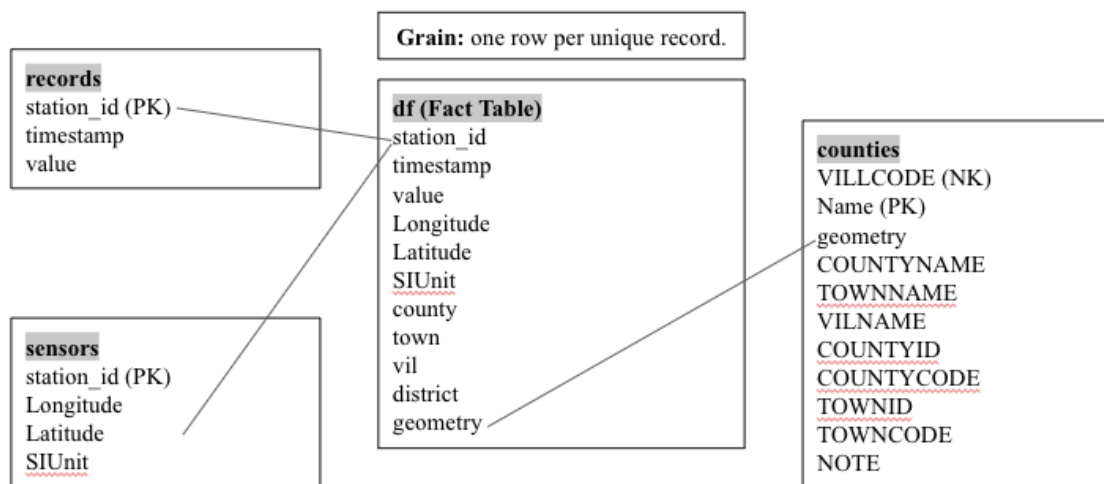
在完成以上步驟後，會得到一個紀錄地理位置資訊的 DataFrame (df) 如下：

	station_id	timestamp	value	Longitude	Latitude	SIUnit	county	town	vil	district	geometry
0	d83ac636-3d28-43fe-96a9-5c33dde8aebe	2022-07-21 00:08:57.2	0.001	120.691	23.9032	cm	南投縣	南投市	軍功里	南投縣南投市	POLYGON ((120.70056 23.887, 120.70054 23.88697...
1	d83ac636-3d28-43fe-96a9-5c33dde8aebe	2022-07-21 00:18:57.382	0.001	120.691	23.9032	cm	南投縣	南投市	軍功里	南投縣南投市	POLYGON ((120.70056 23.887, 120.70054 23.88697...
2	d83ac636-3d28-43fe-96a9-5c33dde8aebe	2022-07-21 00:28:58.358	0.001	120.691	23.9032	cm	南投縣	南投市	軍功里	南投縣南投市	POLYGON ((120.70056 23.887, 120.70054 23.88697...
3	d83ac636-3d28-43fe-96a9-5c33dde8aebe	2022-07-21 00:38:58.793	0.001	120.691	23.9032	cm	南投縣	南投市	軍功里	南投縣南投市	POLYGON ((120.70056 23.887, 120.70054 23.88697...
4	d83ac636-3d28-43fe-96a9-5c33dde8aebe	2022-07-21 00:48:59.713	0.001	120.691	23.9032	cm	南投縣	南投市	軍功里	南投縣南投市	POLYGON ((120.70056 23.887, 120.70054 23.88697...

圖四、匯入地理資訊後的 df.head() 輸出結果

(五) 資料綱要

下圖以視覺化的資料綱要 (Schema) 方式呈現資料的關係與欄位：



圖五、Dimensional Data Model

第三章 淹水事件判定與淹水損失計算

一、淹水事件判定

(一) 淹水深度上限、淹水深度門檻與時間間隔

在合併完的資料中，每一行代表一個測站在一個時間點的紀錄，如何判斷及辨認淹水事件是後續計算淹水損失的基礎。在判斷淹水事件前，由於後續的損失計算需要各淹水事件的面積資料，在此先將計算每個行政區（XX 縣市 XX 鄉鎮市區）的面積（'area'）與每個行政區中的村里數（'factor'），作為後續計算基礎，其詳細使用方式會在下一段介紹淹水損失計算時進一步說明。

接著，從清理完的淹水感測器紀錄資料中可以判斷個別「淹水事件」。本分析中的每個獨立的「淹水事件」需要符合以下三項定義：

定義一：平均淹水深度需超過 50 公分 (全國法規資料庫 2024)

定義二：24 小時以內同一測站的淹水紀錄皆視為同一個淹水事件，反之則為獨立的淹水事件

定義三：淹水事件內的最大淹水深度不超過三公尺，超過三公尺者視為數據偵測異常，予以移除

定義一是根據水災災害救助種類及標準第四條中針對淹水救助標準所訂定之；定義二與定義三沒有明確的參考來源，對於本分析的影響也會在最後的研究限制進行更進一步的討論。

值得注意的是，由於後續淹水損失計算是以行政區（XX 縣/市 XX 鄉/鎮/市/區）作為計算標準，在此判定淹水事件時不以村里維度進行分析。但是，在未來的分析中，如果可以掌握精確的村里級別面積資料，則可以在本資料的基礎之上進行更細緻的分析，故，在此分析中仍然保留村里級別的資料。

(二) 淹水事件判定方法與各鄉鎮市區歷史淹水紀錄資料

根據上述定義，本分析以行政區作為最小分析單位，以行政區與紀錄時間作為判斷新的淹水事件的基礎，並在判定淹水事件後紀錄淹水事件的開始時間、結束時

間、最小淹水深度、最大淹水深度與平均淹水深度。以下是具體處理淹水事件的 pseudocode：

```
# Define thresholds
TIME_GAP_THRESHOLD = 24 hours
DEPTH_THRESHOLD = 50
DEPTH_OUTLIER = 300

# Convert timestamp column to datetime format
FOR each row in df:
    Remove milliseconds from 'timestamp'
    Convert 'timestamp' to pandas datetime format

# Sort data by district and timestamp
Sort dataframe by ['district', 'timestamp']

# Identify flood incidents within each district
FOR each district:
    Compute time difference 'time_diff' between consecutive timestamps
    Mark a new incident if 'time_diff' > TIME_GAP_THRESHOLD and create
    a new Boolean variable 'new_incident'

# Assign an incident group number within each district
FOR each district:
    Compute cumulative sum of 'new_incident' to create
    'incident_group'

# Generate unique incident_id for each incident
FOR each (district, incident_group):
    Create a unique incident key using [earliest timestamp + district]
    Convert incident key to a numeric 'incident_id.'

# Aggregate flood data at the incident level
FOR each (district, incident_id):
    Compute:
        - start_time (earliest timestamp)
        - end_time (latest timestamp)
        - min_flood_depth (minimum depth value)
        - max_flood_depth (maximum depth value)
        - avg_flood_depth (average depth value)
        - area, county, town, village, geometry, factor (first
occurrence)

# Filter out incidents that are outliers or below depth threshold
REMOVE incidents where:
    max_flood_depth >= DEPTH_OUTLIER
    OR avg_flood_depth <= DEPTH_THRESHOLD

# Return final processed flood incidents dataset
```

在完成上述的處理後，得到一個新得資料集（`flood_incidents`），其中每一行代表以行政區為單位的一個獨立淹水事件：

	district	incident_id	start_time	end_time	min_flood_depth	max_flood_depth	avg_flood_depth	area	county	town	vil	geometry	factor
267	嘉義市東區	268	2022-10-01 09:00:00	2022-10-01 10:27:48	294.2	295.1	294.900000	30155600	嘉義市	東區	仁義里	POLYGON ((120.45899 23.4542, 120.45889 23.4541...	39
461	嘉義縣六腳鄉	462	2020-03-21 20:09:29	2020-03-21 20:09:29	77.3	77.3	77.300000	62261900	嘉義縣	六腳鄉	古林村	POLYGON ((120.28176 23.49113, 120.28066 23.491...	25
463	嘉義縣六腳鄉	464	2020-04-13 21:26:57	2020-04-13 21:26:57	75.7	75.7	75.700000	62261900	嘉義縣	六腳鄉	古林村	POLYGON ((120.28176 23.49113, 120.28066 23.491...	25
466	嘉義縣六腳鄉	467	2020-05-06 22:38:20	2020-05-06 22:38:20	78.0	78.0	78.000000	62261900	嘉義縣	六腳鄉	古林村	POLYGON ((120.28176 23.49113, 120.28066 23.491...	25
527	嘉義縣六腳鄉	528	2023-08-30 07:40:03	2023-08-30 12:01:43	7.9	287.4	231.400000	62261900	嘉義縣	六腳鄉	古林村	POLYGON ((120.28176 23.49113, 120.28066 23.491...	25

圖六、`flood_incidents.head()` 的輸出結果

下表則是競賽中的第一階段成果—各鄉鎮市區發生的淹水事件：

行政區	開始時間	結束時間	最小深度	最大深度	平均深度
嘉義市東區	2022-10-01 09:00:00	2022-10-01 10:27:48	294.2	295.1	294.9
嘉義縣六腳鄉	2020-03-21 20:09:29	2020-03-21 20:09:29	77.3	77.3	77.3
嘉義縣六腳鄉	2020-04-13 21:26:57	2020-04-13 21:26:57	75.7	75.7	75.7
嘉義縣六腳鄉	2020-05-06 22:38:20	2020-05-06 22:38:20	78.0	78.0	78.0
嘉義縣六腳鄉	2023-08-30 07:40:03	2023-08-30 12:01:43	7.9	287.4	231.4
嘉義縣大林鎮	2021-07-15 16:13:26	2021-07-15 17:52:26	38.6	142.1	101.16
嘉義縣大林鎮	2021-08-02 09:43:08	2021-08-02 12:31:08	4.1	139.5	94.14
嘉義縣布袋鎮	2023-06-10 17:03:03	2023-06-10 19:10:03	273.9	274.3	274.12
嘉義縣布袋鎮	2023-07-02 20:06:03	2023-07-03 17:10:03	4.0	269.0	151.1
嘉義縣東石鄉	2020-04-08 22:34:28	2020-04-09 23:28:44	11.1	75.9	59.52

嘉義縣東石鄉	2020-04-12 07:25:33	2020-04-12 07:25:33	77.0	77.0	77.0
嘉義縣東石鄉	2020-04-14 22:34:09	2020-04-14 22:34:09	75.4	75.4	75.4
嘉義縣東石鄉	2020-04-17 03:37:20	2020-04-18 06:15:49	10.8	99.6	62.37
嘉義縣民雄鄉	2022-09-06 14:21:32	2022-09-06 14:21:32	119.29	119.29	119.29
基隆市七堵區	2022-10-16 05:40:44	2022-10-17 07:17:07	4.5	168.0	92.4
屏東縣佳冬鄉	2021-06-28 00:50:00	2021-06-28 20:50:00	0.8	276.28	69.33
屏東縣佳冬鄉	2023-05-03 15:23:00	2023-05-03 17:59:00	13.2	242.1	167.9
屏東縣新園鄉	2021-06-30 08:20:00	2021-07-01 08:40:00	199.4	205.95	203.03
屏東縣東港鎮	2021-06-30 16:40:00	2021-06-30 17:00:00	205.77	248.75	231.57
新北市五股區	2021-07-24 08:51:05	2021-07-24 23:19:06	4.5	111.0	53.71
新北市汐止區	2021-05-24 15:28:47	2021-05-24 15:35:47	49.3	76.8	63.05
新北市汐止區	2021-06-04 13:39:03	2021-06-04 14:59:04	13.2	168.0	111.77
新北市汐止區	2022-10-16 14:33:39	2022-10-17 00:08:55	4.0	177.2	71.74
新竹市北區	2020-11-11 15:28:23	2020-11-11 15:28:23	147.3	147.3	147.3
新竹市東區	2023-05-18 06:09:48	2023-05-19 09:58:03	4.0	165.1	54.37
新竹市香山區	2023-05-19 03:58:03	2023-05-19 09:35:03	4.1	250.0	73.22
新竹縣竹北市	2023-05-28 12:31:36	2023-05-28 19:33:34	119.9	119.9	119.9
新竹縣竹北市	2023-06-17 19:48:37	2023-06-17 20:49:03	119.9	119.9	119.9

桃園市中壢區	2022-05-23 17:00:00	2022-05-23 17:00:00	48.0	98.0	83.62
桃園市中壢區	2022-06-28 11:15:00	2022-06-28 11:15:00	34.0	100.0	93.0
桃園市八德區	2022-05-23 17:00:00	2022-05-23 17:00:00	93.0	95.0	94.0
桃園市八德區	2022-06-28 11:15:00	2022-06-28 11:15:00	97.0	100.0	98.67
桃園市大園區	2022-05-23 17:00:00	2022-05-23 17:00:00	89.0	89.0	89.0
桃園市大園區	2022-06-28 11:15:00	2022-06-28 11:15:00	99.0	99.0	99.0
桃園市大園區	2023-06-14 20:35:00	2023-06-14 20:35:00	100.0	100.0	100.0
桃園市大溪區	2020-10-01 00:00:00	2020-11-24 10:10:00	98.0	98.0	98.0
桃園市大溪區	2023-06-14 20:35:00	2023-06-14 20:35:00	100.0	100.0	100.0
桃園市平鎮區	2022-05-23 17:00:00	2022-05-23 17:00:00	54.0	93.0	73.33
桃園市新屋區	2022-05-23 17:00:00	2022-05-23 17:00:00	52.0	100.0	85.75
桃園市桃園區	2020-08-27 13:55:00	2020-08-28 16:45:00	1.0	100.0	68.56
桃園市桃園區	2022-05-23 17:00:00	2022-05-23 17:00:00	34.0	100.0	84.87
桃園市桃園區	2022-06-28 11:15:00	2022-06-28 11:15:00	50.0	100.0	88.8
桃園市楊梅區	2022-05-23 17:00:00	2022-05-23 17:00:00	92.0	92.0	92.0
桃園市楊梅區	2022-06-28 11:15:00	2022-06-28 11:15:00	100.0	100.0	100.0
桃園市蘆竹區	2022-05-23 17:00:00	2022-05-23 17:00:00	95.0	100.0	97.5
桃園市蘆竹區	2022-06-28 11:15:00	2022-06-28 11:15:00	100.0	100.0	100.0

桃園市蘆竹區	2023-06-14 20:35:00	2023-06-14 20:35:00	100.0	100.0	100.0
桃園市觀音區	2023-06-14 20:35:00	2023-06-14 20:35:00	100.0	100.0	100.0
桃園市龍潭區	2022-05-23 17:00:00	2022-05-23 17:00:00	89.0	93.0	91.0
桃園市龜山區	2022-05-23 17:00:00	2022-05-23 17:00:00	70.0	98.0	87.57
桃園市龜山區	2022-06-28 11:15:00	2022-06-28 11:15:00	97.0	100.0	99.0
臺中市大里區	2022-11-08 04:31:03	2022-11-08 06:00:03	254.6	257.7	256.26
臺南市仁德區	2019-08-13 02:54:54	2019-08-13 21:35:18	3.0	196.1	50.83
臺南市仁德區	2020-08-25 07:51:26	2020-08-28 10:47:26	3.1	194.7	61.65
臺南市仁德區	2021-07-29 12:39:30	2021-08-02 15:46:13	3.0	206.3	64.33
臺南市後壁區	2023-08-14 19:21:16	2023-08-14 19:21:16	275.5	275.5	275.5
臺南市白河區	2021-08-01 07:06:17	2021-08-03 03:00:17	4.0	160.9	56.15
臺南市白河區	2021-08-06 18:48:17	2021-08-07 14:18:16	4.1	140.2	75.17
臺南市白河區	2023-05-18 07:18:16	2023-05-19 11:32:16	292.8	296.5	294.7
臺南市白河區	2023-09-07 13:26:16	2023-09-12 05:55:03	4.0	216.1	64.91
苗栗縣三義鄉	2021-08-07 07:45:11	2021-08-07 16:14:31	5.9	110.0	77.89
雲林縣二崙鄉	2020-12-03 19:20:20	2020-12-03 19:20:20	68.14	68.14	68.14
雲林縣口湖鄉	2023-07-28 06:31:21	2023-07-28 09:42:02	2.57	83.82	53.08
雲林縣斗南鎮	2019-02-27 02:24:37	2019-03-04 08:04:04	0.1	160.0	108.18

雲林縣臺西鄉	2022-09-06 01:43:07	2022-09-06 02:00:07	283.3	283.4	283.37
雲林縣臺西鄉	2023-07-23 00:29:41	2023-07-23 13:34:03	4.8	64.16	50.11
雲林縣虎尾鎮	2023-06-16 02:49:12	2023-06-16 09:07:31	2.74	96.15	79.58
雲林縣麥寮鄉	2023-11-13 11:28:01	2023-11-13 14:21:22	27.52	145.05	70.6
高雄市前鎮區	2021-06-06 06:57:03	2021-06-06 12:23:05	5.0	123.0	77.02
高雄市小港區	2022-09-27 05:31:03	2022-09-27 20:21:03	2.0	177.0	89.5
高雄市小港區	2023-06-23 01:52:03	2023-06-23 01:52:03	54.0	54.0	54.0
高雄市岡山區	2022-11-05 21:43:04	2022-11-07 10:33:05	1.0	103.0	62.62
高雄市左營區	2021-06-10 10:07:07	2021-06-10 10:07:07	51.0	51.0	51.0
高雄市彌陀區	2022-01-08 09:03:03	2022-01-08 11:03:03	45.0	75.0	62.67
高雄市林園區	2021-02-12 15:25:03	2021-02-12 19:45:03	69.0	87.0	80.39
高雄市楠梓區	2022-05-27 08:52:04	2022-05-27 16:14:05	29.0	127.0	77.14
高雄市楠梓區	2022-06-14 22:24:04	2022-06-14 22:24:04	112.0	112.0	112.0
高雄市楠梓區	2023-07-10 03:54:02	2023-07-10 12:14:05	121.0	143.0	129.77
高雄市美濃區	2020-09-09 02:55:02	2020-09-09 13:21:51	143.0	156.0	147.34
高雄市美濃區	2023-02-17 20:28:04	2023-02-17 23:48:04	159.0	163.0	161.0
高雄市路竹區	2021-03-12 14:25:02	2021-03-12 17:56:04	9.0	199.0	94.22
高雄市路竹區	2021-05-05 16:06:31	2021-05-05 16:18:04	198.0	200.0	199.0

高雄市鳥松區	2021-01-28 00:06:05	2021-01-28 10:46:05	68.0	96.0	81.95
高雄市鼓山區	2021-03-25 13:21:02	2021-03-25 15:01:03	180.0	191.0	185.27

表一、各鄉鎮市區淹水事件（四捨五入到小數點第二位）

二、淹水損失計算

（一）淹水損失計算方式

本研究計算淹水損失是依照歐盟聯合研究中心全球淹水深度損失函數研究成果（2017）中所提出的計算方法。在本方法中，每單位（平方公尺）的淹水損失為：

$$UnitEstimatedDamage = D(m) \times MaxDamage$$

其中 D 是一個以淹水深度為輸入的函數，在研究成果中有提供該函數的九個資料點，若淹水深度並沒有落在資料點上，計算時使用 `numpy` 的內差套件進行計算：

$$D(m) \in [0,1]$$

$MaxDamage$ 是一個依照國家與土地使用類別改變的係數，在本分析中由於採用土地作為計算基準而並非建築體，故係數採用 `copy_of_global_flood_depth-damage_functions__30102017.xlsx` 檔案中 High Income / Commercial / Land-use based 的 309。

若要計算每個淹水事件中行政區 d 的總淹水損失，需要將淹水事件的每單位平均損失乘上行政區總面積 $area_d$ 方能得之。但是，由於行政區幅員遼闊，若將每個淹水事件都視為整個行政區的淹水事件將不符合現實情狀。此外，由於無法取得各行政區中的土地使用分區比例，無法使用不同土地使用分區的 $MaxDamage$ 進行加權計算。最後，由於每個淹水紀錄所對應的感測器僅為一個座標點，無法得知每個淹水事件的實際影響範圍。故，在進行行政區的傷害計算時，本研究作出以下四項簡化假設：

假設一：每一筆淹水事件皆反映感測站所屬村里的淹水事件

假設二：每一筆淹水事件的水深為範圍擴及全村里的均一分佈，且全部村里內部皆為均質

假設三：村里面積可以使用行政區的面積除以行政區中的村里數量估算

假設四：行政區內的淹水損失全部為服務業（Commercial）損失

根據以上假設並綜合歐盟聯合研究中心全球淹水深度損失函數研究成果（2017）的計算方式，某一筆淹水紀錄中，面積為 $area_v$ 的村里 v 在某次淹水深度為 m_i 的淹水事件 i 中的損失為：

$$Damage_{v,i} = D(m_i) \times 309 \times area_v$$

其中：

$$area_v = \frac{area_d}{n_d}$$

n_d 為每個行政區 d 中的村里數量。故，給定所有屬於行政區 d 中的村里集合 V 以及所有發生在 d 中的淹水事件集合 I ，行政區 d 中的總淹水損失金額為：

$$Damage_d = \sum_{v \in V} \sum_{i \in I} D(m_i) \times 309 \times area_v$$

最後，由於歐盟聯合研究中心全球淹水深度損失函數研究成果（2017）的損失單位是採用 2010 年的歐元，本研究透過以下方式轉換為 2010 年的新台幣價值：

$$Damage_{NTD,2025} = Damage_{\text{€},2010} \times \frac{EUCPI_{2025}}{EUCPI_{2010}} \times E_{\text{€},NTD}$$

其中 $EUCPI_{2010}$ 與 $EUCPI_{2025}$ 分別代表歐元區在 2010 與 2025 年的消費者物價指數， $E_{\text{€},NTD}$ 代表報告撰寫時歐元兌台幣的匯率（34.01）。

（二）各鄉鎮市區淹水損失

根據上述的定義計算完單位後，我們可以得到第二階段成果—各鄉鎮市區淹水損失金額：

行政區	推估損失	發生年份（開始時間）
嘉義市東區	9826027042.45	2022
嘉義縣六腳鄉	16926091669.79	2020
嘉義縣六腳鄉	16740663756.94	2020
嘉義縣六腳鄉	17007216381.66	2020
嘉義縣六腳鄉	28889089359.71	2023
嘉義縣大林鎮	24117665576.9	2021
嘉義縣大林鎮	23160785078.65	2021
嘉義縣布袋鎮	33133885239.41	2023
嘉義縣布袋鎮	25845468733.6	2023
嘉義縣東石鄉	21172972526.69	2020
嘉義縣東石鄉	24057382543.49	2020
嘉義縣東石鄉	23793287778.0	2020
嘉義縣東石鄉	21642015834.15	2020
嘉義縣民雄鄉	26033133918.42	2022
基隆市七堵區	21096669344.6	2022
屏東縣佳冬鄉	16591019357.97	2021
屏東縣佳冬鄉	26125884905.8	2023
屏東縣新園鄉	28362293845.34	2021
屏東縣東港鎮	15539157188.9	2021
新北市五股區	9933808301.93	2021
新北市汐止區	8738040224.87	2021
新北市汐止區	11773002771.36	2021
新北市汐止區	9314117107.03	2022
新竹市北區	3321289707.99	2020
新竹市東區	3629777305.31	2023
新竹市香山區	15098774767.32	2023
新竹縣竹北市	12912885496.86	2023
新竹縣竹北市	12912885496.86	2023
桃園市中壢區	6165407815.53	2022
桃園市中壢區	6544995389.46	2022

桃園市八德區	5006065312.63	2022
桃園市八德區	5149608404.03	2022
桃園市大園區	32076450317.95	2022
桃園市大園區	34109822762.82	2022
桃園市大園區	34313160007.31	2023
桃園市大溪區	29131873048.76	2020
桃園市大溪區	29481280821.45	2023
桃園市平鎮區	6863735693.67	2022
桃園市新屋區	26575237028.02	2022
桃園市桃園區	2711980139.82	2020
桃園市桃園區	3034127998.01	2022
桃園市桃園區	3111816422.39	2022
桃園市楊梅區	16260324224.18	2022
桃園市楊梅區	17069547202.68	2022
桃園市蘆竹區	14977217799.14	2022
桃園市蘆竹區	15202439119.43	2022
桃園市蘆竹區	15202439119.43	2023
桃園市觀音區	28786755505.86	2023
桃園市龍潭區	17477462740.2	2022
桃園市龜山區	16371201379.77	2022
桃園市龜山區	17568090674.16	2022
臺中市大里區	12869585228.86	2022
臺南市仁德區	17656374316.29	2019
臺南市仁德區	19253796443.03	2020
臺南市仁德區	19648826597.3	2021
臺南市後壁區	63807392870.03	2023
臺南市白河區	34985574951.31	2021
臺南市白河區	40311761657.6	2021
臺南市白河區	76471179879.17	2023
臺南市白河區	37438009721.32	2023
苗栗縣三義鄉	67595280795.37	2021
雲林縣二崙鄉	21079235321.59	2020
雲林縣口湖鄉	21722524887.14	2023
雲林縣斗南鎮	16327125010.47	2019

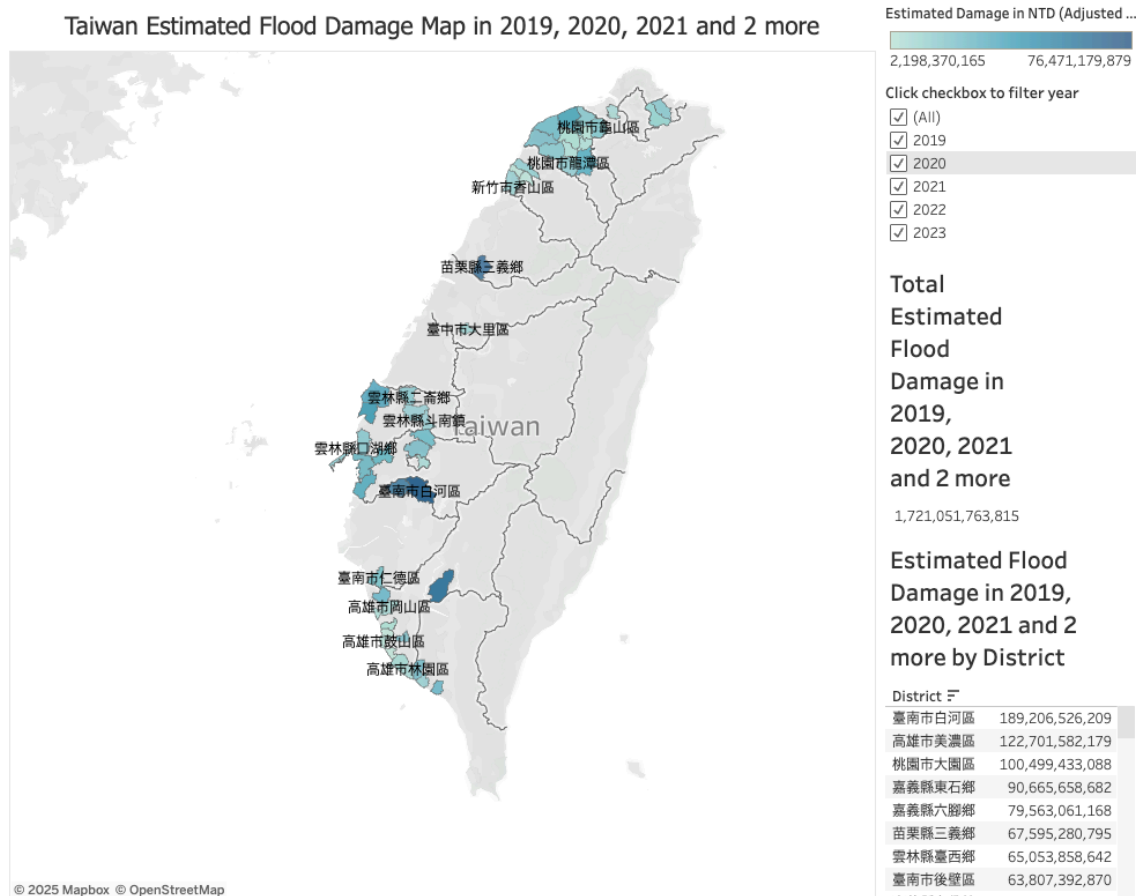
雲林縣臺西鄉	45106155976.17	2022
雲林縣臺西鄉	19947702666.07	2023
雲林縣虎尾鎮	16361064806.19	2023
雲林縣麥寮鄉	39986981884.83	2023
高雄市前鎮區	2198370164.98	2021
高雄市小港區	8806352392.35	2022
高雄市小港區	6830835741.93	2023
高雄市岡山區	8881121240.35	2022
高雄市左營區	2769421074.78	2021
高雄市彌陀區	7530678704.98	2022
高雄市林園區	9336276477.83	2021
高雄市楠梓區	4739026351.35	2022
高雄市楠梓區	5773839449.37	2022
高雄市楠梓區	6206775898.94	2023
高雄市美濃區	60047531071.86	2020
高雄市美濃區	62654051106.78	2023
高雄市路竹區	18365969931.18	2021
高雄市路竹區	26694359738.9	2021
高雄市鳥松區	24637989997.39	2021
高雄市鼓山區	4124261270.82	2021

表二、各鄉鎮市區淹水損失與相對應年份（四捨五入到小數點第二位）

第四章 資料視覺化

依照上述的淹水損失計算結果，本分析在此使用 Tableau 針對此結果進行視覺化。由於使用 Tableau 視覺化可以以動態 Dashboard 的型態呈現，以下的截圖僅為每年份的靜態結果，動態的 Dashboard 可以至[這個網站](#)進行更多操作，包

含地圖的放大、縮小，以及過濾不同年份的檔案。



圖七、各鄉鎮市區淹水損失視覺化的靜態截圖

第五章 研究限制與建議方向

一、研究限制

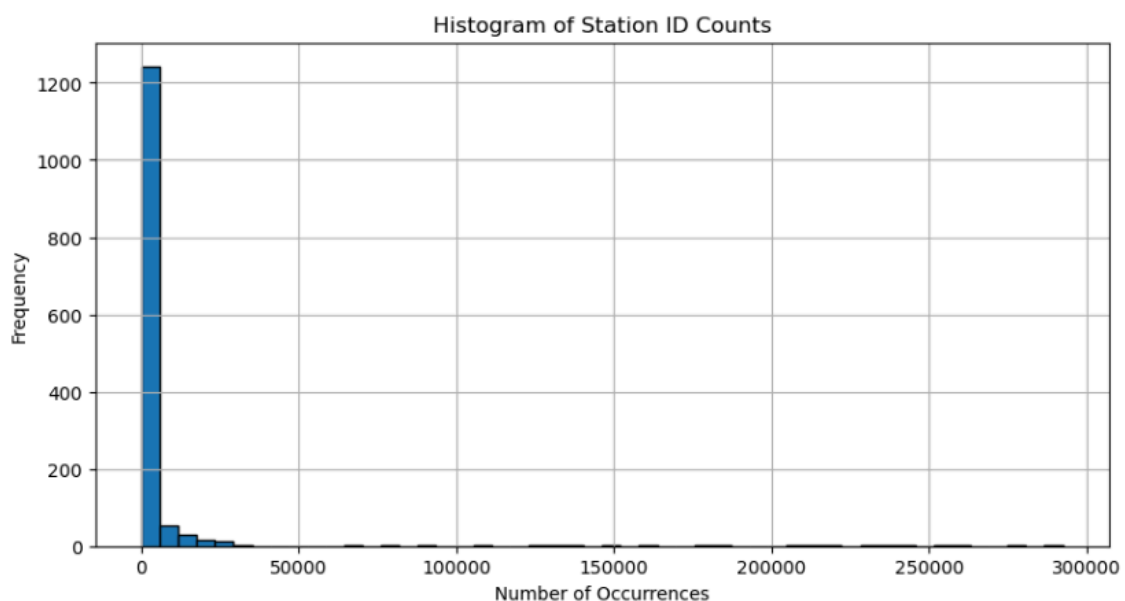
(一) 淹水感測站資料

根據經濟部水利署在 2024 年的新聞稿指出，全台淹水感測器共有 2,072 支 (經濟部水利署 2024)。然而，在本分析中去除非以公分為單位的淹水感測器與異常值後僅剩下 1,965 個測站。雖然與水利署的官方數據相差不大（官方測站數的 94.8%），但對於整體分析仍然會造成影響。再者，根據經濟部水利署與各縣市水利處的資訊指出，目前淹水感測器的裝設地點與實際淹水地區仍有落差，例如根據審計部的報告與媒體報導指出，有淹水紀錄通報但沒有淹水感測器的村里共有 2,198 個。此外，淹水感測器的資料的範圍也並未擴及全台各縣市村里，例如台北市僅有三處低窪地區有裝設淹水感測器 (世界新聞網 2024)。本方法在使用

淹水感測器資料推估年度淹水損失的隱含假設是淹水感測器遍佈全台各村里，但是根據媒體報導指出，本方法無法將某些實際有發生淹水事件但沒有淹水感測站的行政區納入分析。

（二）淹水感測站紀錄資料

淹水感測器紀錄資料中同樣地也無法對應至全部的淹水感測器。若將過濾後的 records 檔以及與 sensors 檔 inner join 後的資料數量差異進行比較，可以發現有 3,391,121 筆淹水感測站紀錄資料並沒有相對應的淹水感測器站資料。這些沒有相對應感測站資料的淹水紀錄雖然都有紀錄到不為零的淹水高度，但是因為缺乏相對應的測站資料，所以無法將其納入後續需要地理資料的分析。另外，也可以發現 inner join 後的資料中個測站的資料數量分佈極為不均，絕大部分的測站的資料極少，也代表有觀測到淹水（不為零的淹水高度）的測站集中在少數的測站中。



圖八、測站出現頻率與相對應頻率的測站數量直方圖

（三）淹水事件定義

本分析中對於淹水事件的定義同樣地也會對於分析結果產生限制。首先，淹水深度 50 公分的閾值是參考法令對於申請補償的相關規定，並不同於淹水事件所造成的實際損失。例如，若在某地區 30 公分的淹水可能就會造成財產損失，則這些淹水事件所造成的損失即不會被列入本分析中。再者，針對淹水事件間隔 24 小時與最高淹水深度不超過為 300 公分的條件目前也並無具體的參考數

據作為基準。例如，若在一天之內發生兩場獨立的強降水，根據本分析對於淹水事件的定義，則這兩場淹水事件會被歸類為同一個淹水事件。由於本分析的核心是判定即計算淹水事件所造成的損失，若對於淹水事件的定義進行調整，勢必會得到截然不同的結果，這亦是本分析的主要不足之處。

（四）淹水損失計算

本分析針對淹水損失的計算是基於多項不符合現實的簡化假設，同樣地也會對於計算淹水損失的結果造成影響。以下將針對各項假設的限制進行進一步的討論：

假設一：每一筆淹水事件皆反映感測站所屬村里的淹水事件

假設二：每一筆淹水事件的水深為範圍擴及全村里的均一分佈，且村里內部皆為均質

根據假設一與假設二，每一筆淹水事件皆代表整個村里發生均質的淹水事件，且村里內的各地理與人文條件也是均質的，這樣的假設與現實中的地理條件與淹水事件不符。例如，若是某些幅員較大的村里，在村里之中可能就會有地形上的差異，進而造成淹水的不均一分配，進而影響淹水損失的計算結果。

假設三：村里面積可以使用行政區的面積除以行政區中的村里數量估算

根據假設三，每個村里在每個行政區中的面積皆為均等。但是根據台灣省村里鄰組織及村里鄰長訓練實施方案，村里之編組原則並沒有考慮到土地面積(植根法律網 2025)。故，若假設各村里擁有相等的面積亦不符合現實編組村里的考慮要件，僅能作為估計面積使用。

假設四：行政區內的淹水損失全部為服務業（Commercial）損失

根據假設四，全台所有行政區的所有土地皆是作為服務業用地使用，這也與現實條件不符。例如，在以農業為主的行政區中，服務業的佔比相對較低，若用服務業的 MAX_DAMAGE 係數進行計算則會大幅高估淹水損失。這項假設也應該是本分析整體而言淹水損失金額高估的主因。

二、建議方向

（一）更完善、多元的淹水資料來源

承上，目前所使用的淹水感測器資料仍然受限於民生公共物聯網的官方資料，並且僅納入其中特定的淹水感測器種類分析。在未來的分析中，可以納入其他種類的淹水感測器資料，甚至納入非淹水感測器但能作為淹水深度推估的儀器（例如媒體報導中水利處提出的雨水下水道水位計），可以在未來的分析中對於淹水事件有更明確的掌握。例如，針對頻繁發生淹水但並未安裝淹水感測器的村里而言，可以使用雨量紀錄等其他資料來源作為淹水深度的代理變數，方能確實地掌握這些村里中的淹水狀況與其造成的損失。

（二）更細緻地處理村里等級資料

本分析目前使用的方法是將各村里視為假設為均質個體，而這樣的假設可能會對於各村里實際的淹水損失出現誤判。在未來的分析中，若可以針對各村里的人口、地形、產業等特質有更完整的、系統性的掌握，在淹水事件判定與損失計算時有更精準的推估。例如，若緊鄰兩村里在同一時間發生了淹水事件，與距離遙遠的兩村里在同一時間發生了淹水事件，這兩種狀況在淹水紀錄上的判定可能就不會相同。另外，若對於各村里的產業分布與土地使用比例有更清楚地掌握，計算上也能依據土地使用分區進行加權計算，而並非如本分析將其視為均一的商業用地（服務業）。

（三）更明確的淹水事件判定標準

本分析目前採用的淹水事件判定標準僅參考《水災災害救助種類及標準》，而針對淹水時間間隔、淹水深度上下限等變數並沒有系統性的資料參考。在未來的分析中，若針對淹水事件的更多其他維度的變數提出科學的標準，可以增加本分析的類推適用性與再製性。例如，若可以將淹水感測器資料與雨量、河川等其他維度的資料一同分析，並對於淹水間隔、淹水時間下線、深度上限等變數有更精確的定義，可以對於淹水事件有更精確的判定標準。

（四）分層分區的損失計算

目前在計算淹水損失時，全台各地的 MAX_DAMAGE 係數皆採用同一數值。在未來的分析中，可以針對該數值進行更細緻的分析，以及在整體計算公式之上增加調整係數以反映其他影響淹水損失的變數。例如，在原始論文中作者提出對於房屋建材作為變數，同樣地，如上所述，若可以概念化、操作化並納入實際土地使用分區、排水系統分佈率與品質、淹水時間、各村里地勢等其他變數，在計算是可以更細緻地考慮到各區差異，並更精確地掌握淹水損失。

參考書目

全國法規資料庫. 2024. “水災災害救助種類及標準.” 存取日期: 2025 年 02 月.

<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=J0110032>.

經濟部水利署. 2024. “全台淹水感測器妥善率達 96.6% 在凱米颱風發揮功能.”

經濟部. 7 月 31 日. 存取日期: 2025 年 2 月.

https://www.moea.gov.tw/mns/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=115542#:~:text=%E5%85%A8%E5%8F%B0%E6%B7%B9%E6%B0%B4%E6%84%9F%E6%B8%AC%E5%99%A82%2C072%E6%94%AF%E6%95%B4%E9%AB%94,%E9%81%BF%E9%9B%A3%E8%A9%95%E4%BC%B0%E7%9A%84%E9%87%8D%E8%A6%81%.

世界新聞網. 2024. “全台淹水感測器近 7 成無效 逾 2000 淹過水村里未安裝.” 世

界新聞網. 07 月 31 日. 存取日期: 2025 年 02 月.

<https://www.worldjournal.com/wj/story/121221/8130705>.

植根法律網. 2025. “植根法律網.” 臺灣省村里鄰組織及村里鄰長訓練實施方案.

01 月 16 日. 存取日期: 2025 年 02 月.

<https://www.rootlaw.com.tw/LawArticle.aspx?LawID=B240030011000300-0850116>.

Huizinga, J., De Moel, H. and Szewczyk, W., Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines, EUR 28552 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-67781-6, doi:10.2760/16510, JRC105688.