

# 發展風暴潮影響強度法以重建 1845 雲林口湖風暴潮事件

許家鈞<sup>1</sup> 吳祚任<sup>1</sup> 林君蔚<sup>1</sup> 莊淑君<sup>1</sup> 曾博森<sup>1</sup> 莊美惠<sup>1</sup>

國立中央大學水文與海洋科學研究所<sup>1</sup>

## 摘要

西元 1845 年雲林口湖發生嚴重之風暴潮事件，造成萬人喪生，為台灣歷史上最嚴重之風暴潮事件。為重建 1845 口湖風暴潮事件，本文發展風暴潮影響強度分析法(SSIIA)。該法以現行於中央氣象局之 COMCOT 風暴潮模式為基礎，進行大量單元颱風之風暴潮模擬，以建立颱風位置對風暴潮與溢淹高程之 SSIIA 敏感關係圖。本研究為重建颱風路徑，發展颱風路徑對風暴潮影響分析法。該法透過 SSIIA 之分析結果，進行風暴潮潮高、溢淹高程與溢淹範圍之綜合評分，以求得可能之颱風路徑組合，並由該結果建立 1845 年事件之可能情境。透過上述之分析結果，本研究提出對雲林口湖風暴潮生成之颱風情境，以及該路徑所造成之風暴潮和溢淹範圍。本研究建立之分析方法，可系統性分析沿海低窪地區之風暴潮溢淹潛在災情，有助於災防規劃與風暴潮風險評估。

關鍵字：風暴潮影響強度分析法 SSIIA、颱風路徑、口湖風暴潮、COMCOT 風暴潮模式、風暴潮重建

## 一、前言

颱風所引起之風暴潮經常在夏秋兩季對台灣造成災害，如民國五十八年強烈颱風衛歐拉造成布袋港大部分遭淹沒事件，又如民國七十二年強烈颱風韋恩造成枋寮鄉交通阻斷，漁塭損失達一億元。近年來在國際間也有諸多大型風暴潮災害事件，如 2018 年超級颱風 Jebi(燕子)造成日本關西遭遇近 25 年來最嚴重之災情，更造成關西機場大規模溢淹(Mori, 2019)。而在 2020 年超級氣旋風暴 Amphan (安芬) 也造成印度及孟加拉地區 300 萬人撤離，並造成約 4 公尺高之風暴潮 (Sen, 2020)。風暴潮由颱風之壓力梯度和風剪力驅動，造成海面異常之抬升。傳遞過程受潮汐、地形和地表摩擦間之非線性交互作用影響。台灣歷史上之風暴潮事件，以 1845 年雲林口湖風暴潮事件死傷最為嚴重。《清實錄》記載，「台灣府境，於六月初旬，大雨連宵，颶風間作。臺灣等縣海口，淹斃居民三千餘人，殊堪憫惻」。官方記錄該事件造成至少三千人喪生。風暴潮重建是防災重要的一環。一般重建風暴潮事件多著重於歷史觀測資料以定性推估颱風可能路徑，進而分析各路徑造成災害 (Mok, 2020; Grossman et al., 2018; Liu, 2001)。有別於過去之研究，本文以台西測站(位於雲林縣口湖鄉)為研究場址進行系統性之定量

分析。本文發展颱風影響強度法(Storm Surge Impact Intensity Analysis, SSIIA)，以評估颱風位置對風暴潮與溢淹高程之敏感性，並輔以新開發之颱風路徑對風暴潮影響分析法，推求 1845 年雲林口湖風暴潮事件可能之路徑。

台灣研究颱風災防已經有多年經驗，本研究以新發展之 SSIIA 方法進行定量分析，其有別於以往以路徑為主之定性分析。本研究發展之分析方法，可用於地方災防，並及早於颱風預報之初，即預先了解可能之災害，有利於地方利用並進行決策。

## 二、研究方法

本研究以蔡育霖(2014)開發之 COMCOT 風暴潮模式求解非線性之淺水波方程式。本模式現行於中央氣象局，由非線性淺水波方程式搭配巢狀網格，再輔以數值移動邊界法進行風暴潮傳遞及沿海溢淹範圍計算。

為了解颱風位置對研究場址之影響程度，本研究發展 SSIIA 法。其方法步驟概述如下：

1. 於研究海域範圍內，設立單元颱風
2. 針對各個單元颱風進行風暴潮計算
3. 求得各單元颱風所造成之最大風暴潮
4. 擷取各單元颱風於研究場址所造成之最大潮位高

程、最大溢淹高程及平均溢淹高程

- 將擷取之最大潮位高程、最大溢淹高程及平均溢淹高程回填至單元颱風所在位置，並完成 SSIIA 圖

在 SSIIA 分析法方面，本研究以雲林口湖為原點往西、南、北方各延伸 1 度，並於此海域範圍設置 22 個單元颱風（如圖 1 所示），以進行雲林縣口湖鄉之 SSIIA 分析。並參考中央氣象局颱風基本路徑分類，以 SSIIA 之結果進行颱風路徑對風暴潮影響之分析。由於口湖海岸線以及其東側之中央山脈皆屬南北走向，因此在分析上採用南北向與東西向兩大類別進行路徑分析。

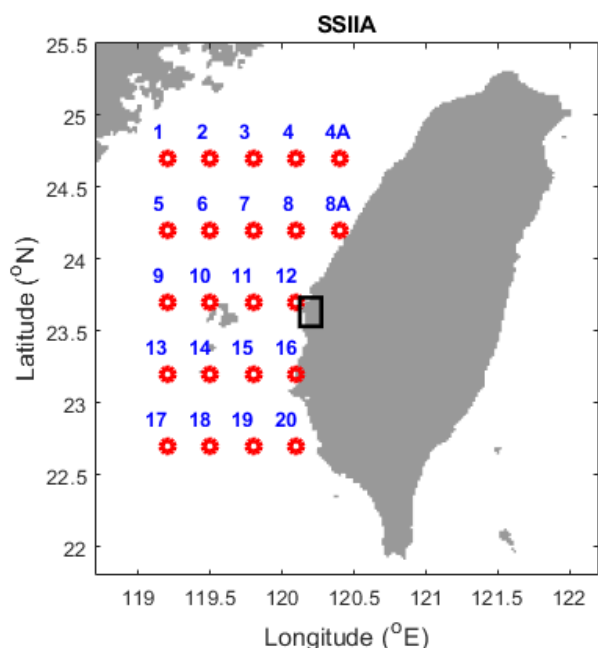


圖 1 SSIIA 之 22 個單元颱風位置圖，黑框為口湖鄉範圍。

### 三、案例分析

為還原 1845 口湖風暴潮事件，本研究以近 20 年侵台之強烈颱風，2000 碧利斯颱風，為單元颱風之藍本。所設定之單元颱風參數為：中心最低氣壓 900 百帕，最大風速每秒 60 公尺。在 SSIIA 以外之地區之颱風則代入 1986 年韋恩颱風及 2016 年梅姬颱風之前段路徑(如圖 8 右圖及圖 10 綠線所示)。本研究以扣除 SSIIA 取出之五點連線以前之路徑為前段路徑，最終比較各路徑對口湖影響差異。

在結果驗證方面，則根據史籍記載之風暴潮溢淹

情形進行比對。根據記載(李豐楙, 1996; 曾人口, 1978), 西元 1845 年(清道光 25 年)農曆 6 月 7 日, 連宵大雨, 颶風由西南捲向東北, 引起海水倒灌, 海浪吞沒沿海九座村莊, 分別為下湖街、新港莊、箔仔寮、蚶仔寮、竹苗寮、蝦仔寮、竹達寮等, 其中又以竹苗寮、蝦仔寮(今湖口村南、北港溪畔)以及竹達寮(今四湖鄉廣溝村西南處)等地區災情最為嚴重, 俱沒入海中, 無一倖存。茲將史籍記載之古地名與現今地名進行比對, 可吻合之地名如圖 2 及圖 3 所示。透過受災地名之比對, 並搭配地表高程, 當時受災範圍可大致呈現。



圖 2 日治時期北港郡古地圖，口湖庄、新港庄及下口湖等地名標註如圖中紅框所示(截自民報)。



圖 3 口湖鄉舊地名相關位置圖，地名標註由北而南依序為廣溝村、蚶寮、下口湖、箔仔寮及蚶仔寮。

#### 颱風位置對口湖風暴潮影響分析

本研究以 SSIIA 法，於台灣海峽建立 22 個單元颱風以了解颱風位置對口湖風暴潮影響。在分析過程中，透過 COMCOT 風暴潮模式求解 22 個單元颱風所造成之風暴潮，並擷取其於口湖地區所造成之最大風

暴潮、最大溢淹及平均溢淹高程。

由 SSIIA 之分析結果列示於圖 4、5、6，並將影響分類分為三類，最大風暴潮高（圖 4）、最大溢淹高程（圖 5）和平均溢淹高程（圖 6）。可由此三圖得知三種物理量對口湖造成之影響強度。

由圖 4 可見，對口湖地區而言，風暴潮潮高之颱風敏感位置位於口湖、口湖西北外海、以及口湖北側，其單元颱風編號（見圖 1）分別為 8、8A、及 12。如圖 5 所示，對口湖地區而言，風暴潮溢淹高程之颱風敏感位置為於口湖、口湖西北外海、以及口湖北側，其單元颱風編號分別為 3、8、及 11。如圖 6 所示，對口湖地區而言，風暴潮平均溢淹高程之颱風敏感位置為於口湖、口湖西北外海、以及口湖北側，其單元颱風編號分別為 8、8A、及 11。

在求得影響口湖程度較高之颱風位置後，即可進行颱風位置綜合評分分析。分析方法為取同緯度與同經度之 SSIIA 排序進行排序與加權，最大值獲得 2 分，次大值獲得 1 分。於求得 SSIIA 三分類之加權分數後，內插求得最大影響位置，如圖 7 所示。

由以上分析結果可得知，風暴潮敏感之颱風位置主要位於口湖以及口湖北方。後續之分析則著重於颱風以不同移動路徑抵達上述敏感位置時，對口湖風暴潮影響之程度。

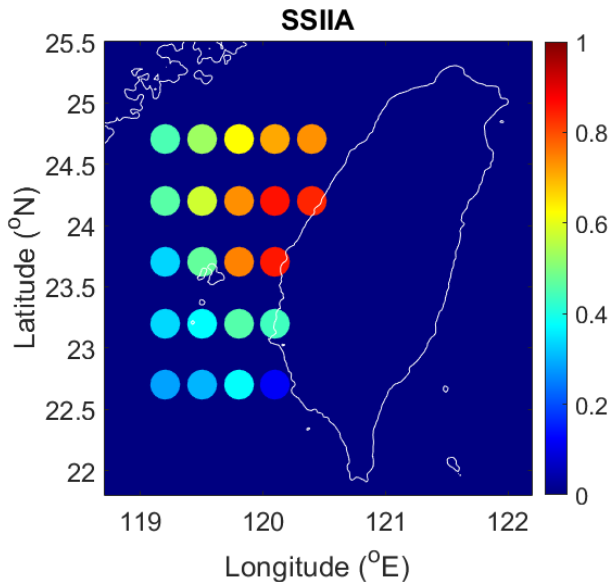


圖 4 SSIIA 之 22 個單元颱風最大風暴潮潮高影響圖

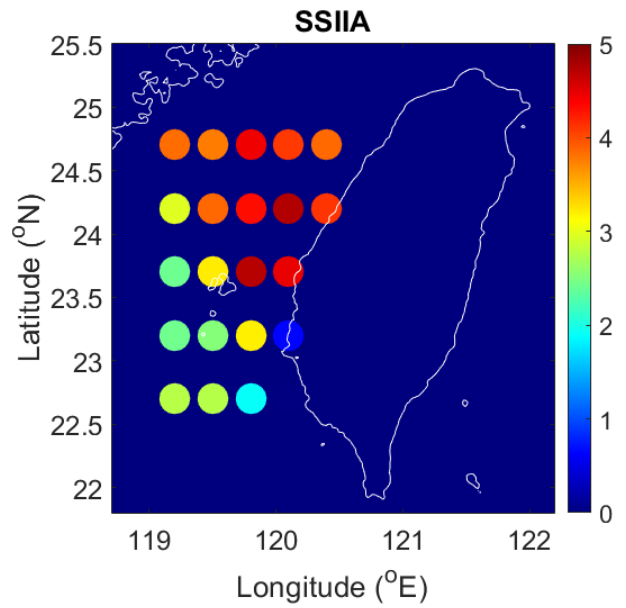


圖 5 SSIIA 之 22 個單元颱風溢淹高程影響圖

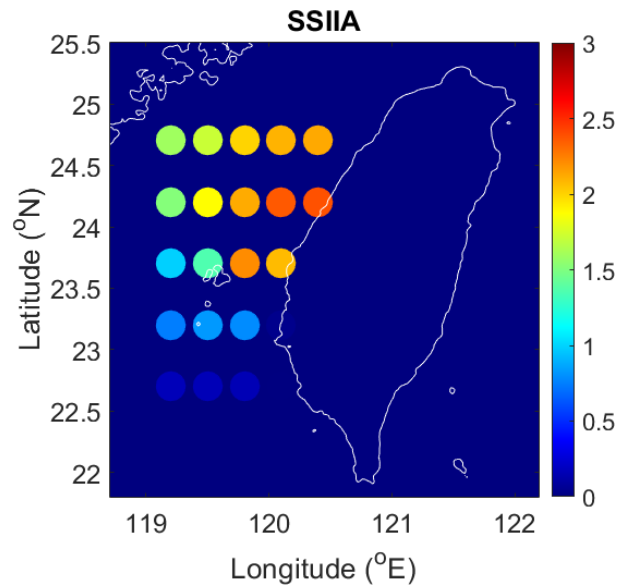


圖 6 SSIIA 之 22 個單元颱風平均溢淹高程影響圖

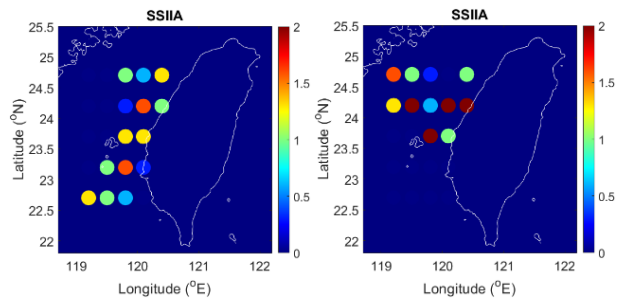


圖 7(左)SSIIA 之南北走向 22 個單元颱風綜合評分圖、(右)SSIIA 之東西走向 22 個單元颱風綜合評分圖

## 颱風路徑對口湖風暴潮影響分析

除颱風位置對口湖風暴潮之影響分析外，本研究亦進行颱風移動路徑對口湖風暴潮影響分析。

如前所述，本研究將模擬路徑分成南北向路徑及東西向路徑，並各自分析在同經度（南北向）或同緯度（東西向）影響口湖之單元颱風移動路徑。

在南北向路徑部分，以颱風分類路徑 9 號為模擬基礎，將內插後之 SSI A 五點單元颱風路徑（圖 8 左圖藍線），加上 1986 韋恩颱風前段路徑（圖 8 左圖綠線），以及此五個單元颱風之直向路徑延伸（圖 8 左圖粉紅線），合成為南北向 NS-A 情境路徑。為了解額外導入之路徑（圖 8 左圖藍線與粉紅線）對口湖風暴潮之影響，本分析亦產生南北向 NS-B 情境路徑。其與 NS-A 情境路徑之差別在於，將 1986 韋恩颱風前段路徑（圖 8 左圖綠線）以直向路徑延伸（圖 8 左圖紅線）取代。

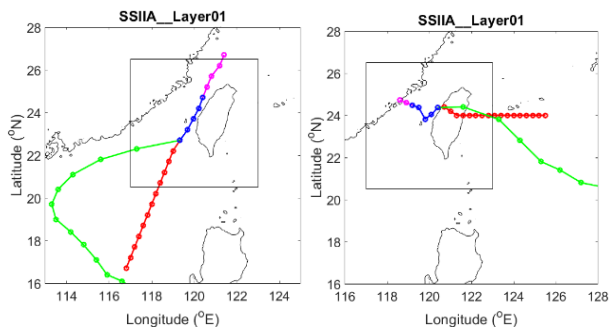


圖 8 (左) 為南北走向路徑模擬，(右) 為東西走向路徑模擬。藍色路徑為 SSI A 得出之最大影響路徑，紅色與粉紅色路徑為 SSI A 路徑之路徑延伸，綠色路徑於左圖為 1986 韋恩颱風之前段路徑，於右圖為 2016 梅姬颱風之前段路徑。黑框為 COMCOT 模式第二層計算域設置位置。

在東西向路徑部分是以颱風分類路徑 3 號為模擬基礎並將內插後 SSI A 五點單元颱風路徑（圖 8 右圖藍線），加上 2016 梅姬颱風前段路徑（圖 8 右圖綠線），以及此五個單元颱風之直向路徑延伸（圖 8 右圖粉紅線），合成為東西向 EW-A 情境路徑。同樣，為了解額外導入之路徑（圖 8 右圖藍線與粉紅線）對口湖風暴潮之影響，本分析亦產生東西向 EW-B 情境路徑。其與 EW-A 情境路徑之差別在於，將 2016 梅姬颱風之前段路徑（圖 8 右圖綠線）以直向路徑延伸（圖 8 右圖紅線）取代。

## 四、結果與討論

根據圖 7 颱風位置綜合評分圖分析結果，本研究模擬南北向 (NS-A、NS-B) 兩種情境路徑，以及東西向 (EW-A、EW-B) 兩種情境路徑，以進行颱風路徑對風暴潮敏感性分析。經由 COMCOT 模式之模擬結果可知 NS-A 情境路徑（圖 9）所得之最大風暴潮高程為 0.712 公尺，最大溢淹高程為 4.3248 公尺，平均溢淹高程為 2.3268 公尺。而 NS-B 情境路徑（圖 10）所得之最大風暴潮高程為 0.74 公尺，最大溢淹高程為 4.2293 公尺，平均溢淹高程為 2.3817 公尺。兩者於最大風暴潮高程差異為 2.8 公分，在最大溢淹高程差異為 9.55 公分，在平均溢淹高程差異為 5.49 公分，可知對口湖地區而言，本次 SSI A 藍色路徑以外之南北向颱風路徑，對口湖風暴潮影響輕微。

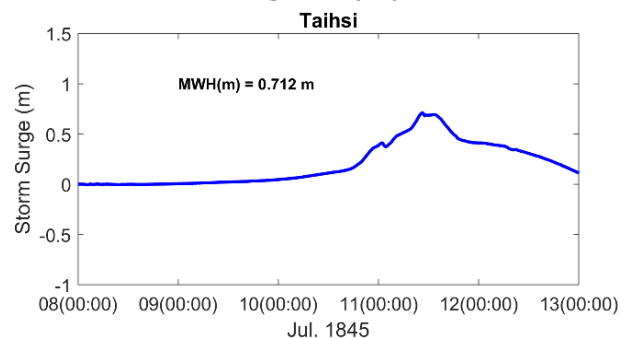
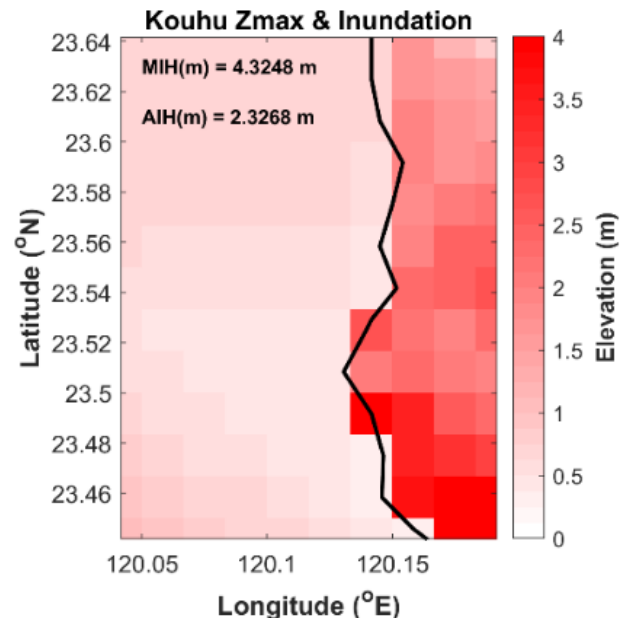


圖 9 南北向 NS-A 情境路徑之 COMCOT 模式模擬結果。上圖為雲林縣口湖鄉之溢淹高程圖，下圖為台西測站之水位高程歷線。

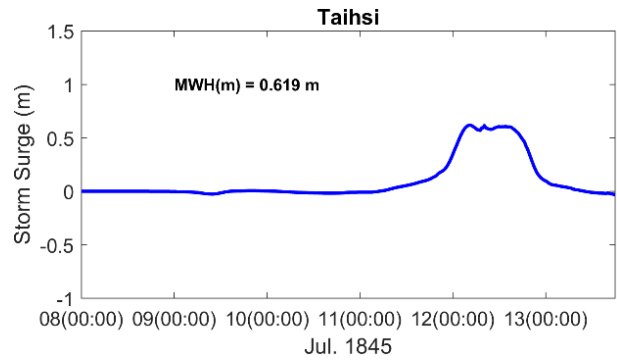
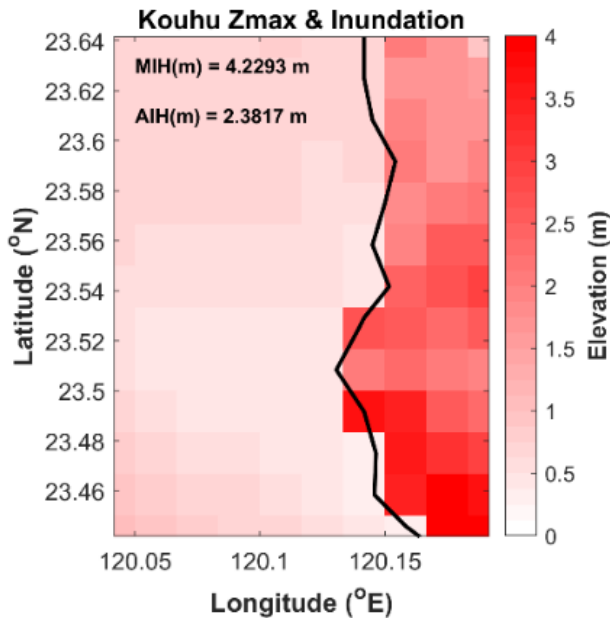


圖 11 東西向 EW-A 情境路徑之 COMCOT 模式模擬結果。上圖為雲林縣口湖鄉之溢淹高程圖，下圖為台西測站之水位高程歷線。

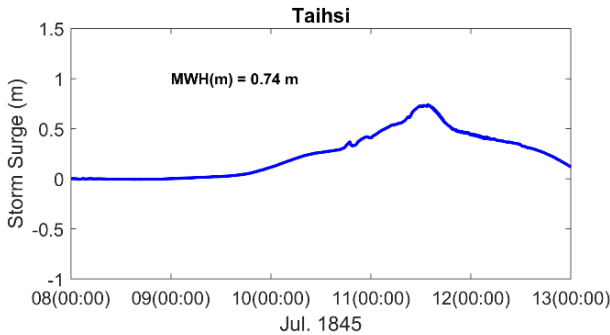
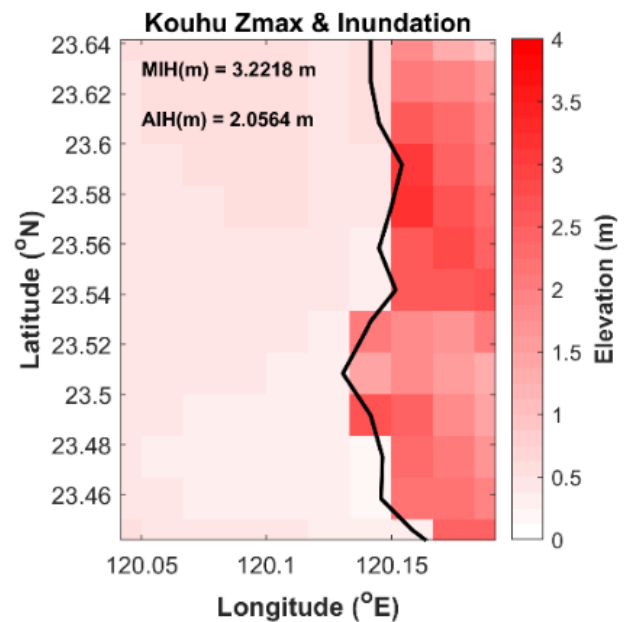
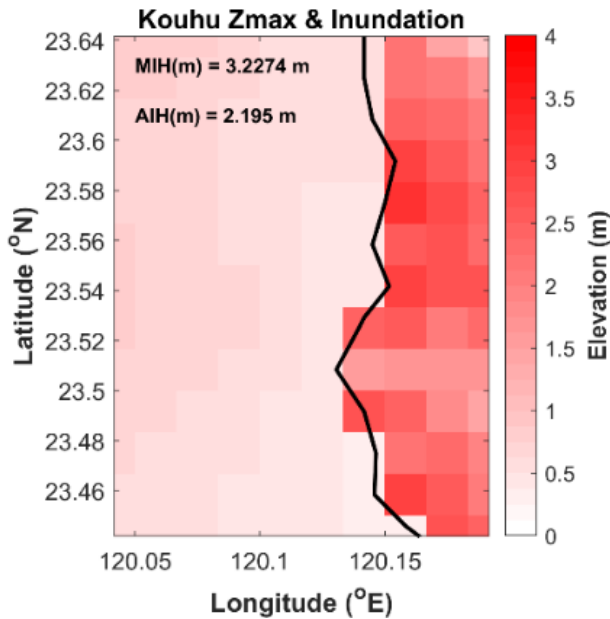


圖 10 南北向 NS-B 情境路徑之 COMCOT 模式模擬結果。上圖為雲林縣口湖鄉之溢淹高程圖，下圖為台西測站之水位高程歷線。

本研究在東西向可能路徑方面，以 EW-A 與 EW-B 兩種情境路徑進行路徑對風暴潮敏感性分析。經由 COMCOT 模式之模擬結果可知 EW-A 情境路徑（圖 11）所得之最大風暴潮高程為 0.619 公尺，最大溢淹高程為 3.2274 公尺，平均溢淹高程為 2.1950 公尺。而 EW-B 情境路徑（圖 12）所得之最大風暴潮高程為 0.561 公尺，最大溢淹高程為 3.2218 公尺，平均溢淹高程為 2.0564 公尺，兩者在最大風暴潮高程差異 5.8 公分，在最大溢淹高程差異 0.56 公分，在平均溢淹高程差異 13.86 公分，可知對口湖地區而言，本次 SSIIA 藍色路徑以外之東西向颱風路徑，對口湖風暴潮影響亦輕微。



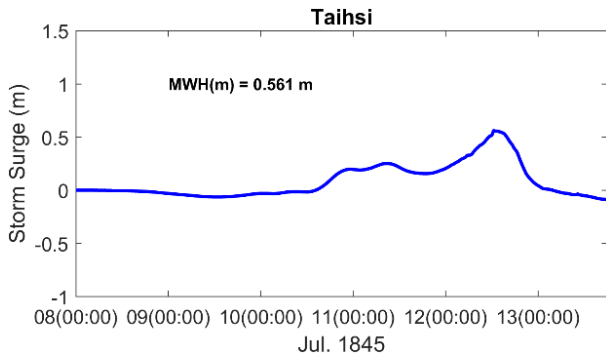


圖 12 東西向 EW-B 情境路徑之 COMCOT 模式模擬結果。上圖為雲林縣口湖鄉之溢淹高程圖，下圖為台西測站之水位高程歷線。

經過南北向及東西向路徑之比較(圖 9~圖 12)可知在風暴潮之潮高方面，南北向路徑較東西向路徑為高，因此颱風由南向北行經台灣海峽，且沿靠台灣西海岸現之颱風路徑，對口湖可造成重大危害。

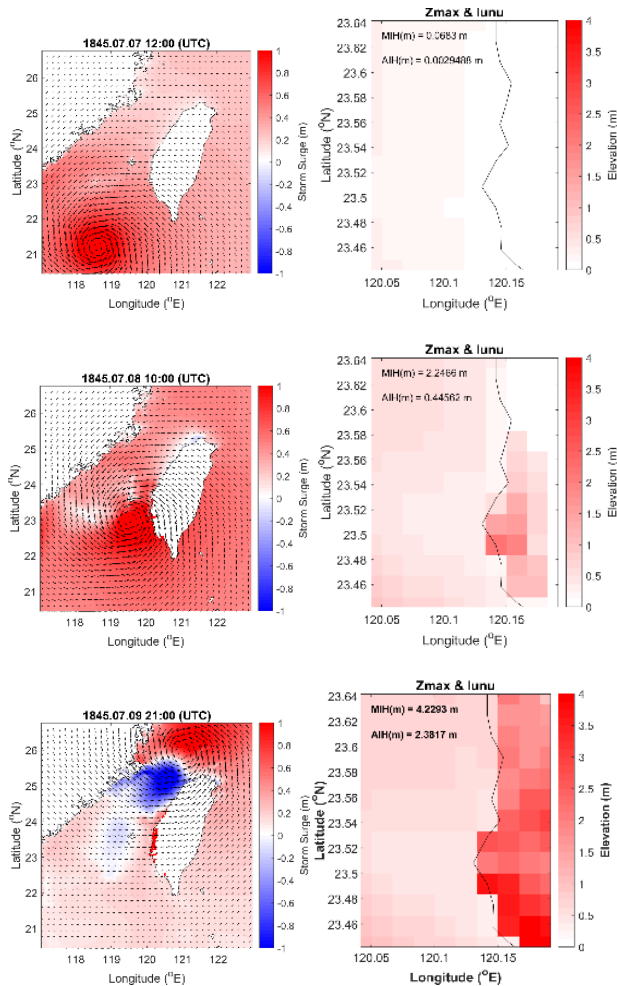


圖 13 以 NS-B 為 1845 口湖風暴潮事件之重建情境。左列為區域風暴潮高程。右列為口湖海岸線區域風暴潮高程及溢淹高程圖。

## 五、結論

本研究發展 SSI A 風暴潮影響強度法，在台灣四周設立多個單元颱風以大量計算風暴潮，以建立颱風位置對於口湖一帶最大風暴潮高、最大溢淹高程和平均溢淹高程之 SSI A 影響強度分析圖。並透過此分析結果，進行颱風位置綜合評分分析，以求得對口湖影響重大之颱風位置排序。之後即進行颱風路徑對口湖風暴潮生成之分析。由於位於台灣西岸之口湖一帶，颱風主要以南北向或東西向移動，因此在颱風路徑分析上，亦分為南北向與東西向兩類。

在 SSI A 颱風影響強度分析法後可知，口湖風暴潮之颱風敏感為至，位於口湖或口湖北部一帶。透過颱風路徑對風暴潮影響分析可得知，SSI A 藍色路徑以外之颱風路徑，其颱風路徑對風暴潮敏感性大幅降低至可忽略之程度。

透過 SSI A 和路徑分析可得知，對口湖地區而言，南北向之颱風移動路徑所產生之最大風暴潮高與溢淹範圍較東西向嚴重，因此颱風由南向北行經台灣海峽，且沿靠台灣西海岸現之颱風路徑，可對口湖造成重大危害。

在 1845 口湖風暴潮事件重建方面，根據上述之 SSI A 分析結果，以 NS-B 為最佳情境，其滿足史籍所記載之溢淹範圍。圖 13 展現 NS-B 最佳情境之模擬結果。根據分析結果，1845 口湖風暴潮事件以南北向路徑為主，其颱風移動路徑展示於圖 8 之左圖。移動路徑為紅、藍、粉紅之路徑組合。颱風主要由口湖與澎湖之間穿越並沿海岸線西側北上。圖 13 左圖為 COMCOT 風暴潮大範圍(第一層)模擬結果。右圖為局部範圍(第二層)模擬結果。圖中色階表示風暴潮潮高，以及溢淹高程(右圖)。由圖可見，颱風中心雖並未登陸台灣，但於 21:00 UTC 所引進之強烈西風，會造成口湖一帶低窪地區嚴重之風暴潮溢淹，並於口湖一代造成 0.74 m 之風暴潮潮高，4.2293 m 之溢淹高程，以及 2.3817 m 之平均溢淹高程。並由圖可見影響範圍與史籍記載相似。

風暴潮影響強度分析(SSIA)不只可用於重建過去之風暴潮事件，更可用於推估各地區最嚴重之颱風路徑與災情，有助於風暴潮災防與策略擬定。

## 參考文獻

1. 中央氣象局颱風資料庫，2020年08月01日，取自：<https://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/>。
2. 王志文，2005，“用地理學來看傳說-清代舊濁水溪出海口的一場災難分析”，2005年彰化研究學術研討會——「濁水溪流域自然與人文研究」論文集，ISBN 986-00-3353-6。
3. 江復正，2014，“從電影《KANO》看嘉義行政區的變遷”，2020年08月01日，取自民報：<https://www.peoplenews.tw/news/4213ce15-5eb6-4232-be03-126dd5c63c81>。
4. 吳函，2017，“發展地震海嘯關係分析法並研究台灣之淺在海嘯威脅”，國立中央大學水文與海洋科學研究所，碩士論文。
5. 李豐楙，1996，金湖文化祭，10-17。
6. 洪瑩發，2016，“追憶171年前那場颱風：遺留口湖與四湖的水難者祠祀與牽水「車藏」儀式”，2020年08月01日，取自民俗亂彈：<http://think.folklore.tw/posts/1085>。
7. 曾人口，1978，金湖春秋，中國詩文之友社。
8. 蔡育霖，2014，“風暴潮速算系統之建立及1845年雲林口湖事件之還原與研究”，國立中央大學水文與海洋科學研究所，碩士論文。
9. Grossman, M. J., & Zaiki, M., 2007, “Reconstructing typhoon landfalls in Japan using historical documents: 1801-1830”, In Papers and Proceedings of Applied Geography Conferences (Vol. 30, p. 334). [np]; 1998.
10. Grossman, M. J., Zaiki, M., Mikami, T., & Mock, C., 2018, “Reconstructing typhoons affecting Japan in 1877”, *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, 127, 457-470.
11. Liu, K. B., Shen, C., & Louie, K. S., 2001, “A 1,000-year history of typhoon landfalls in Guangdong, southern China, reconstructed from Chinese historical documentary records”, *Annals of the Association of American Geographers*, 91(3), 453-464.
12. Mok, H. Y., Lui, W. H., Lau, D. S., & Wang, C. W., 2020, “Reconstruction of the track and a simulation of the storm surge associated with the calamitous typhoon affecting the Pearl River Estuary in September 1874”, *Climate of the Past*, 16(1), 51-64.
13. Mori, N., Yasuda, T., Arikawa, T., Kataoka, T., Nakajo, S., Suzuki, K., ... & Webb, A., 2019, “2018 Typhoon Jebi post-event survey of coastal damage in the Kansai region, Japan”, *Coastal Engineering Journal*, 61(3), 278-294.
14. Sen S., 2020, "Sunderban Mangroves, Post Amphan: An Overview", *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, ISSN:2320-2882, Volume.8, Issue 6, pp.2751-2755, Available at: <http://www.ijcrt.org/papers/IJCRT2006378.pdf>
15. Yamanaka, Y., Shibata, R., Tajima, Y., & Okami, N., 2019, “Inundation characteristics in Arida City due to overtopping waves induced by 2018 Typhoon Jebi”, In *International Conference on Asian and Pacific Coasts* (pp. 199-206). Springer, Singapore.