



未來 氣候變遷 條件下之 漁業損失 與 調適措施 成效

陳映彤／黎明工程顧問有限公司 工程師
蕭學勇／國立陽明交通大學土木工程學系 博士候選人
楊尊華／國立陽明交通大學土木工程學系 副教授
鄭兆尊／國家災害防救科技中心 副研究員
張雅琪／工業技術研究院綠能所 研究員

本研究考慮聯合國政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）第五次評估報告（AR5）中未來溫室氣體高度排放的情境（RCP8.5），並使用臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫（TCCIP）提供之動力降尺度偏差修正時雨量，透過統計分析與動力模擬探討洪災對台灣嘉義沿海地區養殖漁業的損失。本研究以澳洲 TUFLOW 一二維耦合淹水模式，配合 GPU 高速運算能力，模擬不同重現期一日連續降雨下之最大淹水範圍。此外，台灣沿海地區多以農漁業尤其養殖漁業為主要經濟來源，本研究透過現地調查與專家訪談，並參考生物特性後提出一以淹水深度對應魚塭損失之線性災損分析公式，藉此快速將淹水範圍轉以評估漁業經濟損失。接著本研究聚焦在未來氣候變遷環境下，以改善漁業經濟損失為目的量化各項調適措施之具體成效。本研究採用之調適措施包括預佈抽水機、利用閒置地進行在地滯洪，以及考慮沿海養殖魚塭地區低於海平面之特性進行預先降低魚塭水位操作等措施。研究結果顯示若能結合滯洪池及排洪設施之工程措施（structural measure）與預先降低既有養殖魚塭水位蓄洪之非工程措施（nonstructural measure），從減少淹水範圍與降低漁業損失的角度有最大的減災效益。研究結果除了可以作為災前預警應變措施之參考，也期許未來也可做為沿海低地水患防治工作時之工程設計依據，減緩水患對養殖漁民之衝擊。

關鍵詞：動力降尺度、氣候變遷、減災成效、TUFLOW、漁業損失

前言

近年氣候變異，頻繁的天然災害例如洪災與寒害，造成台灣沿海地區人民生活不便與財產嚴重損失。近年天然災害如寒害與洪災則是造成台灣養殖漁業龐大的損失，根據漁業署 2020 年統計，近海養殖漁業年產值約為 270 億新台幣^[1]。以 2018 年 8 月 23 日豪雨事件為例，全台灣降雨累積近 1,000 mm，而嘉義漁業損失全國最高為 4 億 6,000 萬元^[2]。而 2016 年 1 月霸王寒流更

是台灣近十年最強一波寒流，造成全台灣由北到南急凍以外，養殖漁業損失高達 21 億 9,465 萬元^[3]。以台南七股地區為例，寒流期間氣溫為 5~7 度，而魚池水溫為 7~9 度，創下近 10 年最低溫紀錄^[4]。天然災害對養殖漁業除了產值的直接損失，對以養殖賴以維生的漁戶生計更是莫大衝擊。極端天氣肆虐全球已是未來常態，以美國為例，根據 1989~2019 年資料顯示，84.5% 的漁業災害部分或完全歸因於極端天氣事件，而

這樣的結果則是帶來約 50 億美金的經濟損失^[5]。相關研究結果顯示未來短延時強降雨的極端天氣發生頻率只會更加頻繁，連帶而來的洪災損失也將會更大^[6]。

例如 2018 年 8 月 23 日豪雨事件重創嘉義縣東石鄉，除了降雨量太大超過排水設計標準，豪雨適逢大潮，還有該地區的地層下陷，都是淹水久久不能退去的原因^[7]。該事件除了造成嘉義縣人民生活不便以外，養殖漁業損失更是全國之冠。本研究因此選擇該地區為研究區域，並在災後進行現地調查與專家訪談，參考養殖物種特性提出一以淹水深度對應魚塢損失之線性災損分析公式。本研究因此提出結合以非結構性（non-structural）與結構性（structural）調適措施，探討其在未來來氣候變遷條件下之效益，目標在提升我國漁業對極端天氣的調適力，確保我國沿海養殖漁業的可持續性和社會利益，並藉此符合聯合國永續社會及與災害共存的韌性永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）^[8]。

文獻回顧

有關沿海低地淹水的方法有許多種討論，Wim Silva *et al.*^[9] 以荷蘭作為研究區，提倡在易淹水區域做淹水管理，其中一項為「在地滯洪」之觀念，調整土地利用之用途，以公園、後院、自然區域類似用途之用地保留為臨時滯洪池。李晉安^[10] 則是以嘉義縣北華村為例，探討包括村落圍堤設置、設置舊五區田旁排水渠道以及抽水站設置等措施對淹水衝擊之影響。研究結果顯示唯有妥善利用該地鹽田之滯洪功能，方能最有效減患淹水。經濟部水利署近年也已積極推廣「在地滯洪」的減洪觀念，利用農地或荒廢土地，透過加高田埂、排水路整理等措施讓洪水有短暫的棲身之所，以空間換取時間，土地利用效率更高、更減省土地徵收及工程施作流程，在不改變用地原有用途，只在需要時轉變為臨時滯洪池^[11]。

若從災前準備與災中應變的角度來看，若能事前掌握不同淹水情境與可能之影響範圍，災害來時就能更有效設置對應之減災避災措施。而透過不同雨量情境與物理模式之模擬，就可有效了解洪水影響之範圍，提前進行應變規劃。許多研究也有透過一維或者二維物理模式進行淹水範圍模擬。例如華道明^[12] 針對台灣中港河流域，採用 WASH123D 模式進行定量降雨和重現期降雨的淹水模擬。鍾婷羽^[13] 則是利用 SOBEK

模式，局部細化考慮建物與街道流效應，納入低衝擊開發設施，探討高雄典寶溪下游市區淹水面積之變化情形。洪水帶來的衝擊，除了人命的威脅以外，最重要的就是經濟的損失。陳元培^[14] 以中港溪及附近流域為研究區域，應用 WASH123D 模式進行重現期的淹水情形模擬，套疊土地利用及不同住宅使用面積，再帶入張齡方^[15]、鄭思蘋^[16] 和 Shaw *et al.*^[17] 提出之淹水損失公式加以分析比較，評估不同工商產業的淹水損失。有別於上述研究針對大規模的工商業損失進行評估。本研究針對養殖漁業因為淹水造成的損失，進行快速推估方法探討與發展。Yang *et al.*^[18] 整合歷史資料與現場調查，提出漁業損失與淹水面積之關係，快速評估漁業損失。該研究中以淹水深度超過 30 公分為閾值，計算事件淹水面積。經濟部水利署^[19] 「淹水損失推估模式精進及暴露量」不考慮水深度變化下之養殖漁業不同損失率，而以當淹水達一定高度後就全損的假設評估魚損（%）。目標希望以不低估養殖漁業損失的目標來設定養殖區淹水高度門檻值，結果淹水閾值設定為高出魚塢鄰近道路之高程 30 公分即造成養殖生物全損（100%）。根據 Queensland Government^[20] 說明一般經濟損失評估的兩個方法為（1）以根據水位與損壞比率的 stage-damage 方法與（2）根據個別物件評估損失後加總為總損失的 unit loss 方法。本研究則採取第一種之 stage-damage 之假設，並配合實地調查法與專家訪談法，建立漁業損失與深度之 stage-damage 曲線，藉此將淹水結果做量化研究，在未來氣候變遷條件下之，評估各個調適策略之具體效益，以提供決策者進行災前準備、災中應變，乃至於災後補償之參考。

淹水模式

本研究採用的 TUFLOW 模式是澳洲 WBM 公司和昆士蘭大學在 1990 年共同開發之洪水模擬軟體。此軟體核心為三種數值引擎（Numerical Engines）分別為 TUFLOW、TUFLOW HPC 以及 TUFLOW FV。TUFLOW 以及 TUFLOW HPC 主要是模擬固定網格（Fixed Grid）的淹水，TUFLOW HPC 則是可以應用圖形處理器（Graphical Processing Units, GPUs）進行高速運算，提升運算效率。兩者皆可設置包括一維渠道及管網水流模型、一維二維耦合洪水及都市淹水模型。適合模擬城市排水、分布式水文直接降雨、集水區淹水、潮汐等情境。TUFLOW FV 則是用於使用三角形及

四邊形網格作為計算結構，可模擬 2D 及 3D 的情境，適用於模擬洪水、潮汐、暴風及海嘯等沿岸水力學。TUFLOW FV 也包括如對流分散、沉積物傳輸模組、水質模擬、泥沙運輸與河床演變模擬等模組可靈活運用其功能，進行更細節之運算與模擬。陳思豪^[21]等相關的研究除了證明 TUFLOW 在淹水模擬之適用性外，也證明其應用 GPU 加速演算之效益可較原本無 GPU 之模式高達 8 倍以上。本研究後續之淹水模擬皆是採用 TUFLOW HPC 搭配 GPU 進行相關情境模擬，以提升運算之效率。

研究區域與模式建置

研究區域

本研究區域位於台灣西南部的嘉義縣東石鄉，區域內地勢平坦且低窪，因為臨海且土壤嚴重鹽化導致許多農地轉而發展養殖漁業以促進地方經濟。養殖魚塢面積不斷擴建，當地居民大量採用地下水作為調節水溫與水質的使用。長年下來的結果造成區域性的大規模地層下陷^[22]，目前下陷率已有趨緩現象，但年平均下陷速率還是有 5 公分/年，本研究區域有 60% 的區域都低於海平面（圖 1）。統計民國 80 ~ 94 年之監測結果，14 年總下陷量在 20 公分以上之區域涵蓋了東石鄉、布袋鎮、朴子市、義竹鄉等，而最主要的下陷中心就是本研究區域東石鄉。本研究使用 6 m × 6 m 數值高程地形資料（DEM）建置二維淹水模型，並蒐集河道及下水道資料建置一維河道模式與一維下水道模式。本研究考慮一維河道、一維排水系統及二維漫地流之交互影響（coupling），進行全區模擬。模式建置範圍以 20180823 豪雨事件衝擊最大的掌潭村為中



圖 1 研究區域低於海平面範圍圖

心，模擬區域包括栗子崙集水區及考試潭集水區（圖 2），北側為朴子溪，南側為考試潭排水，西側為台灣海峽。掌潭村位於考試潭排水的北邊偏南側，其西南側及西側分別有白水湖第一滯洪池及白水湖第二滯洪池。整個研究區域由西到東約 7.3 公里，由南到北約為 7.5 公里。最主要之排水為松子溝排水，位於研究區域中段，另兩條主要排水幹線為最下方考試潭排水幹線以及研究區域上方之栗子崙排水幹線。

淹水模式結果驗證

本研究淹水模式之驗證以 20180823 事件作為模式驗證之參考。本次事件發生時間為 8/23 12:00 ~ 8/24 22:00 共 35 個小時，模式雨量資料來源為東石雨量站。下游邊界條件則採用東石潮位站。模擬淹水深度與實際觀測值之比較則採用均方根誤差（root mean square error, RMSE）進行分析。實際淹水觀測值來源包括嘉義縣政府災後調查報告、當地居民於水災當下之實錄相片，以及本研究現場調查之結果。最大淹水範圍模擬結果與觀測值之比較如圖 3 與表 1 所示。

本研究模式模擬結果與觀測值平均誤差 RMSE = 0.175 m，模式模擬結果整體有低估的現象。例如編號 9 掌潭村保安宮及編號 12 栗子崙慈靈宮，實際淹水水位與模擬淹水水位分別有 34 cm 與 21 cm 之誤差。推測原因為當時研究區域上游可能透過淹水漫流到下游，但因本研究集水區範圍未能涵蓋所有區域，因此低估地表逕流量，也有可能是本模式排水渠道未設置閘門，從災後訪談中了解真實當時閘門為全數關閉，使內水無法流出。本模式未建置閘門導致內水沿可著排水設施流出集水區。綜整驗證結果與其他單位淹水紀錄之比較，本模式模擬結果與表現仍有一定之參考價



圖 2 模式研究區域

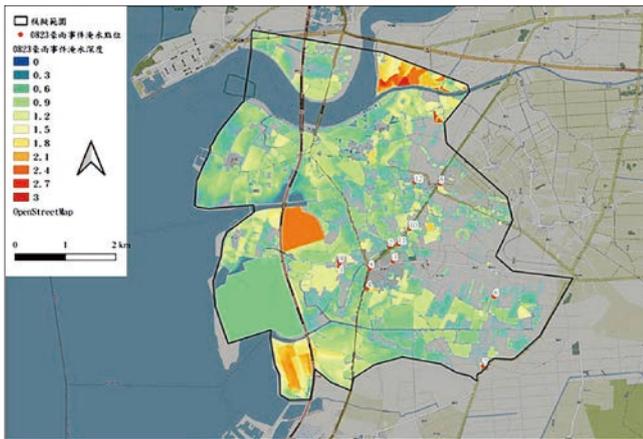


圖 3 研究區域 20180823 最大淹水範圍模擬結果

表 1 模擬結果與淹水觀測值比較

0823 淹水事件				
編號	點位座標	淹水點位敘述	實際調查淹水深度 (m)	最大模擬淹水水深 (m)
1	120.1730,23.4185	活動中心	0.40	0.386
2	120.1823,23.4214	九司伯廟	0.50	0.538
3	120.1832,23.4188	道路積水	0.40	0.355
4	120.1783,23.4138	布袋鎮 150 號	0.60	0.475
5	120.1919,23.4328	東崙村	0.40	0.353
6	120.2022,23.4124	布袋鎮中安里	0.50	0.251
7	120.2003,23.3999	布袋鎮考試里	0.20	0.197
8	120.1787,23.4174	便利商店	0.35	0.313
9	120.1731,23.4185	保安宮	0.80	0.466
10	120.1862,23.4246	錦成機械	0.65	0.503
11	120.1841,23.4218	鴻達	0.50	0.174
12	120.1871,23.4330	慈靈宮	0.80	0.594
RMSE =				0.175

值與代表，因此將繼續用此模式設定來模擬後續不同情境下各個調適策略之效益表現。

漁業水位與損失 (stage-damage) 曲線

過往研究評估漁業損失採取超過 30 cm 淹水深度就全部損失之脈衝函數 [18,19]，而未有將現地不確定性與魚類游動納入考量，因此常有容易有低估損失之結果。本研究提出考慮魚類生活特性及線性損失之水位與損失方程式，探討其與原本脈衝函數 winner takes all 之損失假設結果比較。為減少模式設定之不確定性，本研究假設 (1) 研究區內養殖魚種皆為虱目魚，(2) 不另外考慮水質改變對魚塭造成的損失，(3) 只計算淹水深度造成魚隻流失之損失，並 (4) 以每塊魚塭堤防之高程平均當作該魚池鄰近道路高程平均，並計算各魚池內平均淹水高度作為該魚池之淹水高，後以這兩項數值的差值進行漁塭損失 (淹水高度) 之運算。本研究使用兩種魚塭損失公式，分別為現行漁塭損失公式 [19]、以及線性損失之方式 (圖 4) 進行淹水後養殖漁業損失的估算。

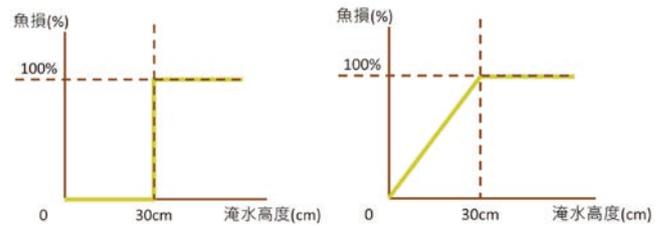


圖 4 漁業損失 (stage-damage) 曲線 (左) 現有脈衝函數 [19] (右) 本研究提出之線性損失函數

結果與討論

氣候變遷雨量水文頻率分析結果分析

水文頻率分析 (Hydrological Frequency Analysis) 主要是將水文資料包括雨量或河川流量等，透過在收集資料期間內的極端值資料 (例如年最大值) 分析，以統計方法分析設計雨量值與重現期間的關係，其分析結果常作為水工結構物設計及規劃之依據。舉例來說方程式 (1) 中的重現期 T (Return Period) 就是定義事件發生機率 (P) 的倒數。若以降雨延時 D (Duration) 1 小時累積雨量 100 mm 的重現期 T 是 100 年，代表發生機率 P 為 1/100 或者是 1%。

$$P = \frac{1}{T} \tag{1}$$

其中 P 為水文特定門檻值 (Threshold) 的發生機率； T 為重現期。為找出某一特門檻值 (Threshold) 對應的重現期或發生機率，頻率因子 (Frequency Factor) [23] 是最常使用的方法，方程式 (2) 為標準頻率分析常用之公式概述。

$$X_T = \bar{x} + K.s \tag{2}$$

其中 X_T 為某一水文門檻值對應之重現期； \bar{x} 為水文資料之平均值； K 為頻率因子； s 則為水文資料之標準偏差。方程式 (2) 中之頻率因子 K 會因為不同的機率分析模式 (Probabilistic Model) 而有所不同。為進行未來氣候變遷雨量之統計分析，本研究採用國家災害防救科技中心 (NCDR) 所提供之 HiRAM 動力降尺度在 RCP8.5 情境下基期 (1980 ~ 2008 年)、世紀中 (2039 ~ 2065 年)、以及世紀末 (2075 ~ 2099 年) 的年最大 1、3、6、12、24、48 小時延時雨量資料 (網格尺寸 5 km × 5 km)，產製在不同重現期之雨量分布以及不同延時定量雨量條件下之降雨機率分布。透過常態機率分布 (Normal)、兩變數 (LN-2) 與三變數 (LN-3) 對數機率分布、皮爾森三型 (P-III)、對數皮爾森三型 (LP-III)，以及極端值 I 型 (EV-I) 六個不同的機率分佈模式，最後以 Kolmogorov-Smirnov (KS)

檢定法來決定最適合之機率分佈模式。分析的方式將按照資料大小排序後之計算之機率分析結果成為理論分析結果 (Analytical Solution) 與統計模式所獲得的結果進行差值 (Maximum Differences, D_n) 比較如方程式 (3) 所示：

$$D_n = \text{abs} (\max (P(x) - P_0(x))) \quad (3)$$

其中 D_n 為最大差值, $P(x)$ 為理論統計分析的結果, $P_0(x)$ 是採用不同統計模式分析的結果。在 KS 檢定法中, 針對不同的信賴區間 (α), 皆有一個可接受的差值 (D_{critical})。也就是說只要差值 (D_n) 比 D_{critical} 小, 表示該統計模式通過 KS 檢定。本研究以 5-yr、10-yr、25-yr、50-yr、100-yr、200-yr 五個重現期分別計算對應不同延時的雨量強度。表 2 到表 4 為一小時雨量強度在基期、世紀中, 及世紀末的結果。結果顯示所有的模擬結果都可以符合 KS 檢定, 但若以最小平均差距 D_n 來評估, 則在基期與世紀中兩個情境中對數皮爾森三型 (LP-III) 9% 表現最好, 而在世紀末的結果中, 雖然與對數皮爾森三型 (LP-III) 結果差距不大, 但表現最好的模式則為三參數對數分布 (LN-3) 模式 7.32% 為最佳。

依據所有檢定結果, 六個統計模式皆通過信賴區間

$\alpha = 95\%$ 的 KS 檢定。但若將所有分析年份的最大雨量值進行比較, 發現對數皮爾森三型 (LP-III) 在台灣本島大部分的網格上有較多最小 D_n 差值的表現 (圖 5), 因此本研究判定對數皮爾森三型 (LP-III) 有較好的模擬結果, 因此後續的淹水模式所需之雨量條件, 皆採用對數皮爾森三型 (LP-III) 模式進行後續重現期雨量結果產製。

氣候變遷條件下不同調適策略對淹水風險的影響

本研究設置了三種調適策略 (S1、S2、S3) 以及現況 (S0) 共四種, 在 NCDR 之未來氣候變遷雨量資料下推估 10-yr、50-yr、100-yr、200-yr 等重現期下各個調適策略之效益與現況結果比較。有關各個調適策略簡述如下, S0 情境為 baseline 條件也就是現況, S1 情境為參考經濟部水利署在 20180823 豪雨事件, 設置對應的抽水機型式、擺設位置以及滯洪池周圍之固定式抽水站。S2 情境則參考低衝擊開發之思維, 希望在地臨時滯洪可達到減洪的效果。本研究中臨時滯洪池之面積則參考嘉義縣政府 2018 年統計休養魚池與總養殖面積之比例為 0.015, 以研究區域之漁業養殖面積為總養殖面

表 2 基期統計模式結果比較

Return Period (Years)	Probability Distributions					
	Normal	LN-2	LN-3	P-III	LP-III	EV-1
5	71.89	67.43	72.30	71.17	70.64	68.82
10	82.95	82.87	85.05	83.87	87.45	83.53
25	94.75	103.25	99.56	98.27	108.64	102.12
50	102.37	119.01	109.46	108.04	124.27	115.91
100	109.22	135.23	118.74	117.16	139.71	129.60
200	115.49	152.00	127.55	125.78	155.04	143.23
D_n (%)	9.849	13.356	10.581	9.402	8.988	11.474
D_{critical} (%)	24.60					

表 3 世紀中統計模式結果比較

Return Period (Years)	Probability Distributions					
	Normal	LN-2	LN-3	P-III	LP-III	EV-1
5	91.06	80.07	91.75	87.13	83.32	86.19
10	108.60	105.48	115.78	110.96	112.47	109.52
25	127.30	141.52	145.78	140.03	154.00	138.99
50	139.38	171.11	167.93	160.87	188.09	160.86
100	150.25	202.97	189.94	181.03	224.70	182.56
200	160.20	237.31	211.99	200.68	263.97	204.19
D_n (%)	18.372	11.607	17.313	12.269	9.092	13.547
D_{critical} (%)	25.50					

表 4 世紀末統計模式結果比較

Return Period (Years)	Probability Distributions					
	Normal	LN-2	LN-3	P-III	LP-III	EV-1
5	91.60	87.98	92.11	89.22	91.10	88.25
10	103.67	104.26	108.33	105.29	104.86	104.30
25	116.55	124.95	128.33	124.71	119.68	124.59
50	124.87	140.45	142.94	138.53	129.14	139.65
100	132.35	156.02	157.36	151.85	137.47	154.59
200	139.19	171.79	171.70	164.79	144.88	169.47
D_n (%)	7.400	10.397	7.323	10.427	7.548	9.776
D_{critical} (%)	26.40					

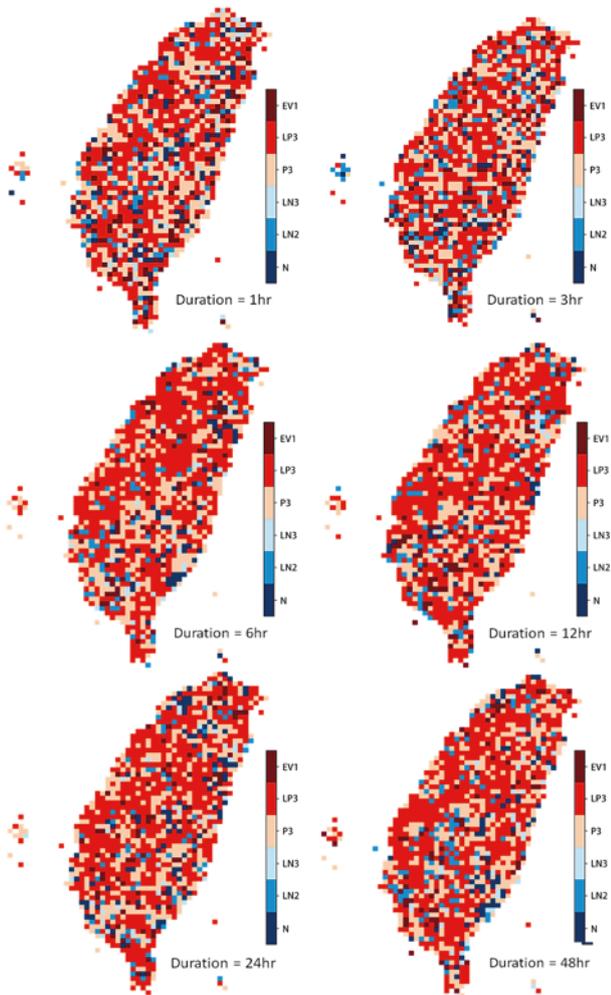


圖 5 不同降雨延時各個網格顯示最小 Dn 值之統計模型結果

積，再選擇兩塊區域做為臨時在地滯洪池，控制該面積與總面積比值約為 0.015，這兩塊區域就是臨時在地滯洪池。最後 S3 情境則結合了 S1 抽水機以及 S2 滯洪池策略，另外設置每個魚池初始水位高度與 S0 相較減少 30%。如此可模擬沿海養殖於豪雨來臨之時，漁塢預先抽排作為預留空間承載降雨，以防止漁塢因降雨溢堤的情況發生，也同時提供額外滯洪空間^[23]。

首先統計研究區域內最大淹水深度超過 30 公分之網格面積，以圖 6 顯示各調適策略與在氣候變遷基期下 200 年與 10 年重現期的比較結果為例，在 200 年重現期中央雨型的情況下（圖 6 上），S3 措施之減災成效最明顯，抽水機運作（S1, S3）可使淹水面積上升幅度減少。以 200 年重現期為例，各調適策略之減少面積約 23% (S3) > 8% (S1) > 2% (S2)。除此之外，S3 的預排效果也可以大幅減少抽水機之負荷，結果如圖 7 所示，S3 措施 200 年的抽水量僅為 S1 情境之 25 年抽水量，如此剩餘的可抽水量可以增加都市耐災的能力。

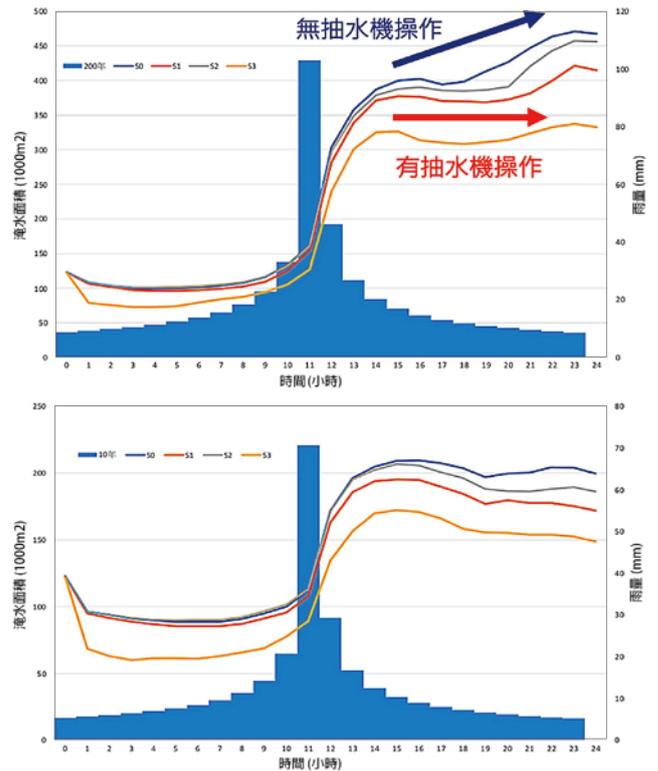


圖 6 基期情況下不同重現期淹水範圍模擬結果比較 (上) 200 年 (下) 10 年

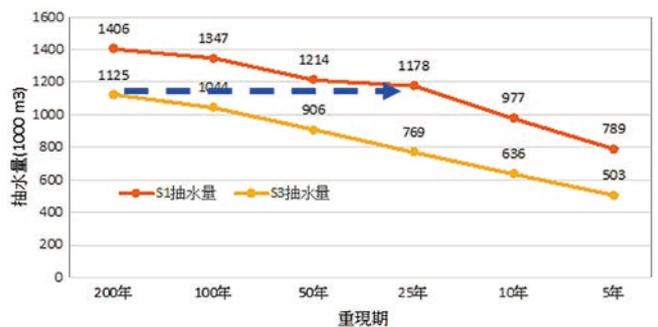


圖 7 S1 & S3 在基期條件下不同重現期之抽水總量比較結果

圖 8 顯示在動力降尺度的未來氣候變遷雨量條件下，不同重現期之淹水面積有顯著增加，尤其是在 50 年重現期之後增加幅度最為明顯。但從本研究的結果顯示，世紀中到世紀末的淹水面積增加率較基期到世紀中為小。

圖 9 則是將世紀末也就是淹水面積增加最大的情況下比較各個調適策略的效益，總整結果結合在地滯洪與魚池預排的 S3 的效益與 S0 的比較還是最明顯，但隨著重現期，也就是雨量增加的情況下，減少效益差異越小。

氣候變遷條件下對漁業損失的影響

本研究最後將上述淹水面積的模擬結果與線性及脈衝函數假設之漁業損失曲線（圖 4）結合推估淹水轉

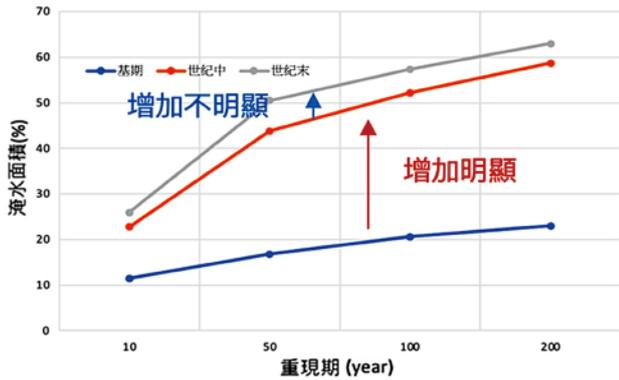


圖 8 氣候變遷條件下不同重現期模擬淹水面積增加結果比較

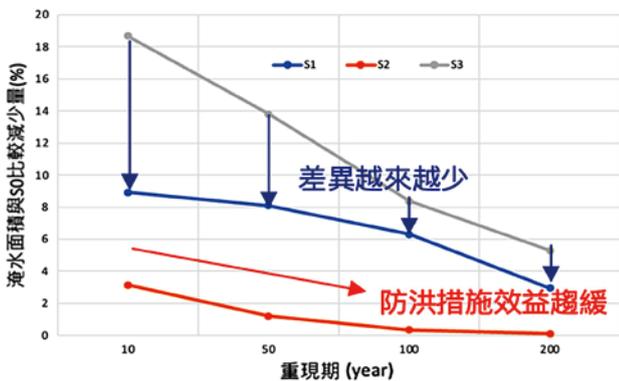


圖 9 世紀末氣候變遷條件下不同重現期在不同調適策略與現況比較減少淹水面積結果比較

化為漁業損失的量化結果。研究結果整理如表 5 所示，在本研究提出之線性損失的假設條件下，隨著淹水面積增加，漁業損失金額也提升，且與原本脈衝函數假設之金額為高。但在基期情境下，不同重現期雨量與淹水面積增加情況下，雖然魚損就數字上並沒有對應之明顯增加，但若以百分比為指標分析，基期情境下漁損也有接近 50% 損失的增加。有趣的是不論何種損失假設，基期到世紀末之漁業損失增加金額比基期到到世紀中之金額多了非常多。表 6 顯示在世紀末情境下，不同重現期，不同調適策略 (S1-S3) 與現況 (S0) 災損減少之結果。結果顯示 S3 策略之減少損失最為明顯，然而與淹水面積減少結果相同，隨著重現期提升，淹水狀況越來越嚴重情況下，各情境減少損失之幅度越來越不明顯。若以本研究提出之線性損失方程式結果為例，以 10 年重現期 S3 與 S0 相比，可以減少約 10% 的經濟損失，但到了 200 年重現期僅剩下 0.79%。綜整所有結果，S3 調適措施 (魚池預先排水與在地滯洪) 仍然是最有效率的減災措施。執得一提的是在脈衝函數損失結果中，因為淹水超過 30 公分即全損的假設下，雖然估計金額較線性函數假設估計為少，但效益評估結果的比

表 5 不同氣候變遷情境、不同重現期、漁業損失的結果評估

氣候變遷情境	10-yr		50-yr		100-yr		200-yr	
	線性	脈衝	線性	脈衝	線性	脈衝	線性	脈衝
基期	\$300	\$216	\$381	\$248	\$415	\$280	\$446	\$322
世紀中	\$442	\$320	\$551	\$482	\$574	\$513	\$592	\$564
世紀末	\$853	\$630	\$1,018	\$906	\$1,055	\$969	\$1,083	\$1,021

表 6 世紀末情境下、不同重現期、不同調適策略漁業損失改善結果

調適策略	10-yr		50-yr		100-yr		200-yr	
	線性	脈衝	線性	脈衝	線性	脈衝	線性	脈衝
S1	2.44	6.99	0.56	2.94	0.18	0.54	0.15	0.00
S2	0.81	4.84	0.82	0.05	0.68	0.00	0.40	1.05
S3	10.23	21.29	3.28	6.73	1.73	4.14	0.79	1.37

單位：%

較上卻比線性函數假設更為明顯。以 10 年重現期 S3 與 S0 相比，可以減少約 21.29% 的經濟損失，相較於線性函數假設的 10% 損失減少為高。

結論

本研究以嘉義東石鄉掌潭村為中心，透過 TUFLOW 模式進行一二維耦合淹水模擬，再透過使用 NCDR 提供之 RCP8.5 動力降尺度不同延時雨量預測結果，探討氣候變遷情境下與不同調適策略對該地漁業損失的影響。結果顯示在僅使用地滯洪對魚塢損失及社會影響範圍的改善效果小，而抽水機針對都市淹水效果較好，但整體效果則以預先排水與在地滯洪整合之策略有最顯著的減災效益。但是不論何種調適策略，隨著重現期雨量與淹水面積的增加，減少效益差異性就越小。最後本研究嘗試以線性函數而非脈衝函數的水深對應漁業損失曲線，探討沿海地區因為淹水而產生之最大的災損狀況，考慮線性函數的漁業損失評估損失較原來脈衝函數的結果為高，而 S3 調適策略較其他策略減少損失為最多，也就是最好最有效的調適策略。但因為不同情境之本益比並不在本研究分析考慮，而且不同魚種之損失評估並不相同，本研究採取簡化之災損假設，加上缺乏真實災損資料驗證，因此有關本研究之魚損分析所提出之線性損失函數仍需要在未來有更深入討論與改善，才能確定其真實的應用性。

誌謝

本論文感謝「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」提供相關資料供參考與使用。

參考文獻

1. 漁業署，民國 109 年 (2020) 漁業統計年報，<https://www.fa.gov.tw/cht/PublicationsFishYear/content.aspx?id=35&chk=6c7f7242-297c-47d1-8bb1-51e7c8a5961c>。
2. 台北市政府消防局，民國 107 年 11 月 26 日，熱帶低壓水災災害

應變處置作為暨災後檢討報告。

3. 網路新聞，擷取時間民國 110 年 12 月 18 日，https://www.cardu.com.tw/news/detail.php?nt_pk=6&ns_pk=28695。
4. 吳育甄、林峰右、胡益順、朱永桐、王俊堯、呂連棋、葉信利 (2016)，霸王寒流後臺南養殖業的災損及今後的因應對策，水試專訊，第 54 期，第 32-35 頁。
5. The Natural Conservancy, Extreme Climate Events Threaten US Fisheries, Fishermen, and Coastal Communities, May 04, 2021, <https://www.nature.org/en-us/newsroom/ca-climate-threatens-fisheries/>。
6. Fowler, H.J., Wasko, C., and Prein, A.F. (2021). Intensification of short-duration rainfall extremes and implications for flood risk: Current state of the art and future directions. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 379(2195), 20190541.
7. 今周刊 (2018)，「還在淹！南台灣淹水難退 水利署分析三大原因」，網路新聞，擷取時間民國 110 年 12 月 18 日。
8. United Nations. The 17 goals. Available online: <https://sdgs.un.org/goals> (assessed on 13 November 2022)
9. Silva, W., Dijkman, J.P., and Loucks, D.P. (2004). Flood management options for The Netherlands. International Journal of River Basin Management, 2(2), 101-112.
10. 李晉安 (2020)，「嘉義沿海低地淹水調節策略—以嘉義縣北華村為例」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
11. 水利署電子報 (2021)，「小小面積大大發揮·韌性承洪幸福有才」，第 0437 期。
12. 華道明 (2018)，「水文數值模式模擬淹水潛勢—以中港溪流域為例」，國立中央大學土木工程學系碩士論文。
13. 鍾婷羽 (2017)，「設置低衝擊開發設施對都市淹水影響之研究」，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
14. 陳元培 (2017)，「台灣地區淹水損失分析—以中港溪及其附近流域為例」，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
15. 張齡方 (2000)，「住宅區淹水損失之推估」，國立台灣大學農業工程學系碩士論文。
16. 鄭思蘋 (2003)，「都會區颶風災害損失之分析與評估」，國立台灣大學生物環境系統工程研究所博士論文。
17. Shaw, D.G., Huang, H.H., and Ho, M.C. (2005). Modeling flood loss and risk perception: The case of typhoon Nari 2001 in Taipei. In Poster presented at the 5th Annual Meeting of the IIASA-DPRI (International Institute for Applied Systems Analysis-Disaster Prevention Research Institute) meeting, Beijing, China.
18. Yang, S.Y., Chan, M.H., Chang, C.H., and Chang, L.F. (2018). The damage assessment of flood risk transfer effect on surrounding areas arising from the land development in Tainan, Taiwan. Water, 10(4), 473.
19. 經濟部水利署 (2019)，108 年淹水損失推估模式精進及暴露量更新。
20. Queensland Government, (2002), Disaster loss assessment Guidelines, Qld-Department of Emergency Services and Emergency Management Australia. (Written by Handmer, J. Read, C. and Percovich, O.).
21. 陳思豪 (2019)，「應用 GPI 加速一二為耦合淹水模擬與無斷面資料河段之資料發展—以典寶溪為例」，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
22. 吳馥光 (2003)，「沿海低地之豪雨暴潮淹水之研究」。
23. Chow, V., Maidment, D., Mays, L. (1988), Applied Hydrology; McGraw-Hill Book Company: New York, NY, USA. 

開路架橋 穿山越水
治河理川 穩土固石



專業、客觀
公益、永續



 台北市土木技師公會
Taipei Professional Civil Engineers Association

歡迎掃碼，獲知我們最新消息！



105612 台北市松山區東興路 28 號 9 樓

02-27455168

tpce@tpce.org.tw