

海空運場站因應氣候變遷調適分析資訊之初探

A Preliminary Discussion on the Adaptation Information of Climate Change for Taiwan Airports and Seaports

綜合技術組 李忠遠、蕭為元、李仕勤、朱珮芸、曾佩如

研究期間：民國 108 年 3 月至 109 年 6 月

摘要

為瞭解氣候變遷對臺灣造成的衝擊與影響，我國政府部門積極推動相關研究及計畫，近年已陸續完成各項氣候變遷調適分析資訊，且建立相關網站或平台，提供各界應用參考。有鑑於海空運場站在空間中屬於點狀分布，參考國外經驗，可依場站之地理位置，以該「點」之氣候變遷調適分析資訊進行調適規劃，爰本研究對國內氣候變遷相關資訊之來源及取得方式進行蒐整，研析國內民用機場及商港應用參考之適宜性。

本研究考量國內民用機場及商港未來主要面臨之氣候變遷事件，蒐整我國政府部門近年完成之氣候變遷調適分析資訊，如溫度、雨量、淹水、暴潮、海平面上升、極端波浪及閃電等，資訊來源涵蓋科技部、行政法人國家災害防救科技中心、經濟部水利署、交通部中央氣象局等單位建置之網站或平台，可提供調適規劃之初步參考。惟若做為機場或商港相關設施之設計參數或納入設計規範，則須視個案進一步研究。爰建議國內民用機場及商港可參酌美國或英國作法，由管理單位委託專業服務，為個別場站進行客製化之氣候變遷風險評估及調適規劃，目前桃園國際機場已採類似作法。

關鍵詞：

氣候變遷、民用機場、商港、調適

海空運場站因應氣候變遷調適分析資訊之初探

一、前言

自 18 世紀工業革命以來，全球社會、經濟、科技及交通快速發展，人類生活水準不斷提升，然而大量使用煤炭、石油等化石能源的結果，大氣中溫室氣體逐年增加，已對自然環境造成影響。聯合國政府間氣候變遷委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的報告指出，人類活動排放溫室氣體，形成全球暖化現象，亟待加強永續發展推動工作^[1]。近年來，世界各地出現高溫、乾旱、野火、暴雨、洪水的頻率及次數持續增加，顯示氣候變遷的效應已經發生，不容忽視。

為瞭解氣候變遷對臺灣造成的衝擊與影響，做為研擬因應策略及措施之基礎，我國政府部門近年來積極推動相關研究及計畫，已陸續完成各項氣候變遷調適分析資訊，且建立相關網站或平台，做為推廣研究及計畫成果及對外提供資訊之渠道，開放各界應用參考。以本所研究為例，在陸路運輸方面，已結合經濟部水利署及行政法人國家災害防救科技中心在淹水及坡災之研究成果，研製鐵公路氣候變遷風險資訊，提供交通部及鐵公路管理機關參考。

在海、空運輸方面，考量民用機場及商港等海空運場站在空間中屬於點狀分布，與鐵公路系統呈網狀分布有別，依國外經驗，管理單位可依所轄場站之地理位置，以該「點」之氣候變遷調適分析資訊進行調適規劃。爰此，本研究將就民用機場及商港之場站設施可能面臨之氣候變遷事件進行探討，瞭解管理單位所需氣候變遷調適分析資訊，對國內相關資訊之來源及取得方式進行蒐整，探討其使用之注意事項及應用參考之適宜性，並研提相關建議。研究成果期能提供民用機場及商港之管理單位因應氣候變遷，推動調適工作之參考。另船舶或航空器在海上或空中航行、起降所面臨之氣候變遷課題與場站設施不同，不在本研究範圍。

二、文獻回顧

依據 IPCC 發布之氣候變遷第五次評估報告(Fifth Assessment Report, AR5)指出，從 1880 年至 2012 年間地表溫度大約上升了 0.85°C；1901 年至 2010 年期間，全球平均海平面上升了 0.19 公尺，其他氣候系統的變化亦觀測到如全球冰川持續退縮、北極年均海冰範圍縮小等現象。IPCC 表示所有溫室氣體排放情境的推估結果均指出 21 世紀地表溫度將呈上升趨勢，很有可能熱浪發生的頻率更高、時間更長，許多地區極端降水的強度

和頻率將會增加，而海洋將持續升溫和酸化，全球平均海平面也將不斷上升^[2]。

現今世界經濟在全球化的趨勢下，國際貿易蓬勃發展，各國天然資源、生產製品及往來旅客之流通，主要仰賴海、空運輸，面對未來氣候變遷可能帶來的影響，必須妥善因應，維持海空運場站之正常運作，才能降低災害風險及生命財產損失。本研究將回顧國外相關文獻及本所過去研究，瞭解海空運場站可能面臨之主要氣候變遷事件，並訪問國內海空運管理單位相關人員，掌握所需氣候變遷調適分析資訊，俾後續對國內政府部門所建網站或平台進行相關資訊之蒐整。

2.1 民用機場及商港面臨之氣候變遷事件

本節綜理國內外民用機場及商港在氣候變遷事件之相關文獻重點，以下分別就美國、英國、澳洲、日本及我國之民用機場及商港主要面臨之氣候變遷事件及產生之衝擊影響進行歸納說明：

1. 美國

美國運輸部(U.S. Department of Transportation, DOT)於 2014 年提出之氣候變遷調適計畫(U.S. Department of Transportation Climate Adaptation Plan 2014: Ensuring Transportation Infrastructure and System Resilience^[3])，針對可能影響運輸系統之氣候變遷事件進行探討，其中與民用機場有關之氣候變遷事件包含高溫(higher temperature)、暴潮(storm surge)及海平面上升(sea level rise)，報告中評估海平面上升將使鄰近海岸之機場更易遭受淹水(flooding)，而暴潮可能損害機場設施。

在商港方面，面臨的氣候變遷事件為暴潮及海平面上升，海平面的改變可能加快設施老化的速度，損害港灣構造物及導航設備。

2. 英國

英國於 2008 年訂定氣候變遷法(Climate Change Act)，設立氣候變遷委員會(Committee on Climate Change, CCC)及調適次級委員會(Adaptation Sub-Committee of the Committee on Climate Change, ASC)，規定每 5 年必須提出國家氣候變遷風險評估報告(Climate Change Risk Assessment, CCRA)。

依據 ASC 於 2016 年發布的最新報告(UK Climate Change Risk Assessment 2017 Evidence Report^[4])，與民用機場有關之主要氣候變遷事件包含暴雪(heavy snow)、強降雨(intense rainfall / increased peak rainfall)及高溫，惟預期暴雪的風險將隨著氣候變遷而降低。強降雨將導致機場設施淹水、服務中斷，而高溫會影響機場跑道(runway)狀況，空氣密度也會產生

變化，可能使飛機起飛時需要耗費更多的燃料及更長的跑道長度。

商港面臨的氣候變遷事件為暴潮及海平面上升。暴潮及海平面上升將使港區更易淹水，損害港區設備及港灣構造物，也有可能使得港口需要清淤的頻率增加。

3. 澳洲

依據澳洲政府委託馬蒂克斯(Maddocks)公司於 2012 年提出的基礎設施氣候變遷調適法規評估報告(The role of regulation in facilitating or constraining adaptation to climate change for Australian infrastructure^[5])，與民用機場有關之氣候變遷事件涵蓋高溫及熱浪(heatwaves)、太陽輻射增加(increased solar radiation)、強降雨(extreme rainfall)、暴潮、海平面上升、強風(extreme wind)及叢林大火(bushfire)期間變長等，將使機場設施受損及服務中斷，並導致鄰近海岸之機場淹水。

在商港方面，暴潮及海平面上升之氣候變遷事件，將損害港口及突堤，包括發生海水越過海堤的情形。

4. 日本

日本國土交通省於 2015 年提出氣候變遷調適計畫(国土交通省氣候變動適応計画，平成 27 年)，並於 2018 年 11 月提出部分修正^[6]。該計畫指出氣候變遷所引起的暴潮可能導致鄰近海岸之民用機場面臨淹水，且近年來因雪質改變，機場的除雪機制需重新檢討因應。

在商港方面，氣候變遷造成海平面上升，除了形成淹水損害之外，亦影響港區營運。此外，氣候變遷亦可能導致強風，使港區門式機及橋式機無法正常運作。

5. 我國

本所於 101 年辦理「交通設施因應氣候變遷之脆弱度評估作業探討」^[7]，歸納氣候變遷事件對臺灣民用機場及商港可能造成之衝擊。

在氣候變遷引發極端降雨的侵襲下，若區域排水無法負荷暴雨雨量，將造成機場跑道淹水，影響班機起降，機場設施亦可能因此遭受破壞。而在商港方面，隨著氣候變遷導致海平面上升、颱風波浪增大，將會影響港灣構造物的結構安全，並增加港灣淤積，進而影響港埠營運作業，導致海運運輸中斷。

除上述文獻外，本所 107 年辦理「運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫」^[8]，亦對民用機場及商港所面臨之氣候變遷事件進行蒐整，以下將就前述各國未提及之氣候變遷事件類型進行補充：

依據美國運輸研究委員會(Transportation Research Board, TRB)及美國

聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)之研究，美國民用機場面臨之氣候變遷事件尚包含強降雨及其他天氣因子，如降雪、冰雹、強風等，將造成機場設施損壞、航班延遲或中斷服務。英國民用航空管理局(Civil Aviation Authority, CAA)的報告指出，除了強降雨及高溫外，強風及海平面上升亦將對該國機場營運造成影響。此外，日本民用機場面臨之氣候變遷事件亦有強降雨、海平面上升、強風及淹水，當降雨增加導致跑道積水，起飛和著陸時可能會發生飛機在跑道打滑的現象。

在商港方面，依據美國長堤港(Port of Long Beach)管理單位的研究，該港面對之氣候變遷事件除暴潮及海平面上升外，亦包含颶風、高溫及強降雨，其中高溫可能影響金屬材質的設施或存儲的貨物。日本沿岸(港灣)之氣候變動影響及其調適方向性檢討委員會的報告指出，氣候變遷事件如強降雨、暴潮、淹水等，將導致港區設施損害及航路淤積，對商港業務運作造成衝擊。此外，影響澳洲商港之氣候變遷事件亦包含高溫及強降雨，其中高溫可能影響港灣設施結構強度。

本研究針對上述各國及我國民用機場及商港主要面臨之氣候變遷事件及衝擊影響進行分類彙整，如表 1 及表 2 所示。

表 1 民用機場主要面臨之氣候變遷事件

氣候變遷事件	國家	對民用機場之衝擊影響
強降雨	美國、英國、澳洲、日本、我國	導致機場淹水，影響飛機起降、破壞設施
高溫	美國、英國、澳洲	造成機場跑道鋪面受損 ^[9] ，影響飛機起降
海平面上升	美國、英國、澳洲、日本	鄰近海岸之機場更易淹水，破壞設施
暴潮	美國、澳洲、日本	鄰近海岸之機場更易淹水，破壞設施

資料來源：本研究彙整。

表 2 商港主要面臨之氣候變遷事件

氣候變遷事件	國家	對商港之衝擊影響
暴潮	美國、英國、澳洲、日本、我國	影響港灣構造物之結構安全，增加港灣淤積，導致港區容易淹水、破壞設施
海平面上升	美國、英國、澳洲、日本、我國	影響港灣構造物之結構安全，導致港區容易淹水、破壞設施
強降雨	美國、澳洲、日本	增加港灣淤積，導致港區淹水，破壞設施

資料來源：本研究彙整。

2.2 國內海空運管理單位所需調適資訊

本研究透過前述國內外相關文獻蒐整，已歸納民用機場及商港主要面臨之氣候變遷事件。為符合實務需要，宜瞭解國內海空運管理單位所需之氣候變遷調適分析資訊。爰此，本研究透過電話訪問方式，於 108 年 11 月下旬至 12 月上旬期間洽詢交通部民用航空局、航港局、桃園國際機場股份有限公司及臺灣港務股份有限公司負責氣候變遷調適業務之相關人員。訪問結果彙整如表 3。

表 3 國內海空運管理單位所需氣候變遷調適分析資訊

場站	管理單位	調適所需資訊
民用機場	民用航空局	溫度、暴潮、海平面上升、淹水、閃電
	桃園國際機場股份有限公司	溫度、雨量、淹水
商港	航港局	暴潮、海平面上升
	臺灣港務股份有限公司	暴潮、海平面上升、極端波浪、強風

資料來源：本研究彙整。

訪問過程首先說明本研究目的，續向訪問對象摘要說明本研究在國內外相關文獻之蒐整結果，對於民用機場及商港主要面臨之氣候變遷事件，徵詢管理單位所需之氣候變遷調適分析資訊。訪問結果除民用航空局提出之「閃電」及臺灣港務股份有限公司提出之「極端波浪」等 2 項資訊需求外，其他調適所需資訊與文獻回顧所示之氣候變遷事件大致相符。

依據 IPCC 第四次評估報告(Fifth Assessment Report, AR4)指出，全球暖化將會增加閃電(lightning)的發生次數^[9]，頻繁的落雷將影響機場作業及旅客安全。此外，IPCC 於 2019 年發布「氣候變遷下的海洋與冰凍圈特別報告」(Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate)^[10]，北大西洋及南大西洋的極端波浪(extreme wave)高度在過去 30 年間(1985-2018)呈現增加的情形，且北極圈海冰的減少亦導致波浪高度增加，將影響港灣構造物之安全性。爰此，本研究配合管理單位之需要，蒐集閃電及極端波浪之國內氣候變遷調適分析資訊。

最後，從上述文獻回顧及訪問結果進行歸納，影響民用機場之氣候變遷事件主要為強降雨及高溫，鄰近海岸之機場亦面臨海平面上升及暴潮的威脅。在商港方面則是暴潮、海平面上升及強降雨。

三、我國氣候變遷調適分析資訊

為瞭解臺灣氣候變遷之趨勢及影響，我國政府部門積極投入相關研究及計畫，近年已陸續完成各項氣候變遷調適分析資訊，並建立相關網站或平台，做為研究及計畫成果推廣，對外提供資訊之途徑，方便各界應用參考。

本研究蒐整 10 個國內氣候變遷調適分析資訊來源，主要為政府部門建立之網站或平台，如表 4 所示。10 個網站或平台皆為對外公開資訊，資訊取得方式係透過網路直接查詢、下載或申請。

表 4 國內氣候變遷調適分析資訊來源

資訊來源	管理單位	氣候變遷事件內容摘述
臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台	科技部、NCDR ¹	溫度及雨量之氣候變遷推估資訊
氣候變遷災害風險調適平台	NCDR	淹水之氣候變遷推估資訊
氣候變遷水環境知識庫	經濟部水利署	暴潮、海平面上升及極端波浪之氣候變遷推估資訊
臺灣水災潛勢風險圖資應用服務平台	經濟部水利署	10 種定量降雨情境之淹水潛勢圖
劇烈天氣監測系統	交通部中央氣象局	閃電之預報資訊
臺灣氣候科技調適服務網站	科技部	以調適行動計畫建構及知識宣導為主
同舟共濟臺灣氣候變遷調適平台	行政院環境保護署	以調適法規、政策及知識宣導為主
氣候變遷調適專區	經濟部工業局	以氣象預報及防災資訊為主
災害防救資料服務平台	NCDR	溫度及雨量之氣候變遷推估資訊，內容與臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台相同
災害管理資訊研發應用平台	科技部、NCDR、NCHC ²	淹水之氣候變遷推估資訊，內容與氣候變遷災害風險調適平台相同

資料來源：本研究彙整。

註1. 行政法人國家災害防救科技中心，National Science and Technology Center for Disaster Reduction，NCDR。

註2. 財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心，National Center for High-performance Computing，NCHC。

3.1 海空運管理單位所需國內調適資訊來源

前述網站、平台及未公開資訊所含資訊種類與海空運管理單位需求相符部分計有溫度、雨量、淹水、暴潮、海平面上升、極端波浪及閃電等 7 類資訊，以下將分別對資訊來源及內容進行摘要介紹。

1. 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台^[11]

科技部自國科會時期起為推動國內氣候變遷推估與衝擊研究，爰成立「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」，計畫團隊含不同學研單位、業務機關共計 20 個單位。目前該計畫已邁入第三期，並於 108 年 10 月重新設計與改版，推出全新之第三代氣候變遷整合服務平台^[11]。

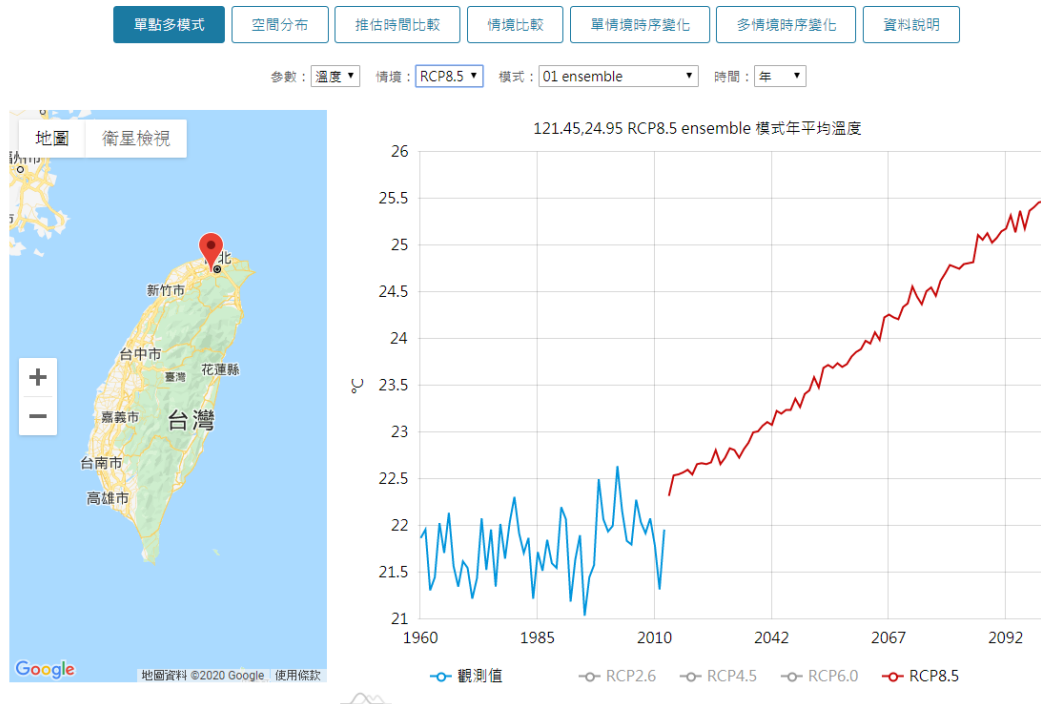
上述計畫團隊依據 IPCC AR5 所定義之未來變遷情境(如表 5)，運用該報告中的 41 種大氣一般環流模式(Atmospheric General Circulation Model, AGCM)研製氣候變遷調適分析資訊，提供推估未來 80 年(2021 年至 2100 年)之月溫度及月雨量。

該平台之未來推估資訊呈現方式包含單點多模式、空間分布、推估時間比較、情境比較、單情境時序變化及多情境時序變化等。以單點多模式為例，可移動臺灣地圖上的游標查詢任意一點推估未來之月溫度及月雨量資訊，解析度為 25 平方公里網格(5km x 5km)，如圖 1。

代表濃度 途徑	定義說明	推估情形
RCP2.6	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 2.6 瓦	屬於 暖化減緩的情境 (輻射強迫力在 2100 年呈減少趨勢)
RCP4.5	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 4.5 瓦	屬於 穩定的情境 (輻射強迫力的變化在 2100 年呈較為穩定狀態)
RCP6	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 6 瓦	屬於 穩定的情境 (輻射強迫力的變化在 2100 年呈較為穩定狀態)
RCP8.5	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 8.5 瓦	屬於 溫室氣體高度排放的情境 (輻射強迫力在 2100 年呈持續增加趨勢)

資料來源：災害管理資訊研發應用平台網頁^[12]。

表 5 AR5 定義之 4 種未來變遷情境



資料來源：臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台。

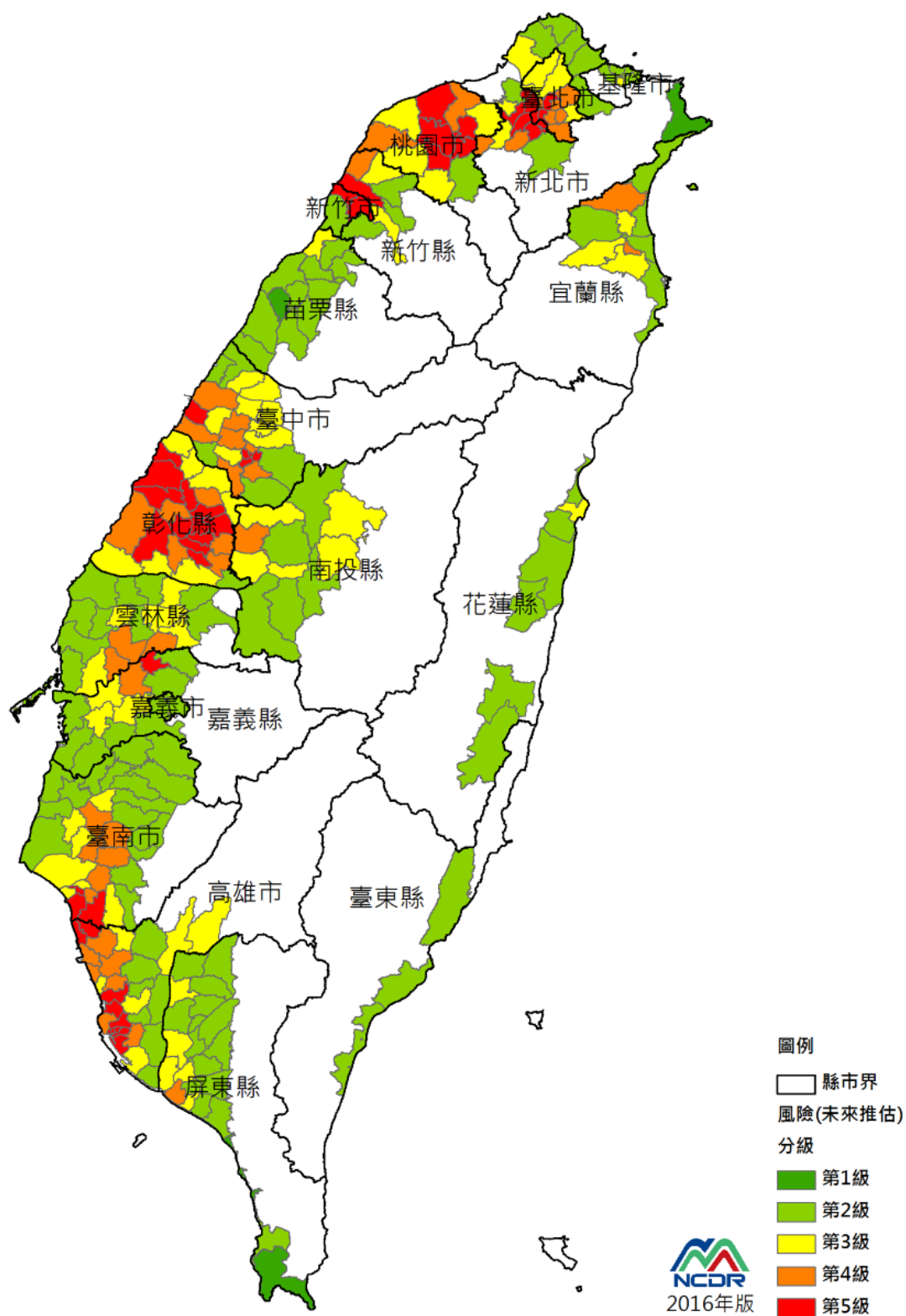
註：離島資料包含澎湖、龜山島、綠島、蘭嶼及小琉球等，不包含金門及馬祖。

圖 1 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台－單點多模式示意圖

2. 氣候變遷災害風險調適平台^[13]

為整合我國各界在氣候變遷災害衝擊領域的科研成果，並將這些資訊與知識提供外界，行政法人國家災害防救科技中心(以下簡稱 NCDR)建立「氣候變遷災害風險調適平台」，並採分階段方式，將漸進完成該平台之建置作業^[13]。

目前該平台提供推估未來(2075 年至 2099 年)之淹水、坡災及乾旱資訊，採用未來變遷情境 RCP8.5 之模擬資料。在海空運管理單位所需之淹水資訊方面，係以 24 小時內降雨超過 600 毫米之發生機率、24 小時累積降雨達 600 毫米之淹水模擬及鄉鎮市區人口密度進行災害風險評估。可查詢 269 個鄉鎮市區比較後之淹水災害風險圖，以 5 個等級呈現災害風險，第 5 級表示該區域的災害風險相對最高，第 1 級之災害風險相對最低，如圖 2。



資料來源：氣候變遷災害風險調適平台^[13]。

圖 2 氣候變遷災害風險調適平台 - 推估未來(2075~2099 年)淹水風險圖

3. 氣候變遷水環境知識庫^[14]

為因應氣候變遷對臺灣未來水資源管理、洪水防護、土砂管理及海岸防護之挑戰，經濟部水利署推動「氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究計畫」，強化瞭解未來氣候變遷可能對臺灣水環境造成之衝擊，作為規劃未來臺灣水利政策之參考^[14]，並建立「氣候變遷水環境知識庫」網站，將研究計畫成果提供各界應用參考。

經濟部水利署之研究計畫採用 IPCC AR4 所定義之未來變遷情境 A1B(如圖 3)，即未來同時運用再生能源與化石燃料，A1B 為國內外單位運用 AR4 時，通常採用之情境。該網站提供海空運管理單位所需暴潮、海平面上升及極端波浪之推估未來資訊，包含最大暴潮位增量(含天文潮)、海平面上升可能增量、極端波浪之最大波高增量等，可查詢臺灣東北海域、西北海域、中部海域、西南海域、高屏海域及東部海域等 6 處區域之相關資訊。

以西南海域(嘉義、臺南)為例，預估 2020 年至 2039 年相對於 1980 年至 1999 年，最大暴潮位增量(含天文潮)0.56~1.21 公尺、海平面可能增量 0.2038~0.2914 公尺、最大波高增量 3.40~4.93 公尺^[15]，如圖 4。



資料來源：氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究海岸防護成果報告^[16]。

圖 3 AR4 定義之未來變遷情境



資料來源：氣候變遷水環境知識庫^[14]

圖 4 氣候變遷水環境知識庫－西南海域之情境模擬

4. 臺灣水災潛勢風險圖資應用服務平台^[17]

為掌握臺灣水災風險，經濟部水利署依《水災潛勢資料公開辦法》研製淹水潛勢圖，模擬不同降雨條件下可能淹水深度及影響範圍之防災應用參考圖資，並在經濟部淹水潛勢圖審議小組通過後，將圖資公開於臺灣水災潛勢風險圖資應用服務平台。

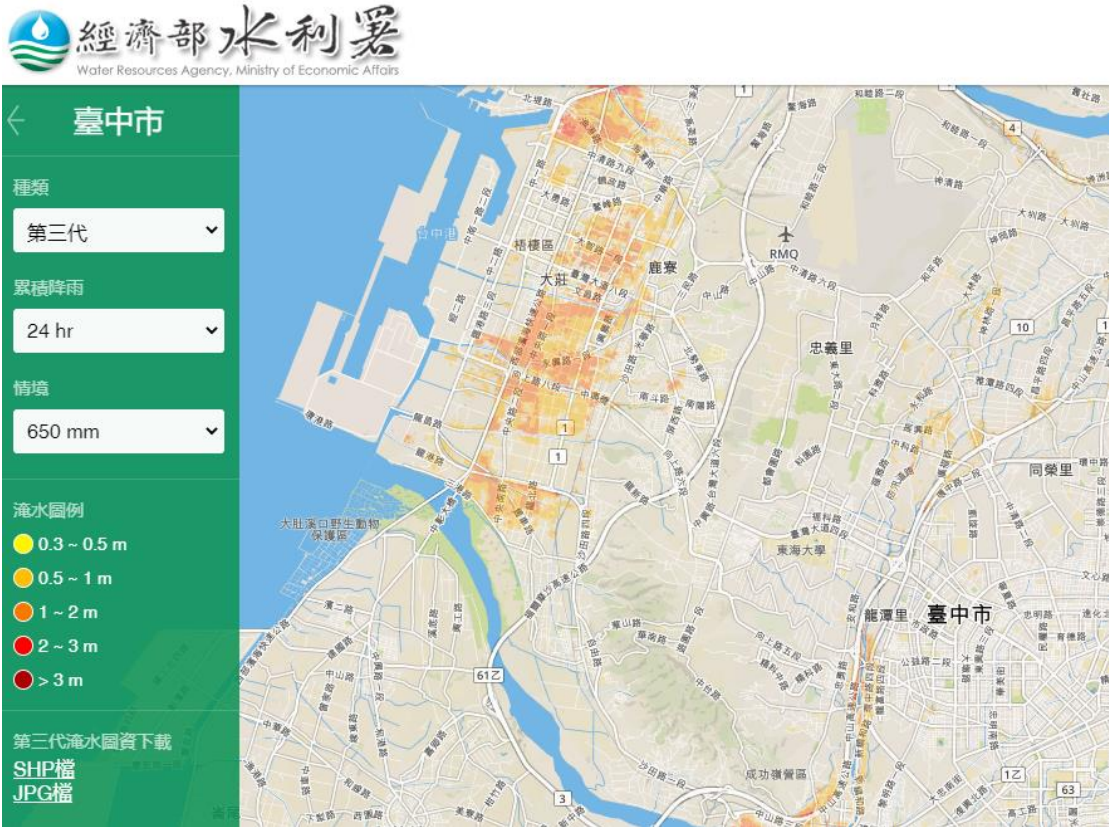
經濟部水利署之淹水潛勢圖已開發至第三代(103 至 105 年間完成製作)，加入下水道系統、區排淹水模擬、易淹水地區治理規劃結果，並考慮淹水歷程(流速與水位上升率)及平地與山區降雨比重的不同等，並在該平台共提供 10 種定量降雨之淹水潛勢圖，如表 6，可直接下載淹水圖資(檔

案格式含 SHP 檔及 JPG 檔)，或線上查詢臺灣不同降雨情境之淹水深度(如圖 5)及淹水風險等級(如圖 6)，解析度不低於 1,600 平方公尺網格(40m x 40m)。^[17]

表 6 淹水潛勢圖之定量降雨情境

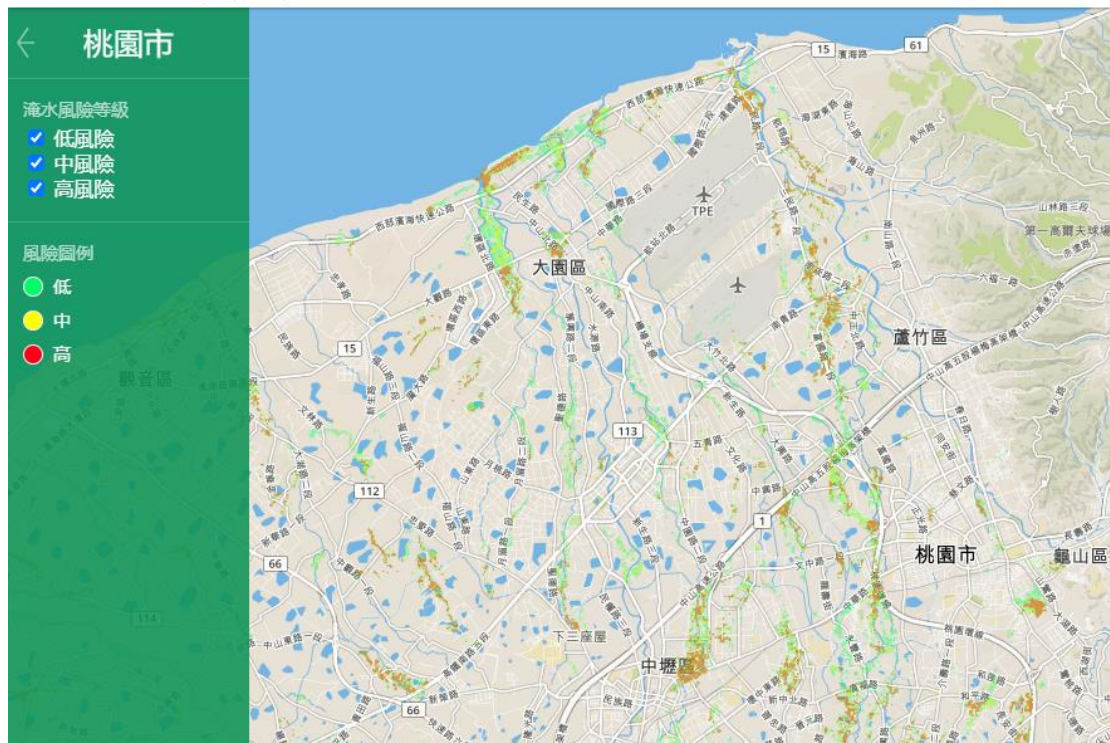
臺灣水災潛勢風險圖資應用服務平台	
模擬情境	雨量(總延時)
定量降雨	150、250、350 毫米/6 小時
	200、300、400 毫米/12 小時
	200、350、500、650 毫米/24 小時

資料來源：臺灣水災潛勢風險圖資應用服務平台^[17]。



資料來源：臺灣水災潛勢風險圖資應用服務平台^[17]。

圖 5 臺中市淹水潛勢圖(650 毫米/24 小時)



資料來源：臺灣水災潛勢風險圖資應用服務平台^[17]。

圖 6 桃園市淹水風險等級

5. 劇烈天氣監測系統^[18]

為加強災害性天氣的監測與即時預報能力，中央氣象局整合氣象雷達、雨量站等多元觀測資料及地理資訊，發展劇烈天氣監測系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS)，產製關於災害性天氣之即時監測資訊予各級政府單位及社會大眾參考^[18]，並於 103 年開發手機 APP，方便民眾查詢即時氣象資訊^[19]。

該系統提供颱風路徑、未來 1 小時雨量、即時閃電等即時性劇烈天氣分析資訊(如圖 7)，亦有雷達觀測、衛星雲圖及地面觀測等監測資訊。103 年 5 月松山機場發生落雷傷人事故後，交通部民用航空局與中央氣象局合作發展 QPESUMS 專屬客製化系統，提供各民用機場即時性且自動化的閃電落雷警示功能，以確保機場於劇烈天氣時之作業及旅客安全^[20]。

理單位宜注意選用所需之未來期間。

3. 事件

本研究蒐整之氣候變遷調適分析資訊中，並未蒐集到強風。建議可做為未來各政府部門網站或平台擴充功能之發展方向，或由民用機場或商港管理單位辦理相關計畫自行評估。

4. 專業

目前尚有部分網站或平台未引入風險分析，較難直接以氣候數據判斷風險高低，且各網站或平台之資訊來自不同的氣候變遷情境及評估模式，涉及氣象、水文、海洋…等專業領域，分析結果互不相同，建議管理單位宜與相關專業人員充分討論，俾有效進行調適規劃。

表 7 國內調適資訊使用注意事項

注意事項	說明
空間	各項資訊之空間解析度不同
時間	各項資訊之推估未來期間不同
事件	尚未有強風之資訊
專業	部分資訊無風險分析，難以判斷衝擊影響，且氣候變遷具跨領域特性，宜與專業人員充分討論

資料來源：本研究整理。

四、國外海空運場站研製氣候變遷調適分析資訊之作法

由於本研究所蒐整之我國氣候變遷調適分析資訊不宜直接做為設計標準使用、僅能提供調適規劃之初步參考，爰本研究進一步透過文獻回顧發現，國外民用機場及商港之管理單位多委託專業單位，依其場站特性，辦理客製化之氣候變遷風險評估，並就可能面臨之氣候變遷事件，研提調適規劃及建議。

4.1 國外民用機場及商港委託專業服務

本研究在文獻回顧過程中，蒐整美國及英國民用機場及商港委託專業服務之情形(如表 8 及表 9)，以下將分別對美國西雅圖塔科馬國際機場(Seattle-Tacoma International Airport)及長堤港(Port of Long Beach)、英國蓋威克機場(Gatwick Airport)及菲列斯特港(Port of Felixstowe)進行說明。

1. 西雅圖塔科馬國際機場(Seattle-Tacoma International Airport)

西雅圖塔科馬國際機場位於美國西北端，與東太平洋相鄰，為美國第 8 大機場，2018 年客運量在全球排名第 29 名(桃園國際機場為第 36 名)^[22]，管理單位為西雅圖港務局(Port of Seattle)。依據該機場 2018 年提出之永續計畫與管理策略(Sustainability Planning and Management Strategy)^[23]，西雅圖港務局與雷伊費雪公司(LeighFisher Inc.)及協同顧問公司(Synergy Consultants, Inc.)合作分析該機場面臨之氣候變遷風險。

2. 長堤港(Port of Long Beach)

長堤港位於美國西南端，為美國第 2 大港，2018 年貨櫃吞吐量在全球排名第 21 名(高雄港第 15 名)^[24]，管理單位為長堤市(City of Long Beach)。依據該港 2016 年提出之氣候調適及海岸韌性計畫(Climate Adaptation and Coastal Resiliency Plan, CRP)^[25]，長灘市與艾奕康工程顧問股份有限公司(AECOM)合作進行氣候變遷風險評估，並產製該港之淹水潛勢圖。

3. 蓋威克機場(Gatwick Airport)

蓋威克機場(Gatwick Airport)位於英國東南部，為英國第 2 大機場，2018 年客運量在全球排名第 39 名^[22]，管理單位為蓋威克機場公司(Gatwick Airport Ltd.)。依據該機場 2016 年提出之氣候變遷調適進展報告(Climate Change Adaptation Progress Report)^[26]，蓋威克機場公司與西圖工程顧問公司(CH2M HILL Companies, Ltd.)合作進行氣候變遷之淹水模擬，改善其淹水模型。

4. 菲列斯特港(Port of Felixstowe)

菲列斯特港位於英國東南部，為英國第 1 大港，2018 年貨櫃吞吐量在全球排名第 43 名^[24]，管理單位為和記港口公司(Hutchison Ports (UK) Ltd.)。依據該港 2015 年提出之氣候變遷調適報告(Climate Change Adaptation Report)^[27]，和記港口公司與英國氣候衝擊計畫(UK Climate Impact Programme, UKCIP)合作進行氣候變遷風險評估。UKCIP 為氣候變遷衝擊與調適之專業研究及顧問單位，辦公室位於英國牛津大學環境變遷研究所(Environmental Change Institute at the University of Oxford)^[28]。

表 8 國外民用機場因應氣候變遷委託專業服務

國家	美國	英國
機場名稱	西雅圖塔科馬國際機場 (Seattle-Tacoma International Airport)	蓋威克機場(Gatwick Airport)
管理單位	西雅圖港務局(Port of Seattle)	蓋威克機場公司 (Gatwick Airport Limited)
報告名稱	永續計畫與管理策略(Sustainability Planning and Management Strategy)	氣候變遷調適進展報告 (Climate Change Adaptation Progress Report)
受託單位	雷伊費雪公司(LeighFisher Inc.)及協同顧問公司 (Synergy Consultants, Inc.)	西圖工程顧問公司 (CH2M HILL Companies, Ltd.)
備註	2018 年客運量在全球排名第 29 名 (美國第 8 大機場)	2018 年客運量在全球排名第 39 名 (英國第 2 大機場)

資料來源：本研究整理。

表 9 國外商港因應氣候變遷委託專業服務

國家	美國	英國
商港名稱	長堤港(Port of Long Beach)	菲列斯特港(Port of Felixstowe)
管理單位	長堤市(City of Long Beach)	和記港口公司(Hutchison Ports (UK) Ltd.)
報告名稱	氣候調適及海岸韌性計畫(Climate Adaptation and Coastal Resiliency Plan, CRP)	氣候變遷調適報告(Climate Change Adaptation Report)
受託單位	艾奕康工程顧問股份有限公司 (AECOM)	英國氣候衝擊計畫 (UK Climate Impacts Programme, UKCIP)
備註	2018 年貨櫃吞吐量在全球排名第 21 名 (美國第 2 大港)	2018 年貨櫃吞吐量在全球排名第 43 名 (英國第 1 大港)

資料來源：本研究整理。

4.2 案例回顧－英國蓋威克機場委託專業服務精進氣候變遷風險評估

依據蓋威克機場公司(Gatwick Airport Ltd.)於2016年提出之氣候變遷調適進展報告(Climate Change Adaptation Progress Report)^[26]，該機場於2011年進行氣候變遷風險評估時，引用英國氣象局(Met Office)建置之英國氣候變遷預測平台(UK Climate Projections, UKCP^[29])所提供的氣候變遷調適分析資訊，包含英國東南地區(UK's South East region)2020年、2050年冬夏2季之平均溫度及雨量變化量等，並選用最嚴重的情境(worse case scenarios)進行評估，投入2,000萬英鎊於具有高度淹水風險之南側航廈進行改善計畫，以提升機場之防洪水準。

2013年12月23日至24日間，劇烈的陣風及強降雨侵襲，導致蓋威克機場鄰近的莫爾河(River Mole)溢堤，機場北側航廈淹水停電，聯外鐵路中斷。在重要的聖誕節假期，計有72個離站航班及73個到站航班被迫取消，超過1萬3千名旅客受到影響。

事後蓋威克機場公司委託當時的國際飛安基金會主席(Chair of the Board of Governors of the Flight Safety Foundation)大衛·麥克米蘭¹(David McMillan)進行獨立調查並於2014年2月提出調查報告(McMillan Report^[30])。調查報告指出，雖然原先氣候變遷風險評估以為會淹水的南側航廈－實際上並沒有淹水，但亦清楚顯示該機場整體所遭遇到的實際淹水情形，已超過當初氣候變遷風險評估的淹水模擬結果，並建議蓋威克機場公司應立刻檢討淹水模型(flood modeling)。

爰此，蓋威克機場公司與英國環境署(Environment Agency)及具備豐富建模經驗之西圖工程顧問公司(CH2M HILL Companies, Ltd.)共同將淹水模型升級，確保有最佳的實務技術進行氣候變遷風險之量化評估，用於規劃精進該機場之防洪計畫，且一併強化機場相鄰之莫爾河上下游在地社區之防洪韌性。

本案例顯示蓋威克機場公司為精進氣候變遷調適規劃，係委託專家(國際飛安基金會主席)及專業單位(西圖工程顧問公司)協助，依其場站特性，辦理客製化之氣候變遷風險評估(調查報告及淹水模型)。若僅使用政府部門一般性公開之氣候變遷調適分析資訊(英國氣候變遷預測平台之溫度及雨量推估未來資訊)，恐不足以因應該機場實際面臨之氣候變遷事件所造成的衝擊與影響。

¹ 依據英國調適次級委員會(Adaptation Sub-Committee of the Committee on Climate Change, ASC)於2016年發布的最新報告(UK Climate Change Risk Assessment 2017 Evidence Report^[4])，麥克米蘭調查報告(McMillan Report)針對蓋威克機場所提出的缺失及建議事項，現今已更加普遍做為機場韌性(airport resilience)的藍圖(blueprint)。

五、結論與建議

本研究以民用機場及商港為對象，透過文獻回顧瞭解國內外民用機場及商港普遍面臨之氣候變遷事件，並納入管理單位相關人員意見，蒐整我國政府部門近年來所完成之氣候變遷調適分析資訊。以下就本研究之結論及建議進行說明。

5.1 結論

1. 氣候變遷調適分析資訊來源之重點綜整

本研究蒐整 10 個國內資訊來源，涵蓋科技部、行政法人國家災害防救科技中心、經濟部水利署、交通部中央氣象局等單位建置之網站或平台，提供溫度、雨量、淹水、暴潮、海平面上升、極端波浪及閃電等氣候變遷調適分析資訊，均為公開資訊，可透過網路直接取得或下載。

2. 運用氣候變遷調適分析資訊之注意事項

本研究蒐整之資訊可做為調適規劃之初步參考，使用時應注意各項資訊之空間解析度、推估之未來期間、氣候變遷事件及風險評估所涉專業等有其差異性，俾適當選用所需資訊。惟若做為民用機場或商港相關設施之設計參數或納入設計規範，則須視個案進一步研究。

5.2 建議

本研究在文獻回顧過程發現，國外民用機場及商港之管理單位係委託專業單位，依據場站特性進行氣候變遷調適之研議，爰提出建議如下：

1. 建議辦理客製化氣候變遷風險評估

國內各民用機場及商港有其獨特的設施佈設、地理及氣候環境，建議可因地制宜為個別海空運場站進行客製化之氣候變遷風險評估，或視需要建立專屬之氣候變遷事件模型，亦可聘請專家擔任第三方角色，協助檢視評估結果，並提出建言，俾研擬充分之韌性對策及調適行動計畫，降低氣候變遷可能導致的損害及影響。

2. 建議委託專業服務進行調適規劃

綜觀本研究蒐整之美國、英國民用機場及商港對該國經濟、社會及交通之重要程度，與我國主要之民用機場及商港相當，目前國外管理單位均已委託專業服務進行調適規劃。桃園國際機場最近亦採類似作法，委託國內專業學術單位進行氣候變遷風險評估及調適措施之研議，做為強化機場設施韌性之參據，建議可供國內民用機場及商港管理單位參考借鏡。

參考文獻

1. Intergovernmental Panel on Climate Change ,「 Special Report: Global Warming of 1.5°C 」, 2018 。
2. Intergovernmental Panel on Climate Change ,「 AR5 : Synthesis Report 」, 2015 。
3. U.S. Department of Transportation ,「 U.S. Department of Transportation Climate Adaptation Plan 2014: Ensuring Transportation Infrastructure and System Resilience 」, 2014 。
4. Adaptation Sub-Committee of the Committee on Climate Change (ASC) ,「 UK Climate Change Risk Assessment 2017 Evidence Report 」, 2016 。
5. Maddocks ,「 The role of regulation in facilitating or constraining adaptation to climate change for Australian infrastructure 」, 2012 。
6. 日本國土交通省 ,「 国土交通省氣候變動適應計畫 」, 2018 。
7. 交通部運輸研究所 ,「 交通設施因應氣候變遷之脆弱度評估作業探討 」, 民國 102 年 。
8. 交通部運輸研究所 ,「 運輸部門氣候變遷調適策略研議計畫 」, 民國 108 年 。
9. Intergovernmental Panel on Climate Change ,「 AR4 Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Chapter7 : Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry 」, 2007 。
10. Intergovernmental Panel on Climate Change ,「 Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate : Technical Summary 」, 2019 。
11. 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 ,
<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/user/index.aspx> , 民國 109 年 5 月 22 日 。
12. 災害管理資訊研發應用平台網頁 ,
http://dmip.tw/Lthree/2017/riskapp/report/1_3.aspx?counted=1 , 民國 109 年 5 月 22 日 。
13. 氣候變遷災害風險調適平台 , <https://dra.ncdr.nat.gov.tw/> , 民國 109 年 5 月 22 日 。
14. 氣候變遷水環境知識庫 ,
<http://climatechange.wra.gov.tw/climatechange/climatechangeManager> , 民國 109 年 5 月 22 日 。

15. 經濟部水利署阮香蘭簡任正工程司，「『氣候變遷對水環境之衝擊與調適』推動經驗分享」，民國 107 年 10 月 17 日，國家氣候變遷調適工作坊。
16. 經濟部水利署，氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究第 3 階段管理計畫(1/5)成果報告附冊 3－氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究海岸防護成果報告，民國 103 年 12 月。
17. 臺灣水災潛勢風險圖資應用服務平台，
<http://103.253.146.123/wra/riskmap-dev/>，民國 109 年 5 月 22 日。
18. 劇烈天氣監測系統 QPEPlus，
<https://qpeplus.cwb.gov.tw/pub/webmap/>，民國 109 年 6 月 24 日。
19. 劇烈天氣監測系統 QPESUMS APP 網頁，
https://www.cwb.gov.tw/V8/C/S/eservice/app/app_q.html，民國 109 年 6 月 24 日。
20. 劉郁青、鄭龍聰、黃葳芃，「閃電落雷偵測系統與人工雷雨胞觀測分析」，民國 106 年 9 月 21 日，天氣分析與預報研討會。
21. 交通部運輸研究所，「鐵公路氣候變遷調適行動方案之研究」，民國 108 年。
22. Reed Business Information，Airline Business，2019 May。
23. Seattle-Tacoma International Airport，「Sustainability Planning and Management Strategy」，2018。
24. The Journal of Commerce (JOC)，
https://www.joc.com/port-news/top-50-global-port-rankings-2018_20190809.html，民國 109 年 5 月 22 日。
25. Port of Long Beach，「Climate Adaptation and Coastal Resiliency Plan」，2016。
26. Gatwick Airport Ltd，「Climate Change Adaptation Progress Report」，2016。
27. Felixstowe Dock and Rail Company，「Climate Change Adaptation Report」，2015。
28. UKCIP，<https://www.ukcip.org.uk/>，民國 109 年 5 月 22 日。
29. UK Climate Projections (UKCP)，
<https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/collaboration/ukcp/index>，民國 109 年 6 月 19 日。
30. David McMillan，「Disruption at Gatwick Airport, Christmas Eve

2013 』 , 2014 。