

強化機場氣候變遷調適課題與機制之初探

Discussion on the Issues and Mechanisms in Airport Climate Change Adaptation

運輸能源及環境組 賴宜弘、楊家銘、朱珮芸、鄔德傳

運輸工程及海空運組 呂蕙美

研究期間：民國114年1月至114年12月

摘 要

全球暖化所導致的氣候變遷衝擊持續加劇，臺灣年平均氣溫於在過去 110 年間(西元 1911-2020 年)上升約 1.6°C，暖化導致極端高溫日數、乾旱與極端降雨發生頻率持續增加，侵臺的颱風強度持續增強，對於空運系統所造成的衝擊亦愈發明顯。

由於空運系統易受諸如極端高溫、強降雨、強風等氣候事件之影響，近期且因極端氣候事件造成機場無法正常營運的事件時有所聞。因此，為強化機場氣候變遷調適能力，進而研擬應處的調適策略，首要之先是瞭解機場面臨之氣候風險因子種類，研擬機場及其周遭氣候風險評估與調適策略之方法，從而建立定期審視與檢討調適策略良窳之機制，以此強化機場因應氣候變遷調適之能力。

本所自 2021 年起辦理公路系統規劃階段強化調適能力之探討等計畫，研提公路系統規劃階段氣候變遷調適指引，並於 2024 年起賡續就鐵道系統強化調適能力之機制與方法進行探討，並就高鐵、臺鐵、捷運、輕軌等系統研擬全生命週期之調適指引。前開研究成果，已由交通部所屬機關(構)納為所轄資產推動氣候變遷調適之參考依據。

為臻本所後續辦理「通用型運輸系統調適指引」計畫之完善，本研究蒐整國外文獻有關機場氣候變遷調適策略之相關課題與發展趨勢，並以國內案例探究國內機場辦理氣候風險評估可能面臨課題，俾做為研擬通用型運輸系統調適指引之參據。

關鍵詞：

氣候變遷調適、氣候風險因子、機場調適策略

強化機場氣候變遷調適課題與機制之初探

一、緒論

1.1 研究緣起

機場是國家的關鍵基礎設施，扮演對外聯繫門戶的重要角色，因此維持機場的正常營運、確保乘客與貨物正常流通，對於能否維持國內經貿發展至關重要。然而，隨著全球極端氣候事件發生頻率不斷提升，機場面臨氣候風險也與日俱增。因此，為強化機場氣候變遷之調適能力，盤點潛在的調適差距、研擬相應的調適策略，首要之先，係瞭解如何透過方法學有系統辨識機場現況與未來面臨之氣候因子，從而建立風險評估與調適策略之機制與方法，藉以提升機場基礎設施因應氣候變遷之調適能力。

爰此，為瞭解威脅機場的氣候風險因子類型，進而確認風險評估與調適選項等機制方法的可操作性，本研究蒐整國內外機場推動氣候變遷調適之文獻與實務案例，並以演示案例探究國內機場強化調適能力過程中可能遭遇之課題，以及針對前開課題可能的應處建議。

1.2 研究目的與方法

1.2.1 研究目的

本研究之目的，主要係瞭解氣候風險因子對於機場及週遭基礎設施，以及地勤人員等保全對象所產生的影響，透過系統性的探討，瞭解適用於我國機場之調適機制，俾利納入本所後續辦理通用型運輸系統調適指引參考依據外，亦透過演示案例瞭解《氣候變遷風險評估作業準則》操作於機場氣候變遷風險評估可能遭遇之課題。本研究擬達成之目標，主要包含：

1. 蒐整國外辦理機場基礎設施氣候變遷調適之相關文獻，瞭解其對於因應極端氣候之相關課題與實務案例。
2. 瞭解國外應用於機場風險評估及調適策略之關鍵步驟，以及比較與國內風險評估機制的異同。
3. 援引國內既有之科學數據盤，透過案例研析方式，評估影響國內機場之主要氣候風險因子，並研提相應之調適選項，借以降低調適差距。
4. 依據《氣候變遷風險評估作業準則》評估步驟，瞭解過程所需之圖資總類。
5. 提升本所同仁針對機場氣候變遷相關調適作業與風險評估之專業能力。

1.2.2 研究方法

1. 以資料蒐整為主，透過 AI、相關圖書與網路查詢資源協助蒐集國內外有關機場氣候變遷調適資料。
2. 透過文獻回顧法方式，比較國外在辦理調適作法與國內相關法規之差異性，以及可借鏡之調適策略。
3. 參酌臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, TCCIP)之相關圖資，並輔以 QGis 地理資訊系統呈現與分析演示案例週遭在未來情境下氣候風險因子之變化情形，並透過半定量方式進行風險評級，藉由調適路徑研提在不同決策點時的調適選項之建議。

二、機場之氣候衝擊與氣候風險因子

2.1 氣候風險危害案例

國際機場協會(Airports Council International, ACI)於 2018 年 6 月在布魯塞爾通過項決議(ACI 關於氣候變遷調適和韌性的第 3/2018 號決議)，承認氣候變遷對於機場基礎設施及營運存在著一定之風險，故建議協會成員就所屬機場進行風險評估，研擬調適措施及溝通管道，並建議在機場整體規劃時，即將氣候變遷調適及提升韌性納入考量¹。

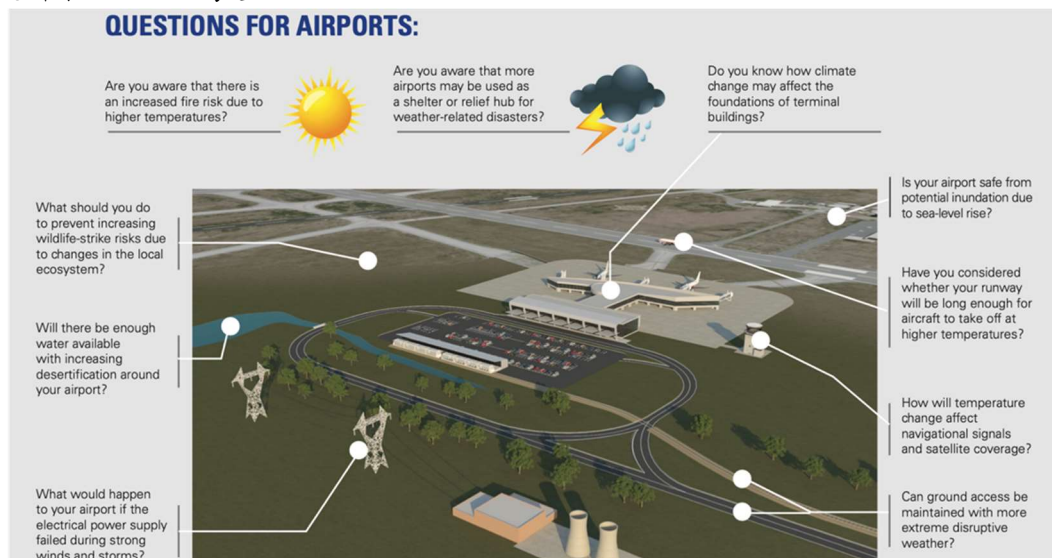


圖 1 機場應考量各類氣候風險因子示意圖

資料來源：ACI(2018)

¹ 參見 ACI 網頁, https://dymez6ioe12by.cloudfront.net/media/wp-content/uploads/2026/03/29121237/Policy_brief_airports_adaption_climate_change_V6_WEB-1.pdf, Last visited: May 26, 2026.

機場所面臨的氣候事件，主要可分為強風/颱風致使機場設施受損與營運受阻、因排水不及導致機場益淹或聯外交通運輸中斷、極端高溫對於機場設施影響/地勤人員熱傷害等類型。有關近期國內外機場因強風/颱風與強降雨之氣候事件相關案例，簡述如下：

1. 2011 年 2 月澳洲凱恩斯機場(Cairns Airport)和麥凱機場(Mackay Airport)因受強烈氣旋「雅西」(Cyclone Yasi)影響，導致航班大規模停飛，設施受損。由於該等機場係位於低海拔的北昆士蘭沿岸土地上，因此除熱帶氣旋可能造成的影響外，對於海平面上升的風險，亦為受矚目的議題²。
2. 2016 年 6 月因為桃園地區強降雨造成排水不及，不僅對外交通路線因而中斷，其他區域如卸貨場、地下停車場，以及第二航廈等也發生溢淹情況，造成機場電力室供應中斷、出入境人員受困、數百航班受影響，整體損失約達新臺幣 5,000 萬元。
3. 2024 年 4 月阿拉伯聯合大公國一日降下超過 142 毫米的降雨量，遠超一年平均 97 毫米的雨量，造成杜拜國際機場被迫中斷服務，次日暴雨雖然停止，惟杜拜機場仍因積水、道路堵塞等影響無法恢復正常運作，影響大約 290 架次往返杜拜國際機場的航班被取消，並造成約 440 架航班的延誤³。

另在高溫影響方面，由於近年全球夏季高溫屢創新高，對於機場地勤作業人員造成熱傷害的風險，尤其在水泥鋪設的機坪下作業，體感溫度往往超過 40°C，在無遮蔽設施的環境下工作，除影響地勤作業之效率外，亦容易出現熱衰竭或中暑的情況，長期而言對於地面工作人員的身心健康構成一定程度的風險。

全球機場因應極端高溫挑戰所擬的策略，日籍航空 ANA 添購有風扇的反光背心提供地勤人員使用，在新加坡樟宜機場方面，則是增設具涼風功能的休息區。我國勞動部於《高氣溫戶外作業勞工熱危害預防指引》中，雖然有評估熱危害之風險等級，惟因屬於建議性質，在缺乏法律強制效力下，我國航勤公司在此議題上，目前尚無體制上的降溫作法⁴。

² 參見 TCCIP 網頁，

https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/user/ark_2025_case_one.aspx?case_id=CT11&utm_source=copilot.com, Last visited: Jan.6, 2026.

³ 參見聯合新聞網網頁，https://global.udn.com/global_vision/story/8662/7906770, Last visited: Jan. 6, 2026.

⁴ 參見 TVBS 網頁，https://news.tvbs.com.tw/life/2674544?utm_source=copilot.com, Last visited: Jan. 12, 2026.

2.2 機場調適發展議題與趨勢

本研究蒐整國際組織與本所計畫有關機場調適之議題與發展趨勢，初步彙整如下：

2.2.1 國際民航組織 ICAO

有鑑於氣候變遷對於空運系統之影響日趨嚴重，甚至已超出空運權管單位可應處的能力，因此國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)參酌 IPCC 於 AR6 所提之科研數據，於 2025 年出版「2024 氣候調適綜合報告」(2024 ICAO Climate Adaptation Synthesis Report)中，針對全球 65 國的 295 個航空業者(含機場、航空公司、航管等)⁵調查結果，敘明氣候變遷主要衝擊，以及提升調適韌性之相關策略。主要重點摘述如下⁶：

1. 核心現狀：氣候變遷正直接衝擊航空業

在受訪的 259 個全球航空業者中，高達 73%表達刻正經歷氣候變遷的影響，其中又以發展中的島嶼型國家(Small Island Developing States, SIDS)因高度仰賴航空運輸提供聯外交通與發展觀光，惟因地勢低窪，極易遭受海平面上升與極端風暴等氣候風險。

2. 三大嚴峻的氣候風險因子與挑戰

依據前揭問卷調查結果顯示，在全球航空業者眼裡，所面臨之氣候風險因子或有不同，惟對機場維持正常營運的挑戰確是相同的。有關影響機場的主要氣候風險因子與挑戰說明如下，相關氣候風險因子如圖 2 所示，另對於機場組織的影響如表 1 所述：

- 高溫與極端高溫：約有 95%認為高溫與極端高溫是主要挑戰之一，包含高溫導致空氣稀薄而使飛機需較長起飛距離，另高溫易造成跑道瀝青劣化、航廈空調負荷增加與地勤人員受熱傷害影響等情事。
- 降水模式改變：約有 92%認為降水模式的改變是目前影響航空業的主要氣候因素，因為極端暴雨易造成機場基礎設施與跑道淹水，甚至癱瘓排水系統造成水源污染，而乾旱則會帶來水資源短缺。
- 暴風強度增加：約有 81%認為強風/雷擊是航空業者主要挑戰之一，強風會造成航班延誤、取消或改飛，強風/雷擊則會直接損壞航管設

⁵ ICAO, Climate Change: Climate Risk Assessment, Adaptation and Resilience- Key steps in Aviation Organisation Climate Change Risk Assessment and Adaptation Planning, 2022, P.16.

⁶ ICAO, 2024 ICAO Climate Adaptation Synthesis Report, 2025, P.19.

備等地面固定資產。

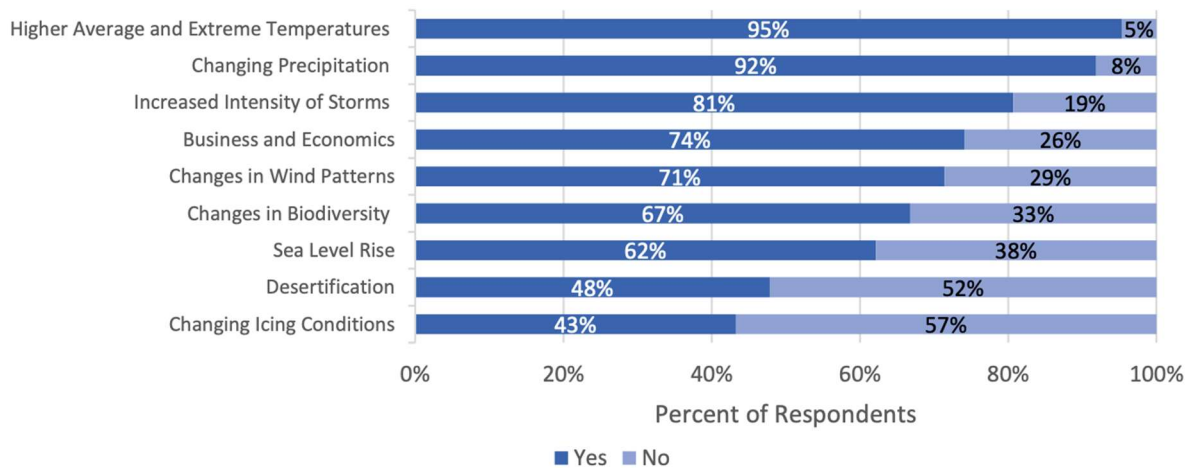


圖 2 受訪者對機場氣候風險因子影響程度排序

資料來源：ICAO, Climate Adaptation Synthesis Report(2024)

表 1 氣候變遷對航空業的潛在影響

組織類型	氣候風險因子	潛在影響
機場(Airport)	海平面上升	設施永久或暫時性淹沒
航管(ANSP)	風暴強度增加	影響空域容量與流量管理
航空業者(Aircraft Operator)	高溫極端天氣	高溫導致空氣密度降低，而致使飛機爬升性能下降而須減少承載量

資料來源：ICAO, Climate Change: Climate Risk Assessment, Adaptation and Resilience(2022)

3. 機場氣候風險評估 3 步驟

ICAO 於報告中提出執行氣候變遷風險評估的 3 個步驟，簡述如下：

- 預測氣候變遷趨勢：定義氣候因子與預估未來情境(例如引用 IPCC AR6 等科學數據)。
- 辨識與排序風險：依據發生可能性與後果嚴重性，規劃短期、中期、長期的氣候風險優先順序。
- 定期審查與重複評估：隨著氣候資料與機場資產狀況不斷改變，必須定期重新評估與檢視。

4. 機場強化調適計畫 4 階段

當完成機場氣候風險評估後，應賡續就機場資產擬定強化調適韌性之調適計畫，擬定過程應遵循流程如下：

- 定義調適目標：根據資產的重要性，訂定不同的可接受的風險水準。
- 確認調適措施：考量關鍵要素與可用資源，確認調適措施清單。
- 研擬與落實調適計畫：明確確認與落實調適策略的實施時間表與各項策略的優先權。
- 定期監測與檢視：定期檢視已實施措施是否達到預期效果，倘未達到預期，則需及時調整。

2.2.2 歐盟 ADAPT

參酌歐盟環境署於歐洲氣候調適平台(Climote ADAPT)所揭歐洲機場基礎設施及營運面臨氣候變遷帶來之挑戰，其中有關氣候風險因子主要包含⁷：

1. 強降雨(Heavy precipitation)：根據未來氣候情境的預測，發生強降雨事件將變得更加頻繁且劇烈。強降雨可能影響飛機起降間距，進而影響機場吞吐之外，機場表面排水能力倘無法滿足更頻繁和更強烈的降水事件，勢將增加跑道和滑行道溢淹的風險。另在地下基礎設施例如電氣設備等，也可能受到大雨淹沒的威脅。
2. 平均降雨量(Average precipitation)：降水不足可能導致缺水、限水，影響機場的運作和基礎設施。相應的措施包括於航廈以節水、水重複利用和雨水儲存的水管理策略，以及保護跑道免受沙丘侵襲的結構性措施。
3. 溫度(Temperature)：預期未來最高氣溫和日最高氣溫將持續上升，同時熱浪可能會變得更加強烈和持續。機場基礎設施的風險包括跑道及停機坪表面可能因熱損壞而變形，影響運載能力和耐用性。而在場站及地勤人員方面，可能因溫度過熱，從而導致乘客和工作人員的身心健康問題。此外，極端溫度可能導致飛機引擎推力的降低，進而影響起飛的跑道長度需求。提高對氣溫上升適應能力的措施可分為針對機場建築和設備的措施(空調、更好的隔熱、發展綠色基礎設施)，以及針對航空基礎設施的措施(新的耐熱停機坪材料、延長跑道、更好的空調設備等)。
4. 風向(Wind directions)：風向預期將會變化更頻繁、更迅速，與現行風向的偏差加大，並導致跑道遭遇更多的側風。就空中基礎設施而言，強風可能會造成破壞，建造新的側風跑道對於提高營運的彈性至關重要。

⁷ Burbidge, R., Adapting European Airports to a Changing Climate. Transportation Research Procedia, Volume 14, 2016, P.14-23.

5. 海平面上升(Sea level rise)：除非採取建造海防等預防措施，否則海平面上升可能導致沿海機場永久被淹沒和容量損失。從長遠來看，某些位置的潛在永久性容量損失可能會對整體容量和營運產生影響。此外，暴潮風浪發生頻率增高的影響可能會在短期內顯現，並可能導致營運能力暫時下降和延誤事件的增加。
6. 當地生物多樣性(Local biodiversity)：氣候變遷可能導致當地生物多樣性和野生動物遷徙模式的變化，並可能增加野生動物的危害，其改變遷徙模式可能會影響飛機的運行，並增加鳥擊的可能性。

2.2.3 本所調適研究成果

本所對於空運系統之調適能力雖無單獨的研究計畫進行探討，主要的成果源於 2022 年「公路系統規劃階段強化調適能力之探討」⁸報告書中，針對空運系統可能面臨氣候風險因子進行文獻蒐整所形成的案例研析，內容主要包含：

1. 路側：路側設施及客貨運業務因淹水、強風、雨水、或暴潮沖刷及沖擊而受損或無法作業。
2. 空側：空側設施因淹水、強風、雨水、暴潮沖刷及沖擊、高溫等而受損或無法作業。
3. 航班：飛機因強降雨、跑道積淹水、強風、高溫而無法正常起降。
4. 飛機：飛機因強降雨、強風而損壞。
5. 聯外交通：機場聯外交通因強降雨淹水或落石、坍方。
6. 臨海設施：臨海設施因暴潮沖刷及沖擊而受損。

在本所協助交通部彙整「維生基礎設施」領域氣候變遷調適行動方案(116-119)(初稿)中，交通部民用航空局以及桃園國際機場股份有限公司參酌國內氣候變遷災害風險圖資及 IPCC AR6 之科研資料，並以水議題、高溫議題等情境議題與短期、中期、長期等空間尺度下，初步評估國內空運系統面臨的氣候風險評級，其結果如表 2 所述。經由該等初步風險評估結果，可做為當期在研提調適行動計畫之參考。

⁸ 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)，2022，P.2-3。

表 2 空運系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

情境議題	災害類型	短期風險	中期風險	長期風險
水議題	鋪面表面毀損	低	低	低
	場站淹水	高	高	高
高溫議題	飛機引擎推力降低	低	低	中

資料來源：交通部，「維生基礎設施」領域氣候變遷調適行動方案(116-119 年)(初稿)，2026。

三、風險評估與調適策略關鍵步驟

3.1 ICAO 風險評估與調適規劃關鍵步驟

為提供全球各空運組織因應氣候變遷調適作業之參考，ICAO 於 2022 年出版「氣候變遷：氣候風險評估、調適與韌性-航空組織氣候變遷風險評估與調適規劃的關鍵步驟」(Climate Change: Climate Risk Assessment, Adaptation and Resilience- Key steps in Aviation Organisation Climate Change Risk Assessment and Adaptation Planning)中，敘明氣候變遷風險評估以及研擬與實施氣候變遷調適計畫之步驟，藉以提供各空運組織進行強化氣候變遷調適與韌性之參考。

此外，該報告亦針對航空領域所謂之「氣候調適」與「氣候韌性」間之不同處有所敘明：「氣候調適」係指調整、改變或改善機場及其相關基礎設施之運作，以因應預期的氣候變遷，並將不利影響限制在可接受的範圍內，在因應氣候變遷上不僅僅只存在不利的衝擊影響，其所為之調適計畫，亦可能創造出有利的機會；而在航空「氣候韌性」之定義上，則係指機場及其相關基礎設施之運作所能夠承受，且從氣候變遷造成的外部擾動中所恢復的能力。

該報告內容架構可分為二個階段，第一階段為氣候變遷風險評估的關鍵步驟；第二階段為調適規劃與實施的關鍵步驟。

3.1.1 風險評估關鍵步驟

ICAO 建議航空組織於進行氣候變遷風險評估時需要考量 6 個關鍵步驟，包含：1) 組織準備；2) 範疇界定；3) 氣候資料蒐集；4) 氣候變遷衝擊評估；5) 完成評估，以及 6) 監測與檢討。相關步驟與內容如表 3 所示：

1. 組織準備

本步驟著重於進行風險評估前有關機構自身的準備工作以及評估流程架構的建構。於組織進行風險評估之準備期間，取得高階主管的承諾、編列預

算，組成包含環境與營運專家的跨部門工作小組行動，分配工作小組成員之分工與職責，確認評估之氣候驅動因子與資源，並且研擬風險評估之時間表。

2. 範疇界定

當在界定風險評估的地理範疇時，除考量組織自有資產外，也應考慮如聯外交通、供應鏈等系統性依賴程度，並適時納入需進行風險評估的範圍。

3. 氣候資料蒐集

在擇定氣候情境（如 IPCC 的 RCPs）時，應蒐整完整之氣候風險因子（如海平面上升、極端高溫）等資料。倘工作小組對於潛在氣候情境已有充分瞭解時，亦可以僅針對選定的情境收集資料。

4. 氣候變遷衝擊評估

本步驟介紹如何辨識氣候變遷影響可能對組織造成之影響，以及後續透過風險評估與風險優先排序提供建議，其中該指引係使用「可能性(Likelihood) x 後果(Consequence) = 風險(Risk)」之矩陣進行風險評估，並結合組織的調適能力(Adaptive Capacity)來決定最終的脆弱度(Vulnerability)⁹。由於我國對於氣候變遷風險的定義，於《氣候變遷因應法》已有明揭，即對自然生態及人類社會系統造成的可能損害程度，其組成因子為氣候變遷危害、暴露度及脆弱度。因此，國內各級機關(構)如參酌 ICAO 關鍵步驟進行有關機場之氣候變遷衝擊評估時，應改以危害、暴露度、脆弱度之組合進行相關風險評估。

5. 完成評估

在明確辨識風險及脆弱因子優先順序之後，即可著手總結並撰擬最終評估，為後續調適規劃做準備。

6. 監測與檢討

考量氣候預測、組織運作，以及資產狀況都可能發生變化，爰須透過定期監測與檢討，持續確認調適策略的有效性。

⁹ 本指引強調風險不等於脆弱性，必須納入組織既有的防禦能力來計算，其中脆弱度 (Vulnerability) = 風險 x 調適能力（調適能力越高，脆弱度越低）。

表 3 風險評估步驟與內容

項次	關鍵步驟	行動	內容
1	組織準備	1.1 取得高階主管的承諾	於進行開始評估前，應取得高階主管的承諾，透過高階主管對風險評估的全力支持，能夠使這項工作合法化，並有助於取所需之人力及財力資源。
		1.2 確認是否建立風險評估治理機制	針對安全管理體系檢視是否已建立風險評估之決策流程。如果已存在相關機制，則可評估其可用性。如果現有流程機制可以參酌使用，則可以現有治理機制做為評估的起點；倘不可用，則可修改至可涵蓋所需之項目或步驟；如果無任何機制，則機構可按以下步驟研擬機構之風險評估機制。
		1.3 確認內外部夥伴所需之專業知識與投入	雖然風險評估的初始階段可能僅限於內部範圍，惟仍需外部利害關係人協助辨識氣候風險，以利後續協調之順遂。
		1.4 分配角色與職責	總體責任可依組織結構由營運人員、規劃人員或其他相關團隊承擔，並鼓勵擁有關鍵資產、營運專業等人員積極參與並承擔責任。
		1.5 確認評估之氣候驅動因子與資源	初步確認主要氣候驅動因子有助於優先事項明確化，此外確認及分配組織所需之資源及法律要求，將有助於後續風險評估與調適策略的規劃。
		1.6 研擬評估時間表	研擬評估時間表時，應於每個步驟分配充足時間之外，也應考量關鍵內部參與者的可用性，並考慮關鍵外部利害關係人的限制。
2	範疇界定	2.1 確認評估之地理範圍與組織邊界	根據地理範圍和具體機構的情況，氣候風險評估的範圍界定應旨在識別任何對天氣敏感的資產或營運組成部分，這些組成部分可能受到氣候變遷的影響。這可能包括易受洪水侵襲的地點的電力系統、在極端溫度下可能過載的暖氣、通風和空調(HVAC)系統，以及極端高溫對地勤人員的風險。
		2.2 初步界定待評估系統之範圍	界定之範圍可以包括基礎設施和/或營運、位置、成立時間、生命週期，及其相互依賴關係，並建議儘可能採用系統性方法。例如，應從基礎設施和營運的角度評

項次	關鍵步驟	行動	內容
			估整個機場，包括供應鏈需求和地面交通，而非僅評估機場的一部分。
3	氣候資料蒐集	3.1 蒐集歷史/基期氣候資料	為建立基線的歷史氣候數據，組織得透過當地氣象服務 (MET) 蒐集所需氣候資料，此外亦可蒐集以往與天氣相關的事件和影響的數據，相關事件及影響程序可能因氣候變遷而加劇。
		3.2 蒐集本地/區域氣候變遷預測	考量地理尺度時，與步驟 2.2 類似。其中，航空公司需考量其基地機場的氣候預測以及範圍內任何航路影響。ANSP 需要考慮固定基礎設施的位置以及航路影響。
		3.3 確認氣候風險因子預期變化規模	辨識可能影響組織的氣候風險因子，以及每個壓力源可能造成影響的變化規模。這是一個迭代過程，因為氣候預測並非一成不變，氣候變遷的方式或速度可能與最初預測不同。
		3.4 確定調適情境及初步影響	確定需要考量的氣候情境，包含組織、設施的風險承受能力。例如擁有眾多轉機航班和支線航班的大型樞紐機場對重大且長時間的中斷容忍度很低，而客流量較低的機場可能容忍度較高。小島嶼發展中國家 (SIDS) 的機場對中斷容忍度很低，因為機場營運對該國的民生和經濟至關重要。
4	氣候變遷衝擊評估	4.1 辨識預期之氣候變遷影響	辨識每種情境下預期的氣候影響及其預期影響範圍，並紀錄所有假設和數據之缺口。
		4.2 選擇影響評估方法	基於對預期氣候變遷影響的辨識結果，選擇適切之影響評估方法。
		4.3 確認待評估之資產或設備	確認待評估的系統資產和設備，包括基礎設施、營運以及評估範圍內的任何其他關鍵要素。
		4.4 確認風險評估之時間尺度	依據氣象資訊、組織類型以及待評估的資產和營運情況決定時間尺度，並適時將資產生命週期和投資週期納入考量。
		4.5 確認設計/營運閾值	針對每項資產，確認其設計和營運閾值。例如，應考量建築物的雪荷載或風荷載，以及跑道的極端高溫。
		4.6 辨識資產/營運之氣候風險因子	針對每組資產或營運，識別可能對其產生影響的氣候風險因子及其潛在影響。

項次	關鍵步驟	行動	內容
		4.7 確認影響發生機率(可能性)	氣象部門或氣候專家可就氣象事件發生機率提供建議。另，氣候預測得定期更新。
		4.8 確認每項衝擊結果	確認氣象事件對每組資產或營運的預期影響。例如，對於百年一遇的洪水，組織應審查已採取的措施以及此類事件可能對資產和營運造成的影響。
		4.9 研擬風險矩陣	風險矩陣用於評估風險，係將事件發生機率，並將相應的影響進行權衡。
		4.10 評估既有之調適能力	組織若要評估其現有適應能力，應系統性地視每項氣候風險因子，並考量自身俱備哪些應對能力，從而評估已做好的哪些準備。
		4.11 辨識剩餘脆弱因子	審視現有適應能力的過程，找出尚未充分解決的潛在風險。
		4.12 排序脆弱因子優先程序	考量資源的有限性，爰依據調適目標、營運類型、風險承受能力等確認優先順序，並專注於最關鍵的脆弱因子。
		4.13 考量複合氣候風險因子之影響	基於對每項氣候風險因子單獨影響的理解，考量累積或結合不同氣候風險因子之影響所增加風險。
		4.14 辨識其他風險或機會	辨識例如氣候變遷帶來旅遊需求成長的機會，或外部如野生動物遷移可能造成未知的影響。
5	完成評估	5.1 撰擬評估報告	評估報告應提供主要調查結果，例如氣候風險因子、預期風險及其信賴水準、當前調適能力和脆弱性。
		5.2 向高階主管報告	透過高階主管階層確認最終風險接受程度及調適規劃中要維持的最低服務水準。
		5.3 擬定與利害關係人溝通計畫	擬定與利害關係人說明風險評估結果的溝通計畫至關重要，因需確保將評估結果有效傳達給內部和外部利害關係人。
6	監測與檢討	6.1 確認定期評估檢討之週期	確認定期審查的週期，例如每5年一次。
		6.2 檢視氣候風險因子及資產/營運之變化	若氣候風險因子的預測發生變化，則應更新風險評估。在資產或營運變更過程中，亦應將此資訊納入檢視。
		6.3 持續蒐集衝擊相關資料	持續蒐整相關影響及災害的資料，此類資料為任何關於重要性、優先順序和資源分配的審視提供依據。

資料來源：ICAO, Climate Change: Climate Risk Assessment, Adaptation and Resilience, 2022.

3.1.2 調適規劃關鍵步驟

在航空組織完成氣候變遷風險評估後，ICAO 建議應賡續進行氣候變遷調適規劃，於此期間需考量 4 個關鍵步驟。各步驟內容與所需遵守及要求之事項如表 4 所述。另風險評估及調適規劃之整體流程如圖 3 所示。

1. 定義目標

於氣候變遷風險評估關鍵步驟中的行動 1.5 已確認納入調適目標過程中所需的法律要求及組織資源等因素，故在擬定和實施氣候調適計畫時，須確認資產及營運的優先性、辨識潛在調適與韌性措施、確認可接受風險程度，以及辨識潛在機會。

2. 確認調適措施

在前揭行動確認了可承受的風險之後，於本步驟即可確認更詳細的調適與韌性措施、評估潛在的調適選項，以及擇定最適合的調適方案。

3. 擬定調適計畫

氣候變遷調適計畫可以針對短期、中期或長期等階段，也可以結合多種時間框架予以擬定與施行。然而，無論選擇何種時間框架，通常擬定與施行調適計畫都是一個迭代過程，過程中主要包含擇定優先之調適計畫、研擬調適計畫實施時間表、實施流程，以及內部與外部的溝通與經驗分享。

4. 監測與檢討

定期監測與檢討調適計畫成效及持續進行氣候變遷風險評估至關重要，除驗證已實施的調適措施是否達到預期效果之外，倘未達到預期目標，則須採取補救措施。此外，定期審視風險評估還有助於辨識任何新的風險，並及時擬定與實施針對該等風險的調適及韌性措施。

表 4 調適規劃關鍵步驟與內容

項次	關鍵步驟	行動	內容
1	定義目標	1.1 確認資產/營運脆弱因子優先等級	於氣候變遷風險評估關鍵步驟確認風險評估過程之關鍵資產和營運、剩餘脆弱因子，以及排序脆弱因子優先程序後，即應確認哪些脆弱因子對於確保資產或系統可靠度/安全度至關重要。
		1.2 初步確認潛在調適/韌性策略	初步確認調適或韌性策略的目的是將氣候衝擊風險降低到可接受的程度。在確認風險可接受水

項次	關鍵步驟	行動	內容
			準之前，必須大致瞭解適用於不同風險等級的調適/韌性策略類型。
		1.3 確認可接受之風險評級	在確認適當且可接受的調適/韌性的風險評級，需考量因素，包含資產的使用壽命、調適措施的成本效益以及評估的不確定性。
		1.4 辨識潛在機會	雖然在風險評估關鍵步驟之行動 4.14 已辨識潛在機會，惟可能在例如資源重新分配等措施後，存在其他的機會。
2	確認調適措施	2.1 確認調適/韌性措施	以調適規劃關鍵步驟之行動 1.2 中確認的調適/韌性策略為起點，並針對每項脆弱度可接受的風險評級與可用預算，擬定一份潛在措施清單。
		2.2 評估調適選項	評估潛在的調適選項時，應針對每項脆弱度的適用性及可行性進行分類，並考量低衝擊、雙贏方案（例如同時具減緩與調適之措施）、權衡取捨、分階段實施、與其他方案/專案的協同效應，以及區域倡議和資金可用性等因素。
		2.3 擇定調適選項	預算或資源可能限制某些策略無法實施。因此須對研擬策略進行優先排序，俟最終策略確定後，須取得高階主管的批准。
3	擬定調適計畫	3.1 擇定優先調適計畫	擇定優先順序須考量哪些措施最為關鍵，以及與其他行動之關聯性。例如，某調適計畫可提升系統的部分韌性，惟對其他部分韌性缺乏改善時，則整體系統的韌性可能無顯著提升。
		3.2 研擬計畫實施時間表	依據關鍵性及可行性研擬實施時間表，並考量現有資產使用年限、改善總成本及故障成本等因素。
		3.3 實施流程	儘可能融入現有策略和計畫中。例如短期措施可以直接實施，惟長期措施須配合總體規劃或投資計畫。
		3.4 內部與外部傳達溝通	一旦確認實施計畫時，應就實施理由、措施、時間表及流程傳達給員工和外部利害關係人，必要時須額外協調或培訓，尤其在導入新的操作程序或設備時。
4	監測與檢討	4.1 監測	擬定調適過程的監測計畫，其內容涵蓋實施進度以及已實施措施的運作情形，並根據已確定的風險接受程度和最低服務水準監測每項調適措施的績效。
		4.2 檢討	定期檢視調適計畫，並在發現新的調適需求時進行更新。檢討的週期取決於資產的預期壽命，以及組織的規劃期程。

資料來源：ICAO, Climate Change: Climate Risk Assessment, Adaptation and Resilience, 2022.

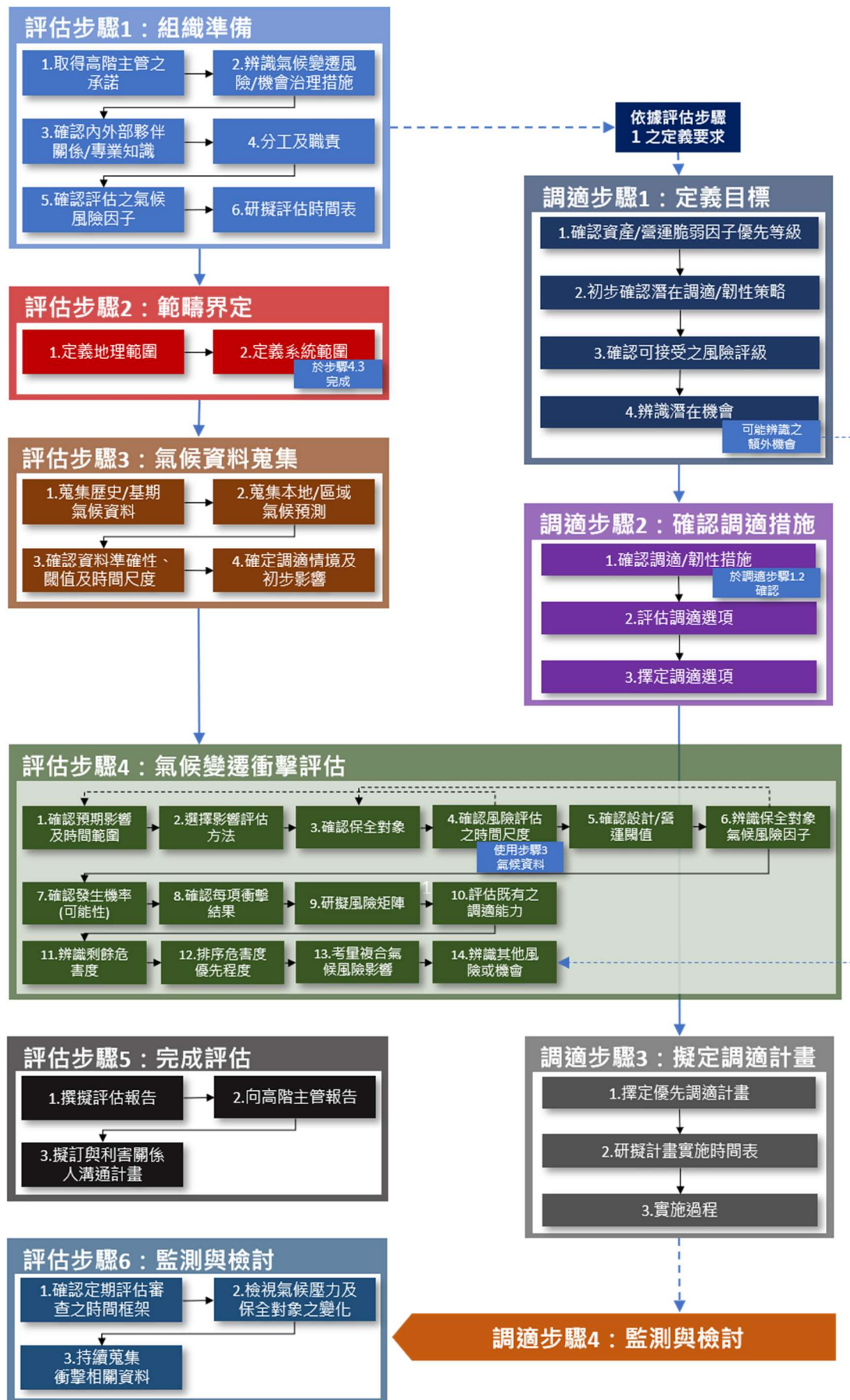


圖 3 風險評估及調適規劃整體步驟流程圖

3.2 我國氣候變遷風險評估作業準則

環境部依據《氣候變遷因應法》第 18 條第 3 項規定，於 2025 年 7 月 16 日發布施行《氣候變遷風險評估作業準則》，藉以提供各級政府進行氣候變遷風險評估、規劃早期預警機制及系統監測，以做為各易受衝擊領域進行研擬、推動調適方案及策略之參考依據。

該準則可分為「辦理氣候變遷風險評估」以及「研擬推動氣候變遷調適方案策略」等 2 個階段，針對該等階段應辦理事項與原則如表 5 所述。

表 5 我國氣候變遷風險評估作業準則摘要

項次	階段	構面	辦理事項
1	辦理氣候變遷風險評估(§4)	界定範疇(§5)	1. 確認易受氣候變遷影響對象、對應之業務範疇及權責機關。 2. 評估前款易受氣候變遷影響對象之氣候危害類型、可能受影響之時間、空間尺度及範圍。 3. 邀集有關機關、學者、專家、民間團體，共同界定評估範疇。
		檢視資源及氣候衝擊現況(§6)	1. 盤點權責機關及易受氣候變遷影響對象之可掌握資源：包括權責機關之知識、技術、人力、財務等能力建構情形，以及可投入有關氣候變遷風險評估及調適計畫等調適管理機制之資源。 2. 評估氣候衝擊現況：評估項目包括危害度、暴露度及；評估結果應含易受氣候變遷影響對象之影響程度或其空間分布情形。 3. 規劃權責機關及易受氣候變遷影響對象屬性之質化、量化或綜合之衝擊評估方法。
		評估未來氣候變遷風險(§7)	1. 使用當期氣候變遷科學報告，並參採最新國內外科學研究機構及政府單位對於氣候變遷科學資訊與知識相關報告及建議，以調適應用

項次	階段	構面	辦理事項
			情境評估氣候變遷易受氣候變遷影響對象及所對應業務範疇之未來衝擊或風險。 2. 依前條第二款之評估結果及前條第三款之評估方法，進行未來氣候變遷風險評估，辨識調適差距或指認高風險地區。 3. 邀集有關機關、學者、專家、民間團體，共同檢視調適差距或指認高風險地區之合理性。
2.	研擬、推動氣候變遷調適之方案及策略(§8)	調適選項規劃及綜整決策(§9)	1. 以降低調適差距為目標，擬訂調適選項及推動期程。 2. 評估調適選項之有效性、可行性及可能之負面影響。 3. 評估優先執行之調適選項。
		推動或執行調適選項(§10)	1. 調適選項推動期程之符合程度。 2. 建立量化評估指標，做為評估調適選項或計畫之執行成效依據。 3. 無法建立前款指標者，得透過訪談相關團體、諮詢專家等方式，協助檢視調適執行成效。
		檢討或修正調適選項(§11)	1. 降低調適差距之執行情形 2. 針對易受氣候變遷衝擊之跨領域調適策略、政策或計畫實施內容，評估潛在之正、負面影響。 3. 彙整執行調適選項與行動過程之調適障礙，並提出未來解案。 4. 使用當期氣候變遷科學報告，並參採最新國內外科學研究機構及政府單位對於氣候變遷科學資訊。 5. 與知識相關報告及建議，滾動進行氣候變遷風險評估之作業，做為調適選項修正之依據。

資料來源：本研究整理。

四、國內外國際機場調適推動案例

4.1 新加坡樟宜機場

新加坡樟宜機場位於新加坡東端的樟宜區，距離新加坡市中心以東約 24 公里，於 2025 年共服務 6,998 萬人次，在全球國際客運量中排名第四。

由於樟宜機場係透過挖山填海之新生地上所興建，為確保樟宜機場之有形資產及維持營運的正常，新加坡政府進行包含短期(2030 年)到長期(2100 年)的情境分析，並特別針對海平面上升、強降雨，以及極端高溫等氣候風險議題，研擬相應之調適策略¹⁰。

1. 海平面上升及暴潮

由於樟宜機場海拔僅 6 公尺，確保機場排水正常功能及對於暴潮的防護，乃是樟宜機場因應氣候變遷與極端氣候首要關切的議題。基此，樟宜機場集團(CAG)為提升機場排水功能與降低暴潮的影響，設置包含堤壩、潮汐門、泵站等設施，建造 54 萬立方公尺蓄水池，並於排水管安裝感測器之外，亦提高機場周圍道路高程(例如尼科爾大道 1 公里路段提升 0.8 公尺，使其高程超過 2100 年推估海平面上升的 7.6 公尺)以做為固定的防洪屏障。此外，樟宜機場第五航廈(T5)及樟宜東側基礎設施計畫於設計階段之初，即已將整體高程提升，確保航廈未來因應極端氣候之正常運作。

2. 強降雨

由於強降雨事件將會增加跑道淹水，以及航空器偏離跑道及滑行道的風險。因此，CAG 在樟宜機場的 3 條跑道均鋪設具有凹槽的瀝青鋪面(如圖 4 所示)，並於 2022 年研發跑道狀況回報系統(runway condition reporting system)，透過感測器自動提醒航管人員及飛行員注意例如跑道水膜深度等環境因素的變化。

¹⁰ 參見新加坡樟宜機場網站：<https://www.changiairport.com/en/corporate/our-sustainability-efforts/environment/building-climate-resilience-to-ensure-smooth-operations.html>, Last visited: May 25, 2026.



圖 4 新加坡樟宜機場跑道凹槽瀝青鋪面情形

資料來源：CAG(2023)

3. 極端高溫

極端高溫可能對於約 3 萬名機場工作人員造成熱風險，並加速機場跑道路面的老化。因此，在跑道方面，CAG 透過增強瀝青混合物設計等方式，提升跑道在高溫下的耐受能力，並引入雷射裂縫測量系統（LCMS），透過雷射和感測器全天候監測跑道因潮溼和高溫下可能形成的微細坑洞，結合資料分析和機器學習強化跑道及滑行道的檢測和預防性維護。而為緩解在停機坪工作人員的熱傷害，CAG 設置具空調的休息艙，並透過提供冷飲增加員工補水，並鼓勵各企業實施設調適機制，讓新進人員漸進式應戶外高溫，也發放抗紫外線袖套等防曬裝備。

4.2 倫敦希斯洛機場

英國倫敦希斯洛機場位於倫敦市中心以西約 24 公里處，目前有 4 座航廈及 2 條平行跑道，為全球約 90 家航空公司提供飛往 220 多個目的地的航班服務。其中在 2025 年共服務 8,450 萬名旅客，為歐洲客運量第一及全球第二大的國際跨境客運樞紐機場¹¹。

¹¹ 參見倫敦希斯洛機場網頁：<https://mediacentre.heathrow.com/pressrelease/detail/24843>, Last visited: May 27, 2026.

為因應氣候變遷及強化調適能力，希斯洛機場於 2024 年發表第四版的氣候調適報告(4th Adaptation Reploting, ARP4)。該報告以 3 種排放情境(代表性濃度路徑 RCP2.6、RCP 4.5 及 RCP 8.5)和 3 個時間尺度（當前、2050 年及 2090 年），針對 9 項氣候情境，包含最高氣溫及平均升溫(Increaded maximum and average temperate)、強風及風向(Extreme winds and direction)、降雨及洪水(Rainfall and flooding)、降雪(Snowfall)、極端低溫(Extreme cold)、低能見度(Low visibility)、閃電雷暴(Lightning and thunderstorms)、複合事件(Compound events)，以及降雨減少/溫度上升(Reduced rainfall and/or higher temperatures)等項目進行風險程度如圖 5 所示。



圖 5 倫敦希斯洛機場跨系統風險評估結果

資料來源：Heathrow Climate Asaptation Report(2024)

針對前揭氣候風險評估結果，被倫敦希斯洛機場列為優先考量之風險(Priority risks)及相關因應措施之情形，謹說明如下¹²：

1. 強降雨

強降雨事件及持續降雨可能導致希斯洛機場排水系統不堪負荷，導致機場附近河流水位上漲進而導致機場益淹的情事發生。2023 年 6 月 12 日，希斯洛機場於 2 小時內降下 25 毫米雨量，導致機場地表積水外，也由於地下水位升高，致使排水系統排水能力下降。因此，為降低強降雨的氣候風險，希斯洛機場所採取的措施包含建立氣候模式以及強化排水系統，藉以強化機場的韌性之外，也與外部利害關係人進行溝通，以便深入瞭解流域排水系統和洪水相關的風險。

此外，伴隨強降雨所產生例如閃電雷擊之複合性災害，可能也將對機場營運，以及戶外工作者構成安全上的危害。由於此類氣候事件風險很高，預期未來在夏季發生的機率將會提高。

2. 極端高溫

極端高溫或持續的熱浪會增加火災風險，並對乘客體驗、機場設施及聯外運輸系統產生負面影響。2022 年 7 月 19 日，英國氣溫首次突破 40°C，由於混凝土等材質之設施易吸收並保留熱量，且加劇熱島效應，雖然希斯洛機場基礎設施未受嚴重影響，但仍出現資產老化現象，受影響資產包括資料中心及關鍵基礎設施的電力和電氣系統。因此，希斯洛機場透過建立高溫影響模型，將風險閾值從 32°C 度提高至 40°C，也規劃在 2050 年前進行大規模資產更換，以使資產能承受更高溫的新設計標準。

3. 強風

強風影響機場航班正常起降及設施之安全風險，另對於平均風力及最大陣風的預測存在很大的不確定性。希斯洛機場於 2022 年 1 月 31 日紀錄到 22.8 公尺/秒的平均風速，最大陣風亦達到 67 公尺/秒，受影響的設施包括廊橋、建築物外牆等，於 2023 年 8 月亦發生類似事件，導致 759 個航班延誤，49 個航班取消。

¹² 參見倫敦希斯洛機場網頁：

[https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/heathrow-2-0-sustainability/reports/Heathrow-Climate-Adaptation-Report-\(ARP4\).pdf](https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/heathrow-2-0-sustainability/reports/Heathrow-Climate-Adaptation-Report-(ARP4).pdf), Last visited: May 28, 2026.

這次事件凸顯希斯洛機場對於強風的理解存在知識缺口，也凸顯陣風對特定資產的影響。因此，希斯洛機場開發風力模型，依據 50 年、100 年、200 年重現期進行評估，並由模型輸出結果提供新基礎設施設計的參據。

4.3 桃園國際機場

桃園國際機場是我國的門戶，承擔了臺灣絕大多數的國際客運與貨運量，是驅動國家整體經貿發展、觀光產業及國際交流的最核心關鍵，於 2025 年全年客運量約 4,780 萬人，以恢復至 2019 年新冠疫情前的 98%。然而，近年亦曾發生氣候事件而影響營運的情事，包含 2016 年 6 月桃園地區降下豪雨，因機場內部排水箱涵狹隘且受阻，造成桃園國際機場第二航廈周邊道路淹水，進出機場交通嚴重影響，另第二航廈地下室淹水及停電，高達 200 多個航班、超過 3 萬名旅客的行程受到嚴重延誤與影響¹³。此外，桃園國際機場於 2012 年 8 月遭受蘇拉颱風的強風影響，導致第二航廈的空橋遭強風吹垮倒塌。

為強化桃園國際機場調適能力，桃園機場公司參酌國際組織倡議、同業實務與我國相關政策指引，依據短期、中期與長期時間範疇內可能面臨的氣候相關風險與機會，透過與內部跨部門討論，評估各項風險發生時點、發生可能性及影響程度，系統性鑑別出包含因應國家淨零碳排放政策、永續航空燃油、減碳不如預期等 13 項風險類型(轉型/實體)，其中涉及氣候變遷調適之實體風險計有 6 項，相關風險之時間範疇與風險等級如表 6 所述¹⁴。

表 6 桃園國際機場氣候風險評級

編號	名稱	時間範疇	風險等級
R8	強颱發生頻率與嚴重性增加	短期	中
R9	雷雨/暴雨發生頻率與嚴重性增加	短期	中
R10	平均溫度持續上升	短期、中期	中
R11	全球海平面持續上升	中期、長期	低
R12	旱災發生頻率增加，影響用水	短期、中期	低
R13	氣候變遷引發傳染性疾病	短期、中期	高

資料來源：桃園國際機場股份有限公司，2024 永續報告書

為此，桃園機場公司因應前揭氣候變遷調適之實體風險，相應之具體作法與策略，主要包含¹⁵：

¹³ 參見行政院網頁，https://query.ey.gov.tw/legisweb/html/9_1_21_438.htm, Last visited: June 6, 2026.

¹⁴ 桃園國際機場股份有限公司，2024 永續報告書，2024，P.26-P.27。

¹⁵ 參見桃園機場公司 IG，<https://www.instagram.com/p/DYi7nARgfsi/>, Last visited: June 7, 2026.

1. 導入 ISO 14090 氣候變遷調適標準

桃機公司於「維生基礎設施」領域氣候變遷調適行動方案(112-115 年)中，提報「依據 ISO 氣候變遷調適指引，推動桃園機場園區氣候變遷調適作業，並維持認證資格」之調適行動計畫，針對高溫、強降雨及颱風等極端氣候風險，擬定「環境、能源、調適及水資源管理手冊」等 36 項具體行動計畫，並將氣候應變思維全面融入機場的每日巡檢與緊急演練中，以確保飛航與機場安全。

2. 基礎設施與極端氣候防護

於空側與陸側（如航廈、跑滑道）推動各項工程與基礎建設時，將強降雨增加等因素納入防洪排水考量，確保聯外交通與機場運作順暢之外，針對屢創新高的夏季氣溫，升級航廈空調系統與冰水泵浦等冷卻設備，維持場館舒適度與用電穩定。

3. 氣候風險評估與決策中心

桃園機場公司持續針對機場的脆弱度與氣候影響進行滾動式檢討，並導入 TCFD（氣候相關財務揭露）鑑別短期、中期、長期的氣候相關風險與機會。此外，透過機場營運整合決策中心（包含交通管理與設施監控系統），利用 AI 與大數據即時應對極端天氣事件帶來的營運衝擊。

五、演示案例研析

本研究嘗試融合 ICAO 之風險評估與調適規劃關鍵步驟，以及環境部《氣候變遷風險評估作業準則》評估架構，透過花蓮航空站之演示案例，並在風險評估以及調適策略相關機制方法中，擇其重要步驟試行操作，瞭解《氣候變遷風險評估作業準則》應用於國內機場風險評之適用性，以及可能遭遇之課題。此外，本研究亦針對風險評估試行過程中，所需之科學數據進行初步瞭解，以做為本所後續進行通用型運輸系統調適指引所需工項之參考，惟本案例在推演過程中，部分數值係屬假設性質，故風險評估結果僅為操作示意使用，並非代表演示案例實際風險評估與調適策略之結果，在此敘明。

5.1 案例概述及評估流程說明

本研究案例係屬演示操作性質，爰僅就風險評估以及調適策略相關的方法中，擇其重要步驟試行操作，以瞭解既有風險評估方法。

5.1.1 案例背景概述

花蓮機場位於花蓮縣新城鄉面積約 322 公頃，東臨太平洋，西南側緊鄰美崙溪(詳圖 6 所示)，於 1962 年成立後，即屬軍民合用機場，於 2001 年更成為臺灣第一個開辦國際航線的乙種航空站。花蓮機場標高 16 公尺，設有一條南北向跑道(編號 03/21)，長度 2,751 公尺、寬度 45 公尺，為混凝土(PCC)與瀝青混凝土(AC)複合鋪面，跑道長度可容納的商用最大起降機種為空中巴士 A330-300。

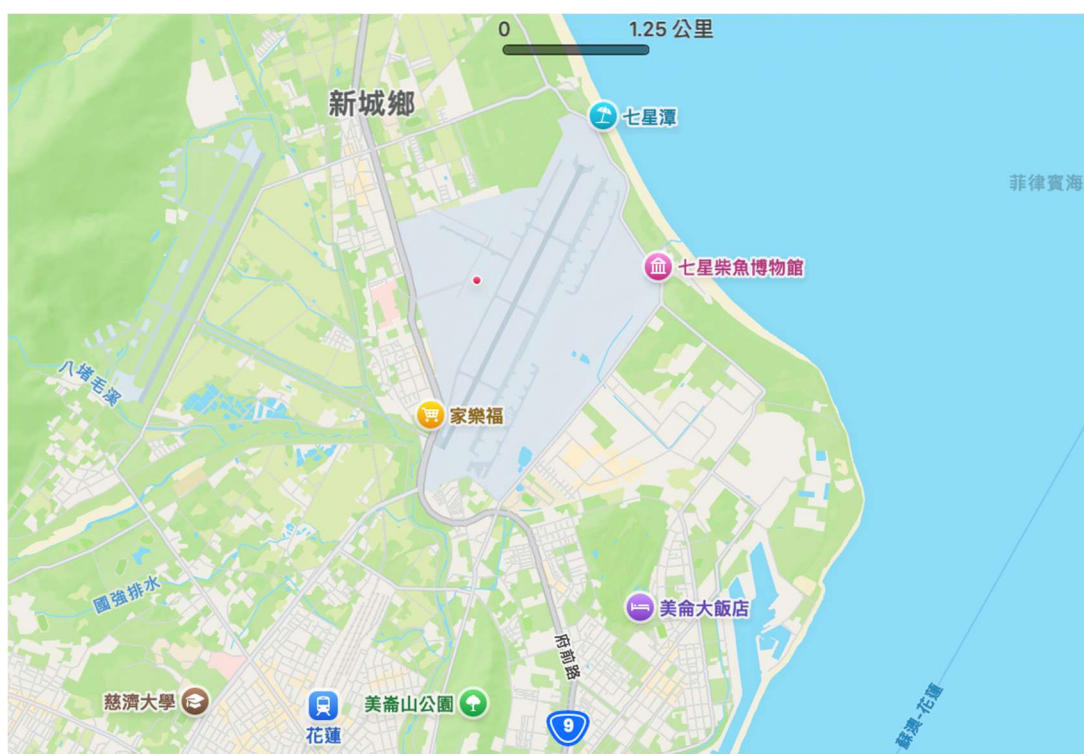


圖 6 花蓮機場地理位置圖

花蓮機場共配備 7 個停機位與 4 座空橋，提供給國內與國際航線使用。在現行國內與國際航線上，係以「國內定期接駁」與「國際專案觀光包機」做為定位。在國內航線上，主要連結臺灣北、中、南等都會區，提供往返臺北、臺中、高雄等地的定期航班。在國際航線上，則配合地方觀光政策，提供往來世界各城市的不定期國際包機服務。依據花蓮航空站的統計資料顯示，於 2025 年總航機架次為 2,331(國內線 1,847 架次，國際線 484 架次)，總客運量 82,461 人次(國內線 41,227 人次，國際線 41,234 人次)，相較於 2024 年的 53,112 人次¹⁶，大幅成長約 55.3%。

¹⁶ 參見交通部民用航空局花蓮航空站網頁，
<https://www.hualairport.gov.tw/YearsVolume?program=173&lang=TW>, Last visited: Jun. 20 2026.

由於花蓮機場位於中央山脈與太平洋之間，亦因特殊地形引發風場及風速的變化，並在機場上空產生風切與亂流。此外，在聯外交通方面，主要係以台 9 線南北串聯花蓮市及縣轄其他主要鄉鎮。由於花蓮縣對外聯絡極度倚賴北迴鐵路與蘇花公路等陸路運輸系統，惟往往在颱風過境後，時常發生邊坡滑落而致使鐵、公路系統雙雙中斷營運之情事。因此，若能強化花蓮機場因應極端氣候的韌性，將有助於降低花蓮縣境內形成孤島化風險的可能性。

5.1.2 風險評估及調適規劃流程說明

由於《氣候變遷風險評估作業準則》係依據《氣候變遷因應法》條文所授權訂定之，故在法律上有其一定之位階，各級機關(構)在執行相關業務時自當遵守。爰本研究在演示案例之風險評估流程上，其架構上仍以《氣候變遷風險評估作業準則》為基礎，再輔以 ICAO 針對風險評估及調適規劃等較細緻的關鍵步驟，進行相關的操作。有關環境部《氣候變遷風險評估作業準則》與 ICAO 風險評估及調適規劃等關鍵步驟於本研究所採行之內容，說明如表 7 所述。

表 7 演示案例風險評估流程說明

項次	評估階段	《氣候變遷風險評估作業準則》規範	案例風險評估流程內容
1	辦理氣候變遷風險評估	1.1 界定範疇：確認受影響對象、範疇及權責機關；受影響之時間、空間尺度及範圍；邀集有關機關等共同界定評估範疇。	1.範疇：以花蓮機場及鄰近交通系統為評估範疇 2.應用情境：升溫 1.5°C(短期)、2°C(中期)、3-4°C(長期)世紀末減碳失敗情境。 3.工作小組：建議由交通部民用航空局花蓮航空站，交通部公路局東區養護工程分局、經濟部水利署第九河川分處、花蓮縣政府、台灣電力股份有限公司、相關專家學者、利害關係人等組成。
		1.2 檢視資源及氣候衝擊現況：盤點易受氣候變遷影響對象可掌握資源；評估氣候衝擊現況；易受氣候變	1.盤點氣候風險：參酌國外機場面臨之主要氣候風險因子，評估其可能造成之氣候風險評級。 2.評估項目：考量本演示案例係單一評估對象(花蓮機場)，爰主要以危

項次	評估階段	《氣候變遷風險評估作業準則》規範	案例風險評估流程內容
		遷影響對象屬性之衝擊評估方法。	害度、脆弱度做為案例之氣候衝擊評估項目。
		1.3 評估未來氣候變遷風險：使用當期氣候變遷科學報告進行未來氣候變遷風險評估及辨識調適差距；邀集有關機關等共同檢視評估合理性。	1.科研數據：參酌 TCCIP、Dr.A 等科研圖資，進行未來氣候變遷風險評估。 2.評估方式：透過半定量方式進行未來氣候變遷風險評估及辨識調適差距。
2	研擬、推動氣候變遷調適之方案及策略	2.1 調適選項規劃及綜整決策：擬訂調適選項及推動期程；評估調適選項之有效性、可行性及可能之負面影響；評估優先執行之調適選項。	1.研擬調適選項：參酌國內外機場調適之相關案例，研擬數項降低調適差距之調適選項。 2.評估調適選項有效性：考量本研究係屬演示案例，爰不針對調適選項有效性、優先性進行評估。
		2.2 推動或執行調適選項：建立量化評估指標，作為評估調適選項或計畫之執行成效依據；透過訪談相關團體、諮詢專家等方式，協助檢視調適執行成效。	執行調適選項：考量本研究係屬演示案例，爰不建立量化評估指標及檢視調適執行成效。
		2.3 檢討或修正調適選項：降低調適差距之執行情形評估潛在之正、負面影響；彙整執行調適選項與行動過程之調適障礙，並提出未來解決方案滾動進行氣候變	檢討修正調適選項：考量本研究係屬演示案例，爰不進行檢討或修正調適選項。

項次	評估階段	《氣候變遷風險評估作業準則》規範	案例風險評估流程內容
		遷風險評估之作業，做為調適選項修正之依據。	

資料來源：本研究整理

5.2 現況及未來風險評估

5.2.1 盤點氣候風險因子

1. 極端高溫

由於機場跑道、滑行道，以及停機坪鋪面多屬混凝土及瀝青混凝土之鋪面，故在夏季時產生極度高溫尤其明顯。依據臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)之相關圖資，花蓮測站在 2025 年夏季(6-8 月)觀測最高溫為 31.8°C¹⁷，若以 AR 6 以及 SSP5-8.5 情境下，推估花蓮機場於升溫 1.5°C(短期，2035 年)情境下之最高溫將升至 35.49°C，升溫 2.0°C(中期，2048 年)情境下之最高溫將升至 35.96°C，升溫 3.0°C(長期，2065 年)及升溫 4.0°C(長期，2081 年)情境下，最高溫分別為 37.5°C 及 38.5°C 將升至 37.1°C 於 2060 年將升溫至 33.4°C，甚至推估 2100 年夏季時將升溫至 38.70°C。此外，花蓮機場夏季目前最高氣溫多介於 31–34°C，惟停機坪因太陽輻射、混凝土與瀝青鋪面蓄熱效應，體感溫度(或 WBGT)可能超過 40°C，對地勤人員熱危害及飛航作業仍具有顯著影響。

相關花蓮機場推估未來情境之升溫結果詳表 8，以及本研究透過 QGis 呈現之高溫分布如圖 7-圖 9 所示。

表 8 花蓮機場現況及未來最高溫推估結果

項目 \ 情境	現況	升溫 1.5°C	升溫 2.0°C	升溫 3.0°C	升溫 4.0°C
最高溫	31.8°C	35.49°C	35.96°C	37.12°C	38.70°C
高於 36°C 日數	0	0	0	9	61
高於 38°C 日數	0	0	0	0	6

資料來源：TCCIP，參考 SSP585_ACCESS-CM2 模式。

¹⁷ 參見 TCCIP 網頁，https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_01_station.aspx, Last visited: Jun. 25 2026.

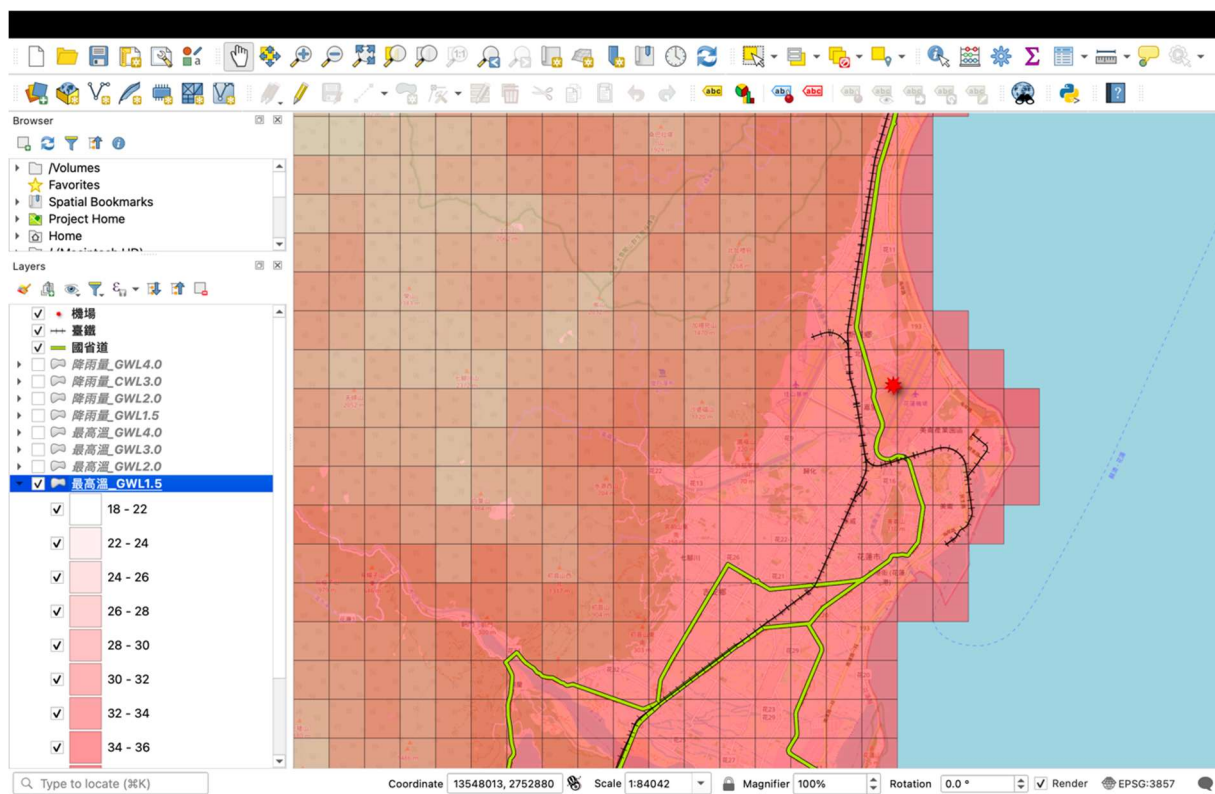


圖 7 花蓮機場周遭升溫情境分佈圖(升溫 1.5°C 情境)

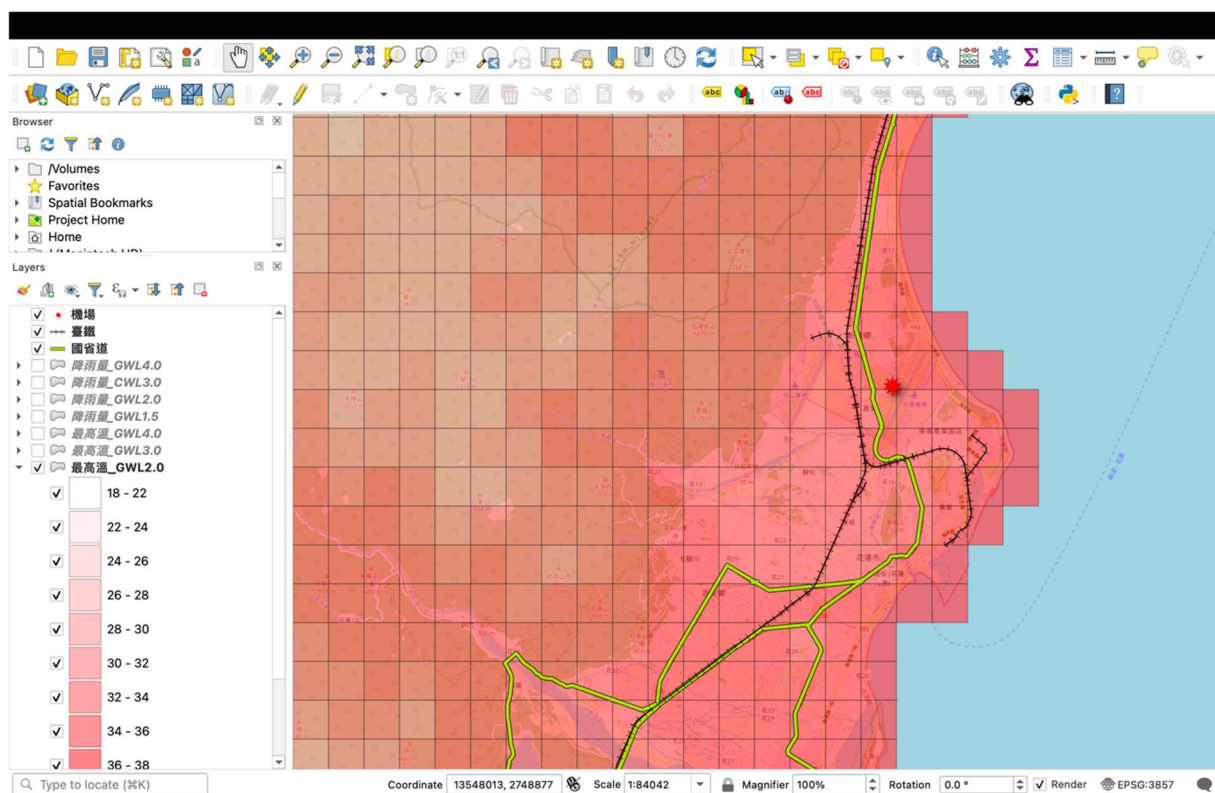


圖 8 花蓮機場周遭升溫情境分佈圖(升溫 2.0°C 情境)

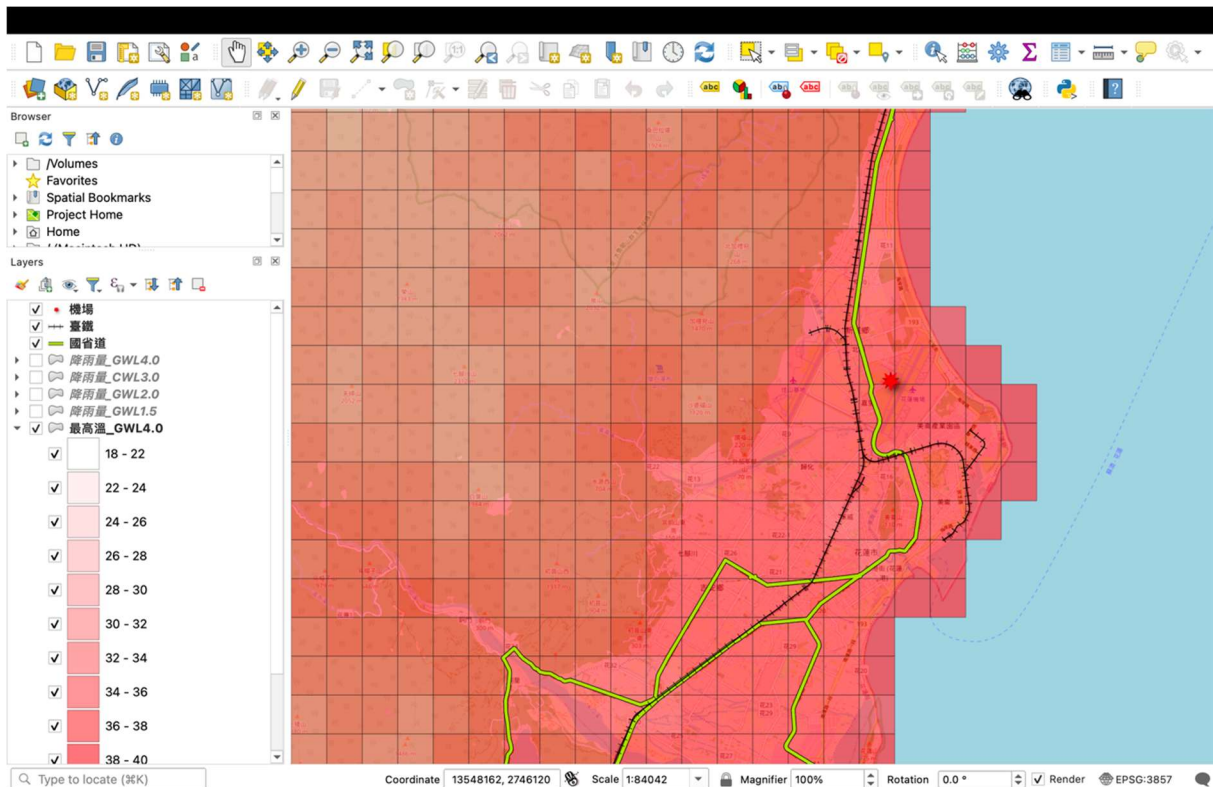


圖 9 花蓮機場周遭升溫情境分佈圖(升溫 4.0°C 情境)

於此期間所推估本演示案例在夏季高溫趨勢既明顯且穩定，若長期處於高溫的環境下，可能對於花蓮機場的影響，包含機場設施設備加速老化、聯外地面交通系統交控系統異常、乘客候機舒適性降低、戶外工作者身心健康受影響，飛機起飛推力降低，以及關鍵設備電力供應的穩定性。

由於花蓮航空站新航廈係於 2004 年 3 月啟用，相關設施設備尚在合理的使用年限範圍內，對於可能造成設備加速老化的風險，在短、中期的影響應仍在可控制範圍。另在電力供應方面，花蓮機場係透過周邊的北埔變電所與花港變電所並採用雙迴路供電模式所引進，故電力供應方面尚屬可靠。

惟在飛機起飛推力降低部分，以目前花蓮機場跑道長度可容納最大的商用客機空中巴士 A330-300 為例，在標準大氣溫度(15°C)下，A330-300 於滿載起飛所需之合理跑道長度約 2,500 公尺¹⁸。當地表氣溫上升時，會因空氣密度下降，而導致飛機需要更長的起飛跑道長度，航空公司若不採取相關措施，在未採取任何調適措施(如減載或調整起飛時間)的情況下，高溫可能對航班營運效率造成影響，並需重新驗證飛航性能。

¹⁸ 飛機起降受機場標高與氣溫、跑道乾濕度、飛機實際載重等因素影響。參酌網路資料所示，空中巴士 A300-330 起飛合理距離約為 2,500 公尺。當氣溫升至 38°C(ISA+13°C)時，合理跑道長度約 2,800-3,150 公尺。參見：<https://vibgyorpublishers.org/content/ijaae/ijaae-5-041-table4.html>, Last visited: Jul.15 2026.

2. 降雨量

花蓮機場於西南區域銜接美崙溪，是花蓮市及鄰近鄉重要的溪流。然而，近年受極端氣候及地震之影響，導致部分河段的溪床高度已經快接近橋面，一旦發生短延時強降雨，溪水因失去原有通水斷面的空間，致使難立即疏導溪水，而致使溪河溢淹情事。

此外，由於花蓮機場鄰近太平洋，地勢相對花蓮市區而言仍屬低窪。因此，本研究參酌 TCCIP 在 SSP585 之 ACCESS-CM2 模式，分別在升溫 1.5°C (短期，22035 年)、 2.0°C (中期，2048 年)，以及 4°C (長期，2065 年) 等情境下，藉由 QGIS 地理資訊系統呈現機場週遭之降雨情形如圖 10-圖 12 所示。依據前揭推估降雨量顯示，於短期(2035 年)在機場位址之每日最大降雨量可能達 213 毫米，至中期(2048 年)每日最大降雨量將達 329 毫米，到長期(2081 年)之每日最大降雨量恐達 441 毫米。雖然美崙溪於 2013 年經前臺灣省水利局完成檢討並公告以 25 年洪水位加 1 公尺出水高(下游堤防高度約 1.5-3 公尺)、50 年不溢堤做為規劃保護標準¹⁹，惟依 TCCIP 圖資推估花蓮機場有關降雨量所產生如地表淹水、溪水溢淹的風險仍有逐年升高的趨勢。

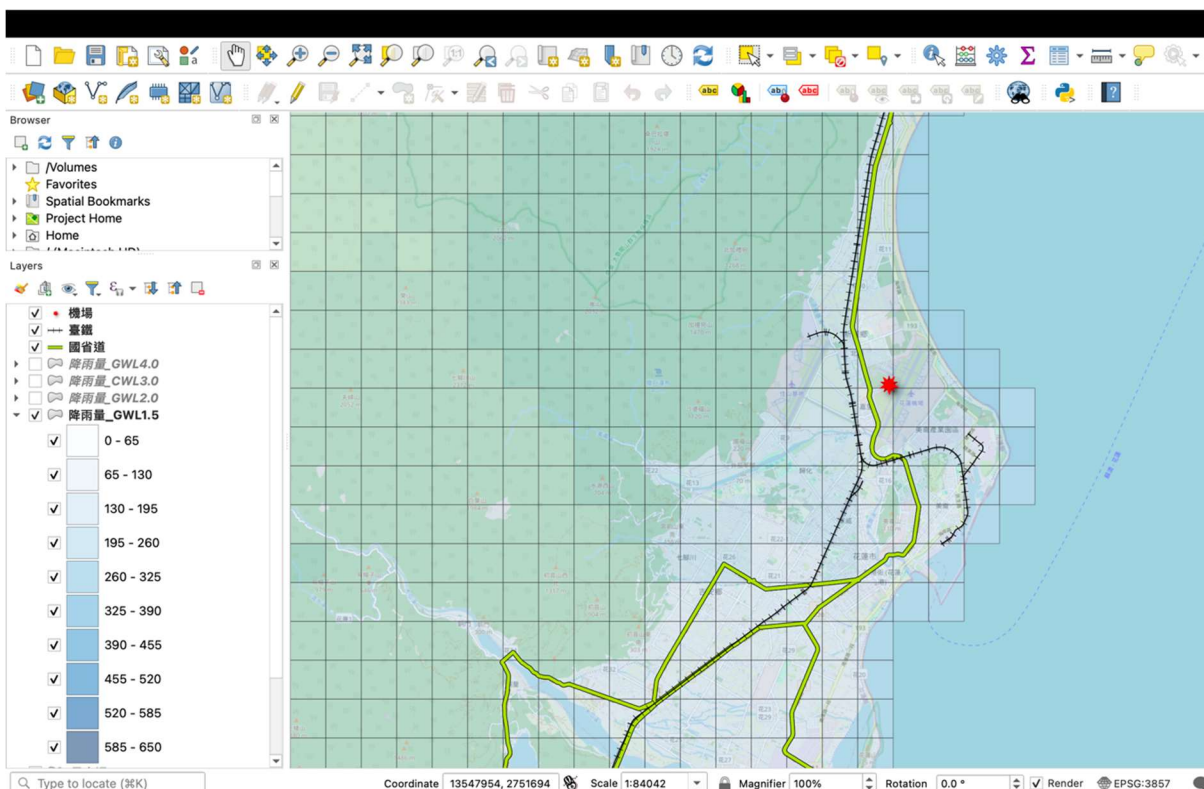


圖 10 花蓮機場週遭降雨量分佈圖(升溫 1.5°C 情境)

¹⁹ 參見花蓮縣政府網站，https://www.hl.gov.tw/News_Content.aspx?n=32725&s=115829, Last visited: Jun. 22, 2026.

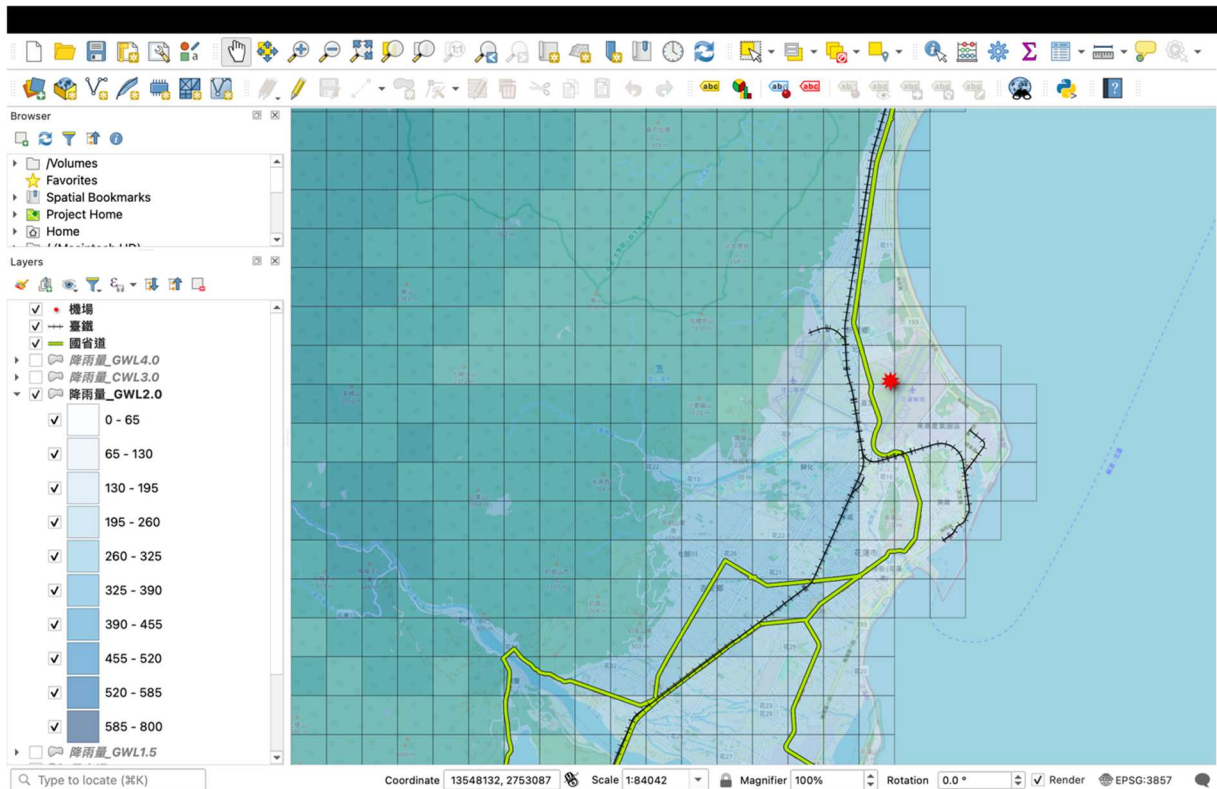


圖 11 花蓮機場週遭降雨量分佈圖(升溫 2.0°C 情境)

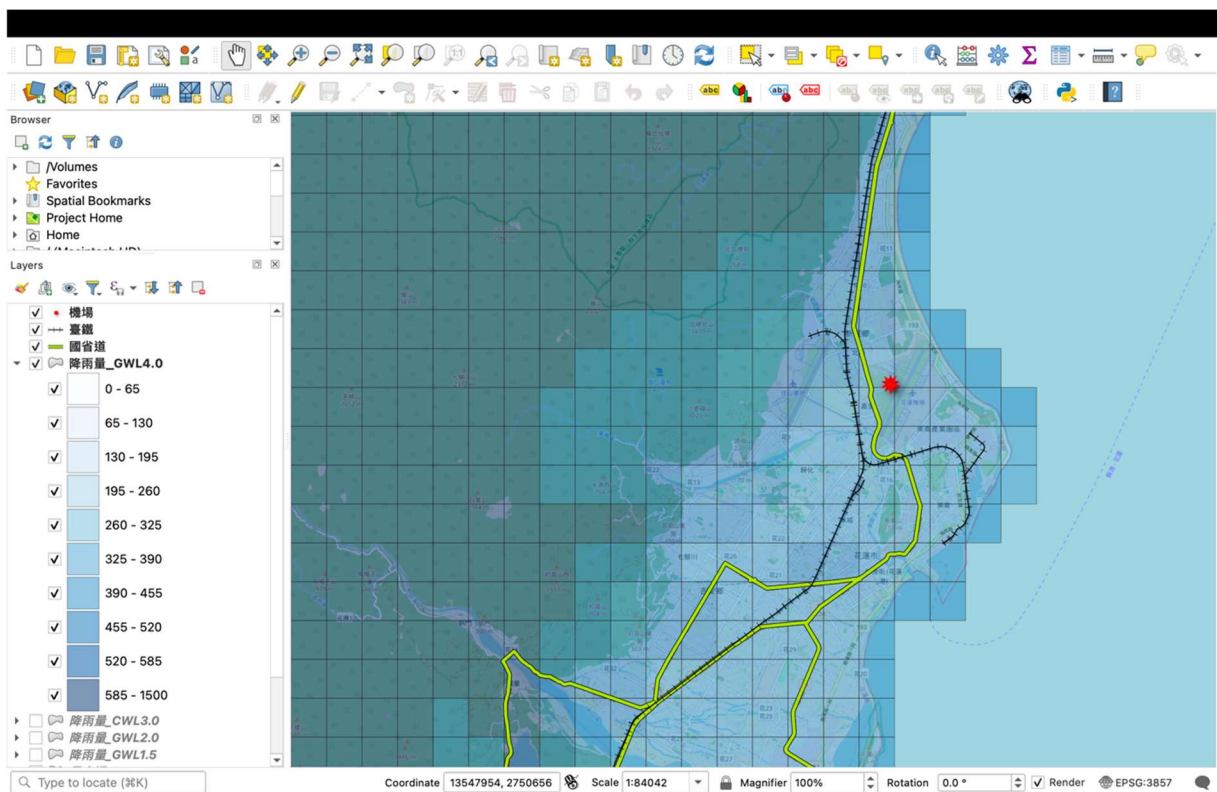


圖 12 花蓮機場週遭降雨量分佈圖(升溫 4.0°C 情境)

3. 強風/颱風

由於花蓮機場位於臺灣東部迎風面，當颱風接近或於宜花東登陸時，易引發氣流風切，並影響花蓮機場航班起降。

本研究參酌 TCCIP 蒐整 1978~2017 年共 125 場颱風之模擬結果，並以蒲福風級分為 5 個級距之臺灣海岸最大風速危害圖，顯示現況於鄰近花蓮機場周圍之海岸風速約為 17.1-24.4 公尺/秒，其危害風險相對較低。而在世紀末 RCP8.5 情境之模擬結果，顯示鄰近花蓮機場周圍之海岸風速介於 24.4-28.4 公尺/秒，其危害風險則有提高趨勢(低度提升至中度)，相關變化情形如圖 13 所示。

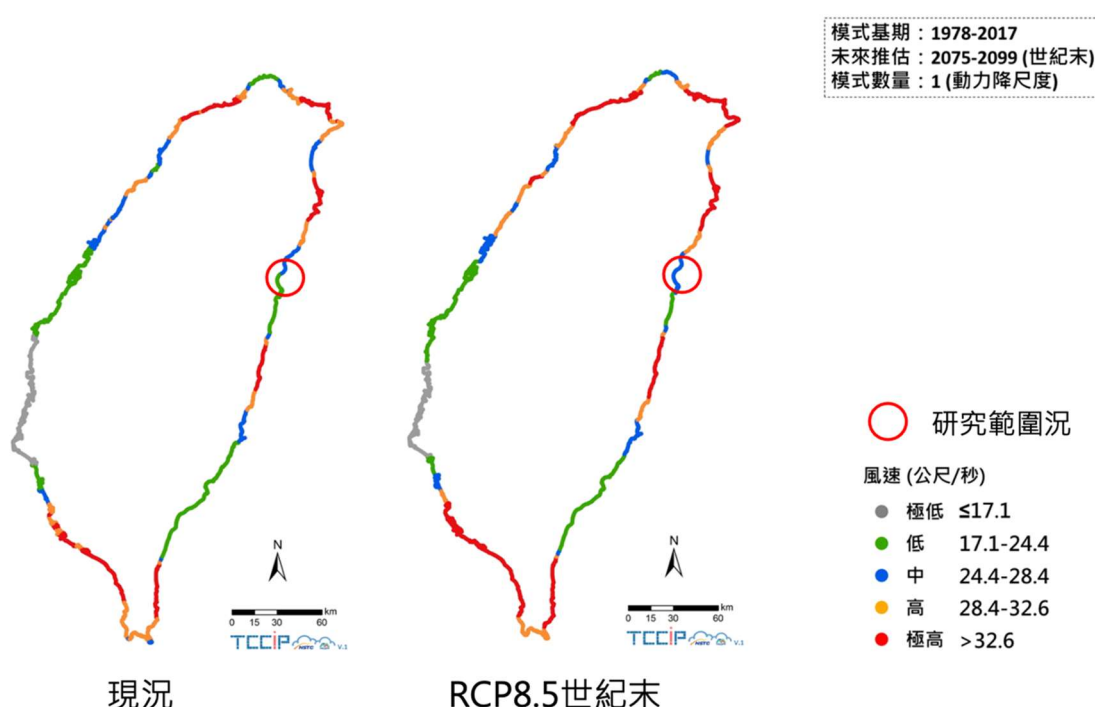


圖 13 全臺海岸現況及世紀末最大風速危害圖

資料來源：TCCIP

4. 海平面上升

參酌「國家氣候變遷科學報告 2024-現象、衝擊與調適」有關海平面上升溢淹衝擊之分析結果²⁰，花蓮縣在升溫 1.5°C 與 2.0°C 情境下，海平面分別上升約 1.0-1.5 公尺，以及 1.5-2 公尺，如表 9 所述。由於花蓮機場標高約 16 公尺，因此海平面上升對於本研究範圍影響之風險相對較低。

²⁰ 國科會、環境部，國家氣候變遷科學報告 2024-現象、衝擊與調適，2024，P.328-P.333。

表 9 花蓮縣於各情境海平面上升之影響評估

縣市 (總面積 km ²)	1.5°C		2°C	
	淹沒面積百分比	最大深度等級	淹沒面積百分比	最大深度等級
花蓮縣 (4629)	0.11%	1.0m 至 1.5m	0.30%	1.5m 至 2.0m

資料來源：TCCIP

5. 生物多樣性

考量氣候變遷可能導致野生動物遷徙模式的改變，且花蓮機場南北起降航道正好坐落在美崙溪床與太平洋交會河口附近，是許多冬候鳥與過境鳥重要棲息地。由於該因素對於花蓮機場航班起降造成潛在的風險，爰本研究試圖究參酌歐盟 ADAPT 將當地生物多樣性納入氣候風險因子進行相關風險評估下，也凸顯本項風險在國內機場氣候變遷風險評估上的困難性。

5.2.2 風險評級分析

本研究建議國內機場權管機關(構)在完成蒐整現況及未來氣候風險評估所需圖資後，可透過半定量或定量評級方式，分析前揭氣候風險因子在各個情境下的風險程度。此外，在氣候變遷風險評估方面，建議以《氣候變遷因應法》定義之危害、暴露度、脆弱度等組成因子進行分析，並依據《氣候變遷風險評估作業準則》之評估步驟，分別在不同時間軸下，針對擬評估對象進行風險評估。惟本研究僅屬演示性質，機場權管機關(構)仍需因地制宜研提相應之評估對象及評估項目為妥。有關本研究演示案例之風險評估建議項目如表 10 所述。

表 10 風險評估項目示意表

氣候風險因子	評估對象	危害	脆弱度	暴露度
高溫/ 極端高溫	機場設備老化	▪年平均溫度 ▪月平均溫度 ▪日最高溫 ▪發生時間點/持續時間/規模	▪設施耐用性及備援狀況	▪結構、設備(數量、規格)
	乘客舒適性		▪空調設施狀況 ▪極端氣候應變方案	▪機場使用者人數
	戶外施工與維運		▪極端氣候下持續施作的準備程度	▪組織規模(施工規模、人數)
	聯外道路		▪聯外運輸系統可替代性	-

氣候風險因子	評估對象	危害	脆弱度	暴露度
	電力供應故障		▪電力供應及備援結構	-
	跑道長度		▪跑道鋪面劣化狀況 ▪擴建跑道可行性	-
強降雨	地表淹水	▪年降雨量 ▪月降雨量 ▪日降雨量 ▪時降雨量 ▪河流洪峰流量 ▪年最大淹水洪峰	▪地點、地形(海岸、河口、河岸)與地質 ▪基地地面高度 ▪機場排水設施狀況	-
	河川溢淹	▪淹水頻率 ▪發生時間點/持續時間/規模	▪防波堤等保護設施狀態	-
強風	民航機起降受阻	▪風速改變 ▪盛行風	▪航班起降/取消應變機制	-
	機場設施毀損	▪風向特性改變 ▪颱風發生頻率	▪設施因應強風程度	-
海平面上升	機場淹沒	▪海平面上升程度	▪機場/設備高程	-
生物多樣性	當地生態系與鳥襲	▪野生動物遷徙模式 ▪野生動物數量	▪機場應變機制	-

資料來源：JICA Climate-FIT²¹及本研究整理。

經由演示後的氣候風險評估結果，可盤點出在各情境下各評估對象的風險評級，經由各風險評級之高度、中度、低度風險進行排序，即可辨識各評估對象的調適差距，後續再藉由相應的調適策略研擬，提升因應氣候變遷調適的能力。

²¹ 參見 JICA Climate-FIT 網頁，
https://www.jica.go.jp/Resource/english/our_work/thematic_issues/climate/fh2q4d000000phbl-att/adaptation_all.pdf, Last visited: Jul.16 2026.

5.3 研擬氣候變遷調適策略

5.3.1 調適選項規劃及綜整決策

1. 確認調適目標

以演示案例之範疇界定為例，花蓮縣對外聯絡交通主要仍以北迴鐵路、蘇花公路等鐵、公路系統為主，惟每逢豪雨常造成鐵、公路系統暫停營運，而使花蓮縣境內陷入孤島化的風險。因此，為降低花蓮縣境內形成孤島化的風險，除持續強化鐵、公路系統之調適能力之外，提高花蓮機場可接受之風險評級，進而提升花蓮機場衝擊耐受力，以做為鐵、公路系統遭遇氣候事件後之替代聯外運輸系統。

基此，為提升花蓮機場因應未來氣候變遷之衝擊耐受力，爰以低度風險(含)以下做為演示案例可接受的風險評級。在此調適目標下，對於存在中度風險以上的資產(包含機場設備老化、戶外施工與維運、跑道長度、地表淹水)需研擬相應之調適策略，以降低其資產的調適差距。

2. 研擬調適措施

參酌本計畫蒐整國外機場強化調適能力之案例與經驗，模擬可引入參考之調適措施簡述如下：

- 機場設備老化：由於花蓮機場新航廈於 2004 啟用，現階段尚屬新穎，因此對於高溫加速機場設備老化之議題，建議可透過逐年編列預算適時維修與更換，以維持機場設備的正常功能。
- 戶外施工與維運：對於地勤人員或戶外施工維護人員，目前國內可依據《職業安全衛生設施規則》提供必要之熱危害預防措施，惟暴露在混凝土鋪面且無遮陰的停機坪，其體感之溫度將更甚其他區域，爰本研究建議可參酌國外做法，設置具簡易空調功能的小型區域，以降低熱傷害的風險。
- 跑道長度：假設在世紀末花蓮機場最高溫度將達 39°C 之情境下，其條件對於是否滿足目前可容納最大商用機型空中巴士 A330 的起降需求，可再予詳實評估。惟該議題係屬長期之氣候議題，爰建議可先依據「航空器性能表驗證」與「機場運作規章修訂」等關鍵環節訂定相關操作限制，定期檢討並發布各機型於該機場的起飛重量限制表，以降低氣溫因素所產生的影響。

- 地表淹水：為降低跑道淹水可能導致飛機偏離跑道之假設情事，建議可參酌新加坡樟宜機場鋪設凹槽的瀝青鋪面，提升排水功能外，並設置感測器自動提醒航管人員等注意跑道水膜深度，以做必要之因應。

5.3.2 執行調適選項

考量推估未來氣候情境之不確定性，本研究嘗試以「調適路徑(Adaptation pathway)方式，透過時間序列排序之調適選項，藉由一條或多條路徑之選擇，形成可供執行的調適選項序列，此等決策方法，可透過多種可能情境進行風險評估，降低長期情境不確定之誤差。針對演示案例所假設之調適選項，透過調適路徑模擬如圖 14 所示。

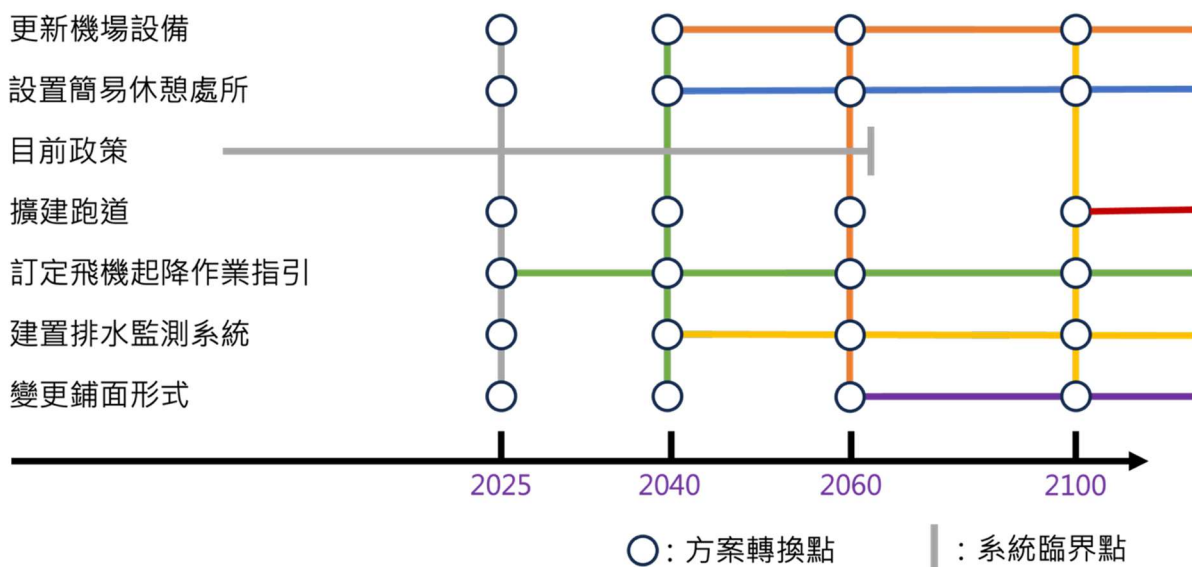


圖 14 模擬調適策略之調適路徑示意圖

透過調適路徑可勾勒出未來推動調適策略之選項以及時間點，並由此規劃之調適路徑可為做為與利害關係人、當地社區與外界人士進行溝通的工具，並藉此踐行公民參與之外，亦可做為未來審視與檢討調適選項之執行狀況是否達到預想的目的。

六、結論與建議

6.1 結論

1. 隨著全球極端氣候事件發生頻率不斷提升，機場面臨氣候風險也與日俱增。為強化機場氣候變遷之調適能力，首要之先係瞭解如何透過方法學有系統辨

識機場現況與未來面臨之氣候因子，從而建立風險評估與調適策略之機制與方法，藉以提升機場基礎設施因應氣候變遷之調適能力。

2. 蒐整國外機構分析及機場調適實務案例顯示，機場面臨之主要氣候風險因子，主要是降雨模式改變、極端溫度、強風與風向、海平面上升，以及當地生物多樣性等，另經由 ICAO 問卷調查結果顯示，其中又以極端高溫、降雨模式改變、暴風強度增加等因素對於機場之正常營運構成嚴峻的挑戰。
3. ICAO 於 2022 年發布之航空組織氣候變遷風險評估與調適規劃的關鍵步驟，其架構與國內《氣候變遷風險評估作業準則》相似，惟 ICAO 對於風險(Risk)的定義可能性(Likelihood)與後果(Consequence)的組合，其與《氣候變遷因應法》第 3 條第 3 款所揭示氣候變遷風險的組成因子為氣候變遷危害、暴露度及脆弱度略有不同，國內機關(構)於辦理空運系統氣候變遷調適之相關業務時，仍應以國內法規所明定之組成因子為之。
4. 本研究以花蓮機場及週邊做為演示案例，參酌 TCCIP 相關圖資以及透過 QGis 呈現 TCCIP 瞭解氣候數據於案例週邊的分布狀況。未來國內機場權管機關(構)可經由半定量或定量分析方式，進行例如地表淹水、機場設備老化、高溫對於戶外施工與維運者的威脅，以及跑道長度等評估對象的風險描述，於瞭解所管機場可能面臨之調適差距後，藉由調適策略之研擬與執行，提升所管機場之調適能力。
5. 對於案例演示所假設之調適差距，本研究嘗試以「調適路徑」方式，針對調適選項研擬多項調適路徑，除可做為機關(構)決策參考外，亦可做為與利害關係者、當地社區民眾，以及外界人士溝通使用，以踐行公民參與的程序。
6. 針對國外機場較常納入風險評估之氣候風險因子，例如降雨模式改變、極端溫度、強風與風向、海平面上升，以及當地生物多樣性等，未來可做為本所賡續辦理「通用型運輸系統調適指引」之參考項目，惟對於部分氣候風險因子所欠缺之科研數據，期待有關單位持續努力予以補齊，以臻機場氣候變遷風險評估之完善。

6.2 建議

1. 本研究透過演示案例方式進行機場氣候變遷風險評估，利用氣候科學數據與半定量方式瞭解調適差距及風險評級，並針對調適差距研提可能之調適策略。惟在風險評估過程中，仍有部分氣候風險因子缺乏相關數據，例如演示案例之風力、風向推估值，以致在進行風險評估時仍存在困難性。因此，參酌倫敦

希斯洛機場之經驗，國內民用航空站權責機關(構)得自行建立相關氣候模型，瞭解機場週遭之排水系統運作情形，以及風力可能對於飛機起降之影響程度而預做準備。

2. 如何將全球調適目標(Global Goal on Adaptation, GGA)在地化，並適時呈現各單位在推動氣候變遷調適的成效，是目前受矚目的議題。此等議題於 COP 30 會議後，決議通過 59 項貝倫調適指標，其中包含 38 項領域指標及 21 項維度指標，但在對應國內易受衝擊領域及操作上，仍多屬於討論階段，且對於如何呈現相應的追蹤指標，似仍未有共識，實有賴各權責機關(構)共同協力。倘未來透過各界凝聚共識並形成空運系統之調適能力追蹤指標，將有助於《氣候變遷風險評估作業準則》規定有關調適選項的檢討或修正的執行。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)，2022。
2. 桃園國際機場股份有限公司，2024 永續報告書，2024。
3. 國科會、環境部，國家氣候變遷科學報告 2024-現象、衝擊與調適，2024。
4. ICAO, Climate Change: Climate Risk Assessment, Adaptation and Resilience- Key steps in Aviation Organisation Climate Change Risk Assessment and Adaptation Planning, 2022.
5. ICAO, 2024 ICAO Climate Adaptation Synthesis Report, 2025.
6. Burbidge, R., Adapting European Airports to a Changing Climate. Transportation Research Procedia, Volume 14, 2016.
7. 國科會臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台，<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw>。
8. 聯合新聞網，https://global.udn.com/global_vision/story/8662/7906770。
9. TVBS，https://news.tvbs.com.tw/life/2674544?utm_source=copilot.com。
10. 行政院，https://query.ey.gov.tw/legisweb/html/9_1_21_438.htm, Last visited: June 6, 2026.
11. 桃園機場公司，<https://www.instagram.com/p/DYi7nARgfsi/>, Last visited: June 7, 2026.
12. 交通部民用航空局花蓮航空站，
<https://www.hualairport.gov.tw/YearsVolume?program=173&lang=TW>.
13. 花蓮縣政府，https://www.hl.gov.tw/News_Content.aspx?n=32725&s=115829.
14. Airports Council International, https://dymez6ioe12by.cloudfront.net/media/wp-content/uploads/2026/03/29121237/Policy_brief_airports_adaption_climate_change_V6_WEB-1.pdf.
15. ICAO, <https://www.icao.int/environmental-protection/Climate-Adaptation>.
16. 新加坡樟宜機場，<https://www.changiairport.com/en/corporate/our-sustainability-efforts/environment/building-climate-resilience-to-ensure-smooth-operations.html>.
17. 倫敦希斯洛機場，<https://mediacentre.heathrow.com/pressrelease/detail/24843>.
18. VIBGYOR 電子出版社，<https://vibgyorpublishers.org/content/ijaae/ijaae-5-041-table4.html>.
19. JICA Climate-FIT，
https://www.jica.go.jp/Resource/english/our_work/thematic_issues/climate/fh2q4d000000phbl-att/adaptation_all.pdf.