

2023 年夏威夷野火災害探討

李士強¹、廖凱民²、朱容練³、何瑞益¹、張志新¹

1 國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組

2 國家災害防救科技中心 體系與社經組

3 國家災害防救科技中心 氣象組

摘要

2023 年 8 月 8 日下午，位於太平洋夏威夷茂宜島(Maui Island)西邊的拉海納鎮(Lahaina)發生野火事件，火源出現在拉海納鎮東北方，並由強烈的風勢帶動火勢順著山坡下坡並向城鎮移動，整個拉海納鎮陷入火海，造成嚴重傷亡，美國總統拜登旋即宣布進入災難緊急狀態，並啟動一系列措施包含**非必要人員疏散**、災區嚴格管制、災民救援救助以及日後經濟補助等；本次野火發生的主要原因為突發性乾旱、易燃植物的擴散、以及不利的大氣環境等因素，加上當地防災單位未啟動戶外警報系統，共造成 97 人死亡、31 人失蹤以及超過 2200 棟建築物遭焚毀，為美國有紀錄以來第二嚴重的野火傷亡事件。

一、茂宜島環境與氣候

圖 1 為茂宜島位置，亦稱毛伊島，是夏威夷州第二大島，面積 1,883 平方公里，並由兩個火山錐拼接而成，島嶼最高點為位在東邊

的哈萊阿卡拉火山(Haleakalā)，其以迷人壯麗的景致聞名，故觀光產業為茂宜島的主要經濟來源之一。茂宜島一半以上的面積緊鄰海岸線不足 5 英里(約 8 公里)，構成了茂宜島海洋性氣候的基本屬性^[1]，島上沿海地區的常年氣溫在 26°C 到 32°C 之間，茂宜島的月平均降雨量多低於 50 毫米，如圖 2 實線所示，雨季分布於 7 月至隔年 5 月^[2]，此外，長年自茂宜島東北邊吹來的信風加上島上地形不規則的地形起伏，也使降雨、雲系、風速在島上有一定程度的區別。



圖 1 茂宜島與夏威夷群島地理位置

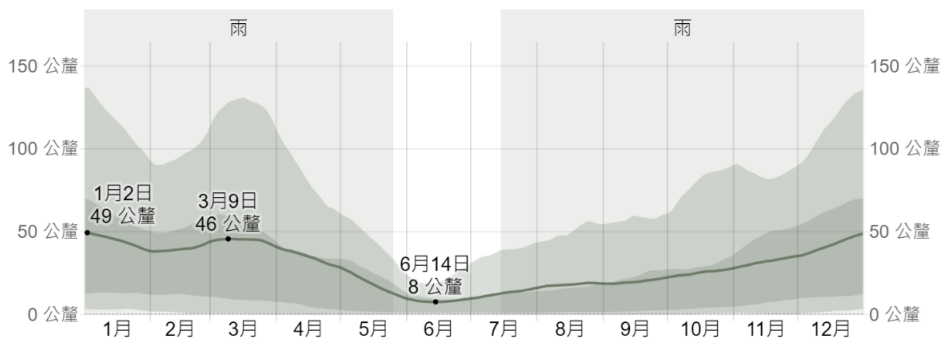


圖 2 茂宜島的月平均降雨量^[2]

作為 18、19 世紀夏威夷王國(西元 1795-1893)的首都之一，拉海納(Lahaina)是一個充滿歷史的地方，其位於茂宜島的西部如圖 3，也是茂宜島重要的觀光區之一。拉海納鎮周邊地勢多變，從沿海的平緩地帶到內陸的山脈和峽谷，都展現了茂宜島豐富的自然景觀和地質特徵^[1]。

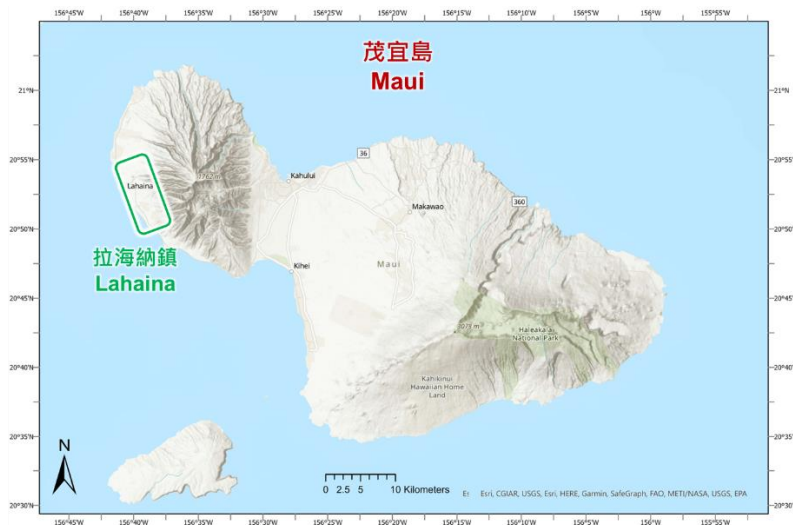


圖 3 茂宜島與拉海納鎮地理位置

二、災害敘述

夏威夷茂宜島(Maui Island)西邊的拉海納鎮於當地時間 2023 年 8 月 8 日上午 6 時 37 分，發生第一起野火事件，當地政府快速進行疏散，並在當日上午 10 時宣布「雖有部分電力設施受到影響，但野火已受到控制」；然而在當地時間下午 3 時 30 分，野火在海納拉鎮東北方再度發生，強烈的風勢帶動野火順著山坡下坡並向西南方移動，野火於當地時間下午 4 時 46 分抵達拉海納鎮市區，下午 5 時 45 分火

勢已穿過市區並蔓延至海岸線，造成整個拉海納鎮陷入火海^[3]，圖 4

為災後現場空拍影像，可知城鎮多數建築物已遭野火焚毀。



圖 4 拉海納鎮災後現場圖^{[4][5]}

由災前以及災後衛星影像以及建物分布圖(圖 5)可知，拉海納鎮大部分建築物於此次野火事件燒毀，經太平洋災害中心(PDC) 和聯邦緊急事務管理署(FEMA)估計超過 2,200 座建築物被毀^[6]，許多來不及逃生的民眾命喪火海或是直接跳入海中求生，截至 9 月 27 日官方公布總計 97 人死亡，尚有 31 人失蹤^[7]，本次野火災害為夏威夷最嚴重災害事件，打破 1960 年由智利地震引發之夏威夷海嘯災害事件，計有 61 人死亡^[8]；亦為美國有紀錄以來第二嚴重的野火傷亡事件，僅次 1918 年克洛凱野火事件，造成 453 人死亡^[6]。

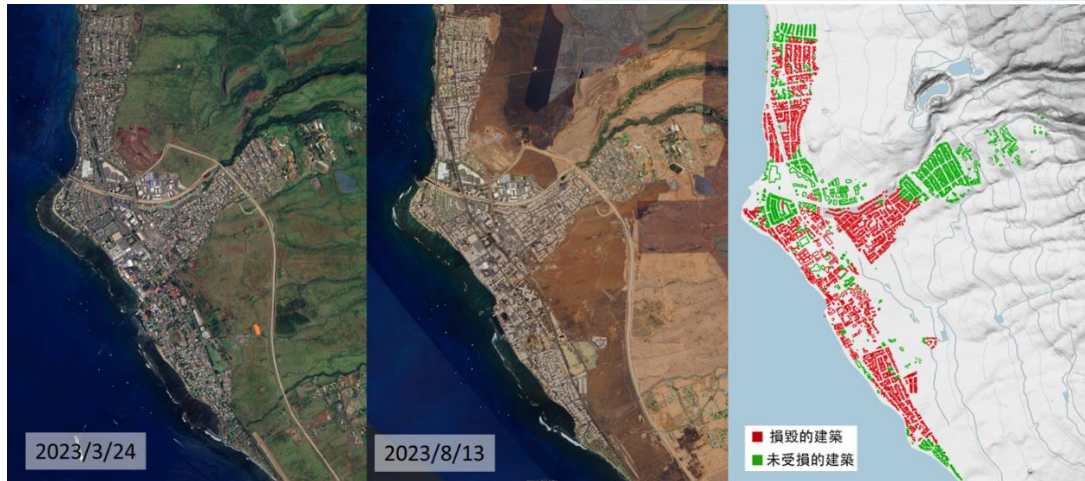


圖 5 左、中：野火事件發生前後拉海納鎮衛星圖^[9]，右：建物受創分布圖^[10]

三、災因探討

本次嚴重的事件其原因可歸納為以下幾點：

1. 突發性乾旱(flash drought)：在全球暖化的環境下，人類暴露在乾旱環境的頻率以及因此而造成傷亡的比例有逐年增加的趨勢^[11]。從過去的研究也顯示，夏威夷的降雨呈現逐年遞減的偏乾情形，其中又以夏威夷島西岸最為顯著^[12]。種種跡象均顯示，夏威夷暴露在乾旱環境的頻率越來越高。

另外，乾旱通常為緩慢現象，由於缺乏降雨，可能持續數月或數年，然而野火事件發生前的夏威夷，卻經歷了發展迅速的乾旱事件^[13]。根據美國乾旱監測網^[14]顯示(圖 6)，自 5 月下旬起至 8 月初，幾乎整個夏威夷都在快速進入乾旱的環境中。其中又以茂宜島的情況最為嚴峻。茂宜島在不到三個月的期間，從原本

的正常快速轉變為嚴重乾旱。這樣的乾旱型態稱為突發性乾旱，在高溫以及降水量異常降低的狀況下，因土壤與植被水分快速蒸發，而迅速進入乾旱狀態。

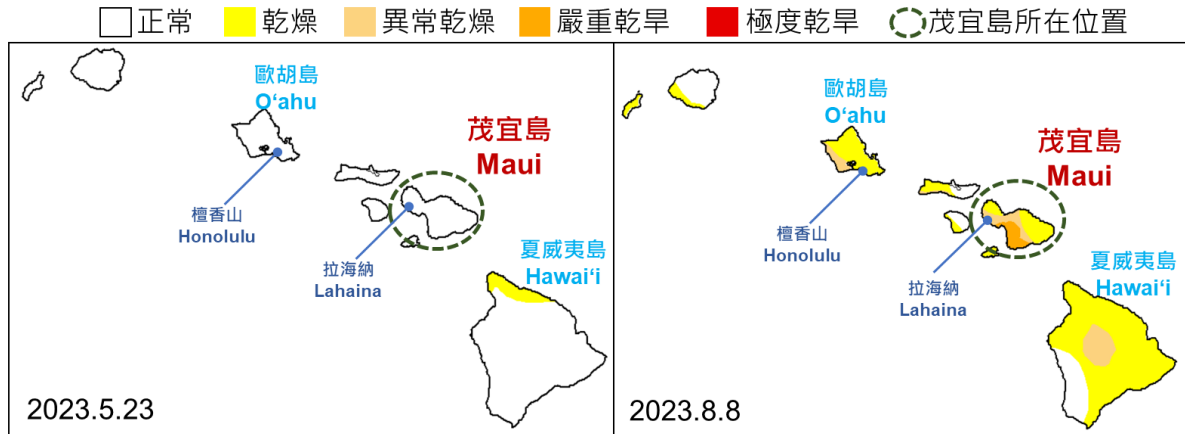


圖 6 夏威夷乾旱現象分布(資料來源：美國乾旱監測網、災防中心重繪)

- 助長火勢的大氣環境：野火影響期間的大氣環流如圖 7 所示，八月上旬，高壓系統盤踞在夏威夷群島以北的地方，受到高壓系統的氣流下沉使夏威夷呈現溫暖、乾燥且晴朗的穩定天氣型態。同一時期，西行的低壓系統颶風朵拉(Hurricane Dora)自夏威夷南方通過。如此大氣環境的空間配置，造成南北地氣壓梯度增加，使得位於中間的夏威夷風速異常增強。這樣的高溫、乾燥以及強風的大氣環境，大大助長了夏威夷野火的快速發展與蔓延。

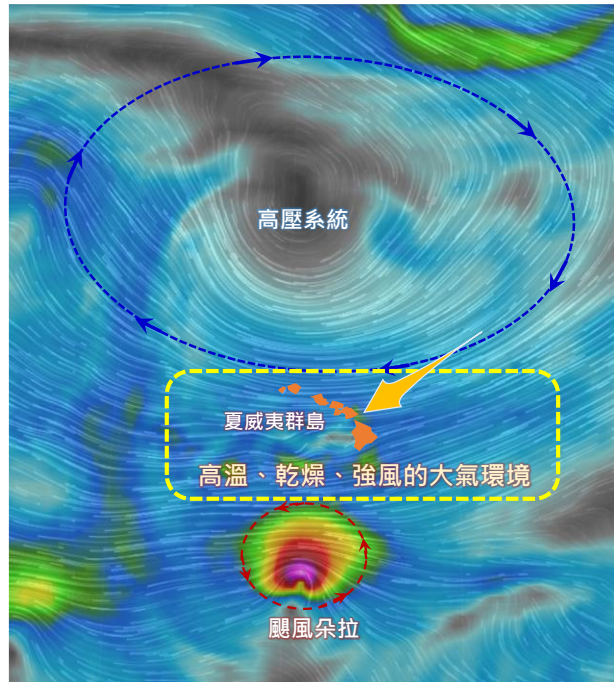



圖 7 野火發生期間氣候示意圖(時間：8 月 9 日 08:00)

3. 乾燥之外來種植物：野牛草(Buffel grass)、天竺草(Guinea grass)、糖蜜草(Molasses grass)等植物，由畜牧業與農業引入做為農牧業之飼料，這些植物在各種地貌皆容易生長與繁殖，加上過去茂宜島過去擁有大片鳳梨與甘蔗田，隨著這些田園沒落，這些荒田便被這些強勢的外來種植物覆蓋，天竺草為例，雨季期間一天可以長高 15 公分，於乾早期間乾枯便留下大片的易燃乾燥植生，成為野火快速蔓延的原因之一^{[15][16][17]}。
4. 警報系統未啟動：夏威夷州具備全球最大的戶外警報系統，以茂宜島為例，就具備有 80 個戶外警報擴音器，當警報擴音器響起，表示可能發生海嘯或其他自然災害，該系統每月會進行一次測試，


但當野火發生時，警報系統卻沒有發出任何聲響，當地居民也僅收到強風以及火災的手機警示簡訊，而非緊急撤離警報，讓人低估當下災難的嚴重性，並耽誤疏散撤離時機^[18]。

雖然戶外警報可示警海嘯以外的災害，而警報系統未啟動的原因，系當地管理單位認為，民眾平時所習慣的避難訓練為聽到警報聲須往高處移動以躲避海嘯，可能在聽到警報聲後往山腰移動而陷入野火之中^[19]。

另外，經檢視夏威夷緊急管理計劃^[20]，其中圖 8 可得知野火災害於計畫中對於人民生命危害風險評估為”低(Low)”，可見當地政府輕忽野火災害對民眾的危險性。



State of Hawai`i CEMP Base Plan
February 2022



State of Hawai`i All Hazard Identification, Vulnerability, and Risk Assessment

Hazard	People		Property		The Environment		Emergency Management Program Operations	
	Risk	Vulnerability	Risk	Vulnerability	Risk	Vulnerability	Risk	Vulnerability
Tsunami	High	High	High	High	Medium	High	High	Medium
Hurricane	High	High	High	High	Medium	High	Medium	Medium
Volcanic Hazards (lava flow and /Vog)	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Low	Low
Climate Change and Sea Level Rise	Low	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Low	Low
Drought	Low	Medium	Low	Low	Low	Medium	Low	Low
Earthquake	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Flood	High	High	High	High	High	High	Medium	Medium
High Wind Storm	Medium	Medium	High	High	Low	Medium	Low	Medium
Landslide and Rockfall	Medium	Medium	Medium	Low	Low	Medium	Medium	Medium
Wildfire	Low	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Infrastructure Failure	Medium	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Hazardous Materials	Medium	Low	Low	Low	High	Medium	Low	Low
Health Risks	High	High	Low	Low	Low	Medium	High	Medium
Terrorism	Medium	Medium	Low	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Cyber Threat	High	High	High	High	High	High	Medium	Medium

圖 8 夏威夷緊急管理計劃各類型災害風險評估

四、應變作為

野火災害發生當日，代理州長 Sylvia Luke 即發布緊急宣言，授權採取多項行動，包括啟動國民警衛隊進行救災、授權夏威夷應變管理機構主任和應變管理主管執行適當的措施，並決定動用夏威夷州的一般稅收基金，以確保應變救援和恢復工作能夠順利展開^[21]。

美國總統拜登於 8 月 10 日發布聯邦災害聲明，由聯邦緊急事務管理署(FEMA)向夏威夷州提供聯邦救災援助，援助內容包括提供臨時住房、房屋修復補助和低利率貸款，以協助個人和企業主快速恢復正常，聯邦資金亦可用於清理廢墟、應變保護措施和減災措施^[22]。



圖 9 8 月 21 日美國總統拜登搭乘海軍陸戰隊一號視察拉海納鎮^[23]

從 8 月 8 日災害發生後至 8 月 10 日，大約有 4 萬人離開茂宜島，美國航空、西南航空、夏威夷航空和阿拉斯加航空增加前往卡互陸伊機場的航班，以協助疏散受影響民眾，航空公司除更換載客量更大的

飛機外，同時也免除票價取消罰款與差額費用，並提供便宜的臨時島內航班^[24]。

野火發生後至 8 月 9 日，超過 2100 位災民收容在茂宜島上的避難所，收容所包括檀香山的夏威夷會議中心、卡胡盧伊耶穌基督後期聖徒教會的籃球館等^[25]；在美國紅十字會的協調下，茂宜島周圍開放 24 個飯店收容所，為受野火影響地區的人提供臨時住宿。截至 9 月 4 日，這些避難所共容納 5,852 人，為家庭和個人提供舒適且安全的收容空間，同時紅十字會也開始規劃永久的居住解決方案。居住於飯店的受災民眾能夠接受到紅十字會提供的各項服務，包括膳食、心理健康支援、保健服務、家庭團聚協助、精神護理、經濟援助以及個案服務工作。紅十字會的個案工作者也會與受災居民進行一對一的接觸，協助他們製定恢復計劃、處理複雜的文書工作，並尋求其他機構的幫助。夏威夷州政府與 FEMA 下一步也將決定符合條件的人可在未來六個月到一年內獲得住宿補貼^[26]。

五、復原重建

(一) 環境整理

由於災區可能存在致癌化學物質的灰燼、碎玻璃、裸露電線等殘骸，茂宜島政府制定安全返家計劃。災區僅限授權人員進入，

所有返家的居民，必須使用個人防護裝備(Personal Protective Equipment, PPE)。茂宜島水務部門亦持續在不安全水源區域採集樣本檢驗，確保水質安全後再取消警報。拉海納和庫拉的警報區域居民僅可使用瓶裝水或罐裝飲用水，用於飲用、刷牙、製冰及食物準備，並提供茂宜島供水狀況即時地圖(如圖 10)，作為災民緊急救助供水之重要參考資訊^[26]。

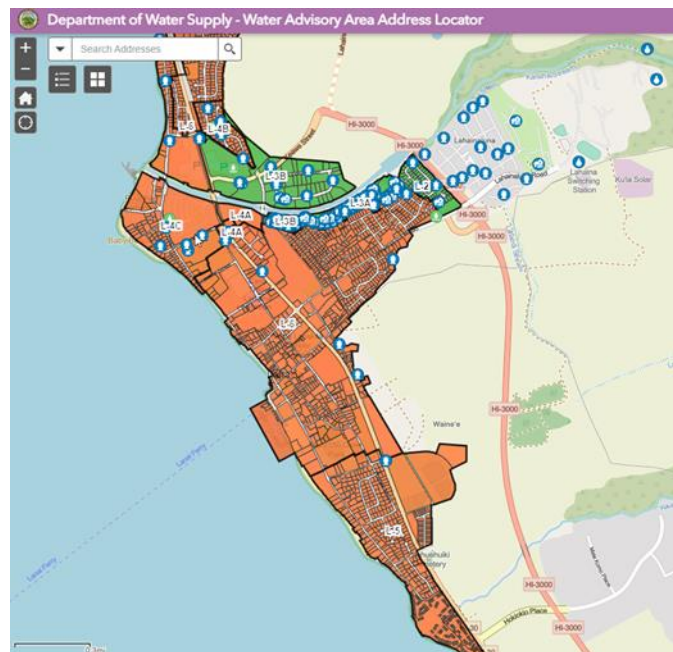


圖 10 災後海娜拉鎮供水地圖

(二) 居住問題

事件發生後失去家園的人需要尋找新的住處，但夏威夷一直存在嚴重的住房短缺問題。該州的住房價格通常高於全國平均水平，且住房供應有限。即使政府採取新的政策加快房地產開發，

可能仍有數以千計的夏威夷人無法找到適宜的住所，這種住房短缺對當地經濟和社會造成了負面影響^[25]。茂宜島政府於 11 月 28 日提出一項法案，目的是為 8 月份野火倖存者立即增加可用的住房庫存，該法案鼓勵房東將短期租賃單位轉換為長期出租，若出租給因災難流離失所的居民，將可免除房東的不動產稅^[27]。

(三) 產業復甦

夏威夷的經濟高度依賴旅遊業，根據 2019 年的數據，該州的旅遊業就業率高達 51%。遊客因野火被迫取消旅行計劃或避免前往受影響地區，對旅遊業造成重大損失。同時，收容所被野火受害者佔據，而不是遊客，這也對當地經濟產生額外壓力^[25]。夏威夷州州長 10 月 6 日宣布茂宜島將全面重新開放旅遊業，這意味著取消旅行限制，並歡迎遊客回來度假，透過這個經濟復甦的舉措，以幫助當地企業和旅遊業重新啟動。然而，重新開放旅遊業也引發一些問題，舉例來說，許多流離失所的家庭目前居住在旅館中，而這些安置通常是旅遊業未使用的飯店房間，隨著遊客回歸，這些家庭可能需要搬離這些地方，讓房間空出給遊客^[28]。

(四) 經濟衝擊

穆迪風險管理解決方案公司 (Moody's Risk Management

Solutions，簡稱 Moody's RMS) 預估此次災害造成的經濟損失介於 40 億至 60 億美元之間，主要損失來源預估集中於拉海納鎮，大火在 12 小時內摧毀超過 2,100 英畝土地和近 2,200 座建築。Moody's RMS 估計，這些火災的保險財產價值介於 25 億至 40 億美元。因夏威夷島保險滲透率高，覆蓋率約 75% 或以上，且野火屬於典型保險涵蓋風險，大部分經濟損失預計將由保險承擔^[29]。

在無形資產方面，野火爆發後，遊客數量急劇下降，每天僅有約 2000 名遊客抵達該地，較火災前減少了約 70%。觀光業是茂宜島經濟的主要來源之一，遊客急劇減少對當地經濟帶來了重大衝擊。隨著觀光業的蕭條，許多當地餐廳和旅行社已經開始裁員，失業率急劇上升。根據政府數據，8 月之後的三周內，茂宜島有近 8000 人申請失業救濟，數量大幅增加，這對當地居民的生計帶來嚴重困難。許多餐廳面臨營業額急劇下降，導致裁員和暫時停業。雖然夏威夷政府已經採取一系列措施，試圖刺激遊客回歸茂宜島，包括折扣、酒店房價打折等，但觀光業的復甦需要時間。夏威夷大學的經濟學家估計，茂宜島的失業率可能會上升至 10%，對當地經濟來說是一個巨大挑戰^[30]。

六、結論與建議

本次野火災害凸顯了極端氣候事件的增加以及面對外來物種時生態系統的脆弱性，在許多因素的疊加之下，就容易造成不同類型的災害事件。檢視與探討本次嚴重災害發生原因，極端氣候變化以及易燃的植生分布難以避免，但以戶外警報未發布為例，可知若能夠提前重視潛在的災害風險並制定全面的應對措施，提高公眾對災害應對的認知和技能，能夠更大程度地保護人民的生命安全。

另外透過旅館或飯店收容災民的好處是可以照護災民隱私，但隨者旅遊業的重新開放，對於飯店觀光業務收益以及災民收容產生的衝突，仍需取得平衡，建議相關部門可以提供補償或稅收減免等激勵措施給願意提供收容服務的飯店，以減輕其經濟負擔，並制定短期和中長期的收容計劃，短期內利用飯店等現有設施滿足迫切需求，同時規劃建立專門的災害應急收容設施，以便長期應對類似災害。最重要的是，防災相關部門應審慎進行在極端氣候條件下各種天然災害的風險評估和預防策略規劃，以減少未來災害對社會和經濟的影響。

七、參考文獻

- [1] 維基百科：茂宜島
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%8C%82%E5%AE%9C%E5%B3%B6>
- [2] Weather Spark：茂宜島的全年氣候和平均天氣
<https://bit.ly/3RFwcIG>
- [3] Los Angeles Times:Chaos and terror: Failed communications left Maui residents trapped by fire. Scores died
<https://www.latimes.com/world-nation/story/2023-08-11/failed-communication-and-huge-death-toll-in-maui-fires>
- [4] 中時新聞網：奪百命夏威夷野火來源是它？「關鍵證據」畫面曝光
<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20230816002840-260408?chdtv>
- [5] San Francisco Chronicle: Maui before and after fires: Photos and video show extent of devastation
<https://www.sfchronicle.com/climate/article/maui-fire-before-after-photos-18290051.php>
- [6] Wikipedia: 2023 Hawaii wildfires
https://en.wikipedia.org/wiki/2023_Hawaii_wildfires
- [7] Maui County:9/27 MAUI WILDFIRE DISASTER UPDATE
<https://www.maui-county.gov/CivicAlerts.aspx?AID=12895>
- [8] The Guardian:Death toll from Hawaii wildfires increases to 55 as search for survivors continues
<https://www.theguardian.com/us-news/2023/aug/10/hawaii-fire-kills-people-lahaina-town-maui>
- [9] Google Earth
<https://earth.google.com/>
- [10]BBC News 中文：夏威夷野火茂宜島災區受損程度前後對比
<https://www.cw.com.tw/article/5126984>
- [11]IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

- Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- [12]Frazier, A.G. and T.W. Giambelluca. 2017. Spatial trend analysis of Hawaiian rainfall from 1920 to 2012. *Int. J. Climatol.*, 37(5), 2522–2531. doi: 10.1002/joc.4862.
- [13]今周刊：氣候變化使乾旱速度更快更猛烈！曾造成超過 300 億美元經濟損失的「暴旱」是什麼？
<https://bit.ly/484ysAM>
- [14]美國乾旱監測網
<https://droughtmonitor.unl.edu/CurrentMap.aspx>
- [15]太報：【夏威夷野火】教科書式「暴旱」與外來種野草 一文看懂野火成因和它燒毀了什麼
<https://www.taisounds.com/news/content/84/74795>
- [16]天下雜誌：夏威夷野火為什麼這麼嚴重？
<https://www.cw.com.tw/article/5126932>
- [17]奇摩新聞：夏威夷為何爆發末日野火？專家點名外來野草
<https://bit.ly/3NFh6ls>
- [18]CNN:Hawaii has a robust emergency siren warning system. It sat silent during the deadly wildfires
<https://edition.cnn.com/2023/08/12/us/hawaii-emergency-warning-system-maui-wildfires/index.html>
- [19]NBC NEWS:‘A last resort’: Maui’s emergency management director repeatedly downplayed sirens, records show
<https://www.nbcnews.com/news/us-news/maui-emergency-management-director-sirens-lahaina-fire-rcna100464>
- [20]State of Hawai`i Comprehensive Emergency Management Plan – Base Plan, February 2022, State of Hawai`i Emergency Management Agency (HI-EMA)
- [21]Office of the Governor of Hawaii: OFFICE OF THE GOVERNOR – NEWS RELEASE – EMERGENCY PROCLAMATION FOR MAUI AIR TRAVEL AND HURRICANE DORA

- <https://governor.hawaii.gov/newsroom/office-of-the-governor-news-release-emergency-proclamation-for-maui-air-travel-and-hurricane-dora/>
- [22] Federal Emergency Management Agency(FEMA):President Joseph R. Biden, Jr. Approves Major Disaster Declaration for Hawaii
<https://www.fema.gov/press-release/20230810/president-joseph-r-biden-jr-approves-major-disaster-declaration-hawaii>
- [23] 達志影像，SYSTEM ID: RTSMSSXR IMAGE ID RC2IS2A658I4
- [24] CNBC:Airlines add flights to get travelers off of Maui after deadly wildfires
<https://www.cnbc.com/2023/08/10/maui-wildfires-airlines-add-flights-waive-fees.html>
- [25] The Economist :Lessons from the blaze that levelled Lahaina
<https://www.economist.com/united-states/2023/08/17/lessons-from-the-blaze-that-levelled-lahaina>
- [26] Maui County: 9/05 MAUI WILDFIRE DISASTER UPDATE
<https://www.maui-county.gov/CivicAlerts.aspx?AID=12812>
- [27] Maui County: Mayor Bissen announces effort to make short-term rentals available to residents displaced by fires
<https://www.maui-county.gov/CivicAlerts.aspx?AID=13067>
- [28] Vox:A traumatized Maui will soon resume selling paradise to tourists
<https://www.vox.com/2023/10/6/23898399/maui-reopening-wildfires-hawaii-tourism-displaced-residents>
- [29] Moody's RMS: Moody's RMS Estimates USD 4 to 6 Billion in Economic Losses from Hawaii Wildfires
<https://www.rms.com/newsroom/press-releases/press-detail/2023-08-22/moodys-rms-estimates-usd-4-to-6-billion-in-economic-losses-from-hawaii-wildfires>
- [30] Voa News: Maui Beckons Tourists, and Their Dollars, to Stave Off Economic Disaster After Wildfires
<https://www.voanews.com/a/maui-beckons-tourists-and-their-dollars-to-stave-off-economic-disaster-after-wildfires-/7259476.html>