

2023 年美國加州洪災報導

郭文達¹、朱容練²、許秋玲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 氣象組

³ 國家災害防救科技中心 體系與社經組

摘要

2022 年 12 月底至 2023 年 1 月中旬，美國加州(California)地區受到 6 個風暴系統衝擊，大部分地區引發強降雨、強風以及降雪等劇烈天氣(severe weather)，造成洪水、土石流、積雪、交通阻斷、電力中斷等災情，導致 22 人死亡，以及約 70 億美元經濟損失。根據美國國家氣象局資料顯示，加州奧克蘭(Oakland)打破 1982 年之歷史降雨紀錄，在連續近 3 周累積暴雨之衝擊下，河川水位迅速上漲，導致許多地區大範圍的洪水災害與基礎設施破壞。由於災害嚴重程度超出州和地方政府之綜合應變能力，因此美國總統拜登(Joe Biden)於 2023 年 1 月 14 日，宣告「重大災害」，約 28 個聯邦機構與美國紅十字會等非政府組織，進行個別與公共災難援助、農場貸款以及作物損失援助等災後復原行動。

一、 氣象與水文資訊

1. 氣象概述

自 2022 年 12 月底開始到 2023 年 1 月中旬，一連 3 周，約有 6 個風暴系統為加州帶來不同類型的劇烈天氣[1]，依其系統結構與尺度的差異，可分為狹窄的冷鋒雨帶(narrow cold-frontal rain bands)、炸彈氣旋(bomb cyclone)以及大氣長河(atmospheric river)。大氣長河是存在於大氣中的一條狹長水氣帶，易生成於美洲西岸外海，於海上綿延數千公里，將豐沛水氣傳送至美洲西岸，一般出現在美國西岸華盛頓州與奧勒岡州上空。2022 年底至 2023 年初的這波大氣長河，其水氣傳送位置較為偏南，是導致此次北加州劇烈天氣頻傳的主因之一。

圖 1 顯示為根據美國國家氣象局氣象預報中心(Weather Predict Center, WPC)發布之地面天氣圖[2]。圖上顯示，鋒面與低壓系統出現在加州上空，並伴隨雷雨胞的發生。大氣長河除了自海上提供了雷雨胞與低壓系統源源不絕的水氣外，也提供了溫帶氣旋等風暴系統迅速發展的大氣環境。此外，受到對流運動旺盛的影響，極端降雨及暴風雪籠罩整個加州。這些風暴系統讓加州地區遭受劇烈危險天氣衝擊，包含超過約 9 公尺大浪、超過每小時約 161 公里的陣風、大範圍洪水氾濫、以及坡地災害等[1]。

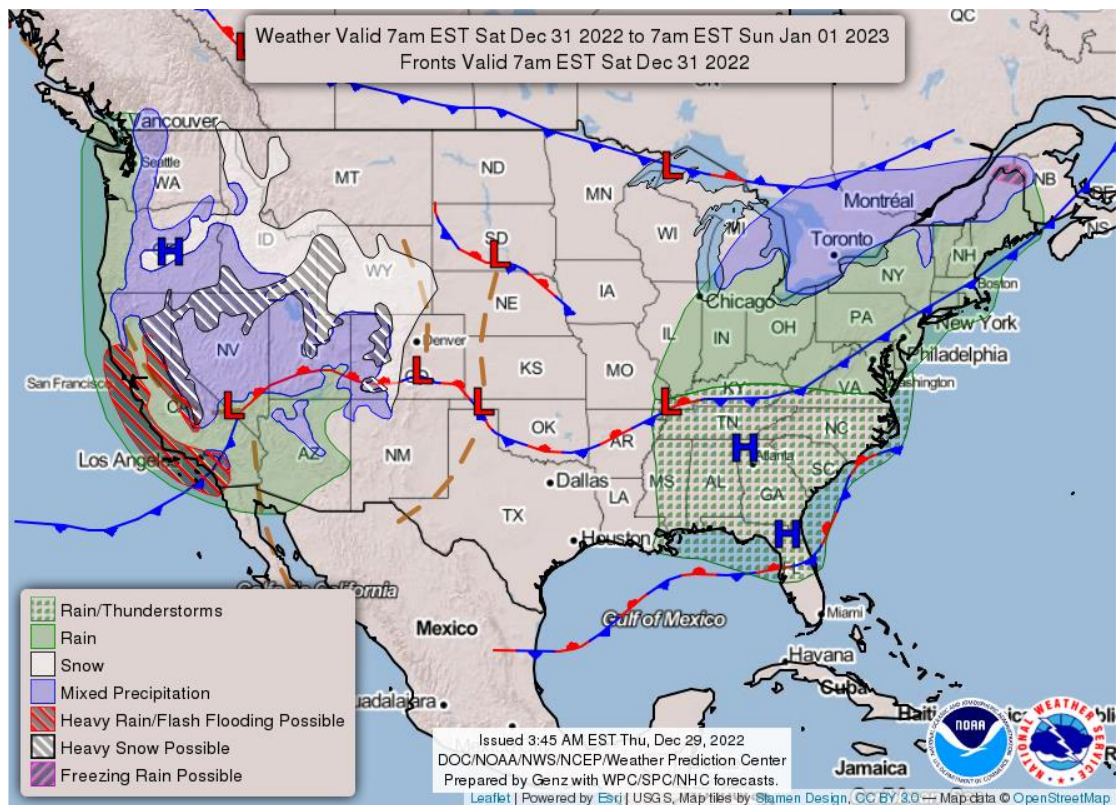


圖 1 美國於 2022 年 12 月 31 日至 2023 年 1 月 1 日之地面天氣預測 (資料來源：WPC)

2. 降雨量分析

根據美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的資料顯示，2022 年 12 月底至 2023 年 1 月 10 日之日雨量分布如圖 2 所示[3]，明顯看出劇烈天氣在美國加州地區帶來豐沛降雨量；其中，文圖拉縣(Ventura County)的 Nordhoff Ridge 測站與聖塔芭芭拉(Santa Barbara)的 San Marcos Pass 測站，分別觀測到 415.04 毫米與 407.67 毫米之 48 小時累積降雨量(2023 年 1 月 9 日至 1 月 10 日期間)[4]。

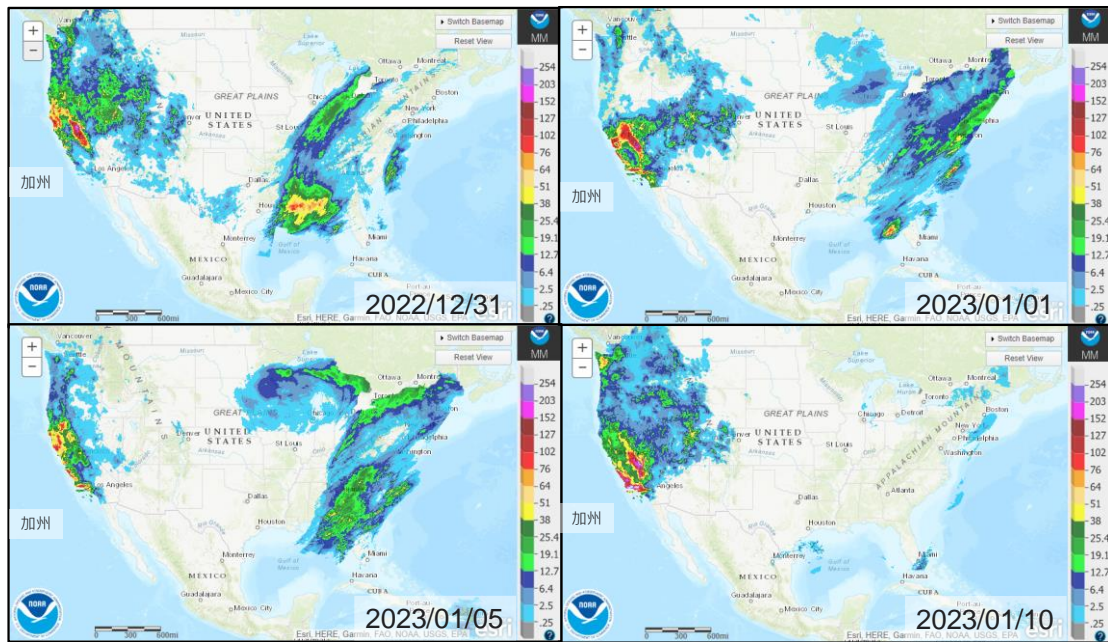


圖 2 美國於 2022 年 12 月 31 日至 2023 年 1 月 10 日期間之日雨量分布圖(資料來源：NOAA)

3. 河川水位探討

根據 NOAA 資料顯示，豐沛豪雨造成美國加州地區河川水位快速上漲，導致多處水位測站之水位超過警戒(圖 3)[3, 5]，引發洪水大範圍氾濫，包括科森尼斯河(Cosumnes River)、莫凱勒米河(Mokelumne River)以及薩利納斯河(Salinas River)等；其中，聖洛倫索河(San Lorenzo River)上游的聖克魯斯(Santa Cruz)之洪水深度於短短 8 小時內上漲 4.84 公尺，係聖洛倫索河自有紀錄(1939 年)以來的最高水深 [6]。

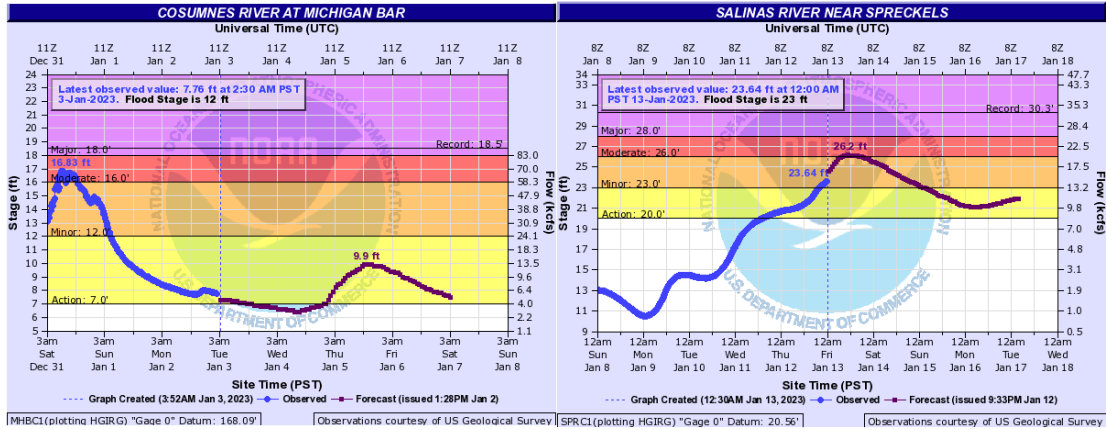


圖 3 美國科森尼斯河與薩利納斯河於 2022 年 12 月 31 日至 2023 年 1 月 13 日期間之河川水位歷線(藍線為觀測水位、紫線為預報水位)
(資料來源：FloodList, NOAA)

二、 災害衝擊

1. 災情紀錄

自 2022 年 12 月 31 日以來，劇烈天氣持續衝擊美國加州大部分地區，嚴重受災地區包括有聖貝尼托(San Benito)、文圖拉、聖克魯斯、蒙特雷(Monterey)、聖巴巴拉、洪堡(Humboldt)以及聖克拉拉(Santa Clara)等[7]。2022 年 12 月 31 日開始的豪雨襲擊加州中部與北部的部分地區，導致舊金山灣區(San Francisco Bay Area)與聖克拉門托(Sacramento)附近地區受洪水淹沒。此外，豪雨造成威爾頓(Wilton)附近之科森尼斯河沿岸堤防發生潰堤，導致多條道路被淹沒，包括 99 號高速公路(圖 4) [8-11]。2022 年 12 月 31 日之後的接連不斷風暴，造成加州許多地區之樹木倒塌，進而損壞電力線，導致大範圍停電；部分加州沿海地區亦遭受風暴潮侵襲，導致基礎設施受損，如圖 4 之

卡皮托拉碼頭(Capitola Wharf)受破壞；部分低窪地區則因河岸溢淹而遭受嚴重洪災(圖 4)。

圖 5 顯示為威爾頓洪水氾濫前(2022 年 12 月 16 日)、後時期(2023 年 1 月 1 日)之衛星影像[12]，其中深藍色代表水體、綠色為植被、以及棕色代表地表。由比較結果可知，原有河道、湖泊等區域(深藍色)，因淹水影響有明顯的擴大範圍。

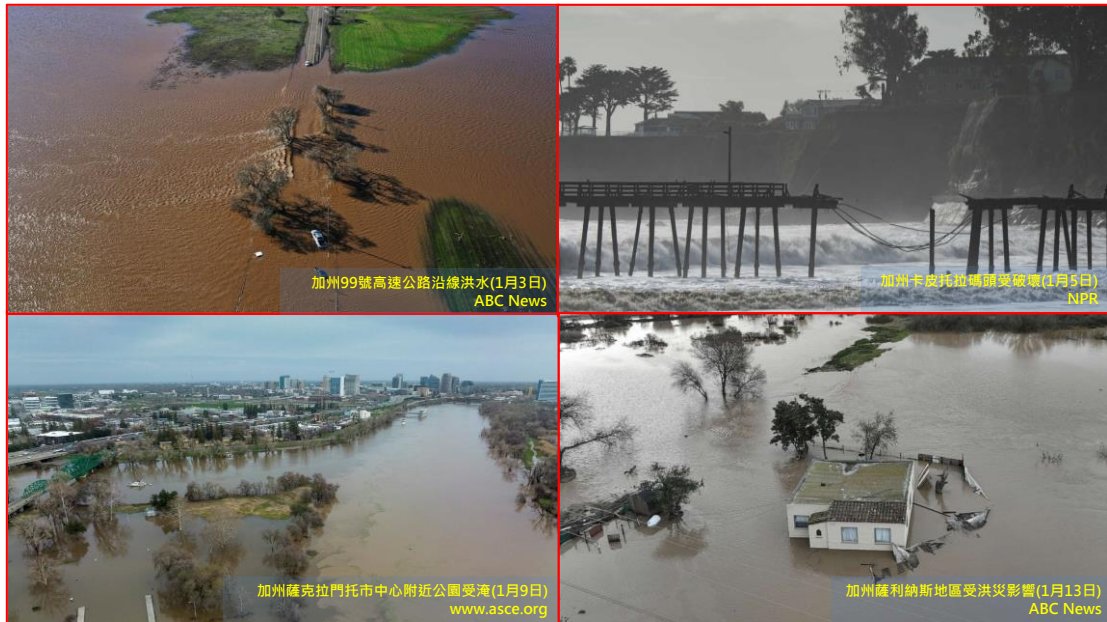


圖 4 2023 年美國加州遭受劇烈天氣受災情形
(資料來源：NPR, ABC NEWS, ASCE.ORG)

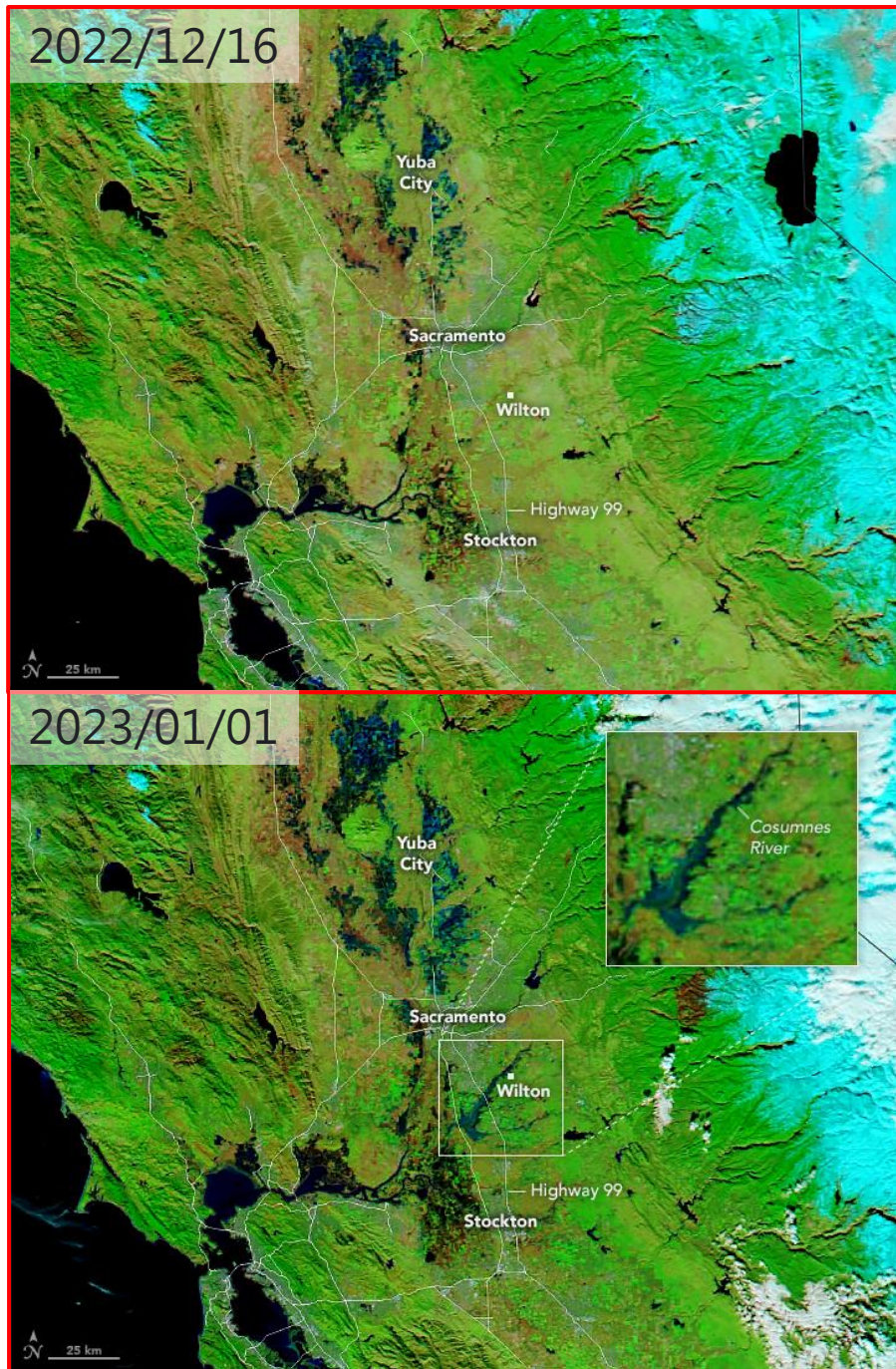


圖 5 美國加州威爾頓地區之洪水衛星影像(資料來源：NOAA)

2. 災損統計初估

根據歐盟緊急應變協調中心(Emergency Response Coordination Centre of the European Commission)截至 2023 年 1 月 10 日資料顯示

[7]，災害導致有 22 人死亡，717 人被緊急疏散，429 所學校關閉，47 條道路關閉，以及 33,000 用戶電力中斷。此外，根據全球巨災風險模型(global catastrophe models and risks)資料顯示，此次洪水災害給美國造成的總經濟損失可能達到 50 至 70 億美元[6]。

三、 災因探討

1. 創歷史新高降雨量之衝擊

根據美國國家氣象局(National Weather Service, NWS)資料指出，奧克蘭於 2022 年 12 月 31 日之觀測降雨量為 120.65 毫米，打破該地區於 1982 年之歷史降雨紀錄；舊金山市中心(San Francisco Downtown)觀測站則紀錄到 138.68 毫米降雨量，經歷了該地有紀錄以來(約 170 多年)第二多雨的一天[5]。

此外，一些地區經歷了有紀錄以來最多雨的 23 天(2022 年 12 月 26 日至 2023 年 1 月 17 日，近 3 周)，例如舊金山灣機場(San Francisco International Airport)與奧克蘭國際機場(Oakland International Airport)，觀測到創新紀錄之 3 周累積降雨量，分別為 388.4 與 148.6 毫米[13]。由更進一步資料顯示，加州大部分地區在受災 16 天期間(2022 年 12 月 26 日至 2023 年 1 月 11 日)的累積降雨，超過年降雨量(1991 至 2020 年平均值)的一半以上(圖 6)[14]。

因此，加州受到創歷史紀錄的降雨量衝擊，使得排水系統無法順利宣洩，故造成舊金山與其他城市中心的許多低窪地區被洪水淹沒。根據 WPC 資料顯示，自 2022 年 12 月 26 日至 2023 年 1 月 11 日期間，加州遭受了統計約共 955 件之洪水與土石流災情(圖 7)[15]，與圖 6 之降雨分布比對，可看出災情地點大致發生於降雨集中的範圍，包括舊金山灣區(San Francisco Bay Area)與弗雷斯諾(Fresno)等。整體而言，強降豪雨大幅增加洪災與土石流災害風險，造成加州國道與地方道路等交通設施首當其衝的受到嚴重破壞。

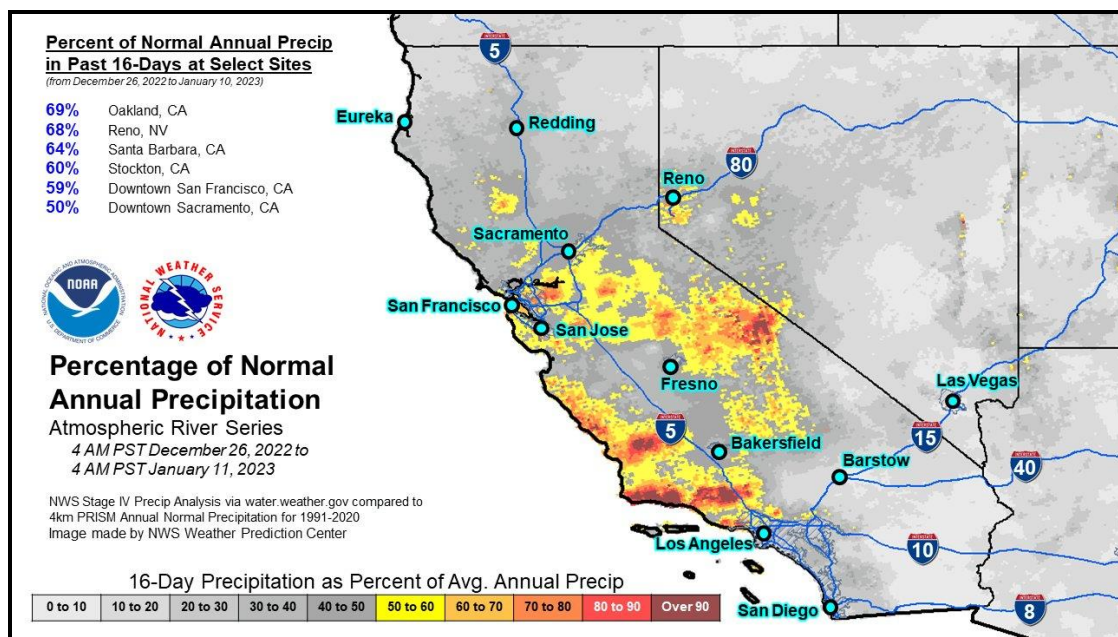


圖 6 美國加州 16 天期間(2022 年 12 月 26 日至 2023 年 1 月 11 日)累積降雨與年平均雨量比較結果(資料來源：WPC)

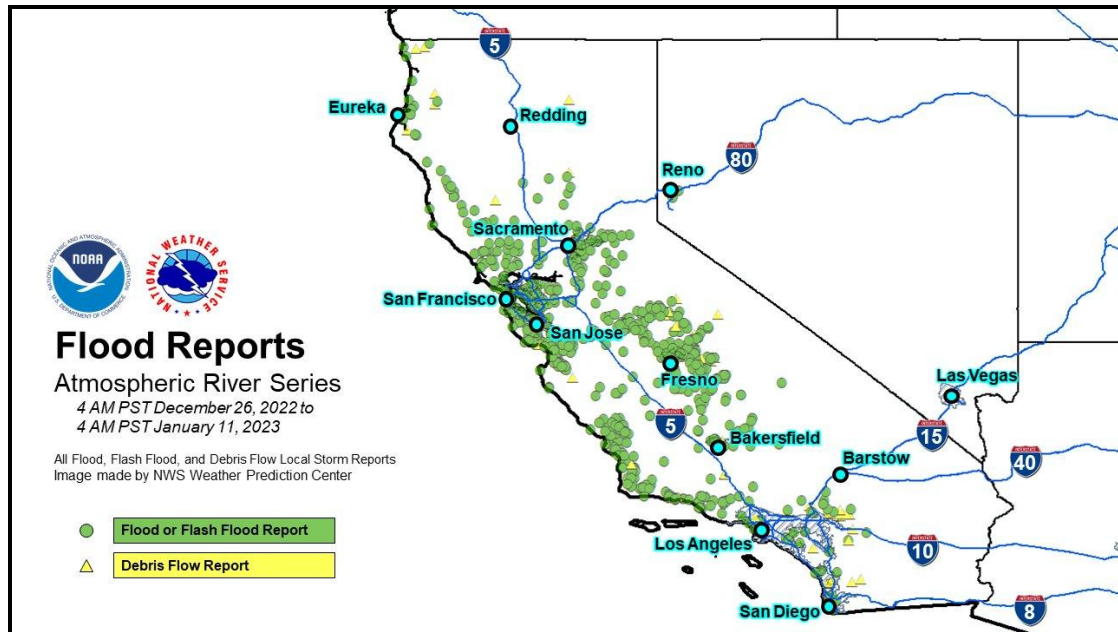


圖 7 美國加州於 2022 年 12 月 26 日至 2023 年 1 月 11 日期間之洪水與土石流災點分布(資料來源：WPC)

2. 飽和地表含水量致使洪災高風險

根據 NOAA 資料顯示，災前加州大部分區域之地表土壤含水量多為乾燥狀態(2022 年 12 月 26 日)，如圖 8 顯示為美國西部地區之地表土壤含水量分布圖[16]，其中的顏色代表與長期土壤濕度紀錄(1948 年至 2012 年)相比之百分比，藍色區域代表觀測地表土壤含水量比歷史平均值多，橙紅色區域則為比平時較少。經由災後 2023 年 1 月 9 日之地表土壤含水量分布得知，由於受強降雨持續入滲至土壤中，地表土壤含水量漸漸趨近飽和(藍色區域範圍增加)，加上降雨持續進行中，來不及入滲或是因土壤飽和無法容納過多水分時，則會在地面順著地形向下流動，形成大量地表逕流，致使加州處於洪災的高風險狀

態。因此，加州除了受到大量降雨衝擊，地面飽和加上連續強風效應，造成先前因乾旱而受壓的樹木被連根拔起，倒塌的樹木導致對鄰近的電網、汽車以及財產造成損害。

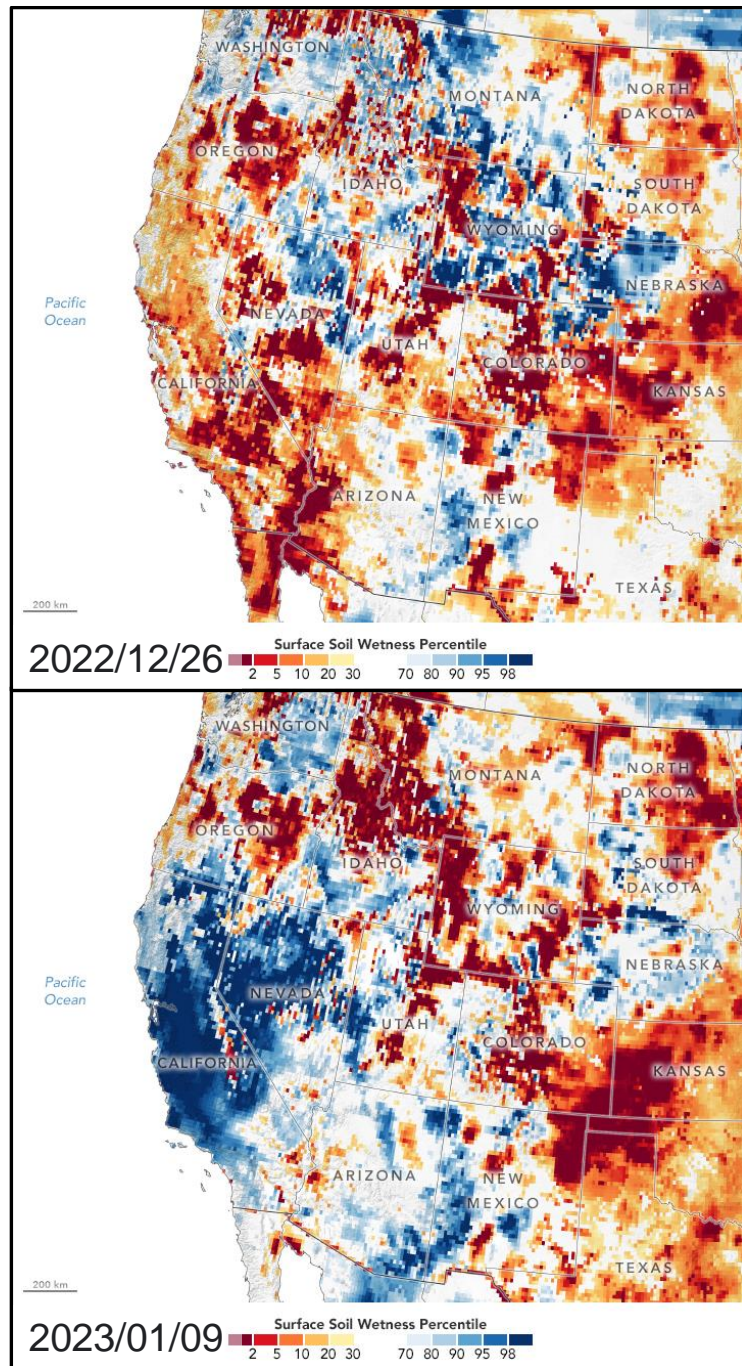


圖 8 美國西部地區地表土壤含水量(資料來源：NOAA)

3. 乾旱中的洪水

加州於洪災之前，正處於嚴重乾旱緊急狀態。根據美國國家乾旱應變中心(US National Drought Mitigation Center, NDMC)之資料指出(圖 9)[17]，於 2022 年 12 月 27 日的乾旱資訊顯示，加州的 41%地區屬於極端(extreme)與異常(exceptional)乾旱。洪災過後之 2023 年 1 月 17 日資料顯示，加州的 90%以上地區，則降低為中度(moderate)與嚴重(severe)乾旱，代表乾旱情況已有改善。然而，災前加州的三年極端乾旱導致土壤板結(soil compaction)，不易使雨水入滲至土壤，造成降雨滲透減少，逕流增加，導致洪水風險增加，因此未來應迫切整合乾旱與洪水之風險管理。

儘管降雨帶來加州嚴重的淹水災情，但其降雨量亦帶來水庫水位上升，對供水狀況有一定程度的改善。圖 10 為加州北部地區重要水庫於 2023 年 1 月 14 日之水庫水情[18]，雖然許多水庫還不到半滿水位，但受惠於本次降雨量，仍有一些水庫已達到或高於歷史平均水平；例如，奧羅維爾(Oroville)水庫容量為 54%，已達到歷史平均水平的 99%。

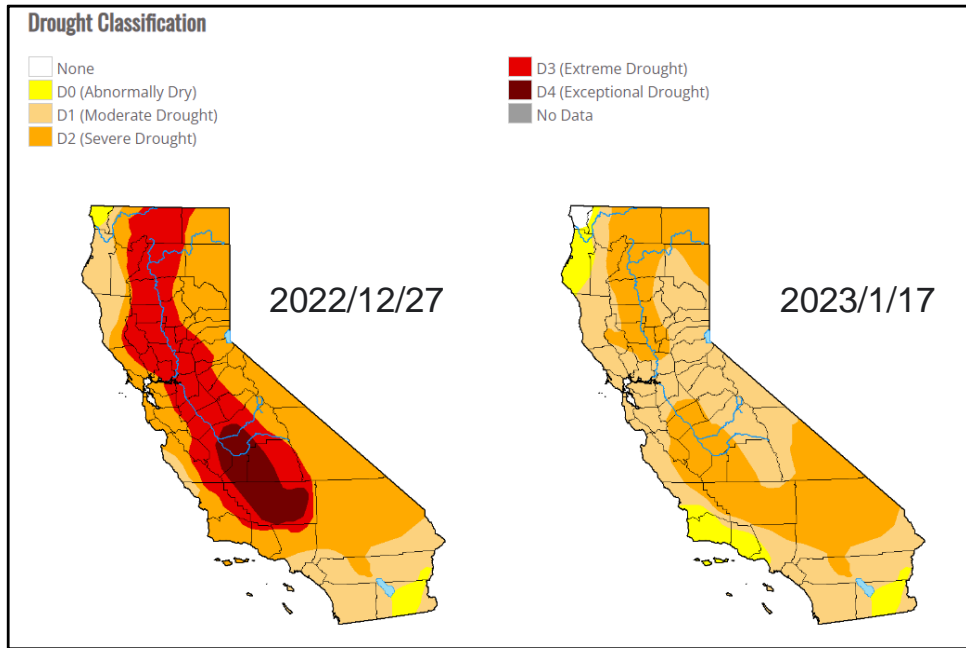


圖 9 美國加州分別於 2022 年 12 月 27 日及 2023 年 1 月 17 日之乾旱訊息(資料來源：NDMC)

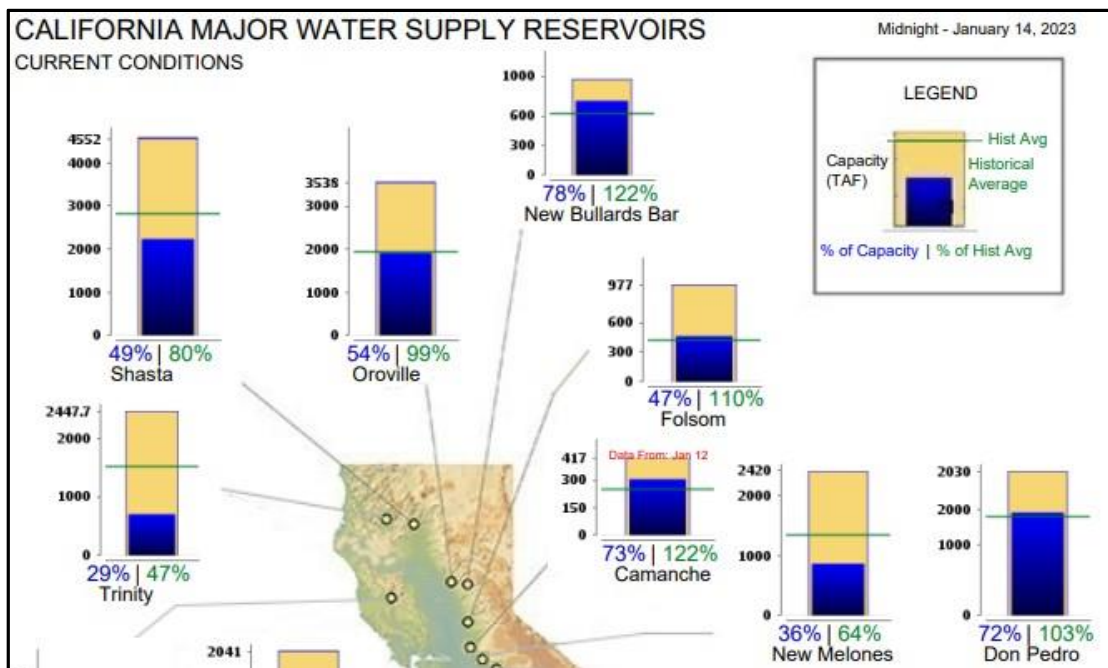


圖 10 美國加州北部重要水庫於 2023 年 1 月 14 日之水庫水情

四、政府救災作為

美國加州自 2022 年 12 月底至 2023 年 1 月 21 日為止，約有 2,500

萬人位於洪水暴發的警戒範圍，由於災情嚴重，美國總統拜登(Joe Biden)在 2023 年 1 月 14 日宣布加州進入緊急狀態的「重大災害宣言」[19]，請聯邦政府提供援助工作，授權國土安全部聯邦緊急事務管理署(Federal Emergency Management Agency, FEMA)協調所有救災工作，並根據 1988 年實施的「斯塔福德法案」(Stafford Act)授權的緊急措施，為需要的人提供適當援助，以挽救生命並保護財產和公共健康與安全。

「斯塔福德法案」全名為「斯塔福德災難與緊急援助法」(Robert T. Stafford Disaster Relief and Emergency Assistance Act)，屬於美國聯邦法律，在面臨重大災難時，由聯邦的層級有系統地向州政府與地方政府提供災難的援助，包含動用聯邦基金。由 FEMA 主導，可動用 28 個聯邦機構與美國紅十字會等非政府組織，用以協助救災工作[20]。

圖 11 顯示為本次 FEMA 批准的災區範圍，其中受災嚴重的加州中部沿海地區可獲得個別與公共的援助[21]。救災工作方面，加州政府為受風暴影響的加州地區受災人民提供稅收減免。美國政府許多單位也加入災害復原工作，包括美國農業部農場服務局(U.S. Department of Agriculture Farm Service Agency)，提出加州農場受災區之緊急保護計劃申請、受洪水影響的加州農民與畜牧生產者提供救災援助、牲畜

援助、農場貸款以及作物損失援助等；美國食品與藥物管理局(U.S. Food and Drug Administration)則針對受洪水與停電影響的食品及動物糧食作物安全，提出援助計畫申請；美國小型企業管理局(U.S. Small Business Administration)進行嚴重災難貸款援助[22]。

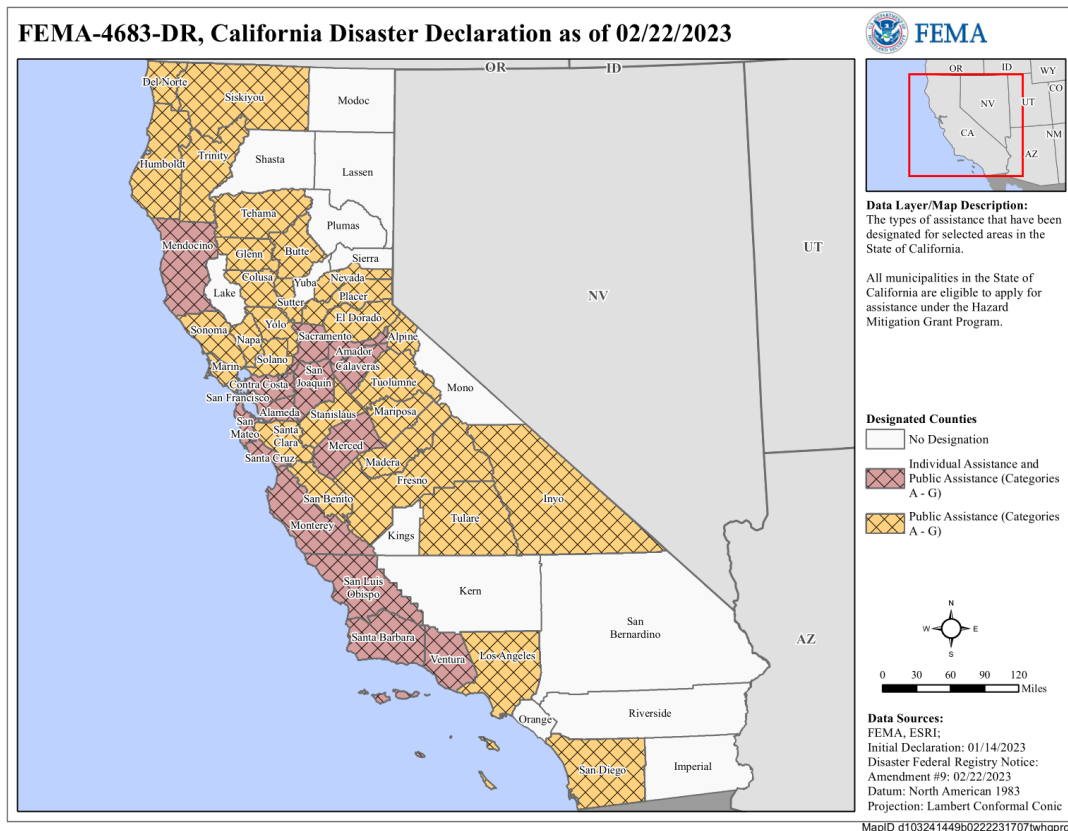


圖 11 美國加州可申請災難援助之地區(資料來源：FEMA)

為緩解救災支出，洪災保險不僅可紓解國家防救災損失，亦可降低財務風險，然而目前全加州尚不到 2% 家庭擁有洪災保險[6]。在購買房屋時，民眾會參考 FEMA 提供的國家洪水災害地圖，但洪災地圖仍有預測上的不確定性，例如未考慮當地排水系統容量，故地圖僅

能反應過去的洪水情況，並無法提供給未來氣候變化或海平面上升情況下之洪水災害參考。為能夠提供更加實際合理並更好反應洪水風險費率，FEMA 正在通過實施一種稱為風險評級 2.0(Risk Rating 2.0)的新定價方法，以更新國家洪水保險計劃(National Flood Insurance Program, NFIP)的風險評級[23, 24]。該方法在計算洪水保險費率時將更多因子納入考慮，包括造成財產損失之不同洪水類型、洪水來源(如海岸或河流)的距離、以及不同洪水頻率等。此外，由於風險評級 2.0 考慮了成本重建機制，FEMA 可根據房屋之價值與洪水風險，在所有保單持有人之間分配保費，所以系統會更加公平。

五、 結論

2022 年 12 月底至 2023 年 1 月中旬的短短近 3 周內，美國加州經歷了多次大氣長河接續衝擊，引發暴風雨，後續造成強降雨、洪水氾濫、土石流、樹木倒塌、河岸潰堤等。此外，劇烈天氣亦帶來加州創紀錄降雨，其中奧克蘭打破該地區於 1982 年之歷史降雨紀錄，亦帶來聖洛倫索河自有紀錄(85 年前)以來的最高洪水深度。災害總計造成加州 22 人死亡，717 人被緊急疏散，429 所學校關閉，47 條道路關閉，以及 33,000 用戶電力中斷。然而風暴系統帶來豐沛降雨，加州一些重要水庫水位上升，使得加州多年乾旱狀況暫時獲得舒緩。

2023 年 1 月 14 日美國總統拜登宣布加州進入「重大災害」之緊急狀態，許多機構單位加入災害援助與復原工作。為能夠緩解救災支出，FEMA 考慮更多因子(包括不同洪災類型造成之財產損失、災害影響的距離以及不同洪水頻率等)，提供風險評級 2.0 之洪災保險計劃，讓保險費率更加合理。

六、 參考文獻

1. 美國國家氣象局
https://www.weather.gov/mtr/AtmosphericRivers_12_2022-01_2023
2. 美國國家氣象局氣象預報中心
https://www.wpc.ncep.noaa.gov/archives/web_pages/wpc_arch/get_wpc_archives.php
3. 美國國家海洋暨大氣總署
<https://water.weather.gov/precip/>
4. FloodList
<https://floodlist.com/america/usa/california-atmospheric-river-floods-january-2023>
5. FloodList
<https://floodlist.com/america/usa/atmospheric-river-floods-california-january-2022>
6. FloodList
<https://floodlist.com/america/usa/economic-losses-california-floods-january-2023>
7. 歐盟緊急應變協調中心
<https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Echo-Flash#/daily-flash-archive/4690>
8. ABC NEWS
<https://abcnews.go.com/US/wireStory/california-wary-eye-flooding-after-powerful-storm-96079907>
9. 全國公共廣播電台(National Public Radio, NPR)

<https://www.npr.org/2023/01/05/1147102968/california-storm-weather-pineapple-express-atmospheric-river>

10. asce.org
<https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/article/2023/01/successive-atmospheric-rivers-test-californias-infrastructure>
11. ABC NEWS
<https://abcnews.go.com/US/flood-watches-effect-26-million-people-california/story?id=96440811>
12. 美國國家海洋暨大氣總署
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/150792/floodwater-inundates-north-central-california>
13. 華盛頓郵報(The Washington Post)
<https://www.washingtonpost.com/weather/2023/01/20/california-storms-statistics-damage-precipitation/>
14. 美國國家氣象局氣象預報中心
<https://twitter.com/NWSWPC/status/1613255505237114880/photo/1>
15. 美國國家氣象局氣象預報中心
<https://twitter.com/NWSWPC/status/1613273298317758467>
16. 美國國家海洋暨大氣總署
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/150823/storms-soak-california>
17. 美國國家乾旱應變中心(US National Drought Mitigation Center)
<https://droughtmonitor.unl.edu/Maps/CompareTwoWeeks.aspx>
18. kron4
<https://www.kron4.com/news/california/california-reservoirs-rise-after-weeks-of-storms-see-how-much/>
19. 美國聯邦緊急事務管理署
<https://www.fema.gov/press-release/20230115/president-joseph-r-biden-jr-approves-major-disaster-declaration-california>
20. 美國聯邦緊急事務管理署
<https://www.fema.gov/zh-hans/disaster/how-declared>
21. 美國聯邦緊急事務管理署
<https://www.fema.gov/disaster/4683/designated-areas>

22. 加州食品和農業部(California Department of Food and Agriculture, CDFA)
<https://www.cdfa.ca.gov/FloodRecovery/>
23. 美國聯邦緊急事務管理署
<https://www.fema.gov/flood-insurance/risk-rating>
24. 美國洪水聯盟(American Flood Coalition)
<https://floodcoalition.org/2021/09/flood-insurance-and-risk-rating-2-0-everything-you-need-to-know-in-five-minutes/>