

2020 年美國加州野火探討

林嫩瑛、蔡佳穎、張志新

國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組

摘要

2020 年 9 月加州野火產生的濃煙，遮蔽加州大城舊金山市(San Francisco)的陽光，早晨的市景呈現黯淡的紅色，引起國際的關注。根據加州林業和消防部 CAL FIRE (California Department of Forestry and Fire Protection)的資料顯示，2020 年的火災事件主要集中在 8、9 月，8 月的複合式火災(August Complex Fire)創下歷史燃燒範圍最大的紀錄，較記錄中的第二名(2018 年的 Mendocino Complex Fire)多出 2 倍的面積，是加州森林消失最嚴重的一年。大火發生的原因，主要與乾燥炎熱的氣候有關，當雷暴的閃電誘發火苗時，枯木、落葉與強風助燃火勢，火苗快速向四周漫延，使火勢難以控制。災害應變的作為，包含美國聯邦政府通過兩件紓困案，紓困金高達 2,375 萬美金；加州政府頒布禁油令，逐年推動降低天然氣和石油的使用，同時，要求電力公司強化電力系統的安全規範，以減少火災的風險。

一、事件背景

「加州」是美國加利福尼亞州(State of California)的簡稱，也是美國人口最多、經濟最富裕的州[1]。加州人口約 3,955 萬人，2019 年度的生產總值 GDP(Gross Domestic Product)高達 3.1 兆美元[2,3]，與世界排名第 5 大經濟體的印度(GDP 為 2.9 兆美元)相當[4]。加州的天然資源豐富，包含水資源、水產、木材與礦業[5]。例如，豐富的水資源，可灌溉高達 800 萬畝農地，使農業成為加州最大的經濟產業；豐富的天然氣，可供應加州約 1,200 萬用戶使用，致使天然氣管線遍佈加州各地。然而，加州近幾年不斷遭遇乾旱與森林大火的威脅[6-8]，天然資源的運用與管理缺失[9-11]，常是火災成因，因此，如何完善能源使用與災害管理方式，建造宜居城市，面臨重大考驗。

2020 年，加州野火發生的位置如圖 1 所示，根據美國加利福尼亞林業和消防部 CAL FIRE (California Department of Forestry and Fire Protection)的統計結果顯示[6]，2020 年共發生 9,917 起森林大火，燃燒的面積達 425 萬英畝，約台灣面積的三分之一，創下 1932 年以來的最大燃燒範圍(圖 2)。其中，有 5 場野火事件，起火時間點落在 8-9 月，被列入災害範圍最大的前 10 名歷史紀錄中(圖 3)。相對於野火造成的災害範圍較廣，野火造成的人員傷亡與建物損毀，則相對較低，

分別為 31 人和 10,488 棟。就單一事件而言，僅 North Complex 野火事件，造成 15 人死亡，2,352 棟建物損毀，在前 10 大最具破壞性的列表中排名第五(表 1)。

根據美國國家環境資訊中心 NCEI (National Centers for Environmental Information)的資料顯示[12]，2020 年加州的森林大火與鄰近的奧勒崗州(State of Oregon)和華盛頓州(State of Washington)的森林大火，合併列入 2020 年的國家重大天然災害事件中。圖 4 顯示 2020 年美國重大天然災害事件，共 16 場，其中，東部以颶風和豪雨導致的災害事件為主，西部則是森林大火和乾旱。圖 5 顯示重大天然災害事件數與經濟損失的紀錄[13]，說明近五年發生的事件數偏多，每年約有 3,000-4,000 億美元的經濟損失。



圖 1 2020 年加州野火發生位置與範圍示意
(數據來源：MODIS；圖資來源：Open Street Map, CC BY-SA 4.0 [14])

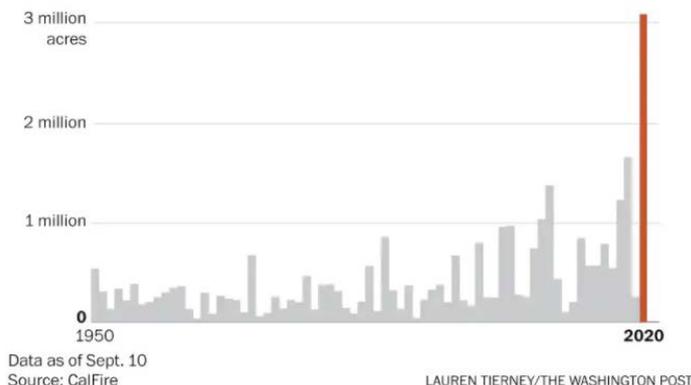


圖 2 1950-2020 年加州野火燃燒面積
(數據來源：CAL FIRE [6]；圖資來源：The Washington Post [15])

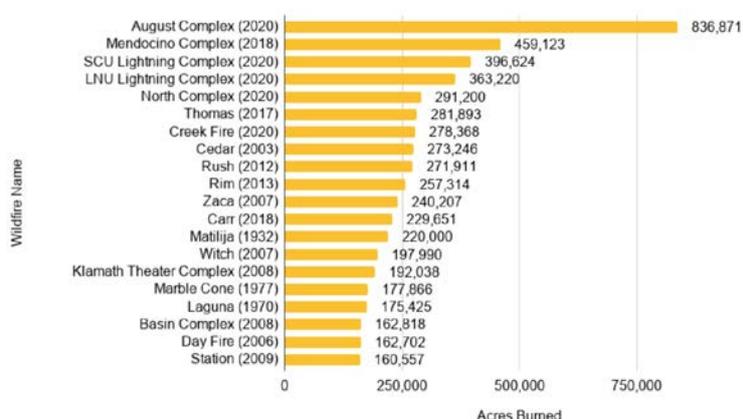


圖 3 1932-2020 年前 20 名加州野火燃燒範圍最大的事件
(數據來源 CAL FIRE [6]；圖資來源：Kin.com [16])

表 1 前 10 名最具破壞性的加州野火事件 (數據來源：CAL FIRE [6])

Rank	Fire name & Cause	Date	Acres	Structures	Deaths
1	Camp Fire (Power lines)	Nov. 2018	153,336	18,804	85
2	Tubbs (Electrical)	Oct. 2017	36,807	5,636	22
3	Tunnel-Oakland Hills (Rekindle)	Oct. 1991	1,600	2,900	25
4	Cedar (Human related)	Oct. 2003	273,246	2,820	15
5	North Complex (Under investigation) (2)	Aug. 2020	318,935	2,352	15
6	Valley (Power lines)	Sept. 2015	76,067	1,955	4
7	Witch (Power lines)	Oct. 2007	197,990	1,650	2
8	Woolsey (Under investigation)	Nov. 2017	96,949	1,643	3
9	Carr (Human related)	July 2008	229,651	1,614	8
10	Glass fire (Under investigation) (2)	Sept. 2020	67,484	1,520	0

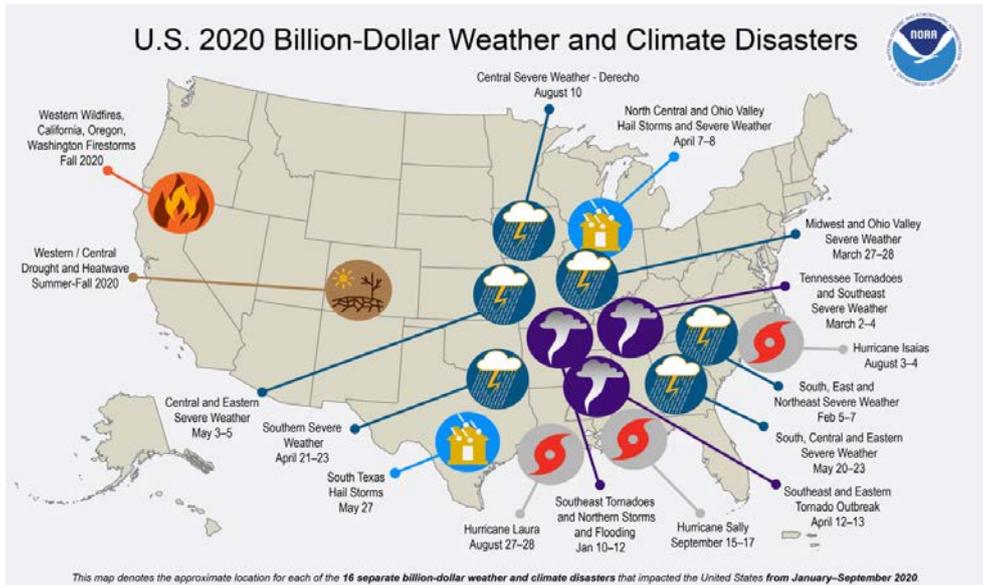


圖 4 美國在 2020 年經濟損失超過十億美元的重大天然災害事件 (資料來源：NCEI [12])

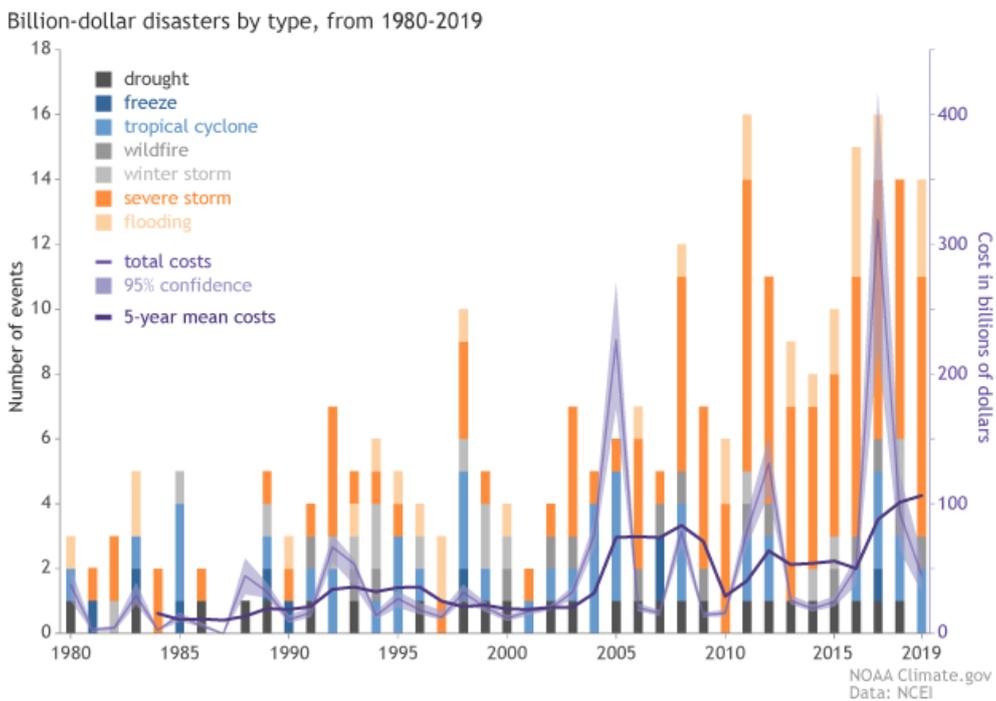


圖 5 美國 1980-2019 重大天然災害事件數的統計與相應的經濟損失 (數據來源：NCEI [12]；圖資來源：NOAA Climate.gov [13])

二、火災的影響

火災的影響，除了上述直接對災害現場造成人員傷亡、建物損毀、森林植被消失之外，大火所產生的有毒煙霧和溫室氣體，間接對人類健康與環境產生危害。因此，本章節簡述說明煙霧與溫室氣體的分布概況。

就煙霧而言，2020年加州野火事件主要發生在8-9月，燃燒產生的大量煙霧，被美國的衛星(NOAA-NASA Suomi NPP)所記錄下來[17]，罕見的大量煙霧先被強勁的落山風(Diablo Wind)吹向加州海岸(圖6)，隨後被大氣環流帶往美國東岸(圖7)，造成美國與加拿大邊界各城市的空氣品質惡化。尤其，鄰近火災發生位置的舊金山市，清晨的陽光被厚重的煙霧阻擋，呈現出黯淡的紅色(圖8)，就連舊金山(San Francisco)的金門大橋(Golden Gate Bridge)也隱身在煙霧之中，使當地居民甚為恐慌。同時，加州當地的太陽能發電量，也受煙霧影響，發電量下降期間與大火發生時間相近(圖9)。

就溫室氣體而言，歐洲哥白尼大氣觀測服務系統 CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service)的資料顯示(圖10)，2020年加州野火產生的二氧化碳排放量，比過去紀錄高出許多，但是，就美國整體而言，森林大火產生的二氧化碳排放量則無顯著增加情形。

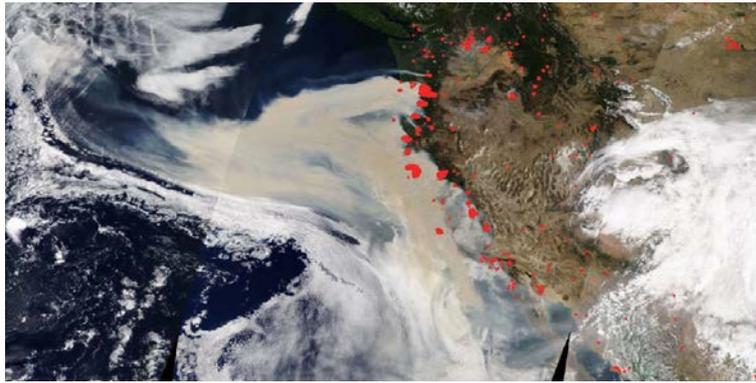


圖 6 美國 NASA 衛星在 2020 年 9 月 10 日加州上空拍攝到的影像。紅點標示的是火災發生的位置，淡褐色是霧霾，白色是雲[18]

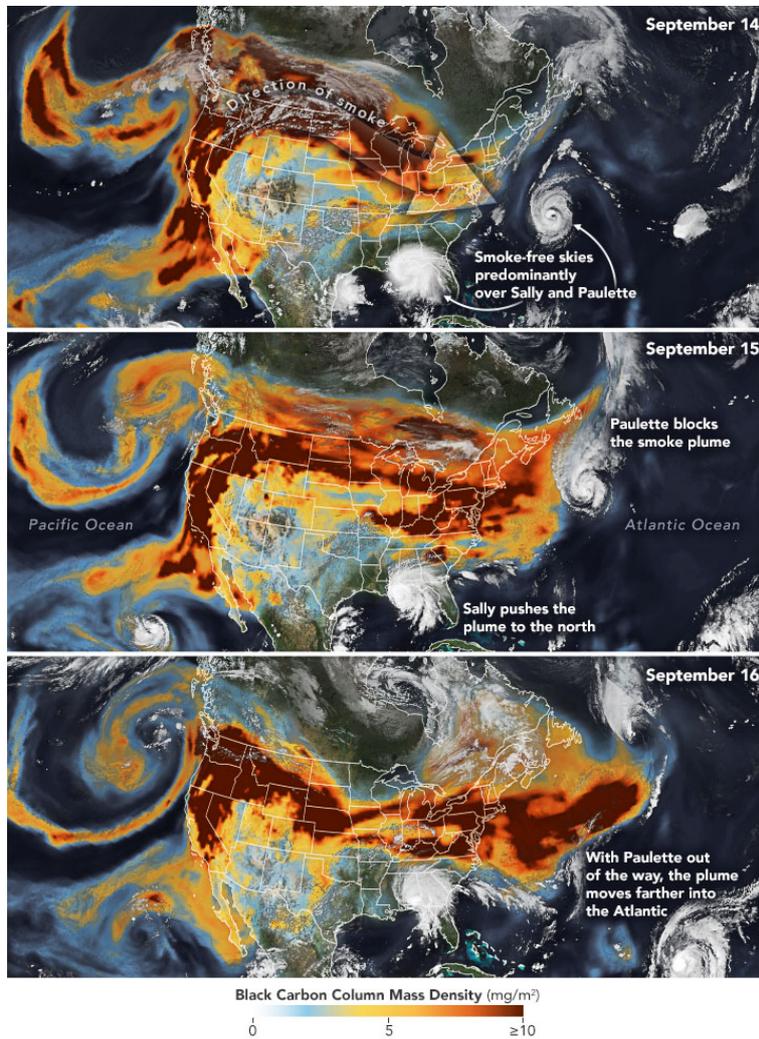


圖 7 美國 NASA 衛星影像在 2020 年 9 月 14-16 日紀錄到霧霾擴散的情形[19]

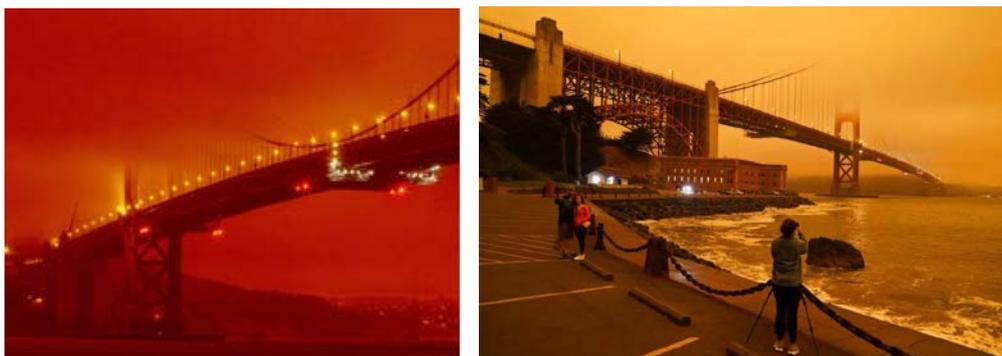


圖 8 加州舊金山灣區被大火造成的煙霧壟罩，天空被染成橘紅色[20]

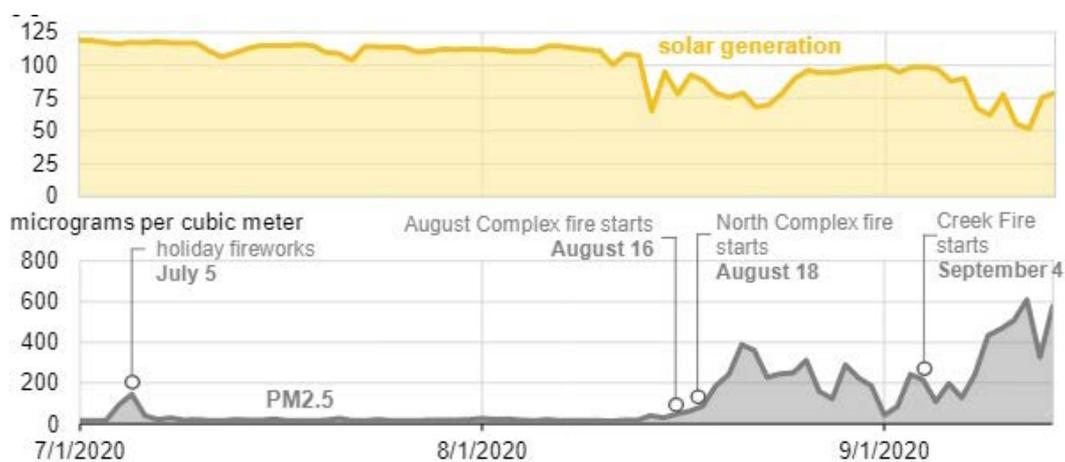


圖 9 加州舊金山的太陽能發電紀錄(上)與加州野火發生時間軸(下)[21]

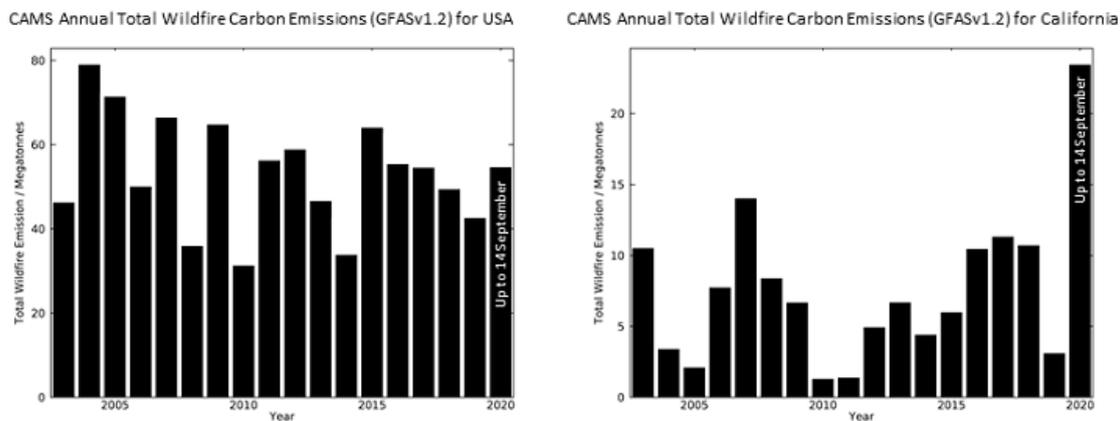


圖 10 歐盟的哥白尼大氣監測服務系統 CAMS 觀測到 2003-2020 年美國(左)和加州(右)野火的碳排放量[22]

三、 火災成因

2020 年加州野火發生原因與乾旱、熱浪、閃電、人為縱火和森林管理有關[7, 23-26]。

(1) 乾旱與熱浪：2020 年夏季加州處在乾燥與炎熱的氣候形態下，火災風險高。根據美國國家氣象局 NWS (National Weather Service) 的降雨和溫度觀測紀錄顯示[27]，近 10 年來全美平均溫度與氣候平均值(1985-2020)相比，有偏高情形(圖 11、圖 12)。在加州地區，2020 年的溫度更是打破 1985 年以來的歷史紀錄，在洛杉磯首次測得 49°C 的高溫[28]。同時，2020 年夏季季風帶來的降雨偏少，比氣候平均值低許多，與 2019 年相同，是歷史上唯二缺少季風降雨的一年[29]。

(2) 森林管理問題：近年來，由於火災造成的傷亡或火災燃燒範圍有變嚴重的趨勢，美國農業部 USDA (United States Department of Agriculture) 在加州森林維護項目的經費支出有了顯著的差異(圖 13)。在火災管理作業(Wildland Fire Management)方面[30]，經費支出所占的比率，從 2005 年的 16% 上升至 2015 年的 52%；在森林維護作業方面，經費支出所占的比率，則從 58% 下降至 29%。由於，森林維護的例行工作，包含河川流域的水資源管理、植物多樣性的保護工作、生態系統的監測等，可強化森林對火災的防禦能力等。當維護

工作不足，森林復原的能力仍趕不上火災破壞的速度，森林脆弱度因而升高。

(3) 閃電：2020 年的加州野火發生的時間集中在 8、9 月，與夏季雷暴(Thunderstorm)發生時間相近(圖 14)。規模罕見的夏季雷暴觸發密集的閃電[31]，可能擊中乾燥的樹林或電力傳輸系統，引發火苗，並在枯木、落葉與強風的助燃下，火勢快速的在人煙罕至的地區延燒。同時，由於加州適逢新冠肺炎 COVID-19 疫情影響[32]，滅火行動須同時兼顧防疫作業，使火災救援難度升高[33]。

(4) 人為縱火：加州政府在 2020 年共逮捕到 79 名縱火犯[6]。除了包含蓄意縱火的人，人為活動也會引發火勢，例如，El Dorado 的大火事件是由胎兒性別揭曉派對上施放的煙火所引發[25]。由於人為活動所引發的火災，多發生在交通較易抵達的地方，因此火勢較容易控制，災害範圍較小。

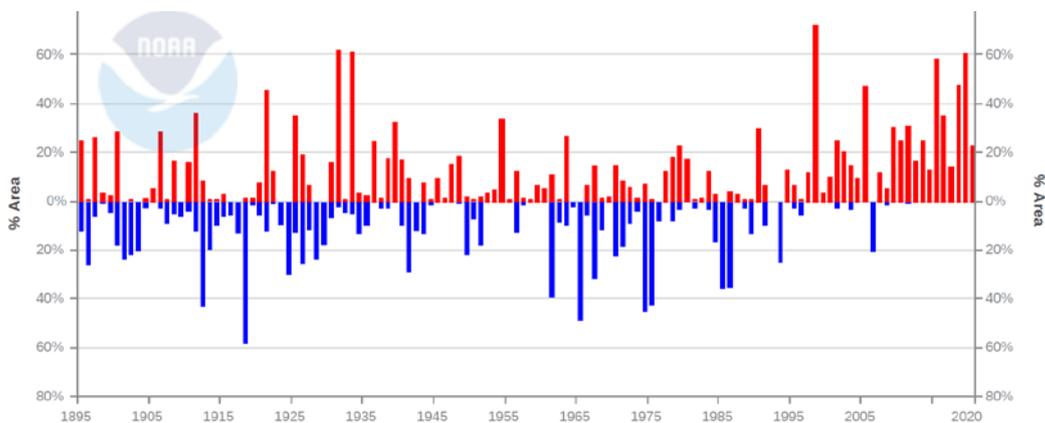


圖 11 美國國家氣象局在 1895-2020 年紀錄的溫度變異量，紅色/藍色表示變暖/冷的區域佔全美的百分比 [27]

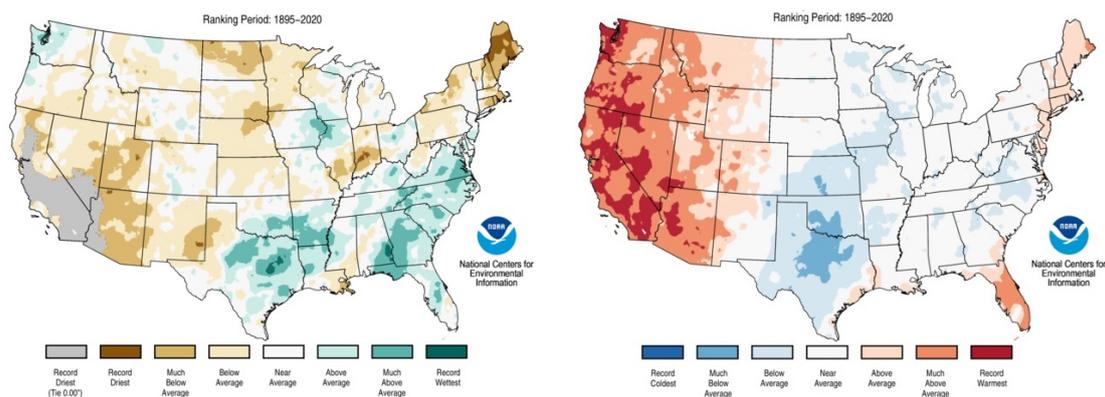


圖 12 2020 年 9 月的降雨(左)和溫度(右)與 1895-2020 年間的平均值比較[12]

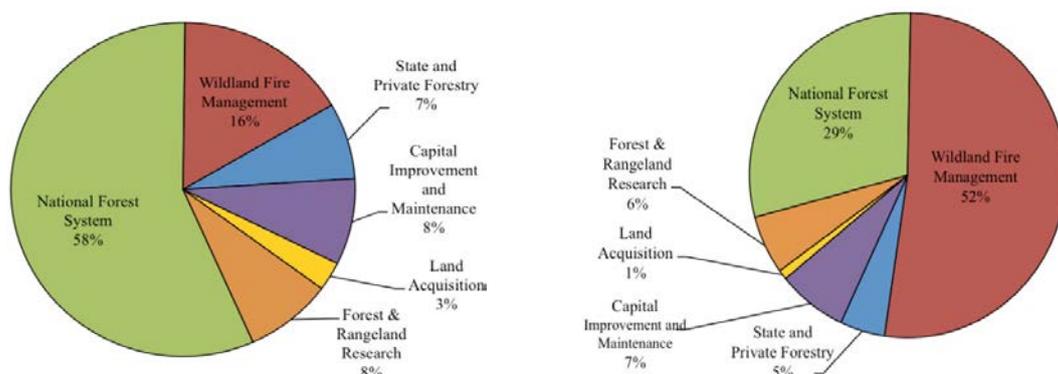


圖 13 美國農業部在 2005 年(左)和 2015 年(右)森林管理的支出項目占比[30]

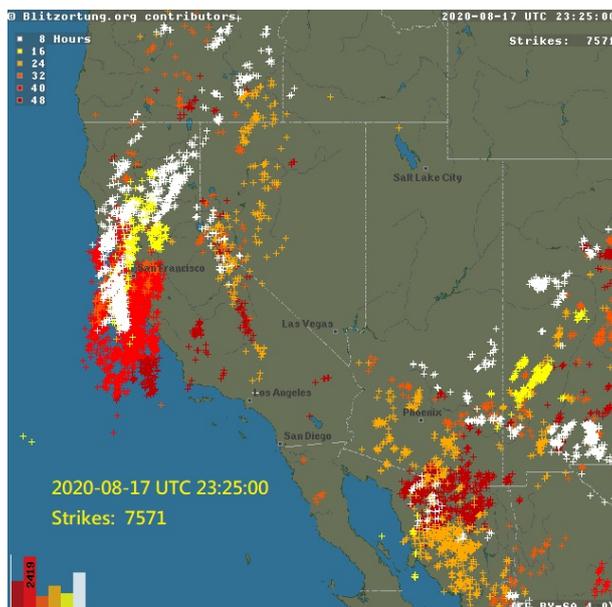


圖 14 美國氣象局在 2020 年 8 月 17 日偵測到的閃電發生位置[31]

四、 因應作為

美國政府對加州野火進行的因應作為主要分成兩大項，分別是災害救援和減災管理計畫。

(1) 災害救援計畫：美國政府對加州野火進行兩次重大災害宣告 (DR-4558-CA & DR-4569-CA)[34,35]，由總統頒布命令，美國聯邦緊急事務管理署 FEMA (Federal Emergency Management Agency) 統籌管理[36]，加州緊急服務部門 Cal OES (California Governor's Office Emergency Services) 執行作業項目[37]。總統頒布的重大災害宣告內容，包含災害類型、災害救援範圍(圖 15)、災害期程、災害復原方案、聯邦政府提撥的急難紓困金額度等。災害救援對象以受災個人或家戶為單位。其中，第一、二次提撥的急難紓困金，分別高達 1,967 萬、408 萬美金。災害救援行動，包含災害緊急應變措施、短期與長期災害復原計畫。例如，災害現場清理工作的協助、急難紓困金的申請、短期安置住所的安排、工作輔導、低利貸款等。

(2) 減災管理計畫：分成能源使用和電力系統管理兩大類。

在能源使用方面，由於加州為美國前五大石油與天然氣生產地 [5]，為了防止使用石油或天然氣發電產生溫室氣體，除了訂定嚴格的鑽探法規之外，加州有許多市議會開始加入簽署禁用石油與天然氣

能源的政策[38]，並希望透過改用綠色或再生能源，降低氣候暖化帶來的威脅。圖 16 顯示加州油田分布與產量隨時間變化的情形[39, 40]，加州的油產量已從 30 年前的 3.75 億桶降至去年的 1.75 億桶，同時，停止開採的油田也從 1 萬個油井上升至約 2 萬個油井。加州除了施行石油禁令之外，2020 年，適逢 COVID-19 疫情威脅，全球實施大範圍封鎖措施，造成石油需求下降，導致加州最大石油鑽探商 CRC (California Resources Corp) 聲請破產保護[41]。

在電力系統管理方面，由於 2018 年加州發生歷史上傷亡最慘重的坎普大火(Camp Fire)，是由老舊的電線系統引發火苗所造成[42]，共造成 85 名人員死亡和 1.8 萬棟建物損毀(表 1)。負責營運的太平洋瓦斯電力公司 PG&E (Pacific Gas and Electric)，於 2020 年被法院定罪，並須賠償火災受害者家庭共 255 億美元。此次火災事件後，PG&E 進行內部重組，並被要求強化所屬電力系統的安全層級。其主要電線分布範圍如圖 17 所示[43]，被要求強化的工作項目(圖 18)包含全長 241 英里的線路強化、線路周邊的樹木整修、電力監測系統的強化、建置 400 個氣象觀測站、200 個現地監視器、600 個分流結點等。至 2020 年底，完成進度約達 25%[44]。

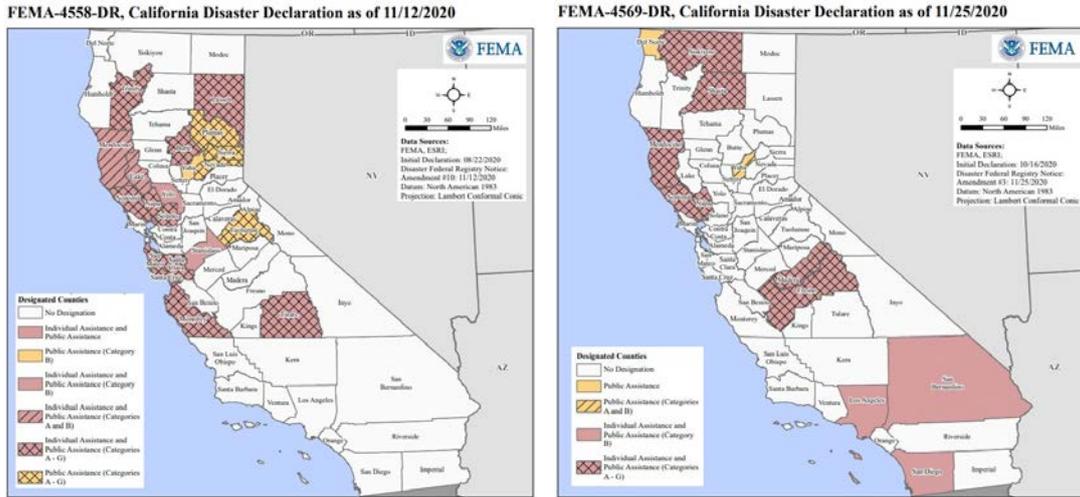


圖 15 美國聯邦政府頒布兩次加州野火重大災害宣告[34,35]

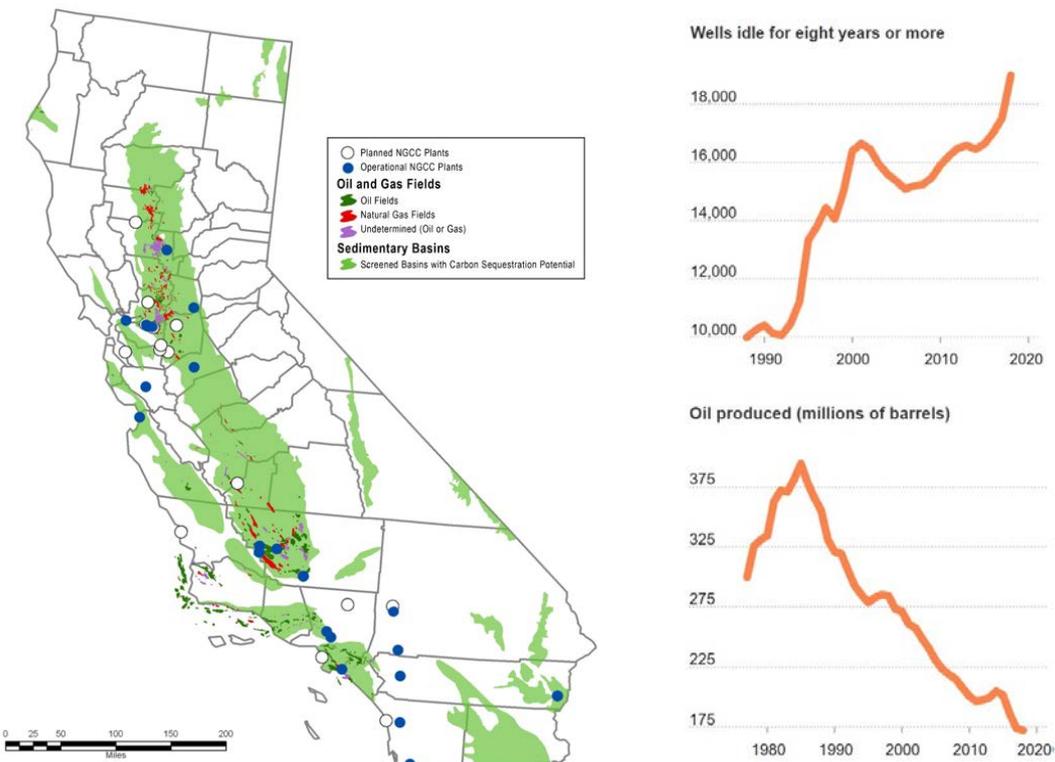


圖 16 加州油田與天然氣蘊藏位置(左)及油田田產量(右上)和停止開採的油田數目(右下)隨時間變化的情形

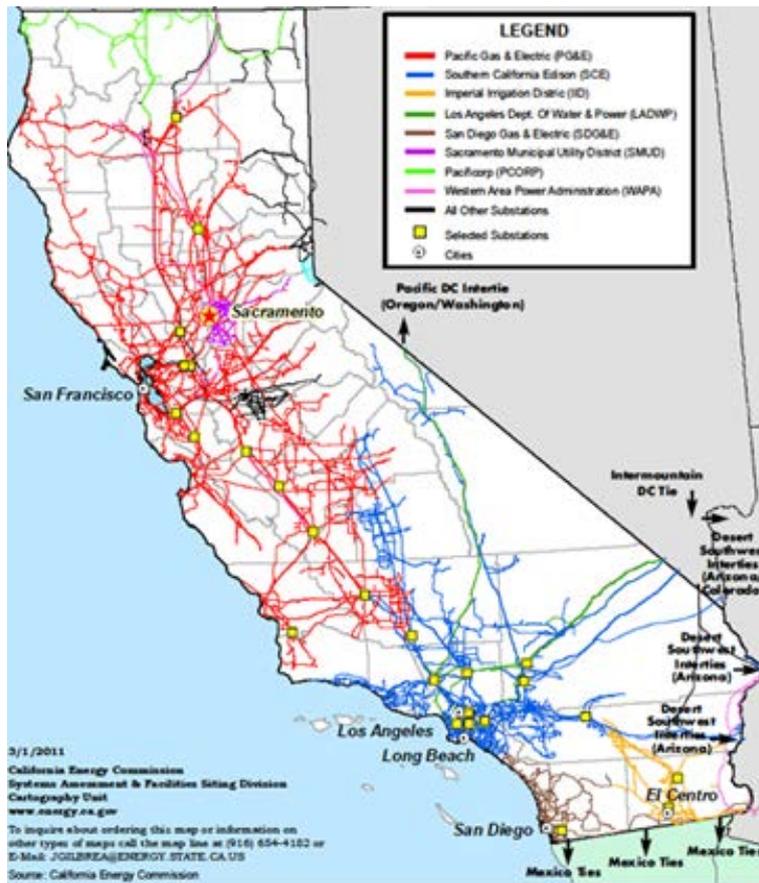


圖 17 加州主要電力系統分布情形[43]



圖 18 加州太平洋瓦斯電力公司 PG&E 強化電力設施安全層級的施作項目(左)和完成時間表(右)[44]

五、 結論

2020 年加州野火燃燒範圍打破歷史紀錄，是第二名(2018 年)的 2 倍，總燃燒面積高達 425 萬英畝，約台灣面積的三分之一。

加州向來擁有多樣的天然資源，其中，豐富的水資源造就龐大的農林畜牧業，同時，蘊藏的石油與天然氣，使加州成為美國第五大石油產地。然而，加州近幾年面臨乾旱與熱浪的威脅，除了洛杉磯觀測到破紀錄的高溫 49°C 之外，歷年都會發生的夏季季風降雨，卻在 2019、2020 年缺席。在天候乾燥炎熱的情況下，2020 年 8 月雷暴帶來的閃電，觸發了火勢，在枯木、落葉與強風的助燃下，火勢迅速蔓延開來，有多場野火事件，擠進歷史前 10 大燃燒範圍最廣的列表中。

為避免災害的發生，美國政府檢討了天然資源的運用與管理方式，並制定相關法令。首先，美國聯邦政府針對 2020 年的加州野火通過兩件紓困法案，由總統頒布施行，紓困金額高達 2,375 萬美金。其次，加州政府頒布禁油令，包含大型建築全面電氣化，未來不再使用天然氣，並降低石油發電量，逐步改用綠能發電或使用再生能源。希望透過減少碳排放，達到減緩氣候暖化的目標。最後，加州政府也要求電力公司提升電力系統的安全層級，加強汰除老舊電線、增加絕緣防護、線路周邊的植被修整等，以減少火災風險。

參考文獻

1. Gregory Lewis McNamee & Neil Morgan. (2020, Sept. 8). California, Encyclopedia Britannica. Retrieved from <https://www.britannica.com/place/California-state>
2. Hughes, R. (2020, June 27) If California were a Country. Retrieved from <https://bulloakcapital.com/blog/if-california-were-a-country/>
3. Gross Domestic Product by County, 2019. (2020, Dec. 9). Bureau of Economic Analysis. Retrieved from <https://www.bea.gov/news/2020/>
4. Silver, C. (2020, Dec. 24). The top 25 economies in the world-Ranking the richest countries in the world. Investopedia. Retrieved from <https://bit.ly/3aRG0vI>
5. 經濟部台美產業合作推動辦公室，加利福尼亞州投資環境簡介，檢自：<https://bit.ly/38CqG37>
6. CAL FIRE, Stats & Events. Retrieved from <https://www.fire.ca.gov/stats-events/>
7. Pierre-Louis, P. & Schwartz J. (2020, Dec. 3). Why does California have so many wildfires? The New York Times. Retrieved from <https://nyti.ms/3pqWsqx>
8. Zentner, E. & Hagen, C. A History of California wildfires. Retrieved from <https://reurl.cc/g8Grdz>
9. NCDR 全球災害事件簿，2018 年 11 月美國加州野火災害報導。檢自：<https://den.ncdr.nat.gov.tw/1132/1188/1205/19197/21130/>
10. Borunda, A. (2020, Sept. 17). The science connecting wildfires to climate change. Science, National Geographic. Retrieved from <https://on.natgeo.com/3hunyKU>
11. Borenstein, S. (2020, Aug. 22). What makes California burn so much? Climate change and people, experts say. Eyewitness News. Retrieved from <https://bit.ly/2JnaiuM>

12. Assessing the U.S. Climate in September 2020: Billion-dollar weather and climate disasters in 2020 tie annual record. (2020, Oct. 7). NCEI News. Retrieved from <https://bit.ly/3aP7z8u>
13. Smith, A. B. (2020, Jan. 8). 2010-2019: A landmark decade of U.S. billion-dollar weather and climate disasters, Climate.gov. Retrieved from <https://bit.ly/3pqRKsR>
14. Mohan, R. (2020, Oct. 7). West coast wildfires reach a grim milestone this week. Retrieved from <https://reurl.cc/GdjgLx>
15. Leonard, D. & Freedman, A. (2020, Sept. 12). Western wildfires: An ‘unprecedented,’ climate change-fueled event, experts say. The Washington Post. Retrieved from <https://wapo.st/3aLvKVD>
16. California wildfire statistics. (2020, Sept. 21). Kin.com. Retrieved from <https://www.kin.com/blog/california-wildfire-statistics>
17. Earth Observatory, Fires. Retrieved from <https://earthobservatory.nasa.gov/topic/fires>
18. Jenner, L. (2020, Sept. 12). Danger zone: NASA’s Terra highlights aerosols from U.S. fires – Worst since the “Big Blowup” of 1910. NASA Popular Wildfires. Retrieved from <https://bit.ly/3nVh21Y>
19. Voiland, A. (2020, Sept. 14). A meeting of smoke and storms, Earth Observatory. Retrieved from <https://go.nasa.gov/3hkMioP>
20. In Pictures: Massive Fire & Thick Smoke Turns Skies Orange in California (2020, Sept. 11). News18. Retrieved from <https://bit.ly/3obMWXZ>
21. York, S. (2020, Sept. 30). Smoke from California wildfires decreases solar generation in CAISO, U.S. Energy Information Administration. Retrieved from <https://bit.ly/3qNrY3f>
22. CAMS monitors smoke release from devastating US wildfires, Copernicus Atmosphere Monitoring Service. (2020, Sept. 16). CAMS News. Retrieved from <https://bit.ly/2WRRt62>

23. Serna, J. (2020, Aug.30). Why California's 2020 lightning fires got so big so fast. Los Angeles Times. Retrieved from <https://lat.ms/3hl3DxM>
24. 橘紅天空彷彿末日，加州大火原因與示警 (2020年9月18日)。綠色和平。檢自：<https://bit.ly/3551xNR>
25. Specht, D. (2020, Sept.15). California wildfires: why a gender-reveal party got the blame, but shouldn't have. The Conversation. Retrieved from <https://bit.ly/3aU0sf8>
26. Freedman A. & Leonard D. (2020, Dec. 04). California wildfires erupt amid strong Santa Ana winds, and threat could last into next week, The Washington Post. Retrieved from <https://wapo.st/3pxxbv7>
27. NCEI, U.S. Percentage Areas (Very Warm/Cold, Very Wet/Dry), NOAA. Retrieved from <https://bit.ly/3hl8sHv>
28. Petel, K. (2020, Sept. 11). California heatwave fits a trend, Earth Observatory. Retrieved from <https://go.nasa.gov/3aLKLgZ>
29. Selby, W. (2020, July 14). Another bizarre California rainy season: 2019-2020. Rediscover the Golden State. Retrieved from <https://bit.ly/37Tlby8>
30. Forest Service (2015). The rising cost of wildfire operations: Effects on the forest service's non-fire work, USDA. Retrieved from <https://bit.ly/3o6YQTr>
31. Blitzortung.org, Network for lightning and thunderstorms in real time. Retrieved from <https://bit.ly/3nVoABR>
32. Worldometer, California Coronavirus cases. Retrieved from <https://bit.ly/3mN5NYc>
33. Simon, M. (2020, Aug. 20). California's Wildfire and Covid-19 Disasters Just Collided. Retrieved from <https://bit.ly/3mT6Y8v>
34. FEMA-4558-DR, California Disaster Declaration as of 11/12/2020. Retrieved from <https://www.fema.gov/ru/disaster/4558>

35. FEMA-4569-DR, California Disaster Declaration as of 11/25/2020.
Retrieved from <https://www.fema.gov/ru/disaster/4569>
36. FEMA, California wildfire. Retrieved from <https://bit.ly/3rzbeNN>
37. Cal OES, California Wildfire Resources. Retrieved from
<https://bit.ly/2JnQEii>
38. Nemec, R. (2020, Dec. 3). Two more California cities look to go all-electric as natural gas bans enacted. Natural Gas Intelligence.
Retrieved from <https://bit.ly/34LTWmW>
39. Westcarb.org. Retrieved from <https://bit.ly/3qSmHHP>
40. Olalde, M. & Menezes, R., (2020, Feb. 6). The toxic legacy of oil wells: California's multibillion-dollar problem. Los Angeles Times,
Retrieved from <https://lat.ms/3pz8tup>
41. 美加州最大石油鑽探商聲請破產保護！ (2020年7月16日)。自由時報。檢自：<https://bit.ly/3pVwsDA>
42. 加州 PG&E 電力公司道歉 認罪坎普野火 84 條人命 (2020年6月17日)。聯合新聞網。檢自：<https://bit.ly/37LKIsu>
43. California Energy Commission, California's major electric transmission lines. Retrieved from <https://bit.ly/3nThbD3>
44. ST. John, Jeff. (2020, May 6). Why California Residents Could See Even More Blackouts This Wildfire Season. Green Tech. Media.
Retrieved from <https://bit.ly/2Mcd8nA>