

2024 年颶風海倫對美國東南部衝擊之探討

郭文達¹、李宗融²、黃紹欽²、張歆儀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

2024 年 9 月 26 日至 28 日，美國東南部地區遭受颶風海倫衝擊，北卡羅來納州、南卡羅來納州、喬治亞州、佛羅里達州、田納西州以及維吉尼亞州等六個州大部分地區受災嚴重，包含強風、風暴潮、洪水與坡地災害，導致至少 232 人死亡及約 2,500 億美元經濟損失。根據美國國家海洋暨大氣總署資料顯示，颶風海倫帶來創紀錄之強降雨，造成多處河川水位快速上漲，超過嚴重洪水之警戒水位門檻，且打破歷史河川水位紀錄。由於風災傳出嚴重的災情，為援助災區復原與重建之長期工作，美國聯邦緊急事務管理局批准的救災資金，約 9.11 億美元(截至 10 月 16 日止)，其中 5.81 億美元用於個人與社區援助，3.3 億美元則使用於公共救災援助。

一、 氣象與水文資訊

1. 颶風海倫路徑

2024 年 9 月中旬，東太平洋至西加勒比海海域，在季風低壓及季內振盪(Madden-Julian Oscillation, MJO)的交互作用下，形成了廣大的低壓帶。9 月 21 日，有一個熱帶性低氣壓於此低壓帶內緩慢增強。9 月 24 日，此熱帶性低氣壓的強度已達熱帶風暴標準，美國國家颶風中心(National Hurricane Center, NHC)遂將其命名為海倫(Helene)，是大西洋海域 2024 年第八個熱帶風暴，移動路徑如圖 1 所示[1, 2]。

海倫於 9 月 25 日增強至颶風等級，並以西北轉北方向逐漸接近美國佛羅里達州(Florida)。9 月 26 日起，颶風海倫的強度因行經弱垂直風切與高海溫區而快速增強，24 小時內就達到四級颶風等級(近中心最大風速每秒 61 公尺)[3]。9 月 27 日 03:00 UTC，颶風海倫從佛羅里達州大灣地區(Big Bend Region)的佩里市(Perry)登陸，成為該地區有紀錄以來的最強登陸颶風。颶風海倫於登陸後持續北行，強度亦快速減弱。9 月 27 日 06:00 UTC，海倫先於喬治亞州(Georgia)中部地區減弱為一級颶風，再於 9 月 27 日 18:00 UTC 在肯塔基州(Kentucky)與田納西州(Tennessee)交界處減弱為熱帶性低氣壓[3]。



圖 1 颶風海倫路徑圖，日期標示點位為每日 00:00 UTC
(資料來源：NHC，繪製：國家災害防救科技中心)[4]

2. 降雨量分析

根據美國國家氣象局預報中心(National Weather Service, Weather Prediction Center, NWSWPC)的累積雨量資料(圖 2)顯示[4, 5]，颶風海倫的強降雨主要集中在颶風移動路徑上，佛羅里達、喬治亞州、田納西州、北卡羅來納(North Carolina)及南卡羅來納(South Carolina)等州的 96 小時(9 月 25 日至 28 日)總雨量都在 250 毫米以上。其中又以北卡羅來納州的降雨最為劇烈，整場事件之總雨量排名前 3 名皆位於此，分別是楊西郡(Yancey county)布希克鎮(Busick)的 781.8 毫米，楊

西郡米切爾山州立公園(Mount Mitchell State Park)的 614.7 毫米，以及沃托加郡(Watauga county)布恩鎮(Boone)的 511 毫米。

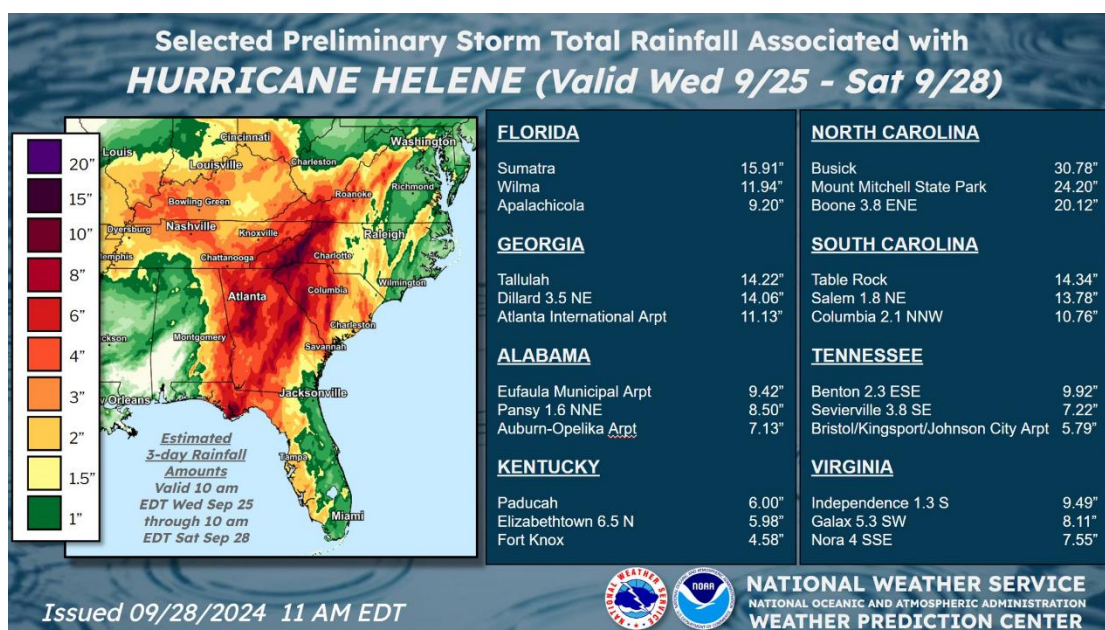


圖 2 颶風海倫於 9 月 25 日至 28 日的總累積雨量圖
(資料來源：NWSWPC)[4, 5]

在颶風登陸地點附近的佛羅里達州沿岸也有強降雨發生，尤其是颶風中心西側的自由郡(Liberty county)蘇門答臘地區(Sumatra)，總雨量亦在 400 毫米以上。在氣候統計上(表 1)[4, 5]，北卡羅來納州揚西郡、佛羅里達州自由郡、南卡羅來納州哥倫比亞郡(Columbia county)、喬治亞州雷本郡(Rabun county)及田納西州波爾克郡(Polk county)的 9 月長期氣候平均月雨量分別僅有 78.7、98.7、88.9、95.6 及 86.4 毫米。颶風海倫在這些地區測得的 96 小時總雨量，皆已是該州郡 9 月平均雨量的 2 倍以上，最大總雨量的揚西郡更高達 9.9 倍。此外，北卡羅

來納州在 9 月 25 日至 27 日期間，約有十幾個降雨觀測站，三天累積降雨量打破過去歷史紀錄，包括 Celo(507.5 毫米)、Sparta(439.2 毫米)以及 Boone(423.4 毫米)等測站[6]。

表 1 颶風海倫總雨量與該地區 9 月氣候平均雨量比較
 (資料來源：NWSWPC，繪製：國家災害防救科技中心)[5]

州	郡	測站	颶風海倫(9/25~9/28)	9 月氣候平均雨量
北卡羅來納	揚西	Busick	781.8	78.7
佛羅里達	自由	Sumatra	404.1	98.7
南卡羅來納	哥倫比亞	Table Rock	364.2	88.9
喬治亞	雷本	Tallulah	361.2	95.6
田納西	波爾克	Benton	252.0	86.4

3. 河川水位分析

颶風海倫帶來豐沛降雨，導致多處河川水位上漲，如 Ivy River、French Broad River、Catawba River、Swannanoa River 以及 Watauga River，進而引發洪水災害。根據美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)資料顯示，圖 3 為河川水位測站於 9 月 24 日至 10 月 7 日期間之河川水位歷線[7]，明顯看出 French Broad River 之阿什維爾(Asheville)測站、Swannanoa River 之比爾特莫爾(Biltmore)測站、Catawba River 鄰近的 Pleasant Gardens 測站以及 Ivy River 鄰近的馬歇爾(Marshall)測站，洪水高度超過嚴重

淹水(major flooding)之警戒值，且打破過去歷史洪水位紀錄。

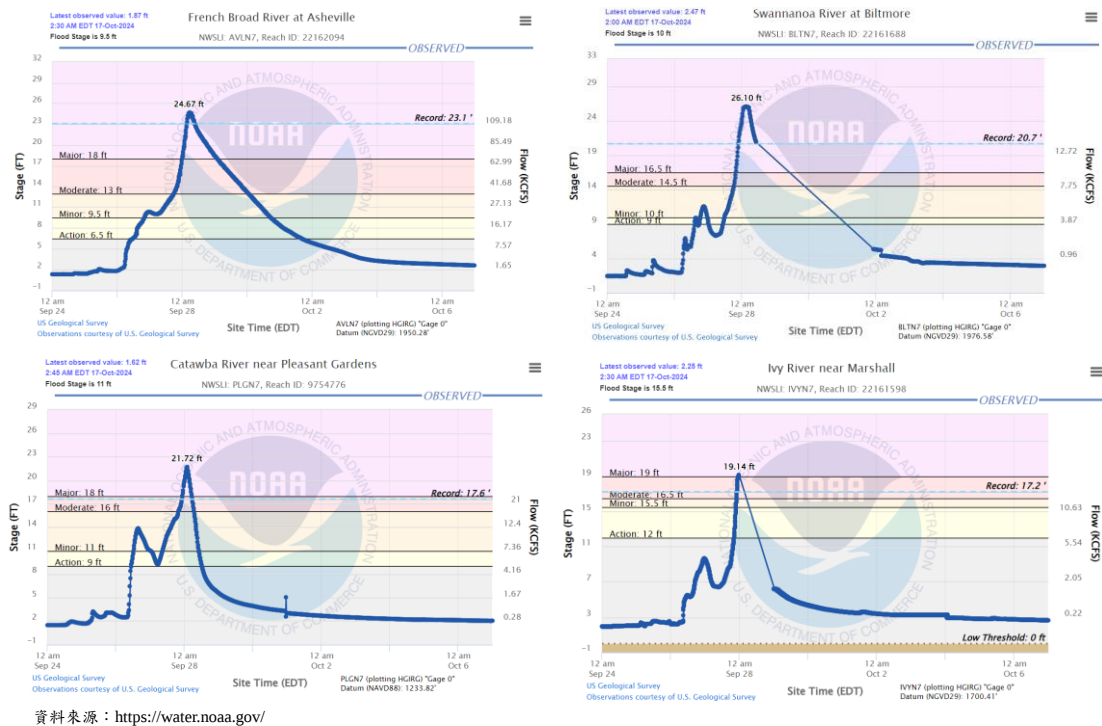


圖 3 2024 年颶風海倫造成多處河川水位上漲並打破過去歷史洪水位紀錄(資料來源：NOAA)[7]

4. 潮位記錄分析

颶風海倫亦導致嚴重的風暴潮災害，根據 NOAA 預報資料顯示(圖 4 左)[2]，颶風海倫登陸的佛羅里達州大灣地區為影響最為嚴重的區域，風暴潮位高度約達 4.6 至 6.1 公尺。此外，根據華盛頓郵報的數據分析結果[8]，指出約有 6 個沿海潮位測站，觀測到自有紀錄以來之最高潮位；圖 4 之右圖則顯示為其中位於大灣地區與坦帕灣(Tampa Bay)之 2 個測站(Cedar key 與 East bay)，於 9 月 24 日至 9 月

30 日間的最高潮位分別為 2.8 公尺與 2.2 公尺[9]，且水位高度已超過嚴重淹水(major flooding)之警戒值，故造成嚴重的海岸溢淹災害。

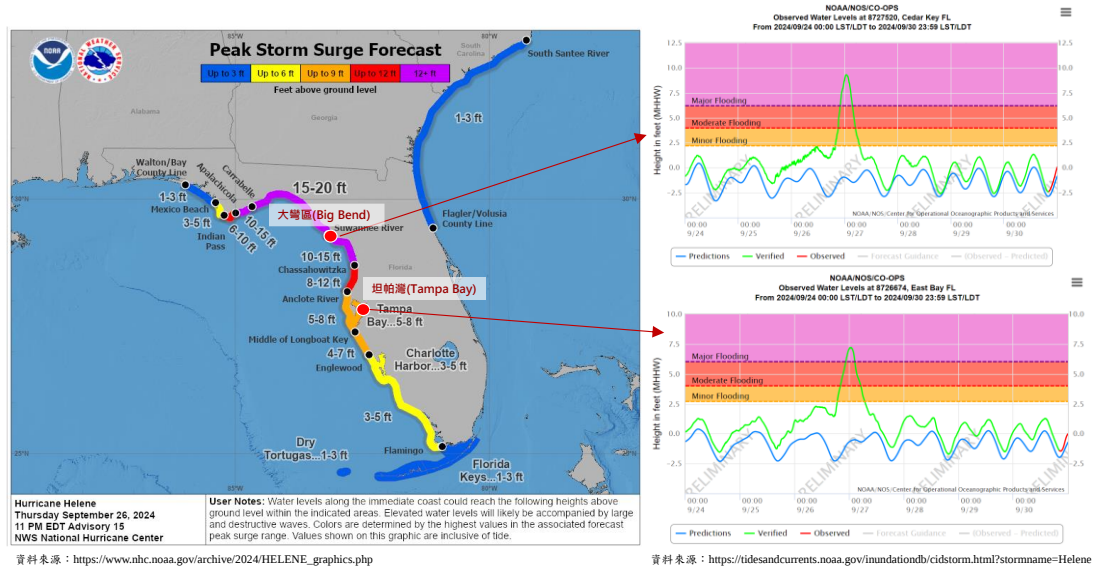


圖 4 2024 年颶風海倫侵襲期間之風暴潮與潮位歷線變化
(資料來源：NOAA)[2, 9]

二、 災害衝擊

1. 災情紀錄

颶風海倫在美國東南部多處地區(佛羅里達州北部、北卡羅來納州、喬治亞州、田納西州東部、南卡羅來納州、肯塔基州中部以及維吉尼亞州(Virginia)南部)，造成強降雨、強風、洪水災害以及風暴潮等災害[10]。圖 5(a)顯示為佛羅里達州馬蹄海灘受災之情況、圖 5(b)為北卡羅來納州受洪水淹沒之情況、圖 5(c)顯示為喬治亞州瓦爾多斯塔(Valdosta)受風災衝擊的情況、以及圖 5(d)為北卡羅來納州黑山

(Black Mountain) 40 號州際公路沿線受災情況[11]。

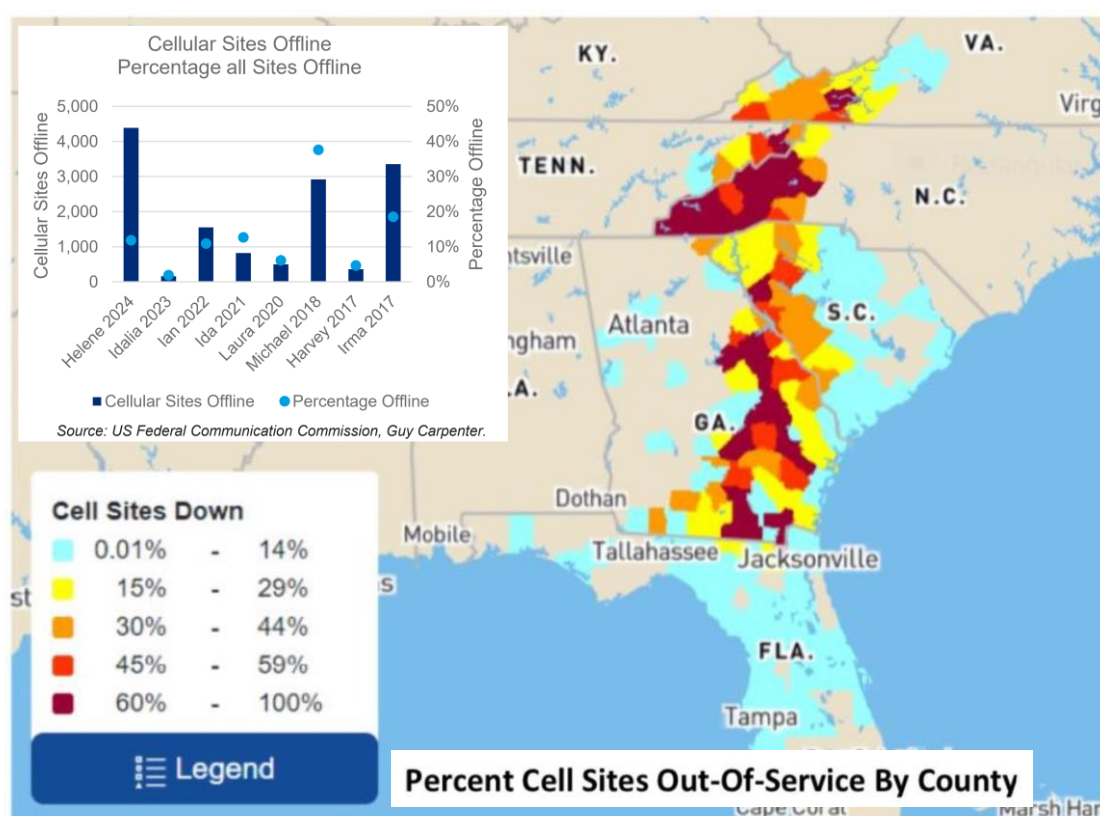


資料來源：<https://abcnews.go.com/US/live-updates/hurricane-helene/?id=113931821>

圖 5 2024 年颶風海倫所造成的災害衝擊情況
(資料來源：ABC News)[11]

颶風海倫亦造成建物毀損，根據美國聯邦緊急事務管理局 (Federal Emergency Management Agency, FEMA) 房屋修繕統計數據，建物全毀的數量以佛羅里達州、北卡羅萊納州以及喬治亞州最為嚴重，分別有千餘棟房屋完全損壞。此外，颶風海倫對佛羅里達州、北卡羅萊納州以及田納西州等地區造成嚴重影響，共摧毀數百座橋梁，導致高速公路中斷；其中，北卡羅萊納州受災最為嚴重，超過 700 條道路被阻斷或封閉。交通網絡的嚴重癱瘓，極大地影響了颶風期間的

物資運輸、救援行動及災後復原工作[12]。另一方面，颶風海倫造成電力系統與通訊系統中斷，截至 9 月 30 日，從佛羅里達州向北延伸至俄亥俄河(Ohio River)東部，估計有 340 萬多戶停電；颶風海倫亦造成共約 4,387 個電信基地台損壞，其遠高於 2017 年颶風艾瑪 (Irma) 造成 3,355 個基地台損壞的災情(圖 6)[12]，由於光纖電纜受損或基礎設施所需柴油發電機組耗盡燃油而無法即時補充，導致超過 110 萬戶固網用戶中斷服務。

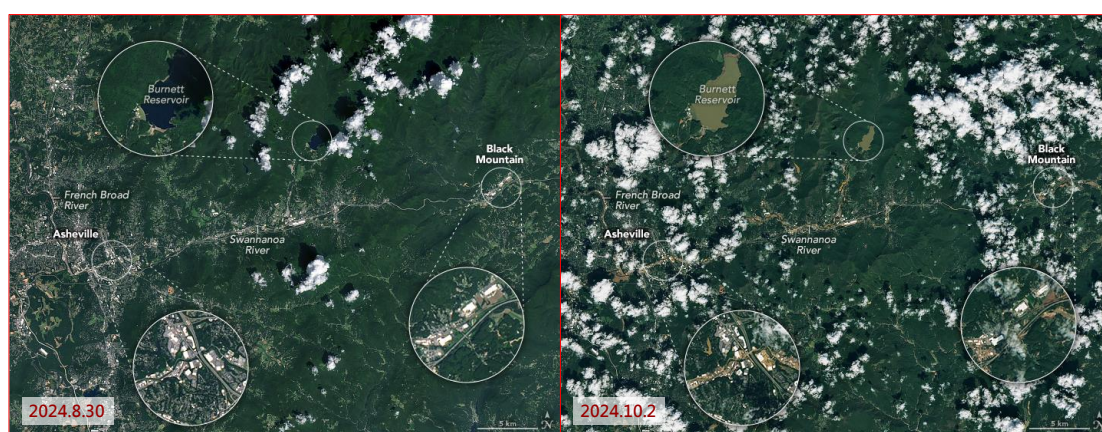


資料來源：https://www.guycarp.com/content/dam/guycarp-rebrand/insights-images/2024/09/Hurricane_Helene_Post_Event_Report_9_30_24_part_1.pdf

圖 6 颶風海倫衝擊下之通訊系統中斷情形
(資料來源：Guy Carpenter)[12]

2. 衛星影像分析災情

美國國家航空暨太空總署 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 進一步利用衛星影像分析技術，掌握與辨識颶風海倫侵襲後之洪水災害影響範圍[13]。圖 7 顯示為北卡羅來納州西部地區，分別於 8 月 30 日與 10 月 2 日之衛星影像資料，可看出阿什維爾與黑山地區受洪水衝擊，農田被洪水淹沒與基礎設施受損之情況。此外，10 月 2 日之衛星影像資料顯示，洪水似乎已經退去，但仍有多處可以看出棕色的泥砂淤積[13]。

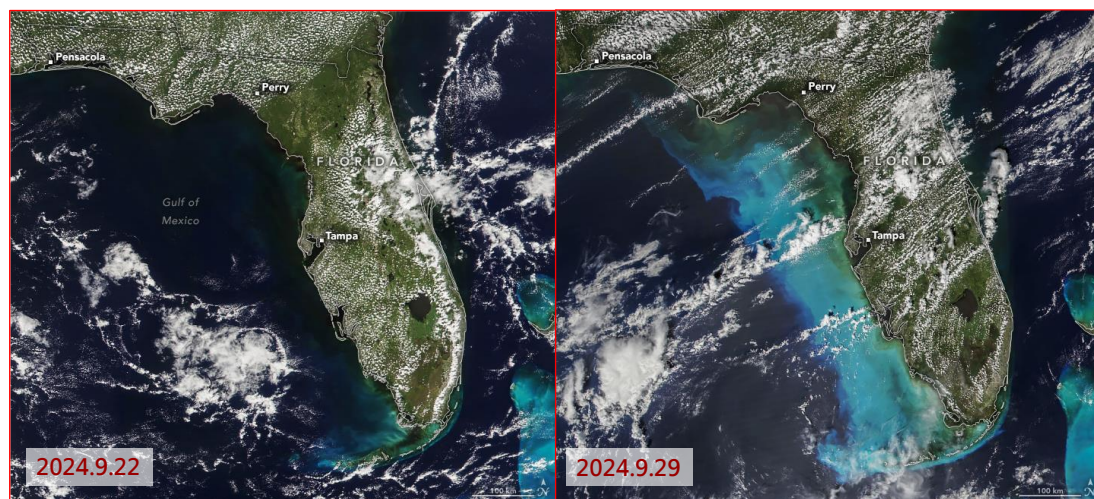


資料來源：<https://earthobservatory.nasa.gov/images/153416/flash-floods-swamp-north-carolina>

圖 7 北卡羅來納州西部地區受颶風海倫衝擊之洪水辨識衛星影像
(資料來源：NASA)[13]

颶風海倫不僅侵襲陸地區域，亦在海岸區域留下痕跡。圖 8 顯示為 NASA 分析佛羅里達州墨西哥灣海岸地區分別於 9 月 22 日與 29 日之衛星影像[14]，可看出海水呈現亮藍色，主要係由於降雨逕流將山區泥砂帶入海洋，加上颶風海倫的風浪，會擾動淺海沿岸地區之海

底沉積物，因此反射光線，造成海水亮藍色。海底沉積物可能包含泥砂、碎屑以及污染物等，可能會擴散到更廣泛的海域，造成海洋污染，亦可能破壞海洋生態系統，NASA 分析的影像資料，有助於未來颶風事件之防災與管理研究參考。



資料來源：<https://earthobservatory.nasa.gov/images/153390/hurricane-helene-stirs-up-gulf-coast-waters>

圖 8 颶風海倫於佛羅里達州墨西哥灣海岸地區之衛星影像分析
(資料來源：NASA)[14]

3. 災損估計

截至 10 月 23 日，颶風海倫造成至少 232 人死亡，北卡羅來納州 117 人、南卡羅來納州 48 人、喬治亞州 33 人、佛羅里達州 20 人、田納西州 12 人以及維吉尼亞州 2 人[15]；其中以北卡羅來納州死亡人數最多，造成死亡原因則包括有：被洪水沖走溺水身亡、坡地災害、強風吹倒樹木重創、車輛受困溺水、交通事故、受物體傷害以及其他不明原因。在颶風造成死亡人數部分，海倫成為自 2005 年颶風卡崔

娜(Katrina)(該颶風當時造成至少 1,833 人死亡)，最致命之颶風[15]。

此外，風災造成初步估計約 70 億美元的農業損失[16]與 2,500 億美元的經濟損失[17]。

三、 災因探討

根據 NASA 的衛星影像資料分析結果[18]，圖 9(a)顯示為 2024 年 9 月 23 日，海倫剛在加勒比海形成時之墨西哥灣海面溫度；圖 9(b)則顯示整個墨西哥灣海面溫度超過 28°C ，高於 2003 至 2014 年的平均值。因此，颶風海倫在墨西哥灣極高的海水溫度影響下，在登陸前不到一天的時間內，其強度快速地由一級颶風增強到四級。總而言之，墨西哥灣的異常高海溫，提供了海倫足夠的能量，得以快速增強[19]。

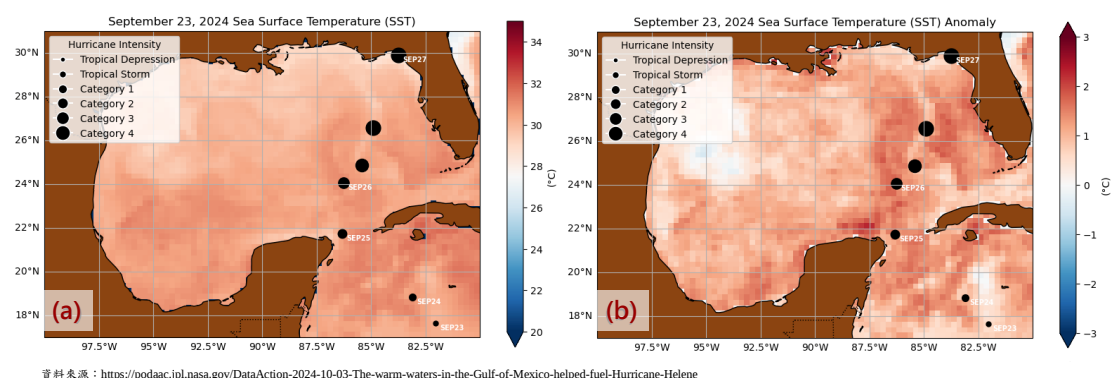
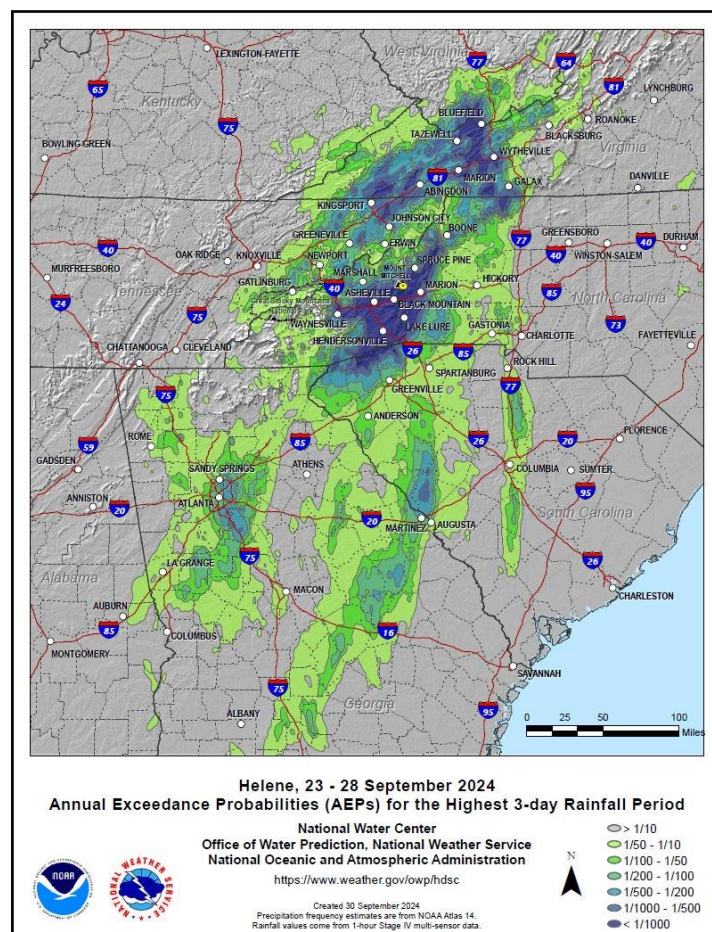


圖 9 墨西哥灣於 2024 年 9 月 23 日的海面溫度分布與基準平均值差異分布(資料來源：NASA)[18]

此外，颶風海倫衝擊之前，阿帕拉契(Appalachia)(指美國東部橫跨多個州的廣大文化區)部分地區已遭受風暴之強降雨影響[20]，使得阿帕拉契地區的土壤含水量已處於接近飽和狀態，造成土壤含水量高的情況下，緊接著又受到颶風海倫衝擊，故加劇了災情的嚴重程度[21, 22]。根據 NOAA 資料顯示(圖 10)，阿帕拉契山脈南部地區之三天累積降雨量所對應的降雨重現期達到一千年，異常降雨導致災情的影響範圍相當大[13, 23]。



資料來源：<https://x.com/nwsnwc/status/1841895926241059204/photo/1>

圖 10 阿帕拉契山脈南部地區降雨之年超越機率分析結果
(資料來源：NOAA)[23]

除了颶風海倫與先前暴雨事件帶來的強降雨之外，阿帕拉契的地形特徵亦加劇受洪災程度。阿帕拉契山脈及其周邊的南部地區，地形陡峭，當短延時與強降雨之情況下，使得河川洪水量迅速增加，洪水位急劇上漲，加上山區的網路通訊訊號不穩定或受損，當地居民無法有效掌握颶風所帶來的預警資訊，很難在短時間內進行有效的疏散避難，因此增加了災害嚴重性[19]。

四、 政府應變作為與災害復原情況

1. 州政府應變作為

受颶風影響災害衝擊嚴重地區，主要為佛羅里達州、喬治亞州、北卡羅來納州、南卡羅來納州、田納西州以及維吉尼亞州；其中又以佛羅里達州、喬治亞州以及北卡羅來納州為主要災區。各州政府在颶風警報發布後，針對受影響地區的各郡發布緊急命令，啟動郡的應變作業，提出地區限制措施，如停班、停課、交通管制等，動員災防人力、警、消、國民兵等，並向 FEMA 請求援助[24]。

9 月 25 日後，受颶風侵襲影響，佛羅里達州等開始針對高風險地區居民，如沿海可能直接受到颶風影響的地區，低窪地區、洪水地區、違法建物住戶、移動式住宅(露營車等)住戶、居住於帳棚的遊民等對象，發布緊急疏散命令。此外，佛羅里達州在 9 月 27 日開設 109

個避難收容處所，收容人數最多達 8,500 位民眾。

2. FEMA 應變作為

FEMA 主要透過以下方式，協助州政府災害應變與災害復原工作：(1)救助金補貼：聯邦撥款州政府的救災支出，包含暫時安置與災後房屋復原補助；(2)跨區域人力物力動員：協調各州與聯邦各機構的專業團隊協助管理救災行動[25]。

美國總統拜登 9 月 26 日批准佛羅里達州與喬治亞州政府的緊急宣告請求，9 月 27 日核准北卡羅萊納州、南卡羅來納州以及維吉尼亞州的緊急宣告請求，9 月 28 日核准田納西州的緊急宣告請求。FEMA 在 9 月 26 日，針對災區開設區域協調應變中心，並於佛羅里達州、北卡羅萊納州以及喬治亞州，分別派遣 6 個、4 個以及 2 個搜救隊伍，利用船艇與直升機，進行水上救援。此外，除了佛羅里達州有三個行動支援小組(Mobile Emergency Response Support, MERS)，喬治亞州、北卡羅萊納州以及田納西州亦均有一個行動應變支援小組，主提供受災地區關鍵的通訊、後勤和行動協調支援，包含(1)在災害摧毀當地通訊基礎設施的情況下，提供衛星、無線電、數據網絡以及其他通訊服務；(2)提供地理空間資訊分析以地圖繪製，進行災區監控，並透過無人機拍攝，進行災害評估。表 2 顯示 FEMA 協助聯繫動員聯邦層級相關單位部分，所支援應變之內容彙整[26]。

表 2 FEMA 協助聯繫動員聯邦層級相關單位之應變作為彙整
 (資料來源：FEMA)[26]

單位類別	單位名稱	災害應變作為
政府機關	海岸警衛隊 (United States Coast Guard, USCG)	約 8,000 人力，派出船隻及飛機協助搜救活動
	陸軍工程兵團 (United States Army Corps of Engineers, USACE)	設置六個行動小組，包含兩個提供臨時緊急電源的團隊，協助各州進行基礎設施評估
	衛生與公眾服務部 (United States Department of Health and Human Services, HHS)	佛羅里達州與喬治亞州各設置醫療補助服務中心，並對公共衛生與醫療保健基礎設施評估
	能源部 (United States Department of Energy, DOE)	派遣州層級的緊急作業小組，以因應能源相關之災害應變工作
	環境保護署 (Environmental Protection Agency, EPA)	負責與聯邦、州、地方以及部落合作夥伴密切合作，以確保供水系統、關鍵設施維護、公共衛生，以及環境保護
民間單位與非營利合作夥伴	城市搜救 (National Urban Search & Rescue, US&R)	向受災害影響的各州部署了總共 14 支團隊，計約 940 名人員，主要提供快速水上救援
	美國紅十字會 (American Red Cross, ARC)	動員 9,400 名人力，支援約 130 個避難收容處所，包括避難收容處所營運及供餐
	救世軍 (Salvation Army)	提供收容處所供餐服務

3. 美國太空總署災難應變協調系統應變作為

為能夠緊急協助救災，美國太空總署災難應變協調系統(NASA Disasters Response Coordination System, DRCS)啟動作業[27, 28]，利用先進的地球觀測技術，蒐集、彙整以及產製即時、可操作以及可信賴的多種情資研判資訊，幫助現場救災人員掌握與了解災難的影響區域範圍，以利搶災部屬與援助工作。NASA 於 2024 年 6 月 13 日推出的 DRCS 新系統[29]，採用「One-NASA」方法，整合 NASA 之六個中

心專業知識，透過協調、參與以及相互學習，以便更有效地應對災害，系統可支援美國與世界各地的災難應變組織[30]。因此，當災難發生時，各部門單位組織(包含 FEMA、州與地方政府或非政府組織)，可根據 DRCS 系統之資訊，執行災害應變與災後重建工作，以減少生命與財產損失。NASA DRCS 系統於颶風海倫侵襲期間，產製的情資包含：圖 11(a)顯示為 DRCS 與美國地質調查局(USGS)合作，利用光學影像繪製颶風海倫侵襲期間的坡地災害地圖，圖 11(b)顯示為利用 Sentinel 1 SAR 分析的北卡羅來納州與南卡羅來納州部分地區之颶風海倫洪水影響範圍，圖 11(c)顯示為可用於辨識城市、火災以及船隻等之颶風海倫期間夜間燈光衛星影像，圖 11(d)顯示為颶風海倫期間可用於分析土地覆蓋變化、大面積洪水、嚴重道路損壞或城市重大變化之植生指標 NDVI 衛星圖資[31]。

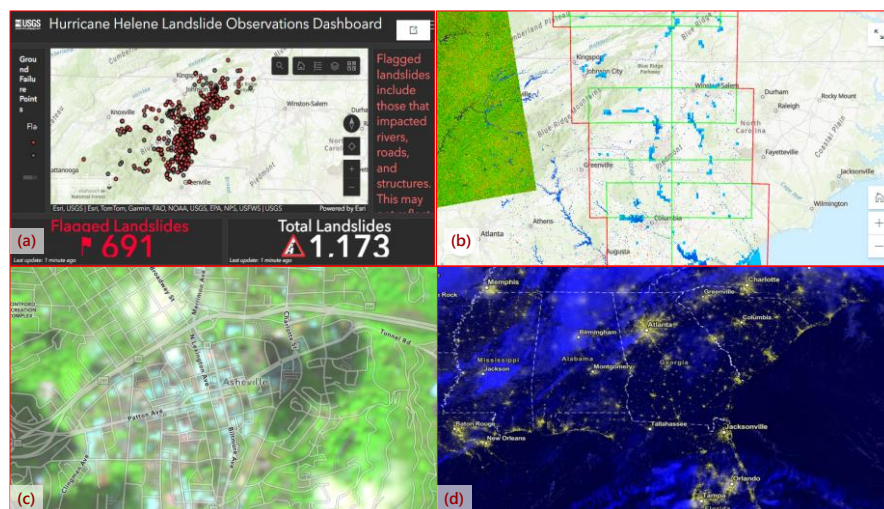
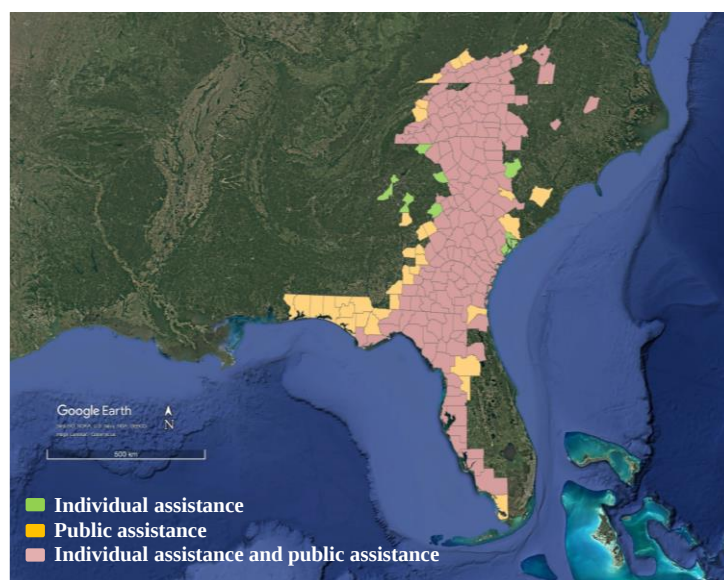


圖 11 NASA DRCS 系統於颶風海倫侵襲期間的多種情資
(資料來源：NASA)[31]

4. 災後復原

在災後復原方面，FEMA 提供災後經濟援助(包含個人與公共援助)，圖 12 顯示為六個州受災的區域範圍[25]；截至 10 月 16 日止，FEMA 批准了 9.11 億美元的救災資金，其中 5.81 億美元用於個人與社區援助，3.3 億美元則使用於公共救災援助，以保護公眾健康與安全[32]。此外，FEMA 災難復原中心(Disaster Recovery Center)則開設在受影響的社區，為倖存者提供現場援助[32]。至災後約 1 個月時間，截至 10 月 27 日，北卡羅來納州開放約 21 個災難復原中心，受影響地區 99% 的客戶已恢復電力服務。截至 10 月 28 日，對於受海倫影響的社區，FEMA 已提供超過 1,100 萬份餐點與 960 萬公升水，長期災後復原工作仍持續進行著[33]。



資料來源：<https://www.fema.gov/disaster/current/hurricane-helene>

圖 12 可向 FEMA 申請經濟援助的受災區域
(資料來源：FEMA)[25]

五、 結論

2024 年 9 月 26 日至 28 日，美國東南部地區遭受四級颶風海倫之衝擊，造成強風、強降雨、風暴潮、洪水以及坡地災害。位於墨西哥灣的極端異常高海溫，成為颶風海倫迅速成長之能量，帶來北卡羅來納州約有十幾個降雨觀測站之三天累積降雨量打破過去歷史記錄。創紀錄降雨加上崎嶇地形與土壤含水量高的情況下，加劇了洪水災情，並導致多條河川之洪水高度打破過去歷史洪水位記錄。此外，颶風海倫亦帶來創紀錄之風暴潮災害，佛羅里達州的許多地區遭遇了有史以來最嚴重的風暴潮，約有六個沿海潮位打破過去歷史潮位記錄。颶風海倫導致至少 232 人死亡，成為自 2005 年颶風卡崔娜，最致命之颶風。政府進行許多災害應變作為，為災區提供財政援助，並持續進行著長期災後復原工作。

六、 參考文獻

1. 歐盟緊急應變協調中心, ERCC
<https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Echo-Flash#/daily-flash-archive/5175>
2. 美國國家海洋暨大氣總署, NOAA
https://www.nhc.noaa.gov/archive/2024/HELENE_graphics.php
3. 歐盟緊急應變協調中心, ERCC
<https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Echo-Flash#/daily-flash-archive/5180>
4. 國國家氣象局, NWS
<https://www.weather.gov/ohx/hurricanehelene>

5. Newsweek
<https://www.newsweek.com/nasa-hurricane-helene-rainfall-map-flooding-cyclones-1962113>
6. 北卡羅來納州氣候辦公室
<https://climate.ncsu.edu/blog/2024/09/rapid-reaction-historic-flooding-follows-helene-in-western-nc/>
7. 美國國家海洋暨大氣總署, NOAA
<https://water.noaa.gov/>
8. MSN 氣象
<https://www.msn.com/en-us/weather/topstories/these-six-places-saw-their-worst-storm-surge-ever-during-helene/ar-AA1rmNvz>
9. 美國國家海洋暨大氣總署, NOAA
<https://tidesandcurrents.noaa.gov/inundationdb/cidstorm.html?stormname=Helene>
10. 歐盟緊急應變協調中心, ERCC
<https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Echo-Flash#/daily-flash-archive/5182>
11. ABC News
<https://abcnews.go.com/US/live-updates/hurricane-helene/?id=113931821>
12. Guy Carpenter
https://www.guycarp.com/content/dam/guycarp-rebrand/insights-images/2024/09/Hurricane_Helene_Post_Event_Report_9_30_24_part_1.pdf
13. 美國國家航空暨太空總署, NASA
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/153416/flash-floods-swamp-north-carolina>
14. 美國國家航空暨太空總署, NASA
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/153390/hurricane-helene-stirs-up-gulf-coast-waters>
15. CNN
<https://edition.cnn.com/2024/10/05/us/helene-death-toll-rises-saturday/index.html>
16. Farm Policy News
<https://farmpolicynews.illinois.edu/2024/10/hurricane-helene-causes->

billions-in-ag-damage/

17. The Fiscal Times
<https://www.thefiscaltimes.com/2024/10/03/Hurricane-Helene-Damages-Could-Top-250-Billion-Analysts-Say?amp=>
18. 美國國家航空暨太空總署, NASA
<https://podaac.jpl.nasa.gov/DataAction-2024-10-03-The-warm-waters-in-the-Gulf-of-Mexico-helped-fuel-Hurricane-Helene>
19. World Weather Attribution
<https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-key-driver-of-catastrophic-impacts-of-hurricane-helene-that-devastated-both-coastal-and-inland-communities/>
20. Guy Carpenter
<https://www.guycarp.com/insights/2024/10/hurricane-helene-post-event-report-part-2.html>
21. 加拿大廣播公司
<https://www.cbc.ca/news/science/hurricane-helene-science-1.7339012>
22. 北卡羅來納州氣候辦公室
<https://climate.ncsu.edu/blog/2024/09/rapid-reaction-historic-flooding-follows-helene-in-western-nc/>
23. 美國國家氣象局, NWS
<https://x.com/nwsnwc/status/1841895926241059204/photo/1>
24. USAGov
<https://www.usa.gov/hurricane-helene>
25. FEMA
<https://www.fema.gov/disaster/current/hurricane-helene>
26. FEMA
https://assets.noviams.com/novi-file-uploads/frwa/eNews/FEMA__Advisory_FEMA.pdf
27. 美國太空總署, NASA
<https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/disasters/disasters-activations/hurricane-helene-2024>
28. 美國太空總署災難應變協調系統, NASA DRCS
<https://maps.disasters.nasa.gov/arcgis/apps/MinimalGallery/index.ht>

ml?appid=7ebd3c6cfc64472e81a6188249b9e0d5

29. 美國太空總署, NASA
<https://science.nasa.gov/earth/natural-disasters/nasa-announces-new-system-to-aid-disaster-response/>
30. 美國太空總署, NASA
<https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/disasters/disasters-response-coordination-system>
31. 美國太空總署, NASA
<https://maps.disasters.nasa.gov/arcgis/apps/storymaps/stories/9b95cee9d5534b8d8d3f8ef73f551300>
32. The White House
<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/10/16/fact-sheet-biden-harris-administration-approves-nearly-2-billion-for-hurricane-response-and-recovery-efforts/>
33. The White House
<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/10/28/fact-sheet-one-month-following-hurricane-helene-biden-harris-administration-spearheads-ongoing-recovery-efforts-and-support-for-survivors/>