



2021

天然災害紀實

NATURAL DISASTER YEARBOOK

2021

天然災害紀實

NATURAL DISASTER YEARBOOK

國家災害防救科技中心

主任序言

國際間的 COVID-19 疫情在 2021 年持續延燒各地，但是極端氣候造成的衝擊並沒有減緩下來；7 月份西歐洪水災害事件，其災害範圍橫跨德國、荷蘭、比利時等國家，沿著萊茵河 (Rhine)、默茲河 (Meuse)、阿爾河 (Ahr) 流域的許多城鎮，都被洪水淹沒，總共造成 242 人死亡。中國河南省鄭州 7 月中，連續數天受到大範圍暴雨的侵襲，其中 7 月 20 日下午降下了破紀錄的每小時 201.9 毫米雨量，市中心的京廣北路隧道、五號線地鐵的沙口路站等，都灌進了大洪水，多人受困，災損嚴重。日本靜岡縣熱海市，同樣在 7 月初，因為鋒面過境，多日連續降雨，72 小時的累積雨量高達 409.5 毫米，超過了當地的 72 小時雨量的歷史紀錄，導致在 7 月 3 日上午發生了土石流災害，大量的雨水夾帶崩塌的土石快速的流經人口與建物密集的地區，瞬間帶走 27 人的生命。發生在海地規模 7.2 的地震，震央在首都太子港西側的 Nippes 城鎮，傷亡慘重，死亡人數高達 2,200 餘人。

對臺灣經歷的天然災害而言，最受關注的是乾旱事件，因為 2020 年沒有颱風直接登陸臺灣，其他冬雨及汛期期間的降雨事件，並沒有帶來太多的雨水，全年度的降雨極度的偏少，導致 2020 年的初冬就出現了旱象，於是 2020 年 10 月 14 日，經濟部馬上成立了旱災中央災害應變中心，應對水情的變化。

緊接著 2021 年的春雨季節期間，沒有明顯的降雨現象，石門水庫更在 5 月時節，水位歷線低於嚴重的下限指標，西臺灣從桃園到高雄，陸續亮起了橙色、紅色的水情燈號，中央災害應變中心即時宣布進行減量供水、分區供水等各項措施，以因應嚴峻的水情。科學園區用水也告急，相繼被要求節水達到 13%；乾旱影響農業稻作停灌面積超過 9 萬公頃。在這過程災害應變中心提出多省水、多調水、多找水等多項措施，因應嚴峻的缺水危機。慶幸的，6 月的彩雲颱風及 0604 豪雨，降下了及時雨，也同時幫忙解除了旱象的危機。

面對各種類型的天然災害，最難的就是出乎預料之外的事件。中國鄭州水災、日本熱海土石流災害、美國南方的德州出現冰封的世界、臺灣的明霸克露橋斷橋等事件，都是預料之外。如何在災害發生之前，投入各項監測設備，利用科技力量協助搶救災人員，加快救援速度，防止二次災害等，是防災人員需要持續投入的課題，才能夠讓防災的工作真正落實在災害應變的各個面向。■

陳宏宇

2022 年 3 月

2021

國家災害防救科技中心
天然災害紀實

003



Introduction

003 主任序言

Part 1 | Global Disaster Situation

006 全球災害概述

007 2021 年全球災害現象回顧

008 2021 年天然災害特性統計

Part 2 | Taiwan Disasters

012 臺灣災害篇

014 颱風及豪雨事件

028 2020-21 旱災歷程與應變

Part 3 | Special Report

036 特別企劃

036 西歐洪水災害紀錄

CONTENTS

圖說 ① | ② | ③

① 2021 年 7 月 18 日，救援人員穿過德國北萊茵—西發利亞邦的巴特明斯特艾費爾 (Bad Muenstereifel) 市中心，市區街道滿目瘡痍 (資料來源：AP/ 達志影像授權提供)

② 2021 年 7 月 5 日，日本靜岡縣熱海市土石流源頭照片 (資料來源：AP/ 達志影像授權)

③ 2021 年 8 月 16 日，海地地震後，受傷民眾在醫院外面接受緊急醫療照顧 (資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供)



Part 4 | Flood Disasters

046 颶洪災害篇

- 048 印尼與東帝汶洪災
- 052 氣旋陶特侵襲印度
- 058 中國河南省鄭州洪災
- 064 日本靜岡縣熱海市土石流災害
- 070 颶風艾達侵襲美國
- 073 尼泊爾與印度洪災
- 076 中國山西省洪災
- 080 加拿大英屬哥倫比亞省洪災

Part 5 | Other Disasters

086 其他災害篇

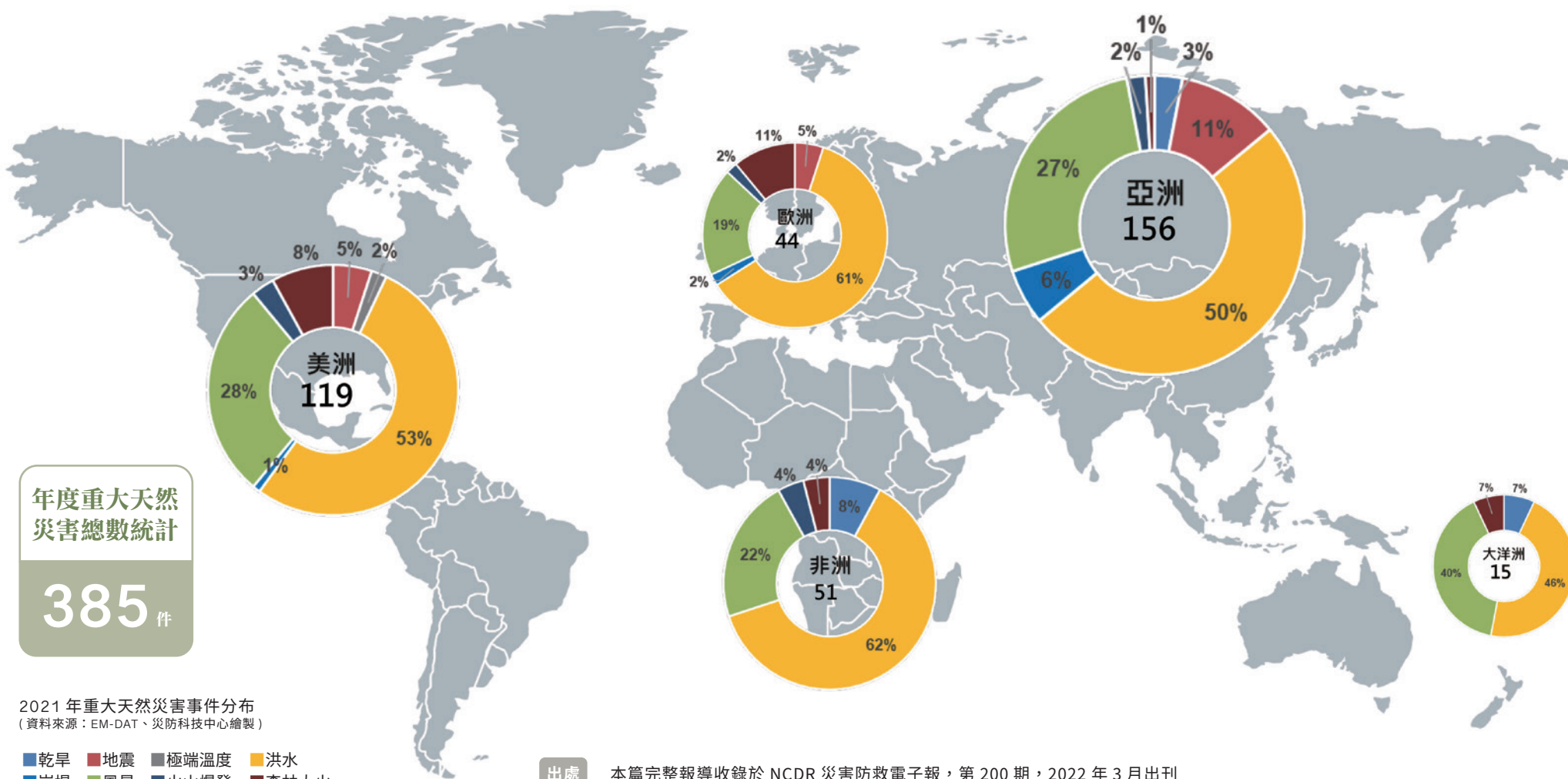
- 088 美國德州寒害
- 094 海地規模 7.2 地震
- 098 北美極端高溫
- 101 美國龍捲風災害

Conclusion

104 總 結

2021 全球災害概述

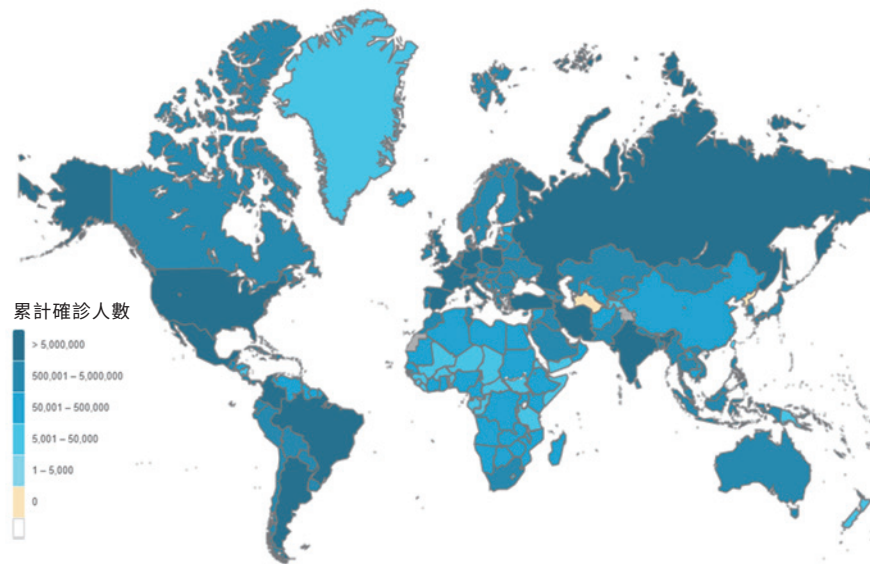
Global Disaster Situation



2021 年全球災害現象回顧

新冠肺炎疫情依然嚴峻

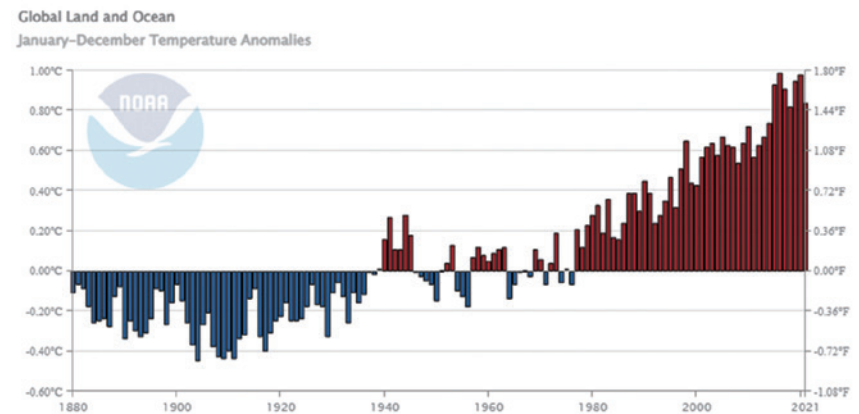
從2020 年起至今，經歷 2 年之久，全球仍然壟罩在新冠肺炎 (COVID-19) 疫情下，隨著病毒變種，疫情持續升溫擴散，根據世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 統計資料，截至 2021 年 12 月 31 日，全球累計 2 億 8,689 萬人受到感染，比起 2021 年度大幅增加 2 億 403 萬人，其中 543 萬人死於新冠肺炎，比起 2021 年度增加 362 萬人。美國仍然是染疫個案最多國家，累計 5,453 萬人，第二為印度累計 3,489 萬人染疫，第三為巴西累計 2,229 萬人。因疫情死亡人數統計：美國 82 萬人排序第一，其次為巴西 62 萬人，印度 48 萬人排序第三。染疫與死亡案例的前三位排序同 2020 年。



2021 年新冠肺炎確診人口數分布 (資料來源：WHO)

全球溫度變化劇烈

根據美國國家海洋及大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 全球氣候報告顯示：1880 年以來，2021 年的全球溫度是歷史排名第六高溫，主要受到反聖嬰現象 (La Niña) 影響，全球略為降溫；而 2021 年 2 月溫度是 2014 年以來最冷的 2 月；另外，北美洲、南美洲、歐洲和亞洲全年溫度高於平均溫度，但部分月份溫度低於歷史紀錄，顯示變化劇烈。舉例來說：美國夏威夷年均溫度是 2012 年以來最冷一年；亞洲 1 月是 2012 年以來最冷的 1 月；西歐和中歐 2021 年 4 月經歷寒冷氣溫，部分地區創下歷史最低溫，斯洛維尼亞 (Slovenia) 4 月溫度是近百年來最冷的月份；非洲 2021 年高溫在過去 112 年中排行第三熱。

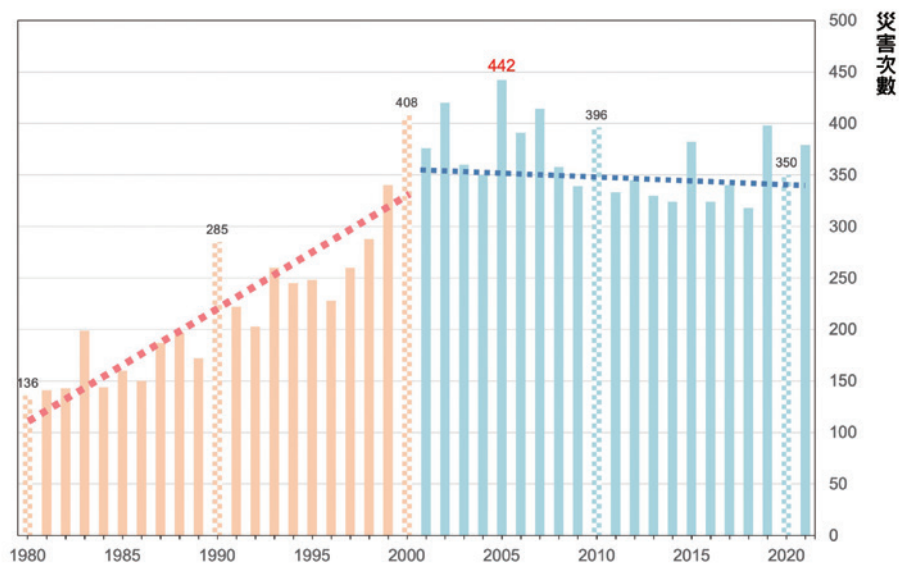


1880 年至 2021 年全球溫度距平圖 (資料來源：NOAA)

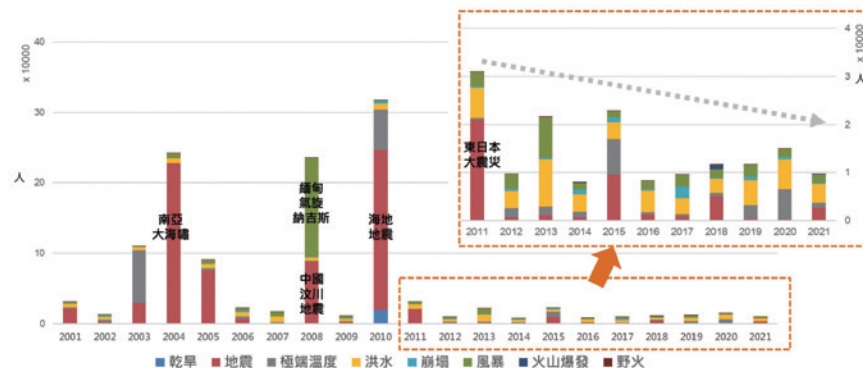
2021 年天然災害特性統計

根據國際災害資料庫 (Emergency Events Database, EM-DAT) **統計資料**，2021 年**重大天然災害事件**共有 385 筆，維持在近 20 年平均值範圍，無特別嚴重情形，總共造成 9,830 人死亡，為近年來相對較少的數字，另外有 7,075 萬人受到災害的影響。385 筆統計資料中，亞洲仍是災害事件最多地區，美洲次之。洪水災害是各洲中主要災害，其次為風暴。乾旱集中於亞洲與非洲。

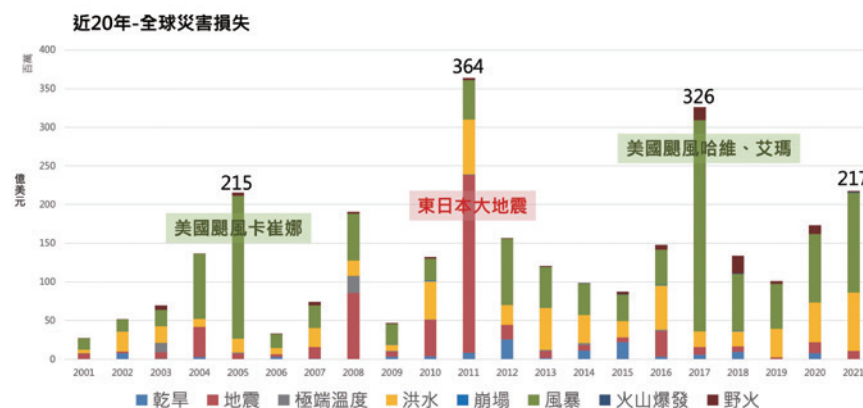
統計災害損失達 2,174 億美元，是近 20 年來排名第三高，主要是多場**風暴**及洪水所造成的災害損失，僅次於 2011 年（主要是東日本大震災）及 2017 年（主要是美國颶風哈維、艾瑪）。



1980 年至 2021 年天然災害事件次數統計（資料來源：EM-DAT；繪製：災防科技中心）



2001 年至 2021 年災害死亡統計（資料來源：EM-DAT；製圖：災防科技中心）



2001 年至 2021 年災害損失統計（資料來源：EM-DAT；製圖：災防科技中心）

註 EM-DAT 取得資料時間為 2022 年 1 月 18 日。

註 EM-DAT 收錄重大災害事件標準包括：1. 死亡人數超過 10 人（含）以上；2. 受影響人數／受傷人數超過 100 人（含）以上；3. 國家宣布緊急狀態或呼籲國際援助；當上述災害事件標準缺漏時，會考量次要標準，包括重大災害或重大損失等關鍵字。

註 EM-DAT 風暴災害包括：颱風、颶風、氣旋、龍捲風、沙塵暴、冬季風暴（暴風雪）和風暴潮等。

TOP10 災害統計

人員死亡 Top10

統計 2021 年因災害造成死亡事件中，8 月 14 日海地地震，造成 2,207 人罹難，是死亡最嚴重的事件；其次為印度洪水，造成 1,083 人死亡；第三為加拿大 6 月底至 7 月的熱浪，造成 808 人喪生。另外印度北阿坎德邦 (Uttarakhand) 發生冰川潰決 (Glacial Lake outburst) 災害較為少見，導致 234 人喪生，在前十大死亡人數事件中排序第 7。

2021 年全球天然災害統計：依死亡人數排序 (資料來源：EM-DAT)

No.	時間	國家	致災類型	死亡人數
1	8/14	海地	地震	2,207
2	6/1-9/30	印度	洪水	1,083
3	6/26-7 月	加拿大	極端天氣—熱浪	808
4	12/16-12/17	菲律賓	颱風—雷伊 (Rai)	384
5	6/1-8/30	中國	洪水	352
6	7/28-7/29	阿富汗	洪水	260
7	2/7-2/8	印度	冰川潰決	234
8	1/31-9/30	美國	極端天氣—熱浪	229
9	4/2-4/6	印尼	氣旋—塞洛亞 (Seroja)	226
10	7/12-7/15	德國	洪水	205

註 資料來源：海地民防保護局 (Civil Protection Agency)。

經濟損失 Top10

2021 年災害總損失，比 2020 年高 44 億美元。損失第一為影響美國的颶風艾達 (Ida)；排名第二為西歐洪災事件，且德國又是損失最嚴重的國家，損失金額達 400 億美元；排名第三是美國 2 月的冬季風暴，造成約 300 億美元損失。排名第四至第十依序是：中國河南鄭州洪災損失 165 億美元；日本福島縣地震 77 億美元；加拿大洪災 75 億美元；美國龍捲風 52 億美元；美國風暴 31 億美元；印度亞斯 (Yaas) 氣旋 30 億美元；澳洲洪水 21 億美元。

2021 年前二名災害造成經濟損失事件，颶風艾達和西歐洪災，係 EM-DAT 有紀錄以來，排名在前十之內的重重大經濟損失事件。

2021 年全球天然災害統計：依經濟損失排序 (資料來源：EM-DAT)

No.	時間	國家	致災類型	經濟損失 (億美元)
1	8/28-9/2	美國	颶風—艾達 (Ida)	650
2	7/12-7/15	德國	低壓風暴—貝恩德 (Bernd)	400
3	2/10-2/20	美國	冬季風暴	300
4	6/1-8/30	中國	洪水	165
5	2/13-2/13	日本	地震	77
6	11/13-11/16	加拿大	洪水	75
7	12/10-12/11	美國	龍捲風	52
8	4/27-5/2	美國	風暴	31
9	5/25-5/29	印度	氣旋—亞斯 (Yaas)	30
10	3/18-3/19	澳洲	洪水	21

影響人數 Top10

前 10 大災害影響人數統計，以乾旱事件為最大宗，影響國家包括：阿富汗、伊拉克、索馬利亞、衣索比亞、敘利亞、伊朗和肯亞，影響人數高達各國人口總數的八成，這些地區的乾旱伴隨嚴重的糧食短缺與飢荒問題。其餘為中國河南洪水、菲律賓颱風雷伊和中國 10 月山西洪水。■

2021 年全球天然災害統計：依災害影響人數排序（資料來源：EM-DAT）

No.	時間	國家	致災類型	影響人口數 (萬)
1	1/1-4/30	阿富汗	乾旱	1,100
2	1/1-8/27	伊拉克	乾旱	700
3	3/1-11/30	索馬利亞	乾旱	560
4	5/1-8/31	衣索比亞	乾旱	550
5	1/1-10/31	敘利亞	乾旱	550
6	6/1-8/30	中國	洪水	450
7	12/16-12/17	菲律賓	颱風—雷伊 (Rai)	360
8	1/1-8/31	伊朗	乾旱	258
9	3/1-6/30	肯亞	乾旱	210
10	10/2-10/7	中國	洪水	176





2021

國家災害防救科技中心
天然災害紀實

2021年12月18日，龍捲風肆虐美國肯塔基州的梅菲爾德，當地糧倉受強風破壞
(資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供)

臺灣災害篇

TAIWAN DISASTERS

Part

2





- 颱風及豪雨事件
- 2020-21 旱災歷程與應變



高雄市桃源區明霸克露橋在 8 月 7 日下午，遭玉穗溪土石流沖毀，甲仙工務段派員於現場緊急搶修便道（資料來源：災防科技中心）

颱風及豪雨事件



出處

本篇完整報導收錄於 NCDR 業務報告

圖說

0806 豪雨導致南投縣仁愛鄉武界壩上游左岸山壁發生崩塌，土石崩落掩蓋新武界隧道出入口（資料來源：災防科技中心）

臺灣在 2021 年遭遇了 8 場颱風災害事件，依序為：「彩雲颱風」、「0604 及 0606 豪雨」、「0620 豪雨」、「烟花颱風」、「0730 豪雨」、「盧碧颱風及 0806 豪雨」、「璨樹颱風」、「圓規颱風及 1013 豪雨」等。2021 年影響臺灣的颱風路徑如下圖所示。

彩雲颱風無造成重大災害；而 0604 及 0606 豪雨事件降雨集中在雙北與高雄地區，全臺農業產物損失約 5,580 萬元；0620 豪雨事

件降雨主要在中南部地區，全臺農業產物損失約 7,581 萬元。烟花颱風降雨發生在北部地區，全臺有零星災情，農業產物損失約 1,685 萬元；0730 豪雨事件影響期間，臺南與高雄傳出較多之積淹水災情。盧碧颱風與 0806 豪雨在臺灣西南部地區降下連日大雨，至少造成 362 處淹水災點，87 處坡地災點，其中包括明壩克露斷橋事件；全臺農業產物及民間設施損失高達 7 億 4,243 萬元。璨樹颱風降雨分布在東部

與北部，以新竹縣尖石鄉秀巒村崩塌災害最為嚴重，全臺農業產物損失約 244 萬元。圓規颱風及 1013 豪雨事件之降雨，則集中在花東地區，花蓮市區傳出淹水災情，全臺農業產物及民間設施損失約 7,691 萬元。

由災害紀錄可知，盧碧颱風與 0806 豪雨為今年最嚴重之災害事件，以下詳細介紹其發展始末及災損，其餘事件災害規模較小，則摘要說明重點災情。

盧碧颱風及 0806 豪雨

氣象分析

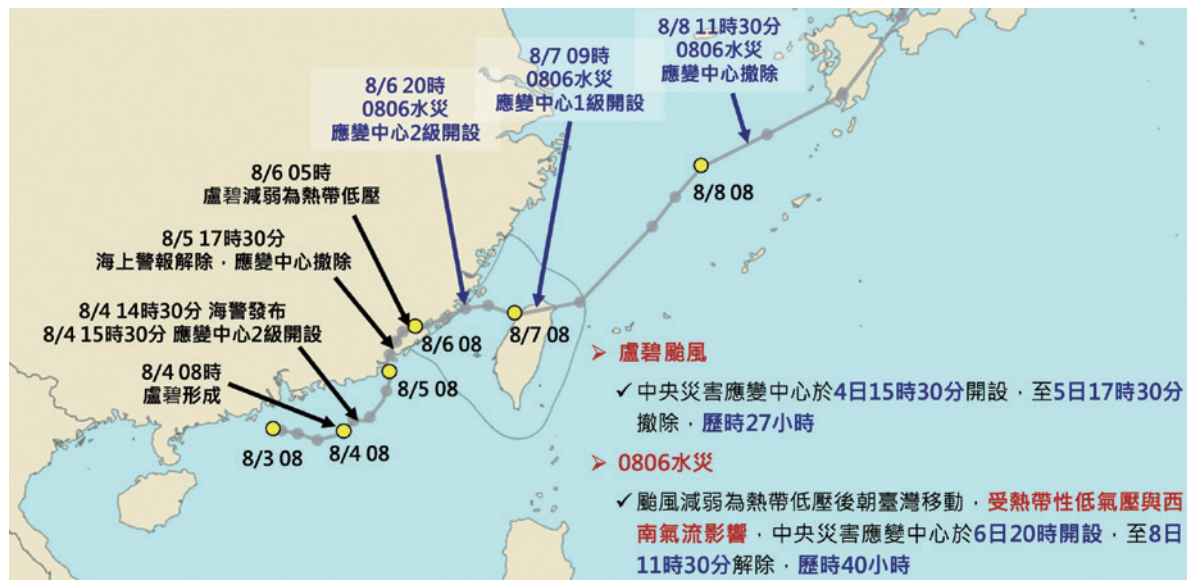
大氣環境場分析及應變歷程

時序進入 8 月後，臺灣仍處在一個東亞季風低壓的大氣環境，使得熱帶系統的發展也變得較為活躍。廣東外海的熱帶性低氣壓於 8 月 4 日 8 時增強形成第 9 號盧碧颱風（國際命名 LUPIT），對臺灣的天氣有顯著影響。

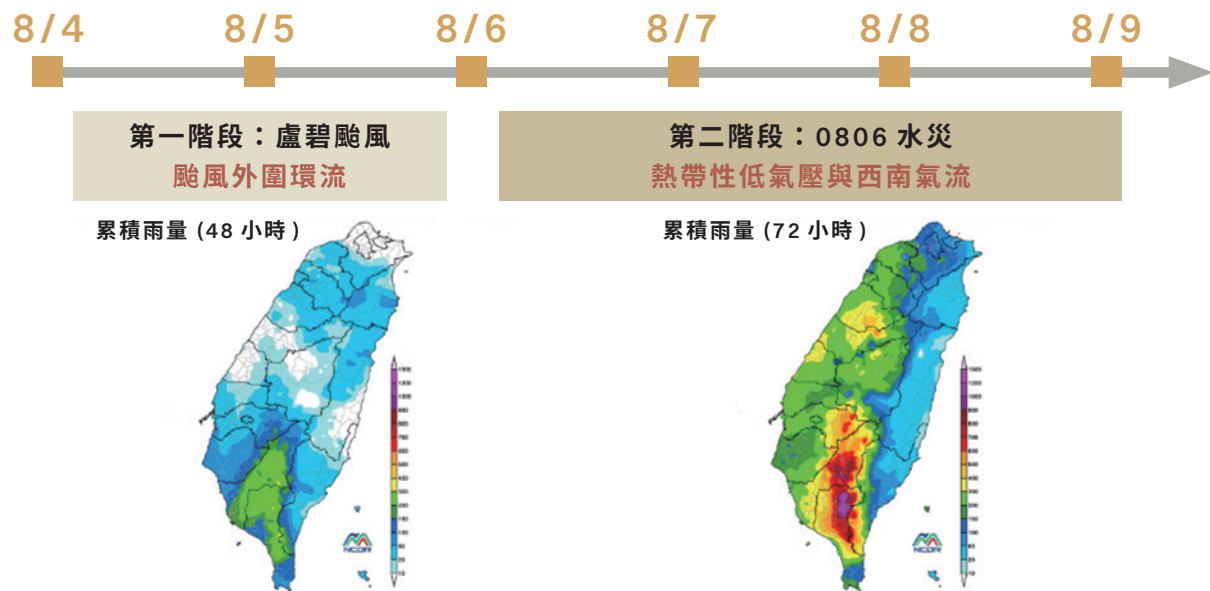
盧碧颱風生成後，交通部中央氣象局（後簡稱氣象局）於 8 月 4 日 14 時 30 分發布海上颱風警報。8 月 5 日中午，盧碧颱風登陸中國廣東省，並在地形的影響下開始減弱，17 時 30 分解除颱風警報，總計海上颱風警報歷時 27 小時。緊接著發生的低壓外圍環流，以及



2021 年影響臺灣的颱風路徑圖（註：有發布颱風警報事件。資料來源：Digital Typhoon；製圖：災防科技中心）



盧碧颱風及 0806 豪雨事件之應變歷程 (製圖：災防科技中心)



盧碧颱風及 0806 豪雨事件影響歷程及降雨分布 (製圖：災防科技中心)

環境西南風於西南部地區所造成之降雨，為主要災害的原因。

降雨分析

盧碧颱風及 0806 豪雨事件，主要是受到西南風增強，引進西南氣流，降雨影響臺灣長達 5 天，降雨主要分布在臺南、高雄和屏東沿海地區。

其中高雄市茂林區於 8 月 5 日的累積雨量 268.5 毫米已達豪雨等級；8 月 6 日的最大日雨量出現在高雄市桃源區 (375.5 毫米)，達大豪雨標準；8 月 7 日在屏東縣三地門鄉更出現超大豪雨等級的降雨，日雨量高達 871.5 毫米。

離島的連江縣南竿鄉 8 月 6 日至 8 月 7 日的累積雨量達 347 毫米，更是當地少見的劇烈降雨事件。

統計豪雨事件累積雨量排名前 10 的測站都位於西南部山區 (見下頁表)，以屏東縣三地門鄉上德文測站 (C1R120) 的 1,060 毫米為首，其後依序為屏東縣三地門鄉尾寮山測站 (C0R100) 的 1,052 毫米以及屏東縣瑪家鄉瑪家測站 (C0R140) 的 1,011.5 毫米，72 小時累積雨量皆超過 1,000 毫米。

第二階段 (8月6日至8日) 累積雨量排名表

排名	測站	縣市／鄉鎮區	雨量 (毫米)
1	上德文 (C1R120)	屏東縣三地門鄉	1,060.0
2	尾寮山 (C0R100)	屏東縣三地門鄉	1,052.0
3	瑪家 (C0R140)	屏東縣瑪家鄉	1,011.5
4	御油山 (C1V300)	高雄市桃源區	977.5
5	大漢山 (C0R440)	屏東縣春日鄉	944.0
6	新發 (C1V590)	高雄市六龜區	936.0
7	舊特武 (C0R600)	屏東縣泰武鄉	928.0
8	溪南 (特) (C1V580)	高雄市桃源區	914.5
9	藤枝 (C1V600)	高雄市桃源區	888.5
10	阿里山 (467530)	嘉義縣阿里山鄉	786.5

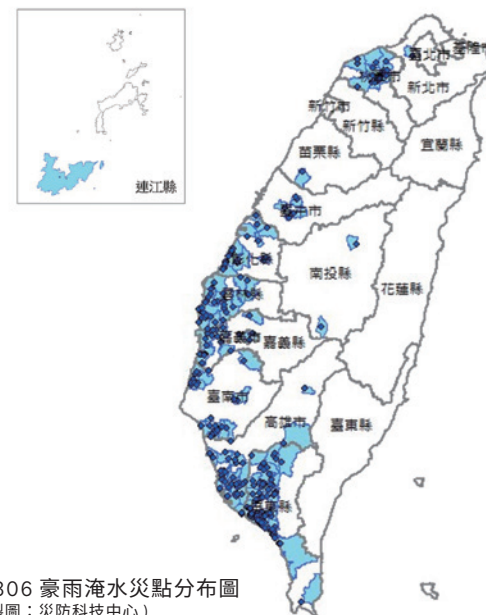
災害紀錄

淹水災害

彙整淹水災情紀錄，盧碧颱風期間 (8月5日) 共有 39 處淹水災點，分布於雲林、高雄和屏東等地。0806 豪雨期間 (8月6日至8月9日)，共有 323 處淹水災點，共影響臺灣西半部 14 個縣市，外島連江縣亦有淹水災情通報。重點淹水災害包括：高雄市大樹區、屏東縣新園鄉與萬丹鄉、嘉義縣布袋鎮、太保市等地。

屏東縣新園鄉

屏東縣新園鄉鹽埔村與共和村的魚塭位置如右圖所示，在豪雨事件中，有上百頃魚塭受損，養殖漁業流失，損失嚴重。根據現地勘查及訪談得知，鹽埔村、共和村魚塭位於高屏溪出海口東側，且位於堤防外之行水



0806 豪雨淹水災點分布圖
(製圖：災防科技中心)

縣市	災點數
臺北市	1
新北市	1
桃園市	23
苗栗縣	1
臺中市	5
南投縣	2
彰化縣	26
雲林縣	47
嘉義縣	21
嘉義市	3
臺南市	35
高雄市	43
屏東縣	110
連江縣	5



鹽埔村、共和村魚塭位置示意圖 (資料來源：災防科技中心)

區，8月7日因山區雨量過大致使高屏溪水位高漲，且適逢大潮，造成魚塭全泡在水中。高屏溪並無溢、潰堤情況。

屏東縣萬丹鄉

麟洛溪堤防在8月6日已出現裂縫。屏東縣水利處表示，麟洛排水堤防基礎遭淘空，致使護坡下滑，並經洪水冲刷，造成潰堤；8月7日晚間，堤防潰堤約60~70公尺，造成屏東縣萬丹鄉興全村興化廊附近農田、道路淹水，大水一度靠近村莊。

東港溪上游萬巒大橋水位站及潮州水位站，皆於8月7日下午超過2級警戒水位，可知當時東港溪水位高漲，造成麟洛溪無法即時排水入東港，而處於滿水位狀態，當麟洛溪潰堤後，河水即漫淹至興化廊附近農田。



麟洛溪堤防潰堤位置示意圖（資料來源：災防科技中心）

坡地災害

彙整行政院農業委員會水土保持局（後簡稱水保局）、交通部公路總局（後簡稱公路總局）的災情通報，以及新聞媒體報導，盧碧颱風及0806豪雨造成全臺共87處坡地災害。坡地災害發生於新竹以南各縣市，以高雄市的災點為最多，其次為苗栗縣、南投縣、屏東縣。道路災情主要分布在臺27線為最多；其中，又以高雄市桃源區之明霸克露橋斷橋事件為較嚴重災情，因盧碧颱風帶來的連日豪雨，造成荖濃溪溪水暴漲，沖毀位於臺20線南橫公路之明霸克露橋。重點坡地災害點位包括：高雄市桃源區與六龜區、南投縣仁愛鄉與國姓鄉、苗栗縣泰安鄉與大湖鄉、屏東縣來義鄉、彰化縣彰化市等地。

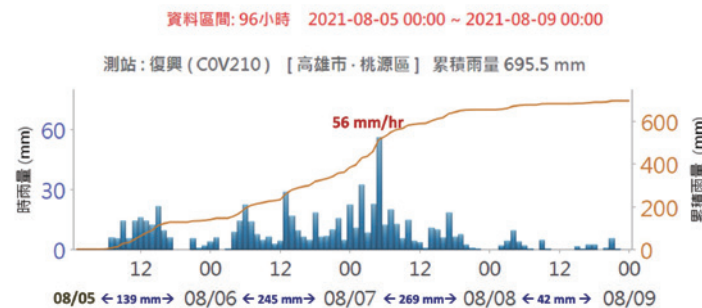


盧碧颱風及0806豪雨坡地災點分布圖（製圖：災防科技中心）

高雄市桃源區

位於高雄市桃源區之臺20線94K處的明霸克露橋，受盧碧颱風及西南氣流引致的超大豪雨影響，在8月7日約下午13時，遭玉穗溪衝出的大量溪水與土石沖毀，造成復興、拉芙蘭、梅山等3處聚落聯外交通中斷，形成孤島。下圖為復興測站(COV210)的雨量紀錄，8月5日累積雨量為139毫米；8月6日累積雨量為245毫米，居民表示當日晚上雨勢非常大；8月7日最大時雨量發生在早上5時，為56毫米，當日累積雨量為269毫米。8月8日雨勢稍緩，當日累積雨量為42毫米。

根據水保局判識結果，玉穗溪上游崩塌地估計有128.2公頃，而在明霸克露橋處的土石流沖積扇堆積量約為202萬立方公尺。玉穗溪集水區仍有約713萬立方公尺土方堆積在坡面與河道中。明霸克露橋從8月7日斷橋起，到8月25日便道搶通，交通受阻達18天。



復興測站於8月5日至8日之雨量歷線圖（資料來源：氣象局；製圖：災防科技中心）



南投縣仁愛鄉

仁愛鄉在 8 月 7 日早上因強降雨引發 2 起嚴重崩塌災害：法治村（武界部落）在武界壩左岸發生崩塌，大量土石從山壁崩落，淹沒新武界隧道出入口，使得投 71 線及投 83 線之間交通中斷；另外臺 14 線在人止關段，道路上邊坡崩塌，土石樹木阻礙臺 14 線交通。2 起災害接連發生，使濁水溪在武界壩上游至霧社水庫之間的重要聚落（萬豐、松林、親愛、萬大）對外交通更為困難。

武界崩塌的位置位於武界壩上游左岸山壁。參考武界測站 (C11030) 的雨量歷線資料可知，8 月 6 日開始受到低壓系統影響而降雨，傍晚雨勢增強，8 月 7 日進入降雨高峰，累積 295 毫米。由崩場地周邊交通與流域地質圖可知，崩場地地層為眉溪砂岩，由厚層細粒砂岩夾硬頁岩組成，本次崩塌點位則已劃入山崩與地滑地質敏感區。所幸前一天已提前封閉隧道，並無人員傷亡。投 83 鄉道及投 72 鄉道為濁水溪上游聚落主要聯外道路，這場崩塌使得上游聚落必須繞至臺 14 線才可進入埔里市區。



武界崩塌地周邊空拍（資料來源：災防科技中心）

離島災害

連江縣在這次事件中發生多處崩塌及積淹水災情，且又以北竿鄉災情較為嚴重。降雨資料是參考南竿鄉的馬祖測站 (467990) 資料，降雨集中在 8 月 6 日 12 時至 8 月 7 日 12 時，24 小時累積雨量達 293.5 毫米，已超越馬祖氣象站在 2004 年 9 月 9 日曾記錄到的最大日累積雨量 155 毫米。北竿主要災害地點包含：環島公路沿線邊坡崩塌、芹壁村中山國中邊坡崩塌、橋仔村碼頭民宅旁邊邊坡崩塌、白沙港風雨走廊側邊坡崩塌、塘岐村中正路淹水。

環島公路沿線邊坡崩塌

北竿鄉的環島路網由環島東路、環島北路及北竿大道 3 條主要道路構成，豪雨期間，主要道路上發生大小規模不等的邊坡崩塌將近 50 處，豪雨侵襲下造成花崗岩岩塊、風化土壤與泥流散布在道路上，嚴重阻礙通行。



北竿鄉災點分布情形（資料來源：(e) 公民回報；其他：災防科技中心）

北竿鄉全島為山坡地形，地質構造以花崗岩盤為主，岩盤上層覆蓋風化土層，雖有部分岩盤露出，但植被完整。本次致災主因為長延時降雨，大量雨水滲入風化土層及花崗岩的節理破裂面中，致使支撐力不足，因而發生邊坡淺層崩塌。

芹壁村中山國中邊坡崩塌

本次災害中，以緊鄰芹壁聚落的中山國中停車場崩塌最為嚴重，降雨沖刷國中停車場下邊坡，導致大量土石滑落，中山國中辦公大樓更因此地基裸露，坍方土石沖到芹壁聚落入口處，災時淤泥高度至少有 1.5 公尺，沖毀 11 輛汽機車。

災害衝擊

基礎設施

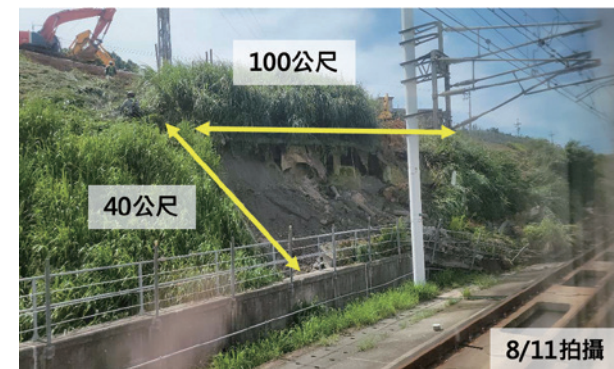
據內政部災害應變處置報告統計：盧碧颱風期間，有 6,861 戶停電、40 班海運停駛。而 0806 豪雨共造成 9.1 萬戶電力中斷、600 戶停水和 21 座基地台受損；水利設施受損共 15 處。省道有 14 處中斷和 4 處預警封閉；海運共 38 班停駛。

高鐵尤受豪雨影響，在高鐵 126 公里處，通霄鎮與三義交界的苗 37 線鄉道附近，因大雨導致邊坡滑動、土石入侵軌道，高鐵災害告警系統 (DWS) 於上午 8 時 7 分發布入侵偵測



芹壁聚落受災情形（資料來源：公民回報）

告警，緊急通知雙向 17 公里區間內列車減速至 0，並成立緊急應變中心 EOC，研判持續降雨恐造成崩塌有擴大之虞，而影響營運安全，因此，高鐵於同日 12 時暫停苗栗—臺中雙向運轉，進行搶修作業，並針對崩塌邊坡上方農路實施通行管制，防止附近居民人車誤入坍方區，亦於現場設置前進指揮所，即時監督工程。

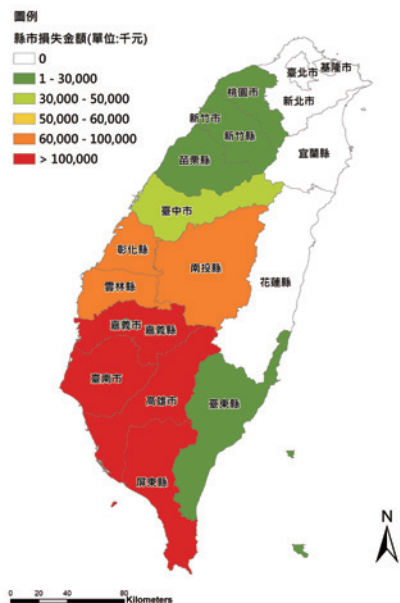


高鐵苗栗段邊坡崩塌情形（資料來源：防災科技中心）

農業災損

依據農委會公告，受 8 月上旬西南氣流豪雨影響，造成全臺農業產物及民間設施損失約 7 億 4,243 萬元（至 8 月 19 日 17 時止）。各縣市的農林漁牧業產物及民間設施損失受損金額分布情形如下圖所示。受損金額破億的縣市依序為：(1) 嘉義縣 1 億 2,532 萬元、(2) 屏東縣 1 億 1,434 萬元、(3) 高雄市 1 億 1,196 萬元、(4) 臺南市 1 億 537 萬元。

統計前五大受損農作物，農作物受損面積共 13,283 公頃，主要受損作物是木瓜，總受損



2021 年 8 月盧碧颱風及 0806 豪雨事件全臺農產災損分布（製圖：災防科技中心）

面積 870 公頃，損失金額 1 億 281 萬元，其次是芭樂、龍眼、火龍果及花生等。另外，漁產損失高達 9,501 萬元，主要是牡蠣損失 8,000 萬元。畜產損失約 849 萬元，主要受損畜禽是雞，約 10.4 萬隻，金額 460 萬元。民間設施損失約 2,108 萬元，包含：農田流失及掩沒約 1,404 萬元、農業設施損失 141 萬元、畜禽設施損失 3.5 萬元、漁業設施損失 560 萬元。

海岸災害

盧碧颱風影響臺灣期間，航行嘉義與澎湖之間的貨輪「山寶貳號」，於 8 月 5 日 15 時

在布袋港外堤岸邊擱淺，部分船身沒入海中，並無人員受傷。

商港人員表示，山寶貳號貨輪重 1,416 噸，吃水深度 3.9 公尺。山寶貳號在澎湖出港時，風力為 6 級；在準備進布袋商港時，風力為 7 級，均未達 500 噸以上船隻禁航標準（8 級）。因貨輪抵達布袋港時間，適逢布袋港處在乾潮時期，無法提供貨輪足夠的吃水深度，船隻動力最終不敵風浪推擠和潮位過低等不利因素，而擱淺於港堤邊。

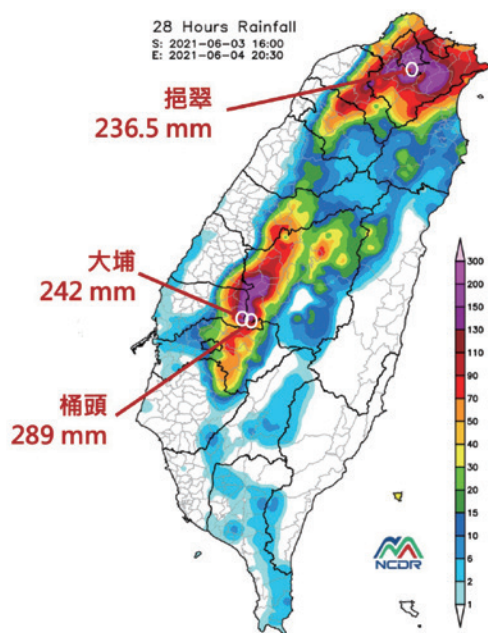


山寶貳號貨輪擱淺位置（資料來源：災防科技中心）

彩雲颱風與 0604 & 0606 豪雨

氣象分析

氣象局在 6 月 3 日 16 時發布彩雲颱風海上警報，23 時在鵝鑾鼻西南方海面上，逐漸轉東北方移動，在 23 時 30 分發布陸上颱風警報。6 月 4 日 17 時，彩雲暴風圈進入恆春半島，20 時減弱為熱帶性低氣壓，故氣象局於 20 時 30 分同時解除海上與陸上颱風警報。



06/03 16:00 – 06/04 20:30

彩雲颱風期間降雨分布圖
(資料來源：氣象局；製圖：災防科技中心)

彩雲颱風警報發布期間 (6 月 3 日 16 時至 6 月 4 日 20 時 30 分)，整場累積雨量前三名為：南投縣竹山鎮桶頭測站 (C11I131) 的 289 毫米、雲林縣古坑鄉大埔測站 (01J960) 的 242 毫米以及臺北市信義區挹翠測站 (A1AC70) 的 236.5 毫米。其中臺北市大安區在 6 月 14 日下午測得最大時雨量為 137.5 毫米。

災害紀錄

彩雲颱風

依據中央災害應變中心彩雲颱風應變專區的災情看板紀錄，截至 6 月 4 日 20 時計有 7,732 戶停電，無重大災害發生及人員傷亡。

0604 豪雨事件

統計經濟部水利署 (後簡稱水利署)、內政部消防署 (後簡稱消防署) 應變管理資訊雲端服務系統 (EMIC) 與內政部營建署 (後簡稱營建署) 的災點通報紀錄，以及各地淹水感知器資料顯示：0604 豪雨事件共有 545 處淹水災點，點位集中分布在臺北市 (484 處) 與新北市 (57 處)。鄉鎮 (市區) 淹水災點通報數中，以臺北市的信義區 (227 處)、文山區 (87 處) 與大安區 (65 處) 最多。

臺北市道路積淹水較嚴重路段包含：信義

區車行地下道、忠孝東路及松仁路口、文山區興隆路三段、大安區延吉街 241 巷。

0606 豪雨事件

0606 豪雨事件共通報 208 處淹水災點，集中分布在高雄市 (107 處)、屏東市 (35 處) 以及臺南市 (34 處)。鄉鎮 (市區) 淹水災點通報筆數中，又以高雄市的前鎮區 (25 處)、大寮區 (15 處)、林園區 (13 處) 為最多。

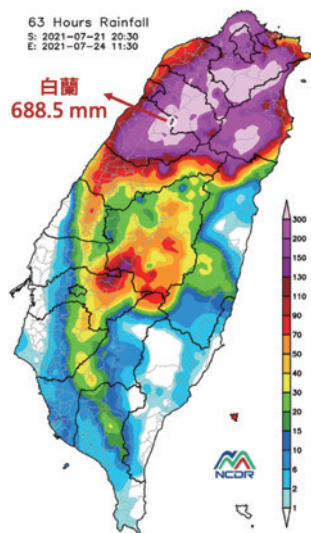
水情影響

由於正處於抗旱階段，降雨及水庫水量在這段時間內特別受到關注。本次豪雨及彩雲颱風外圍環流為臺灣帶來豐沛雨量，根據水利署統計資料顯示，本次降雨於各地水庫集水區的降雨效益約 17,000 萬噸，其中臺北翡翠水庫約 4,200 萬噸、桃園石門水庫約 900 萬噸、新竹寶山及寶山第二水庫約 180 萬噸、苗栗永和山水庫 120 萬噸、臺中鯉魚潭及德基水庫約 1,750 萬噸、南投日月潭及霧社水庫約 1,100 萬噸、臺南南化水庫約 2,500 萬噸、曾文及烏山頭水庫約 4,100 萬噸，明顯進水使水庫蓄水水位回升，有效改善原有旱象。因此，旱災中央災害應變中心於 6 月 6 日取消苗栗、臺中與北彰化地區嚴格的供 5 停 2 分區供水措施。

烟花颱風

氣象分析

氣象局在7月21日20時30分發布海上颱風警報，22日在宮古島南方海域緩慢轉北北西移動。24日凌晨，烟花颱風中心通過宮古島近海，暴風圈掠過臺灣東北海域，於同日11時30分解除海上颱風警報。烟花颱風警報期間(7月21日20時30分至24日11時30分)的累積雨量如下圖所示，降雨集中在北北基宜及桃竹苗地區，最大累積雨量為新竹縣五峰鄉白蘭測站(C1D410)的688.5毫米。據中央災害應變中心統計，烟花颱風最多造成23,394戶停電，無人員傷亡。



烟花颱風海上颱風警報期間累積雨量分布圖
(資料來源：氣象局；製圖：防災科技中心)

災害紀錄

依據水利署、消防署 EMIC 與營建署的災情通報，以及淹水感知器紀錄，烟花颱風共有33處淹水災點，近全數分布在新北市(15處)、臺北市(6處)與桃園市(10處)。另外，新竹、苗栗出現零星道路邊坡崩塌狀況。

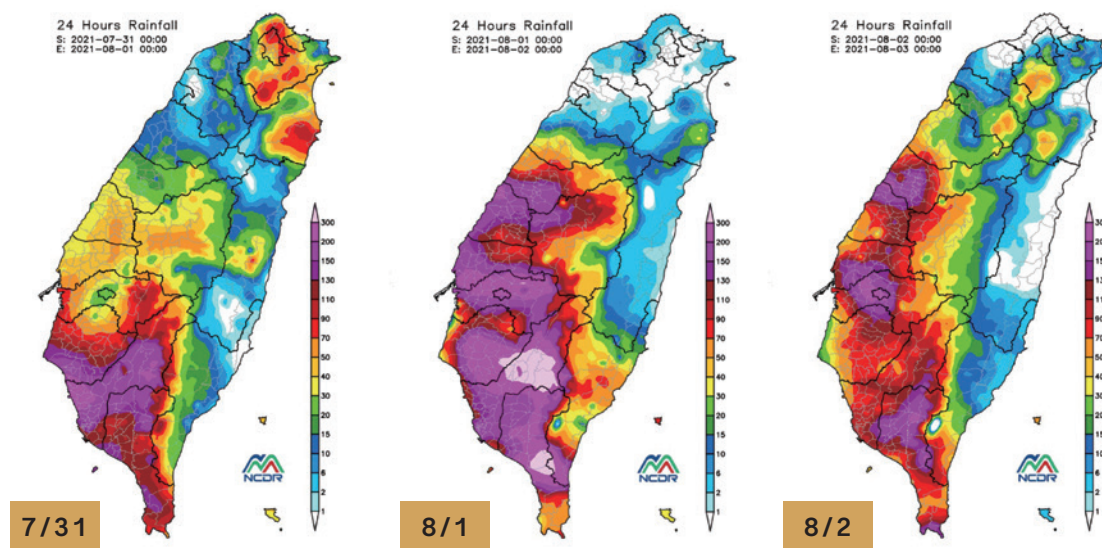
0730 豪雨

氣象分析

7月30日至8月3日，臺灣受西南風與低壓帶影響，中南部地區有較大降雨發生。

7月30日，西南風增強，中南部地區出

現陣雨或雷雨。7月31日，天氣持續不穩定，中南部地區的降雨明顯，大臺北與花蓮地區也出現短延時強降雨情形。8月1日，受西南氣流及低壓帶影響，上午中南部及東南部地區雨勢最為明顯，高雄山區累積雨量在下午達超大豪雨標準。8月2日，在西南風影響下，苗栗以南降雨較多，上午雲林、嘉義一帶降雨劇烈，午後強降雨區移往南部，同時北部山區、大臺北地區與宜蘭也有降雨，中南部整體下雨時間長，雲嘉地區一度達大豪雨標準。8月3日白天臺灣各地有陣雨或雷雨並伴隨短延時強降雨，苗栗以南、宜蘭地區與各地山區雨勢最為劇烈。7月31日至8月2日之逐日累積雨量如下圖所示。

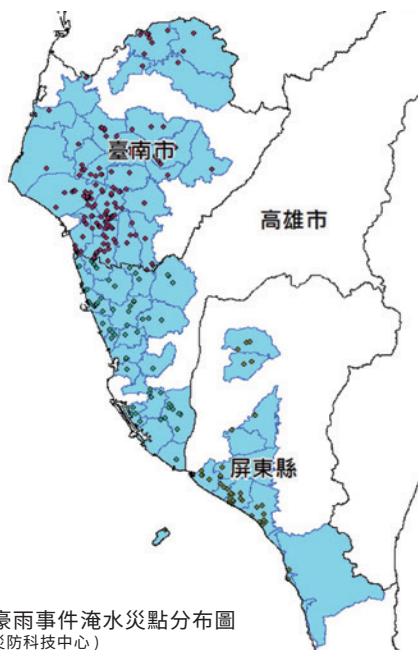


7月31日至8月2日間逐日累積雨量分布圖(資料來源：氣象局；製圖：防災科技中心)

災害紀錄

淹水災害

依據水利署、消防署 EMIC 與營建署的災情通報，以及淹水感知器紀錄，0730 豪雨期間共有 495 筆淹水災點。災點集中分布在：臺南市 (179 處)、高雄市 (72 處)、雲林縣 (65 處)、屏東縣 (53 處) 與嘉義縣 (41 處)。其中，臺南市又以仁德區 (30 處)、安南區 (27 處)、永康區 (24 處)、南區 (13 處) 及大內區 (13 處) 最多。仁德區保安火車站附近的潭稅橋臺鐵涵洞，早上水深高達 1 層樓高，所幸無人傷亡。



0730 豪雨事件淹水災點分布圖
(製圖：災防科技中心)

璨樹颱風

氣象分析

氣象局於 9 月 10 日 5 時 30 分發布海上颱風警報，同日 17 時 30 分發布陸上颱風警報。9 月 12 日，璨樹颱風在臺灣東部近海地區北上通過，暴風圈涵蓋臺灣全島，氣象局分別於 9 月 12 日 20 時 30 分與 9 月 13 日 2 時 30 分解除陸上與海上颱風警報。

璨樹颱風的主要降雨時段是 9 月 11 日至 12 日，雨量從臺灣東半部擴展到北部與中南部山區，警報發布期間 (9 月 10 日 5 時 30 分至 13 日 2 時 30 分) 的最大累積雨量為新北市坪林區碧湖測站 (01A190) 的 251 毫米。據中央災害應變中心統計，璨樹颱風最多曾造成 80,194 戶停

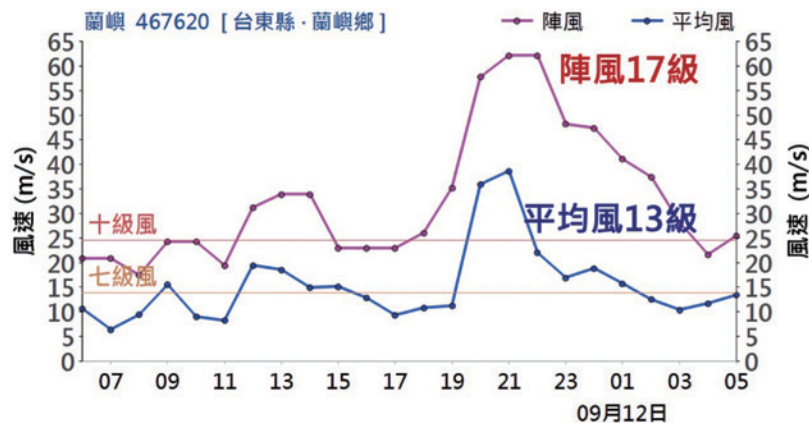
電、通訊基地台有 44 座受損，無人員傷亡。

災害紀錄

離島災害

璨樹颱風於 9 月 11 日開始影響蘭嶼，入夜後為影響最劇烈的時段，蘭嶼測站 (467620) 9 月 11 日至 12 日之累積雨量為 204 毫米，降雨集中在 11 日中午與晚間，11 日 13 時的雨量達 30.5 毫米。

根據紀錄，蘭嶼測站於 9 月 11 日 21 時測得最大風速每秒 36.5 公尺 (約 12 級風) 與最大陣風每秒 62.1 公尺 (>17 級風)，為璨樹颱風歷程中最高。強風造成樹木倒塌，住家水塔、衛生所戶外棚架、涼亭被強風吹飛或傾倒。另外，電力一度中斷，於 9 月 12 日復原。



蘭嶼測站 9 月 11 日 6 時至 12 日 5 時間的風速歷線圖 (資料來源：氣象局；製圖：災防科技中心)

圓規颱風及 1013 豪雨

氣象分析

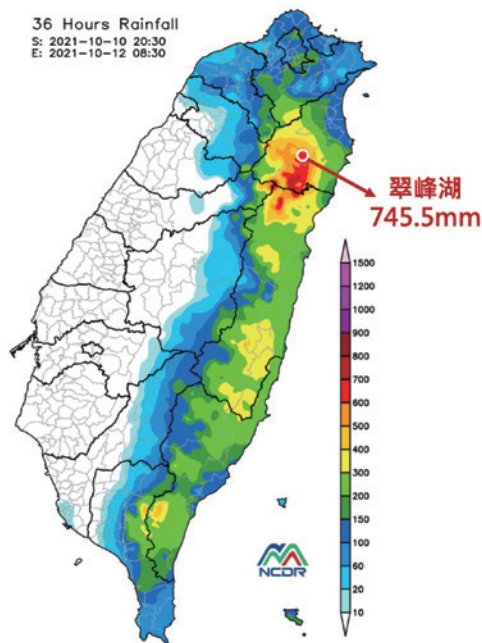
氣象局於 10 日 20 時 30 分發布海上颱風警報。10 月 11 日，颱風暴風圈掠過巴士海峽後，於 10 月 12 日 8 時 30 分解除海上颱風警報。10 月 13 日因南方雲系北移，帶來大量水氣，基隆北海岸及東半部發生長時間的劇烈降雨，花蓮的累積降雨達到大豪雨標準。同日 14 時，圓規颱風位於鵝鑾鼻西南西方 1,120 公里之海面上，朝海南島及中南半島方向前進。10 月 14 日，臺灣持續受低壓帶內水氣影響，花蓮、臺東與恆春半島仍有陣雨或雷雨，午後雨勢漸趨緩。10 月 15 日，因降雨趨緩，大雨發生機率降低，氣象局解除大雨特報。

圓規颱風警報發布期間(10 月 10 日 20 時 30 分至 10 月 12 日 8 時 30 分)的累積雨量如右圖所示，最大累積雨量為宜蘭縣大同鄉翠峰湖測站(C0U960)的 745.5 毫米。據中央災害應變中心紀錄，圓規颱風期間造成臺東縣 1 人受傷，最多造成 38,762 戶停電。

災害紀錄

農業災損

依據農委會公告，圓規颱風造成全臺農業產物及民間設施損失約 7,691 萬元(至 10 月



圓規颱風警報期間累積雨量分布圖
(資料來源：氣象局；製圖：災防科技中心)

19 日 17 時止)。縣市受損金額依序為：花蓮縣 3,221 萬元、臺東縣 2,261 萬元、苗栗縣 672 萬元、宜蘭縣 634 萬元、高雄市 617 萬元與屏東縣 142 萬元。

統計前五大受損農作物，農作物受損面積共 2,002 公頃，主要受損作物是 2 期水稻，總受損面積 940 公頃，損失金額 2,855 萬元，其次是香蕉、香瓜、釋迦及木瓜等。另外，漁產損失有 488 萬元，主要為吳郭魚受損。林木有 13 萬元之損失。民間設施損失約 69 萬元。■





2020-21 旱災歷程與應變



出處

本篇完整報導收錄於 NCDR 業務報告

圖說

供應苗栗、臺中地區用水的鯉魚潭水庫，水庫水位在 2021 年 5 月 29 日創下歷史新低，水情吃緊（資料來源：災防科技中心攝）

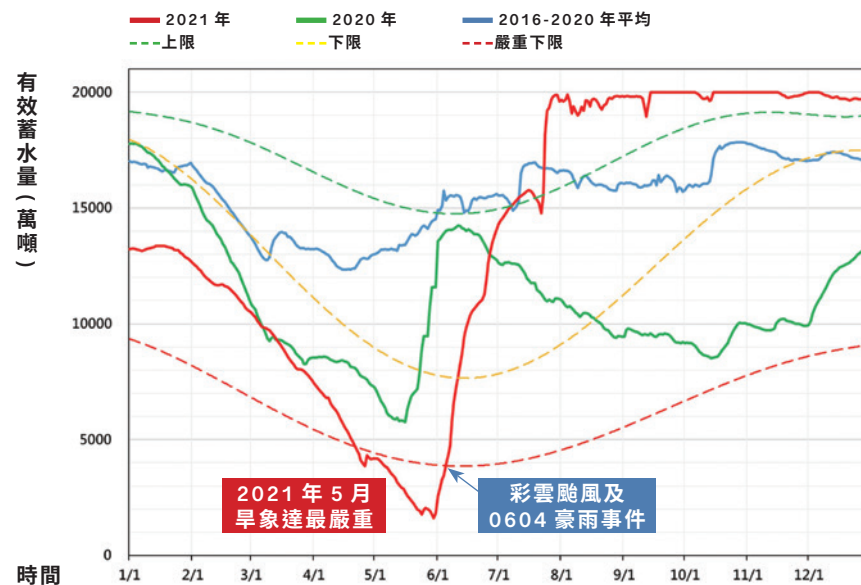
災害概述

臺灣在 2020 年至 2021 年經歷為期近 12 個月的旱災事件，其規模在過去 30 年中排名第三；停灌面積超過 90,000 公頃，為歷次旱災之冠。這場旱象從 2020 年 10 月開始，因為當年缺乏颱風帶來明顯降雨，桃、竹、苗與臺中地區的水情逐漸趨緊，從石門水庫運用規線圖可知，本次旱象在最嚴重的 5 月時，低於 2016 年至 2020 年平均嚴重下限；桃竹苗地區的水資源亦影響了竹科地區的用水，從竹科地下水井水位歷線圖可知，2021 年地下水位最低點已達 2015 年的旱象水位。南部的曾文—烏山頭水庫蓄水率更僅剩 30%，迫使政府罕見地提升應變層級，開設旱災中央災害應變中心。隨著時間的推移，旱象逐漸擴大至中南部地區，各地稻作陸續停灌，於 2021 年 5 月時，旱象達最嚴重程度，其後因數波梅雨鋒面與彩雲颱風所帶來的顯著降雨，方使旱象逐漸趨緩。

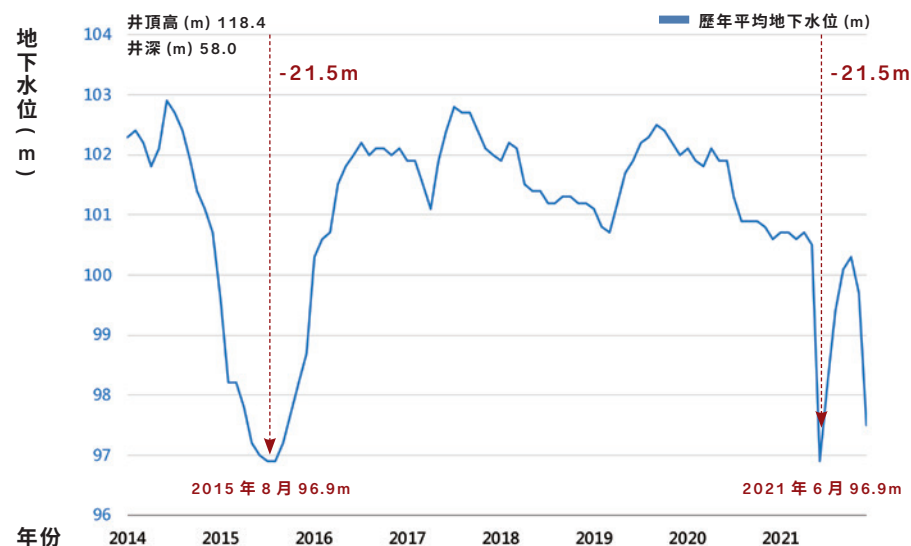
旱災氣象災因分析

影響此次旱災事件的氣象災因，可歸因於副熱帶高壓異常與反聖嬰現象兩大因素。2020 年的副熱帶高壓異常偏強，使得 5 月、6 月梅雨季期間，鋒面位置多停留於臺灣北側，主要滯留鋒降雨區因此落在長江流域一帶，換言之，2020 年的副熱帶高壓偏強，使該年臺灣梅雨季提早結束，而長江流域梅雨季則提早開始。副熱帶高壓偏強的情形持續了整個汛期，除了造成臺灣梅雨季提早結束外，也抑制了對流與颱風的生成，致使 2020 年無直接侵臺颱風紀錄，導致該年汛期降雨偏少而水庫無法有效蓄水的狀況。

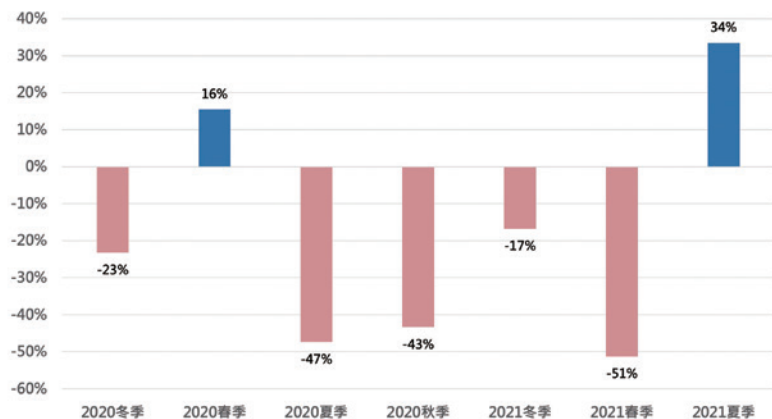
另一方面，受到反聖嬰現象的影響，2020 年秋季颱風的移動路徑以西行通過菲律賓為主，而且 2021 年春雨會有偏少的情形。臺灣的水情就在副熱帶高壓偏強與反聖嬰現象的雙重影響下，越發嚴重，形成極為嚴峻的旱災事件，直至 2021 年氣候時序回歸正常後，旱象方解。



石門水庫運用規線圖 (資料來源：水利署；加註：防災科技中心)



竹科 (1) 地下水井水位歷線 (資料來源：水利署；加註：防災科技中心)



2020 年冬季至 2021 年夏季全臺降雨距平百分比 (單位：%)

2020 年至 2021 年是臺灣降雨偏少的一年。根據統計，從 2020 冬季 (2019 年 12 月至 2020 年 2 月) 至 2021 年夏季 (6 月至 8 月) 間，僅 2020 年春季 (3 月至 5 月) 及 2021 年夏季全臺降雨偏多，其餘季節降雨皆偏少。其中 2020 年春季之後的連續 4 個季節 (12 個月) 皆偏少雨，相對於氣候值最少的一季是 2021 年春季，全臺平均春季降雨氣候值為 507.4 毫米，而 2021 年春季全臺平均降雨僅 247.2 毫米，不到氣候值的一半；到了 2021 年夏季降雨則轉為偏多，2021 年夏季為 1,454.5 毫米，較氣候值的 1,089.4 毫米高出 30%，因此減緩了此次乾旱事件。

若進一步將臺灣分成北、中、南、東 4 區來看，2020 年夏季至 2021 年春季間，除了 2021 年冬季東部降雨偏多外，其餘 3 區降雨皆偏少。尤其是中部地區，從 2020 年冬季開始逐漸顯現降雨偏少趨勢，從 2020 年夏季開始出現明顯少於氣候值訊號，自此延續至 2021 年春季，期間降雨量皆未達氣候值一半，該部分也反映在中部因水情吃緊，導致水情燈號較其他地區提早進入分區供水紅燈的結果。南部雖然與中部一樣，有類似的降雨時序變化，然受惠於 2020 年春季降雨較歷史同期為多 (73%) 的緣故，使水情燈號得以維持在減量供水的橙燈階段，唯降雨於 2020 年夏季至 2021 年春季間仍持續偏少，於 2021 年春季時，其降雨量甚至僅為氣候值 30%。



2021 年 4 月 29 日，南投縣魚池鄉日月潭水位明顯下降 (資料來源：張維珊攝)

旱災歷程

旱災應變層級從 2020 年 9 月中水利署旱災災害緊急應變小組開設，9 月底經濟部旱災應變小組啟動，到 10 月提升到旱災中央災害應變中心開設層級。到 2021 年 6 月，由彩雲颱風與豪雨鋒面的雙重貢獻，水庫水位持續回升，各地水情趨於穩定，6 月 22 日撤除中央旱災災害緊急應變中心，應變層級轉由水利署持續因應，以維持各地水情穩定，直至 8 月 5 日撤除經濟部水利署旱災災害緊急應變小組，2020/21 旱災事件才告一段落。此次旱災事件由 2020 年 9 月啟動應變，至 2021 年 8 月結束，一共歷時 12 個月，總計召開中央層級應變會議 15 次，經濟部層級 3 次以及水利署層級應變會議 19 次。其中，2020 年 9 月到 2021 年 6 月，中央旱災災害緊急應變中心撤除前之**重點階段旱情變化與應變作為**，摘錄如下：

註 此旱災時序為精簡後的紀錄，完整流程詳見經濟部旱災應變作業。



經濟部水利署旱災災害緊急應變小組成立

2020 年汛期降雨明顯短少，累積雨量創歷史同期新低紀錄，各地水情陸續出現狀況，南部曾文—烏山頭水庫的蓄水率僅存 3 成庫容。水利署於 9 月 16 日啟動旱災災害緊急應變小組。宣布新北林口、桃園、新竹、苗栗、臺中及北彰化之水情燈號為黃燈。10 月 7 日完成抗旱水井實地查勘盤點作業，針對澆灌及清洗道路等優先利用水資源回收中心再生。

水情黃燈擴大至中南部

- 水情燈號黃燈區域已由北部逐漸擴大至中南部地區，實施夜間減壓供水。
- 嘉義及臺南地區水情燈號自 11 月 18 日起調整為黃燈。臺灣自來水公司在管末區域，適時佈設供水車及供水站。
- 公布抗旱水井、埤塘水源及水資源回收中心放流水資訊。

竹苗中一期稻作停灌

新竹頭前溪及鳳山溪部分灌區，苗栗明德水庫及中港溪灌區，臺中大安溪上下灌區及大甲溪葫蘆墩圳與石岡壩下游 5 圳等灌區，2021 年之一期稻作停灌，停灌面積約 2.9 萬公頃。

2020

9/16

10/13

10/26

11/11

11/25

12/29



減壓供水

1. 減壓供水：離峰及特定時段降低管壓供水。
2. 停止供水：停供行政機關及國營事業轄管噴水池、澆灌、沖洗外牆、街道及水溝等非急需或非必要用水。

旱災中央災害應變中心開設

調整各地水情燈號，彰化南部、雲林、南投、嘉義、臺南及高雄地區，水情燈號由藍燈轉為綠燈，決議科學園區開始自主節水 5%。並於網站或新媒體成立抗旱專區，推廣節約用水及說明抗旱作為。經濟部整備抗旱水源緊急利用計畫，增加抗旱水源供應。

嘉南一期稻作停灌

- 延長黃燈地區的夜間減壓供水時段，由原本 23 時至隔日 5 時擴大為夜間 22 時至隔日 6 時，目標為達節水 5%。
- 查核產業節水由 5% 提升至 7% 以上為目標。
- 嘉南曾文、烏山頭以及白河水庫的農業供灌區域，2021 年的一期稻作停灌，停灌面積約 1.8 萬公頃，並發放補償金。
- 桃園市政府推動 3 口埤塘併入自來水系統，規劃 49 口埤塘水供產業及民眾取用。

竹苗中水情燈號提升至橙燈

- 1月6日起新竹、苗栗以及中部地區水情燈號提升至橙燈，每月1,000度以上工業大用水戶須節水7%，非工業大用水戶、游泳池、洗車、三溫暖、水療業者及其他非生活必需者須節水10%，視水情狀況循序漸進至20%。臺水公司提供載水點；此外，也要求加強輔導科學園區、工業區及加工出口區廠商節水，協助廠商降低衝擊。
- 建議農田水利署在2021年1月份優先引取桃園地區河川水量及區域排水蓄存埤塘，加強灌溉管理，完成2021年一期稻作供灌。



旱災中央災害應變中心開設情形（資料來源：災防科技中心）

抗旱水井併入自來水系統

增加159口抗旱水井併入自來水系統，每日產水33.6萬噸。新竹緊急海淡每日3,000噸、桃園新竹備援管線工程預計於2月1日通水調度每日20萬噸，投入緊急救旱，穩定水情。

2021

1/5



1/26

2/17



減量供水

1. 停止供水：試放消防栓、露天屋頂放流及其他得停供之用水。
2. 減量供水：
 - (1) 每月用水超過1,000度大用水戶之非工業用水戶減供20%、工業用戶減供5~20%，但醫療或其他性質特殊者，不在此限。
 - (2) 游泳池、洗車、暖、水療業者、及其他不急需用之水，減供20%。

旱災擴及南部

- 2月25日起自來水用水每月1,000度以上工業用水戶，由節水7%提升至11%；嘉義及臺南地區減量供水工業用水戶節水7%及非工業用水戶節水10%。
- 利用高屏堰川流量回升時，引水回補澄清湖；甲仙堰以最大量引水蓄存南化水庫。



2月25日全臺水情燈號
(資料來源：水利署)

苗中彰地區供 5 停 2

- 苗栗、臺中及彰化北部等地區，各用水標的以「供 5 停 2」的方式提供，目標節水 15%，供水優先順序為：居民維生用水、醫療、國防事業、工商事業與其他。
- 4 月 1 日起苗栗、臺中及彰化北部等地區，自來水用水每月 1,000 度以上工業用水戶由節水 11% 提升至 13%。高雄地區工業用水戶節水 7% 及非工業用水戶節水 10%。
- 中科臺中及后里園區於分區供水期間，以總量「減供不停供」取代停水，確保重要生產製程不中斷。其他科學園區／工業區配合實施供水 5 天停水 2 天，並透過蓄水設施調供及利用水車至載水點補充。
- 國軍協助盤點橙燈地區轄管營區地下水井及山泉水，配合地方政府調度，支援缺水嚴重地區。
- 緊急採購快濾桶設備，淨化工地排出地下水，定點提供民生次級用水使用。



4 月 1 日全臺水情燈號
(資料來源：水利署)

抗旱 2.0 計畫

自 4 月 23 日起，新竹地區每月 1,000 度以上工業用水戶由節水 11% 提升至 13%；高雄、臺南地區每月 1,000 度以上工業用水戶由節水 7% 提升至 11%，非工業用水戶、游泳池、洗車、三溫暖及水療業者節水率由減量供水 10% 提升至 20%。



分區供水 / 定點供水

1. 分區輪流或全區定時停止供水。
2. 紅燈定點供水，供水優先順序：
 - (1) 居民維生。
 - (2) 醫療。
 - (3) 國防事業。
 - (4) 工商事業。
 - (5) 其他。

3/24

4/26

5/19



2021 年德基水庫上游水位創歷史新低 (資料來源：災防科技中心)

水情紅色警戒

- 5 月 21 日起桃園市及新北林口之水情燈號調整為橙燈，每月 1,000 度以上工業用水戶以節水 13% 為目標。
- 新竹水情紅燈區域，採供 5 停 2 措施，目標節水 15%。新竹科學園區則以總量節水 17% 之「減供不停供」方式取代停水，確保重要生產製程不中斷。
- 苗栗、臺中及北彰化地區維持水情紅燈，自 6 月 1 日起停水時間由每週 2 天延長 8 小時，調整為二又三分之一天，停水時間由原訂停水日凌晨 12 時提前至前一日晚間 22 時開始。
- 臺南及高雄地區維持橙燈，5 月 21 日起自來水用水每月 1,000 度以上工業用水戶由節水 11% 提升至 13%。



5 月 21 日全臺水情燈號
(資料來源：水利署)

旱象紓解

- 5月下旬，受惠於2021年梅雨季的第一波滯留鋒面影響，全臺水情稍緩解，水利署統計各地水庫集水區降雨效益約8,900萬噸。原訂自6月1日起於新竹實施分區供水紅燈，以及苗栗、臺中、北彰化地區延長分區供水8小時等措施，均暫緩實施。
- 6月上旬彩雲颱風及第二波梅雨鋒面、西南風增強再為臺灣地區帶來豐沛雨量，進一步紓緩水情。水利署統計這波於各地水庫集水區降雨效益約17,000萬噸。



5月29日水情燈號
(資料來源：水利署)



水情提醒

加強水源調度及
研擬措施。

旱災中央災害應變中心撤除

全臺水情已有明顯改善，旱災中央災害應變中心自6月22日起撤除，由水利署因應。



6月22日全臺水情燈號
(資料來源：水利署)

5/30

6/7

6/22



旱災中央災害應變中心工作會報 (資料來源：防災科技中心)

水庫蓄水回升

- 水情燈號橙燈地區，包括：桃園、新竹、苗栗、臺中、嘉義及臺南地區，自來水由全日減壓供水調整為夜間減壓供水(22時至隔日6時)。
- 每月1,000度以上工業大用水戶，節水率由7~15%調整為7%，非工業用水戶、游泳池、洗車、三溫暖及水療業者節水率由10~20%調整為10%；黃燈之連江地區維持自來水夜間減壓供水；綠燈地區包括：彰化及雲林地區，科學園區、工業區及科技產業園區自主節水5%。
- 統計至5月底已增加每日76.4萬噸水源，有效延長水庫供水時程，減少民生及產業影響。
- 中部地區水情趨緩，評估無載水需求，國防部支援之90輛消防水車，自即日起歸建，回復常態任務。



6月7日全臺水情燈號
(資料來源：水利署)

旱災因應措施

水利署為因應缺水危機，在中央各部會及地方政府之配合下，採取多省水、多調水及多找水等 3 項措施，各項措施內容如下：

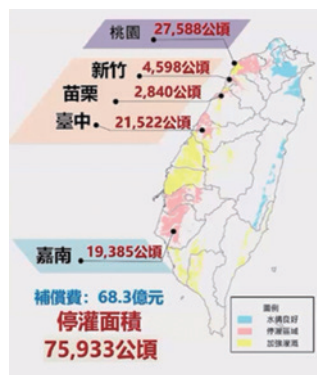
多省水

公共節水

水利署依據水情狀況調整各縣市水情燈號，以期達到節水目標。水利署從 2020 年 9 月即展開旱災應變作業，配合水情推估，採取適當作為。如：自 4 月 23 日起，新竹地區每月 1,000 度以上工業用水戶由節水 11% 提升至 13%，臺南及高雄地區每月 1,000 度以上工業用水戶由節水 7% 提升至 11%，非工業用水戶、游泳池、洗車、三溫暖及水療業者節水率由減量供水 10% 提升至 20%。

農業停灌

在農委會及地方政府之配合下，2020 年二期稻作停灌面積 18,906 公頃，2021 年一期稻作停灌面積 75,933 公頃，各地區停灌面積如右圖所示，停灌範圍涵蓋桃園、新竹、苗栗、臺中及嘉南等地區，從 2002 年至 2021 年停灌面積之統計資料，2021 年停灌面積為近 20 年中最大者。



2021 年農業一期稻作停灌補償資料 (資料來源：水利署)

多調水

區域調度最佳化

水利署依各地區水情情勢，機動調供，靈活運用水資源，相關措施如：

- 北水南調：翡翠水庫支援板新最大每日 83.4 萬噸，石門水庫支援新竹最大每日 22.5 萬噸，新竹支援苗栗最大每日 3 萬噸。

- 中水北送、南送：鯉魚潭支援苗栗最大每日 6 萬噸，臺中支援彰化最大每日 8 萬噸，雲林支援彰化最大每日 5 萬噸，雲林支援嘉義每日 10 萬噸。
- 南水北送：臺南支援嘉義最大每日 2 萬噸，臺南高雄清水管最大每日 20 萬噸，南化高屏聯通管最大每日 50 萬噸。

增加區域水源調度

水利署此次採取新的抗旱作法，以增加區域水源調度，相關措施如：

- 利用埤塘及區排抽水供應桃三灌區，減少水庫放水。
- 下游河道抽水 (隆恩堰、田美堰、玉峰堰及高屏堰等)。
- 新的跨區調度 (新竹支援苗栗、明德支援永和山)。
- 油羅溪抽水至員嶠淨水場、尖山下圳抽水至東興淨水場。

趕辦區域調度 (桃竹幹管)

水利署趕辦桃竹幹管工程，並提早完工通水，以提供新竹地區 40% 用水。

多找水

抗旱水源緊急計畫 1.0

水利署於 2020 年即提前部署，透過強化管理調配，加速提前於 2021 年 2 月完成抗旱水源緊急計畫 1.0，共計增加每日 78 萬噸水源，相關措施包括：抗旱水井、埤塘水源、水資源中心放流水及新竹緊急海淡。

抗旱水源緊急計畫 2.0

為因應本次乾旱，政府與民間尋求多種方式開發緊急水源，水利署也在 2021 年 3 月份推動抗旱水源緊急計畫 2.0，共計增加每日 88 萬噸水源，為原本目標 16.8 萬噸的 5 倍，相關措施如：伏流水、臺中緊急海淡廠、臺中建築工地地下水利用。■

西歐洪水 災害紀錄

SPECIAL REPORT

特別企劃

Part

3





出處

本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報，第 195 期，2021 年 10 月出刊

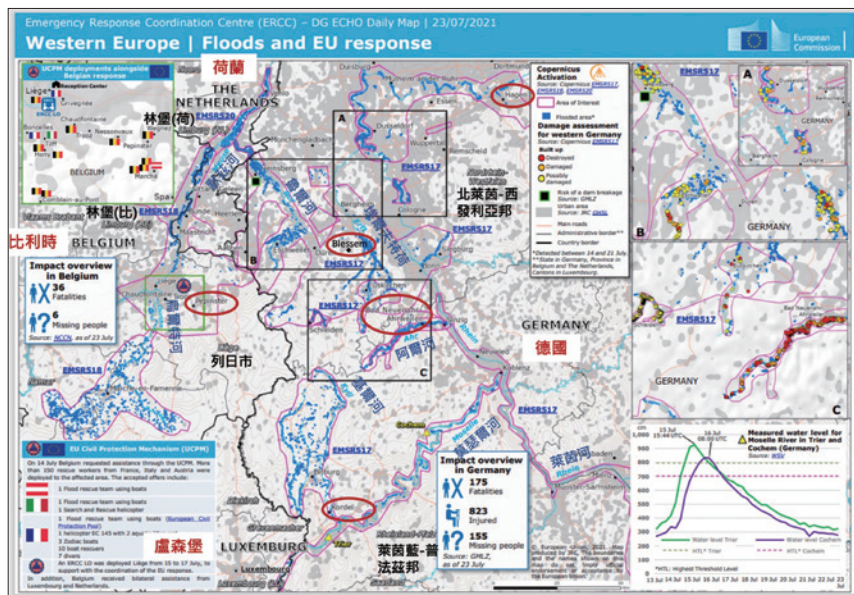
圖說

2021 年 7 月 15 日，阿爾河河水暴漲，洪水肆虐德國萊茵蘭—普法茲邦的因蘇爾鎮 (Insul)，住宅區內建物受損、遍布泥水
(資料來源：AP/ 達志影像授權提供)

西歐在 2021 年 7 月中旬出現破百年紀錄的降雨，萊茵河 (Rhine)、默茲河 (Meuse)、阿爾河 (Ahr) 等河流決堤，造成比利時、德國、荷蘭與盧森堡等地區發生淹水、土石流、電力及通訊中斷等災害，災情嚴峻、滿目瘡痍，總計造成 242 人死亡。其中又以德國西部受損最為嚴重。

災害概述

自 7 月 12 日起，西歐英國、德國、比利時、盧森堡、荷蘭、奧地利、捷克、羅馬尼亞、克羅地亞、義大利、瑞士、法國等國受洪災影響，累計到 8 月底至少造成 242 人喪命，包含德國 184 人、比利時 41 人、義大利 1 人、奧地利 1 人與羅馬尼亞 1 人。而 7 月 14 日破紀錄的暴雨，更造成默茲河與萊茵河大範圍溢淹，使得德國西部、比利時東部、盧森堡與荷蘭等地區發生嚴重的人員傷亡及財產損失，以下詳述重災區國家之災情狀況。

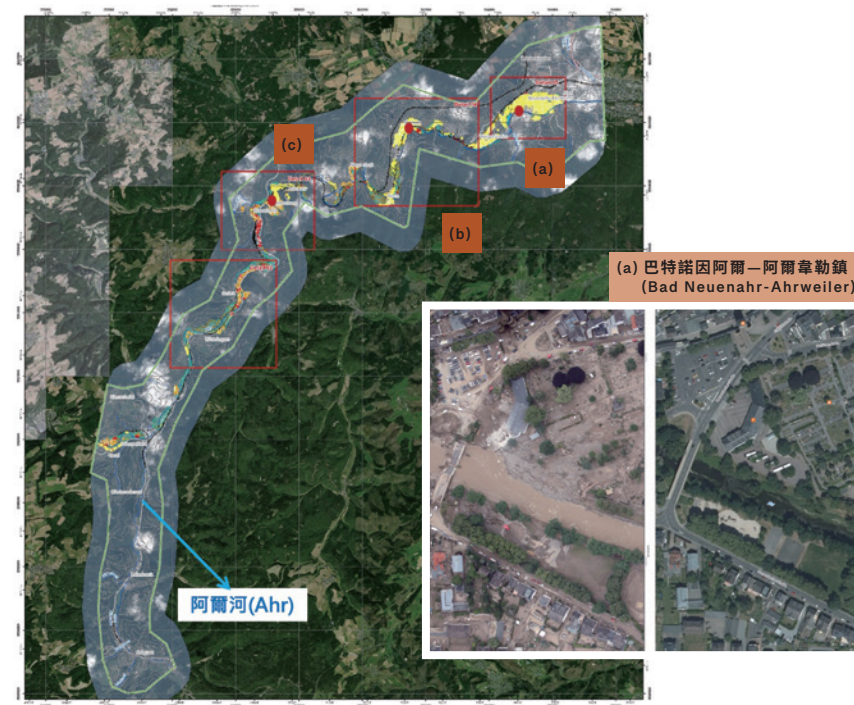


038 西歐洪災影響與災情分布圖 (資料來源：Emergency Response Coordination Centre, ERCC；加註：災防科技中心)

德國

德國西部的萊茵蘭—普法茲邦 (Rheinland-Pfalz) 和北萊茵—西發利亞邦 (Nordrhein-Westfalen) 為重災區，前者在阿爾魏勒郡 (Ahrweiler) 有 135 人死亡；後者則在奧伊斯基興郡 (Euskirchen) 有 27 人死亡。德國電力公司 Westnetz 表示，災時曾有 20 萬戶家庭斷電。國際災害資料庫 (EM-DAT) 估計德國因洪災造成的損失高達 400 億美元。

阿爾魏勒郡因阿爾河溢淹潰堤，沿岸許多城鎮建築物因此損毀，當地淹水區域判識成果如下圖所示。大圖為歐盟哥白尼計畫 (Copernicus Programme) 於 7 月 18 日判釋阿爾河的洪災情形，洪水影響範圍約 451.2 公頃。(a) 是德國內政部 ZKI-DE (ZKI service for Federal Agencies) 單位，在 7 月 16 日空拍巴特諾因阿爾—阿爾韋勒鎮 (Bad Neuenahr-Ahrweiler) 的災害前後

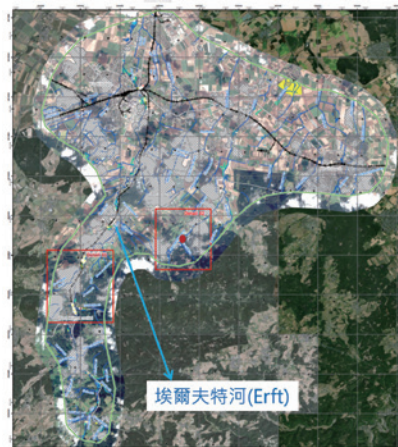


阿爾魏勒郡洪災前後比較圖 (資料來源：Copernicus, ZKI-DE, Google Earth；加註：災防科技中心)

比較，協助掌握災情與規劃救援。(b)、(c) 分別是阿爾河峽谷裡的代瑙鎮 (Dernau) 與阿爾特納爾鎮 (Altenahr)，暴漲河水幾乎淹沒了所有地區。萊茵蘭—普法茲邦內有多條河流達歷史最高水位：基爾河 (Kyll) 從平均水位 1 公尺上升到 7.81 公尺高；莫瑟爾河 (Moselle) 在 7 月 15 日時，Trier 測站水位達 9.2 公尺 (歷史最高 8 公尺)，Cochern 測站水位達 8.3 公尺 (歷史最高 7 公尺)。

北萊茵—西發利亞邦的奧伊斯基興郡則

是因埃爾夫特河 (Erft) 河洪水肆虐成災，右圖是奧伊斯基興郡在 7 月 18 日的淹水判釋成果，泥流影響範圍約 0.4 公頃、洪水影響範圍約 54.8 公頃，7 月 15 日施泰因巴赫塔爾大壩 (Steinbachtal Dam) 有潰堤之虞，Euskirchen 地區因此疏散 4,500 人。7 月 16 日，埃爾夫特施塔特—布列森 (Erfstadt- Blessem) 地區發生洪災，埃爾夫特河河水流向地勢較低的採石場，洪水淹沒採石場，並淘刷邊坡，採石場崩塌範圍因此擴大，嚴重摧毀周圍的房屋。



奧伊斯基興郡淹水區域圖 (資料來源：Copernicus；加註：災防科技中心)



2021 年 7 月 21 日，連日大雨造成德國北萊茵—西發利亞邦的施泰因巴赫塔爾大壩破壞 (資料來源：AP/ 達志影像授權提供)

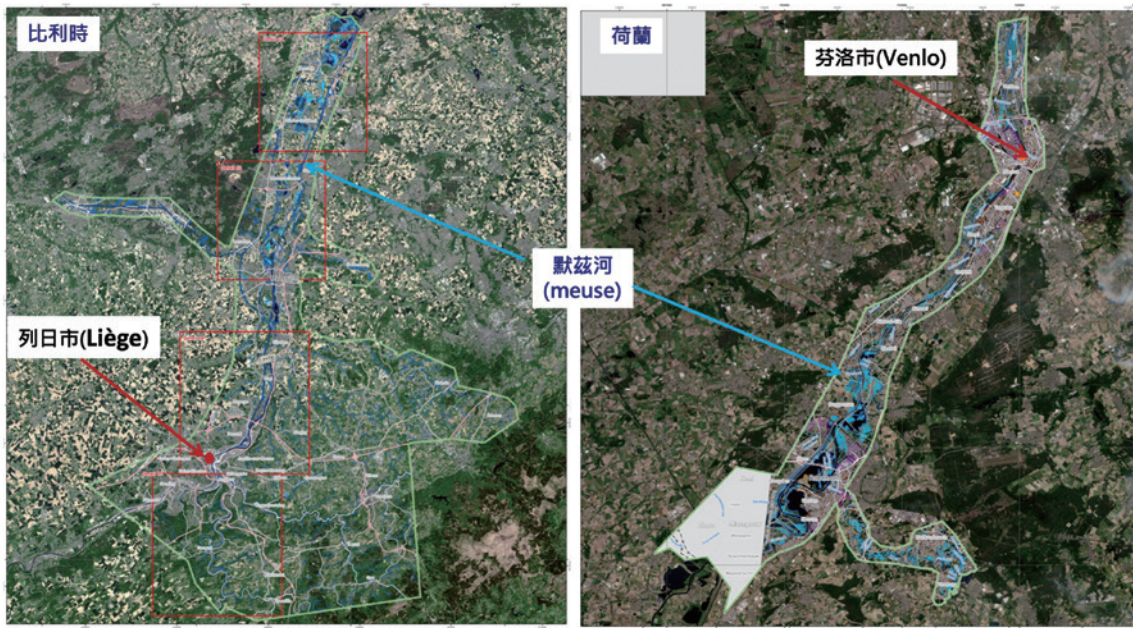


比利時、荷蘭

默茲河河水暴漲則影響了比利時跟荷蘭部分地區。比利時洪水影響範圍約 1,244.5 公頃；荷蘭洪水影響範圍約 1,197.3 公頃。

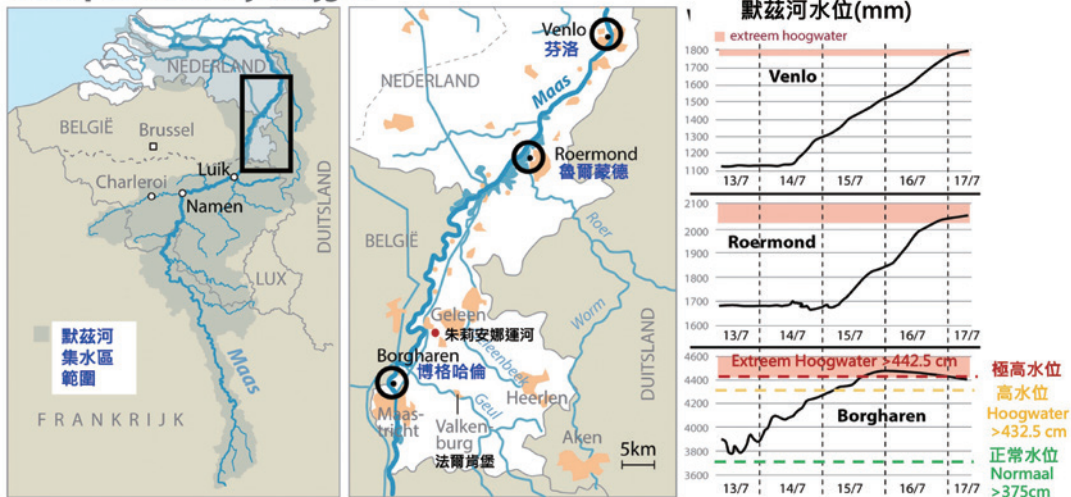
比利時主要受災區為：列日省 (Liège)、林堡省 (Limburg)、那慕爾省 (Namur)。列日省烈日市 (Liège) 在 7 月 15 日緊急撤離 20 萬人；韋斯德爾河 (Vesdre) 畔的佩平斯特鎮 (Pepinster)，疏散超過千人，至少有 20 棟房屋倒塌，造成 23 人死亡；附近的韋爾維耶鎮 (Verviers) 也有多棟房屋損毀，超過上萬名居民必須搬遷。直到 7 月 19 日，比利時仍有超過 37,000 戶停電，比利時國家鐵路公司 Infrabel 表示，全國有近半數的鐵路運輸受阻。比利時首相亞歷山大·德克羅 (Alexander De Croo) 宣布 7 月 20 日為全國哀悼日，向罹難者致哀。

荷蘭南部的林堡省法爾肯堡 (Valkenburg) 受災最嚴重，市中心淹水、數百棟房屋斷電，一座橋梁遭沖毀，兩所療養院、一家旅館和一個露營地皆被疏散。據紀錄顯示，7 月 15 日晚上，默茲河在荷蘭林堡省段的水位比平時高出 5 公尺。右圖是林堡省的水位紀錄，博格哈倫地區的水位在 7 月 15 日達到極高水位。荷蘭官方表示，這次水位是近百年以來夏季的最高水位紀錄。7 月 16 日朱莉安娜運河 (Juliana Canal) 的堤壩破裂，林堡省 Brommelen、Bunde、Geulle、Voulwames 等地區超過上萬人被要求立即撤離；芬洛市 (Venlo) 也有上萬人疏散，包含 VieCur 醫院的 200 名患者。



默茲河在比利時及荷蘭的淹水範圍 (資料來源：Copernicus；加註：災防科技中心)

Waterpeil Maas blijft stijgen



荷蘭林堡省之水位紀錄 (資料來源：NETHERLAND NEWS, ANP；加註：災防科技中心)



氣象分析

2021 年 7 月 7 日，加拿大東北部的高層天氣有一道槽線 (Trough) 開始發展，並隨著西風快速向東跨越北大西洋，朝歐洲移動。此槽線於 12 日移動至法國後，脫離原本導引移動的西風，逐漸形成高層低壓，並且主導西歐的天氣。當時，由於歐洲東北部的高空有高壓阻擋，導致此高層低壓的移動速度緩慢。此高層低壓於 14 日移動至德國後，在其東側的近地面誘發低壓風暴，此低壓風暴在 14 日至 16 日近乎滯留於德國西部地區，除持續提供對流發展所需的上升氣流外，同時也將地中海的暖濕空氣往德

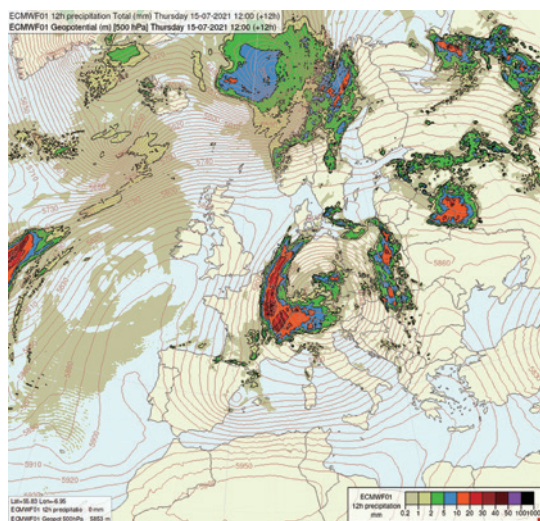
國輸送，造成當地發生持續性的劇烈降雨。

由於低壓風暴移動速度緩慢，加上受到德國西部山脈的地形抬升效應影響，德國西部、比利時及盧森堡等地在 14 日至 15 日降下破紀錄的強降雨。16 日起，隨著低壓往東南方向移動，德國東部、波蘭及奧地利等地亦出現強降雨。整起事件的降雨直到 19 日才逐漸趨緩。

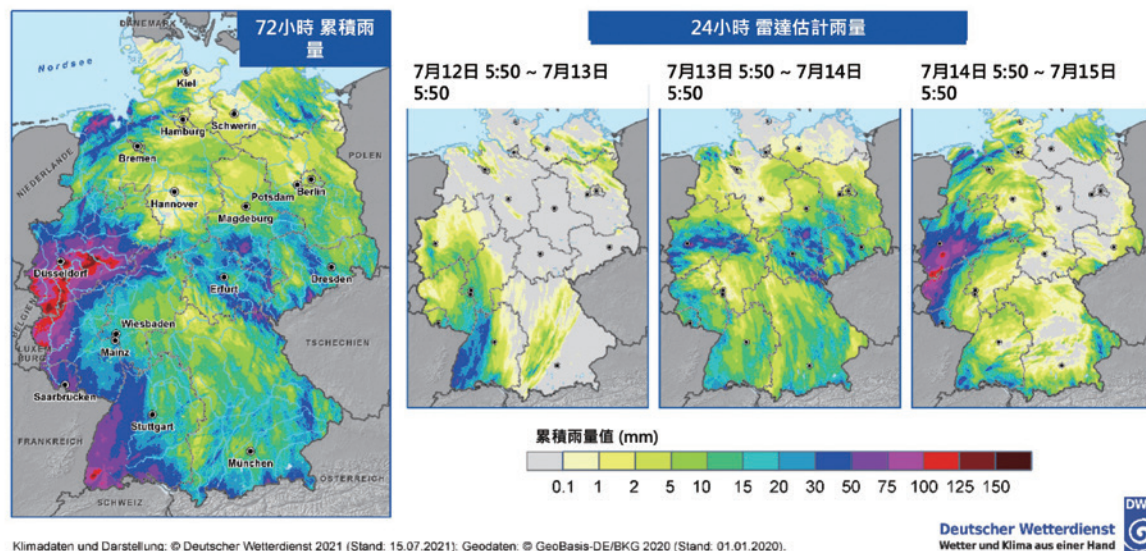
根據德國氣象局 (Deutscher Wetterdienst, DWD) 針對 7 月 11 日至 17 日的降雨分析，整個西歐地區受到低壓風暴影響而有顯著降雨，許多國家在該週的累積降雨量都達到長期平均值 (1982~2010) 的 200~400%。其中又以德國西部、荷蘭、比利時與盧森堡等地的雨勢最劇

烈，導致嚴重的洪災事件。

進一步分析發生強降雨國家的降雨情形：德國自 7 月 12 日起開始有降雨發生，降雨在地面低壓風暴形成後的 14 日至 15 日清晨最為劇烈，並集中在德國西部地區。根據雷達估計降雨結果，萊茵蘭—普法茲邦及北萊茵—西發利亞邦，多數地區 24 小時累積雨量高達 100 毫米以上，甚至有部分測站超過 150 毫米，這樣的降雨強度也是過去 30 年 7 月平均降雨量的 5~6 倍以上。

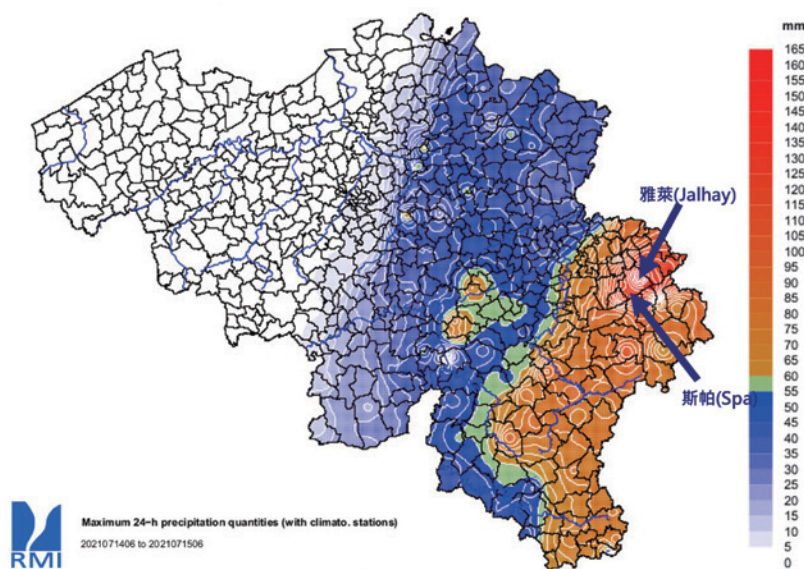


歐洲中長期預報中心模擬 7 月 15 日 12 時 (UTC) 之 500 百帕重力位高度 (線) 與 12 小時累積雨量 (圖) (資料來源：RMI)



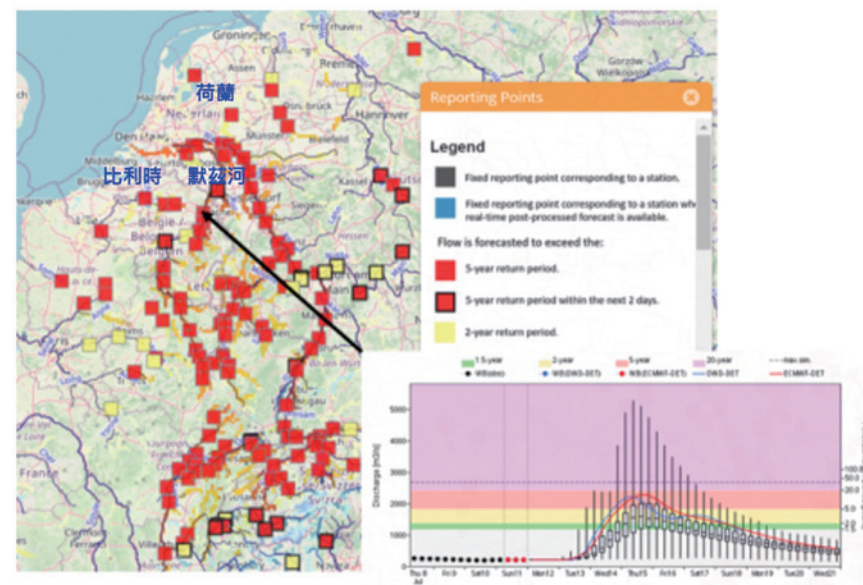
德國在 7 月 12 日 5 時 50 分至 7 月 15 日 5 時 50 分 (UTC)，每 24 及 72 小時估計雨量圖 (資料來源：DWD；加註：災防科技中心)

由比利時皇家氣象研究中心 (Royal Meteorological Institute, RMI) 公布之雨量圖可知，比利時東部於 14 日至 15 日出現相當極端的強降雨事件。雅萊 (Jalhay) 和斯帕 (Spa) 的 48 小時累積雨量分別高達 271.5 毫米及 217.1 毫米，此強度已超過當地的百年重現期。而在盧森堡方面，戈德布蘭奇 (Godbrange) 24 小時累積雨量為 105.8 毫米 (7 月 14 日 6 時至 7 月 15 日 6 時)，為自 1851 年有紀錄以來的歷史最大值。盧森堡芬德爾機場 12 小時累積雨量達 72.4 毫米，也是自 1947 年以來的最高紀錄。



比利時 7 月 14 日 6 時至 7 月 15 日 6 時 (UTC) 之 24 小時累積雨量圖
(資料來源：RMI；加註：防災科技中心)

根據報導，歐洲洪水預警系統 (European Flood Awareness System, EFAS) 從 7 月 10 日至 14 日對萊茵河和默茲河流域共發出超過 25 次警告，預報水位將高漲到數百年未見的高度，也曾對這些受災嚴重的地區如德國政府發出極端警報，預期在暴雨影響下可能有「生命危險」，並由政府決定撤離與否。但最終還是造成德國及比利時部分地區人民因逃生不及而傷亡的嚴重災情，下圖是 7 月 12 日的警戒資訊。以下針對德國進行災害分析，並說明災後救援與復原作為。



EFAS 於 7 月 12 日之洪水預報圖 (資料來源：Copernicus)

德國致災原因分析

中央到地方的警報資訊傳遞過程

歐洲的預警系統較為分散，德國成立的聯邦公民保護和災難援助辦公室 (German Federal Office of Civil Protection and Disaster Assistance, BBK) 專責自然災害、事故災難及傳染病等重大事件。BBK 主任舒斯特 (Armin Schuster) 表示，他們已透過防災應用程式 (APP) 發出警告。德國國家氣象部門也表示，在災前已將洪水警報告知了地方當局，氣象局會發出警報給各邦，各邦的防災中心再將內容傳達給各城市的市政

當局，此時將完全由地方政府負責，決定是否需要啟動緊急服務，以及向中央或德國其他地區求援。也就是說，對於天然災害，德國並沒有全國統一的防災措施，地方防災的救災工作主要是由各邦和地方政府處理，聯邦政府僅在地方政府無法應對重大災難時才會介入。

警報資訊的普及性

德國 16 邦各自負責所轄地區的洪水預警。許多地方政府使用警報器、擴音器通知民眾，或經由廣播和電視發布預警和撤離疏散等資訊，也透過 NINA 或 KATWARN 等 APP 公布。

《德國畫報》(Bild) 指出，警報沒有傳達給所有人民，其中一個原因是德國缺少全國性手機短訊 (SMS) 警報系統。德國在國民隱私保護的規定下，警報簡訊只能傳送給同意的收發戶，故數位化的 APP、手機簡訊和電子郵件等警戒資訊，較無法觸及到危險區域的所有人。經過這次洪災的經驗，預期未來可能會遭遇更多極端降雨和洪水災害，德國政府正在研擬設備升級，並考慮重新啟用街道上的警報擴音器。

輕忽預警以及缺乏明確的避難指示

在淹水嚴重的伍珀塔爾市 (Wuppertal)，當地警消與政府使用警報器及卡車加載擴音器來警告居民，並利用社交媒體呼籲市民留在家中。地方政府在凌晨及時提出警告，提醒居民

往更高樓層撤離，故無造成嚴重傷亡。而阿爾魏勒郡直到 7 月 14 日 23 時才發布臨河 50 公尺區域的疏散警報，但疏散還沒開始，河水已淹沒超過河岸 200 公尺的範圍，當地建築物遭洪水沖毀，造成嚴重財產損失與人員死傷。

阿爾魏勒郡居民表示，政府並未強力進行疏散，僅以擴音器警告應離開房子或用沙袋採取預防措施。官方臉書雖有提醒居民必須注意防洪，但缺乏明確的指導或強制避災的訊息，政府和居民都低估了暴雨與洪災的衝擊，大部分民眾不知如何應對，因而造成更多的傷亡。

德國災後救援與復原行動

臨時餐點供應站

德國紅十字會 (Deutsches Rotes Kreuz, DRK) 在萊茵蘭—普法茲邦的 Grafschaft 市設立 15 個帳篷區的餐點供應站，自 8 月 1 日起，約 110 名志工每日為災民和救援人員準備上萬份餐點，再由車輛運送到 42 處災區。截至 8 月 27 日，部分地區的電力和水仍然無法使用，預計在 10 月中旬將恢復正常供水。

救援行動及避難收容所的防疫措施考量

衛生部門擔心，救援場域及避難收容所等

距離及衛生環境不佳的情況下，感染 COVID-19 的人數將會增加。因此在受災嚴重的地區，執行下列防疫措施：建置移動的疫苗接種中心，以彌補因洪水而受損的醫療設施，鼓勵居民和救援人員接種疫苗。在避難收容所中成立特別醫療單位，提供口罩以及病毒檢測服務，並保持收容場所通風，降低病毒擴散的風險。

THW 技術支援

THW (Bundesanstalt Technisches Hilfswerk) 是德國聯邦技術救援機構，其中 98% 是志工。災時 THW 憑藉其專業知識和經驗，支援消防隊、警察和其他援助組織。災後 THW 全天分三班制在災區協助救援和復原業務。如：在阿爾魏勒郡舒爾德鎮 (Schuld) 安裝飲用水處理系統；在巴特諾因阿爾—阿爾韋勒鎮搭建臨時橋梁。截至 8 月 12 日，計有 9,537 名 THW 救援人員在德國各地參與任務。

結論

綜整分析西歐的受災情形、降雨情境及防救災體系運作等狀況，除指出極端降雨是主要致災原因外，在德國更多是指向預警資訊與應變作為連結與落實之不順暢，及官方與民眾輕忽災情而導致。政府與民眾都要學習面對新型態、更極端的災害類型，才能執行適當的防災應變措施，期望有效減少災害帶來的衝擊。■

颶洪災害篇

FLOOD DISASTERS

Part

4





- 印尼與東帝汶洪災
- 氣旋陶特侵襲印度
- 中國河南省鄭州洪災
- 日本靜岡縣熱海市土石流災害
- 颶風艾達侵襲美國
- 尼泊爾與印度洪災
- 中國山西省洪災
- 加拿大英屬哥倫比亞省洪災

印尼與東帝汶洪災



出處

本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報，第 191 期，2021 年 6 月出刊

圖說

2021 年 4 月 7 日，氣旋塞洛亞造成印尼東努沙登加拉省東弗洛勒斯縣地區山洪暴發，當地多棟房屋遭摧毀（資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供）

氣旋塞洛亞在印尼海邊掀起 6 公尺高巨浪，造成停靠岸邊的船隻和快艇沉沒。東努沙登加拉省的埃爾·塔里 (El Tari) 國際機場關閉，4 月 5 日才恢復正常營運。強風暴雨造成住宅和太陽能電廠等設施受損，由於橋梁倒塌，加上部分道路被倒下的樹木阻斷，使得救援行動困難重重。此外，在氣旋影響之前，3 月時印尼東努沙登加拉省倫巴塔島 (Lembata island) 上的勒沃托洛山 (Mount Ile Lewotolok) 火山噴發，山頂冷卻硬化的熔岩在氣旋塞洛亞侵襲時，已發生崩塌，並滑向山下的 300 棟房屋，造成有些房屋被沖入海中，地方當局擔心有些遺體已遭海流沖走。

截至 4 月 13 日，東努沙登加拉省的首府古邦 (Kupang) 和東弗洛勒斯縣部分地區的電力已恢復，電信開始正常運作，但仍然持續受到停電的影響。

東帝汶

自三月底以來，東帝汶開始出現一波強降雨，導致山洪暴發和崩塌。4 月初，氣旋塞洛亞帶來的降雨在東帝汶引發土石流、突發性洪水和樹木傾倒，加重災情，首都帝利 (Dili) 陷入汪洋一片，總統府前方變成一個泥坑。根據聯合國人道事務協調廳 (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs Services, UN OCHA) 的資料指出，東帝汶首都帝利至少有 42 人死亡。東帝汶共有 130 萬人

口，此次事件有 10,325 位居民受影響，其中有 76% 以上的人生活在首都帝利。

政府應變作為

印尼總統佐科威 (Joko Widodo) 於 4 月 6 日召開內閣會議，指示加快疏散、救援工作，以及盡快恢復電力，但因極端天氣的影響，阻礙了援助人力的分發，如無法透過陸路到達災區，故要求迅速開放海上和空中運輸。志願者和軍事援助則被送往氣旋塞洛亞造成最大損失的地方，幫助尋找倖存者。

BNPB 在 4 月 5 日提醒要避免災區 COVID-19 傳播的問題，並採用如 2021 年 1 月在蘇拉威西島地震後的避難收容所的處置方式，將老年人、孕婦、幼童等弱勢群體與青年群體分開，用此概念處理東努沙登加拉省的避難收容問題。此外，為了避免人群聚集在避難收容場所，BNPB 也使用等待居住基金的計畫，提供每個受災戶每個月 50 萬印尼盾 (約新臺幣 986 元) 的臨時住房援助，希望透過租金補貼可減少入住避難收容所的人數。該計畫先由地方政府建立房屋受損、不堪居住的名冊，包含姓名、身分證字號、房屋地址；後根據申請者提供的資料，當地政府再依房屋損壞的程度，進行輕微、中度、嚴重損壞等分類，用於租用單一住所或最接近原居住地的臨時家庭住宅之補貼依據。撤離的災民有部分

進入避難收容所，BNPB 與衛生部合作，準備 COVID-19 快篩工具，災民進入避難收容所前須先經過篩檢，並提醒在避難收容所的工作人員注意 COVID-19 的症狀，以及住民應遵守衛生規範。

在區域管理方面，為加快地區的災難管理工作，東努沙登加拉省政府宣告從 2021 年 4 月 6 日至 5 月 5 日為緊急應變狀態 (emergency response status)；西努沙登加拉省比馬攝政區 (Bima Regency) 則宣布從 2021 年 4 月 2 日至 5 月 1 日為緊急應變狀態。物資配送方面，BNPB 協助東努沙登加拉省地區先以跨島船艇在島嶼間配送物資，再用貨機將更多的物資送達機場，提供的物資包含即時餐、配菜、營養食品、毛毯、個人防護設備、成人口罩、兒童口罩、COVID-19 抗原快速檢測試劑盒、嬰兒設備包、難民帳篷等。

東努沙登加拉省和西努沙登加拉省當地的省級區域災難管理局，持續與 BNPB 等相關單位互相配合，疏散受災者、分發難民所需的物資、建立難民帳篷和公共廚房、執行搜救任務，並提供預報資訊。

同一時間，國際社會組織也努力以人道主義援助受氣旋塞洛亞影響的人們，如國際空間與重大災害特許組織 (International Charter on Space and Major Disasters) 和哥白尼計畫 (Copernicus Programme) 啟動緊急環境管理衛星圖像服務，以協助東帝汶的損失評估；澳

洲明愛慈善基金會 (Caritas Australia)、非政府組織的 IDEP 基金會、美慈組織 (Mercy Corps) 等都紛紛協助印尼和東帝汶當地的團隊，提供資源調度、公共教育計畫、脆弱社區復原等工作。■



2021 年 4 月 7 日，印尼東努沙登加拉省東弗洛勒斯縣，人們為山崩受害者點起蠟燭弔念（資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供）

氣旋陶特侵襲印度



出處

本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報，第 192 期，2021 年 7 月出刊

圖說

2021 年 5 月 17 日，印度孟買的公共汽車受困在淹水的道路上（資料來源：AP/ 達志影像授權提供）

災害概述

氣旋陶特 (Tauktae) 從 2021 年 5 月 15 日至 5 月 18 日歷時約四天，侵襲印度西部海岸地區，造成多處發生暴雨、洪水、風暴潮以及強風等災害。根據印度國家災害管理局 (National Disaster Management Authority, NDMA) 統計數據，此次風災總共造成 181 人死亡，約 12 萬棟房屋受損，以及約 1,400 萬人受災。此外，根據全球巨災風險管理諮詢公司 (Risk Management Solutions Incorporated, RMSI) 資料顯示，氣旋陶特造成的經濟損失，初步估計約 21 億美元。

氣象分析

根據印度氣象局 (India Meteorological Department, IMD) 資料顯示，在 5 月 13 日上午 8 時 30 分，一個低氣壓 (low pressure) 在阿拉伯海東南部及鄰近的拉克沙群島 (Lakshadweep area) 附近形成，隨後在 5 月 17 日上午 5 時 30 分增強為極強氣旋風暴，最大持續風速高達每小時 180~190 公里，且陣風可達每小時 210 公里 (相當於臺灣強烈颱風)，是有紀錄以來肆虐印度阿拉伯海沿岸最強的熱帶氣旋。

5 月 17 日 20 時 30 分，氣旋陶特於古吉

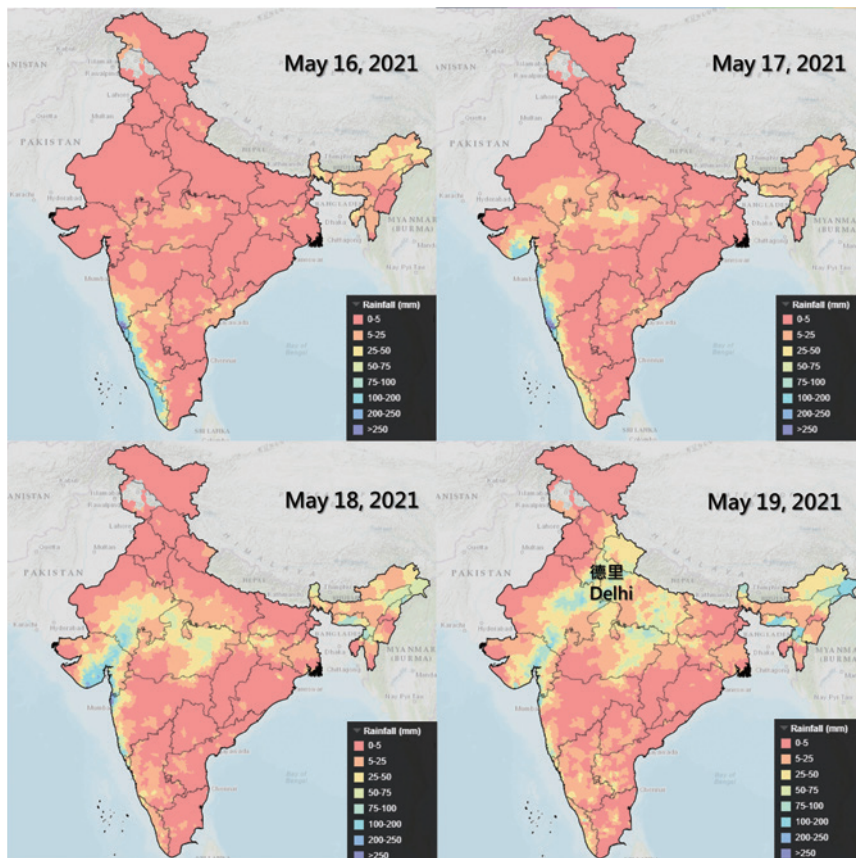


氣旋陶特路徑圖 (資料來源：IMD；加註：災防科技中心)

拉特邦 (Gujarat) 之第烏 (Diu) 以東 Una Taluka 地區登陸，登陸時之最大持續風速降低至每小時 150~175 公里，為特強氣旋風暴 (相當於臺灣中度颱風)；隨後侵襲古吉拉特邦與第烏海岸，並在 5 月 19 日晚間進一步減弱為低壓。

根據印度水資源訊息系統 (India Water

Resources Information System, India-WRIS) 之降雨觀測資料顯示，氣旋陶特在印度西部地區帶來豐沛雨勢，包括古吉拉特邦、馬哈拉施特拉邦 (Maharashtra)、果阿邦 (Goa)、卡納塔卡邦 (Karnataka) 以及喀拉拉邦 (Kerala) 等沿海地區。根據 IMD 降雨資料顯示，德里 (Delhi)

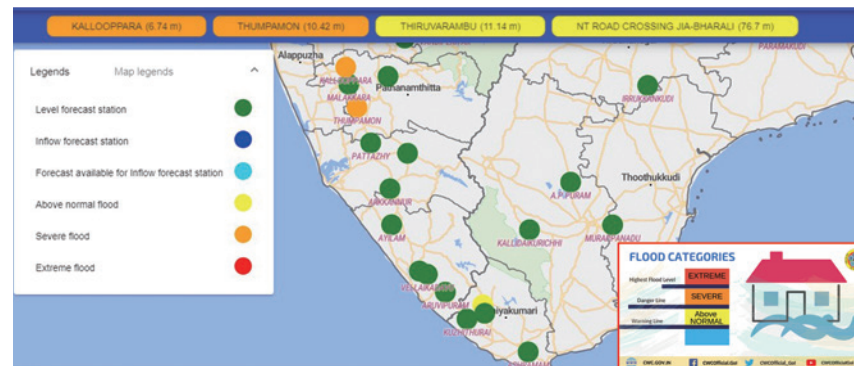


氣旋陶特影響期間印度每日累積雨量分布圖（資料來源：IMD；加註：災防科技中心）

測站於 5 月 19 日測得日累積雨量高達 119.3 毫米，創下自 1951 年以來 5 月降雨之最高紀錄（1976 年 5 月 24 日的一日降雨量紀錄為 60 毫米），約為過去近 70 年最高紀錄的 2 倍。

災害紀錄與分析

豪雨造成印度西海沿岸的河川水位上升，由印度中央水利委員會（Central Water Commission, CWC）所發布的 5 月 15 日**洪水預警資訊**，可



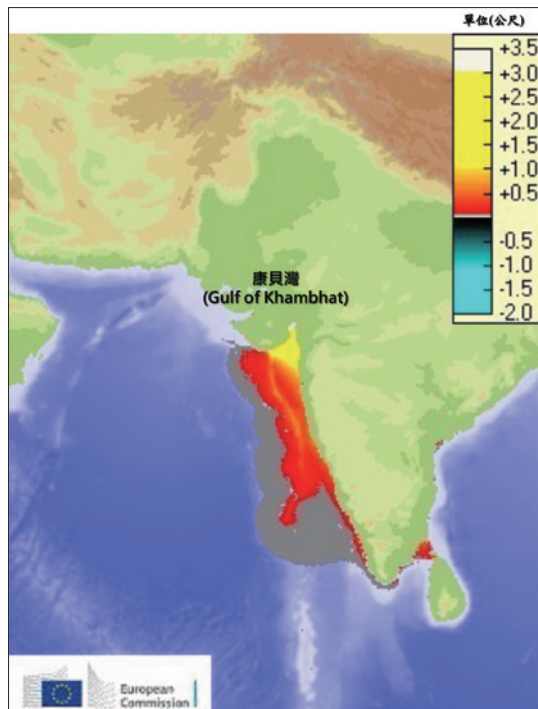
5 月 15 日喀拉拉邦之洪水預警資訊（資料來源：CWC）

知喀拉拉邦的 Kalluoppara 與 Thumpamon 水位測站已達到嚴重洪水等級。

氣旋陶特尚未登陸古吉拉特邦之前，就已為印度西部沿海地區帶來風暴潮威脅。根據全球災害警報及協調系統 (Global Disaster Alerting Coordination System, GDACS) 之暴潮偏差模擬結果，可看出氣旋陶特造成的風暴潮主要影響範圍係在古吉拉特邦、馬哈拉施特拉邦、果阿邦以及卡納塔卡邦等沿海區域，暴潮偏差量可達 1.5 至 3.0 公尺。而氣旋陶特登陸地點以東的康貝灣 (Gulf of Khambhat) 係屬於漏斗形海灣 (funnel-shaped bay)，此種港灣外型非常適合聚集颱風風能，並提高風暴潮高度，故造成該地區最大暴潮偏差量達 3.3 公尺（2021 年 5 月 18 日 0 時）。

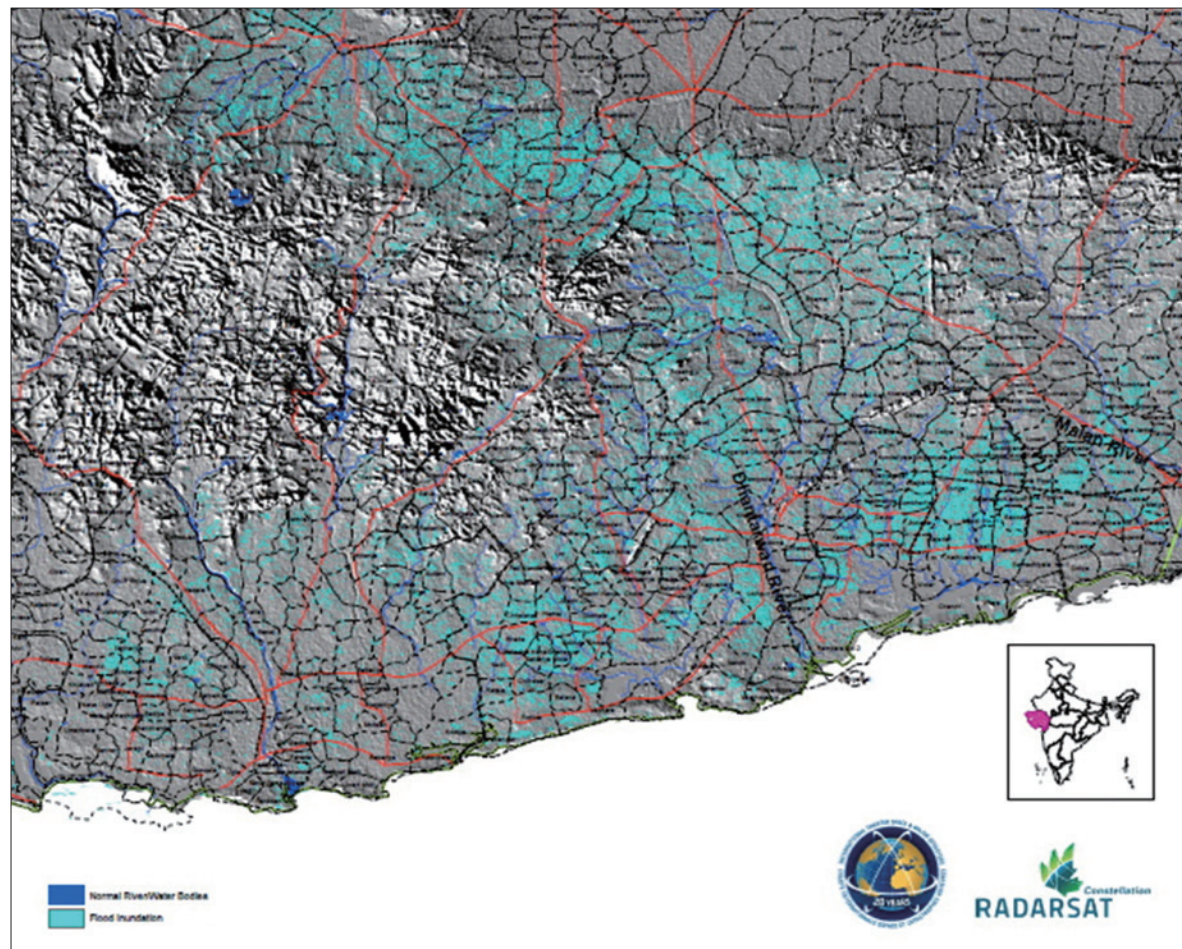
氣旋陶特登陸之前，已造成印度西海岸多邦地區衝擊與破壞，包括基

註 CWC 監測印度全國的洪水水情，分為四個警戒等級（正常、高於正常、嚴重、極端），其中「正常」水情係以綠色表示，代表當下河川的水位低於警戒水位 (warning level)；「高於正常」(above normal flood) 洪水係以黃色表示，代表河川水位已達或超過警戒水位，但仍低於危險水位 (danger level)；「嚴重洪水」(severe flood) 係以橙色表示，代表河川水位已達或超過危險水位，但低於最高洪水位 (highest flood level)，此測站會每三小時更新一次；「極端洪水」(extreme flood) 係以紅色表示，代表河川水位已達或超過最高洪水位，此測站會每小時更新一次。



氣旋陶特期間之暴潮偏差模擬結果 (資料來源:GDACS;加註: 防災科技中心)

礎設施、房屋受毀、樹木傾倒、電力中斷以及農業損失等災情，政府疏散海岸附近受影響之低窪地區約 25 萬人，包含 COVID-19 患者必須從沿海病房轉移到更遠的內陸醫院。然而，氣旋陶特亦夾帶強風，導致孟買市的 COVID-19 疫苗接種中心的建築物受損。隨著氣旋陶特登陸，古吉拉特邦沿海地區，遭受風暴潮衝擊，且由於大部分房屋結構強度不佳，造成嚴重毀損。此外，根據國際空間與重大災害特許組織 (International Charter on Space and



氣旋陶特造成古吉拉特邦登陸區的洪水災害圖 (資料來源: ICSDM)

Major Disasters, ICSDM) 所公布的洪水災害衛星影像圖資 (5 月 18 日)，可知氣旋陶特於古吉拉特邦登陸區附近也造成嚴重淹水的情況 (圖中紅色代表主要道路、深藍色為河流、淺藍色則代表淹水範圍)。

依據 NDMA 截至 5 月 22 日彙整，氣旋

陶特導致印度各地合計 181 人死亡 (包含孟買外海一艘船隻沉沒造成的死亡人數)、101 人受傷、122,530 棟房屋受損、農作物損失約 20,238 公頃、災害影響人數達 1,400 多萬人。

此外，根據 RMSI 初步估計，氣旋陶特造成印度之災害經濟損失約高於 20 億美元，其

中 25 ~ 40% 屬農業損失，15 ~ 20% 則來自交通運輸類，例如港口損壞造成之損失，剩餘則為公共部門之電力損失。

政府應變作為

為應對氣旋陶特所造成的災害，印度總理納倫德拉·莫迪 (Narendra Modi) 於 5 月 15 日以視訊方式召開高級別會議，審視各機構對於氣旋陶特的整備情況。其中隸屬地球科學部 (Ministry of Earth Sciences, MES) 的 IMD，在 5 月 13 日已開始針對受影響地區發布強風、豪雨以及風暴潮等警訊；隸屬**夏克提部 (Ministry of Jal Shakti)** 的 CWC 則發布洪水預警資訊。內政部 (Ministry of Home Affairs, MHA) 主要負責災難管理的總體協調，全天候視察應變情況，並透過 NDMA 與邦災害管理局 (State Disaster Management Authority, SDMA)、縣災害管理局 (District Disaster Management Authority, DDMA)，以及其他相關機構保持聯繫；國家災難應變部隊 (National Disaster Response Force, NDRF) 在 6 個邦部署 42 支專業部隊，具有船隻、砍樹機以及電信等設備，作為災害救援使用，並預留 26 支部隊待命；此外，NDRF 亦協助邦國進行人員疏散準備工作，且宣傳如何應對氣旋情況。電力部 (Ministry of Power, MP) 啟動緊急應變系統，並準備變壓器、發電機組等設備，以準備好立

即恢復電力；電信部 (Ministry of Telecom, MT) 密切關注所有電信網路之情況；衛生與家庭福利部 (Ministry of Health & Family Welfare, MHFW) 向可能受災害影響的地區發布衛生健康諮詢，且預備了醫療隊與急救藥品；港口、航運和水道部 (Ministry of Port, Shipping and Waterways, MPSW) 則進行了所有船舶之保護措施，並部署緊急使用的船隻。為確保民眾能夠安全疏散，印度總理指示需要採取一切可能的措施，確保維持電力、電信、衛生、醫院醫療設施、飲用水等基本服務。■

註 為整合水資源管理相關任務，印度政府於 2019 年 5 月將水資源部 (Ministry of Water Resources) 與飲用水衛生部 (Ministry of Drinking Water and Sanitation) 進行整合，並更名為「夏克提部」。





2021年5月18日，颶風陶特過後，人們在印度古吉拉特邦的一間受損的餐廳裡撿拾家具（資料來源：REUTERS/達志影像授權提供）

中國河南省鄭州洪災



出處

本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報，第 197 期，2021 年 12 月出刊

圖說

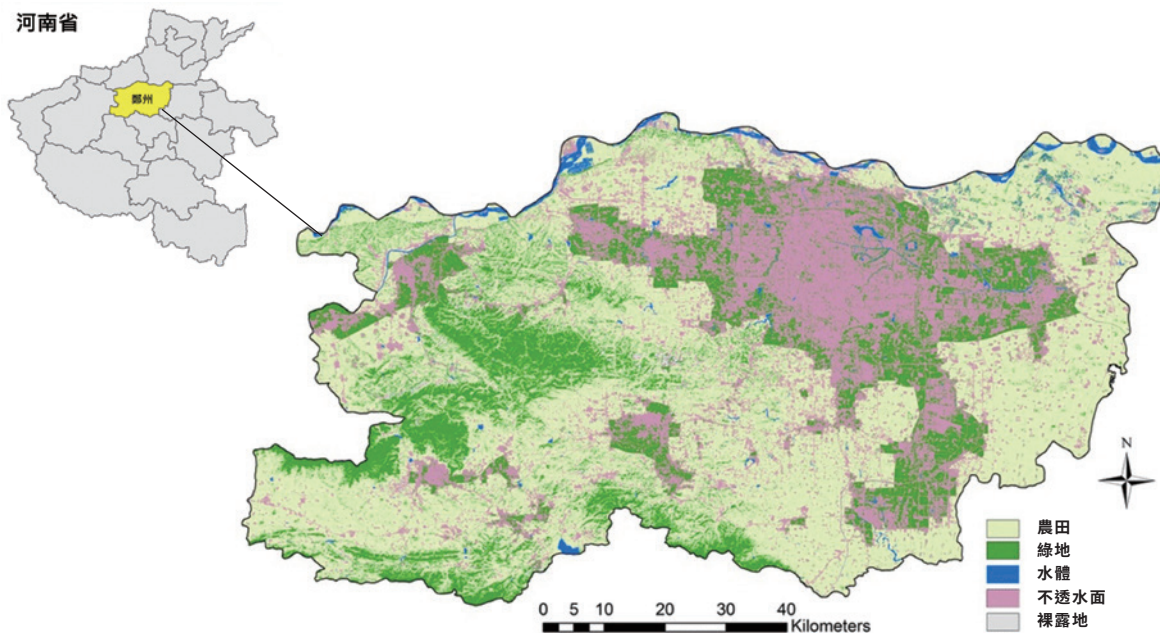
2021 年 7 月 22 日，中國河南省鄭州市大雨過後，救災人員在淹水的道路上協助疏散居民
(資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供)

災害概述

中國河南省鄭州市在 2021 年 7 月 17 日開始，連續 4 天遭受大範圍暴雨侵襲，鄭州市部分地下鐵路與京廣隧道遭到洪水淹沒。根據河南省氣象台的觀測資料顯示，鄭州市在 7 月 20 日的日雨量高達 627.4 毫米，與年平均總降雨量相當；當日在 16 時至 17 時觀測到的時雨量，更高達 201.9 毫米，打破中國各氣象站的歷史觀測紀錄，比當地的月平均雨量 156 毫米高出許多。暴雨發生的原因，與鄰近颱風和副熱帶高壓的氣流方向有關。烟花颱風攜帶的水氣，隨著高壓氣流方向，不斷地從洋面輸送至河南省上空；當水氣抵達河南省上空後，又受到太平山與伏牛山等地形抬升影響，降下暴雨，進而創下降雨歷史紀錄。河南省官方災情統計顯示，此次洪災總計造成河南省共 302 人罹難，50 人失蹤。其中，鄭州市共 292 人罹難，47 人失蹤。

背景說明

鄭州市是中國河南省的省會，人口約 1,260 萬人，其中約有 988 萬人居住在都會區。鄭州市自古即是文化發展中心，近年更為中國重點發展成市。中國國務院於 2016 年簽訂並執行「中原城市群發展規劃」，以建設鄭州市成為國家中心城市為目標。



鄭州市快速開發，土地利用呈現市中心有大區域的不透水表面（資料來源：Mu, Bo et al., 2020）

鄭州市的都會區位置和土地利用情形，如上圖所示，分別包含惠濟區、中原區、二七區、金水區和管城回族區，說明都市建設常用的不透水表面，為該區域的主要地表特徵。在 1990 年至 2020 年間，城市擴張範圍超出一倍之多。同時，由於鄭州市地理位置相對較低，屬於易淹水區域，因此，2016 年的「中原城市群發展規劃」章程，中國將鄭州市規劃為海綿城市的試點城市，希望讓城市可以像海綿一樣，具備蓄水、淨水、排水等功能，以降低洪災的傷害。

鄭州市內的主要河川為賈魯河，是淮河的二級支流，發源於新密市（位在鄭州市的西南方）。隨著鄭州市的發展，都市用水需求增加後，在賈魯河及其支流的上游建有多座水庫（郭家嘴水庫、常庄水庫、尖崗水庫）。

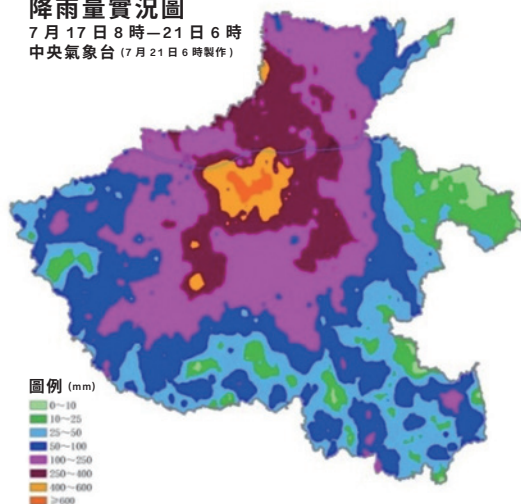
進駐鄭州市的臺商約 614 家，涉及的行業有百貨、食品、汽車、電機電子、建材、旅遊、航空、農業等多個領域，其中，鴻海集團旗下的富士康鄭州廠區，是世界最大的蘋果智慧型手機組裝工廠，約占世界產能的一半，2020 年的進出口值約占河南省總額的 48%。

氣象分析

河南省氣象台觀測資料顯示，河南省從7月17日至21日的降雨集中在鄭州市，分布範圍如下圖所示。其中，鄭州市在7月20日的16時至17時之間觀測到的時雨量高達201.9毫米，打破中國各氣象站的歷史觀測紀錄，比鄭州市的月平均降雨量143毫米高出許多。河南省官方氣象專家指出，此次暴雨成因與從烟花颱風輸送出的大量水氣有關。由於烟花颱風的水氣在鄰近副熱帶高壓的氣流引導下，不斷地從洋面輸送至河南省上空，隨後，受當地太平山與伏牛山的地形抬升作用影響，形成降雨，進而創下歷史紀錄。

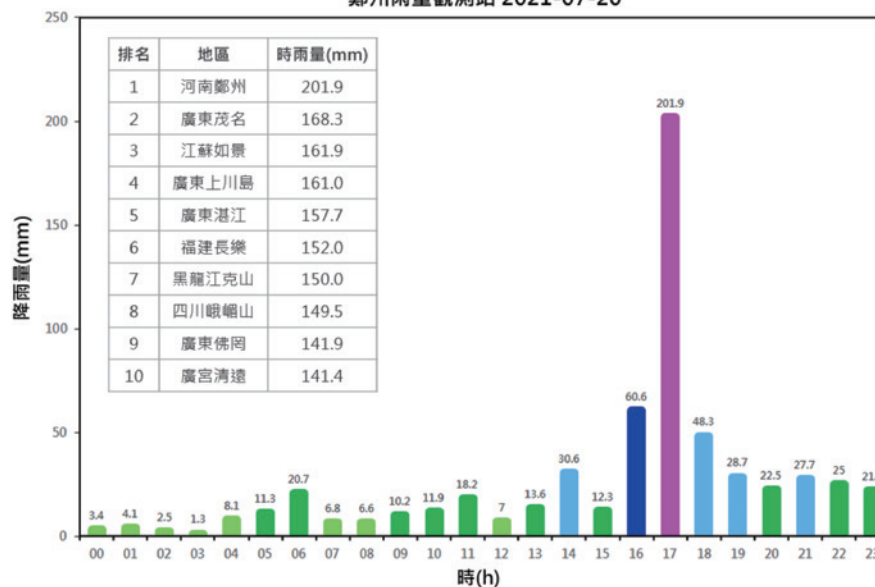
降雨量實況圖

7月17日8時—21日6時
中央氣象台（7月21日6時製作）



河南省7月17日8時至21日6時累積雨量分布圖
（資料來源：中國中央氣象台）

鄭州雨量觀測站 2021-07-20



柱狀圖：鄭州雨量觀測站在2021年7月20日的逐時雨量紀錄
表格：全中國最大時雨量紀錄排行
（資料來源：中國河南省氣象局；
改繪：防災科技中心）

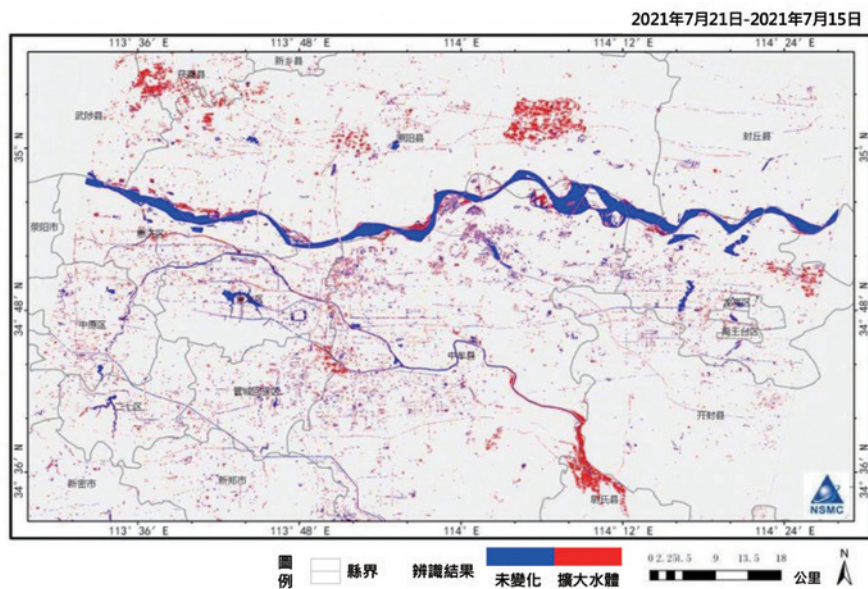
在觀測到破紀錄的降雨量前，鄭州市氣象局的天氣預報模式，即預報將發生致災性降雨，並於7月19日21時59分發布第一次**紅色暴雨警戒信號**；之後的18小時內，又發布4次紅色暴雨警戒，分別是在20日6時2分、9時8分、11時50分、16時1分。

註 紅色暴雨警戒，是最高等級的暴雨警戒，意指3小時內降雨量將達100毫米以上，或者已達100毫米以上且降雨可能持續。相應的預警防禦工作包括：(1) 政府及相關部門按照職責做好防暴雨應急和搶險工作；(2) 停止集會、停課、停業；(3) 做好山洪、滑坡、泥石流等災害的防禦和搶險工作。

災害紀錄

中國氣象台的高分衛星觀測，淹水發生位置如右頁圖所示，說明鄭州市及其周邊地區皆有淹水情形發生。根據河南省政府新聞辦8月2日召開的「河南省防汛救災」第十場新聞發布會公布的資料顯示，鄭州市受災人口約173.6萬人，共有292人罹難，47人失蹤。其中，因洪水、土石流導致死亡的有189人；因房屋倒塌導致死亡的有54人；因地下室、車庫等地下空間溺斃的有39人，包括在地鐵5號線遇難的14人，在京廣北路隧道遇難的6人，並造成倒塌房屋5.28萬間、農作物受損

高分衛星河南鄭州及周邊區域洪澇監測圖



中國氣象台依據高分衛星影像資料繪製之淹水範圍圖（資料來源：中國國家衛星氣象中心）

210 萬畝、道路損毀 11,461 處等。相關重點災情說明如下：

水庫災情

7 月 17 日開始降下的豪雨，造成賈魯河水位暴漲，多處水庫水位超越防汛警戒標準。賈魯河上游的常莊水庫，庫容量為 1,708 萬立方公尺，7 月 20 日的最高水位達到 131.31 公尺，超出警戒水位 3.82 公尺。在水庫蓄水超載的情況下，背水壩體在 125 公尺高程處，出現 13 處管湧險情。鄭州市防汛指揮部緊急在 20 日 10 時 30 分開啟水庫洩洪通道，並在 20 日 17 時起將賈魯河流域的**防汛 II 級應急響應提升至 I 級**。隨後，常莊水庫水位，於 21 日 7 時下降至 128.67 公尺，較最高時低 2.64 公尺。

繼鄭州市在 20 日 17 時發布防汛 I 級應急響應後，河南省防汛指揮部

鑒於河南省暴雨持續，鄭州市城區內澇嚴重，鐵路、公路、民航運輸等皆受到嚴重影響，經會商研判後，於 7 月 21 日凌晨 3 時，亦將河南省防汛應急響應提升至 I 級。防汛指揮中心提升至最高層級，由國家防災應變總指揮官主持，負責：密切監視汛情變化，每日在中央電視台發布「汛情通報」，調派各部會資源做好預警、防汛、物資調度、急難救援、醫療救治和疾病預防等工作。

京廣北路隧道災情

京廣北路隧道全長 1,835 公尺、雙向共 6 條車道，於 2020 年完成智慧隧道工程，透過整合各式建置在隧道內的觀測儀器、互聯網傳訊系統和隧道管理策略，管理人員即可在監控室掌握隧道內車流、燈光照明、排水系統等。根據《鄭州城市整體規劃》，鄭州市的快速道路及主幹道防洪設計，其設計標準是以抵擋 50 年一遇之降雨強度為基準。其中，隧道內共設置 2 座雨水抽水站，各抽水站每小時抽水能力約在 3,000 立方公尺。

根據報導，7 月 20 日 16 時，京廣北路隧道下班塞車，洪水在將近 19 時出現，並快速湧入隧道內，在不到 20 分鐘的時間內，整個隧道即被洪水淹沒。最後，依據官方資料顯示，隧道內的死亡人數共 6 人。

地鐵災情

鄭州市地鐵 5 號線在 7 月 20 日 18 時也開始傳出災情。根據官方表示，在暴雨的肆虐下，在 18 時左右，地鐵系統的一道擋土牆被沖垮，洪水湧入用於將列車運出地面、進行清理維修的隧道，灌入地鐵 5 號線（2019 年 5 月 20 日開通營運）。當擋土牆倒塌後，地鐵營運中心才宣布停駛，但是

註 防汛 I 級響應對應的災情為：(1) 在主要流域或多個地區發生嚴重洪澇災害，造成農作物受損、群眾受災、城鎮內澇等重大災情；主要防洪河道重要河段出現超標準的洪水；(2) 主要防洪河道重要河段堤防發生決口，需要啟用滯洪區；(3) 大型水庫發生重大險情，或位置重要的中小型水庫發生坍塌。



鄭州市京廣北路隧道周圍示意圖（重製：防災科技中心）

大量洪水已開始堆積在 5 號線最深的一段，即沙口路站—海灘寺站，導致許多乘客被困在車廂內。最後，官方公布的遇難人數有 14 人。

災害衝擊與復原作業

鄭州市是中國普通鐵路和高速鐵路網的交會中心、中國首批跨境電子貿易試點城市 and 國家級網際網路中繼站。此次洪災重創鄭州的交通、電力和供水系統，對經濟產生重大衝擊，使災後復原工作面臨重大挑戰。

就交通而言，鄭州市發生大範圍淹水，多數車輛被困在隧道、地下停車場而被淹沒。根據河南保險機構截至 8 月 3 日的統計數據顯

示，接獲申請的 54.58 萬理賠案件中，屬於車險報案的共 23.8 萬件。在洪水退去之後，由於地鐵、私有車輛泡水損壞，再加上近 8 成的計程車業者因已更換使用電動車，在充電樁被洪水損毀的情況下，營運受到影響。因此，鄭州市的公車集團透過增加運輸班次，提升約 15% 運輸量，並提供 1 個月免費搭乘的服務，以鼓勵市民搭乘大眾交通工具，讓全市復原工程順利進行。

就臺商企業而言，根據報導指出，當地臺商安全無虞，部分產業則因停水、停電被迫暫時停工。其中鴻海集團表示，富士康在鄭州的 3 座廠只有 1 座被洪水侵襲，而且受影響的工廠是連接器廠，而非 iPhone 代工廠，由於沒有機器損壞，加上富士康掌握好原料和零件，因此生產不會中斷。

就電子貿易市場而言，根據電信業者的資料顯示，鄭州市民使用行動支付的比例，在 2020 年底已高達 86.5%，並且支付的單筆交易金額，並非僅限於中高價位，小額購物的比例已從 2019 年的 15.1% 上升至 2020 年的 38.4%。在多數民眾出門不攜帶現金的習慣下，災情後，當民眾外出購買民生物品時，部分民眾遇到無現金、也無行動支付可消費的窘境。

就公共衛生與醫療體系而言，洪災之後，鄭州市於 7 月 30 日新增一名 COVID-19 感染者，截至 8 月 4 日止，河南官方統計的感染者增加至 101 例。同時，官方證實，病毒的基因

序列顯示，此次病毒傳播鏈是由 Delta 病毒株引起。為阻止病毒擴散，官方緊急召開疫情防控工作會議，要求全市居民皆須進行病毒核酸檢測，並進行區域封鎖。

結論

鄭州市作為中國重要發展都市，獲得許多資源建設成國際化都市，具備便利的交通網絡、電子貨幣交易市場等，進而吸引世界大型企業進駐。截至 2020 年底，鄭州市的地區生產總值 GDP 已高達 12,000 億人民幣，是中國城市排名第 16 名的一線城市。除了經濟開發，鄭州市亦著重於城市的永續發展，在防洪規劃方面，同時考量城市蓄水、防洪、耐災能力等。自規劃以來，共消除 125 處易淹水區，消除率約達 77%。依據鄭州市防洪設計標準，應對的降雨量為 20.5 毫米，是以抵擋 50 年一遇之降雨強度為設計基準。然而，眾多的防洪建設，仍未能減輕極端洪災帶來的衝擊。■



2021年7月，中國救援人員於強降雨後，進入河南省鄭州市地鐵5號線內檢查（資料來源：REUTERS/達志影像授權提供）

日本靜岡縣熱海市土石流災害



出處

本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報，第 198 期，2022 年 1 月出刊

圖說

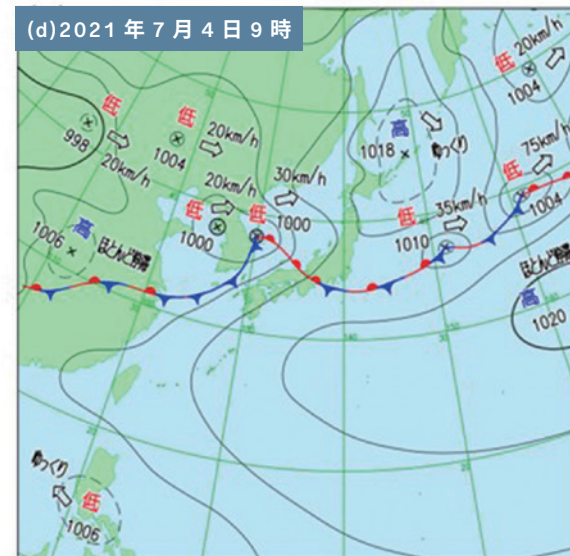
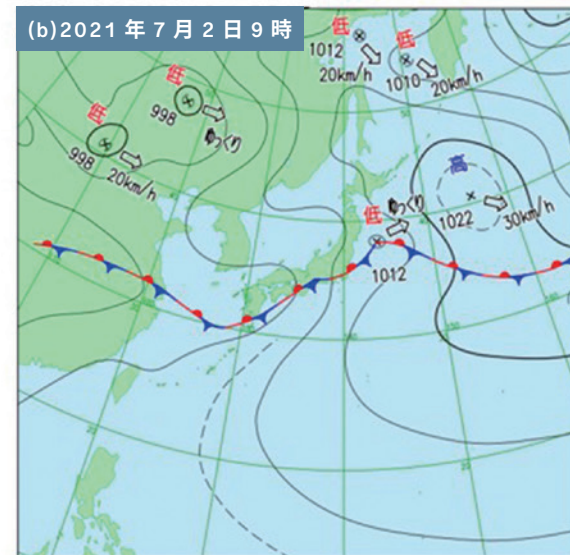
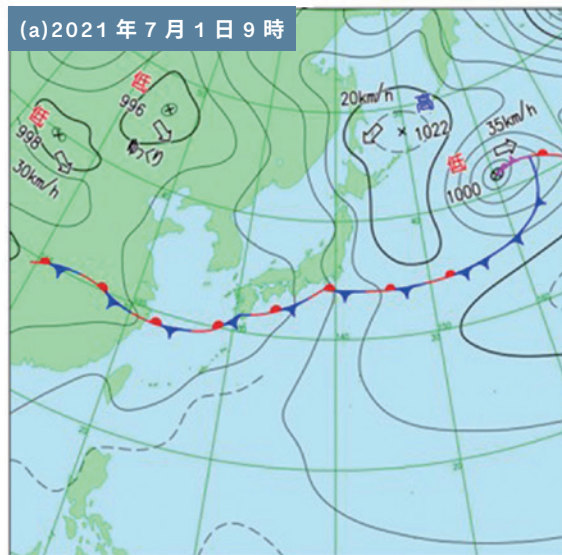
2021 年 7 月 5 日，日本警方及救災人員在靜岡縣熱海市土石流災區進行搜查
(資料來源：AP/達志影像授權提供)

災害概述

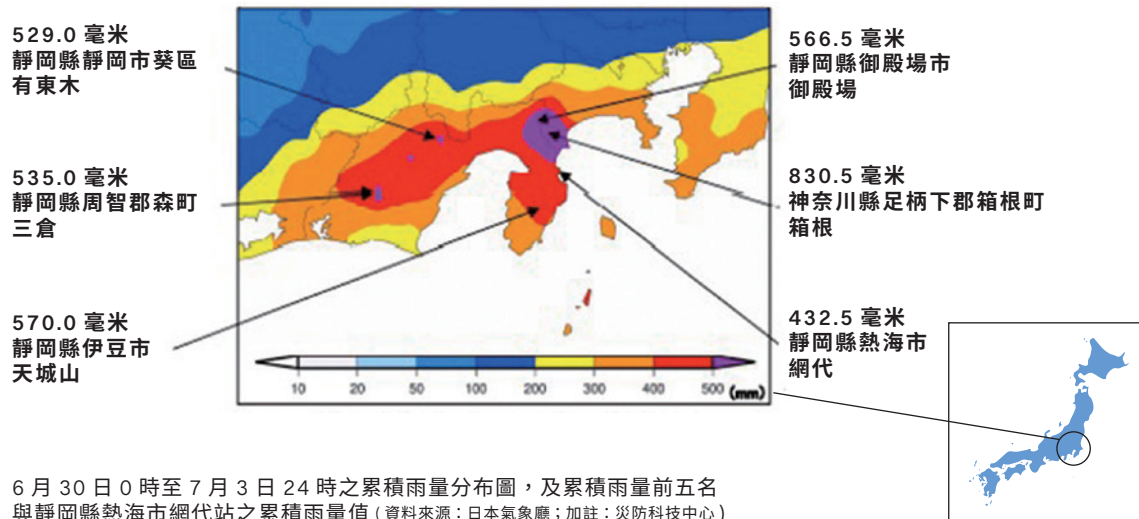
日本靜岡縣熱海市伊豆山地區在 2021 年 7 月 3 日上午約 10 時 35 分發生土石流事件，源頭發生於海拔高約 390 公尺，順著逢初川（あいぞめがわ）流下，影響至 1 公里外，涵蓋寬度約 120 公尺。根據靜岡縣災害對策本部 9 月 3 日針對熱海伊豆山土石流事件第 50 次報告顯示，此次事件總計 26 人死亡，1 人失蹤，輕重傷共計 3 人，受損建築數量共 128 棟，合計 135 戶，觀光經濟損失推估約 15.4 億日圓。

氣象分析

當時序進入 6 月底時，隨著太平洋高壓勢力的逐漸增強與西伸，東亞地區的梅雨鋒面也逐漸由南往北移動，從臺灣朝長江流域、日本方向移動。根據 6 月 29 日日本氣象廳天氣圖，一道梅雨鋒面呈現東西走向，由琉球群島延伸至長江流域。隨後，此道梅雨鋒面逐漸向北移動，在 7 月 1 日至 3 日移動到日本本州，並由東日本向西日本呈現滯留的狀態（如右圖 a~c）。由於暖濕空氣不斷透過西南風往鋒面輸送，大氣條件相當不穩定，也使得梅雨鋒面上的劇烈對流系統不斷發展。根據日本氣象廳的雨量分析，梅雨鋒面上的線狀對流系統，於 7 月 1 日通過本州外海的伊豆諸島時，就降下 3



2021 年 7 月 1 日至 4 日天氣圖（資料來源：日本氣象廳）



熱海市各延時最大累積雨量（分析時段為2021年6月30日0時至7月4日0時）與歷史最大值（統計時段為2006年5月至2020年12月）之分析。圖上百分比數字為本次事件觀測值與歷史極值之比值（資料來源：日本氣象協會；加註：防災科技中心）

小時超過150毫米以上之強降雨。

由於梅雨鋒面滯留所造成之持續降雨，使得東日本南部臨近太平洋之縣市出現了超越歷史觀測紀錄的降雨量，也導致静岡縣熱海市發生土石流、河水氾濫及淹水等災情。7月4日，梅雨鋒面開始往北移動（如上頁圖d），主要降雨區轉移到鄰近日本海側之縣市，災區的降雨才逐漸趨緩。

根據日本氣象廳雨量資料，6月30日0時至7月3日24時的降雨主要集中在東日本南部鄰近太平洋之縣市。最大累積雨量為神奈川縣箱根測站的830.5毫米，第2~5名則都在静岡縣境，分別為伊豆市天城山站的570毫米、御殿場市御殿場站566.5毫米、周智郡森

町三倉站535毫米及静岡市葵區有東木站529毫米，而鄰近發生土石流災害為熱海市網代站，其累積雨量則是432.5毫米。根據上述測站之降雨歷線分析，清楚顯示降雨主要發生在7月1日至7月3日這72小時內。進一步分析72小時最大累積雨量，有許多測站刷新了歷史上7月的極值，甚至創下了該站觀測史上的新紀錄。

分析本次梅雨鋒面降雨特性，從72小時累積雨量與過去歷史極值之比較，静岡縣與神奈川縣有許多區域創下歷史新高外，部分地區的降雨量甚至達到歷史極值的1.5~3倍（150~300%）。進一步聚焦到發生土石流的静岡縣熱海市，從不同延時最大雨量與歷史極值之

比對分析結果顯示，3、6、12及24小時之最大降雨量，分別約為歷史值的67~80%不等。但48小時及72小時的累積雨量則是都刷新了歷史值，分別達到歷史值的113%及133%，說明了本次鋒面降雨屬於長延時強降雨事件，進而導致土石流發生。

災害紀錄與分析

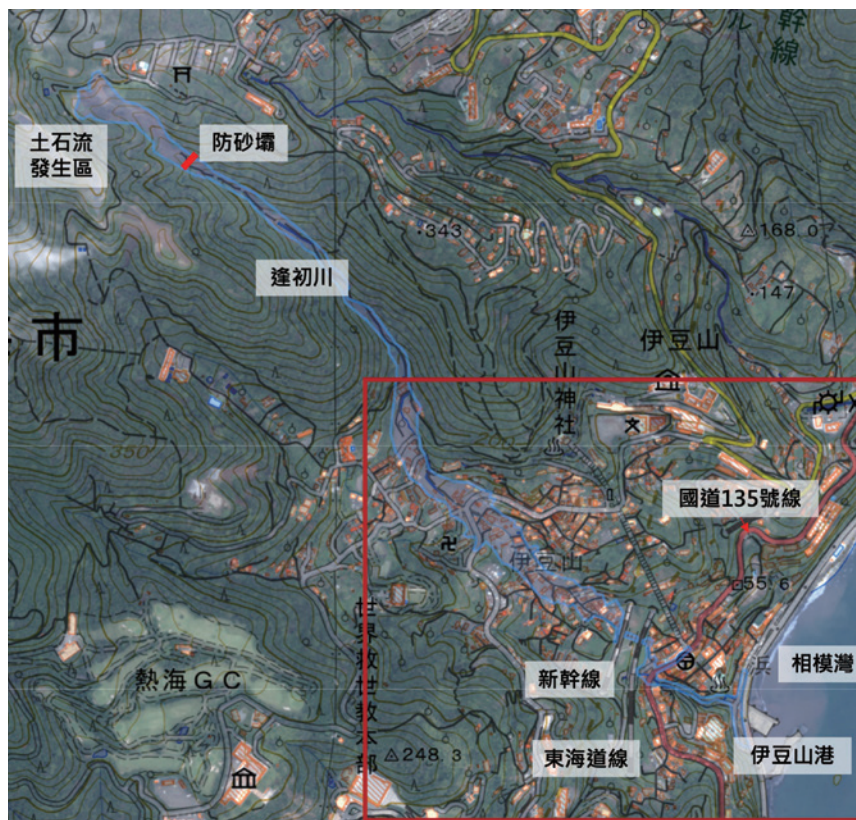
災害歷程

根據媒體報導指出，7月3日6時已經有小規模的土砂崩落，日本警消與自衛隊已展開管制行動；8時28分左右，已有民眾拍攝到

逢初川出現高濃度含砂水流，並於 10 時 35 分記錄到土石流發生，造成下游共計 128 棟建築物損毀，26 人死亡以及 1 人失蹤。土石流發生區為高程約 390 公尺之人為山谷填方區，其流動長度約 1.9 公里，一路流入伊豆山港之相模灣。國道 135 號、新幹線與東海道線因土石流發生暫時停駛，土石流發生位置如下圖所示。

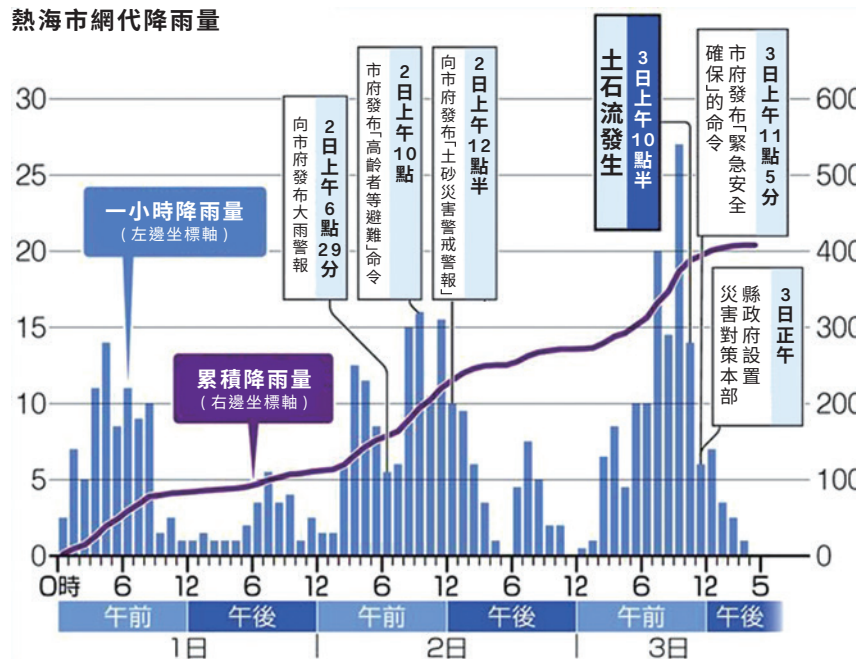
應變歷程

此次豪雨事件第一次使用「防災警戒等級之避難指示」新調整之規定，熱海市政府發布的警戒資訊時序與降雨資訊，如右圖所示。7 月 2 日



日本靜岡縣熱海市土石流發生位置 (資料來源：Google Maps、日本國土地理院；加註：災防科技中心)

熱海市網代降雨量



熱海市網代降雨量與避難警戒訊息發布狀況圖 (資料來源：東京新聞；編修：災防科技中心)

早上 10 時發布第 3 級警戒，老年人等須疏散避難。由於 2 日下午降雨趨緩，熱海市政府維持第 3 級警戒，但於 3 日凌晨開始新一波持續性降雨，10 時之時雨量為新一波降雨之最大時雨量，且大於 2 日降雨，10 時 35 分後發生土石流災害。土石流發生後，日本氣象廳針對靜岡縣熱海市發布第 4 級避難警戒，熱海市政府認為轄內皆可能再發生土石流災情，於 7 月 3 日 14 時 23 分針對熱海市全市 20,957 戶與 35,602 人，發布最高等級的 5 級「緊急安全措施」，當地警消及自衛隊立即進行搜救。

災因分析

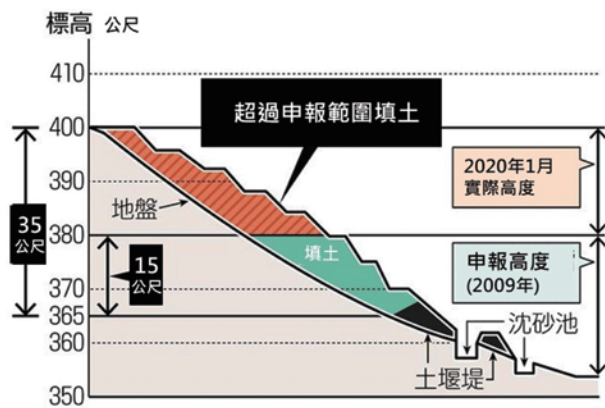
根據歷年衛星影像資料、日本國土地理院 2009 年 (中部地方整備局之公共測量資料)、2019 年 (靜岡縣之公共測量資料) 以及 2021 年 7 月 6



2019 年災區航照圖（資料來源：日本國土地院）

日災後的數值地形資料，進行地形變化分析。2011 年山區已有大範圍的土地開發，紅色框線為此次事件之填土區範圍，呈現階梯狀地表型態；2016 年衛星影像已顯示出土石流事件溪溝右岸稜線已開始進行太陽能廠區整地，2019 年與 2021 年太陽能板開始裝設。各年度地形變化說明如下：

- 2009 年以前防砂壩已建置完成，防砂壩以上之河道窄且深，河道平整；土石流災害發生後，壩體庫區增加 7,500 立方公尺土方。
- 根據靜岡縣調查報告指出，2009 年申報為三階填土工程，填土高度約 15 公尺，填土範圍約 3.6 萬立方公尺。然而，根據 2020 年與 2010 年地形圖比較後，填土範圍內填土高度約 35~52 公尺之間，推估約有 5.4



填土工程申報與實際高度比較表（資料來源：靜岡縣、中日新聞；加註：防災科技中心）

萬立方公尺土方。

- 土石流流出之土方量 90% 來自於填土區。
- 2021 年土石流發生後，仍有約 2 萬立方公尺土方在原来的填土區上。有鑒於此，現勘之專家認為未來災害發生機率高，建議復原重建完成前，須嚴防二次災害發生以及擬定相關應變作為。

政府應變作為

災後緊急製圖公開與共享

日本國土地院 (GSI) 為「日本災害對策基本法」的指定行政機關 (DGOs)，其防災相關業務為提供國家基本地理空間資訊，可在日本重大自然災害事件後，一週至一個月

內迅速公開相關資料。例如本次熱海市土石流災後，由 GSI 的相關部門出動無人機勘測隊 (Geographical Survey Institute Landbird, GSI-LB)，執行正射攝影任務，立即於 5 日開始公開相關災後影像，並以事件式網頁彙整土地利用圖、火山地形圖、數值高程地形圖、歷史影像以及研判分析後之圖資連結，提供其他單位進行後續分析。

回填土與限制法令

根據靜岡縣政府調查報告瞭解此次土石流發生原因，除了長延時降雨之外，山谷源頭約 5 萬立方公尺違規回填土，是造成災害衝擊主要原因。由 2020 年 1 月與 2010 年 1 月的地形圖後發現，申請填土合法高度與實際高度相差 2 倍，額外承載能力與超出下方防砂壩庫容量，致使流出之 90% 填土區之土方量衝擊下方溫泉區。經由此次熱海土石流事件，引起日本政府與民眾關注回填土、棄土堆置使用管制與法令是否有嚴格執行，並作全面性清查。

災民集中入住旅館兼顧防疫，減少政府工作人員負擔

災害發生後，熱海民眾分散收容在小學及公民館（類似臺灣社教館）等處，但因土石流的規模與後續可能的復原重建時間較長，須延長收容時間。由於熱海市擁有超過 140 間旅館，是日本知名的溫泉觀光地區，熱海市政府

與溫泉飯店合作，市政府於 7 月 4 日起將災民轉移到市內 2 間飯店旅館與 1 所小學內，熱海市最多曾透過旅館收容 584 位災民，截至 7 月 28 日為止，尚有 332 位居民分別住在 2 間旅館中。

熱海市並於 7 月 19 日為旅館避難的災民接種 COVID-19 疫苗，降低群聚感染的風險。靜岡縣政府也派遣災難精神醫療救援隊 (DPAT) 前往各避難所巡迴駐點，以提供長期協助為目標，協助災民面對災後的心理狀況。另外，除災民採用旅館收容外，投入救災的自衛隊，也降低營地帳棚的容納量，將原可容納 4 人限制為 2 人，並在床位間懸掛塑膠隔板。■



2021 年 7 月 5 日，日本靜岡縣發生土石流災害，一度導致 JR 鐵路及新幹線停駛（資料來源：AP/ 達志影像授權提供）

颶風艾達侵襲美國



圖說

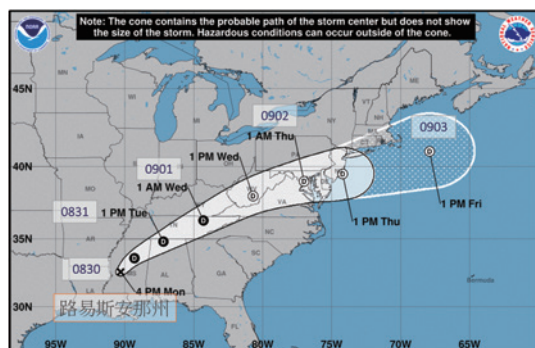
2021 年 9 月 2 日，颶風艾達席捲美國路易斯安那州，造成電力設施及房屋受損（資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供）

災害概述

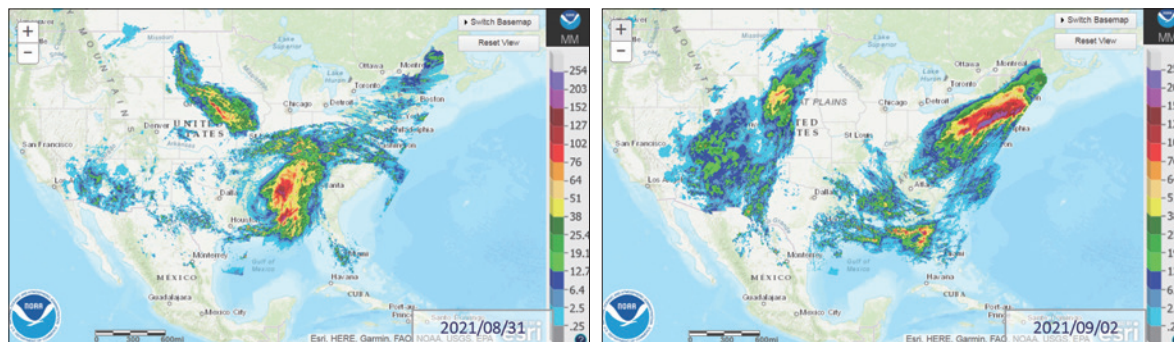
美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 資料顯示，2021 年 8 月 25 日上午，一個低氣壓在加勒比海西南部形成，隨後於 8 月 27 日上午增強為熱帶風暴，且登陸古巴青年島 (Isla de la Juventud)；8 月 29 日下午，增強為 4 級颶風艾達 (Ida)，最大持續風速高達約每小時 213 公里，並登陸美國南部路易斯安那州；登陸之後，於 8 月 31 日上午，因陸地影響逐步減弱為熱帶低氣壓，且朝美國內陸之東北方向前進。直到 9 月 2 日，美國受颶風艾達的影響才逐漸結束。

氣象與水文分析

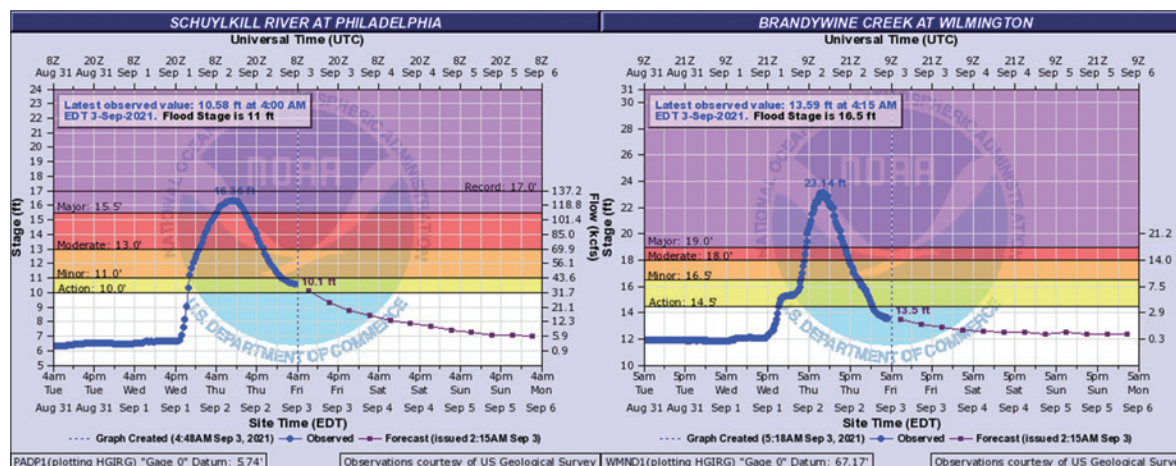
右上圖為美國於 2021 年 8 月 31 日及 9 月 2 日之日累積雨量分布圖，明顯看出颶風艾達



颶風艾達路徑圖 (資料來源：NOAA)



2021 年 8 月 31 日及 9 月 2 日之日累積雨量分布圖 (資料來源：NOAA)



美國費城與布蘭迪萬河測站於颶風艾達期間之河川水位歷程 (資料來源：FloodList, NOAA)

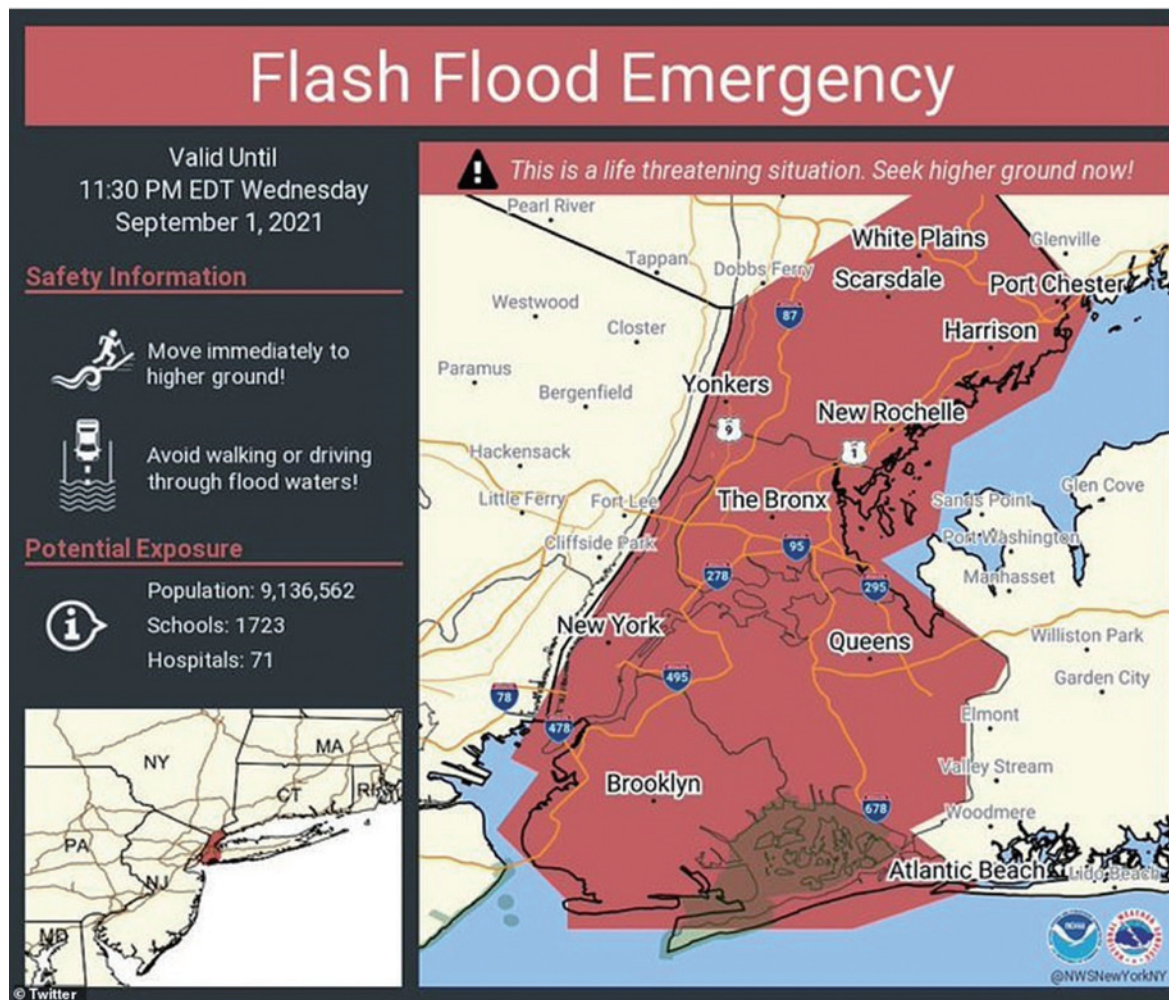
帶來豐沛降雨量。根據觀測資料，紐約中央公園地區於 9 月 2 日之 24 小時累積雨量高達約 183 毫米，成為過去 150 年來第五高的日降雨量。

此外，艾達在紐約市中央公園地區帶來 80 毫米的破紀錄時雨量，超過 2021 年颶風亨利 (Henri) 侵襲期間的 49.27 毫米時雨量紀錄。

艾達夾帶的豐沛豪雨，造成美國東北部地區的沿岸河川水位上升，引發洪水災害，其中賓夕法尼亞州斯庫爾基爾河 (Schuylkill River) 的費城 (Philadelphia) 測站與德拉瓦州威爾明頓 (Wilmington) 的布蘭迪萬河 (Brandywine Creek) 測站之水位，於 9 月 2 日都超過危險警戒，皆處於嚴重淹水 (major flooding) 狀態。

颶風艾達侵襲美國東北部之前，雖已降為熱帶低氣壓，風力減弱，但仍帶來破紀錄的降雨量，造成市區地鐵與街道淹水、交通中斷、電力設施以及房屋受損等災情，截至9月3日，導致至少 40 多人喪生，其中紐澤西州有 23 人死亡，紐約州有 16 人喪生（其中 13 人在紐約市）。

颶風艾達轉弱為熱帶低氣壓，在紐約地區降下創紀錄的雨量，導致紐約至少 46 個地鐵站遭洪水灌入，美國氣象局 (National Weather Service, NWS) 針對紐約地區發布洪水預警資訊，進入暫停所有地鐵營運的緊急狀態。在這次破紀錄的降雨災情中，紐約地區早期興建完成的地鐵防洪基礎設施無法將洪水迅速排出 (紐約下水道設計保護標準約每小時 44.5 毫米)，造成洪水進入地鐵，導致交通中斷及人員傷亡。■



紐約地區之洪水預警資訊 (資料來源: NWS)

尼泊爾與印度洪災



圖說

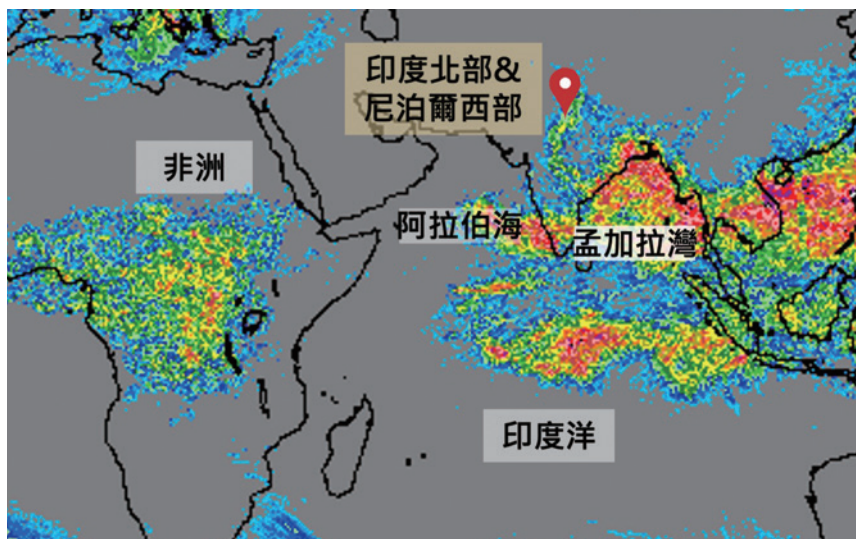
2021 年 10 月 20 日，連日降雨導致尼泊爾 Myagdi 發生崩塌災害，車輛受困於路況惡劣的山區中（資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供）

氣象狀況

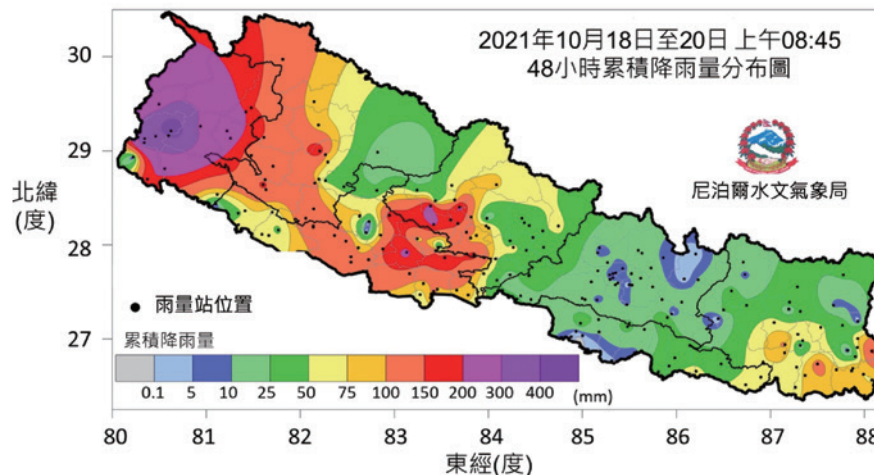
尼泊爾以及印度北部等地區，每年季風帶來的降雨通常於9月底結束，然而自2021年10月下旬起，來自孟加拉灣的水氣持續朝西邊移動，對位於南亞之尼泊爾西部以及印度北部北阿坎德邦 (Uttarakhand) 地區帶來大量降雨，導致兩國發生多起崩塌以及淹水事件。

尼泊爾災情

依據尼泊爾水文氣象局 (Department of Hydrology and Meteorology, DHM) 資料顯示，尼泊爾西半部遠西省 (Sudurpashchim Province) 自10月18日起開始降下大雨，18日至19日測得最高累積降雨量大於500毫米，導致多處發生崩塌以及淹水事件，其中以坎家普爾區 (Kanchanpur) 的馬哈卡利河 (Mahakali) 的溢淹造成最多傷亡，總計118人死亡、淹沒200多



2021年10月18日衛星估計降雨 (資料來源: NOAA; 加註: 災防科技中心)



尼泊爾 48 小時累積降雨量 (資料來源: DHM; 加註: 災防科技中心)

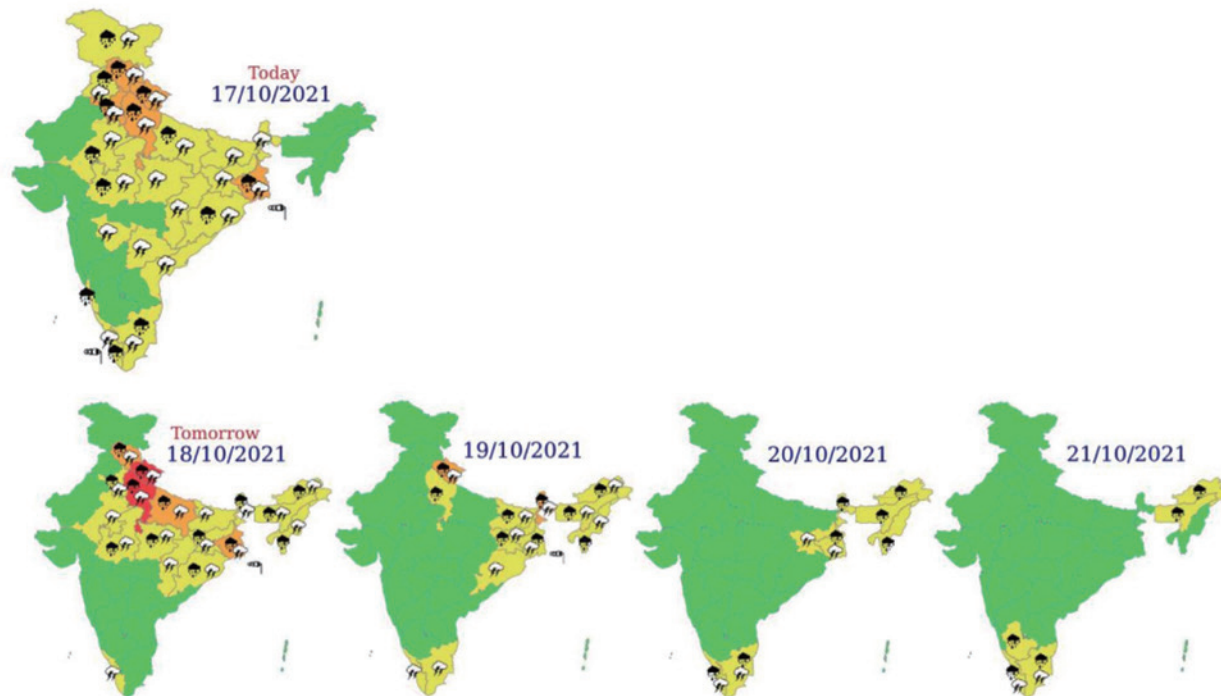
10月18日至19日48小時累積雨量排序表 (資料來源: DHM)

排序	雨量站名稱	雨量 (毫米)
1	Sahu Khark, Dadeldhura	502.2
2	Gaira, Doti	387.0
3	Jogbudha, Dadeldhura	367.8
4	Gaibande, Dadeldhura	357.8
5	Chaurbandale, Dadeldhura	349.0
6	Dipayal, Doti	282.8
7	Safebagar, Achham	270.0
8	Santbajh, Baitadi	256.2
9	Mangalsen, Achham	232.0
10	Darchula New, Darchula	224.9
11	Ghorepani, Myagdi	220.8
12	Darbang, Myagdi	220.6
13	Khanchikot, Arghakhachi	220.6
14	Attariya, Dhangadhi	220.3
15	Galkot, Baglung	211.4

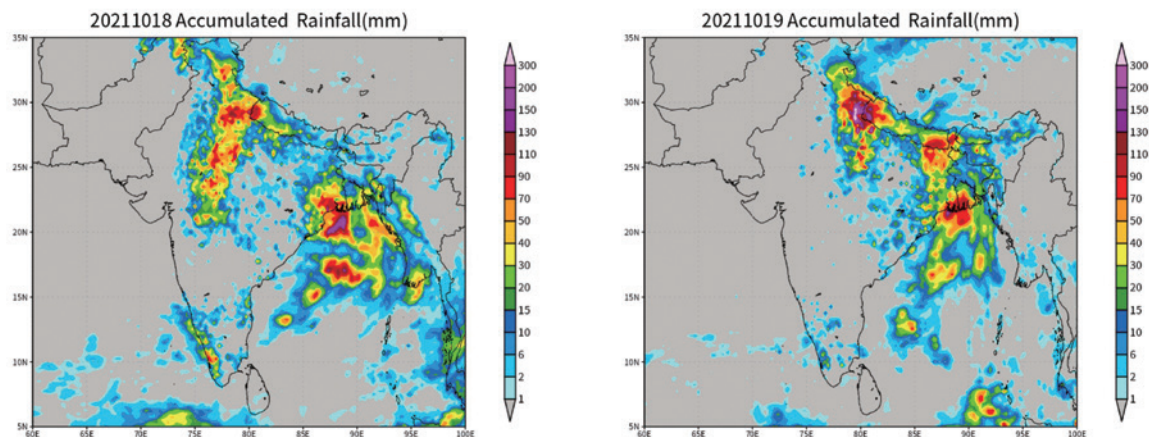
間房屋。另外，由尼泊爾國家減災與管理局 (National Disaster Risk Reduction & Management Authority, NDRRMA) 所公布的資訊，本次降雨事件所引發的淹水、崩塌災害，截至 10 月 23 日止，已造成尼泊爾累積 353 人死亡、80 人失蹤、1,284 人受傷。

印度災情

印度氣象局 (India Meteorological Department, IMD) 於 10 月 17 日對北阿坎德邦發出強降雨紅色警戒，隨後 18 日開始降下大雨，造成多處淹水與崩塌，其中以奈尼塔爾區 (Nainital) 發生之淹水事件最為嚴重，造成 57 人死亡。印度氣象局公布 18 日、19 日累積降雨，以及北阿坎德邦當週降雨與週平均降雨比例圖，可見最多高出 433.9% (約 4.3 倍)；此外，國家應急行動中心 (National Emergency Operations Centre, NDMI) 公布，本次降雨事件在北阿坎德邦內導致多起崩塌事故，造成 52 人死亡。國家災害應變部隊 (National Disaster Response Force, NDRF) 部署了 17 支救援隊伍於北阿坎德邦，疏散 1,300 多人，並於當地發放救援物資。



印度 10 月 17 日及未來 4 天預報降雨警戒資訊 (資料來源：IMD)



印度地區 10 月 18 日及 19 日的雨量分布圖 (資料來源：IMD；加註：災防科技中心)

中國山西省洪災



出處

本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報，第 200 期，2022 年 3 月出刊

圖說

2021 年 10 月 10 日，中國山西省晉中市介休市，暴雨造成洪災，淹沒部分社區及農田
(資料來源：CNS/ 達志影像授權提供)

災害概述

山西省在 2021 年 10 月 2 日至 7 日遭受到有氣象紀錄以來最強의秋汛，長延時強降雨造成多處傳出坡地崩塌、河堤潰堤、淹水、道路中斷等災情。其中，平時乾涸無水的烏馬河，以及經常因為水流不足而出現斷流的汾河，都出現潰堤溢淹的嚴重災情。此次洪災的農作物受損面積達 3,576,900 公畝，並短暫影響煤炭的產量，加上大雨影響公路、鐵路，導致運輸成本提高，造成煤價波動。

背景說明

中國山西省位處於黃土高原的東邊，為典型黃土廣泛覆蓋的山地高原，地勢東北高西南低，山地、丘陵面積占全省總面積的 80.1%。山西屬於中緯度地區，在氣候類型上為溫帶大陸性季風氣候，具有四季分明、光照充足、南北氣候差異顯著、冬夏氣溫懸殊、晝夜溫差大的特點。山西省各地年平均溫度介於 4.2~14.2℃之間，全省各地年降雨量介於 358~621 毫米之間，6 月至 9 月降雨相對集中，約占年降雨量的 60%，降雨分布受地形影響較大。

汾河是山西省內最大的河流，也是黃河的第二大支流，全長約 713 公里。山西工業經濟發達且礦產資源豐富，因此，山西省空氣汙染、水汙染、水資源破壞等問題都相當嚴重。山西省擁有豐厚的歷史文化遺產，全省共有 3 處世界文化遺產（平遙古城、雲岡石窟、五台山）、452 處全國重點文物保護單位，為全中國最多的省分。

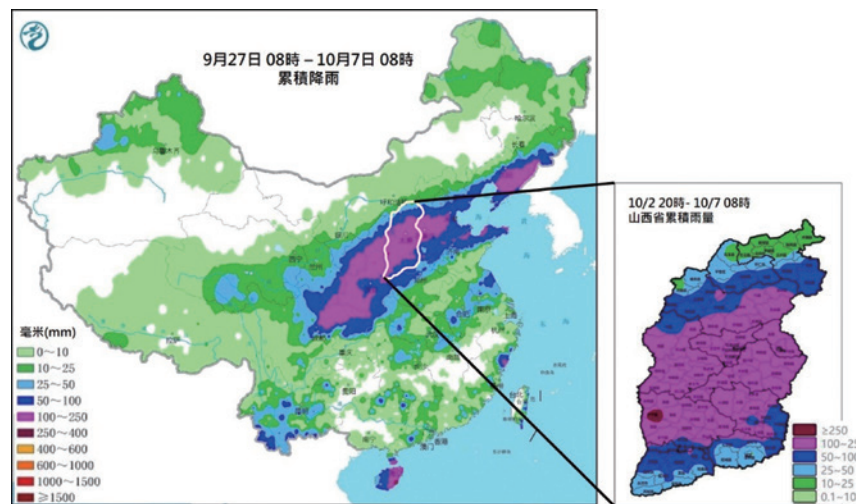
氣象分析與致災原因

山西省主要降雨為每年的 6 月至 9 月，10 月山西全省平均降雨僅 31.1 毫米。此次事件從 10 月 2 日夜間開始，強降雨持續至少 5 天，最強降雨

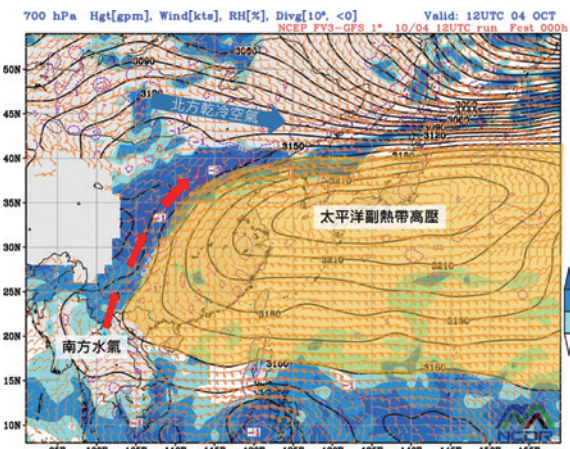
出現在 4 日及 5 日，連續 2 天在山西省中部出現區域性的暴雨，其中 10 月 5 日的降雨為氣候值的 3 倍以上，部分地區更高達氣候值的 5 倍以上。10 月 2 日 20 時至 10 月 7 日 8 時，山西省平均降雨量達 119.5 毫米，全省有 18 個縣市的降雨量超過 200 毫米，有 51 個縣市的降雨量在 100~200 毫米之間；主要降雨區為山西省中部。此次最大累積降雨量達 285.2 毫米，山西省共有 59 個氣象觀測站的日累積雨量，和 63 個氣象觀測站的累積降雨量超過同時期的歷史紀錄。

氣溫在降雨後期（4 日至 6 日）持續走低，受到冷空氣的影響，7 日至 11 日，山西大部分地區平均溫度下降 8~10℃，在 10 月 11 日最低溫降至 1℃左右，更增加了救災的難度。

此次降雨事件的主要原因是偏強的太平洋副熱帶高壓（如下頁圖）。往年 10 月，副熱帶高壓已東退到太平洋海面上；2021 年 10 月初，太平洋高壓卻異常偏北、偏西及偏強，且穩定維持在華中以南地區。此外，來自海洋的水氣則沿著副熱帶高壓的西側往北輸送到山西的中南部地區，與北方的乾冷空氣相遇後，形成鋒面降雨。



9 月 27 日 8 時至 10 月 7 日 8 時累積降雨圖（資料來源：中國中央氣象台）



10月4日大氣環境示意圖，黃色為太平洋副熱帶高壓區域，藍色為700百帕水氣（資料來源：NCEP；加註：災防科技中心）

災害紀錄與分析

受到黃河北幹流量升高的影響，黃河中游的潼關水文站在5日23時，流量達到每秒5,090立方公尺，中國水利部宣布為**黃河2021年第3號洪水**。

山西省政府於防汛救災新聞發布會上表示，截至10月12日上午，山西省內有37條河流發生洪患，有1,763處文物出現了不同程

註 黃河洪水編號標準：上游唐乃亥水文站或蘭州水文站流量達到每秒2,500立方公尺；中游龍門水文站或潼關水文站流量達到每秒5,000立方公尺；下游花園口水文站流量達到每秒4,000立方公尺；複式洪水：上游洪水時間間隔48小時，或中下游洪水時間間隔達24小時。

度的牆體開裂坍塌、地基塌陷、建築倒塌等災情；其中，屬中國觀光景點5A最高等級的平遙古城城牆出現受損和局部坍塌狀況，此次洪水共226個村莊淹水，1,757,100人受災，15人死亡，3人失蹤，緊急轉移安置120,100人，農作物受災面積3,576,900畝，房屋倒塌19,500間，嚴重損壞18,200間，超過33萬戶停電，直接經濟損失約50.29億人民幣，公路累計受損6,523.36公里，因災受損阻斷3,347處。山西省重點災害事件描述如下：

河堤潰堤釀災

由於持續性的強降雨，使烏馬河清徐段、汾河新絳段、磁窯河汾陽段與孝義段等多處發生河堤潰堤。

烏馬河

烏馬河為汾河的區域性支流，是一條季節河，平時乾涸無水。因連日強降雨，加上上游水庫洩洪，5日上午，烏馬河河槽形成洪水，使設計條件為每秒20立方公尺流量的堤壩受到衝擊。從5日下午開始，烏馬河水量迅速增加，由每秒40立方公尺的流量迅速增長到每秒100立方公尺，洪水開始漫過河堤。隨著洪水流量高達每秒130多立方公尺，部分地段堤防出現管湧現象，當地政府連夜迅速撤離約15,000名居民，遠離洪水威脅。



烏馬河清徐縣小武村與汾河新絳縣橋東村潰堤淹水位置圖（資料來源：Google Earth；加註：災防科技中心）

汾河

汾河是山西省內最大的河流，也是黃河的第二大支流。過去並無特別嚴重的水災紀錄，反而常因水流不足出現斷流的現象，最嚴重的斷流紀錄一年內曾高達320天。然而，在10月7日汾河新絳段的流量峰值達到每秒1,125立方公尺，是日常水流量的30倍，使汾河下游遇到近40年來最大的洪峰。位於上游的新絳縣橋東村汾河北段發生潰堤，潰口長度約20公尺，近20,000人被緊急撤離。

平遙古城

位於山西省中部平遙縣的平遙古城，距今

約有 2,800 年的歷史，為世界文化遺產之一。受到持續強降雨的影響，10 月 5 日凌晨，平遙古城的城牆內部發生了崩塌的現象。由於整個城牆內側都是由夯土製成的，暴雨造成 6 公里長的城牆內有 51 段牆體受損，包括 16 處的內牆夯土坍塌，最嚴重的城牆坍塌長約 25 公尺，高約 10 公尺。

鐵路地基掏空

10 月 6 日，祁縣境內昌源河水位上漲，洪水沖毀路基，南同蒲線位於祁縣內的昌源河大橋上的橋台被沖垮，造成鐵軌懸空，一列貨運列車緊急停在懸空的鐵軌上，所幸並未造成人員傷亡。

蒲縣荊坡村山崩

山西省臨汾市蒲縣內的荊坡村於 10 月 5 日 23 時發生山崩，崩塌發生當下，下方道路不但有多台車輛停放，甚至有車子正從下方通過，導致 4 名交通警察死亡、1 人受傷。

政府應變作為與衝擊影響

應變

山西省防汛抗旱指揮部於 10 月 4 日 12 時啟動省級防汛 **IV 級應急響應**，而中國國家減災委員會應急管理部也於 10 月 9 日 12 時，啟動國家 IV 級救災應急響應。

在災民安置方面，山西省政府針對老幼病族群提供專門照顧，緊急改造體育場館、學校宿舍作為災民的臨時安置地點；針對低溫天氣，臨時調用取暖設施。災情較嚴重的介休市，則集中安置在旅店，而汾西縣等地以投靠親友為主。整體而言，旅店安置的配套措施較為完善。

在物資援助方面，山西省財政廳針對受災地區採購開啟「綠色通道」，保持緊急採購暢通。在防汛救災期間，各單位採購防汛救災、應急救援和

古建築保護等緊急性、搶救性事項相關貨物、工程和服務，可不依照政府採購的法定程序，但仍須有完善的緊急採購內部控制與管理機制。為防止洪患後出現大規模疫情，山西組織疾控中心等 50 多名專家至災區展開災害衛生防疫工作，完成蓄洪區、安置點、垃圾點等區域的消毒，並進行生活飲用水、食品安全的監測。

按照《山西省防汛抗旱應急預案》，山西省防汛抗旱指揮部於 10 月 15 日 16 時終止省級防汛 IV 級應急響應。

對煤礦開採的影響

山西省為中國產煤量最高的省分，共有 682 座煤礦，原煤產量 10.63 億公噸，約占全國的四分之一。自 2021 年夏天以來，多個省分出現缺電問題，原於 10 月 8 日國務院常務會議中，決議擬透過煤礦增產來解決缺電問題，恐受洪患影響，而延長限電時間。據山西省應急管理廳資料顯示，10 月 1 日至 7 日，共有 60 座煤礦停產，短暫影響煤炭產量；煤礦價格從 8 月開始上漲，11 月又稍調降，然而暴雨使得山西向河北運煤的公路中斷，鐵路也暫停營運，對煤礦運輸及下游產業有相當程度的衝擊。且運煤車供應吃緊，也導致運費暴漲，增加煤炭發電的成本。■

註 IV 級救災應急響應啟動條件：包括數省（區、市）同時發生一般洪水、數省（區、市）同時發生輕度乾旱、大江大河主流堤防出現險情、大中型水庫出現險情、多座大型以上城市同時因旱影響正常供水等狀況。

加拿大英屬哥倫比亞省洪災



出處

本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報，第 200 期，2022 年 3 月出刊

圖說

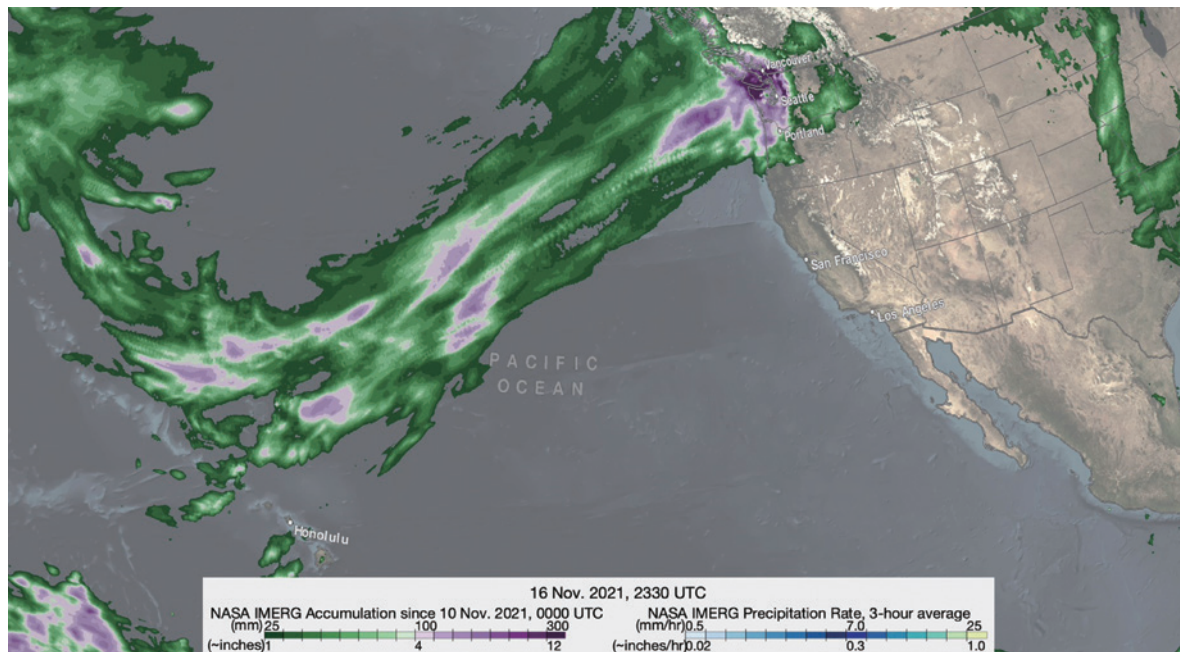
2021 年 11 月 19 日，通過加拿大英屬哥倫比亞省境內的高速公路慘遭洪水淹沒，導致交通中斷（資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供）

災害概述

加拿大西南海岸在 2021 年遭冬季大氣長河 (atmospheric river) 侵襲，許多城鎮在 72 小時內降下相當於 11 月的月平均雨量。這場豪大雨事件在英屬哥倫比亞省 (British Columbia, BC 省／又譯為卑詩省) 造成 1 名婦人罹難、3 人受傷、18,000 人流離失所，鐵公路交通癱瘓、跨山輸油管道 (Trans Mountain pipeline) 輸油及天然氣管線關閉、溫哥華港被迫暫停運輸、數以萬計的牲口喪命。在政府應變作為部分，災中 BC 省政府延長緊急狀態、對燃料供應實施 2 項措施、出動加拿大軍方協助救災；災後則進行災難經濟援助、額外經濟援助、農業復原方案、農民心理健康服務及啟動 Alert Ready 緊急警報系統。

氣象分析

位於加拿大西部的 BC 省，冬季受太平洋「大氣長河」衝擊，最大城市溫哥華及近郊區域降下破紀錄的豪大雨，造成洪水及崩塌災情。「大氣長河」是一種地球水氣循環的現象，當熱帶海面因溫暖的氣溫使大量海水蒸發進入大氣中，再藉由地球自轉及強風帶至高緯度地區時，便會形成一條狹窄且長距離的水氣帶，類似大氣中的河流；當此水氣帶遇到高緯度的冷空氣，即會凝結而帶來雨雪。每年進入秋冬



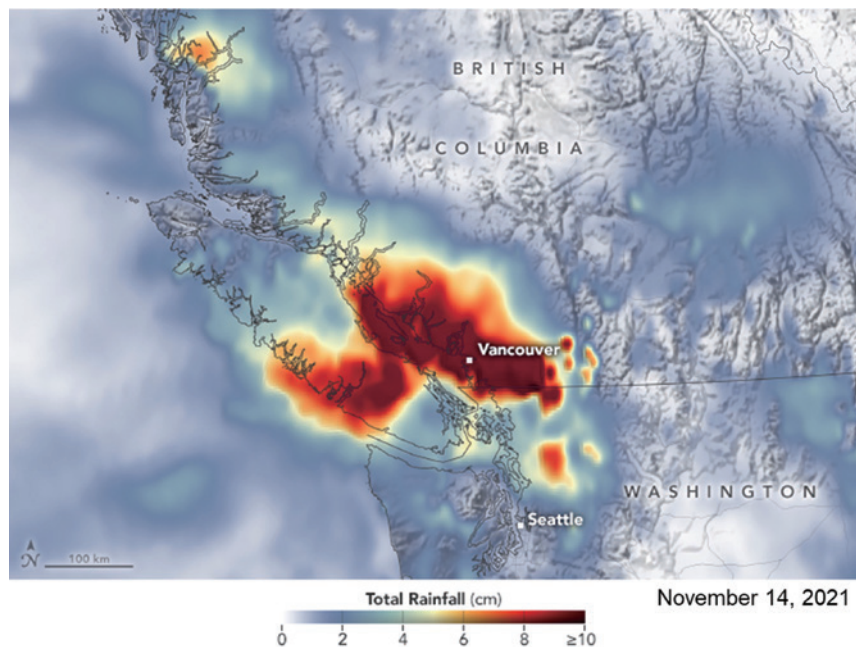
11 月 10 日至 16 日，大氣長河形成的降雨帶 (資料來源：National Aeronautics and Space Administration, NASA)

季，北美西岸會受到從夏威夷海域出發的大氣長河影響，進入當地正常的雨季；然而，受氣候暖化的影響，更多的水氣進入大氣長河中，導致今年溫哥華地區降下史無前例的豪雨，上圖為 11 月 10 日至 16 日在北太平洋形成的累積降雨帶，可看出當水氣進入溫哥華地區後，隨即帶來大量降雨。下頁圖為 11 月 14 日單日累積雨量，降雨集中在溫哥華地區及美國華盛頓州北部。當地 11 月平均雨量接近 200 毫米，但在 2021 年 11 月 14 日至 15 日，位於溫哥華東邊的霍普鎮 (Hope) 機場雨量站測得 277.5 毫

米累積雨量，該測站 11 月累積雨量至 20 日為止已超過 400 毫米，這段期間內 BC 省共有 20 個測站觀測到破紀錄的雨量，降雨使溫哥華及鄰近地區發生大範圍淹水及崩塌災情。

災害紀錄與分析

BC 省河川預報中心指出，本次事件所帶來的驚人雨勢，使溫哥華及周邊市鎮均傳出洪水災情，多條公路也遭崩塌土石或急流沖毀，BC 省政府隨即在 11 月 17 日宣布 2021 年第三

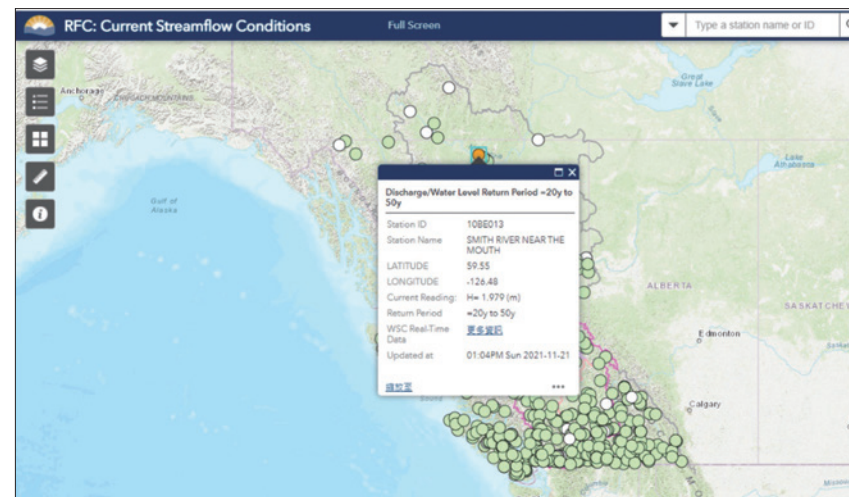


11月14日溫哥華地區衛星推估累積降雨量（資料來源：NASA）

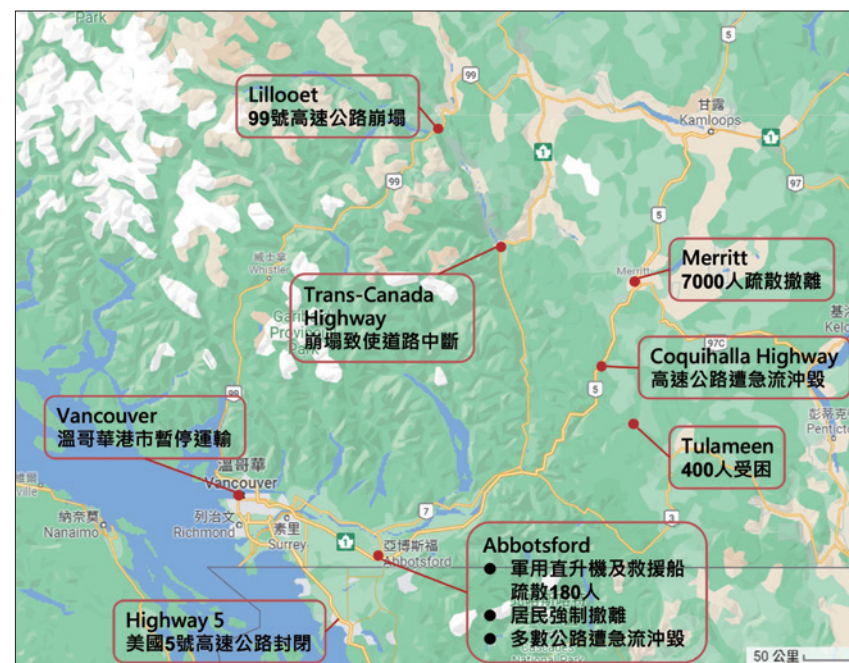
次緊急狀態；相關重要災害點位整理如右圖所示。已有1名婦人因崩塌土石沖毀公路而罹難，另有3人受傷，18,000人流離失所。

由於此次災害範圍廣大，鐵公路交通也受到洪水及崩塌影響而癱瘓，影響深遠，溫哥華東北邊多處山區城鎮因而交通中斷，須仰賴空軍直升機進行疏散撤離及運送物資；鐵路因崩塌毀損，輸油及天然氣管線也因防災而暫時關閉，使得西岸進出溫哥華的貨物及油氣均無法運送；加拿大國鐵及太平洋鐵路公司宣布，當時進出溫哥華的鐵路全部暫停服務，導致溫哥華港暫停運輸。溫哥華港為北美西岸的第三大港，也是加拿大出口農產品及原油的重要港口，被迫暫停運輸後將使全球供應鏈受影響。

此外，大面積的洪災也影響了BC省的農耕及畜牧業，目前通報已有數以萬計的牲口喪命，少數牛群被救難人員搶救至地勢高處。2021年6月份，BC省在熱浪期間傳出 49.6°C 的歷史高溫，造成多處山林野火，



11月22日加拿大BC省河川預報中心之水位預報資訊
（資料來源：加拿大英屬哥倫比亞省河川預報中心，British Columbia River Forecast Centre）



BC省洪災災點分布圖（加註：防災科技中心）

當時該省已因此宣布一次緊急狀態；而半年後，又遭遇豪雨，嚴重受創的森林及水土涵養能力，也是造成本次洪災程度如此嚴重的可能原因之一。

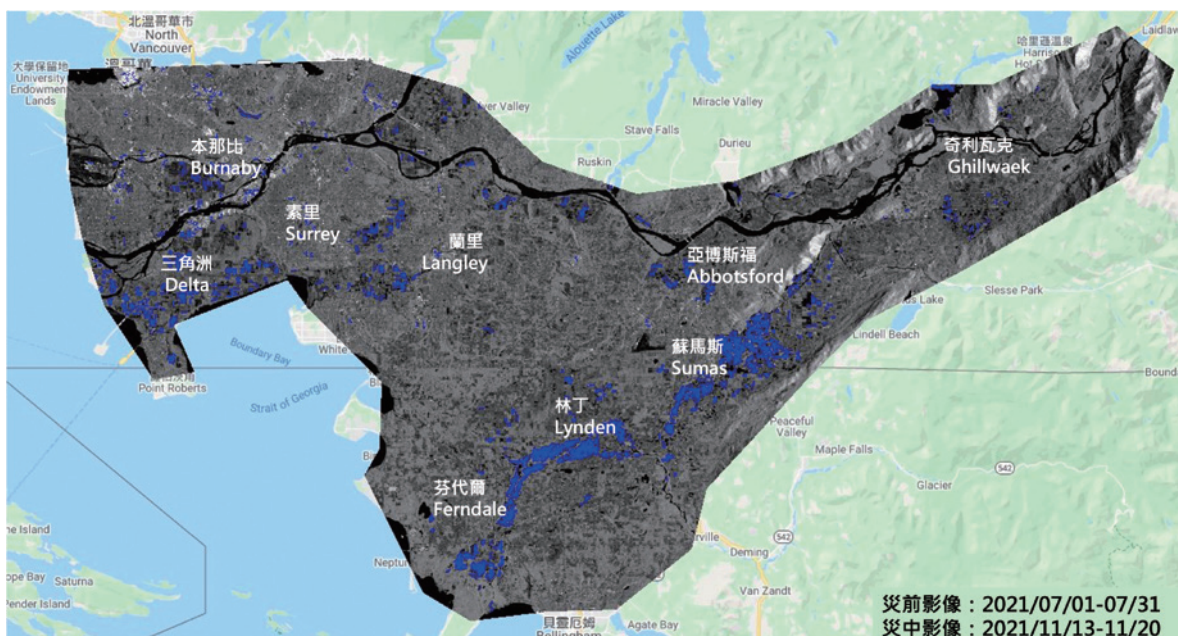
下圖為以 Google Earth Engine 分析 Sentinel-1 影像，進行淹水辨識結果，圖中藍色為淹水區域。分析結果顯示，Ghillwaek、Sumas、Abbotsford、Lynden、Delta、Burnaby 等地區有明顯的淹水情況。

政府應變作為

在這次的災害事件中，BC 省政府實施以下措施，值得參考：

延長緊急狀態

BC 省政府在 11 月 17 日宣布全省進入「緊急狀態」(provincial state of



BC 省淹水區域分析結果 (製圖：災防科技中心)

emergency)，為期 14 天，修復公共安全設施以及受損高速公路。後又於 12 月 13 日宣布緊急狀態延長至 12 月 28 日，以確保聯邦、省和地方資源能夠互相協調應對，貨物運輸及基本與緊急服務能夠維持正常，並支援全省的應變及復原工作。

優先為必要車輛提供燃料， 避免非必要的旅行

災害造成 Trans Mountain 石油管線關閉，並切斷了加拿大太平洋鐵路公司 (CP.TO) 及加拿大國家鐵路公司 (CNR.TO) 擁有的 2 條重要東西向鐵路線，阻礙燃料和貨物的供應。為了保障民眾安全，並即時運送重要物資和提供緊急服務，根據緊急計畫法 (Emergency Program Act)，在 BC 省的緊急狀態令下實施 2 項措施：

- 確保災區的必要運輸車輛繼續獲得燃料供應。
- 禁止在嚴重受損的高速公路上進行非必要的旅行。

出動加拿大軍方部隊協助救災

在災害發生後，BC 省請求加拿大軍方部隊 (The Canadian Armed Forces) 提供援助，共出動 748 名人員和 9 架飛機，幫助農民營救牲畜、補給食物給偏遠社區、修復關鍵基礎設施，並協助運輸補給品。

災難經濟援助

11 月 14 日至 12 月 2 日期間，根據政府劃定的災害區域範圍內，遭受洪水和土石流影響者，可申請災難經濟援助 (Disaster

Financial Assistance, DFA)。DFA 主要用於補償突然發生意外，和無法獲得保險以彌補災害相關損失的屋主、住宅租戶、企業主、農場主人和慈善組織，並根據緊急計畫法及補償和災難經濟援助條例 (Compensation and Disaster Financial Assistance Regulation) 實施補償。

提供疏散撤離的人員 額外經濟援助

BC 省與加拿大紅十字會合作，為 11 月 14 日開始在住所被下達疏散令 (Evacuation Order) 而被疏散撤離的人們，提供額外的經濟援助，符合條件的家庭將獲得 2,000 元加幣的一次性援助。

從 12 月 15 日起，因應 BC 省緊急管理部的要求，加拿大紅十字會會繼續為這些人員提供緊急支持服務 (Emergency Support Services, ESS)。

延長農業穩定計畫登記， 啟動農業復原方案

BC 省政府延長 **農業穩定計畫 (Agri Stability)** 期限，將註冊截止日期延長至 2022 年底。同時為了彌補私人保險和 BC 省農業穩定計畫援助的不足，政府亦啟動農業復原方案 (AgriRecovery)，以幫助解決生產者在災害復原過程中需要的資金。

提供農民心理健康支持服務

除了實質的資金協助，面臨災變和損失的人民可能會遭受嚴重的心理健康問題，政府提供各式資源，包括 Farm Credit Canada's Rooted in Strength initiative、Do More Agriculture Foundation、Wellness Together Canada 等，確保農民擁有維持心理健康所需的資源需求。■

註 AgriStability 是一種農作物保險與收入的保護系統。BC 省為支持農民，因此提供一系列商業風險管理計畫，可防止因市場價格動盪、生產損失、或生產成本增加而導致淨農業收入下降的狀況發生。因作物、牲畜損失或市場條件導致收入下降的農民，可藉此得到資金挹注，若生產商當年的利潤率比其參考利潤率低 30% 以上，就會進行付款。



2021

國家災害防救科技中心
天然災害紀實



2021年11月15日，加拿大空軍協助撤離BC省中因土石流受困的人員
(資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供)

其他災害篇

OTHER DISASTERS

Part

5





- 美國德州寒害
- 海地規模 7.2 地震
- 北美極端高溫
- 美國龍捲風災害

圖說

2021 年 8 月 15 日，搜救隊及民防隊成員在海地地震後，前往萊凱地區 (Les Cayes) 協助清理倒塌的建物 (資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供)

美國德州寒害



出處

本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報，第 194 期，2021 年 9 月出刊

圖說

2021 年 2 月 16 日，電力公司卡車停在德州沃斯堡 (Fort Worth) 的 ONCOR 電力設備附近，進行寒害的整備救災作業 (資料來源：EPA/ 達志影像授權提供)

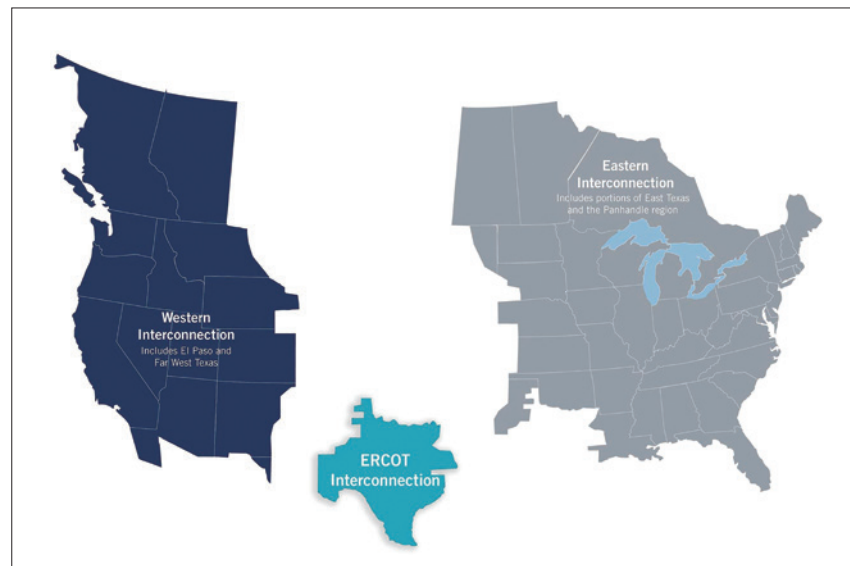
災害概述

美國德克薩斯州 (Texas，簡稱德州) 於 2021 年 2 月中旬，在 10 天內接連遭受 3 場嚴酷的冬季風暴，由於極端寒冷天氣的影響，使得德州整體電力需求打破過去的歷史紀錄，然而因電力設備缺乏防凍設計，導致發電機組陸續凍結故障，造成發電量快速下降，使得交流電頻率降低至臨界值，若持續供電，恐造成德州整體電網大崩潰。因此，德州電力可靠性委員會 (The Electric Reliability Council of Texas, ERCOT) 最後採取暫停部分地區供電，使得當地將近 450 萬戶家庭及企業，連續數天在極端低溫且無電可用的情況下度過，同時還面臨停水及食物短缺危機。根據德州衛生服務部截至 7 月 14 日統計，整起事件造成至少 210 人死亡，死因包括：體溫過低、一氧化碳中毒、火災或車禍等，經濟損失也是美國有紀錄以來損失最慘重的冬季風暴。

背景說明

德州位於美國南側，緊鄰墨西哥及墨西哥灣，四季氣候暖和，首都休士頓 1 月的日均溫介於 12~17°C，除了有美國第二高人口數 (2,918 萬人)，也是坐擁全球石油與天然氣的重鎮。

德州的電力系統不同於其他州，其擁有獨立電網，主要負責的機關為德州電力可靠性委員會，管理著德州超過 2,600 萬客戶的電力流動，占該州電力負荷的 90%，剩餘的部分則由西部聯合電網及東部聯合電網協助供電。其大部分電力來自於天然氣 (2020 年為 46%)、風能和煤炭 (分別為 23% 和 18%)，其次為核能 (11%)、太陽能 (2%) 以及水力等。也因為德州電網屬於一獨立系統調度機構 (Independent System Operator, ISO)，與州外電網的高壓直流輸電連接較少，因此在電力中斷期間，ERCOT 幾乎無法從其他州獲得足夠的電力供應；再加上，其發電設備僅針對夏季熱浪過載有處理機制，以及多數發電設施建在建築物外，以利降低夏季過熱的風



美國本土電網由三大電網系統組成，分別是：西部聯合電網、東部聯合電網及德州電網 (ERCOT) (資料來源：Joshua W. Busby, etc. 2021)

險，但在寒冷時期便會暴露在戶外，且缺乏防凍設計，使得災害期間風力發電機、火力發電廠及核電廠因輸氣管、柴油機組及冷卻系統等設備凍結而癱瘓，有超過 50% 常備發電量因低溫凍結而失去運作，造成德州約 450 萬戶居民在冰天雪地中連續斷電超過 30 小時，除了造成生活功能完全中斷，仰賴天然氣的供暖系統也完全無法運作，更衍生出水管凍結而停水狀況。

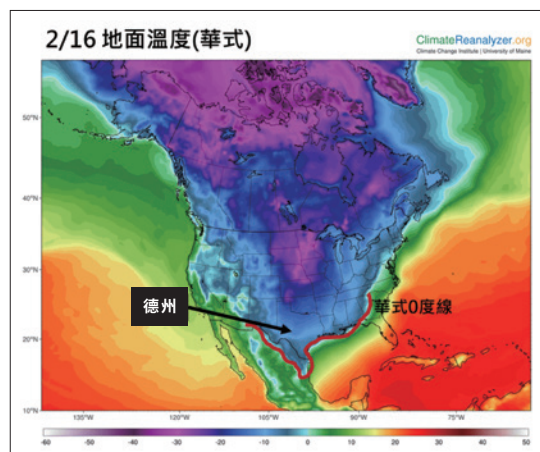
氣象分析

2021 年 2 月中旬，美國接連受到 3 波冬季風暴侵襲，其中第 2 波冬季風暴烏里 (Uri) 影響最大，其自 2 月 12 日由美國西北部形成，陸續席捲整個美國中部，包含平常不受冬季風暴影響的中南部地區，美國國家氣

象局甚至首度針對德州休士頓發布風寒警報 (wind chill warning)，直至 2 月 18 日於美國東北部離開，影響時間長達一週。

此次冬季風暴在美國中南部地區創下許多最低溫紀錄，於 2 月 16 日，美國約有 73% 國土被冰雪覆蓋，而華氏 0 度線 (-17°C) 在 2 月 16 日甚至達到德州最南端，德州達拉斯在 2 月 16 日達到 -16°C ，是 1989 年來的最低溫，而該地區 2 月的氣候值為 15°C 。

此次極端低溫天氣是由於 1 月初的北極上空平流層突然增暖 (Sudden Stratospheric Warmings, SSWs)，引發緩慢的大氣連鎖反應，使得將冷空氣鎖在極地渦漩 (Polar Vortex) 的西風噴流減弱，將冷空氣外溢至中緯度地區，包含歐洲、美國等地，加上從極地到德州地區並無地形阻擋，因此冷空氣得以長驅直下。



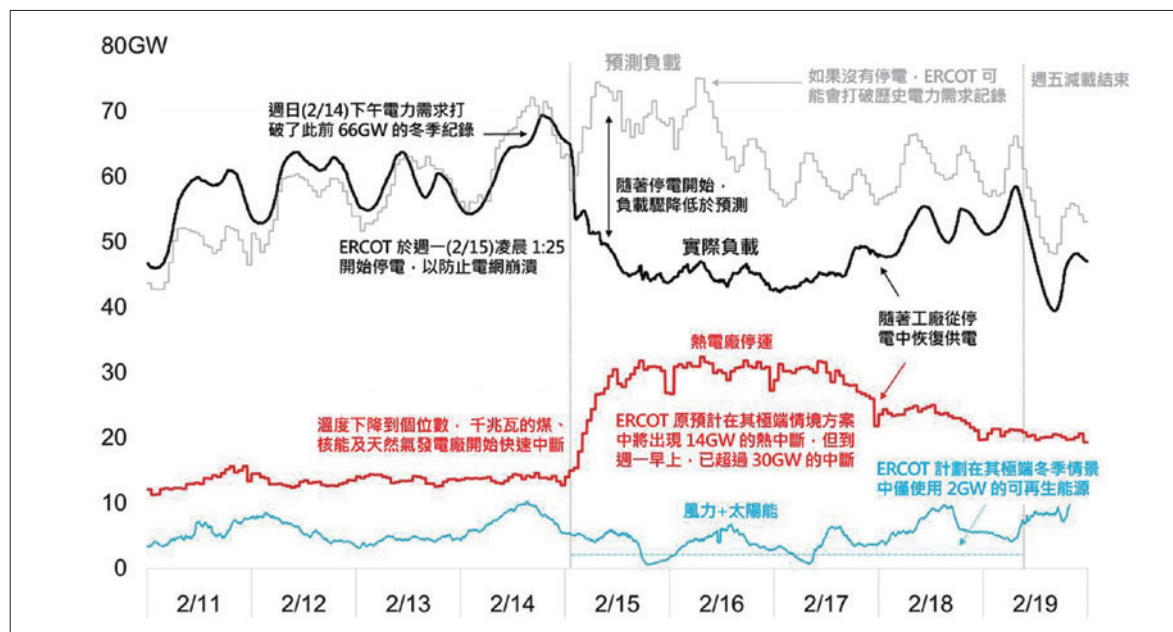
2 月 16 日北美地區地面溫度圖，低溫達最南邊
(資料來源：Climate Reanalyzer；加註：災防科技中心)

災害紀錄與分析

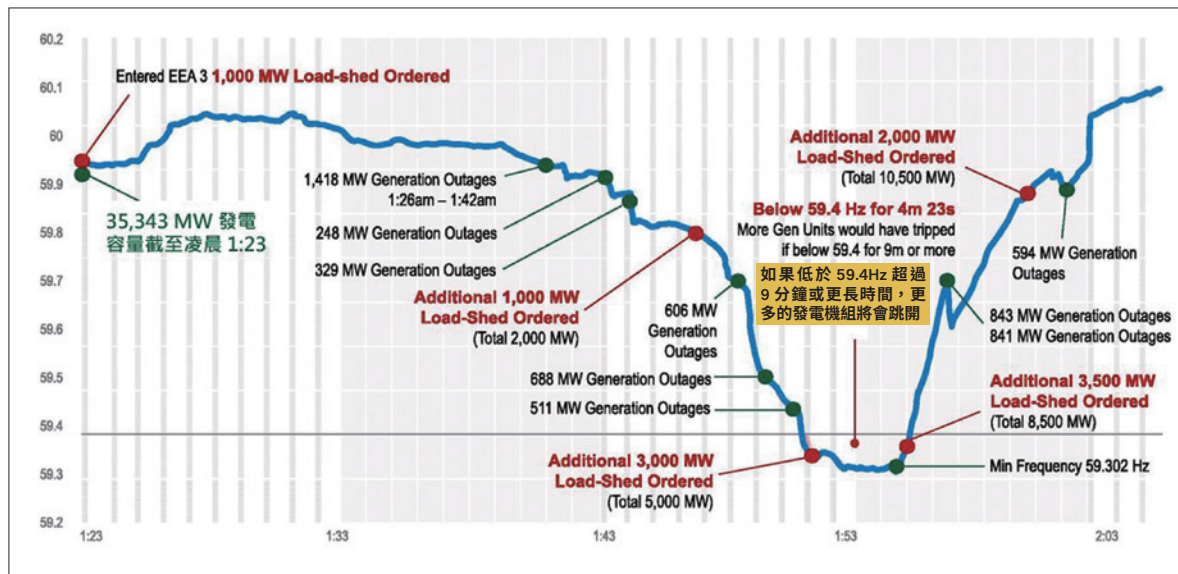
受到冬季風暴連日侵襲，造成全美數百個地區出現創紀錄低溫，多達 7 州宣布進入緊急狀態。在美國東岸、中部及南部多處地區，傳出因低溫導致道路結冰、停電、交通受阻及機場被迫關閉、影響大量航班運行等災情，其中又以德州尤其嚴重，包括位於德州的北美最大煉油廠也關閉，影響東岸逾五分之三的燃料供應，以及面臨大規模停電、停水危機等。以下針對本次德州的災情作詳細說明。

電力問題

由於受到嚴酷的寒冷天氣影響，導致能源需求激增。從應變歷程說明圖可見，2 月 14 日由於溫度驟降至 -10°C ，德州整體電力負載在同日下午迅速上升至 68.6GW，打破過去冬季最高紀錄的 66GW，並從負載預測 15 日需求恐上升至 76.8GW。然而因為極端低溫導致部分工廠和天然氣設備陸續故障，出現超出預期的 30GW 之電力短缺；並且，基於交流電的電網需要非常窄的 60Hz 範圍內的頻率以保持穩定性，若低於 59Hz 頻率，將造成整個電



冬季風暴影響期間的電力負載狀況與 ERCOT 在停電的應變歷程 (資料來源：Joshua W. Busby, etc. 2021, ERCOT；加註：災防科技中心)



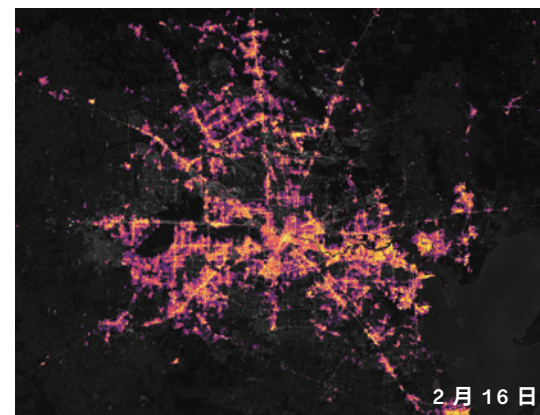
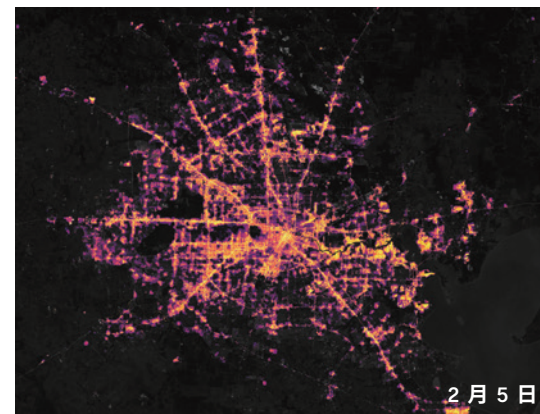
2月15日凌晨1時23分至2時3分期間，交流電的頻率變化歷程（資料來源：ERCOT；加註：災防科技中心）

網關閉，而在2月15日凌晨，德州電網的頻率（如上圖）一度下降到59.4Hz以下長達4分23秒，若停留時間超過9分鐘或甚至更長，ERCOT表示整個電網將會崩潰，導致該州陷入黑暗。因此，隨著需求上升和供應下降，ERCOT自2011年2月以來首次宣布「**能源緊急警報 EEA 3 級**」，並於2月15日凌晨1時25分下令暫停供電。基於發電缺口如此之大，仍須為醫院和消防站等關鍵基礎設施預留可用電力，因此沒有足夠的備用容量來輪換停電，造成最初預期的輪流供電變成了多天停電，影響德州約450萬戶居民在極端低溫下連續斷電超過30小時，當時災情如右圖及下頁圖所示。

事件後，ERCOT的首席執行官被解雇、8名董事會成員辭職。另外，還有4家公用事業公司宣布破產，包括：Brazos Electric Power Cooperative、Just Energy、Brilliant Energy及Griddy Energy。其中，Griddy Energy因將批發價格轉嫁給客戶而成為新聞，這導致數千名德州人面臨超高額電費的負擔，其中一些超過1萬美元。

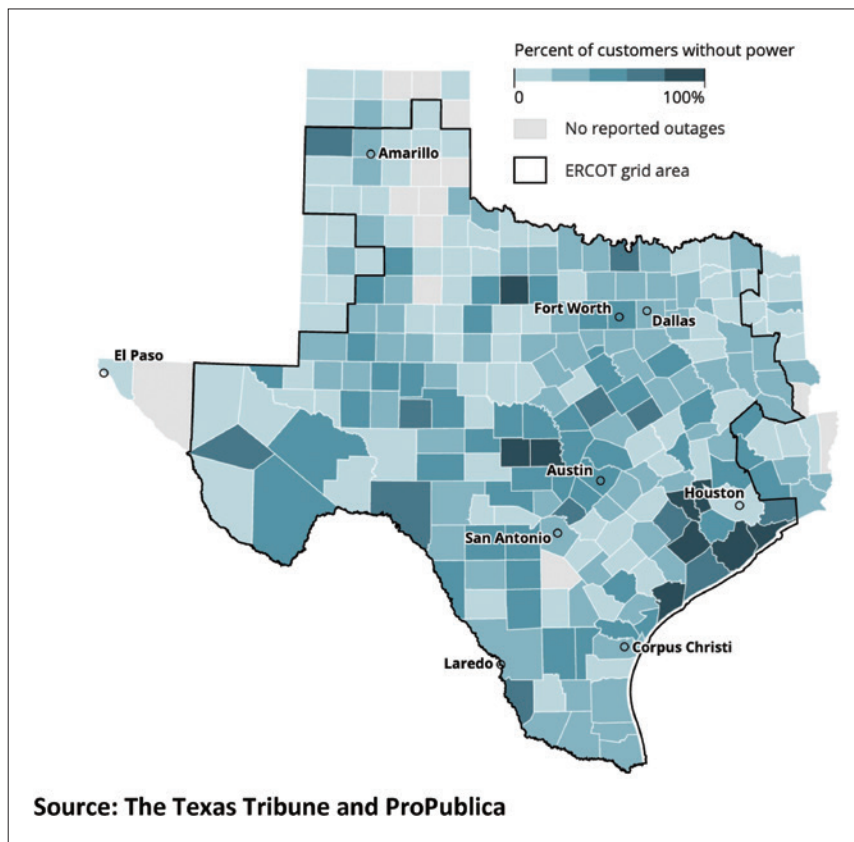
其他衍生災情

因為極端低溫造成供水管道凍結和破裂，導致德州有202郡的1,200個公共自來水系統受到影響，直至2月18日，德州仍有1,400



事件前後德州休斯頓之衛星影像比較圖
（資料來源：NASA）

註 為了有效管理與保護電網穩定運作，ERCOT可因應不同電力狀況對民眾與企業發出五種能源緊急警報，包括：正常(Normal)、保護警報(Conservation)、能源緊急警報1級(EEA1)、能源緊急警報2級(EEA2)及能源緊急警報3級(EEA3)。EEA3為最高警報，僅作為幫助保護全州電網可靠性的最後手段發布。當儲備量極低且預計不會在30分鐘內恢復時，ERCOT會採取此行動，為了幫助降低需求，ERCOT亦會命令輪電公司實施輪流停電。



德州各行政區於 2 月 16 日的停電占比程度 (資料來源：ERCOT, The Texas Tribune and ProPublica)

萬人處於供水中斷，在休士頓、聖安東尼奧、奧斯丁及沃斯堡等地皆收到「煮沸自來水通知」(Boil Water Notice)，因低水壓可能導致細菌趁隙滲入管線，州政府要求在飲用、烹飪或清潔前要將水先燒開。2 月 19 日雖僅剩 19 萬戶停電，但仍有數百萬人面臨無乾淨自來水可用的問題。2 月 23 日有 340 萬人無自來水供應，由國民兵與美軍向民眾發送瓶裝水，或在市政府等處設置取水站提供民眾臨時用水，但仍無法滿足需求，超市的飲用水也被搶購一空。

另外，由於惡劣的天氣條件和大面積停電，全州大多數商店都無法滿足民眾對食品和其他雜貨的需求增長。許多雜貨店因停電而被迫關閉，而在那些仍然營業的雜貨店中，麵包、牛奶和雞蛋等許多基本民生商品已完全售罄。

並且，寒冷低溫再加上缺乏天然氣來供應電暖設備的運作，人們試著採取危險的方式取暖，如在室內生火、開煤氣爐或車內取暖，增加一氧化碳中毒與火災的風險。

而正值全球 COVID-19 大流行期間，疫苗運送也因寒冷天氣而受阻，導致當地疫苗接種中心暫時性關閉。2 月 16 日，當地州衛生官員反應，因冬季風暴延後了原定數十萬劑的疫苗交付，數百家醫療機構的 100 萬劑疫苗注射計畫也因此告吹。

政府應變作為

德州州長 Greg Abbott 於 2 月 12 日發布了災難宣告，動員各個部門清理積雪。隨著局勢惡化，2 月 13 日州長要求聯邦發出緊急聲明，美國總統拜登 (Joe Biden) 於 2 月 14 日批准了該聲明並宣布德州進入「緊急狀態」(Emergency Declaration)，授權國土安全部和聯邦緊急事務管理局 (Federal Emergency Management Agency, FEMA) 在德州全境提供緊急救援，FEMA 則向該州運送了 60 臺發電機、水及毛毯等物資。而為了緩解能源短缺，州長也命令天然氣生產商暫停將天然氣出口到州外，而是留在德州境內銷售。2 月 16 日，州長宣布 ERCOT 改革是州議會的緊急優先事項，將對停電進行調查以確定長期解決方案。2 月 19 日，努埃塞斯郡 (Nueces County) 對 ERCOT 提起訴訟，認為德州電力基礎設施存在疑慮問題多次未被重視。2 月 20 日，總統批准宣布德州進入「重大災難狀態」(Major Disaster Declaration)，以便聯邦政府通過更多預算，以利撥款救災。3 月，德州議會提出了一系列法案，將採取措施防止未來在極端溫度下停電：眾議院第 11 號法案定義了極端天氣條件，為監管機構和行業設計提供指引；

眾議院第 14 號法案將創建德州供電鏈安全及
布置委員會 (Texas Supply Chain Security and
Mapping Committee)，以優先考慮極端天氣期
間的能源需求。5 月，立法機關批准了參議院
法案 2 和參議院法案 3，以徹底改革該州的電

網設計，這些法案包括要求發電廠設備能承受
極端天氣、建立緊急警報系統以及為電力公司
制定貸款計畫。■



海地規模 7.2 地震



圖說

2021 年 8 月 20 日，海地地震倖存者在海地萊凱市的 Viljoire 建立了一區避難處所（資料來源：AP/ 達志影像授權提供）

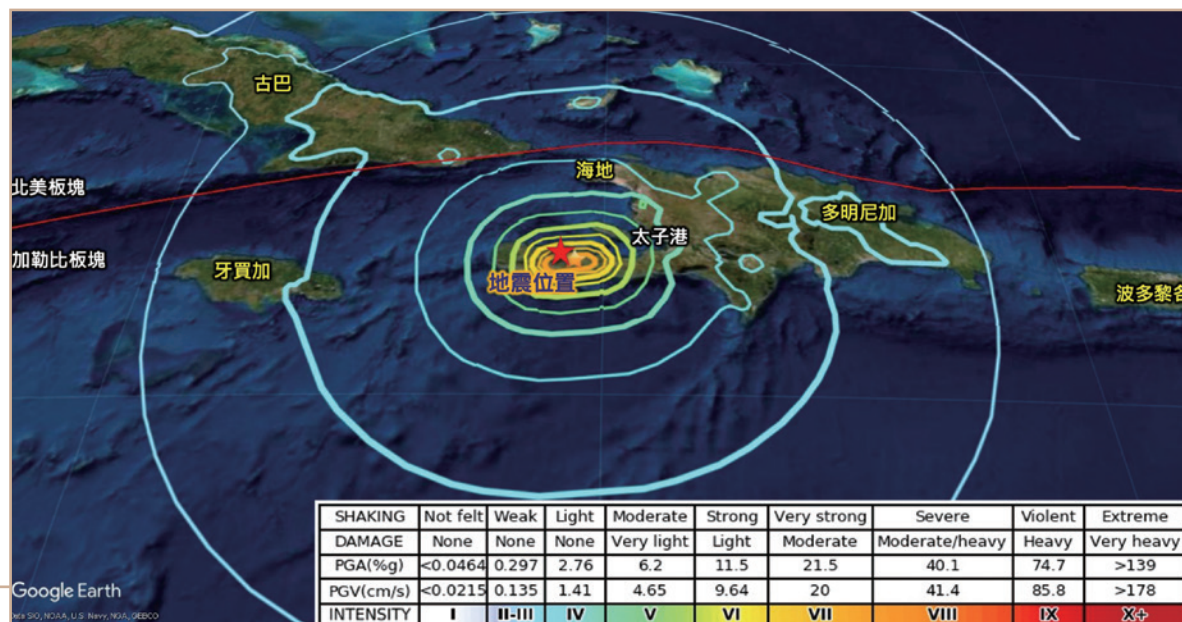
海地區域地質構造

海地於 2021 年 8 月 14 日當地時間 8 時 29 分 (臺灣時間同日 20 時 29 分)，距首都太子港以西約 120 公里處之 Nippes 地區 (18.408°N, 73.475°W) 發生規模 7.2 強烈地震，地表最大震度達修正麥卡利 VIII (相當臺灣震度 6 弱)，如右上圖所示。

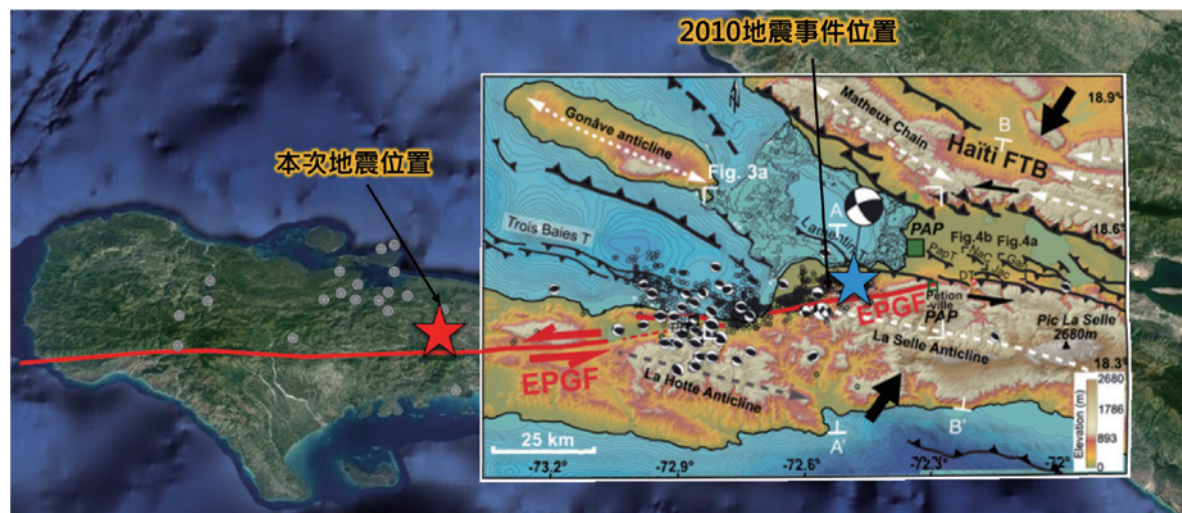
海地位於加勒比板塊和北美洲板塊相接處，該處地質構造屬於錯動型板塊邊界，屬一系列沿著張裂型板塊邊界平行排列，並為不同塊段的一種大規模水平位移斷層。由斷層機制解可知，本次地震發生於 Enriquilla-Plantain Garden 斷層 (以下簡稱 EPGF) 上，為左移斷層的錯動型態，與 2010 年 1 月 12 日規模 7.0 地震相同，如右下圖所示。EPGF 為位於北美板塊與加勒比板塊交界且活躍之左移斷層系統，滑移速率約 $7 \pm 2 \text{ mm/yr}$ ，歷年已發生多次災害性地震。



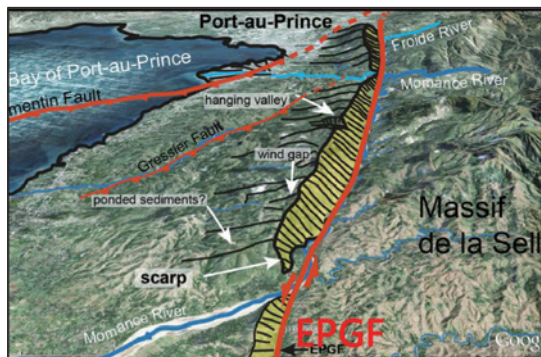
海地位置圖 (資料來源：Google Earth)



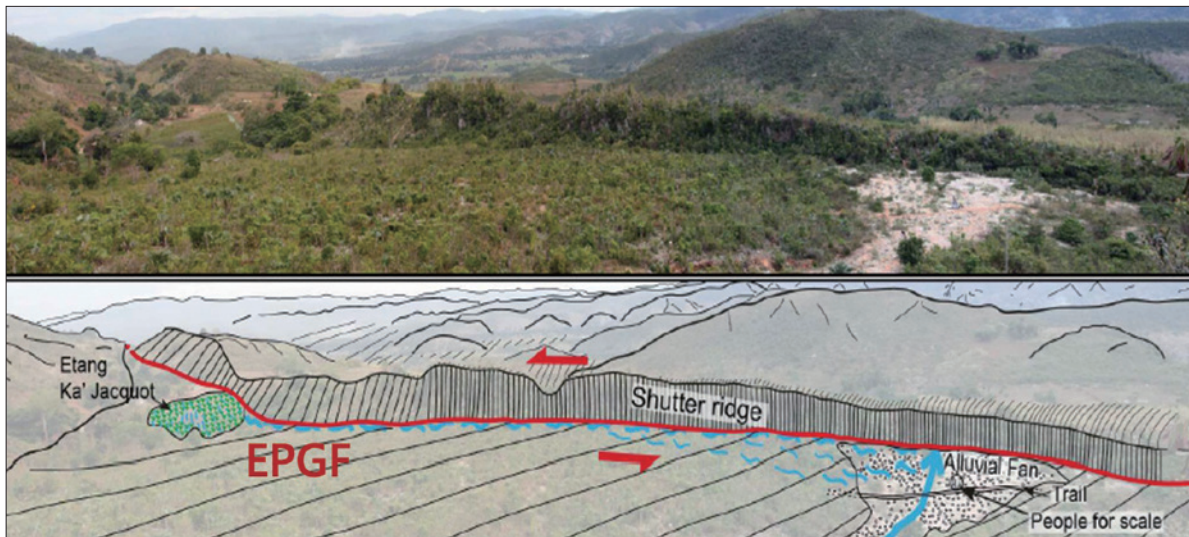
海地地震震度分布圖 (資料來源：U.S. Geological Survey, USGS；加註：災防科技中心)



海地鄰近區域地體構造 (資料來源：USGS、Fleur et al [2015]、Fleur et al [2019]；加註：災防科技中心)



EPGF 之南北側地形高程明顯落差
(資料來源：Fleur et al [2020]；加註：災防科技中心)

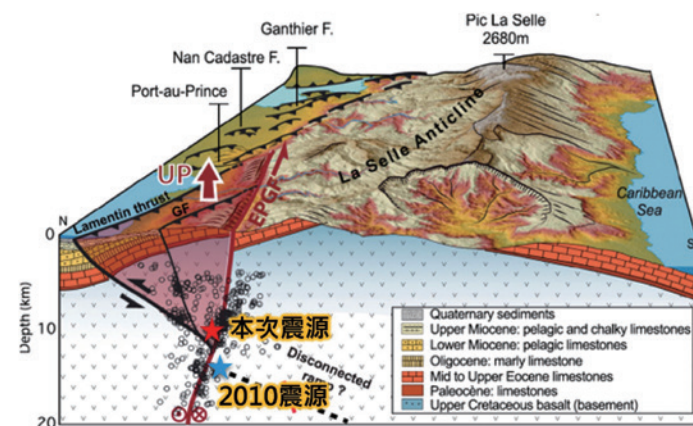


本次地震因大量建物毀損而造成嚴重傷亡

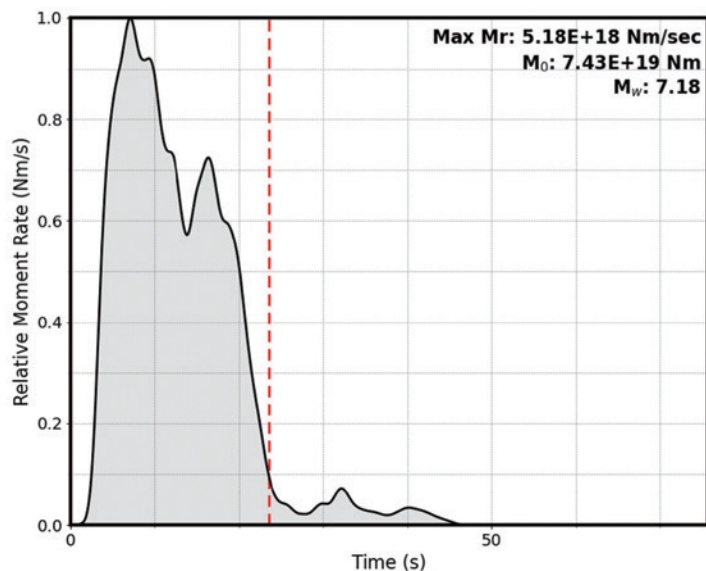
依據海地民防保護局 (Civil Protection Agency) 於震後一周災情統計資料，本次地震已有 2,207 人死亡、12,268 人受傷、344 人失蹤，並造成約 5.2 萬棟房屋全倒、7.7 萬棟房屋受損（含醫院、學校等重要基礎設施建物）。

本次地震因大量建物毀損而造成嚴重傷亡，而造成該地區大量建物毀損之原因，除建物本身耐震能力不足且餘震發生頻繁外，有學者推論更因複雜之地體構造影響可能造成地表

抬升，而垂直向作用力增加建物受損的嚴重程度。法國學者 Fleur 等人相關研究發現 EPGF 雖為左移斷層系統，但斷層南、北側地形高程卻有超過 30 公尺的顯著落差（如上圖），主要係因本區域地震破裂機制複雜造成多個破裂面，震源位在 EPGF 斷層面，並觸發鄰近震央的 Légane 斷層錯動，而 Légane 斷層屬逆衝斷層，故造成地體抬升，如右圖所示，且依據 USGS 震矩率分析（如下頁圖），本次地震確實應有兩次主要的破裂。

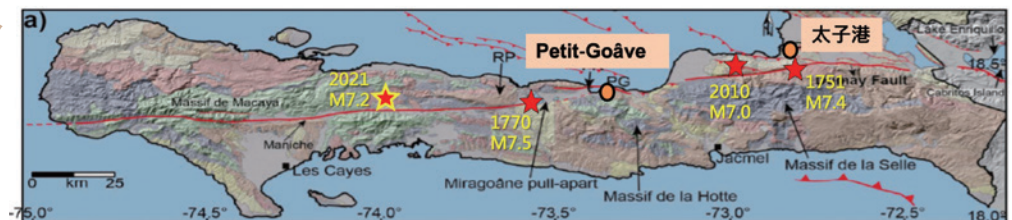


本區域地震破裂機制複雜造成多個破裂面
(資料來源：Fleur et al [2015]；加註：災防科技中心)

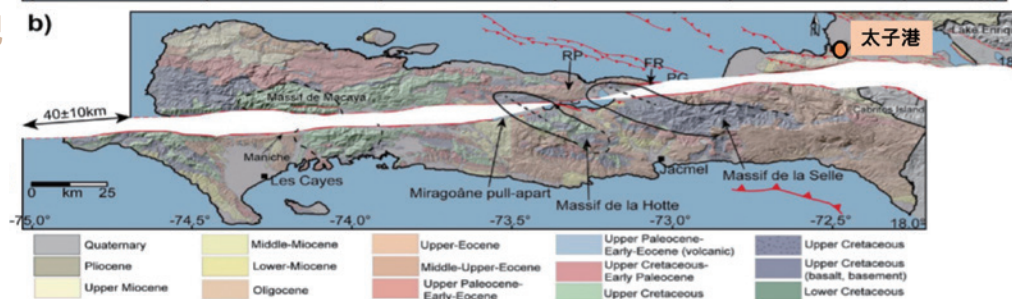


本次地震震矩率分析 (資料來源: USGS)

現今



第四紀

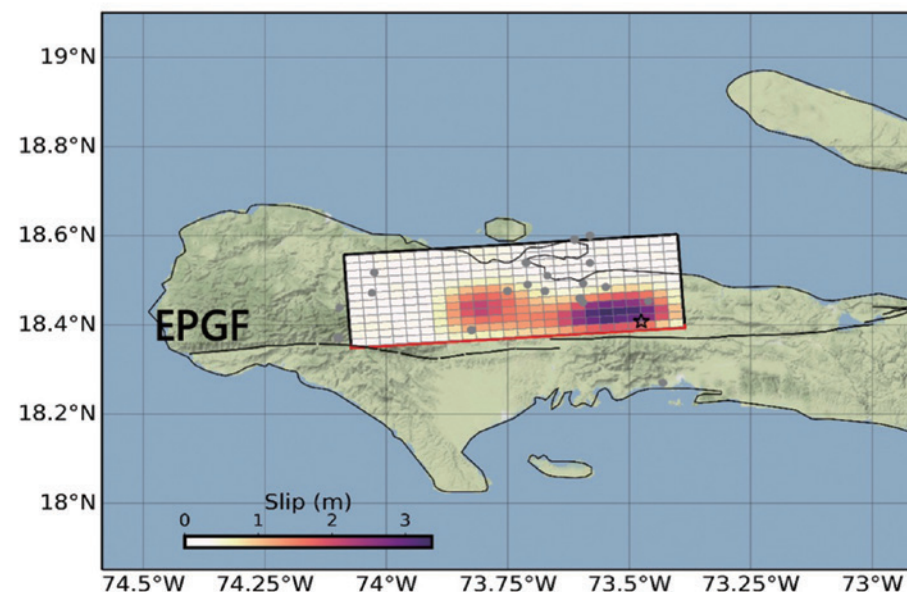


EPGF 滑移行為分析 (資料來源: Fleur et al [2020]; 加註: 災防科技中心)

地震序列與重現週期

本次地震距同一斷層 EPGF 最近一次規模 7.0 以上地震之時間僅 11 年 (2010 年 1 月 12 日規模 7.0 地震), 以能量累積的觀點而言, 其再現周期似乎過短。

部分學者認為按照 Fleur 等學者, 依據地質構造、地表地形等特徵分析 EPGF 自第四紀起至今的滑移行為, 本斷層應於 Petit-Goâve 為斷層分段點, 如右上圖所示, 該分段點之東西段斷層活動特性應有差異, 故本次地震位於分段點西側, 其重現期應以同樣發生於分段點西側之 1770 年 M7.5 地震估算為準, 約為 250 年, 應較符合有足夠時間達到能量累積之推論。另依 Fleur 等學者於 Clonard 地區沿 EPGF 挖掘槽溝研究, 確定 1770 年地震滑移位置亦位於本次地震主震的破裂範圍內, 同時此兩次地震於間隔 250 年內之累積潛在滑動量約為 2.0~2.5m, 與 USGS 分析本次地震平均滑移量約為 1.8~2m (右圖) 之結果一致。■



本次地震地表滑移分析 (資料來源: USGS)

北美極端高溫



圖說

2021 年 7 月 1 日，加拿大英屬哥倫比亞省利頓鎮野火肆虐，迫使居民撤離（資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供）

災害概述

美國和加拿大西部在 2021 年 6 月底、7 月初，有多個城市氣溫破歷史紀錄。起初，美國西雅圖於 6 月 25 日中午測得溫度達到 120°F (49°C) 高溫；26 日華盛頓州、俄勒岡州以及北加州皆發布高溫警戒；27 日美國與加拿大多個城市創下歷史高溫紀錄，例如：加拿大英屬哥倫比亞省 (BC 省) 的利頓 (Lytton) 測得 121.3°F (49.6°C)，係加拿大有史以來最高溫度。在 BC 省初步發現：6 月 25 日至 7 月 1 日死亡人數比往年同時期高出 3 倍，當局認

為**死亡事件**疑似與高溫有關。而美國俄勒岡州的法醫也證實，熱浪造成當地 116 人死亡，死者大多獨居，且家中沒有冷氣空調設備。

氣象分析

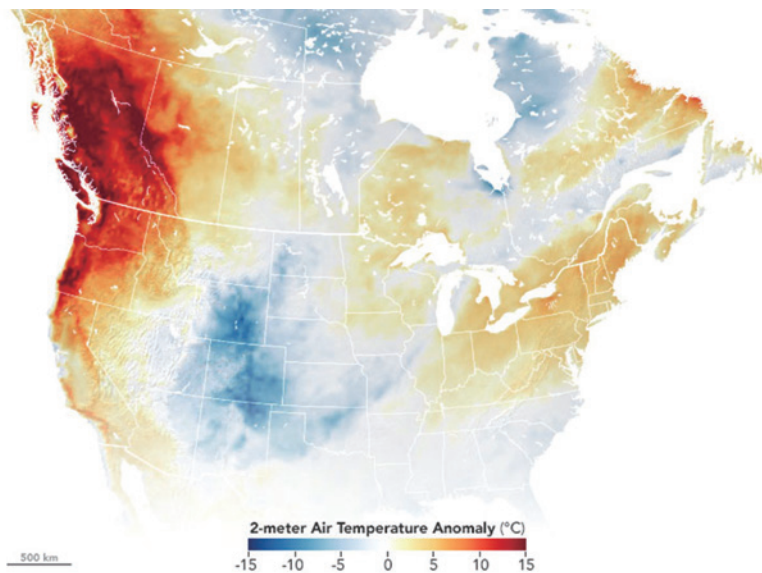
此次北美極端高溫原因包括：

- 美洲大陸出現異常高壓壟罩的高溫穹頂現象 (heat dome)，即高壓滯留阻塞，導致北方冷空氣無法南下調節，讓當地的氣流形成環流，不斷累積熱能。
- 太平洋海岸附近有低壓存在，形成一股由

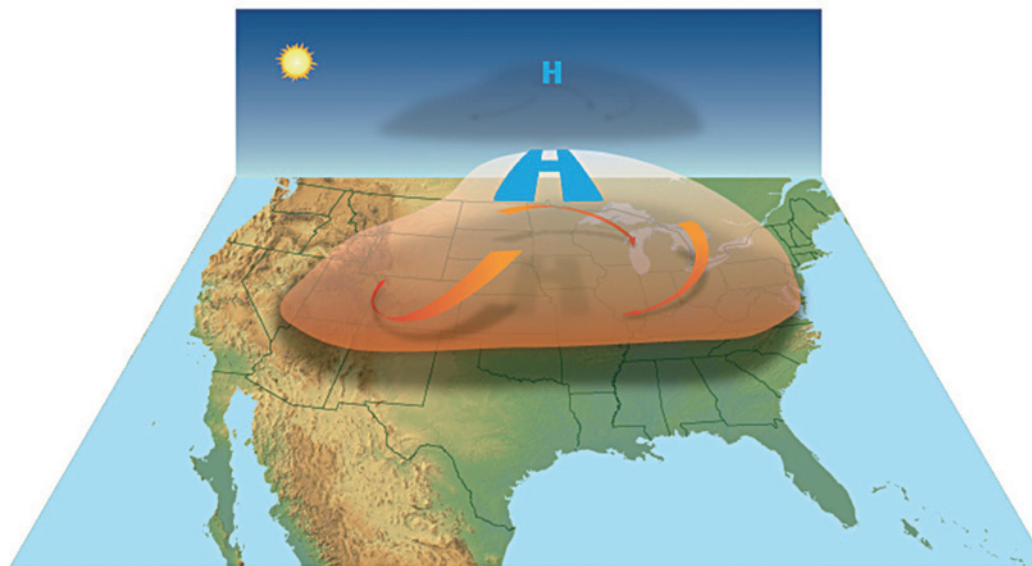
東往西的強大氣流，將涼爽的海洋空氣吹離陸地地區。

- 當陸地暖空氣通過喀斯喀特山脈 (The Cascade Mountain Range) 時，氣流於山脈西側沉降，空氣沉降後增溫，使得氣溫更加溫暖。

註 天然災害中，單純以熱浪造成的死傷較難以判定，須進一步評估。



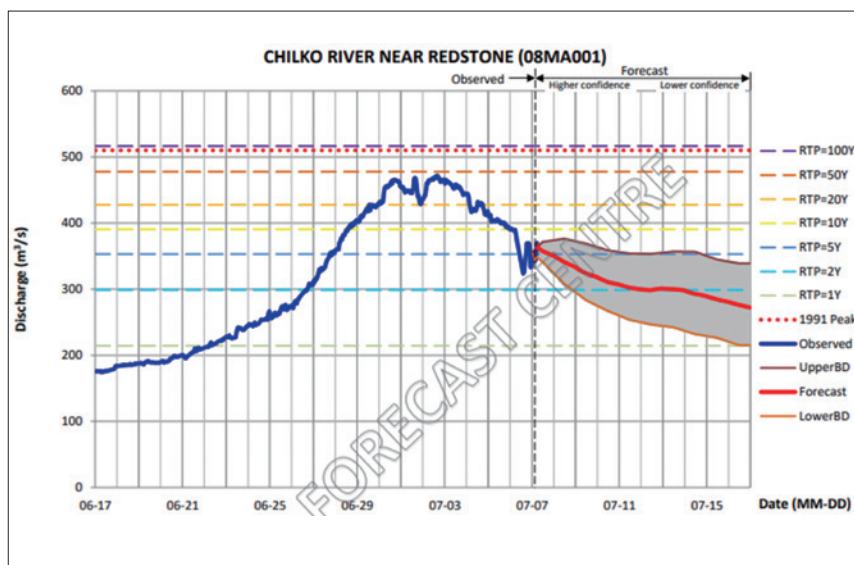
2021 年 6 月 27 日美加地區之地表 2 公尺溫度距平圖
(氣候值：2014 年至 2020 年 6 月 27 日平均溫度)
(資料來源：NASA)



高壓壟罩之高溫穹頂現象 (heat dome) 示意圖
(資料來源：National Weather Service, NWS)

災害紀錄與分析

在加拿大西部連續高溫期間，BC 省發生一系列野火事件，以利頓地區於 6 月 30 日發生的火災事件為例，雖然該野火成因係人為因素，但當地已經連續高溫多日，整體環境炎熱乾燥，加速野火蔓延；本起火災造成利頓 90% 的房屋被燒毀。而美國境內，華盛頓州和俄勒岡州在熱浪期間也發生多起野火事件，造成森林大面積燃燒以及公路交通中斷，相關農作



加拿大彭柏頓山谷因融雪造成水位快速上升 (資料來源：British Columbia River Forecast Centre)

物不僅受到高溫影響，亦不敵野火衝擊，造成嚴重的農業損失。

另外，熱浪加速加拿大境內的洛磯山脈 (Rocky Mountains) 積雪融化，促使加拿大彭柏頓 (Pemberton) 山谷水位快速上升，加拿大森林局 (Natural Resources Canada) 因而發布洪水警告，並對周邊村落下達疏散撤離命令。熱浪除了造成郊區災害影響外，都會區亦有發生輕軌和鐵路軌道變形，甚至導致基礎設施停擺，如電力系統供應不足等問題。■



2021 年 7 月 6 日，加拿大 BC 省利頓鎮空拍，現場留下野火燒毀的建築物殘骸 (資料來源：REUTERS/ 達志影像授權提供)

美國龍捲風災害



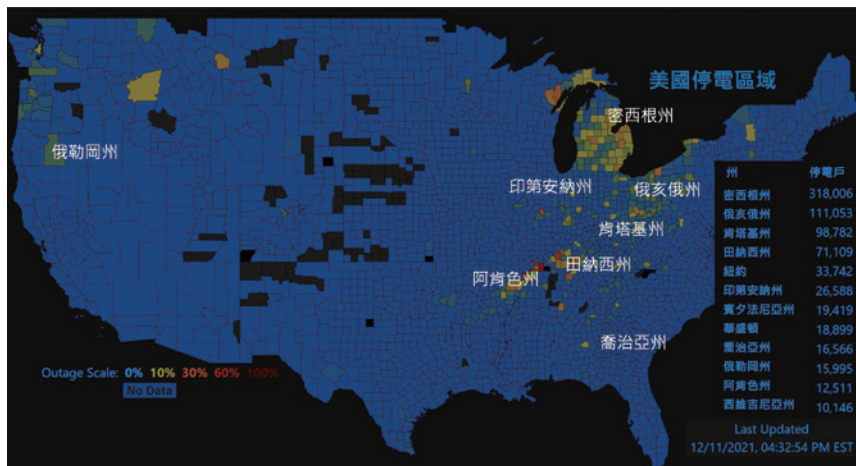
圖說

2021 年 12 月 11 日，龍捲風穿越美國肯塔基州的梅菲爾德地區，造成大範圍的住宅和廠房破壞（資料來源：EPA/ 達志影像授權提供）

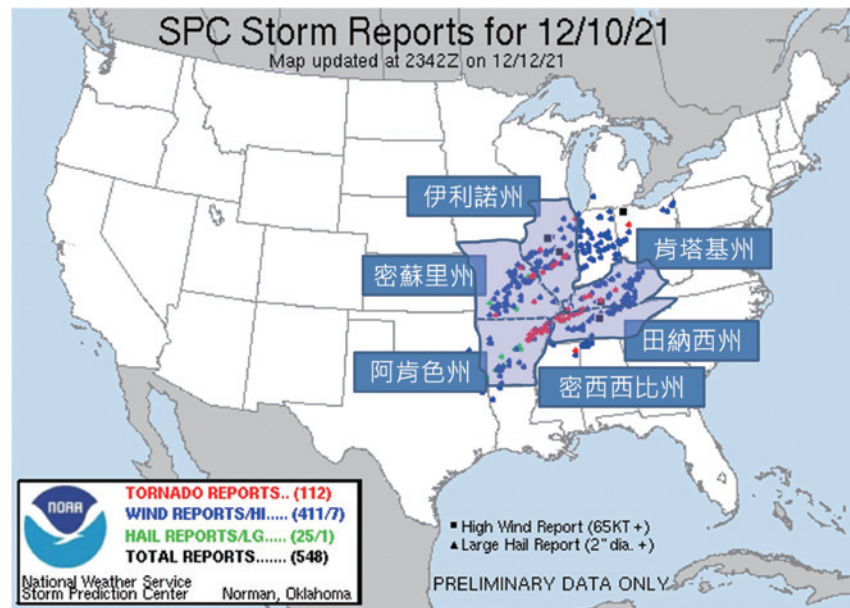
災情概述

美國國家氣象局 (National Weather Service, NWS) 在 2021 年 12 月 10 日晚上至 12 月 11 日清晨 (UTC) 總計接獲約 50 場以上龍捲風通報，威力強大的龍捲風群侵襲美國中部地區，造成美國超過 80 萬戶停電，其中密西根州 31.8 萬戶，俄亥俄州 11.1 萬戶，截至當地時間 12 月 19 日為止，已造成 112 人死亡，其中以肯塔基州最多。

龍捲風從阿肯色州開始，通過密西西比州、密蘇里州、田納西州、肯塔基州、伊利諾州等 6 州，路徑超過 250 英哩 (約 400 公里)，各州損傷慘重，尤以阿肯色州北部莫內特 (Monette) 及肯塔基州的梅菲爾德 (Mayfield) 最為嚴重，其中包括：阿肯色州東北部的莫內特莊園養老院 (Monette Manor nursing home) 在龍捲風的襲擊下，整棟房屋遭毀倒塌；伊利諾州美國電商龍頭亞馬遜的倉庫近 1/3 的屋頂都遭龍捲風吹垮；肯塔基州格雷夫斯郡 (Graves County) 梅菲爾德鎮的一家工廠屋頂坍塌，被列為「大規模傷亡事件」；田納西州西北部的薩姆堡 (Samburg) 則有多處建築物遭到暴風破壞。當地警方受訪時更形容，該地區已經被「夷為平地」。



12 月 11 日美國受龍捲風影響而停電的區域 (資料來源: PowerOutage.US; 加註: 災防科技中心)



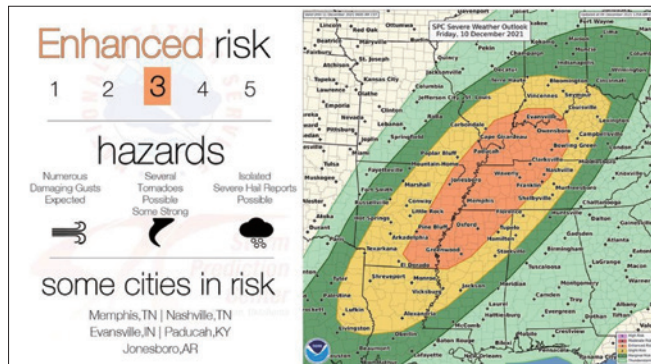
龍捲風影響區域 (資料來源: SPC; 加註: 災防科技中心)

政府應變與復原作為

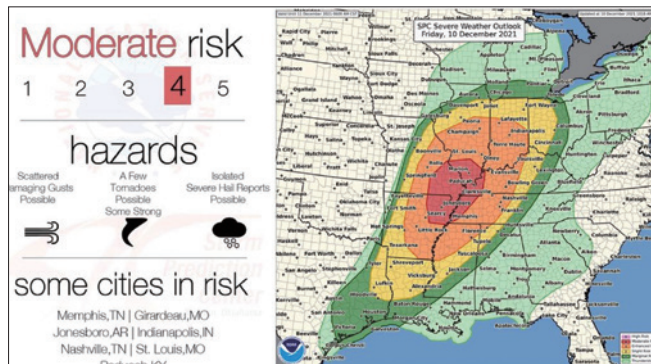
美國風暴預測中心 (Storm Prediction Center, SPC) 於 12 月 10 日上午 6 時，針對中南部和俄亥俄河谷地區發布龍捲風災害風險 3 級預警，表示從傍晚開始至明日 (12 月 11 日) 凌晨有多次破壞性龍捲風風險；12 月 10 日上午 10 時，持續發布龍捲風災害風險 4 級預警，表示 10 日晚上到明日 (12 月 11 日)，中南部地區已有中度 4/5 級風險。

經一夜肆虐後，各地災情頻傳，美國總統拜登於 12 月 11 日 (UTC) 宣布肯塔基州進入緊急狀態；12 月 14 日 (UTC)，伊利諾州、田納西州進入緊急狀態；重災區肯塔基州於 12 月 15 日 (UTC) 宣布為重大災害，美國聯邦緊急事務管理局 (Federal Emergency Management Agency, FEMA) 與地方政府與非政府組織 (NGO) 立即投入協助各項救災工作，包括：

12月10日上午6時預警



12月10日上午10時預警



美國風暴預測中心於12月10日發布龍捲風預警（資料來源：SPC）

- 在肯塔基州坎貝爾堡建立前進指揮所，以快速部署人員與補給，同時城市搜救團隊進駐並協助各地。
- 城市搜救團隊10人進駐支援肯塔基州緊急行動中心。
- 增設52臺發電機、30,000份餐食、45,000升水、嬰兒床、毯子、嬰兒用品包以及醫療設備與用品。
- 美國陸軍工程兵團建置臨時電力、規劃應變小組，隨時待命投入支援。
- 部署緊急支援小組支援至肯塔基州，其中包括2輛具有聯邦資源緊急通信能力的基地台行動車輛。
- 動員額外的臨時小組與災損評估人員，並支援其他災區。
- 肯塔基州開放11處避難所，田納西州開放3處。
- FEMA與州應變管理官員隨時更新來自阿肯色州、伊利諾州、肯塔基州、密蘇里州和田納西州的龍捲風破壞報告。

美國龍捲風歷史

美國每年有上千次的龍捲風發生，根據SPC對於1989年至2013年分析的結果顯示：美國各地一年當中均有機會發生龍捲風，但機率較高為春夏之際（3月至6月）；然而此次龍捲風卻生於罕見的12月。另外，在1840年至今的美國龍捲風災害紀錄中，造成嚴重傷亡的共35場，而此次龍捲風移動路徑超過400公里；若是單一連續龍捲風，即打破1925年3月18日所發生的龍捲風移動路徑219英里（352公里），成為美國有史以來路徑最長的龍捲風。■

總結

Conclusion

回顧 2021 年災害影響，新冠肺炎 (Covid-19) 疫情的擴散，依然佔據全球最大的災害版面，新冠肺炎確診人數累積達 2.86 億人，其中有 2.04 億的個案，都發生在 2021 年，兩年累積死亡人數已達 5 百多萬，無論是確診個案數、死亡案例，美國都是最嚴重的國家。雖然臺灣的疫情遠低於世界疫情的擴張，但疫情仍是全世界相同關注的議題。

根據國際災害資料庫 (EM-DAT) 的統計，2021 年天然災害事件數計有 385 起，落在近 20 年的均值範圍內。死傷最嚴重的事件是海地地震，地震規模達 7.2，造成 2,200 餘人死亡，是繼 2010 年海地地震以來，又一次嚴重的地震災害。

2021 年損失最大的災害事件是侵襲美國的颶風艾達 (Ida)，颶風艾達從路易斯安那州登陸，穿越密西西比州、阿拉巴馬

州、田納西州、維吉尼亞州、紐澤西州、紐約州。過程中，颶風強度降低，成為溫帶低壓，但在東北部出海時，又與鋒面結合，再次降下豪大雨，造成紐約市地鐵淹水，由於路徑長、影響範圍廣，又是大都會區，導致損失嚴重。災害損失規模次於 2005 年侵襲路易斯安那州紐奧良的颶風卡崔娜 (Katrina)。2021 年美國除了颶風艾達外，還遭遇了龍捲風及風暴等事件，總體經濟損失超過上千億美金，遠遠超過其他國家災害的損失。相較於歐美的洪災，中東、非洲則是遭遇嚴重的乾旱，範圍從阿富汗、伊朗、伊拉克、敘利亞、到東非的索馬利亞、衣索比亞、肯亞。

歸納今年洪災事件，包括西歐、中國河南鄭州、加拿大 BC 省洪災，或是日本熱海土石流，都是因鋒面過境，造成極端的降雨事件，降雨所在之處即為致災處。

回到臺灣，2020 年沒有直接登陸臺灣的颱風，同時幾波降雨也未帶來明顯水量，導致 2020 年底出現旱象，並演變到成立旱災中央災害應變中心進行危機處理，所幸省水、調水、找水等措施得宜，及 2021 年 6 月以後及時雨，舒緩了旱災的威脅。2021 年，一樣沒沒有直接登陸臺灣的颱風，不過外圍環流、鋒面過境等都帶來不少雨水，所幸並沒有像 2020 年一樣的乾旱災情。因此無論災害的發展如何，身為防災工作者，都應戒慎恐懼，隨時做好最佳的準備。■



2021年10月19日，印度國家災害反應部隊在北阿坎德邦，協助救援洪災受困人員（資料來源：AP/達志影像授權提供）

參考網站

2021 全球災害概述

Global Disaster Situation

- World Health Organization(WHO) <https://www.who.int/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA) <https://www.noaa.gov/>
- Emergency Events Database(EM-DAT) <https://www.emdat.be/>

臺灣災害篇

Taiwan Disasters

- 交通部中央氣象局 <https://www.cwb.gov.tw/>
- 交通部中央氣象局 颱風資料庫 <https://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/>
- 內政部消防署 <https://www.nfa.gov.tw/>
- 中央災害應變中心 <https://bear.emic.gov.tw/>
- 行政院農業委員會 <https://www.coa.gov.tw/>
- 行政院農業委員會水土保持局 <https://www.swcb.gov.tw/>
- 交通部公路總局 <https://www.thb.gov.tw/>
- 經濟部水利署 <https://www.wra.gov.tw/>
- 經濟部水利署供水節水專區 <https://www.wra.gov.tw/cl.aspx?n=18764>

- 經濟部中央地質調查所 <https://www.moeacgs.gov.tw/>
- 連江縣北竿鄉公所 <http://www.beigan.gov.tw/>

特別企劃

Special Report

- Emergency Response Coordination Centre(ERCC) https://ec.europa.eu/echo/index_en
- COPERNICUS Emergency Management Service Mapping <https://emergency.copernicus.eu/mapping/>
- Center for satellite based crisis information.(ZKI) <https://activations.zki.dlr.de/>
- ZKI service for Federal Agencies(ZKI-DE) <https://www.dlr.de/eoc/en/>
- Deutscher Wetterdienst (DWD) <https://www.dwd.de/DE/>
- Royal Meteorological Institute (RMI) <https://www.meteo.be/en/belgium>
- German Federal Office of Civil Protection and Disaster Assistance(BBK) <https://www.bmi.bund.de/EN/>
- Deutsches Rotes Kreuz (DRK) <https://www.drk.de/>
- Bundesanstalt Technisches Hilfswerk(THW) <https://www.thw.de/DE/>

颱風災害篇

Flood Disasters

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) <https://bnpb.go.id/>
- Directorate General of Water Resources (DGWR)
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) <https://www.bmkg.go.id/>
- Jakarta Tropical Cyclone Warning Center (TCWC) <http://meteo.bmkg.go.id/>

- ERCC MAPs Service <https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Maps/>
- United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) <https://www.unocha.org/>
- National Disaster Management Authority (NDMA) <https://ndma.gov.in/>
- Risk Management Solutions Incorporated (RMSI) <https://www.rmsi.com/>
- India Meteorological Department (IMD) <https://mausam.imd.gov.in/>
- India Water Resources Information System (WRIS) <https://indiawris.gov.in/>
- Central Water Commission(CWC) <http://cwc.gov.in/>
- Global Disaster Alerting Coordination System (GDACS) <https://www.gdacs.org/>
- United Nations Children's Emergency Fund (UNICEF) <https://www.unicef.org/>
- National Disaster Response Force (NDRF) <http://www.ndrf.gov.in/>
- International Charter on Space and Major Disasters (ICSMD) <https://disasterscharter.org/>
- 中國中央氣象台 <http://www.nmc.cn/>
- 中國河南省氣象局 <http://ha.cma.gov.cn/>
- 中國水利部 <http://mwr.gov.cn/>
- 日本內閣府 <http://www.bousai.go.jp/>
- 日本氣象廳 <https://www.data.jma.go.jp/>
- 日本國土地理院 (GSI) <https://www.gsi.go.jp/>
- 國土交通省 <https://www.mlit.go.jp/>
- 日本靜岡縣 <http://www.pref.shizuoka.jp/>
- National Weather Service (NWS) <https://www.weather.gov/>
- Flood List <https://floodlist.com/>

- National Centers for Environmental Prediction(NCEP) <https://www.ncep.noaa.gov/>
- European Commission Echo Flash <https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Echo-Flash/>
- Department of Hydrology and Meteorology (DHM) <https://www.dhm.gov.np/>
- NDRRMA_Nepal <https://facebook.com/NDRRMA>
- Government of Canada <https://www.canada.ca/en/>
- Insurance Bureau of Canada (IBC) <http://www.ibc.ca/>
- The National Aeronautics and Space Administration(NASA) <https://www.nasa.gov/>
- British Columbia River Forecast Centre <https://www2.gov.bc.ca/>
- Digital Typhoon <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>
- Zoom Earth <https://zoom.earth/>
- OCHA Reliefweb <https://reliefweb.int/>

其他災害篇

Other Disasters

- Electric Reliability Council of Texas(ERCOT) <https://www.ercot.com/>
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) <https://www.fema.gov/>
- Poweroutage.US <https://poweroutage.us/>
- U.S. Geological Survey (USGS) <https://www.usgs.gov/>
- Strom Prediction Center (SPC) <https://www.spc.noaa.gov/>

2021

天然災害紀實

NATURAL DISASTER
YEARBOOK

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

天然災害紀實 . 2021 = Natural disaster yearbook/ 張志新, 于宜強, 王俞婷, 朱容練, 朱崇銳, 何瑞益, 呂喬茵, 李士強, 李宗融, 李香潔, 林又青, 林嫩瑛, 林聖琪, 施虹如, 柯孝勳, 柯明淳, 許秋玲, 郭文達, 陳偉柏, 傅鐤漩, 黃柏誠, 黃紹欽, 楊清淵, 梁庭語, 葉森海, 廖楷民, 蔡佳穎, 簡頌愷, 魏曉萍作; 張志新, 何瑞益主編. -- 新北市: 國家災害防救科技中心, 2022.03
面; 公分

ISBN 978-986-5436-36-0(平裝)

1.CST: 自然災害

367.28

111002435

發行人：陳宏宇

編輯委員：林李耀、張國浩、李維森、吳瑞賢、林銘郎

主編：張志新、何瑞益

執行編輯：林又青、施虹如

作者群：張志新、于宜強、王俞婷、朱容練、朱崇銳、何瑞益、
呂喬茵、李士強、李宗融、李香潔、林又青、林嫩瑛、
林聖琪、施虹如、柯孝勳、柯明淳、許秋玲、郭文達、
陳偉柏、傅鐤漩、黃柏誠、黃紹欽、楊清淵、梁庭語、
葉森海、廖楷民、蔡佳穎、簡頌愷、魏曉萍

美術設計：李偉涵

出版者：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-81958600

網站：國家災害防救科技中心 <https://www.ncdr.nat.gov.tw/>

全球災害事件簿 <https://den.ncdr.nat.gov.tw/>

發行日期：2022 年 3 月