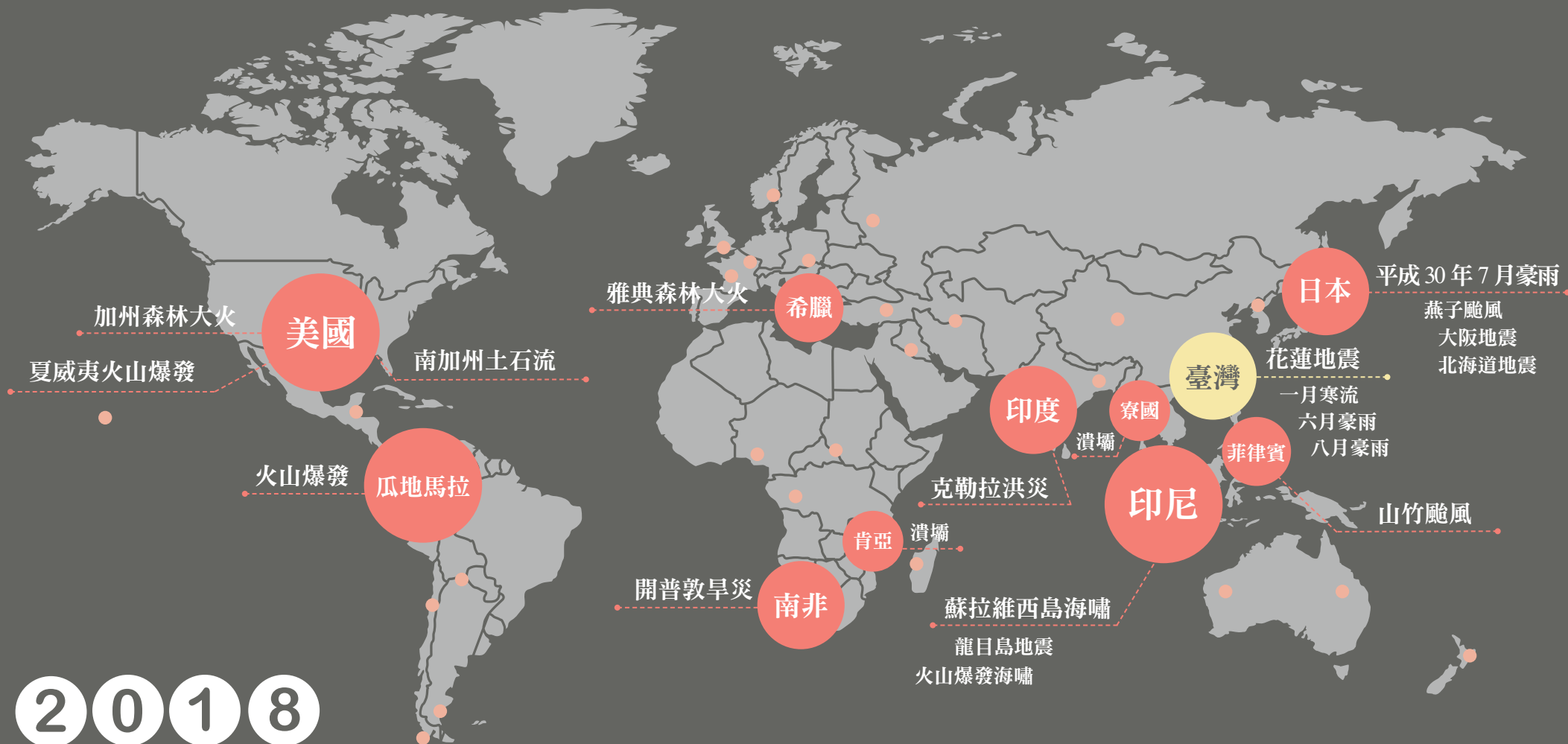




2018

天然災害紀實

NATURAL DISASTER YEARBOOK

2018

天然災害紀實

行政法人國家災害防救科技中心

主任序言

天然災害最難預測的地震，居然在 2 年後同一個日期，於臺灣島內再度出現。2018 年 2 月 6 日臺灣北部地區出現規模 6.2 的地震，不同於 2016 年的部分，是震央從高雄美濃地區，轉移至花蓮近海，而且災情分布在花蓮市區內米崙斷層的沿線，部分樓房傾斜、壓毀，造成 14 人的罹難。八月下旬，從 23 日至 30 日，因為熱帶低壓，以及西南氣流的滯留，在南臺灣多處地區降下超過 1,100 毫米的累積雨量，使得嘉義、臺南、高雄等西南部地區多處淹水，其中嘉義縣掌潭村由於地勢低窪，在抽水機持續抽水運作下，淹水還長達 110 個小時。

2018 年，整個西太平洋地區總共生成了 29 個颱風（高於平均值 25.7 個），有近半數的颱風超乎往常，直接或間接地衝擊了日本地區。其中，七月份第 7 號巴比倫颱風登陸日本四國地區後，又夾帶了尾隨其後的一股梅雨鋒面，以超過 1,000 毫米之累積雨量，讓日本廣島、岡山地區遭受平成年間（1989 年以來）最嚴重的颱風災害事件，造成 232 人的失蹤及死亡。九月份第 21 號燕子颱風在日本關西地區帶來超過 90 毫

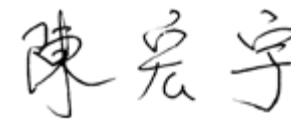
米的時雨量，以及瞬間最大 17 級的陣風，關西空港機場跑道因為 3.2 公尺的暴潮與風浪，淹入了大水，使得機場關閉，聯外交通中斷了 2 天以上。

降雨太多是災害，水資源不足也是災害，遠在南非的開普敦市宣布 4 月 22 日將為無水可用的臨界日（Day Zero）。事實上，開普敦的旱象早在 2015 年就開始，開普敦市政府隨著旱象的嚴峻，持續提高節水抗旱等級，到了 2018 年 1 月進入了第六級的節水措施，每人每日可用 87 公升的水，由於旱象未解，2 月份進入 6B 等級的節水措施，每人每日只能用 50 公升的水。

這幾年天然災害在全球各不同的地區，都出現了重大的衝擊，聯合國減災辦公室（UNISDR）也一直在推動、呼籲各個國家在面對災害衝擊時，提出自己的防災應變策略及方法，希望能夠儘快讓受災地區，復原得更快、更好（Build back better），這也是一個「韌性」城市應有的作為，也就是在面對極端氣候衝擊產生的災害事件時，應該要有一套防災應變的策略及方法。

簡而言之，平時就要跨領域、跨單位的彙整各種

基本的監測資訊、災害的潛勢分布資料，建立災害風險評估分析的方法。當進入應變整備階段以後，各項人員、機具的布署、收容安置及疏散撤離的準備工作，就應該納入風險預估的範疇中。當災害事件出現後，不僅要預防二次災害的發生，更要積極地進行災區復原的工作，讓遭受破壞的地區，儘速恢復原狀，並讓生活功能恢復常態的運作，這才是發揮韌性城市應有的特質。



2019 年 3 月

Content 目錄



2018 國際災情概述

2018 年天然災害統計分析	02
2018 年依「災害類別」探討	03

臺灣災害 Taiwan

一月寒流事件	09
0206 花蓮地震	15
六月豪雨災害	19
八月豪雨災害	23

特別企劃 Special Report

南非開普敦缺水危機	33
-----------	----

颱風災害

Flood Disaster

平成 30 年 7 月豪雨	43
日本燕子第 21 號颱風	51
山竹颱風對菲律賓及香港衝擊	53
美國南加州土石流災害	57

印度克勒拉邦洪災	61
肯亞帕托水壩潰壩	67
寮國阿速坡省水庫潰壩	71

地震災害

Earthquake

日本大阪地震 (規模 6.1)	75
日本北海道地震 (規模 6.7)	77
印尼龍目島地震 (規模 6.9)	81
印尼蘇拉維西島地震及海嘯 (規模 7.5)	85

總結

Conclusion

結語	111
參考網站	113

森林大火

Wildfire

希臘雅典森林大火	91
美國加州 7 月及 11 月森林大火	95

火山爆發

Volcanic Eruptions

夏威夷火山爆發	101
瓜地馬拉火山爆發	105
印尼喀拉喀托之子火山爆發	109

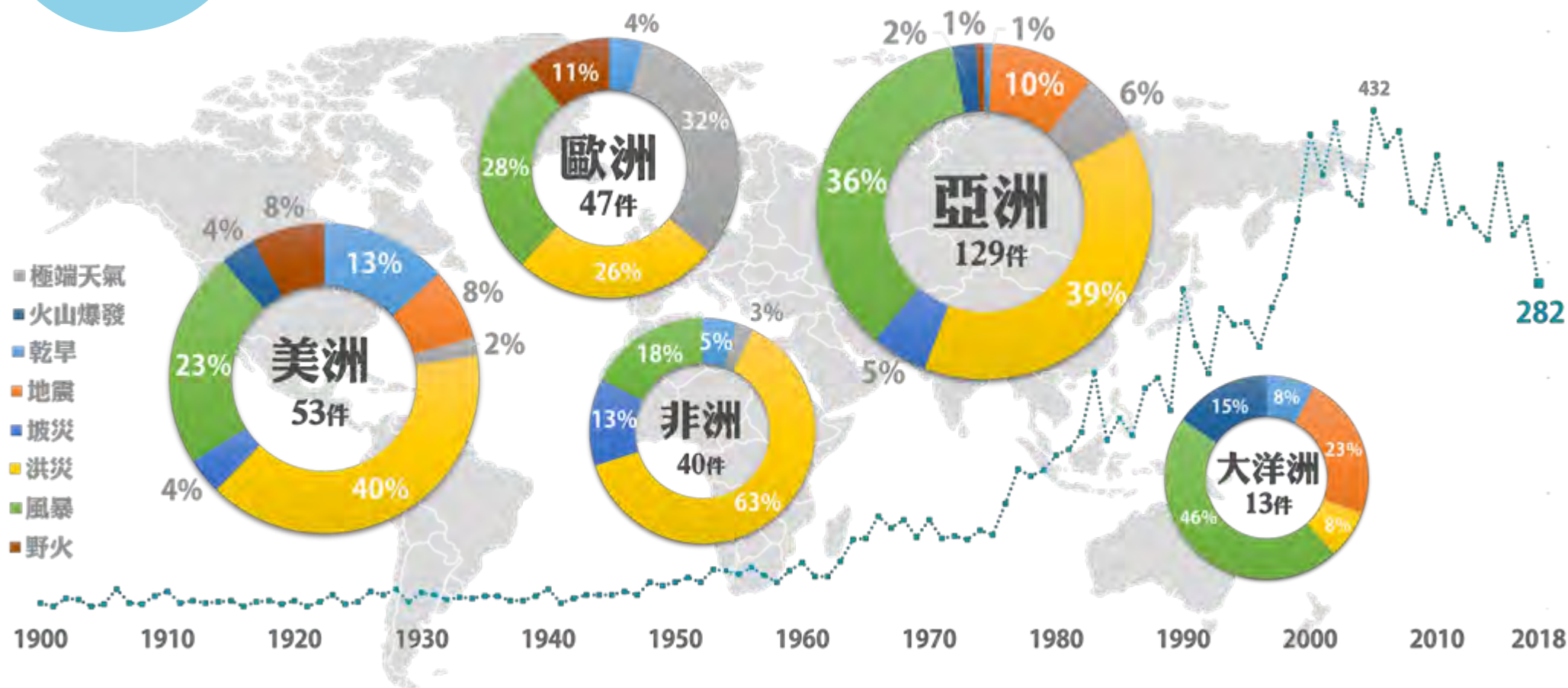


印尼峇里島阿貢火山於 2018 年 6 月 28 日噴發情形
(資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

2018

年度國際災害概述

註 本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報 第 165 期 2019 年 4 月出刊



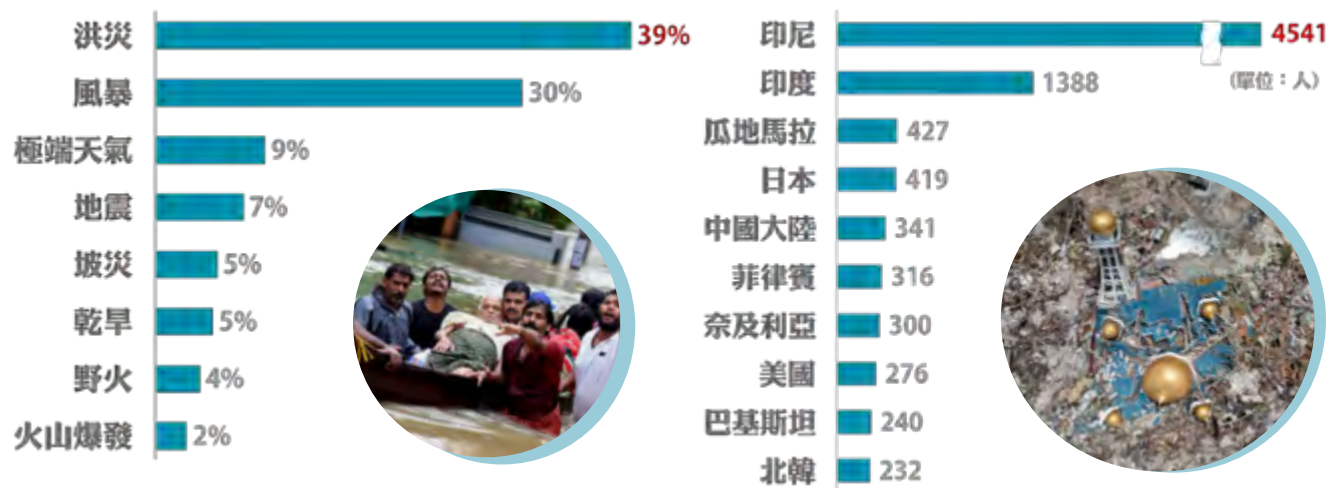
2018 年重大災害分布及歷年重大天然災害事件數統計 (資料來源：數據取自 EM-DAT，國家災害防救科技中心繪製)

2018 年天然災害統計分析

根據聯合國災害資料庫 (EM-DAT) 統計：2018 年重大天然災害事件數總計 282 件，是 2000 年以來，唯一低於 300 件數的一年。災害的好發地區仍舊在亞洲；在 EM-DAT 的災害類型中，以洪災為最大宗 (39%)，若與颱風相關災害一同計算 (包括：洪災、坡災與風暴)，占全部災害 74% 的比例，其餘災害類型介在 2% 至 10% 之間。

統計 2018 年的災害事件中，總傷亡人數最多的國家是印尼 (各種災害加起來超過 4,500 人)，其次為印度，因豪雨有超過千人喪命，其後國家死亡人數約 200 人至 500 人之間。印尼國家災害管理局 (National Agency for Disaster Management, BNPB) 表示：2018 年印尼發生的大大小小災害共有 2,572 起 (這數字大於 EM-DAT 的重大災害事件)，其中災害事件包括：地震、海嘯、火山爆發、洪旱、山崩和極端天氣等，是繼 2004 年南亞海嘯後，死亡人數最嚴重的一年。

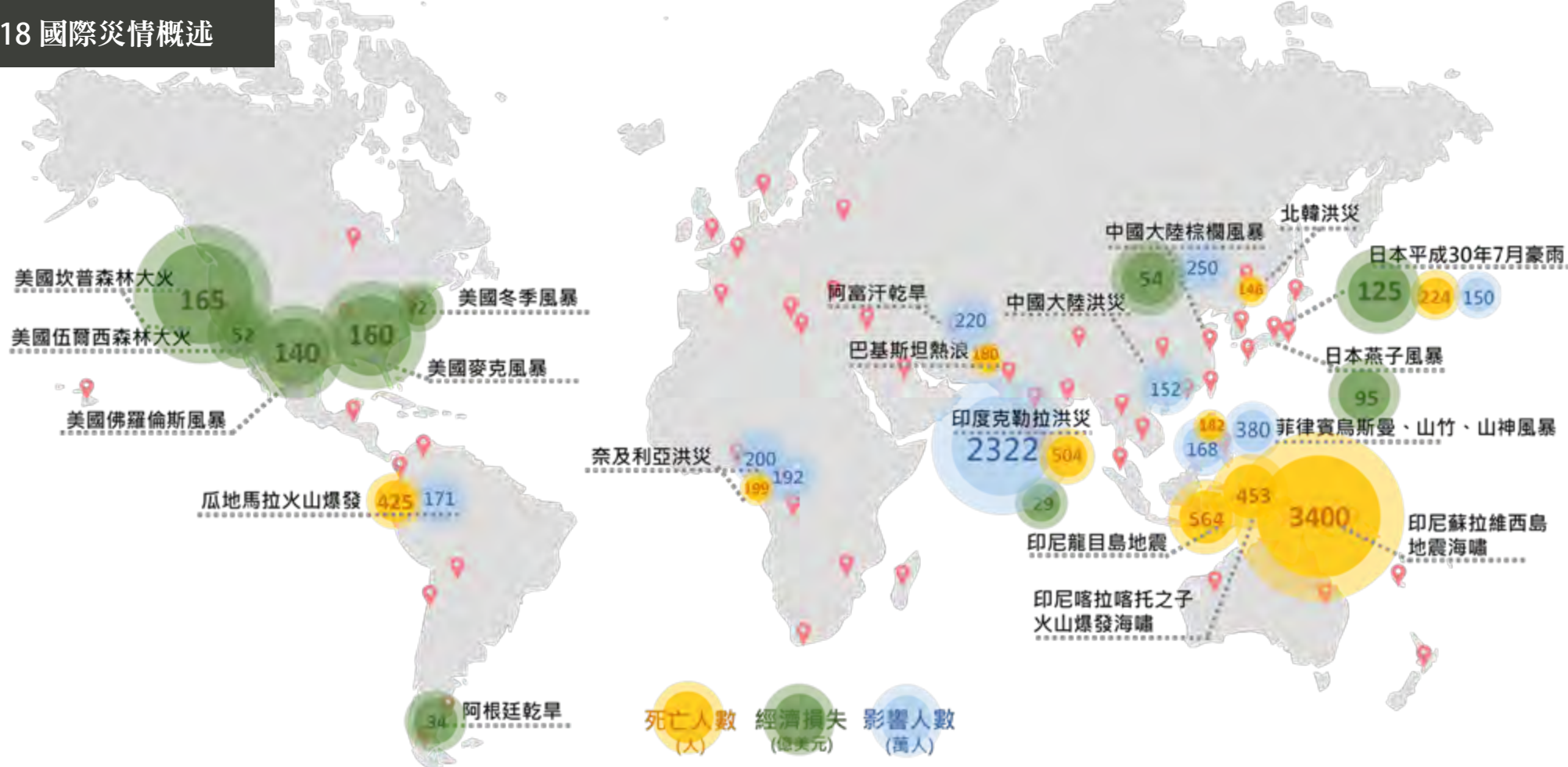
分析全球天然災害造成的經濟損失，以美國與日本最為嚴重，其中美國因為大規模的森林大火事件 (Camp Fire, Woolsey Fire) 再加上幾場風暴事件 (Michael, Florence)，使得美國在天然災害的經濟損失達到全球最高。其次為日本，7 月發生的「平成 30 年 7 月豪雨」大規模的洪水事件，使得廣島、岡山縣等主要災區傷亡慘重；9 月燕子颱風強風夾帶高暴潮水位，重創關西國際機場及其聯外道路，嚴重影響旅客及貨運進出。



左圖為 2018 年各災害類型百分比，右圖為 2018 年因天然災害造成的死亡人數排名 (資料來源：EM-DAT)



2018 年 9 月 28 日於印尼蘇拉維西島發生地震及海嘯災害情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)



2018 年十大重大天然災害事件分布 (資料來源：EM-DAT、國家災害防救科技中心繪製)

2018 十大受災害影響人數與往年災害類型相較之下不太一樣，過去大多為乾旱事件所影響人數最多，而 2018 年係以颱風災害為主，僅只一件乾旱，以及一件為火山爆發。

而另一件火山爆發亦受到矚目：夏威夷火山爆發，因為火山熔岩流動較為緩和，可預先撤離，因此造成的死亡事件相對較少。

2018 年依「災害類型」探討

颱風災害

颱風災害統計：共占 207 起，共有 4,827 人死亡，4,970 萬人受颱風襲擊的影響，占總影響人數的 83%，總災害損失金額約 776 億美元。而 2018 年全球七大熱帶氣旋區域共形成 151 個系統，其中 101 個熱

帶氣旋有命名。與我們息息相關的西北太平洋共生成 29 個，高於平均值 25.7 個；日本接二連三受到颱風影響，5 個颱風登陸日本，6 個颱風外圍環流影響，強風降雨造成暴潮溢淹、山坡地崩塌以及生命財產的損失。幸運的是，臺灣在 2018 年裡沒有受到任一颱風直接侵襲。

而國際間的颱風災害事件中，印度從六月開始受

2018 年前五大「颱風災害」統計 - 依死亡人數排序 (資料來源：EM-DAT)

排序	時間	國家	地區	死亡人數	影響人數	經濟損失 (千美元)
1	08/07-08/20	印度	Thrissur, Chengannur, Kerala state	506	23,220,000	2,852,480
2	06/29-07/08	日本	高知縣、岐阜縣、長野縣、德島縣、岡山、廣島	224	1,500,102	9,500,000
3	09/20-10/02	奈及利亞	kogi, Delta, Anambra, Niger	199	1,922,332	275,000
4	12/28-12/31	菲律賓	Camarines Sur, Albay, Sorsogon	182	926,690	169,914
5	08/24-09/06	北韓	North and South Hwanghae	146	581,268	NAN

2018 年前五大「乾旱災害」統計 (資料來源：EM-DAT)

排序	時間	國家	地區	影響人數	經濟損失 (千美元)
1	1 月至 3 月	阿根廷	Buenos Aires, Cordoba, Santa Fe, Pampa, santiago del Estero provinces	NAN	3,400,000
2	8 月	澳洲	New South Wales, Victoria, Queensland	NAN	1,200,000
3	1 月至 3 月	烏拉圭	Tacuarembó, Salto, Durazno, etc.	11,135	500,000
4	6 月至 8 月	巴拿馬	--	1,500,000	72,000
5	6 月至 8 月	瓜地馬拉	--	386,610	44,669

到印度季風影響，陸續傳出災情，2018 年印度因颱風災害喪生者共有 1,735 人，其中克勒拉邦 (Kerala) 死亡人數最多達 506 人，該事件共影響 2,322 萬人。

其二為日本平成 30 年 7 月豪雨事件，共造成 232 人死亡 (含失蹤)，影響人數超過 150 萬人，上回如此重大的洪災災害已是 30 年前，對於防災首屈一指的日本而言，此次災害規模相當罕見。

雖然颱風「過而不入」臺灣，但仍有幾次水災應變作業，其中包括：八月下旬因為熱帶性低氣壓及西南氣流的滯留，在南臺灣降下了破紀錄的 1,100 毫米累積雨量，使得嘉義、臺南、高雄等地區多處淹水，部分地區甚至淹水長達 110 小時 (嘉義縣掌潭村)；另外，九月初，大臺北地區因鋒面伴隨著強烈的對流系統的發展，臺北公館時雨量達 93.5 毫米，新北五分山時雨量 106 毫米，使得雨水下水道系統難以負荷造成都會區淹水，交通立即打結。

乾旱災害

2018 年是有紀錄 (1880 年至 2018 年) 以來，持續升溫過程中的第四高溫。全球氣候變遷影響各地乾旱，使旱災發生頻率增加且發生時間長，影響水資源甚鉅。EM-DAT 統計：2018 年重大乾旱事件共有 13 起，損失金額約 53 億美元。幾場較受注意的乾旱事件有：南非開普敦從 2015 年開始，並持續至 2018 年的缺水，並在 2018 年一月提出四月將達到「臨界日 (Day Zero)」的斷水危機，總計影響了 380 萬人。相同是位

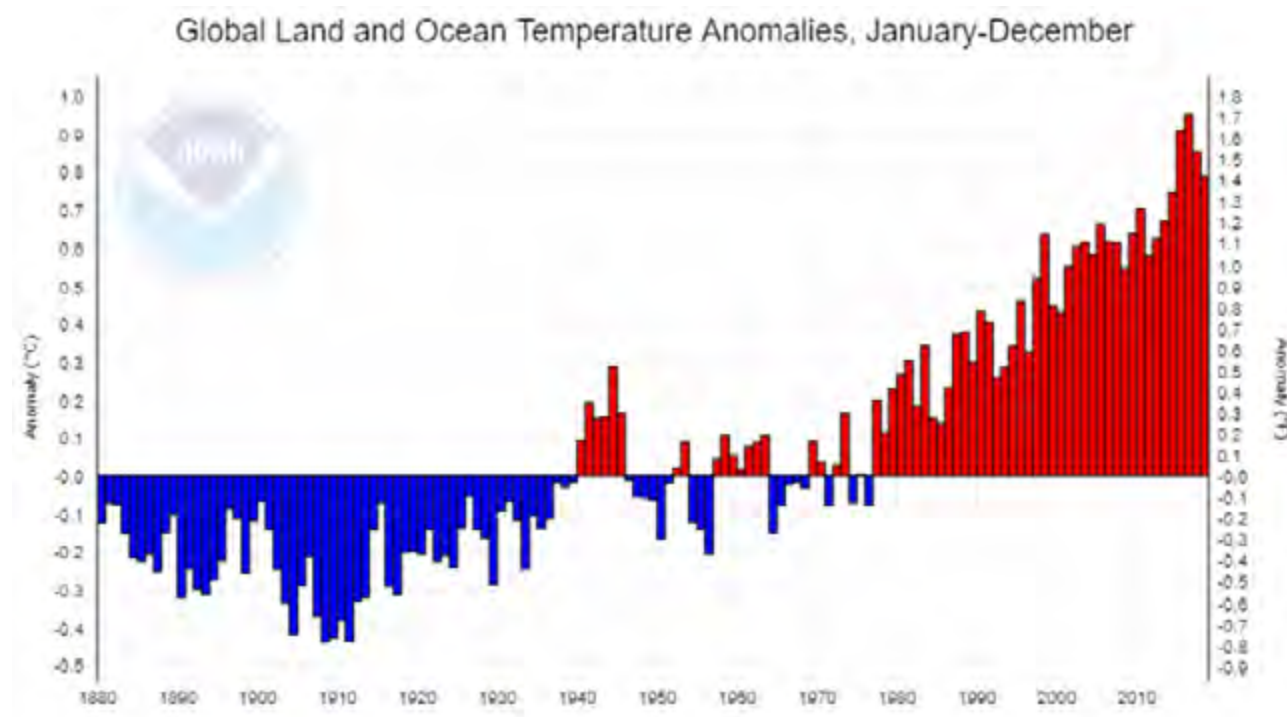
於南半球的阿根廷，歷經 44 年以來最嚴重的乾旱，由於阿根廷是全球第三大玉米與黃豆出口國，產能受到旱象衝擊而減少，直接影響全球玉米、黃豆等農產品價格飆升。除此之外，肯亞、阿富汗和加拿大等地區，皆有超過萬人受到乾旱水資源不足之影響。

森林大火災害

2018 年森林大火災害，總計共造成 247 人死亡，雖然全球各地發生重大野火次數約 10 起，但 2018 年野火規模大小超過歷史紀錄。舉希臘冬季異常的乾燥為例，降雨量明顯低於平均水平，夏季又歷經破紀錄的熱浪與乾旱，冬、夏二季的環境已具備野火產生的條件，因此於七月燃燒二日的野火造成 126 人死亡，是 2018 年全球死傷最嚴重的野火災害事件。

另外，加州坎普大火 (Camp Fire) 為美國境內 2018 年死傷最嚴重災害事件，單場森林大火造成 88 人死亡，18,804 棟建築物被燒毀，該事件也是 2018 年全球災害損失最嚴重的事件 (根據 EM-DAT 2018 年災害事件統計約 165 億美元，而怡安再保 (AON) 推估約 150 億美元)；加州卡爾野火 (Carr Fire)，焚燒面積約 930 平方公里 (相當於 3.4 個臺北市面積大小)，是焚燒面積最大的事件。

全球極端高溫反映出：乾旱發生時間長，影響地區廣泛；而野火在氣候和地表乾燥環境下，更加使得野火發生且加快蔓延速度。



1880 年至 2018 年溫度距平圖 (資料來源：NOAA)

2018 年前五大「森林大火災」害統計 - 依死亡人數排序 (資料來源：EM-DAT)

排序	時間	國家	地區	死亡人數	影響人數	經濟損失 (千美元)
1	07/23-07/24	希臘	Neos Voutzas, Agia Marina, etc.	126	69	NAN
2	11/08-11/16	美國	Butte county	88	250,000	16,500,000
3	03/10	印度	Tamil nadu	17	NAN	NAN
4	07/27-08/31	美國	California	14	3,237	1,000,000
5	11/08	美國	Thousand Oaks, Oak Park Westlake Village etc.	3	3	5,200,000

2018 年前五大「地震災害」統計 - 依死亡人數排序 (資料來源：EM-DAT)

排序	時間	國家	地區	規模	死亡人數	影響人數	經濟損失 (千美元)
1	09/28	印尼	Dongalla, Sigi, Parigi Moutoung, Palu, Poso, Mamuju Utara	7.5	3,400	210,932	1,000,000
2	08/05	印尼	Lombok	6.9	564	516,927	509,000
3	02/26	巴布亞新 幾內亞	Southern Highlands Hela Provinces	7.5	145	544,300	61,000
4	09/06	日本	北海道；札幌	6.7	41	3,380	605,000
5	03/07	巴布亞新 幾內亞	Hela	6.7	25	NAN	NAN

2018 年前五大「火山爆發」災害統計 (資料來源：EM-DAT)

排序	時間	國家	地區	火山 名稱	死亡人數	影響人數	經濟損失 (千美元)
1	12/22	印尼	Pandenglang, South Lampung, Serang districts	Anak Krakatoa	453	47,778	NAN
2	06/03	瓜地馬拉	El Rodeo, Las Lajas, Antigua, Escuintla, Chimaltenango, etc.	Volcan de Fuego	425	1,714,414	NAN
3	01/13- 03/06	菲律賓	Bacacay, Daraga, Legazpi, etc.	Mayon	NAN	86,056	3,564
4	01/14	印尼	--	Mt. Agung	NAN	50,000	NAN
5	01/05- 01/06	巴布亞新 幾內亞	Manot, Taragauo, Dong Sarabano, etc.	--	NAN	736	NAN

地震、火山爆發與海嘯災害

2018 年重大地震災害共有 20 餘起，而前十大地震中印尼占四起事件，造成約 4,000 人死亡，其中最嚴重地震災害，莫過於印尼蘇拉維西島 (Sulawesi Island) 中部的地震引發土壤液化和海嘯，造成三千餘人死亡和失蹤。

鄰近的日本在北海道亦發生了規模 6.7 的地震，所幸在人口較為稀少的地區，傷亡較輕，但是所引起的崩塌、土壤液化等現象令人注意。

2018 年火山爆發根據 EM-DAT 統計有 7 起事件，雖然不是發生最多火山爆發的一年 (2006 年計有 12 件)，但衝擊影響卻是 2000 年來最嚴重的一年。



印尼蘇拉維西島於 2018 年 9 月 28 日發生地震災後救援情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

臺灣災害篇

TAIWAN DISASTERS





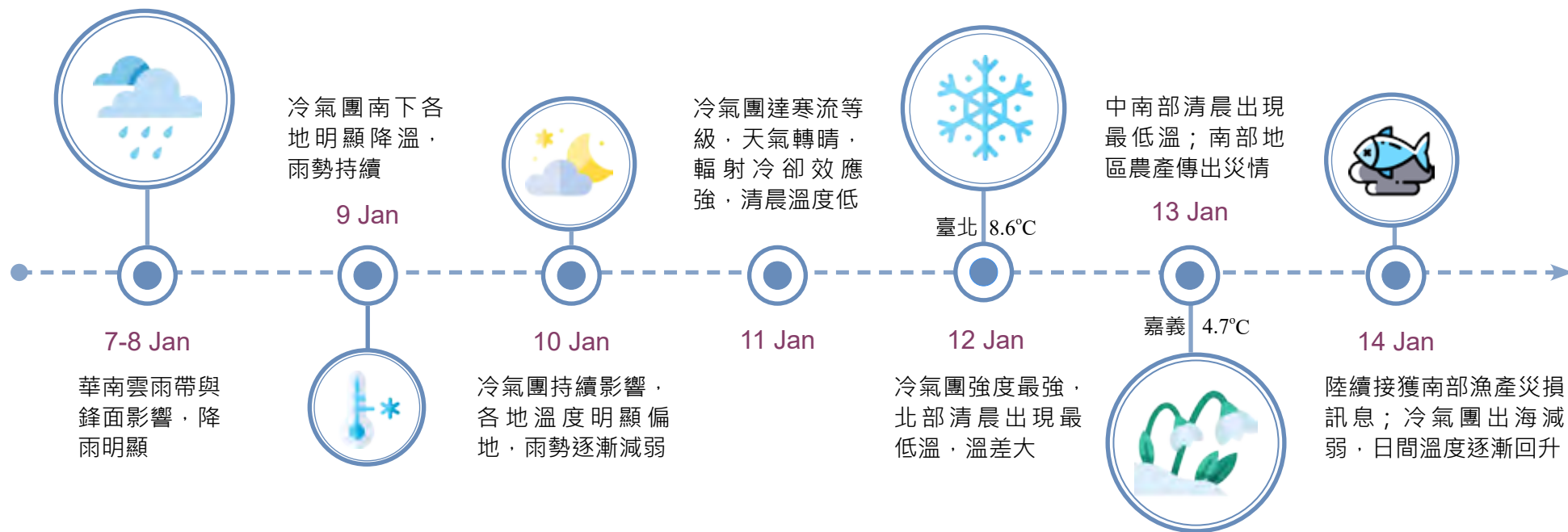
花蓮地震統帥大飯店倒塌情形（資料來源：國家災害防救科技中心）

一月寒流事件

■ 本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報 第 153 期 2018 年 3 月出刊



寒流期間高雄食用番茄落果情形 (資料來源：高雄市政府農業局)



災害概述

本次寒流是繼 2016 年 2 月的致災寒流事件後，又一次顯著的寒流事件，在嘉義創下 4.7°C 的低溫，並造成農、漁業產物損失超過一億元。其中，農產損失金額占 84%，漁產占 16%。從氣象災因分析發現，本次寒流屬於前期濕冷、後期日夜溫差大的天氣型態，與 2016 年 1 月寒流事件長時間處於低溫的天氣型態不同。因此，造成的災害衝擊也不盡相同。本次寒流事件，除了因為大陸冷氣團的增強，結合多重氣候條件如：北極振盪、聖嬰及季內振盪，均有利於加強東亞地區寒流的發展，導致嚴重衝擊農漁業。

災害歷程

2018 年 1 月 8 日，鋒面通過前，因華南水汽相當旺盛與鋒面系統雙重影響下，幾乎全臺都有明顯雨勢。當 1 月 8 日鋒面通過以後，晚間受到大陸冷氣團影響，臺北的溫度開始顯著下降。1 月 11 日清晨，臺北站氣溫降至 10°C 以下，冷氣團的影響達到寒流強度。接下來 1 月 12 日至 14 日雨勢趨緩轉為乾冷的天氣型態，白天因太陽加熱回暖；晚上在冷氣團和輻射冷卻雙重影響下溫度再度快速下降，使得日夜溫差大。此次冷氣團的影響在 1 月 12 日最為顯著，12 日清晨臺北測站出現本次事件的最低溫 (8.6°C)；中南部

地區則因輻射冷卻作用相當強，嘉義測站則在 1 月 13 日清晨出現本次平地最低溫 (4.7°C)。1 月 13 日白天起北部逐漸回暖，結束歷時 3 天的寒流事件，但南部持續受輻射冷卻影響，1 月 14 日清晨仍有低溫的發生。

寒流

根據中央氣象局天氣預報作業的定義，在大陸冷氣團影響下，當臺北測站的日最低溫達 10°C 以下，則將此大陸冷氣團稱之為「寒流」。

氣象分析

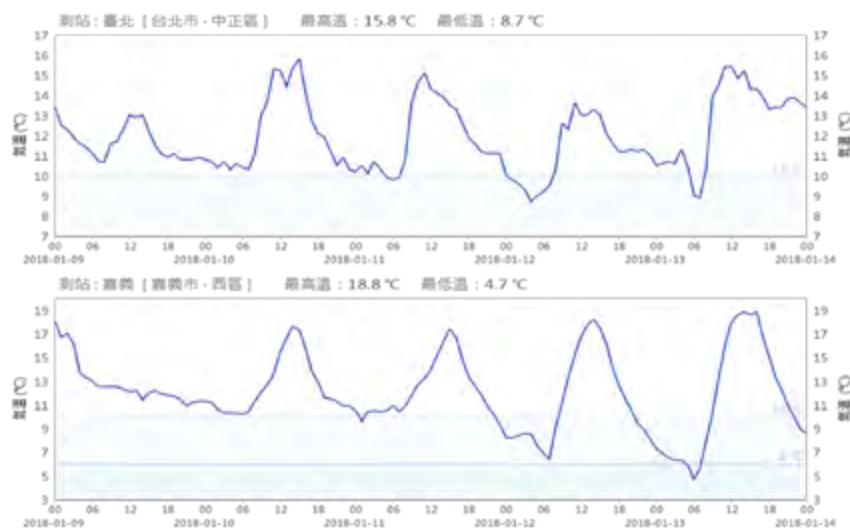
寒流事件的發生，都需要有強烈的西伯利亞高壓存在，而西伯利亞高壓的生成、急遽增強和往東南延伸，常會造成冷空氣向東亞地區爆發。根據 2018 年 1 月 8 日上午 8 時的地面天氣圖，此時氣象局所分析的西伯利亞高壓強度為 1,056 百帕 (hPa)，其走勢沿著青藏高原的東麓直接影響東亞與臺灣地區。利用美國 NCEP(National Centers for Environmental Prediction) 分析 1 月 7 日至 11 日平均氣壓距平和溫度距平，顯示此時期東亞地區的溫度比氣候平均值低了 6°C 以上，氣壓也明顯較氣候值高了 4 百帕 (hPa)，顯示當時東亞地區受西伯利亞高壓影響，氣壓明顯上升，且溫度呈現明顯降溫情形。

北極振盪會影響西伯利亞高壓、高層槽線和極區噴流的強度，造成中、高緯度的大氣環流改變，進而影響東亞地區冬天的氣候。過去研究指出，當北極振盪處於負相位時，極區噴流強度會減弱，極區的冷空氣較容易往中、低緯度爆發，進而加強西伯利亞高壓強度，當西伯利亞高壓向南延伸時，便會增強東亞地區的寒流強度。另外極區冷空氣南下至中緯度地區時，會加深東亞主槽，槽線加深後容易形成阻塞，冷空氣不易往東傳播，影響時間便會拉長。由北極振盪指數分析顯示，2018 年 1 月上旬北極振盪短暫轉為微弱的正相位後再度處於負相位，且此波北極振盪振幅較顯著，而本次寒流即是在此波北極振盪負相位出現後所發生。

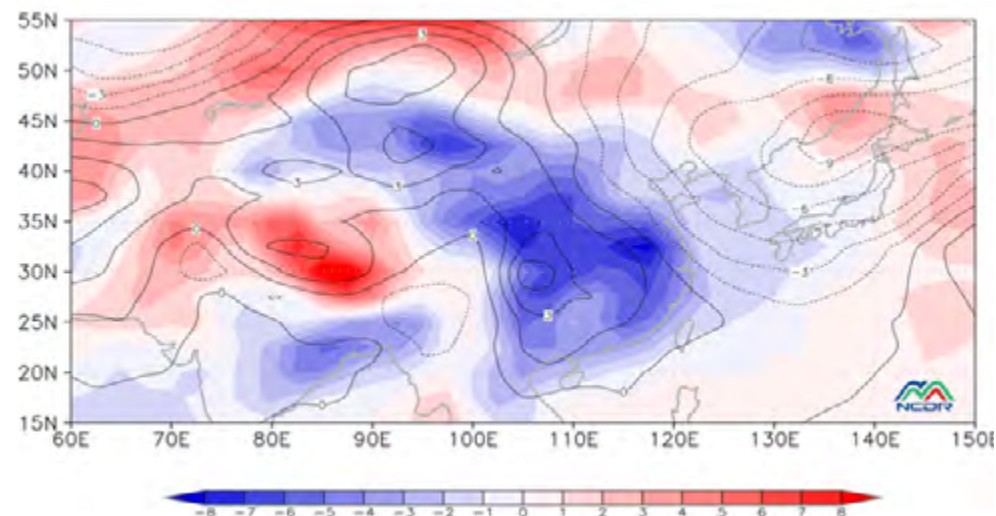
現後所發生。

透過 850hPa 氣壓場北半球溫度距平的分析可以了解冷空氣移動的方向。此次影響東亞與臺灣的冷空氣有兩股，一股是來自歐洲大陸，另一股直接來自北極圈。1 月 9 日 850hPa 極投影之溫度距平圖顯示當時的北半球有兩道來自極區影響的冷空氣，一在東亞地區；另一在北美地區。東亞地區冷空氣出海的速度緩慢，直到 12 日冷空氣的主軸才緩慢東移出海，但在此期間歐洲大陸亦有一股冷空氣東移併入東亞的冷空氣內，使得東亞及臺灣地區持續低溫。

過去研究指出，當太平洋海溫出現反聖嬰現象時，東亞地區的冬季季風將偏強，亦會導致東亞地區



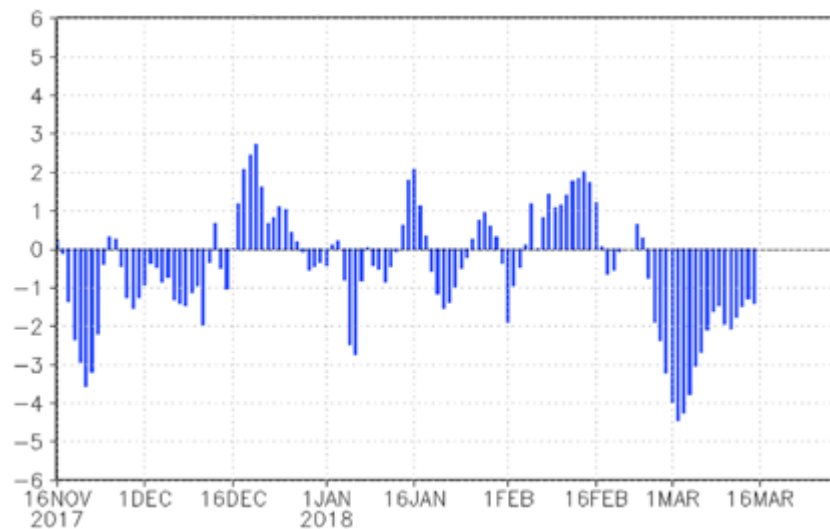
2018 年 1 月 9 日至 13 日臺北市中正區 (上) 及嘉義市西區 (下) 溫度分布
(資料來源：中央氣象局)



2018 年 1 月 7 日至 11 日地表溫度 (彩色) 與氣壓 (線條) 距平圖，其中紅色 (實線) 表示較氣候值高、藍色 (虛線) 較氣候值低

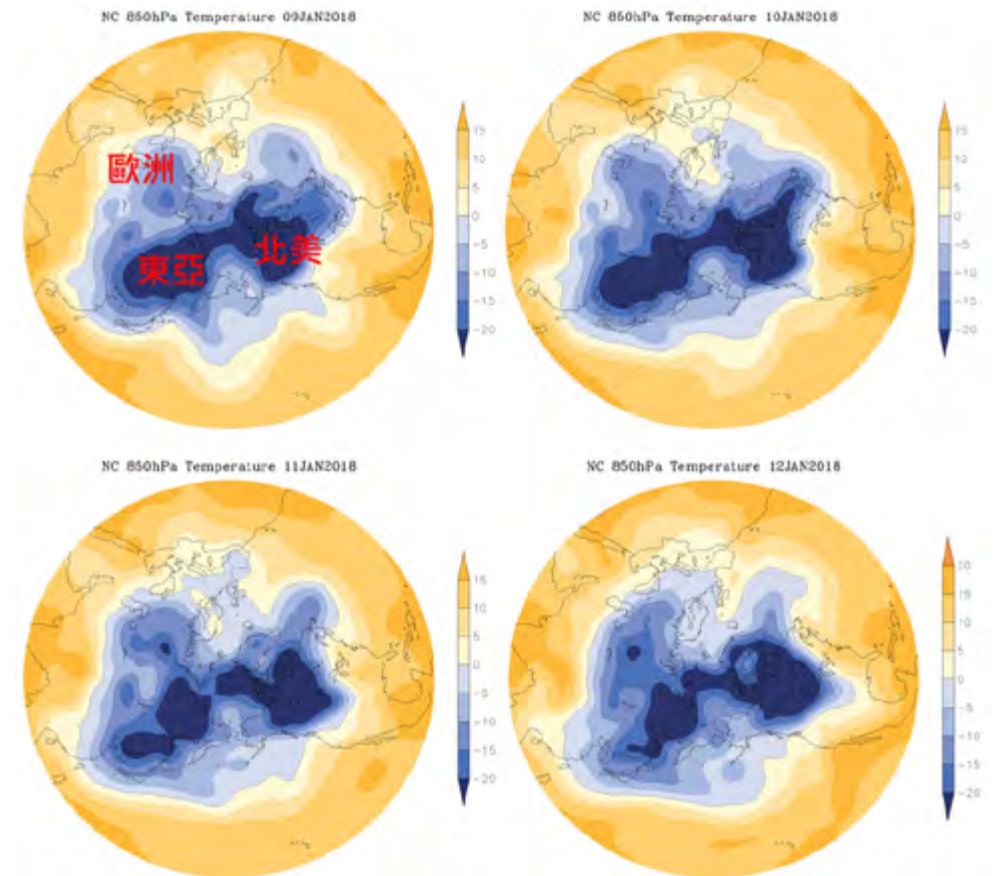
偏為乾冷的天氣型態。這是由於反聖嬰發生時，東太平洋海溫偏低，增強太平洋赤道上東西向的沃克環流 (Walker Circulation)，使得西太平洋海域對流較為旺盛，也加強了南北向的局部哈德里環流 (Local Hadley Circulation)，進而增強亞洲大陸低層北風，使得北邊冷空氣更容易南下到東亞地區加強寒流強度。2017 年 8 月開始太平洋進入反聖嬰發展年，海溫距平值由 0.39°C 轉為 -0.15°C ，11 月開始，反聖嬰訊號更顯著，海溫距平值達 -0.86°C 。根據上述推論，2018 年東亞地區的冬季季風增強以及一月份亞洲大陸距平溫度偏低均可能與反聖嬰現象發生相關。

本次寒流事件發生前，2017 年 12 月下旬開始季內振盪位於第 2 相位，亦即與 2018 年同樣出現在印度洋地區，這現象與此波冷氣團南下影響華南與臺灣地區前的華南雲雨帶發展活躍有關，使得大陸冷氣團前緣的鋒面在通過臺灣時造成全臺明顯降雨。從逐日降雨分布顯示冷氣團 9 日南下影響臺灣前幾乎全

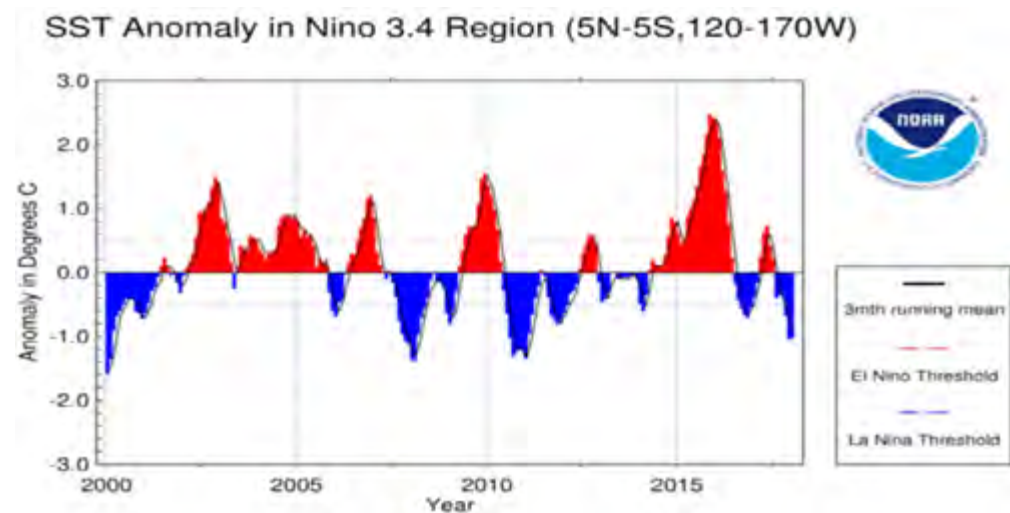


2017 年至 2018 年冬天北極振盪指數時序圖
(資料來源：美國國家海洋暨大氣總署，NOAA)

臺都有降雨，尤其在 7、8 日鋒面通過時北部地區降雨顯著，此降雨強度在臺灣冬季相當罕見。季內振盪位於印度洋地區時，除了有利水汽輸送至華南地區外，因為對流旺盛，也會加強哈德里環流，使地面北風增強，也有利於冷空氣輸送至東亞地區。此次事件同時有降雨搭配後續寒流的低溫影響，使不耐濕冷的農作物有較大損失產生。



2018 年 1 月 9 日至 12 日之 850 hPa 極投影溫度分布圖，其中圖中心點代表極區，冷色系 (藍) 代表溫度較氣候值低，暖色系 (黃) 溫度較氣候值高



2000 年至 2018 年海溫距平時序圖，正值（紅）表示聖嬰現象，負值（藍）表示反聖嬰現象（資料來源：美國國家海洋暨大氣總署，NOAA）

高雄和臺南測站於寒流期間的日最低溫、日平均溫、日最高溫和溫差
（資料來源：中央氣象局）

高雄測站日溫度 (°C)				
日期	日最低溫	日平均溫	日最高溫	溫差
2018/1/11	12.7	15.3	19.2	6.5
2018/1/12	10.6	15.0	20.3	9.7
2018/1/13	10.4	15.6	20.6	10.2
2018/1/14	12.5	17.3	22.9	10.4

臺南測站日溫度 (°C)				
日期	日最低溫	日平均溫	日最高溫	溫差
2018/1/11	10.4	13.0	17.0	6.6
2018/1/12	8.8	12.3	18.1	9.3
2018/1/13	7.6	13.2	19.1	11.5
2018/1/14	11.1	15.6	21.2	10.2

災害衝擊

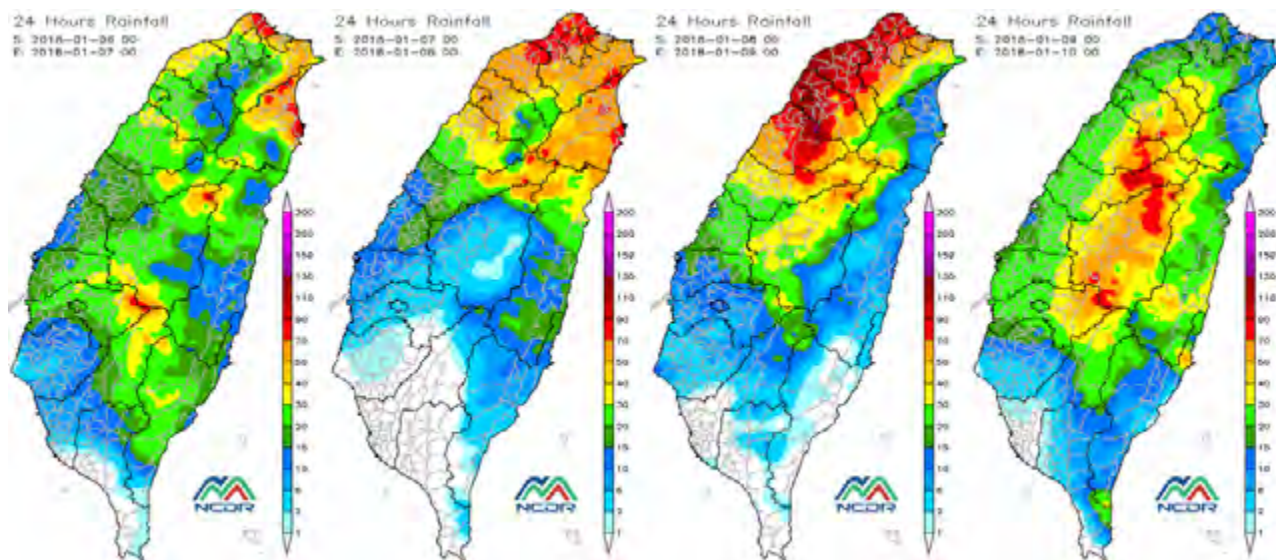
2018 年 1 月上旬大陸冷氣團影響臺灣期間，大氣環流場不單純是西風波列導致西伯利亞高壓增強所導致，冷氣團增強的成因還包含：反聖嬰現象增強東北季風、北極振盪負相位讓極區的冷空氣往南侵襲，以及位於印度洋的季內振盪增強東亞地區的寒流，在多種因素的配合下使得冷氣團影響臺灣前為濕冷的天氣型態。直到冷氣團完全南下影響時，臺灣的天氣才開始轉為乾冷，而晴空下輻射冷卻效應顯著，因此在臺灣西半部使低溫再往下探，此種變化劇烈的天氣型態對農漁業造成相當大的衝擊。

此次寒流造成相當大的農漁業損失。根據行政院農業委員會的統計（災損統計資料自 1 月 8 日至 1 月 19 日 17 時止），農漁業產物損失共計 1 億 91 萬元，其中以農產損失 8,496 萬元為主，占總損失金額的 84%，漁產損失 1,595 萬元。其中，又以高雄市受災情形最為嚴重，主要受損作物為食用番茄；其次受損較嚴重的縣市分別為新竹縣、臺南市、南投縣、屏東縣。上述五個縣市的損失總和就占了總災損的 82%。

在受寒害損失的農漁作物細節方面，農產損失的受災面積為 1,382 公頃，損害程度 17%，換算成無收穫面積為 237 公頃，主要受災作物為食用番茄，其次

為蓮霧、桶柑、海梨柑及棗等。漁產損失主要為臺南市、雲林縣、嘉義縣及彰化縣，受損產物為文蛤混養的虱目魚（淺池）、少量專養的虱目魚和白蝦。

本次農損最嚴重的農產作物為高雄地區的食用番茄，主要是寒流發生前華南雲雨帶東移和鋒面通過造成連日降雨，果實在成長階段若遇大量降雨，因為果肉和果皮成長速度不一致容易造成裂果。寒流後期水汽偏少，前後期濕度變化大，加上夜間溫度驟降受低溫影響，白天溫度驟升的不穩定天氣影響下，使得果皮較薄的食用番茄不耐低溫和劇烈的溫濕度變化發生裂果和落果。一方面是番茄種植過程中，有許多管理



2018 年 1 月 6 日至 1 月 9 日 (由左至右) 降雨分布圖 (資料來源：中央氣象局)



各縣市農漁業產物損失分布圖

過程因機器無法取代而需使用人力，生產成本較高，這也是造成食用番茄損失金額高的可能原因之一。

損失第二嚴重的作物為高屏地區的蓮霧，蓮霧屬於熱帶常綠果樹，適合生長的溫度約 25°C，但低於 25°C 和日夜溫差大的氣溫卻有利蓮霧果實發育和品質提升。但研究指出蓮霧果實對於寒流前後氣溫急遽變化非常敏感，尤其是低溫過後的氣溫快速回升容易造成落果情形。另外蓮霧對水份需求高，受低溫影響時，乾冷的天氣型態下所造成的損害較濕冷天氣大。本次寒流後期轉為乾冷，夜間輻射冷卻效應顯著而低溫，白天太陽照射下溫度又快速回升。以蓮霧種植區的屏

東縣高樹鄉為例，13 日最低溫和最高溫分別為 8.4°C 和 20.4°C，夜間低溫發生後白天迅速升溫，日夜溫差高達 12°C，因此發生大量落果災情。

損失第三嚴重的柑桔類，此類作物的致災因素與蓮霧相反，柑桔類作物在濕冷的天氣中損害將較乾冷的天氣嚴重。因為柑桔的果實在淋雨後，果蒂部位容易腐敗，本次寒流南下前連日降雨後緊接著低溫發生，導致中北部地區待收成的柑桔果實發生凍傷或果皮受損災情。

漁業產物損失分析，本次災情較嚴重為嘉南地區的淺池養殖的虱目魚。因養殖文蛤會有大量藻類生

長，養殖池的藻類會影響文蛤生長，因此每公頃養殖文蛤淺池中混養 1 千至 2 千尾虱目魚是目前常用的生態養殖方法。一般混養淺池的水深均不足 1 公尺，當溫度降至 10°C 以下，池中的虱目魚因不耐低溫容易發生凍斃。此外，清晨過後溫度回升的速度稍慢，也造成少部分專養的虱目魚的深池因低溫時間長亦發生魚隻凍斃情形。

寒流期間高雄食用番茄裂果情形
(資料來源：高雄市政府農業局)

0206 花蓮地震



花蓮地震造成市區雲門翠堤大樓房屋嚴重傾斜 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

地震概述

花蓮近海 (花蓮縣政府東北方 16.5 公里) 於 2018 年 2 月 6 日晚間 23 時 50 分 41.6 秒發生芮氏規模 (M_L) 6.2 之地震，震央在北緯 24.1 度、東經 121.73 度，震源深度為 6.3 公里。根據中央氣象局資料顯示，最大震度 7 級在花蓮縣花蓮市及宜蘭縣南澳地區；南投縣觀測到 5 級震度；臺中市觀測到 4 級震度；桃園市、雲林縣、彰化縣、嘉義縣等地觀測到 3 級震度；臺灣本島其餘地區均為 1 級至 2 級震度。本次地震發生於近海，潮位觀測資料顯示無海嘯威脅。

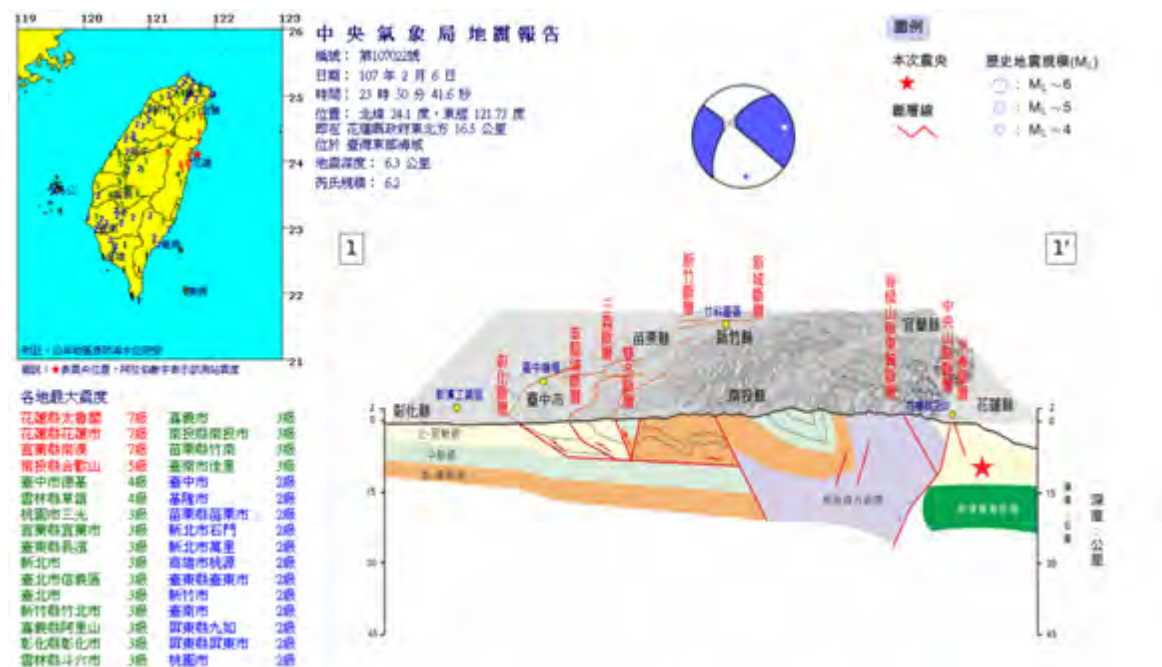
地震特性分析

由震源機制分析，經比對中央氣象局、中央研究院地球科學所之分析結果，並標示其分布位置，可發現本次地震主震之震源機制屬於走向滑移斷層為主並具有逆斷層分量之斷層形式。

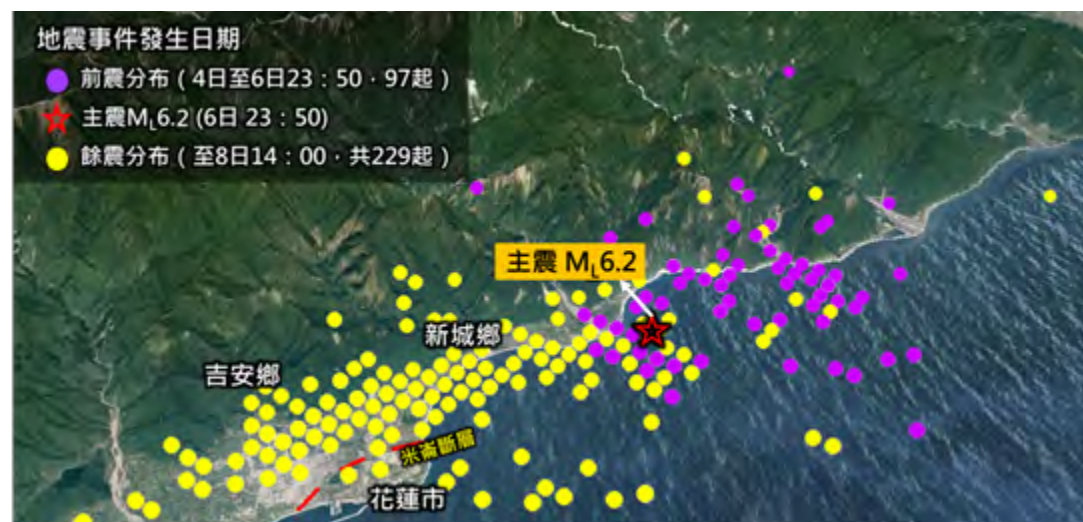
本次地震震源位置位於臺灣東部地區，因受到菲律賓海板塊與歐亞板塊以每年約 7 公分至 8 公分的斜向聚合作用，導致本區域一直以來地震活動相當活躍，鄰近本區域的活動斷層分別為：米崙斷層與嶺頂斷層。

0206 地震後陸續有相關單位與學者提供各地表變化之分析成果，主要為雷達衛星影像分析地表位移估算，資料顯示位於米崙斷層與嶺頂斷層西側之地表變形相當明顯，該地區恰為本次地震地表建物受損最嚴重的點位。另外根據 Sentinel-1 衛星影像初步分析成果，於斷層沿線分別有發生地表抬升與沉陷現象，其地表變形量最高達 30 公分。

花蓮地區的有感地震分布特性，依據中央氣象局公布的地震資訊，在 0206 地震發生前，該地區於 2 月 4 日起，已經測得多起規模大於 5.0 的地震，在主震發生後，也測得 5 起規模 5.0 以上的地震，



中央氣象局 0206 花蓮地震報告及震源鄰近區域地質剖面圖
(資料來源：中央氣象局、中央研究院地球科學所及臺灣大學地質科學系陳文山教授)



截至2月8日14時的前震及餘震分布 (資料來源：中央氣象局、國家災害防救科技中心繪製)



在每小時餘震數量統計分析，於震後1小時為最大量，數量達30起地震發生，餘震規模統計以地震規模3級至4級發生數量最多，且達198次。

災害損失

此次共造成4棟建築物倒塌，包含統帥大樓1、2樓壓毀；白金雙星大樓《國盛六街2號》1樓壓毀；吾居吾宿大樓《國盛六街41號》1樓壓毀；雲門翠堤大樓《商校街2號》向東傾斜倒塌，使東側1至4樓

下陷至地面，西側翹起。其中又以雲門翠堤大樓倒塌造成人員傷亡最為嚴重，合計造成17人死亡，295人受傷。經檢視花蓮縣災區建築物，舊遠東百貨大樓經評估為危樓，另計開出建築物紅單18件，建築物黃單14件。水利設施部分，總計3處設施受損：維生管線部份，4萬戶停水、1,794戶停電、60戶市話故障、14個基地台因停電而中斷服務、115戶寬頻因停電而中斷服務等；交通道路毀損計有4座橋樑封閉，包含七星潭大橋、尚志橋、三號橋及花蓮大橋，花蓮港3

座碼頭龜裂，39處道路出現突起龜裂等損壞。

產業災損部份，花蓮縣共計158家廠商遭受影響，美崙工業區78家，光華工業區28家，其他地區52家，災損金額17億5,356萬元；石材產業大板及製成品傾倒毀損，災損金額約20億7,300元；定置漁場6戶10組網具受損下沉入海，漁港登船碼頭毀損，災損金額共約5,700萬元；公私有建物（含校舍）受損評估約3億9,076萬元；公共建設受損情形及復原重建評估約66億6,741萬元，合計約100餘億元。



六月豪雨災害

註 本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報 第 159 期 2018 年 10 月出刊



南投國姓鄉烏溪柑林河段護岸邊坡塌陷 (資料來源：第三河川局)

災害概述

在2018年6月14-15日及19-20日分別各有一波強降雨發生，前者因西南季風與低壓帶影響，後者為西南氣流與南部地區的局部環流產生的交互作用所引發，豪雨導致臺南、高雄、屏東等地的淹水災害，以及中南部地區零星的道路塌陷、落石崩塌等；低壓帶來的強風導致兩艘油輪在高雄海岸擱淺。農業產物及民間設施損失截至6月26日17時止，共計8,022萬元，損失以一期稻作為主。

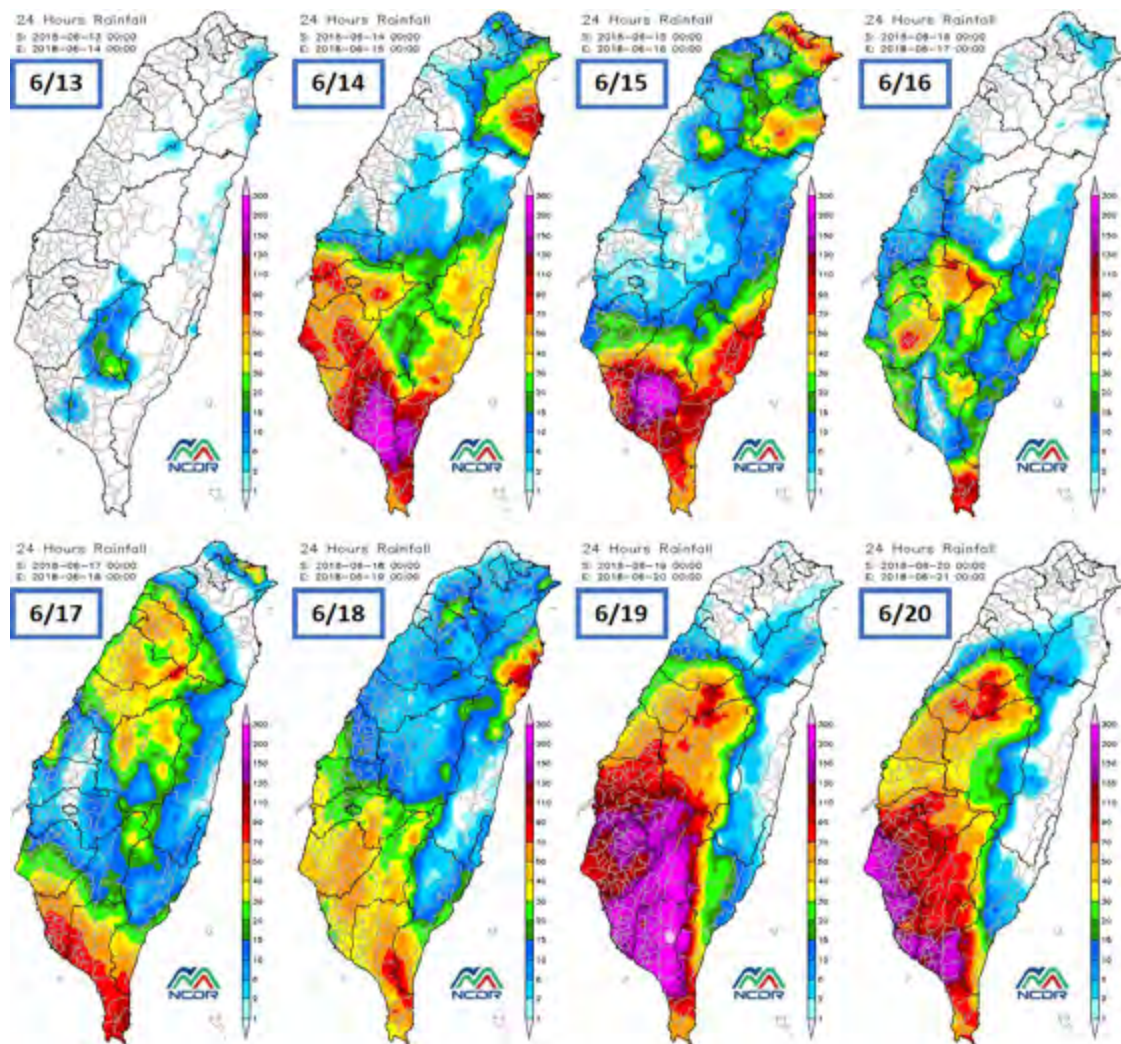
氣象分析

2018年6月13日傍晚起，臺灣受滯留鋒面、熱帶性低氣壓與西南氣流的影響，至20日前主要有兩波強降雨分別發生在14、15日及19、20日，分別稱之為0613豪雨事件及0619豪雨事件。

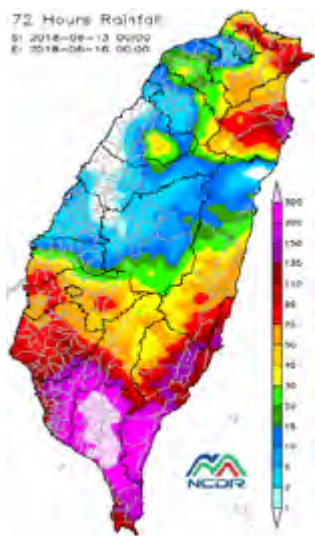
6月14日，受熱帶性低氣壓及其外圍環流影響，形成短延時強降雨，屏東縣瑪家鄉地區自14日12時至15日12時止，累積24小時降雨已達436毫米。

6月15日上午7、8點，熱帶性低氣壓從高雄近海移入陸地，並往東北東方向移動，在屏東有大豪雨，高雄、臺東及宜蘭地區也有豪雨發生，下半天在熱帶低氣壓逐漸遠離後，各地降雨減緩，但東半部及屏東地區仍有斷斷續續的雨勢。

16日至17日滯留鋒面及西南氣流仍持續影響，當滯留鋒面較接近時，恆春半島、臺東、高雄及屏東地區有較大雨勢，而18日起受南海新生成之熱帶性低氣壓外圍環流及西南氣流影響，中南部及東南部地區整天有持續降雨，並有局部大雨發生。19日至20日起受西南氣流增強影響，有另外一波較大雨勢發生，中南部及臺東雨勢明顯，其中又以南部地區，尤其是沿海鄉鎮雨勢較大，直至21日起西南氣流強度減弱，雨勢才逐漸趨緩。



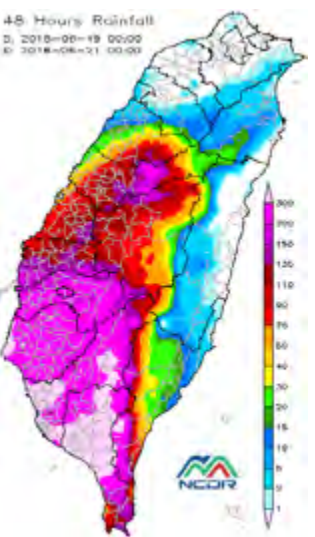
2018年6月13日至6月20日每日累積雨量圖
(資料來源：中央氣象局；國家災害防救科技中心繪製)



0613 豪雨事件累積雨量分布

06/13 00:00- 06/16 00:00 測站三日累積雨量 (單位: 毫米)

排名	測站代碼	測站名稱	縣市	鄉鎮	累積雨量
1	01Q920	新瑪家	屏東縣	瑪家鄉	436.0
2	C0R150	三地門	屏東縣	內埔鄉	425.0
3	01R040	士文	屏東縣	春日鄉	424.0
4	C0R140	瑪家	屏東縣	瑪家鄉	415.5
5	C1R201	龍泉	屏東縣	內埔鄉	414.5
6	01Q930	三地門	屏東縣	瑪家鄉	413.0
7	01R030	大漢山	屏東縣	春日鄉	408.0
8	81R640	佳義國小	屏東縣	瑪家鄉	387.0
9	C0R600	舊泰武	屏東縣	泰武鄉	368.0
10	C0R190	赤山	屏東縣	萬巒鄉	355.0



0619 豪雨事件累積雨量分布

06/19 00:00- 06/21 00:00 測站二日累積雨量 (單位: 毫米)

排名	測站代碼	測站名稱	縣市	鄉鎮	累積雨量
1	01Q250	泰武 (1)	屏東縣	泰武鄉	509
2	C1R610	西大武山	屏東縣	泰武鄉	487
3	C0R600	舊泰武	屏東縣	泰武鄉	452.5
4	01R030	大漢山	屏東縣	春日鄉	440
5	01Q920	新瑪家	屏東縣	瑪家鄉	439
6	C0V610	梓官	高雄市	梓官區	412.5
7	01R040	士文	屏東縣	春日鄉	410
8	01Q360	南和	屏東縣	來義鄉	397
9	C1V780	多納林道	高雄市	茂林區	395
10	C0V660	岡山	高雄市	岡山區	390.5

6月13日00時至6月16日00時累積最大降雨量落在屏東縣瑪家鄉新瑪家測站，達436毫米；6月19日00時至6月21日00時累積最大降雨量落在屏東縣泰武鄉泰武(1)測站，達509毫米。屏東新瑪家測站時雨量曾一度達到87毫米，泰武(1)測站時雨量也曾一度達到49毫米。

災害紀錄

0613與0619兩次豪雨事件導致的災害，零星遍布於中南部地區，但規模均不大，其中淹水事件主要發生在臺南市、高雄市及屏東縣；臺南市與高雄市亦發生5處道路塌陷及兩起船隻擱淺事件；並造成約8,022萬元的農業損失。

淹水災害

國家災害防救科技中心彙整中央災害應變中心(EMIC)之淹水災情資訊，加上現地調查後新增的點位，統計全臺0613豪雨事件與0619豪雨事件分別有23及58筆，共有81筆積、淹水通報，包括：臺南市、高雄市及屏東縣等3個縣市35鄉鎮71個村里有紀錄。18日之前，整個臺灣潮位都處於大潮，海面波高也維持在較大的程度，其中15日東港潮位已超過大潮。

道路塌陷

持續長達一周的大雨，造成臺南市與高雄市部分路基掏空，共計五處道路塌陷，分別在臺南市林森路地下道、安平區建平路與建平九街口、東區長榮路與東寧路口、新化區帝溪橋前，道路塌陷或凹陷，共造成4名機車騎士受傷。因事件密集發生，臺南市工務局22日出動透地雷達，檢查臺南市重要地下道路路面下方是否有掏空現象。23日下午，高雄市一心路路面塌陷，水泥車陷入地基，所幸無人受傷。

船隻擱淺

6月14日晚間，因熱帶性低氣壓經過，強風導致巴拿馬籍油輪興利號 (SHINE LUCK) 與斐濟籍油輪勝利者 19 號 (WINNER 19) 因流錨而擱淺在高雄市小港區鳳鼻頭漁港及高雄市林園區中坑門出海口。海洋委員會海洋保育署當下隨即啟動緊急應變機制，抽出油輪殘油，並等待海象較佳時移除船體。

坡地災害

此次較嚴重的坡地災害事件為：臺中市和平區雙崎部落烏石坑橋頭附近土石崩落、南投國姓鄉柑林村南港溪畔蛇籠護岸被沖毀，緊鄰的七戶民宅後院被掏空、以及高雄市旗山區一座佛寺擋土牆傾倒，靠在民宅外牆。

農業產物及民間設施損失

根據農委會官方網站公告，6月受滯留鋒面引進豪雨影響，經農糧署彙整截至6月26日17時止，農業產物及民間設施損失共計8,022萬元。受損較嚴重的縣市為：(1) 臺東縣3,898萬元，(2) 屏東縣2,663萬元。農業估計損失金額為7,628萬元，主要受損作物為一期水稻，損失金額為4,708萬元，其次為香蕉、木瓜及西瓜等。民間設施估計損失金額為394萬元，主要是屏東縣及高雄市的水平棚架網室受損所致。



斐濟籍油輪「勝利者 19 號」擱淺於高雄沿海地區 (資料來源：海洋委員會)

結語

鋒面系統自14日影響至18日，18日以後鋒面才往北抬離開臺灣地區。14、15日受西南季風與熱帶性低氣壓及其外圍環流影響，16至18日受西南氣流與南部地區局部環流之間產生的交互作用影響，天氣不穩定，且影響時間長。19至20日則受西南氣流影響，本次發生豪雨時間長，每日降雨類型均有所不同。

持續超過一週的不穩定天氣系統，包含強對流鋒面系統、熱帶低壓及西南氣流影響之下，造成南部、東南部及宜蘭地區有短延時強降雨形成，屏東縣多處48小時累積雨量破400毫米，最高時雨量達89毫米。臺南市、高雄市及屏東縣等地區有淹水災情，主要致災原因為短延時強降雨造成排水不及所致。持續的大雨掏空路基，造成臺南市與高雄市部分道路塌陷。熱帶性低氣壓帶來的強風導致兩艘油輪擱淺在高雄近岸。因適逢稻作收成時期，強降雨使得一期稻作損失達4,708萬元。

八月豪雨災害

註 本篇完整報導收錄於 NCDR 技術報告 (NCDR107-T06) 2019 年 1 月出刊



嘉義縣東石鄉台 157 線與台 170 線交接處淹水情形 (資料來源：雲林科技大學學研機構)

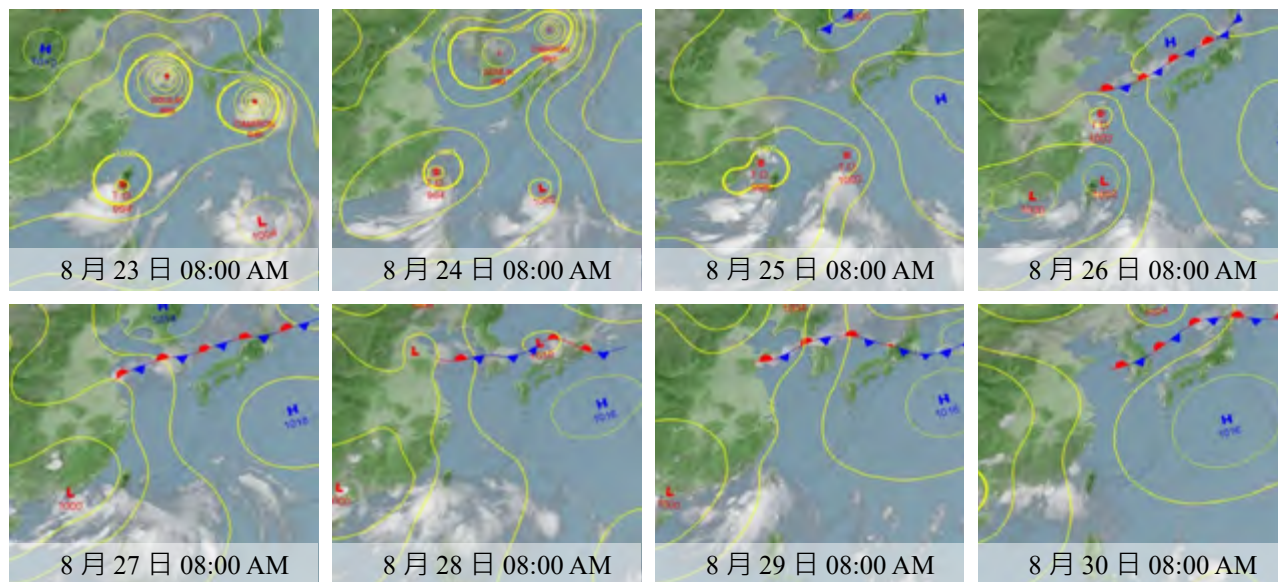
災害概述

在2018年8月23日至8月28日期間，臺灣受到低壓帶壟罩的影響，先是在8月23日至24日有一熱帶性低氣壓通過臺灣西部沿海，隨後8月25日至8月28日接續受到低壓系統及西南氣流的影響，為西南部地區多處帶來超過1,000毫米的雨量，根據水利署統計共有1,545筆通報淹水災點，水保局統計坡地災點數共66筆，根據農委會統計共造成8億7,199萬元的農業損失（截至8月31日止）。並且，本次豪雨事件在嘉義與臺南局部地區造成較長時間的淹水。

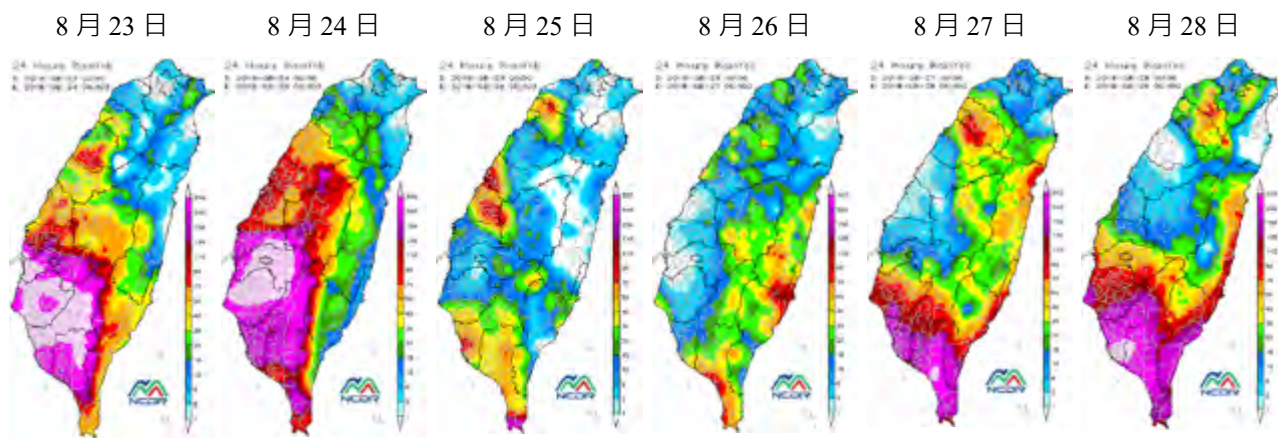
氣象概述

8月22日，臺灣西南部外海有一熱帶性低氣壓形成，23日逐漸北移，自屏東縣緩慢移入臺灣，24日8時由臺中市梧棲區出海。短暫間隔一天之後，8月26日，臺灣受到大範圍低壓系統影響，西南部外海持續有對流雲系發展，27日至29日南海的西南氣流增強，在海面發展的對流系統被帶入臺灣西南部地區，30日副熱帶高壓西伸，整場豪雨事件才逐漸趨緩。

由8月23日至8月28日的每日累積降雨量，可清楚看出兩波降雨，8月23日至24日期間受到熱帶性低氣壓影響，雲林以南的西南部縣市發生集中的降雨，多處單日累積雨量超過500毫米，25日與26日雨勢稍歇，27日至28日的集中降雨則主要發生在高雄市與屏東縣，單日累積降雨以新園地區達381.5毫



8月23日至8月30日之地面天氣圖（資料來源：中央氣象局）



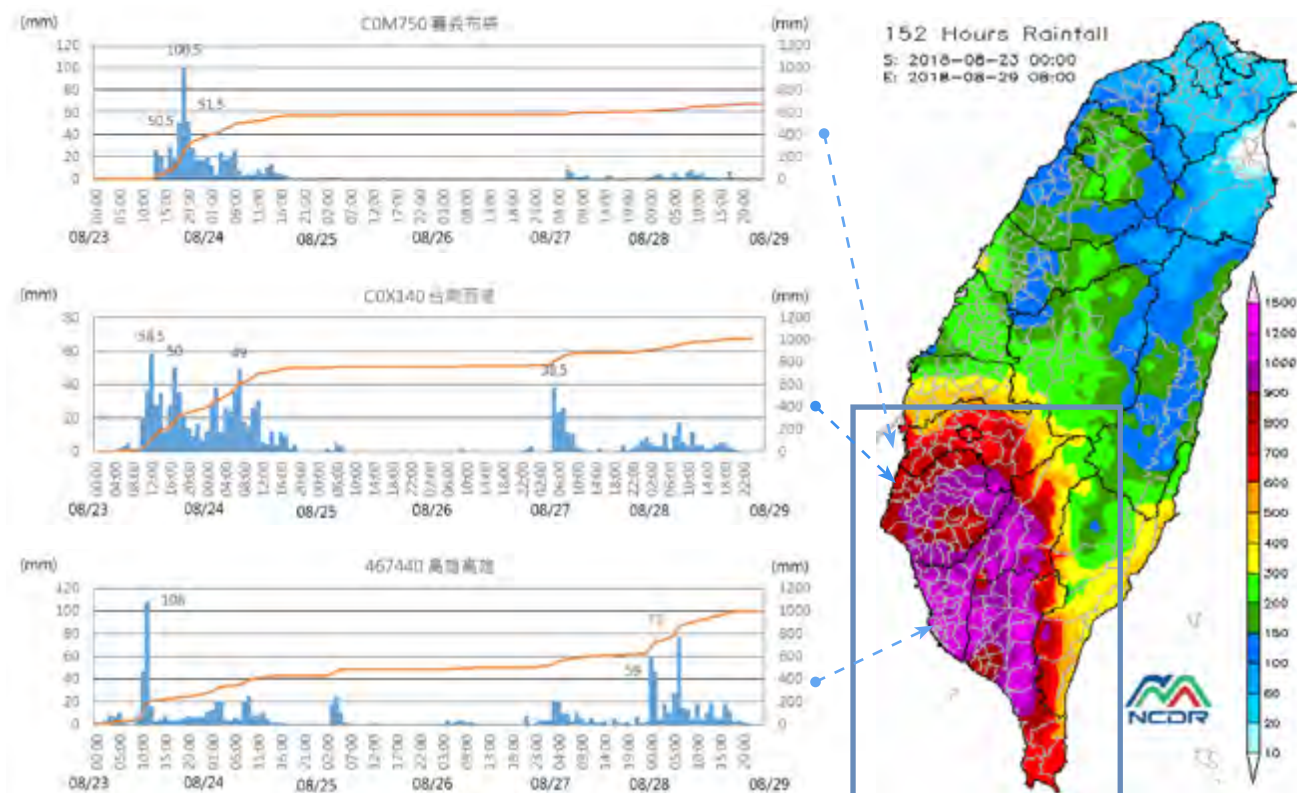
8月23日至8月28日每日累積降雨量圖（資料來源：中央氣象局；國家災害防救科技中心繪製）

米最多。

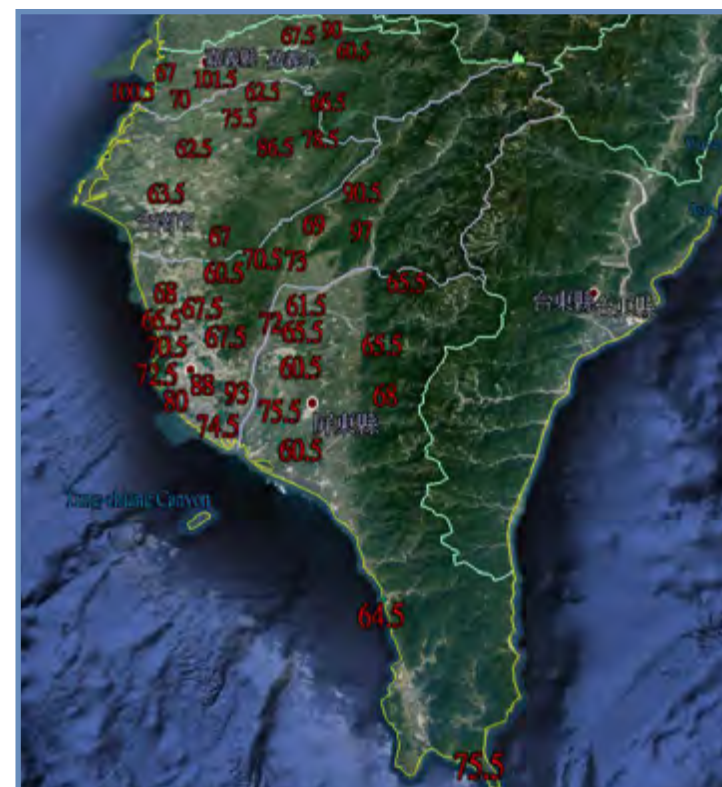
依據 8 月 23 日 0 時至 8 月 29 日 8 時的累積總雨量圖，期間最大累積雨量發生於屏東縣泰武鄉達 1,343 毫米。由嘉義縣布袋測站、臺南市西港測站、高雄市高雄測站的時間序列，可以發現嘉義縣布袋區以及高雄市在 8 月 23 日出現最大時雨量超過 100 毫米的暴雨侵襲，然而不僅僅是這兩個測站，統計高雄市、屏東縣、臺南市、嘉義縣市等地區的測站，發現共有 60 個雨量站，觀測到最高時雨量超過 60 毫米的降雨。

8 月 23 日至 8 月 28 日每日累積雨量前五名測站 (單位：毫米；資料來源：中央氣象局；國家災害防救科技中心繪製)

8 月 23 日		8 月 24 日		8 月 25 日		8 月 26 日		8 月 27 日		8 月 28 日	
測站	降雨量	測站	降雨量	測站	降雨量	測站	降雨量	測站	降雨量	測站	降雨量
六龜 (4)	548.0	石磐龍	602.0	恆春畜試	223.0	內獅國小	147.0	士文	374.0	新園	381.5
新發	545.0	曾文	562.5	墾丁	219.5	明里	127.0	大漢山	337.0	新庄國小	362.0
六龜	527.0	北寮	555.0	貓鼻頭	207.0	明里	120.0	春日	278.5	萬丹	358.0
多納林道	500.5	大湖山	550.0	墾雷	198.5	南美山	119.0	內獅國小	274.5	屏東	356.5
御油山	495.0	大湖	536.0	佳樂水	180.0	成功	119.0	南和	272.0	鳳山	349.0



8 月 23 日 0 時至 8 月 29 日 8 時總累積雨量與嘉義縣布袋測站、臺南市西港測站、高雄市高雄測站之降雨時序 (資料來源：中央氣象局，繪製：國家災害防救科技中心)



降雨期間 (8/23~8/29) 觀測到最大時雨量超過 60 毫米的測站 (資料來源：中央氣象局；國家災害防救科技中心繪製)

災害紀錄

淹水災害

彙整經濟部水利署、內政部消防署及中央災害應變中心災害情報站 (EMIC) 的資訊，本次 0823 豪雨共造成全臺灣 9 個縣市 111 個鄉鎮有淹水通報紀錄，共有 1,545 筆 (截至 8 月 30 日 17 點為止)，主要集中於 0823 豪雨事件累積雨量超過 1,000 毫米的地區，以臺南市 (700 筆)、高雄市 (557 筆)、嘉義縣市 (187 筆) 較多。在水利設施受損方面，則是有 3 筆，分別八掌溪台 1 線八掌溪橋下游左岸溢堤，並造成部分堤防損壞，以及三爺溪五空橋下游防汛道路龜裂、龜重溪福德橋下游右岸護岸斷裂、邊坡崩塌。

此波降雨主要對大林、民雄、水上、中埔、新港、太保、鹿草、六腳、朴子、義竹、東石、布袋等地造成積淹水災情，最高淹水深度超過 150 公分。以下為災後實地前往嘉義縣現地勘查情形：

(1) 東石鄉掌潭村

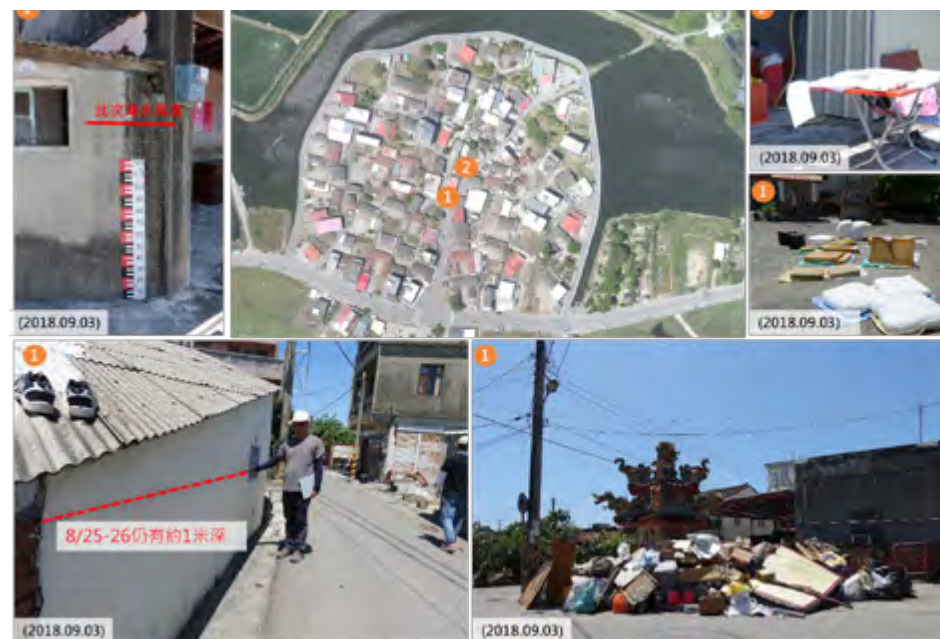
嘉義縣東石鄉掌潭村是本次 0823 豪雨淹水歷時最長的災點，自 8 月 23 日下午 3 點 40 分通報淹水後，於 8 月 28 日上午十點退水，淹水深度達 150 公分，村中大部分為年長者，災時全村撤離安置於港口宮約 4 天至 5 天。從高程上發現，掌潭村東邊有一排水系統，但因掌潭村高程低，甚至部分地區低於海平面，使得排水不易。

(2) 布袋鎮

由掌潭村沿著台 157 縣道途經栗仔崙也是嚴重的淹水地區，而位於台 157 縣道與台 82 快速道路的布袋鎮新十全駕訓班，由於位處於荷苞嶼大排旁，是內水排往荷苞嶼大排的必經之地，淹水深度最高為 150 公分。

(3) 八掌溪

八掌溪橋在水利署的災害通報中於 8 月 24 日下午發生溢堤，並造成堤防損壞，為避免淹水災情擴大，水利署於當日晚間即以太空包阻擋水流。訪談當地農民表示，上游洪水帶入大量淤泥覆蓋水稻，已無法施肥，亦將使得隔年翻土困難，

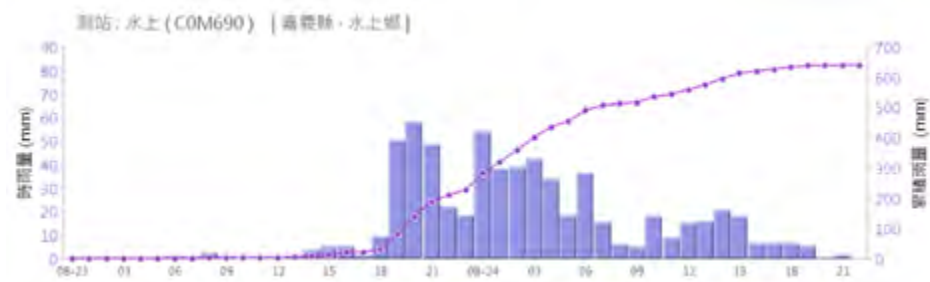


嘉義縣東石鄉掌潭村現場調查情形

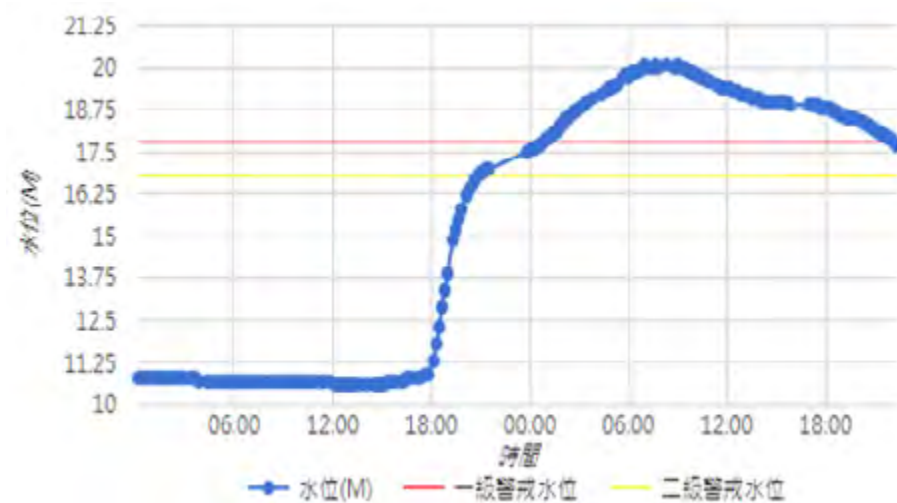


八掌溪橋破堤處現場調查情形

本次淹水深度約有 160 公分，相比於莫拉克颱風造成的淹水僅 30 公分明顯嚴重許多。由八掌溪橋鄰近的水位站以及雨量站資料顯示，八掌溪橋水位於 8 月 23 日下午 6 點快速上升，且於 8 月 24 日凌晨超過一級警戒水位，於 8 月 24 日上午 7 點 40 分至 9 點溢堤。



八掌溪橋附近水上雨量站 (C0M690)8 月 23 日至 8 月 24 日的雨量資料



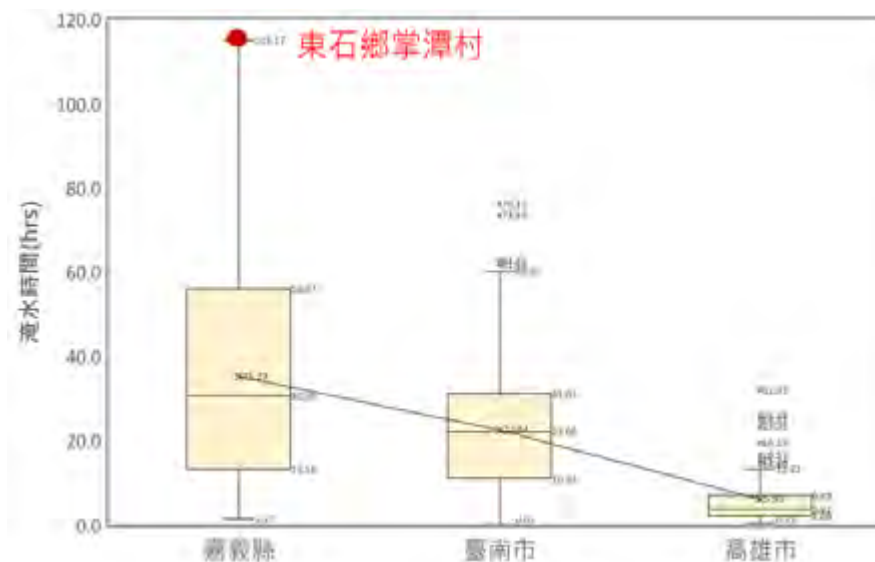
八掌溪橋水位站 (C0M690)8 月 23 日至 8 月 24 日的水位資料

淹水災情分析

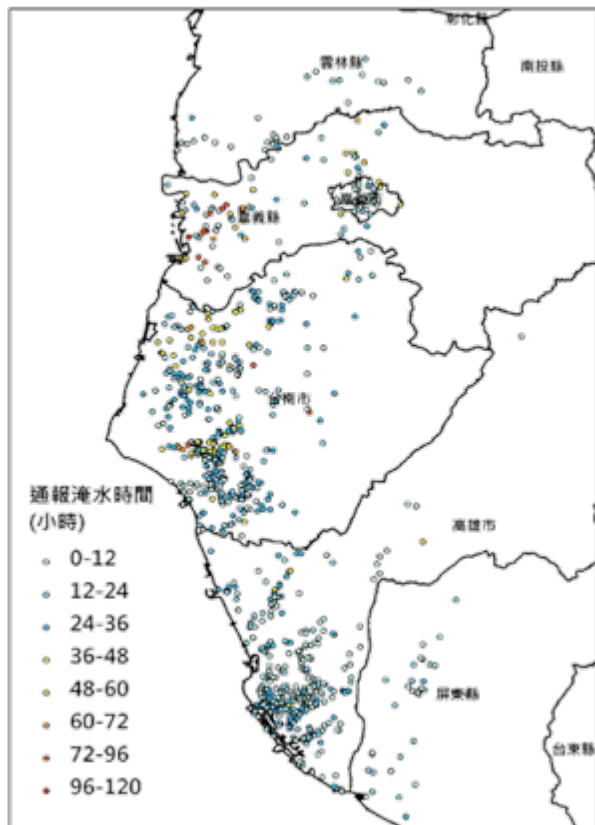
依據淹水時間統計，嘉義縣平均淹水時間最長，其中東石鄉掌潭村淹水時間超過 100 小時，主要原因是嘉義縣淹水地區主要位於沿海低窪地區，排水不易，造成淹水時間最長，其次為臺南市、高雄市。其中高雄市雖然淹水通報事件多，不過淹水地區位於都會區，基礎建設好，退水快，淹水時間大多小於 7 小時。另外，分析災害紀錄超過十筆以上的鄉鎮，分析其人口結構，嘉義縣主要淹水地區的高齡者（年紀大於 65 歲）占了 18.7%，高於都會區的 14%。高齡者比例增加，未來在疏散避難收容的問題上也必須更加周延。



主要淹水區高於 65 歲以上人口比例



不同縣市淹水時間比較 (資料來源：國家災害防救科技中心繪製)



淹水通報點位與時間 (資料來源：經濟部水利署)



嘉義縣掌潭村外圍淹水情形
(資料來源：雲林科技大學學研機構)

坡地災害

由於本次 0823 豪雨的強降雨區主要為沿海與平地地區，在山區僅出現零星的災情，截至 8 月 30 日為止，彙整水保局及公路總局災點數共 66 處，道路災情主要分布在台 20 線、台 24 線及台

26 線，坡地災點主要分布在嘉義縣、臺南市、高雄市、屏東縣及臺東縣等地，其中較嚴重的土砂災情包含：台 26 線 6.2K 路邊土石流阻斷往恆春半島的主要道路，以及台 24 線 44.5K 上邊坡崩塌阻斷道路。



坡地災點分布，右上圖為台 24 線 44.5K 上邊坡坍方阻斷道路，右下圖為台 26 線 6.5K 土石流阻斷恆春半島主要道路 (資料來源：水保局、公路總局、學研機構；國家災害防救科技中心繪製)

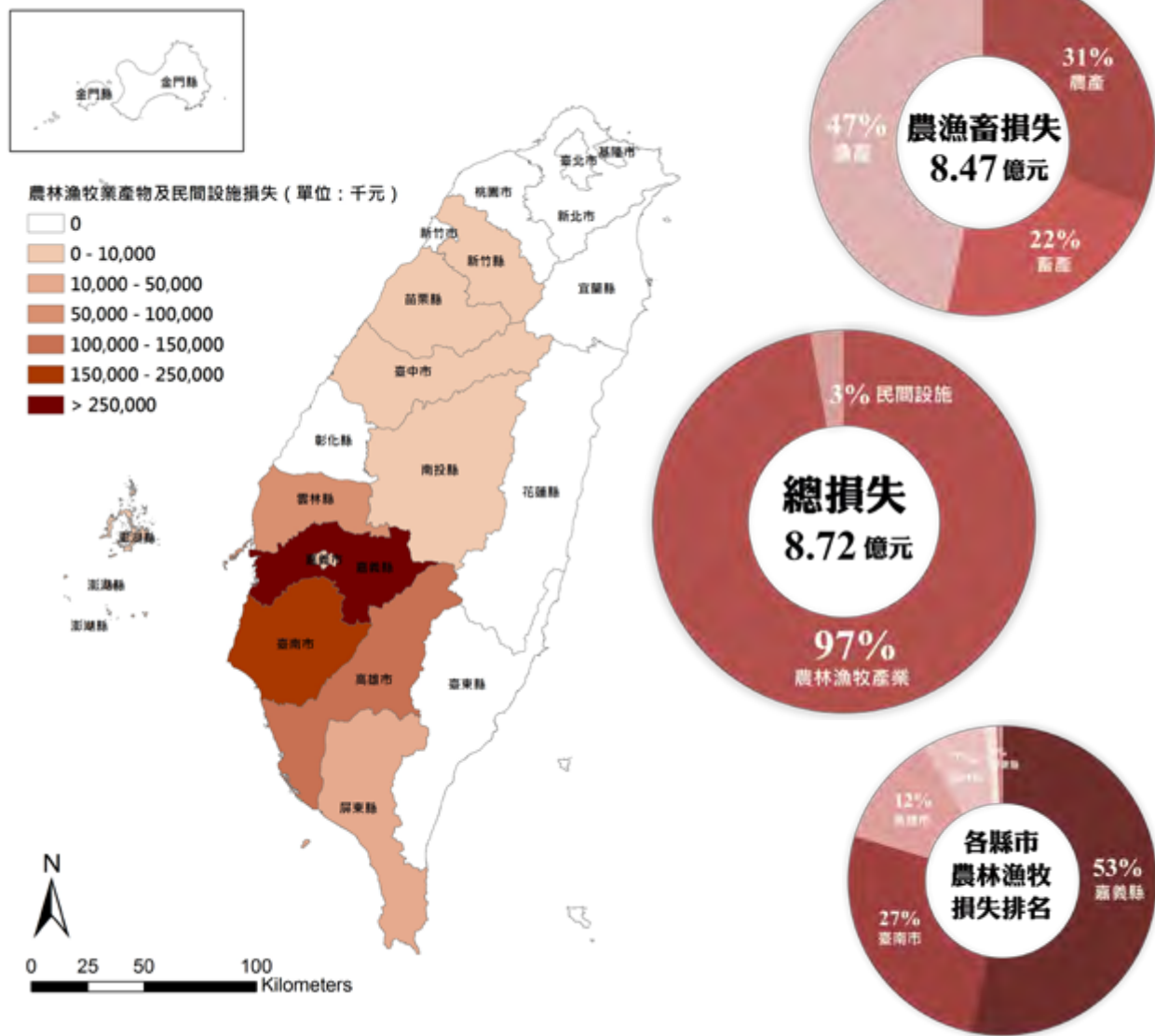
生命及財產損失

根據中央災害應變中心於 0823 豪雨應變期間最後一次報告 (第 13 報)，本次豪雨共造成 7 人死亡、2 人失蹤、148 人受傷，期間累計開設 77 處收容所，共收容 2,042 人、疏散撤離 8,492 人。維生管線部分則以電力受損較嚴重，累計停電共 70,034 戶。

經濟損失方面，由農委會於 8 月 31 日 17 時發布的農業災情報告中，農業損失總計達 8 億 7,199 萬元，其中，嘉義縣損失 4 億 6,281 萬元，占比 (53%) 最高，其次為臺南市損失 2 億 2,537 萬元、高雄市損失 1 億 929 萬元、雲林縣損失 5,802 萬元。

漁業是本次 0823 豪雨造成農產品損失最嚴重的部分，估計漁產損失達 3 億 9,563 萬元，主要以虱目魚受損 365 公頃，估計損失金額為 1 億 6,833 萬元最為嚴重，其次為吳郭魚、鱸魚等。農產損失統計上，總計有 6,956 公頃的農作物受到損害，估計損失金額達 2 億 6,254 萬元，其中損失最嚴重的是芭樂 (番石榴)，估計損失金額為 2,472 萬元，其次為花生、香蕉、西瓜與番茄等作物。畜產損失則估計有 1 億 8,895 萬元，主要受損畜禽為雞 154 萬隻，估計損失即占 1 億 1,450 萬元，其次為豬隻損失約 1 萬頭，鴨 9.6 萬隻、鵝 4.8 萬隻。

有鑑於農產品於這次 0823 豪雨中受損嚴重，本次調查亦針對嘉義縣、臺南市、高雄市等地區挑出數個農產、畜產種植與漁產養殖業者進行訪談，了解受災情形。



嘉義縣朴子市 82 快速道路旁一處雞舍，於 8 月 23 日半夜通報淹水，但並沒有淹水深度紀錄，經訪談養殖戶表示淹水到胸口約有 100 公分，雖有進行備災工作，例如：加高設施、架高雞隻等，但下層雞隻仍全數損害，由於地勢低窪，淹水持續 5 天才退完。

位於臺南市鹽水區的番茄專區，訪談後發現淹水高度高達 180 公分，整個網室以及露天的番茄全損。臺南市七股區的魚塢在本次豪雨期間受災嚴重，主要因為大雨期間適逢大潮，大寮大排水溝的水位高漲，其他小排水溝的水無法排入大寮大排，造成內水無法排出，區內的魚塢便一個淹過一個，養殖魚隻四散。

高雄市阿蓮區的芭樂，因降雨量大且淹水時程較長，造成嚴重損失。根據農試所的分析，芭樂作物損害的每日降雨門檻值是 200 毫米，而芭樂根部可耐淹水約 2-3 天，但本次 0823 豪雨期間，最大單日降雨達 413 毫米，且淹水時間長達 4-5 天，使得產量大受影響。大寮區的香蕉則因為處於結果期，短延時降雨量過大，造成葉片破損枯萎、營養不足。



臺南市鹽水區番茄專區現勘情形



臺南市七股區養殖魚塢現勘情形

結語

一個熱帶低壓與接連而至的西南氣流，為嘉義縣市、臺南市及高雄市等地帶來的淹水災害的感受，不亞於 2009 年的莫拉克颱風，甚至在嘉義地區普遍感受更為強烈。0823 豪雨為西南部地區帶來超過 1,000 毫米的累積雨量，於 8 月 23 日 0 時至 8 月 29 日 8 時期間最大累積雨量發生於屏東縣泰武鄉達 1,343 毫米，共接獲 1,545 筆淹水通報、坡地災點共 66 處、直接農業損失高達 8 億 7,199 萬元。這次豪雨中歷經較長時間淹水的地區，分別是嘉義縣東石鄉以及臺南市，而這兩個地區也正坐落於近 30 年來的地層下陷中心位置，地層下陷使得上游地區的水容易往下陷區集中，且下陷區的排水孔位置更接近大排水位面，若逢大潮海水水位高漲，將使得每日可排水時間減少，而內水無法排出造成長時間的淹水。因此，這次災後特別針對農業受災戶進行訪談與現地調查，以及深入訪談淹水災區的第一線村里長，了解避難通知與決策、收容管理、物資配送等三面向的歷程以及遭遇的困難等。

特別企劃篇

SPECIAL REPORT





南非開普敦缺水危機

■ 本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報 第 160 期 2018 年 11 月出刊

開普敦 2018 年 1 月宣布 4 月 22 日
為「**臨界日**」，屆時無水可用！



開普敦政府宣導節約用水海報 (資料來源：City of Cape Town)

災害概述

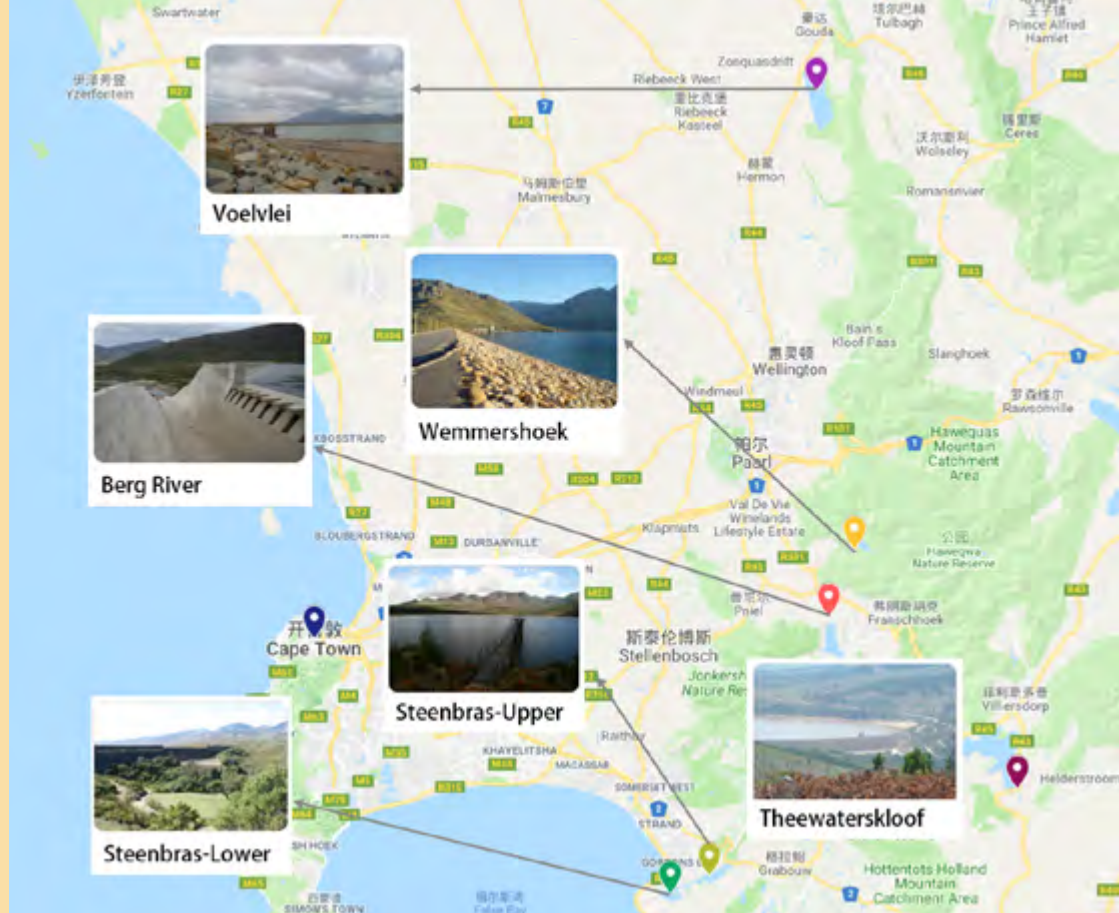
根據南非氣象局 (South African Weather Service) 自 1921 年的觀測紀錄，開普敦地區的年降雨量約 820 毫米。然而，自 2015 年起，連續三年年降雨量為 549 毫米、634 毫米與 499 毫米，2017 年的 499 毫米更是自 1921 年有紀錄以來降雨最少的一年。

2018 年 1 月，西開普省 (Western Cape) 推估主要水壩的整體蓄水位在 4 月份可能降到嚴重低水位，而無法供水，故開普敦宣布「臨界日」(Day Zero)，表示當主要水壩整體蓄水下限低於 13.5% 時，市府將關閉大部份供水系統，民眾將只能在定點取水。2018 年 3 月南非政府更將開普敦的乾旱列為「國家災難」。最後，透過節水和增加供水措施，7 月開普敦每日的用水量已減少了一半以上，降到 4.98 億公升。再加上 2018 年 5 月降雨充沛，主要大壩整體蓄水量在 8 月已達 60%，暫解除缺水危機，水源使用限制將持續到主要大壩整體水位達到 85% 以上。

環境概述

開普敦為南非立法首都及人口排名第二大城市 (377 萬人)，位於南非西開普省西南方，也是國際知名的觀光景點。開普敦屬於地中海型氣候，四季分明。夏季是每年 11 月到隔年 2 月，因副熱帶高壓壟罩，氣候溫暖而乾燥；冬季為每年 5 月至 8 月，西風帶和鋒面氣旋從大西洋帶來豐沛的降水。雨季大致是 4 月至 10 月，是開普敦市仰賴的主要用水來源。過去十年間，除 2013 年降雨較為豐沛與 2015 年至 2017 年的乾旱外，其餘年份的降雨量大致呈現穩定狀態。

西開普省地區的供水系統共包含 14 個水壩，總庫容為 9,025.98 億公升。其中，Berg River, Steenbras Lower, Steenbras Upper, Theewaterskloof, Voelvlei, Wemmershoek 為主要水壩，上述 6 個主要水壩的容量合計 8,982.21 億公升，占西開普省地區整體的 99.6%，以 Theewaterskloof 水壩的庫容最大，約為 4,801.88 億公升，占整體的 53%，為開普敦仰賴的重要水源。



西開普省主要水壩分布圖 (資料來源：Western Cape Government Agriculture)

開普敦市主要水壩列表 (資料來源：Dam Safety Office)

水壩名稱	壩高 (公尺)	壩長 (公尺)	庫容 (億公升)	供水用途
Theewaterskloof	35	646	4,801.88	都市與工業用水、灌溉
Voelvlei	10	2,910	1,640.95	都市與工業用水
Berg River	62	938	1,300.10	民生、灌溉
Wemmershoek	55	518	586.44	都市與工業用水
Steenbras Lower	28	412	335.17	都市與工業用水
Steenbras Upper	34	940	317.67	都市與工業用水

※ 備註：翡翠水庫有效庫容 3,400 億公升

抗旱發展時序

在 2018 年 1 月發布 4 月 22 日為「Day Zero」前已經有一連串節水抗旱措施，以下紀錄開普敦市政府從 2015 年到 2018 年，各階段限水的發展時序以及對應措施：

1 級

全市整體用水量應減少 10%

2015

開普敦市於 2015 年開始出現乾旱，當年 6 個主要水壩的總庫容量，從 2014 年的 71.9% 下降到 50.1%。由於開普敦市的水資源極為缺乏，始終處於用水限制**第 1 等級**狀態。

隨著缺水情況持續，2016 年 1 月 1 日起用水限制進入**第 2 等級**；同年 11 月 1 日用水限制提升**第 3 等級**。

2016

2 級

全市整體用水量建議需節省 20%

列出個人與家戶用水提出限制，並提及工商企業、機構以及政府單位的用水注意事項，如：商業用苗圃、農場及菜園等區域，可申請用水豁免，不受用水限制；只能使用回收水或無水洗滌劑，來清洗商用車輛及設備；禁止使用自來水清洗道路鋪路；獲得書面許可的屠宰場和食品加工業，可用自來水進行清潔；鼓勵工商業推廣節水行動和傳播節水信息；公共場所的水龍頭、淋浴噴頭和其他輸水管道，必須更換為節水設備

3 級

節省用水量
30%

全市用水量需節省 30%

2017

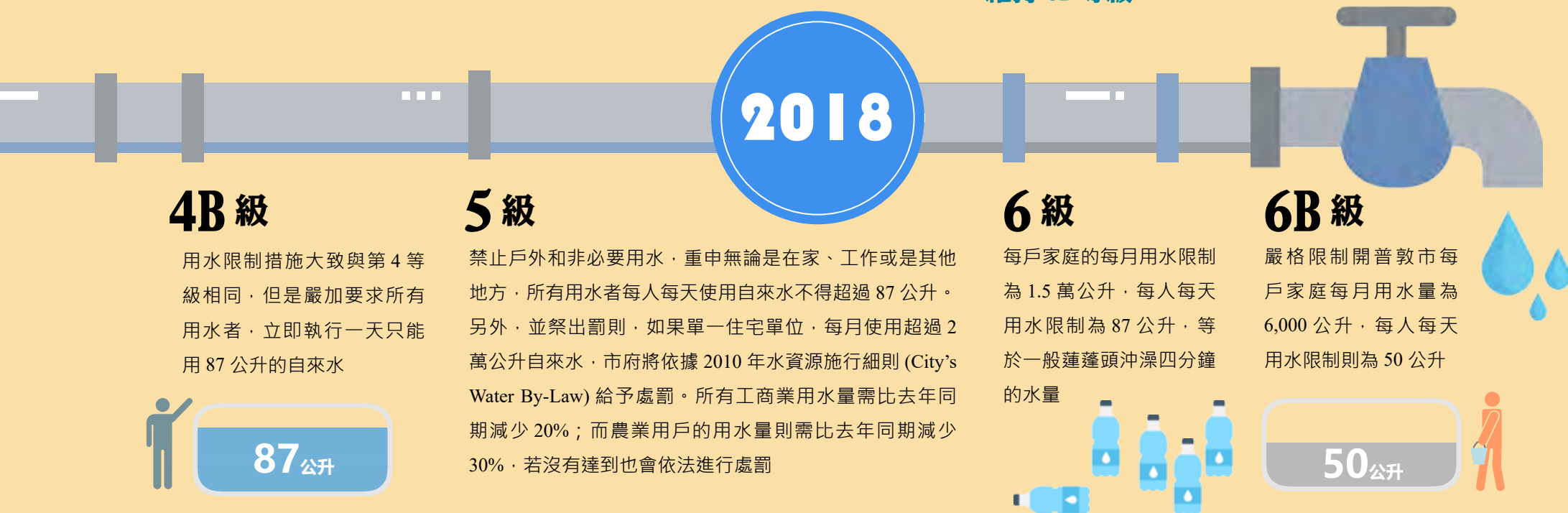
開普敦市水情並未解除，2016 年的降雨仍低於平均值，2017 年降雨雨季未見改善，5 月主要水壩整體蓄水量不到 10%，因此在 6 月實施用水限制**第 4 等級**。7 月 1 日用水限制提升到**第 4B 等級**；9 月 3 日用水限制提升到**第 5 等級**。

4 級

明文禁止使用自來水灌溉運動場、高爾夫球場、學校、托兒所及公園等處的花壇、草坪與植物，但從事農業活動或歷史花園的使用者，可申請豁免；市府機構在獲得水利與衛生部門同意後，可以在許可時段內用非自來水灌溉運動場及公園；鼓勵使用鑽井處理過後的水，所有鑽井點都需向市政府登記，遵循相關規定。使用井水者，也僅能在周二和周六的 9 時之前或 18 時之後，最多灌溉一小時；建議使用洗滌水 (greywater)、雨水或其他非自來水沖洗廁所；禁止將自來水用於觀賞噴泉或水景。另外強烈建議每人每天限制用水 100 公升的自來水



1 月 1 日用水限制進入**第 6 等級**，與前一次乾旱的 2015 年同期相比，所有工商業及學校機構，每月的自來水消耗量減少 45%；而所有農業用戶則必須確保每月自來水消耗量減少 60%。1 月中旬，開普敦市長 Patricia de Lille 宣佈，當主要水壩水位低於 13.5% 時，便將啟動「臨界日 (Day Zero)」計劃，該市將關閉大部分城市供水，並將「臨界日」設定在 4 月 22 日，屆時開普敦市將成為第一個缺水的大城市，居民將只能在政府指定的 149 處地點取水。2 月 1 日，用水限制進入**第 6B 等級**。開普敦周圍 Grabouw 區的 Groenland 農業用水協會 (Groenland Water User Association)，從其大壩無償轉移 100 億公升水到開普敦的 Upper Steenbras 大壩。3 月南非政府更將開普敦的乾旱列為「國家災難」。6 月 28 日，因為 5 月的降雨充沛，主要大壩整體水量已增加到 43%，透過節水與增水措施，開普敦每天的用水量減少了一半以上，達到每天使用量約 4.98 億升，這使得開普敦市宣布 2018 年不太可能出現用水「臨界日」。雖然暫時解旱，但整體節水措施仍持續**維持 6B 等級**的階段。



4B 級

用水限制措施大致與第 4 等級相同，但是嚴加要求所有用水者，立即執行一天只能用 87 公升的自來水



87公升

5 級

禁止戶外和非必要用水，重申無論是在家、工作或是其他地方，所有用水者每人每天使用自來水不得超過 87 公升。另外，並祭出罰則，如果單一住宅單位，每月使用超過 2 萬公升自來水，市府將依據 2010 年水資源施行細則 (City's Water By-Law) 給予處罰。所有工商業用水量需比去年同期減少 20%；而農業用戶的用水量則需比去年同期減少 30%，若沒有達到也會依法進行處罰

6 級

每戶家庭的每月用水限制為 1.5 萬公升，每人每天用水限制為 87 公升，等於一般蓮蓬頭沖澡四分鐘的水量



6B 級

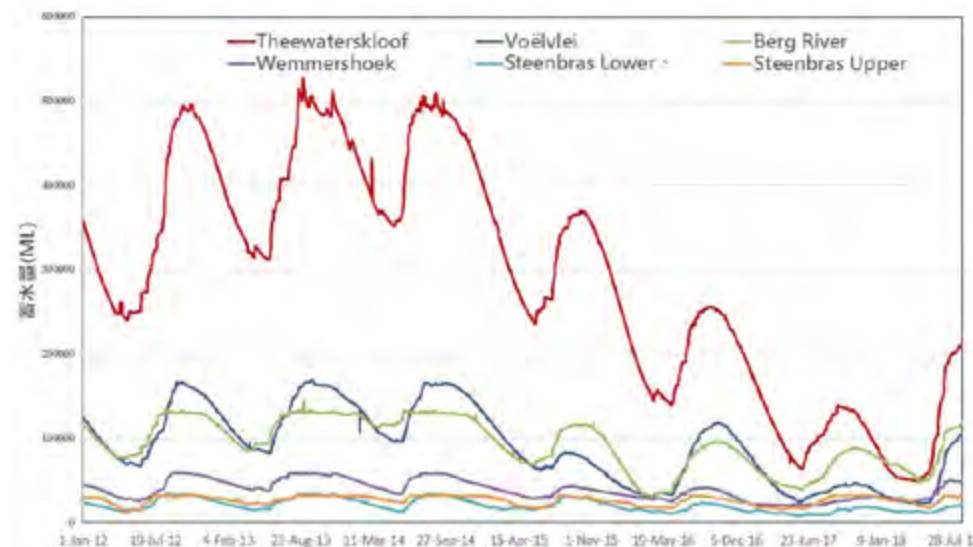
嚴格限制開普敦市每戶家庭每月用水量為 6,000 公升，每人每天用水限制則為 50 公升



50公升



50 公升用水指引海報 (資料來源：經濟部水利署)



主要水壩的蓄水量變化 (資料來源：City of Cape Town)

用水限制第 6B 等級措施列表 (資料來源：經濟部水利署)

用水限制措施	
1	不論在居家、工作場合或學校等任何場所，每人每日用水限制 50 公升或以下
2	戶外開鑿井水是強烈不被鼓勵的；灌溉用水的限制一小時為最大上限，只能於每周二、周六的上午 9 點前以及下午 6 點後
3	開鑿井水必須被計量，所有的使用者需保留紀錄與數據隨時供相關單位檢驗
4	必須得到國家水資源衛生部門核發的執照，才可以販售開鑿所得的井水
5	與 2015 年同期相比，農業用水量須減少 60%
6	與 2015 年同期相比，商業用水量需減少 45%
7	住宅單位用水超量將被裁罰或強制安裝用水管理裝置
8	使用自來水來沖洗混凝土路面是違法的
9	使用自來水來灌溉或澆水是違法的
10	使用自來水來洗車、船是違法的
11	私人泳池使用自來水蓄水是違法的
12	強烈鼓勵居民在所有水龍頭、蓮蓬頭安裝有效的省水裝置來減少水的使用
資料來源：南非開普敦城市官網 (http://www.capetown.gov.za/thinkwater)	

災因分析

造成此次缺水危機的因素包含自然因素－氣候環境，與人為因素－水資源管理，使開普敦自 2016 年起連續三年面臨水資源匱乏的窘境。縱使開普敦因 2007 年制訂水資源保存與需求管理計畫 (Water Conservation and Demand Management (WCDM) Programme)，於 2015 年獲得 C40 大城市氣候領導聯盟頒發氣候變遷調適執行獎，但此次缺水危機代表該計畫可能有檢討的必要。

氣候環境影響

開普敦大學天候系統分析小組 (Climate System Analysis Group at the University

of Cape Town, CSAG) 的測站資料，以及開普敦市府的水壩蓄水量資料。根據 Theewaterskloof 水壩在 2014 年至 2018 年期間各年的降雨累積圖，顯示年累積降雨自 2015 年起明顯減少。除此之外，主要水壩在 2012 年至 2018 年間的蓄水變化量，又以 Theewaterskloof 水壩的減少幅度最為明顯，足見開普敦面臨水資源枯竭的危機。

用水規劃未能立即配合城市發展

首先，開普敦的人口快速成長，導致用水需求增加。自 1950 年代起，開普敦的人口呈現穩定成長趨

勢，數十年間，人口數從 1950 年的 61.8 萬、1980 年的 160.9 萬成長至 2015 年的 366 萬人，到 2018 年達 377.6 萬人。然而，供應開普敦的 6 座主要水壩當中，有 5 座興建在 1980 年代之前，只有 Berg River 水壩在 2008 年完工。換言之，在開普敦人口與用水需求快速增長的時期，政府開發的水資源有限，可能埋下水資源匱乏的遠因。

第二，開普敦市府曾調查 2014 與 2015 年的居家用水情形，結果指出，居民裝設省水設備的比例低於 30%、使用洗滌水的比例為 25%，平均用水量的差異隨著所得階層愈高而擴大 (Viljoen, 2015)。整體而言，

民眾在缺水危機前並未意識到節約用水的重要性，使用水需求的管理成效有限。



1950 年至 2018 年開普敦人口與主要水壩容量成長圖
(資料來源：Dam Safety Office)



地下水層開發區域分布圖 (資料來源：City of Cape Town)



Strandfontein 海水淡化廠設備 (資料來源：City of Cape Town)

水資源管理作為

開普敦市府為避免「臨界日」到來之應變作為包含：開發地下水層與建置海水淡化廠來增加水源供給，實施用水限制措施來降低民眾使用水量，以及工程改善漏水問題等，各作為的內容與探討如下：

根據最新《2018 水資源展望》的說明，水壩蓄水減少的主因包含農業用水、都市用水與自然蒸散，其中前二者屬於可以管理的範疇。目前訂定的供水目標以每日 4.5 億公升為標準，搭配開源與節流措施，試圖控制蓄水減少的速率。然而，根據開普敦的監控數據，每日用水仍大於上限，但蓄水情形因 2018 年 5 月以來的降雨而改善，已回升至 55.1%(7 月 17 日)。

(一) 地下水開發計畫

為增加開普敦市之水源供給，市府持續在進行地下水開發計畫，目標期許透過抽取地下水能增加 20% 的飲用水。依目前地下水層開發計畫有三個主要開發水層：桌山群地下水層 (Table Mountain Group Aquifer, TMGA)、Atlantis-Silwerstroom 地下水層與開普平原地下水層 (Cape Flats Aquifer, CFA)。市長 Patricia de Lille 認為這些計畫不僅因應當前的缺水危機，也是為了確保未來面對缺水危機時的韌性。

(二) 興建海水淡化廠

市府興建海水淡化廠的計畫也在 2017 年底通過並執行，規劃在 9 個位址建置海水淡化設施，

Strandfontein、VA Waterfront 與 Monwabisi 三個廠為第一波執行計畫，其餘則視水資源情勢再決定執行與否。2018 年 5 月，Strandfontein 成為第一個成功淡化出飲用水的海水淡化廠，預計在 6 月能夠達到每日 700 萬公升水的目標產能。

(三) 分階段實施用水限制措施

為管理民眾的用水需求，開普敦自 2016 年 1 月起進入用水限制第 2 等級，並隨著水情嚴峻於強化限水，到 2018 年已達到用水限制第 6B 等級，以下根據 Schneider & Ingram(1990) 提出的政策工具類型，來分析用水限制第 6B 等級的措施。

第一，用水上限與相關禁止規定屬於政策型工具 (authority tools)，藉強制力約束民眾行為，隨著水情日益嚴峻與限水階段的提升，管制強度也愈大。其中，第 6B 等級的用水上限包含每人每日生活用水，不得超過 50 公升，家庭用水 (以一家四口計算) 限制為每月不得超過 6,000 公升。此為非常嚴苛的限制，因為依據世界銀行 (World Bank) 建置之國際水與衛生設施資料庫 (The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities, IBNET) 顯示，開普敦市從 2010 年至 2016 年每日每人生活用水量介於 176 公升到 216 公升之間，是 50 公升水的 3 至 4 倍。另外，106 年臺灣自來水事業統計年報資料，臺灣近 10 年來每人每日生活用水量介在 257 至 268 公升之間，是開

普敦限水期間的 5 至 6 倍。

第二、水費的調整屬於誘因型工具 (incentive tools)，促使民眾依據個人的效用選擇不同的用水行為。累進差額的提高使用水量較多的民眾必須支付更高的水費，藉此達成以價制量的目的，並彌補因缺水而減少的售水收入，以便維持供水系統的營運。同時，政府給貧困家戶，每月 1.05 萬公升的免費用水，除了避免疾病自貧困地區蔓延，也降低弱勢者竊水的誘因。基於以價制量與反映供水設施維護成本，開普敦市政府水資源與衛生部於 2018 年 5 月調整水價。

第三，節水教育或提供資訊屬於能力型工具 (capacity tools)，使民眾有足夠能力與資訊採取行動。例如：政府編製節水手冊供民眾依循；鼓勵民眾使用洗滌水、雨水或其他非自來水沖馬桶；推廣裝設省水裝置和雨水回收系統。若民眾有鑽鑿水井，則強烈不建議用於澆灌花園或沖洗地板，避免非必要的使用導致地下水源耗竭。此外，政府也設計用水計算機 (Calculate Your Daily Use) 與視覺化工具 (ThinkWater 網站)，協助民眾管理用水。

第四，以「臨界日」為節水號召屬於象徵與勸說型工具 (symbolic and hortatory tools)，藉由提供資訊讓民眾察覺水資源枯竭的時程與後果，搭配節水方案的實施，使民眾接受節水的價值信念，進而順從、支持節水政策。

(四) 輸水系統工程改善

根據開普敦輸水系統檢修與止漏的說明，最新統計資料顯示管線的破損率自 2010 年已有明顯改善，從每 100 公里 63.9 處降低到 31 處；而整體供水系統的漏水率也從 2009 年的 25% 降至 15% 以下。

整體而言，開普敦的抗旱應變作為是同時顧及供給、需求與管理面，藉由多元方案間相互搭配，引導民眾順從政策選擇適合自己的方案達成節水目標。

「臨界日」的概念具體揭示共有財的悲歌，向民眾傳達個人利益（用水）與公共利益（節水）衝突下的負面後果，除了有助於政策宣傳，也能成為其他方案的助力。其次，水價隨限水階段滾動式修正，能適時地以價制量，有助於相關禁止規定的落實。再者，政策資訊方面，開普敦市政府建置 Think Water 網站，集中發布與更新節水相關資訊，便於民眾取用。為了強化回應性，政府除製作不同方案的問答集回應民眾的疑慮外，也將民眾意見納入方案修正考量中，如：2018 年 5 月水價累進級距的簡化。最後，即使水情在 2018 年 5 月起有所改善，但政府仍然能維持限水措施在 level 6B，除了反映政府欲把握此次危機深化民眾節水習慣，也代表整體政策的順從程度已達一定水準，不因暫時舒緩而立即恢復過去的慣性。

開普敦市每人每日生活用水量列表（資料來源：IBNET）

年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
生活用水量 (公升 / 人 / 日)	192.16	176.19	187.36	184.40	187.76	216.00	209.86

開普敦水價累進級距修正對照表（資料來源：City of Cape Town）

(1 度 = 1,000 公升)	舊水價 (2017/2018)	提出修正 (2018/2019)	用水限制第 6 級修正 (2018//2019)
度	每度單價：南非幣 (ZAR)		
0.0 - 6.0	30.19	46.84	33.24
6.0 - 10.5	52.90	56.21	52.90
10.5 - 20.0	115.00	146.20	138.31
20.0 - 35.0	345.00		
35.0 - 50.0	920.00	883.94	1,150
> 50.0	920.00		

應變作為

歷經 2016 年與 2017 年的缺水經驗，開普敦市政府訂定《2018 水資源展望》，揭示兩個應變階段與相關作為。三年間，大多處於第一階段應變，亦即實施限水並開發其他替代水源。此外，也計算當下的水資源供需狀況：即時蓄水、都市用水、農業用水、水源捐贈、其他開源方案（地下水、海水淡化）以及降雨

等資訊，推估「臨界日」(Day Zero) — 水壩總蓄水量下降至 13.5% 的日期，於每周更新，藉此做為水資源枯竭之警示。到達臨界日後，將啟動第二階段應變，亦即停止供應自來水，民眾只能到特定地點取用每日 25 公升的用水。第二階段預估能夠持續三個月，直到總蓄水量僅存難以使用的 10%。

颶洪災害篇

FLOOD DISASTERS





平成 30 年 7 月豪雨災後大量土石及漂流木堆積情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

平成 30 年 7 月豪雨

註 本篇完整報導收錄於 NCDR 技術報告 (NCDR107-T17) 2019 年 1 月出刊



平成 30 年 7 月豪雨淹水情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

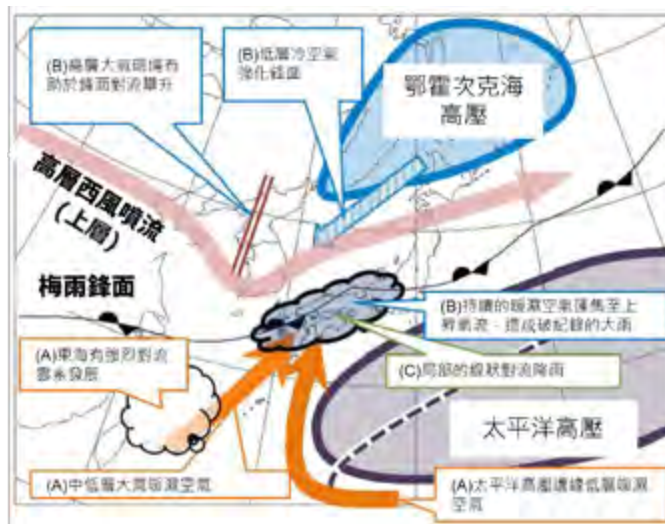
災害概述

強 颱風 (日本分級, 相當於臺灣中度颱風) 巴比倫在 7 月 3 日在九州西側向東北方向, 沿著日本海前進, 緊接著受梅雨滯留鋒面連續影響到 7 月 8 日, 造成西日本地區各地皆有非常顯著的降雨。根據日本氣象廳 (JMA) 的資料顯示, 降雨集中在高知縣、愛媛縣、岐阜縣、佐賀縣及福岡縣, 累積雨量約達 1,000 毫米以上。另外, 廣島縣、岡山縣、京都府等地區也降下不少的雨量, 累積雨量達 500 毫米以上。多處山洪暴發, 洪水造成小田川堤防潰堤溢淹, 死亡人數達 224 人、失蹤 8 人, 日本政府正式命名為「平成 30 年 7 月豪雨」事件, 並指定為「嚴重災害」(日文: 激甚災害), 將指定特別預算進行復原與重建。

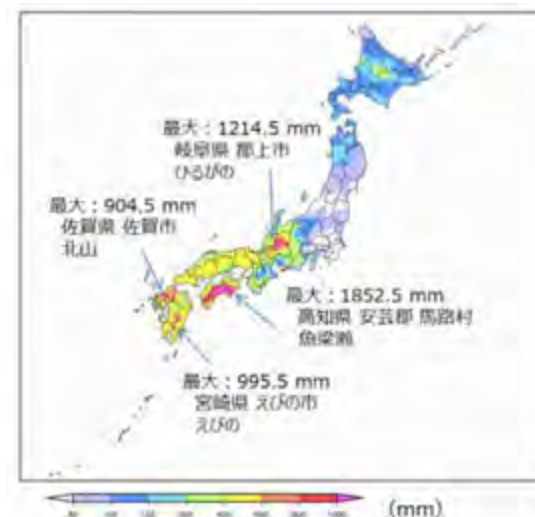
氣象分析

6 月底到 7 月初因巴比倫颱風通過及滯留鋒面的影響, 在日本全國降下了破紀錄的大雨, 其中, 6 月 28 日至 7 月 8 日在西日本四國地區最高累積雨量超過 1,800 毫米 (高知縣安芸郡馬路村 1,852.5 毫米)、在日本中部東海地區降雨則超過 1,200 毫米, 約為 7 月份平均降雨的 3 至 4 倍, 另外在日本九州北部、四國、中國、近畿、東海、北海道地區許多測站的 24、48、72 小時的延時雨量都破歷史紀錄, 日本氣象廳在這段期間也針對京都府及 10 個縣 (包含福岡縣、廣島縣及岡山縣等) 發布大雨特別警報 (為最高等級的警報, 表示有數十年一遇的豪雨可能會發生), 並在多個區域發生淹水、崩塌、土石流等嚴重災情。

在颱風逐漸北上遠離之後, 北方鄂霍次克海高壓增強, 7 月 5 日滯留鋒面又開始南下停留在西日本地區, 而隨著颱風北上, 在東海地區大量的水氣被往北帶, 而在太平洋地區也有持續的水氣往北傳送, 這些水汽匯集在西日本地區, 因此在此地區帶來長時間劇烈的降雨, 另外在這段期間西日本地區也有多處出現局部的線狀對流, 造成短延時強降雨發生, 直到 7 月 8 日鋒面逐漸



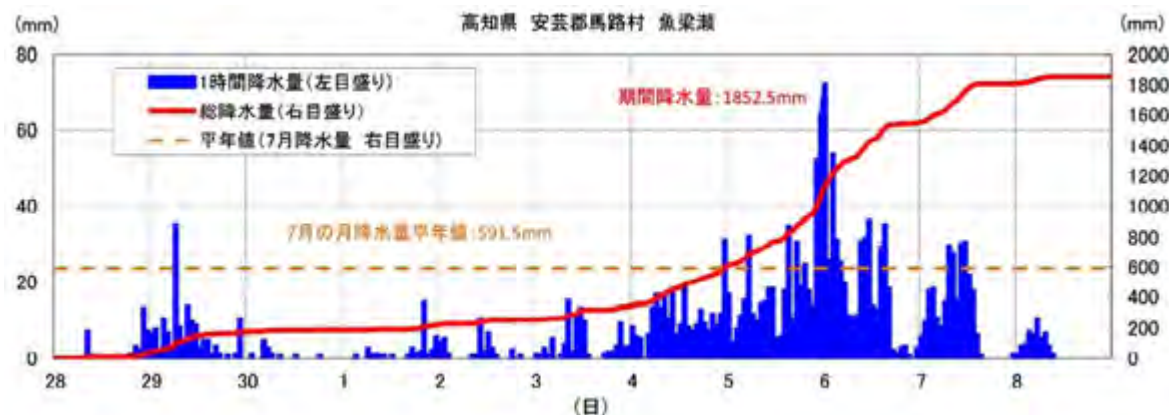
7 月 5 日至 7 月 8 日第二波鋒面降雨原因
(資料來源: 日本氣象廳; 國家災害防救科技中心繪製)



6 月 28 日至 7 月 8 日全日本累積降雨
(資料來源: 日本氣象廳)

平成 30 年 7 月豪雨事件最大時雨量統計表 (資料來源: 日本氣象廳)

縣	地點	雨量站	時雨量 (毫米)	發生時間
沖繩縣	宮古郡	多良間村仲筋	129.0	4 日 17 時 26 分
	宮古島市	城邊	111.0	5 日 10 時 50 分
岐阜縣	下呂市	金山	108.0	8 日 03 時 07 分
高知縣	宿毛市	宿毛	108.0	8 日 05 時 08 分
	安芸郡馬路村	魚梁瀬	97.0	6 日 00 時 30 分
	須崎市	須崎	90.5	7 日 09 時 24 分
沖繩縣	島尻郡久米島町	北原	90.0	3 日 10 時 25 分
高知縣	香美市	繁藤	89.0	6 日 08 時 16 分
沖繩縣	石垣市	石垣島	89.0	5 日 15 時 26 分
山口縣	下松市	下松	86.0	5 日 02 時 01 分



高知縣魚梁瀬測站降雨時序圖 (資料來源：日本氣象廳)



本次豪雨事件淹水紀錄 (資料來源：weathernews.jp，編修：國家災害防救科技中心)

北抬後，降雨才逐漸趨緩。本次平成 30 年 7 月豪雨事件，時雨量最高發生在沖繩縣仲筋 129 毫米、3 小時與 6 小時累積雨量最高發生在高知縣宿毛 263 毫米與 351 毫米。全日本各地共超過 119 個測站刷新 1 至 72 小時不同延時的降雨量紀錄。

災害紀錄分析

傷亡損失統計

「平成 30 年七月豪雨」是日本平成以來傷亡最嚴重的水災，依據日本內閣府的報告，截至 10 月 9 日止，共計有 224 人死亡，8 人失蹤，109 人重傷、315 人輕傷；死亡者多集中於廣島縣 (109 人) 與岡山縣 (61 人)。而 7 月 22 日的被害狀況報告指出，已知死亡年齡的 95 人中，有 75 位是 60 歲以上的高齡者，約占罹難者的 79%。唯日本內閣府的報告自 7 月 22 日起不再揭露受害者的年齡，僅日本岡山縣災害對策本部在 7 月 21 日的報告中，有岡山縣的受害者年齡資料，其中在岡山縣罹難的 61 人之中，有 50 位是 60 歲以上的高齡者，占罹難者的 81%。而高齡者無法進行疏散撤離的原因，包括：行動不便、不願離開自宅前往避難場所、無法自行移動至高樓層、消息不靈通，未能及時接到緊急疏散的通知。

住家毀損的部分，共計有 6,093 棟全毀，9,731 棟半毀，3,682 棟部分毀損，8,878 棟地板以上淹水，20,086 棟地板以下淹水，毀損較嚴重的區域，包括岡山縣、廣島縣和愛媛縣。

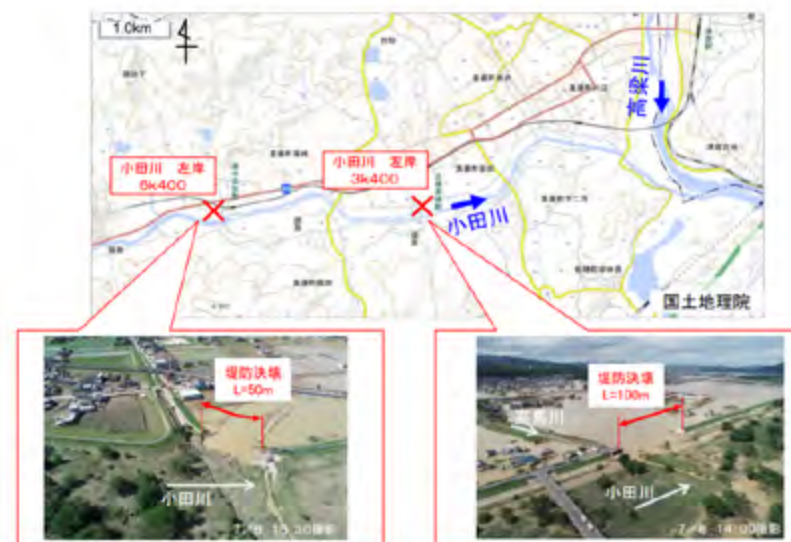
在農林漁牧損失方面，依據日本農業水產省 8 月 16 日的災害統計報告，本次豪雨造成 2,712.8 億日圓的損失，換算成新臺幣後約為 759.6 億元，其中農作物損失最多，約占 5.9%，其次是農地、農業設施約占 51.9%，林業約占 41.5%，漁業最少，約占 0.7%。

淹水災害

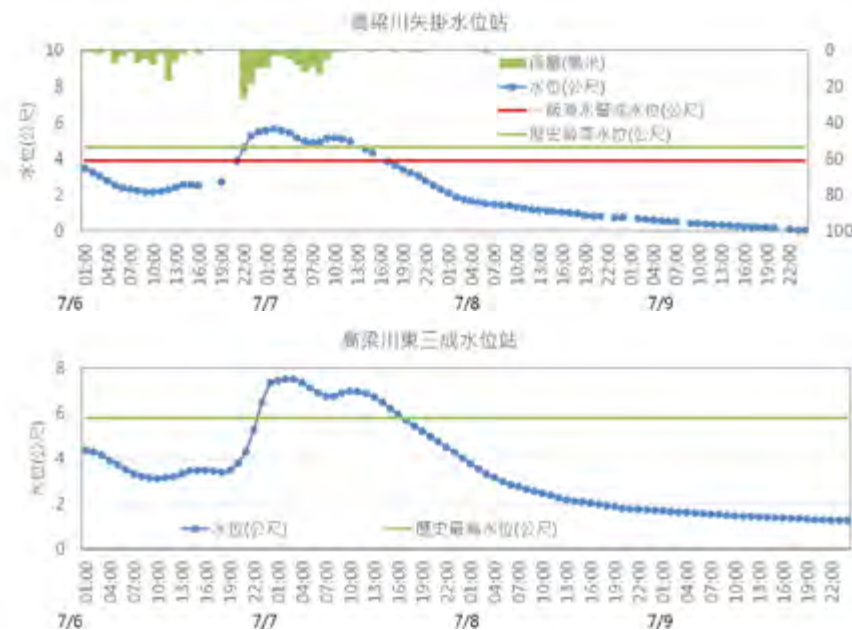
主要淹水較嚴重的地區為岡山、廣島、愛媛、福岡及佐賀等地，淹水程度均超過腰部以上。根據國土交通省的統計，豪雨總共造成全日本 137 條水系內 452 處的河岸設施受損，因溢流或潰堤共造成超過 28,000 家戶淹水，其中，以倉敷市小田川潰堤造成 4,100 戶淹水最多，其次為廣島縣沼田川潰堤造成 3,824 戶淹水、愛媛縣大洲市的肱川溢堤造成 3,114 戶淹水、岡山縣旭川潰堤造成 2,230 戶淹水。



高梁川流域 (含小田川) 淹水分布圖，紅色 X 顯示為本次小田川堤防潰堤處
(資料來源：國土交通省國土地理院)



小田川潰堤位置圖與空拍照片 (資料來源：摘錄自國土交通省)



高梁川 (含小田川) 水位時序
(資料來源：國土交通省・繪製：國家災害防救科技中心)

鄰近岡山市的倉敷市真備町地區，小田川左岸 3K 與 6K 的位置發生 50 公尺、100 公尺不等的堤防破壞，造成小田川潰堤造成嚴重淹水，逾千人受困。潰堤時間約於 7 月 7 日凌晨 1 點至 5 點之間，而 7 月 7 日凌晨 0 點時，小田川旁的矢掛水位站的水位早已超過一級警戒水位 (4.0 公尺)，並於凌晨 2 點達到最高水位 5.67 公尺，已超過歷史最高水位 4.66 公尺 (2013 年 9 月 4 日) 許多；最靠近潰堤點的東三成水位站，也在 7 月 7 日凌晨 2 點達到最高水位 7.53 公尺，亦遠超過歷史最高水位 5.81 公尺 (2013 年 9 月 4 日)，同樣地，位於潰堤點下游的酒津水位站，也在 7 月 7 日凌晨 2 點達到最高水位 12.35 公尺，超過歷史最高水位 10.25 公尺，也超過一級警戒水位 12 公尺。

小田川兩旁的真備町地區本身即為相對容易淹水的區域，可以由國土交通省公告的淹水潛勢圖上看出，在最大規模的情境下，真備地區的淹水深度最高可能介於 10 公尺至 20 公尺之間。

坡地土砂災害

強降雨不僅造成多處淹水災害，長延時且破紀錄的降雨更造成多達 1,464 件坡地災害 (截至 7 月 30 日為止)，因坡地災害而罹難的人員即多達 118 名，另有 27 名傷者。坡地災害分佈於 1 道 (北海道)、2 府 (大阪府、京都府)、28 縣，其中以廣島縣 471 件最多，其次為愛媛縣 238 件、山口縣 130 件、高知縣 96 件、兵庫縣 72 件。其中，廣島縣的因坡地災害死亡人數高達 86 名，占比最高。廣島縣的坡地災害中又以安藝郡坂町小屋蒲地區最為嚴重，該地區因土砂災害死亡人數達 15 名。



土砂災害分佈與統計圖 (資料來源：摘錄自國土交通省)



廣島縣土砂災害分佈 (資料來源：摘錄自國土交通省)





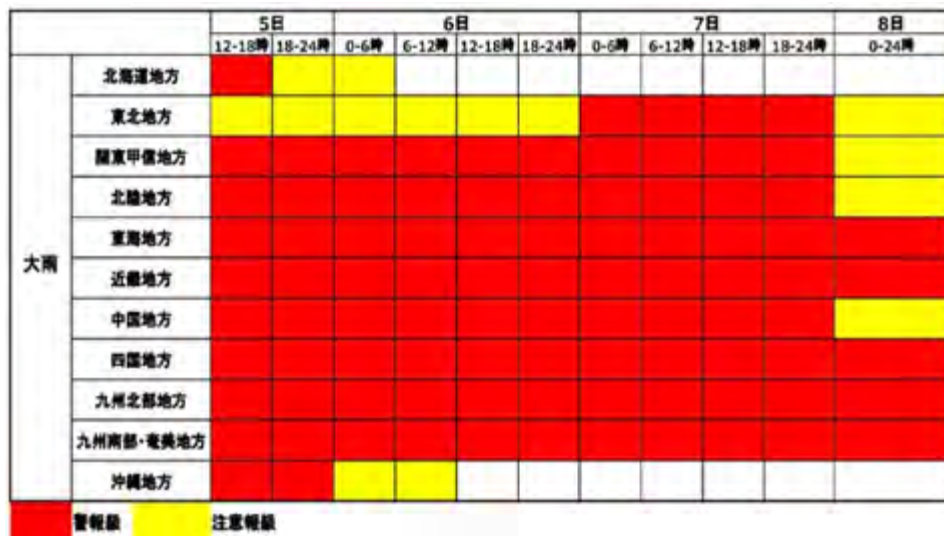
政府應變作為

豪雨預報與災害警報

本次豪雨事件始於7月4日，7月7日豪雨範圍最大，發布的避難勸告指示約863萬人，各地陸續出現災情，7月9日解除土砂災害警報。其中豪雨預報時序有：

7月5日中午，日本氣象廳發布大雨警報，每天分為四個時段作預報，包含紅色的警報級、黃色的注意報級，時間從7月5日中午過後到7月7日，範圍涵蓋：關東、北陸、東海、近畿、中國、四國、九州等。7月8日後降雨趨緩，部分地區降為注意報等級。

從7月4日起，陸續有地方政府發佈避難指示；7月5日除了發布警報地區、時間以外，也發布了未來24、48小時降雨推估，東海地區預報450毫米，實際累積降雨50毫米至100毫米；近畿、北陸地方，預報比實際降雨多；其他地方預報與實際降雨接近，並緊接著開設地方政府的對策本部。於7月6日後，向自衛隊請求支援，包括洪水控制、人命救助、孤立者救助等。而日本中央政府則在7月8日設置「非常災害對策本部」，協助救災與災後復原工作，並於7月14日由內閣府將此次平成30年七月豪雨指定為「特定非常災害」，協助因受災而無法辦理各種行政手續的居民能夠快速完成。



7月5日13時發布之大雨特報地區與時間圖（資料來源：日本氣象廳）

日本內閣政府因應作為

災害警報與疏散避難



平成30年七月豪雨災害警報、疏散避難及政府因應作為時序圖（資料來源：國家災害防救科技中心繪製）

中央與地方政府應變情形

內閣府也於 7 月 24 日的內閣會議決定，將本次災害指定為「激甚災害」，指定後，將採取特殊財政支持和補貼措施，對於公共土木設施和農業相關設施等重建項目，提高國家的補助率。

本次災害也是「災害時健康危機管理支隊（簡稱 DHEAT）」首次參加受災地區的衛生防疫工作，於 7 月 11 日先由長崎縣分隊派遣前往岡山縣倉敷市。DHEAT 是日本汲取 2011 年東日本大地震與 2016 年熊本地震的經驗，並在 2016 年開始籌備專業衛生防疫團隊，主要任務為 (1) 收集必要的醫療信息；(2) 負責協調支援團體；(3) 輔助地方政府等相關工作。

結語

2018 年「日本平成 30 年 7 月豪雨」為日本平成年代以來傷亡最嚴重的豪雨災害事件，造成全日本 137 條水系內 452 處的河岸設施受損，其中以岡山縣高梁川水系的小田川潰堤、岡山縣旭川潰堤、愛媛縣肱川溢堤、廣島縣沼田川潰堤、蘆田川溢堤等最為嚴重，統計全日本共有超過 28,000 家戶淹水。坡地災害方面共有 1,464 處坡地災害，其中以廣島縣占了 471 處最為嚴重。

深入檢視氣象預報的歷程，顯示氣象預報與觀測資料，在空間區位及降雨量上並沒有太大的誤差，相關的避難指示也有相應的發佈，然而又急又強且在集水區內全面的降雨型態，造成河川水位快速上升，許

多水位觀測都超過歷史最高水位，顯示出此次河川水位暴漲甚至潰堤的程度在過去經驗中幾乎不會出現，因此造成嚴重的淹水災情。

檢視日本政府的應變過程，除了 7 月 6 日向自衛隊請求支援，協助人命救助、孤立者救助、洪水控制等，並於 7 月 8 日陸續派遣緊急災害對策派遣隊 (TEC-FORCE) 前往災區協助，以迅速掌握災情、防止災情擴大、指導緊急處理對策等，本次由於受災地區範圍廣泛，災情嚴重，是 2008 年 TEC-FORCE 成立後派遣人數最多的一次，統計至 9 月 5 日止，共計

10,678 人。此外，本次災害也是「災害時健康危機管理支隊（簡稱 DHEAT）」首次參加受災地區的衛生防疫工作，協助收集必要的醫療信息、協調支援團體、輔助地方政府等工作。應變過程中也突顯出高齡者無法進行疏散撤離的問題，包括行動不便、不願離開自宅前往避難場所、無法自行移動至高樓層、消息不靈通，未能及時接到緊急疏散的通知等，對此，日本政府於平成 28 年，修改疏散準備情報的名稱，重新命名為「避難準備・高齡者等避難開始」，以提醒高齡者避難準備的工作。

平成 30 年 7 月豪雨當時收容避難情形（資料來源：歐新社 / 典匠資訊）



日本燕子第 21 號颱風



日本第 21 號颱風燕子的衛星雲圖 (資料來源：NASA)

氣象分析

燕子颱風 (Jebi)，於 8 月 27 日生成，30 日晚間增強為強烈颱風，9 月 4 日上午 11 時，在日本四國德島縣南部登陸，沿著日本海海域北上，9 月 5 日上午逐漸消散。由於燕子颱風移動速度快，影響期間的降雨主要集中在 9 月 3 日至 4 日，最大時雨量為高知縣田野測站 92 毫米；9 月 3 日至 9 月 5 日最大累積雨量為愛知縣茶臼山測站 390.5 毫米。在風力方面，根據日本氣象廳觀測，於 9 月 4 日測得最大瞬間風速前三名分別為：大阪府田尻町關西島測站 58.1m/s(17 級風)、德島縣南町日和佐 50.3m/s(15 級風) 以及常滑市愛知縣中部國際 46.3m/s(15 級風)。在潮位觀測上，因颱風造成的暴潮，大阪潮位觀測站記錄下歷史新高。潮位最高為 3.2 公尺 (含颱風引起的暴潮增加量 2.7 公尺)，石廊崎於 9 月 4 日測得波浪最大高度 8 公尺。

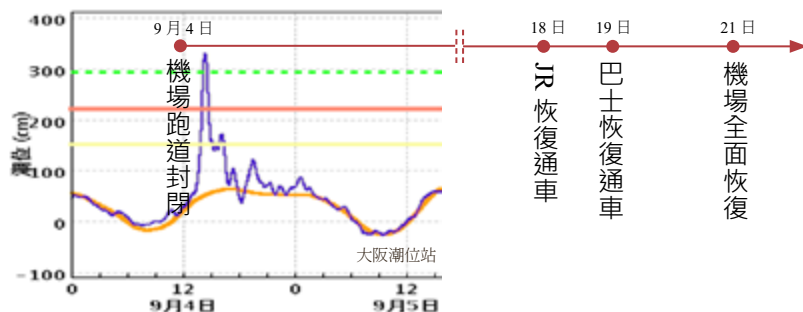
災情概述

根據日本消防廳災害對策室統計，截至 9 月 14 日 18 時 00 分止，已知有 13 人死亡，912 人輕重傷。受影響區域包括：本州島上岐阜縣，愛知縣，京都府，大阪府，兵庫縣，奈良縣和和歌山縣，以及四國島上的德島縣，香川縣和高知縣。主要災情來自於燕子颱風所帶來的強風，於關西國際機場，強風掀起滔天巨浪，除船隻撞上防波堤外，停泊在大阪灣的油輪「寶運丸」撞毀關西機場聯絡橋，導致機場唯一聯絡道路受阻，約有 3,000 旅客受困機場。西宮沿海一

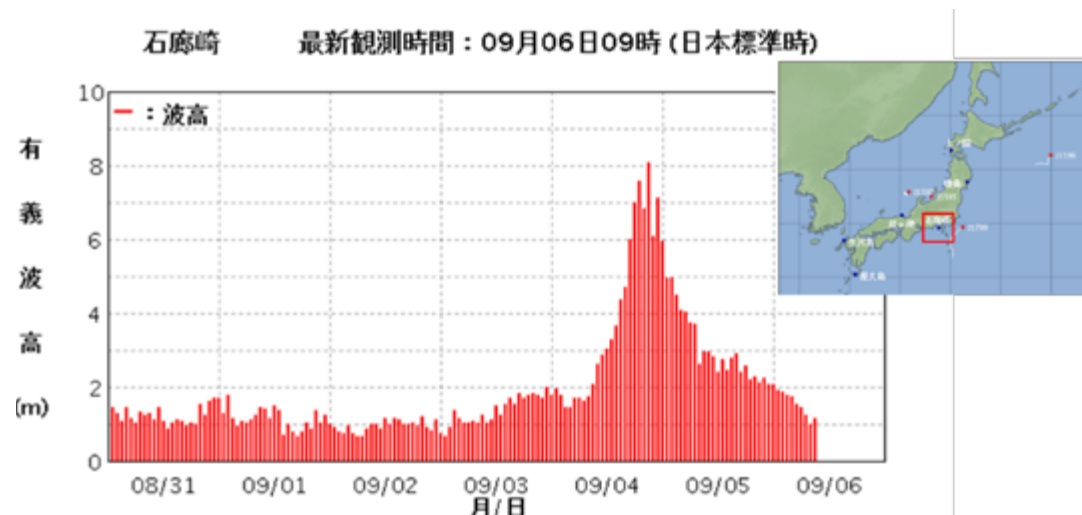
間汽車廠也因電力系統被海水侵入導致大火，燒毀百輛汽車。此外，燕子颱風侵襲期間，適逢大潮，加上颱風造成的暴潮，造成關西機場淹水關閉，並造成數千名旅客受困其中。其它的災損包括：大阪電線桿被折斷 370 根，關西 260 萬戶大停電，各地被大風吹落的鷹架、房屋外皮、汽車遭吹翻，京都知名景點，包括：賞櫻名勝平野神社櫻花樹倒，江戶時代古蹟同時也是京都府指定文化財的參拜殿，6 根柱子被強風折斷，京都西本願寺高 3 公尺的圍牆倒塌損毀，滋賀縣國寶彥根城牆面也整片剝落、大阪地標通天閣玻璃被吹破等。

日本關西機場搶救歷程

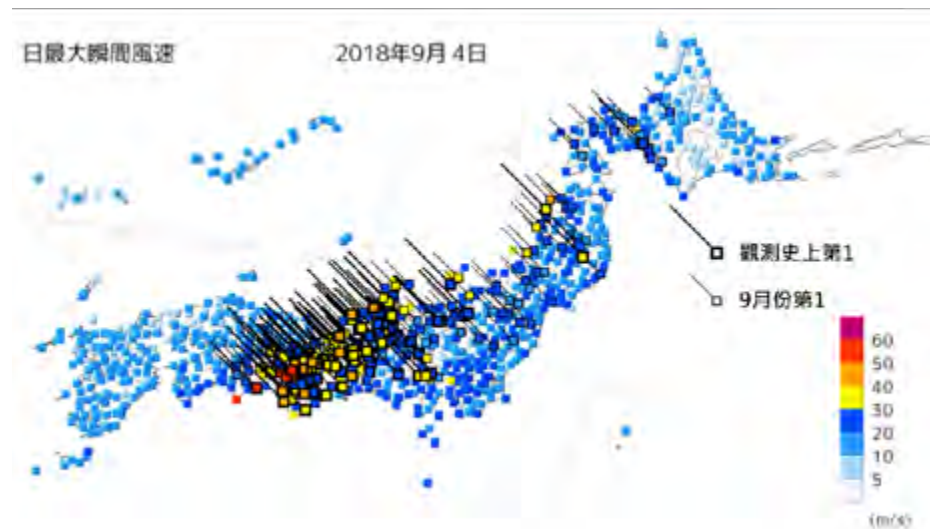
關西機場身為日本第三大機場，也是旅客往來大阪和京都的重要樞紐，受燕子颱風影響，跑道及機坪被倒灌海水淹沒，機場連絡橋的南側公路車道則被油輪「寶運丸」撞擊毀損，導致機場聯外交通中斷，機場關閉。經搶修於 9 月 7 日恢復 2 號航廈運作，於 9 月 12 日開放 1 條跑道提供部分班機起降，9 月 21 日全面恢復運行。聯外路橋在高效率修復下，鐵路 JR 與南海電鐵也於 9 月 18 日復駛。



關西機場搶救歷程時序圖 (資料來源：國家災害防救科技中心繪製)



靜岡縣石廊崎測站波浪高度 (資料來源：日本氣象廳)



2018 年 9 月 4 日最大瞬間風速 (資料來源：日本氣象廳)

山竹颱風對菲律賓及香港衝擊

註 本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報 第 165 期 2019 年 4 月出刊



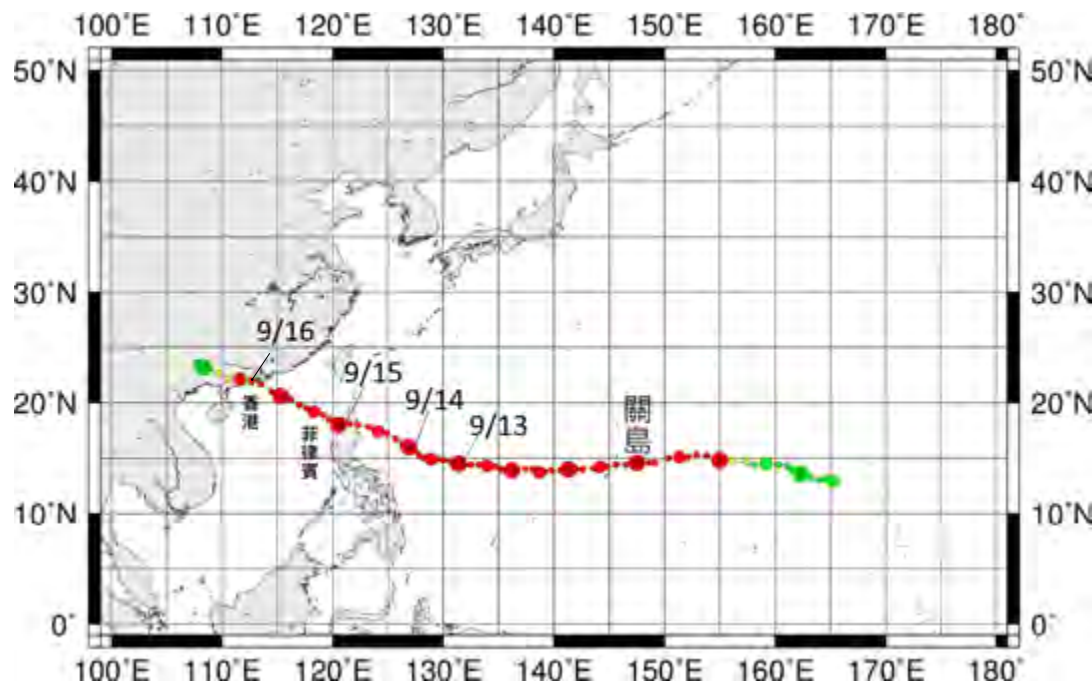
山竹颱風造成菲律賓北部伊托貢市 (Itogon) 坡地災害 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

災害概況

山竹颱風 (Mangkhut, 於菲律賓稱又稱 Omong), 於 2018 年 9 月 7 日增強為颱風, 成為西北太平洋第 22 號颱風。由於海溫高且風切小, 使得山竹颱風快速增強, 並於 11 日成為強烈颱風, 17 日強度逐漸減弱降為熱帶性低氣壓。行徑路線主要影響地區有: 關島、菲律賓、香港、澳門及中國南部沿海等, 其中又以菲律賓北部、廣州、香港、澳門等地區災情最為慘重。

菲律賓災情

山竹颱風於 15 日凌晨 1 時, 在菲律賓呂宋島卡加延市 (Cagayan) 的巴高 (Baggao) 登陸, 其 10 分鐘平均風速為 205 公里 / 小時, 最大陣風達 270 公里 / 小時 (僅次於 2013 年海燕颱風 315 公里 / 小時)。菲律賓大氣、地球物理和天文服務管理局 (Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration, PAGASA) 為此發布警戒, 迎風面地區發布**五級警告**。所經之處帶來的強風與豪雨, 造成了菲律賓多處洪水氾濫、坡地崩塌、道路橋樑封閉、通訊設備及電力損壞。菲律賓新聞局 (Philippine News Agency) 截至 10 月 3 日統計, 受到山竹颱風影響已造成 114 人死亡, 又以本格特省 (Benguet) 的伊托貢 (Itogon) 崩塌死傷最為嚴重, 有 94 人死於伊托貢 (Itogon) 崩塌災害。根據菲律賓國家減災與災害管理委員會 (National Disaster Risk Reduction and Management Council, NDRRMC) 第 57 次統計, 此次颱風共引發 43 起災害事件, 影響了 303 萬人、73 萬戶家庭; 除此之外, 菲律賓教育部 (MANILA Philippines The Department of Education, DepEd) 表示: 山竹颱風過境後一星期, 約有 1,500 萬學生受到影響, 共有 7 千多間學校受到不同程度毀損, 損失近 2.65 億披索 (相當於 1.65 億元新台幣)。另外, 山竹颱風中心行經菲律賓卡加延河谷 (Cagayan Valley) 和伊羅科斯省 (Ilocos), 此二區為菲律賓「糧倉」, 又正值農產收穫季



山竹颱風路徑圖 (資料來源: Digital typhoon)

節, 根據菲律賓農業部門損失估計約 143 億披索 (相當於約 79.35 億新台幣), 比預期損失還要多出 2 倍之多。根據 NDRRMC 報告: 菲律賓全國總損失約 339 億披索 (約 188 億新台幣, 6.27 億美元)。

五級警告

12 小時內將遭受超過 220 公里 / 小時的颱風影響之地區; 波浪高度超過 14 公尺, 風暴潮在沿海地區超過 3 公尺; 房屋結構大面積遭受破壞; 植被僅少數植物和樹木存活。



山竹颱風侵襲菲律賓期間各區所發布的警戒情形 (資料來源: PAGASA)

伊托貢市 (Itogon) 坡地災害

此次崩塌地點，發生在菲律賓呂宋島科迪勒拉 (Cordillera) 行政區中的本格特省 (Benguet) 伊托貢市 (Itogon) 的 Barangay Ucab，位於碧瑤市東南東方約 7.4 公里處，係長期小規模黃金採集的採礦小鎮。在山竹颱風來臨之前，該地區已持續了 2 個月的降雨，土壤含水量處於飽和狀況下，再次受到山竹颱風挾帶強烈的雨勢侵襲，於 12 小時內降下 970 毫米的雨量，相當於當地九月平均降雨量 (570 毫米) 的 1.7 倍，因而於 9 月 15 日引發崩塌災害，掩埋掉礦區部分房舍與臨時避難所，共造成 94 人死亡，6 人失蹤，罹難者大多為採礦工人及其眷屬。推估崩塌面積約 1.52 公頃，最大落差約 250 公尺、寬約 88 公尺。

根據菲律賓災害潛勢評估網 (University of the Philippines Nationwide Operational Assessment of Hazards, UP-NOAH) 的淺層崩塌危害圖顯示：該崩塌地 (地圖上白色圈選區域) 即位於紅色區塊，屬於崩塌危害高致災區，具有極高的崩塌機率，以上皆顯示該地區地質環境條件不佳。

在山竹颱風侵襲前，政府機關即公布坡地潛勢區，並且由當地警察對該地區進行勸告性撤離，然而，仍有部分居民並未即時疏散，反而集中至一礦區工棚兼教堂做為臨時避難所，最終不幸慘遭土石掩埋，使得此次崩塌災害死傷慘重。



山竹颱風造成菲律賓北部伊托貢市 (Itogon) 坡地災害 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)



伊托貢 (Itogon) 崩塌災害位置分布
(資料來源：Google Earth)



淺層崩塌危害圖，紅色區塊表示高致災區
(資料來源：UP-NOAH)

香港災情

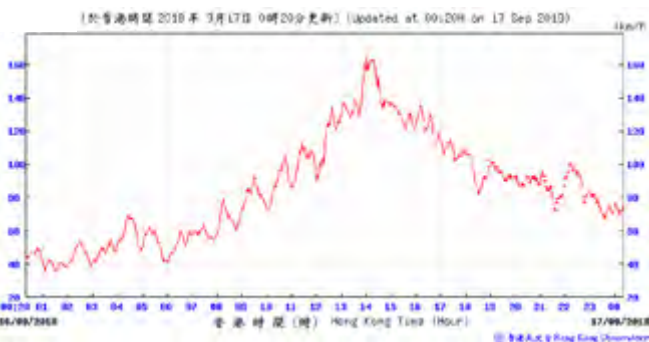
山竹颱風最靠近香港的時間於 9 月 16 日下午 13 時至 14 時，即便位於香港島西南方 100 公里，在山竹颱風狂風吹襲下，香港長洲站於下午 14 時測得最高持續風速為 165 公里 / 小時，最大陣風為 213 公里 / 小時 (持續風速相當於臺灣 14 級風，陣風相當於臺灣 17 級風)，已達颶風 (Hurricane) 或颱風等級，香港天文台判定，當風力達 12 風級時 (蒲福氏風級)，平均風速每小時 118 公里或以上之情況下將發出十號颶風或颱風信號。

強風造成 4.6 萬棵路樹吹倒，紅磡海濱廣場出現大樓玻璃帷幕破裂。香港受到山竹颱風影響，超過 200 人受傷；香港赤臘角機場取消 889 航班，10 萬名旅客受到影響。部分地區電力中斷，影響戶數約 1 萬戶；西貢汙水處理廠於風災中受損，需要數個月後方能恢復正常。

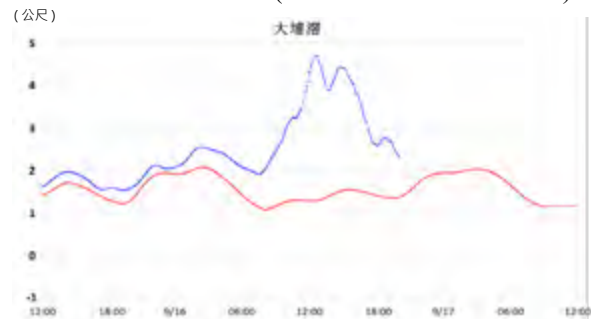
香港天文台認定山竹颱風是自 1983 年艾倫颱風後，侵襲香港最強颱風。香港天文台於 15 日呼籲市民完成防颱準備，並於 16 日警告低窪地區可能發生淹水情況，維多利亞港甚至出現 3.5 公尺的風暴潮等預警訊息，由於 2017 年天鴿颱風造成香港嚴重災情，因此天文台更是不敢忽視山竹颱風威力，早在山竹颱風距離香港超過 2,000 公里遠，當局已提醒民眾盡早做好防禦準備。距香港約 1,100 公里範圍時，香港天文台發布一號戒備信號，是有紀錄以來最遠的一次，之後相繼發出八號與九號風球，亦是繼 2017 年天鴿

颱風後再一次發出最高級別的十號風球，並持續了十小時。

香港海濱低窪地區遭受風暴潮 (storm surge) 影響，是過去 35 年來前所未見。由香港天文台環島的潮位站量測結果顯示：各站均高過預測水位，鰂魚涌，大澳及大埔滘的暴潮位 (storm tide) 高度曾分別達 3.88，4.69 及 3.85 公尺，與預測天文潮可得暴潮分別為 2.35、3.38 及 2.42 公尺，嚴重程度超過 2017 年天鴿颱風引起的風暴潮情況。



香港長洲站風速 (資料來源：香港天文台)



大埔滘潮位歷線圖，紅線表示預報潮位；藍色表示實際潮位 (資料來源：香港天文台)



山竹颱風於香港的災情 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

美國南加州土石流災害

註 本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報 第 156 期 2018 年 7 月出刊



美國南加州聖塔芭芭拉郡 (Santa Barbara) 的蒙特斯托 (Montecito) 發生土石流情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

災害概況

南加州聖塔芭芭拉郡 (Santa Barbara) 的蒙特斯托 (Montecito)，在經歷了 2017 年 12 月的 Thomas Fire 過後，留下大量燒毀的植被與缺乏水分的土壤，並在 2018 年 1 月 9 日凌晨，受到緊接著**大氣長河** (Atmospheric river) 後的窄冷鋒雨帶 (Narrow Cold Frontal Rainband) 影響，為聖塔芭芭拉地區 (Santa Barbara) 帶來短延時的強降雨，因此觸發了土石流的發生。

根據聖塔芭芭拉郡 (Santa Barbara) 發布的消息，自 2018 年 1 月 9 日起截至 21 日，土石流災害共計有 21 人死亡，28 人受傷，仍有 2 人失蹤，至少 400 戶房屋損壞或全毀，3,000 戶受到影響，6,000 戶斷電。土石流影響範圍達 30 平方英里 (約 78 平方公里)，聖塔芭芭拉郡的蒙特斯托、薩默蘭 (Summerland) 和鄰近 Thomas Fire 焚燒地區的卡平特里亞 (Carpinteria) 皆受影響，由於道路上堆積的土石，101 公路約有 30 英里 (將近 50 公里) 一度禁止通行，直到 1 月 21 日才再度完全開放通行。在土石流侵襲的大部分區域，天

然氣、水、電皆被迫中斷供應。

從美國太空總署的地球觀測衛星 Landsat 8 上裝載的陸地成像儀 (Operational Land Imager, OLI) 所拍攝的蒙特斯托地區火災前與土石流災後的照片，放在一起比較，可以明顯看出一大片被燒光的山林 (由綠



Landsat 8 OLI 影像，左圖時間為 2017 年 11 月 23 日，火災與土石流災前，右圖時間為 2018 年 1 月 10 日，火災與土石流災後 (資料來源：NASA)

色轉褐色) 與土石流流經的侵蝕溝。

聖塔芭芭拉郡政府也在 1 月 18 日發布最終災損檢查地圖，提供災損分布資料，圖中數據是災害評估專家 (Damage Inspection Specialist, DINS) 團隊以系統性的檢查程序蒐集得到，他們以目視檢查財產和自然



最終災損檢查地圖 (資料來源：聖塔芭芭拉郡政府)

美國野火命名來由

通常是以野火開始地區的地理位置、地標、街道、湖泊、山峰等來命名，使消防調度更有效率。例如：2017 年 12 月南加州野火事件，起火地點在 Thomas 學院附近，故被命名為 Thomas Fire。

大氣長河

大氣長河 (Atmospheric river, AR)，係指位於較低層大氣，輸送水氣的狹長廊道，範圍橫跨數千公里，能將熱帶的水氣與熱量帶往中緯度地區。

資源是否已損壞或具潛在損壞風險，將毀損程度分為五個等級，分別為：全毀 (Destroyed)、半毀 (Major)、小部分毀壞 (Minor)、受影響 (Affected)、難以接近 (Inaccessible)，並必須在事件發生後的 36 小時內，向國土安全暨應急管理組 (HSEM) 提供初步評估，讓上級機關判斷如何提供援助。

氣象水文分析

美國西部天氣與極端水文事件中心 (Center for Western Weather and Water Extremes, CW3E) 提出，窄冷鋒雨帶 (Narrow Cold Frontal Rainband, NCFR) 的一系列強降雨，是 Thomas Fire 火災過後，造成致命又極具破壞力的土石流的主要氣象驅動因素。

根據土石流潛勢地圖顯示，Thomas Fire 的焚燒區域內，在設計雨型下，土石流發生的可能性 (降雨型態設計為：峰值 15 分鐘的強度為每小時 24 毫米的降雨速率，或在 15 分鐘內降下大約 0.25 英吋 (6.35 毫米) 的雨量)。圖中可見，蒙特斯托 (Montecito) 的山區在設計雨型下，皆被評估為具有很高的土石流發生機率。

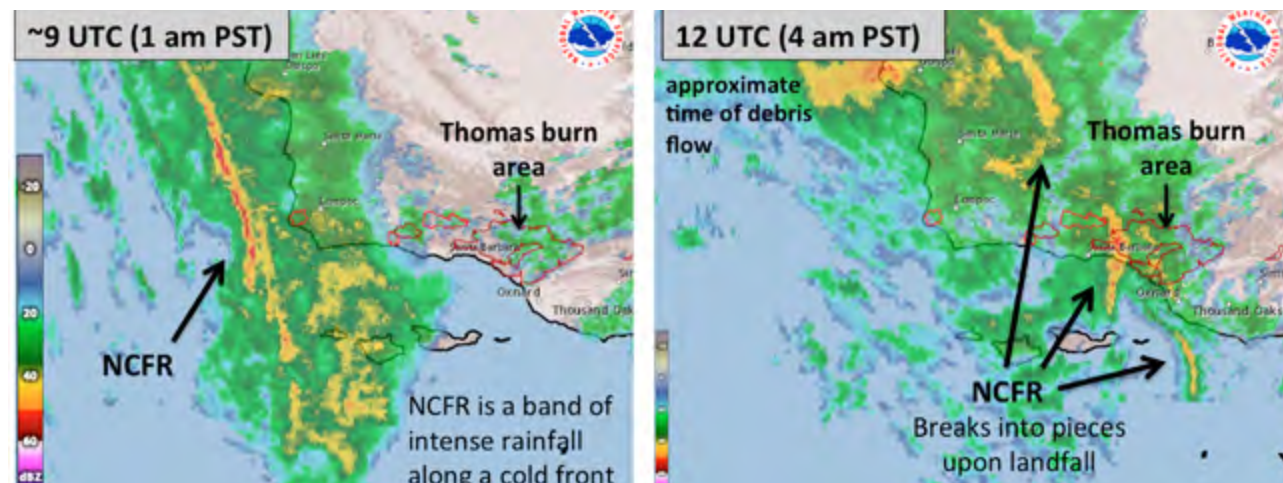
窄冷鋒雨帶 (Narrow Cold Frontal Rainband, NCFR) 的強對流降雨在離岸形成，並於 1 月 9 日，當地時間 (PST) 早上 1 點之後在 Pt. Conception 登陸。當窄冷鋒雨帶與地表和地形交互作用時，暫時減弱、分裂，並在南加利福尼亞灣 (Southern California Bight) 再度增強。窄冷鋒雨帶在大約當地時間早上 4 點，為

Thomas Fire 燃燒地區的最西端帶來高強度的降雨。

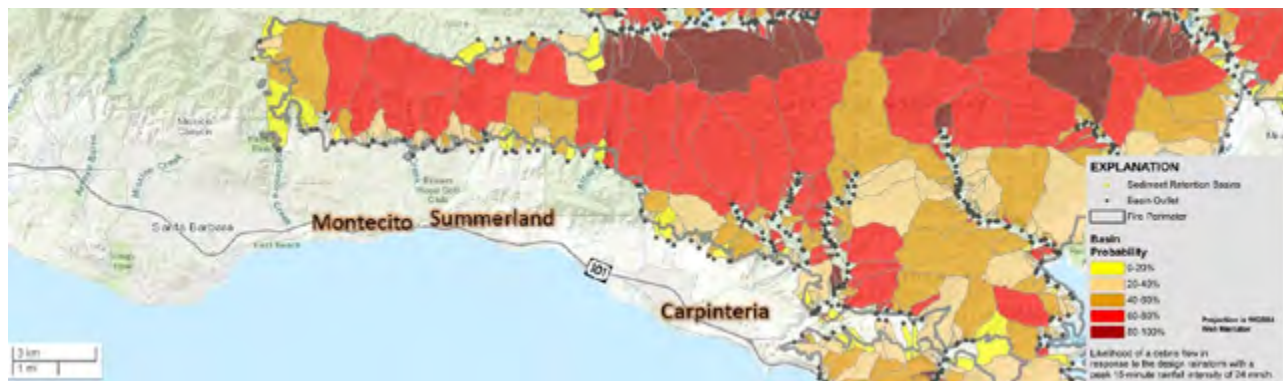
雙水氣帶的南北向大氣長河與低壓系統相互作用，在土石流事件發生之前，主要的大氣長河已經往東南方移動，當窄冷鋒雨帶驅動引致土石流的高降雨速率的同時，大氣長河幫忙將水氣輸送至該區域。

就降雨總量而言，這對該地區來說，是一場溫和

的冬季風暴，但窄冷鋒雨帶產生強烈的降雨，根據 NOAA 降雨頻率圖集 (NOAA Atlas 14)，在許多測站觀測到的 15 分鐘降雨速率等同於 25-50 年重現期的降雨頻率，卡平特里亞測站量測到一個 15 分鐘累積降雨 0.86 英吋 (大約 22 毫米) 的紀錄，相當於 100 年重現期的降雨頻率。



2018 年 1 月 9 日的雷達回波圖，可見產生高強度降雨的窄冷鋒雨帶，左圖為當地時間早上 1 點，右圖為當地時間早上 4 點 (資料來源：National weather service)



Thomas Fire 焚燒範圍在設計雨型下的土石流潛勢 (資料來源：美國地質調查所)

政府應變作為

在 Thomas Fire 之後，聖塔芭芭拉郡政府嚴正以待的劃定強制撤離區與自願撤離區，並發布消息予民眾，提醒大家警惕暴雨帶來的土石流風險。1 月 8 日總計有 7,000 位居民需要強制撤離。

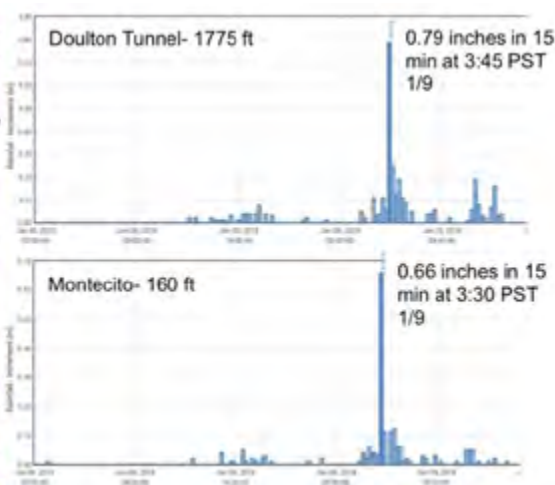
美國國家氣象局 (National Weather Service, NWS) 在 2018 年 1 月 5 日發布的預報中提到，1 月 8 日至 10 日南加州地區預期將有大範圍降雨，尤其近期才被野火焚燒過的區域，可能會發生暴雨和土石流。

土石流發生之後，美國海岸防衛隊和國民警衛隊派出直升機與救援人員，來自洛杉磯、橙郡、文圖拉郡的消防員們和直升機也趕往蒙特斯托進行救援，許多民眾因土石堵塞道路而受困，直升機不斷來回將

受困的民眾送離羅梅羅峽谷 (Romero Canyon) 區域。

災後，郡政府網站上也有詳列後續處理辦法與尋求幫助的途徑，如災難復原中心的開放、洪災後返家的注意事項、清理土石可尋求協助的途徑、下次強降雨來臨前可以預先做的準備等。

另外，火災區域緊急修復小組 (Burned Area Emergency Rehabilitation, BAER) 必須在火災撲滅後的七天之內做出評估報告，定位出易於發生火災後侵蝕的區域，並盡其所能預防土壤流失與洪水氾濫，如果威脅存在，該報告必須包含可以在第一次破壞性風暴來臨前執行的緩解措施。



土石流發生區域鄰近測站的降雨強度 (右上：Doultton Tunnel；右下：Montecito) 降雨速率以 15 分鐘為一個區間，不同於 15 分鐘最大值 (資料來源：SBCPWD)



美國南加州土石流情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

印度克勒拉邦洪災

註 本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報 第 165 期 2019 年 4 月出刊



印度西南部克勒拉邦 (Kerala) 洪水氾濫情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

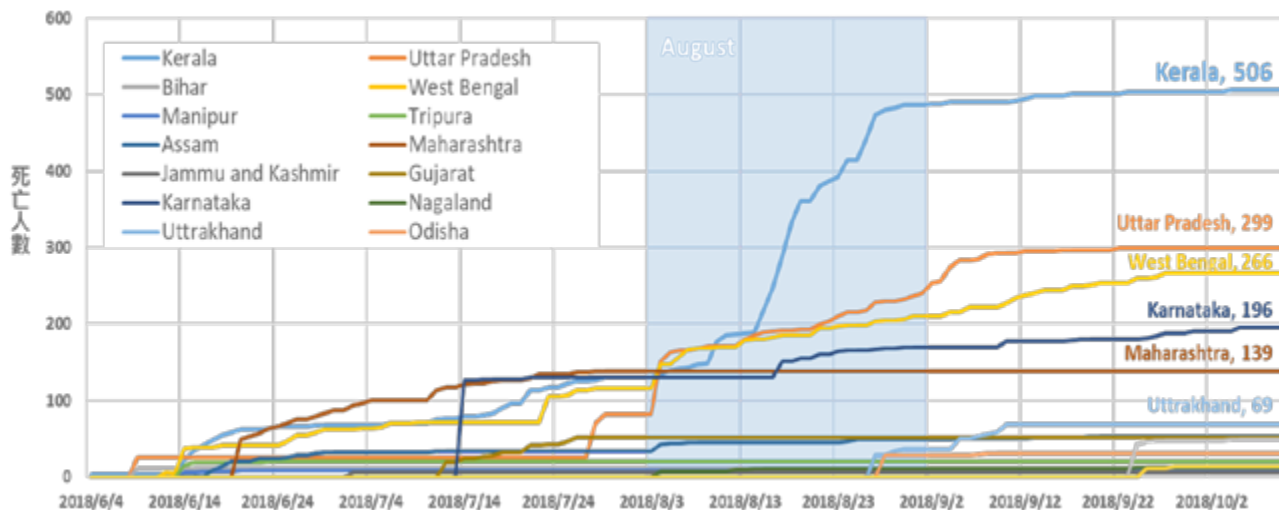
災害概述

印度自 2018 年 6 月進入雨季以來，不斷地受到暴雨的肆虐，根據印度災害應變中心 (National Emergency Response Centre, NERC) 截至 10 月 10 日統計，已有將近數十個邦陸續傳出嚴重的洪水及土石流災情，期間共造成了 1,735 人死亡、606 人受傷、至少 1,061 萬人受影響，又以克勒拉邦 (Kerala) 的死傷最為嚴重，而大多數死傷主要發生於 8 月這波低壓系統所帶來的強烈降雨而引發之洪水及坡地災害，初估經濟損失約 42 億美元。

克勒拉邦洪水事件

根據印度災害應變中心統計，2018 年 6 月至 10 月的季風期間，有超過十個邦皆受到洪水及坡地災害影響，包括：克勒拉邦 (Kerala)、喜馬偕爾邦 (Himachal Pradesh)、卡納塔克邦 (Karnataka)、馬哈拉施特拉邦 (Maharashtra)、阿薩姆邦 (Assam)、西孟加拉邦 (West Bengal)、北方邦 (Uttar Pradesh)、北阿坎德邦 (Uttarakhand)、奧里薩邦 (Odisha) 及果阿邦 (Gujarat) 等。其死傷原因包括：洪水溺斃、土砂掩埋、建築物坍塌、閃電雷擊等。其中，又以克勒拉邦的損失最為慘重，截至 10 月 10 日統計，共計有 506 人喪生、140 人受傷，全邦有六分之一的人口 (約 540 萬人) 受到影響。

根據各個邦自雨季開始以來的死亡人數統計顯示，因受到降雨影響，克勒拉邦自 6 月起便持續有零



2018 年 6 月 4 日至 10 月 10 日季風期間的各邦死亡人數持續增加

(資料來源：Disaster Management Division Ministry of Home Affairs，國家災害防救科技中心繪製)

2018 年雨季期間 (6/1-10/10) 各邦死傷情形 (資料來源：National Emergency Response Centre)

No	邦 (States and territories)	降雨量 (毫米)	死亡人數	受傷人數	失蹤人數	受影響人數
1	克勒拉邦 (Kerala)	1,880.78	506	140	15	5,411,712
2	北方邦 (Uttar Pradesh)	860.40	299	204	14	545,429
3	西孟加拉邦 (West Bengal)	--	266	40	5	293,118
4	卡納塔克邦 (Karnataka)	809.00	196	4	3	350,000
5	馬哈拉施特拉邦 (Maharashtra)	--	139	117	--	--
6	北阿坎德邦 (Uttarakhand)	1,110.10	69	37	8	--
7	阿薩姆邦 (Assam)	1,133.90	53	--	--	1,321,781
8	果阿邦 (Gujarat)	--	52	13	--	--
9	喜馬偕爾邦 (Himachal Pradesh)	--	50	--	9	28,424
10	奧里薩邦 (Odisha)	1,294.10	31	--	--	2,273,728
11	特里普拉邦 (Tripura)	--	21	36	--	--
12	旁遮普邦 (Punjab)	487.48	14	10	--	4
13	那加蘭邦 (Nagaland)	21 July-30 Sept: 10,420.00	13	5	--	261,126
14	比哈爾邦 (Bihar)	--	11	--	--	--
15	曼尼普爾邦 (Manipur)	--	9	--	--	126,511
16	查謨和克什米爾邦 (Jammu and Kashmir)	--	6	--	--	--
總計			1,735	606	54	10,611,833

星災情傳出，然而在 8 月初這場長達 11 天的強降雨，死傷及損失突然急遽攀升，躍昇為 2018 年印度死傷最為嚴重的一邦，也是克勒拉邦繼 1924 年風暴後死傷最為嚴重的災害，印度政府宣布它為 3 級災難（嚴重自然災害）。以下整理 8 月發生的災害歷程簡述如下：

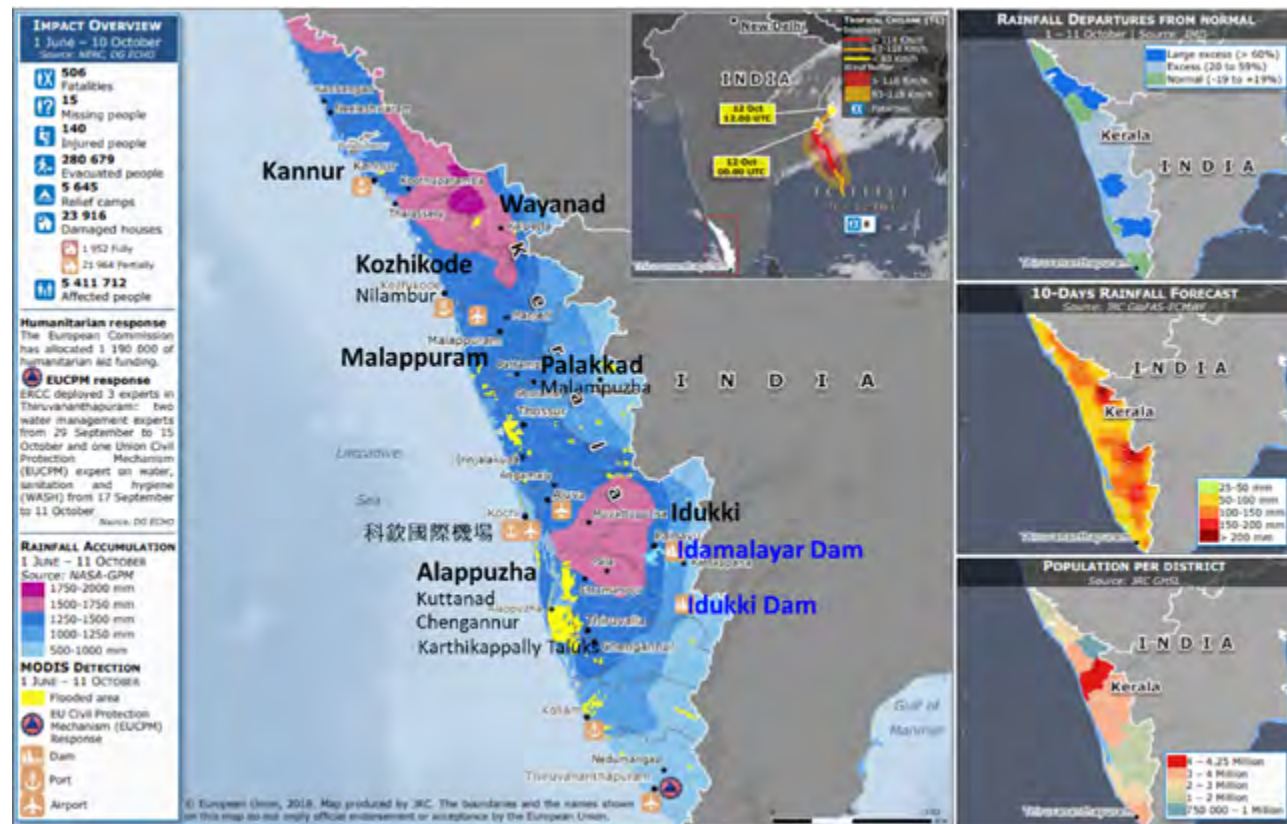
8 月 8 日，印度西南部開始降下豪雨。克勒拉邦測得 24 小時內降下 310 毫米降雨，Chalakkudy 河開始溢流，Kannur 地區發生超過 20 處山體滑坡，數百戶家庭孤立無援。

8 月 9 日，克勒拉邦有 24 座大壩閘門打開進行洩洪，其中 Idukki 大壩的第一道閘門為近 26 年來首次打開，Idamalayar 大壩則是近 5 年首次打開；並且，陸續在 Malappuram、Idukki、Wayanad、Kannur、Kozhikode 及 Palakkad 等地區傳出坡地災情，Wayanad 地區發布紅色警報，Nilambur 地區部分民眾被撤離，Kuttanad 地區的災情則持續惡化。

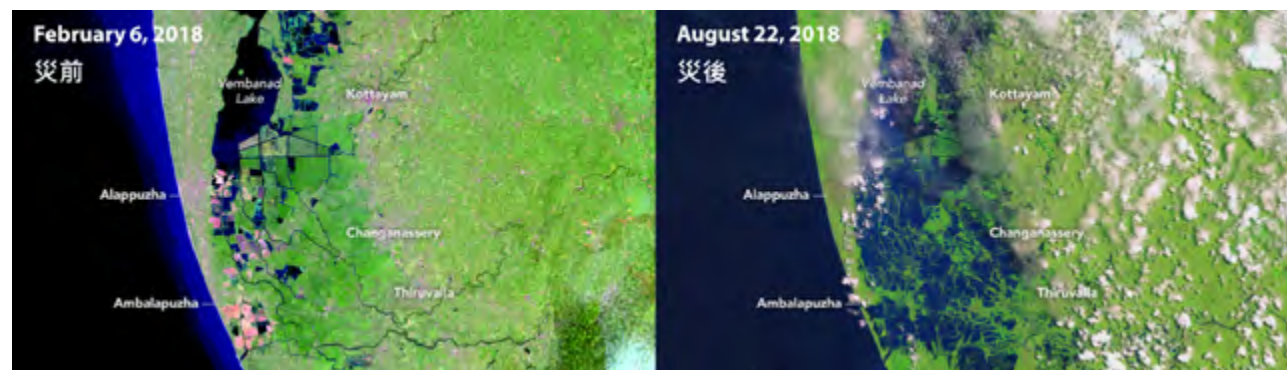
8 月 10 日，印度氣象局發布紅色豪雨警報，克勒拉邦約 1 萬人受到洪水影響而被疏散，科欽國際機場 (Cochin International Airport) 也暫時關閉。

8 月 14 日，Pampa River 流域地區經歷半世紀最嚴重的洪水災情，Munnar 鎮的聯外道路也遭洪水阻斷形成孤島。克勒拉邦政府取消 Onam 當地大型慶典活動，並為第一階段重建撥款 1,000 億盧比，推出救援網站 keralarescue.in。

8 月 15 日，克勒拉邦高達 35 座大壩閘門同時開啟並進行洩洪。



印度克勒拉邦 (6/1-10/10) 期間的降雨累積分布、淹水範圍及水壩位置 (資料來源：ERCC)



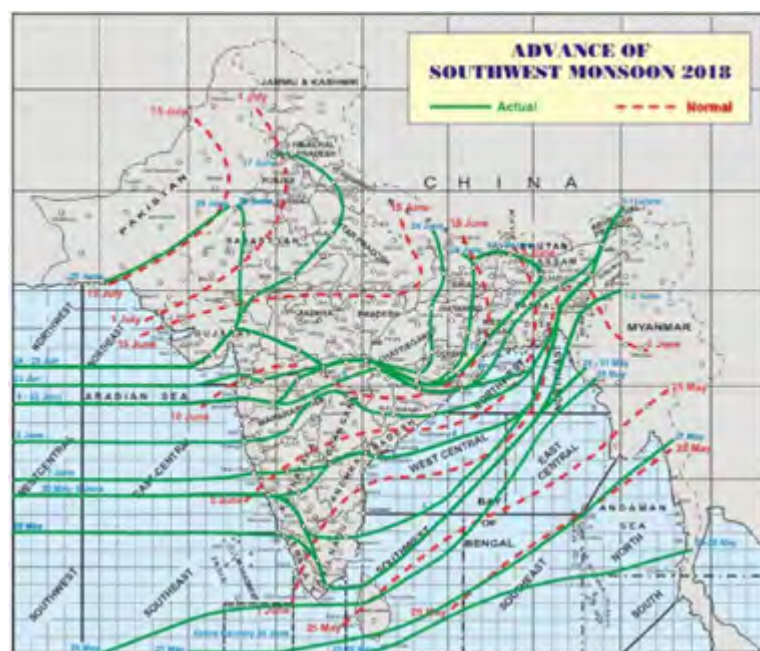
印度克勒拉邦洪水災害前後的衛星影像，深藍色代表洪水淹沒範圍，綠色代表植被 (資料來源：NASA)

8月16日，克勒拉邦內14個行政區皆列為紅色警戒區。全邦有87處發生坡地災害，數百人孤立無援，其中，Malampuzha的Valiyakadu村在陸軍緊急搶救、興建臨時便橋後，順利救出百人；另外，南部鐵路和高知地鐵(KMRL)也受到洪水影響而暫停營運。

8月17日，印度電力局關閉全邦近4,000台變壓器，中斷電力供應。400艘漁船協助救援行動。

8月19日，降雨逐漸趨緩，紅色警報一一撤除，公路及鐵路運輸服務恢復。

克勒拉邦在季風季節裡經常發生洪水，但在8月1日至19日期間測得758.6毫米的降雨量，較長期降雨平均值(287.6毫米)



2018年印度季風北抬發展進程圖

(資料來源：India Meteorological Department, IMD)



克勒拉邦洪水氾濫情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

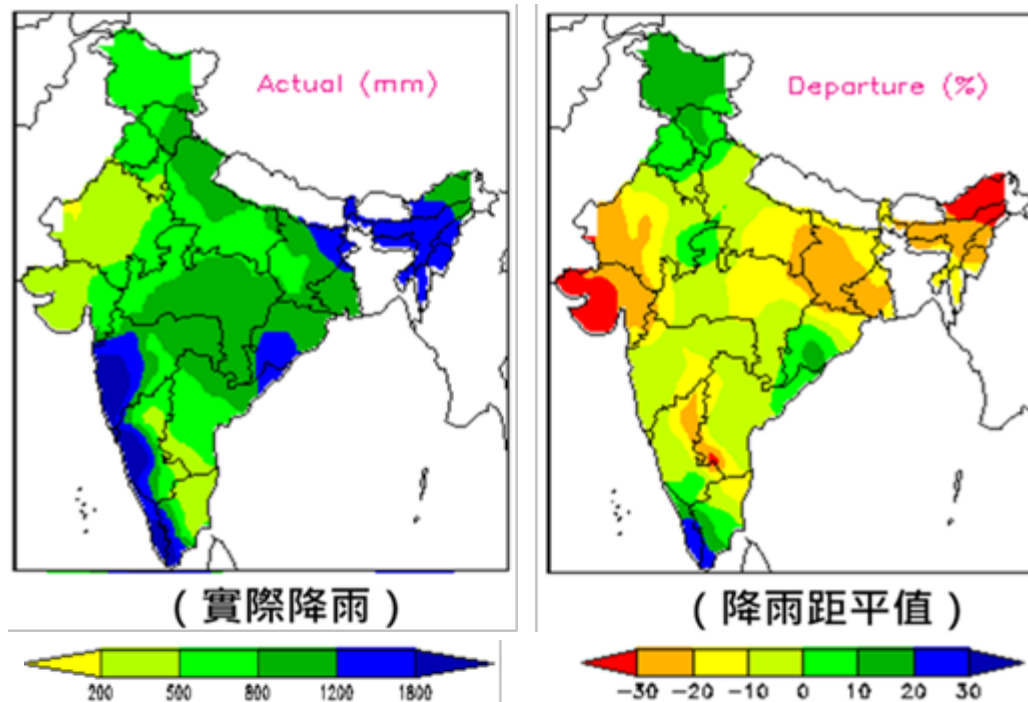
高出 164%。異常的降雨導致河流氾濫，迫使當局打開即將滿水位的水壩閘門，也導致主要機場被迫關閉、火車及地鐵停駛，重要交通中斷。許多死亡事故是由豪大雨所引發的崩塌所造成。全邦 14 區的學校關閉，並考慮安全問題禁止遊客進入。當地大型農場也遭洪水淹沒，危及橡膠、茶葉、咖啡及香料（黑胡椒）等作物。

災因分析

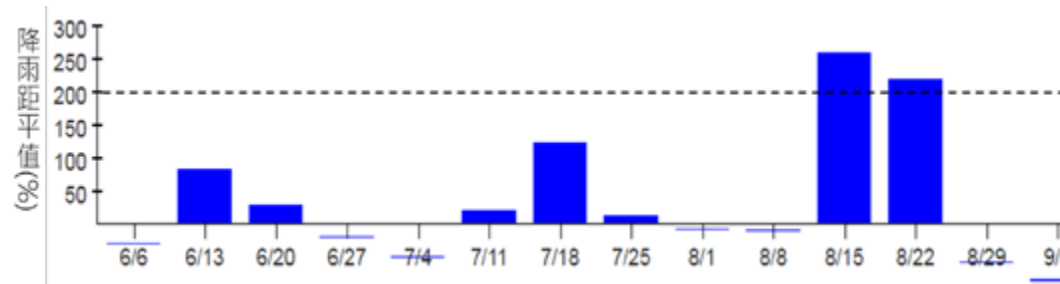
異常降雨

每年的 5 月至 6 月，來自阿拉伯海的水氣會隨季風環流北上，開啟印度南部的季風雨季，並為迎風面的印度地區帶來降水，而位於西高止山脈迎風面的克勒拉邦首當其衝，成為印度第一個受到西南季風降雨的地區。往常 8 月份季風已北抬，然而 2018 年西南季風北抬延遲，再加上此次降雨主要來自西南季風系統與孟加拉灣和奧里薩邦上所形成的兩大低壓系統所致。低壓系統拉動潮濕的西南季風，加速後撞向西高止山脈形成的雨雲，造成該地區自 8 月 8 日開始，全邦都籠罩在豪大雨「紅色警報」中，持續性的降雨延續到 8 月 19 日。在 8 月 8 日至 8 月 15 日期間，迎來了超過平均季風降雨 257% 的超大雨量，克勒拉邦的各分區降雨在 15、16 日的降雨幾乎都超過 100 毫米，創下百年紀錄，導致嚴重山洪暴發。

從 2018 年 6 月 1 日至 9 月 30 日期間實際降雨、平均值與降雨距平值分布，可明顯看到克勒拉邦的降雨距平值遠超過 30% 以上。並且，克勒拉邦於 2018 年 6 月 6 日至 9 月 5 日期間的周降雨距平值歷程，可看到克勒拉邦在這段期間有三波較大的降雨，其中又以 8 月這一波為最大，降雨距平值超過 200% 以上。另外，再從克勒拉邦內各縣於 2018 年 6 月 1 日至 8 月 17 日期間的降雨距平值，14 個縣均超過平均降雨量，其中又以 Idukki 縣 (94%) 最甚，其次為 Palakkad 縣 (75%)。



2018 年 6 月 1 日至 9 月 30 日期間實際降雨與降雨距平值分布
(資料來源：India Meteorological Department, IMD)



克勒拉邦於 2018 年 6 月 6 日至 9 月 5 日期間的降雨距平值 (資料來源：wiki)

水壩放水加劇下游洪水氾濫

全印度擁有 5,254 座水壩用於灌溉和發電，其中克勒拉邦由國家電力局管理 62 座水壩，又以 Idukki 水壩容量 (1,459,510 立方公尺) 為最大，其次為 Idamalayar 水壩 (1,022,800 立方公尺)。

由於受到季風持續降雨影響，8 月 8 日，克勒拉邦大部分水壩已接近滿水庫水位 (FRL)；9 日，持續的大雨導致水位上升至溢流水位，評估大壩安全之考量，24 座大壩被迫於暴雨持續期間打開閘門進行洩洪，其中 Idukki 大壩的第一道閘門為近 26 年來首次打開，Idamalayar 大壩為近 5 年首次打開；15 日，35 座大壩閘門開啟。然而，克勒拉邦的河川及排水系統並無法因應如此大量的洪水量而導致低窪地區氾濫成災。部分居民被疏散到 Thiruvananthapuram 地區。從 Idukki 水壩的水位及入流量情形，8 月 10 日水壩水位已達 731.82 公尺，較滿水位低 0.61 公尺，當時入流量約 649 立方公尺 / 秒，溢流量約 50 立方公尺 / 秒，水壩水位持續上升，10 日 17 時溢流量增加到 750 立方公尺 / 秒，水位才略微下降；14 日水壩入流量又增加，再提高溢流量至 1,500 立方公尺 / 秒，17 日水位一度達滿水位 732.43 公尺；而 Idamalayar 水壩的水位及入流量情形，8 月 8 日水壩水位已達 168.06 公尺，僅低於滿水位 1 公尺，水庫容量已接近 97%。

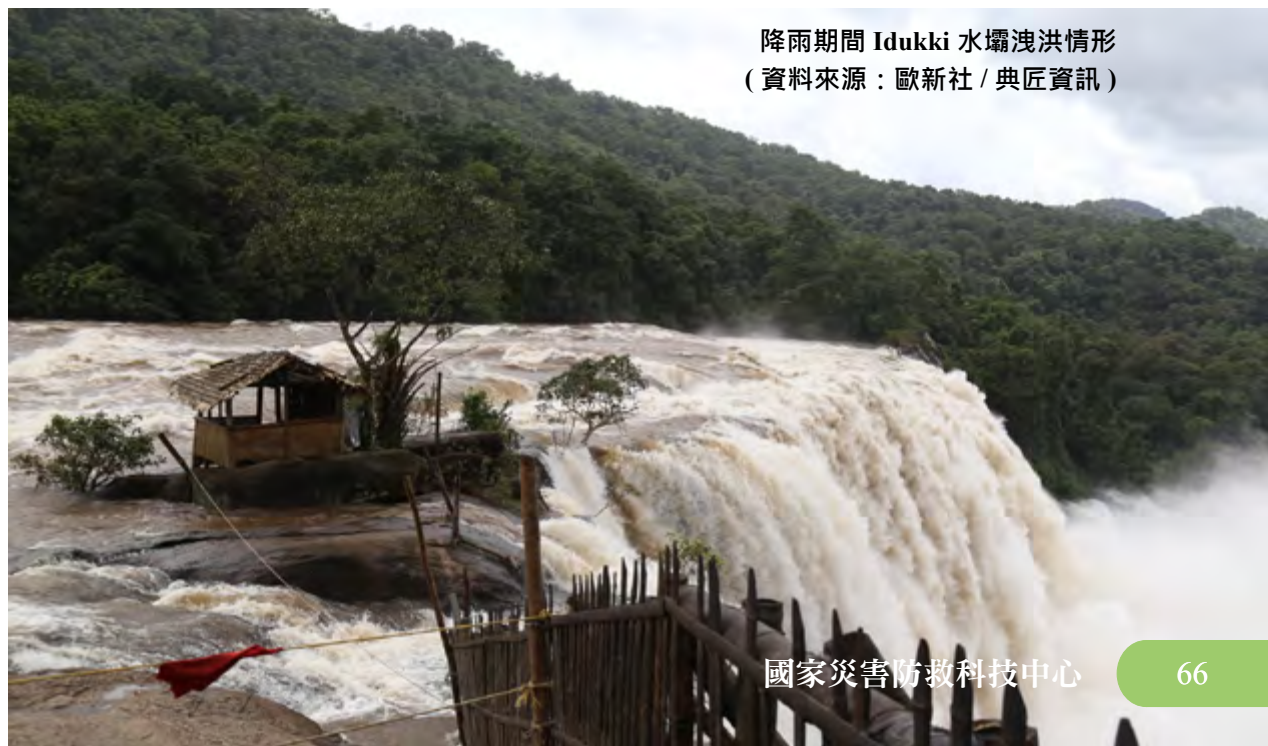
另外，當局也提及克勒拉邦並未設置洪水預報站，因此中央水務委員會 (CWC) 未能事先提供洪水預警，提醒民眾盡早疏散而釀成悲劇。並且，於 2017 年印度水壩調查報告指出，全國僅有 7% 的水壩擁有緊急行動計畫，僅少數邦於季風前後會對水壩安全進行檢核，其中並不包含克勒拉邦。因此，有專家提出，除了異常降雨外，洪水預警缺乏及水壩管理不當，都可能是加劇此次克勒拉邦洪水災情惡化的原因之一。

政府應變作為

在災害期間，政府啟動大規模的救援行動，至少 40 架直升機、31 架飛機、182 支救援隊、18 支國防部隊、58 支 NDRF(National Disaster Response Force) 和 7 支中央武裝警察部隊，以及克勒拉邦的漁民也共同參與了洪水救援行動，共計 500 多艘船隻投入救援；為此，政府提供經濟援助，修復在救援行動中部分受損的漁船，同時為那些被完全摧毀的船隻提供新船，據估計有 7 艘船完全被摧毀，452 艘被部分受損。

除此之外，克勒拉邦政府取消了 Onam 慶典活動，將其資金重新分配給救援工作，設置 4,000 多個緊急避難所，並努力防治水患後疾病的傳染。並且，在印度政府的要求下，克勒拉邦政府、世界銀行和亞洲開發銀行開展了聯合快速災害需求評估，考慮到對住房、基礎設施、公用事業、健康、環境和文化遺產等影響，以量化損害並評估長期恢復需求，初估經濟損失約 42 億美元。

為解決印度長期洪患問題，2018 年 6 月起印度中央水務局與 Google 公司合作，利用 AI 人工智慧技術建立河川洪水預警模式，以期準確地預測洪水發生的規模、時間與地點，提早對民眾進行預警及疏散，目前以位於印度東北部恆河流域比哈爾邦 (Bihar) 的帕特納 (Patna) 地區作為示範區，並於 2018 年 9 月發出了首次洪水警報。



降雨期間 Idukki 水壩洩洪情形
(資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

肯亞帕托水壩潰壩

■ 本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報 第 159 期 2018 年 10 月出刊



肯亞潰壩下游遭土砂掩沒情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

災害概述

肯亞自 2017 年起便受到嚴重的乾旱與飢荒所苦，直到 2018 年 3 月雨季開始，旱象才逐漸趨緩；然而，從肯亞各地於 2018 年 3 月至 5 月的累積降雨分布顯示，期間所降下的 500 毫米至 1,000 毫米，已遠遠超過該地區年平均降雨量之紀錄，並且於 Narok、Eldoret-Kapsoya 及 Makindu 等雨量測站均測得超過過去 50 年的降雨紀錄。因此，在長時間強烈的降雨影響下，接踵而來的是各地洪水災情不斷傳出，以及多處水壩面臨潰壩之危機，根據肯亞紅十字會 (Kenya Red Cross Society, KRCS) 自 3 月起至 6 月統計指出，全國因豪雨受到洪水及土石流災害，已造成 186 人死亡、100 人受傷、80 萬人受影響、近 30 萬人流離失所，受洪水影響的縣市共有 12 個包括：Garissa, Isiolo, Kisumu, Mandera, Marsabit, Narok, Samburu, Taita-Taveta, Tana River, Turkana, Wajir 及 West-Pokot。其中，又以位於中部裂谷地區 (Central Rift Valley) 的納庫魯 (Nakuru) 縣的帕托水庫 (Patel Dam) 潰壩事件所造成的死傷最為嚴重，占全國死亡人數的四分之一，為肯亞 2018 年雨季期間以來最嚴重的災害事件。



帕托水壩潰壩災害發生位置 (資料來源：國家災害防救科技中心繪製)



肯亞 2018 年 3 月至 5 月期間受洪水災害影響分布 (資料來源：Reliefweb)

帕托水壩潰壩

帕托水壩 (Patel Dam) 位於首都奈洛比 (Nairobi) 西北方距離 190 公里處的納庫魯 (Nakuru) 縣的索賴 (Solai) 鎮，係帕托莊園主人 Perry Mansukh Kansagara 所擁有 1,200 公頃農園內的五個灌溉水壩及兩個水塘的其中之一。水壩為 1980 年所建，壩高 30 公尺，面積約 6,667 平方公尺，容量約 20 萬立

方公尺，主要為農場提供出口至歐洲的玫瑰花卉產業作水源灌溉之用途。本次受害村民多半為此農園裡的員工，從事花卉、咖啡、茶葉等事務。

該場潰壩事件發生於當地時間 5 月 9 日晚上 9 時，根據水資源管理局 (Water Resources Management Authority, WARMA) 指出，當下有 7 萬立方公尺的水量一次傾洩而下，一路往下游村落沖去，洪水影響範圍長達兩公里，共奪走 48 條人命，又以幼童及婦女所占比例為重、超過 500 戶房屋損毀、2,000 人流離失所。其中，Energy 跟 Nyakinyua 是遭摧毀最嚴重的兩個村落。以下為此次潰壩災害歷程簡述：

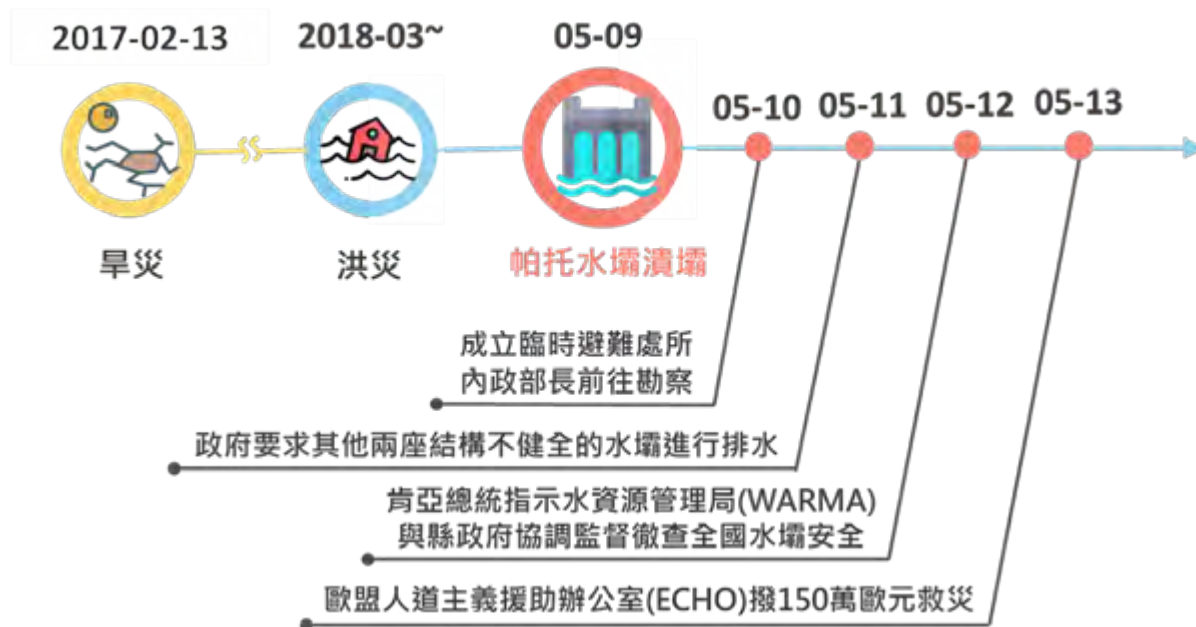
5 月 9 日，由納庫魯 (Nakuru) 縣長 Lee Kinyanjui 擔任災害應變指揮官。

5 月 10 日，於 Solai Boys Secondary School 成立一處臨時避難收容所，分配軍方及志工沿著洪水陸路搜救，派遣 15 輛救護車前往災區進行救援，肯亞紅十字會、軍警、國家青年服務團及民眾也陸續加入救援行動。另外，約有 47 名村民被救出，由縣政府所組成的災害管理小組將倖存者送往 Bahati Sub-County Hospital 及 Nakuru Level Five Hospital。

5 月 11 日，為因應雨季持續進行，政府要求該地區其他兩座結構不健全的水壩，透過抽水方式進行排空作為預防。

5 月 12 日，肯亞總統指示水資源管理局 (WARMA) 與縣政府共同協調監督徹查全國水壩安全。

5 月 13 日，歐盟人道主義援助辦公室 (ECHO) 撥出 150 萬歐元資金以幫助受災家庭，用於提供緊急避難處所、生活必需品、食品、飲用水、衛生設施修復、緊急醫療保健與流行病預防等用途。



肯亞帕托水壩潰壩災害歷程 (資料來源：國家災害防救科技中心繪製)

災因分析

此次發生潰壩災害的原因，大致上可分成三大項：長時間極端降雨、壩體位置與結構問題及私人水壩管理問題，以下將針對各災因進行說明。

長時間極端降雨

本次災害發生地點位於肯亞的納庫魯 (Nakuru) 縣索賴 (Solai) 鎮，納庫魯 (Nakuru) 的平均年總雨量約 700 毫米至 1,200 毫米，然而，在 2018 年 3 月至 5 月期間的總降雨量就高達到 531.6 毫米，相較於過往 3 月至 5 月的長期平均降雨量 318.8 毫米，高出 163%；除此之外，其他雨量測站也都創下新高。而根據當地媒體表示，在事發前兩天內，大壩上游因發生了長延時強降雨，使得壩體上游溪水匯集，夾帶大量的巨石與樹根，沖毀壩體。因此，推測長時間極端降雨是造成此次潰壩的原因之一。



透過 Landsat 8 影像判釋災害前後的水體淹沒範圍，粉紅色代表水體流經過痕跡，左圖為 2017 年 5 月 25 拍攝，右圖為 2018 年 5 月 12 拍攝 (資料來源：USGS)

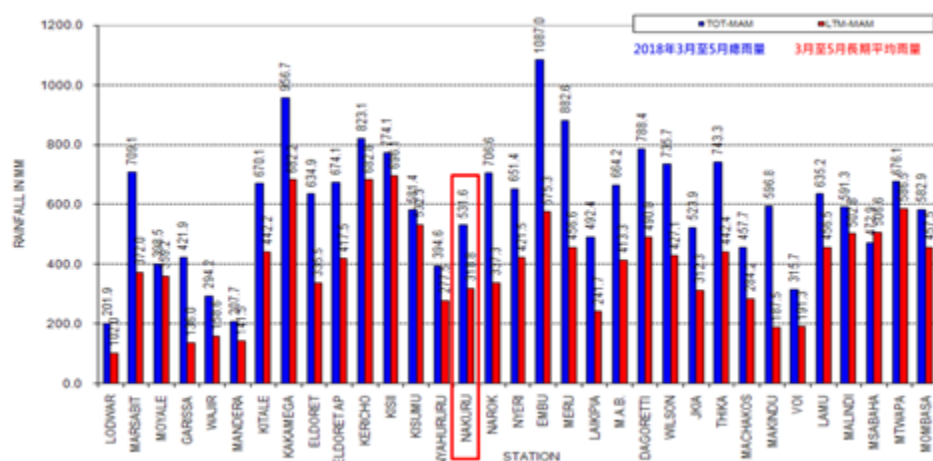


FIGURE 1A: MAM 2018 RAINFALL AS COMPARED TO MAM SEASONAL LONG-TERM MEAN
2018 年 3 月至 5 月總降雨量與長期平均比較圖
(資料來源：肯亞氣象局)

壩體位置與結構

重大災害的發生往往不是單一原因所導致而成，此次潰壩除了天氣型態的影響外，再者就是人為因素所致。根據水資源管理局 (WARMA) 的調查報告指出，帕托水壩除違法建築外，也阻攔當地居民用水權益，並且由不符合資格的工程師及有缺陷的設計圖所建造而成，壩體基礎結構薄弱，再加上沒有任何溢洪道等排水設施，於事發前，就有居民多次反應壩體已有裂縫產生與遷移之要求；由於上游暴雨，大量溪水匯集並夾帶巨石與樹樁傾洩而下，加劇了壩體的損壞，係釀成這場潰壩災害的主要原因之一。並且，從調查報告顯示，該地區其他水壩也都有相似的問題存在，而肯亞地區大部分水壩也都存在設計不良和淤滿問題，不但無法容納更多的水，還累積大量淤泥與垃圾，最多僅能提供小規模農業與牲畜所使用，因此，在乾旱期間無法提供當地居民與相關機構水源及飲用水；在雨季期間，更是增加了洪水的風險。

私人水壩管理

根據肯亞水壩統計，全國一共有 4,140 多座水壩，然而，僅有 843 座受到水資源管理局 (WARMA) 管制，3,297 座私人水壩未受到管制，根據監督私人水壩的水資源管理局發言人 Elizabeth Luvonga 表示，帕托農場中的水壩皆缺乏合法文件。

在肯亞，凡超過 5 公尺高的私人水壩必須依法受到規範，建構一個私人水壩時首先必須得到政府的許可證，再由水資源管理局 (WARMA) 進行水資源的配置，且需經過環評才能建造；並且，在建造時必須是由符合資格的工程師監造，後續的水位監控則是由水壩管理者每年向政府回報。

肯亞因私人水壩興建氾濫，過去不乏因壩體結構不穩而導致的潰壩發生，然而，卻因死傷及損失不嚴重，因此，未受到政府及相關單位的重視。經過此次潰壩事件的慘痛教訓，水資源管理局 (WARMA) 將徹查全國所有水壩管理者的許可證，以確定其法律地位、穩定性和安全性。任何發現違反規定要求的水壩，都應立即停工，採取法律行動。並要求居住在河流附近的人們搬到較高的地方，並持續發展洪水警報，以避免生命損失，財產破壞和水傳播疾病的擴大。

寮國阿速坡省水庫潰壩

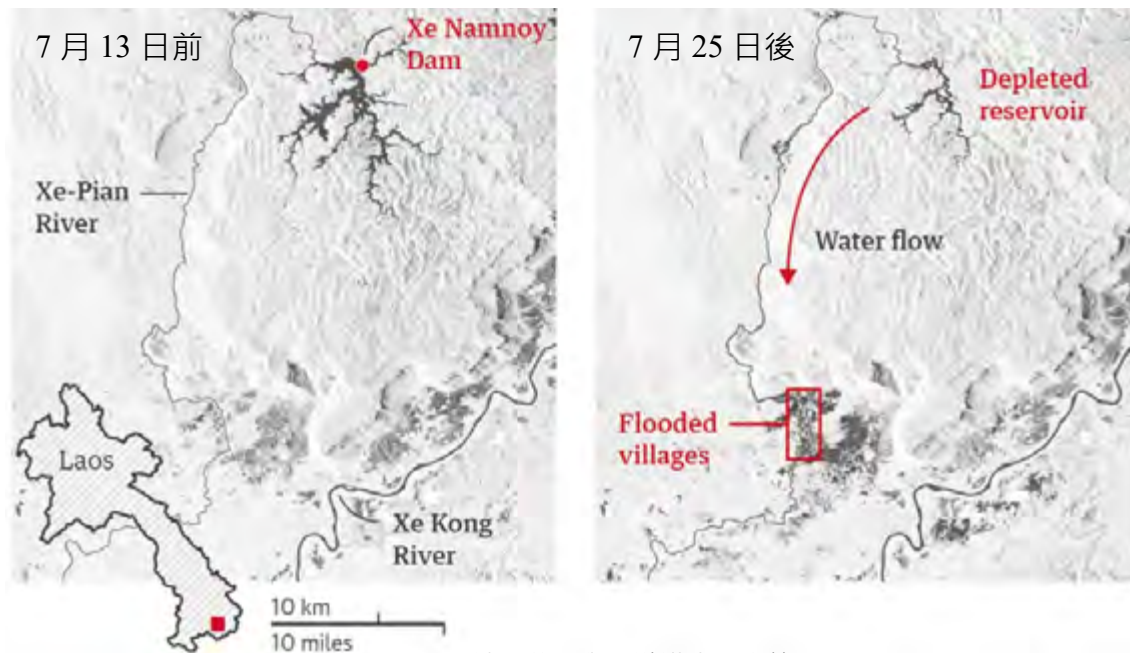


寮國潰壩造成下游洪水氾濫情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

災害概述

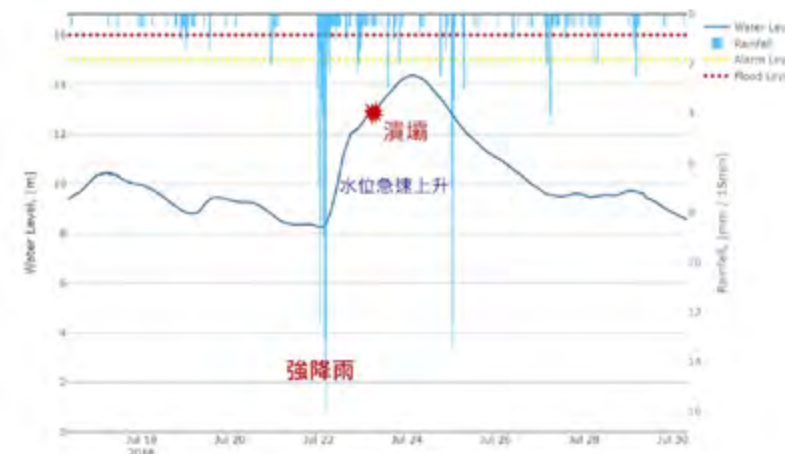
在2018年7月23日晚間，位於寮國南部 Xe-Kong 河上游 (湄公河支流)，興建中的 Xe-Pian Xe-Namnoy 水壩系統中的一個副壩潰堤，衝擊下游十多個村落，至少造成 27 個人死亡與失蹤，緊急疏散六千餘人。

本次潰壩為 Xe-Pian Xe-Namnoy 水力發電系統編號 D 的副壩 (Saddle Dam D，該集水區一共有 5 座副壩)，該水力發電系統位於寮國東南部的 Bolaven 高原的阿速坡省 (Attapeu) 森塞縣 (San Sai)。為了開發該處的水力發電系統，由韓國 SK 工程和建築公司為主 (SK Engineering & Construction)，並與泰國及寮國共同組成 PNPC (Xe-Pian Xe-Namnoy Power Co.) 公司，負責該水力發電系統的開發與建設，預計將電力賣往鄰國的泰國，該系統共有 Xe-Pian 與 Xe-Namnoy 兩個主要水壩、Houay Makchan 壩、規模較小的 Saddle 系列副壩。兩座主要水壩的集水區面積分別為 Xe-Pian：217 平方公里；Xe-Namnoy：522 平方公里，Xe-Pian、Xe-Namnoy 水壩形式分別為混凝土重力壩與土石壩 (clay core rockfill dam)，高度分別為：48 公尺、73.7 公尺；長度分別為：1,307 公尺、1,600 公尺。而本次破壞的編號 D 副壩 (Saddle) 為規模較小的土石壩，高度 16 公尺、長度 770 公尺。整個災害發生歷程簡述如下：7 月 22 日 21 時，工程師在 (Saddle Dam) 壩上發現裂縫，寮國當局通知下游民眾撤離。同時派員修復壩體，但是大雨破壞道路、使得修復設備與機具並未及時抵達裂縫地點完成修復。7 月 23 日 3 時，從主水壩 (Xe-Namnoy 大壩) 放水，降低附屬水壩水位。7 月 23 日 12 時，水壩問題仍未控制，州政府下令撤離下游居民。7 月 23 日 20 時，水庫潰壩，約 5 億立方公尺的水，沿著 Xe-Pian 河淹沒下游村落，超過 9.1 公尺深。7 月 24 日 9 時，至少七個村落被淹沒。寮國政府已將該地區指定為國家緊急災區。7 月 26 日，南韓政府派救援隊協助救援。依據 Xe Kong 河下游水位站以及雨量紀錄顯示，7 月 22 日潰壩前有一波大雨，雨量高達 16 毫米 /15 分鐘，引起河川水位上升。另外，也因為洩洪、潰壩使水位急速上升。從歐洲 Sentinel 衛星影像比較，可以看到潰壩前、後，水庫減少與下游地區淹水情況。



Xe-Namnoy 潰壩位置與下游洪水影響範圍

(資料來源：European Space Agency, Global Disaster Alerting Coordination System)



潰壩下游 Xe kong 河的水位站與雨量紀錄 (資料來源：湄公河委員會)

地震災害篇

EARTHQUAKE





日本大阪地震（規模 6.1）



日本大阪地震造成電車緊急停駛進行疏散（資料來源：歐新社 / 典匠資訊）

地震概述

日本大阪鄰近地區於當地時間 2018 年 6 月 18 日 7 時 58 分（臺灣時間為 6 月 18 日 8 時 58 分），發生規模 6.1 地震，震源深度約為 13 公里，依日本氣象廳公布資料顯示，於大阪府北部達震度 6 弱。另外，京都府南部觀測到震度 5 強、滋賀縣南部、兵庫縣南東部、奈良縣則是震度 5 弱。

日本地質構造狀態複雜，主要由北美板塊、太平洋板塊、歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊等四個構造板塊組成，而於大阪鄰近地區亦分別有馬 - 高槻斷層帶、上町斷層帶、生駒斷層帶等活動斷層帶，本次地震依據日本學界初步研判為有馬 - 高槻斷層帶錯動而引發地震。由於本地區具有複雜之活動斷層與地質構造，原本即為地震活動頻繁地區，在 1995 年亦於神戶地區發生規模 7.3 之強震。



大阪地震震度分布圖

（資料來源：日本氣象廳，國家災害防救科技中心繪製）

災害衝擊

地震發生後，截至 6 月 19 日共造成 5 人死亡、379 人受傷，其中死亡 5 人皆為 12 歲以下、65 歲以上，屬災害管理定義為避難弱勢之族群，而死因均為遭非建築主結構物（圍牆、屋內牆壁及書架）倒塌重壓致死。

依據日本總務省消防廳統計資料，住宅受損數量約 514 棟，但無建物主結構倒塌之重大災害事件。而影響都會區運作之公共設施部分：(1) 供電部份造成 17 萬戶停電，但因供電系統主設施、線路等均未受損，而以線路跳脫為主因，故經檢查與緊急修復，於 3 小時內全面復電。(2) 供水部分以本次震央附近之高槻市為主要斷水區域，致災主因為強地動造成土壤液

化導致管線受損。(3) 交通部分第一時間主要道路（包含阪神高速公路）均封閉檢查，60 條鐵路路線（包含 JR 西日本、大阪環線）停駛，關西、大阪機場、神戶機場關閉進行安全檢查，導致關西地區主要交通動線暫時中斷。惟因本次地震未對各類交通設施之主要結構（如橋梁、軌道、站體結構等）造成嚴重災損，經依相關規定進行安檢確認後即陸續恢復行駛。

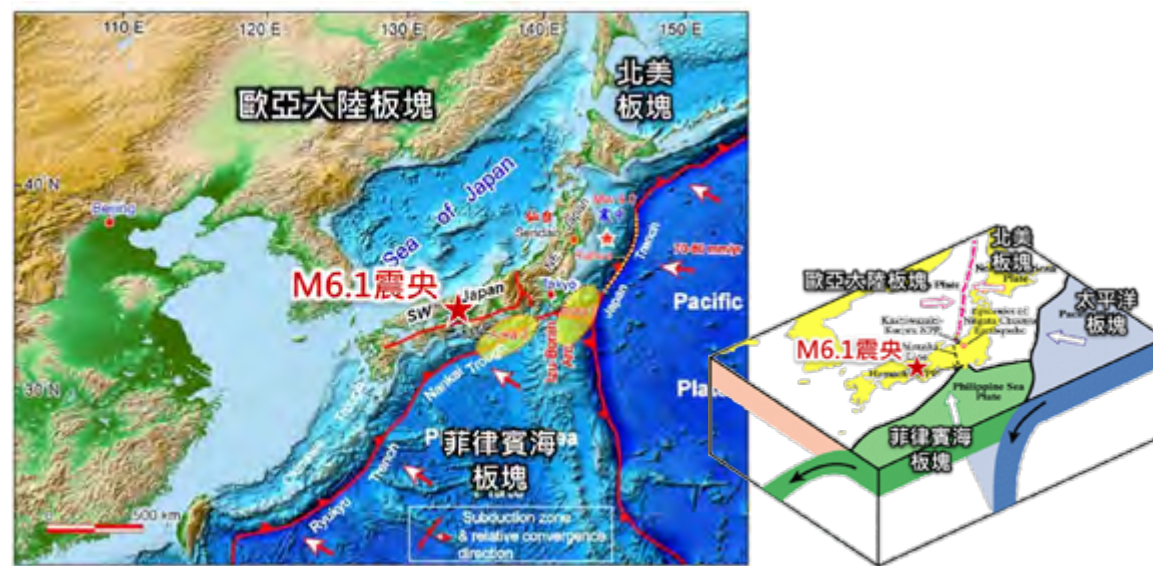
本次地震對於建物破壞主要類型為非結構物之破壞，無大規模建物倒塌情況發生，故對於人員傷亡之衝擊影響較小，本次地震災情顯示人員死亡主要皆因外牆與屋內書架等非結構物倒塌重壓所致。但非結構物及設施之損壞，亦會對產業營運帶來衝擊，例如科

技業機台多屬精密儀器且對於震動特別敏感，儘管廠房結構未受損，但已造成機台自動遮斷或機台設備損壞，如夏普公司堺工廠機台斷電暫停營運、三菱汽車與大發汽車皆有工廠暫時停止生產、國際牌在大阪府的兩家工廠停止運作。

日本於 1995 年阪神地震後除對於建物耐震能力進行提升外，對於基礎設施之耐震標準亦進行提升，本次地震大阪、京都等主要都會區之交通、維生系統並未遭受嚴重損壞，設施本體於震後進行安全檢查後即可恢復運作，對於都市內維生系統服務不致造成巨大衝擊，有利於政府進行後續相關應變救援與災情清查等工作之執行，亦值得我國參考。



大阪鄰近地區斷層構造分布圖（資料來源：日本國立研究開發法人產業技術綜合研究所，國家災害防救科技中心繪製）



日本鄰近地區板塊分布圖（資料來源：美國地質調查所，國家災害防救科技中心繪製）

日本北海道地震（規模 6.7）



日本北海道地震誘發市區土壤液化情形（資料來源：歐新社 / 典匠資訊）

地震概述

日本北海道於當地時間 2018 年 9 月 6 日 3 時 7 分 (臺灣時間為 9 月 6 日 2 時 7 分)，發生規模 6.7 地震，震源深度約為 37 公里，屬西北-東南向之逆斷層機制。依日本氣象廳監測資料顯示，最大震度發生於厚真町地區達 7 級，其他主要城市如：札幌市、千歲市、夕張、函館等分別達到 5 級至 6 級。

日本地質構造狀態複雜，主要由北美板塊、太平洋板塊、歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊等四個構造板塊組成，而北海道位於太平洋板塊隱沒至北美板塊之板塊邊界，原即為地震頻繁之區域，北海道鄰近區域近百年來 (1910 年至 2018 年) 規模 7 以上地震計有 20 起、規模 6 以上地震共 151 起，惟大多發生於千島海溝與日本海溝之海域 (陸域規模 7 以上之地震僅有 1993 年一起規模 7.6 地震，但深度達 102 公里)，故對北海道陸地造成之影響相對較小，本次地震震央位於內陸且震度高達 7 級，對城市造成之衝擊相對直接與明顯。震央鄰近地區分別有石狩低地東緣斷層帶、輕舞斷層等多個活動斷層帶，而後續餘震多集中於輕舞斷層沿線，但因本次地震深度達 37 公里，超過目前已知斷層之深度，故日本內閣府地震調查委員會尚未對地震錯動機制提出確切定論。

災害衝擊

主要災情集中在北海道札幌市與厚真町，依據日本總務省消防廳、經濟產業省與厚生勞動省之相關救災與應變資訊，彙整主要災情說明如下：

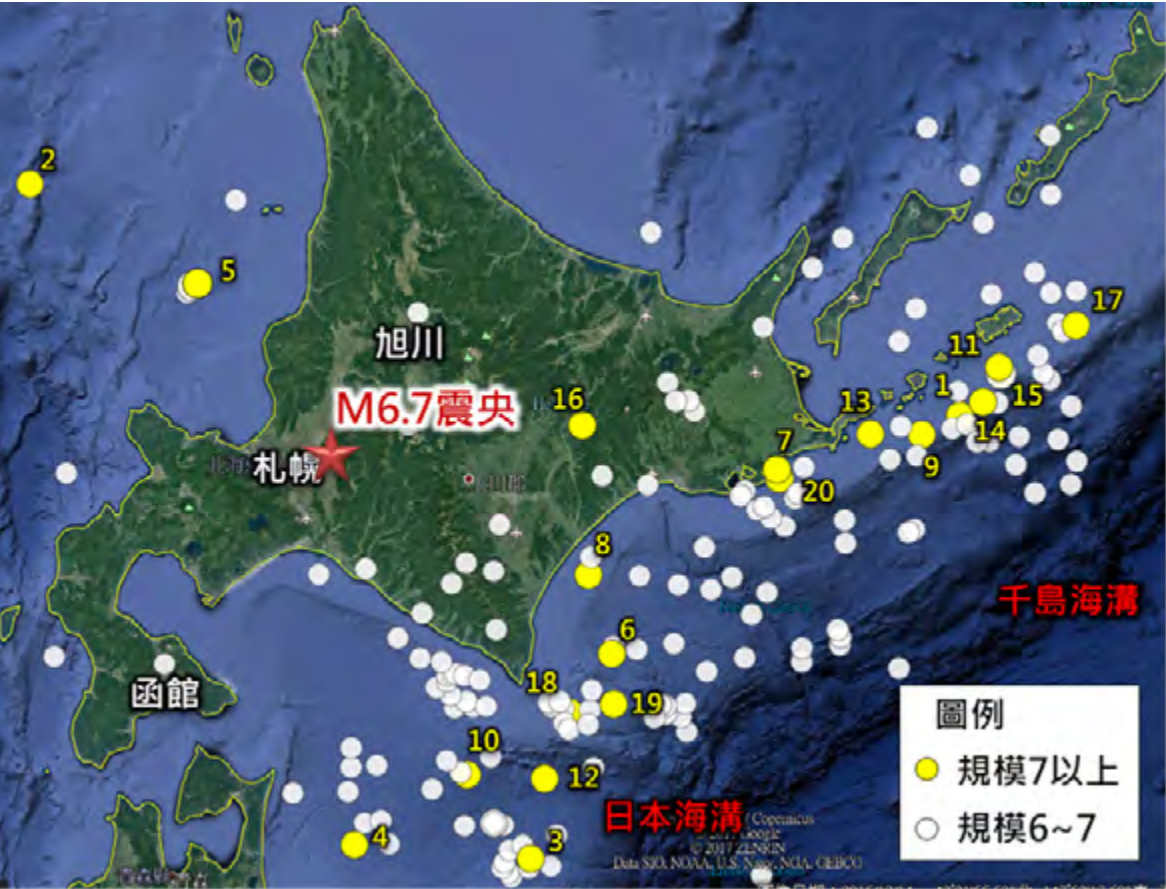
1. 本次地震因強烈地動造成厚真町大量山體崩塌，造成嚴重人員傷亡災情：本次地震已造成 41 人死亡、651 人受傷以及住宅 32 棟全倒、18 棟半倒 (總務省消防廳地震災情第 21 報，9 月 11 日早上 7 時)，其中死亡 38 人均因厚真町民宅因大量山體崩塌遭掩埋所致，厚真町



北海道地震震度分布與震源機制解 (資料來源：日本氣象廳、美國地質調查所、日本產業技術綜合研究院，國家災害防救科技中心繪製)



北海道地震震央鄰近地區斷層構造分布圖
(資料來源：日本產業技術綜合研究所，國家災害防救科技中心繪製)



北海道鄰近區域近百年規模大於 6.0 地震之分布 (資料來源：日本氣象廳、美國地質調查所，國家災害防救科技中心繪製)

地點	次數	地震規模及深度 (公里)	時間
日本海東側	2	7.5(15.0)	1940
		7.0(15.0)	1947
千島海溝一帶	9	8.3(14.0)	1994
		7.4(36.9)	1968
		7.0(77.0)	1980
		7.2(35.0)	1935
		7.1(50.0)	1973
		7.1(71.3)	1964
		7.7(48.0)	1973
		7.1(43.9)	1961
		7.0(39.0)	2004
日本海溝一帶	8	7.1(60.0)	1962
		8.1(45.0)	1952
		8.3(27.0)	2003
		7.4(33.0)	2003
		7.1(54.8)	1971
		7.9(25.0)	1968
		7.2(35.0)	1943
		7.2(58.7)	1945
北海道內陸	1	7.6(102.0)	1993

- 所在之地質構造係為古沙丘之堆積物，邊坡岩體之膠結較為鬆散，而厚真町為本次地震震度最大之區域，故震後產生大規模崩塌，造成嚴重人員傷亡。
2. 札幌地區於震後發生土壤液化，並導致建物與地下自來水管線毀損：本次土壤液化主要集中於札幌市清田區，該區域位於溪流的沖積平原，地下水位高，而地質構成主要為氾濫平原堆積物，在受劇烈地震搖晃後，易發生土壤液化現象。土壤液化亦造成建物因不均勻沉陷而傾斜以及部分地下自來水管線破裂。
3. 強烈地動造成維生設施與交通運輸受損，嚴重影響都市機能：本次地震造成火力發電廠緊急停機與苫東厚真火力發電廠鍋爐的管線受損，導致北海道全境 295 萬戶停電，同時影響陸空運輸包含新千歲機場、JR 北海道線列車、札幌市營地鐵、公路系統交通號誌之供電，造成區域交通機能第一時間全面中斷。另大規模停電亦影響 249 家醫院之醫療機能，以及供水系統之運作 (安平町與厚真町供水完全中斷)。



印尼龍目島地震（規模 6.9）



印尼龍目島地震後設置的臨時醫療站情形（資料來源：歐新社 / 典匠資訊）

地震概述

印尼龍目島北方於 8 月 5 日 19 時 46 分 (臺灣時間相同) 發生規模 6.9 地震，震源深度為 31 公里，震央附近最大地表加速度達 0.54g，相當於我國之 7 級震度。地震後，印尼地球物理及氣象局 (Indonesian Meteorology and Geophysics Agency) 隨即發布海嘯警報，而依監測記錄顯示龍目島北方實際造成 15 公分左右海嘯浪高。本次震央東北方於 7 月 29 日曾發生規模 6.4、深度約為 5 公里、造成 16 人死亡之地震；本次震央西南方於 8 月 9 日又發生規模 5.9、深度 3 公里之餘震。

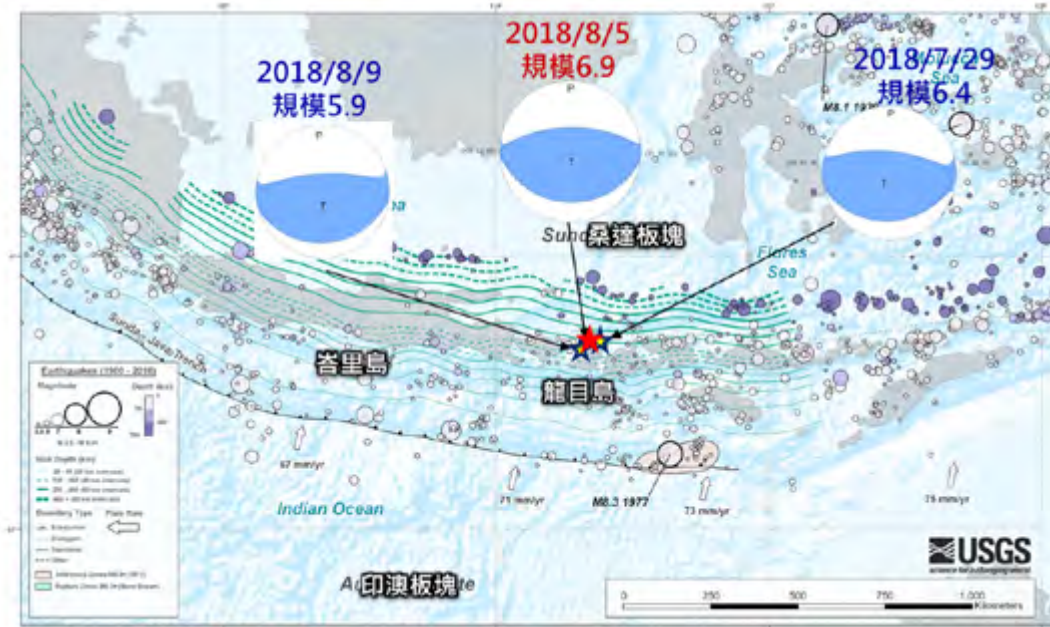
該地區主要位於澳洲板塊與桑達板塊邊界，為環太平洋地震帶之一部份，地質架構主要為印澳板塊往桑達板塊下方隱沒，隱沒帶方向大致上為東西走向，長度達 5,000 公里；因隱沒深度高達 50 多公里，造成上覆板塊形成一系列複雜的逆衝斷層與褶皺構造，故該地區原即屬地震頻繁之區域。

依據美國地震調查所之震源機制解資料分析，本次地震與 7 月 29 日規模 6.4 地震及 8 月 9 日規模 5.9 餘震，三次地震同為東西走向之逆衝斷層錯動，與該區域之地質構造符合。從歷史地震發生位置 (圓圈大小表示地震規模大小)，歷史地震亦多與隱沒帶吻合，呈東西向帶狀分布。

印尼國家災害管理局 (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, BNPB) 和美國加州理工學院 (California Institute of Technology) 根據干涉合成孔徑雷達 (InSAR) 影像分析，震後龍目島北方抬升了 25 公分，與逆衝斷層錯動機制及地質構造相符，其他地方則下沉 5 至 15 公分。



印尼龍目島規模 6.9 地震之震度分布 (資料來源：美國地質調查所，國家災害防救科技中心繪製)



印尼龍目島地震震源機制解與鄰近地區板塊分布圖

(資料來源：美國地質調查所，國家災害防救科技中心繪製)

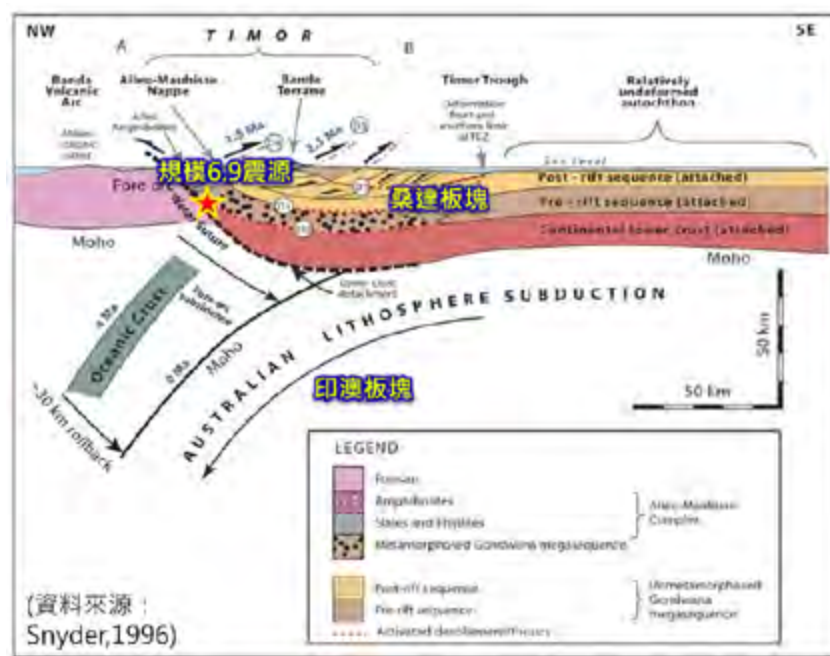
災害衝擊

根據印尼國家災害管理局相關救災與應變資訊，彙整災情說明如下：

1. 本次地震因大量建物毀損倒塌，造成嚴重之人員傷亡災情：根據 EM-DAT 統計，本次地震造成了 564 人死亡、13,688 人受傷、51.6 萬人受影響。重災區以龍目島北部和西部為主，建物破壞達 67,875 棟，大多數傷亡均因房屋毀損、傾倒所致，官方估計龍目島北部地區約有 80% 建物受損，包含一間清真寺倒塌。另外，距離龍目島約 100 公
2. 災區之交通與維生設施亦因強烈地動造成嚴重損毀：龍目島北部和西部地區之電力與通訊中斷，進入山區之道路更嚴重受阻等，均對夜間救援與疏散行動造成影響，導致部分重災區域未能有效投入救災人力與重機具等資源，使得災情加劇。
3. 大量傷患已超過當地醫療系統之負荷：龍目島之地方醫院、診所因大量傷患湧入而已超出緊急醫

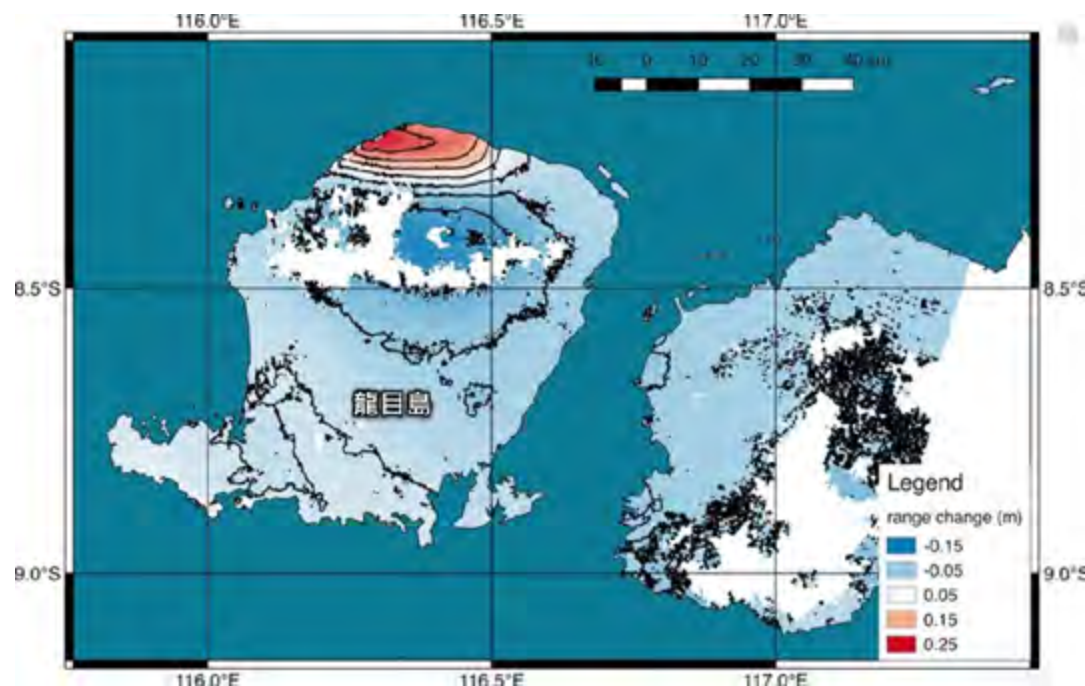
療能量；且因震後仍發生頻繁餘震，醫院病患被安置到戶外場地，由醫療人員在露天停車場設立臨時醫療站進行相關診治。

4. 大量避難與疏散人潮需要救援：本次地震已超過三萬人進入政府避難場所進行緊急避難，且正逢該地區之觀光旺季，龍目島與鄰近的峇里島上均有大量國際觀光旅客，故印尼軍方與救難單位除了進行搜救任務外，亦需調派海軍艦艇及船隻協助疏散離島之遊客。



龍目島鄰近地區地質剖面示意圖

(資料來源：Snyder, 1996 年，國家災害防救科技中心繪製)



龍目島震後地表變形分布

(資料來源：Eric Fielding, Caltech-JPL ARIA project. Data at <https://go.nasa.gov/2OlbxY6>)



印尼龍目島震後設置臨時醫療站救援情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

印尼蘇拉維西島地震及海嘯（規模 7.5）



印尼蘇拉維西島地震引起海嘯破壞情形（資料來源：歐新社 / 典匠資訊）

地震概述

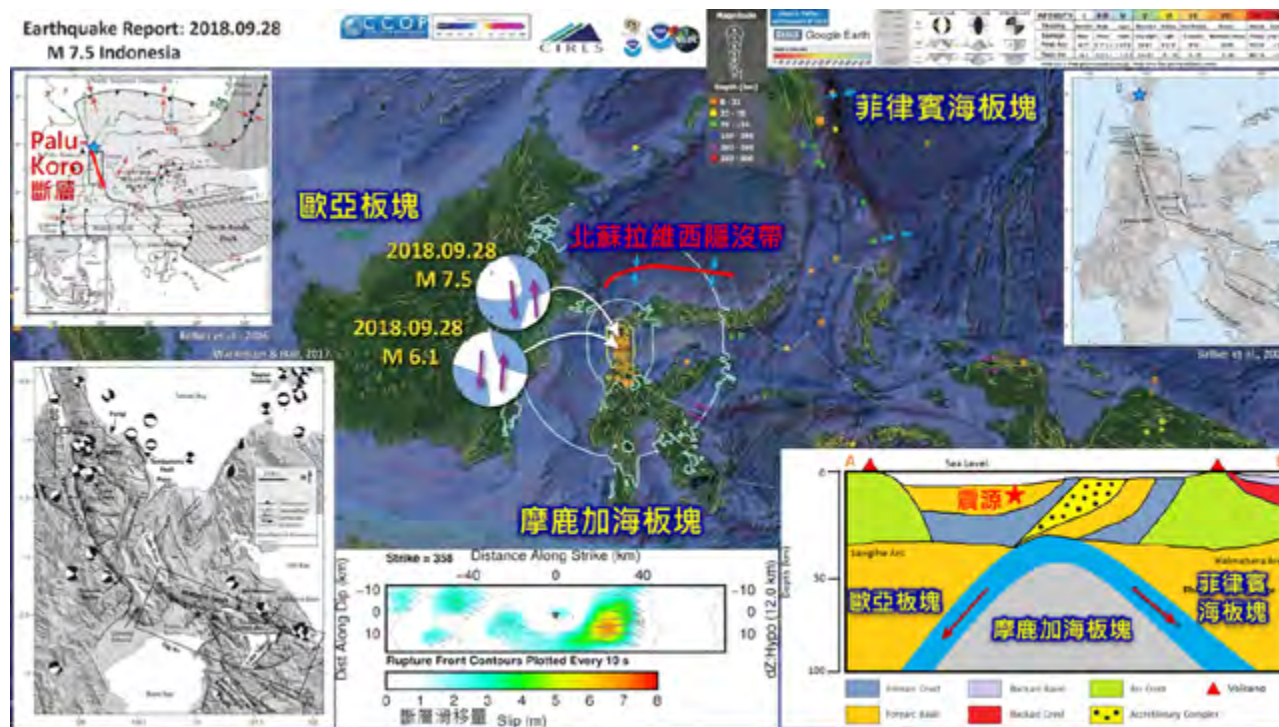
印尼蘇拉維西島 (Sulawesi) 北方於 9 月 28 日 18 時 02 分 (臺灣時間相同) 發生規模 7.5 地震，震源深度為 10 公里，震央附近最大地表加速度超過 540gal (相當於我國震度 7 級)。印尼氣象氣候暨地球物理局 (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, BMKG) 於震後對蘇拉維西島中部、西部發布海嘯警報，但於 34 分鐘後即解除海嘯警報。

本次震源鄰近地區板塊構造複雜，震源位於摩鹿加海板塊 (Molucca Sea Plate) 上方，為離散雙隱沒帶 (Divergent Double Subduction) 構造型態，由摩鹿加海板塊兩側分別向左隱沒至歐亞板塊以及向右隱沒至菲律賓海板塊下方，故本區域地震多屬水平走向滑移錯動機制，或以上盤陷落為主之正斷層機制，本次地震之震源機制即為走向滑移錯動 (南北向錯動)，震央位於帕魯 - 可羅斷層 (Palu-Koro Fault) 上，水平最大滑移量達 6 至 7 公尺。

災害衝擊

根據印尼國家災害管理局 (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, BNPB) 應變資訊及相關媒體報導，彙整災情說明如下：

1. 本次地震引發顯著海嘯，為造成嚴重人員傷亡之主因：目前主要災情以位於蘇拉維西島北部之帕魯市 (Palu) 為主，由於當地屬於峽灣地形，更加劇海嘯波高 (平均 1.5 至 3 公尺、局部地區達 6



震源機制及鄰近地區板塊構造

(資料來源：Jay Patton, <http://earthjay.com/>，國家災害防救科技中心彙整製圖)



印尼蘇拉維西島地震災後情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)



公尺)。帕魯市大量建物受地震作用而破壞，隨後亦遭海嘯沖毀，同時當天帕魯市於海邊舉辦節慶活動，大量居民與遊客因來不及逃生而造成嚴重傷亡。依據印尼官方統計至 12 月 31 日為止，本次地震已造成 3,475 人死亡與失蹤、近 3,000 棟房屋全毀。惟因震後道路、通訊等基礎設施嚴重受損，故仍有諸多重災區尚無法進入，如更靠近震央之棟加拉 (Donggala) 等城鎮，後續仍不排除災情持續擴大之可能。

2. 強烈地動及地表變形造成交通、維生設施嚴重損毀：本次地震地表變形高達 6 至 7 公尺，重災區內之道路交通第一時間即因劇烈地表變形而無法通行，同時電力、自來水與通訊系統亦嚴重受損而中斷，甚至有橋梁因河道陷落而斷裂，基礎設施之失效對救援行動造成嚴重影響，尤其位於帕魯市西北方的棟加拉縣 (Donggala)，由於通訊中斷而無法掌握災情，且受到交通阻斷影響，印尼官方仍未能有效投入救災人力與重機具等資源。

3. 大量傷患救治需求已超過當地緊急醫療系統之負荷：蘇拉維西島之地方醫院、診所因規模，短時間內大量傷患救治需求已超出其緊急醫療能量，且因震後仍發生頻繁餘震，病患被安置於戶外場地，當地高溫對病患處置亦造成不利影響。

經驗學習

1. 海嘯警報研判及預警，與實際觀測有明顯落差：依據過往學理研究與實際災例，逆衝斷層之劇震為引發海嘯之主要作用機制 (如 2004 年南亞大海嘯、2011 年東日本大地震與海嘯等)，然而本次地震為走向滑移斷層錯動，原即於研判上較為困難，甚至有國際學者認為一般走向滑移斷層錯動不致引發如此巨大海嘯，推測可能與地震造成海床大規模地滑陷落有關，但仍有待相關資料進一步研判。印尼氣象氣候與地球物理局雖於震後隨即發布海嘯警報，但因帕魯市沿岸無海嘯觀測浮標，故僅能根據 200 公里外僅數公分波高之觀測資料進行研判，於震後 34 分鐘解除海嘯警報；但實際

海嘯除波高遠超過預判，而當地之狹灣地形因素更加劇第二波海嘯 (並於警報解除時抵達岸邊)，同時岸邊相關警報發布或傳遞設施亦於主震後即因受損或停電而無法發揮功能，前述因素均對民眾逃生造成不利影響，故而導致嚴重傷亡。

2. 重要設施復原及災情查報：受到交通及維生設施嚴重破壞之影響，部分偏遠地區尚未掌握災情，救災人力資源尚未運達，災區也因民生物資短缺而出現失序之情形。因此印尼政府如何儘速搶通前往災區之交通、恢復通訊及水電等維生設施、供應災區民生物資等，應為後續可持續觀察之重點。
3. 民眾海嘯防災意識持續提升：由本次大多數民眾未能有效避難之災例顯示海嘯預警技術仍有其極限，尤其當所處位置距離震央很近時，民眾更必須自發性立即採取有效的避難措施方能保護自身安全 (如看見海水快速退去，即主動並立即往內陸、高地避難)。

森林大火篇

WILDFIRE





美國加州森林大火災後情形（資料來源：歐新社／典匠資訊）

希臘雅典森林大火



希臘雅典森林大火情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

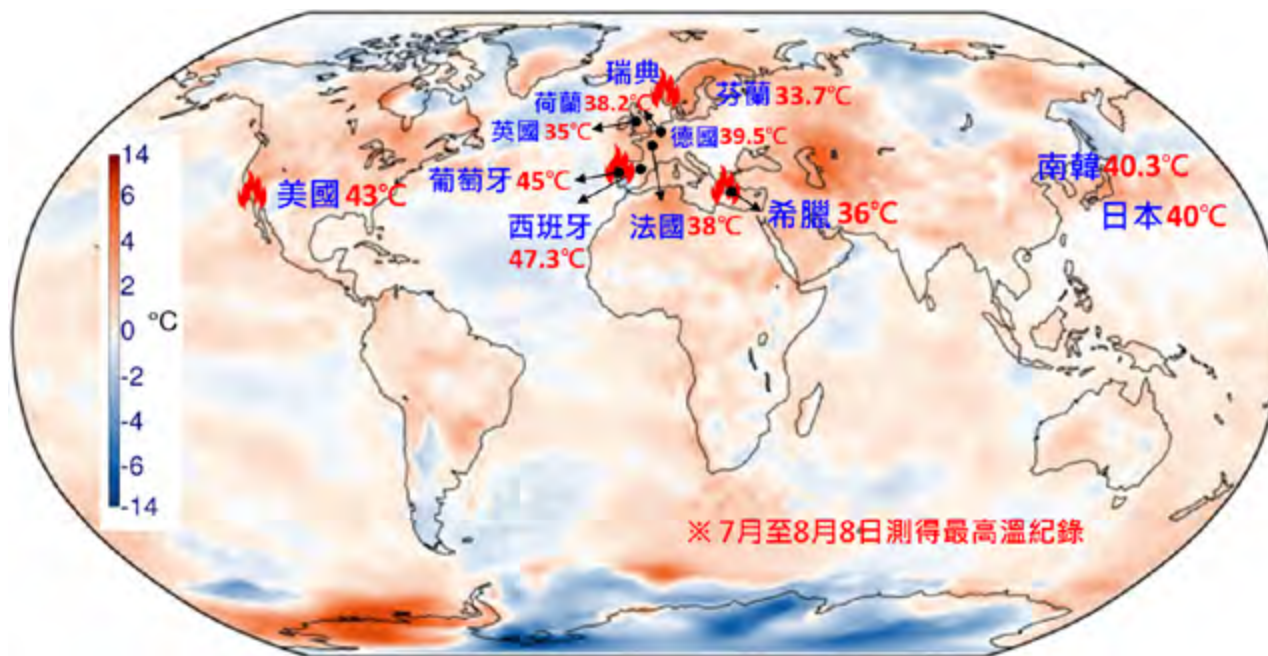
災害概述

從2018年7月開始，全球各地便持續受到異常炎熱的天氣型態所影響，陸續發布了破紀錄的高溫熱浪、乾旱及野火事件。此波熱浪又以歐洲地區的影響，首當其衝。從2018年7月的地面氣溫與過去1981年至2010年的7月平均溫度距平分布顯示，北美洲、歐洲與亞洲地區皆較過去平均溫度提高了2°C至14°C之間，其中又以歐洲地區最為明顯，像是西班牙測得47.3°C、葡萄牙測得45°C，而在美國與亞洲地區如南韓及日本也測得40°C以上的高溫紀錄。

異常高溫造成歐洲、美國加州地區多起野火，從2018年7月18日至8月7日期間歐洲地區發生野火紀錄與分布，野火數量高達148筆，其中又以7月23日於希臘雅典阿提卡地區 (Attika) 的野火事件死傷最為慘重。

希臘阿提卡野火

2018年7月23日，希臘中南部的阿提卡 (Attika) 發生2起野火事件，其中一處位於港口鎮的北部拉斐那 (Rafina) 地區，又以馬蒂 (Mati) 海濱觀光渡假村，死傷最為慘重，另一處則位於西部的 Geraneia 地區。災後，希臘總理隨即宣布阿提卡地區宣布進入緊急狀態，並舉國哀悼為期3天，歐盟民事保護機制也隨機啟動協助救援。根據希臘民防部截至2018年12月15日統計，該次事件共造成126人死亡、172受傷、700多人被疏散、超過4,000名受到影響、1,500棟房屋



2018年7月1日至20日的地面氣溫異常相對於1981年至2010年的7月平均溫度 (資料來源：ERA-Interim, ECMWF, Copernicus Climate Change Service)



希臘野火發生位置
(資料來源：Copernicus)



2018年7月18日至8月7日期間歐洲野火分布情形
(資料來源：Copernicus)

遭到破壞，總計 6,916 公頃的土地被燒毀，其中 Rafina 地區占 1,275.9 公頃、Geraneia 地區占 5,639.9 公頃。在阿提卡炎熱乾燥的夏季，野火反覆出現是種常態，然而，此次野火卻造成上百人死亡，還躍升為全球近 20 年第二高致命的野火事件，僅次於 2009 年澳洲 Black Saturday Fire 所造成的 180 人死亡。

希臘當局表示，造成此次野火如此致命的主因為受限的地理環境、樹種與強勁的風速，當時火勢伴隨著每小時 100 公里以上的強勁風速，大範圍地朝向位於東部松樹林中人口集中的觀光海濱度假勝地快速移動、迅速蔓延，在逃生範圍有限的情況下，大多數民眾僅能往東部海濱移動，部分民眾卻受困於沿海地區的懸崖上、或在逃亡至海濱的路途上因躲避不及而不幸遭大火吞噬，部分民眾逃至海中避難，海岸警衛隊救了近 700 名民眾，船隻又從海上救出 19 名。當局共調動了 9 艘沿海巡邏艇，2 艘軍艦和數十艘私人船隻，以幫助陷入拉斐那港口的人們。

受影響地區包括位於 Rafina 鎮北部的 Neos Voutzas、Mati、Kokkino Limanaki 等地區。



Rafina 的焚燒範圍 (資料來源：Copernicus EMS)



Geraneia 的焚燒範圍 (資料來源：Copernicus EMS)



美國加州森林大火

■ 本篇完整報導收錄於 NCDR 災害防救電子報 第 165 期 2019 年 4 月出刊



美國加州森林大火情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

災害概述

加州野火季節中，2018 年是有紀錄以來最致命、最昂貴也最具破壞性的一年，前前後後共發生 8,527 起野火，焚燒近 350 萬公頃（相當於 130 個台北市面積），根據加州消防局 (CAL FIRE) 截至 2018 年 12 月 21 日統計，2018 年因森林大火所造成經濟損失高達 220 億美元以上，死亡人數至少 102 人。其中，又以 7 月門多西諾複合型野火 (Mendocino Complex Fire) 造成的焚燒面積最廣，以 11 月的坎普野火 (Camp Fire) 造成的死傷最為嚴重。

7 月災害概述

2018 年 7 月，加州接連發生兩起大範圍野火焚燒事件，始於 23 日的 Carr Fire 與始於 27 日的門多西諾複合大火 (Mendocino Complex Fire)。

7 月 23 日，加州的夏斯塔郡 (Shasta) 與三一郡 (Trinity)，爆發 Carr Fire，一周後仍只撲滅 23% 的火勢，並不斷擴大焚燒範圍，一路延燒至 8 月 30 日，才完全撲滅，總焚燒面積達 92,937 公頃，目前在加州史上排名第 7，造成 3 名消防人員殉職、4 位民眾死亡，1,604 棟建築損毀。

7 月 26 日晚間，夏斯塔郡的雷丁市 (Redding)，Carr Fire 的焚燒範圍裡，發生風速超過 230 公里 / 小時的火龍捲（相當於改良藤田級數的第 3 級龍捲風），持續約 90 分鐘，造成一名消防人員殉職。

7 月 27 日，加州的門多西諾郡 (Mendocino)，中

午 12 點和下午 1 點接連爆發兩起野火事件—Ranch Fire 與 River Fire，當晚 7 點，兩者合而為一，並延燒至鄰近的科魯薩郡 (Colusa)、湖郡 (Lake) 與葛蘭郡 (Glenn)，成為打破加州野火焚燒面積紀錄的門多西諾複合大火 (Mendocino Complex Fire)，直至 9 月 19 日才完全撲滅，焚燒面積達 185,802 公頃，比第二名 (2017 年 Thomas Fire) 多出 71,720 公頃，造成 280 棟建築損毀，14 人死亡。美國總統川普 (Donald Trump) 也於 7 月 28 日核准加州提出的聯邦直接援助的總統緊急聲明請求，宣告此次加州野火為重大災難，提撥聯邦資金協助災區復原。

美國加州在 Carr Fire 事件開始後十五天的空氣質量指數 (Air Quality Index, AQI)，幾乎全加州地區甚至鄰近的州皆高於中等指數 (AQI 51-100)，火災較嚴重的地區附近甚至達到不健康 (AQI 151-200) 及非常不健康 (AQI 201-300) 的指數，且高居不下。

氣象分析

2018 年 7 月加州整體平均溫度為華氏 79.6 度 (攝氏 26.4 度)，比 1985 年至 2018 年的 7 月均溫 (華氏 75.0 度) 高出華氏 4.6 度，打破 1931 年 7 月的均溫紀錄 (華氏 79.5 度)，成為 1895 年以來最熱的 7 月平均溫度。並且，2018 年 7 月加州各地溫度皆高於氣候平均值。另外，北加州在 2018 年 7 月的降雨較平均值偏乾，乾旱監測也達到異常乾燥 (abnormally dry) 甚至



2018 年 8 月 15 日拍攝門多西諾複合大火 (Mendocino Complex Fire) 的衛星影像 (資料來源：NASA)

中度乾旱 (moderate drought) 的狀態。乾旱類別是全美各地專家依據該週的降水總量與長期平均值的比較、溫度、土壤濕度、溪流和湖泊水位及數十個乾旱指標，對各地乾旱情況所做的評估，不同類別反應與同一時期的氣候值平均相比，河川、湖泊、土壤中有多少可用的水量，顏色越深表示乾旱狀況越嚴重。7 月的加州，在這樣高溫又乾燥的情況下，更助長了野火的發生也使得野火更難以撲滅。

11 月災害概述

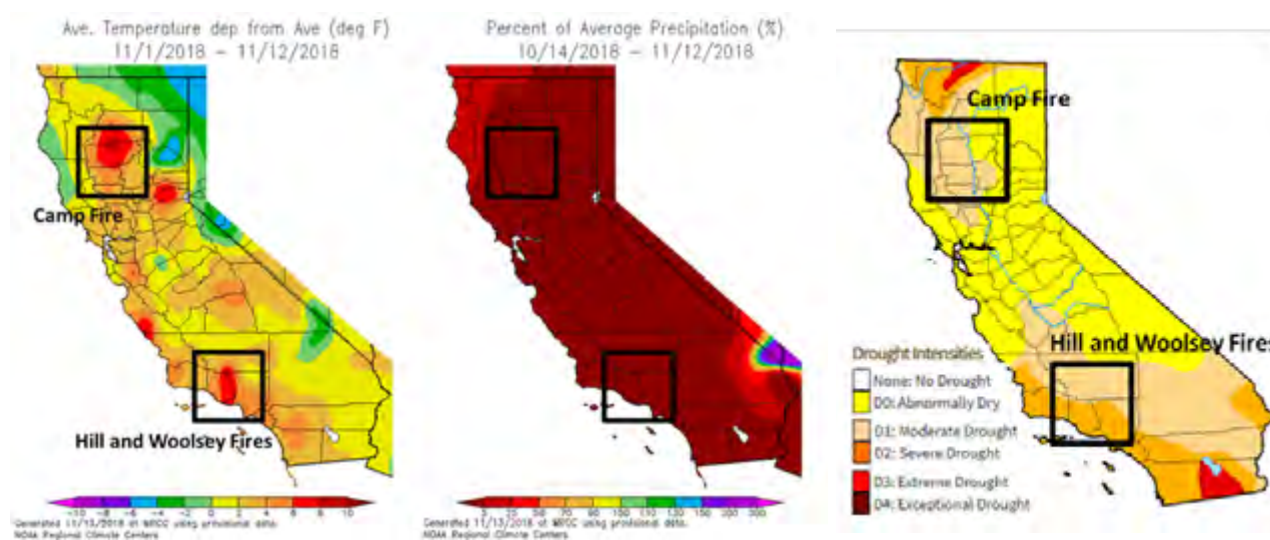
2018 年 11 月 8 日於美國北加州與南加州同時爆發多起野火事件，其中，又以北加州的坎普野火(Camp Fire)死傷及焚燒面積最為嚴重，造成 88 人死亡、18,804 棟民宅損毀、焚燒面積達 62,053 公頃，刷新了加州野火歷史紀錄以來最具破壞性第一名；而位於南加州的伍爾西野火(Woolsey Fire)及希爾野火(Hill Fire)則造成 3 人死亡、至少 1,500 棟建築物損毀，焚燒面積約 41,067 公頃。初估此次加州野火災害損失至少 165 億美元。

此次野火位置除了分布於人口集中的都市區外，再加上長時間處於高溫、乾燥且低濕度的環境，遇上每年季節性聖安娜焚風吹拂下，因而加劇了野火擴散速度，使得民眾逃避不及，死傷慘重。

坎普野火 (Camp Fire)

北加州坎普野火 (Camp Fire) 在 2018 年 11 月 8 日上午 6 點 30 分於巴特郡 (Butte County) 爆發。根據加州消防局 (CAL FIRE) 截至 12 月 21 日統計，該場野火至少造成 88 人死亡、3 人受傷、18,804 棟民宅及 418 棟商業大樓損毀，62,053 公頃 (相當 2.28 個台北市) 的土地遭野火焚燒。

在整體環境處於乾燥、高溫、低濕度的情況下，此次野火爆發於高人口密度的住宅區，再加上風勢加劇了野火蔓延速度，光 11 月 8 日上午 11 時 59 分到當天晚上 22 時，長達十個小時燒了將近 3 萬多公頃，野火焚燒擴散速度之快，造成許多民眾來不及逃生而



左圖為 11 月 1 日至 12 日的溫度距平值，中間圖為過去 30 天 (10 月 14 日至 11 月 12 日) 的平均降雨百分比，右圖為加州各地不同乾燥等級分布 (資料來源：NOAA Regional Climate Centers, U.S. Drought.gov)

不幸罹難，使得此次野火事件因死亡人數及建築物損毀數量，已列居加州野火歷史紀錄第一名。當局下令疏散的鄉鎮，包含：Paradise、Magalia、Concow、Butte Creek Canyon 及 Butte Valley，許多道路封閉，約有 5,332 人力投入滅火。

伍爾西野火及希爾野火

同一天，位於南加州洛杉磯郡 (Los Angeles County) 及文圖拉郡 (Ventura County) 的伍爾西野火 (Woolsey Fire) 及的希爾野火 (Hill Fire) 也於 2018 年 11 月 8 日下午 14 時爆發。根據加州消防局 (CAL

FIRE) 截至 12 月 21 日統計，伍爾西野火 (Woolsey Fire) 造成 3 人死亡、3 人受傷，1,500 棟建築物被摧毀、341 棟建築物部分受損，焚燒面積 39,234 公頃 (相當於 1.44 個台北市)，高速公路封閉，許多社區被疏散；而希爾野火 (Hill Fire) 截至 11 月 16 日已完全受到控制，期間共造成 4 棟建築物損毀，焚燒面積 1,833 公頃。

臺北市面積：27,180 公頃



2018 年 11 月 8 日所拍攝之衛星影像於巴特郡 (Butte County) 的天堂鎮 (Paradise) 遭坎普野火 (Camp Fire) 環繞情形 (資料來源：NASA)

火山爆發篇

VOLCANIC ERUPTIONS





夏威夷火山爆發後熔岩流入太平洋產生火山霧霾情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

夏威夷火山爆發



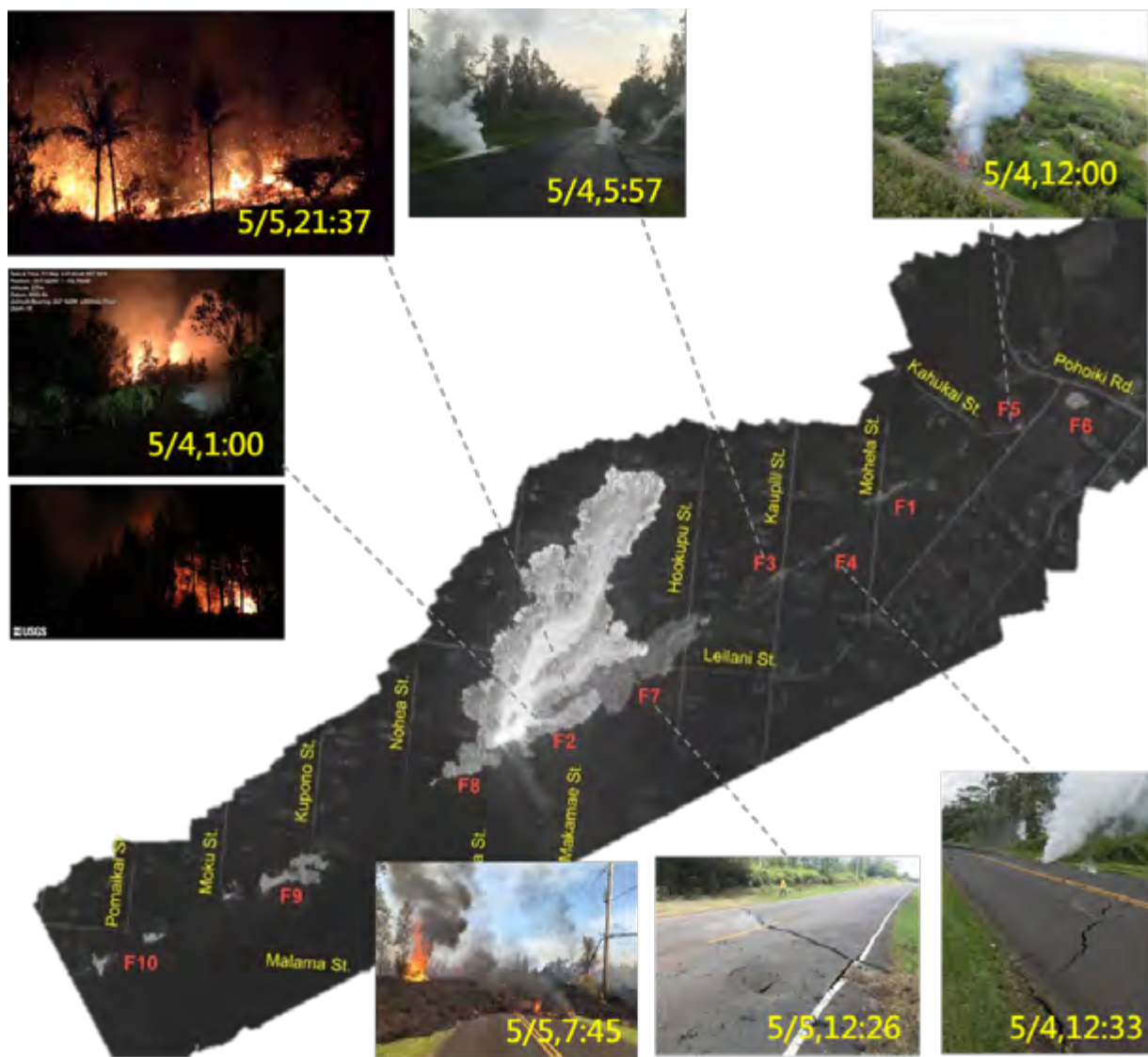
夏威夷火山爆發岩漿溢流情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

火山爆發災害概述

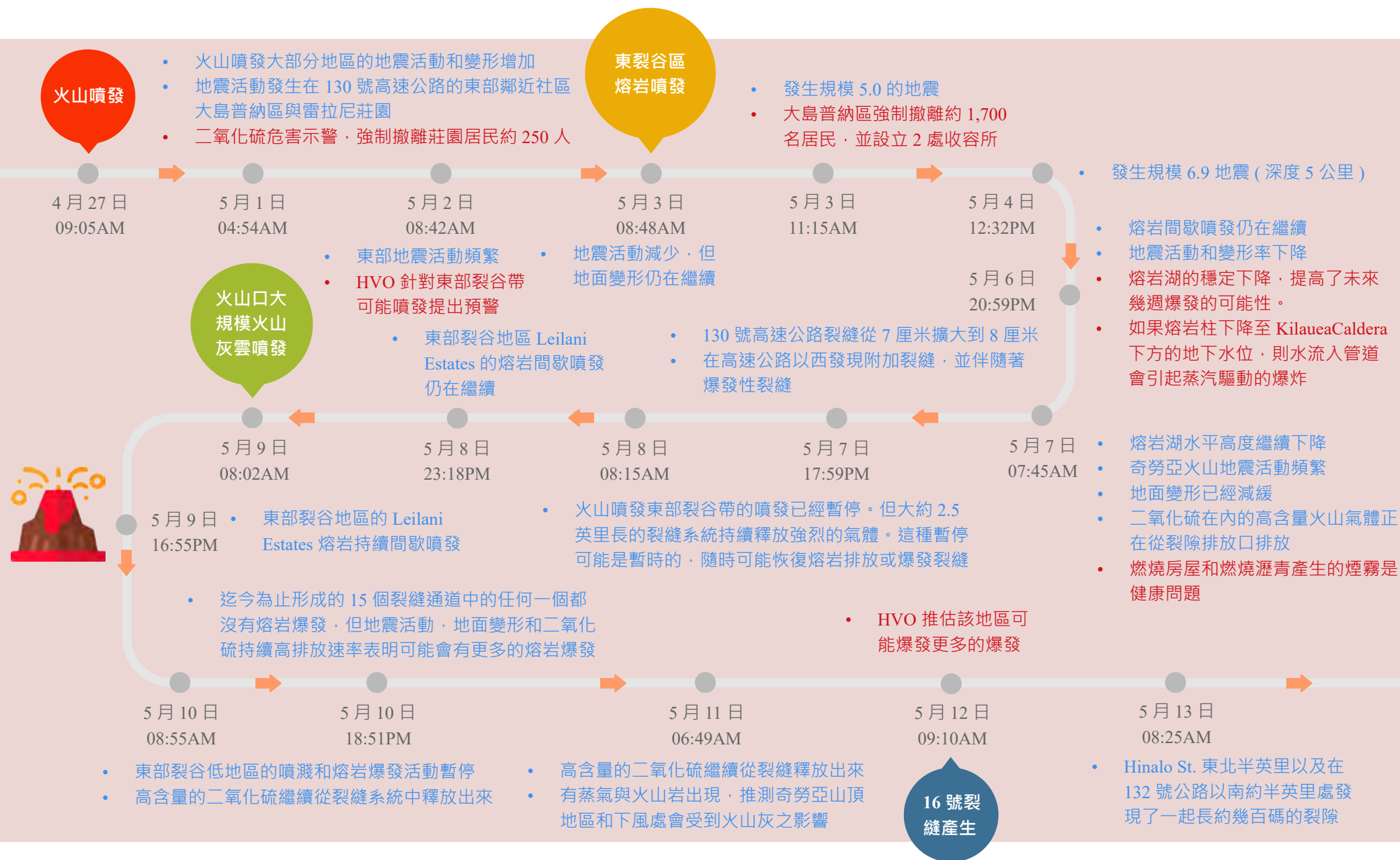
奇勞亞火山 (Kilauea Volcano) 位於夏威夷群島之夏威夷島 (又稱大島)，自 2018 年 4 月 27 日當地時間上午 9 時起開始陸續噴發，火山口附近並出現頻繁之地震活動，但岩漿尚未溢出火山口，未對鄰近社區構成威脅；而至 5 月 2 日起，夏威夷火山觀測所 (Hawaiian Volcano Observatory, HVO) 於距離火山東側之東部裂谷區監測到頻繁地震活動，同時地面變形仍繼續擴大，故提出示警東部裂谷區可能為後續爆發熔岩之地區；5 月 3 日起，奇勞亞火山熔岩溢出火山口，並依地形漫流往東側與東北側地區，而東部裂谷區亦開始間歇噴發熔岩，並陸續引發 5 月 3 日規模 5.0、5 月 4 日規模 6.9 (深度僅 5 公里) 之淺層地震。夏威夷應變管理署 (Hawaii Emergency Management Agency, HI-EMA) 於 5 月 3 日即針對鄰近火山口的普納區 (Puna) 約 1,700 名居民進行強制撤離，並設立 2 處收容所安置災民。

截至臺灣時間 5 月 8 日 17 時，奇勞亞火山仍持續噴發中，根據美國地質調查所 (US Geological Survey, USGS) 勘查資料，該火山噴出岩漿高度最高達 90 公尺，而蔓延之火山熔岩流覆蓋範圍已達 125 平方公里，另依據夏威夷應變管理署統計，本次災害已造成超過 35 棟建築毀損，緊急強制撤離之居民數已超過 1,800 名，另對約一萬名居民建議自行疏散，無人員傷亡災情傳出。

本次噴發之奇勞亞火山是夏威夷島上地質年代最年輕之火山，自 1983 年以來陸續有多次噴發紀錄，2008 年更產生新的噴發口，而該火山附近之熔岩流地質，90% 均是在 1,100 年內產生。



奇勞亞火山熔岩流漫流範圍與裂谷噴發位置，白色區域為熔岩流漫流範圍，F1 至 F10 位置圖已噴發裂縫
(資料來源：美國地質調查所、HVO，國家災害防救科技中心繪製)



火山災害特性及管理

(一) 夏威夷火山災害型態以火山熔岩流致災為主，有助於災害潛勢分佈之掌握：

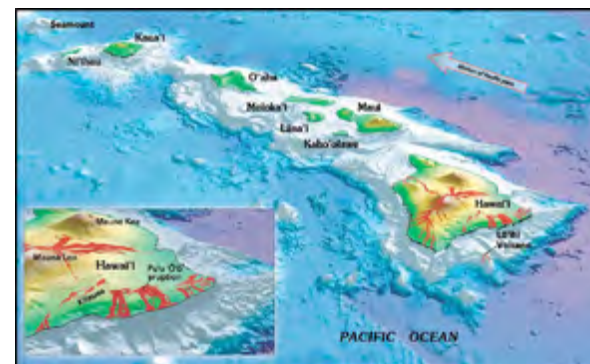
夏威夷火山岩漿成分以玄武岩質為主，其特性為黏滯性較低、氣體易散失，故不易爆發，而多以溢流方式噴發，造成以火山熔岩流型態為主之火山災害型態。火山熔岩流之漫流方向與範圍易受地形影響，故相對其他噴發形式更能預先準確評估與掌握災害潛勢分佈。由夏威夷火山觀測所模擬評估之火山熔岩流分布火山熔岩流分布潛勢圖，主要火山災害以地質年代較新（亦代表火山活動程度較高）之夏威夷島為主要發生區域，而驗證歷年火山熔岩流之實際影響範圍，亦與潛勢圖評估結果符合。

(二) 透過檢監測與警報發布機制，提供相關應變單位執行民眾疏散避難之具體依據：

夏威夷火山觀測所 (HVO) 建立於 1912 年，隸屬於美國地質調查所的五個火山觀測中心之一，

主要任務為監測、調查及評估夏威夷群島火山與地震活動性與危害程度，並將這些調查評估結果提供給大眾、防災管理人員、科學研究用。

目前夏威夷火山觀測所佈置現地的監測站超過 200 站，並於兩處火山噴發口分別設置即時影像監測站，透過網路攝影機及其他監測系統之整合，可即時掌握火山噴發狀況。因透過監測系統之輔助，即時掌握火山活動之各階段，以及對於火山熔岩流影響潛勢之有效評估，故夏威夷火山觀測所於火山噴發前均能隨時發布不同狀況之警報與警戒資訊，提供相關應變單位執行民眾疏散避難之具體依據。故夏威夷群島近年火山噴發仍頻繁發生，並導致火山熔岩流蔓延而焚毀途經的建築物與固定設施，但因能有效預警並提早疏散民眾，依據夏威夷應變管理署資料顯示自 2012 年後已無造成人員傷亡，而本次火山災害至今亦尚未傳出人員傷亡之災情。



夏威夷群島火山熔岩流分布潛勢圖 (資料來源：HVO)



夏威夷島歷年火山熔岩流影響範圍 (資料來源：HVO)

- 5 月 15 日
11:23AM
 - 奇勞亞火山峰頂的 Halemaumau 隕石噴發的火山灰從發洩口幾乎不斷上升，並順風向西南方向漂流
- 5 月 16 日
16:47PM
 - 爆發活動仍然集中在裂縫 NO.17，但活動正在下降
 - GPS 監測站繼續向西北移位所顯示的，岩漿繼續供應到東部裂谷東部地區
 - HVO 持續監測新裂縫活動和熔岩流動的進展
- 5 月 20 日
14:15PM
 - 熔岩噴發繼續沿著活動東北端的多個點裂隙系統
 - 裂縫 NO.20 大量噴發導致火山氣體排放量增加了三倍
 - 地面變形仍在繼續，該地區的地震活動仍然存在

火山噴發
狀態趨緩

瓜地馬拉火山爆發

瓜地馬拉富埃戈火山爆發情形（資料來源：歐新社／典匠資訊）

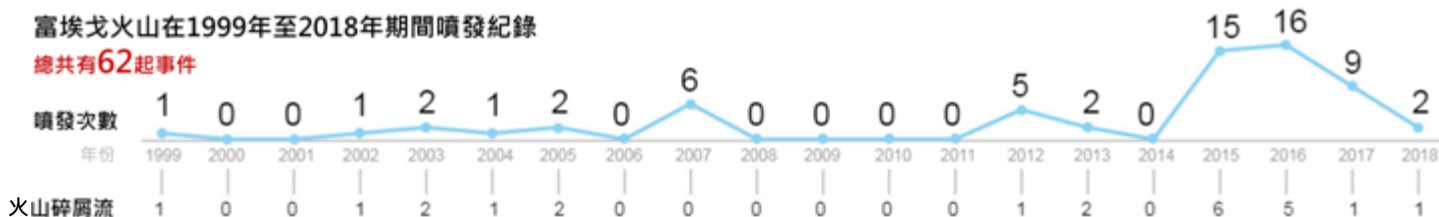
火山爆發災害概述

瓜

地馬拉富埃戈火山 (Fuego Volcano) 於臺灣時間 6 月 4 日噴發，火山活動規模為該火山自 1974 年以來最猛烈的一次噴發，根據 EM-DAT 統計，至少造成 425 人死亡，火山口周遭約 170 萬居民受到影響，甚至數個村落遭受火山灰與岩漿的掩埋，其中以埃爾羅德奧 (El Rodeo) 和拉斯羅特斯 (Los Lotes) 兩個區域最為嚴重。

本次富埃戈火山噴發的主要致災型態包含：(1) 火山灰與火山碎屑：在火山開始噴發之時，噴發上升火山灰以及火山碎屑高達 1 萬公尺，影響範圍遠至 20 公里外地區；(2) 火山碎屑流：在第 2 次大規模爆炸時，熔岩、火山灰和火山碎屑湧向火山的側翼，並造成道路阻塞以及引燃民眾房舍，而距離火山口約 12 公里的下坡地區埃爾羅德奧 (El Rodeo) 和拉斯羅特斯 (Los Lotes) 並遭掩埋；(3) 火山有毒氣體：依據瓜地馬拉災難機構發布資訊，建議民眾戴上防護口罩，防止吸入火山噴發的有毒氣體與火山灰。

受火山噴發整體的影響，除人員傷亡與失蹤外，尚包含：(1) 瓜地馬拉關閉位於首都的拉奧羅拉國際機場 (La Aurora)，當地民航局表示，在有火山灰情況下，為確保乘客和飛機安全，需要關閉跑道；(2) 瓜地馬拉教育部宣布暫停奇馬爾特南戈 (Chimaltenango)、埃斯昆特拉 (Escuintla) 和薩卡特佩克斯 (Sacatepéquez) 等地區的學校課程；(3) 富埃戈火山南部山坡產生明顯位移；(4) 主要聯外的 14 號道路因火山碎屑流影響已封閉，而鄰近的 Palín-Escuintla 高速公路則因目前影響較小，而維持使用。



過去 20 年富埃戈火山噴發紀錄統計 (資料來源：PRENSA LIBRE)

災因分析

本次富埃戈火山爆發的災情較夏威夷奇勞亞 (Kilauea Volcano) 火山噴發還要嚴重的原因，可歸因於下列三點：

政府單位未及時下達緊急撤離命令

因富埃戈火山原即為活動頻繁之活火山，瓜地馬拉當局一直在密切關注火山活動，臺灣時間 6 月 4 日上午 8 點左右雖有噴發活動增加，但因近年來該火山仍持續維持小型火山噴發之規模，且根據研究報告，其活動為減少之趨勢，以致影響火山噴發預警之研判，在第一時間未能即時下達緊急撤離命令。

富埃戈火山屬高致災性噴發型態

富埃戈火山因地質成分之二氧化矽含量高，岩漿黏滯性較高，故噴發型態以火山碎屑、火山氣體為主，爆裂式的噴發使得火山碎屑流得以每小時幾百公里的速度移動，與夏威夷火山以流動速率較為緩慢之流動型火山熔岩型態不同（夏威夷火山所噴發之岩漿，因二氧化矽含量較低，其黏滯性較低，產物以流動型熔岩為主）；故民眾在無法提早進行疏散的情況下，則沒有的足夠時間進行避難。本次受災村莊幾乎皆位於富埃戈火山山腳下。

後續二次災害處置之觀察

由於富埃戈火山噴發過程中已降下大量的火山灰以及火山碎屑，後續可能因遇降雨而形成火山泥流



富埃戈火山爆發掩埋的村落主要分布位置（資料來源：PRENSA LIBRE，國家災害防救科技中心繪製）

(Lahar) 而導致更嚴重的災情之外，因歷史上帕卡亞火山與富埃戈火山有同時噴發之紀錄，故瓜地馬拉政府

也在密切注意鄰近其他火山之活動性監測數據是否有異常之跡象。



瓜地馬拉火山爆發後市區遭大量火山灰掩埋救援情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

印尼喀拉喀托之子火山爆發



印尼喀拉喀托之子火山爆發情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

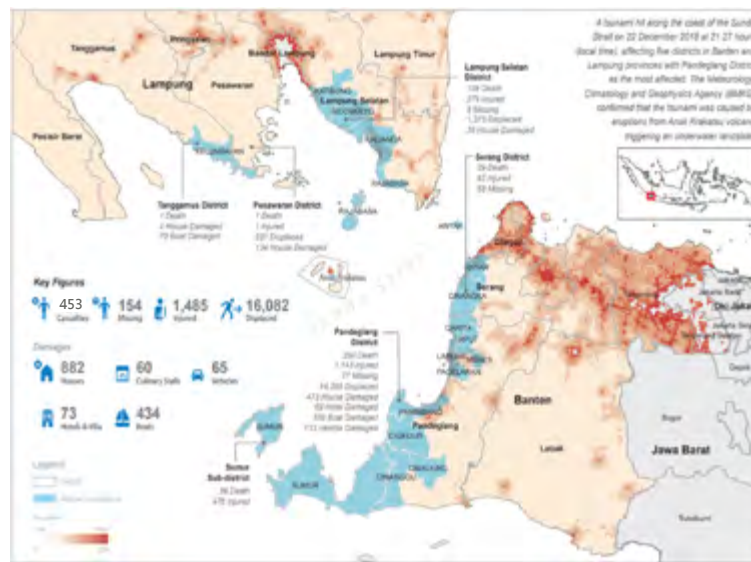
火山爆發災害概述

位於印尼蘇門答臘島和爪哇島之間的喀拉喀托之子 (Anak Krakatau) 火山於當地時間 12 月 22 日 21 時 03 分噴發。27 分鐘之後，浪高 1 m 至 2 m 的海嘯襲擊蘇門答臘島東岸及爪哇島西岸觀光地區，造成 453 人死亡之嚴重傷亡。

火山噴發地區鄰近桑達巨大逆衝斷層 (Sunda megathrust)，其位於歐亞板塊和印度—澳洲板塊聚合的隱沒帶，此地區地震與火山活動頻繁。印尼共有 147 座活火山，其中以爪哇島 45 座火山、蘇門答臘 35 座占多數。而本次噴發之喀拉喀托之子火山，係喀拉喀托火山於 1833 年爆發後，喀拉喀托島陷落消失超過 2/3，後續因持續噴發流出熔岩堆積，於 1927 年在島嶼消失處新生成喀拉喀托之子火山，並逐漸增高至今超過海拔 300 公尺。印尼國家災害管理局 (BNPB) 初步研判是火山噴發之振動造成海底地滑，進而引發海嘯。

災害衝擊

本次海嘯主要影響地區為萬丹省西海岸沿海地區，包括：班迪格蘭縣 (Pandeglang)、丹絨勒松縣 (Tanjung Lesung) 及南楠榜 (South



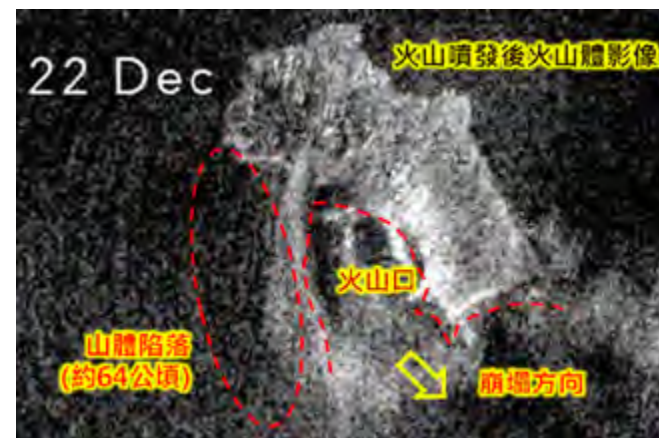
火山爆發受影響地區與死傷分布情形 (資料來源：OCHA)

Lampung) 等地區，尤以班迪格蘭縣沿海地區受災最嚴重，因該處為著名海灘，海岸邊有多處旅館別墅等設施，又適逢印尼長假，且事前未有海嘯預警發布，造成民眾無法逃生與避難。根據 EM-DAT 資料截至 12 月 25 日止統計，本次海嘯災害已造成 453 人死亡、1,485 人受傷、至少 4 萬 7 千餘人受影響，超過 800 棟民房與旅館、別墅受損。

喀拉喀托之子 (Anak Krakatau) 火山自成形以來長期處於半連續噴發狀態，火山灰可噴發至數千公尺高，過去十年一直名列高爆發風險觀察名單。印尼當局於 2018 年 7 月起已將 Anak Krakatau 火山周圍方圓 2 公里劃為禁止進入區域。



桑達巨大逆衝斷層鄰近地區與板塊邊界示意圖
(資料來源：美國地質調查所)



2018 年 12 月 22 日喀拉喀托之子火山噴發後的衛星影像
(資料來源：Volcano Discovery)

結語

這幾年本中心持續關注並紀錄全球天然災害的發展，已逐漸掌握災害發生的區域特性。2018 年對印尼來說真是多事之秋，依據國家災害管理局 (National Agency for Disaster Management, BNPB) 表示：這一年印尼發生大大小小的災害總共有二千五百多起，災害類別涵蓋了地震、火山爆發、海嘯、洪水與山崩等事件。其中蘇拉維西島在 9 月 28 日發生規模 7.5 的地震，深度僅 10 公里，引起嚴重的建物損毀、海嘯與土壤液化等現象，總共造成 3 千餘人罹難，是 2018 年中全球死傷最嚴重的災害事件。除此之外，還有 8 月 5 日龍目島的地震、12 月底的喀拉喀托之子火山爆發並引起海嘯等事件，各類型災害加總，使得印尼在天然災害事件中喪生的人數占了全球主要天然災害事件的一半以上，同時也是繼 2004 年南亞大海嘯後，死傷災情最嚴重的一年。

印度在印度季風的影響下，經常發生嚴重的洪災事件，尤其是西南地區的克勒拉邦。2018 年也不例外，六月份起進入了雨季後，就陸續傳出災情；通常時序進入八月以後，季風北抬，西南地區降雨會開始趨緩，但是 2018 年西南季風北抬延遲，再加上低壓系統影響，讓克勒拉邦的洪水災害時間往後延長許

久，從六月到八月的洪災總共造成 506 人的死亡。雖然從國際災害資料庫 (EM-DAT) 的統計顯示：2018 年是近二十年來，重大災害事件數最少的一年，但是以上幾個災害事件所造成的傷亡，並沒有因此而減少。

分析全球天然災害造成的經濟損失，以美國與日本最為嚴重，其中美國因為大規模的森林大火事件再加上幾場風暴事件，使得美國在天然災害的經濟損失達到全球最高。其次為日本，7 月發生的「平成 30 年 7 月豪雨」大規模的洪水事件，使得廣島、岡山縣等主要災區傷亡慘重，總計造成 232 的死亡與失蹤，這樣的洪水傷亡災情規模，還會讓人誤以為是其他較落後的國家造成的傷亡；9 月燕子颱風強風夾帶高暴潮水位，重創關西國際機場及其聯外道路，嚴重影響旅客及貨運進出。

2018 年的全球平均溫度雖然還不是有紀錄以來最高的，但是一樣處於相對高溫狀態，尤其夏季七月時，北半球許多城市的溫度出現破紀錄的高溫事件，根據平均溫度距平分布顯示，北美、歐洲、亞洲較過去溫度高出 2 度到 14 度之間。例如：西班牙、葡萄牙、南韓、東京等地都出現 40 度以上高溫，北歐的芬蘭、瑞典還出現 30 幾度高溫！這樣的環境也加劇了歐洲

與北美的野火肆虐。

在本災害紀實中值得一提的是特別企劃篇：南非開普敦的缺水危機。為何要探討開普敦缺水危機？大家都知道臺灣的水資源是患不均，近幾年雖然沒有到嚴厲的限水措施，但是水資源不足的風險是我們必須面對的。當開普敦市自 2015 年以來逐步調整的節水措施，包括：個人每日用水量限制、工商業用水限制、水價調整等，並喊出臨界日 (Day Zero) 的警語，最後限水措施到每人每日只能用 50 公升的水，並教導民眾每日 50 公升的水該如何分配，一連串有紀律的限水作為及水資源開發計畫，終於度過了缺水危機。

這些年下來，國家災害防救科技中心累積了超過百餘個全球災害個案研究，可以作為災害管理學習的個案，為此我們開發了「全球災害事件簿」網站 (<https://den.ncdr.nat.gov.tw>)，收錄了過去的災害個案研究，讓我們以更宏觀的方式看災害，以更清晰的視野看災害，以更多同理心看災害，讓我們觀察受災者的需求，持續投入災害的科技研發，以降低災害的衝擊，降低損失。



印尼蘇拉維西島地震引起海嘯災後情形 (資料來源：歐新社 / 典匠資訊)

參考網站

2018 國際災情概述

- NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) <http://www.noaa.gov>
- The International Disaster Database (EM-DAT) <http://www.emdat.be/>

臺灣災害 Taiwan

- 中央災害應變中心 <http://www.emic.gov.tw/>
- 內政部消防署 <http://www.nfa.gov.tw/>
- 交通部中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/>
- 行政院農業委員會水土保持局 <http://www.swcb.gov.tw/>
- 花蓮縣政府 0206 震災專區 <https://0206.hl.gov.tw/bin/home.php>
- 經濟部水利署 <http://www.wra.gov.tw/>

特別企劃 Special Report

- City of Cape Town <http://www.capetown.gov.za/thinkwater>
- Dam Safety Office <http://www.dwaf.gov.za/DSO/Publications.aspx>
- Western Cape Government Agriculture <http://www.elsenburg.com/agri-tools/western-cape-dam-levels>

颱風災害 Flood Disaster

- Central Water Commission (CWC) <http://cwc.gov.in/>
- County of Santa Barbara <https://www.countyofsb.org/january-storm-info.sbc>
- Digital Typhoon <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/index.html.en>

- Emergency Response Coordination Centre (ERCC) <https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/>
- India Meteorological Department (IMD) <http://www.imd.gov.in/>
- NASA(National Aeronautics and Space Administration) <https://www.nasa.gov/>
- National Weather Service <http://www.weather.gov/>
- Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration, PAGASA (PAGASA) <http://bagong.pagasa.dost.gov.ph/>
- Reliefweb <http://reliefweb.int/>
- Santa Barbara County Fire Department (SBCPWD) <http://www.sbcfire.com/>
- United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs(OCHA) <https://www.unocha.org/>
- University of the Philippines Nationwide Operational Assessment of Hazards (UP-NOAH) <http://noah.up.edu.ph/>
- USGS Water Data for the Nation <https://waterdata.usgs.gov/nwis>
- World Bank <http://www.worldbank.org/>
- 日本氣象廳 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 國土交通省國土地理院 <http://www.gsi.go.jp/>
- 香港天文台 <http://www.hko.gov.hk/>

地震災害 Earthquake

- National Seismological Service (SSN), <http://www.ssn.unam.mx/>
- U.S. Geological Survey (USGS), <https://www.usgs.gov/>
- U.S. Tsunami Warning Center, <https://www.tsunami.gov/>

森林大火 Wildfire

- CAL FIRE, <http://calfire.ca.gov/index>
- California Department of Insurance (CDI), <http://www.insurance.ca.gov/>
- Copernicus <https://www.copernicus.eu/en>
- Copernicus Climate Change Service <https://climate.copernicus.eu/>
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) <https://www.ecmwf.int/>
- National Centers for Environmental Information (NCEI), <https://www.ncei.noaa.gov/>
- National Integrated Drought Information System (NIDIS) <https://www.drought.gov/drought/>

火山爆發 Volcanic Eruptions

- Hawaii Volcano Observatory (HVO) <https://volcanoes.usgs.gov/observatories/hvo/>
- National Seismological Service (SSN), <http://www.ssn.unam.mx/>
- PRENSA LICRE <https://www.prensalibre.com/>
- U.S. Geological Survey (USGS), <https://www.usgs.gov/>
- U.S. Tsunami Warning Center, <https://www.tsunami.gov/>
- Volcano Discovery <https://www.volcanodiscovery.com/>

天然災害紀實． 2018 / 張志新等作． -- 新北市：
國家災害防救科技中心， 2019.03

面；公分
ISBN 978-986-05-8894-1(平裝)

1. 自然災害

367.28

108004948

2018

天然災害紀實

NATURAL DISASTER YEARBOOK

發行人：陳宏宇

編輯委員：林李耀、林風、李維森、吳瑞賢、林銘郎

主編：張志新、柯孝勳、蘇元風

執行編輯：施虹如、傅鏹漩

作者群：張志新、于宜強、王俞婷、江申、朱容練

吳宜昭、吳秉儒、吳亭燁、吳郁珲、吳佳容

吳子修、呂喬茵、方韻慈、李香潔、李欣輯

林又青、林義凱、林聖琪、林佳瑩、林容君

施虹如、侯清賢、柯孝勳、柯明淳、徐永衡

梁庭語、許秋玲、陳偉柏、陳淡容、曹祉晏

傅鏹漩、黃亞雯、黃柏誠、黃明偉、劉哲欣

廖楷民、趙益群、劉玫婷、鄧澤宇、葉森海

蕭逸華、顏啟安、顏銘樟、蘇元風、蘇文瑞

鄧敏政、劉淑燕、謝蕙如、魏曉萍

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：02-8195-8600

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：2019 年 3 月

2 0 1 8

天然災害紀實



行政法人國家災害防救科技中心

新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

<https://www.ncdr.nat.gov.tw>