

2

天

0

然

1

害

紀

5

實

美國加州
乾旱

美國德州
洪災

瓜地馬拉
崩塌

哥倫比亞
山洪爆發

喬治亞共和國
山洪爆發

阿富汗
崩塌

尼泊爾
地震

印度、巴基斯坦
熱浪

印度清奈
洪災

日本
濱堤溢淹

臺灣
乾旱

蘇迪勒颱風





序言



2月6日農曆年節前夕，大家正準備歡度春節之際，南臺灣地區突然發生了規模6.4的強震，地震災害驚嚇了全國的民眾。國家災害防救科技中心的同仁與許多防救災人員一樣，第一時間取消休假，並立即參與地震災害的應變作業。這正是近幾年災防科技中心同仁參與政府防救災工作的縮影，隨時保持最高的警戒狀態，因應各項臨時突發的狀況。

去年8月蘇迪勒颱風事件，在烏來、新店山區造成河床沖刷，坡體崩塌、道路不通、通訊中斷等災害的衝擊。一時間，烏來地區成為暫時失聯的場所，災防科技中心同仁立即登上空勤總隊直升機，前往新店、烏來山區巡視，最後排除了大家對於烏來山區失聯的揣測及疑慮。

日本關東地區在去年9月因暴雨而出現鬼怒川潰堤事件，淹沒了茨城縣常總市一萬餘棟房屋，所幸日本政府疏散避難因應得宜，人命傷亡不大。鬼怒川潰堤災害之後，災防科技中心同仁也實地走訪鬼怒川潰堤災害現場，並與日本國家防災科學技術研究所同仁，一起進行防災經驗的交流。

從臺灣蘇迪勒颱風與日本鬼怒川之災害事件中可以發現，這二起災害事件都是因為短延時、強降雨所造成。蘇迪勒颱風在烏來地區最高時雨量為95毫米，其中三小時及十二小時的降雨量高達253毫米與655毫米，都突破該地區過去30年來的雨量紀錄。日本關東地區的降雨，最高時雨量為75毫米，二十四小時降雨高達550毫米以上，也打破了當地過去數十年來的雨量記錄，引發了鬼怒川等地的潰堤溢淹，以及其上游的土石崩塌災害。

2015年的天然災害紀實，收錄了年度傷亡最嚴重的尼泊爾地震災害，實地勘災蘇迪勒颱風及日本鬼怒川潰堤事件。這本災害紀實並以臺灣的乾旱與美國加州乾旱事件為題，進行特別的分析及說明。面對短延時、強降雨的災害事件，以及異常少雨的乾旱情況，將是我們在未來災害防救的科研上，需要投入更多的研究課題，並也需要預先思考一些防範的因應之道。

陳宏宇

2016年2月

CONTENTS 目錄

 序言	I
--	---

 2015 年國際災情概述	01
--	----

 4 月 尼泊爾 M7.8 地震	07
本篇完整報導收錄 NCDR 災害防救電子報，第 118 期，2015/5	

 4 月 阿富汗融雪引發山崩	16
本篇完整報導收錄 NCDR 災害防救電子報，第 122 期，2015/09	

 5 月 美國德州洪災	19
本篇完整報導收錄 NCDR 災害防救電子報，2016 年特刊	

 5 月 哥倫比亞山洪爆發	24
本篇完整報導收錄 NCDR 災害防救電子報，第 121 期 2015/08	

 特別企劃	30
--	----

台灣乾旱	31
------	----

本篇完整報導收錄 NCDR 災害防救電子報，第 122 期，2015/09

美國加州乾旱	35
--------	----

本篇完整報導收錄 NCDR 災害防救電子報，2016 年特刊

5、6 月印度、巴基斯坦熱浪 45

本篇完整報導收錄 NCDR 災害防救電子報，2016 年特刊

6 月 喬治亞共和國山洪爆發 50

8 月 臺灣蘇迪勒颱風侵襲 53

本篇完整報導收錄 NCDR2015 年蘇迪勒颱風災害調查彙整技術報告

9 月 日本鬼怒川潰堤溢淹 60

本篇完整報導收錄 NCDR 災害防救電子報，第 123 期，2015/10

10 月 瓜地馬拉崩塌 67

本篇完整報導收錄 NCDR 災害防救電子報，2016 年特刊

11 月 印度清奈洪災 74

結論 77

圖、表目錄

圖 1.	2015 年重大災害事件時序……1	圖 31.	哥倫比亞洪災受災區域位置圖……24
圖 2.	2015 年重大天然災害事件分布……2	圖 32.	5 月 16 日至 5 月 18 日……25
圖 3.	2015 年六大洲天然災害事件統計……2	圖 33.	5 月 15 日上午 7 時至 5 月 18 日上午 7 時 (由左至右) 日累積雨量圖……26
圖 4.	2015 年全球十大天然災害事件 (依死亡人數排序) 分布圖……3	圖 34.	5 月 13 日 -5 月 16 日 (左) 與 5 月 16 日 -5 月 18 日 (右) 間 72 小時累積雨量圖……26
圖 5.	2015 年全球十大天然災害事件 (依受影響人數排序) 分布圖……4	圖 35.	洪災之土石可能源頭……27
圖 6.	2015 年全球十大天然災害事件 (依總損失排序) 分布圖……5	圖 36.	土石流受影響聚落位置……27
圖 7.	尼泊爾行政分區圖紅字為首都加德滿都 (Kathmandu)……7	圖 37.	主要受災聚落分布……28
圖 8.	尼泊爾鄰近之板塊構造分布圖……8	圖 38.	受影響住宅分布……28
圖 9.	尼泊爾地震斷層面錯動模擬模型……8	圖 39.	受災區域災前、災後影像判釋……28
圖 10.	加德滿都谷地地形 (左)、加德滿都谷地沖積層之土壤性質分布 (右)……9	圖 40.	哥倫比亞坡度分析圖……29
圖 11.	尼泊爾地震災情綜整……10	圖 41.	哥倫比亞坡地災害潛勢圖……29
圖 12.	加德滿都仍有大量「房舍疊加 (老揸少)」結構型態之建物……11	圖 42.	1880 年至 2015 年溫度趨勢……30
圖 13.	尼泊爾地震 0.3 秒譜加速度分布圖……11	圖 43.	2015 陸地與海洋溫度分布圖……30
圖 14.	尼泊爾地震造成之山崩位置分布……13	圖 44.	2014-2015 年臺灣乾旱主要歷程圖……31
圖 15.	掩埋 Langtang Village 雪、冰、土石可能來源……13	圖 45.	2014 年 5 月至 2015 年 5 月標準化降雨指數 SPI(Standardized Precipitation Inde) 之時序圖……32
圖 16.	Langtang Village 山崩前後影像比較……14	圖 46.	2015 年石門水庫水位歷線圖……32
圖 17.	部分山崩阻斷河道……15	圖 47.	石門水庫集水區 2014 年 6 月 1 日~2015 年 5 月 20 日與歷史同期累積雨量圖……33
圖 18.	Jerow-Bala 村山崩地理位置……16	圖 48.	歷年乾旱事件停灌面積……34
圖 19.	Khwahan 區地質圖……16	圖 49.	1896 年至 2012 年美國乾旱分布圖……35
圖 20.	Jerow-Bala 村崩塌災情……17	圖 50.	美國 2012 年 -2015 年濕度分布……36
圖 21.	救援物資以空運的方式送達災區……17	圖 51.	美國境內最大水庫胡佛水壩 (Hoover DAM) 2013 年和 2014 年水庫空照圖……37
圖 22.	阿富汗的災害潛勢地圖……18	圖 52.	美國境內最大水庫胡佛水庫 2013 年 1 年至 2014 年 7 月水庫歷線……37
圖 23.	阿富汗 Khwahan 區冰雪覆蓋率變化……18	圖 53.	美國損失十億以上之乾旱年度統計……37
圖 24.	德州氣溫 (左) 和年雨量圖 (右)……19	圖 54.	加州乾旱等級百分比……38
圖 25.	5 月 24 日至 27 日日降雨累積圖……20	圖 55.	加州高壓籠罩示意圖……39
圖 26.	2015 年五月德州北部 (上)、南部 (下) 累積降雨及歷史排序……20	圖 56.	奧勒米河流域影像圖 (左:2010 年; 右:2015 年)……39
圖 27.	德州地區洪水警戒……21	圖 57.	圖奧勒米河流域積雪量比較……40
圖 28.	休士頓隸屬哈里斯郡水位警戒資訊……21	圖 58.	美國西部 1955 年 -2014 年雪線改變量……40
圖 29.	哈里斯郡北、中和南部雨量組體圖 (左) 及水位歷線圖 (右)……22	圖 59.	Shasta 水庫衛星影像圖 (左圖 2005 年 9 月、右圖 2014 年 9 月)……41
圖 30.	馬歇爾福特水庫 2010-2015 水位歷線……23		

圖 60.	2015 年 12 月 5 日的水庫容量……42	圖 90.	鬼怒川潰堤處上游川島雨量 (左) 及水位測站 (右)……62
圖 61.	Shasta 水庫現在水位與歷史水位比較圖……42	圖 91.	鬼怒川潰堤處下游水海道雨量 (左) 及水位測站 (右)……62
圖 62.	2000 年至 2014 年農作物價格……43	圖 92.	鬼怒川潰堤處上游川島雨量 (左) 及水位測站 (右)……63
圖 63.	加州用水轉移協調所……44	圖 93.	洪水潰堤漫淹後消退紀錄……64
圖 64.	印度熱浪影響圖……46	圖 94.	災中、後排水作業……64
圖 65.	巴基斯坦 6/20 最高溫度分布圖……47	圖 95.	淹水模擬無水庫 (左) 和有水庫 (右) 調節淹水面積統計……64
圖 66.	2015 季風行進路線圖……48	圖 96.	櫟木縣日光市土石流分布圖……66
圖 67.	熱指標分布圖……49	圖 97.	瓜地馬拉康布雷二村 (El Cambray II) 崩塌地理位置示意圖……67
圖 68.	喬治亞共和國高程……50	圖 98.	聖卡塔琳娜皮努拉鎮的月平均降雨量與溫度……67
圖 69.	喬治亞共和國年雨量共和國……50	圖 99.	瓜地馬拉市及其附近區域地質圖……67
圖 70.	喬治亞共和國 2015 年 6 月 13-14 雨量估計……51	圖 100.	康布雷二村山崩崩塌影響範圍……69
圖 71.	喬治亞淹水潛勢示意圖 (Best Country Report)……52	圖 101.	瓜地馬拉的減災協調中心的災害分級……70
圖 72.	喬治亞 1995-2012 年災害統計……52	圖 102.	瓜地馬拉 9 月份的雨量預報……71
圖 73.	2015 年西北太平洋熱帶風暴路徑……53	圖 103.	康布雷二村南側邊坡歷史影像資料……72
圖 74.	蘇迪勒颱風路徑圖……54	圖 104.	白色與紅色線框分別表示此次崩塌與堆積範圍，黃色線框代表 1976 年瓜地馬拉所發生芮氏規模 7.5 大地震造成之崩塌範圍……72
圖 75.	蘇迪勒颱風各地最大風速及最大陣風分布圖……54	圖 105.	康布雷二村崩塌鄰近城市鳥瞰……73
圖 76.	蘇迪勒颱風期間福山雨量站累積降雨……55	圖 106.	國家減災協調中心 (CONRED) 公布之崩塌潛勢地圖……73
圖 77.	福山雨量站過去四場颱風累積降雨比較……55	圖 107.	坦米爾納德邦地勢高度……74
圖 78.	蘇迪勒颱風頻率分析結果：3 小時 (左上)、6 小時 (右上)、12 小時 (左下)、24 小時 (右下)……56	圖 108.	清奈國際機場雨量站……75
圖 79.	淡水河 - 秀朗橋水位站……57	表 1.	2015 年全球十大天然災害事件 (依死亡人數)……3
圖 80.	淡水河 - 三峽水位站……57	表 2.	2015 年全球十大天然災害事件 (依受影響人數)……4
圖 81.	淡水河流域水位高漲圖……58	表 3.	2015 年全球十大天然災害事件 (依總損失排序)……5
圖 82.	蘇迪勒颱風積、淹水災情分布圖……58	表 4.	尼泊爾地震災後應變與短期復原措施……10
圖 83.	蘇迪勒颱風坡地災情分佈圖……58	表 5.	2011 年和 2015 年乾旱事件比較表……34
圖 84.	蘇迪勒颱風新店廣興里 (左上)、烏來忠治里 (右) 和桃園復興鄉合流部落 (左下) 現勘照片……59	表 6.	美國乾旱指標五等級……38
圖 85.	蘇迪勒颱風期間新店溪原水濁度……59	表 7.	加州森林野火統計……43
圖 86.	日本茨城縣 (左)、常總市 (中) 和鬼怒川位置圖 (右)……60	表 8.	新德里市氣候數值……45
圖 87.	鬼怒川上至下游堤防受損狀況……60 9 月 9 日 -10 日四時段雷達降雨圖……61	表 9.	喀拉蚩市氣候數值……48
圖 88.	鬼怒川流域內雨量站 24、48 和 72 小時累積雨量與歷史比較……62	表 10.	熱指標分級表……49
圖 89.		表 11.	蘇迪勒颱風水位達一級警戒列表……56

2015 年國際災情概述

回顧 2015 年災害事件，由圖 1 災害事件時序顯示，就天然災害的部分包括：一月非洲東南部洪災，重創馬拉威、馬達加斯加和莫三比克，四月尼泊爾 M7.8 地震，是 2015 年最嚴重地震，亦是全年中傷亡最多的災害事件。五、六月印度與巴基斯坦熱浪，八月臺灣遭受蘇迪勒颱風侵襲，重創南勢溪流域，九月日本關東地區受到 18 號颱風侵襲，鬼怒川潰堤，漫淹茨城縣常總市，十月瓜地馬拉因連日豪雨造成嚴重崩塌，十二月印度清奈極端降雨，大規模淹水。其他引起關注的災害事件包括：二月臺北復興航空空難，六月臺灣八里八仙樂園粉塵暴燃、中國長江船難，八月大陸天津爆炸事件，十一月巴西礦區廢水大壩潰堤，十二月大陸深圳棄土場崩塌，每起事件造成傷亡都不比天然災害少。

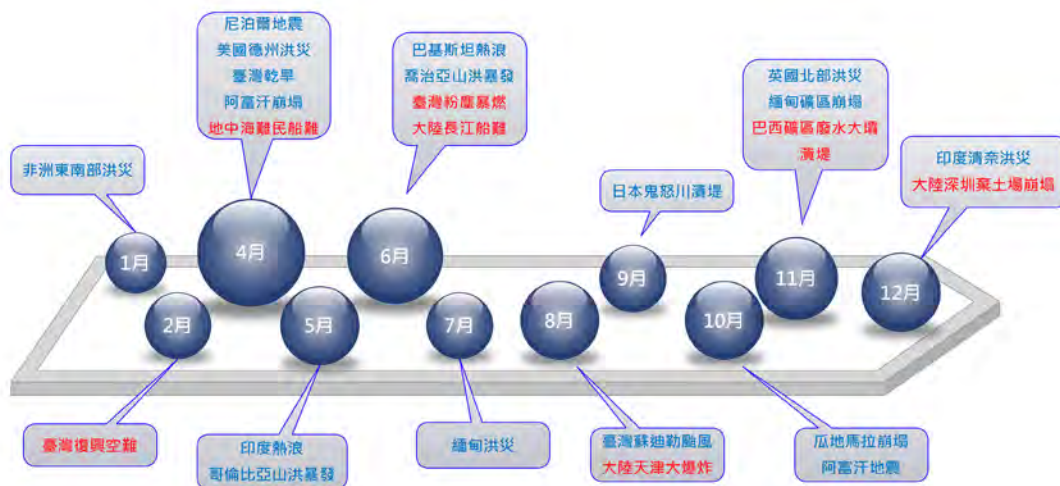


圖 1. 2015 年重大災害事件時序（災防科技中心）
各月份災害事件標題：藍字為天然災害事件，紅字為非天然災害事件

美國國家海洋與大氣管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）及國際氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）表示：自 1880 年有現代分析紀錄以來，2015 年的氣溫打破前一年才創下的高溫紀錄，成為有史以來最熱的一年，由於強烈的聖嬰現象，海洋將大量的熱量釋放到大氣中因而產生破紀錄的高溫，因此熱浪與乾旱的災害在 2015 年特別顯著，熱浪在法國和比利時造成 3,000 餘人死亡，在印度與巴基斯坦造成約 3,500 餘人死亡。乾旱部分，美國連續乾旱情形，以加州自 2012 年起至 2015 年的旱象愈趨嚴重惡化為代表，而臺灣也因 2014 年水庫無明顯進帳而導致旱象，歷經 9 個月的乾旱事件，造成約 4 萬多公頃的一期稻作停灌、工業用水減供 10%，以及部分地區民生用水供五停二的衝擊。

2015 年亦發生多起局部的極端降雨造成的洪災事件：日本關東鬼怒川潰堤，美國德州洪水氾濫、印度清奈市洪災，以及臺灣蘇迪勒颱風在新店、烏來的災害等，皆是破歷史紀錄之降雨。而 2015 年最大崩塌事件，以瓜地馬拉最為嚴重，大量土石夷平村落，覆蓋了 187 戶住家，死亡人數達 627 人。地震災害部分：尼泊爾 M7.8 地震最為嚴重，造成尼泊爾、大陸西藏和印度部分地區房屋倒塌，計有八千餘人喪生。綜觀 2015 年國際災情分布（圖 2），天然災害除尼泊爾地震外，與過去幾年相比，災害規模相較來得小，經濟損失也沒有以往大，但是熱浪造成廣泛地區的緩慢衝擊不易防範，即使先進的法國或落後的印、巴都造成多人的死亡，這類的問題值得重視。

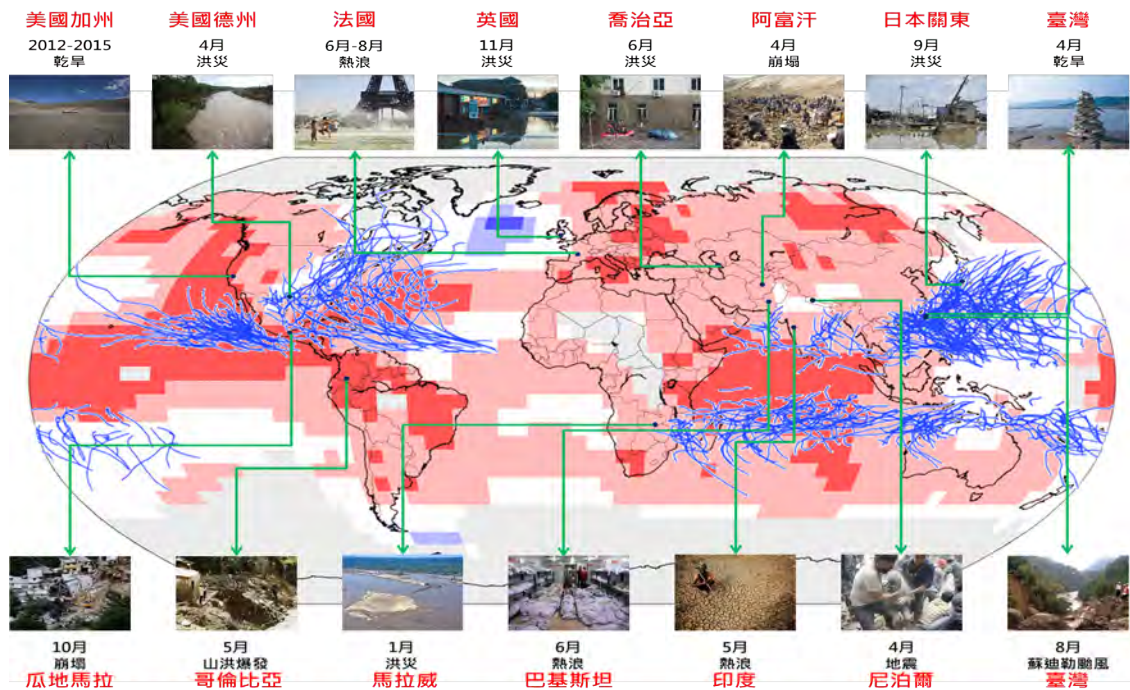


圖 2. 2015 年重大天然災害事件分布
(災防科技中心彙整，底圖 NOAA，2015 溫度分布)

災防科技中心 (NCDR) 彙整 2015 年度天然災害事件，共蒐整 480 件災害事件 (圖 3)，仍以亞洲地區 179 事件為最多，大洋洲最少 (28 件)。除了北、中美洲以乾旱和野火事件為主外，其餘五大洲皆已颶洪災害最多。致災性地震災害發生次數相較 2014 年來的少，不過尼泊爾地震卻是造成最多死傷的地震事件。

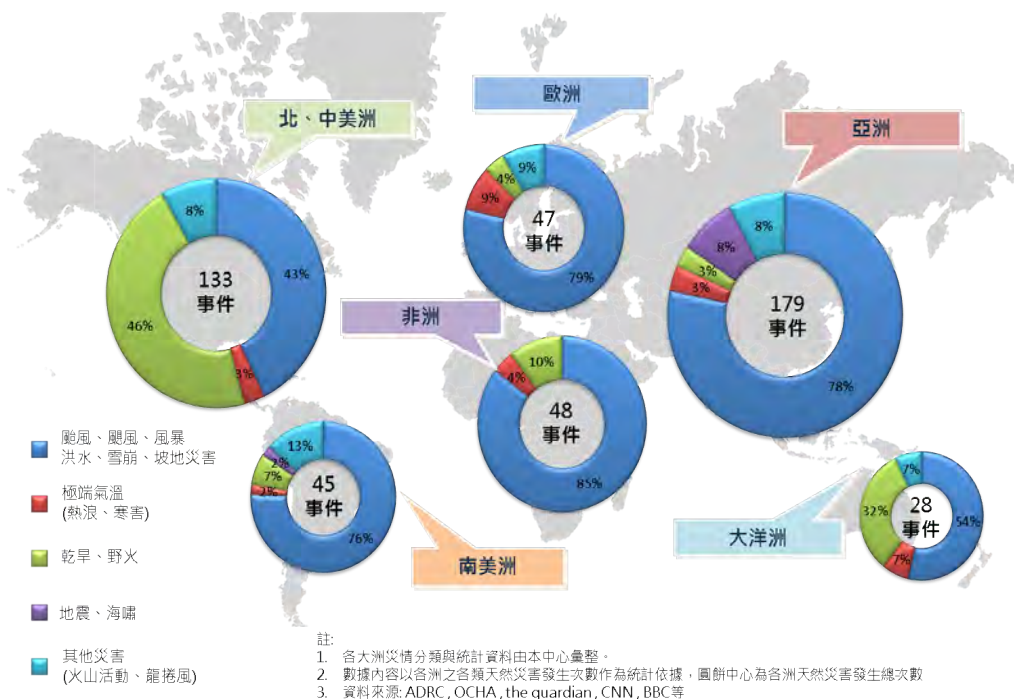


圖 3. 2015 年六大洲天然災害事件統計 (災防科技中心彙整)

2015 全球十大天然災害事件 (依死亡人數統計)

2015 年造成最嚴重死亡的天然災害事件為四月尼泊爾 M7.8 地震，共造成 8,633 人死亡 (表 1、圖 4)，熱浪事件造成的傷亡僅次於尼泊爾地震，包括：法國、印度、巴基斯坦和比利時等國的熱浪事件 (分別排序為第二、三、四和六)，共造成 7,162 人死亡。排序第五名為瓜地馬拉崩塌事件，共造成 627 人死亡，為 2015 年死亡人數最嚴重的崩塌事件。其餘為印度與馬拉威洪災事件。2015 年除了上述天然災害造成傷亡外，在 EM-DAT 災害統計資料庫中，有三起船難事件造成的死亡人數大於三百人以上，甚至高於天然災害的傷亡，包括：北非利比亞非法移民沈船事件造成 800 餘人喪生，大陸湖北長江客輪翻覆使得 442 人喪生，北非和中亞非法移民，跨越地中海時船隻超載船難 329 人死亡。

表 1. 2015 年全球十大天然災害事件 (依死亡人數)(EM-DAT)

排序	時間	國家	災害類型	死亡人數
1	4 月 25 日	尼泊爾	地震	8,633
2	6 月 29 日 -8 月 9 日	法國	熱浪	3,275
3	5 月 20 日 -5 月 31 日	印度	熱浪	2,248
4	6 月 18 日 -6 月 24 日	巴基斯坦	熱浪	1,229
5	10 月 1 日	瓜地馬拉	崩塌	627
6	6 月 30 日 -7 月 5 日	比利時	熱浪	410
7	11 月 8 日 -12 月 4 日	印度	洪水	325
8	7 月 15 日 -8 月 19 日	印度	洪水	293
9	10 月 26 日	巴基斯坦	地震	280
10	1 月 5 日 -1 月 21 日	馬拉威	洪水	278
合計				17,598

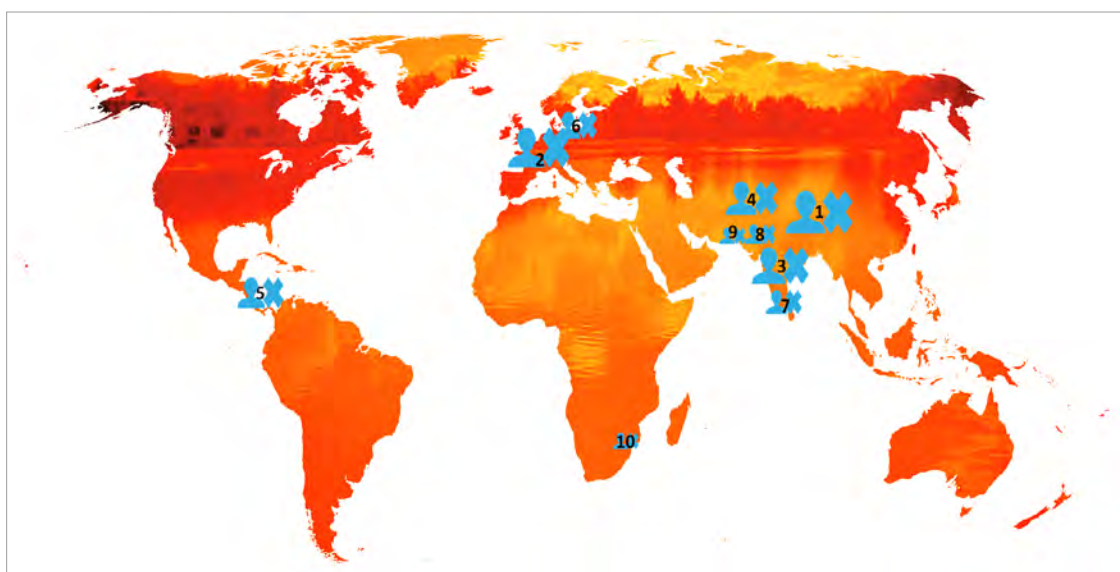


圖 4. 2015 年全球十大天然災害事件 (依死亡人數排序) 分布圖

2015 全球十大天然災害事件 (依受影響人數統計)

2015 年天然災害事件受影響人數之排序，影響最多人的北韓乾旱，共有 1,800 萬人受到影響 (表 2、圖 5)，其次為 2015 年七月印度的洪水，使得 1,370 萬人受影響，第三為非洲國家衣索比亞乾旱事件影響千萬人。而 2015 年造成最多死亡的尼泊爾地震事件，影響到了五百萬人。2015 年因為為全球歷年最熱的一年，所以乾旱、熱浪事件成為年度顯著災害事件。

表 2. 2015 年全球十大天然災害事件 (依受影響人數)(EM-DAT)

排序	時間	國家	災害類型	影響人數
1	6 月 -7 月	北韓	乾旱	18,000,000
2	7 月 15 日 -8 月 19 日	印度	洪水	13,709,887
3	1 月 -12 月	衣索比亞	乾旱	10,000,000
4	4 月 25 日	尼泊爾	地震	5,639,722
5	10 月 14 日 -10 月 20 日	菲律賓	熱帶氣旋	2,898,590
6	10 月	馬拉威	乾旱	2,800,000
7	1 月 -10 月	南非	乾旱	2,700,000
8	7 月 29 日 -7 月 30 日	孟加拉	熱帶氣旋	2,600,000
9	4 月 -5 月	尼日	乾旱	2,588,128
10	5 月 -10 月	巴布亞紐幾內亞	乾旱	2,400,000
合計				63,336,327

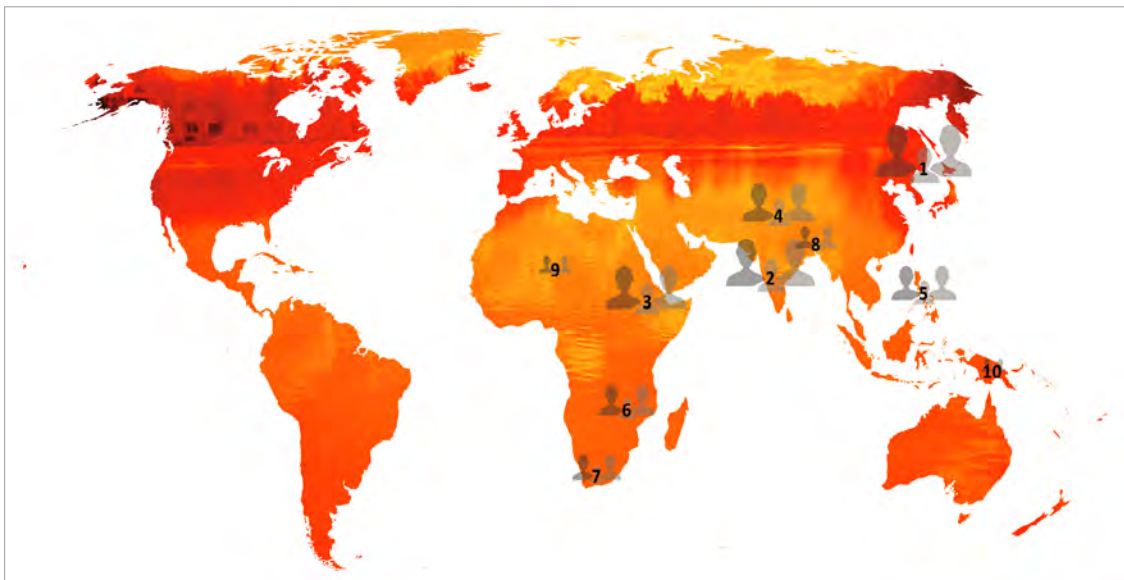


圖 5. 2015 年全球十大天然災害事件 (依受影響人數排序) 分布圖

2015 全球十大天然災害事件 (依總損失統計)

EM-DAT 資料庫中災害損失統計部分以印尼森林火災損失最多，歷經 2015 年一整年多數的森林火災事件，總損失高達 161 億美元 (表 3、圖 6)，其次為美國南卡羅來納州 (South Carolina) 洪水災害，總損失 50 億美元，排名第三為美國加州 (California) 乾旱造成 45 億美元損失，而造成嚴重傷亡的尼泊爾地震也有 38.6 億美元損失。災害造成的總損失前十名災害事件中，共有四個事件發生在高度發展的美國。與往年總損失不同的是，森林火災的類型，在 2015 年中，列入前十大總損失之中。

表 3. 2015 年全球十大天然災害事件 (依總損失排序)(EM-DAT)

排序	時間	國家	災害類型	總損失 (千美元)
1	1 月 -12 月	印尼	森林火災	16,100,000
2	10 月 1 日 -10 月 13 日	美國	洪水	5,000,000
3	1 月 -9 月	美國	乾旱	4,500,000
4	10 月 4 日	中國	熱帶氣旋	4,200,000
5	4 月 25 日	尼泊爾	地震	3,860,000
6	2 月 16 日 -2 月 22 日	美國	對流風暴	3,250,000
7	11 月 8 日 -12 月 4 日	印度	洪水	3,000,000
8	12 月 26 日 -12 月 30 日	美國	對流風暴	3,000,000
9	12 月 26 日	英國	洪水	2,500,000
10	1 月 -11 月	南非	乾旱	2,000,000
合計				47,410,000

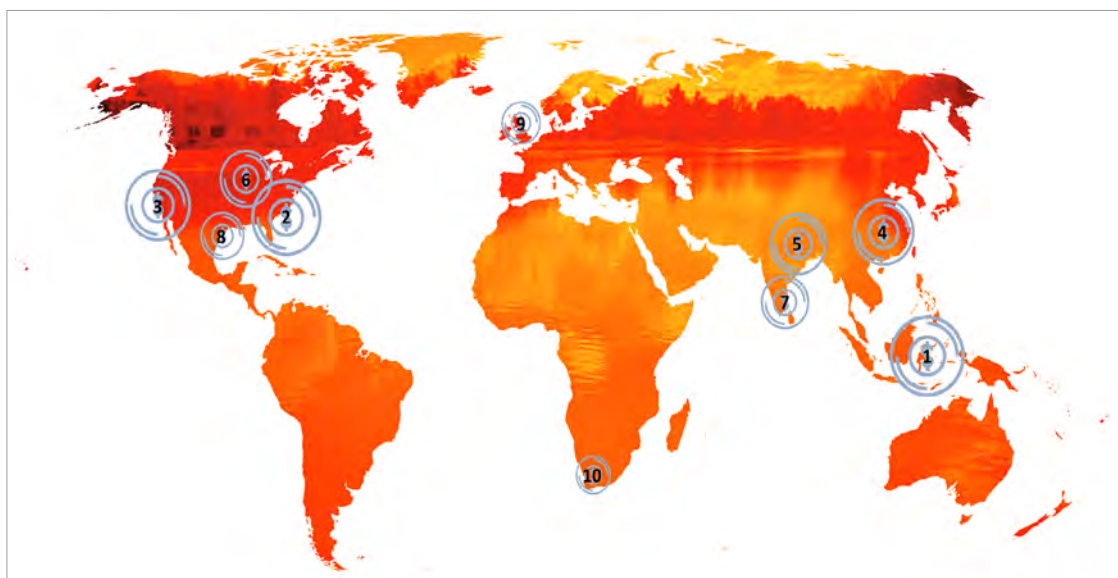
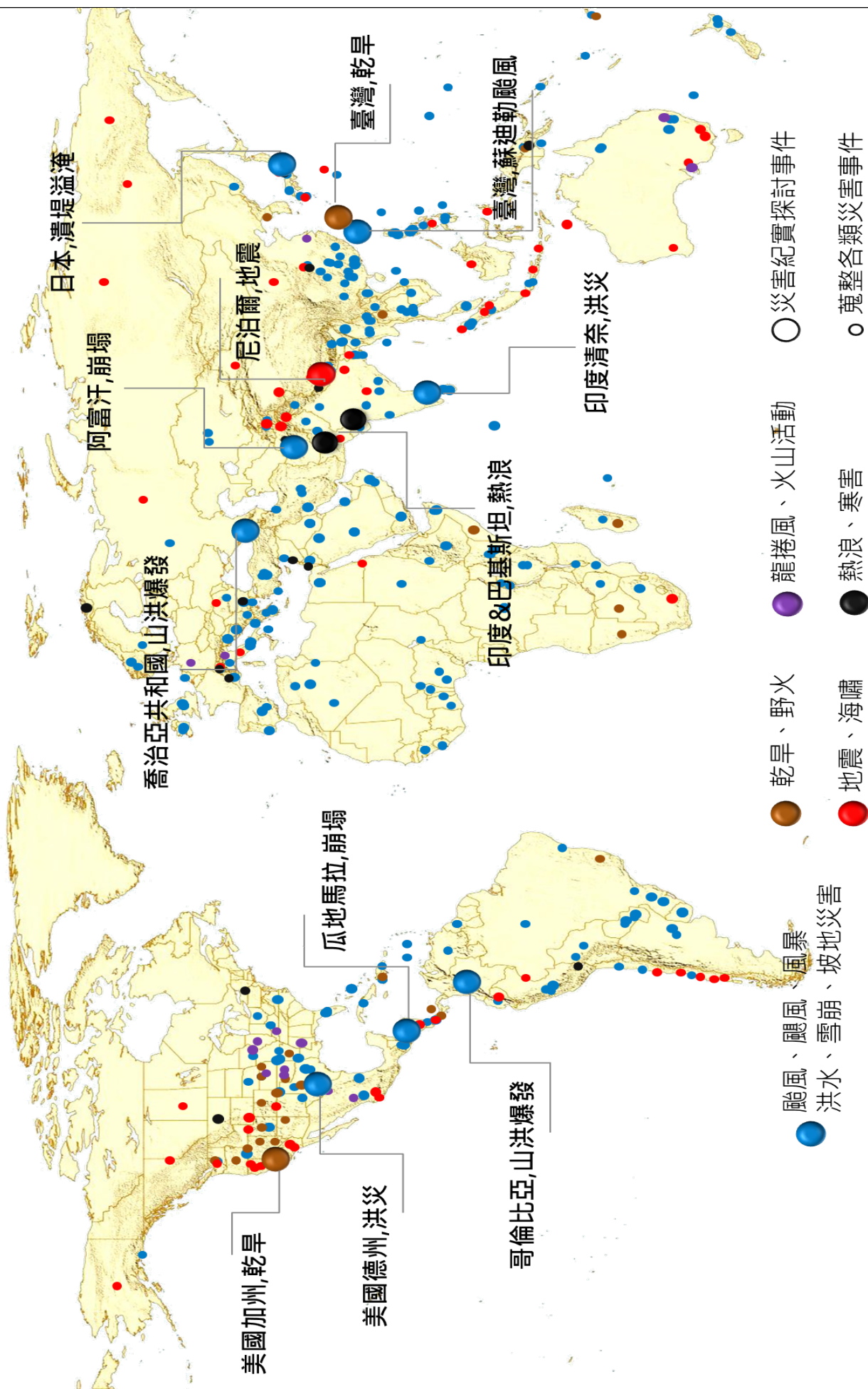


圖 6. 2015 年全球十大天然災害事件 (依總損失排序) 分布圖

2015 年天然災害分布



4 月 尼泊爾 M7.8 地震



尼泊爾北邊與中國西藏自治區相接，西、南、東三面則與印度為鄰。尼泊爾版圖呈長方形，東西寬約 850 公里，南北寬約 200 公里，國土面積約有 147,181 平方公里。尼泊爾的行政區劃分為 14 的專區 (zone)(圖 7)，專區又可再分為 75 個縣 (district)。根據 2015 年的人口統計資料，尼泊爾總人口數約 2,881 萬人，有 58% 的人口是屬於勞動年齡，全國務農人口占 80%，相較於北部受限於喜馬拉雅山脈，與中國經濟交流上交通極為不便，南部屬平原地形，交通設施發達，與印度經濟交流密切。尼泊爾位於喜馬拉雅山脈南麓

，屬印度板塊與歐亞板塊互相碰撞之處，有複雜的地質構造與變質作用，三條主要逆衝斷層線略呈東西向橫跨尼泊爾，山區之岩性以變質岩為主。因此，尼泊爾擁有豐富的地理景觀，主要可分為北部的高山地區，中部的山區和河谷，以及南部的平原區，世界十大高峰有八個在尼泊爾境內，包括全球最高的山峰珠穆朗瑪峰 (Mount Everest)(海拔高度 8,848 公尺)，使尼泊爾成為熱門的登山勝地。



圖 7. 尼泊爾行政分區圖紅字為首都加德滿都 (Kathmandu)(尼泊爾政府網站)

災害概述

尼泊爾於台灣時間 4 月 25 日下午 2 點 11 分，發生規模 7.8 之地震事件，震央位於尼泊爾首都加德滿都西北方約 80 公里處，震源深度 15 公里，屬於淺層地震。另根據美國地質調查局 (U. S. Geological Survey, USGS) 的監測資料，在主震發生後周遭共發生 70 起、規模達 4.5 以上之餘震，且於 5 月 12 日發生規模高達 7.3 的餘震，深度約 10 公里，震央位於加德滿都東方、珠穆朗瑪峰山腳下的拉多夫地區。此次地震受災區域廣大，造成 8,633 人死亡，564 萬人受到影響，經濟損失約 38 億美元。

災害特性

尼泊爾本次地震主要原因係印度板塊與歐亞板塊相互碰撞，造成隱沒帶（即主要逆斷層前緣帶）附近的逆斷層活動造成。印度板塊以每年約 2 公分的速率往北 - 東北方向朝歐亞板塊聚合（圖 8），板塊應力也導致喜馬拉雅山（Himalayan mountain range）每年以約 1.8 公分的速度增高。而尼泊爾即位於此兩板塊交界處附近，因此在歷史上有多次規模 6.5 以上的強震發生。

本次地震於加德滿都當地測站測得之最大地表加速度（PGA）值為 600 gal，其 PGA 值高於其他鄰近震央區域，而強地動造成加德滿都重大傷亡。台灣地震科學中心使用世界寬頻網之震波記錄模擬斷層面錯動模型，斷層由震源向東破裂 80-90 公里，最大錯動量約 3 公尺（圖 9），依此模擬結果初步研判加德滿都雖距離震源較遠但其震度反比近震央處大之原因，在於加德滿都鄰近最大錯動量所在處之地表，且因斷層開裂方向效應所致。

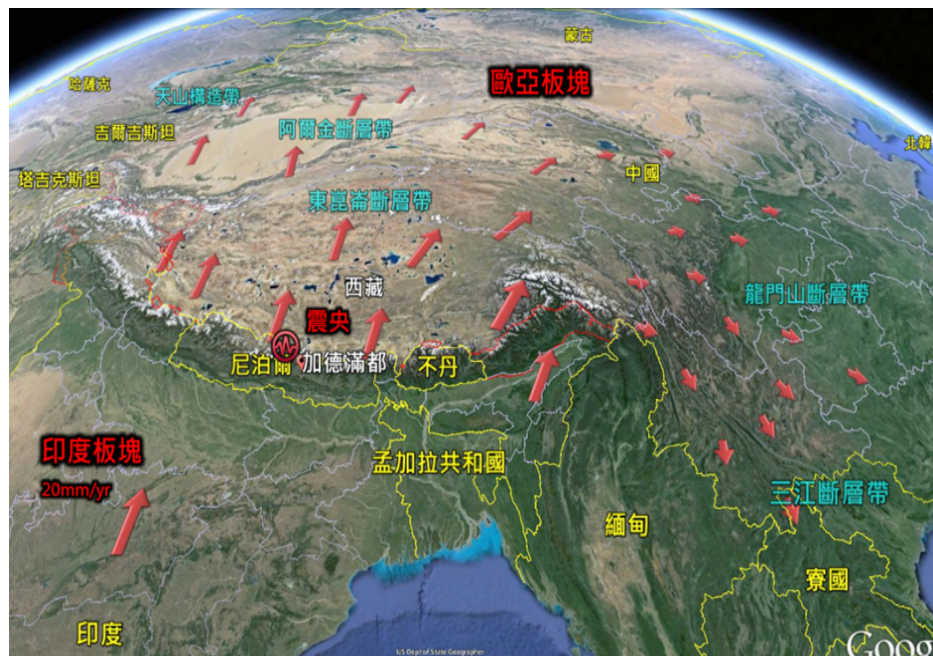


圖 8. 尼泊爾鄰近之板塊構造分布圖（陳文山教授）

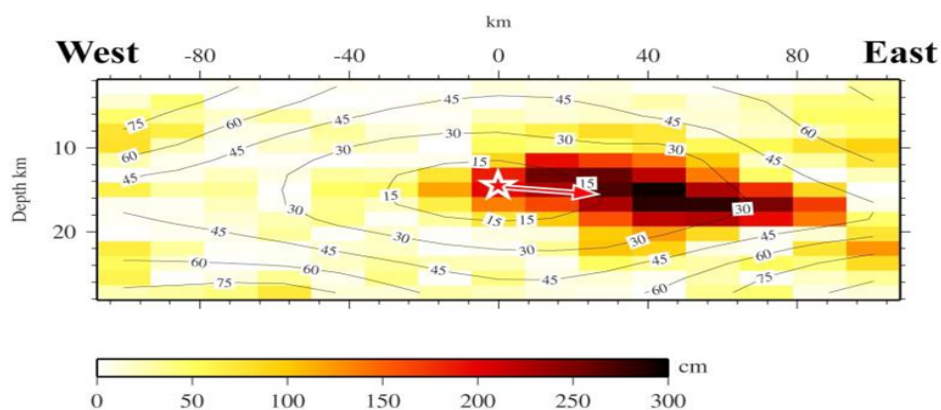


圖 9. 尼泊爾地震斷層面錯動模擬模型（台灣地震科學中心）

此外，依據尼泊爾國內相關研究指出，因加德滿都屬於谷地地形，且其中有兩條主要河川流經谷地，故谷地平坦區域屬沖積層地質（圖 10），可能產生場址放大效應，致使當地震度反比近震央處為大。

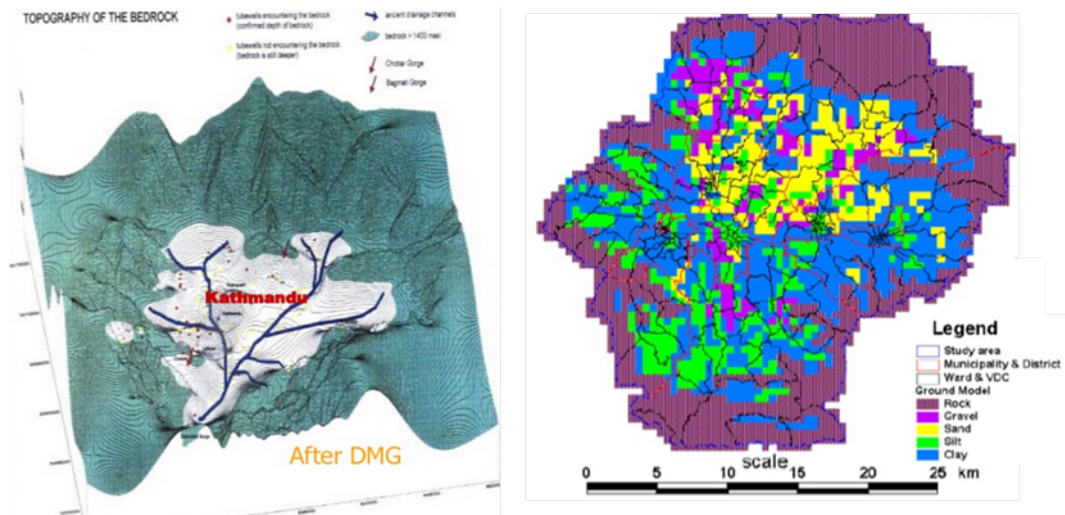


圖 10. 加德滿都谷地地形（左）、加德滿都谷地沖積層之土壤性質分布（右）
（JICA/MoHA）

災情綜整

尼泊爾地震後進入緊急狀態，各國紛紛前往援助，鄰近之印度與中國在地震發生後隔日抵達加德滿都進行救援，而聯合國也緊急撥款 1,500 萬美元（台幣 4.6 億元）投入救災，並統籌國際救援工作。我國政府亦由外交部積極協調國內非政府組織及醫療、慈善團體進行物資募集並前往尼國協助。本次地震災後應變與短期復原措施綜整如表 4。

此外，因本次地震受災區域廣大，且受地形複雜、道路交通受災嚴重等影響，災情掌握仍以加德滿都鄰近區域為主，地震災情綜整如圖 11。以下就其中「建物與人員傷亡」、「文化資產災害特性」、「坡地崩塌災害」以及「影像與網路科技協助災情辨識」之議題進行分析討論：

• 建物與人員傷亡

尼泊爾地震震央鄰近區域之人口並不特別密集，但距震央約 80 公里的首都加德滿都，卻傳出大量人員傷亡災情，除了山崩掩埋山地聚落導致人員傷亡外，加德滿都大量建築破壞為造成大量人員傷亡之主因。

表 4. 尼泊爾地震災後應變與短期復原措施（OCHA）

項目	現況描述	困境
人命搶救	- 尼國投入軍隊救災 - 共 53 國搜救隊投入人命救援 - 尼國政府 5 月 4 日發佈搜救隊解編通知	如何有效整合尼國軍隊與國際救援組織的救災能量
救援中心	成立人道救援中心，協調各項的救援工作	
物資救濟	成立「資源集散中心」，負責救災資源的管理與配送	- 運輸工具不足、道路中斷，物資配送難度高；偏遠地區物資缺乏的情況更為嚴重 - 物資缺乏而引起的災民抱怨
臨時收容所	- 成立臨時收容所 - 加強臨時收容所治安治理 - 宣導家暴防治	- 糧食、飲用水等民生資源不足 - 部分臨時收容所為開放式空間 - 收容所發生治安問題；災區社工機構不足
其他項目	- 通訊：提供網路與通訊設備，增加災區的資訊傳遞 - 醫療：政府提供醫療服務，防止災區疾病傳染 - 公共衛生：提供乾淨的水資源	- 醫療：因醫療機構毀損，重傷病患無法被妥善照顧；尼國缺乏心理專業人員 - 公共衛生：偏遠地區缺乏乾淨的水資源



圖 11. 尼泊爾地震災情綜整

尼泊爾在 1995 年以前並沒有建築耐震規範等相關規定，住宅和其他建築在建造時沒有任何防震要求。在 1995 年後，尼泊爾開始實施建築規範（Nepal National Building Code），但不涉及既有建築，致使加德滿都有近 7 成之建物仍為「磚造」或「加強磚造」結構。此外，當地人為了增加居住空間或作為觀光旅客住宿之用，增建樓層之情況普遍，常見作法是在一到三層樓之磚造房屋上，用混凝土加蓋「加強磚造」之新房（圖 12），此類「房舍疊加（老摺少）」建築型態更大幅削弱耐震能力。

依 USGS 資料顯示，本次地震於加德滿都地區之 0.3 秒譜加速度高達 1,600gal（圖 13），對低矮樓層建物之衝擊更加明顯。而由相關災害照片顯示，當地受損房屋確以耐震能力不足之建築為主（見右側上方歐新社照片）。據尼泊爾國家緊急行動中心截至 5 月 15 日之統計，建物毀損嚴重，罹難人數已超過 8,000 人。另外，此次地震亦波及西藏 19 個縣，造成西藏 25 人死亡。而 5 月 12 日規模 7.3 之餘震，又造成 50 人死亡，並影響後續救災。

較高之建築仍常見為
「加強磚造」

往上加蓋「磚造」
或「加強磚造」

1~3F 多為「磚造」



圖 12. 加德滿都仍有大量「房舍疊加（老摺少）」結構型態之建物

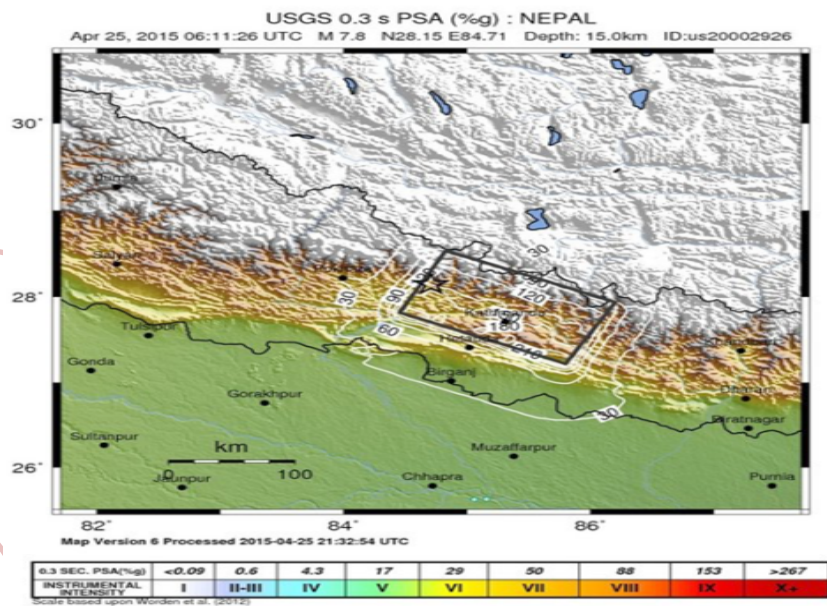


圖 13. 尼泊爾地震 0.3 秒譜加速度分布圖（USGS）



軍隊在耐震不足建物中，找尋生還者。照片來源：歐新社

• 文化資產災害

根據聯合國教科文組織（UNESCO）調查評估，列為世界文化遺產之一的加德滿都谷地，在此次地震中受到嚴重損壞，尼泊爾 7 組世界遺產景點中有 4 組受到破壞性影響，尤其帕坦王宮廣場 (Durbar Squares of Patan)、哈努曼多卡 (Hanuman Dhoka) 和巴克塔普爾 (Bhaktapur) 等幾乎完全被摧毀。此外，列為世界自然遺產的薩加瑪塔國家公園 (Sagarmatha National Park)，包括聖母峰 (Mount Everest) 在內也都受到地震強烈影響。

UNESCO 認為這些受災的世界遺產及文化資產應該可以被修復及重建，但重建計畫將需要持續數十年時間，並需要耗費大量資金。慶幸的 1997 年列為文化遺產的佛祖的誕生地藍毘尼 (Lumbini, the Birthplace of the Lord Buddha)，以及 1984 年列為自然遺產的奇旺國家公園 (Chitwan National Park) 因距離震央較遠，受地震影響最小。



達拉哈拉塔 (Dharahara Tower) 震後只剩下 10 公尺高。照片來源：歐新社

• 坡地崩塌災害

尼泊爾此次地震，造成震央附近的山區多處發生崩塌，總崩塌數量超過 3,000 處，截至 05 月 15 日所獲得的山崩位置分布如圖 14 所示，其中以位於加德滿都北側的 Langtang Village 最為嚴重，整個村莊被來自北側的雪崩掩埋，以及來自西北側的土石崩塌整個覆蓋，死亡人數可能達到 200 人（圖 15、圖 16），Langtang River 被大量崩塌物質完全覆蓋，但仍沒有證據顯示有堰塞湖形成，代表水流可能滲透或是流過這些崩塌的土石、雪和冰 (Mountain Hydrology)。

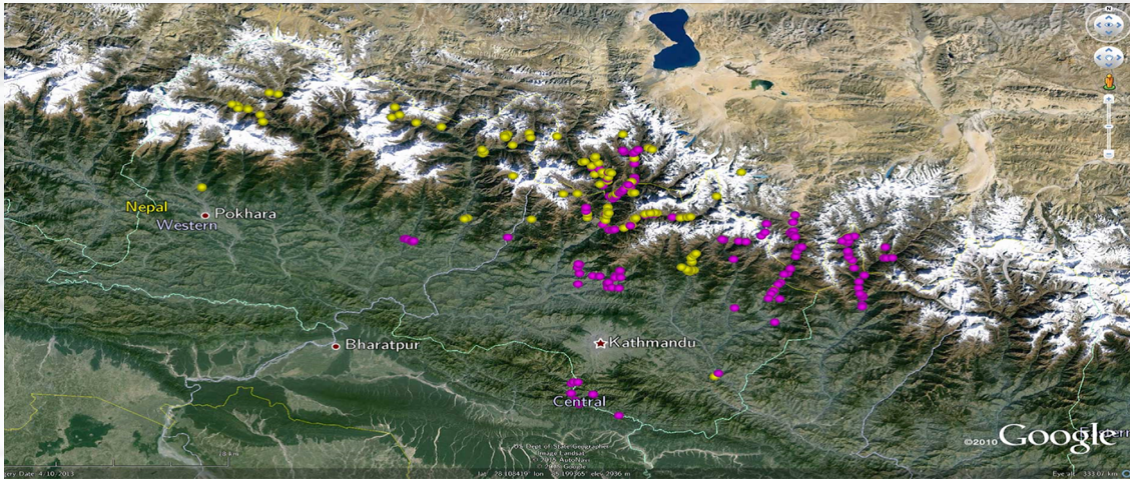


圖 14. 尼泊爾地震造成之山崩位置分布
(NASA-USGS 與英國地質調查所 & Durham 大學團隊)

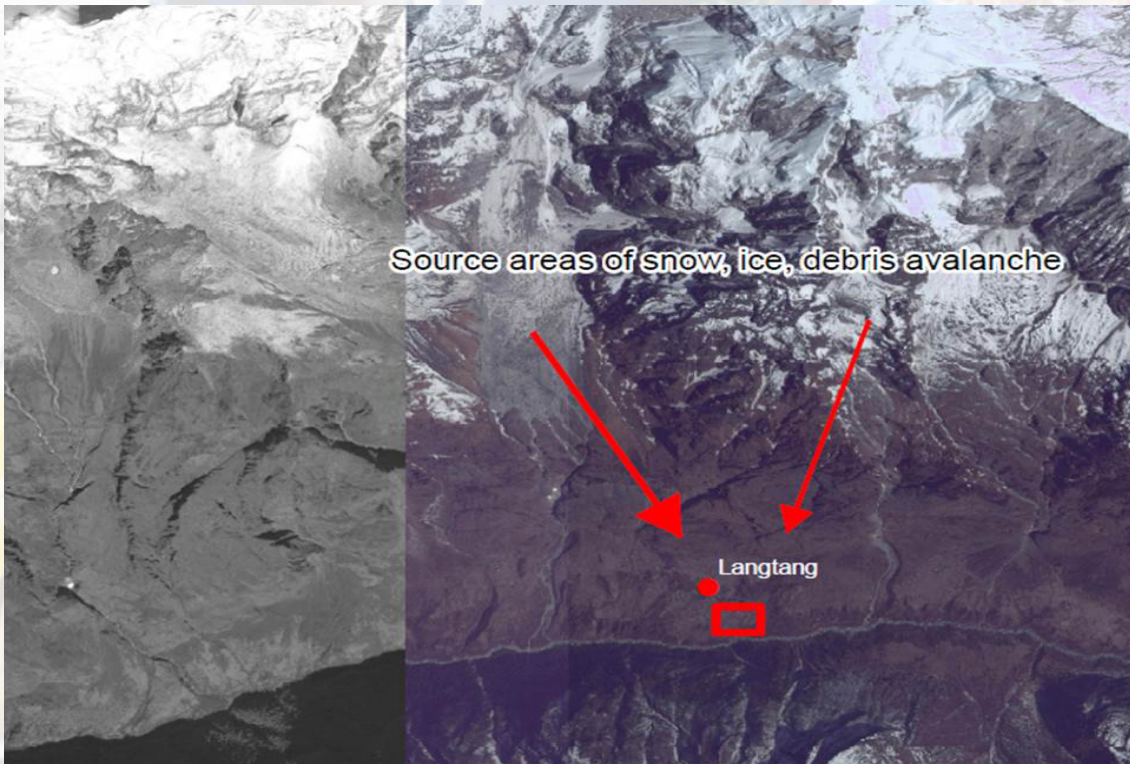


圖 15. 掩埋 Langtang Village 雪、冰、土石可能來源 (Mountain Hydrology)

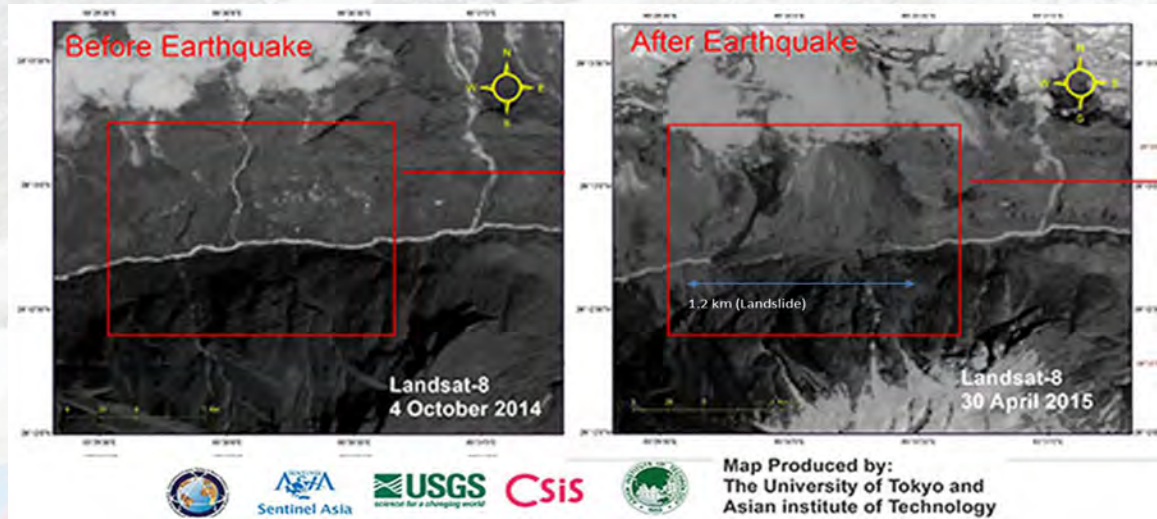


圖 16. Langtang Village 山崩前後影像比較 (ICIMOD)



喜馬拉雅山因地震雪崩，營地受損。照片來源：歐新社

其他山區的山崩，由相關資料僅顯示造成部分山區 (Sikkim, Kurintar, North of Rasuwa District 等) 交通阻斷，造成居民撤離與救難人員進入山區村落搜救困難，部分山崩的大量土石也阻斷了河道，可能形成堰塞湖（圖 17），須注意可能造成二次傷害。除了崩塌所造成的災情，山區偏遠村落的房舍也多為強震所震垮，但受到道路損毀影響，救難人員搜救困難。

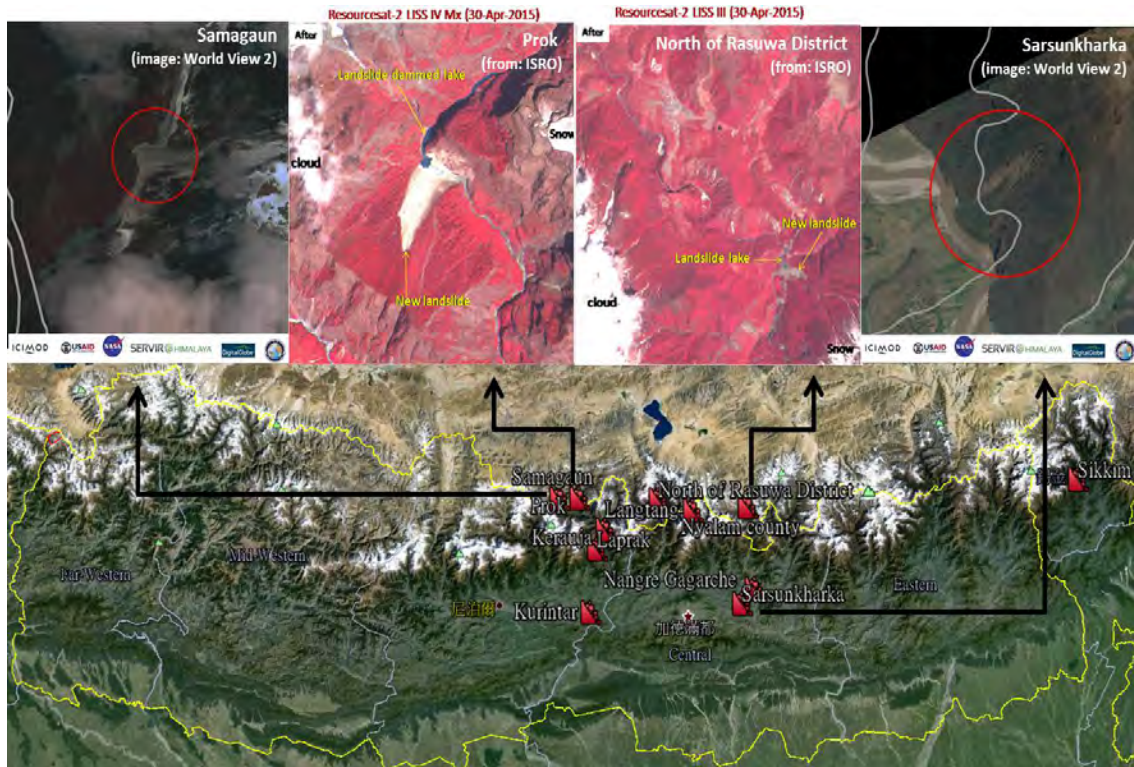


圖 17. 部分山崩阻斷河道



照片來源：歐新社

4 月 阿富汗融雪引發山崩



阿富汗位於中亞地區，主要由乾燥的平原、盆地、山脈、高原所組成，以東北部的興都庫什山、帕米爾高原為地形主體，山地與高原占全國面積的 80%，是一個位處內陸的多山國家，平原分布在國家的北部與西南部地區。阿富汗屬於大陸性氣候，夏季炎熱、冬季寒冷，大部份都是乾燥的地區，乾淨的淡水供應很有限。行政區分為 34 個省，首都為喀布爾 (Kabul)，國土面積約 647,500 平方公里，人口約 3,188 萬人，是世界上最貧窮的國家之一。

2015 的崩塌事件位於阿富汗東北部的巴達赫尚省內 Khwahan 區的 Jerow-Bala 村 (圖 18)。巴達赫尚省的總面積為 44,059 平方公里，大部分地區屬於興都庫什山和帕米爾山脈，多為難以接近的區域，擁有極為嚴酷的冬季，是阿富汗境內最窮且發展程度最低的省份。由於興都庫什山脈為印澳板塊與歐亞板塊擠壓運動之處，因此阿富汗東北部地區的地震活動非常活躍。套疊阿富汗地質調查所 (Afghanistan Geological Survey, AGS) 1/1,000,000 的地質圖層 (圖 19) 可以知道，崩塌地區基盤岩性以基性火成岩、砂岩、粉砂岩、頁岩為主，覆蓋厚層的風積黃土。

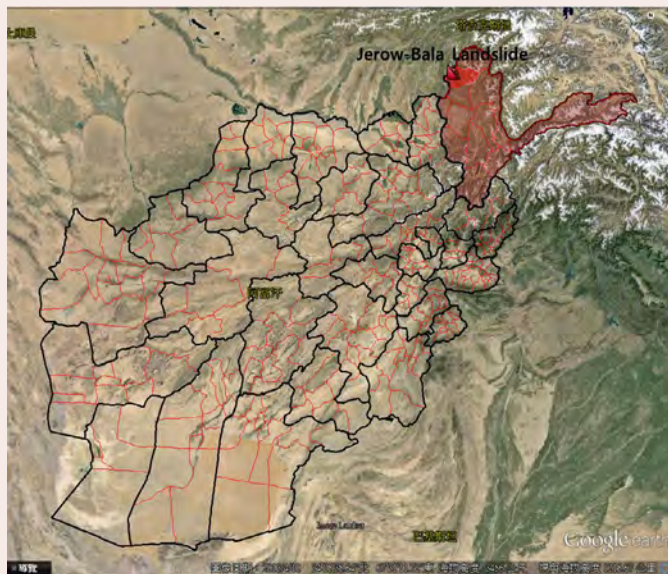


圖 18. Jerow-Bala 村山崩地理位置 (NCDR 繪製，套疊行政區圖層來源：Global Administrative Areas)

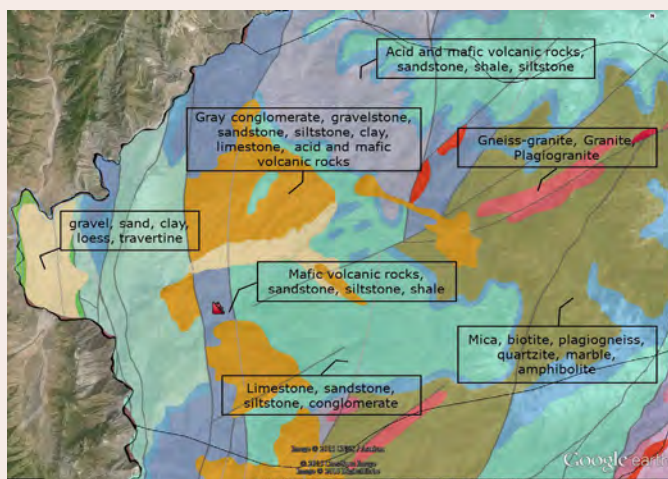


圖 19. Khwahan 區地質圖 (NCDR 繪製，套疊地質圖層來源：阿富汗地質調查所)

災害概述

2015 年 4 月 23 日凌晨 (當地時間約 00:30) 在阿富汗東北部巴達赫尚省內的 Khwahan 區，距離首都約 200 公里的 Jerow-Bala 村發生了山崩事件，Jerow-Bala 村遭到相當嚴重的破壞 (圖 20)，共造成了 52 人死亡，包含 25 個女性、22 個小孩以及 5 個男性死亡，共 97 間房舍被掩埋，在 4 月 26 又發生了第二次山崩導致 120 個家庭流離失所，但沒有傷亡傳出 (The New York Time, BBC, TOLO News)。Khwahan 區長 Ghufuran Zaki 表示：一些村民於山崩前就注意到坡地上方出現了一些裂縫，因而於前一晚就提前撤離，死亡的多是認為山崩不會發生，所以留在家裡的居民，若村民沒有自主性的進行預防性疏散，傷亡勢必會更為嚴重 (Pajhwork Afghan News, UPI)。

Jerow-Bala 村地處偏遠，從 4 月 23 日發生災害，一直到 4 月 28 日災害消息才被外界得知，區長表示在這之前他們並沒有任何的裝備可以救出被埋在土石堆裡可能的生還者。大雪阻斷了通往村莊的道路，由阿富汗國家災害管理局 (ANDMA) 以及國際多個人道組織 (FOCUS, IOM, WFP, ARCS, UNICEF) 組成的評估團隊，利用聯合國人道空運服務 UNHAS 分別在 5 月 6 日和 5 月 16 日運用飛機將救援物資運送進入災區 (圖 21)，提供麵包、高能量餅乾、牛奶、帳篷、藥品、毛毯、現金、太陽能燈具等，協助約 237 個家庭。



圖 20. Jerow-Bala 村崩塌災情 (IOM · OIM)



圖 21. 救援物資以空運的方式送達災區 (IOM.OIM)

災因分析

阿富汗東北部山區，基岩大多是不透水且堅硬的岩石，但其上都覆蓋了厚層黃土，鬆散顆粒的黃土層非常脆弱，經常在春季溫度回升時快速融雪，導致大量水體容易入滲邊坡，孔隙水壓上升使有效應力下降，影響了黃土邊坡的穩定性，進而誘發崩塌事件。但是在阿富汗政府提供資料製成的災害潛勢地圖中（圖 22），並沒有顯示此區所面臨之災害風險。

阿富汗天然災害管理機構 (ANDMA) 表示，在山崩發生前幾天的大雪，在此區域已經累積了快 2 公尺的降雪量。配合美國太空總署 (NASA) 的 Terra 衛星所搭載之 MODIS 探測器提供的冰雪覆蓋率資料，我們可以看到，4 月 21 日-22 日冰雪的覆蓋率是增加的（圖 23a、圖 23b），到 23 日時則有下降的現象（圖 23c），表示雪的融化，26 日又再發生一次崩塌，推測也是溫度再次回升導致積雪融化所造成。

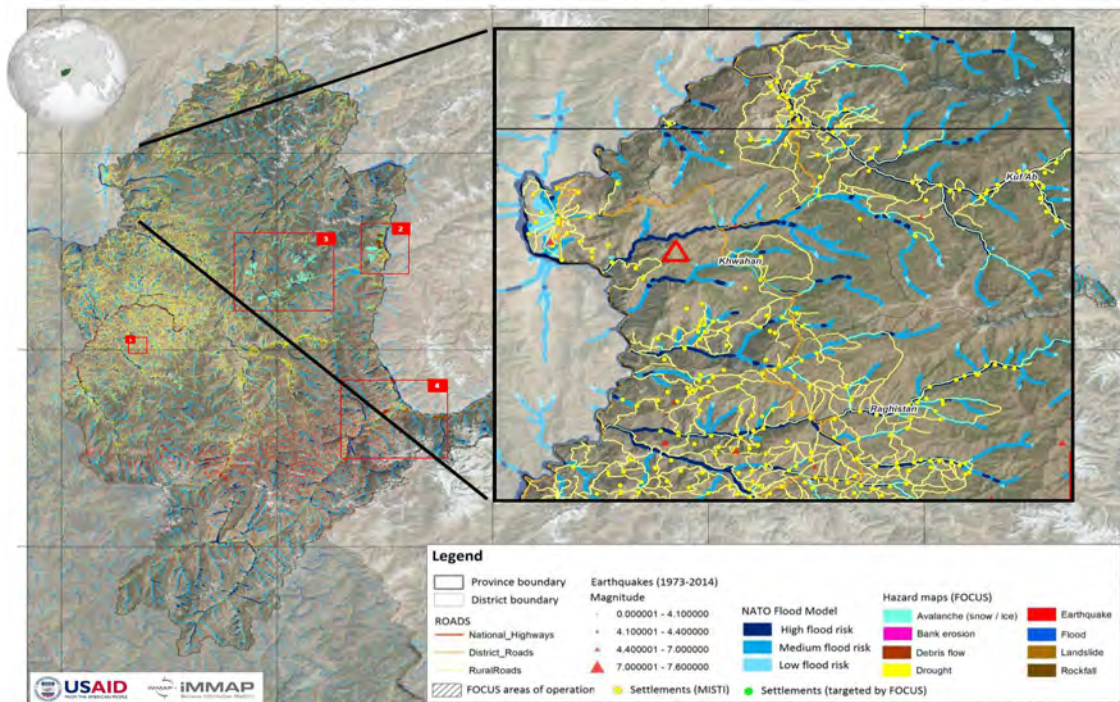
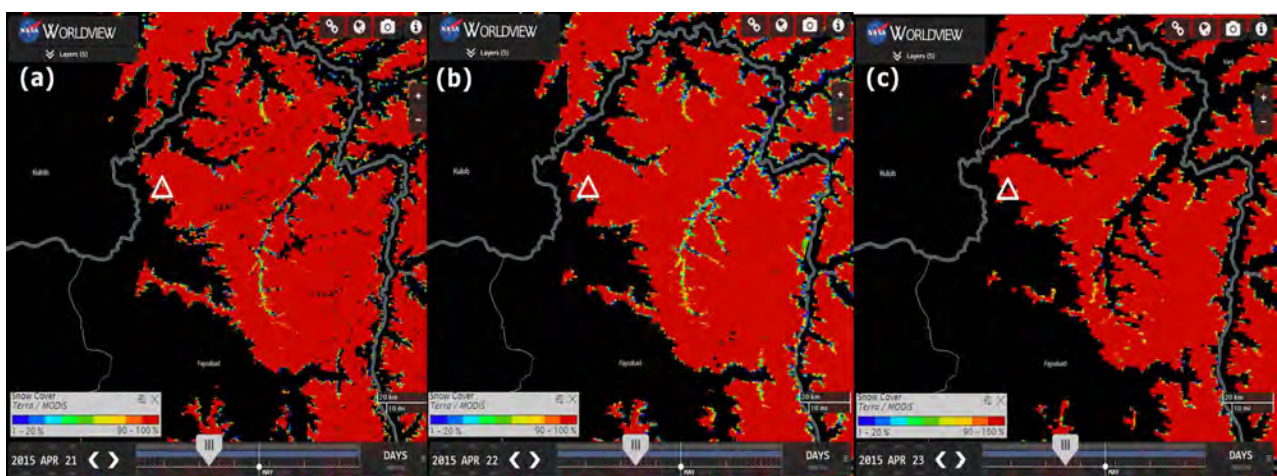


圖 22. 阿富汗的災害潛勢地圖 (iMMAP)



(a) 2015.04.21 (b) 2015.04.22 (c) 2015.04.23(NASA)

圖 23. 阿富汗 Khwahan 區冰雪覆蓋率變化



德州位於美國南部地區，與墨西哥相鄰，面積約 70 萬平方公里，共有 2,700 萬人之多，人口多集中於三大城市休斯頓 (Houston)、達拉斯 (Dallas)、聖安東尼奧 (San Antonio)，是美國第二大州。德州地勢西高東低，州內共有 5 條主要河流流經，其流經方向為西北往東南流，最終流入墨西哥灣。墨西哥灣為颶風侵襲地區，而德州地勢較低地區緊鄰墨西哥灣，故沿岸地區因而經常發生淹水災害。德州的雨量分布由東向西遞減，圖 24 右為德州年雨量分布圖，東邊約 54 英吋 (約 1,400 毫米) 至西邊 14 英吋 (約 355 毫米)，而影響雨量的成因包括：地勢高低和距海的遠近；此外當地氣溫，以緯度影響最大，溫度由南向北遞減 (圖 24 左)，其次是地勢高低的影響。

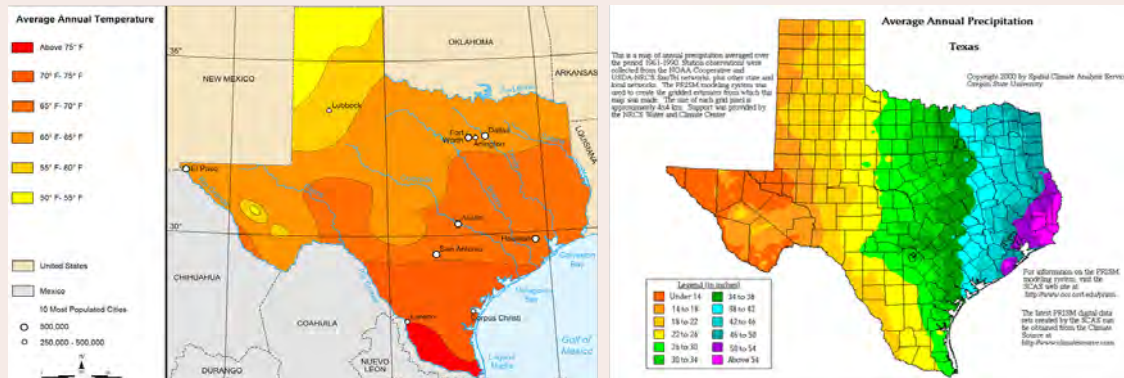


圖 24. 德州氣溫 (左) 和年雨量圖 (右)

資料來源：worldofmaps.net (左)；land with minerals (右)

災害概述

美國德州洪水發生時間在 5 月 23 日至 25 日，由於多日連續性降雨，造成 28 人死亡，11 人失蹤，德州州政府於 25 日宣布緊急狀態，有 110 郡列為災害狀態，其中 51 郡列為重大災害狀態地區，而德州主要城市之一休士頓為此次災害最嚴重都市。由於休士頓上游洪水暴漲，橋梁摧毀，主要道路成為排洪水路，德州地區有 10 萬戶無電可用，主要城市休士頓部分地區停止上班上課，而聯邦緊急事務管理署 (FEMA) 援助 9,454 戶的民眾，援助金額共計 3,900 萬美元 (相當新台幣 12 億)。此次洪災共有 30 億美元經濟損失 (約新台幣 990 億元)。



民眾在道路淹水處划船。照片來源：歐新社

災因分析

德州地區連續性的降雨，可由 NOAA 的日累積雨量圖顯示：5 月 24 日至 5 月 27 日地區性低壓導致降雨，而降雨最劇烈時間集中在 5 月 24 日與 26 日這二日，由圖 25 為德州 5 月 24 至 27 日之日累積降雨，最大降雨約大於 250 毫米，24 日最大降雨集中在聖安東尼奧，26 日最大降雨集中在休斯頓。德州氣象資料有紀錄以來在 2004 年六月是降雨最多月份降雨量為 6.66 英吋（約 169 毫米），而今年五月超越過去紀錄。這是連續性的鋒面在德州與奧克拉荷馬州持續降水，雖然春季一直是美國南部州的雨季，但今年的雨季的雨量比往年來得多，甚至超過歷史紀錄，由圖 26 顯示 2015 年五月，德州中、北部都市達拉斯周邊雨量測站 Dallas 測得 14.98 英吋（380.5 毫米）降雨，周邊另一個測站 Dallas Fort Worth 測得 16.96 英吋（430.8 毫米）雨量，測站分別打破歷史紀錄，創下歷史第一紀錄；而德州南部都市休斯頓周邊雨量測站 Houston 測得 14.17 英吋（359.9 毫米）雨量，為該測站五月歷史排名第五，聖安東尼奧都市中雨量測站測得 8.57 英吋（217.7 毫米）雨量，為該測站五月排名第七。

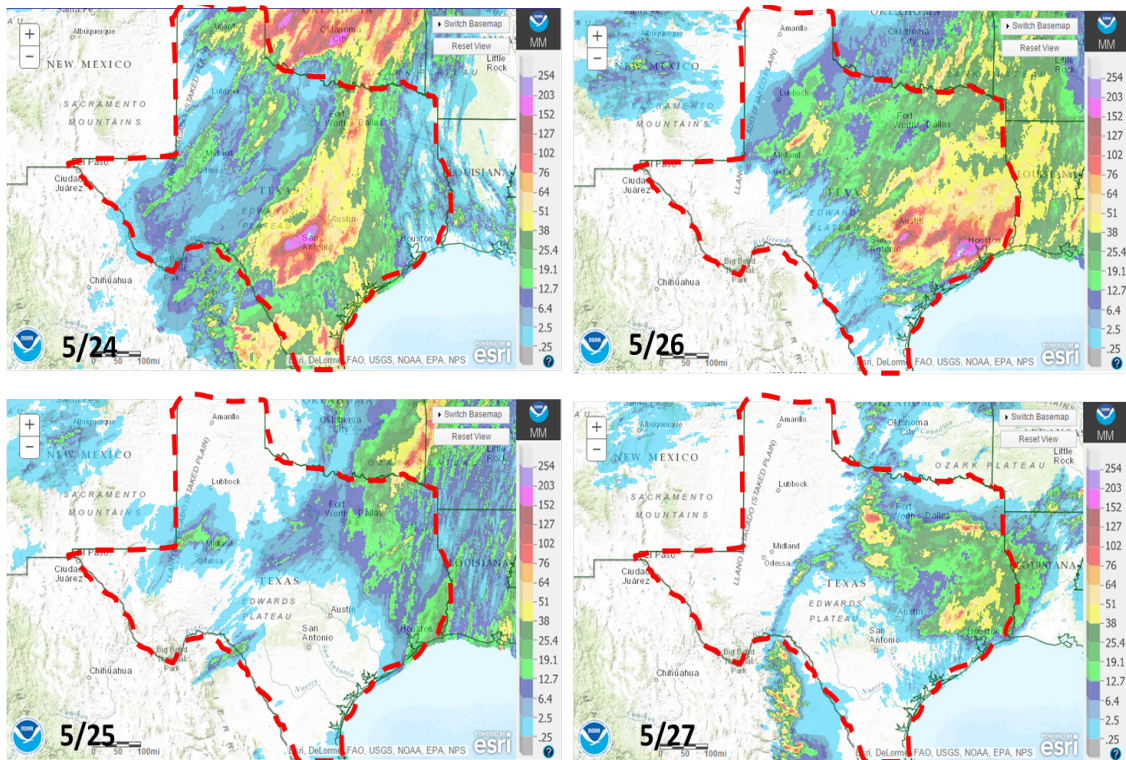


圖 25. 5 月 24 日至 27 日日降雨累積圖（單位：毫米）(NOAA)

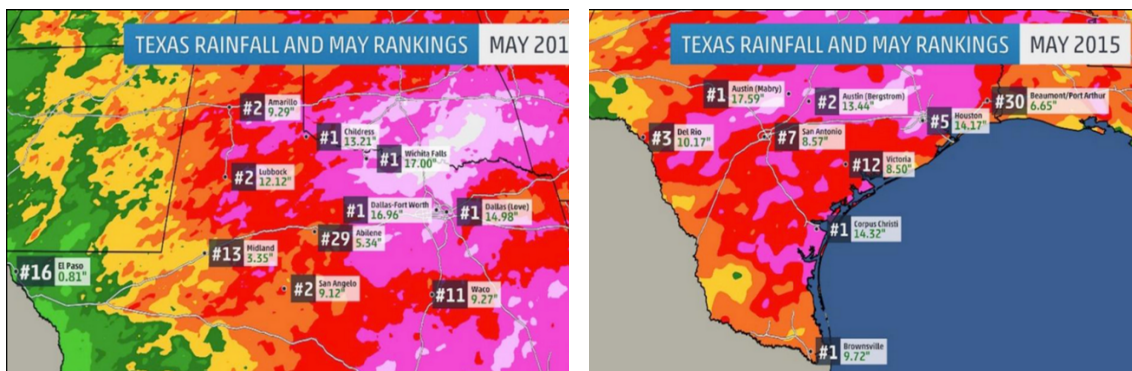


圖 26. 2015 年五月德州北部（上）、南部（下）累積降雨及歷史排序 (NOAA)

5月26日德州低窪地區和沿海地區已發生洪水災害，部分地區已達中度洪水和嚴重洪水狀態(圖27紅框)。另外，放大休士頓位屬哈里斯郡(Harris)的警戒情況，休士頓市中心和周邊外圍水位站，部分水位顯示紅標(圖28)，表示水位已達堤頂溢堤情況。此外，將哈里斯郡分別取北、中、南三測站可得知降雨是由5月25晚間8時開始降雨(圖29)，當南區降雨已經是晚間11時，可得知降雨雲雨帶是由北往南移動，而三區最大時雨量皆超過40毫米，而中部雨量站各測得二小時降下112.76毫米，相當於德州五月月雨量；另外，水位也隨著降雨增加因而上升，並在降雨5-8小時後水位達到峰值，甚至超過水位站之堤頂高，依水位重現期計算，此次洪水超過10年重現期，接近50年重現期之水位高。

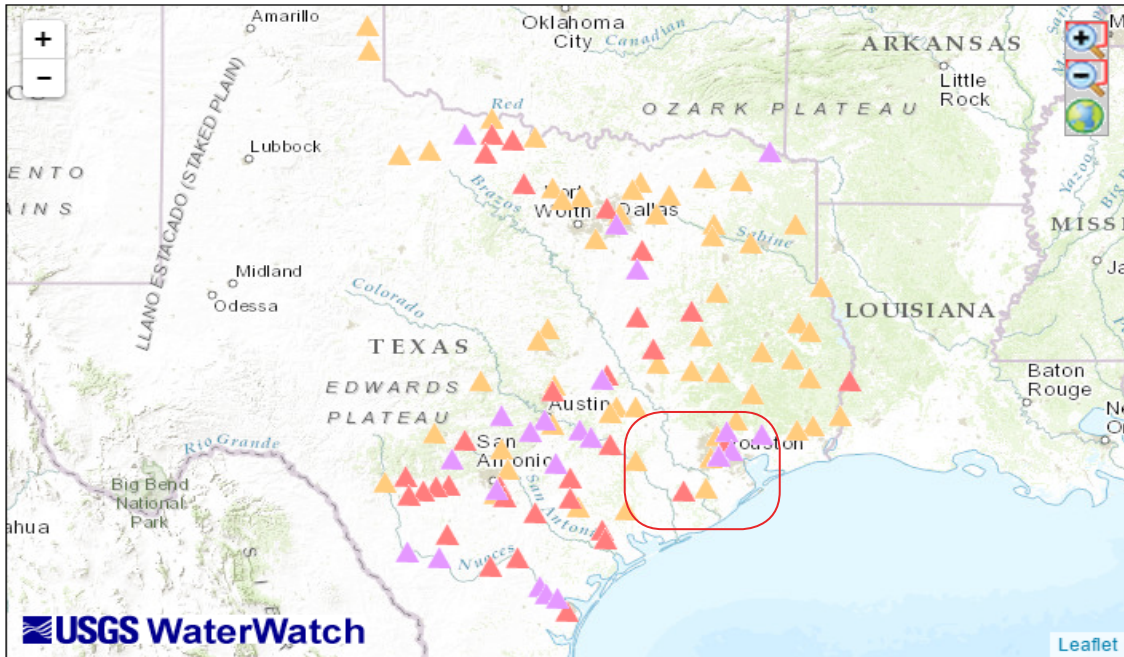


圖 27. 德州地區洪水警戒 (USGS Water Watch)

註：橘色：列為已發生洪水地區、紅色：中度洪水地區、紫色：已達大洪水階段

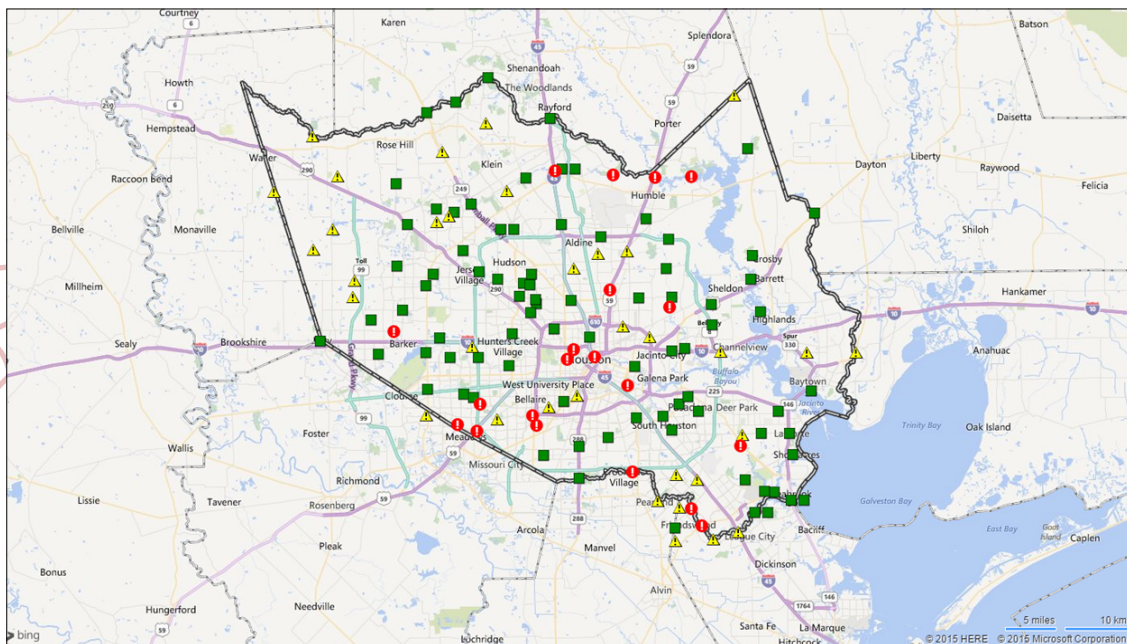


圖 28. 休士頓隸屬哈里斯郡水位警戒資訊 (Harris County Flood Warning System - Harris County, Texas) 註：綠標：正常水位、黃標：警戒水位、紅標：水位已達堤頂溢堤

由於休士頓幾乎每年都遭受洪水襲擊，所以為了減少洪水衝擊影響都會區，災害汛洪期間將道路即時改成水道，讓洪水可以順勢道路（人工水道）排除，但此洪水發生之時，道路確實發揮了蓄洪、排洪效用，但是道路改成水道時，宣導不及，使得在道路上的車輛因而困在水中，動彈不得甚至滅頂，而車上民眾對於突如其來的洪水無處避難，因而求救警消脫困。此次洪水，使得人口眾多的休士頓都會低窪地區淹水，也造成環市公路中斷。德州又是重工業地區，本次洪災也遭受波及，所以相關的再保公司聲明，德州洪災的經濟損失約 30 億美元之多。

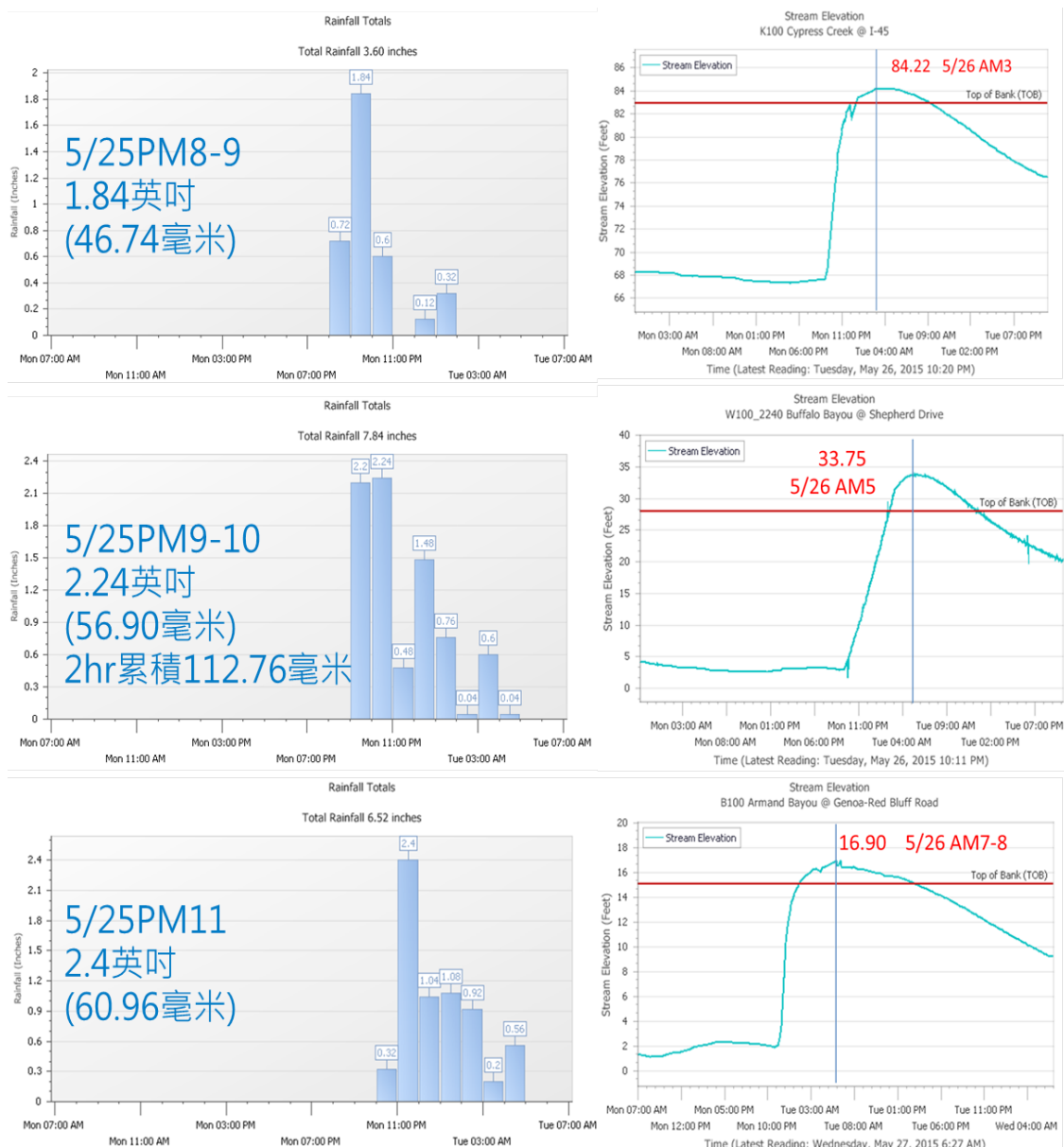


圖 29. 哈里斯郡北、中和南部雨量組體圖（左）及水位歷線圖（右）
（Harris County Flood Warning System - Harris County, Texas）

雖然德州在 2015 年五月以前處於乾旱災害型態，但五月起連續性的降雨，滋潤乾枯的土地，甚至造成洪水氾濫，不過上游水庫也發揮減洪效用，圖 30 是德州境內科羅拉多河 (Colorado) 上的馬歇爾福特水庫 (Marshall Ford) 水庫歷線圖，在超過月平均雨量的降雨下，使得水庫由原先低水位至五月立即飆升，水庫不僅解決旱象，另外亦發揮了蓄洪效用，削減河水流量，降低水位高，不然河水溢堤漫淹情況會更加嚴重。

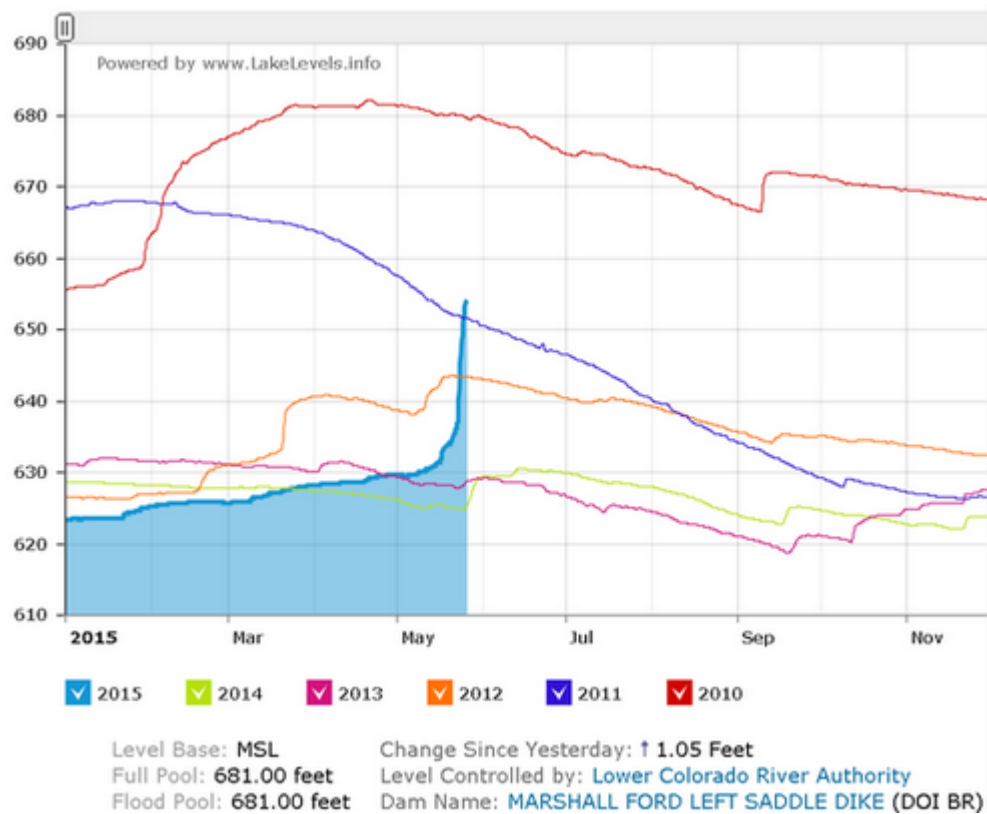


圖 30. 馬歇爾福特水庫 2010-2015 水位歷線 (<http://www.lakelevels.info/>)



河水已越過河堤，洪水漫淹四處。照片來源：歐新社

5 月

哥倫比亞山洪爆發



哥倫比亞共和國 (Republic of Colombia) 位處南美洲西北部；哥國北部是加勒比海、東部與委內瑞拉接壤、東南毗鄰巴西、南方則與秘魯及厄瓜多相交、西部為太平洋與巴拿馬邊境連接著南、北美洲。哥倫比亞人口約 4,832 萬人，國境面積約 113 萬 8,910 平方公里，為南美洲面積第四大國家。國土大部分位於北半球，赤道橫貫南部；西半部約占國土面積 45%，大部分為山區，安地斯山脈縱貫西部，山谷相間，此次災害發生位置就位於西北部山區 (圖 31)。降雨季節因不同地域而有所區別；麥德林 (Medellin) 為安迪奎亞省 (Antioquia) 的省會，位於此次

災害發生地點薩爾加東北方約 54 公里處，兩地同屬西部安地斯區；該區在降雨特性上；一年之中，月平均雨量以一月份約 50 毫米最少，十月份平均累積約 215 毫米，為全年度雨量最多之月份；其五月份屬濕季降雨型態，月平均雨量大致約為 180 毫米，占整年度降雨量的 11%。



圖 31. 哥倫比亞洪災受災區域位置圖 (OCHA)

災害概述

當地時間 5 月 18 日清晨 3 點，因連日降雨，山洪爆發使得哥倫比亞西北部安迪奎亞省的 La Libordiana 山區發生多處崩塌與土石流，滾滾泥砂沿著水系傾瀉而下，形成湍急洪水，重創位於下游的山城薩爾加市 (Salgar)。薩爾加市長 Olga Eugenia Osorio 災後接受媒體訪問時說，薩爾加市所轄四個城鎮之一的聖瑪格麗塔 (Santa Margarita)，受到最嚴重的衝擊，「聖瑪格麗塔幾乎已從地圖上消失」。

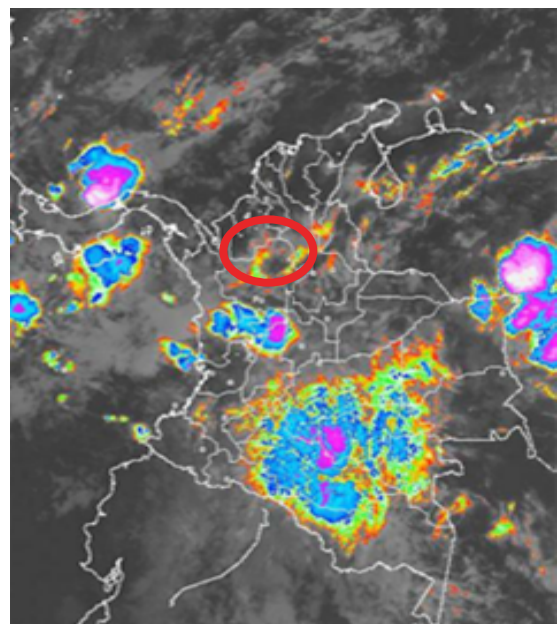
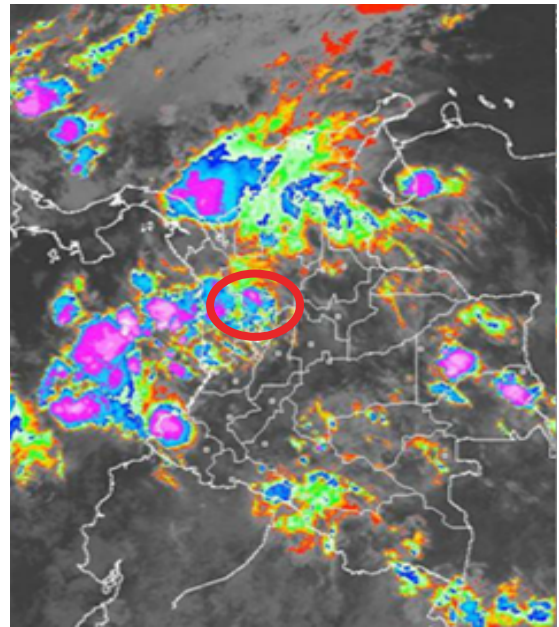
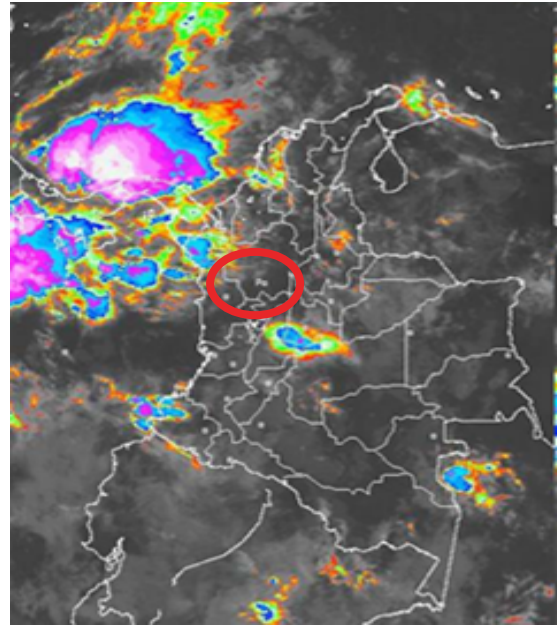
災因分析

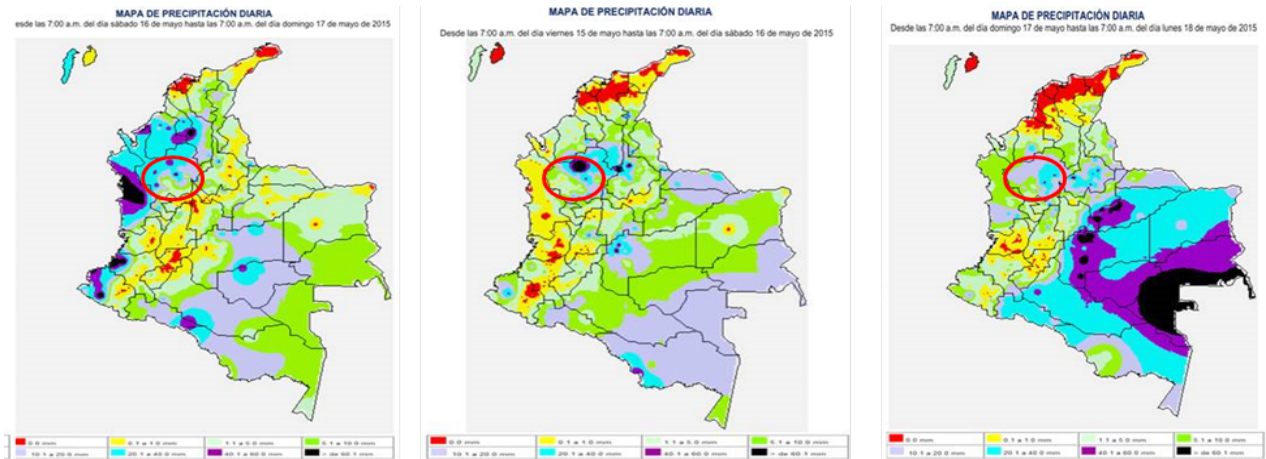
依據哥倫比亞水文、氣象與環境研究院 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM) 所發布的資料顯示，災害發生前三日 (5 月 16 日至 5 月 18 日)，東北部安迪奎亞省有一道雲系通過，影響時間主要應介於 17 日至 18 日間 (圖 32)。5 月 17 日至 5 月 18 日的日降雨分布，事發當地 (圖 33) 之累積降雨量大約介於 5 至 20 毫米間；推估事件發生前 20 小時，洪災發生區域降雨量推估最多應未超過 20 毫米。進一步檢視事件發生前 72 小時，也就是 15 日至 18 日的日降雨量圖，16 日至 17 日的日降雨量，事發地點局部地區觀測到約 60 毫米，其餘兩日的累積值大致皆不超過 20 毫米；故單就日雨量而言，事發前夕應未有特別顯著的長延時強降雨產生。由三日累積雨量圖 (圖 34) 當中，可清楚了解事發區域 (紅圈處) 三日累積雨量最多皆未超過 100 毫米。

由於當地位處山處，無法有更細緻之雨量分析；由 5 月 13 日至 5 月 18 日一週的降雨估計應在 200 毫米以內，約為 5 月的平均降雨量，對於當地而言，即造成嚴重的山洪暴發，導致 La Libordiana 河沿岸聚落遭受災害衝擊。由哥國氣象單位所發布之相關資料，可了解受災區域災前一周的累積雨量約為 200 毫米，已超過其五月之月平均雨量 180 毫米。當地原本就位於海拔相對較高之坡地災害潛勢區域，加以主要聚落皆沿河谷群聚；種種因素，致使連下多日降雨後，在山區的崩塌與土石流往下游運移過程中，造成了沿岸聚落嚴重的災害衝擊。

由哥國氣象單位所發布之相關資料，可了解受災區域災前一周的累積雨量約為 200 毫米，已超過其五月之月平均雨量 180 毫米。綜上所述，當地原就位於海拔相對較高之坡地災害潛勢區域，加以主要聚落皆沿河谷群聚；種種因素，致使連下多日降雨後，在山區的崩塌與土石流往下游運移過程中，造成了沿岸聚落嚴重的災害衝擊。

圖 32. 5 月 16 日至 5 月 18 日
(由上至下) 雷達回波圖 (IDEAM)





災害特性

- 上游坡地災害造成下游土砂衝擊

此次災害為上游山洪暴發，導致沿岸聚落河岸侵蝕、建物陷落、洪水溢淹等慘重災情。美國地質調查所 (U.S. Geological Survey, USGS) 經衛星影像判釋資料 (圖 35)，圈繪了受災區域上游山區約十一個大小不一的崩塌地與土石流溪流。由 International Charter 官網之遙測影像顯示 (圖 36)，下游沿岸聚落與上游崩塌及土石流發生地相距約 10 公里之遙，成為此次山洪暴發主要受災區域。

- 溪流沿岸為主要受災地區

主要受災聚落分布在沿溪流兩岸 (圖 37)，圖中黃色斜線部分為土砂影響區域，而紅點即為受災聚落。從受災區域災害前後的衛星影像顯示，該區域之地貌有顯著改變 (圖 38)，不但摧毀跨河橋樑 (圖 38 紅框線處)，沿岸建物更是受創嚴重 (圖 39 黃框線處)。

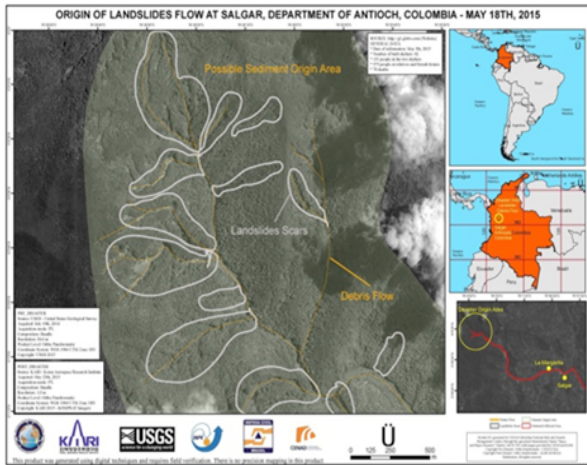


圖 35. 洪災之土石可能源頭 (USGS)

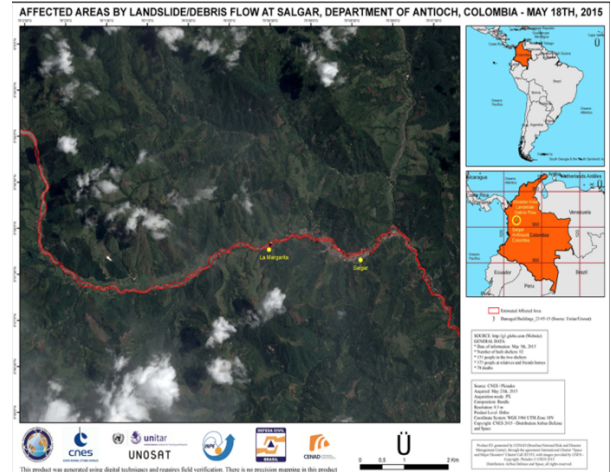


圖 36. 土石流受影響聚落位置
(International Charter)



照片來源：歐新社

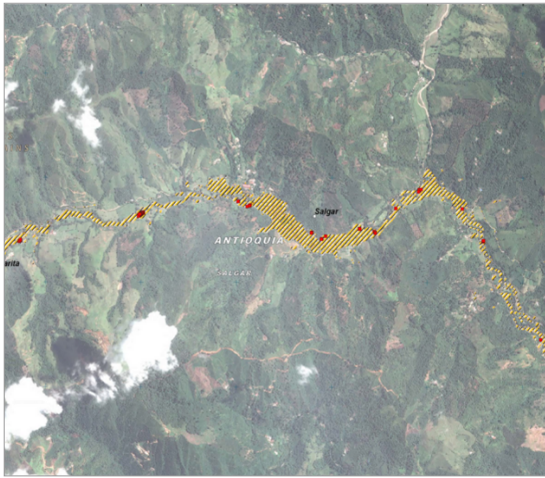


圖 37. 主要受災聚落分布
(International Charter)



圖 38. 受影響住宅分布
(International Charter)

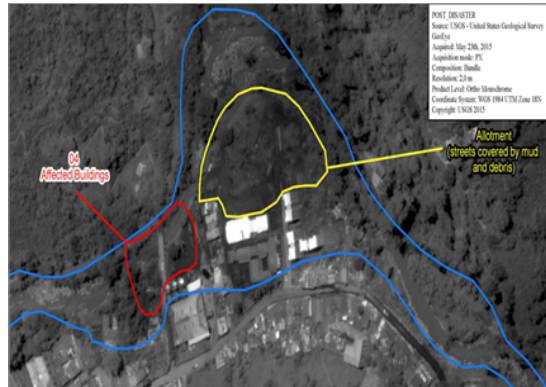
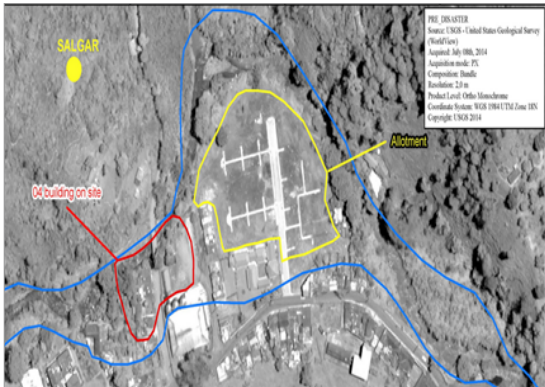


圖 39. 受災區域災前、災後影像判釋 (International Charter)



照片來源：歐新社

- 位於高潛勢地區，聯外道路受阻

坡度分析上(圖 40)，災害地區位於安地斯山脈，故其高程及坡度相對而言較為陡峭；由哥國 IDEAM 所提供之坡地災害潛勢分析可知，此區位於哥倫比亞坡地災害潛勢區域(圖 41 紅圈處)，因此就致災因素上，屬有坡地災害風險之山區。災區高程主要介於 1,200 至 1,400 公尺間，聚落沿河谷谷地分布，易受洪災衝擊。綜上所述，在坡度陡峭、屬坡地災害潛勢區域，加上聚落沿河谷而居，土瓦磚房建物密集，且當地位處偏鄉，災後當地聯外交通、橋梁受到嚴重破壞，無法對外溝通，甚至飽受缺水、缺電、缺乏燃油之苦。

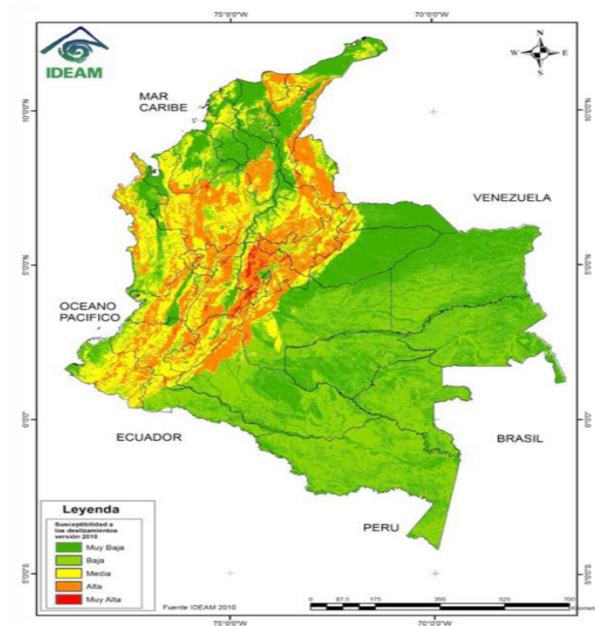


圖 40. 哥倫比亞坡度分析圖
(IDEAM)

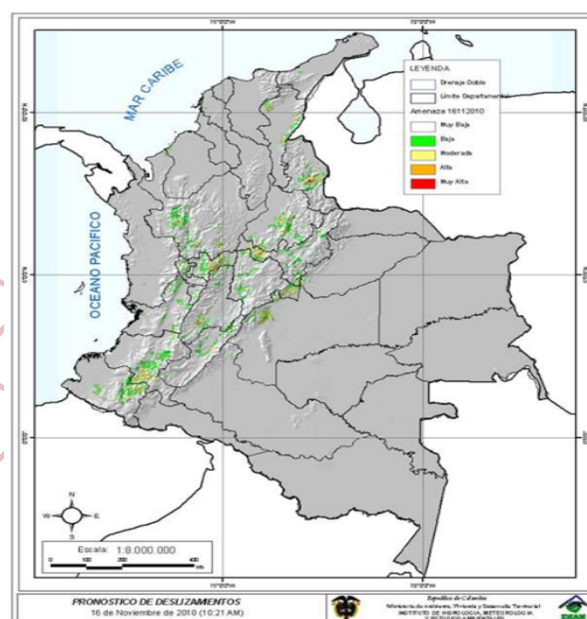


圖 41. 哥倫比亞坡地災害潛勢圖
(IDEAM)

特別企劃

美國國家海洋與大氣管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 及國際氣象組織 (World Meteorological Organization, WMO) 表示：自 1880 年有現代分析紀錄以來，2015 年的氣溫打破前一年才創下的高溫紀錄 (圖 42)，其分布如圖 43 所示，成為有史以來最熱的一年，由於強烈的聖嬰現象，海洋將大量的熱量釋放到大氣中因而產生破紀錄的高溫，因此熱浪與乾旱的災害在 2015 特別顯著。故 2015 天然災害紀實，來看看以臺灣乾旱與美國加州乾旱做為特別企劃，在最熱的一年中乾旱帶來的旱象與衝擊影響有哪些？

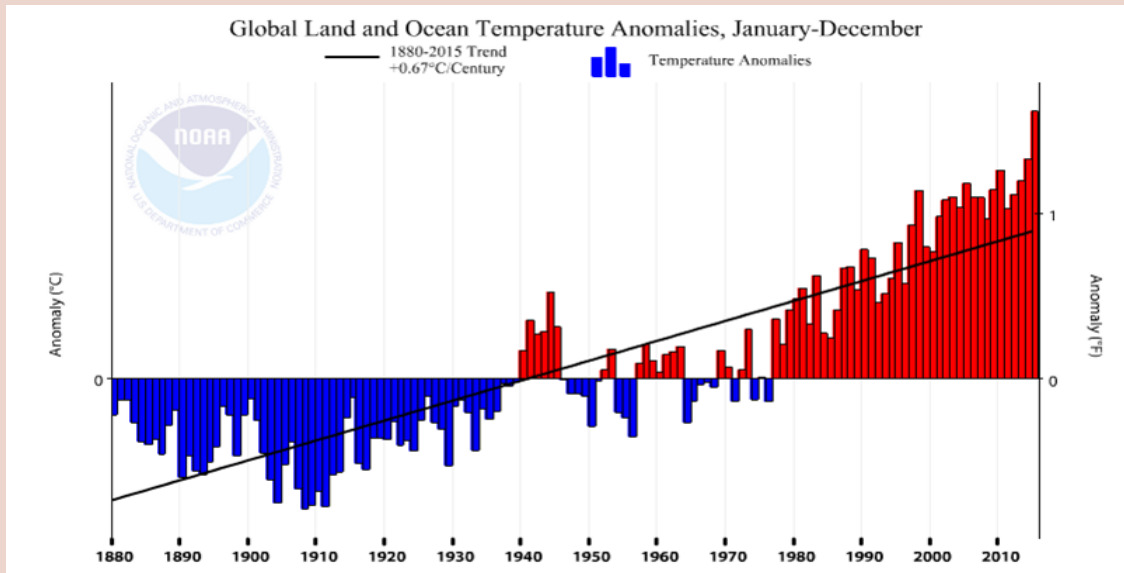


圖 42. 1880 年至 2015 年溫度趨勢 (NOAA)

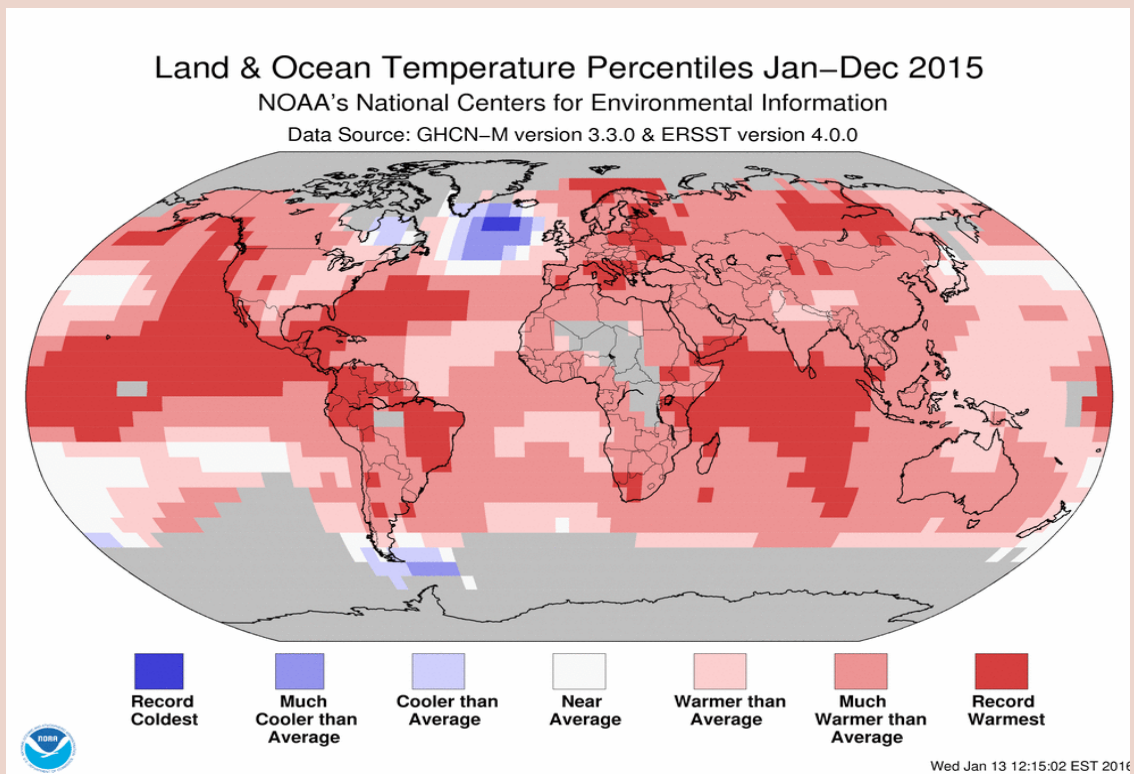


圖 43. 2015 陸地與海洋溫度分布圖 (NOAA)

臺灣乾旱概述

受到天然地形影響，台灣降雨空間分布不均且乾濕季分明，若豐水期（5月~10月）時水庫無法蓄存足夠水源，加上枯水期（11月~隔年4月）時降雨偏少，易有乾旱事件的發生。在國內，旱災的發生，可定義為因旱象持續惡化，無法有效控制所造成的災害（經濟部水利署，2009）。經濟部水利署更於「旱災災害防救業務計畫」中以缺水率及水情燈號來界定旱災的嚴重程度，作為後續旱災應變與決策的參考準則。

台灣地區於2014年9月~2015年5月間，歷經9個月的乾旱事件，影響層面涵蓋農業、工業以及民生用水，其嚴重程度僅次於2002/2003年的乾旱事件。主管機關於乾旱期間召開多次抗旱應變會議，並罕見的提升至中央災害應變層級，跨部會協商用水調度等相關水資源應變問題。其後受惠於5月之梅雨鋒面，水庫蓄水量趨於穩定後，才結束此次之乾旱事件。

如圖44所示，受2014年颱風季降雨較歷史同期偏低影響，各區水庫入庫流量偏低，經濟部水利署評估秋冬季水情狀況之後，部分地區進入一階限水。然而為因應水情不佳，導致一階限水區域逐漸擴大的情勢，經濟部成立旱災應變小組，著手進行農業用水調度的協調作業，考量一期稻作用水在即，加上供水情勢日益緊張，應變小組先後公告了多處農地停灌措施。並達成春節期間穩定供水之短期目標。

然而受到春季降雨不如預期影響，全台主要水庫蓄水量均較歷年同期低，用水調度需有進一步之作為。中央災害應變中心旋即於2月底成立，並宣布全台八區二階限水措施。三月份降雨除東北部地區以及翡翠水庫集水區降雨偏多之外，其餘各地降雨大多介於歷史同期平均之20%~40%之間。抗旱至此，總計停灌面積達4萬3千多公頃，為近十年來之最。

四月份水情持續惡化，石門與曾文水庫水位均於下限水位之下，其中又以石門水庫之水情最為嚴峻。為此，中央災害應變中心針對桃園、林口以及板新地區，實施供五停二的三階限水措施。所幸五月初的四波鋒面通過台灣，帶來豐沛雨量，各水庫集水區均有顯著降雨，水庫蓄水量逐漸提升，歷時九個月之旱災應變因受惠於五月上旬的降雨終於結束。

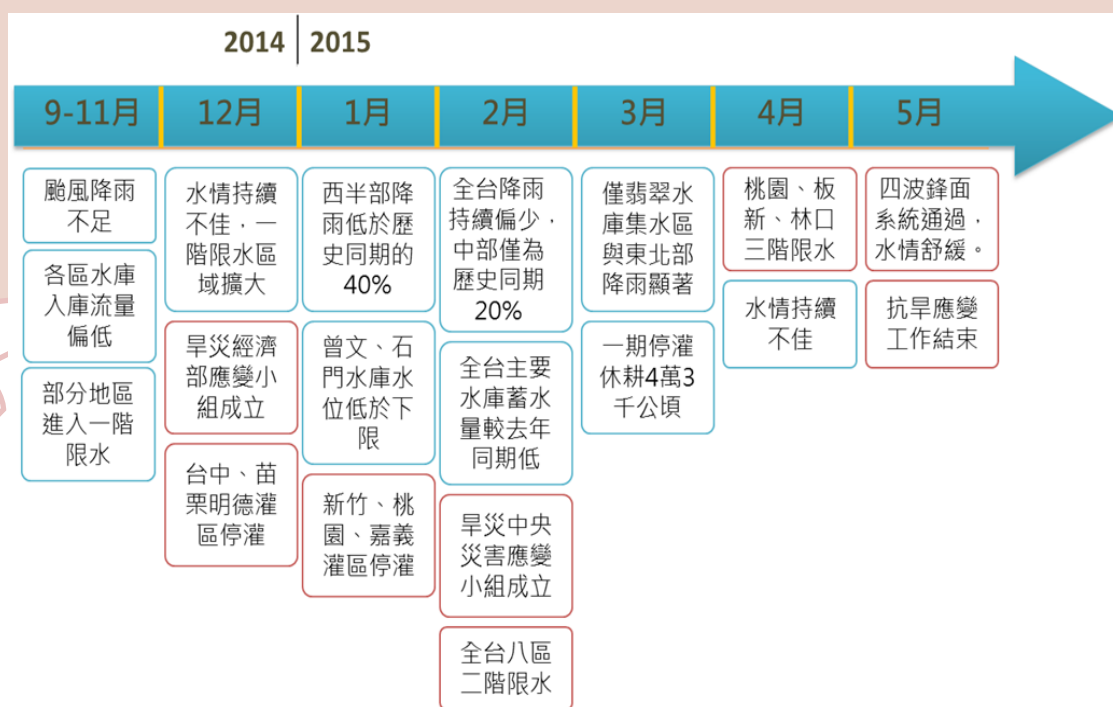


圖 44. 2014-2015 年臺灣乾旱主要歷程圖

水情與衝擊分析

標準化降雨指數 (Standardized Precipitation Index, SPI) 是監測與評估乾旱嚴重程度的重要指標之一 (McKee et al., 1983)，當 SPI 呈現負值時即代表該區降雨較平常年少。由圖 45 可知，自 2014 年夏季開始，台灣地區開始呈現降雨偏少的訊號。連月不雨的情形，使台灣各水庫水位持續下降，至 2015 年春季，石門水庫蓄水量僅剩 22%，水庫水位位於嚴重下限之下 (如圖 46)。所幸五月上旬四波鋒面系統通過，為全台水庫集水區帶來豐沛降雨。統計 2015 年 5 月 1 日 - 5 月 12 日累積雨量顯示，五月上旬的鋒面降雨，在各水庫集水區的分布：翡翠水庫約 300 毫米、石門水庫 200 毫米、中部水庫約 70~110 毫米、曾文水庫 100 毫米以及牡丹水庫 50 毫米左右。

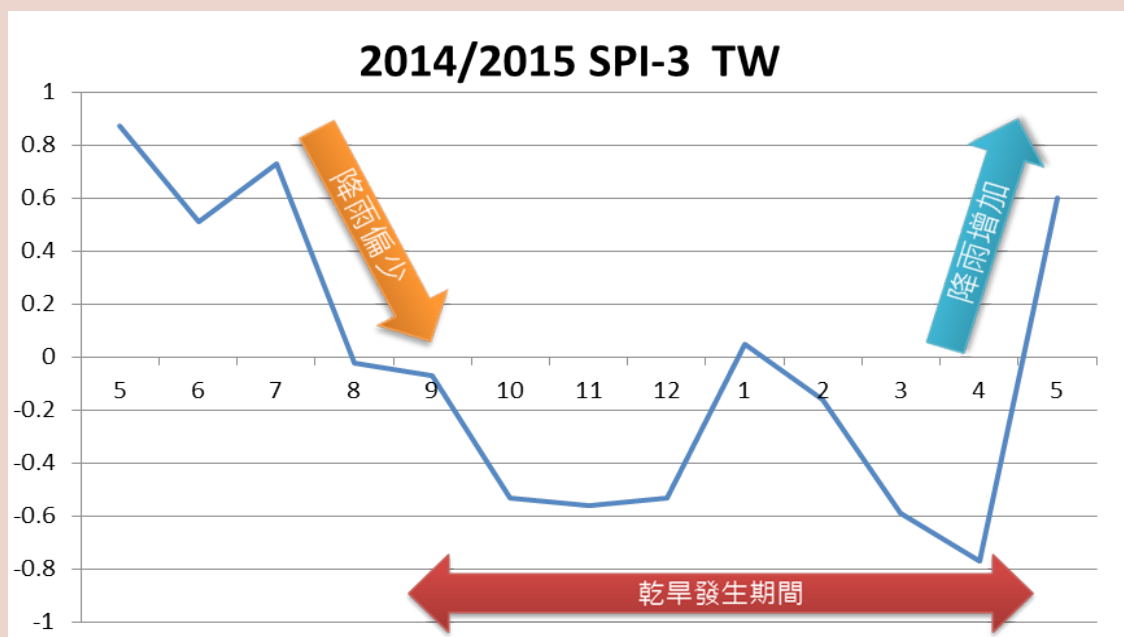


圖 45. 2014 年 5 月至 2015 年 5 月標準化降雨指數 SPI(Standardized Precipitation Index) 之時序圖

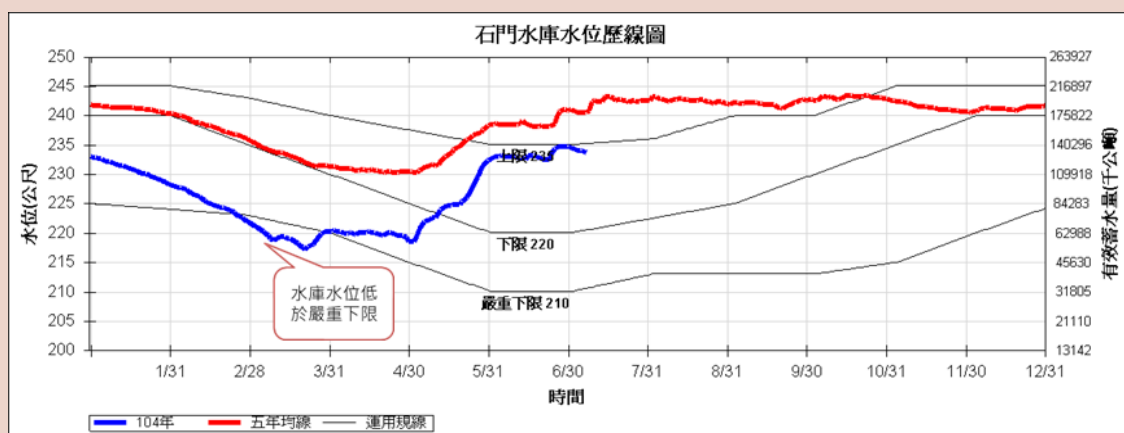


圖 46. 2015 年石門水庫水位歷線圖

全台主要水庫於此次事件中，以石門水庫的水情最為嚴峻。以 KRID(林與王，2007) 降雨資料分析石門水庫集水區累積雨量發現，石門水庫集水區於 2014 年颱風季期間(圖 47)，僅麥德姆颱風通過期間之累積降雨量高於歷史平均值，十月份起累積雨量開始低於歷史平均，截至 2015 年 5 月 20 日為止，仍有 300 毫米左右的降雨缺口。此外，由圖中顯示，2015 年起，累積雨量與歷史平均值之間略呈現平行走勢，意味著造成累積降雨減少的主要時間點不在 2015 年春季，推測可能與 2014 年汛期(例如十月份)降雨偏少有關。

前次乾旱事件發生於 2011 年春季，當時中部明德和鯉魚潭水庫降雨僅歷年平均之 19%~39%，因應北部與中部地區水情不佳，4 月 1 日起板新、桃園、新竹、苗栗、臺中及彰化等地區，實施第一階段離峰時段降低管壓供水措施，並成立旱災經濟部災害緊急應變小組，直至 5 月中、上旬數波梅雨鋒面降雨帶來豐沛雨量，應變小組遂於 5 月底暫停為期兩個月的抗旱工作。

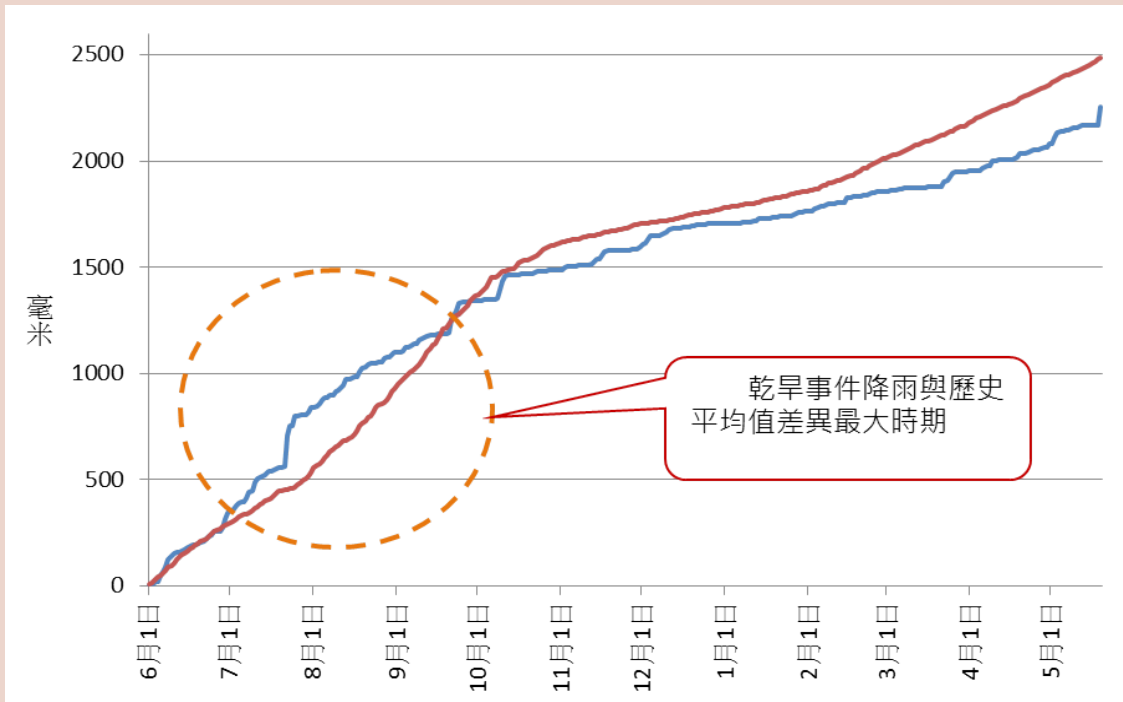


圖 47. 石門水庫集水區 2014 年 6 月 1 日 ~ 2015 年 5 月 20 日與歷史同期累積雨量圖。圖中紅色線代表歷史同期平均累積值；藍色線代表 2014 年 6 月 1 日 ~ 2015 年 5 月 20 日之累積雨量。

與今年比較發現(表 5)，在乾旱延時上，此次旱象持續約 9 個月，2011 年則為 2 個月；颱風個數的部分，此二事件則有明顯差異，2010 年侵台颱風個數有 7 個；而 2014 年則只有 4 個，大約是 2010 年的 50%。另外水庫水情的部分，2011 年主要是北、中部水庫水情較為嚴峻；反觀今年，則是全台水庫蓄水量均不到 5 成。至於造成的衝擊部分，2011 年衝擊相對較低，今年乾旱事件，除一期稻作停灌面積達 4 萬公頃外，部分地區甚至實施第三階段限水，影響當地生活用水。而旱象解除的關鍵因素，則同樣皆為五月份中上旬的梅雨鋒面帶來降雨。

表 5. 2011 年和 2015 年乾旱事件比較表

	2011 年乾旱事件	2015 年乾旱事件
乾旱時間 長度（註一）	2011/3/25~2011/5/26	2014/12/9~2015/5/22
颱風個數 （註二）	7(萊羅克、南修、莫蘭蒂、凡那比、梅姬、艾利、桑達)	4(哈吉貝、麥德姆、鳳凰、紅霞)
水庫水情 （蓄水量） 比較	石門水庫水位 233 公尺，低於運轉規線下限；寶二水庫蓄水僅 40%	全台各主要水庫蓄水量多數皆少於 5 成庫容
限水情況	板新、桃園、新竹、苗栗、臺中及彰化等地區，實施第一階段離峰時段降低管壓供水措施	1. 一期停灌休耕區域為 4 萬 3659 公頃。 2. 新北板新、林口地區與桃園市第三階段限水
註一：以經濟部水利署成立旱災應變起訖時間估算 註二：颱風個數計算為自前一年六月起至當年五月止		

在衝擊影響部分，此次的乾旱事件，除部分地區實施第三階段限水，供五停二，造成生活不便；以及工業用水減供 7%~10%，影響工廠運作以外，最主要的衝擊在於農業的部分，圖 48 為歷年停灌面積之統計圖，由圖可知，今年停灌面積之大僅次於 2004 年（該年之停灌為 2003 年底乾旱衝擊所致），停灌範圍則涵蓋桃園、新竹、苗栗、臺中與嘉南等地區，衝擊台灣稻米產業。

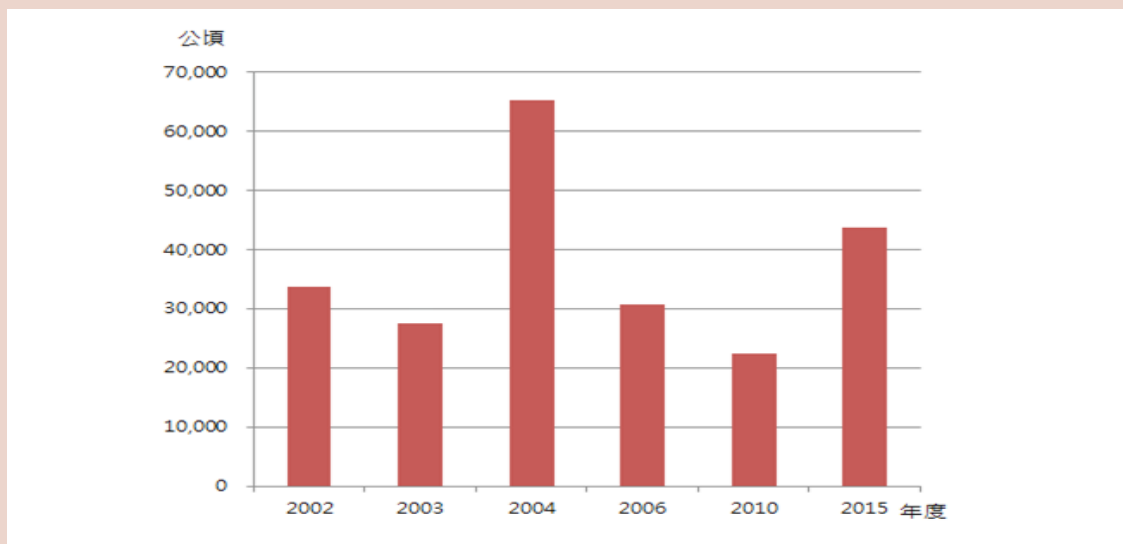


圖 48. 歷年乾旱事件停灌面積（經濟部水利署）

美國乾旱概述

2012 年美國乾旱發生時，紐約時報 (New York Times) 將美國乾旱情況展示，自 1896 年至 2012 年期間，乾旱最嚴重時期為 1934 年，乾旱涵蓋面積最廣泛，而從圖 49 更顯示美國每年幾乎發生乾旱，發生頻率高，發生乾旱位置遍及各地。

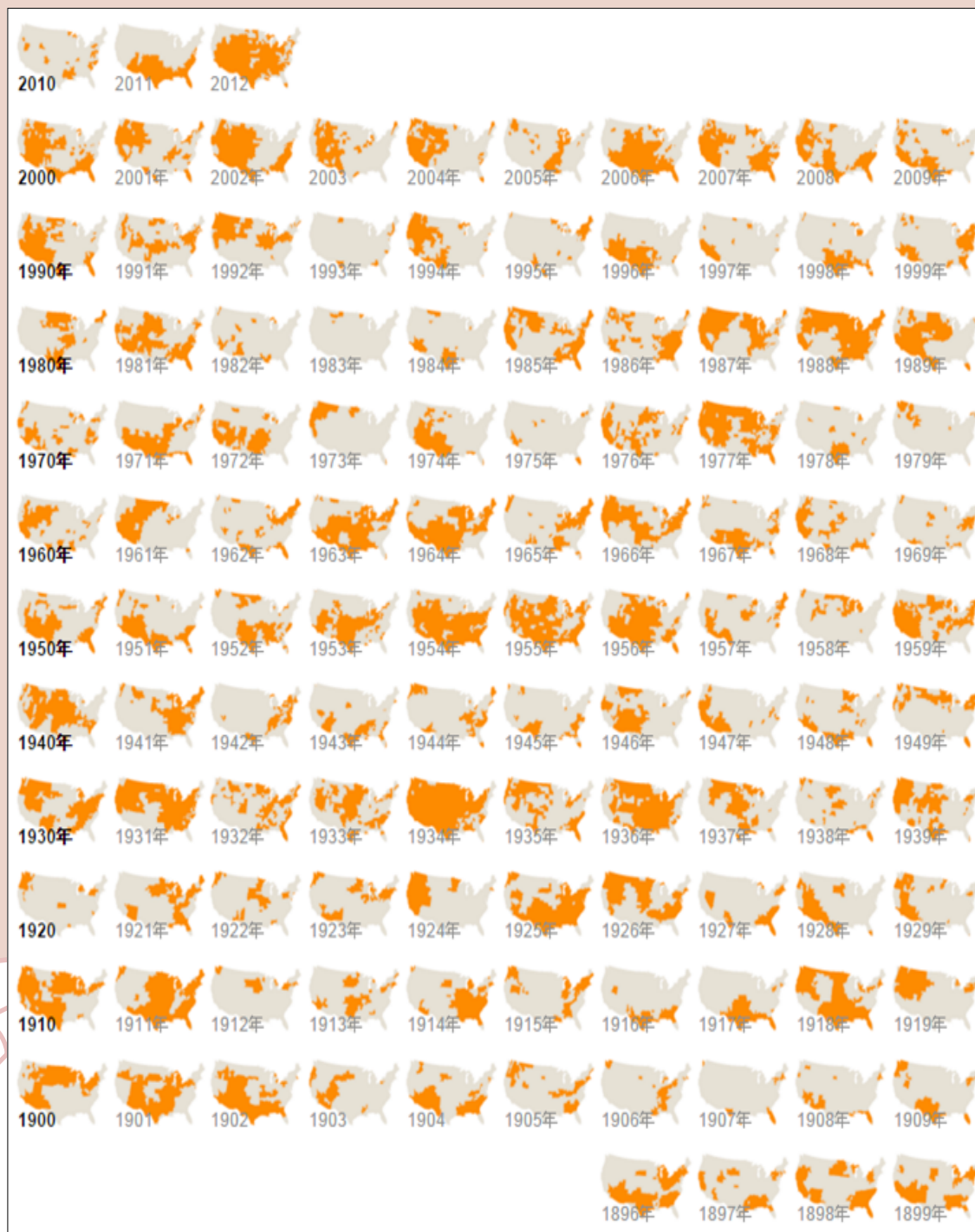


圖 49. 1896 年至 2012 年美國乾旱分布圖 (New York Times)

從 2012 年乾旱以來至今，美國乾旱並無中斷，雖然部分地區乾旱情況因降雨而有所趨緩，或部分地區在過去四年當中反覆發生乾旱，但仍有地區持續惡化下去。圖 50 分別為近四年的溼度分布圖，紅色系代表乾燥，當顏色越深紅表示越乾燥，而藍色系反之相較潮濕，2012 年除了西北部及部分中部地區呈現潮濕，其餘地區呈現乾燥階段，特別是德州；2013 年與 2014 年中部與東部地區乾燥轉為較潮溼，但西部地區乾燥情況更加劇烈到達濕度 2 等級，至 2015 年亦是如此，因此針對美國加州乾旱深入探討。

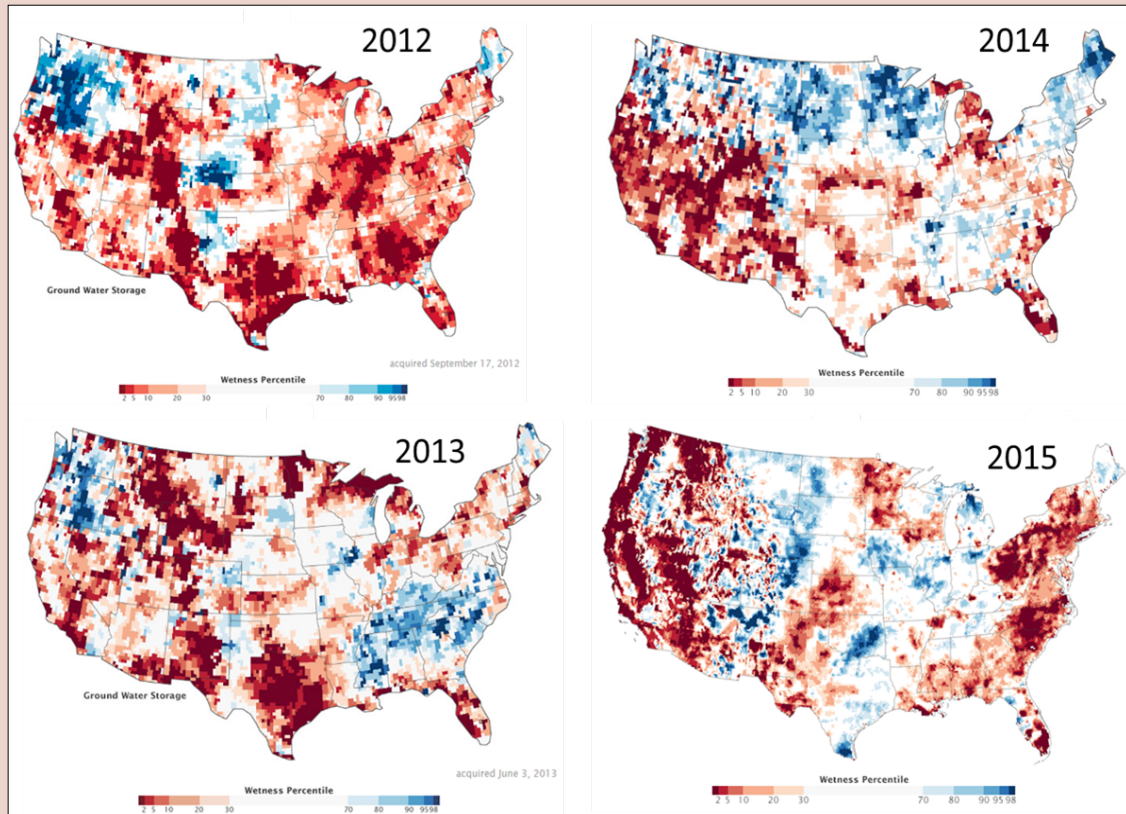


圖 50. 美國 2012 年 -2015 年濕度分布 (NASA)



Folsom 水庫滴水位情形 (2015 年 11 月)。照片來源：災防科技中心

就連美國境內最大人工水庫 - 胡佛水壩 (Hoover DAM)，因長期乾旱關係，水位持續下降，圖 51 是 2013 年與 2014 年水庫空照圖，水庫中央的土地明顯變大，而水庫歷線由 2013 年約 1,105 英尺至 2014 年 1,080 英尺，在一年之中下降 25 英尺 (相當 7 公尺) (圖 52)。美國國家環境資訊中心 (National Centers for Environmental Information, NCEI) 統計 1980 年至 2014 年全美國境內所有災害情況，本文從中取得經濟損失十億美元以上的美國乾旱年度資料，其中 1988 年乾旱事件造成 400 億美元損失最高 (圖 53)，其次為 2012 年乾旱造成 310 億美元，排序第三為 1980 年 290 億美元。



圖 51. 美國境內最大水庫胡佛水壩 (Hoover DAM) 2013 年和 2014 年水庫空照圖 (NASA)

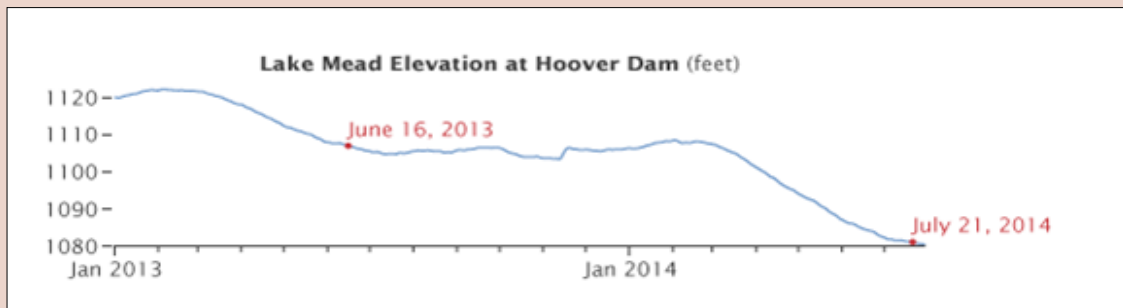


圖 52. 美國境內最大水庫胡佛水庫 2013 年 1 年至 2014 年 7 月水庫歷線 (NASA)

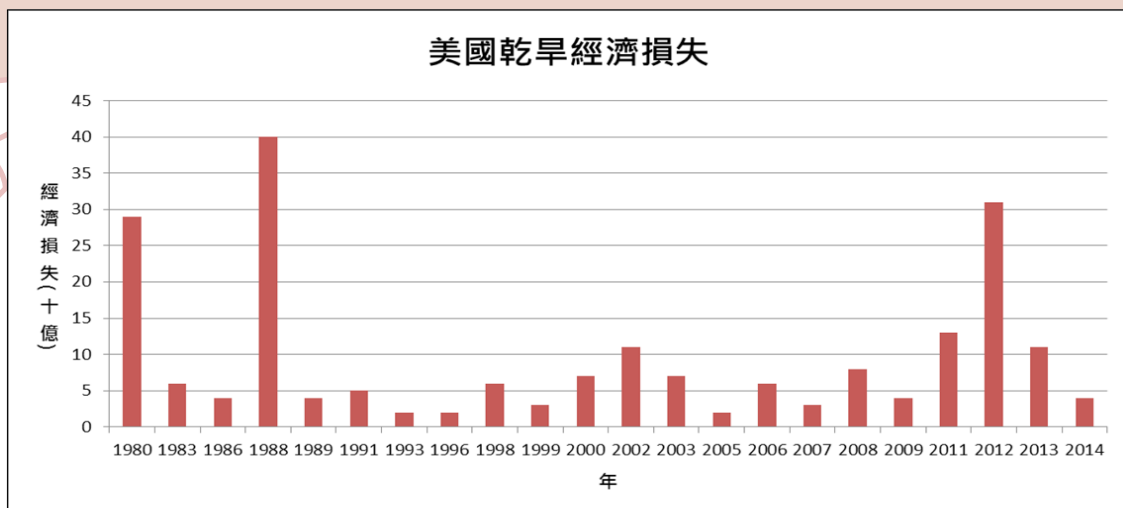


圖 53. 美國損失十億以上之乾旱年度統計 (NCEI、災防中心彙整)

根據美國乾旱監測結果顯示：加州乾旱從 2000 年至 2015 年乾旱各類型之面積百分比，2015 年 1 月 94% 的土地都處於劇烈乾旱 (Severe Drought) D2 (表 6、圖 54)，其中 40% 土地面積屬於罕見乾旱 (Exceptional Drought) D4 等級，超過 50 年以上頻率年的乾旱程度，而此情況遠超過 2014 年及過去 15 年乾旱結果。

表 6. 美國乾旱指標五等級 (U.S. Drought Monitor)

乾旱等級	描述	可能影響
D0	異常乾燥 (Abnormally Dry)	短期乾燥使得作物 / 牧草生長減緩 仍有缺水情況使得作物 / 牧草沒有完全恢復生長
D1	中度乾旱 (Moderate Drought)	對作物 / 牧草造成傷害 河流 / 水庫 / 水井的水位降低 即將發生缺水情況 自主性限水
D2	劇烈乾旱 (Severe Drought)	可能發生作物 / 牧草損失 缺水情況 強制執行限水利用
D3	極端乾旱 (Extreme Drought)	發生作物 / 牧草損失 普遍性缺水 情況強制執行普遍性的限水利用
D4	罕見乾旱 (Exceptional Drought)	發生普遍性作物 / 牧草損失 水庫 / 河流 / 水井發生缺水緊急情況

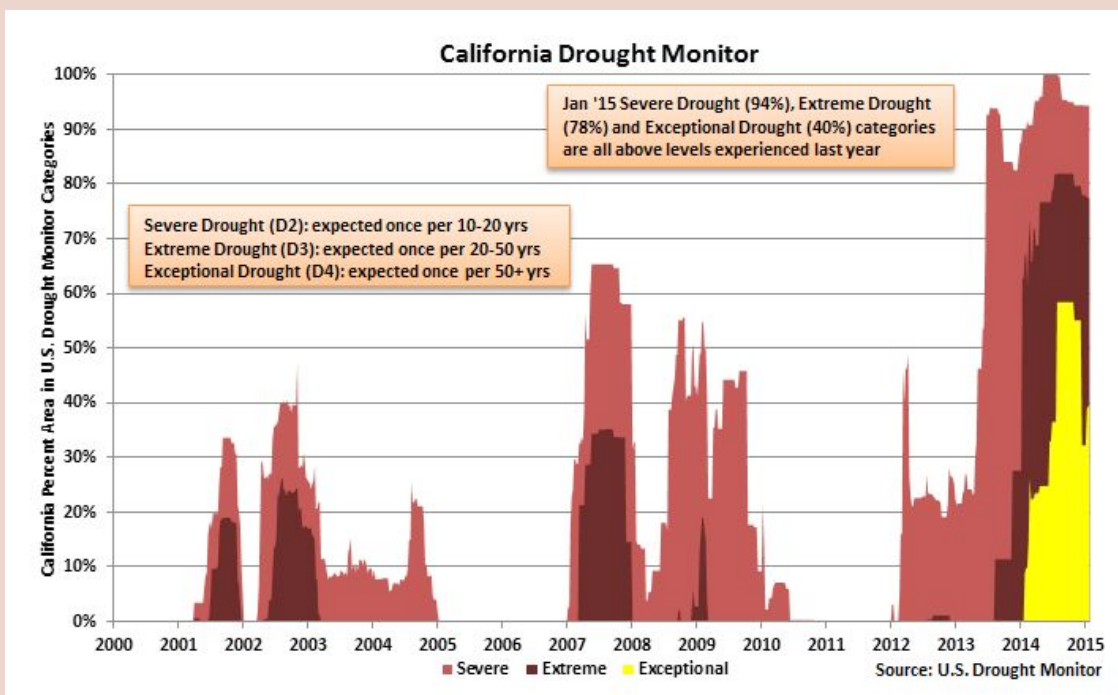


圖 54. 加州乾旱等級百分比 (U.S. Drought Monitor)

災因分析

• 長期高壓壟罩

觀測資料顯示，近年來加州長期處於高壓籠罩的狀態（圖 55），研究指出，此高壓系統為”Triple R”環流結構的一環。Triple R 是存在於大尺度環境中一負 - 正 - 負的環流結構，由副熱帶太平洋經過加州、夏威夷並延伸至阿拉斯加北部，該環流結構於 2014 年一月時達最大強度，其中高壓結構的部分長期駐留於加州上空，導致暴風路徑北抬且加州地區處於下沉氣流區而降雨不易，使當地乾旱情況持續惡化 (Stanford News)。

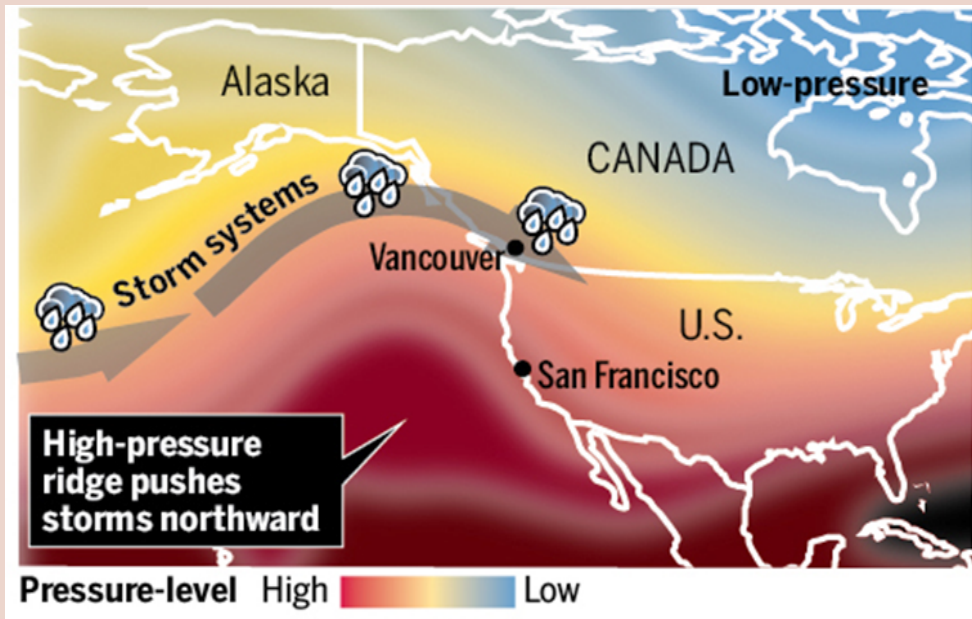


圖 55. 加州高壓籠罩示意圖

(American Meteorological Society. WeatherWest.com)

• 高山雪線退移

在美國融雪是供應淡水的關鍵條件，而融雪佔加州 70% 的降水量（正常情況下），因此融雪是加州主要的水源之一。但因氣溫上升的關係，促使降雪減少，使得水資源供給受限。NASA 在加州東側圖奧勒米河 (Tuolumne) 流域比較積雪量情況，圖奧勒米河是主要供給加州重要的灌溉區，也是供應舊金山和周邊社區，而圖 56 為美國 NASA 拍攝加州與內華達州的積雪的影像，左為 2010 年影像與 2015 年（右）皆為當年度 3 月影像，由色差明顯發現，山區積雪明顯減少。而圖 57 為圖奧勒米河流域 2014 年與 2015 年雪水量的比較，當紅色區塊愈多和愈深，表示 2015 年雪水量相較 2014 年來得更少，反之，藍色區塊越多表示 2015 年雪水量來得多。不只加州雪線退移，連周邊亦是如此（圖 58）。



圖 56. 奧勒米河流域影像圖（左：2010 年；右：2015 年）(NASA)

註：2015 右側白色部分為雲

• 人口增加，水利設施新建遭阻撓

時代雜誌 (Times):「擁有 3,900 萬人口的加州，其人口比十年前增加一倍，但環保人士團體阻撓興建水庫，加州近五年來沒有興建水利設施」而加州水資源管理局統計，2001 年至 2010 年間，為攔住流入大海的用水佔加州總用水量的 47%，其中農業用水佔 43%，都市用水佔 10%，其失去的用水，可支應 260 萬戶家庭用水。

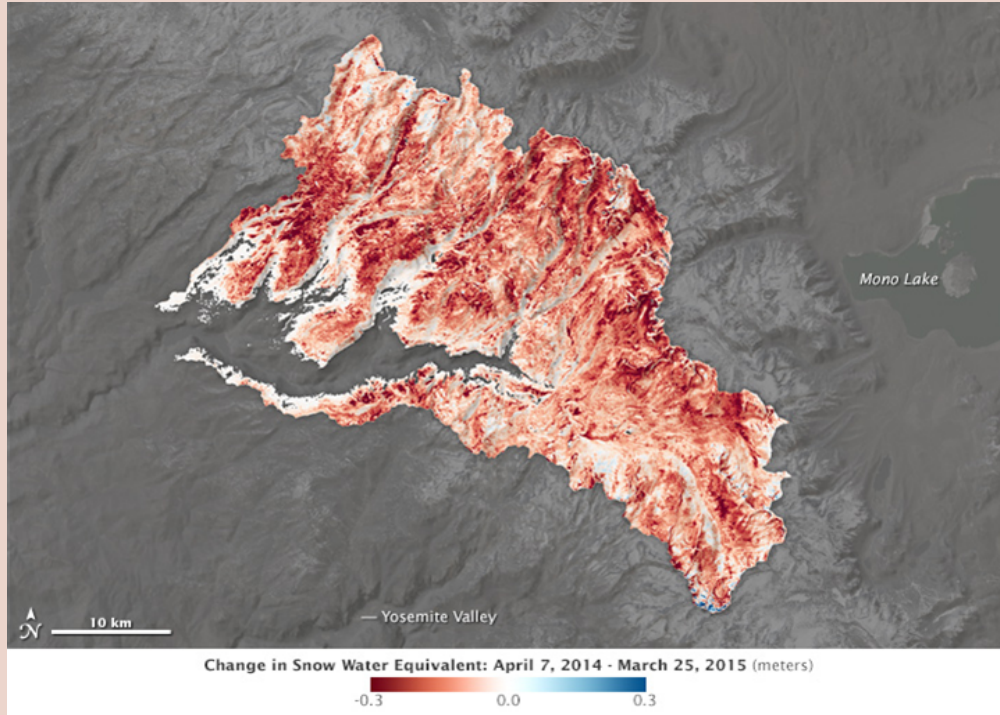


圖 57. 圖奧勒米河流域積雪量比較 (NASA)

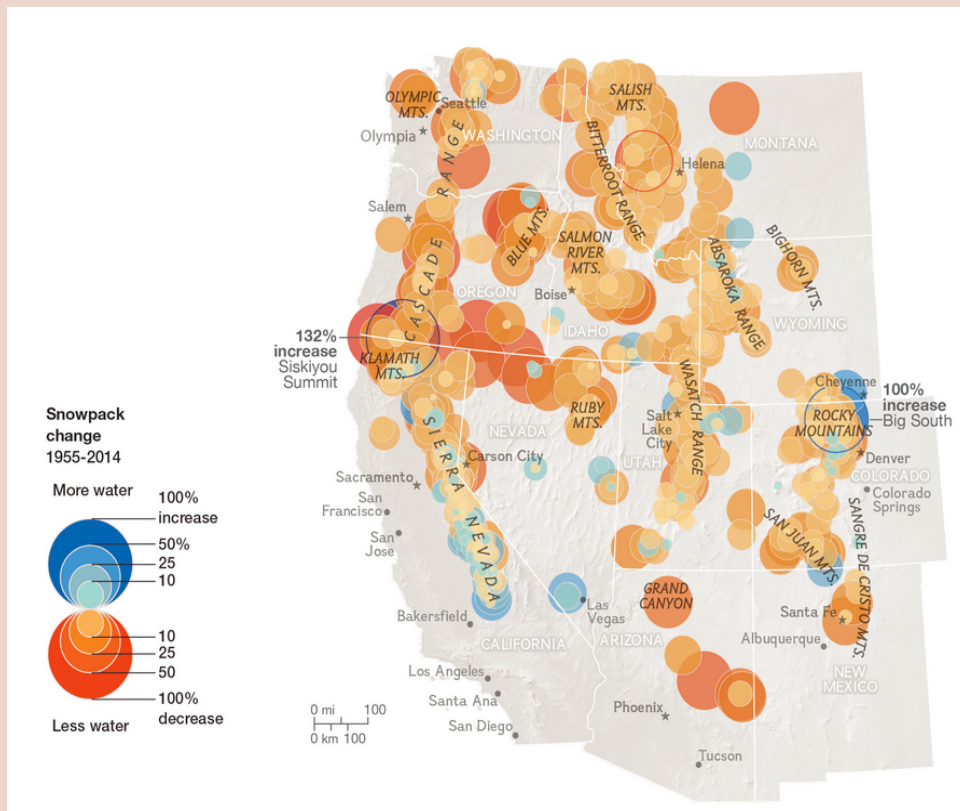


圖 58. 美國西部 1955 年 -2014 年雪線改變量
(National Geographic Magazine)

災害特性

加州最大的水庫 - Shasta 水庫位於 Sacramento 河上游，庫容 56 億立方公尺，水庫的水主要來自冬季的降雨，此地區的冬季降雨量幾乎接近水庫的蓄水量，以供應春夏大量用水的需求。乾旱的嚴重情況也可以從 Shasta 水庫的水位變化中看出，從 2010 年以來水庫水位持續下降，到 2014 年更為嚴重，根據 Earth Observatory 網站提供的衛星影像照片（圖 59），可以看出在 2005 年 9 月庫區影像（水位 309.4 公尺）與 2014 年 9 月庫區水位（水位 278.3 公尺）的差異，水庫周圍明顯多出一圈露出的土壤顏色。

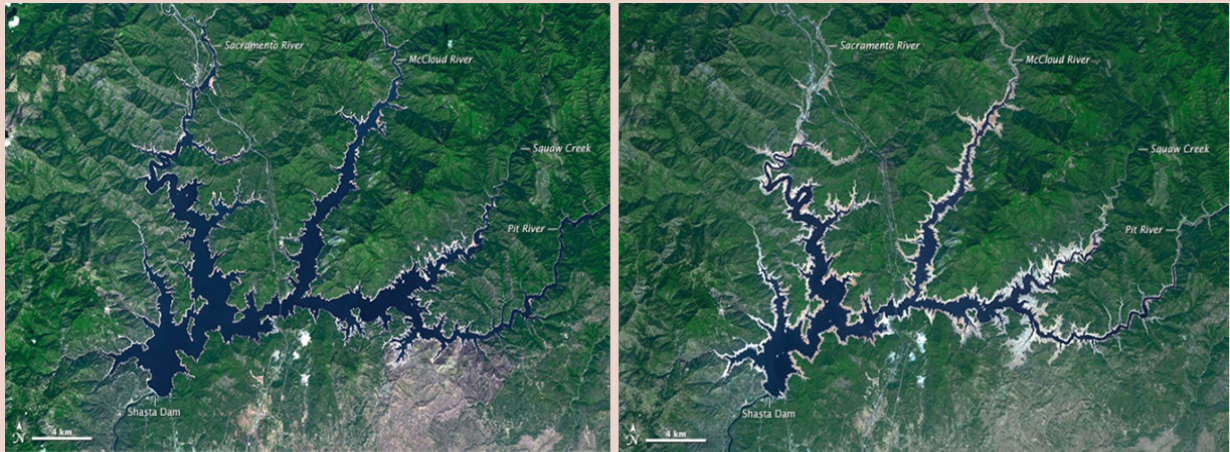


圖 59. Shasta 水庫衛星影像圖（左圖 2005 年 9 月、右圖 2014 年 9 月）(NASA)



Folsom 水庫 (2015 年 11 月)。照片來源：災防科技中心

依據加州水資源部門 (Department of Water Resources, CA) 的資料交換中心 (California data exchange center) 所提供自 1976 年起的月水位資料紀錄中，目前的水位僅高於 2014 年 9 月到 12 月的水位紀錄 (圖 60)。1982-1983 年溼季水位最高，2010-2011 年的水位紀錄與其接近，幾乎到達最高水位，而水位從 2011 年後一路下降，近五年以去年 (2014) 同一時期的水位最低，但是去年 (2014) 在進入冬季雨季後，水位就開始上升，但是今年 (2015) 水位截至 12 月 7 日資料還沒開始上升，12 月 5 日的資訊顯示 Shasta 水庫蓄水約 29%(圖 61)，水位低於 1976-1977 年乾季最低水位，面臨嚴峻的乾旱情況。

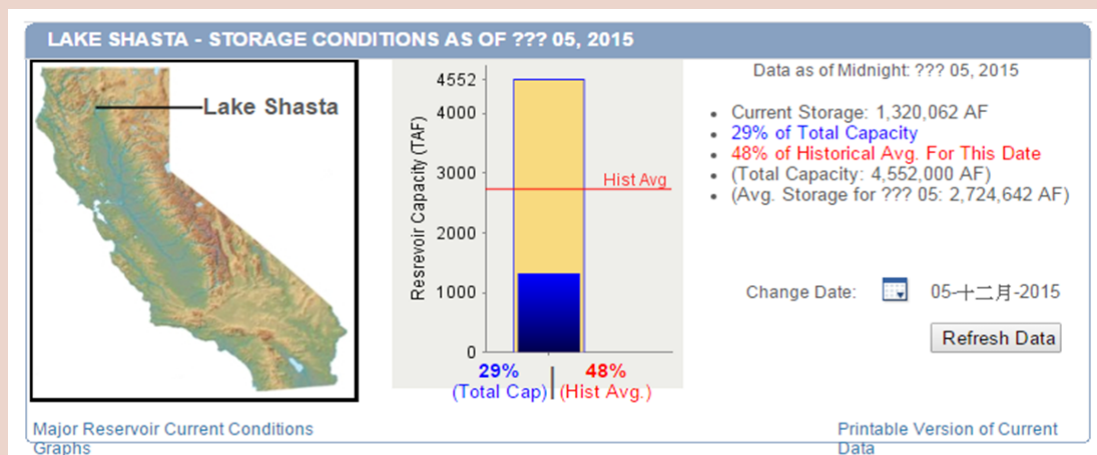


圖 60. 2015 年 12 月 5 日的水庫容量
(California Department of Water Resources)

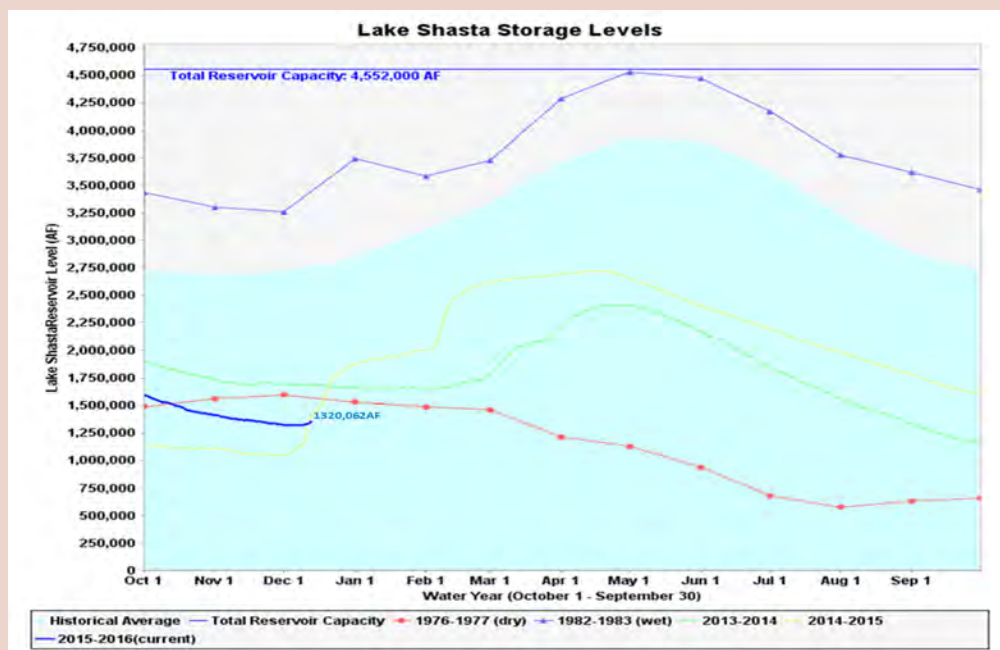


圖 61. Shasta 水庫現在水位與歷史水位比較圖 (California Department of Water Resources)

乾旱期間，植物明顯枯黃，河流水位減少，湖泊和水庫水位下降，以上幾個現象都是肉眼立即可以看見的乾旱現象，而本文蒐整了美國乾旱造成的後續衝擊影響。

• 空氣汙染持續

「今日美國」(USA Today)報導指出，由於持續乾旱降雨不足，空氣中微粒會停留在接近地面處，被人們吸進肺裡，導致肺部出現感染現象或氣喘病發作。缺乏水氣造成更加炎熱，臭氧含量增高，廢氣也會形成，空氣品質因此下降。

• 野火事件頻繁

溫度上升造成森林大火頻繁、空氣品質惡化，引發呼吸系統問題。而引發的野火事件，在2014年1月1日至10月3日野火發生數約3,885件(表7)，而2015年同一期間竟發生5,635件，比近五年平均多出1.4倍之多，2015年因野火燒毀的土地面積約有305,958英畝。

表 7. 加州森林野火統計 (Drought Impact Reporter)

時間	野火發生數	燒毀面積 單位：英畝 (公畝)
2014 年 1/1-10/3	3,885	190,246 (7,699,255.62)
2015 年 1/1-10/3	5,635	305,958 (12,382,120.26)
五年平均	3,967	107,452 (4,348,582.44)

• 糧食價格上揚

由於美國是全球最大玉米出口國，而乾旱導致產量減少全球糧食價格大幅變動，玉米也不例外，玉米又是用來提煉生質燃料之原料，因此能源價格也上漲。

• 農作物產量下降

農作物(玉米、小麥和牧草等)由於乾旱產量下降供給短缺因此價格上升(圖62)，而畜牧業飼料成本增加，間接導致肉品及乳製品價格上升，農作物保險因乾旱賠償創下歷史新高的賠償紀錄。

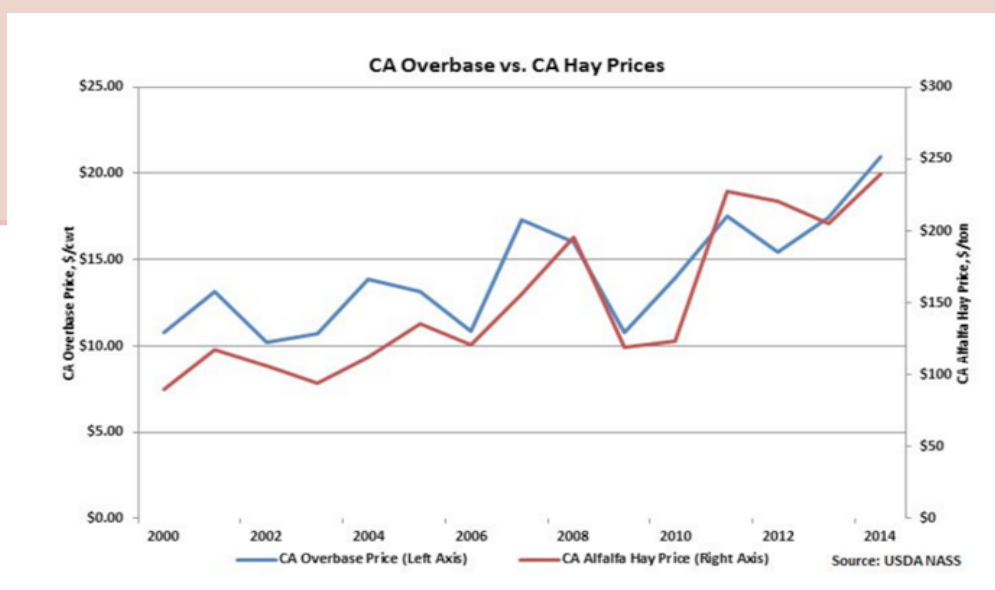


圖 62. 2000 年至 2014 年農作物價格 (USDA.NASS)

因應措施

• 節約用水政令宣導

2013 年 9 月起乾旱加劇，2014 年 1 月發布乾旱應變啟動，透過州政府發布宣導節約用水，其內容包括：家戶用水減量，每戶購買所需的水量，倘若用水量增加，其水價因有所加乘；另外，用水超過制定違規罰則，第一次超量施行警告，超過二次以上施行罰鍰並安裝截流器甚至強制停水；而家戶外的草坪和景觀用水，水量削減或暫停供應；在報章媒體上倡導節約用水觀念和免費節約用水教育訓練課程。

• 用水轉移介紹

美國加州由於降雨分配不均，且人口分布南大於北的情況下，缺水可分三種供水階段（圖 63）：1. 緊急用水階段：水轉移時間為三個月以下，主要水源以休耕或轉作用水支應；2. 短期用水階段：係指三個月至一年用水時間，主要水源來自節水或水庫剩餘水；3. 長期用水階段：時間長度為一年以上，主要水源來自節水或水轉移之水。取得水資源的方法眾多，而用水轉移便成為長期缺水期間，水資源供應的來源之一，用水轉移最常用在加州農田間灌溉用水的轉移，1991 年加州水資源機構辦理短期水轉換，並成立加州水資源部門 (Department of Water Resources, DWR)，購買農業用水轉移至缺水特定區使用，至 1992 年漸漸發展地區性用水轉移，不過加州用水轉移指的是用水量的轉移，並非水權的轉移。



圖 63. 加州用水轉移協調所

(San Joaquin River Water Authority Exchange Contractors & 災防科技中心彙整)



Folsom 水庫 (2015 年 11 月)。照片來源：災防科技中心

印度



巴基斯坦



印度與巴基斯坦位處南亞彼此緊鄰，地理位置如上圖所示，南亞泛指喜馬拉雅山以南區域，總面積約495萬平方公里，在南亞中印度所佔面積最大，約320萬平方公里，印度全境氣候炎熱，大部分屬於熱帶季風氣候，氣候可分為涼季（11-2月）、旱季（3-5月）與雨季（6-10月）等三個季節。

巴基斯坦在印度西側，面積約79.6萬平方公里，氣候屬於亞熱帶乾燥和半乾燥帶，整體氣候偏炎熱乾燥，每年平均降雨量不到250毫米，全境有1/4地區降雨量在120毫米以下，最炎熱的月份是6、7月，中午氣溫可以超過40℃，而且在信德省（Sind）和俾路支省（Balochistan）中部分區域，中午氣溫甚至高達50℃以上。

災害概述

• 印度

2015年5~6月期間，南亞地區異常高溫的熱浪肆虐印度，表8為印度首都新德里（New Delhi）之氣候數值表，首都夏季歷史平均高溫度在35℃以上，而2015年卻出現近兩年來之最高溫45.5℃，熱浪已導致印度北、中與東部各邦2,248人死亡，歐新社照片為新德里薩夫達將（Safdarjung）醫院附近一條道路太熱融化，斑馬線變成令人難以想像的扭曲模糊樣。

表8. 新德里市氣候數值（wiki）

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月
平均高溫(℃)	21.1	24.2	30.0	36.2	39.6	39.3
月份	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均高溫(℃)	35.1	33.3	33.9	32.9	28.3	23.0



道路太熱融化，斑馬線扭曲模糊。照片來源：歐新社

2015 年熱浪災害最嚴重的地區為安德拉邦（ Andhra Pradesh）與特倫甘納邦（Telangana），6 月測得 48℃ 的高溫，歐洲聯盟委員會人道主義援助辦事處（ European Commission Humanitarian Aid Office, ECHO）於 6 月初所繪製熱浪影響情形如圖 64 所示，當時安德拉邦死亡已高達 1,020 人、特倫甘納邦死亡 340 人，死者以建築工人、老人、遊民居多。因應經常發生之熱浪災害，印度古吉拉特邦（Gujarat）亞美達巴德市（Ahmedabad）已建立有詳細之防熱浪災害行動計畫（Ahmedabad heat action plan 2015），內容主要分為以下 4 個步驟：

1. 加強對可能受災族群之防災宣導，透過海報、網路、社群網站或通訊軟體等多元方式傳遞防災避暑知識。
2. 建置熱浪預警與應變系統，災前提供溫度預警，規劃水、電、運輸、學校單位與非政府組織 NGO 在災時啟動救援的運作機制。
3. 訓練醫療專業人員對熱浪傷者的處理能力。
4. 進行熱浪高風險區潛勢分析，繪製風險區地圖，災時提供容易取得的飲用水並建立臨時的避暑空間。

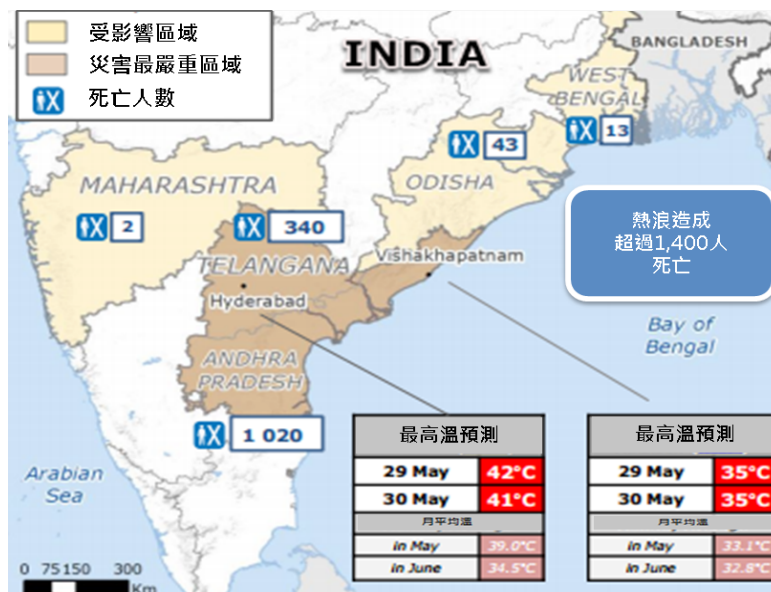


圖 64. 印度熱浪影響圖（ECHO）

• 巴基斯坦

同一時間，熱浪一樣影響鄰近之巴基斯坦，6月20日起熱浪嚴重侵襲巴基斯坦信德省（Sindh）省會 - 喀拉蚩市（Karachi），喀拉蚩市是巴基斯坦最大城市，人口約有2,000萬人。巴基斯坦6月20日全國最高溫度分布情形如圖65所示，信德地區高溫在42~45℃間，根據官方紀錄喀拉蚩之溫度在23日曾攀升到45℃，短短數日就出現超過65,000起中暑病例，共有1,229人死亡，醫護人員指出受害者大多是老人與低收入戶。

6月23日信德省政府宣布進入緊急狀態，全省公家機構、學校和大學全面關閉，要求軍隊與民兵組織協助傷者，設置中暑防治中心，醫院召回所有休假醫生，同時增加庫存藥物、吊針及脫水補充液進行應對，巴基斯坦最大慈善機構Edhi組織表示，6月20-23日間該組織在喀拉蚩的兩個殯儀館已經飽和。

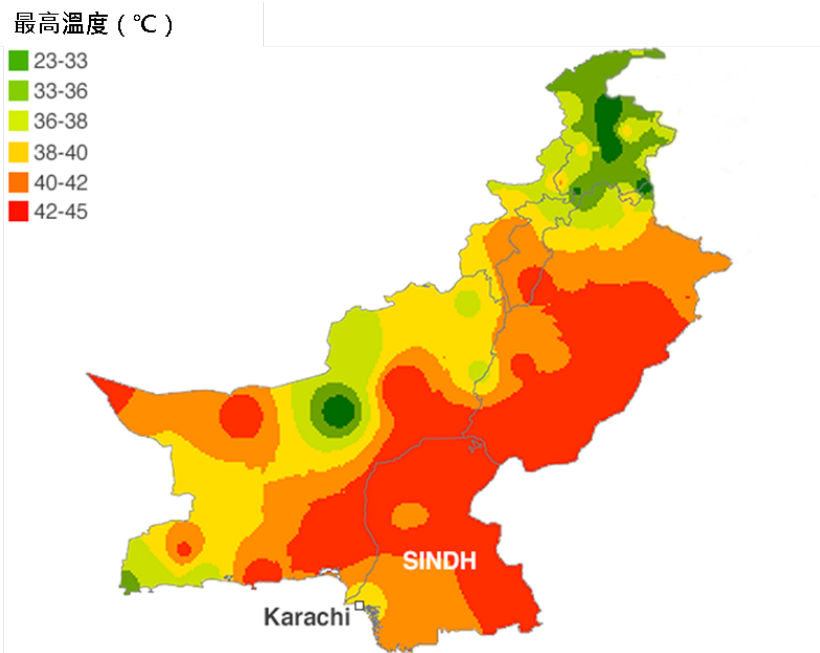


圖 65. 巴基斯坦 6/20 最高溫度分布圖（修改自 BBC）

災因分析

• 全球溫度破歷史紀錄

美國國家海洋與大氣管理局科學家認為，造成2015年破高溫紀錄的直接原因是強烈的聖嬰（El Niño）氣候現象，且今年聖嬰現象對氣溫上升影響的幅度，遠超過對其他年份之影響，推測人為排放的溫室氣體與今年高溫紀錄息息相關。NOAA之資料，將1880至2015年溫度平均值統計，結果詳見特刊圖42，P.30，其結果亦顯示2015年為炎熱的年份。

• 印度 - 氣候變遷影響

印度幾乎年年發生熱浪，但在5、6月有季風雨可舒緩熱浪所帶來的衝擊，然而今年出現反常的西北風，從巴基斯坦挾帶熱空氣進入印度，不僅導致氣溫升高，更延緩了季風的行進速度，使得降雨季節延後。圖66為季風行進日程，藍色線條為2015年季風的行進時間，紅色虛線是往年平均進度，兩相比較，2015年比過去平均較為延遲，無法即時降雨降溫舒緩熱浪。聯合國政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）指出隨著全球氣候變遷，熱浪侵襲的時間與頻率會逐漸提升，印度現在溫度比正常均溫40℃要高出5到6℃，若氣溫比正常值超過7℃，熱浪將會造成更龐大之衝擊。

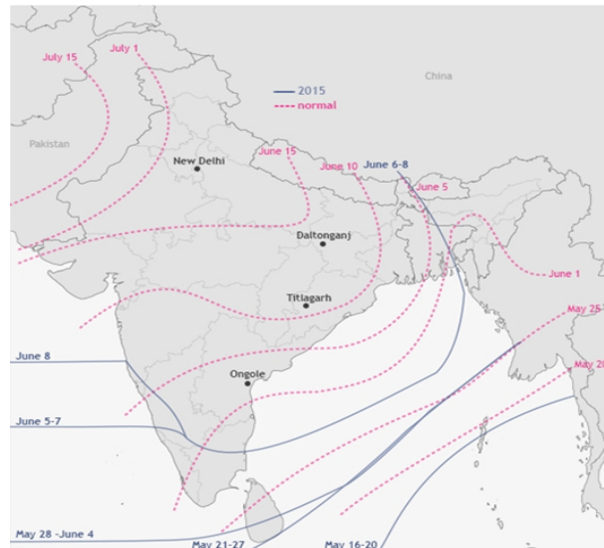


圖 66. 2015 季風行進路線圖 (India Meteorological Department)

• 巴基斯坦 - 供電及供水問題

夏季炎熱氣溫在巴基斯坦喀拉蚩市並非不尋常，喀拉蚩市歷史氣候平均數據如表 9 所示，6 月平均高溫在 33°C，喀拉蚩市之歷史最高溫為 47°C，出現於 1979 年。然而這次災情為何會如此嚴重？根據報導指出巴基斯坦政府所制訂的電價遠低於發電成本，部分電力公司因虧損連連而停止發電，因此巴基斯坦政府當局，每天在城市至少斷電 8 小時，對鄉間則有更嚴格的限電措施，所以部分偏遠地區在夏季高溫時，一天可能只有供電 3 小時，電力供應嚴重不足，這次熱浪期間供水系統因斷電而失效，導致民眾無水可用，長時間的斷電、供水不足使得本次災情變得更加糟糕。

• 巴基斯坦 - 齋戒月禁食規定

巴基斯坦主要宗教信仰為伊斯蘭教，而 6 月這波熱浪來襲時，正值伊斯蘭教齋戒月，按規定穆斯林每天從晨禮日出到日落期間禁止飲食，在熱浪之下仍有不少穆斯林堅持在日間不飲水，不少人反而因此脫水而死，直到死亡災情擴大，才有伊斯蘭伊瑪目 (Imam，意思是領袖、帶領祈禱的人) 提醒身體不適的老人家不用參加齋戒活動。

• 巴基斯坦 - 政府應變不足

民眾多半認為信德省政府對這次災情反應遲鈍且冷漠，對於可能面對的熱浪災害，省政府災前疏於提出警告，初期也沒有應急提供水源，總理夏立夫 (Nawaz Sharif) 直到 23 日才開始積極有制度地進行救援活動，命令國家災難管理局 (National Disaster Management Authority, NDMA) 採取緊急措施，陸軍部署設立防中暑中心，在喀拉蚩的災民們直到受災的第 4 天 (即 6 月 24 日) 才逐漸對政府的救援作為有感。

綜合比較兩國的災因，印度雖然已於事前宣導提醒高熱浪風險區內居民準備急救包及蓄水，災時並提供資源，但是仍然受到異常西北熱風升高溫度，年度季風雨延遲無法有效降溫 ... 等自然因素影響。巴基斯坦災因則主要是人為因素，政府當局則缺乏熱浪防災概念，未善盡職責進行災前氣象預警措施與物資準備，加上救災速度延遲，因此加劇災情。

表 9. 喀拉蚩市氣候數值 (wiki)

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
極端高溫 (°C)	32.8	36.1	41.5	44.4	47.8	47.0
平均高溫 (°C)	25.6	26.4	28.8	30.6	32.3	33.3
月份	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
極端高溫 (°C)	42.2	41.7	42.8	43.3	38.5	34.5
平均高溫 (°C)	32.2	30.8	30.7	31.6	30.5	27.3

防災知識

• 熱浪

熱浪通常是指一段時間內該地持續出現較平均溫度異常高溫狀況，除高溫之外也會伴隨高濕度，熱浪所引起的高溫天氣會導致熱中暑、熱衰竭及熱痙攣等症狀，甚至可以導致人死亡，尤其是體力較弱的老年人。

• 定義

目前世界各國對熱浪尚無一致的定義，其中根據世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）公布的熱浪定義為：連續 5 日氣溫高於歷年最高溫度平均值 5°C 以上。

• 印度氣象局（India Meteorological Department, IMD）對熱浪之定義包括以下條件：

1. 平地測站最高溫達 40°C 之上、山區測站最高溫達 30°C 以上。
2. 該地平均最高溫度為 $\leq 40^{\circ}\text{C}$ ，當溫度高於平均溫 5~6°C 即符合熱浪定義，當高於 7°C 以上則為極端熱浪。
3. 該地平均最高溫 $> 40^{\circ}\text{C}$ ，當溫度高於平均溫 4~5°C 度即符合熱浪的定義，高於 6°C 以上屬於極端熱浪。
4. 若平日溫度持續維持在 45°C 以上，亦視為熱浪。

• 熱指數定義

美國國家海洋與大氣管理局 (NOAA) 公布的熱指數 (Heat Wave Index)，是指體感溫度，是綜合了空氣溫度、濕度、風速與日照時數等因素影響後，人體實際上感受到的溫度。NOAA 的熱指數是以溫度與相對濕度兩個因子，進行體感溫度的影響程度評估，熱浪指數評分矩陣結果如圖 67 所示，圖中當溫度為 100°F、相對濕度 55% 時，則熱指數為 124°F，即相對濕度高時，體表溫度會比實際溫度來的高。並將圖 67 中熱指標警告、嚴重警告、危險以及極度危險四階段，所對應的數值以及對人體所產生的健康危害情形彙整於表 10 中提供參考。

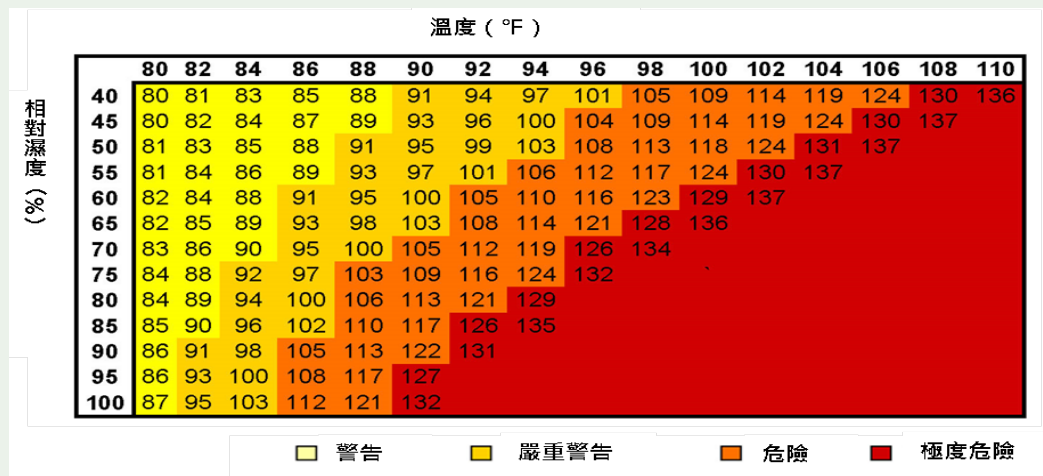


圖 67. 熱指標分布圖（修改自 NOAA）

表 10. 熱指標分級表（修改自 NOAA）

分類	熱指數 (° F/°C)	長時間曝曬或活動對人體之影響
警告	80/27 ~ 90/32	可能會導致疲勞。
嚴重警告	90/32 ~ 103/39	可能會導致中暑、熱痙攣或熱衰竭。
危險	103/39 ~ 124/51	極有可能會引起中暑、熱痙攣或熱衰竭。
極度危險	> 125/51	極有可能引起中暑與重度中暑。

6月 喬治亞共和國洪災



喬治亞 (Georgia) 位於亞洲西南部高加索 (Caucasus) 地區的黑海 (Black Sea) 沿岸，北鄰俄羅斯 (Russia)，南部與土耳其 (Turkey)、亞美尼亞 (Armenia)、亞塞拜然 (Azerbaijan) 接壤。喬治亞領土面積達 69,420 平方公里；人口數量有 373 萬人 (2015)，臨海一帶為狹小平原，全境三分之二為山地，大都在海拔 1,000 公尺以上 (圖 68)，屬高加索山區。中間為山間低地、平原和高原，黑海沿岸為低地。最高點位於北部俄羅斯邊境上什哈拉山 (Shkhara) 約海拔 5,068 公尺。首都為第比利斯 (Tbilisi)，也是這次洪水的主要災情地區，面積約 348 平方公里，第比利斯高程約 500-650

公尺高，人口約 115 萬人。第比利斯屬於大陸型氣候，平均年雨量約 568 毫米 (圖 69)，五月與六月是降雨量最多月份，平均月雨量約 84 毫米。主要由庫拉河 (Kura) 和里奧尼河 (rioni) 流經，水流落差較大，水力資源豐富。庫拉河源於土耳其東北部，流經首都第比利斯，然後進入亞塞拜然。

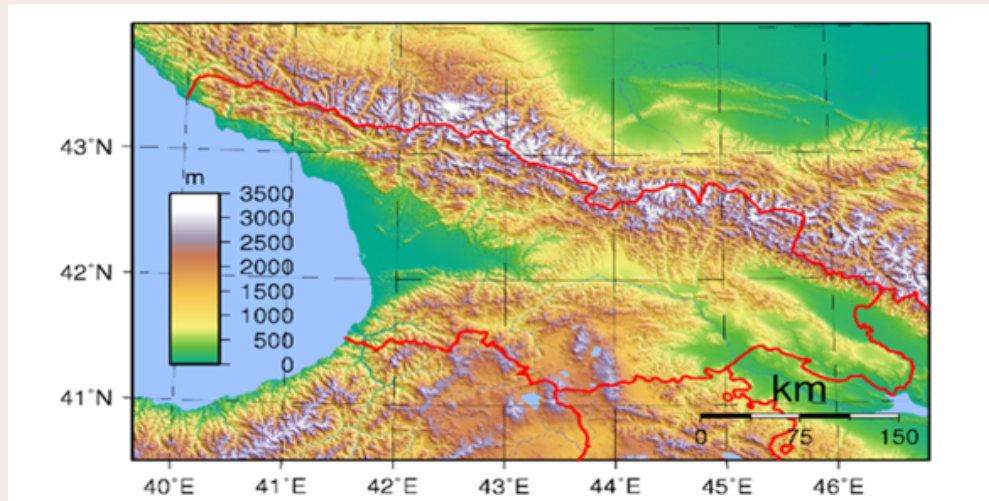


圖 68. 喬治亞共和國高程 (wiki)

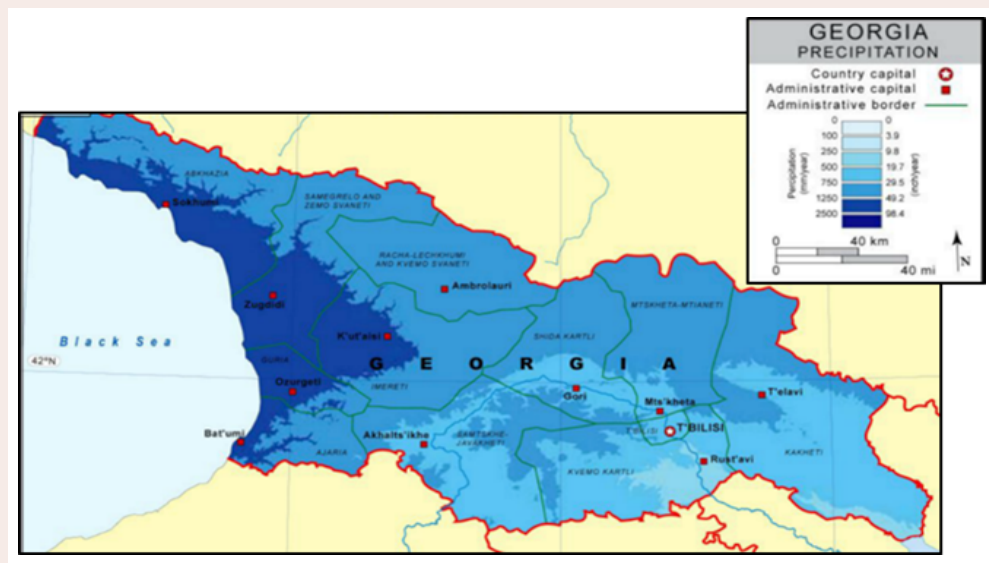


圖 69. 喬治亞共和國年雨量共和國 (Best Country Report)

災害概述

喬治亞共和國當地時間 6 月 13 日晚間，Akhdaba 山區大雨造成坡地崩塌與地滑，洪水夾雜土砂和漂流樹木，首當其衝首都第比利斯，洪水往市中心漫淹，連首都第比利斯動物園也遭受波及。此次山洪爆發造成 20 人死亡 36 人輕重傷，24 人失蹤，影響人數約 8,800 人，2.2 萬戶無電可用，道路、高速公路阻斷，部分城鎮因大水無法對外聯絡，估計災害損失約 10 喬治亞里拉 (GEL)，相當約 140 億台幣，喬治亞總統於 6 月 15 日宣布為全國哀悼日。山洪爆發不僅造成生命財產損失，洪災最嚴重的莫過於第比利斯動物園，300 隻動物喪生或失蹤，倖存的動物出現在首都街道，甚至穿越其他周邊國家。第比利斯過去也發生過類似的山洪爆發，分別在 1960、1963、1972、1995 和最近期的 2012 年，而 1972 年與這次災情規模相當，造成多人死亡，第比利斯動物園被淹沒。

災因分析

2015 年 6 月 13 日午夜，維爾河集水區（首都以西 40 公里）持續大雨，根據美國 NASA 的 Aqua 的衛星所搭載 AIRS 探測器所提供的雨量估計資料，其資料顯示（圖 70）：當地時間 13 日晚間確實有明顯的降雨情況。另外，根據當地媒體描述，災害發生當晚，其雨量約第比利斯二個月雨量，約為 160 毫米。

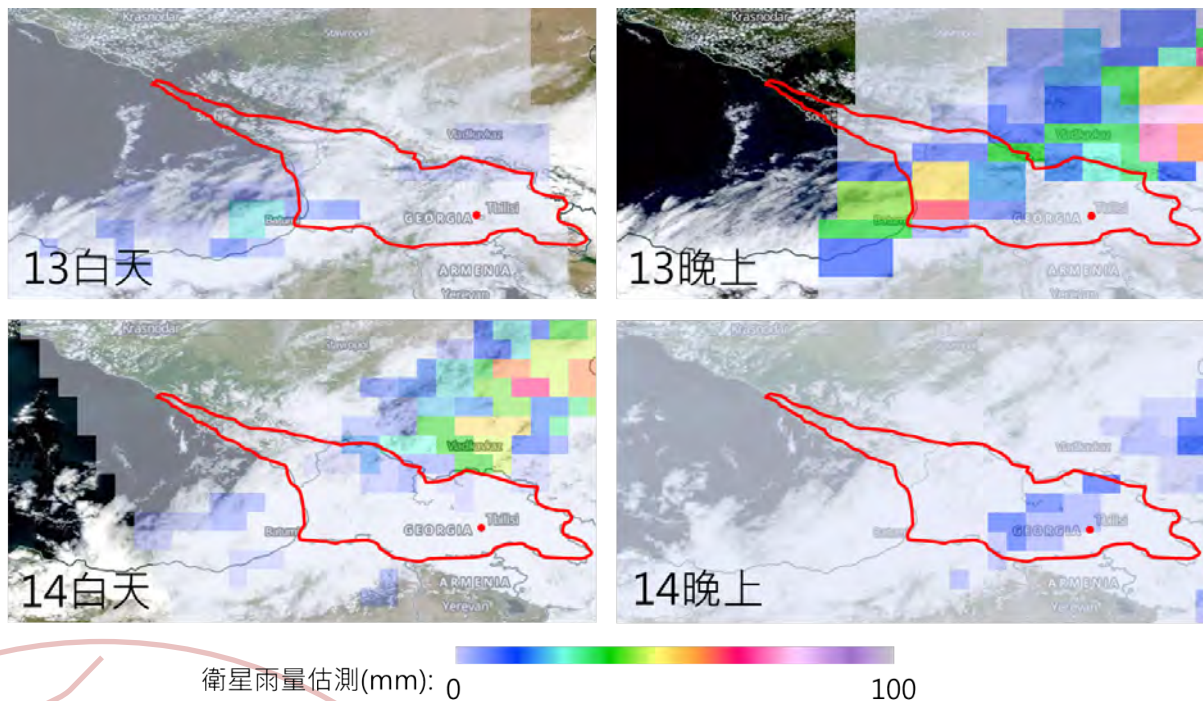


圖 70. 喬治亞共和國 2015 年 6 月 13-14 雨量估計 (NASA)

災害特性

• 防、減災準備不及

喬治亞共和國 2/3 為山地，而第比利斯環山圍繞，不時發生坡地與洪水災害，其中，淹水潛勢又屬於高潛勢（圖 71）；另外，喬治亞統計 1995-2012 年災害，最常遭受的災害就以洪災 - 汛洪為主 (31%) (圖 72)，其二、三分別為冰雹 (29.8%) 和雪崩 (23.9%)，整題而言，第比利斯屬於災害發生頻率高、風險高的山城。

• 安全城市規劃

喬治亞開發計畫署表示，喬治亞雖然是高度發展的國家，有現代化的開發建設，也持續的現代化發展，但基礎設施建設仍缺乏防、減災之構想，使得突如其來的山洪爆發，無法應對災害危機，因而造成損失慘重。此次災害後，全面評估城市整體規劃是災後復原重建優先事項。

• 預警系統缺乏

喬治亞儘管近幾年災害不斷，對仍對災害積極研發與落實，面對突如其來的災害，但仍缺乏一個災害預警系統，準確、即時和整合的資訊傳遞給決策者，作為災害應變之判斷用。此次災害也缺乏立即資訊的公開，因而造成嚴重的損失。

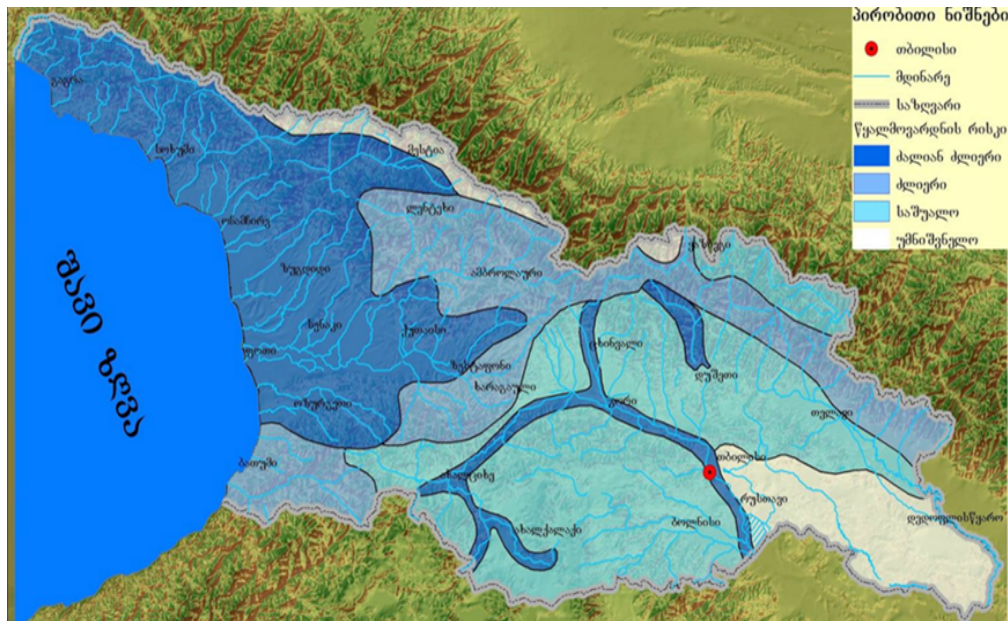


圖 71. 喬治亞淹水潛勢示意圖 (Best Country Report)
紅色原點為首都地比利斯

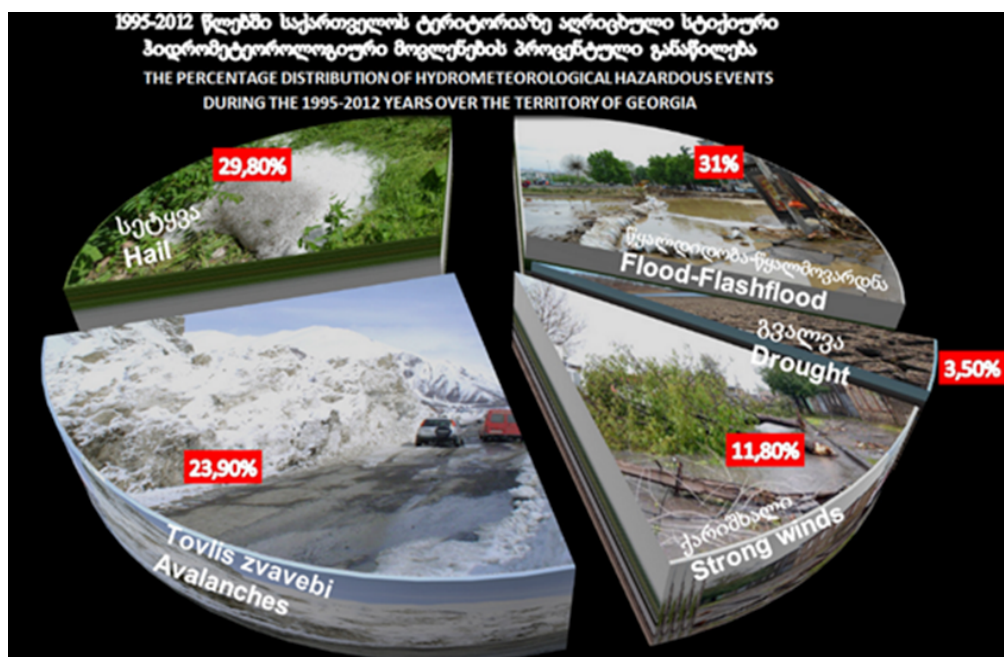


圖 72. 喬治亞 1995-2012 年災害統計 (喬治亞共和國氣象局)

2015 年西北太平洋颱風回顧

2015 年西北太平洋共生成 33 個颱風、熱帶風暴 (Tropical Storm) 以及熱帶低壓 (Tropical Depression)，其中，影響臺灣的颱風事件有紅霞颱風、昌鴻颱風、蓮花颱風、蘇迪勒颱風、天鵝颱風及杜鵑颱風 (圖 73)，就以蘇迪勒颱風影響最大。

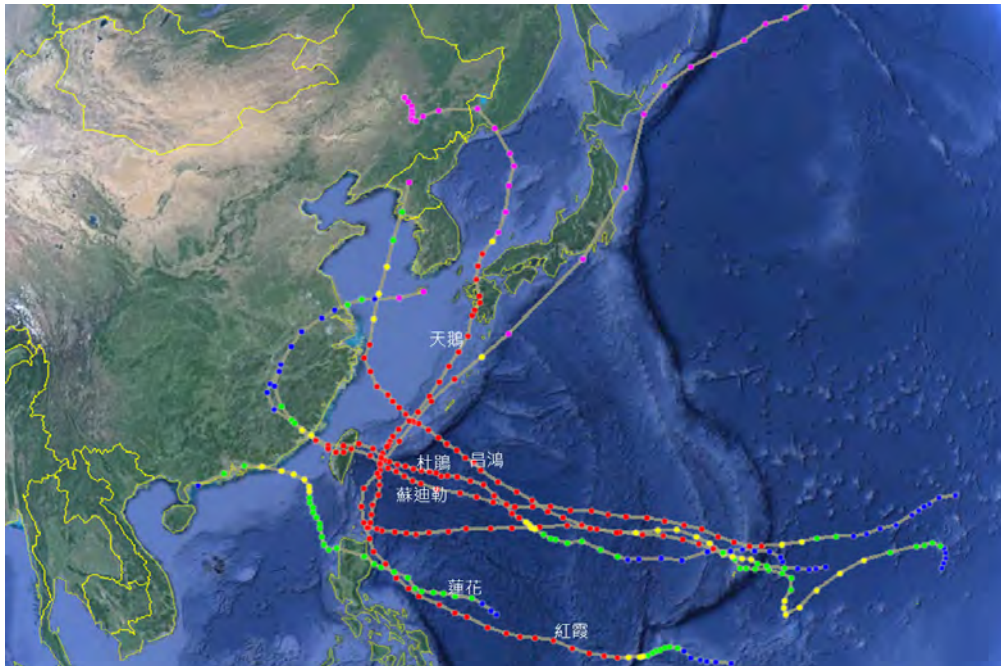


圖 73. 2015 年西北太平洋熱帶風暴路徑 (影臺灣的颱風)

災害概述

蘇迪勒颱風影響臺灣期間所帶來的短延時、強降雨 (福山雨量站 95mm/hr，253mm/3hr)，造成許多災害；首當其衝的宜蘭地區，包括：得子溪口、宜蘭河、冬山河等多處淹水，而主要的災害分佈在大臺北地區，除多處河川水位達一級警戒，南勢溪、平廣溪等原水濁度高升，影響大臺北地區正常供水，部分地區停水，實質影響民生問題為近年來最嚴重的災情外，尤其是烏來、新店等山區的崩塌、道路中斷，造成人員死亡。此外，蘇迪勒颱風陣風風力達 12 級以上，強大的風力使得高美濕地旁 6 座高 64 公尺、重 5.7 公噸的風力發電機倒塌，估計損失 4.6 億；颱風期間強風造成全臺約 450 萬戶停電，停電戶數創最嚴重紀錄 (1996 年賀伯，279 萬戶)，風力亦造成路樹傾倒嚴重，僅臺北市路樹傾倒高達 7000 餘棵，影響市容恢復時間。根據中央災害應變中心，蘇迪勒颱風災害應變處置報告第 9 報，截至 2015 年 8 月 11 日 17:30 災情統計結果，全臺死亡 8 人、失蹤 4 人、受傷 437 人、道路中斷 47 處、水利設施受損 17 處及農業損失迄 (11) 日止，災損總計 22 億 8,290 萬 4,000 元。

颱風歷程與天氣概述

蘇迪勒 (SOUDELOR 編號 201513)，警報發布時間：海上：2015 年 8 月 6 日 11 時 30 分，陸上：2015 年 8 月 6 日 20 時 30 分；警報解除時間：海上：2015 年 8 月 9 日 8 時 30 分，陸上：2015 年 8 月 9 日 8 時 30 分。登陸地點：花蓮縣秀林鄉。颱風行進路徑（如圖 74 所示），生成後穩定向西北西移動並快速增強，4 日午後雖略有減弱，但仍以中度颱風上限逼近臺灣。7 日 17 時其中心在花蓮東南東方海面，暴風圈逐漸接觸臺灣陸地。8 日 4 時 40 分左右中心由花蓮秀林鄉登陸，11 時在雲林縣臺西鄉出海，同日 22 時左右由福建進入大陸。

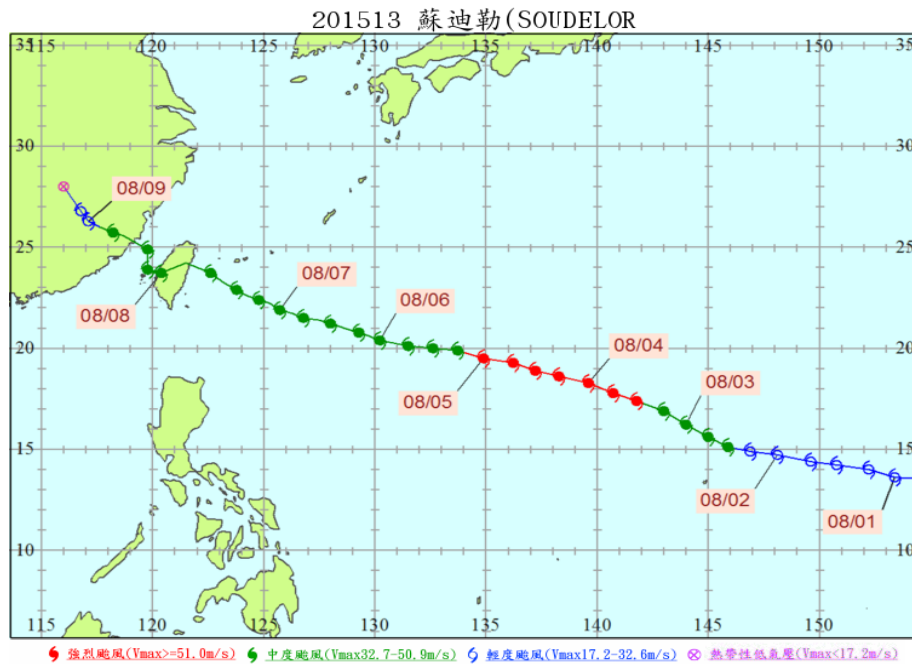


圖 74. 蘇迪勒颱風路徑圖（中央氣象局）

• 風力

各地出現最大平均風力與陣風，如圖 75 所示，其中：彭佳嶼、鞍部、竹子湖、基隆、臺北、宜蘭、蘇澳、花蓮、蘭嶼、玉山、東吉島及馬祖均測到最大陣風超過 12 級（32.7-36.9 m/s）。

2015 08/06 11:00 到 08/09 08:00 SOUDELOR 颱風侵臺期間各測站最大風速及最大陣風分布圖

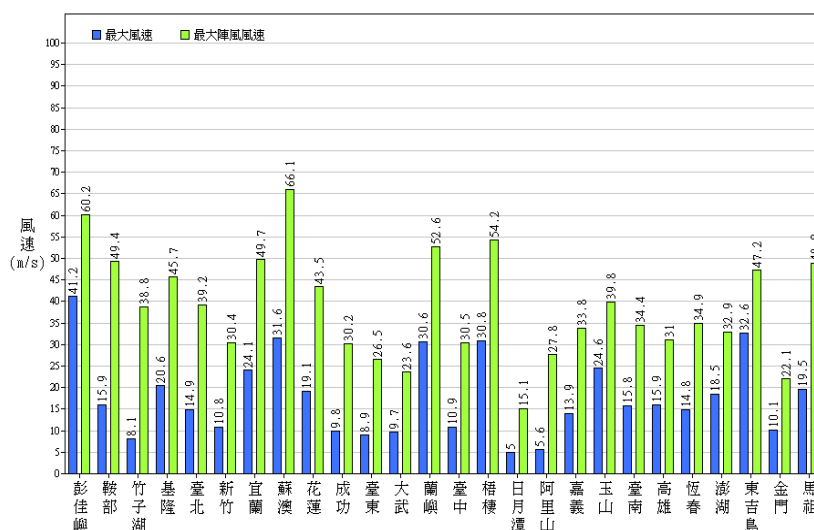


圖 75. 蘇迪勒颱風各地最大風速及最大陣風分布圖（中央氣象局）

• 降雨

蘇迪勒颱風警報發布期間，各地出現較大累積雨量地區如下：8月6日12:00~8月7日12:00受颱風外圍環流影響，主要降雨區在新北市及宜蘭縣；隨颱風靠近及登入期間8月7日12:00~8月8日12:00，全島以新北市福山雨量站累積雨量超過680毫米、宜蘭縣太平山雨量站累積雨量900毫米；隨颱風出海，西南部山區出現降雨，主要分佈在嘉義縣、臺南市、高雄市及屏東縣山區，以高雄市茂林區累積雨量超過600毫米為最高。

• 降雨分佈分析

根據福山雨量站分析，蘇迪勒颱風期間福山雨量站所記錄之累積雨量，高達792毫米（圖76），與過去2008年辛樂克颱風、2008年薔蜜颱風、2012年蘇拉颱風比較，不論是時雨量、3小時雨量、6小時雨量、12小時雨量及累積雨量均為最高，尤其3小時253毫米及6小時442毫米雨量（圖77），均為過去35年來的新紀錄。

蘇迪勒颱風降雨分布特性

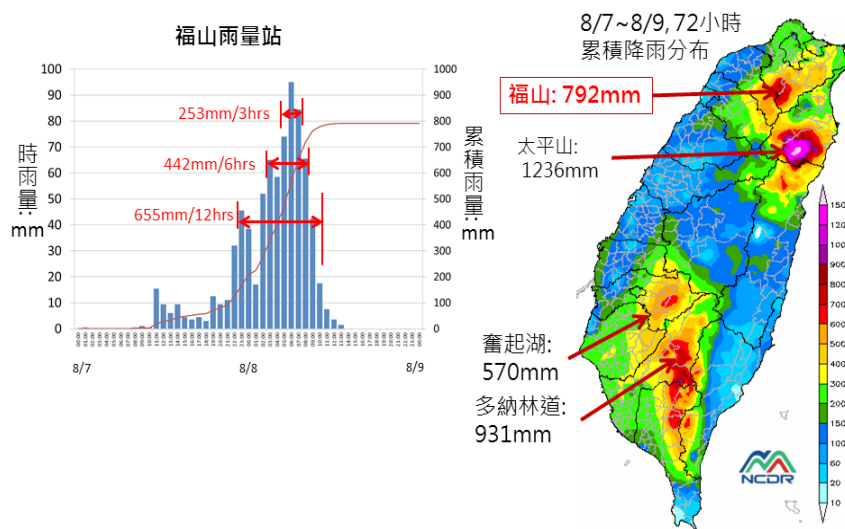


圖 76. 蘇迪勒颱風期間福山雨量站累積降雨

福山雨量站降雨特性比較

福山雨量站	時雨量	3小時	6小時	12小時	累積雨量	備註
2015蘇迪勒	95	253	442	655	792	
2012蘇拉	79	156	238	367	752	
2008薔蜜	61	132	203	334	574	
2008辛樂克	51	120	169	271	955	4天降雨

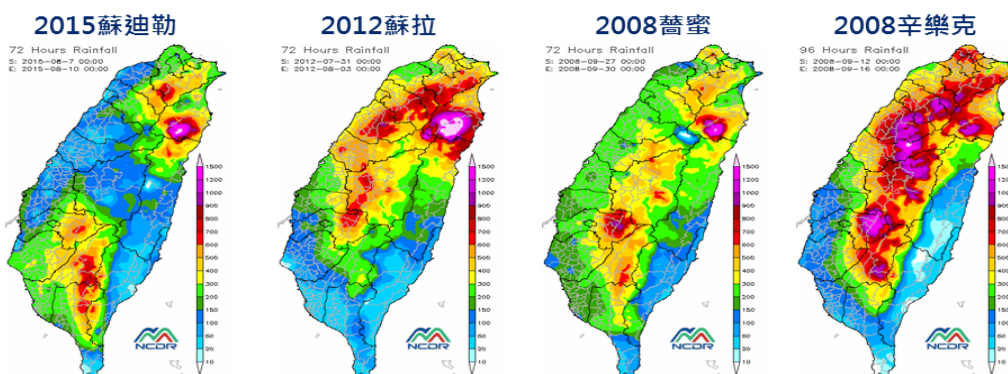


圖 77. 福山雨量站過去四場颱風累積降雨比較

• 降雨分佈分析

瞭解致災原因，本文針對蘇迪勒颱風期間，全臺降雨量進行降雨頻率分析。北部地區，特別是烏來區之 3、6、12、24 小時延時降雨之重現期皆有超過 100 年頻率年之訊號出現（圖 78）。

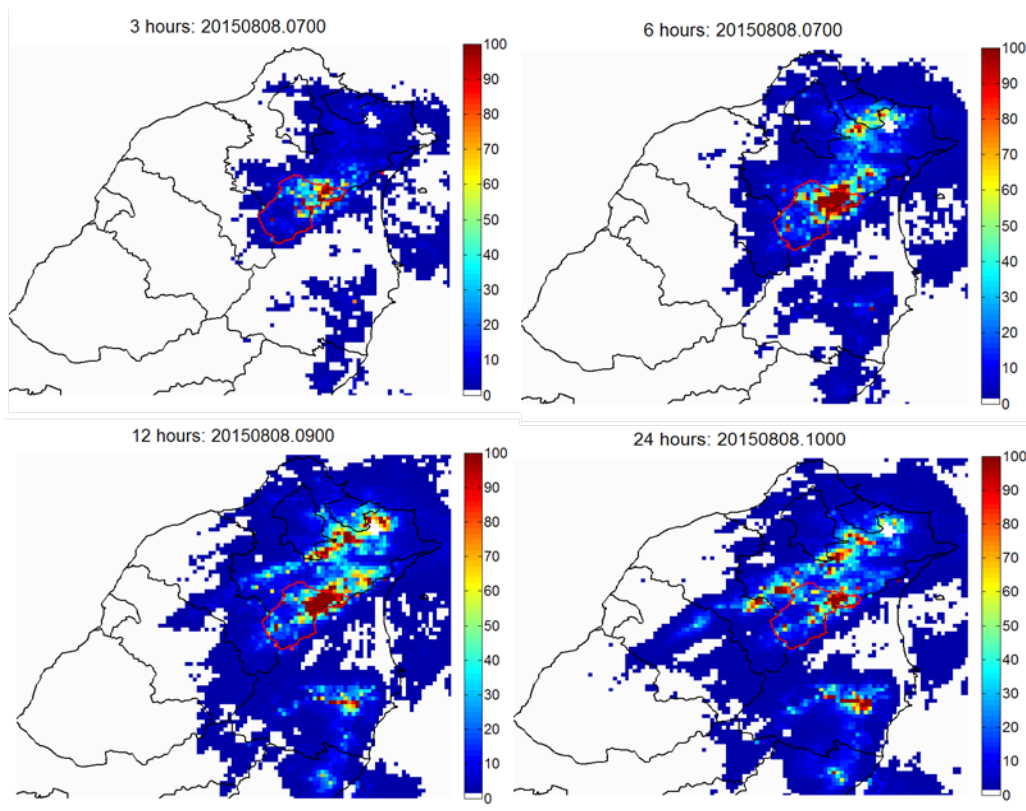


圖 78. 蘇迪勒颱風頻率分析結果：3 小時（左上）、6 小時（右上）、12 小時（左下）、24 小時（右下）

• 水位分析

蘇迪勒颱風的降雨在大臺北地區超過 100 年頻率，強降雨使得大臺北地區多條河川河水暴漲，包括：大漢溪、新店溪、基隆河及淡水河。水位超過二級警戒的共有 35 個水位站，其中有 12 個水位站還超過一級警戒，所屬流域為淡水河、八掌溪、二仁溪、急水溪、高屏溪以及蘭陽溪（表 11），而此七個流域中，部份流域因外水高漲導致內水不易排出，因而發生積、淹水之情況。

表 11. 蘇迪勒颱風水位達一級警戒列表

所屬流域	水位測站名
淡水河	上龜山橋、秀朗橋、三峽 (2)
八掌溪	頭前溪橋、赤蘭溪橋、八掌溪橋
二仁溪	崇德橋、南雄橋
急水溪	重溪橋、青葉橋、
高屏溪	獅額頭橋
蘭陽溪	牛鬥 (3)

淡水河流域中的秀朗橋水位站與三峽 (2) 水位站顯示，秀朗橋水位站位於新店溪上，約於 8 月 8 日上午 6 時，水位已達二級警戒（圖 79），而上游持續降雨，故水位持續往上攀升，9 時達到一級警戒，直至 8 日下午 1 時左右解除水位警戒；三峽 (2) 水位站位於大漢溪上，水位在 8 日上午 4 時達到二級警戒（圖 80），8 時達到水位峰值，於近午時解除水位警戒。

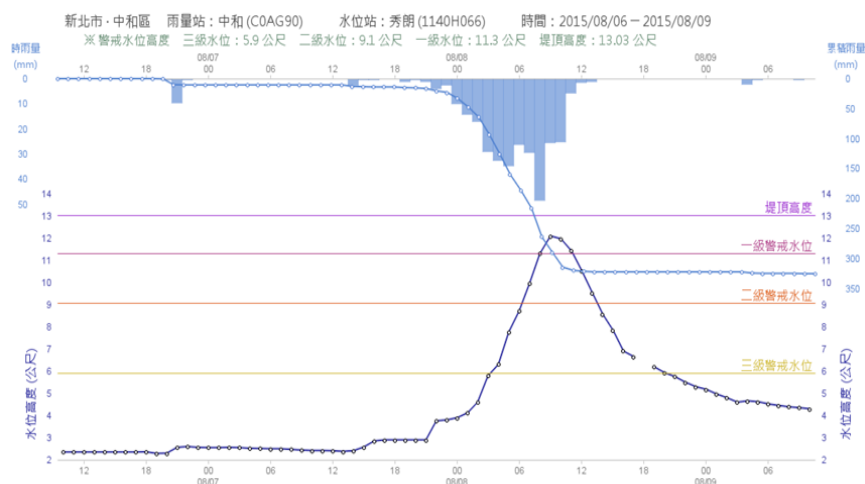


圖 79. 淡水河 - 秀朗橋水位站 (NCDR-Watch)

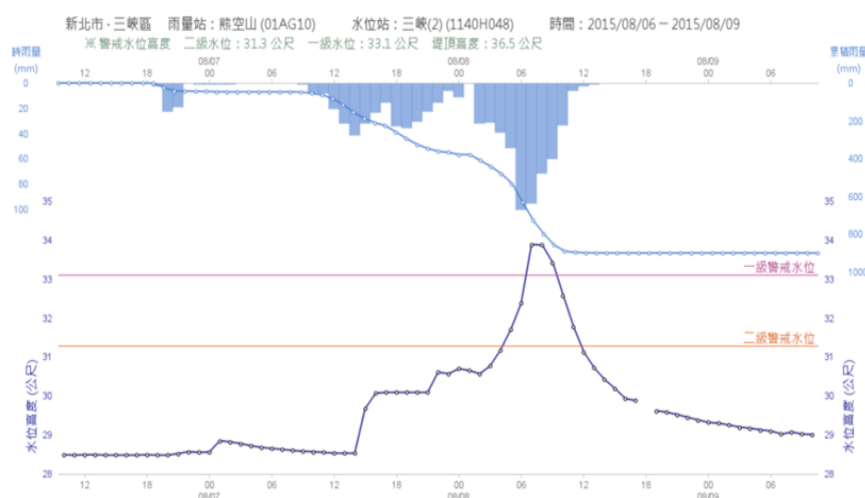


圖 80. 淡水河 - 三峽水位站 (NCDR-Watch)

災情分布

蘇迪勒颱風主要降雨集中新北市和宜蘭縣山區，強降雨使得大臺北地區多條河川河水暴漲，包括：大漢溪、新店溪、基隆河及淡水河（圖 81），滾滾洪水使得高灘地、腳踏車道、運動球場皆被淹沒，並且出現堤防外河水高於堤內行車建物危險景象。除大臺北淹水區因河川水位快速上漲，導致內水不及排出而於都市造成淹水外，宜蘭地區和高雄地區大多致災原因為地勢低窪，而臺南地區致災原因為受到海水倒灌影響，積淹水地區的土地利用大多為農田及道路居多。淹水災情的部分，根據經濟部水利署與中央災害應變中心緊急應變資訊系統 (EMIC) 通報積、淹水位置共有 304 通報點，分布在 14 縣市 90 鄉鎮（表 12），其中新北市積、淹水鄉鎮最多，多達 21 個鄉鎮內有積淹水情形，圖 82 為蘇迪勒颱風積、淹水鄉鎮分布圖。

表 12. 蘇迪勒颱風積、淹水災情統計

縣市	受災鄉鎮數	縣市	受災鄉鎮數
宜蘭縣	10	新竹縣	3
花蓮縣	5	嘉義市	1
桃園市	7	嘉義縣	2
高雄市	10	彰化縣	1
基隆市	7	臺北市	16
雲林縣	2	臺東縣	1
新北市	21	臺南市	4
合計		90	

在坡地災情的部分，截至 8 月 31 日為止，收整水土保持局、公路總局、中興工程顧問社、災防科技中心現勘等資料，各縣市災點分佈如圖 83，其中新北市、宜蘭縣、花蓮縣坡地災情較多，宜蘭縣、花蓮縣以道路災情為主，新北市則以邊坡崩塌、土石流災害為主。道路災情主要分佈在台 2、台 7、台 7 甲、台 9 及台 9 甲，以及新北市烏來區北 107-1、107、三峽北 114 線及坪林北 42 線出現多處邊坡與路基塌陷，而台 8、台 14、台 18 及台 2 則僅有零星災情。坡地災情較為嚴重的區域在新北市新店區廣興里、新北市三峽區有木里，新北市烏來區忠治里、烏來里及桃園市復興區羅浮里合流部落等（圖 84）。

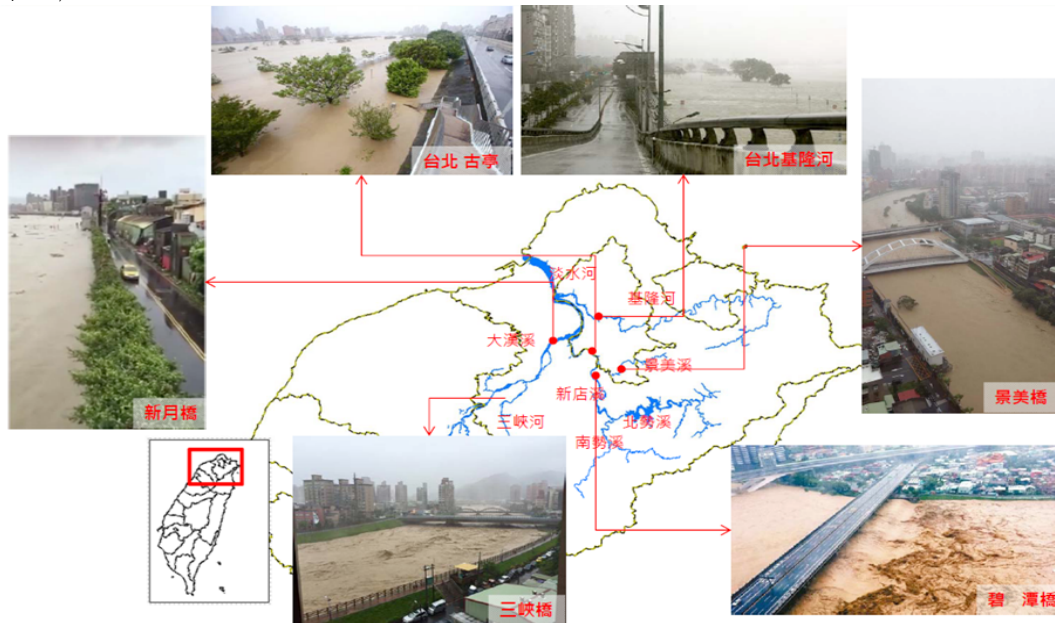


圖 81. 淡水河流域水位高漲圖



圖 82. 蘇迪勒颱風積、淹水災情分佈圖



圖 83. 蘇迪勒颱風坡地災情分佈圖



圖 84. 蘇迪勒颱風新店廣興里 (左上)、烏來忠治里 (右) 和桃園復興鄉合流部落 (左下) 現勘照片

災情衝擊

• 濁度高影響供水

蘇迪勒颱風的強降雨造成集水區崩塌及邊坡沖蝕，造成南勢溪溪水濁度提高，因此影響大臺北淨水廠處理能力，此次南勢溪測得濁度 3.9 萬 NTU (圖 85)，創下歷史新高，峰值歷經 12 小時降至 1 萬 NTU，再經 30 小時降至 3 千 NTU。新店溪水供給大臺北地區 97.5% 的用水，此次濁度升高造成臺北地區家戶自來水黃濁及停水 19 萬戶。

• 電力設施

全臺 449 萬戶電力中斷，停電戶數創下最嚴重紀錄 (1996 年賀伯，279 萬戶)，因風速過強，核一廠 2 號機及核二廠 1、2 號機於 8/8 降載機組功率、核三廠 1 號機於 8/8 停機。花蓮和平電廠循環水泵出水口阻塞致 1、2 號機停機。此外，石門風力發電站，6 台風機有 2 台損壞，都是早期容量較小的機組，一台是機艙及葉片燒損，另一則是風機塔架折斷，為早期機組，合計損失約 6 千萬元。高美濕地旁 18 座高 64 公尺、重 5.7 公噸的風力發電機，受到颱風影響，其中 6 座風力發電機倒塌，估計損失 4.6 億。

• 港灣設施受災情形

臺東富岡港向海延伸的凸堤，為富岡港的地標、負責指引漁船的紅色燈塔，基座斷裂、燈塔傾倒。臺中港共有 5 艘商船及 1 艘軍艦斷纜，分別是臺中港順發 66、欽益輪、佳益輪、漢立輪、成路 28 號及海軍馬公紀德艦斷纜，其中欽益輪從西連續壁碼頭被沖至 100 號碼頭，漂流約 7 公里遠。花蓮港東防波堤受強浪衝擊破損，約 200 公尺的胸牆倒塌，可能潰堤影響船隻進出安全。馬祖南北竿水道旁的鵲石導航太陽能燈塔，遭強風吹倒，無法執行船隻導航功能，危及船隻航行安全。

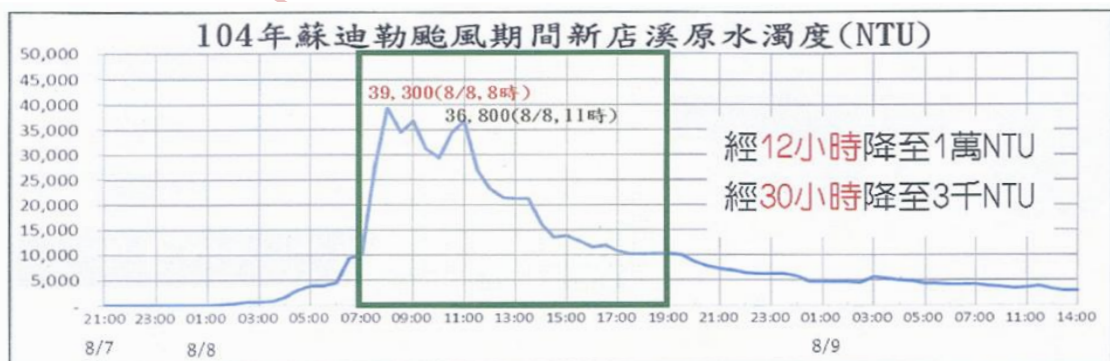


圖 85. 蘇迪勒颱風期間新店溪原水濁度 (台北自來水事業處)

9月 日本鬼怒川潰堤溢淹



鬼怒川（きぬがわ）是日本關東北部河川（圖 86），發源於櫛木縣日光市的鬼怒沼，於茨城縣守谷市與利根川合流，最後流入東京灣，全長 176.7 公里，流域面積達 1,760 平方公里，日本政府指定為一級河川管理。日本茨城縣過去以農業為主現已是以重化工業為中心的重要工業基地。此次河川潰堤導致大面積淹水地區為茨城縣常總市，常總市位於東京東北方 50 公里處，面積約 123.64 平方公里，約 6.27 萬人（常總市 wiki，2015），主要以農、工業並行，人口主要集中鬼怒川左岸，也是此潰堤河水漫淹之處。

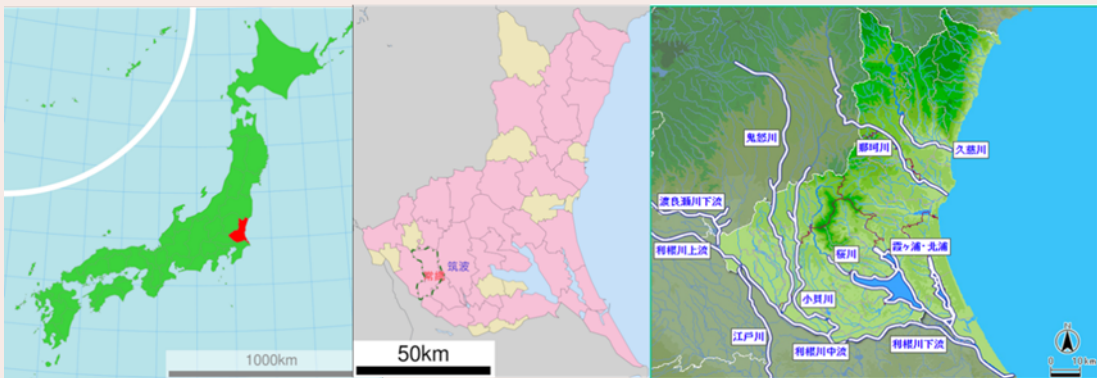


圖 86. 日本茨城縣（左）、常總市（中）和鬼怒川位置圖（右）

資料來源：茨城縣 wiki、常總市 wiki 和關東地方整備局

災害概述

日本本州於 9 月 9 日至 10 日受到第 18 號颱風 - 艾陶 (Etau) 侵襲，颱風引進濕冷鋒面造成日本關東和東北地區豪雨不斷，而這一波的颱風、豪雨創下過去的 50 年降雨紀錄，不僅造成洪水、潰堤、溢堤漫淹及停水、停電災害，還造成多起坡地災害。雖然此次颱風挾帶豪雨突破歷史紀錄，不過地方政府提早疏散民眾，所以災害發生後，並未擴及更大災情。截至 10 月 1 日 17 時，日本官方最後處置報告紀錄，此次災害共造成 8 人死亡、87 人輕重傷和 2.1 萬棟房屋遭受洪災淹沒。在鬼怒川潰堤事件中造成 2 人死亡、30 人輕重傷，救助民眾四千餘人，而鬼怒川流域共造成 97 處河堤受災（潰堤 1 處、溢堤 7 處和 23 處堤縫漏水等）（圖 87），而影響最為嚴重地區為茨城縣常總市。



圖 87. 鬼怒川上至下游堤防受損狀況（日本國土交通省關東地方整備局）

災因分析

第 18 號颱風 - 艾陶 9 日上午登陸愛知縣知多半島、下午出海，雖然颱風短暫經過日本，並在晚間 21 時轉成溫帶低壓，但引進濕冷鋒面（圖 88），造成日本關東和東北地區 10 日豪雨不斷，氣象廳對關東地區發布警報，包括：注意報、警報、特別警報。其中櫛木縣、宮城縣和茨城縣屬於特別警報範圍，並將此三地區列為「最嚴重緊急狀況」。從時雨量紀錄顯示（圖 89）：三重縣鳥羽雨量測站，最大時雨量 75.5 毫米，超過該站九月紀錄，而時雨量前 10 名共有三個測站超過歷史紀錄，分別是宮城縣的「駒ノ湯」、「泉ヶ岳」、「大衡」雨量測站；在 24 小時累積雨量紀錄中，櫛木縣「五十里」測站累計 551.0 毫米，不僅打破該站九月紀錄，還創下該站歷史紀錄。而且在 24 小時累積雨量紀錄中，櫛木縣有六個測站達累積降雨量排序的前六名，同時有五個測站破歷史紀錄，該區降雨匯入鬼怒川上游，造成鬼怒川中游（茨城縣常總市）發生潰堤。

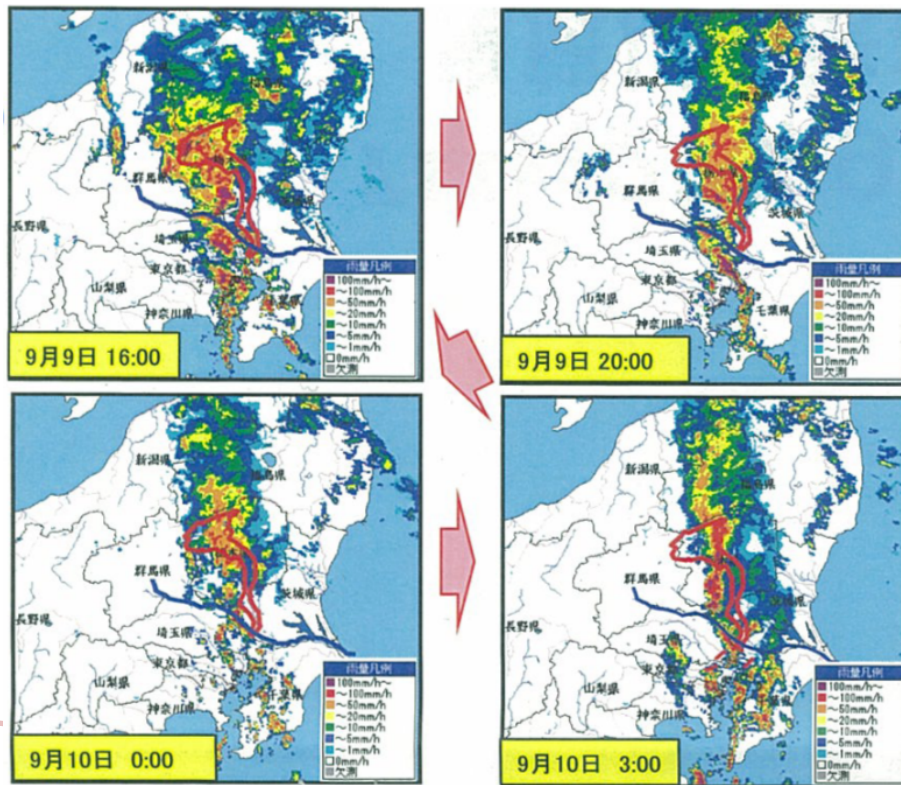


圖 88. 9 月 9 日 -10 日四時段雷達降雨圖（日本國土交通省關東地方整備局）

此次水位超過 50 年記錄，鬼怒川潰堤處上游川島雨量站及水位站 - 最大時雨量約 43 毫米（圖 90），72 小時雨量約 230 毫米，水位在 10 日起達到最高峰，打破 1998 年 2.82 公尺紀錄。潰堤處下游水海道雨量站及水位站 - 最大時雨量約 28 毫米（圖 91）。水位在 10 日起達到最高峰 8.08 公尺，打破歷史 2001 年 5.63 公尺紀錄。雖然潰堤點地雨量不多，但鬼怒川上游雨量（櫛木縣）在 24 小時雨量皆打破歷史紀錄。

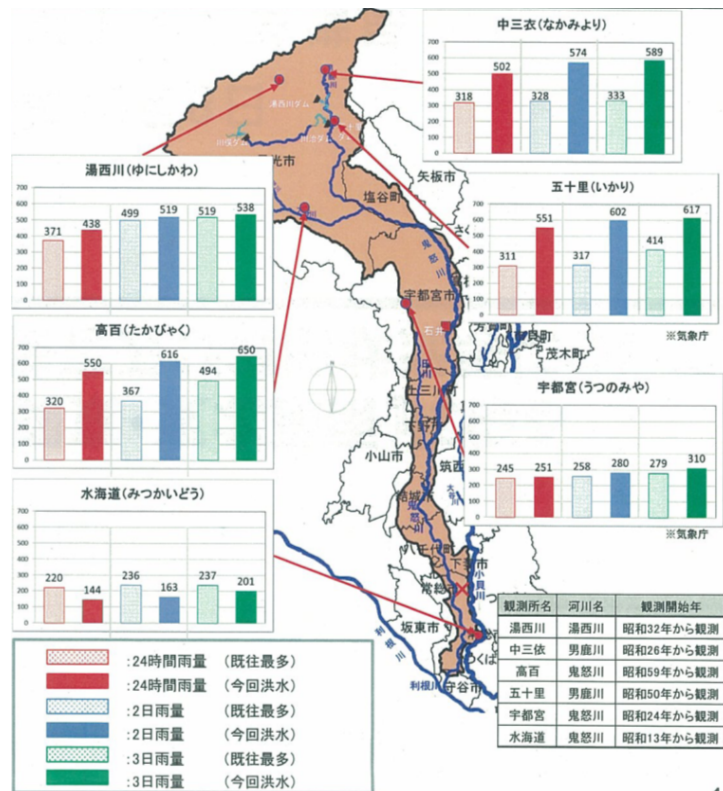


圖 89. 鬼怒川流域内雨量站 24、48 和 72 小時累積雨量與歷史比較
(日本國土交通省關東地方整備局)

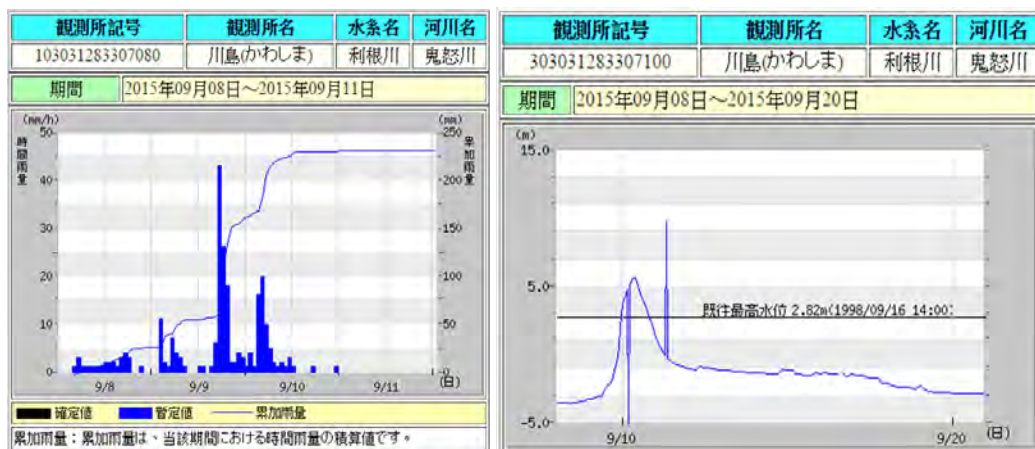


圖 90. 鬼怒川潰堤處上游川島雨量 (左) 及水位測站 (右) (日本國土交通省關東地方整備局)

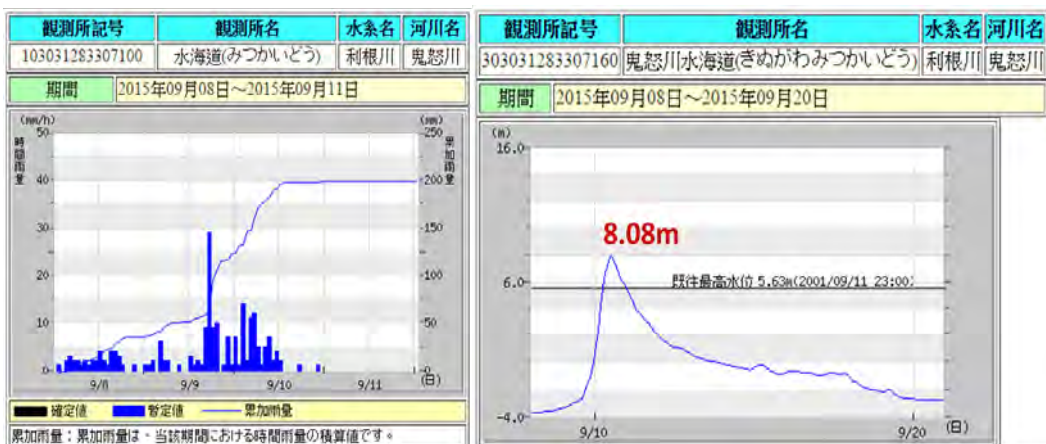


圖 91. 鬼怒川潰堤處下游水海道雨量 (左) 及水位測站 (右) (日本國土交通省關東地方整備局)

災害應變與作為

在這次颱風、豪雨事件中，國土交通省統計出有上百條河川溢堤氾濫（包含國有所管和縣有所管），並向關東及東北地區七個縣發出避難告示達 40 萬人，其中茨城縣常總市因鬼怒川潰堤疏散避難 2.1 萬戶。鬼怒川隸屬下館河川事務所管轄，在事件啟動過程中，共發布四次洪水相關情報以及八次與地方市政府熱線（圖 92）。在 9 月 9 日 21 時川島水位站到達 0 公尺高度時，相關水防警報屬於待命狀態，而水位依然持續上升，當晚近 23 時河川事務所向市政府熱線建議發布避難勸告，請當地民眾準備避難。10 日凌晨鬼怒川 - 川島水位站已超過危險水位，隨時有氾濫的危險，爾後二小時建議對當地發布疏散命令，10 日早上 8-9 時最高水位約 5.8 公尺，雖然河川水位逐步下降，但到 10 日接近 11 時左岸 21 公里依然發布撤離命令，不到 2 小時發生潰堤。此次水位達危險等級長達一天的時間，超過過去歷史紀錄，也緊急發布命令撤離，但仍不敵潰堤造成的洪災衝擊影響。

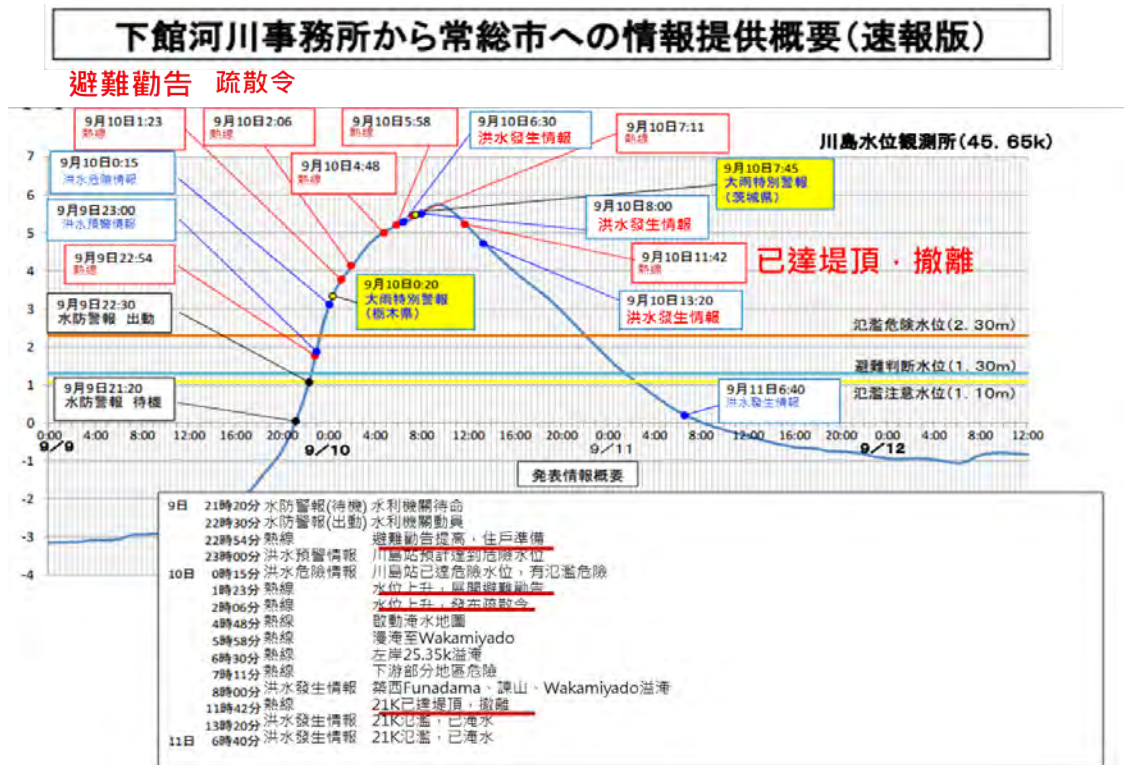


圖 92. 鬼怒川潰堤處上游川島雨量（左）及水位測站（右）

當鬼怒川河水水位降低後，當局立即修復潰堤及毀損之水利設施。因河水掏刷而造成潰堤，茨城縣常總市東半部全面淹沒，鬼怒川潰堤後漫淹面積約 40 平方公里（圖 93），約 1.1 萬棟房屋淹沒，淹水面積佔常總市 1/3 大小（約臺北市大安、信義和南港三行政區面積大小）。並出動 240 輛抽水車（圖 94），至 9 月 19 日共抽了 775 萬立方米，相當六個東京巨蛋大小，將淹水面積降為 2 平方公里。

在這次洪水氾濫中，鬼怒川上游四水庫（湯西川、五十里、川保和川治）發揮了蓄洪的效用，洪水蓄儲量約 1 億立方公尺。國土交通省在事件後，針對水庫蓄洪有無之情況，進行淹水模式演算，在無水庫蓄洪調節下，淹水面積達 60 平方公里，約 1.80 萬戶受到洪水影響；反之，水庫調節下，淹水面積約 40 平方公里，0.93 萬戶受到影響，在有無水庫情況下，洪水量削減 2/3 水量（圖 95），受影響戶數減少 1/2，而下水位站水位降低 25-56 公分，說明水庫發會效用。

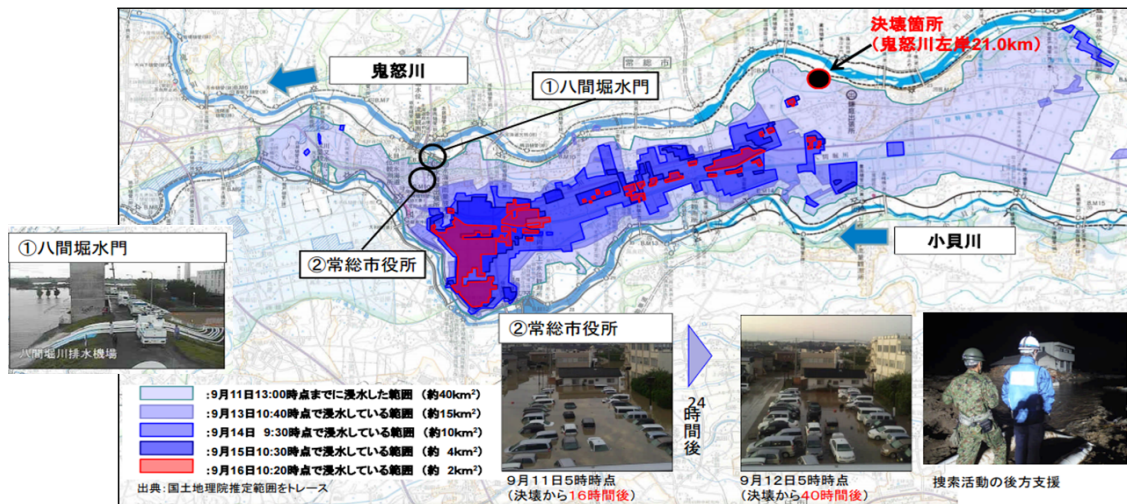


圖 93. 洪水潰堤漫淹後消退紀錄 (日本國土交通省關東地方整備局)



圖 94. 災中、後排水作業 (日本國土交通省關東地方整備局)

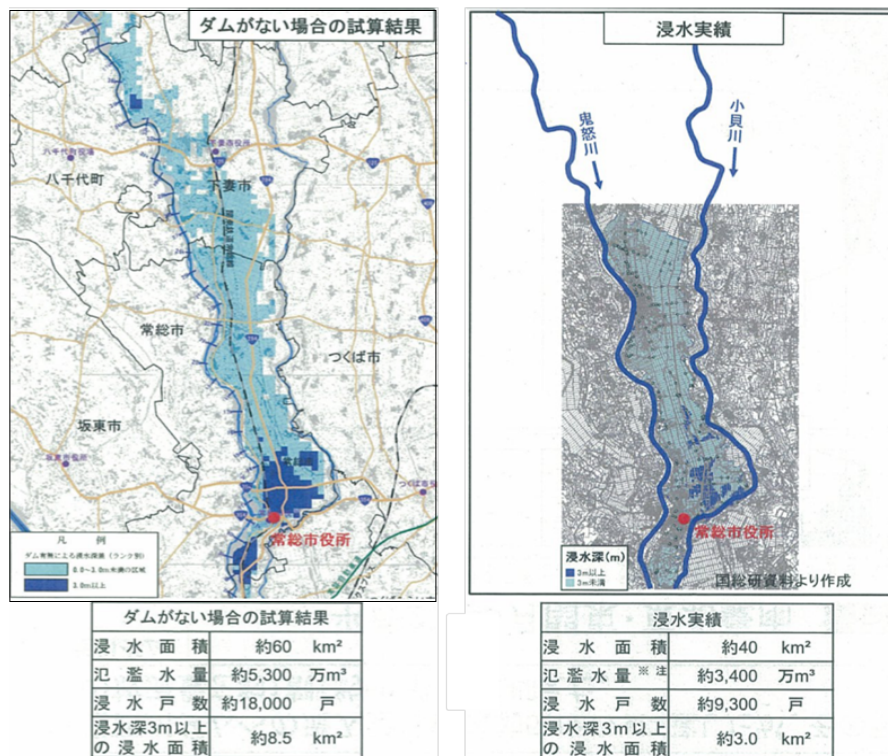


圖 95. 淹水模擬無水庫 (左) 和有水庫 (右) 調節淹水面積統計 (日本國土交通省關東地方整備局)

鬼怒川現勘

災防科技中心於 11 月由陳宏宇主任組團赴日與國家防災科學技術研究所 (NIED) 和國土交通省關東地方整備局人員，一同勘查鬼怒川潰堤點，探討鬼怒川潰堤成因，其造成的衝擊影響，當下應變作為、疏散避難時序作為以及復原工作等，與日方針對此災害事件相互交流。日本國土交通省關東地方整備局人員說明鬼怒川基本資料和 9 月關東、東北豪雨 - 鬼怒川洪水被害及復原狀況。除了雨勢過大為主要致災原因外，另外還有二個因素：一為鬼怒川是一條特別河川，上游河道寬，下游河道窄，因此，上游的大雨，下游因而潰堤溢淹。其二，鬼怒川過去有百年的洪水計畫規劃，但目前現有的設計標準僅只有 10 年設計標準，是無法承受此次如此大的降雨量。



陳宏宇主任帶領同仁與日方一同於鬼怒川現勘。照片來源：災防科技中心



鬼怒川潰堤災情。照片來源：歐新社

其他災害

18 號颱風艾陶不僅造成茨城縣鬼怒川潰堤外，也造成宮城縣涉井川潰堤和櫛木縣日光市土石流，所幸這二處的災害，未有傷亡災情。此二處的災害概述如下：

• 宮城縣涉井川潰堤

涉井川於 11 日潰堤，潰堤缺口約 20 公尺，洪水湧入宮城縣大崎市，造成大面積淹水，部分地區淹水深度約 1.5 公尺，於 14 日時將缺口修復完成，有效防止災害損失擴大，快速進行缺口復原重建工作。

• 櫛木縣日光市土石流

櫛木縣土石流發生在日光市芹澤，發生時間在 9 月 10 日，芹澤地區共有 8 條土石流潛勢溪流有土砂災害發生（圖 96），不僅中斷道路三處、四棟房屋全、半毀，該地所幸無人傷亡，由於道路中斷，25 名芹澤民眾一度孤立無援。當局後續作為，已先將土砂清除，並針對此八條潛勢溪流做災情調查。

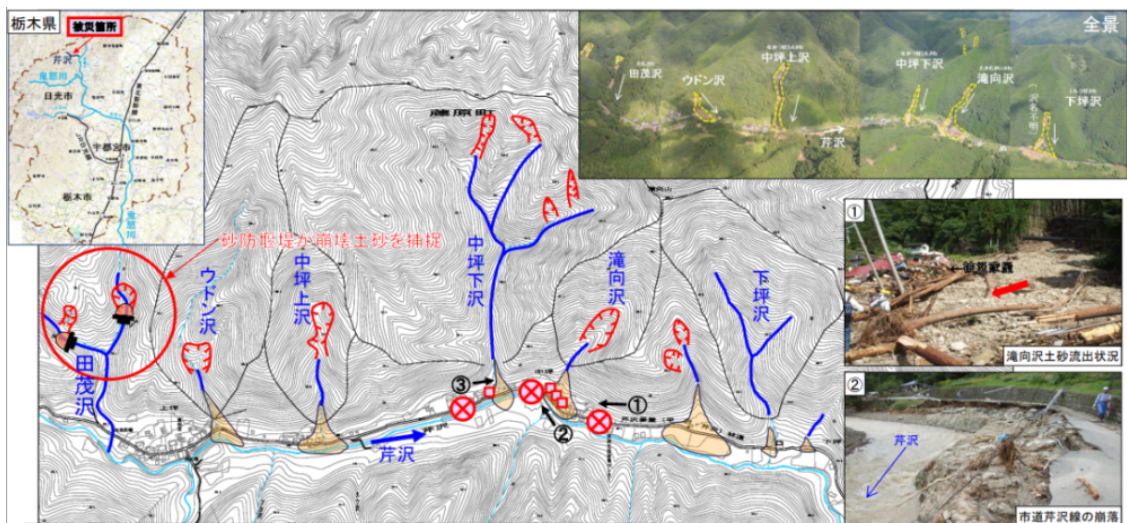


圖 96. 櫛木縣日光市土石流分布圖（日本國土交通省關東地方整備局）



鬼怒川潰堤，直升機救援。照片來源：歐新社

10 月 瓜地馬拉崩塌



康布雷二村 (El Cambray II) 位於聖卡塔琳娜皮努拉 (Santa Catarina Pinula) 鎮，是瓜地馬拉中南部的一個城鎮邊緣谷地聚落，距離首都瓜地馬拉市東南方約 15 公里處 (圖 97)，聖卡塔琳娜皮努拉鎮面積約 50 平方公里，海拔高度 1,640 公尺。瓜地馬拉有「恆春之國」的美譽，聖卡塔琳娜皮努拉鎮的年平均氣溫在 19.3°，每年 11 月至 4 月為乾季，月降雨量最高只有 2 毫米，5 月到 10 月則為雨季，月降雨量可達 270 毫米，年降雨量約 1,300 毫米 (圖 98)，雨季期間易於地質脆弱且陡峭的邊坡釀災。康布雷二村位處河谷陡峭邊坡的坡腳之下，屬於坡地災害的高風險區，套疊美國地質調查所 (USGS) 1:5M 的地質圖，崩塌區域附近的地層以第三紀中新世與第四紀的火山岩為主 (圖 C80)。

下，屬於坡地災害的高風險區，套疊美國地質調查所 (USGS) 1:5M 的地質圖，崩塌區域附近的地層以第三紀中新世與第四紀的火山岩為主 (圖 C80)。



圖 97. 瓜地馬拉康布雷二村 (El Cambray II) 崩塌地理位置示意圖 (AFP)

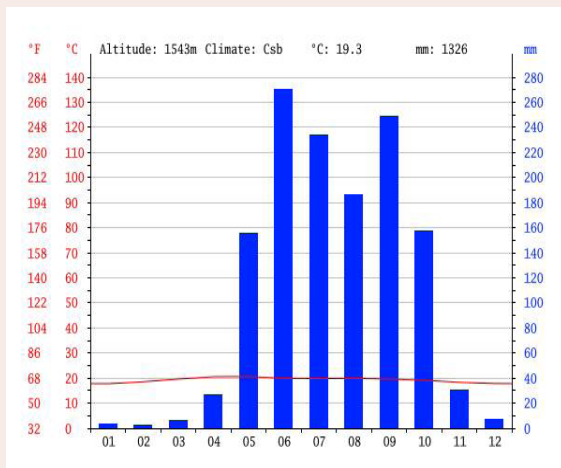


圖 98. 聖卡塔琳娜皮努拉鎮的月平均降雨量與溫度 (Climate-DATA)

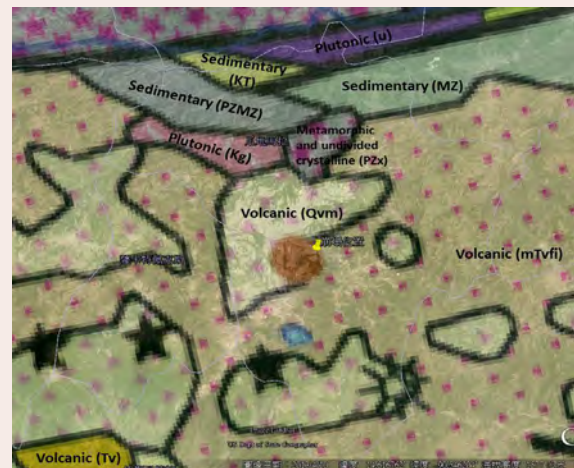


圖 99. 瓜地馬拉市及其附近區域地質圖 (USGS)



災害概述

2015 年 10 月 1 日，當地時間晚上 9 點 30 分，康布雷二村南側邊坡，因連續的大雨引發了崩塌，大量土石夷平部分的村落，覆蓋了 187 戶住家，部分地區被埋在約 15 公尺深的土礫堆下。根據瓜地馬拉國家減災協調中心 (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, CONRED) 的資料，災防科技中心概估崩塌範圍寬約 100 公尺，長約 110 公尺 (圖 100)，CONRED 估計整體受影響區域約 8,300 平方公尺。



圖 100. 康布雷二村山崩崩塌影響範圍 (修改 CONRED)



災害特性



圖 101. 瓜地馬拉的減災協調中心的災害分級 (修改自 CONRED)

當局動用了至少 2,250 名救難隊員與大型機具負責搜救與清理土石，墨西哥派出搜救隊到當地協助，許多私人企業也都提供協助，但是大雨阻礙了救援行動的進行。事件發生後，當地政府疏散附近約 300 位居民及災民至三個避難處所，原本 CONRED 將當地劃定為橘色警戒，後續因為災害規模嚴重而提升到紅色警戒 (分級如圖 101)，並設置網頁提供搜救狀態、失蹤或收容所居民等相關資訊。



照片來源：歐新社



照片來源：歐新社

災因分析

• 連續性大雨

由於雨季的關係，在康布雷二村崩塌事件之前，連日的大雨已經造成瓜地馬拉部分地區有淹水、崩塌的災情傳出。瓜地馬拉地震、火山、氣象、水文國家研究所 (INSIVUMEH) 所長表示，紀錄顯示崩塌時的土壤溼度高達 90% (圖 102)，連續的豪雨是引發此次瓜地馬拉近十年來最嚴重崩塌災害事件的原因之一。

• 舊崩塌地復發

2003 年至 2014 年的歷史影像資料顯示了此邊坡的植被變化 (圖 103)。2003 年坡面還算完整，但從 2005 年起，該地區影像開始有土石崩落、塌陷與沖蝕的痕跡，2012 年後邊坡直接裸露，且鄰近邊坡也有多處的崩塌裸露狀況。因此舊崩塌地的復發也是本次災害發生的主因之一。

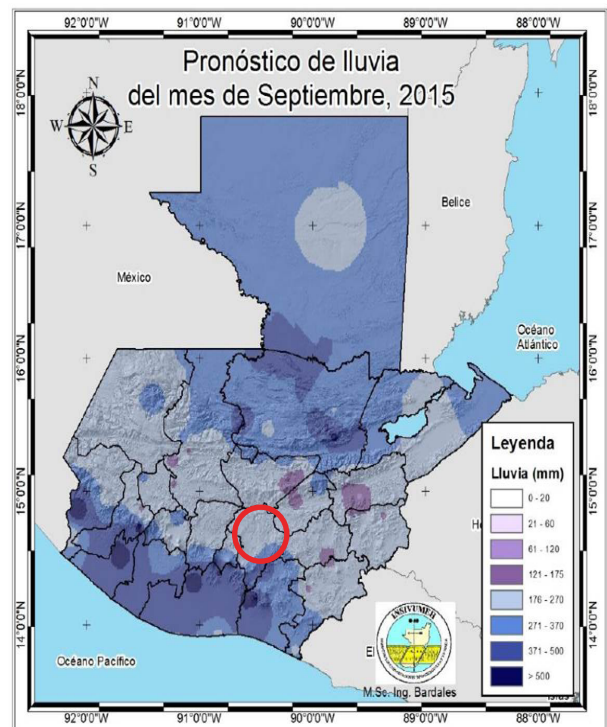


圖 102. 瓜地馬拉 9 月份的雨量預報，紅色圓形為康布雷二村崩塌位置 (INSIVUMEH)

• 陡峭邊坡與脆弱地質

由崩塌的照片可以看到此區邊坡是由脆弱鬆散的地質材料所組成，搜救過程中 (10 月 7 日) 在主要崩塌旁產生了另一個較小的新生崩塌，推測可能為崩塌的堆積物使河流改道，沖蝕其坡腳所造成 (AGU Landslide Blog)，可見此河谷邊坡的地質特性極易因河流的沖刷侵蝕導致坡體不穩定。另外，也可以從 1976 年瓜地馬拉所發生芮氏規模 7.5 大地震造成之崩塌部分 (Harp et al., 1981)，看到此河谷地區已有多處發生過崩塌 (圖 104)。



圖 103. 康布雷二村南側邊坡歷史影像資料 (Google earth)



圖 104. 白色與紅色線框分別表示此次崩塌與堆積範圍，黃色線框代表 1976 年瓜地馬拉所發生芮氏規模 7.5 大地震造成之崩塌範圍 (Rüdiger Escobar Wolf of Michigan Technological University; Harp et al., 1981)

- 都市窳陋地區的災害脆弱性

從 Google 影像也可以看到該地區的城市發展現況 (如圖 105)，康布雷二村位在河川谷地中，而其坡面上方城市的高密度開發亦是相當驚人，居住空間不足，較貧困的民眾只能往近邊坡地區或河谷地居住，從災害畫面可以看出建築物緊鄰坡腳而建設，因此當崩塌災害發生時並沒有任何的緩衝空間，崩塌土方直接堆埋山谷中的建物與民眾，幾乎沒有逃生機會，造成嚴重傷亡。

然而，從 2008 年開始，國家減災協調中心 (CONRED) 已經數次建議居民能搬離此山崩高潛勢的區域 (圖 106)，在 2014 年 11 月，瓜地馬拉的國家減災協調中心再次聲明，希望地方政府可以協助居民”立刻”搬離，以降低未來災害發生時的衝擊與損失。但，就像其他曾遭受致命性山崩威脅的中南美洲窮困村落一樣，此區的居民依舊沒有能力或方法能搬離原本的住所 (Reuters; BBC)。

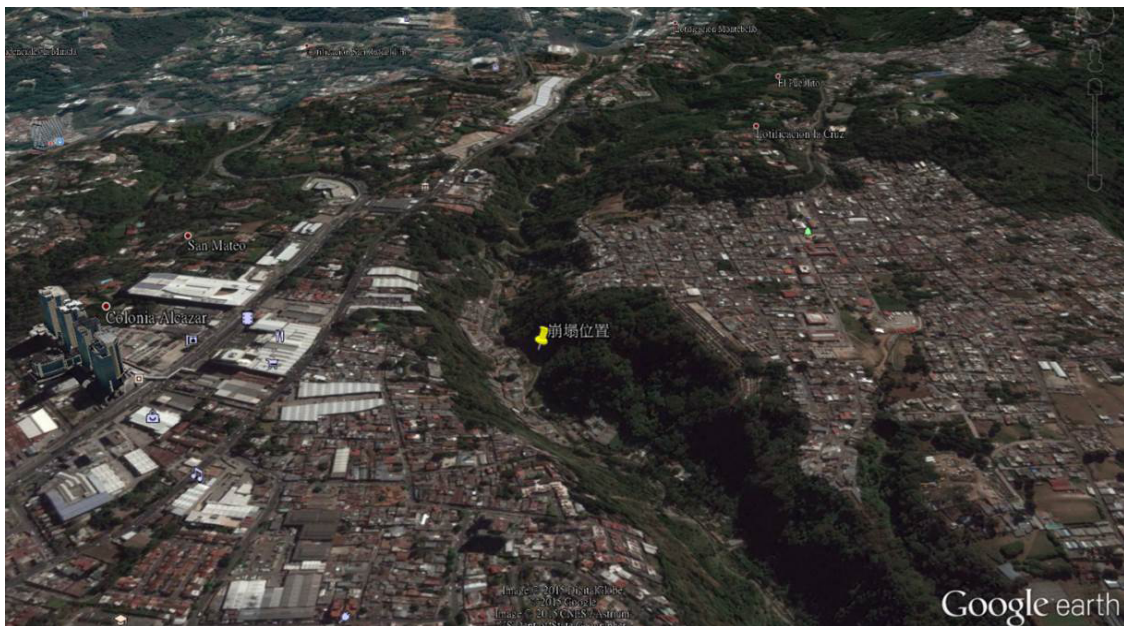


圖 105. 康布雷二村崩塌鄰近城市鳥瞰 (Google earth)



圖 106. 國家減災協調中心 (CONRED) 公布之崩塌潛勢地圖，
本次崩塌位於高潛勢地區 (CONRED)

11 月 印度清奈洪災



印度面積約 328 萬平方公里 (大約為台灣 91 倍)，近幾年印度工商業發展快速，各地都會區紛紛成立，而坦米爾納德邦 (Tamil Nadu) 的清奈 (Chennai) 便是其中產業發展都會區之一。坦米爾納德邦東、西兩部分多起伏的丘陵、山地，中部為平緩的高原 (圖 107)；東南流向的高韋里 (Kaveri) 河是最重要的水源；尼爾吉里 (Nilgiri) 丘陵中最高峰海拔 2637 公尺；坦米爾納德邦共有 32 個縣，有「寺廟之鄉」的稱號，名勝古蹟遍布全邦。清奈位於印度東南沿海濱海平原，平均海拔為 6 公尺，最高處僅只 60 公尺，主要降雨來自於

東北季風，另有孟加拉灣氣旋 (cyclone) 侵襲，年平均雨量約 1,300 毫米，其雨季大約在每年九月中旬至十二月中旬。清奈人口約 468 萬人 (2011 人口資料)，一直以來是印度南部產業火車頭，主要產業以汽車工業、機械製造和醫療健檢為主。

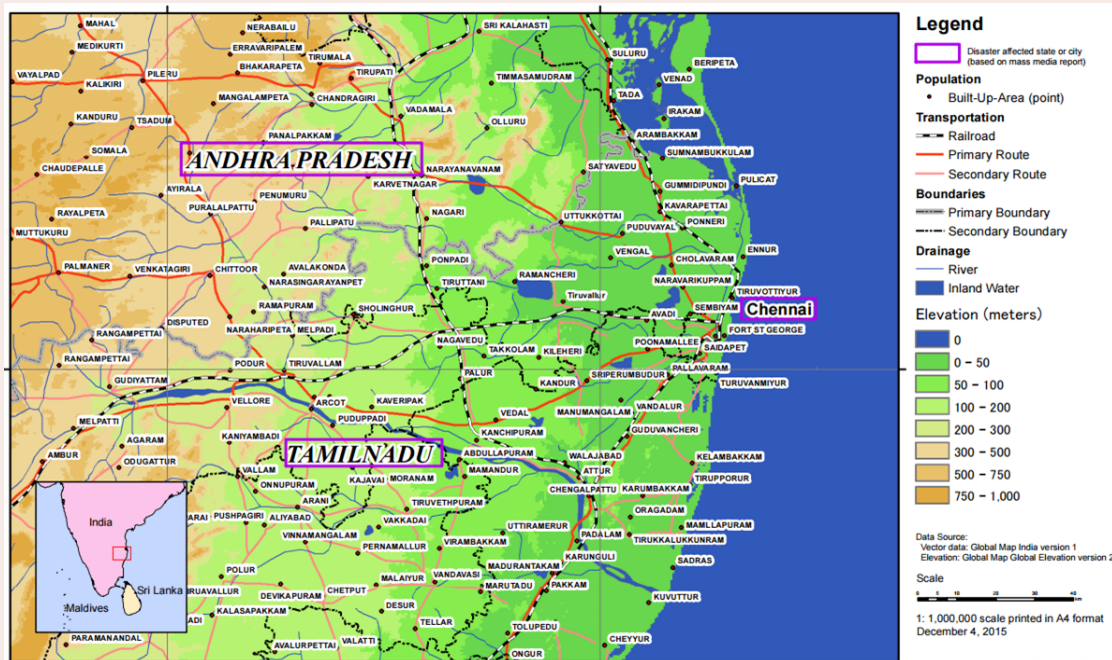


圖 107. 坦米爾納德邦地勢高度
(日本國土交通省)

災害概述

2015 年 11 月初起，清奈持續降雨，創下 1901 年有紀錄以來，破百年的降雨紀錄，造成 325 人遇難，洪水影響三百萬人，其中包括一百萬的孩童，9.2 萬公頃農田損毀，11.6 萬棟房屋毀損，開設 173 個救援中心，並在洪水退去後，無家可歸的低窪地區民眾轉至其中的 22 救濟中心。

災因分析

每年九月至十二月，印度南部因東北季風而降雨。此次致災的降雨共有二波，第一波為 11 月 8 日起至 11 月 24 日止；第二波為 11 月 29 日起至 12 月 3 日止，而這二次東北季風皆與斯里蘭卡附近生成的低壓，產生共伴作用，造成清奈極端降雨事件，日降雨遠超過過去降雨量之 90%。另外，根據印度氣象局：2015 年 11 月月降雨紀錄達 1049 毫米，僅次於 1918 年的 1,088 毫米紀錄。清奈機場雨量顯示：11 月最大雨量在 15 日約 265 毫米（圖 108），而 12 月 1 日日降雨超過 350 毫米。據當地報導指出，清奈市在連續性降雨中，測得日降雨中 246.5 毫米，打破該站 2005 年 11 月最大日降雨 142.4 毫米紀錄。

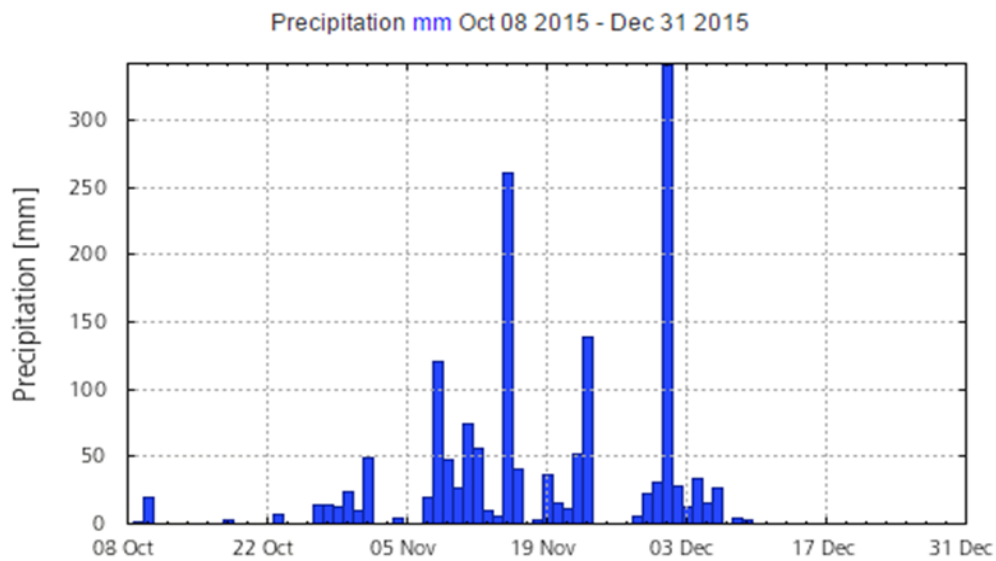


圖 108. 清奈國際機場雨量站 (Weather online)



照片來源：歐新社

- 災害預警困難

印度氣象局於 9 月時，預估 2015 年年底東北季風的降雨量將會比往年來的多，也確實降下相當規模的雨量，最後導致洪災及 300 餘人死亡，顯示長期降雨預報於災害應變的困難。

- 基礎建設更新不及和排水系統銜接不佳

清奈都會區開發已有長久歷史，關鍵基礎相對而言亦老舊，加上快速的開發，造成排水系統複雜銜接不佳。遭遇此次連續性降雨，使得雨水下水道系統失靈。另外，當地政府官員表示：每年皆會施行河道與雨水下水道清淤工作，但清淤的排程速度緩慢，需要二年方可清淤完畢。

- 地勢低窪易淹水

清奈地區高程低，僅 6 公尺左右，土地大多為低窪地區或濕地，隨著人口增加以及工業開發需要，土地的開發移逐漸至低窪地區甚至河、海岸濕地，使得原先可蓄水緩衝的濕地，卻改為建物開發使用，加重洪災的嚴重性。

災害衝擊影響

洪水影響清奈的食衣住行，由於補給困難，造成所有購買成本上升，其上升幅度約五倍之多。另外，大面積洪氾造成電力中斷，中斷戶數約占全市 60%，當地醫院因電力中斷，導致呼吸儀器無電運作，造成 14 人因無法供氧而死亡。洪水造成不僅造成道路中斷、橋樑毀損等，印度南方鐵路和清奈國際機場中斷關閉，飛機無法起飛降落，機場關閉至 12 月 6 日才開放營運。



照片來源：歐新社

結論

依據美國 NOAA 及國際氣象組織 (WMO) 的資料顯示，自從 1880 年代以來，2015 年由於明顯地聖嬰現象的影響，是溫度最熱的一年。在這一年當中有顯著的「熱浪」與「乾旱」事件，這兩種災害類別的影響，不像暴雨、洪水或土石災害一樣的有立即明顯的衝擊，但是影響範圍大，在不易察覺明顯差異之中，已處在熱浪與乾旱影響之中。如果說暴雨、洪水及土石流等災害是「急性災害」；那乾旱、熱浪災害就可以說是「慢性災害」。可以想像「熱浪」與「乾旱」災害對於基礎建設不足的國家，或是較落後的國家，影響較大，例如：印度、巴基斯坦的熱浪事件，由於供電不穩，無法有效利用電扇或冷氣等設備，躲過熱浪的影響，而有數千人因熱浪事件而死亡。但是法國、比利時等先進國家在熱浪的侵襲下，根據 EM-DAT 災害資料庫的統計，熱浪造成的死亡人數亦高達 3 千餘人，遠遠超過我們每年遭遇的颱風豪雨災害的傷亡人數。

2015 年的「乾旱」事件亦影響著臺灣，由於 2014 年的颱風帶來的降雨較少，緊接著冬天降雨也不顯著，因此 2015 年初因應旱象，有 4 萬公頃面積的農田因此休耕，甚至對於民生用水採取「供五停二」的措施。另外，美國加州面對嚴峻的乾旱事件，水庫蓄水量明顯降低，加州最大水庫 -Shasta 水庫，在 2015 年底蓄水量只剩 30%，甚至比 1977 年的乾旱還低。

乾旱事件在非洲地區、未開發國家造成的影響，將是更大範圍與長時間的影響，2015 年的乾旱事件在伊索比亞、馬拉威、南非、尼日、巴布紐幾內亞、北韓等，影響人數高達 3 千多萬人，在這些地區因為乾旱影響，作物生長困難，緊接著的就是飢荒與貧窮的問題。2015 年最嚴重的地震災害是發生在尼泊爾，規模 7.8，地震深度僅 15 公里的淺層地震，總共造成 8 千餘人的死亡。該事件也是 2015 年死亡人數最多的災害事件，該次地震也震倒了位在加德滿都的許多歷史建築古蹟，顯示古蹟保存的困難。

2015 年最嚴重的坡地崩塌災害發生在南美洲瓜地馬拉，位在首都附近的 Santa Catarina Pinula 鎮，由於首都的高密度的發展，部分民眾居住在環境較差的高災害潛勢地區，雖然政府已多次警告這地區的不安全，但仍無法避免本次崩塌災害造成 600 餘人的喪生與損失。此災害事件凸顯出都市窳陋地區，因屬於社會上相對的弱勢，在面臨災害衝擊時，所受到的傷亡與損失也會相對較嚴重，即便政府建議該地區不宜居住，但是高風險地區的遷居方案，仍是目前困難的課題。

鄰近的日本，關東地區的鬼怒川，由於特殊的地理環境，形成鬼怒川上游河道比下游河道寬的情況，因此在遭遇 18 號艾陶颱風侵襲下，破紀錄的強降雨集中在鬼怒川上游的櫛木縣，由於上游寬、下游窄的河道條件，在鬼怒川下游引起多處溢堤與潰堤的災害。對照臺灣遭遇蘇迪勒颱風的短延時、強降雨事件，造成烏來地區的災情並影響大台北地區的供水問題，都是在極短時間內降下破紀錄的暴雨所導致。這也成為未來防救災工作中極重要的課題，需要所有防救災人員需要共同努力面對的問題。



參考主要文獻

- 中央氣象局
<http://www.cwb.gov.tw/>
- 日本氣象廳
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 日本內閣府
<http://www.cao.go.jp/>
- 關東地方整備局
<http://www.ktr.mlit.go.jp/>
- 經濟部水利署
<http://www.wra.gov.tw/>
- 農委會水保局
<http://www.swcb.gov.tw/>
- California DROUGHT
<http://ca.gov/drought/#>
- Climate-DATA
<http://es.climate-data.org/>
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, CONRED
<http://www.conred.gob.gt/>
- Drought Impact Reporter
<http://droughtreporter.unl.edu/map/>
- Federal Emergency Management Agency, FEMA
<http://www.fema.gov>
- National Aeronautics and Space Administration, NASA
<https://www.nasa.gov/>
- National Centers for Environmental Information, NCEI
<https://www.ncei.noaa.gov/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA
<http://www.noaa.gov>
- Nepal Earthquake Situation Report 12 (as of 8 May 2015)
<http://un.org.np/>
- Pajhwork Afghan News
<http://www.pajhwok.com/>
- U.S. Drought Monitor
<http://droughtmonitor.unl.edu/>
- USGS Science for a changing world
<http://www.usgs.gov/>
- USGS Water Watch
<http://waterwatch.usgs.gov/>



2015
天然災害紀實

發行人：陳宏宇

編輯委員：林李耀、周學政、李維森、吳瑞賢

主編：張志新、柯孝勳

執行編輯：傅鏹漩、王俞婷、林又青、呂喬茵

作者群：于宜強、王俞婷、朱吟晨、朱容練、江申
吳子修、吳佳容、吳宜昭、吳秉儒、吳亭燁
呂喬茵、李中生、李沁妍、林士堯、林欣弘
林義凱、林聖琪、柯孝勳、柯明淳、張志新
張駿暉、陳永明、陳偉柏、傅鏹漩、黃明偉
黃柏誠、葉森海、劉俊志、劉哲欣、劉淑燕
鄧敏政、謝蕙如、魏曉萍、蘇元風、龔楚娛
(依姓名筆劃排序)

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 www.ncdr.nat.gov.tw

天然災害紀實 satis.ncdr.nat.gov.tw/ndd/

發行日期：2016 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

天然災害紀實. 2015 / 張志新、柯孝勳主編. -- 第一版. --

新北市：國家災害防救科技中心，2016.03

面；公分

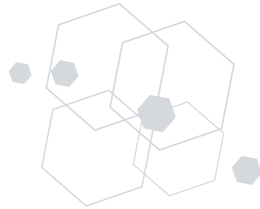
ISBN 978-986-04-48285-0(平裝)

1. 自然災害

367.28

9789860482850

2015
天然災害紀實



行政法人國家災害防救科技中心
www.ncdr.nat.gov.tw