

淺談 2013 年 9 月 9 日科羅拉多洪災

李文正¹、高宏凱²、張志新¹、張駿暉¹

¹ 國家災害防救科技中心坡地洪旱組

² 臺灣大學生物環境系統工程學系

摘要

2013 年 9 月 9 日，一個行進緩慢的冷鋒與來自南方的水氣會合，在美國科羅拉多州（Colorado）降下連日大雨，超過 16,000 棟房屋受損，其中約 2,000 棟徹底摧毀；上萬人被疏散撤離，20 個郡遭受影響，其中以博爾德（Boulder）最為嚴重。總計本次洪災事件共造成 8 人死亡、1 人失蹤，以及預估數十億美元的經濟損失。¹

一、氣候及地理概述

科羅拉多州(如圖一)平均海拔 2,072 米，為五十個州中地勢最高的區域。落磯山脈（Rocky Mountains）縱貫該州中部，山脈以東的山前地帶（Colorado Front Range）²聚集了全州 80%的人口，該州的大都市、交通主幹、工業企業均聚集於此。高山以外的區域多屬草

¹ 可參考系列文章 Colorado Office of Emergency Management—Statewide Flood Quick Facts and Information，

<http://www.coemergency.com/2013/09/statewide-flood-quick-facts-and.html>（9/30）

² The Colorado Front Range is a colloquial geographic term for the most populous region of the state of Colorado in the United States.（from Wikipedia）

原氣候，夏日降雨居多，年雨量平均約為 400 毫米。相較於落磯山脈西側以融雪為主的水文現象，東部有些許的不同。在海拔 2,300 米以上，融雪依舊是逕流來源，且鮮少因此產生洪水。但是在夏季，沿著落磯山脈、山麓的局部雷雨並非罕見：來自墨西哥灣、太平洋的水氣受地表反射的太陽熱能作用上升，再加上山脈抬升的助力，水氣漸漸上升直到冷卻而成雲，便以暴雨的形式釋放水氣。³



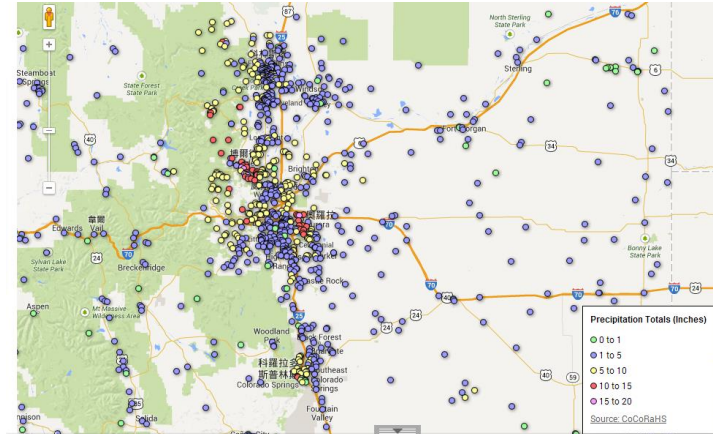
圖一 科羅拉多州地理位置

二、災情概述

此次洪災降雨自 9 月 9 日開始，約持續一個星期，影響範圍從科林斯堡（Fort Collins）至斯普林斯（Springs）北部，影響範圍長度約為 320 公里，其中受災最嚴重的博爾德(如圖二)，截至 9 月 15 日的總降雨量已達 430 毫米，接近博爾德的年降雨量 525 毫米；尤其在博爾德部分較為乾燥的地區，甚至兩天內的降雨量就達到該地兩年

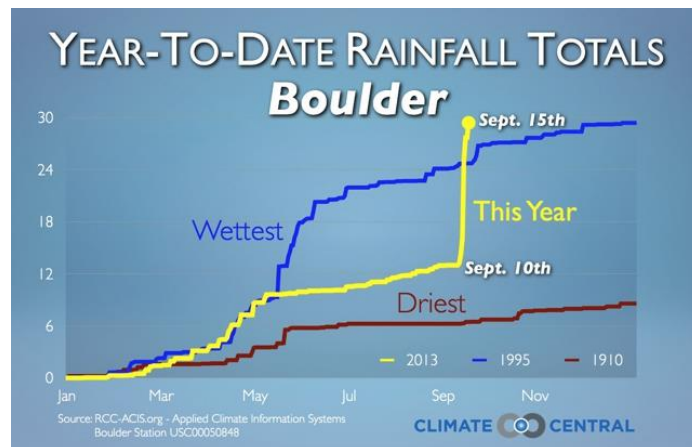
³ 可參考 Historical Variability Of Valley Bottoms In The Colorado Front Range：
http://warnercnr.colostate.edu/~ellenw/front_range/flood.php

的總雨量。⁴由於降雨主要集中在人口稠密的地區，致使災情嚴重，總計有 18,000 人被強制撤離。



圖二 科羅拉多洪災事件各地總降雨量⁵

就博爾德而言，此事件的降雨，使得自今年 1 月起至 9 月 15 日止的累積雨量已超越了歷史最高年降雨量紀錄(如圖三)，遭受如此龐大的洪水，使得博爾德災情相當慘重(如圖四)。



圖三 博爾德累積降雨圖(2013/1/1~2013/9/15)⁶

⁴ 可參考：http://en.wikipedia.org/wiki/2013_Colorado_floods、
<http://mgerwingarch.com/colorado-floods-north-boulder/>、
<http://edition.cnn.com/2013/09/18/us/colorado-flooding/index.html>

⁵ 引自 Denver Post：http://www.denverpost.com/2013coloradofloods/ci_24101329/

⁶ 引用自 Climate Central：
<http://www.climatecentral.org/news/flood-ravaged-boulder-colorado-sets-annual-rainfall-record-16481>



(A)受災前



(B)受災後

圖四 博爾德受災前後之影像⁷

根據科羅拉多州政府統計，除博爾德外，尚有 8 個郡受到嚴重的災害，總計有 20 個郡受到影響，截至 9 月 30 日災害統計數據如表一所示。除能夠具體計算出來的硬體設施成本外，因洪災而造成的工資中斷、甚至失業等無形資產的損失，以及對民生需求的激增，使得

⁷ 引自 TheHuffingtonPost.com, Inc :
http://www.huffingtonpost.com/2013/09/23/colorado-flood-before-and_n_3975938.html

經濟更加困難。據 EQECAT 巨災諮商公司的推估，對於受影響的地區來說，住房與生活費用的直接成本約為 9 億美元，而基礎建設與商業損失甚至高達 100 億美元。而相對於美國東部沿岸常有颶風威脅，氣候乾燥的科羅拉多州對於洪水保險政策並不積極，即便有美國國家洪水保險計畫(US National Flood Insurance Program—NFIP)提供服務，但本次受災範圍遠大於擔保賠償的一百年洪水平原範圍，所以獲得保險協助的住戶比例相當少。

表一、科羅拉多洪災損失概估(統計至 9 月 30 日)

項目	數值	備註
淹水範圍	1,533 平方英里	初步估計
州層級操作成本	\$19,493,840 美元	不包含聯邦或當地政府的花費
受影響郡	20 郡	Adams, Arapahoe, Broomfield, Boulder, Clear Creek, Crowley, Denver, El Paso, Fremont, Gilpin, Jefferson, Larimer, Lincoln, Logan, Morgan, Phillips, Pueblo, Washington, Weld, Sedgwick
死亡人數	8	Boulder (4), El Paso (2), Clear Creek (1), Larimer (1)
失蹤人數	1 (推測死亡)	Larimer County
最高撤離人數	18,147	強制驅離的人數
撤離動物	118	—
受損道路	200 英里	州內道路及高速公路
受損橋梁	50	州內橋梁
道路及橋樑損失	4.75 億美元	州內損失
重大災害宣布	9 郡	Adams, Arapahoe, Boulder, Clear Creek, El Paso, Jefferson, Larimer, Logan and Weld
緊急宣布	15 郡	Adams, Arapahoe, Boulder, Broomfield, Clear Creek, Denver, El Paso, Fremont, Jefferson, Larimer, Logan, Morgan, Pueblo, Washington, and Weld

表一(續)

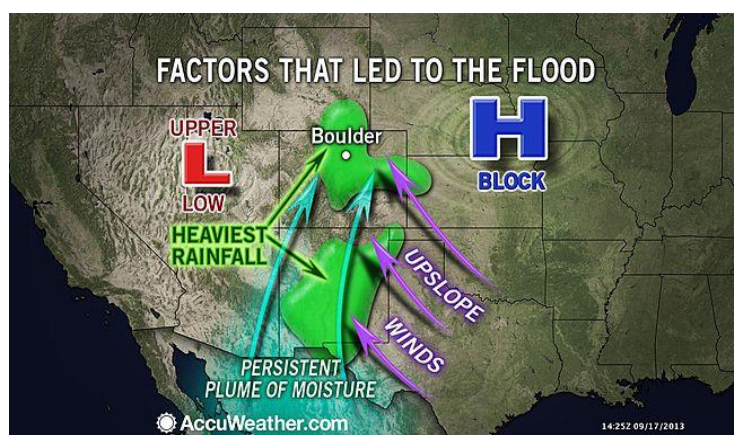
項目	數值	備註
聯邦緊急事務管理署 (FEMA) 個體援助	20,909 戶登記	3,450 萬美元
小型企業管理局 (SBA) 災害貸款	19,750 申請	140 萬美元
空中撤離	2,256 人	1,047 牲畜
地面撤離	707 人	由 Colorado National Guard 協助

資料來源：科羅拉多州緊急災害管理辦公室(Colorado Office of Emergency Management)

三、災因探討

(一)鋒面與水氣會合，造成持續性大雨

本次洪災事件主因(如圖五)是來自東邊的冷鋒以及西側大盆地高空的風暴，對落磯山脈的水氣形成擠壓效應，使得水氣分布的剖面更加垂直集中；再者因季風不斷地帶來水氣，加上冷鋒對水氣的抬升作用，使得本應結束於數小時內的降雨事件，演變成持續近週的災害事件。⁸



圖五 科羅拉多洪災成因示意圖⁹

⁸ 詳參 AccuWeather：

<http://www.accuweather.com/en/weather-news/colorado-flooding-why-so-bad/17861732>

⁹ 同前註。

(二)陡峻的山坡與狹窄的峽谷

當暴雨來臨時，陡峻的山坡與狹窄的峽谷如同漏斗般使得山洪竄入人口聚集的丹佛西部、北部，也就是博爾德所在的位置。博爾德緊鄰博爾德峽谷（the Boulder Canyon），而該處的博爾德溪（the Boulder Creek）貫穿城市中心，亦使得水患更加嚴重(如圖六)。由於這樣的地理環境與沿著河川廊道發展的經濟活動，因而曾被專家評為美國西部最危險的都市地區。¹⁰



圖六 博爾德峽谷災情圖像¹¹

(三)降雨規模與程度超出預期

儘管此地區曾經發生不少重大的水患，最著名者如 1976 年 7 月，發生於博爾德附近的大湯姆森洪水事件(Big Thompson

¹⁰ 可參考 Floods In the Boulder Area :

<http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/flashflood.html>

¹¹ 引用自 Valley News :

<http://www.vnews.com/news/nation/world/8493635-95/colorado-death-toll-rises-to-4>

flood)¹²，如圖七所示。但博爾德氣候乾燥，許多當地民眾都無法想像會遭遇如此嚴重的災害。事實上，本次災害的幅度遠超過當地一百年的洪水平原地圖，使得原本認為是安全的地區亦無法倖免於難(如圖八)。¹³

(四)道路開發及野火造成地表裸露，使土壤易於侵蝕，產生土石流

以博爾德峽谷為例，沿途便有公路深入其中，而博爾德氣候乾燥，有時會發生森林大火，造成地表裸露，使得土石更容易鬆動而造成土石流。¹⁴



圖七 1976 年大湯姆森洪水截影¹⁵

¹² 大湯姆森洪水事件：The 1976 flash flood in Big Thompson canyon between Estes Park and Loveland — a seemingly similar event which killed more than 100 people — was caused by a highly localized hovering thunderstorm that dumped more than 10 inches in four hours。(from Bradley Udall, an expert on the impacts of climate change on water resources at the University of Colorado Law School in Boulder)

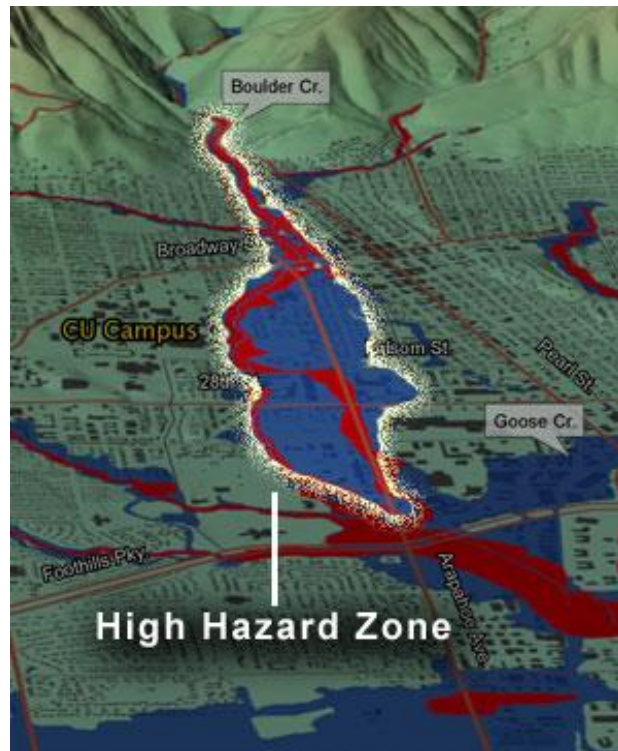
¹³ 可參考 M. Gerwing Architects：

<http://mgerwingarch.com/colorado-floods-north-boulder/>

¹⁴ 同註 17。

¹⁵ 引用自：The Denver Post：

http://www.denverpost.com/ci_21195689/big-thompson-flood-and-its-victims-are-mem



圖八 博爾德一百年洪水平原(藍色部分)
紅色部分為高危險區¹⁶

四、科羅拉多災害應變

在發生災害後，州政府藉由社交網路架構了即時災情反應平臺，針對道路交通、洪水災情、人力物力補助等面向提供協助，亦動員軍方救災、撤離，並在後續建立專屬網站提供受災者方便取得幫助。

五、總結

綜觀科羅拉多洪災事件，最主要的災害成因可說是巧合的氣象條件造成了極端事件。當極端事件發生時，若非原先就以最壞情況來規劃相關防災政策，那衝擊肯定是無法避免的。因此，在這次的衝擊過後，就再次激起了當地對防災政策的討論。事實上，許多災害在歷史

¹⁶ [orialized
引用自 Flood Safety : http://www.floodsafety.com/colorado/boulderhighhazardzone.htm](http://www.floodsafety.com/colorado/boulderhighhazardzone.htm)

上一再重演，唯有記取教訓，且民眾願意自主地重視家庭、社區、乃至於國家的安全，而願意投注人力、物力於災害防救工作外，實無王者之路能輕易地保障人民安全。特別是在地形複雜、氣候多變且人口密集的臺灣，對於災害的防治，絲毫沒有僥倖的本錢。

參考文獻

1. colorado emergency management office : <http://www.coemergency.com/>
2. AccuWeather, Inc :
<http://www.accuweather.com/en/weather-news/colorado-flooding-why-so-bad/17861732>
3. Wikipedia : http://en.wikipedia.org/wiki/2013_Colorado_floods
4. Flood Safety Education Project :
<http://www.floodsafety.com/colorado/boulderhighhazardzone.htm>
<http://www.floodsafety.com/colorado/index.htm>
5. Historical Variability Of Valley Bottoms In The Colorado Front Range :
http://warnercnr.colostate.edu/~ellenw/front_range/flood.php
http://warnercnr.colostate.edu/~ellenw/front_range/hydro.php
http://warnercnr.colostate.edu/~ellenw/front_range/References.php#flood
6. ESRI :
<http://www.esri.com/services/disaster-response/floods/colorado-flooding-maps>
7. TheHuffingtonPost.com, Inc :
http://www.huffingtonpost.com/2013/09/23/colorado-flood-before-and_n_3975938.html
http://www.huffingtonpost.com/2013/09/23/colorado-flood-damage_n_3976222.html
8. EQECAT, Inc :
<http://www.eqecat.com/catwatch/colorado-floods-likely-to-incur-economic-cost-greater-than-2-billion-2013-09-19/>

9. Floods In the Boulder Area :

<http://bcn.boulder.co.us/basin/forum/flood.html>

10. M. Gerwing Architects :

<http://mgerwingarch.com/colorado-floods-north-boulder/>