

2016 加拿大麥克默里堡森林大火事件探討

施虹如¹、朱容練²、傅懿漩¹、張志新¹

¹ 國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組

² 國家災害防救科技中心 氣候變遷組

摘要

發生於加拿大亞伯達省(Alberta)的麥克默里堡(Fort McMurray)的森林大火事件，自 2016 年 5 月 1 日起至 31 日期間統計，已促發了 525 起森林火災，燒毀近 595,708 公頃的土地面積，約 2,400 棟建築物受損，超過 8.8 萬居民遭強制撤離家園，影響加拿大油砂產業運作，初估目前已造成經濟損失達 47 億元加幣(相當於 1,139 億元台幣)，為加拿大史上經濟損失最大的一次災難。根據過往歷史紀錄記載，森林大火事件在加拿大並非罕見災害，然而在全球大環境持續暖化，又受到聖嬰現象及異常阻塞高壓壟罩的極端氣候情境下，使得麥克默里堡創下近年有紀錄以來的高溫 32.6°C (91°F)，除了加劇森林大火發生的環境與發展條件外，再加上麥克默里堡是重要石油產業重鎮，才釀成此次亞伯達省紀錄中，疏散人數及經濟損失最高的一次森林大火事件。

一、 事件背景

此次森林大火事件起始於加拿大西部亞伯達省(Alberta，簡稱 AB)東北部的石油工業重鎮麥克默里堡(Fort McMurray)，其地理位置如圖 1 所示。亞伯達省南北長 1,217 公里，東西寬 293 至 650 公里不等，面積約 66 萬平方公里，東與薩克其萬省(Saskatchewan，簡稱 SK)相鄰，西與卑詩省(British Columbia，簡稱 BC)接壤。其產業主要是林業、石油和天然氣，為加拿大經濟最發達的省份。而麥克默里堡位處世界第三大的阿荷屬沙巴斯卡油田，以油砂礦(Oil Sands)豐富著名，其石油產量占全國的 1/3，為加拿大的能源產業重鎮。

在氣候條件上，麥克默里堡介於副極地氣候和溫帶大陸型氣候之間，冬季寒冷，1 月平均氣溫約為 -17.4°C (0.7°F)，但偶有焚風帶來溫暖空氣；夏季溫和，7 月平均氣溫約為 17.1°C (62.8°F)。全年而論，月均溫高於 10°C (50°F)的時間約僅 3 個月。平均年降雨量為 418.6 毫米，好發於夏季；平均年降雪量則為 133.8 公分，主要發生於 10 月至 4 月。當地測得最高溫紀錄為 38.9°C (即 102°F ，於 1941 年 7 月 18 日所測得)；最低溫則為 -53.3°C (即 -64°F ，分別於 1917 年 2 月 1 日和 1933 年 12 月 31 日兩度測得)。

根據加拿大自然環境部(Natural Resources Canada)統計過去 25 年間的森林大火資料，在擁有全世界森林總面積 10%的加拿大，每年有

8,300 起的森林大火發生，年平均約 230 萬公頃的土地被焚燒，花費在森林大火滅火的費用每年高達 5 億至 10 億元加幣不等(相當於 121 億元台幣至 242 億元台幣)。而此次麥克默里堡森林大火事件已被列為亞伯達省歷史上最具破壞性的森林大火事件，其對於都市衝擊程度已超過了 2011 年奴湖村(Slave Lake)和 1919 年拉克拉比什荒地(Lac La Biche wildland)的森林大火事件。



圖 1-加拿大亞伯達省麥克默里堡的地理位置

(資料來源：www.onegreen.net)

二、 事件概述

關於麥克默里堡森林大火事件的起火原因，目前警方仍持續調查中，不排除人為造成的可能性，但異常炎熱與乾燥的天氣是加劇此次

森林大火大肆延燒的關鍵因素。整場事件的起火點開始於 5 月 1 日麥克默里堡西南方約 15 公里處的偏遠地區，麥克默里堡所屬的伍德布法羅地區自治市(Regional Municipality of Wood Buffalo)於入夜後便頒布地方緊急命令，強制疏散百年拖車公園(Centennial Trailer Park)以及草原溪(Prairie Creek)和格雷戈瓦(Gregoire)；5 月 3 日，火勢逐漸蔓延至麥克默里堡，焚燒面積達 3,983 公頃，政府也將鄰近的安扎克(Anzac)、格雷戈瓦湖莊園(Gregoire Lake Estates)和麥克默里堡原住民保留區(Fort McMurray First Nation)強制納入疏散範圍；5 月 5 日，大火持續向南蔓延，焚燒面積達 10,575 公頃，亞伯達省政府也加強頒布全省範圍禁火令，圖 2 為當天森林大火持續焚燒狀態；5 月 7 日，焚燒範圍再增加至 161,359 公頃，但增長速度略為放緩趨勢；直至 5 月 17 日，火勢又加劇向北蔓延，焚燒面積達 399,785 公頃，威脅至位於麥克默里堡北部的油砂提煉廠，使得當地多家石油公司中止採油，日減產約 100 萬桶石油，相當於全國產油量的 1/4。圖 3 為芬蘭 NPP 衛星所拍攝的可見紅外光譜感測圖，白色表示為火源，可明顯看到火勢有靠近北部油砂提煉場的趨勢；並於 5 月 19 日起，火勢已蔓延至隔鄰的薩克其萬省，焚燒面積達 498,704 公頃，如圖 4 所示。圖 5 乃依據加拿大跨部門森林防火中心(Canadian Interagency Forest Fire

Centre Inc.)的國家荒地火災形勢報告(National Wildland Fire Situation Report)，所繪製此次森林大火於亞伯達省五月份的焚燒面積歷程。而截至 5 月 31 日的統計結果顯示，一共造成了約 595,708 公頃的焚燒面積，525 起的火災數量，約 8.8 萬名的居民從麥克默里堡向南北一帶進行強制疏散，全省各處緊急成立臨時收容中心，北至麥克默里堡以北的油砂工作營地，南至首都埃德蒙頓及卡加利，造就了亞伯達省有紀錄以來最大規模的居民撤離行動。圖 6(a)為麥克默里堡居民為躲避森林大火威脅而緊急逃離狀態，圖 6(b)為麥克默里堡南下疏散的唯一主要幹道亞伯達 63 號公路，因遭大量撤離居民湧入而癱瘓現況。其中，無人直接因為火災而死亡，疏散期間因車禍罹難人數 2 人。大火燒毀超過 2,400 棟住家及建築物、影響加拿大重大油砂產業運作外，也一度造成麥克默里堡國際機場中止商營民航服務。圖 7(a)、圖 7(b)為麥克默里堡市區建築遭火吞噬後留下的斷垣殘壁。圖 8(a)、圖 8(b)為位於麥克默里堡南方的拉克拉克比什(Lac La Biche)緊急成立的臨時收容中心，以及各地捐贈的衣物和補給品。另外，亞伯達省政府也提供災民緊急援助金，成人可獲得補助 1,250 元加幣(相當於 30,298 元台幣)，兒童可獲得補助 500 元加幣(相當於 12,119 元台幣)。

而根據 5 月底亞伯達省政府官方災情報告表示，大火已被控制，

未來仍需要數個月才可完全撲熄。而麥克默里堡境內約有 85-90% 建築被保存下來，已陸續恢復電力及天然氣。亞伯達省政府也宣布從 6 月 1 日起分階段開放麥克默里堡災民重返家園，截至 6 月 8 日已有約 4.2 萬名居民返回當地。

保險業也表示此次麥克默里堡森林大火所造成損失，恐為 2011 年奴湖村森林大火事件的 10 倍之多，初估造成經濟損失約 47 億元加幣(相當於 1,139 億元台幣)，若要重建整座城市的費用初步概估高達 90 億元加幣(相當於 2,181 億元台幣)，已遠遠超過 1998 年北美冰災的損失金額 19 億元加幣(相當於 460 億元台幣)以及 2013 年亞伯達洪水的損失金額 18 億元加幣(相當於 436 億元台幣)，可堪稱加拿大史上經濟損失最大一次的災害。

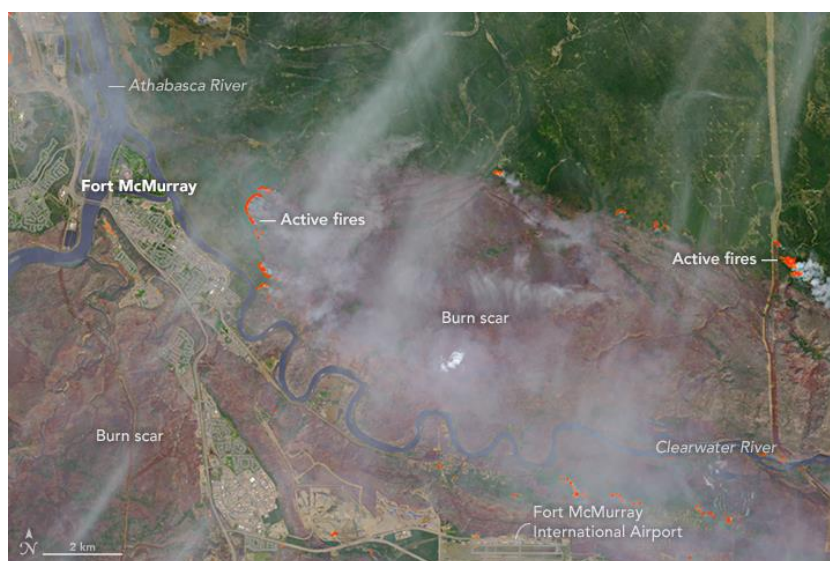


圖 2- 5 月 5 日森林大火焚燒災情照片
(資料來源：NASA-Earth Observatory)

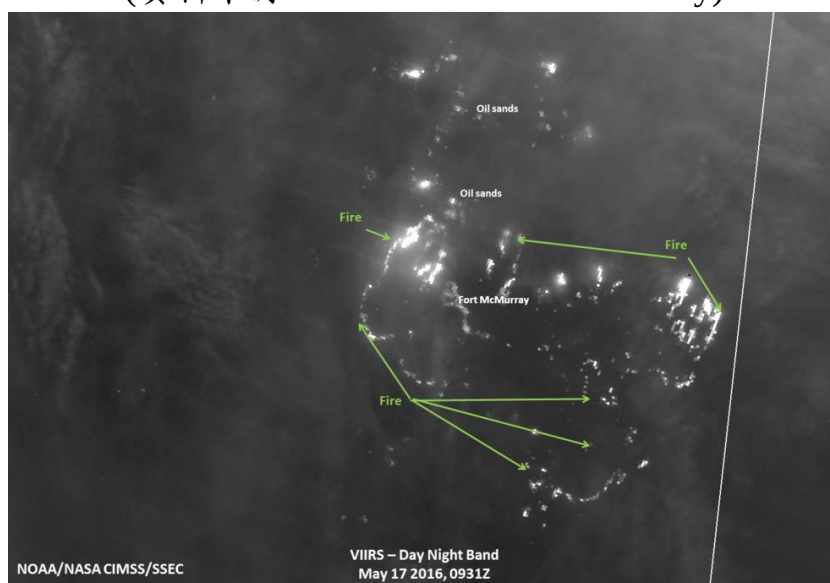


圖 3- 5 月 17 日由芬蘭NPP衛星拍攝的可見紅外光譜感測圖(白色表示火源)(資料來源：NOAA/NASA CLMSS/SSEC)

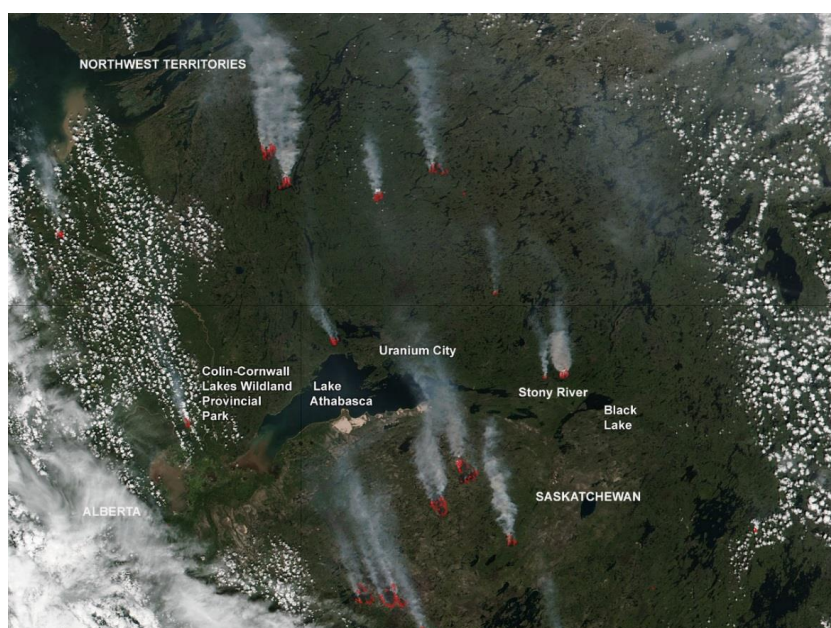


圖 4- 5 月 19 日火勢已蔓延至薩克其萬省災情照片
(資料來源：NASA)

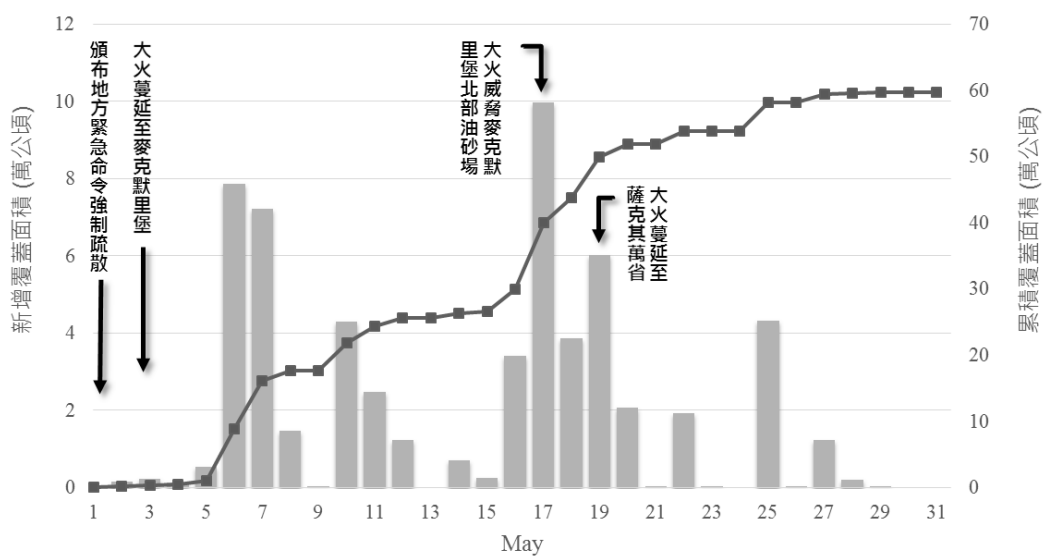


圖 5- 本次亞伯達省森林大火焚燒覆蓋面積歷程
(資料來源：CIFFC)

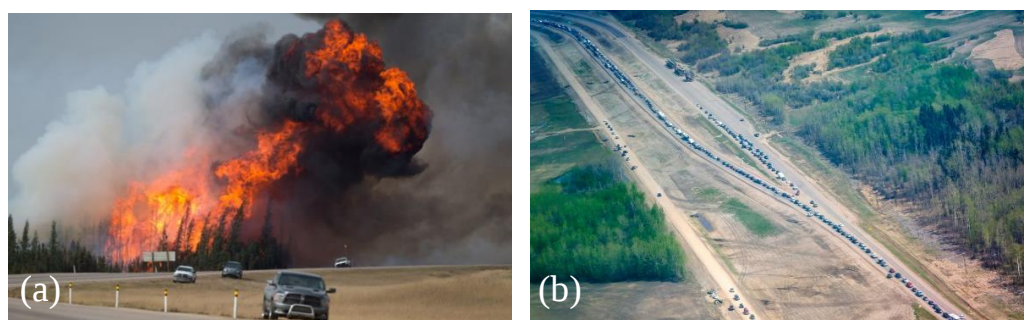


圖 6-災情照片(a)麥克默里堡居民緊急撤離，(b)亞伯達 63 號公路遭癱瘓(資料來源：CNN Regions+)



圖 7-災情照片(a)麥克默里堡遭森林大火焚燒，(b)焚燒後的斷垣殘壁(資料來源：CNN Regions+)



圖 8-災情照片(a)拉克拉克比什(Lac La Biche)臨時收容中心，(b)捐贈衣物及補給品(資料來源：CNN Regions+)

三、 災因分析

此次森林大火加劇延燒的原因，許多研究認為可歸咎於以下四

點：(1)全球暖化、(2)異常阻塞高壓壟罩、(3)聖嬰現象、(4)人類行為，在綜合以上情況下而導致此次亞伯達省毀滅性的森林大火事件發生。

(一)全球暖化

根據 Flannigan et al. (2016)的研究指出，隨著全球暖化，自 1979 年起森林大火季節顯著延長。由美國國家海洋和大氣管理局(NOAA)的最新報告顯示，2016 年 5 月全球平均溫度達到 16.33°C ，比創紀錄的去年還高出 0.12°C 。若從今年 5 月份的全球地表溫度距平分布圖(如圖 9)可發現，在加拿大一帶的地表溫度均呈現較歷史平均值高的現象。圖 10 則為北美地區自 1967 年至 2016 年期間 4 月至 6 月的積雪變化，由圖可知，北美地區的積雪有逐年遞減的趨勢，其中 5、6 月的積雪減少幅度又較 4 月為大。地表溫度的高低以及覆雪量的多寡，是影響森林大火發生與否的重要因子。在加拿大等中高緯度國家，當春季地面積雪較多時，融化後可提供森林所需的水分，來保持土壤的濕潤；反之，當春季覆雪量減少時，加上出現持續高溫，就容易誘發森林大火事件發生。

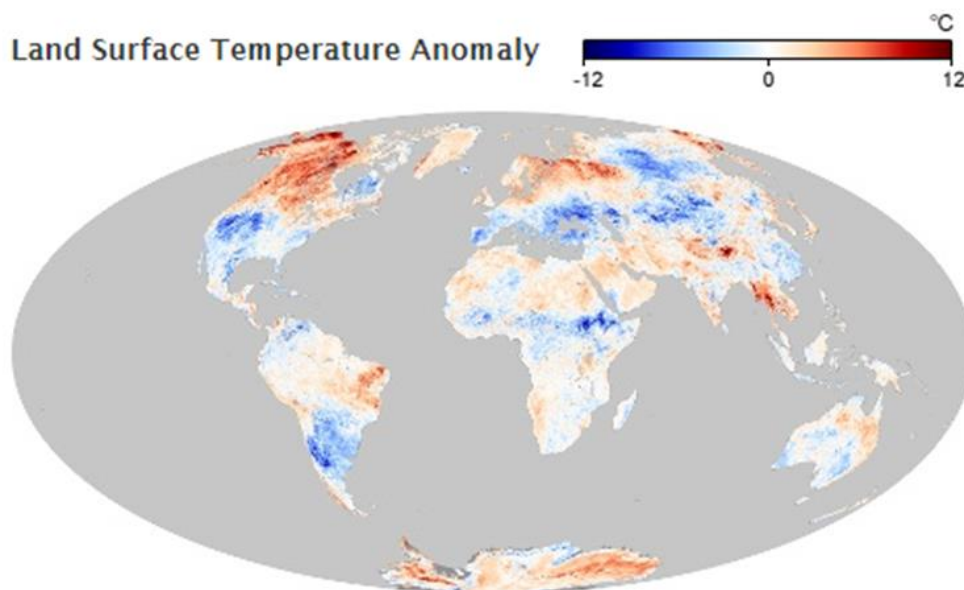


圖 9- 2016 年 5 月全球地表溫度距平分布圖
(資料來源：NASA-Earth Observatory)

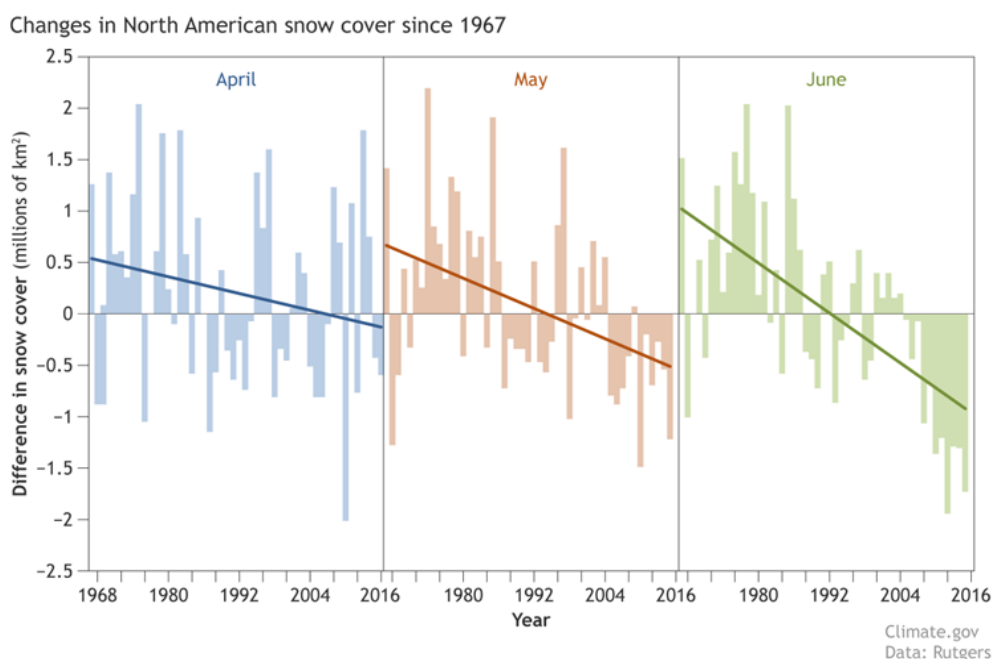


圖 10- 北美地區自 1967 年至 2016 年期間 4 月至 6 月積雪變化趨勢圖(資料來源：NOAA)

(二)異常阻塞高壓壟罩

阻塞高壓(Block)在氣象上代表大規模滯留的氣壓場，會有效地阻擋或改變氣旋的行進路徑，阻塞高壓可滯留在原地數天至數周，使當地維持相同天氣許久。在北半球，延長阻斷最常發生東太平洋及大西洋的春季，是大氣環流的自然現象，其往往因為高層噴流軸扭曲成類似於希臘字母 Ω 的形狀而被稱之為 Omega block，通常呈現低-高-低的氣壓場分布型態，如圖 11 所示。

圖 12 為 5 月 5 日於大氣 500hPa 高度場之空間距平分布圖，可明顯看出異常阻塞高壓(Omega block)形成於北美阿拉斯加至北美西北上空，受其巨大且持續性的高壓壟罩以及下沉氣流絕熱增溫的效應影響造成當地極端穩定且乾燥的天氣，使得加拿大西部長時間處於高溫炎熱的環境，形成有利森林大火持續延燒的天氣型態，也導致森林燃燒的面積加劇及時間延長。

而北美異常阻塞高壓的出現，科學家認為與大氣的太平洋-北美遙相關型態(Pacific North American, PNA)有關，其會呈現高壓-低壓-高壓的波列結構。圖 13 則說明 500hPa PNA 與 1000hPa 地表溫度的關係分布，地表溫度會隨著高-低氣壓交替著分布，具有高度相關。當 PNA 於北美洲呈現正距平高度場時，其相對應之地表溫度亦為正距平；反之則為負距平。而 PNA 的形成，科學家認為又與去年冬季

成形的聖嬰現象有關。

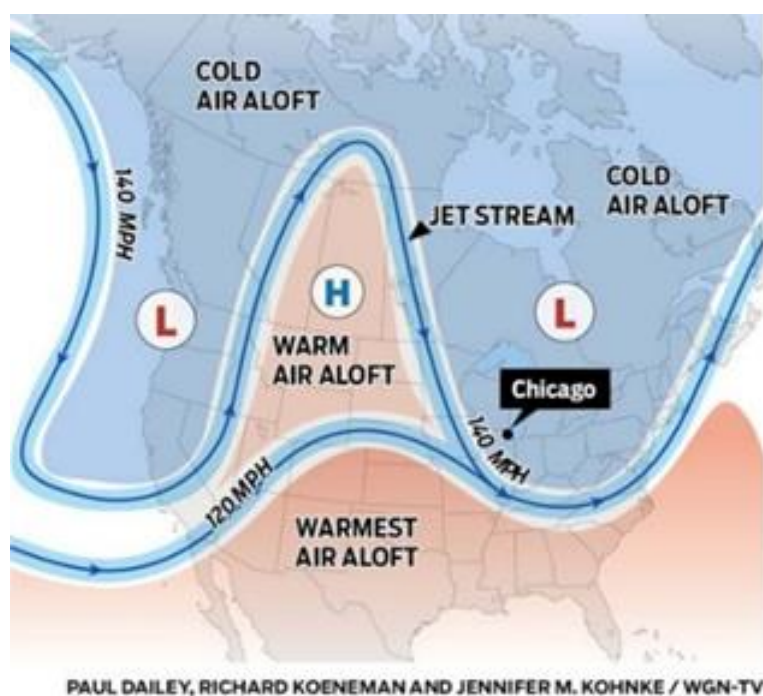


圖 11- Omega Block阻塞高壓示意圖

(資料來源：NOAA-National Weather Service)

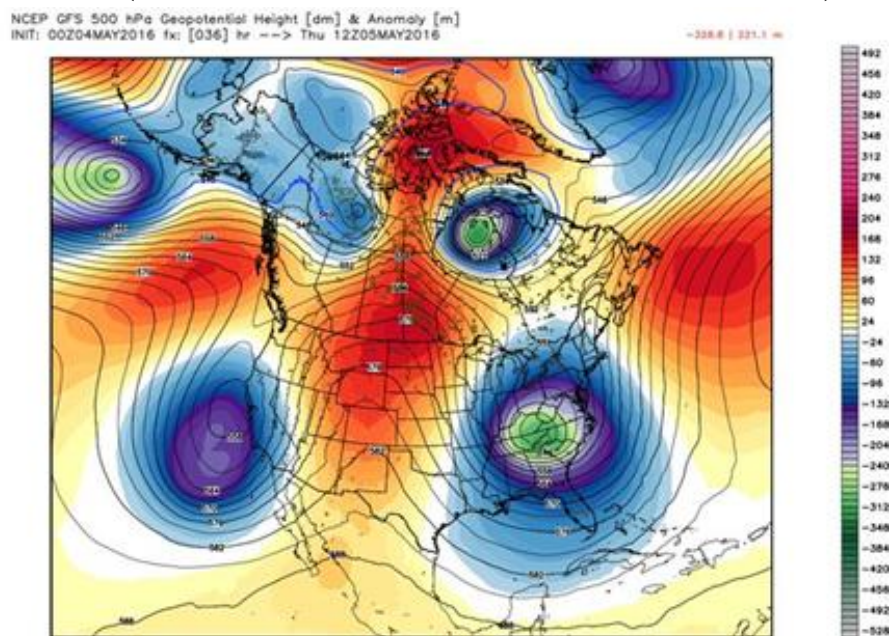


圖 12- 2016 年 5 月 5 日於大氣 500hPa高度場下高壓距平分布圖

(資料來源：NOAA)

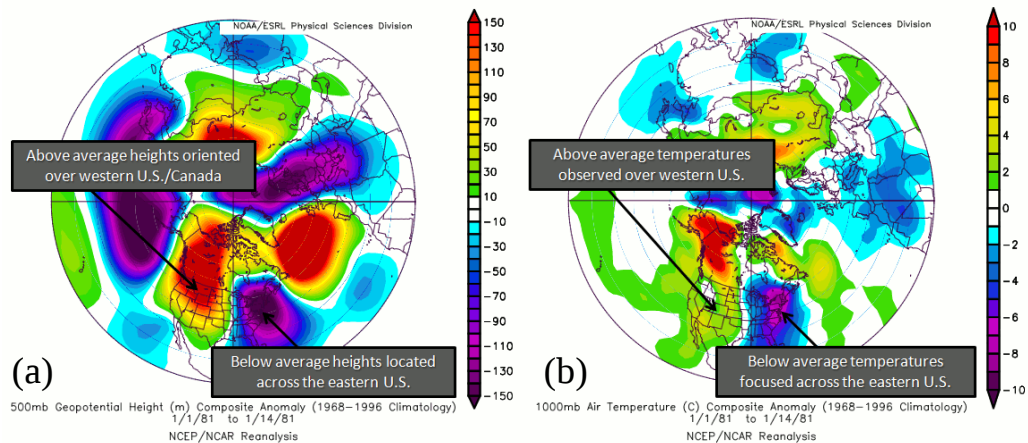


圖 13- (a)500hPa太平洋-北美遙相關型態PNA及(b)1000hPa地表溫度關係分布 (資料來源：NOAA)

(三)聖嬰現象

圖 14 為 1997 年與 2015 年 10 月份的表層海水高度的距平分布，表層海水高度與表層海溫具有一定的正相關，當海溫越高，海水高度則越高，可從圖中看到 2015 年 10 月與 1997 年 10 月的表層海水高度距平分布形態，有著極高相似處。另外也有學者指出，以常用的聖嬰/反聖嬰指標 Oceanic Niño Index (ONI) 為例，2015 年 8 至 10 月的平均值為+1.7，僅次於 1997 年的+2.0，可名列觀測史上第二高的聖嬰現象。而從 2015 年報導指出，加拿大草原省份，包括亞伯達、薩克其萬、曼尼托巴等地，經歷了 68 年來最乾旱的冬季與春季，再加上北美創紀錄的低積雪量，以及比以往更少的 6 月降雨，已導致一些農場難以生存，這些大氣環境的變化以及所引發的衝擊，聖嬰現象都難以

置身事外。

因此，加拿大西部地區接續了前年乾旱事件，在乾燥且無足夠積雪環境下過冬，其後繼續受到聖嬰現象的衝擊影響下，形成更多有利於森林大火發生的燃料環境。

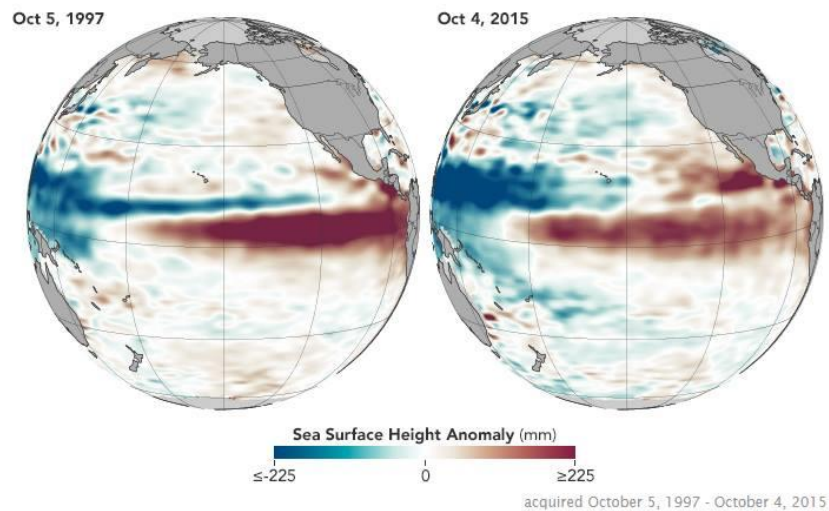


圖 14- 1997 年與 2015 年的表層海水高度的距平值比較
(資料來源：NOAA Earth Observatory)

(四)人類行為影響

根據亞伯達大學森林大火專家 Flannigan 認為，此次亞伯達省森林大火燒毀面積已超過 1970 年以來的兩倍之多，造就該趨勢的人為因素可歸咎於兩點，(1)麥克默里堡在過去 10 年為加拿大阿薩巴斯卡油砂產業最繁榮的城市之一。油燃燒時所釋放的二氧化碳和其他溫室氣體，造成環境溫度升高，加劇了森林大火；(2)人口結構密集，誘發火災機會則越高。從麥克默里堡 1997 年的人口普查僅約 3 萬人口，

於 2011 年已超過 6 萬人口。

圖 15 為加拿大亞伯達省 2016 年 4 月 26 日至 5 月 3 日的地表溫度距平，可以明顯看到亞伯達省於該期間的地表溫度距平較鄰近省份高出許多；圖 16 為加拿大亞伯達省 2016 年 4 月平均積雪深度變化，顯示於麥克默里堡及埃德蒙頓的積雪平均深度呈現較氣候平均值減少；圖 17 為 2016 年 5 月 1 日北美地區根系土壤濕度乾旱指數(SMOS Root zone soil moisture drought index)，顯示於亞伯達省的指數處於極端乾旱至中度乾旱之間；另外，從麥克墨里堡的溫度資料也顯示，其創下了高溫紀錄 32.6°C (91°F)，較過去 27.8°C 增加了 5°C；而從麥克墨里堡的氣候資料顯示，自 1950 年起超過 25°C (70°F)的天數逐漸增加，從 1950 年平均 21 天，增加至 2010 年平均 35 天。

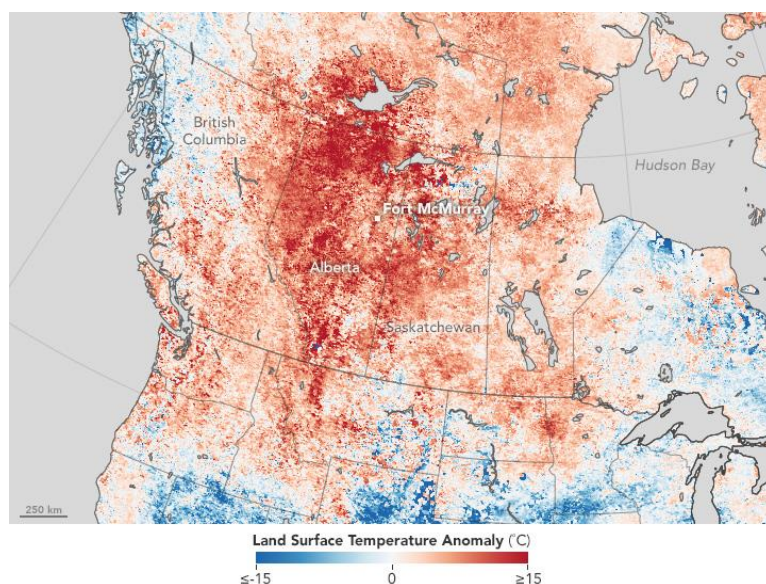


圖 15-加拿大亞伯達省 2016 年 4 月 26 日至 5 月 3 日的地表溫度距平(資料來源：NASA-Earth Observatory)

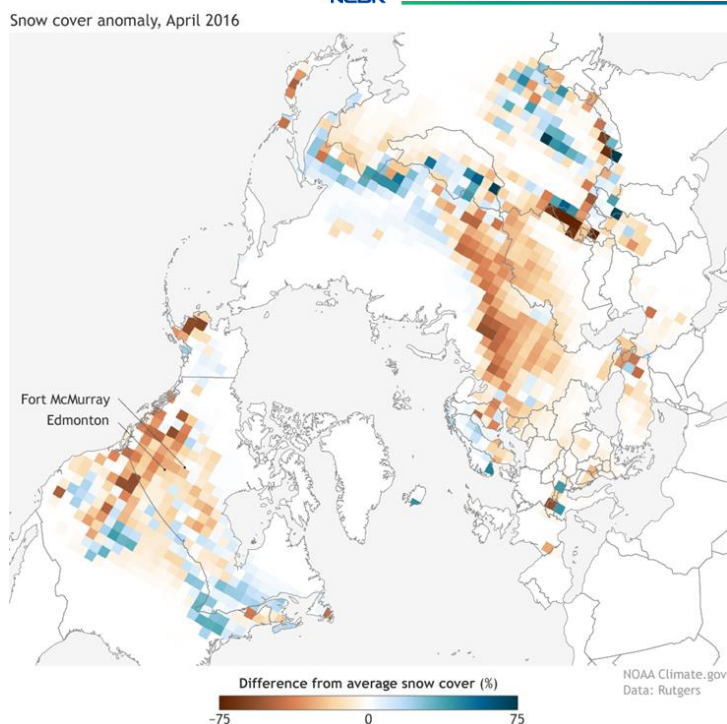


圖 16-加拿大亞伯達省 2016 年 4 月平均積雪深度變化圖
(資料來源：NOAA)

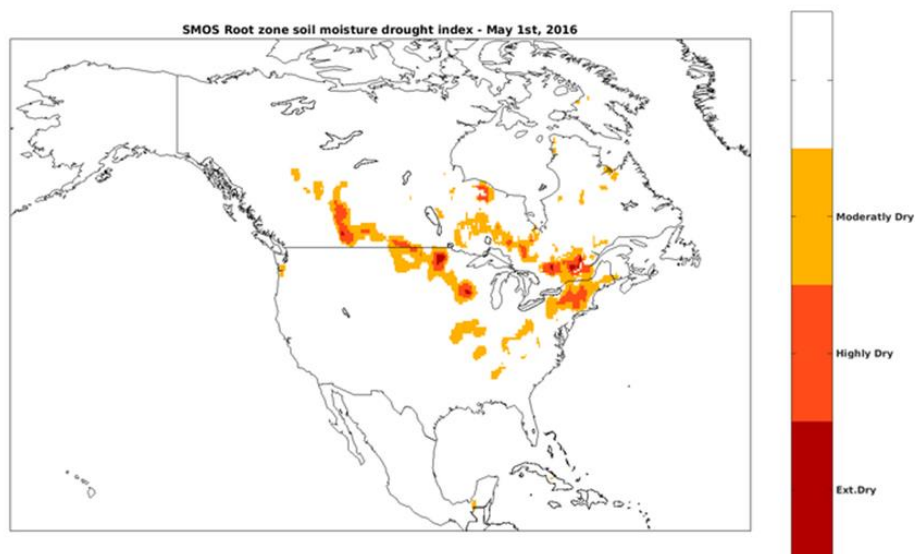


圖 17- 2016 年 5 月 1 日北美地區根系土壤濕度乾旱指數
(資料來源：ESA)

四、 加拿大森林火險天氣指數(FWI)

在擁有全世界 10%豐富森林資產的加拿大，過去紀錄中每年 5

月份左右便會開始所謂森林大火季節，然而受到乾燥且溫和的冬季與早春影響，近年來亞伯達省官方公布的森林大火季節均有明顯提早的現象，去年為 3 月 15 日，今年為 3 月 1 日，整整較過去提早了 2 個月的時間。

加拿大自然资源部也透過加拿大森林火險等級系統(Canadian Forest Fire Danger Rating System, CFFDRS)模式作為長期火險天氣預報，用以防範森林大火發生及燃燒面積持續擴大的決策參考。其中，森林火險天氣指數(Fire Weather Index, FWI)又為 CFFDRS 系統中的重要組成之一，其主要透過每日的天氣條件去計算出不同位置大小的可燃物含水率變化，並劃分出森林潛在火險等級。FWI 指標可分為 5 個等級，值域範圍由 0 至 30 之間表示，FWI 值越高，則表示火災危險性越大，並且可再透過 FWI 指數換算出每日火災嚴重等級(Daily Severity Rating, DSR)，來評估火災控制的難度，反映出滅火所需要的成效時間。從圖 18 顯示，可發現在亞伯達省有兩波火險天氣指數偏高的現象，一波是 5 月 4 日至 8 日，而另一波則是 5 月 15 日至 18 日，比照圖 5 每日實際新增的焚燒面積，也確實於 5 月 6 日一天增加了 78,684 公頃的焚燒面積，於 5 月 17 日一天增加了 99,769 公頃的焚燒面積，說明了森林火險天氣指數(FWI)對於森林火災焚燒的程度，有

極高的參考價值。

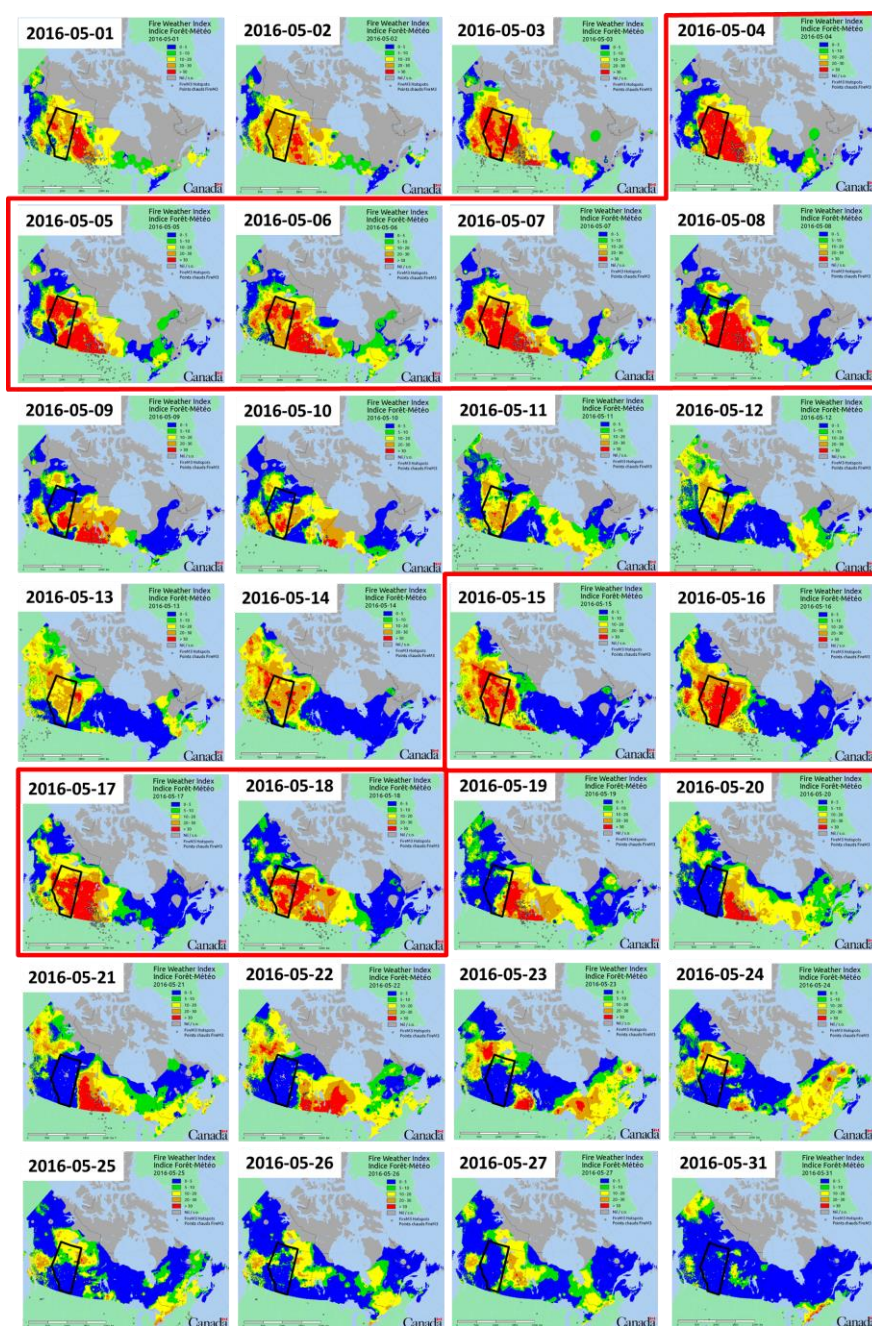


圖 18- 5 月 1 日至 31 日的森林火險天氣指數(FWI)分布圖
(資料來源：Natural Resources Canada)

五、 加拿大森林火災歷史紀錄

根據加拿大自然資源部統計過去 25 年間森林大火數據顯示，每年平均有超過 8,300 起森林大火、燃燒面積超過 230 萬公頃。其中，燃燒面積大於等於 200 公頃的森林大火，占總燃燒面積的 97%，卻僅占總森林大火數量的 3%，並且以樹冠火占大部份，也說明原占少數的森林大火，大部份因樹冠火的燃燒蔓延行為而演變成更大、更嚴重的燃燒範圍，此次麥克默里堡森林大火事件即為這樣的極端案例。自 2016 年 5 月 1 日統計至 31 日，為期一個月時間即發生了 525 起森林大火，燒毀高達 595,708 公頃的土地面積，約 2,400 棟建築受損，超過 8.8 萬居民遭強制撤離家園，影響加拿大油砂重要產業運作，初估經濟損失達 47 億元加幣(相當於 1,139 億元台幣)，為加拿大史上經濟損失最大的一次災難。

根據加拿大跨部門森林防火中心(Canadian Interagency Forest Fire Centre, CIFFC)所提供的加拿大各省份於 2016 年上半年及過去 25 年平均的森林大火覆蓋面積和火災數量，如圖 19 所示。其中，不管是過去 25 年平均或是今年上半年所發生森林大火數量及焚燒覆蓋面積，亞伯達省(簡稱 AB)都較其他省份來得高；除此之外，今年的火災數量已達過去 25 年平均的 1.32 倍，而森林大火焚燒覆蓋面積則高達過去 25 年平均的 8.71 倍，均顯示今年上半年在森林大火衝擊確實

有較往年更加劇現象。

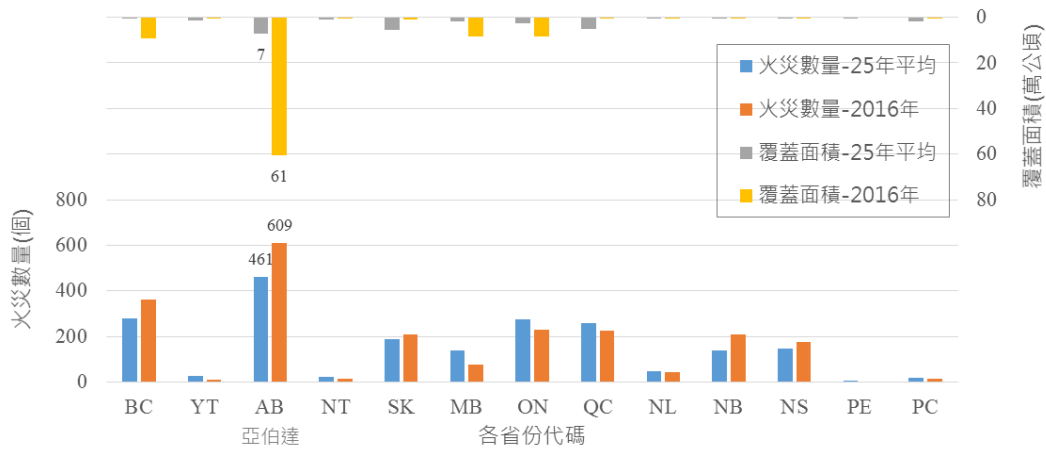


圖 19-加拿大各省份於 2016 年上半年與過去 25 年平均的森林大火覆蓋面積及火災數量比較圖(資料來源：CIFFC)

六、 結論

溫度為影響森林大火活躍程度最重要的主變量，越高的溫度將會促使森林大火活動增加。綜整今年實際所觀測到的幾點現象，包括麥克默里堡的高溫紀錄、加拿大森林大火季節的提早、亞伯達省森林大火數量及面積較過去平均增加。探討森林大火加劇的原因，可歸因於(1)大環境暖化，(2)異常阻塞高壓(Omega Block)壟罩，(3)聖嬰現象及(4)人類開發行為，使得麥克默里堡創下近年有紀錄以來的高溫，加劇森林大火發生的環境與發展條件外，再加上麥克默里堡是重要石油產業重鎮，才釀成此次亞伯省紀錄中疏散人數及災害損失最高的一次森林大火事件。

參考文獻

- Flannigan, M.D., Logan, K.A., Amiro, B.D., Skinner, W.R., Stocks, B.J. (2005) Future area burned in Canada. *Climate Chang* 72:1–16
- Flannigan, M.D., Wotton, B.M., Marshall, G.A., de Groot, W.J., Johnston, J., Jurko, N., Cantin, A.S.(2016). Fuel moisture sensitivity to temperature and precipitation: climate change implications. *Climatic Change*, 134 59-71.
- Gillett, N.P., Weaver, A.J., Zwiers, F.W., Flannigan, M.D. (2004) Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. *Geophys Res Lett* 31, L18211. doi:10.1029/2004GL020876
- NASA-Earth Observers <https://www.nasa.gov/>
- Parisien, M.A., Parks, S.A., Krawchuk, M.A., Flannigan, M.D., Bowman, L.M., Moritz, M.A. (2011) Scale-dependent controls on the area burned in the boreal forest of Canada, 1980–2005. *Ecol Appl* 21:789–805.
- 中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw>
- 加拿大自然資源部(Natural Resources Canada) <http://www.nrcan.gc.ca/>
- 加拿大跨部門森林防火中心(Canadian Interagency Forest Fire Centre, CIFFC)<http://www.cifffc.ca/>
- 亞伯達省政府(Alberta.ca) <http://www.alberta.ca/>
- 信曉穎、江洪、周國模、余樹全、王永和(2011)，加拿大森林火險氣候指數系統(FWI)的原理及應用，*浙江農林大學學報*，28(2)，p314-318。
- 維基百科-2016 麥克默里堡森林大火 <https://zh.wikipedia.org/wiki/2016年麥克默里堡森林大火>
- 維基百科-亞伯達 <https://zh.wikipedia.org/wiki/艾伯塔>
- 維基百科-麥克默里堡 <https://zh.wikipedia.org/wiki/麥克默里堡>
- 歐洲航太局 <http://m.esa.int/ESA>