

2019／2020 澳洲野火事件氣象災因初探

吳宜昭、黃柏誠、黃紹欽、王安翔、于宜強

國家災害防救科技中心 氣象組

摘要

澳洲自去（2019）年 9 月起發生野火事件，至 2020 年 2 月澳洲東南部沿海局部地區仍有野火延燒，是澳洲 2009 年之後衝擊最大的野火事件。本文針對該事件的氣象災因進行初步分析與探討。

此次野火事件的氣象成因來自多重氣候因子的綜合影響。在長期暖化的趨勢下，2019 年是澳洲百年來最熱的一年。其次，於 2019 年南半球春季，發生了強烈正印度洋偶極事件與強烈平流層驟暖事件，造成當季少雨偏乾。此外，12 月份熱浪來襲，澳洲最高溫兩度創新紀錄。這些因子的加乘效果造成了澳洲當地春季至夏季的持續偏暖與偏乾氣候，是促成野火事件發生與持續的氣象背景。

一、前言

去（2019）年 9 月以來，澳洲中部內陸以及北部、東部沿海地區野火蔓延，至 1 月底野火仍持續在澳洲東南部延燒（圖 1）。至 1 月

31 日為止，至少有 33 人在大火中喪生、超過 2000 個房屋被燒毀、1100 萬公頃的土地被燒毀，超過 10 億隻動物因此死亡(BBC, 2020)，是澳洲繼 2009 年維多利亞大火之後，災害衝擊最大的野火事件。除此之外，野火燃燒時產生的煙霧也嚴重影響鄰近大都市如雪梨的空氣品質；煙霧甚至隨著大氣環流向外傳遞，波及鄰國紐西蘭以及更遠的南美洲國家如智利、阿根廷等國家的空氣品質 (BBC, 2020)。

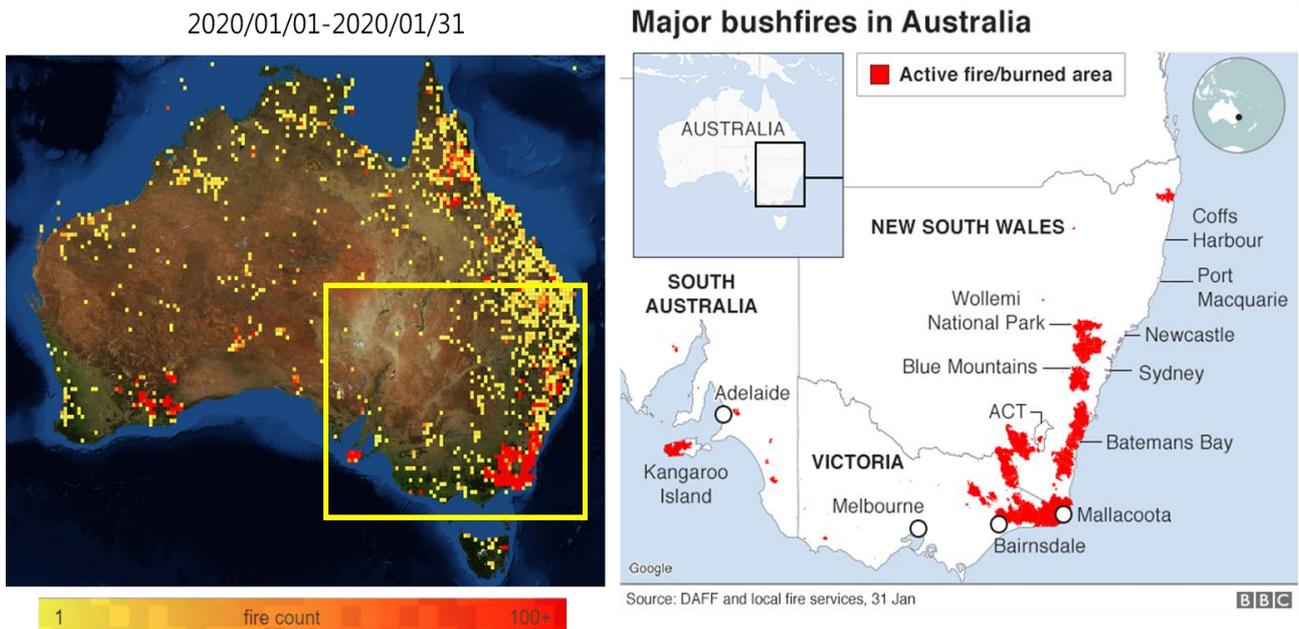


圖 1 澳洲野火發生地點分布。(左)近一個月(2020/01/01-2020/01/31)

(圖來源：NASA FIRMS)，(右)東南沿海現況 (2020/01/31)

(資料來源：澳洲農業部及地方消防局，圖取自 BBC, 2020)

森林野火本是澳洲每年春夏季常見的事件，高溫及乾燥的天氣讓森林容易起火。但此次的野火事件，大火從春季¹一直持續到夏季，延燒超過四個月的情況，實屬少見。

二、 野火發生期間氣象與環境背景

事實上，過去 100 多年來，澳洲全國年均溫逐年上升中。2019 年的年均溫超出長期平均 1.52°C，更是創下新高，成為 1910 年以來最熱的一年（圖 2 上）。到 12 月（當地夏季）時，一連數天的熱浪侵襲澳洲，歷史最高溫紀錄兩度被打破，分別是 17 及 18 日的 40.9°C 及 41.9°C。從全國的高溫分布來看，這一連串的極端高溫並非偶然，而是在偏高溫的季節背景之下發生。當年 10 月至 12 月，大多數地區高溫都超出氣候平均 2°C（圖 2 下）以上，中部以西內陸與東部沿海地區特別明顯。

除了高溫外，近 2 年來，澳洲全國平均降雨也偏少。2019 年是 1900 年以來最乾的一年（圖 3 上），導致嚴重的乾旱發生。尤其在春至夏季期間（10 月至 12 月），各地降雨普遍低於氣候平均值（圖 3 下），部分區域甚至達到「創最少降雨紀錄」等級。

¹由於澳洲位處南半球，暖季或冷季正好和北半球相反，因此本文提及季節時，均是針對南半球而言。亦即春季指 9 月至 11 月，夏季指 12 月至隔年 2 月。

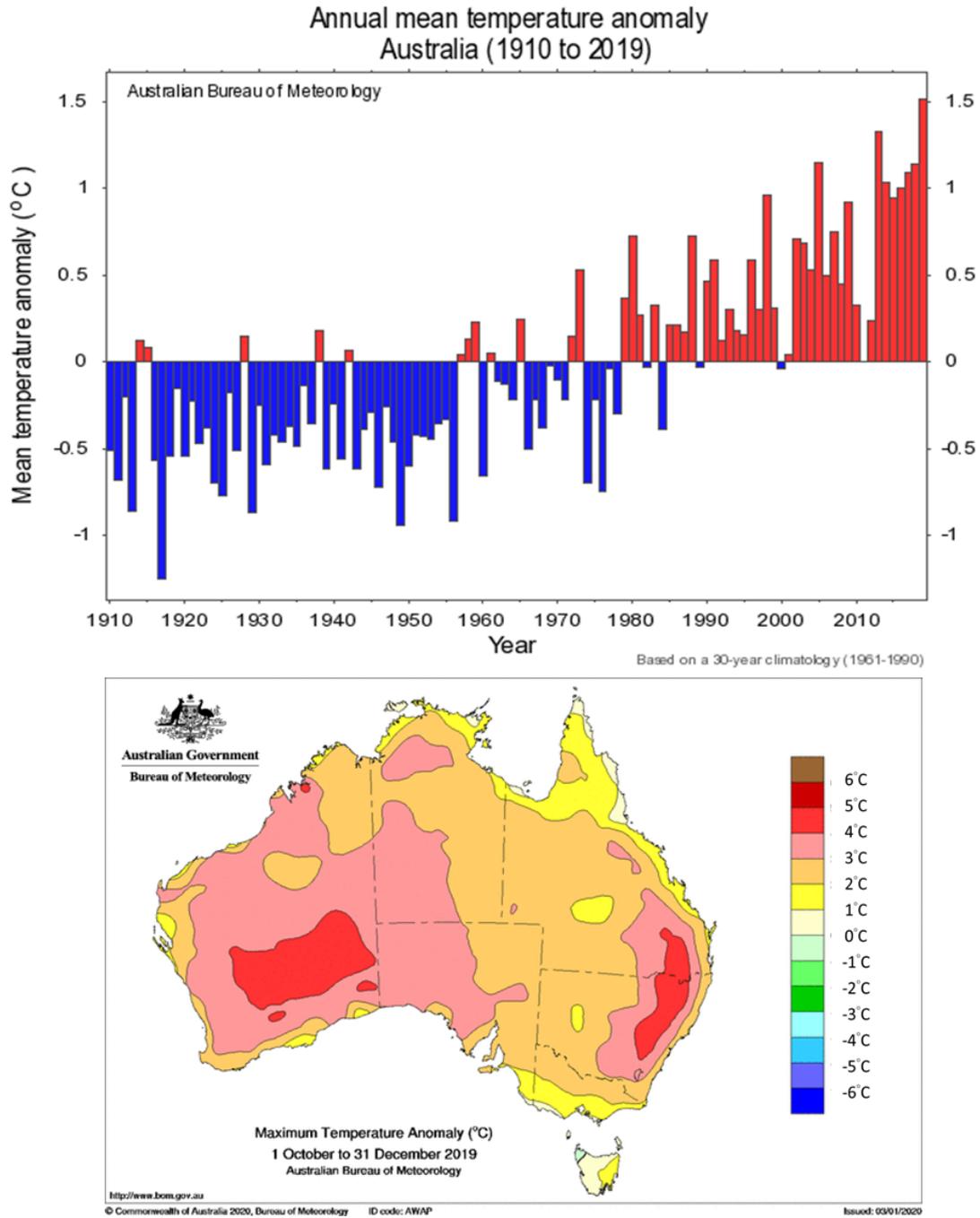


圖 2 (上)1910 年至 2019 年澳洲全國年均溫距平的逐年變化。(下) 2019 年 10 月至 12 月最高溫平均距平空間分布。(圖取自澳洲氣象局 Bureau of Meteorology, 2020b)

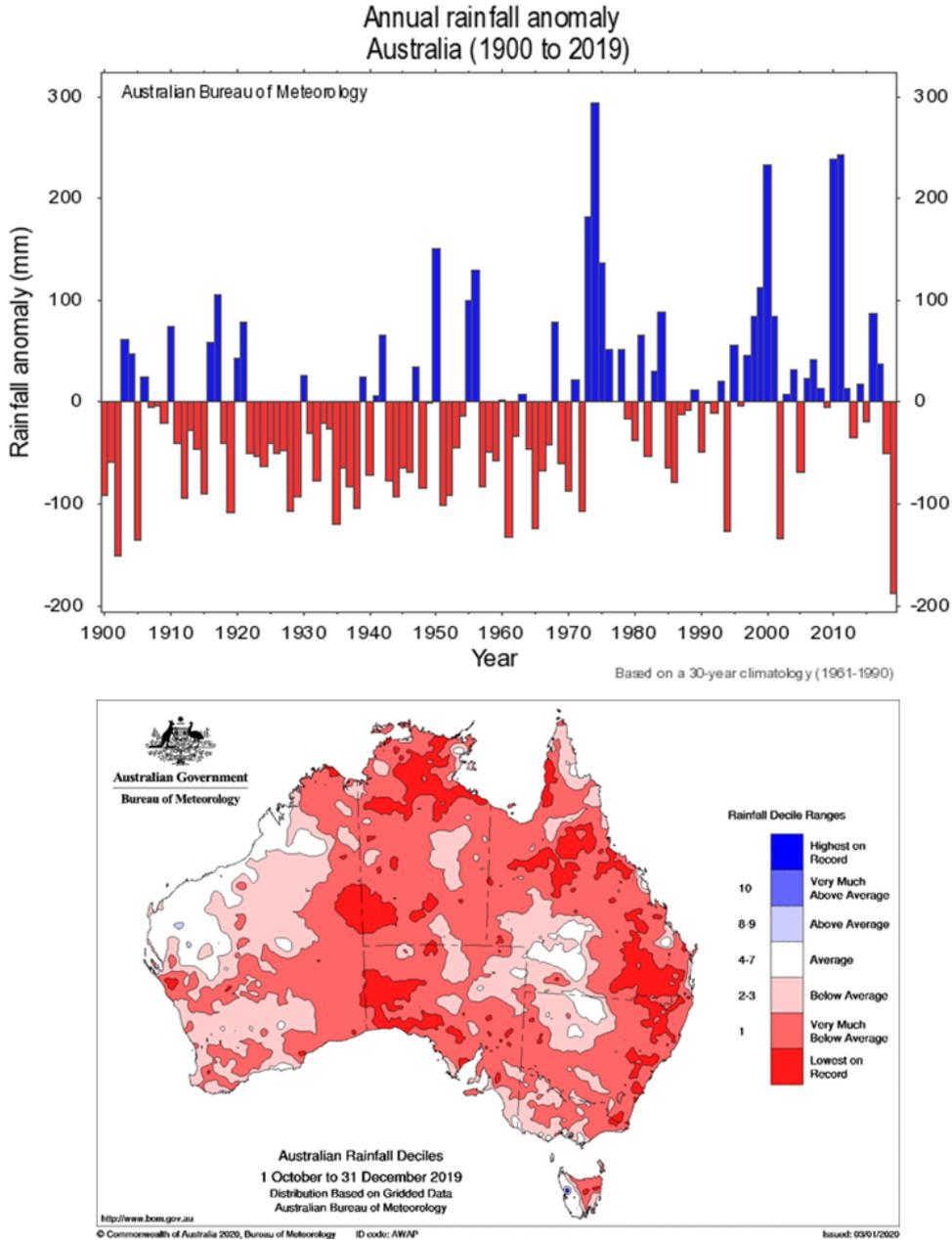


圖 3 (上)1900 年至 2019 年澳洲全國年雨量距平的逐年變化。(下) 2019 年 10 月至 12 月澳洲累積降雨和歷年同期降雨比較是十分位排序空間分布。(圖取自澳洲氣象局 Bureau of Meteorology, 2020b)

受到高溫且偏乾的天候影響，澳洲大陸發生森林野火的潛在威脅大增，此威脅程度可由森林火災危險指數² (Forest Fire Danger Index, FFDI) 來量度。當土壤越乾燥、空氣相對溼度越低、氣溫越高或風速越大，森林火災危險指數越高。從森林火災危險指數的分布也不難發現，在 12 月份時，除了澳洲西部局部區域外，其他各地均遠高於氣候平均 (圖 4)，絕大多數地區甚至達到「創最高紀錄」的等級。

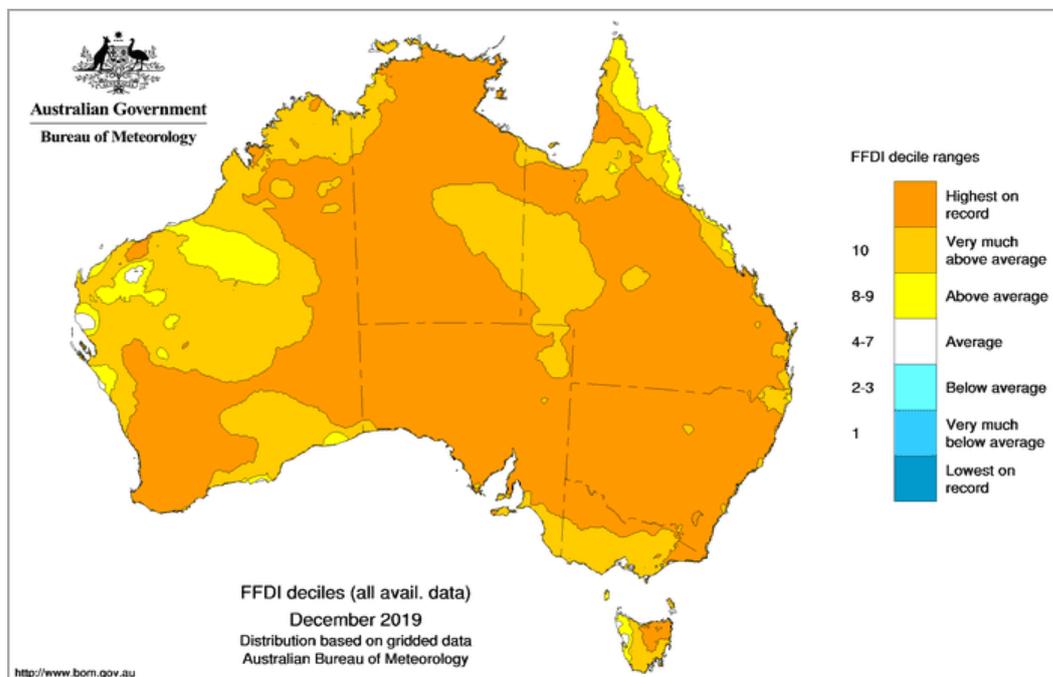


圖 4 2019 年 12 月澳洲森林野火危險指數空間分布 (圖取自澳洲氣象局 Bureau of Meteorology, 2020b)

² 森林火災危險指數常用來描述環境中森林野火的好發程度，考量了土壤和空氣的乾燥程度、氣溫和風速等多重氣象因素之影響， $FFDI = 2e^{(-0.45 + 0.9871\ln(DF) - 0.0345RH + 0.0338T + 0.0234v)}$ ，其中 DF 是乾旱指數(Drought Factor, DF)，代表土壤乾燥程度，和溫度與降雨有關；RH 為空氣的相對溼度，T 為氣溫，v 為風速 (Luke and McArthur, 1978)。

三、 造成高溫少雨的氣候異常現象

前述分析結果顯示，異常的持續高溫少雨是這次長時間且大規模森林野火事件的主要原因。經過進一步分析，發現 2019 年澳洲全國的異常高溫少雨與強烈的正印度洋偶極事件及平流層驟暖事件有關。

（一）強烈正印度洋偶極（Positive Indian Ocean Dipole）事件

澳洲西臨印度洋，東臨太平洋，周圍海域海溫的變化會影響到澳洲陸地上氣溫與降雨的分布。當周圍海域的海溫偏高時，就易供給較多的水氣給鋒面或低壓……等天氣系統，造成較多的降雨。反之，海溫偏低時，各地降雨容易偏少（Bureau of Meteorology, 2020a）。

不論是熱帶太平洋或是熱帶印度洋，約每 3~5 年左右，海氣環流系統會偏離氣候平均狀態，出現異常，發生於熱帶太平洋的「聖嬰」已經廣為人知。而熱帶印度洋的「印度洋偶極」（Indian Ocean Dipole, IOD）也是指熱帶海洋東西兩側的海溫呈現反向的變化（Saji et al., 1999），因此又被稱為「印度洋的聖嬰」。若熱帶印度洋東側海溫偏低（高）、西側偏高（低），為印度洋偶極正（負）相位，稱為正（負）印度洋偶極事件（圖 5 上）。印度洋偶極事件通常於 5、6 月時開始發展，8 至 10 月達最強，然後於年底澳洲夏季季風來臨前消退。

當正印度洋偶極事件發生時，東熱帶印度洋（澳洲西北側）海溫

偏低，導致當地大氣沉降增強、空氣溼度降低，抑制對流雲系的發展。此外，鋒面或低壓……等天氣系統的移動路徑也會隨之改變，這樣的變化通常會造成澳洲大多數地區降雨偏少、氣溫偏高（圖 5 上）。

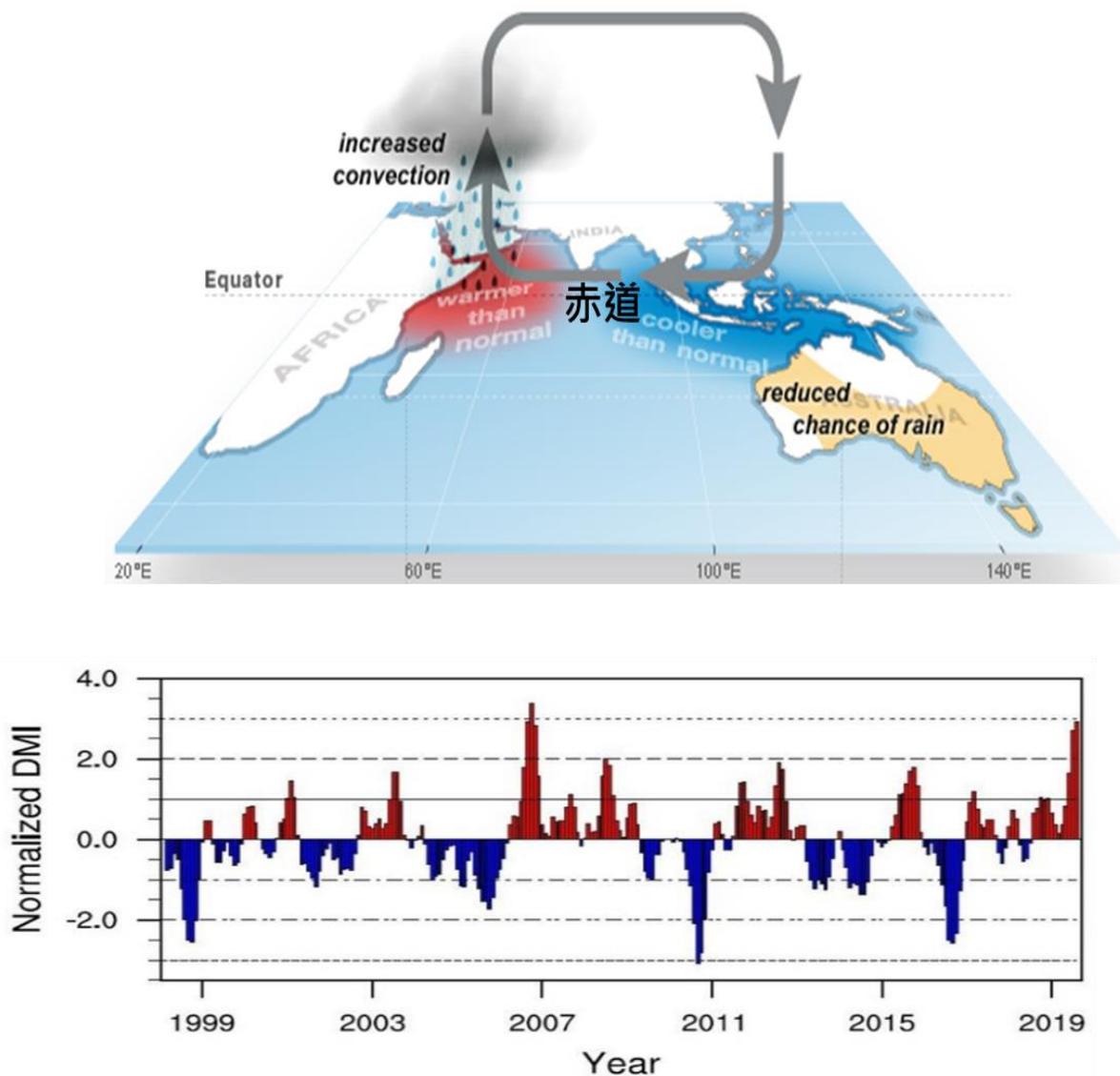


圖 5 （上）正印度洋偶極事件海氣環流距平示意圖（圖取自澳洲氣象局 Bureau of Meteorology, 2020a），（下）1998 年至 2019 年印度洋偶極指數的逐年變化（圖取自 Saji, 2020）

2019 年春季時，一個強烈的正印度洋偶極事件開始發展，並於 10 月時達最強。這個事件是近 20 年來排名第二強的正印度洋偶極事件（圖 5 下）(Saji, 2020)，因此造成 2019 年當地春季至夏季（10 月至 12 月）澳洲降雨偏少、氣溫偏高的背景。

（二）強烈平流層驟暖（Sudden Stratospheric Warming）事件

除了印度洋海溫的變化，2019 年當地春季（8 月至 9 月）時，南極上空的低平流層突然快速增暖（簡稱平流層驟暖）。經過數週的時間，此變化逐漸往低層大氣及低緯度地區傳遞，也增強了澳洲東南部降雨偏少的背景。細節說明如後。

1. 副熱帶高壓與澳洲東南部降雨

澳洲地處南半球，南迴歸線自澳洲大陸的中心橫越，澳洲西部和中部內陸位於南迴歸線附近，受副熱帶高壓影響很明顯，氣候炎熱乾燥。東部和東南部大分水山脈以東的沿海平原，則地處東南信風迎風面，濕潤多雨，是澳洲人口密集的菁華區。

正常情況下，暖季（11 月至隔年 4 月）時，副熱帶高壓脊位於澳洲中部以南，隨著副熱帶高壓勢力增強或減弱，偶有多雨的天氣系統（如溫帶氣旋、鋒面等）通過，為澳洲中部以南帶來降雨。但若副熱帶高壓脊受到其他氣候異常影響而向南移時，將引入較多熱帶的暖

濕空氣至澳洲東部，同時增強東南信風，造成東南部多雨（圖 6 上）。
 反之，若副熱帶高壓脊向北移至澳洲中部或甚至中部以北時，東南部不再受東南信風影響。相反的，來自內陸的偏乾氣流會隨著副熱帶高壓反時針環流吹向澳洲東南部，造成澳洲東南部少雨（圖 6 下）。

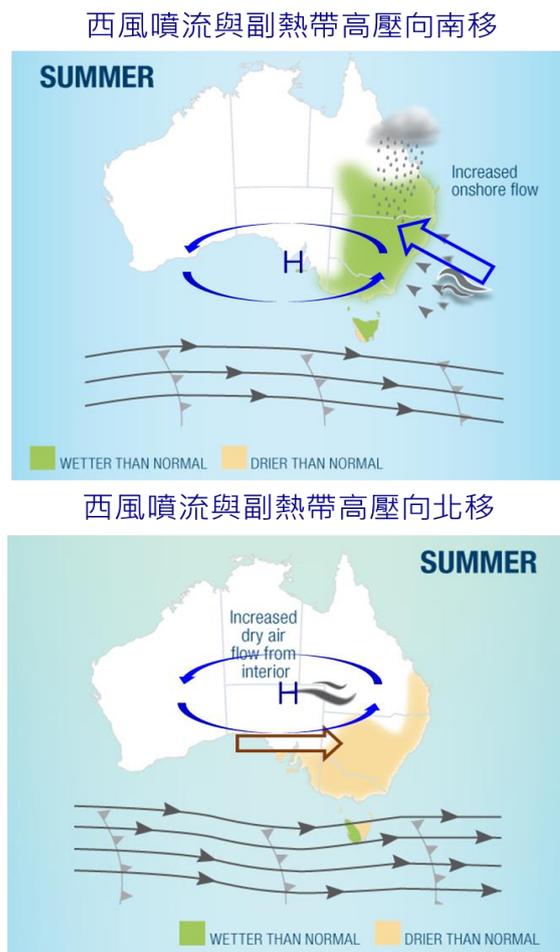


圖 6 南半球高緯西風噴流與副熱帶高壓向南移（上）或向北移（下）時對澳洲降雨影響的示意圖（原圖取自澳洲氣象局 Bureau of Meteorology, 2020a。災防科技中心加上額外圖示以加強說明）

2. 副熱帶高壓與極地渦旋及西風噴流

澳洲東南部的天氣與氣候受副熱帶高壓的影響很大，而副熱帶高壓的位置又會隨著極區環流的改變而變化，因此南半球極區環流的變動往往與澳洲東南部的天氣密切相關。

南半球極區的大氣環流和北半球相似。南極上空存在一個極地渦旋，極地渦旋在穩定狀態下會被極區噴流（polar night jet）侷限在極區裡，而噴流的強度則取決於低緯與極區之間的溫差。因此，任何會改變極區溫度的氣候異常現象，都會改變極地渦旋的強度，同時影響極區噴流的位置。若極區增暖，則極地和低緯之間溫差減小，極地渦旋減弱且極區噴流向北移。反之，若極區變冷，則極地渦旋增強且極區噴流向南移。

平流層驟暖是眾多改變極區溫度的氣候因子之一。通常每隔幾年，會在極區上空（大約 10 至 50 公里高）出現突然增暖的現象，而這現象通常因向上傳播的羅士培波將對流層內的擾動向上傳遞而發生（Met Office, 2020）。雖然驟暖發生在比對流層還高的平流層，但透過影響低層大氣西風噴流的位置，仍會使副熱帶地區的天氣發生改變。

過去平流層驟暖常發生於北半球冬季，往往和北極振盪轉為負相

位、北半球寒潮爆發或雪災……等事件有關 (Met Office, 2020)。南半球的平流層驟暖事件較罕見，上一次強烈的南半球平流層驟暖事件發生於 2002 年。然而，2019 年春季的平流層驟暖事件，其強度較前次更強 (Bureau of Meteorology, 2019)。8 月底時，南極上空的低平流層 (約 30 公里高處) 突然快速增溫超過 40°C (圖 7 上)。這個強烈的驟暖事件，減弱了極地渦旋，也使得極地噴流向低緯 (北) 移動。接下來一個月，其影響漸漸往低緯、低層大氣傳遞 (圖 7 上、下)，造成副熱帶西風噴流向北偏移，副熱帶高壓的位置也往北移動，導致澳洲東南部地區少雨偏乾。

四、 結論

森林野火是澳洲於每年夏季都會發生的現象，高溫、乾旱與強風則是助長野火發生的因子。2019 年的野火事件，提早於春季 (9 月) 就開始，並持續延燒 5 個月，最嚴重的東南部沿海局部地區至 2020 年 1 月底仍有野火延燒，因此造成重大人員與動物傷亡、財產損失與生態浩劫。野火不僅衝擊澳洲當地，燃燒所產生的灰燼並跨海傳遞至南半球其他國家，造成當地空氣品質惡化，是一個國際性的災難。

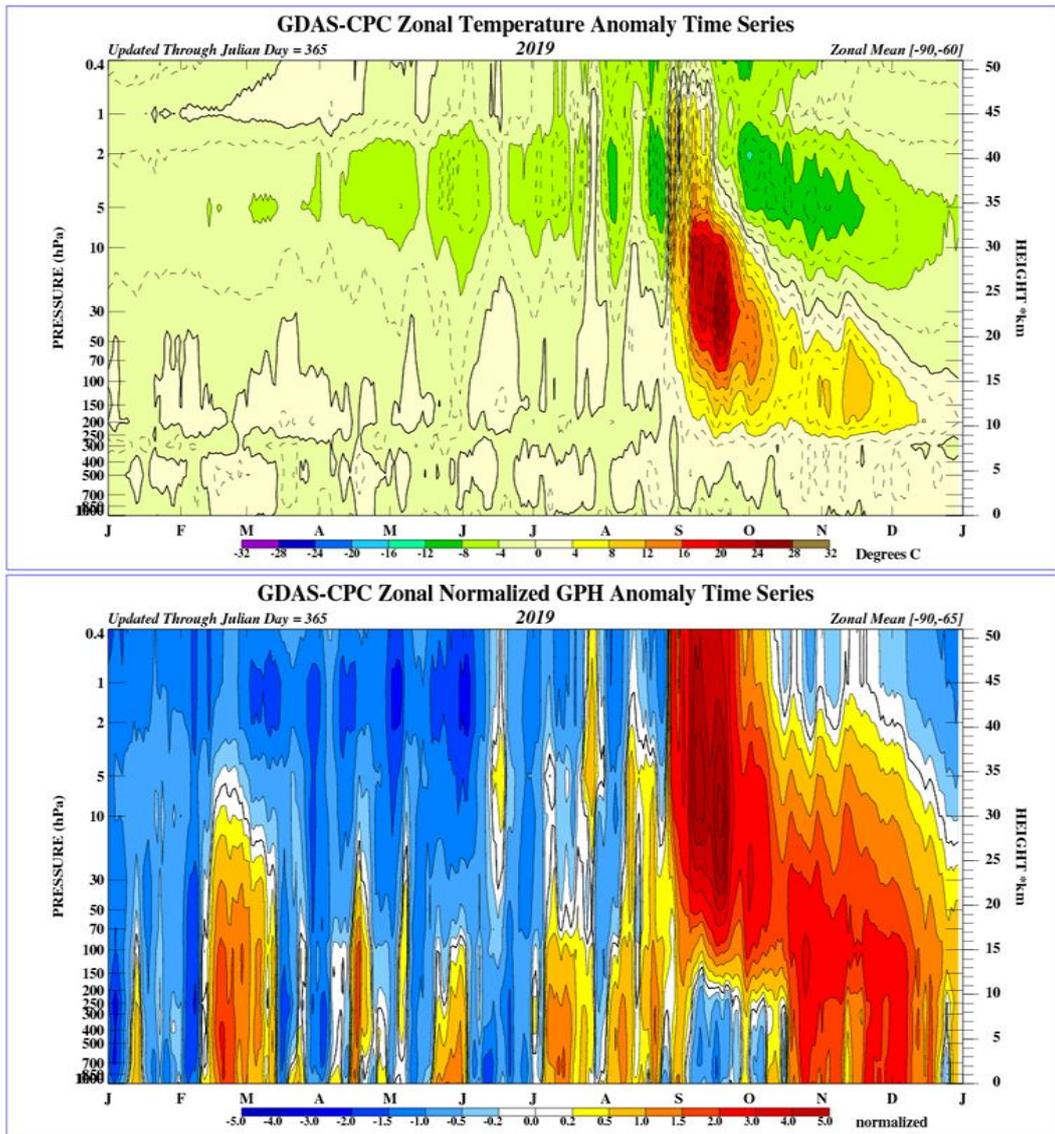


圖 7 2019 年南半球不同變數的逐日時間-高度剖面圖。(上) 南緯 60 至 90 度緯向平均的氣溫距平，(下) 南緯 65 至 90 度緯向平均的重力位高度距平 (圖取自 Climate Prediction Center, 2020)

造成本次事件的氣象原因，可分成長期背景與近期因素。在長期暖化的趨勢之下，2019 年是澳洲百年來最熱的一年。近期來說，2019 年春季 (9 月) 發生了強烈正印度洋偶極事件與平流層驟暖事件，這

兩個事件造成澳洲從春季開始就明顯地偏乾。直到當地夏季來臨，12月份一連數天熱浪來襲，更創下澳洲的最高溫新紀錄。這些氣象因子綜合起來，使得全澳洲大陸自當地春季至夏季都處於重大森林野火威脅的環境之中。雖然2020年1月中旬時，風暴來襲帶來超過100毫米的降雨，但降雨主要集中於澳洲北部以及東部的布里斯本至雪梨間，因此雪梨附近及以南局部地區的野火至今仍未熄滅。

台灣四季天氣受到季風的影響，北部、東部沒有明顯的乾季，中南部則通常於颱風季結束後進入乾季。因此每年十月至隔年四月的中南部山區與沿海保安林就成為發生森林火災的高風險區域。不過，對台灣而言，容易發生極端高溫的夏季同時也是雨季，而較乾燥的秋冬季來臨時，氣溫已經降低，因此和澳洲相比，台灣相對不易發生持續數月且規模如此大的森林野火事件。

參考文獻

- BBC, 2020: Australia fires: A visual guide to the bushfire crisis. <https://www.bbc.com/news/world-australia-50951043>
- Bureau of Meteorology 2019: The air above Antarctica is suddenly getting warmer – here’s what it means for Australia. <http://www.bom.gov.au/climate/updates/articles/a035.shtml>
- Bureau of Meteorology, 2020a: Indian Ocean. <http://www.bom.gov.au/climate/about/australian-climate-influences.shtml?bookmark=ioc>.

Bureau of Meteorology, 2020a: Indian Ocean influences on Australian climate. <http://www.bom.gov.au/climate/iod/>

Bureau of Meteorology, 2020b: Maps of recent, past and average conditions. <http://www.bom.gov.au/climate/maps/>

Climate Prediction Center, 2020: Stratosphere-troposphere monitoring. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/strat-trop/>.

Luke, R.H., and A. G. McArthur, 1978: Bushfires in Australia. Australian Government Publishing Service, Canberra.

Met Office, 2020: Sudden Stratospheric Warming. <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/types-of-weather/wind/sudden-stratospheric-warming>

NASA Fire Information for Resource Management System (FIRMS). <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#z:3;c:0.0,0.0;d:2020-02-01..2020-02-02>

Saji, N. H., B. N. Goswami, P. N. Vinayachandran, and T. Yamagata, 1999: A dipole mode in the Indian Ocean. *Nature*, 401, 360-363.

Saji, N. H., 2020: Monitoring the IOD. <http://enformtk.u-aizu.ac.jp/>.