

2019 年亞馬遜雨林大火探討

林嫩瑛、施虹如、郭文達、傅鑣漩、張志新

國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組

摘要

2019 年 8 月亞馬遜地區大火產生的濃煙，遮蔽巴西大城聖保羅市(São Paulo)的陽光，引起國際的關注。根據巴西太空研究中心 INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)的資料顯示，1-8 月的火災事件，累計超過 60,000 筆，較 2018 年多出 84%，是巴西雨林保護政策施行以及滅火技術提升之後，最嚴重的一年。大火發生的原因，主要與農業耕作有關，農民會在作物收成後，放火燃燒殘餘作物，使燃燒後的灰燼作為耕地的養分。次要的原因，則跟雨林開發有關，雨林中的杉木和肥沃的土地，是促進經濟發展的來源。根據全球森林觀察 (Global Forest Watch)線上監控系統的資料顯示，2018 年雨林消失的面積，以亞馬遜雨林為最多，其次才是非洲剛果雨林。火災的影響，以短期造成的空氣汙染為首要，長期對氣候的影響則較低。

一、 事件背景

巴西為農牧業大國，是全球主要的蔗糖、咖啡、黃豆、牛肉及雞肉的出口國，被譽為世界重要的糧倉。根據美國國家航空暨太空總署 NASA(National Aeronautics and Space Administration)最新衛星影像資料的分析結果顯示，2019 年 8 月的南美洲土地利用情形如圖 1 所示，包括雨林覆蓋區(綠色)、沙漠區(紫色)、農作物用地(粉紅色)、濕地(棕色)和牧草地(淡褐色)。巴西的農業耕地面積，排名在世界第五位，列在印度、美國、中國和俄羅斯之後[1]。

巴西農民常用「刀耕火種(Slash-and-burn)」管理耕作用地[2]，在休耕時期，焚燒耕地上的殘餘作物(圖 2)，使燃燒後的灰燼作為土壤的養分。除此之外，當原有耕地變得貧瘠，人們會轉往雨林區開發新耕地(圖 3)，並使用同樣方式去除雨林中較無經濟價值的樹種[3-5]。由於，巴西農業耕地面積廣大，這類型的耕作方式，常使得巴西上空佈滿燃燒時產生的濃煙，讓遠在太空中的衛星都可以記錄到這樣的影像(圖 4)。

圖 5 顯示巴西國家太空研究中心 INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)自 1998 年以來觀測到的火災紀錄，當巴西在 2004 年訂定了雨林保護計畫 PPCDAm (Federal Action Plan for Prevention

and Control of Deforestation in the Amazon) [6]之後，除了 2005、2007 和 2010 年之外，火災數目有減少的趨勢。由於，亞馬遜地區在 2005、2007 和 2010 年，發生嚴重的乾旱[7-12]；農民放火整地的行為，易使火勢蔓延；因此，為了有效控制火勢，巴西政府與國際合作，在 2012 年改進了滅火技術[13]，致使 2012 年之後的火災數目能控制在 60,000 筆之下。然而，2019 年，亞馬遜地區屬於較潮溼的季節，火災數目卻增多，共超過 60,000 場火災，與同樣非乾旱時期的 2018 年比較，大幅增加 84%[14]。火災數量的增加原因，指向雨林開發[15]。由於，大火產生的濃煙，遮蔽巴西聖保羅市(São Paulo)的天空(圖 6)，整個城市宛如黑夜，引起了當地區民的恐慌與國際的關注[16-18]。



圖 1. 美國 NASA 繪製 2018 年巴西土地利用情形[19]

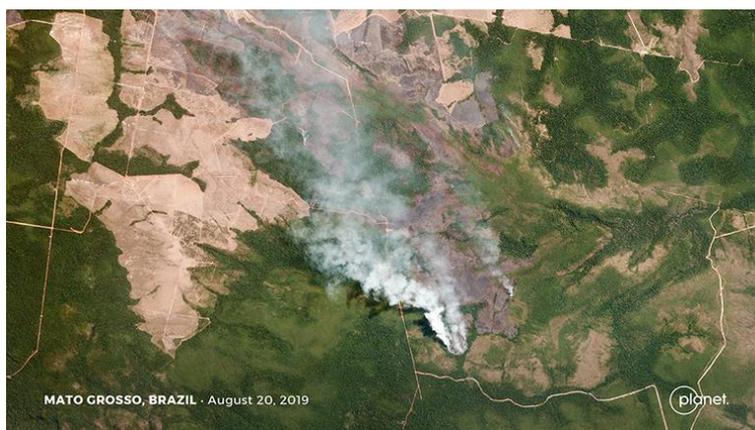


圖 2. 巴西馬托格羅索州(Mato Gross)農牧區的火災情形[20]
(資料來源：Satellite Company Planet；拍攝日期：2019-08-20)



圖 3. 巴西亞馬遜盆地雨林區的火災情形[21]



圖 4. NASA 衛星在 2019-08-11 在南美洲上空拍攝的濃煙影像[22]

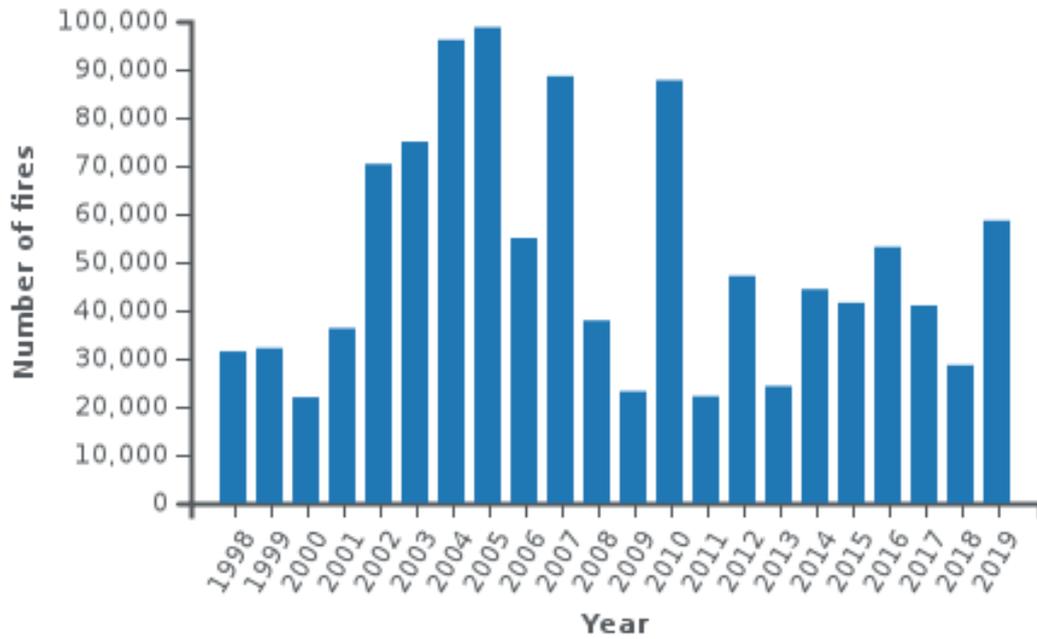


圖 5. 巴西 INPE 統計之 1998-2019 年雨林大火災點數目[23]

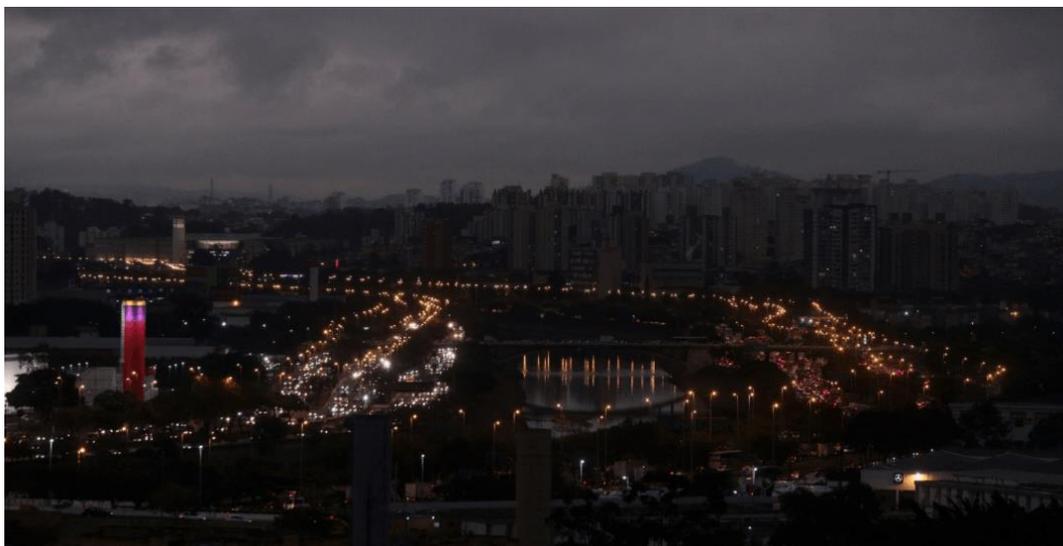


圖 6. 民眾在聖保羅市 2019 年 8 月 21 日下午拍到的影像[24]
(照片拍攝者：Schmuziger/Twitter)

二、火災位置

美國 NASA 地球觀測站(NASA Earth Observatory)在 2019 年 8 月發表了一張南美洲大火災點分布圖[25]，如圖 7 所示。圖 7 整合了三種資料，分別是 Aqua 衛星所搭載熱感測器 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)偵測到的溫度異常位置、美國麻里蘭大學(University of Maryland)開發的火災訊息管理系統 FIRMS (Fire Information for Resource Management System)資料，以及衛星在夜間拍到的地球影像。圖 7 中的白色光點為人類所居住的城市，橘色光點為火災發生的位置，南美洲各國的邊界，則用灰色線標示。其中，橘色光點所標示的亞馬遜雨林大火燃燒位置，與農牧作業區(圖 1)相近。



圖 7. 美國 NASA 繪製 2019 年 8 月 15-22 日大火發生的位置[25]

三、火災影響

伴隨亞馬遜雨林大火而產生的煙霧(aerosol)和二氧化碳等氣體，會對人體與環境產生危害，因此，本章節討論亞馬遜地區大火所產生的煙霧和二氧化碳的分布概況。

就煙霧而言，根據歐洲中期天氣預報中心 ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)透過哥白尼監測服務計畫 CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service)提供 2019 年 8 月 20 日的煙霧分布資料，圖 8，顯示煙霧的分布範圍從亞馬遜雨林上空，向西南延伸至聖保羅市。其中，顏色量尺代表的是煙霧的光學厚度(aerosol optical depth)，是根據大氣反射或吸收可見光與紅外線的程程度推算而得。當光學厚度小於 0.1(淡紫色)時，表示天空晴朗，有最大的能見度；當光學厚度接近於 1(紅色)時，表示非常朦朧的情況，能見度最低。因此，比較圖 6 與圖 8，說明巴西聖保羅市居民拍到城市光景宛如黑夜的情形，是由亞馬遜雨林大火產生的煙霧所造成。

就二氧化碳而言，圖 9 顯示 CAMS 的全球火災同化系統 GFAS (Global Fire Assimilation System)推估巴西亞馬遜地區 8 月份的碳排放量在 2003-2019 年之間的變化情形。在 2005、2007 和 2010 年，亞馬遜地區發生嚴重的乾旱[7-12]，乾燥的季節，助長了火勢，促使碳排放量增加。然而，根據二氧化碳訊息分析中心 CDIAC (Carbon Dioxide

Information Analysis Center)的年平均資料顯示(圖 10)，巴西亞馬遜地區並非世界上主要的碳排放國；就 1751-2017 年的長期監測資料顯示 [26]，北美、歐盟和亞洲才是主要的碳排放區。由於，南美洲的碳排放量，主要是由農業耕作所引起，當新的穀物播種、發芽後，農業耕種區又重新成為碳匯(carbon sink)區域[27, 28]。因此，亞馬遜地區的碳排放問題，對短期的空氣品質影響較大，對長期的氣候影響較其他地區小。

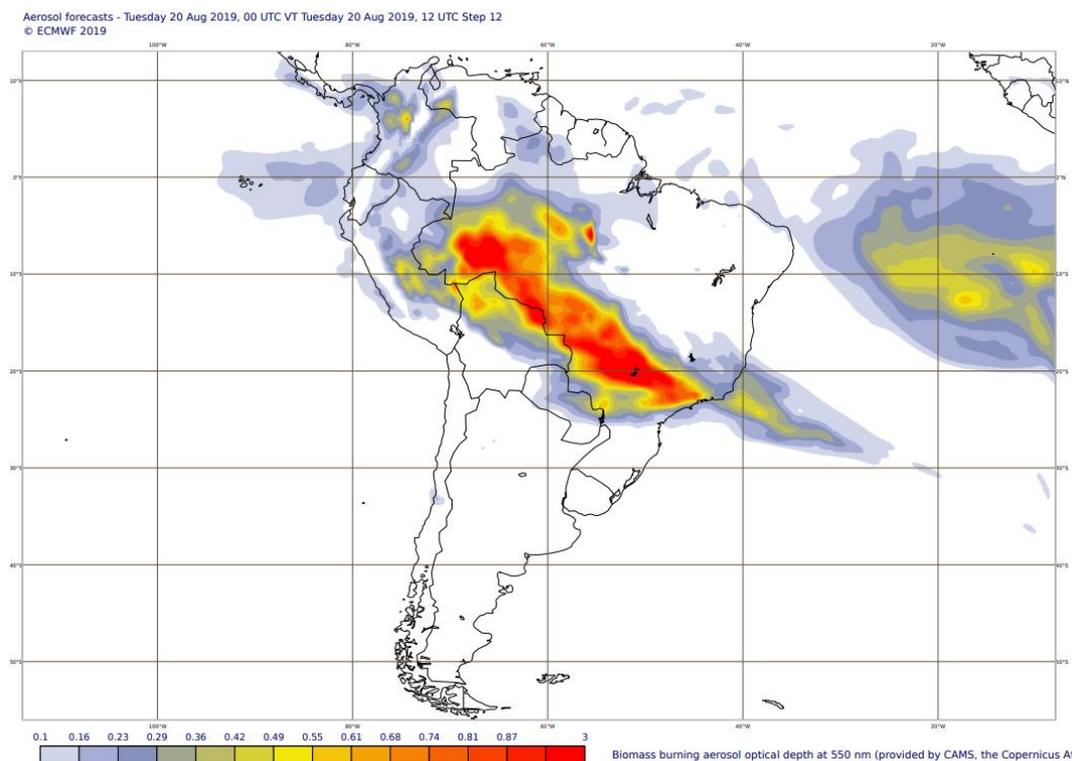


圖 8. 哥白尼大氣監測服務(CAMS)透過模式系統所提供的濃煙分布情形[29]
(資料來源：CAMS Global Fire Assimilation System, GFAS)

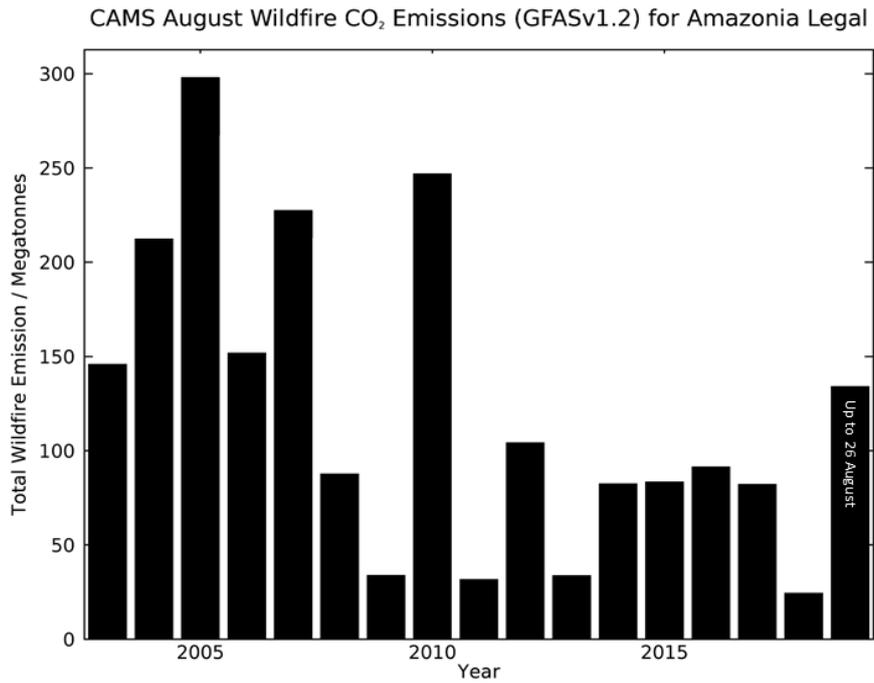
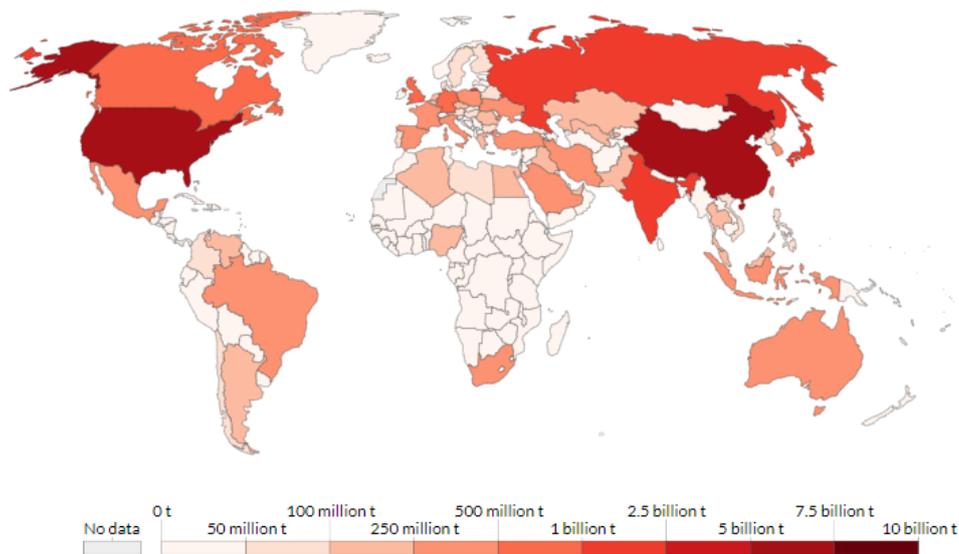


圖 9. 巴西亞馬遜地區在 2003-2019 年 8 月份的碳排放量[30]
(資料來源：CAMS Global Fire Assimilation System, GFAS)

Annual CO₂ emissions, 2005
Annual carbon dioxide (CO₂) emissions, measured in tonnes per year.



Source: Global Carbon Project; Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC)

CC BY

圖 10. 世界各國在 2005 年的碳排放量[26]
(資料：Global Carbon Project; Carbon Dioxide Information Analysis Centre)

四、亞馬遜雨林與剛果森林大火差異

當亞馬遜雨林大火遭到全球關注時，非洲森林大火也引起了人們的注意，圖 11 顯示 NASA 在 2019 年 8 月全球的火災發生位置和煙霧濃度的資料，說明非洲大火燃燒的情形與燃燒後所產生的煙霧，皆比亞馬遜地區的大火嚴重。兩地森林大火的差異，我們以碳排放量和雨林消失的情形作為比較。

就火災產生的碳排放量而言，非洲的大火亦與農作物耕作循環有關，圖 12 顯示非洲赤道南北兩側的大火燃燒時間，主要分別發生在每年的 5-10 月和 11 月至隔年的 4 月，與農業耕作時間一致。雖然非洲單一季節的碳排放量比南美洲高，但是，在年平均值方面，CDIAC 的資料顯示[26]，非洲的長期碳排放量與南美洲相近。

就雨林消失的情形而言，圖 13 顯示全球森林觀察(Global Forest Watch)線上監控系統的數據，說明 2018 年全球雨林覆蓋範圍減少最多的國家是巴西的亞馬遜雨林(約 1.33 萬平方公里)，其次才是非洲的剛果雨林(約 0.47 萬平方公里)。由於雨林容易被開墾為農牧用地(圖 14)，放火燒林是常見的開墾方式，當亞馬遜地區 2019 年大火燃燒數目比 2018 年增加 84% 時，可能意味著將雨林開墾為農牧用地的面積增加[15]。因此，巴西亞馬遜地區的大火對雨林的威脅較大[31]。

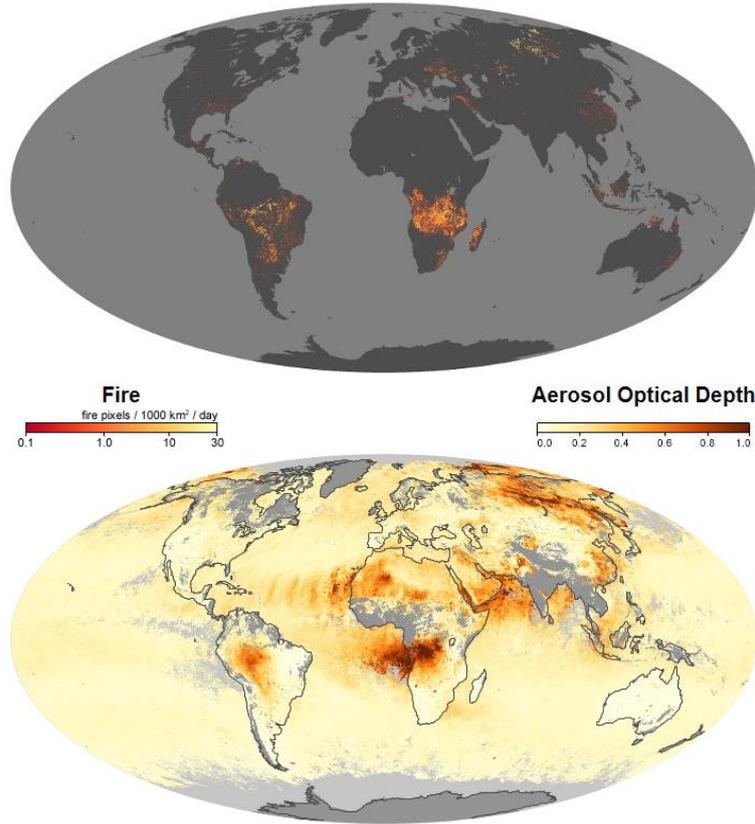


圖 11. 2019 年 8 月 NASA 衛星所觀測的火災數量(上)與氣溶膠光學厚度(下)[32]

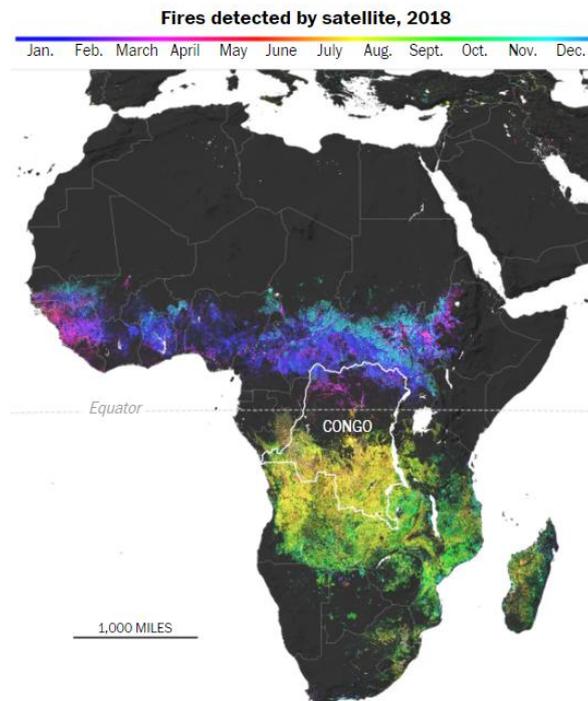
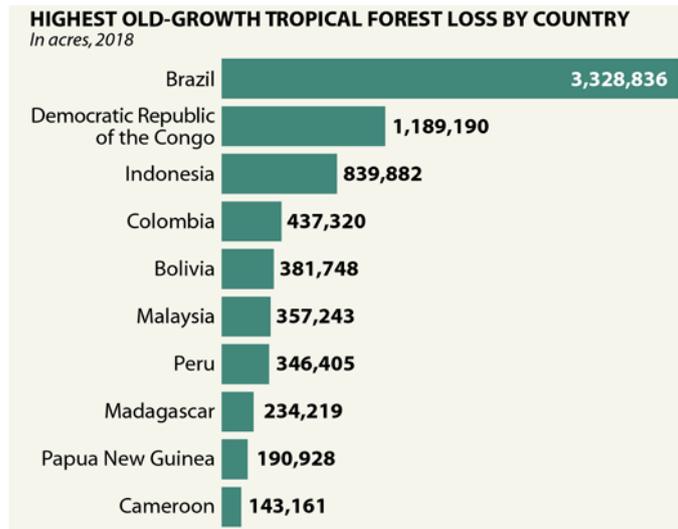


圖 12. 非洲野火燃燒的季節與分布情形[33]



SOURCE: World Resources Institute/Global Forest Watch PAUL HORN / InsideClimate News

圖 13. 熱帶雨林在 2018 年減少的面積(資料來源 insideclimatenews[34])

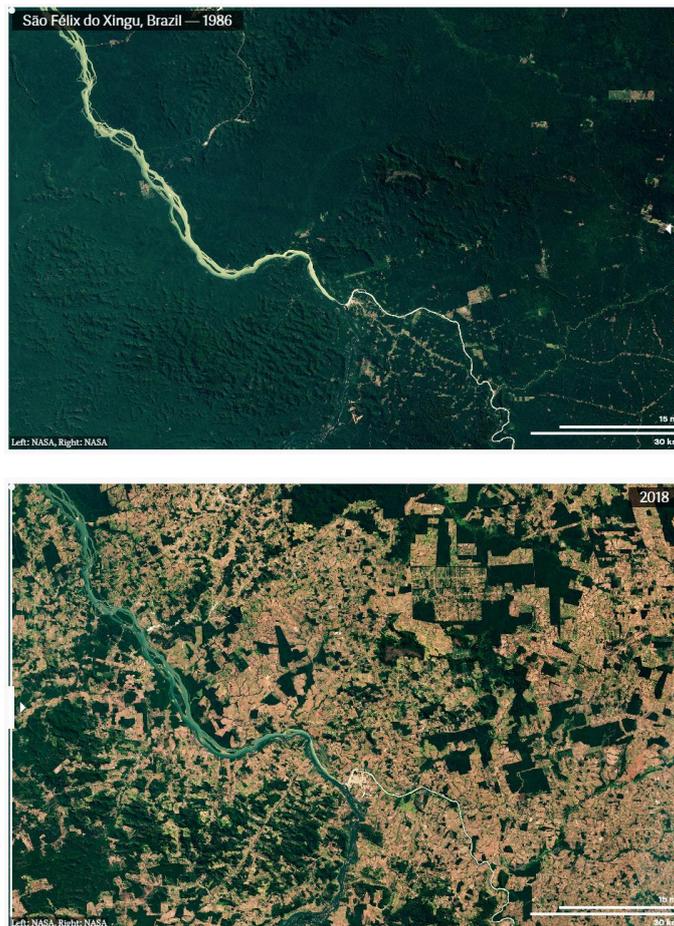


圖 14. 美國 NASA 衛星影像在 1986 年(上)和 2018 年(下)紀錄巴西的雨林開發情形(資料來源 qz.com [35])

五、 因應作為

巴西政府對亞馬遜雨林大火，施行短期與長期的應變作為。

短期的應變作為包含，頒布 60 天的禁止焚燒令、逮捕縱火犯、與國際合作擴大滅火行動、重申雨林保護政策等。例如，禁止焚燒令於 2019 年 8 月 29 日生效[36]；派出軍隊協助滅火[37]，並接受國際支援，包含智利派出的 4 架滅火機，以及英國政府 1200 萬美元的支援等[14]。但是，根據巴西 INPE 的統計資料顯示[38]，9 月份的火災數目仍將近 2 萬筆，與 8 月相比，減少約 10,000 筆。

長期的應變作為，主要在改良農耕技術，避免使用放火整地方式和改良農作物在草原區的適應能力，以減少開發雨林[39-42]。實行的方法包含，(1)種子基因的優選、開發與培育，使農作物更能抵抗病蟲害的威脅，並適應草原區之土壤較貧瘠的生長環境；(2)引進新的農業技術，建置資本密集的大型農場，運用大型農耕機具，增加耕地產能。例如，部分巴西農業科技公司更開始與電信公司合作，建置智慧監測系統，透過無人飛機監測並記錄作物生長狀態，並分析雲端資料，以掌控農藥、灌溉用水和肥料用量等；(3)制定低碳排放農業計畫，實行免耕直播(排除放火整地的農耕步驟)，以及農林牧一體化生產(在飼養牛群的牧場植樹造林)等。

六、結論

巴西亞馬遜地區的火災主要發生在農牧用地，其次是雨林區。農牧用地的火災，與農民用火燒除農地上的殘餘作物有關；雨林區域的火災，則是由開發雨林的行為所引起。

關於火災對空氣品質的影響，巴西太空中心的資料顯示，2019年的火災數量比2018年增加約84%，大火產生的濃煙，影響大都市的空氣品質。然而，新生的農作物可以平衡休耕時的碳排放，因此，季節性大火對亞馬遜地區的整體(年平均)碳排放量影響較小。巴西政府為減少季節性大火產生的危害，已著手進行推廣新的耕鋤技術，避免使用放火燒林方式整地。

關於雨林消失的情況，全球森林觀察(Global Forest Watch)線上監控系統的資料顯示，2018年，亞馬遜雨林消失的面積是非洲的剛果雨林的2-3倍。由於雨林土壤肥沃，能增加農作物產量，消失的雨林大多變成農牧用地。為減少雨林開發，巴西政府著手發展密集農業，希望透過現代化的農業技術，增加草原地上的農作物產值。

依據CDIAC對全球碳排放的分析資料顯示，亞馬遜雨林大火對全球的氣候影響低於工業污染。因此，全球降低工業與農業的碳排放作為，應該同時進行。

參考文獻

1. 維基百科，各國土地使用情況列表。zh.wikipedia.org
2. WIKIPEDIA, Slash-and-burn, en, Wikipedia.org
3. 王瑞閔，2019-08-29，燃燒中的熱帶雨林，環境資訊中心，e-info.org.tw
4. 唐雅陵(記者)，馮昭(編輯)，2019-9-19，人權觀察：黑幫與企業掛勾 謀殺盜採亞馬遜雨林[影]，中央社，can.com.tw
5. kknews，2016-11-17，這棵長在雨林裡的樹是全世界最高的熱帶樹，每日頭條，kknews.cc
6. Amazon Fund, Efforts for Prevention and Control of Deforestation, amazonfund.gov.br
7. NASA Earth Observatory, 2010, 2010 Drought in the Amazon Forest, 50136, earthobservatory.nasa.gov
8. NASA Earth Observatory, 2005, Amazon Stands Up to 2005 Drought, 8068, earthobservatory.nasa.gov
9. Charles Q. Choi, 2011-02-03, In Amazon, 2010 Drought Worse Than Rare 2005 Dry Spell, livescience.com
10. Juan C. Jimenez, Renata Libonati, and Leonardo F. Peres, 2018-12-11, Droughts Over Amazonia in 2005, 2010, 2015: A Cloud Cover Perspective, Frontiers in Earth Science
11. T. R. Feldpausch et al., 2016-04-30, Amazon forest response to repeated droughts, Global Biogeochemical Cycles,
12. Carol Rasmussen, 2018-08-09, NASA finds Amazon drought leaves long legacy of damage, climate.nasa.gov
13. Jason Koebler, 2014-04-15, The Amazon Is Burning, and It Doesn't Have the Firefighters to Stop It, Vice. Retrieved August 25, 2019.
14. WIKIPEDIA, 2019 Amazon rainforest wildfires, en-wikipedia.org
15. Justine Calma, 2019-08-28, Everything you need to know about the

- fires in the Amazon, [theverge.com](https://www.theverge.com)
16. Dom Phillips, 2018-11-24, Brazil records worst annual deforestation for a decade, [The Guardian](https://www.theguardian.com).
 17. Reuters, 2019-07-03, Brazil: huge rise in Amazon destruction under Bolsonaro, figures show, [The Guardian](https://www.theguardian.com)
 18. L. Rodgers, N. Stylianou, C. GuiBourg, M. Hills and D. Bailey (Design by Mark Bryson), 2019-08-30, The Amazon in Brazil is on fire – how bad is it?, [BBC news](https://www.bbc.com/news)
 19. NASA Earth Observatory, 2019, Mapping the Amazon, images 145649, earthobservatory.nasa.gov, 30, 964-982
 20. Rhett Butler, 2019-08-23, Views of Destruction: Satellite Images Reveal Devastating Amazon Fires in Almost Real-Time, [commdreams.org](https://www.commdreams.org)
 21. Fen Montaigne, 2019-09-04, Will Deforestation and Warming Push the Amazon to a Tipping Point?, e360.yale.edu
 22. Lauren Dauphin (images) and Adam Voiland (caption), 2019-08-22, Fires in Brazil, image 145464, earthobservatory.nasa.gov
 23. INPE, 2019-08-26, Situação Atual, queimadas.dgi.inpe.br
 24. Mapped, 2019-08-20, São Paulo turned dark due to smoke from fires in the Amazon rainforest, [dailyhive.com/mapped/](https://www.dailyhive.com/mapped/)
 25. NASA Earth Observatory, 2019-08-19, Uptick in Amazon Fire Activity in 2019, earthobservatory.nasa.gov
 26. Hannah Ritchie and Max Roser, April 2017 (last revised in April 2019), Air Pollution, ourworldindata.org
 27. Dries Roobroeck, 2019-10-13, Crop leftovers can store huge amounts of carbon: insights from Uganda, theconversation.com
 28. Susanne Neubert, 2019-08-11, Agriculture without emissions, dandc.eu
 29. Mark Parrington, ECMWF, 2019-08-20, Aerosol forecasts, Biomass

- burning aerosol optical depth at 550 nm, atmosphere.copernicus.eu
30. CAMS NEWS, 2019-08-27, CAMS monitors Amazonian Fires, atmosphere.copernicus.eu
 31. Robert T. Walker, 2019-09-09, In Brazil's rainforests, the worst fires are likely still to come, theconversation.com
 32. NASA Earth Observatory, 2019, Fire & Aerosol Optical Depth, earthobservatory.nasa.gov
 33. Tim Meko and Laris Karklis, 2019-08-30, We're at the peak of the global fire season, washingtonpost.com
 34. Green World Warriors, 2019-04-25, These Are The Countries With The Greatest Primary Forest Loss in 2018, greenworldwarriors.com
 35. Zoë Schlanger & Daniel Wolfe, 2018, We already know what Jair Bolsonaro's vision for the Amazon would look like, QUARTZ
 36. 楊明娟，法新社，搶救亞馬遜，巴西 60 天禁止焚燒令生效，中央廣播電台，rti.org.tw/news
 37. 中央社，2019-08-26，亞馬遜森林又增數百起野火 巴西出動軍機滅火，經濟日報 money.udn.com
 38. AA Roland Hughes, 2019-10-12, Amazon fires: What's the latest in Brazil?, BBC News
 39. 吳怡靜(翻譯)，2011-04-25，巴西的另類農業奇蹟，天下雜誌，cw.com.tw
 40. 唐雅陵(記者)，陳永昌(編輯)，2019-07-17，巴西農業綜合企業未來 專家：取決於環境保護，中央通訊社 cna.com.tw
 41. 邊慧，李晨，2016-03-23，巴西經驗：可持續集約化農業之路，中國科學報，農業，第六版，kknews.cc/zh-tw/agriculture
 42. 洪煥周，2019-05-14，諾基亞為巴西農業地區部屬網路，有效提高糧食生產力，法新社 digitimes.com.tw