

日本櫻島錦江灣地質公園的 松材線蟲病害



文、圖／廖學誠^{1*}



圖 1 松材線蟲病害於 2004 年起病害迅速擴大

¹ 國立臺灣師範大學地理學系教授

* 通訊作者 (liaw@ntnu.edu.tw)

櫻島錦江灣地質公園

日本地質公園網路 (Japanese Geoparks Network, JGN) 為一個非營利組織，主要作為日本各地質公園之交流與合作平臺，致力於推動地質遺產保存、環境教育與地方永續發展。目前正式會員包括 10 個聯合國教科文組織 (UNESCO) 世界地質公園，以及 38 個日本國家地質公園，另有 5 個準會員正積極申請成為地質公園。透過此網路，各地地質公園得以分享經營經驗、深化研究合作，並提升國際能見度。

位於錦江灣內的櫻島，是日本最具代表性的活火山之一，亦為櫻島錦江灣地質公園的核心景觀。櫻島周長約 52 公里，面積約 80 平方公里，自有史以來曾多次發生大規模噴發，包括文明 8 年 (1446 年)、安永 8 年 (1779 年)、大正 3 年 (1914 年) 以及昭和 21 年 (1946 年) 等重大火山活動。每次噴發時，大量熔岩自火山口湧出，覆蓋廣闊區域，重塑地形與生態環境。其中，大正 3 年的劇烈噴發尤為關鍵，山腹流出的熔岩最終使原本孤立的火山島與大隅半島相連，改變了當地的地理樣貌與交通條件。由於其火山地形壯觀、地質演變過程明顯且具有教育與研究價值，櫻島遂被劃設為「櫻島錦江灣地質公園」，成為日本重要的地質教育與觀光據點。



圖 2 櫻島錦江灣地質公園為著名的活火山



圖 3 櫻島錦江灣地質公園火山灰煙霧繚繞

除地質公園功能外，櫻島亦為多所研究機構進行火山與地質研究的重要場域。例如鹿兒島大學早於昭和 6 年 (1931 年) 即設立「櫻島熔岩實驗地」，面積約 37 公頃，該實驗地以長期觀測為特色，研究新生熔岩臺地如何在貧瘠條件下逐步演替，最終發展為森林生態系統，為火山生態演替與環境恢復研究提供珍



圖 4 地質公園望遠鏡可詳觀櫻島火山

貴資料。此外，國際火山學及地球內部化學協會（International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, IAVCEI）亦在櫻島設立研究據點「櫻島國際火山砂防中心」，並將櫻島列為全球重要活火山之一，持續推動火山監測與防災研究。同時，京都大學防災研究所附屬火山活動研究中心亦在當地設置觀測站，進行火山活動監測與災害預警研究，以提升區域防災能力。

櫻島不僅具有獨特且動態的地質景觀，更結合地質保育、學術研究與防災教育等多重功能，成為日本地質公園制度下兼具科學研究價值與社會實踐意義的重要典範。



圖 5 櫻島錦江灣地質公園解說牌清楚詳細

櫻島松材線蟲病害

根據鹿兒島大學森林保護研究室曾根晃一教授的調查，自 1997 年起，櫻島開始明顯出現松樹枯死現象，2000 年後災情迅速擴大，並逐漸成為媒體關注的焦點。然而，在 1987 年至 1993 年間，櫻島並未出現松樹大規模集體枯死的情形。松材線蟲病害係由松材線蟲引起的松樹萎凋病害，一般而言，線蟲需藉由天牛等媒介昆蟲作為「運輸者」，方能侵入新的寄主。因此，1994 年後櫻島新發生的病害，極可能是線蟲自島外侵入所致。儘管當時受害規模仍小，且僅侷限於局部地區，但隨著災情於 1997 年逐漸擴大，鹿兒島縣林業試驗場（現為鹿兒島縣森林技術綜合中心）、森林綜合研究所九州支所，以及鹿兒島大學農學部森林保護學研究室遂展開聯合研究，從媒介天牛、線蟲、松樹生理狀況及菌根菌等多層面切入，系統性探討櫻島松材線蟲病害之發生機制與擴散過程。

回顧歷史資料，自 1970 年代末至 1980 年代初期，與櫻島相鄰的垂水市推估已有約 2,500 至 3,000 立方公尺的松樹枯損量；相較之下，櫻島地區每年被害量僅在 10 立方公尺以下，規模相對有限。其後至 1986 年，枯損量仍維持低水準，且 1987 年至 1993 年間完全未出現被害紀錄；然而，1994 年在櫻島西南部赤水、野尻及持木三地，首次出現 35 立方公尺黑松枯損。

根據鹿兒島縣統計資料，1995 年被害量略降至 18 立方公尺，但 1996 年增至 101 立方公尺，其後黑松枯損量持續上升，並於 2001 年急遽增加至 13,400 立方公尺，首度突破一萬立方公尺，顯示被害規模呈現指數型成長趨勢。災情於 2004 年達到最高峰，枯損量高達 25,800 立方公尺，此後，被害量逐年下降，2009 年降至 12,400 立方公尺，2010 年更驟減至 550 立方公尺，之後持續維持在極低水準；至 2016 年僅剩 4 立方公尺，顯示松材線蟲病害在櫻島地區所造成的枯損已幾近終息。

如同日本各地松材線蟲病害之案例，櫻島地區的枯損亦呈現由大徑木最先受害的典型模式；當大徑木幾近全數枯死後，被害才逐漸轉移至小徑木。就整體櫻島而言，約至 2006 年前後，島內大量生育、胸高直徑約 30 公分、樹高接近或超過 20 公尺之黑松大徑木，多數已因松材線蟲病害而枯死，其後受害對象遂轉向尺寸較小之黑松個體。因此，2005 年以後被害量之減少，與可成為松材線蟲及媒介天牛侵害對象之黑松大徑木數量顯著減少，甚至幾近消失，具有密切關聯。至 2010 年，大徑木幾乎消失後，被害量急遽下降，此一現象顯然反映出枯死木株數大幅減少所致。

鹿兒島大學森林保護學研究室曾根晃一教授及其研究團隊，根據上述調查結果，查看櫻島自 1994 年以後的松材線蟲病害歷程，劃分為以下五個階段：

- (1) 侵入與定著期 (1994 ~ 1998 年)
- (2) 擴大期 (1999 ~ 2002 年)
- (3) 高峰期 (2003 ~ 2006 年)
- (4) 衰退期 (2007 ~ 2009 年)
- (5) 終息期 (2010 年以後)

此外，在曾根晃一教授帶領下，研究團隊於櫻島島內 8 處地點進行黑松林分的長期調查，其中包括可眺望櫻島火山北岳的湯之平樣區。該樣區位於京都大學火山觀測所前方，為櫻島島內標高最高之樣區之一，原為林冠幾近鬱閉之黑松林分，至 2003 年以前，該樣區幾乎未見明顯松材線蟲病害；然而自 2004 年起，病害迅速擴大，林冠疏開度顯著增加；至 2007 年，多數黑松大徑木已因枯死或病害除伐而消失。



圖 6 多數黑松大徑木已因枯死或病害除伐而消失

在大徑木 (胸高直徑 ≥ 20 公分、樹高 ≥ 10 公尺) 方面，1997 至 1999 年間未出現枯損株數；2000 至 2003 年間僅小幅波動 (1 ~ 4 株)；至 2004 年枯損株數驟增至 32 株，並於 2007 年達到高峰 (46 株)。隨著 2007 年後大徑木多被除伐，枯損株數於 2008 年降至 6 株，2011 年僅 1 株大徑木枯死。至於小徑木 (胸高直徑 < 7 公分、樹高 < 5 公尺)，2006 年首次確認枯死情形，共 37 株；2007 年降至 11 株，其後逐年下降，至 2012 與 2013 年均未再觀察到枯死木。

整體而言，湯之平樣區呈現「發生時間較晚，但擴大迅速」之特徵，當大徑木大量消失後，被害短期內轉移至小徑木，最終隨著宿主資源減少而趨於終息。與其他調查地點相比，其病害進程顯示出明顯之時間差異及立地條件差異，亦反映出林分結構與宿主資源動態對松材線蟲病害發展之關鍵影響。

松材線蟲病害防治措施

日本已將原本分散之松材線蟲病相關防治法規加以整合，統一納入《森林病害蟲等防除法》，鹿兒島縣亦依據該法制定「松材線蟲病被害對策事業推動計畫」，作為推動各項防治措施之依據。於計畫擬定過程中，係根據被害發生情形以及松林所具公益性功能之重要程度，劃定必須優先實施防治對策之區域，並依其性質加以分類，以提升資源配置與防治成效。

松材線蟲病害之防治對策，大致可區分為「預防措施」與「撲滅措施」兩大類，無論屬於何種措施，均可依其主要作用對象分為：以松材線蟲為目標、以媒介昆蟲（天牛）為目標，或以松樹本身為對象之對策；而各類對策在技術層面上，又可細分為物理性、化學性、生物性及經營施業性等方法。

在預防措施方面，主要包括：

- (1) 以天牛成蟲為對象之防治：實施殺蟲劑航空噴灑或地面噴灑，以降低媒介昆蟲族群密度。
- (2) 以樹體內線蟲為對象之防治：施行殺線蟲劑樹幹注入，以阻止線蟲在樹體內繁殖與擴散。

至於撲滅措施，則著重於感染源之清除與媒介昆蟲之消滅，主要包括：

- (1) 被害木伐倒與截斷處理：以阻斷天牛羽化與擴散。

- (2) 伐倒後燻蒸處理（伐倒驅除）：透過藥劑燻蒸殺滅木材內之天牛幼蟲與線蟲。

- (3) 特別伐倒驅除：將伐倒並截斷之被害木加以破碎或焚燒，徹底消除感染源。

上述撲滅手段在實務上兼具雙重效果，不僅能有效消滅媒介昆蟲，亦同時達到清除線蟲之目的。此外，尚有屬於經營施業層面之樹種轉換措施，即將作為感染源之松樹立木伐除，並改植非松樹種，以降低整體林分對松材線蟲病之敏感性。另一方面，日本亦積極開發具抗病性之松樹品種，例如，鹿兒島縣已成功育成黑松抗病品種，並將其應用於海岸林等僅適宜松樹生長之立地環境，以兼顧防災功能與病害管理需求。

綜合而言，日本及鹿兒島縣之防治策略，係透過法律制度、區域分級管理及多元技術手段相互配合，形成整合性之松材線蟲病害防治體系。🌿



謝誌

感謝鹿兒島大學農學院
環境共生科學林政學研究室
奧山洋一郎助理教授
提供諸多協助及接受訪談。