

出國報告（出國類別：考察）

日本火山活動觀測與預警考察

服務機關：經濟部中央地質調查所

姓名職稱：李柏村技士、洪國騰技士

派赴國家：日本

出國期間：2019/8/18~25

報告日期：2019/11/20

摘要

本次參訪的九州三大火山區各有不同活動與致災型態，對於廣泛認識各種火山的不同噴發典型與災害態樣很有幫助。雲仙岳火山各方面條件皆與台灣大屯火山非常相似，**是研究評估大屯火山災害類型與致災潛勢相當合適的類比案例。**

在阿蘇市役所的參訪過程，我們認知到**地方機關與專業人士密切合作制定嚴謹的火山防災計畫與周全的防災地圖集是所有火山防災工作的關鍵基礎**，且官民配合定期實施大型聯合防災演練驗收工作成效，並使民眾習於災害應變相關措施，在火山災害發生時才能有效避免傷亡。

在櫻島火山的參訪中我們學到**預警蒸氣噴發之關鍵在於監測點位是否足夠靠近噴發點**，越靠近噴發點越能提前偵測到細微地表變形。另外，**「預測噴發發生位置比預測噴發時間來得重要」**，這也顯現詳盡火山地質調查的絕對重要性。

目 錄

一、	考察目的	1
二、	考察成果	2
三、	心得及建議	27

一、 考察目的

台灣北部的大屯火山群與近岸的龜山島為休眠中的活火山，然而歷史上未曾有噴發活動紀錄，近年中研院發表的研究成果顯示大屯火山群與龜山島的岩漿庫可能仍然存在於地殼內，其潛在的威脅性因此逐漸受到政府與民眾重視，由於 2017 年災防法的修訂將火山災害納入適用範圍，法規要求中央與地方政府應增訂對應火山災害之災防計畫，中央氣象局遂著手研擬國內的火山警報分級制度，同時配合災防計畫需要，中央機關如科技部、經濟部等應投入火山災害潛勢風險評估與災害圖資研製工作，上述各項工作皆須仰賴確實的火山災害調查與治理經驗，然而台灣的火山欠缺近期活動的詳細地質紀錄，故台灣火山的災害情境想定(如宋聖榮 2007 及中興工程顧問公司 2019 所提出)尚無確切可靠的學理基礎與實證支持。由於國內缺乏面對火山災害的實際經驗，對應火山災害情境之災害預警機制就難以建立，故我們應師法火山監測與災害治理經驗豐富、基礎研究扎實的鄰近國家如日本、新加坡、印尼等之火山監測體系與災害預警機制，以彌補國內經驗的落差。

二、 考察成果

本次考察重點在於就近觀察日本火山監測體制的運作及災害預警機制的設計，行程安排至日本九州地區三大火山地區－雲仙火山、阿蘇火山、櫻島火山進行研習，主要參訪對象包括火山災害紀念場館、火山監測/防災/教育單位、火山觀測設施以及火山監測防災專家，詳如表 1。

表 1、出國行程

行程說明			
預定起訖日期	天數	到達地點	工作內容簡述
108/8/18	1	日本九州島原市	啟程:台北→日本福岡→島原市
8/19-20	2	島原市	參訪雲仙岳火山與災害紀念館
8/21-22	2	熊本市	參訪阿蘇火山博物館與阿蘇市役所
8/23-24	2	鹿兒島市	參訪櫻島與櫻島火山研究中心
8/25	1 (共 8 天)	台北	回程:日本鹿兒島→台北

雲仙火山位於九州北部長崎縣(圖 1、2)，是由一連串不同時期(15 萬年前至今)噴發的獨立熔岩丘交互疊合而成的火山丘群(圖 3)，雲仙火山歷史記載的噴發活動有 1792 年熔岩噴發(引發前緣的眉山山崩，崩落塊體滑入有明海形成超大海嘯災害，估計在島原、肥後與天草地區造成一萬五千人死亡)，以及 1990-1995

年間的火山碎屑流噴發(1991 年的火山碎屑流發生規模與影響範圍超出政府預想，噴發後位於觀測點的人群逃生不及，造成包括記者、學者專家、學生、警消、司機等 43 人死亡、9 人輕重傷)。

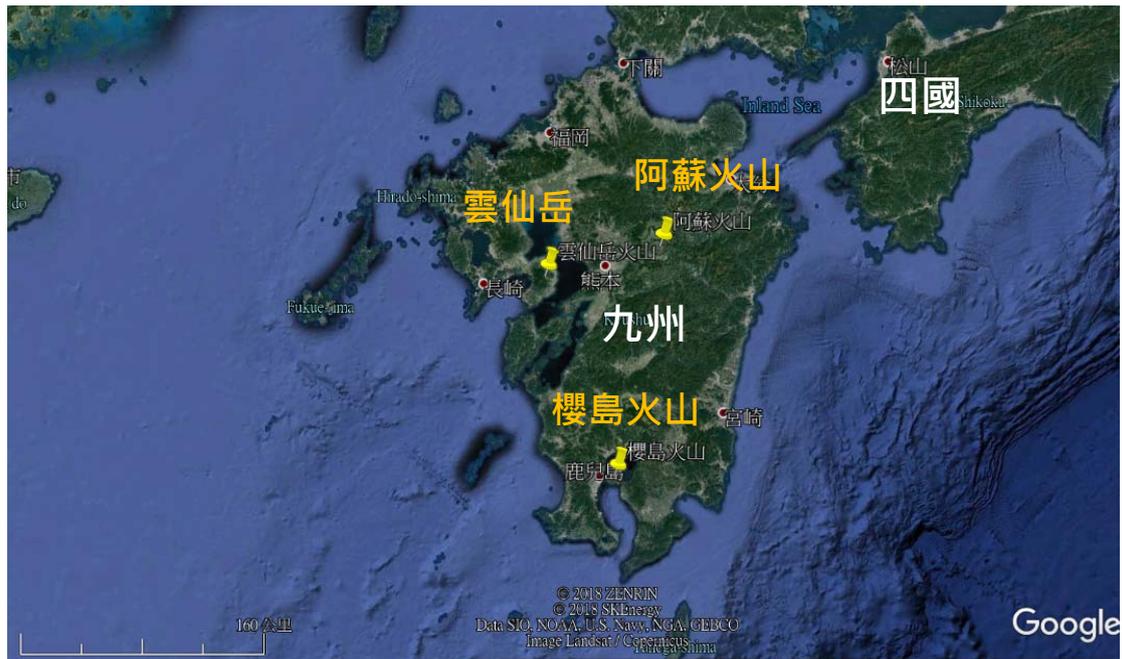


圖 1、日本九州地區三大火山(雲仙火山、阿蘇火山、櫻島火山)，位置如黃色圖釘點



圖 2、日本九州島原半島地圖・雲仙岳位於島原半島正中心



圖 3、雲仙火山立體地質圖，不同顏色代表不同時期噴發之火山產物，視角向西

(圖片來源:Geological Survey of Japan, AIST)

為了解火山噴發活動的前兆、噴發過程、噴發相關災害的類型與特徵，我們參訪雲仙岳災害紀念館(圖 4)，館內詳細記錄了 1792 年及 1990-1995 年間火山噴發事件的歷史紀錄與活動歷程，並以各種實驗或災害現場受損物件搭配火山學理，解說各式火山災害對環境的衝擊或影響，展出內容除了靜態展品外，還有動態展示的噴發影像紀錄與噴發事件動畫模擬影片播放以及介紹 1792 年噴發事件之自動化人偶戲劇場(圖 5)，解說內容多元生動且易於理解，對於推廣民眾防災教育應該成效甚佳。



圖 4、雲仙岳災害紀念館正面入口

ようこそがまだすドームへ

1990年11月より約5年間にもおよぶ雲仙普賢岳の噴火。この地で何が起き、人々はどのように乗り越えてきたか。自然の驚異と災害の教訓を風化させることなく後世へ残しながら、火山や防災、ジオパークまで、幅広く学ぶことができる「がまだすドーム」として2018年4月にリニューアルしました。

1 平成噴火ジオラママッピング

約5年に及ぶ噴火災害の中で、火砕流や土石流の被害がどれくらい被害に及んだのかをプロジェクトジオマッピングで表現します。



2 雲仙岳スカイウォーク

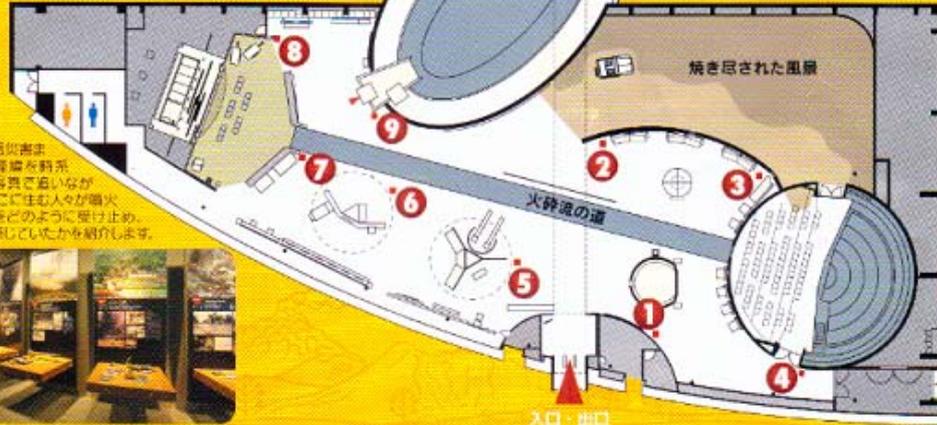
雲仙岳周辺を、ドローンと撮影。平成新山周辺で見られる溶岩ドームの独特な景観や火砕流を被災した日本有木園小学校など、空中散歩をするような趣向をご用意いただけます。



火砕流の道

3 その時何が、災害までの経緯

噴火災害までの経緯を時系列の写真で追いつながら、そこに住む人々が噴火災害をどのように受け止め、また感じていたかを紹介します。



4 平成大噴火シアター

火山帯、北西流の体験型シアター「過去へタイムトリップ」(あの時「未来へ」の3本を新たに追加、冒険半島の盛り立ちから、災害へ準備までをドラマチックに再現します。



5 火山科学

日本や世界の様々な火山における守り方や、噴火や土石流、火砕流のしくみなど、火山科学に関することを様々な体験型展示で学ぶことができます。



6 災害への備え

雲仙岳で発生された「無人化施設」について、ゲーム感覚で準備を体験しながら仕組みを理解できる体験コーナーです。



7 島原大変劇場

1792年の噴火で起きた島原の大崩壊と津波の災害について、音効果に表現した立体的な展示です。



8 火山のめくみ

火山は海原や作物、水、道標などの大地のめくみをもたらします。その大地のめくみを映像・アトラクション装置を使って紹介します。



9 溶岩の庭

火砕流や土石流で運ばれてきた巨大な溶岩や雷岩の江戸時代の溶岩、溶山の溶岩を展示いたします。



圖 5、雲仙岳災害紀念館内部設施簡介

雲仙火山的災害型式以火山碎屑流與火山泥流為主，火山碎屑流災害的應對方式以設想發生情境、預測災害影響範圍、針對高風險區域進行預先迴避撤離為對策，故需預判災害可能發生地點、設定噴發規模並劃定災害潛勢圖(圖 6)與地區防災避難地圖(圖 7)。火山泥流基於災害特性相當於土石流，故可以事先以工程手段治理，災害紀念館內展示的簡易模擬實驗清楚地演示藉由河道上設置的砂防堰堤與兩側導流堤，可以有效地將火山泥流(土石流)控制在河道之內而不溢流致災(圖 8)。

溶岩ドームの崩壊予測

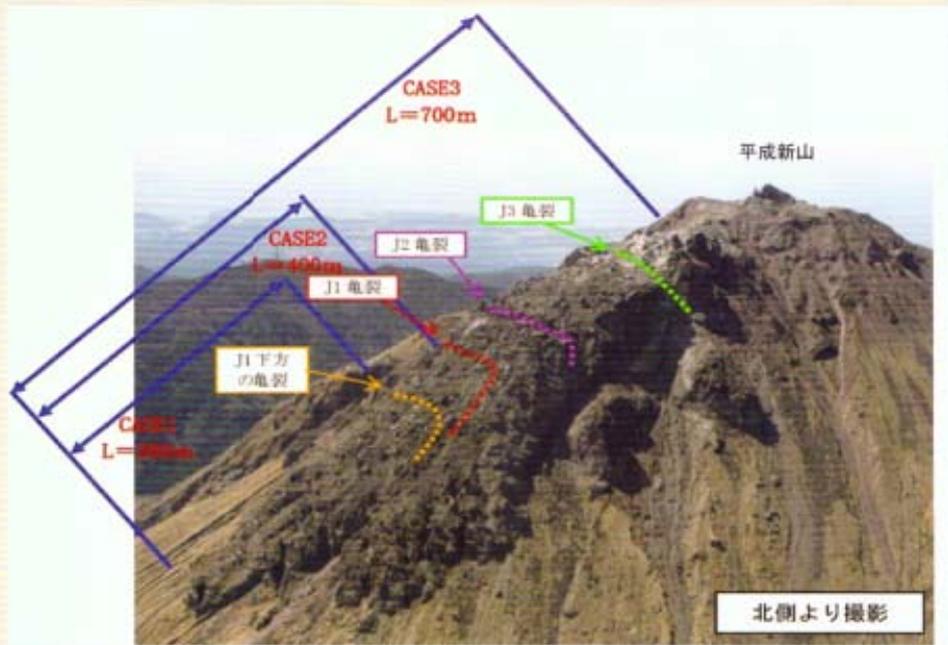


図2: 溶岩ドームの崩壊規模イメージ

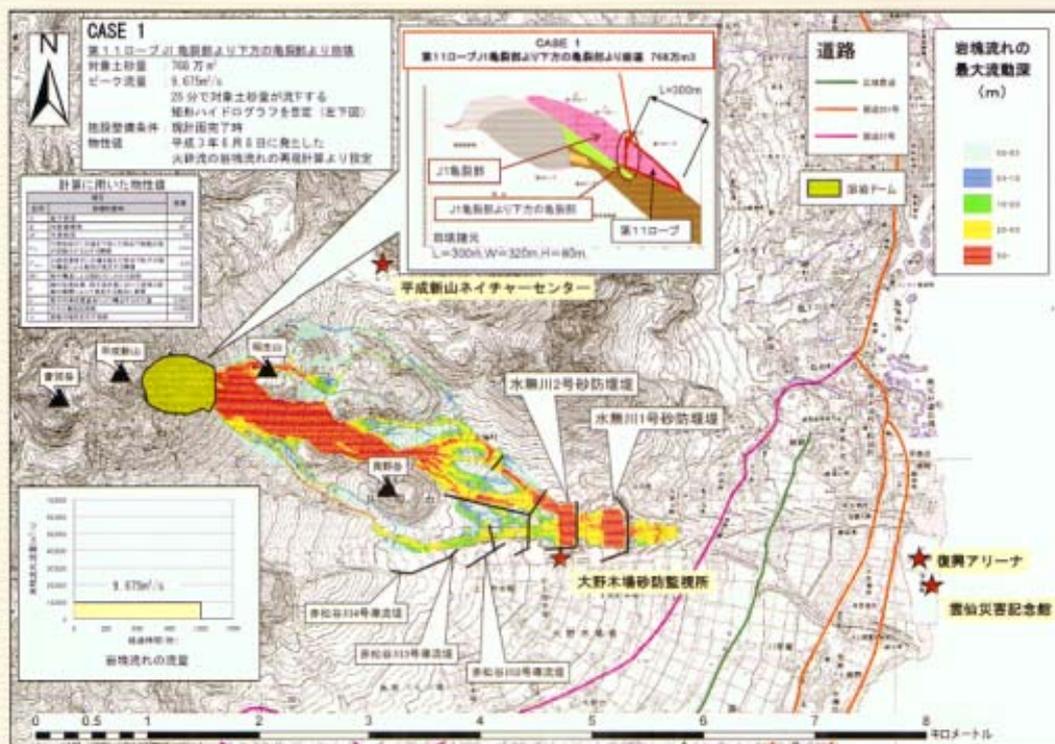


図3: 溶岩ドーム崩壊による影響範囲 (CASE1)

圖 6、雲仙岳平成新山溶岩丘崩壊之火山碎屑流模擬結果(取自雲仙復興事務所)



圖 7、雲仙岳火山之町級防災地圖，圖中標示行政區劃分(黑線)和警戒區域(紅線)。原圖保存於雲仙岳災害紀念館

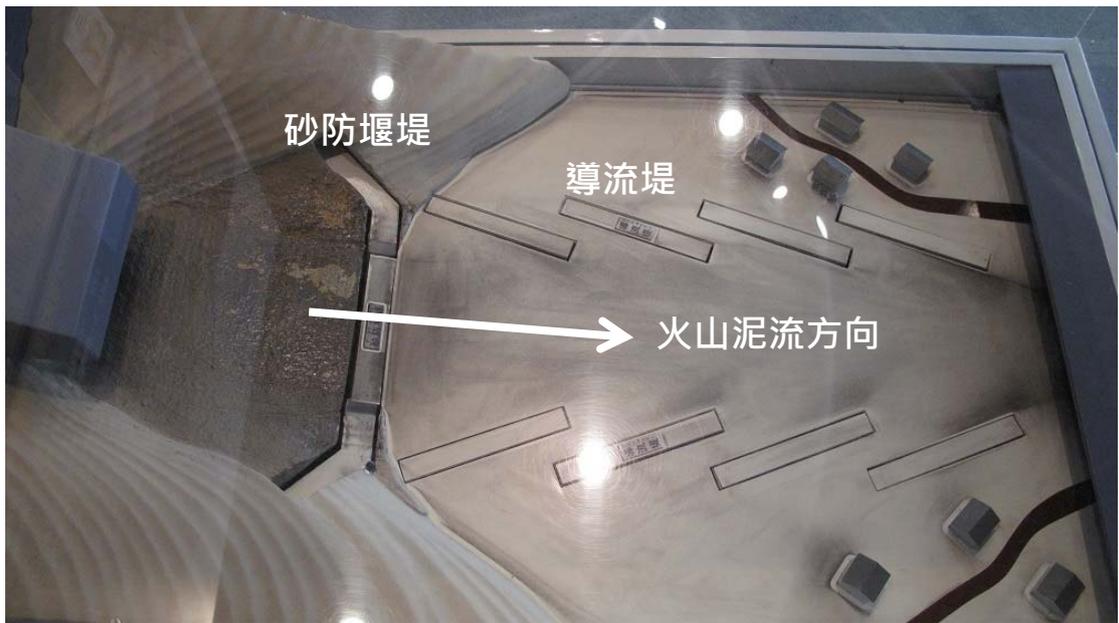


圖 8、雲仙岳災害紀念館內展示火山泥流(土石流)整治原理之簡易實驗裝置

島原當地留存不少雲仙岳火山泥流災害痕跡，如家屋保存公園就將 1992 年 8 月間遭雲仙岳火山泥流侵襲的傳統日式住宅遺址完整保留(圖 9)，對於民眾了

解泥流災害的致災形式與對居住環境的衝擊影響具有重要的歷史與教育意義。雲仙岳目前的狀態與台灣大屯火山非常相似，兩者皆處於休眠狀態，雲仙岳西側有旺盛的熱液活動，在地表形成許多噴氣口與溫泉，當地稱為雲仙地獄，是當地著名的溫泉觀光景點，經由學界多年研究，日本學者得能清楚描繪雲仙火山底下岩漿庫、岩漿通道、岩漿熱液作用，以及地表溫泉成分演化之間的關係(圖 10)。雲仙火山的地史與溫泉成因的原理以圖文並茂的方式展示於雲仙地獄遊客中心 2 樓，對於火山與溫泉成因學理有興趣的人士而言是學習知識的寶庫。



圖 9、島原市家屋保存公園內保留受到火山泥流侵襲之日式民宅，掩埋高度達一層樓高

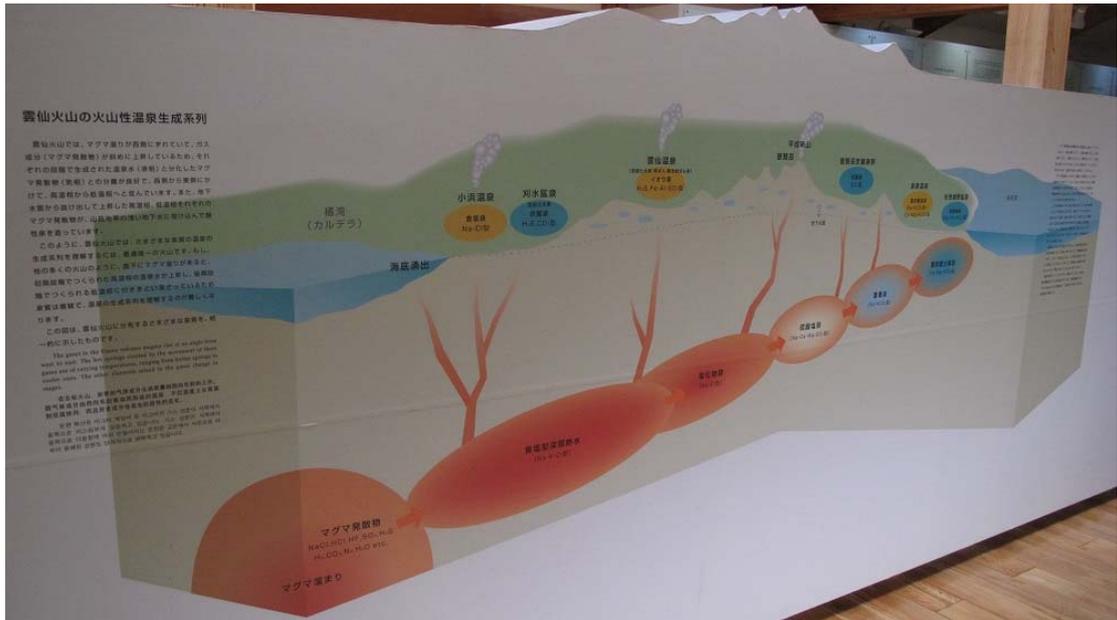


圖 10、雲仙火山之火山性溫泉生成系列示意圖，攝於雲仙地獄遊客中心二樓

阿蘇火山形成於 27 萬年前，過去曾經歷 4 次超大噴發，岩漿噴發後的地盤破裂下陷形成東西寬 18 公里、南北長 25 公里的巨大破火山口(圖 11)，最近一次也是最大一次噴發發生於 9 萬年前，噴發之火山灰遍布全日本。阿蘇火山曾發生過的火山災害形式包括火山碎屑流、火山噴石、熔岩流、降灰、火山泥流等(圖 12)，但歷史紀錄的火山災害則是以小規模火山碎屑流與降灰為主。

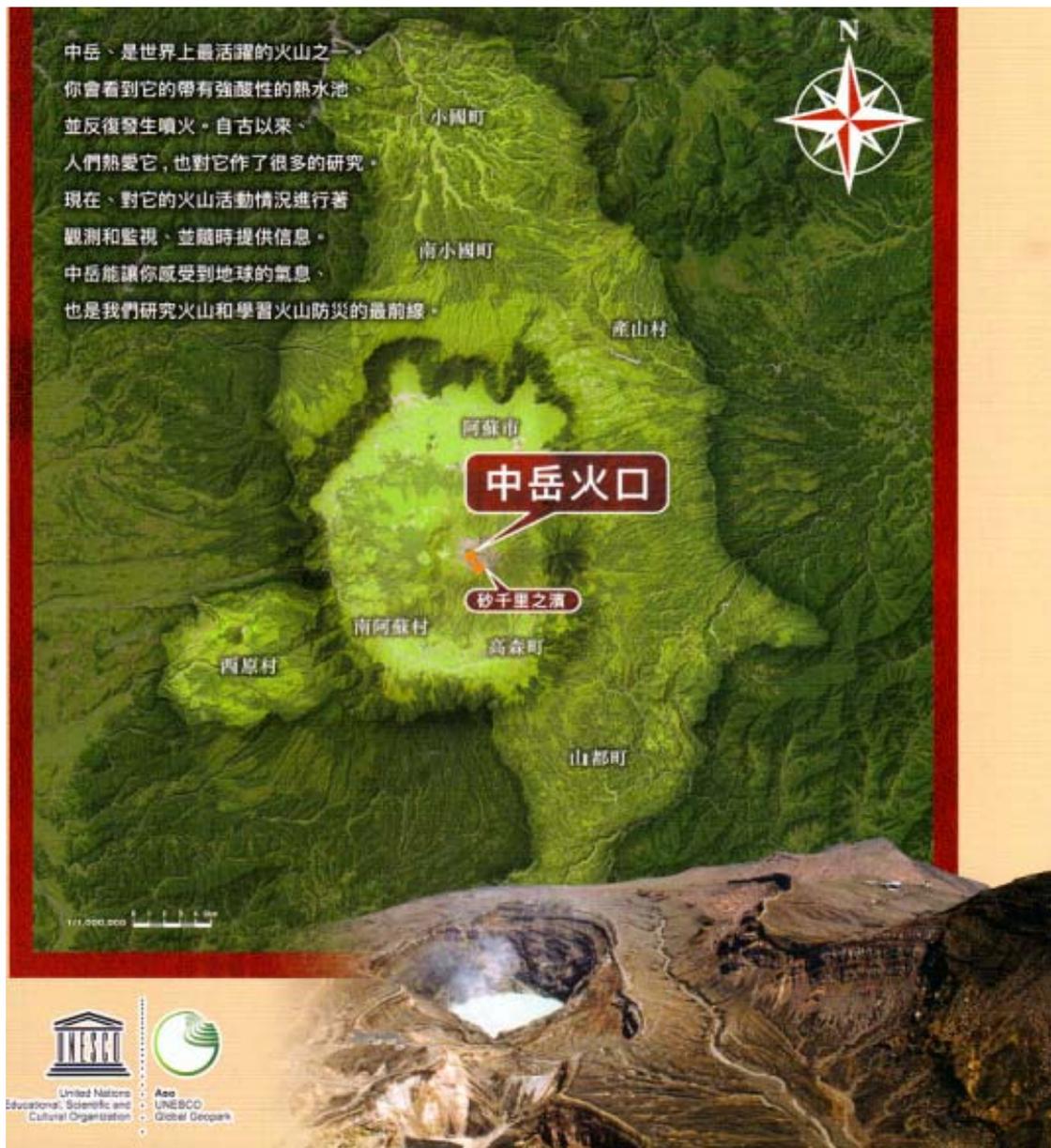


圖 11、彩色衛星影像展示阿蘇火山破火口的巨大規模，破火口中有數個火山，目前噴發中的火山是中岳火口(取自阿蘇聯合國教科文組織地質公園簡介)

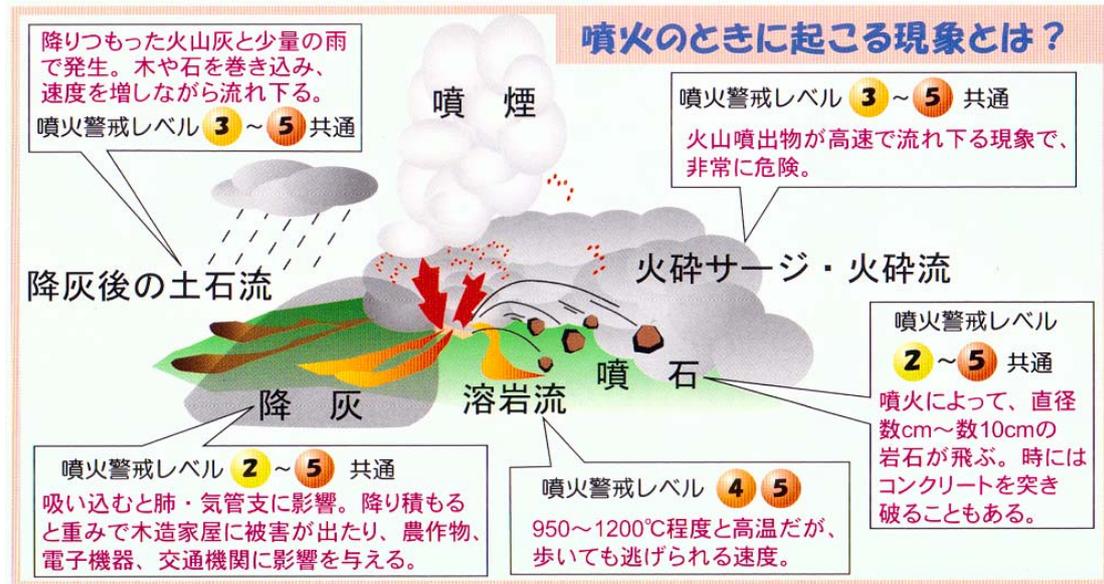


圖 12、阿蘇火山噴發災害示意圖(取自阿蘇山火山防災圖資・熊本縣土木部砂防課發行)

位於噴發中的中岳火山口附近的阿蘇火山博物館整合了有關阿蘇火山的調查研究、防災、歷史文化保存等各面向功能(圖 13)·是阿蘇火山活動研究與學習防災的最前線·同時也是阿蘇九重國立公園與阿蘇地質公園的據點。館內介紹阿蘇火山的地形地質、生態環境、歷史民俗·還有定期更新的科普新知展覽。在阿蘇火山博物館顧問鍵山恆臣博士(京都大學阿蘇火山觀測所退休教授)的導覽下·我們在現地考察約二千年前火山岩漿噴發形成的火山渣錐一米塚(圖 14)·至內牧溫泉街與農村公園等地實測地表水的 pH 值與導電度以了解火山地區水體電性特徵與成因(圖 15)·最後前往阿蘇山上事務所參觀阿蘇火山監測第一線工作據點的運作(圖 16)·阿蘇山上事務所由日本氣象廳設立運作·位於阿蘇火口入山管制點(圖 17)·日本氣象廳福岡氣象台在此派駐人員全天候輪值監測火山活動·

管制點閘口設有火口管制等級燈號(圖 18) , 以管制人員車輛進出 , 管制強度依火山活動警戒狀況分為四級:全面開放、部分開放、全面管制、禁止進入 , 我們參訪時阿蘇火山活動狀態正處於最高警戒等級的禁止進入燈號 , 故無法進入火口周遭區域參觀。



圖 13、阿蘇火山博物館 , 同時是阿蘇九重國立公園與阿蘇地質公園的據點 , 館內介紹阿蘇的火山活動、地形地質、動植物、歷史民俗 , 以及日本與世界的火山



圖 14、位於阿蘇火山破火口內的米塚，底面直徑約 380 公尺，高度約 80 公尺，
為二千年前岩漿噴發所形成的火山渣錐



圖 15、阿蘇火山博物館顧問鍵山恆臣博士在阿蘇神社附近實測地表水導電度，
表示地表水體導電度的空間分布趨勢與阿蘇火山地區地下水流場有關

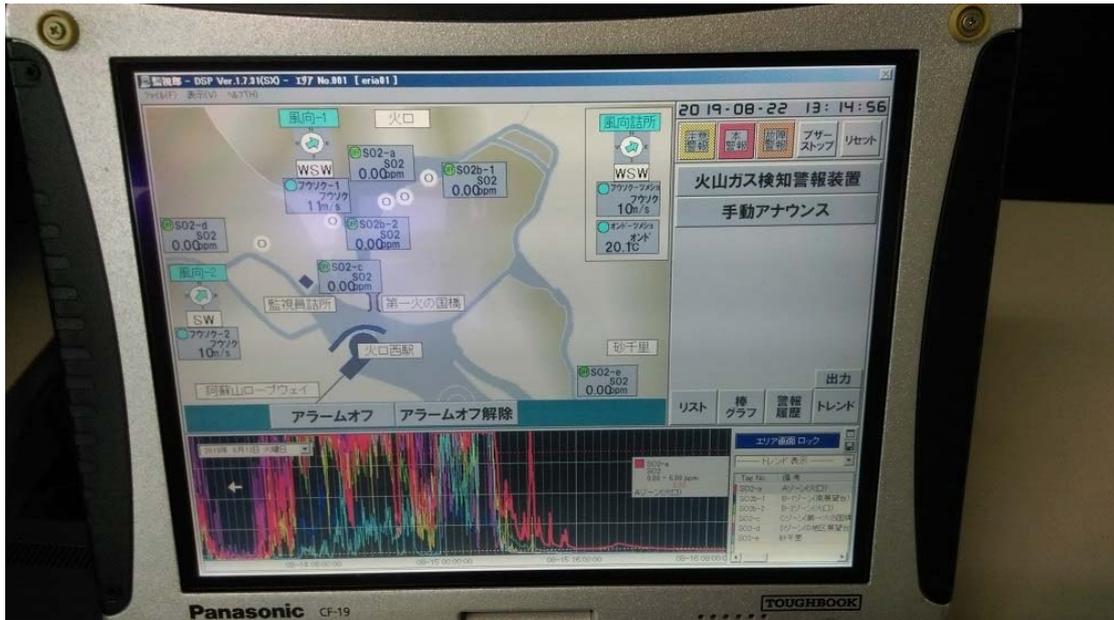


圖 16、阿蘇山上事務所由日本氣象廳福岡地區氣象台人員輪值駐守，事務所內
 監測螢幕顯示活動中的第一火口周遭區域之二氧化硫即時濃度與對應警
 報等級



圖 17、阿蘇火山中岳火口入山管制口，閘門後方右側建築物即為阿蘇山上事務
 所



圖 18、阿蘇火山中岳火口入山管制口旁設置的阿蘇火山火口規制情報燈號，參訪當日燈號顯示為禁止進入狀態

在鍵山博士居中牽線之下，我們得以拜會阿蘇市役所(阿蘇市政府)，市役所防災課人員向我們簡介阿蘇火山災害紀錄、警戒等級設定、火山防災會議協議會的組成與功能、火口安全管制措施、定期大型聯合防災訓練以及防災地圖應用等地方政府執掌之火山防災相關業務資訊，我們也向列席之市役所總務部、防災對策室、阿蘇山上事務所等各部門負責人請教地方政府在火山防災扮演的角色。

依據日本 1967 年施行的災害對策基本法，阿蘇火山周邊的市、町、村層級機關共同成立阿蘇火山防災會議協議會，負責制定火山防災計畫。該協議會固定成員來自市、町、村機關、地域振興局、警察署、環境省九州地方環境事務所、氣象廳地方氣象台及火山防災聯絡事務所、阿蘇廣域行政事務組合消防本部、自然公園、紅十字會支部、國土交通部九州地方整備局等各公私部門之首長或最高主管，協議會召集委員制定防災計畫後，由各地方機關依計畫內容確實執行，氣象廳一旦發布火山警戒等級提升，市、町、村機關即應做出相關通報、人車管制、人員疏散避難等必要措施。因應防災需要，阿蘇市政府編製了各式火山防災地圖，分別設定不同警戒等級、不同災害類型之安全管制範圍(圖 19)，以行政區為單位進行避難疏散指揮。為確保在火口周遭區域活動的遊客、研習人員、居民等人員安全，市政府另聘任火山災害學識經驗豐富的專家組成阿蘇火山安全對策專門委員會，負責研擬、檢討火口周遭噴發活動災害監測與管制措施，主要監測標的是空氣中二氧化硫濃度(圖 20)。



圖 19、阿蘇火山噴火警戒 2 級(火口周邊規制—對應小規模噴火)之火山防災地圖

圖，紅圈代表預測噴石影響範圍，藍內圈代表預測火山降灰厚度 10 公分

以上範圍，藍外圈代表預測火山降灰厚度 5-10 公分範圍



圖 20、阿蘇火山中岳火口周邊管制圖，依空氣中二氧化硫濃度高低區分四級警報，最高級紅燈(5 ppm 以上)為立即撤離避難

研習行程最後在鹿兒島的櫻島火山研習火山活動觀測策略與災害治理(圖 21)· 首先至京都大學防災研究所櫻島火山活動研究中心拜訪負責人井口正人教授(兼日本火山學會會長)· 我們在井口教授的帶領之下參觀櫻島火山周遭主要觀測設施(圖 22)· 其中最準確可靠也最具特色的觀測方法是火山觀測坑道內的三向水平式水管傾斜計與伸縮計(圖 23、24)· 傾斜計的變化可精確地反映岩漿上升至噴發所產生之細微地表脹縮變形· 是預測櫻島火山噴發最有效的工具。



圖 21、櫻島火山位於九州南部的錦江灣，錦江灣是個巨大破火山口(始良破火山口)，形成於 29,000 年前超大噴發事件，櫻島約在 26,000 年前開始形成



圖 22、京都大學櫻島火山活動研究中心主任井口正人教授講解櫻島黑神觀測所
周遭火山觀測設施

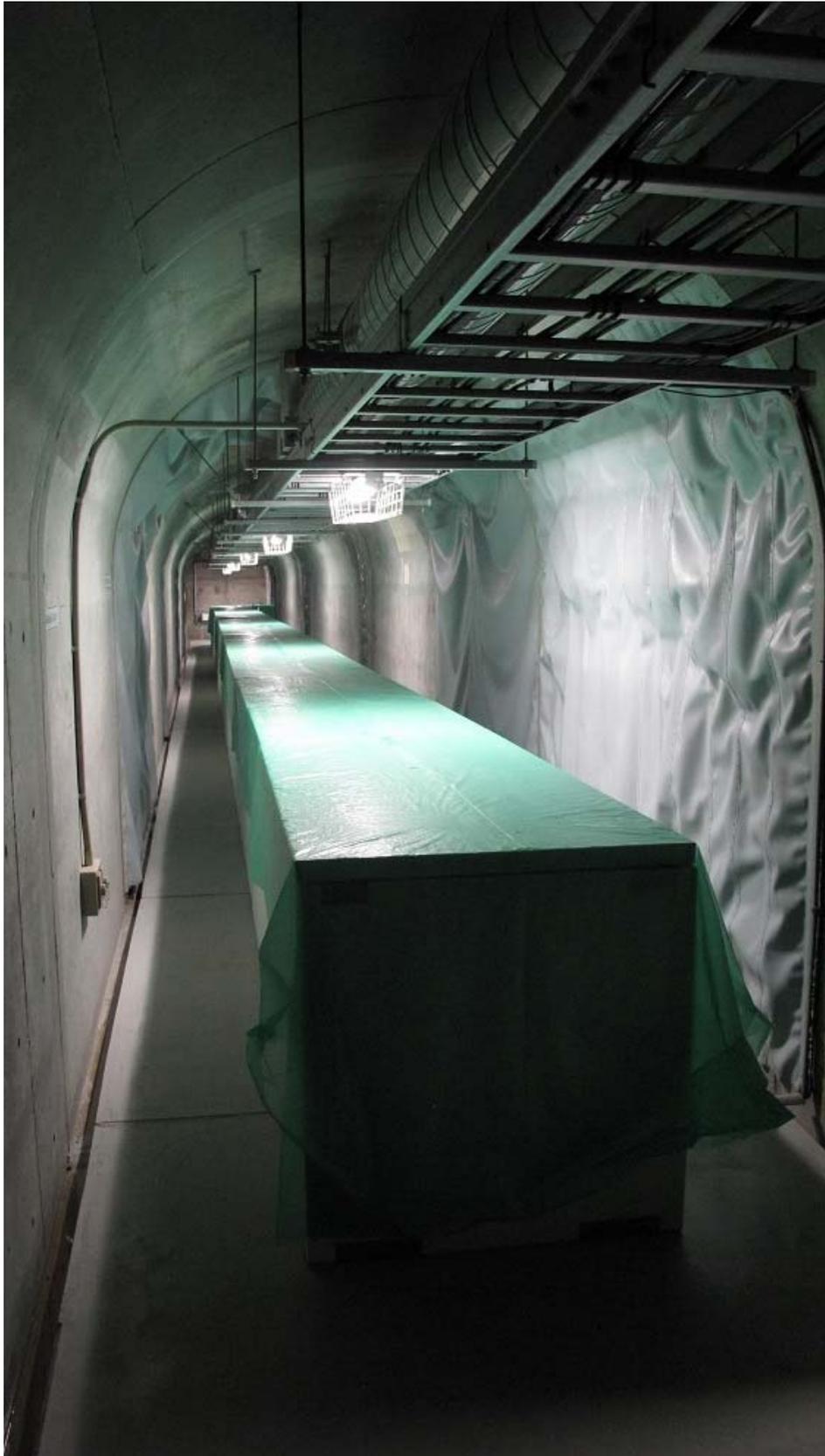


圖 23、櫻島火山觀測坑道內有三組不同方向的傾斜計與伸縮計(安裝於圖中長條

形箱子內)，長度 28 公尺，三組構成一個觀測三角形



圖 24、櫻島火山有村觀測坑道之模型，坑道結構為水平三角形，每一邊皆有一組水管傾斜計與伸縮計，攝於櫻島國際砂防中心

櫻島的另一參訪重點是櫻島國際火山砂防中心(SABO)(圖 25)，SABO 隸屬國土交通部九州地方整備局，其成立是緣於櫻島火山頻繁噴發產生許多土砂，大量堆積於坡面上與河道內，因櫻島火山周邊河道短促且經常無水，一旦下雨就會沖刷坡面形成土石流(火山泥流)，造成下游地區嚴重災害，故日本政府擬定長期土石流對策計畫，投入大量經費著手整治河川、建造砂防設施與災害監視系統，並成立 SABO 作為整合火山砂防資訊、監測整治研究、教育訓練等用途的多功能展示營運中心。在 SABO 展示的資訊中最特別的是遠端遙控的無人機具施工技术應用，因火山噴發與土石流複合性災害極度危險，在火山活躍或多雨時期無法派出工程人員於邊坡或河道上施工，故日本研發出可遠端遙控的無人重機具，可迅速完成整治工作並確保人員施工安全(圖 26)。



圖 25、櫻島國際砂防中心(SABO)正面照，由櫻島渡輪站搭乘環島公車即可抵

達，入內參觀免費



SAKURAJIMA
Volcano

無人化施工

Unmanned construction

櫻島国際火山砂防センター
大隅阿久根国道事務所

大規模な噴火などの立ち入り禁止区域や危険箇所での施工や復旧活動のため、無人化施工の試験施工や緊急工事を実施しています。

For reconstruction works in restricted areas and other dangerous areas designated due to the potential impact of large-scale eruptions, experimental implementation of unmanned construction systems and emergency works are being conducted.

大型の無人化施工の専用機による黒神山の除石実施状況



昭和火口
既設監視カメラ
5.0m3級バックホウ
46t級置タンク
69t級ブルドーザー
土砂積み替場所
移動カメラ
無線受信局
無線送信機
作業車
避難車両

遠隔操縦ロボット「ロボQ」の除石実施状況

遠隔操縦ロボットは、市販の汎用油圧ショベルに簡単に装着でき、離れた場所から操縦できる技術です。



平成20年2月の昭和火口噴火を受けた、バックホウ用のロボQ、不整地運動車用のクワQによる緊急除石工事の様子

超遠隔操作試験の実施状況

より離れた場所から無人化施工ができるような超遠隔操作の試験も行っています。



桜島国際火山砂防センターから有村川を越え超遠隔操作試験の様子(平成24年度)

圖 26、火山災害高風險地區使用無人化施工技術進行緊急搶修或河道整治工程，操作人員在控制室遠端遙控重機具從事危險性施工，攝於櫻島國際砂防中心

三、 心得及建議

本次參訪的九州三大火山區各有不同活動與致災型態，對於廣泛認識各種火山的不同噴發典型與災害態樣很有幫助。以雲仙岳為例，雲仙岳火山的噴發中心較為分散，噴發熱區的遷移形成許多交疊火山錐與火山丘，地表裂隙帶發育為旺盛的熱液活動噴氣區，產生各種不同成分的酸性至中性火山溫泉，此種火山環境與台灣大屯火山非常相似。雲仙岳火山的主要災害類型為熔岩流、火山崩瀉流、火山碎屑流與火山泥流，大屯火山地表現存之噴發產物亦與雲仙岳火山近似，故**雲仙岳是研究評估大屯火山災害類型與致災潛勢相當合適的類比案例**，其相關觀測資料、噴發歷程與災害調查紀錄值得台灣火山監測相關單位如本所、氣象局、NCDR 等借鏡。

在阿蘇市役所的參訪過程，我們對於日本地方機關一般公務員的火山防災專業能力印象深刻，反映日本政府對於非火山災防專長的公務人員在職訓練相當扎實。除了有研究型大學投入人力經費協助火山監測相關研究，以及氣象廳各地氣象台專責監測人員隨時緊盯火山活動監測數據做出預警，**地方機關與專業人士密切合作制定嚴謹的火山防災計畫與周全的防災地圖集更是所有火山防災工作的關鍵基礎**，且官民配合定期實施大型聯合防災演練驗收工作成效，並使民眾習於災害應變相關措施，在火山災害發生時才能有效避免傷亡。

京都大學對於櫻島火山活動的監測預警能力是舉世聞名，在櫻島火山觀測權威一井口教授的提點下，我們對於火山岩漿噴發活動與蒸氣噴發活動的本質異同與火山監測的重要原則有更深認識，岩漿噴發與蒸氣噴發之機制不同，但兩者同樣具有地表變形特徵，只是蒸氣噴發引起之變化更細微而短暫，因此不易察覺。故**預警蒸氣噴發之關鍵在於監測點位是否足夠靠近噴發點**，唯有越靠近噴發點才越有機會提前偵測到細微地表變形，也因此井口教授特別提醒「**預測噴發發生位置比預測噴發時間來得重要**」，這也顯現詳盡火山地質調查的絕對重要性。