

題目名稱：火山炸了我知道！-海洋捎來的火山訊息

一、摘要：

2021 年 8 月，福德岡之場的海底火山爆發，同年 12 月開始，臺灣各地陸續發現由福德岡之場噴發的浮石蹤跡。2022 年 1 月中旬東加火山爆發，臺灣測站陸續收到大氣衝擊波，甚至不只臺灣，幾乎全球都有收到。並且在火山爆發後太平洋島嶼、日本及美國西岸皆發布海嘯警報。本次海嘯是較為特殊的氣象海嘯，氣象海嘯的初始波是由氣壓波動所引起，並由普羅德曼效應、淺化效應及港灣效應使浪高增加。經過計算大氣衝擊波的速率及海嘯傳遞速率，得知大氣衝擊波速率比海嘯傳遞速率快，可以由大氣衝擊波來預警氣象海嘯。我們分析福德岡之場及東加火山發現兩者差異，福德岡之場噴發沒有明顯氣壓衝擊波，也沒有造成海嘯災害，而東加火山爆發則沒有大量浮石。每個火山噴發的型態及是否造成海嘯皆有獨特性，從這些來自火山不同速率的訊號，可讓數千公里遠的我們得知爆發的事件。

二、探究題目與動機

今年年初時，我們在新聞上看到大量浮石漂流來臺。過了幾天後，剛好有幾位朋友提及此事，並且拿出他們撿到的浮石，這讓我們突然好奇心倍增，在這好奇心的推使下，我們利用閒暇時間看了一下其他報導，著手蒐集臺灣發現浮石的地點與時間順序，發現與海流及潮汐十分相關。不只如此，我們發現不是所有火山都會產生浮石，像是著名的東加火山爆發，沒有發現浮石的蹤跡，但卻有個難以判別並記錄的現象，那就是氣象海嘯，對氣象海嘯毫無認知的我們便開始了本次的探究。



在北海岸撿到的浮石照片

三、探究目的與假設

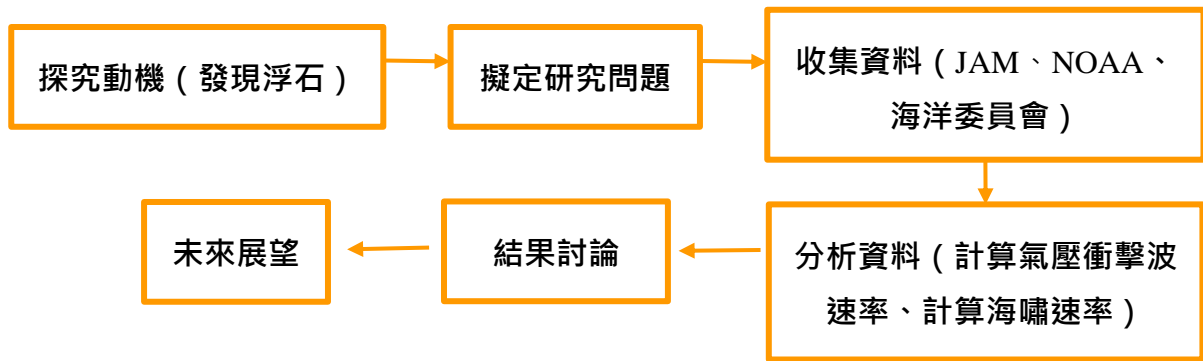
(一) 探究目的：

1. 臺灣各地發現的浮石從哪來？
2. 海底火山爆發一定有浮石、海嘯、氣壓衝擊波嗎？
3. 氣象海嘯是什麼？海嘯的機制是甚麼？
4. 氣象海嘯可以預警嗎？

(二) 假設：

1. 大量浮石是來自海底火山噴發，再經由海流傳送到臺灣。
2. 海底火山噴發有不同的類型，並非每次噴發都會形成大量浮石、海嘯及氣壓衝擊波。
3. 海嘯的成因應該不僅有海底地震所引發。
4. 氣象海嘯應該可以預警。

#### 四、探究方法與驗證步驟



##### (一) 浮石從哪裡來？

###### 1. 浮石的來源：

臺灣發現的浮石是從福德岡之場噴發。福德岡之場距離臺灣東邊約 2000 公里，屬於小笠原火山群的其中一個火山，於 2021 年 8 月 13 日噴發，並噴發出一個直徑約 1 公里的馬蹄形新島。

###### 2. 浮石的漂流路徑：

為了分析其路徑，我們至臺灣海洋委員會網站查詢監測浮石流向的觀測紀錄資料(火山浮石專區)，將臺灣海岸發現大量浮石的日期、地點整理如下表：

日期	發現大量浮石地點
110/11/29	屏東興海岸際、旭海岸際、臺東綠島岸際
110/11/30	屏東興海至旭海、臺東塔瓦溪北岸、綠島、蘭嶼
110/12/07	蘭嶼雙獅岩岸際、七星潭距岸 10 公尺、達仁溪口岸際、白沙灣岸際沙灘、大堀溪南岸沙灘、老梅沙灘、貢寮桂安岸際、草里漁港港內
110/12/08	新北馬崗漁港港嘴旁海面、花蓮港東方 3 哩、花蓮港東北方 14 哩、基隆潮境公園保育區海面、宜蘭烏石鼻海域
110/12/09	基隆港務警察總隊中隊碼頭前方、臺東大武東方 3.6 哩、新北澳底漁港內、宜蘭蘇澳東方 7 哩、花蓮康樂泊區
110/12/11	新竹港南風景區至新竹漁港外海 2 哩、屏東中澳沙灘、屏東美人洞沙灘、屏東漁福潮間帶、苗栗崎頂海水浴場、苗栗外埔安檢所北方 2.5 公里、新北龍洞外 0.6 哩、新北南雅外 1 哩、新北三貂角南方 41 哩
110/12/12	基隆彭佳嶼南方 16 哩、苗栗白沙屯沙灘、新北燭台嶼北方 0.8 哩、新北野柳北方 1.9 哩、苗栗外埔北堤 1.5 公里沙灘、苗栗外埔南堤岸際、基隆彭佳嶼東南方 16 哩
110/12/13	高雄西子灣南岬頭沙灘、高雄永新灣沙灘、台東七里橋岸際、苗栗西湖溪南岸、宜蘭新城溪口、澎湖崎頭後山岸際、澎湖電纜頭沙灘、基隆港西一碼頭、台東碇橋海

	灘
110/12/14	澎湖後寮沙灘、台東漁場泊區、高雄鳳芸沙灘、台東烏石鼻港區、宜蘭清水沙灘、宜蘭得子口溪、基隆外木山北方 0.7 哩、基隆和平島北方 0.8 哩、淡水河口外 1.8 哩、基隆潮境公園北方 0.6 哩、基隆水湳洞北方 0.6 哩、東長濱玉水橋岸際、新北台北港北北西方 15 哩、台東綠島南寮公墓岸際
(篇幅有限，此處省略了 12/15~01/22 的浮石資料)	
111/01/23	臺東知本溪出海口距岸 300 公尺海面
111/01/25	澎湖散崎港岸際

因篇幅所限，無法完整呈現我們整理的表格，完整檔案連結：

<https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-1vS8Xp5YVPBriF6PqOY7nW71SVMudZNaSb6QDTbi4fF1G0eDDhhevyihbUa2zKaXCy2sS6bsqksQTED4/pub>

我們將不同時間發現的地點一一標在 google map 上，並製作出影片（影片連結：

<https://youtu.be/MryNKv9EixY>）可以發現浮石是先到達臺灣的東部，再繞過南北兩端，最後到達西邊及離島。



### 3. 浮石的漂流平均速率：

若以臺灣東南方收到的浮石來算，利用 google map 求得的距離為 2116 公里，除以浮石噴發至抵達的時間為 108 天，所得浮石速率為每秒 0.23 公尺；若以臺灣東北方收到的浮石來算，利用 google map 求得的距離為 1973 公里，除以浮石噴發至抵達的時間為 116 天，所得浮石的漂流速率為每秒 0.20 公尺

### (二) 福德岡之場火山與東加火山的比較：

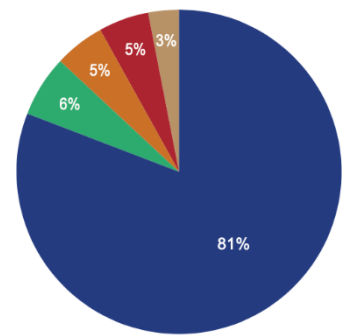
	噴發後的地景變化	臺灣收到的火山訊號	噴發位置	是否造成海嘯	板塊交界
福德岡之場	形成新島嶼	浮石	海平面下 25 公尺	否	菲律賓海板塊和太平洋板塊聚合處
東加	島嶼消失	火山氣體	海平面上 120 公尺	是	印澳板塊和太平洋板塊聚合處

### (三) 關於海嘯

#### 1. 海嘯初始波的成因：

由美國大氣暨海洋總署(NOAA)的統計資料可知，大部分的海嘯由地震引起(81%)，第二名是由地震造成的山崩(6%)，第三名是火山爆發(5%)及山崩(5%)，只有 3% 是其他因素，例如短時間的氣壓變化。

Distribution of confirmed tsunamis by generation mechanism



■ Earthquake  
■ Earthquake generated Landslide  
■ Volcanic Eruption  
■ Landslide  
■ Other

資料來源：NOAA

變

#### 2. 海嘯的機制：

因板塊擠壓造成海床變動，導致海水位移產生初始波，初始波因受到「大陸棚淺化」、「港灣效應」，兩種效應造成初始波波高增加，溯上陸地造成海嘯災害。

#### 3. 氣象海嘯(又稱氣壓型海嘯)是什麼？

當海底火山爆發時，噴出大量氣體造成段時間內氣壓劇烈變化，導致附近海水產生微量變化，再經過「普羅德曼共振」、「淺化效應」、「港灣效應」，多次加高海嘯波高。

(1)淺化效應：水深變淺，淺水波的波速會變慢，波長變短，波高增加

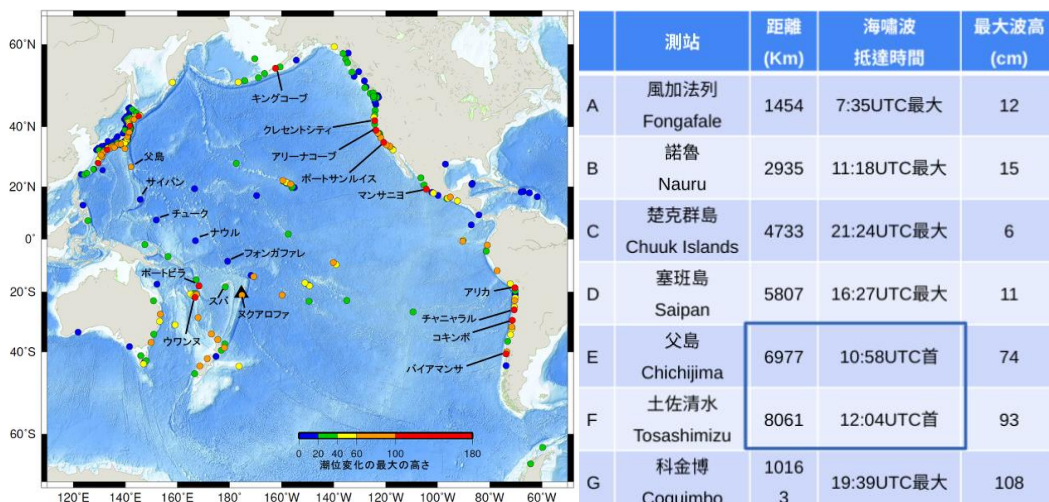
(2)港灣共振：傳入的長海波頻率與港灣傳出來的海波頻率相似產生了疊加效果

(3)普羅德曼共振：海波頻率與大氣波頻率相匹配，造成大氣與海嘯波波高同時增加。

#### 4. 一般海嘯與氣象海嘯的比較：

	一般海嘯	氣象海嘯
初始波形成原因	海床變動產生位移量	氣壓變化造成的海水波動
海波放大機制	淺化效應、港灣共振	淺化效應、港灣共振、普羅德曼共振

由東加火山造成的海嘯波高紀錄，發現大洋中波高大多小於 0.4 m，但遇島嶼或港灣而可能放大波高超過 1 m。



資料來源：日本氣象廳令和 4 年 1 月地震・火山月報 (防災編)、NOAA 海嘯波觀測紀錄

## 5. 海嘯波速率估算的方法及過程

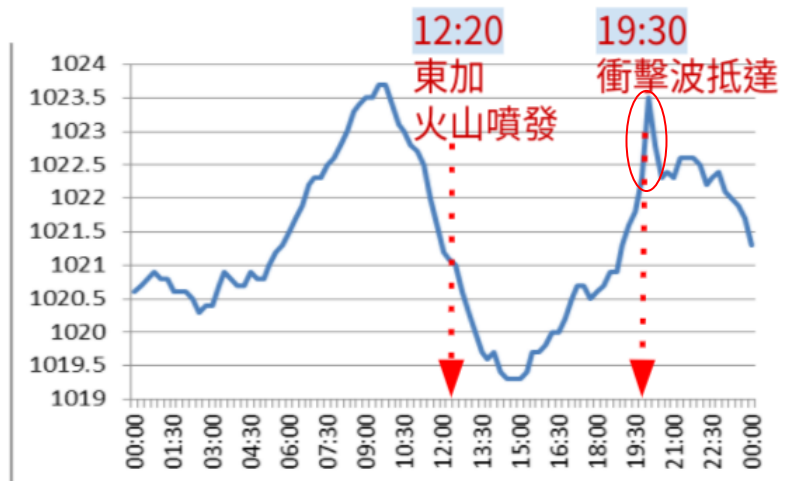
利用父島、土佐清水兩島與東加之距離，加上火山爆發時間與海嘯抵達時間差，計算出海嘯波速。

$$(1) \text{父島} : 6977 \text{ km} / (10 \text{ h } 58 \text{ m} - 4 \text{ h } 27 \text{ m}) = 6977000 \text{ m} / 23460 \text{ s} = 297 \text{ m/s}$$

$$(2) \text{土佐清水} : 8061 \text{ km} / (12 \text{ h } 4 \text{ m} - 4 \text{ h } 27 \text{ m}) = 8061000 \text{ m} / 27420 \text{ s} = 294 \text{ m/s}$$

### (四) 校園氣象站的氣壓衝擊波紀錄

1. 本校氣象測站在東加火山爆發後，也測量到氣壓衝擊波。如右圖所示，在1月15日當天19:30，測量到氣壓突然增加1hpa左右。

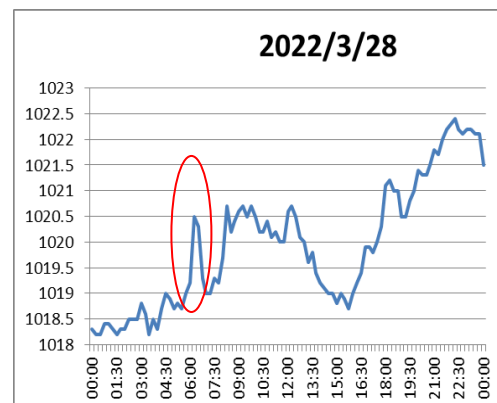


圖片來源：校園氣象觀測資料

2. 利用學校氣象測站的觀測資料可估算在東加火山噴發後的氣壓衝擊波傳遞速率：

傳遞時間 12:20 ~ 19:30 = 25800s，學校到東加的距離為 8491040m，故氣壓衝擊波傳遞速率為  $8491040 \text{ m} / 25800 \text{ s} = 329 \text{ m/s}$

3. 在查找資料過程中，發現小笠原群島的「噴火淺根」在3/27深夜噴發了，我們分析校園氣象測站的資料，發現3/28上午6:00發生明顯的氣壓變化(升高1.5 hpa)，原本以為那是噴火淺根



噴發時造成的大氣衝擊波，但對比東部其他學校的校園氣象觀測資料後，我們發現東部的氣壓變化在6:00時並不明顯，因此那可能不是噴火淺根爆發造成的大氣衝擊波，而是別的原因。這也是我們之後要繼續研究的方向。

## 五、結論與生活應用

1. 浮石由小笠原群島中的福德岡之場火山於2021年8月中旬噴發。臺灣最先於東部的臺東於110/11/29開始發現浮石蹤跡，接著向南向北擴散，沿著台灣的南北端往西部擴散，最後全臺灣甚至東沙環礁都有發現浮石的蹤跡。
2. 由小笠原群島中的噴火淺根、福德岡之場及東加火山為例，噴火淺根爆發時僅疑似觀測到衝擊波，福德岡之場噴發時僅觀察到大量浮石，東加王國火山爆發時則有觀測到大氣衝擊波及海嘯，由四個例子得知，海底火山爆發不一定會有浮石、海嘯或

衝擊波。

3. 氣象海嘯是由氣壓變化造成海水波動，再藉由普羅德曼效應、淺化效應、港灣效應增加波高。
4. 氣象海嘯可以以氣壓衝擊波預警。以這次東加火山的爆發為例，氣壓衝擊波的速率為每秒 329 公尺，海嘯傳播速率為每秒 297 公尺，氣壓衝擊波會比海嘯先抵達，當收到大氣衝擊波的訊號時，便可提前為海嘯的到來做好準備。
5. 3/28 凌晨噴火淺根爆發，3/28 上午，校內氣象測站測得氣壓劇烈變化的訊號，起初因時間相符我們認為其為噴火淺根造成的氣壓衝擊波，但在收集其他地方測站時，並無發現氣壓劇烈變化，因此認為其並非噴火淺根的氣壓衝擊波。接下來臺灣是否會再度收到浮石？這是我們接下來還要繼續探究的方向。

## 參考資料

1. 海洋委員會(台灣浮石動態) · <https://www.oac.gov.tw/ch/home.jsp?id=277&parentpath=0,8,133>
2. Google Map(台灣浮石動態) · <https://www.google.com.tw/maps/@23.546162,120.6402133,8z?hl=zh-TW>
3. 日本 JAMSTEC 模擬 · <https://www.youtube.com/watch?v=xnGbwyp2rMI>
4. 日本東南部海域火山 · <https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#5/28.902/132.583/&contents=seawarning>
5. 日本氣象廳(福德岡之場、噴火淺根) · [https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly\\_v-act\\_doc/monthly\\_vact.php](https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/monthly_vact.php)
6. 港灣共振 · <https://www.ihmt.gov.tw/periodical/pdf/B0983110.pdf>
7. 各種波定義 · <http://w3.oc.ntu.edu.tw/chap7/chap7s1.htm>
8. 淺化效應 · [https://www.aec.gov.tw/share/file/information/yl~CIS9dp6xHldEj1oNsiQ\\_.pdf](https://www.aec.gov.tw/share/file/information/yl~CIS9dp6xHldEj1oNsiQ_.pdf)
9. 氣象海嘯 <https://money.udn.com/money/story/5599/6037796>
10. 氣象海嘯 <https://ejournal.stpi.narl.org.tw/sd/download?source=10208-02.pdf&vllid=FD837B8E-8BD3-484F-A04D-98D11C744E21&nd=1&ds=1>
11. 火山噴發對大氣的影響 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=23268>
12. 日本氣象廳 <https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/STOCK/volinfo/volinfo.php>
13. Tonga <http://www.bom.gov.au/pacific/tonga/index.shtml>
14. 隱藏在大氣裡的神祕訊息！用氣象衛星監測火山爆發產生的氣象波動與環境汙染 · <https://pansci.asia/archives/342869>
15. Hunga Tonga-Hunga Ha'apa Volcano-generated Tsunami(2022)Main Event Page · <https://nctr.pmel.noaa.gov/tonga20220115/>
16. NOAA 海嘯波觀測紀錄 · <https://www.ngdc.noaa.gov/hazel/view/hazards/tsunami/related-runups/5824>