

潮汐に誘発される火山性地震*

田 中 康 裕**

550.342

Relation between Volcanic Earthquakes and Tidal Phases

Y. Tanaka

(Seismological Section, J. M. A.)

Volcanic earthquakes occurring near sea coast and volcanic island are affected by tide near the epicentral region. According to the tide pressure change, the earth expands in one place or contracts in another place. Deformation of the earth crust causes volcanic earthquake.

The author investigated the relation between frequency of volcanic earthquakes at the several volcanoes which located near sea coast or island, and tidal phases near the volcano, and following results were obtained.

| Tidal phase Volcano | High water time | Between high water time and low water time | Low water time | Between low water time and high water time |
|-----------------------------------|-----------------|--|----------------|--|
| Ususan | ○ | | | ◎ |
| Hakoneyama | | ○ | ◎ | ○ |
| Oshima of Izu Seven Islands | ○ | ◎ | | |
| Miyakejima | | ○ | ◎ | ○ |
| Torishima of Izu Seven Islands | | ○ | ◎ | ○ |
| Kimpōzan | | ○ | ◎ | ○ |
| Unzendake | ◎ | | ○ | |
| Sakurajima | ◎ | ○ | | |

In the list, ◎ is maximum frequency time of volcanic earthquakes, ○ is local maximum.

At the volcano Ususan, the earthquakes before the eruption are occurring in nearly contrary phase against those after the eruption.

On Sakurajima, above table is given by the frequency of the volcanic explosions.

At Ususan, Oshima and Sakurajima, eruptions occurred frequently, but the other volcanoes, no eruption occurred in this period studied.

§ 1. 序 論

地震と潮汐、または噴火と潮汐との関係については、古くからいろいろな研究がなされ、多くの興味ある結果

が得られている¹⁾⁻²⁷⁾。これらの研究を総合すると次のことがいえよう。

(1) 潮汐は地震発生に影響を及ぼし、潮の干満による海水の増減で海底の圧力が変化し、これが地震発生の副因となる。

(2) 地震のひん度と潮汐の位相との関係は、地震の発

* Received Oct. 31, 1960.

** 気象庁地震課

生域の違いによって差はあるが、大別して、低潮時および潮位変化速度の最大時のうちの、いずれかの時刻にあたる付近で地震ひん度の極大が現われやすい。この傾向は、大地震の余震や群発地震ではことに顕著である。また、まれに高潮時に地震ひん度の極大が現われる所もある。

(3) 地震のエネルギーの発達する速度は、かなり速いので、潮汐の誘発を待たずに発現する場合がかなり多い。しかし、一部の地震については、たしかに潮汐との関係を見出し得る。

(4) 地殻には潮汐の他に、気圧・月・太陽・降水などの外力が作用している。これらは直接または間接に地震発生に影響を与えつつある。しかし、たえず作用している潮汐の力は他のいずれのものよりも大きいものと考えられる(アルプスの北と南で最も大きい気圧の差は $10^{-3} \sim 10^{-2}$ kg/cm², 雨の堆積は 10^{-3} , 潮水面の昇降が 10^{-2} , 河でのこう水が 10^{-1} , 雪の堆積が 10^{-2} , 海洋潮汐が $10^{-2} \sim 1$)²⁸⁾。

潮汐の影響は、地球のいかなる場所にも及んでいることが理論的には説明される。そして、近海の潮汐はもとより、相当広い海域の潮汐までが内陸に影響を及ぼしているので²⁹⁻³⁴⁾、海域の地形をも考慮のうえ、ある特定の地域を区切って、その場所だけに作用している潮汐の力を計算することは非常にむづかしいことである。しかし、ある局部的の海辺、または海底の地殻だけを考えると、そこに働く顕著な力は、近海潮であると考えられ、これは、海岸近くでの傾斜計や伸縮計が、ことに大きな変動を示すことから説明される。

次に、等方半無限弾性体の表面に点荷重 $-p$ が働いたときについて考えてみる。

作用点を原点とした円柱座標を考え、半径方向に r 、垂直方向に z (内部に向う方向を正とする) をとる。 r 方向および z 方向の変位をそれぞれ u, w とし、Lamé の弾性常数を λ, μ とすれば、Boussinesq の解から次式が導かれる。

$$u = \frac{p}{4\pi\mu} \left\{ \frac{zr}{(r^2+z^2)^{3/2}} - \frac{\mu}{\lambda+\mu} \left(\frac{1}{r} - \frac{z}{r(r^2+z^2)^{1/2}} \right) \right\},$$

$$w = \frac{p}{4\pi\mu} \left\{ \frac{z^2}{(r^2+z^2)^{3/2}} + \frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu} \frac{1}{(r^2+z^2)^{1/2}} \right\}.$$

これから r および z 方向の伸張は

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{p}{4\pi\mu} \left\{ \frac{z(z^2-2r^2)}{(r^2+z^2)^{5/2}} - \frac{\mu}{\lambda+\mu} \left(-\frac{z(z^2+2r^2)}{r^2(r^2+z^2)^{3/2}} - \frac{1}{r^2} \right) \right\},$$

$$\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{p}{4\pi\mu} \left\{ -\frac{z(z^2-2r^2)}{(r^2+z^2)^{5/2}} - \frac{\lambda+2\mu}{\lambda+\mu} \frac{z}{r^2(r^2+z^2)^{3/2}} \right\}.$$

となる。 $\lambda=\mu$ の場合について $\frac{\partial u}{\partial r}$ および $\frac{\partial w}{\partial z}$ の形を図

示すと Fig. 1, 2 のようになる。

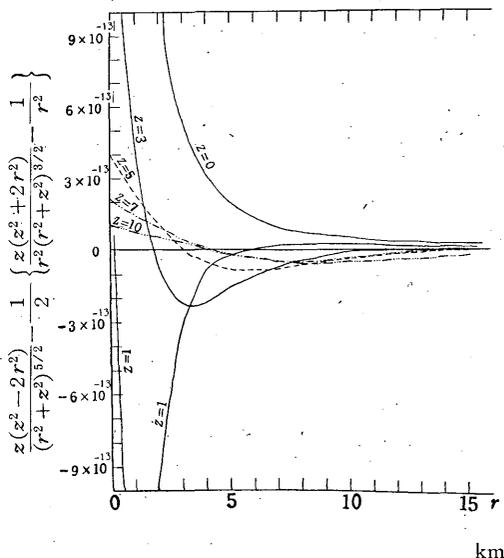


Fig. 1 Expansion in the earth of horizontal direction $\left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)$

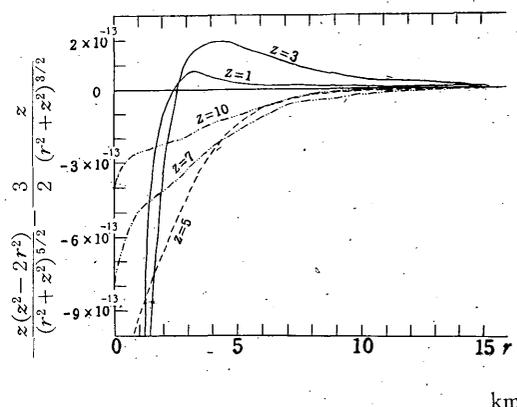


Fig. 2 Expansion in the earth of vertical direction $\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)$

さて、火山性地震の深さは一般に数 km より浅いものが多いので、それらの地震が潮汐の影響を受けているとすれば、震源域まで潮汐による地殻の伸張がかなり作用しているものと考えなければならない。そこで、火山性地震の震源の深さとてらし合せて、 r, z の単位を km にとるならば、 r が数 km 以内では地殻の伸張はかなり大きいと考えなければならない形である。いまかりに、地殻の剛性率を 10^{10} , p を 10^{11} (1 km² の潮汐の上昇、

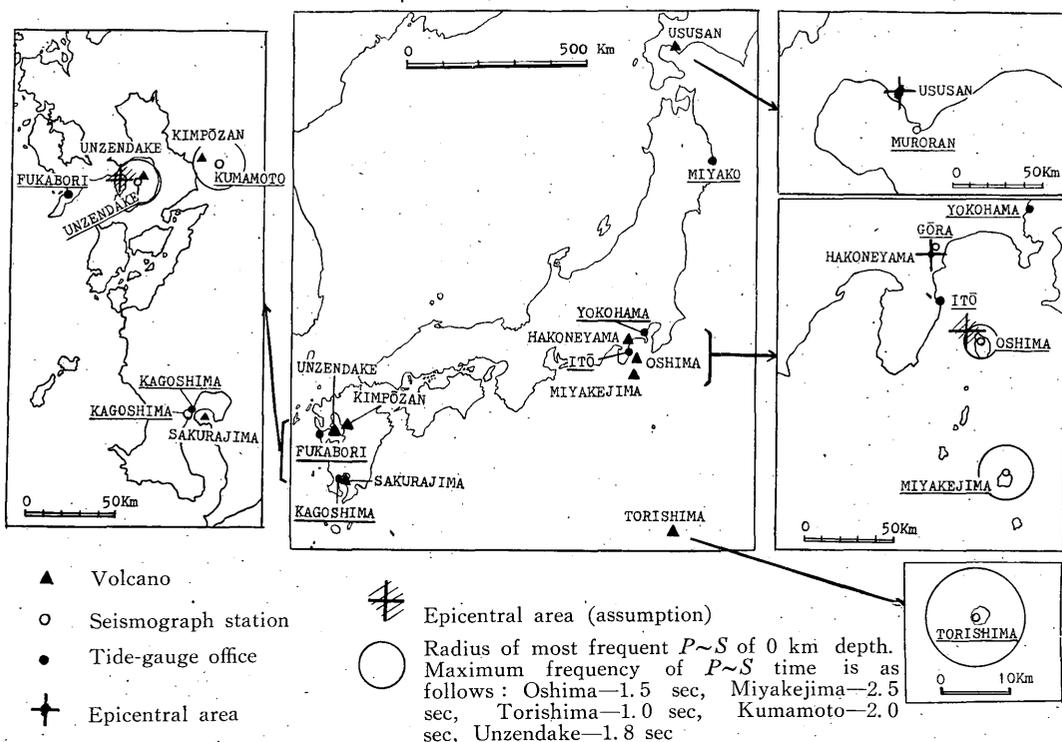


Fig. 3 Volcanoes where volcanic earthquakes were analysed in this paper

10^{-2} kg/cm² による荷重) くらいと考えると、荷重点から数 km 離れていても、地殻の伸張は $10^{-9}\sim 10^{-10}$ くらいとなる。

以下は、とくに近海潮だけについて考え、海岸近くの火山および海洋中の火山で起こる火山性地震を対象に、潮汐の位相と地震のひん度との関係について調べた。潮位時刻は該火山に最も近い検潮所の値(水路部：潮位表、気象庁：潮位表)を用い、地震の発現時刻は気象要覧および地震月報の資料によった。

§ 2. 海辺の火山および火山島などの近くで起こる火山性地震と潮汐との関係

火山の近くでは微小な地震が起こりやすい。これらの地震は噴火に直接関係するものもあれば、関係のなさそうなものもある。一般に震源はごく浅く、中には有感地震もあるが、多くは局地的なものである。こうした地震をすべてここでは火山性地震とよぶことにする。

潮汐の変動は複雑であるが、だいたい一日の間に高潮と低潮とがそれぞれ 2 回づつある。各高潮と低潮または低潮と高潮との時間差は厳密にいえば一定ではないが、

平均してどこでも約 6 時間といえる。そこで、便宜上、低潮時を時間の起点とし、その後を 1 時間ごとに区切り、おのおのの時間区分の中で起こった地震が、潮汐の 1 周期の変動の中のいかなる位相のところに分布しているかを調べた(ただし、以下に述べる伊豆鳥島・桜島では、低潮・高潮の両時刻を考慮した)。

(1) 有珠山付近の火山性地震

有珠山は内浦湾岸から数 km 離れた内陸にある。1943~45年の昭和新山を生成した噴火活動に伴ない、有珠山一帯で地震が群発した。震央は直径数 km 以内の狭い地域に密集しており(Fig. 3)、始めのうちは深さ 10 km (ときには 10 km 以上) くらいの所で起こっていたが、次第に浅くなった^{35)~41)}。この地震活動は噴火前に起こった地震群(便宜上前期地震群とよぶ)と噴火後に起こった地震群(便宜上後期地震群とよぶ)とに分けられる。地震活動がとくに顕著であった時期について、前期地震群では1943年12月28日~1944年1月31日に起こった179個の地震、後期地震群では1945年1~12月に起こった495個の地震について、地震の発生時を宮古の潮時の位相と比較した(Fig. 4)(当時宮古は有珠山に

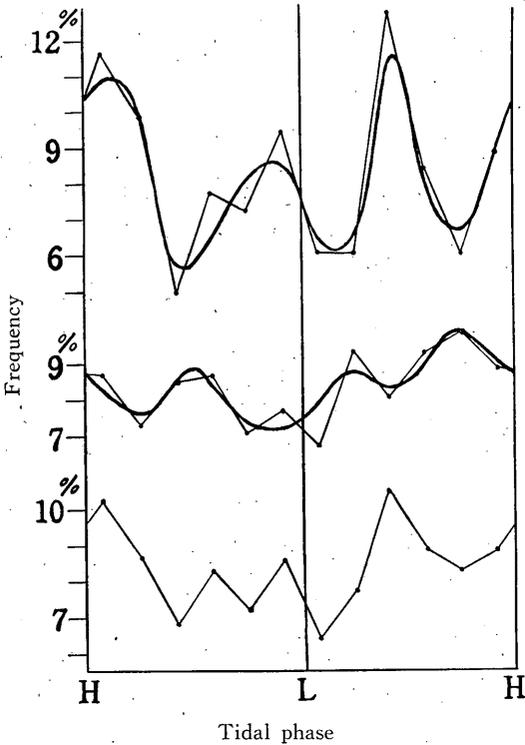


Fig. 4 Relation between volcanic earthquakes at Ususan and tidal phases
 Above: Before the eruption (Dec. 28, 1943 ~ Jan. 31, 1944)
 Middle: After the eruption (Jan. 1945 ~ Dec. 1945)
 Under: Total frequency of the volcanic earthquakes before and after the eruption
 H: High water time, L: Low water time.

最も近い検潮所で、宮古と室蘭との潮時差は±0時間)。
 潮汐の変動に対する前期・後期両地震群の地震発生ひん度は、その位相が逆に現われていることが注目される。前期地震群と後期地震群とでは、性質が著しく異っていたことは、すでに詳しく調べられているが^{39)~41)}、この調査でも両者に差違のあることが認められた。なお、前期・後期両地震群を総合してみると、地震のひん度は高潮時の付近および低潮時と高潮時との間に極大が現われている。

(2) 箱根山付近の火山性地震

箱根山は相模湾岸から約 10 km 離れた内陸にあり、ときどき地震が群発することがある。1959年10月~1960年3月に、箱根町強羅で観測した 1081 個の群発地震について、その発生時を伊東の潮汐の位相と比較した(Fig.

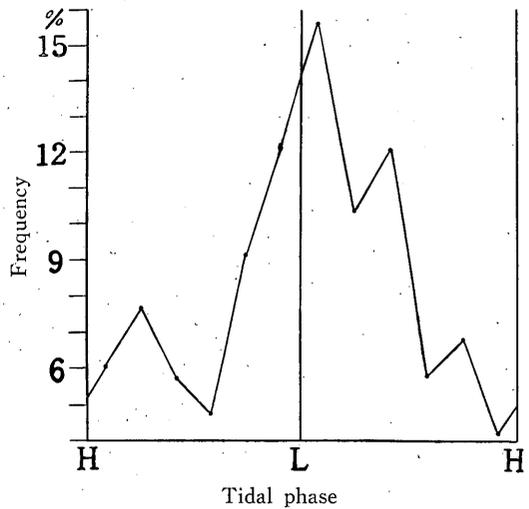


Fig. 5 Relation between volcanic earthquakes and tidal phases at Hakoneyama (Oct. 1959 ~ Mar. 1960)

5). この地震は箱根中央火口丘神山の地下数 km より浅い所で起こり、その震央域は直径 2 km 以内の円の中に入るような狭い範囲にあった⁴²⁾⁴³⁾ (Fig. 3).

ここの地震は低潮時の付近で著しく起こるのが特長であり、高潮時と低潮時、または低潮時と高潮時との間にも、やや不明りょうではあるが極大値がある。1930年の伊東の群発地震についても、これとほとんど同じ結果が得られているから⁶⁾、伊東付近と箱根山とは地体構造上の共通性があるのかも知れない。しかし、1930年の北伊豆地震の余震の場合には、これらとはやや異なり、低潮時と高潮時とに地震のひん度の極大が現われていた¹⁰⁾。

(3) 伊豆大島付近の火山性地震

大島付近では、三原山の火山性と思われる地震や震源の浅い局発地震がたくさん起こる。これらの地震は、おもに三原山の北西部にあたる島内および海底のごく浅い所で起こっているらしい⁴⁴⁾⁴⁵⁾⁴⁷⁾ (Fig. 1)。1956~59年に観測した1020個の地震(大島測候所の観測によれば、P~S 時間は1~2秒が最多、Fig. 6)について、発生時を伊東の潮汐の位相と比較した。地震のひん度は高潮時ないし高潮時の少し後に極大がある(Fig. 7)。なお、この期間中に三原山では、しばしば爆発があった。

(4) 三宅島付近の火山性地震

1959年中に三宅島付近で起こった火山性地震は74回あった(三宅島測候所の観測によれば、P~S 時間は2~3秒が最多、Fig. 8)。これらの地震の震源は明らかでないが、記録から浅い地震であると推定される。上記

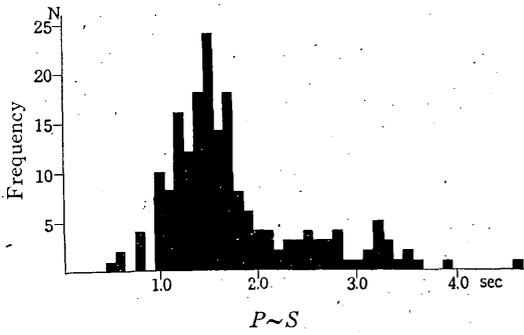


Fig. 6 $P\sim S$ frequency of the volcanic earthquakes of Miharayama observed at Oshima Weather Station during the period from 1956 to 1959

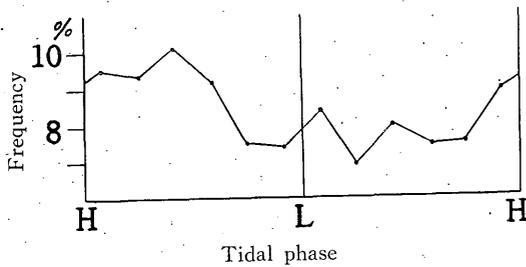


Fig. 7 Relation between volcanic earthquakes and tidal phases at Oshima (1956~59)

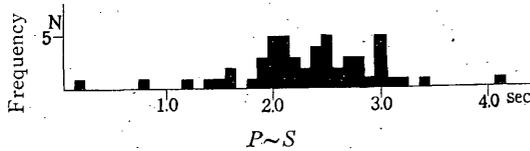


Fig. 8 $P\sim S$ frequency of the volcanic earthquakes of Miyakejima observed at Miyakejima Weather Station in 1959

の地震を伊東の潮汐の位相と比較した。地震のひん度は低潮時に最大があり、高潮時と低潮時との間および低潮時と高潮時との間にそれぞれ極大がある (Fig. 9)。

(5) 伊豆鳥島付近の火山性地震

1951~58年(ただし、1952年4~6月の地震は便宜上除く)に鳥島付近で起こった1834個の火山性地震(鳥島気象観測所の観測によれば、 $P\sim S$ 時間は1秒付近が最多、Fig. 10)について、その発生時を横浜の潮汐(潮時差として、横浜の時刻に40分を加えて補正したもの)の位相と比較した。地震のひん度は高潮時の2~3時間前、2~3時間後および低潮時に極大がある (Fig. 11)。

(6) 金峯山付近の火山性地震

金峯山は熊本市の西北西、有明海から約3 km 離れた

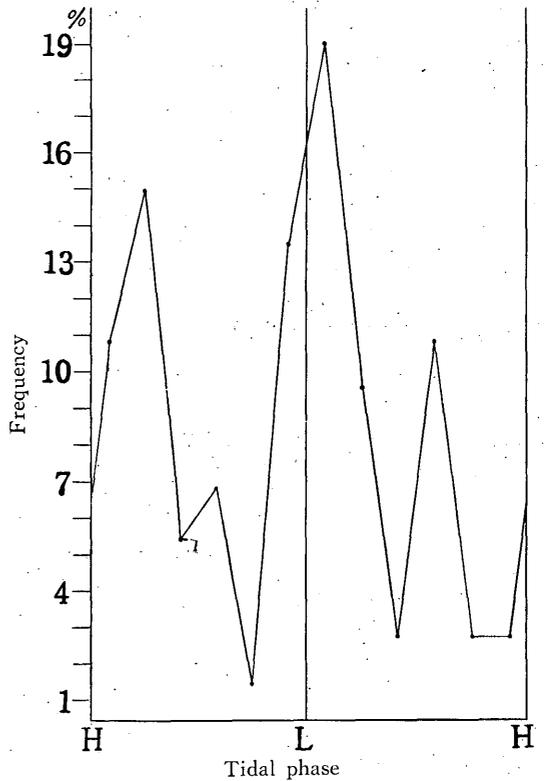


Fig. 9 Relation between volcanic earthquakes and tidal phases at Miyakejima (1959)

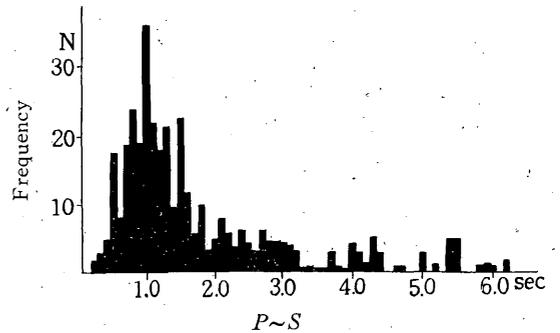


Fig. 10 $P\sim S$ frequency of the volcanic earthquakes of Torishima of Izu Seven Islands observed at Torishima Weather Station during the period from 1951 to 1958

内陸にあり、ときどき地震が群発したり、また常に地震の多い火山である。熊本地方気象台が観測した金峯山系の地震は、その $P\sim S$ からみて、かなり広い地域に分布しているものと推定される (Fig. 12)。1957~59年に起こった284個の地震について、その発生時を深堀の潮

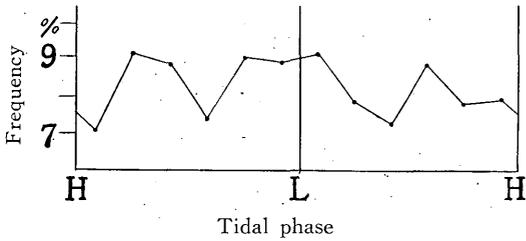


Fig. 11 Relation between volcanic earthquakes and tidal phases at Torishima (1951~58)

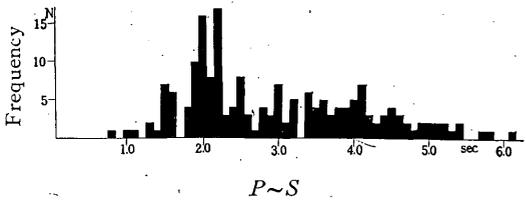


Fig. 12 $P\sim S$ frequency of volcanic earthquakes of Kimpōzan observed at Kumamoto Local Meteorological Observatory during the period from 1957 to 1959

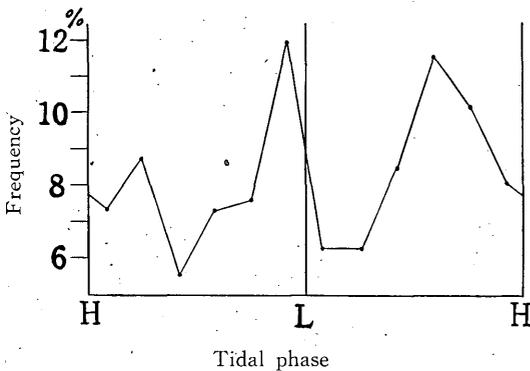


Fig. 13 Relation between volcanic earthquakes and tidal phases at Kimpōzan (1957~59)

汐の位相と比較した。地震のひん度は低潮時、高潮時と低潮時との間および低潮時と高潮時との間に極大がある (Fig. 13).

(7) 雲仙岳付近の火山性地震

雲仙岳は有明海と千々石湾とにかこまれた島原半島の中部に位する火山で、両海岸からそれぞれ数 km の距離にある。この火山でも、ときどき地震が群発することがあり、また、かなり多くの地震が常に起こっている。震央は雲仙岳西ふもとにある断層線の付近に密集しているらしいが、詳細は明らかでない⁴⁸⁾ (Fig. 3). 1957~59

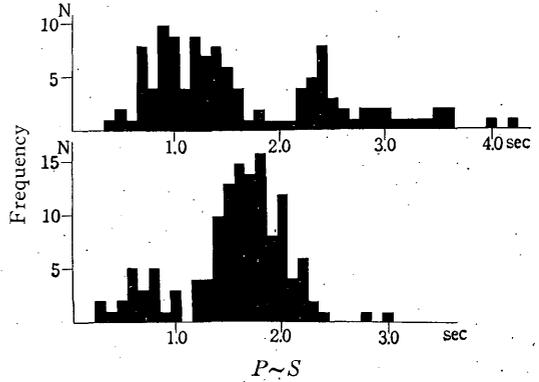


Fig. 14 $P\sim S$ frequency of the volcanic earthquakes of Unzendake observed at Unzendake Weather Station
Above : 1957~59
Under : Feb. 1951

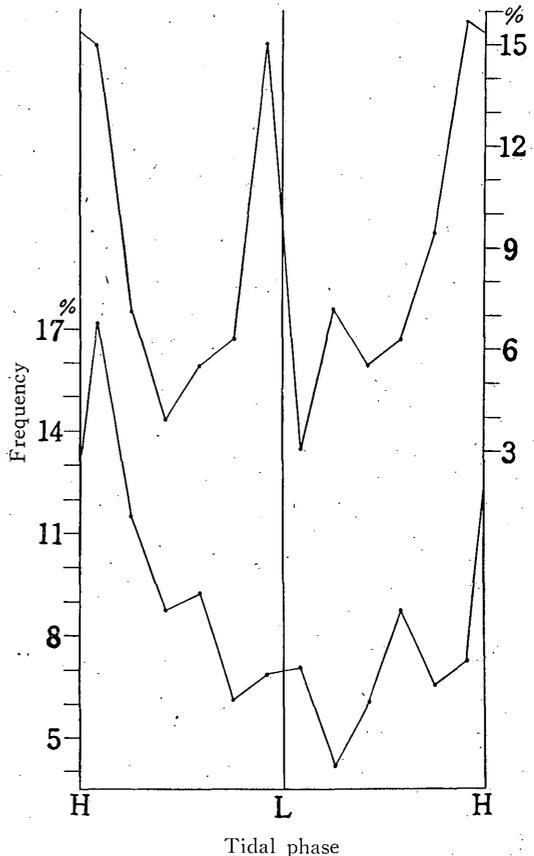


Fig. 15 Relation between volcanic earthquakes and tidal phases
Above : 1957~59
Under : Feb. 1951

年に起こった127個の地震(温泉岳測候所の観測によれば、 $P\sim S$ 時間は1秒付近と2.4秒付近に極大がある、Fig. 14)および1951年2月に起こった408個の群発地震(温泉岳測候所の観測によれば、 $P\sim S$ 時間は1.8秒付近が最多、Fig. 14)について、その発生時を深堀の潮汐の位相と比較した。この両者で共通な傾向は、高潮時に地震が著しく発生していることで、さらに、1957~59年のものでは、低潮時の付近にも地震のひん度の極大が現われている (Fig. 15)。

(8) 桜島の火山爆発

上と同じ方法で、桜島の火山爆発時刻について調べた。桜島は鹿児島湾内にあり、海でかこまれている。

1957~59年に起こった“おもな爆発”329回について、爆発時と鹿児島の潮汐の位相とを比較した。爆発のひん度は高潮時および高潮時と低潮時との間に極大がある (Fig. 16)。なお、上記の“おもな爆発”とは、南岳火口の西10 kmにある鹿児島地方気象台の地震計、微気圧計に記録されたもの、噴石や顕著な降灰があったもの、爆発音・火山雷などを伴ったもののうち、いずれかの現象が認められた爆発のことである。したがって、小さな爆発は除かれている。

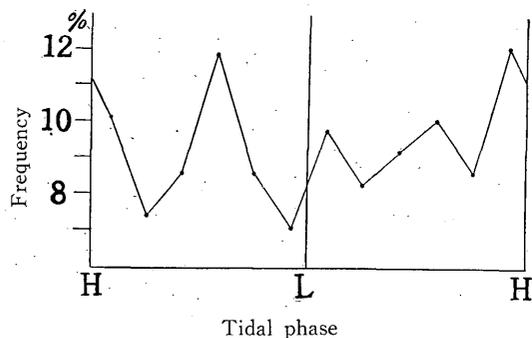


Fig. 16 Relation between volcanic explosion and Tidal phases at Sakurajima (1957~59)

§ 3. 結 論

海辺または火山島で起こる火山性地震は、潮汐によって誘発されるものが非常に多く、潮汐現象を無視できない。各火山について、地震と潮汐との関係は本文 Abstract の中の表に示したが、その傾向は次の3とおりに大別される。

(1) 箱根山・三宅島・鳥島・金峯山の場合

この調査期間中には、いずれも噴火がなかった火山である。これらの火山の地震は、低潮時(潮汐の荷重の最

小時)に地震のひん度の最大があり、高潮時と低潮時との間および低潮時と高潮時との間(潮位変化速度の最大時)にもやや多い。

(2) 有珠山・三原山・桜島の場合

この調査期間中に、しばしば噴火のあった火山である。これらの火山の地震(桜島では爆発)は高潮時(潮汐荷重の最大時)付近でひん度が大きくなっていることが共通している。

すなわち、(1)、(2)で考えられることは、噴火力をもたぬ火山性地震は、潮汐の荷重で起震力が抑制され、逆に噴火力をもつ火山性地震は、起震力が増大することである。なお、桜島では、爆発を予測するうえに潮汐が参考になりそうである。

(3) 雲仙岳の場合

この調査期間中には噴火がなかったが、(1)とは異った傾向を示し、高潮時と低潮時とに地震のひん度が大きくなっている。これは、前に述べた地震発生域にある断層線が影響しているためなのかも知れない。

参 考 文 献

(1)~(20) は地震と潮汐, (9), (21)~(27) は噴火(と潮汐に関する文献)

- 1) 大森房吉: 月(太陰)と地震との関係に就きて(第1回報告), 震災予防調査会報告, **32** (1900), 35~46.
- 2) Imamura, A.: Variation of Seismic Frequency in Japan, Publication of the Imperial Earthquake Investigation Committee, **18** (1904), 41~71.
- 3) Nakamura, S.: Barometric and Tidal Effects on the Occurrence of Earthquakes in Kwanto District, Jap. Journ. of Astro. and Geophys., **3** (1925), 115~140.
- 4) Nakamura, S.: On the Effect of the Tides on the Occurrence of Earthquakes in Kwanto District, Jap. Journ. of Astro. and Geophys., **4** (1927) 139~165.
- 5) Yamaguti, S.: Relation between Tidal Phases and the Earthquakes, B. E. R. I., **8** (1930), 393~408.
- 6) 今村研究室・地震学教室: 伊東地震に就て(第2報), 地震, **2** (1930), 292.

- 7) 国富信一：北伊豆地震と伊東の頻発地震との関係，*驗震時報*，**4** (1931)，313~320。
- 8) Nasu, N.・Kishinouye, F.・Kodaira, T. : Recent Seismic Activities in the Idu Peninsula (Part 1), *B. E. R. I.*, **9**(1931), 22~35.
- 9) 福富孝治・川瀬二郎：地震発生・火山噴火と潮汐との関係，*地震*，**3** (1931)，484~498。
- 10) 鷺坂清信：北伊豆烈震の前震・余震と気圧との関係，*驗震時報*，**5** (1931)，131~153。
- 11) 森田 稔：大正14年6月14日花蓮沖地地震の余震と潮汐との関係，*驗震時報*，**9**(1937)，265~271。
- 12) Matuzawa, T.・Hayakawa, M.・Hattori, Y.・Kaneiko, T.・Miyamura, S. : Erdbebenhäufigkeit Bezug auf die Stellung der Sonne und des Mondes, *B. E. R. I.*, **18** (1940)，265~280。
- 13) 田嶋節夫・斎藤将一・植竹隆治：昭和13年11月福島県東方沖地震調査概報，*驗震時報*，**10** (1940)，559~562。
- 14) 竹花峰夫：昭和14年12月15~21日伊豆大島に頻発した地震群に就いて，*驗震時報*，**11** (1940)，68~80。
- 15) 表俊一郎：昭和18年3月4日鳥取地震調査報告，*地震研究所彙報*，**21**(1943)，435~457。
- 16) 木沢 綏：火山活動に現われた地球物理学上の諸現象(2)，*研究時報*，**3** (1951)，288~290。
- 17) 横山 泉：大島三原山の火山微動と潮汐との関係，*火山2集*，**1** (1957)，59。
- 18) 田中康裕：鳥島火山の活動性(II)，*驗震時報*，**25** (1960)，3~6。
- 19) 安井豊・利光貞夫・伊集院福哉：桜島火山の雑微動について，*驗震時報*，**25** (1960)，32~33。
- 20) 田中康裕・天野宏：箱根火山の群発地震および箱根周辺の地震，*驗震時報*，**25** (1960)，109~120。
- 21) 星野賀七郎：桜島噴火と岩漿の滴干的膨脹，*東洋学芸雑誌*，**32**, No. 405 (1915)，396~397。
- 22) 大森房吉：噴火回数 of 的週期的变化，*震災予防調査会報告*，**87** (1918)，33~34。
- 23) 大森房吉：本邦噴火回数一年中の分布，*東洋学芸雑誌*，**35**, No. 442 (1918)，381~390。
- 24) 神田 茂：噴火月別回数と気圧及潮位の影響，*氣象集誌*，39年8号 (1920)，222~228。
- 25) 今里能・野田義男：桜島火山爆発と気圧その他との関係，*福岡管区気象台要報*，**13**(1957)，69~78。
- 26) 安井 豊：桜島火山の微動・爆発と潮せき・気圧との関係，*研究時報*，**12**，(1960)，646~674。
- 27) 安井豊・野田義男・利光貞夫・東谷幸男：桜島火山爆発の予測精度について，*驗震時報*，**26** (1961)，17~32。
- 28) 安芸敬一：統計地震学の現状，*地震*，2輯，**8**(1956)，205~216。
- 29) Takahashi, R. : Tilting Motion of the Earth Crust caused by Tidal Loading, *B. E. R. I.* **6** (1929)，85~108。
- 30) Takahashi, R. : Tilting Motion of the Earth's Crust observed at Kawana, *B. E. R. I.*, **10** (1932)，145~170。
- 31) Takahashi, R. : Tilting Motion of the Earth's Crust observed at Ryozyun, *B. E. R. I.*, **10** (1932)，531~559。
- 32) 西村英一：地殻潮汐に就いて(其一，其二，其三，其四)，*地球物理*，**5** (1941)，10~170。
- 33) 萩原尊礼・力武常次・山田重平・笠原慶一：油壺における地殻変動の研究，*地震研究所速報*，**6** (1949)，1~61。
- 34) 長宗留男・泉末雄：松代における地殻潮汐の観測(1)，*驗震時報*，**20** (1955)，7~14。
- 35) Minakami, T. : Recent Activities of Volcano Usu (I), (II), *B. E. R. I.*, **25**(1947)，65~75。
- 36) Minakami, T.・Ishikawa, T.・Yagi, K. : The 1944 Eruption of Volcano Usu, Hokkaido, *Bull. Volcanologique*, **11** (1951)，45~157。
- 37) 水上武・佐久間修三・茂木清夫・平賀士郎：噴火と火山に発生する地震との研究(第3報)，*火山*，2集，**4** (1960)，147~148。
- 38) Kizawa, T. : A Study of Earthquakes in Relation to Volcanic Activity (I), *Papers in Meteorology and Geophysics*,

- 8 (1957), 150~169.
- 39) Kizawa, T. : A Study of Earthquakes in Relation to Volcanic Activity (II), Papers in Meteorology and Geophysics, **9** (1959), 204~239.
- 40) Kizawa, T. : A Study of Earthquakes in Relation to Volcanic Activity (III), Papers in Meteorology and Geophysics, **11** (1960), 30~96.
- 41) Kizawa, T. : Some New Phases Observed in a Study of Earthquake Swarms, Relation to Volcanic Activity (I), Geophysical Magazine, **29** (1960), 477~498.
- 42) 水上武・宮崎務・伊東喜久子：箱根火山の群発地震，火山，2集，**5** (1960)，52.
- 43) 水上武・平賀士郎・宮崎務・行田紀也・伊東喜久子：箱根火山，神山付近の群発地震及び鳴動に関する調査観測報告，神奈川県土木部砂防課 (1960)，1~29.
- 44) 高橋竜太郎・永田武：昭和13年6月18日頃大島に頻発した地震群，地震，**11**，No. 4 (1939)，17~23.
- 45) 田沢堅太郎：大島における火山性地震と三原山の噴火 (第2報)，研究時報，**9** (1957)，431~435.
- 46) 田中康裕：三原山で起る火山性地震・微動の性質，験震時報，**22** (1958)，192~195.
- 47) 横山 泉：大島の地球物理学的研究の綜括，火山，2集，**3** (大島特集号) (1958)，39~45.
- 48) 吉村寿一：千々石湾一帯のひん発地震について，験震時報，**21** (1956)，139~142.