

## 火山性地震の発震機構

和田 卓彦

### FOCAL MECHANISM OF VOLCANIC EARTHQUAKES

By *Tatsuhiko WADA*

#### Synopsis

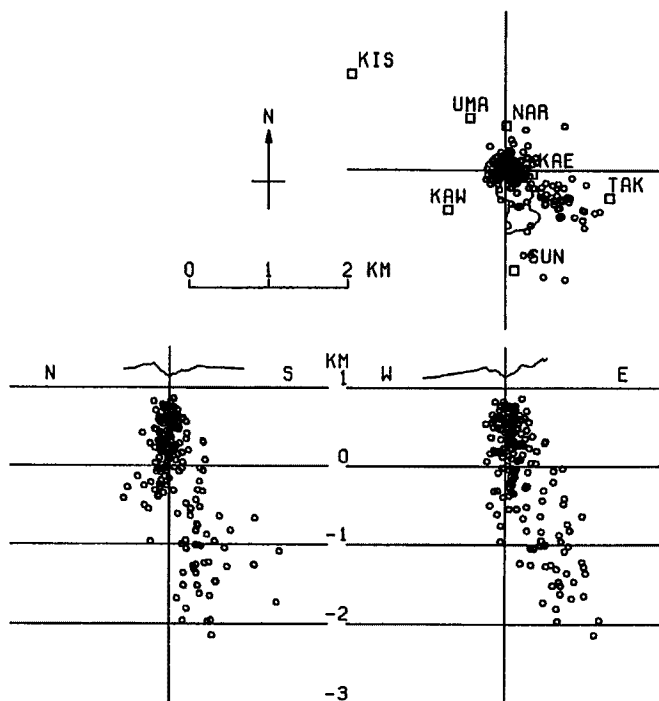
In the eruptions of 1965 and 1979 at the Aso Volcano, situated in Kyushu district of Japan, the characteristic occurrence of minor earthquakes were detected. These events were concentrated at shallow depth immediately beneath the active crater bottom. The focal mechanisms of these events are vertically polarized, and the vertically “pull” type is predominant in the period before eruption, and the “push” type is predominant reversely in the the period after eruption, respectively. This characteristic feature can be explained by introducing a certain gas chamber with variation of pressure.

#### 1. 序論

1965年と1979年の阿蘇火山の噴火時の観測は、火口の至近距離に設置された地震計による、火口直下の微小地震が観測された、多分、世界でも稀な例であって、とくに focal mechanism が調べられた点では興味深いものであると言えよう。1969年の噴火の際には、観測点の数の不足、観測期間の噴火前の短いことから、尚十分な結果が得られなかったが、1979年の噴火時期は、それらは基本的に解消されている。いづれにしても、当時の困惑は、爆発というイメージと、上方に“pull”型の地震というのが、非常に奇異であったことである。勿論、今回述べるような考えは既にあったのだが、一応実際の結果と、その内容の噴火予知への意義という側面だけの見解にとどめた<sup>1),2),3)</sup>。

#### 2. 1979年の活動と火山性地震

1979年9月6日の爆発によって、死者がでたことは、それ程以前のことでないが、当時の活動期間中の観測の結果は、既に述べたので<sup>4)</sup>、若干の図を示すにとどめる。それは、1979年の1月から1980年の3月までの、決定できた seismicity と focal mechanism を示したものである (Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4)。ここでは問題を focal mechanism だけに限定することにして、第一に目の付くのは、focal mechanism の主応力軸が、上下方向に偏っていることである。少なくとも水平方向は一定の傾向をもつことはないことであって、プレートテクトニクスの流行の水平方向の応力によって片づけるという手法は取り得ないことである。これは明らかに上下方向の広力を対象とすることを要求している。つぎに、小野の指摘したことであるが、阿蘇の火山性地震の特長の一つである、海拔 0 m 以上、すなわち、火口底の下 1500 m 以内で起こす地震は、10サイクルを境として、high サイクル部分が少なく、一方それより深部の地震は、逆に high サイクル部分が大きいということである。これは伝播による変形としては全く逆の現象であって、地震に伴う破壊の際の



JAN., 1979 - MAR., 1980

Fig. 1. Map showing location of seismograph stations and distribution of volcanic earthquakes near the crater of Naka-dake, Volcano Aso from January of 1979 to March of 1980.

yeilding の難易によるものと考えざるを得ない。また seismicity としては、浅い地震群は、非常に集中した場所を占めるに対し、深い地震は、かなり広がって発生すること、前者の発生が時間的にも短期間に集中する傾向をもつに対し、後者は活動期間中殆ど恒常的に平均して発生することである。

今はこの浅い方の地震群のみに着目すると、1965年の際に爆発のメカニカルな energy  $\approx 10^{18}$  erg と岩石の限界歪  $\approx 10^{-4}$  と適当な弾性常数からその際にも歪領域は 500 m 半径の球と見られることを述べたが、今回も殆ど爆発エネルギーは同程度であるので、海拔 +500 m に中心をもつ球がその領域としてもよいであろう。すなわち、これが gas chamber であると考えてるのであって、勿論 gas chamber は空洞であるわけではなく、最終的には破壊岩片群と多量の volcanic ash を高温高压の gas が内包しているという考えである。勿論実際の形態は、地震の分布からみて、下つぼみの液滴形であり、その場合には海拔 0 m より深くなる。すなわち、上下方向に伸ばされたものとするのが適当であろう。しかし、gas chamber は球状としても、さし当たりここで述べることに本質的に障害があることではないので、gas chamber は球とする。半無限弾性体内の円—二次元問題として取り扱う—でとくに表面が円の中心に対し相対的に近い場合は、解析的な解は難しい。そこで無限の弾性体の内部の円として、円の半径に  $P \cos \theta$  の圧力を与えたとして、その方向に表面があるものとし、その変位は考えている場合の変位と同格であるとして解く。勿論減圧の場合は全く逆の符号で解けばよい。この解は既に解かれており<sup>5)</sup>、極座標  $r, \theta$  によって、

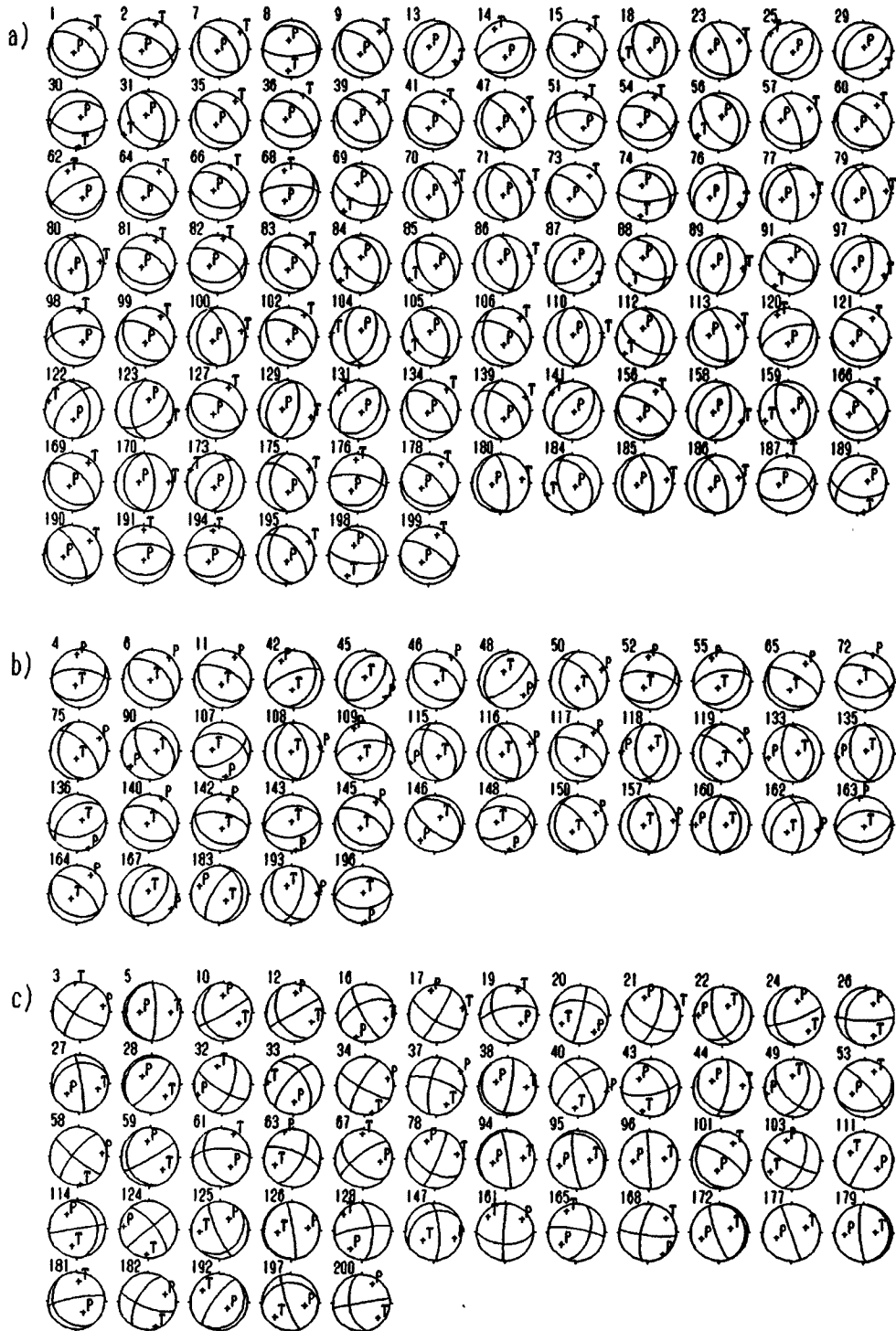


Fig. 2. Focal mechanism of volcanic earthquakes.

- a. Pull-type earthquakes.
- b. Push-type earthquakes.
- c. The other earthquakes.

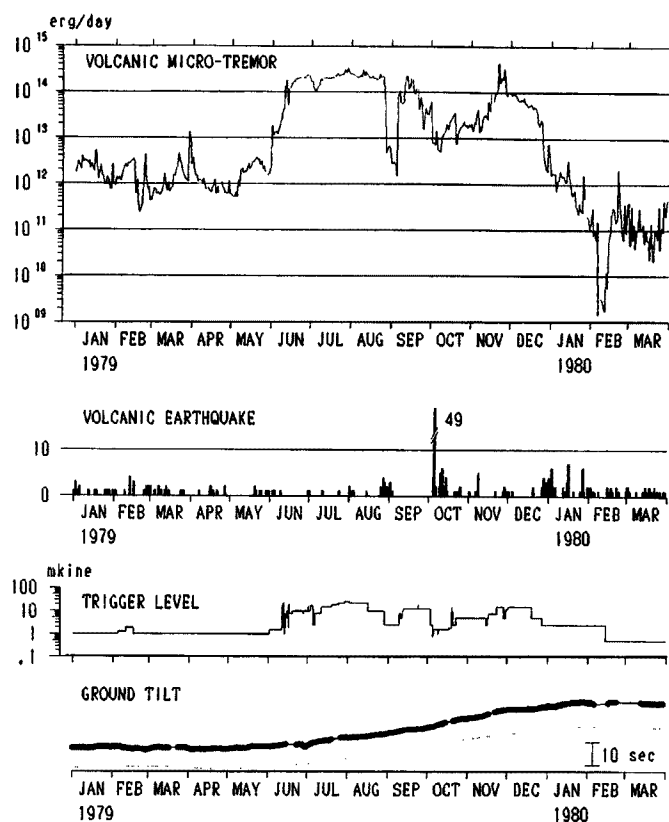


Fig. 3. Volcanic activity of Naka-dake, Volcano Aso from January of 1979 to March of 1980.

- Daily value of kinetic energy of volcanic micro-tremor.
- Daily frequency of volcanic earthquakes.
- Trigger level used for observation of volcanic earthquakes.
- Variation of ground tilt at Sunasenri. The dotted line shows the annual variation of the ground tilt.

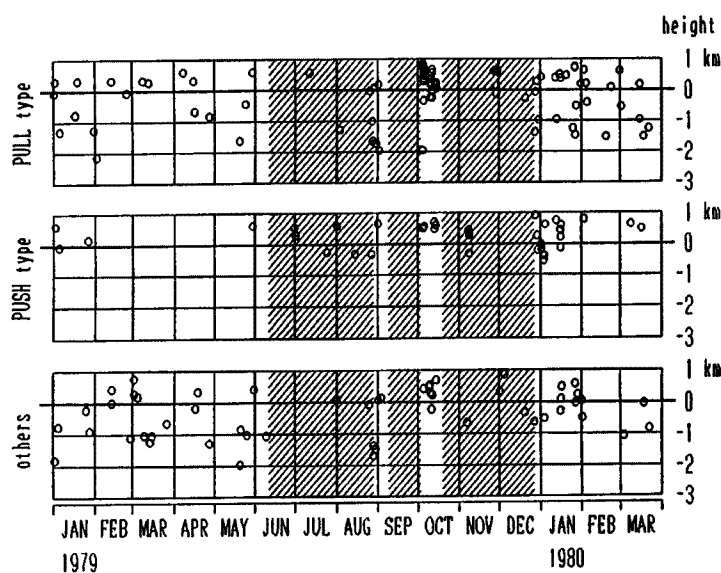


Fig. 4. The relations of occurrence of three types of earthquakes with the focal depths in the active period. The hatched area indicate the periods of large volcanic micro-tremors and the trigger level above 4 mkine. In these periods, volcanic earthquakes were covered with the volcanic micro-tremors and were undiscernible.

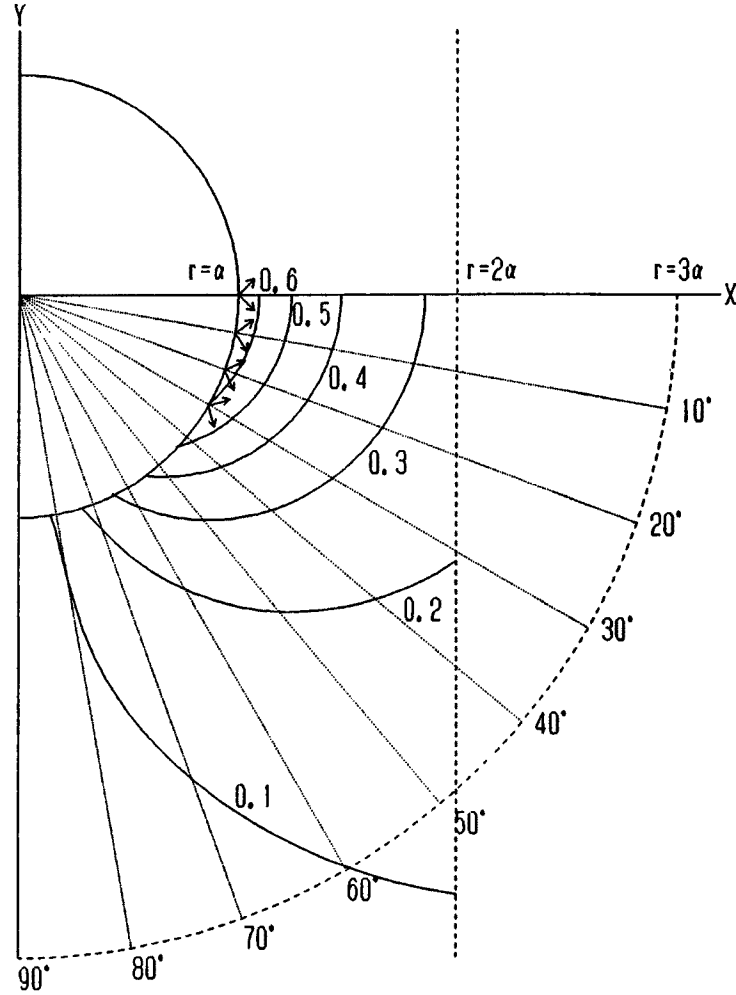


Fig. 5. Model of gas chamber.  $a$  is radius, solid curve represents maximum shear stress line designated by ratio for  $P=1$ .

$$\left. \begin{aligned} \widehat{rr} &= -P \frac{a}{r} \cos \theta \left\{ 1 - \frac{1-\sigma}{4} \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) \right\} \\ \widehat{\theta\theta} &= P \frac{a}{r} \cos \theta \frac{1-\sigma}{4} \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) \\ \widehat{r\theta} &= P \frac{a}{r} \cos \theta \frac{1-\sigma}{4} \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで  $\widehat{rr}$ ,  $\widehat{\theta\theta}$ ,  $\widehat{r\theta}$  はそれぞれ stress 成分であり,  $a$  は円の半径,  $\sigma$  は Poisson 比である。 $\sigma=0.25$  とすれば stress 分布が得られるが,  $\sigma$  を  $0.25 \sim 0.4$  位で変えても 1.4% 程度しか効いてこないことがわかっている。ここでは, むしろ必要な maximum shear stress の分布と, その最も大きい部分の方位とを求めた。それが, Fig. 5 である。 $P=1$  として shear stress maximum は  $r=a$ ,  $\theta=0$  で  $\approx 0.7$ —純粹せん断でないので—, 破壊は  $0.7 \sim 0.6$  の範囲で発生すると考えると, その主圧力の方位は, 地表面に対し, 円の中心から  $0 \sim 35^\circ$  位の方位—すなわち pull or push—が考えられることになる。このことは, 円の中心を変え, または,  $a$  を小さくとっても, 殆ど変わらない。したがって, 実際の観測すなわち上下方向への主軸の偏在は説明されるわけであり, “pull” 型, “push” 型と分類せずにおいた地震の殆どが, 多分両方の分類に分けられるように思われる。しかし, 同

時にそれがどちらかということは、逆に分別されなくなるようになることも注意すべきであろう。

### 3. 結論

gas chamber の存在を考えるなら、火口底直下の地震群の発震機構の偏りが説明できることを示した。注意すべきは、必ずしも下から上へ一義的に震源が移っていくとは思われず、gas chamber は gas の下方からの供給によって、破壊を繰り返しながら成長していくのであろう。

つまり計算した model は爆発直前の最終段階と考えるべきものであろう。次に、具体的に圧力はどの程度であろうか？それは静水圧よりはかなり高くなると見て差支えなく、地表より約 1000 m 程度で約 100 気圧であるから、仮に、200 気圧位まで上昇できると考えると、gas chamber の上部の破壊は、歪で  $10^{-5}$  に近い  $10^{-4}$  位で起り、 $\theta=0$  すなわち、chamber の直上の地表(火口底)での変位は、通常の弾性常数を使って、 $a=500$  m の場合に  $r=2a$ 、 $\theta=0$  で数 mm と積分される。傾斜計の観測点は火口底の南約 1 km のところであるので、傾斜は  $10^{-6}$  程度で、これも妥当な値となっている。

### 参 考 文 献

- 1) 和田卓彦・須藤靖明：阿蘇火山の火山性地震の発震機構，火山，第2集，第12巻，第2号，1967，pp. 61-69.
- 2) 和田卓彦・加茂幸介・小野博尉・須藤靖明：噴火前後の火山性地震の性質，京大防災研年報，第11号A，1968，pp. 121-130.
- 3) 和田卓彦・菊池茂智・小野博尉：1979年9月6日の阿蘇火山爆発について，火山，第2集，第25巻，第4号，1980，pp. 245-253.
- 4) 和田卓彦・小野博尉：阿蘇火山の1923年の火山活動と火山性地震，火山，第2集，投稿中.
- 5) Bickley, W. G.: The Distribution of Stress Round a Circular Hole in a Plate, Trans. Roy. Soc. (London), Ser. A, Vol. 227, 1928, pp. 383-415