

## 有珠山直下のマグマ溜りの検証\*

小林 昭夫\*\*

### § 1. はじめに

火山地帯の地下構造、特にマグマ溜りの存在に関する研究は、社会的に強い要請である噴火予知を可能にするために重要な情報を提供する。しかし、マグマ溜りの存在を直接的に証明することは極めて難しく、間接的な証拠からマグマ溜りの存在を推論する試みがなされてきている。従って、既に指摘されたマグマ溜りについても互いに独立な方法によってその存在を検証することは意味のあることである。ここでは、原田(1981)や森谷・岡田(1980)らによって有珠山直下の比較的浅い部分に存在すると推定されているマグマ溜りについて、Kobayashi et al.(1986)の方法を用いて検証する。

### § 2. 方法

ある観測点に記録されたP波とS波の振幅スペクトルは、以下のように書ける。

$$|A_p(f)| = |F_p| \cdot |A_o(f)| \cdot |S(f)| \cdot \exp(-\pi f dx / Q_p V_p) \quad \dots\dots (1)$$

$$|A_s(f)| = |F_s| \cdot |A_o(f)| \cdot |S(f)| \cdot \exp(-\pi f dx / Q_s V_s) \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 $F_p$ と $F_s$ は周波数 $f$ に無関係な量、 $A_o(f)$ は震源スペクトル、 $S(f)$ は地震計の周波数特性、 $Q_p$ と $Q_s$ はそれぞれP波とS波のクオリティ・ファクター、 $V_p$ と $V_s$ はP波とS波の速度である。式の中の積分は震源から観測点の間の全経路に沿ってなされる。P波とS波の経路は地殻構造、特に $V_p/V_s$ の値によってわずかに違おうだろうが、ここでは同じと仮定している。

式(1)と(2)より、公式

$$\log \left| \frac{A_s(f)}{A_p(f)} \right|^2 = r f + k \quad \dots\dots (3)$$

ただし

$$r = 2\pi \cdot \log f \left( \frac{1}{Q_p V_p} - \frac{1}{Q_s V_s} \right) dx$$

$$k = \log \frac{|F_s|^2}{|F_p|^2} = \text{定数}$$

が得られる。即ち、S波とP波のパワー・スペクトルの比は、対数をとることによって周波数の一次関数で表される。傾き $r$ は地震波の減衰に関係した量で、着目する周波数帯での $r$ 値によってその地震波が異常減衰域を通過したかどうかを判断する。

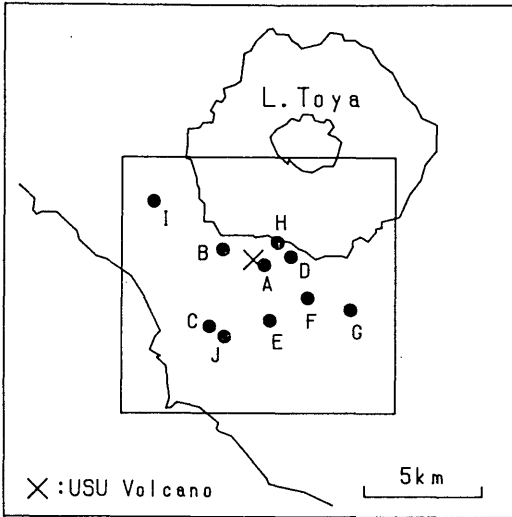
下鶴(1961)によると、S波に短周期の成分が観測される場合の地震波は、マグマポケットと関係のなさそうな経路を通過している。また、吉留(1974)は地震波がマグマ溜りに作用されたかどうかの判定にS波における短周期成分の欠除を用いている。従ってここでは、地震波が異常域を通過した場合、P波よりもS波にその効果が強く現れると仮定する。

一般にS波の周期はP波の周期より大きいので、傾き $r$ の値は負になることが予想されるが、異常域を通過した地震波の $r$ 値は異常に小さな値になるだろう。一つ一つの地震波線について求められた $r$ 値を正常・異常に分類し、それぞれを示す記号を各々の地震波線に与える。そしてそれらの記号を、ある深さ $d$ の水平面上の、地震波線との交点にプロットする。もし有珠山直下の比較的浅い部分に地震波を減衰させるような異常域があるとしたら、この付近に異常を示す記号のみが集中するはずである。

### § 3. 結果

観測点は、第1図に示した気象庁A点(J)と北大の9点(A~I)である。解析に使用した地震は、1983.2~1986.2の期間に北海道付近に発生した地震16個である(第1表)。地震記録の中には振幅が小さすぎたり、振り切れたりしているものがあるため、ここで使用した地震記録の数は42となっている。原記録から山・谷や変曲点の座標を読み取り、内挿で中間点の座標を計算しデジタル化する。解析に使用した長さはP波とS波の到着時からそれぞれ5秒、サンプリング間隔は0.02秒(気象庁A点の記録はそ

\* Akio Kobayashi: Verification of Magma Reservoir just under Usu Volcano. (Received July 1, 1987)  
\*\* 室蘭地方気象台



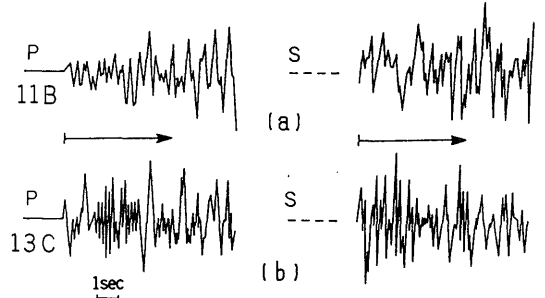
第1図 観測点の分布

図中のA~Iは北大の観測点, Jは気象庁A点, ×印は有珠山(大有珠)の位置を示す. 内枠は第4図で示す範囲.

それぞれ8秒, 0.05秒)である. 読み取った点から各々の記録についてP波とS波の卓越周波数を求め, それらの平均をとる. 卓越周波数のばらつきからr値を求める際に着目する周波数帯はその平均値を中心とした3Hzとする(気象庁A点の記録は1.5Hz).

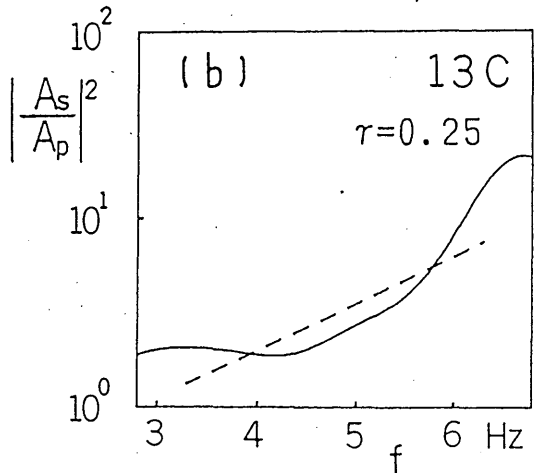
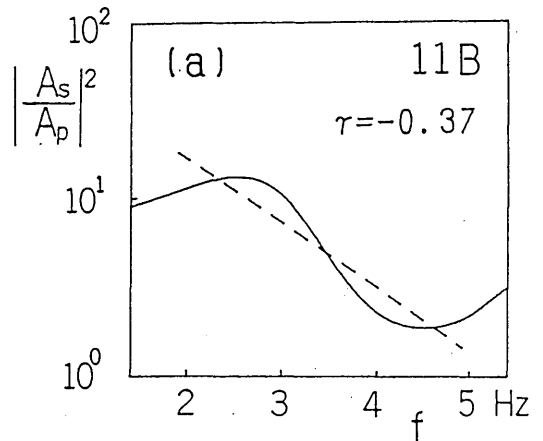
第1表 今回の解析に用いた地震

No	Origin Time					Epicenter		D km	M		
	Y	M	D	H	m	Lon.	Lat.				
1	1983	Feb.	8	23	06	144° 02'	45° 28'	307	5.3		
2	1983	Mar.	18	09	18	139	25	44	02	13	4.9
3	1983	Oct.	31	14	40	142	53	44	52	262	5.4
4	1984	Jan.	4	00	32	140	31	41	05	161	4.8
5	1984	Jan.	5	02	44	142	02	40	24	68	4.7
6	1984	Feb.	15	15	13	142	03	41	33	53	4.2
7	1984	Feb.	27	03	57	140	04	40	37	40	4.8
8	1984	Mar.	5	12	47	140	25	44	05	246	5.1
9	1984	Mar.	17	02	10	145	28	42	55	49	5.3
10	1984	Mar.	20	06	42	139	19	42	05	14	4.2
11	1984	Mar.	21	11	51	143	46	41	59	53	5.0
12	1984	Apr.	27	21	38	139	12	40	46	20	4.3
13	1984	May.	8	14	04	142	18	42	38	104	4.5
14	1984	Jun.	1	07	32	139	27	41	22	48	4.1
15	1984	Jun.	12	21	02	146	06	43	15	50	4.6
16	1986	Feb.	16	19	54	140	10	42	41	0	3.6



第2図 読み取った地震波形の例

図中の11B(13C)は, 地震番号11(13)の地震が観測点B(C)で記録された地震波であることを表す. 矢印は解析に使用した長さ(5秒).

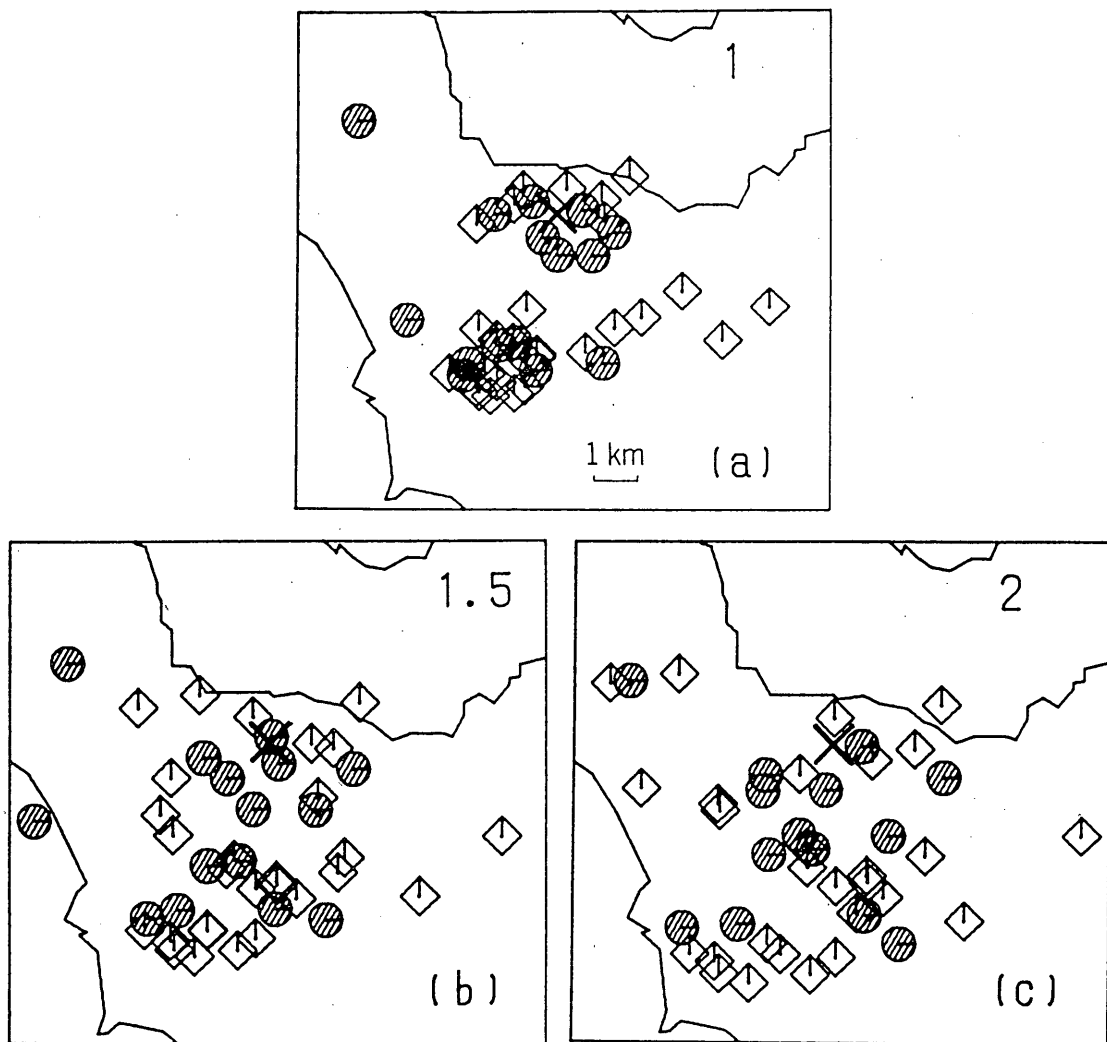


第3図 S波とP波のパワー・スペクトルの比の例  
縦軸はS波とP波のパワー・スペクトルの比, 横軸は周波数. 図中右上の11Bなどは第2図と同じ. スペクトル解析の結果を実線で示し, これを点線のように直線回帰して傾きrの値を求める. (a)はr値が負で異常なもの, (b)はr値が正のもので, それぞれ第2図の(a), (b)の地震波形について求めている.

第2図にデジタル化した地震波形, 第3図にスペクトル解析の結果の例を示す. それぞれの図の(a)は地震番号11の地震が観測点Bで記録された地震波, (b)は地震番号13の地震が観測点Cで記録された地震波についてのものである. スペクトル解析の結果, 得られたのは曲線だが, これを点線のように直線回帰して傾き $r$ の値を求める. 得られた $r$ 値の中には第3図(b)のように $r$ 値が正になってしまうものがみ

られる. これはP波の方により強い減衰が表れているという意味で異常である. しかし, ここではS波に大きな減衰がみられる場合のみ扱い, P波の減衰については議論しない.

さて, 記録の正常・異常を判定する $r$ 値に対する理論的裏付けがないので, 境界値を決める際には独断的にならざるをえないが, ここでは得られた全ての $r$ 値のうち小さな方の値から3分の1個を異常と



第4図 水平面と地震波線との交点に記号をプロットしたもの

右上の数字(km)は水平面の深さ

●: 異常な地震波線

◇: 正常な地震波線

×: 有珠山の位置

有珠山直下の1~1.5 kmの深さに, 異常な地震波線のみが集中している.

し、残りの3分の2個を正常とした。地震波の経路を計算する際の北海道南部のP波速度構造は、地表から深さ35kmまでは北海道南部での爆破地震の観測から求められたもの(Okada et al., 1973)、深さ35以深はJeffreys-Bullenの速度構造を用いている。各層間の速度分布は、Bullenの法則( $v=ar^b$ ; a, bは定数)に従っているものとしている。火山地帯のため地殻の浅い部分のP波速度が減少することが考えられるが、地震波の経路に対するこの影響は深さ1~2kmでは水平距離で0.5~1km程度と考えられる。

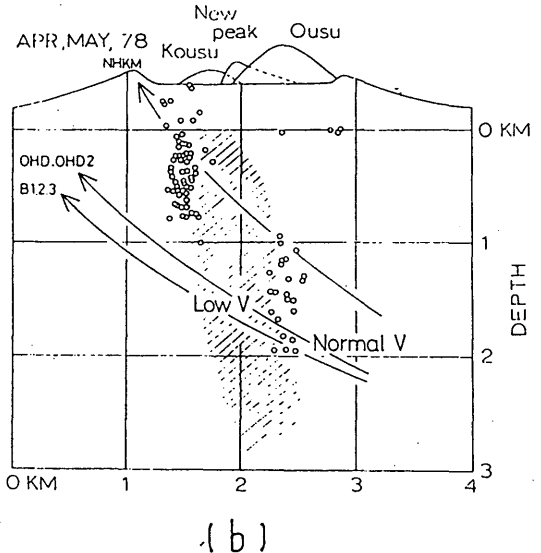
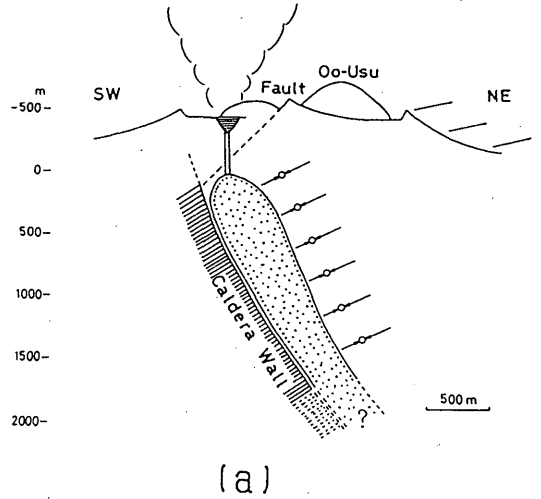
水平面上に記号をプロットした結果が第4図である。各々の図の右上の数字は深さをkmで示している。有珠山直下の地域に注目すると、深さ1~1.5km付近で異常な波線を示す記号のみが集中していることがわかる。

§ 4. 議 論

原田(1981)は有珠火山活動に伴う群発地震の発震機構を解析し、得られた応力場を説明するために有珠山直下に圧力源としてのマグマの存在を考えている(第5図(a))。また、森谷・岡田(1980)は群発地震活動の空白域、有珠山直下、に存在すると推定されたマグマを爆破地震観測の結果から確認している

第2表 正常・異常を判定した地震波線の表  
地震番号は第1表のもの、観測点は第1図のもの。○は正常、●は異常を表す。

地震番号	観測点									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										●
2										○
3										○
4		●	●		○			○	●	○
5	●		○		●					○
6										○
7										○
8										●
9										○
10										●
11	●	●								●
12	●	○	○			○	○	●		○
13	○	○	○		○		○	○		○
14										○
15										○
16	○		●	○	○			○		



第5図 有珠山直下に推定されているマグマ溜り  
(a)の点影域：原田(1981)より  
(b)の斜線域：森谷・岡田(1980)より

(第5図(b)).

さて、異常な波線は全経路のうちどこかで影響を受けたものであり、プロットした深さに異常な部分が存在したとは言い切れない(Kubota and Berg, 1967)。さらにr値による正常・異常の判定基準がややあいまいである。従ってこの方法だけで異常域の位置を結論づけることはできないが、他の方法から推定された異常域の存在を確かめることは可能であると考える。

正常・異常を判定した地震波線の表(第2表)を

見ると、観測点や地震による判定の偏りがみられず、このため深さ1～1.5 kmより上や下では異常な波線のみの集中は起きていない。このことは異常な部分がこの深さに存在することをより確からしくし、原田(1981)や森谷・岡田(1980)らによって推定されているマグマ溜りの存在を支持しているように思われる。しかし原田(1981)や森谷・岡田(1980)らの論文に示されたマグマ溜りの水平スケールは0.5～1 km程度であり、ここでのプロットの水平誤差を考えると正確なマグマの位置を確認することまではできない。

#### § 5. まとめ

原田(1981)や森谷・岡田(1980)らによって有珠山直下の比較的浅い部分に存在が指摘されているマグマ溜りについて、Kobayashi et al.(1986)の方法を用いて検証を試みた。その結果、有珠山直下の深さ1～1.5 km付近にマグマ溜りによって作用されたと思われる地震波線の集中域がみられた。このことは、既に指摘されているマグマ溜りの存在を支持しているように思われる。

最後に、多くの資料を提供して下さった北海道大学理学部有珠火山観測所の方々、並びに適切な助言をいただいた札幌管区気象台の高山博之、宮村淳一両氏に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 原田徹(1981): 発震機構からみた有珠火山応力場, 火山, 第2集, 26, 93-110.
- Kobayashi, A., I. Furuya and K. Uhira(1986): Re-examination of Magma Reservoirs by Spectral Analysis of P and S Waves, Geophys. Mag., 41, 4, 173-187.
- Kubota, S. and E. Berg(1967): Evidence for magma in the Katmai volcanic range, Bull. Volcanol., 32, 175-214.
- 森谷武男・岡田弘(1980): 有珠山における爆破地震動の観測—マグマによる走時・伝播異常—, 火山, 第2集, 25, 63-74.
- Okada, H., S. Suzuki, T. Morita and S. Asano (1973): Crustal Structure in the Profile across the Southern part of Hokkaido, Japan, As Derived from Explosion Seismic Observations, J. Phys. Earth, 21, 329-354.
- 下鶴大輔(1961): マントル上層部の温度分布と magma pocket の存在性について, 地震, 2集, 14, 227-242.
- 吉留道哉(1974): 桜島周辺における地震記録の異常とマグマ溜りとの関連について, 験震時報, 39, 49-62.