

富士山の低周波地震

鶴川元雄¹⁾

1. 富士山の火山性地震

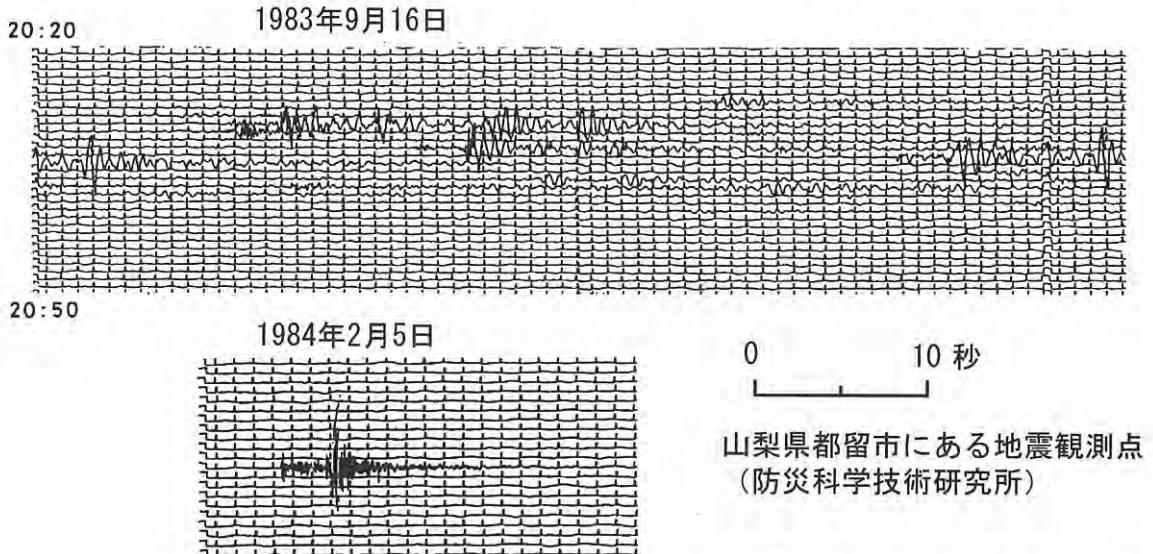
火山で発生する地震のことを火山性地震ということがあります。はっきりと定義された言葉ではありませんが、火山周辺で発生し、地震を引き起こす原因が火山活動と関係していると思われるものに対して付けられた呼び方です。ふつうの地震は断層のずれが原因ですが、火山では地震を引き起こす原因として岩盤に生じる断層だけではなく、火山性流体と呼ばれるマグマや熱水なども原因となることがあるのでいろいろな種類の地震が発生します。たとえばふつうの地震よりゆっくりとした地震波を放射する低周波地震や長時間震動が続く火山性微動などは、火山性流体が関係していると考えられている火山性地震の代表的なものです。そしてこのような地震を観測することは、火山の下で起

こっているマグマ活動の検知につながります。

現在の富士山では噴火や噴煙活動は見られませんが、しかし地震計で詳しく富士山の地下の活動を調査すると、深さ10kmから20kmで低周波地震が発生していることがわかりました。富士山で低周波地震がはっきりと認識されたのは、いまから約20年前、日本に微小地震観測網の整備が進んだ1980年代前半のことで、それほど古いことではありません。富士山のように火山深部で低周波地震が発生するというのも、それまでハワイ以外ではほとんど知られていませんでした。

2. 低周波地震の定常的な活動と2000年の活発化

1983年9月16日午後8時20分頃から十数分間に



第1図 1983年9月16日に富士山周辺の観測点(都留市)で観測された富士山の低周波地震の波形(上)と富士山の近くで発生したふつうの地震(下)。

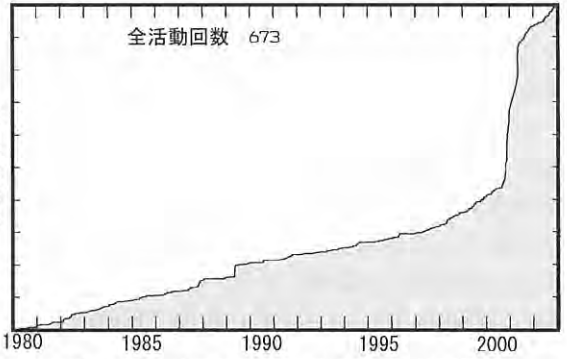
1) 防災科学技術研究所：
〒305-0006 つくば市天王台3-1

キーワード：富士山、低周波地震、火山活動

わたって、富士山周辺の地震観測点が見慣れない地震を記録しました。第1図は山梨県都留市で観測されたその地震波形をふつうの地震と比較したものです。低周波地震は、その呼び名のように揺れの周期がふつうの微小地震よりゆっくりしているという特徴があります。震動が富士山周囲の観測点でしか検知されなかったので富士山の下でこの奇妙な地震が発生したことはすぐにわかりました(鶴川・大竹, 1984)。震源決定の結果、やはり震源は富士山直下10kmから20kmの深さということを確認することができました。地震や火山の研究者が、はじめて富士山の深部でなにか動きがある事を認識した事件といえます。

第1図の低周波地震の波形を見ると、低周波の微小地震が、十数分間にわたって連続的に発生しています。このように連続的に地震が発生することもこの低周波地震の特徴なのですが、この特徴のために発生した地震数を正確に把握することができません。そこで低周波地震の数そのものではなく、連続的に発生する一連の地震活動を1回の活動として数えることにして、富士山の低周波地震の

1995年4月～2000年7月

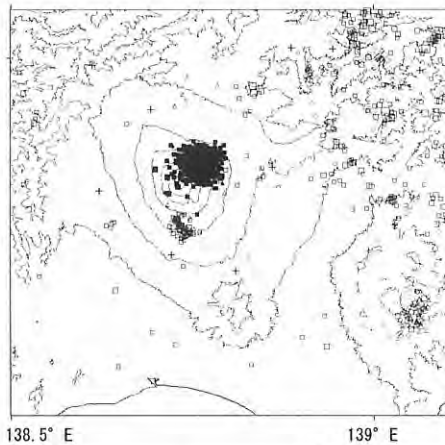
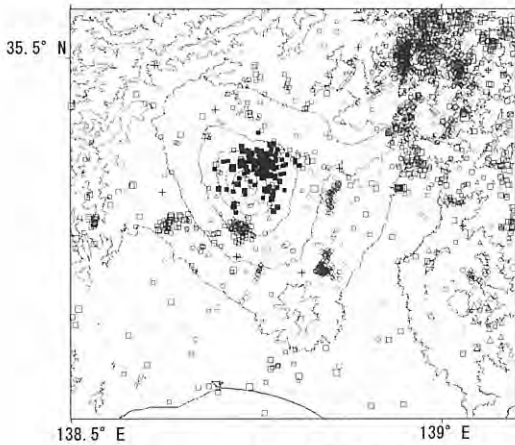


第2図 富士山の低周波地震活動の積算回数。

発生状況を調べました。

第2図に1979年7月から2003年5月までの低周波地震活動の累積回数を示します。階段状に増加している年には、比較的多くの地震が発生したことを示しています。1999年までは観測網整備による観測回数の増加は見られるものの、累積回数の傾き、すなわち発生頻度はほぼ一定です。ところが2000年に発生回数が急増しました。2000年10月頃から低周波地震の活動が活発化し、翌年の5月までこ

2000年8月～2001年7月



- 低周波地震
 - 上記以外の地震
 - + 観測点
- 深さ (km)
- < 5
 - 5 ≤ △ < 10
 - 10 ≤ □ < 20
 - 20 ≤ ◇ < 30
- マグニチュード
- < 1
 - 1 ≤ ○ < 2
 - 2 ≤ ○ < 3
 - 3 ≤ ○ < 4

第3図 富士山の低周波地震の震源分布図、左は活発化前(1995年4月～2000年7月)、右は活発化を含む期間(2000年8月～2001年7月)。

の状態が続きました。この8ヶ月間に過去20年間の発生数に匹敵する300回以上の低周波地震活動が記録されています。

防災科学技術研究所では、1995年4月より富士山火山活動観測網として、低周波地震の震源を定常処理作業で決めています。2000年の活発化以前は、富士山の北東側山腹直下、深さ10kmから20kmを中心とした範囲に震源が推定されていました。活動が活発化したときに、震源の移動の有無が目目されましたが、顕著な震源の移動は認められませんでした。活発化以前と活発化後の震源分布を第3図に比較して示しました。どちらも震央は富士山の北東斜面、山頂から2～4km付近、震源の深さは10～20kmの範囲に分布しています。

低周波地震とマグマの関係がまだ解明されていないので、震源が移動しなかったからといってマグマは上昇していないという結論を導くことはできないのですが、少なくともマグマ活動の活発化の可能性を示唆する現象は、地殻の中部～深部に限られていたと言えます。

3. 低周波地震と火山活動との関係

富士山の低周波地震が発見されてから既に20年以上が経っていますが、まだ低周波地震はなぜ起こるのかという最も基本的な疑問を解決することができません。しかしながら、この20年の間にこのような低周波地震が地下深部の火山活動と関係していることを示す様々な状況証拠が見つかりました。

まず富士山で観測されたような低周波地震が、他の火山でも次々に発見されています。日本では伊豆大島、岩手山、十勝岳など20火山以上で(例えばUkawa and Ohtake, 1987; 鈴木, 1992; 鶴川・小原, 1993; Hasegawa and Yamamoto, 1994)、また海外でも北アメリカ北西岸やアラスカ等の10以上の火山で観測の報告があります(例えばPower *et al.*, 1995)。低周波地震は、地球のあらゆる場所で発生しているのではなく、特に火山地域の深さ10kmから40kmくらいの深さに集中して発生しているので、火山との空間的な関係から地下深部の火山活動と関係していると考えるのが自然です。深さ10km～40kmという深さで発生する

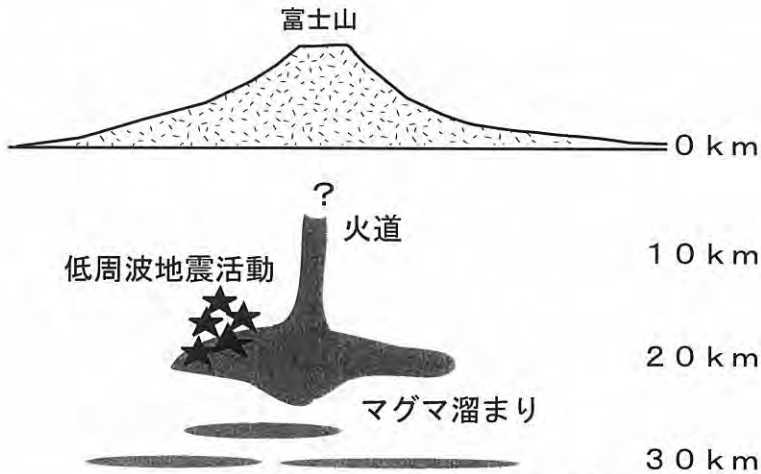
低周波地震を火山の火口近くで発生する低周波地震と区別するため、深部低周波地震という呼び名が定着してきました。

ほとんどの深部低周波地震は噴火等の火山活動の活発化と関係なく発生しているように見えますが、その中に少数ですが噴火前後に活動が活発化した事例があります。火山活動との関係が最も明瞭な事例は、1991年4月から火山活動の活発化が始まったフィリピンのピナツボ火山です。ピナツボ火山では同年6月15日に20世紀最大級の噴火が発生しました。この大噴火の2～3週間前にピナツボ火山直下の深さ30km～40kmで富士山と同様の特徴を持つ深部低周波地震が600回以上も発生した事を米国地質調査所が報告しています。

この地震を研究したランディ・ホワイトは、火山活動が活発化し始めた後に、最上部マントルから玄武岩質のマグマが上昇し、このマグマ上昇過程で深部低周波地震が活発化したという考え方を発表しています。そして、この上昇した玄武岩質マグマが地殻の浅いマグマ溜まりに流入したことが6月15日の大噴火の引き金になったと推定しています(White, 1996)。

日本でも、火山活動の活発化に呼応して深部低周波地震が活発化したいくつかの事例があります。1998年に岩手山は噴火に至らなかったものの、火山活動が活発化してマグマが地下1～2kmまで上昇してきました。このとき深部低周波地震がマグマの上昇時期と重なるように活発化したという現象が東北大学によって報告されています(Nakamichi *et al.*, 2003)。このほか伊豆大島や十勝岳でも噴火と時期的に近接して深部低周波地震が発生したことが分かっています(Ukawa and Ohtake, 1987; 鈴木, 1992)。

火山との空間的な関係に加えて、噴火や火山活動の活発化と時間的にも強く関連して深部低周波地震が発生することから、深部低周波地震の発生原因に地下のマグマの動きが深く関わっていると推定できます。いくつかの火山で観測された深部低周波地震に対して、発生機構モデルが提唱されています。それらには火道内のマグマの周期的な流れ(Ukawa and Ohtake, 1987)、火道内のチョーク流(White, 1996)、開口亀裂と断層運動や体積変化との組み合わせ(Nakamichi *et al.*, 2003)と



第4図 作業仮説としての富士山の地下構造モデル。

いったものがありますが、まだ深部低周波地震について一般的に適用できるモデルとしては確立していません。

これまでの富士山の地下構造の研究と考え併せると第4図のように地殻内のマグマ溜まりの周りで深部低周波地震が発生している地下モデルが作業仮説として考えられます。マグマがどのように地震波の発生に寄与しているのか、まだ解明できていませんが、観測された地震波にS波が明瞭なことから、マグマ溜まり周辺の岩盤が重要な役割を果たしていることは確かと考えられます。

深部低周波地震は、地下深部にあるマグマだまりから発せられている貴重な信号である可能性があります。この信号を正確に解読できるようになることが、深部低周波地震研究の課題です。このためには低周波地震だけでなく、富士山のマグマシステムも理解することが必要です。このような研究を進めることにより、噴火予知の実用化が進んでいくものと期待できます。

謝辞：産業技術総合研究所の須藤博士には、富士山の低周波地震を紹介する機会を与えて頂きました。ここに記して感謝致します。

引用文献

- Hasegawa, A. and A. Yamamoto (1994) : Deep, low-frequency microearthquakes in or around seismic low-velocity zones beneath active volcanoes in northeastern Japan. *Tectonophys.*, 233, 233-252.
- Nakamichi, H., H. Hamaguchi, S. Tanaka, S. Ueki, T. Nisimura and A. Hasegawa (2003) : Source mechanisms of deep and intermediate-depth low-frequency earthquakes beneath Iwate volcano, northeastern Japan. *Geophys. J. Int.*, 154, 811-828.
- Power, J. A., A. D. Jolly, R. A. Page and S. R. McNutt (1995) : Seismicity and forecasting of the 1992 eruptions of Crater Peak Vent, Mount Spurr volcano, Alaska: an overview. *U. S. Geological Survey Bulletin* 2139, 149-177.
- 鈴木貞臣 (1992) : 十勝岳付近のモホ面付近に発生した低周波微小地震—震源とスペクトル. *火山*, 37, 9-20.
- 鶴川元雄・大竹政和 (1984) : 富士山直下の特異な微小地震活動について. *地震*, 37, 129-133.
- Ukawa M. and M. Ohtake (1987) : A monochromatic earthquake suggesting deep-seated magmatic activity beneath the Izu-Ooshima volcano, Japan, *J. Geophys. Research*, 92, 12649-12663.
- 鶴川元雄・小原一成 (1993) : 関東地方の火山フロント下のモホ面付近に発生する低周波地震. *火山*, 38, 187-197.
- White, R.A. (1996) : Precursory deep long-period earthquakes at Mount Pinatubo : spatio-temporal link to basaltic trigger. *Fire and Mud*, ed. C. G. Newhall and R. S. Punongbayang, 307-326.

UKAWA Motoo (2003) : Low frequency earthquakes at Mt. Fuji.

<受付: 2003年8月29日>