

白山の低周波地震

平松 良浩

はじめに

昨年は有珠山の噴火にはじまり、夏には三宅島でも噴火が起こり、未だにその活動は収まる気配がありません。今年に入ってから富士山も危ないのではというニュースが報じられました。その理由として、富士山の下で低周波地震が急増していることが挙げられています。

白山は歴史上何度も噴火を繰り返している火山です。白山の噴火活動は300年間の休止期と100～150年間の活動期とを繰り返していると考えられています。その白山でも1999年7月に観測史上はじめて低周波地震の発生が確認されました。本稿では低周波地震を中心に白山と地震のことについて述べます。

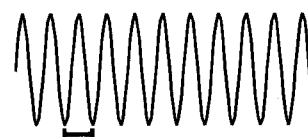
はじめて観測された低周波地震

1999年に白山の下でもはじめて低周波地震が観測されました。発生時刻は1999年7月18日3時12分、震源の位置は緯度36.13度、経度136.78度、深さ37kmと白山の直下になります。地震の規模を表わすマグニチュードは1.2です。これくらいのマグニチュードでは体には感じません。しかし、高性能な地震計では石川、岐阜、福井の3県にわたる広い範囲で地震波形が記録されました。37kmという深さは地殻とマンツルの境界であるモホ面の深さとほぼ同じと考えて良いでしょう。断層がずれることによって起こる内陸部の地震はこのような深さでは起こらず、この低周波地震はかなり特殊な地震であることがわかります。

低周波とは

さて、先ほどから何度も「低周波地震」という言葉がでてきましたが、低周波地震とは何でしょうか？普通の地震とどこが違うのでしょうか？低周波地震という名前は観測される地震波の特徴から付けられています。図1に規則的に振動する波が2つ書いてあります。波が山から山、あるいは谷から谷へと振動するのにかかる時間を周期と言い、周期の逆数を周波数と言います。上の波のように周期が短い波のことを高周波な波と言い、下のように周期が長い波のことを低周波な波と言います。

低周波地震とは普通の地震とくらべて、地震波が低周波である、すなわち地震波の周期が長い地震のことです。普通の地震では地震計の針が1秒間に6～10回近く動きます。周波数で言えば6～10ヘルツくらいの波になります。それに対して低周波地震では1秒間に1～2回程度しか動きません。この場合は1～2ヘルツの波になります。



周期が短い＝周波数が高い



周期が長い＝周波数が低い

$$\text{周波数} = \frac{1}{\text{周期}}$$

図1 上：高周波な波、下：低周波な波の概念図。山と山、谷と谷の間の時間のことを周期と言い、その逆数が周波数になります。

地震波形の比較

図2に地震の波形例を示します。これらはどちらも白山の下で起こった地震の波形です。さて、どちらが低周波地震の波形でしょうか？上の波形と下の波形をよく比べてください。地面の揺れ方が違うことに気がつくと思います。上の波形は全体的に黒っぽく、これは一定の時間の間に地面の振動する回数が多いことを示しています。つまり、図1の高周波数の波と同じなのです。それに対して下の波形は、ずいぶん線と線の間が空いていて白っぽくなっています。これは一定の時間の間に地面の振動する回数が少ないことを示しています。こちらは図1の低周波数の波に対応します。

正解を言いますと、上の波形は普通の地震の波形で、市ノ瀬に設置した地震計で記録されたものです。下の波形が1999年に観測された低周波地震の波形で、小松市の尾小屋鉱山跡に名古屋大学と共同で設置している広帯域地震計で記録されました。10秒間に10回振動していることが図から分かります。これは1秒間に1回振動しているということですから周波数では1ヘルツの波になります。

下の波形にはもう一つ重要な特徴があります。それは、いつまでも同じ周期、すなわち同じ周波数の揺れが続くということです。上の波形はP波がきて、そのつぎにS波がきて終わりますが、下の波形ではそのような区別がつきません。実際、この波形ではP波がいつ到着したのかはよくわかりません。揺れはじめてるように見えるところはS波にあたります。このように低周波地震ではP波が識別しにくい場合が多いようです。

もう一度整理すると、低周波地震とは(1)地震波の周波数が普通の地震とくらべて低い、(2)特定の周波数の揺れが長く続く、といった特徴をもつ地震波を出す地震のことです。

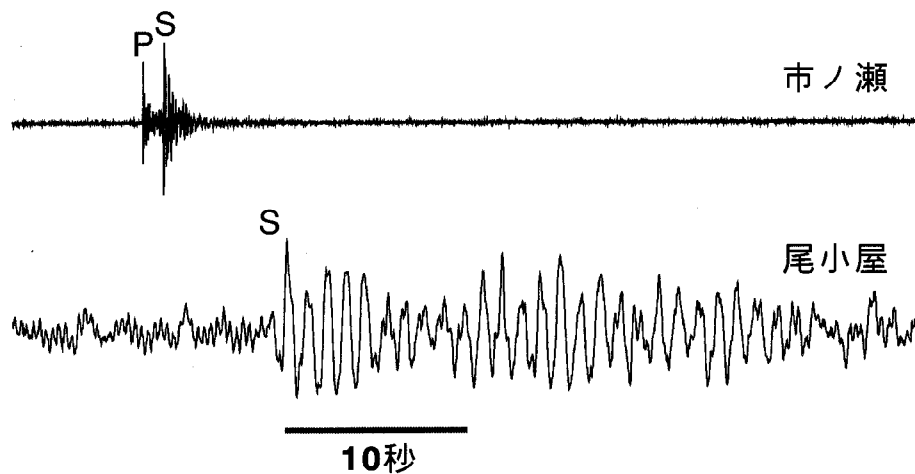


図2 白山の下で起こった地震の波形例。上：白峰村市ノ瀬記録された深さ3kmの普通の地震の波形。下：小松市尾小屋で記録された1999年7月18日の低周波地震の波形。P、SはそれぞれP波、S波の到着を表わし、波形の下の横棒の長さが10秒になります。地震波形の振幅は地面の振動速度に比例していますが、波形を見やすくするために倍率は上と下で変えてあります。

低周波地震の原因

低周波地震はなぜ起こるのでしょうか？一般に地震は活断層がずれることで起こります。活断層とは最近数百万年の間に活動した断層で、今後も地震を起こす可能性のある断層のことです。去年の10月に起こった鳥取県西部地震では地表に断層は現れませんでした。1995年1月の兵庫県南部地震では野島断層で地表にもずれが表れました。しかし、低周波地震の原因となると実はよく分かっていません。

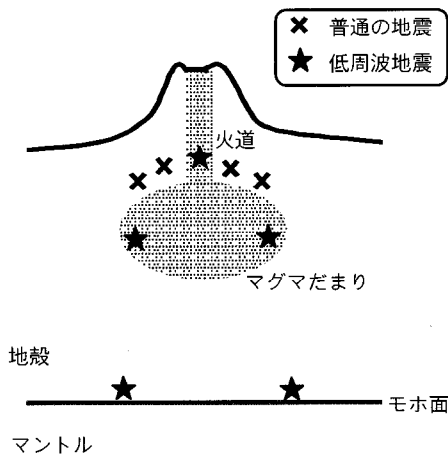


図3 火山と低周波地震の起こる場所の関係を表わした模式図。×は普通の地震の起こる場所、★は低周波地震の起こる場所を示しています。

低周波地震の発生する場所が火山の直下に多いことや火山の噴火の前に低周波地震の個数が増えることから、マグマの活動に関連していると考えられています。火山と低周波地震の起こる場所の関係を図3に模式的に示します。火山で起こる低周波地震には2通りあり、深さ数kmまでで起こる浅い低周波地震と地殻とマントルの境界のモホ面付近で起こる深い低周波地震があります。浅いところで起こる低周波地震については火山内部の流体（熔岩やガス）のゆっくりとした圧力変化によって発生し、それで生じるゆれが火道やマグマだまり内で共振を起こして一定の周波数の波がでると考えられています。しかし、深い方の低周波地震についてはそれほど明確なイメージがあるわけではなく、おそらくマグマのもとになるものが地下深くにあり、地震時の断層運動に比べるとゆっくりとした運動が地殻とマントルの境界付近で起こっているのではないかと考えられています。

火山の噴火と低周波地震

有珠山や三宅島の例から分かるように、火山の噴火と地震の間には関係があり、噴火前後には著しく地震数が増加します。有珠山の場合では地震数の変化を利用した的確な噴火予測が行われました。特にマグマの活動を反映していると考えられる低周波地震は、噴火予測という面では重要な意味を持ちます。低周波地震があるということは、その火山が噴煙を出さず表面上は穏やかに見えたとしても、生きた活発な火山であることの証拠なのです。

しかし、火山が噴火する前に必ず低周波地震が起こるわけではありません。昨年起こった有珠山の噴火の前には多くの地震が起こりましたが、低周波地震の発生は確認されていません。また、1998年には岩手山でも低周波地震が観測されましたが、その後噴火はしていません。したがって、「低周波地震＝噴火」と単純に結びつける必要はありません。

白山の地震とマグマだまり

さて、ここで白山周辺の地震活動を見てみましょう。図4に北陸地方の微小地震活動を示します。微小地震とは地震の規模を表すマグニチュードが0～3程度の小さな地震のことで、ほとんどが人がその揺れを感じることがない無感地震です。北陸では福井地震や能登半島沖地震の余震、跡津川断層や北アルプスに沿った地震が目を見ますが、白山周辺（図中の枠内）にも地震が集中していることが分かります。

それでは、白山周辺の地震活動を拡大して見てみましょう。図5は過去15年間に既存の観測点で記録された白山周辺で起こった地震を、平面図と深さ方向の断面図を地形図とともに三次元的に表しています。この図を見て分かることは、(1) 地震は白山の山麓まで含めた全体ではなく山頂部の下で起こっている、(2) 地震は浅いところ、深さ2～4kmで起こっている、の2点です。特に(2)は火山の下で起こる地震の特徴で、断層沿いで起こる通常の地震の深さはもっと深く5～15kmの深

さで多く起こります。

火山の下ではなぜ地震の起こる深さが浅いのでしょうか？その答えはマグマだまりの存在にあります。地震の起こる深さの下限は温度と関係があり、地中の温度にして約350℃に相当すると考えられています。これより温度が高くなると岩石の性質が柔らかくなるため地震は起こらなくなります。火山の下には熱いマグマだまりがあるので、他の地域とくらべてこの350℃に相当する深さがかなり浅くなります。また、マグマだまりの周囲は構造的にも弱く、地震が起こりやすいところになります。つまり、上で挙げた(1)、(2)の特徴は白山の下にも熱いマグマだまりがあることを示す証拠とみてよいでしょう。地殻の底で起こった1999年の低周波地震は、このマグマだまりにマグマを供給する過程の一面を私たちにを見せてくれたのかもしれない。

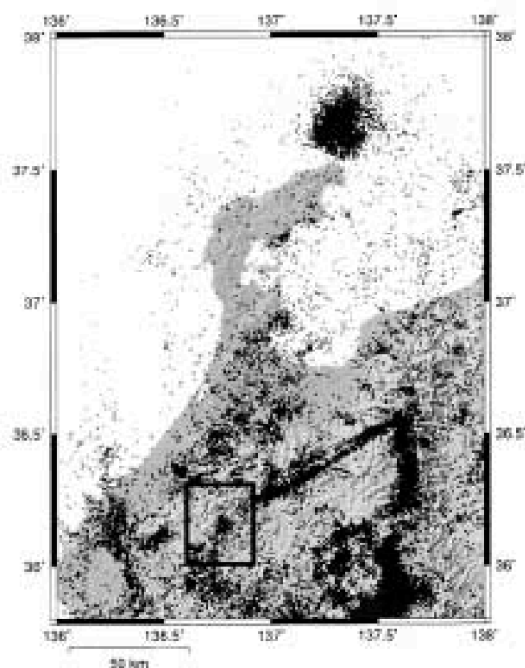


図4 北陸地方の微小地震の震央分布図（地震データは京大防災研究所による）。図中の四角枠は図5の範囲を示しています。

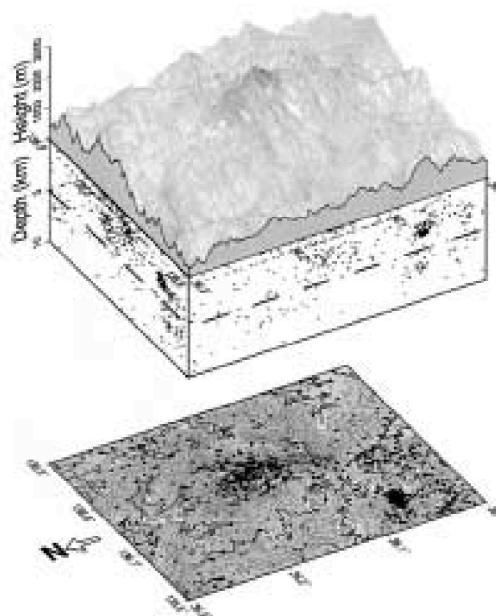


図5 白山周辺の地震の分布図。白山山頂部の直下2~4kmに地震が多いことがわかります。

おわりに

ここでは、1999年にはじめて観測された低周波地震を例にして白山と地震の関係について述べてきました。ひとつ注意しておくべきことは、はじめてといっても過去に低周波地震が全く起こっていないということではないことです。兵庫県南部地震以降、日本全国で地震観測の強化が進められています。北陸でもここ数年の間に地震観測網や観測システムはずいぶん充実し、以前なら起こっていても観測できなかった地震が観測できるようになりました。しかし、白山の噴火監視体制としてはまだまだ十分ではありません。異常を察知するためには普段はどの程度の地震が起こっているのか知っていなければなりません。

金沢大学では昨年10月から11月にかけて関係する方々の御協力のもとに白山のすぐふもとの臨時地震観測を行い、今までより10倍近い数の地震を観測することができました。これについては別の機会に御紹介したいと思います。今後も継続して観測することによって白山の下の定常的な地震活動や構造などがわかるようになるでしょう。最後になりましたが、臨時地震観測に御協力いただいたみなさまにはこの場をお借りして御礼申し上げます。

〈金沢大学大学院自然科学研究科〉