

## 講 座

### 地 震 と 私 た ち (4)

増 田 徹

#### 3. 地震の個性

##### 3-1. 地震の音色

日本中どこにでもあり、わたしたちを震え上がらせる地震ですが、どの地震も同じではなく、それぞれに個性があります。地震は、大きな力を受けている地下の岩石が耐えきれなくなって破壊し、その衝撃が地震波となって伝わり、周辺の地盤が次々に振動する現象です。地震の岩石の破壊のしかた、破壊する領域の大きさによって、伝わる地震波の性質も異なります。

地震波の性質を表すものとして、音色を考えてみましょう。地震波は音と同じ波動の一種ですから、当然地震波にも音と同じような音色があります。

音には高音と低音の区別があります。「ド」の音よりは「レ」の音の方が高音です。音の高低は音波の周波数の高低で決まります。

音の高低とは別に、澄んだ音、濁った音、軽快な音、重厚な音などの音色があります。同じ「ド」の音でも、ヴァイオリンの奏でる「ド」とロックンローラーのシャウトする「ド」では、聞こえる音の高さは同じでも、音色は異なり、違った音として聞こえます。

普段わたしたちが耳にする音は、单一周波数成分だけではなく、多かれ少なかれ、周波数の低い低音から周波数の高い高音までのそれぞれの成分が混ざり合ったものとして捉えることができます。言い換えれば、音、あるいは一般の波動には、各周波数成分に分解できるということです。各周波数に分解された音の成分は、单一周波数の振動ですから非常に澄んだ音に聞こえます。

音の高低は、混ざり合った音のうち一番強い成分の周波数で決まります。ヴァイオリンでもロックンローラーでも、「ド」の音程を出しているときは、「ド」に対する周波数成分が一番大きくなっています。

一方、音色は、低音から高音までのそれぞれの成分の混ざり具合で決まります。ヴァイ

オリンのように澄んだ音は、1つの周波数成分が大きく、ほかの周波数成分はそれに比べて小さくなっています。これとは反対に、ロックンローラーのような渋みのある音は、1つの周波数成分のほかにその周りの周波数成分も結構大きくなっています。

波動を周波数成分に分けて捉えて、各周波数に対してその成分の大きさを見たものをスペクトルと呼びます。音程の違いはスペクトルのピーク周波数の違いで説明されます。一方、音色の違いはスペクトルの形の違いで説明されます。

地震波の音色も同じようにして決まります。地震によって、地震波の形、卓越周波数も異なり、スペクトルのピーク周波数も違いますし、スペクトルの形も異なります。

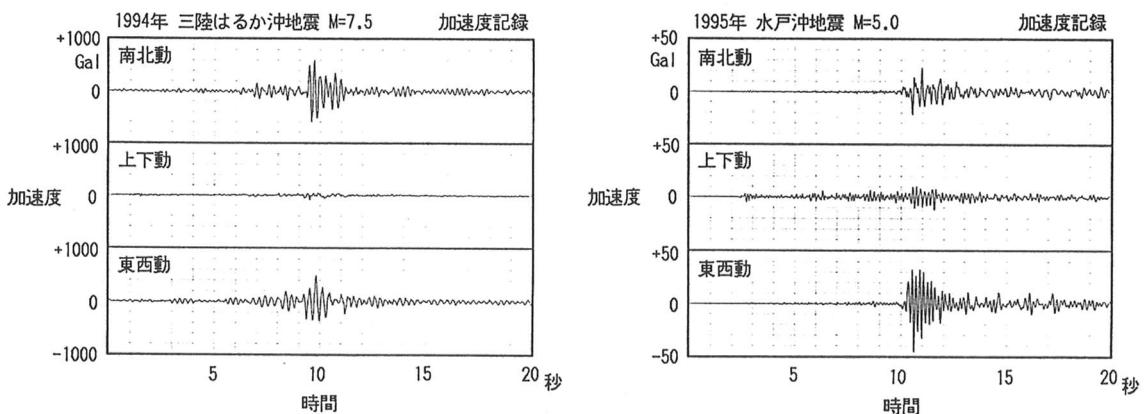
次のページにある図は、マグニチュードの違いによる加速度波形の違いを示しています。左側は、1994年の暮れに東北地方北部を激しくゆらしたマグニチュード7.5の三陸はるか沖地震を、青森県八戸市にある気象庁八戸測候所で捉えた加速度記録です。右側は、1995年に茨城県水戸市の沖合いで起きたマグニチュード5.0の地震を、埼玉県浦和市にある応用地質株式会社探査工学研究所で捉えた加速度記録です。

2つの記録では、縦軸の加速度の目盛りが20倍違います。左側と右側とでは、最大加速度がほぼ20倍違うことになります。ここで注目したいのは、左側と右側とで地震波の卓越周波数が違うことです。左側のマグニチュードの大きな地震の方が、右側のマグニチュードの小さな地震より、卓越周波数が小さいのです。

また、マグニチュードはほぼ同じであっても、地震には個性があり地震によって地震波波形やスペクトルの形が異なります。その次のページにある図は地震による波形とスペクトルの形の違いを示しています。上の段は、マグニチュード7.5の1994年三陸はるか沖地震、中段は、マグニチュード7.2の1995年兵庫県南部地震、下の段は、マグニチュード7.8の1993年釧路沖地震です。

いずれもマグニチュード7以上で、大きな被害をもたらした地震です。マグニチュードはさほど変わりませんが、地震波の卓越周波数や、地震波の形は大きく異なります。

その次のページの図は、これら3つの地震波の南北成分のスペクトルです。地震によつて、スペクトルのピーク周波数やスペクトルの形が大きく異なっています。



マグニチュードの違いによる卓越周期の違い

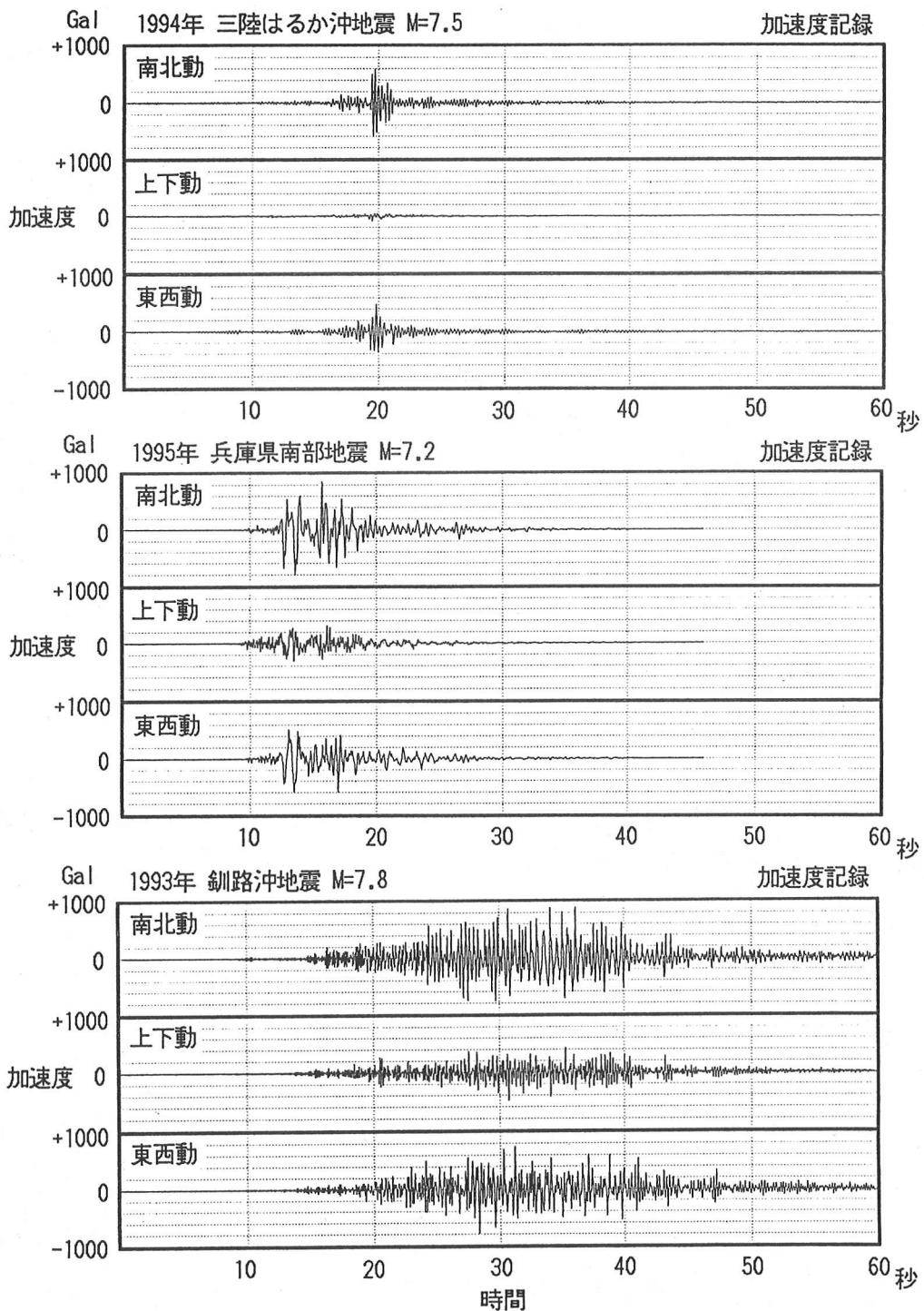
### 3-2. 「地震」のゆらし方

地震の音色の違いは、地震の起り方と関係があります。地震は、地下の岩石が次々に壊れることによって起こります。岩石の破壊は、多くの場合、瞬間的な断層運動としての形態をとります。力をうけた岩石が耐えきれなくなって、弱面に沿って相対的にずれるのです。相対的にずれることによってかかっている力は緩和されます。破壊は1種の安定化です。

地下の岩石の相対的なずれは、弱面の中でも最も弱いところから始まります。その後、弱面である断層面に沿って相対的なずれが拡がっていきます。弱面の中を拡がるわけですから、四方八方に拡がれるのですが、かかっている力がもともと弱い部分や、岩石のずれに対する抵抗力が大きい部分は、破壊せずに無事でいられることもあります。このようにして、最も弱い部分から始まった岩石のずれは、断層面に沿って弱い部分を選択的に拡がることになります。

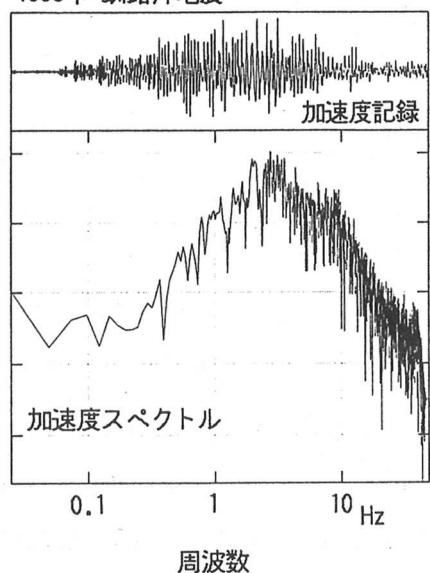
拡がっていく岩石のずれは、やがてどこへも拡がれなくなります。これは、もともと岩石に力のかかっている領域が限られているからです。地下の岩石のどこにでも、同じ大きさの力がかかるわけではありません。むしろ、地震は、地下の岩石に不均一な力がかかり、局所的に大きな力がかかることによって起こると言えます。

地震を起こす岩石のずれは、空間的には断層面に沿って拡がっていきますが、断層面内のある点でのずれの時間的振る舞いに着目すると、ずれが始まってから非常に短時間では

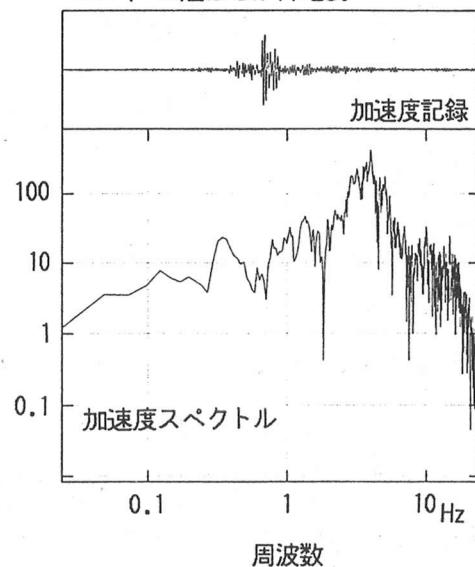


地震による波形の違い

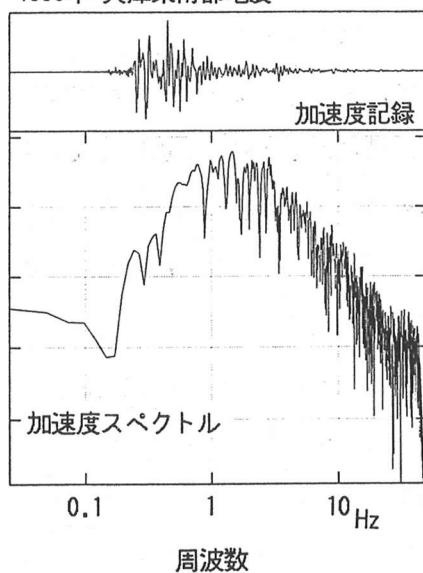
1993年 釧路沖地震



1994年 三陸はるか沖地震



1995年 兵庫県南部地震



#### 地震によるスペクトルの違い

ありますがしばらく続きます。岩石がずれることによってその点にかかっている力が抜けてしまうとやがてそれは停止します。

1つの地震を起こす地下の岩石のずれは、時間的にも空間的にも有限となります。地震は、局所的な1点で瞬間的に起こるのではありません。地震は、空間的には、断層面内の

最も弱い点から始まって、有限の拡がりをもった領域内に限られます。時間的には、最も弱い点で始まった時点から、断層面全ての点でのずれが停止したときまで続きます。

このように、地震を起こす断層でのずれが、空間的にも時間的にも有限な広がりをもっていることが明らかになったのは、最近の地震学の大きな成果の1つです。

空間的にも時間的にも有限であらねばならないということは、地震の起り方には、空間的にも時間的にもある法則性があるという確信に導かれます。事実、地震の震源から放射される地震波の性質、つまり「地震」のゆらし方には、大変華麗な特徴があります。これも、最近の地震学の大きな成果の1つで、地震の震源の相似則とよばれています。

断層での岩石のずれは破壊現象の1種ですから、確立論的性質を多く含んだもので、決定論的な法則性からは縁の遠い印象を受けます。断層面の個々の点でのずれ、特に最も弱い部分でのずれの始まりは、ミクロに見ると確立論的因素が支配的であろうと思われます。地震の始まりから終わりまでの空間的時間的広がりをマクロに見たときには、わたしたちにもわかりやすい法則が支配しているようです。

世界中の多くの地震について、マグニチュードと卓越周波数との関係を調べたのが次の図です。縦軸は地震の大きさ、横軸は地震波の卓越周波数です。ここで言う「地震」は、当然ゆらす方の地震です。地震波の卓越周波数は、震源からどのくらいの距離で測るかで異なりますが、ここでは、震源のごく近傍での値に換算してあります。

図から明らかなように、平均的に見ると、マグニチュードが小さいほど卓越周波数が大きく、マグニチュードが大きくなると逆に卓越周波数が小さくなっています。この関係が、先ほど述べた地震の震源の相似則です。

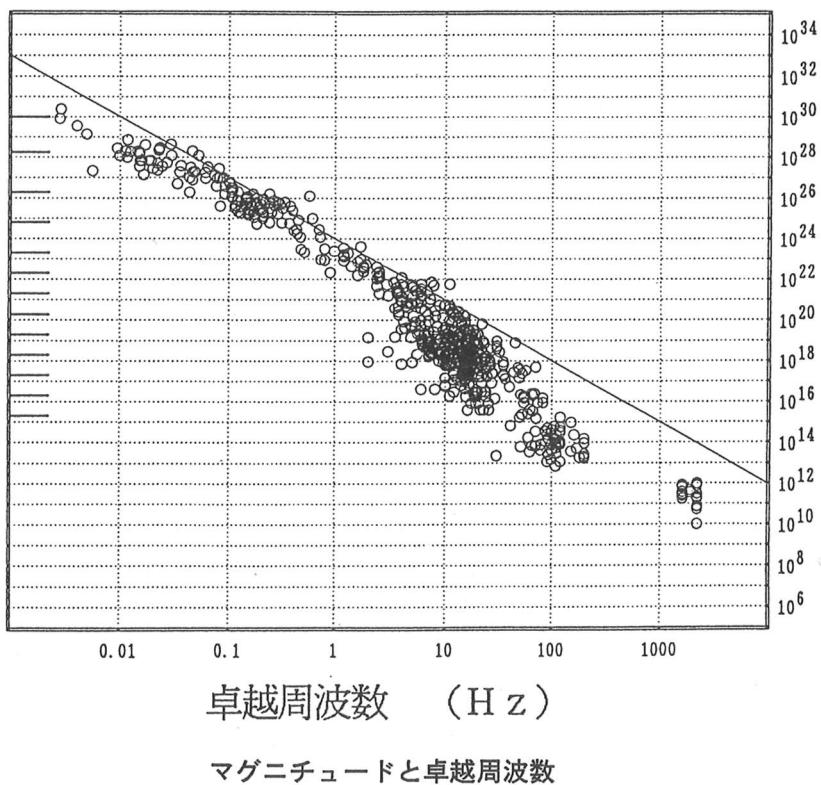
マグニチュードの小さい地震は小刻みにゆらし、マグニチュードの大きな地震はゆったりとゆらす性質があるということです。ただし、これは卓越周波数についてのこと、大きな地震では小刻みにゆらす成分も大きく含まれています。

地震の大きさは、岩石にかかっていた力の大きさと岩石のずれが生じる領域とで決まります。詳しいことはここでは省きますが、この図にある相似則が成り立つという事実は、岩石にかかっていた力の大きさ、あるいは正確には、岩石のずれによって開放される力の大きさは、地震のマグニチュードに依らず、大きな地震でも小さな地震でも同じぐらいで、

地震のマグニチュードは、岩石のずれの生じる領域の広さで決まっているということで説明できます。また、ずれの起こる場所は開始点から断層面に沿って拡大していきますが、その拡大する速度も地震の大きさに依らないと推定されます。

### マグニチュード と 卓越周波数

マグニチュード



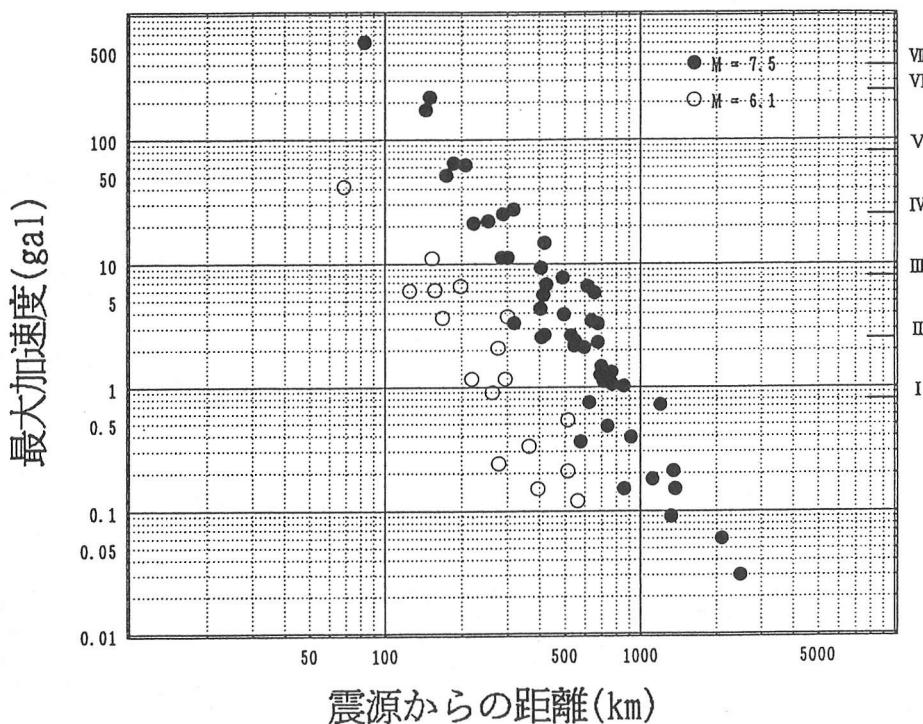
### 3-3. 「地震」のゆれ方

ゆらす方の地震には、先に述べたような地震の大きさと地震波の卓越周波数との間に規則正しい関係がありました。一方、ゆれる方の地震には、ゆれの大きさと震源からの距離との間に規則正しい関係があります。

次の図は、震源からの距離とゆれの大きさとの関係を示したものです。ゆれの大きさとしては、ここでは最大加速度をとっています。ここに示した関係は、1994年三陸はるか沖地震のマグニチュード7.5の本震に対するものと、マグニチュード6.1の余震に対するもの

です。黒丸が本震、白丸が余震についての関係です。横軸は震源からの距離で対数で目盛ってあります。縦軸は最大加速度でこちらも対数で目盛ってあります。ゆれの大きさは、震源からの距離が大きくなるにしたがって小さくなっています。

本震の方が余震よりマグニチュードが大きいわけですから、同じ距離でも当然ゆれは大きくなっています。その差はおよそ10倍です。ゆれの大きさは異なりますが、震源からの距離に対する小さくなり方は、マグニチュードの異なる本震でも余震でもほぼ同じです。両対数目盛りで見たとき直線的になっていて傾きが同じです。つまり、ゆれの大きさは、距離のべき乗に比例しています。この図で見ると、距離が10倍なるとゆれの大きさは500分の1程度になってしまいますから、距離の-2.7乗に比例して小さくなっていることになります。



最大加速度と震源からの距離

加速度の最大振幅は、たいていの場合、S波の部分で現れます、S波は3次元的に拡

がっていく実体波ですから、波が幾何学的に拡がっていくにつれ、その振幅は距離の逆数に比例して小さくなります。図に示された減衰のしかたは、距離の $-2.7$ 乗に比例していますから、幾何学的拡がりによるものより余分に減衰していることになります。

この余分な減衰は、地震波が伝わる地盤の非弾性的な性質に依るものです。地盤は地下深部では岩石でできていて相当硬く弾性的に思えますが、岩石とても完全に弾性的ではなく、波のエネルギーの一部は熱などに変換され、波の振幅はそのため小さくなります。地盤上部の軟弱層では非弾性的減衰はさらに大きなものとなります。

図には示していませんが、地震波が非弾性的減衰を受けるとき、低い周波数成分よりも高い周波数成分の方が余計に減衰します。したがって、地震波が遠い距離伝わる程、地震波の卓越周波数は小さくなっていくことになります。

### 3-4. 個性的な地震

震源でゆらす地震が発生し、地震波が四圍に伝わり、各所でゆれる地震を感じるわけですが、ゆれる地震の性質は、ゆらす地震の性質、地震波の伝わる地盤の性質、震源からの距離に大きく左右されています。地震によるゆれを考えるとき、これらの要素全てを考慮に入れる必要があります。さまざまな要素に影響されてわたしたちのもとにやってくる「ゆれる地震」は、各種さまざまなのです。

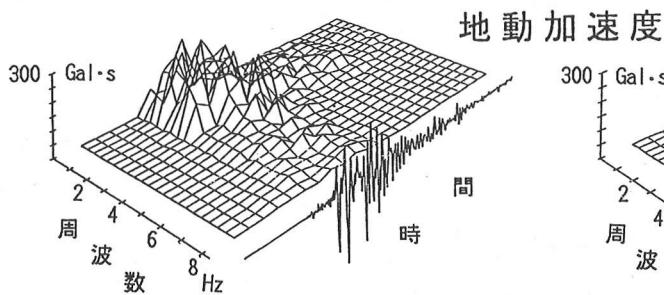
地震によるゆれかたの個性の一例として、次の図に示されたものを挙げることができます。これは、マグニチュード7.5の1994年三陸はるか沖地震とマグニチュード7.2の1995年兵庫県南部地震とを比較したものです。図の上の段は、2つの地震の加速度を比較したもので、下の段は速度を比較したものです。図の左の欄は兵庫県南部地震、右の欄は三陸はるか沖地震についてのものです。

上下の段、左右の欄いずれも、波形記録とスペクトルの時間変化とを示しています。波形記録、スペクトルの時間変化とも、時間軸は図の右上方向に向かっています。波形記録の図では、図の上方に振幅軸がとっています。スペクトル時間変化の図では、図の右下方向に周波数軸、図の上方に振幅軸がとっています。

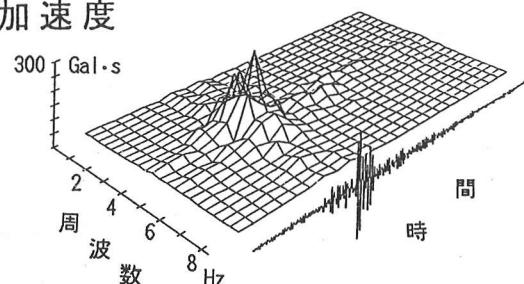
この2つの地震は、同じようなマグニチュードで、最大加速度も似たようなものです。

しかしながら、上の段にある加速度スペクトルの形は大いに異なります。三陸はるか沖地震では、どの時間で見ても、スペクトルのピークは4Hzあたりにあって、ピークは比較的鋭く、3Hz以下と5Hz以上での振幅は小さくなっています。一方、兵庫県南部地震では、ス

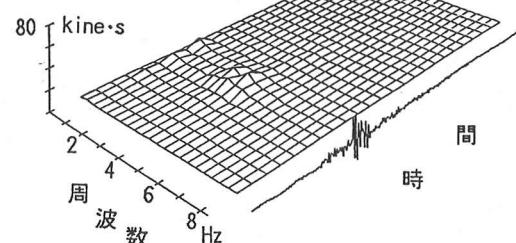
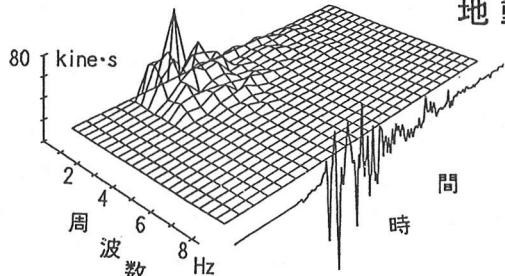
兵庫県南部地震



三陸はるか沖地震



地動速度



### 地震の個性

スペクトルのピークの位置は3Hz～4Hzで、5Hz以上のスペクトル振幅が小さいことは、三陸はるか沖地震と変わりありませんが、3Hz以下のスペクトル振幅が周波数4Hzでのピーク値と同程度となっており、三陸はるか沖地震と大きく異なります。兵庫県南部地震は、三陸はるか沖地震に比べて、加速度波形に低周波数成分が多く含まれています。

この違いは、下の段の速度波形と速度スペクトル時間変化の図を見ると、いっそう顕著に現れています。速度波形の図を見ると、加速度波形の最大振幅があまり変わらなかったにもかかわらず、大きく異なっています。三陸はるか沖地震では、速度振幅はたいして大きくありませんが、兵庫県南部地震では、未だなかったほど大きな速度振幅となっています。

地震の性質を表すパラメタはいろいろあります。どの1つも地震の性質を表すには必要で、どの1つも地震の性質を表すのに充分ではありません。地震のゆれと付き合ってゆくわたしたちにとって、可能な限りいろいろなパラメタを見つめ、地震が個性的であることを再認識し、地震の個性を把握することが重要であることを、2つの地震は教えてくれます。

(応用地質学)

