

平成12年(行コ)第12号  
原子炉設置許可処分無効確認請求控訴事件

## 陳述書

2001年(平成13年)12月5日

名古屋高等裁判所金沢支部 御中

神戸大学・都市安全研究センター  
同・理学部地球惑星科学科  
教授 石橋克彦

私は地震学の教育と研究に従事している者ですが、「原子力発電所の耐震安全性に係る現代地震学の知見」について、以下のとおり陳述いたします。

---

### <目次>

はじめに

#### 第1 地震現象の基本的なこと

- 1 地震とはどのような現象か
- 2 大地震をもたらす諸現象
- 3 地震はなぜ起こるか
- 4 地震の種類

#### 第2 活断層とは何か

- 1 活断層の定義
- 2 地表で見えてこそ活断層
- 3 活断層がなくても陸プレート内の大地震は起こりうる
- 4 活断層があれば短くても大地震が起こりうる
- 5 活断層に対する学界の諸見解
- 6 松田式の問題点
- 7 総合的な考察で地下の震源断層面を想定することが本質的に重要  
—「活断層帯」「起震断層」という概念の重要性—
- 8 まとめ

### 第3 設計用最強/限界地震および基準地震動の策定の問題点

- 1 「耐震設計審査指針」体系でのやり方
- 2 最近の政府による強震動評価手法：糸魚川-静岡構造線断層帯の例
- 3 「松田式+金井式」手法との比較

### 第4 日本海東縁～信越～北陸～山陰は必然的な大地震活動帯

- 1 アムールプレート東縁変動帯
  - 2 東海・南海巨大地震まで続くアムールプレート東縁変動帯の活動
  - 3 敦賀半島付近は大地震空白域
- 

## 原子力発電所の耐震安全性に係る現代地震学の知見

### はじめに

私は地震の研究者の立場から、現代地震学（地震学は日進月歩で発展しております、まさに現代地震学と呼んでよいと思います）の、最新で且つ常識化している知見を申し述べます。まず、一般的で基本的なことをご説明して、そのなかでも原子力発電所の耐震安全性の確保にとって重要なことを幾つか、やや詳しく述べたいと思います。

最初に、全体の概要を申します。

第1に、地震現象の基本的なことをご説明いたします。ここでのキーワードは「震源断層面」と「アスペリティ」です。「アスペリティ」という言葉は初めての方が多いと思いますが、非常に重要な概念です。

第2に、活断層とは何かということ、できるだけ分かりやすく、決して私個人の意見ではなくて現代の学問の最先端の常識として、ご説明します。ここで重要なのは、活断層は地震の実体を適切に示さない場合のほうが多いということです。活断層がなくても大地震が起こりえます。もちろん、活断層があれば、それは非常に重要でして、たとえ短い活断層でも、あれば一層注意が必要です。ここで重要なのが「松田式」というよく使われる経験式の

妥当性でして、この式には意味がないということをご説明します。

第3に、設計用最強地震／限界地震および基準地震動策定の問題点を述べます。現在、政府によって、最先端の手法を用いた日本全国の強震動評価、強い地震の揺れの予測ということが大々的に行なわれておりますので、その実例をご紹介します。まず出発点として重要なのは、複数の活断層を「活断層帯」あるいは「起震断層」として一括して捉え、連動して一つの大地震を起こすと考えることです。また、最新の標準的な方法からみますと、「松田式+金井式+大崎スペクトル」から模擬地震波を作るという従来の手法は、地震の本質が不明の時代の便宜的な方法であり、地震動を過小評価してしまっていて、いまや用いるべきではありません。このことがこの部分のポイントです。これについては、政府が現在行なっているのと同じ対象を「松田式+金井式」の手法でやってみて、比べた数値をお示しします。

もちろん、大崎先生や松田先生や金井先生は、まだ地震の実態がよく分からない時代に、とにかく物を造らなければいけない、それには何かの目安がなければいけないということで、一生懸命お考えになって、これらの便宜的な方法を考え出されたわけで、それは当時としては貴重なお仕事で、歴史的な意義もあるわけですが、研究が非常に進んで地震の実体はかなりよく分かった現在では、安全を確保するうえでは余りに古い、化石的な遺物といっても過言ではないと思います。

最後の第4として、日本海東縁～信越地方～北陸地方～山陰地方というのは、日本列島の変動からみて必然的な大地震活動帯であることをご説明して、敦賀半島地域は大地震空白域、つまり大地震の候補地であるということをご説明します。

## 第1 地震現象の基本的なこと

### 1 地震とはどのような現象か

### (1) 地震とは地下の岩盤が面状にズレ破壊して地震波を放出する現象

日常生活で「地震」というと、私たちが感じる地面の揺れを意味することが多いですが、地震学では、揺れの原因となる地下の岩石破壊のことを「地震」といいます。

つまり、地下の岩石が破壊して地震波（岩石の振動が猛スピードで地球内部を伝わっていく波）を放出する現象を「地震」と呼び、地震波が地表に達して地面が揺れるのは「地震動」と呼んで、二つの現象を区別して捉えるのです（図1）。これは、原子力発電所の耐震設計を考えるときにも、最も基本的なことです。地下の岩石破壊（すなわち地震）の規模を表わす尺度が「マグニチュード（M）」で、地表の各地点の地震動の強さを示す目安が「震度」です。

地震が、地下のどんなタイプの岩石破壊かがたいへん大事なのですが、「震源」という馴染み深い言葉からは、地下の非常に狭い範囲の岩石がグシャグシャと壊れるようなイメージをもつかもできません。しかし、ほとんどすべての地震は、面状のズレ破壊というタイプの破壊をします。つまり、破壊面が急激に拡大しながら、その両側の岩盤が互いに逆向きに激しくズレ動くという形の破壊です。それに伴って、破壊の衝撃が地震波として四方八方に放出されます。ズレ破壊はどこか一カ所から始まって拡大するのですが、その出発点が「震源」です（図1）。

地震に関連する言葉としてもう一つ「震災」がありますが、これは文字どおり「地震災害」ですから、激しい地震動に見舞われた地上に私たちの社会や文明が存在しているときに生ずる人間的・社会的現象です（図1）。地震というのを地面の揺れだと思っていると、地面の揺れが強烈なときに震災が起こるといっているので、「地震の大きいのが震災だ」ということになってしまっていて、実際そう思っている方が多いようですが、決してそうではありません。1995年の出来事について言えば、「兵庫県南部地震」という地下の岩石破

壊によって「阪神・淡路大震災」という災害が生じたわけです。

## (2) 地震の本体は地下の震源断層面

ズレ破壊が終わってみると地下に破壊面が出来ているわけですが、これこそが地震の本体です。それを「震源断層面」と呼びます(図1)。「地震の本体、あるいは本源は、地下の震源断層面だ」ということは、最も本質的で非常に重要なことです。

なお、震源断層面が広がっている地下の領域、あるいはそれに対応する地表の範囲を大まかに指すときは「震源域」という言葉を使います。また、震源断層面に沿う急激なズレを、「くい違い」とか「すべり」と言うこともあります。

震源断層面は鉛直だったり傾いていたりいろいろですが、大雑把には長方形で近似できます。ズレ破壊の出発点(震源)は、震源断層面の中ほどだったり端だったりします。

## (3) 地震の規模とは震源断層面の大きさだと考えてよい

地震の大きさ(規模)を普通は「マグニチュード(M)」で表わします。マグニチュードは、地震計で観測された地震波の記録から推算されるもので、その説明は省略しますが、マグニチュードで表わされる地震の大きさの本質はズレ破壊の規模であって、それは早い話、震源断層面の大きさだと思って差し支えありません。つまり、地震が大きい、マグニチュードが大きいということは、震源断層面が広大であるということです。

具体的には、震源断層面の長さ(横方向)と幅(深さ方向)が、マグニチュードとともに長くなります。それに伴って、面の両側の岩盤がくい違う分量も増えます。また、ズレ破壊が拡大する速さは地震の大きさには依らないので、地震が大きくなると(破壊面が広くなると)ズレ破壊の時間も長くなります。

大雑把に言っても、マグニチュード7ですと、震源断層面の長さは30~50

km、深さ方向の幅は15~20 km、ズレの量は約2 m、破壊時間は10~20秒です。ちなみに、破壊が拡大する速さは地震の規模に依らず毎秒2.5 km程度です。マグニチュード8ですと、震源断層面の長さが100~150 km、幅が約50 km、ズレの量は約5 m、破壊時間は約1分になります（マグニチュード8前後より大きい地震をしばしば巨大地震と呼びます）。マグニチュード6ですと、それぞれ、約15 km、約5 km、約0.5 m、約5秒程度です。

あとで、活断層の長さが地震のマグニチュードとほとんど関係ないことを述べますが、それとは違って、地震の本体であるところの震源断層面の大きさやズレの量は、当然のことながら、地球上どこでもマグニチュードと非常によく相関しています。マグニチュードが1大きくなると、断層面の長さでも幅でもズレの量でも破壊時間でも、およそ3倍になる、したがってマグニチュードが2大きくなると10倍、つまり1桁増えるという綺麗な規則性があるわけです。

大きな地震が起こると気象庁から震源の位置が発表になりますが、前述のように、それはあくまでも破壊の出発点であって、地震の本体は地下の非常に広い範囲に広がっています。破壊時間の間じゅう破壊の衝撃が地震波として放出されますから、大きな地震ほど地表が揺れる時間も長くなります。なお、マグニチュードが1大きくなると、放出される地震波のエネルギーは約30倍増えます。

#### (4) 地震の大きさを最も的確に表わす「地震モーメント」

地震研究者は、地震の大きさ（規模）を表わすのに「地震モーメント ( $M_0$ )」というものをよく使いますが、これが最も直接的で意味がはっきりしています。

地震モーメントは、震源断層面の面積（長さ×幅）×ズレの量（くい違い量）×剛性率（震源域の岩石の剛さを表わす係数）で定義されます。まさに、面状のズレ破壊（=地震）の規模を表わすのにピッタリだということがお分

かりになると思います。

地震モーメントとマグニチュードの間には一定の関係があるべきで、実際あるのですが、従来のマグニチュードの決め方ではある程度以上の巨大地震の大きさを正しく計れないために（いわば、マグニチュードの物差しが短すぎて、それ以上計れない）、大きいほうで関係が狂っていました。そこで最近、地震モーメントと正しく対応するような「モーメントマグニチュード ( $M_w$ )」というマグニチュードスケール（いわば、大きいほうを改良した新しい物差し；小さいほうは従来とほぼ同じ値を与える）がよく使われます。これは近頃ではマスメディアにも登場するようになりました。

#### (5) 強い固着域（アスペリティ）が激しく地震波を生成する

地震を巨視的、大局的にみた場合は以上のとおりですが、激しい地震動がどのようにして生ずるかということをお細かくみますと、決して長方形の震源断層面に沿ってズレ破壊が同じ速さで滑らかに拡大するというような単純なものではありません。

大地震はほとんどすべて、いわば地下の古傷がまた破壊するのですが、地震前にとくに強く固着していた部分が何力所かあって、震源から始まったズレ破壊はそういう部分で跳び跳びに激しく進行していきます。そういう部分を「アスペリティ」と呼びます（図1）。いくつかの強い固着域であるアスペリティが次々に大きくズレ破壊して、そのときに特に激しく地震波を放出する、これが最近の研究成果にもとづく、よりリアルな大地震のイメージです。この地震のイメージは、あとで紹介するように、定量的にモデル化されて、被害を生ずるような強い揺れ（強震動という）をコンピュータ・シミュレーションで予測するのに威力を発揮しつつあります。

なお、「アスペリティ」というのは、「表面のざらざら、凸凹」を意味する英語です（心理的な刺々しさなども意味するようです）。地下の不均質な岩盤中の震源断層面では、特にざらざらして強く固着している部分が何力所

があるというわけです。

#### (6) 1995年兵庫県南部地震の震源断層面とアスペリティ

図2に、実際の震源断層面とアスペリティの例として、1995年兵庫県南部地震の解析結果を示します。

この地震の震源（破壊の出発点）は明石海峡の海底直下深さ約12 kmで、ズレ破壊は南西に約20 km、北東に25～30 km拡大しました。したがって、大局的な震源断層面の長さは45～50 km、深さ方向の幅は12 kmくらいでした。両側の岩盤がズレ動いた量は、面全体で平均して1.5 m程度、ズレ破壊に要した時間は約12秒です。マグニチュードは気象庁によると7.3ですので（モーメントマグニチュードは6.9）、前述の一般的な値によく合っていると言えます。

ちなみに、後述の「地表地震断層」（地下のズレ破壊が地表に顔を出したものは、淡路島の北西岸に沿って約9 kmの長さで出現しました。神戸側では現われませんでした。

ズレ破壊の様子をもっと詳しく見たのが図2の下です。大阪湾の海底下に潜って南東側から震源断層面上のくい違い量の分布を眺めた様子が、等値線と濃淡で示されています。震源付近とその北東側、それから淡路島の浅い部分に、2 mから3 m近くズレ動いた目玉が3カ所ほど見えます。これがアスペリティで、ドンドンと3連発のように地下の破壊が進行し、そこから特に強烈に地震波が出たわけです。被災地の方々が二、三回激しい衝撃を感じたとおっしゃいますが、それとよく符合しています。また、地表地震断層の情報解析にはまったく用いていないのですが、淡路島に地表地震断層が出現して神戸側に出現しなかったこととも調和しています。

なぜこんなことが分かるかといいますと、この地震による地震波が地球全体に伝わりまして、今や世界中に設置されている非常に高性能の地震計で記録されました。もちろん近いところの記録もあって、それらを幾つかの研究

グループが寄ってたかって解析しました。現在は理論や計算手法が非常に進歩し、コンピューターの計算能力も驚異的に向上しましたので、多数の地震計の記録を説明できるように、地下で何事が起こったかが求められるのです。細かいところは研究グループによって多少違いますが、基本的なところ、例えばアスペリティが三つぐらいある、神戸の地下では浅い部分はあまり破壊しなかったが淡路島の地下では地表近くまで大きくズレ破壊した、というような結果は、共通に、つまりほぼ客観的に求まっています。

## 2 大地震がもたらす諸現象

### (1) 岩盤のズレの直撃

地下で大規模な岩石破壊（つまり大地震）が起こると、どんな現象をもたらすのでしょうか？

まず第一には、その岩盤のズレ（破断）が直撃するということがあります。

つまり、地下の震源断層面が地表近くまで達すると、人間の造った構造物を破断してしまうことが起こりえます。1930年に伊豆半島の北部で北伊豆地震というマグニチュード7.3の地震が発生しましたが、建設中だった東海道本線の丹那トンネルを切断して約2.7mずれさせてしまいました。

そのときもそうだったのですが、震源断層面が地表にまではっきり顔を出せば、道路や川筋が横にずれたり段差が出来たりというようなことが、何km（ときには何十km）にもわたって線状に生じます。これを、その地震に伴って現われた「地表地震断層」と呼びます（図9）。

### (2) 地震波と地震動

地震がもたらす現象の二つ目としては「地震波」が挙げられます。これは、前に述べたように、地下の岩盤のズレ破壊の衝撃が岩石の振動となって、地球内部を猛スピードで四方八方に伝わっていくものです。地震が大きいと

地震波のエネルギーも強大なので、地球全域に届いて地震計に記録されますし、近くの地面に達すれば非常に強い地震動（強震動）をもたらします。

地震動の強さを表わす「震度」は、日本では0から7までの気象庁の震度階級が使われています。しかし、地震動はたいへん複雑で、震度3とか震度5の強いほうとかいうような単純な数字で表わしきれものではありません。最大振幅、周波数特性、継続時間、波形というような要素が重要になってきます。

### (3) 広範囲の岩盤の変形と応力変化

三つ目としては、広範囲の岩盤が変形して、岩盤中の至る所にかかっている力（応力といいます）が変化するという現象があります。これは、ズレ破壊が完了し、地震波の放出が終わり、地面の揺れが収まったあとも、震源断層面に沿って岩盤がくい違ってしまった結果として、永久に残ります。ちょうど、超満員電車のドア付近の大勢の乗客が大きな駅で降りたために、かなり奥のほうでも少し隙間ができて圧迫が薄れ、その状態が発車後もずっと残るのに似ています。

この現象は、逆に言えば、地震前に広範囲の岩盤が無理な変形と高い応力の状態に置かれていたが、大地震によって解消されたということです。

変形は震源断層面に近いところほど大きく、震源域に近い地表では、地表地震断層が現われなくても、隆起・沈降や水平移動が生じます。これを、「地震時の地殻変動」といいます。海岸付近で大地震が起こると、海岸が1m以上も隆起したり沈降したりすることが稀ではありません。

そういう隆起・沈降が海底の広い範囲で生ずると、海水を持ち上げたり引き込んだりしますから、津波が発生します。

### (4) 震源域が浅いと大小無数の余震

四つ目の現象として、震源断層面が浅いと、最初の大地震（本震といいま

す)の直後から、震源域で大小無数の地震が発生します。これを余震と呼びます。本震より大きいことはないのですが、なかには相当大的きいものもあります(例えばM 8.1の本震に対してM 7.5とか)。また、震源域からやや離れたところで、余震というべきか誘発地震というべきか分からない大地震が続発することもあります。

この現象は、震災対策全般にとって大事なことです。原子力発電所の耐震安全性にとっても非常に重要なことだと思います。普通は一発の大地震しか考えないようですが、それを軽微な損傷でかわしたとしても、その損傷が原因で大余震によって致命傷を受けるということがありうるからです。

### 3 地震はなぜ起こるか

#### (1) 岩石圏内の弱面が造構力によって破壊する

地球表面は、厚さが平均して100 km程度の岩石の層、固いけれども脆くて、無理な変形が限界に達するとズレ破壊するような、そんな岩石の層で覆われています(岩石圏といいます)。岩石圏は、何百万年も昔からあちこちでミシミシ破壊を繰り返していて、古傷だらけです。特に日本列島は、その程度が甚だしいところです。何度も破壊を繰り返してきた古傷を、正式な学術用語ではありませんが、よく弱面といいます。

図3は、岩石圏の中の、弱面を含むあるブロックに注目した模式図です。日本付近の岩石圏には、絶えず「造構力」という力が働いています。これは、地球表層の大規模な構造(大山脈や深い海といった大地形や大きな地質構造など)を造る力のことです。このブロックが変形していない状態から見てみます。

弱面といっても、ふだんは固着しています。昔骨折したが癒着しているようなものです。そこにジワジワと造構力が働き続けると、弱面の周りの岩石圏が徐々に変形していきます。変形に伴って、弱面沿いに「剪断(せん断)

応力」という力が生じます。これは、弱面に沿ってズレ破壊を生じさせて変形を解消させようとするような、ずらそうとする力です。

岩石圏の場所によって違いますが、何百年か何千年か経つと、変形は一層大きくなり、それに応じて剪断応力も増大します。そして、剪断応力が弱面の固着力に打ち勝つと、弱面がズレ破壊して大地震が起こり、弱面周辺の変形が解消されるとともに地震波が放出されるのです。より正確には、弱面上の主要なアスペリティに働く剪断応力がそこでの固着力に達したとき、地震が発生することになります。縮めたバネが物を跳ね飛ばすエネルギーを蓄えるように、変形した岩盤は、ズレ破壊を生じて変形を元に戻す莫大なエネルギーをもっているのです。

このプロセスは繰り返します。ズレ破壊した弱面は、しばらくは切れてスルスルですが、周りからの圧力でじきにまた固着します。一方、造構力は絶え間なく着実に働いていますから、また同じことが繰り返されます。日本列島では、過去約 200 万年間、特に最近の約 50 万年間は、現在と同じ造構力の作用（それによる変動を造構運動といいます）が続いてきました。

## (2) 造構力の原因

なぜ岩石圏に造構力が働いているかといいますと、それは、地球全体の岩石圏が十何枚かの（研究者によってはもっと多い）区画に分かれていて、互いに力を及ぼし合っているからです。

それぞれの区画のことを一般的に「プレート」と呼び、個々のプレートには固有の名前が付けられています。各プレートは、年間 1~10 cm 程度の非常にゆっくりした速さですが、それぞれ決まった向きに着実に動いていて、プレート同士がぶつかったり、すれ違ったりしています。その結果、造構力が、プレート同士の境界付近では特に大きく、またプレートの内部にもある程度、絶え間なく働くことになります。

### (3) 日本列島周辺のプレート

日本列島は、4枚のプレートが互いに近づき合っているところで、地球上で一番造構力が強くて造構運動が活発なところの一つです。図4に、日本列島周辺のプレートを示します。

日本列島は陸のプレートに載っていますが、東から太平洋の海底を構成する太平洋プレートという大岩板が、年間8cmくらいの速さで西北西の向きに押し寄せています。陸のプレートと海洋底のプレートが近づき合うと、密度が多少違うために、一般に海洋プレートが陸のプレートの下に無理矢理入っていく「海洋プレートの沈み込み」という現象が起こるのですが、それが、千島海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝という、深さ1万m近い海底の細長い溝のところで起こっています。プレートの下には、やや流動的な岩石の層が厚く存在していますので、沈み込んだ海洋プレートはその中に斜めに入っていきます。

一方、伊豆・小笠原海溝から西の太平洋の海底は、フィリピン海プレートと呼ばれる別のプレートで、それがほぼ北西向きに年間3~4cmの速さで押し寄せています。関東地方から西の列島の沖には、海溝ほど深くはありませんが、相模トラフ、駿河トラフ、南海トラフと呼ばれる海底の溝が走っていて、フィリピン海プレートはそこで沈み込んでいます。

これらの、太平洋プレートの東北日本の下への沈み込みと、フィリピン海プレートの関東地方と西南日本の下への沈み込みが、日本列島の地震の起こり方を支配している基本的な条件です。

日本列島の陸のプレートはたぶん二つに分かれており、その間にも相互の動きがあって、それが北陸地方の大地震発生にとっても非常に重要だと考えられますが、それは第4章で述べます。

このようなプレートの運動の結果、日本列島では大地震が頻発するわけですが、地震だけではなくて、火山の噴火や大山脈の成長なども、プレートの境目に集中して生じています。プレートの運動を知って地球表層の変動を理

解する地球科学の理論のことを「プレートテクトニクス」といいます。これの日本語訳はありませんが、無理に訳せば「大岩板造構論」とでもいうものかと思えます。

日本列島の多くの地域で、過去何十万年もの間、プレートの運動に起因して大地震が繰り返し発生して山地や盆地や平野が成長してきました。ですから、地震には地球上の場所によらない物理的性質がありますが、一方で地域に固有の大地の変動の瞬時的現われという側面もあって、私たちの暮らしの基本的な枠組みの一つだと言えます。

#### 4 地震の種類

プレートテクトニクスの枠組でみると地震は四つの類型に分けられます。

まず、プレート同士の境目で起こる「プレート間地震」とプレート内部で発生する「プレート内地震」に二大別されます。ところがプレートには、岩石圏の性質が少し違う陸のプレートと海洋プレートがありますから、プレート内地震は「陸のプレート内の地震」と「海洋プレート内の地震」の二種類に分けられます。さらに、海洋プレート内の地震は後述のように二つのタイプに分けたほうがよいと考えられますので、合計4種類になるわけです。

図5に、日本列島のプレート運動に即して地震の4類型を示します（地球全体でみると、プレート間地震などがもっとバラエティーに富んできます）。

##### (1) プレート間地震

まずプレート間地震ですが、沈み込む海洋プレートと陸のプレートの接触面（境界面）は、ふだんは固着しているので、それに沿って主として陸のプレートの中に変形が蓄積します。100年から200年くらい経つとそれが限界に達して、プレート境界面を震源断層面とする大地震が起こるわけです。

千島から東北地方にかけての東の沖合の大地震、相模トラフ沿いの関東地

震、南海トラフ沿いの東海・南海地震などがこのタイプです。とくに南海トラフ沿いの東海・南海地震は規則的に繰り返していき、いつもマグニチュード8クラスの巨大地震で大きな被害をもたらします。

## (2) 陸のプレート内地震

陸のプレート内部の弱面に沿っても、プレート運動に起因する変形が蓄積します。プレート間に比べれば変形する速さが一桁以上小さくて、限界に達するまでに千年単位か万年単位の時間がかかりますが、いずれはそこで大地震が起こります。

日本列島の陸のプレートは大部分の場所で非常に薄く、特に内陸や日本海沿岸では、固くて壊れやすいのは地表の少し下から深さ15~20 kmくらいまでです（この部分を「上部地殻」といいます）。したがって日本列島の場合、陸のプレート内地震の震源断層面は兵庫県南部地震のように浅くて、しばしば「直下型地震」と呼ばれます。ときには1891年濃尾地震のようにマグニチュード8クラスのものも起こりますが、巨大地震の震源断層面の深さ方向の幅も15~20 kmくらいです（6頁に、マグニチュード8の震源断層面の幅は約50 kmと書きましたが、それからは外れます）。

前述のように、ほとんどの地震は地下の古傷の再破壊です。特に日本列島の上部地殻では、まったく傷のない岩盤が初めて地震を起こす初生破壊というのは皆無と言ってよいと思います。

もう一つ非常に重要な地震の性質として、これは地球上いたる所に共通な地震の物理的性質ですけれども、小さい地震ほど沢山起こるという法則性があります。ある領域である期間観測していると、マグニチュードが1小さくなると発生数が約10倍増えるのです。例えば日本列島では、海域も含んで、非常に大雑把に言って、1年間にマグニチュード3以上の地震が約1万個、マグニチュード5以上の地震は約100個、マグニチュード7以上になると約1個とか1.5個とか、これはもちろん長い年数の平均ですが、そういう

発生の仕方をしています。

以上のことを組み合わせて考えますと、日本列島の上部地殻には大・中・小の古傷——亀裂といたり割れ目といたり断層といたり弱面といたりしますが——が無数にあって、しかも小さい古傷ほど沢山あるのだらうということになります。これを模式的に描いたのが図6です。

図6は、横に比べて縦を非常に引き伸ばして描いてありますが、茶色い傷だらけのところが上部地殻で、厚さが15~20 kmなわけです。前述のプレート間巨大地震と、あとで述べるスラブ内巨大地震も描いてあります。また、沈み込んだ海洋プレート上面の深さが平均して110 kmくらいになりますと、マグマが生産されてその上の地表に火山が生ずるのですが、その様子も示してあります。

要するに上部地殻は大・中・小の弱面だらけで、小さい亀裂は描ききれないほどいっぱいあって、その中には大きな断層ももちろんある。大地震は、そういう既存の大弱面で起こるものももちろんあるでしょう。しかし、非常に長い期間にわたる地震の起こり方や、様々な観測・解析結果を考え合わせてみると、小さな割れ目がつながって大地震になってしまうということもかなりあるはずです。つまり、マグニチュード3の地震を起こす亀裂、5の地震を起こす弱面、7の地震を起こす断層というふうに1対1に対応していて、それぞれが別々に存在しているわけではなくて、無数の亀裂や弱面が、あるときはその大きさに見合ったマグニチュードの地震を起こすけれども、あるときは小さい或いは中くらいの弱面がつながって、より大きな地震を起こすこともあるのだらうと考えられるのです。しばしば、「直下型地震は活断層が起こす」と言われますが、大地震には必ずそれに対応する活断層が存在しているという単純な話ではないのだらうということです。活断層については、次章で改めて説明します。

図7は、日本列島の上部地殻で実際に地震がたくさん起こっているという実例です。この図は、京都大学防災研究所地震予知研究センターのホームペー

ジから取ったもので、近畿地方とその周辺で2001年8月21日午前8時から9月21日午前8時までの1ヶ月間に発生したマグニチュード1以上の地震の震央（震源の真上の地表の点）が示されています（正確には、発生した地震すべてではなくて、観測網で捉えられて震源の位置が計算できた地震）。深さは30km以浅をとっていますが、ほとんどが上部地殻内の地震です。丸の大きさがマグニチュードを、また色で起こった期間を区別しています。兵庫県南部地震や鳥取県西部地震の余震がまだ続いているのが見えますし、京都府や福井県でも地震がたくさん起こっているのがわかります。

このような小さな地震の定常的な活動を「バックグラウンドの地震活動」といいますが、それが一定のレベルで存在すれば、長期的には、それに見合った割合でマグニチュード6や7の大地震も起こりうるのです。

### (3) 海のプレート内の浅い地震

つぎに海洋プレートの中で起こる地震があります。これは一括してもいいのですが、地震学的にも防災上も、二つに分けたほうがいいと思います。

そのうちの一つは、海洋プレートのまだ沈み込んでいない部分、つまり上面が海底面か、多少陸のプレート先端部の下になった程度——地図上では海溝やトラフの外側から少し内側くらい——の部分で起こる地震で、震源域が浅いものです。三陸沿岸に死者・行方不明3千人以上という大津波災害をもたらしたマグニチュード8.1の1933年三陸地震が典型例ですが、あまり頻繁には起こりませんし、陸からかなり離れた海底下で起こるので、陸上で地震動はそれほど激しくはありません。津波による被害のほうが重大ですが、現代では、少なくとも人命に関しては津波警報によって大幅に救えると考えられます。

### (4) スラブ内地震

沈み込んだ海洋プレートは、図5のように陸のプレートの下へ斜めに入っ

ていって、地球内部の流動的な岩石層の中に斜めに垂れ下がっていきませんが、海洋プレートのその部分を「スラブ」と呼びます。

四つ目の地震のタイプは、海洋プレート内の地震のうち、このスラブの中で起こる地震です。私は数年前から「スラブ内地震」という専門用語を一般向けにもわざと使って、この型の大地震の防災上の重要性を強調しています。大きな特徴は、震源域がある程度深いこと、しかし海岸線や内陸の直下であること、深い割に地震波を強く放出して強震動をもたらすこと、現段階では実体がつかみにくいことです。

最近この型の大地震が目立つように思います。1993年釧路沖地震（M 7.8）や1994年北海道東方沖地震（M 8.1）はスラブ内巨大地震で大きな被害をもたらしましたし、今年（2001年）の3月に広島県や愛媛県に被害を生じた芸予地震（M 6.7）、今年の初めに米国のシアトル近郊で起こった地震（M 6.8）もスラブ内地震でした。

一般論として強調しておきますが、スラブ内大地震は日本の太平洋岸の原子力発電所の耐震安全性にとって非常に重要だと考えられます。しかし、これまでまったく考慮されていなかったといっても過言ではありません。最近の資源エネルギー庁のホームページ（<http://www.atom.meti.go.jp/siraberu/anzen/04/index01s.html>）には、原子力発電所の基準地震動  $S_1$  を策定する際に検討する歴史地震にはスラブ内地震を含むと書いてありますが、同庁の1999年の『原子力発電所の耐震安全性』というパンフレットでは、スラブ内地震という概念が欠落していることが明らかです。現に、東北～関東地方の太平洋岸の原子力発電所は、沈み込んだ太平洋プレートのスラブ上面の深さが足下で50 km程度という所に立地しているので、1994年北海道東方沖地震のようなスラブ内地震が直下で起こり得ますが、基準地震動  $S_1$  どころか基準地震動  $S_2$  まで、その場合に予想される地震動より遙かに小さな最大加速度になっています。

先ほど、スラブ内大地震は実体がつかみにくいと書きましたが、最近急速

に研究が進みつつあります。この型の地震はスラブが無ければ起こらないわけ、逆にスラブの状況やその中で起こる中・小地震の観測例が分かってきた地域では、それらにもとづいてスラブ内大地震による地表の強震動を推算することが出来るし、積極的にやるべきだと思います。

#### (5) 「もんじゅ」に関するスラブ内大地震

「もんじゅ」にとってもスラブ内大地震は無縁ではありません。『原子炉設置許可申請書』（乙第六号証）に1819年（文政2年）の近江の地震というのが記載されていますが、私の研究の結果、これは琵琶湖北東岸付近（図8の赤い楕円）の地下の深さ40~50 kmで発生したフィリピン海スラブ内の大地震だったと判断されます。

私は歴史地震の研究も専門でして、古い史料を分析するのですが、例えば近江八幡の市田家日記などから非常に確かなことは、余震がほとんど無かったことです。マグニチュードは7から7.5と推定されていますので、もしそれが陸のプレート内で発生したのであれば、非常にたくさんの余震が起こって史料にも確実に書き留められます。一方、最近の地震活動の研究から琵琶湖の北東岸の下くらいまでフィリピン海プレートが沈み込んでいることが分かっていて、1994年にはそこで深さ44 km、マグニチュード5.2のスラブ内地震が起こっています。それとの震度分布の類似性なども考慮すると、前述の結論が得られるのです。

「もんじゅ」の『原子炉設置許可申請書』（乙第六号証）は古い文献に依拠しているので、この地震による震度5の範囲は狭く、また原子炉サイトで最大速度振幅を5.2 kineとしています。しかし、歴史地震学の最新知見では震度5の範囲は図8のように広く、敦賀や鯖江も震度5だったと判定されています。恐らく、最大速度振幅10 kine以上とか、最大加速度振幅250 gal近くとかあったのではないかと推定されます。「もんじゅ」にとって設計用最強地震ではないかもしれませんが、将来このタイプの地震が再発して

マグニチュードが7.5 だったりすれば、実質的な影響があるかもしれません。

## 第2 活断層とは何か

### 1 活断層の定義

活断層と地震の関係に関しては世の中に非常な誤解があります。地震対策全般でそうなのですが、原子力発電所の耐震設計において特にそれがはっきり出ています。

資源エネルギー庁の1999年の『原子力発電所の耐震安全性』というパンフレットに、地震の起こり方の説明として「地震はプレート境界部と活断層で発生します」と明記されており、プレート内型（内陸型）地震は活断層が破壊して発生すると解説されています（4頁）。活断層が無ければプレート内地震は起こらないことにはなりますが、はたしてそうなのでしょうか？

そもそも活断層とは何なのか、まず定義を見てみますと、前述の資源エネルギー庁のパンフレットは、「一般に最近の地質時代（第四紀、約180万年前以降）に活動し将来活動する可能性のある断層」としています（4頁）。これは、『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の解説に記されている「『活断層』とは第四紀（約180万年前以降）に活動した断層であって、将来も活動する可能性のある断層をいう」という定義を踏襲しているものと思われます。また、文部科学省地震調査研究課が2001年3月に出した『地震の発生メカニズムを探る』というパンフレットには、「断層は大地の傷のようなものです。すっかり治りきってしまった傷跡のように、もう動く気遣いのないものもあります。しかしその一方、いつまた動くかもしれない、治りきっていない傷のようなものもあり、これを活断層といいます。（中略）この活断層が動くことによって発生する地震を、陸域の浅い地震と呼んでいます」と書いてあります（8頁）。

活断層に関しては一番権威があるとされる活断層研究会（活断層を研究している地形学・地質学・地震学研究者有志の集まり）編集の『[新編]日本の活断層』（東京大学出版会、1991年）という本は、「活断層の定義」という項で、「一般に、最近の地質時代にくりかえし活動し、将来も活動することが推定される断層を、活断層という」と述べています（4頁）。

しかし、これらはいずれも非常に曖昧な定義です。「最近の地質時代」の時間幅が明確でないという点に関しては、目的や状況に応じてきちんと確認すればよいので、重大な問題ではありません。もっと深刻なのは、地下に隠れていて地震を繰り返し発生させる弱面がすべて活断層なのかどうか、これらの定義からははっきりしない、というより、それらもすべて活断層ということになるという点です。

阪神・淡路大震災のあとで活断層という言葉が一躍有名になり、多くの解説が流布されるなかで、一般の方々の多くは、内陸地震（陸のプレート内地震）を起こすものはすべて活断層だと思っているようです。そういう捉え方は、昨年（2000年）10月6日の鳥取県西部地震（M7.3）によって表面に現われました。この地震は、震源断層面に対応する活断層が全く知られていない所で発生し、地表地震断層も現われませんでした。新聞などに大きく出た文句は、「知られざる活断層が大地震を起こした」というようなものでした。

しかし、陸のプレート内地震を起こす弱面が、地表で認められても認められなくてもすべて活断層であるならば、例えばマグニチュード5の地震を発生する地下の弱面も活断層なののでしょうか？ マグニチュード3の地震を引き起こす地下の亀裂も活断層なののでしょうか？ 現在日本列島全体で確認されている活断層は約2000と言われますが、例えば10年間に何万個と発生するマグニチュード3以上の地震の震源断層面はすべて活断層なののでしょうか？ もしそうであるならば、日本中の活断層の分布地図を売り物にしている『[新編]日本の活断層』は看板に偽りありになってしまいます。ですから、

活断層専門家は恐らく、小さい地震の源は活断層とは呼ばないと言うでしょう。それでは、マグニチュード幾つ以上の内陸地震の源が活断層なのか？、地震学的にはマグニチュード5でも7でも震源断層面の意味や物理的性質は変わらないのに、という大きな矛盾が生じます。その原因は、地下の見えない弱面も活断層だとする誤った見方にあるのです。

そもそも、活断層の研究史をきちんと振り返り、かつ現在の正統的な活断層研究の実際を正しく見れば、活断層と称されるものの調査や認定や記載はすべて地表付近についておこなわれていることが明らかです。地形の空中写真判読、野外の地形・地質調査、活断層とおぼしき部分を横切って溝を掘るトレンチ掘削調査などによって、地表部分で活断層を認定し、長さ、走向（線状に延びている方位）、傾斜（どちらの方位に水平から何度傾いているか）、確実度、活動度と平均変位速度（1000年で何mくらいズレ動いているか）、断層変位（縦にずれているか横にずれているかなど）といった要素を具体的に調べ上げ、地図に線を引いたり表にまとめたりしているわけです。原子力発電所の耐震設計に関わる活断層調査もまったく同様です。最近、地表で人工的に地震波を発生させて地下の地層のズレ具合を調べる地球物理学的な手法も使われますが、調査対象はせいぜい深さ1~2kmで、深さ15~20kmまでという陸のプレート内地震の発生深度からみれば地表付近であることに変わりはありません。要するに、地表で認識されたものを「活断層」と呼んでいるのです。

そこで私は、社会の混乱、地震防災における不都合が減少することを願って、地球惑星科学関連学会2000年合同大会の講演でつぎのような定義を提案しました。「地形学、地質学、地球物理学的観察によって地表付近の形態が確認される断層で、最近の地質時代に繰り返しズレ動いていて、将来もズレ動くことが推定されるものを、活断層という」

これは私の提案でありますけれども、自分の勝手な考えを述べているのではなくて、現実に調査・研究・記載されて社会に情報提供されている活断層

はこういうものですよということを、できるだけ正確かつ客観的にまとめたものです。

## 2 地表で見えてこそその活断層

図9に示しますように、現実の活断層研究で対象とされている活断層というのは、過去の50万年間とか200万年間とかに何度も出現した地表地震断層が累積したものです。つまり、一定の造構力によって地下の同じ弱面で繰り返し同じような大地震が起こり、ほぼ毎回震源断層面が地表に顔を出して同じような地表地震断層が現われた結果、地形や地層のズレが累積して線状の構造ができます。

実際には、昔の地震のことは知らずに、おもに地表付近の地形や地質の調査からそういう線状構造が見出され、ズレの累積が最近の地質時代に生じたと分かれば、それは近い過去に地下で繰り返し大地震が起こった証拠だと判断し、将来もまた大地震が起こる可能性があると考えて、活断層と呼ぶわけです。ですから、活断層はもちろんたいへん大事です。

なお、暗黙のうちに、地表の線状のズレは地下に面的に広がっていると前提されているようですが、地下にどのように延びているか、確かな実態はほとんどの場合わかりません。

震源断層面というのは、地震学の理論によって地下の地震の源として考え出されました。その考えにもとづくと、現実の無数の地震の観測結果がたいへんよく説明（再現）できますので、現在では確かな実体だとみなされています。しかし、誰も見てきた人はおらず、個々の震源断層面は地震波・地震動の記録や地殻変動のデータから間接的に推定されます。これに対して活断層は、地表付近で目に見える証拠を捕まえて過去の地震のズレや将来予測を議論します。しかし、前述のように、活断層から地下の震源断層面を知ることとはできません。

地震波・地震動や地殻変動のデータから震源断層面を探る研究と、地表付近の地形・地質調査にもどづく活断層研究は、アプローチがはっきりと違います。研究成果を融合して地震現象の総合的な解明を目指すことは重要ですが、安易な混同はよくありません。活断層は、地震の本源である震源断層面と関係は深いですが、それとは明確に異なるものなのです。（震源断層面、地表地震断層、活断層の三つを厳密に区別することが重要です）

そして、「地表で見えてこそ活断層」であり、見えるものを見損なっている場合は別として、本来「隠れた活断層」などというものはありません。

### 3 活断層がなくても陸プレート内の大地震は起こりうる

上部地殻で過去および将来にわたって大地震が繰り返し発生しても、活断層が認められないことが少なくありません。ということは、活断層がなくても陸のプレート内の大地震が起こりうるわけで、活断層がないから安心というのは間違いです。これは非常に大事なことです。

地下に地震発生源があるのにどうして活断層が出来ないのかとといいますと、一つは、1回ごとの大地震で地表地震断層が生じない場合、もう一つは、次の大地震までの間に地表地震断層が浸食されて消滅する場合です。

#### (1) 浅い大地震でも地表地震断層が現われないことがある

浅い大地震が起こっても、震源断層面の上端が地下に埋まっていれば地表地震断層が生じないという場合があります。毎回そうであれば累積のしようもありませんから、活断層は生じません。

このような実例は、1900年宮城県北部地震（M 7.0）、1914年秋田仙北地震（M 7.1）、1925年北但馬地震（M 6.8）、1984年長野県西部地震（M 6.8）など少なくありませんが、前に述べたように、昨年（2000年）10月6日の鳥取県西部地震が新たな好例となりました。

この地震は M 7.3 で、震源断層面上のすべり量分布は図 10 のようでした。図は、左が北北西、右が南南東、上が地表です。ズレ破壊は深さ 14 km くらいから始まって、色の濃いところが 3 m 以上ずれ動きました。矢印は、震源断層面の手前側（西側）が相対的に動いた向きとズレの量を表わしています。この図から分かるように、地下の震源断層面上のズレ破壊はかなり地表に近いところまで達しています。（なお、図 10 は鳥取県西部地震のアスぺリティが二つか三つあったことも示しています）

ところが、この地震に伴って、誰もが認める明瞭な地表地震断層はまったく生じませんでした。何方所かの道路のアスファルトの亀裂などが線に乗るようだという報告がありますが、地表地震断層とは言えません。このような地震が何回繰り返しても、地表のズレの累積は生じようがありませんから、活断層は出来ないわけです。

実際、鳥取県西部地震は、活断層のないところで発生しました。前に紹介した『[新編]日本の活断層』には「鎌倉山南方断層」という確実度の低い線が書いてありますが、震源断層面が延びる向きとはほぼ直向していて、この地震とは関係ありません。私は、阪神・淡路大震災以来強まった活断層に関する誤解は非常に困ったことだと考えていますので、数年前から「活断層がなくてもマグニチュード 7 クラスの直下地震は起こりうる」と強調してきましたが、この地震が動かぬ証拠を突き付けてくれました。

ついでに述べておきますが、この地震は非常に強い揺れを記録しました。鳥取県の日野町というところで、花崗岩に 100 m の井戸を掘って、その底と地表に強震動を観測する地震計が置いてあります。それらが、深さ 100 m で 575 ガルという最大加速度（東西成分）、地表で 1135 ガルという最大加速度（3 成分の合成）を記録しました。

## (2) 次の大地震までの間に地表地震断層が浸食されて消滅する場合

もう一つの場合は、あるときに大地震が起こって地表地震断層が出現した、

ところが次の大地震が起こるまでに1万年というような非常に長い時間が経過して、雨風や洪水で浸食されて地表のズレが消えてしまうというケースです。多雨で湿潤な日本列島では、至る所でそういうことが起こりえます。変形の蓄積速度が小さくて大地震の発生間隔が長い場所では、毎回こういうことを繰り返しますから、結局地表のズレが累積することはないで、活断層は出来ないということになります。

このような実例として、1927年北丹後地震が考えられます。

この地震は、丹後半島とその北方海域を震源域とするM7.3の大地震で、2925人の方々が亡くなりましたが、このとき「郷村地震断層群」と呼ばれている長さ15kmの地表地震断層が現われました。最大のズレが水平で2.7m、垂直で0.8mという立派なものです。そのおかげで現在、「郷村断層」という長さ13kmの活断層が認定されていますけれども、この地表地震断層が出現していなければ活断層は認識しにくい所だと言われています。

日本の活断層研究のリーダーであり、あとで述べる「松田式」で有名な松田時彦先生が、他の4人の指導的活断層研究者と一緒に『空中写真による活断層の認定と実例』（『地震研究所彙報』52巻所収、1977年）という論文の中でこの問題を論じておられます。

そこでは、当該地域の空中写真を示して、「この写真から、地形的に北丹後地震の地震断層線を見出すことは、そのごく一部分をのぞいて困難である。

（幾つかの地形的特徴の説明；引用省略）このような地形的特徴は、これが左ずれ性の活断層であると疑うに十分である。しかし、上記のような特徴を示すのは写真上端部の1~2kmだけであって、それ以南では明瞭でないで、これだけで活断層と断定することはできない。（中略）差別侵蝕によって生じた組織地形の可能性も否定できないからである」と述べています。さらに、「昭和2年の北丹後地震では、このリニアメントに完全に一致して地震断層（地表地震断層のこと）があらわれ、これが断層変位地形であったことを教えてくれた。しかし、この時の地震断層は、上記のリニアメントの範

囲にとどまらず、さらに南方へ、写真のほど下端まで連続して出現した」と書いています。そして、「この北丹後地震と断層の関係は、このような地形的な方法による活断層調査の限界を示す例である」と結論しています。

同様なことは、他の活断層研究者による最新の論文にも述べられています。核燃料サイクル開発機構を中心に進められてきました高レベル放射性廃棄物（原子力発電所の使用済み核燃料の再処理で生ずるガラス固化体）の地層処分のために、活断層研究者たちが新たな活断層分布図を作る作業をやりまして、その報告が「200 万分の 1 活断層図編纂ワーキンググループ」によって『200 万分の 1 日本列島活断層図—過去数十万年間の断層活動の特徴—』（『活断層研究』19 巻所収、2000 年）という論文にまとめられています。これは核燃料サイクル開発機構の通称『2000 年レポート』という報告書でも主要文献として引用されているものですが、その中に「現在の空中写真判読の技術では、郷村断層のような C 級活断層を数多く見落としている可能性を否定することはできない」と明記されています。

したがって、北丹後地震の前であれば、その場所に活断層があるとは言われなかったと思われます。1927 年と同様な地表地震断層は過去にも生じたと考えられますが、地表のズレは累積してこなかったのです。

上記の松田・他の論文では、「この北丹後地震と断層の関係は（前記引用文）活断層調査の限界を示す例であると同時に、北丹後地震が、最近地質時代において濃尾地震や北伊豆地震と比べてはるかに稀な事件であったことを意味している」とも述べています。実際、郷村断層がズレを繰り返す間隔は 6000 年強という調査結果があります。ただし、ここで注意しなければいけないのは、郷村断層に注目すれば大地震ですれるのは稀ですが、丹後半島という地域に注目した場合には、郷村断層のように活動度の低い活断層が幾つも推定されていますし、活断層として現われていない地下の弱面もあるわけですから、大地震が稀だとは決して言えないという点です。

#### 4 活断層があれば短くても大地震が起こりうる

1927年北丹後地震の郷村地表地震断層は長さ15 km、活断層として認められている郷村断層は長さ13 kmと短いですが、この地震の本体である地下の震源断層面は、地震時地殻変動の観測データなどから長さ40 km以上と推定されています。それは北北東に延びていて、かなりの部分は丹後半島北方沖の海底下なので、地表地震断層が見えないのは仕方ありませんが、陸上部分でも、地表地震断層が現われなかった地表の下にも震源断層面が広がっています。地表では短い活断層しか認められなくても、地下ではマグニチュード7を超える大地震が起こるといふ事例です。

同様のことは1943年鳥取地震でもみられます(図11)。この地震はM7.2で鳥取市に壊滅的被害を与え、1083人の死者を生じましたが、このときに長さ8 kmの鹿野地震断層と呼ばれる地表地震断層が出現しました。そのおかげで現在は鹿野断層という長さ8 kmの活断層が認定されています。しかし、その地下で発生した鳥取地震はM7.2であり、地震波と地殻変動の観測データから求められた震源断層面の長さは、金森先生という方の結果では33 kmでした。

なお、鹿野断層も、1943年鳥取地震がなければ活断層として認識するのはなかなかむずかしいような、はっきりしないものだと言われています。

#### 5 活断層に対する学界の諸見解

以上述べた活断層の意味や、活断層と地震の関係は、決して私の個人的な特殊な考えではありません。よく考えれば地震科学の世界ではごく当然の捉え方だと言ってよいと思います(専門家の間でも、よく考えない場合には、これに反するような言い方、書き方がなされることがあって、それは残念なことですが)。以下に、これまでの説明と同様な見解を幾つか示します。

## (1) 原子力発電技術機構特別顧問垣見俊弘氏の見解

財団法人・原子力発電技術機構の特別顧問の垣見俊弘さんは、前の通産省工業技術院地質調査所の元所長でありまして、私もずいぶん前から関東・東海地方の地震発生の問題などでお付き合いをさせていただいている方です。今でも、私が学会で活断層についての発表をすると、フロアから支持する発言をしてくださいますが、この方が、『兵庫-淡路地域の活構造と兵庫県南部地震』（損害保険料率算定会・地震災害予測研究会『地震災害予測の研究』所収、1996年）という論説の中で以下のようなことを書いておられます。

「2. 断層に関する用語について」という節で、まず「震源断層の運動を反映した変位が地表に現れたものを、地表地震断層という。震源断層と誤解されない限り、単に地震断層ということもある。」と述べています。これはちょっと注意する必要があると思いますが、確かに3節の(2)で引用した松田・他の論文でも、地表地震断層のことを地震断層と書いていました。それはそれで仕方ありませんが、困るのは、地下の震源断層面のことを地震断層と言う地震学の研究者がいるのです。そうしますと、同じ地震断層という言葉を使って議論しているときに、片方は地表のことを意味し、もう片方は地下のことを語っていて、話が混乱するということが生じます。したがって私は、必ず震源断層面、地表地震断層、という使い分けを心掛けています。

次に垣見さんは、「本稿で扱う活断層は、現在を含む最近の時代に繰り返し現れた地震断層（石橋注：もちろん地表地震断層のこと）の痕跡である」「したがって活断層は本来、地表または地表近くでのみ認識される断層を指すのであるが、ここでは地下では当然繰り返し活動した震源断層（の痕跡）と連結していると考え」と書いています。私が前に、暗黙のうちに地下への面的な拡がり前提しているようだと述べたことです。

そのあとで、「なお、上述の規定では、「地下の活断層」とか「潜在活断層」はあり得ないことになるが、例外的にごく新しい地層（沖積層など）に

覆われているものを伏在活断層ということがある」と書かれていますが、これはその通りです。例えば福井平野のすぐ下に、地表で活断層と認識されてよいものがあるけれども平野の柔らかい沖積層に覆われて直接は見えない、そういうものを「伏在活断層」と呼びます。しかし、一般には「地下の活断層」とか「潜在活断層」というものはありえないと垣見さんもはっきり書いていらっしゃるわけです。

そして垣見さんは、「したがって、解説書などで「地下の活断層が動いた」という表現がある時、それは震源断層のことを（誤解によって）指しているのか、それとも伏在活断層のことを指しているのか、よく注意するようにと書いています。

## (2) 文部省測地学審議会地震火山部会の見解

省庁再編前の文部省に測地学審議会という非常に権威ある審議会がありまして、1965年度以来の地震予知計画という国家的プロジェクトに関して、原則5年ごとに建議を出してきました。その地震火山部会というのが、1997年6月に、30年以上にわたる地震予知計画の中味を学問的に総括しまして『地震予知計画の実施状況等のレビューについて』という報告書を出しました。その中の活断層研究のレビューのところに、次のようなことが書いてあります。

「以上をまとめると、M7.2以上の陸域の地震は、認知されている活断層で起こることが多いが、認知されていないC級の活断層で起こることもある。また、M6.8未満の地震はどこで起こるか分からず、M6.8～M7.1の地震でも活断層が認められない場所で起こる可能性がある。ただしM6.5以上の地震は、活断層の多い地域に起こり易いことが分っている」

「認知されていないC級の活断層で起こることもある」という言い方は非常に問題です。2000年の鳥取県西部地震の震源域には「認知されていないC級の活断層」があるのか、ということになりますが、そうではなくて、活

断層はないと言うべきでしょう。そもそも「認知されていないC級の活断層で起こる」という記述自体、「C級の活断層」であることが認知されていないのに、どうして「C級の活断層で起こった」と認識できるのかという論理矛盾があって、訴訟用語で言えば「この記述自体が失当」でしょう。

活断層については存在論と認識論が奇妙に使い分けられていまして、存在するけれども認識できないだけだという言い方ですが、活断層というものの学術的な意義からいって、認識できてこそその活断層ですから、「認知されていないC級の活断層」というのは幻で、要するに活断層がないということです。そういうわけで、この部分の書き方は問題ですが、要するにこの報告書は、マグニチュード7.2以上の大地震まで、活断層がないところでも起こりうると言っているわけです。

### (3) 茂木清夫氏の見解

地震活動や岩石破壊実験の世界的研究者で、地震予知連絡会会長や東海地震判定会会長を長く務められて日本の地震予知研究のリーダーの一人である茂木清夫先生が、『地震予知連絡会会報』第65巻(2001年)所収の『2000年鳥取県西部地震』という短報の中で、つぎのように述べておられます。

「この地震と関係づけられる活断層は認められない。このことは主に活断層とその分布にもとづく長期及び短期の予測の手法には問題があることを端的に示している。地震は地下の深部の破壊でおこるものであるから当然のことであり、活断層のない所でも大きい地震がおこる場合があることを忘れてはならない」

これは、私が延々と説明してきたことと全く同じでありまして、地震学者であれば当然の論述です。

## 6 松田式の問題点

### (1) 「松田式」とは何か？

活断層に関連して非常によく出てきます「松田式」について論じたいと思います。『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』には、松田式を使えとは明記されていませんが、慣行としてずっと使われていて、原子力発電所の耐震設計の体系の根本をなす式の一つになっています。「もんじゅ」の『原子炉設置許可申請書』（乙第六号証）においても、基準地震動  $S_1$ 、 $S_2$  を策定する根底にこの式が使われています。

耐震設計で大事なことは、地震動、つまり地震の揺れが発電所の施設に入ってきて、それに対して構造物をどういうふうにかちんと設計するかということでありましょうが、そのためには入ってくる地震動と、その源の地下の地震の予測が的確でなければなりません。私の専門および関心は、想定する地震と、そこから発してサイトにもたらされる地震動とが、現代地震学からみて適切に評価される仕組みになっているかどうかという点ではありますが、「松田式」はまさにその点で大きな問題だと思います。

「松田式」というのは、3節の(2)に出てきました松田時彦先生が、地震学会の学会誌『地震・第2輯』28巻(1975年)に書かれた論文『活断層から発生する地震の規模と周期について』の中で提案された式です。

それは、 $M = (\log L + 2.9) / 0.6$  という式でして、普通これは、活断層の長さ  $L$  からマグニチュード  $M$  を求める式だと言われます。もしそうであるならば、活断層の長さが 10 km だと  $M$  は 6.5、20 km だと 7.0 ということになります。しかし実は、松田先生の論文では、 $L$  は活断層の長さではありません。また、係数 0.6 と定数 2.9 には非常に大きな不確定性があります。

### (2) 松田式の曖昧さ

私は松田先生とはかなり長いお付き合いがあり、いろいろな研究テーマについて教えていただいたり、議論していただいたり、野外調査にご一緒させ

ていただいたり、共著で論文を書いたりしていますので、先生の真摯な研究姿勢はよく存じ上げています。松田式も、複雑な断層系と、そこから発する大地震の間に何らかの規則性を見出したいという問題意識の産物だろうと思います。しかし、論文をよく読んでみますと、松田式自体には非常な曖昧さ、不確定さを含んでいます。あとで述べますように、松田先生はこの式を1998年に改訂されたわけですが、それは、データが増えたり改善されたりしたからだけではなくて、当初の式の問題点も影響しているのではないかと思います。

図12に、松田式を求める元になった松田論文のFig. 1 (a)をそのまま示します。横軸にマグニチュード  $M$  が普通の日盛りで書いてあります。縦軸が長さ  $L$  ですが、この目盛りは対数目盛（ログスケール）といって、1から10までと10から100までが同じ長さになるような、つまり桁を示すような目盛りです。ここに、1891年濃尾地震以来の日本の内陸の大地震に関して、白丸と黒丸で  $M$  と  $L$  がプロットされています。

第一の問題点は、 $L$  が活断層の長さではないということです。論文では、「断層（または断層系）のディメンジョンを断層線（またはその集合体）の長さ  $L$  であらわす」と述べていますが、実際の  $L$  のデータとしては歴史地震の地震断層の長さを用いるとしています。ところが、ここで言っている「地震断層」が、前に述べた地表地震断層と震源断層面の両方の意味に使われていることが大きな問題です。「Fig. 1aには地震断層が地表にあらわれなかった地震でも他の方法で断層の長さが推定されている場合には参考のためその値もプロットされている」と述べて、何人かの地震学研究者が地震波や地震時地殻変動のデータから求めた震源断層面の長さも黒丸でプロットしているのです。本当に「参考のため」だけならばよいのですが、図の破線（松田式に対応する直線）は、黒丸も白丸と同等に考慮して求められた形になっています。これが非常に不適切で、何をみているか分からなくなることは、前の説明（4節など）でお分かりになるでしょう。地表の断層の長さとは

M の関係をみたいのであれば、黒丸は削除すべきです。そこで図 13 に黒丸を削除した様子を示します。一般に、同じ地震では震源断層面のほうが地表地震断層よりかなり長いからです、長いほうのデータが消えました。残った白丸の分布を平均的に満足する直線を引くとしたら、おおよそ図 13 の赤い線のようになるはずであって、結果は大きく変わるのです。

次に、白丸がすべて地表地震断層の長さを表わしているのかということ、実はそうとは限らないところがまた問題です。論文に「L の値は従来の文献によったが、1つの地震で2つの地震断層線がやはなれて生じた場合（丹後、北伊豆、鳥取、三河の各地震の場合）には、その2つの断層線がふくまれる最小の円の直径をもってその地震断層のLとした」と書いてあって、例えば鳥取地震ですと、前述の鹿野地震断層の8 kmではなくて、少し離れて生じた吉岡地震断層（長さ5 km；図 11 のYで、Kanamoriモデルの震源断層面からは外れている）をも包み込む円の直径12 kmが採用されているのです。しかし、地表地震断層の長さとの関係に徹するのであれば、私は、ここは8 kmを用いるべきだと思います。

図 13 では、この鳥取地震を含めて、データに対する疑問が赤字のコメントで示してあります。なお、1975年当時Mの値が2種類あるものは、同一の地震に対して二つの白丸がプロットされています。今からみれば、Mがそもそも古い値であり、地震の数も少ないのですが、それは仕方ありません。

しかし、もう一つ大きな問題があります。それは、地表地震断層の長さとの関係式を求めるのであれば、図 13 の白丸群（一つ地震で二つの白丸がある場合は適切に一つにまとめて）に最小二乗法（ばらついているデータに対して、どれもの顔を一番よく立ててやるように直線を当てはめる方法）で直線を引いて式を求めるべきなのですが、松田論文では、黒丸を含んだ図 12 のほうに対して、「M 8 の地震では  $L = 80 \text{ km}$ 、M 7 では  $L = 20 \text{ km}$ 」と決めてしまって、つまり図 13 の緑の2点を固定してしまって、それを直線で結んで式の係数・定数を求めたことです。このやり方は極めて不適切で、

式の意義が失われていると言わざるをえません。

しかも  $L$  は活断層の長さではないわけです。したがって、活断層の長さから地震のマグニチュードを求める目的で松田式を使うのは、幾つもの不適切さを重ねることになって、以ての外と言うべきです。

### (3) 「松田式」はご本人によって改訂された

日本地震学会誌『地震・第2輯』50巻別冊(1998年)に掲載された松田時彦先生の『活断層からの長期地震予測の現状—糸魚川-静岡構造線活断層系を例にして—』という論文で、松田式は改訂されました。この別冊は「大地震の長期予測はどこまで可能か?」という特集号で、私が編集委員長を務めまして、松田先生にも書いていただいたものです。書いていただいたといっても、二人の専門家が匿名で内容をチェックし、おかしな点は修正を求めるという「査読制」をとっています(これに対して、同じ『地震・第2輯』でも、1975年当時は査読制をとっていなかったと思います)。

図14に、この論文の Fig. 4 をそのまま掲げます。ここでは、図13に赤字で示した問題データのうち、庄内地震(1894年)は削除され、陸羽地震(1896年)の  $L$  60 km は 36 km に修正されました。マグニチュードの値も気象庁が改定したので直してあります。また、1974年伊豆半島沖地震と1995年兵庫県南部地震が追加されています。

今度は最小二乗法を使って、直線と式が求められています。1891年濃尾地震を含めると  $b$  の破線が求まりますが、他と懸け離れている濃尾地震を除外すると  $c$  の実線が求まります。  $a$  は1975年の松田式です。

$c$  に対する式は、  $M = 6.8 + 0.25 \log L$  ですが、ここで注目すべきことは、  $L$  に 10 km を入れても 20 km を入れても  $M$  は 7.1 だということです。図を見て分かるように、  $M$  が 6.8 から 7.3 の範囲で  $L$  が縦に非常にバラバラで、この直線自体、縦線に近いわけです。もし縦線だったらどうかということ、縦線が通っている  $M$  の値に対して、どんな長さの  $L$  が出

てくるか分からないということです。現実はそのに近いのです。

さらに、まだ $L$ の値に疑問があります。北丹後地震、鳥取地震、三河地震について、(2)で疑問を呈した操作が施されているので、それらの $L$ はもっと小さくすべきだと思います。そうすると $c$ 直線はますます縦線に近くなります。要するに改訂式は何かというと、 $M$ が6.8から7.3の範囲で、出現した地表地震断層の長さはマグニチュードとほとんど相関がなかったということを実証した式なのです。

地表地震断層が累積すると活断層ですから、活断層の長さやマグニチュードも相関がないだろうということになるわけです。

## 7 総合的な考察で地下の震源断層面を想定することが本質的に重要

### —「活断層帯」「起震断層」という概念の重要性—

地震の本体は、あくまでも地下の震源断層面です。ですから、それが気まぐれに地表に顔を出したり出さなかったり、長く顔を出したり、短く出したりという地表地震断層や、それが累積した活断層は、注意深く参考にするには大事ですが、単純に松田式のようなものを当てはめてマグニチュードを算定するのは、絶対によくありません。活断層も参考にしつつ、多くの地学的情報を総合的に考察して地下の震源断層面そのものを想定するということが、本質的に重要なのです。震源断層面やズレの量を想定していったら、それにもとづいて第1章の1節(4)で紹介した地震モーメントが求まり、マグニチュードはそこからむしろ最後になって出てくる量です。

隣接する活断層の地下で、連動するようにして一つ大地震が起こることが多いというのも非常に重要です。これは、現在の地震科学では常識であり、「活断層帯」とか「起震断層」という用語がよく使われます。そのような例として、図15に1891年濃尾地震と1995年兵庫県南部地震を示します。

1891年濃尾地震(M 8.0)は、温見断層、根尾谷断層、梅原断層という

性質の違う活断層の下で発生して、それらに沿って地表地震断層が延長約 80 km にわたって現われました。これらの活断層は、まず活動度が違います。温見断層の活動度は B 級ですが、根尾谷断層は 1 年に 2 mm 以上の平均変位速度をもっているため A 級です。また、根尾谷断層の大地震の繰り返しの間隔はトレンチ調査からおよそ 2700 年位と見積もられています。それに対して梅原断層は、大地震の再来間隔が 1 万年以上と考えられています。ですから、それぞれの活断層の地下だけで小さめの大地震が発生したことも度々あるはずですが、1891 年には、全部の地下で連動してしまったのです。

1995 年兵庫県南部地震は、淡路島から六甲の下まで同時にズレ破壊したために、今でこそ六甲・淡路断層帯などと言われていますけれども、もともとの活断層の調査結果としては、淡路島の野島断層と六甲山地に沢山分布している六甲断層系とは、分けて捉える人も少なくなかったと思います。ところが、1995 年にはそれらが連動して地震を起こしました。

そういう例は他にもいっぱいあります。例えばアメリカでも、1992 年のランダース地震は、幾つもの活断層を乗り移って地下のズレ破壊が進んだということでも有名です。

「もんじゅ」に近い甲楽城断層と柳ヶ瀬断層は少し離れていて、「もんじゅ」の原子炉設置許可申請書では厳密に分けて取り扱われています。しかし、文部科学大臣を本部長とする政府の地震調査研究推進本部の活断層調査では、「柳ヶ瀬断層帯」として一つの長い活断層帯とされています。これは非常に注目すべきことです。

## 8 まとめ

これまで述べてきたことを図 16 に模式的にまとめました。

我々が以下のことだけを知っているときに、図 16 の地域の地下で発生する可能性のある大地震をどう想定したらよいのか、実際の自然ではどんな大地震が起こりうるのか、という問題を、この図に添って考えてみます。

知っていることというのは、まず、活断層・甲というものがあって、長さ 5 km である。また、少し離れて活断層・乙というものがあって、長さ 20 km である。一方、歴史地震の研究の結果として昔の大地震が二つ知られている。A年の大地震の震央は活断層・乙の左半（図 16 の青色の×印の直上の地表）に推定されていて、マグニチュードは7強と推定されている。B年の大地震の震央は活断層・乙の右端をちょっと外れた所（図 16 の緑色の×印の直上の地表）に推定されていて、マグニチュードは約7と推定されている。（「震央」というのは、現代の地震であれば、地下の震源断層面上の破壊の出発点（震源）を地表に投影した点ですが、歴史地震では、そんな厳密なことは分かりませんので、単に地震の起こった場所という意味で震央が推定されています。歴史地震の震央やマグニチュードは、地震史料から各地の被害状況や揺れの様子を調べて、各地の震度の分布を作って、それによって推定しています。実は、従来の歴史地震研究で震央という一点を推定していたのは大きな問題です。これからは極力、震源域と深さまで推定しなければなりません）

我々が知っていることは以上だとします。歴史地震は知られていない、あるいは歴史時代には発生していない場合もありますが、そのことは以下の説明で本質的ではありません。その場合は、A年の大地震、B年の大地震は、有史以前の地震ということになります。

さて、「もんじゅ」の耐震査設計のやり方ですと、活断層・甲で起こる地震は、松田式によってM 6.0 になります。活断層・乙で起こる地震はM 7.0 になります。二つの活断層は別々のものであり、それぞれ独立に地震を起こし、この地域で発生する最大の地震はM 7.0 だと考えるわけです。

しかし、地下では以下のようにになっている場合があるのです。それは、もちろん思考実験的な一つのケースの想定ですが、決して無理なこじつけを考えるわけではありません。

上部地殻には、図に示すようにアスペリティが分布している。A年の大地

震は、青色の×印からズレ破壊が始まって三つのアスペリティが破壊した。地下の震源域は青線で囲んだ領域で、長さは約 40 km あって、M 7.3 だった。このとき、長さ約 10km の地表地震断層が現われた。また B 年の大地震は、緑色の×印からズレ破壊が始まって、別の三つのアスペリティが破壊し（真ん中の一つは A 年の再破壊）、地下の震源域は緑線の範囲で長さ約 30 km、M 7.0、長さ約 6km の地表地震断層が出現した。重要なことは、A 年地震の震源域が活断層・甲の地下にまで延びている、つまり、活断層・甲と活断層・乙は一つの活断層帯の現われであって、地下では連続しているということです。活断層・乙は、A 年の地表地震断層と B 年の地表地震断層に類似なものが、もっと昔から何度も生じて、それらが累積して出来た。活断層・甲は、図には表現しませんでした。一番左上のアスペリティを含むような大地震も何度も起こって、そこに度々生じた地表地震断層が累積して出来た、というような状況です。

こういう状況であれば、この地域で発生する最大の地震は、右端と左端のアスペリティを両方含むようなもので、震源断層面の長さは 50 km 以上にもなり、マグニチュードは 7.6 に達するだろうということになります。

一つの活断層帯であるかどうかは、前に述べたように総合的な調査・研究から判断されます。しかし、活断層が近接している場合には一連である場合が多く、前節の最後で述べたように、柳ヶ瀬断層から甲斐断層までは政府の地震調査研究推進本部によって「柳ヶ瀬断層帯」として一括されているわけです。また、次章で紹介する「糸魚川-静岡構造線断層帯」もその例です。

### 第 3 設計用最強/限界地震および基準地震動の策定の問題点

#### 1 「耐震設計審査指針」体系でのやり方

この章では、『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』に沿って全

国の原子力発電所で広く採用され、「もんじゅ」でも用いられた地震動の策定手法が、現代地震学の知見からみていかに古めかしく、地震現象の実態から懸け離れた観念的なものであるかを明らかにしたいと思います。とくに、最近政府が積極的に実施している強震動評価の手法と比較して、地震動が過小評価されることを示します。

「もんじゅ」の『原子炉設置許可申請書・添付書類一〜七』（乙第六号証）に記されている基準地震動の策定手法は、基準地震動  $S_2$  についていえば、まず設計用限界地震として、活断層では甲楽城断層、木ノ芽峠断層、S21〜S27 断層、柳ヶ瀬断層から発する地震、地震地体構造からは震央距離 60.0 km の M 7.8 の地震、直下地震として M 6.5 のものを考える。それぞれに対して原子炉敷地の解放基盤表面における最大速度振幅  $V_{max}$  を求め、標準応答スペクトル（大崎スペクトル）を参照しつつ、M、震央距離、 $V_{max}$  から速度応答スペクトルを作成して、6つの応答スペクトルすべてを上回る応答スペクトルを設定する。一方、模擬地震波の継続時間と振幅包絡線の経時的変化を、経験的に提案されている式等を使って求め、以上すべてに適合する地震動の時刻歴波形を人工的に合成する、というものです。こうして作られた模擬地震波が建物・構築物と機器・配管系の耐震性の動的解析のための入力地震動となるわけです。

ここで、基準地震動  $S_2$  の応答スペクトルを規定しているのは、ほとんど甲楽城断層から発する地震と木ノ芽峠断層から発する地震です。前者は、断層の長さ 20 km と判断して、松田式から M 7.0 になる。そして、断層の中央を震央として震央距離が 11.5 km、M と震央距離から最大速度振幅  $V_{max}$  を求める金井式というのを使って  $V_{max}$  が 18.2 kine となります。後者は、断層の長さ 25 km で、松田式から M 7.2、断層の中央を震央とした震央距離が 16.5 km で  $V_{max}$  は 18.0 kine です。 $V_{max}$  は甲楽城断層のほうが少し大きいですが、速度応答スペクトルは、M がちょっと大きい分、木ノ芽峠断層のほうが少し上回る周期範囲があります。

以上の手法には、現代地震学からみて非常によくない点が幾つもあります。まずは、前章で述べたように、松田式を用いて活断層の長さから地震のマグニチュードを求めている点です。次の重大な欠陥は、活断層の中央を震央と定めて、震源域の拡がりをまったく考慮せずに、金井式という古い経験式で、マグニチュードと震央距離だけで最大速度振幅を求めている点です。さらに、標準応答スペクトルによって周波数特性を求める点、継続時間と振幅包絡線の経時変化という観念的な経験則によって地震動の波形を求める点も、とくに阪神・淡路大震災以降急速に発展した現代の強震動地震学からみると、大地震の実体——特に短周期強震動にとって本質的に重要なアスペリテイ——を一切考慮しない全く時代遅れの手法と言わざるをえません。また、甲楽城断層と柳ヶ瀬断層を別々に評価している点も、前章で何度も述べたように、重大な欠陥です。

## 2 最近の政府による強震動評価手法：糸魚川—静岡構造線断層帯の例

文部科学大臣を本部長とする政府の地震調査研究推進本部が、全国を概観した地震動予測地図の作成を進めており、地震調査委員会の強震動評価部会が、強震動予測手法を検討するとともに、それを用いた強震動の評価を行ないつつあります。

今年（2001年）の5月25日には、同部会が、「糸魚川—静岡構造線断層帯（北部、中部）を起震断層と想定した強震動評価手法について（中間報告）」という報告書を公表しました。これは中間報告ではありますが、同部会が強震動予測手法検討分科会を設置し、特定の活断層を起震断層と想定した場合の手法検討の最初の段階として作業を進めてきて、若干の強震動の試算結果を踏まえて取りまとめたものです。しかるべき見通しがついて公表したと考えてよいでしょう。しかも、そこで用いられている基本的な方法は、中央防災会議の東海地震専門調査会が東海地震の見直しを行なうなかで、行

政施策の目的のために実用に供され、東海地震の計算結果は11月27日に公表されました。

そこで、中間報告にもとづいて、政府が、国民の生命と財産を守るために率先して進めている強震動評価手法はどんなものか、紹介したいと思います。

#### (1) 性質の異なる複数の活断層が一つの起震断層になると想定

糸魚川—静岡構造線というのは本州の中央部を南北に横断する大構造線です(図17)。ここには幾つもの活断層があります。北から神城断層、松本盆地東縁断層、松本の近くの午伏寺断層、諏訪付近の岡谷断層群と諏訪断層群、さらに南の釜無山断層群などです。非常に長いので、北部、中部、南部と分けられています。

地震調査委員会は1996年に、「午伏寺断層を含む区間では、現在を含めた今後数百年以内に、M8程度(M7 1/2～8 1/2)の規模の地震が発生する可能性が高い。しかし、地震を発生させる断層区間(場所)がどこまでかは判断できない」という将来の活動についての評価を公表しました。また、地震調査委員会の長期評価部会が2000年7月に、糸魚川—静岡構造線断層帯が活動した際の強震動の評価に必要な断層帯の形状を評価して取りまとめています。中間報告はそれらを踏まえたものです。

まず重要なことは、地震を発生させる断層区間も、近々発生するののかも分からないけれど、北部—中部の活断層帯が一つの大地震を起こすことがありうると判断して強震動評価をした点です。しかも、注目すべきは、神城断層と松本盆地東縁断層は東側隆起の逆断層(縦ずれ)、午伏寺断層と岡谷断層群・諏訪断層群・釜無山断層群は左横ずれ断層で、互いに性質が異なり、間にギャップがあって、走向(延びている方位)も違っていることです。「もんじゅ」を含む全国の原子力発電所では、設計用最強地震や限界地震を設定する際、このような活断層は連続性がないと言って個々バラバラに評価し、決して繋げて考えることはしませんが、それとは正反対です。

## (2) 震源特性化モデルによる実体的な強震動評価

前項とともに非常に重要なことは、最新の研究成果を総動員して「震源の特性化」ということを行なって震源断層モデルを作り、地下の地震の実体に即してリアリティのある地震動のシミュレーションをしている点です。

中間報告で行なったことは、図 18 に示すような震源断層面のモデルを設定して安曇、松本、穂高における地震動を計算したのですが、まずそれぞれの活断層を、長さだけにとられるのではなくて、断層の位置、長さ、幅、傾き、というようなものの検討結果にもとづいて、巨視的な断層パラメータというものを設定します。一番北の神城断層と、その南の松本盆地東縁断層は、東に斜めに傾き下がる断層面をもつので、図 18 の地表投影では幅が広く見えています。さらに南の午伏寺断層と岡谷断層群・諏訪断層群・釜無山断層群はほとんど垂直なので、地表投影では幅狭く見えます。4枚の断層面の全長は 112 km、それぞれの断層面の長さは図 21 に示されています。巨視的な断層パラメータの設定によって、地震モーメントが決まります。第 2 章 7 節で述べたように、マグニチュードは重要ではありません。図 18 の各断層面の色の濃い部分は、つぎに説明するアスペリティです。

最近、1994 年のロサンゼルス郊外のノースリッジ地震や 1995 年兵庫県南部地震などの大地震が多いこともあって、日米を中心に、震源断層面のズレ破壊の詳細と強震動の発生に関して、地下の物質構造の影響も含めて急速に研究が進んでいます。大局的な震源断層面の大きさとアスペリティの個数や面積の割合とか、全体の大局的なズレの量とアスペリティでのズレの量の比率とか、剪断応力の解放についてのそのような割合とか、いろいろな状況の地震モーメントとの関係などについてです。

詳しいことは省略しますが、それらの知見から標準的な震源破壊の詳細を決めることを「震源の特性化」といいます(図 19)。あくまでも平均像を追求しているわけですが、最近の高密度の観測から分かってきた強震動の特

微的な性質、例えばディレクティビティ（地下のズレ破壊の進行方向に地震動が強くなる）、キラーパルス（強い破壊力をもつ周期1～2秒の揺れ）、断層面に直交する揺れが強くなる現象をも再現しようとしていて、実際かなりよく再現できるようになっています。再現するためには、地下の地震波の伝わり具合（地震波速度構造と減衰特性）も非常に重要ですが、それについての調査・研究も精力的に行なわれるようになりました。図20は、想定地震について震源特性化したというのとは違いますが、大枠としては共通な研究によって、2000年鳥取県西部地震で観測された地震波形が、震源断層モデルにもとづく計算でいかによく再現されているかを示しています。

このような強震動評価手法に比べますと、松田式・金井式・大崎スペクトル・模擬地震波という手法は、地震の実体を知らずに観念的・形式的に虚像を作っているということが、いっそうはっきりします。

『中間報告』では、震源特性化モデルを4通り設定した地震動評価結果が紹介されていますが、図21にそのうちの二つのモデルを示します。

### 3 「松田式+金井式」手法との比較

『中間報告』の結果と最大速度振幅を比べてみるために、旧来の松田式+金井式の手法で、糸魚川—静岡構造線断層帯（北部、中部）地震による安曇・松本・穂高の地震動を評価してみます（図22）。

まず、旧来の手法では、隣接断層とは性質が異なるなどの理由で松本盆地東縁断層だけを取り出すでしょう。この活断層の長さは35 kmなので、松田式によってM7.4となります。そして、活断層の中央を震央として、3地点の震央距離を求めると、安曇が25 km、松本が17 km、穂高が6 kmになります。それらに対して金井式を適用すると、最大速度振幅が、安曇16.1 kine、松本21.7 kine、穂高31.2 kineと求まります（kineはcm/sと同じ）。

これに対して、政府の地震調査研究推進本部の結果を図 23、24、25 に示します。旧来の手法が、あとから地震波形を形式的に作り出すのに対して、現在の方法では震源特性化モデルから直接波形を計算するので、図には4ケースについての速度波形が示してあります。これらについて最大速度振幅をみます。

安曇は、ケース3では松田式+金井式の結果に近いですが、それ以外では、NS成分（南北方向の揺れ）とEW成分（東西方向の揺れ）の両方またはどちらかが、かなり大きくなっています。それらを合成した正味は、もっと大きくなるでしょう。松本はもっとすさまじくて、松田式+金井式手法の結果より遙かに大きいです。穂高も、かなり大きくなっています。

最終報告では少し変わるかもしれませんが、震源断層面の拡がりも、ズレ破壊の細かな特性も、サイトまでの地震波の伝搬経路の影響も一切考慮しない形式的な単純計算の旧来の手法が、強震動を過小評価していることは、ほぼ確実なことだと言えるでしょう。

#### 第4 日本海東縁～信越～北陸～山陰は必然的な大地震活動帯

##### 1 アムールプレート東縁変動帯

最後に、日本海東縁、北陸、山陰といった地域は、長い目でみれば大地震が起りやすい場所なのだということを説明します。これに関しては、事実は事実ですが、なぜそうなのかというメカニズムについては、私個人の学説も入っています。

日本列島の陸のプレートがどういうプレートなのかは、まだはつきり分かっていません。私はそういう観点から地震の起り方を研究することが専門でして、「地震テクトニクス」の研究といえます。これは長期予測にも結びつく研究です。ちなみに、『耐震設計審査指針』に書かれている「地震地体構

造」というのは、地震テクトニクスと密接に関連する概念です。

日本列島の陸のプレートについての従来の考え方は、北海道～東北～関東地方は北米プレートという大きなプレートの西の端、西南日本や日本海の海底はユーラシアプレートという大きなプレートの東の端というものです（図26）。北米プレートとユーラシアプレートは、北大西洋や北極海の中央部の海底で二つに分かれて両側に動いているものですが、そのちょうど反対側にあたる日本付近で両プレートが東西におつかっているのだという考えです。ユーラシア、北米という世界の二大勢力が日本でおつかっているというわけです。

しかし、地球上の地震の震源分布を見ますと、西ヨーロッパが載っているユーラシアプレートという巨大プレートが一枚岩で例えば金沢まで来ているとは考えにくいです。実際、図27では、バイカル湖付近やモンゴル、チベットあたりはかなり地震が起こっています。そのほかの色々な調査・研究から、「アムールプレート」とでも呼ぶべき小さなプレート（マイクロプレート）があって、日本海の海底や西南日本はその東の端なのではないかという考えが、ロシアや日本の何人かの研究者によって提案されています。私もそう考えている一人です。

アムールプレートという考えにはまだ難点もいろいろあります。しかし、日本列島を東端とする東アジアがユーラシアプレートには属さないで、何らかの（おそらく複数の）マイクロプレートに載っていて、東に向かう運動があるということは確かだと思います。この観点は日本列島の大地震の起こり方を理解するうえで非常に重要だと思います。従来は、東側の太平洋プレートからの西向き動きや力ばかりが注目されていましたが、西側のアジア大陸からの東向き動きや力も非常に重要だということです。

この観点から、私は、「アムールプレート東縁変動帯」と仮称するものを強調しています（図28）。

アムールプレートという極東アジアのマイクロプレートがユーラシアプレ-

トから分離して、年間1~2cmの速さで動いていて、その一番東の縁に変動帯があるという考えです。この変動帯は、サハリンから北海道、東北、日本海沿岸の帯、それから中部日本の衝突帯、それから北陸、山陰のところにつながっていると考えます。さらには、東海地震、南海地震もフィリピン海プレートの沈み込みで起こるのは確かですが、それだけではなくて、東へ動いてくるアムールプレートによってもエネルギーを供給されているだろうという見方をしています。

最近の国土地理院によるGPS連続観測結果からも、例えば日光付近を固定して一年間の日本列島の動きを見ると、西日本が東へ動いている様子が見えます(図29)。

## 2 東海・南海巨大地震まで続くアムールプレート東縁変動帯の活動

最近、西日本が地震の活動期に入ったとよく言われます。それはどういうことかと言うと、遅くとも今後4、50年以内には必ず東海沖、四国沖の巨大地震が起こる。その前50年位は内陸の地震が活発になる、過去もそうだった、それが兵庫県南部地震以来始まって2000年鳥取県西部地震もそうだった、とそういう話です。

しかし、アムールプレート東縁変動帯という見方をすると、決して西日本だけではないということが見えてきます。

アムールプレート東縁変動帯全体が西からの動きを一蓮托生で受け止めていて、どこかがコケれば他のところもコケるということを繰り返して、それで最後に東海、南海巨大地震の発生にいたる。それが起こってしまうと、すべてクリアされてご破算に戻る、とそういう力学であろうという見方ができます。

実際、1854年安政東海・南海地震というのが30時間を経て連発しましたが、その前50年位は図30に赤く書いたところで、大地震が行きつ戻り

つ続発しました。

また、1944年に東南海地震、1946年に南海地震が起こりましたが、その前には、1925年北但馬地震、1927年北丹後地震、1943年鳥取地震という西日本の大地震だけではなく、図31に示したように、1940年積丹沖、1939年男鹿半島沖、1914年秋田仙北というような大地震も起こっています。こういう地震の起こっているところ全体をアムールプレート東縁変動帯というふうにみれば、西から東へ押し寄せてくる力を全体がスクラムを組んで受け止めていて、どこか一箇所で大地震が起こるとまた次ぎの弱いところで次の地震が起こるということが当然なのです。

最近でいえば、1995年の兵庫県南部地震は、その2年前の1993年北海道南西沖地震と関係していると思います。この年に能登半島沖でもM6.6の地震がありました。重要なことは、これらの大地震がすべて東西圧縮力で起こっていることです。

### 3 敦賀半島付近は大地震空白域

現在の地震学の見方では、近い過去に大地震が起こった所よりも、一連の地震活動帯（大地震発生能力のあるベルト地帯）の中で近い過去の大地震が知られていない所のほうが危険だと考えられていて、そういう領域を「大地震空白域」といいます。敦賀半島付近は、まさにそのような場所ではないかと思われれます。

前述のように、北海道～東北の日本海岸沿いの海陸、信越、北陸、山陰、中部～近畿の内陸がアムールプレート東縁変動帯として大地震発生地帯だと考えられますから、若狭湾とその周辺も当然その中に含まれます。事実、この地域とその周辺は歴史上の大地震が幾つも起こっています。

やや広域に、西のほうから東に向かって眺めると、1872年の島根県西部の浜田地震、2000年鳥取県西部地震、1943年鳥取地震、1925年北但馬地

震、1927年北丹後地震、そして京都付近・琵琶湖西岸から三方五湖までを震源域とする1662年の寛文地震があります。それから、1948年福井地震、1799年金沢地震、1858年跡津川断層の飛越地震、1847年長野の善光寺地震と続きます。しかし、敦賀半島～越前海岸付近には歴史上の大地震は知られていないのです。

この地域に活断層が密集しているのは周知の事実です。例えば甲楽城断層は活動度が低いようにいわれますが、非常に顕著なことは、越前海岸一帯が本州の日本海側としては極めて大きい長期的な隆起速度をもっていることです。このことは、政府の地震調査委員会が「柳ヶ瀬断層帯」と一括している柳ヶ瀬断層～甲楽城断層が、1回のズレの量の大きい（ということはマグニチュードの大きい）大地震を過去繰り返し発生して越前海岸を隆起させてきたことをうかがわせます。

アムールプレート東縁変動帯の中にあつて大地震空白域であることを考慮すると、敦賀半島付近は大地震の危険性が非常に高いと考えるべきだと思います。

以上で私の陳述を終わります。

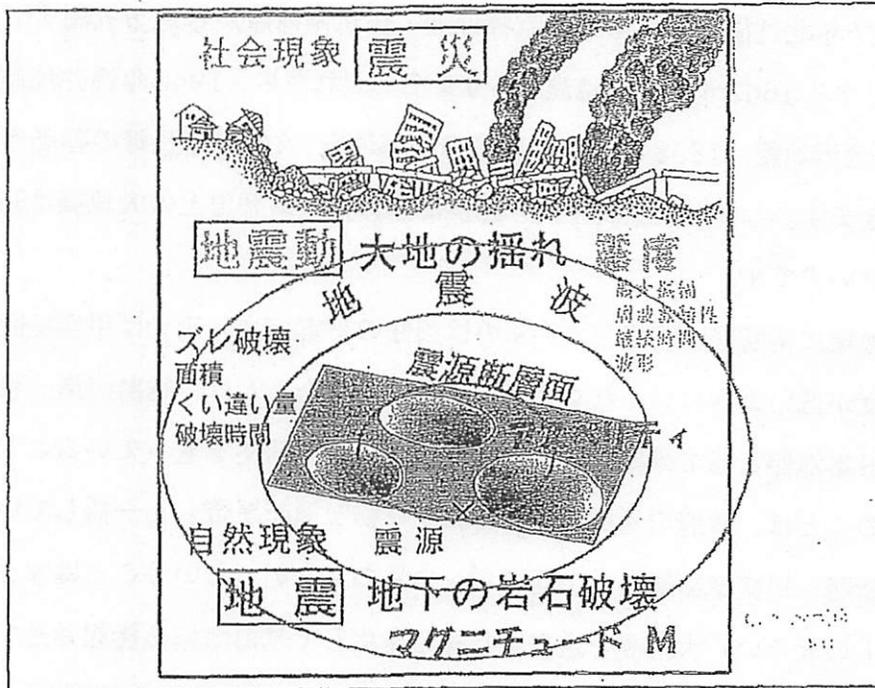


図 1

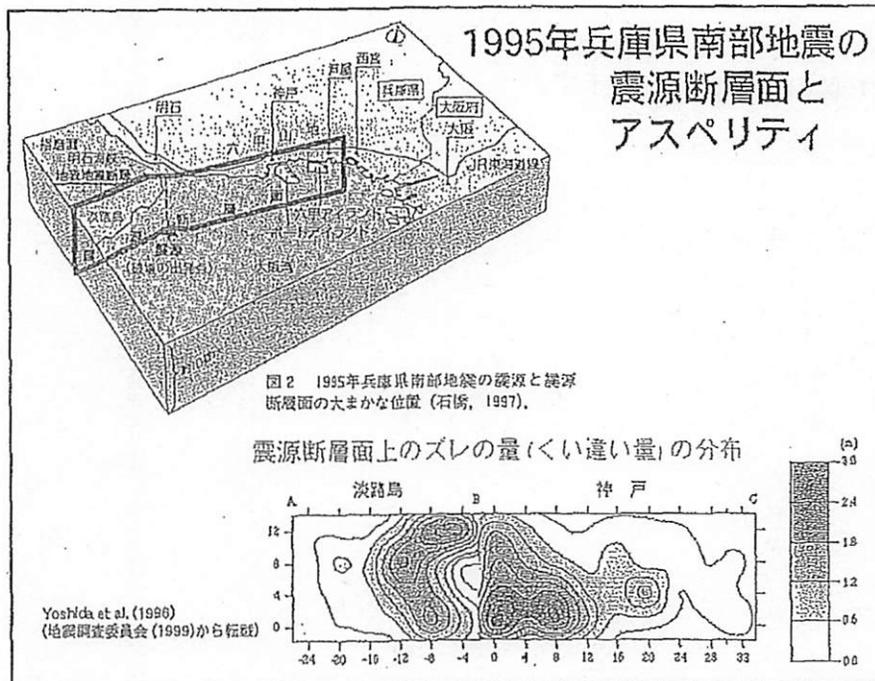
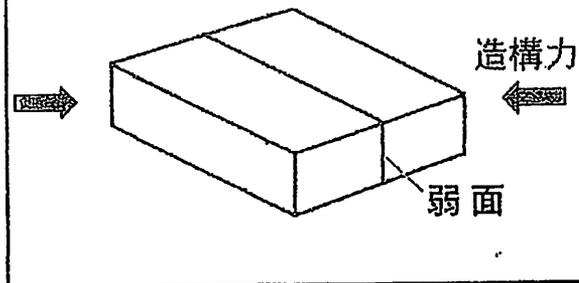


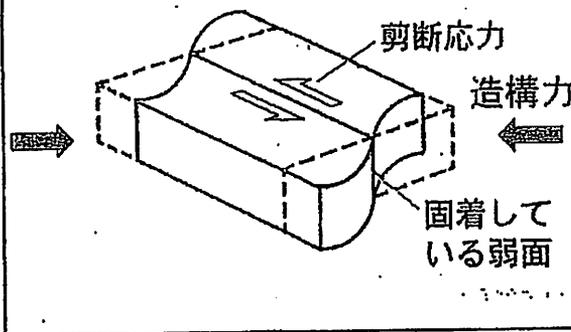
図 2

### 3. 地震はなぜ起こるか？

● 発震機構は、おもに岩の弱い面（断層）



B. 造構力によって変形した状態（大地震の直前）



C. 弱面の破壊（地震）による変形の解消

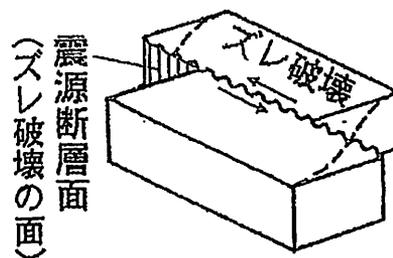


図 3

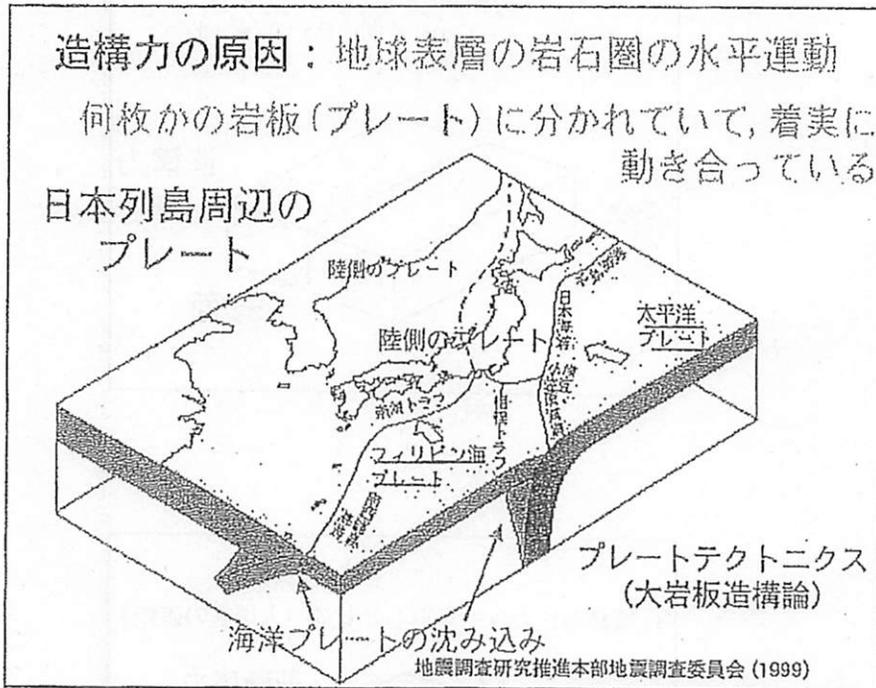


図 4

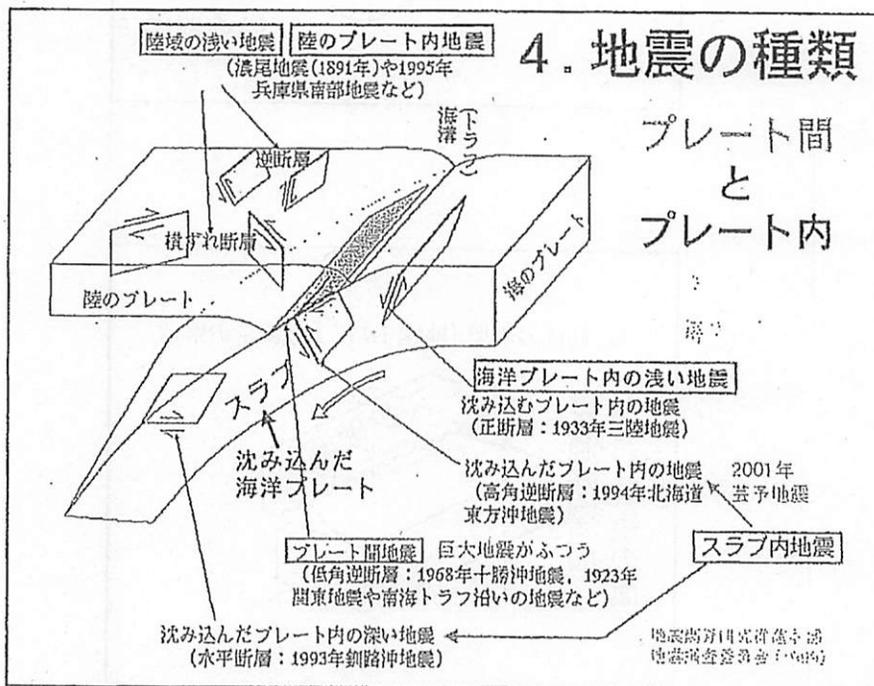


図 5

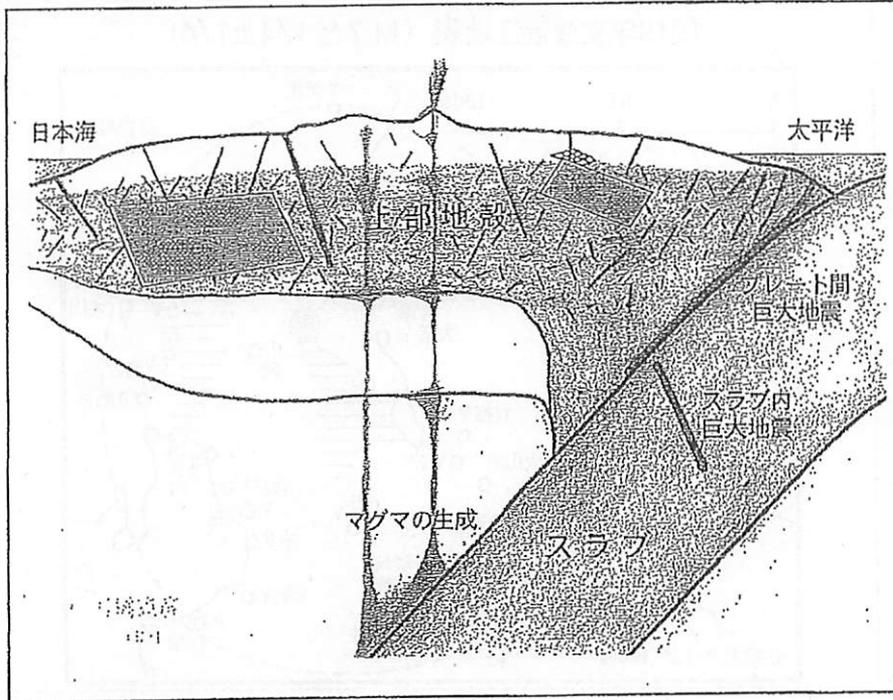


図6

最近1月間に近畿地方とその周辺で発生した浅い地震(30km以浅)の震央分布

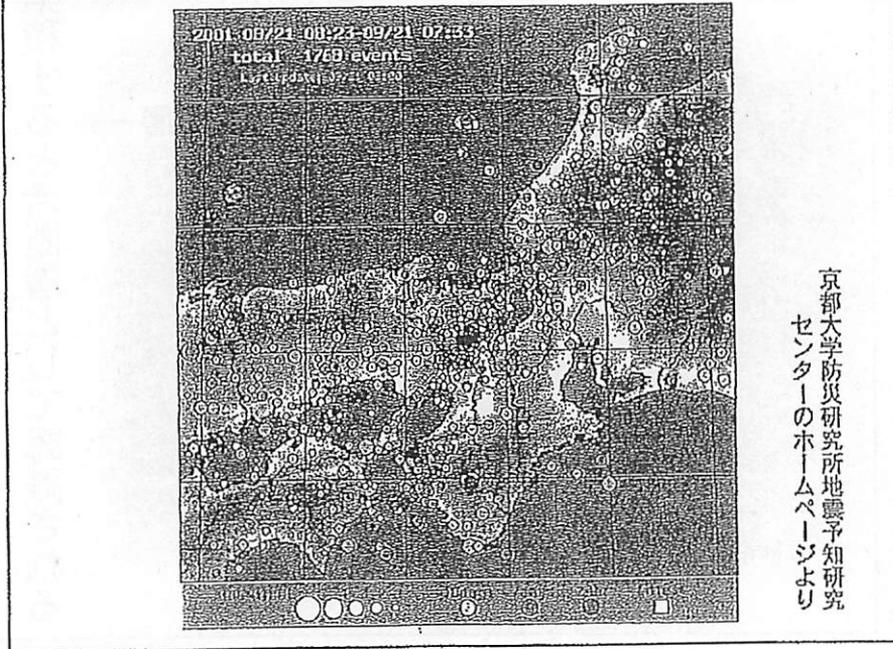


図7

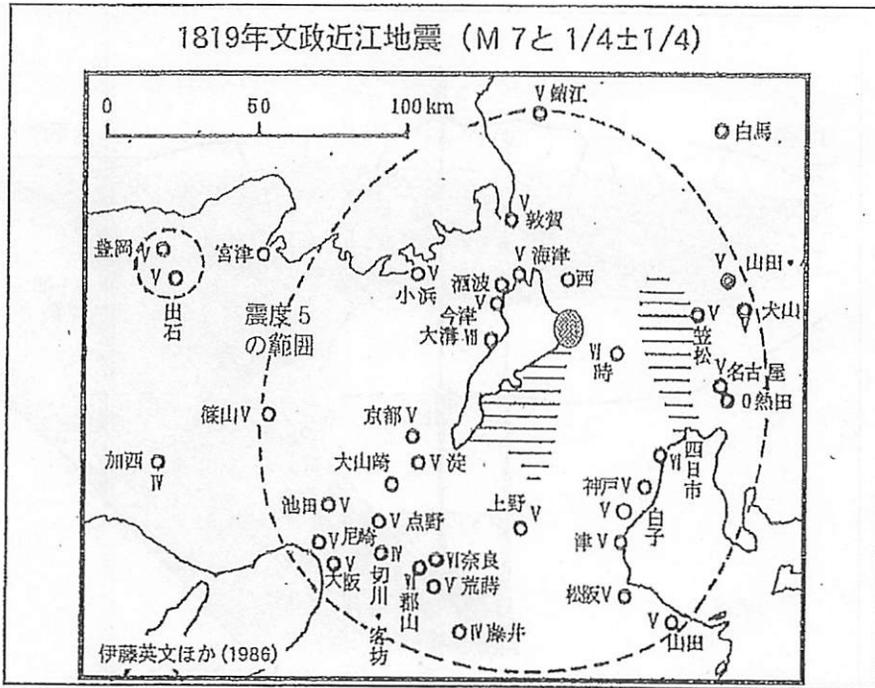


図 8

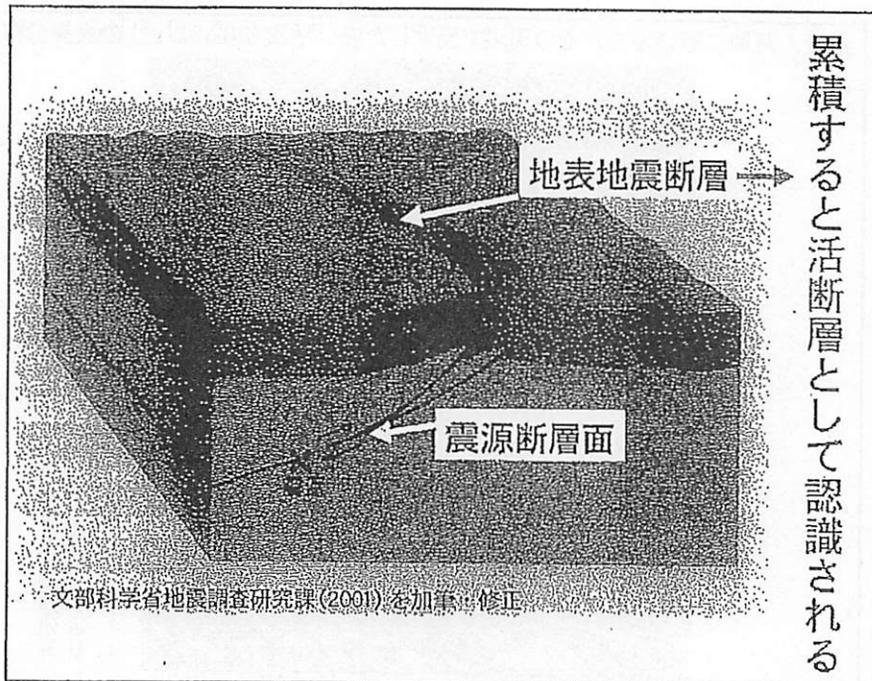


図 9

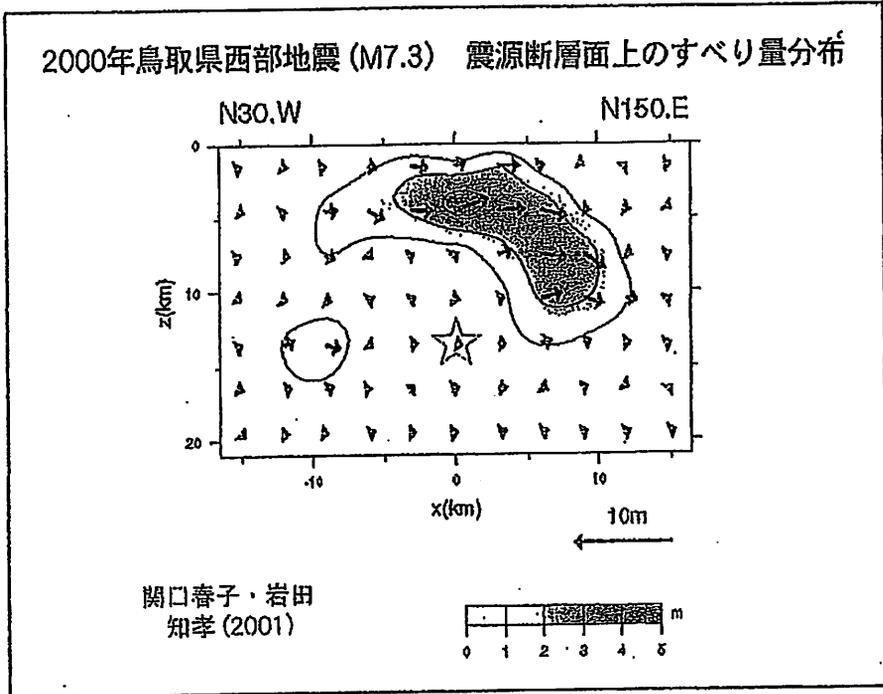


図10

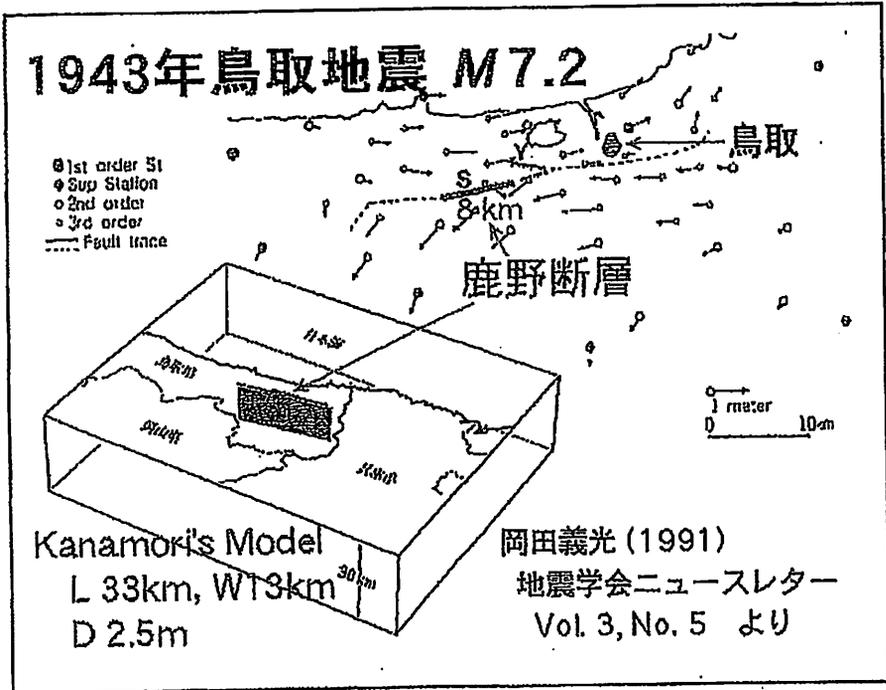


図11

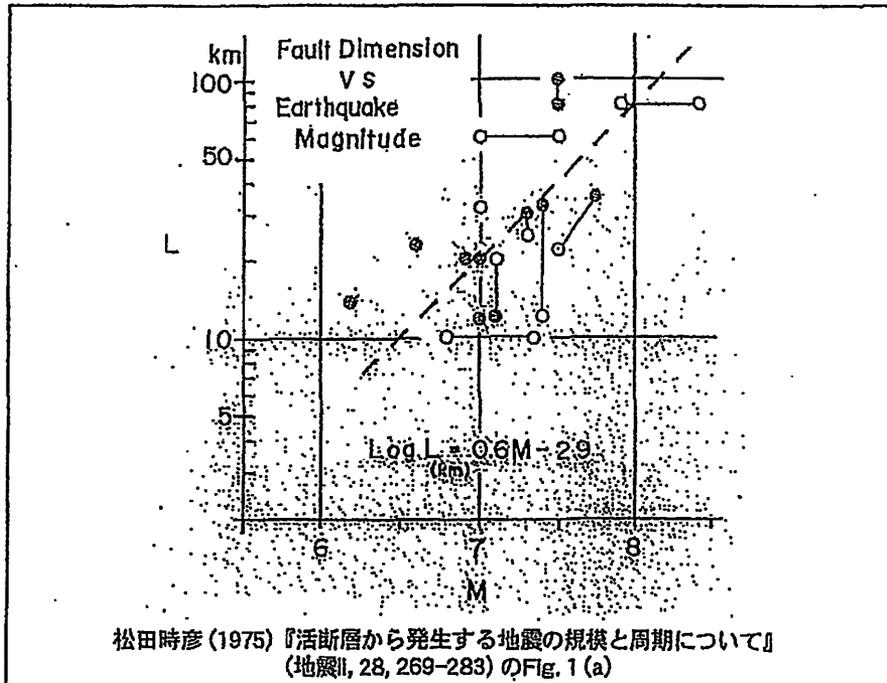


図12

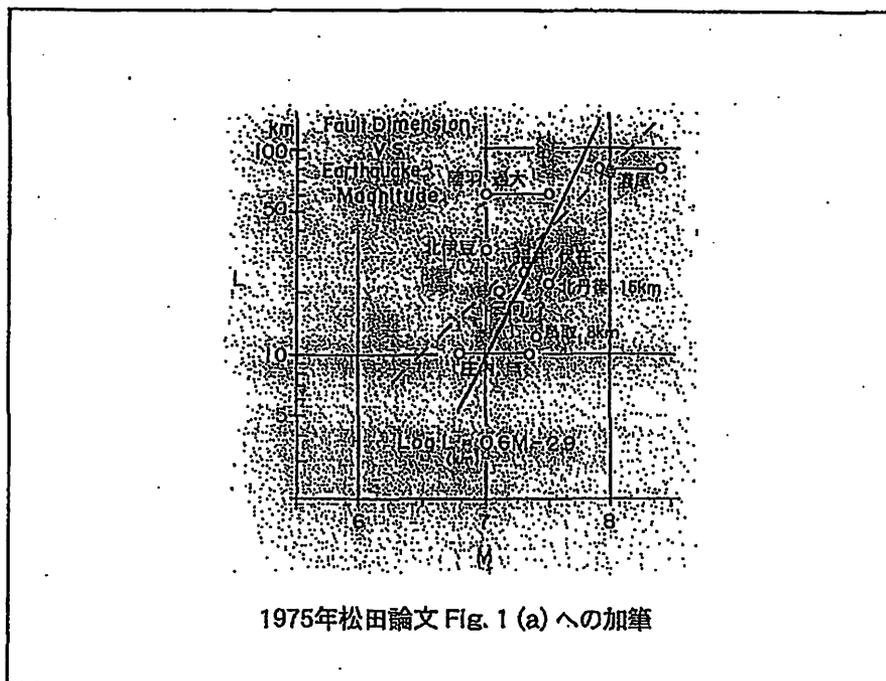


図13

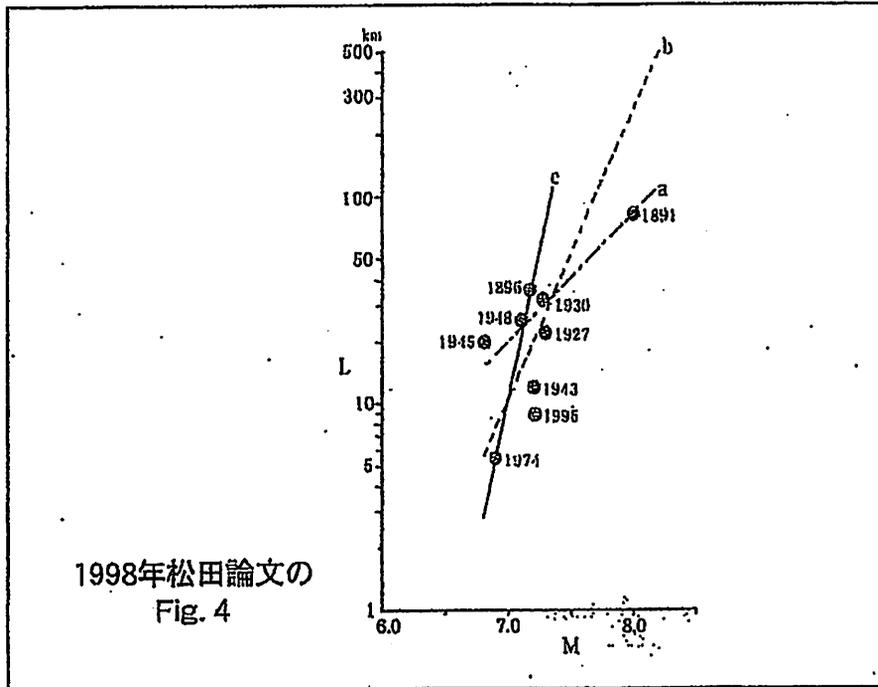


図14

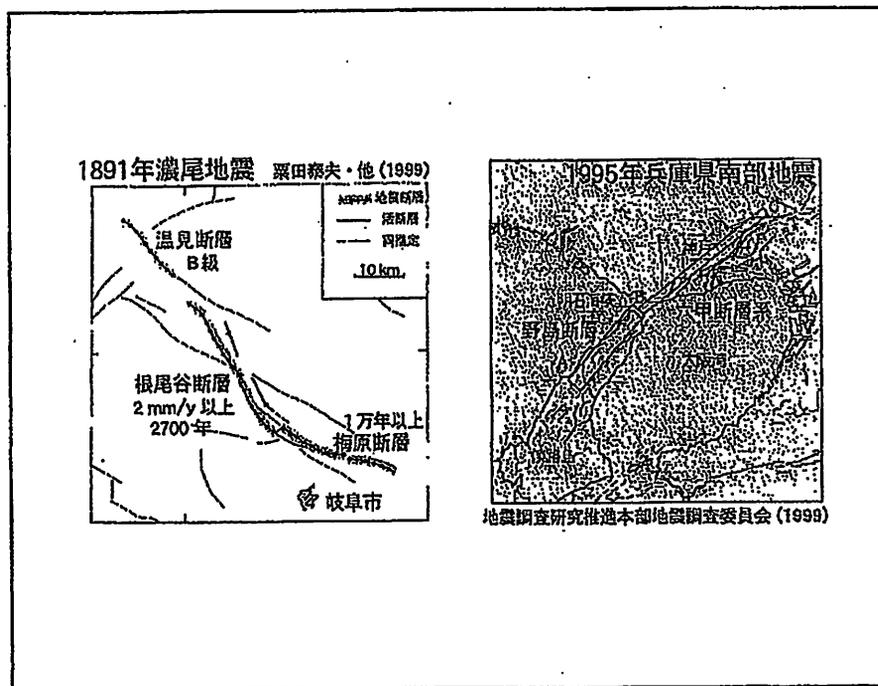


図15

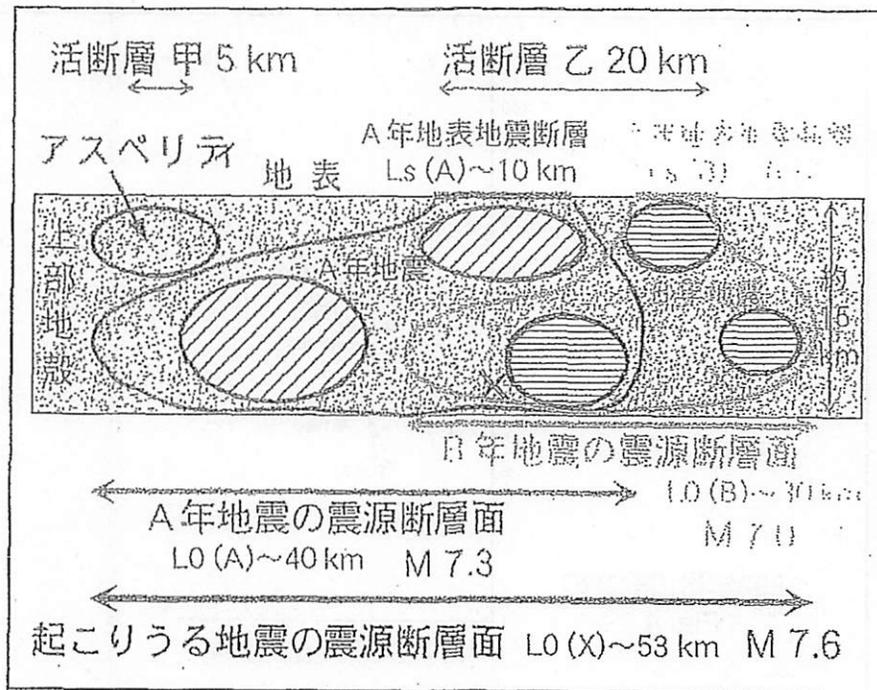


図16

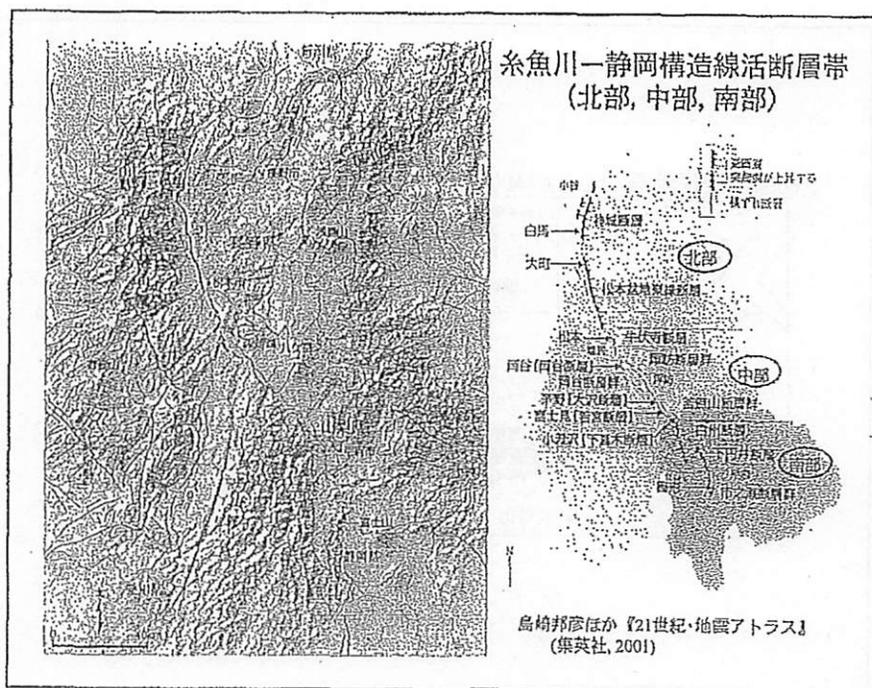


図17

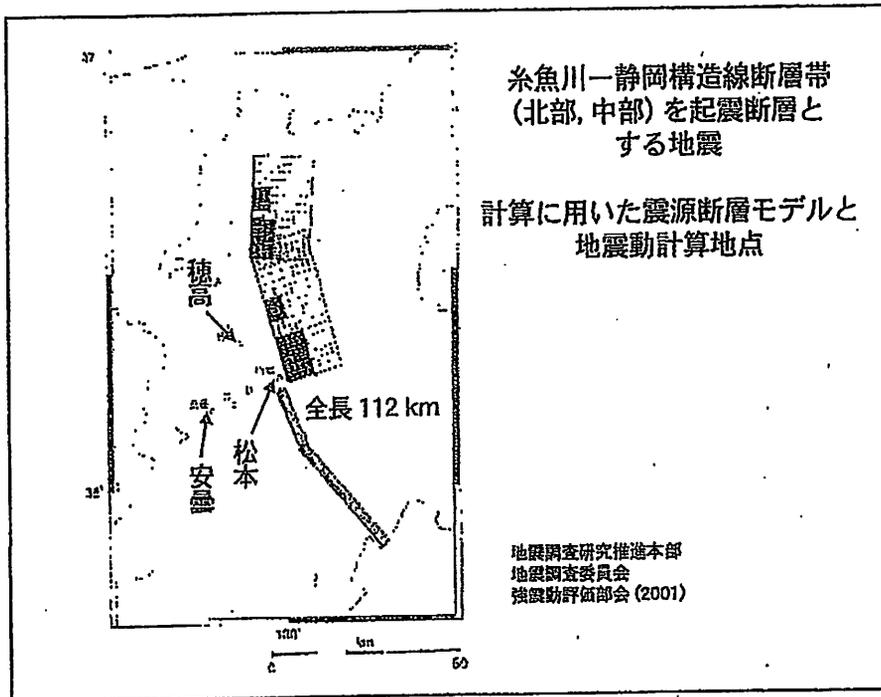


図18

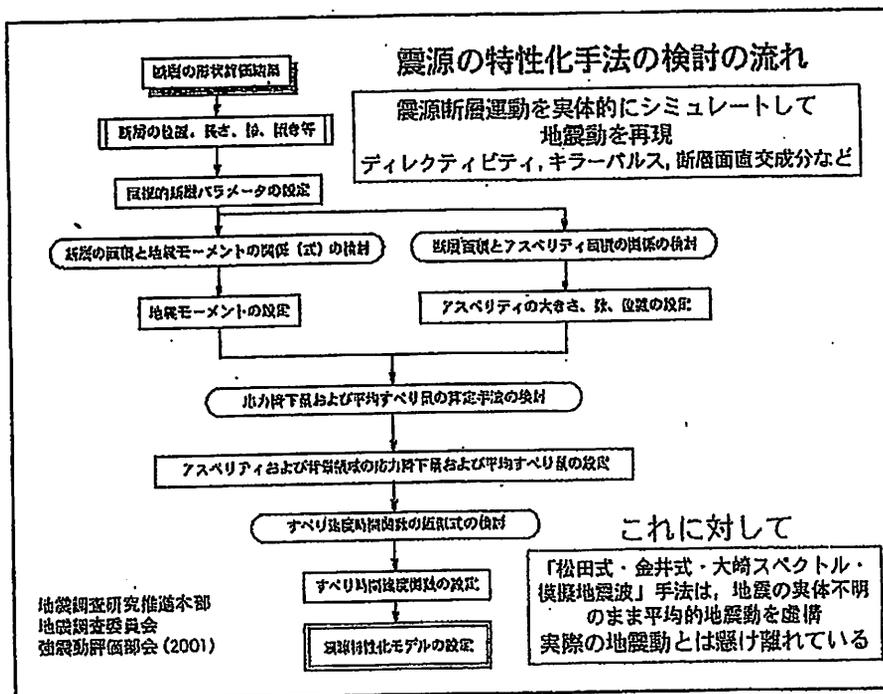


図19

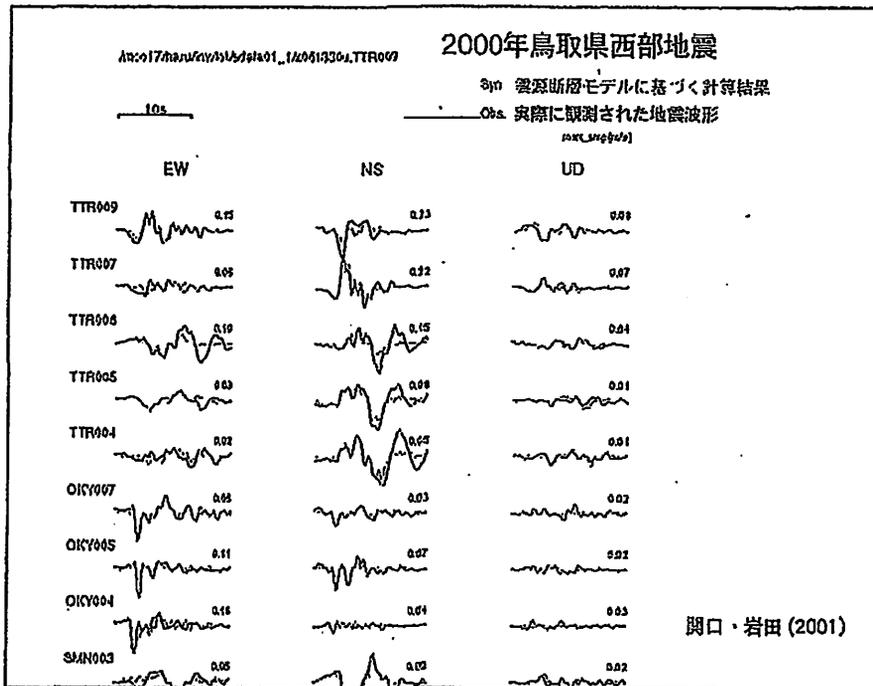


図20

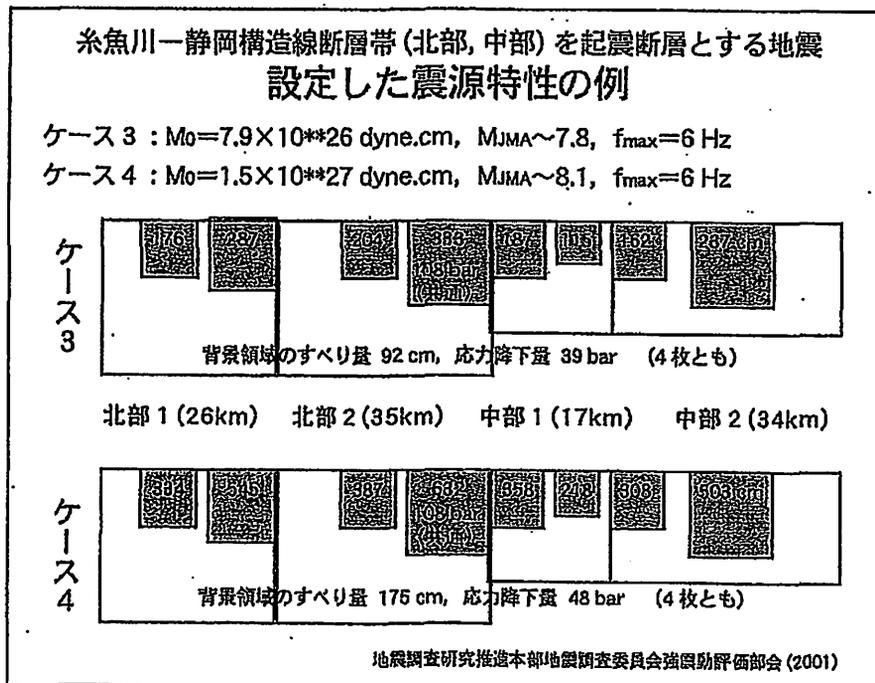


図21

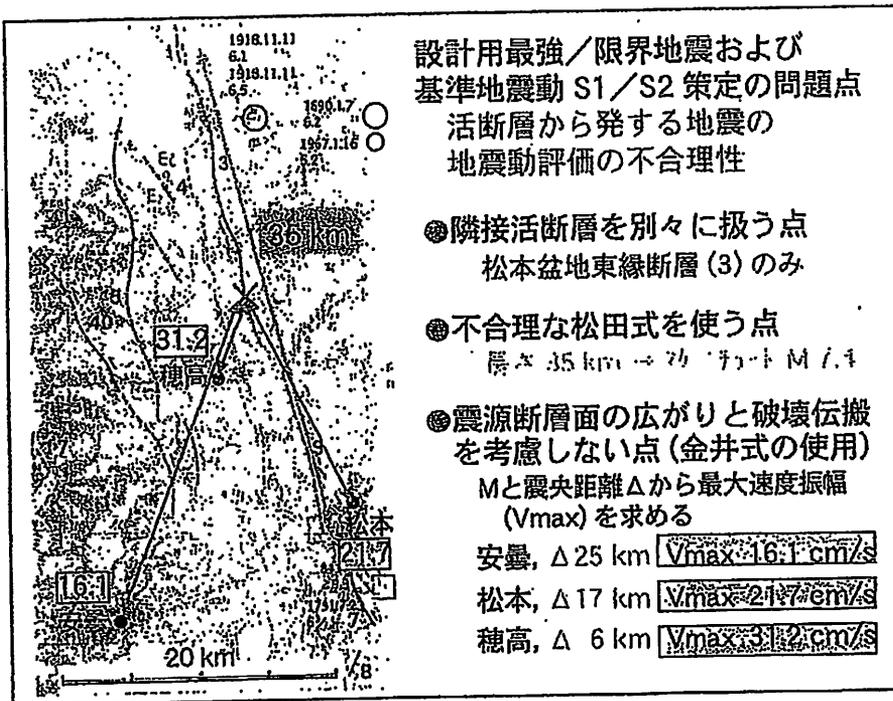


図22

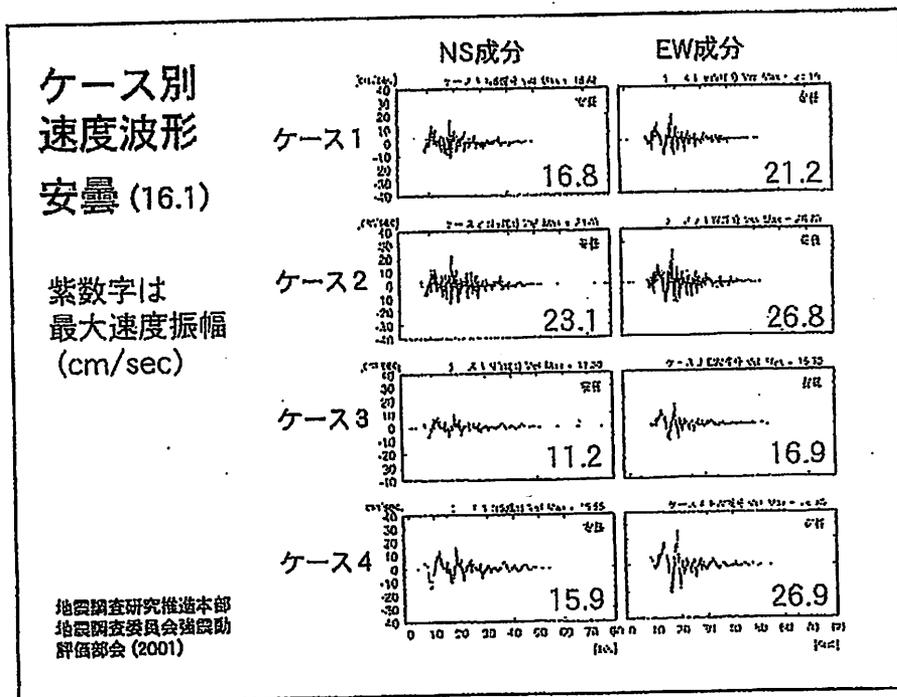


図23

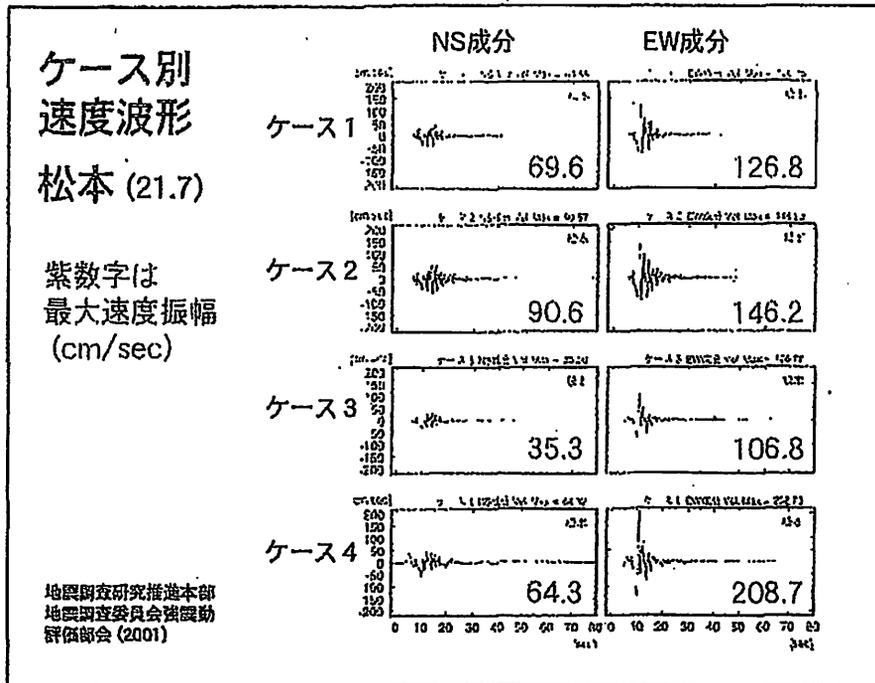


図24

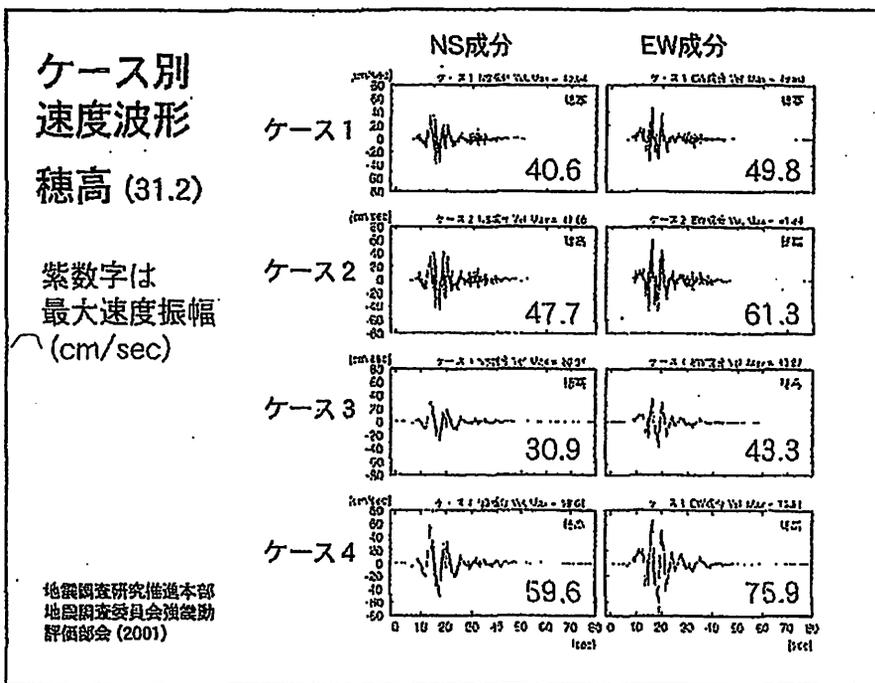


図25

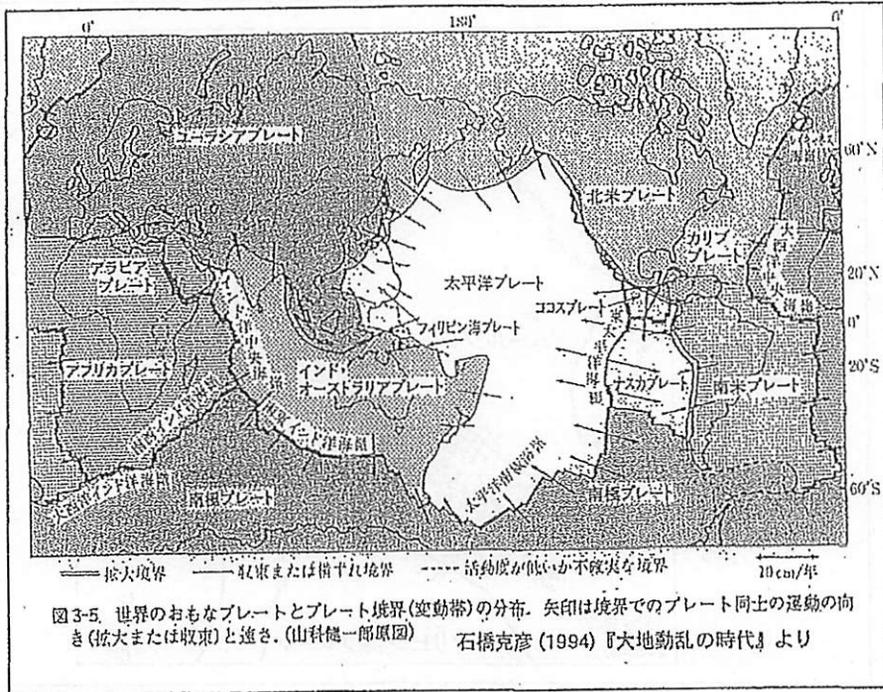


図26

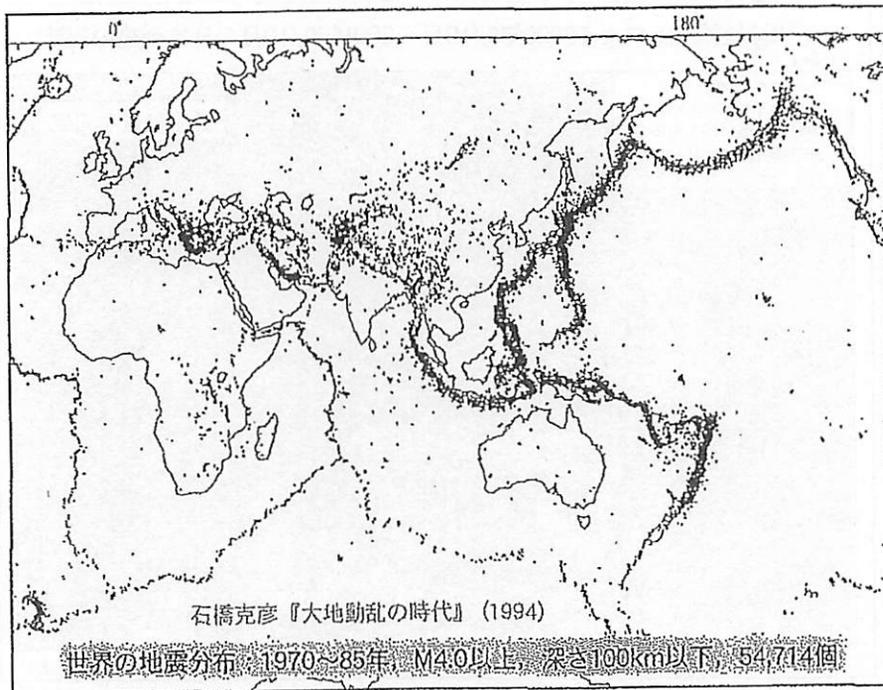


図27



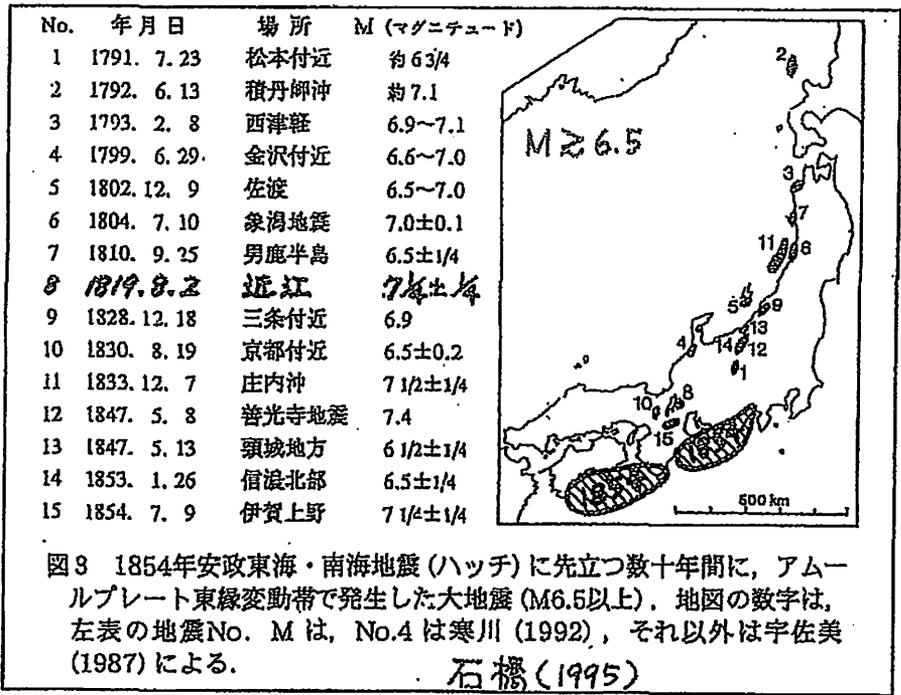


図30

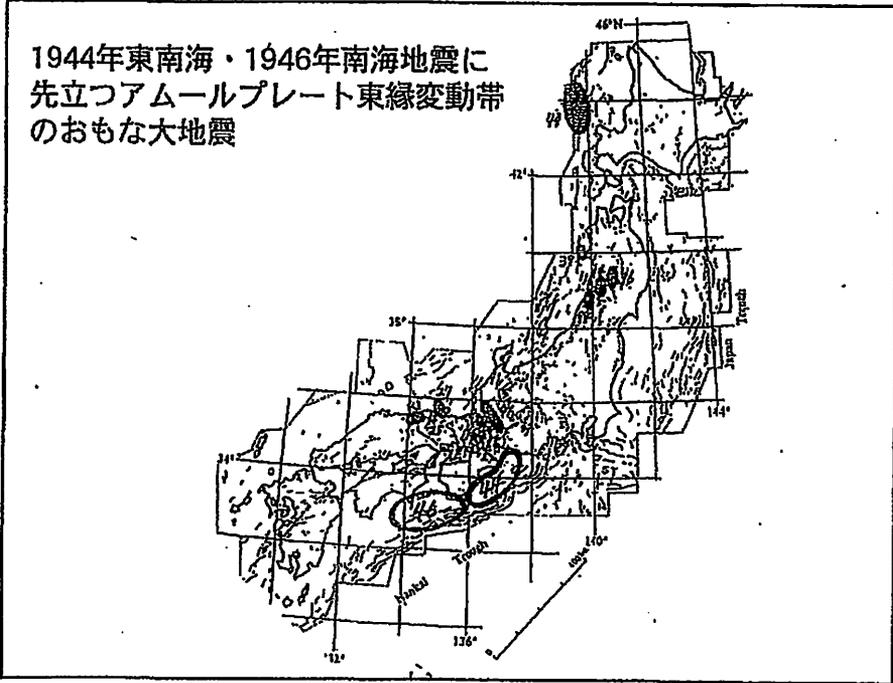


図31