

地震 ジャーナル

33

2002年6月

エッセイ 地震と木造密集市街地 ●伊藤 滋

講演 地震予知のための物理モデル序説 ●安芸敬一——1

つぎの南海地震 ●尾池和夫——9

西南日本で発見された深部低周波微動 ●小原一成——18

岩手県釜石沖の固有地震的地震活動 ●長谷川昭——27

社会が苦手なこと ●鳥井弘之——34

建築物の耐震診断・耐震補強 ●岡田恒男——42

戸建て住宅の免震設計の考え方と実際 ●石丸辰治——46

地震予知連絡会情報 ●岡田義光——55

●書評——59

●執筆者紹介——62

●ADEP情報——64

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

地震と木造密集市街地

伊藤 滋

我国の都市計画が直面する最大の課題は、木造密集市街地の改善である。ここでいう木造密集市街地とは、道路はせまく公園もほとんどなく、狭い敷地に質の良くない家屋がびっしりと建込んでいる市街地である。例えば東京でいえば荒川区の町屋附近、大阪府下でいえば門真市がその代表例であろう。阪神淡路大震災で大量の木造建物が倒壊し大火に至った長田地区もそうであった。そしてその存在は大都市の既成市街地の3割から4割に及ぶ。

木造密集市街地は第2次大戦後、我国が急速に経済復興を成しとげた代償として生み出された、国の大きな負の遺産であるといつて良い。大都市に地方から職を求めて集まってきた若者たちのとりあえずの住いの場として、田圃や畑地・山林が次々と宅地化され、そこに簡易な木賃アパートや建売り住宅が隙間なく建てられた。公共の手による都市計画事業で、区画整理が行われたり、幹線道路や大きな公園がそこに造られることはなかった。

大地震の到来で、都市計画の専門家が一番恐れていることは、この木造密集市街地で膨大な家屋が倒壊し、その結果大火が発生することである。神戸の被災では、この市街地に、夫に先立たれ、子供が独立して一人になった高齢の女性が沢山住んでいることが明らかになった。これ等の高齢者を安全に避難させる方法もまた都市計画の現代的課題である。

この木造密集市街地の耐震性、耐火性を高める方策として、そこに存在する木造老朽家屋を鉄筋コンクリート造の建物に建直すことは誰もが考えつくことであろう。しかし、その解決策は簡単に住民に受入れられるものではない。住民が住み、仕事をする建物は住民の判断と資金で建替えられる。公共側が低等の建物を全部引受けて造り変えるということはありません。極めて小さい敷地で、隣近所を気にしながら限られた自己資金で、家屋を建替えるとなれば、2階をとりあえず3階にする位が精一杯であろう。そうなると木造建築のほうが手軽である。最近木造3階建の建替え家屋が木造密集市街地で目立つようになったのは、ささやかな敷地を有効に使用したい庶民の知恵の結果である。

3階建であっても新しい木造建物は、建築基準法にしたがって建てられていけば、古い建物より耐震・耐火性能が高い。しかし実態はなかなかその通りにはなっていない。防災性能の低い3階建住宅が大量に売りに出されている。そしてその欠陥を知りながら安いというだけで、それ等を購入する人達が沢山いる。しかし、市民の防災意識が低いと嘆くだけでは何の良い結果も得られまい。最近建物の性能を評価し格付けする制度が成立した。これによって市場ではその品質の保証水準によって売買価格がきめられることになる。この評価制度が社会にゆきわたれば、木造密集市街地にも防災性能の高い木造建物が増えてゆくことになろう。これは公共事業という行政の力で市街地を改善する都市計画ではない。制度という知恵によって市街地の改善をするソフトな都市計画である。ソフトな都市計画が地震対策として重要視される領域は他にも幾つか考えられる。

そのひとつの試みを紹介する。高齢の女性はできるだけその地域社会に“グループハウス”をつくりそこに住んでもらう。そしてその面倒を地域社会の人達が有給で行う事例がある。それと同時に、その地域社会のボランティア達がこまめに街を見廻り、どの家にお年寄りが一人で暮らしているかを確かめることも必要である。このような気配りをすることが地震で建物が倒壊したとき、速やかにお年寄りを避難させる確実な方法であろう。木造密集市街地の物理的構造がなかなか改善しないのであれば、地震発生時の災害弱者の救済体制を、地域活動の一環としてしっかりと定着させる、ソフトな仕組みが重要になってくる。

地震予知のための物理モデル序説*

安芸敬一

〈安芸-リチャーズ〉(Aki and Richards) という本がありますが、1980年に出たこの地震学の教科書には、地震予知という言葉は一度も出てきません。私達はあの本で地震学の将来の発展のために過去の遺産のなかから確かな基礎となる理論と方法をまとめたつもりですが、あの時点では、社会に直接役立つものとしては強震動の予測モデルの可能性を最後のページの最後の一節に触れるのが精一杯でした。

それから20年ほど経って、〈佐藤-フェーラー〉(Sato and Fehler) という本ができました。この本は地震学を応用物理の一分野として扱っている点、〈安芸-リチャーズ〉に続くものと思いますが、統計物理の方法を取り入れて、地震波の発生伝播の問題を短周期の領域に広げ、地殻の微細構造やその時間的変動も研究の対象となっており、地震や噴火の前兆という言葉もちらほら見られるようになりました。

さてあと20年経ったら地震予知を中心課題にした応用物理学の分野が開けて社会のために役立つものとなるでしょうか。この遠大な願いを叶える出発点として、地震学会の特別セッションを利用することを地震予知総合研究振興会の高木先生と話しあって思い立ちました。

このセッションの題目にある〈総合化〉という言葉には二重の面があります。第一に情報を受け取る社会の方からみて、地震予知のような情報は学界の一致した意見に基づくものでなければ効果

がない。第二に学界の方からみてどうやって意見の一致をつくるか、そしてどうやってそれを社会に伝えるかという課題です。この総合化ということ将来どういう形でやるべきかが今日の私の話の眼目ですが、先ず現在どう行われているか、南カリフォルニア地震センター(通称スケット/SCEC)を例にして簡単に説明します。

スケットについては12年前の札幌の地震学会での特別講演でその構想についてお話し、ニューズレターか何かに書いておきましたので、覚えておられる方もあると思いますが、南カリフォルニアの地震に関する科学情報をマスターモデルという概念で総合し、それに基づいた公共社会向けの文書をつくる目的で1991年に発足した地震研究者のセンターです。札幌でお話した頃には、このマスターモデルもかなり漠然としたものでしたが、1992年のランダース地震と1994年のノースリッジ地震を体験してより具体的なものに発展し、1995年の米国地震学会誌(BSSA)の4月号に最初のマスターモデルが関係科学者のコンセンサスとして発表されました。

このモデルでは南カリフォルニアを多くのゾーンに分け、各ゾーンについて地震発生の確率を3つの独立なデータ、すなわち歴史地震を含む地震観測データ、活断層についての地質学的データ及びGPSを含めた地殻変動データから推定しました。地震モーメントの収支計算を使ってこれらのデータを統一している点で多少物理が入っていますが、根本になっているのはグーテンベルク-リヒターのマグニチュードの度数分布、つまり経験的に得られた統計法則です。

*本講演は、2001年10月25日、日本地震学会2001年度秋季大会(鹿児島県市町村自治会館大ホール)において行われた。

このような統計法則には色々役に立つ面もあります。たとえば19世紀中頃にはこれを医学発展の基礎におこうという考えも出ましたが、当時実験医学を創始しつつあったクロード・ベルナルというフランスの偉大な科学者が強く反対しました。その理由は簡単で、人間の集団についての統計法則は個人の病気やその治療には直接の役に立たないということです。地震災害とその対策についても同じことが言えると思います。

19世紀中頃の医学は既に3つの分野を確立していました。それらは(1)人体の各器官の正常時における働き、(2)異状(病気)の場合の働きと(3)その治療のための処置に関するもので、もともと互いに独立に発展していましたが、これらを総合化しようという努力がやっと始まった頃でした。ベルナルの主張は真の科学的な総合化の方向はただ1つしかない、それは既に確立されている物理化学の法則を個々の場合に適用することである。言い換えれば、唯一の望ましい総合化とは物理化学の法則を要として、あらゆる観測された現象を結びつけることであるという主張です。この主張の正しかったことは現在の医学が病気の原因をつきとめてその治療をする際の高い科学的水準に現れており、地震予知のための科学情報の総合化も同じ線に沿って進めるべきだと思います。

さてそれでは何処から出発するべきでしょうか。これまでの地震予知研究はデータの集積とそれに基づく前兆現象に関する経験法則の発見に重点が置かれてきました。今やこのモニタリングのための観測網が整備された段階で、集積されたデータの解釈のためにモデルの必要が認識されるようになりました。私自身1995年以来、インド洋の火山島に住んで噴火の予知というものを身近に体験していますが、ある時期に見事になりつつ前兆現象に関する経験法則が他の時期には全く適用しないこと、それはマグマ系の構造が時間と共に変わるため、その変化を追跡するにはまず構造モデルが必要であり、また同時にそのモデル・パラメーターを有効に決められる観測量のモニターが

必要であることを痛感しました。

現在私の住んでいます火山島はレユニオンと呼ばれ、ピトン・ド・ラ・フルネーズ(Piton de la Fournaise)という平均して一年に一回くらい噴火する活火山があります。この火山のマグマの源は昔インドがその辺りにあった頃デカン高原のバサルトを出したホットスポットと考えられており、現在でもハワイのキラウエア火山の三分の一くらいの噴出量を持っています。近代的観測網は1980年にパリ大学によって設置され、1992年まで続いた活動期のデータが蓄積されていました。私が住み始めた頃は6年間続いた静止期のちょうど中頃にあたり、運よく1998年の大噴火に間に合うように、前の活動期に蓄積されたデータと次の活動期を準備する火山の出すシグナルを基に、マグマ系のモデルをつくることができました。そのモデルの概念図をここに示します(図1)。

このモデルでは浅いマグマ溜まりから山頂噴火に向かう垂直な通路とリフトゾーンでの噴火に向かう水平な通路とを区別してありますが、これは噴火の直前に現れる短周期地震の群のなかに長周期地震が含まれているか、いないかによるものです。この火山では長周期地震はマグマが垂直方向だけに動く時には現れません。また長周期地震の周期が1 Hzか2 Hzかによって2つの水平な通路を考えました。

一方火山体の底近くに2つの大きなマグマ溜まりがありますが、これは固体と液体の共存している所に伝わる遅い波のために起こるコーダの異常な局地現象から想定されたものです。詳しいことは米国地球物理学会誌(JGR, 2000年7月号)に書いたので省略しますが、ここでは同じ火山について地質学・地球化学のデータを中心に考えられていたモデルと噴火予知能力に関して比べ、更にこの2つのモデルの組み合わせを予知のための総合化の例として考えてみたいと思います。

図2はレナーバジャレリ(Lenat and Bache-

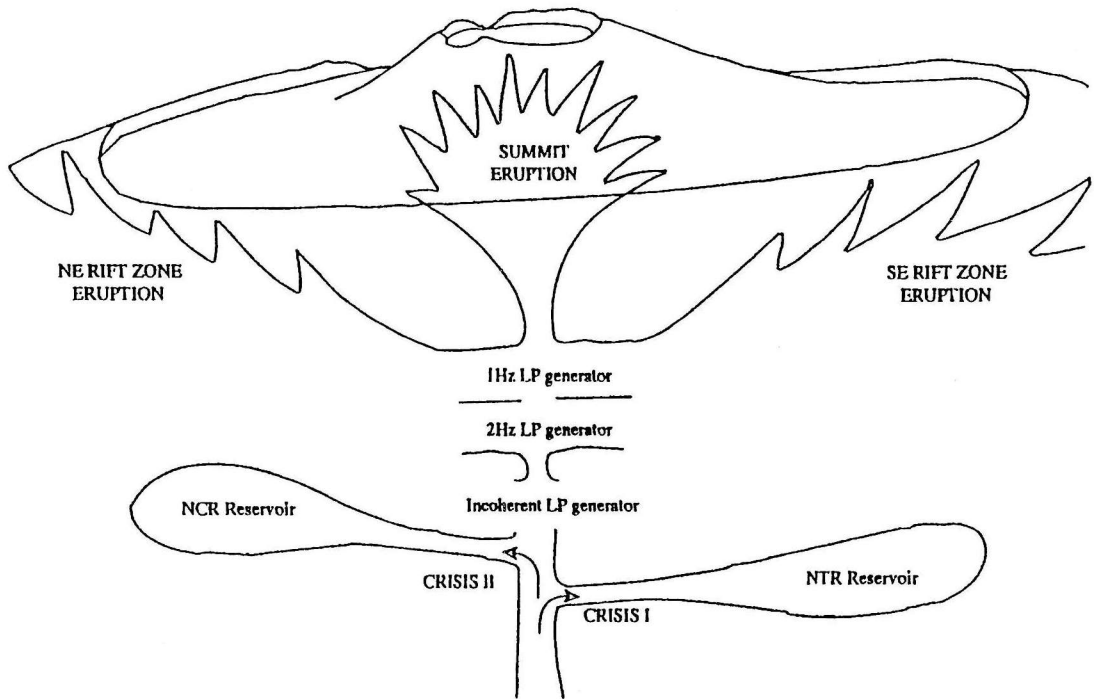


図 1 1998年3月9日 噴火の4日前につくったマグマ系モデルの概念図

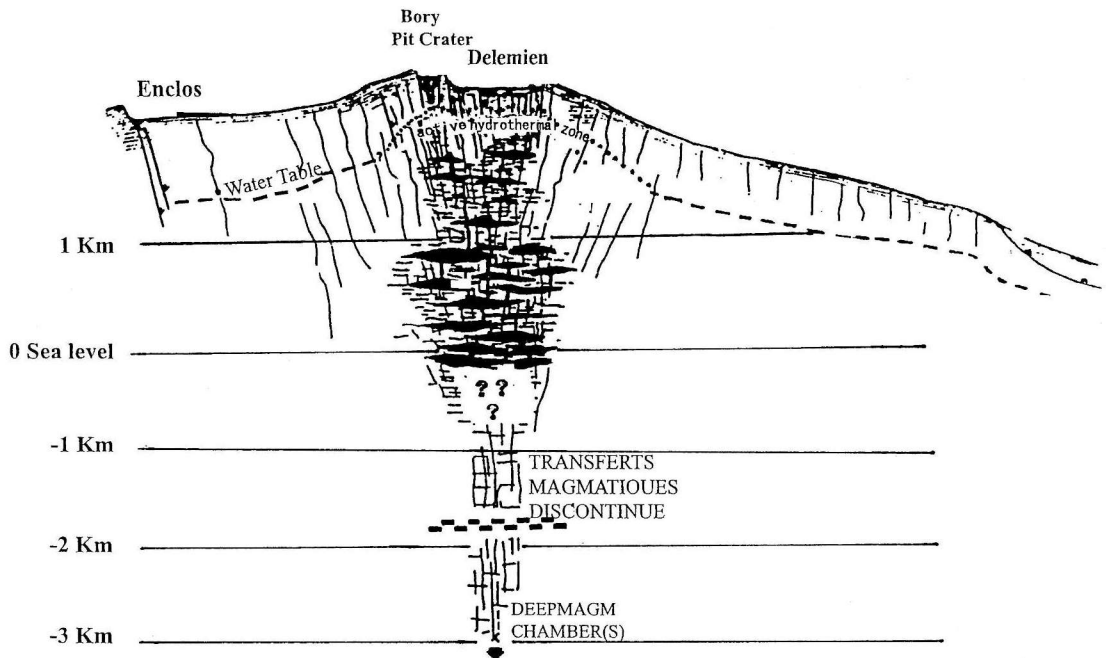


図 2 ビトン・ド・ラ・フルネーズ火山体構造モデル (レナ-バジャレリ, 1990 から引用)

lery) が 1980 年代の活動期のデータから考えたマグマ系のモデルです。このモデルではマントルからのマグマの供給はなく、1977 年の大噴火の際

に浅い所にある多くの小さな溜まり場がマグマで一杯になって、その後の噴火はすべてこれら多くのマグマ溜まりが 1 つずつその中身を吐き出した

ものと考えています。マグマの化学成分の系統的
時間的変化や地殻変動地震活動源が極浅いこと等
がその根拠となっています。山頂噴火とリフト
ゾーンの噴火を区別したり、火山体の底近く大き
なマグマ溜まりを考える必要は彼らの使ったデー
タにはありませんでした。

1998年の噴火は1977年以来の最大のもので、
半年続き噴出量も6千万 m^3 に達しましたが、レ
ナーバジャレリ(1990)のモデルが頭にある人はこ
の噴火も前同様小さい短期間のもので予想しまし
た。一方私はコーダの異常な局地的集中現象とそ
の時間的推移から、火山体の底近くに想定される
大きなマグマ溜まりが一杯になりつつあり、近い
将来大噴火となると予想しました。噴火の直前に
激しい地震活動があり、その震源が一日平均3
kmの速度で海面下5kmの深さから上昇し、そ
れが地表に達した時に噴火が始まったことなど含
めて、私のモデルに基づいた予想はかなり好い線
をいていたと思います。

しかし噴火から1年程たってマグマの化学成分
がわかってきますと、私のモデルでは具合の悪い
ことが出てきました。1つは最初の2箇月間に
出たマグマの成分はレナーバジャレリのモデルで
予想された通りのものであること、もう1つは深い
所から来たと思われる新しいマグマがカポールと
よばれる主要な噴火口ではなく、それから大分離
れたハドソンとよばれる副次的な小さい火口から
出ていることです。さらに噴火開始後2箇月たつ
と化学成分の時間的変化が滑らかになり、新しい
マグマと古いマグマのミキシングが始まったと解
釈され得ることが判りました。面白いことに丁度
この時から主要噴火口の辺りから生じている地震
動の振幅の時間的変化が滑らかになりました。噴
火活動の時定数がマグマ溜まりの容量と通路の抵
抗に比例するとすれば、それは地表の噴火口と容
量の大きいマグマ溜まりを結ぶ通路が開いたと解
釈され、ミキシングとの同時性も説明できます。
これらの解釈をまとめたものが図3です。

この図に示しますように、深い所からきた新し
いマグマは古いマグマ溜まりに接触して、それを
刺激し噴火を起こしますが、始めのうちはそれを
通り抜けることが出来ず、僅かな量をハドソン火
口から出すに留まりました。しかし2箇月経つと
通れるようになって、その結果がマグマの化学成
分や噴火口辺りから生じる地震動振幅に現れたと
いう考えです。このモデルは噴火前にできていた
2つのモデルの組み合わせでできたものであり、
もっと想像力を働かせれば噴火前に作ることが可
能だったと思います。これらの経験から科学的予
知ということに関して得た教訓をまとめると次の
ようになります。

- (1) 地震や火山の物理系の構造は時間と共に変化
するので、過去に得られた前兆現象のデータその
ままでは将来の予測に使えない。一方モニターし
ているデータで有効に限定できるモデルには予測
の能力がある。予知科学ではモニタリングとモデ
リングの密接な結びつきを時々刻々保たねばなら
ない。
- (2) 地震発生や火山噴火の予知研究は物理学の
一分野であるが、伝統的科学与異なる独自の面を
もつ。伝統的科學においては十分なデータからで
きただけモデルを限定することが大事であるが、
予知科学では限られたデータからできるだけ多く
の可能なモデルを考え、それに基づいて予想され
る色々なシナリオをつくらねばならない。この作
業は科学者にしかできないものであり、予知科学
を社会のために推進していくことは科学者の責任
である。
- (3) 科学者の考えるモデルは先入観や専門分野
によって大きく異なる。予知科学においては時々
刻々入ってくるモニタリング・データに対処して
次に起こることを予測するために、できるだけ多
くの科学者による多種多様のモデルをつくること
が大事である。このように多くの科学者の協力で
作られるモデルの全体をスケックの例に従ってマ
スターモデルと呼ぶなら、マスターモデルをつく
るには異なる専門分野の科学者の間に相互理解と
協力が必要である。

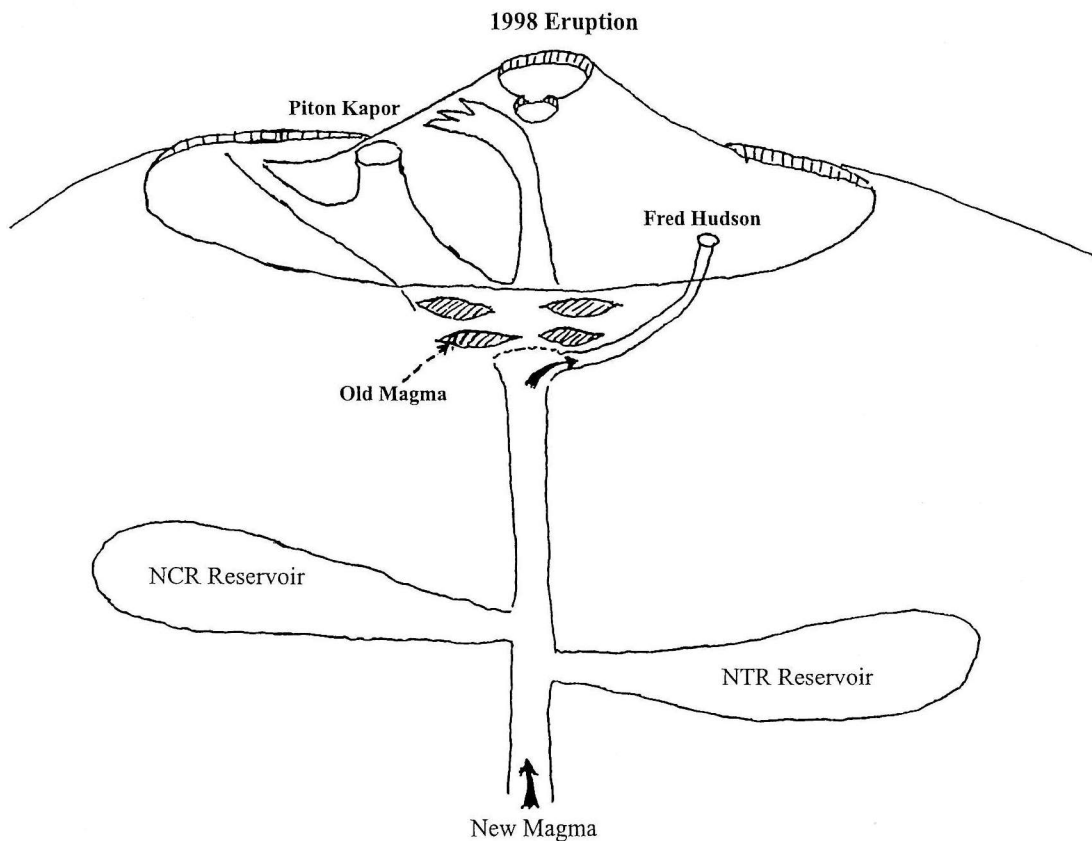


図3 マグマ通路の概念図

(4) 地震発生や火山噴火予知の決め手となるような重要な前兆現象を感知するためには、モニタリングしているデータと不断の接触をもつと同時に、モデリングによって培われる現象の物理に対する理解が常に必要である。このため科学者個人の研究対象が狭く限られ、学界の広い関心をひくことが難しくなり、伝統的科学よりも業績をあげにくい。予知科学振興のためには科学者の業績評価についての変革が必要であろう。

この最後の点について付け加えますと、正直言って、もし私が科学者としての生活を始めたばかりでしたら、学問的に孤立した離れ島での生活は耐えられなかったと思います。

モニタリングとモデリングのバランスのとれた噴火予知研究という点で櫻島火山の果たしてきた重要な役割は広く認められております。幸いに

も、この特別セッションの招待講演の第一を観測所長の石原さんに引き受けて頂きました。昔から火山にはマグマ溜りとか噴火口への通路とか考えられていて、地震と比べ構造モデルを作りやすいと思います。一方火山は人体と比べると規模の大きさ、内部への近寄り難さなど自然現象特有の複雑さをもっていて地震予知研究の稽古台となり得るかと思います。

さて地震の構造モデルをつくる出発点として次の両極端が考えられます。1つは地震には構造などない、言い換えれば地震の起こる場所はあらゆるスケールで不均質であって、そこに起こる現象は自己相似的になる。このような構造のないものに決定論的物理モデルは作れないので、前に述べた現在実用となっている統計モデルに落ち着く他不会いこととなります。

もう1つの極端な見方としては、地震断層のなかに深い穴を掘って直接そこに存在している物質、物理条件、そして支配している物理化学の法則を調べればよいという考えがあります。このような測定が地震の物理モデルを作るために大事なことは勿論ですが、こうやって見つけた法則は絶対的なものでなく、地震の場の不均質性のため測定のスケールによるでしょう。このスケール依存性を岩石破壊の実験から追求している大中さんにこの特別セッションの第二の招待講演をお願いしました。

正しい地震の物理モデルは多分この両極端の中間にあり、地震のカタログだけをみていると自己相似性に圧倒されますが、一方プレートテクトニクスから決まる大きな構造と地質断層に固有な微細構造の存在は確立されており、またその中間のスケールでもアスペリティとかバリアーと呼ばれる断層面上の不均質非一様性の実在も自己相似性による雑音のなかから確かめられつつあると思います。私は昔から地震現象では小さなスケールの構造が大きなスケールの過程の鍵を握ってい

ると思います、断層トラップ波とか、強震動スペクトルの限界周波数とか、地震発生域での地震波の減衰や散乱に関心を持って来ました。この考えを大雑把にまとめて模式的に示したのが次の図4です。

この図では断層のパラメーターとして幾何学的な長さのスケールだけを、長いもの（アウトースケール）と短いもの（インナースケール）に分けて示しています。前者は誰もが認める断層の長さや幅です。後者は断層面でのスリップの非一様性をサブイベントの集まりで近似し、その各々が破壊する出発点と終着点の大きさをそれぞれ L_c と L_H で表したものです。 L_c については大中さんの話を始めとして、このセッションで色々論じられると思いますが、地震が何時起こるかを定めるパラメーターでしょう。一方 L_H は観測からも理論からもスリップの大きさに従って地震の大きさを決めると考えられます。つまりこの2つのパラメーターが地震予知の鍵を握るといえます。事実スティーブン・ウォードは地震サイクルのシミュレーションにこれらのパラメーターを使っており、

Earthquake-fault Parameters

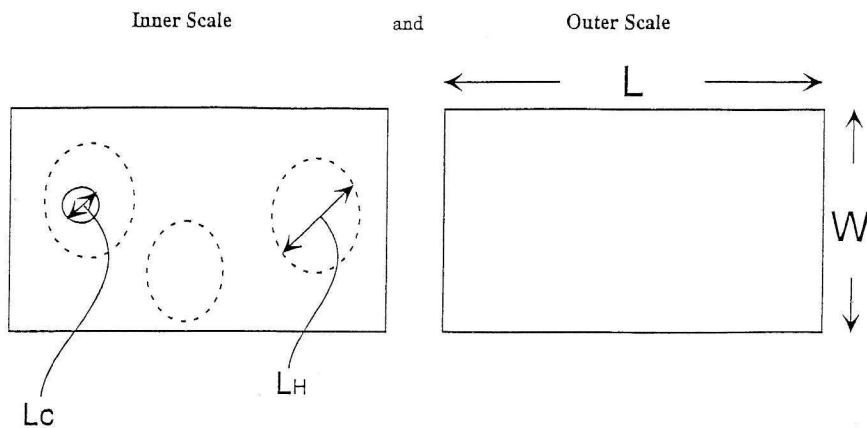


図4 地震断層のパラメーターの模式図

- L_c : 震源核の大きさ
- L_H : サブイベントの大きさ、バリア間隔、またはアスペリティの大きさ（地震学より推定）
- L : 断層の長さ（地質学・テクトニクスより推定）
- W : 脆性領域の厚さ（地球物理学より推定）

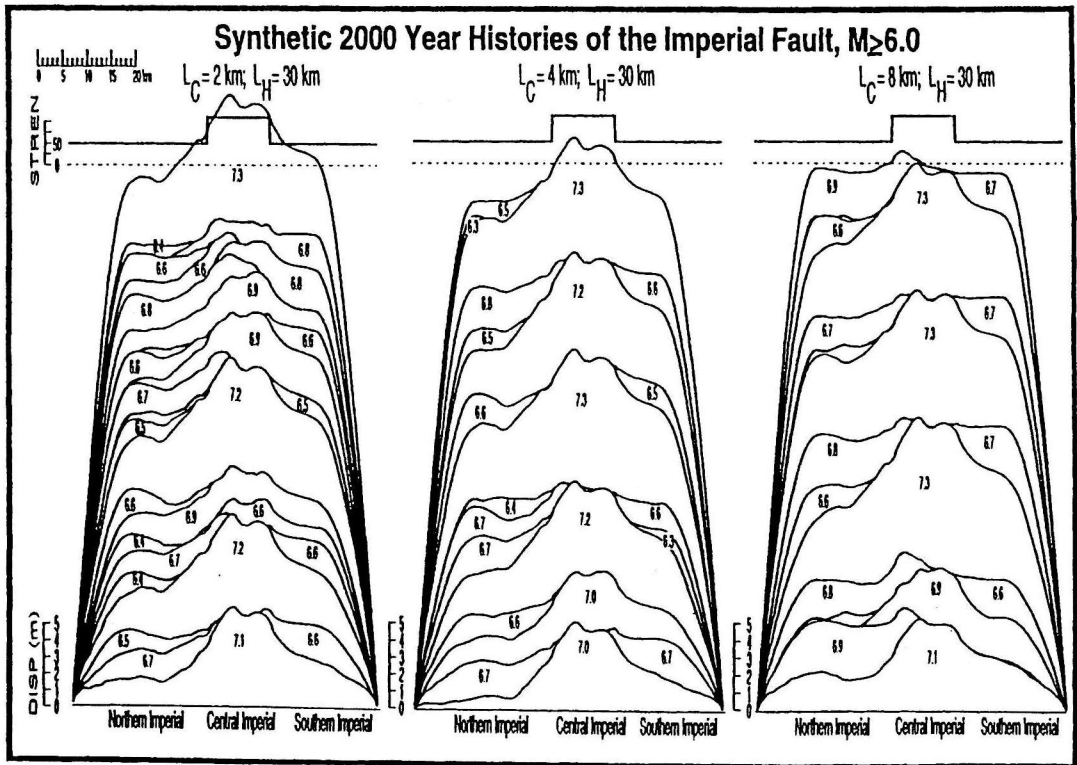


図 5 インペリアル断層の 2000 年間の歴史を示す 3 つのモデル。積み上げられたパターンは M6 以上の地震による累積変位を示す。妥当な摩擦構成則パラメータの選択（左から右に（ $L_c=2$ km, $L_H=30$ km）,（ $L_c=4$ km, $L_H=30$ km）,（ $L_c=8$ km, $L_H=30$ km））の違いによって、断層の各セグメントの変位累積状況に差が生じる。[Ward (1997) より転載]

次の図 5 はその一例を示します。

ウォードのモデルの長所は、そのパラメーターを地震断層についての地質学的研究と、地震発生域の構造についての地震学的研究から推定できる所にあると思いますが、これまでのところ 2 次元に限られており、これを日本に応用するには 3 次元に拡張しなければなりません。ココンビナーの平田さんの考えでこのセッションの副題を「地震発生域の構造と震源過程の統一的解釈」としましたが、集まった多くの講演申し込みを見ますと、3 次元モデルへの意欲が強く感じられると同時に、広い範囲のスケールにわたる構造モデルとそれらの震源過程との関係についての関心が高まっており、地震予知のための物理モデルを作り始める時期が日本の地震学界で熟してきていると思いました。

この私の希望的観測がこの特別セッションで確かめられるかどうかは今日一日の終りまでに判ると思いますが、1 つ確かだと思えるのは地震現象がスケールの大きな複雑なものであって、その予知は短時間に個人の能力で達成できるものではないということです。では長い時間をかけて多数の科学者の能力を集めるには如何したらよいでしょうか。前にちょっと触れました現代の医学が病気の治療に対処している方法に習うなら、先ず色々の専門分野を確立することが第一だと思います。ここでいう専門分野とは、ただ同じようなことをしている人々に科学者を分類することではなく、他の専門分野を含めた外部から役に立つと見られると同時に、その内部では科学的創造が激しい競争で行われるものでなければならないと思います。そういう専門分野の集まりで、地震災害の軽減に努めるのがこのセッションの題目である総合化と

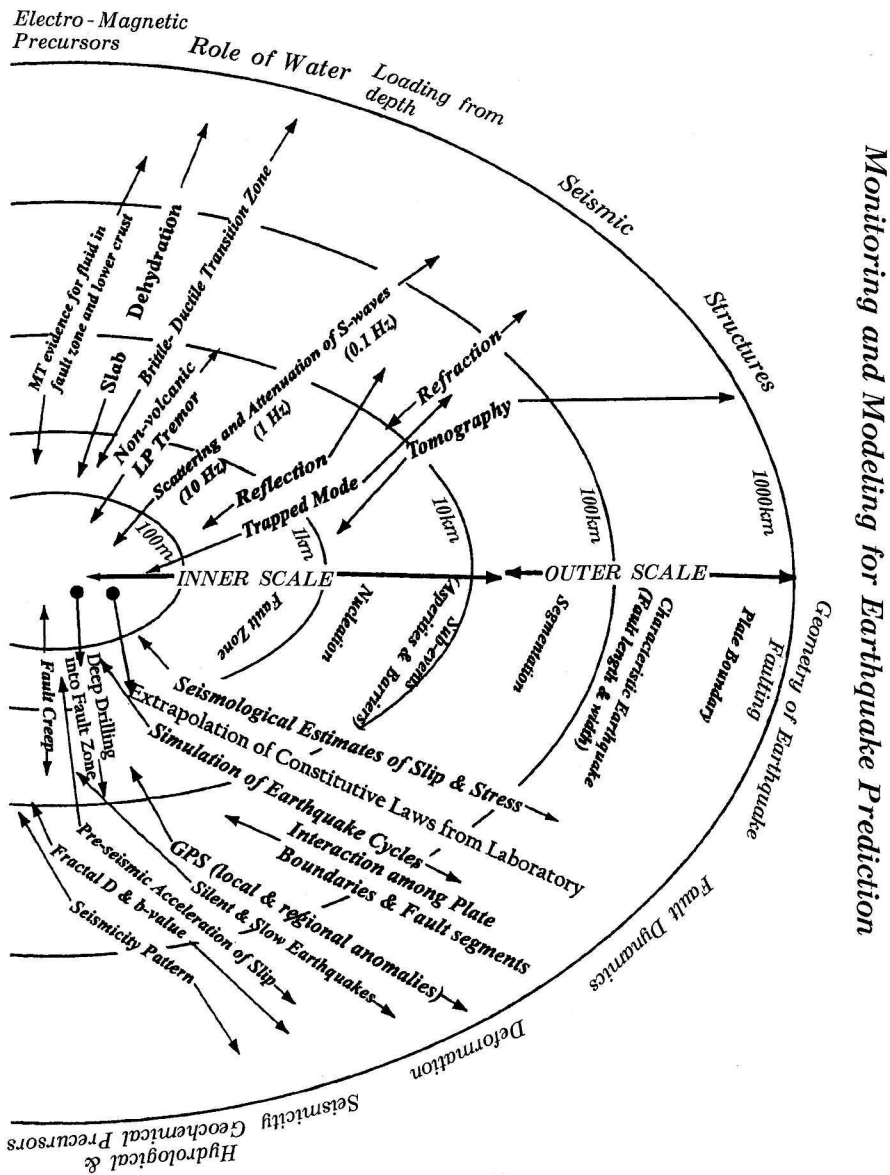


図 6 長さ (100m~1,000 km) という視点から、特別セッションの講演・ポスター・課題を分類した図

ということでしょう。こういう役に立つ専門分野の集まりは一朝一夕にはできないと思います。今日私がこれからしたいと思っているのは、このセッションで聞く講演、見るポスターの研究テーマを有機的に分類してみようということです。実はアブストラクトを読んでその作業を既に始めていますが、その現状を次の図6にお見せします。皆さんにも同じような作業をお勧めしたいと思ひます。

以上をもちましてこの特別セッションのコンバーナーとしての序言といたします。

本講演は地震予知総合研究振興会に依頼された仕事の一部であり、この作成には、独立行政法人防災科学研究所の金安蜀 (Jin Anshu) 博士より多大の助力を得たことを申し添えます。

つぎの南海地震

尾池和夫

1. はじめに

南海地震というのは、フィリピン海プレートの北端部が西南日本の下に沈み込んでいる場所で起こる巨大地震である。そのプレート境界は南海トラフと呼ばれている海溝を作り上げてきた。南海地震は、そこで繰り返し発生する巨大地震の呼び名である。繰り返し発生するので、頭に発生した時代の呼び名がついている。前回の巨大地震は「昭和の南海地震」（西暦 1946 年）といい、その前は「安政南海地震」（1854 年）、その前は「宝永南海地震」（1707 年）というように呼ばれる。

つぎの南海地震は今のところ「21 世紀の南海地震」というように呼ばれているが、それは 21 世紀の前半には確実に起こるであろうと考えられているからである。つまり長期的な観点からは、かなりよく予測できている巨大地震であり、この小論の表題は「地震ジャーナル」の編集部からいただいた題であるが、地震学者としてもそのままの題で投稿できると考えた。

21 世紀に巨大地震がフィリピン海プレートの北端部のプレート境界に起こるのはまちがいないとしても、その 21 世紀の南海地震がどのように起こるかは、それほどはっきりわかるわけではない。この南海地震で強震動を発生させるシミュレーションにしても、大津波を発生させるシミュレーションにしても、いろいろのケースを想定して計算しておかなければならないであろう。1 つや 2 つのモデルだけの計算結果を万全の予測として被害想定したり、防災対策を進めていると、思わぬ方向に結果がはずれてしまうこともあるであろう。

また、たった 1 回の巨大地震が起こることだけ

を想定していても困る。1 回の巨大地震は、その周辺の地域での巨大地震の連鎖反应的な発生を促したり、離れた地域に大きな地震を発生させるきっかけとなったり、その地域では、本震よりもやや小さな規模の地震の発生を前後に伴ったりすることが多い。本命の巨大地震が M（マグニチュード）8.5 であれば、少し小さいといっても、M7 以上の場合も多いから、決してあなどれない。また M8 クラスの本命の巨大地震の前に M7.5 の地震が発生した場合には、これで本番が終わったのかどうか分からないという事態になるかもしれない。

つぎの南海地震は、これからの近い将来に確実に起こることがわかっている巨大地震であり、このようないろいろの問題を提起する地震である。その発生までのことをさまざまの面からこれからよく考えてみなければならないであろう。

2. 南海地震と内陸地震

南海トラフの巨大地震である M8 クラスの地震は、東海沖から四国沖までのびる南海トラフ沿いで発生し、広い範囲に強震動や津波による被害をもたらす。菅原道真によって日本で最初に編集された地震のカタログ以来、地震による被害がさまざまな形で文書として残されている。それらによって 7 世紀には南海トラフの巨大地震による被害が見られる。南海トラフの巨大地震については、100 年から 200 年というような時間間隔で繰り返し発生してきたことが、7 世紀から知られている。最後は 1944 年東南海地震（M7.9）と 1946 年南海地震（M8.0）である。

1995 年兵庫県南部地震のあと、地震予知連絡会の茂木清夫会長をはじめ、いろいろの方たちが、

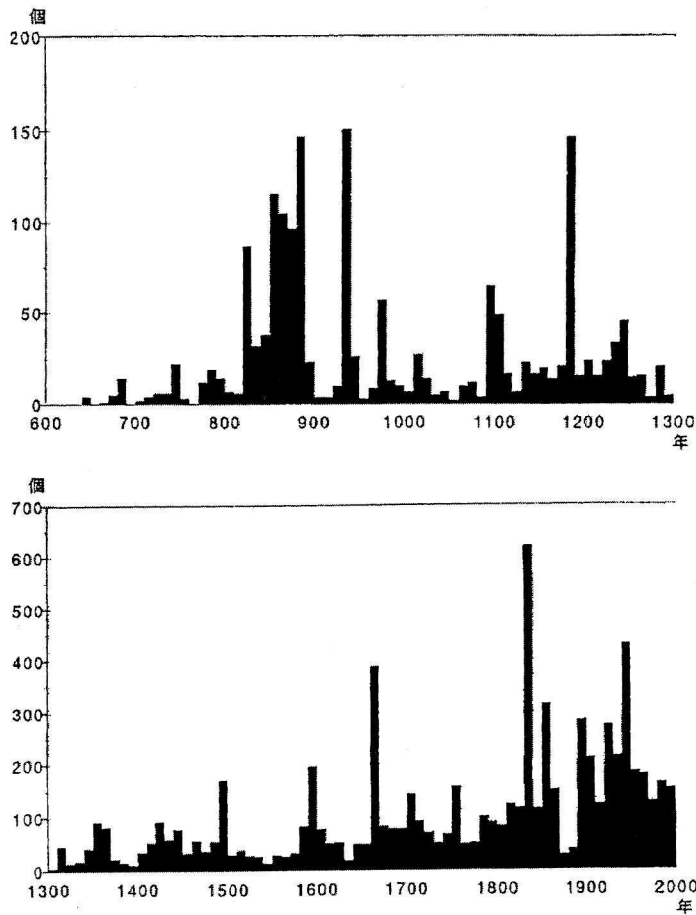


図1 京都とその周辺の有感地震数の変化の特性. 南海トラフの巨大地震の前の数10年に増加する傾向が見られる.

西南日本は地震活動期に入ったと指摘する場面があった。西南日本のある地域で地震活動期があるということは、逆に静穏期もあるということになるが、その現象を示すデータは西南日本の歴史地震の資料から得られる。また、そのような現象を説明する仕組みを考えることも、南海地震そのものの仕組みを考えるために重要である。

日本全体では数10年程度の期間で見ても、地震の活動期や静穏期は見られないが、西南日本の一部である京阪神などの地域を取り出して見ると地震の活動期が見られる。歴史地震のデータにもとづいて、巨大地震の発生前後に、ある地域で地震活動が集中して発生することが指摘されたのは、1970年頃からで^{1)~4)}、南海トラフの巨大地震を含む日本のいくつかの巨大地震について、その発生

前の数年から数10年間に巨大地震の震源域で地震活動が低下し、かつ周辺地域で地震活動が高まるという現象が生じることが示された。

京都とその周辺地域の過去の被害地震の発生時期の特徴を調べると、南海トラフの巨大地震の前の50年間と後の10年間に集中する傾向がある。また、南海トラフの地震前後とそれ以外の期間とを比べると、南海トラフの巨大地震の前50年間と、巨大地震の後10年間に発生したM6.5以上の被害地震の発生率は、それ以外の期間の地震の発生率の約4倍である。また、活動期の長さは、南海トラフの巨大地震が発生した時間間隔にはよらないことがわかった。つまり次の南海地震の50年くらい前から、内陸の大地震などが起こり始めるということになる。

西南日本での地震活動期と静穏期は、小規模の地震活動にも見られることが、歴史資料の詳しい分析からわかってきた。京都とその周辺地域で被害があった地震と有感であった地震について、記載のある地域や時刻などを収集して、それをデータベースにした⁵⁾。そのデータからも、同じような活動期と静穏期の傾向が読みとれた。

西日本のさらに広域の活動を見ると、近代の計測データから南海トラフの巨大地震の発生の前後に数10年の活動期が西南日本外帯に見られ、さらに西の琉球海溝に沿う地域でも巨大地震の前後に活動期があり、南海トラフと琉球海溝の活動期には数10年のずれがあることがわかる。このような傾向は歴史資料のデータからも同じように読みとることができる。また、これらの地域の間にある日向灘付近では頻度の高い大地震の発生が見られる。

3. 1946年の南海地震前後

前回の南海地震の前後には、明治以来の地震観測網が働いていたので、計測データをもとにしてどのような現象が起こったかを詳しく見るができる。M6以上の地震は見逃さずにこの100年間観測されてきたであろうと考えて、20世紀の100年間の西南日本の地震活動の特徴を見ておくことにしたい。地震は岩盤の中に起こる破壊現象だから、20世紀に起こった現象がまたつぎの21世紀に同じように起こるとは限らないが、南海地震そのものがプレート境界の繰り返し現象であることがわかっているので、20世紀の現象を見ることによってつぎの南海地震前後の地震活動を考える上で参考になるような、全体的な性質を見ることには役に立つであろう。

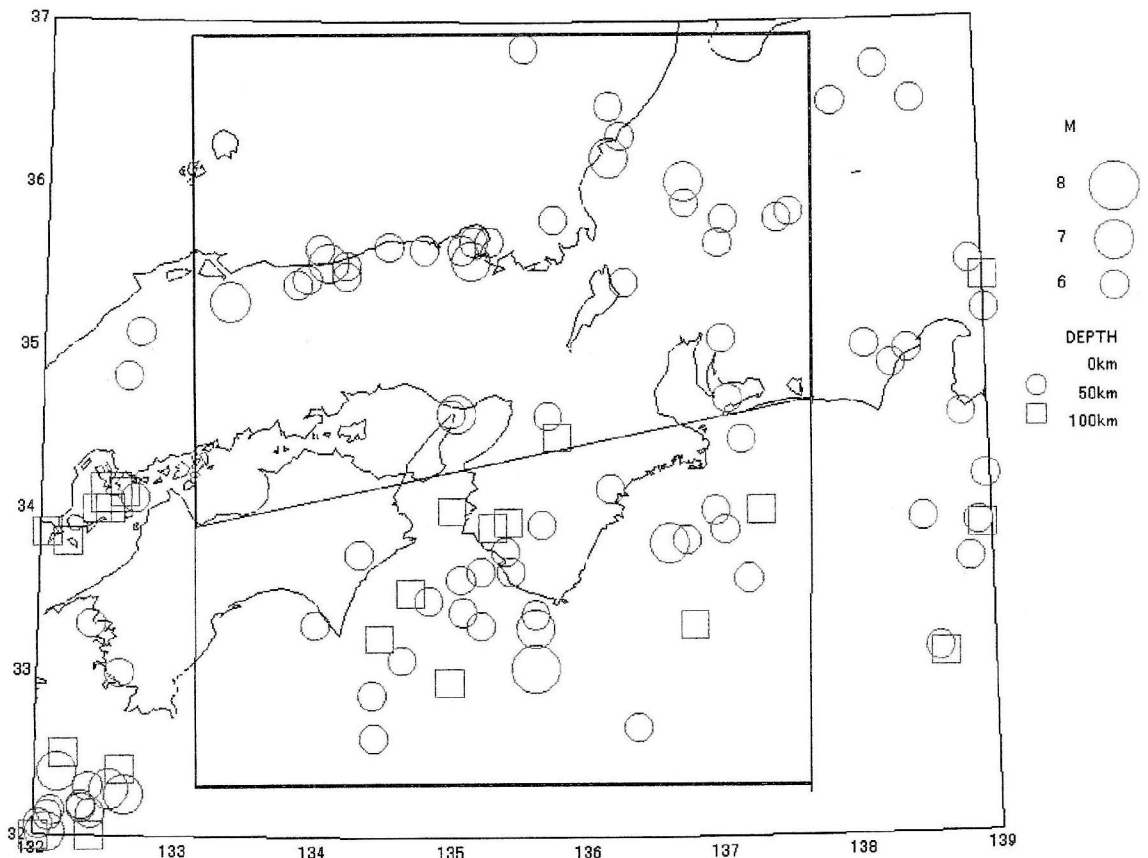


図2 20世紀の地震分布 ($M \geq 6$) をほぼ中央構造線によって分ける。北側がほぼ内帯、南側がほぼ外帯に相当。

西南日本は構造的に大きく外帯と内帯に分けられる。その境界は地質境界である中央構造線である。中央構造線は地質の境界であるとともに、紀伊半島の中中部から西の部分では活動度の高い活断層帯でもあり、内陸の浅い大地震を頻繁に起こす。その中央構造線を大体の目安として、北と南に地域を分けて、浜名湖あたりから松山のあたりまでに分布する地震の20世紀の特性をまとめてみると次のようになる。

外帯の地震活動のピークは1944年の東南海地震と1946年の南海地震である。その2つの巨大地震が抜きん出て大きく、地震の頻度もそのピークの前後に多い。20世紀の最初の20年ぐらいには紀伊半島の下にもぐり込んだフィリピン海プレート内に、やや深い地震が集中的に起こった。

15年ほど休んで1940年頃からM7クラスの地震を伴う活動が外帯で始まり、ピークに至ったのち多くのM6から7の地震が起きた。この集中的な活動は比較的早く終って、1960年頃には静かになり、以後数10年にわたって今まで休んでいる。

一方、内帯の方では20年に一度ぐらいの割合で大きな活動が各地に起こっている。M7クラスの大地震を伴う地震群が発生する。とくに外帯のピークの前から大きな活動が目立ち、1960年頃からあとは静かになって1995年兵庫県南部地震まで30年以上の間、M7クラスの地震はなかった。

地震の規模とその数の分布にも、外帯と内帯では、大きな特徴の違いがある。外帯ではM8クラスの巨大地震が2つあり、その下には1個だけのM7を最大とする地震があるだけで、分布に明瞭

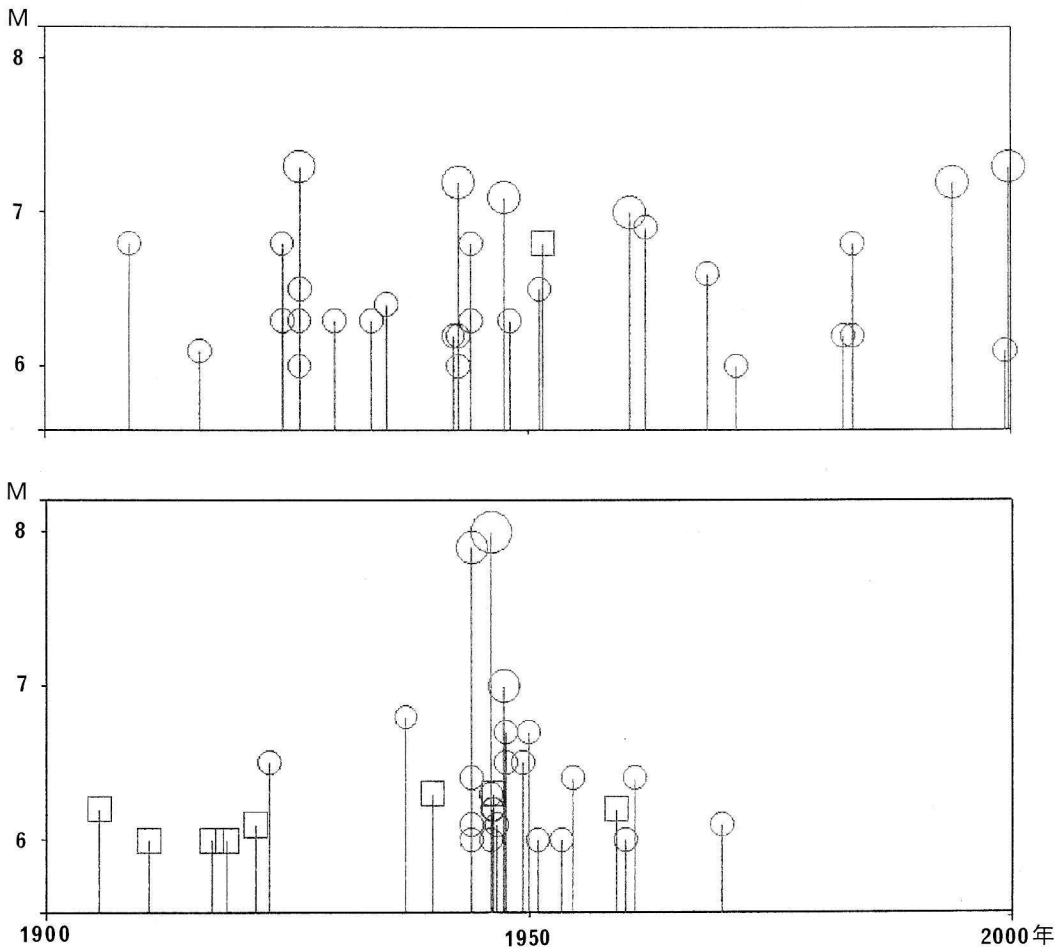


図3 内帯(上)と外帯(下)の地震の時系列(M≥6).

な境が見られる。内帯では M7 クラスのさまざまな大きさの地震が多数あって、それに見合うだけのさらに小さい規模の地震も分布していることがわかる。

これらの特徴から 21 世紀の地震活動の時間的な経緯を想像すると、内帯では活断層帯でしばらく動いていない所にまだ数回の大地震があり、これは 2060 年頃まで続く。2020 年頃には外帯にやや大きめの地震が起り始め、やがて M8 クラスの巨大地震が 2040 年頃に連発し、余震が広い範囲に分布するが 2060 年頃には収まる。21 世紀の後半は内帯も外帯も静かになって、また、西南日本では大地震が起こることは珍しいということになるのではないだろうか。

4. つぎの南海地震

2001 年 9 月 27 日に、政府の地震調査委員会が、つぎの東南海地震と南海地震の発生確率を発表した。プレート境界型の大規模地震あるいは、同じ意味だが、海溝型の大規模地震に関しては、宮城県沖地震が、今後 30 年以内の発生確率は 98 パーセントと、すでに表されている。これについて、今回の発表はプレート境界型の大規模地震で 2 番目となった。

今後 30 年以内の発生確率は、東南海地震が 50 パーセント、南海地震が 40 パーセントという発表だが、要するにこれは「必ず起こる」という値である。今すぐではなく、10 年、20 年とだんだん可能性が高まっていく。

「東海地震」という大規模地震が、「明日起こっても不思議ではない」という表現で想定されてから、すでに 4 分の 1 世紀ほどが経過したが、その「東海地震」も、たぶんほぼ同時期に起こるのだろうと私は思っている。近い将来、この「東海地震」の予想も見直されることになるであろう。

このような大規模地震の発生確率は、理解するのが難しいものであり、私自身も、わかりやすく解説する方法を、まだ見つけることができないている。

今後 30 年以内に起こる他のことの確率を、統

計資料から計算して比べてみるのも 1 つの方法だろう。たとえば、今後 30 年に、交通事故で死亡する、もしくは負傷する確率は、20 パーセントほどであるといえる。自分の家が火事になる確率は 2 パーセントほどであろう。それらと地震発生の確率をくらべたら、障害保険や火災保険に入っている人は、地震保険を当然に付帯すべきであると思うだろう。ただ、重要なことは、火災や交通事故は気をつけて遭わずに逃げ切ることもできるだろうが、プレート境界地震は、いずれかならず起こるものであり、広い地域に大揺れと大津波が来るということである。

南海トラフの地震の長期評価の報告は、図を除いても 26 ページにのぼる詳しいものである。その内容はたいへん難しい。次の大規模地震の M は 8 クラスであり、南海地震の発生確率は今後 10 年、20 年、30 年、40 年、50 年以内で、それぞれ 10、20、40、60、80 パーセントである、ということさえ読みとっておけば、防災対策を進めようと決断するには十分であろう。

地震調査研究推進本部の発表した南海トラフの地震の長期評価は、南海トラフのうちの浜名湖沖から西の部分で四国沖までの部分に限ったものである⁶⁾。浜名湖から東は「想定東海地震」の震源域であるために、法的な住みわけが行われていて不自然な長期評価になっているともいえる。報告の最初には、「この報告書では、想定東海地震の発生が懸念されていることを前提とした」と書いてある。

この報告では、どのような地震が起こるかについて、以下のように推測した。

まず基本的に、南海トラフの地震はプレートとプレートの境界面のずれで起こるが、ときには枝分かれした断層運動が陸のプレート内に高角の断層面を生み出して、局地的に強い揺れを生じさせる可能性もあるとしている。

過去の南海地震の震源域、つまり震源の断層面でのずれがどこまでの範囲に広がったかということについて、西端は足摺岬の東で止まった (1946 年) か西にまで及んだか (1707 年)、東端は潮岬の東か (1854 年、1946 年) さらに東の方まで及んだ

か(1605年, 1707年)という事例ごとの推定が行われている。想定東海地震の領域も含んで南海トラフ全域が一度に動いたと考えられる事例(1707年)もある。

つぎの南海地震は、東南海地震に続いて起こる場合と両者が同時に起こる場合が指摘されているが、想定東海地震も含めて、同時に1つの巨大地震が発生する場合も想定しておく必要がある。また、報告書は、地震予知を目ざした観測を、東海地域だけではなく、南海地震や東南海地震についても行わなければならないということも述べている。マスメディアの短い記事では、とかく地震発生確率などの数字だけに注目しがちであるが、これら報告書にあちこちに書き込まれている提言などにも注目しておくことが重要である。

つぎの南海地震に関しては、今までにいろいろの予測が発表されている。おそらく世界でも類を見ないほどいろいろの方法で長期的な予測がされている巨大地震であろう。

力武常次⁷⁾の計算によると、次の南海トラフの巨大地震が起こるのは、2061年という結果になった。予測の標準偏差が35年だから、早くて2020年代ということになる。この計算の根拠を少しくわしく見てみよう。歴史資料から南海トラフの活動をさかのぼることができるが、古い時代のデータは、巨大地震の見落としがあるかもしれないし、プレートの動き方が時代とともに少しは変わるかもしれない。1600年以降のデータだけを用いて、繰り返し時間間隔を求めると117年という値になった。

つぎに島崎邦彦と中田高⁸⁾の予測について説明しよう。彼らは、フィリピン海プレートの北端部の巨大地震の繰り返す地域で、地震のときの土地の上下変動の大きさを調べ、ある1つの地震で大きく隆起するほど、そこでの次の地震までの時間が長くなるという規則性があることを見つけた。

南海地震の場合には、高知県の室戸岬から少し北西へ行った所にある室津の港の変位量を用いて解析した。1707年の地震で1.8m, 1854年の地震で1.2m, 1946年の地震では1.15m隆起したというデータから、つぎの南海地震は2040年と予測

された。

堀高峰と私は、南海地震の70年くらい前から南海地震後10年くらい間に、西南日本内帯の京阪神とその周辺の地域で、地震活動が活発化する傾向が強いことを利用して次の南海地震を予測した。まず、過去の活動期の地震の起こり方のパターンを統計学的に求め、それを最近の地震活動のデータにあてはめてみると、つぎの南海地震は2030年代後半になると予測された⁹⁾。

以上の3つの、それぞれ異なる考え方とデータから予測された次の南海地震の発生時期は、予測結果の幅なども考えると、2040年頃に3つの結果が重なることになり、早目に見つめると2030年頃ということになりそうである。

今から、もし南海トラフに計測器を沈めて、プレート境界の活動を測定し始めれば、次の南海地震の直前には、地震の直前予報が出せるかもしれない。そのようなことも地震学者からは提案されているが、多くの予算と人員を必要とするこのような観測計画が実現するかどうかは、地震予報を求める世論が強いかどうかにかかっている。

震災対策とともに、研究の体制も整備しなければならない。これから数10年のあいだに確実に起こる巨大地震の前後に、あらゆる種類の地球科学的な現象がどのように現れるかを、データとして残す絶好の機会であるという認識が大切である。

近い将来の南海トラフの巨大地震の発生にともなう、広域の前兆現象観測体制が早期に整備されて、巨大地震の前兆現象の観測が実施されれば、そのデータをもとに世界の地震予知研究が大きく前進すると期待される。この機会を逃すことなしに、日本は地震研究に貢献するため、あらゆる種類のデータをしっかりと残して、世界の研究に貢献する義務があると考えている。

紀伊半島や四国の沖にある海溝、南海トラフを中心にして、陸上や海底の動きを測り、地震を観測し、電流を測り、化学物質を採取し、海溝で何が起こるかを、しっかりと見ることが重要である。

南海トラフの巨大地震に関しての最近の重要な研究成果に、国立天文台教授の日置幸介の研究結

果がある。南海トラフの巨大地震が起こる月は、9月から3月にかけてという季節性があり、とくに冬に多い。この事実は前から知られている¹⁰⁾。

日置の研究はこの性質を説明することのできるしくみを考えたものである。毎年8月から10月にかけて、太平洋岸の潮位が、平均して20cmほど高くなり、その重みがプレート境界を押しつけるので、地震の発生を抑制することになるという。潮位が元に戻りはじめると重みが減って地震が起こりやすくなるという。

安政時代の1854年の2つの巨大地震も、1944年と1946年の昭和の2つの巨大地震も12月に起こった。このような季節性のしくみが明らかになると、南海トラフの巨大地震に対する震災軽減対策にも参考にすることができるだろう。

5. 南海地震の震災

話は50年前の南海地震にもどるが、フィリピン海プレートの沈み込みで引きずり込まれていた西日本の岩盤の南端が跳ね上がって、この巨大地震は起こった。海底の岩盤が跳ね上がるから、激しい強震動が発生して伝わり、大津波が起こって強震動のあとに海岸を襲う。

1946年の南海地震のときには、高知、三重、徳島沿岸に、4~6mの高さの津波が押し寄せた。この地震で、死者1,330人、全壊23,487という被害を出した。被害は中部以西の日本各地にわたった。

地震で岩盤が跳ね上がると同時に、室戸や紀伊半島の先は南上がりの傾動を示し、室戸は1.27m、潮岬は0.7mも土地が上昇した。須崎や甲浦では逆に約1m沈下した。高知市付近では田園15km²が海面下に没した。奈良と彦根では、この南海地震で震度5の揺れが記録されている。京都でもかなり揺れた。

昭和の南海地震の2年前には、1944(昭和19)年12月7日、東南海地震があった。静岡、愛知、三重などで、あわせて死・不明1,223、住家全壊17,599、半壊36,520、流失3,129の被害があった。長野県諏訪盆地でも住家全壊12などの被害が

あった。津波が各地に襲来し、波高は熊野灘沿岸で6~8m、遠州灘沿岸で1~2mであり、紀伊半島東岸で30~40cmの地盤沈下があった。このときも、奈良と彦根で震度5の揺れが記録された。

大規模地震対策特別措置法によって東海地域が地域指定を受けて、そこでは大がかりな震災対策が実施されてきた。地域指定が見直された結果、愛知県でも震災対策が進められるであろう。しかし、南海トラフの巨大地震の発生は、南海トラフ全域にわたって相次いで起こる場合が歴史上普通であり、その影響は九州にも及ぶものである。したがって広域での防災対策を早く立ち上げることが重要であろうと思われる。つまり、三重県も和歌山県も高知県も徳島県も、南海トラフの巨大地震に備えるのは、静岡や愛知と同じように重要なことではないだろうか。

6. 未知の南海地震

南海トラフのプレート境界地震と思われる巨大地震は、古文書と近代の観測データから13回見つかっている。最近のは、1946年の南海地震であり、その2年前に1944年の東南海地震があった。東海沖と南海沖を中心にする2つの巨大地震が1組になって起こり、南海トラフの全域でフィリピン海プレートが西日本の下へすべり込むように大規模な運動をする場合も多い。

時間的にさかのぼって見ると、その前は1854年の安政東海地震と安政南海地震の1組である。このときには約32時間おいて2つの地震が起こった。やはり東側が先に起こった。

その前は1707年で、このときは南海トラフ全域に同時に起こったようで、古文書からは巨大な1つの地震として認識される。

その前は1605年である。東の方がどこまで動いたかはよくわかっていないが、南海トラフよりも東の相模トラフもこのとき同時に動いた可能性がある。

その前は1498年で、古文書の分析では東海沖の地震だけが認識されている。

その前は、1360年の東海地震と1361年の南海

地震である。

1096年には東海沖地震で畿内にも被害があり、そのあと1099年に南海道と畿内に被害を出した南海地震があった。

その前は、887年の南海地震であり、このときの東海地震は古文書からは見つかっていない。

日本三代実録の仁和3年7月30日条には、7月30日の申時に大震があり、続いて余震があったことが記されている。西暦887年8月26日の地震である。「亥時亦震三度、五畿七道諸国同日大震、官舎多損、海潮漲陸、溺死者不可勝計」とあり、官舎の倒壊や、津波による多くの死者があったことがわかる。

古文書で確認される最古の南海地震は684年である。東海地震も起こったかどうかは、まだはっきりしない。

寒川旭^{11),12)}によれば、考古学の遺跡の地震の痕跡から推定すると、1099年の南海地震と1361年の南海地震の間に1つと、1498年頃に1つ南海地震が推定されるという。そうすると、一連の活動を1回と数えて、684年以来10回の南海トラフの巨大地震が今までに発生したことになる。

歴史地震研究会で、私は「京都の有感地震データベースについて」と題する話をした。その中で、このデータベースのデータを使って推測すると、西暦1000年くらいに、まだ見つからない南海トラフの巨大地震がある可能性が高いという話をした。

昼すぎに会場に駆けつけてきた寒川が、午後の発表の中で、考古学遺跡の発掘調査の検討の結果から、西暦900年代の終りに巨大地震があった可能性があるという発表をした。

同じ研究会で、種類の異なる根拠から、ちがう2人がそれぞれ仮説を発表し、その内容が同じことを示しているというのも珍しいことであり、研究会の楽しみであるが、これで、南海トラフの巨大地震は今までに15回ほどが確認あるいは推測されたことになる。これだけはっきりと繰り返しが確認されると、21世紀の中ごろまでに必ず次の巨大地震が南海トラフに起こることは疑いないということになる。

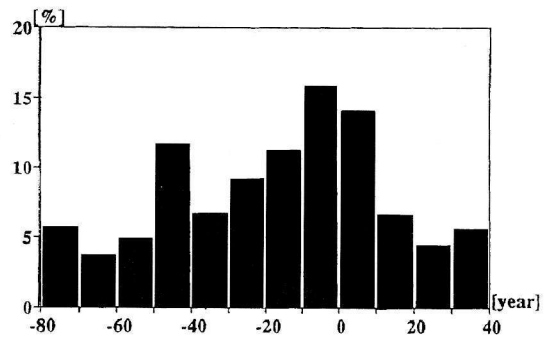


図4 10年ごとの京都の有感地震数(重みをつけた重ね合せ)と南海トラフの地震(横軸の0)。

未知の南海地震があるとして、この有感地震の変化のパターンから、単純に60年間の地震の活動期を求めて、その50年目に南海地震を推定することを試みる。そのための条件として、ある南海地震から次の南海地震までの期間は90年以上あるものとする。

そのような作業を試みると、3回の時期が未知の南海トラフの活動の可能性がある時期と推定される。それらは、790年頃、1000年頃、1250年頃である。

これらのうちの2番目、1000年頃の南海地震の可能性が上記の議論である。

また、3番目、1250年頃の地震の可能性に関連して、同じく寒川旭が、石津太神社遺跡の砂脈の分析から、13世紀前半(中頃を含む)の大地震の存在と歴史記録からの南海地震の空白との関連を論じている。

プレートの沈み込みによって発生するプレート境界地震の発生時間間隔が大きく変化することは考えにくいことであり、未知の南海地震を探す努力は、今後ともいろいろの方面から試みていく必要がある。このようなことも、つぎの南海地震を考えるために、地味ではあるが重要な役割を果たすことになるであろう。

参考文献

- 1) Utsu, T., 1974, Space-time pattern of large earthquakes occurring off the Pacific coast of the

- Japanese Islands, *Journal of Physics of the Earth*, 22, 325-342.
- 2) Shimazaki, K., 1976, Intra-plate seismicity and inter-plate earthquakes: historical activity in southwest Japan, *Tectonophysics*, 33, 33-42.
 - 3) Seno, T., 1979, Pattern of intraplate seismicity in southwest Japan before and after great inter-plate earthquakes, *Tectonophysics*, 57, 267-283.
 - 4) Mogi, K., 1981, Seismicity in western Japan and long-term earthquake forecasting, in Maurice Ewing Ser. 4, *Earthquake Prediction*, 43-51 (edited by D.W. Simpson and P.G. Richards), American Geophysical Union, Washington, D.C.
 - 5) 尾池和夫監修, 京都市防災会議, 1996, 京都と周辺地域の地震活動の特性, 京都と周辺地域の有感地震データベース (解説), 81 p.
 - 6) 地震調査研究推進本部, 2001, 南海トラフの地震の長期評価, 26 p.
 - 7) Rikitake, T., 1976, Recurrence of great earthquakes at subduction zones, *Tectonophysics*, 35, 335-362.
 - 8) Shimazaki, K. and T. Nakata, 1980, Time-predictable recurrence model for large earthquakes, *Geophysical Research Letters*, 7, 279-282.
 - 9) Hori, T. and K. Oike, 1996, A statistical model of temporal variation of seismicity on the inner zone of southwest Japan related to the great interplate earthquake along the Nankai Trough, *Journal of Physics of the Earth*, 44, 349-356.
 - 10) 日置幸介, 2001, 海面高変動・積雪荷重と地震発生の季節性, 日本地震学会 2001 年秋季大会, C76.
 - 11) 寒川 旭, 1992, 地震考古学, 遺跡が語る地震の歴史, 中公新書, p. 52-80.
 - 12) 寒川 旭, 1999, 過去 2 千年間の遺跡に刻まれた地震の痕跡, 月刊地球, 号外 24, 56-63.

西南日本で発見された深部低周波微動

小原一成

防災科研 Hi-net と深部低周波微動の発見

普通の地震では、一般的に縦波（P波）と横波（S波）が明瞭に観測されるが、活動的な火山付近では、P波やS波の識別が困難で、しかも長い時間にわたって振動が継続する、いわゆる火山性微動が発生することがある。また、富士山などのいくつかの火山の付近では、普通の地震に比べるとゆっくりと振動する低周波微小地震が発生していることが知られている。これらの微動や低周波微小地震は火山活動と関係していると考えられるが、活動的な火山の存在しない西南日本の広い範囲で、低周波微小地震のようなゆっくりとした振動が数日間以上も継続する微動が発生していることが、防災科学技術研究所の高感度地震観測網（防災科研 Hi-net）による微小地震連続観測で初めて明らかになった。防災科研 Hi-net とは、日本国内における定常的な地震発生状況を把握し、大きな地震に対する発生予測研究等の地震調査研究に資するデータベースを構築するために、1997年度よりその整備が開始された高感度地震観測網のことである。建設に当たっては、それ以前から存在している気象庁や大学等の高感度地震観測施設の配置を考慮し、全体として日本全国を約 20 km 間隔のメッシュで均質にカバーするように計画され、2002年度末までには防災科研の既存の関東東海地殻活動観測網と併せて約 650 の高感度地震観測施設が整備された（図 1）。防災科研 Hi-net の整備によって、日本全国における微小地震の検知能力は格段に向上し、地震活動の状況がより高い精度で把握できるようになってきた一方で、深部低周波微動という、思いがけない自然現象の発見をもたらした。もともと、微動の振幅は非常に微

弱であり、S/N の良い観測点でなければその信号を認識できないし、また従来の観測網では観測点密度が低いために、たとえ 1 つの観測点で微動が観測されたとしても、それが自然現象によるものか、あるいは人為的なノイズによるものなのかの判別は極めて困難であった。しかし防災科研 Hi-net によって S/N の良い観測点の配置密度が飛躍的に高くなり、複数の観測点で同時に捉えられるようになったことで、微動としての認識が可能になったのである。

微動波形の特徴

図 2（上）は、四国西部の伊方（IKTH）における 2001 年 8 月 17 日 4 時台の 1 時間の連続波形生記録である。全体的に見られるゆっくりした動きは、海岸に押し寄せる波浪による振動が内陸まで届いたもので脈動と呼ばれるが、さらに小刻みに揺れる、一見ノイズと思えるような振動が後半の約 15 分間継続している。このときの微動は生記録でもその存在が確認できるが、一般的には微動の振幅はさらに小さく、脈動や人為的ノイズに埋もれてしまうことが多い。このような微弱なシグナルを検出する上で、エンベロープに変換することは有効である。エンベロープとは、観測された地震波形から適当な周波数成分のみを抽出し、その振幅の RMS（二乗平均平方根）をとったもので、地震波エネルギーの時間変化を表しており、地震波動の収束部（コーダ）に着目して、振幅の減衰の仕方から地下の不均質構造を探る研究分野では、良く用いられるデータ処理の手法である。図 2（下）は、同じ時間帯における、周囲の観測点を含めた地震波エンベロープ記録である。35 分ごろから 50 分にかけて出現する振幅の高まりが微

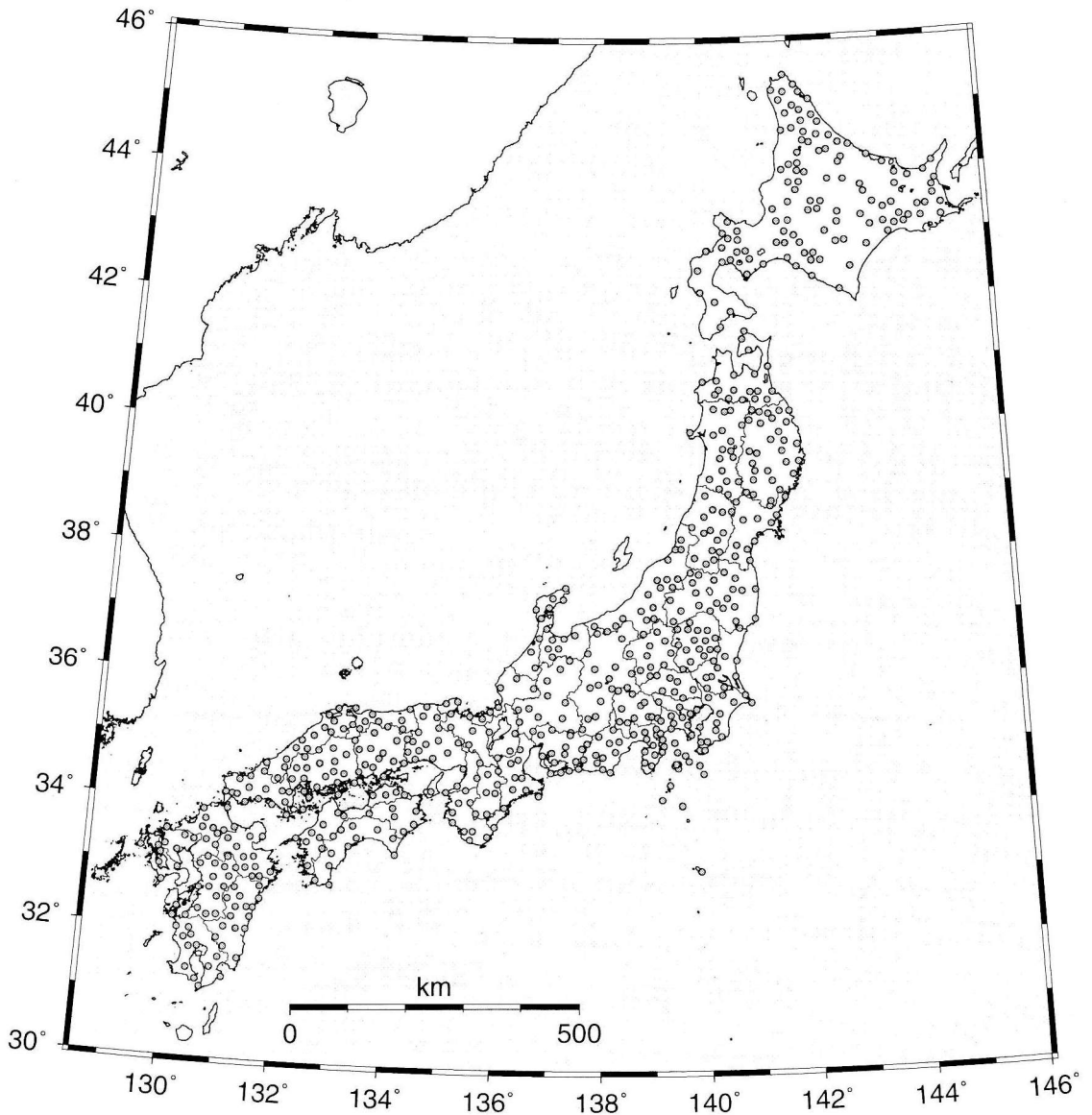


図1 防災科学技術研究所の高感度地震観測点分布

動である。このエンベロープ振幅の高まりは複数の観測点で同時に見られることから、車両や工場等の振動による人為的なノイズではなく、自然現象であることがわかる。微動の卓越周波数は1~10 Hz程度であるが、同規模の通常の微小地震と比べると低周波であることから、この微動を「低周波微動」と呼んでいる。エンベロープ振幅の変化パターンは異なる観測点でも似かよっており、震源過程そのものを反映していると考えられる。また、その伝播の様子から見かけ速度を推定する

と約4 km/sであるので、微動は地下深部を震源とし、その振動がS波速度で伝播すると考えられる。この時間帯の後半では微動が連続的に発生しているが、前半にはパルス的なエンベロープが見られており、やや孤立的な波動を含んでいることを示す。気象庁ではこの孤立的波動を検出して、低周波地震のラベルを付与して震源決定を行っており、図2に示した時間帯では、4時5分に2つの低周波微小地震が気象庁のカタログに記載されている。孤立的な波動を含む時間帯と微動が激し

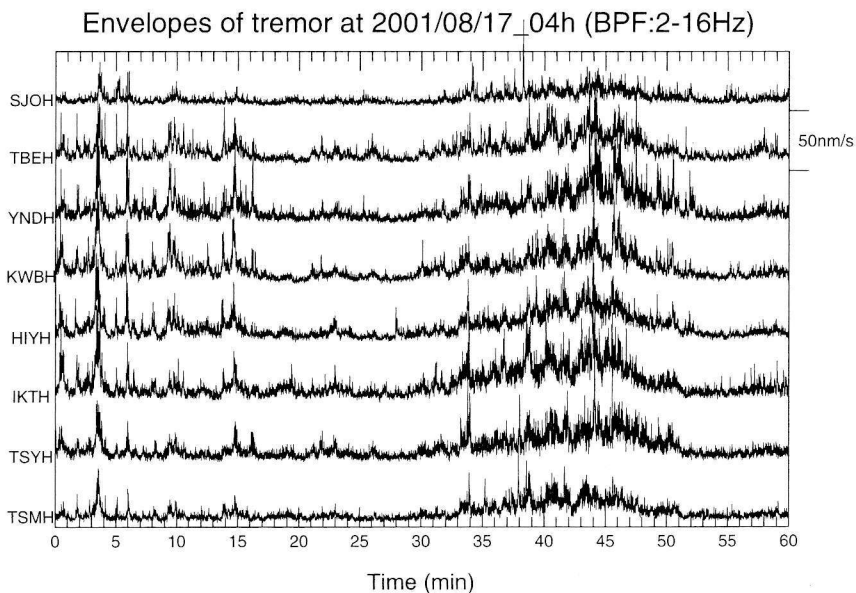
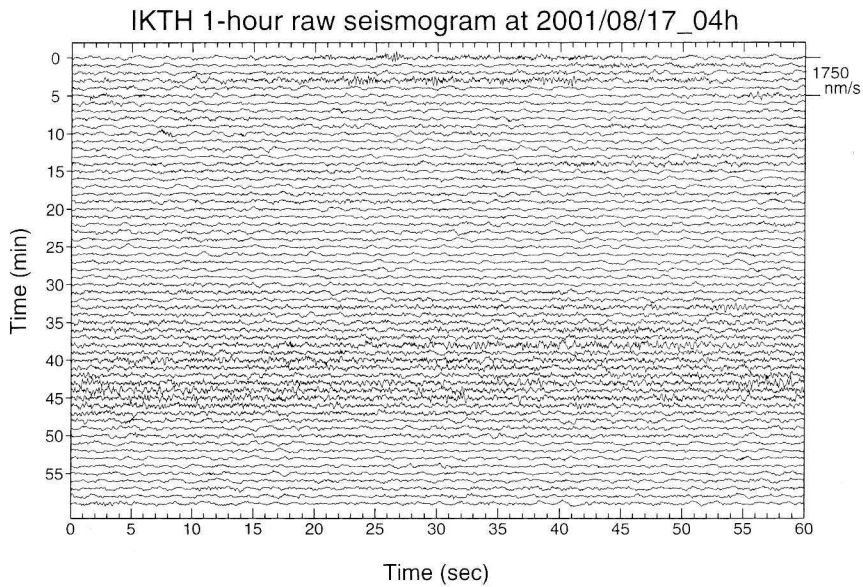


図 2 (上) 伊方高感度地震観測施設における 1 時間の連続波形生記録 (2001 年 8 月 17 日 4 時).
(下) 四国西部の観測点における 1 時間のエンベロープ波形記録 (同時間帯).

い状態, および小康状態におけるそれぞれの観測波形記録とフーリエスペクトルを図 3 に示す. 微動中に含まれる孤立的波動は卓越周波数が 1~2 Hz のパルスの波形を示し, それ自身のコーダを伴わないのが特徴である. 一方, 微動が活発化している状態では, 波形はランダム的となり 2Hz 以上の高周波数成分も多く含まれる.

微動源の推定

微動はもともと振幅が非常に小さく, また連続的に波動が継続するため位相同定が非常に困難で, 通常の P 波及び S 波初動検出による震源決定は難しい. そこで, 連続波形記録をエンベロー

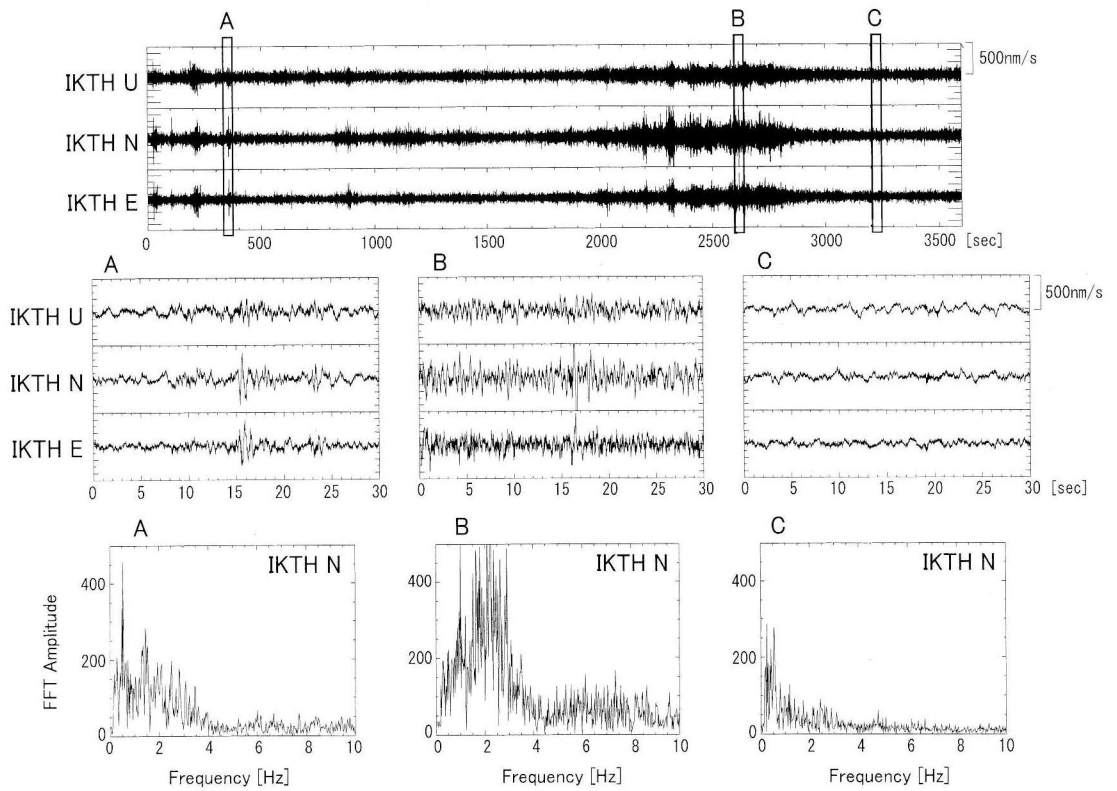


図3 図2と同じ時間帯における微動中に含まれる孤立的波動，連続微動，微動静穏状態における観測波形とスペクトル

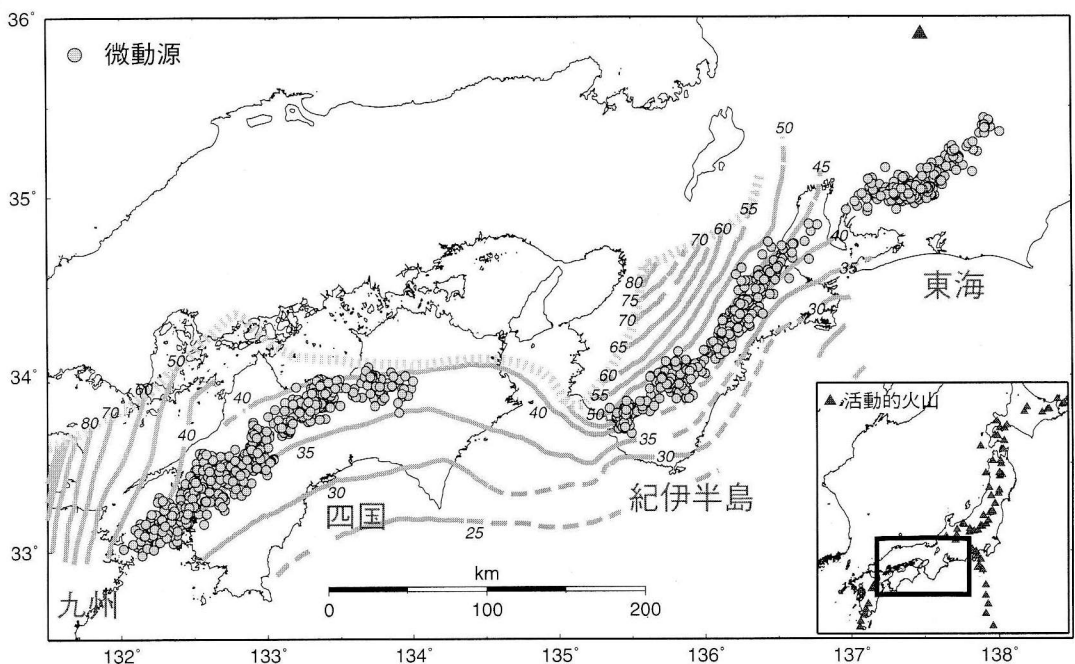


図4 微動源の震央分布(2001年1月1日~12月31日)。濃い灰色及び淡い灰色の線は，中村・他[1997]によるフィリピン海プレート内地震活動の等深線(単位: km)，及びリーディングエッジ(プレート内地震活動の先端部)である。

プに変換し、その相関解析から震源を決定する手法（エンベロープ相関法）を開発した。まず、ある観測点ペアのエンベロープ波形記録について、一方を固定し、もう一方を1秒ずつずらしながら相関を計算すると、相関係数が最も高くなるときの時間差は、その2観測点間での波動の到達時間差とみなすことができる。このとき時間差を変化させても相関が悪ければ、有意な波動が存在しないと判断して、その時刻差データは採用しない。この処理を複数の観測点ペアに対して行うことにより、対象領域内でさまざまな観測点の組み合わせに対する到達時間差データが得られる。その時間差データから、測地測量で良く利用されている網平均を用いて空間的に平均化された走時差分布を求め、それがS波伝播によるものとして、震源決定を行う。エンベロープの相関処理は、2分間の記録に対して、1分ごとにずらしながら行われ、微動が発生している、いないにかかわらず連続的にデータ処理が行われるが、微動が発生していない状況では相関の良いデータが得られないため、震源決定されることはない。微動が発生している場合には1分ごとに微動源が求められることにな

るが、複数の場所で同時に微動が発生したりすると、エンベロープ波形の相関があまり安定しなくなる。またS波のみを用いた震源決定であるため、1分ごとに求められる微動源のばらつきは大きい。そこで、1時間の中で得られる微動源分布の中心位置をその時間帯における微動源として代表し、その震央位置をプロットしたのが図4である。微動源は、長野県南部から豊後水道に至る長さ約600kmの範囲に帯状に広がっている。しかも、フィリピン海プレートの幾何学的形状と非常に良い関係を示し、プレート内に発生する深さ35~45kmの通常の地震の震央位置とほぼ一致する。現時点では紀伊水道から徳島県東部の地域では微動は発見されていない。微動源の深さは、一般的には震源決定精度はあまりよくないものの、比較的精度良く求まったものについては約30kmで、地殻とマンツルの境界であるモホ面近傍に相当する。

微動活動の時系列

微動は一旦発生し始めると数日間、長い場合に

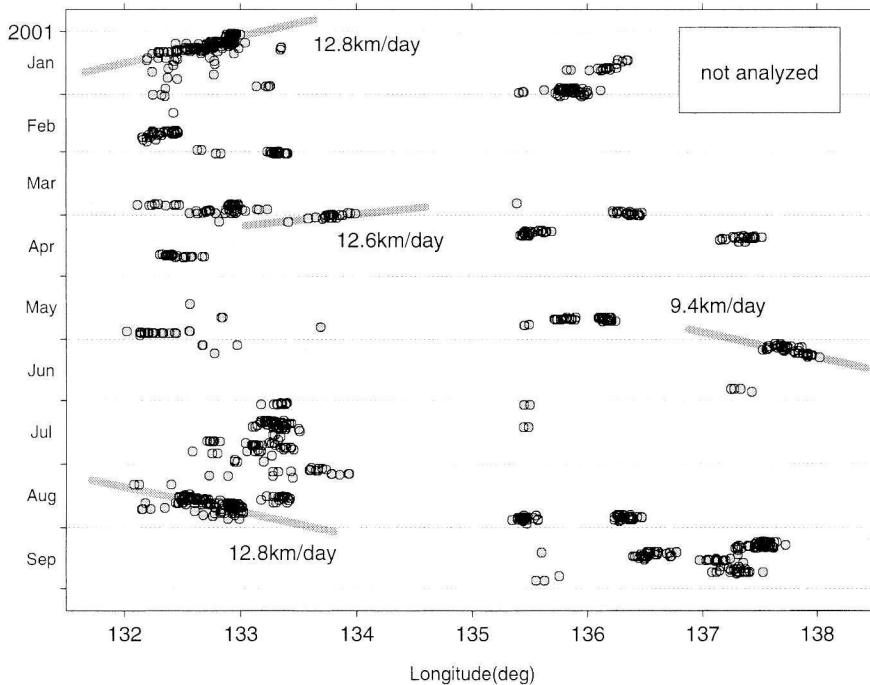


図5 微動源の時空間分布（2001年1月1日~12月31日）。横軸は図5と同様に経度を示す。

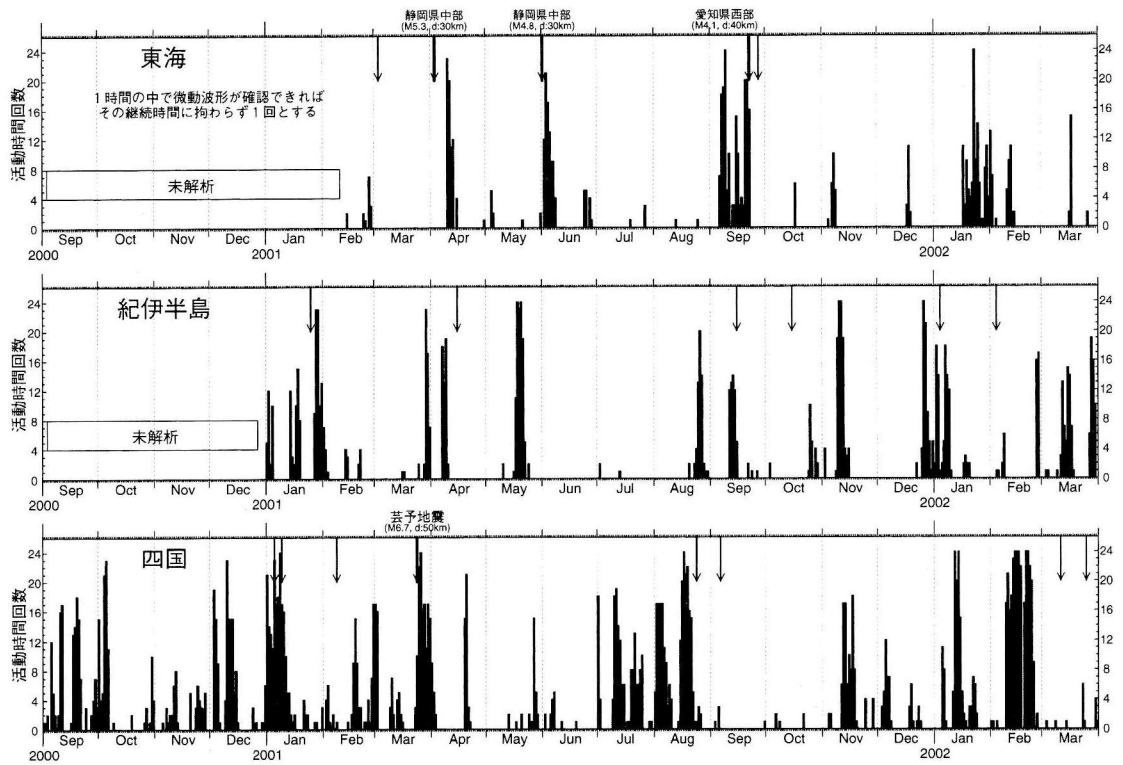


図 6 東海地方（長野県南部，愛知県），紀伊半島，四国における微動活動の時系列（2000年9月1日～2002年3月31日）．周囲に発生したマグニチュード4以上の地震を矢印で示す．

Envelopes of tremor at 2000/12/31_23h (BPF:2-16Hz)

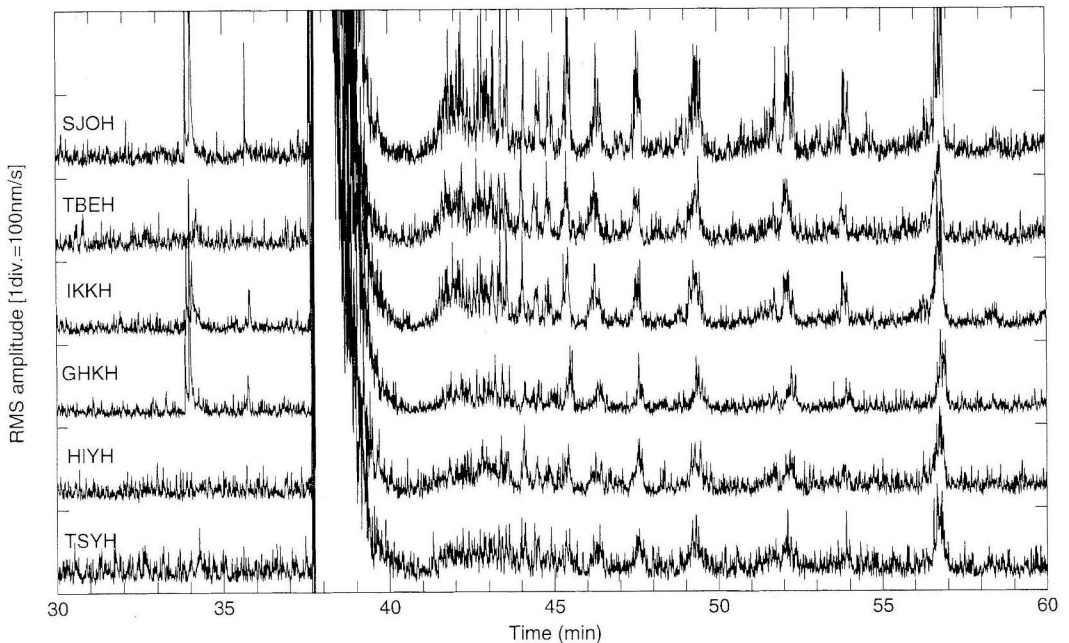


図 7 2000年12月31日23時30分から30分間のエンベロープ波形記録．23時37分に出現する大振幅の波が深さ10kmで発生したM3.6の普通の地震である．

Hypocentral distribution of tremors at 2000/12/31_23h

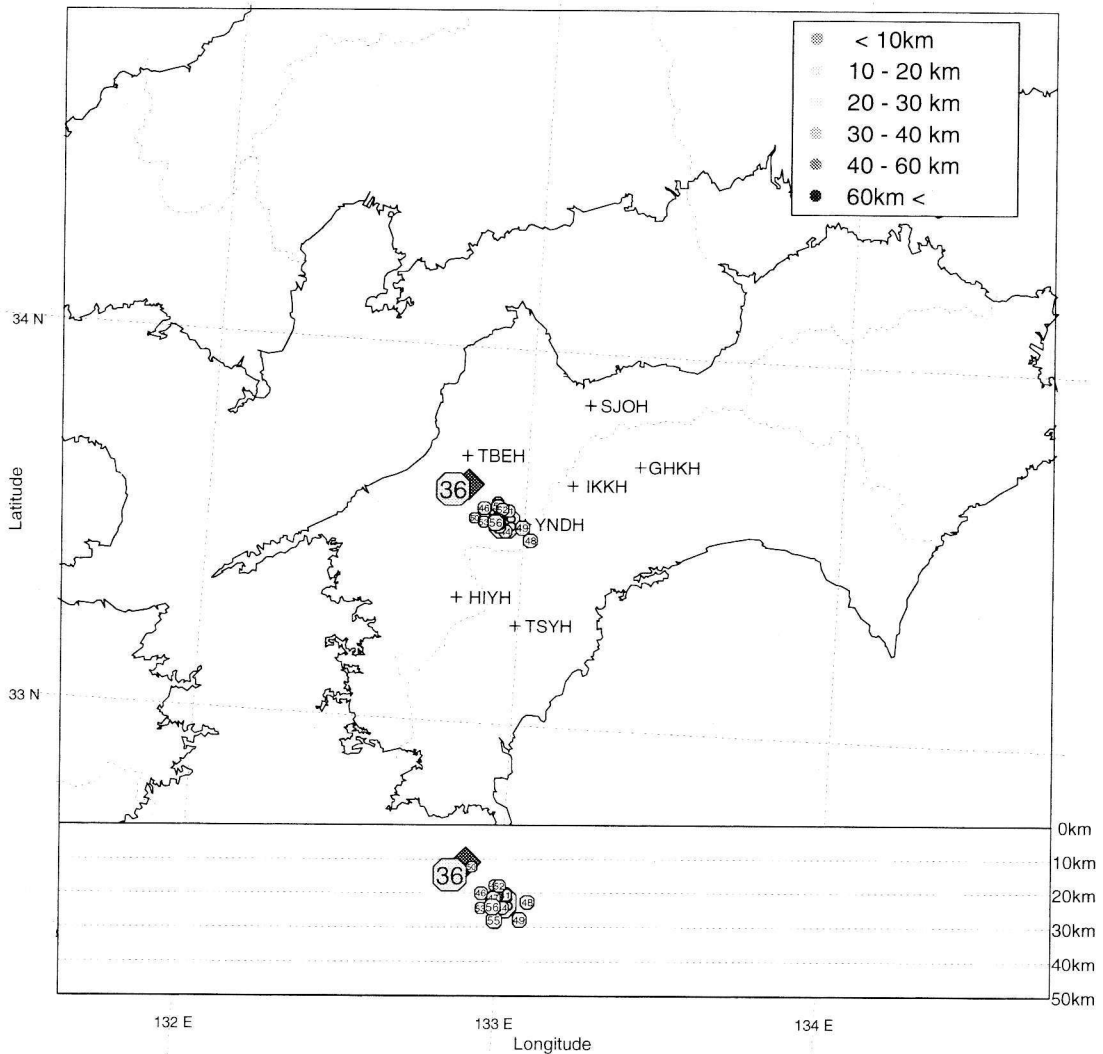


図 8 2000年12月31日23時の1時間中に発生した微動の震源分布. 菱形は23時37分に発生したM 3.6の地震の震源で, No. 36は, その地震をエンベロープ相関法に基づいて求めた震源である.

は2~3週間継続する. しかも微動源は一か所に留まらず, 移動することが多い. 図5は, 横軸に東西距離, 縦軸に時間をとった時空間分布図である. 2001年1月前半には東経133度付近の四国西部で微動が活発であったが, 時間とともに西方に移動していることがわかる. 移動速度は約13 km/日である. また, 8月にも同地域で微動が活発化したが, このときは1月とは逆方向, つまり

豊後水道から東方に向けて, 1月の場合と同じ速度で移動した. 東海地方でも, 6月に発生した微動は北東方向に約9 km/日で移動している. 微動活動の時系列を四国, 紀伊半島, 東海地方の3地域に分けて示したのが図6である. ここでは, 1時間のエンベロープ記録の中で, 少しでも微動波形が確認できれば1回とカウントしており, 1日中微動が継続した場合でも最大で24回となる.

つまり、震源決定されていない微動も含めて、その活動の様子が示されている。微動は短時間で終わってしまうこともあるが、長い場合では2~3週間にわたって活動が継続する。このような活動期の後には2~3か月の静穏期を迎えることが多い。また、微動は付近で発生した主な地震によって誘発あるいは励起される場合がある。図6には、各地域の周辺で発生したM4以上の地震の発震時を矢印で示しているが、2001年3月24日の

芸予地震(M6.7)の直後から四国での微動が活発化した。また、東海地方では4月3日及び6月1日にM5クラスの静岡県中部地震が発生しているが、その直後の4月10日及び6月2日から微動が活発化している。図7は2000年12月31日23時30分から30分間の四国西部におけるエンベロープ記録である。23時37分に深さ10kmの上部地殻内でM3.6の地震が発生したが、その地震による振動が収束しかかった直後から微動が断

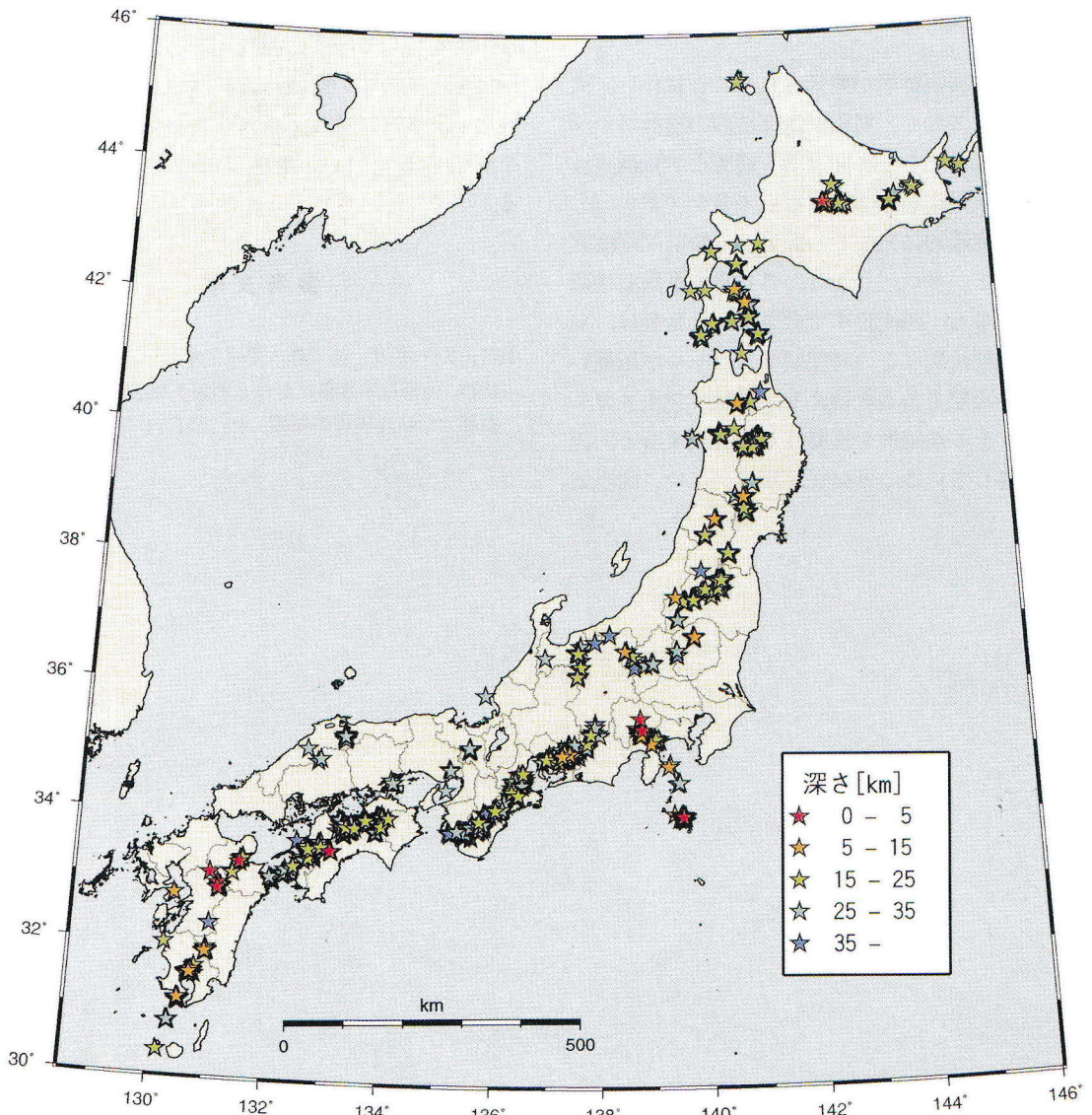


図9 気象庁一元化震源カタログに基づく低周波微小地震の震央分布(2000年6月~2001年12月31日)。低周波微小地震のほとんどは、マグニチュード2以下の小さなものばかりである。

続的に発生し始めており、明らかに普通の地震によって誘発されたことを示している。これらの微動は、M 3.6の地震の震央から南東方向に約15 kmの位置で、深さ約20~30 kmに発生した(図8)。一方、付近で発生した地震によって微動活動が停止した場合もある。東海地方では2001年9月に微動が活発化したが、9月22日に発生した愛知県西部の地震(M 4.1)の時点でその活動を停止した。

微動の原因

高感度地震観測網が整備されたことに伴い、火山周辺だけでなく、鳥取県西部地震の震源域や活断層等の場所でもモホ面近傍を震源とする低周波微小地震が見つかるようになってきた(図9)が、これらも連鎖的に発生し、数分から数時間程度継続することが多い。しかし、これらの低周波地震と比較すると、西南日本で発見された微動は、発生域や継続時間などの時空間のスケールが桁違いに大きい現象であると言える。微動の発生メカニズムは、その連鎖性や移動性から推測すると、流体が関与していることはまず間違いない。沈み込

むスラブでは脱水反応が起こっていることから、微動発生に関与する流体はスラブから供給されたものと考えられる。多量の流体がほぼ臨界状態にあるとすれば、周囲で発生した地震による振動をきっかけにして状態が活性化し、連鎖的に微動が発生するかもしれない。西南日本の地下深部を震源とする非火山性の微動は発見されたばかりであり、今後はそのメカニズム、発生原因に関する詳細な研究および議論が進展するであろう。三波川変成帯の分布を考慮すると、微動源の発生位置は付加体がスラブと共に深部へ沈み込んだときに変成作用を受ける場所に相当するとも考えられ、微動は現在進行中の変成作用を反映しているかもしれない。また、沈み込むスラブからの流体の挙動を解明する上でも、微動現象の研究は重要である。

参考文献

- 中村正夫・渡辺 晃・許 斐直・木村昌三・三浦勝美,
1977, 西南日本外帯における地殻下地震の活動特性,
京都大学防災研究所年報, 40, B-1, 1-20.

岩手県釜石沖の固有地震的地震活動

プレート境界における小さなアスペリティの繰り返しすべり

長谷川 昭

1. はじめに

東北日本の太平洋下のプレート境界あるいはその近傍は、定常的な微小地震活動が極めて活発である。また、大地震が頻発する地域でもあり、そのため東北地方は繰り返し大きな被害を受けて来た。

太平洋下の浅発微小地震活動の空間パターンの著しい特徴は、それが時間の経過とともにそれほど大きく変化しないことである。たとえば、東北大学地震観測網で決められた過去20年間の地震の震央分布を見ると、空間的に偏在して地震は起こっており、全期間にわたって常に小さな地震が発生している言わば地震の巣のような場所が数多くみられる。太平洋下の浅い地震の多くは、恐らくプレート境界で発生していると想像される。そうだとすると、上記の特徴はプレート境界面の性質が場所により違って、それが時間とともに変化しないことを示唆する。

最近の研究の進展により、同じプレート境界面であってもプレート間の固着状況が場所によって違うこと、それがプレート境界で発生する地震の活動様式を規定していることが次第に明らかになって来た。

2. 釜石沖の固有地震的地震活動とその物理的解釈

岩手県釜石沖のプレート境界で、 $M4.8 \pm 0.1$ の地震が平均間隔 5.35 ± 0.53 年で発生していることが明らかになった (Matsuzawa, et al., 1999)。この固有地震的な性質を持った特異な地震活動は、岩手県釜石市の海岸線から約10 km 沖合の深さ

約45 km で発生している (図2, 図3)。低角逆断層型のメカニズム解を持つことと上記の発生位置とから、この地震活動はプレート境界で発生していると推定される。

図5, 図6に示すように、1957年以降1995年までの期間に、規則的な間隔で8回発生していたことがわかった。ただし、東北大学の微小地震観測網のデータが使えるのは1975年以降であり、それ以前の期間については気象庁の験測データから震源再決定をして確認したものである。

$M4.8 \pm 0.1$ の地震の波形は互いに非常に良く似ている (図4)。また、東北大学観測網データが使える1975年以降の地震について、均一観測点法で高精度に相対震源決定を行ったところ、震源位置もほぼ同じで、せいぜい600 m 程度の拡がりの範囲に全てが入ることがわかった。観測波形からコーナー周波数を求め、その値3.5 Hz から破壊

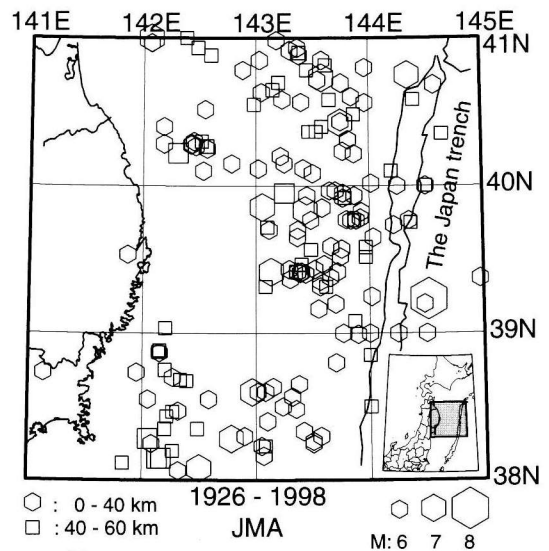


図1 1926年-1998年に発生したM6以上の浅発地震の震央分布。

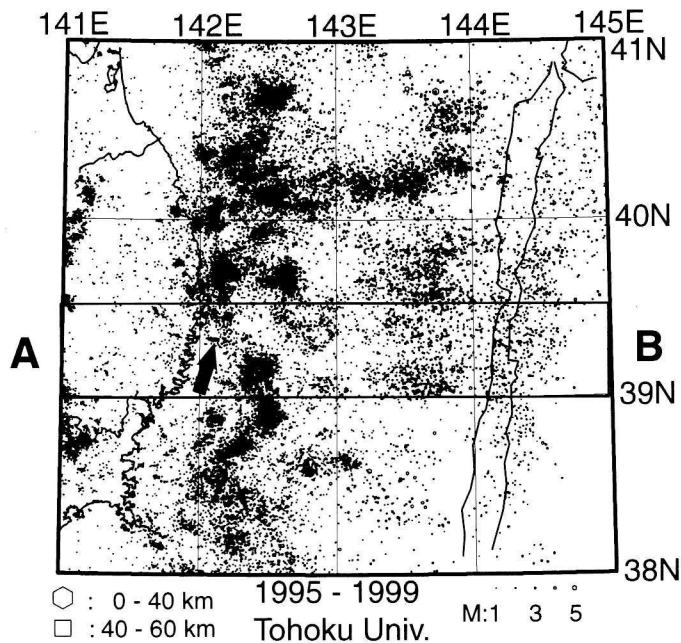


図2 1995年-1999年に発生した微小地震(60km以浅)の震央分布. 矢印が釜石沖の地震活動を示す.

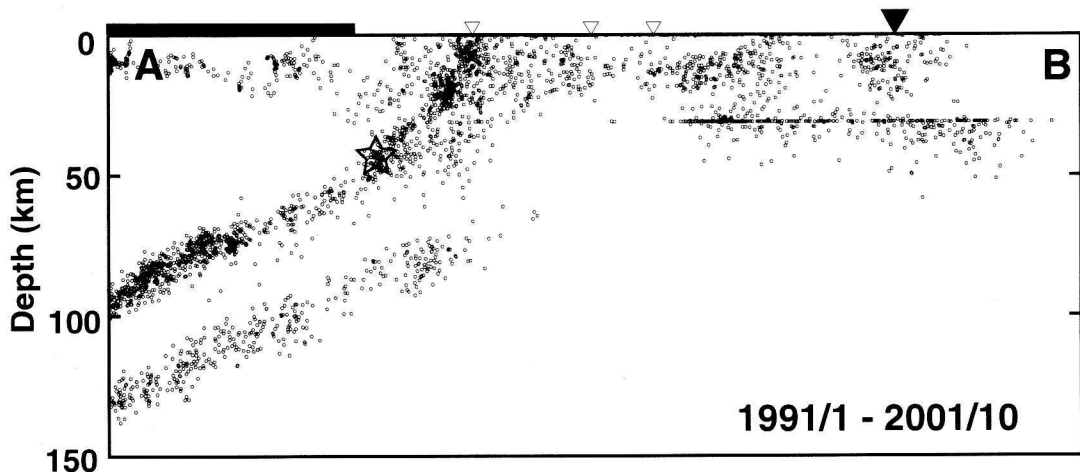


図3 地震活動の深さ分布. 図2に示した領域AB内の地震の東西鉛直断面を示す. 釜石沖の地震活動の位置を☆印で表す. ▽印は光ケーブル式海底地震計. ▼印は日本海溝, 上部の太実線は陸地の位置を示す.

域(断層面)の大きさを推定した. 仮定する震源モデルにも依存するが, 断層面の拡がりはおおよそ1km程度と推定された(Igarashi, et al., 2000).

これらの観測事実から, 釜石沖の特異な地震活動は, 安定すべり域に囲まれた小さなアスペリティの繰り返すべりであると解釈される. 図1

にみられるように, この特異な活動が発生する岩手県沖の北緯39度~40度, 東経142度~143度の領域では, 気象庁カタログのある1926年以降75年以上の長期間にわたって, M5以上の地震は一度も発生していない. 一方で, 図2にみられるように, 微小地震は多数発生する. このことから,

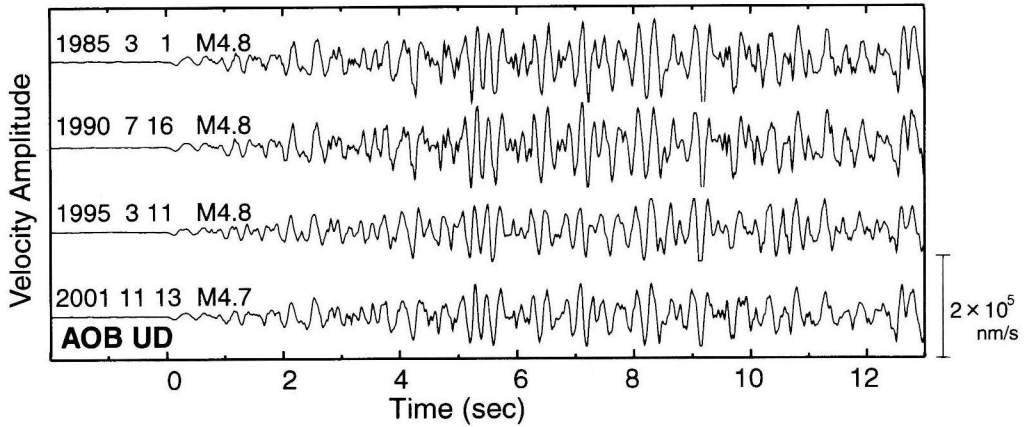


図 4 釜石沖の地震の波形例. 青葉山観測点 (震央距離約 160 km) の 1 秒地震計で記録された上下動速度波形記録を 1985 年, 1990 年, 1995 年, 2001 年の地震について示す.

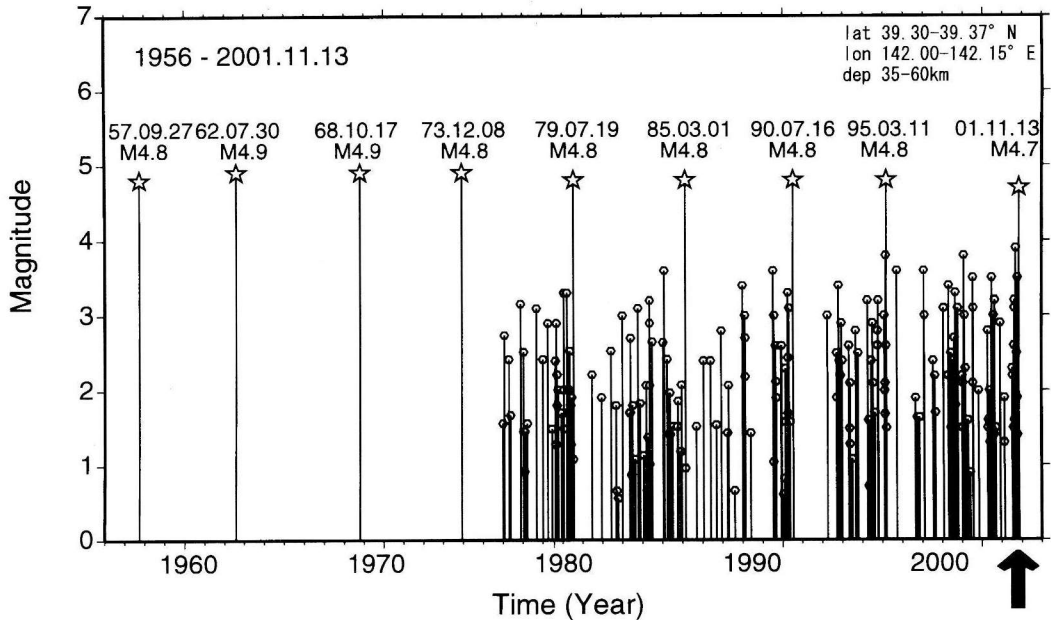


図 5 釜石沖の地震クラスターで発生した地震の M-T 図.

この領域のプレート境界には M 5 以上の地震を起こすアスペリティはないと考えられる. 従って, この領域ではプレート間のすべりが主として非地震的に生じていると推定される. 釜石沖の地震活動が規則的な発生間隔を持つのは, このように近くに他の大きなアスペリティがなく, 周囲の安定すべり域で一定の割合で非地震的にすべりが生じているからであろう.

3. 的中した長期発生予測

規則的な間隔で発生することから, 前回までの活動データに基づいて, 次回の活動時期が予測できる. そのようにして, 次の地震は 2001 年 11 月末までに 99% の確率で発生すると予測されていた (Matsuzawa, et al., 1999). そして 2001 年 11

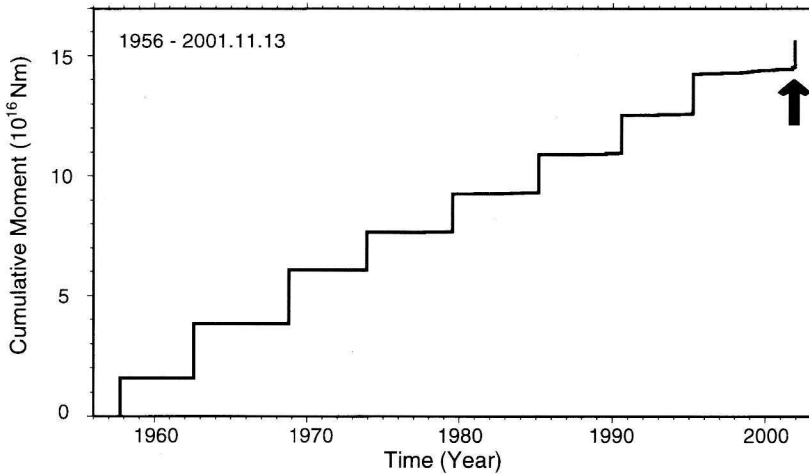


図 6 釜石沖の地震クラスターで発生した地震のモーメント積算分布. 地震モーメント (M_0 ; Nm) は, $\log M_0 = 1.5 M + 9.0$ を用いてマグニチュード (M) から計算した.

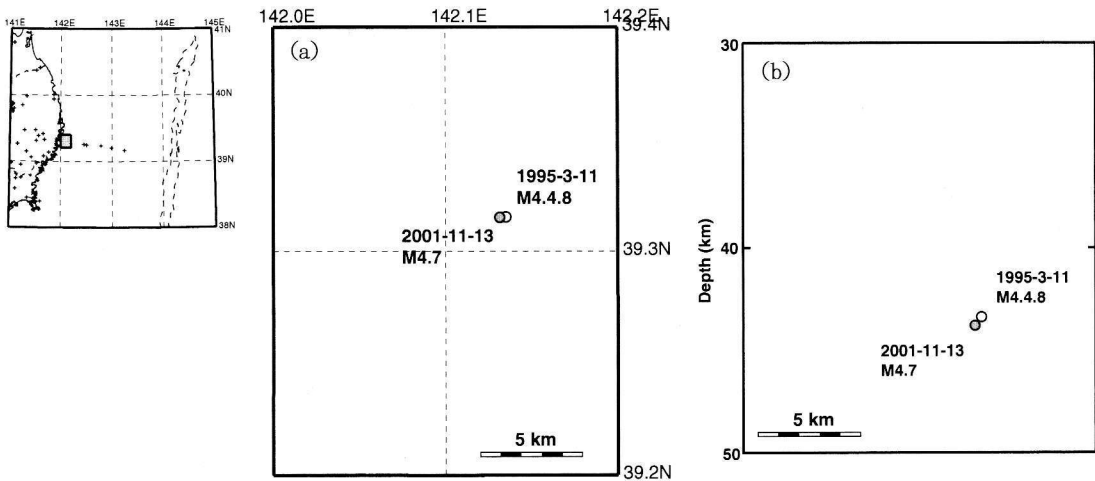


図 7 釜石沖の地震の震源分布. (a)震央分布, (b)東西鉛直断面. 白丸は1995年の地震, 灰色丸印は2001年の地震を表す.

月13日16時45分に, 予測通りの規模の地震が, 予測通りの場所に発生した(図5, 図6の矢印). 今回の地震のメカニズム解も, これまでと同じ低角逆断層型であり(図8), 波形もこれまでの地震と相似である(図4).

前回の地震と今回の地震については, 広帯域地震計で記録していたことから, 2つの地震のすべり量の分布を推定することができる. もしもここで考えているようなアスペリティモデルが成り立つとすると, 地震時にすべり量の大きな領域(ア

スペリティ)が2回の地震で一致することが期待される.

まず, 破壊の開始点である震源について, その相対位置を均一観測点法で精度良く決定した(図7). 今回の地震の震源は, 前回の地震のおよそ300 m程度西側に決定された. 経験的グリーン関数を用い, Hartzell and Heaton (1983) のインバージョン法によりすべり量の分布を推定した(図8, 岡田・他(2002)). 破壊の開始点がおよそ300 m程度違っていても, すべり量の大きな領域

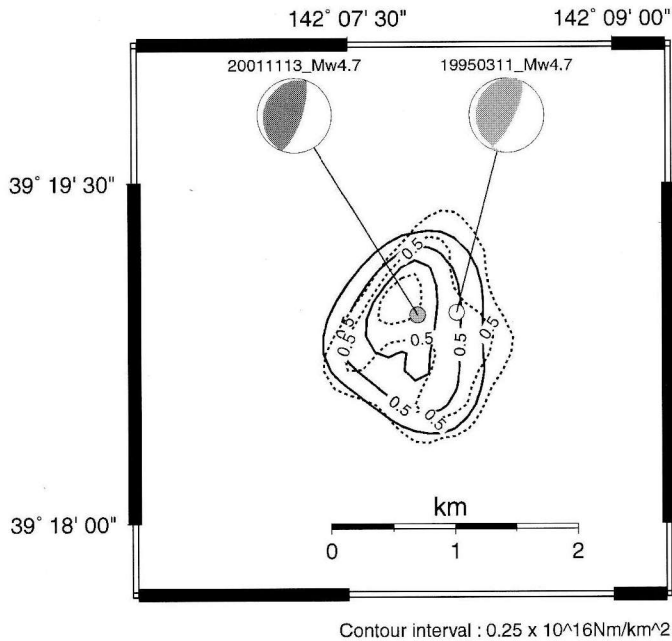


図 8 釜石沖の地震のモーメント解放量分布及びモーメントテンソル解. 点線は1995年の地震, 実線は2001年の地震を表す.

は2つの地震でほぼ重なっている. すなわちアスペリティモデルで予測される通りのすべり分布であったことになる. また, 断層面の拡がりか1 km程度と推定されていたが, それも確かめられた.

4. むすび

釜石沖の固有地震的地震活動は, プレート境界面上で安定すべり域に囲まれた小さなアスペリティの繰り返しすべりであると解釈し, 次の地震の発生を予測していた. 2001年11月に, 予測通りの規模の地震が予測通りの場所に(予測通りのすべり分布で)発生したことは, この解釈の妥当性を示している.

参考文献

- Hartzell, S. and T. Heaton, 1983, Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 1553-1583.
- Igarashi, T., T. Matsuzawa and A. Hasegawa, 2000, Characteristics of earthquake clusters in north-eastern Japan extracted from waveform similarity analysis, Eos Trans. AGU, 81, no. 22, WP152.
- Matsuzawa, T., T. Igarashi and A. Hasegawa, 1999, Characteristic small earthquake sequence off Sanriku, Japan, Eos Trans. AGU, 80, no. 46, F724.
- 岡田知己・松澤 暢・長谷川 昭, 2002, 釜石沖固有地震の震源過程の比較研究, 地球惑星科学関連学会2002年合同大会予稿集, S 040-018.

雑微動の時間変化

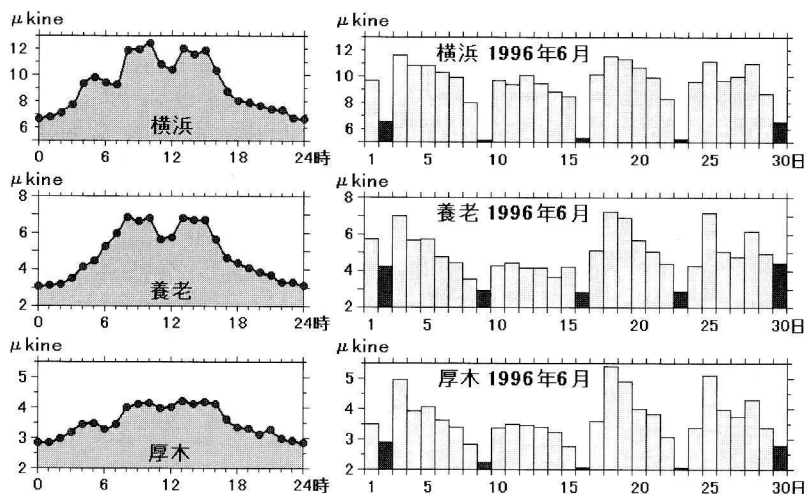
「動かざること大地のごとし」という言葉がある。しかし、高感度の地震計を設置してみると、我々の暮らしている地面は常に細かくざわざわと動いており、決して静止していることはないということがわかる。これは「雑微動」と呼ばれ、工場の操業や交通等による人工的要因、および風雨や波浪などによる自然的要因によって引き起こされている。

一般に、雑微動の発生には人工的な要素が大きく影響するため、その大きさは、産業活動や人間の行動パターンに支配されることが多い。下図は、横浜（神奈川県）、養老（千葉県）、厚木（神奈川県）の3観測点で測定された雑微動レベルの平均的な日変化と、ある1か月間における雑微動日平均値の変化を示したものである。縦軸の単位 μkine は、地面の動く速さ 10^{-6} cm/sec を表わしている。

左側の折れ線グラフで示した日変化では、夜間が静かで昼間は騒がしくなり、正午前後は昼休みのためか、やや静かになっている。一方、右側の棒グラフで表わされた日々の変化では、日曜日（黒く塗られた日）が、平日に較べて格段に静かなことがわかる。日曜日のはんびりとしているように感じるが、地面の動きも実際におとなしくなっているわけである。

ところで、地震を検出する手段としては、地動の大きさが雑微動レベルの数倍を超えることによってトリガをかけるという方法が通常行われている。上記の雑微動レベルの時間的変化を考えれば、昼間よりも夜間、そして平日よりも日曜日の方が、小さな地震をより多く捉えていることになる。

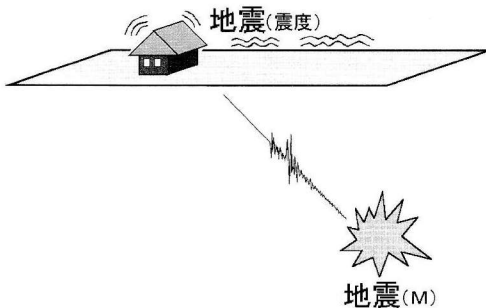
(Y. O.)



横浜、養老、厚木の3観測点における雑微動レベルの平均的な日変化（左：折れ線グラフ）および1か月間の日平均値変化（右：棒グラフ）

「震度」と「マグニチュード」のたとえ

地震学用語の中で、「震度」と「マグニチュード」ほど世の中で混同されている概念はない。災いの元は「地震」という言葉の二重性にあり、地面が揺れたという現象と、震源で起きた事件とが、どちらも「地震」と呼ばれることに根本的な問題がある。図に示すとおり、「地震」という原因によって「震度」という結果が生じていて、いわば加害者と被害者が同姓同名という状況になっているため、混同が生じるのは無理からぬところである。ここで用いた加害者・被害者のたとえで言えば、「マグニチュード」は加害者の狂暴度を示す量であり、「震度」は被害者が受けた損傷の程度を表わす量といえる。



震度とマグニチュード (M)

さらに悪いことに、「震度」と「マグニチュード」はともに単位をもたない相対的尺度で表わされ、しかも、その4, 5, 6といった値は、きわめて似通っている。これが台風の場合であれば、「マグニチュード」に相当するのは台風の強さを表わす中心気圧、たとえば985 hPa（ヘクトパスカル）であり、「震度」に相当するのは各地における風速、たとえば25 m/sといった具合になる。この場合、両者の物理的意味、単位、数値の範囲はいずれも明確に異なっているため、混同される恐れはまずない。

上では台風を引き合いに出したが、「震度」と「マグニチュード」の違いをたとえる定番は「照度」と「光度」である。前者は机上の明るさ（ルクス）を示し、後者は光源の明るさ（カン

デラまたは電球のワット数）を示すと説明される。しかし、このたとえは必ずしもわかり易くない。自然現象である台風の方が、たとえとしてはより適切ではなからうか。

頭の柔らかい（はずの）学生さん達に、「震度」と「マグニチュード」の違いを表わすたとえをレポートとして提出させたことがある。返ってきた答の中には、以下のような“正解”があった。(A) 恒星の絶対等級と実視等級（みかけの等級）、(B) スピーカー出力（ピアノをひく強さ、打上げ花火の火薬量）と耳に聞こえる音量（風向きや湿度など大気の状態が地質に、各人の耳の良し悪しが地盤の状態に相当）、(C) ストープの火力（たき火の炎の大きさ）と周囲の温度、(D) 扇風機の出力と受ける風の強さ、(E) 爆弾のエネルギーと被害状況、(F) 原発事故の規模（放射性元素の壊変数）と周辺各点での放射エネルギー（計測カウント）。

なお、“適当でない”回答も少なからずあった。(1) 地質の絶対年代（放射年代）と相対年代（示準化石や古地磁気の対比による年代）、(2) 質量と重さ、(3) 温度と温位（一定圧力条件で空気塊そのものが持つ温度）、(4) 台風の中心気圧と1000hPa等圧線半径、(5) 鉄板焼の直火点と周囲の温度、(6) コップを落とす瞬間のエネルギーと床で碎ける時の速度、(7) 球を投げる時の力と球を受ける時の衝撃、(8) 光の波長分布と肉眼で見える色相、(9) 綱引きで綱全体にかかる力と一人一人の引く力、(10) 宝くじの賞金総額と各人の当選金額、(11) 太陽と月の視直径の差、(12) 電子計算機の処理速度とプログラムの実行速度、(13) 作物の害虫発生密度と被害量、(14) 歌手のレコード売上げ数と本来の歌唱力、(15) 自民党の衆議院議席数と選挙での得票率。

(1)~(3)は絶対と相対の違いはあるが距離の概念がない。(4)、(5)は相対比較のみ、(6)、(7)は一次元的運動、(8)~(10)は部分集合を論じている。(11)~(15)はピントはずれというべきかもしれないが、発想の豊かさには敬服したい。

(Y. O.)

社会が苦手なこと

鳥井弘之

自然界を観察し、仮説やモデルを構築し、実験などによって仮説の正しさを実証する。これが、これまでの科学の基本的な考え方であった。だからこそ、誰が何度同じことをしても、同じ現象を繰り返すことができる。つまり再現性こそが科学の生命線であった。別の言い方をすれば、実証可能で再現性がある現象だけを対象にするのが科学だったと言っても過言ではないだろう。

ところが、最近になって科学の対象が難しくなってきた。実証したり、再現することが原理的に困難な現象を扱わざるを得なくなってきた。典型的な例が、複雑系である。複雑系は初期条件がわずかに違っただけで、結果が全く違ったことになってしまう。初期条件を完全に再現することはできないから、結果を再現することは不可能になる。

実際の社会や自然界は極めて複雑であり、本当に役立つ科学を構築しようと思えば、どうしても複雑で個別的な現象を扱うことが求められる。

大気中の二酸化炭素が増えたら地球の気候がどう変化するか。一般論として温暖化が進むことは予測できても、いつ頃どの程度温度が上がるかとか、ある地方についての予測をするとすると、事態は一挙に困難になる。

地球全体の気候システムのモデルを作り、スーパーコンピューターを長時間運転しシミュレーションする。そのモデルが忠実に気候システムを反映していたとしても、複雑系であることを考えると、ある地域の気温がいつ頃何度になるかは正確に予想できない。しかも、モデルの正しさを演繹的に実証することもできない。当然、必ず不確実性が残る。

米国が地球温暖化防止に関する京都議定書から離脱を決めた。科学的根拠が曖昧だということを

理由にしているが、曖昧さを科学的に消し去ることは原理的に不可能だろう。だからこそ予防的な措置が求められていると考えることができる。

地震についても同様なことが言える。というより、地震の研究は当初からこの種の困難な問題に挑戦してきたといってもいいのだろう。プレートの移動に伴って地殻内に応力が貯まり、断層などがずれることで応力が解放され、その結果として地震が起こる。どの程度応力が蓄積しているかとか、何年ぐらいの周期で地震が起こるかといったことは分かるが、いつどこで地震が起こるかとなると、回答をだすのは至難になる。

阪神淡路大震災の後、地震調査研究推進本部が設置され、基盤的調査観測網を始めとする観測体制が急速に整備されてきた。観測データが豊富になれば、科学としても急速に進歩する。科学研究が急速に進歩している分野といえば、生命科学を思い起こす人が多いが、地震分野も生命科学に匹敵する勢いで（多少言い過ぎかも知れないが）進歩している。東海地震の警戒区域が変更されたが、これも進歩を反映した結果とも言える。

科学が進歩すれば、それだけ不確実性を小さくすることはできる。しかし、残念ながら完全な予知にはたどり着けない。かならず、不確実性が残ってしまうからである。複雑な現象を対象にする科学の宿命といってもいいだろう。

調査観測網の整備と同時に、全国の主要活断層の調査が行われ、いくつかについて評価結果が公表されている。トレンチ調査によって、いつ頃前回の地震が起こったか、その時の地震の規模などについて調べることはできる。それでも、次にその活断層が動くのは何時かという話には結びつかない。

だから、評価結果は「現在を含めた数百年以内

これまでに発表された活断層の評価

活断層名	予想された地震規模 (マグニチュード)	30年確率 (%)	50年確率 (%)
糸魚川-静岡構造線	8程度	14	23
富士川河口断層帯	8程度	0.20~11	0.37~18
神縄・国府津-松田断層帯	8程度	3.6	6.0
京都盆地-奈良盆地断層帯南部	7.5程度	ほぼ0~5	ほぼ0~10
森本・富樫断層帯	7.2程度	ほぼ0~5	ほぼ0~9
養老-桑名-四日市断層帯	8程度	ほぼ0~0.6	ほぼ0~1
函館平野西線断層帯	7.0~7.5	ほぼ0~1	ほぼ0~2
長野-利府線断層帯	7.0~7.5	1以下	2以下
鈴鹿東線断層帯	7.5程度	0.5以下	0.8以下
生駒断層帯	7.0~7.5	ほぼ0~0.1	ほぼ0~0.2
有馬-高槻断層帯	7.5程度	ほぼ0~0.02	ほぼ0~0.04
北上低地西線断層帯	7.8程度	ほぼ0	ほぼ0
信濃川断層帯	7.5~7.8	ほぼ0	ほぼ0

にマグニチュード8以上の地震が起こる」といった表現になってしまう。しかし、これでは私達の生活の周期とあまりにもかけ離れており、防災対策が必要なのか不要なのかの判断はつかない。最初の評価結果が発表されたとき、分かり難いという批判があったこともうなずける。

同じような悩みをもつのが天気予報である。一般の人からは当てにならない情報の代名詞のようにいわれることがある。過去の経験の積み重ねから予報することもあるが、短期予報についてはコンピューターが使われる。コンピューターによる場合は、大気空間をメッシュに区切り、各点の大気の動きから、将来の動きを予測することになる。

そのメッシュの幅を狭めていけば、計算時間は膨大になるが、予報の精度は上がるはずである。それでも必ず不確実性は残る。しかも、計算時間がかかりすぎれば、現実が予報を追い越してしまうし、コストがかかりすぎるといっても現実的でない。そこで、気象庁は不確実性を残したまま、予報を発表することにした。降水確率である。

地震調査研究推進本部でも、天気予報と同様に不確実性を残したまま社会に伝えることができな

いかと考えた。そこで、30年とか50年という時間を区切り、その間に地震が起こる確率を計算することにした。たとえば、30年以内に糸魚川-静岡構造線が動いて大地震が起こる確率は14%という計算結果になった。もちろん、この数字自体が一定の仮定の上に立っており試算に過ぎないが、それでも調査結果を身近に感じさせるという効果はあった。

身近に感じさせたとはいえ、来るべき地震にどう対処すればいいかということを社会や地方自治体が理解したかという悲観的にならざるを得ない。一般人にとって、確率という概念は極めて難しい。科学技術の専門家ですえ、自分の専門分野では確率という概念を利用するにもかかわらず、専門分野以外では往々にして一般人と同じ反応をする。

30年を超える新聞記者生活を通して、身にしみていることがいくつかある。第一は、現代社会は数字が大好きだが、数字の持つ意味については無頓着なことである。第二は精度とか確度には関係なく数字が一人歩きすることである。第三として確率とかリスクといった概念がほとんど理解されないという事実である。

まず、数字の意味について考えてみたい。普通の人々が放射線を浴びる線量限度（上限値）は一年間に1ミリシーベルトと定められている。原子力施設で軽微な事故などがあると、放射能が漏れて従業員などが被曝することがある。マスコミなどは、わずかな被曝でも大騒ぎになるし、線量限度を越えたりすれば今にも死人がでそうな報道になることが多い。線量限度を決めた際の考え方などは、誰も関心を持たない。

線量限度を決めるには、放射線による発ガンなどの影響には閾値がないことを仮定している。研究のデータをみると少なくとも年間200ミリシーベルトの以下の被曝では、ガン発生の確率は増加しない。しかし、もっと被曝量が高いレベルでは、被曝線量が増加すると発ガン率が増加する。この増加曲線を低レベル被曝まで外挿し、どんなに低いレベルの被曝でも発ガンのリスクが増大すると仮定する。これが閾値の問題である。線量限度の考え方は、閾値がないと仮定すると同時に、こうして計算されるリスクを社会で受け入れられるリスクと同程度低く抑えることと、自然放射線による被曝の世界平均と同じ程度まで低くすることを目標としている。

年間1ミリシーベルト以下という制限にはこのような背景があるから、当然のこととして線量限度を多少超えた被曝は、全く心配する必要がないことになる。逆に200ミリシーベルト以下程度の放射線なら、長時間浴びると免疫機能が高まるとか、リュウマチの症状が緩和されるという報告すらある。人間は長年温泉療法の恩恵に浴してきたことを考えれば、このようなプラス効果の方が説得力に富むと思われるが、1ミリシーベルトという数字の意味が無視されて一人歩きしているのが現状である。社会の中には、これに類する話がいくらかでもあるに違いない。

第二は精度や確度に関係なく数字が一人歩きする話である。現代社会では、土壌などからダイオキシンが検出されると、これも大問題になる。埼玉県の所沢市で農作物からダイオキシンが検出されたと報道され周辺の農家が迷惑したり、母乳に含まれるという調査結果が出て母乳を中止した母

親の話があったりした。小規模のゴミ消却施設は温度が上がらずダイオキシンの生成が多いということで、全国的に焼却施設の入れ替えが起こったことも記憶に新しい。

しかし、ダイオキシンの場合、毒性が強いからppbとかpptという濃度が問題になる。プールの中に角砂糖を一個とか、東京ドーム分の水に一個を溶かしたといったオーダーの濃度である。普通の人なら、こんな微量なものが正確に測れるか疑問を持ってもおかしくない。当然のことながら、サンプルの濃縮などよけいなプロセスが入るため、極めて難しい分析になる。よほどの熟練者でないと精度はでない。事実、同じサンプルを分析して、業者によって三桁も結果が違うという例が報告されている。社会的な問題だけにこれでは困るということになり、ダイオキシンのような微量元素の分析業者について、資格要件を定めた。多分、これからはもう少し精度の高い分析結果が得られるようになる。

ダイオキシンで世の中が大騒ぎした時を振り返ると、まだ資格要件も何もない時代であった。ダイオキシンが検出されたという報道をするなら、誰がどんな方法で分析したかを調べ、信頼できるデータだけを報道すべきであった。しかし、測定して数字が示されれば確度や精度という概念は完全に無視され、数字だけが一人歩きした。

水質の汚濁を防ぐため、河川や湖沼には環境基準が定められ、毎年それぞれについて環境基準が達成されているかを環境省が調べて発表する。私たちは、BODなどの値が基準値より低ければきれいな川、高ければ汚い川と考えがちである。しかし、川の流れにも季節変動や雨の降り方による変動がある。もちろん川の中央と岸寄りでは流れ方も違ってくる。流れ方が違えば、当然のように汚染物質の濃度も違う。そう考えると、測定したときにたまたま基準値以下であっても、普段はもっと汚濁しているかもしれないし、その逆も考えられる。

もし、きれいな川と汚い川を識別しようと考えたら、測定したときに基準値より一桁以上低ければきれいと考えても大きな間違いはないだろう

し、基準より一桁以上高ければ汚いといえるだろう。でも、多くのマスコミを始め、社会は数字が示されれば、それがどういう由緒で出てきた数字かには余り関心を持たない。

1987年の超伝導ブームを覚えている方も多だろう。スイスのチューリッヒにあるIBMの研究所が世の常識を破って、酸化物のセラミックスで超伝導が起こる可能性を示した。これを受けて、東京大学の研究者が超伝導を確認するとともに、従来の定説より遙かに高い臨界温度を持つという研究結果を発表した。ブームの始まりである。それからというもの世界中の研究者が新しい高温超伝導物質の探索に躍起となり、次々と怪しげな結果が発表された。

曰く、「摂氏-150度で電気抵抗が急激に減少し超伝導の兆候を発見した」、「-50度で超伝導を確認」などなどであった。もちろんマスコミもこぞってこれらの研究成果を報道したし、常温超伝導の発見も夢ではないと考える人が増えた。ところが、しばらくすると測定の際に使う不活性ガス中に水分があるとその水がサンプルと電極の間で電池を作ってしまう、見かけ上電気抵抗が減少したような結果になるという研究が発表された。超伝導の兆候という研究成果はすべて無意味な研究だったということになった。

この例などは、一般社会のみならず、専門家ですら数字が出ると、何を計測しているかという数字の裏の意味を振り返らず、数字が一人歩きしてしまうことを示している。社会は数字の意味とか、精度や有効数字という概念は苦手と考えざるを得ない。

社会が苦手とするもう一つは、活断層調査で採用した確率という概念である。日本では毎年約1万人が交通事故で亡くなっている。このことから、ある人がある年に交通事故で死亡する確率を計算することができる。日本の人口を約1億人とすると、そのうちの1万人が毎年交通事故死するから比率は1/10000である。これを%で表すと、0.01%ということになる。

一方日本の原子力発電所がチェルノブイリクラスの大事故を起こすのは100万年に一回程度とい

われている（国際的にみると、1万年に1回程度が目標になっている）。ある年にある日本の原発が重大事故を起こす確率は0.0001%になる。これらの数字と静岡-糸魚川構造線で大きな地震が起こる可能性を比べてみたらどうだろう。この地域で大地震が起こる確率の方が圧倒的に高い。

ふつうの親は子供に対し、交通事故に気をつけるよう教育することを考えると、交通事故の怖さは十分に認識している。とはいえ、家の周辺に新しい道路ができる場合に、怖いから反対という人は多くない。反対運動が起きても環境問題や利害関係が原因となる。しかし、近くに原発ができるとなると、多くの人々が本当に大丈夫か心配するし、相当の反対運動が起こる。原発立地は地域の首長選挙の争点になる。

地震はどうだろう。阪神淡路大震災で地震の怖さを実感した人も多いが、それでも地震対策はなかなか進まないのが実情である。地方選挙で防災対策が争点になったという話もあり聞かない。静岡-糸魚川構造線の14%という数字が計算されたとき、この数字を人々がどう受け止めるか議論になった。人々が普段から確率に接するのが降水確率である。ある日の降水確率が20%といわれたら人々は傘を持つだろうかという話になった。多分、傘を持つ人は少ないだろう。14%という数字を発表すれば、防災対策をしなくていいというメッセージになりはしないかという心配する人が多かった。

詳しい数字は失念したが、阪神淡路大震災の前に、あの断層の30年確率を計算すると5%程度という結果になったという。地震前にこれを発表していても、防災対策が進んだとは考えにくい。事実、ある学者グループが、兵庫県に対し、あの地域で地震の起こる可能性が高いことを指摘していたという話を聞いた。それでも、地元の方々は地震の危険性が高いことは考えなかったし、特別な防災対策もとられなかった。

このようにみえてくると、原発、交通事故、地震の中で、人々にとって一番怖いのが原発で、次が交通事故、最後が地震ということになる。皮肉な見方をすれば、社会の人々は確率が低い事象ほど

怖いということにもなりかねない。いかに、確率という概念を人々が理解しないか、驚くほどである。

さらに、確率という概念の難しさは、たとえば事故確率が0.01%と0.001%では何が違うのか不明確な点である。両方とも十分に小さな数字だから、そんな現象は起こらないと割り切ってしまうこともできる。しかし、割り切ってしまうと、確率的な安全管理そのものが無意味になってしまう。事実、その後には発表された活断層の評価結果では、この種の十分に小さな数字が多い。だからといって、防災対策をないがしろにしていいということにはならないだろう。0.01%の地域では防災対策が必要だが、0.001%のところは不要かという話でもない。

同様なことが原発にもいえる。資金を限りなくつき込めば過酷事故が起こる確率をいくらでも小さくできるはずである。日本の原発はコストが高いといわれるが、安全対策にお金をかけているからである。国際的には、過酷事故の発生確率が日本より2桁高い状態を安全目標としている。安全対策にお金をかけ過ぎれば、値段の高い電気になってしまい経済的に成り立たない。

ここまで考えると、どの程度安全であれば十分に安全かという問題に突き当たる。活断層調査の結果を見て、防災対策にどの程度のお金をかけるかという判断と同じである。これは、もはや政治的な命題であり、科学の対象ではない。そうになると、科学と政治の間を結ぶ架け橋のような存在が必要になる。また、その判断は、時代によって大きく変化するものだろう。もちろん、地域によっても違って来る。時代の変化を科学や技術にフィードバックする意味でも架け橋が重要になる。

科学は予知・予測の学問という言い方もできる。再現性があるということは、何が起きるか完全に予知できることを意味する。最初に述べたように、かつては完全に予知できる問題だけが科学の対象であった。しかし、好むと好まざるによらず、科学の対象は個別的で複雑な問題に広がってきた。それでも、科学である限りは、予知や予測

をしなければならない。当然、不確実性が残る。地震の研究はその宿命を負っている。

不確実な問題の予測結果をどう表現するかが大きな課題になる。現代科学は対象を細分化することで進化してきた。だから、生命の研究では、遺伝の仕組みであるDNAの働きや構造まで理解が進んだ。でも、DNAが解明されても、生命とは何か、生きていることとはどういうことかは分からない。細分化が進んでも、なかなか全体の理解には至らない。全体を理解できないから、全体を表現する能力を持っていない。不確実な問題を表現するのは、全体を表現することと共通点が多いのかもしれない。

どの程度安全なら十分安全と考えるかは、政治の課題だとおぼた。かつては、一部の限られた政治集団がその判断をすれば、一般の人々はその判断に従った。政治集団だけが、科学の成果を認識していればすんだ。ところが、成熟社会になると事情は異なってくる。政治を一般に開放する欲求が高まり、政治の情報公開を求める声も大きくなる。各種のNGOや市民活動が政治の舞台上がってくるようになる。

確率が理解されにくいとはいえ、現在のところは不確実な問題を表現する唯一の方法が確率なのかもしれない。そうだとすれば、理解されにくいからといって、手をこまねいているわけにはいかない。というよりも、数字の意味や数字の精度・確度など、これまでの社会が苦手としてきたことを克服する努力が必要になる。

成熟社会で数字の意味などが無視され続ければ、様々な数字が社会の中を亡霊のようにさまよって人々を惑わすことになる。惑わされれば、人々は不安になり、大騒ぎをし、騒ぎを静めるために膨大なコストがかかる。確率を全く無視する社会で情報公開が進めば、人々は際限なく安全を求め、無意味なまでに事故確率の低下を要求する。これにも莫大なコストがかかってしまう。社会の苦手を克服しなければ極めてコスト高の社会になり、そういう社会はコストに押しつぶされて滅んでしまうかもしれない。

21世紀の世界を考えたとき、いち早く社会の苦

手を克服した国が世界のリーダーになると言っても過言ではないような気がする。最近では知的基盤という言葉がよく使われ、多くの場合データベースとか標準などを意味する。しかし、科学的・合理的議論ができるような社会的基盤、つまり数字

の意味などを十分理解しようとする人々を作ることこそ、本当の意味での社会の知的基盤ではないだろうか。日本にとって、本当の意味での社会の知的基盤を作ることが重要だと考える。

地震数え唄

田中館愛橋作（作成年月不明）

- 一ツトヤー 人の心を練る地震 練る地震
科学に磨きをかける地震 かける地震
- 二ツトヤー 不意に寄せ来る地震でも 地震でも
豫ての備えにゃかなわない かなわない
- 三ツトヤー 見事に押さえた 大地震 大地震
先ず火を揉み消し次に人 次に人
- 四ツトヤー 世にも恐ろしい地震火事 地震火事
火事さえ出さねば甘いもの 甘いもの
- 五ツトヤー 家をば筋違方杖や 方杖や
鉄物火打で補強する 補強する
- 六ツトヤー むつかし地震を無くするは 無くするは
震災だけなら止められる 止められる
- 七ツトヤー 何より大事は協力を 協力を
一致がなければ防がれぬ 防がれぬ
- 八ツトヤー 大和島根は地震国 地震国
地震の調べは世界一 世界一
- 九ツトヤー ここの所は間近しと 間近しと
大方わかる大地震 大地震
- 十ツトヤー 遠つみ親の地震記事 地震記事
世にも優れた地震記事 地震記事

『田中館愛橋会報 第28号』より

田中館愛橋（たなかだて あいきつ；1856～1952）

岩手県に生まれ、1882年東京大学理学部物理学科卒業、翌年理学部助教授。89年グラスゴー大学に留学し、91年帰国して教授となり、1917年退職。初期の業績としては重力・地磁気測定があり、震災予防調査会、測地学委員会、航空研究所などでも貢献するところが多い。日本地球電気磁気学会（現地球電気磁気・地球惑星圏学会）は彼の業績にちなんで、1948年以来田中館賞を設けている。（平凡社「新版地学事典」より引用）

力武先生と地震数え唄

地球電気磁気・地球惑星圏学会に田中館賞とよばれる学会賞があります。もちろん田中館愛橋先生の地磁気測定等のご業績にちなんで創設された賞です。当時の学会名は日本地球電気磁気学会であり、田中館愛橋先生は長岡半太郎先生とともに、1948年に最初の名誉会員に推薦されています。実は、この荣誉ある田中館賞の第1号受賞者が私の恩師の力武常次先生なのです。田中館賞には副賞としてメダルが与えられます。そこには、受賞年月と受賞者名が刻まれています。当然ながら力武先生のメダルは第1回と明記されていますので、田中館賞の中でも格別なものなのです。裏には、田中館先生の肖像が彫られています。

昨年のある日、桜上水の力武先生のお宅にお邪魔した際、先生から“このメダルは第1号という由緒あるものなので、何か学会のためにでも役立ててもらえないか”とのご依頼を受けました。とっさに、「そうだ、岩手県二戸市にある田中館愛橋記念科学館にお願いし、できれば展示して頂いてはどうだろう」と考えました。そこで、昨年の11月、はや雪に覆われた二戸を訪れることになったわけです。二戸市長さんを始め、記念科学館の皆さま、田中館賞メダルには大変驚かれたようでしたが、力武先生からのご寄贈を快くお受け下さいました。

この記念科学館には田中館愛橋先生に関する膨大な資料が集められています。もちろん、立派な展示室もあります。また田中館愛橋会も活発に活動されており、会報が発行されています。私が訪問した際に最近の会報を頂いたのですが、それを力武先生にお送りしたところ、第28号（平成13年2月20日発行）の中にこの“地震数え唄”を見つけられたというわけです。ただ残念なことに、この数え唄がいつ作られたのかは田中館愛橋会事務局でもわからないそうです。

力武常次先生の田中館賞メダルと、田中館愛橋先生の“地震数え唄”とのご縁は、こうしてできたのです。

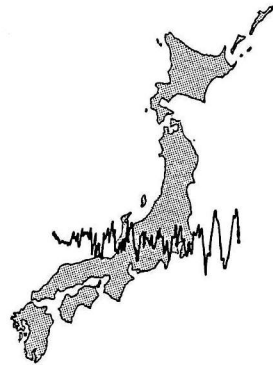
（東京工業大学理工学研究科 本蔵義守）

地震いろは歌留多

力武常次作（2002年3月）

い いつも用心 地震の 不意討ち
ろ ロス周辺 断層ばかりで 地震が^{こわ}恐い
は 判定会 東海地震を 予知してね
に 日本列島 地震の 本場
ほ ほんとかね 高い確率 南海地震
へ 平和でも 地震の危険 無視できぬ
と 東京圏 直下地震が 恐ろしい
ち 地殻の歪みが 地震の 元凶
り リスクでも 最大なのは 地震災害
ぬ ぬるぬると 地殻が^{すべ}滑る ゆっくり地震
る 類の無い 地震国だよ 日本は^{にっぽん}
を 鬼も^{こわ} 恐がる 大地震
わ 忘れるな 阪神・淡路 大震災
か 関西の 地震危険度 低くない
よ 予知すれば 被害減らせる 大地震
た 大変だ 地震に続く 大津波
れ 連動か 東海・南海 大地震
そ そろそろ 危険か 南海トラフ
つ 津波だ 逃げろ 高台へ
ね 念には念を 地震の 備え
な ナマズ君 ほんとに地震 予知するの
ら 乱世に 地震多しと 人は言う
む^{むずか} 難しい震源過程は 非線形
う^{うらな} 占いを 科学に転化 地震予知
ゐ 居酒屋で はずむ談義は 地震予知
の^{のが} 逃れえぬ 巨大地震の 襲来間近か
お 恐ろしい 近代都市の 大震災

く^{くや} 悔しいが 直前予知は まだ出来ぬ
や やるべきだ 地震対策 強力に
ま マントルも 地殻も^{こわ}壊す 大地震
け 堅実な 進歩続ける 地震学
ふ 富士山の 直下地震は 低周波
こ こん畜生 地震の予知は まだ出来ぬ
え^{なだ} 遠州灘 巨大地震が 起こるかも
て 天災が 人災化する 大地震
あ アナトリア（トルコ）断層に住む^{たみあわ} 民憐れ
さ サンフラン シスコも危ない 活断層
き 京都でも 地震確率 低くない
ゆ ゆさゆさと 海溝地震は 長周期
め 明快な 解説欲しい 地震説
み みんなで 防ごう 地震災害
し 震源を すぐに発表 気象庁
糸 縁切れぬ 地震・火山の 結びつき
ひ 飛驒山地 活断層が あまたあり
も モーメント 地震の強さ よく示す
せ 千年に 一度動くか 活断層
す 進んでる 地震学でも 予知はまだ



建築物の耐震診断・耐震補強

岡田恒男

1. はじめに

1995年阪神・淡路大震災以降、既存構造物の耐震診断・耐震補強の必要性が強く認識されるようになり、建築物、橋梁などの耐震補強も進められるようになった。本稿では、建築物に限定して耐震診断・耐震補強の必要性などに関して、その歴史も含めて若干の解説を試みるものである。

2. 建築物の地震被害と耐震化の歴史

建築物の地震被害と耐震化の歴史をおおまかに3期に分類したのが表1である。

地震被害と耐震化の歴史は、Non-Engineered Building、すなわち、耐震設計されていない建築物の地震被害から始まる。これを防ぐための対策として耐震設計基準が導入される。第一期の始まりである。一般に、この時期の耐震設計法は不十分なので、耐震設計がなされていても被害が生じる建物がある。耐震設計が不十分な建物 (Insufficiently Engineered Building) の地震被害である。これらの地震被害の教訓を受けて耐震設計基準が改正され、同時に、旧基準で設計された建物 (既存不適格建物) の耐震診断・耐震補強が行われは

表1 建築物の地震被害と耐震化の歴史

Non-Engineered Buildings の地震被害
第一期：⇒耐震設計基準の導入
Insufficiently Engineered Buildings の地震被害
第二期：⇒耐震設計基準の改正
⇒耐震診断・耐震補強の促進
Engineered Buildings の地震による機能障害
第三期：⇒Performance-based-Engineering の耐震設計基準への導入

じめるのが第二期である。この時期の建物の耐震性能はかなり改善されており、崩壊、倒壊する建物は稀であるが、機能障害を起こす建物は多い。

社会が成熟してくると、耐震設計に対する期待あるいは要求も高くなり、地震動の大きさと建物に要求される地震時の性能との関係を考えて耐震設計法が求められるようになる。Performance-based-Engineering すなわち、性能工学を耐震設計へ導入する第三期である。

我が国の第一期は関東地震の翌年の1924年、米国カリフォルニアでは1933年、他の地震国で

表2 日本の耐震設計基準の変遷

1891 (濃尾地震)	
1923 (関東大震災)	
1924 K=0.1 設計用水平震度	(第一期)
許容応力度法	(許容応力度=材料強度の1/2)
建物を剛にする	
1950 K=0.2 設計用水平震度	
許容応力度法	(許容応力度=ほぼ、材料強度)
1964 (新潟地震)	
1968 (十勝沖地震)	(終局強度と靱性考慮の必要性が認識された)
1971 建築基準法施行令改正	(帯筋間隔規定強化—靱性考慮)
1977 既存鉄筋コンクリート造建築物	
耐震診断基準・改修設計指針	
1978 (宮城県沖地震)	
1981 建築基準法・施行令改正	(第二期)
(新耐震設計法：終局強度・靱性設計)	
CB=Co×Ds	
CB：保有水平耐力 (せん断力係数)	
Co：設計用せん断力係数スペクトル	
(ピーク値1.0以上)	
Ds：靱性による低減係数	
(RC：0.3以上，S：0.25以上)	
1995 (兵庫県南部地震)	
1995 耐震改修の促進に関する法律	
(既存不適格建物)	
1998 建築基準法・施行令改正	(第三期)
(性能設計：損傷限界，安全限界)	

は1940年代以降であるが、世界の地震国のなかには未だに耐震設計基準のない、すなわち、第一期にも入っていない国もある。また、第二期は日本では1981年、米国では1988年、最近、地震被害を受けたトルコ共和国、台湾などでは1990年代後半である。

表2は、日本の耐震設計の歴史の概略を示したものである。

1981年濃尾地震をきっかけとして開始された耐震工学の研究成果をうけて建物の耐震設計法が1923年関東大震災の翌年に市街地建築物法に取り入れられた。静的震度法に基づく許容応力度設計法である。この耐震設計法は、1950年に制定された建築基準法に若干の修正を経て採用され、1924年基準の適用が市街地の建物に限定されていたのに対して、全国の建物に適用されることとなった。

1960年代にはいわゆる建設ブームに乗ってこの耐震設計法により全国的に近代的な建物が建設されていたが、一方で、1964年新潟地震、1968年十勝沖地震などでは耐震設計された新しい建物にも被害が生じるものがあった。これらの被害原因が調査された結果、建物の終局強度と靱性を考慮した耐震設計法が必要であること、ならびに、それまで建設された建物は一般的に靱性が不足していることが判明した。このため、1971年には鉄筋コンクリート柱の帯筋の最小間隔の規定を強化するなど建築基準法施行令が改正された。

更に、1981年には、終局強度および靱性ならびに非線形地震応答を考慮した耐震設計法、いわゆる、新耐震設計法が建築基準法施行令に取り入れられ、耐震設計のレベルは一段と向上することとなった。耐震化の歴史の第二期の開始である。

同時に、それまで既に建設されていた第一期の建物の耐震性向上の対策が必要となり、既存建物の耐震診断法の開発ならびに耐震補強工法の技術開発が開始され、1977年には耐震診断基準ならびに耐震改修指針¹⁾が日本特殊建築安全センター(現、日本建築防災協会)より発行された。

第一期の建物の耐震診断・耐震補強が必要であることは、この時期以降に生じた地震、例えば、

表3 何故、耐震診断・耐震補強が普及しなかったのか？(1995 岡田)

-
- ・耐震改修は、所有者、設計者、施工者、研究者、行政担当者、政治家などにとって改築・新築に比べて魅力的ではない。
 - ・大地震の再現期間は長いので、所有者は耐震改修に投資することを躊躇しがちである。
 - ・耐震改修は新築より手間がかかるので、設計者、施工者にとって厄介な仕事であるが、その割には儲けが少ない。
 - ・日本の建築基準は遡及しないので、耐震改修は法的強制力がない。
-

1978年伊豆大島近海の地震、1978年宮城県沖地震、1983年日本海中部地震、1987年千葉県東方沖地震、1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震などでの建物の被害を見ても明らかであった。地震で被害を受けた建物を、もし事前に耐震診断していれば耐震性能が不足していることが明らかになっていたであろうし、更に、耐震補強が行われていれば被害を防ぐことが出来ていたであろうことが度々指摘されていた。

しかしながら、既存不適格建物の対策は遅々として進まなかった。既存建物の耐震診断・耐震補強が開始されていたのは、地域としては東海地震を想定して強化地域に指定されている静岡県を中心とする東海地方、関東の一部に限られ、建物の種別としては、学校建築を主とする公共建築で、全国的には普及していないこと、ならびに、民間建物に普及していないことが危惧されていた。

何故、耐震診断・補強・改修が普及しなかったのだろうか。理由を推測し列挙したのが表3である。一見もっともそうな理由であるが、耐震診断・耐震補強をしない、あるいは、したくないための言い訳にすぎなかったといっても過言ではあるまい。

3. 阪神・淡路大震災の教訓

1995年兵庫県南部地震による災害は前記の言い訳を一蹴するに十分すぎるものであったと言える。大被害を受けた建物のほとんどが第一期に建設されたものであることが各方面の調査により明らかにされた。

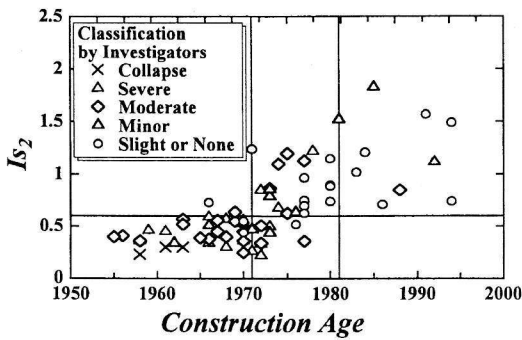


図1 学校校舎の構造耐震指標と建設年代との関係²⁾

図1は、被災地の鉄筋コンクリート造学校校舎105棟について耐震診断を行い、文献1)の第二次診断法により求められる構造耐震指標 Is_2 と建設年代との関係を、被害程度をパラメーターとして示したものである²⁾。構造耐震指標 Is_2 は耐震性能を表す指標で、数値が大きいほど耐震性能が高いとされる。

同図より、建設年代が新しくなるほど耐震性能が改善されており、同時に被害の程度が少なくなることが分かる。このような傾向は、程度の差こそあれ、学校校舎以外の鉄筋コンクリート造建物の調査からも明らかにされている。木造住宅についても、古い住宅の被害率が高かったことは鉄筋コンクリート建物と同様で、耐震性能の定量的な調査はなされていないが、老朽化による耐震性能の低下を考えれば、定性的には同様の傾向にあったものと推定される。

従って、地震以前にこれらの建物の耐震診断が行われ、必要に応じて耐震補強、あるいは、建て替えなどの対策が行われていたならば被害は相当程度軽減されていたであろうことは容易に想像できた。阪神・淡路大震災の大きな教訓の一つである。

4. 阪神・淡路大震災後の耐震診断・耐震補強の状況

前節に述べた阪神・淡路大震災の教訓を得て、耐震診断・耐震補強は地震対策の大きな柱の一つとして促進されることとなった。

表4 耐震診断・耐震補強の動き
(1995年阪神・淡路大震災直後)

阪神・淡路大震災	(1月)
耐震改修促進に関する住宅局長通達	(3月)
日本建築学会学校建築委員会報告	(3月)
既存建築物耐震診断・耐震改修等推進 全国ネットワーク委員会	(4月)
地震防災対策特別措置法	(6月)
日本建築学会提言(耐震改修の促進)	(7月)
地震防災緊急事業5カ年計画一文部省告示	(7月)
防災基本計画改訂	(7月)
建築物の耐震改修促進法施行	(12月)

表4は、阪神・淡路大震災の年、すなわち、1995年に開始された種々の施策などを示したものである。

国においては、同年3月の耐震改修の促進の必要性を述べた建設省(現、国土交通省)住宅局長通達を皮切りに種々の施策が開始され、12月には建築物の耐震改修の促進に関する法律が施行された。この法律は、学校、病院、百貨店、事務所建築など不特定多数が利用する一定規模以上の建築物(特定建築物)の所有者、管理者に耐震診断・耐震改修の努力義務を課すものである。

また、地震防災対策特別措置法も6月に成立し、この特別措置法を受けて、例えば、公立学校などについては地震防災緊急事業5カ年計画が文部省(現、文部科学省)にて開始され、それまでは東海地震対策のための強化地域に限られていた耐震補強の補助が全国に適用されることとなった。

更に、建築関係の学協会、団体の協同により既存建築物耐震診断・耐震改修等推進全国ネットワーク委員会(委員長:筆者)が組織され、耐震診断・耐震補強の啓発、技術者の育成、耐震判定委員会の運営などが開始された。

このように、1970年代から開始されてはいたが、その歩みの遅かった既存建物の耐震診断・耐震補強は阪神・淡路大震災の教訓を受けて急速に進むこととなった。阪神・淡路大震災から7年が経過した現在、どの程度この対策が進行したかの全容をつかむのは困難であるが、対策が必要な建物の全数ならびに対策が完了した建物数の推定を

してみよう。

まず、診断対象建物全数であるが、阪神・淡路大震災直後、木造住宅 1,400 万等、いわゆるビル建築 230 万等と推定された（十亀彬 1995）。国土交通省の最近の調査（2000）によれば、耐震改修促進法が対象とする特定建築物ならびにこれに準じる建築物は、公共建築で約 20 万棟である。民間建築物はその数の把握が困難であるが、所管行政庁の報告による建物数は約 50 万等となっている。

これらの建物のうち、耐震診断が終わっているものは、公共建築で特定建築物で約 30%、特定建築に準じる建築物で約 10% で、民間建築物は 4% 程度である。それらのうち約半分は補強、建て替えなどが必要な建物であるが、それらの対策が完了した建物は更に半分程度である（国土交通省 2000）。

住宅、特に、木造住宅については、実情が把握しにくい、なかなか進んでいないのが現状である。阪神・淡路大震災での被害が甚大であったことを考慮して、最近、多くの自治体で地震対策の重点施策の一つとしてとりあげられるようになってきた。耐震診断・耐震補強が進まないのには、費用がネックになっていることも事実であるが、最近、無料の耐震診断を行う自治体が増えてきたことは望ましいことである。更に、一部の自治体では耐震補強の費用の一部を補助する施策も行われるようになった。このような動きに連動して、2002 年度、国土交通省は住宅の耐震改修に対する支援措置を創設した。密集住宅市街地整備に関連した地区の住宅などの制約はあるが、震災時に住宅の倒壊により道路閉鎖が生じ、避難・消火活動などが困難になることを未然に防止するために、

事前の予防策として耐震改修費用の一部を補助しようとするものである。自治体が同様の制度を作ることも前提となっており、自治体からの補助と併せて住宅の耐震改修の促進に寄与することを期待したい。

5. む す び

建築物の耐震診断・耐震補強の現状を解説した。本文中にも述べたように、今、我が国の地震対策で一番遅れているものの一つは、あるいは、最も急がれているものの一つは古い耐震基準で設計、建設された建物の耐震診断と耐震補強である。

これらを促進するためには、耐震診断・耐震補強に関する啓発活動を通じて、表 3 に示した所有者、設計者、施工者、研究者、行政担当者、政治家の理解を得ること、耐震診断・耐震補強に携わる技術者の質を向上し数を確保すること、耐震診断・耐震補強を地域防災計画の重点項目とし予算を確保すること、信頼性の高い耐震補強方法を開発すること、などが必要であることを記して終わりにしたい。

参 考 文 献

- 1) 日本建築防災協会, 1977, 1990 (改), 2001 (改), 「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修指針・同解説」, 日本建築防災協会.
- 2) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会, 1997, 「阪神・淡路大震災調査報告書—建築編—1 鉄筋コンクリート造建築物」日本建築学会, 地盤工学会, 土木学会, 日本機械学会, 日本地震学会.

戸建て住宅の免震設計の考え方と実際

石丸辰治

1. はじめに

日本における2001年12月現在までの免震構造物の申請総数は約1,450棟で、日本建築センターで処理されたのは約1,000棟である。一方、旧建築基準法の38条により一般認定をうけ、自治体の建築主事の建築確認という形を介して、戸建て免震住宅が申請されたのは最近の1年半で450棟に達している。このように急激に個人住宅の免震は普及し始めているが、これは或る企業の将来20年中に地震災害を受けた場合の保証契約の内容に依存している面が大きく、一般社会に広く免震の考え方が普及しているわけではないようである。こうしたことから、建築技術者が従来の耐震設計と免震設計の考え方の違いを、一般の方々に分かりやすく説明することが強く要請されているといえよう。本稿はそうした背景から、免震・制震の普及啓蒙のために行われている簡単な言葉による設計の考え方の説明方法例や実際のデバイスなどについて紹介したものである。

2. 免震設計の考え方の説明について

一般の方々は、地震に対する構造物の性能は、「構造物強度」と「震度階の大きさ」との関係でしか考えられない状況にあるといっても良い。ところが免震の場合には、固有周期の概念と応答スペクトルとの関係が重要になってくるので、この説明責任の壁をどのように乗り越えるのが建築技術者のひと苦労になっている。つまり、免震や制震などの技術により地震に対処するという意味での「対震性能」は、構造物の「強さ」だけでなく、それによって生じる「応答変形」との関係、つま

り「変形エネルギー」を処理する方法として説明、かつ、これが地震動の強さとしての「震度階」とどのように関わっているのかを説明しなければならないことである。震度階は地震動の加速度の大きさを基本として決められているので、多くの技術者は加速度応答スペクトルで説明せざるを得ず、これがかなり困難で、また誤解が入り込む余地が大きいのである。

こうした状況から、「震度階」に周期の概念を導入して、再構築して頂ければというのが地震工学研究者への免震・制震技術者としてのお願である。

下記は筆者の素人向けの免震・制震の説明方法である。

最初に、建築構造物の設計は、強度の設計だけではなく、変形エネルギーにどのように対処するかという点に絞って説明することになっている。ただ、変形エネルギーをジュールで説明すると、とんでもない方向に進むので、人間の生体的消費エネルギー「カロリー」で説明するのである。すなわち「 $1 \text{ tonf} \cdot \text{m} = 9.8 \text{ kN} \cdot \text{m} = 2.34 \text{ kcal}$ 」の換算値を用いるのである。ここでは簡単に $1 \text{ [kcal]} \equiv 4 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$ として「熱量」を構造物に作用する「振動エネルギー」に置き換えて説明すれば下記のようなになる。

我々が一日に消費する生体的消費エネルギーは平均2,500 kcal程度である。いま、延べ面積100 m^2 の小住宅を対象として、その平均的重量として5.0 kN/m^2 と考えるとすれば、建物重量は500 kN である。いま、大地震動によりこの建物に2Gの作用加速度相当の1,000 kN が加わり、20 cm変形したとして、単純に「変形エネルギー=0.5×作

「力×変形」の値を求めると「 $0.5 \cdot 1,000 \text{ kN} \cdot 0.2 \text{ m} = 100 \text{ kN} \cdot \text{m} \approx 25 \text{ kcal}$ 」であり、成人1人が消費する生体的エネルギーの1%でしかない。同様にして、0.2Gの作用加速度相当の100kNが加わり、200cm変形したとしても、変形エネルギーは同じである。こんなエネルギーでも上記のような力と変形の大きさを考慮すれば、通常の建物は大崩壊するような値である。しかし、一般の方々の反応は、この程度のカロリーで建物が壊れるはずがないと主張されるのはいうまでもない。

この反応で、初めて一般の方々に周期の概念が伝達できる状況が生まれることになる。

すなわち、我々はこの生体的エネルギーを24時間、86,400秒（=24[時間]×60[分]×60[秒]）で消費していることを指摘するとともに、上記のエネルギーが建物にどの程度の時間で投入されるのかを説明できるからである。

通常の小住宅の固有周期は概算0.2秒から0.6秒程度である。例えば、25kcalが投入されている構造物の周期が0.4秒だとすれば、振動エネルギーがゼロから25kcalに達するのはその周期の1/4である0.1秒でしかない。もし、周期4秒ならば、最大エネルギーに到達するに要する時間は1秒である。このことは、成人1人の生体的消費エネルギーの1%である25kcalの振動エネルギーを処理するためには、構造物の周期が4秒ならば、構造物の性能は $86,400 \times 0.01 = 864$ 人のパワーを処理できるシステムでなければならず、周期が0.4秒ならば $10 \times 864 = 8,640$ 人のパワーが結集されたシステムでなければならないことを意味していると説明できるのである。残る問題はそのパワーが何回繰り返されるかということであるが、詳しい説明は省略し、構造システムの処理能力が10回分か100回分かにより性能やシステムのメンテナンスの考え方が異なるということに止めている。

以上のことを纏めて、免震・制震設計として配慮すべき項目を次のようになることを理解していただくように努めている。

1. 大地震時の小住宅の振動エネルギーは生体的消費カロリーと比べてもその1%相当程度の

ものが数波続くものでしかないので、これを何らかの手段により熱に変換して捨て去れば、すなわちダンパーを設置することで建物の主体部材である「柱・梁・壁」などが負担しなければならない変形エネルギーが小さくなり、損傷を蒙る確率を小さくすることができる。

2. 振動エネルギーを熱に変換する許容時間が長いほど、簡単なシステムになる可能性が高い。したがって、構造物の固有周期を長く伸ばす装置を設置できれば、エネルギー吸収効率をより高めることが可能となる。
3. もし振動エネルギーが同一ならば、基本的には「力×変形」がエネルギー量であるから、許容変形を大きく取れる装置を設置することで構造物への作用力を小さくすることができる。
4. 振動エネルギーは地震動と構造物との動的現象の結果として誘起されるものであるから、地震動の特性（周期と振幅）を把握しておく必要がある。

この準備により、ようやく応答スペクトルの概念を説明できる状態になるわけである。

3. スペクトルに対する認識

現在、住宅免震を望んでおられる方々は、もちろん地震動に対して無損傷な構造物であるが、これは一種の神話であり、免震構造物にも性能の差があることを説明する責任が構造設計者にあることはいうまでもない。一般に免震の性能は免震層の変形能力に依存しているが、これをどのように説明するかが重要である。

しかし地震動の強さについては、一般の方々の認識は「震度階」のみであり、その意識改革を図るために次のような説明を行っている。すなわち、地震動の激しさを、トリバタイトの応答スペクトルにより加速度、速度、変形の3者の関係を一緒に表す方法があることを説明するのである。ただし、一般の方々に分かっただけのように、ボクシングに擬えてパンチ力を加速度に、パ

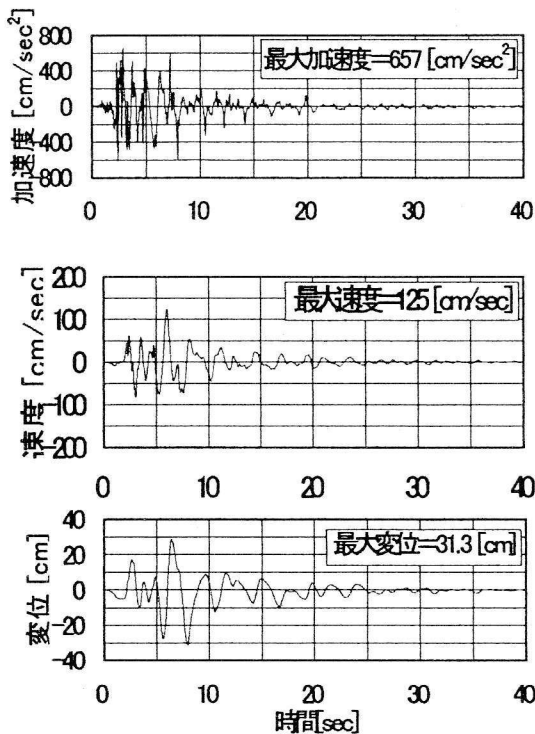


図1 1995年兵庫県南部地震におけるJR 鷹取 (E-W) の地震波形

パンチのスピードを応答速度に、リーチの長さを応答変位として説明している。

そのスペクトルの構成であるが、図1に1995年兵庫県南部地震におけるJR 鷹取での記録の波形 (E-W 成分) が載せてある。加速度記録を積分して、速度波形及び変位波形を作成したのも一緒に描いてある (周期12秒、粘性減衰定数 $1/\sqrt{2}$ のハイパスフィルターを介して求めている)。いま、 h を粘性減衰定数とすると1質点-ばね系に正弦波が入力した時、共振周期における系の共振倍率は $1/(2h)$ であり、0.5の場合に共振倍率が1倍となる。したがって、この時の応答値は入力正弦波の振幅の大きさそのものを表現している。

地震波の場合には正弦波のようにきれいな波形ではなく、工学的には1倍になる時の粘性減衰定数は約40%程度と判断できる。そこで $h=0.4$ に対する応答値を、「最大応答変形にその系の円振動数を乗じた擬似速度」の形で表示したのが図2である。ここでは「擬似速度応答スペクトル

$pS_{V,40}$ 」と称することにする。図中には地震動の加速度、速度、変位の各波形の最大値 (ピーク値) で構成される台形のピーク・パラメータ・スペクトルも示してあるが、 $pS_{V,40}$ とよく一致しており、地震動が持っているパワーの表現のひとつになっているといえる。

こうしたことから、一般の方々には、次のような説明をしている。例えば、構造物の周期が図中の「1」と「2」とする。両者の擬似速度のレベルが同一、すなわちパンチのスピードは同一であるから、構造物の質量が同一であるならばそれぞれに入射されるエネルギーは速度の自乗に比例するから同一である。ところが、エネルギーの大きさが同じでも、周期「1」と「2」の構造物への入力の挙動は全く異なることになることを理解して頂くのである。「1」の構造物の場合は、パンチ力が大きくリーチの長さが小さいので、小刻みに強い力で叩かれ、「2」の構造物の場合には、パンチ力は小さいけれどリーチの長さは大きいので、力は弱いけれども遠いところから繰り返し拳が飛んでくるようなものであり、構造物の周期によって地震動の構造物への作用が異なってくることを説明するのである。

免震構造物の大地震時における実効周期はおおよそ2.5秒から4.0秒程度で設計されているが、このようなやや長周期における地震動の破壊力のイメージが一般社会では定着しておらず、免震構造にすれば、必ず、地震の恐怖から逃れられるという神話が行き渡っていることに大きな危惧を抱いているのは筆者ばかりではないだろう。

図3は兵庫県南部地震における各地の地震動のピークパラメータのスペクトルである。図中の C_4 から C_1 と書いてあるのは日本建築センターで地震動の破壊力の大きさを表す一つの指標として利用している地震動の 카테고리概念である。採用された設計用入力地震動の $pS_{V,40}$ スペクトルを描き、設計免震構造物の実効周期との交点がどのカテゴリに属しているかを認識するために導入したものである。カテゴリ C_4 は $1,000 \text{ cm/s}^2$, 100 cm/s , 60 cm 以上の領域であり、意識的には震度7相当である。次のカテゴリ C_3 は上記の値と

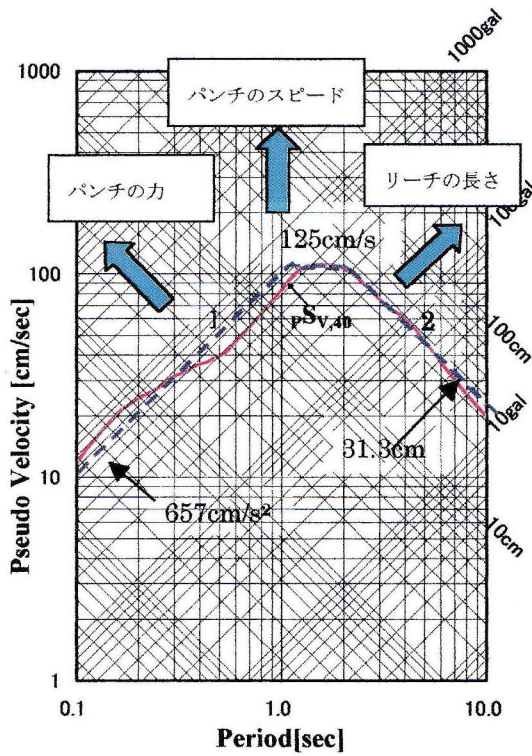


図2 図1に対する擬似速度応答スペクトル pSv_{40}

700 cm/s², 70 cm/s, 30 cm との間の区間であり、
 カテゴリー C₂は上記と 400 cm/s², 40 cm/s, 15
 cm との区間で、カテゴリー C₁は上記の値以
 下かつ速度で 20 cm/s 以上の区間としている。勿
 論、カテゴリー表記は震度階に対応したものでは
 ないが、各地の記録波のピークパラメータによる
 スペクトルと比較するとその破壊力がイメージで
 けるのではないかと考えている。いずれにしろ、
 戸建て住宅の免震構造物の普及にともなって、一
 般の方々にも地震動のやや長周期帯の破壊力に対
 する認識を深める必要があり、周期の概念も含め
 た震度階に相当するものを創設して頂きたいもの
 である。

4. 小規模建物の免震構造物の実際

既に知られているように、鉄筋コンクリート構
 造物の共同住宅やオフィスビルの免震構造は一般
 に「積層ゴム支承」と「弾塑性ダンパー」や「オ
 イルダンパー」などの減衰材料が使用されてい

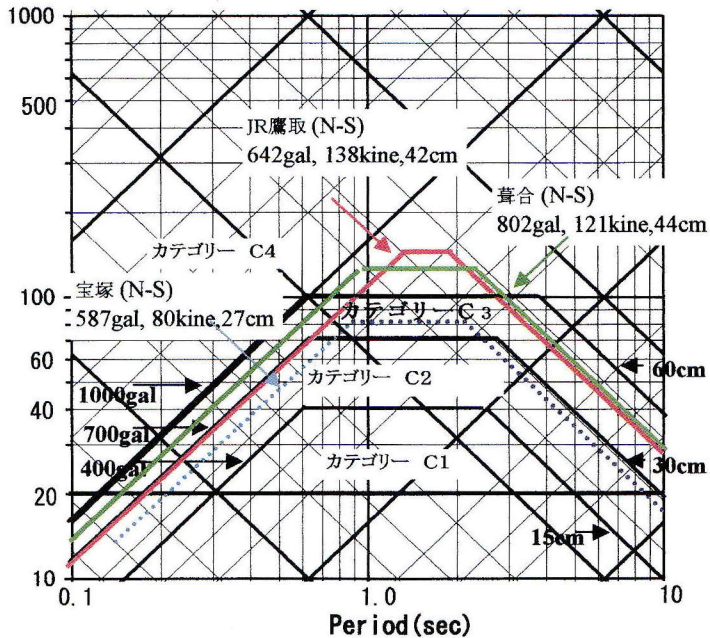


図3 兵庫県南部地震における各地の記録波のピーク・パラメータのスペクトルと地震動のカテゴリー表示；
 カテゴリー C₄: (1,000 cm/s², 100 cm/s, 60 cm) 以上
 カテゴリー C₃: 上記から (700 cm/s², 70 cm/s, 30 cm) 以上
 カテゴリー C₂: 上記から (400 cm/s², 40 cm/s, 15 cm) 以上
 カテゴリー C₁: 上記から 20 cm/s 以上

る。しかし、「積層ゴム支承」は小規模建物にはほとんど使用されていない。その理由は図2の $P_{SV,40}$ スペクトルをみれば、納得できる。例えば、兵庫県南部地震の「JR 鷹取」の記録波形を設計用地震動として採用した場合を考えてみる。免震構造の目標周期を3.0秒に設定してみると、 $P_{SV,40}$ スペクトルの値は応答加速度 150 cm/s^2 で、応答変形で 32 cm となっている。これは粘性減衰定数40%の性能を所有している構造物の応答値である。一般の免震構造物では付与できる減衰性能は等価的に20~30%であり、上記の値の1.5倍から

2.0倍程度の増幅がみられるのである。これから推定される応答値は $45\text{ cm} \sim 60\text{ cm}$ である。

例えば、積層ゴムを対象に円柱が水平方向に純粹せん断変形したとして構造物重量による有効受圧面積柱の座屈を考えると、許される変形は円柱直径の $2/3$ 程度となる。したがって、積層ゴム支承の直径は 90 cm 程度必要ということになる。これに対応する積層ゴム支承1個のばね定数はおよそ $1,500\text{ kN/m}$ となる。

前節に述べたように延べ面積 100 m^2 の小住宅では建物重量として 500 kN である。少なくとも

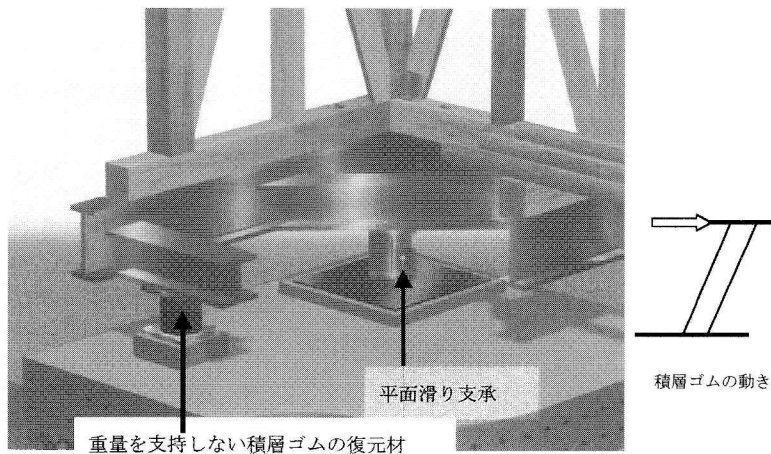


図4 戸建て免震住宅の構造イメージ（在来工法の住宅を剛な鉄骨架台で上部構造の重量及び水平抵抗力を受け止め、免震層に伝達している。支承は摩擦による減衰を期待する平面滑り支承と水平抵抗力だけを期待する積層ゴムの復元部材。写真提供は株式会社一条工務店、株式会社ブリヂストン、株式会社日本システム設計）

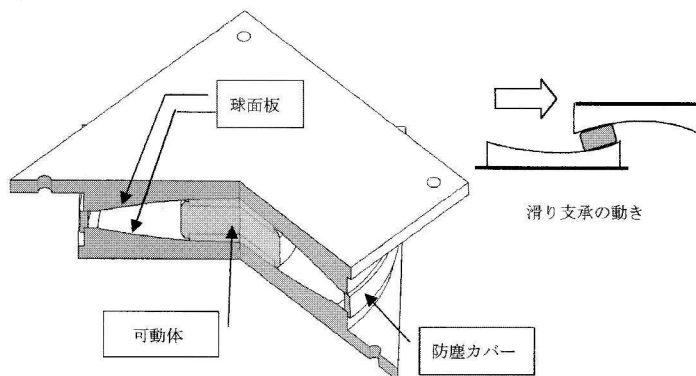


図5 FPS (Friction-Pendulum System) と名付けられた球面滑り支承（滑り面を球面に構成することで、復元力も期待したもの。球面を上板下板に構成することで可動変位を大きくしている。球面の弧の大きさは振り子を模擬することで、固有周期の調整を行っている。図面提供はオイレス工業株式会社）

積層ゴム支承は4個は必要であり、その場合の固有周期を計算すると約1.8秒となる。これでは周期3.0秒の免震構造を設定することは難しく、また、積層ゴム支承も直径90cm程度であれば一個あたりの価格は100万円を越え、現実的には難しいものがある。

このように、第1の問題点は、従来のビル用積層ゴム支承は、ばね剛性が高く、軽量の構造物に十分長い固有周期を付与するには難しいことから、より柔らかいゴム単体の開発か、全く異なる免震支承の開発が要求されることである。こうした状況から、現在、戸建て住宅で利用されている

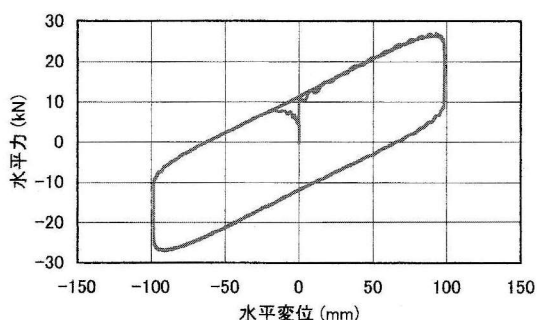
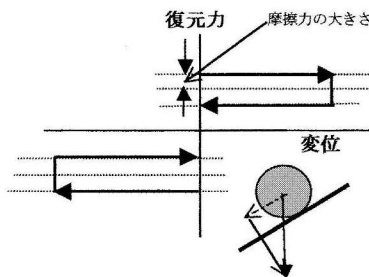
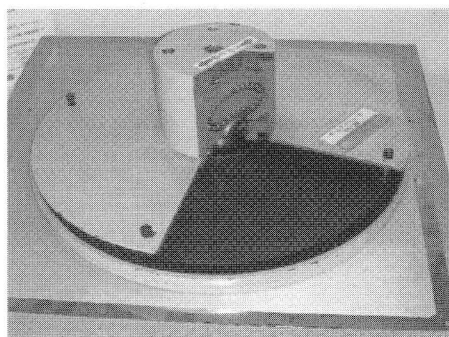


図6 FPS免震支承の復元力特性の例(可動体の受けている面圧は 29.4 N/mm^2 、速度 200 mm/s で試験した結果である。12kNで摩擦が切れ、約 170 kN/m のばね定数で滑っているのが分かる。データ提供はオイレス工業株式会社)

デバイスは「転がり支承」か、摩擦係数の小さい「滑り支承」である。いずれも大きな免震層の変位があっても、建物重量を支持でき、しかも水平抵抗力が小さく、建物質量が小さくても十分に長期化することが可能となるからである。

第2の問題点は、小住宅などを免震化する際に、上部構造の重量を安定的に基礎に伝達する方法を如何に構成するかである。特に木造軸組み構法などでは壁内に柱が多く存在し、しかもビル等に較べるとその配置には規則性に欠けており、免震支承を柱直下に設けることができないからである。そのためには、いわゆる通常建物の土台を非常に剛な鉄骨架台で受け、その下に免震層を構成して基礎に軸力を伝達するという方法が原則ということになる。場合によっては厚さ20cm程度以上の鉄筋コンクリートの床板を構成し、上部構造を支えるという方法である。これはコストの上昇が避けられない方法であり、柱の直下に支承を設置できる部材の開発が精力的に行われている。

図4から図8に代表的な戸建て住宅の免震支承が載せてある。図4と図5は滑り支承の例であり、摩擦係数は約0.1から0.15程度を目標としているようである。すなわち地震時の作用加速度が 100 cm/s^2 から 150 cm/s^2 で滑り始めるように設計してある。そして振動エネルギーを摩擦による熱エネルギーを発生させることで応答を制御している。図6はそうした場合の復元力特性であり、



(a) 転がり支承の断面：ボールベアリングと鋼球が見える (b) 転がり支承の復元力特性

図7 球面転がり支承の例(復元力は円錐面を有する傾斜面上の鋼球の位置エネルギーにより生成される。鋼球の転動を滑らかにするためボールベアリングが挿入されている。摩擦係数は非常に小さいので、オイルダンパーなどを併設することで減衰機能を付加している。写真提供は株式会社テクノウェーブ)

時計廻りのループを描く履歴復元力であり、そのループによって描かれる面積の総和が免震装置のエネルギー吸収量となる。

図7及び図8は転がり支承の代表的な例である。この場合には摩擦係数は0.01程度から0.02程度であり、減衰性能はなく、オイルダンパーな

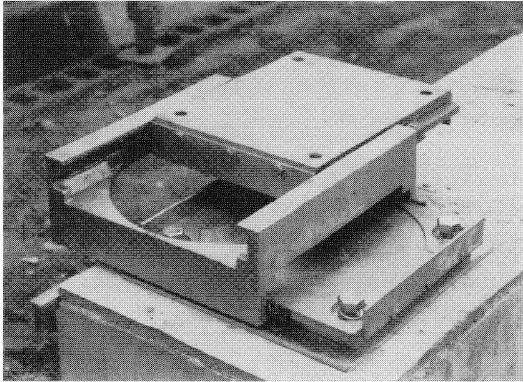
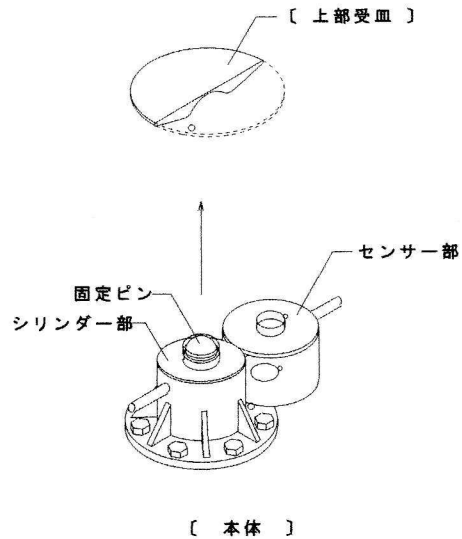
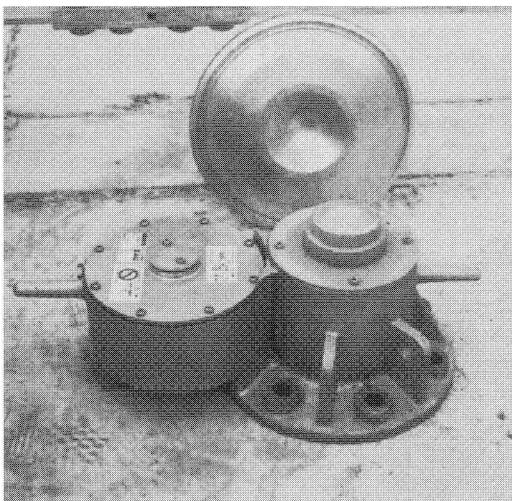


図8 球面転がり支承の例（すり鉢型に構成してある上板と下板の間に鋼球が転動するタイプである。水平二方向の運動を保持するとともに、鉛直方向の引き抜き防止用のガイドが設けられている。写真提供は株式会社AIU）

どを併設する場合が多い。

上記のオイルダンパーの大きさは、敷地の余裕度がない日本の住宅事情という第3の問題点からかなり大きな値を設定する傾向がある。先ほどの簡単な計算例に示したように、応答加速度を低減させるためには、免震目標周期を3秒とか4秒など長く設定する必要があるが、震度7相当程度まで対応するためには応答変形は45cm～60cm程度になるということである。地震時に隣地建物との境界に人間が挟まれないためには、上記に1m程度加えた大きさのクリアランスが必要になってくる。これは日本の住宅事情からかなり難しく、結局は、等価的な粘性減衰定数を40%以上、時には過減衰の状態までダンパーの能力を高め、応答加速度は若干高くとも、応答変形を大きくても30cm以内に収まるように設計されているようである。したがって、カテゴリーC₄の地震動に対応できるような理想的な免震住宅を設計するのはなかなか難しいのが現状である。

以上を克服しても、もう1つ大きな第4の問題点として暴風対策がある。免震構造にすることにより、水平方向に対する抵抗力は小さくなるの



風揺れ防止部材（A型）

図9 風揺れ防止部材：常時は固定ピンが上部構造に緊結されている上部受け皿の凹部に接触状態を保持しているが、地震時にはセンサー部により設定加速度を検知すると固定ピンは下がり、免震構造物として機能するようになる。写真提供は株式会社AIU

で、戸建て住宅など軽量構造物は台風などの暴風に対して要求される抵抗力は地震時のそれよりも大きくなる可能性が非常に高い。これに対しては2つの選択肢があり、暴風時には固定装置を作動させることで、免震装置の動きを遮断するシステムとするか、もうひとつは暴風時には免震装置の大きさの範囲内に収まる変形を許容する形で復元力を構成し、暴風が通り過ぎれば原点に復帰するというシステムとするかである。

廉価なシステムでは滑り支承の摩擦係数を高めに設定するとか、構造物をわざわざ重くし風荷重に対抗するとか、あるいは暴風時の変形を許容し、過大な変形に対してはストッパーになるような器具を設けているものもある。そうした中で、図9は感震機の機能を持った風固定装置であり、

かなり高価であるが、常時は免震装置は固定状態にあり、センサー部の感震機能により、地震時には免震装置が機能するようなものまで開発されている。

5. あとがき

地球環境の保全から長寿命建築物の構築が求められている。そうした点で大きな意味を持つ免震・制震構造物の普及は重要であるが、前述のように戸建て住宅の免震装置は開発研究が始まったばかりである。また、一般の方々に対して地震動のやや長周期帯の破壊力に関する知識の普及は欠かせないものであり、地震工学者の益々のご協力をお願いする次第である。

静岡県地震防災センター

静岡県地震防災センターは静岡県の地震対策におけるシンボリックな存在である。東海地震の発生が近いと騒がれた1980年代後半以降、一時高まった県民の防災意識も次第に希薄になってきた。そこでこうした風潮を止め、さらなる県民の意識の高揚を目的に、行政が自主防災組織の育成や県民の地震防災に関わる相談の拠点、また県庁本館に常設された災害対策本部のバックアップ施設として1989年春に造られた。

当センターにはインストラクターが6名いて、親切に館内を案内してくれる。振動台や消火施設、煙からの脱出体験コーナーや地震発生原理を理解するための模型やビデオが備えられ、中でも5.6m×3.5mの世界地図パネルは、床にセンサーを入れた12のブロックを踏むと、プレートの位置がパネルにランプ表示され、遊び感覚で勉強ができて人気がある。また、津波発生装置は50分の1の市街地模型に浸水してくる状況をCCDカメラが捉え、迫力のある画像をテレビで見ることができる。30トン津波水槽の水は、静岡市の消防水利に提供できるように消火栓を道路際に整備してある。

インターネットがそれほど普及していない頃から、自主防災組織や県民の防災意識啓発の拠点として情報発信に努め、気象庁発表の週間地震概況を掲載してきた。特に伊豆半島周辺の地震活動が活発であった1990年頃には、国内は言うに及ばずワシントンやパリでもホームページが大いに役立ったようである。しかし、最近では各防災関係機関がリアルタイムで情報提供していて、この点では役目が終わったように思われる。

2001年度には静岡県地震対策プロジェクト「TOUKAI-0」として、家屋の耐震化方法と家具の固定器具を全国から募集し、防災ベッドや耐震ポール等の優秀作品を表彰、且つ紹介を図っている。あくまでも「防災対策はわが家から」という基本的な理念にあったこのキャンペーンは、東海地震対策の重要な部分を担っているという点で画期的な試みと言えよう。

センターへの入館者は、現在年間約3.4万人、一日平均で120人ということで開館当時に194

人と比較して少なくなっているが、ここで注目すべきは、阪神大震災が発生した平成7年には5.6万人に増えている点であるが、しかしそれも長くは続かず徐々に減少していることは否めない。来館を地区別に見ると県中部地域が全体の約4割で、遠方になるほど少なくなっている。防災相談窓口にはマイホームを造る場合にはどんな地盤が適しているのかと言った問合せや、中小企業の防災計画のマニュアル、また津波による危険度や訓練の内容など様々な相談が寄せられている。ことに最近、相談の内容がより現実的であることから、東海地震発生が逼迫してきたと感じている人が多くなったように思える。新しい情報を提供するため、展示物のリニューアルが2002年度に予定されている。(前静岡県地震防災センター所長 井野盛夫)



住所 〒420-0042 静岡市駒形通5丁目9番1号
TEL 054-251-7100 FAX 054-251-7300
開館 9:00~16:00
休館 月曜日、年末年始
<http://www.e-quakes.pref.shizuoka.jp>
e-mail kokan@e-quakes.pref.shizuoka.jp

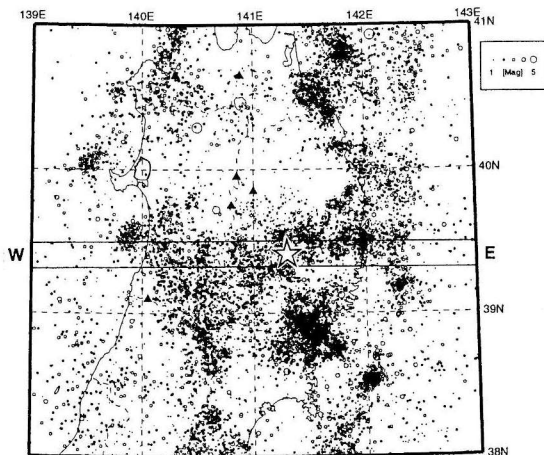
■地震予知連絡会情報■岡田義光■

地震予知連絡会では、「地震予知に関わる調査・観測結果の情報交換」と「地震予知に関する学術的検討」という本来の目的をより十分に果たすべく、第129回(1998年8月)の定例連絡会より、会議の進め方を変更している。従来は、各機関より提出された資料のすべてについて説明と質疑が行われていたが、第129回からは、会議の前半で全国の地震活動と地殻変動の状況を気象庁と国土地理院がレビューし、それ以外の機関からの資料は、特別の報告を除いて席上配布のみとなった。そして会議の後半では、毎回特定のテーマ(トピックス)を定め、それまで不足がちであった討論の時間を設けるようにしている。

第146回(2002/2/18)および第147回(2002/5/20)連絡会でも、2001年11月~2002年4月における全国の地震活動・地殻変動を検討すると同時に、第146回では「海底諸観測の開発状況」、第147回では「東海地域のスロースリップとその意味」をトピックスとして、活発な議論が行われた。

1. 東北地方

2001年11月26日、釜石沖の深さ24kmでM5.1の地震が発生した。この場所では、これまでM5級の低角逆断層型地震が約5年ごとに規則正しく繰り返されており、今回の地震もその一環と考えられている(東北大)。この固有地震的な活動については、本号に詳しい解説記事が別掲されている。



2001年12月2日、岩手県内陸南部の深さ122kmにM6.4の地震が発生した。震源は東北地方下の二重深発地震面の下面に位置するが、M6級の大きなものの発生は珍しい(図1)。この地震の発震機構解はダウンディップ・テンション型であるが、余震の精密な震源再決定結果からは、約10km四方のほぼ水平な断層面が推察されている(東北大)。

2. 関東地方

ここ最近、茨城県沖の地震活動がやや活発である。1923年から今日までに発生したM4.5以上の地震の時系列を見ると、茨城県沖では、関東地震前後の1923年頃、1940年代前半、1960年代、1982年と、20年くらいの周期で地震活動の活発化が認められていることから、活動期に入った可能性がある(気象庁)。

埼玉県中部で関東山地と平野部が接する毛呂山町付近の深さ20kmあたりで、2000年12月頃より微小な地震(最大でもM3.3)が続いている。西の関東山地内、および東の鴻巣市付近では以前より定常的な地震活動が見られるものの、今回の場所では最近20年間とくに地震活動はなく、新しい地震クラスターが形成されつつある(防災科研)。

伊豆大島では、2000年7月に始まる伊豆諸島の地震・火山活動に伴って島全体の大きな収縮が進行していたが、2001年10月頃にはその動きが止まり、膨張に転じた。これに同期して、伊豆大島周辺では2001年末から小

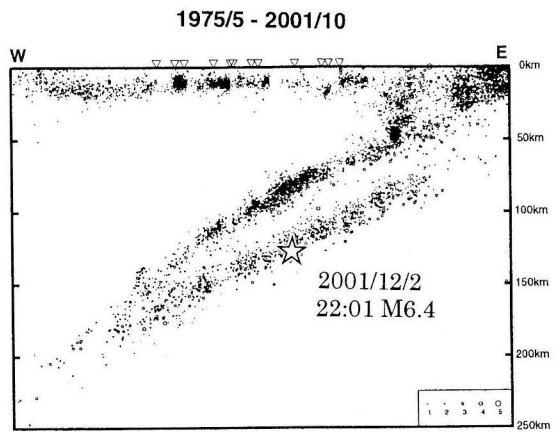


図1 最近25年間に東北地方の二重深発地震面の下面で発生した地震の震央分布(左)と震源の東西鉛直断面(右)。2001年12月2日岩手県内陸南部の地震(M6.4)の位置を☆印で示す。[第136回:東北大資料]

規模な群発地震活動が始まった。このような地殻変動と地震活動との相関関係は、過去にも何度かあったように見られる（地理院）。

3. 伊豆地方

伊豆半島東方沖では、1998年4月の活動を最後として、20年間続いた群発地震はなりを潜めていたが、2002年5月8日、川奈崎付近の深さ10km前後を震源地として4年ぶりの活動を再開した。その規模は最大地震でもM1.9と小さく、4～5日で主要な活動は終息した（図2）。5月5日から13日までの地震総数は395個と報告され、精密な震源再決定によれば、前々回（1997年3月）および前回（1998年4月）の震源分布と今回の震源分布とは空間的に重ならず、“棲み分け”が見られるとのことである（気象庁）。

この群発地震に関連して、周辺の傾斜計や歪計、GPSなどには、再び明瞭な地殻変動が観測され、大室山北の

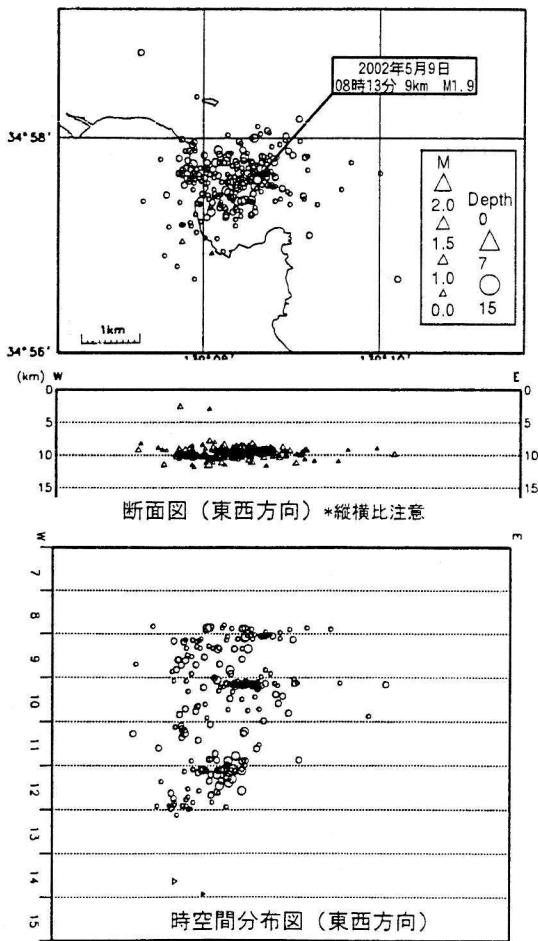


図2 2002年5月伊東沖群発地震活動の震央分布、東西断面および時空間分布 [第137回：気象庁資料]

地下水位にも変動が現われた。地殻変動のデータを説明するために、いくつかのダイク貫入モデルが提案されたが、図3はそのうちのひとつである（防災科研）。上端の深さが8 km、南に75度で傾くほぼ東西走行の3 km四方の断層面上で50 cmの開口があったとしている。

今回の群発地震の発生位置や規模、および地殻変動の様相は、1989年5月や1995年9月、1996年7月などの小活動と類似している。これらの例では、小休止の後、1～3か月後に激しい群発地震活動が生起しており、今後の推移が注目される。

4. 東海地方

掛川～浜岡間で年4回実施されている水準測量の結果は、東海地震発生の重要な指標として毎回注目を集めている。今のところ、浜岡は長期的トレンドの範囲内ではほぼ一定の沈降を続けているようである（地理院）。

一方、2001年春頃にGPS観測から検知された浜名湖付近の異常地殻変動は、多少様相を変えつつも、現在まで継続している。図4(a)(b)は、2001年と2002年の春先各2か月間における異常変動（平均的な変動からのずれ）のベクトル分布を示している（地理院）。フィリピン海プレートに対する跳ね上がりを示唆する南東方向へ年間2 cmほどの動きが見られ、変動の中心は浜名湖付近から静岡県西部へと移動してきているように見える。

また、図4(c)は、同じくGPS観測結果に基づいて推定された2000年10月～2002年4月の期間における上

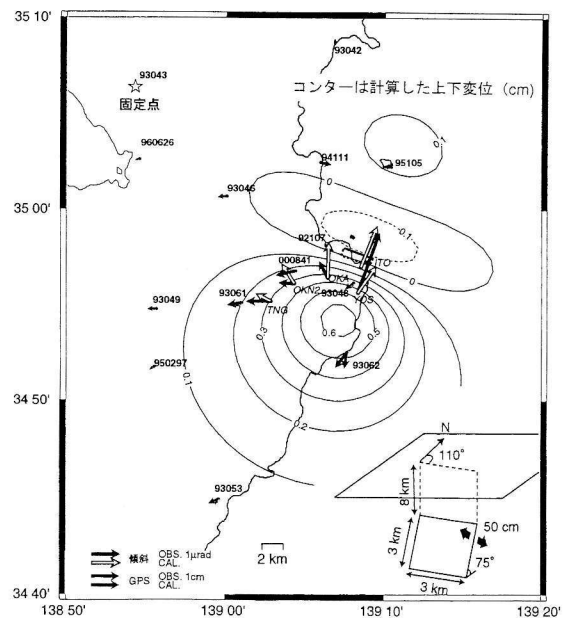


図3 2002年5月の伊東沖群発地震活動に伴う傾斜変動およびGPSデータを説明するダイク貫入モデル [第137回：防災科研資料]

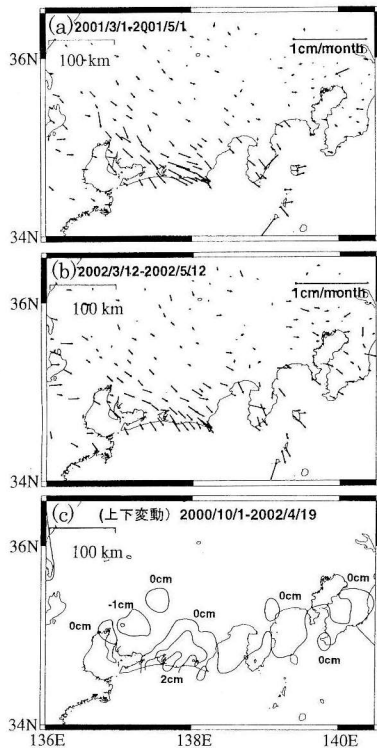


図4 GPS観測結果に基づく、(a) 2001/3/1~2001/5/1 および (b) 2002/3/12~2002/5/12 における異常地殻変動の水平ベクトルと、(c) 2000/10/1~2002/4/19 における上下変動 [第137回: 地理院資料]

下変動コンター図であり、浜名湖付近で2cm程度の隆起が見られる。これらの異常変動は東海地震との関連において注目されるため、第147回連絡会でトピックスとして取り上げられ、詳しい検討がなされた。

5. 近畿地方以西

和歌山・奈良県境(龍神村, 十津川村)付近では2001年5月末より群発性の地震が続いていたが、2002年1月4日にはこれまでで最大となるM 4.0の地震が発生した。図5は、この1年間の活動の震央分布、東西断面、南北時空間分布、および日別地震回数を示す。震源は深さ12km前後のほぼ水平な面内にあるが、空間分布は複雑である。また、北から南への明瞭な地震活動の移動性が認められる(気象庁)。

2001年12月18日、与那国島近海の深さ12kmでM 7.3の地震が発生し、小さな津波を伴った。この地震は、この半年間に日本周辺で発生した最大の地震である。発震機構解は正断層型であり、余震分布からは、西に高角で傾く南北走向の断層面が推定されている(気象庁)。この地震の発生した海域は1990年頃より地震活動が静穏化していたが、1999年9月の集集地震(台湾)以降は活発化に転じていたとの報告があった(茂木前会長)。な

お、2002年3月31日には台湾沿岸の深さ55kmでM 7.2の地震が発生し、やはり小さな津波が観測された。

6. トピックス

6-1. 海底諸観測の開発状況

第136回連絡会では、15回目のトピックス議題として海底諸観測が取り上げられた。計測技術がトピックスの対象となったのは初めてのことである。

海底地殻変動観測の主流は、GPS音響結合方式の海底精密測位となりつつある。これは、洋上のブイまたは船舶と、音響トランスポンダーを備えた3~4個の海底基準局との間で精密音響測距を行い、海上では陸上局との間でキネマティックGPS測位を行うことによって、海底局の重心位置を定める方式である(図6)。

海上保安庁水路部では、釜石沖から熊野灘にかけて約100km間隔で海底基準局を設置または設置予定であり、すでに定期的観測を開始している。そのうちのひとつである三宅島西方海域での試験観測結果によれば、現状では5~10cmの繰返し精度が得られているとのことである。また、名古屋大学からは、東南海・南海地震の発生に向けて、駿河・南海トラフ沿いに「海底地殻変動観測網」を設ける構想が提案された。

このほか、海底掘削孔を利用した地震・地殻変動観測や、自由落下・自己浮上型広帯域海底地震計などについて、最近の開発状況が紹介された(東大震研)。

6-2. 東海地域のスロースリップとその意味

第137回連絡会では、GPS観測によって明らかとなった浜名湖周辺の異常地殻変動について、その意味するところが議論された。

図7は、異常地殻変動が東海地方のプレート間のゆっくりとした滑り(スロースリップ)によって生じたと仮定して、その時空間変化を時間依存インバージョン手法によって推定した結果である(地理院)。異常の現われた当初は浜名湖直下のみ大きな滑りが推定されたが、最近では、それより東の掛川付近での滑りの方が大きくなりつつある。これまでの1.5年間のトータルとして、モーメントマグニチュード6.7の地震に相当する滑りが南東方向に生じたと考えられる。

図7のモーメント時間経過には2001年中頃に加速・減速の“コブ”が見られるが、これは、GPS観測結果に含まれる年周パターンの時期的な変動によって生じた見かけの現象である可能性が指摘された(気象研)。

ここで見出された現象がどのような物理過程で生じているのかを考えるため、単純な2つのブロックモデルを用いた間欠的すべりの数値実験、および非地震性すべりの摩擦パラメータ依存性を調べる数値実験が行われ、その結果が報告された(東大震研)。摩擦パラメータの空間

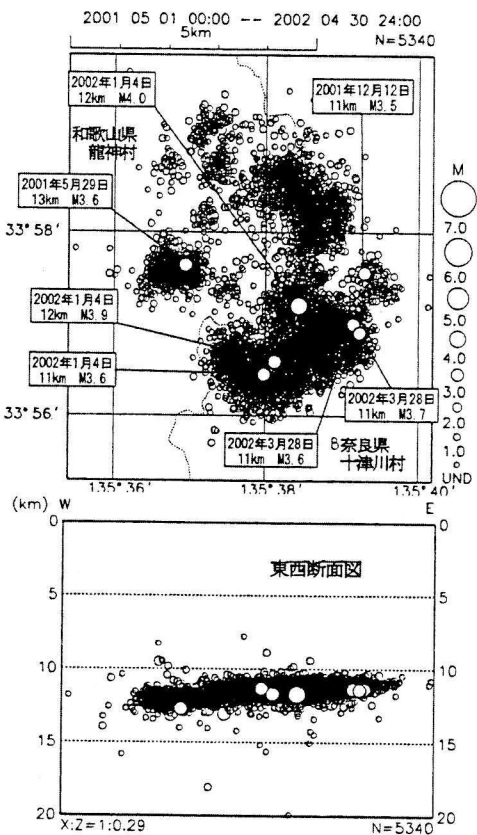


図5 和歌山・奈良県境(龍神村, 十津川村)付近における最近1年間の群発地震活動 [第137回: 気象庁資料]

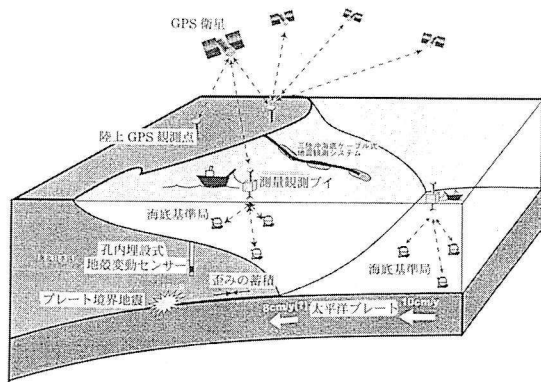
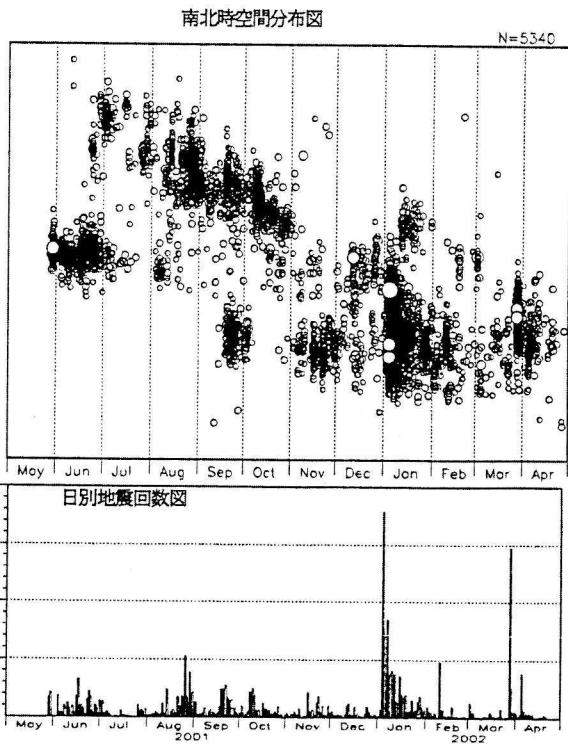


図6 GPS音響結合方式の海底精密測位の概念図 [第136回: 東北大資料]

分布によっては、ひとつの領域の動的すべりが隣の領域における間欠的スロースリップを誘発したり、スロースリップが隣の領域の変形を加速させる場合がある等のシミュレーション結果も出ており、東海地震の仮想震源域への影響が懸念される。

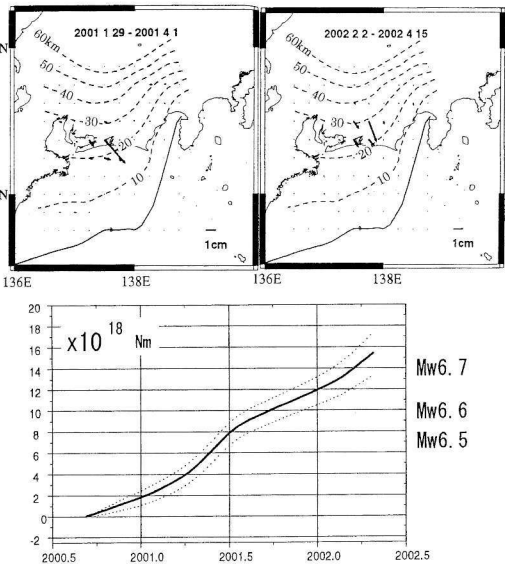


図7 東海地方におけるプレート間すべりの推定位置(点線はフィリピン海プレート上面の等深線), および推定モーメントの時間経過(点線は1標準偏差の幅) [第137回: 地理院資料]

■ 書 評 ■

● 写真で見る地震災害

岩切 信 編

写真・絵画修成

日本災害史 第1巻 地震・津波

評者 川端信正

地震に関する書籍というと、理学、工学に関するものがほとんどであるが、この書籍は地震災害の貴重な写真に添えて社会史、政治史といった視点で解説を加えたことに特徴がある。過去日本列島を襲った大地震をこうした目でみる数少ない本である。

安政東海・南海地震（1854年）、安政江戸地震（1855年）は江戸幕藩体制の威信を傷つけたものであり、民衆は地震を「世直し」のきっかけととらえた。濃尾地震（1896年）は明治維新後に導入された西欧文明の象徴であるレンガ造建物を瞬時に崩壊させ、借り物の模倣文明に警鐘を鳴らした。東南海地震（1944年）は中京工業地帯の軍需工場に壊滅的被害を与え終戦を早めさせるものとなった。福井地震（1948年）は戦後急造したバラック建てや戦災で痛んだ建物が被害を大きくした。十勝沖地震（1968年）はコンクリート造建物の耐震基準を厳しくするきっかけとなり、石油ストーブの対震自動消火装置が開発されたのもこの地震だった。地震被害写真にはこうした解説が添えられている。

本書は、善光寺地震（1847年）からはじまって芸予地震（2001年）まで、江戸・明治・大正・昭和・平成の各時代に起きた主な地震の記録写真や絵画を集めたものである。

編者はジャーナリストの岩切信氏。岩切氏は長年にわたり東京新聞の社会部記者として活躍した人。気象庁記者クラブに長く在籍し、伊豆大島大噴火、伊豆半島群発地震・海底噴火、雲仙普賢岳噴火など数々の地震・火山災害に筆を振った。気象庁の記者クラブ室にあっては各社記者の信望を集め良き指導役であった。筆者も放送記者現役時代にお世話になった一人である。この本を監修したのは火山噴火予知連絡会の会長を務めた下鶴大輔氏と現在政府地震調査委員会の会長職にある津村建四朗

氏。両氏が本書の出版に力となったのはひとえに岩切氏の人脈の広さを物語るものといえる。

本書では、安政南海地震の項で戦前の小学校国語教科書（5年生用）に載る「稲むらの火」を原書のまま採録している。「稲むらの火」は、津波の襲来を知って刈り取ったばかりの稲束に火を付け村人を津波から救った庄屋浜口儀兵衛の話。全文を掲載し現在の義務教育で軽んじられている防災教育の重要性を訴えている。また、善光寺地震の項では、名主永井善左衛門が、経験をもとに善光寺地震の惨状を自ら筆をとり後世に伝えようとした絵図「地震後世俗語之種」が採録されている。

さらに、関東大震災を描いた珍しい絵画の記録、竹久夢二の「東京災難画信」の全編を掲載するなど、編者の防災に対する思想が伝わってくる。

本書は巻にある単なる災害写真集ではない。

<日本図書センター、2001年9月、207頁、本体全3巻セット
36,000円>

● 宏観異常の手引き書

Rikitake, Tsuneji

Predictions and Precursors of Major Earthquakes—The Science of Macro-Scopic Anomalous Phenomena—

評者 佃 為成

地球電磁気学の大家である著者が宏観異常現象（もともと中国において使われている言葉で機器によらないでも感知できるような地震の前兆現象）についての考え方を示し、この方面の研究を推進すべきことを訴える啓蒙の書である。著者が読者に伝えたい要点は以下の通りと思われる。

- 1) 宏観異常現象が確かに存在する (a great many macro-anomaly).
- 2) その科学的研究の重要性が多くの人々に理解されていない (scientists' duty).

3) かつて我が国において萌芽したこの研究を著者が中心となって復活させた。とくに現象の定量化の必要性を認識し、統計的な処理法を提示した (statistic analysis on precursor time and magnitude of coming earthquake).

4) 宏観異常現象の研究史を提示した (review of pioneering work).

5) 組織化された団体による宏観異常現象についての一貫した研究の必要性、その予算の確保への広範囲の方々の理解、さらにそれらの組織がリアルタイムで活動し、実際の地震予知やその研究に貢献することを訴える (well-organized center for data collection).

この本は1998年出版の力武常次著：予知と前兆—地震「宏観異常現象」の科学—(近未来社)の英語版とも言える。日本語版が244ページに対してこの英語版が197ページであり、図や写真の数、説明内容についてやや削減されているが、新しい研究の紹介が付け加わったり、前著の修正の箇所もある。この方面の学問を志す読者にとっては優れた手引き書である。英語版の効用は世界の多くの人々に伝えられることであるが、日本人にとっては、地震学等で必ずしも一般的ではない事柄を著者がどのように工夫して英語に翻訳ないし変換されたかを知ることができる。

研究を志す読者にとっては、上記の2冊のほかに力武常次著(1986):地震前兆現象—予知のためのデータ・ベース—(東大出版会)および力武常次監修・杉 充胤訳・安徽省地震局編(1979):宏観異常現象と地震—中国の予知成功例にみる—(共立科学ブックス41)をご覧になれば、著者の考え方の流れがわかり、さらに詳しいデータに接することができる。英語版の本書にも登場する中国の1975年海城地震の直前に発生した震源地付近における井戸水噴出の証言は、著者自らが入手したもので、著者撮影の現場写真とともに、これらの書物に紹介されている。このような異常現象は事実としてかなり明確であって、機器に頼らなくとも科学的に認定しうる。しかし、この種の異常現象についての具体的な記述が重要であるにもかかわらず、科学的と称される論文や報告書には、なかなか登場しないのである。海城地震の予知の成功に対して強烈に批判的な或る科学者の情報源は研究論文のみであり、多くの情報が欠落している。一方、著者は中国での聞き取りや、日本の関東地震、東南海地震などのアンケート調査によって、証言によるデータを見る目を培ってこられた。著者がこの種の研究を開始されたころの海城地震の実地見聞での刺激は大きかったに違いない。また、一方ではそのデータについての定量的

な分析の不十分さを認識した。そして自然に本書へ至る道が開かれたのだと思う。

以上の4冊を通して、それぞれの種類の現象についての著者の考え方が表明されている。主に取り上げられている現象は以下の項目である。1) 地変、2) 地鳴り、3) 動物の挙動異常、4) 発光現象、5) 電磁波異常。読者の中には異常現象のなかで、あまり解説されていないものがあると思われるかも知れない。植物の異常について、ネムリソウのことが言われているけれども、データベースには証言が極めて少ない。著者も論評を避けている。評者も調査を行っているが、地震や地殻活動、地電流との関連はまだ実証されていない。地震雲についての一般の証言は多いのであるが、著者の見解では、地球の曲率を考えると、とても見えるはずのない遠方の地震についてもを言っていることがあるので、あまり信用ができませんと前記1979年の本の中で述べている。同じ本で気象や気候についても、例えば蒸し暑いときは年中あるので気象現象と地震を直接結びつけることはうまく行かないだろうと述べている。評者は、気象と電磁気的な現象との関連は深いと思われ、直接ではなく異常電磁現象の誘因としての関連があるかもしれないと考えている。ラドンなどの地中ガスの噴出によるイオン濃度の増加が電磁現象を誘因することも考えられる。著者も本書において、電磁気現象、すなわち電磁放射や伝搬異常の研究発展に強い関心を寄せている。

最後に、評者が読者として宏観異常現象の研究の歴史を概観させていただき、そのデータの記載について気付いたことを述べる。

1) 異常現象と地震の発生において、地震の発生時刻(ローカルタイム)は必要な情報である。例えば、発光現象がよくわかるのは暗いうちであるから、地震が昼間発生した場合と夜間では大きく状況が異なる。その時刻の記述がない事例が多い。

2) 異常現象は気象や気候にも関係する。地震と直接関係しない環境に関する情報も重要な気がする。これまでの研究において注意が足りない。

3) ラジオ電波ノイズなど電磁気現象については今後の研究の一つの焦点になる分野である。電波の伝搬媒体である大気についての研究の必要性が見えてくる。

4) 世間でよく問題にされるいわゆる地震雲については本書においても記述がなかった。このことも、気象や大気電気分野の研究が盲点になっていることの証左であろう。

< Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 197 pp., 2001 >

● 日本の地震活動を理解する

茂木清夫 著

地震のはなし

評者 力武常次

本書はつい先頃まで地震予知連絡会会長を務めていた茂木さんの著作である。著者の地震現象に関する洞察力は定評のあるところであるが、本書でもその特徴は遺憾なく発揮されている。

まず2000年6月の三宅島地震・火山活動を発端として、新島・神津島・式根島方面に起こった顕著な群発地震活動がどのように理解されるかが述べられる。三宅島直下のマグマ溜まりから、地殻を破壊しながら北西方向に移動したマグマがその元凶であり、さらに地下深所から供給されたマグマが貫入したために、新島-神津島間の距離が広がったとしている。

著者はこの見解を8月21日の地震予知連絡会で述べたとしているが、このような見解は著者だけのものではなく、例えば岡田義光『伊豆諸島の地震・火山活動(2000年)』(地震ジャーナル30号42ページ)にもほぼ同様の見解が述べられている。この記述ばかりではなく、本書の随所に「私は……を指摘した」というような文章があるが、その指摘は評価に値するとしても、あまり自己主張が目立つのは、日本人の一般的心情には合致しない恐れがあるのではなからうか。

茂木流の洞察は、さらに兵庫県南部地震(M7.3, 1995)、鳥取県西部地震(M7.3, 2000)、芸予地震(M6.7, 2001)など、最近活発化している西日本の地震活動に拡張され、今世紀半ばまでには起こると予想されている南海巨大地震にも言及している。いずれも一般の人々にも納得できる「ストーリーを編む」というタイプの手法であるが、解析的というよりもいわば芸術的ともいえる茂木流の論陣がはられている。確かに定性的には納得できるが、果たして定量的にはどの程度成立する理論なのだろうか。

本書後半には、近い将来発生するとされている東海地震、首都圏の地震さらには外国の大地震にもふれている。特に東海地震の警戒宣言に関しては、警報ばかりではなく、いわば灰色情報である注意報の必要性が強調されている。巷間伝えられるところでは、この意見が容れられなかったことが、著者が地震防災対策強化地域判定会会長を辞任した理由であるとされていることはよく知られている通りである。

本書を通覧して分かるように、著者はむずかしい数学などを用いないで、みごとに図表で示された地震活動の特性を把握して議論を展開し、それはそれなりに説得力があることは大いに評価される。したがって、最近発展してきた地震発生確率などはあまり取り上げられていない。茂木流の理屈に確率やその他の定量的解釈をうまく組み合わせることができるならば、より確実性のある予知をふくめた地震理論を展開する事ができるであろう。

<朝倉書店, 2001年10月, 150頁, 本体2,900円>

執筆者紹介

<掲載順>

氏名 伊藤 滋

[いとう しげる]



現職 早稲田大学教授、慶應義塾大学大学院客員教授、東京大学名誉教授

工学博士

略歴 東京大学農学部卒業、同工学部建築学科卒業、同大学院工学系研究科博士課程建築学専攻修了、MIT・ハーバード大学共同都市研究所客員研究員、東京大学工学部助教授、同教授、慶應義塾大学環境情報学部教授、同大学院政策・メディア研究科教授、早稲田大学理工学部教授を経て現職

研究分野 都市防災論、国土及び都市計画論

著書 『提言・都市創造』（晶文社）、『人間・都市・未来を考える』（PHP研究所）、『市民参加の都市計画』（早稲田大学出版会）、『東京のグランドデザイン』（慶應大学出版会）、『東京育ちの東京論』（PHP研究所）

氏名 安芸敬一

[あき けいいち]



現職 (財)地震予知総合研究振興会グローバルアドバイザー

理学博士

略歴 東京大学理学部地球物理学科卒業、同大学院理学系研究科地球物理学博士課程修了、カリフォルニア工科大学研究員、東京大学地震研究所助教授、マサチューセッツ工科大学地球物理学教授、南カルフォルニア W.M. Keck 地球物理学教授を経て現職

研究分野 地震学

氏名 尾池和夫

[おいけ かずお]



現職 京都大学副学長、京都大学大学院理学研究科教授
京都大学理学博士

略歴 京都大学理学部地球物理学科卒業、京都大学防災研究所助手、助教授を経て現職

研究分野 地震発生機構、地震テクニクス、地震予知

著書 『中国の地震予知』（NHKブックス）、『中国の地震・日本の地震』（東方書店）、『アジアの変動帯』（藤田和夫編・海文堂）、『インドネシアの旅—ジャワとバリの火山を訪ねて』（吉井書店）、『地震発生のしくみと予知』（古今書院）、『日本地震列島』（朝日文庫）、『活動期に入った地震列島』（岩波科学ライブラリー）等

氏名 小原一成

[おぼら かずしげ]



現職 防災科学技術研究所防災研究情報センター高感度地震観測管理室室長

略歴 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士課程前期修了、国立防災科学技術センター（現 防災科学技術研究所）入所、2001年より現職

研究分野 地震学、地球物理学

氏名 長谷川 昭

[はせがわ あきら]



現職 東北大学大学院理学研究科教授
理学博士

略歴 東北大学理学部天文及び地球物理学第二学科卒業、東北大学大学院理学研究科博士課程中退、東北大学理学部助手、助

教授を経て現職

研究分野 地震学

著書 *Magmatic Systems* (M. P. Ryan 編, Academic Press) (分担執筆)

氏名 鳥井弘之

[とりい ひろゆき]



現職 東京工業大学原子炉工学研究所教授、日本経済新聞社論説委員（嘱託）

略歴 東京大学工学部工業化学科修士課程修了、日本経済新聞社入社、同論説委員を経て現職

研究分野 エネルギー政策、科学技術政策、原子力政策、科学技術と社会の関係

著書 『原子力の未来』（日本経済新聞社）

氏名 本蔵義守

[ほんくら よしもり]



現職 東京工業大学大学院理工学研究科教授
理学博士

略歴 東京大学理学部地球物理学科卒業、東京大学大学院理学系研究科博士課程修了、東京大学地震研究所助手、東京工業大学理学部助教授、同教授、東京工業大学理学部長を経て現職

研究分野 地球物理学

著書 *Solid Earth Geomagnetism* (共著, Terrapub)、『地球内部ダイナミクス』（共著, 岩波講座）他

氏名 力武常次

[りきたけ つねじ]

現職 (財)地震予知総合研究振興会顧問, 東京大学・東京工業大学名誉教授理学博士

略歴 東京帝国大学理学部地球物理学科卒業, 東京大学地震研究所助教授, 同教授, 同所長, 東京工業大学理学部教授, 日本大学文理学部教授を歴任, 現在に至る

研究分野 地球物理学(地球電磁気学, 地震予知論) 専攻

著書 *Electromagnetism and the Earth's Interior, Earthquake Prediction* (いずれも, Elsevier), 『地球電磁気学』(岩波書店), 『なぜ磁石は北をさす』(講談社), 『地震予知』(中央公論社), 『地震前兆現象』(東京大学出版会), 『固体地球科学入門』(共立出版社) 他



氏名 岡田恒男

[おかだ つねお]

現職 芝浦工業大学教授, 日本建築防災協会理事長, 日本地震工学会会長, 東京大学名誉教授工学博士

略歴 東京大学工学部建築学科卒業, 同大学院修士課程修了, 東京都立大学工学部助手, 東京大学生産技術研究所講師, 助教授, 教授, 所長を経て現職

研究分野 建築耐震構造学, 地震工学

著書 『既存鉄筋コンクリート建築物の耐震診断基準』(共著, 日本建築防災協会), 『地震防災の事典』(共編, 朝倉書店)



氏名 石丸辰治

[いしまる しんじ]

現職 日本大学理工学部建築学科教授工学博士

略歴 日本大学大学院理工学研究科建設工学専攻修了, 日本大学助手, 助教授を経て現職

研究分野 耐震構造・振動工学

著書 『建築構造物の設計力学と制御動力学(構造物の地震応答制御概論)』(建築学会・構造委員会・応用力学運営委員会) (共著)



氏名 井野盛夫

[いの もりお]

現職 富士常葉大学環境防災学部学部長, 中央防災会議専門委員, 地震調査研究推進本部専門委員理学博士

略歴 東京教育大学理学部地学科卒業, 静岡県防災局長, (財)静岡県防災情報研究所所長を経て現職

研究分野 地下水探査, 防災行政

著書 『抗震』東海地震へのアプローチ(静岡新聞社), 『今だから知りたい東海地震』(共著・静岡新聞社), 『名水を科学する』(共著・技報堂出版), 『地震予知がわかる本』(共著・オーム社), 『地域防災計画の実務』(共著・鹿島出版会) 等



氏名 岡田義光

[おかだ よしみつ]

現職 独立行政法人防災科学技術研究所企画部長理学博士

略歴 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程博士課程中退, 東京大学地震研究所助手(富士川地殻変動観測所勤務), 科学技術庁国立防災科学技術センター(現防災科学技術研究所)地殻力学研究室長, 地震前兆解析研究室長, 地震活動研



究室長, 地震・噴火予知研究調整官, 地震予知研究センター長, 地震調査研究センター長を経て現職

研究分野 地震学, 地殻変動論

著書 『日本の地震断層パラメーター・ハンドブック』(共著, 鹿島出版会), 『現代測地学』(共著, 日本測地学会) 他

氏名 川端信正

[かわばた のぶまさ]

現職 静岡総合研究機構防災情報研究所客員研究員, 日本災害情報学会理事・事務局長

略歴 中央大学卒業, 静岡放送アナウンサー・報道部記者・部長などをつとめながら地震・火山防災専門担当記者を経て現職

研究分野 災害情報



氏名 佃 為成

[つくだ ためしげ]

現職 東京大学地震研究所助教授(地震地殻変動観測センター)理学博士

略歴 東京大学大学院理学系研究科博士課程中退, 京都大学防災研究所助手, 京都大学防災研究所助手(鳥取微小地震観測所), 東京大学地震研究所助教授(信越地震観測所)を経て現職

研究分野 地震学, 地震予知

著書 『大地震の前兆と予知』(朝日新聞社), 『新潟は安全か? 地震』(共著, 新潟日報事業社)



ADEP情報

(財)地震予知総合研究振興会 (ADEP) の人事異動について
(ジャーナル 31 号 ADEP 情報の続報)

退職

役員			
理事	力武 常次	13. 6.28	
"	茂木 清夫	13. 6.28	

職員

本	部	参事	寺島 幸造	13. 6.30
"	"	主任	石原 理恵	13. 8.30
"	"	参事	永田 孝行	13.12.31
研究業務支持機構		参事	中野 照明	13.12.31
本	部	副主席主任研究員	長宗 留男	14. 3.31
"	"	主任研究員	窪田 将	14. 3.31
研究業務支持機構		研究員	汐見 勝彦	14. 3.31
"	"	研究員	大井 昌弘	14. 3.31
東濃地震科学研究所		参事	小栗 英雄	14. 4.15
本	部	参事	小見波正隆	14. 4.30
地震調査研究センター		研究員	宇佐見光宣	14. 5. 9

採用

職員	地震調査研究センター	主任研究員	鈴木 保典	13. 8. 1
	本	部	事務職員	山口 友里
	地震調査研究センター		業務部長代理	奥 敏昭
	研究業務支持機構		参事	片桐 一美
	地震調査研究センター		研究員	杉山 光正
	東濃地震科学研究所		参事	野村 正和

昇任・配置換

本	部	事務局次長	廣瀬 博	14. 4. 1
地震調査研究センター		企画部長	田中 孝紀	14. 4. 1
"	"	解析部長代理	松浦 律子	14. 4. 1
研究業務支持機構		参事	伊藤 謙光	14. 4. 1

編集後記

これまで“耐震”というと、ビルの設計や補強のみが議論され、木造住宅は念頭に置かれなかった。ところが兵庫県南部地震のとき木造家屋の被害が目立って多く、これを無視することはできなくなった。木造密集市街地には、実際多くの住民が生活しているし、とくに災害弱者の比率が高い。

地震ジャーナルでは早くから木造住宅の耐震診断、補強、免震設計等の論文の収録を計画していた。本号は特集号とまではいかないが、巻頭のエッセイと2論文がこの問題に直

接触している。次号は地震調査研究推進本部の強震動予測マップの発表と相まって、地震と地盤関連の論文を集めたいと考えている。

前号では一つの試みとして「囲み記事」を掲載したところ、読者から「役に立った」、「面白かった」等の感想が寄せられた。これに力を得て、本号にも4編の「囲み記事」を掲載した。今後も解説記事やトピックス等、コーヒープレイクのつもりで論文の間に挟み込む計画である。読者からの声をお待ちしたい。

(Y.H.)

地震ジャーナル 第33号

平成14年6月20日 発行

発行所 ☎101-0064
東京都千代田区猿樂町1-5-18

☎ 03-3295-1966

財団法人

地震予知総合研究振興会

発行人 高木章雄

編集人 萩原幸男

本誌に掲載の論説・記事の一部を引用される場合には、必ず出典を明記して下さい。また、長文にわたり引用される場合は、事前に当編集部へご連絡下さい。

●製作/ (財)学会誌刊行センター