

No.54

September 5, 1995

 *Information*

講 演

1995年3月25日（土）・関西地区講演会（大阪国際サイエンスクラブ）

講師・題目

土岐 憲三：「世界と日本の地震災害」

日本工学アカデミー

THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

世界と日本の地震災害

土岐憲三

1938年 8月 生まれ
1961年 3月 京都大学工学部土木工学科卒業
1966年 3月 京都大学大学院工学研究科博士課程修了
4月 京都大学助教授 (工学部、防災研究所)
1976年 4月 京都大学教授 (防災研究所)
1993年 8月 同 (工学部) 現在に至る
1995年 4月 京都大学評議員

工学博士。日本学術会議災害工学研究連絡委員会委員幹事、日本土木学会理事、Soil Dynamics and Earthquake Engineering 編集委員、国連上級科学顧問、日本自然災害学会会長、日本学術会議基礎工学研究連絡委員会委員等を歴任。

日本土木学会論文賞受賞、国土庁長官表彰。



司会 (西原 宏 関西地区担当理事) 本日は関西地区主催の講演会のご案内を致しましたところ、多数の会員のご参加を得、またご遠方からもお越し頂き、担当理事といたしまして、厚くお礼申し上げます。

ご講演は、地震工学をご専攻の、京都大学教授土岐憲三先生にお願い致しました。演題は「世界と日本の地震災害」でございます。土岐先生は、この度の阪神大震災の起こる前から、京阪神地区に強い地震が起こる可能性を指摘し、注意を促して来られました。

先生は日本工学アカデミーの会員であられ、詳しいご紹介は必要ないと存じますので省略させて頂きまして、早速ご講演をお願いする事に致しましょう。

土岐 ご紹介いただきました土岐でございます。私は熊谷信昭先生のようなわけにはいきませんので、本当はもっと詳しくご紹介いただかなければいけないんですが (笑)。短うございましたので、今少し自己ご紹介させていただきます。

私自身は土木工学を専攻しましたが、その中でもとくに地震工学の分野をずっと勉強してまいりました。「耐震工学」という言葉も使われるんです

が、少しずつ中身が変わってきました。このごろはご存じのように建物とかいろんな構造物に、地震が来たり風が吹いても揺れないようにする装置なんか手がけるようになってきて、「免震」とか「制震」とか申します。それに対して、力で耐えようとするのが「耐震工学」という分野になってきました。したがって耐震という分野が少し狭くなってしまったので、全般という意味では「地震工学」と勝手に言っているような次第でございます。

余談になってしまいましたが、きょうはどんなタイトルだったか正確には覚えておりませんが、確か「世界と日本の地震災害」というようなことだったかと思えます。これまでも、こういう表題でいろんな所でお話する機会がございました。ところがきょうは、どういう方がお見えになるのかよくわからないままに、同じような表題でお願いしたわけです。

つい先だって、ご出席いただく方々のお名前の表を拝見して、たいへん驚きました。かねてからよく存じあげている高名な先生方がたくさんいらっしゃるの、きょうはいつもと客筋が違うと思っております (笑)。昨日でしたか、榎木義一先生に

このことを申しあげましたら、「客筋が悪かったな」と言われたので、返す言葉もございませんでした(笑)。そういうことで、あまりサイエンティフィックな話ではなくて、極めて一般的なことになるかもしれませんが、どうぞよろしくお願いいたします。

それでは早速、スライドでお話しさせていただきますと思います。

先だって、阪神間で大震災がございました。それで皆様方は「地震は怖い」とよくおっしゃるんですが、一体、地震が怖いというのは、何が怖いのかをまず考えてみようと思います。

図-1



まず、この図-1にあるように、一つは、予知・予測ができない。いつ何ときやって来るかわからないという、心理的な恐怖がつきまとうているかと思っています。これはまた後ほど詳しく振り返ることになると思います。

今一つは、地震の災害というのは滅多に起こりませんが、一回起こると大変な数の命が失われたり、経済的な損害を被る。この問題が一つあると思います。風水害というのは毎年のように起こることで、また大雨が降るとか多少は予測されることで備えることもできるんですが、そういうところが風水害なんかと地震の違うところです。怖さというのはそこにあるのかもしれませんが。

今一つは、地震そのものは砂漠の中であろうとどこであろうと起こるわけですが、問題になるのは人や物がたくさんある所で起こって、これで初めて災害になるわけです。ところが、地震というのは滅多に起こらない。その間に、都市のどこに地震に対する欠陥があるかということが露呈しないままに、都市そのものがどんどん変貌していく。その知らないうちにドカンと襲われる。地震の怖さというのは、あえて言えばそんなことではなか

図-2



ろうかと私は思っております。

図-2は明治24年(1891年)に起こった濃尾地震という、よくご存じのものですが、その直後に出版された記録でございます。この震災報告は、「およそ人生の幸福、生命、財産の安全にしくものはなし」ということから始まります。

そして地震の怖さを述べているわけです。たとえば雷も怖いけれども、避雷針の発明で何とかなりました。あるいは疫病のようなものも、衛生に注意すれば何とかなる。ところが、「理学は日に日に進歩して極まるごとくなれど、未だ地震の前兆を知ることあたわず。最も不可思議にして最も恐るべきは地震なり」と。思い起こして考えてみますと、この地震は100年前ですが今もまったく変わっていない。なぜかと申しますと、結局、いつ起こるかわからない。地震予知という技術を我々はまだ手にできてない。このところが一つの理由であろうと思っております。また学問の進歩もなかなかそう早くはいかない、遅々たるものだと思われ知らされるわけでございます。

100年前でそういうことでしたが、それ以前の日本人たちは「地震というのは摩訶不思議なものだ」と思っていたに違いないわけですが、この図-3はよくご承知のように「ナマズが地震を起こす」という話です。これは日本だけではなくて、海外

図-3



The God-Superior from the Kashima shrine, Japan, tells the daimyos to dive down the pivot stone hard on the Edo (Tokyo) earthquake namazu (catfish) to warn other earthquakes. Each of the onlooking namazu is a historical earthquake. From left, Kwanto, Osaka, Kozhu, Echigo, Odawara, and Sado earthquakes.

の教科書にも紹介されているわけですが、いろいろな地震が待っているわけです。鹿島神宮の神職の指示によって要石が払い落とされると、地震が起こる。昔はこんなメカニズムを考えていたということです。

今はもう、地震の何たるかということだけはよく分かっておりますし、小学校や中学校でも学習の範囲に入る。私どもは習った覚えはありませんが、このごろは教科書にも入っているはずですが、

このへんは皆様方よくご承知だと思いますが、2億5000万年ほど前には、地球上の大陸は図-4のようになっていた。地球45億年の歴史から見ると、2億5000万年というのは割合最近のことのはずですが、こういうパンゲア大陸があった。

一方、この図-5の白い所は現在の状況です。数千万年たちますと、色刷りの方向に大陸が動いていくであろうと考えられています。矢印の方向に動いていくということで、現在、場所によって違いますが年間数cmぐらいの速さで動いている。

そういった地球全体で起こっている出来事の一環として、私どもの恐れる地震が起こっているのだという話です。このプレートというのはすでにご承知だと思いますので申しあげませんが、大体100kmぐらいの厚さがあると言われております。図-6の左端あたりが日本で、太平洋プレートが押し込んでいます。そのプレートが動く原動力は何か

図-4

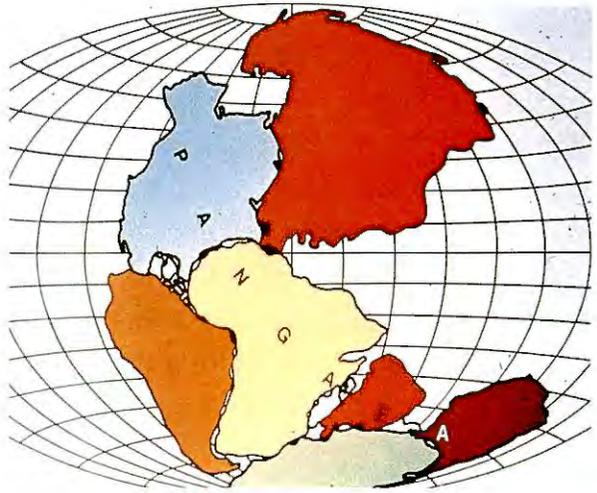


図-5

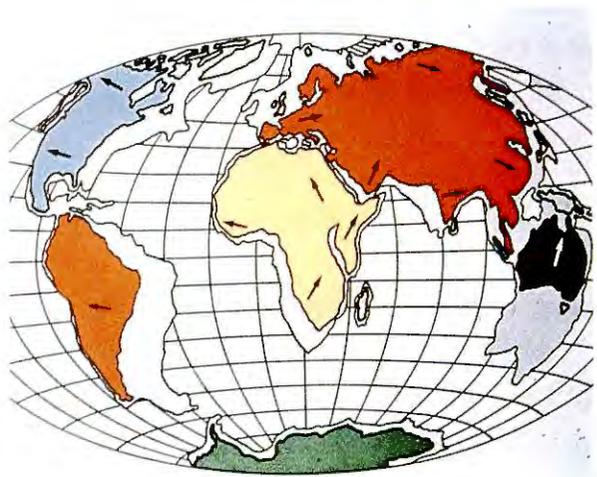
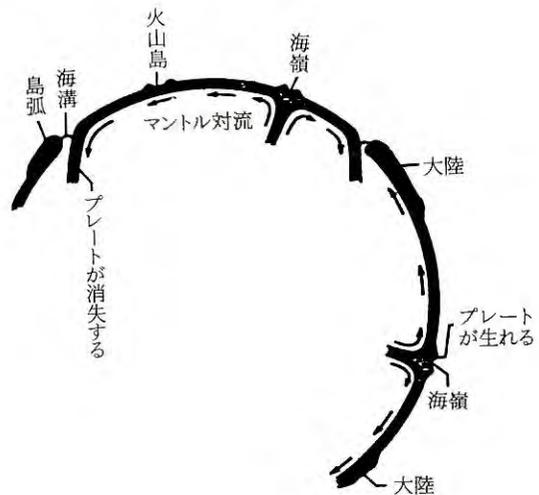


図-6



海底拡大説のモデル

といいますと、溶けた岩のマントルの対流ということですが。

次に世界地図の上に地震の起こった場所を示したのが図-7です。一つ一つのプロットが小さな地震です。全部で14~15年間のプロットですが、ご覧のように日本はもうまったく黒く塗りつぶされています。世界的に見ても明らかに、世界有数の不都合な所に我々は住まいしているんだと、直ちにご理解いただけるのではないかと思います。ちなみに、黄色い線がプレートの境目です。例えば大太平洋の東の方でプレートができて上がって、西の方へ移動しようとしている。フィリピン海プレート、太平洋プレート、ユーラシアプレート、北米プレートこの4つの接点に日本がある。力学的にも複雑な場所であることが直ちにご理解いただけるのではないかと思います。

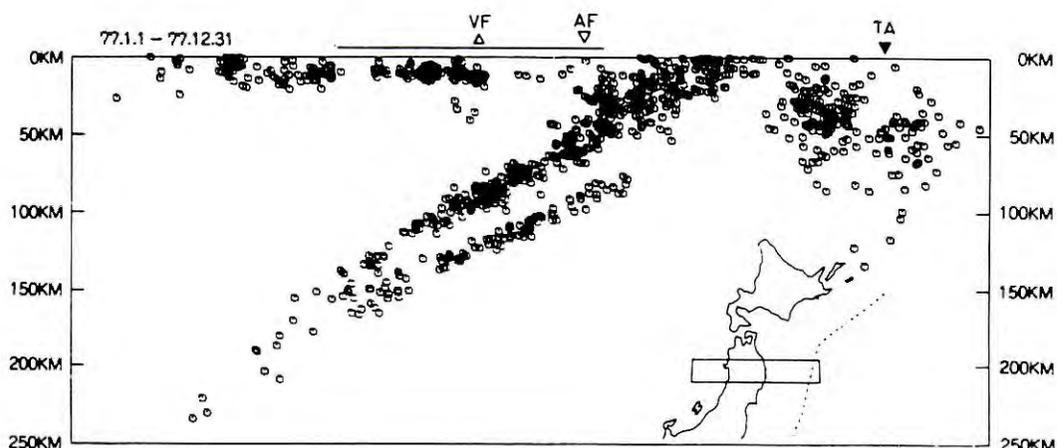
図-8はただいま申しあげた日本列島のあたり、東北地方を北海道の方から見たとご理解いただいていいかと思います。もぐり込む時に引きずり込まれますので日本海溝ができる。で、摩擦熱で溶けた岩が噴出して火山になり、海岸線から少し陸側に入った所で温泉が湧く、こういうことです。

この図-9はきちんとした科学的な証拠のあるお話でして、東北地方の長方形で囲んだ部分を取り出して見た絵です。ここが東北地方の沿岸で、こ

れが日本海沿岸です。したがって、大太平洋の方から押し寄せてきたプレートが中へもぐり込む。その時に摩擦を伴って小さな地震が起こるわけです。この地域で起こるのは、アジアプレートと太平洋プレートのぶつかった意味で、「プレート間地震」と申します。150~200kmという非常に深い所で起こる地震もごぞいます。一昨年でしたか、釧路沖地震がございましたが、あれなんかは震源が実に深く、100km。ですから震源は地図の上では釧路の街から非常に近い所ではございましたが、何しろ100kmも深い所ですから、それほど大きな被害はなかったということです。

今一つ、これをご覧になってお気づきになるのではないかと思いますのは、地面に非常に近いところにも横一列にならんだ地震があることです。特徴はこの地震は、非常に浅いことです。これは、ユーラシアプレートが大太平洋側から押されてくることによって、内部に溜まるストレスによるプレート内の地震ですので、私どもは「プレート内地震」と言います。要するに、一つの板の中の、横から押されたことによるひずみを解放するための地震である。非常に浅いのが特徴で、50kmも行きません。先だつての阪神の地震も、まさしくこの類の地震でした。関西で申しますと、この類のプレート間地震は南海道地震と東南海地震です。

図-9



東西鉛直断面における北緯39°から40°の稍深発地震の震源分布
VF:火山フロント, AF:アサイズミック・フロント, TA:海溝軸

図-7

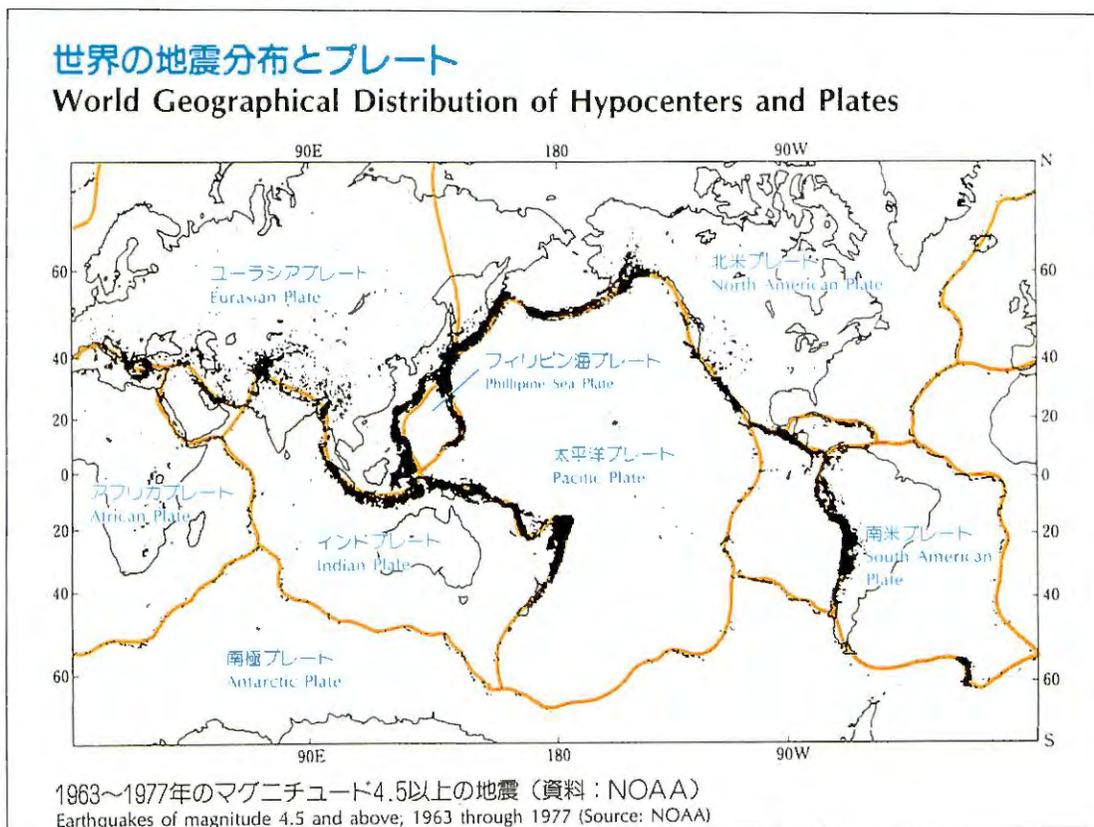


図-8

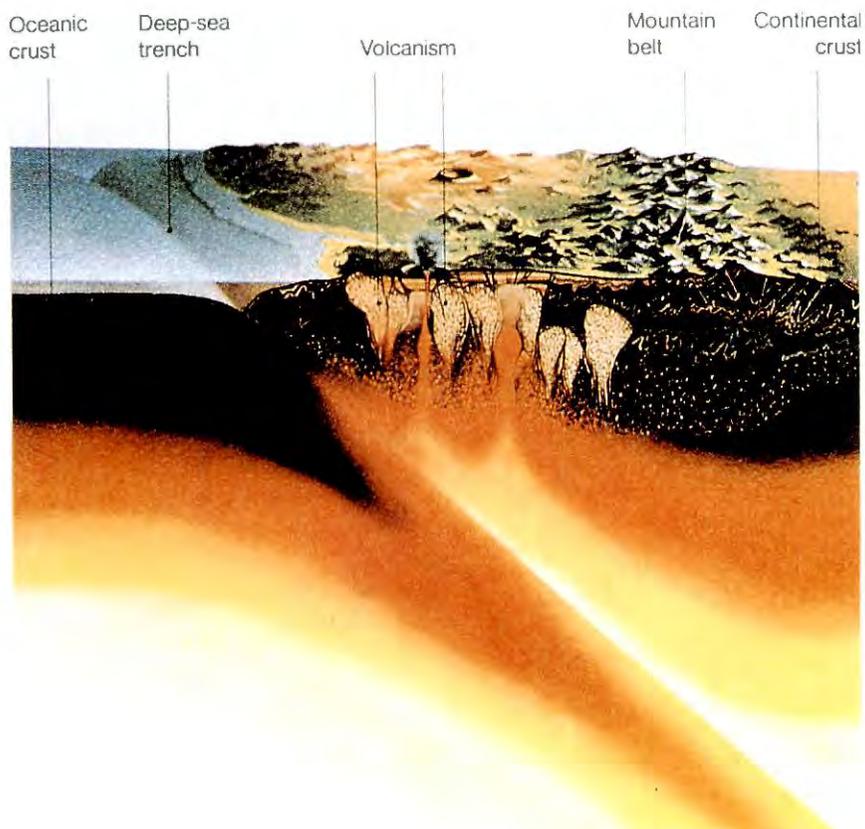


図-10

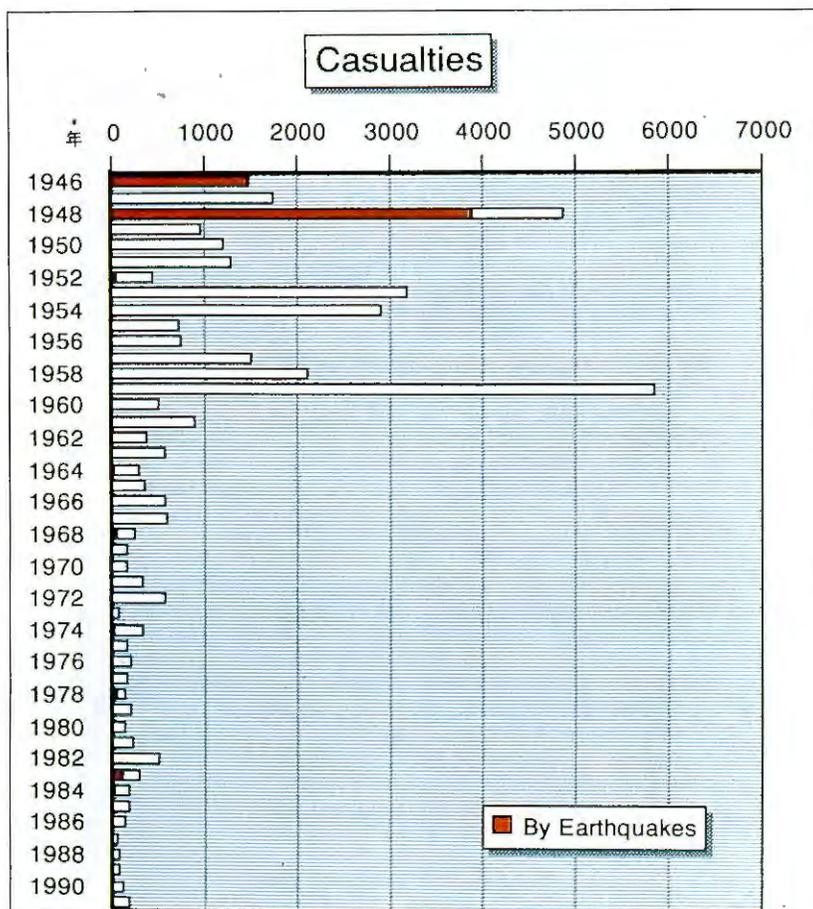
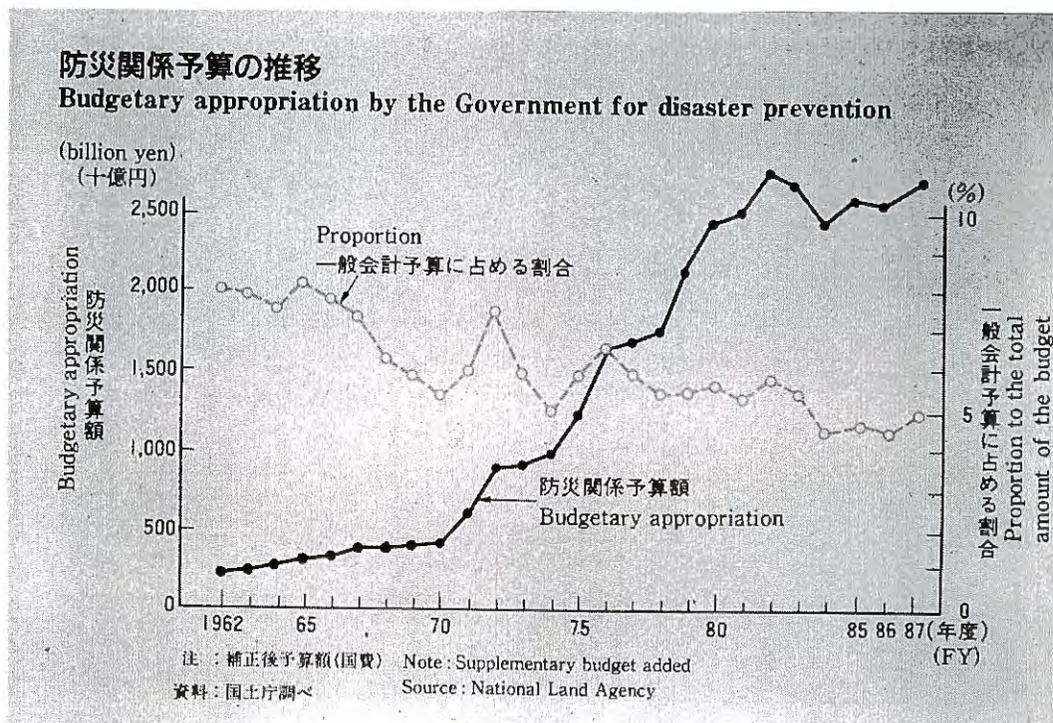


図-11



次に少し被害の話になりますが、図-10は戦後から自然災害によって失われた人命の統計です。赤いのは地震によるもので、1991年までの統計です。したがって今回のものはもちろん入っておりませんが、5,500名という数値を入れると左の方の赤い線を超えるということです。

要するに申しあげたいのは、一目でおわかりいただけるように、戦後、国土の荒廃していた頃には、毎年のように風水害で1,000~2,000人という命が失われました。しかしながら、この時分の日本は今で言う発展途上国の一つだったはずですが、貧しいながらも災害に対する投資を営々として行ってきたわけです。その成果で、伊勢湾台風を契機にして死者がずいぶん減りました。これはひとえに、先ほど申しあげたことに戻るわけですが、風水害の場合は毎年のことですから、どこに欠陥があるか、どうすればいいかということを知ったり、その手立てをするチャンスがある。

ところが地震の場合には、昭和23年（1948年）の福井地震では3,800人の命が失われましたが、何しろ戦後のどさくさのことでございまして、そういうことをきちんと学習しよう、技術をどうしようということとはほとんどなかったと思います。昔の記録をひもときましても、そういう話はあまり出てまいりません。もちろん地震の研究に使えようような記録もまったくありません。要するに50年間、風水害のように欠陥を勉強したり手立てをするチャンスがなかった。今回の阪神大震災を招いた最も大きな理由は、そこにあったと思っております。

ですからこれは誰が悪い云々ではなくて、日本の国全体が「地震の災害で日本はもう大したことはないんだ」と思っていたのではないかと。悪いことに、釧路の地震とか三陸はるか沖地震というのが、昨年、一昨年とございました。いずれもM8というような巨大地震です。M8が非常に大きな地震だということは皆さんもよくご承知のとおりですが、M8などという地震が起こっても、もう一人か二人しか命が失われないと多くの人々が思ってしまった。北海道南西沖地震では200数十名の命が失われましたが、あれは津波によるもので、地震による直接的なものはほとんどございませ

でした。だから日本中の人々が、もう地震では大したことはないのではないかと思っていた節がございまして。

これは今言っても説得力はないんですが、昨年の10~11月ぐらいに新聞に投稿しようかと思っていたことがあるんですね。「大地震が起こった」ということを新聞やなんかが言うんですが、その時にはマグニチュードだけの話をしてほしくない。というのは、あれは非常に遠くで起こっているんですね。M8と言いますが、起ったのは海岸から50km、80km、100km。要するに被害のインテンシティーは距離の二乗に反比例するわけですから、距離が倍離れば4分の1になる。もしマグニチュードの大きな地震が起こったら、「大きな地震が起こった」だけを言わないで、「その代わり遠くなんだ」ということを一緒にセットにして言っていたかないことは本当に困ったことだと思っ、どこかに書こうと思っていた矢先にあのようなことになりました。今さら言っても何の説得力もありませんが……。そういう日本の国全部あげて油断があったと、私自身は思っております。

人命の損失は減りましたが、被害の絶対額は依然として増えております。統計が続いて恐縮ですが、GNPの0.2~0.3%は今でも失われております。今回の地震のトータルの被害というのは、直接的な被害が10兆円ぐらい、復興需要を合わせて20兆円ぐらいだそうなんです。国家予算が70兆円ぐらいですから、ざっと3分の1から4分の1ぐらいまでいっているわけですね。

日本の国がこれまでにどれだけのおカネを災害に使ってきたかを示しているのが図-11です。絶対額を言ってもあまり意味がありませんので、国家予算に占める割合で申しますと、87年の統計で5%ぐらい使っております。1962年の段階では8~9%ですから、それ以前は楽に10%を超えていたはずなんです。

私はいろいろ調べてみたこともあるんですが、こんなに多くのおカネを災害に使っている国というのは、日本以外にございませぬ。こんな統計はよその国々には滅多なことではございませぬ。そういう意味では私どもは依然として、災害というものに対して非常に大きなおカネを割かなければ

ならない不幸せな所に住んでいるんだ、ということだけは事実です。あまり良いことではございませんから、災害のことは皆さん頭から忘れない、あるいは忘れていたところもあるんですが、国家予算の5%というのかなりの額です。これだけのおカネを使わざるを得ない状況に自分たちはいるんだということは、やっぱり時には思い直してみてもいいのではないかと考えております。

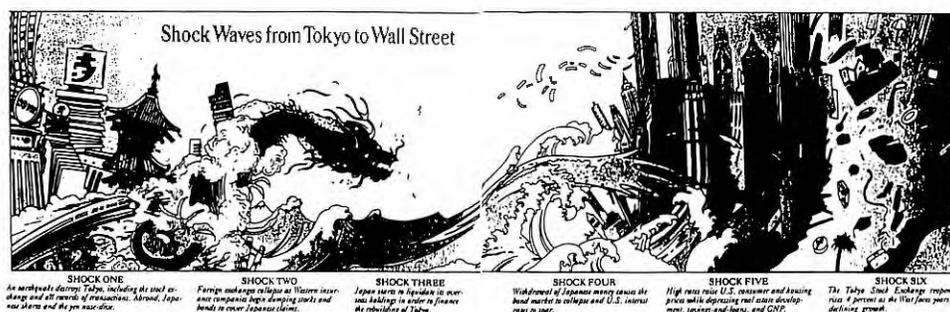
今や日本の国で起こる地震の災害が、自分たち周囲だけの問題ではなくなってしまっているということも、時には思い起こさなければいけないのではないか。この図-12は、アメリカで発行されている経済専門誌の数年前の特集号で、東京の地震が世界経済にいかにか影響するかというものです。要するに東京で地震が起こると、ニューヨークまで6つのショックウェーブが出るんだということです。いろんなステップがございます。たとえば最初は証券取引所がその記録なども失ってしまっ、日本の市場占有率や円相場が急落する。要するに東京で大地震が起こると、再建のためのおカネを必要としますので、世界中に出回っているおカネを日本へ持ち帰ってしまう。日本の場合、貿易で稼いだおカネのほとんどが海外へ出てしまっているのだそうですが、それを日本へ持ち帰ってくることで、世界中の経済を動かしているトータルのおカネの額が減ってしまう。それで世界中の経済に悪い影響を及ぼす。

少々の悪さではなくて、アメリカのような先進国においても GNP がマイナス2%の成長になる。要するに GNP の成長が減ってしまう。これは銀行の方々が地震の一つの訓練としてそういう推算をしているらしいんですが、とくに南米のアルゼンチンなんかになりますと、マイナス12%まで落ちるんだそうです。

ところが日本は、初めの1~2年は景気が悪くなるけれども、その後、復興景気で4~5%の成長になる。だから結局、日本だけがハッピーで、よその国はアンハッピーになる。その時の直接的な被害が80兆円ぐらいではないか。起こる地震は1923年の関東大震災ぐらいが条件になっていますが、80兆円ですから国家予算が飛んでしまう。そして復興の需要が120兆円。ですから合わせて200兆円。そうしますと、今回の地震はその10分の1程度ですから、これほどの大きな世界的な影響は及ぼさないでしょうが、すでに何がしかの影響が及んでいるという話も耳に入っています。

したがって私どもは、日本の地震災害というのは自分たちだけの問題ではないということも認識しなければならない。望むと望まざるとにかかわらず、そういう状況に自分たちがいるのですから、やはり何とかして地震を押しえ込むようなことを考えて対策するという、見えざる責務を負っているのではないか。国家として、あるいは一人一人の個人かもしれませんが、そういう責務を否

図-12



- ショック1: 地震が東京を襲い、証券取引所やその記録なども破壊される。海外では日本の市場占有率や円相場が急落する。
- ショック2: 欧米の保険会社が日本からの要求を満たすために証券や債券をゲンピングしはじめ、為替市場は崩壊する。
- ショック3: 東京再建のための資金を得るために、日本が海外の不動産を現金しはじめる。

- ショック4: 日本が海外投資を引き上げることにより、海外の債券市場が崩壊し、米国の金利が暴騰する。
- ショック5: 高金利により米国の消費者物価、住宅が値上がりし、不動産開発は落ち込み、GNPは減少する。
- ショック6: 東京証券市場が再開し、年率4%の経済成長を見るが、西政は何年ともマイナス成長となる。

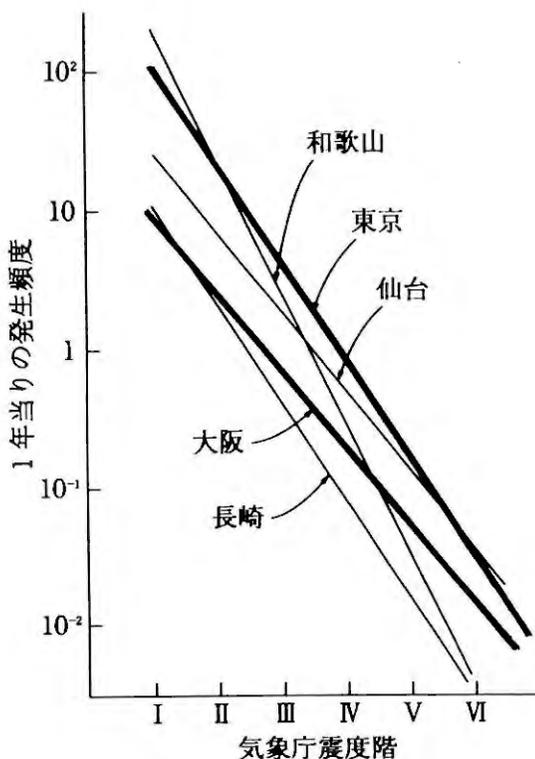
応なく背負ってしまっているんだと考えねばならないのではないかと思います。

では、関西の地震はどうかということになります。これは先ほど西原先生からご紹介いただいたことなのですが、関西の人は、今の東京の例でありましたように、「地震が来るならば東京だ」と暗黙の了解のようにしている節があると私は思っております。

この図-13の横軸は、このごろではお馴染みになった震度で書いてあります。私自身はこの震度階という言葉はあまり好きでないので使わないようにしているのですが、一般的になってしまいましたので、やむを得ず使うのですが、この図中の東京と大阪の線を比較してみましょう。震度1とか震度2という非常に小さな地震ですと、回数は東京の方が明らかに1桁多いです。ところが本当に我々が恐れなければならないのは、「地震が起こった、揺れた」というのはどうでもいいことでして、問題は強い地震です。震度6とか震度7という地震になると、2倍ぐらいしか差はないということです。

一般の方々が漠然と思っておられるのは、左の

図-13



方では1桁違う。要するに大阪の線が東京の線に平行線のままでと錯覚しておられる。これが問題だと、私はずっと言い続けてまいりました。要するに、長崎がそうなんです。東京と比べて見ますと、小さな地震も1桁少ないし、大きな地震も1桁少ない。

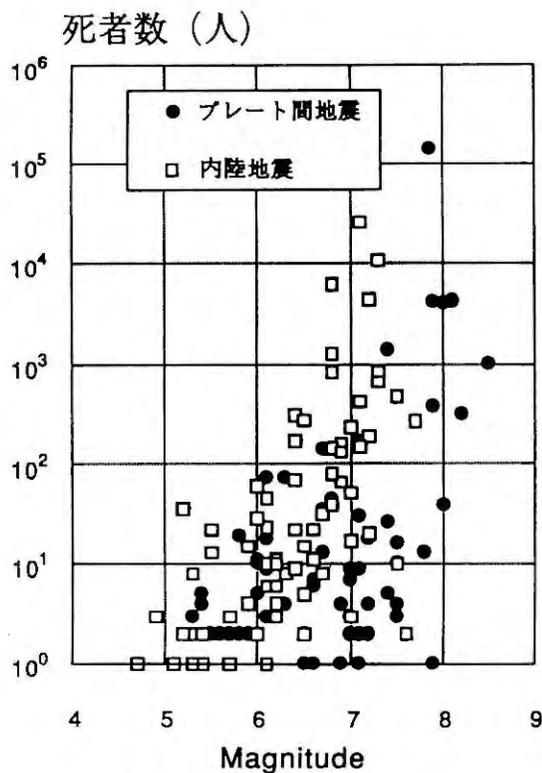
このところを何度もいろいろ申しあげました。一般の方々にそういう話をしましたら、この絵を見ている限りにおいては「なるほど、そうだな」と理解していただけるようなのですが、講演が終わってドアから一步出たとたんにコロッと忘れるのではないかと。私はそれが問題だと言うんですね。きょうここにおいでの方々は、こういうことは直ちにご理解いただける方々ばかりですので、ぜひこういうことをほかの方々にも話をしてあげていただければと思う次第でございます。

では、どういう地震が来るのかという話になります。ところがこれまで、これは私どものような技術に関わる人間にも責任があるところなんです。地震が来るとすると、プレート間の地震、関西で申しますと南海道の地震、東海の地震、ああいうものがすぐ念頭に浮かぶようですが、決してそうではない。実はもう少し内陸の、いわゆる皆さん方がおっしゃる直下型地震のほうが本当は恐ろしいということを申しあげたいわけです。

図-14(次頁)の○印がプレート間の地震で、南海道とか東南海で起こる地震で、□は内陸のいわゆる直下型地震によって20世紀になってから失われた人命です。地震には直下型とか何々型とかいうのはないので、本当は「直下型」と言うのはいけないんですが、難しいことを言ってもしょうがない。このごろはどこでも皆さんが「直下型」と言いますから、私どももそれにつられてしまっていて、きょうもそう言うことにしますが、この直下型の地震が□です。

実は、この図中の右上隅の○印は関東大震災を起こした地震で、14万人が亡くなりました。しかしながら科学的な見地からはプレート間地震と言うべきなんです。災害の話から見ますと、東京、横浜の直下で起こったような地震ですから内陸の地震としてもいいんですが、これは特殊ですからやめましょう。

図-14



地震による死者数とマグニチュード

そうすると、プレート間の地震は大きいものはM8ぐらいになります。内陸の地震は大体M7ぐらいです。ところが人命の被害は、ここに示す過去100年間の地震統計を見ると、明らかに内陸の直下型地震のほうが大きいんです。マグニチュードというのは規模を表すことはもうよくご存じだと思いますが、被害から見ますと、エネルギーとして30分の1でしかない直下型地震のほうが1桁大きいわけです。だから私どもが本当に恐れなければならないのは、やはり直下型の地震なんです。では、これを「おまえたちのような技術に関わる人間が今までちゃんとやってきたか」と言われますと、実際のところはそうではなく、こちらのプレート間地震のほうに引きずられていたところがございます。

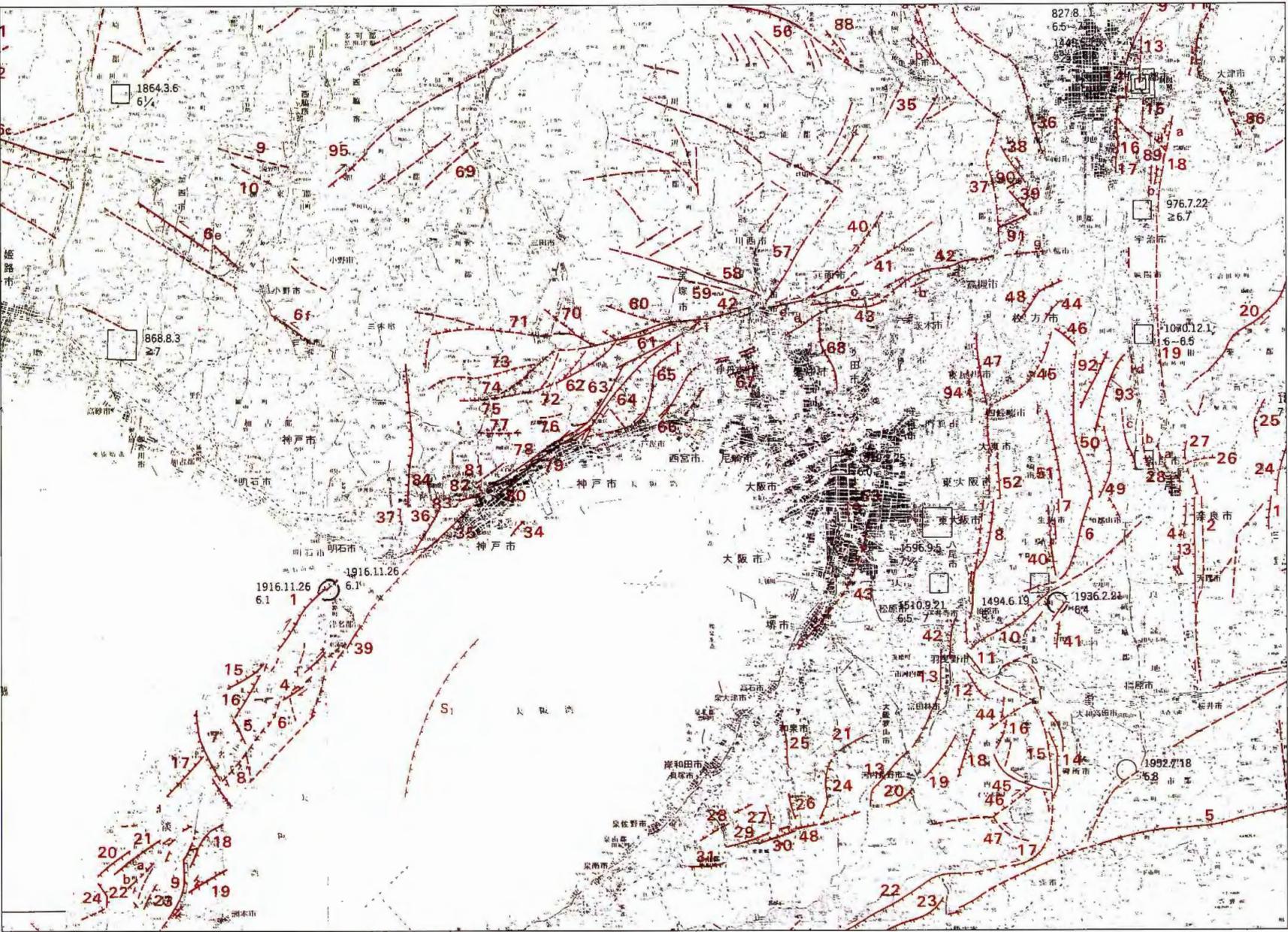
なぜかと申しますと、これは私どもの反省している点なんです。こちらのほうは、たとえば南海道なら南海道という一つの場所を見ますと、再現するサイクルは大体100年とか120年というものです。たとえば大きな構造物をつくといいまし

ても、50~100年ぐらいを念頭に置いてつくります。そうすると再現期間も150~200年に1回ぐらいの地震を考えよう、となるわけです。ところがこの直下の地震というのは、いわゆる活断層が引き起こすわけですが、この再現期間は500年、1000年、5000年というオーダーで、1桁長いわけです。

そうしますと、100~200年もつ構造物を考えようということからしますと、一応その確率計算をするわけですが、5000年とか2000年、1000年に1回しか起こらない地震は確率的には非常に低くなってしまいますから、それは数量的には飛んでしまう。結果的には、プレート間地震しか見てないということになってまいります。それは間違ったとは言えないんですが、1カ所の活断層で見た時に500~1000年に1回しか起こらないといっても、いったん起これば非常に多くの命が失われ、たくさん物が無くなるということになりますと、確率だけでは議論できないことになりはしないかということなんです。

たとえばこのたびの阪神の地震にしましても、神戸の震災対策を立てる時に、「活断層を考えていなかったから、けしからん」という風潮を耳にします。私どもはそれを必ずしも弁護するつもりはありませんが、神戸で地震が起こったのは、歴史をひもときますと、1916年にM6という地震が起こっております。地震規模は今回のものに比べて1桁小さく、死者は1名。だからそれはもうほとんど無視してもさしつかえない。ずっと遡りますと、890年まで神戸では地震がないんです。ですから神戸の場合、地震というのは1100年間起こっていない。1100年間起こってなくて、10~20年先のプランを考えようという時に、「何千人死ぬかもしれない地震を考えよう」と誰かが提案したとしても、はたして皆さんが受け入れたかといいますと、私は決してそうではなかったと思うんですね。

だから、そういうことで必ずしも責められはしないんですが、今度のようなことを我々は経験しますと、500~1000年に1回かもしれないけれども、ひとたび起こった時のことを考えますと、やはりこれは軽んじてすむものではないのではないかと。技術の分野も含めて、さらには一般の方々の考えも少しは変わるのではないかと、私自身は考えて



いる最中です。

今のようなことを私はずっと前から言い続けていたんですが、今言ったって、「そんなこと、後追いで言っているのに決まっている」と言われるのがシヤクなのですが、決してそうではなく、1994年4月に発行の広報誌であります「京都大学工学部報」に、今のような図と説明をちゃんと書いてございます。これは弁解がましくて恐縮ですが決して後追いでございませぬ。

今回の阪神地震に少しずつ話が移りつつあるわけですが、この図-15（前頁）は活断層がどこにあるかというのを描いたものです。今回の地震で確認されているのは淡路島の野島断層と、海中の断層も確認されています。そして芦屋方面の断層が3本ばかり見つかっています。

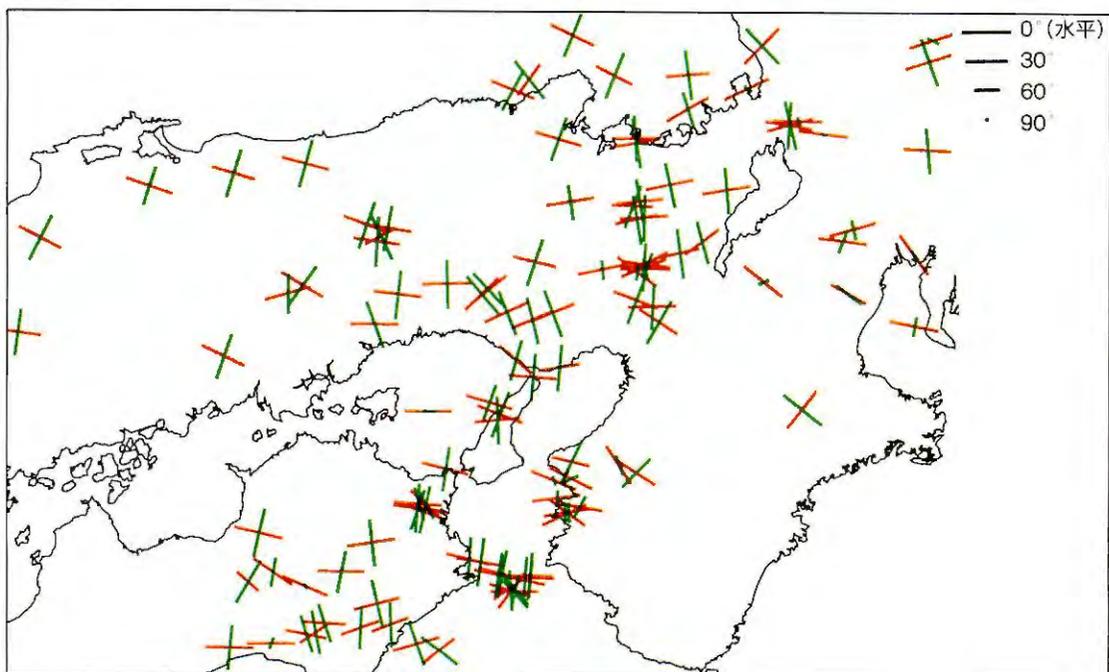
この辺のさらに北から東にかけて活断層が多いわけですが、この次に危ないのではないかとと言われるのが、有馬高槻構造線と言われます。今回の地震で断層面上の垂直方向の圧力が減っておりますので、この断層が動きやすい状況になったことだけは間違いない。それがいつかはわかりませんが、とにかく状況が悪い方に動いたことだけは事実でございます。ということは、今度の地震断層

との力学的なコンジュゲートなものが山崎断層です。これも非常に今後の地震を起こす候補として挙げられるものだど、地震学者は申します。私は地震工学の人間ですから、彼らの受け売りでございます。

この図-16は、近畿地方における力の場を表しております。赤いのがコンプレッション、緑がテンション。なおかつ線の長さが水平面に対する傾きを表しております。ほとんどは水平方向の力です。一目でおわかりいただけるように、赤い線がほとんど東西に働いています。ということは、この近畿地方は、東西に非常に強いコンプレッションを受けて南北に引っ張られるフィールドにある。こういう状況下で、このたびの地震が起こったということです。

地震の起こり始めの波形の記録を解析しますと、明らかに図-17の左右に圧縮力を受けて、上下方向に引っ張り力を受けていることがわかります。ここから先は力学の話で、すぐにおわかりの方と、あるいはそうでない方もいらっしゃるかもしれませんが、こういうふうにコンプレッションとテンションを受けますと45度の方向にシアフェイリュアが起こります。まさしく45度の方向に断層が生

図-16

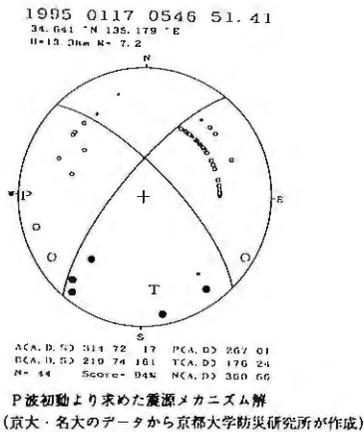


じたというわけです。

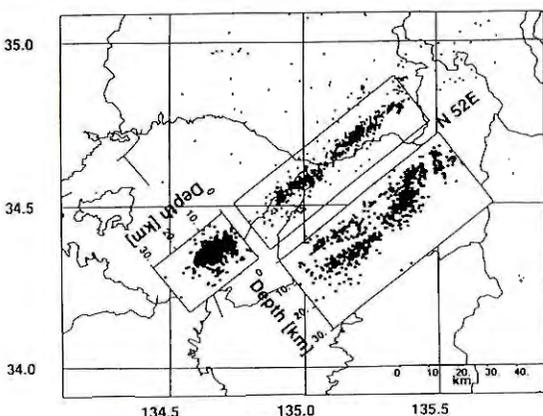
この絵の下の図中の小さな点の一つ一つは、地震が起こった後に起こる余震のプロットです。地震発生後の数日間のプロットでしかございませんが、こういう所で小さな地震が起こっているわけです。全体の長さが40km、深さは15kmぐらいでしょうか。ですから40km×15kmぐらいの断層面がずれたということです。

これは非常に面白い絵です(図-18)。淡路島、徳島ぐらいからずっと北のほうまでを切り出して、横から見た絵が下の図です。1926~1994年1月末の合計70年足らずの間ですが、その間に起こった小地震の震源をプロットしたものです。したがって一つ一つの○が地震を表しているわけですが、ご注目いただきたいのは図中にプロットが全然無い部分のあることです。

図-17



Attershock Distribution of South of Hyogo Pref. Earthquake from 1/19 16:16 to 1/25 10:5

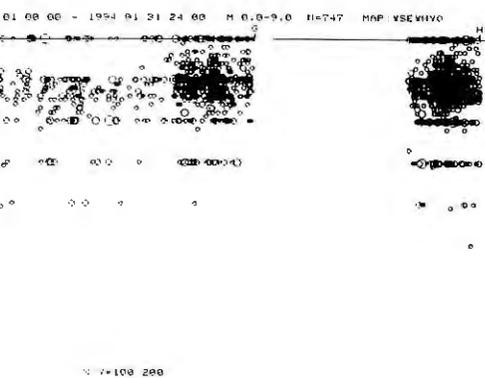
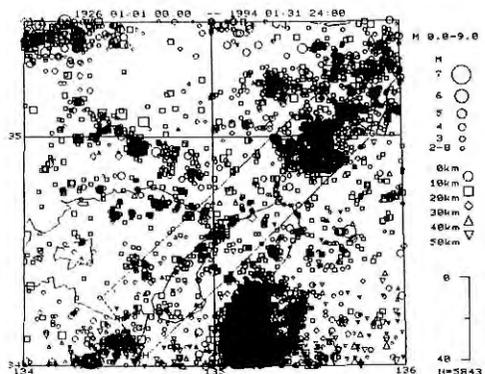


余震分布(京都大学防災研究所作成)

というのは何を物語っているかといいますと、この所では地震が起こっていないなかったというわけです。要するに、くっついたままであった。こういうことは、次にここに地震が起こるよということの何よりの証左です。要するに、全体として非常に大きな力を受けている。ここ以外の所ではすでにエネルギーが解放されている。ということは、この所ではストレスがだんだん溜まっているわけですから、いずれこれが解放されて地震になることはわかるわけです。

実は、ある地震学者は「この所の危険性は高いよ」と前から言っておりました。しかしなかなか一般の耳に達しない。あるいは言っても迫力がないのは、問題はこれが「いつだ」とはっきり言えない。皆さん方は性急で「いつだ」と必ず聞くし、それを言わないことには「じゃあ、もういい

図-18



や」と。そこが問題なんです。私どもの思いすには、地震の専門の人たちに対して「いつということを書いてくださるな」とお願いしたいんですね。いつだと尋ねるから、彼らは黙ってしまうわけですし、「いつだ」と言わないで「どこだ」とさえ言ってもらっただけでも非常に助かるのではないかと。

要するに、こういうことが起こらない所はもう安心して地震のことは忘れておればいいですし、危険の高い場所については、時間はわからなくても、やはり集中的にいろいろな手立てをすることはできるはずなんです。そういうメリハリのある対策を考えることができるわけですから、私どもはやはり地震学の人たちにこういうことをしてもらわなくてははいけない。

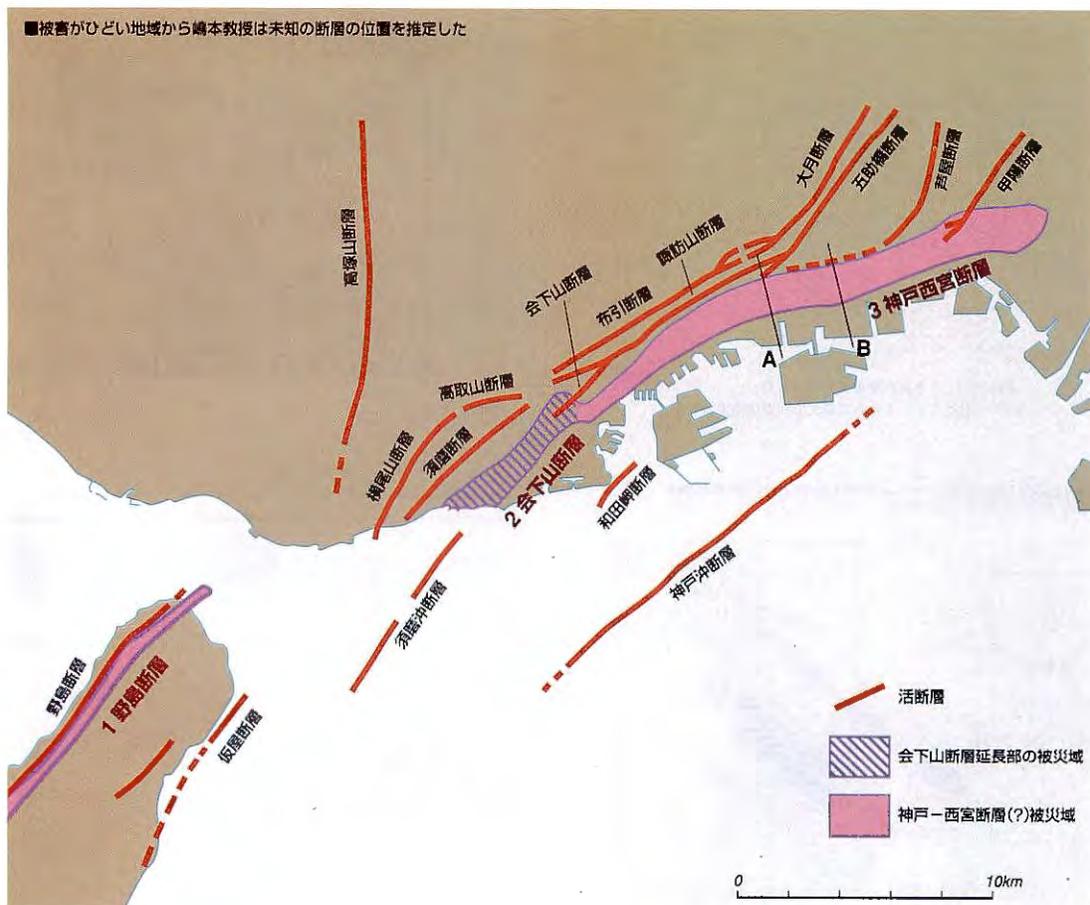
このごろは地震予知に対する風当たりが強く、「地震予知はやめてしまって、その部分を地震工

学とか地震防災の分野に回せ」と言う人たちがたくさんおります。私どもは大賛成と手を上げたいところですが、そんなせこい根性は私自身は持っておりません(笑)。そうではなくて、「長い目で50年、100年、200年かかってもいいからやれ」ということで、やはりやってもらわなくてははいけないのではないかと思います。

ですから、まだ日本の国では地震予知の研究を続けておりますが、アメリカはテンポが非常に速いといいますが、移り変わりが速いというんでしょうか、「もう地震予知はやめた」と宣言してしまっております。「何か月先に地震が起こります」と言うことはできないと。日本はもう少し続くのではないかと思います、風向きはどうもよろしくないように思います。

図-19は阪神・淡路大震災による被害域を示しています、赤いのが地震の被害の大きかった所で

図-19



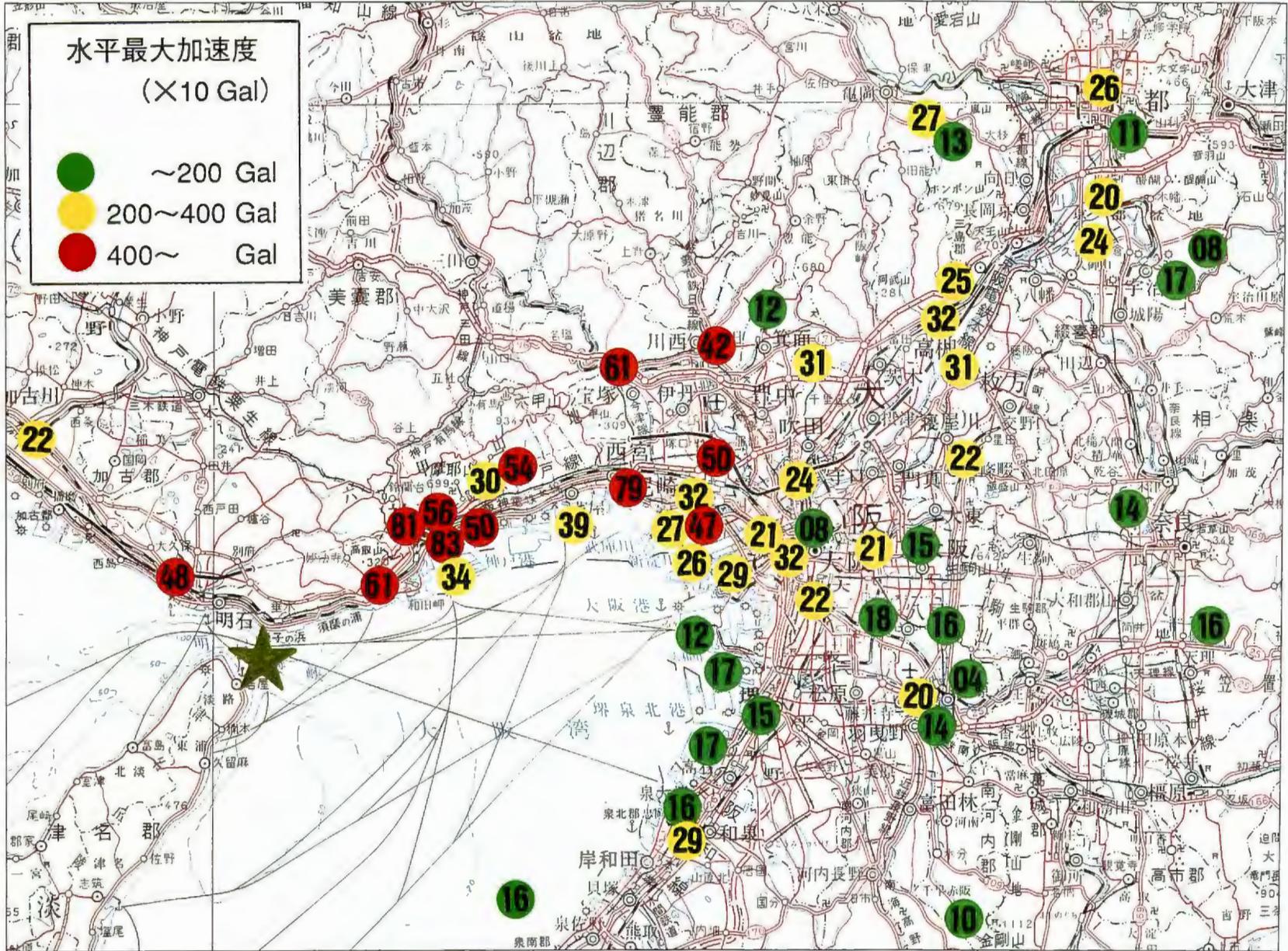


図-20

す。この赤いのは幾つかもう地震の断層が確認されているんですね。海の中のものも確認されております。で、ここの所だけがなぜそんなに被害が大きいのか。いろんなことが考えられますが、そのうちの一つは、ひょっとしたらこの海中にある断層がこの下にずうっと北の方に行っているのではないかとする人もいます。まだ未確認の断層がここにあるかもしれない。確認されるものというのは、要するに山を歩いて目でもって「ここにあるよ」と言っているわけです。ところが、人がたくさん住んでいるような所は表土がございますから見えません。したがって、わかってないという可能性はございますし、断層は地下深い所にとどまっております、地表には表われていないとも言われています。

図-20 (前頁) では、このたびの地震でどのぐらい地面が揺れたかを示しております。ご承知のように重力の加速度は1g (約1000ガル) として、400ガル以上のものが赤、緑が200ガル以下、黄色がその間です。

断層が動いたのは、淡路島の北半あたりから宝塚あたりまで。一つの非常に奇妙なことにお気づきになりませんか。断層があったのですから、その周辺が赤いのは何でもないわけですが、そこから大阪のほうの南東方向へ渡りますと、これはたかだか20~30kmですが、もう緑ばかりになります。

この断層の外れから北東方向へ20~30kmというところ、このへんです。なぜかこのへんに黄色いのがたくさん残ります。要するに京都のほうへ向いて地震の揺れが続いているわけです。これは何かということが、少なくとも私どもの関心事です。断層が動いたのだから、その影響方向に振動が激しくなったのかもしれない。これが一つの理由かもしれません。今一つは、琵琶湖から宇治川を出て淀川あたりは昔からの氾濫地帯がございますから、要するに地盤がよろしくない。その影響なのかもしれません。

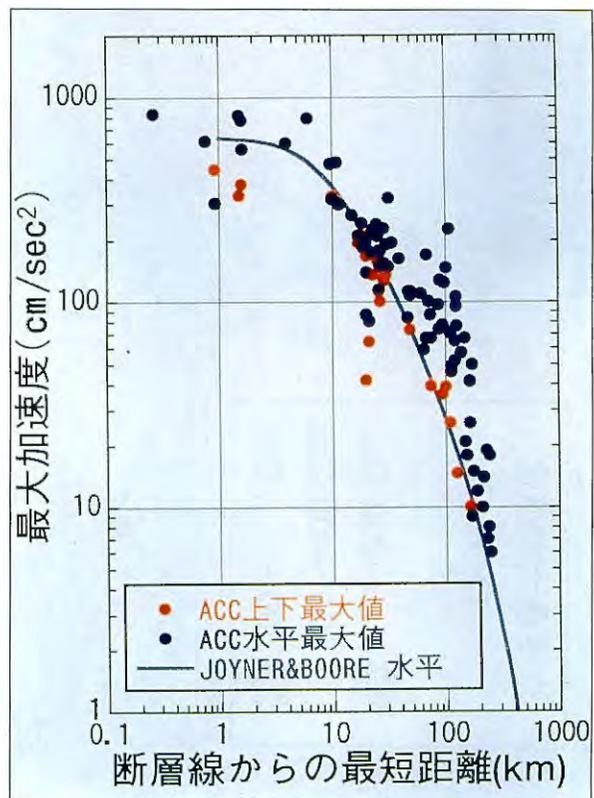
いずれにしても、先ほど申しあげた有馬高槻構造線がこのへんにあるわけですから、これがひとたび今度と同じサイズで地震を起こすとすれば、このたびの神戸の被害よりももっと大変なこ

とになるのではないかと恐れております。

この間、面白い話がありました。この絵をある新聞社が載せたいと言うので渡しましたら、どこかに載せたらしいんです。そうすると翌日ぐらいに大学へ電話がかかってきました。ご婦人なのですが、「私は岸和田に住まいしている者ですが、私のすぐ隣の所は小さいのに、なぜ私の所だけそんなに大きいんですか」と。なぜと聞かれても「答えようがありません」としか言いようがないのですが……。

要するに、もう先生方はすぐおわかりのように、力は加速度と質量の積ですから、ある力が何かの所に働いたとしますと、それにより動いている部分の質量が小さければ加速度はすぐ大きくなるわけです。加速度なんていうのは大したメジャーではなくて、ちょっとしたことで変わります。しかしこのごろは俄学者というわけではないでしょうが、俄勉強家がたくさんおりまして、ガルを見てすぐ「大変だ」と言ってくる人が多うございます。

図-21



今回の地震でどのくらい揺れたかというのを、私どもの分野ではアテニュエーションカーブと申します。距離減衰曲線とでもいうんでしょうか、距離による減衰と申しますか、1 km、2 kmというふうに距離によって地動の大きさがどう変わるか。それを示したのが図-21です。相当大きな、600ガル、800ガルという大きな加速度が、断層線から数kmのところまで観測されています。こんなに断層から近いところで、こんなに大きな地動が観測されたのは我国では初めてのことです。今、申しましたのは水平動に関してですが、上下動においても非常に大きな値が観測されております。新聞・雑誌等では、「縦揺れ」といいます。あれも本当は間違いでして、非常に紛らわしいので私どもは決してそんなことは言わないんです。本当は上下動と呼ぶべきなのです。「上下動が強かった」と申しますが、数字をきちんと見ますと決してそうでもない。白抜きのものが上下動で、塗りつぶしたのが水平動です。水平と上下を比べますと、全般的にはやはりこれまで経験してきたように水平よりは上下のほうが小さいことは事実のようです。ただ、構造物なんかの破壊の状況を見ますと、やはり上下動が悪さをしたに違いないとしか考えられない場合もいろいろございます。

少し専門的すぎるかもしれませんが、このたびの地震が構造物にどう影響を及ぼしやすい性質を持っていたかというのを、私どもの分野では応答スペクトルという言葉を使います。構造物の固有周期、1秒なら1秒の構造物があると、この地震が働いたら応答が幾らになるかという関係を示したものです。

この図-22の太い実線がこのたびの神戸の地震です。あとの二つは非常に特殊な地震記録です。昨年のロサンゼルス近郊のノースリッジという所で取れたものは、水平の最大値が1.8gにも及ぶ非常に特殊な地震波形です。それからもう一つが釧路の地震の時に气象台で取れたもので、これも地形効果が入っていると思われる非常に特殊な地震記録です。

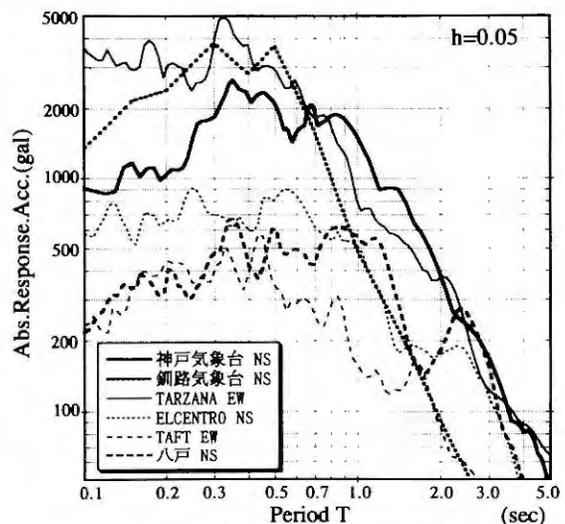
これまで、私どもがいろんな設計等で使ってきた地震と非常に違います。何が違うかと申しますと、0.3~0.5秒の構造物に対して非常に揺れを大

きくする性質を持っている。0.3秒、0.4秒というのが何かと言え、典型的な木造家屋の周期がこんなものです。ですから木造家屋等に対して非常に不利な性質を持った地震動であった、ということだけは間違いございません。

先ほど今度の地震で取れた加速度の分布をご覧に入れましたが、実はあれは鉄道とかガス会社、電力会社でお取りになったものの最大値だけを私どもに頂いてきてプロットしたものです。したがってその中には、最大値を見るだけとか、自分たちの企業の目的にかなえばいいというものも含まれており、必ずしも将来の科学的な研究等に役立つような記録の波型ばかりではございません。地盤上で記録されたものに限れば全部でも30~40ぐらいしかないと思います。ところが、たとえばアメリカなんかでしたら、先だつてのノースリッジの地震でしたら、地盤の動きだけで119カ所できちんとした記録が取れているわけです。

ところが数年前に私どもが関西で見渡してみたところ、とてもじゃありませんが、数カ所ぐらいしかない。これではあまりにもお粗末すぎるのではないかと。関西で大きな地震が起こって、その時に何が起こったかということを知科学的に知るためには、やはり何といたって記録がないことには

図-22



既往強震記録の比較
(5%減衰絶対加速度応答スペクトル)

どうしようもない。それを後世に残すためにも、何とか記録が取れるようなネットワークをつくるべきだと、国とか自治体にいろいろ声をかけてみましたが、まったく冷たい反応でしかありませんでした。要するに、「関西で強い地震を測る？ そんなバカな」と、時にはせせら笑いをされたようなこともございました。

しかしながら私どもは何と言われても、やはりそういうものを後世に残さなければいけない。それで結局何をしたかと申しますと、私どもの個人的な関わりでもって話を聞いていただけるような

企業の方々、基本的には公益企業の方であり、いろんな関係の災害に関わるような民間の会社からカンパをいただいて、昨年4月にやっと、小規模ながらネットワークをつくることができました。図-23にあるように、神戸大学から始まりまして、千早赤坂村に至るまでの10カ所にやっときちんとした地震計を持つことができました。そのシステムはすべてテレメーターでつながっておりまして、地震が起こるとそれぞれの地点から中央センターに自動的にデータが送られてくる。こういうシステムになりました。

図-23

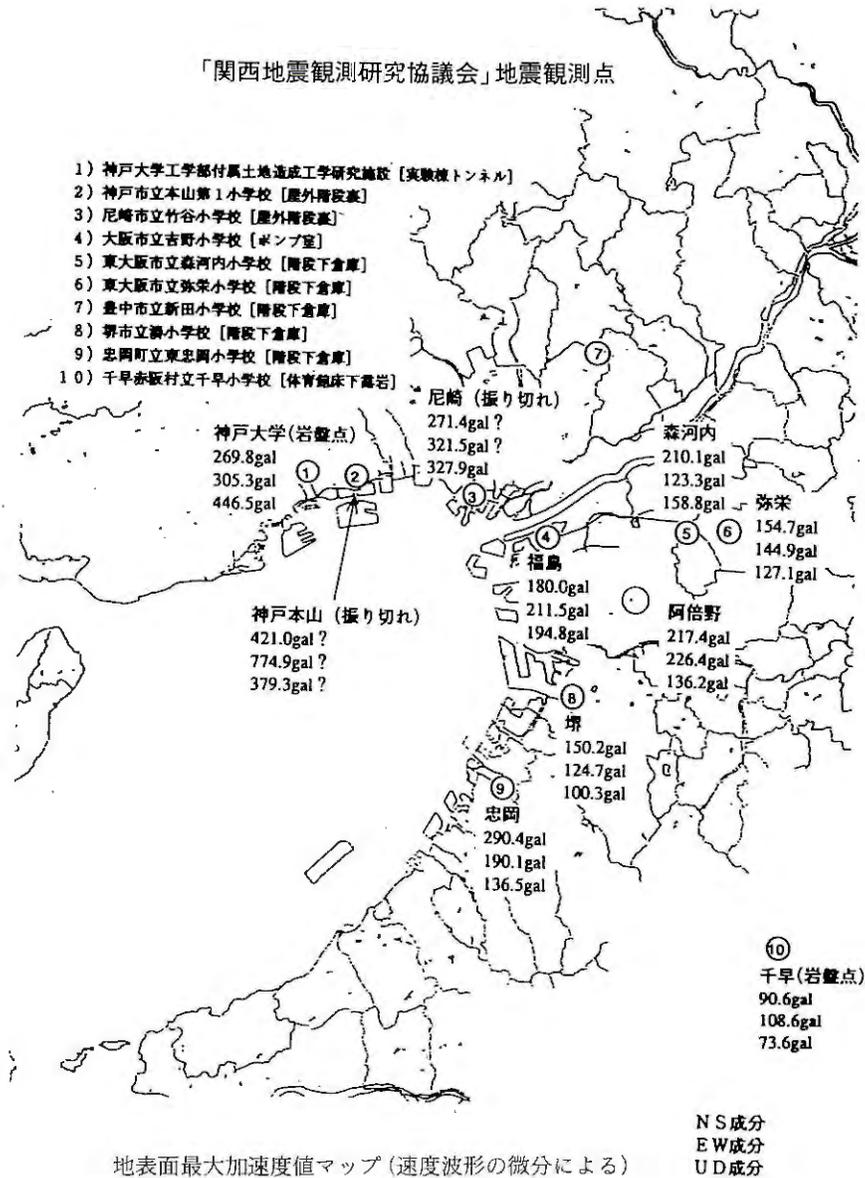
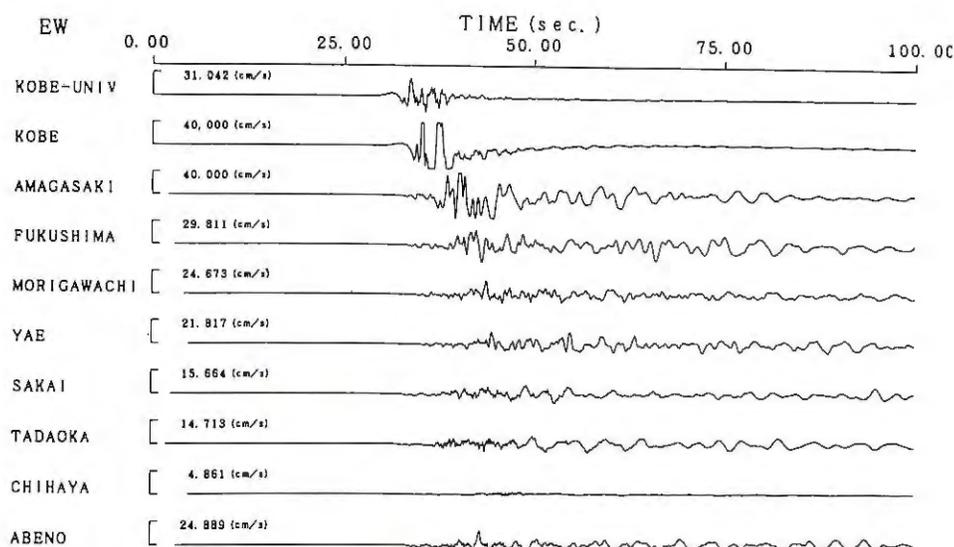


図-24



ORIGIN TIME 1995-01-17 05:46:27.78 DT=0.010 (s)

1月17日の地震の際にこういう波型が得られました(図-24)。神戸大学から始まりまして、堺とかいろんな地点でも取れているわけです。こういう記録は後々のいろんな解析等に役に立ちますが、それだけではダメなんで、私どもは防災の行政とか各種の事後の対策にもお役に立てたいということで、最大の値をすぐさまポケットベルで皆様にお伝えするシステムをつくっております。何しろ昨年4月から始まったことですので、残念ながら、まだ今の時点では数十分かかります。それを私どもの将来の目標は数秒でやりたい。1分以内でこういうデータをいろんな所から取り集め、それを直ちに関係する人々にはポケットベルで、今は文字情報で入りますから「どこそこで何ガル」と、あるいは震度でお届けする。そうしたら、いろんな人が緊急対応する場合に直ちに判断できるはずなんです。

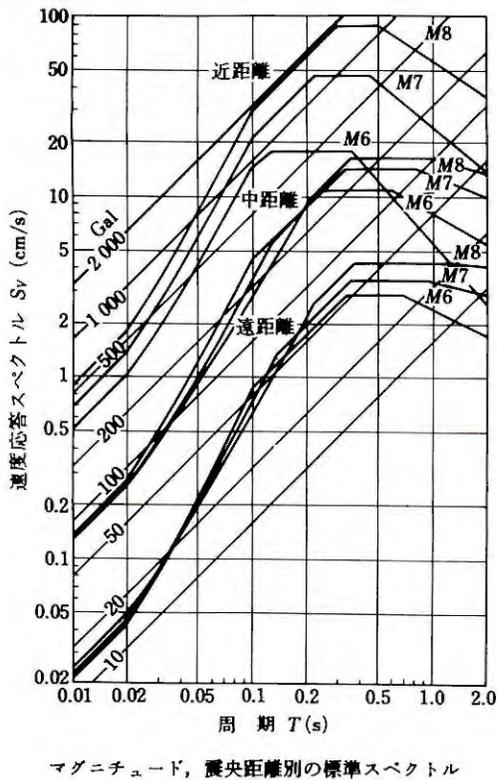
今の気象庁による大阪の震度4とか震度5というのは、たった1カ所の気象台のある所で大阪全域を表現しているわけですから、そんなことで実際の役に立つとはなかなか思えない。東京にいる人が「大阪で地震? 震度5か」と、その程度の情報でしかないと思っているわけです。もう少しきちんとした役に立てるためには、もっともっ

と数が多くなければいけない。もっと細かい地点で、どれだけの地震の強さが起こったかと。さらにはこういう記録が直ちに取れるわけですから、一方でいろんな種類の構造物なり施設なり人の動きなりのデータベースを前もってつくっておきますと、現実リアルタイムで起こっている現象の観測値とを結び合わせることによって、たとえば「どこでどういう被害が起きますよ」と本当にリアルタイムで予測して、次々といろんな対策を立てていけるのではないかというわけです。

こういうリアルタイムの地震防災ということ唱え、文部省なんかにも予算要求していますが、「地震災害の問題なんて、そんなダサいものはダメだ」と、なかなか予算をつけてくれません。だけど今回の地震が起きましたので、ひょっとしたら今年に行くかなと期待しているんですが、いかが相なりますでしょうか。

少し話しづらいところがあるんですが……。ここは科学的な話をきちんと聞いていただける場ですので心配ないと思ってお話しするんですが、図-25(次頁)は原子力関係施設の設計のための資料を周期との関係で示したものです。M7の地震がすぐそばで起こった時の設計のレベルというのは、50カインより少し低いところです。

図-25



一方、今度の神戸で取れた地震の記録を見ますと、50カインを超えてしまっているんですね。ということは、神戸で地震があったあの直近における地動というのは、原子力の施設をつくる時に考えているレベルよりは大きい地震だったことがわかりますね。ですからこれは、いろいろこれから先考えなければならぬ問題を含んでいるところもございませぬ。

ご承知のように現在の原子力の施設というのは岩盤につくる。なおかつサイトから数十kmの所には活断層がないことを確認しますから、神戸のあんな所に原子力施設をつくることは実際にはあり得ないわけです。そういう意味では、今あるものが決して危険だとは私は申しあげているのではないんですが、これから先、ああいう活断層が動くとあの程度の地動を楽々と生じてしまうことは、やはり忘れるわけにはいかないということを申しあげたかったわけです。

次は被害分布を示す図-26です。黒い所が被害の大きかった所です。神戸のほうの地理をよくご存じの方はすぐおわかりだと思いますが、北の方は

山地ですね。南側は人工的につくった埋め立て地です。被害はこの中間に集中しています。低湿地、人工地盤とか、本来地盤のよろしくない所でもないし、中間の所がなぜ被害が大きいかということは、やはり気になるところです。

地盤が悪ければ被害が大きいかはすぐにわかるし、あるいはこれまで経験のあることですが、神戸では必ずしもそうではない。今度の図-27は死者の数をプロットしたものです。先ほどの場合と非常によく似た内容です。

それを考える一つの手立てとしまして、地質、地形も含んでいるかもしれませんが、絵を描いてみますと図-28 (22頁) のようになりまして、新幹線から向こうは山地になります。順に海側へ台地、低地、それから埋め立て地になります。

こうやってみますと、どうも先ほどの被害が大きかった所と低地がほとんど一致します。したがって問題は、なぜこの低地だけがよく揺れたのか、なぜここだけが被害が出たのか、ということです。これはいろんな可能性が考えられます。そして関係者は今いろいろ検討しているところで、まだ答えが出ている状況ではございませぬので、あまり軽々しくは申しませんが、可能性としてはいろいろなことが考えられます。

事実としてありますのは、こういう被害の大きかった所で、地震のあと地震計をたくさん配置して余震を観測した人たちがおります。どういう所でどういうふうに揺れるかを観測しましたところ、こういう被害のあった所ではいずれも土地が1秒間に3回ぐらい、振動数が3ヘルツぐらいのところが多いということも事実としても確認されております。

言い換えますと、要するに被害の多い所は3ヘルツぐらいで揺れやすい地盤である。なおかつ悪いことに、木造家屋というのは3ヘルツぐらいの周期を持っているわけです。したがって木造家屋はいたる所に一樣にあるわけですが、このへんの地盤だけが3ヘルツでよく揺れたから、木造家屋がたくさん崩壊した。亡くなった方の90%以上は倒壊した木造家屋の中で打たれて命を失っているわけですから、結局、3ヘルツぐらいの揺れやすさが原因であった。やはりこの所が3ヘルツ前

図-26

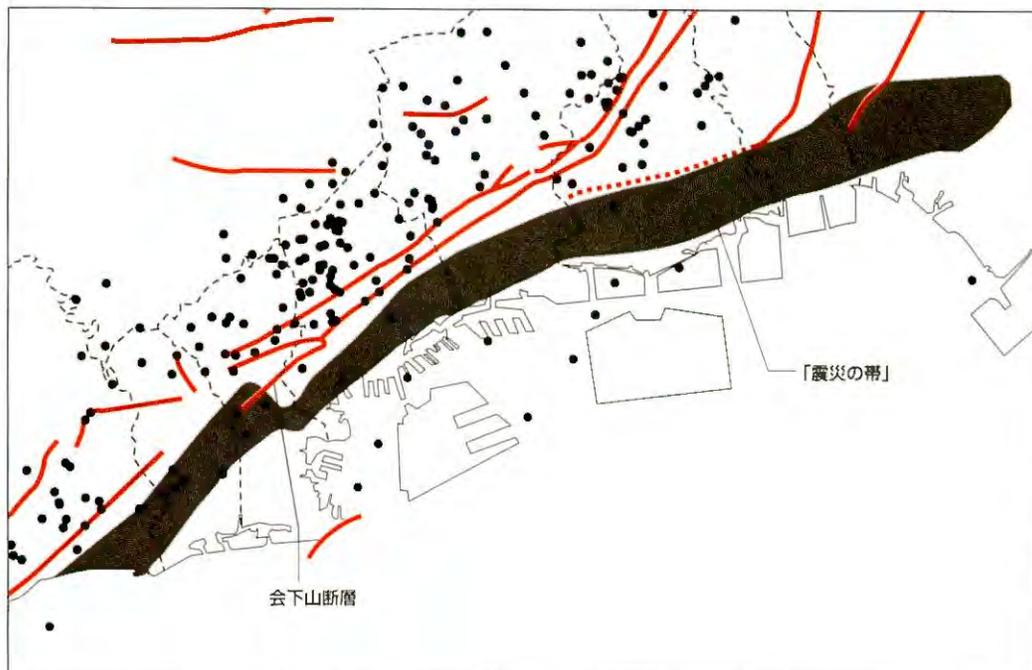


図-27

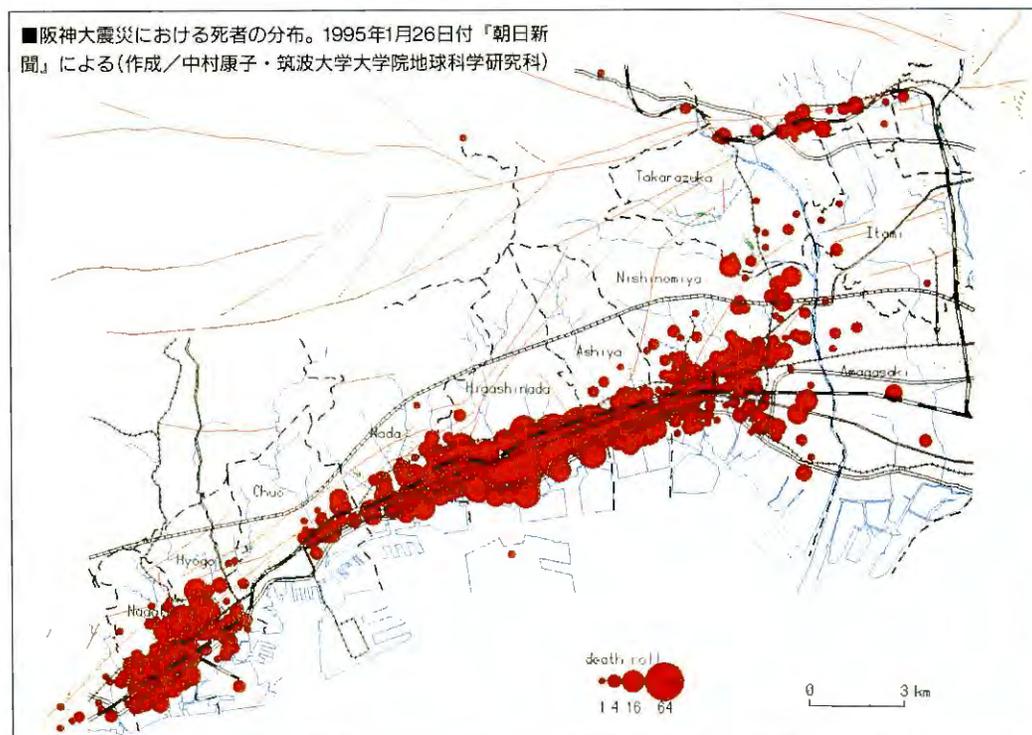


図-28

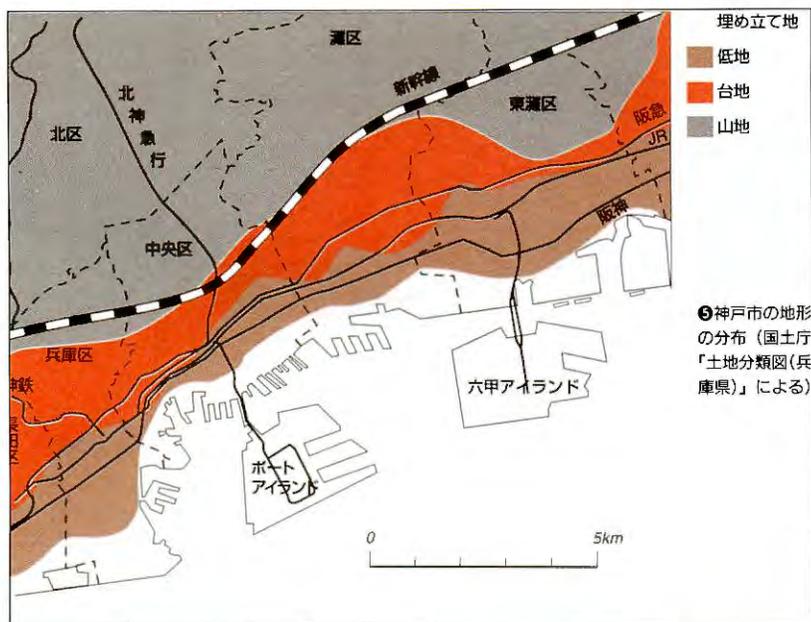
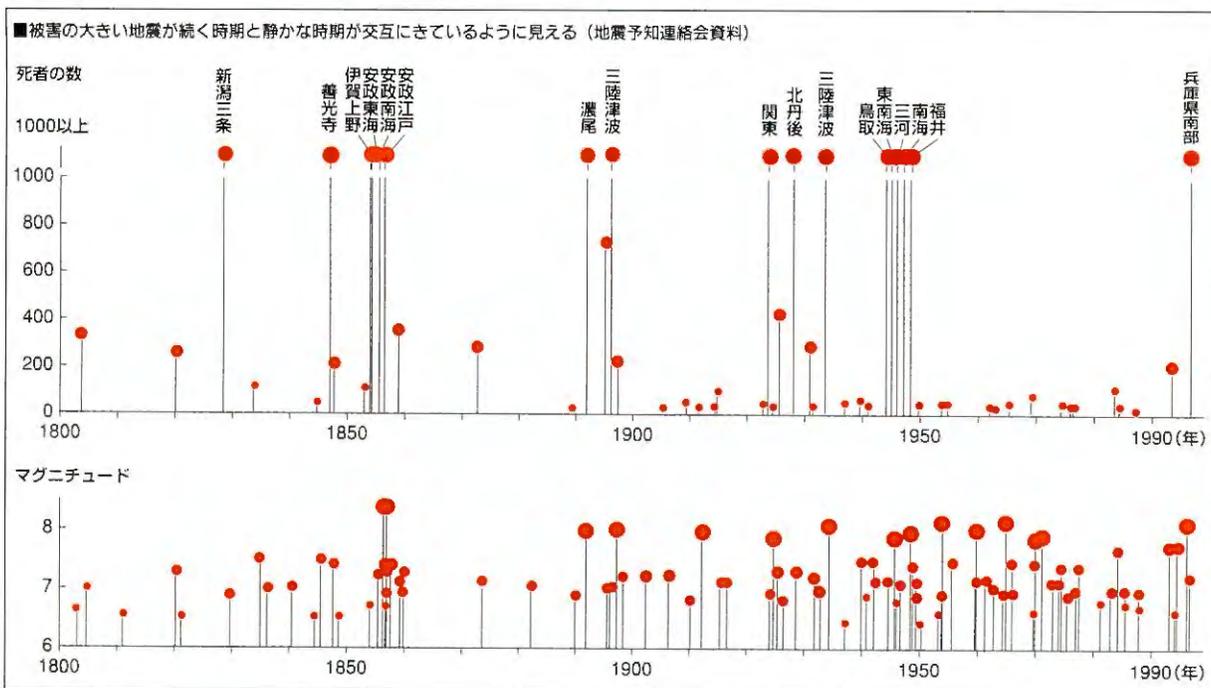


図-29



後でよく揺れる特質を持っているということを考えざるを得ないのです。

先ほどの図-22の実線なんですけど、まさしく地震の記録はこの所で勢力が非常に強かったということです。一応の話の辻褄は合うわけです。

では、これから先どうなるかということです。

図-29の縦軸が人命の損失です。1000人以上は全部「1000人以上」という形で書いてありますが、1800人、850人、1900人、1950人、1990人。

大まかに見ていただきますと、どうしてこの辺に固まって死者が多いのか。1927年の北丹後地震がありました。これは津波です。それから1943年

の鳥取地震がございました。それから1948年の福井地震がございました。その間に、南海のプレート間の地震ですが、南海地震と東南海地震がございました。要するにプレート間の地震、南海道の地震が起こる前後数十年の間に、近畿地方に固まって地震が起こるんだということです。これがずうっと何度も繰り返しているのではないかというのが、地震学の人たちの言い分でした。そして1950～1992年の40～50年間は非常に静かであった。この間、我々はあまりにも幸せな時期であった。

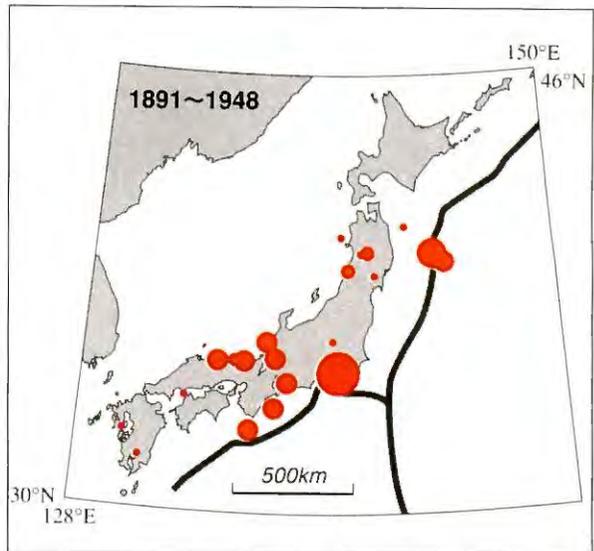
で、東南海あるいは南海道の地震が先ほど申しましたように100年ぐらいの再現期間なんですが、よくよく調べてみますと、南海地震なんかは前に全部のエネルギーを放出しきっていない。どうやら70～80年で起こりそうだと、このごろ地震の専門の人たちは言い始めております。で、もう50年たっているわけですから、あと20～30年しかない。ということは、20～30年の間に数回、今度のM7ぐらいの地震が関西で起こるのではないか、というのが地震の専門家たちの言い分であります。

図-30が、1891～1948年の50年余りの間に多くの死者の出た地震。大きな○は関東大震災だと思えますが、こういうところで起こった地震でたくさんの人命が失われています。ところがこれから先、次の50年を見てください。

次の50年は何もなかった。何もないとは思いませんが、非常に静かだった。要するに彼らが言うのは、「もうこの静かな50年は終わった。これからはたいへん賑やかになるよ」と。何度も申しますが、彼らはそれから先以上のことは申しませんが、要するに、「ではいつだ？」と聞かれますから口をつぐみます。したがって結局、その間であるところの私どものような人間が彼らの代弁をしようということで、彼らに代わって皆さん方をこのごろは少し脅していこうと思っているわけでございます。

脅しつつに、非常に怖いんだということを少し申しあげたいんですが、図-31は終戦前に建てられた建物の割合です。要するに自治体の庁の所在地で、その順位です。京都は、1番で16%ほどは戦前からの建物。この間の神戸が10位で7%で、あの状況です。いかに京都、大阪が不都合な所か

図-30



(地震予知連絡会会長、茂木清夫氏作成)

図-31

府県庁所在都市における全住宅数に占める
終戦前に建てられた住宅の割合 (%)

1	京都	15.9*
2	大阪	11.0
3	松江	11.0
4	大津	9.9
5	和歌山	9.7
6	長野	9.2
7	山口	9.2
8	岡山	8.7
9	佐賀	7.8
10	神戸	6.9

* 東山区は37%

をご理解願いたいということです。

とくに京都の東山は最悪で、37%です。この中には、そのへんにお住まいの方もいらっしゃるのではないかと思います(笑)、ぜひそれぞれの範囲でおできになることをおやりになったほうがよろしいのではないのでしょうか。かく言う私自身は、自分の書齋を2階に持っているんですが、子供た

ちも外へ出て部屋の数も空いてきましたので、2階にある本を1階に全部下ろしてこようと思って、まだやっておりません。近々、時間ができたらしようと思っております。これは真面目に思っているんです。やはりお一人お一人が、自分の身は自分で守るということをやるべきだと。やるのとやらないとの差は間違いなく出てくると思います。

きょうお昼の食事の時に、御一緒した先生方には申しあげたんですが、私、自分自身の家にはちゃんと杭まで打っております。鉄筋の建物でしたらそんなことはしません、私どもは木造2階建てです。地震が起こって、自分の不注意で自分の家が傾いたのでは地震防災を専門とする者として外を歩くのが恥ずかしいという思いもして、杭を80本ばかり打ちました。大工さんが「こんなことをする人はいません」と言うから、「放っておいてくれ。これは私の税金だ」と言ってやりましたが（笑）、お蔭さまで、もう20年ぐらいになります。これは余祿であったと思っております。

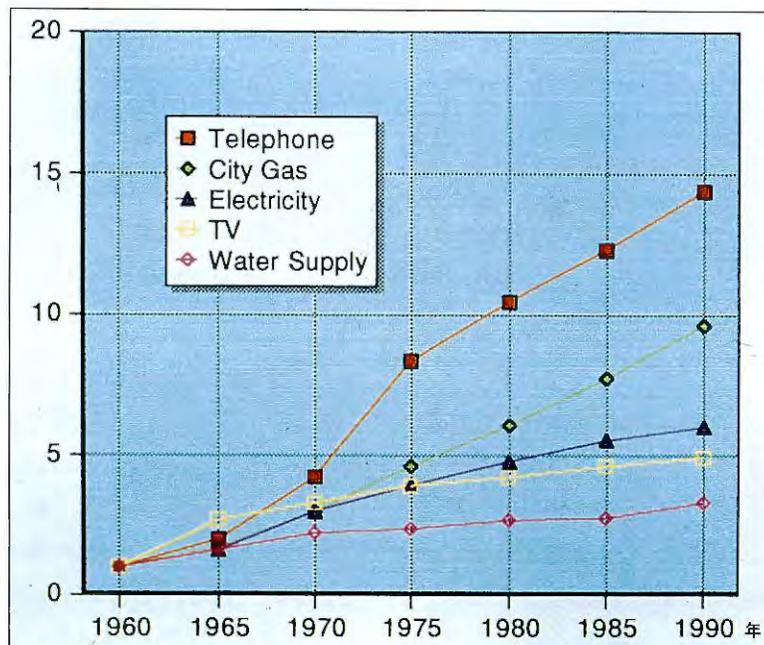
ちょっと余談が過ぎましたが、とにかく京都、大阪は、何とか考えなければいけない。とくに私は今、京都に住まいしているせいかもしれません、京都はいわゆる町屋という問題を抱え、古い

建物で、なおかつそれを残してほしいという声があるわけで、建て替えて云々というわけにはいかない。少なくとも残したまま、少々の地震でも耐えられるようにするにはどうしたらいいのか、このところを京都の人々は考えなければいけないということで、京都の地震の関係の市長さんをはじめ局長さん達も出る会合がございますが、そういうところで何度も申しあげてはいますが、なかなか京都は色々と難しい問題を抱えていてあまり進みません。

ほかの府県庁等は、とくに今度の地震以後はいろいろ熱心に見直そうと本当に真面目に考えております。とくに大阪府なんかは、府の所管するインフラストラクチャーについては全面的に見直し、足らざるものについては幾ら時間がかかってもおカネがかかっても全面的に補うと決心しています。何十億円かかってもいいから調査しようとして一大決心をしております。ほかの県なんかについても同じようなことですが、私が税金を払っているところの京都市においては、今のところは寂しい限りです。

きょう私が申しあげたかったのは大体終わりです。実は、「海外と日本の」と表題に謳っております。これから出てまいりますのは、海外での地震

図-32



の災害で私がこれまでずっと経験してきました事柄とか、自分で撮ったスライドが主なものですが、そういうところでこれまでいろんなことを考えさせられたり、勉強してまいりました。海外で見たことが、日本だったらどうかと常々考えさせられましたが、日本で今度の地震を見ますと、海外で見えてきたのとまったく同じことがしばしばあるものだ、自分でも驚いている次第でございます。

その話に入る前に、残っていた図-32のスライドなのですが、ライフラインの問題がございまして。地震の災害問題の場合には、どこに欠陥があるかを見直すチャンスがないままに都市がどんどん変わったと申しあげましたが、それを数量的にご納得いただきたいというデータです。

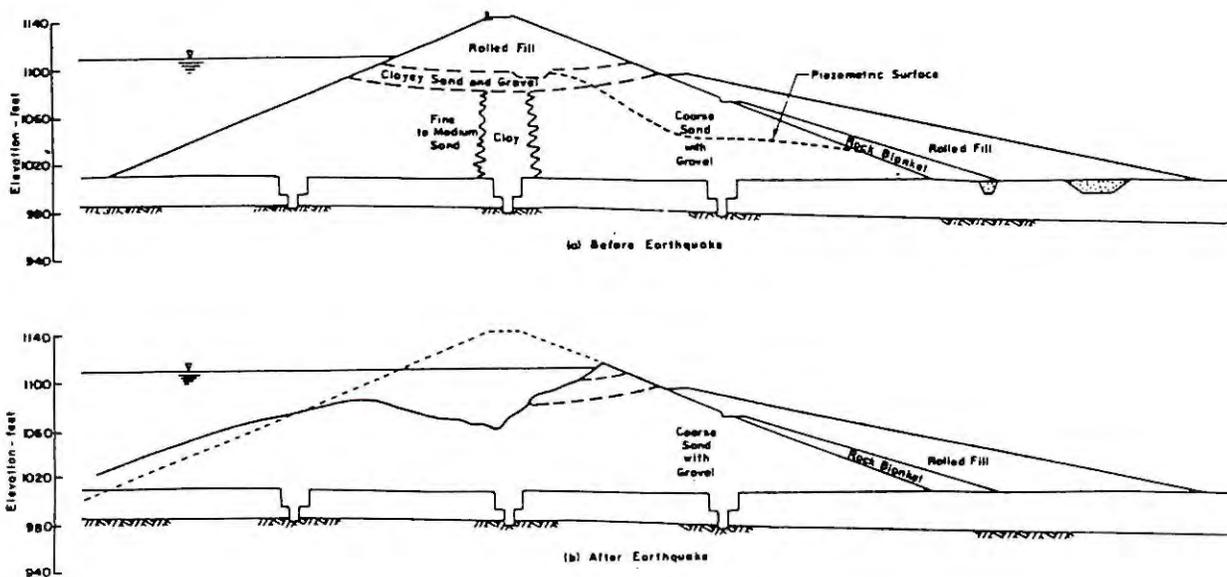
35年ほど前の1960年を1としますと、電話は実に15倍、ガスが10倍、電力が6倍、テレビが5倍、水道で3倍ほど。いわゆるライフラインと呼ばれるものがこれだけ増えていっているわけです。ところが不都合なことに、こういうものはすべて地震に対して非常に弱いものばかりです。何しろ土地の下に埋まっている。それと、こういうものに今までそんなにおカネをかけていない。都市にとっては必要欠くべからざるものですから、都市が発展する段階においては「とにかくつくれ」とどんどんつくってしまっております。数が膨大ですか

ら、今の目で見たらダメなものがたくさんございます。しかしそれをやり替えようといったら、天文学的なおカネになってまいりますから結局できない。となりますと、もう手をこまねいているかしらうがないというところが、実は正直な話です。

ところが、くどくて恐縮ですが、こういう地震が起こった時に、どういうところがどういうふうになり弱んだと見直すチャンスがもっとたくさんありましたならば、今までに他のものを我慢してでも、そういうものの手当てをしてきたはずなんです。そういうフィードバックを全然しないままに、どんどん街の規模も大きくなっていった。それが私どもが抱えている地震災害の非常に大きな問題だと思っております。

実は私ども都市に住んでいる人間は、場合によっては極めて危険性の高い問題を孕んでいる。1971年に、ロサンゼルス少し北のサンフェルナンドという所で地震が起こりました。ここに飲料水のための貯水池がありました(図-33)。地震の前は下の図の点線のような形でした。ところが地震で液状化を起こして滑り、水面あと数フィートの所でダムが残りました。おまけにこのダムはコンクリートではなく、土でつくったものでしたから、もしちょっとでもオーバーフローしますと、流れる水が土をどんどん削りますから、あつという間

図-33



Typical cross sections through embankment before and after earthquake.

に崩壊したはずですが、ところが何が起きたか。

図-34の右側が貯水池で、中程にあるのが今のダムです。このダムは助かったんですが、図の左側に点々とあるのは全部、住宅地です。このダムがつぶれていたら一体どうなっていたか。空恐ろしいことですが、もちろんすぐに退去命令が出たわけです。問題はその後にあるわけです。

これは私ども技術の分野の責任ではありますが、もしこのダムが切れていたならば、この種類の構造物が地震に対して大丈夫かということ必ずや大々的に見直したり検討したはずなんです。残ったがために、一切問題にならなかった。誰も見向きもしない。要するに、いかに人間というのは痛い目に遇わないと物事を真面目に考えようとしないうか、ということです。

もう一つは、“喉元過ぎれば何とやら”です。神戸の問題でも、今はヤイヤ賑やかに言っていますが、1年たったら世の中は大変変わってしまっているんじゃないか。「地震、そんなのがある

ましたかね？」と。もちろん身内を失った方がたくさんいらっしゃるから、そういう方々はそんなことには夢にも思ったりしませんが、少し離れた所に住んでいる人たちはすぐに忘れてしまうのではないのでしょうか。

これはメキシコの地震でございます(図-35)。建物の途中の階が崩れてしまって、こんなこともあるのかなと私は思っていたんですが、神戸の地震ではまったく同じことが起こりました。

たいへん興味深いことは、図-36に見るように地震そのものはプレート間の地震で、南米と太平洋が出合う所で起こりました。ところが8,000人もの死者が出たメキシコシティは、実に350kmも離れた所です。その途中ではほとんど被害はございませんでした。大阪から350kmといいますが、熱海ぐらい。そこまでは行かないんでしょうか。とにかく、あのへんで起こった地震で8,000人もの人が亡くなった。これは一体何だ、ということでございます。

図-34



FIGURE 43. Damaged Lower San Fernando Dam one day after the February 9, 1971 San Fernando California earthquake (M_s = 6.4) and its relation to the densely built-up area downstream. The school at the left edge of the photograph is a school. (National Aeronautics and Space Administration, photograph from Rash, M., Holguin, A., and Vernon, S., *Potential Role of Remote Sensing in Earthquake Management*, School of Public Health, University of Texas, Houston, no date, 49A. WJ)

図-35

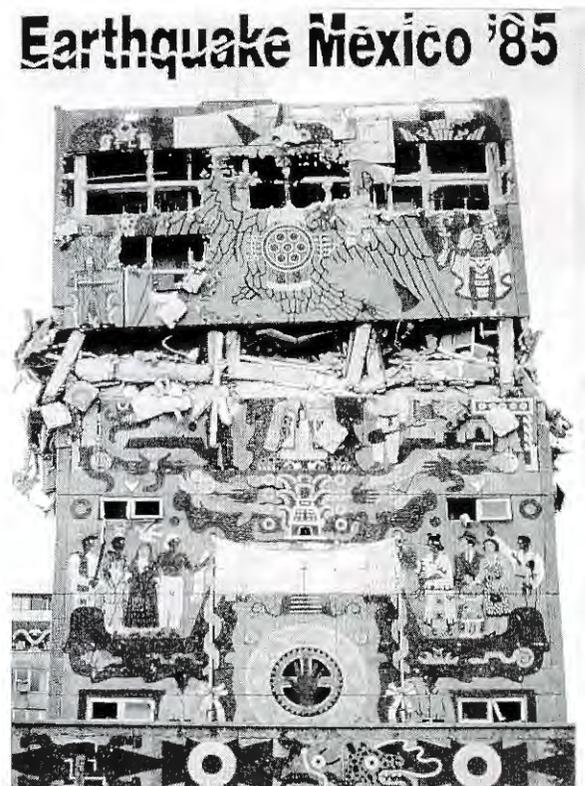
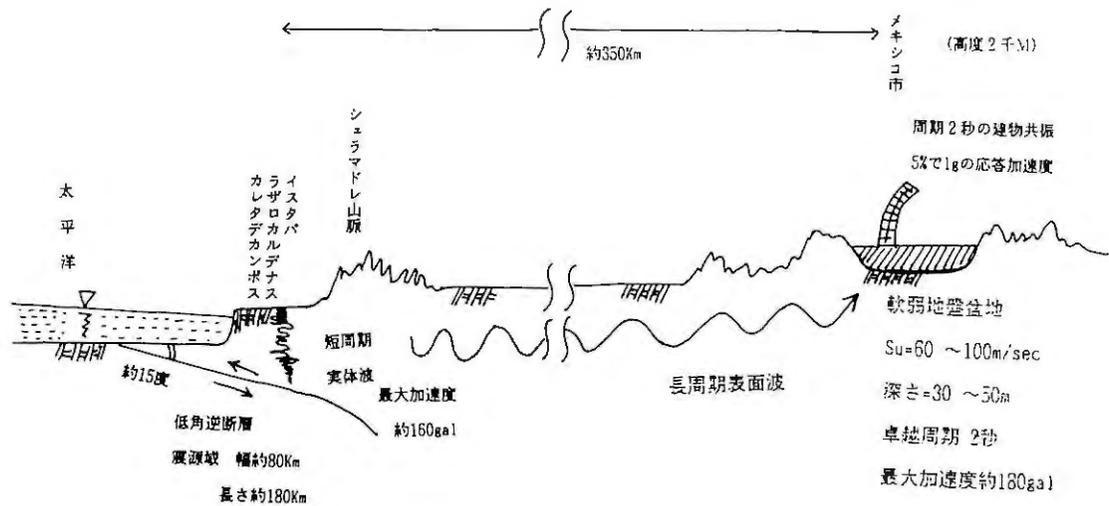
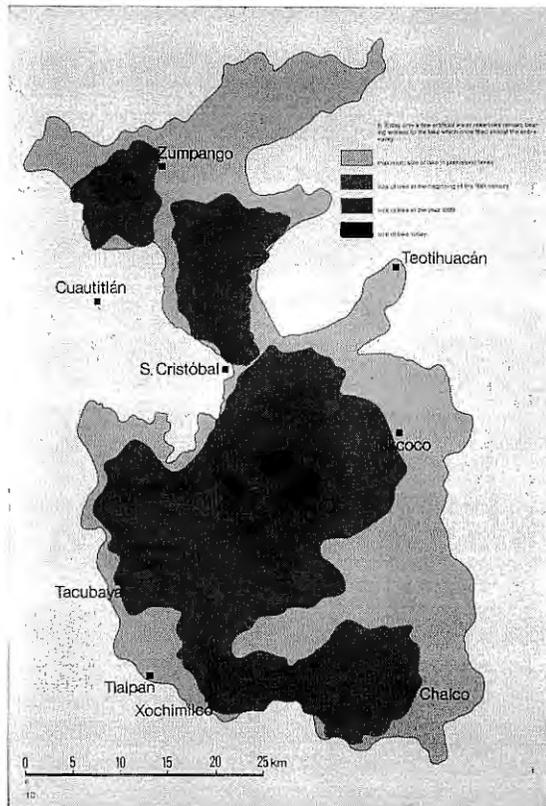


図-36



メキシコ地震概念図

図-37



要するに申し上げたいのは、この図-37の左の方にメキシコシティがありますが、300年ほど前までは全部、湖だったんです。この水を外に排除し

て人が住んでいるわけです。今現在も水が残っているのは中央の濃い色の4ヶ所だけです。要するに数百年前までは水溜まりだった所に人が住んでいる。それがメキシコシティの被害を大きくした何よりの原因です。

なぜこんなことを申しましたかといいますと、日本にもこういう所がたくさんございます。京都にお住まいの方はよくご存じのように、昔、巨椋池というのがございましたが、灌漑して住宅地に使っています。しばらく前までは、こういうことをはっきり言うことはタブーでした。人を不安に陥れるとか、土地の値段が下がるので、なかなか言いづらかった状況がございましたが、しかしながら少なくとも私個人は、そういうことはやはりはっきり言ったほうが良いと思っています。少なくとも政治や経済の問題ですら情報公開が強く言われる世の中になりました。ましてや、自然現象に伴う危険性の話というのは隠すべきではない。そのうえで各々が「どうすればいいのか」と考えるべきであって、私は言ったほうが良いということで、危険なものは危険だと言うようにしているんです。

大阪も、液状化ということで考えますと、非常に危険性が高くなっております。上町台地以外は全部、昔から低地です。ある時期、地下水を汲み上げて地盤沈下が起こったものですから、それを汲み上げてはいけなくなりました。その後地盤

沈下が止まりましたら今度はまた地下水が上がってきておりますから、液状化ということから考えますと悪い方向へ行っていることだけは間違いございません。どう変わったか今すぐに申しあげることではできませんが、よろしくない状況であることは間違いのないと思います。

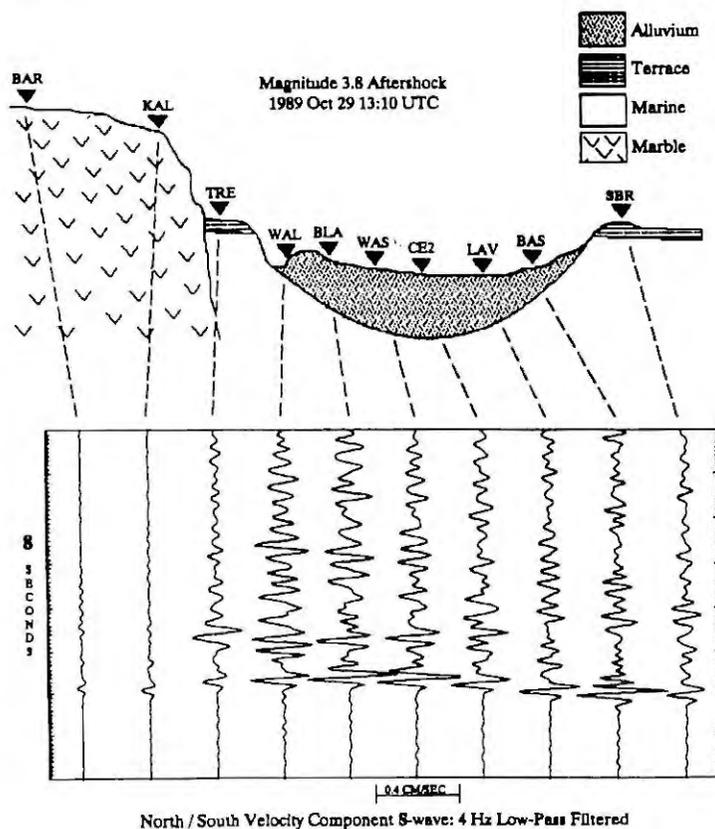
ちなみに、メキシコの災害を起こした一つの原因を先ほど申しあげましたが、それは単なる推測だけではなくて、こういう事例があることを申しあげたい。この図-38は1989年のロマプリータ地震、サンフランシスコ近くで起こりましたが、そのあとの余震を観測した事例です。▽が地震計です。左の方のV印の所は岩盤、中程の斜線の所は沖積地で土の堆積した所です。一目でおわかりのように、岩盤の所は揺れが小さく、堆積の厚い所はよく揺れるというわけです。この現象の程度は状況によって変わりますが、第一近似としては、堆積の厚い所は地震に対しては不利であることだけは間違い

ございません。

皆さま方に申しあげるまでもないことかもしれませんが、一般の方々にお話しする時には、要するに「造成地で家を買う時には目を開いて買ったらいいよ」と申しあげるんです。

この図-39は1978年の宮城県沖地震の時の事例です。横軸は旧標高、縦軸は現標高。したがって45度の線上では標高が変わらない。この線より下側は旧標高のほうが高いということですから、要するに斜面を削った所で、土を盛った所が上側です。被害を見ますと、盛った所のほうが圧倒的に多い。やはり家・土地を探したりする時には、自然の土地を削った所を買ったほうがいいですよ。どうせ値段は変わらないわけですから。値段まで変える業者がいれば、その人は信用していいかもしれないですね。盛った所のほうが安くて当然の話ですが……。先ほどの事例と同じように、自分の目で安全さを判断することもできるという一つの事

図-38



35 Aftershock Records in Santa Cruz

図-39

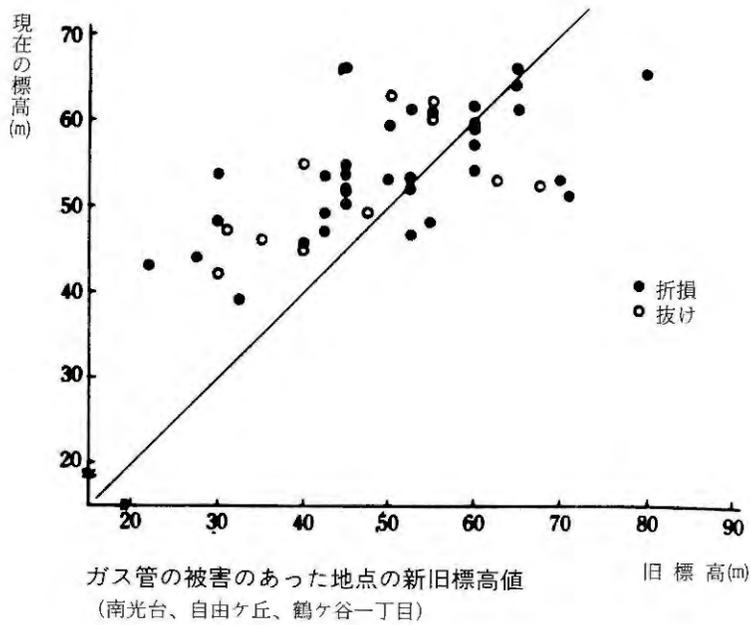


図-40



例でございます。

このスライド(図-40)は1976年のフリウリ地震と申しまして、オーストリアとイタリアの国境近くで起こった地震の際に撮った写真で、約1,000名ほどの人が亡くなりました。この女の方はたいへんスマートな美人なんです、私どもの現地調査

の時に、この人が英語を話してくれました。私どもはイタリア語が全然ダメですので、結局私どもの口と目になってくれた人なんです、ボランティアなんですね。中学校の英語の先生でしたが、自分の所は被害がなかった、したがって何かお役に立つことはないだろうかということで出てきてく

れて、私どもを助けてくれたんです。

その時点では、私どもは、日本でそういう災害が起こった時にボランティアというのはい体出るかなと。それが非常に気掛かりで、若い人に話す時には、「君たちにボランティアとして働く気はあるだろうか」と言っていたんですが、このたびの地震を見ますと、たくさんの方々がボランティアとして活躍されたと聞きまして、たいへん嬉しく思った次第です。そういうことをするというの、する側に余裕があるということなのかもしれないなと思っております。今回の地震でボランティアがどういう活躍をして、どういう問題があったということは、また追々明らかになってくることだとも思いますが、私がかねてから気になっていたことの一つは、問題が解決されたように思っております。

図-41



この写真（図-41）はちょっと面白半分なんですが、イタリアや地中海地方でよく見かけるのですが、地震の時に、こういう鐘楼と礼拝堂のどちらが壊れるでしょうかと。

結果はご覧のとおりです（図-42）。誰が考えてもすぐ壊れるであろうような鐘楼が残っております。これは、力学のことを少しご理解される方は直ちにおわかりのように、揺れやすい周期と地動の周期との兼ね合いの問題です。超高層の建物が地震に対して非常に安全である。それに対して、もっと低い建物のほうが危険性が高い場合があるということは、まさにこれと同じ理屈です。実はこの写真にはトリックがあります。先の図-41の写真と比べて下さい。同じ教会ではありません（笑）。だけど、パッと見てはわからない。

図-43の写真は今の地震の例なんですが、オース

図-42



トリアのほうにはアルプスがございます。下の方は低湿地と申しますか、沖積平野です。こういう地盤の移り変わる所で被害がたくさん出ました。やはり神戸の場合と同じようなことです。要するに、起こるべくして起こっていることなんだと。決して神戸だけ、あるいは日本だけで起こることではない、ということをご覧いただきたかっただけのことです。

図-44は1980年10月10日に起こったアルジェリア

の地震です。写真中の直線は断層なんです。神戸の地震では、北淡町なんかでは1m数十cmの断層が観測されておりますが、この時にはこんな断層が現れました。私どもが行った所がこれで、もう少し離れた所になると6mほどの段差ができました。これも、これまでずっと申しあげてきましたのは、「こんな断層が都会に出たらどうなるでしょう。皆さん、少しはお考えください」と。これほどの規模ではございませんでしたが、神戸では実

図-43

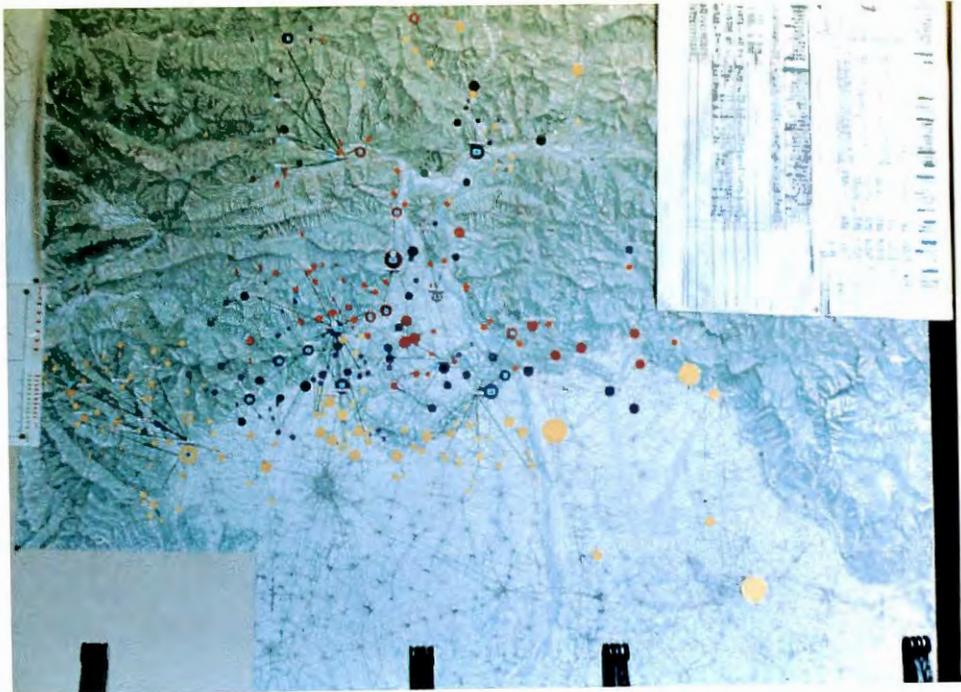


図-44



に何百万の人々が住んでいる所でやっぱり起こってしまいました。

さらに図-45はヘリコプターから撮った写真なんですが、ある種の団地です。完成直前で、まったく同じ種類の建物をつくっていたんですが、ある部分だけが固まって完全に崩れてしまい、他の部分だけが残りました。これはなぜかということです。これも上から見ただけではまったくわかりませんが、実は表土を一度剥いでみますと、地盤構造が違うわけです。地盤構造のちょっとした違いで被害が大きく違う事例です。このたびの神戸でも同じようなことが幾らもございました。

もう一つ気になりましたのは、図-46はアルジェリアの地震の時ですが、建物に赤丸（中央）が描いてあるのは危険だから使ってはいけないということです。ところがアルジェリアだけではなくて、1989年のアメリカのロマプリータ、昨年のノースリッジ地震の際にも、同じことを州政府がやっているわけです。それに対して皆、唯々諾々と従っている。アルジェリアの場合には社会主義の政権でした。はたしてこれが日本だったらどうだろうか、ということも常々考えてまいりました。日本では私権の制限に対して極めて強い抵抗があるように思えます。

もう一つの考えさせられた問題は、国と国とのつき合いにおける自己宣伝が、日本というのはいり足りないと思います。

これは何かと申しますと、後ろの小学校が壊れたものですから、テントの中で授業しております（図-47）。写真を撮っていらっしゃたら人が現れたものですから、怒られるかなと思ったら、なんのことはない、先生でして「入って来い」と呼ばれて、授業しているのを見せられたんです。申しあげたいのは、テントに貼ってあるのはどこかの国の国旗でして、要するにこのテントを寄付した国が、自分ところの国をちゃんと主張しているんですね。こういうところからやったんだぞと。日本の国はこういうことはまったくできません。

ほかの事例もあります。1985年のメキシコ地震の際のことで、この時は日本国政府が直ちにメキシコ政府に対するお見舞金を120万ドル贈りました。そんなことは誰も知りません。日本国民も

図-45



図-46



図-47



図-48

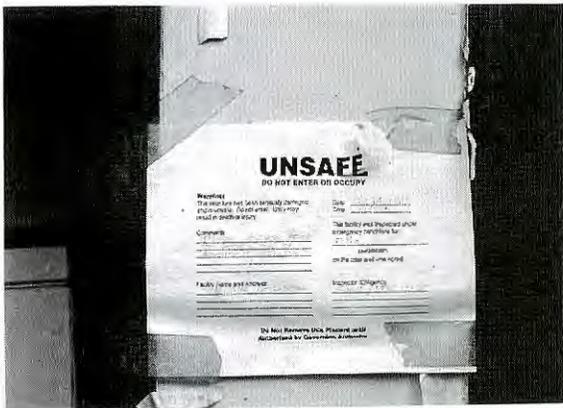


図-49



知るわけはありませんし、現地の人也不知道。多分、外務省のどこかの機関の人が電信為替か何かでトランスファーしたんでしょう。

ところがこの時、メキシコの隣のアメリカ合衆国政府は、日本よりも少ない100万ドルのお見舞金を出しているんですが、これはあまねく知られているんですね。日本のほうがたくさん出しているのに知られてない。なぜか。やり方が下手と申しますか、アメリカの場合は、当時の大統領夫人であるナンシー・レーガンさんが大統領の名代として、小切手ではありませんが書きつけを届けに行って、向こうの大統領に手渡しするわけです。そうするとテレビや新聞がやってきて、皆さんに知らせる。そこのところのパフォーマンスがまったく違う。

私どもはこういうことを見るにつけても、日本

図-50



国政府ももう少し上手にやってもいいんじゃないかと。日本人同士の個人では、「あげました、あげました」と言うのが奥床しくないことはよくよくわかっておりますが、海外との付き合いの場合にはやっぱり「わかる人はわかるんだ」では具合悪いのではないかと、少しはパフォーマンスしてもいいのではないかと、私は思う側の人間です。先生方の中には、「いや、それは違うよ」とおっしゃる方もいらっしゃるかもしれませんが、そこは意見の分かれるところかもしれません（笑）。

図-48がアメリカの例ですね。危険だから住んではいけないと。

けども、なかには無視する人もいるということです（図-49）。

図-50は60人ほどが亡くなりました、1989年のサンフランシスコ近くで起こったロマプリエータ地震の例です。この時にはこの橋をすぐに撤去してしまいましたが、実はオークランドのほうから、「ここにこんなものがあると眺めが良くない。地震で

壊れた時にこんなものはぶっ壊せ」という意見がありまして、まだ少し揉めているところです。はたしてどうなるのか。無くていいのかなと気にはしておりましたが、神戸で同じ問題が起きました。43号線の上を阪神高速が走っていますが、「あんなものはもう要らない。眺めも良くないし、南北の人の流れを遮っているではないか。やめたほうがいい」と。

やっぱり世界のよその国で起こっていることは必ず日本でも起こるし、日本で起こっていることは海外でも起こります。したがって、国籍、言葉、肌の色は変わったとしたってそんなことは関係ない、基本的には、人間の考えること、することというのはどこへ行っても同じだと、こういうことを見るにつけても思い知らされるわけです。

次は液状化についてですが、やはり1989年のロマプリータ地震での例です(図-51)。南の方に震源が示されていますが、サンフランシスコの街からは100kmほど離れた所です。赤い印が液状化の起こった所です。北にあるのがゴールデンゲートの橋ですが、たくさんの家、とくに高級住宅地なんか壊れました。

ところが、とくにマリナー地区でたいへんたくさんのお家が壊れた。先ほどのハイウェイが壊れた所は図-52の茶色のところ。茶色い所は、実は地震が起こるに先立ってカリフォルニア州の技術者たちが、「地震が起こると液状化が起こる。危険だから手当てしたほうがいい」と州当局にレポートを提出してあったんですね。ところが州政府は予算の問題で橋に対しても手当てをしてないし、ここの住民に対しても何らしてない。そして結局、ああいう問題が起こったわけです。

今申しあげようとしていたのは、要するに私は技術の弁護をしているつもりではないんですが、そういう具合に都市の抱えている危険性は、いろいろな国において、またいろいろな自治体によって状況は違いますが、そういうものを明らかにしているんですね。だけど、それに対してなかなか耳を傾けない。繰り返して申しあげなければいけないんですが、痛い目に遇わないことにはそれを見ようとしなないところを、今回の地震を契機として少しは見方を変えたほうがよろしいの

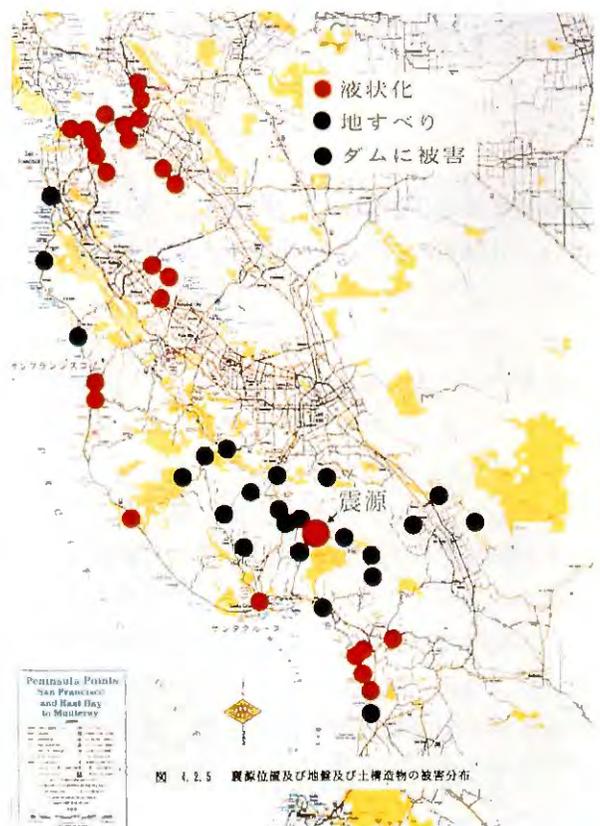
ではないかと、私は思っている次第でございます。

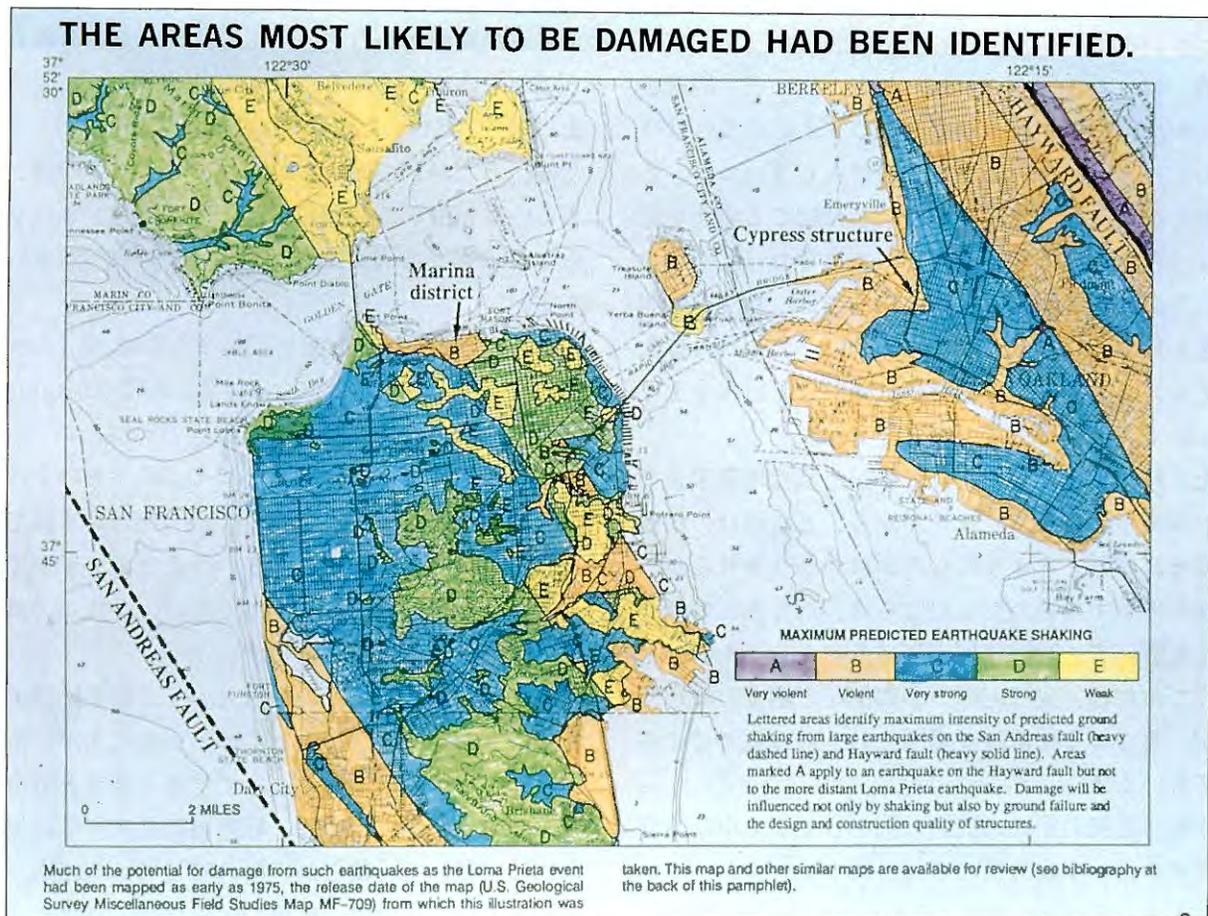
日本の場合でも、いわゆる「ハザードマップ」という言葉を使います。たとえば火山の問題なんかになりますと、どこの火山の溶岩が噴き出すとどういうふうに流れてくるというのは割合わかりやすいものですから、火山の専門の方々はそういうものをつくっているんですが、なかなかそれを公表することができない。いろんな社会問題を引き起こすと。結局はそれを公にすることは多くの人々の災害を防ぎ、命を救い、不幸を防ぐことにつながるのですから、出す時の痛みとか抵抗というのは伴うでしょうが、やっぱり勇気を出してそれをやらなければいけないのではないかと考える次第でございます。

時間を過ぎてしまいました。締めくくりも何もない雑駁な話になってしまいましたが、一応これでお務めを終わらせていただきます。どうもありがとうございました。

※

図-51





司会 ありがとうございます。それでは3時まで質問の時間を取ってさせていただきますので、ご遠慮なく。

熊谷 (信昭) 二つ教えていただきたいんです。一つは、今回の地震の加速度の分布で、淡路島でまったく印がなかったんですが、政府のほうは今回の震災は「阪神淡路大震災」となっているので、私はそういうふうに正式に文書なんかを書くように心がけておりますが、先ほどの分布は淡路島はあまり揺れてないようですが、それはどういうふうに考えたらいいのでしょうか。

土岐 お断りするべきでしたし、先生のご指摘でこれからしようと思いますが、実は地震計がないんです。それを書かないと、揺れてないように誤解されるかもしれません。

実はないのではなくて、ありました、きちんとして作動していない。あるいは立ち入った話になりますが、私どもは地震計の記録を取るために、地

震計が動き始めるレベルというのを設定いたします。そのレベルを非常に高く設定したりすることがありますし、あるいは非常に強い地震も記録できるようにしようとしますと、今度は小さな地震が取れた時に、早い話、記録ができません。したがって今度は感度を非常に大きくしようとするわけですね。とくに短期間にたくさんの記録を取ろうとしますと感度を上げてしまいます。そうしますと、この間の地震が起こった時に全部、サチュレーションしてしまいました。そして記録として全然意味をなさない。先ほど申しあげましたように、今度の地震では40カインとか50カインという速度が取れているんですが……。

淡路島の明石海峡に橋をつくっておりますが、あのサイトにも地震計を置いてございます。ところが先ほど申しあげたように、小さな地震も取りたいと欲張ったものですから感度を上げてしまいましたので、3カインとか。そうすると、もうガ

ツンと。あとはもう非常にフラットな記録になってしまっていて、どうにもならないということでございます。

熊谷 もう一点ですけれども、先ほど、地震学者が地震の予知について「いつ」ということは今のところ言えないので、一般の人も「いつか」と聞くなと。その代わり地震学者は起こる場所を言うべきだと、そういう趣旨のことをおっしゃいました。地震の起こる場所というのは、時間と手間をかけて調べれば、かなり明確に「このへんは大丈夫」「このへんは非常に危険」と、日本全土について大体言えることなんです。

土岐 お断りするようですが、私は地震学者でも地質学者でもありませんから、どれだけの精度でそれが言えるようになるかはわかりませんが、私の理解する範囲でしたらば、たくさんの地震計を置いて、同時に何十年にもわたってモニターしておれば、先ほど一つの事例をご紹介しましたが、あのように危険な場所というのは見えてくると思います。

私が地震の予知の問題に例としてよく申しあげますのは、1本の糸にずっとストレスをかけていきますと必ず切れます。それと同じように地震も、ある特定の所、たとえば有馬高槻断層という所を見ますと必ず地震が起こります。糸に力をかけたら必ず切れるのと同じことです。いろんな所が切れるのではなくて、必ず1カ所でしか切れません。その時にじいっと見ておきますと、ほかの所に比べて極端に延びる所が必ずあるんです。それが地震の起こる場所で、同じことだと思うんです。糸はここが切れそうだなとだんだん見えてくると思います。ところが「切れる瞬間を100分の1秒の精度で言え」と言ったら、私自身は言えない。しかし「5分間の精度で言え」と言ったら、それは言えると思います。自分が力をかけている具合もわかっていますから、5分以内で切れるなど。しかし100分の1秒の精度では私には言えない。

地震の場合も、長期の予知は可能で、短期の方が難しいと言っているのは、現時点では「0.001秒の精度で糸が切れるのを言え」と言うのと同じようなことだと。そういう意味で先生のご質問に対しては、場所というのはモニターしておればわか

ると思います。

熊谷 先ほどのメキシコの例だと、メキシコシティが震源地からずいぶん離れている。ああいふことも含めて言えるんですか。

土岐 あれはまた別ですね。あれは地震が起こった後、どこがどう揺れるかの話です。日本の話、あるいは先生がご指摘の「どこが危険か」というのは、「地震の断層がどこで動くか」の話でございます。

熊谷 だから地震学者に期待するのは、「このへんに家を建てる場合はとくに注意したほうがいい」とか、そういう情報が欲しいわけですね。

土岐 それは地震学者ではなく、私どものような地震工学の人間の仕事です（笑）。どういう所でどのぐらいの地震が起こるといふことさえ予測できれば、今日の技術でもってすれば、かなりの精度で予防することはできます。

藤田（廣志） 関西の地震というのは活断層の活動によるのだと決定されているようですが、あの断層というのは地震によってできる結果とは考えられません。例えば、私達の結晶塑性学の場合には、硬い所と軟らかい所の接している場所、いわゆる剛性率の違う境界で破壊は起こります。今回の地震による被害地域はベルト状になっていますが、それをこの考え方から理解できる可能性もあります。今までの調査で、そこでは活断層は全く見出されていないのに実際はやられている。

私は地震が起こった2日ぐらいい後に、この被災地の友人に安否を確かめる電話をかけてみました。ところが、同一地区でも海拔約150m以上の所はほとんどやられてない。おそらくそういう所は岩盤が強い。このような強い岩盤が幾万年の間に削られて、それが低地に堆積している上に、現在までに埋め立てなどを繰り返して、結果的には現時点で六甲山麓に弱い所と強い所が形成されている。短期間で地震が起これば、同じ場所（活断層）で歪が出てくると思いますが、長期間の経過、あるいは埋め立てなどでいろいろ人工的に手を入れると、活断層の位置そのものもずいぶん変わるんじゃないかという感じがします。これは単にアイデアだけかも知れませんが、取り上げてもらう必要はないのですが……。

このように、現在はまだ地震というのは残念ながらサイエンスになってませんね。ここからは提案ですが。現在、地震と関係づけられる学問をやっているグループが、各学会にたくさんあると考えられます。現在、学会というものが非常に細かい専門に分裂してしまって、入ってくる情報が極めて限定されてしまっています。ですから、少なくとも各学会に今のような、例えば活断層がもし本当に原因だとして今後の対策を決定するのであれば、そういう決定をする前に、各学会に今回の地震に関するすべての詳細な調査結果を配布して、それに対してどういう考えを持っているのか、あるいは今後の予知にはどのような仕方があるのかと一言を問いを合わせて、総合的に検討する必要があると思います。

それから、もう一つの対策として提案したいのは、先ほどちょっとお話しましたが、現在の気象庁とは別個に、地震庁みたいなものをこしらえてみては如何でしょうか。というのは、この前の十三の例も新聞に載っていましたが、人間以外の動物の多くは優れた危険予知能力を持っています。十三では白セキレイが、地震の3日前からいなくなっています。中国でも、地震予知にいろいろな測定が役立ったという例があります。このような測定は、愛鳥家が毎日ボランティアでやっているわけです。ところが、そのように異常と思える情報を得ても、それを知らせる所がどこにもないのが現状です。このような情報は、地震が起きた後では全く価値がありませんから、何か一般の人が異常に気づいたら、それをまとめて検討するところが欲しい。今言った地震庁にそのような役目を期待したいものです。

このように、地震に関するすべての情報を総合する何かのシステムを日本に設置する必要があると思います。「地震計を活断層に沿ってどんどん置き、それを熟練者が24時間チェックすればよい」という話がよく出てきますが、先に言ったように、断層ができる原因とその被害、例えば新幹線の神戸駅は断層の上にあります、被害は僅少ですが、それらの原因の検討が不可欠です。ですから、予知対策を大規模でやるためには、もっと違った多方面の方々の知識をこの際求めるべきではなかる

うかと思われませんが、どのように考えられますか。土岐 順番を追ってお答えできるかどうかわかりませんが……。まず断層の問題につきましては、私どもは逆に結晶のことになるとよくわかりませんが、地震の断層というのはまったく新しい所にできるのではございません。何千万年、何億年かかってしょっちゅう動いているわけですが、徐々にブロックになっている。ブロックとブロックがぶつかって、とどまっている。これが1個1個ずれて動くだけの話でございます。

そういう意味で、「ほかの分野の人たちといろいろな交流をしてはどうか」とおっしゃるのは、もちろん異論があるはずはございません。ただし残念ながら、私どものような地震工学を行っている人間ですら、地震の人たちというのはあまり交流したがりません。昨夜も関係の人たちと議論したんですが、アメリカでは地震工学の問題、地震災害の人間と地震学の人間が非常にコンパインしている。ところが日本は残念ながらそうではないので、どうもおかしいなという話を実は昨日もしたんです。ですから、その問題は私に言っただくよりは、地震の方に言っただいたほうがありがたい(笑)。

それからもう一つ地震庁の話は、私どもの大学の理学部に尾池さんという地震学の人がおられるんですが、この人が「地震庁をつくれ」と主張しておりまして、新聞なんかにも投稿しております。彼の言っている大もとのところは、先生のお話と同じでございます。「いろんな人の知恵を集めて地震観測を一元化しろ」というのが彼の話です。

ただ、先生のお話で私一つ異論がありますのは中国の地震で、「いろんな自然現象もつかまえて成功したではないか」とおっしゃいました。1975年に海城の地震がございました。それはまさしくおっしゃるとおりです。ところが翌年、すぐ近くで同じ程度の唐山の地震がございまして、実に24万人が死にました。ということは、私どもには信じられない。やっぱり科学というものは再現性がないと、そのまま信じるわけにはいかない。多分いろんな分野の先生方がいらっしやると思いますが、ある特定の理由でそれができたからといって、それをサイエンスとして取り上げられるかどうかと

いう問題になってきたら意見の分かれるところでしよう。

藤田 しかし情報はあるんですからね。それを連絡するところがどこかに。

土岐 ええ。ですから一切否定はいたしません。それがなぜうまくいって、次はうまくいかなかったのか、そこのところは当然疑問になってきますけれども。うまくいったからそれは全部正解のはずだというのは、私は賛成できません。

若林 一つだけお聞きしたいんですけども。周期の3ヘルツという話で、一般的には3ヘルツなんですか。地震によって違うんですか。

土岐 もう毎回違います。

三笠 ちょっとよろしいですか。先ほど地震の規模の比較がございましたね。今度のと、釧路沖と、三陸はるか沖。釧路沖がひどいなという印象を受けるんですが、釧路市内では一般にはその半分ぐらいの300ガル。で、大阪の気象台なんかは100ガル程度しか出てない。だから神戸とか釧路とか大阪といっても、同様の所に気象台があったらもう決定的に……。ただ地震記録として公式に残るのは気象台だと思うんですよ。それをコメントだけで比較しては非常に誤解を与えると思いますので、何かほかの機械と平準化する。あるいは神戸市は平均はこうだとか、大阪の平均、釧路の平均というものをされないと、情報がごちゃごちゃになってしまう。

土岐 まったくおっしゃるとおりでして……。途中で申しあげたと思いますが、どこそこで震度幾らというのは、管区の気象台とか測候所がある所での揺れ方だけで決まっているわけですね。それが一地方全体を代弁しているはずがない。

したがって私どもは、そんなものは役に立たんということで、先ほど申しあげましたように関西なら関西にたくさんの地震計を置いて、それぞれの地点でどれだけの強さだったよというのをポケットベルで皆さんに知らせたい。地震防災に関わるそれぞれの知事さんなり市長さんなりそういうところをヘッドにして、いろんな対策本部ができますが、そういうところはせめてそういう情報を持っているべきだと。

「大阪市内一円が震度4でした」と。しばらく

たって、「あれは実は間違いで、震度5でした」とかいうのがありました。そんなバカな話はないと私どもは思っておりまして、そのためにこそ、先ほど申しあげました私どもの協議会なるものをつくって、営々として乞食のようにお願いしておカネをいただいて、それで地震計を据えつけて歩いているわけです。

さらにこのごろ、地震が起こってから皆さんは「震度」という言葉をすぐお使いになるんですが、私どもとしては非常に不愉快でございまして。なぜかという、震度1、2、3というのを使用しますが、ほとんどあれは「どれだけ揺れたか」だけの情報で、災害ということになりますと、震度4でもほとんど起こりません。5からなんですね。5、6、7を入れても3段階しかないわけです。私ども技術の人間あるいは災害に関わる人間には、3段階というそんな荒っぽい議論をしているつもりはないんです。

したがって今度の震災でも、「震度7に耐えますか、耐えませんか」と、そんなことを聞かれたら非常に情けないです。どうしても震度で言いたいのなら、せめて一つの震度を3分の1に分けてくださいと。震度6の下・真ん中・上、せめてそのぐらいにしてもらわないと、なかなか皆さんと同じ言葉では議論できないんです。非常に残念に思っております。私ども、そんなにいい加減なことはしているつもりはないんです。

三笠 もう一つ、今の震度で非常に問題があると。いろんな線であるんですが、同じぐらいで紛らわしいというのがありますが、もう一つ、震度の定義は被害状況から来ている。建物が30%倒れたら7だとか。それじゃあ建物を改良して、たとえば皆プレハブに替えたとして、今度は全然倒れなかったら震度5という話になるかもしれませんね。地震の揺れのひどさだけで基準を決めてもらわないと。だから震度7だけど、倒壊率は今度は10%だったとか5%だったとかいう話にしないと。30%倒れなかったら震度を値切られるというのは非常におかしいですね(笑)。

土岐 私は先ほど先生のお答えを受けて「震度で語るのはいやだ」と申しあげたのは、実はその理由も一つはあるんです。おっしゃるとおりで、

今使われている震度というのはあくまでも被害震度なんですね。被害との関係であって、英語で言うハザード。日本語では「災害」という言葉は残念ながら一つしかありませんが、英語で言うならば「ディザスター」という言葉と「ハザード」という言葉。

先生方、皆お気づきだと思いますが、自然現象としての被害は「ハザード」で、人間側の受ける被災としては「ディザスター」。そここのところを本当は使い分けなくてはいけない。ところが今の震度の場合には、本来はディザスターから決めているはずにもかかわらず、ハザードのほうのメジャーとして使っているんです。そここのところが私どもはまったく不愉快な話です。ですからこれは私どもがいくら言ってもダメなので、やっぱり国、すなわち気象庁さんがそういうことをよく考えていただいて、一般の人にも誤解のないように知らしめていただかなければならない。非常に不愉快に思っております。

三 笠 やっぱり地震学者だけの意見で、地震工学者の意見が入っていないんですね。

土 岐 なかなか入らないですね。

羽 室 (飯塚幸三代理) 日本家屋が揺れるのは大体3ヘルツ。それで地震も大体3ヘルツ、1~5ヘルツの範囲で……。うまく逃げるような設計をすれば……。

土 岐 先生のおっしゃるように、それは可能ですね。ただし逃げたつもりが、またそここのところの勢力の強い地震が来ないとも限りませんね。だからそれは実際的ではないと思います。

それともう一つは、人間の家というものに対する考えは、そういう知恵だけでは改まらないところがあると思うんですね。「木造家屋は危険だから、じゃあ皆、周期が1秒になるような建物にしましょう」と言ったって、それは人間なかなか変えられないと思います。

たとえば海外で地震の調査なんかに行きますと、石造り、あるいは乾かした粘土の建物もございませぬ。そういうものが皆倒れて次々に死にます。そうすると私どもから見ますと、「なぜあんな建物をつくるんだ? もっと軽い建物にしたらいいいじゃないか」と思いますが、建物をつくってそれが地

震の災害を受ける割合というのは一生に一回あるかないかです。それに対して、自分の家をつくることも一生に一回か二回しかないわけですね。その時に、地震に対して配慮して自分の建物の造り方を根本的に変えるというのは、人間なかなかやらないんじゃないでしょうか。

羽 室 今回の地震は周期が3ヘルツぐらいで非常に短いのが特徴だったということですが、メキシコの場合は地震の周期が長かったようですが、プレート型とか直下型とか、地震の種類と周期とは何か関係があるんでしょうか。

土 岐 大雑把な言い方をしますと、あると思います。メキシコの地震の場合には、何しろ350kmも遠くで起こった地震でございますから。そうすると350kmも伝播していく間では、ハイサイクルのものはどんどん減衰していってしまいます。振動の回数が多いんですから、振動の減衰が1回当たり何ぼで減ってしまいますから。そうすると周期の長いものだけが残ってしまいます。なおかつ、メキシコの場合には堆積が非常に厚いんですから、結局揺れやすい周期が非常に長いわけですね。したがってやって来る地震の波の周期は長いし、なおかつ地盤は長い周期で揺れます。結局そこで共鳴が起こっているわけですね。

神戸のような場合には、今度は3ヘルツぐらいと、被災する側の振動周期が割合短い。そして地震動自体も短い周期の成分が多かった。ですから現象としては同じことなんですね。ただ周期の短い所で起こったのが神戸であり、長い所で起こったのがメキシコ。大雑把な言い方をするとそうだと思います。

羽 室 そうしますと、かなり離れた所で起こりますと、もう少し長い周期の被害が出て考えていいのですか。

土 岐 そのとおりです。

今 泉 (飯塚敏夫代理) 私は神戸の港湾部で設計もやっておりますが、土木の設計というのは「もつか、もたないか」の議論が主でございまして、私も学校でそういうふうには習いまして、そういうふうにはやっております。でも今回の被害を考えますと、もつかどうかを超えた時に、いくら土木でもそういうことのほうがよっぽど大きな問題だな

と感じたわけですが、耐震工学の今後の見通しみたいなものを……。

土 岐 今のお話は割合に広範囲の問題ですので、ご質問に的確なお答えができるかどうか自信がないんですが、今私どもはこういう地震に関わる工学の分野の人間として考え直さなければいけないと思っていることが一つあります。

それは、たとえばこれが設計のゼロレベルとしまして、それから測って一定のレベルのものが必要とされる。ところが必要となるレベルだけのものをきちんとつくっているわけではございませんで、この上に何がしかのマージンを乗せているわけです。それが物によって薄い場合もありますし、厚い場合もある。で、壊れるか壊れないかは、このマージンを超えた時、耐力を超えた時に壊れるわけですね。地震力がここのマージンの内に入った時には崩壊はしない。ところが本来なら設計をここのレベルでやっているはずでして、数量的な検討をしたマージンを乗せているわけですね。ところが、その数量が必ずしもきちんとは精査できてないわけです。それは私どもの技術の至らざるころなんですが。

ですから、本来なら多少のマージンを乗せてありますが、地震がそれをはるかに超えた場合には、全部が壊れてもいいはずのものが残っている場合もあるわけです。これは結局このマージンがよくわかってない。ですから私どもがこれからかなりしなければいけないと思っていますのは、このマージンをきちんと把握するだけの技術を磨いていかなければならない。

ただそのところが、これも言い訳になるかもわかりませんが、そういうものを知るためには、「残った、残らない」という事実が必要なんです。ところがこの事実遭遇する機会が本当に滅多にない。したがってそのところをきちんと精査するだけの技術をつくりあげていくチャンスが非常に少ない。言い訳に聞こえるかもしれませんが、そういうところがあると思います。したがって今回の状況を、言葉は悪いかもしれませんが、比較して、何とか有効に活用すべきではないかと思っています。

今 泉 水害等、発生頻度の非常に高い災害につ

いては確率的な考え方がもちろんできますが、地震工学者として地震に対する計画規模の設定についてはどのようにお考えですか。

土 岐 それは私、途中で申し上げたつもりでいたんですが、これまでは、たとえば100年もたせる構造物をつくらうという場合には、じゃあ200年に一回起こる地震を考えましょうと。その200年に一回の地震だったらどれだけの強さの地動になるか。これは過去の統計のデータがありますから、これに従ってやってきたわけですね。

ところがそれをやりますと結局、対象となるのは遠くで起こる巨大地震、M8ぐらいの地震でしかなくなるわけです。直下の地震というのは確率をはるかに低うございますから。範囲を広げたところで、一つ一つの地震が起こる確率は500年に1回か1000年に1回ですから、それはもう数量的には飛んでしまうわけですね。それで直下型の地震は実質的には設計には入って来ないことになってしまいます。

しかしながら本当にそれでいいのかということをお考えますと、滅多に起こらないかもしれないけれども起こったらやっぱりああいうことになるのであれば、もう確率ということ抜きにして、「起こったならば」と、そこから考えなければならぬようになるんじゃないか。

今 泉 つまり既往最大ということですか。

土 岐 既往最大という言葉も当てはまらないと思います。というのは、水害なら既往最大が幾らかわかると思います。だけど地震の場合はわからない。「では、どうするんだ？」とお尋ねになるかもしれませんが、今までは、「どれだけの断層が動いたらどれだけの地動になるか」というのは過去の事例で知るしかなかったんですが、今日では、「たとえば地殻の20kmの部分が深さ10kmにわたってこれだけの速さでこういうふう動いたら、地面の運動はこういうふうになるよ」というのはシミュレーションで、いわゆるコンピュータでいろんな種類の丁寧な解析をすれば、「どれだけの地動になる」と推定する技術はもう我々のところでは持っております。ですからそれはできます。それが本当に事実かどうかと言われたら困りますが、そういう意味では既往最大ではなくて、これが動いた

としたらどれだけの地動になるはずだという推算で、私はいけると思います。

室田 今度の地震の被害を地盤の標高差で比較しますと、山地、台地、低地、埋め立て地の4つに分けることができるのですが、いわゆる昔からの下町の低地に集中しているわけですね。先ほどスライドで見せられた死者の数も低地に非常に集中しているわけですね。それが本当に地震のひどさをそのまま表しているのかというのは、ちょっと疑問があるんですけれど。

つまり低地は昔からの古い住宅が多いという事実がございますね。だから死者が多かったと。ところが埋め立て地なんかはそういう家は一軒もないわけですね。だから死者はゼロだったということになりますし。そういうことになると、死者の数は地震がどれだけひどかったかというインデックスにはならないと思うんですね。死者の数と関係なく、具体的なひどさの程度を表すような基準が何かできないかなという気がするんですけれど。そういう点で何かお考えはございますか。

土岐 結論から申しますと、私自身は考えつきません。と申しますのは、そういうメジャーとして使おうと思いますと、やっぱり一様性があることにはならないと思いますね。ところが土木の施設というのはそんなに一様性がございませんね。たとえば鉄道とか道路というのはライン状で、面ではございませんね。そういう意味で、土木の施設というのは多分可能性がない。

そうすると結局何かあるかということ、やっぱり住居だと思います。ところが木造の家屋になりますと、時代とともに変遷もございまして、いろいろな法令で強度がどんどん変わってきていますし、そういう意味でも、厳密に言い出すと必ずしも一様性はございませんね。しかしほかに代替がなければ、建物しか私はしょうがないと思うんですね。

先生がおっしゃるのは、死者では測れないのではないかと。それはそのとおりだと思います。しかし神戸の場合、木造家屋はやはりかなり一様性はあると思うんですね、ある部分は。ところが、たとえば割合お金持ちの人たちがたくさん住んでいる市や地域もあるでしょう。そういう所は多分手当てもしてあるでしょう。そうでない所もある

し。だからそういうふうに、どこもかも一様だとは私は決して申しあげませんが、木造家屋を粗づかみに掴んだ場合には、分布はそれほど大きく変わるものではないんじゃないか。ほかのものに比べてですよ。

室田 先ほどの周期で、低地は0.3秒で地盤が揺れたとなると、低地と丘陵地と埋め立て地とのひどさを比較する基準になるんですか。要するに、周期が違っただけだと。

土岐 もちろん周期が違っただけです。ですから山地のほうにある木造家屋も3ヘルツで揺れるし、海の近くにある所も3ヘルツで揺れる。そのちょうど間の所にある建物も3ヘルツで揺れる。そうでしょうか。ところが……。

室田 周期が違っただけだということですね。たとえばポートアイランドの埋め立て地は全部やられていますね。だけど一人も死んでいない。これはかなりひどい地震だったと言えるんですが、死者でいうと「被害なし」という形になるから、木造家屋だけで比較するのはどうかと。もっとベターな方法はないかなという気がしました。

室田 今の、周期だけではいかんのではないですか。振幅が要るでしょう。だからその振幅の周期を今のようなモデルで……。今、災害科学研究所がありますね。ああいうところへ膨張率の違ったものをこちらから送ればいい。そうすると、どこで反射してどこでゆがみができるかわかりますね。そういう実験をやって、それからこういう振動をすとか、比較する。だから、ここがやられたんだと。基準になるものがなくて、建物が古かったからとかで壊れてしまったら、何でジャッジするか。

土岐 いや、それは先生のお言葉ですが、私は同意できません。今、私どもの専門の分野と違う方々ですから普通の言葉で議論しようとしていますから、「周期だけだ」ということにしますが、きちんとした技術を議論する時にはそんなことは決して申しませんし、周期だけでなく、当然のことながら振幅も考えますし、振幅だって加速度の振幅、速度の振幅、変位の振幅、いろんなものがございまして、メジャーだって単に振幅だけではなくて、エネルギーがどうだとか、いろんなこと

を考えています。先ほども応答スペクトルということをご紹介しましたが、ああいうものなんかはまさしく周期と振幅との関係でいろんなものを議論しているわけです。

ですからそういう被害の問題などとは、応答スペクトルと申しましたが、そういう事柄を、絵を見せて議論してもなかなか議論が噛み合わないから、私どもはそれはご覧に入れただけです。ただし、きょうは一言でご理解いただけたと思えましたから、スペクトルもご覧に入れましたし、3ヘルツぐらいのところでは応答が非常に大きくなりますよと、振幅もご覧に入れたはずでございます。

室田 どういう地形だから何がひどくなったか、というようなことに関して予測したんでしょう？ 実測値がどうだったということではないんですか。

土岐 そうですよ。ただ、予測も、もちろん私どもはやっております。たとえば私どもが測ったのは神戸大学の岩盤で記録が取れているわけです。そうすると今度は、神戸大学の所では地表近くにあった岩盤が海に近くなるにつれてだんだん深くなりますね。その上に表土が乗っているわけですね。そうすると街の中で、表土の上の所でどれだけ揺れたかという記録がない所がございますね。そういう所ではどうするかというと、岩盤で揺れた記録を今度は街の中の下の岩盤の所へ持ってくるわけですね。そうして街の下の岩盤に神戸大学の波型を入れまして、どういう運動になっていた

であろうかということ計算するわけです。実際そういうことは信憑性が問われますから、そういうやり方が本当に良いかどうかを、今度は岩盤の上に地面が乗っている所で、記録が取れている所と同じことをやるわけです。で、それが再現性があるかどうかをきちんとベリフィケーションをやって、その方法でいいんだということで、また他の所でもやる。もちろんそういう手立てもやります。

司会 実はこの席で先生にお礼を申しあげようと思っておりました時間が全部質問でつぶれましたので、この場でお礼を申しあげることが省略させていただきます(笑)。どうもありがとうございました。(拍手)

後記：

この記事は、3月25日に開催された関西地区主催の講演会の記録である。ただし、藤田会員の発言の部分は、原文のままでは分かり難いという理由により、異例ではあるが、発言者自身によって加筆されたものである。同会員の発言中の「現在まだ、地震はサイエンスになっていない」との意見には、この講演会の担当理事として同意できないので、特に付記する。

(関西地区担当理事(当時)西原宏記)

※(図-16、19、26、27、28、29、30は「科学朝日」緊急増刊号(1995.3)より転載)

1995年9月5日

編集
発行 **日本工学アカデミー**

〒100 東京都千代田区丸の内1-5-1
新丸ビル4-007

TEL : (03) 3211-2441 ~ 2

FAX : (03) 3211-2443