

地震 ジャーナル

11

1991年6月

- エッセイ “焼跡派”の地震観 ●野坂昭如
海の底に地震予知を追う ●島村英紀——1
地球のCTスキャン ●長谷見晶子——10
魚の電気感覚と行動 ●羽生 功——18
慶長元年閏七月十三日地震と鳴門 ●山本武夫——26
地震と鯰絵 ●飯島吉晴——32
注目される“新”地震予知法 ●高木美也子——40
紹介 アメリカ版・湾岸危機 ●力武常次——43
企業の防災対策 三菱地所の地震防災対策 ●熊谷武生——46
地震予知連絡会情報 ●大竹政和——52
●書評——56
●ADEP情報——60

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

“焼跡派”の地震観

野坂昭如

十四歳、空襲に遭うまで神戸、十六歳まで大阪で過ごした。両親、親戚はみな東京生れの育ち、関東大震災を経験している。中のもっとも年長者は浅草、いちばん若い婦人は本郷で出くわし、他に隼町、塩町、材木町、本村町、幸いいずれも無事だったが、彼等は折りに触れ、地震に際しての心得を説き、そもそも神戸、大阪には、大きな被害を出した地震は、あまりなかったらしい。ぼくの知る限り、鳥取、濃尾、南海と名づけられたその余波を感じたくらい。大人たちの説では、東京など週に一度は揺れるらしく、その点、神戸は住みやすい、京都は「ほら、地震加藤ってお芝居があるくらいで、危い」のだそうだ。

地震のためだけじゃなかったが、風呂の湯は落さず、寝る前大きな薬罐に必ず水を張る、そして地震について、すぐ外にとび出すと瓦が落ちてくるから、家の中の頑丈な脚の机の下に身を置く、揺れがおさまったら火を消す、本震に勝る余震はないが、危っかしくひっかかっている梁など崩れることがあり、とりあえず庭に出る、火が出て逃げる時は、足ごしらえが肝心、ゴム裏の運動靴は不可、むしろ桐の下駄がいい、荷物を持ちっかけない、水筒だけで十分、神戸はすぐ近くに山と海がある、火から逃げるのにはいいが、ともに「津波」のおそれがないでもない、いくらも存在した原っぱへ避難、地割れで足をはさまれてしまうことはない、落ち着いて這い出ること。耳にタコができるほど、今思えば、老人特有の昔語りの内だろうが、聞かされて、今でも、ぼくの地震対策の基本をなしている。

昭和二十五年以後、東京に住み、たしかに関西より、鯨の活動は活発だが、聞かされていたほどじゃない。おっとその前二年間、新潟にいた、二十三年初夏の福井地震は何の気配も伝わらず、しかし二十四年になると、東北大学の中村左衛門太郎なる学者が、たしか地磁気の変動と地震を関係づけ、調査にいらして、市民は少し警戒、たった一人で調査なさる中村氏の姿をぼくは観ている、そして、枕もとに、避難のための一式揃えて寝た。

臆病のせいだろうが、都心部のどこで大地震にあったら、どこへ逃げるかきちんと決めているし、家人の乗る車にもしかるべき備えを用意、千代田区へ通っていた娘には、登下校時、いかに身を処すべきか、一緒に何度も電車に乗り、歩き、知人に頼みもした。ぼくは空襲時、家族を求めて焼跡を二、三日うろつき、もう二度とあれはご

めんなのだ。

住いは木造二階、二階の重量物はいっさい置いていない、近くに広大なグラウンドがいくつもあるが、もし家族そろって家に入ったら、ひたすら八王子の方へ逃げるつもり、まったく取越苦労もいところだが、高速道路を車で走りながら、いざとなったらとびついて下へ降りるの手がかりをいつも探している。井戸を活かし、池を掘り、保存食を備え、万端整えて、しかしいやな気分は募るばかり。このところ、ピタッと有感地震が途絶えている、何の関係もないのだろうが、杞の国の住人としては、嵐の前の静けさなんて言葉を思うのだ。

核戦争と大震災、世界的規模の凶作は、あまりに破滅的であり、人間は考えないし、考えないことが知恵の一つという。しかし、この三つ、いずれも人災に違いない。地震についていえば、もとよりこれ地球のごくふつうの営み、その営みによって大災厄をもたらすような町を造る方がいけない。またもし造ったのなら、少しでも被害を少なくするべく、物心両面の備えが肝心。ぼくは以前から、東京へ乗り入れる車に、消火器、縄バシゴ、バールの携帯義務づけ、さらに、スイッチ一つでガソリンを灯油などに変質させる薬品の開発、横断跨橋の撤去、さらにいえば、強制的家屋疎開、自衛隊の積極的防災訓練が考えられていい、もっともこれには、独裁者の登場が必要かもしれない。いったん起れば、メガデスなのだ、しかし時限立法で、強権発動も止むを得ないと妄想する。

毎年九月一日前後、東京直下型、また南関東、相模灘あたりを震源とする大災禍の、地獄図が語られ、おごなりに違いない避難演習が紹介される。しかし一方で、臨海工業地帯とやら高層アパートとやらが進められ、都心にビル新設のクレーン林立。この風景、計画を眼にしてりゃ百日の説法屁一つ、そもそもかの新都庁舎、活断層のほぼ真上じゃないのか。

できることは、一人一人が、自分だけは助かってやろうという、エゴイズムを強烈にもつこと、その上で、行政にぶつけること。なにしろ、地震はまったく票に結びつかないのだそうで、東京のみならず、自治体の責任者は総じて老齢、経験したくないに拘わらず、関東大震災の記憶は深く刻まれているはず、またしかし、老齢であればこそ、知ったこっちゃないとお考えなのか。

海の底に地震予知を追う

島村英紀

日本の地震の85%は海の地震

日本のどこで地震が起きているか、という図はすでによく知られている。しかし、この種の図が、海の地震を「不当に軽視」していることは、案外知られていない。

たとえば、宇津徳治がISC（英国にある国際地震センター）のデータを使って作った図（図1）は、宇津がそれぞれの地震を丁寧に調べて描かれた正確なものなので、よく引用される。しかし、この図では、太平洋岸からその沖にかけて起きる地震の数が約十分の一に間引かれて描かれていることに、ほとんどの人は気がつかない。

この図では深さ百キロメートルよりも浅い所に起きた地震は、それ以外の地震に比べて、大きい地震だけに限られているのだ。大きい地震だけということは、つまり、それだけ数が少ないことになる。

深さが百キロメートルよりも浅い地震は、内陸にも起きるが、圧倒的に多いのは太平洋岸である。この図が「正直に」描かれていたら、人々は海の底に起きる地震がいかに多いか、改めてびっくりするに違いない。

気象庁が観測している地震のうち、85%までが海底に起きている。マグニチュード5以上の地震で、最近10年分を数えた結果である。

大地震も例外ではない。日本では巨大な地震は海底で起きる。日本では、有史以来犠牲者の数が1万人を越えた地震が4つあるが、その4つとも海底に起きた地震である。また、過去に日本を襲ったマグニチュード8以上の地震のうち、陸で起きたものは濃尾地震（1891年）だけしかない。

関東大地震（1923年）も海の地震だった。こ

こ20～30年の間に起きた地震をとっても、日本海中部地震（1983年）、浦河沖地震（1982年）、宮城県沖地震（1978年）、新潟地震（1964年）など、めぼしい地震の多くは海底に震源がある。陸に起きて目立ったのは長野県西部地震（1984年）くらいのものだ。来襲が恐れられている東海地震も、もちろん海の地震だ。地震のエネルギーから見ても、数から見ても日本は圧倒的に「海の地震国」なのだ。

海溝と北海道、本州、南西諸島のそれぞれの太平洋岸の間にある狭い帯状の部分。帯の幅は本州の幅よりも狭い。しかし、ここの地下こそが日本の巨大な地震の殆どを産み出している場所だ。

太平洋プレートやフィリピン海プレートが、日本海溝や南海トラフから日本列島の下に潜り込む。そのときに大きな摩擦が起きて、大地震が起きる。これが日本列島に起きる第一の地震の原因である。

そのほか日本列島がこれらのプレートに押されて、歪んだり、ねじれたりする。それらが内陸の地震だったり、日本海沿いの地震だったりするのだ。メカニズムの点から言えば、いわば副次的原因による地震だ。もちろん副次的原因の地震だといっても重要でないわけではない。

なぜ海底地震計が必要なのか

地球を学問の対象とするためには、地球の中を見る眼を持たなければならない。眼としてもっとも強力で、しかも精度がいい機械は地震計だった。地震計は地球の振動を捉える機械だ。つまり、地球の聴診器だ。それで何がわかるのだろうか。

プレートは、じっと止まっているわけではない。新しいプレートが生まれる場所もプレートが地球の表面から消える場所も、ともに海底である。

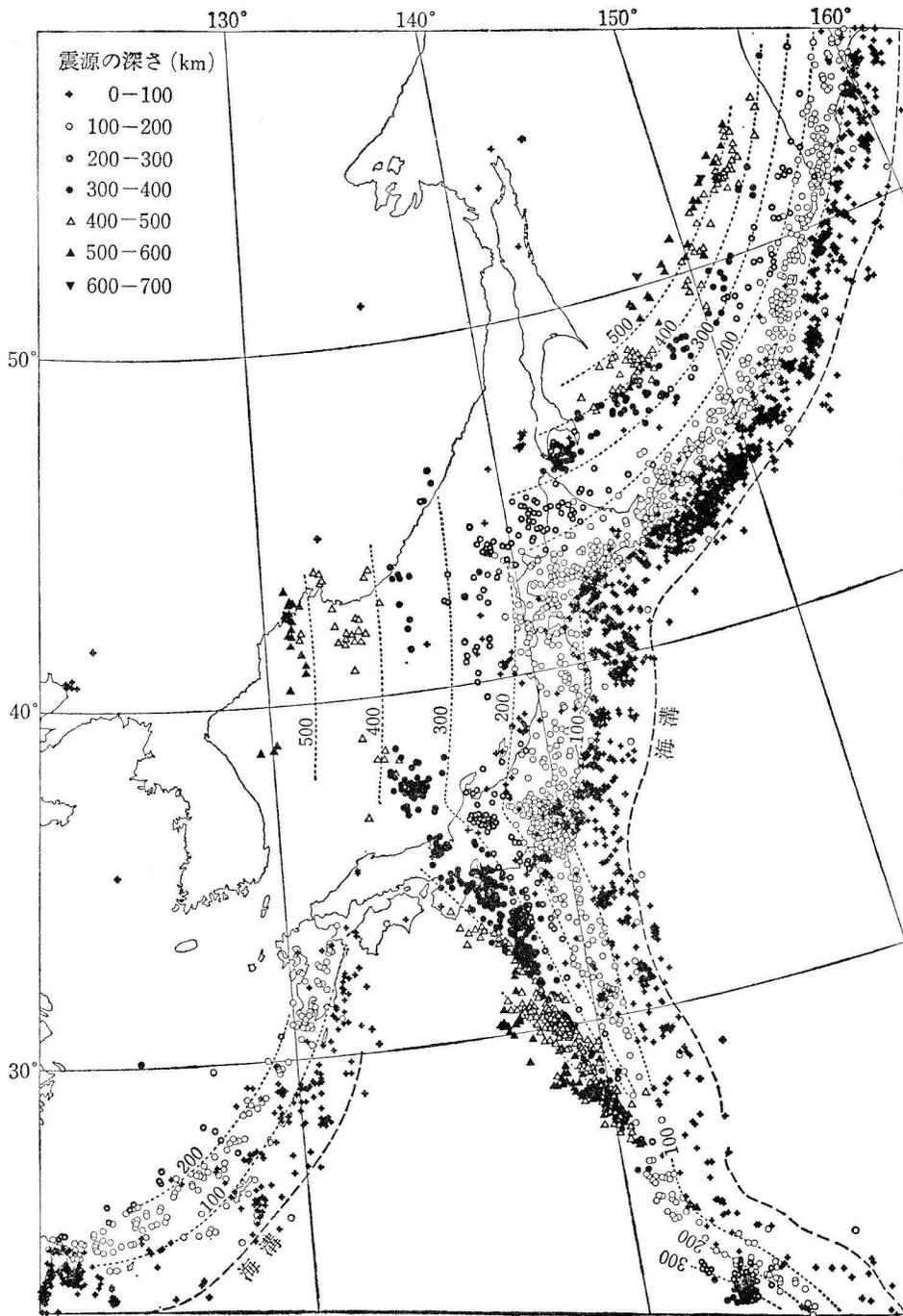


図1 日本の近くで起きた地震の図(宇津徳治による)

プレートが生まれるとともに、古いプレートが動く。プレートは厚さが百キロメートルもある岩ゆえ、プレート同士が押しあったり潜り込んでいくときには大変な力がかかる。この力が岩を壊す。

つまり地震だ。どこで、どんな力がかかって地震が起きるのか、それを知る「聴診器」が地震計なのだ。

それだけではない。地震計は、また地球のレン

トゲンでもある。電波もX線も地球の中を通れないから、地球のレントゲン写真を撮るために使われるのが地球の中を自由に伝わる地震の波だ。

地震計には泣き所がある。海底下を覗くためには海底に置かなければいけないことだ。マイクロホンの感度をいくら上げて、近くの雑音にさえぎられて遠くの音が聞き取れないのと同じである。

地震を「現場」で知る。そのためには、どうしても海底地震計を作って海底で観測をする必要があった。私たちが20年前に、浅田敏らと海底地震計の開発を始めた出発点はここにあった。

日本の陸上では、気象庁と大学と科学技術庁が多くの地震観測点を持っている。その数は全体で400地点を越える。世界でもまれな密度だ。

しかし、陸上にこれほど整備された地震観測網と違って、海底に起きる地震では、マグニチュード4.5を越えるような、かなりの規模の地震でも検知できないことが多い。

それだけではない。陸上から観測した海底の地震は、地震の震源を正確に決めにくい。とくに震源の深さが決めにくい。つまり、海底の地震が潜り込んでいるプレートのどこで起きたのか、プレートの上なのか、中なのかといった決定的なことがわからないのである。

これには2つの理由がある。ひとつは地震の震源の決め方そのものの制約である。震源を決めるためには、地震計が震源を取り囲んでいなければ正確に震源は決められない。つまり震源が太平洋の海底にあるのに、陸上の地震計だけから観測していたとしたら、震源が決まりにくいのだ。

もうひとつの理由は、海底の地下構造が陸とは違うことだ。水中に入れた箸が曲がって見えるように、地震の波が陸上に着く前に地震の波線が曲がりを起こすからだ。

震源の決め方だけではない。地震を観測すれば震源にどんな力がかかって、その地震を起こしたかがわかる。発震機構という。この発震機構も陸上からだけの観測では決めにくい。

このように陸上からだけで海に起きる地震を観測するには重大な制約がある。私たちが海底地震計を作って海に乗り出したのは、この制約を打

ち破るためだった。当時は、世界的にも海底地震計を作っている研究グループはほとんどなかった。海底地震計を完成するのは孤独な作業だった。

海底地震計は地球を覗く眼

いろいろの工夫を重ね、失敗を繰り返しながらも、私たちの海底地震計は開発され、20年間、改良を重ねてきた。手作りの海底地震計はこうして作りあげられた。いま私たちが使っている海底地震計とはどんなものか見てみよう。

海底地震計も地震計のひとつだ。このため基本的な構成は陸上で観測している地震計とそれほど違うわけではない。地面の動きを捉えて眼に見えるようにする。あるいはコンピューターで処理できるようなデータにするのが地震計の働きだ。

陸上と違う条件もある。水圧600気圧、周囲温度は摂氏1℃、船で設置したり回収したりする、という条件を満たすために、極端に小型化した高性能のものが求められる。いわば陸上にある地震観測所一ヶ所分が、そのまま耐圧容器に入っていないわけだ。

構成としては、まず地震計センサーがある。これは地面の動きを電気信号に変えるものだ。センサーから出てくる信号はごく小さい。遠くに起きた小さい地震を記録しようとするときは、電気信号の大きさは百万分の一ボルトの単位しかない。そのため、信号増幅器を通して信号を5万倍に増幅する。

増幅された電気信号を記録するためには記録器が必要だ。この信号を長時間、記録するために特殊なテープレコーダーを開発した。

高感度の振動センサーとテープレコーダーの機構部が同居している海底地震計の仕組みでは、機械的な雑音の遮断が最大の問題である。実際に、外国の海底地震計では、海底で記録すべき周囲の自然雑音よりも内部で出す機械的な雑音のほうが高い機械がいくらでもあった。

このほか水晶時計が必要だ。地震観測には正確な時計が不可欠だ。1ヶ月で百分の一秒も狂わないくらいの精度が必要で、しかもなるべく電気を

食わない仕組みのものが作られた。

海底地震計の本体としては、これらの装置を海底の水圧に耐えるための耐圧容器に入れる必要がある。私たちが海底地震計を置いて観測したい海は深海である。その深さは、時には8000メートルを越える。

たとえば、東北日本から東へ進むと100キロ行けば水深は1000メートル。その後、急に深くなって200キロ行けば日本海溝に達して水深は6000~7000メートルを越えてしまう。このへんこそ、地震の頻発地帯なのだ。

私は、世界でもっとも深くまで潜れるフランスの深海潜水艇に乗って、4000メートルの深海まで潜ったことがある。忘れられない体験だった。しかし、どんな深海潜水艇でも、日本海溝で一番深い8000メートルまでは行けない。こんな深海に行けば耐圧容器には何千トンという水圧がかかる。このために特別に強い材料や、蓋の所で水を止める特殊な仕掛が必要だ。

現在の私たちの海底地震計は、ポップアップ式といわれるものだ。これは海面に落とせば、自分で海底まで沈んでいって記録を取り始める仕組みだ。地震の記録は海底地震計に内蔵される。回収後に船上や実験室でデータを取り出すわけだ。

海底地震計を回収するためには観測の終了後、海底地震計に取りつけてあるトランスポンダーに船から超音波を使って指令を与えて、錘を外す。錘を外すことによって、元来、浮力のある海底地震計を海面まで浮き上らせるわけだ。

また同じトランスポンダーを使って海底地震計までの距離を測り、海底で地震計が着底した位置を今までよりも遙かに正確に決めることもできる。

海底地震計の設置と回収をするには、特別な装備は必要がないように作られている。つまり、どんな船にも頼める仕事になっている。時には設置はヘリコプターでも行なわれた(図2)。

地震予知は世界と関連する

私たちが海底地震計作りを始めてから20年た

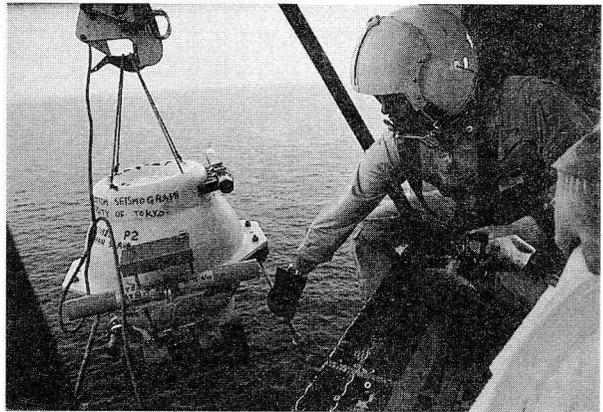


図2 日本海中部地震の余震観測で借り上げたヘリコプターから設置される海底地震計(秋田沖で)。

ち、日本は海底地震観測では、世界でもっとも進んだ国になった。

1975年に東太平洋でカリフォルニア大学と共同で海底地震観測をして以来、多くの国際共同研究を行なってきている。私たちの海底地震計のようなものが外国にないせいか、外国に頼まれて外国の海へ海底地震計を持って行って研究する機会が、最近はとくに増えている。しかし、私たちの陣容は人間の数が限られている。残念なことだが、頼まれても消化できない研究が幾つも残っている。

私たちの関心はプレートの動きと関連した地震活動を研究することと、海底下の地下構造を精密に調べることだ。日本で地震予知のためにやっている研究と同じ関心を持ってやっているわけである。テーマは、それぞれの地域のプレート・テクトニクスの研究と深く関係している。

1984年と1988年には、約40台の海底地震計を投入して、琉球海溝で日独共同で海底地震観測を行なった。世界でも最大規模の海底地震観測であった。

これによって、琉球海溝でのフィリピン海プレートの潜り込みの地下構造を深部まで精密に求めることに成功した。海溝から島弧、そして縁海までの完全なプレート潜り込みの断面が得られたのは、世界でも初めてである。

また、沖縄トラフにつづく東シナ海で、地殻が引き延ばされて薄くなっている地下構造を、初めて「見る」ことにも成功した。

これらは地球科学のナゾを解くとともに、南西諸島沿いの地震予知研究にも重要な貢献だった。

また、1987年から3年つづきでノルウェー沖の大西洋に行ったほか、西独との共同研究も行った。これは、約一億年前に大西洋が初めて生まれた前後に何が起きたか、を地下構造を手がかりに調べた。ここの地下構造は海底地震計を使わなければ調べることができなかったのである。

プレートを生み出す中央海嶺は、プレートが潜り込んでいく海溝と対になっており、ともに地球科学の焦点になっている。

しかし、意外なことだが、この種の研究は、海溝付近の地震予知研究、つまり日本の地震予知にも資するところが大きいのである。

例えば、日本の付近の海底で起きる大地震にはそれぞれナワバリがあって、その中で、よく似た地震が繰り返してきている。そのナワバリの境は、プレートが遙か昔に生まれたときのプレートの傷を引きずってきているのだという説がある。日本の地震予知のためには、地震を起こす元凶であるプレートを調べ上げること、つまり地震を「向こうから」も研究することも必要なのである。

このほか、ヨーロッパの幾つかの国では、海底に起きる地震の予知の必要がとみに高まっている。北海油田を抱えるノルウェーが、そのひとつだ。このため、同国の大学に依頼されて自然地震観測も行なった。石油の掘削や採取作業が地震を誘発する恐れもあり、もし地震が起きたときに、思わざる被害を生む恐れがあることから、ノルウェーは最近、地震予知に熱心になっているのである。

昨年からは2年つづきで、アイスランドで海底地震観測を始めている。これはアイスランド気象庁やアイスランド大学との共同研究である。

アイスランドは大西洋中央海嶺がたまたま島を作っているところで、島の内外には多くの地震が起きる。しかし中央海嶺の地震活動は、正確にはほとんど知られていないのが実状なのである。

また地震活動ばかりではなくて、地球科学的にも、中央海嶺で何が起きているのかには、まだナゾが多い。先ほどの、日本付近の大地震のナワバリの境を作っているかも知れないプレートの古

傷は、海嶺で起きたナゾのひとつである。

しかし、地震活動が精密にわかれば、かなりのことが解明される。国際的にも「海嶺」と呼ばれる研究計画がスタートしたばかりで、日本の海底地震計は、各国から活躍を期待されている。

このほか、アイスランドよりずっと南、ポルトガルの沖にある大西洋中央海嶺で、海底地震観測を頼まれている。観光で有名なアゾレス諸島がある所で、ここでは大西洋中央海嶺を境に、西にアメリカ・プレートと、東にユーラシア・プレートが生まれているだけではなくて、北のユーラシア・プレートと南のアフリカ・プレートとの間で、不思議なプレートの「食い合い」が起きているらしい。

この食い合いも地球科学のナゾになっていて、何が起きているかの決着をつける一番の方法が、海底地震計による地震活動の研究なのである。このため、私たちの海底地震計は、ポルトガルの大学やパリ大学に招待されている。

じつは、この不思議なプレートの食い合いは、日本にもある。房総半島沖にある太平洋プレートとフィリピン海プレートの食い合いがそうで、関東地方の地下に地震が多いのは、この食い合いのせいなのである。その意味では、大西洋での海底地震観測の研究は、日本の地震予知研究ともつながっているのである。

このほかフランスのパリ大学から招待されて、アフリカ大陸が2つに割れ始めている所、ジブチの海で海底地震を観測する計画がある。海嶺の「赤ちゃん」が生まれかけている所で、海嶺のナゾを研究する格好の場所のひとつなのだ。

赤ちゃんと言えば、南極に行って「日本海の赤ちゃん」研究をしてきた。昨年末から今年の初めにかけて、ポーランド科学アカデミー地球物理学研究所や米国コロンビア大学ラumont地学研究所、アルゼンチン国立南極研究所などに招待されて、西南極で海底地震観測を行なった。

ここは太平洋プレートが沈み込んで「日本列島」ができた。火山や地震も多い。そして列島の後ろに、日本海のような縁海の赤ちゃんが、いま、生まれたばかりのところだ。

太平洋プレートが、ぎゅうぎゅう日本列島を押してきているのに、その後ろにどうして日本海のような海が開いてできたのか、はやはり地球科学のナゾである。

これを調べるには、生まれたばかりの赤ちゃんを調べるのが一番いい。赤ちゃんの名前はブランドフィル海峡。幅150キロメートルほどの海峡だ。しかし、この海峡の地下で何が起きているのか、それを調べられるのは海底地震計だけなのである。

日本の海底地震を調べるのには、日本だけで研究しては越えられない制約がある。こうして、世界のあちこちでプレートや背弧海盆が生まれる所を調べて日本と較べることも、全体を知るために必要なのだ。

海に起きる地震には「国境」がない。日本の眼の前で起きる海底の地震は、じつは考え方によっては、プレートを通じて、ハワイやミクロネシアや沿海州の地震でもあるのである。南極でさえ太平洋プレートを通じてつながっている。

十数年前、ほとんどゼロから始まった日本の海の地震予知研究の現段階は、そういった意味では、本質的に、地球的な視野を持たざるを得ないのである。

海底地震観測が明らかにしたこと

私たちが海底地震計を開発して、それまで不可能だった海底地震を海底で観測することが可能になったので、地震予知研究も新しい段階に入った。いままで地震予知研究は、対象が海の地震でも、すべてが陸からしか観測できなかったものが、海底で観測できるようになったからである。

こうして1979年に、北海道大学理学部に地震予知関連の施設として定員2の海底地震観測施設が作られた。第4次地震予知計画の初めであった。また、気象庁も同じ1979年に海底ケーブル式海底地震計を遠州灘の沖に設置して観測を始めた。その後、国立防災科学技術センターも専任の職員を置いて海底地震観測に力を入れるようになった。こうして日本の海底地震観測は、各省庁でようやく予算化、定員化されて、地震予知の手段のひとつ

つとして認知されたのである。

北海道大学の海底地震観測施設では、ポップアップ式海底地震計を年々増やして現在は約40台ほど持っている。海底地震観測を毎年、日本各地の海で続けてきている。職員の数が限られているために、海底地震の観測と研究は、東大理学部、東北大学理学部、千葉大学理学部、神戸大学理学部、東京大学海洋研究所、東京大学地震研究所などとの共同観測、共同研究として行なわれてきた。

海底地震観測は辛い仕事である。東京大学海洋研究所は世界でも立派な観測船を2隻も持つが、両方とも、毎年、年の3分の2もの期間を港につながれたままになっているので、私たちのような仕事には使わせて貰えない。自前の船を持たない北海道大学理学部では、毎年、民間の小さな貨物船やサルベージ船を傭い上げている。

これらの船は観測船としての基本的な装備さえないので、そのたびに測深儀（海の深さを測る装置）や船位測定システム（船のいる位置や海底地震計の位置を知る装置）、無線の受信器などをわざわざ取りつけて使っている。

小さな船はよく揺れるし、居住条件も良くない。また、海況や天候のせいで、計画したほど観測が進まないことも多い。日本近海は世界でも荒い海として有名なのである。

備船料が限られているために、気象庁、海上保安庁水路部、各大学の水産学部の練習船、漁船など、借りられる機会があれば、あらゆる機会に船を借りて、海底地震観測を続けて来た。

こうして、毎年、4週間から3ヶ月ほどの航海を行ないながら、日本近海の各地で集中的な海底地震観測と地下構造の地震探査を行なってきた。

第5次地震予知計画(1984~1988年)では、北海道から福島までの太平洋岸沖をフィールドにした。ここは太平洋プレートが千島海溝と日本海溝から日本列島の地下に沈み込んでいる所で、十勝沖地震、三陸沖地震など、マグニチュード8クラスの地震が繰り返している、世界の海溝の中でも、地震活動がもっとも活発な所である。

これら毎年海底地震観測によって、いままで陸からの地震観測ではわかっていなかった多くの

ことがわかってきて、海底に起きる地震の予知研究は、急速に進んだ。

私たちが海底地震観測を始める前は、日本海溝の付近の地震は、ぼんやりした「雲」のように起きていたと思われていた(図3)。これは陸上の地震観測による結果だ。地震の「巣」という言い方もあった。

しかし、私たちの地震観測の結果は違った像を明らかにした。陸の地震観測から想像されていた海底地震の震源の深さは50キロメートルも間違っていたのも珍しくなかった。

私たちの結果は、世界でも始めて海溝の近くの地震活動を明らかにしたものだだったが、雲のように見えた地震の分布は見かけだけのものだった。じつは地震は「面」状に起きていたのだ。

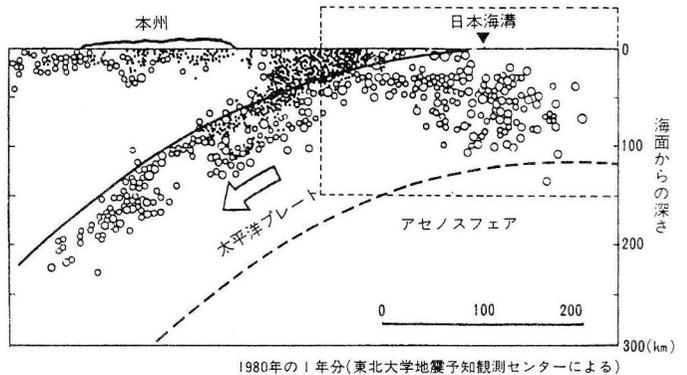
その面は潜り込んでいる太平洋プレートの上の面そのものだった。この結果は重要だった。太平洋プレートの上の面だけに地震が起きているということは、押している太平洋プレートと押されているプレートの「境目」だけに地震が集中していることだ。

また私たちはもうひとつ重要なことを発見した。海溝部の下には不思議な地震活動があると考えられていた。それは海溝のすぐ下から海側へ、つまり大陸と反対側へ傾斜して深くなっていくような震源の塊だった。この震源は深さ百キロメートル近くまでつづいていた。これは日本海溝でも見られたし、千島列島やカムチャツカ半島でソ連が観測して得た千島海溝での結果にも見られていた(図3上)。

しかし私たちの地震観測の結果、これはニセモノだった。深さにして数キロから百キロメートル近くまで及ぶこの地震の塊は、陸上からの震源決定能力が限られていたための見かけ上のものだった。海溝の下に本当にあった地震活動は、ごく浅いものだけだったのだ。

これらは、海底で起きる地震の性質と起こり方

陸上の地震観測による日本海溝の震源分布



海底地震計の観測による震源分布(上の図の点線部分を拡大したもの)

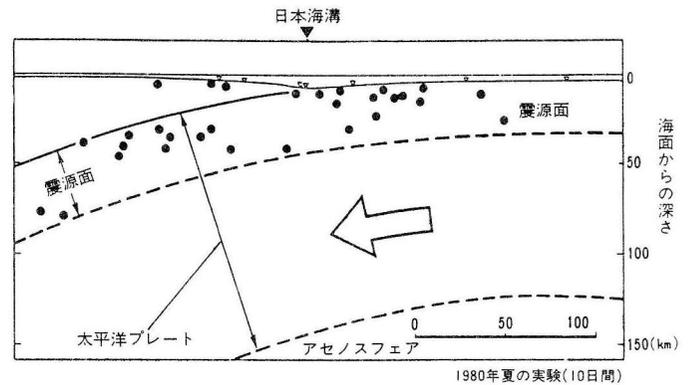


図3 日本海溝の地震断面

私たちが海底地震観測を始める前は、海溝の付近の地震は雲のように起きていたと思われていた。しかし実態は全く違ったのだ。上は、陸上地震観測から求めた震源分布の「雲」。下は、海底地震観測でわかった震源分布。

を明らかにした重要な研究だった。また、北海道沖から福島沖まで、地域によって違う、それぞれの海底地震の地震活動や性質も明らかになった。

このほか、北海道大学の海底地震観測施設では、大地震が出演する「舞台」、つまり地下構造の研究も、海底地震観測と同時に、毎年、各地でつづけてきている。つまり海底では、起きる地震の性質ばかりではなく、地震が起きる場所の地下構造も、海底地震計を使った研究によって明らかにされてきたのである。

今まではほとんど知られていなかった大地震が起きる舞台の地下深くまでの地下構造の全貌が、こうして、海底地震計を使った人工地震で見える

琉球海溝の断面

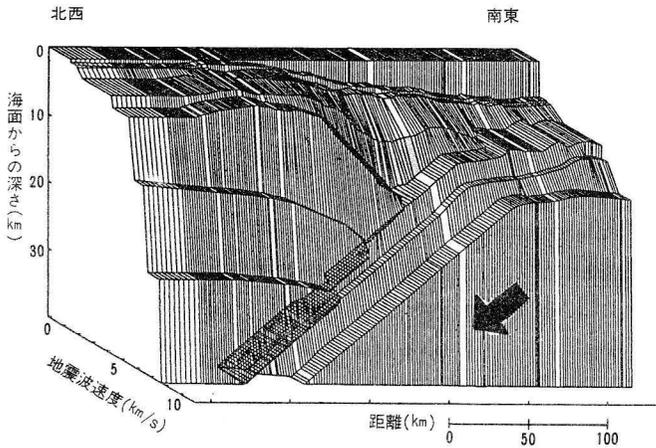


図4 琉球海溝でのプレートの潜り込み

今までは知る手段がなかった「大地震が出演する舞台」の地下深くまでの全貌が最近の海底地震計を使った人工地震で見えるようになった。

ようになった。たとえば千島海溝や琉球海溝では、海洋プレートが日本列島の下に潜り込むありさまが、海底地震計を使った地震探査で始めて精密に捉えられた(図4)。

その上、プレートの潜り込みは場所によってその様相が違ふことがわかり、その違いがそれぞれの場所で起きる大地震の性質の違いと関係しているらしいこともわかった。

こうして、千島海溝と日本海溝沿いの研究をつづけてきて一段落した北海道大学の海底地震観測施設では、1989年からの第6次地震予知計画では、毎年、伊豆マリアナ海溝と琉球海溝沿いの地震活動と地下構造の研究にも取り組み始めている。

これらの海域でも、多くの大地震が起きているが、日本海溝沿いに起きる大地震とは性質が異なる。日本の地震予知には重要な場所である。

これらの他、その時々的重要な地震活動の場所では、臨時の海底地震観測を行なってきている。

たとえば1982年の浦河沖地震では船主の好意で地元の漁船を借りて海底地震計を使った余震観測を行ない、陸上観測からはわからなかった本震の性質を明らかにした。また1983年の日本海中部地震でも、ヘリコプターを借りて海底地震計を使った余震観測を行ない、これも海からしかわからない震源の性質を研究した。

また1989年春には、相模湾全域で海底地震観測を行ない、伊東沖の群発地震と海底噴火の直前の地震活動を明らかにした。この他、大地震には至らなかったが、群発地震で地元を不安に陥れた茨城沖や三陸沖の海底地震活動も、それぞれの海域で臨時の海底地震観測を行なった。

地震予知の現状

今まで見てきたように、海溝の近くの地震活動についても、海底の地下構造についても、今まで知られていなかった多くのことがわかってきている。

これは信頼性の高い海底地震計を多数投入することで始めて得られるようになった成果である。これらの研究は海底の謎を解きあかしつつあるわけだ。その意味では、海底地震観測は地球の中を見る窓を開いたことになる。

今まで大まかにしか見えていなかった海溝付近の地震活動が次第に明らかになってきている。これは日本の地震予知にとって、もっとも基礎的で重要な情報である。

また、地震活動を詳しく知ることはプレートの活動を詳しく知ることである。この結果から、潜り込むプレートが起こしているプレート・テクニクスの謎が解かれつつある。

海底地震計を使った地震観測によって、海底に起きるごく小さい地震まで、その地震活動が知られるようになってきた。

今まで陸からの地震観測では、ぼんやりとしか見えていなかった地震活動が、しっかりピントの合った写真のようにくっきりと見えるようになった。その意味では日本海溝や千島海溝の近くでは、どこでどんな地震が起きているのか、そういった「普段」の状態が以前よりもずっとわかってきている。だから、これらの地域で普段と違ったことが起きてきたら、何か怪しい、といえる。要注意のランプがついたら、今度はその海域にいろいろな観測を集中することができる。

海底に起きる地震の予知について、学問的には、ここまで見通しが得られるようになってきているのである。

地震予知計画の問題点

日本の地震予知研究計画は1965年に発足して以来、すでに26年目に入っている。初めは4年、その後は5年ごとに、第X次地震予知計画という名で次々に新しい地震予知計画が作られて実施されてきている。この間、大学をはじめ各省庁で、地震予知関連で百人を越える定員が付いた。予算も日本全体で、給料は別にしても、毎年約60億円ほど使う規模になっている。

この間に、地震予知の研究や観測の体制が築き上げられて来た。各大学に地震予知関連の観測センターが設置されたほか、国立防災科学技術研究所は東海・関東地方に大学よりも規模の大きな地震と地殻変動の観測網を敷設した。また気象庁には地震火山部が新設されて、地震予知のための観測体制は着々と整備されてきたように見える。

これらの地震予知体制は、それなりの組織として機能している。しかし、問題がないわけではない。発足以来の四半世紀は長く慣性は重い。地震予知の体制が大きくなってきた一方で、態勢の保守化が進み、既存の体制以外の新しい研究方法を取り込んで行こうという積極性が、年とともに薄れて来たのが、最近の地震予知研究体制だという厳しい評価もある。

つまり、地震予知計画でも比較的早く整備され、多くの定員を先に仕入れてしまった分野では、自分たちの組織を守って維持していだけで多大の人力と予算を必要とするようになっていく。陸上の地震観測や地殻変動観測がその典型だ。たとえば大学が担当している微小地震観測の大規模化と現業（ルーティン）化は、現業官庁ではなく、研究や教育を目的としている大学としては、やるべき範囲をすでに越えているという議論もある。

その上、何年かたつと、観測機器が老朽化する。老朽化したからといって、続けてきた観測を止めるわけにはいかない。その機器の更新にはまた多

大の金と、それを正当化するための理由付けが必要になる、といった繰り返しになっている、というのである。

たとえば、地震予知研究で後発で、最近研究として可能になってきた分野、例えば海底地震観測や、地球電磁気観測や、地球化学観測、を重点的に伸ばしていこう、という「総論」には、研究者をはじめ、諸官庁の事務部門も異存はない。

しかし、いざ予算だ、定員だ、という「各論」になると、既存組織が脅かされるわけにはいかない。既存組織の温存のための財政や定員の硬直化といった厳然たる現実の前に、新しい有望な分野に、予算も定員も、結局は重点的にはつけられない、というのが現実なのである。

たとえば、北海道大学の海底地震観測施設は発足以来11年を経過したが、いまだに海底地震観測を行なえる大学では日本で唯一の機関である。この間に海底地震観測をテーマに、博士論文だけでも6つが作られた。しかし、定員はずっと2のままである。地球電磁気学や地球化学でも情勢は似たようなものだ。人数や予算規模は、十近い大学で百人近くもいる陸上地震観測や地殻変動観測と比べるべくもない。

ところで、すでに四半世紀にもわたって継続して行なわれてきた地震予知計画が、どのくらいの進歩があったのか、また、あとどのくらいの年月と費用があれば、地震予知が日本中で実用になるのか、はっきりわかる形で説明されたことはない。

地震予知に関わっている研究者や官庁の内部では、十分の進歩があったという評価が一般的だが、将来の見通しについては定まった評価はない。

他方で、地震予知の今までの進歩や将来の見通しについて、世間の眼が厳しくなっているのも事実であろう。

年次計画を繰り返すたびに、既存組織の保守化だけが目立ってきて、保守化した分だけ、新計画が本来持つべき新鮮で強力な目玉が見えにくくなっていくのが地震予知計画だ、と言うのでは困る。地震予知は天文学のような純粋科学ではなくて、社会に対して責任を負うべき科学計画なのである。

[しまむら ひでき 北海道大学理学部教授]

地球のCTスキャン

地震波トモグラフィーのはなし

長谷見晶子

はじめに

ここ数年，“地震波トモグラフィー”，“ジオトモグラフィー”，または単に“トモグラフィー”という言葉が学会や雑誌にしばしば登場するようになってきた。トモグラフィー (tomography) はギリシャ語の tomos (切口, 切れ端) と graphe (画くこと) に由来し，辞書では“断層写真術”と訳されている。医療で使われる CT スキャン (CT=computerized tomography) と同じような原理で地下構造を調べる手法がジオトモグラフィー (geotomography) である。物理探査の分野では，地震波だけでなく電流や電磁波などのデータも使われるが，現在のところ最も一般的なのは地震波を用いる地震波トモグラフィー (seismic tomography) である。地震波トモグラフィーには人工震源を使う坑井間検層 (図1) と自

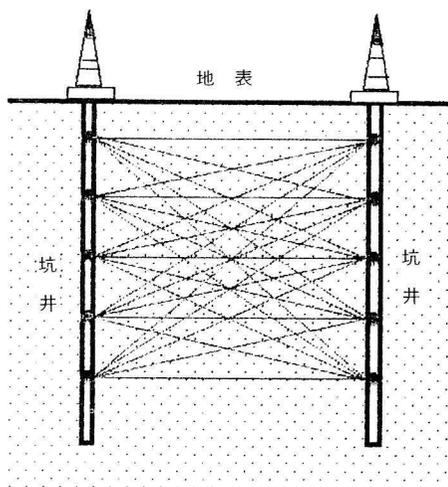


図1 坑井間検層
一方の坑井が震源井，もう一方が受振井になる。

然地震のデータを使うものがあるが，ここでは後者について述べることにする。

実体波(P波，S波)の走時(波が震源から出て観測点に到着するのにかかる時間)，表面波の位相速度・群速度，地球の自由振動の固有周期，波形，震度等，地球内部の情報を含んでいるものはすべて地震波トモグラフィーのデータになる。得られるのは，地震波速度や吸収係数の3次元構造の断面図や平面図である。例えば上部マントル中では，地震波速度と岩石の温度とは密接な関係があると考えられているので，速度分布図からマントルの状態を視覚的に理解することが可能になる。

実体波走時を用いるトモグラフィー

地震波トモグラフィーは，P波走時データを用いる研究から始まった。図2のように速度が大きい場所がある媒体を考える。ここを通過してくる波の走時は標準的な速度(この場合は回りの領域の速度)で計算した値よりも小さくなるので，経路のどこかに速度の大きい領域があることがわか

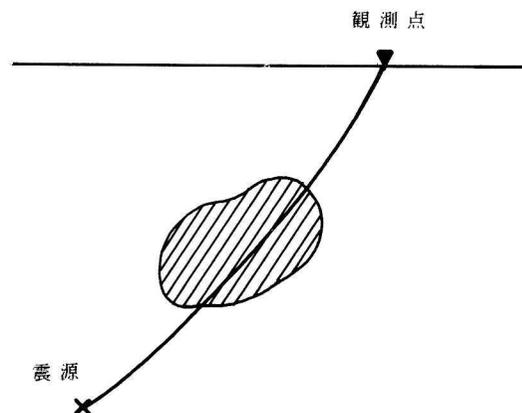


図2 速度異常域の検出
斜線の部分は周囲より速度の速い領域を表す。

る。たくさんの震源と観測点があれば、領域の位置、広がり、大きさ、内部の速度を求めることができる。

この原理に基づいて、試行錯誤的手法、あるいは手作業で速度分布を求める研究は古くから行なわれていた。これを定式化し、連立1次方程式を最小2乗法的な手法で解くことによって3次元速度構造が求められることを示したのが、Aki and Lee (1976), Aki, Christofferson and Husebye (1977) の研究である。彼らの方法はすぐに世界中に広まり、世界各地の3次元速度構造が次々に求められ、地震学上の一つのエポックを画した。今までに多くの研究者が、この方法に改良を加えている。その結果、地域的な規模から全地球的規模までの3次元構造を詳しく調べられるようになった。

Aki and Lee (1976) の方法は、地下をブロック(直方体)に分け、各ブロック内の速度を求めるというものである。この方法を簡単に紹介してみる。震源と観測点が図3のように分布している領域を考える(ここでは平面に描いているが、実際にはどちらも3次元的に分布している)。まず、震源の位置 x, y, z と発震時 t 、速度構造を適当に仮定して各観測点で走時を計算し、計算走時と観測走時との差を求める。つぎに、領域をブロックに分ける。走時の差は、仮定した値と真の値とのずれを用いて、つぎのような1次式で近似できる。

$$\text{走時の差} = a_1 \Delta x + a_2 \Delta y + a_3 \Delta z + a_4 \Delta t$$

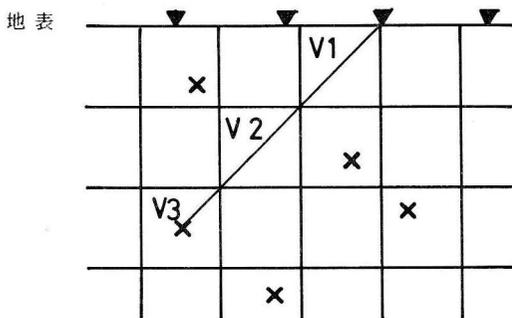


図3 ブロック・モデルでの実体波トモグラフィー
▼は観測点、×は震源、 V_1, V_2, \dots はブロック内の速度を表す。

$$+ a_5 \Delta v_1 + a_6 \Delta v_2 + \dots$$

$\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t$ は震源位置と発震時、 $\Delta v_1, \Delta v_2, \dots$ は各ブロック内の速度の真の値からのずれで、 a_1, a_2, a_3, \dots は係数である。このような1次式が観測の数(観測点数×地震数)だけ得られる。速度構造を求める問題は、こうして、大きな連立1次方程式を解く問題になる[注]。

[注：未知数の数は4×地震数+ブロック数なので、観測点が多ければ、最小2乗法で連立1次方程式を解いて速度構造を求める。しかし、未知数の中には波があまり通らないブロックの速度のずれのように、求めにくいものが含まれている。このため、普通の最小2乗法では、たいていの場合、解が発散してしまう。そこで Aki and Lee は Damped least squares method という拡張された最小2乗法を使って解を求めた。地震学の分野でも、1970年頃から Damped least squares method や、一般化された逆行列を使って問題を解く研究が始められており、このことも3次元速度構造を求める方法が生まれる背景にあった。]

Aki and Lee の方法ではコンラッド面、モホ面などの境界面の凹凸が大きい場合は、それがブロック内の速度変化として現れるので、結果を解釈する際に注意しなければならない(図4)。層境界の形を求めるには、層内の速度を一定であるとして境界面の深さ分布を決める方法が使われる。この場合は層内の速度変化は境界面の深さ変化となって現れる。それぞれの方法が持つ不都合を軽減するため、境界面の形を決めてから速度分布を求める方法もとられている。後出の図6, 7, 8は、この方法を使って求められたものである。

データに含まれている情報からモデルを推定することを逆問題(inverse problem)といい、3次元速度構造を求めるのも逆問題である。そのため、3次元速度構造の研究は当初は3次元インバージョンと呼ばれていた。地震波トモグラフィーという言葉が使われるようになったのは、連立1

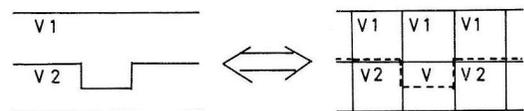


図4 境界面の凹凸とブロック内の速度との関係
 V は V_1 と V_2 の間の速度となる。

次方程式を解く際に CT スキャンで用いられる方法（反復逆投影法）が取り入れられ始めた 1985 年頃からである。連立方程式を最小 2 乗法で解くには、未知数の数の 2 乗以上のコンピュータの容量が必要になるけれども、反復逆投影法では、それが未知数の数のオーダーで済む。最近の研究では多数のデータ、広い領域を扱い、未知数が数千個になることも多く、反復逆投影法がよく使われる。それにつれて、地震波トモグラフィーという言葉も一般的になってきたのである。

自然地震を使う地震波トモグラフィーと CT スキャンとは次の点で大きな違いがある。まず、地震波トモグラフィーでは CT のように波源（震源）や受信点（地震観測点）を自由に配置することができない。そのため観測点や震源の分布の仕方によって、精度良く速度を求められる場所とそうでない場所とが出てくる。また、震源位置や発震時に含まれる誤差も結果に影響する。したがって、地震波トモグラフィーでは速度分布だけでなく、結果の精度も調べる必要がある。速度構造を求める方法と同様、解の精度を見積る方法もいろいろ工夫されてきている。

トモグラフィーで地下構造を詳しく調べるには、観測点の密度が高く、データの精度が良いことが必要である。日本では地震の数も多く、気象庁、地震予知研究を行なっている国立大学、国立防災科学技術研究所が高感度の観測網を展開しているため、地震波トモグラフィーを用いた研究が数多く行なわれている。ここで日本列島の構造に関する最近の研究結果を見てみる。図 5 は、防災科学技術研究所のデータから求められた関東・東海地方の P 波速度分布図である。震源分布のデータから、この地域には日本海溝から太平洋プ

レートが、相模トラフと駿河トラフからはフィリピン海プレートが潜り込んでいることが知られている。潜り込んだプレート内では温度が低いため、周囲に比べて地震波の伝わる速度が速い。図 5 (a) の断面では、伊豆半島付近から東西に高速度域が伸びているが、これは潜り込んだフィリピン海プレートに対応する。また、図 5 (b) は深さ 0~16 km の範囲の速度分布である。速度差が大きいのは、地表付近の地質の差を反映しているためである。例えば地表に花崗岩の出ている筑波山付近は高速度域になっている。東京湾周辺、御前崎の低速度は柔らかく厚い堆積層が分布しているからで

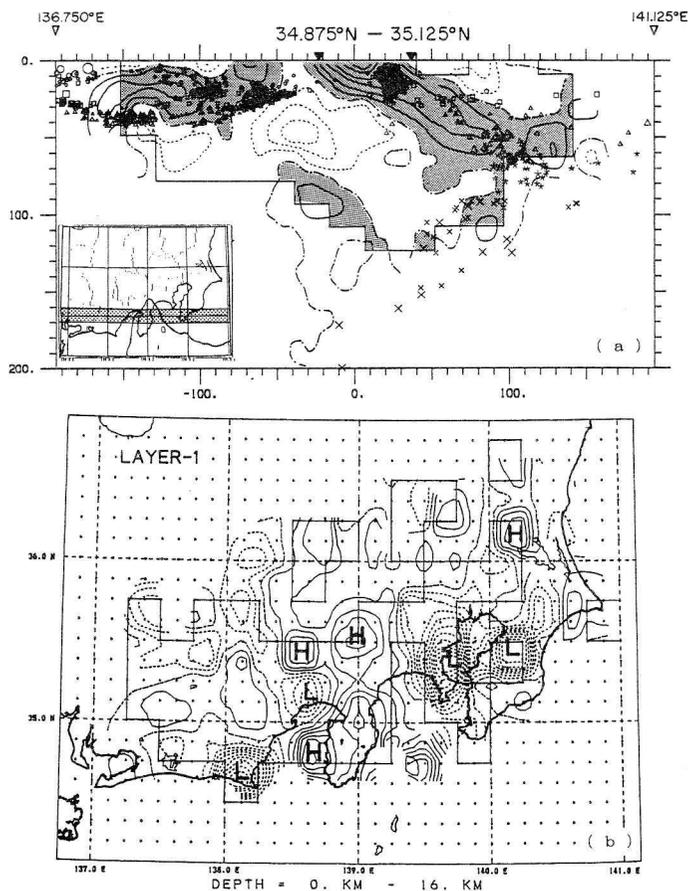


図 5 関東・東海地域の P 波速度分布 (Ishida and Hasemi, 1987) 標準速度モデルからのずれ ($\Delta v/v$) で表してある。コンター間隔は 2%。実線で囲んだ部分が解の精度がよい範囲。(a) 垂直断面図。影をつけた部分が速度が速い領域。記号は震源を表す。▼はトラフ軸の位置を示す。(b) 深さ 0~16km の範囲の速度分布。H は速度が速く、L は速度が遅い地域を示す。

ある。このように震源分布や地質のデータによく合う結果が得られるということは、地震波トモグラフィの結果の信頼性が高いことを表している。

地震波トモグラフィによって、初めて明らかにされたこともいろいろある。活動的な火山の下のマントルの状態も、その例である。図6は東北地方の断面図で、東北大学の微小地震観測網の走時データを使って求めたP波速度分布を示している。活動的な火山の下では、深さ60kmくらいまで地震波の速度が遅くなっていることが見てとれる。このような速度分布と岩石実験の分野で得られている結果とを合わせ、活火山の下ではモホ面の下のマントル中の岩石が部分熔融しているということがわかった。

これまで日本の3次元速度構造は地域ごとに詳

しく調べられていたが、それらの結果をつないで全国図を作るのは難しかった。最近、地震予知研究をしている大学の観測網のデータが東京大学地震研究所のセンターに集められ、プレティンが発行され始めた。これに載っているデータを使って、全国規模で詳しい構造がごく最近求められた。それを図7、8に示す。使われた地震は1200個にのぼる。図7をみると、西南日本の地殻は東北日本に比べて均質で、地震波速度がやや速いことがわかる。図8では、対象となる領域の広がりが大きいため、深い所の構造まで求められている。図8中の西へ傾く高速度域は太平洋プレートに対応する。この図から太平洋プレートの厚さが、およそ70kmであることがわかる。この値は、他の方法で見積られている値と合っている。

世界中の地震観測所で得られたP波、S波の到着時刻データはイギリス

にあるISC（国際地震センター）が集めて公表している。このデータを使って下部マントルの構造を調べた研究もある。下部マントルとは深さ670kmからマントル-核境界（深さ2900kmくらい）までの範囲である。地震波速度は深さ670km付近で急に変わり、マントルは、この深さで上部マントルと下部マントルとに分けられている。図9は約5000個の地震のP波走時のうち震央距離が $25^{\circ} \sim 100^{\circ}$ （約2800~1万1100km）の範囲で観測されたもののおよそ50万個を使って得られた結果である。横方向の速度差は深さ670kmとマントル-核境界のすぐ上の所で大きく、

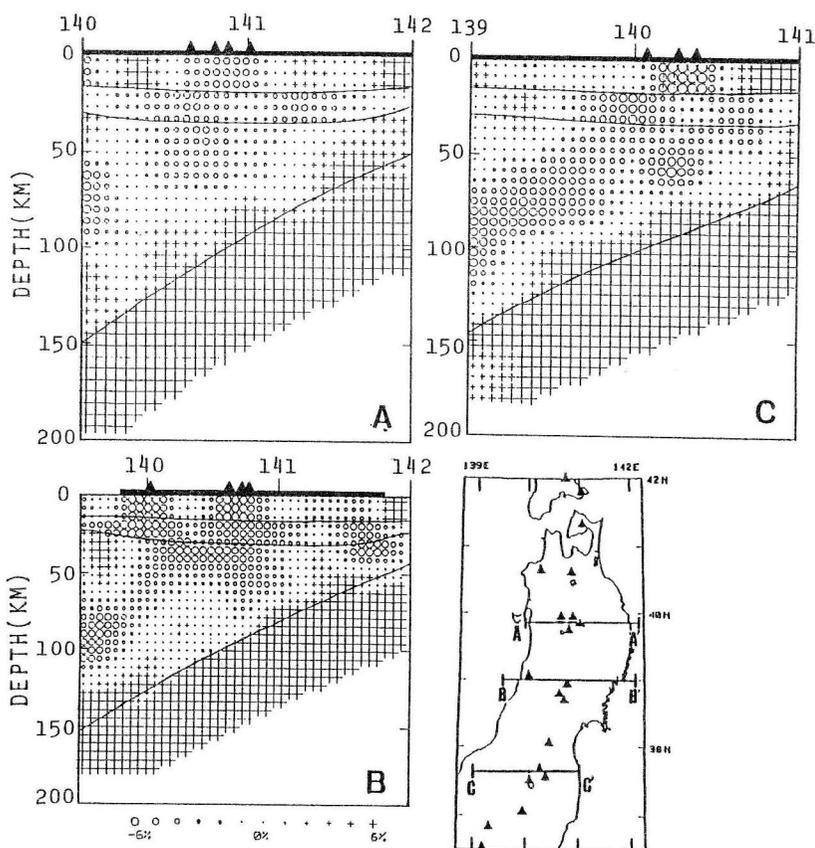


図6 東北地方のP波速度分布の断面図 (Zhao, et al., 1990)
○は速度が遅く、+は速度が速いことを表す。▲は第四期の火山の位置。
境界面は浅いほうからコンラッド面、モホ面、太平洋プレートの上面。

最大 1~1.5% くらいである。

表面波を用いるトモグラフィー

遠くで起きた大きな地震では、ガタガタという揺れの後でゆっくりした揺れがつづく。このゆっくりした揺れが表面波である。表面波のエネルギーは地球表面に沿って伝わっていくが、その速度は地下の密度、速度構造で決まる。また、波長の長い波ほどエネルギーが地下深くまで分布するので、速度はより深い所の構造の影響を受ける。そのため、表面波は波長によって伝播速度が異なるという“分散”を起こす。そこで、いろいろな周期の波について伝播速度を求めれば、伝播してきた地域の密度、地震波速度の深さ分布を調べることができる。揺れの感じからもわかるように、表面波の波長は数十km 以上で大変に長い。したがって伝播速度を求めるには、波の経路が十分に長いことが必要である。表面波トモグラフィーは対象とする地域が広い場合、例えば全地球の上部マントルの3次元構造を調べるような場合に使われ

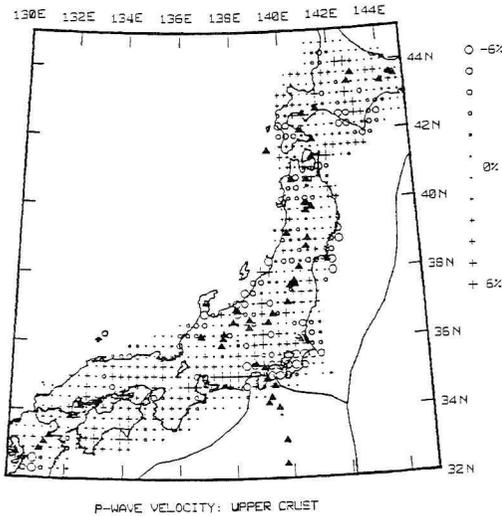


図7 日本全土の上部地殻のP波速度分布(Zhao, 1991) 記号は図6と同じ。海溝軸、トラフ軸も示してある。

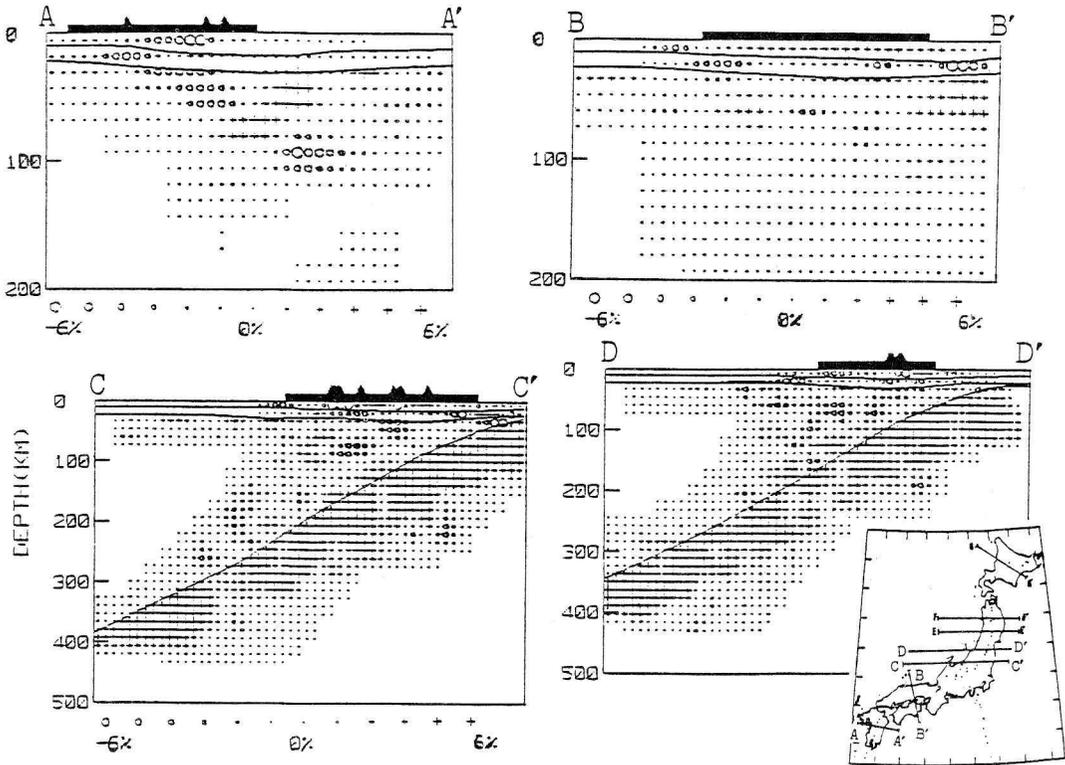


図8 P波速度分布の断面図(Zhao, 1991) 記号は図6と同じ。

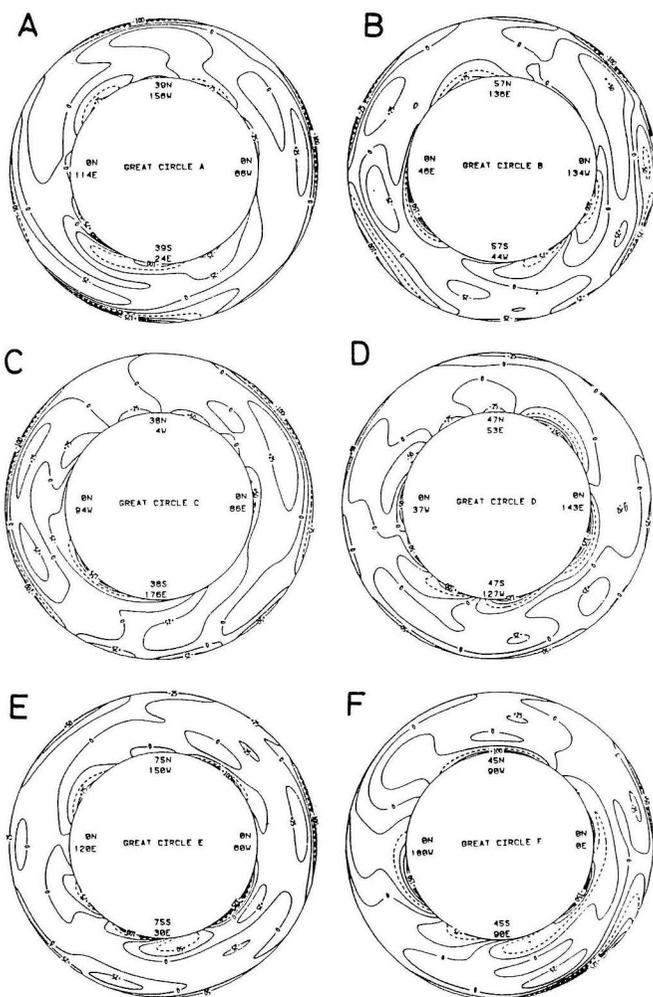
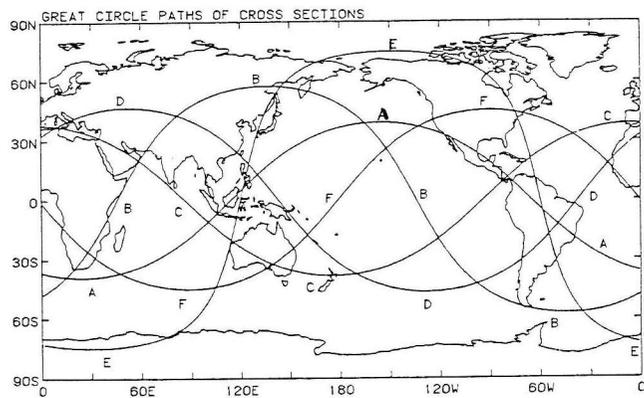


図9 地球の大円 (A-F) に沿った下部マントル中のP波速度断面図 (Dziewonski, 1984)
外側の円は650kmの深さ、内側の円はマントル-核境界に対応する。コンター間隔は25m/sec.

る。そのときの手順は、つぎのようになる。まず、ある周期の波について地球上の多くの経路で伝播時間を求める。つぎに、この伝播時間データに合うように地球表面上の2次元速度分布を求める。2次元速度分布を表すには、関数を使う方法や、地表を速度の異なるブロックに分ける方法、またはブロックの代わりに格子点を置く方法などが使われる。こうして求められた速度分布は、地表から波の周期に対応する深さまでの平均値である。いろいろな周期の波について同じ計算を行なって深さ方向の速度分布も調べ、3次元速度分布を求めることができる。走時データを使う計算と違って表面波の場合は波形全体がデータとなるので、大量の記録を解析するには、波形がデジタルで記録されている必要がある。そのため、表面波トモグラフィーが行なわれるようになったのは、GDS (Global Digital Seismograph Network), IDN (International Deployment of Accelerometers) といった世界的規模の観測網でデジタル記録が収録されるようになった1980年代からである。

図10の中段と図11は、表面波トモグラフィーで求めた上部マントルのS波速度断面である。深さ200kmくらいまでは、大陸や海底年代の古い北西太平洋の下の速度が速く、海嶺の下では遅いといったぐあいに、地表の地質との関連が見られる。また、深さ200km付近を境に上部マントル中の構造が浅い部分と深い部分とで違っていることもわかる。

おわりに

地震波トモグラフィーは、これまでにわからなかったような構造をいろいろ明らかにしてきた。しかし、マントル深部の構造となると、同じ地域を扱った研究

の結果の間に違いがあるなど、まだわからないことも多い。さらに精密に構造を調べるには、方法とデータの質を改善することが必要である。方法に関しては、最近、3次元波線追跡(3次元構造の中で波の経路を決めること)を取り入れた計算が行なわれたり、波形を使う研究も始まっている。3次元波線追跡は、地震波トモグラフィーでは必

ず必要なものであるが、アルゴリズムが難しく計算時間も長くなるため、これまでは1次元構造で決めた波線で代用することが行なわれていた。データのほうは、日本列島に関しては大学のデータの統合が始まり、質・量とも改善されていくと考えられる。地球規模では、現在各国で広帯域デジタル観測網が建設されている。このような状

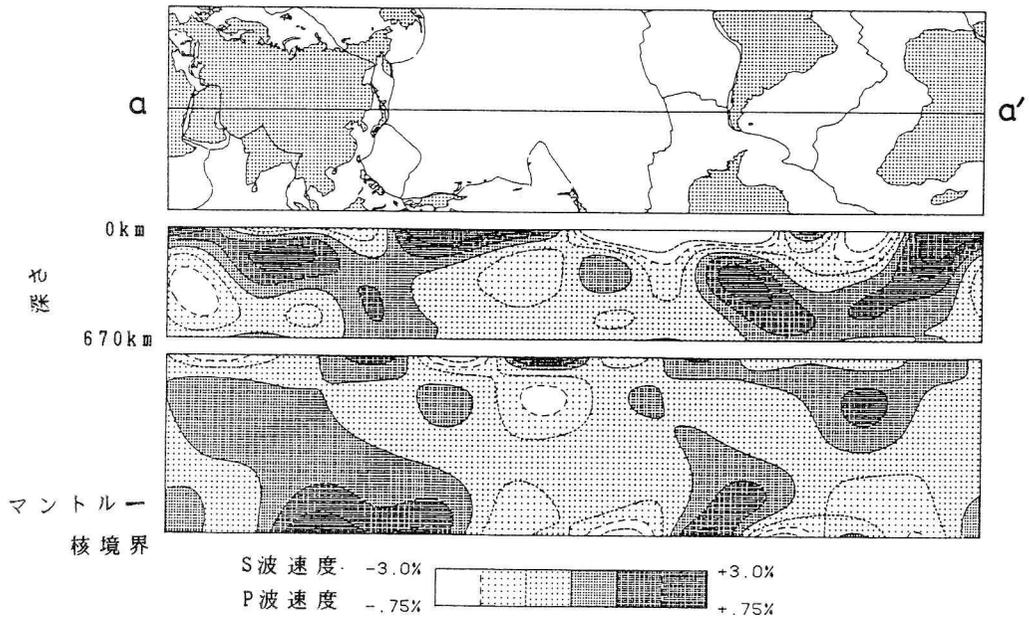


図10 大円 a-a' (上段) に沿った上部マントルの S 波速度 (中段) と下部マントルの P 波速度 (下段) (Dziewonski, 1984, Woodhouse and Dziewonski, 1984)

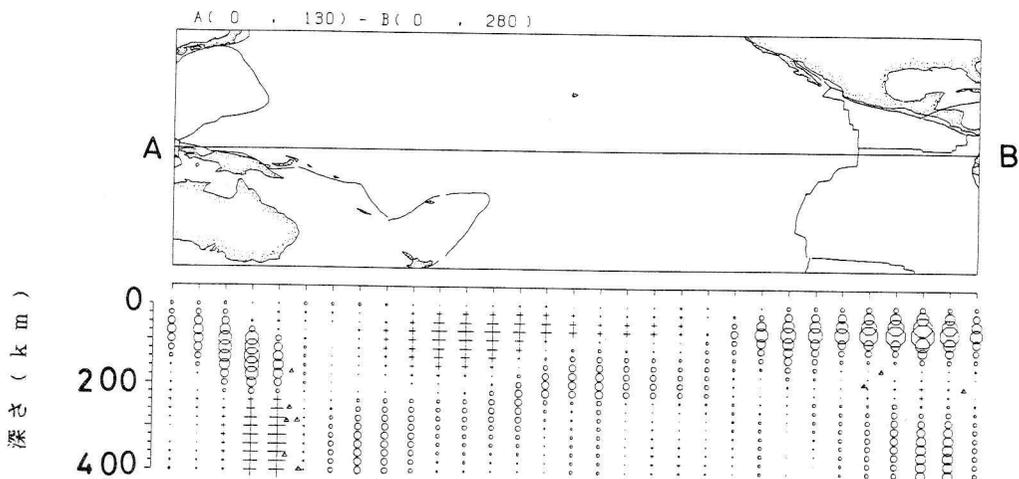


図11 大円 A-B に沿った上部マントルの S 波速度断面図 (Suetsugu and Nakanishi, 1987)

○は速度が遅く、+は速いことを示す。記号が大きいくほどその割合が大きい。

況から考えて、地震波トモグラフィーの結果はこれからも良くなっていくと思われる。しかし、深部構造に関する問題に決着をつけるには、現在は観測点の空白地帯となっている海洋地域でデータを得ることが必要である。世界的規模の海底地震計観測網が建設されたときに、日本列島に関しても全地球に関しても、結果の精度が飛躍的に改善される。

なお、地震波トモグラフィーの解説には、中西(1985)、杉原・伊藤(1988)、平原(1990)などがある。

引用文献

K. Aki and W. H. K. Lee, 1976, J. Geophys. Res., 81, 4381-4399.

K. Aki, A. Christofferson and E. S. Husebye, 1977, J. Geophys. Res., 82, 277-296.

A. M. Dziewonski, 1984, J. Geophys. Res., 89, 5929-5952.

M. Ishida and A. Hasemi, 1988, J. Geophys. Res., 93, 2076-2094.

平原和朗, 1990, 地震 2, 43, 291-306.

中西一郎, 1985, 科学, 55, 350-358.

D. Suetsugu and I. Nakanishi, 1987, Phys. Earth Planet. Inter. 47, 205-229.

杉原光彦・伊藤久男, 1988, 物理探査, 41, 179-187.

J. H. Woodhouse and A. M. Dziewonski, 1984, J. Geophys. Res., 89, 5953-5986.

D. Zhao, 1990, Tectonophys, 1990, 181, 135-149.

D. Zhao, 1991, Thesis, Tohoku Univ.

[はせみ あきこ 山形大学理学部助教授]

日本在住のイギリス人、P. Hadfield 氏著“Sixty Seconds That Will Change The World” (副題: The Coming TOKYO Earthquake) が最近出版されて、ちょっとした話題となっている。いわゆる英文の原書に日本語の帯をつけて、ホテルの売店などでも売られているし、著者によれば世界中で日本での発売がいちばん早いとのことで、日本で大いに売ろうとのことらしい。また日本語版も、近々出るとのことである。

この本の書評は、本誌次号に載ることになっているし、ここでその詳細を紹介することはしないが、外国人の目で捕らえた東京大地震についての考え方は、なかなか注目すべき点があるように思われる。某週刊誌が取上げているように、外国人が指摘すると、

日本の専門家の提言を聞き流してしまう世間にも、ある程度の反響があるようで、このような本の出ることは結構なことではあるが、日本人自体がもっと真面目に取り組むべき問題であろう。

この本の著者は、日本の地震学者・地震工学者・防災行政責任者・地震保険専門家・金融専門家などと精力的にインタビューを重ねて、1923年の関東大震災

以来の南関東地区の地震学的静穏期が終わりに近づきつつあり、とくに東京圏直下地震の発生は相当に近いと考え、東京が壊滅したとき世界がどのような影響を受けるかを考察している。

日本の工業生産の崩壊は、世界の景気後退と貨幣価値の暴落を招く。日本の巨大な貿易黒字は他国、とくにアメリカとイギリスに流入して、これらの国々の経済を支えているのだが、日本の資金が復興のために引揚げられるので、えらいことになるだろう。

このように、日本だけでなく世界経済の破綻を惹起しかねない日本の地震問題について、政治家を含めて社会一般は専門家の言に耳をかそうとはせず、目前の利益を追っているというのが著者の指摘

であり、日本の識者の意見とも合致している。

本誌10号では「迫りくる東京圏直下地震」の特集を行なったが、この本は本誌の特集の趣旨を、よりジャーナリスティックに強調したものであり、行政・企業などの責任ある人々が関心をも持たれることを望みたい。なお本誌特集号は、より読み易い形に再編集されて単行本として、近々、刊行されることになっている。

世界を変える60秒

力武常次

魚の電気感覚と行動

羽生 功

はじめに

大気中と異なって水がかなり良く電気を通すため、水中環境はさまざまな電気現象の生起する場所となっている。たとえば、地球磁場の中を海流が流れあるいは回遊魚が泳ぎ回ると起電力の発生を伴うし、塩類の濃度や組成の違う水塊が接すれば、その境界に液間電位を生ずるといった具合である。しかも、神経や筋の活動、生体膜の半透性など生命現象それ自体に電気発生はつきものであり、水生生物からはそれらの原因で生ずる電気が絶えず水中に流れ出している。したがって、水界に特徴的といえる電場を感受し、生活に役立てている生物の存在は当然予想されるところである。

これまでに調べられた限りでは、電気感受能力はサメ・エイなど軟骨魚類一般とナマズ類およびいわゆる電気魚グループなど一部の硬骨魚類に認

められている。若干の代表的魚種における電気感受性の程度すなわち閾値と、いかなる方法でそれを測ったかを表1にまとめた。表から、電気感受魚類が、キンギョやハヤなど普通の魚類に比べて遥かに高い感受性をもつことがわかる。一般に、測定法が洗練されるにつれて閾値は低く(感度が高く)なる傾向がある。これらの魚類は仲間との交信や、敵または餌を感知して体の向きを定め、接近・逃避する定位行動の手掛りとして水中電場を利用しているのである。

受動的電気定位と能動的電気定位

電気感受魚の定位行動には、外部に存在する要因で生じた電場を検出して行なう受動的電気定位と、魚自身が電場形成にかかわる能動的電気定位の二つがある。良く引き合いに出されるのが、地球磁場との関係で誘導される電場の場合である

表1 代表的魚種における電気感受性の比較

魚種名	閾値		刺激の与え方と反応の指標	著者	
	電流密度	電位勾配			
キンギョ	淡水	16 μ A/cm ²	16mV/cm	一樣な直流電場開始への反応	Regnart (1931)
<i>Phoxinus phoxinus</i> (ハヤの仲間)	"	11 μ A/cm ²	55mV/cm	"	Scheminzky and Scheminzky (1931)
<i>Mugil auratus</i> (ボラの仲間)	海水	1.6mA/cm ²	45mV/cm	"	Bary (1956)
ナマズ	淡水	0.1 μ A/cm ²	2.0mV/cm	ほぼ一樣な直流電場による驚き反応の鋭敏化	Kokubo (1934)
"	"	0.025nA/cm ²	0.05 μ V/cm	矩形波電場の学習	Asano and Hanyu (1987)
<i>Ictalurus nebulosus</i> (ナマズの仲間)	"	3.0nA/cm ²	6.0 μ V/cm	一樣な 3Hz 正弦波電場への神経応答	Peters and Buwalda (1972)
<i>Anguilla rostrata</i> (アメリカウナギ)	"	1.7nA/cm ²	6.7 μ V/cm	直流電場開始時の心臓反射	Rommel and McCleave (1972)
<i>Gymnarchus niloticus</i> (弱電魚の1種)	"	0.1nA/cm ²	0.15 μ V/cm	矩形波電場の直流部分の学習	Machin and Lissmann (1960)
<i>Scyliorhinus canicula</i> (トラサメの仲間)	海水	5.0nA/cm ²	0.1 μ V/cm	ほぼ一樣な 5Hz 矩形波電場によるまばたき反射	Dijkgraaf and Kalmijn (1962)
<i>Raja clavata</i> (ガンギエイの仲間)	"	0.5nA/cm ²	0.01 μ V/cm	一樣な 5Hz 矩形波電場による心臓反射	Kalmijn (1966)

(Kalmijn, 1974).

図1 (A)に示すように、水流の中では流速 v と地磁気の鉛直成分 B_v とのベクトル積 $v \times B_v$ に相当する電位勾配を生じ、それに従ったイオンの流れが水流を水平に横切り、水流の外を巡る形で生ずる。水中の魚がこの電流を感受できるならば、流れの方向を受動的に知りうることになる。海流クラスのゆるやかで広大な流れでは海面付近で $0.05\text{--}0.5 \mu\text{V}/\text{cm}$ の電位勾配が実測されている。海水に馴らしたアメリカウナギは $6.7 \mu\text{V}/\text{cm}$ 、サメ・エイ類は $0.01 \mu\text{V}/\text{cm}$ の勾配を検知するという報告があるが(表1)、サケなど回遊魚の電気感受能力は未だ調べられていない。

能動的電気定位の例は図1 (B)のとおりで、魚が磁束を横切って泳ぐときに誘導される電流が魚体内外を巡って流れる様子が示される。魚の遊泳速度 v と地磁気の水平成分 B_h とのベクトル積 $v \times B_h$ に相当する電位勾配が生じ、それに従った電流が流れるが、電圧降下の大部分は海水より電気抵抗の大きい魚体にかかることになる。この電流

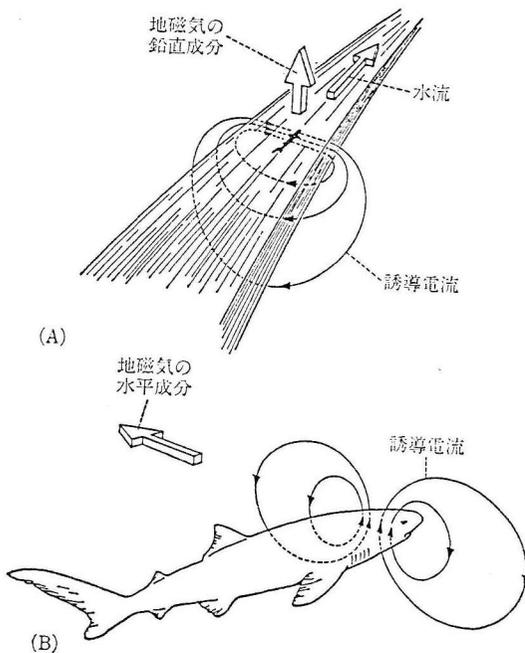


図1 地球磁場の中で誘導される電流。(A)流れに乗っている魚は、電流の向きによって、流れの向きを知ることができる。(B)遊泳方向が東西南北、いずれの方向であるかを知ることができる。

は魚の体軸に対し垂直で、魚が西へ向かうときには背側から腹側へと流れ、東へ向かえば逆となる。魚が $100\text{cm}/\text{sec}$ の速度で東西方向に泳ぐと、計算上 $0.4 \mu\text{V}/\text{cm}$ の電位勾配が誘導され、この値はサメ・エイ類が容易に感受できる大きさである(表1)。また、実験的に設定した磁場に進入したサメの示す特定の行動反応や、強い磁場に対するヨーロッパウナギやサケ科魚類の反応なども報告されている。しかし、魚が磁気を直接に感知する可能性もあり、これらは決定的な証拠となっていない。

以上の諸例とは別に、電気定位の生物学的意義—魚の実生活とのかかわり—が、初めて明確に捉えられたのは、トラザメの1種 *Scyliorhinus canicula* の索餌行動に注目した Kalmijn (1971) の実験においてであった。このサメは海底の砂中に潜むカレイを探し出して捕食する。カレイを電氣的に透明な海水寒天の箱に収めてもサメはその位置を探り当てるが、箱をポリエチレンの膜で包むと見付けられなくなる。さらに、カレイの呼吸波(呼吸運動由来の電位振動、後述)を、砂中に埋めた電極から送波すると、サメは近付いて電極の上の砂を掘り、この時の有効刺激は $0.4 \mu\text{V}/\text{cm}$ であった。このような電気感覚に頼る索餌は、程度の差はあれ、底生性のサメ・エイ類に共通のものであろう。

弱電魚の電気定位

主に筋肉から分化した発電器官を具える電気魚は、発電の強さにより強電魚と弱電魚とに分けられる。この中で弱電魚の方に、良く発達した電気感受能力と精確な能動的電気定位が認められている。

この仲間は小型の発電器官の繰り返し一斉放電により、自らの周囲に定常的な電場を形成する。放電の様式は各魚種に特有なパターン有して複雑であるが、二つに大別される。一つは南米産のナイフィッシュ(ギムノトウス科)とアフリカ産のエレファントノーズフィッシュ(モルミルス科)とに代表されるパルス状放電で、個々のパルスの

持続時間 (1msec 程度) はその間隔に比べて短く、放電頻度が不規則、かつ、大きく変りうる。一方、ギムノトウス科の多くの魚種と *Gymnarchus* (モルミルス科) でみられるのはウェーブ状放電で、やや変形した交流波形が約 3msec の周期で繰り返される。ウェーブ状放電の頻度は安定しており、*Eigenmannia* では 300-600Hz、最高の *Sternarchus* では 600~2,000Hz に達する。

これらの放電によって形成される定常的な電場の中に水と電導度の異なる異物が侵入すれば電場がひずむ。弱電魚は体表に配置された電気感覚器系によってこのひずみを検知し、他者の接近を知ることができる。したがって、発電器官が発信機に、電気感覚器が受信機にそれぞれ比較されて良い。Lissman (1958) によると、*Gymnarchus* は水中の素焼きの筒に隠されたガラス棒を、つまりインピーダンスの差のみで、径 2 mm のものまで識別でき、これは $0.03 \mu\text{V}/\text{cm}$ の電位変化に相当するという。

ウェーブ状放電の魚種では、近くにいる仲間の放電頻度から、自分の放電頻度を遠くける反応がみられる (Watanabe and Takeda, 1963)。パルス状放電の魚種でも、他の個体の放電が与えられると、一時自分の放電を止めて“聞き入る”反応を示し、攻撃時には放電数を急増させるなどの変化を起こすことが知られる (Bullock, 1974)。これらはすべて、弱電魚の生息する、濁って視覚の利かない環境への適応と解される。なお、水中で 500V に及ぶ強放電の可能なデンキウナギも、ふだんは数V程度のまばらな放電を行なう。これが周囲の探索に使われるらしい。

電気感覚器

電場知覚の窓として働く電気感覚器 (電気受容器ともいう) は、水生脊椎動物が共有する通常型側線器から分化した特殊型側線器である。通常型側線器は動物種ごとに決まった方式で体表に配置され、いわゆる側線 (系) を作る。個々の側線器内には一群の有毛感覚細胞が含まれ、その感覚毛が水流や振動などの機械的刺激をとらえる。刺激の受容により感覚細胞に生じた興奮は、これに連なる感覚神経によって脳に運ばれる。これに対して、特殊型側線器では感覚細胞群が皮下に埋没しており、長短いろいろな管を通じて体表に開口する。環境水との機械的接触に不都合となった上、感覚毛も退化してしまう。

特殊型に属するロレンチニ器官はサメ・エイ類やゴンズイ (ナマズの仲間) などにみられる。この器官では図 2 に示すように、感覚細胞を含む膨大部すなわち瓶部が頭部の少数個所に多数集合し、瓶部から発する管が分散して体表各部に届く。管の内腔には電導度の高いゼリー物質がつまって

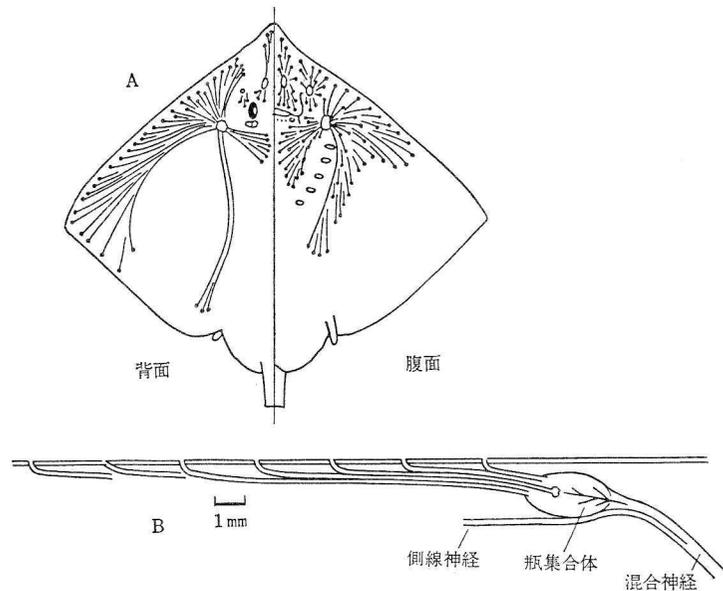


図 2 *Raja clavata* におけるロレンチニ瓶の分布と構造 (Murray, 1960 より)
A. 背面ならびに腹面における瓶部の分布 ;
B. 大頸瓶集合体と管状部 ;

おり、管壁の細胞は密着して電気抵抗を高めている。つまり、管部の構造が、外界の電場変化による電流を瓶部の感覚細胞に導き易くしているわけである (Murray, 1965, Waltman, 1966)。サメ・エイの場合、管の開口部に対する $1\mu\text{V}/\text{cm}$ の刺激で感覚神経の応答が記録されている。開口部にナイロン糸で触れたり、細流をあてたりしても有効刺激となるが、その際の感度は通常型側線器に比べてかなり劣るという。

電気魚で瓶器 (図3)、ナマズ類で小孔器と呼ばれる散在型で管部の短い側線器も、ロレンチニ器官の構成単位と同じ基本構造を有し、したがって共通の機能的分化を示すことが実証されつつある。瓶器については図4左のような等価回路が適用できる。瓶器は開口部に対する直流や低周波の電気刺激に良く反応し、電場変化の大きさは感覚神経を伝わるパルスの頻度に変換されることが知られている (Bennet, 1967)。

電気魚だけにみられ、やはり散在型で数の多い

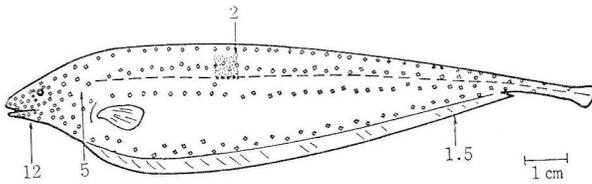


図3 *Sternarchus* (ギムノトウス科) における各種側線器官の分布 (Szabo, 1965)

◇: 瓶器, ●: こぶ状器, ■: 管器, こぶ状器と管器は矢印2の部位に図示される。矢印の数字は 1mm^2 当たりのこぶ状器の数。

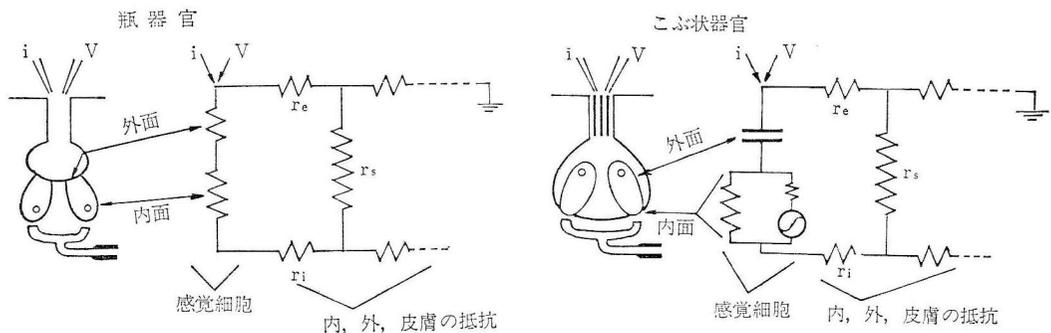


図4 電気受容器官の模式図と等価回路 (Bennett, 1967)

外部環境を上側にし、皮膚や器官を断面で示す。瓶器官では感覚細胞の上面のみが内腔は接するが、こぶ状器官では感覚細胞表面の大部分が露出し、大きな電気容量を生ずる。

こぶ状器では、管部に細胞塊の栓があることと、感覚細胞が内腔に大きく露出するため大きな電気容量の介在することが目立った特徴である (図3, 4右)。この容量によって、低周波刺激がブロックされるのみでなく、発電器官の高周波放電で生ずる電場の“同調受信機”としての機能が実現しているのである。高周波で運ばれる環境情報は個々のこぶ状器から“専用回線”(感覚神経線維)を通じて中枢に伝えられ、ここで統合される。

その際、電場の微かな乱れを検出し、これに向けて定位するためには、発電器官の放電が魚の体軸に関して左右相線の電場を形成し、その中でこぶ状器が定まった位置関係を厳格に保つことが必要となる。実際に、弱電魚は尾を振って泳ぐのではなく、体を真直ぐに伸ばしたまま鱗を波打たせて前進・後退を行なう。

ナマズ類の電気感受性と定位行動

魚類の電気に対する感受性は、実はまずナマズ類の1種 *Ictalurus nebulosus* — 本邦産のギギに近い — について、Parker and van Heusen (1917) により報告されている。彼等は水槽内のこの魚に金属棒を近付けるとそれを喰えたり、逆に逃げたりする反応の起こることをみて、金属棒近傍の局所電流が有効刺激になると結論した。それから50年後に、Dijkgraaf (1968) が同一魚種について確認実験を行ない、あ

わせて、電気受容の場所が小孔器であることを明らかにした。続いて、Rothら(1968~1974)は行動実験や神経応答の導出により、反応の感度が3~7Hzの刺激頻度で最も高く、3Hzでの電流閾値は $3.0\text{nA}/\text{cm}^2$ (または $6.0\mu\text{V}/\text{cm}$)となることを示した。さらに、自然水域に存在する生物・非生物由来の電場が本種の感受しうる範囲に入ることも指摘している。

他方、本邦産のナマズ *Parasilurus asotus* の電気感受性に関しては、1930年代に発表された故畑井新喜司博士らの一連の研究だけが知られていた。Hatai and Abe(1932)は、地震の起こる数時間前から、ナマズが水槽の置かれた机面の軽打に対し異常に敏感となるのを観察して、これが地電流の魚に与える効果を示すものと考えた。また、Kokubo(1934)は同じ効果が最低 $0.1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (または $2.0\text{mV}/\text{cm}$)のほぼ様な電流密度の刺激によっても得られるとしている。しかし、この値は *Ictalurus* や弱電魚、サメ・エイ類などで得られている閾値よりかなり高いことが表1から明らかである。そこで、筆者らは故畑井博士らとは異なる観点から、天然ナマズの生活に即して、本種の電気感受性を調べることにした。以下にその概要を紹介したい。

なお、周知の如く本種は水のよどみがちな河川や湖沼に生息する。日中は水草の繁った泥底に潜み、夜間や雨後の濁水時に泳ぎ回って小形の魚・動物を捕食する。同じ場所にすむ多くの魚種と違って夜行性・肉食性である。

(1)ナマズの電気感覚 まず、ナマズの電気刺激に対する感度を図5の装置で測ってみた。水槽底に沈めた塩ビ管の中へナマズは直ぐに潜り込む。管内にあらかじめ装着した電極により呼吸運動に伴う水中電位振動を導出・モニターしながら、水槽壁にとり付けた刺激電極を通じて数段階の周波数の短形波を順次魚の体軸方向に加えた。刺激電圧が有効ならば反射的に呼吸運動は停止または緩徐となる(図6)が、この反応は餌を与えることで容易に強化される。つまり、電気刺激に反応したときに餌(ペレット)をもらえるという訓練である。この訓練を交えながら刺激電圧を下げていると、やがて反応率が50%となる電圧、すなわち閾値にいきつく。刺激周波数ごとの閾値を決めることにより、電気感受性の周波数特性が求められる。このようにして、4個体について大差の無い結果が得られ(図7)。閾値の平均はDCでは $0.17\mu\text{V}/\text{cm}$ 、1Hz-0.05、3Hz-0.05、10Hz-

くと、やがて反応率が50%となる電圧、すなわち閾値にいきつく。刺激周波数ごとの閾値を決めることにより、電気感受性の周波数特性が求められる。このようにして、4個体について大差の無い結果が得られ(図7)。閾値の平均はDCでは $0.17\mu\text{V}/\text{cm}$ 、1Hz-0.05、3Hz-0.05、10Hz-

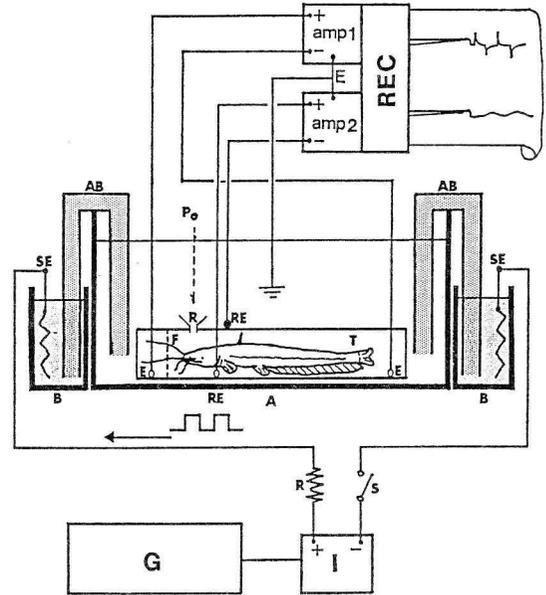


図5 ナマズの電気感受生の閾値測定装置。水槽(A)に沈めた塩ビ管(T)にナマズを潜入させ、塩ビ管に設けた柵(F)によってその位置を固定させる。電気刺激装置(G)で発生した信号はアイソレーター(I)で接地から浮かせる。矩形波パルスは高抵抗(R)を通じ、1% KCl 電極槽(B)中の Ag/AgCl 電極(SE)から水槽水-寒天ブリッジ(AB)を介して水槽中に導かれる。塩ビ管内にはほぼ平行流として生ずる水中電場は、塩ビ管の前後にとり付けた電極(E)により電位勾配として導出され、差動式 AC 型増幅器(amp 1, 日本光電 RB-5, 時定数 2.0sec, no filter)で増幅された出力がペンレコーダー(REC, 日本光電 RM-45)で記録される。供試魚の呼吸運動に同期した水中電場の電位変動を電極(RE, ○:管内, ●:管外)で導出し、差動式 AC 型増幅器(amp 2, 日本光電 RB-5, 時定数 0.3sec, filter 0~15Hz)で増幅された信号は、刺激の信号と同時にペンレコーダーで記録される。訓練は、電気刺激を与え、反応が現われたところでペレット(P)を水槽蓋の投餌装置(図中には描いていない)により、塩ビ管にとり付けた漏斗(R)中に落とす。

0.04, 30Hz-0.17, 100Hz-4.2 $\mu\text{V}/\text{cm}$ となった。したがって、ナマズは電気に対して弱電魚、サメ・エイ類に比肩しうる程度に敏感であり、かつ、1~10Hz の電位変動によく応ずるといえる。

周波数応答は体表に分布する小孔器についても検討してみた。小孔器に微小電極を挿入することにより、これに接続する感覚神経線維の活動が導

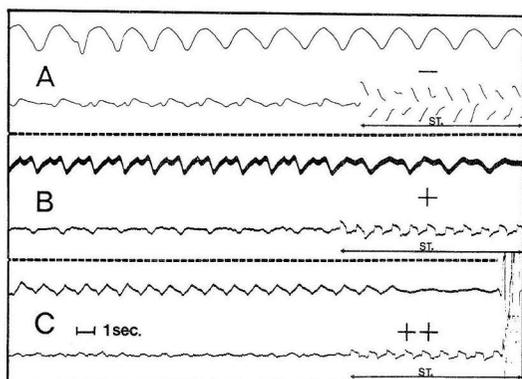


図6 刺激時の呼吸運動変化。各段上側の記録：呼吸運動に同期する電位変動，下側の記録：刺激による水中電場の電位変動（STの部分で刺激），基線の揺れは呼吸運動に起因する。上段：無反応（-），中段：標準的な反応，刺激前の呼吸波長に比べ刺激中に約20%の伸張が認められる，下段：強い反応，呼吸が停止する。

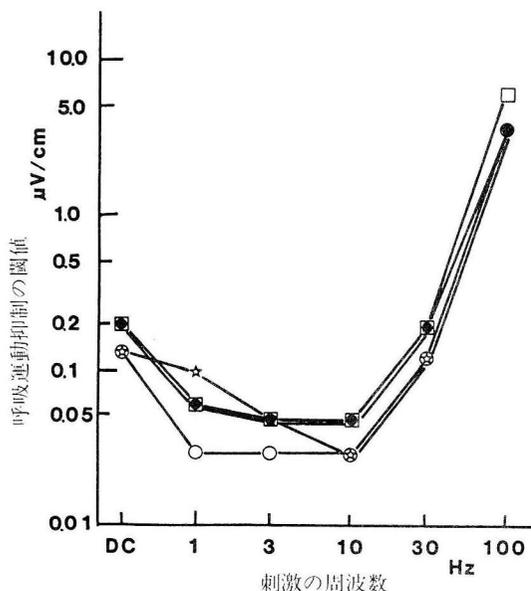


図7 ナマズ電気感覚の周波数特性，4尾の個体につき図5，6に示す方法で求められた矩形波刺激の周波数と閾値との関係を表わす。

出される（図4左参照）。この活動は、通常型側線器の場合と共通に、無刺激時にも続く規則的な自発放電であるが、小孔器開口部に加えた電流刺激に良く応じて断続する。短形波刺激の周波数と強さをいろいろ変えて調べた結果、この神経応答では閾値が10~30Hzでは低いが60Hzで急増し、応答曲線は図7のものより少し右にズレることがわかった。しかし、大筋において感覚器レベルでの周波数特性が個体レベルの反応を規定するとみて差支えないであろう。

なお、ナマズと同じ淡水環境に生息するウナギおよびコイについて、個体レベルの反応を同様な方法で調べたところ、それぞれ1mV/cm, 30mV/cmといったナマズに比べて遥かに高い閾値が得られた。しかも、両者とも周波数による閾値の差異は不明瞭であり、加えてコイでは電気刺激による体側筋の痙攣が反応に伴っていた。

(2)ナマズの捕食行動 ナマズは照明下ではほとんど行動しない。眼球を手術で除去した個体を1尾ずつガラス水槽内で飼いながら、捕食行動に着目して観察，実験を行なった。ただし、水槽に放した1尾の小魚を捕食するのに要する時間が、眼球除去の前後で有意に変わらず、それ故、眼球除去自体が捕食行動にあまり影響しないことをあらかじめ確かめておいた。

その結果、A—生きた小魚が体表から約5cm以内の距離に進入するとこれを正確に一瞬のうちに捕食する；B—帯電体を水槽外で動かすとそれを追う；C—局所電流を生ずる金属棒に対しては攻撃するが、ガラス棒に対してはそれが体表に触れるまで何の反応も示さない；D—小魚周囲の電場すなわち呼吸波（図8）を電極を通じて水中に送波すると、電極にかみつくと；E—この電場を強くすると逃避行動を示す；F—同サイズのコイを水槽に入るとそれには近付かない、などのことが観察された。

さらに、約1cm角のコイ肉片2個を5~6cmの間隔で水中につるし、その一方に電極を装着して小魚の呼吸波を送波したところ、ナマズ6尾が電極付きの肉片を捕食する回数は、全試行回数の平均76.7%であった。この結果から、ナマズの

捕食行動に際して、餌魚周囲に存在する電場が重要な手掛りを与えることが確認できよう。しかも、上記E、Fの観察から明らかなように、大形魚周囲におけるような強い電場に対しては、ナマズは逆に逃避行動を示すのである。

魚体周囲の電場

呼吸波として導出される魚体周囲の電場がどの

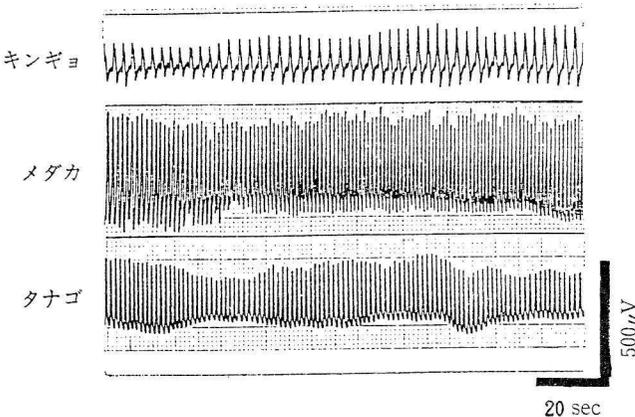


図8 魚体周囲の水中に電極を置いたときに導出される電位変動(呼吸波)。呼吸運動に同期している。変動のみを描記。

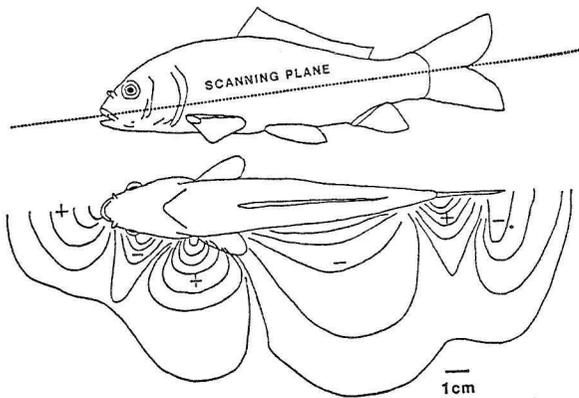


図9 コイ周囲の電場形状(水平面)。体軸を含む水平面(上図、SCANNING PLANE)内の、無限遠0電位に対する等電位線を描いた。最も外側の等電位線を $\pm 10 \mu V$ とし、内側へ向かって3倍ずつ高電位の等電位線を描いてある。正電位の電場は+、負電位の電場は-と表示した。等電位線上の黒点は、スキャンニング線と等電位線との交点、すなわち、 $\pm 10 \mu V$ から3倍ずつの電位を得た点を体表からの距離に従ってプロットし、等電位の点を滑らかに結んで等電位線とした。

ような仕組みで生ずるのかについても若干ふれたい。

(1)電場の形状 海産動物の体表近くの水中に、振幅が数 μV ~数mVの脈流性変動電位が存在することはKalmijn (1974)により初めて指摘され、これと前後して淡水産動物近傍の同様な電位も報告されている。いずれの場合も、特に口および鰓付近に高い値が認められ、それぞれの開閉に周期して変動する。

筆者らは、軽く麻酔したコイの周囲を、水流により電極電位が乱れないように工夫した電極で探査した。口および外鰓孔へ電極を近づけていくと、無限遠に対する0電位から指数函数的な電位上昇を経て、それぞれ1~3mVの正電位に達した。また、他の体表部位では逆に電位が下降し、1~3mVの負電位となった。このような測定をもとに電場形状を描くと図9が得られる。明らかに電流は口および外鰓孔から流出し、他の体表部位に流入している。

ついで、呼吸波についてみると、図10にL(0)で示した線を境界に、頭部側の領域Sでは変動の位相は鰓付近のそれに一致し、頭部と尾部側の領域Rでは逆転する。L(0)上では電位変動はほとんど無い。外鰓孔が開くときの電位変動はS領域では上昇、R領域では下降となる。このように、口および外鰓孔の開閉により電流量が増減する結果、呼吸運動に同期した電位変動すなわち呼吸波が生ずるわけである。

(2)電位発生機構 水中での電気発生には液間電位とイオンの選択的能動輸送がある。魚類の体液の塩類濃度は環境水と異なったレベル、およそ海水の $\frac{1}{3}$ に保たれているので、この差に基づく液間電位が必然的に生じている。液間電位は、一般に、2液を隔てる膜の性質によって極性や大きさが異なる。したがって、魚体周囲の水中電場を形成する電流は、魚体

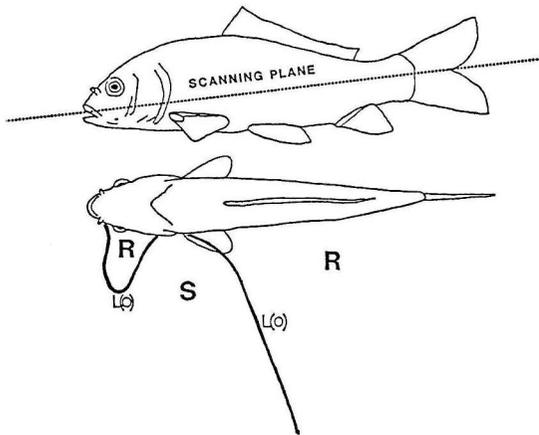


図10 呼吸波位相の空間的配置. 図中のSで示した領域では、鰓孔付近で生じている電位変動と位相が一致している. Rの領域では、Sの領域の変動と位相が逆転している. L(0)で示した線上では変動がなくなっている.

と環境水の接する各部位間での液間電位の差異により生ずるとも考えられる. まず、魚体周囲の電場が、液間電位だけに依存するかどうかを調べた.

コイでは、実験水槽内の塩分を淡水レベルから上昇させていくと、呼吸波の振幅が減少し、魚の体液と等張な生理的塩類液の約 $\frac{1}{3}$ の濃度で0となり、次いで位相が逆転し増大していった. 海産魚のマコガレイでも類似の傾向がみられ、生理的塩類液の約2倍の濃度で振幅が0となった. このことは、電場形成の電流が魚体内外の濃度差に基づく液間電位のみでなく、他の機構が組み合わさった起電力によって流れることを示す. また、その機構は淡水、海水中の魚が通常環境水中で生ずるはずの液間電位を減殺する方向に働くものである.

環境水に接する部位である鰓、口腔粘膜および皮膚のそれぞれにつき、体内外の電位差を *in vitro* で測定した結果、液間電位を減殺する機構は鰓に局在することが知られた. 血管を生理的塩類液で灌流しながら、鰓を淡水、生理的塩類液、海水に浸したところ、コイではそれぞれ体内側が約 -21mV 、 $+4\text{mV}$ 、 $+8\text{mV}$ となった. 鰓は浸透調節作用としての選択的能動輸送が常時行なわ

れる場所なので、この結果はむしろ当然といえよう. 鰓以外の部位では液間電位のみが測定されたが、容量が小さく短絡電流も極めて微弱なので電場形成への寄与は少ないであろう.

また、測定された液間電位の極性は塩分の低い側が正となることから、体内外を隔てる膜はカチオンよりもアニオンに対して透過性が格段に低いことがわかる. 隔膜がアニオンの透過を妨げ、カチオンのみに濃度勾配に沿う拡散を許すため、低塩分側のイオンバランスが正に傾くのである. その際、粘膜を蔽う粘液の主成分であるムコ多糖類が硫酸基などのアニオンを固定しており、そこに作られた負の電場がアニオン透過の障壁となる可能性が考えられる.

おわりに

一部の魚類グループにみられる鋭敏な電気感受能力が持ち主の行動にどのように役立つか、また、窓口となる電気感受器がいかなる性能を有するかの概要を紹介し、あわせて、重要な刺激源である呼吸波の形成される過程にもふれた.

確かに、視覚の利かない状況で電気感覚を専用できることの利点は大きく、特に弱電魚の場合にそれが著しい. 一方、サメ・エイ類やナマズ類の索餌行動で電気感覚が役立つのは餌生物に十分近接してからであり、ナマズの場合にその距離はわずか5cm程度に過ぎない. 自然環境の魚は、恐らく嗅覚、振動感覚、触覚など他の感覚に頼りながら動き回り、電気感覚の利く範囲に入れるのであろう.

なお、非生物起源の一樣な低周波電場でも有効な刺激となり、被検魚の心臓反射(心拍動間隔の延長)やまばたき反射(サメには瞬膜がある)などを引き起こすことは、表1の諸例が示すとおりである. ナマズでは同時に餌を与えることで呼吸抑制反応が強化される. 非生物的自然や文明社会からの電氣的雑音が、電気感受魚にどのような影響を与えているかは未だあまり調べられていない.

[はにゅう いさお 東京大学名誉教授]

慶長元年閏七月十三日地震と鳴門

誤読と信頼性

山本武夫

問題の発端

古地震の資料の中には、多くのノイズがつきまわっている。できるだけノイズは取り去りたいものである。あらゆる文献・記録・文書の記述を無条件に史料とすると真相から遠ざかるのではない。事実を伝える史料の内容を正確に受容し、虚偽（無意識か意識的かを問わず）を切捨てる決断が必要である。古地震は不足資料の中で考索するのが常態であるだけに、その感が深い。その意味で、つぎの場合は好素材となるものと思う。

伏見桃山城に大被害を生じた慶長地震（慶長1・閏7・13）のとき、阿波鳴門（図1）で土地が隆起したと、粗忽にも早合点させる文書がある。この文書は最近の新発見のものではなく、唯、その解釈を誤ると著しく全体の地震像を異なったものにする文書である。文政11年（1828）に徳島県撫養で作成された『庄屋成立書』の中の「高嶋村庄屋篠原孫左衛門申上書」と、それに添付されている「阿波国板野郡竹嶋村庄屋孫兵衛申上覚」である（鳴門市大麻町板東、山田喜昭氏蔵、『鳴門市史』上巻、『新収日本地震史料』第二巻他に収）。

その文面は図2を参照されたいが、必要箇所を摘記する。原文は毛筆書きで敬遠され易いので、とくに留意されたい部分に○印を施したので飛ばし読みを辛抱していただきたい。まず「覚」は、
「高嶋村庄屋孫之丞先祖孫兵衛義、先祖成立義、当所出来之義、先年御奉行御尋ニ付、孫兵衛方御付指上候写、

一 先祖舟越左衛門^(と)与^(し)申、生国駿河国、天正二年淡路国三原郡委文庄領地、男子三人、長子舟越左近、二男孫曾、三男孫六^(め)与^(り)申候處、三男孫六義篠原孫左衛門と改浪人仕、土佐之浦戸と申所

ニ^(ま)暫^(ま)住居仕候處、慶長元年閏七月十二日大地震ニ而阿州撫養才田と申所^(ゆ)動^(り)上^(り)申由^(り)承^(り)、右孫左衛門義御当国へ慶長二年六月罷越、竹嶋村干潟ヲ見立、同三年三月撫養古御城益田大膳様へ御訴訟申上、頭十人召連來、塩浜築追々浜成、慶長十二年塩浜檢地被仰付（中略）其節地名竹嶋と申、則大膳様御判形御証文ニ竹嶋政所孫左衛門ニ被仰付、所持仕罷在候、右孫左衛門者私親ニ而淡州^(り)当所へ罷越当所開基仕、（下略）

竹嶋村庄屋

寛永八年十月十二日 孫兵衛

御郡御奉行様

であり、「申上書」は、

「高嶋村庄屋 篠原孫左衛門
此者先祖舟越左衛門と申者、生国駿河国、天正二年淡路国三原郡委文庄領地、男子三人、長子船越左近、二男孫曾、三男孫六と申候處、孫六義篠原孫左衛門と改浪人仕、土佐之浦戸と申所ニ暫時居住、慶長元年閏七月十二日大地震ニ而撫養齋田動り上申由承仕、右孫左衛門義、慶長式年淡州^(り)干潟^(り)檢分^(り)ニ渡海仕、同三年下人十人召連竹嶋干潟ヲ見立、同年三月撫養古御城益田大膳様江御訴訟申上、塩浜築追々浜成、（中略）寛永八年十月十二日式代目孫兵衛御郡御奉行様へ右開基先祖筋目書指上候、扣書所持仕候、右淡州ハ高屋村^(り)立越候趣申伝、（以下は庄屋証文及び二代目より八代目庄屋の事跡を記す。）」

である。いずれも正確には控と称すべきであるが、ここでは覚、申上書としておく。



図1 鳴門市地形図（国土地理院発行：5万分の1地形図「鳴門海峡」使用）

の庄屋の由緒来歴を阿波藩に書上呈出したが、その控が与頭庄屋山田五郎左衛門家に一括保存されてきた。その一括帳仕立の表書は、「文政十一子年五月、撫養庄屋共之内旧家成立庄屋役相続之運申上書」となっている。

この文書で篠原家として主張したいのは、“(初代の)篠原孫左衛門が土佐の浦戸に居住していたとき、慶長元年閏七月十二日の大地震（12日は九州大分地震であるが、13日の伏見地震を指しているであろう。後述するように元来伝聞であるから不正確であっても致し方ないし、当時から慶長伏見桃山地震の知名度は高い）で、撫養齋田一帯の土地（図1参照）が揺り上がったという噂を聞いて、慶長2年6月に（浦戸から）当国（阿波国）にきて、竹嶋村の干潟を实地検分し（申上書では淡路から渡海とし、干潟検分を慶長3年としている）、3年3月に撫養古城の城代益田大膳へ願を出して塩田造成を始め、慶長12年に塩田の検地が行なわれ、竹嶋政所を命じられた云々”，という点で、地震云々は伝聞であって確認事実を記しているのではない。篠原家

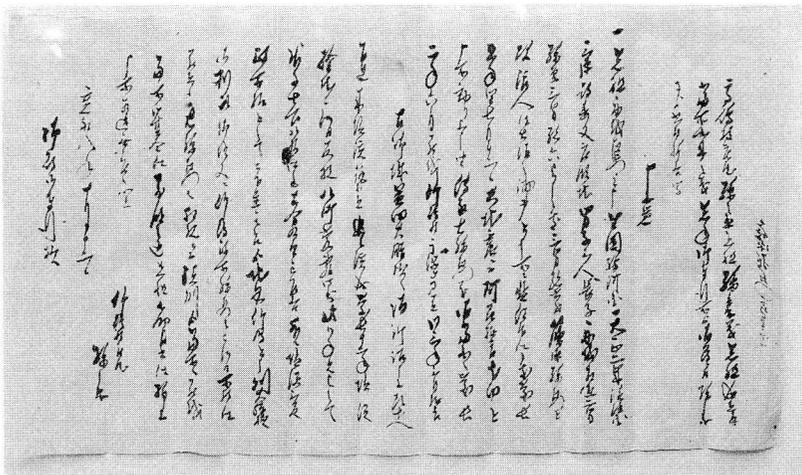


図2 高嶋村庄屋孫之丞先祖孫兵衛義先祖立義当所出来之義先年御奉行の御尋ニ付き孫兵衛方書付指上候写
〔鳴門市：山田喜昭蔵〕

この文書の主張の要点

これは文政11年（1828）5月に撫養塩田地域

としては初代孫左衛門が慶長の早い時期に竹嶋で塩田見立てを行なったことを主張したいのである。何の理由もなしにフラッと阿波国に来たのではなく、他地（後述するが恐らく淡路国）に居住してい

たとえられる)に在って撫養地域の海岸地形状況
を聞いたのであろう。あるいは、その伝聞情報
の中に地震云々の噂話も含まれていたかも知れな
い。が、要は蜂須賀領内に流入した理由がまず必
要であり、かつ撫養城代益田大膳から慶長3年と
いう早い時期に承認を得たという既得権の主張が
最も大切なのである。

有力庄屋として事業に成功した文政期の当主孫
左衛門にとっては、地震による土地隆起は事実で
あろうとなかろうと、どうしてもよいのであって、
阿波領内に入った動機が欲しいのである。それ故、
「……⁽⁹⁾動⁽⁹⁾り上⁽⁹⁾申由承」の表現であって、「……動
り上申由承」とか、「……動り上申候故」の確定
表現でないことに注目しなければならない。その
限りでは、「地震で土地が隆起した」とは言ってい
るのではないから、嘘を言っていることにはなら
ない。そのような流言があったことの支援史料の
一つになるのである。

文書の信頼性

『申上書』と『覚』との間に微妙な違いが見ら
れる。それは、『覚』では「土佐浦戸から竹嶋干
潟の検分に来た」の意であるのに、『申上書』で
は「淡路から干潟検分に来た」となっている。こ
の食い違いは、文政11年現在で2つの文書を作
成する際、寛永8年の原文書が存在していれば起
り得ないことである。つまり原文書がないため
に生じた結果である。『覚』は、ある意図を盛っ
て作成されたのではないかとの疑念を拭い去るこ
とはできない。この寛永8年時の原文書は、今日
目にはできない。添書に記すところの孫
之丞は篠原家6代目庄屋で宝暦10年(1760)に
死没している。孫兵衛は2代目で正保4年(164
7)に死没している。『申上書』の提出者孫左衛門
は8代目で、文政11年(1828)時の庄屋である。
これによれば、6代目のときに先祖由緒調べがあ
って、そのときに寛永8年の原文書は藩当局に差
し出し、その際の控がこれであると言っているか
のように甚だ手が込んでいる。この文書控も目
にすることができない。残っているのは文政11年

作成のもののみである。

つぎに『覚』の中に、「撫養古御城益田大膳様
……」の文言がある。これは蜂須賀家中の撫養城
代益田大膳を指すのであるが、寛永8年当時、こ
の城を古御城と称することがあり得るであろうか。
阿波では古城(例えば撫養古城、由良古城)とい
う言い方は、江戸中期以後に見られることである。
撫養の場合、天正13年(1585)蜂須賀家政が阿
波国を領したとき築城し、益田内膳が城番となっ
た(『渭水聞見録』他)。そして城番は、

初代 内膳正正忠(慶長9・12・2没)

二代 大膳正豊正(慶長14・6・29没)

三代 飛驒 正長(寛文4・10・21没)

と続き、元和1年(1615)に幕府の一国一城令が
出された以後、徳島城を残して他の城の破却が完
了するのは寛永15~18年頃とされている。淡路
の由良城破却も寛永11年である(『阿淡年表秘
録』)。寛永8年では三代目正長は生存中であり、
撫養城が破却されていたとは考えられず、この時
点で領民が古城というのは訝しい。

さらに、この文書を検討することなく頭から鵜
呑みにしている主張がある一方、郷土史家側で正
面から取り組んだ論考がすでに発表されている。
岩村武勇『高島塩田の開拓と篠原家』(昭58)で
あるが、氏は、この文書は信憑性なしと結論して
いる。詳しく紹介できないのは残念であるが、そ
の論点の要所をいくつか挙げておきたい。

- (1) 淡路の船越氏と高嶋村の篠原氏……篠原氏は
駿河国出身で、船越氏(淡路国三原郡倭文庄を
領す)の一族の子孫であるが、孫六(孫左衛門
と改名)は誰の三男か不明である。
- (2) 土佐浦戸の篠原孫左衛門と高嶋村の初代孫左
衛門とは別人である。
- (3) 初代孫左衛門は慶長3年に淡路から竹嶋村に
移住した。
- (4) 初期の高嶋塩田は古くから存在した干潟を開
拓したものである。

の諸点の考証を展開している。この検討結果と前
記の指摘を併せれば、この文書の性格は自ずと了
解できよう。

他の庄屋申上書に土地隆起の記述なし

文政11年の『庄屋申上書』には、篠原家のみではなく、与頭庄屋(住吉村)山田家を初め岡崎村・北浜村・大桑嶋村・小桑嶋村・三ッ石村・南浜村・弁財天村・小嶋田村・林崎浦・土佐泊浦・里浦・大嶋田村・中嶋田浦・粟津浦・湊谷村の申上書が存するが、いずれにも地震云々の記述は全くない。中でも、山田家、南浜村の小川家、林崎浦の四宮家(永禄年中)、里浦の久仁助(享禄以前)は、地震前の天正以前から各村・浦に居住していることを表明している。もし、土地隆起という大地変があったならば、撫養地域には、それ相当の被害もあったであろうし、これらの家々は当然その場に在ったのである。にもかかわらず、その記述がない。また、本城のある徳島城下にも慶長元年地震の被害の断片的記録すら残存しないことを含んで考えれば、何らかの震動はあったであろうが、大震動はなかったとするほうが、素直な見方である。

塩田事業は地変によるものではない

天正13年(1585)、蜂須賀家が軍事上の要地として撫養城を築いた当時は、この地域は人口の少ない淋しい地域であった。土佐泊・里浦・堂浦・島田・北泊の五ヶ村は古くからの村落であるが、他は淋しい地で、いずれも漁業を中心としていた。製塩は以前から幼稚な方法で細々と行なわれていたことは、「里のあまのしほやき衣立かへり、なれしもしらぬ春の雁かね」(藤原定家)他の古歌からも伺い知られる。産業貧困であったことは、「堂浦之儀、浦成立千年余以前之事ゆへ年曆不知、櫛木三郎左衛門開基之所ニ而則櫛木ノ浦と号ス、寛正年中二堂浦と替ル、寛正より寛政迄之間年數三百四拾年余ニ成ル、(中略)追々浦成り候ニ付、産業數なく、明神・竹嶋・小嶋田開立候得とも地盤土地せまく渡世相調かたく、中興三郎左衛門子孫五右衛門といふ者、泉州岡田江参り漁業見習罷歸り、浦中一統漁業耕作ニ而

渡世仕、次第二繁昌仕候故(中略)其後慶長年中二竹嶋・小嶋田・明神村成り塩方と分ル……

(『鳴門戸辺集』)

の記述から推察することができる。しかも世情は、豊臣政権が樹立されるまでは安穩とは言えず、加えて文禄慶長の朝鮮出兵に蜂須賀家も動員されていて、産業振興に積極的ではない。慶長3年の朝鮮引揚後にやっと産業重視が始まるのである。その一環として入浜塩田の経営が注目された。そのためには、塩田技術者と労働力を移入する必要が生じた。この状況に着目して近接他領からの人口流入が行なわれ、藩側も、これは認めざるを得ないし、むしろ奨励的であった。ここに新しい技術者・労働力と現地在住者とが協同して塩田開発が推進された。ところが、事業が軌道に乗ると相俟って体制の固定化と世情安定から、これ以上の他領からの人口流入が進むと、逆に藩にとっては困る状況となり、人返しが始まり流入を禁止する方向をとった。当然のことながら、在地有力者は既得権を主張し、出身の古さ正当性を誇示することになるのである。

鳴門の入江

前記の『鳴門戸辺集』は寛政年間(1789~1800)の成立と見られているが、それには、

「此鳴門戸辺集に載する所の村浦参拾貳ヶ所、天正年中以後鳴門の辺り入江々々自然といへ上り、又ハ塩浜等築立、村と成り浦となり、いつとなく地名分り、人家多くなりて撫養之庄と唱ふ、前顯之通癒上り候ゆへ鳴門潮の往來昔よりつよく、風景弥増し、他国人見物宜敷成ル…」と記している。各入江は上昇の傾向(砂の堆積)を辿ったことは間違いないが、その上昇は、ある日突如として隆起したのではなく、長年月をかけて徐々に上昇したとする江戸期在地の人々の認識を訂正するほどの強い証はないのではないか。

古文書は使い方によって薬にもなり、毒にもなるものであって、適切に扱って始めて史料となるのである。史実を唯一の資料で判断するのが危険であることは言うまでもない。できれば別系列の



図3 先山千光寺鳥瞰図（『淡路国名所図会』より）

複数の資料が望ましいのであるが、事柄によってはそうもいかない場合も多いので、まず忠実に読解し、その背景を検討して信頼し得るか否かを見極めて採用することが必要である。『篠原家文書』は、古地震の資料としては、やはりノイズの一つである。

慶長九年地震時の淡路国千光寺

以上に述べてきたことと関連して、慶長元年から程遠からぬ慶長9年地震の場合にも、これに類することがあるので少し述べてみたい。慶長9年12月16日地震は広域地震とされているが、各地の状況を検討していくと簡単には地震像を描きにくい地震のようである。詳しい論証は本稿では尽くしがたいので別に取り扱いたいが、実状追跡の中の一つである千光寺の場合は要点を述べて大方の判断を仰ぎたい。

千光寺は淡路島洲本市上内膳にあり、淡路富士の愛称のある先山^{せんざん}の山頂に位置し、観世音巡礼三十三ヶ所の第一の名刹である。『大日本地震史

料』に『淡路草』の一文を収めて以来、慶長9年地震に倒壊とする見解が踏襲されてきた。『淡路草』の記述は周知の通り、

「一、慶長九年天下大地震の時、諸堂倒る、其時佛像堂前に飛出すといふ、」

であるが、この部分のみを見るのではなく、一連の記載に注目しなければならない。その中で、まず「当寺は文化13年まで1077年に及べり」と創立を記しているが、上記、地震の記述もこの年に記されたとしてよい。当該地震後212年を経ているのである。つづいて、

- (1) 天正年中秀吉から燈料千石の朱印を得た。
- (2) 今の本堂は元禄2年3月の建立（図3）。
- (3) 蜂須賀至鎮良材を賜い本堂7間4面及び護摩堂を再建。[至鎮が淡路を加増受領したのは元和元年(1615)、慶長9年時は脇坂安治の支配]

の箇条につづいて鐘、什物、縁起、観世音（本尊）の解説項目があり、つぎに地震倒壊が記されている。慶長9年から元和元年までの12年間については触れるところがない。どうも建造物の推移より本尊の奇蹟安泰を言いたいらしい。

さて、淡路国について江戸期の有力な郷土誌には、つぎの書がある。

淡国通記 元禄10年(1697) 碧湛 著
淡路常葉草 享保15年(1730) 仲野安雄 著
淡路草 文政8年(1825) 藤井容信・彰民 著
堅葉草 天保3年(1832) 渡辺月石 著
味地草 安政4年(1857) 小西有道・錦江 著

であって、いずれの書も千光寺の記述があるが、地震倒壊の記述は『淡路草』と『味地草』の二書である。そして『味地草』では、

「或云、慶長九年天下大地震の時、頂上大に破滅し、諸堂倒る、此時本尊忽然として堂前に出給へり、尊体全かりしと也。」

の表現となっている。この場合には、事実を確認できなかったのか、ことが宗教的現象であるためか、「或云……」としてあって、暗に先行の『淡路草』に拠所を指しているようである。

ここで基本にもどって、寺にとってはこのような大事件であれば、慶長時の記録・文書は失われたとしても、口伝は寺側に伝えられるはずである。寺側の歴代住持の略伝には、

第廿四代 法印隆遍上人 慶長元年僊化、隆旭上人(23代)ノ弟子、八木城主細川氏の息、号意休、

第廿五代 法印月空上人 僊化年月不明、下總国ノ人、慶長年間当山ノ住持タリ、

第廿六代 法印長尊上人 仙化時不明、伊勢国人、元和年間当山ヲ住持シ後罪アリテ退寺ス、

第廿七代 法印隆屋上人 寛永十八年十二月九日仙化寿七十六歳、志筑中田村石浜市ノ出、志筑長壽院ノ弟子、洲本青蓮寺中興也、蜂須賀蓬庵公(至鎮君)金堂鐘樓堂二王門ヲ改築シ、寺祿五十石を寄進ス(下略)、

とある。そして、蜂須賀家の援助を“改築”としている。全山倒壊が事実であれば、当時の領主脇坂家が何も手当てをしないとは考えがたいし、援助したのならば、当然、寺側で記載しないことはない。とすると、慶長元和期には建造物の大破損

はなかったとするほうが順当ではあるまいか。

慶長9年地震は、京都では「此辺は覚えず、誠に聊かの震か」(『義演准后日記』)の程度の微震であり、渥美半島および伊勢でも大震動の確認はなく小震と考えられ、紀伊田辺でも大地震の痕跡がなく(ただし、『田辺町大帳』には慶長10年として高潮の記述があり、9年の記載誤りかも知れない)、阿波国では由岐以南に津波の大被害が生じている。橘湾以北徳島城下を含めて地震の被害を認められず、穴喰の被災地へは藩から奉行や食料救難船を派遣している。この阿波東南岸から土佐へかけての記録からも、震動による大きい被害を読みとることはむずかしい。その一般状況の中で、淡路の先山のみ到大震動があったとするのは元来不審なことである。この観点から、淡路でも震動のあったと推定する慶長元年地震との単純誤記ではないかとするのも、根拠ある見方とは言えないであろう。以上のように見てくると、まず“千光寺倒壊を示す慶長頃もしくは近い時期の根本史料が存在しない”ということを念頭において、しかも倒壊云々のいわれ始めたのが文政頃である。前記の郷土誌の範囲では、元禄・享保期に記されなかったのは、このことが慶長時点から伝えられたことではないことを意味し、文政期の『淡路草』に突然表現されたのであって、根拠も示されていない。謎といえば、そういうことになるのかもしれないが、可能性としては、つぎのことも考えられそうである。文化期前後から郷土史が盛んに書かれるようになり、この地方でも『阿波志』その他が流布されると、真偽とり交ぜて伝承もある程度の流布範囲が広まっていった。その中で、慶長9年地震の阿波国や土佐国の被害の模様を知るようになり、浅川の千光寺、甲浦の千光寺の被害と混同誤解してしまったのではないだろうか。

[付記] 現地調査に際して、多くの方々にお世話になった。調査行を共にした大長昭雄(地震予知総合研究振興会)、本田昇(鳴門市立図書館)、史料を提供頂いた山田喜昭(鳴門市大麻町)、岡本宜照(洲本市千光寺住職)の諸氏ほかの皆様に対して深く謝意を呈する次第である。

[やまもと たけお 元東京大学教授]

地震と鯀絵

地震のコスモロジー

飯島吉晴

はじめに

地震の原因は地底の大鯀が暴れるためであるという俗信は、広く行なわれている。鯀は、今日では地震のシンボルとられ、さらに地震に敏感な魚として、地震の予知に役立つ試みもしばしばなされている。日本で、地震と鯀が結びつけられるようになったのは、一体いつ頃、どのようにしてなのであろうか。安政2年10月2日の江戸大地震の直後に、大量に江戸市中に出回った「鯀絵」と称されている錦絵に収斂するまでの足跡を、民衆の宇宙観と関連させながら、以下で簡単にスケッチしてみたい。

地震の神話

地震が多発する地帯は、環太平洋地域のように世界でも限られており、当然、そうした所には地震の神話や伝説が他地域よりも濃密に分布している。ただし、その内容は必ずしも自然環境だけからは決定できず、むしろ歴史的文化的な影響を多く受けているようである。こうした世界中の地震の原因をめぐる神話と信仰を、大林太良は、つぎの7種の顕著な形式に類型化している（『神話の話』、講談社学術文庫、pp. 83-4, 1979）。

- (1) 大地を支えている動物が身動きすると地震が起きる。
 - (a) 世界牛が動くとき地震が起きる。
 - (b) 世界をとりまく、あるいは支える蛇が動くとき地震が起きる。
 - (c) 世界魚が動くとき地震が起きる。
- (2) 大地を支える神あるいは巨人が身動きすると

地震が起きる。この特殊な形式としては、縛られた巨人が身動きして地震を起こすという神話や信仰がある。

- (3) 世界を支える柱あるいは紐を動かすと地震が起きる。
- (4) 男女の神あるいは精霊が性交すると地震が起きる。
- (5) 地震が起きると人々は「われわれはまだ生きている」と叫んで、地震を起こす祖先や神の注意を喚起して、地震を止めさす。

これらの諸形式は、すべてを網羅したものではなく、たとえば地下に住む神・精霊・祖先などが地震を起こすという単純な形式は広い分布を示しているし、また大地を直接間接に支えている動物にも牛・蛇・魚の他にマンモス・象・蛙・犬・猪・ジャガーなどがおり、さらに蛇の上の亀のった巨人とか、巨大な魚の上の雄牛などが大地を支えているといった複合的な形式もみられる。とにかく、地震の神話は各民族が宇宙や世界をどのように認識しているかというコスモロジーと深く関わっているものなのである。

ところで日本では、「揺るぐともよもや抜けの要石 鹿島の神のあらんかぎりは」と古歌にあるように、地底の大鯀を鹿島の建御雷命が要石または剣や石柱などで押さえつけることで大地震が起こるのを防いでいるという俗信が信じられている。それゆえ、日本の地震鯀を考察する上でもっとも重要なものは、(1)の諸形式であろう。事実、ヘルムート・トリブッチは地震鯀に関連する地震伝説として、古代エジプトや古代ギリシア、ローマなどの地震を起こす世界蛇の事例につづけて、「古代中国の神話では、翼のある巨大なヘビ（世界竜）が大地を揺り動かす。インドの伝説で

は巨象である。自然の猛威と闘いつつ生きのびてきた諸民族は、みな猛り狂う動物と結びつけている。中央アジア・アルタイ地域の住民は、世界を支えている巨魚が動いていて大地が揺れると信じていた。別の地域に行くと、これが地下に住む巨大なカエルになる。キルギス、コーカサスのタター人の神話では、地球を角で支えている牡ウシが首を振るたびに地震が発生する。古代ヘブライ人も同じことを語った。シベリア北東部では地下のマンモスとなる。また、カムチャツカ原住民の信仰では、地の精ツィラを乗せた巨大なイヌが背中から雪をふり落とそうと身震いするたびに地震が起こる。南メキシコに住むツォツィル・インディアンの伝説によると、世界を支える柱に宇宙のジャガーが身をこすりつけるときに大地が揺れる。地震のさなかに地の底から聞こえてくる轟音は、猛り狂ったクノッソスの牡ウシが発するうなり声だ——そんな神話が、自然災害にたびたび見舞われるギリシアのクレタ島に伝わっている。古代バビロニア人は、地底に住む女神エラシュキガルが地震を起こすと考えていた。地震に伴う地鳴りは彼女の叫び声だ。この叫び声を形容するのに、ライオンの咆哮、オオカミの遠吠え、キツネの鳴き声、ブタの金切声といった言葉が使われている」（『動物は地震を予知する』、朝日選書、p. 62、1985）と述べている。

(1)–(a)の世界牛の神話は、アフリカからインドネシアにかけてのいわゆるイスラム教圏に広く分布している。たとえば、パキスタン北西部では、世界は一頭の牛の角の上ののっており、地上の人間が罪を犯すごとにサソリがその牛を刺し、痛さのせいで牛が身動きすると地震が起こると信じられている。元来、イスラム教と牛飼育は関係がないところから、イラン（ペルシア）の世界起源神話で原人ガヨマルトとともに大きな役割を果たす原牛の話がイスラム教とともに広まったのではないかと推定されている。古代イランには、原初海洋に一匹の雄牛がいて、大地はその牛の角に支えられており、牛が大地に生命力を吹き込んでいたという神話も伝えられていたという。なお、ギリシア神話の海の神ポセイドンも地震を起こすとき

れ、彼は雄牛の神なので牛も地震を予知できるといふ。

地震鯨と直接に関わるのは世界牛の神話よりも、(1)–(b)の世界蛇や(1)–(c)の世界魚のほうである。とりわけ、(1)–(b)の世界蛇が地震を引き起こすという神話は、大林によればインドを中心にインド文化の強い影響を受けた地域に分布し、西はイラン、インドからアッサム、ビルマの境にかけての地域と、さらにはインドネシアの島々にみられるという。しかし、この考えは南米の南チリや古代エジプトおよびギリシア、ローマにもみられ、歴史的にも空間的にもさらに深く広く探ることができるものである。アフリカでも、霊蛇が地下の棲み家で動きまわると地震が起きるといわれ、このため昔の鉱夫は野獣を犠牲にして、この蛇＝神をなだめたという。地震の前には、たとえ真冬でも穴から蛇が這い上がったという報告が多く、国々からあると、前述のトリブッチが指摘しているように、実際の自然観察に基づいたものであり、インド文化圏に限定されないもっと根の深い考え方であるかも知れない。

(1)–(c)の世界魚が動くとき地震を起こすという神話は、インドシナから中国を経て日本に及ぶという分布状態を示すと、大林は述べている。日本の地震鯨は、その代表であるが、中国の甘粛省では大きな魚が前鰭の間で大地を押さえており、人間が悪いことをすると尾を振って地震を起こして教訓を与えるという。また雲南省のイ族の世界起源神話では、「天地が創られたばかりの原古のこと、大地は三匹の魚の背に乗っており、その魚が空腹のため餌を欲して身を動かしたり、鴉に目玉を突つかれて跳びはねたりすると、大地が揺れ動く。そこで英雄神の阿托が天帝の命令を受け、鎖で魚を縛りつけた。そのため大地も動かなくなった」（伊藤清司『日本神話と中国神話』、p. 45、1979、学生社）とある。この他、中央アジアのアルタイ系住民だけでなく、シベリアのバイカル湖辺のブリヤート族も大地の下は海になっており、この海にすむ巨魚が大地を支えていて、魚が体の位置をかえるたびに地震が起きるといっている。フィリピンのミンナダオ島のマンダヤ族は、大地は巨大

な鰻の背中にのっており、鰻が動くとき地震が起きるといふ。この世界魚の考えは東アジアから東南アジアにかけて濃厚に分布するが、同時に、この地帯では世界蛇の分布と重なったり連なったりしている。これら二つの考え方は通底していると思われ、インド自体でも世界魚と世界をとり巻く竜蛇とは密接な関係があるとされており、中国では亀と蛇の合体した玄武がみられ、日本でも竜蛇から世界魚たる地震鯨に変化したのだと指摘されている。また竜蛇と魚の両者は、鯉が滝登りをして竜になるといふ登竜門の話だけでなく、さらに如意宝珠を媒介としてつながっている。この如意宝珠はさまざまな宝物を意のままに生み出したり、あらゆる苦しみを除く力をもつとされる不思議な珠である。中国などで、竜がこの珠をくわえたり頭にのせていることはよく知られている。実は、この珠は「摩竭魚の脳中から生まれでたと説かれている。摩竭魚、つまりマカラとは、鰐（サンスクリットでマカラという）を原形とする、豊穡の渦を吐き出す大魚です。インドで創案され、中国や日本には仏教とともに伝来し、木魚や魚板、あるいは曼荼羅の門上にその姿をあらわす。木魚の胴の中にある珠や、魚板の大魚が口にくわえる珠は、この如意宝珠なの」（杉浦康平「天籟受器」『月間アーガマ』、119, pp. 78-9, 1991）である。なおマカラは、インドの財宝の神であるクベラ神の七つの宝物の一つとされている。地震鯨もやはり鯨絵の中で大判小判を吐き出させ、社会的経済的な不公平にたいして矯正者の役割を果たしている。このように世界蛇と世界魚とは、ともに大海に浮かんだ大地を支えているきわめて近い存在と考えることができる。

伊藤清司は、国土を竜蛇、魚、亀などの水棲動物が支えたり取り巻いていたという考え方は世界創造神話や地震伝説の形で民間に古くから伝承されており、それがアジア大陸から東南アジアに広く分布し、さらに民族の移動にもなって遠くポリネシアにまで広がったと指摘している（「亀蛇と宇宙構造」『アジアの宇宙観』、p. 331, 1989, 講談社）。このように日本の地震鯨も、国内だけでなく、より広い文脈の中で見ていく必要がある。

地震鯨の出現——竜蛇から鯨へ

鯨は『今昔物語』巻34の大風を予言した鯨や『三代実録』の貞観8年（866）の飢饉年に鯨が多く出現したという記事が示すように、日本では古来から天変地異や流行病などの変災を予知するものとして知られていたが、地震と直接結びつけられるようになるのは近世になってからのようである。藤沢衛彦は、「鹿島神宮の祭神が要石を鯨でおさへてゐるので地震がない、鹿島大神こそ地震の神であるといふ伝説は、鯨が地震に交渉を持つやうになつてからの俗説で、本来は、地震鯨の由来は、環形の蛇が不滅を象徴するエジプト原始思想の遊行化であり、また印度伝説のナーガが仏陀の蓮の台の支への下に守護の姿勢にをるといふこと、ナーガが世界を支へてゐると考へられたことから、ヒンズー族間では、地震はそのナーガが千頭の一を動かすに基づくなど考へられたことが、日本では鯨の髭となつたのである。（中略）思ふに、蛇が大地を載せてゐる思想の日本移入は平安朝時代後、その蛇が鯨に変じたのは江戸時代初期のこととも考へられる。どうしてまた蛇が鯨にかはつたかといふに、鯨は地震を感じ易い動物で、地震の前に於いて殊に最も不安定な活動を開始し、激しく泥土を掻き乱し、地震の前後には人間の眼に触れることが多いからである」（『地震の伝説』『大百科事典』11巻、pp. 399-400, 1932, 平凡社）と述べている。

ここで環形の蛇とあることは自分自身の尾を咬んだ竜蛇、つまりウロボロスのことで、西洋錬金術のシンボルとしてよく知られているものだが、その存在はエジプト、古代バビロン、メソポタミア、アフリカ、インド、中国、メキシコ、北米インディアンなど、世界的に分布している。深層心理学では、このウロボロスは意識と無意識が分離する以前の根源的な無意識を象徴するものとされ、世界創造神話で天と地、光と闇、陰と陽といったものが分離され造り出されていく以前の原初的な混沌状態を表している。つぎに無意識が分離された意識が自立していく過程は、怪物を退治して室

物や美女を獲得する英雄神話で表されるが、日本神話では八岐大蛇神話がこれに相当する。すなわち、ウロボロスは一にして全なるものを象徴し、それ自身で完結し充足した自律的な宇宙を表しているのである。地震は、このまどろんだウロボリックな状態を揺さぶり、これにヒビをいれる活動といえ、それによって新しい世界や秩序を再構築するのである。同様に、鹿島大明神（建御雷神）が大鯰（地震）を剣や要石を押さえつけるのは、英雄が邪悪な怪物を退治して秩序を回復する行為とみることができる。もっとも、鯰絵に描かれた鯰が善悪両面をもった両義的存在とされているように、ある者を一方的に善玉や悪玉と決めつけることもできないのであるが。

藤沢衛彦は、江戸時代初期までは地震が鯰でなく竜蛇と結びつけられていた論拠をいくつか掲げている。たとえば、『竹生島縁起』に「或人伝えて云う、此の海に大鯰有り。長さ千丈なり。この島を纏ること数廻り、首尾相い咋むもの即此の事なり云々」とあるが、『古縁起』や謡曲「竹生島」では、この大鯰は竜蛇になっている。なお、竹生島のある琵琶湖には鯰が多く棲み、その主の巨大な老鯰は黒竜と呼ばれて滅多に人目に触れないが、それが湖上に姿を現すと異変があるという（『甲子夜話』48巻）。また『地震の弁』（嘉永7年）によると、建久9年（1198）の暦の表紙に竜が日本を取り巻く図があった（江戸初期の暦の改竄だろうとされている）といい、元禄の『塵摺問答』の鹿島大神鯰を鎮める図では詞書は鯰だが、実際には蛇が尾を咋えている姿になっているのである。この他に、京都大地震（慶長2年）に取材した浅井了意の仮名草紙『かなめいし』（寛文2年＝1662）には「俗説に五帝竜王この世界をもち、竜王いかる時は大地ふるふ。鹿島明神かの五帝竜をしたがへ尾首を一所にくぐめて鹿目の石をうちをかせ給ふゆへに、いかばかりゆるとても人間世界はめつする事なし」とあるし、謡曲『春日竜神』にも「地時に大地、震動するは下界の竜神の参会か。後シテ すは、八大竜王よ」とある。八大竜王は、法華経序品に説く八竜王をいう。

この竜蛇から鯰への変化の過程に関しては、最

近、気谷誠が図像と言葉の両面にわたって詳細に論じている（『鯰絵新考』、1984、筑波書林）。その要点を以下で紹介してみたい。まず、鯰絵の原型は環形の竜蛇（ウロボロス）図に遡れるが、その最古のものが寛永元年（1624）の『大日本地震之図』である。この図は、行基式で描かれた一枚刷りの日本全図のもっとも古いものとされ、日本の周りを環形の竜蛇が囲んで、その首尾が重なった所（常陸沖）に要石が打たれている。その脇には、前述の「揺るぐとも よもや抜けじの 要石 鹿島の神の あらんかぎりは」の歌が記されており、ここにはすでに鹿島大明神、要石、竜蛇の関係が現れている。この古歌と竜蛇の図は、貞享暦の出るまで寛文13年（1673）から貞享2年（1685）まで十数年にわたって江戸で刊行された『いせこよみ』の表紙にも、そのまま描かれている（岡田芳朗「地震なまず考」『歴史と人物』、1979年9月号）が、ここには鯰の文字は登場していない。しかし、この歌と図は後に暦占いの書物である『大雑書』（三相相）に受け継がれて、そこでは「地底鯰之図形」として紹介されている。この『大雑書』の古いものは、元禄6年（1693）に刊行されている。江戸後期まで、この地底鯰の図は「須弥山之図」とともに『大雑書』の口絵に不可欠のものとなっている。暦に宇宙創造を象徴する図像が描かれ、時間空間の出現を示していることは、地震がきわめてコスモロジカルなものであることを同時に表しており、興味深い。ただ、詞書で鯰とあっても、その姿は竜蛇のままであることは変わりなく、この形式のものは多いのである。天保6年（1835）出版の『増補懐宝大雑書三相相』にある地底鯰の図は、従来の図を東西南北に半回転させたもので、後の鯰絵の中の「鯰の掛軸」とほぼ同じポーズをとっており、ここに至ってようやく竜蛇ではなく明確に鯰の姿になっている（岩切信一郎「鹿島の神と鯰絵考」『なまず絵展』、1987、鹿島町企画課）。

地震と鯰を言葉の上ではっきりと結びつけて一般に広めるのには、俳諧が大きな役割を果たしたようである。延宝3年（1675）の『江戸俳諧談林十百韻』の冒頭の百韻には、

要石なんぼほつてもぬけませぬ 松意
鯨の骨を足にぐっすり 雪柴

という付合がみられ、要石の下に鯨がいることが示されている。鯨の骨は抜けにくいという俗信が古来あるが、ここでは要石を掘って地底の鯨の骨が足に刺さったというのである。延宝5年(1677)の付合語集『類船集』の鯨の項には、「此日本国は鯨がいただきてをりとひならはせり」とあり、鯨の付合語として「刀の鞘、地震、人の肌、瓢箪、池、竹生島、弁才天」をあげている。天保2年(1645)の有名な付合集『毛吹草』には、鯨の項に地震の語はない。竜蛇から鯨への変換は、一説では延宝年間(1673~81)とされているが、17世紀後半が一つのポイントであることは間違いない。その好例が、延宝六年(1678)の江戸三吟と題されている桃青(芭蕉)と似春が詠んだつぎの句である。

大地震つづいて竜やのぼるらん 桃青
長十丈の鯨なりけり 似春

ここには、地震・竜・鯨の三つが同時に登場しており、竜蛇から鯨へき変わったことが言葉の上でははっきりと示されている。また元禄年間建立の地震厄除けの神である弁天社の彫り物にも地震厄除けとして鯨が登場する。こうして元禄時代に入ると、地震と鯨の関係は歌舞伎の台詞や川柳などでも、しばしばとりあげられるようになる。正徳3年(1713)の西川如見『万物怪異弁断』には、「地震の魚の説世説にあり、伝説なるや、風大時あつて自ら起るとあれば、風を以て魚とせしもの歟」とあり、すでに地震鯨説が定着したことがわかる。しかし、図像のほうでは、竜蛇はすぐには鯨にならなかったようである。鯨絵以前に地震鯨や瓢箪鯨が視覚的イメージとして一般庶民に普及するうえで歌舞伎や祭礼も大きな役割を果たしたようである。たとえば、瓢箪鯨は如拙の『瓢鮎図』(応永20年頃=1413)に源を発する古いものだが、17世紀中頃には大津絵に採り入れられて

『猿と瓢箪鯨』の画題がつけられる。この大津絵の絵柄が歌舞伎の所作事に取り入れられ、四世中村歌右衛門の七変化舞踊『拙筆力七以呂波』の一つとして文政11年(1828)にはじめて演じられている。これは襦袢一枚の男が瓢箪で鯨を捕らえようとしたもので、錦絵にも描かれ、『瓢箪鯨』という有名な舞踊となっている。また嘉永5年(1853)の黒船来航による世相を風刺して大評判となった歌川国芳の錦絵『浮世又平名画奇特』にも猿が瓢箪で鯨を押さえる大津絵が描かれており、『藤岡屋日記』には、この絵柄を「日本国をゆるがす異国の大なまずを、御国の鹿島の要石で押さへて居る」と絵解きしている(気谷誠「鯨絵の風土と時代」『なまず絵展』, 1987, 鹿島町企画課)。この他、宝暦元年(1751)に大垣城下十ヶ町が氏神八幡神社に献じた山車にも瓢箪鯨が取りあげられ、これが明治初年には岐阜の郷土玩具になったとされている。この玩具は山車の上に神主風の男が瓢箪をもって立ち、そばには鯨がいて、山車をひくと神主も鯨もぐるぐると回転するものだという(末広恭雄『魚と伝説』, 新潮文庫, p. 62, 1977)。多数の見物人で橋が落ちて大惨事となった文化4年(1807)の深川富岡八幡の祭礼には、「鹿島明神鯨」という山車もでたという。鹿島大明神が地震鯨を押さえるというモチーフを山車にしたものであろう。歌川国盛の『浮世絵手本』(弘化4年序=1847)は子供向けの絵本だが、この中にも鹿島大明神が石柱状の要石で大鯨を押さえている絵がみられる(岩切, 前掲)。

「鯨絵」に当時の庶民文化や娯楽の代表である歌舞伎が強い影響が見られることは、気谷誠の『鯨絵新考』(前掲)に詳述されている。気谷によれば、地震鯨は歌舞伎の荒事の中にも採り入れられ、その早い例である元禄16年(1703)の『小栗鹿目石』には舞台の上で大鯨が鹿島大明神に押さえつけられる場面があり、それがこの芝居の絵入り狂言本に描かれているという。さらに、毎年霜月の歌舞伎顔見世興行に演じられた吉例『暫』には、18世紀の中頃から、鯨坊主という道化役が登場するようになる。鯨坊主は通称で鹿島入道震斎などとよばれ、地震鯨がいわば人格化し

たものであり、初期歌舞伎の道化役猿若の伝統をひいて腰には瓢箪をつけている。気谷は、この『暫』の鯰坊主の道化的性格が鯰絵の鯰の性格付けに強い影響を及ぼしたろうと論じている。

以上のように俳諧や歌舞伎の影響、さらには鹿島の事触れなど、鹿島信仰をひろめて歩いた鹿島の神人たちの活動によって、竜蛇から鯰への変換がなされ、さらに地震鯰を鎮める要石や鹿島大明神の信仰が一般に普及していったと思われる。そして、大きな転換期を迎えつつあった時代状況や頻発する地震や災害といった終末的な世相状況の中で、年号に込められた願いとは相違して安政二年10月2日に起きた江戸を中心とする直下型の大地震を契機として、地震鯰は歌舞伎の舞台から“かわら版”に移り移って一斉に街中に飛び出していったのである。地震除けの呪文に「万才楽」（江戸）とか「世直し」（関西）などといったものがあるが、地震には地新（地＝此の世、新＝更新する）の意味を込められているのである。なお、鹿島地方は古来、北方の蝦夷との境をなす重要な軍事的拠点であったが、これにとどまらずカシマという地名は信仰や観念の上でも此の世と異界との交渉がなされる特権的な場所とみなされて、虫送り、予言（事触れ）、ユートピア願望（鹿島踊りやミロク信仰など）といったものと結びつけられてきた。

鯰絵の世界——鯰の両義性

地震絵の一種として“かわら版”類に地震鯰が登場するようになるのは、文政13年（1830）の京都大地震の頃からとされている（北原糸子『安政大地震と民衆』、p. 164, 1983, 三一書房）。それが安政大地震で爆発的に流行したのだが、その前の弘化・嘉永・安政という時代には大きな地震が各地に相継いでおこり、とくに弘化4年3月24日の善光寺大地震は、ちょうど阿彌陀如来の開帳中で、全国から多くの参詣者がきており、さらに二次災害も加わって被害は甚大であった。このため、善光寺大地震は地方での災害であったにもかかわらず、“かわら版”や鯰絵に類するもの



世直し鯰の情 [東京都立中央図書館所蔵]

も出版されたのである。

とにかく、19世紀中頃には世直しへの強い願望と地震鯰や鹿島信仰の普及もあって、鯰絵の爆発的な出現の下準備は整えられていたのである。鯰絵自体の構造論的分析は、すでにC. アウエハントの『鯰絵——民俗的想像力の世界』（せりか書房、1979）で尽くされているので、紙幅の関係でここでは省略したい。その要点は、鯰絵の中で地震鯰が単に破壊者や憎まれる者としてだけでなく、同時に新しい世の中（世界）の創造者や崇められる者として描かれている点である。地震は確かに甚大な被害をもたらし、人々を苦しめる災害ではある。しかし、一方では破壊された家屋や建物の復旧のため、大工や左官などの職人に多くの仕事をもたらし手間賃も高騰するというように、金持ち（持丸長者）が富を貯め込んで社会の一部に集中させ、世の中の活気を失わせていた状況を逆転させて富のめぐりや景気をよくするし、また災害救援のために、しばらくは“ただ飯”にありつけ、遊廓は仮宅営業をして金回りのよい職人に

も近づける存在になるなど、地震は、それまでの困窮していた現実を少しの間だけ忘れさせて祝祭的な雰囲気でも包み、世直しへの期待を幾分か満足させてくれたのである。鯨絵が、安政2年10月2日の大地震の直後から一ヶ月余りの間に数百種(400余)も出回り非常に人気を集めたのは、それが時代の状況や人々の期待をよく表現していたためであろう。

レヴィ＝ストロースは、日本の鯨絵と南北アメリカの諸部族の神話とを関連させつつ、「日本でも、地震は金属の富を手に入れる機会を与えてくれているが、この富は、アメリカ大陸の沿岸の諸部族や、デネ族におけるのと同じく、噴出＝排泄物と見なされている。このデネ族は、銅のことを熊の糞、あるいは洗い熊の糞を意味する語で呼んでいる。更には、……C. オウエハントによれば、昔の日本人の考えでは、地震は社会的・経済的不公平に対して矯正者の役割を果たしているがこの機能は……サリシュ族が地震と深い関係をもつ銅に与えていたものであり、現実には、銅はアメリカのこの地域では、同朋と余所者との間で(異部族間の保証するものとしての)媒介＝調停者の役割を果たしている」(『仮面の道』, p. 178, 1977, 新潮社)と述べている。実際、鯨絵には持丸長者が大判小判を吐いたり排泄しているものが多く見られ、糞便(や嘔吐物)と貨幣(金属)との関連を如実に示している。この他、大黒が槌を振って(=大地を揺する地震のメタファー)大判小判を市中に振りまいているものや、地震鯨が切腹して大判小判を出したり、鯨の潮吹きのように鯨が吹き上げているものもある。金属は大地の胎内でまどろんでいるものであり、火山の噴火のようにそれを地上に出現させたり、あるいは貯めこまれて片寄っていたものを排出させたりすることで、地震鯨は世の中の秩序を一瞬のうちに逆転させ、本来の均衡を回復させて新しい世界を創出する(世直し)のである。

おわりに

今日、鯨といえはすぐに地震がイメージされる

けれども、他のいろいろの動物も地震を予知するし、鯨も地震だけに敏感なのではない。また地底の大鯨が地震を引き起こすのだという俗信も、既述したように江戸時代初期の環形の竜蛇が鯨に変換して言い出されたものであった。時代や地域によって、地震の原因とされたものには鯨に限定されず、地中に棲む大きな蜘蛛(地震の虫)、鯨(ケンフェル『日本記事』。鯨の誤解か?)、まんご(高知県)なども知られている。

この地震鯨を押さえている鹿島の要石も、鹿島信仰を広めた下級の宗教者の活躍などによって鹿島神宮のものが有名になっているが、これだけにあるのではない。現にすぐ近くの香取神宮にもあるし、静岡県沼津市原町一本松、和歌山県日高郡南部町鹿島、石川県輪島市小池、島根県平田市国富町といった所からも報告されている。要石は、石信仰の一つとして、此の世と異界とを結ぶ要の役割を果たしている「境界の石」と捉えるべきものであろう。『新編常陸国誌』には、鹿島の要石について「要石ハ鹿島神祠ノ東、高天原ニ在リ。石ノ根ハ地ニ入ル。其ノ大小ヲ知ル者無シ。俗ニ扇ノ柄ノ釘ヲ謂イテ要ト曰ウ。是レ石ヲ要石ト名ヅクル者ナリ。土人相イ伝ウ。大魚有リ、日本ヲ圍繞シ、首ト尾ヲ斯ノ地ニ会ス。鹿島明神ハ其ノ首ト尾ヲ釘ヅケニシ以ッテ之ヲ貫ク。動揺スルヲ得ズ」とある。鹿島の地が両界の結界をなすと考えられたために、ここで大魚や竜蛇の首と尾がつながったり、要石が置かれたりしたのであろう。つぎの種子島の地震の起源をめぐる民話では、鹿島でなく京都で「なえ」という地震魚の首と尾が重なると語ってる。すなわち、

むかしは地震のことを「なえ」といいました。ところで、どうしてなえが起るかといいますが……それはそれは長い「なえ」という魚がいて、その長さといったら考えられないくらいなのですが、この「なえ」がぐるりと地球をひとまわりしているのです。このなえの魚は、自分の尾を自分の口でくわえて、地球ちょうどたがのようにしめているのです。が、この「なえ」の魚も、ときどき自分の尾をくわえず

ことがあります。すると地の弱いところがわれたり、ずれたり、山がくずれたりして、「なえ」が起こるのです。ところが日本の国で一か所だけ、京都だけは「なえ」がありません。といいますのは、こ「なえ」の頭が丁度京都になっていて、その一番のところに経塚があるのです。そして「なえ」の魚が少しでも油断をして、尾をくわえはずしたりすると、経塚がそのすごい重さで、「なえ」の魚の頭をおさえるのです。それで「なえ」の魚があわてて、はずした尾をくわえるのです。今でもそうですが、地震が来と人びとはみな、「きょうづか、きょうづか、きょうづか」ととなえます。油断して尾をくわえはずした「なえ」の魚は、その声で、はっとわれにかえって、尾をくわえます。すると、たちまち地震は止むのです。「なえ」の始まりは、まずこういう次第ですが、みなさんも、地震のときは「きょうづか、きょうづか」ととなえることですね（下野敏見編『種子島の民話』第二集、1962、未来社）。

安政大地震の場合は、日本のすべての神が出雲に集まる旧暦10月つまり神無月に起こったが、これは鹿島大明神がちょうど留守にしていたからだと言われている。上記の民話では、なえが油断して自分の尾をくわえはずしたときに地震が起こるとしている。そして、きょうづかが鹿島の要石と同様の役割を果たしている。このきょうづかは、沖縄でも地震除けの呪文とされており、経塚でなく京塚であって皇城鎮護のために築かれた「京都の将軍塚」を意味しているようである。将軍（ショウゲン）には、柳田国男の『石神問答』（明治43年）に示されているように、サエノカミと同じ防御と守護を内包した性格があり、やはり境界を守る石塚であることに注意すべきである。ちょうど、ウロボロスの輪も閉じたようなので、そろそろ、このへんで地震鯨の話が終わりたい。

地震は、民俗的な世界では、そのコスモロジー（宇宙観）と密接にかかわっているものであり、鯨絵の面白さもそこに表象されている宇宙観に根ざしているといえる。たとえば、生まれたばかり

の赤ん坊に名をつける前に地震や雷にあうと口をきかなくなるので、仮の名前をつけておく風習がかってあった。「地震、雷、火事、親父」という諺は、単にこわいものをならべてあるのではなく、鯨絵でも扱われているように、これらの災害には世の中を変換したり更新したりする役割があることを示しているのである。そこで、此の世に誕生したばかりの赤ん坊は、地震や雷によって再びもとの世界にもどってしまう恐れがあるために、仮名をつける風習が行なわれたと考えられる。

参考文献

- 藤沢衛彦、1932、地震の伝説、大百科事典、11巻、平凡社。
武者金吉、1957、地震なまず、東洋図書。
末広恭雄、1964、魚と伝説、新潮社。
宮田 登、1970、ミクロ信仰の研究、未来社。
大林太良、1979、神話の話、講談社。
伊藤清司、1979、日本神話と中国神話、学生社。
伊藤清司、1989、亀蛇と宇宙構造、アジアの宇宙観、講談社。
岡田、1979、地震なまず考、歴史と人物、9月号、中央公論社。
C. アウエハント、1979、鯨絵——民俗的創造力の世界、せりか書房。
宮田 登、1980、新しい世界への祈り弥勒、佼成出版。
青木 保、1980、記号としての鯨、海、8月号、中央公論社。
飯島吉晴、1981.6、ウロボロスとしての鯨、人類文化、3号、筑波大学人類文化研究会。
岩田慶治監修、1982、アジアのコスモス+マンダラ、講談社。
北原糸子、1983、安政大地震と民衆、三一書房。
気谷 誠、1984、鯨絵新考、筑波書林。
ヘルムート・トリブッチ、1985、動物は地震を予知する、朝日新聞社。
ローレンツ・G・レフラー、1972、獣・鳥・魚、神話・社会・世界観、角川書店。
気谷 誠、1985、陽気なカタストロフィー、ユリイカ、5月号、青土社。
鹿島町企画課編、1987、なまず絵展、鹿島町。
気谷 誠、1988.2、江戸の瓦版——鯨絵の魅力、日本の美術、261号、至文堂。

[いいじま よしはる 天理大学助教授]

注目される“新”地震予知法

科学か超能力か
高木美也子

「12月3日東京大地震」説

1989年10月17日に起こったカリフォルニア州サンフランシスコでの大地震は、マグニチュード7.1と強い地震であったこと、人口密度の高い地域であったため、物的損害は大きく、被害額は56億ドルにものぼりました。また人的被害も大きく、63人が死亡しました。63人の死亡者のうち、60人は地震によって直接死亡したもので、残りの3人は間接的な原因、例えば、地震が起こってから8時間後に地震で弱った階段が壊れ、そのとき階段の下にいた人が圧死したものなどで、

カリフォルニアに限らず、われわれの住む日本も、いつも地震の大きな危険にさらされており、少しでも早くに地震情報を得ることができたらと思ってしまう。それを反映してでしょうか、1990年12月2日または3日に東京で大地震が起こるらしいという噂が、一人歩きしてしまった事件もありました。

この「12月2日東京大地震」説は、在日外国人の間に広がりはじめた噂でした。東京都が設置している外国人専用の生活相談コーナーには「主人が外出している間に大地震が起きたとき、どのように対処すればよいでしょうか」「子供をその日、学校に行かせても大丈夫でしょうか」など、多くの問い合わせ電話があったと言います。

在日外国人は、東京大地震説をどこから仕入れたのでしょうか。ひとつは、1990年11月12日付の『ジャパントゥタイムス』に載ったオーストラリア在住の人からの投書だと言われています。オーストラリアで放映された科学番組にアメリカの物理学者が出演し、「12月2～3日に太陽と月の引力が、この60年間で最高のレベルに達し、そのとき、東京にマグニチュード8の地震が起きる」と予測したと言います。そして、この学者は1989年のサンフランシスコ大地震や、セントヘレナ山の爆発を予言して「当て」ており、信憑性はかなり高いというわけで、警告のために投書されたらしいのです。

多分、この物理学者と同一人物だと思いますが、アメリカ中西部でも、地震研究家の予言で12月3日は、大混乱したというCNNニュースが入っていました。この予言者は、I. ブラウニングという人で、肩書は気候研究者、科学者、経営コンサルタント。彼は火山や地震の

予言をするので、地震専門家にとって“頭痛の種”となっている人物です。

科学か超能力か

アメリカでは、1906年や1989年のサンフランシスコ大地震など、地震に関して注目を集めてきたのはカリフォルニア州でした。しかし、中西部のミズーリ州で1811年～12年にかけて起こった大地震は、今回のカリフォルニアの地震よりはるかに大きく、最大のものはマグニチュード8の規模であったとみられています。今に伝わる当時の地震災害は伝説的とも言えるものです。ミシシッピー川は逆流したとも言われ、テネシー州には湖ができました。シカゴでは地響きが聞こえ、シンシナチーでは煙突の煉瓦がバラバラと落下し、教会の鐘も揺られて鳴ったほどでした。地面に穴ができ、大木を水没させ表土を土砂で覆った爪跡は、今も消えることがありません。専門家によりますと中西部の地表下の岩盤の密度はかなり高いので地震の影響は大きかったというわけです。そのアメリカ中西部における大地震予測ですから、大きな反響を呼んだわけです。中西部の5つの州では、警察や消防署の一部が厳戒体制に入り、企業はいざというときに備えて防災訓練を行ないました。またアーカンソーの町では、教育委員会が12月3日の授業中止を決めたため、地元の学校は休校になりました。しかし、地震研究所のJ. ドーマンさんは怒りもあらわに「彼は門外漢なので、地震についての彼の発言や発表は全くでたらめです」と言い、さらにミズーリ大学のM. ジョンストンさんは、「地震の完全予測は現時点では無理ですから、12月3日の地震説もあくまで推測にすぎません」と述べました。

しかし、そこはアメリカ。この地震予測をちゃっかり商売に利用した人がいます。メンフィスでフォールト・ライン（断層線）というナイトクラブを経営するウェルズさんです。このクラブでは、クラック・ダンス（地割れダンス）を踊り、地震シェイクを飲みます。また地すべりシート椅子に座って、地震災害フィルムを見ながら、地震脱出トリップを体験でき、欲しければ地震Tシャツも買えるということでした。でもクラック・ダンスって、どんな踊りなのでしょうね。結局、12月3日は地震も

何もなく無事に過ぎました。

A. ブラウニングさんは、どのような方法で地震を予測したのかわかりませんが、彼以外にも科学的ではないが良く当たる地震予知の方法を持っている人達があります。

まずは、ロサンゼルス の霊媒の A. モンゴメリーさん。彼は、耳の後ろの小さなコブが、地震が起こるのを教えてくれると言います。「刺すような焼けるような感じを、頭蓋骨の辺りに強く感じるんです。そのとき、世界のどこかで何かが起こるのがわかり、はっきりイメージできるんです」。

オレゴン州セーラムの S. キングさんのように、ひどい頭痛や地震風邪で地震を予知する人もいます。「これらの症状を止めることはできないんです。11年前から、このような症状が出始めました」。

人の感覚による地震予知

M. アダムスさんは地震を予知できる人達のいわば感知ネットワークとでも呼ぶべきものの記録を取っています。「人の神経に何か直接的な刺激を与え、それが器官に作用して、生理学的にある種の変化をもたらしているのかもしれない」と語っています。

日本でも東京医科歯科大学の角田教授らが、人の地震予知能力を真剣に研究しています。人の大脳は大きく左右に分かれ、左脳は言語情報を、右脳は「非」言語情報を処理しています。耳から伝わる聴覚の神経ルートは脳幹部で交差しているため、主に言葉は右耳で、それ以外の音——音楽などは、左耳で聞いていることが知られています。しかし地震の前には、このきき耳が一時的に逆転することがわかってきました。すなわち、本来、言語音優位の右耳が、地震前には非言語音優位となり、左耳ではその逆になるという現象が現れるのですが、地震後は、また元の状態にもどるというのです。1987年12月、千葉県内で2人の死者をだした千葉県東方沖地震のときは、その少し前から房総半島の南端を中心に「きき耳逆転現象」が観測されたので、教授達は、この後の地震を予測し、的中させました。角田教授は「脳が、地殻のストレスによって発生する地磁気や重力波などの変化の影響を受けているのでは」と推測しています。しかしまだ「近く東京で地震が起きる」と予言できるほど地震との相関関係がはっきりしているわけではないようです。

電磁波のような物理的な環境刺激が、脳に影響を及ぼすかもしれない、という可能性については、すでに神経科学者達も注目しているようです。ある調査によりますと、人口の約30%が、地震・雷などの異変に敏感だそうです。生化学的には、これら環境刺激は、生体アミンの代謝に変化をきたし、それがいろいろな症状を引き起

こしているのではないかと推測されています。電磁波以外の物理的な環境刺激として、空気のイオン化状態の変化（大気中正負のイオンバランス）がありますが、空気中のイオンバランスが大脳皮質に影響を与え、それが神経や血液の細胞に敏感に反映されていることも報告されています。まだ、ほとんどわかっていない脳——その脳に環境刺激がどのような影響を与えるかとなると、ある程度の結果を得るのは、まだまだ先のこともかもしれません。しかし「人の感覚による地震予知」が学問として体系化されるためには、ぜひとも必要な研究分野となってくるでしょう。

動植物の感覚による地震予知

人よりずっと感覚の優れている動物や植物に注目し、地震予知を試みている人達もいます。J. バークランドさんは、逃げ出した犬や猫の記録を取っています。母なる大地の電磁変化を感じて逃げ出したと考えているからです。バークランドさんは、新聞広告欄の迷い犬の数を数えています。犬が逃げ出したら、こわがっている動物がどれぐらいいるかの客観的な目安になるからだそうです。バークランドさんは、1989年のサンフランシスコ地震のときも1週間前に予告していたということで、そのため、勤務先のアメリカ地質学研究所には早々と休暇届けを出していたそうです。しかし研究者仲間では、彼の地震予告を信用する人は少なかったようで、バークランドさんは、「私が誰にでも受け入れられる科学者ではないことはわかっています」と言っていたようです。

さらにバークランドさんはカモメの移動にも注目していました。地震の前に、カモメは海岸地域のヘイワード・フォールトから、ショッピング・センターに移動していました。カモメは安全な場所を求めて、移動していたということです。また、サンフランシスコ地震の発生何週間も前に、サンタクルーズ近くの海岸に打ち上げられた6頭の鯨は病気だったわけではなく、地震前の磁気力の影響を受けて進路を誤ったためだとも言っています。

この他、植物生理学が専門の信州大学の安田教授は、イチョウとネムの根と幹に電極を結び、生体電流の電気エネルギー（生体電位）変化を観測することで、植物が地震などのとき、どんな反応を見せるか調べています。生体電位とは、生物の体内を流れている微弱な電気エネルギーのことで、健康診断に用いられる心電図は、この電位差を利用して記録します。ふだんは正負がほとんどゼロで一定ですが、植物の幹や根が自然界から何らかの刺激を受けると、電位が異常な変化を示します。例えば地震の場合、発生約10日前から大きく揺れつづけ、発生時には平坦波にもどってしまうそうです。安田教授は

「刺激を受けると、植物の中で何らかの代謝変化があるのだと思う。しかし、社会的にも注目を集める地震予知ということになると、まだ基礎研究の域を出ていない」と慎重に語っています。

電磁波と地震予知

K. モーリンズさんは、手作りの地震予知器で、地面が揺れるときの音速以下の音を聞きます。彼の計器は「地震に先立つ」低周波音を感知して、地震警報を発してくれます。これで断層ゾーンにおけるストレスの蓄積状態を監視しているのだと言うのです。

感知ネットワークの記録を取っている M. アダムスさんは、地球の電磁波の研究もしています。彼女は、地殻内で生じる電磁変化が、近づいてくる揺れを知らせてくれると考えており、10年以上にわたって、この種のデータを集めています。電磁波の研究は、一度は科学的でないと退けられたものの、いまや、その有効性が再び注目され始めています。科学者達は、地球のプレートがねじ曲げられてトルクが加わると、地殻中の石英岩が超低周波の電磁信号を送り出すのだと説明しています。スタンフォード大学のあるグループは、海軍のために超低周波を研究しているときに、この現象に出会ったということです。

先ごろ、地球の電磁波研究におけるシンポジウムも開かれ、世界中から科学者達が集まってきました。スタン

フォード大学の P. スタロック教授は電磁波研究について、つぎのように語っています。「電磁波研究は、灰色のところには存在すると思っています。この説は、ある意味で非常に疑わしいのです。しかし同時に、新しい可能性を秘めているのです」。M. アダムスさんによりますと、電磁波研究による地震予知の確率は、1件につき11% だそうです。彼女は電磁波研究だけでなく、いくつかの情報源からのデータを統合し、地震予知を試験的に進めていくことを提案しています。

しかし、カリフォルニア州災害対策本部の M. ゲリソンさんは、これら予知方法の科学性に疑問を投げかけています。「ジレンマもあります。こういった予知を組織的に評価する方法も団体もありますが、私達はすでに確立している科学に頼るべきなのです」。当局者としては、地震の警告を出すときには確信を持って出したいということのようです。

たしかに、ここで紹介した地震予知法は、一見、科学的ではないかもしれませんが、それはわれわれの科学が、まだこれらの方法を証明できるレベルではない、ということではないでしょうか。これらの方法を、科学的に実証できるような研究と共に、これらを従来の研究データに組み込んで、より正確な地震予知を引き出せる研究もしてもらいたいと思うのは、地震国に住むすべての人の願いではないでしょうか。

[たかぎ みやこ 東横学園女子短期大学助教授]

1990年10月26日発行の *Science* 誌 (Vol. 250, 511, 1990) によれば高木氏所論に述べられているように、I. ブラウニング (Iben Browning) の地震発生予測が大騒ぎを起こしたとされている。アメリカ地球物理学連合 (American Geophysical Union, 略称 AGU) 機関誌 *EOS* (Vol. 72, No. 5, Jan. 29, 1991) には会長 G. B. Dalrymple の特別寄稿 *Good Press for Bad Science* が載っていて、あやしげな科学報道への警告がなされている。

マス・メディアはブラウニング説を詳しく報道し、話は国中に広まって大変な騒ぎとなったのである。つまり、報道はきわめて「良く」行なわれたことになる。しか

し、この説には全く科学的根拠がないという点はニュースの中に埋没して、あからさまに報道されなかった。

良い報道・悪い科学

何人かの指導的地震学者から成る地震予知評価委員会のパネルはブラウニングが用いたやり方をレビューして、その方法と結論は公の政策の根拠とするには全く不十分であるとされた。しかし、メディアはブラウニング説と上記の反論とが同等の科学的価値があるように取り扱ってしまっている。極端に言えば、日本におけるいわゆる

「判官びいき」とも言えよう。

AGU 会長は、さらにネバダ州 Yucca 山地における高レベル放射能廃棄物貯蔵所の例をひいて、詳しい「良い」報道といえども科学者とジャーナリストのコミュニケーションが良くないために、公共に對し考えもしなかった結論を示してしまっている点を警告し、今後の改善を望んでいる。

なお、1990年12月3日サンフランシスコで開催された秋季 AGU 総会の席で「ニューマドリッド地震の予知」に関する特別討論会が開かれ、40人のメディア代表が参加して5人の地震学者のパネリストによる討論が行なわれた。この討論会の内容は広く新聞報道された。 [R]

アメリカ版・湾岸危機

サンフランシスコ周辺の地震確率

力武常次

1989年10月17日、サンフランシスコ南方約90kmに起こったロマプリータ地震（マグニチュード7.1）は、死者62、負傷者3757、損害60億ドル以上の損害を出した。将来この地震と同じくらいか、またはより大きい規模の地震がサンフランシスコ湾岸地域のサンアンドレアス断層やヘイウォード断層で起こることが予想されている。その場合の被害は、1989年の地震の比ではないであろう。例えば、126万人の市民が北部ヘイウォード断層に予想されるマグニチュード7の震源域に居住していて、この数はロマプリータ地震の震源域の場合の10倍に達していることから、損害が甚大であろうことは明らかである。

ロマプリータ地震の発生を踏まえて、アメリカ地震予知評価委員会（National Earthquake Prediction Evaluation Committee, 略称 NEPEC）の主催のもとに、カリフォルニア地震の発生確率に関する第二次作業委員会がアメリカ地質調査所（U. S. Geological Survey, 略称 USGS）に設けられた。これは1987年の第一次作業委員会を引き継ぐものであるが、今回はとくにサンフランシスコ湾岸地域に限って、地震発生確率を調べている。

検討結果は文献 [1] として刊行され、Books and Open-File Reports Section, U. S. Geological Survey, Federal Center, Box 25425, Denver, Colorado 80225, U. S. A. より無料で入手可能である。なお、第一次委員会の報告は文献 [2] である。

以下に、第二次委員会報告の概略を紹介しよう。

確率の求め方

地震発生確率の算定方法は、基本的には日本で開発された地殻歪の蓄積量を地殻が破壊して地震発生となる限界歪と比較する手法（例えば文献 [3] および [4]）などと同等であるが、カリフォルニアにおいては、大地震は主としてよく知られた活断層の活動によって起こることに注目して、地震発生候補断層についてまず大地震を起こすと予想される断層部分を同定する。ついで、この断層においてつぎの地震が起こる時期を見積もることになる。

日本などのように長期間にわたっての地震カタログが

利用できる場合には、ある地域における大地震の繰り返し時間間隔を純粹に統計的に求めることがある程度可能であるが、カリフォルニアの場合には、歴史が長くないこともあって、過去の地震の際のずれの長さの中央値を長期間のずれ率（スリップ・レート）の中央値で割って求めることになる。つまり、発生時予測可能モデル（文献 [5]）を導入することになる。

繰り返し時間間隔の標準偏差を適当な方法で推定し、この時間間隔が対数正規分布に従うとして計算する。さらに最終地震からある時期まで地震が起こらないことを前提にして、その時点から指定した期間内に地震が起こる条件つき確率を計算することになる。

文献 [4] をはじめとして、日本では主として対数正規分布のかわりにワイブル分布が用いられているが、文献 [6] に指摘されているように、どの分布を用いても結果に大差はない。確率算定手法の、これ以上の説明はあまりに専門的になるので省略する。

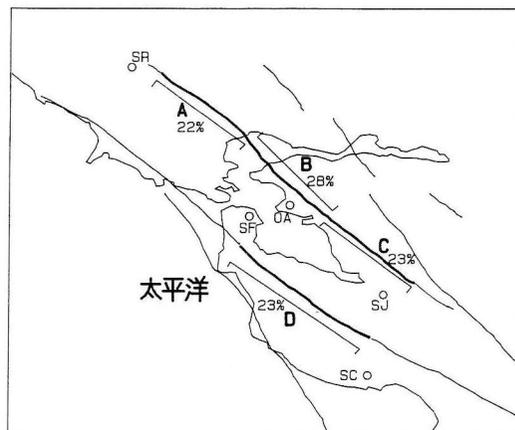


図1 サンフランシスコ湾周辺の断層と地震発生確率
細線で断層を示し、太い実線は特に活動的な断層部分を表す。

- A：ロジャース・クリーク断層
- B：北部ヘイウォード断層
- C：南部ヘイウォード断層
- D：サンアンドレアス断層

数字は各断層部分が1990年から30年以内に少なくとも1個の大地震（ $M \geq 7$ ）を発生する確率を%で表示したもの。下記の記号により地名を示す。SR：サンタローザ、OA：オークランド、SJ：サンノゼ、SF：サンフランシスコ、SC：サンタクルス。

北部カリフォルニアには図1に示すような複数の活断層（ほとんどが水平右横ずれ）があることが知られている。しかし、地震発生確率算定のためのデータが一応得られたのは、図中のA, B, CおよびDで示すロジャース・クリーク、北部および南部ヘイウォードおよびサンアンドレアス断層の各部分だけである。したがって、この報告に求められた確率以外に、他の断層からの寄与の可能性もあるので、危険度の最低を見積もったことになる。

サンタローザ東南のロジャース・クリーク断層は第二次報告で新しく追加されたものである。今回の見直しによって、各断層のスリップ・レートは表1のようになった。さらに、ロマプリータ地震が近くの断層に与えるストレス変化なども考慮して、1990年から30年以内に各断層部分に地震が起こる確率を求めると表2のような結果が得られた。この表にはサンアンドレアス断層のサンフランシスコ以北およびサンタクルス山地の各部分についての見積もりをも記してある。しかし、これらの確率は小さい。

予想されるマグニチュードは、想定断層部分の長さによるので、主にこの想定に関する妥当性を根拠に確率の信頼度A, B, C, DおよびEが委員会によって設定されている。断層部分A, B, CおよびDに関する確率値は図1に記入されているが、いずれもここ30年間に20%を上まわる値となっている。

表1 サンフランシスコ湾岸周辺地域の断層のスリップ・レート

断層	第一次報告	第二次報告
サンアンドレアス	16±2.5mm/年	19±4mm/年
ヘイウォード	7.5±2.0	9±2
ロジャース・クリーク	—	9±2

表2 サンフランシスコ湾岸周辺地域の1990～2020年の期間についての地震発生確率

記号	断層部分	最終地震	予想 マグニチュード	確率	信頼度
D	サンアンドレアス断層	1989	7	<0.01	B
	サンタクルス山地	1906	7	0.23	C
	サンフランシスコ半島 北部海岸地域	1906	8	0.02	B
C B A	ヘイウォード断層				
	サンフランシスコ湾東方地域南部	1868	7	0.23	C
	サンフランシスコ湾東方地域北部	1836	7	0.28	D
	ロジャース・クリーク断層	1808	7	0.22	D

このようにして求めた個々の断層からの確率の寄与を総合して、サンフランシスコ湾岸地域が1990～2020年の期間に少なくとも一つの大地震（マグニチュード7以上）に襲

われる総合確率を計算すると0.67という値が得られる。なお、この確率を5, 10, 20および30年ごとに算定すると表3のようになる。ここに注意しなければならないことは、個々の確率はあまり大きくないとしても、断層の数が多ければ、総合確率は高くなるという事実である。今、互いに独立な事象が10個あるとし、それぞれの確率が0.10であるとすれば総合確率は0.65になることが確率論から導かれる。20個だとすれば、総合確率は0.88にもなる。このような結果は確率のマジックとも言うべきかもしれないが、いずれにしてもここ30年で0.67という確率値の高さはショッキングだと言うべきであろう。

問題点

ここで紹介したサンフランシスコ湾岸地域の地震発生確率算定は意外に高い値に帰着したが、算定にあたってはいろいろな問題点がある。活動的断層部分の設定やスリップ・レートの算出など、客観的というよりも委員会の合議によると思われるふしもあり、委員会自身が信頼度を設定しているように、万全な確率算定とは言いがたい面もある。事実、一部のアメリカ地震学者のきびしい批判もあるようだ。しかし、ともかくも危険度を定量化した点は評価すべきであり、導出された確率値を参考にしてカリフォルニアの地震対策が推進されることを期待したい。なお、日本においても地震予知の思想を取り込んだこのような地震危険度の定量化をより強力に進めるべきであろう。

文献

[1] Working Group on California Earthquake Probabilities, 1990, Probabilities of large earth-

quakes in the San Francisco Bay Region, California: U. S. Geological Survey Circular 1053, 51 pp.

- [2] Working Group on California Earthquake Probabilities, 1990, Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andreas fault: U. S. Geological Survey Open-File Report 88-398, 62pp.
- [3] Rikitake T., 1974, Probability of earthquake occurrence as estimated from crustal strain: Tectonophysics, 23, 299-312.
- [4] Hagiwara, Y., 1974, Probability of earth-

quake occurrence as obtained from a Weibull distribution analysis of crustal strain: Tectonophysics, 23, 313-318.

- [5] Shimazaki, K. and Nakata, T., 1980, Time-predictable recurrence model for large earthquakes: Geophys. Res. Lett. 7, 279-282.
- [6] Utsu, T., 1984, Estimation of parameters for recurrence models of earthquakes, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 59, 53-66.

[りきたけ つねじ 東京大学名誉教授・
東京工業大学名誉教授]



東京都庁の立派な庁舎が完成して、大きな話題になった。都議会議事堂の前になつて、庁舎を見上げたとき、その豪壮さに“さすが”と一驚する。しかし、その第一本庁舎の9階、1フロアを使って、「東京都防災センター」が開設されているのを知っている人は、少ないかもしれない。

そこには災害対策本部室を中心に、情報・通信のハイテク設備が整備されている。そのなかで、もっとも重要な機能は地震など災害の現場の情報を、いながらにして即刻知ることができるシステムであろう。それには警視庁・消防庁の多数のヘリコプターが動員される。ヘリコプターには、垂直に下方を撮影できるビデオカメラが装着してあり、その映像は対策本部室の50インチビデオ16画面で構成される大スクリーンに写し出されるのである。またヘリコプターには精密な測位システムが搭載されており、その位置は刻々本部に送信され、本部のもう一つの大スクリーンの詳細地図上に表示されるのである。つまり、送られてくる画像が、何区・何町・何番地のものであるかがたちどころにわかる仕組みになっている。ヘリコプターが一箇所に留まれば、その地点の災害状況の時間的推移を追

東京都防災センター 見学記

うことができるし、広い範囲を飛ばせば、広範囲の災害の概況をつかむことができよう。災害が発生したとき、その応急対策を指令するにあたって、これは確かに有力な武器になる

に違いないと思う。

さらにこれを支えるシステムとして、気象情報・発災情報・被害情報などを集約するシステムや、防災に関連する各種のデータを直ちに検索するシステム、さらには、火災・洪水のシミュレーションを行ない、災害の先行きを予測するシステムなどがあり、それらを検討しながら対策をきめることができる。

また、この「防災センター」は、ふだんは防災講演会・防災講習会などを通じて、都民が利用できるようになっているのも、大きな特徴である。去る3月の日立市の山火事の際には、防災当局の指示と、市民の行動に食い違う点があったようである。これは防災当局と市民の間で日頃の信頼関係が培われることが望ましいことを示すものであろう。この観点からここに紹介した「防災センター」が、ふだんは都民の防災教育などに活用されるようになってきていることは、たいへん有意義なことと思われる。

[A]

●企業の防災対策

三菱地所の地震防災対策

熊谷武生

地震防災に対する基本的認識

当社は創業以来一貫して街造り、ひいては人間環境造りに取り組み、現在ではビル賃貸部門、不動産開発部門、設計監理部門の3つの部門を柱に総合ディベロッパーとして広範囲な事業展開をしつつある。

なかでもビル賃貸部門の中核を成している「丸の内ビジネスセンター」を創業以来90年余にわたって整備拡充し、今日ではこの丸の内にわが国の有力企業の中枢管理部門が集中しているばかりでなく、世界中の金融機関、有力企業の拠点が集中し、ニューヨーク、マンハッタン、ロンドンのシティとともに世界経済のゴールドen・トライアングルを形成する国際ビジネスセンターとしての役割を担いつつある。

ここ丸の内当社が所有管理しているビルは32棟、延177万平方メートル、約12万人の人々が勤務し1日に30~40万人の人々が訪れている。災害からここで働く人々の生命や企業の業務機能を維持回復することは、当社に課せられた社会的使命であると言っても言い過ぎではないと考えている。

災害対策に力を注がなければならないもう1つの理由としては、リスク・マネジメントの観点で、災害から当社自体を守る必要があるからである。一般の企業であれば「仕事の間」がある程度分散化され、仮に自動車産業を例にとるならば、生産部門も販売部門も国内はおお

か海外までも拠点を置き、その中枢管理部門も分散化傾向にあるようであるが、当社の場合は、地方都市や海外で精力的な事業展開を図りつつあるものの、依然として「丸の内」の役割は大きいのである。加えて、この周辺は地震多発地帯であり、江戸幕府が開かれてから今日に至るまでの間、この地方に大きな被害をもたらした地震（震度6以上）が合計8回、おおむね50年に1回襲来したことになるそうである。このようなことを重ね合わせると、まさに、わが社の危機管理のなかで巨大地震対策はもっとも大きな課題の1つと位置づけられるのではないと思われる。つまり、一般の企業にとってはそれほど痛手とはならないことが、わが社にとって大きな打撃になりかねないからである。巨大地震からテナントの生命を守り業務機能をいち速く回復することは、言い換えれば、テナントのため、社会のために災害対策に取り組むことは、実は、当社自体を守ることにもつながるのである。

当社の防災に対する基本認識は、このような地震災害ばかりでなく、いかなる災害に対しても人的・物的被害を最少限に止め、企業活動に支障ないように万全を期するとともに、この丸の内をして、災害を受けた人の救済とその後の復興の拠点として、地域防災上の一翼を担うことにある。大正12年の関東大震災の際には、幸い当社の建物はそれほどの被害がなかったこともあるが、いち速く社員を動員し救護所を設け、非難してくる人々の救護や炊き出しに当たったという貴重な体験がある。爾

来、その時の体験を後々に伝え有事の際に役立てるため、毎年1回9月1日を「総点検の日」と定め、男子社員全員が早朝6時に出勤し、非常組織の編成、実践さながらの訓練などをとおして、当社の災害体制に遺漏があるか否か再確認するとともに、社員1人1人が防災に対する決意を新たにしているのである。

当社の災害対策はこれまでに何回となく手直しを繰り返しながら取り進めており、未だ万全な体制には程遠い状態にあるが、これから当社の防災体制、とくに地震防災対策を中心に概略ご紹介することとしたい。



広域丸の内航空写真

防災体制のあらまし

われわれが地震防災体制を考える場合に、常に念頭に置いていることは、地震災害を広域避難場所ではなく、この丸の内で毎日執務している部屋のなかで迎え撃つということである。この地域が、東京都の防災計画において「建物内残留地域」として指定されている点もあるが、災害時の混乱する状況のなかで、丸の内に踏み止ることが最も安全であるとの認識に立っているからである。関東大震災の際に、丸ビルを始め当時の赤煉瓦街は、外壁の亀裂、内部のモルタル剝離、照明器具の脱落などの被害はあったものの躯体に大きな影響を及ぼすような壊滅的な打撃を受けなかったという体験がある上に、さらに今日の建物が、その当時の建物よりも地震に対する耐力、火災に対する防禦能力など、災害全般に対する自衛能力は比べるべくもなく高まっており、大群衆が殺到する避難場所よりは、丸の内に踏みとどまることがどれほど安全であるに違いないと確信している。このような観点に立って、われわれはここに踏みとどまることを前提に建物設備の耐震補強対策、非常組織の編成、備蓄食糧、資機材の確保などの災害対策を進めているのである。

(1)建物設備の耐震補強対策 われわれが地震災害から人命の安全を確保し、被害を最小限に食い止めるためには、建物・設備が地震の揺れに対していかに持ち堪え、平常の機能を維持することができるかが重要な課題であり、ことに、われわれが丸の内に踏み止って災害を迎え撃つという戦略を進める上では必須の要件である。これがため、当社では昭和56年にビル賃貸部門・設計監理部門の関係者による建物設備地震対策委員会を組織して、主に電気設備および機械設備機器・配管・配線、並びに建物に設置されている危険落下物・転倒物などの耐震上のチェックを行ない、どのような設備にどのような補強

方法をとるべきかを検討し、基準を策定した。基準のあらまきは、つぎの通りである。

- 重要度分類と対策の進め方 建物部位および主要機器を災害対策上の視点から、A-1、A-2、B、Cの4段階に分類し、そのなかでもっとも重要度の高いA-1にランクされた設備機器等に対しては昭和57年度から5ヶ年計画で耐震補強工事を実施した。
- 耐震補強工事 具体的な耐震補強工事としては、例えば受変電設備・防災関係設備・飲料水補給設備などが震度6の地震の揺れに耐えるよう、各々の機器ごとにアングル、アンカーボルト、筋交いなどを用いて補強した。エレベーターについては、とくに念を入れて検討し、昇降路内のカウンターウエイトのガイドレールおよびシューの補強、機械室内の機器・監視盤の補強も行なった。また地震波のうちS波よりも早く到達するP波を検知し大きな揺れが来る前にエレベーターを停止させ、なかにいる人を安全に避難させるためのP波管制装置を全号機に設置した。以上のほか、A-2にランクさらた設備機器及び建物部位について各々点検の結果、昭和20年代から30年代前半に竣工した建物のスチール製サッシュ、嵌め殺しの窓硝子は硬質パテで硝子が固定されクリアランスが全くないため、地震の揺れに追従できずに破損落下することが判明したので、該当する窓にはすべて飛散防止用フィルムを張り付けて対処した。

以上の耐震工事は丸の内の建物だけでなく、各都市の既存建物についても同様の措置を行なったが、その後新築される建物についても手法は異なるが同様の基準で何らかの措置を講ずることにしている。

(2)非常組織の編成 非常組織の編成は、災害発生により当社施設、従業員および入居者に多大な被害が生じて、全社一丸となって応急復旧措置を講じなければならない事態が生じた場合に、社長の発令により編成される(震度6以上の地震の場合は自動発令)。

発令とともに、男子社員は全員直ちに平常業務を中断して災害対策総本部長(社長)の指揮下に入ることとしている(A-体制)。もとより平常業務を中断して全社一丸となって当たらなければならないほどの災害は、火災・爆発などの限られた範囲で引き起こされる災害ではなく、広い範囲に激しい被害をもたらす様な災害に限られ、結局、関東大震災級の地震(震度6以上)につきるのではないかと思われる。しかし現実には、先の三菱重工爆破事件、あるいは仙台市での宮城県沖地震など、

建物部位、主要機器の重要度分類と地震対策の進め方

	対 策 の 進 め 方	部 位、又は主要機器 (代表的なもの)
A-1	総べての部位及び機器に耐震補強工事を実施するもの	<ul style="list-style-type: none"> ●防災関係設備、情報関係設備 ●エレベーター設備 ●受変電設備、非常電動力設備 ●非常用予備発電設備及び蓄電池設備 ●飲料水補給設備 ●建物の部位 (出入口、煙道、ゴンドラ、屋外看板、屋上設備機器)
A-2	整備点検を実施し必要に応じて耐震補強工事を実施するもの	<ul style="list-style-type: none"> ●主要幹線設備 ●冷暖房熱源機器及び空調機 ●建物の部位 (外装、窓、階設、廊下)
B	点検のみ実施するもの	<ul style="list-style-type: none"> ●衛生設備 ●配管設備 ●建物の部位 (柱、梁、床等)
C	地震対策の対象としない	一般照明、一般弱電設備、分枝配線、テナント負荷設備

平常業務を中断するほどのこともないが、全社的に取組まなければならない災害もあり、この場合はほぼ3分の2の社員で非常組織（B体制）を編成し、残された3分の1の社員が平常業務に当たることになっている。また休日、夜間などに災害が発生した場合の初動体制（応急体制）としてほぼ4分の1弱の非常駆けつけ要員を予め選任している。組織の構成は災害対策総本部のもとに5地区本部と16の各本部とで構成され毎年1回組織の見直しを行ない、その際に各災害要員の配属先を表わした組織図に加えて、担当組織の任務を具体的に表示した分担表を1人1人に配布するとともに、9月1日の「防災の日」には任務熟知訓練などを実施して、各々の任務を再確認しているのである。

(3)応急救護体制 災害時の応急救護活動は、こと人命に係るものだけに災害対策上最も重要な地位を占めるものであり、当社一社だけの問題としてではなく、丸の内地域に存するあらゆる種類の組織を活用、統合しなければならない。ことに医療機関の組織的な協力があって初めて成果を発揮するものであることは言うまでもないことであるが、幸い丸の内地区では、千代田区医師会が応急救護について極めて積極的である上、この地区には、企業内診療所・開業医などが多数内在し、医療機関86ヶ所、医師約290名、看護婦約310名がおり、将来これらの医療機関と当社関係の三菱診療所および当社応急救護要員、さらには、各ビル共同防火管理協議会の救護要員が有機的に結びついた、丸の内全体としての応急救護体制を確立しなければならないと考えている。

去る昭和49年8月30日に起こった三菱重工爆破事件では、8名の犠牲者と385名の負傷者が発生したが、事件発生とともに附近の10診療所の医師、看護婦がかけつけ応急救護に当たった。そのとき、実際に多数の負傷者を扱った医師の体験談から、われわれは地域ぐるみの応急救護体制の確立の必要性とともに、災害現場での具体的な応急救護のあり方についても学ぶことができた。例えば、負傷者の重・軽傷の識別・区分が最も重要なことであり、重傷者から順に応急処置を行ない、負傷状況に応じて病院への搬送すること、つぎに応急治療には、通常の治療に比べてガーゼ・脱脂綿・包帯・治療薬剤など、多量に要するので平生からのストックが肝要であること。あるいは医師・看護婦などは治療で手いっぱいであり、負傷者の記録、病院への連絡などが“おぎなり”になりがちになるので、チームの中には、これを手助けする人が必要であるなど貴重な意見が出され、われわれは丸の内の応急救護体制を考える場合に、これらの貴重な体験を充分生かしていかなければならないと考えている。

(4)非常食・非常用資器材の備蓄 われわれは、災害時

の応急救護活動に必要な非常食糧・非常用資器材を関東大震災の体験や、最近の災害事例などを基にして備蓄している。備蓄必要量は最低3日以上を目標に定めているが、この備蓄物資で大略3日間ぐらい辛抱することができれば、必要最低限の生活機能が回復するのではないかと考えている。宮城県沖地震、日本海中部沖地震などの際に、電気・水道・ガス・電話などの都市機能が意外な脆さを露呈し、長期間市民生活に支障を来たしたが、この丸の内でも同じような状況になるのであろうことは想像に難くない。このような状況下では、長期間持ち耐えるだけの備蓄量を確保することも一策とは思われるが、一方では何時起こるともしれない災害に対して、そう多くのストックを保有することには私企業として限界があるとの考え方もあり、当社としては各機関の災害当座の応急措置活動が軌道にのり、秩序の維持がある程度可能となるまでの間、つまり応急食糧、水などの最低限の生活物資がいきわたり、人心が落ち着くまでの間に必要な物資を備蓄すればよいのではないかと考えており、丸の内では、各企業ごとに組織化された集団であるだけに、比較的短期間の内に（おおむね3日間ぐらいのうちに）、この状態にまで復帰できるのではないかと考えている。われわれが準備している備蓄品・資器材を列記してみると、

- 飲料水は各ビルの水槽に常時約9000トン（1日3ℓ/1人とすれば30万人に対し10日分）があるほかに、井戸から汲み上げた水を濾過する急速濾過装置を備えている。また各テナントの末端に至るまでの配給用容器としてポリタンク（20リットル）とポリ袋を常備している。

- 非常食としては、当社災害対策要員のために乾パン・缶詰・米など15万7000食を用意している。

- 資器材関係としては、

[救急医療関係] 三角布、包帯、消毒剤、テント、その他医療品

[救急機器] 担架、空気呼吸器、破壊器具、エアースティック

[情報関係機器] MCA無線および簡易無線設備（基地局1、移動局8）を各々各本部、診療所に配備している。

[その他の器材] 各ビルの自家発電装置はもとよりクレーン付工作車・電源車・トラック・ワゴン車・ジープ、あるいはオートバイ・自転車などの車輛のほか、全社員宛のヘルメット・手袋などを常備している。また、このほかに非常用トイレも準備済である。

以上概略列記したが、これらを購入する際には、混雑している状況の中で使用するだけに、できるだけ使用方法が簡易で、仕組みが原始的なものを選ぶようにしてい

る。また非常食糧なども、原則として水や火を使用しないものを選んでる。

(5)情報の収集・伝達と安否情報 災害応急活動を円滑に取り進めるためには、入居者・当社社員・施設などが被った被害状況や、通信・交通などのインフラ機関の機能状況、応急復旧活動の進捗状況など、各方面の情報を的確に収集・伝達することが極めて重要である。とくに、巨大地震が就業時間中に発生した場合には、在館者とともに多数の訪問者を抱え、その数も神奈川県横須賀市や埼玉県浦和市並みの人口になるので、この人達が災害下において情報飢餓状態に陥らないように必要な情報を普段に比べて、できるだけ多めに提供しよう心がけたいと考えている。在館者に対する伝達手段は、専ら館内放送を活用することになるので、ハード的には地震の揺れや火災に耐えられるように考慮していることは当然のことであるが、さらに、これを担当する人には、いつでも、誰でも沉着冷静に放送できるように日頃から訓練に力を入れているほか、災害時の放送内容を想定した文例集を予め作成し、これを応用活用しながら訓練を積み重ねているのである。

情報の伝達手段としては、本部と各拠点との間にNTT専用回線で結ぶほか、平常時に使用している簡易無線局、MCA無線局などを活用しネットワークを構築することになっている。また万一、このようなシステムが機能できない場合も想定して、極めて原始的な手法であるが、バイクと伝令、携帯用有線電話などの組み合わせを考えている。このほかに、消防・警察・区役所など行政側、および、NTT・東電・東京ガス・水道局などの社会インフラ機関に観測員を派遣し、情報入手することも進めている。

つぎに、大災害時に当社社員やテナント従業員の安否を、その家族にどのように知らせるかということについて、ニッポン放送が中心となって構築したユニークな試

みをご紹介します。

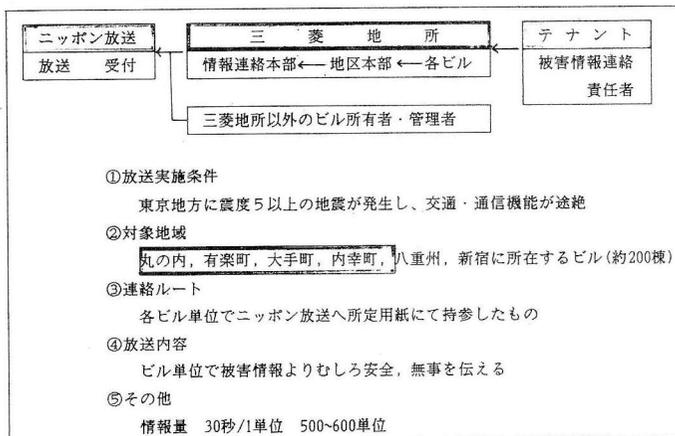
先の宮城沖地震の際にラジオ放送が安否情報や生活情報をきめ細かに放送し、社会の秩序維持と人心の安定に大きく寄与したことはご記憶にあることと思う。この丸の内の隣組の一員であるニッポン放送が、こうした仕組みを、この東京でも生かすことができればとお考えになり、災害時に如何にして安否情報を流すことができるかという問題を当社と共同して検討を進めた。個々の情報を取り上げても情報量が多すぎて放送することはできないが、ビル単位の情報にまとまれば送り出すことが可能であるという結論に達した。そこで、ニッポン放送が中心となって当社をはじめ、丸の内・有楽町・大手町・内幸町・八重洲・日本橋・新宿に所在するビル管理者に呼びかけ現在200棟以上がこのシステムに参加している。

当社でも首都圏の建物、四十数棟が加入しているが、このシステムのため、テナント3200社に各々被害状況連絡責任者(複数)を予め選任して頂き、万一大災害が発生した際に、この人が中心となって社員の安否を確認して頂くとともに、各ビルの防災センターがこの情報をビル単位で取りまとめ、かつ、それを本社情報連絡本部で一括原稿にしてニッポン放送の窓口までお届けするという仕組みを作り上げている。これに対して、家族には図のようなステッカーを予め作成配布し、平生から家庭の中で目につくような——例えば、冷蔵庫・ラジオなどに張って頂き、万一巨大地震が発生した際には、このステッカーを見て、どの地区のどのビルに勤務しているかを確認し、ラジオをニッポン放送に合わせるという仕組みになっている。放送の内容は多分このようなものになるものと思われる。「〇〇地区の〇〇ビルでは〇〇会社の〇〇さんが足に怪我したほか、全員無事で、元気に復旧活動に当たっております」。

ニッポン放送としては一般災害情報も流さないといけ

ないので、発生時からおおむね5時間後に、1情報30秒単位で送り出すのである。現実の問題として、学校安否情報も含め300~400単位の情報を一度に放送することは、混乱する中で行なわれることでもあり、このシナリオどおり動けるか心配があると、放送関係者も言われている。しかし、こうしたシステムが現実にあるということだけでも、ここで働く人々にも家族にも平生から安心感を与えることができるし、また仮に、シナリオどおりでなくとも全体の2分の1あるいは3分の1でも放送することができれば、それで善しとならなければならないと思う。この仕組みが未だ現実に試されたことはないが、有事に

お勤め先・安否情報のしくみ



地震!!の時は

●あなたのご家族の安否をニッポン放送

ダイヤル1242 よりお伝えします。

ご家族のお勧め先は _____ 地区の _____ ビルです。

●この地域の _____ 広域避難場所は _____ です。

●非常持出袋の _____ 置き場所は _____

1989.9.1 三菱地所災害対策委員会

備えて、昭和55年より毎年9月1日にはニッポン放送を中心に私どもも参加させて頂き、災害模擬放送として一部の仕組みを動かして実際に電波に乗せて確認しているのである。

(6)テナントの協力体制 災害から丸の内を守ることができるか否か、最終的には入居者の協力が得られるか否かにかかっていると一言で言い過ぎではない。このことは、当社の首都圏の災害要員(1200名)に対するテナント数3200社、入居者数約12万名が明確に裏づけており、このため当社では平生からテナント各社が防災についての意識を高め、有事の際に自分達の生命は自分達で守っていくのだという気構えを持って頂くよう、機会あるごとに呼びかけているのである。われわれは、また、このような呼びかける場として、かつ、防災についてテナントとともに考える場として「各ビル共同防災管理協議会」の活動も重視している。この協議会が主催する総合防災訓練には年々参加人員も増加し、現在では在館者の3分の1強の方々の協力が得られるようになり、テナント自主防災組織が少しずつ育ちつつあるのではないかと密かに安堵している。また各社の自主防災組織の育成に側面から援助する意味から、防災パンフレットを作成し、入居者1人1人に配布した。今後とも、このような手法を使ってビル・オーナーである当社が、入居者1人1人に直接語りかけていきたいと考えている。

(7)東海地震警戒宣言発令時の対応 東海地震の警戒宣言が発令された場合に当社はどのように対応していくのか、ごく基本的な事項について若干触れておきたい。

まず最初に、警戒宣言発令下では建物を閉館にすべきか否かについてである。警戒宣言発令とともに在館者の状況はどのようになるであろうか。都内のあるビルでのアンケート調査によれば、27%の在館者が残留すると結果が出ており、丸の内においてもほぼ同様の数値になるであろうことは想像に難くない。それは、一般事務所・店舗は保安要員を一部残して大半が帰宅すると思われるが、銀行・商社などはかなりの人が残留すると思わ

れるからである。このような状況下では無論のこと、たとえもっと少数の在館者になったとしても、当社はビルの平常機能を可能な限り維持することを選ぶことになるだろう。なぜならば、国の地震防災基本計画には国民生活を可能な限り平常な状態に維持していこうとする精神が随所に見受けられるだけでなく、如何なる状況下でもビルの平常機能を維持することが、われわれビル・オーナーにとっての務めであるからである。したがって、当社のビルは電気・水道は無論のこと、換気・冷房およびエレベータなども平常通り供給・運転することとしている。ただ地震動によって出火の虞れがある給湯、暖房設備などについてはやむを得ず停止することとしている。

つぎにテナントの帰宅の問題であるが、大家にとって地震発生時に入居者が少なければ少ないほどショックが軽くなるのであるから、いたずらに帰宅を阻止しようとする意図はないが、宣言発令とともに多数の人が一度に帰宅を急ぐことになれば、ビル内外を問わず、あらゆる所でパニックを引き起こし、思わぬ大被害を招く可能性もあるのでテナント各社に対しては、まず警戒宣言の内容が、2~3日以内の場合は、発令後2~3時間、ようすを見た上で漸次時差退社して頂き、また宣言の内容が数時間以内の場合には、できるだけビル内に踏み止まるようお願いしようかと考えている。東京消防庁の試算によれば、東京駅に帰宅する人が一度に集中すると、完全に捌ききれぬまでには、およそ7時間を要することになるという。このことから考えれば、ビルに入居している人は、一般旅行者・通行人に比べて統制のとれた組織の中にいるわけであるから、少なくともそれらの人々の後に帰宅しなければならぬであろう。これは、警戒宣言発令後のパニックをできるだけ回避したいという社会的な要求に対する、企業に勤めるわれわれの当然の義務でもあるが、むしろわれわれにとっても、そのようにしたほうがむだな怪我を負わなくて済み、より安全と思われるからである。

以上のほか、警戒宣言下における構すべき応急措置の中には、在館者に必要な情報、とくに判定会召集、あるいは警戒宣言の発令に関する情報を、どのように流していくか、また出火防止対策・転倒落下防止策は、どのようにするのかなど、まだ触れなければならないことが多いが、紙面の関係もあるので割愛させて頂きたい。

今後の課題

これまで概略ご紹介してきた当社の地震防災体制には、未だ不備な点が多々あり、逐一改善していかなければならないと考えるが、当社1社のみで容易に解決できるものはまだしも、問題が大きすぎて、行政側や指定公共機

関の指導無くしては解決できない難問も多い。こうした難問のなかで、とくに当社の地震防災体制を考える上で見過すことのできない課題について列挙し、関係機関のご助力を期待するとともに、自分達の課題でもあると認識し微力ながら問題意識をもちつつ、機会があれば「解決の場」に参加することができればと考えている。

●**地域防災ネットワーク造り** 地域に立地する企業は、地域社会を構成する一市民の中で極めて大きな比重を占める市民であり、ここにはヒト・モノ・情報が集中しており、こうした企業のもつ資源を積極的に地域防災に生かしていくことが必要と思われる。そのためには、企業自身が災害の発生源とならないよう災害に強い施設・体制造りを行なうことは勿論、万一災害が起きた場合、進んで被害を受けた人々に手を差し伸べる必要がある。こうした企業群と行政側と地域市民との防災ネットワークを構築することができれば、災害時に大きな力となるものと思われる。この構築には行政の強い指導が望まれるところである。

●**外国人対策** わが国の国際化や多様化の流れの中で、当社ビル群の外国人入居者・訪問者の数も増加傾向にある。外国人入居者は災害時には言葉の問題や、地震の揺れに慣れていないことなどから往々にして災害弱者となる虞れがあり、当社でも英文による防災パンフレットの配布や、英文による館内放送送り出し装置の導入、あるいは防災標識の絵表示など、できることから手探りで対応しているが、その効果のほどは、多分に不安が残っている。空港・ホテルなど主要施設との連系が望まれるところである。

●**建物とライフライン** 建物自身の防災性能や、防災体制を如何に強化しても、これを支えるライフラインが充分でなければ如何ともし難い。横浜 MM-21 地区や、東京レポートタウンなど、これから開発される地域は地震による液状化の問題など、充分考慮されているようであるが、既存市街地では液状化問題がクローズアップされる以前に開発されたものであるから、恐らく十分な配慮がなされていないのではないかと心配される。国が中心となって既存市街地の重要度、危険度などを考慮の上、優先順位を付して抜本的な見直しが必要である。

●**都市の 24 時間化** 国際化や高度情報化に伴い、丸の内ビジネス・センターにおける深夜勤務者の数は増加傾向にあるが、企業のディーリングルーム、情報通信ルームなどごく限られた範囲であり（在館者の 1%未満）、今のところ、そう大きな防災上の負荷にはならないものと考えているが、これ以上のレベルに達すれば深夜体制の見直しも必要となり、この推移を注意深く見守っているところである。

首都圏レベルで考えれば、ホテル・飲食店・ソフトウェアハウス・工場など、24 時間営業する施設は確実に増えており、こうした施設や、施設が集中する特定地域には、行政側や事業主による 24 時間対応型の防災体制造りが望まれる。

●**広域避難先への対応** 丸の内ビジネスセンターは、その周辺を皇居前広場を始め幾つかの大規模な広域避難先に囲まれており、避難民は最大規模で 100 万人と推定されている。行政側の対応にもよるが、多数の避難民が当社の施設に対して水、食糧の提供や、トイレの使用などを求めてこられることは想像に難くない。もとよりこうした求めに対して積極的に手を差し伸べなければならぬと考えているが、一方では、建物内にはテナントや訪問者など何十万人規模で抱えることとなり、これさえ満足な対応がおぼつかない状況にあるのに、民間企業では如何ともしがたいということが現実の姿である。広域避難先への行政側の適切な対応を強く望みたい。

当社は今後とも試行錯誤を繰り返しながら災害対策を進めていくことになるが、この場合、災害対策にはこれで万全であると言い切れるような終着点がないので、企業としてどこまでやれば良いのかという見極めが大切であり、また社会の変化につれ災害の及ぼす影響、対応措置も大きく変わることとなるので、防災体制そのものの見直しを絶えず図ることが必要である。今後とも、この 2 点を常に念頭に入れながら取り進めていかなければならないと考えている。

〔くまがい たけお 三菱地所(株)ビル管理部 上席参事〕

『地震ジャーナル』 発行とご講読について

本誌は、当面年 2 回〔6 月・12 月〕の発行を予定し、第 1 号を昭和 61 年 6 月 20 日に創刊し、今回、第 11 号をお届けいたしております。

とりあえず、本誌は当財団に関わりのある方々や機関に無料配布いたしておりますが、ご講読を希望される一般の方々のために、下記のような実費頒布をいたします。お問い合わせください。

記

○講読料実費〔送料を含む〕 1500 円

○申込先

〒101 東京都千代田区神田美土代町 3
（助）地震予知総合研究振興会

☎03-3295-1966 フェクシミリ 03-3295-1996
〔郵便振替口座〕 東京 1-109120

●地震ジャーナル・編集部●

■ 地震予知連絡会情報 ■ 大竹政和 ■

第94回(1991年2月18日)および第96回(同年5月20日)地震予知連絡会では、それぞれ64件、60件の報告があり、これに基づいて情報の交換と学術的検討を行なった。また、4月1日に第95回臨時地震予知連絡会が開催され、第12期連絡会の構成を決定した。

この半年間、地震活動は全体として静穏な状況にあり、1990年10月1日の宮古島近海の地震(M 6.1)以来、M 6以上の浅い地震は全く起こっていない。しかし、M 5級以下の地震では、雲仙岳の火山活動に伴う地震群、西表島(イリオモテジマ)の群発地震をはじめ、いくつかの注目すべき地震活動が発生している。1990年11月23日鳥取県西部の地震(M 5.2)、同年12月7日新潟県中部の地震(M 5.4)、1991年4月25日静岡県中部の地震(M 4.9)などについても詳細な報告があった。地殻変動に関しては、現在、日本列島精密測地網一次基準点の第3回測量が進行中であるが、終了した地域から、順次、水平歪の解析結果が報告されている(第94回、96回:国土地理院資料)。

東海地方の地震・地殻活動

東海地震の想定震源域内の地震活動は、昨年後半から、比較的静穏な状態がつついていたが、本年4月25日、想定震源域の北部にあたる静岡県中部に、M 4.9、深さ28 kmの地震が発生した。震源の深さと発震機構から、フィリピン海プレート内部の地震と推定される。震源は1935年(M 6.4)および1965年(M 6.1)の静岡地震の北西側に隣接している。この付近の地震活動は、図1に示すように1985年以後、顕著に低下し、1989年中ごろから復活の傾向にあった(第96回:防災科研資料)。静岡県中部の地震と相前後して神津島西方で群発的な活動(最大地震:4月23日、M 4.0)が発生するなど、駿河湾内とは対照的に、これをとりまく地域の地震活動がやや活発であった。

地殻変動に関しては、この期間、特別な異常変化はなかった。最近数年間の地殻変動については、掛川一浜岡間の水準測量結果(第94回、96回:国土地理院資料)から、1986年頃を境に、御前崎側の沈降速度がやや加速したように見えるとの指摘があった。ほぼ同時期に、富士川の傾斜変動(第94回:東大地震研資料)などに

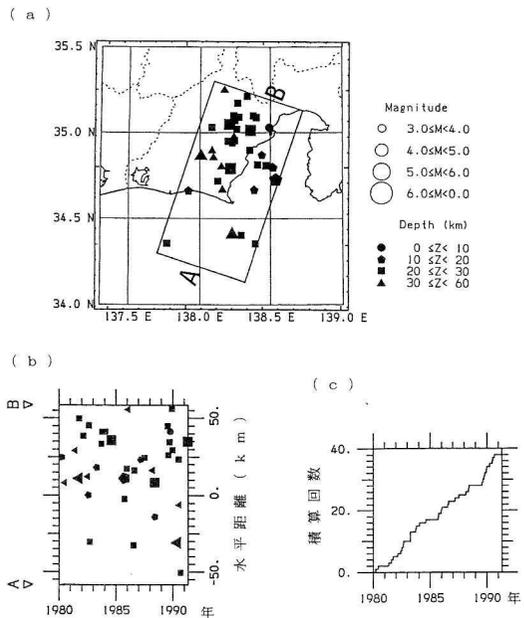


図1 東海地震想定震源域におけるM 3以上、深さ60 km 以内の地震の発生状況(1980年1月~1991年4月)
(a)震央分布(想定震源域を長方形で示す)、(b)A-B方向でみた地震の発生時系列、(c)地震の積算回数。
[第96回:防災科研資料]

も変化が現れていることが注目される。駿河湾を囲む地域では、引き続き東西方向の短縮が進行している。1977~1990年の最近13年間の平均辺長変化率は、北部の村松村一連磨山間で-0.5 cm/年、南部の坂部村一岩科村間で-1.6 cm/年と、駿河湾南部ほど大きくなっていることが明らかになった(第94回:国土地理院資料)。

伊豆半島周辺の地震・地殻活動

伊豆半島東岸付近の地震活動は、依然として静穏な状態がつついている。1989年7月の手石海丘噴火前後の活動以来、小規模な地震は散発しているが、顕著な群発活動は2年近くまったく発生していない(第96回:気

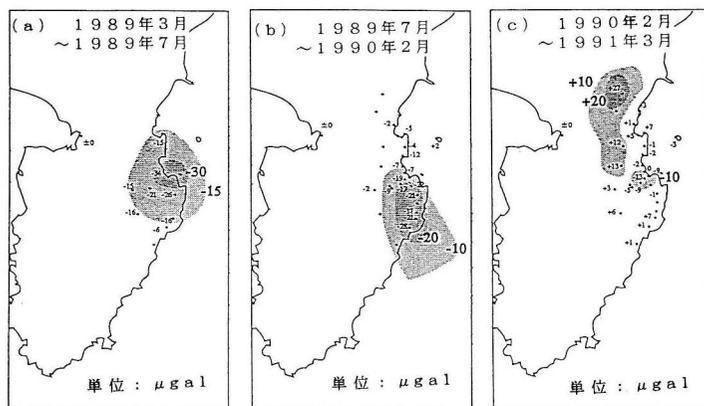


図2 伊豆半島北東部の重力変化(沼津を不動と仮定, 1989年7月の測定値は手石海丘噴火後のもの)
[第96回: 東大地震研資料]

象庁資料)。このような長期間にわたる地震活動の休止は、1978年の群発活動開始以来、かつてないことである。

地殻変動に関しては、昨年10～11月の水準測量で、伊東市付近に数mmの隆起が認められた(第94回: 国土地理院資料)。川奈付近を中心とする伊豆半島東部の隆起は、手石海丘の噴火に先立つ1987年頃から加速を始め、当時、3cm/年程度だった隆起速度が1990年には6cm/年に達している(第94回: 東大地震研資料)。一方、潮位差のデータからは、本年1月以後、隆起速度の鈍化傾向が認められる(第96回: 国土地理院資料)。地磁気、重力の定点観測結果にも、1990～91年頃から顕著な変化が現れている。とくに重力変化は、図2の(b)と(c)の対比から明らかなように、伊豆半島北東部の減少から北部の増加へと、大きくパターンを変えている。自動光波観測の結果によれば、伊東一初島間の距離が昨年11月に、いったん伸びに転じ本年1月以後、ほとんど変化なく推移している(第96回: 東大地震研資料)。伊豆半島の地震・地殻活動は、大きな転換期を迎えているのかも知れない。

なお、伊豆半島東岸地域では、地震群発域の下面に沿う、溶融体とみられる地震波反射面の存在が見出された(第96回: 東大地震研資料)。

関東地方の地震・地殻活動

昨年12月末から本年1月にかけて房総半島東岸付近で地震活動に活発化し、12月30日にM4.8、12月31日にM5.2の地震が発生した。震源域はおおよそ30km×30kmの比較的広い範囲にわたったが、この地域では、1987年12月にM6.7の地震が発生している(第

64回: 防災科研資料)。東京都東部の深さ約30kmに、昨年8月24日のM3.7について、本年3月1日にもM3.8の地震が発生した。ここにもM4に近い地震が続発したのは、防災科学技術研究所の観測開始以来初めてのことであり、地震活動の今後の推移に注意する必要がある(第96回: 防災科研資料)。

地殻変動に関しては、千葉県付近で、1年おきに隆起・沈降を繰り返していることが明らかになったが、その原因は不明である(第94回: 国土地理院資料)。海上保安庁水路部からは、シーブームによる相模トラフ北端部の詳細な海底地形図が報告された。

北海道・東北地方の地震・地殻活動

北海道の地震活動は、この半年間きわめて静穏で、名寄西方の小規模な群発地震活動が目立つ程度である。とくに、色丹島東方海域では、本年4月以来、震源が決められる大きさの地震は全く起こっていない(第96回: 北大理資料)。北海道大学からは、近い将来、ここにM6級の地震が発生する可能性があるとの見解が示された。地殻変動に関しては、北海道南部の広尾町周辺に、最大4cm程度の広域の隆起が見出された(第94回: 国土地理院資料)。

東北地方の地震活動は、1988年後半以後、著しく低下していたが、最近になってやや活発化の傾向にある。三陸沖(1990年12月24日、M5.2; 1991年3月2日、M5.1)のほか、内陸部でも、山形県中部(1990年12月11日、M4.3)、宮城・岩手県境付近(1991年3月17日、M4.4)、宮城・山形・岩手・秋田県境付近(同年4月7日、M4.1)などにM4級の地震が発生している。宮城・岩手県境付近の地震は、1900年(M7.0)および1962年(M6.5)の宮城県北部地震の震源に隣接している(第94回、96回: 北大理資料)。

中部・近畿・中国・四国地方の地震活動

昨年12月7日18時38分、新潟県南部(柏崎南方約15km)にM5.4、2分後にM5.3の地震が発生し、家屋・道路などに小被害があった。前震は観測されなかったが、約1年間の地震活動静穏化が先行したように見える(第94回: 東大地震研資料)。この付近では、本年3月にもM4前後の地震が3個続発し、地震活動のた

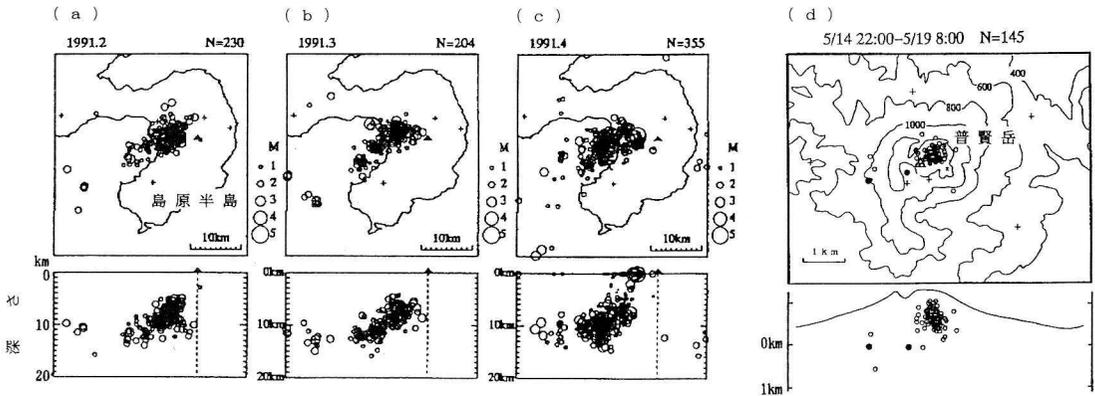


図3 雲仙火山地域の震源分布
 (a)1991年2月, (b)同3月, (c)同4月, (d)普賢岳直下の5月の活動(5月14日22時~19日08時)
 [第96回:九大理資料]

かまりがみられる。昨年1月以後、飛驒山脈の地震活動が活発化し、今年に入ってから、乗鞍岳付近(最大地震:1月23日, M 4.1), 烏帽子岳付近(最大地震:3月19日, M 4.0)などに目立った活動が発生している(第96回:京大防災研資料)。また、本年4月から5月にかけて、御岳山を発生源とする微動が観測されたことが、京都大学防災研究所および名古屋大学から報告された。

昨年11月23日、鳥取県西部に M 5.2 の地震が発生した。これと相前後して、11月21日および12月1日にも、いずれも M 5.1 の地震が起こっている。発震機構は、東一西最大主圧力の横ずれ断層型であった。この付近では1989年10月~11月にも M 5.3, M 5.4 を含む顕著な地震活動があった。前回と今回の震源域を合わせると、北西一南東方向、長さ数 km の震源の並びが浮かび上がる(第94回:気象庁資料)。このほか本年1月4日には、伊予灘南部に M 5.2 の地震が発生した。

九州・沖縄地方の地震・地殻活動

島原半島付近では、本年2月12日の雲仙岳再噴火後も活発な群発地震活動がつづいている。大部分の地震は、橘湾(千々石湾)下の深さ十数 km から雲仙岳西麓の深さ数 km にかけて東上がりに配列しているが、山頂直下にも小規模な地震が発生している。とくに5月12日からは、山頂直下のごく浅い地震の活動が顕著である。図3に、雲仙火山地域の震源分布の推移を示す。発震機構は、正断層型または横ずれ成分を含む正断層型が卓越しているが、そのほかのタイプのものも見られる(第94回, 96回:九大理資料)。現在までの最大地震は、1990年11月20日の M 4.0 である。本年3月からは、島原市沖の有明海でも地震が起こり始め、4月6日には M 4.2 の地震が発生した。

島原半島を東西に横切る島原地溝は、明治以来、平均2~3 mm/年の速度で経年的に沈降しているが、昨年11月、本年3月の水準測量で、最近も同程度の沈降が進行していることが確認された。この地溝の北縁を画す千々石断層に、きわめて大きな変動が認められるが、詳細はなお調査中である。水平変位は、普賢岳より東側で伸び、西側で縮みとなっている(第94回, 96回:国土

ご案内

本誌の既刊分(1986年6月創刊)は、まだ少数ながら在庫がありますので、ご希望の方はお申込み下さい。10号の主な内容及び申込先は下記の通りです。

地震ジャーナル 10号

特集: 迫りくる東京圏直下地震

巻頭言 10周年記念号の発刊に際して
 カラー口絵 版画と文 地震と瓢箪と鯨
 江戸-東京の直下地震
 首都直下のプレート構造
 どうやって予知する?
 直下地震の危険度は?
 川崎市と直下型地震
 直下型地震に備える
 液状化対策は?
 ライフラインの安全性
 そのとき社会は?
 金融・経済へのインパクト
 損害保険はどうなる?
 災害は進化する

萩原尊禮
 井野盛夫
 萩原尊禮
 石田瑞穂
 萩原幸男
 力武常次
 杉山孝志
 荒 孝一
 浜田政則
 片山恒雄
 廣井 脩
 織田 薫
 長島秀隆
 柳川喜郎

◇ご講読料 [郵送料を含む] 1500円
 ◇お申込先 東京都千代田区神田美土代町3
 (財)地震予知総合研究振興会
 [本誌綴込の振替用紙をご利用下さい]

地震ジャーナル・編集部

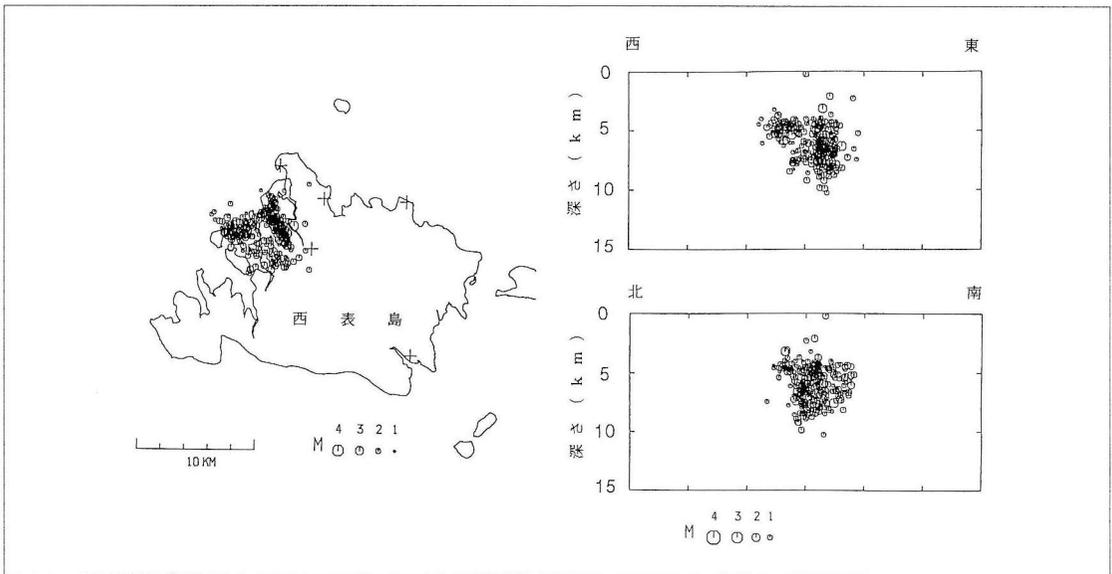


図4 臨時観測(+印の6点)による西表島群発地震の震源分布(1991年3月7日~3月31日)

[第96回:京大防災研資料]

地理院資料)。この辺長変化は、普賢岳の東方約600mの地下600mに膨張源を想定すれば説明できる、との解釈が国土地理院から示された。

熊本市北西の金峰山付近では、昨年11月から群発地震が始まり、12月13日にはM4.2の地震があった。1889年の熊本地震(M6.3)との関係が注目されるが、今回の活動は、震源域の位置、発震機構からみて、熊本地震の震源断層上で発生したものではないと推定されている(第94回:九大理資料)。

八重山列島の西表島付近で、本年1月23日から群発地震が始まり、気象庁、京都大学防災研究所などによって、臨時観測が行なわれた。地震活動は2月中旬から激しくなり、2月13日には西表島測候所で有感地震48回を数えた。4月中旬以後、地震数は急速に減少している。これまでの最大地震は、3月31日のM4.3である(第96回:気象庁資料)。図4に示すように、震源は西表島北西岸付近の深さ3~10km、直径約7kmの領域に集中しているが、この中で震源の西から東への移動がみられた(第96回:京大防災研資料)。

GPS観測

最近の地震予知連絡会では、GPS(汎地球測位システム)による地殻変動の測定について、各機関からの報告が相次いでいる。報告の内容も、観測の精度や信頼性に関する基礎的なものから、実際の地殻変動の検出へと重点が移りつつある。

第94回連絡会では、防災科学技術研究所から、関

東・東海地域10か所のGPS固定点の連続観測結果について報告された。MITが開発した解析ソフトウェアを用い、衛星軌道の補正値も同時に求める方法で解析した結果、長さ100~150kmの基線に対して、水平方向±数mm、上下方向±1cm程度の高精度で変位が求められた。最近1年半弱の観測データから、伊豆半島が約3cm/年で駿河トラフに対して西進していること、駿河湾西岸域では東西縮み、南北伸びの変形が進行していることが明らかにされた(第94回:防災科研資料)。また、昨年10~11月に行なわれたGPS全国共同観測「GPS JAPAN '90」について、観測の概要が報告された(第94回:東大地震研資料)。これは、国内の21大学、10国立機関、国外4か国のチームが参加して、合計約100地点で行なわれた大がかりな共同観測で、観測結果の解析は目下進行中である。

これらの報告は、GPS観測が急速に発展し、地震予知の重要な情報をもたらしつつあることを示している。

第12期地震予知連絡会の体制

1991年4月1日に第95回臨時地震予知連絡会が開催され、第12期委員31名(臨時委員1名を含む)による新体制が発足した。会長に茂木清夫委員が選出され、副会長に宇津徳治委員(特定部会長兼務)および高木章雄委員(強化地域部会長兼務)が指名された。また、萩原尊禮初代会長を引き続き名誉会長に、浅田敏前会長および力武常次前副会長を名誉委員に、それぞれ推戴した。

[おおたけ まさかず 東北大学理学部教授]

■ 書 評 ■

●第2次ニューマドリッド地震 アメリカ中西部で生きのびるためのガイド・ブック

W. Atkinson 著

THE NEXT NEW MADRID EARTHQUAKE

—A Survival Guide For the Midwest

力武常次

本誌9および10号の囲み記事で紹介したように、1811年末および1812年初に、アメリカ中西部ミズーリ州ニューマドリッド付近を中心として、マグニチュードが8を超えたと思われる地震が3個発生した。現在でもこの地域の地震活動はかなり活発であり、いつの日か大地震が再来するのではないかと恐れられている。1990年10月には、同年12月3日に第2次ニューマドリッド地震が起こるとの流言が広がり、ミズーリ州の学校が休校となるなどの騒ぎとなったことは本号に紹介されている。

本書の著者W・アトキンソンはフリーのライターであるが、第2次ニューマドリッド地震の可能性および地震対策について易しく述べている。本書はいわゆる専門書ではなく、一般の人びとにも気軽に読めると言えよう。本書は「過去」「現在」および「未来」の3部から成っている。第1部の「過去」においては、1811～12年のニューマドリッド地震の様相について述べているが、猛烈な地震動とともに広汎な地盤液状化現象が発生したらしい。ミシシッピー川が逆流したことも報告されている。その後、この地区では1843年1月4日(M=6.0)、1895年10月31日(M=6.2)、1968年11月9日(M=5.5)などの地震を含む地震活動が継続している。

第2部「現在」では、まず地震現象についての易しい解説がある。重大な損失を伴った世界の大地震の表も載せられているが、1857年に日本で10万7000人の死者が出た地震があったことになっていて、かなり不正確な点があるのはいささか気がかりである。プレート・テクトニクスによるニューマドリッド地震帯の説明もあるが、非常に説得力があるとは言えない。つぎに地震予知の説明があり、動物異常行動による予知などにもふれている。しかし、アメリカ中西部における地震予知観測は全く不

十分であることが指摘されている。つぎに連邦、州などの地震対策が紹介されているがカリフォルニアにおける対策などに比べて全く弱体である。これは住民個人の地震意識の低さを反映していると考えられる。

第3部の「未来」においては、今後20年をめやすとして、建築物の耐震化、ライフライン強化、緊急医療の充実、一般人の啓蒙、企業の対策をすすめるべきだとしている。地震予知に関する観測も強化しなければならないが、その一つとして動物異常行動のモニタリングをあげている。また、この地域の地震活動と月齢、太陽黒点、慧星などとの相関関係を調べるべきだとしているが、評者としては地球科学的観測を優先するべきであるという立場から、いささか著者の意見には懐疑的である。最後に、大地震が実際に起こったときの対策にふれているが、とくに新味はない。

アメリカの地震といえば、まずカリフォルニア州しか考えないのが普通であるが、実は東部や中西部にも地震の危険が存在する。この本は、とくに中西部における地震危険度を強調したもので、たまたま目下静穏である日本の関西地区などについても本書のような警鐘をならすべきであろう。

〈Southern Illinois University Press, Post Office Box 3697, Carbondale, IL 62902-3697, 1989, pp. 210〉

●インドの地震予知

S.K.Guha and A.M.Patwardhan 編

EARTHQUAKE PREDICTION — Present Status

力武常次

本書を入手したとき、鎌首をもたげているコブラの有名なカラー写真が表紙を飾っているのに一驚を喫した。インドでは、地震は毒蛇と同じく危険だとされているのだろうか。日本なら、さしずめナマズの絵を載せるところであろう。

この本は1986年7月10～11日、インドのプーナ大学で開催された「地震予知——その現状」と題するシンポジウムのプロシーディングスで30の論文が載っている。

その多くはインドからの報告であるが、数編のアメリカおよび日本からの寄稿（紙上参加が多いらしい）がある。筆者が入手するまでに、なぜこんな時間がかかったのか、その理由はよくわからない。

本書はアメリカ地質調査所 H. M. Iyer の基調報告を皮切りにしているが、1986年の時点でのアメリカ、日本、中国およびソ連の地震予知計画の概況にふれて、多くの地震予知要素について述べ、動物異常行動を利用する可能性にもふれている。地震予知を現実のものとするためには、現行の予算を10倍に拡大し、リアルタイムのモニタリングを実施しなければならないとしている。

各論文を詳しく解説する紙面はないが、あまり知られているとは言えないにもかかわらず、インドではかなり多くの地震前兆事例が観測されているようである。例えばダム湛水による Koyana 地震群（最大マグニチュード 6.4, 1967）に関連する地球電磁気学的前兆などは興味深い。マハラシュトラ科学振興協会の B. Deshpande は、とくに動物異常行動に注目した論文を書いているが、評者からみると実例が少なく、いささか迫力に欠けている。

アッサム・シロンなどのインド東北部は世界でも有数の大地震発生地区であり、各種の予知を指向する観測が行なわれている。それは日本やアメリカ・カリフォルニアの観測ほど強力であるとは言えないが、今後とも、その発展を期待したい。

アメリカの著名な地震学者による数編の論文があるが、とくにアメリカ地質調査所の A. G. Lindh による地震発生率の長期的確率についての論説に注目したい。彼はサンアンドレアス断層の各区分についての地震発生確率を見積っているが、サンフランシスコ南方のロマプリータ地区でマグニチュード 6.5 の地震が発生する確率は、30年間に 0.48 だとしている。1989年10月には、この地区にマグニチュード 7.1 のロマプリータ地震が実際に起こったのである。

最終論文はプーナ大学の2人の編者による総括である。各種地球科学的観測の重要性とともに動物異常行動を重視すべきことを強調している。また、インドに公式の地震危険度評価委員会が結成されたことが述べられている。

要するに本書は、あまり知られていないインドの地震予知研究を世界に広く紹介したものであり、関係者によって一読されるべき本であろう。

<Published by Mr. V. S. Pol, Registrar, Univ. of Poona, Pune, India, 1988. viii+pp. 280, US\$ 40.>

[りきたけ つねじ 東京大学名誉教授・
東京工業大学名誉教授]

●地震計記録を読む

Ota Kulhanek 著

ANATOMY OF SEISMOGRAMS

(『地震記象の分析』)

阿部勝征

本書は、多種の地震記象（地震計の記録）を例示して、事例ごとに解説を加えた地震記象解読の手引書である。類書はあるが、世界各地から記録を集めているのが特徴である。IASPEI（国際地震学地球内部物理学協会）の地震記象解析専門委員会の総括であり、日本からは山本雅博委員の貢献が大きい。著者はウプサラ大学地震観測所の所長である。

評者はかつて大学学部で地震学の講義を担当し、地震記象、とくに遠地震の記象解読を学生に行なわせたことがある。評者なりの感想であるが、この演習は興味をもってもらえたと思っている。最近では研究内容が質的に変化してきたために、かつて重視されてきたような基礎的技術的な訓練がほとんどなくても研究が進められるかのようにみえる。とくに若手の教官や大学院生に、そのような訓練を軽視したり避けたりするような傾向が強まっているようである。学問の進展経過からみれば、今は一時的にいたしかたないこともかもしれない。しかし、地震学研究における基本的な発展は地震記象の鋭い解読にひとえに依存してきたという歴史的な背景からみれば、地震学に携わる人の多くは「地震記象を読む」ことの専門家であってほしい。

閑話休題。本書は第1～6章の基礎的な解説部分と多数の地震記象を収録・解説した第7章とで構成される。序章につづき、第2章で地震活動とプレートテクトニクスとの関係を簡単に紹介し、第3章で地球の内部構造を説明する。第4章は種々の地震波・変換波の解説であり、実体波、雑微動、表面波の性質が説明される。第5章は走時の解説、第6章は地震計の説明である。解説は数式抜きできわめて平易である。最後の第7章が本書のハイライトである。ここでは55例の地震記象を掲げ、それらを詳しく記述する。実例の範囲は近地・遠地地震記象、短周期・長周期地震記象、実体波・表面波の記象、浅い地震・深い地震や核爆発実験、火山性地震などのアナログ・デジタル記録に及ぶ。

近地地震の記録はみれても、遠地地震の表面波や深発地震の多重反射波などといった記録を手軽にみる事ができないところが結構多いようである。

本書は、そのような研究者に多様な地震記象を提示してくれる。美しい記録はいつ見てもあきないし、ときには読み手の知識不足に警告を発することもある。本書は、専門家だけでなく、地震学に興味ある学生、地震記象にあまり接することのできない研究者、地震計観測に関わっている担当者など、地震計の記録に関心のある人に勧めたい本である。

〈Elsevier, 1990, B5 版, pp. 178, US\$ 87.25〉

[あべ かつゆき 東京大学地震研究所教授]

●被害地震予測への努力

萩原尊禮 編

日本列島の地震—地震工学と地震地体構造

青木治三

本書では、手法はそれぞれ異なるが「地震」を共通のテーマとする研究者達（地震学・地質学・地球電磁気学・測地学〔重力〕・地震工学）が、「地震工学と地震地体構造」といういささか解説を要する副題のもとに、そ

れぞれの立場から、日本の地震あるいは地震の起きる「場」としての日本列島を論じている。その目的は、地震工学の分野に、被害予測に役立つ新しい「地震地体構造マップ」を提供することにある。

本書の構成は、第1章「地震と地体構造」、第2章「現在の地震活動からみた地震地体構造」、第3章「重力からみた地震地体構造」、第4章「地磁気・比抵抗からみた地震地体構造」、第5章「地形・地質学からみた地震地体構造」および第6章「地震地体構造マップ作成への課題」からなる。これに「地震地体構造とは」という序章がついている。冒頭に解説を要する副題とはいったものの、「地震地体構造」の説明のために序章を設けたほどである。一口に説明できるものではない。最近、「サイスモ・テクトニクス」なる専門用語をよく耳にするが、内容は？ ときかれると、判っているようでも即答はむずかしい。私は「地震活動の場の研究」と勝手に表現しているが、これはあいまいすぎる。編者の萩原尊禮先生は、地震地体構造に共通点をもつ地域では地震の起き方に共通点がある。そのような構造を研究し地域を区分けするのが地震地体構造論（＝サイモテクトニクス）としているが、詳しく知りたい方にはご一読を薦めたい。

第1章は、プレート・テクトニクスに基づく地震の分類から始まる地体構造論の概説である。地震地体構造の概念は昔からあったが、日本のような狭いところで通用する代物ではなく、わが国では、それほど関心を持たれなかった。本書では、新しい地震観と豊富なデータに基づく地震地体構造論を目指している。地震地体構造とは何かを知るためには、この章を読めばよい。以下につづく章は、専門分野からみると地震地帯構造はどうみえるか、それぞれの分野の研究者が基礎知識の解説から最新の成果までをとりいれ解説している。本書は、わずか215ページ、数多くの分野を取り扱うには、少々小さ過ぎる。そのためか内容は、それぞれの分野を漏れなくというよりは、トピックス的に扱っているので、かえって楽しくよめる。

第2章では、日本列島の地震活動の地域性を現在の精密な観測データから論じている。第3章は、最近とみに話題となった重力異常と震源断層・活断層の関連について、第4章は、地体構造研究における地磁気分布やキュリー点など、地球電磁気学的調査の重要性について、第5章は、主として活断層からみた地震地体構造論である。そして最後の第6章が本書の目的であり、地震地体構造マップを作成するには、各分野の成果をどのように活かすかを論じ、(ひとつの試案を提案している。) 今後、さらに豊富な各種データ収集と新しい地震観にも基づく研究が進み、より信頼できる実用的な地震地体構造マップ

ご 案 内

本誌の既刊分（1986年6月創刊）は、まだ少数ながら在庫がありますので、ご希望の方はお申込み下さい。9号の主な内容及び申込先は下記の通りです。

地震ジャーナル 9号

エッセイ 地震対策は抜群の政治だ	秦野 章
鼎談 知られざるロマプリータ地震	司会・吉村秀実 阿部勝征/片山恒雄
日本文学と地震	有吉 保
仏教教典にみる地震	水野教宏
猛烈！激・烈震の様相	ニューマドリッド地震 力武常次
中近東の地震	川床睦夫
国際津波警報網の構築	北沢一宏
地震予知連絡会情報	岡田義光
聞き書 父三平の地震ぎらい	林家こぶ平
特別手記 日本人の見た唐山大震災	川上奈穂

◇ご講読料 [郵送料を含む] 1500円

◇お申込先 東京都千代田区神田美土代町3

(助)地震予知総合研究振興会

[本誌綴込の振替用紙をご利用下さい]

地震ジャーナル・編集部

の出版される日の近いことを期待する。

〈鹿島出版会, 1991年1月, B5判, 215頁, 4944円〉

[あおき はるみ 名古屋大学理学部教授]

●更新された活断層のデータベース

活断層研究会 編

[新編]日本の活断層—分布図と資料

垣見俊弘

1980年に刊行された本書の旧版は、日本全域の活断層をはじめて統一基準、等質の精度で示したという点で、画期的といえる書であった。学術的にはもとより、地震予知や重要構造物への入力地震動評価などに携わる研究者・技術者には不可欠の文献となった。一部の技術者仲間では“日活”と愛称?されるほどポピュラーとなった。本来は地味なデータ集であるのに、異例の増刷を重ね、聞くところによると6000部が売れたという。最近、数年間は絶版となっていたから、その再版が待望されていたといっても大袈裟ではなからう。

本書は「新編」と称しているように、旧版より70頁以上増え、抜本的な改訂が加えられているが、基本的には旧版をベースにして、その後の公表された研究成果を加えた増補版である。これによって情報量が著しく増加したことは勿論だが、同時に旧版とは性格が僅かながら変化したこと、評者は注目してみたい。

本書は旧版と同様、第Ⅰ部「解説」と第Ⅱ部「分布図と資料」から成る。第Ⅰ部は、活断層の定義と用語の章のほかは、各章とも最新の知見をとり入れて改訂され、活断層に関する恰好の教科書ともなっている。増補されたといっても40頁(普通の本で80頁相当)ほどであるから、後半の資料を正しく活用するためにも、この第Ⅰ部は、ぜひ通読されることをすすめたい。

本書の主体は第Ⅱ部、とくに陸上活断層の部分にある。旧版と同様、左頁の原縮尺20万分の1図幅(全123図)に活断層と歴史地震が、右頁に解説、対応する断層の資料(カタログ)、注記、文献、付図および写真が示されている。ここでは、最新データに基づいて改訂された震央が、深さ別、時代別、マグニチュード別に示されたこと、海底活断層が新たに加えられたことが目立つ。旧版と対照してみると、研究の進展状況が断層数や文献数の増加などによく現れていて興味深い。付図や写真も贅沢なほど追加されている。

ここで、新・旧版における断層数の増減傾向をみよう。

評者の試算では、カタログに登録された断層について新版で追加されたものは活断層276、地震断層14、海底活断層42に対し、削除されたものは活断層23、地震断層1に過ぎない。登録されていない確実度Ⅲの断層には、ほとんど手をつけられていないようである。これは、研究者の志向が新しい断層の発見にあることのほか、いったん可能性ありとされた活断層を取り消すには、多大の労力を要するためでもあろう。また、断層数の著しく増加した地域が一部に偏っているようであるので、評者には旧版の最大の特徴であった全国的等質性が僅かながら損なわれたのではないかと思われる。新版の編集方針から止むを得ないことであるが、利用者は、その傾向を認識しておいたほうがよいと思う。なお、旧版には確実度Ⅲより低いニアメントも一部に図示されていたが、新版で全部削除されたのは、等質性保持の点からも、誤解を避けるうえからも好ましく思われる。

海域の活断層については、新しい文献によるほか、一部は音探記録を直接見直して、100万分の1図3葉(旧版は200万分の1図1葉)に図示され、精度・信頼度も文句なく大幅に向上した。とくに、旧版で太平洋側の列島沿いに延々と連なっていた断層の多くが削除されたことは、地震評価上、大きな影響を与える改訂であるといえよう。

旧版を愛用してきた評者ゆえ、つい旧版にこだわり過ぎた書評となってしまったが、本書が活断層に関して現在望み得る最高の教科書兼情報庫であることは間違いのないところである。

〈東京大学出版会, 1991年3月, B4版, 437頁, 付図: 100万分の1日本活断層図全3葉, 300万分の1活断層・地震分布図1葉, 3万6050円〉

[かきみ としひろ 原子力工学試験センター特別顧問]

1981年濃尾地震以来100年間の
活断層研究成果を集大成

新編 日本活断層

分布図と資料 活断層研究会編

B4判上製函入 本文総アート2色刷448頁
付図全判4葉(4~5色刷) 定価 36,050円

日本全国にわたる陸上および周辺海底の活断層を、それぞれ同一基準で認定し、分布図と資料表にまとめた。地震予知研究・震害予防の基礎資料として好評を得た旧版以来、10年間に進展した調査研究の成果を取り入れ、全面的に改訂されたものを「新編」として刊行した。

東京大学出版会

〒113 東京都文京区本郷7-3-1 東大構内
☎ 03-3811-8814 振替東京 6-59967

ADEP情報

シンポジウム

マグニチュード7級 内陸地震の予知

“東海地震”発生の可能性が指摘され、マグニチュード8級の巨大地震の予知については、観測網の充実を始め、多くの研究・調査・検討が行なわれて、予知への期待も高まっている。しかしながら、それより1階級下の、マグニチュード7級の地震となると、震源域の範囲もせまく、前兆現象を捕らえることが一層むずかしくなり、今のところ、このクラスの地震を予知できる可能性は、かなり低いものと考えられている。

一方、このクラスの地震は内陸に発生することも多く、いわゆる直下型地震として、都市に甚大な地震災害を惹き起こすことが知られている。

本誌前号（10号、1990年12月）でとりあげた東京圏直下地震は、まさにその典型的なものである。

ここにもう一つ、危惧されているマグニチュード7級の内陸地震がある。それは相模湾北西部、小田原付近に、過去、繰り返して起こっていると考えられる地震である。

このように、地震の発生地域がある程度限定できることになれば、その地域にあらゆる観測を集中することが可能になり、その地域の地質学的・地球物理学的構造を明らかにすることにより、過去の地震のメカニズムの解明に進むことができよう。そうなれば、近い将来起こるかもしれない地震に、どのような前兆現象が期待されるかがわかって、予知の可能性に前進がみられるものと思われる。

このような観点から、相模湾北西部に地域を限って、「マグニチュード7級の内陸地震の予知に関する研究」が、昭和62年度から、科学技術振興調整費によって始められた。この研究は平成2年3月で第1期3年間の研究が終了し、引きつづいて現在、第2期2年間の研究に入っている。この研究は、科学技術庁のほか、通産省・運輸省・建設省などに属する各研究機関が参加しているが、当地震予知総合研究振興会も、「地震テクトニクスのモデル化及び

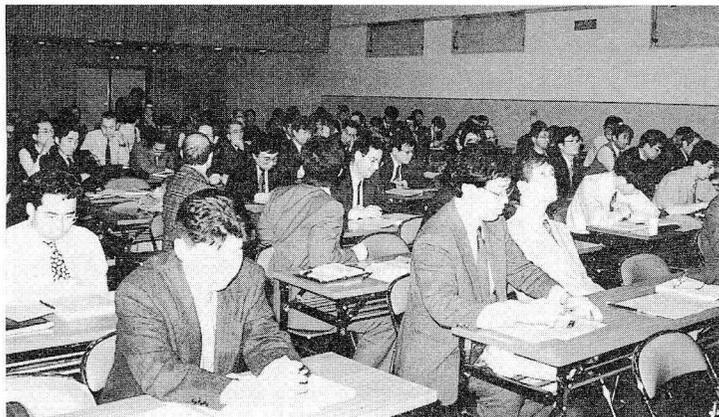
M7級内陸地震の予知手法に関する研究」と題して、調査・研究を分担させて頂いている。

このように多くの機関・研究者による、広範な分野にわたっての研究であり、それらの総合的な解釈によって、はじめて効果的な成果が期待できるものである。残された1年間の研究期間でのまとめを達成するためにも、現在までの成果について発表し、相互に意見を交換する場が求められ、今回のシンポジウムが企画された。またこのような公開の場での発表は、地方自治体、あるいは民間の防災関係の仕事にたずさわっている方々に、この種の研究の現状について、明確な認識をもって頂けるものであり、意義深いものと考えられる。

シンポジウムは、平成3年3月25日(月)、10時より17時まで、東京、千代田区の損保会館別館で行なわれ、参加者は名簿に登録された方のみで157名に達し、たいへん盛会であった。参加者は、大学・国公立研究機関の研究者のほか、地方自治体、民間公益事業会社、コンサルタントなどの方々が多く、この問題への関心が高いことが示されている。以下にプログラムと研究発表の概要を記す。

プログラム

- 挨拶 地震予知総合研究振興会
会長 萩原尊禮
- 基調講演 相模湾北西部マグニチュード7級地震の予知に関する研究の進展
防災科学技術研究所長
研究推進委員会委員長
萩原幸男
- 研究報告
 - (1) 国府津・松田断層、神縄断層付近の電磁気学的構造調査
地磁気観測所 山本哲也
 - (2) 大磯丘陵および足柄平野の屈折法地震探査



会場を埋めた熱心な参加者各位

- 地質調査所 長谷川 功
- (3) 相模湾西部の屈折法音波探査
水路部 岩 淵 洋
- (4) 等高線データ等の数値処理による変動地形の推定
国土地理院 赤 桐 毅 一
- (5) 相模湾西部の精密海底地形図の作成とその特徴
水路部 菊 池 真 一
- (6) 国府津・松田断層の活動史と大磯型地震
地質調査所 山 崎 晴 雄
- (7) 水準・辺長測量による相模トラフ北西部の最近の地殻変動
国土地理院 小 牧 和 雄
- (8) GPS 衛星の精密軌道推定システムについて
通信総合研究所 今 江 理 人
- (9) 小田原付近を中心とする短距離基線網による GPS 観測
国土地理院 五 味 武 彦
- (10) IBOS による地殻変動連続観測
防災科学技術研究所 坂田正治
- (11) 相模湾北西部における極微小地震観測
防災科学技術研究所 石田瑞穂
- (12) 山北町玄倉におけるボアホールを利用した地磁気変化観測
地磁気観測所 中 禮 正 明
- (13) 小田原市久野における2層体積歪計による地殻変動観測
気象研究所 吉 川 澄 夫
- (14) 地震テクトニクスモデル化及びM7級内陸地震の予知手法
A: 歴史地震資料からみた小田原地震とその意義
建築研究所 石 橋 克 彦
B: 相模湾北西部の地震テクトニクスモデルの地形・地質学的評価
地震研究所 松 田 時 彦
C: 相模湾北西部の地下構造と地震・地殻活動
東北大学 大 竹 政 和
D: 相模湾北西部の地震テクトニクスモデル
地震研究所 島 崎 邦 彦

●シンポジウムのまとめ
防災科学技術研究所長
研究推進委員会委員長
萩原 幸 男

概 要

基調講演によって、この研究のこれまでの成果と問題点が浮き彫りにされ、本日のシンポジウムへの期待が述べられた。ついで本研究へ参加している各研究機関の方々から、成果の発表があった。それらは、平成元年度までの成果に留まらず、平成2年度に実施したものについて触れられたものも多かった。ここでそれらについて、ご紹介する紙数もないので、今回、とくに新しく浮かび上がった問題について簡単に記すことにする。

相模湾北西部海域の屈折法音波探査、サイドスキャンソナー探査、無人潜水船調査など、最新の技術を用いた海底地形の精査の結果、真鶴海丘付近に注目すべき構造を発見している。この付近には顕著な断層構造、リニエーションが多数認められるが、その一つとして真鶴海丘南縁に沿って、東西走向の断層がある。ここで南北方向の断面を見ると、南北に圧縮された構造と、南から北に沈み込む構造が認められた。これが、もしプレートの沈み込みであるならば、フィリピン海プレートの境界は従来よりかなり南に考えなければならない。また、これは伊豆半島東岸沖に確認された断層に沿って南に連なるものとされている。

このことから国府津・松田断層は付加体中の覆瓦スラストであると解釈でき、大磯地震の大きな断層変位も説明できるということである。

また1990年8月5日に小田原付近に発生したマグニチュード5.1の地震が詳細に調査された。それによ



挨拶をする萩原尊禮会長

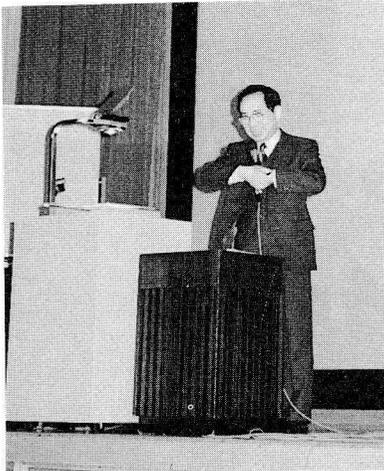
ると、応力降下量が530barに達する地震であり、現在、地震活動が希薄な領域に発生したが、その中ではやや活動度の高い地域に当たっている。カリフォルニアに起こったM7クラスの地震の例からも、M7クラス地震発生の前に、それより規模のやや小さい地震が幾つか繰り返すことが認められており、今後のこの付近の地震活動を注目する必要がある。

1989年7月、伊東沖の海底噴火以後、伊豆半島の活動は、減衰の傾向にあり、1970年代から始まった伊豆半島の活動は、1ラウンド終了するかに見える。そして、上記の小田原付近の地震は、つぎのラウンドの始まりである可能性も秘めているように思われる。

以上は定説として確立されたわけではないが、今後の多くの議論の出発点になるものであろう。

ま と め

このシンポジウムの発表では、一様な繰り返しと単純には考えられないような、複雑なデータがつきつぎ



萩原幸男委員長の基調講演

に観測されてきているように思われる。ことに海域、なかでも陸に接する部分のデータが重要な役割を果たすと思われるので、今後、その部分の探査に精力を注ぐことが望まれる。また議論を精密化するためには、時間・空間的に高密度な観測、継続的な観測、広範な分野のデータの取得が重要である。地震の繰り返し周期からは199X年に、つぎの地震が起こるとされているが、周期性はとにかくとして、過去に被害地震が起こったことは事実であり、今後、その予知

のため、海域も含めて、調査を重ねることが重要であろう。

●謝辞 基調講演ならびにまとめをして頂いた萩原(幸)先生、研究報告をして頂いた諸先生、および座長をして頂いた菊池、坂田、長谷川、多田、津村の諸先生に厚くお礼を申し述べる。また科学技術庁研究開発局からは、「マグニチュード7級の内陸地震の予知に関する研究成果報告書」(第I期)を、当日会場配布用としてご提供下さるなど、シンポジウム成功のためにご援助を頂いたことを記してお礼を申し述べる。[A]

編集後記

この頃、天気予報がよくなるようになったと思う。少なくとも24時間ないし48時間程度の予報は、相当高い的中率になっているのではなかろうか。朝、快晴に近い空模様であったのに、午後、予報通りに雨が降るようなことが、しばしばあるようである。昔、食中毒の“まじない”のようにいわれ、“当たらないもの”の代表格にされていた頃から比べれば、まことに隔世の感がある。

編集後記に何故こんなことを書き出したかという、本号の高木美也子先生の「注目される“新”地震予知法」を拝見したからである。科学者から見れば、信ずるに足らないと思われる“予言”が、社会的にはかなりの影響を与え、混乱も起こしているようである。しかし中には、まだ十分説明はつかないが、科学的に何らかの関連がある事象も含まれているのかもしれない。

また天気予報だが、われわれは、毎日、「ひまわり」の画像から雲の動きや濃淡を、アメダスやレーダーの画面から降雨域の移動や、数時間後の推定まで、解説付でデータを知らされている。もし予報が当たらなければ、当たらなかった理由まで解

説される。天気予報は、完全に科学の領分で行なわれるようになったと、少なくとも、われわれは信じ、その当たり外れも現時点の科学の限界と納得する。

これに対して地震はどうだろうか。地震を惹き起こす地下の力学的状態を、「ひまわり」の画像のように捕らえるというには程遠い現状であろう。アメダスのように、日本全国の各種の地球物理的観測量が、一目で見られるシステムもない。まだまだ地震予知には、科学以外のものが入り込む“すき”が多い所以であろう。

しかし、地球の中を知るために、新しい観測や、解析の技術も次第に進歩しつつあるのも事実である。

島村英紀先生の「海の底に地震予知を迫る」は、今まで観測精度の悪かった海洋の地震を、海底に“聴診器”をあてて、精密な震源を求め、プレートの構造を明らかにする、10年余りの歳月のご苦労と成果が述べられている。

また長谷見晶子先生の「地球のCTスキャン」は、地震波速度構造の、関東、東北地方といった局地的なものから、日本列島全体、さらには地球中心核表面までのマントル全体について、“断層写真”をとるこ

とができるという話である。

“聴診器”や“断層写真”のほかにも、地球の病巣に迫る“検査技術”は日々進歩している。このような地道な研究が、やがて地震予知も科学として、社会一般に何の抵抗もなく受け入れられるようになるのだろう。少なくとも“予言”を信じたり、社会的な混乱を生じるようなこともなくなるのではなかろうか。

「地震予知連絡会情報」の執筆を今号から東北大学・大竹政和先生にお願いすることになった。大竹先生には、お忙しいところ、これからよろしくお願い申し上げます。また前の岡田義光先生には、厚くお礼を申し上げます。[A]

地震ジャーナル 第11号

平成3年6月20日 発行

発行所 〒101 東京都千代田区神田美土代町3

☎ 03-3295-1966

財団法人

地震予知総合研究振興会

発行人 萩原 尊禮

編集人 力武 常次

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。

●印刷/理想社印刷所 ●装丁/鈴木 堯