

地震 ジャーナル

13

1992年6月

- エッセイ 首都移転 ● 田村和子
- 特別寄稿 なぜ地震予知はかくも困難か ● カール・キスリンガー——1
- 地震予知:三つのコメンタリー ● 沢末 廣 潔——5
- アメリカ地震学の新しい動向 ● 安芸敬一——9
- 1992年エルジンジャン地震 調査概要と提言 ● 本蔵義守——16
- 1992年エルジンジャン地震 地震動と構造物被害 ● 浜田政則——23
- よりよい地震防災教育 ● 大町達夫——27
- いま大地震に見舞われたら ● 池上武彌——33
- 直下地震対策の強化 ● 富田 忠——40
- 米国企業の地震対策 ● 井野盛夫——50
- アメリカ地震予知騒動始末記 ● 力武常次——58
- キジ・ナマズ・船頭小唄 ● 朝倉喬司——60
- 地震予知連絡会情報 ● 田中寅夫——64
- 書評——68
- ADEP情報——73

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

首都移転 田村和子

東京で珍しく震度4の地震があった夜、防災無線の放送が、何か情報を伝えているのに、最近、建った近くのビル群へ複雑にはね返って、さっぱり聞こえないのに驚いた。地震など、大災害にあったら大変な町になってきたなど、いつも思う。

東京の一極集中が問題になって久しいが、政治・経済の機能ばかりか、人口の過度の集中も限界に近くなっている。災害の予防という面からも放置できない。

2月の終わりに国土庁長官の諮問機関「首都機能移転問題に関する懇談会（八十島義之助座長）」が、政治と経済の機能を分離し東京に経済機能を残し、東京から60キロ圏の外に、新首都をつくるのが望ましいとする中間報告をまとめ公表した。

一昨年、移転決議を出している国会を最優先に移転し、中央官庁は段階的に実施し、面積9000ヘクタール、人口60万人規模の新都市を約14兆円で建設するというものだ。新首都は、強力な情報発信機能を持つ政治・外交の世界的な中心として機能し、21世紀の日本の象徴に足る外観と機能をそえる。

東京は国際金融・ビジネスの中心、文化・芸術の発信都市として、暮らしやすく防災上安全で利便性の充実した都市になることが望ましく、移転跡地は防災・国際交流・文化育成の対応に充てるべきだとしている。

候補地や移転時期は、土地の投機が起こるので触れられていないが、政府関係機関が移転具体策を打ち出したのは初めて。国民に論議してもらいたいというのが座長の談話だった。

その数日前には、衆院の移転特別委で予知連の茂木先生が、東京は日本列島内陸部でも最も地震危険度が高い、国の心臓部が危険にさらされているのは日本だけ……、と首都移転の必要性を強調され、跡地は防災上の見地から空間として残すべきだと提言された。

茂木先生も安全な場所は明言されなかったが、これまでの移転論の候補地を見ると、1960年に磯村英一都立大学教授（当時）の富士山麓構想、62年には河野一郎建設大臣（当時）の浜名湖周辺、72年には早大21世紀の会の岩手県北上高地、87年ごろからはブームとなり、東北経済連が仙台、東海銀行グループが名古屋、関西経済連が複数の地方分散型遷都といった具合。このほかにも阿武隈高原・那須高原・美濃地域・木曾岬干拓地など、やや手前勝手なところも多いようだ。

これらの候補地を、今回の報告があげている移転先の条件、①大規模地震が予想される地域、②急峻な地形、③水の安定供給が確保できない所、④積雪で都市活動に支障が出る地域——などは避けて、⑤自然環境に囲まれた所という条件からみると、すぐ及第という所はないようだ。オーストラリアやブラジルでも首都移転の計画から実現まで数十年かかったというから、国を挙げての検討が必要だと思う。

地震予知研究も当初の新鮮さがやや薄れて、若い研究者の吸引力がなくなってしまったと心配する声を聞く。ひとつ、地震・火山研究者からみて「新首都最適地はここ」といったシンポジウムでもやってみたらどうだろうか。

もっともクローズドにしないと、学者が折り紙つきの日本一安全な場所というので地価が急騰するかもしれない。

●特別寄稿

なぜ地震予知はかくも困難か

[原題: Why is Earthquake Prediction so Difficult?]

Carl Kisslinger

約 30 年にわたって地震を予知する方法を開発するために組織化された国際的努力が行われている。2~3 の限定的成功例はあるものの、特定の地震についての時期、場所および規模を実用的な精度で予知するための信頼できる技術に関してはまだ十分な見通しが無いというのが一般的な受け取られ方である。最新の技術や理論に基づいて、各国における数百人の優秀な科学者が努力しているにもかかわらず、進歩はまことに遅いと言わざるを得ない。この問題は恐らく問題に早期に取り組んだ先駆者たちが考えたよりもはるかに困難であるように見える。なぜ地震の予知は他の著しい地球科学的現象、例えば台風の経路、竜巻や洪水の発生、さらには火山噴火などの予知にくらべて著しく困難なのであろうか。

地震の前や最中の物理的過程は気象学的ならびに水理学的現象の場合とほとんど同程度に分かっている。現象を支配する方程式は本来的により複雑であるとは思えない。ではなぜこのような知識が他の現象の予知で得られている信頼性のレベルに匹敵する地震予知の方法をもっと早く導き出し得なかったのであろうか。

震源域が地表下に深く隠されていたり、多くの場合海底下数 km にあったりして、直接近づいて観測できないというのは確かにひとつの理由である。航空機や無人観測機によって、気圧、気温、風速その他の諸量を激しい嵐の中心においても測定することができる。河川の流域における降雨量は測定できるし、支流の流量なども洪水に先立ってモニターすることができる。これらの測定によって得られた諸量は問題の現象のモデルを制約し、そのシステムの未来の様相を察知する基盤を与える。

活断層が地表に現れているとか、浅い震源域にまでボーリングがあるとかの数少ない例外を除くと、震源特性のすべては地表で行われた間接的測定に依存している。われわれの知識の大部分は、震源から伝わってきた地震波や地表の永久変形などの地震による地面の動きの解析によって与えられている。

これらの方法は強力ではあるが、震源において起こっていることの直接観測にとって変わるわけにはいかない。基本的な制限は、破壊、岩石の粉碎、摩擦による断層物質の加熱などを含む震源過程が本質的に非線形であることにある。にもかかわらず、地震学的データから震源の過程と特性を求めるには線形理論が適用されている。導き出されたモデルは真の過程の線形的等価モデルに過ぎない。このようにして得られた情報は正しいし重要であると考えられるが、われわれが全く知らない何らかの重要なことが進行しているかもしれない。もっともよい条件の場合でも 5~10km の深さにある震源域にまでボーリングを行い、そこに各種の計器を取り付けることは非常に費用のかかることである。しかし、これによって得られる科学的知識と精度の高い予知に向けての前進に欠くことのできない知識はこの経費を正当化するものである。

おそらく、最大の進歩は長期予知への確率的アプローチの開発であると言えよう。プレート・テクトニクス理論、地震空白域および「固有地震」(訳者註: 主としてサンアンドレアス断層に関連して用いられ、原語は characteristic earthquake) の概念の組み合わせは、特定の規模の地震が(断層の)特定の場所に、数十年くらいの特定の時間範囲に発生する確率算定を可能にした。

この算定の正確さはまだテストされていないが、近い将来テストされるであろう。このような算定は地震発生時期を狭い範囲に同定することはできないが、もし信頼できるとなると、将来の地震被害を軽減するための措置を急ぐべき場所を同定するのに役立つであろう。

長期予知を試みる場合にはいくつかの困難がある。問題にしているマグニチュードの地震の平均再来時間間隔に関する情報が必要である。(幸いにして?)強い地震はめったに起こらないので、平均間隔とその不確定度の確固とした証拠はほとんどの断層セグメントについてよく分からない。トレンチングや地形学による古地震学的証拠は地表に現れている断層にとっては有用である。せいぜいやれることは多くの場所で、数少ないデータからの外挿である。

適当なデータが得られる数少ない場所で得られた証拠が示すように、ひとつの断層セグメントの強い地震が時間的にかたまると起こることはまたひとつの障害となる。つまり、いくつかの地震が比較的短期間に起こり、その後つぎの群生まで長い休止期間がある場合がある。これが一般的特徴であるとすれば、長期的平均発生間隔の算定が正確であったとしても、つぎの地震発生時期を予想することはむずかしい。

いくつかの確率的長期予知には欠陥がある。というのは大地震のときの断層のスリップ量の変動度を考慮していないからである。ある地震発生についての信用できるモデルでは、固有地震の発生時期は最終地震のスリップ量に支配される。したがって、ひとつの断層部分のスリップ量が思ったより少なければ、つぎの地震までの時間は予想よりもずっと短いであろう。

ある特定の地域に2~3日または2~3時間以内に地震が発生するという正確な予報つまり短期的予知は、もっとも一般的な地震予知のゴールとされている。断片のおよびよく知られた成功例にもかかわらず、そのような予知を行うための信

頼できる方法はまだはるかに手の届かないところにある。多くの現象が短期的前兆として指摘されテストされた。しかし、そのうちのどれかがいつでも地震前に発生し、またそれなしには地震が起こらないというわけではない。問題の一部は地球科学的環境が本質的にノイズなことにある。そして地震切迫に関係する観測量とそうでない量を識別する方法はよくわかっていない。言えることはある自然現象が現れると、地震発生確率が增加すること、そして同時にいくつかのそのような現象を観測すると確率が高くなることである。従来のおわれわれの経験はこれらの確率を精度よく算定するには乏し過ぎる。

さらに自然界の非線形かつカオスの性質によって事柄はより複雑になる。地震生成の非線形過程のために、将来の状況を予想するための現在の条件を正確に知ることができない。例えば、1~2年後にある特定の断層で地震が起こるという有力な証拠があっても、地震が断層のどこで発生し、断層運動がどこで止まるかをあらかじめ知ることがむずかしい。

これらの困難のために予知の方法を探す意欲がくじけてはいけない。これは偉大な挑戦であり、解答を探し続ける科学者を活気づける。予知の研究とシステムを予算化する政府機関の忍耐と理解が必要である。これら機関は長期的に物を見て、大地震はめったに起こらないのであるから予知の方法が十分テストされるには長い時間がかかることを承知しなければならない。知識と経験とをわかち合う国際協力は欠くことのできないものである。そのような協力は日本とアメリカの間で長年にわたって行われている。地震予知問題の解決はしばらくの間は無理かもしれない。しかし、いったん解決されるならば、人命や財産の損失を軽減することによって、その経費支出など問題にならなくなるであろう。

[カー キスりんがー コロラド大学教授]

[日本語訳：力武常次]

●原文 WHY IS EARTHQUAKE PREDICTION SO DIFFICULT ?

Professor CARL KISSSLINGER

The organized international effort to develop methods for predicting earthquakes has been underway for almost 30 years. In spite of a few limited successes, the general feeling is that a reliable technology for predicting specific events with practically useful accuracy of time, place, and magnitude is still an elusive goal. This slow progress is in spite of the efforts of hundreds of skilled scientists in several countries, working with the best modern technology and theory. The problem is seen to be a very difficult one, perhaps more difficult than realized by the early pioneers in this research. Why is the prediction of earthquakes so much more difficult than the prediction of other extreme geophysical phenomena, for example the paths of typhoons, the occurrence of tornadoes and floods, and even the eruption of volcanoes?

The physical processes preceding and during an earthquake seem to be understood almost as well as those in atmospheric and hydrologic phenomena. The governing equations do not seem to be inherently more complex. Why has this knowledge not led more rapidly to reliable prediction methods, at least up to the level of reliability that has been achieved in these other sciences?

One factor is certainly the fact that the source region of our phenomenon is inaccessible for direct observation, often hidden many kilometers below the Earth's surface, in many cases beneath several kilometers of ocean water. Instruments can be placed in the heart of severe storms, by aircraft or unmanned devices, to measure pressures, temperatures, wind speeds and other significant parameters. The rainfall in a drainage basin can be measured and the flow in tributary streams monitored in advance of a flood. The numbers produced by these measurements constrain the models of the phenomenon under investigation, and provide a basis for predicting the future state of the system.

With few exceptions, where the active fault is exposed at the surface or holes have been drilled into shallow hypocentral volumes, everything we know about earthquake source properties has been derived indirectly from measurements made on the surface. Most of what we know comes from the analysis of the ground motion produced by the earthquake, both the waves that travel out from the source and the permanent deformation of the ground surface near the epicenter.

These methods are powerful, but cannot replace the direct observations of what happens at the source. One fundamental limitation is that the processes at the source, involving fracturing, crushing of rock, and heating of the fault materials by friction are inherently non-linear.

Yet we apply linear theory and analysis to the inversion of the seismic data for the source processes and properties. The models we derive are the linear equivalents of the true processes. We think that the information we have gained this way is valid and important, but that some important things may be going on about which we know nothing. Projects to drill holes into the hypocentral volumes, at depths of at least five to ten kilometers in even the most favorable places, and to equip these holes with a variety of instruments will be very costly. The scientific gains and increase in knowledge essential for progress toward accurate predictions justify these costs.

Perhaps the greatest progress has been in the development of probabilistic approaches to long-term prediction. A combination of plate tectonics theory, the seismic gap hypothesis, and the concept of "characteristic earthquake" has led to estimate of the probability of occurrence of an earthquake of specified magnitude in a given location, within a defined time interval of the order of a few decades. The accuracy of these estimate has not yet been tested, but will be in the years ahead. Such estimates cannot fix the time of expected occurrence

within narrow limits, but if they are proven to be reliable, they will be very valuable for identifying those places where measures to reduce the devastation of future events should be implemented promptly.

A number of difficulties arise in attempting long-term prediction. Information about the average return time of earthquakes with the magnitude of concern is needed. Because strong earthquakes occur infrequently at any one site (fortunately), robust evidence on average return time, and the uncertainty of that average, is not available for most fault segments. Paleoseismic evidence, from fault trenching and geomorphology, is useful for exposed fault. In most places, extrapolations based on few data are the best one can do.

Another difficulty is that evidence from the few places where adequate data are available suggests that strong earthquakes fault segment may be characterized by clustering in time. A number may occur separated by rather short time intervals, followed by a long pause before the next cluster occurs. If this behavior is a general characteristic of earthquake occurrence, then even a very accurate estimate of the long-term average recurrence rate is of little value in predicting the time to the next earthquake.

Some attempts at probabilistic long-term predictions seem faulty because they fail to take into account the variability of the amount of slip that occurs at sites along a fault during a great earthquake. One credible model of earthquake occurrence predicts that the time to the next characteristic earthquake depends on the amount of slip in the last one. Therefore, if the amount of slip on part of a fault is less than thought, the time to the next strong earthquake may be much shorter than expected.

Short-term prediction, the accurate forecasting that an earthquake will occur at a specific place within the next few days or hours, is the most common public perception of the goal of prediction research. In spite of scattered claims, and even a few well-known successes, we seem to be far from achieving reliable methods for making such prediction. Many phenomena have been proposed and tested as short term precursors, but none has been confirmed as always occurring before an earthquake and never happening without one. Part of the problem is that the geophysical environment is inherently noisy, and we have not learned to recognize the significant differences between fluctuations in the observed quantities that are related to the approach of an earthquake and those that are not. All we can say is that the observation of a certain natural behavior implies an increase in the probability of an earthquake, and the simultaneous observation of several such phenomena implies a higher probability. We have too little experience so far to permit accurate assessment of these probabilities.

A further complication comes from recent research on non-linear physics and the chaotic behavior of natural systems. It may be that, because of the non-linearities in the earthquake generating process, we can never know the conditions at the present time with sufficient accuracy to predict accurately the future state of the system at some distant time. For example, even if we have good evidence that a strong earthquake is likely to happen on a particular fault sometime in the next year or two, it may be impossible to know so far in advance where on the fault the earthquake will start and stop.

These difficulties should not discourage us from continuing to seek prediction method. The challenges are great and stimulate the scientists who looking for the answers. An important need is the patience and understanding of the government agencies that fund prediction studies and prediction systems. They must take a long-term view and appreciate that, because great earthquakes are so infrequent, it may be a long time before we can fully test our ideas about how to predict them. International cooperation in sharing knowledge and experience is vital. Such cooperation has existed between Japan and the United States for many years. The solutions of the prediction problem may not come for some time, but when they do, the benefits to humanity in reducing the losses of life and property will far outweigh the costs.

地震予知：三つのコメンタリー

訳 末廣 潔

アメリカ地質調査所(United States Geological Survey, 略称: USGS) は一般向け PR 誌として“Earthquakes & Volcanoes”を隔月発行している。同誌発行 20 周年を記念して、1991 年の 22 巻 3~5 号には、アメリカだけでなく世界各国の地震・火山学者などから寄せられた論評が掲載されている。寄稿者としては、F. プレス, B. A. ボルト, J. オリバー, R. E. ウォーレス, R. アン德里ュース, L. ノポフ, D. S. ミレティ(以上アメリカ), N. N. アンブレツシズ(イギリス), 力武常次(日本)など、地震学者・地震工学者・火山学者・社会学者・保険専門家・防災担当行政官など、多岐にわたっている。

ここでは、これらの論評の中から、とくに示唆に富むと思われた地震予知関連の三つを選んで同誌編集長 Henry Spall 氏の許可を得て日本語に翻訳することとした。翻訳は、東京大学海洋研究所の末廣潔氏にお願いした。これらの論評は、つぎの通りである。

John H. Latter—Seismicity and Volcanism—A Global Perspective

J. C. Savage—The Paradigm That Failed

Allan G. Lindh—The Nature of Earthquake Prediction

ラターとリンズの論説では、地震発生や火山噴火の確率を求めることが、近代的な予知であるとされていることに注目したい。これは最近、日本でも取り入れられつつある考え方である。各種前兆に基づいて、できるだけ短いタイム・スパン内の発生確率を求め、確率の高さに応じて警戒レベルを設定するという方向が実用的であろう。

しかしながら、リンズはつぎのような困難な点を指摘している。地震予知には不十分なデータで物を言わなければならないという現実があるということである。つまり、原因が必ずしもよくわからない病気に対する医者の対応、あるいは情報が全く不足している場合における軍参謀の判断などに近いのが地震予知の実状である。このような江戸時代の町医者に近いような状況下で予知を迫られる担当者の苦悩は深い。

サベージは、いわゆる辛口のコメントをする学者としてよく知られている。その彼が、ひところ学界を風靡した地震波速度変化—ディラタンシー理論による地震予知について論評している。しかし、このパラダイムが、なぜ、かくもろく崩れ去ったかという点について、もっと深く掘り下げた議論の欲しいところである。 [編集部]

J. H. ラター

地震活動と火山活動

グローバルな視点

地震と火山噴火は不安定で進化する地球がもたらす互いに関連を持つ現象であり間欠的に発生す

る。地震が解放するエネルギーは少なくとも 21 桁（マグニチュード くりヒターの地震規模）で 12 桁）の幅を持ち、火山噴火の噴出量とエネルギーは少なくとも 13 桁の幅を持つ。知られる最大級の地震は（1960 年のチリ地震のように）マグニチュードが約 9.5 [編集部注：モーメント・マグニチュード] であり、地球のどこかで 100 年以内に平均 1 回起こる。対照的に最大の火山噴火は噴出量が 1 万 km^3 を超え得るが、発生間隔は平均 100 万年以上に 1 回である。歴史に記載されている最大級の噴火は約 3000km^3 の物質を噴出し、平均 5 万ないし 10 万年に 1 回、地球上に発生している。地震現象では、そのような再来期間を持つものは知られていない。

つぎの地震もしくは噴火が最大のものになるのではないかと、一般に言われがちなこととは逆に、もっとも起こりやすいのは、より小さなもののほうである。逆に最大のものは、もっとも起きにくい。これは、われわれにありがたいことだが、この起こり方は不幸な結果をもたらすこともある。何かの拍子で、より起こりにくく、より大きな現象を経験すると、われわれは活動が高まっていると誤った結論を導いてしまう。さらに、政府が地震や噴火の影響を軽減するために金を注ぎ込むのは事後に限られる傾向がある。事前には、長い期間活動のないことから、不吉なことは起きないと思ってしまう。著名なオーストラリアの火山学者である G. A. M. テイラーがラミントン火山の大被害をもたらした噴火のあとに述べたように、「火山学はカタストロフィーの灰燼をもとに進歩するシンデレラ科学 [訳者注：継子扱いされる意と灰かぐら姫をかけているのか、何かが起きないと進歩（変貌）しないの意か?] である」。

将来のために、われわれは過去の地震や噴火がいつ起きたかをできるだけ長い期間にわたってはつきりさせておかねばならない。同じくらいの規模の事象の平均的な発生間隔が将来のバックグラウンド、あるいは定常的な発生確率を与える。そのような確率は前兆現象が認められれば、とたんに急増する。地震学あるいは火山学における被害予測の重要な問題は、時間とともに激しく変化するかもしれない増幅された動的な確率を求めることである。これは、すなわち異常パラメータをできるだけリアルタイムで監視し解析することを意味するが、それは高価につき困難であり、プレッシャーが大きい。しかし、ほとんどすぐに事象の発生を確認し（たとえば火山学では、航空機の安全のため大きな爆発的噴火の通知を迅速に行なうよう要請されている）、また信頼できる短期的確率予報へ向けて進歩するための効果的な監視能力は、国際協力と新しい技術のおかげで、大きく高まってきた。

予報（予知に比べ、より冷静でバランスのとれたことば）は、すでに多くの火山噴火に対して可能であり、いずれ、大地震にも常に信頼できるものになるかもしれない。大地震の前には非常に大きな歪エネルギーが蓄積するので観測可能なパラメータに影響するはずである。地球の地殻のプレートの収束消滅は統一的な概念であり、地震活動・火山活動、そして互いに関連する火成活動の第一の原因である。それを連続的に計測することが、すでに可能となっている。われわれは適切な観測を適切な測器で適切な場所で適切なときに行ないさえすれば、役に立つ予報が実現するだろう。 [John H. Latter ニュージーランド・ウェリントン科学産業研究所研究員]

J. C. サベージ

確立されなかったパラダイム

科学における前進は記念される；横へそれたものは間もなく忘れ去られる。にも関わらず、ここに私が記念しようとするのは、そのような「わき

道」である； V_p/V_s 異常、すなわち来たる地震の時刻・場所・規模を予知するための方法としての地震波速度比と呼ばれるものである。

1960年代のソビエトの地震学者が地震の前に地震波速度が震源のそばで減少するらしいことをみつけた。P（はじめの）波は、もっとも速い地震波であるが、ふつうS（2番目の）波のほうが地震記録の振幅が大きい。近くの地震からのこれら2つの波の到着時刻は定常的に測られている。ある近くの地震について、いくつかの観測所でのSとP波の到着時刻の差をPの到着時刻に対してグラフにすると、それは直線になる。この直線の傾きは V_P 、 V_S をP、S波の伝播速度とすると $V_P/V_S - 1$ である。したがって、 V_P/V_S の値は、近くの小さな地震の発生たびに記録できアップデートすることができる。ソビエトの地震学者は近くの中ぐらいの地震発生の前、数カ月にわたって V_P/V_S が平常値より20%低くなり、さらに、その期間は、その地震が大きいほど長いということを見つけた。しかも、その比が地震の直前に平常値に戻ったので短期警報を可能にしたのである。

アメリカの地震学者は、このソビエトでの観測に1970年代初めに気がつき、すぐ追認を行なった。大きな確信のもととなった2つの追試は、ニューヨークの小さな地震の実際の予知と、1971年カリフォルニア・サンフェルナンド地震（マグニチュード6.5）が、それ以前の記録から予知可能だったかもしれないと示されたことであった。

V_P/V_S 異常は、ダイラタンシー拡散モデルによって説明された。ダイラタンシー（破壊限界近くまで応力のかかった岩石に小さな割れ目が発生すること）によって、 V_P は増加〔訳者注：減少では？〕する、そして増加したダイラタンシー領域に外部から拡散してきた水が割れ目に入り込むと比は元に戻る。ダイラタンシーの始まりと割れ目に水が入り込むまでの時間差は、ダイラタンシー領域の体積、すなわち起こるべき地震の規模によるであろう。割れ目中の水圧の増加は岩石を弱め、地震をトリガーする。この一連の事象は、それまで報告されていた地震のほかの前兆現象（異常な隆起現象、電気伝導度の変化、ラドンの発生）をも説明した。

地震予知手法の切り札としての V_P/V_S 異常の初期のみかけの成功にもかかわらず、より注意深く行なったその後の観測では、異常を見つけれなかった。ダイラタンシー拡散モデルは、1972年に提唱者が述べたように不確かな観測を説明するエレガントな説明にみえる。予知の方法としては、まさにうま過ぎる話であった。もし、 V_P/V_S 異常が、もう学者の興味を引かないとすれば、おそらく、それは科学史家の興味の対象となるべきかもしれない。

[J. C. Savage カリフォルニア・メンロパーク USGS 研究員]

A. G. リンド

地震予知の本質

地震予知は、本質的に統計的なものである。地震予知とは将来の地震について、その発生時刻・場所、そして規模を指定することであると何人かの人は考えつづけているが、もう少なくとも10年以上、このような定義は非現実的で非合理的であることが明白になっている。現実には、地震予知は非常におおまかに時期を限定して場所と規模を長期予測することから始まる。そして、少なくとも原理的には、データと現象の理解の許す限り、徐々に時間の幅を狭めていくというように進行する。現在のところ初歩的な長期予測は、いくつか

のよく調べられた断層系については明らかに可能である。短期予知をめざしたきわめて集中的な監視実験は、すでにカリフォルニアのパークフィールドと日本の東海地域で実施されている；どのくらい進歩できるかは時の判断に委ねるしかない。

しかし、統計的な本質に加えて、短期的な地震予知が伝統的な地球物理学の問題と異なるのは、この予知を行なうにあたって不十分な情報をもとに、しかも多くの不確定要素がある中で、たいへんな時間の制約を受けながら行なわなければならないことである。そういう意味では、普通の科学

的判断よりも医者とか将軍の下す判断に似ている。これは決して科学的判断の最高水準が適用できないことを意味するわけではなく、むしろ有効な地震予知というものが、より多くを要求するからである。

医学あるいは軍事科学では理論とか学問的研究に比重があるとはいえ、実用に代わるものはないという明白な了解がある。誰も重病のときに医学の理論的知識しかない医者のところへは尋ねて行かないし、教科書的判断しかできない将軍にふりかかかった悲劇の事例は、軍事史上、こと欠かない。医学と戦争は実行家の領分に属するものであり、生身の人間が危機にさらされる中で、理論的知識と生涯の経験を合わせて、不十分なデータをもとに真の決断を下すのである。私は地震予知も、これと同種のものであると信じている。

パークフィールドで、われわれは密な観測網により十分な経験を積み、良質のデータを得、24時間体制の監視をし、實際上、すでに地震予知を実施している；私は、サンフランシスコ湾地域でも同様なことが始まったと信じている。ロマプリエタ地震の長期予測の、まあまあの成功は、そばのエルズマン湖での2つの「警報」[訳者注:1988, 6/27, M 5.0 と 1989, 8/8, M 5.2 の地震がロマプリエタ地震から 11 km 離れたところに発生した][編集部注:前震]と合わせて、われわれがある程度の予知の能力を持つことを一般に知らしめる役割を果たした。一般の人々は、サンフランシスコ湾地域のハイワードとサンアンドレアス断層の危険を認識し始めており、来たる 30 年間にマグニチュード 7 級の被害地震の発生確率が 50

% であるという、われわれの予測をまじめに受け取っているようである。ハイワードとサンアンドレアス断層の地震活動が高まれば、当然一般の人々は将来の予測を聞いたがる。好むと好まざるに関わらず、われわれがこれらの疑問に答えるとき、そして答えなくてはならないのだが、確率を使おうが使うまいが、地震予知を行っているのである。

したがって、大事な問題はサンフランシスコ湾地域の将来のつぎの破壊的地震が発生する前に何か有効な警告が出せる機会をできるだけ増やすための測器網、監視システムや解析方法の導入を進めるか否かだと、私は考える。パークフィールドにあるような測器群を、ハイワードとサンアンドレアス断層に沿って設置すれば、成功確実とは約束できないが、予知能力を格段に上げることになる。ますます知識の増えたマスコミや一般が相手であれば、真剣に大都市地域の地震予知の可能性を探り始められると信じる。しかし、多岐にわたる不確かさがある中で、そのような努力をしても一体どのくらい進歩できるというのだろうか？ 私は、直接・間接の利益はコストを大きく上まわると信じる。まず、北部カリフォルニアの広い湾域のつぎの大地震を予知する徹底的な努力は、大学と政府研究所の両方において、大いに必要とされる刺激を地震科学に与えることになるだろう。さらに、そのような努力は、社会が脅威に対して立ち上がる決意を示す、とてもわかりやすいシンボルとなり、地震の問題について一般に啓蒙する比類ない教育的手段になると信じる。さらに長期・中期確率を、より正確にしていけば、技術者や政治家が建築物やインフラ構造を更新するときの優先順位を決める助けとなる。対話をつづけることは、科学者・技術者・マスコミ・公務員、そして一般の人がいっしょになって地震に備え、被害を軽減するように働くことを学ぶ助けとなるだろう。そして、もちろん幸運により幾人かの人命を救うことになるかもしれない。

[Allan G. Lindh カリフォルニア・メンロパークUSGS研究員]

[訳者・すえひろ きよし 東京大学海洋研究所助教授]

『地震ジャーナル』のご講読について

本誌は、小会に関わりのある方々や機関に無料配布しておりますが、一般の方々でご購読を希望される方々のために、下記のような実費頒布を致します。

記

- ◇ 講読料実費 [送料を含む] 1500円
- ◇ 申込方法 綴込みの振替用紙をご利用下さい。

アメリカ地震学の新しい動向

南カリフォルニア地震センターの発足

安芸敬一

はじめに

自然と人間社会とが複雑にからみあっている地震防災の問題と取り組むには、多分野の専門家の協力が不可欠である。ここに紹介する南カリフォルニア地震センター (Southern California Earthquake Center, 簡略に SCEC) は、21 世紀に向かって激しく変わっていく社会の要請にこたえるべく、地震防災科学を総合的に発展させるための研究体制づくりの試みである。

地震防災に関しては、日本はアメリカよりも、いろいろの面で進んでいるが、この SCEC には、日本では見られない独自の面がいくつかある。その第 1 は、データの蓄積だけでなく、理論モデルについても多分野の協力体制をつくること。日本の研究がデータに重点をおくのに対して、むしろ、重点はモデルづくりに置かれ、センターの目標としては、南カリフォルニアにおける地震現象のマスター・モデル (master model) が正面に押し出されている。第 2 に、強震動の予測ということ、地震発生に関する地球科学と地震防災工学を結ぶ環として重要視する。第 3 に、地震情報を公共機関の防災担当者に伝達する場合に、確率という概念を使って数字で表わしていく。これはデジタル化によってパニックを避け、できるだけ客観的に自然科学者の観測と意見をまとめることを意図し、この確率情報をいかに公共のために使うかということも、社会科学者の協力を得て研究していく。

以上 3 つのことは、日本の地震防災ではあまり強調されていないことであり、これら独自の面が、今後、どのように発展していくか展望しながら、SCEC について解説したい。

設立の経緯

SCEC をつくろうという動きが始まったのは 4 年前、1988 年の秋から冬にかけてである。これには、政府機関による上からの呼びかけと、科学者間での草の根的盛り上がりと両方が力になっている。上からの呼びかけとしては、National Science Foundation (NSF) が多分野にわたる課題についての科学技術を振興するために“科学技術センター・プログラム”という新しい企画を始めたこと、また、U.S. Geological Survey (USGS) がマンネリ化して、予算も頭打ちになっている国家地震災害軽減計画 (National Earthquake Hazard Reduction Program) に活を入れるため、今まで手薄であった南カリフォルニアの地震災害研究を重点的に行なおうという方針を立てたことである。

この NSF のセンター・プログラムは、個人研究者には扱えないような複雑多面的研究課題を対象とし、そういう課題と取り組むグループに、比較的多額の研究費 (1 年当たり 500 万ドルまで) を比較的長期 (最高 11 年まで) にわたって供給しようとするものである。1988 年の初めに、第 1 回の募集があり、あらゆる科学の分野から何百というセンターづくりのプロポーザルが提出されたが、地球科学関係では 1 つも通らなかった。そのため 1989 年の募集に地震研究者が 1 つにまとまって良いプロポーザルを出せば、通るかもしれないという憶測が広まってきた。

ちょうどその頃、アメリカの地震研究者の間で地震発生学について、いろいろと新しい分野が開拓されてきていた。それをひとくちに言えば、これまでのプレート・テクトニクスと断層モデル

に基づきたいき方と離れて、地質よりも物理に重点をおいて、地震断層にあまりとらわれずに、地域的に地震発生過程を考えていこうというものである。たとえば、地震に全く“しろうと”の物理学者が地震のマグニチュード頻度分布を、地震の起こる場所が self-organized criticality という状態にあるという考えで説明を試みたり、また、実験室における岩石の摩擦現象を説明するべく導かれた法則から、地質図に見られる不均質なしでも、複雑なカオスの現象が予測されたりした。一方、観測のほうからも、ソ連科学アカデミーの Keilis-Borok らの研究で、地震のカタログ資料から、Pattern recognition の方法で、5年ぐらいの予測時間で大地震の前に有意な前兆を抽出できることが示されてきた。

この前兆現象は、ただし、地震の起こる場所についての精度が悪く、特定の地震断層に結びつけないく地域的なものである。また、予測時間も地震についてもマグニチュード6の地震も、8の地震も前兆の現われる時間が数年であり、マグニチュードによらない、これは筆者自身、興味をもっている前兆現象、Coda Q（地域的な地震波減衰を現わすパラメーター）の異常と似ている。前兆時間のマグニチュード依存については力武の有名な研究があるが、マグニチュードによらないというのは、その前兆現象が特定の断層に結びつくものでなく、地域的なものであることを示唆すると思う。

このように、これまでのアメリカ地震災害研究の基礎であった断層モデルからはみでるような理論や観測の蓄積があって、地震研究について新しい展開の可能性が生まれていた。その頃(1988年の9月)カリフォルニアの Morro Bay で日米地震予知のシンポジウムがあり、夕食のテーブルをかこんで、コロンビア大学の Sykes、USGS の Wesson と Dieterich と筆者らが地震予知の研究方向について議論した。当時、Sykes は国立地震予知判定会 (National Earthquake Prediction Evaluation Council) の委員長で、精力的に gap 理論に基づいた断層破壊の条件付確率の評価を米国のいろいろの地域について行なってい

て、とくに南カリフォルニアの大地震発生確率の大きいことに注目していた。また、USGS の地震災害関係の主任になったばかりの Wesson も、これまで南カリフォルニアの地震研究が北部と比べて手薄であったことを痛感していた。それやこれやで、夕食の終わる頃には、誰からともなく、南カリフォルニアに新しい地震センターをつくらうではないかということになった。

このときから1989年の春にかけて、センター設立にとって重要な事件が2つあった。1つは、UCLA の Knopoff といっしょに、毎月第3木曜日に地震セミナーを開くことを、南カリフォルニアの地震研究者によびかけたことである。1989年1月に筆者が Coda Q と b 値の相関について話したのを皮切りに、毎月殆んど欠かさず行なわれ現在に至っている。この会には、北は Santa Barbara から南は San Diego まで、ドライブで日帰りできる人々が、だいたい30~40人出席し、3時間ぐらいの講演の後、ピッツァとビールで1時間ぐらいの議論がにぎやかに行なわれ、参加者の間に同志的結合が自然にできて、センターの成立を下から支えるものになった。

もう1つの事件は、1989年4月に Wesson の説得で、Lake Arrowhead に南カリフォルニアの地震研究者と政府の防災担当者が集まって、3日間にわたる workshop が開かれたことである。ここで初めてマスター・モデルという考えがコンセンサスとして生まれ、これに基づいて前に述べた NSF のセンター・プログラムに応募することが決まった。この workshop でマスター・モデルという考えが提出されるまでは、参加者の意見を1つにまとめることができなかった。たとえば、Real Time Seismology というような役に立つことがわかっていることに重点をおくべしという意見と、それでは Engineering であって、Science としての将来の発展の可能性を失うという意見が対立した。また、Parkfield や東海地震のような集中的モニターの観測をやろうという意見と、南カリフォルニアには、多額の費用を毎年つきこむに足るような地震発生の確率の高い所はないという意見とが対立した。

このように議論がいきづまっているときに、筆者がマスター・モデルという考えはどうだろうと言ったら、CaltechのAndersonが“That is a beautiful”と大声で言い、皆、それにうなずいた。マスター・モデルには、どの研究者にも寄与できる面があって、殆んどすべての人を満足させることができた。このマスター・モデルという考えに統一できなかつたら、多分、センターは生まれなかつたと思う。

このLake Arrowheadの会で、筆者はUSCのT. Henyeyの助力が得られることを条件に、センター・プロポーザルの責任者になることを承諾し、USCがプロポーザルの提出機関となった。もう一つ、この会で決まったことは、センターの名前を南カリフォルニア地震センターとしたことである。地震研究センターという意見もあったが、当時、州政府で働いていたB. Tuckerの強い主張で研究という字を除いた。このことは、センターの将来に大きな影響を残したと思う。それは研究だけでなく、地震災害のあらゆる問題と取り組むという姿勢を示したことになったからである。

その後数ヶ月、15の大学に分散する50人の共同研究者の参加を得てプロポーザルを作りあげ、中核となる7つの大学(USC, Caltech, UCLA, UC Santa Barbara, UC San Diego, UC Santa Cruz, Columbia大学)とUSGSからの強い支持のもとに、NSFに提出された。このプロポーザルは幸い好評で、第1次審査をパス、1990年の春にはSite Visit teamをUSCに迎えて、センター設立への盛んな意欲を示し、1990年の秋、あらゆる科学の分野から新しく選ばれた14のセンターの1つとして、National Science Boardにより正式に承認された。プロポーザルでは、1年500万ドル要求したが、承認されたのは5年間で1340万ドル、1年当り平均268万ドルということであった。

センターの構成

SCECは、基本的には大学研究者の共同体

(Consortium)であり、壁のないセンターである。先に50人の共同研究者が15の大学に分散していると述べたが、このうち7つの大学とUSGSとがセンターの中核(core institution)となっていて、それらから各1名ずつ、合計8人が選ばれて実行委員会(Executive Board)をつくっている。現在のメンバーは、K. Aki (USC), R. Clayton (Caltech), R. Archuleta (UC Santa Barbara), D. Jackson (UCLA), B. Minster (UC San Diego), L. Seeber (Columbia), K. McNally (UC Santa Cruz) と T. Heaton (USGS)であり、この委員長はScience Directorとも呼ばれ、筆者がその任に当たっている。この実行委員会がセンター事業の決定機関で、ここで決定されたことを実際に行なうため、Executive Directorとそれを助ける事務局がある。現在Executive DirectorはUSCのT. Henyeyである。彼の運営管理能力は科学者としては抜群で、SCECがここまで発展してきたのは彼の才能と力量に負うところが大きい。

SCECは、他のNSFセンターと同様に、明確に定義された目標をもつセンターである。その目標は、地震防災科学に関係する研究者の総力を結集して、南カリフォルニアの地震過程のマスター・モデルをつくり、それを社会に役立つように応用することである。具体的には、マスター・モデルとは、南カリフォルニアの地震に関する地質、測地、地球物理など、あらゆる地球科学情報をまとめて、地震災害の確率として数量化し、それを時間空間の関数として評価し、その結果を応用する研究体制ということができよう。

したがって、マスター・モデルには、その建設と応用という2つの面があり、実際にそれらを開発していくために、9つの作業グループがつくられている。以下に、それらグループの分担課題とリーダーの名を示す。

- A. 地震災害解析 : K. Aki (USC)
- B. 地震動予測 : R. Archuleta (UC Santa Barbara)
- C. 地震地質 : K. Sieh (Caltech)



図1 The Southern California Earthquake Center at Work.

- D. 地震帯の地殻構造 : R. Clayton (Caltech)
- E. 地殻変動 : D. Jackson (UCLA)
- F. サイズミシティ : E. Hauksson (Caltech)
- G. 地震の物理 : L. Knopoff (UCLA)
- H. 工学的応用 : G. Martin (USC)
- I. 教育と情報普及 : K. McNally (UC Santa Cruz)

上記、グループ・リーダーと実行委員会の合同の会議を運営委員会 (Steering Committee) と呼び、研究計画の立案や成果の検討などに招集される。

以上の実行・運営委員会のほか、外部の有識者から成る諮問委員会 (Advisory Council) もつくられ、現在のメンバーは UC Berkeley の B. Romanovicz を委員長に、カリフォルニア州政府を代表して J. Davis, USGS の J. Dieterich, 南カリフォルニア地震防災組織の P. Flores, UC Davis の I. M. Idriss, MIT の T. Jordan, ロサンゼルス市政府を代表した S. Matingly, コロラド州立大学の D. Miletic, USC の W. Petak, リバモア国立研究所の J. Rundle, ユタ州立大学の R. Smith である。この諮問委員会は1年に2回集まって、センターの活動が所期の目標に向

かって進んでいるかを検討し、助言を与える。メンバーの顔ぶれからわかるように、地球科学の情報をいかに総合してマスター・モデルをつくり、それをどのようにして公共の利益のために役立てるかという2つの面の専門家が揃っている。このように SCEC は、南カリフォルニア内外の地震防災研究者たちの意見を広く求めて、所期の目標に向かって発展していくように構成されている。

センターの事務内容と予算措置

SCEC が正式に発足したのは1991年2月11日である。この日は、国会の科学技術委員会の委員長 G. Brocon をはじめとして、連邦、州、市の政府地震防災担当者たちが参加して、開所式が USC で行なわれた。図1は、そのとき配布されたパンフレットの挿絵で、地震のような複雑巨大な現象は、多くの研究者が共同して取り組まなければならないという趣旨を、なまぐ絵を使って現わしたものである。

SCEC の初年度予算が確定したのは、1990年の終わり頃で、筆者が京都大学防災研究所で3ヶ月の滞在を終わって帰るのを待っていたように、

初年度の研究計画と研究費配分の仕事が始まった。まず上記 A, B, …, の作業グループにどう研究費を配分するか、またその前に、データ・センターなど、研究に必要な下部構造 (Infra structure) と研究との予算のバランスをどうするか、教育や情報普及活動の予算をどうするか、こういう基本的な問題が、できたての実行委員会で論議され、決定された。

研究に必要な下部構造として、データの収集と分配の便をはかる Pasadena のデータ・センターの設備拡張改善, UCLA を中心とした GPS による測地データの収集, Santa Barbara を基地とした移動式広帯域地震計の維持管理, その他、広く世界に人材を求める客員研究者のプログラムに、それぞれ、かなりの予算が割り当てられた。また、センターの目標であるマスター・モデルづくりには、いろいろの集会を必要とするので、そのための費用も下部構造に含まれた。初年度に、これら下部構造のために使われた金額を下記に示す。

センター事務	: 24	[単位: 万ドル]
集休日	: 4.5	
客員研究者	: 29	
データ・センター	: 42.5	
移動式地震計	: 29	
GPS	: 47.5	
地震カタログ整備	: 4.5	合計: 181 万ドル

研究費の配分については、まず実行委員会が各グループの予算の枠を決めた。ついでセンター本部から、これまで SCEC に参加の意志を表明していた人々に簡単な 1 頁程度のプロポーザルの提出を勧誘した。集められたプロポーザルは、研究テーマに応じて各グループに分けられ、グループ・リーダーによる検討と順位づけが行なわれた。その結果を持ちよって、運営委員会が開かれ、最終的な予算の割当が行なわれた。

初年度の研究費の各グループへの配分は、下記の通りである。

A. 地震災害解析	: 26	[単位: 万ドル]
B. 地震動予測	: 20	
C. 地震地質	: 20	
D. 地震帯の地殻構造	: 27.5	
E. 地殻変動	: 16	
F. サイスミシティ	: 14.5	
G. 地震の物理	: 20	合計: 144 万ドル

初年度予算をつくる時点では、先に述べたグループ H (工学的応用) と I (教育と情報普及) とは未だ形成されていなかった。このように、センターの初年度予算 325 万ドルは、下部構造と研究に、ほぼバランスを保った業務内容に分配された。

以上の予算をまかなうべく NSF から期待されるのは、先に述べた年平均 268 万ドルに過ぎないが、1991 年は政府の財政難で 140 万ドルまで削られてしまった。幸い、USGS が残りの 185 万ドルを負担してくれたのであるが、これは Loma Prieta 地震のあと、臨時に出たもので、毎年の補助は期待できない。したがって、SCEC の将来は財政的にはきわめて不安定・不確実なものである。

NSF では、もしセンターの活動が所期の目標にかなわぬ場合には、5 年以内にセンターを解消してしまう。それを避けるには、最初の 3 年間の成果を基につくる、つぎの 5 年計画が NSF によって承認されねばならない。もし承認されれば、つぎの 5 年計画 (初めから数えて 8 年間)、センターの活動がつづく。第 2 次 5 年計画の 3 年目の成果を基に第 3 次 5 年計画がつくられ、もし、これが再び承認されれば、センターの寿命は 11 年間ということになる。NSF としては、これ以上先のことは考えておらず、センターの目標は、この 11 年間に達成されなければならない。

初年度の成果

SCEC が公式に発足したのは 1991 年 2 月であるから、未だ日は浅いにもかかわらず、同年 10 月の末に 3 日間にわたって行なわれた第 1 回年次

総会に出席した人々が一致して認めたことは、センターの活動が所期の目標に向かって軌道に乗り始めたということである。年次総会につづいて開かれた諮問委員会の報告にも、センター成立後、短時間に多くのメンバーが専門分野の境界を超えて、共通の目標に向かって努力している共同作業 (Synergy) のレベルの高さに強く印象づけられたとあった。

Science Director として筆者が一番心強く思っているのは、センターのメンバーの間に、科学的にみて非常に基礎的で、かつ地震防災にとって重要な問題についての論争が、すでにいくつか始まっていることである。その1つは、ある与えられた断層面には、いつも特定の大きさの地震 (いわゆる characteristic earthquake) が起こるといふ gap 理論の前提に関するもので、J. Rice によると、もしも断層面が一様で、実験室で得られた摩擦法則が適用できるなら、同じ面に生じる地震の大きさは1つに決まり、Gutenberg-Richter あるいは石本・飯田の法則のような大小地震の集合はつくれないという。これは先に述べた self-organized criticality という考えで地震を説明しようとする新しい物理学者からの提案と真向から対立するものである。Rice の結論がセンターの目標にとって重要なことは、もし彼が正しければ、地震断層の物理学において、断層面の幾何学的不規則性や、断層面上の強度分布の不均一が重要なことになり、断層の segmentation など、幾何学的・地球物理的性質が直接地震発生と結びつくようにマスター・モデルをつくる可能性がひらける。Rice の結論は、破壊の動力学を完全に考えに入れていないので、センターの他のメンバーから異論が出ており論争はさらにつづくが、この問題が解決されれば地震防災科学にとって、大きな収穫であろう。

もう1つ、センターが当面している非常に基本的な問題は、軟弱地盤が強震動に対してどう振る舞うかという問題である。軟弱地盤が岩盤と比べて入射地震波をはるかに大きく増幅するということが、妹沢・石本の時代から日本では実験的にも理論的にも広く受け入れられてきたことである。

一方、ここ10年ぐらいの土質力学の研究から、地震動のレベルが高くなると、非線形のヒステリシスによる減衰が強くなり、軟弱地盤の増幅度が減って、強震動に対しては、軟弱地盤と岩盤の差が狭まり、場合によっては逆転するということがいわれてきた。しかし、複雑な短周期地震記録から震源や伝播経路の影響を取り除いて、地盤の影響だけを取り出すことがむずかしいため、実際の地震の記録からは、液状化現象のはっきりしているような場合を除いて、最近まで非線形性は確認されなかった。

筆者のグループは、以前からカリフォルニア各地の地盤増幅度を小さい地震の弱震動を使って系統的に調べ、日本同様、軟弱地盤と岩盤の大きな差を見出していた。ところが、1989年に起こった Loma Prieta の地震の多数の強震計記録を筆者らが比べた結果、震央距離 50 km 以内では、軟弱地盤と岩盤の間に最高加速度について、全く差がみられなかった。この強震動と弱震動の間での増幅度の違いは、これまで地震学者が頼ってきた線形弾性論では考えられない現象であり、センターの地震学者の間に盛んな論争をひき起こしている。ロスアンゼルス沖積地についても、弱震動と強震動で数倍の増幅度の違いが見出され、SCEC のマスター・モデルの応用に深刻な問題を投げかけている。

この問題を解決するべく、主だった土質力学者と地震学者を一堂に集めて、非線形の問題を中心に今後の共同作業について話し合う会を主催したことは、センター初年度の成果の1つといえよう。この会でも、地震記録から地盤の非線形性を検出した結果について激しい異論も出たが、つぎの3つの研究方針について、だいたい意見が一致した。(1)どのような地質条件の基で、地盤が非線形的あるいは線形的に振る舞うかを知るため、弱震動と強震動の増幅度を同一地点で系統的に調べる必要があること、(2)地表と地下と三次元的に分布した地震計網を強震動の起こる確率の高い所に設置するのが、非線形性を調べるのに有効であること、(3)これまで土質力学者によって使われてきた一次元 (深さだけ) の非線形モデルと、地震学者の震

源・伝播経路・地盤の影響を含めた二次元あるいは三次元的線形モデルを統一するような広い見方が必要であること。

ともあれ、このような専門家の集まりを必要に応じて簡単に招集できるのは、この NSF センターの一番の強みであろう。初年度には、この他、Santa Barbara で、物理学、岩石力学、地震学の専門家を集めて、地震発生に関する会があり、先に述べた Rice の提案も、そこで行なわれた。筆者の考えでは、SCEC の一番重要な仕事は、地震防災科学にとって、最も基本的な論争をつづけることにあると思う。こういう基本的問題について決着がつけば、その結果は遠い将来の防災計画に大きく寄与できると思うからである。

SCEC のもう 1 つ重要な仕事は、マスター・モデルの応用、つまり、いかに地震防災科学情報を一般に伝えるかという問題である。この方面でも、すでにいくつか成果があがっている。その 1 つは、SCEPP (Southern California Earthquake Preparedness Project) という政府機関と共同で、被害地震の後に啓蒙的な情報を出版することに決めたことで、1991 年 6 月に起こった Sierra Madre 地震の後に、地震の地学的情報と建物被害をとりまとめた第 1 号が出版された。

その他、新しい試みとして USGS の L. Jones による“つぎの 24 時間以内に地震動が 0.13 を超える確率の地図”がある。これは南カリフォルニアの断層のデータやカタログから得られた前震・余震の統計結果や、地震動の距離による減衰など、現存の科学情報を確率という形にまとめたものである。このような確率地図を、どのように役立たせるかを検討するのもセンターの 1 つの仕事である。

最近、計算機を使って地図をつくる GIS (Geographic Information System) というのが、いろいろの方面で使われ出している。センターの初年度予算でもグループ A の活動として、この GIS の応用にかなりの額をさいた。たとえば、これまでの地震災害予測は、最大加速度というような特定のパラメータについて、標準地図をつくるのが主眼であった。一方、地震災害情報

の利用者は、公共、私企業を問わず、実に多岐にわたっており、1 つのパラメータですべてを満足させることは不可能である。GIS は、個々の利用者の需要に応じた災害情報の注文品をつくる可能性があるのも、センターの目標達成に役立つだろうと期待されている。

最後に、初年度にセンターが選んだ客員研究者の名前をあげておこう。世界各地からの 50 人以上の応募者の中から、つぎの 9 名が選ばれた。

- V. Keilis-Borok [Russia]
- P. Molnar [MIT, Boston]
- G. King [IPG, Strasbourg]
- M. Takeo [ERI, Tokyo]
- G. Valensise [ING, Rome]
- J. Lin [Woods Hole]
- S. Barrientos [U. of Chile]
- D. Scott [Oxford]
- R. Abercrombie [Reading]

これらの人々の研究分野は、前兆現象の解析、南カリフォルニアにおける巨大 thrust 地震の可能性、強震動予測、断層の segmentation、地震現象における液体の役割など、多方面にわたっている。これら客員研究者は、先に述べたセンターの中核となっている 7 つの大学と USGS のどれかに共同研究者 (スポンサー) をもち、その世話で研究に必要な場所や設備を得ることになっている。

おわりに

南カリフォルニア地震センターはできたばかりで、この先、どう育っていくかわかりませんが、これまで個人研究を中心にしてきたアメリカの科学としては、将来の活路を求めていると言えましょう。西欧的個人中心の研究手法と、地震災害のように個人の力では解決できない問題と、どう折合いがつくのか、これは人類の科学史という面からみても面白いと思います。

[あき けいいち 南カリフォルニア大学教授]

1992年エルジンジャン地震 調査概要と提言 本蔵義守

1992年3月13日19時18分40.3秒(現地時間)、トルコ東部エルジンジャン付近でマグニチュード6.9(M_s)が発生した。新聞やテレビで報道されたように、多くの建物が崩壊し、当初の予想では犠牲者の数は500名をはるかに越すのではないかといわれた。日本ではマグニチュードは6.2程度と報道されたために、我々の感覚では大した地震ではなさそうに思えた。トルコではこの程度の地震でも多くの建物が崩壊することは稀ではないので、かなりの被害が出ていもいわゆる大地震であるとは限らない。

筆者は数人の仲間とともに、トルコ西部に存在する地震空白域をテスト・フィールドとして、10年近くトルコの研究者と地震予知に関する共同研究を行なっている(『地震ジャーナル』3号、参照)。したがって、当然、今回の地震に無関心ではいられないのだが、筆者らのフィールドからは遠く隔たっているし、地震の規模もそれほど大きくはないというので、どうしようかいささか迷っていた。また、年度末でもあるし、春の合同学会も近いし、大変忙しい。そんなときに名大の青木先生から電話をいただき、調査団を派遣する話があるのだが地震予知関係で誰か推薦する気はないかとの打診があった。このお誘いで迷いも吹っ切れ、即座にエルジンジャンに行こうと決心して、青木先生にその場でお願いすることとなった。

すぐさま相棒のカンディリ観測所の所長をしているAhmet Işıkara氏に電話をして状況を聞いたところ、カンディリからもやはり相棒のCemir Gürbüz氏が地震計をもって余震観測に出かけたとのことである。ただし、地震計が不足しているのでできれば数台持参してほしいという。さっそく地震研などに電話して手配を試みたが、何しろ急なことでとても準備ができない。そこで

地震計はあきらめて、私の専門の電磁気観測を行なうべく磁力計を持参しようかとも思ったが、今回の主目的は他の分野の方と一緒に今回の地震に関する調査を行なうことであるし、また日程も限られているので、観測は行なわないことにした。

筆者はこれまで何度かトルコに滞在しているのだが、いつも英語で打ち合わせなどをしているので、片言のトルコ語しかしゃべれない。そこで例のAhmetにFaxを送り、誰か同行できる人を捜しておいてもらうことにした。このように、こちらから一方的に連絡したまま、返事を待たずに3月24日、成田を発った。経由地のアムステルダムから電話を入れると、手はずはすべて整い、エルズルム経由で26日の内にエルジンジャンに到着できるという。航空券まで購入してくれているし、日本に留学したことのある、やはり仲間のŞerif(姓はBaris)が同行してくれるという。このときのAhmetの声は神の声のごとく響いた。かくして予定通り3月26日の夕刻にエルジンジャン市内に入ることができた。

以下に、エルジンジャン地震の理学的側面について、着の身、着のまままで寒い中、1週間調査した事項も含めて紹介したい。最後に、地震予知研究の国際化に関する私見も述べさせていただくつもりである。

被害の実態

『地震ジャーナル』編集部からの要請は、エルジンジャン地震の理学的側面ではあるが、参考のために私が目にした被害の実態を簡単に報告したい。3月26日の午前中にエルジンジャンの中心街を視察した。町中のあちこちに崩壊したビルもしくはその痕跡が残り、被害の甚大さを実感でき

たが、地震後2週間経っていることもあり、かなり整理されていた。それでもまだ手がついていない建物もいくつか残っており、その内のいくつかを選んでビデオや写真に撮っていた。

エルジンジャン市およびその近郊では、約半数の建物が何らかの被害を受け、そのうちの4分の1程度は崩壊を含む大被害となっていた。死者数は554名と発表されている。崩壊したビルは3階以上の高層ビル（多くはオフィス）が多かった。マスコミでは、パンケーキ崩壊という用語を使っていたが、実際に崩壊したビルを見るとなんともいえない気持ちになる。それでも午後7時過ぎという時間帯が幸いしたようである。日中の勤務時間帯に地震が発生していたら、もっと多くの市民が犠牲になったことであろう。

筆者がエルジンジャンに着いた当初は、商店などは閉まっており人通りも少なかったが、数日後にはレストラン・食料品店などが営業を開始し活気を取り戻した。しかしまだ余震がつづき、M4程度の地震もときどき発生するので、市民はテント暮らしをつづけていた。夜間では氷点下になるので、テントの中にストーブを持ち込んでいた。テントから突き出る煙突が印象的であった。

トルコおよびその近傍のテクトニクス

図1に、トルコおよびその周辺地域のテクトニクスを示す。とくに、トルコ東部からイラン、アルメニアにかけて、多くの活断層が発達している。これは主として、アラビア・プレートが南からユーラシア・プレートに衝突しているからである。またこのために、トルコの大部分を含むアナトリア・ブロックが西側に押し出され、ユーラシア・プレートに対して西に移動しているのである。北アナトリア断層帯は、アナトリア・ブロックとユーラシア・プレートの境界をなすいわゆるトランスフォーム断層であると考えられている。今回のエルジンジャン地震は、この北アナトリア断層の東端部で起こったものである。

図2はトルコおよびその周辺地域の地震活動を示している（ISC, 1964-1987; $M \geq 4.0$, $H \leq 100$ km）。トルコ南東部から北東に延びる東アナトリア断層に沿って地震が多い。その北東終端部から西に北アナトリア断層が延びるのであるが、地震活動からはあまりはっきりしない。今回の地震（星印）は、明らかに北アナトリア断層沿いの地震である。

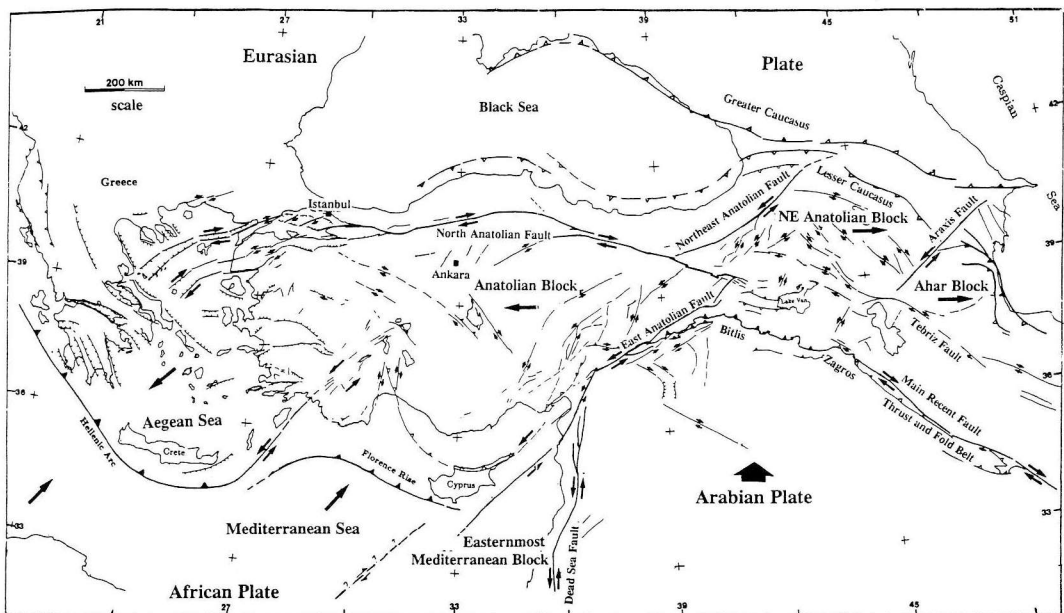


図1 トルコおよび周辺地域のテクトニクス (A. Barka 氏による)

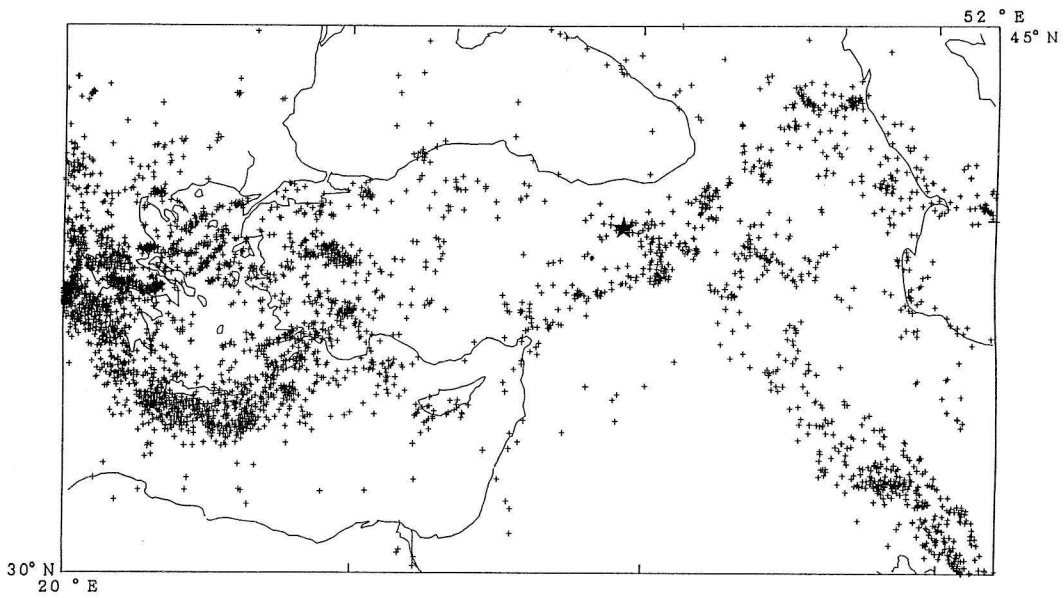


図2 トルコおよび周辺地域の地震活動 (ISC 1964-1987 データより)

本震の規模とメカニズム

本震の実体波マグニチュードは、地震直後の発表では M6.1 (USGS), M6.2 (トルコ・カンディリ観測所)であったが、その後の見直しで M6.8 (トルコ・カンディリ観測所)となった。表面波マグニチュードは M6.9 (USGS) である。本震の震央は 39.705° N, 39.549° E で、エルジンジャン市の南東数キロメートルに位置する。地震モーメントは 1.2×10^{19} Nm で、モーメントマグニチュードは 6.7 である。地震断層は走向 304° NE で、傾斜角 84° の右横ずれと推定されている。

本震の近傍に地震観測点がなかったため、地震前の微小地震活動はわかっていない。ボアージュチ大学カンディリ観測所がトルコ東部の地震観測を強化しようとした矢先に今回の地震発生となり、筆者の仲間は非常に残念がっていた。現在の観測網はトルコ西部に限られているため（その多くは英国の協力によるもの）、トルコ東部の地震のメカニズムなどについては、トルコ国内の観測記録から決めることができないのが実状である。

余震観測

本震発生直後、トルコの研究機関のみならず、ドイツ隊 (H. Berckhemer グループ、ただし一時帰国中とのことで現地では会えなかった)、フランス隊 (Armando Cisternas 氏率いる Institut de Physique du Globe de Strasbourg グループ) も地震計を輸送し、余震観測に入った。

このうちカンディリ観測所の観測点での記録から決めた3月24日から3月31日までの余震分布を図3に示した (USGS による本震と主な余震を含む)。本震と最大余震の間に余震が多く、ほぼ北西-南東方向の断層を示唆する。この分布は、上述の USGS のメカニズムおよび東大地震研究所の吉田康宏氏のメカニズム解 (阿部勝征氏による) と調和的である。ただし、現地調査の間、Aykut Barka 氏は初動の押し引き分布が少し複雑であることから、正断層の可能性も否定しきれないとしてじっと図を眺めていた。

その後のデータを追加した4月5日の段階では、最大余震から北東方向に余震がつづく傾向が見られ、北東方向の左横ずれ断層活動を示唆する (図4参照)。余震観測は続行中であり、さらにデータが蓄積すると興味深い余震分布となることが期

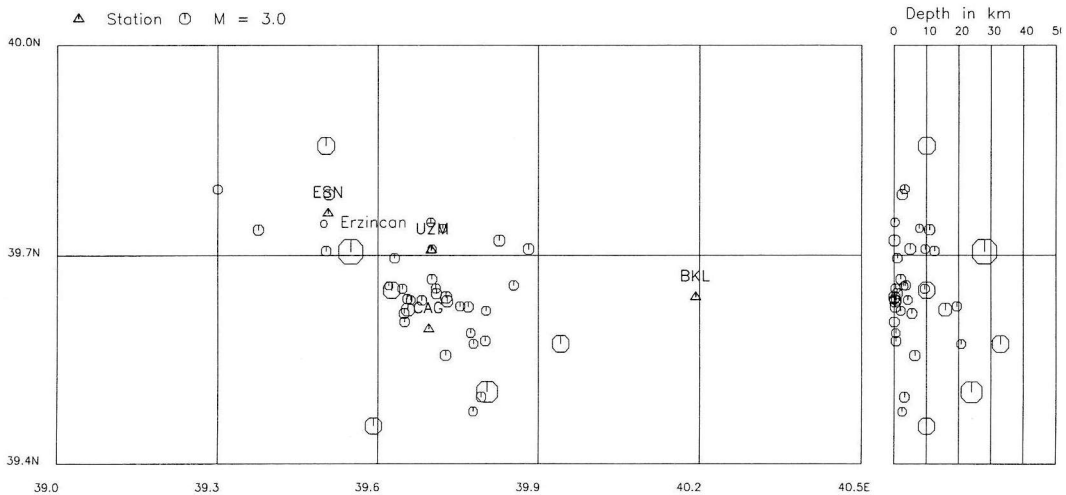


図3 余震の分布 [本震を含む](カンディリ観測所による)

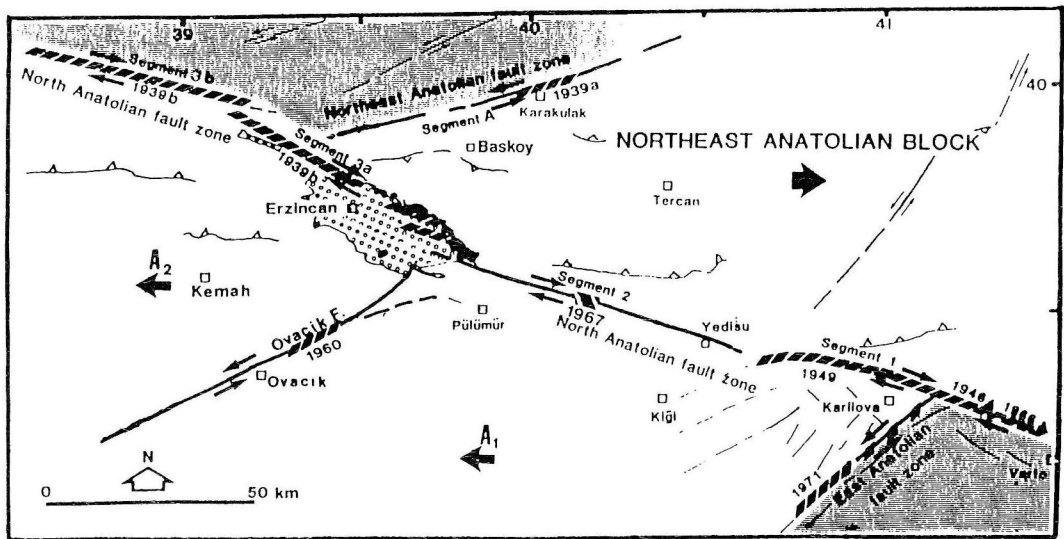


図4 エルジンジャン周辺のサイスモテクトニクス (L. Gülen, A. Barka 両氏による)

待される。

地震断層

カンディリ観測所の Aykut Barka 氏は地震発生直後に、ヘリコプターに搭乗して震源域とみられるエルジンジャン盆地を調べたが、地震断層は発見できなかった。その後、地表調査を行なったが、地震断層を示す直接的な証拠はやはり発見できていない。本震の深さが深いこと (~28 km)、および震源域が厚い堆積物に覆われていることなどによるためであろう。

GPS 観測

地震前にエルジンジャン近傍にあった地震予知観測の唯一の例は GPS 測量である。米国 MIT のグループがアナトリア・マイクロプレートの動きを調べる目的でトルコ全土に設置した GPS 観測点のうち、2点が今回の震源域の近傍に位置していたのである。地震直後に同じ MIT の研究者が急速 GPS 測定を行なったので、地震に関連する地殻変動に関する情報が得られる可能性がある。ただし、これらの観測点は予想される地震断層が

らはかなり離れているため、地殻変動が検出できるかどうか微妙である（同宿していた R. Reilinger 氏のコメント）。

地震直後に震源域近傍に新たに GPS 観測点を設置し、観測を行っていた。その目的は、地震後にも進行するかもしれない地殻変動の検出および将来の地震予知研究用の観測点の設置である。

エルジンジャン地域のサイスマテクトニクス

本地域は北アナトリア断層の東端に位置する。エルジンジャンから約 100 km 東で北アナトリア断層は終わり、そこから更に東ではアラビア・プレートとユーラシア・プレートの衝突帯が広がる。また、終点近傍から東アナトリア断層が南西に延び、やはり有数の地震多発帯となっている。このアナトリア・ブロックはユーラシア・プレートに対して相対的に西に動いているため、この断層に沿って多くの右横ずれ断層が発達している。これらはいずれも大地震を伴い、世界有数の地震地帯となっている。1939 年エルジンジャン大地震 (M 7.9) もそのうちの一つであったのである。図 4 に示したように、今回の地震は 1939 年エルジンジャン地震の東隣りで起こったものといえる。この図には注目すべき情報が含まれているのだが、

図 6 で再び取り上げることにする。

図 5 は、エルジンジャン近傍の最近の主な地震と、その震源メカニズムを示している。ほとんどが右横ずれを示し、北アナトリア断層の特徴と一致している。今回の地震も明らかにこれらの地震と同様のものである。ただし、エルジンジャン盆地に例外的に正断層を示す地震がある。これはエルジンジャン盆地形成に深く関わっているのであるが、今回の地震の震源メカニズムとして Aykut Barka 氏が両者の可能性を検討していたのは、このような事情による。

地震断層調査、余震観測、GPS 観測とそれぞれ皆忙しいのであるが、一番暇な筆者の発案で、このようなサイスマテクトニクスの実例をフィールドで見るとを目的とした巡検を行なうことになった（せっかくいろいろな国の研究者が集まっているし、ましてやこの地域のサイスマテクトニクスの第一人者の誉れ高い Aykut Barka 氏が同宿しているのだから、巡検を行なわない手はない！）。筆者は、さっそくマイクロバスを用意し、半日の忙しい行程であったが、トルコ、フランス、アメリカ、ニュージーランド、日本と国際色豊かなフィールド巡検を行なうことができた。

写真 1 は、断層露頭を示している。にこにこしている人物が案内を務めた Aykut Barka 氏であ

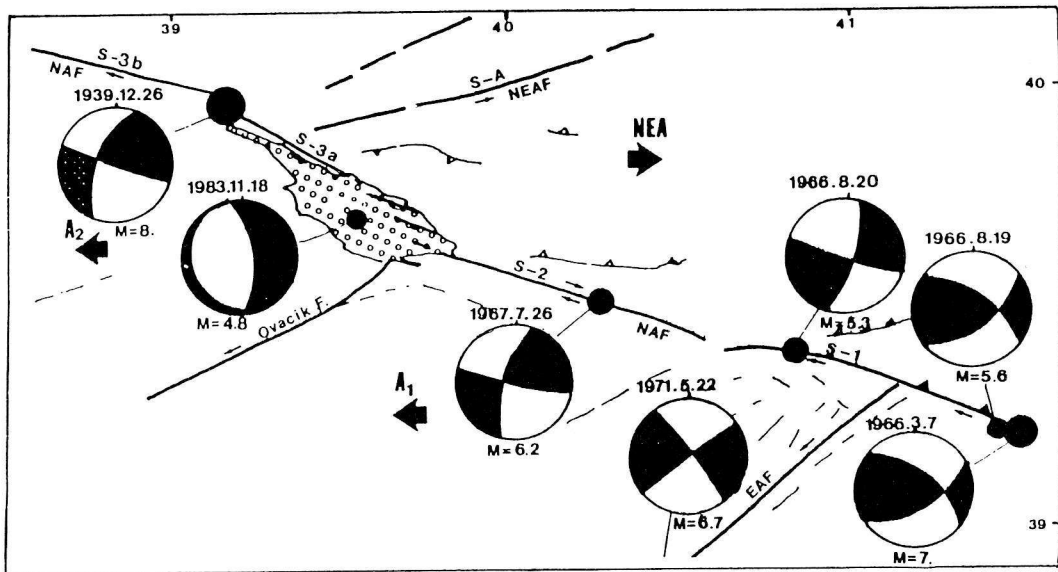


図 5 北アナトリア断層東部における最近の地震のメカニズム (L. Gülen, A. Barka 両氏による)

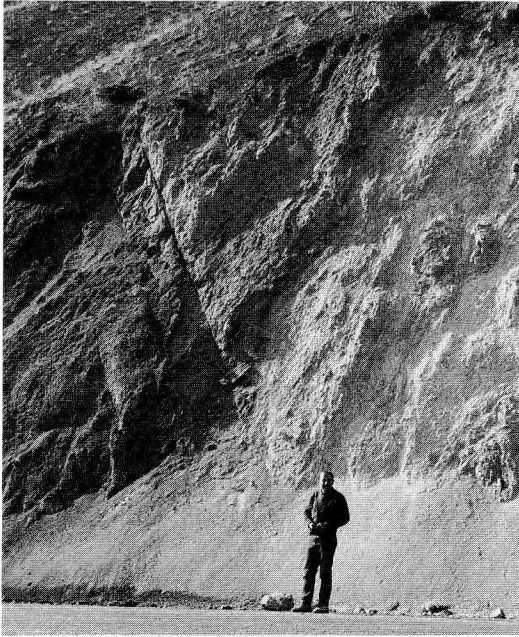


写真1 北アナトリア断層の露頭



写真2 北アナトリア断層遠望

る。この断層は1939年エルジンジャン地震のときに、1~2メートル変位したとのことである(近くの村の老人の話)。今回の地震では全く活動していない。この露頭の反対側には変位が認められるような地形があったが、時間がなかったので素通りせざるを得なかった。機会があればまた訪れたいものである。写真2は、この断層のさらに東側の遠望である。断層地形がみてとれるであろう。

地震空白域

地震発生直後は、1939年エルジンジャン地震

の震源域との重複も思い浮かんだものの、地震の規模はかなり小さく、サイスモテクトニクスの見地からはマイナーな地震であろうと思った。しかし、震源域がわかるにつれ、実は今回の地震がいわゆる地震空白域の西端部で起こったらしいことが判明するに及び、にわかはこの地震の地震予知における重要性が検討され始めた。つまり、今回の地震が1939年エルジンジャン地震につづく北アナトリア断層の一連の活動の一部をなすのではないのかという危惧である。

このことを図6を眺めながら検討してみよう。1784年の地震時に、今回の震源域(余震域から推定)の東南端からさらに南東に延びる断層活動があった(a)。その後しばらく休止期間があった。そして1939年のエルジンジャン地震時に、その北西延長部が活動した(b)。1946、1949年には1784年の活動域を飛び越して東側で活動し、地震を起こした(c)。さらに、1966、1971年とやはり東側で活動した(d)。ただし、1971年の活動は明らかに東アナトリア断層の活動である。1967年に中央部に地震が起こったが、これはほんの一部が活動したにすぎず(d)、中央部のほとんどはここ200年間ほとんど活動していないことになる。

この地域の北アナトリア断層における相対変位は1cm/yearと見積もられているので(Aykut Barka氏による)、今活動するとすれば、変位量が約2メートルに及ぶことは十分に可能である。つまり、1784年の活動域がいわゆる地震の空白域となっているかもしれないのである。

ただし、この空白域はさらに東部の空白域(MITのToksozが指摘)とは別のものである。今回の地震はこの空白域の西北端で発生したものであり、空白を埋める地震の活動の開始(広い意味での前震活動)を示唆するのではないかと危惧される。

地震予知研究に関する提言

今回の地震は500名余の死者を出すという大惨事となった。地震の規模がM7を越えていたらも

っとひどい被害となっていたことであろう。この意味でも、本地域の地震の予知は緊急の課題である。とくに、本格的地震予知観測施設が皆無である現状はなんとかして改善されるべきである。地震空白域が依然として存在しているということを考えると、本地域における地震予知研究は今すぐにも開始すべきではなかろうか。

今回現地を訪れ、フィールドの状態を詳しく見てきたが、本地域は従来研究者の間で指摘されて

いたような状況とは大きく異なり(いろいろな意味で観測を行なうことが非常に困難であるとの評がもっぱらであった)、地震予知観測が十分可能である。さらに、フランスやアメリカの研究者も含め、国際共同研究の話が持ち上がるなど、欧米諸国でも本地域での地震予知研究が取りあげられつつある。幸いにして筆者らは、文部省国際学術研究のサポートを受け、今年の7、8月に西部のテスト・フィールドで現地観測を行なうことになっているので、1週間程度エルジンジャン地域に向いて予備的観測を行なうことを検討している。これを機会にエルジンジャン地域の空白域における地震予知研究計画を検討したいものである。少なくとも、欧米各国に遅れをとりたくはないものだとは個人的には思っている。

わが国でも地震予知の難しさが指摘され、M7級の地震予知への取り組みが遅れている現状では、国内の研究がまず先で、北アナトリアくんだりまで研究に出かける余裕などないと思われるであろう。しかし、よくよく考えてみると、地震予知研究にとって重要な要素の一つは予知観測の実例を実際の地震発生と関連づけることではあるまいか。しかるに、地震予知研究は長期にわたるものであり、比較的短期間に実例を積み上げることは困難である。この困難を克服する手段の一つとして、テスト・フィールドを国外にも設定し、地震予知観測を行なうことが考えられる。もちろん、当該国との共同研究であることが前提である。検討に値する提言だと思っていただければ幸いである。

謝辞 今回の調査では多くの方々のお世話になりました。地震予知総合研究振興会の萩原会長、名大の青木教授、震研の伯野前所長、阿部教授、文部省の伊藤氏、松原氏、トルコ・カンディリ観測所のA. M. Işıkara 所長、A. Barka 氏、S. Baris 氏に、とくにお礼申し上げます。東京海上各務記念財団からは旅費、滞在費の援助をいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

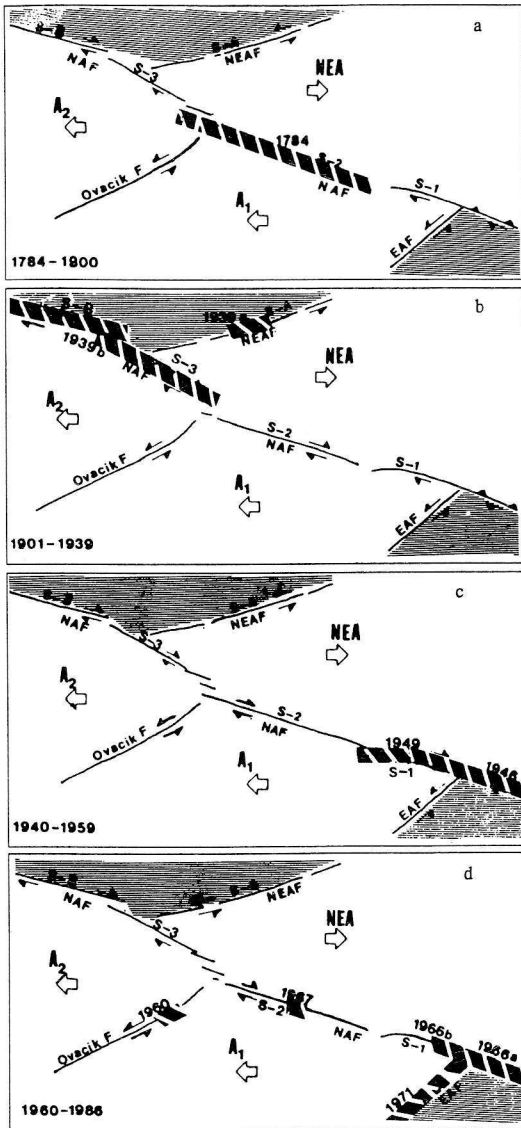


図6 北アナトリア断層東部の地震空白域 (L. Gülen, A. Barka 両氏による)

[ほんくら よしもり 東京工業大学理学部助教]

1992年エルジンジャン地震 地震動と構造物被害

浜田政則

はじめに

本年3月13日にトルコ・エルジンジャン市付近で発生したマグニチュード6.8の地震は、エルジンジャン (Erzincan) 市と、その周辺地域において死者約600人、負傷者1300人、損傷を受けた建物1万6000棟以上という大きな災害を発生させた。建物のほか、橋梁・鉄道・ライフライン施設にも比較的軽微であるが被害が発生した。

筆者は、地震発生から約1カ月後の4月9日より現地を調査する機会を得た。本文は、本地震の地震動の特性、地盤条件および被害の概要を工学的側面よりまとめたものである。

地震動の特性

本地震による地震動はトルコ各地で観測されている。図1はエルジンジャン市の気象台で観測された加速度波形である。東西方向の最大加速度は 492 cm/s^2 に達している。東西方向の加速度が卓越しているのは、本地震がほぼ東西方向の断層の横ずれによって発生したことに符合している。また、水平方向の加速度波形の先頭部分が台形状になっており、断層近傍の地震動の特徴を良く表している。

エルジンジャンより東西方向に約60 km離れたタージャン (Tercan) と、レファイエ (Refahiye) における水平方向の最大加速度は、それぞれ 50 cm/s^2 、 74 cm/s^2 であり、地震動がエルジンジャンとその周辺のみで局地的に高かったことがわかる。

図2は、エルジンジャンでの南北方向の記録の加速度応答スペクトルを示す。これによれば加速

度記録は、0.20~0.35秒付近と0.70秒前後に卓越周期を有している。これらの地震動の卓越周期は、5月15日の地震 (マグニチュード6.2、震源地はエルジンジャンの南東約30 kmのピュルミュル [Pürümür]) でも同様に観測されているこ

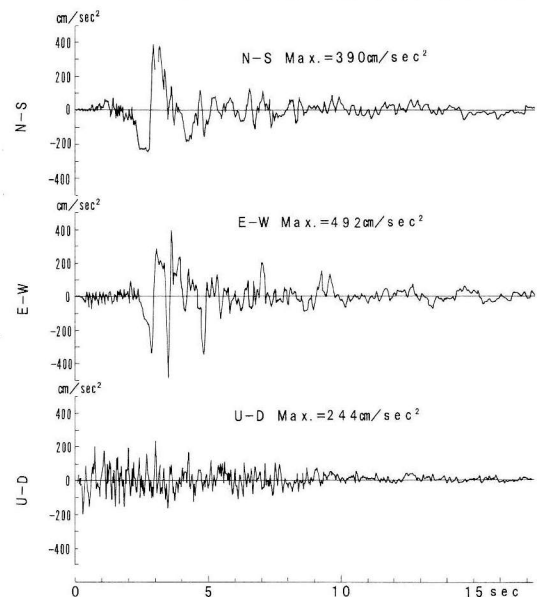


図1 エルジンジャンにおける加速度記録 (地表面)

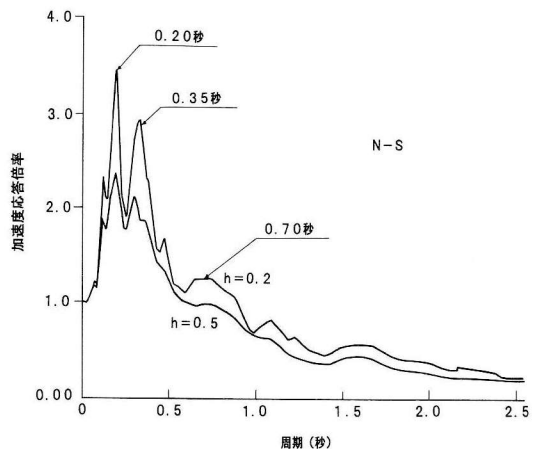


図2 加速度記録の応答スペクトル

とから地形・土質条件を反映した地盤の固有周期である可能性が高い。

地形・土質条件

エルジンジャンは東西に伸びる2つの山脈、メルジャン (Mercan) 山脈およびエセンジュ (Esence) 山脈に挟まれた盆地に位置している。このため地盤は扇状地によく見られるような砂礫層およびそれらに狭在する堅硬なシルト層により構成されている。エルジンジャン市内のボーリング結果によれば、砂礫とシルトの互層が地表よりつづくが、岩盤までの深さは明らかでない。一説によれば、市の中央部で約300mと言われている。各土層の弾性波速度が不明なので、地盤の固有周期を論ずることはできないが、加速度記録にみられた0.20~0.35秒および0.70秒前後の卓越周期が地盤の固有周期によるものとするれば、比較的浅い土層によって決定される周期と考えられる。

建築物の被害

エルジンジャン市における建物被害は、全壊2169棟 (住宅:1344, オフィス・ビル:825)、中破3290棟 (同内訳:2881,409) 小破4061棟 (同内訳:3832,229) である。エルジンジャン市の建物の総数が把握されていないので被害建物の正確な割合はわからないが、総人口が9万3000人ということより建物総数を、その5分の1程度と見込めば、全壊建物の割合は約10%ということになる。

建物では4階建および5階建の鉄筋コンクリート・ビルおよび煉瓦造の建物が被害を受けた。鉄筋コンクリート建物の被害例を写真1,2に示すが、柱と梁の結合部において柱が破壊し、崩壊または著しい損傷を受けた。

鉄筋コンクリート建物の被害原因については、詳細な調査を待たないと最終的な結論は出せないが、現時点では以下の2つの理由が考えられる。

(1) **施工不良** とくに柱と梁の結合部の施工が不良と考えられる。コンクリートの品質が悪く、



写真1 5階建の鉄筋コンクリート建物の崩壊
エルジンジャン市内の高校。

結合部で鉄筋が十分に連結されていない。また、スタラップ鉄筋の間隔が粗く、コンクリートが圧壊・崩落している個所も数多く観察された。さらにコンクリートの骨材配合が適切でなく、なかには木くずが混入しているコンクリートも見られた。(2) **地震動との共振現象** 前述したようにエルジンジャンでの加速度記録には0.20~0.35秒の卓越周期が見られた。一方、バユルケ (Bayülke, 1979) などの報告によれば、トルコの鉄筋コンクリート建物の階数Nと固有周期Tには、一般につきの関係があるとされている。

$$T=0.05N \quad (T: \text{秒})$$

上式によれば、4,5階建の鉄筋コンクリート建物の固有周期は0.20~0.25秒になり、ほぼ地震動の卓越周期と一致することになる。このことが4,5階建の建物に被害が集中した理由の一つとして考えられよう。

煉瓦造の建物には、日干し煉瓦によるものと焼入れ煉瓦によるものの2種類があるが、もともと耐震的な配慮がなされていないため、ともに大きな被害を受けた。写真3は、焼入れ煉瓦による2階建の住宅であるが、完全に崩壊した。

エルジンジャン市内には、写真4に示すようなイスラム教会が大小合わせて300以上あるが、構造的に被害を受けたのは、わずか5個の建物である。ドーム構造には全く被害が無く、石積みのみナレ (尖塔) が、写真5に示すように数カ所で崩壊した。石のブロックは鉛直方向に、セメントモルタルにより連結されているだけで、鉄筋などの補強材は入っていない。



写真2 4階建の鉄筋コンクリート・ビルの被害
基礎の柱と梁の結合部が破壊されている。

土木構造物の被害

土木構造物の被害はきわめて軽微であり、被害構造物の数も少ない。写真6はエルジンジャン市の郊外にある跨線橋である。3径間の鉄筋コンクリート単純桁（径間長：14m）で、直径75cm、高さ8～9mのコンクリート製円柱橋脚3本により支持されている。写真の右側の橋台盛土が橋軸方向に押し出し、桁に局部的な座屈を生じさせるとともに、橋脚に写真7のような曲げクラックを生じさせた。この他、いくつかの橋梁で橋台背面の盛土が見られたが、いずれも被害は軽微である。

エルジンジャンより東方60kmのタージャンにはロックフィル・ダムが存在したが、被害は報告されていない。ダムの高さ、斜面勾配などは不明である。

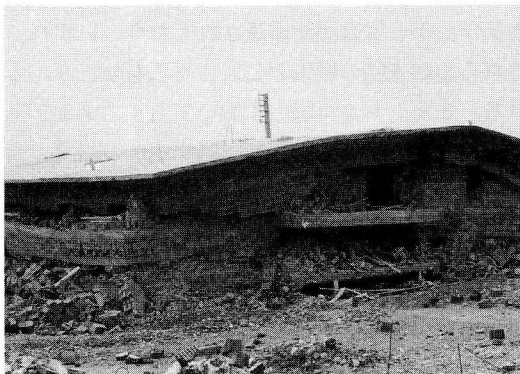


写真3 焼入れ煉瓦による2階建の住宅
柱・壁は煉瓦造であるが、床は鉄筋コンクリート造。

エルジンジャンとアーズラム（Erzurum）を結ぶ国道および鉄道にはいくつかのトンネルがあるが、トンネル本体の被害は報告されていない。しかし、2～3のトンネルで坑口の斜面のすべりが発生した。

鉄道および道路の被害も軽微である。しかし、エルジンジャン西方20kmのカラス（Karasu）では断層変位により数カ所でレールの座屈および



写真4 無被害のイスラム教会
尖塔は鉄筋コンクリート造であるが被害は報告されていない。



写真5 ミナレ（尖塔）の崩壊
台座上約20mの石積みのミナレが崩壊し、礼拝所の信者25人の命を奪った。

道路の亀裂が生じたが、地震後、早い時期に復旧され、エルジンジャンの救援活動に重大な影響を与えることはなかった。

ライフライン施設の被害

電力施設の被害としては、電柱上のトランスの

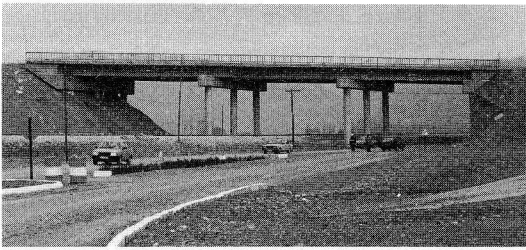


写真6 地震によって構造的な被害を受けた唯一の橋梁
橋長：約42m，橋脚高さ：8～9m.

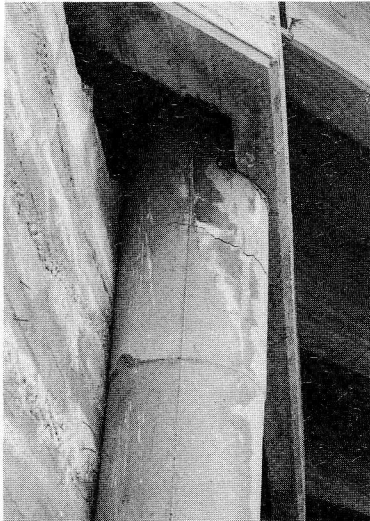


写真7 橋脚に発生した曲げクラック

落下，地中ケーブルの損傷が報告されている。地中ケーブルは総延長32kmのうち1.8kmが被害を受けた。またトランスの落下により架空配電線のうち約4kmが送電不能になった。しかし，電力施設の被害は軽微で，3日後には一部地域を残してほぼ復旧した。

水道施設のうち，貯水池およびポンプ場施設には被害が無かったが，トランスの落下などによりポンプ場への電力の供給がストップしたため，一時的に水道の供給が停止された。地震発生翌日，ポンプ場への電力の供給が再開され，下部貯水池（容量：1000m³）より上部貯水池（容量：8000m³および5000m³）に送水が開始されたが，この送水によって，下部貯水池より上部貯水池を結ぶ送水管（溶接鋼管，直径800mm）に6カ所の被害が発生していることが発見された。水道の管理責任者の話によれば，鋼管は平板を円形に折り曲

げて作成するシーム管で，シームの溶接部に沿って管軸方向にクラックが発生したとのことである。

市内の供給管は，铸铁管および塩化ビニール管などで構成されているが，24カ所で被害が発生した。これらの被害の中には，供給停止後の凍結による管の破損も含まれている。水道管の復旧は地震の14日後にすべて終了し，市内全域への供給が地震前の状態に復した。

エルジンジャン市には，総延長250kmの下水道が存在したが，流下機能が阻害された箇所はなく，管路（下水本管は直径1200mmのアスベスト管）に大きな被害は無かったものと推定される。ただし，水道管のようにリーク地点を詳細に調査したものではないことに留意する必要がある。

電話施設のうち，変換機器には全く被害が生じていない。地震直後，電話施設への電力の供給が停止されたが，バックアップ用の電源が作動し，3日間にわたる電力供給の停止をカバーした。市内には総延長18kmの電話地下ケーブルがあるが，建物との取合部が数カ所破断された程度である。

あとがき

現地での調査期間がわずか3日間であったこと，またライフライン施設などの管理体制が複雑であったこともあって，被害に関する十分な統計的資料もないまま「速報」ということで，本地震の被害の概要を記述した。

地震後，わが国からは文部省・土木学会および建築学会から調査団が派遣されており，いずれ，これらの調査団の報告が公表されるものと考えられる。また，トルコ国内においてもイスタンブール工科大学をはじめとして，いくつかの機関の調査結果が報告されることになろう。被害のより詳細な内容については，これらの報告も併せて参考にして頂きたい。

イスタンブール工科大学の名誉教授リファット・セラル先生には，現地調査に際し，心温かいご支援を頂いた。ここに記して謝意を表すものである。

〔はまだ まさのり 東海大学海洋学部教授〕

よりのよい地震防災教育

始めよう全国で
大町達夫

防災教育は地震工学の重要分野

1923年の関東地震が再発した場合、死者は15万人に達するという被害想定がある(国土庁、1988年)。耐震技術が進歩し日本の住宅や施設は地震に強くなったはずなのに死者数が関東大震災のときと変わらないのはおかしいという疑問や、この想定には高速道路や地下街、超高層ビルなどの近代施設の被害が含まれていないから実際はもっと悲惨な状況になる可能性が高いという批判もあろう。しかし、ここでは被害想定条件や精度についての議論は脇において、この想定死者数を大幅に、たとえば1桁あるいは2桁減らすことが可能か、可能であればその具体策は何か、と考えてみよう。

確かに、日本の地震工学と関連技術は世界のトップレベルと言われている。それでは、その地震工学や関連技術で首都圏での死者を大幅に減少できるかと考えてみると、率直なところ、金と時間がかかりすぎて、現実には無理なように思える。それに、もしこれが実現可能なら、そもそもこのような被害想定にはならなかったはずだとも思える。では、地震予知はどうだろう。問題は、どの程度正確な予知ができるかということになる。駿河湾で起きるとされるM8級の東海地震はともかく、それ以外の地震となると、現状は決して明るくないらしい。となると、残りは何か…? 今のところ、地震防災教育しか思い浮かばない。ただし、ここでいう地震防災教育とは、あらゆる人々を対象にして震災に対する準備を行なうよう仕向けるための教育広報活動であり、これを通して地震に対して安全な環境づくりをめざす社会運動を幅広く巻き起こし、その実現化をはかろうとするものである。

片山恒雄教授(東京大学)によれば、まさに、地震工学の目標は地震に対して安全な環境づくりである(土木学会論文集、第344号 p.4, 1984)。一方、震災に限らないが、災害はシステムの弱点をついて発生し、拡大する傾向が強い。したがって、地震に対して安全な環境づくりをめざすからには、環境をトータルにとらえ、オールラウンドな防災体制を確立することが必要である。とりわけ最近の首都圏の状況を考えれば、震災の規模は個々の構造物や施設の耐震性よりも、震災時の人間行動に依存する度合いが大きいと思われる。

従来、地震工学の主な対象は、建物や橋梁、道路などの構造物や施設で、いわば社会の入れ物の耐震化であった。その結果、入れ物は耐震的になったが、肝心の中身、すなわち、社会の主体である人間が置き去りにされてきた。そのため、冒頭で述べたように、死者数だけは関東大震災当時と変わらない想定被害になったと言えなくもない。したがって今や、地震工学は、その重点を入れ物から中身へ、構造物や施設から人間にシフトする必要がある。筆者が、防災教育は地震工学の重要分野であるというのは、このような文脈からである。



図1 関東震災の惨状(陸軍被服廠跡)

日本人の防災意識

サンフランシスコ湾岸地域を襲った1989年ロムブリエタ地震では、震災直後に多くのボランティアが大活躍した。これを契機に、防災ボランティアの役割が再認識され、日本でもその充実を図ろうとする計画が進行中である。しかし、日本と米国とでは、災害文化や防災意識の基本部分に違いがあるので、それに留意しないと日本にうまく根付かないおそれがある。

米国では、防災活動に限らず日常生活、とくに学校や病院などの公共活動は多数のボランティアによって支えられている。しかも、ボランティア活動に対する社会的評価が非常に高い。そのため、老若男女を問わず多くのボランティアが積極的に活躍しやすい素地ができ上がっている。そして、恐らくこの背景には、「汝の隣人を愛せよ」「汝の敵を愛せよ」というキリスト教的博愛主義の強い影響がある。しかし、現在の日本はこのような状況にない。

かつて、米国西海岸シリコン・バレーの住民から、こんな話を聞いたことがある。「サクラメント（カリフォルニア州政府の所在地）の役人が、この町のことをよく知っているはずがない。まして、ワシントン（連邦政府の所在地）の役人がよく知っているはずがない。だから、この町はわれわれ自身で守るよりほかない。」このような意識があるので、「あなたが地震に対する準備をするのに何を最も知りたいか」と質問すると、多くの米国人は、自分で日頃何を準備すべきかを知りたいと答える。しかし、同じ質問を日本人にすると、国や自治体の防災対策をよく知りたいと答える人が多い。

日本人は、地震に対して各人が自主的に準備するよりも行政の施策を期待する傾向が強い。そして、この期待は日本の地震防災対策が行政主導型で進められてきたことと表裏一体の関係にある。すなわち、国民が行政に地震防災対策を期待するので、行政はそれに応える形で対策を実施し成果をあげる。それを見て国民はますます行政の施策



図2 サイプルス高架橋とボランティア女性

〔解説〕 自動車の後ろに座っている2人の若い女性は、ここで何をしていますかわかりますか。崩壊した高速道路を見物しているわけではありません。実は、この人たちは、この被災地で救援・救助作業をしている人たちに、お茶やお菓子を配達する役をかってでたボランティアです。地震直後にも、押しつぶされた自動車からけが人を救出するため、多くのボランティアが活躍しました。火事の消火や、けが人の救出など、一刻を争うときのボランティアの手助けは、災害を軽減するのに非常に役立つことが、この地震でも立証されました。

（註：後述のスライド・セットより）

をあてにする…、というサイクルの相互依存関係である。

しかし、行政の施策には限度がある。そしてどんな素晴らしい行政機構であろうと、大震災直後には十分機能しない。したがって、たとえば救援隊が到着するまでは、各自が自力で生き残るほかない。こんなことは子供でも分かるはずであるが、わかっていながら、なお行政に頼りたがるのが多くの日本人なのである。

感動的な教材を！

「禁煙なんか簡単だ。今まで20回もやったことがある」というのは軽いジョークとして笑えるが、めったに起きない震災に対して多様な価値観をもつ多忙な現代人を確実に地震準備行動へ駆り立てるのは、愛煙家に禁煙を勧める以上に難しい。この難しさは、「知ることと行動することとは別だ」という人間の本性に由来している。地震防災教育を通じて社会の防災力を高めようとするとき、洋の東西を問わず、最初に出くわす障害がこの本性

である。

新聞やテレビのニュースでは5W1Hと言われるが、地震防災教育でも5W1Hを考える必要がある。ただし、この場合には、誰が、誰に、いつ、どこで、何を、どのように教えるか、という5W1Hなのでニュースの場合とは少しちがう。

地震防災教育を、図3の3つのタイプに大別するとわかりやすい。これらは図のように相互に関連しているが、タイプ1,2,3の順にそれぞれ、心の教育、身体の教育、頭脳の教育、と言ってもよい。

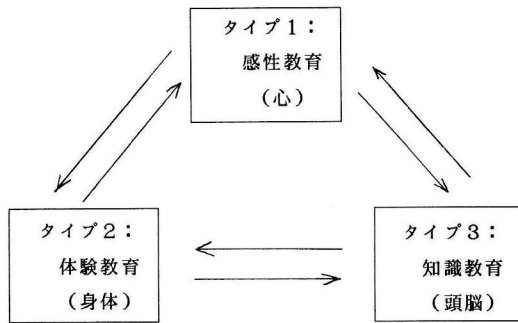


図3 3種類の地震防災教育

(1)タイプ1 [感性教育] 防災教育の効果が震災時に確実に発揮されるためには、教育効果が時間経過とともに風化消滅するようではいけない。人々の心に着実に根づく防災教育を行なうには、まず迫力のある感動的な教材で潜在意識のレベルに達するくらい心理的に揺さぶって防災意識を目覚めさせるという動機づけが不可欠である。

戦前の小学校で使われていた国語教材「稲むらの火」は、防災教育の教材として、今なお根強い人気がある。これは、津波の到来を予感した老人が取入れ間近かの稲束に火を放って村人を呼び寄せ多数の人命を救うという、1854年安政地震の実話を素材にした短編物語で、読者に例外なく深い感銘を与える名作である。1983年日本海中部地震で40名の小学生が津波の犠牲となったとき、どこからともなくその復活論が沸き起こったのも、まだ記憶に新しい。この教材のよさは、人命の尊さと緊急事態での臨機応変な行動の重要性を平易に理解させ、それを感受性豊かな子供達の心に強く刻印するところにある。

(2)タイプ2 [体験教育] 「習うより慣れよ」の諺どおり体験を通して教えるもので、要するに模擬訓練である。これには、避難訓練や集団下校訓練など大地震を想定して行なう実地訓練や起振車による震度体験、消火訓練などが含まれる。このうち、避難訓練は、従来、最も重視され、繰り返し実施されている。参加者の熱意や関心を高めるため、ゲーム性や意外性を導入するなどの工夫をして、訓練を活性化する努力も重ねられているが、いま一つ盛り上がらないとの嘆きを聞くことが多い。

(3)タイプ3 [知識教育] 読本やビデオなどの教材を使って、地震防災について教えられている内容は、つぎの6項目に分類できる。すなわち、「地震の科学」「地震災害」「防災対策」「地震時の対応」「日常の備え」「応急処置」である。各項目の詳細な内容説明は不要であろう。低年齢の子供には、主に「地震時の対応」や「日常の備え」が教えられ、年齢が進むにつれて他の内容も付加されるという工夫はされている。これらの情報が必要となきすぐ見られるように、また多くの人の目に触れるように、米国では電話帳やスーパー・マーケットの買物袋にも印刷されている。

日本では、近年、タイプ2,3の教育に重点がおかれ、タイプ1の教育による防災意識の動機付けが不足している。タイプ2,3の教育が実を結ぶためには、その前段階で動機付けが適切に行なわれていることが必要であるが、現状ではこれが欠けている。避難訓練や副読本を使った授業を繰り返しても効果が上がらず、防災意識が希薄で熱意が乏しい原因の一端はここにある。

地震防災意識を高めるには

地震防災は、極めて実践的な分野である。地震の発生機構や構造物の地震応答についての知識がどんなに豊富でも、また、日頃から地震災害に関する興味や関心が人一倍強くても、それが実際に地震災害の防止や軽減に役立たなければ、防災上有効な知識や意識とは言えない。また防災意識が本当に高ければ、有効な防災対策を具体的に必ず

実践するはずである。

従来、地震防災意識という言葉は、いろいろな意味合を込めて漠然と使われている。しかし、前述の「知ることと行動することとは別だ」という本性を前提に、地震防災意識を行動実績で評価してみるのもひとつの有用な方法である。

日本では9月1日が「防災の日」とされているが、カリフォルニア州では1906年のサンフランシスコ地震にちなんで4月18日前後の1ヶ月が地震月間である。この1ヶ月間に学校、企業、家庭や地域、行政機関などで多様な地震防災キャンペーンが実施されるのは日本と似ているが、そのキャンペーンの成果の評価方法が、いかにもアメリカ人らしくておもしろい。キャンペーンへの動員人数はどこでも使う指標であるが、そのほか彼らが使っている指標に、商店での防災用品の売上高がある。これでこの期間にどれだけ市民が地震に対する準備を実践したかを測定しようとする狙いと、防災キャンペーンは一大事業でありこれを商売として成り立たせたいという願いが、この指標に込められている。

防災キャンペーンと同様に、地震防災教育の効果を測定することも重要な課題である。これがうまく測定できれば、よりよい教育の方法や教材を開発することも容易になる。また、市民の地震防災意識のレベルを測定したいこともある。これらの場合にも、実践重視の視点に立てば合理的な測定方法の指針が得やすい。この視点から、中学生の地震防災意識を調査して得られた次の結果は、多くの示唆を与えてくれる。

われわれは、大地震の経験にまさる地震防災教育はないと思ったり、震災を体験した者は防災意識が高いと思いがちである。しかし、防災意識を高めるためには、地域や学校の防災体制を充実することが、大地震を体験することと同程度かそれ以上に効果的である。また、実践的な地震防災意識は、防災体制の充実や感動的教材による心理的揺さぶりで動機を与えられ、それが駆動力となって防災についての関心や知識が増大し、最終的に地震に対する準備行動に移るというプロセスで形成される。

したがって、たとえ児童生徒や市民の地震防災意識が低くても、それを嘆く前に、防災体制を充実させ、一方で心理的揺さぶりをかければ、自然に意識は高まり、各自が防災の知識を深め準備を心がけるようになる、ということなのである。

避難訓練の活性化

防災教育のなかで、最もポピュラーなのが避難訓練である。しかし、緊迫感を欠いた、訓練のための訓練が多く、全般に参加意識が低いのが実状である。この現状を改善するために問題の所在を探るには、つぎのようなシミュレーションを試してみればよい。

まず学校の先生に、図4のような状況カードを提示する。つぎに、①先生個人として、このような状況で児童生徒を避難させる必要があると思うか、②そのように判断するのはなぜか、と質問する。状況カードは、現実起こりうる場面を複数用意し、順に提示して①、②の質問を繰り返す。そして時々、「避難命令が出たが、動かせない重傷者がいる場合、どうするか」という、いじわる質問もしてみる。これらを実際に行なってみた結果を要約すれば、つぎのようである。

現状では大半の先生は、避難誘導の判断に迷いが多すぎる。避難訓練が惰性に流れ人気がないのも、先生に迷いが多く、自信をもって迫力ある指

(状況2)

時刻は午前9時30分、先生は教室で授業中です。突然、突き上げるような動きと共に、教室がガタガタ小刻みに揺れ始めました。続いて、校舎がグラグラと激しく揺れました。

先生は児童生徒に「すぐ机の下に潜りなさい」と指示されました。

数分後、前よりもっと強い揺れがやってきました。本棚やロッカーが転倒して大きな音が教室に響きわたりました。児童生徒は悲鳴を上げています。激しい揺れで先生も机にぶつかり、一瞬放心状態になりました。窓ガラスが割れて、破片が散乱しています。

まだ、弱い揺れが続いています。

図4 避難誘導シミュレーションの状況カード

導ができないためではないかとも思われる。この迷いを吹き払い先生に自信を与えるには、避難誘導時の行動選択に役立つ明快な基準や適切に緊急事態に対応できる行動目標を見つけ出し、それを社会的コンセンサスにまで熟成させる必要がある。目標が明確であれば、場当りのでなく臨機応変な行動選択がしやすいからである。そして避難訓練では、予想されるさまざまな震災状況で、この基準や目標を混乱なく達成するための練習をすれば、訓練は緊迫感に満ち溢れ自然に活性化してくるものと思われる。

言うまでもなく、防災活動や避難行動の究極の目標は、人命尊重である。「稲むらの火」では、村人の命を最大限救うという目標があり、この目標を達成するために稲束に火を放つという非常手段を使った。これは、まさに臨機応変である。同様に考えれば、学校の避難誘導では「全児童生徒の安全性を最大化する」ことを行動目標としてもよからう。この目標が納得できれば、安全性を最大化するには、いつ、どこへ、どのように避難させるかという手順が具体的に考えやすい。

地震にかかわる児童生徒の安全性には、肉体的なものや精神的なもの両面がある。肉体的な安全については怪我の救急手当の訓練が従来から行なわれているが、精神的な安全に関する心理カウンセリングの訓練は行われていない。強い地震があれば恐怖を感じるのは人間の自然な感情であり、恐怖を感じた児童生徒が動揺し危険な行動をとることもある。避難誘導者が、恐怖感や孤独感を軽減するためのカウンセリング技能を習得しておくことも必要であることがわかる。

「全児童生徒の安全性を最大化する」という行動目標は時には、つらい思いを強いることも承知しておく必要がある。前述のシミュレーションで動かさない重傷者がいる場合、重傷者を置き去り他の大多数の児童生徒を先生が引率して無事に避難させることが、この目標にかなった行動であろう。しかし現状では、この行動選択は、必ず反論を呼び、議論を引き起こす。置き去る重傷者に対しては可能な限り傷の応急手当と心理カウンセリングは行なうこと、先生が残ってもこの場面でそ

れ以上有効な処置は期待しにくいこと、他の大多数の児童生徒の安全性を犠牲にしてはいけないことなどの理由をあげて説明しても、納得が得られないことが多い。いずれにしても、このような議論には事前に決着をつけておくことが重要である。震災に直面する前に、皆で納得できる行動目標を定め、その適用例を具体的に検討して、現場で迷いの少ない合理的な行動がとれるよう訓練するのが、避難訓練の本来の目的なのである。

隄（かい）より始めよ

これまでに、筆者らが実際に行なってみた地震防災教育の実例を二、三紹介してみよう。読者がこれなら自分でもできそうだと感じられ、よりよい地震防災教育運動が全国で盛り上がる一助になれば幸いである。

(1)教材づくり 1985年メキシコ地震のときは、生々しい現地の被害状況や被災者の窮状がテレビのニュースや特別番組で何度も報道された。筆者の研究室では、学生が家庭で録画したその映像を再編集し、音楽とナレーションを入れて15分間のビデオ教材を作成した。人命の尊さや救援救出作業における協力の重要性をごく自然に納得させ、地震防災意識の動機づけをしたいという制作主旨で、ファイバー・スコープがとらえら瓦礫の中の生存者のまばたきや、崩壊したビルの中から1週間ぶりに救出された赤ちゃんの脇で救助隊員が抱き合って喜ぶ場面など感動的な場面を積極的に取り入れた。このビデオ教材はその後、多数の小中学校や防災講習会で使用され好評を得たが、その理由は上述の制作主旨が通じたからであろう。

ある中学校の先生から授業で使いたいので、1989年ロマプリエタ地震の写真を貸して欲しいという要望があった。これにヒントを得て、筆者の書棚で眠っていたアルバム集から選んで、20枚1組のカラー・スライド・セットを作成した。そして、これに簡単な解説書をつけて、顔なじみの学校に配布したところ、大層喜ばれた。図2の写真と解説は、そのセットの一部である。被害地震があると、多数の研究者や防災関係者が現地調



図5 学生が自主制作した地震防災ポスター

査を行ない写真を撮影する。それらの写真や調査内容は専門的な報告書にまとめられるが、その後はほとんど書棚に眠ったままとなる。ここで、ほんの少しのサービス精神を發揮してスライド・セットでも作れば、これらは文句なしに迫力溢れた教材となりうる。そして、これを学校や職場などに提供すれば、よりよい地震防災教育ができる。

(2)防災教育を兼ねた強震観測 強震動の観測記録は、地震工学上貴重な資料であるが、素人が見てもおもしろい。まして、自分で体感し観測した記録であれば興味は尽きないであろう。また多数地点での記録を集めて比較すれば、興味が一層深まるに違いない。このような考えで筆者らは数年前から、市民や中高生と一緒に強震観測ネットワークを作り始めた。これには、運よく中古の強震計が多数入手できたことも大いに関係している。もともと強震計は堅牢で壊れにくくできているので、中・高等学校での地震観測には最適である。

計画では、南関東地域の約20地点に強震計を設置する。設置場所は、主として中学校や高等学校、市民センターなどで、ここで生徒や先生、市

民が観測者となって地震観測を行う。われわれは、観測に必要な技術的支援をするとともに、解析者としてネットワークで観測された記録を総合的に解析し、その結果を平易に整理解説した資料を観測者にフィードバックして教材として使ってもらう。1992年3月現在、観測場所は10地点、すなわち目標達成率は50%であり、今までに地震動記録を観測者に3回フィードバックした。

(3)地震対策案づくり 青年や成人には、児童生徒を相手にするのと同じ教育方法は通用しない。しかし、彼らは専門的能力があり自尊心も高いので、その気にさせれば主体的に個々の問題点を明かにし、対策を考え実現することもできる。したがって、この場合には、最初の動機づけが、とくに重要なポイントとなる。つぎに示す「大学の地震対策案づくり」は、大学院授業の一環として実施されたものである。

まず、感動的な教材で学生の関心を高めた後、つぎの手順によって大学の地震対策案を作成することを提案する。

- ①地震対策案の主要な構成項目について全員でブレン・ストーミングする。
- ②全員が各項目の作業グループに別れ、分担内容を定める。
- ③各人が分担項目について、現状調査し実現性の高い対策案を考える。
- ④調査結果と対策案をまとめ、学長に対策の実現化を請願する。

この提案に賛同が得られれば、ただちに①から着手する。全体の作業は、毎週1回2時間余りの授業時間を4～5回使う程度で十分である。過去3年間実施した結果、この授業は学生だけでなく、大学全体の地震防災教育に有効なことがわかった。学生が教務部や施設部へ行って調査するので、その職員はいやでも大学の防災体制について考えさせられるし、最後は学生が学長に直接請願するので、学長の防災意識も高められるからである。図5は、この授業で学生が自主制作したポスターのひとつである。この制作者は、学内者の地震防災意識が低いことを痛感し、このポスターを廊下や教室、研究室などに掲示することを学長に提言した。

【おおまち たつお 東京工業大学教授】

いま大地震に見舞われたら

東京における地震被害の想定

池上武彌

はじめに

東京をはじめとする南関東地域で最大の自然の脅威はやはり地震である。このため、東京都防災会議では、地震による被害の軽減を最重要課題のひとつとして、全力で取り組んでいる。

地震災害に適切に備え、対処するために地域防災計画があり、実効性のある計画を樹立するためには適切な計画目標値を設定しなければならない。地震被害想定調査は、現在の東京における地震被害を可能な限りの確に、科学的に推計することを目的としている。

東京都防災会議ではこれまでに昭和 57 年に東京区部、昭和 61 年に多摩地域の被害想定を実施してきているが、首都圏における近年の都市化の進展は著しく、被害の様相に変化が考えられること、また、新たな想定手法やコンピュータ・シミュレーション技術の開発などで詳細な想定が可能になったことから、都市的な被害を含めた新たな被害想定調査を実施した。

(1) 今回の被害想定の基本方針 今回の被害想定調査の実施に際しては、都市における被害の様相を可能な限り把握できるよう、つぎの基本方針を設定した。

(a) 物的被害や人的被害のみならず、それらが都市機能や社会生活に与える波及的な被害についても明らかにする。

(b) 過去の事例や現況データをもとに、できるかぎり定量化を目指す。

(c) 必要に応じて発災直後から 1 カ月後程度までの状況を想定する。

(d) 住民の目から見た被害の状況を「被害のシナリオ」としてまとめる。

(2) 想定項目 主な想定項目は、つぎのとおりである。

区 分	項 目
自然現象 建築物 道路・港湾 ライフライン	地震動、液状化、津波 建築物、落下物、フォック等 道路、鉄道、河川堤防等 上水道、都市ガス、電力、 電話、下水道
危険物	引火性・可燃性物質、 LPガス、毒劇物
地震火災 人的被害 社会生活	出火、消火、延焼 死者、負傷者 住居制約、帰宅困難等

(3) 想定地震 想定地震は、関東地震（1923 年）の再来を基本とし、南関東の相模トラフ上に震源をもつマグニチュード 7.9 の地震とした。

なお、調査期間中に直下地震の発生の切迫性が指摘されたので、安政江戸地震（1855 年、震源地＝江東区新木場付近）の再来についても検討した。

(4) 地震発生時の環境条件 地震による被害は、発生する季節、日時、気象条件などに大きく左右されるが、東京においては現在でも火災による被害が大きな割合を占めると考えられることから、火気の使用率が高い冬の夕方 6 時ごろに発災するとし、風速は毎秒 6 m とした。

主な想定項目の手法と結果の概要

(1) 地震動・液状化・津波 これらは自然現象のひとつで、それ自体は被害ではないが、建築物をはじめとするすべての被害算定の基本となるものである。

地震動および液状化については、都内を 500m

メッシュに区切り、各メッシュごとに算定している。

(a)地震動 地震動については、これまでは地域間の相対的な表示（関東ローム層を1としてそれに対する相対比較）であったが、今回はメッシュごとに、①地表加速度を算定したこと、②応答スペクトルを求めたこと、が大きな特徴である。

このためには、震源からの距離による減衰量の算定、応答計算に必要なボーリング・データの入手、具体的な入力波形の設定等を行なった。

想定手法の概要は、つぎのとおりである。

- 地質解析・物性解析……東京都および周辺での土質柱状図、地形図などの地盤資料を収集・解析し、メッシュごとに地盤判定を行なった（第1次地盤分類）。また、これと平行して土質定数データ、PS検層データなどを収集・解析し、土質別に物性値を設定した。
- 表層地盤の増幅特性……第1次地盤分類ごとに地盤のモデル化を行ない、伝達関数を求めた。つぎに土の剛性率と減衰定数の剪断歪依存性を考慮した応答計算によって増幅特性を求め、両

者を比較して地震学的分類を行なった。

- 関東地震の加速度の検討……関東地震による被害資料を検討し、木造家屋の被害率と震度（加速度）の関係式を用いて、地表加速度分布を求めた。

表1 地表加速度の出現比率及び液状化判定結果

項 目		区 部			
自然環境	揺れ	区 分	震度 7	震度 6	震度 5 以下
		面積の割合	1.5%	79.2%	19.3%
	液状化	区 分	可能性大	可能性小	可能性なし
		面積の割合	19.0%	36.2%	44.8%
項 目		多 摩			
自然環境	揺れ	区 分	震度 7	震度 6	震度 5 以下
		面積の割合	0.0%	17.4%	82.6%
	液状化	区 分	可能性大	可能性小	可能性なし
		面積の割合	2.1%	8.5%	89.4%
項 目		合 計			
自然環境	揺れ	区 分	震度 7	震度 6	震度 5 以下
		面積の割合	0.5%	38.6%	60.9%
	液状化	区 分	可能性大	可能性小	可能性なし
		面積の割合	7.8%	18.0%	74.2%

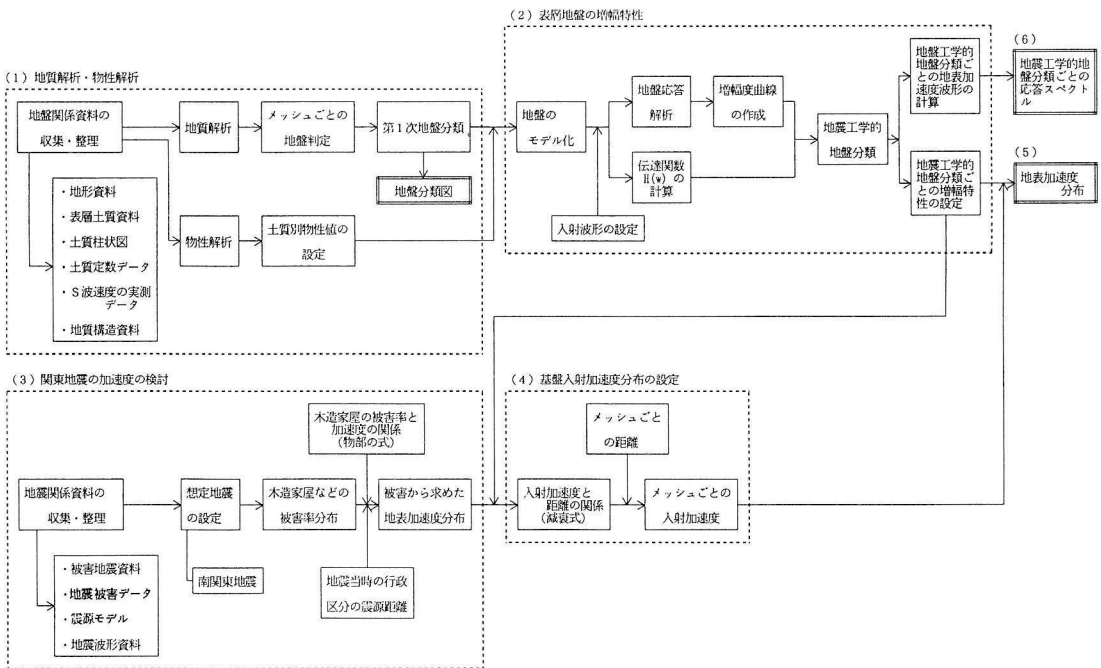


図1 地震動想定手法のフロー図

めた。

- 基盤入射加速度分布の設定……被害データから求めた地表加速度から表層地盤の増幅特性を用いて基盤入射加速度を算出し、基盤入射加速度の距離減衰式を作成した。また、これを用いてメッシュごとの基盤入射加速度を求めた。
- 地表加速度分布の算定……基盤での入射加速度に各メッシュの地盤の増幅特性を乗じ、地表加速度分布を得た。
- 応答スペクトルの算出……応答スペクトルは、地震工学的地盤分類ごとの地表応答波形を入力

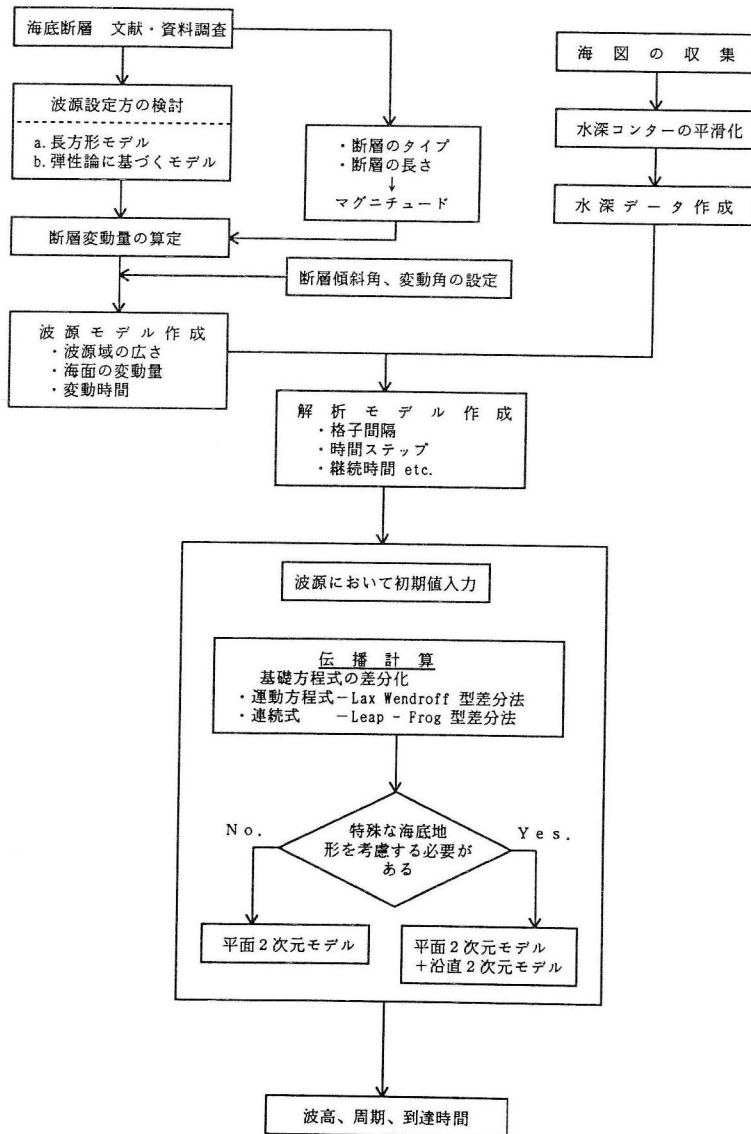


図2 東京湾内の津波想定手法フロー図

して算出した。

地盤震動の想定フローを図1に、算定された地表加速度の出現比率を表1に示す。

(b)液状化 地盤の液状化は、メッシュごとに液状化の可能性について可能性大、中、ほとんどなしの3段階で評価した。

液状化の判定手法は、これまでに都建設局で実施した東京低地の液状化予測手法とほぼ同様である。

液状化判定結果を表1に示す。

(c)津波 津波は東京湾内及び河川遡上について図2のフローに示す数値シミュレーションを用いて算定した。

このうち、断層モデルは、断層の長さ=85 km、幅=55 km、傾斜角=30度、深さ1 km、走行方向の食い違い=右ずれ6 m、傾斜方向の食い違い=逆断層3 mと設定した。また、対象エリアのメッシュ分割は、東京湾外海は5000 m、湾内では東京港に近づくにつれてメッシュを細分化し、最小は156.25 mとした。

河川遡上では、河川河口部における想定水位をインプット・データとして同様にシミュレーションを行なった。

その結果、東京湾内の荒川河口部で100~120 cm、隅田川河口部で90~120 cm、江戸川河口部で80~95 cm、多摩川河口部で40 cm程度となった。

また、河川遡上の算定結果として隅田川の例を表2に示す。

(2) 建築物 建築物の被害では、木造、非木造の建築物、

表2 津波の河川遡上の算定結果（隅田川）

距離(km)	0	2	4	6	8	10	15	20
時刻(分)	46	50	55	60	66	71	86	100
水位(cm)	118	103	95	80	67	63	50	40

表3 震動、液状化による建築物の被害算定結果

項 目		区 部			
区 分		大 破	中 波	計	
震動・液状化による建築物の被害	木 造	棟 数	25,803棟	92,743棟	118,546棟
		棟数の割合	1.9%	7.0%	5.4%
	R C 造 [鉄 コンクリート造]	棟 数	2,632棟	9,238棟	11,870棟
		棟数の割合	2.4%	8.4%	6.6%
	S 造 [鉄骨造]	棟 数	4,485棟	2,513棟	6,998棟
		棟数の割合	4.3%	2.4%	5.5%
	合 計	棟 数	32,920棟	104,494棟	137,414棟
		棟数の割合	2.1%	6.7%	5.4%
	項 目		多 摩		
	区 分		大 破	中 波	計
震動・液状化による建築物の被害	木 造	棟 数	2,413棟	11,828棟	14,241棟
		棟数の割合	0.3%	1.6%	1.1%
	R C 造 [鉄 コンクリート造]	棟 数	467棟	1,692棟	2,159棟
		棟数の割合	1.3%	4.6%	3.6%
	S 造 [鉄骨造]	棟 数	543棟	1,059棟	1,602棟
		棟数の割合	2.0%	3.8%	3.8%
	合 計	棟 数	3,423棟	14,579棟	18,002棟
		棟数の割合	0.4%	1.8%	1.3%
	項 目		合 計		
	区 分		大 破	中 波	計
震動・液状化による建築物の被害	木 造	棟 数	28,216棟	104,571棟	132,787棟
		棟数の割合	1.4%	5.0%	3.9%
	R C 造 [鉄 コンクリート造]	棟 数	3,099棟	10,930棟	14,029棟
		棟数の割合	2.1%	7.5%	5.8%
	S 造 [鉄骨造]	棟 数	5,028棟	3,572棟	8,600棟
		棟数の割合	3.8%	2.7%	5.2%
	合 計	棟 数	36,343棟	119,073棟	155,416棟
		棟数の割合	1.5%	5.0%	4.0%

表4 ビル落下物の算定結果

項 目	区 分	区 部		多 摩		合 計	
		落下棟数	落下率	落下棟数	落下率	落下棟数	落下率
落下物	飛散物	39,223棟	16.5%	8,425棟	11.2%	47,648棟	15.2%
	非飛散物	37,370棟	15.7%	8,792棟	11.7%	46,162棟	14.7%

表5 ブロック塀、石塀の被害算定結果

項 目	区 部	多 摩	合 計	
ブロック塀	倒壊件数	70,490件	36,417件	106,907件
石塀の倒壊	倒壊率	21.6%	18.0%	20.2%

ブロック塀の倒壊、ビル落下物等について想定した。このうち、木造、非木造の建築物の被害はメ

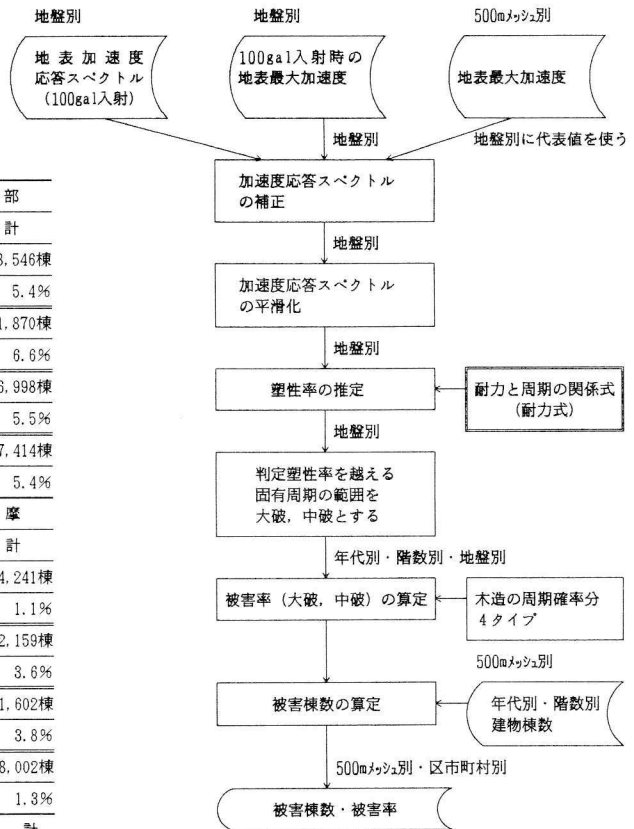


図3 震動による木造建築物の被害想定フロー図

ッシュを単位として算定、他は区市町村の総数で算定した。

(a)木造、非木造の建築物 都内のすべての建築物データ（建築年代、階層、構造等）を収集し、木造（軽Sを含む）、S造（SRC造を含む）、RC造ごとにそれぞれ震動による被害数、液状化による被害数を求めた。

震動による被害数の算定では、建築物の所在地における地震動、スペクトルから個別に応答計算を行った。液状化による被害は、これまでの被害事例を基に推計した。

想定手法として、震動による木造建築物の被害想定フローを図3に、震動、液状化による建築物の被害を総合化した結果を表3に示す。

(b)ビル落下物、ブロック塀、石塀 ビル落下物は、窓ガラスなどの飛散物と、屋外広告物などの非飛散物とに区分し、落下物の実態調査結果による発生比率から総数を求めた。

ブロック塀、石塀は、都内の存在量を区市町村別に推計し、宮城県沖地震による震度別被害事例から被害数量を算定した。

想定結果を表4および5に示す。

(3) ライフライン ライフラインの被害として上水道、電力、都市ガス、電話、下水道について、物的被害、機能被害、復旧日数を定量的に想定した。

ライフライン関係の施設は、多種類の設備で構成されているが、ここでは機能上および復旧上重要な施設として、図4の線で囲った施設を対象とした。

	上水道	都市ガス	電力	電話	下水道
レベル・1	貯水施設 取水施設 導水施設	貯留施設等	貯留施設等	—	—
レベル・2	浄水施設	製造施設	発電施設	—	処理施設等
レベル・3	送水管	高圧導管 中圧導管	送電設備	中継線路設備	幹線管きよ
レベル・4	給水所等	整圧所等	変電所	電話局	ポンプ場
レベル・5	排水管	低圧導管	配電線	市内系電話設備	枝線管きよ
レベル・6	給水装置	供給・灯内管	引込線	引込線	封・取付管

図4 ライフラインの主な施設

物的被害は、地震動、液状化、火災延焼を原因とした被害数量を求めた。

機能被害は、主に被災箇所を切り離した後の状態で幹線、非幹線に分けて機能支障需要家数を求めた。また、火災延焼区域内の電話線、電力配電線も被害を受けるものとした。

復旧日数は、機能支障地域に対しての応急復旧が完了する概略の日数を想定した。

ライフラインの被害算定結果を表6に示す。

(4) 火災 地震による火災の算定は、出火件数から消火件数と延焼不拡大数を除いて最終的に延焼拡大数を求めた。

延焼不拡大とは、出火点周辺の状況から単発火災（1棟だけの火災）で終わり拡大しない火災をいう。

出火件数は都全域で758件、そのうち消火件数468件と延焼不拡大件数163件を除いた127件が延焼する火災となった。

市街地の延焼は、延焼阻止効果を有する道路、鉄道、河川、大規模な公園、耐火構造の団地など

表6 ライフライン3施設の被害算定結果

項 目		区 部		
ライフライン の被害	区 分	制約需要 家数	支障率	復旧完了 日数
	上水道	325,621軒	9.0%	17日
	ガス	3,684,868軒	98.5%	26日
	電力	2,021,976軒	38.0%	6日
項 目		多 摩		
ライフライン の被害	区 分	制約需要 家数	支障率	復旧完了 日数
	上水道	66,062軒	5.9%	6日
	ガス	446,760軒	43.3%	26日
	電力	340,959軒	18.0%	4日
項 目		合 計		
ライフライン の被害	区 分	制約需要 家数	支障率	復旧完了 日数
	上水道	369,542軒	7.8%	17日
	ガス	4,131,628軒	86.6%	26日
	電力	2,363,790軒	32.8%	6日

により区分される地域を延焼ユニットとして設定（総数2700）し、出火点、風向風速、延焼速度などの条件を与えてコンピュータによるシミュレーションを行なった。

この結果、都内の約20%の面積が焼失することとなった。

出火、消火、延焼件数及び焼失棟数、焼失面積を表7に示す。

(5) 人的被害 これまで、人的被害の算定は木造家屋の倒壊、焼失件数と死者数による回帰式を作成して死者総数を算定していた。

しかし、非木造建築物の増加により回帰式（経験式）を適用することが不向きとなってきた。また、過去の回帰式のみで算定する限り、死者の発生原因が明確でなく、具体的な防災対策を講じることができないうえ、どのような防災対策を講じ

表7 出火、消火、延焼件数及び焼失棟数、焼失面積

項 目		区 部	多 摩	合 計	
地 震	出火・消火・延焼 の件数	出火	580件	178件	758件
		消火	345件	123件	468件
		不拡大	138件	25件	163件
		延焼拡大	97件	30件	127件
火 災	延焼（48時間後）	焼失面積	140.75km ²	88.00km ²	228.75km ²
		焼失面積率	23.5%	15.4%	19.5%
		焼失棟数	477,353棟	155,293棟	632,616棟
		焼失棟数率	30.5%	18.7%	26.4%

ても、それが一向に評価されないこととなる。

例えば、都内に建築物がある限り過去の事例による一定の割合で壊れ、焼失し、その結果、一定の割合で死者が発生することになり、どんなに広域避難場所を整備しても、仮にすべての建築物を不燃化したとしても、依然として多くの焼死者が発生することになってしまう。

そこで今回は、死者数を要因別に算定すると

表8 死者の算定結果

項	目	区 部	多 摩	合 計	
死 れ	揺 れ	建物倒壊	97人	0人	97人
		ブロック塀・石塀倒壊	92人	41人	133人
		ビル落下	65人	11人	76人
		斜面崩壊	26人	68人	94人
	小 計	(280)人	(120)人	(400)人	
火 災	出火直後	延焼中	8,481人	400人	8,881人
		小 計	(8,542)人	(421)人	(8,963)人
		合 計	8,822人	541人	9,363人

表9 負傷者の算定結果

項	目	区 部				
	区 分	重傷者	軽傷者	計		
負 傷 者	揺 れ	揺れ	6,785人	80,510人	87,295人	
		火 災	出火直後	276人	670人	946人
			延焼中	10,176人	26,301人	36,477人
			小 計	(10,452)人	(26,971)人	(37,423)人
	合 計	17,237人	107,481人	124,718人		
項	目	多 摩				
	区 分	重傷者	軽傷者	計		
負 傷 者	揺 れ	揺れ	899人	10,830人	11,729人	
		火 災	出火直後	67人	194人	261人
			延焼中	2,890人	7,470人	10,360人
			小 計	(2,957)人	(7,664)人	(10,621)人
	合 計	3,856人	18,494人	22,350人		
項	目	合 計				
	区 分	重傷者	軽傷者	計		
負 傷 者	揺 れ	揺れ	7,684人	91,340人	99,024人	
		火 災	出火直後	343人	864人	1,207人
			延焼中	13,066人	33,771人	46,837人
			小 計	(13,409)人	(34,635)人	(48,044)人
	合 計	21,093人	125,975人	147,068人		

もに、火災の延焼による死者については避難シミュレーション方式を採用することとした。

避難シミュレーションでは、250mのメッシュ単位で、各メッシュごとの人口密度等の要素、人々の避難行動要素（避難開始時刻、避難速度など）と火災の延焼要素によりシミュレーションを行ない、火災に囲まれた、火災に追いつかれたなどの状況になった場合に死者が発生するとして算定した。また、元となるメッシュ内人口は夕方6時の時点の人口を推計して用いている。

死者、負傷者の算定結果を表8、表9に示す。

これによると、東京における死者の発生要因は依然として火災の延焼によるものが大きいことがわかるが、防災効果が反映されたため全体としては前回の想定の数万7000人から大幅に減少している。

『資料・日本の地殻水平歪』
限定部数複製頒布のお知らせ

本書は、国土地理院の承認を得て、同院の技術資料F・1No.6『日本の地殻水平歪』を、当財団が研究資料として研究者の利便を目的とし、その複製版を限定発行したものです。

ご希望の方々のために、下記のような実費頒布を致しております。お問合わせ下さい。

日本の地殻水平歪 国土地理院編

●体裁 上製・証判 本文133頁 2色刷
付録 カラー歪図 2編

●頒布実費 [送料を含む] 20,000円

●申込先

〒101 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

☎03-3295-1966 FAX03-3295-1996

●郵便振替口座 東京1-109120

なお、限定部数のため、在庫も少数となりましたので、お問い合わせ下さい。

財団法人 地震予知総合研究振興会

〒101 東京都千代田区神田美土代町3

これに対して負傷者は、これまでは木造家屋のみを対象としていたが、今回は非木造建築物、ビル落下物、屋内収容物など広範囲にわたり対象としたことから総数は増加している。

(6) 住居制約者 住居の倒壊、焼失などにより自宅で生活ができなくなり、避難所での生活を余儀なくされる世帯数と人口を算定した。

これまでは罹災者として算定していたが、今回は、アンケート調査結果をもとに、住居に被害はなくとも上水道、電力の供給停止により避難所での生活をする世帯を含める一方、地方への疎開者は除いた人口（行政が援助を必要とする人口）を住居制約者として算定した。なお算定は、発災1日後、2～3日後、1週間後の時系列で行なった。住居制約者の算定結果を表10に示す。

島しょの被害

東京都の島しょ部（伊豆諸島）について大きな影響が考えられるのは津波である。

津波は安政東海地震のモデルにより、津波伝播シミュレーションを実施し、各島別に算定した。

表10 住居制約者の算定結果

項 目		区 部			
区 分	家庭内	流通在庫	計	公的備蓄	
住居制約	食料のストック	0.57日	0.19日	0.76日	1.29日
	飲料水のストック	0.30日	—	—	23.6日
区 分	1 日後	2～3 日後	1 週間後		
避難所生活世帯	671,808世帯	635,318世帯	437,279世帯		
避難所生活人口	1,696,922人	1,605,021人	1,100,031人		
項 目		多 摩			
区 分	家庭内	流通在庫	計	公的備蓄	
住居制約	食料のストック	0.59日	0.21日	0.80日	1.22日
	飲料水のストック	0.26日	—	—	28.6日
区 分	1 日後	2～3 日後	1 週間後		
避難所生活世帯	142,798世帯	176,607世帯	119,666世帯		
避難所生活人口	409,977人	504,397人	340,766人		
項 目		合 計			
区 分	家庭内	流通在庫	計	公的備蓄	
住居制約	食料のストック	0.58日	0.19日	0.77日	1.28日
	飲料水のストック	0.29日	—	—	25.1日
区 分	1 日後	2～3 日後	1 週間後		
避難所生活世帯	814,606世帯	811,925世帯	556,945世帯		
避難所生活人口	2,016,899人	2,109,418人	1,440,797人		

算定結果では、大島で地震から4分後に2.9m、新島で9分後に5.8m、三宅島で6分後に5.2mとなっている。

被害のシナリオ

被害想定は、東京都や防災機関が防災計画などの策定に活用するとともに、住民への啓発資料として活用することも目的としている。しかし、被害想定は、その性質上、確率による表示が多く、住民にとっては必ずしもなじみ易いものとなっていない。

そこで、想定結果を背景に、広く都民に理解してもらえるよう日常生活と結びつけ、住民の目から見た被害の様相をシナリオとしてまとめた。

直下地震の検討

直下地震による被害は、震源付近の一部の地域では関東地震と同程度の被害、その他の地域ではそれ以下となった。

おわりに

東京における地震被害は、実際には非常に複雑な様相を示すと考えられる。

今回の被害想定調査では、地震による被害の全体像を把握することを主たる目的とし、想定項目を幅広く捉えて実施してきた。このため、パニック、自動車事故、医療制約などのように被害様相が複雑な項目については想定することができなかった。また、発災の季節も冬の夕方という火災を重視したモデル1ケースだけを実施したが、環境条件を変更すれば被害の量も被害の様相も大きく変化することが考えられる。一方、災害抑止力については、現在の防災力が有効に機能した場合を想定したものである。

油断をすれば、地震による被害は、今なお果てしなく拡大する可能性があることを、改めて認識する必要がある。

【いげがみ たけひろ 東京都総務局災害対策部防災計画課調査係長】

直下地震対策の強化

埼玉県における大規模地震被害想定調査の概要

富田 忠

はじめに

埼玉県は、昭和38年8月に埼玉県地域防災計画を作成し、各種防災計画を推進してきた。しかし、この地域防災計画は、風水害対策に重点を置いた計画であり、地震対策に関しては必ずしも十分とはいえない面があった。地震被害は、広域のかつ突発的であるところに特色がある。このため、地震被害の特殊性などを考慮して、昭和51年12月に埼玉県地域防災計画の別編として、埼玉県震災対策計画を作成し、総合的な地震対策を推進してきた。この間、埼玉県をとりまく社会的、経済的環境は激しく変化し、平成2年1月1日現在、人口630万人、世帯数200万を突破し、社会的進展などに伴う都市型災害の発生が懸念されてきた。

一方、昭和63年6月27日には、中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会で、埼玉県を含む南関東地域に、中規模ながら震源地付近では激甚な被害の発生が予想される、直下地震の発生の切迫性が指摘された。首都機能の一翼を荷なう埼玉県としては、こうした直下地震が発生した場合、その被害は甚大なものになることが予想される。このため、地震防災体制を強化し、地震に強い街づくりを一層推進していく必要が生じてきた。そこで県および市町村の地域防災計画を見直し、直下地震対策を推進していくための基礎的資料とするため、平成元年度から2回目の地震被害想定調査を実施した。

調査の概要

調査は、平成元年度から平成3年度にかけての3か年間で実施した。平成元年度は、地質および

地盤などに関するデータを収集し、表層地質図を作成するとともに、地震動の予測および液状化の可能性について調査を実施した。平成2年度は、人口、建築物およびライフライン施設などの現況データを収集し、死者・負傷者などの人的被害、建築物被害、火災の発生、ライフライン施設被害、道路などの交通輸送施設被害、その他物的被害および地震被害の社会的影響などについての調査を行なった。その結果は、シナリオの形で取りまとめ報告書の概要版として、平成3年10月に公表した。

また調査結果を基に、地震防災思想の普及啓発を図るためのビデオフィルムを制作した。

平成3年度は、調査の過程で収集した地質や地盤などに関する資料、各種現況データおよび被害想定 の 課程で開発した予測手法などの、今後の有効の活用を図ることを目標に、地震被害予測情報システムを開発した。

このシステムは、地震発生時の震源および震度情報などを基に、即時に埼玉県内の震度分布および液状化の発生ならびに被害の発生傾向を予測する即時予測システム、人口、建築物など、県内現況データの更新ならびに想定地震の震源モデルおよび断層モデルなどの変更に基づき、新たな被害予測を実施するための詳細予測システムおよびボーリング柱状図の円滑な管理、運用を図るための地質地盤情報システムから構成し、平成4年度から運用を開始する予定である。

調査は、応用地質株式会社へ委託し、調査の公正さを期すため学識経験者および県職員で構成する、大規模地震被害想定調査委員会（委員長：片山恒雄東京大学生産技術研究所教授）を設置し、調査に関する基本的方向や専門的事項についての助言と指導を得ながら実施した。

なお、庁内には関係課で構成する庁内防災対策検討委員会を設け、調査の内容などに係る協議および意見の提出など、庁内の調整を図りながら実施した。

調査のフローチャートは、図1のとおりである。

調査の特色

今回の大規模地震被害想定調査は、前回（昭和55年度および昭和56年度調査）の経験と成果を十分に生かしながらも、最新の知識を取り入れて、どこで、どのような被害が発生するのか、また、被害

の発生により、どのような影響があるのかといった、地震被害が社会生活へ及ぼす影響までを含めた。その特色としては、つぎのようなことがあげられる。

- (1) 南関東地震に加え、直下地震を対象とした。
- (2) 基盤地震断層は、震源を、従来の1つの点から広がり方を考慮した、震源断層モデルとして設定し、基盤地震動を翠川・小林の方法によって算出した。
- (3) 応答計算に用いる地震動波形は、直下地震としての内陸の浅い地震を想定しているため、埼玉県内の地震観測結果を用いた。
- (4) 既往地質地盤資料（約11,400本のボーリング柱状図）のデータ不足を補うため、県内10か所でボーリング調査を実施し、PS検層および動的土質試験などを行なった。
- (5) 短周期の地震動の評価およびやや長周期領域での地震動の評価に当たっては、埼玉県内の深い地盤構造を明らかにするために、人工地震探査を行なった。
- (6) 地震動や砂質土の分布と液状化の関係を把握するため、全市町村の史誌を収集整理するとともに、1923年の関東地震および1931年西埼玉

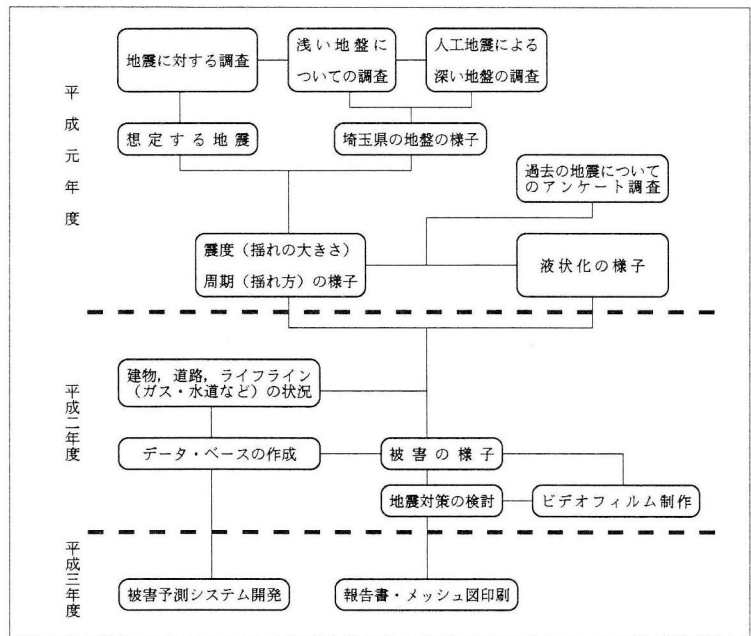


図1 大規模地震被害想定調査のフローチャート

地震の地震体験者を対象に面接方式によるアンケート調査を行なった。

- (7) 調査結果の取りまとめに当たっては、被害の発生から拡大あるいは地域的な特色を考慮して、地震の発生から被害の復旧までをシナリオの形にまとめるとともに、地震防災思想の普及啓発活動用のビデオフィルム「大地震発生！ その時あなたは…」(24分)を制作し、市町村および消防本部などへ配布した。

想定地震

この調査では、歴史地震、活構造およびプレートテクトニクスなど、埼玉県をとりまく様々な地震環境に基づき、その影響の度合いおよび地域的な分布を勘案し、つぎの6地震を想定地震とした。

- (1) 南関東地震 過去最大の被害を与えた地震
- (2) 西埼玉地震 県北部に最大の被害を与えた地震
- (3) 安政江戸地震 県内にかなりの被害を与えた地震
- (4) 茨城県南西部の地震 最近発生した県東部の地震

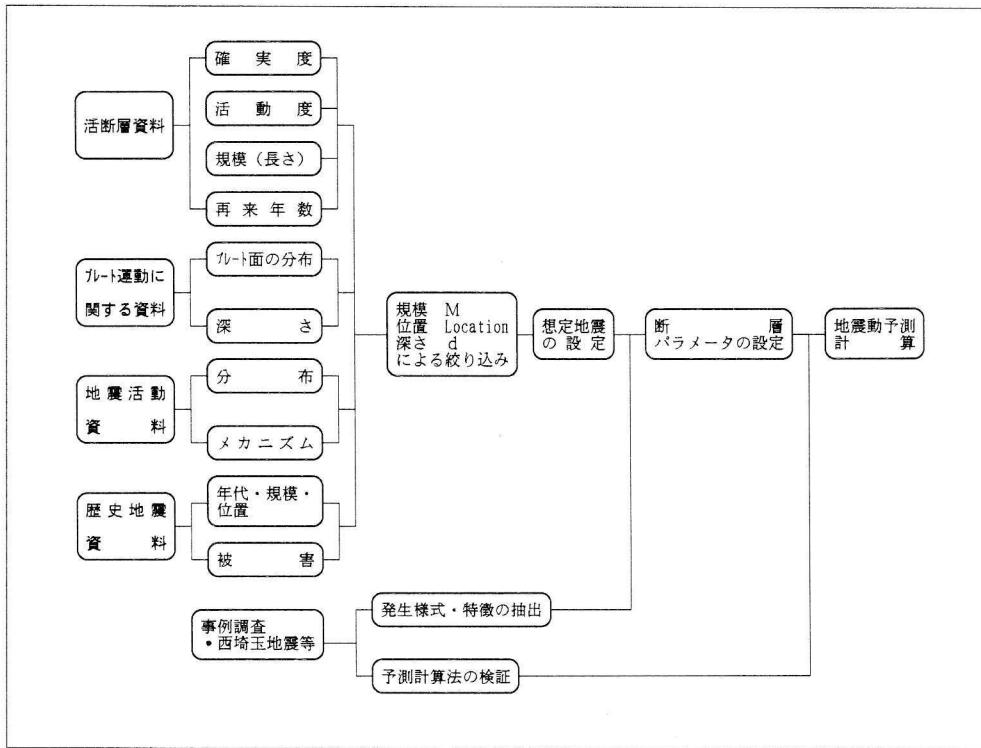


図2 想定地震設定の流れ

- (5) 秩父の地震 最近発生した県西部の地震
- (6) 綾瀬川断層による地震 活構造として最大の影響があると想定される地震

想定地震設定の流れは、図2のとおりである。

地震動の予測

震源で発生した地震波は、地震基盤層（S波速度が3km/秒以上）を経て表層の地盤に入り増幅される。地震基盤での地震波は、震源の規模や震源からの距離に大きく依存するが、地表での地震波の増幅は、表層の地盤の構成、物性および層厚に大きく影響されることが知られている。今回の予測方法は、地震動の周期特性を考慮している点に特徴がある。

地震動の予測に当たっての模式図は、図3のとおりである。図4は、地震動予測の流れである。

断層モデルの設定に当たっては、従来は震源を1つの点として仮定することが多かったが、最近では断層モデルを設定して、震源の広がりやを考慮す

ることが多くなってきている。このため今回の調査でも震源断層のパラメータを設定し、地震動を予測した。

想定地震ごとの断層モデルは、つぎのとおりである。

- (1) 南関東地震 松浦ら（1983年）により提案されているモデル。
- (2) 西埼玉地震 阿部（1974年）により提案されているモデル。
- (3) 安政江戸地震 宇佐美による震央（被害分布から求めた）と関東地震のモデル（同じプレート上にある）を参考に設定した。
- (4) 綾瀬川断層による地震 活構造図による位置と長さを基に、同じ内陸の地震である西埼玉地震のモデルを参考に設定、断層の幅は、長さの1/3とした。
- (5) 茨城県南西部の地震 1989年2月に発生した地震のマグニチュードを大き

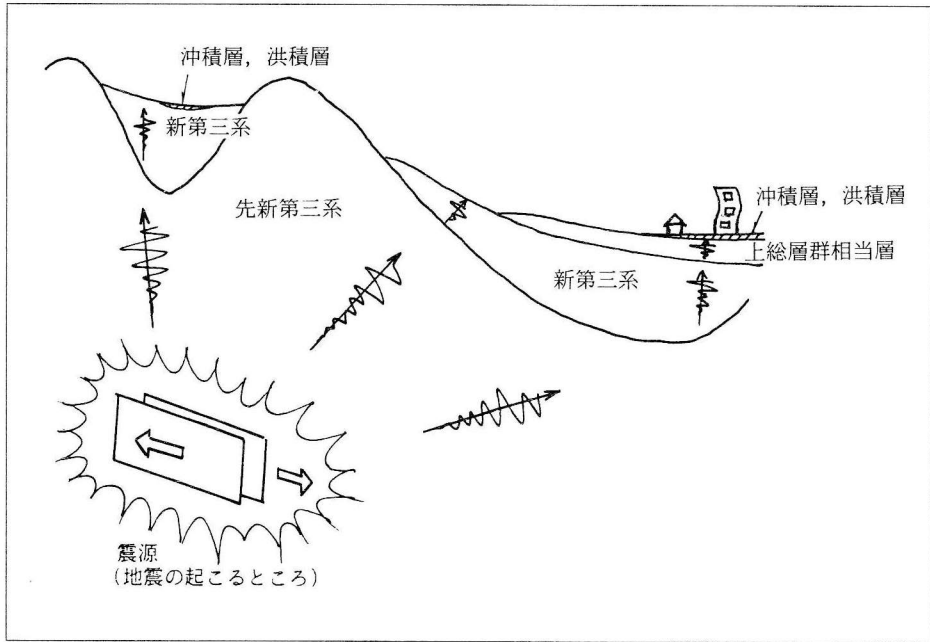


図3 地震動伝播の模式図

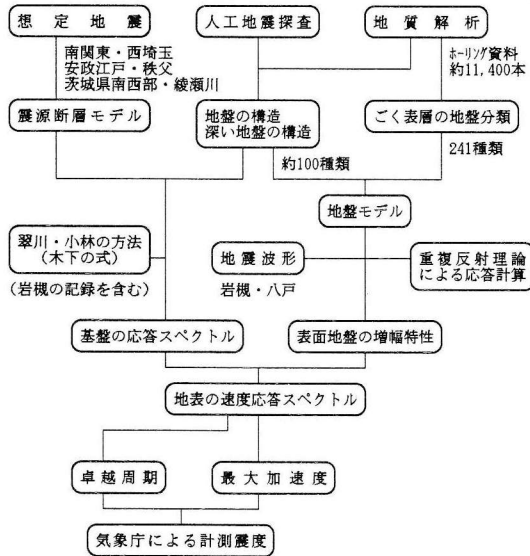


図4 地震動予測の流れ

液状化の判定

液状化の予測は、前回の予測結果を基礎としながらも、液状化履歴調査によって検討するなど、精度の向上に努めた。判定方法は、FL法およびPL法を用い直下地震による波形の影響など、種々の補正係数を検討したほか、液状化履歴調査の結果をも参考に判定した。

判定の対象とした地層は、地表から深度20 mまでにある砂質土(N値1~20)および礫質土(N値1~15)層とした。N値1~15の礫質土層は、洪積の砂質土であり、一般には液状化しにくいところと考えられている。しかしながら、埼玉県内には地表からあまり深くないところに平均N値が8程度の、比較的柔かく地下水で飽和した洪積層が多く分布している。このため今回の調査では、こうした地層も判定の対象とした。

液状化履歴調査は、地震動および砂質土の分布と液状化の関係を把握するため、埼玉県内の市町村から市町村史誌を収集整理し、1923年の関東地震および1931年の西埼玉地震の地震被害と液

(6) 秩父の地震

くして、プレートの境界面の傾きを考慮して設定した。1988年9月に発生した地震を参考にして、マグニチュードを大きくして設定した。

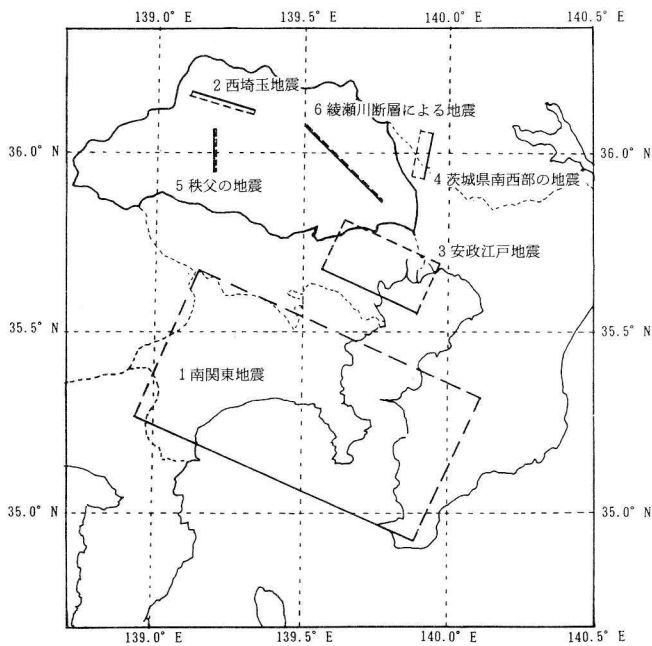


図5 想定地震の断層位置図

状化による被害の記述などをとりまとめた。さらに、両地震の体験者を対象にアンケート調査を実施し、液状化の実態を調べた。調査は、関東地震では浦和市・春日部市・草加市・三郷市・杉戸町および吹上町、西埼玉地震では、本庄市および深谷市の8市町の約350名を対象とした。対象者は、アンケート調査の記憶の確かさを考慮して、地震当時の年齢でほぼ15歳以上の人とするとともに、高齢者であることから面接による聞き取り調査とした。

調査内容は、液状化現象に限らず地震による被害全般にわたって行なったが、主な質問内容は、地震発生時の状況、液状化（地割れ）などの様子、井戸からの噴砂の有無、家屋の被害、堤防・橋の被害の様子およびその他地震の教訓などである。

被害予測の方法

被害予測の方法の概要は、表1のとおりである。

被害予測の結果

予測結果は、被害の数量や影響を各項目ごとに、

あるいは想定地震ごとの比較という面からとらえる一方で、被害が発生する順序や地域的な分布などを配慮しながら、地震が発生し被害が拡大していく様子を、一つのシナリオとしてまとめ、地震の全体像をとらえることを試みた。

綾瀬川断層による地震のシナリオは、つぎのとおりである。

つき上げるようにして、突然、大地が大きく揺れ始めた。県の東部一帯では、ほとんどの人が立ってられないほどの激しい揺れであった。揺れがおさまった後には、大宮台地の北に沿って、北西から南東に走る長さ数十キロメートルに及ぶ断層が現われた。

過去の記録にもなく、誰もが予想もしていなかったこの大地震は、大宮台地の北を流れる綾瀬川に沿って延びる綾瀬

川断層が動いたために発生した地震であった。地震の規模は、マグニチュード7.4、巨大地震といえるほどではなかったが、断層の上にある埼玉県は未曾有の大被害となった。

地震による揺れは荒川の東側で震度5～6、荒川西岸の台地上でも震度5を記録した。震度6以上を記録した市町村も多く、利根地域・中央地域および比企地域東部を中心に合計34市町に及んでいる。

液状化が激しかったのは、大宮台地の北、断層の真上に当たる北本市・桶川市・蓮田市・伊奈町の一帯と吹上町および加須市と騎西町の境界付近である。

木造建物の被害は、全県で6万3000棟に達した。8割近くは地震動による被害で、被害のあった地域は、震度6の地域とよく一致している。液状化による被害は、北本市・桶川市・蓮田市・伊奈町および吹上町に多い。

大宮市で7000棟の被害を受けたほか、1000棟以上の被害を受けた市町村が、行田市・桶川市・上尾市など18市町村に及んだ。このうち吹上町・川里村・伊奈町・桶川市・蓮田市・北本市および騎西町は、被害率も10パーセント以上と高

表1 被害の予測方法

項目	予測対象	予測内容	予測単位	集計単位	予測方法
地震動	地表	震度(最大加速度・卓越周期)	メッシュ	メッシュ	基礎加速度：新規格を用い応答スペクトルを計算(翠川・小林の方法)、地表の増幅：重複反射理論によるF _v ・P _v 法
	液状化	液状化の可能性	メッシュ	メッシュ	降伏強度は相対的間数で与える 降伏強度は相対的間数で与える 降伏強度は相対的間数で与える 降伏強度は相対的間数で与える
建物	木造建物	大破・中破数(率)	メッシュ	メッシュ	弾性応答スペクトルから簡便法で求めた弾塑性応答スペクトルによって被害を予測する
	鉄筋コンクリート造	大破・中破数(率)	メッシュ	メッシュ	保有耐力(I _{cs})は相対的間数で与える
鉄骨造	鉄骨建物	大破・中破数(率)	メッシュ	メッシュ	1978年宮城県沖地震の震度と被害の関係を予測する(望月の方法)
	ブロック塀	倒壊数(率)	メッシュ	メッシュ	落下危険物の実態調査に基づいて被害を予測する
落下物	3階以上の建物の付属物(推定)	落下件数(率)	メッシュ	メッシュ	落下危険物の実態調査に基づいて被害を予測する(東京消防庁の方法)
	火災器具	炎上出火件数	メッシュ	メッシュ	火災器具：木造全壊率から予測(総プロの方法)、危険物：施設別の出火率を設定(東京消防庁の方法)
出火	木造建物	焼上出火件数	メッシュ	メッシュ	流田式で計算した延焼速度と消防力から一次運用による出火の可能性を判定する
	配水管	被害数(率)	メッシュ	メッシュ	最大加速度から求めた標準被害率を地盤・管種・管径係数で補正して被害を予測する(久保・片山の方法)
上下水道	市町村	被害数(率)	メッシュ	メッシュ	最大加速度から求めた標準被害率を地盤・管種・管径係数で補正して被害を予測する(久保・片山の方法)
	県	被害数(率)	メッシュ	メッシュ	最大加速度から求めた標準被害率を地盤・管種・管径係数で補正して被害を予測する(久保・片山の方法)
ガス	配電管	被害数(率)	メッシュ	メッシュ	最大加速度から求めた標準被害率を地盤・管種・管径係数で補正して被害を予測する(久保・片山の方法)
	中圧管	被害数(率)	メッシュ	メッシュ	最大加速度から求めた標準被害率を地盤・管種・管径係数で補正して被害を予測する(久保・片山の方法)
電気	電柱	被害数(率)	メッシュ	メッシュ	最大加速度から求めた標準被害率を地盤・管種・管径係数で補正して被害を予測する(久保・片山の方法)
	配電線	被害数(率)	メッシュ	メッシュ	最大加速度から求めた標準被害率を地盤・管種・管径係数で補正して被害を予測する(久保・片山の方法)
道路	加入回線	被害数(率)	個別	個別	震度から設定した被害率によって被害を予測する(前回調査の方法)
	全道路	被害数(率)	個別	個別	震度と地盤種から被害を予測する(前回調査の方法)
橋梁	歩道橋	被害数(率)	個別	個別	震度から設定した被害率によって被害を予測する(前回調査の方法)
	歩道橋	被害数(率)	個別	個別	震度と地盤種から被害を予測する(前回調査の方法)
鉄道	新幹線を除く200路線	被害危険性	個別	個別	震度、液状化、地盤種、構造から上部構造の落下に重点を置いて耐震性を判定する(久保・片山の方法)
	新幹線	被害数(率)	個別	個別	最大加速度から被害を予測する(前回調査の方法)
崖	建設者・居住者が管轄する斜面734箇所	被害危険性	個別	個別	震度と地盤種から被害を予測する(前回調査の方法)
	建設者・居住者が管轄する斜面734箇所	被害危険性	個別	個別	震度と地盤種から被害を予測する(前回調査の方法)
河川堤防	建設者・居住者が管轄する斜面734箇所	被害危険性	個別	個別	震度と地盤種から被害を予測する(前回調査の方法)
	建設者・居住者が管轄する斜面734箇所	被害危険性	個別	個別	震度と地盤種から被害を予測する(前回調査の方法)
死者	全居住者	被害可能性	個別	個別	重要水防区内の重要水防箇所35箇所
	全居住者	被害可能性	個別	個別	重要水防区内の重要水防箇所35箇所
負傷者	全居住者	被害可能性	個別	個別	重要水防区内の重要水防箇所35箇所
	全居住者	被害可能性	個別	個別	重要水防区内の重要水防箇所35箇所
避難者	全居住者	被害可能性	個別	個別	重要水防区内の重要水防箇所35箇所
	全居住者	被害可能性	個別	個別	重要水防区内の重要水防箇所35箇所
断水世帯	全居住者	被害可能性	個別	個別	重要水防区内の重要水防箇所35箇所
	全居住者	被害可能性	個別	個別	重要水防区内の重要水防箇所35箇所
停電世帯	全居住者	被害可能性	個別	個別	重要水防区内の重要水防箇所35箇所
	全居住者	被害可能性	個別	個別	重要水防区内の重要水防箇所35箇所
建物	木造・非木造建物	被害数	市町村	市町村	被害数
	木造・非木造建物	被害数	市町村	市町村	被害数
上下水道	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
ガス	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
電気	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
道路	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
橋梁	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
鉄道	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額
	被害額	被害額	市町村	市町村	被害額

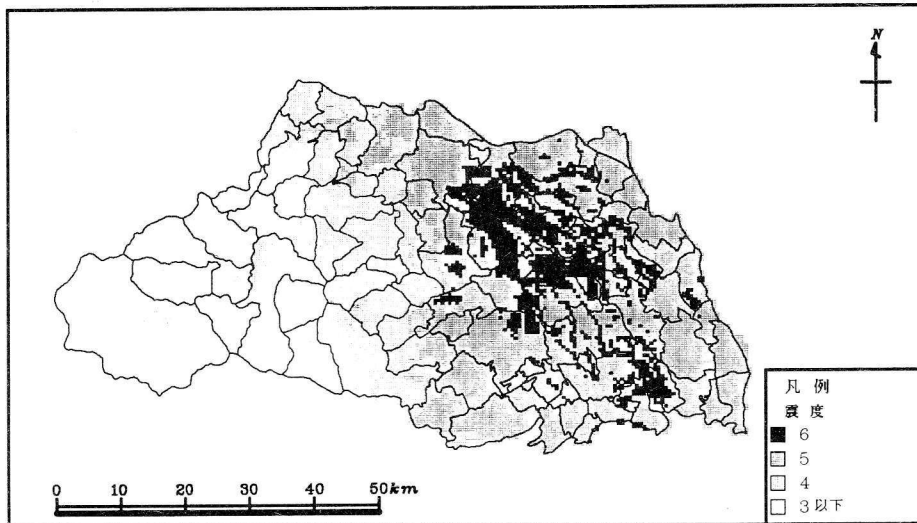


図6 震度分布図（綾瀬川断層による地震）

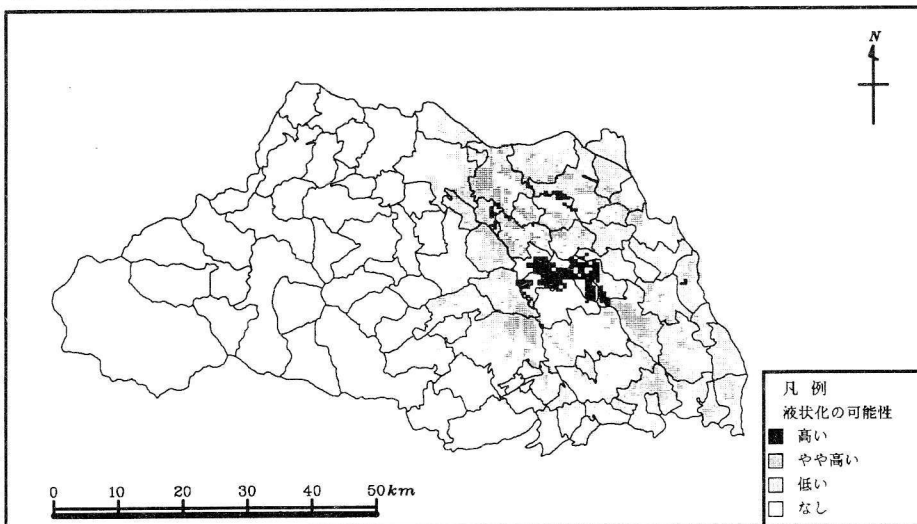


図7 液状化判定図（綾瀬川断層による地震）

い。

—中略—

被害を受けた建物の割れたガラスや壁面タイルとともに、ビルに取りつけられていた看板なども落下した。川口市・浦和市・大宮市および春日部市などの中心部では、落下物による負傷者も多く出ている。

激しい揺れと多くの建物被害によって県内各地で出火し、折からの風（風速8メートル毎秒）にあおられ大規模な火災が発生した。

住民の手で消すことができず、炎上した出火点

は263件に及び、このほか石油など危険物による出火も1件発生した。消火活動によって24件を消したが、出火点が消防署の数を上回っていたため、避難路を確保するのが精一杯であった。

出火件数は、吹上町で32件、行田市で31件、大宮市で27件および上尾市で26件と多かったが、これらの地域では、空地や道路に阻まれ自然に火の勢いが弱まったものが多かった。一方、木造建物の密集地で出火した川口市や鴻巣市が1万3000棟で、県全体では約5万棟となっている。

最近、地震の揺れで供給が止まるガスのメー

タが各家庭に取りつけられるなど、昔と比べると火気器具は安全になっている反面、油火災などの新たな危険性も増えていることが、多くの火災が発生する原因となっている。

死傷者や避難者、家を失った人が多くの場所を出ている。火災を避けるために避難した人は、川口市で8万人、鴻巣市で3万人に及んでいる。

上尾市・吹上町・行田市・桶川市・大宮市・川口市および蓮田市では、おのおの100名以上の死者を出した。負傷者が火災に巻き込まれるケースが多かった。

川口市は、建物被害による混乱が小さく、避難は比較的順調に行なわれたので、火災の規模の割には死者が少なかった。死者は23の市町村で1500名余りにのぼっている。

負傷者は35の市町村で1万7000名となった。上尾市と吹上町で、それぞれ約1700名の負傷者を出し、26の市町村で100名以上の負傷者を出した。

住居を失ったりした罹災者は、川口市で2万5000世帯、県全体では約5万世帯、15万人となった。

県の東部一帯で発生した道路被害は、約3000か所にのぼり、被害を受けた橋梁も出た。低地部での被害が多かったが、道路網が発達しているので、道路が寸断された地域は少なかった。

鉄道はほとんど全線で不通となり、通勤地や通学地からの帰宅者の輸送が大きな問題となった。

上下水道、ガスおよび電気などのライフライン施設も県東部を中心に大きな被害を受け、機能の低下は広域に及んだ。

上水道は5000か所の配水管被害によって、県内全世帯の2割弱に当たる35万世帯が断水した。全世帯で断水した地域は、行田市や鴻巣市など県北部の9市町村である。また、浦和市や川口市など、県南部の6市でも1万世帯以上が断水した。

下水道管も県東部で300か所あまりの被害となった。被害の多い所では、下水道を使用しないように呼び掛けている。

電気施設も電柱や電線に多数の被害が発生した。桶川市・北本市・蓮田市・吹上町および伊奈町で

一時全体が停電したほか、13市7町で1割以上の世帯が停電した。

銀行のオンライン・システムは、一時的に停止した。この間の預金の引き出しなどは、手作業によったため混乱がつづいた。

人口や産業の大半が集まる県の東部一帯が被害を受けたため、埼玉県にとっての打撃は大きかった。しかし、隣接する県の被害が小さかったので、各地からの救援によって復旧活動が進められた。

ライフラインの生活への影響は大きく、上水道の場合、被害が多かった所では復旧に1か月～3か月かかっている。ガスの場合、中低圧管の復旧は、多くの地域で1週間以内に終了したが、各家庭への引込管の修復には数週間かかった。電気の応急復旧は、復旧要員を確保できなかった一部の地域を除けば、長くても数日で終了した。

経済面での被害も大きく、建物を再建するための費用は、県内の合計で1兆6000億円にのぼった。建物の被害が最も多かった川口市で3000億円、鴻巣市で2000億円、大宮市や上尾市でも約1000億円となった。

住民の生活を支えるライフラインと交通輸送施設の復旧には、合計で約2200億円の費用がかかっている。

これら直接的な損失に加えて、被害や社会の混乱によって生じた経済的影響や間接的な損失も見逃せない。最終的には、むしろ、こうした損失のほうが大きくなっている。

被害のまとめと提言

表2は、想定した6地震のうち、被害予測の対象とした4地震の被害の比較である。4地震の被害を比較検討すると、南関東地震と綾瀬川断層による地震、西埼玉地震と安政江戸地震がそれぞれ同じ規模の被害となっている。しかし、被害の内容は、南関東地震および安政江戸地震は、液状化の影響が大きく、西埼玉地震および綾瀬川断層による地震は、地震動の影響が大きく出てきている。この違いは、ライフラインの埋設管の被害や出火点数に傾向が良く表われている。これは、埋設管

表2 被害の比較

項目	現況	想定地震ごとの被害				備考				
		南関東	西埼玉	安政江戸	綾瀬川					
マグニチュード	—	7.9	6.9	6.9	7.4					
物的被害	建物	木造建物	1,936,180棟	41,707(1.4%)	3,751(0.1%)	9,493(0.3%)	62,938(1.9%)	被害数=大破数+中破		
		鉄筋コンクリート造	80,881棟	1,027(1.1%)	1,435(1.0%)	477(0.5%)	2,361(1.7%)	カック内		
		鉄骨造	96,884棟	1,644(1.5%)	840(0.7%)	308(0.3%)	2,983(2.3%)	被害率=大破率+中破率		
		ブロック塀	678,000件	22,326(3.3%)	2,229(0.3%)	10,937(1.5%)	14,505(2.1%)	石塀を含む		
		落下物	177,765棟	5,988(3.4%)	19078(1.1%)	4,736(2.7%)	7,852(4.4%)	3階以上の建物からの落下物		
	火災	出火	—	83件	6	2	264	炎上出火点、冬の18時(最大)		
		延焼	1,936,180棟	49,795(2.6%)	77(0.0%)	4(0.0%)	49,740(2.6%)	風速8m/s		
	インフラ施設	上水道	市町村	19,495km	10,881箇所	423	2,238	5,372	対象:配水管	
			県	511km	6箇所	0	1	2	対象:広域水道	
		下水道	市町村	8,151km	1,258箇所	9	266	310	対象:管路	
			県	309km	10箇所	0	2	4	対象:流域下水道	
		ガス	821km	18箇所	0	4	5	対象:中圧管		
		電気	電柱	835,761基	22,708基	135	714	22,021	火災の影響を含む	
			電線	4,790,749条/km	127,394条/km	451	1,961	126,843	火災の影響を含む	
		電話	2,477,900台	8,858台	1,286	5,405	5,063			
		交通輸送施設	道路	全道路	45,038km	2,809箇所	1,252	1,969	2,936	対象:国県市町村道
				主要道	600km	57箇所	21	40	59	上記の全道路に含まれる
	橋梁		596橋	8橋	0	0	3	対象:主要道に架かる橋梁		
	歩道橋		348橋	4橋	2	2	0			
	その他	鉄道	676km	340箇所	153	265	320			
崖		734箇所	70箇所	47	39	62				
造成地		52箇所	0箇所	0	0	0				
河川堤防		315km	197km	50	103	136	対象:重要水防箇所			
ため池	580箇所	0箇所	0	0	0					
人的被害	死者	6,319,639人	1,580人	50	150	1,540				
	負傷者		15,520人	1,440	3,030	16,790				
	り災者		162,930人	1,610	10,840	150,340				
	避難者		203,800人	—	—	169,090				
影響	断水世帯	2,028,201世帯	662,786世帯	22,134	222,035	350,310	地震直後の断水			
	停電世帯		595,396世帯	33,712	255,621	260,531	地震直後の停電			
被害額*	建物	—	13,465億円	1,085	1,654	16,443	木造+非木造,火災の影響を含む			
	上水道	—	298億円	10	59	142				
	下水道	—	106億円	1	24	26				
	ガス	—	114億円	12	110	117				
	電気	—	627億円	36	294	365	火災の影響を含む			
	道路	—	1,475億円	657	1,032	1,543				
	橋梁	—	52億円	0	0	19				
	鉄道	—	21億円	9	16	20				
	合計	—	16,158億円	1,810	3,189	18,675	県の平成2年度予算は12,126億円			

*再建や復旧等に必要な直接的な費用であり、経済活動等に係る間接的な被害額は含まない。

が地中にあるため液状化の影響を大きく受けやすく、南関東地震および安政江戸地震で大きな被害となっている。一方、火災は、激しい地震動に伴って火気器具や危険物の転倒などによって発生するため、地震動による揺れが激しい西埼玉地震および綾瀬川断層による地震で多くなっている。

こうした被害の傾向は、今後、調査結果を基に埼玉県の震災対策計画を推進していく上での対策

の方向性を示すものともいえよう。いずれにしても埼玉県内は、多くの地域で地震による被害を受ける可能性が予想されており、都市化の進展などが進む中で、潜在的な被害の要因はますます増大するものと予想される。

こうしたことから、大規模地震被害想定調査のまとめに当たっては、予測した地震被害の影響を軽減するための地震対策上の課題と、課題の解決

に向けての提言を行なった。その主な概要は、つぎのとおりである。

- 建築物は、年々耐震性は高まっているものの建築物が建てられる地域は、土地不足や地価高騰の影響で、液状化の危険性が高い河川沿いの低湿地や大規模に改変された造成地が多くなるなど、地震防災上は悪化している面が多く見られる。このため、造成地や埋立地の擁壁の点検・補修など、造成後の十分な注意が必要である。また、小規模建築にも適用できる廉価な液状化対策工法の検討を進め、液状化についての知識と情報の普及を一層図る必要がある。また、住民の防災意識を高める上で、住民自ら実施できる簡便な耐震診断法を検討し、住居の耐震診断を実施する必要がある。
- 地震火災は、同時多発するため震源地に近い市町村を中心に火災が起り、密集市街地での延焼火災が予想される。このため、火気器具の改良や安全な使い方についての広報や訓練に一層力を入れるほか、消火器の普及と主婦などを中心に十分な消火訓練を、今まで以上に実施する必要がある。また、長期的視野に立って着実な都市計画を実施し、不燃化促進事業などを積極的に導入し、燃えない街づくりを進めていくことが必要である。
- ライフライン施設は、一部の施設の被害によって生じる機能低下が社会に大きな混乱をもたらす。このため、上水道施設の耐震化対策を一層進めるために、石綿セメント管を速やかにダクタイル鉄管などに替え、管・材質および接続部分などの耐震化を、今まで以上に積極的に進めていく。また、都市ガスは、最も進んだ地震防災対策を推進しているが、必ずしも全事業者の足並みがそろっていないため、中小事業者が先進的な地震対策を順次導入していくことが必要である。
- 交通施設は、地震直後の避難や消防活動、緊急物資の輸送などにも重要な施設であり、道路被害が地震後の応急対策活動に及ぼす影響は大きなものがある。このため、緊急啓開道路や復旧用の備蓄資機材の配置を改めて見直すとともに、

橋梁の耐震化対策を一層進める。また、埼玉県から県内外への通勤通学者が昭和60年の国勢調査によると、174万6000人余りおり、鉄道の不通に伴う帰宅困難者の発生も深刻な問題である。このため、帰宅困難者と家族を結ぶ災害時の情報ネットワーク構想の構築についても検討する必要がある。

- さらに総合的な対策として、調査の成果を住民や関係機関に広く普及させ、地震災害に対して共通の認識を育てながら、地震防災対策を一層進めていくためには、災害弱者対策や資機材などの整備、避難場所の相互利用、応援協力体制の推進、住民の防災活動の向上および基礎的な調査研究などを実施していく必要がある。

おわりに

この調査は、最新の技術と研究の成果を取り入れて被害の予測と評価を行なったが、この調査で地震被害のすべての問題が取り上げられたものではなく、社会の変化や経済の進展に伴って、新たな問題が生じてくることも予想される。このため、埼玉県を取り巻く地震環境については、今後も継続的に調査・検討をつづけていくことが必要である。

防災対策は、県や市町村など行政だけでは効果的に行なえるものではなく、住民の理解と協力があってこそ、地震被害を最小限に食い止めることができる。この調査の成果は、調査としての結果に終わらせることなく、今後、防災関係者や住民の方々にも積極的に活用していただき、地震被害を軽減する上での基礎資料として役立ててほしいと考えている。

本稿は、『大規模地震被害想定調査報告書』の内容に沿ってまとめたものであるが、調査の実施に当たって、専門的な御意見と御指導をいただいた大規模地震被害想定調査委員会の各委員を始め、貴重な資料をご提供下された関係各位に対し、ここに深くお礼を申し上げます。

[とみだ ただし 埼玉県環境部消防防災課主査]

米国企業の地震対策

井野盛夫

米国において災害とは大規模地震、危険物流出、石油コンビナート災害、大火、津波浸水、輸送機関事故、暴動、核戦争、原子力発電所事故、非常事態宣言を指し、それらの防災行政は州政府単位で行なわれている。これらの災害のうち、自然災害は地域により発生頻度が異なり、地震災害についてはカリフォルニア州を中心とした西海岸地域の発生回数が多く、対策も官民ともに積極的である。1989年にカリフォルニア州で発生したロマプリータ地震の被災調査、昨年カリフォルニア州立大サンノゼ校で開催された「日米企業防災会議」での発表などから、米国企業の地震対策の状況を述べてみたい。

地震防災のための行政組織

米国の防災対策に関わる行政機関は、わが国のように縦割りに組織されておらず、それぞれが固有の業務を持っている。しかし、目的を達成するために個々の機関の連携が有効であることから、連邦、州、地方政府などが構成員となる独自の組織も作られている。企業は従業員の生命や財産を守るため自主的に防災対策を進め、災害が発生した際に罹災者として、また2次災害の原因者として行政との関わりが生じてくる。地震災害対策に多くの経験を持つカリフォルニア州の行政組織と、地震時の企業への対応にその関係を見ることができ、

(1) 連邦政府危機管理庁第9地方局 連邦政府は災害対策のために連邦危機管理庁(FEMA)を置き、連邦地震災害軽減計画の策定や調整、州郡市の資金的技術的支援や、被災住民に対する資金の援助を主な業務としている。また連邦、州、地方政府の活動を円滑にするため、災害が発生し

たときには災害対策本部現地事務所を設置することになっている。カリフォルニア州は全米10地域に分割されたうちの第9地域に属し、サンフランシスコに事務所がある。

管理庁は地震災害軽減計画に添った対策を指導する立場にあるため、地方自治体やボランティアの育成を担当する赤十字に対して地震防災教育のための資料を提供し、平常時には企業や住民に対して直接接することはない。しかし、災害が発生すると現地事務所は、被災地に災害救援センターを設置して救援業務を行なうことになっている。ロマプリータ地震の際には大統領災害宣言が出されたこともあり、マウンテンビューに現地事務所を開設し、総合調整と指揮を取った。住民を救援するため災害申請センター(連邦、赤十字社が運営)を置き、中小企業者への事業資金(利率4~8%)の貸付け、地震保険に入っていない被災者に対する破損住宅の修理費の支給と援助、個人や世帯に対しては住宅の確保、補助金の支給、失業者の救済、法律相談のサービス、精神衛生のカウンセリング、食料クーポン券の交付、非常食料の支給、農業者への緊急融資、退役軍人への援助、税金の払戻し、定期預金の払戻しなどを行なった。最盛期には15か所に開設され、約5万人以上の被災者が訪れたり、電話による相談や適切な援助を受けたという。

災害救援センターでは直接被災者の救済に携わったが、わが国ではこの様に国が直接被災者を救援する体制はとられていない。

(2) カリフォルニア州緊急災害対策局 緊急災害対策局(OES)はカリフォルニア州緊急業務法に基づいて設置された組織で、本部はサクラメントにある。緊急事態計画の策定や郡市間に生ずる計画の調整を行なうなど、わが国の県レベル地

域防災会議に似た業務を持つほか、緊急災害が発生すると知事の補佐役となって、地方政府の応急活動の支援や調整を行なうことになっている。

カリフォルニア州では緊急事態が発生した場合、行政機関や公共機関の相互援助を効果的に行なうため、州内を6地区に区分してそれぞれに地域事務所を置いている。カリフォルニア州緊急業務法は州に対して州緊急事態計画、郡市に対しては緊急事態活動計画の策定を義務づけており、災害発生時の状況報告、損害額の評価、救援業務、医療業務、交通管理業務、緊急福祉業務などを内容としている。

また、家庭での地震応急対策についての広報パンフレットの作成、1906年のサンフランシスコ地震を教訓とした住民参加の訓練などを通じて住民、企業の防災対策の推進を計っているが、直接住民と接する組織が無いことから、パンフレットを400万世帯に配布する郵便代を地元企業に負担をしてもらったり、企業がスポンサーとなってラジオ放送で防災意識を啓発するなど、民間レベルの支援体制や緊急時対応が自然発生的に整っているように見える。

(3) 湾岸地域地震防災プロジェクト カリフォルニア州政府と地震発生が予測される地方自治体が住民などの地震防災対策を推進するため、人口が集中する州北部のサンフランシスコ湾岸地域に湾岸地域地震防災プロジェクト(BAREPP)と、ロスアンゼルスを中心として南カリフォルニア地震防災プロジェクト(SCEPP)が組織されている。

湾岸地域地震防災プロジェクトは事務所をオークランドに置き、連邦危機管理庁から直接財政援助を受けて、サンフランシスコ湾岸の10の郡(サンフランシスコ市を含む)を対象に自治体や企業などに対する地震対策の総合的推進、防災計画の策定指導、住民や企業への意識啓発と情報提供、防災関係機関との連絡調整などの活動を行なっている。

とくに地震防災教育を重要視しており、企画スタッフにデザイナーを加えてパンフレット、ポスター、映画フィルム、テレビ番組などの各種広報

教材を作成し、要望があれば市民グループや企業へ講師の派遣もしている。情報の提供手段として年4回『ネットワークス』を発刊しているが、ロマプリータ地震の特集として地震科学、構造物と施設の被害、地震時の住民行動などを取り上げたり、「企業のための地震対策チェックリスト」などの企画記事も豊富である。また、とくに企業のための啓発資料として冊子『企業の耐震手法』『企業の分かり易い地震対策入門』『病院の地震対策ガイド』が準備されているが、住民用に作られた冊子『断層の上の家』『地震-生き残るための鍵』『家庭の地震対策』も防災対策資料として活用されている。

わが国の8月末から始まる防災週間に相当する訓練は、メキシコ地震を教訓として1985年から州緊急災害対策局と共催で、4月をカリフォルニア地震対策訓練月間として定め諸行事を行なっている。ひと月を週単位に分けて第1週を「行政機関と緊急サービス部門の対策」、次週を「商業と工業の対策」、以下「学校の対策」「家庭と地域の対策」のように訓練の対象と目的をはっきりと示して行事への参加を促す企画がされている。

(4) サンフランシスコ市および郡緊急災害対策局

住民に一番身近な行政機関である郡市緊急災害対策局(OES)は、平常時から災害発生に備えた緊急事態活動計画を策定しており、災害が発生すると救急救助等の応急活動を実施する組織である。緊急事態活動計画は特定災害対策基本計画、災害緊急時体制、非常対策対応システムからなっており、すべての供給が3日間途絶した場合を想定して策定されている。

サンフランシスコ市はわが国の政令指定都市のような位置づけにあり、緊急災害が発生すると緊急災害対策局を中心に災害対策本部が組織されることになっている。

ロマプリータ地震後に災害対策本部は10地区12か所に被災者保護施設を開設して、赤十字などととも被災住民に対してカウンセリング、応急救護のほか、一時金の貸付け、非常食料、衣料、仮宿舎などの提供、税制上の措置などの手続きを行なった。なお、被災建物の応急危険度判定を実

施して「危険」「立ち入り制限」「検査済み」「確認済み」の4段階を判定した部署は公共事業局で、市長直属とは異なる組織である。

(5) **州地震安全委員会** 地震安全委員会法により州知事の諮問機関として州地震安全委員会(SSC)が設置され、委員は上院の同意を得て知事が任命した15人と、上院規則委員長と下院議長が指名する2人と合わせ17人から構成されている。委員会は建築、防火、電子工学、地質、地震などの専門家からなり、地震災害軽減計画を策定して建築物などに設計基準の改善や危険建築物の補強など具体的な対応策を示すほか、地震災害の軽減が図られるよう企業、地方自治体、州政府に勧告を行なっている。現在は1987年から始められた、5か年災害軽減計画を進めているところである。

(6) **米国赤十字社** 災害が発生した場合、行政機関の住民に対する援助は被害者保護センターの設置や運営を行なうのみで、直接的な援助はしない。被災状況の把握などの災害応急活動は主に米国赤十字社(ARC)がたずさわる。そのため赤十字社は平常時からボランティアの育成、人材の派遣などの支援活動、各ボランティア団体との調整を行なっている。

ロマプリータ地震ではサンフランシスコ市内の被害調査を担当し、他地域とも連絡を取って、一日後に必要救援額1600万ドルを算出し、マスコミを通じて寄付を呼び掛けた。キッカーマン、川崎重工もこれに応じたと言う。被害者保護センターにおいては、緊急災害対策局に協力して宿泊や食料の提供、医療活動などを行なった。

(7) **ロマプリータ地震による企業の被害** 企業の被害の全容を知ることは難しいが、新聞や週刊誌などで報道された状況を断片的に紹介する。

電気は、地震後、サンフランシスコ市と湾岸地域の140万件の需要家が停電し、6日目に全面復旧した。

サンフランシスコ市内の金融機関のコンピュータは比較的軽傷で済み、午後5時を回っていたので顧客に対するサービスの中断は無かった。停電後は無停電電源装置により電力が供給されたが、

燃料ポンプの故障により空調用の冷却装置が作動しなくなり、室内の温度が高くなってコンピュータを止めざるを得なかった所があった。

現金引出機が停止したため、営業店では200ドル程度の小口の支払のみ手作業で対応した。

あるスーパーマーケットでは冷蔵庫が使えなくなり冷凍食品をバーゲンで、アイスクリームは無料で提供した。住民のパニックに備えて、直ちにシャッターを下ろし飲料水、パン、牛乳などの食料品の販売は外で行なった。

ガスは、モンテレーから湾岸地域に至る350万口のうち、15万2000口で供給停止し、およそ1か月ですべての復旧作業が終了した。

電話は通信局舎や伝送路の被害はほとんど無かったが、輻輳による機能低下によって混乱し、4日後にようやく平常に復した。市内の企業では電話が一日中使えなかったので、携帯電話でカバーした所もあった。また、停電したためラップトップ・パソコンを使い、自動車電話で対応した企業もある。

アメリカには30社のバックアップ・センターがあり、全米1万4000社の内約15%がバックアップ・センターと契約をしている。データのリスク分散は、ほとんどの企業で実施済みである。

書棚の転倒により書類が散乱、スプリンクラーの配管が破損して書類が水浸しになった事務所があった。半導体工場の二次被害は報告されず、2日後にはほとんどの企業が通常通りの業務を再開した。被害の内容は壁の一部がはげ落ちたり、棚のディスプレイが落ちたりという外装上の問題であった。

車社会の発展とともに、ラジオはパーソナルな情報源として市民に定着しており、電話や電気、ガス、交通、行政の担当者へのインタビューなどから、より正確な状況把握や今後の見通しなどが報道された。

BAREPPの企業地震防災チェックリスト

ここで紹介するチェックリストは湾岸地域地震対策プロジェクトが、数年前から地震対策広報紙

『ネットワークス』に掲載した企業向け版である。プロジェクトは項目そのものを厚紙に印刷し、訓練参加者や希望者にダイレクトメールで送るなどして、平常からの準備をするよう啓発活動を進めている。

チェックリストには地方自治体、報道機関、病院、学校などを対象とした7種類があり、記載内容はそれぞれの機能の特殊性が考慮してある。点検項目は「防災と軽減」「地震発生時」および「応急復旧時」に分けてあり、質問形式により事前に準備状況を確認する設問になっている。

わが国の対策が建物や施設の耐震性に重きを置いているのに対して、企業の経営や実務についてまで配慮され、幅広く細部にわたっている点が注目される。社会の仕組みや制度が異なるが、点検項目としてそのまま使える事項も多く、利用価値の高いものであろう。

〈防災と軽減〉

- あなたの職場の建築工法、建築物の危険性、被害の受けやすい所を調べてありますか。
- 被害の受けやすい建築物については、補強もしくは危険を取り除いてありますか。
- すべての書類棚、本棚、備品が建物の壁、床などに固定されていますか。[重いものはすべて高い棚から下ろされていますか。電灯や空調設備が建物の壁、床などに固定されていますか。窓は安全なガラスがはめられていますか。また、飛散防止フィルムで覆われていますか。]
- 従業員への教育や啓発のための計画が作られていますか。
- 会社にいるときに災害が起こったら、家に残された家族のための防災対策が重要であることを従業員に強調していますか。
- 仕事を確実に継続するために、仕入と卸業者と契約を結んでいますか。
- 災害用備蓄品の在庫目録、設備、従業員の技術リストを作り、保管していますか。
- 地震後、会社運営の手段、顧客や一般市民に対するサービスに商品の供給を続ける広報計画を作っていますか。
- 会社の重要な記録を確認してありますか。また、

その記録を敷地外で保管できるような計画がありますか。

- 危険な物資を確認したり、保管する手段がありますか。
- 地震によって作業が中断したとき、従業員や一般市民の安全を脅かす工程を即時に中止するための手段が作られていますか。
- コンピュータ施設や設備を地震から守るための手段を講じていますか。
- データ処理の施設や設備のバックアップがありますか。

〈地震発生時〉

- 応急的な被害見積りをしたり、危険な状況を確認するための計画がありますか。
- 従業員や建物の使用者に、緊急時のライフライン、緊急サービス、損害の情報、支援の情報などについての警告指示や告示をするために、たえず行政機関と連絡を取るといった計画がありますか。
- 危機管理やその過程において、非常用電源を供給するための運転方法や設備がありますか。
- 避難計画を作成し、周知させて訓練をしていますか。
- 地震後、被災した建物の安全を判断する計画がありますか。
- 従業員に応急救急の訓練をしたことがありますか。
- 発災後の72時間、従業員や建物使用者のために緊急時の住宅供給、食料供給、そして初期医療に備える計画が立てられていますか。
- 地震後、マスメディアに対して正確な情報を提供するため、連絡を取る役割を誰がするか決めていますか。

〈応急復旧〉

- 一時的な移転か再び同じ場所で続けるかを決めるため、施設の包括的な損害調査をするように計画されていますか。
- 被害を受けた施設の後片づけや、建物被害を調査する技術者や労力提供者との契約ができていますか。
- 重要な施設の復旧、仮設施設の建築、重要な社

員の復帰受入れ、本部への報告体制の確保、被害を受けた施設の最低限の操作、会社施設の立ち入りの制限などについての計画がありますか。

- 地震後、通常の業者と取引ができなくなった場合、必要物資や復旧資材を代わりの業者から確保できるようにしてありますか。
- 地震により業務時間や管理場所、手順に変更があったとき、マスメディアに情報を提供する協定を結んでいますか。
- 機能の立て直しのために、どの位の期間がかかるか計画で定めてありますか。[これには長期の復旧方針についての決定、地域社会との協調、計画の再構築及びその決定などを含んだものであること。]
- 法人資産を守るための融資や、投資の計画が作成されていますか。
- 取引銀行が災害復興計画に対して、協力してもらえるようになっていませんか。
- 地震後に企業活動を復活させるために必要な物を、自治体の災害対策本部に知らせる手段を確かめていますか。

地震防災の対策事例

カリフォルニアでは数少ない優良企業は別にしても、ほとんどが1980年代から地震対策を取り始めた。とくに、ロマプリータ地震を切っ掛けに、被害の恐ろしさを認識して積極的になったところが多い。ここに第一回日米企業防災会議で紹介された、優良企業の防災対策を紹介する。

(1) パシフィックベル社の防災対策　カリフォルニア州全域をサービス・エリアとする電話会社で、約1万7000人の従業員を持つ大手企業である。ロマプリータ地震が発生する以前から地震対策を進めていたが、地震後公共機関との連絡体制に問題があったため、その部分の対策を見直し、計画を補足している。ロマプリータ地震が発生した際、交換器などの機器には被害がなかったが、非常電源用燃料パイプのフィルターが詰まって発電できなくなったため、交換器が使えずに約5500万件の通信に支障を生じた。顧客は行政、2

万2000の企業、住民であったため、ネットワーク、機能、交換器などインフラについて30億ドル投じて耐震改良を計った。また、ネットワークの保護のため、災害の少ないことが予測されるサクラメントにデータの保管施設を新設した。

現在の課題はリスクの分析、災害軽減計画の推進、応急と復旧、補償経費の蓄積、将来計画の策定である。リスクとは従業員の安全、湾岸のネットワークや施設などの基盤、システム、行政や事業所などの顧客に与える影響を考えている。

災害による被害の軽減策として資産の耐震化、突発災害計画、災害予測演習や訓練、家庭や職場での対策についての教育、相互救助協定の締結、公共施設緊急計画の整備が挙げられる。

さらに、応急復旧体制として緊急管理組織を作っている。湾岸地域を4か所の地域緊急管理センター管内に分けて、それぞれに9か所の地方管理センターが置かれ、各センターには部長を頭に情報担当者、現場復旧チーム、ネットワーク復旧チーム、支援要員が指名されている。

災害が発生した場合、その被害量を予測するための評価項目として、安全性、防衛手段、サービス（孤立、障害、得意顧客、行政）、建物の構造、交換器・電源・設備、環境・災害をあげている。また、復旧のための対策項目として、順位の決定、能力、財源、計画、選択、リスクの検討が必要とされる。

今後は企業全体の突発災害計画、行政と企業の接点、地域単位の突発災害計画、ネットワークの監督と管理、災害対策局の能力の改善、災害応急対策の演習、建物と施設の耐震補強について検討課題としている。

(2) シェブロン社の社員の防災対策　サンフランシスコ湾岸には従業員約1万5000人が生活している。災害が発生した後の対応が企業活動として重要であることから、事業所における対策に併せて家庭対策にも重きを置いている。会社が作成した『家族生残りガイド』が配布され、従業員自身が家庭の地震対策を進めるように指導を受けている。このようなガイドを作った理由は、従業員が多くて同時に訓練ができないこと、従業員の平均

的な生活パターンとして一日のうち約70%の時間を自宅で過ごしているためである。

ガイドは従業員から選ばれた10人の災害対策計画委員会が、行政機関の指導と他企業の事例を参考に企画制作し、家具の固定や屋根瓦の緩みの点検などの事前対策、落下物から机や丈夫な物で体を保護する等の地震発生中の対応、火やガス等の始末を呼びかける地震直後の対応、災害後の飲料水と食料、防火対策、救急、災害無線と集会場所、チェックリストの項目に分けてイラスト入りで書かれている。

ロマプリータ地震の教訓として、この会社では湾岸地域に14か所のラリーポイント（集会場所）を決めて、自宅にいるときに災害が発生した際の従業員と家族の安全確認をするシステムを作っている。ラリーポイントは会社の施設や公園の特定の場所が指定され、月曜日から金曜日の午前8時から午後5時までの対応と、それ以外の時間の対応を分けて計画されている。計画も電話が使用できて交通機関も使える状態から、どちらかが使用できない状態、両方が使用できない状態の4ケースを想定し、曜日と時間帯を分けているので8ケースが準備されている。ラリーポイント責任者の主な作業は、災害発生1時間後に電話ないし無線で状況を会社に報告し、他のラリーポイントとも連絡確認をすること、ポータブルラジオで情報を聞きテープに録音すること、従業員と家族の氏名を記録することなどである。ラリーポイントには連絡用無線器、救急箱、飲料水、ロープ、ハンマー、テープ（避難地において他の人と関係者

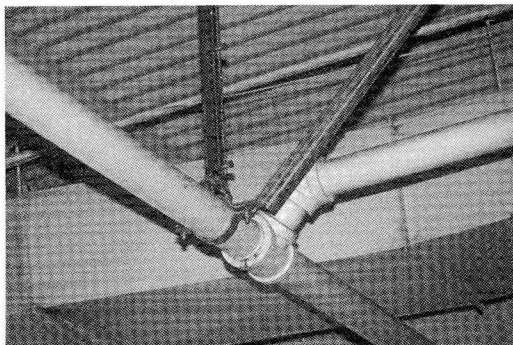


写真1 室内配管のハンガーと振れ止め金具（金具の開き角45度）

を分離し識別するため）、連絡事項を書くための白ボード（裏に粘着剤がついている）、幹線道路の入った地図（ラミネート加工されている）、太陽電池付ラジオ（手回し発電も可能）、放送を記録するためのテープレコーダーなど30種類の物が準備されている。

(3) ヒューレット・パッカード社の社屋対策

社屋はロマプリータ地震の震源から北東方向約70 km 離れたパロアルト市にある。この地震によって停電はしなかったが、工場内の漏水により配電盤が浸水して電気が止まったため、設計管理などのコンピュータが使えなくなった。また、磁気テープのドラムが棚から落下して散乱した。これらの被害が発生したことを受けて、HP社がただちに取った対策を見学した。

建物本体は鉄骨コンクリート壁造りであるが、天井から化粧板が落下するなど被害が発生したことから、鉄製筋交いをX状に入れて補強した。また、窓ガラスも破損したためフィルムを張り、窓際には植木を置くようにした。

停電対策としてまず蓄電池を整備した。蓄電池

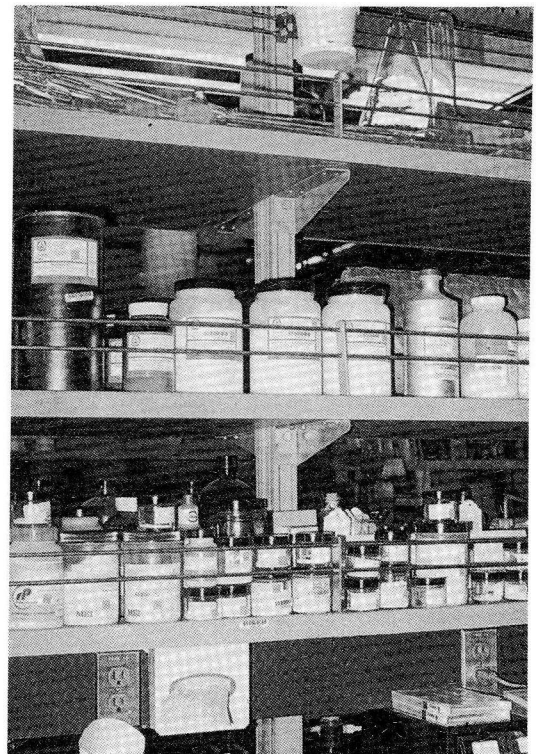


写真2 科学分析室における薬品瓶の滑りだし防止

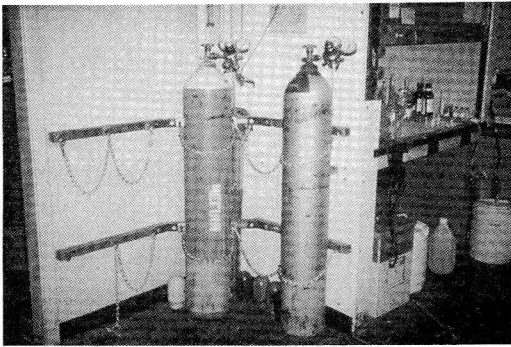


写真3 ガスボンベの鎖による2点支持

の重量は一基 270 kg にもなり、地震動（1 G を想定）によって飛び上がらないように固定ベルトを施したが、設置場所についても電池が重量物であることと温度を一定に保つことから、地下室を新たに設けたという。万が一、電池が地震で移動しても配線を切断しないように防護もしてある。室内照明用の蛍光灯やガスボンベには固定金具を取り付け、吊り下げている器材や案内板は揺れ止めを施した。さらに、災害発生時の冷却水の確保が難しくなることから、予備電源用として空冷式の発電機を備え、降水量が少ないことから予備電源室には屋根が無く、発電機は防水塗装を施してベースに固定されている。

社内の電話は自営で管理をしているが、所有する 7000 台を転倒しないように補強した。

会社の業務内容からコンピュータ・センターの補強にはかなり神経を使っている。1975 年以降、社屋を新築するたびに床の耐震性を向上させてきた。費用も次第にかかるようになり、二重床（床下に電気、通信施設用の配線が自由に行なえる空間をもつ）板に使うアルミ合金の蓋 1 平方 ft 当たり 14 ドルであったものが、現在は 34 ドルにもなっている。コンピュータの対策として、本体を床に固定するか、二重床板の上に置いたままにするかの 2 通りの考え方があり、HP 社では二重床板を採用している。また、電源と通信用のケーブルにも遊びを設けている。二重床板と非床板との接合部分の処理について、最良の方法は得られていないとのことであった。

磁気テープの保管には以前から防護対策を取っていたが、ロマプリータ地震の際に 200 ケースも



写真4 書類ファイルケースの床への固定

床に落下してしまい、従来の方法の改良について再検討したところ、保管棚は床に固定してあったものを、発想を変えて天井から吊り下げの方法に変更した。また、ケースが落下したときにテープがほどけてしまったことから、ケースは新たにホックをつけた。散らかったケースを元に戻す手間は、大変な作業であったと言う。

地震後の社員への連絡は FM ラジオと電話を使ったが、公共的なものであり細かな連絡ができないことから専用無線を整備した。新たに整備した器材に慣れるように、サンタクララ郡の訓練日に合わせて訓練を実施している。

米国企業の特徴

米国企業の地震対策に対する取組は、災害から受ける損害を少なくさせるために必要な計画、方策、資材を整えることである。また、行政が行なう指導は企業から一般市民まで保護するのが目的で、企業自体を保護するものではない。基本的には各企業が責任をもって災害対策に取り組むべきものと考えられている。

米国では被害地震が各地域で発生するわけではなく、西海岸のカリフォルニア州に集中している。経済活動と産業の中心であるロスアンゼルスとサンフランシスコの 2 大拠点は、他の地域と比較して地震対策への関心がとくに高い。また、同州は工業生産、農業、地下資源の発掘など、幅広い産業基盤を持っており、企業の種類も様々なように地震に対する考え方にも程度の差がある。

企業の地震対策への取組みは 1971 年のサンフ



写真5 社員食堂にある救急セット

エルナンド地震以降であるが、大多数の企業は1989年のロマプリータ地震によって被害の恐ろしさを認識したとみられる。例えば、その後、大学で企業を対象にした防災セミナーが開催され、BAREPP主催の訓練に一部であるが企業も参加するようになり、耐震自動遮断装置、感震器、家具の固定金具などの製品が普及し始めたことなどからうかがえる。しかし企業内の技術的能力や人材の問題、地震対策への投資量などは、資本金が大きく影響するため、大企業ほど地震対策に積極的なことは日本でも見られる傾向と同じである。

一方、企業において地震対策は主な業務ではないとする考え方が強く、被害の軽減対策について担当する組織として健康安全部、その他の任務や施設については設備部が受け持っているのが普通である。また、経営者の考え方によって地震対策を上手に進められているところもあるが、そうでない場合は対策を進めるための予算の獲得に問題があり、この点は日本もよく似ている事情にある。米国の企業では社員の転職が多く、また個人の任務を他人に任せたりする結果、対策が継続できなくなった例も多いようである。

大学において、地震対策の管理者を専門的に教育するカリキュラムがないのは日本と同じである。大学教育の分野で最も近いのは安全工学であるが、この分野を持つ大学は少ない。土木工学、機械工学、産業衛生学、環境科学、地学、火災工学などの出身者が防災管理者になっていて、ほとんど似

かよった専門の人材で占められている。しかし、企業の人材研修の多くは、大学や外部団体が主催する短期の研修課程やシンポジウムなどに派遣して教育を受けさせている。そのため企業の対策が標準より上回っている場合は、ほとんど特定の個人の努力に寄るところが大きい。

一般的には地震に関連する問題の解決には、コンサルタント会社に頼る傾向が見られる。これらのコンサルタント会社は数社の顧客を持っているため、次第に対策内容の標準化が進んでいくようである。また、大学において従業員のために防災関係の課程を継続的に主催して教育していることも、地震被害軽減対策の標準化に大きく役立っている。

米国企業の地震対策を、ごく限られた情報の範囲で紹介した。企業は利潤の追及が主であり、防災対策も企業自身の経営理念に拠るところが多いが、企業を含めた地域の防災対策を推進していくためには、企業の協力が無くては安全を得ることができないであろう。サンフランシスコ地震の再来が言われていることでもあり、湾岸地域地震対策プロジェクトの積極的な活動と、地域で活動する防災関係者の努力に見習うことが多い。

この報告書をまとめるにあたり、カリフォルニア州立大サンノゼ校グナ・セリバデュレイ博士から情報と写真を頂いたことに感謝致します。

参考文献

- 静岡県防災局, 1990, ロマプリータ地震の行政対応調査報告書, 16-57.
- 1991, The First US-Japan Conference on Corporate Earthquake Programs, College of Engineering SAN JOSE STATE UNIVERSITY, 4-15.
- ロマプリータ地震政府調査団, 1990, ロマプリータ地震政府調査団調査報告書(中間報告), 284.
- ロマプリータ地震東京都調査団, 1990, いくつか東京にも? 126-176.
- BAREPP, Earthquake Preparedness Checklist.
- Chevron, 1991, San Francisco Bay Area Family Survival Guide.
- Chevron, 1991, Rally Point Codinators Operation Guide.

[いの もりお 静岡県総務部防災局技監]

アメリカ地震予知騒動始末記

力武常次

非科学的な予知と盲点

いささか旧聞に属するが、本誌11号の「注目される“新”地震予知法（高木美也子）」などで問題になった自称気候学者の「1990年12月第1週にアメリカ中西部に巨大地震が起こる」という地震予知についての後日談が『サイエンス』誌(253号, 1991年8月9日)に出ている。

このI. ブラウニング（同誌記事によると3週間前に死去）の予言には、わずかではあるが真実が含まれていた。本誌11号の書評『第2次ニューマドリッド地震(W. アトキンソン)』などという本が出ているように、1811～1812年に3個の巨大地震が発生したミシシッピー川流域に大地震の可能性があることは、地震学者や州・連邦当局によって中西部住民に告げられていたのだが、ブラウニング予言によって一気に騒ぎとなったのである。

1991年、コロラド州ボールダーで開催された「災害研究とその応用に関する学会」においては、「なぜ責任ある科学界はブラウニング予言がインチキであることをもっと早く表明しなかったか」という点が議論的となり、つぎのインチキ予知——近い将来、必ずあると思われる——の際には、それを叩きつぶすよう素早く対応すべきであることが結論された。

問題の12月3日に、月や太陽の引力が最大になるにしても、なぜニューマドリッドという地点が同定できるのかを疑問とする人びとも、「だって、ブラウニングは1989年のサンフランシスコ地震を予知したではないか」という反論にあって、黙ってしまう。事実、『ニューヨーク・タイムズ』や『サンフランシスコ・クロニクル』は彼が予知していたことを報道している。地震専門家が

口を酸っぱくして、この予知の非科学性を説いても、「だって、現実に予知しているのだ」と反駁されてしまうのである。

その上、平均的新聞記者にとっては、ブラウニングが博士号(Ph. D)——たとえ動物学にしても——を持っており、地球物理学の博士号を持ち、また地震学会会員であるD. スチュワートが支持しているという点で信頼してしまうことになる。

学会などというものは、まず会費さえ払えば誰でも会員になれるのが普通であるから、学会会員などという肩書をふりまわす人物は何か下心があると思ったほうが宜しい。

ブラウニング騒ぎが始まって約1年、問題の12月3日の6週間前に、アメリカ地質調査所(U. S. Geological Survey 略称: USGS)の地震予知評価委員会(National Earthquake Prediction Evaluation Council 略称: NEPEC)は、ブラウニング予知が理論的にあり得ないと反撃した。ロマプリータ地震にしても、彼は世界中が不安定化すると言っただけで、カリフォルニアという地域すらも指摘していないのである。しかしながら、この反撃は残念ながら遅過ぎて、事態は、もはや收拾することが困難になっていた。

「地震学界は、なぜもっと早く反論しないのか」という点について、2～3の学者は、「学者はレベルを下げたところで議論したくない」「かえってインチキ説を権威づける」「何を言っても世間は理解せず、むしろ弱い者いじめと受け取る」「黙っていれば、いずれ忘れられる」……、などと言っている。しかし、これは危険な対応で、もっとちゃんと反論すべきだという立場もある。

これらの怪しげな予知は、当然のことながら日本でも横行していて、上述のような批判は地震・火山学者にとって耳の痛いところである。いくら

理論的難点を列挙しても「だって〇〇火山の噴火を当てたではないか」と言われると返答に窮する。

社会的影響に慎重な配慮を

ところでアメリカでは、過去 15 年間に、このようなプロまたは自称プロ学者による地震予知の例は 3 つあると『サイエンス』誌は述べている。

(1) 1975 年、H. ミンターンという地球物理学の博士号を自称した人物が、地球潮汐を根拠として 12 月 20 日に南カリフォルニアに大地震があると予言した。しかし、1 か月ほどで『ロスアンゼルス・タイムズ』の記者が学位詐称を暴露し、もちろん当日には何も起こらなかった。

(2) 1975 年、ノース・カロライナ州ウイルミントンにマグニチュード 6 以上の地震が起こることを D. スチュワートが予報した。この人物は地球物理学の学位を持ち、北カリフォルニア大学チャペルヒル校に奉職している（ただし、永久ポストにあらず）という点で世間を信用させた。ウイルミントンは建設中の原発に近い場所である。予報の根拠は地殻異常隆起と地震活動の低下であった。州知事は USGS に助言を求めたが、USGS は隆起は誤りで、また地震が切迫している証拠はないと結論した。

スチュワートはあきらめずに、C. バーンハートというカリフォルニアの霊媒を動員し、マグニチュード 8 の地震が 1 年以内に起こることになった。そして、地震保険加入が著しく増えたという。しかし、大学は彼の永久就職を拒否した。スチュワートがブラウニング予知に一枚かんでいることは前に述べた通りである。

(3) 1981 年、B. ブレイディがペルー沖で、とんでもない巨大地震が起こることを予言した。ブレイディはマサチューセッツ工科大学で地球物理学修士、コロラド鉱山大学で応用数学博士の学位をとったプロ中のプロともいえる学者で、アメリカ政府鉱山局の職員である。彼は岩石破壊実験の結果を拡張して、ペルー地震を予告した。

この予知はペルー国内に非常な騒ぎを起こし、たいへんな社会不安や経済損失をもたらした。

結局のところ、この予知はブレイディ自身によって取り消されたが、まことに人騒がせなことであった。この話は、例えば「力武常次著：大地震への準備学、国際情報社、1984」に詳しく述べてあるので、ここでは省略する。

従来の経験によると、地震予報騒ぎには 2 つの種類があるとされていた。1 つは非専門家による予報で、占星術的立場や靈感などに基づくことが多い。このような予報を信じるのは自由であるが、科学とは次元の異なる問題である。さらに、これに類するものとして、流言やギャンプラーの発表などがあり、前者では、1978 年ギリシャ・テサロニキで満月の日に地震があるという流言騒ぎ、後者では、メキシコ・オアハカ州ピノテパ市に 1978 年大地震というラスベガスのルーレット・ギャンプラーのメキシコ大統領宛書簡に端を発した事件が有名である。しかも、このときにはテキサス大学の地震学者が、この説をサポートしたと間違っ

て報道されている。専門家による予知としてはペルーのブレイディ予知が筆頭だが、ここに述べたように“自称専門家”による予知も有り得るわけで、一般の人びとにとってはプロと自称プロを見分けるのがむずかしいであろうから、問題はややこしいことになる。

日本でも、当然このような予知騒ぎは起こり得るが、日本人は比較的地震知識に恵まれているので、ペルーのようなことはなさそうである。しかし、興味本位の週刊誌やテレビ番組が偏向した取り上げ方をすると、問題がおかしなほうにねじ曲げられて物議をかますことになる。

とくに一応プロの学者であると認定される人が発言した場合には、本人は良心に従って行動しているとしても無用の混乱を招く恐れがある。学界における個々の学者の発言を規制することはよくないが、社会的影響を及ぼすような場合には、先輩や同僚などに相談して慎重に発言することが必要であろう。また、マスメディアも単に興味本位とか、判官びいきの立場からでなく、事の真相を見きわめて報道するという立場を重視してもらいたいものである。

[りきたけ つねじ 東京大学・東京工業大学名誉教授]

キジ・ナマズ・船頭小唄

朝倉喬司

地震の予知に関し、各地の言い伝えに登場する動物の双璧が、鳥ではキジ、魚類ではいわずと知れたナマズである。

キジとナマズは、それぞれ空中と水中を棲息圏とする、それぞれの同類の中で、一方はめったに飛ぶこともなく、したがって地上と縁が深く、他方は殊更、水底の泥の中が好み、だとすれば、この二種が大地の揺れには当然ながら敏感であり、実際、地震に対する本能的関知力があっても不思議はないように思える。そして、いわゆる先人の知恵というやつが、この二種類の動物の“特殊技能”を見抜いた末に、予知にまつわる言い伝えにつながったのだとみることもできよう。

だが、果してそういうことなのだろうか。飛ぶことが不得手な鳥や、水底が好みの魚は他にもたくさんいる中で、しかも終始、地を這っている爬虫類や、さまざまな地虫のたぐい、あるいは山の穴グラ住まいをこととするタヌキやキツネなどを尻目に“殊更に”キジやナマズがノミネートされたについては、もっと何か別の根拠があるような気がする。

別の根拠。すなわち動物ではなく、ヒトの側の文化や歴史を規定してきたヒトにとっても、必ずしもまだ分明とはいえない心意の文脈が…

キジの響みと人の噂

その「文脈」について十全に解明する力量も用意も私にはないが、とりあえずはナマズほどには知られていないキジについてヒトの文化とのいかなる照応が言い伝えに結びつい

たのかを考えてみることにしよう。

言い伝えにみるキジの“予知パターン”は、およそ次の三つである。

- 三度、つづけて鳴く。
- 普段に無く頻繁に鳴く。
- ひときわ、けたたましく鳴く。

これらが地震の前触れ、予兆だという言い伝えが各地に残されている。ポイントは、もっぱらキジの鳴き声であり、その“異常”である。

キジは小鳥のように始終さえずっているわけではなく、鶏のようにヒトの傍らで毎日「時」を告げたりするのでもない。寡黙であり、しかし、その鳴き声はひときわ高く、ケーン、ケーンと山里のしじまに遠くまで響く。水中で動きの鈍いナマズの騒がしい動きと同様、キジのあわただしい鳴き声は、それ自体が異例であり、ヒトが人類史上のある時点で、これを自然の秩序への不協和音のように聞いたとしても不思議はなからう。

おちかた 彼方の あざす 浅野の とよも 雉 響さず
我は寝しかど 人を響す

『日本書紀』の「皇極記」に出てくるワザウタの一首。ここにキジの鳴き声のことが歌いこまれている。

誰かさんと野原でこっそり寝たのに、だからキジもさわがしく鳴いたりなんかしなかったのに、なぜか知られて人の噂がさわがしい。まゝ、こういった意味の、土俗的歌。これを『書紀』はワザウタとしている。ワザウタとは、「童謡」あるいは「謡」「唄」の文字があてられる、いまでいう流行り唄のことなのだが、

『書紀』の文脈においてワザウタは、つねに何ごとかを予兆、予知し、それを暗示する歌として扱われている。ワザはすなわち神態（カミワザ）の意味であり、神が神意をもって世の中の異変を示したのがワザウタなのだろうとする解釈もある。そのワザウタのひとつにキジが、さり気なく登場しているのが、私にすれば、それこそ暗示的。ちなみに、この歌は三首並べられたワザウタの、いわば中段部をなしており、前段が、

はるばる 遙遙に こと 言そ聞ゆる しま やほら 嶋の藪原

後段が、

こばやし 小林に 我を引入れて せ 奸し人の
面も知らず 家も知らずも

となっている。歌意は前段が、広い野原のどこかから、かすかに声が聞こえてくるよ、後段が、林の中に私を引っ張りこんで可愛がった人の顔も、家も知らないよ、というもので明らかに三段ひと続きの、恋をテーマにした歌。誰かさんと誰かさんが麦畑……、と歌われる、あのスコットランド民謡とモチーフは似通っている。

ところが『書紀』は、これを世替りの、具体的には大化の政変の予言として歌われたと述べているのである。すなわち、前段は中大兄が島の大官（蘇我入鹿）の家の近くに宮殿を建て、中臣鎌足とクーデターの密談をしたことを、中段は入鹿におとなしく殺されてしまった上宮の王に代わって中大兄が報復をしたことを、後段は入鹿が大極殿でとうとう殺さ

れたことを、それぞれあらわしているのだと。

『書紀』には、また、これも大化政変の兆しであったとして、次のような出来事が(しかも二度繰り返して)記されている。すなわち蘇我蝦夷が橋を渡ろうとしたとき、何人もの巫女が彼を待ちかまえたように群れ集い、手に枝葉えだを持って一斉に神託を口にした。多勢で、われ先に声を出しているのだから、その内容はよくわからなかったが、老人たちは、これこそ世替りの前兆といったのだと。

前出のワザウタは、この出来事と同じ頃に歌われたとされている。巫女のざわめきが神の領域からの、この世へのシグナルだったとすれば、何らかの寓意を含んだ彼女らの言葉が人々の間に流布される状態が、すなわちワザウタの“ワザ”だったとも考えられる。どこからどうみても男女のエロティックな戯れがテーマになっているとみる他はない俗謡が、なぜ政変の暗示とみなされたのかといえば、おそらくは、こうした歌が人の口から口へ伝わる事態そのものが、人心の神秘ななりゆきの、ひいては社会の変動をもたらす“見えない力”の表われとみなされていたからなのだろう。そしてキジが、言葉の流布のはらんだ「神秘」の象徴めいて歌中に登場している。

ヒトの気配に敏感で、隠れごとを行なう場合に注意せねばならない鳥であるキジ。そのキジの「響み」と、人の噂の「響み」が対比せしめられているのが曰くあり気で、ここには、きっとキジが、ヒトとヒトの関係のメカニズムに内在した“神秘”の鏡のようにみなされた古い時代の心意が反映しているはずだ。

やや余説めくが、登山好きの人たちの隠語に、今も「キジを撃ちにく」というのがある。トイレなどない山中で、しかるべく用を足すときに使われるのだが、ヒトの隠れごととキジとの心意上の関連が、こんな



鹿島町観光協会販売されている要石とナマズ・グッズ

ところにも顔を出しているようで面白い。

亡びの暗示? 『船頭小唄』

さて、話はここで一気に時代をかけ下る。

俺は 河原の枯れススキ
同じお前も 枯れススキ
どうせ 二人は……

詞も歌も、幾重にも世をはかなんだ調子の『船頭小唄』。野口雨情作詞、中山晋平作曲のこの歌は、日本近代の商業的大衆歌謡の草分けとも目されているのだが、『船頭小唄』が全国に大流行したのが大正 11 (1922) 年末から 12 年にかけてのことだった。そして 12 年 9 月 1 日、関東大震災。首都一円は一瞬のうちに壊滅状態に陥った。

やがて程なく、『船頭小唄』の流行は「実は」この大震災の前触れだったのではないかという浮説が、歌が広まった道筋を跡づけるように流れた。『船頭小唄』は、商業歌謡でありながら、異様な流行り方をしたという点において『日本書紀』におけるワザウタのような予言性を付託された。歌、あるいは歌の流行を何ごとかの予兆とみなす心意は実に

根強く、歴史の波動にまぎれながら残存しつづけたのである。

上山敬三『日本の流行歌』によると、そのころ「『国民が“枯れすすき”のような頹廢の歌にウツツをぬかしよるから神が怒って天誅を下し賜うたんじゃ』と、政府筋の高官が机をたたいて烈火のように怒った」のだそうであり、昭和 16 年発行の小川近五郎『流行歌と世相』をみると、「(『船頭小唄』のような) 退嬰で如何にもすて鉢な歌が全国を風靡していた時に、大震災の警告を受けたのである。惟へば、社会の風潮が弛緩と頹廢の絶頂にあったとでも考えられる秋(トキ)に、この大災禍に遭遇したということは、必ずしも仏説によらなくても、奇しき因縁と思ふのである」などと書かれている。ちなみに、著者・小川は内務省警保局レコード検閲局の主任検閲官だった人。

どうせ 二人はこの世では
花の咲かない 枯れススキ

あるいは、

死ぬも生きるも ねえお前
水の流れに 何かかわる

こういう「後向き」の「やる気の

ない」歌が流行するような風潮を、天が戒めて、あの大地震がもたらされたという論法。歌の予言的性格が、人心の頹廢をめぐる因果の図式にすりかえられている。作詩・作曲者のもとより、『船頭小唄』を好んで歌った人たちにすれば、とんだ言いがかりというほかはなく、この程度の歌で天が怒るなら、戦後この方の日本など、もう何百回も大地震に見舞われていなければツジツマはあわない。

それはともかく、ときの為政者が“たかが”歌の大流行に、かくも神経をとがらせたのは、歌が地震を世替りのイメージに媒介させ、人々の「響もし」を招来しかねないことを何よりも恐れたからなのだろう。

現代において地震は、もっぱら「予知さるべき」自然現象である。が、古くは地震そのものが社会的・国家的異変の前触れとされることが多かった。再び『書紀』にもどると、「推古記」7年4月27日の条に、「地動りて^な舎屋^{やかず}悉く^{ことごと}破たれぬ^{こぼ} 則ち四方に^{のり}令して^{こと}地震の神を祭らしむ」

とある。地震は、すなわち鎮めねばすまぬ神の怒りのあらわれ、異変の前触れというよりも、むしろ、もっと積極的に人の世に改変を迫る大きな意志を感じさせただろうことが、『書紀』の記述からはうかがえる。関東大震災をめぐる「天の戒め」論議が、これと類似した、地震をある巨大な意志の影とみる感受性の産物だったのはいうまでもないだろう。

佐韋川よ 雲立ち渡り 畝傍山
木の葉さやぎぬ 風吹かむとす

畝傍山 昼は雲とる 夕されば
風吹かむとぞ 木の葉さやげる

これも『書紀』に出てくる、多分にワザウタの色彩の濃い歌。神武天皇の妃ヒメタライズズヒメが、自

分の皇子たちに、異母兄タギシミミの叛意を知らせたものとされる歌意だけを取り出せば、何気もない叙景歌である。

佐韋川の上空あたりに雲が湧き起こり、畝傍山に風が吹いて木の葉がしきりにざわめいている。

と、ただそれだけのこと。だが、この歌が、やはり政変の予兆を示すとされた背景には、雲の動きや風の吹きよりの微細な変化に耳目をそば立たせ、そこに“なにも”かの「意志の影」を読みとろうと佇立した「呪的主体」の気配が感じられるのである。原始から古代にかけて、叙景は歌われることにおいて、単なる鑑賞ではなく、自然の描写でもなく、人の心を強い暗示に染め、共同的な「兆し」に同調させていく「作曲態」として流布していたと考えられる。

『皇極記』の橋上の巫女たちは^し枝葉を手にして^はいたのだったが、枝葉は、神をそこに乗り移らせるべき呪具だったに違いなく、この歌のしきりにざわめく畝傍山の木の葉も、神がかりした巫女の手^はに震える枝葉と、何らかの連想で結ばれた表現であるのかも知れない。そして、奇妙なことに、はるか時代をへだてた流行歌である『船頭小唄』にも、震える枝葉を思わせる河原の「枯れススキ」があらわれて、なにがなし、亡びの暗示めいた「作曲」を、世の中に及ぼしたのである。

鯨・地震、世替りの前兆

さて、せっかくだから地震とくれば、この御仁、ナマズ君にも登場してもらおう。

ナマズと地震の係わりは、今さら言うまでもなく、広く人口に膾炙したフォークロアである。

一方でナマズは、地下で暴れて地を揺する地震の「元凶」とみなされ、それと連関して、その異常行動が地

震の予兆をなすものと考えられたりしてきた。また、そうした荒唐無稽ともみえる伝説にも、何らかの（たとえば、ナマズには人体に感じられない大地の微動や地電流の変化を感じとる能力があるのではないかといった）合理的根拠を見出そうとする試みもなされてきた。

そうした観点からすれば、地震についてのナマズの伝説は、たとえば、

- ア리가穴をふさいだり、タマゴを運ぶと大雨
- カエルが家の中へ入ってくると大水
- ハチが水辺の低地に巣をつくると、その年は旱魃

といった比較的因果関係がみえやすく、合理的根拠がたやすく認め得る俗信と同じように、観察のたまえない反復が醸成した知恵とも考えられる。しかし、ナマズの異常行動は、もともと、必ずしも地震と結びつけられていたわけではなかった。

たとえば『筑前国続風土記』は、それを次のように、社会的な異変の前触れとしている。

「(鯨淵は)山田村にあり一の堰手の上なり 此の淵に鯨魚多し 常には見ゆる事なし 岩穴の中ありと云ふ 国天下に変ある時ハ必ずあらわれてあつまるといふ天正十四年七月 薩摩の軍此の国を乱妨せし前 この淵中に鯨すき間なく泳ぎぬ 元和元年大坂陣の時も また鯨出たる事古のごとし……」(巻六、鯨淵の項)

ナマズの大群の不意の出現が、ここでは異変の前兆とされているが、彼らが棲息する深い水中の岩穴が、世の中の移り変わりに、ある根源的な作用を及ぼす磁場のようにみなされている点が興味深い。

関東大震災のとき、千葉県^いの姉ヶ崎(現・市原市)からウナギが姿を消し、ウナギは仲間であるナマズの

(地震を起こす)手伝いにいったのではないか、という噂が流れたことが、当時の『東京日々新聞』に載っている。この噂において注目すべきは「巡遊する魚」のイメージだと思う。

さて、ナマズがフォークロアの領域において地震と“決定的に”関連づけられた最大の契機が安政大地震(1855)だった。このとき、震源を鹿島のナマズとする噂が広く流れた。鹿島大明神が地軸を背負う大魚(であるナマズ)を石で押さえつけて大地の安定はもたらされているという古くからの伝承を背景に、その“均衡”が崩れて大震災が起きたとする噂は、一方で地震を抑制すべき鹿島明神への信仰とともに、束縛を脱したナマズへの畏怖、からかい、そこはかたない共感の入り交じった、ある種、熱病的な関心をよび起こしたと、同時にナマズを戯画化した「鯰絵」が大流行。この鯰絵を素材に日本の民俗的想像力の根源を探ろうとしたC. アウエハントの著作『鯰絵』は、地震を媒介として起ち上がったナマズへのアンビバレントな感情について、次のように述べている。「(ある鯰絵には)非常に激しい敵意が表現されているにもかかわらず、その版画に、絵の主旨とは全く違った、つまり国土を蹂躪する怪物としてではなく、救済者としての鯰の到来を喜ぶ感情を表わした歌が添えられている。東京大学コレクションの中にある鯰絵にも『地震除けの歌』と呼ばれるこれと同様の歌を見出すことができる。この絵は、実に写実的に描かれているので、想像に頼らなくとも理解できるはずである。すなわち大黒が大判・小判を雨のように降らせ、鹿島大明神と鯰が、それを幸福そうに眺めている」

鯰絵には、このように「鯰のもつ破壊と復興、嫌悪と崇高、殺戮と養育といった顕著な対立」がみられ、

各種の鯰絵を類別してグループごとの表象を並列させて、その連関ぶりを調べてみるならば、

「大部分は破壊—豊饒という対立—調和の横の関係でつながれているといえる。こうした対立—調和は鯰絵の表象世界全体の意味の特性を見事に示すばかりか、それを決定づけているとさえ思われる」と、アウエハントはいう。

アウエハントの、このような考察から浮かび上がってくるのは、地震を忌むべき災厄として受けとめると同時に、世替り、世直しの曙光として解放的な気分とともに受け容れる民衆心意の实在である。

地震そのものが、古くから政変・騒乱、あるいは社会変動の兆しとされてきたことは、すでに述べた。そして、こうした心意は、おそらく大地は巨大な魚、あるいは蛇、さらには牛・象などによって支えられているとする非常に古く、普遍性をもった「大地の神話」を根源としたものだろうと思う。地の安定を保持すべき、たとえば巨大な魚(人類学では世界魚と名づけている)が、不意に身動きすると地震が起き、万一、暴れまわるようなことがあれば、それこそ世の終末。このような“太古的”世界観を基底においた地震への感受性が、やがて時代が下るとともに、王権の消長、政変、騒乱、革命といった「人の世のメカニズムの変動」に関連づけられ、転写されていたのではないだろうか。

「地下の大ナマズを押さえこんでいる鹿島大明神」の図式は、とりあえず、地上の神聖権力が、太古の世界観の上位におかれたことを示し、そのことをもって秩序の感覚がアレンジされた歴史的心意の表われといえる。

鯰絵の流行は、地震が、まずなによりも(ある期待感とともに)世替りの前兆、あるいは表象として受けとめられたことを物語り、そのよう



安政江戸地震の後に発行された錦絵
鹿島大明神がナマズを要石で押さえ
ている図。

な事態をもたらしたものが何かといえ、人々の幕藩体制の揺らぎへの直観以外にはありえない。日常のささいな出来事、秩序の感覚からの微妙なズレが、それと意識されないまま人々の感受性を刺激しつづけ、それがやがて集合的な予感の渦にかわる一大エポックをなしたのが安政の大地震であり、鯰絵の流行だったような気がする。そして、繰り返すまでもなく、ナマズが数ある魚の中から、とくに地震に敏感な種類としてノミネートされた理由は、終末感に彩られた安政期における人々の湧きたちの「記憶」に他ならない。

鯰絵の中には、ナマズが「新内流し」や「チョボクレ」など、語りモノの芸人、あるいは「葉売り」などの大道を巡遊する芸能屋に擬人化されたものが、この他多い。私はこれを、まさしく、鹿島のナマズの噂やら鯰絵の流行やらを人の口から口へ媒介した人たちの、ドキュメンタルかつ神話的な転写だろうと思う。

『船頭小唄』もバイオリン片手に街を渡り歩いた演歌師によって流布されたものであり、こうした媒介者の存在によって、地震にまつわる“ワザウタ的”な予言性も、否応なく高まったものと思われる。

[あきく きょうじ ルポライター]

■ 地震予知連絡会情報 ■ 田中寅夫 ■

地震予知連絡会は、1992年5月18日に記念すべき第100回が開催され、68件の報告がなされた（記録によれば、第1回の連絡会は1969年4月24日に開催されている）。2月17日に開催された第99回の連絡会では65件の報告がなされたが、これらを合わせて昨年11月以降の半年間では、11月27日の浦河沖地震（M 6.4）、本年2月2日の東京湾地震（M 5.9）などがとくに話題になった。このほか大きな地震としては、M 6クラスの地震が頻発した昨年12月の千島列島の活動、父島近海での昨年11月12日の地震（M 6.0）および今年1月20日の深発地震（M 6.9）の発生などが挙げられる。

東海地方の地震・地殻活動

東海地方における地震活動は全体的に静穏であり、とくに変化はない（第99・100回：気象庁・名大理資料）。ところで、本誌12号に1973～'74年頃から東海沖地域のM 5.5以上の地震発生パターンが変化したことを示す会長資料が紹介されているが、さらに、これに対応して駿河湾周辺の上下変動速度にも変化があったようだ、との会長の見解が述べられた（第100回：会長資料）。

東海地域で実施されているGPS観測結果は、南北方向の基線の場合には精度がよく 10^{-7} 程度の再現性が認められる。東海地域と八丈島間で実施された観測結果は、フィリピン海プレートの移動速度が年間1～3 cmであることを示している（第99回：名大理資料）。

東海地方の精密辺長測量（1971～1992）では駿河湾に1年当たり1.5 cmの縮みがみられる（第100回：地理院資料）。その他の計器による観測結果には、とくに異常はない。

東大地震研究所富士川地殻変動観測所では、傾斜変化が停滞したとき、周辺に微小地震が発生する傾向がみられることが指摘された。

地質調査所からは東海・伊豆地域の地下水位・自噴量に1991年9月3日の地震（東海道はるか沖）の際にいくつかの地点で変化があったこと、また、藤枝のラドン計にも影響が現われたことが報告された。

伊豆半島周辺の地震・地殻活動

伊豆半島およびその周辺では地震活動は静穏であった

が、1992年1月に入って神津島・新島付近にかけて、三宅島では震度Ⅲが観測された1月7日のM 5.1の地震をはじめとして活動が活発化している。新島・式根島・神津島周辺では活動が1991年4月から間欠的につづいていた。さる5月14日にはM 5の地震が発生したが、余震は順調に減っている（第99・100回：地震研資料）。

伊豆半島における重力変化の中心は北上する兆しを見せているが、伊東市周辺で見られた異常変化は現在ほとんど鎮静化している。地磁気全磁力変化について見ると、伊豆半島東部の遠笠では、沢口に較べて最近5年間で10ナノテスラも増加を示しており、注目される（第99回：地震研資料）。水路部が実施している三浦半島一真鶴一伊豆大島を結ぶGPS観測結果には、伊豆大島の1年当たり2～3 cmの北上傾向が見える。

また、水準測量によれば伊東駿潮場付近が約2 cm隆起しており、この傾向は従来のパターンに似ている（第99回：地理院資料）。

伊東市内で、地下水位・温泉水温に下記の1992年2月2日の浦賀水道付近の地震に関連して異常変化が検出された（第99回：東大理資料）。北大理学部による東海地域（湯河原など）での精密地下水温観測からは異常変化の報告はなかったが、京大防災研からは、河津町においても温泉水温の変化が観測されたとの報告がなされた。

国立天文台は御前崎において1992年3月26～28日に重力絶対測定を実施した。最終結果は、1987年12月に国土地理院が行なった測定に較べ約0.08 mGal小さいが、この差は有意とはいえない。

関東地方の地震・地殻活動

1991年11月19日には東京湾直下で地震が起こったが、気象庁によればM 4.9、深さは81 kmである。地殻傾斜変動に異常は認められない（第99回：防災科研資料）。

1992年2月2日に浦賀水道付近で起こった地震（M 6.1）の発震機構解および周辺の震源分布は図1の通りである。防災科学技術研究所によれば、この地震の前にも、1991年8月6日の茨城沖地震（M 5.8）の前と同様に、顕著な地中電界変動が観測されたとのことである。

1992年4月10日には東京都東部でM 5.2の地震が深さ82 kmの場所で発生した。また4月14日には北西

一南東圧縮逆断層型の地震 (M 5.3) が茨城県西部の深さ 56 km で発生している。後者はフィリピン海プレート上面に位置するものである(第 100 回: 防災科研資料)。

小田原市周辺の最近の上下変動からは、大磯丘陵から山北町にかけての沈降、真鶴町から熱海市にかけての隆起の傾向が見える。また、平塚市の東で圧縮の大きい地域が認められる(第 100 回: 地理院資料)。

水路部が実施した相模湾におけるマルチチャンネル反射法音波探査結果には、伊豆大島近くにフィリピン海プレートの沈み込みを示す滑り面が認められるが、北に向かうに従い見えなくなっている(第 99 回: 水路部資料)。

地質調査所は旧江戸川 (9 km)、荒川東岸 (河口から 7 km) および隅田川 (河口から 12 km) で音波探査を実施した。この結果、旧江戸川ではグラーベン構造が発見された。また、荒川においては断層とも推定される反射面の撓みが認められた(第 100 回: 地質調査所資料)。

北海道・東北地方の地震・地殻活動

1991 年 12 月 7 日頃から千島列島ウルフ島付近で最大 M 6.7 を含む地震活動があった(第 99 回: 気象庁資料)。

1991 年 11 月 27 日の浦河沖地震 M6.4(浦河で震度 IV) に関連して、1 カ月ほど前から地震活動が活発化し、M 4 前後の有感地震がこの地震を囲むように 7 回ほど発生した。余震は少なかった。浦河沖を震央とするエネルギーの放出状態 (M 4.8 以上) を見ると、M 7 クラスの地震が起こるとしても、もう少し先のように見える。今回の地震は、M7 前後の地震の中間に発生する地震のようである(第 99 回: 気象庁資料)。この地震のメカニズムは北西-南東に圧縮軸をもつ低角逆断層であり、1982 年浦河沖地震とは異なっている(第 99 回: 北大理資料)。潮位差からみると浦河は隆起を示しているが、最近数カ月とくに進行しているようには見えない(第 99 回: 地理院資料)。

1991 年 12 月 4 日に三陸沖、日本海溝付近で最大 M 4.8 を含む地震活動が活発化した。この周辺では過去に大地震が発生し津波を起こしている(第 99 回: 気象庁資料)。

東北地方では、1991 年 11 月以降微小地震活動は活発化の傾向にあるが、1992 年 2 月から 4 月はやや静穏で

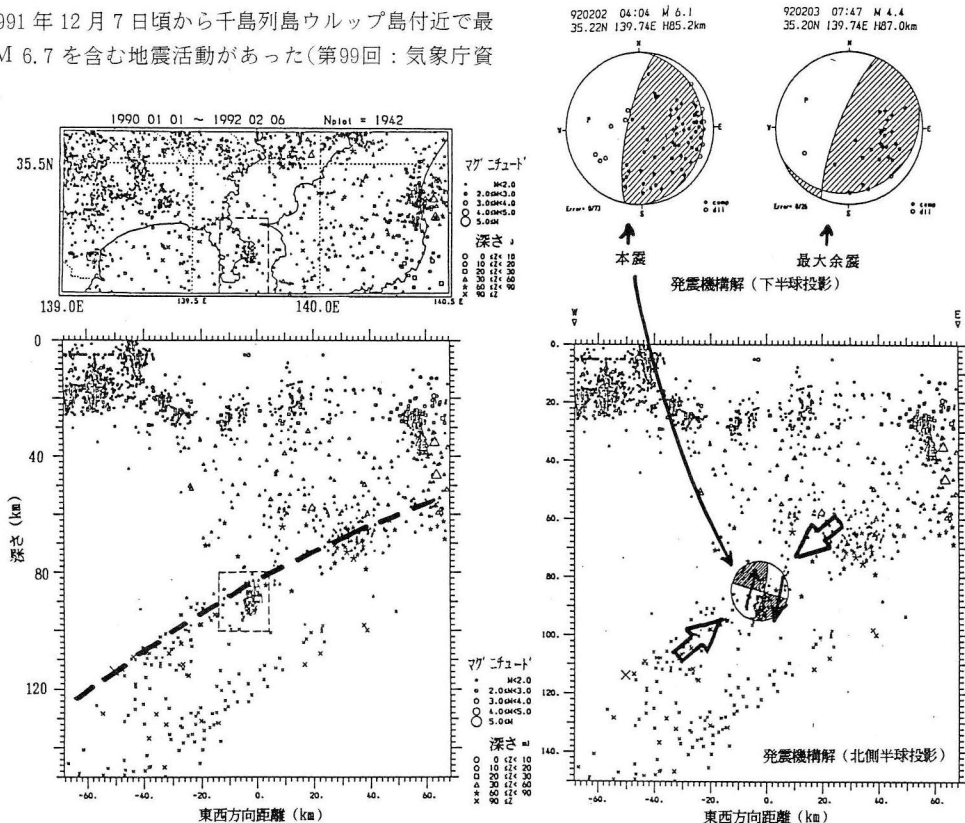


図 1 1992 年 2 月 2 日の浦河水道付近の地震の発震機構解と周辺の震源分布図
 左上は 1990 年 1 月 1 日から 92 年 2 月 6 日までの震央分布図、左下は同じ範囲の東西断面における震源分布図、右は本震および最大余震の発震機構解、右下図の太い点線は太平洋プレート上面を示す。また、細い点線で囲まれた四角の中の地震の“かたまり”は今回の余震であり、ここは空白域となっていた(第 99 回: 防災科研資料)。

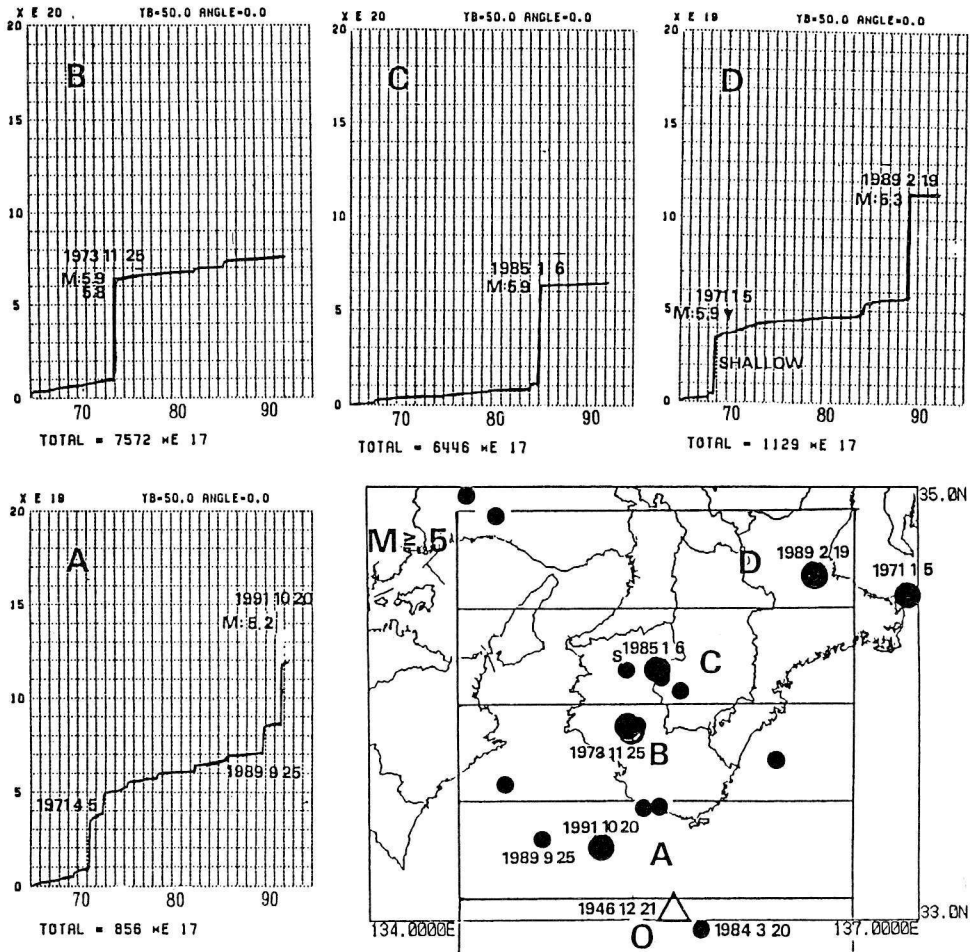


図2 紀伊半島を南北に区分けた地域別地震エネルギー積算値
 期間は1965年から1992年3月までである。AおよびD地域で約20年の周期性が見られる(第100回:地震研資料)。

あった。4月13日には気仙沼沖にM 5.1の地震が発生し、大船渡では震度IVを観測した。北西-南東圧縮型であり、M 5.0以上の地震を対象としたときに岩手県沖に見られる活動低調域の南端で発生した(第100回:気象庁資料)。東北大学理学部では、深さ約50 kmでスラブ上面のdowndip compression型の地震と推定している。11月18日にはM 5.1の低角逆断層型地震が福島県沖に発生した。1975年から1991年までの震央分布図には三陸はるか沖に三角形の空白域が認められることから、東北大学ではこれに注目している。

中部・近畿・中国地方の地震・地殻活動

1991年11月2日には京都府亀岡市の南西にM 4.4の地震があったが、この周辺では1987年5月28日に

M 4.9の地震が発生している。

四国において地震活動が最近減少していることは、本誌6号49頁でも紹介されているが、山陰地域でも地震活動の減少が見られる(第101回:京大防災研資料)。

紀伊半島を南北に大別する地域別地震エネルギー積算値は、図2に見られるように、約20年の周期性を示す。これに従えばB地域では近い将来活動が予想される。

1981~'83-1987~'91の中国地方の上下変動を見ると、浜田・出雲など日本海沿岸の沈降が目立つ。明治(1887~94)と一次網2回目(1985~, 88)から求められる水平歪によれば、浜田市と広島市を結ぶ線の東と西では歪の様子が異なっている(第100回:地理院資料)。

最近10年間の四国地方の網平均結果は、室戸で年7 mmの沈降を示し、西に広がる傾向を示している(第99回:地理院資料)。

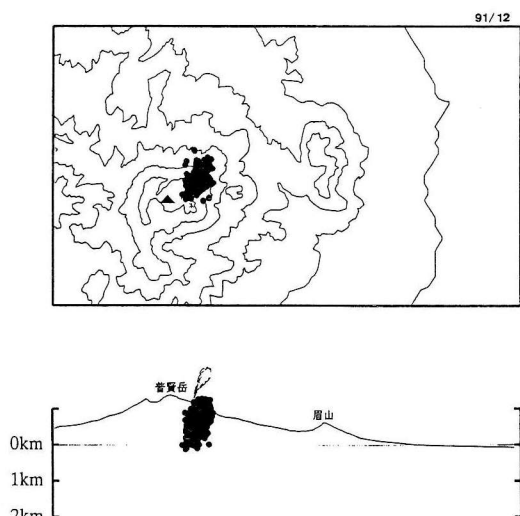
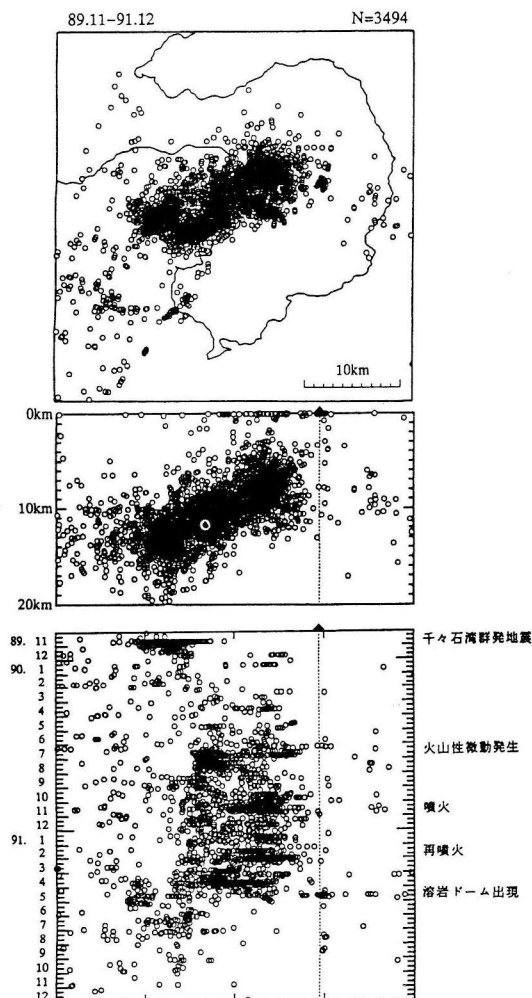


図3 1989年11月から91年12月までの千々石湾・島原半島における震央分布[左上], 東西断面での深さ分布[左中], 東西断面での時空間分布[左下]および91年12月に観測された溶岩ドーム直下の地震の分布[右](第100回:九大理資料).

雲仙普賢岳の活動概要をまとめた資料が九州大学理学部から提出された。図3は震央分布と時空間分布である。雲仙地溝の地震の発震機構が同理学部によって求められているが、これらは南北張力の存在を示している(第100回:九大理資料)。地理院のGPS観測によれば普賢岳をまたぐ測線で今年3月以降収縮傾向が続いている。

1990年1月と1991年11月に奄美大島、沖縄、南大東島で京大防災研究所などによって行なわれたGPS観測結果は、ユーラシア・プレートに対しフィリピン海プレートが1年当り8.7cmの速度でN70°W方向へ動いていることを示している(第99回:京大防災研資料)。

その他

気象庁により、平成3年1月から12月に日本付近で発生した主な地震と、世界における主な地震の震央分布およびリストが提示された。また、平成4年3月から発震機構解の業務における表記法を、投影面を下半球投影にするなどの変更がなされた(第100回:気象庁資料)。

連絡会終了後、引きついで「地震予知を語る会」が催された。また、6月2日には記念講演会「地震を科学する」が開催された。なお、第100回連絡会に先立ち、特定部会が開催され、九州・中国・四国地方の地殻活動について討議された。同部会では、今後、全国にわたって順次活動についての検討を進めることになった。

[たなか とらお 京都大学防災研究所教授]

京大理学部によって行なわれた岡山市万成における1991年11月の地殻応力測定結果は、深部ではすべり破壊が発生するような応力状態に達していないらしいことを示している。また、地震研究所ほかによる平成3年度の吾妻一金沢測線の人工地震探査で得られた結果は、浅部構造の著しい地域性、飛騨山脈地域の構造の複雑さの存在を明らかにした(第100回:地震研資料)。

九州地方の地震・地殻活動

九州地方では全般的に地震は少なかったが、鹿児島県甕島にM4.5の地震(正断層型)が1992年1月30日に発生し、上甕村で軽微な被害があった。前震は観測されていない(第99・100回:九大理資料)。

1992年1月26日には、トカラ列島近海でM5.7の地震(深さ128km)があり、また、西表島の南方約100kmで最大M5.9(1992年3月15日)の地震を中心とした群発活動が見られた(第99・100回:気象庁資料)。

■ 書 評 ■

●実践的地震予知学者の平易な解説書

力武常次 著

(1) 東京圏直下大地震が迫る

力武常次 著

(2) もうすぐそこに… 大地震

阿部勝征

南関東地域の地震発生について検討を進めていた中央防災会議は1988年6月に、「関東大地震の再来は切迫していないが、南関東地域直下の地震の発生はある程度の切迫性をもっている」という見通しを公表した。その見通しが浸透してきたのか、最近の出版物は直下型地震を表題に掲げるようになった。とはいえ、どの本も直下型地震だけに的をしばっているわけではない。

『東京圏直下大地震』も例外ではない。直下型地震だけでなく、地震やその予知、津波などに関係した一般的な話が多数盛り込まれている。

本書は、つぎの8章から構成されている。

来るべき「世界を揺るがす大事件」/日本を襲う地震の脅威—地震列島の宿命/南関東で死者15万—予想される地震災害/予知対策は万全か—確率予測の進歩/地震には予兆がある—宏観異常現象の話/津波の脅威—海岸では直ちに高所に避難/地震への備え—無謀な開発のつけ/あなたの町の危険度は—地震・津波危険度の定量化

著者はこれまで実践的な地震予知研究に関わってきており、地震予知に関して高度な専門書から一般向けの解説書まで多数の本を上梓してきた。それらの本の内容を幅広く網羅しているという点で、本書は著者の地震予知に対する姿勢を手短かに知りたい向きには重宝な本である。巻末に著作一覧のリストがあれば、より便利になったであろう。

「東京圏直下地震は予知できるか」という疑問については、著者は現状を一言で言って「万全どころか、全くお寒い限りだ」と喝破している。どうも直前の予知は難しいらしい。もちろん、その理由にも触れている。確率予知で迫ることによって著者の真骨頂を見せる。

場所によっては十分説明しきれていないところもみられるが、いろいろな話題をたくさん盛り込んだためにや

むをえなかったのであろう。巻末には都道府県別の被害地震カタログがのっている。『東京圏直下大地震』は、一般の方々や防災関係者が地震の知識や地震予知の現状を概観するには、手頃でわかり易い最新の入門書である。

「ドドドドッ!の轟音とともに、突然地面が突き上げるように揺れはじめた。続いて、ドーン!という悪魔の大音響とともに、地面が上下左右に大きく揺れ、巨大なクレバスのように割れていく…。(中略) 奴(大地震)は、地下で息をひそめてじっと出番を待っている!」

このような書き出しで始まる『大激震』は、つぎの章から構成されている。

明日来てもおかしくない平成大地震/地震はなぜ起こる—発生のメカニズム/もう一つの恐怖〈津波〉/日本列島クライシスエリア“ワースト10”/平成の大地震は十分に予知可能

「東大地震研究所元所長が警告する」がサブタイトルである。本書は著者の著と銘うってあるが、実際には、生活科学に関心を寄せる聡明な白井京子さんが尋ね、著者が答えるというインタビュー形式の本である。そのスタイルゆえに、トーンは表面的な受け答えに終始しているが、素朴な質問にいいに答えているのは好感を与える。読者が著名な地震予知学者と膝を交えて対話していると錯覚させるような親しめる本にもなっている。

「正しい知識は欲しいが、むずかしそうな地震の本はどーも」とふだん感じている方々に、『大激震』は気軽に手に取ってもらえそうな本である。

〈1〉講談社、1991年11月、B6判、247頁、1400円〉

〈2〉日本フローラアート出版局、1991年12月、

B6判、214頁、1200円〉

[あべ かつゆき 東京大学地震研究所教授]

●IASPEI地震予知委による地震前兆の評価

Max Wyss 編

EVALUATION OF PROPOSED EARTHQUAKE PRECURSORS

浜田和郎

本書の編者 Wyss は IASPEI Sub-commission on

Earthquake Prediction (予知委員会)の議長であり、そこでの地震前兆評価の仕事の中間発表が本書である。評者の浜田は予知委員会委員の1人なので第三者の書評にはならないが、内情を知っている者の書評として読者の参考に供したい。

本書は Introduction, Reviewed Precursor Nominations, Preliminary List of Significant Earthquake Precursors, Nominations without A Decision, Nominations Which Are Not Placed on the Preliminary List at This Time の各章から成っている。

初めの「紹介」では、1989年2月に Call for Nominations が各国の IASPEI 関係者に配布されてからの事の経緯が述べられている。応募者は Wyss に論文を送り、Wyss はメール・レビューのために4人を目標にエキスパートを選ぶ、その結果の検討のため目標7人のパネルミーティングを開催し、「有意な地震前兆の Preliminary List に載せる」か「決定無し」とするか「Preliminary List には載せない」かの最終決定をする。本書はその結果を出版したものであるが、内容は応募論文の Abstract・パネルからのコメント・数人の個々のレビュー・それらに対する著者の答えがセットになっている。予知委員会委員は可能な限りパネリストとして参加する事になっていた。しかし、この仕事を支えるファンドが無いことは、実際にはかなり深刻な問題で、国際会議の機会を利用して集まれる人だけ集まったというのが実情であり、評価の一貫性に欠けるところがあり、また、討論の機会も非常に制限された。そのため、実際は、Wyss の主導で個々の予知委員会委員・レビューアーやパネリストとのやりとりで多くが処理された。この間31の応募があり、いくつかの取り下げがあり、28が処理された。評価の結果は、3篇のみ有意な前兆の Preliminary List に載せることになった。

なぜ多くの応募があったにもかかわらず、受け入れられなかったのか。「その主な理由として、地震予知研究の進歩そのものがある。応募論文は何年前に書かれ、そのときは、可能性のあるものとして様々のパラメーターが発見された時代であった。しかし、もうその時代は終わった様に見える。今は、定量的な厳密な解析が求められている」と Wyss は考えている。レビューアー・パネリストにより指摘されている共通の問題は、何が異常な前兆なのかについて定義が欠けていることと、提案されたアノマリーの統計上のテストが欠けていることである。多くの著者は、何がアノマリーで、それが何時発生し、それが有意か否か、分かるはずだと、読者を信頼しているようである。そのために、提案されたアノマリーはしばしば解釈の問題になってしまう。また、提案されたアノマリーが他の原因によって説明される可能性が

あるか否か、その検討が欠けている場合もあった。

Wyss は「前兆であることの理想的な基準を、現実の世界で行なわれている観測によって満たすと言うことは、とくに限られたファンドでは、殆ど不可能であることを認識した」といつている。そのため、有効性の基準は改訂すべきであるとして、予知委員会による基準の改訂について、広く一般にも呼びかけて、現在その提案を求めている。

では、このたびのノミネーションでは何が成されたのか。一般の学会のジャーナルのレビューと同様に英語の科学論文として評価が成されたのは事実である。個々の問題についてのレビューアーやパネリストのコメントには参考になることが多い。しかし、最後に List に載せるか否か、つまり有意な前兆と見るか否かはパネルでの多数決によっていて、その基はパネラー個人の主観的判断であり、共通した判断基準はなかった。記述の正確さ・適切さ・引用の適切さなどにおいて、科学論文としての姿を取っていないと最初から信用されない。正しい理解を得るには表現の技術が必要である。ノミネイトされた3篇(松浦の大きな余震の予知の多数例、K-T Wu 他 の 1975 Haicheng 地震の前震、脇田・他 の 1978 伊豆大島近海地震のラドンの異常)は、少なくともこの点をクリアしている。しかし、あるパネル・ミーティングのときに「有意な前兆として採択されたものと、されなかったものと、そこには一体、どれだけの差があるというのだ」と一人のパネリストが呟いていた。

Wyss 自身も本書の冒頭で述べているように、Preliminary List にある前兆も真の前兆である保証はない。また、list に載らなかったものについても、その種の研究の価値がないということではなく、その仕事の内容や記述が不完全で地震予知に役立つかどうかはまだ確立されていないということである。また、ある地域において有望な手法も他の地域ではそうでないかもしれない。

本書で取り扱われた前兆は総括的ではない。最大の障害は言語の壁であり、日本・中国・旧ソ連などでは、その国の言語で書かれた貴重な資料が多いが、残念なことに国際的な IASPEI 委員会ではそれらを評価することは不可能である。

日本の地震予知研究者として評者の率直な感想をいえば、地震前兆現象の性質がまだ充分明らかになっていない現状で、IASPEI 委員会の前兆評価は厳しすぎたと思う。現在は前兆の可能性のあるものは、ともかく記録しデータベースに保存したい。その前兆候補が実際に立つかどうか、つまりその種の現象がどんな割合で真の前兆を含むかは、実験として実際に予知を行なってみれば自ら明らかになるのであって、有効性による取捨選別は後でできるし、逆に予知実験によらなければ本当の選

別評価はできない。雑魚がとれるのを心配するあまりに、鯛を逃してしまうことのほうを私は心配する。

<AMERICAN GEOPHYSICAL UNION, 1991, 21×28,p.94>

[はまだ かずお 防災科学技術研究所地圏地球科学技術研究部長]

●津波防災科学の現状

E. N. Bernard 編

TSUNAMI HAZARD

A Practical Guide for Tsunami Hazard Mitigation

相田 勇

IUGG (国際測地学・地球物理学連合) の中に津波委員会がおかれたのは1960年ヘルシンキ大会のときで、それ以来ほぼ2年の間隔で、国際津波シンポジウムが開かれてきた。1989年には旧ソ連のノボシビルスクで、1991年にはオーストリアのウィーンで行なわれ、そしてつぎの1993年には日本の和歌山で開催される予定である。

シンポジウムの論文集はいつも決まった形で出版されるとは限らず、いろいろの形をとってきている。1989年ノボシビルスクで行なわれたシンポジウムの論文集は、学会誌 "Natural Hazards" の Vol. 4, Nos. 2 & 3 (1991) に、特別号として印刷されることになり、6研究分野の座長たちによって、62の口頭発表のうち20篇が採録論文として推薦された。しかし査読を経て最終的に印刷されたのは、津波の観測的な研究3篇、発生・伝播・遡上など物理的過程に関する研究6篇、津波災害危険軽減を主題にするもの4篇、の13篇であった。本書は、この特別号を単行本として再印刷したものである。

観測的研究では、F. I. Gonzalez ほかのアラスカ湾に起こった最近の2津波の深海観測記録を、数値モデル計算結果と比較した論文、P. D. Kovalev ほかによるケーブル式長波観測システムで観測されたカムチャツカ南西陸棚の長波の特性の研究、B. C. Papazachos ほかのギリシャ近海に発生した津波と、地震のメカニズム、テクトニクスなどの関係を議論した論文、が採録されている。

物理的過程に関する論文では、6篇のうち実に4篇が日本人によるものであり、この分野での日本の研究が進んでいることをうかがわせる。N. Shuto (首藤) は、数値シミュレーションの現時点での広範な問題点を検討し、近い将来への課題を述べている。K. Satake (佐竹) ほかは、沿岸の多数の津波記録からインバージョン法により波源の断層スリップの不均質分布を求め、震源の研究に有用であることを示した。H. H. Yeh は津波ボアーの陸上遡上の水理実験を行ない、海岸での運動量の交換過程

を研究している。C. E. Synolakis は傾斜海岸での遡上高を線形理論によって予測できると主張した。O. Nagan (永野) ほかは1960年チリ津波の超長距離伝播シミュレーションの、精度保持と計算時間減少などの技術を開発し、計算流速と筏の被害との関係に言及した。Y. Tsuji (都司) ほかは、一次元伝播するボアーについて KdV-Burger 方程式による解と水理実験の結果と比較している。

また災害危険軽減に関する分野では、S. Tinti によるイタリアの地域津波ポテンシャルの研究、E. N. Bernard による衛星技術を用いた津波警報システム THRUST に関する報告、E. Lorca による THRUST のチリでの運用結果の報告、A. J. Sanchez によるメキシコ西海岸の災害危険予測と、その軽減の方策についての報告、が採録されている。

また冒頭には、1960年代、70年代、80年代における津波研究の特徴と、1990年代への展望を述べた編者自身による開会の挨拶が、そして巻末には、同時に行なわれた2つの会議の概要と、採択された勧告が記述されている。

以上のように、本書はシンポジウムの論文集とすれば、甚だ異色で不完全である。しかし副題に示すように津波の危険を軽減する方策を求めるためのガイドブックとしての論文の選択は当を得ており、分野によっては日本人の論文が多いが、外国のそれぞれ注目すべき分野の研究もあり、津波防災で問題とされる範囲をカバーしている。また一つの論文でも、例えばシミュレーションに含まれる多くの課題が総合的にとりあげられているとか、あるいは警報システムや危険度予測の具体例が示されているとか、本書一冊で津波防災科学の現状がほぼ把握できる。したがって津波防災関係に関心のある、科学者、技術者、学生などには有益な参考書である。

反面専門家にとっては、ほかの多くの論文が採録されていないので、不満も残る編集であるが、この方面の知識を整理するためには、全報告をまとめた膨大なプロシーディングスを繰るよりも便利かもしれない。

<Kluwer Academic Publishers, 1991, 214 pp., \$ 94>

[あいだ いさむ 地震予知総合研究振興会主任研究員]

●潮位観測による海面高変化研究の集大成

K. O. Emery and David G. Aubrey 著

SEA LEVELS, LAND LEVELS, AND TIDE GAUGES

加藤照之

最近、地球環境に関する議論の中で、とくに大気中のCO₂の増加による温暖化と、それに伴うユースタティックな海面上昇の可能性が取り沙汰されている。本書は海面上昇が実際に起こっているのかどうかを、長年、潮位記録を地殻変動の立場から研究してきた著者が詳細にレビューし、調査したものである。

潮位記録は、地面に対する相対的な海面の高さを記録するものであるから、本来なら、そこから直接海面の絶対高変化を論ずることは不可能である。この困難を回避するには、(1)統計的处理による、(2)様々な地殻変動のモデルを考えて、そこから推測される土地の変動を除去する、(3)他の絶対的な土地の変動を計測する方法を導入し土地の変動を除去する、などの方法が考えられる。かつての研究は(1)によるものが多かった。このような方法では、明らかに地殻変動の影響の大きな地点を除くとしても、単純な平均といった大ざっぱな推測値しか求められず、信頼性の低いものであった。これに対し著者は(2)の方法、すなわち全世界の潮位記録について、その地域、その潮位観測点の地質学的特性、地殻変動、人為的な影響などを調査して変位の主要原因を探り、長期的に安定な点を抽出して、傾向を探ろうとした。余談だが、宇宙技術によって絶対的な地殻変動が計測可能となったことから、将来は(3)が重要になるであろう。

第一章の海面高の研究の歴史、第二章の海面高変化の原因とメカニズムに関するレビューは、これだけでも記述が詳細を極め、著者の広範な知識と資料の渉猟への情熱に驚かされる。正直のところ、ここまで読み通すのも骨の折れるほどであるが、ハイライトは第三章と第四章の潮位記録の研究の歴史と、第五章の全世界の潮位記録の検討の部分である。とくに第五章では、世界を21の地域に分け、ほとんどすべての潮位観測点の資料の信頼性、変動の原因などをこと細かに論じている。

前三章の調査を受けて、第六章で全体がまとめられるが、全世界517もの潮位記録から、様々な人為的影響やテクトニックな影響を受けている点を除去して得られた安定な記録はわずか36点である。この36点の平均は約2.6mm/yrの海面上昇を示しているが、著者によれば、これとても様々な地盤の変動からの影響を免れていないと結論づけている。要するに、全世界の海岸線で(人為的、テクトニックを問わず)地盤の変動の全くない所はなく、単に潮位記録のみからのユースタティックな海面高の変化の議論は危険であるというのが、本書の結論のようである。

これは、地殻変動の立場から潮位記録を眺めている評者にとっては当然の結論のようにも思われるが、世の中はそのような人ばかりではなく、地殻変動のことはほとんど無視して議論する人々も多いらしい。本書は、その

ような人に対する警鐘が含まれていると見たが、評者の穿ち過ぎであろうか。もっとも、本書の重要なところは、このような結論にあるのではなく、そこに至る全世界の潮位記録を、ことごとく詳細に調査した点にあるのであって、およそ海面高の絶対的变化を議論するときに潮位記録を参照しようとする人にとっては事典として携えておくべき一冊であろう。とくに巻末に掲げられた586の潮位観測点のリストは基本的なデータ・ベースとして活用できる。なお、本文最後の英、仏、ヘブライ、日、露、西各語による要約はご愛敬である。

〈SPRINGER-VERLAG, 1991, 22cm×28cm, P. 237〉

[かとう てるゆき 東京大学地震研究所助教授]

●新刊紹介

UTAN 編集部 編

今「火山」が危ない

学習研究社、[保存版]地球環境白書、1991年11月発行、A4変形判、146頁、1200円。

学研のUTAN「驚異の科学」シリーズの1冊。月刊の一般科学雑誌「UTAN」に掲載された火山と地震の特集を再録したものに、新たな記事と資料を追加したもの。雲仙、ピナツボの噴火を中心に、富士山の噴火に触れている。地震に関しては東京の災害を警告する。巻末に火山と地震の資料を附してある。

NHK取材班ほか 著

火山列島日本

日本放送出版協会、1991年12月発行、B6判、190頁、1100円。

NHK解説委員2氏、同報道局長2氏、大学教授2氏、サイエンスライター、役場職員、と多彩な顔ぶれによる分担執筆である。1章に雲仙・普賢岳とピナツボ火山の噴火の経緯、2章に災害形態に重点をおいた噴火の一般的解説、3章に日本の22火山の噴火様式や災害の概説、最後の4章に、十勝岳、有珠山、草津白根山、伊豆大島、桜島の噴火予知と防災対策の実状が述べられている。

島村英紀 著

教室ではおしえない 地球のはなし

硬くない! 丸くない!

講談社、ブルーバックス、1991年11月発行、新書判、270頁、780円。

人間の活動が地球の未来に影響を与えるといわれてい

る現代は、地球のことを一層よく知る必要がある時代である、との考えから、易しい言葉で地球の科学を解説している。I 地球探検船出発、で地球の形と構造を、II 大地は海の底から生まれる、でプレートの生成を、III 地震と火山の元凶、で地震や噴火の原因を、IV 地震観測の最前線、で海底地震観測の話を、V まだ残る地球の謎、で7つのトピックスを、そして、VI かけがえのない地球、で環境との関わりを、述べている。

神奈川県立博物館 編

南の海からきた丹沢

プレートテクトニクスの不思議

有隣堂、有隣堂新書、1991年12月発行、新書判、226

頁、980円。

神奈川県立博物館主催の1987年度「かながわ県民アカデミー」の講座「海の向こうからやってきた丹沢」をまとめたものである。内容（括弧内は著者名）は、I 伊豆半島の衝突（杉村）、II 丹沢の衝突（新妻）、III 丹沢山地の地質と生い立ち（松田）、IV 貝化石からみた丹沢の歴史（鎮西）、V 有孔虫化石からみた丹沢と周辺地域の生い立ち（北里）、VI 伊豆の衝突に伴う小田原地震（石橋）、VII 箱根芦ノ湖の逆さ杉と小田原地震（大木）、VIII 「しんかい2000」で見た相模湾（堀田）となっている。

文学者の地震予知

大正12年の関東大地震の際、多くの前兆現象が人々によって観察されていたことが、その調査をされた力武常次氏の著書「地震前兆現象—予知のためのデータ・ベース」に詳しく紹介されている。その中に報告者として芥川龍之介の名前が目を引いた。鎌倉での花の狂い咲きの話である。

芥川龍之介が一体何に、いつ発表したものか興味をもってしたが、たまたま書店の店頭で、現代史の会編「ドキュメント・関東大震災」（草風館刊）という本をみつけた。その中に収載された芥川龍之介の「大震雑記」の一部が、まさにデータ・ベースに加えられているものであり、これは「中央公論」の大正12年10月号に発表された随筆であることがわかった。

以下にその第一節を転載する。

“大正十二年八月、僕は一游亭と鎌倉へ行き、平野屋別荘の客となった。僕等の座敷の軒先はずつと藤棚になつてゐる。その藤棚の葉の間にちらほら紫の花が見えた。八月の藤の花は年代記ものである。そればかりではない。後架の窓から裏庭を見ると、八重の山吹も花をつけてゐる。

山吹を指すや日向の撞木杖 一游亭

（註に曰、一游亭は撞木杖をついている。）

その上又珍しいことには、小町園の庭の池に菖蒲も蓮と咲き競つてゐる。

葉を枯れて蓮と咲ける花あやめ 一游亭

藤、山吹、菖蒲と数へて来ると、どうもこれは唯ごとではない。「自然」に発狂の気味のあるのは疑ひ難

い事実である。僕は爾來人の顔さへ見れば、「天変地異が起こりそうだ」と云つた。しかし誰も真に受けない。久米正雄の如きはにやにやしなながら、「菊池寛が弱気になつてね」などと大いに僕を嘲弄したものである。

僕等の東京に帰つたのは八月二十五日である。大地震はそれから八日目に起つた。

「あの時は義理にも反対したかつたけれど、実際君の予言は中つたね。」

久米も今は僕の予言に大いに敬意を表している。さう云ふことならば白状しても好い。一実は僕も僕の予言を余り信用しなかつたのだよ。”

8月に、藤、山吹、菖蒲とそろって咲いているのは確かに異常といえるだろう。そこで前述のデータ・ベースを見てみると、その他に、神奈川県大井町で“春櫻の葉が一斉にひらいた”という報告、“八月にお茶の水の堤に桜が咲いた”という市内での話、館山での“ぶどう、枇杷が大豊作”であつたり、多摩地方での“梨が豊作だった”という記事がある。また浅草では“朝顔にオバケの花がいっぱい咲いた”という、農作物でも“稲が早く実ってしまった”という町田での話、“大根、さつまいもなど、オバケのように大きくなった”という館山の報告がある。

龍之介のいうように、「自然」が発狂したのか、この様な狂い咲き、異常豊作などの報告がいくつかある。しかし植物の異常は、おそらく天候に左右されることが多いであろうから、地震の前兆現象としてはあまり信頼できるものとは思えない。

龍之介の最後の一節がおもしろい。

一実は僕も僕の予言を余り信用しなかつたのだよ—

[A]

ADEP情報

首都圏直下の地震の予知手法 の高度化に関する調査

昭和63年5月24日、中央防災会議、地域指定専門委員会は、「南関東地域にM7クラスの直下型地震発生の可能性は或る程度の切迫性(10~20年以内)をもっている」旨の見解を発表している。首都圏では過去に幾度も地震被害に見舞われており、このようなM7クラスの直下型地震の予知は是非にもと望まれるところである。しかしM8クラスはとにかくとして、M7クラスの地震の予知は一般に非常に困難とされており、とりわけ首都圏では人工的なノイズが大きく、微弱な前兆的信号を捉えることが難しいと考えられてきた。そこでこのような困難を何とか克服して予知を実現する方法はないものか、従来にない新しい、精度の高い観測はできないか、あらゆる面から調査研究を行なうことが、科学技術庁の科学技術振興調整費の課題として浮かんだのが平成元年であった。

しかし一気に本調査に入るにはことは甚だ複雑、困難な問題が多い。そこでまず、首都圏の地震予知の現状を調査し、今後地震予知手法を改善するためには、どのような目的で、どのような研究あるいは観測をする必要があるか、などの予備的調査(フィージビリティ・スタディ)を行なうことになり、平成2年度の研

究として当振興会に委託された。このようなケースは振興会の委託研究でも初めてであるが、大学・国立研究機関などの多くの先生方のご協力を得ている振興会としては、うってつけの仕事であったともいえよう。

このフィージビリティ・スタディは平成3年3月で終了し、この研究の成果をふまえ、平成3年度から3年計画の「首都圏直下の地震の予知手法の高度化に関する総合研究」と題して、科学技術振興調整費による研究が進められている。当振興会ではその研究項目の一部として、「首都圏直下の地震のモデル化に関する研究」を分担し、引きつづいて研究を受託している。今後、この「本研究」の進展とともにその成果があたり、地震予知に大きく寄与することになると思われるが、今回はまずフィージビリティ・スタディの成果を、平成2年度報告書のまとめに従って簡単に紹介したい。

報告書は、つぎの3項目から成っている。

首都圏の地下構造に関する調査

活断層や活構造の実態を明らかにし、過去の直下地震との相関を調査し、さらに将来の地震発生の可能性を評価するためには、対象を絞った高密度の観測と新しい観測手法や解析手法の導入によって、より分解能の高い地殻構造像を得ることが必要である。そのため以下のような研究がとりわけ重要であろう。

(1)浅部地下構造の調査研究 東京都中心部とその周辺に潜在する活断層の実態を明らかにすることがまず重要である。荒川断層や綾瀬川断層は東京直下地震に関連する重要な断層であるが、厚い堆積層に覆われているため、その実態は十分わかっていない。幸い近年著しく進歩した浅層反射法探査や、内陸水路にユニブーム音波探査法を適用するなどの工

夫によって、構造を明らかにすることができよう。また東京湾北部断層はその存在はすでに知られているものの、詳細な構造や内陸延長部への追跡は十分ではない。東京湾での高密度3次元マルチチャンネル音波探査などの最新の探査技術を用いれば、それらの有効なデータを得ることができよう。またこれらの調査のなかで断層の活動履歴のデータを得ることも重要なことである。一方密度の高い重力調査データとの総合解析によって、周辺の地下構造の中の活断層の位置づけを明らかにすることも必要である。

(2)上部地殻構造の調査研究 直下地震に対して、活断層のみの調査で事足りると考えることはできない。直下地震発生の背景には上部マントルを含めた大構造とテクトニクスが存在していることを考慮すると、関連する地殻構造の調査が是非必要である。直下地震発生の場合である上部地殻の構造を明らかにするため、爆破が可能な地域ではさらに高密度の屈折法探査を実施するとともに、非爆薬震源を用いたパイプロサイズなどの大規模な反射法探査を実施する。また既存の深層観測井を利用したVSP法により周辺の微細な地下構造を明らかにする。また従来直下型とされていた地震の中にはマントル内のやや深い震源をもつものもあることが指摘されており、自然地震のさらに高度な解析により、フィリピン海プレートと太平洋プレートの複雑な構造についても、一層高い分解能で議論する必要がある。

首都圏の地震予知システムの 高度化に関する研究

首都圏中心部の厚い堆積層と、大きな人工的ノイズの障害をさけて、質の高いデータを得るためには、地下深所で観測することが一番であるが、費用などを考えるとそう多くの工

観測点は望めないかもしれない。そこでアレイ地震観測システムのような観測方式と、高度の信号処理技術によって、ノイズに埋もれた信号を検出する手法の開発が提案された。また地球電磁気や地下水の観測システムについても、観測面、解析面それぞれに改善策が提案された。これらについて詳細に述べる余地がないので、ここではつぎの2点のみについて述べるにとどめる。

(1)地殻変動観測システムの高度化

宇宙技術を利用した測位システムとしてGPSが急速にその応用範囲を広げている。地殻歪の観測に応用する機運が開かれてからは未だ日が浅いが、将来に向けて精度の向上なども期待でき、何よりもビルの屋上などに受信装置を配置するなど、市街地での測定が可能であることは、首都圏中心部での地殻歪の高密度、準連続観測ができることになり、地殻変動観測を大きく進歩させるものとして期待できるものである。このため現在考えられる改善点は、低仰角の衛星からの電波を受信できるような技術を開発し上下の位置決定精度を向上すること、異機種間のデータ互換性を含めたGPSデータ処理自動化をめざす高度なソフトウェア

の開発、精密暦の独自取得法の開発などである。なおGPS基準点の絶対位置の高精度決定のために、VLBIやSLRとの同時併行観測も実施が望まれる。

(2)データ利用の高度化 過去に首都圏近傍に起こった地震の震源過程は不明なものが多い。しかしこれらの記録を、近年の強震記録と比較解析し、過去の地震資料の精度を上げて再評価をはかることによって、首都圏の地震の大・中地震の震源過程の研究を促進する必要がある。地殻変動など、その他の分野の時系列データについても、近年の高度な信号処理技術を用いて再検討すべきであろう。また衛星通信等の手段による地震予知観測データの収集・利用システムを開発して、迅速なデータ交換を実現し、各種データの総合的判断が容易に行えるようにすべきであろう。

首都圏直下の地震予知の高度化 のための研究課題の抽出

この課題のもとに数人の委員の先生方が、アメリカのサンフランシスコ付近、中国の北京・天津・シェンヤンなど、および旧ソ連のカザフ共

和国を訪問し、それぞれの地震予知の研究、観測などの実状を調査し、問題点の抽出を行った。アメリカではロマプリエタ地震後の新しい研究計画が出発したところであったので、その詳細を当事者に対するヒアリングも含めて調査することができた。中国ではテレメータ化が促進されつつある予知観測システムの現状が調査され、また改良された観測機器を見ることができた。旧ソ連では“新しい地震予知法”について話を聞くことができた。しかし全体をつうじて、われわれが考えている地震予知手法に、とくに付け加える必要のあるものは無かった、というのが結論である。

●謝辞 以上の内容は、平成2年度科学技術庁委託「首都圏直下の地震の予知手法の高度化に関する研究成果報告書」によるものである。この報告書作成にあたってご尽力頂いた諸先生に厚くお礼申し上げます。

●職員移動 平成4年4月1日付で、新事務局長に松本 功が就任しました。今後ともよろしくご指導・ご鞭撻をお願い申し上げます。

[A]

編集後記

トルコ、エルジンジャン地震の緊急調査報告を頂くことができて、今号は74頁の大冊となった。内容はこの地震被害報告を含めて、“地震防災特集号”といってもよいものとなっている。

アメリカの、キスリンガー博士には地震予知について、そして安芸敏一博士には地震防災の研究センターについて、玉稿が頂けた。またアメリカ企業の地震対策について、静岡県井野氏にも紹介して頂いた。

地震国日本でも、地方自治体を中心に“被害想定”が行われ、対策が

練られている。今号には、東京都と埼玉県の新しい調査の内容について、直接当事者に解説して頂いた。この種の調査の内容を、われわれ住民は、普段、つい無関心に過ごしがちであるが、防災対策の充実とともに、死者数が新しい想定で減少していくことも、事実とすれば喜ばしいことである。防災教育の必要性を叫ばれる大町先生の論説も“必読”である。

「地震予知連絡会情報」は今号から京都大学の田中寅夫先生にお願いすることになった。短い締切時間で、ご迷惑をお掛けしますが、よろしくお願ひ申し上げます。 [A]

地震ジャーナル 第13号

平成4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・製本/理想社●装丁/鈴木 堯