

地震 ジャーナル

37

2004年 6月

エッセイ 総長室の窓から ●尾池和夫

2003年十勝沖地震：長期予測と実際 ●島崎邦彦——1

活断層の長期評価を読み解く ●栗田泰夫——6

地震情報における数値とその評価 ●中森広道——13

地震予知と噴火予知 ●井田喜明——23

工学から見た地震の予知・予測 ●伯野元彦——33

気象予報と地震予知 ●廣田 勇——44

地震予知連絡会情報 ●岡田義光——55

●書評——63

●新刊紹介——64

●執筆者紹介——66

●ADEP情報——68

地震の基礎知識 断層運動／地震波の放射と静的変形

囲み記事 発破の増減と経済／富士山に登った絶対重力計／

日干しレンガはキラールンガ／「降水確率予報」技術とその課題／
アンサンブル天気予報の利用可能性

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

総長室の窓から 尾池和夫

執務室の南と東に窓がある。東の窓からは、第三高等学校があった赤煉瓦の建物と百周年記念時計台が見え、その向こうに8階建ての新しいビルがあり、吉田山があって、大文字から比叡へ続く東山が見える。その窓から外を眺めながら、今、京都大学107年の歴史を思い浮かべている。

この大学の「京都大学」という名がはじめて使われた記録は、1891（明治24）年8月に作られた「京都大学条例」であろうと言われている。その第一条は「京都大学ハ天皇陛下ノ特別保護ノ下ニ立チ」と始まっているが、基本的な考え方は、大学自治を念頭においた内容になっている、と京都大学百年史にまとめられている。

この年、10月28日、マグニチュード8.0の濃尾地震が起こった。この地震は、死者7,273名という大震災をもたらした。仙台以南で揺れを感じた日本の内陸地震としては最大級の地震だった。京都でも震度5の揺れがあった。このときから西日本は地震活動期に入って、それは20世紀の前半へと続いた。

帝国大学令には、大学は国家の必要に応じて学問の研究と教育をする機関だと規定されていたが、1913年、京都帝国大学で、総長が学内改革を主張した7人の教授を辞職させ、これに反対した教授会が、学部の教授人事に関する自治を確認させたという、沢柳事件があった。京都大学の基本理念には、「京都大学は、学問の自由な発展に資するため、教育研究組織の自治を尊重するとともに、全学的な調和をめざす」とある。この大学の107年の歴史の中で生まれた理念である。

1943年鳥取地震が内陸に起こった後、1944年12月7日の東南海地震、1946年12月21日の南海地震と、プレート境界の巨大地震があり、さらに1948年福井地震があって、西日本の地震活動期はそのピークを迎えた。

そして1949年5月31日、現在の4年制の大学（いわゆる新制大学）が、3本の柱を持って発足した。その柱とは、憲法や教育基本法で保障された「学問の自由」、学校教育法で定められた「学術の中心」としての大学、および「大学の自治」である。

20世紀の後半になって、西日本は地震活動の静穏期を迎えて大地震の観測の機会は得られず、京都大学でも微小地震観測が発展していった。そして、1995年、西日本はまた次の地震活動期を迎えた。

2004年4月1日、国立大学法人法によって国立大学法人京都大学が設置され、その法人が「京都大学」を設置する。この京都大学という名前は変わらないが、設置形態が変わる。世界の人々に京都大学を知ってもらおうと、その日、ヘラルドトリビューンに大きな広告を出すことにした。

締め切り日の3月31日、昼食の時間を割いてこのエッセイの原稿を書いている。朝から続く法人化に備える会議の間に、ときおり窓から東山を眺め、新しい京都大学がどのように発展していくかを考えながら、カウントダウンを続けている。京都大学の法人化まで、あと12時間を切った。

2003年十勝沖地震：長期予測と実際

島崎邦彦

はじめに

2003年9月26日の十勝沖地震(M 8.0)は、太平洋プレートの沈み込みによって発生した千島海溝沿いの巨大地震で、地震調査研究推進本部地震調査委員会によって、「想定していたM 8クラスの十勝沖のプレート間地震である」(地震調査委員会, 2003a)と評価された。「想定していた」とは、ほぼ半年前の2003年3月24日に公表された「千島海溝沿いの地震活動の長期評価」(地震調査委員会, 2003b)の内容を指している。すなわち、長期的に予測されていた地震が実際に発生したことが認められた。1995年阪神・淡路大震災を契機として発足した地震調査委員会は、これまで海溝沿いの地震や活断層で起こる地震について、長期予測結果を公表してきたが、今回初めて予測された地震が発生した。この小文では、予測された十勝沖地震と、発生した2003年十勝沖地震との比較を中心に、長期予測の実際を紹介する。

発生時期

予測の中でも最も難しいのが発生時期である。巷で囁かれる200x年とか、y月z日などは、いずれも、そのように言い切れるだけの科学的根拠はなく、いい加減なものに過ぎない。科学的にはっきり「いつ」とは言えないため、長期予測では、今後30年以内の発生確率などの数値によって、いつごろ起こりやすいかを表している。

2003年3月の時点で、海溝型地震の長期評価が行われていたのは、南海トラフ、三陸沖から房総沖、そして千島海溝沿いの三地域である。想定されたM 8.0以上の地震は、計7地震(Mw 8.2の

色丹島沖を含めれば8地震)ある。そのうちで、今後30年以内に発生する確率が最も大きいのが十勝沖地震で、その確率は60%程度であった。なお、「東海地震」については長期予測は行われておらず、30年確率99%はM 7.5前後の宮城県沖の地震で、M 8.0以上ではない。ただし、宮城県沖地震は三陸沖南部海溝寄りの地震と連動してM 8.0前後の地震となる可能性がある。

十勝沖地震の長期予測では、平均の繰返し間隔は約77年、ばらつきは0.32と推定されていた(長期予測の実際については、後で触れる)。すなわち、実際は幅を持って推定されており、いわゆる1シグマの発生間隔の範囲は約53~102年である。実際の実現値は、2003(今回の発生年)-1952(前回の十勝沖地震の発生年)=51年で、上記1シグマからはややはずれるものの、統計的に妥当な実現値と考えられる。

海溝型地震の発生確率については、今後10年以内の発生確率も推定されており、十勝沖地震の場合は、10~20%と推定されていた。十勝沖地震の発生が全くでたらめに起こっている(ポアソン過程に従う)とすると、10年間の発生確率は12%である。この値よりは、やや高い発生確率が推定されていたことになる。

M：震源の規模

長期評価ではM 8.1程度と推定されていた。1952年十勝沖地震がM 8.2で、その前の十勝沖地震と考えられる1843年の地震がM 8.0と推定されているため、M 8.1程度(8.0-8.2)と予測された。2003年十勝沖地震はM 8.0であり、予測範囲内であった。

震源域

十勝沖地震の震源域は図1のように想定された。1952年十勝沖地震の余震域と津波の逆解析結果とに基づき、推定震源の規模 M 8.1 に相当する大きさとなっている。

2003年十勝沖地震の震源域は地震波形、余震域、地殻変動(GPS)データ、津波波形などから推定されているが、これらは概ね一致している。図2に、地震波形から推定された2003年十勝沖地震のずれの量の分布(Yamanaka and Kikuchi, 2003)を示す。図1と比較すると、想定震源域の方が東へ大きく張り出していることがわかる。すなわち、今回の十勝沖地震は想定された震源域の東部にはおよんでいない。

この点は、この地域の将来の地震活動を評価する上で重要なので、今後地震調査委員会で議論されることとなっている。なお、2003年十勝沖地震の発生により、十勝沖の M 8.1 前後の地震発生確率は30年で0.003~0.2%と変更されている(地震調査委員会, 2003b)。

図2の重要な結果について指摘しておく。山中・菊地(2002)は、プレート境界の特定の一部地域が大地震発生時以外は固着しており、大地震発生時には大きくずれると考え、この部分をアスペリティと呼んだ。そしてこの部分(アスペリティ)の繰り返し破壊によって、大地震の発生が繰り返されるとした。これは長期予測の基礎となる重要な仮説である。十勝沖ではこの仮説がほぼ成り立っていることが確かめられた(Yamanaka and Kikuchi, 2003)。1952年の地震記録は途中で

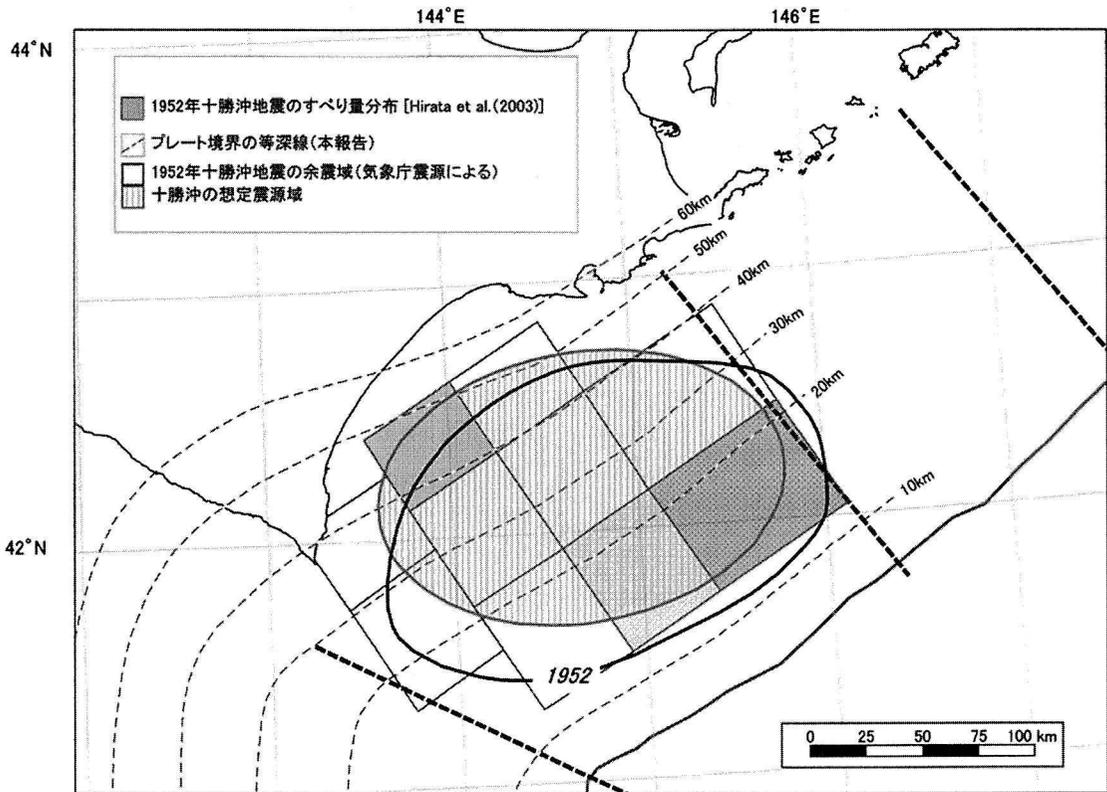


図1 十勝沖の地震の想定震源域(地震調査委員会, 2003b)

太線に1952とあるのは、1952年十勝沖地震の余震域、四角で示してあるのはHirata et al. (2003)による津波の逆解析結果で、影の部分が震源域でずれの量の大きいと推定された部分。楕円形で示されているのが、想定震源域。

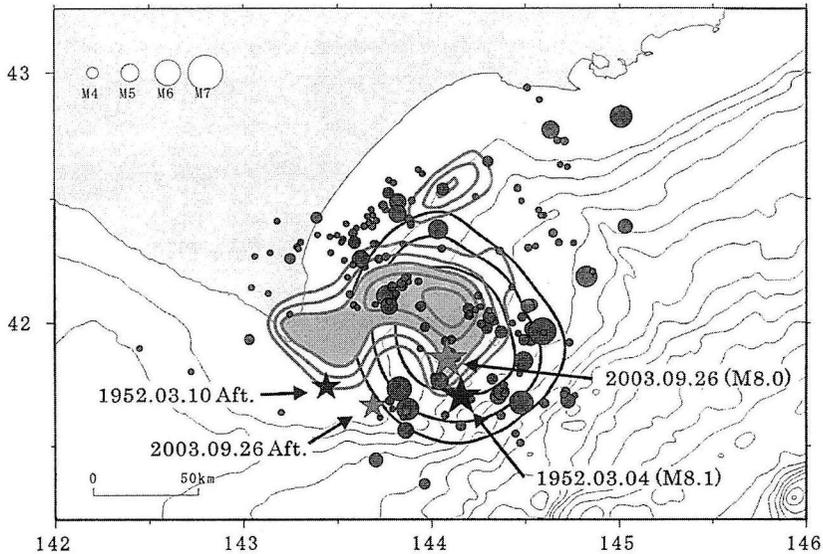


図 2 2003 年十勝沖地震と 1952 年十勝沖地震の震源域におけるずれの量分布の比較 (Yamanaka and Kikuchi, 2003)

1952 年と 2003 年の十勝沖地震のずれの量は、それぞれ黒のコンター (1m から 0.3 m 間隔) と灰色のコンター (1m 間隔) によって示されている。影がつけてあるのが 2003 年十勝沖地震で大きくずれた部分 (アスペリティ)。黒丸はその余震。1952 年と 2003 年の本震、最大余震は星印で表されている。余震はアスペリティの周辺で多く起きている。

振り切れているために、破壊過程の後半部分が失われている。厳密には、1952 年の破壊の前半部と 2003 年の破壊部分がほぼ一致していると言える。

それでは、1952 年地震の破壊の後半部は、2003 年の破壊と一致していないのだろうか？ Hirata et al. (2003) が津波データから求めた、ずれの量分布によれば、地震波形から推定されるアスペリティの他に、釧路沖の海溝付近に大きなずれを示す部分がある (図 1)。地震調査委員会 (2003b) の想定震源域は、この結果に基づき、大きく東に張り出すように設定されている。1952 年と 2003 年の震源域に大きな差異があるとすれば、この部分である。

Hirata et al. (2004) は、1952 年と 2003 年の津波波形を直接比較し、両者の震源域が異なる可能性を指摘している。しかし両津波の波形は、細かな違いはあるものの、よく一致しており、その一致度は、Hirata et al. (2003) に示されている 1952 年津波の観測波形と理論波形との一致度と同様のようにみえる。釧路沖海溝付近の 1952 年地震の

大きなずれは、不必要ではないだろうか。今後の検討に待ちたい。

長期予測の実際

海溝沿いでは、南海地震のように、ほぼ同規模の地震が繰り返し発生する。長期予測は、このような事実に基づいており、過去に起こった地震の検討が重要な課題である。千島海溝沿いでは、20 世紀後半の地震については、かなりの資料があるものの、それ以前の地震については、極く僅かしか資料がない。このため、十勝沖、根室沖、色丹島沖、択捉島沖の震源域の設定と、それぞれの地域における過去の地震の同定作業については、議論が錯綜した。震源域が精度よく決められている 20 世紀後半の地震、1952 年十勝沖地震、1973 年根室沖の地震 (1973 年根室半島沖地震)、1969 年の色丹島沖の地震 (1969 年北海道東方沖地震)、1963 年の択捉島沖の地震により、まず震源域を推定し、1843 年、1894 年、1893 年、1918 年の地震

を、それぞれの震源域の地震と推定した。必ずしも同一の震源域が繰り返し破壊されているとは限らないとの印象が残ったが、古い地震の資料が乏しく、より精度の高い議論はできなかった。

同じ震源域で繰り返し発生する地震の間隔は、BPT (Brownian Passage Time) 分布で表される (Matthews et al., 2002 ; 地震調査委員会, 2001)。プレート運動によって一定の割合で蓄積される応力が、地震で解放された応力に等しくなると地震が発生するが、応力の蓄積過程にはブラウン運動に対応する乱れが存在するという確率過程に、この分布は対応している。

千島海溝沿いの地震については、各領域の過去2回の地震の間隔の違いをばらつきと見なし、その平均値が、すべての領域の平均活動間隔を

良く近似していると評価された。もし各領域の過去2回の地震の間隔を、それぞれの領域の平均活動間隔の近似値とみなしたならば、十勝沖では平均間隔は $1952 - 1843 = 109$ 年となり、発生確率は過小評価されていたであろう。一方、十勝沖～根室沖を一つの領域と考え、その平均活動間隔を約54年とする考えも提案された。もしこの案が採用されていたならば、十勝沖地震の発生確率はより高い値となっていたであろう。震源域ではなく、アスペリティに注目して評価する案だが、過去の地震、特に19世紀の地震に関するデータがないために、この案は支持されなかった。

信頼できるデータの量によって、推定の確からしさは当然異なる。十勝沖の地震の評価の信頼度は、震源域、発生確率、規模のすべてにおいて B



図3 震度6弱以上の揺れに襲われる可能性の大小(濃淡)と2003年十勝沖地震で震度6弱以上を記録した地点(丸印)(地震調査委員会資料の一部)
一番濃い灰色は、今後30年間に震度6弱以上となる確率が26%以上の地域(長期評価部会・強震動評価部会, 2003)

(中程度)であった。

地震動予測地図

千島海溝沿いの地震活動の長期評価(地震調査委員会, 2003b)は, 2004年度末に完成予定の全国を概観する地震動予測地図作成作業の一環でもある。2003年3月25日に公表された北日本の試作版(長期評価部会・強震動評価部会, 2003)には, 千島海溝沿いの地震の長期予測結果が取り入れられており, 太平洋岸で大きな震度が予測されている。図3に示すように, 予め震度6弱以上となる可能性が高いとされた地域で, 2003年十勝沖地震によって実際に震度6弱以上が観測されたことがわかる。

おわりに

過去の地震資料が乏しい現実を考えると, 十勝沖の長期評価は, 最良の判断に基づいて行われたと思う。過去の地震の調査・研究をさらに進めることが, より精度の高い長期評価に必須である。

参考文献

Hirata, K., E.L. Geist, K. Satake, Y. Tanioka, and S. Yamaki, 2003, *J. Geophys. Res.*, 108, B4, doi : 10.129/

2002JB001976.

Hirata, K., Y. Tanioka, K. Satake, S. Yamaki, and E.L. Geist, 2004, *Earth Planets and Space*, 56, 367-372.
Matthews, M.V., W.L. Ellsworth, and P.A. Reasenberg, 2002, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 92, 2233-2250.
山中佳子・菊地正幸, 月刊地球 277, 526-528, 2002.
Yamanaka, Y., and M. Kikuchi, 2003, *Earth Planets and Space*, 55, e21-e24.

地震調査委員会(2001, 2003a, 2003b)および長期評価部会・強震動評価部会(2003)については, 地震調査研究推進本部のホームページ(<http://www.jishin.go.jp/main/>)をご覧ください。千島海溝沿いの地震(地震調査委員会, 2003b)は, 地震に関する評価>長期評価>海溝型地震の発生可能性の長期評価>千島海溝沿いの地震活動の長期評価について。評価手法(地震調査委員会, 2001)は, 報告書・会議資料>報告書>地震調査委員会関係>長期的な地震発生確率の評価手法について。北日本で震度6弱以上の揺れとなる確率(長期評価部会・強震動評価部会, 2003)は, 報告書・会議資料>報告書>地震調査委員会関係>確率論的地震動予測地図の試作版(地域限定—北日本)。2003年十勝沖地震(地震調査委員会, 2003a)は, 地震に関する評価>毎月の地震活動の評価>これまでの地震活動の評価>平成15年(2003年)>十勝沖の地震活動の評価

活断層の長期評価を読み解く

栗田泰夫

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震がもたらした阪神・淡路大震災を契機にわが国の地震防災の基本方針は大きく転換されたといえる。すなわち、この震災以前には「想定東海地震」に代表されるシナリオ型地震の直前予知による緊急避難と緊急対応に重点が置かれていた。これに対して、1995年に施行された「地震防災対策特別措置法」に基づいて国に設置された地震調査研究推進本部では、地震の長期的な発生確率予測などに基づいた「全国を概観した地震動予測地図」の作成を地震調査研究の最重要課題として挙げている（地震調査研究推進本部、1999）。このような方針の転換は、兵庫県南部地震では、1) 内陸の大地震であったにもかかわらず顕著な前兆現象が観測されなかったこと、2) 犠牲者の多くは耐震性が不十分であった家屋の倒壊が原因となり地震の直後には既に命を落としていたこと、3) 大規模な二次災害は回避されたものの直接被害額は約10兆円にも達したこと、の3点が大きな教訓になっていると考えられる。

長期的な地震発生予測では、広域に大災害をもたらす海溝型の地震とともに、局所的ではあるが激甚災害をもたらす活断層で発生する地震が重要な対象とされている。後者については全国の98カ所の活断層帯が、その活動による地震発生が社会的・経済的に影響が大きいため指定され、地方自治体と国の研究機関などが分担して調査を実施してきた。また、地震調査研究推進本部地震調査委員会では、今年度中に「地震動予測地図」を作成することにあわせて、活断層で発生する地震の長期評価（活断層評価）を加速化させている。

しかしながら、千年以上の間隔で活動を繰り返

す活断層では激甚災害の発生が低い確率で予測されることも多く、評価結果への対応について防災担当者からも戸惑いの声が聞かれることがある。

そこで本稿では、長期的な確率予測をキーワードとして活断層評価の基本的な仕組みと今後の課題を、地震調査委員会による活断層評価に触れながら解説するとともに、確率予測を防災対策に活用する道筋について研究者側からの要望を述べたい。

2. 活断層による地震発生予測の仕組み

活断層とは、一般に、「過去の地質時代に繰り返し活動し、（したがって）今後も活動する可能性がある断層」と定義される。この定義の前半は、活断層の認定基準を、また後半は防災上の重要性について述べている。どのような活動履歴をもつ断層を対象とする活断層と定義するかは、防災の目的と可能な対応策に応じて決められる必要がある。たとえば、地震調査研究推進本部（1997）では、存在の確実度がⅡ以上で、長さ20 km以上、活動度B級以上の活断層の調査が重要としている。これは、M7程度以上の大地震を数万年に1回以上の割合で発生させると推定される活断層に相当する。

活断層では、地震発生層を断ち切って地表にまでメートル単位の大きな変位をもたらすような断層活動が、比較的長い時間間隔で繰り返し発生し、このような活動による変位が長期間の累積的な変位の大部分を占めていると考えられている（固有変位量モデル、図1a）。そのような活動に伴って発生する地震は固有地震とよばれている。

図2には、活断層の地形・地質学的データから固有地震の発生を長期的に予測し、防災対策を講

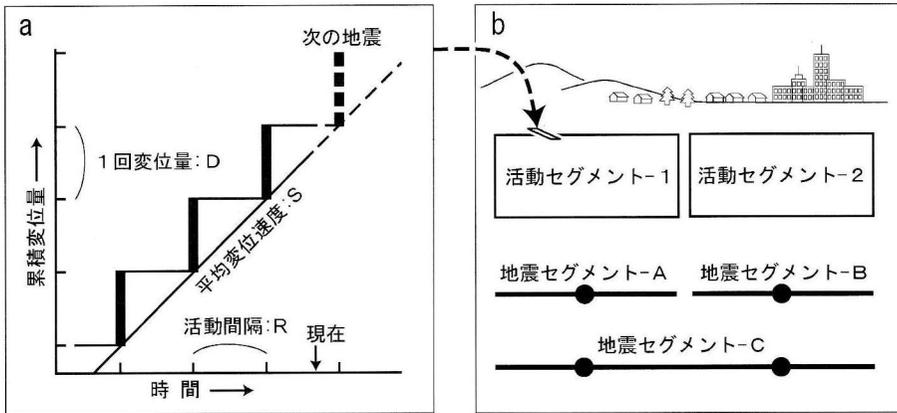


図 1 固有変位量モデル (a) とカスケード地震モデル (b) を示す概念図。

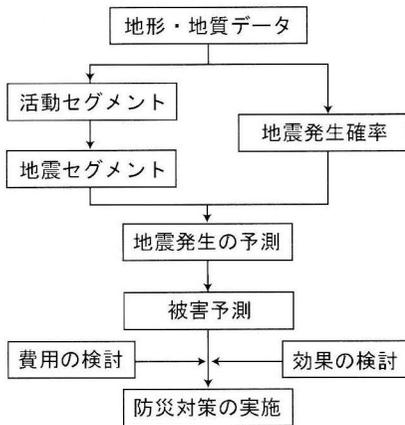


図 2 活断層の地形・地質データから地震発生予測を経て防災対策の実施に至るまでの評価の流れ。

じるまでの流れを示す。ここで活断層評価に必要なとされる地形・地質学的データは、以下の5つである。

- ① 断層の分布・形態・長さ
- ② 平均変位速度
- ③ 1回変位量
- ④ 活動間隔
- ⑤ 最新活動時期

地震発生予測の3要素である場所・規模・時間のうち、場所と規模は、ひとつの大地震あるいは大地震のサブイベントとして同時に活動する断層区間(セグメント)の、分布位置と、長さ・変位量によってあらわされる。また、発生時間の予

測は地震発生確率としてあらわされるが、その計算には平均活動間隔と最新活動時期からの現在までの経過時間が必要となる。

いずれの予測も、経験則にもとづいた幾つかのモデルや仮定を介して行われる。たとえば、活断層では比較的一定の規模の活動が一定の時間間隔で繰り返すとのモデルによって、ある特定の地点での平均変位速度 (S) と1回変位量 (D) および活動間隔 (R) は、

$$S = D/R$$

で示される(図1a)。また1回変位量とひとつの大地震あるいはサブイベントで破壊するセグメントの長さ (L 、ただし大地震のセグメントでは長さ数10 km 以下の場合) との間には、おおよそ、

$$D \propto L$$

のスケール則が知られている。これらのデータのうち一部が未知であっても、経験式の組み合わせによって他の既知のデータから算出することが可能である。また、調査で得られた各種のデータどうしが経験則と矛盾しないことを確認して、そのデータの信頼性を高めることも重要である。さらに、断層分布の不連続と1回変位量から推定される断層長を用いて、セグメントの区分と規模を推定することができる。

ところで、多くの活断層と地震断層の発掘調査によって過去の活動履歴が詳しく解明されてきた結果、

- ① 活断層は、「活動セグメント」と呼ばれる断層区間ごとに固有の活動履歴をもつこと。
- ② 活動セグメントは単独で破壊する場合と、隣り合う複数のセグメントが連動して破壊する場合があります。一つの大地震で同時に活動する区間（地震セグメント）は、地震のサイクルごとに変化し得ること。

がわかってきた。すなわち、固有地震の発生は比較的規則性があるとはいえ不確実性を伴うものであり、発生時期が確率論的にしか評価できないのと同様に、大地震の発生場所と規模についても活動セグメントどうしの連動破壊を考慮した確率論的な評価が不可欠となっている（図2b）。このような地震の繰り返し発生様式はカスケード地震モデル（cascade model；W.G.C.E.P., 1955）と呼ばれており、地震調査委員会による活断層評価を含めて、1990年代半ば以降の多くの活断層評価でその概念が採用されてきている。

3. 活動時期の確率論的予測

大地震が準周期的に繰り返し発生することは南海トラフ沿いの海溝型地震の歴史記録からよく知られており、その発生確率の評価には統計学的手法が導入されてきた（例えば、地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2001b）。内陸活断層で繰り返される活動についても、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2001a）が、わが国の主要な活断層である阿寺断層、跡津川断層、長野盆地西縁断層および丹那断層において発掘調査などから推定された活動間隔を検討して、確率密度関数としてBPT分布を適用して4断層に共通のばらつき値： $\alpha=0.24$ を用いるのが妥当としている。

活断層評価における発生確率予測には、地震が本質的に持つ不確実性ととも、過去の活動時期の認定における地質学的な精度の限界が加わる。図3に断層の活動時期を認定する仕組みを模式的に示す。図3aは、地層が連続的に堆積している途中で3つの層準（イベント層準I、IIおよびIII）において断層活動による地層の変位・変形量の不連続が認められる例である。それぞれのイベント

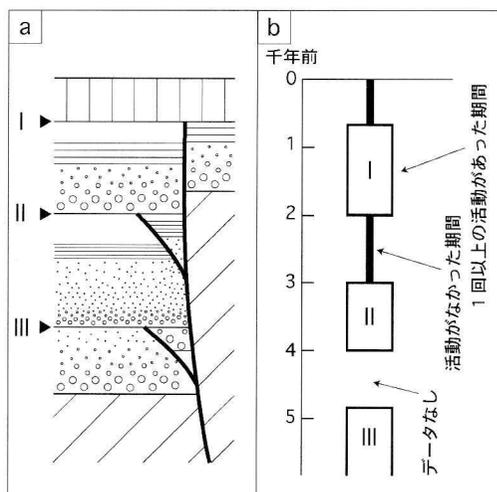


図3 断層活動時期の解釈の仕組み。I、II、IIIは断層活動イベントが認められた層準。

層準では、断層活動に伴う地層の削剥や欠如があり、その間の記録を保存した地層が失われている。このため、イベント層準の年代は、残されている上位の地層と下位の地層の年代に基づいて、ある推定幅で示すことしかできない（図3b）。また、特定の地点において1回の地震での断層活動に要する時間はおおむね数秒以内であり、地層に記録される時間の分解能が遙かに及ばないことから、一つのイベント層準では「少なくとも1回以上の地震があった」としか断定できない。そこで、活断層評価においては、固有変位量モデルを根拠として、結果として推定される1回変位量や活動間隔などの他のデータと矛盾が生じない限り、イベント層準ごとに最小回数のイベントを仮定することが行われている。

さらに、地層区分の細かさの程度や断層活動に伴う変位・変形構造のあらわれかたによって、イベント層準は明瞭に識別できる場合とそうでない場合がある。そのうちの不明瞭なイベント層準を評価結果として採択するか否かは、将来の地震発生確率値を大きく左右する。たとえば図3の場合、イベント層準Iを信頼性が低いとして棄却すると最新活動からの経過時間が長いことになり、地震発生確率は大きく求まることになる。またイベント層準IIを棄却すると活動間隔が長いことに

なり、確率は極めて小さく求まる結果となる。

このような不確定性や荒い精度のために、地震調査委員会が公表してきた活断層評価では、算出根拠となる平均活動間隔と最新活動時期のばらつきに比例して地震発生確率値にも大きなばらつきが生じている。表1は、これまでに公表されている評価結果から、発生確率値の推定幅のうち最大値が大きいものから順に7断層について、その算出根拠と確率値を示したものである。なお表には、代表的な値として、平均活動間隔と最新活動時期の範囲中央値を用いて筆者が計算した発生確率値も示してある。

このうち山形盆地断層帯を例にすると、最新活動時期が6000年前以後としか判明していないために、今後30年以内の地震発生確率にはほぼ0-7%と大きな幅がある。ただし同じ確率計算方法によると、平均的な活動間隔の2倍以上もの長い期間活動しないことは極めてまれな現象であり、実際の発生確率が30年間で7%である可能性は小さいと言える。また、平均活動間隔が3000年であることから、6000年前以降に複数回の活動があったことも十分に期待できる。

4. 地震規模の確率論的予測

歴史的な大地震の多くでは、過去の活動履歴が互いに異なる複数の活動セグメントが連動して活動した例が知られている(W.G.C.E.P., 1995; 栗田, 1999など)。たとえば、1891年濃尾地震で活動した温見・根尾谷および梅原断層はそれぞれ約

7300年前以後の活動回数が4回、3回および1回であり、それぞれが異なる履歴を持つ活動セグメントと定義されている(栗田, 1999; 吉岡ほか, 2002)。また、歴史時代に南海トラフ沿いで繰り返されてきた巨大地震のサイクルでは、サイクルごとに連動して活動する断層セグメントの組み合わせが異なっていたことが知られている(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2001bなど)。このため、地震規模の予測においては、活動セグメントの認定とともに、その連動の組み合わせによって様々に変化しうる地震セグメントについて、統計的・経験的な評価が必要とされる(図4)。

松田(1990)は、地表にあらわれた地震断層の分布形状の特徴から、互いに5km以下の間隔で近接している活断層どうしは連動してひとつの地震セグメントとして活動しやすいとして、「起震断層」を認定する基準を提示している。この起震断層は、代表的な地震セグメントとしてふるまう断層区間と解釈することができる。地震調査委員会の活断層評価においても、まず、この松田(1990)の基準に基づいて認定された起震断層が同じ活動履歴をもつ基本単位として扱われ、さらに、起震断層上の調査地点間で過去の活動履歴が異なった場合には複数の活動セグメントに分割することが行われている。

活断層評価の基本単位である活動セグメントについては、断層の分布・形態に着目してより小さな2km規模の不連続を基準として、積極的に区分しようとする考えもある(地質調査所活断層研究グループ, 2000)。また、10km規模以上の不連

表1 陸域の断層活動における今後30年以内の地震発生確率の例*。

断層名	平均活動間隔 (年)	最新活動時期 (年前)	30年以内の地震発生確率(%)		
			最大	代表値**	最小
糸魚川-静岡構造線断層帯(牛伏寺断層を含む区間)	1,000	1,200	14	14	14
三浦半島断層群(主部:武山断層帯)	1,600-1,900	1,900-2,300	11	8	6
富士川河口断層帯	1,500-1,900	1,000-2,100	11	5	0.2
琵琶湖西岸断層帯	1,900-4,500	2,400-2,800	9	2	0.09
山形盆地断層帯	3,000	-6,000	7	4	0
楕形山脈断層帯	3,000-18,000	300-6,600	7	0	0
伊那谷断層帯(境界断層)	3,000-12,000	300-6,500	7	0.01	0

*地震調査委員会による。 **平均活動間隔と最新活動時期のそれぞれの範囲中央値を用いて著者が試算。

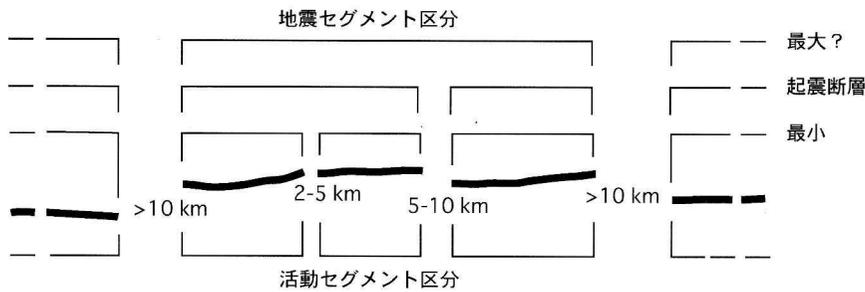


図4 断層の分布形態に着目した活動セグメント・地震セグメントの認定の例。上段は地震セグメント区分，下段は活動セグメント区分。活動セグメントは最小の地震セグメントであり，起震断層は代表的な地震セグメントに相当する。

統構造を越えて連動破壊する例は少ないとする経験則も提示されている (Barka and Kadinsky-Cade, 1988)。このような諸説に照らし合わせると、1) 地震調査研究推進本部 (1997) が 10 km 規模の不連続に着目して活断層地域を区分したことおよび 2) 地震調査委員会の活断層評価においても 5 km 未満の不連続構造が断層の分布・形態の特徴として記述され、セグメント区分のさらなる検討が今後の課題として言及されていることは、合理的といえる。とくに、最近 100 年余りの間にわが国で出現した地震断層では長さ 20 km 以上のものは複数の活動セグメントで構成されている (栗田, 1999) ことから、起震断層を基本単位とする活断層評価においては、異なる活動履歴をもつ活動セグメントが一括して評価されている例も少なくないと考えられる。

将来発生する地震規模を的確に予測することは、現時点では困難が多い。これは活動セグメント間の連動条件を正確に評価する経験則と理論が未だ発見されていないことによる。このため地震調査委員会の活断層評価では、まず、起震断層として認定される区間が将来においても一つの大地震を発生させるものと仮定している。さらに、過去の活動履歴において起震断層が複数の活動セグメントに分かれていたり、歴史的に他の起震断層あるいはその一部と連動して地震を起こしたことが判明した場合には、それらの組み合わせによる地震発生ケースを併記している。しかし、将来において予想される複数の地震シナリオについ

て、それぞれが発生する確率を求めることは、今後の課題とされている (地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会, 1999)。

複数の活動セグメントが連動して地震セグメントを構成する場合には、断層の長さと同変位量に関するスケーリング則にも検討課題が残されている。断層長が数 10 km 以下の大地震では 1 回変位量が断層長の 1 乗に比例し (松田, 1975)、長さが数 10 km 程度以上の大地震では断層長によらず 1 回変位量は一定 (大中・松浦, 2002) となることが経験的に知られている。これらの経験則からは以下の二つの考えが導かれる。

- ① 地震セグメントの長さにかかわらず活動セグメントごとの変位量は常に一定であるとの考え。
- ② 地震セグメント長が数 10 km 以下の場合には活動セグメントごとの変位量は地震セグメントの長さに比例して大きくなるが、より長い地震セグメントでは変位量は一定であるとの考え。

地震調査委員会の活断層評価では、結果として後者の考えに準じる評価手法を取ってきており、長さ数 10 km 以下の地震セグメントに対しては、活動セグメントの組み合わせによらず、地震セグメントの代表的な区間に関する経験則である松田 (1975, 1990) のスケーリング則を拡大適用している。しかし、地質調査所活断層研究グループ (2000) のように、前者の考え方を活断層評価に適用するとともに、活動セグメントに関して独自に求めら

れたスケーリング則を採用する考え方もある。このことは、同じ長さの活動セグメントに対して異なる1回変位量を推定する考え方があることを意味し、用いるスケーリング則が地震規模だけでなく発生確率の評価結果にも大きく影響することもある。

ところで、活断層で発生する地震による被害を考えた場合、地震動による揺れだけではなく、断層の変位に伴う地盤のずれも必要な予測情報としてあげられる。地盤のずれは、直上の建築物に地震動をはるかに上回る外力を加える場合があり、建築物の耐震性が時代とともに向上してきていることを考え合わせると、その重要性は相対的に大きくなっていくと思われる。このような変位の予測については、断層の詳しい分布位置はもちろん、1回変位量とそのばらつき、および変位のタイプ(逆断層型・横ずれ型、断層・撓曲)などの詳細な地点情報が必要となる。このような予測に利用できるデータとして、活断層の詳細分布図も公表されてきている(例えば、国土地理院発行の都市圏活断層図;中田・今泉編, 2002)。

5. 活断層の長期評価を生かすために

活断層の調査・評価には、上述のようにさまざまな不確定性が伴う。さらに、2004年4月末までに地震調査委員会から公表されてきた67断層の活断層評価では、地震発生の長期確率ももっとも高い糸魚川-静岡構造線断層帯でも今後30年以内に14%であり、推定幅の最大値を取ったとしても30年以内の発生確率が3%以上となるものは全体の約3割である。このような発生確率は感覚的に低いと受けとられ、扱いに苦慮するとの意見が、防災担当者からもしばしば聞かれる。しかし、発生確率の推定幅が広すぎる例があることを除けば、低いとされる発生確率は活断層の実体を反映したものであり、まずはこの確率値が示すリスクと有効な対応策を検討してみる必要がある。以下に、その考え方の例を簡単に記述してみる。

兵庫県南部地震は、その震源域直上の地域に家屋全壊率20-40%、死亡率0.5-1%の甚大な被害

をもたらした。そこで、当該活断層の周辺では同等の被害をもたらす大地震が30年間で3%の確率で発生すると仮定すると、想定される家屋全壊確率は1年あたり0.2-0.4%、死亡確率は0.005-0.01%程度と計算できる。この死亡の確率は、交通事故で死亡する確率よりは低いが、火災で死亡する確率と同程度である。究極の防災は建築物の耐震化であるが、新築建築物の耐震強度を現行の2倍にしても総建築費は5-10%の増加にとどまるとの試算がある。このようなケースでは、耐用年数が長い建築物の耐震強化は経済的にも有効な手段といえよう。

さらに視点を変えると、67断層のうち約4割が推定幅の最大値を取ったとしても30年以内の発生確率が0.1%未満とされている。このような確率情報を活用して広域的な観点から防災対策の重点化を図ることも有効であろう。

それぞれの地域にとって、地震のリスクは98活断層地域の固有地震に限るものでもないし、想定される被害の大きさや対策の有効性は多様で複雑であろう。一方で、確率論に基づいたリスク管理は、わが国の社会が苦手とすることの一つともされている。しかし、被害の因果関係が複雑であればあるほど、予想される被害が大きければ大きいほど、また発生確率が低ければ低いほど、確率論なしには有効な対策を取ることは困難と思われる。

現在の地震調査委員会における活断層評価は、信頼性が一定水準以上のデータのみを採用して、将来に発生する可能性が最も高い地震象を明らかにするとの方向で実施されてきている。しかし、地震防災のための多様なニーズに応えるためには、相対的に信頼性が低いデータ、あるいは代表的でない地震象に関する情報も、その位置づけとともに社会に伝えることが重要といえる。このためには、活断層評価に必要なデータを網羅的・系統的に収集・整理するとともに、複雑であまいさをもつデータに規格化情報を付与して広く社会に提供する必要がある。著者が所属する産業技術総合研究所活断層研究センターでは、このために総合的な活断層データベースの構築を急いでいる

ところである。

活断層評価の結果を地震防災に役立てるためには、調査・研究・評価を担当する科学者がデータや評価モデルの量と精度・信頼性を向上させるだけでは十分でない。防災を担当する工学者・社会学者あるいは行政担当者・市民が、その評価結果に応じてどのような減災策がとれるのかを検討し、必要な情報の精度やしきい値を伝える必要もある。両者がそれぞれの専門性を生かしながら情報のキャッチボールを繰り返して、安全な社会の建設に向かって着実に前進しなければならない。

参考文献

- 栗田泰夫 (1999) 日本の地震断層におけるセグメント構造とカスケード地震モデル (試案). 地質調査所速報, EQ/99/3, 275-284.
- Barka, A.A. and K. Kadinsky-Cade (1988) Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.
- 地質調査所活断層研究グループ (2000) 近畿三角帯における活断層調査—主要活断層の活動履歴と地震危険度—. 第四紀研究, 39, 289-301.
- 松田時彦 (1975) 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震第2輯, 28, 269-283.
- 松田時彦 (1990) 最大地震規模による日本列島の地震分帯図. 地震研究所彙報, 65, 289-319.
- 中田 高・今泉俊文編 (2002) 活断層詳細デジタルマップ. 東京大学出版会, DVD-ROM2枚, 60p.
- 大中康譽・松浦充宏 (2002) : 地震発生の物理学, 東大出版会, 378p.
- Working Group on California Earthquake Probabilities (1995) Seismic hazards in southern California: probable earthquakes, 1994 to 2024. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 85, 379-439.
- 吉岡敏和ほか (2002) トレンチ調査に基づく1891年濃尾地震断層系・温見断層の活動履歴. 地震第2輯, 55, 301-309.
- 地震調査研究推進本部 (1997) 地震に関する基盤的調査観測計画. 38p.
- 地震調査研究推進本部 (1999) 地震調査研究の推進について—地震に関する観測, 測量, 調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策—. 20p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2001a) 長期的な地震発生確率の評価手法について. 46p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2001b) 南海トラフの地震の長期評価について. 52p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会 (1999) (改訂試案) 長期的な地震発生確率の評価手法について. 74p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会による個別の活断層評価結果については、同推進本部のホームページで公開されている。 <http://www.jishin.go.jp/main/index.html>

地震情報における数値とその評価

中森広道

はじめに

昨今、地震に関する情報に接すると、これまで以上に数値が多くみられるようになってきたように感じられる。以前の地震に関する情報で示される数値は、M（マグニチュード）、震度、そして震源の深さなどといった程度であったが、最近では、津波予報発表時には予想される津波の高さが明示されたり、余震の発生確率が発表されたり、地域によっては長期的な地震の発生確率が示されたりと、にわかに数値を使った地震情報が増えてきている。また、以前から発表されていた震度についても、平成7（1995）年の「兵庫県南部地震」（「阪神・淡路大震災」）の経験などから見直しが行われ、気象庁震度階級の震度5と6がそれぞれ「強」と「弱」に分けられ、一般に発表される震度の観測点も、気象庁のもつ観測点に地方自治体がもつ観測点などが加えられ、「兵庫県南部地震」当時には約300だった観測点は、すでに3,000を超える状況になっている。

このような地震情報の展開は、それだけ発表される情報が詳細化したという評価もできるが、では、そのような詳細な情報を受け取る一般の住民は、そこで示された数値等について、どのように感じているのであろうか。筆者は、今年3月に、「災害情報とその評価に関するアンケート」と題したインターネットによる調査を実施し、人々の災害情報に関する意識について検討を行った。本稿では、この調査の結果などを踏まえながら、「震度」「余震の発生確率」といった数値が示される地震情報と一般の人々の意識について考えていきたいと思う（「災害情報とその評価に関するアンケート」は、調査会社・サーベイリサーチセン

ターの持つ全国のWEB調査モニター中から、東京都、静岡県、宮城県に住む男女を年齢層ごとに抽出してインターネット経由で調査票を配信する方法で行った。有効回答数は、あわせて320である）。

1. 震度に関する評価

日本では、1884（明治17）年に4階級の震度階級が定められ、正式な震度観測が始まり、以後、震度階級の細分化や震度階級の名称の変更など経ながら今日に至っている。この間、体感や現地調査で記録していた震度は計測震度計による観測に変わり、この計測震度計の導入は無人による震度観測を可能にし、震度観測点が増えていった。また、現在は、面的な推定震度の発表も検討されている。そして、これらの震度情報は、テレビ・ラジオ等を通じて地震発生から数分で一般にも速報され、自治体等の防災関連機関が初動体制をとるための意思決定に重要な役割を果たしているだけでなく、一般の住民にとっても、その地震を評価する上での判断材料になっている。さらに昨今の日本の震度情報は、以前よりもまして記録性（地震後の詳細な調査によって震度を記録すること）よりも速報性が重視される傾向にあると思われる。総じて、日本ほど震度を活用している国にはないと言ってもよいだろう。

このような震度を、人々はどのように評価しているのであろうか。今回の調査では、まず、「震度が発表された場合、災害対策や安否確認など『何らかの対応』を考える震度はどのくらいですか」という質問を行った。その結果、全体では、「震度4」と回答した人が約3割（累計）、「震度5弱」と回答した人が約6割（累計）を占めていた（表1）。こ

それを性別でみていくと、「震度4」と回答した人は、男性が26.0%（累計）、女性が39.1%（累計）、「震度5弱」と回答した人は、男性が55.0%（累計）、女性が69.5%（累計）となり、この結果を見る限り、男性よりも女性の方が、比較的数値の低い震度で何らかの対応を考える傾向があるように思われる。

次は、発表される震度階級の名称についての評価である。平成8（1996）年から、震度5と6がそれぞれ「強」「弱」に2分割されて発表されるようになっていく。では、この「強」「弱」という表現について人々はどのように考えているのであろうか。調査をみると、「現在のままでよい（「強」「弱」でよい）」と回答した人が49.1%であったのに対し、「震度5、6、7、8と改めた方がよい」と回答した人が40.0%で、「『強』はよいが『弱』という表現はやめたほうがよい」や「『強』『弱』ではなく“A”“B”の方がよい」と回答した人は少数であった（図1）。「現在のままでよい」の回答は比較的多いものの、「強」「弱」という表現をやめて数

値の震度階級に改めた発表を望む人も決して少なくないことがわかる。

さて震度は、体感で観測していた時代から、発表された値と実感とは違うのではないかという反応が一般の住民から出ることがしばしばあった。その理由の一つは、体感という、一見、客観性がないように思われる方法で震度観測が行われていたこともあるようだ。計測震度計が導入された現在、人々は震度をどのように思っているのであろうか。「あなたの住んでいる地域で発表される震度の情報は、実際の揺れの強さを正確に表していると思いますか」という質問を行ったところ、「時々、実感や実際の状況とは違うと感ずることがある」と回答した人が49.7%で最も多く、「ほぼ、正確な揺れの強さを表していると思う」と回答した人は27.5%、「実感や実際の状況とは違うと感ずることが多い」と回答した人は14.7%であった（図2）。

それでは、震度情報全体について人々はどのように評価しているのであろうか。ここでは、表2

表1 人々が安否確認や災害対策を考える震度〔%〕（ ）は累計

	震度1	震度2	震度3	震度4	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7	わからない
全体(N=320)	0.3	0.3(0.6)	6.3(6.9)	25.6(32.5)	29.7(62.2)	21.9(84.1)	6.6(90.7)	4.4(95.1)	0.6(95.8)	4.4
男性(N=162)	—	—	6.2	19.8(26.0)	29.0(55.0)	24.1(79.1)	8.6(87.7)	6.8(94.5)	—	5.6
女性(N=158)	0.6	0.6(1.2)	6.3(7.5)	31.6(39.1)	30.4(69.5)	19.6(89.1)	4.4(93.5)	1.9(95.4)	1.3(96.7)	3.2

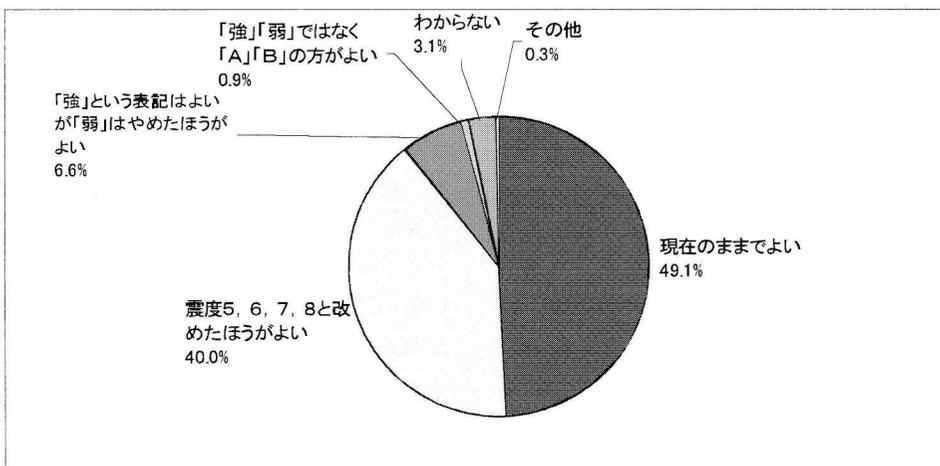


図1 震度5・6の「強」「弱」に対する評価（%）（N=320）

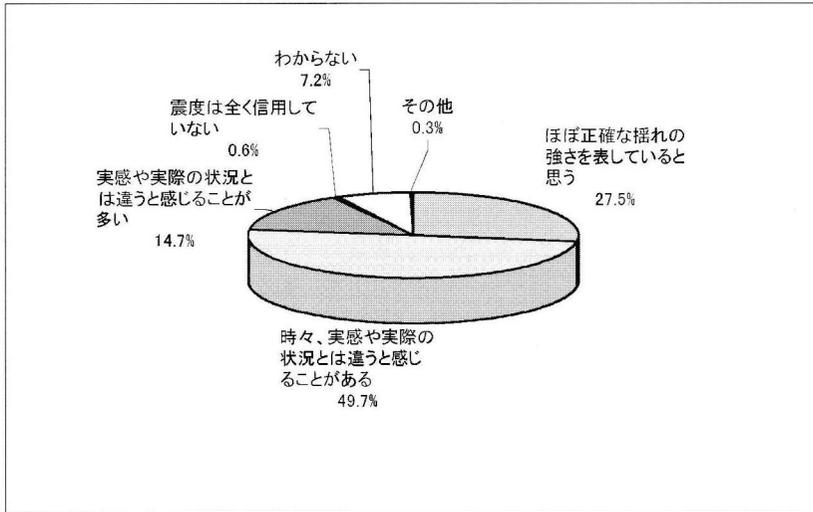


図 2 発表される震度に対する信頼感 [%] (N=320)

表 2 震度情報への評価 [%] (複数回答)

	番組の途中に流れる震度速報が多すぎてわずらわしい	地域で発生した地震でも、被害がない場合は、流す必要はない	遠くで発生して、被害のない地震については流す必要はない	小さな地震でも、今よりもっと積極的に震度速報を流すべきだ	まだまだ震度情報が遅いと思う	「〇〇県東部」といった地域名がわかりにくい	発表される地名がどこを指すのかわからない	発表される地点が細かすぎる	特に何も感じない	その他
全体(N=320)	13.8	10.3	24.4	26.6	26.3	37.2	31.6	4.7	12.2	2.8
東京都(N=107)	10.3	10.3	19.6	29.0	19.6	32.7	27.1	4.7	18.7	4.7
静岡県(N=108)	19.4	13.0	29.6	26.9	23.1	29.6	29.6	5.6	8.3	1.9
宮城県(N=105)	11.4	7.6	23.8	23.8	36.2	49.5	38.1	3.8	9.5	1.9
男性(N=162)	16.0	12.3	28.4	23.5	24.7	26.5	25.9	6.2	10.5	3.1
女性(N=158)	11.4	8.2	20.3	29.7	27.8	48.1	37.3	3.2	13.9	2.5

のようないくつかの項目を設けて質問を行った(複数回答)。この結果を地域別にみていくと「まだまだ震度情報が遅いと思う」と回答した人が宮城県でやや多かった。これは、昨年の地震の体験が影響しているように思える。また、「『〇〇県東部』といった地域名がわかりにくい」とか「発表される地名がどこを指すのかわからない」という回答も宮城県で多かった。また、回答を性別でみた場合、この地域名や地名がわかりにくいと回答した人が、男性よりも女性に多いという結果となった。

現在の地震情報は、どこかの観測点で震度3以

上が記録された際には地震発生から2~3分で震度速報が行われるが、この場合は全国を約180の地域に区分し、その地域名(「〇〇県東部」など)で一般に伝えられる。また、地震から約5分後には、各地の震度がその観測点のある市区町村名で発表される。震度はあくまでも計測震度計の値であり、つまりは「点」の情報である。しかしながら、震度が一般に発表される場合には、都道府県や市区町村といった「面」の情報として伝えられている。例えば震度速報で「東京23区 震度3」と発表された場合は「東京23区にあるどこかの計測震度計が震度3を記録した」という意味であ

り、また「東京世田谷区 震度3」と発表された場合は「世田谷区のだこかにある計測震度計が震度3を記録した」という意味となる。当然のことながら同じ地域や市区町村内でも揺れの強さが違うことがあり、また、震度は発表される地域や市区町村の代表的な値でもなければ平均的な値でもないのであるが、このことを一般の人ほどまで認識しているのだろうか。

平成12(2000)年に東京大学社会情報研究所などが東京都と静岡県の住民を対象に行った「災害用語」に関する調査(回答者数510)によれば、発表される震度を「市区町村全体の揺れの強さ」と考えている人が6.9%、「市区町村の平均的な揺れの強さ」と考えている人が8.2%、に対し「震度計のある地点の揺れ」と考えている人が80.6%を占めており、この結果から考えると発表される震度の意味を正確に理解している人が多いということになる(大西ほか、2002)。しかし、同じく東京大学社会情報研究所が平成13(2001)年の「芸予地震」の被災地域である広島県と愛媛県で同様の調査を行ったところ、発表される震度を「市区町村全体の揺れの強さ」と考えている人が35.7%、「市区町村の平均的な揺れの強さ」と考えている人が17.1%、そして、「震度計のある地点の揺れ」と考えている人が39.7%と、震度の意味を正確に理解している人が半数にも満たない結果であった(廣井ほか、2002)。結果にこのような差が出ている理由は、単に対象地域の違いにあるのではなく質問の仕方の違いにもあるようだが(注)、震度の意味を一般に理解させていく工夫は、まだまだ課題として残っている。

「災害用語」の調査を踏まえて、大西ほか(2002)は、震度の観測点がこれからも増えていく方向にある中で、点在する震度観測点の情報をそのまま伝えるのではなく面的な情報に加工して発表することの必要性を提起している(大西ほか、2002)。そして、現在、観測点のない地域についても震度を推定し、面的震度情報を発表することが検討されている。これは有効な改善策であると考えられるが、ここであわせて留意しなければならないことは、この情報はあくまでも「推定」情報であり

「絶対」情報ではないことである。当然のことながら、地震の揺れとそれによって生じる被害について、早期に細かい地域や地点の違いまで詳しく知るのは非常に難しい。大西ほか(2002)も指摘しているように、震度は、あくまでも状況把握などのための参考情報として用いるものであり、発表される数値だけで絶対視する類の情報ではないことを一般の人々にも理解させていく必要があるだろう。

一方、速報で用いられる「〇〇県東部」等の表現についても、わかりにくいと回答した人が少なくなかったが、これは、「〇〇県東部」などの地域名が、普段から一般の人々に使われているかどうかにも関わっている。前出の「芸予地震」に関する調査で同様の質問を行ったところ、「地域名がわかりにくい」と回答した人は、広島県では24.2%だったのに対し、愛媛県では7.8%という結果が出ている。震度の速報で発表される地域名は、広島県の場合は「広島県南西部」「広島県南東部」という表現であるのに対し、愛媛県は「愛媛県中予」「愛媛県南予」という表現である。愛媛県の「中予」「南予」という名称は、一般の人々が震度情報以外でも日常生活で使っている比較的馴染みのある地域の表現であるが、広島県の「南西部」「南東部」という表現は、日常生活ではあまり用いない表現である(廣井ほか、2001)。地震情報に地域名は、地震情報のためだけに設定した名称ではなく、できるだけ日常で用いられている名称で伝える方が望ましい。ただし、適当な地域名がない場合には、新たに地域区分とその名称をつけなければならないこともある。新たな地域名称をつけた場合は、その地域が具体的にどこをさすのかを日常から周知させたり、情報発表の際に解説を加えるなどの対応が必要となるだろう。

2. 余震とその発生確率に関する評価

現在、地震によっては余震の発生確率が発表されるようになっているが、余震に関する情報について、人々はどのように評価しているのだろうか。

まず「余震」という言葉の意味の認識について質問を行った。過去の大きな地震における住民の対応を見ていると、「余震があるかもしれない」という情報が伝わると「大きな地震が来る」という流言となって広まることが少なくない。その代表的な事例が、1978（昭和53）年1月の「伊豆大島近海の地震」における所謂「余震情報パニック」である。このような混乱が生じる理由の1つとして、人々が「余震」という言葉の意味を十分に理解していないことが指摘されていた。それでは今日、「余震」の意味は、人々にどの程度理解されているのだろうか。調査では、「大きな地震が発生すると、その地震の震源周辺で比較的小さな地震が続発することがあります。この比較的小さな地震のことを『余震』といいます。あなたは、この意味をご存知ですか」という質問を行った。その結果、「知っていた」と回答した人が74.3%、「『余震』という言葉の意味は知っていたが、意味は正確に知らなかった」と回答した人が23.1%であった（図3）。「余震」の意味を正確に知らない人がまだ1/4近くを占めているわけである。

次に、余震の発生確率が発表されていることについて知っているかどうかについて質問したところ、「知っている」と回答した人が43.8%、「知らない」と回答した人が56.3%であった。余震の発生確率が発表されていることを知らない人が過半数を占めていたのである。この回答については、地域や年齢によって少しではあるが差が見られた（表3）。まず、地域では、東京都や静岡県では、「知らない」と回答した人が過半数を占めていたのに対し、宮城県では、「知っている」と回答した人が過半数を占めていた。これは、昨年（平成15〔2003〕年）に相次いだ地震で実際に余震の発生確率が発表されたことが影響しているように思われる。また、年齢別にみると、年齢層が低くなるほど余震発生確率が発表されることを知らないと回答する人が多くなる傾向もみられた。

それでは、人々は余震の発生確率の数値をどのように評価しているのだろうか。調査では、「余震の発生する確率が発表された場合、どのくらいの数値が示されれば本当に余震が発生すると思いますか」という質問と、1%以上、3%以上、5%

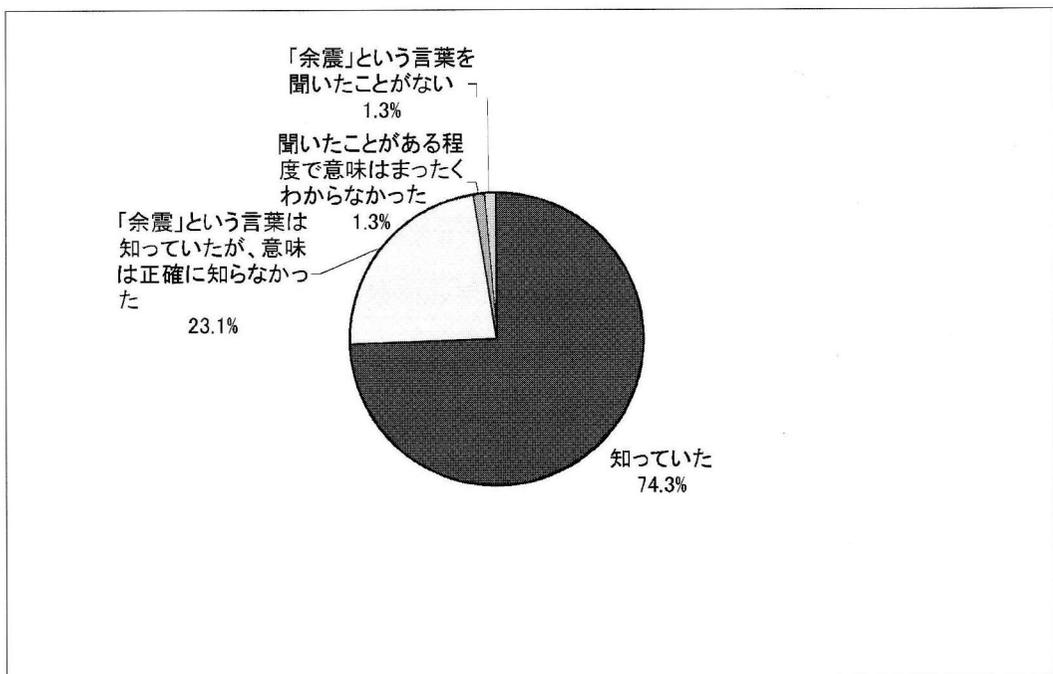


図3 「余震」の意味の認識度 [%] (N=320)

以上、10%以上、20%以上、30%以上、40%以上、50%以上、60%以上、70%以上、80%以上といった選択肢を設けたところ、表4のような回答となった。回答者数の累計からみていくと、余震の発生確率が発表された場合、半数以上の人々が本当に余震が発生すると考える数値は「50%以上」という結果となった。

この調査では、天気予報の降水確率についても同様な質問を行っている（表4。降水確率の場合は、1%、3%、5%という発表はないため、回答の選択肢は10%以上から設定した）。回答者数の累計からみていくと、降水確率が発表された場合も、半数近くの人々が本当に雨が降ると考える数

値は「50%以上」という結果となった。

この結果によれば、余震の発生確率についても降水確率についても、予想された現象が本当に起こると多くの人々が考えるようになる数値は概ね「50%以上」ということになる。しかし、ここで留意しておかなければならないことは、同じ数値(%)であっても、余震の発生確率が示す意味と降水確率が示す意味とは違うということである。余震の発生確率を一般に発表するようになったところに作成された科学技術庁(当時)の資料に、日本国内における日常の地震の発生確率(日本国内のある地点から、ある距離以内で、今後ある期間以内に、陸域の浅い場所を震源とするM5.0以上、M6.0以上の地震が発生する確率の平均的な値)が示されている。これによると「半径50km以内で3日以内にM5.0以上の地震が発生する確率」は0.07%、「半径50km以内で3日以内にM6.0以上の地震が発生する確率」は0.01%である(科学技術庁, 1999)。つまり、例えば「3日以内にM5.0以上の余震が発生する確率が10%」という情報は、M5.0以上の地震が発生する確率が日常よりも100倍以上になっているという意味となる。平成10(1998)年9月3日に岩手県雫石町の観測点で震度6弱を記録した岩手県内陸北部を震源とする地震(M6.1)の際も、気象庁は「今後3日以内にM5.0以上の余震が発生する確率は2%と推定される」という情報を発表した。これはM5.0以上の地震が発生する確率が日常よりも数十倍以上になったということである。しかし、今日までに

表3 「余震の発生確率」が発表されていることの認知度 [%]

	知っている	知らない
全体 (N=320)	43.8	56.3
東京都 (N=107)	37.4	62.6
静岡県 (N=108)	40.7	59.3
宮城県 (N=105)	53.3	46.7
10代 (N=54)	27.8	72.2
20代 (N=54)	40.7	59.3
30代 (N=54)	31.5	68.5
40代 (N=54)	48.1	51.9
50代 (N=54)	55.6	44.4
60代以上 (N=50)	60.0	40.0

表4 予想される現象が本当に発生すると考える数値 [%] ()は累計

	1%以上	3%以上	5%以上	10%以上	20%以上	30%以上	40%以上		
余震の発生確率	0.3	—	0.6 (0.9)	1.9 (2.8)	2.5 (5.3)	10.9 (16.2)	11.3 (27.5)		
降水確率				2.5	1.9 (4.4)	14.1 (18.5)	10.3 (28.8)		
	50%以上	60%以上	70%以上	80%以上	90%以上	100%	まったく信用しない	わからない	その他
	20.9 (48.4)	11.3 (59.7)	10.9 (70.6)	11.9 (82.5)			0.9	16.3	0.3
	25.3 (54.1)	15.9 (70.0)	12.5 (82.5)	10.3 (92.8)	1.3 (94.1)	1.6 (95.7)	1.3	3.1	

実際に発表された余震の発生確率の情報をみると、%の数値は大きく報じられるものの、「日常よりも地震が発生する確率が高くなっている」という部分は十分に伝わっていないと思われる。この点を一般の人々に理解させることがひとつの課題となるだろう。

また、降水確率の場合は、前出の当時の科学技術庁の資料(1999)でも指摘されているが、「数値を見て雨が降らないと思ったが実際は雨が降って濡れてしまった」程度の話で済まされることが多いが、余震の発生確率の場合は、もしある程度の規模の地震が発生した場合は人命に関わる被害が生じる可能性がある。したがって、同じ確率に関する情報でも、起こり得る事態の「質」が違ってくることも、これまで以上に人々に認識させていく必要があるだろう。

この調査では、余震の発生確率がどのような表現で発表されることが望ましいかについても質問している。その結果をみると、現在の%のような数値の発表よりも、「可能性が非常に高い」などの表現を望む人の割合がわずかではあるが大きかった(表5)。これを年齢層別にみると、「可能性が非常に高い」といった表現を望む人の割合は、高い年齢層の方が大きくなっている。また、地域別に見ていくと、現在の%のような数値での発表を望む人

が、東京都や宮城県よりも静岡県で比較的多い結果となっている。詳細な検討をしなければ正確なことはわからないが、このような傾向が見られた背景には、「東海地震」が関わっているように思われる。「東海地震」説発表や「大規模地震対策特別措置法」の公布から、すでに20年を超える年月が経っている。その間、静岡県の住民は、例えば「明日起きても不思議ではない」とか「発生が近づいている」などという表現を頻繁に聞きながら過ごしてきている。そのため、「可能性が高い」というような言わば曖昧な表現よりも%などの数値で具体的に示してほしいという意識が、他の地方に比べて大きいのではないだろうか。

同様な質問を、降水確率についても質問している。こちらの方は、現在の%のような数値での発表を望む人が多い(図4)。降水確率が発表されるようになったのは昭和55(1980)年であるが、すでに、降水確率が人々の生活に浸透していることが、このような結果となって表れたのであろう。

3. 長期的な地震の発生確率に関する評価

現在、政府の地震調査委員会などにより、活断層や海溝型の地震に関して、その発生確率が発表されるようになってきている。このような、言わ

表5 望ましい「余震発生確率」の発表方法〔%〕

	現在使用している数値(%)がよい	A, B, C, …のようなランク別の表現がよい	「可能性が非常に高い」…などの表現がよい	わからない	その他
全体 (N=320)	39.4	9.7	45.6	4.7	0.6
東京都 (N=107)	32.7	13.1	45.8	7.5	0.9
静岡県 (N=108)	47.2	8.3	41.7	1.9	0.9
宮城県 (N=105)	38.1	7.6	49.5	4.8	—
10代 (N=54)	63.0	3.7	22.2	9.3	1.9
20代 (N=54)	33.3	16.7	46.3	3.7	—
30代 (N=54)	35.2	16.7	42.6	5.6	—
40代 (N=54)	40.7	9.3	46.3	1.9	1.9
50代 (N=54)	33.3	5.6	59.3	1.9	—
60代以上 (N=50)	30.0	6.0	58.0	6.0	—

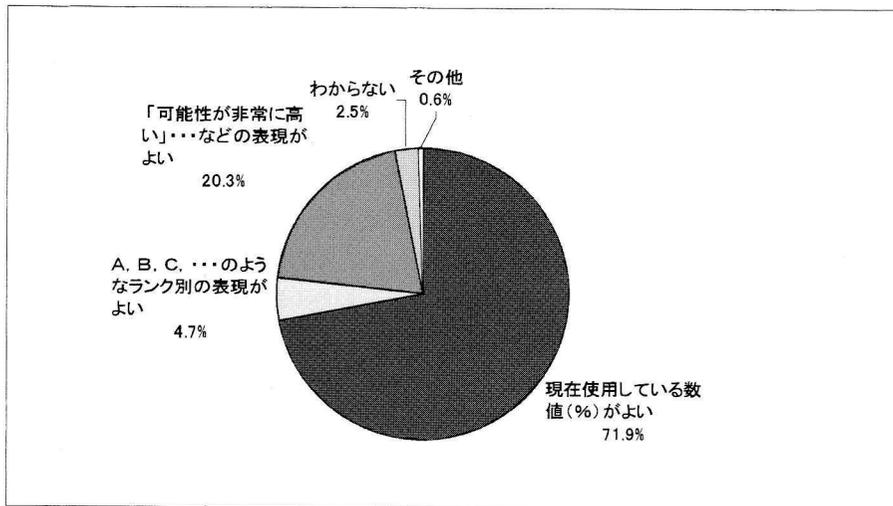


図 4 望ましい「降水確率」の発表方法 [%] (N=320)

表 6 望ましい「長期予測における地震の発生確率」 [%]

調査数	現在のように、発生する確率 (%) を示して発表してほしい	A, B, C, ... のようなランク別の表現で示してほしい	「可能性が非常に高い」...などの表現で示してほしい	発表しないでほしい	わからない	その他
全体 (N=320)	51.9	7.8	32.2	1.6	5.0	1.6
東京都 (N=107)	47.7	6.5	32.7	2.8	9.3	0.9
静岡県 (N=108)	51.9	8.3	31.5	1.9	3.7	2.8
宮城県 (N=105)	56.2	8.6	32.4	—	1.9	1.0
10代 (N=54)	64.8	7.4	14.8	1.9	9.3	1.9
20代 (N=54)	57.4	13.0	25.9	—	—	3.7
30代 (N=54)	53.7	7.4	27.8	3.7	7.4	—
40代 (N=54)	48.1	9.3	38.9	1.9	—	1.9
50代 (N=54)	42.6	5.6	44.4	—	5.6	1.9
60代以上 (N=50)	44.0	4.0	42.0	2.0	8.0	—

ば長期的な地震予測における発生確率の発表について、人々はどのような表現を望んでいるのであろうか。この結果をみると、「可能性が非常に高い」などの表現よりも現在のような%の数値によって示すことを望む人が多いことがわかる(表6)。余震の発生確率のような比較的時間の差し迫ったものについては可能性が高いか低いか、発生するか否かがわかりやすく示された文言による発表が望ましいと考える人が多く、長期的な地震

の発生確率のような時間的に余裕があるものは%による発表が望ましいと考える人が多いという傾向にある。

なお、長期的な地震の発生確率に関する回答について年齢層別にみると、余震の発生確率と同様、年齢層が低くなるほど%による発表を望む人の割合が大きくなっている。このようなことから、地震に関わる情報についての%による発表への抵抗感を持つ人は、低い年齢層では少なくなる

ようである。

まとめにかえて

地震情報は、この数年で速報化と詳細化が進み、着々と改善が進んでいるという評価はできる。ただし、これは情報を発表する側についての評価である。これらの情報の速報化と詳細化を、受け取る側が十分に対応できているのかについては、まだまだ多くの検討課題があるようだ。地震に関する数値の情報が多くなっている中で、情報の送り手は常に、受け手である一般の住民が情報をどのように処理し反応しているかといった現状を把握した上で、情報が有効に機能するような対応を考えていかなければならないだろう。そして、情報の発表に際しては、その数値が示す「意味」だけでなく「意義」（何故、その情報を発表する必要があるのか）にも繰り返し触れて伝えていくことも不可欠となっているのではないだろうか。

注 「芸予地震」の調査では、予め震度の意味を示した

上で震度の意味を知っていたかどうかについて質問し、選択肢の中から回答を選ぶ方法で行っているが、「災害用語」の調査では、震度の意味を示さずに質問して選択肢の中から回答を選ぶ方法をとっている。

参考文献

- 大西勝也・川端信正・廣井 脩，2002年，「人びとは災害用語をどう理解しているか」『東京大学社会情報研究所調査研究紀要』第17号，東京大学社会情報研究所，pp. 1-98.
- 科学技術庁，1999年，『大地震のあと，余震はどうなるか 確率をもちいた予測とその活用のために』科学技術庁。
- 気象庁監修，1996年，『震度を知る 基礎知識とその活用』ぎょうせい。
- 中森広道，1998年，「災害情報の再考—震度と情報—」『研究紀要』第55号，日本大学文理学部人文科学研究所，pp. 155-167.
- 廣井 脩・田中 淳・中村 功・中森広道・宇田川真之・関谷直也，2002年，「2001年芸予地震における住民の対応と災害情報の伝達」『東京大学社会情報研究所調査研究紀要』第18号，東京大学社会情報研究所，pp. 195-278.

発破の増減と経済

過日、Hi-net（高感度地震観測網）の管理者あてに、ヨーロッパの地震関係者から若干興奮気味のメールが届いた。“Hi-netの震源カタログを調べていたら、地震が特定の時間帯に集中発生している現象を見つけた。日本の地震学者はこれに気付いているのか？”

我々にとって、これは常識的な事柄である。浅い地震の震源はしばしば密集したクラスターを形作るが、そこに発生する地震の発生時刻分布には図1に示す2種類がある。(a)は通常の場合で発生時刻はランダムなのに対し、(b)は特定の時刻に発生が集中している。正午と夕方付近にピークがあっても人為的である。震源地はいわゆる石切場や大規模土木工事の現場であり、昼休みや終業の前にダイナマイトで岩を崩す「上がり発破」が行われている。

最近の地震観測は高感度なため、このような人工的原因による地面の震動もマグニチュード

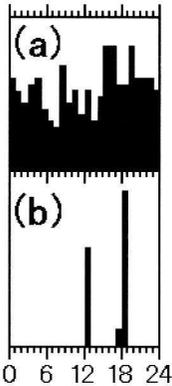


図1 地震の発生時刻分布

1程度の「地震」として捉えられるようになった。防災科学技術研究所の地震カタログによれば、関東・東海地域で検知される深さ20km以下の浅発地震の約20%はこのような人工震源である。これらは通常地震と紛らわしいが、夜間だけの震源分布をとったり、マグニチュード1.5以上の地震だけを選ぶ等の操作によって、排除することができる。

図2は、関東・東海地域に見られる浅発地震の密集域193個を、自然地震の巣（白抜き112個）と人工震源域（黒塗り81個）に分類したものである。後者は主に東京や名古屋の周辺山地に分布し、これらが大都会での建設工事に必要な骨材等の供給源になっていることを想像させる。なお、人工震源は陸上だけに限られず、海上自衛隊の機雷作業が、海域で一直線に並ぶ震源分布として捉えられたこともある。

人工震源は産業活動との関連が密接なため、その寡多は世の好不況に左右される。図3の棒グラフは、1986年5月から2001年5月までの15年間に図2の黒塗り領域で発生した月別の人工震源数の推移を示している。同図の折れ線グラフは内閣府から発表されている景気指標のひとつ（コンポジットインデックスの運行指数）であり、かなり良い相関が見られる。

(岡田義光)

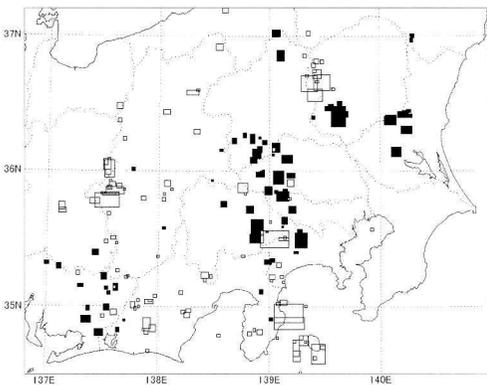


図2 関東・東海地域の浅発地震密集域（黒塗りは人工震源域）

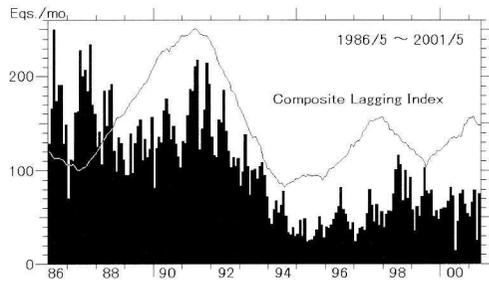


図3 月別人工震源数と経済指標（CLI）

地震予知と噴火予知

井田喜明

賢い兄と愚直な弟

火山噴火予知計画は、地震予知計画より9年遅れて1974年に発足した。発足に関わった人たちの話によると、全ては地震予知計画にならう形で進んだらしい。火山研究者の意志を反映したというより、既存の地震予知計画に合わせて同じような計画を走らせたかどうか、と外から働きかけがあり、それが契機になったという。「ブループリント」に端を発して、研究者の自発的な提案で始まった地震予知計画とは、対照的なスタートであった。

このように、地震予知計画と噴火予知計画は兄弟の関係にある。噴火予知計画は、発足後も兄である地震予知計画をお手本としながら、それに追従するように推進されてきた。私が噴火予知に関わりをもつようになったのは、1986年に伊豆大島噴火が発生する1年ほど前のことだったが、当時から兄である地震予知が色々な点でうらやましかった。

まず、兄は賢く、要領がよかった。伊豆大島の噴火で、我々が島民の避難やその解除に関わって悪戦苦闘をしているときに、兄の方は、予知はするが防災には関与しないと切り切って、涼しい顔をしていた。泥にまみれることはしないが、いつも実にうまい口実を見つけてきては、潤沢な予算を獲得した。兄は、研究者というより、予算獲得にたけた優れた官僚に思えた。

それに比べると、弟は要領が悪く、愚直につき進んでは、しばしば泥沼にはまった。地震予知の関係者にはよく言われた。地震予知連絡会は研究者だけの集団で、純粋に科学的な議論ができるが、噴火予知連絡会には国土庁（現内閣府）から

も委員が出ているので、きちんとした議論が難しいと。

予知の基礎になる地震学と火山学の間には明らかな差があり、それもうらやましきの背景にあったろう。地震については、震源の性質を探る上でも、地震波速度構造を求める上でも、数学的な道具立てがそろっていた。ところが、噴火については、マグマの運動の駆動力にしても、マグマだまりなどの供給系にしても、実態が曖昧で定量的な議論にのらない。物理学の体裁で体系化の整った地震学と比べると、火山学は事実を羅列した博物学の色が濃かった。予知が頼りにできる理論的な体系が、噴火予知には乏しかった。

そのせいもあって、噴火予知の世界では、個別主義が幅を利かせた。火山には個性があるから、噴火への対応は個々の火山の特性に応じてやる必要があり、火山ごとに主治医にあたる研究者が必要であるというのだ。その主張はもちろん真理を含んでいるが、事実の体系化によって法則を確立しようとする姿勢を否定しかねない勢いに、私はしばしば反発した。個性ばかりを強調するのなら、噴火にも個性があるから、起こってみないと分からないことになり、予知の可能性は否定されてしまう。私はこう主張したが、そのつぶやきはすぐにかき消され、個別主義の壁を打ち破る力にはならなかった。

このように、賢い兄を模範とし、多少は劣等感を抱きながら、弟は育ってきた。

兵庫県南部地震と三宅島噴火

現在の技術レベルでは、地震は予知できない。少なくとも私が知る1985年以後、地震予知の関係者は賢くもそう言い切ってきた。社会に過度な

表 1 有珠山 2000 年噴火の進行と予知・防災対応

月日	火山現象	気象庁・予知連絡会の見解	防災対応
1.27	火山性地震の開始		
3.28		噴火発生の可能性	
3.29		数日以内に噴火の可能性	有珠山周辺に避難指示
3.31	西山火口で噴火開始		
4.01	金毘羅火口で噴火開始		
4.12		噴火は北西山麓に限定	山の東側などで避難解除
5.22		噴火活動は下降傾向	避難区域の縮小
7.10		噴火は終息に向かう	火口近傍を除き避難解除

期待を抱かせないように、また自分に責任が及ばないように、事前に手を打ってきたのである。噴火予知の方は、そんな風に社会をつき放すことができず、伊豆大島（1986～1990）や雲仙岳（1991～1995）などで噴火が起こる度に、何とか防災に役立とうと格闘した。大抵の研究はいつか社会に役立つことを目指すのだから、地震予知が現時点で主に基礎研究をやるのなら、他の研究と同じ土俵に乗って、科学研究費などの競争的な資金を使えばよい。そういう意見は当然出たと思えるが、それもうまくかわして、地震予知は事業費を確保し続けた。それは地震予知に対する国民的な悲願の強さを反映するものだろうか。それとも、予知関係者の要領よさの賜物だろうか。

もっとも、東海地震だけは例外で、それについては確実に予知ができるという前提で、予知から防災に至る道筋が法律でがっちり決められている。東海地震には判定の基準となる明確な前兆があるという理解なのだろうが、それ以外の地震と扱いが余りにも違いすぎるのが気になる。地球科学的に見れば、海溝3重点を取り巻く3プレートの相互作用、伊豆半島の衝突など、東海地震の背後には極めて複雑なテクトニクスがある。こんな厄介な地震を予知する実力があるのなら、他の地震だってもっと何とかできそうに思える。

そんな中で1995年に兵庫県南部地震が発生した。社会は地震の不意打ちに遭って、5,000人以上が犠牲になった。事前に予知情報は何も出なかったが、予知ができないと断っていた通りだったのだから、社会はあからさまに地震予知を非難した

かった。だが、予知に対して社会の目が冷たくなったのは明らかだった。それでも、地震予知の関係者はあくまでも賢く、看板を「予知」から「調査」や「観測研究」に替えて、莫大な予算を獲得し続けた。

2000年になると、今度は噴火予知が修羅場になった。3月末に有珠山で、更に6月末に三宅島で噴火が始まったのだ¹⁾。両方も、前兆的な地震活動が噴火と強い相関をもつことが経験的に知られていたもので、それを主な拠り所にして、噴火への警戒が事前に社会に呼びかけられた（表1、表2）。予知の関係者にとっては幸いなことに、予知情報が出されてから間もなく、噴火は現実のものとなった。この情報に基づいて、有珠山では周辺の住民が噴火前に避難を完了した。三宅島で起きたのは海底噴火だったので、予知情報が火山災害の防止に直接役立ったわけではない。

地震予知は、短絡的に言えば、本震が予知できるかどうかの一方勝負である。それに対して、噴火は始まった後も予知に期待される役割が大きい。とはいえ、噴火の推移や終息をどのようにして判断すべきか、一般的な方針は確立されておらず、個々の状況に応じて手探りで行うのが実情である。

噴火開始後の対処については、有珠山と三宅島の噴火で明暗が分かれた。有珠山での対処はほぼ合格点といえるだろう（表1）。水蒸気爆発の可能性を懸念しつつも、様々なデータを見据えて、噴火が終息に向かうという確信を予知関係者は次第に強め、予知と行政の緊密な連携のもとに、避難

表 2 三宅島 2000 年噴火の進行と予知・防災対応

月日	火山現象	気象庁・予知連絡会の見解	防災対応
6.26	群発地震と地殻変動開始	マグマ上昇, 噴火が切迫	島の南部で避難
6.27	近海で海底噴火	島内で噴火の可能性小	
7月初			避難の解除
7.04	山頂で微小な地震開始		
7.08	山頂で小噴火, 陥没	山頂で小噴火の継続も	
7.14	爆発, 噴煙高度 1.5 km	噴火は火口の崩落のため	
8.10	爆発, 噴煙高度 8 km	噴火は終息方向か	
8.18	爆発, 噴煙高度 15 km	強い爆発で噴石	住民の間で自主避難
	山麓まで噴石が飛ぶ	爆発と崩落の関係不明	⋮
8.24		危険な爆発が続く可能性	
8.29	爆発, 噴煙高度 8 km		
	山麓まで低温火砕流		
8.31		噴火で不慮の災害の可能性	
9.1-3			全島避難の勧告と実施
8月末	山頂から大量の火山ガス		
10.6		有毒な火山ガスの放出	

の解除が段階的に進められた。

ところが、三宅島の噴火については、火山現象が複雑な展開を見せ、予知が混迷した(表 2)。山腹にマグマが移動して海底噴火を起こした後に、山頂噴火が開始してカルデラが形成され、強い爆発が何度か繰り返された。噴火活動がようやく治まってからも、多量の火山ガスが火口から長期間放出され続けた。この火山では、過去数百年間にわたって、主に山腹で割れ目噴火が起きていた。過去の割れ目噴火は時に山頂噴火を伴ったが、いずれの場合も爆発性はそれほど強くなかった。カルデラの形成に至っては、実に 2,500 年ぶりの出来事だった。これらの現象の意味を即座に理解し、その展開を事前に予測することは、現在の火山学の能力を超えていた。強い爆発が発生した時に噴火予知の関係者ができたぎりぎりの対処は、現象の展開を予測するのが難しいので、不慮の火山災害に注意せよ、と社会に呼びかけることだった。それを受けて、全島民の避難を行政が決断した。

このふたつの噴火を通して、社会は噴火予知の実力と限界を具体的な形で認識した。予知の問題点も色々と露呈したが、これらの噴火に対して予知関係者が取った行動に、社会は概して好意的な

理解と反応を示した。予知の不完全さを非難する声よりも、力不足でも難関に立ち向かおうとする意欲を激励する声の方が大きかった。噴火予知の律儀さが、社会からそれなりに評価されたと考えてよいだろう。

兵庫県南部地震の発生は、地震予知にとって衝撃的な出来事だったはずである。これを契機に、第 7 次地震予知計画は実施途中で見直された。また、地震予知計画とは別枠で、地震防災特別措置法が制定された。地震予知の関係者は、この出来事で何を感じ、何を学んだのだろうか。「調査」を含む形で地震予知関連の予算や機構が拡大されたことを、単純に喜んでいるのだろうか。

兵庫県南部地震、有珠山や三宅島の噴火を経験して、社会は恐らくこう思っている。噴火予知は実用段階に入っているが、地震予知は役に立つ情報を出せる段階からほど遠い、と。地震や噴火に対処する予知の能力は、地震予知も噴火予知も似通ったものであろう。だが、地震予知と噴火予知の間で、自然現象と社会をつなごうとする意欲に違いがあることを、社会は感じている。

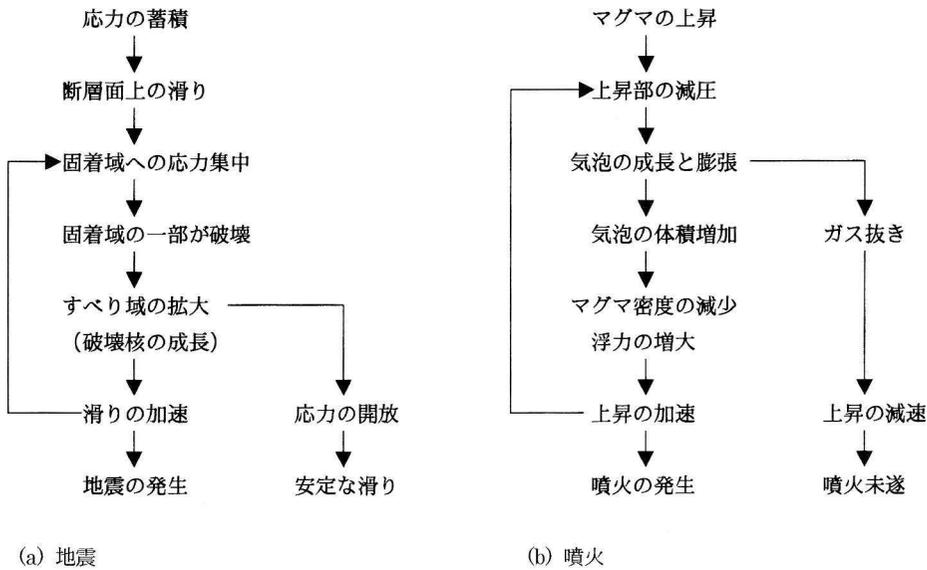


図 1 地震と噴火を導く直前の加速過程。断層運動は破壊核の成長とともに (a)、またマグマの上昇はガス成分の発泡を伴って (b)、フィードバックのループを描いて最終段階で加速される。

予知の将来に望むこと

地震予知も噴火予知も、現在はいわば経験や勘に頼って予知を行っており、その内容や正確さは満足できる状態からほど遠い。短期的な予知には、前兆現象を見つける方法が主に採用されるが、地震予知の場合には、その具体的な検討に入る前に地震が起きてしまうケースの方が多い。たとえ異常現象が検出できても、それを前兆と確信をもって判断して、予知情報という形で事前に社会に公表できるのは、地震でも噴火でもむしろ例外的なケースである。

一方で、高度に発達した現代社会は、地震や噴火から様々な影響を敏感に受けるので、発生が予測される時間や場所ばかりでなく、規模や性質などの詳細な情報が予知に求められる。このような社会の要請は、予知の実力との間に大きなギャップを生む。それを埋めるには、断層やマグマの状態を的確に把握し、物理法則に基づいて現象の展開を定量的に予測する方向に、予知の基本的な方法を切り替える必要がある。従来の予知が頼りに

してきた前兆現象も、地震や噴火を導く物理過程の一環として明確に位置づけないと、正確な予知をする目的には活用できない。

この方針に沿って予知の能力を抜本的に高めようとする、地震や噴火の発生について基本的な理解を増す必要が出てくる。その関係で、従来の予知計画は、関連する基礎研究を総花的に取り上げる傾向があった。だが、地震学や火山学の躍進は、計画的な事業だけで達成できるものではなく、むしろ自由な発想に基づく一般的な研究の寄与が大きい。そこで、事業費などを使って計画的に推進する研究は、予知の実用化に向けて、はっきりした具体的な目標をもつものに限る方がよいだろう。予知と密着した研究が魅力的な成果を上げれば、もっと基礎的な研究も刺激され、活性化される可能性が高い。それを意図して研究内容を絞り込む方が成果も上がり、予知の推進策としても早道なのではなかろうか。

短期的な予知に展望を開くためには、地震や噴火に至る過程、特に直前に進行する現象を把握する必要がある。地震も噴火も力学的な不安定を解消する過程で突発的に発生し、発生の直前にはそ

の過程が加速的に進行すると想定される(図1)。すなわち、断層の滑りは応力を集中させながら破壊核を成長させ、それらが相互作用しながら加速されて、最後に地震に至る。また、マグマの上昇は、減圧によるガス成分の発泡とフィードバックをかけ合って加速され、最後に噴火を導く。これらの加速過程に焦点を合わせて、それがどう進行し、どんな手段で検出されるかを解明することで、直前予知の方法が体系化されよう。

地震予知と噴火予知の間で、防災に関わる姿勢の違いが感じられることは既に述べた。噴火予知は防災との関わりに積極的なものに対して、地震予知は防災と距離をおいて、研究者が作った予知の枠組みの中にこもる傾向が強い。ところが、研究者と社会の間には、予知の内容に関する重要性の認識の違いがあることも少なくない。例えば、三宅島の噴火の際に、現象の展開を読むのが難しいという情報を予知関係者は出した。この情報は研

究者にはほとんど無意味に感じられるが、社会はそこから直面する状況の深刻さを読み取って、全島民を避難する行動に動いた。防災に目をそむけることなく、予知が社会にどう役立てるかを素朴に探ると、地震予知にも意外な貢献の道が広がるかもしれない。

理学的な研究分野の中では、地震予知や噴火予知は、社会と直接的な接点をもつことが特徴である。社会とのつながりの強さを、地震予知は主に予算獲得のし易さの点で利用してきたように見える。社会の側に多少視点を動かすと、予知に新たな展望を開く可能性もあることに注意を喚起したい。

参考文献

- 1) 井田喜明, 2003, 有珠山と三宅島の噴火, 防災情報新聞, 3月号, 2-3.

富士山に登った絶対重力計

「豚もおだてりゃ木に登る」という諺がある。豚ではないが、総重量 500 キロ、実験室仕様の超精密機器の絶対重力計 FG5^{ほこいりむすめ}だって富士山頂に登るのである。とはいえ、相手は日本最高峰である。まともな専門家ならこんなことは考えないが、FG5 も三宅島での 3 年間の連続観測などで過酷な修行を体験してきたので、あえて山頂に挑戦してみることにした。

ここで、「なぜ、富士山頂か」について説明しておきたい。まず、2000 年 12 月に富士山直下で発生した低周波地震活動がきっかけとなり、その火山活動の長期的なモニタリングの必要性が痛感されたことが挙げられる。また、1880 年のメンデンホール・田中館愛橋の振り子による測定以来 123 年ぶりとなる絶対測定を行うという、科学史（！？）的な意味づけもあった。

このような意義を踏まえ、2003 年 8 月末に地震研 3 名、気象研 2 名の合同チームで、ブルドーザーによって山頂まで機材を運び上げた。機器梱包に入念な防振対策を施した上でのことである。設置後、息を殺して見守った最初の 1 ショットが成功したときには、思わずへたりこんでしまった。運送及び高山特有の諸問題の洗

い出しと対応に費やした数か月が脳裏をよぎったからである。たとえば、地上気圧の 2/3 という低圧環境では、人間が高山病にかかるのと同様に、パソコンやレーザーも変調をきたす。特にノート型のハードディスクでは障害が現れやすいので、これを 15,000 フィートまで動作保証のある外国メーカーのものに交換した。また、気圧減少によって、レーザーの出力が数十%低下する（チューブの内・外の気圧差で弾性変形するため?）。これには、光電素子を鋭敏なものに交換することで対応した。かくて、総データ数 4959、標準偏差 14.2 マイクロガルの好成績で、山頂三角点の重力値 978865.398 ミリガルが得られたのである。

今回の絶対測定は、火山活動やフィリピン海プレートの子テクニクスを考える上で重大な意味をもち、その価値は時間とともに増していくことは想像に難くない。最後に、このプロジェクトに多大なご支援を惜しまれなかった気象庁東京管区気象台、富士山測候所の職員の方々への全面的なバックアップに改めて謝意を表したい。

(大久保修平)



ブルドーザーによる機材輸送。山頂までブル道が延々と続く。5 合目付近。



富士山頂測候所に設置した FG5 重力計（左手）と測候所職員。

断層運動

地震の震源では何が起きているのか？地震の際に得られる各地の地震動記録や、震源地付近の土地変形の様子、および理論的考察などを総合することにより、我々は地震現象の本質について『地震とは、地下の岩盤に力が加わり、それが岩石の破壊強度を上回った際に生じる破断現象である』という結論に達している。

(1) 断層運動

図1は、地震の始まりを模式的に示している。上段の直方体で表した岩盤の両端に力が加わり、この力が増していくと、やがて岩石の破壊強度を超えた時点で、下段に示すような破断が突然起き、両側の岩盤に食い違いが生じる。人間の体にたとえれば、骨折のような現象といえる。

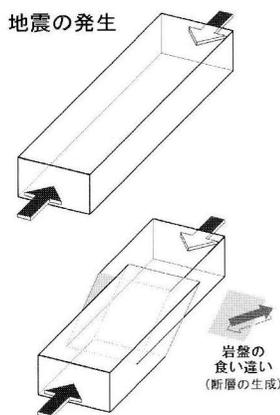


図1 地震の始まり

ひとたび地中のある1点でこのような破断が生じると、周辺の領域も最初の破壊点とほぼ同じ状況にあるため、同様の現象はドミノ倒しのように周囲へと伝播していく(図2)。この結果、ある広がりをもった岩盤の食い違い面、すなわち断層面が形成され、やがて破壊は停止する。このような一連の現象が「断層運動」である。

図2において、破壊の開始点を「震源」、その真上にあたる地表の点(×印)を「震央」と呼び、また、地下に生じた断層面は「震源域」とも呼ばれる。このように、地震を起こす源は有限の広がりを持っており、地震の位置を点で表わすことは、とくに大きな地震の場合不相当で

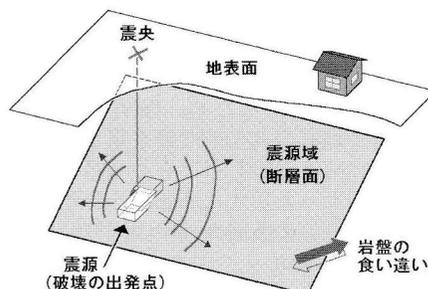


図2 地震の発生と断層面の形成

ある。地震の巨大なエネルギーは点から生まれるわけではなく、当然ある広がりをもった領域が関与している。

断層面上を破壊が伝播していく速度は秒速2.5~3 kmであることが知られている。これは時速に換算すると約10,000 km/hになる。10,000 kmというのは地球の1/4周、すなわち北極から赤道までの距離に相当するので、地中を破壊が走っていくスピードは、どんなジェット機よりも速いといえることができる。

図2に示したように、破壊を完了して出来上がった全体の断層面は、第一近似的には下敷きのように単純な平面形状をなしている。また、通常、断層面は地下部分で閉じており、地表にまでは到達しない。人間の体でたとえれば、体内の傷による内出血のような状況である。しかし、大事故の際に骨が皮膚を破る例があるように、ごくまれな浅い大地震の場合には、断層面が地表をつき破り、地面に食い違いを出現させることがある。この場合、地表に現れる断層の痕跡は、ほぼ直線状であることが観察されており、最近では、1995年兵庫県南部地震(M 7.2)の際に、淡路島西岸に沿って1.5~2 mの地表食い違いを出現させた野島断層が有名である。

(2) マグニチュードと断層面の大きさ

いったん始まった破壊がどこまで広がるかということは、破壊開始点周囲の応力蓄積状況や、地中における岩石の破壊強度の分布状態などに依存する。広い領域にわたって地震発生準備が整っている場合には断層面が大きく広がり、大地震に発展する。地震の規模を示すマグニチュード(M)はこの破壊の広がり具合に直接関係しており、M 8の地震では代表的な断層

面の長さが100~150 km, 断層の食い違い量は4~5 mとなる. M7の地震では, 断層長30~40 kmで食い違い量1.5~2 m, M6の地震では断層長10~15 kmで食い違い量40~50 cmとというのが一般的である. これを延長していくと, M2の地震は断層面の長さ100~150 m, 食い違いの量は4~5 mm程度ということになる.

図3は, マグニチュードによる地震断層面の大きさの違いを見るため, 地図上に各マグニチュードの地震の典型的な姿を重ね合わせて示している. M8の地震はひとつの県と同じくらいの広さをもった巨大な断層面を有するのに対し, M2の地震の断層面は小中学校の校庭くらいの広さしかない.

一方, 断層面上を破壊が伝播する速度は2.5

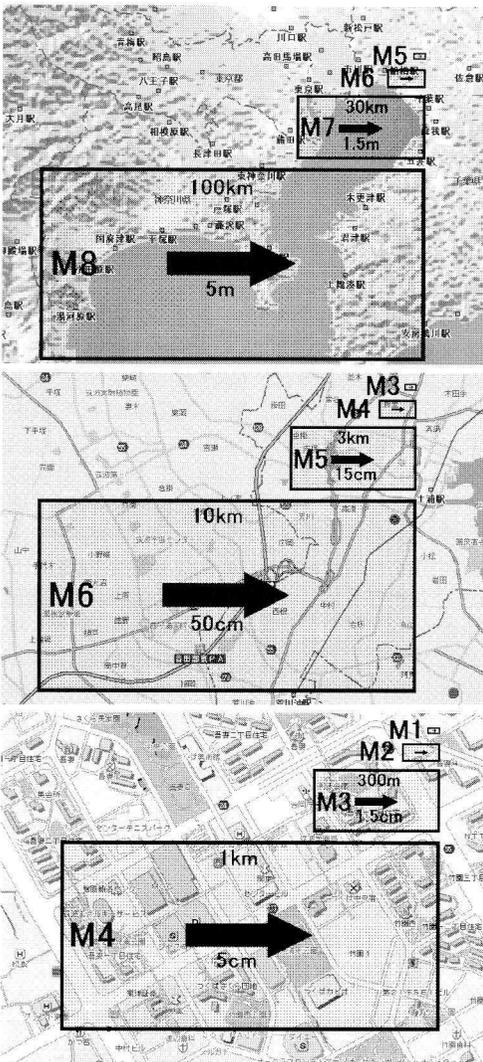


図3 Mによる地震断層面の大きさの違い

~3 km/sであるから, 地中での破壊が開始してから断層面の形成が完了するまでに要する時間は, M8の地震で30~50秒, M7の地震で10~15秒, M6の地震で3~5秒であり, M2の地震では0.03~0.05秒となる. このような固有の時間は, それぞれの震源から発せられる地震波の卓越周期(もっとも優勢な揺れの振動周期)を決めている.

(3) マグニチュードと地震のエネルギー

以上に見たように, 地震のマグニチュードが1つ変わると, 断層運動を表わす各種の量はほぼ3倍ずつ変化する. 一方, 地震のエネルギーというのは断層運動の強さ(地震モーメント)で表現することができ, これは, 岩盤の剛性率に断層面の面積と食い違い量を掛け合わせたものに等しい. したがって, マグニチュードが1だけ大きくなると, 断層面の長さ, 幅, 食い違い量がいずれも3倍に大きくなることから, エネルギーとしては $3 \times 3 \times 3 = 27$, すなわち約30倍の大きさになるということがわかる.

図4では, この地震のエネルギーの違いを立方体の体積で表現している. 一方, 統計的にみれば, Mが1だけ小さくなると地震の発生数は8~10倍に増えることが知られているため, 地震数が8倍, 64倍と増えた場合の総エネルギーも図4に示されている. この図からわかる通り, 小さな地震がたくさん集まっても, 大きな地震ひとつのエネルギーには及ばないことがわかる.

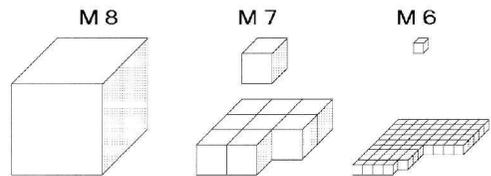


図4 Mによるエネルギーの違いと発生個数

以上に述べた相似則によれば, Mが1だけ大きい地震は断層の長さが3倍で発生頻度は約1/10, またMが2大きい地震は断層の長さが10倍で発生頻度は約1/100となる. このように, 小さい地震は数限りなく発生し, 大地震はめったに起こらないという事実を地下の状況として把えてみると, 地震の“種子”は常に発生しており, 通常は少しだけ破壊が伝播してすぐに止まってしまうものが, 100回に1回は10倍くらいの距離を伝播し, また10,000回に1回は100倍くらいの距離を伝播するといった出来事が起こっているものと想像される.

(岡田義光)

地震波の放射と静的変形

地震が発生すると、周辺の地点では図1のイメージに示すような変形（変位，歪，傾斜）の時間変化が生じる。

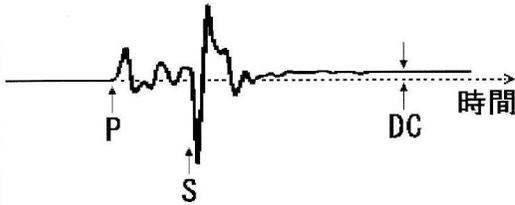


図1 地震に伴う変形の時間変化

ここで、P、Sは地下で生じた断層運動の衝撃が地震波（P波、S波）として伝わってきたものであり、DCは震動がおさまった後に残る永久的な変形を示している。

弾性体力学の理論によれば、P、Sの振幅は震源距離に反比例し、DC成分の大きさは距離の2乗（変位の場合）または3乗（歪、傾斜の場合）に反比例する。すなわち、震源からの距離が2倍、3倍になると、P、Sの振幅は1/2、1/3になり、変位のDC成分は1/4、1/9に、また歪、傾斜のDC成分は1/8、1/27になる。震源から離れると、DC成分は急速に小さくなってしまふことがわかる。

(1) 地震波の放射パターン

地震現象の本質は、地下における断層運動の発生である。岩盤が急激に食い違いを起こすと、その動きは振動（地震波）となって周囲の媒質

に伝わっていく。地中を伝わる弾性波には、媒質の振動方向と波の伝播方向が同一なP波と、両者が垂直なS波とがあって、震源で生じた衝撃はこの2種類の地震波として伝播する。

図2のように、震源で生じた断層運動の面をx-z面とし、断層面を境とする岩盤の食い違いは、y軸の正側がx軸の正方向に、y軸の負側がx軸の負方向に動くものとする。この時、x-y面内では、断層周辺において図3(a)に示すような媒質の動きが生じる。

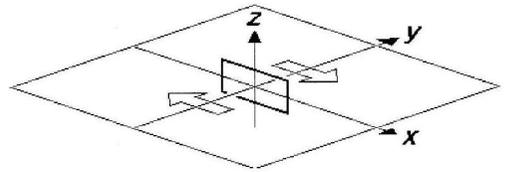


図2 断層運動

図3(a)の α で示された方向では、外向きの動きと反時計まわりの動きが同時に存在し、この各々がP波、S波として α 方向に伝わっていく。図3(b)(c)は、このP波、S波の大きさを α 方向への半径の長さとして示したダイアグラムであり、地震波の放射パターンと呼ばれる。P波の振幅はx軸と45度をなす方向で最も大きく、S波の振幅はx軸およびy軸方向で最も大きい。なお、鉛直面内での地震波放射パターンは、同図(b)のとおりx-y面内で最大、z軸方向では振幅ゼロとなる。

以上では、断層の食い違いが一瞬に生じるも

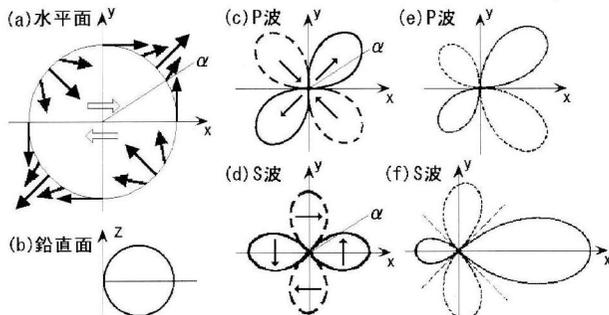


図3 断層運動による周辺の動き(a)と、地震波放射パターン。(c)(d)は静止震源、(e)(f)は移動震源の場合を示す。

のとしていたが、現実の破壊は2.5~3 km/sの速度で断層面上を伝播する。この時、地震波も場所を移動しながら連続的に放出され、この状況は救急車がサイレンを鳴らしながら走る様子に似ている。x軸方向に破壊が伝播すると、ドップラー効果によって地震波の放射パターンは図3(e)(f)のように変形することが知られている。

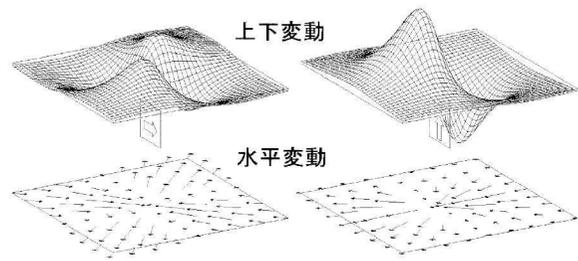


図5 鉛直横ずれ・縦ずれ断層による地表変形

(2) 断層運動による地表変形

断層運動により震源域では激しい揺れを生じるが、その揺れがおさまったのちも、地表には永久的な変形が残る。これは断層の生成される前と後とでつり合いの状態が変化するためである。断層面が地表に現れた場合は食い違いそのものが地表で観察されるが、そうでなくとも、地下の浅いところで断層運動があると、地表面は水平および上下方向に大きく変形する。



図4 断層の食い違い

このような変形の様子は「断層の食い違い理論」によって計算することができるが、同理論は、食い違いが断層面に平行に起こる場合だけではなく、食い違いが断層面に垂直に起こる場合（開口断層）にも適用できる（図4）。地震はある面を境とした「ずり現象」なので前者のモデルが用いられるが、火山における割れ目噴火や水盤の膨張などには後者が応用できる。

図5は、鉛直な断層面上で横ずれまたは縦ずれの断層運動が生じた際の地表変形の様子を示している。横ずれ断層の場合は、断層面上のずれに平行な向きの水平変動が卓越し、上下変動は隆起と沈降とが4象限型の分布を見せる。一方、縦ずれ断層の場合は、断層面上のずれに引きずられる方向の上下変動が卓越し、水平変動は断層面に向かう向きの2象限型の動きとなる。

また図6は、ゆるく傾く面上で逆断層運動を生じた場合（低角逆断層）の地表上下変動を表わしている。このような断

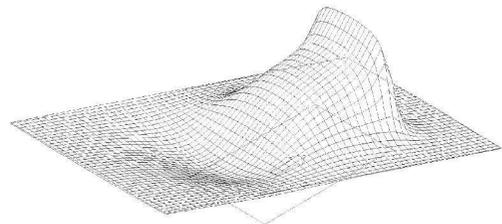


図6 低角逆断層による地表の上下変動

層運動は海溝近くの巨大地震に伴って発生し、海底面が図6のように急激な変形を行うと海水面も同じ形に変形し、それが津波となって周囲に伝播していくことになる。

次に、火山現象のモデル化では、山頂噴火について球状のマグマ溜りを模した膨張源がよく使用されるのに対し、岩脈状のマグマが貫入する山腹噴火などについては開口断層モデルが使用され、それぞれによる地表変形の様子は図7のようになる。

膨張源では1こぶ状の単純な隆起と点対称的な水平変動のパターンとなるのに対し、開口断層では断層面に直交する方向に大きな伸びが現われ、断層面直上の沈降と両側における2こぶ状の隆起が大きな特徴である。（岡田義光）

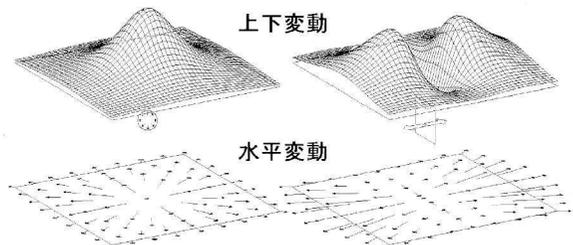


図7 膨張源及び鉛直開口断層による地表変形

工学から見た地震の予知・予測

伯野元彦

1. はじめに

1995年の阪神・淡路大震災以来、地震予知を見る世間の目も変わり、政府の対応も変わってきた。このようなときに、我々工学から見た地震予知および地震予測を述べてみることも必要であろう。ここに地震予知と地震予測という文言を使ったのであるが、この両者の違いを示しておかなければならない。私は、地震予知は、従来用いられてきた、地震の規模、場所、と数日前の発震時刻に関する予知を含めたものを地震予知と認識しており、地震予測は地震予知から数日前の発震時刻に関する予知を除いたものと解釈している。

2. 理学と工学の違い

表題のように、物事を工学の立場から見るとそれなりの見方があるので、まずそのことを説明しておきたい。地震関係で言えば、理学と工学が関わっている。理学は申し上げるまでもなく、真理の探究である。地震関係の理学としては、地震学、地震の起こる原因の究明などがそれである。地下で起こる現象であるから、見えないし、触ることも出来ず、その解明は非常に難しい。際限なく続く学問と言ってもよいかもしれない。

一方、工学と言えば人々の生活に役立つ学問と言えばよいのだろうか。自動車とか携帯電話など快適な生活を送るための道具を作ったり、高層ビルなどの入れ物を建てたりする。地震関係の工学としては、地震防災、地震工学、耐震工学など地震の災害をなるべく少なくするような学問を言う。工学はその時点で人々の生活を快適にしなければならない。遠い将来では駄目なのである。何

故なら、すぐ超高層なら超高層を建てなければならぬからである。つまり実学である。快適とか安全とか人々に利益を与える。そのことが、行き過ぎると利益追求の学問とみなされる時もある。工学の教員の業績には、研究論文以外に特許の獲得件数も重要なものとなりつつある。一口に科学技術というが、科学は理学を技術は工学を指している。理学は学問であるが、工学は学問ではなく技術であるとも言える。

一方、理学は理想を追い求める学問である。なかなか妥協はしない。欧米では、昔は大学には学問を修める場所という考えがあって、学問の理学部はあったが、技術の工学部はなかった。工学はせいぜい専門学校か高等工業学校にあるだけであった。例えば、名門カールスルーエ工科大学は、テヒニッシェ・ホッホシュレ(高等工業)である。その工学部の教授には理学部の出身者しか入れなかったと聞いたことがある。アメリカでもその傾向はあって、専門学校にのし上がったのが、MITでありCITである。Universityではない。昔、東京工業大学で教員をしていたことがあるが、着任した最初に、本校の前身は職工学校であって、高尚な役立たずの学問を教える所ではないと心得を叩き込まれた。このように工学関係には、理学は役立たずの学問という考え方がある。一時大学紛争の最中には教育改革との関連で、ただ技術を教えるだけなら自動車教習所とはどう違うのかと真剣に議論した。アメリカでも、Doctor of Engineeringという学位はあるが誰もとろうとしない。Ph. D. (哲学博士)を希望する。欧州では、神学、哲学が大学の基本学部だった伝統の名残であろう。ノーベル賞も工学を中心としたものはない。ただ工学にはそのように低く見られながらも、その時点でベストのものを作らなければならないと

いう使命感のようなものがある。

一方、理学はそのように真理の探求であるから、年月が経つと進歩して、説そのものが変わって行く。工学は理学のその時点での最新と思われる知識を利用させてもらって、構造物を作るのだが、将来、その理学の知見が変わるかもしれないので、そのことも考えて安全余裕を持って構造物を建設する。

例えば、高層ビルを作る場合、その時点の地震学での最高の知見に基づいて、地震に安全なものを作るとしよう。ところが地震学は進歩する。時間が経過すると、ある時点で安全だったものが、安全でなくなってしまうたりする。また、理学者は独創を尊ぶ。したがって、地震学者の説も十人十色のこともある。ある学者は、活断層が繰り返して地震を起こすとおっしゃるし、他の学者はいやいや日本ではどこで大地震が起こっても不思議はないとのたまう。

地震関係の理学的立場と工学的立場の違いは次のような例からもわかる。

例えば、理学者が地震波にはある特殊な表面波があると、新説を出したとしよう。この新しい波の存在が何らかの形で証明されればそれはそれで大変結構なことであるし、後にその説が間違っていたとしてもご本人には別に何の非難もないであろう。間違った説を出したら非難されるのでは独創的な研究など出来るものではない。

ところが工学の場合は別である。工学は人々の生活と密に結びついているので、説が間違っていると人々に損害を与えることがあるからである。今、地震に安全という新しい工法を提案したとしよう。その工法で建設した構造物が地震で壊れたとしよう。これは相当な非難を覚悟しなければなるまい。もしこのことで死者が出たりしたらそれこそ大変なことになる。こういう事態を避けるため地震工学者は、非常に慎重な物言いをするし、石橋を叩いても渡らないという面白味のない研究をすることが多い。ブレークスルー的な研究はその大部分が失敗するであろうし、その成功か失敗かは大地震が来て初めて結果がわかるわけで、その時失敗でしたでは手遅れであるから慎重の上に

も慎重にならざるを得ないのである。

ただ、理学者の場合もその新説が人々の生活と関係ないものである場合はいいが、密接な関係が生じる場合は慎重にならざるを得ない。どこそこに地震が起こる可能性がある学会内部で個人的にいくら研究を発表しても構わないし、それが当たってそこに地震が起これば大変な評価になるであろうし、地震が起これなくてもそのうち人々は忘れ去るであろう。しかし、最近のようにマスコミが学会内部の発表まで報道するようになると、一般市民と関係のない単なる研究であるといってもいられなくなる。マスコミも市民生活と関係のあるものを報道したが。地震学者の先生も単なる研究発表の積りでどこそこに地震が起こる可能性があるとおっしゃることがある。そのついでに、そのような地震が起こった場合の被害についても少しではあるが言及されることがある。地震学者の先生は地震学がご専門なので、おそらくは地震被害の現場は見ておられないのだと思う。そのような先生の地震被害の知識は、テレビとか新聞から入ったものだと思う。テレビや新聞は時間とか紙面の制約から最もひどい被害が中心となる。その先生の頭の中は地震といえばひどい被害があるのである。その先生がマスコミに少しではあっても被害について話される時は、どうしても大被害になってしまう。

「法螺吹き今村」

地震予知の先駆者、今村明恒先生ですら、大森先生との論争のためもあったのか、関東大震災前は「法螺吹き今村」の名声をほしいままにしていたそうである。勿論、大震災後は「地震博士今村」に変わったようであるが、もし、関東大震災が起こらなかったら、「法螺吹き今村」のままの生涯を終えられたかもしれない。それにしても、今村先生はたいしたものである。あの碌な観測装置もない時代にどうして予知できたのか不思議なくらいである。先生の予想された大震災の火災による死者は、10万乃至20万と書いておられたが、正にその通りなのだから。その後、多くの『法螺吹き〇〇』先生が現れたが、その後はほとんど当たったためしがない。

ピタリと当たった 69 年周期説

ただここに近代的観測などのデータに基づいてではなく、歴史的な地震被害を統計的に処理しただけで驚異的的中を見せた例がある。今から 30 年位前に河角 廣先生が唱えた、南関東の震度 5 以上の地震の 69 年周期説である。前回の震度 5 以上の被害地震は関東大地震であるから、その起こった年は 1923 年である。その 1923 年に 69 年を加えると 1992 年である。

ここで、地震被害の事典とも言える、新編 日本被害地震総覧 宇佐美 龍夫著 東京大学出版会、1996 を見てみよう。

1992 年 2 月 2 日 04 時 04 分、震央：東京湾南部、 $M=5.9$ 、 $h=92\text{km}$

という東京近辺で震度 5 を記録した地震がある。

被害は自治省消防庁によると、

東京都 負傷者 22 人

ボイラー配管の一部破損 1 件

給水タンク配管破損 1 件

神奈川県 負傷者 7 人

埼玉県 負傷者 5 人

火災 1 件(小火、川口市)

とある。

ももとの周期は、69 年 \pm 13 年という誤差を含んだものであるが、ピタリと当たってしまったのだ。

当時早朝だったし、真冬だったので相当激しく揺れたが布団から出るのは寒いし、どうしようかと思っているうちに終わってしまった記憶がある。激しい揺れの最中に、ついに 69 年周期地震が来たのかと思ったことも覚えている。ただ、この地震が起こったときは、河角先生は大分前に亡くなられ、東海地震が間もなく起こるということで、人々の記憶からも 69 年周期説は薄れてしまっていたのと、被害も非常に軽かったため、たいした問題にもならなかった。しかし、私などは歴史地震に基づいただけで、こんなによく当たるのか、ちょっと当たり過ぎではないかと思ったことである。ただ、これで東京にもあと 69 年 \pm 13 年は、被害地震は来ないだろうと、半信半疑ながら安心したことも確かである。

地震予知計画

以上述べたように、理学的発想から生まれたにしても、人々の安全な生活を守るという工学的領域に踏み込むと工学的困難さに直面することになるのである。その典型的な例が、『地震予知計画』であろう。これはもう単なる理学的研究ではなくなっている。人々の生活に密に結びついたものとなっているのである。警戒宣言を発令するまでの手順その他はきちっと決められていて、宣言後の処置も決まっており、これはもう理学の段階ではなく工学の領域である。工学の領域だとすると、経済的な事柄も考えなければならなくなる。警戒宣言が出されると、東海地方の交通、商業、銀行、工場など全ての経済活動がとまる。売上げ減などを勘定すると 1 日 7,000 億円強の損失になるという民間コンサルタントの解析結果も出された。警戒宣言を出して、1 週間たっても地震が来なかった場合、解除したとしてその間の損失額は 5 兆円、個人で何とかできる額ではとてもない。何しろ、1 億円の家を 5 万棟買えるのだから。地震が来なかったことは喜ぶべきことなのだが、警戒宣言を出す方は、そのような損害を出すかもしれないとなると相当な覚悟が要る。勿論、警戒宣言を出す責任者は、総理大臣なので空振りしたからといって学者には何の責任もないのだが、1 億円の家 1 軒も買えない身としては、自分の一言に道義的責任を感じないわけにはいかないであろう。このため、前判定部会会長は、活動を全部ストップする赤信号と青信号の中間の黄信号を設けるべきだと長年主張され、最近ようやくその意見が容れられ、判定会が招集された段階で黄信号的な対応が取られるようになった。これは前述の経済的損失をなるべく少なくするための措置である。

ただ、そのように『空振り』の経済的損失が大きくても、大多数の人々は怒らないと思う。むしろ『見逃し』の方がはるかに怒ると思う。

VAN 法

1999 年にアテネ近郊で $M 5.9$ の地震が起こり、170 人以上の死者を出した。私も調査に行き、ギリシャは有名な VAN 法の地元ではないか、予知は出来なかったのかと聞いたところ、地震の予

兆はあったものの M 6.0 以上でなければ警報は出さないということであった。だが、現地の人々は内心はかなり怒っている様で、あんなものは信用できないと吐き捨てるように言ったのが印象に残っている。

3. 死者を大幅に減らすには、耐震補強と地震予知しかない

1995 年阪神・淡路大震災の教訓によって日本では、軟弱地盤上の築後 30~40 年以上経った瓦屋根の古い木造家屋が倒壊し、その下敷きとなって多くの死者が出るということがわかった。そしてそれらの死者は遺体検案によって、地震後 10 分とか 20 分の短時間に亡くなっていることが明らかとなった。また地震後火災も、家屋の倒壊が多いときは、下敷きになった人の救出が先で、消火は後回しとなり、大火になりやすいこともわかっている。

情報だけでは死者を大幅に減らすことはできない

阪神・淡路大震災の後では、総理への情報伝達が遅れたり、自衛隊への出動要請が遅れたりしたので、それが初動態勢の遅れを招き被害を大きくしたとの認識が一般で、震災後の対応の迅速化が図られ、その点はかなりの改善を見たと思われる。そしてこれで将来の地震被害はかなり減少すると市民は思っている。この被害の中には死者も含まれ、死者もかなり減ると思われているのではなかろうか。これは誤解である。先述したように、死者の大部分は地震後 10 分とかの短時間のうちに死亡する。政府がどんなに速く対応したとしても、家屋の下敷きになった人を 10 分とか 20 分のうちに救出することはなかなか難しい。現に阪神の地震では、地震によって倒壊した家屋の中から救出された人の 8 割以上は家族か近所の人に救い出されている。すぐ傍にいる人しか救出できないのである。ということは情報関係がいくら整備されても、死者の大部分は救えないということである。ではどうすれば救えるのであろうか。それは、家を倒れないように地震に対して強くするか、地震予知しかないと思われるのである。このことは海

外の地震で顕著に表れる。日本は国際救助隊を創設し、海外で大地震が起こると直ちに派遣し、救助犬、センサーを備えた先端機器を使って、瓦礫に埋まっている人々を助け出そうとした。しかし、現在までのところ、10 回以上派遣して生存者を救出できたのは僅かに 1 回のみである。それは先ほど述べたように死者のほとんどが 10 分とかの短時間に亡くなるのに、救助隊が到着できるのは 2 日も 3 日もたってからだからである。勿論、近隣の国からはもっと短時間に現地に到着できる救助隊もあるが、それとても、たまに生存者が救助されると大々的に報道される、ということは滅多に救出されないということである。外国の救助隊によって 1 日に 10 人も救出されるということは、地震の翌日でも余りないほどである。全体で 1 万人も亡くなっているのもである。

このように、地震直後に大部分は亡くなってしまいうので、地震後の対策で多くの人命を救うことは出来ない。そうすると地震前の対策ということになるのだが、これには次のようなものが考えられる。

- 1) 新築の建物を建てる場合に、地震で壊れないものを建てる。……建築基準法
- 2) 特に木造などは古くなると腐食などで弱くなるため、そのような既存不適格構造物について耐震補強をする。
- 3) 数日前に警報を出す地震予知。
- 4) ユレダス、ナウキャストなどに代表される、電気と地震波の伝わる速度の差を利用した直前警報システム。
- 5) 地震の発生時刻については、数 10 年以内とか数 100 年以内とか、とした、地震の発生場所、規模に重点を置いた地震予測。

これらのうち、1) の新築の場合、日本では余り壊れないから結構なのだが、日本全国の老朽建物を建て替えるなど出来るわけが無い。4) の早期検知はそれなりの自動化システムが必要であるし、一般向けではない。

結局、一般向けで非常に効果があるのは、2)の耐震補強と3)の地震予知であろう。2)の耐震補強は、来るべき大地震において、多くの死者を出さないために残された有効な方法である。

すべての原因は老朽木造家屋にある

日本で多くの死者を出すのは、老朽木造家屋の下敷きになるか、津波によるか、地震後火災によるかである。ただ、これら何れもが老朽木造家屋が原因となっているのである。

木は水に浮くため、木造家屋は津波に弱い。軒先くらいまで津波の水位がくれば、木造家屋は浮いてひっくり返り、バラバラの木片となり第2波以降の津波の先頭となり凶器となって他を壊す。同じ場所にあっても鉄筋コンクリート造ならば津波では壊れない。

地震後火災も家が潰れなければ、たとえ出火しても早めに消火して大火にはならなくて済む。家が潰れると下敷きになった家族を救出しなければならず消火どころではない。

木造家屋の地震に対する弱さの原因は、木が腐食するということである。築後40年でもう老朽家屋である。日本全国で毎年築後40年以上経つ家は増えつづけるから、今後とも木造家屋が大勢を占めている限り地震の被害はなくなりはないであろう。しかし、老朽木造住宅といっても外国の日干しレンガ住宅とは、比べられないほど耐震性が高いので、強い地震でほとんどが壊れるわけではない。どこでも老朽木造住宅は壊れるわけではなくて、大体は沖積層のような柔らかい地盤上である。沖積地盤上の瓦屋根老朽木造住宅を、補強しておけば、将来の地震死者ははかなり減るものと思われる。ただこの耐震補強の対象となる家屋はほとんどが個人住宅なのでその費用は個人負担となってしまう。しかも家屋が老朽化している場合、所有者も老人が多く年金生活者が多いためなかなか補強が進まないのが現実である。

もともと政府としては、うまくいけば地震予知を主として耐震補強は従として考えていた節もある。それは経費がかなり違うからである。しかし現実には当面耐震補強しか方法はなくなったので宣伝に力を入れているようである。

4. 地震予知だけが頼りの国もある

死亡率 36%

昨年2003年12月26日M_w6.5のバム地震があり、近郊も含めて約12万人のバム市で4万3千人もの死者が出たイラン国を考えてみよう。この国は歴史的に見ても数万人規模の死者を出した地震が数多い。地震死者の多い原因は、一言で言えば建物が弱すぎるからである。勿論、比較的最近建てられた鉄筋コンクリートや鉄骨のビルも多い。しかし古い建物はほとんどがレンガ造である。このレンガ造にも焼きレンガを鉄筋コンクリートフレームで補強したもの、鉄骨で補強したもの、無補強だが目地がモルタルなど強いもの、貧配合の漆喰目地、そして日干しレンガ(アドベ)などとなっている。そしてこの順序で耐震性が低くなっていく。特にバム地震では、日干しレンガ(アドベ)造は、ほぼ100%崩壊しており、無補強の目地の弱い焼きレンガ造は80~90%崩壊という状況であった。また上下動が1,000ガルと水平動の790ガルより大きかったためか、壁は何とか立っていても、天井がどさっと落ちているものが多く、これが死者を増やしたのではないかと思われる。また生活様式の違いからテーブルの無い家が多く、日本のようにテーブルの下にもぐることも出来なかったのではなからうか。このように無補強のレンガ造、特に日干しレンガ(アドベ)造が死者の原因のかなりを占めていると思われる。そしてこのようなことが町の人口の36%もの死者を出した原因なのである。この死亡率は大変な高さであって、日本の阪神・淡路大震災の死亡率0.5%と比べてみるとよくわかる。この日干しレンガ造はこのバムの町特有のものではなく、イラン国中、特に地方に行けばほとんどこの種のものであり、首都のテヘランですら新市街は別として、古い町並みには多い。そのため、テヘランに、近い将来活断層からの大地震が予想されているが、その時の死者の予想は人口120万人中何と約40万人である。それと比べると、日本の南関東の直下地震による予想死者は、人口約1,500万人中7,000

人強、東海、東南海、南海3地震が同時に起こったとして、人口3,500万人中28,000人、日本のほうがはるかに少ない。そして日本の場合、倒壊が予想される古い木造家屋を耐震補強すれば死者の数はもっと減少させることが出来る。

アドベには適当な耐震補強方法が見当たらない

ところがイランにおいて死者を大量生産する日干しレンガ(アドベ)造を、耐震補強する安い有効な手段が現在のところ見当たらないのである。

本来、この日干しレンガ(アドベ)は、専門家の手をわずらわせなくても、素人が自分で作ることが出来るので非常に安いのである。まず材料は家の庭の少し粘土分の多い土である。それに補強材として草木の繊維分を混ぜて水分を加えて練り、型枠で成型し、地面に並べて天日に2週間ほど干せば固くなり出来上がる。日本のように湿度の高いところでは、たとえ2週間雨が降らなくてもなかなかレンガ内部までは固くならない。そしてそのアドベを積み上げて家を作るのだが、これも近所の助けを借りながら素人が作り上げるようである。それだけに非常に単純な箱を連結したような家が多い。そんなに簡単な構造なのに何故地震でつぶれて助からないのか。それは内陸の乾燥地なので寒暑の温度差が大変大きく、冬は零下20℃、夏は45℃のように壁とか天井の厚さを50cmから1mと厚くしなければならぬため、天井の1mの厚さのアドベの塊がどさっと落ちてきて、その下敷きになったとすると、重さからいって乗用車の下敷きになったみたいなのであるからなかなか助からないのである。また土の塊が崩壊するのであるから、土埃も凄いものらしい。イランではないが、南米の遺体検案の例では土埃による窒息死も多いようである。このアドベの耐震補強については、見るに見かねた日本の研究者によって手段が模索されてはいるがまだ実用段階にまでは至っていない。

となると、残された手段は地震予知である。時刻まで含めた地震予知が成功すればこの膨大な死者を大幅に減少させることが出来る。地震予知は、日本に対してよりはるかにイランに対して効果を発揮するのである。

そしてこの状況は、イラン一国に特有のものではない。というのは、日干しレンガは多くの国々で用いられており、その名は『アドベ』という国際語で通用するのである。この日干しレンガ(アドベ)が多用されている国は、先ほど述べたように、ほとんど雨の降らない、貧しい地域のある国である。地震頻発地域では、中近東、インド、中国、中南米の一部地域である。同じ国でも一部地域に限られていることが多い。例えば、チリは南北に長い国で、北部は砂漠もあって、アドベが多用されているが、南部は雨量も森林も多く、木造住宅が多い。

このように、地震予知だけが頼りなのだが、今回のバムの地震に関して、前震があったのではないかという耳寄りな話もある。本震は12月26日午前5時26分なのだが、その1時間ほど前の4時半頃、家が壊れるまでのことはなかったがやや強い地震があって、ほとんどの人は家の外へ飛び出した。ただ、外は零下で寒かったので老人と子供は家に帰した。そこに本震がやってきたため、老人と子供に犠牲者が集中した。これはイランの建築研究所の研究者から聞いた話である。

5. 地震予知よ、頑張れ

以上に述べたように、地震予知は、それが成功すれば、多数の人命を救うことが出来、しかもそれが唯一の地震から助かる方法という国々も多い。そのように貴重な手段である地震予知が日本で始められる時、工学側では、そんなことが出来るのかという疑問を抱きながらも、地震が発生した時の対応措置によって、種々の産業の機能が停止し、人々が避難し人命が救われるという、工学の一つの重要な目的である安全な社会が実現されるならば、こんな良いことはないという認識だったと思う。非常に大きな期待をもって。そこには、工学特有のお金の効率という動機もあったように思う。つまり、同じ人命を救うにしても、地震予知ならば数千億円の投資で済む。もし、地震予知でなく、建物、構造物の耐震強化で行くとすれば、充分その10倍の費用は掛かるであろう

からである。よく考えてみると、2~3日前に大地震の発生時間が大体わかるようになれば、大変な数の地震による死者を減らすことが出来る。その中でも地震の発生時間が重要である。地震規模とか場所などは多少違っていてもよい。地震予知が成功しても、地震は来るのだから、構造物は壊れ、経済的損失は生じる。ただ人命だけは助かる。地震の起こりそうな時間に安全な場所に避難して置けばよいのだから。ところが、しばらく前から予知の雲行きが怪しくなってきた。時間予知はそう簡単ではないというのだ。我々は専門外なのでよくはわからないのだが、この辺の経緯も我々外部のものにとってはよくわからない点がある。今までの予知連がなくなったという話も聞かないし、一方、地震調査研究推進本部という新しい組織が出来て活動しているし、どうなっているのだろうかというのが正直なところである。我々地震のすぐ傍に居る者ですらこの程度の知識であるから、一般市民はもっと知らないのではないかと思われる。何しろ以前から、市民の皆さんからは被害地震が起こるたびに、地震予知は何故出来なかったのかとお叱りを受け、地震予知が出来るとしても観測態勢の整っている東海地震だけですとお詫びしていた位だからである。もっと市民向けにどうということなら出来ると情報を流していかなければと思う。それだけ、期待が大きき、また、『空振り』はあっても『見逃し』は無いと、散々聞かされてきた一般市民としては、そう一朝一夕に頭を切り替えることも難しいであろうから、もっと啓蒙活動が必要なのではないかと思われる。

6. 地震予測について

時刻の予知が一朝一夕には困難ということから、最近では地震の発生地点、規模に重点を置いた地震予測が行われるようになってきた。そのため活断層の精密な調査が行われ、「A活断層は今日も含めた今後300年間に30%の確率でM7.5の地震を起こす可能性がある。そのとき地表断層の上下ずれ変位は10mに達するかもしれない。」というような発表がなされることがある。この場合

工学サイドを悩ます問題が二つある。一つは確率の問題である。私は確率はズブの素人である。であるからこの問題についてとやかく言うのはおかしいとは自分でも思う。しかしながら、この確率に基づいて仕事をしていくのは、確率に素人の工学者や技術者である。であるから、素人の我々にもこの確率の意味がわからなくてはそれを有効に利用することが出来ないのではなからうか。

疑問の一つは100年に1回とか1,000年に1回とか滅多に起こらないことを、確率評価することへの疑問である。

毎年、1月の中旬には年賀状のお年玉の番号の発表がある。これが我が家の楽しみの一つであるが、この当たり番号は、最下等のもので、下2桁が3本あるのが普通である。したがって、年賀はがき100枚で当たりは3枚、確率3%であろう。これを調べていくと非常に面白い。最初の100枚を開けて3枚当たっていることはこの数10年記憶では一度も無い。最初の100枚は非常にばらつくのである。0枚ということもあるし、ついでいる年は10枚近いということもある。余り当たらないので腹が立ったせいでよく覚えているのか、0枚というのが何回もあった。ところが、我が家に来る年賀はがき総数約1,000枚を調べ終わる頃になると、結局当たりは30枚前後になっているのである。今まで20枚ということも40枚ということも無かった。それどころか、28枚~42枚の範囲を外れたことも私の記憶ではなかったような気がする。全く不思議なくらいである。高校の確率の時間に習った『大数の法則』の威力に感心した次第である。

さて、ここで活断層の問題を考えてみよう。

A活断層で地震が起こるといっているのは活断層が力に耐えきれずにすべる確率と言い換えてもよいだろう。A活断層は300年間に30%のすべる確率であるから、平均的なすべる年数は、1,000年単位の長いものであろう。今簡単のため、A活断層の平均のすべる周期を1,000年とすると、先ほど述べた年賀はがきの例からもわかるように、1,000回すべって、すなわち、100万年間位のA活断層の動きを調べれば、初めて30%なら

30%という確率に収束するわけであって、たった1回ではどういうものでもないであろう。

この事に関していい例がある。

1989年のサンフランシスコ・ロマプリエタ地震において、この活断層がいくつかの要素に分けられ、それぞれの要素について今後30年以内に起こる確率は、30%とかのように確率が計算されていた。ところで地震を起こした活断層要素は確率30%とされていた。一方隣の要素は80%と予想されていた。私は専門家に何故30%という確率の低いほうの活断層がすべて、隣の80%の確率の高いほうがすべらなかったのかと質問した。その答えは、確率とはそういうもので、何百回、何千回と滑ったものを平均すると30%とか80%の確率となるもので、たまたま1回だけすべったものを比較しても無意味であるとのことだった。確かにその通りなのだが、それなら何故そのように無意味な数値を発表するのがわからない。我々の寿命はせいぜい100年であって同じ断層が千回もすべるのを経験することは出来ない。したがって、我々としてはその僅か1回の確率をどうこう言っても仕方ないことなのである。我々の短い人生の間にせいぜい1回しか経験できない地震の発生確率を30%とか80%とか言うことが無意味ではなからうか。

次は以下のような確率についての考え方が許されるのであろうか、許されれば工学的には非常に気分が楽になる。すなわち、300年間に30%の確率ということは、その期間に一樣に地震が起こると仮定すれば、30年間には3%、10年間には1%となる。1%起こる確率があるということは99%の確率で、起こらないということである。普通、99%起こらないといえは、ほぼ起こらないということである。したがって、今後10年間はほぼ地震が起こらないと解釈してよいのだろうか。こういう解釈が出来れば気分は非常に楽になる。最初の10年はそういうことでほとんど地震が起こらないという気持ちで過ごし、それが過ぎたら、次の10年もほとんど地震が起こらないという気持ちで過ごし、と繰り返していけばよいからである。

以上述べてきたのは、地震の発生確率の問題で

ある。主として理学的見地からのものである。これを社会の安全ということに役立てていくためには工学的見方も必要である。その辺が理学の先生方には少し欠けている点ではないかと思う。例えば、地震の発生確率を交通事故死の発生確率と比べて、地震の発生確率は小さくないといわれる場合がある。これは地震が発生したら必ず死ぬということを前提しておられるのである。理学の先生方は、地震が発生するまでが重要である。発生してしまった後は、余り関心がないと言っているかもしれないが、その傾向はある。したがって、地震被害の現場をご覧になった先生はあまり居られないのではないかとと思われる。おそらくはテレビなどを通じて被害を見ておられるのだと思う。テレビなどメディアは、時間とか紙面の制約のために、どうしてもひどい被害が中心になってしまう。だから、〇〇地震というと理学の先生はひどい被害の情景が思い浮かぶのではないかと思う。工学関係は社会の安全、地震死者の減少を主な目的とするから、被害、死亡原因などを中心に見ていく。ここが理学の先生方と工学関係者の見方の違いになるのではないかと思う。理学の先生方は、〇〇という強い地震が起こると、もう大被害という感じである。ところが実際の被害はそうではない。例えば、1995年の兵庫県南部地震にしても、非常に被害のひどかったのは、六甲山麓の『震災の帯』と呼ばれる狭い堆積地盤の上で、この地域で死者6,000人以上のほとんどが発生している。この地域から六甲山のほうへ数百mも坂を上れば、死者はおろか地震に弱いブロック塀ですら、亀裂一つ入っていなかった。当時この地域の全人口は約120万人であるから、死亡率は僅かに0.5%である。地震による死者発生確率は、地震の発生確率にこの死亡率を掛けなければならない。交通事故死者発生確率よりは、かなり小さな値となってしまう。

この値は、国によって随分異なるものであって、既に話題とした、イランの首都テヘランでは、予想される大地震が起こった場合、人口の約1/3、40万人の死者が予想されているので、相当大きな値となる。

次の問題は、地震に伴って発生する地表変位その他に関する被害である。これは断層の食い違いの予想される場所には、極力構造物を建設しないということで対処するしかないが、道路や鉄道などどうしてもそこを避けて通れないものもある。このような対策の立てようが無い場合には、先ほど述べたような99%地震が起こらないという期間に賭けて、耐震対策は諦め、むしろ、地表断層が生じて構造物が破壊した後、復旧が早急に行えるよう、復旧資材などを予想される地点の周辺に集積するという事後対策を取るしか方法は無い。

7. 工学側からの地震予知への期待

物事の本質を知らない工学側からの無責任な期待かもしれないが、色々な困難はあることはわかっても、地震予知の成功した暁にもたらされるあまりの地震死者の減少の多さに、外野席から諦めきれないものがある。かつて寺田寅彦が言ったとか聞いている、「地震は岩の破壊によって起こる。破壊現象は確率的なものだから、時間予知は不可能である。」それはそうかもしれない。しかし、現在の科学技術の進歩はすさまじいものがあ

る。それらの成果を取り入れれば、現在、この断層のすべる確率は、今後30年間で30%ということしかわからなくても将来は今後1年以内に起こる確率は90%という風に精度が上がっていくかもしれない。そうすれば、この結果はかなり有効に利用できる可能性は出て来るのである。一つは、現在は30年間に30%の確率ならば、まあすぐには地震は来ないから大丈夫であろうと、耐震補強をためらっている人も、1年以内に90%となれば、無理をしてでも耐震補強をするであろうからである。これでも大変な効果がある。2、3日前に警報が出せなくても、2年以内、1年以内、と期間が短くなれば、確率でも十分効果があるのである。このように、現在行われている地震予測でも精度を上げて行くことによって、時間予知に迫るような効果をあげられるかもしれないのである。以上は単なる思い付きであるが、地震予知を目指して恐らくは何らかの方法が残されているに違いない。従来の地震予知の方向の基礎研究(理学的研究)を決して諦めずにシコシコと進めて行ってもらいたいものである。研究しなければ、成果も得られないのであるから。

日干しレンガはキラー・レンガ



日干しレンガ造住居の崩壊、やしの木、電柱は無被害、イラン・バム地震 2003

死者数はどうしてこんなに多いのか？

2003年12月26日午前5時26分(現地時間) M_w 6.5の直下地震がイラン南部の観光都市バムを襲い、近郊を含めた人口約12万のうち約4万3千人が死亡するという大惨事となった。これを日本の阪神・淡路大震災 M_j 7.3と比べてみると違いがよくわかる。阪神の地震直後の死者は約5,500人であったので、 M がかなり小さい方が死者は7.8倍とかなり大きいということである。死亡率で比較すると36%と0.5%とその違いがはっきりする。地震最大加速度は両者とも800~900ガルと大差なく、最大速度はバム地震のほうが123カインと大きかった。どうしてこのように多数の死者が出、死亡率も高かったのか。その原因は無補強のレンガ造、特に日干しレンガ造に帰せられるように思われる。そのように考えられる理由の一つは、日本にもよくある鉄筋コンクリート造の橋梁、給水塔などはほとんど無被害であったことである。その無被害構造物のごく近くで日本にはない日干しレンガ造が原形をとどめないほど崩壊して

いる状況を見るとこの日干しレンガに一方的に責任を負わせたいくなる。勿論、このバムにはいろいろな建築様式、材料の建物があり、それぞれ崩壊率も異なっていた。日干しレンガはほぼ100%崩壊、無補強の焼きレンガ造は、目地が泥など弱いものが80~90%崩壊、目地がモルタルなど強いものは0~50%部分破壊、筋交いのある鉄骨で焼きレンガ壁を補強したものの0~10%部分破壊、などのように被害にかなりの差があった。このようにバムは、ほとんどの建物が日干し、焼成の違いはあってもレンガ造からできている。そして、その中でも日干しレンガの崩壊が死者のかなりを生じさせていると思われる。イランでは1万人を超えるような死者を出す地震は、1997年のガエン地震、1990年のラドバル地震など時々起こり、その原因は今回と同様な日干しレンガが主であった。

何故このように日干しレンガは地震に弱いのであろうか？

焼いた瀬戸物はある程度強いが、焼く前の成形し乾燥させた泥茶碗は弱いのも同じである。

土粒子同士の接着が弱く、レンガ本体がちょっとたたけば壊れるほど弱い。それと、レンガの目地にモルタルとか漆喰とか強い材料を使っても接着力に欠けるため、目地には通常の泥しか使えないので、全体として弱くなってしまふ。鉄筋のような補強材も使えない。寒暑の差の激しいところでは、断熱のため壁とか天井を厚くするため、壊れたとき、その重さが死者を増やす。

何故日干しレンガ造に住むのか？

では読者もたれる率直な疑問は、何故そのように日干しレンガを原因とする地震大量死が時々起こっているのに、日干しレンガ造に住み続けるのかという点であろう。一つはイラン国内で大地震が時々起こるとはいつても、同一の場所に起こるわけではない。バムでもアルゲ・バム（バム要塞）といて、イラン第2の観光地になっている遺跡があるが、日干しレンガできていたため、今回は徹底的に破壊されてしまったが、これは2,500年前に建設された。ということは少なくとも2,500年間は大地震は起こらなかったということである。地震はひどいという言い伝えは100年間くらいしか伝わらないと言われているが、2,500年もないと、ここは地震が起こらない場所ということになってしまふであろう。

二つ目はもし地震の恐怖がなければ、日干しレンガ程、安く断熱性に優れた建築材料はないのである。砂漠であるから材木は高価で、その辺の土を水で練って成形して天日に干しておけば2週間ほどで出来上がる、素人でも簡単に作れる建築材料は他にはない。焼きレンガは現在は石油を燃料として作っているが、昔は燃料にする木はないし、とても高価であったという。

三つ目は日干しレンガは、日本の木造などと違って耐久性がよいという点が挙げられる。雨さえ降らなければ何時までも使える。したがって何時までも住み続けることになる。

ではどうしたら地震死者は減らすことができるのか？

これは世界の乾燥地で日干しレンガを多用している中近東、インド、中国、中南米に共通し

た問題である。日干しレンガの別名である「アドベ」はこれらの国で広く通用する。日本の木造家屋と同様に、それを禁止したからといって解決はしない。禁止しても誰も守りはしない。したがって、日本で実施されているような耐震補強しか方法はないと思う。ただ、日干しレンガ造の耐震補強となると現在のところ適当な方法が見当たらないのである。しかもその方法は非常に安くなければならない。もともと日干しレンガは素人が自分で作れることもあって、家1軒造るのに10万円くらいしかかからない。そこに耐震補強に5万円もかかるようでは誰も見向きもしない。また耐震補強の方法の研究はイランの研究者はやりたがらない。日干しレンガの住居に住んでいるのは貧困層である。そこに住んでいる子弟が高等教育を受けることはほとんどない。イランの研究者は高等教育を受けているから日干しレンガ住居になど住んでいない。人間誰でも自分の住んでいない住居が危ないからといって真剣に対策を考えるだろうか。イランの留学生に日干しレンガの耐震補強の研究をするようにすすめても嫌がる。超高層とか制震、免震の研究など先端的な研究を希望する。日干しレンガの研究では自国で職が得られない可能性がある。それは日本の研究者についても同様である。古い木造家屋の耐震性など見向きもされない。

それではどうすればよいのか？

それでは日本で日干しレンガの補強方法の研究をやってやろうではないかという奇特な研究者も少数ではあるが現れてきている。ただこれも現在は現地のような日干しレンガを日本で如何にしたら製造できるかの段階であるが、日本では現地の砂漠とは湿度からして違うためか、なかなかうまく作れないのである。

このように困難な点がいろいろあるため、日本の研究者の中には、新たに建築するものは、なるべく補強された焼きレンガを使うことにして、膨大な数の既存の日干しレンガ住宅については諦めようという動きもある。

（伯野元彦）

気象予報と地震予知

廣田 勇

1. はじめに

今から十年あまり前のこと、京都で開かれた地球惑星科学の合同大会で、本文と同じ題目の招待講演を依頼されたことがあった。そのときの話の主旨は、気象の数値予報の基礎となる最も単純化した流体力学方程式を示し、観測可能な気象物理量を初期値として時間に関する微分方程式を解けば未来値が一義的に決定されるのに対し、地震学の世界ではそれに相当する方程式を持っているかどうかを問うことであった。

この小論はその講演内容を改めて敷衍し、近年の気象予報の具体的な方法や内容にも多少触れつつ、それとの対比で地震予知の抱える問題点を批判的に論じようとするものである。

まず、読者に対し本論の旗幟を鮮明にしておくことが必要であろう。

言うまでもなく予報も予知も一般社会に対する情報提供という意味合いが強い。その先には当然、災害防止対策という問題が存在する。平たく言えば、天気予報で今日は雨になると知って雨具持参で外出することから始まり、大地震を想定したの耐震構造の設計とか都市計画などにつながる発想である。つまり、予報予知の問題は本来的に社会学や政治経済学と無縁ではあり得ない。社会から要請されているのはこのような意味での「役に立つ技術」であることは確かである。さらに言えば、この技術とはマイナスをゼロに戻そうとする努力のことであり、プラスの付加価値を与えるものではないことに注意すべきである。明日は晴天で行楽に最適ですという天気予報はあるにせよ、今週は地震は起きないので安心して旅行にお出かけ下さいという類の地震情報が発せられるこ

とは決して無い。ことほど左様に予報予知とは一般社会に向けた用心喚起の情報、つまり転ばぬ先の杖なのである。

しかし本論では、社会学や技術という色合いは極力避け、純粋に自然科学の立場から「地球上に生起する自然現象の科学的予測」が現在の我々の知識理解の範囲でどこまで可能かを見極めることに主眼を置くこととする。このような峻別をする必要のあることが地球科学の宿命のひとつであることは止むを得ない。たとえば、天文学において天体力学に基づく日食や月食の「予報」をすることと対比してみればよい。日食は太陽物理学研究の良い機会であることのみならず一般人にとっての「珍しい天体ショー」ではあるが、災害のようなネガティブな意味合いは無い。つまりそれは純粋な知的好奇心の対象なのである。それに倣って、本論も可能な限り科学的知的好奇心の上に立った議論の展開を試みることにしよう。

2. 言葉の定義

気象では予報と言うのに対し地震では予知という言葉を使うのは恐らく様々な歴史的経緯があるのでであろうが、いまそれは問わないでおく。取りあえずはこの両者をともに「予測」という概念で括ろう。狭義には時間軸に沿って「これから起こるであろう事象をあらかじめ推し測る」ことであるが、その定義を拡張して、予測を時間軸上の未来に限定せず、現在手元にある情報をもとに未知の事柄を推測する場合をも含めて考えることが出来る。学術用語としての“diagnosis”がまさにそれに相当する。（“prognosis”はその部分集合である）。

余談にわたるが、1950年代ニューヨーク・ヤン

キース黄金時代の名捕手ヨギ・ベラの残した名言「予測というのは難しい。特に未来のことについては」がそれを如実に物語っている。投手のリードにあたって、試合の状況や過去のデータをもとに、打者がいま打席でどの球種にヤマを張っているかを見抜くことは名捕手なら可能であるが、肝心の投球が考えた通りのコースに来るかどうか、あるいは併殺を狙って打たせた内野ゴロがイレギュラーバウンドにならないかどうかは未来の出来事だからである。

このようなものの捉え方は自然現象の科学的解明にもそっくり当て嵌まる。すなわち、我々は現在、何を知っているか（知り得るか）、そしてそれを用いて正しい推論を行うための如何なる手段を持っているか、が問われる。それゆえ以下の本論では予測および推測という言葉を適宜使い分けて用いることとする。

3. 気象予測の歴史

以下の三つの節では、気象予測の歴史と現状について簡単に触れておこう。次いで第6節では地震予知の考え方と方法を気象予測のそれと対比させて論ずることとする。

本論の冒頭で、人間社会との関連という見方を極力排する、とは言ったが、気象予測の歴史は洋の東西を問わず古代の素朴な人間生活に端を発している。遊牧民・農民・漁民を問わず気候の変化を予測することが生活上極めて重要な問題であったことは想像に難くない。たとえば紀元前3世紀のギリシャでは気象学の祖アリストテレスの弟子にあたるテオフラストスが当時の「天気俚諺」を集めた本を書いているし、マタイ伝にはいまテレビの気象番組で予報士がしゃべってもおかしくない「夕焼けは晴、朝焼けは雨の兆し」が記されている。類似の記述は中国の古書「易経」にも見られるという。これが現在の気象学の知識から見てそれなりに真実であるのは、長年にわたる経験の裏づけ（検証）があるからである。予測における経験則の意義については地震予知との関連で後ほど詳しく述べよう。

時代が下がって、ヨーロッパで近代科学が生まれたころ、重力の作用下において大気を持つ質量を気圧という形で定量的に把握することが行われ始めた。ガリレイ、トリチェリからパスカルに繋がる系譜である。現在、気圧を表す単位に、旧来のミリバール（mb）に代わってパスカル（Pa）またはヘクトパスカル（hPa）が用いられているのは、流体力学、特に圧力の研究に果たしたパスカルの功績に因んでいる。

気圧の持つ意味の理解が進むとともに、17世紀後半には、「マグデブルグの半球」の逸話で有名なドイツのゲーリックが、地上気圧の時間的変化が天気推移と良い対応を示すことに気付いた。大まかに言って、低気圧が悪天、高気圧が好天をもたらすことはこれまた現在でも通用する常識であるが、この発見により気圧計が晴雨計としてひろく世の中に普及するようになった。これもまた典型的な経験則の一例であるが、その裏には後に数値予報との関連で述べるように十分な物理的根拠の存在することを注意しておこう。

19世紀に入ると、地上における気圧や風の測定がさらにひろく普及し、天気が時間変化のみならず空間的にも広がりを持った現象として捉えられるようになってきた。その代表例が1820年にドイツのブランデスによって初めて描かれたとされる「天気図」である。しかし、そのときの彼の目的はいわゆる天気予報とは異なり、ヨーロッパ各地の古い気象資料（地上気圧および風向風速）を丹念に調べて、各地に悪天（嵐）をもたらした気象がドーヴァー海峡に中心を持ち西ヨーロッパ全域をおおうひとつの低気圧という組織形態であることを示すことにあった。それは同時に気圧と風の関係を解明する出発点でもあった。

その発展として、19世紀中葉にはボイス・ポロットの法則「風を背に受けて立つと低気圧の中心は左手前方にある」が知られるようになった。これは今日謂うところの「総観気象学」の嚆矢であり、毎日のテレビ番組で予報士が使う「西高東低」や「等圧線の混み具合」などの言葉で表現される気圧と風の関係の確立であった。総観（synoptic）とは、文字通り、天気図解析のような手段

によってある時刻における現象の空間構造を捉えることである。風について言うなら、空間スケールが数百キロ以上、時間スケールが一日程度以上の総観規模現象において、地球自転の効果によるコリオリの力の作用で生ずる「地衡風」の概念がこの頃に定着したのである。

しかしながら、天気現象とは単に気圧や風向風速を知るだけで良いのではない。嵐という現象は気温や降水（雨）も重要な因子である。ニュートン力学に基礎を置く大気運動の理解と、温度が本質的である水蒸気の相変化（およびそれに伴う降水過程）を記述する熱力学とが、気象予測の場で結び付くにはいま暫く時が必要であった。

20世紀の前半には、気象観測の充実により上述の総観気象学が発展し、たとえばノルウェー学派による「前線の発見」に象徴される低気圧の発生発達やその構造・振舞いなどがかなり良く知られるようになった。このような気象学の発展に先立って、世界各国では19世紀後半から天気図解析に基づく日々の気象予測（今の言葉でいう短期予報）が素朴ながら行なわれ始めていた。わが国の天気予報の開始は1884（明治17）年である。気象台の業務で言えば、その当時の最先端の気象学的知見と天気変化の経験をもとに予報官が明日明後日の天気状況の推移を予測しその内容を一般市民に伝えることである。そのような場では、ヴェテラン予報官の名人芸が高く評価されていたことからわかるように、予測行為それ自体が主観的かつ定性的な色合いを持っていた。年配の方なら、いまから丁度百年前の日露戦争日本海海戦における有名な天気予報文「天気晴朗なれど波高かるべし」を想い起こされることであろう。

4. 数値予報の基盤

第2次世界大戦後、戦時中に軍事目的で開発された電子計算機の平和利用として真っ先に挙げられたのが「天気の数値予報」であった。米国プリンストンにおいてフォン・ノイマンの指導下で始められたこの試みの原理的基盤は次のようなものである。すなわち；

(1) 大気の運動は流体力学方程式および熱力学方程式で記述できる。(2) したがって適切な初期値と境界条件の下でこの方程式を解けば未来の状況が求められる。(3) その支配方程式を解くには、本来連続である時間空間を有限格子点に置き換え、微分演算を差分演算で近似する。(4) 各格子点における未来値を実際の物理時間よりも迅速に計算できれば予測が実用的価値を持つ。(5) この方法では予測内容は初期値（観測値）と方程式のみに依存し、計算実行者の経験や主観が排除された客観的かつ定量的なものとなる。

このことからわかるように、数値予報とは物理法則に立脚した科学的原理的側面と社会的要請および計算手段などの実用技術的側面が渾然一体となったものである。この色合いはそれから半世紀以上経った現代でも本質的に変わってはいない。

しかしながら、本論では前述したとおり科学的原理的側面に焦点を合わせる。いま、大気を最も簡略化して、鉛直構造を無視し、非発散・非粘性の2次元水平運動に限定する。この仮定の下では、流体運動は1変数 ϕ （流線関数）のみの偏微分方程式（ヘルムホルツ以来の渦度方程式）で記述できる。この流線関数 ϕ から水平速度ベクトル \mathbf{V} と渦度 ζ が計算できる（ ϕ と \mathbf{V} の関係は先に述べた気圧と地衡風の関係と同等である）。その速度場で流される渦度分布の時間変化を計算すれば次の時刻の ϕ （したがって速度）が得られる。つまり ϕ というひとつの変数のみで流れ場の振舞いがすべて予測できるわけである。

この流線関数 ϕ は簡略化した大気における気圧 p に相当するものと考えてよい。したがって初期値として気圧の観測値が与えられれば、以後の時刻における気圧分布および風向風速が一義的に決定される。地上風分布からは摩擦の効果による低気圧中心への吹き込み（収束）、その結果としての上昇流、さらには気温の断熱変化に伴う雲の生成や降雨といった天気状況の推測（diagnosis）が可能となる。

この事情が理解できれば、現在もお新聞テレビの報道で「地上気圧分布図」を「天気図」と称する理由が納得いただけるであろう。本来地上に

住む人間の生物学的構造は気圧の絶対値（およびその僅かな変化）には極めて鈍感である。にもかかわらず、気圧をもって天気予測の根拠とするのは、気圧 p が大気の変化を表す最も基本的な主変数であり、その根底には流体力学方程式という物理法則の確固たる裏付けが存在しているからなのである。予測推測の根拠としての物理法則、および主変数としての観測可能な物理量、という観点もまた地震予知との関連で後に再び触れよう。

5. 現代の気象予測における問題点

前節の数値予報の説明では簡単のため2次元水平運動を記述する高度方程式に話を限ったが、実際の大気は3次元であり、運動のみならず気温や水蒸気（湿度）など多くの物理変数が関与している。そのため、取り扱うべき支配方程式としては、気温については熱力学方程式（エネルギー保存則）、物質については連続方程式（質量保存則）、さらには気体の状態方程式、などのように変数の数に応じた方程式系が準備されている。当然のことながら、ここで考える変数（気象物理量）は観測可能な量であり、初期値から出発して各方程式を連立させて数値的に解けば一義的な未来予測が出来ることになる。つまり、数値予報は、精度の点は別としても、原理的には決定論的（deterministic）であると言える。

しかし現実的な問題は多々残されている。ここではその代表例を二つ挙げよう。ひとつには主として観測技術上の制限と数値計算上の分解能に起因する時間空間スケールの問題、もうひとつは支配法則が非線形であることによる現象のカオス的振舞いが予測の時間限界をもたらすことである。

前者の具体例は、梅雨前線上の小低気圧やその中に含まれる積雲対流に象徴されるいわゆるメソスケールの現象、さらには個々の雲の中で生ずる水蒸気の蒸発・凝結・降水などの雲物理学的微細過程である。これらは、大まかに言えば、時間スケールが数時間以下、空間スケールが百 km 以下の現象であるから、通常の気象観測網および数値予報の時間空間分解能では捉えることが難しい。

因みに現在気象庁が用いているアメダス観測網の地点間隔は平均しておよそ 20 km、数値予報の最も細かいものでも空間分解能（格子点間隔）は 10 km である。

この限界から逃れるためのひとつの便宜的手段として、観測および計算分解能以下の物理量を分解可能な大規模場の物理量の関数として間接的に予測方程式の中に組み込んでしまう、という方法がある。これをパラメタリゼーション(parameterization)と呼ぶ。適当な日本語訳はない。これは 1960 年代に台風の発達理論のなかで台風の熱的駆動源である個々の積雲の作用を数値モデルで記述するために考え出されたもので、現在は台風に限らず様々な気象予測手段の中である程度の実用価値が認められている。（このパラメタリゼーションの話から乱流論における closure model を想起される読者もおられよう。しかしながら、無限に続くはずの高次の非線形項を有限次数で打ち切って閉じさせるクロージャーモデルが破綻した問題は未だに解決されてはいない。）ここではこれ以上の詳細には触れないが、このパラメタリゼーションという考え方の根底には、地震予知との関連で後述するように、ある種の確率論的な問題が潜んでいることを指摘しておこう。

ふたつめの問題は気象予測の対象とする期間を延長しようとするときに生じる限界である。通常の（短期）天気予報は数時間から二日程度の長さを扱っているので晴雨寒暖の予測という意味で一般市民にとって有用な情報は一応与えられている。

しかしいわゆる中期予報（一週間予報）や長期予報（一か月予報、季節予報）に関しては、その的中率云々は別にして、原理的に全く異なる事情が存在する。

いまここでカオス理論の詳細に触れる余裕はないが、極く大まかに言えば「流体力学のような非線形方程式の解の振舞いとして、二通りの初期値の差をいくら小さくしても有限時間後の解の差は幾らでも大きくなり得る」ということである。つまり初期値が僅かだけ異なる二通りの解はそれぞれに一義的（決定論的）ではあるが、微分学に

おける ϵ - δ 論法のように同一解に収束するという保障は無い。このことを具体的な気象予測に当て嵌めるなら、与える初期値（観測値）の誤差および空間分解能はゼロではあり得ないから、カオス理論開拓者の気象学者ロレンツがいみじくも象徴的に述べた「ブラジルで一只の蝶が羽ばたけばテキサスで竜巻が起きる」の言葉通り、気象予測には宿命的な限界があるということになる。

この予測可能性 (predictability) の限界が如何ほどの時間の長さであるかは気象学における長年の宿題であった。これは単純に何日先までと言える性質のものではない。これまた大雑把に言えば、対象とする現象の持つ時間スケール以上の長さの予測は出来ない、ということなのである。たとえば夕立や雷をもたらす個々の積雲対流なら精々数時間先、中緯度の移動性高低気圧なら一週間程度、冬の寒気吹き出しのような半球規模の現象なら三週間くらい、がおよその目安と考えて良い。小スケールの現象に関し予測可能限界時間が短いことの証左としては、半日後一日後の個々の対流雲を決定論的に記述できないため「降水確率」という予報表現を使わざるを得ない事情を想起してもらえば良い。

にもかかわらず、季節予報やさらには気候変動予測などを短期数値予報と同じ道具立てを用いて行なおうとする試みがなされているのは、特定の現象（個々の低気圧や台風など）をひとつひとつ場所と時刻を決めて予測するのではなく、一か月先、あるいは一年先、百年先のある平均期間・平均領域におけるそれらの現象の出現と場に及ぼす効果を統計的な意味で記述すること、つまり日々の降水確率予報と同列の確率論的予測を行なおうとすることなのである。

ここで「統計的」と言った意味を表す事例として、現在の一週間予報や一か月予報では、互いに僅かずつ異なった何通りかの初期値から別々に時間積分（予測）を行ない、カオスのにばらつく結果の平均値（中央値）をもって最も信頼性の高い予測と見做している。この方法は「アンサンブル予報」と呼ばれている。これを聞いて、何やら中学校の社会科で教わる民主主義多数決原理を連想

する人がいても仕方がない。確かにアンサンブル予報とは現業上の苦肉の策であり、その正当性の裏づけ、たとえば初期値の与え方の指導原理など、に関し問題点は依然として多々残されている。

もうひとつ、これらの時間延長予測の場合においても、地球科学が自然科学全体の中で特に「実証科学」としての性格が強いことを考えると、その予測の正当性を検証する必要が常に存在することを忘れてはなるまい。その意味で、地球温暖化問題などに見られるようなスーパーコンピュータを闇雲に使っての 21 世紀末の気候予測などという試みが（検証方法を持たない以上）科学として正当なものであるかどうか、疑問の余地なしとしない。そして勿論、このようにして得られる遠未来の予測内容が人間社会にとって如何なる情報価値を持ち得るか、は科学とは全く別次元の問題である。

以上に述べた気象予測の原理と問題点をここであらためて整理すれば、

- (A) 経験則に基づく主観的予測
- (B) 物理方程式の解としての決定論的予測
- (C) 予測可能性の限界以上に対する統計的予測に大きく分類することが出来る。これを踏まえて次節ではいよいよ地震予知の諸問題を論評することとしよう。

6. 地震予知の諸問題

現在、地球物理学として、地震現象の発生機構や地震波動の伝播特性などは一応良く理解されていると言ってよい。地震現象に関与すると考えられる種々の物理量に関する観測網やデータの蓄積も近年大幅に進展している。しかし地震の予知ということになれば話は別である。何故なら、予知と言うからには、地震がどの時刻に、どの場所で、どの程度の大きさで起きるかを定量的に予測することが要求されるからである。

6-1. 経験則とその検証

まずはじめに、気象予測の分類 (A) の経験則に基づく予測の問題を考えよう。天気俚語の「夕

焼けは好天の兆し」と同じ意味での前兆現象を探す試みは地震についても多々行なわれている。たとえば地殻変動、重力異常、地熱流量、地下水変化、地電流、等々よく知られている通りである。

天気の場合、夕焼け云々の正当性の裏づけとして、中緯度偏西風帯による高低気圧の東向き移流、という現代的解釈が与えられているが、それ以前の問題として、このような俚諺が理屈抜きに定着してきた理由として、経験の事例数が非常に多いという事実を挙げることができる。一人の人間にとってさえ、一年の約半分がこのケースだとして数十年に亘る経験の事例数はほぼ一万回に及ぶ。これが地域・民族・時代の全体に及べば経験事例数はより膨大となる。つまり、このような天気俚諺は大量のデータによって「検証」されているため真実として語り継がれてきたのである。

このついでに言えば、科学史上最大の経験則とも言えるケプラーの法則はその師ティコ・ブラーへの残した膨大な量の惑星位置観測データに立脚していたことを想い出してもらいたい。ここにおいても実証科学の重みを感じ取ることが出来る。

これに対し、地震発生の前兆現象としてある物理量の変化が見られた、という場合、その事例数は天気現象のそれに比べて余りにも少な過ぎる。早い話が、一応各種観測データが揃っている日本国内の地震でM7以上のものはこれまでに何例あるのか。つまりそれは経験則の科学的検証というに値するとは到底言い難い。

このことに関連してもうひとつ注意すべきは、地震の予兆前兆があったという報告はそのほとんどが地震発生後になされたものであること、そして総ての地震に同じ性質の予兆があったとは限らないこと、さらにその予兆と称する現象があっても地震が起きなかったような事例は予兆論者の側からは一切報告されないこと、を忘れてはいけない。(阪神淡路大地震の後になって、実はあの地震の起きることは自分が既に予言していた、と得意げに語った地震学者がいたが、彼の同種の予言が他の地震すべてに該当していたのであろうか。)

誤解を恐れず断言すれば、この種の事後発言は

プロ野球解説者の得意とする「結果論」とほとんど同類である。たとえば野球解説者の常套句のひとつ「代わった野手のところに打球が飛ぶ」を考えてみるとよい。守備固めのためにバッテリーを除く7人の野手のうち一人が交代したとして、そのインニングに打者3人の打球がその選手のところには飛ばない確率は $6/7$ の3乗、63%である。2人が交代した場合でも36%はそこに球は飛ばない。しかもそのとき解説者は「野手を代えたけれど打球は行きませんでしたねえ」とは決して言わないのである。

少し与太話が過ぎたであろうか。いずれにせよ地球科学の立場からは、現在のところ前兆現象をもとに地震発生を推測するに足るだけの検証は行なわれていない、と言うべきであろう。もちろんこれは今後ある種の経験則が発見される可能性をすべて否定するものではない。長年に亘って気象データ解析の研究に携わってきた筆者の体験からは、非常に限られたデータ量の中から「直観的」にある現象の特性が見出され、後になってからその正当性が立証された成功例を多々知っている。しかし、事例解析から普遍性に至る道のりは決して安易ではない。

6-2. 決定論的予測

次に、気象予測の(B)に分類した物理方程式に基づく決定論的予測について考えてみる。これは本文の冒頭で述べた地震予知に方程式はあるか、という質問と同じである。

気象でも地震でも、ある現象に物理方程式を適用しようとするときは、その現象のメカニズムの解明とは別に、まず生起(出現、発生)、発達(変質)、移動(伝播)といった形態的振舞いを記述できるかどうかが問われる。一日二日程度の時間スケールにおける総観規模天気現象の数値予報では、初期値として与えられた気圧場(したがって風系場、渦度場)の中で高低気圧がどう振る舞うかが予測可能である。たとえば、今日、日本列島から約2,000 km西に離れた中国大陸上にある低気圧が発達・変形しながら偏西風帯に沿って時速約60 kmで東進し日本上空にやってくる、といった状況は定量的に十分よく記述される。その移動

(移流)に要する時間は数十時間であるから、明日明後日の天気予報として十分の情報価値がある。

地震についてこれと同じことを考えてみると、日本付近のある場所で生じた地震からまず初期微動P波が到達し少し遅れてS波がやってくる。この最初のP波到達を初期値と考えれば本揺れをもたらすS波の到達時刻が定量的に予測できることになる。両波の速度を仮に秒速10 kmと5 km程度とすれば、震源から500 km離れた地点では約一分先の予報が出せる計算になる。事実、この考え方は新幹線の列車運転制御などに利用可能とされているようである。同様に、1960年のチリ地震時の津波のように、太平洋をほぼ24時間かけて日本に到達する津波は時間差予測に基づく警報が実用に値する。

しかしこの方法による地震の短期予測は気象の世界で使われているナウキャスト (forecastの対語であるnowcast)に近い。たとえば、いま台風が紀伊半島に上陸したという時点でレーダー観測等により降水雲の強さを見積もり、その現状把握に基づき今後近畿地方で1時間に100ミリ、累計で約300ミリの豪雨となります、というような警報を出すことである。しかし、この場合、物理法則(微分方程式)の数値時間積分というよりは、単純に時間的外挿を行なっているに過ぎない。

これに対し、先に挙げた前兆現象の話は別にして、地震発生そのものをある時点における種々の観測値を初期条件として物理方程式の時間積分から決定しようとするならば、そこには越え難い壁が存在している。

地震発生メカニズムとして、大陸プレートの沈み込み地帯で生ずる歪み(ストレス)が局所的な滑り現象を起こしそれに伴う波動が励起される、という原理的な理解は良いとしても、その発生過程は時間空間の連続関数で記述できるというよりもむしろ本質的にカストロフィックな破壊現象である。物性物理学の世界で現在でも最も理解が困難なのはまさにこの破壊過程であろう。地震における活断層云々の議論はそのほんの一部に過ぎない。寺田寅彦・平田森三といった我々の世界の先輩たちが提起したこの破壊現象予測の大

問題はいまもって解決されているとは言えまい。

そもそも、地震に限らずカストロフィック現象を決定論的に記述できる(時間微分を含む)方程式が確立されているものかどうか、筆者は寡聞にして知らない。憶測に近い言い方をすれば、破壊現象解明の行き着く先は物性の分子結合レベルまで遡る必要があるが、その微細過程を直接測定可能な大規模物理量でパラメタライズしようとするならば、これまた検証データとして膨大な観測値(あるいは実験値)が要請される。その意味で、数日先程度の直前予測に関してさえ、現在の地震学は物理学の意味での予測方程式を持ってはいない、と言わざるを得ない。

6-3. 統計的予測

三番目は、個々の地震の発生時刻そのものの予測とは別に、ある程度長い時間先に特定の地域で大きな地震が起こる可能性の程度を推測することである。しばしば新聞記事になる東海地震や南海地震などがそれに当たる。この地域で起きた過去の限られた大地震の事例から、一度起こった後の次の大地震までの時間間隔(あえて周期とは言わない)のおよその見当を立てることはプレートテクトニクス理論から見ても不可能ではなからう。そのための継続的諸観測データから大地震発生の可能性が高まっているか否かを判断しようとする努力は防災上の見地からはあながち無意味とは言えまい。しかしそれが物理学の意味での確率予測という名に値するかといえば、これまた検証事例数があまりにも少なすぎる。いや、それ以前の問題として、気象のアンサンブル予報に相当するような(苦肉の策であってもそれなりに定量的な)予測手段は見当たらない。地震学の世界でも近年は数値シミュレーションが使われているようであるが、繰り返して言えば、実証を伴わないシミュレーションの学問的意義は希薄である。

この種の地震の長期予測に関して、もうひとつ注意すべきことがある。

気象・気候の世界で1960年代に地球の寒冷化ということが騒がれ、やがて氷期に襲われるといった類のセンセーショナルな風説が世間に流布したことがあった。地球上には一万年あまり前に

確かに氷期があり、現在は間氷期の温暖気候であるが、数千年か一万年後に再び氷期が訪れる可能性は十分あり得ると考えられている。しかし、そのことと、間もなく氷期になるから用心せよという警告が予測情報としての価値を持つか否かは全く別の話である。またまた余談にわたるが、氷期が来る云々が巷間に流布した頃、こんなブラックジョークがあった。相手が若者であろうと老人であろうと、相手に向かって「あなたは死にます！」という予言をすればそれは生物学的には真理だというわけである。あと半年の命ですと医者に宣告されたら慌てる人もいようが、自分が今後百年先まで生きていると思う人はまず居るまい。

結局のところ、短期長期を問わず、地震の予測行為とは、現段階では自然科学の範疇外にあり、可能性（危険性）の幾らかでも高い地域では様々な予防対策を考えておきなさいという社会経済学の問題なのである。

7. おわりに

上に述べた地震予知の現状批判は、その分野で努力を続けておられる方々に対して失礼に過ぎるところがあったことは重々承知している。一見厳しい批判はしたがそれはあくまでも地球科学の立場からの学問論であり、地震予知の試みに対する非難や誹謗ではないことをご理解いただければ幸

いである。一方、近年の地震学あるいは地球内部物理学の発展がプレート理論に象徴されるように地球科学に大きなパラダイム転換をもたらした素晴らしいものであることも筆者は良く理解しているつもりである。

結局、本論で言いたかったことは、我々地球科学者が今後も自然現象の解明・理解という立場に徹することこそ、長い目で見たとき、いつかは社会的要請に応える実用技術にもつながるであろう、ということである。必要は発明の母という格言は確かに一面の真理を衝いている。しかし先を焦ってはなるまい。大自然の奥行きは現在の我々の知識を遥かに超えた深遠なものなのである。

謝辞：本文の草稿に対し数値予報の専門家の立場から適切なコメントを下された京都大学防災研究所の向川均・助教授に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 岩崎俊樹, 1993, 数値予報—スーパーコンピューターを利用した新しい天気予報. 情報フロンティアシリーズ, 共立出版.
- 時岡達志, 山岬正紀, 佐藤信夫, 1993, 気象の数値シミュレーション. 東京大学出版会.
- 島村英紀, 2003, 地震予知の可能性・現実性. 地震予知と社会, 第3章. 古今書院.

「降水確率予報」技術とその課題

山川修治

降水確率予報 (POP; probabilistic forecast of precipitation) は、①ある一定時間内に、②ある地域について、③1mm以上の降水が起こる割合を10%きざみの11段階で表したものである。小数点以下四捨五入で求められるので、0%は5%未満を、100%は95%以上をそれぞれ含む。1980年6月に東京で開始、1986年3月から全国で実施されるようになった。

①の時間については、朝6時～正午、正午～18時…のように、6時間ごとに3日後までが対象とされる。1992年3月からは日単位ではあるが、週間降水確率も出されるようになった。

②の地域については、本来20kmメッシュの格子点で求められるが、都道府県など地域別にまとめて公表する。地域性が大きいと認められる場合には細区分される(例えば、東京都:東京地方、伊豆諸島北部、同南部、小笠原諸島/福島県:浜通り、中通り、会津)。

降水確率の本来のデータは地点確率であるが、複数のデータが得られる場合にはそれを地域内で平均して用いられる。それに対して、地域確率はその地域内のどこかでその現象が起こる割合を示し、どこで発現するかに関しては不確定要素を含むものの、地点確率より緊急時に対応できる。後述の大雨確率、雷確率などは地域確率が適用される。局地的な積雲対流活動に対応する10km以内のスケールの現象を数時間先まで予測することは、とくに地形の複雑な日本では困難なので、対象とする地域を総合的・平均的にとらえて確率を求めることになる。

③の降水量の基準は通常1mmである。したがってパラッとくるぐらいのわか雨は含まれず、無降水として認識される。降水確率は1mmを超える降水を一括して扱うため、その降り方(降水強度)、降水継続時間についての判断材料は提供していない。しかし「3時間に30mm(暖候期:4~9月)または20mm(寒候期:10~3月)の出現確率」は「大雨確率」として3時間ごとに地域単位で発令される(保科, 1995)。大雨確率には、風向(850, 500 hPa)・風速(850 hPa)、上昇流の最大値、湿潤層の厚さ

(1,000~300 hPa)、地形性降水指数などが説明変数として組み込まれている。

降水には雨だけでなく雪や霰なども含まれる。「雪確率」(降水ありの条件下で雪の確率)は30°N以北について10~3月の寒候期に、また、「雷確率」(地域内で雷が発生する確率)は暖候期を中心に示される。

降水確率は数値予報の予測値がそのまま公表されるのではない。数値予報値と過去の気象データから、主に統計的に算出されたものを天気予報ガイダンスという。それに基づき定量的な予報値が求められ、さらに予報官の修正が加えられたうえで発表される。

天気予報ガイダンスとしては、PPM(perfect prognostic model; 線形重相関回帰式のみによる)に比べて精度の高いMOS(model output statistics; 重回帰分析によるが、系統的な誤差の補正機能を含む)が使われるようになり、カルマンフィルタ(KLM; わずか約1か月の観測データの蓄積から算出し、予測誤差に基づき回帰式の係数を随時最適化する)やニューラルネットワーク(NRN; 人間の脳のニューロンをモデルとし統計的關係に代わる学習機能を有す)が導入されている(青木, 2002)。カルマンフィルタには、格子内での平均3時間降水量に関するもの(MRR3)も構築されている。

的中率を算定する方法としては、例えば、ブライアスコア(BS; Brier score)が挙げられる。

$$BS = (1/N) \sum_{i=1}^N (E_i - P_i)^2$$

E : 降水の実況。降水あり1, 降水なし0。

P : 小数で表した確率予報値。

BSが大きいほど精度が低いものと評価され、改善策が講じられる(保科, 1995)。

さて、降水確率50%は、「傘を持って出るかどうか」の判断を利用者に委ねるような印象を与え、疑問符が付けられることが多い。しかし、例えば東京の場合(時間・季節、地域によって異なるが)、降水確率は3時間なら約10%、6時間なら約15%で、雨の降らない確率(それぞれ90%、85%)の方が降る確率より遙かに高い(立平, 1987)。このように、降雨確率50%は平均に比べれば相当に降りやすく、「傘を持った方が安心」ということになる。

(編集部注記) 予知・予報の実態と応用面の参考資料として、今回は地球科学分野で最も技術的に進んでいる「気象」を採り上げた。今後は洪水、土砂崩壊等の関連分野の災害予知・予報も話題に供したいと考えている。

数値予報が一般化して久しいが、短期予報でも精度は頭打ちの感がある。台風の東方を北上する積乱雲群による降水、小低気圧や不連続線の出現に伴う北東気流による降水、先行する高気圧の発達による前線停滞で長引く降水、寒冷渦やコンマ状積雲群による雷雨などは、予測が現在も難しく、各種天気図や衛星画像の精読、降水システム構造の重点的な解析が必要となり、予報官の経験がモノをいう場面であろう。

地震予測とは本質的に異なるが、地球の自然現象を対象とする点では共通する。いずれにせよ予測の精度向上には改善すべき課題が多い。

【参考文献】

青木 孝(2002): 天気予報. 新田尚ほか編『キーワード気象の事典』朝倉書店, 363-370.
 立平良三(1987): 『天気情報の見方』岩波書店, 193 p.
 保科正男(1995): 天気予報の確率表現; GPV とその応用<総説>, 朝倉正ほか編『気象ハンドブック』朝倉書店, 352-354; 640-643.

アンサンブル天気予報の利用可能性 有沢雄三

毎年のように日本列島を襲う台風は依然として気象災害の主役だが、近年は大規模な人的被害の生じることはあまりない。これは、土木建築対策の強化やレーダ、気象衛星、通信網等の監視・防災体制の強化とともに、2, 3日先までの天気予報が信頼できる情報として事前の対策に十分活用されていることが大きい。

しかし、4, 5日と予報時間が長くなるに従い予報精度は低下し、対策に活用されることも少なくなる。これは、初期条件のわずかな違いが結果を大きく変えてしまうという大気の運動の非線形性のため、一つの初期条件から出発した予測はあり得べきシナリオの一つに過ぎず、信頼度は予報時間とともに低下していくためである。無論、初期条件とモデルの精度を上げる努力は続けられ、予報精度も向上しているが、観測値をより密に収集するコストや計算分解能などの制約もあり、自ずと限界がある。

そこで、幾通りかの初期値分布の集団(アンサンブル)を用意し個々の分布を出発点とする時間積分を行って全予測結果を統計処理し、より確からしい予測情報を得ようというアンサンブル数値予報が考案された。気象庁では現在、週間、1カ月、3カ月、8カ月(暖候期・寒候期)の各予報に適用している。

従来の長期予報は統計的・経験的方法によるため精度が安定せず、2003年の日本の冷夏、欧州の記録的な猛暑は事前に予報されていない。アンサンブル予報が長期予報の高精度化を約束する訳ではないが、多数の予報シナリオを整理し活用することで想定外の天候による損失や機会逸失を減らせる可能性がある。

ここでは気象庁が2003年9月より気象事業者向けに配信を開始した3カ月アンサンブル予報(31通りの初期条件(メンバー)による)のサンプルデータ(2003年5月16日初期値の120日間の格子点予報)を素材として用い、その利用可能性を検討してみる。

図1は2003年7, 8月の主な高層気象観測点での850 hPa 高度の気温予測値(31メンバーの平均値)と実況値(ともに年平均偏差)の比較である。札幌と那覇を除き負偏差(冷夏傾向)であり、特に秋田、館野(つくば)で明瞭である。

次に、各メンバーの予測値の分布(図2)を見ると、那覇は比較的変動の小さい海洋の影響を受けて分布がよりシャープになるのに対し、北へいくほど高低気圧の進路の影響を受けやすく広がり大きな分布になっている。

館野の予測値の分布は、正規分布を仮定した平年値と比較して負偏差側でよりシャープな分布となっている。仮に平年からの負偏差0.4度以上を冷夏とすれば、その確率は7月が約75%, 8月は約90%となる。全メンバー平均の年平均偏差はあまり大きくはないが大部分が負偏差に集中しており冷夏を想定した方がよいこと

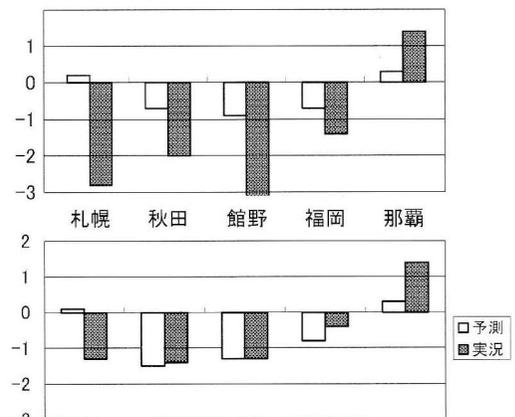


図1 3カ月アンサンブル予報の850 hPa 高度の月平均気温年平均偏差の実況値比較 (縦軸単位°C, 2003年7月(上)と8月(下))

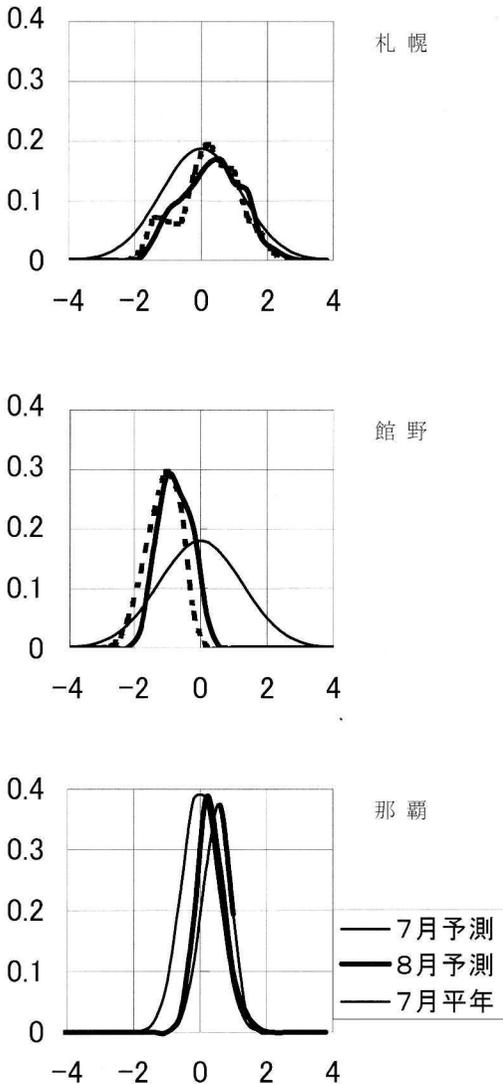


図 2 3 カ月アンサンブル予報の 850 hPa 高度の月平均気温平年偏差の全メンバーの分布と平年値分布
(横軸単位℃, 2003 年 7 月, 8 月; 札幌・館野・那覇)

になる。

こうした確率的な予報を上手に使う方法を簡単なモデルで考えてみる。いま、気温を平年以下、並み、以上の 3 区分に分ける。

- 1) 平年以下, 並, 以上を想定する事業経費(コスト)がそれぞれ 90, 100, 110
- 2) 平年以下, 並, 以上となった時の事業収入最大値がそれぞれ 90, 110, 130

という暑い夏ほど売上げが上がる例では, 想定も結果も平年並みなら 10 の利益, 平年並み想定で結果が平年以上だと利益は 10 で変わらないが機会損失分(儲け損ない)が 20 出る。逆に平年並み想定で平年以下だと 10 の損失となる。通常は平年並みの確率が高いことと, 損失を避けたいことから平年並想定で 10 の利益を確保することを考えるが, アンサンブル予報によって平年以下か以上の確率の高いことが予想できれば, これに「賭ける」ことの方が損失を減らせる可能性が高い(2003 年夏の例では損失をゼロにできた)。現実の事業活動はこれほど単純ではないし, ここにあげたサンプルデータで結論づけることはできないので今後の精度検証が必要であるというまでもない。

また, アンサンブル予報は多数の予報シナリオを提供してくれるので, その中に過去に例のない異常気象が予測されることもある。個々の台風発生の予測は無理としても長期の冷夏, 早魃傾向の可能性なども予測シナリオを読み込むことで見えてくる場合がある。

アンサンブル予報はまだ歴史が浅く, 計算機資源の増強, 初期条件設定技術の改良など精度向上の余地もあることから, 今後はその確率情報としての活用や異常気象の出現予測への利用等が広まるものと期待される。

■ 地震予知連絡会情報 ■ 岡田義光 ■

定例の地震予知連絡会は、第156回が2004/2/16に、また第157回が2004/5/17に開催され、2003年11月～2004年4月における全国の地震活動・地殻変動を中心として報告と検討がなされた。この半年の間には、特別大きな地震が発生する等のイベントはなかった。

毎回テーマを変えて集中的な議論を行うトピックスとしては、第156回に「トリガリング」(世話人:橋本学委員)、第157回に「活断層の深部構造と地震・地殻活動(その2)―糸魚川-静岡構造線研究(最近の成果)―」(世話人:桑原保人委員)が、それぞれ取り上げられた。

1. 北海道地方

2003年9月26日に発生した十勝沖地震(M 8.0)の余震活動は順調に減衰しているが、2004年3月中旬以降はM 5を超える地震が6回発生するなど、やや数の多い状態となっている。余震の分布は本震の震源域から北東および南西方向に拡散する傾向が見られ、釧路海底谷の東側にも若干の活動が現われている。とくに2004年3月以降の大きな地震は余震域の東端近くで発生している。一方、この地震の直後から、火山フロントに沿った十勝支庁北部では浅い微小地震活動が活発化したが、6カ月経過した時点でもその活動レベルは高く、十勝沖地震以前の状態には戻っていない(気象庁)。なお、同じ北海道東部の内陸地震でも、屈斜路湖付近から知床半島にかけての領域では、2003年十勝沖地震と同時に地震活動が逆に静穏化しているとの報告があった(防災科研)。その静穏化域内に位置する斜里岳の南麓では2004年4月26日から群発地震活動が始まり、5月5日にはM 3.4(最大震度2)の地震が発生した。

2003年十勝沖地震の余効変動はGPS観測によって明瞭に捉えられており、本震後3カ月の間でM 7.7に相当する地震モーメントの解放がなされた。本震時に大きく滑った領域では余効変動がほとんど見られず、その沖合など周辺で余効的なすべりが生じているという特徴が見られる(図1:地理院)。なお、地理院からは地震後に実施された北海道南岸に沿う水準測量の結果と、それに基づく断層モデルの改訂版が提出された。

東大震研からは多数の海底地震計を用いた2003年十勝沖地震の緊急余震観測結果が報告された。陸域の地震

観測網だけから決められた震源に比べると、震源の深さは20～30 km浅くなり、沈み込む太平洋プレートの上面付近に余震が集中していることが明らかになった(図2)。

なお、北海道大学からは、1994年以降に北海道周辺で発生したM 3以上の地震約8,000個について詳細な地震活動度の分析を行ったところ、2003年十勝沖地震の4年ほど前から本震の震源域付近とその深部延長の深さ150 km付近では地震活動度が低下し、その先の深さ250 km付近では活動度の増加が認められたとの報告がなされた。

一方、2003年12月30日に根室半島南東沖の深さ39 kmでM 5.5、2004年1月15日に国後島付近の深さ106 kmでM 5.1、同年2月17日に根室半島南東沖の深さ46 kmでM 5.6、さらに3月3日にはこの地震の約50 km南東でM 5.4など、北海道の東方沖周辺は地震活動が活発である。しかし、根室沖の海溝寄りではM 5以上の地震がこの10年間発生しておらず、顕著な空白域が形成されている(図3:気象庁)。この領域では1973年に根室半島沖地震(M 7.4)が発生している。

2. 東北地方

福島県沖では、2004年1月23日に深さ66 kmでM 5.3、同年1月27日に深さ87 kmでM 4.4のやや深発地震が発生した。前者は二重深発地震面に挟まれた位置で発生し、西に高角で傾く断層面を有しているなど、2003年5月に発生した宮城県沖地震(M 7.1)と性格がよく似ている。一方、後者は二重深発地震面の下面で発生し、メカニズムも23日の地震とは明らかに異なっている(図4:防災科研)。なお、気象庁からは、東北地方下に沈み込んだ太平洋プレート内で1990年以降に発生したM 4以上の地震(スラブ内地震)について、地震活動レベルの推移を調査した結果が報告された。それによると、1997年から2002年にかけて東北地方のスラブ内地震活動は他の時期にくらべて低調となったが、2003年後半からは逆に活発化しているとのことであった。

三陸沖の日本海溝の外側(東側:39.2N, 144.5E付近)で、2004年4月末から5月初めにかけてやや活発な地震活動があり、4月29日にはM 3.8のごく浅い地震が2つ

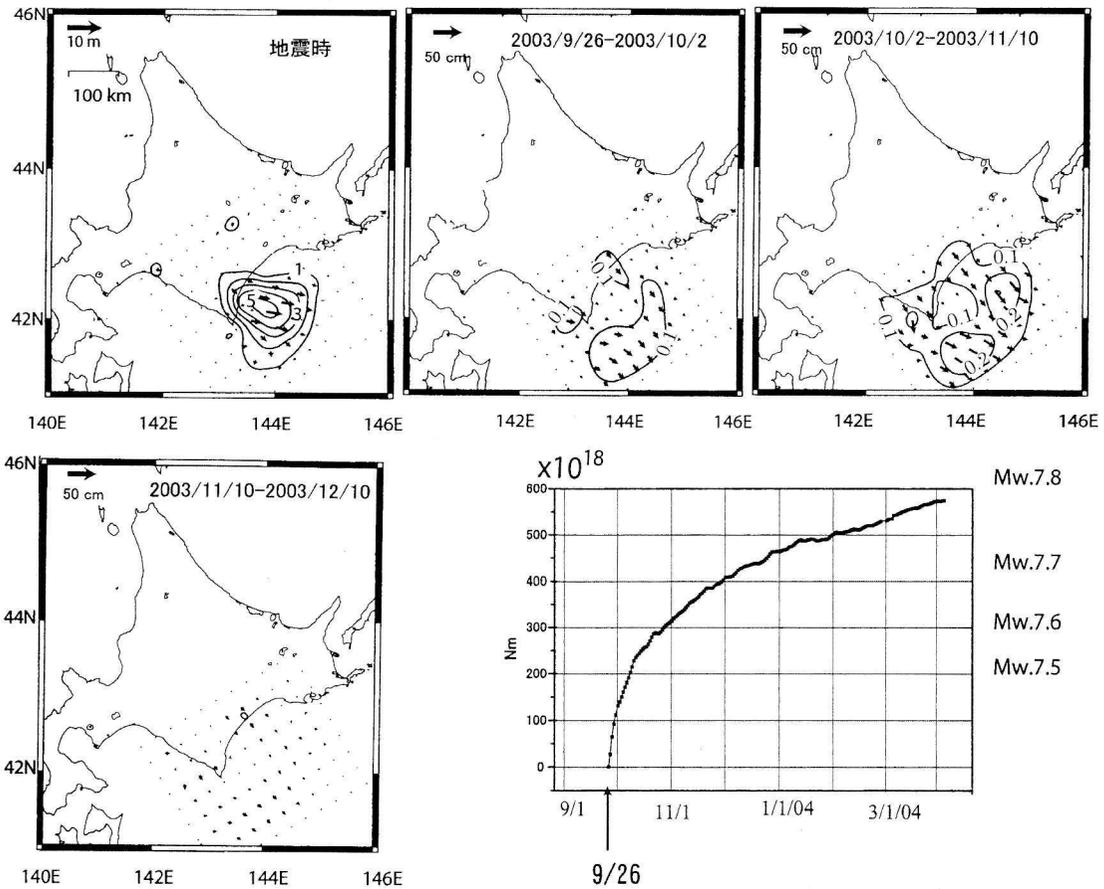


図1 GPS観測結果に基づき、カルマンフィルターで推定した2003年9月26日十勝沖地震の余効滑り。余効滑りは、本震時の滑り領域の周りで発生している。[第157回：地理院資料より合成]

発生した。これらの地震の発震機構解は東西方向に張力軸を有する正断層型であり、有名な1933年三陸地震と同じタイプの地震であった(防災科研)。

3. 関東・伊豆地方

2004年3月から4月にかけて、茨城県の東方沖では地震活動が活発化した。2カ月間でM3.5を超える地震が5回発生し、なかでも3月11日の地震は深さ48kmでM5.3、4月4日の地震は深さ49kmでM5.8を記録した。茨城県沖は地震活動度の高いところであるが、それでもM5クラスの地震が1カ月間に2度起こることは比較的珍しい。5つの地震の発震機構解はすべて西北西-東南東方向に圧力軸を有する低角逆断層型であり、太平洋プレートの上面で発生した地震と考えられる(防災科研)。

一方、伊豆地方では2003年12月31日00時過ぎから

新島・神津島近海でM4.4を最大とする地震活動があったが、M3以上の主な地震活動は約30分間で収まり、より微小な活動も2004年1月5日頃にはほぼ終息した(気象庁)。

2004年2月4日には14時頃から箱根山付近でM3.0を最大とする地震活動が始まったが、約2日間で一連の活動は収まった。最大地震は北東-南西方向に張力軸を有する横ずれ断層型であった。また、2004年2月26日からは伊豆大島北西部でM2.5を最大とする地震活動があったが、これも約5日間で一連の活動が収束した。なお、この活動に関連して伊豆大島の体積歪計には2月26日と3月2日にわずかな膨張が記録された(気象庁)。

2004年4月24日には伊豆半島東方沖で小規模な群発地震活動が始まり、25日から27日にかけて活発化した。最大の地震は4月28日に発生したM2.0であり、一連の活動は5月2日頃に収まった(気象庁)。この群発地震に伴って、伊豆半島に展開された地理院のGPS観測網

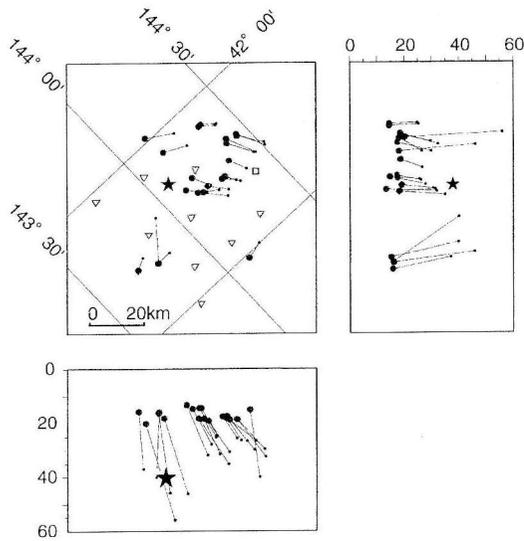


図2 陸域地震観測網から決定された震源（小さい黒丸）と海底地震観測結果（大きい黒丸）との比較。本震震源付近における本震5日後から20日間（10月1日～20日）の観測結果を示す。星印は陸上観測から推定された本震の震源、三角は自己浮上式海底地震計、四角はケーブル式海底地震計の位置を示す。[第157回：東大震研資料]

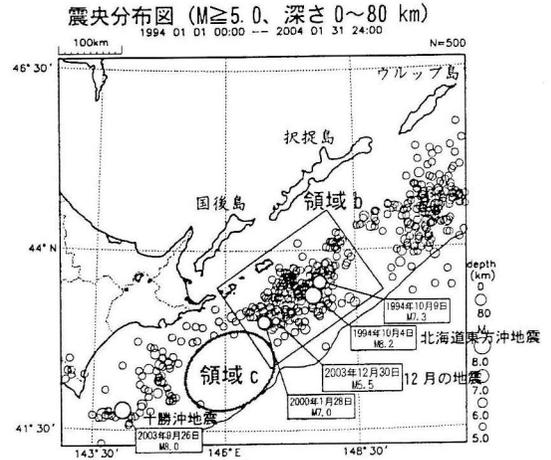


図3 北海道沖の深さ80 km以浅に発生した最近10年間のM5以上の地震。領域cは空白域となっている。[第156回：気象庁資料]

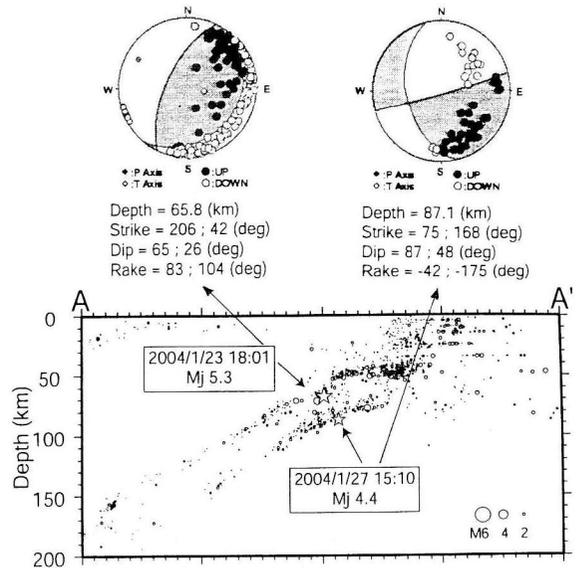
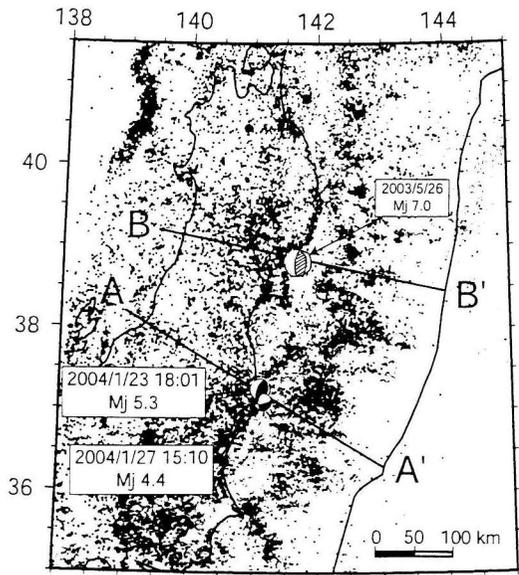


図4 2004年1月23日および27日に福島県沖で発生した地震の震央位置と発震機構解、およびAA'に沿う震源断面図。[第156回：防災科研資料より合成]

では数 mm の水平変動が、また防災科研の傾斜観測網では $1\mu\text{rad}$ 程度の傾斜変化が記録された。また、気象庁が東伊豆に設置した体積歪計や、東大震研が伊東に設置

した地殻変動総合観測装置、さらに産総研が大室山北で実施している地下水位の観測結果にも変化が現れた。これらのデータに基づき、気象庁、地理院、防災科研から

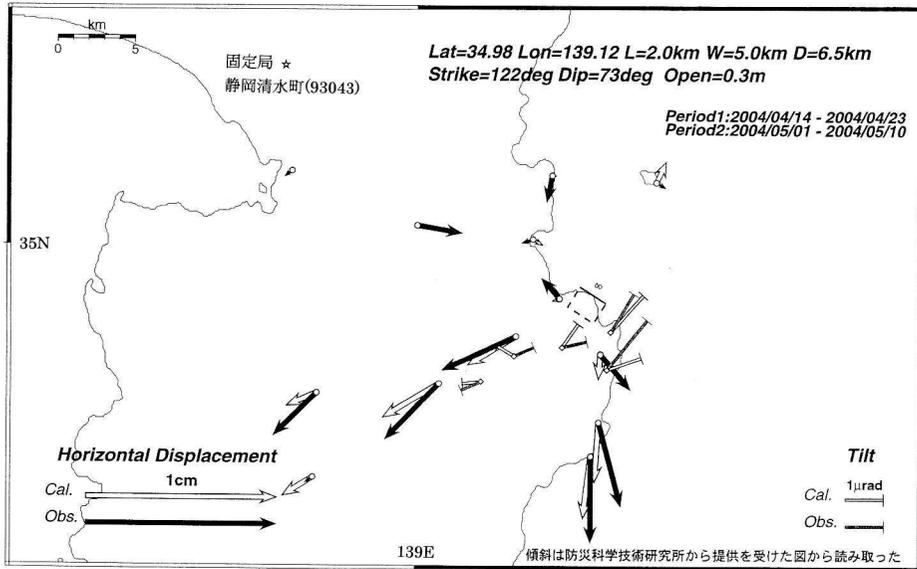


図5 2004年4月伊豆東部の群発地震に対するダイクモデル(矩形の実線が地表に近い辺を表わす)。上端の深さ6.5km、高角で南に傾く小さなダイクで30cmの開口があったとしている。矢印は水平変位、棒は傾斜下りのベクトルを示し、黒が観測値、白が計算値を表わしている。[第157回:地理院資料より合成]

それぞれダイク(岩脈)の貫入モデルが提出された(図5, 地理院)。

伊豆半島の東方沖では、20年にわたって繰り返された激しい群発地震活動が1998年4月を最後としていったん沈静化したものの、2002年5月および2003年6月に小規模な群発地震が再発し、また今回も活動がぶり返したことになる(図6, 気象庁)。なお、精密な震源決定結果によれば、各年の群発地震の発生領域は少しずつ位置がずれており、重なり合うことなく住み分けているように見られる(気象庁, 東大震研)。

4. 東海・中部地方

最近20年間の東海地方における地殻変動を水準測量・潮位観測・GPS観測を総合して見直し、また同地方に沈み込むフィリピン海プレートの形状を再考察して、プレート間カップリングの状況とその変化を詳しく調査した結果が名大より報告された。その概要は以下の通りである。①1997-2000年のGPS観測結果から推定した滑り欠損モデルでは、固着度100%の領域が遠州灘とその沿岸域に広がっている。これは、微小地震から推定された松村の固着域とGPSから推定された鷺谷の固着域を包含するものである(図7:名大)。②2001年東海スロースリップは、浜名湖周辺域における南西方向への3cm/年のフォワードスリップでモデル化できる。

フォワードスリップは深さ25-30kmのプレート境界で発生し、より内陸側の深部では低周波微動が発生している。③1980年以降の上下変動観測結果から、スロースリップは1980-82年と1988-89年にも同じ浜名湖周辺で発生し、2-3年間継続したものと推測される。この時期は光波測距で観測された辺長短縮の緩和期に相当しているが、これらの変動量は2001年イベントと比較して小規模であった。

なお、東海地域のスロースリップは現在も継続しており、2000年からの累積すべり量はM7.0の地震を超えるレベルに達している(地理院)。一方、スロースリップ領域の東隣りに位置し微小地震活動の全体的な静穏化が指摘されている固着域の内部では、局所的に地震活動の活性化している地域を数カ所同定することができ、ここが次の地震のアスペリティーとなる可能性が見えてきた(図8, 防災科研)。固着域内の地震活性化域と地震静穏化域を区別して各々の地震活動のb値を比べると、活性化域のb値は静穏化域のb値よりも小さいこと、そのコントラストは異常変化の始まった1997~1999年頃からさらに強くなっていることが指摘された(防災科研)。また、一連の異常変化に同期して浜名湖周辺の地震活動が静穏化していること、愛知県東部の低周波地震活動が活性化しているように見られること、なども報告があった(気象庁)。

中部地方の糸魚川-静岡構造線に沿った領域では、

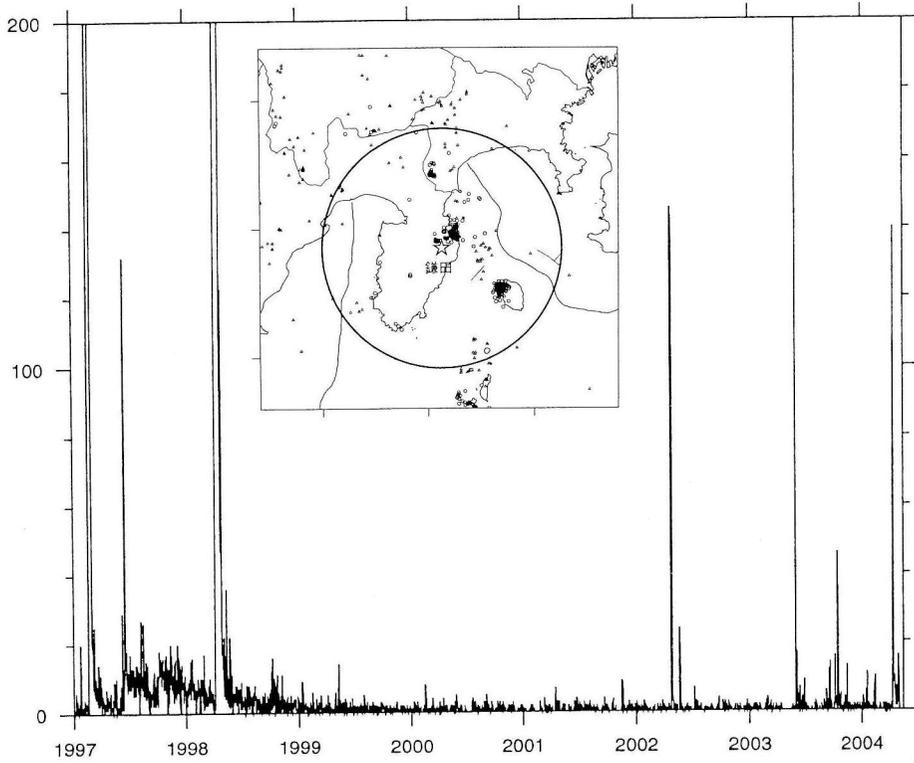


図 6 伊東市鎌田における日別地震回数の変化 (1997/1/1~2004/5/12, S-P \leq 6 秒)。[第 157 回: 気象庁資料より合成]

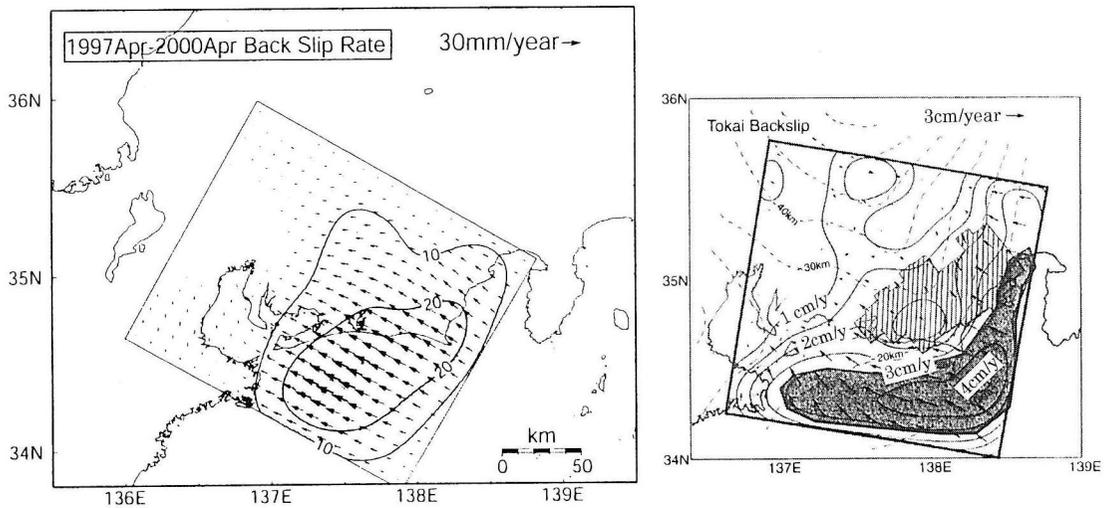


図 7 (左) 1997-2000 年の GPS 観測結果から推定された滑り欠損分布。(右) 微小地震から推定された松村の固着域 (斜線部) および GPS から推定された鷺谷の固着域 (塗り潰し部)。[第 156 回: 名大資料に加筆]

2003年10月頃から細かな地震活動が活発化したように見られ、2004年1月11日には長野県北部でM4.0の地震が発生した。この領域で発生する地震の震源分布と発震機構解をくわしく見ると、諏訪湖付近より北側では震源の深さが10kmより浅く、メカニズムは断層面に直交する方向に張力軸を有する正断層型となっているのに対し、南側では深さが15kmより深くメカニズムは横ずれ断層的である。糸魚川-静岡構造線の北部と南部とでは、地震の性格がかなり異なっているようである(防災科研)。

5. 近畿地方以西

2004年4月16日、京都府南部の亀岡付近で、深さ13km、M3.6(最大震度2)の地震が発生した。この地震が発生した丹波山地は微小地震活動が常時活発な地域であるが、2003年1月末頃から活動が低下したまま現在に至っている(図9、京大防災研)。このような現象はこれまでに数回見られ、最近では兵庫県南部地震の前や2000年鳥取県西部地震の前にも同様の現象があった。丹波山地の微小地震活動は西日本全体の応力状態を反映するイ

ンディケータと考えられること、および西日本が地震の活動期に入ったとの認識があることから、今後注意すべきであるとの考えが述べられた。

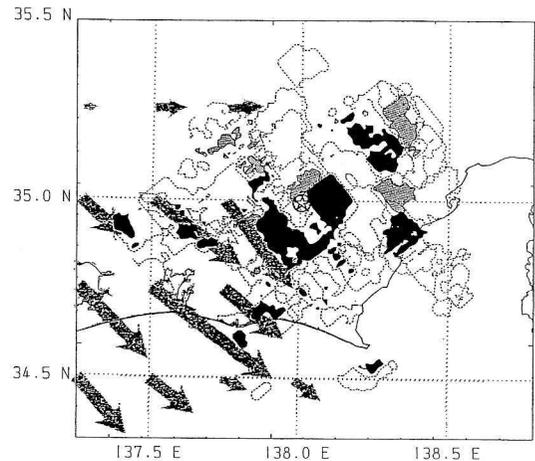


図8 東海地震の推定断層域内における地震活動度変化。砂色は上盤側、黒塗りは下盤側での地震活動活性化域を示す。なお、矢印は地理院により推定されたプレート境界でのスロースリップ分布であり、中央の星印は一連の異常の発端となった1996年10月川根付近の地震の位置を示す。[第157回:防災科研資料]

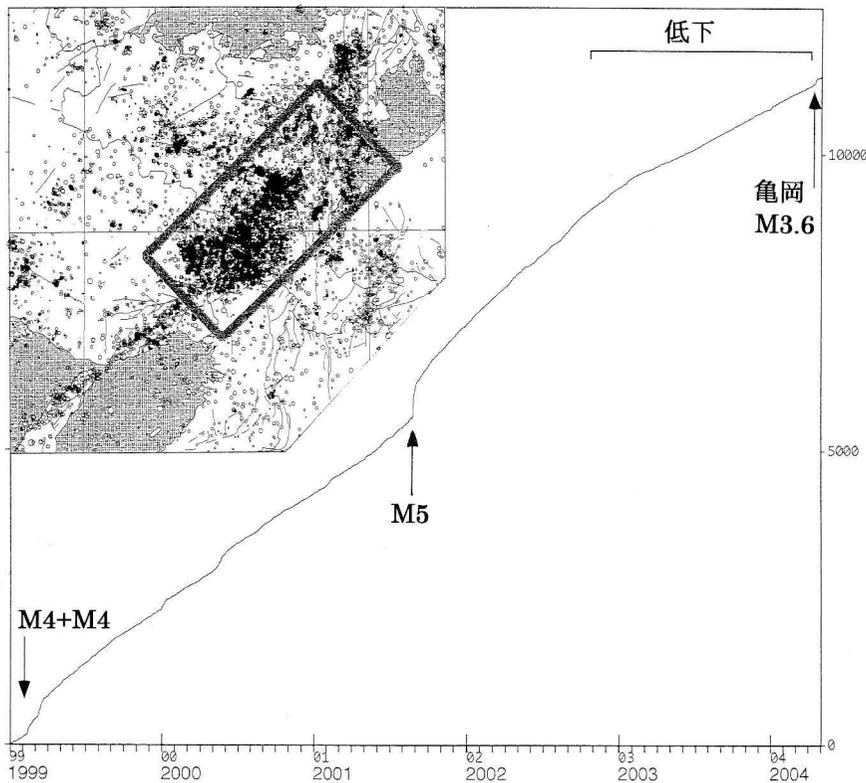


図9 1999年1月～2004年4月の丹波山地(挿入図の矩形領域内、深さ30km以浅)における微小地震の積算発生数。[第157回:京大防災研資料より合成]

2003年11月25日、宮崎県南部山沿い地方の深さ11 kmでM 4.1の地震が発生した。発震機構解は北西-南東方向張力の正断層型であった。また11月30日には鹿児島県北西部の深さ10 kmでM 4.8の地震が発生した。この地震の発震機構解は北西-南東方向張力の横ずれ断層型であり、1997年3月の地震(M 6.6)の余震域内で発生している。両地震を結ぶ線上には地震活動が配列するように見られ、またGPS観測による地殻変動もこの線のあたりを境にして様相が急変している(防災科研)。

6. トピックス

6-1. トリガリング

第156回連絡会では、トピックスとして「トリガリング」(世話人:橋本学委員)が議論された。地震の発生を促したり抑制したりする機構の解明は、地震予知への重大な手がかりを与えてくれる。

「静的トリガリング」(産総研:遠田晋二)では、地震発生に伴うクローン応力の変化が周囲の地震活動度を増加・減少させるメカニズムについて、単なる静的応力の変化のみならず、それが引き起こす地震活動の時間変化、とくに大地震後の地震続発による多重応力変化がもたらす劇的な地震活動度変化に注目すべきであることが強調された。新しい試みとして、中長期的な地震発生確率を推定する際に地震発生に伴う応力変化の影響を加味する方法や、微小地震活動の変化から逆に応力状態を推定する方法などが紹介され、実際に東海地域に適用した例が報告された。

「静的トリガリングと統計」(統数研:尾形良彦)では、まず地震活動の静穏化・活発化を見るには理論的な累積地震関数(ETASモデルの発生率の積分)からの偏差を測ることが重要であるとの指摘がなされたのち、以下2点の現象が紹介された。①いったん大地震が起きるとその近辺に同程度以上の地震が起きる確率は遠方のどこかに起きる場合よりも大きい。②最初の地震の余震活動が期待値より静穏化してしまった場合、正常に余震が減衰している場合よりも、この先新たな断層破壊を伴う大きな余震が起きる可能性が高い(図10)。日本では、余震の静穏化が数カ月以上の長期間に及ぶと、余震域近傍(たとえば200 km以内)で6年以内の期間に、本震と同規模以上の地震が起きる確率がその他の場合より数倍以上も高くなる。この仕組みとしては、来るべき大余震または大地震の断層内の一部または隣接部で非地震性の前駆的滑りがあり、それに伴う歪応力の変化によって自然な余震発生が急激に抑制されることが考えられる。

「月齢と地震活動の関係」(京大防災研:片尾浩)では、1995年兵庫県南部地震震源域の北東に隣接する丹波山

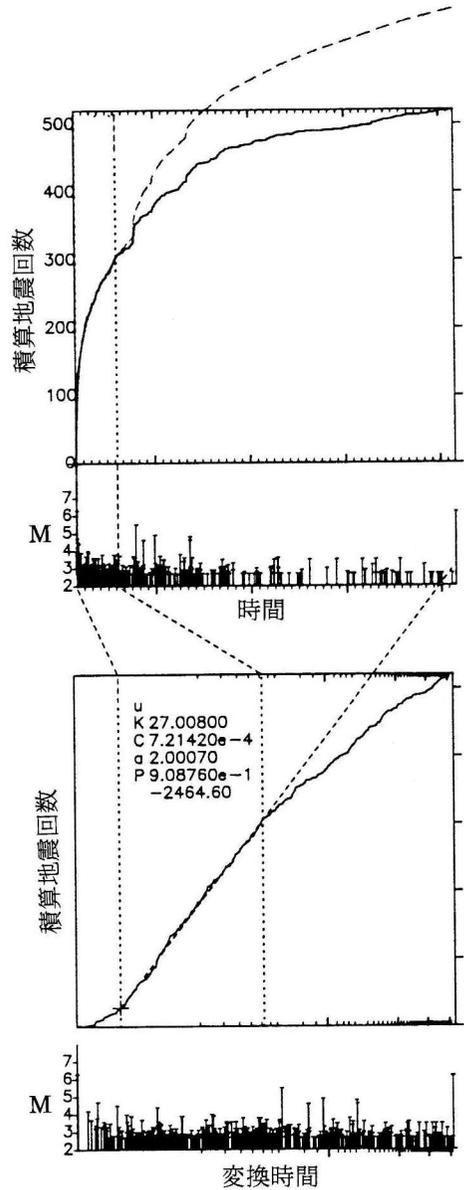


図10 1997年鹿児島県北西部地震時の余震の推移。上段は積算地震数の推移、下段はETASモデルで変換した時間に対するものを示す。図の左端(3/26)でM 6.5、右端(5/13)でM 6.2の地震が発生しており、その途中で余震活動の静穏化が見られる。破線が余震の発生予測曲線を示す。[第156回:統数研資料に加筆]

地での地震活動について、日別地震発生数と月齢との関係を調査した結果が報告された。各地震の発震時における月齢を長期間にわたって積算した結果、朔および望のあと数日間に地震発生率が高くなる現象が見つかった。このような半月周期の地震活動度変化はとくに丹波山地区で顕著だったが、兵庫県南部地震以前や1997年

以降の時期にはこのような傾向が見られなかった。地震後2年間に限って、丹波山地では潮汐に関連したトリガリングを受け易い状態になったものと考えられる。なお、統計的有意性については、このような現象が偶然発生する確率は1%以下であるとの結論を得ている。

「動的トリガリング」(京大防災研:宮澤理稔)では、地震波の伝播に伴う応力の擾乱によって地震活動や火山活動が誘発される事例が紹介された。静的トリガリングに比べ、はるかに遠距離まで地震がトリガリングされることが特徴であり、表面波等の長周期波動が誘発しているものと思われる。最近の例として、2003年9月26日十勝沖地震(M 8.0)から放射された地震波に伴う地殻の能動的応答が調査され、四国西部・紀伊半島・東海地方において動的トリガリングと思われる群発的な地震活動が見出された。これらは同地域の深さ約30 kmに発生する深部低周波微動が誘発されたものと考えられる。なお、翌27日に発生したシベリア南西部の地震(Mw 7.3)(震央距離4,000 km)からの地震波によっても、同様の動的トリガリングが確認されたとのことである。

6-2. 活断層の深部構造と地震・地殻活動(その2) —糸魚川-静岡構造線研究(最近の成果)—

第157回連絡会では、トピックスとして「活断層の深部構造と地震・地殻活動(その2)」(世話人:桑原保人委員)が議論された。このテーマについては、「その1」が第150回連絡会(2003/2/17)で取り上げられているが、今回は糸魚川-静岡構造線をめぐる最近の研究成果に焦点をあてて議論がなされた。

「糸魚川-静岡構造線北部周辺の地殻構造」(東大震研:佐藤比呂志)では、同構造線の北部周辺地域で実施された地殻構造探査の成果とその地質学的解釈について紹介があった。糸静線の北部と南部は成因的に全く異なっており、その深部形状も北は東傾斜、南は西傾斜が基本構造となっていること、糸静線の北端部は活断層ではないこと、北部フォッサマグナの形成が短縮変形過程として解釈できること、などが説明された。地震・電磁気探査、レーザー関数解析、トモグラフィー解析などの結果を総合することにより、図11のような地殻構造概念図が得られている。

「電磁気で見た糸魚川-静岡構造線」(東工大:小川康雄)では、糸静線北部の周辺地域における電磁気探査の結果が紹介された。飛騨山脈の下や活褶曲地帯の下に低

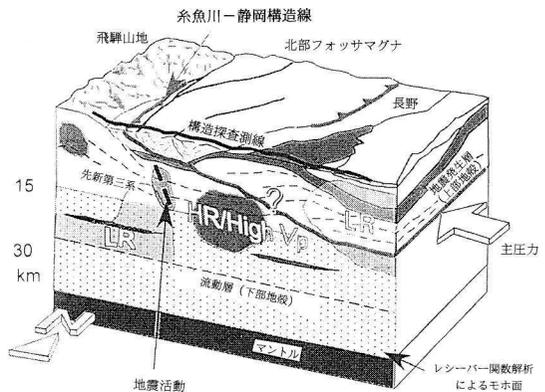


図11 北部フォッサマグナ地域の地殻構造概念図。HR/High Vpは高比抵抗/高地震波速度領域、LRは低比抵抗領域を示す。[第157回:東大震研資料に加筆]

比抵抗領域が存在すること、中央隆起帯と呼ばれる地域の地下では高比抵抗の領域が見られること等の特徴が明らかにされた。

「糸魚川-静岡構造線活断層系周辺の地震活動」(東大震研:酒井慎一)では、糸静線北部地域において稠密な臨時地震観測を実施し、人口地震探査で得られた地震波速度構造などを用いて震源決定精度を向上させた解析結果が報告された。糸静線の周辺で発生する地震は、地表の地質断層線から東にずれた位置でほぼ南北に線状配列しており、構造探査から明らかになっている東側への傾斜面の下ではほぼ鉛直に分布している。「現在を含めた数百年以内に、M 8程度の規模の地震が発生する可能性が高い」とされているが、このM 8地震は構造探査で見出されている傾斜面で起きるのか、それとも微小地震観測結果で見られる垂直な面で起きるのか、不明である。

最後に「糸魚川-静岡構造線断層帯北部における変形過程の総合モデル」(名大:鷲谷威)では、断層を横切る稠密なGPS観測により得られた地殻変動の状況と、それを説明するためのシミュレーションモデルの考察結果が紹介された。地殻歪速度の大きい地域は、下部地殻に低比抵抗領域が見つけられた地域とほぼ対応していること等がわかったが、観測されている地殻変動は、深部における低角の断層すべりでは再現が困難であるとの結果になった。内陸地震の発生過程のモデル化については、今後もさらなる総合観測と多様な手法による総合解析が必要である。

■ 書 評 ■

● 寺田物理学の中の地震学・防災学の視点

小林惟司 著

寺田寅彦と地震予知

評者 飯沼光夫

本書は、物理学者・寺田寅彦（明治11年・1878年～昭和10年・1935年）の地震研究と防災研究の軌跡を詳細に生涯に渡って追跡し、今日的視点から改めて見直し、その意義を検証し寺田地震学の真髄に迫ろうとした力作である。

寺田寅彦にとって地震研究と防災研究は彼の基本的研究テーマであり、これらの研究成果にもとづいた新しい知識を、当時の一般大衆に対する科学教育のひとつとして普及させ、不意の災害に遭遇したときの被害を軽減する必要性を繰り返し説いてきた人である。また、当時誰も認める者のいなかった極めて突飛なウエゲナーの大陸移動説を日本に紹介し、ここに潜むプレート・テクトニクスの芽をいち早く直観的に嗅ぎ取ったのも寺田である。それだけに寺田寅彦の地震に関する研究哲学と研究方法に絞ってその業績を総点検・評価してみることによって、今日の地震研究に新しい視点を提供するものが少なからずあるのではないかと思う。

さて、本書の内容について触れる前に、著者についてご紹介しておく必要がある。実は、著者は、民間企業の業務経験を経て、大学では『保険論』を講義している経営学者である。

だから、著者は地震学の専門家ではない。しかし、著者の寺田寅彦研究は、著者のライフワークとして取り組んでいるテーマで、1995年に上梓した『寺田寅彦の生

涯』（改訂新版）は第9回大宅壮一・ノンフィクション賞の候補作に選ばれた。著者の執筆の姿勢は、膨大な論文・文献資料の調査とともに、多くの関係者に面会して得た情報や事実のあった現場へ直接出向いて自分の目で確認するという方法に徹している。正に寺田流の研究手法であるといってもよい。地震研究の専門誌である当ジャーナルに本書を紹介するに当たって、地震研究の門外漢である著者がどうして本書を執筆することになったのかについて触れておく必要を感じたので、特に述べたわけである。

寺田寅彦の論文は、英文211篇、邦文58篇あり、地震に関する論文は殆どが英文である。その中で関東大震災、丹後地震などの実例を基にして、地殻の垂直移動や水平移動などについて考究している。また、地震に伴う発光現象に関する寺田仮説の先見性も面白い。

本書の内容は、第一部・自然と災害、第二部・人と災害の二部構成となっている。第一部では、寺田寅彦の物理学と災害論、粉体力学と粉体流の災害、雲仙火砕流の災害、関東大震災と地震学、地震に伴う発光現象、地震の前兆現象の7章立てで、第二部では、寺田と気象学、航空船の爆発事故、飛行艇の遭難事故、生命現象の謎とき、経営のアポカリプスの4章立てとなっている。

最近の地震研究では、プレート境界地震についてはかなり理解が深まってきたといわれているが、内陸地震やスラブ内地震の予知については更なる研究を必要としているようだ。

生前、寺田寅彦が『僕がこうだと見当をつけたことは、これまで決してはずれたことはない』と言った彼の研究仮説に対する直観力の鋭さを評価して、地震予知研究の新しい視点を探索するのも良いかもしれない。

<東京図書、2003年10月、296頁、税込2,625円>

●新刊紹介

第15回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会 編
ここまでわかった都市直下地震

クバプロ, 2001年11月, B5判, 176頁, 3,000円+税

清野政明 著

防災への道しるべ揺れる大地

クライム気象図書出版部, 2001年12月, B5判, 128頁,
2,381円+税

塚原弘昭 編

地震と防災

信濃毎日新聞社, 2002年1月, A5判, 160頁, 1,600円+
税

星谷 勝・中村孝明 著

建造物の地震リスクマネジメント

リスクを定量的に分析し, 損失を抑える手
法とは

山海堂, 2002年4月, A5判, 180頁, 2,800円+税

野口昌之 著

家長の地震考 阪神淡路大震災に学ぶ

文芸社, 2003年6月, 四六判, 188頁, 1,000円+税

赤羽貞幸・北原糸子 編著

善光寺地震に学ぶ

信濃毎日新聞社, 2003年7月, A5判, 180頁, 1,600円+
税

上井孝之 著

地震雲を追いかけて

北国新聞社出版局, 2003年7月, B6判, 129頁, 1,400円+
税

飯野富士雄 著

のれん力学—巨大地震から高層超高層建築を救う

朝日新聞社, 2003年9月, A5判, 280頁, 1,900円+税

地盤工学会 編

2003年三陸南地震・宮城県北部地震報告書

地盤工学会, 2003年10月, A4判, 141頁, 952円+税

B.B. ブキン・D.D. トレント 著 佐藤 正・千木良雅弘
監 全国地質調査業協会連合会環境地質翻訳委員 訳

地震と火山と侵食 シリーズ環境と地質

<第2巻>

古今書院, 2003年11月, A4変形, 170頁, 3,500円+税

黒木松男 著

地震保険の法理と課題

成文堂, 2003年11月, A5判, 318頁, 6,000円+税

耐震建築研究会 著 溝上 恵 監修

巨大地震 VS 耐震施工—あなたの家は大丈夫?
ゆれに勝つ家, 負ける家

イーストプレス, 2003年12月, A5判, 191頁, 1,200円+
税

中央労働災害防止協会 編

地震・火災が発生したら—異常事態への対応

中央労働災害防止協会, 2004年1月, A5判, 16頁, 140
円+税

広瀬弘忠 著

人はなぜ逃げおくれるのか—災害の心理学

集英社, 2004年1月, 新書判, 238頁, 700円+税

島村英紀 著

公認「地震予知」を疑う

柏書房, 2004年2月, 四六判, 238頁, 1,400円+税

三浦泰二 著

手づくり地震予知—静岡の高校で

静岡新聞社, 2004年2月, A5判, 130頁, 1,300円+税

小林 誠・大谷裕之 著

企業の地震対策と危機管理

シュプリンガー・フェアラーク東京, 2004年2月, A5
判, 203頁, 2,200円+税

独立行政法人産業技術総合研究所

活断層研究センター・地球科学情報研究部門・海洋資源
環境研究部門 編

地震と活断層—過去から学び, 将来を予測する

丸善, 2004年4月, 四六判, 237頁, 1,500円+税

井野盛夫 著

こうすれば東海地震はこわくない

静岡新聞社, 2004年4月, 新書判, 131頁, 700円+税

せおまさし・東京いのちのポータルサイト 著

地震のことをはなそう

自由国民社, 2004年5月, 大型本, 32頁, 1,500円+税

岡田義光 著

日本の地震地図

東京書籍, 2004年5月, A5判, 191頁, 1,800円+税

和田芳隆 著

地震社会学の冒険

アストラ, 2004年5月, 四六判, 384頁, 4,500円+税

尾池和夫 著

俳景 洛中洛外・地球科学と俳句の風景

宝塚出版・星雲社, 2003年1月, 223頁, 1,500円+税

David J. Dowrick 著

Earthquake Risk Reduction

デジタル John Wiley & Sons, Ltd, 15,515円 (税込)

G.D. Manolis・P.K. Koliopoulos 著

Stochastic Structural Dynamics in Earthquake Engineering (Advances in Earthquake Engineering)

Computational Mechanics, 33,797円 (税込)

Susanna Van Rose 著

Volcano & Earthquake (Eyewitness Books)

Dk Pu, 2,327円 (税込)

Sean Connolly 著

Earthquake (IN TIME OF NEED)

Orchard/Watts Group, 2,159円 (税込)

執筆紹介

<掲載順>

氏名 尾池和夫

[おいけ かずお]



現職 京都大学総長
京都大学理学博士

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

研究分野 地震発生機構、地震テクニクス、地震予知

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

氏名 島崎邦彦

[しまざき くにひこ]



現職 東京大学地震研究所教授
理学博士

略歴 東京大学理学部地球物理学卒業、同大学院理学系地球物理学専攻修士課程修了、東京大学地震研究所助手、助教授を経て現職

研究分野 地震学(地震発生長期予測)

著書 『あした起きてもおかしくない大地震』(編著, 集英社), 『活断層とは何か』(共著, 東京大学出版会), 『古地震を探る』(共編著, 古今書院), 『地震と断層』(共編著, 東京大学出版会), 『地球』(分担執筆, 東京大学出版会), 『新編日本の活断層』(分担執筆, 東京大学出版会), 『日本列島の地震』(分担執筆, 鹿島出版

会), 『日本の地震断層パラメーターハンドブック』(共著, 鹿島出版会)

氏名 粟田泰夫

[あわた やすお]



現職 産業技術総合研究所活断層研究センター研究チーム長

略歴 東北大学理学部地学科地学第一卒業、工業技術院地質調査所主任研究官を経て現職

研究分野 地質学、古地震学

氏名 中森広道

[なかもり ひろみち]



現職 日本大学文理学部社会学科助教授

略歴 日本大学大学院文学研究科社会学専攻修了、財団法人都市防災研究所研究員、日本大学文理学部社会学科助手、同専任講師を経て現職

研究分野 災害社会学、災害情報論

著書 『阪神・淡路大震災の社会学』(共著, 昭和堂), 『災害情報と社会心理』(共著, 北樹出版), 他

氏名 岡田義光

[おかだ よしみつ]



現職 独立行政法人防災科学技術研究所企画部長
理学博士

略歴 東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程博士課程中退、東京大学地震研究所助手(富士川地殻変動観測所勤務), 科学技術庁国立防災科学技術センター(現防災科学技術研究所)地殻力学研究室長, 地震前兆解析研究室長, 地震活動研究室長, 地震・噴火予知研究調整官, 地震予知研究センター長, 地震調査研究センター長を経て現職

研究分野 地震学、地殻変動論

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

氏名 井田喜明

[いだ よしあき]



現職 兵庫県立大学大学院生命理学研究科教授
理学博士

略歴 東京大学理学部卒業、同理学系大学院修了、東京大学物性研究所助手、海洋研究所助教授、地震研究所教授を経て現職

研究分野 火山物理学

著書 『図説地球科学』(共著, 岩波書店), 『火山とマグマ』(共著, 東京大学出版会)

氏名 大久保修平

[おおくぼ しゅうへい]



現職 東京大学地震研究所教授
理学博士

略歴 東京大学理学部地球物理学卒業、同大学院理学系研究科地球物理学専攻修士課程修了、同博士課程単位取得退学、東京大学地震研究所助手、同助教授を経て現職

研究分野 測地学・固体地球物理学

著書 『EARTH REVEALED—地球を探る』(共著, 丸善), 『大地の躍動を見る—新しい地震・火山像』(共著, 岩波書店), 『地球が丸いってほんとうですか?』(編著, 朝日新聞社)

氏名 伯野元彦

[はくの もとひこ]

現職 攻玉社工科短期大学学長
工学博士

略歴 東京大学工学部、土木工学科卒業、同大学院博士課程修了、東京大学生産技術研究所助手、東京工業大学理工学部助教授、東京大学地震研究所助教授、同教授、同所長、東洋大学工学部教授を経て現職

研究分野 地震工学

著書 『被害から学ぶ地震工学』(鹿島出版会)、『破壊のシミュレーション』(森北出版)等



氏名 廣田 勇

[ひろた いさむ]

現職 (社)日本気象学会理事長、京都大学名誉教授
理学博士

略歴 東京大学理学部物理学科地球物理学課程卒業、同大学院博士課程修了、東京大学理学部助手、気象庁気象研究所予報研究部主任研究官、京都大学理学部助教授、同教授を経て現職

研究分野 気象学、特に大気力学、大循環論



著書 『大気大循環と気候』(東京大学出版会)、『地球をめぐる風』(中公新書)、『グローバル気象学』(東京大学出版会)、『気象解析学』(東京大学出版会)、『気象の遠近法』(成山堂書店)、ほか

氏名 山川修治

[やまかわ しゅうじ]

現職 日本大学文理学部地球システム科学科教授
理学博士、気象予報士

略歴 東京教育大学理学部地学科地理学専攻卒業、東京都立大学大学院理学研究科博士課程修了、筑波大学地球科学系助手、農業環境技術研究所主任研究官を経て現職

研究分野 気候気象学

著書 『環境気候学』(分担執筆、東京大学出版会)、『エルニーニョと地球環境』(共編著、成山堂書店)、『日本の気候1』(共編著、二宮書店)、『環境アグロ情報ハンドブック』(共著、古今書院)



氏名 有沢雄三

[ありさわ ゆうぞう]

現職 日本気象協会技術開発部専任主任技師

略歴 北海道大学理学部地球物理学科卒業、(財)日本気象協会東京本部調査部技師、筑波大学大学院修士課程環境科学研究科修了、(財)日本気象協会開発調整部長を経て現職

研究分野 数値気象モデル、応用気象予測

著書 『新版気象ハンドブック』(分担執筆、朝倉書店)



氏名 飯沼光夫

[いぬま みつお]

現職 千葉商科大学商経学部、大学院商学研究科教授

略歴 東京都立大学工学部工業化学科卒業、産業能率短期大学生産能率科卒業、民間企業で技術開発に携わった後、(社)科学技術と経済の会(シンクタンク)調査部長を経て現職

研究分野 情報経営論、商品開発論、技術予測手法論など

著書 『シナリオ・ライティング入門』(日本能率協会)、『新規事業開発のための情報収集と活用法』(日本能率協会)、『情報経済論』(有斐閣)



ADEP情報

(財)地震予知総合研究振興会 (ADEP) の人事異動

就任

監事 (非常勤) 宮川 壽夫 16. 4. 1

辞任

監事 (非常勤) 永井 榮 16. 3. 31

職員

採用

事務職員 白井 佐和 16. 2. 18

事務局次長 田辺 寿男 16. 4. 1

副主任研究員 南雲 秀樹 16. 4. 1

研究員 後藤 憲央 16. 4. 1

退職

事務職員 荻野 聡子 16. 2. 18

事務局次長 廣瀬 博 16. 3. 31

企画部参事 吉田 幸二 16. 3. 31

以上

編集後記

阪神・淡路大震災からそろそろ10年になる。あの当時「地震学者は何をしていた。予知できなかったではないか」と各方面から非難の声が噴出した。「M8クラスの予知は可能でも、M7クラスの予知は困難です」、「神戸の地震危険度は高いと警告していた学者もいました」等々いくら弁解しても、6,000人を超える犠牲者が出た大災害の重みには屈せざるを得ない。ついには「地震予知」の看板を「地震調査研究」に塗り替えて、再出発する羽目になった。

新しい看板の効き目は大したもので、忽ちに基盤観測網が構築され、観測の成果として新たな発見が続出した。そこでは従来の「地震予知」は消滅したわけではなく、調査研究の重大な目的の一つであるという点で認識は一致している。しかし本号の研究論文のタイトルにも明らかにように、「予知」と「予測」の使い分けが見られるようになった。すなわち従来の予知の継続ではないことが感じとれる。

「工学から見た地震予知・予測」では、予知と予測の区別を明確に定義している。地震予知は「規模、場所、時刻の予知」であり、地震予測は「地震予知から数日前の発震時刻

に関する予知を除いたもの」と定義している。「推測」や「憶測」と言うように、予測は予知に比べてあまり厳密なものではないらしい。

しかし「さんずい」こそないが、法則や規則の「則」は厳密なもののように思える。例えば古代の測量のように、樋に水を張って高さの基準を決めたという事実を考えれば、「測」は数量的な計測を意味するとも言える。単に「予知・予測」と並べると語呂がいいからではなく、科学であるからには、用語の定義、統一がなされなければならない。

ともあれ「地震予知」は地震防災関連研究の究極の目的であることには疑いない。本号では、阪神・淡路大震災10周年を視野に入れて、他の分野から見た地震予知に焦点を当ててみた。とくに予報技術の最先端を行く気象分野からの論文「気象予報と地震予知」はこのような観点から執筆して頂いたものである。「地震の予測は現段階では自然科学の範疇外にある」とは手厳しい。散見する辛口の批評は地震関連研究者に大いに自戒の念を促すことになる。

さらに囲み記事には、「降水確率」のような、およそ地震とは無関係な記事も登場した。これは上記の論文との関連で登場したものである。既

に地震発生も一部で確率予報の形をとっているが、予報された確率が様々な社会的機能に対応して「活用」されてはいない。これに対して気象分野では、予報確率は広く活用されている(囲み記事)。こういった意味で地球関連諸分野の予報技術に触れることは無意味なことではない。今後は洪水や土砂災害のような近隣分野の災害確率予測についても紹介しようと考えている。

(Y. H.)

地震ジャーナル 第37号

平成16年6月20日 発行

発行所 〒101-0064
東京都千代田区猿樂町1-5-18
☎ 03-3295-1966

財団法人

地震予知総合研究振興会

発行人 高木章雄

編集人 萩原幸男

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

●製作/ (財)学会誌刊行センター