

地震 ジャーナル

27

1999年6月

エッセイ 夢を捨てるな地震予知 ● 平野拓也

大きい余震の発生確率の算定 ● 宇津徳治 —— 1

パプアニューギニア・シッサノ津波から分かったこと ● 今村文彦 —— 8

紹介 津波予報の新しいシステム ● 相田 勇 —— 18

世界最大の震動台をつくる ● 片山恒雄 —— 22

Kyoshin Net ● 木下繁夫 —— 28

地震被害想定 of 現状と将来 ● 坪川博彰 —— 38

日本人の災害観 ● 廣井 脩 —— 48

コラム ナマズで町おこし ● 編集部 —— 56

地震予知連絡会情報 ● 金沢敏彦 —— 58

地震と動物—書評へのコメント— ● 池谷元伺 —— 64

● 書評 —— 69

● 執筆者紹介 —— 74

● ADEP情報 —— 76

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

夢を捨てるな地震予知

平野拓也

デビュー当初は、華々しく“夢の〇〇”などともてはやされた研究・開発の計画が、かなり歳月を経た後も依然として夢のままであったり、すっかり忘れ去られたりしている例は少なくない。

最近、批判の多い地震予知も計画が始まったころは、世間の熱い期待を集めた夢のプロジェクトであったように思う。

地震の予知を主要な目標の一つとして明治に始まった地震研究半世紀の成果に基づき、1962年「ブループリント」が発表され、「地震予知計画」が国家的プロジェクトとして推進されることになった。

その十数年後、私は科学技術庁の防災研究担当を命じられ、仕事で地震と最初の関わりができた。時あたかも東海地震についてのいわゆる石橋説に触発されて予知実現への社会的要望が高まり、大規模地震対策特別措置法が成立するなど地震予知を前提とした防災体制がスタートしたばかりだった。

政府は、地震予知推進本部を設け、研究の推進と観測の強化、常時監視体制と判定組織の整備を進め、静岡県をはじめ関係地方自治体は、地震防災対策のためのハード、ソフト両面の強化を図るなど地震予知実用化の機運が盛り上がっていた。

このような状況に刺激されてか、宏観現象を研究する在野の予知研究家の活動も活発であった。ナマズなど動物の異常行動や井戸の水位の観察といった定番のものはもちろん、地震雲、ネムの木の電流、月面の変化の鑑別など様々な手法が試みられ、研究費を求めて来訪される方々も少なくなかった。

その後、約20年、幸いにして予知の可能性ありとされている唯一の地震である東海地震は発生していないので、我が国の地震予知の有効性は未だ実証される機会がないわけである。

それにもかかわらず、阪神・淡路大震災をきっかけに、世間では、30年も研究を続けていながらなぜこの地震の予知ができなかったのかという批判が沸き上がった。

そうは言っても、兵庫県南部地域は、予知連指定の特定観測地域として、地震発生時の危険性は指摘されていたものの予知の体制が整備されていたわけではないので、この批判はいささか酷というものであろう。

しかし、実際には地震予知は不可能という否定的な見方が広がり、役に立たない予知研究に金をつぎ込むぐらいなら、防災対策の強化に振り向けるべきだというムードが生まれ、学会での見直し機運や政府の方針転換などがあって、予知研究は元気がなくなっているように見える。

地震の予知が可能か否かについて、素人が云々するのは僭越であることを承知で申せば、複雑でダイナミックな地球を相手にする研究をただか数十年、従来の発想と手法でやってきただけで、最早限界が見えたとして予知に対する努力を放棄するならば、それは後世に対して無責任のそしりを免れないだろう。

不可能と考えられてきたことを新しいアイデアや忍耐強い努力で可能に変えてきたのが科学技術の歴史である。

地震予知研究を地震学者や予知研究者だけのものにせず、いろいろな異分野の研究者・技術者の参加を得て、学際的な研究・開発を盛んにすることにより、新たな展開が図れないものだろうか。地震予知総合研究振興会には、この面で、今後ますます大きな役割を果たすことを期待したい。

現代科学を結集した予知体制、最新工学を活用した防災対策、そして人文・社会科学を駆使した社会・経済混乱の回避措置、この三位一体の組み合わせで、21世紀の日本が震災の恐怖から解放される日が早く来ることを夢見ている。



JR 吉川駅前の巨大ナマス・モニュメント。金属板をたたいて打ち出したボディに金胎漆塗を施してある。平成7年漆芸家室瀬和美氏制作。

大きい余震の発生確率の算定

宇津徳治

余震活動の予測

震源の浅い大きな地震があると、その後多数の余震が発生し、地元住民に不安感をもたらす。大きい余震により被害が生じることもあるので、救援、復旧作業や、事業の再開等は大きい余震の発生の可能性を念頭に置いて進める必要がある。地震予知が難しいのは余震も例外ではなく、従来、被害地震があると「余震は次第に減っているが、今後 $M6$ クラスの余震が起こる可能性もあるので、1 月間くらいは注意が必要である」という程度の情報を出すにとどまっていた。

しかし、現在の地震学の知識を活用すれば、もう少し定量的な情報の提供も考えられる。1994 年三陸はるか沖地震 ($M=7.5$) の 2 日後、地震予知連絡会は「 $M7$ に近い余震が発生する可能性がある」という公式コメントを発表したが、事実、本震から 10 日後に $M7.1$ の余震が発生しかかなりの被害が出た。 $M7.5$ の本震の後に $M7$ 以上の余震が起こる確率は通常はかなり低い、このときは本震直後の余震発生状況や、余震活動の地域的特徴などを勘案してこの判断が下された。

1993 年釧路沖地震 ($M=7.8$) は釧路市のほぼ直下に起こったが、余震についての注意はいっさい出されなかった。本震の震源が深いほど余震活動は弱くなる傾向があるが、この地震の震源の深さは約 100 km であり、余震は本震の規模の割には少ないだろうと当初から予想された。本震後 24 時間以内に起こった余震は最大でも $M5.0$ 程度で、また、ほぼ水平の断層が動いた地震であり、余震も断層面に沿って発生していることが判明し、被害を伴う大きな余震が起こったり、多数の有感余震によって不安感が生じるおそれはほとん

どないと判断された。本震の深さが 100 km でも、鉛直に近い断層が動き、断層がかなり浅い所まで達していたならば状況は違ってくる。

カリフォルニアでは、大地震の後、余震発生の確率が米国地質調査所 (USGS) から (ときにカリフォルニア工科大学等と連名で) 公表される。その最初の例はサンフランシスコなどに大きな被害をもたらした 1989 年ロマプリエタ地震 ($M=7.1$) であった。本震から 4 日目の 10 月 21 日午後 5 時現在、今後 24 時間に $M6.0$ 以上の余震が発生する確率は 1%、 $M5.0$ 以上ならば 8%、今後 2 月間をとればそれぞれ 12%、55% と発表された。この計算は当時 Reasenbergs and Jones (1989) が出した式を用いたものと思われる。この式は次ページの囲み記事として示す方法によっているが、初歩的な誤りを含んでおり、後に訂正された (Reasenbergs and Jones, 1994)。1994 年ノースリッジ地震 ($M=6.8$) では 1 月 17 日の本震当日 (本震から 9 時間半後) に、今後 1 週間以内に $M5.0$ 以上の余震が発生する確率は $1/2$ 、 $M6.0$ 以上ならば $1/12$ という発表があり、また、本震から 1 週間後には今後 1 週間以内に $M5.0$ 以上の余震の発生する確率は $1/5$ と発表された。これらは本震の震源、メカニズム、余震発生状況などについての解説に添えられたもので発生確率だけの公表ではない。

カリフォルニアの地震にはサンアンドレアス断層などの横ずれ断層の地震と、それからやや離れた逆断層地震が多いが (ネバダ州寄りには正断層の地震もある)、いずれも地殻上部の浅い地震で、日本のようにいろいろな深さ、いろいろな断層型の地震があり、余震活動にも個性が著しい地域よりは単純である。本震の M だけで決まる標準的余震活動を考えるだけでも、ほぼ適切な予測ができ

そうである。もっとも、メキシコ寄りのインピリアルバレー地区では同規模の地震が頻発する傾向があるので、それをどう考慮するかは難しいだろう。この地区では1987年スーパーステーションヒルズ地震以後、被害地震は起こっていない。

日本でも地震調査研究推進本部の地震調査委員会で1997年度にこの種の確率を評価し公表する問題について検討が行われ、その結果は「余震の確率評価手法について」と題して1998年4月にまとめられた。また、一般向け解説パンフレットも刊行されている(科学技術庁, 1998)。評価結果

は「本震(マグニチュード M_0)の S 日後から $S+T$ 日後までの T 日間にマグニチュード M_z 以上の余震が起こる確率は P である」という形式となる。 M_0, M_z, S, T を与えたときに P を算定する方法は囲み記事に示すものが採用されている。

1998年9月3日の岩手山付近の地震($M=6.1$)に際しては、気象庁から上記の線に沿う評価が公表されたが、本震がそれほど大きくなかったこと、付近で火山性群発地震が進行中に起こった特殊な地震であったこと、作業に不慣れであったことなどの理由から、この事例はあまり参考になら

余震発生確率の計算法

問題は「マグニチュード M_0 の地震(本震)が起こったとき、その S 日後から $S+T$ 日後までの T 日間にマグニチュード M_z 以上の余震が1個以上発生する確率 P 、およびマグニチュード M_z 以上の余震の発生回数の期待値 N_z を求めよ」である。

余震活動の時間的変化が本震から t 日後におけるマグニチュード M_z 以上の余震の発生率(単位時間当たりの発生数) $n(t)$ によって表されるならば

$$N_z = \int_S^{S+T} n(t) dt \quad (1)$$

であり、 P と N_z は

$$P = 1 - \exp(-N_z) \quad (2)$$

という式で結ばれていることは統計学の初歩の知識があればすぐわかるから、問題は $n(t)$ の表現式を指定することになる。 $n(t)$ は当然 M_0 と M_z に依存するから、その依存状況が $n(t)$ の表現式の中に含まれるはずである。

$n(t)$ としては筆者(Utsu, 1961)が提出した次の改良大森公式が広く使われている。

$$n(t) = K(t+c)^{-p} \quad t > 0 \quad (3)$$

ここで K, p, c は t には依存しない正の定数である。

(3)を(1)に入れれば $p \neq 1$ のとき

$$N_z = K \{ (S+c)^{1-p} - (S+T+c)^{1-p} \} / (p-1) \quad (4)$$

が得られるから、 K, p, c の数値を与えれば(4)式から N_z が決まり、その N_z によって(2)式から P が求まる。

同じ本震の余震を扱うとき K は M_z に大きく依存するが、 p と c は M_z にはほとんど依存しない。 M_z をある値に固定しても、 K, p, c は本震の性質によって異なる値をとりうる。特に K は M_0 に大きく依存するが、 p と c は M_0 と特に関係がない(c はデータからその値を推定する上で問題がある量であるが、ここでは触れない)。

K の M_0 と M_z への依存性を調べると、その差 $\Delta M (=M_0 - M_z)$ によって決まり

$$\log K = A + b \Delta M \quad (5)$$

によって表すのが適当とみられる。 A と b は同じ本震の余震活動については M_z によらない定数で、本震が違えばその性質によって異なる値をとりうる。 b はある本震に伴う余震のマグニチュード分布がグーテンベルク・リヒターの式 $f(M) = a - bM$ に従うとき、その式の含まれる係数である。

以上のことから、四つの定数 A, b, p, c は本震によって多少違った値をとり、余震系列の個性を表すものであるが、これらは t によらないだけでなく、 M_0, M_z のとり方によらないので、この4定数の値を指定すれば、上記の諸式により、任意の M_0, M_z, S, T に対し N_z と P が算出される。

ない。今後、ある程度大きい被害地震が起これば、改良された形で評価結果が公表されるだろう。

大きい余震の発生確率の算定法

評価法の原理は囲み記事に記すように単純であり、 A, b, p, c という四つの定数の数値を与えれば任意の M_0, M_s, S, T に対して確率 P が算定できる。これまでに得られている多量の余震活動のデータからみて、多くの場合、 A は $-1.5 \sim -2.5$, b は $0.8 \sim 1.0$, p は $1.05 \sim 1.25$, c は $0.01 \sim 0.1$ 日程度になるものとみてよい。表1にはこれまでの論文にみられるこれらの定数の標準値を示す。これらの定数はお互いに関連しあっており、一組の値として意味があるので、たとえば表1のUtsuの c 値は大きすぎるからといって、これだけを0.1に修正して使うようなことはしないほうがよい。実際、表1にある日本を対象とした3組の数値は、確率算定の主な対象期間である1日から30日後くらいについては大差のない結果をもたらす。ここでは数値を単純にした表1の最後の行の値を標準値として、それによる計算結果を標準的なものとして示すこととする。

図1(a)~(c)にこの A, b, p, c の値を用いたとき、本震とのマグニチュード差 ΔM が1.0, 1.5, 2.0以内の余震が本震から S 日後から $S+T$ 日後までの T 日間に少なくとも1個発生する確率を計算した結果を示す。たとえば $M7.2$ の本震から1日後の時点で今後10日間に $M5.7$ 以上の余震が起こる確率は $\Delta M=1.5$ であるから、図1(b)から約32%であることがわかる ($M6.2$ 以上なら約12%)。

余震発生確率の算定例

ここでは余震活動の例として1995年兵庫県南部地震(1月17日05時46分)を例として取り上げよう。データは気象庁震源カタログである。図2は本震後0.05日(1.2時間)から1,000日までに発生した $M2.5$ 以上の余震の発生率(1日あたり)の変動を示す。左下に示す斜めの長方形の地域内

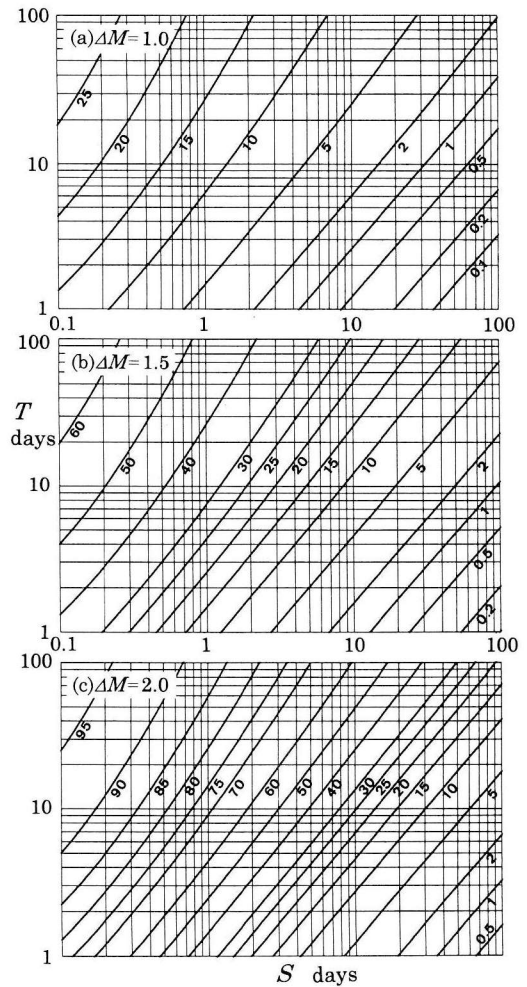


図1 本震から S 日後の時点で、以後の T 日間にマグニチュード $M_s (=M_0 - \Delta M)$ 以上の余震が発生する確率 P (%) のグラフ。横軸は S (日)、縦軸は T (日)。(a)は $\Delta M=1.0$, (b)は $\Delta M=1.5$, (c)は $\Delta M=2.0$ の場合。図は省略するが $\Delta M=0.5$ の場合は図のすべての範囲で $P < 11\%$, 半分以上の範囲で $P < 2\%$ となる。

に発生した深さ40km未満の地震を余震とする。図中の曲線はこのデータに改良大森公式(3)を最尤法によってあてはめた結果で、同式の3定数は図中に記してある。本震直後は余震が相次いで起こるため地震計の記録が重なり合い、小さい余震は大きい余震に埋もれて検出できず、データに脱落が生じる。0.05日以内のデータも多数あるが図にプロットしなかったのはこのため、図にプ

ロットした範囲でも0.1日後あたりでは脱落がかなりあると思われる。c値はこの脱落の影響を受けて実際より大きめに決まっており、別途検討の結果から適切なc値は0.01~0.06日程度と推定される。

このデータに対して求めたbの最尤推定値は1.040であり、 $\Delta M = 7.2 - 2.5 = 4.7$ と $K = 256.35$ を(5)式に入れると $A = -2.479$ となる。これと上記b値、図中に記すp値、c値を用いて本震1日後からの10日間に $M \geq 5.7$ ($\Delta M = 1.5$)の余震が発生する確率を算出すると $P = 20\%$ となる($M \geq 6.2$ ならば $P = 6.6\%$)。これは4定数の標準的な値に

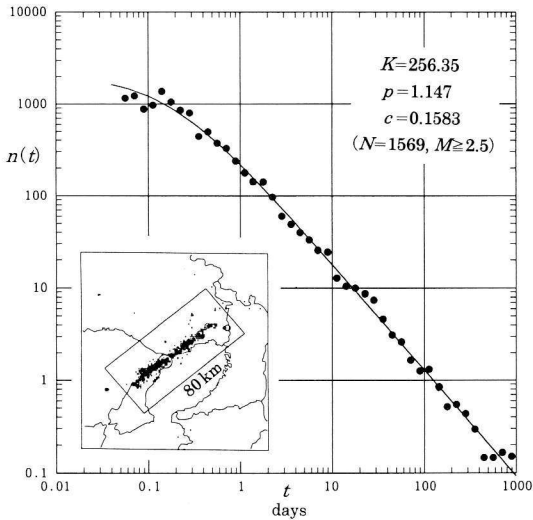


図2 1995年兵庫県南部地震の余震活動の時間的減衰状況。図中の地図の長方形内に起こった深さ40km未満の地震を余震とする(図には10日後までの震央を示す)。本震後0.05~1,000日における $M \geq 2.5$ 以上の余震の発生率 $n(t)$ (日⁻¹)を本震からの経過時間 t (日)の関数として示す。右上の数字は最尤推定値。

よって算出した前記32%(12%)よりかなり小さい。兵庫県南部地震の余震活動が $M7.2$ の地震に伴う標準的な余震活動よりかなり低いためである。

上記 $P = 20\%$ という値は1,000日間のデータが得られた後で求めたものであるが、本震直後の観測資料から4定数 A, b, p, c を推定し、それによって P を求めたらどうなるだろうか。

たとえば、本震後1日までのデータによって K, p, c, b の最尤推定値を求め、それから A を定め、上記確率 P を計算してみる。このとき、採用するデータのマグニチュードの範囲を $M2.0$ 以上、 2.5 以上、 3.0 以上、 3.5 以上の4種、期間を本震後0.01日以後、0.03日以後、0.1日以後、0.3日以後の4種を考え、これらの組み合わせた16通りについて試算した。得られた P は4.9%から99.999%までのいろいろな値となり、そのどれが適当かを知る決め手もない。兵庫県南部地震のように良質のデータが得られた場合でも、直後のデータから推定した4定数の値だけを使って確率を計算するのはまったく無理である。

原因は明らかに本震直後のデータの脱落であり、この脱落は小さい余震ほど、また時間的に本震に近いものほど著しい。4定数の値を適切に推定できないとしても、この地震に伴う余震活動が標準より高いか低いかという情報は重要である。この情報を取り入れる一つの手段として、次の囲み記事に示すような方法を提案する。

この方法によって上記16通りのデータセットについて A_0 を求めるとすべて $-2.342 \sim -2.489$ の中に収まり、対応する P は18~24%の間で変動するだけでほぼ安定しており、1,000日後までのデータによる前記 $P = 20\%$ が正解とすれば、そ

表1 余震の発生確率算定に必要な4定数

著者名	対象地域	A	b	p	c(日)
Utsu(1970), 阿部(1991, 1994)	日本	-1.83	0.85	1.3	0.3
Reasenber and Jones(1989, 1994)	カリフォルニア	-1.67	0.91	1.08	0.05
細野・吉田(1992)	日本	-1.775	0.869	1.034	0.167
松浦(1993)	日本	-2.19	1.03	1.14	0.0356
本解説で用いる標準値		-2.2	1.0	1.15	0.05

の値をほぼ正しく推定している。なお、ここで用いている p_0, c_0 の選択は適当でよく、たとえば $p_0 = 1.05 \sim 1.3, c_0 = 0.01 \sim 0.3$ 日の間で変えても通常は結果に大差は生じない。しかし b_0 は対象とする余震群の正しい b 値からできれば 0.1 以上変わらない値としたい。

図 1 の (a), (b), (c) を比べてみてもわかるように、 P は ΔM (すなわち M_2) に大きく依存する。図 3 に $S=1$ 日、 $T=10$ 日に対する P と M_2 の関係を示す。曲線 S は 4 定数に標準値を用いた場合、K は兵庫県南部地震について図 2 のデータから求めた 4 定数を用いた場合、C はカリフォルニアに対する値 (表 1) を用いた場合である。兵庫県南部地震の余震活動が低いこと、カリフォルニアの地震の平均的な余震活動が高いことが現れている。特に注目すべきは、 P が 15~90% 程度になる範囲で曲線の勾配が大きいことで M_2 (すなわち ΔM) を 0.5 変えるだけで P は 40% 近く変わることもある。

なおこの計算法によると、本震のマグニチュード M_0 より大きい地震の発生の確率もゼロではなく、それは図 3 にも現れている。ある地震がその後に起こるより大きな地震の前震である確率は日本では数%であることが知られているが、図 3 より長い期間 (たとえば $S=0, T=30$ 日) について

本震直後のデータを確率算定に取り込む一方法

本震 (マグニチュード M_0) から S 日後にはマグニチュード M_2 以上の余震はほぼもれなく観測できるようになったとする。 S は 0.5~1 日は必要であろう。 S 日後までのデータを用いて、改良大森公式の定数の最尤推定値 K, p, c を求める。また、標準値としてたとえば $b_0=1.0, p_0=1.15, c_0=0.05$ 日を採用する。

$$K(S+c)^{-p} = K_0(S+c_0)^{-p_0} \quad (6)$$

から K_0 を求め、それを用いて

$$A_0 = \log K_0 - b_0(M_0 - M_2) \quad (7)$$

により A_0 を計算し、これら A_0, b_0, p_0, c_0 を 4 定数として P を算定する。

計算すると、本震より大きな余震が起こる (本震と思っていた地震が実は前震である) 確率はやはり数%となる。

余震発生確率算出上の問題点

上述のように A, b, p, c の 4 定数の値を指定すれば、任意の M_0, M_2, S, T に対する N_2 および P の計算は簡単であるが、それではこの 4 定数をどう選べばよいであろうか。地震 (本震) ごとにその余震活動は大きく異なるが、本震直後の観測データから余震活動の特徴を把握して、それに対応する適切な値を選ぶのは容易でない。表 1 の値はそれぞれある方式での平均的な値であるが、データのばらつきが大きいので、どの範囲の地震を選んでどのように処理して求めるかによって平均値は違ってくる。

たとえば本震の震源の深さとともに余震活動は低くなる傾向は顕著であるから、深さ別に標準値

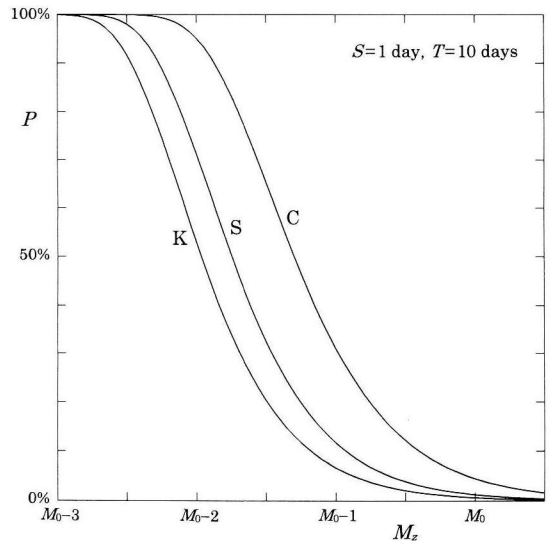


図 3 マグニチュード M_0 の本震の 1 日後からの 10 日間にマグニチュード M_2 以上の余震が発生する確率 P を M_2 に対してプロットしたグラフ。曲線 S は標準値 ($A = -2.2, b = 1.0, p = 1.15, c = 0.05$) による場合。曲線 K は兵庫県南部地震に対する推定値 ($A = -2.479, b = 1.040, p = 1.147, c = 0.1583$) を採用した場合。曲線 C はカリフォルニアの標準値 (表 1 参照) による。

を変えることが考えられるし、プレート間地震のほうがプレート内地震より余震活動が高い傾向もかなり明瞭なので、これも標準値に反映させたほうがよいだろう。そのほか、逆断層の地震のほうが水平ずれの地震より余震活動が概して高いとか、破砕度の高い地震（火山地域の地震もそれに含まれる）、間隙水圧の高い環境で発生した地震（ダム誘発地震など）、震源過程が複雑な地震などは余震活動が高い傾向があるとされている。

このような状況のもと、なんらかの平均値を標準値と認定してそれに頼るのは限界があり、本震直後、余震活動の傾向がつかめない時点でとりあえず行う場合に限られよう。本震から0.5~1日が経過すれば余震活動の特徴は次第に明らかになってくるのでそれによって標準値を修正したものを、さらに本震以後数日後、脱落のないデータがある程度蓄積された時点では、そのデータによってその余震活動の特徴を全面的に取り入れた計算をするのがよいと思われる。

以上の方法は改良大森公式とゲーテンベルク・リヒター式に従う通常の余震活動を想定している。群発地震のように盛衰が不規則な地震活動に対して、その中の最大地震を本震と考えてこの方法を適用してもうまくゆかない。群発地震と本震-余震型の活動との中間的性質をもつ活動もある。

通常の余震は本震のとき動いた断層（本震の原因となった震源断層）に沿って発生する。本震のとき大きく動いた部分よりも、その周辺の少し動いた部分に多発する傾向がある。ときには、本震のときほとんど動かなかった隣接する部分が動き、大きい余震となることもある（断層を拡大する余震）。さらに、本震の断層からやや離れた別の断層にかなり大きい地震が発生することもある（オフフォールト余震、広義の余震）。発生確率の算定の対象となる余震がどの範囲の地震まで含むかは、必ずしも明確でないが、これを完全に明確にするのは難しい。‘余震’の常識的な意味と反することなく、すべての地震をある地震の余震か否か判別するアルゴリズムの作成はほとんど不可能であろう。余震の確率算定に余震の定義にまつわる不確定さが含まれるのは、改善の余地はあるに

しても、ある程度はやむをえない。

確率算定結果の防災面での利用

いま兵庫県南部地震 ($M=7.2$) が起これば、たとえば24時間後に「1月18日6時からの3日間(21日6時まで)に $M6.0$ 以上の余震が起こる確率は10%以下、 $M5.5$ 以上は約20%、 $M5.0$ 以上は約50%」というような情報が公表されるだろう。上記の値は、 b, p, c は標準値に固定し、 A は本震から1日間のデータによって-2.479と推定した結果を用いたものであるが、もし、 A にも標準値-2.2を使うと、 $M6.0$ 以上で10%、 $M5.5$ 以上で32%、 $M5.0$ 以上で70%、 $M4.5$ 以上で98%となる。直後1日のデータを取り入れるだけでも兵庫県南部地震の余震活動は標準よりかなり低いことが数字に現れてくる。ちなみに、兵庫県南部地震の1日後からの3日間に発生した最大の余震は $M4.3$ (2回) だった。なお、本震から4年以内の最大余震は本震の約2時間後に発生した $M5.4$ 、本震から1日以降の最大余震は8日後の $M5.1$ である。

上記のような、ある S, T, M_x に対する P の発表からは、算定がどのような方針で選んだ4定数 A, b, p, c を用いてなされたかはわからない。使用した4定数の値がわかれば、任意の S, T, M_x に対する N_x, P を直ちに計算できるので、専門家にとってはこのほうが便利である。

このような確率情報について、まずでてくる要望は「マグニチュードで言われても、自分のいるところでどのくらいの震度になるのかわからない。震度いくつ以上の余震が来る確率を出してもらいたい」ということであろう。震度に言い換えるにはいくつかの複雑な問題（震源近傍の震度の減衰式、地盤条件、余震震源の分布状況と対象地点との関係など）があり、説明は省略させていただくが、ただちに要望に応えるのは難しい。今後の課題として研究を進める必要がある。

確率情報にマグニチュードを用いるのはやむを得ないとしても、これをどう防災上役立てるか、一口でいうのは難しい。 M がいくつ以上の余震の

確率が何%以上ならばどう対処すべきであると一概に言えないからである。「余震は本震より小さいからむやみに恐れる必要はない」というのも、「余震で被害が出ることもあるから注意が必要である」というのも、ともに正しいのである。

余震について単に「1月間くらいは余震に注意」という程度でなく、直面している余震活動の個性も考えに入れて、現在の知見を活用して定量的な予測を行うのは意味があると思われる。わかっている情報はできる限り発表するという方向は正しいとしても、その活用の仕方は利用者それぞれの立場に応じて考えるほかない。

確率 P は期間の始点 S 、期間の長さ T 、マグニチュードの下限 M_z によって大きく変る。通常、 M_z は内陸地震ではたとえば 5.5, 6.0, 6.5, 沖合の地震ではそれより大きい 2~3 個の値を使うことになるが、条件が悪ければ $M 5.0$ でも被害が出ることもあるし、山間部であったり、震源がやや深ければ $M 6.0$ でもほとんど被害がでない場合もある。ところが、 M_z を 1.0 上げると P が 90% から 20% まで下がることもある。また P は対象期間の長さ依存するので、ほかの条件は同じでも、3日間の P と 1月間の P では値が大きく違う。

かなりの被害を伴う大きな余震（たとえば $M \geq 6.5$ ）の発生確率が 3 日間について 30% 以上になるのは、 $M 7.5$ 以上の大地震の直後だけであろう。被害を伴う余震が本震の 3 週間以上後に起こった例もあるが、どのような算定法によっても、3 週間も経てば確率はかなり小さくなっている（たとえば標準の 4 定数を用いると $\Delta M = 1.0$, $S = 21$ 日, $T = 10$ 日に対して $P = 1.5\%$ ）。

発生確率が 10% 以下だと、ほとんど起こる可能性はないから安心してよいと思うむきもあろうが、日本のような地震国でも、平常の状態であ

る場所がある 3 日間かなりの被害を伴う地震に見舞われる確率は、0.02% 程度以下であるから、確率 2% でも平常時の 100 倍以上になる。

地震予知は現状では難しいとしても、現在の地震学の知識を活用すれば、余震活動以外でも、被害を伴う地震の発生確率を推定できる場合があるかもしれない（たとえばある地域に群発地震が始まったときなど）。このような確率はたとえば数% というように低く求まるだろうが、何も情報がないとき（平常時）の確率に比べれば 100~1,000 倍である。確率が数% では、住民の避難勧告や交通規制等はできないだろうが、それなりの対策をとって防災に役立てることはできる。このような低確率の地震予測の有効性、問題点についてはもっと議論されてもよいのではなかろうか。

参考文献

- 阿部勝征, 1991, 余震の確率予報, 地震 2, 44, 145-146.
阿部勝征, 1994, 余震の確率予報 (訂正), 地震 2, 47, 239.
細野耕司・吉田明夫, 1992, 余震活動の予報, 気象研究所研究報告, 42, 145-155.
科学技術庁, 1998, 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, 31 pp., 科学技術庁.
松浦律子, 1993, 改良大森公式中のパラメータ値について—日本付近の $M \geq 6.0$ の余震活動 (1969-1991), 地球惑星科学関連学会予稿集, 224.
Reasenber, P.A. and L.M. Jones, 1989, Earthquake hazard after a mainshock in California, Science, 243, 1173-1176.
Reasenber, P.A. and L.M. Jones, 1994, Earthquake aftershocks : update, Science, 265, 1251-1252.
Utsu, T., 1961, A statistical study on the occurrence of aftershocks, Geophys. Mag., 30, 521-605.
Utsu, T., 1970, Aftershocks and earthquake statistics (II), J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VII, 3, 197-266.

パプアニューギニア・シッサノ津波 から分かったこと 今村文彦

1. はじめに

昨年(1998年)7月17日に発生したパプアニューギニア・シッサノ津波は我々に大きな衝撃を与えた事例であった。その被害が大きく、静かな漁村集落での犠牲者数は2,200を越え今世紀最大級の津波災害と言われ、また、津波規模が地震マグニチュード(M=7.2)に比べて大きく、通常地震津波とは異なる発生機構であると指摘された。本文は、被災の直後に文部省突発調査団により行われた津波調査や今年始めに海洋科学技術センターによる海底調査の結果、さらに断層モデルおよび海底地滑りの津波数値シミュレーションを通じて、現在までにシッサノ津波について何がわかり何が分からないかを整理しようという試みである。

1992年のニカラグア地震津波以来、大きな被害を伴った津波に対しては、国際的な現地調査班が編成され、いち早く被害の実態や津波の発生・伝播メカニズムが報告されてきた(Satake & Ima-mura, 1995)。シッサノ地震津波は、その最も最近の事例であり、かつ被害規模は過去10年間で最大のものであった。特に、シッサノ潟の砂嘴上に点在していた集落は破滅的な打撃を受けた。その悲報の直後に、第1回の津波現地調査が実施されて、地震に加えて海底地滑りが関与した可能性が指摘され、その実態を調査するために海洋科学技術センター(JAMSTEC)の海底調査研究船「かいらい」、深海探査機「ドルフィン-3K」および支援母船「まつしま」が、それぞれパプアニューギニア北西部シッサノ沖に派遣され詳細な海底調査が実施された。我が国では、日本海中部地震、北海道南西沖地震に対して、同様な海底調

査が実施されてはいるが、海外でしかも発生から半年あまりで、このような詳細調査が実施されたことは画期的であり、その結果に多くの研究者の関心が集まっている。

2. 被害調査で得られた津波の概要

(1) 調査結果の概要 図1には、調査班によるシッサノ潟周辺(写真1,2)での地形と計測された津波の高さ分布を示す。図中で+印が津波高さの計測地点であり、沿岸沿いにある図中においてその点から上にたどると測定値がわかる。シッサノ潟での平均津波高さは約10m程度であり、地盤高さが2m程度であることを考えると、浸水高さは8mにも達する。局所的には15mを超える値も計測されている。わずか砂嘴上の10kmあまりの範囲で平均10mの津波が集中し、その周辺の30kmの範囲でも5m以上の値を示していることになる。しかし、そのさらに周辺になると、一気に津波波高は低下し、大きな被害も報告されていない。M=7.2の地震で推定される断層長さは40-50km程になるので、その長さ比べて、大変狭い範囲に津波エネルギーが集中していることになる。

さらに、シッサノ潟周辺での集落の潟側には、局所的な侵食が見られ(侵食深は1m以上、写真3,4参照)、大木の根が露出していた。これらは非常に強い流れが起こったことを示唆している。来襲してきた津波は、海域ではそれほど流速が大きくないが、水深が浅くなるにつれてその流速は増加し、流れは常流(subcritical flow)から限界流を得て射流(supercritical flow)に遷移していく。射流になると、流速が極めて大きくなるために、底面でのせん断力も増加し、侵食などが見ら

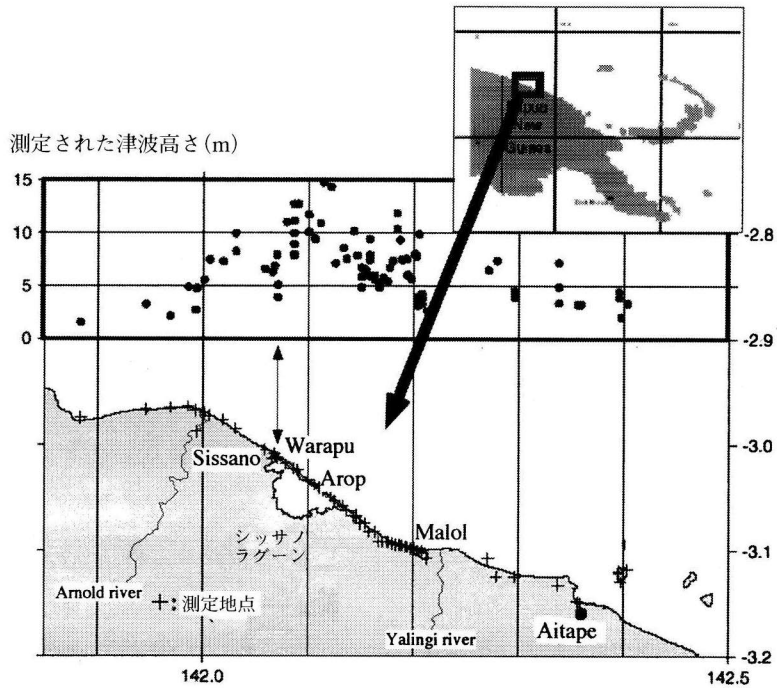


図 1 シッサノ潟周辺の地形と調査で得られた津波痕跡高さ（縦軸は 10 km 間隔）



写真 1 シッサノ潟の航空写真（北西部から砂嘴を眺めた所）

れるようになる（図 2 参照）。実際、砂嘴上の集落周辺には、多くの侵食跡や木々の傾倒が見られた。砂嘴上で、ちょうど限界流であると仮定すると浸水高さから推定される流速は毎秒約 9 m である。これは、今までに測定された代表的な津波の流れの 3 倍に相当する。この強い流れにより一瞬の間に住民及び住宅を全て流し去り、現在はその跡形も残さなかったものと推定できる（写真 5, 6 参考）。

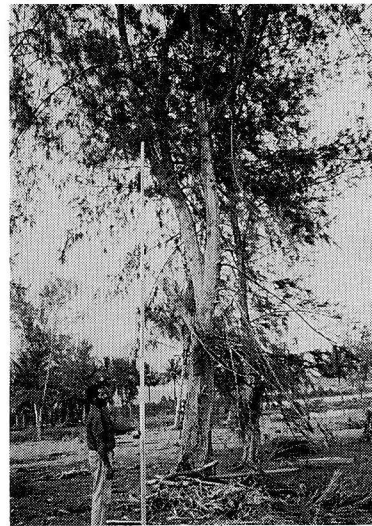


写真 2 津波が浸水した集落の様子、葉の色が変化し、枝などが折れている

(2) 地震・津波の発生について 現在までの地震に関する解析結果によると、マグニチュードは 7.2 で、低角又は高角の逆断層であると推定されている。シッサノ沖では図 3 のような断層が存在

在していると報告されており (Davies, 1998), プレートの沈み込み帯で地震が発生したとすれば低角断層, より沿岸側で発生したとすれば高角断層, が対応すると考えられる. 発振直後報告された震源の位置は, シッサノ潟周辺の陸上部からプレート沈み込みの沖まで, 幅広い範囲であり, 研究機関の結果に違いが大きく未だに本震の位置は

不明のままである.

標準的な $M=7.2$ の地震運動を仮定すると, 断層面積は $50\text{ km} \times 25\text{ km}$ 程度であり, すべり量は 2 m 程度となる. これにより予想される津波は沿



写真 3 砂嘴背後に見られた地盤の侵食 (京大防災研・高橋智幸氏撮影)

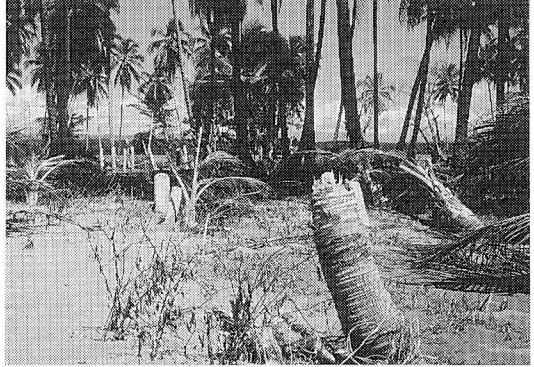


写真 5 津波の直接的な来襲により, なぎ倒され折られた椰子(1) (京大防災研・高橋智幸氏撮影)



写真 4 根本周辺で見られた局所的な洗掘状況



写真 6 津波の直接的な来襲により, なぎ倒され折られた椰子(2) (京大防災研・高橋智幸氏撮影)

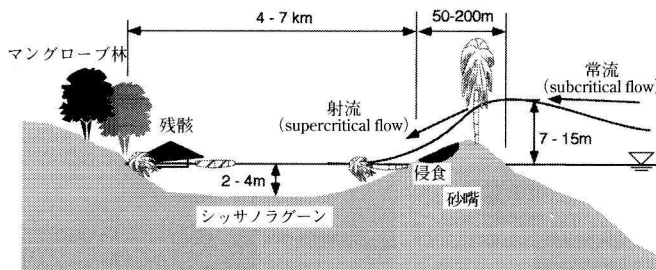


図 2 砂嘴を越流し潟内へ流れる津波と地盤侵食が見られた場所

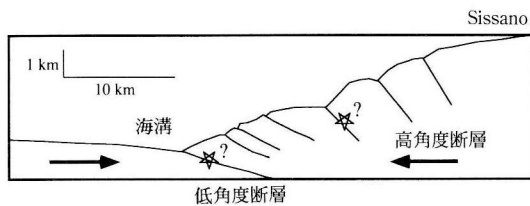


図3 シッサノ潟沖での断層 [Davies (1998) の結果に加筆]

岸でもせいぜい3-4m程度であるため、現地から報道された津波の規模(10m)よりはるかに小さい。そのため、ゆっくり地震である津波地震の可能性が指摘されていたが、被災直後の調査により気象庁震度で5以上の強震がバブアニューギニア被災地やその内陸のルミで推定され、また地震の解析結果もゆっくりとした断層運動は確認できなかったために、現在では、典型的な地震であると判断されている。ただし図4に示されたように、本震時(6:48)前後に2回程度の揺れを感じており、一回の断層運動ではない活動または揺れを伴う別の活動があったと思われる。被災地の住民の証言によると、本震の次の揺れ(7:08と思われる)の前後に津波の第一波来襲があったとされており、初動は引き波であったことは一致している。

さらに、Davies (1998)により住民への詳細な聞き取り調査が実施され、津波来襲の様子が記録されている。特に注目できる結果としては、図5にあるような津波の来襲到達時間がある。これによれば、シッサノラグーンでの砂嘴への津波到達が早く、Malolなど周辺集落の到達は若干遅くなっている。JAMSTECの「かいいい」による調査(1999)によれば、砂嘴(ラグーンにおける)の沖は、扇状堆積物の浅瀬がある一方、潟の左右に位置する河川(図1中のArnold, Yalingi川)の沖には、海底谷が存在しており水深が深くなっている。そのため、ある程度沖合いで発生した津波は、水深の深いMalol沖などへは最も早く到達すべきであるが、図5にある証言による結果と逆になっている。これは、ラグーン沖のかなり近い領域で津波の第一波が発生したことを示唆している。証言による到達時間の精度の問題はあるにせ

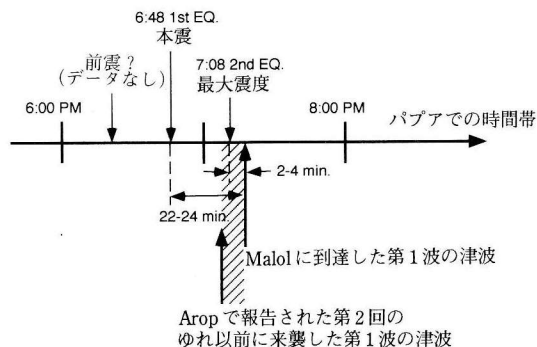


図4 現地住民の証言から推定される津波の到達時間

よ、注目すべき結果である。

(3) なぜ地滑りが起こったと考えるか? 地震の規模(M=7.2)に比べて津波の規模が大きいこと、ニューギニア北部海岸では陸上から河川を通じて流れ込む土砂量が大変多いこと(一説には、アマゾン川の規模を越えると言われている)、現地調査でのインタビューによると本震を含めて2,3回の地震動が起こっていたこと、などの理由により、地震による断層以外に津波発生の原因がある可能性が高い。地震以外の原因は、海底・沿岸地滑り、火山、隕石などがあるが、火山、隕石、沿岸地滑り(陸上部)は、今回観測されなかった。一方、海底地滑りは、いくつかの点で発生していた可能性が高い。その理由として、比較的大きな河川があり土砂供給が豊富であることがある。土砂が水深1,000m以浅の緩勾配の海底地形に堆積していれば、地震動(強振動)により地滑りが誘発する可能性は高い。しかも、さらに沖合いには、水深4,000mに落ち込む急勾配の海底地形があり、一旦起きた地滑りが大規模化・高速化しやすい。地滑りの規模が大きいほど、それにより発生する津波も大きくなるはずである。

海底地滑りには大きく分けて2種類があると思われる。1つは、比較的急斜面の海底で斜面崩壊などを伴って局所的でかつ厚い地滑りに分類されるものと、一方、緩勾配の場所で陸上からの堆積層が大規模にすべり出して、流出するものである。図6は後者の場合を仮定した地滑りによる津波発生の様子を模式的に描いたものである。シッ

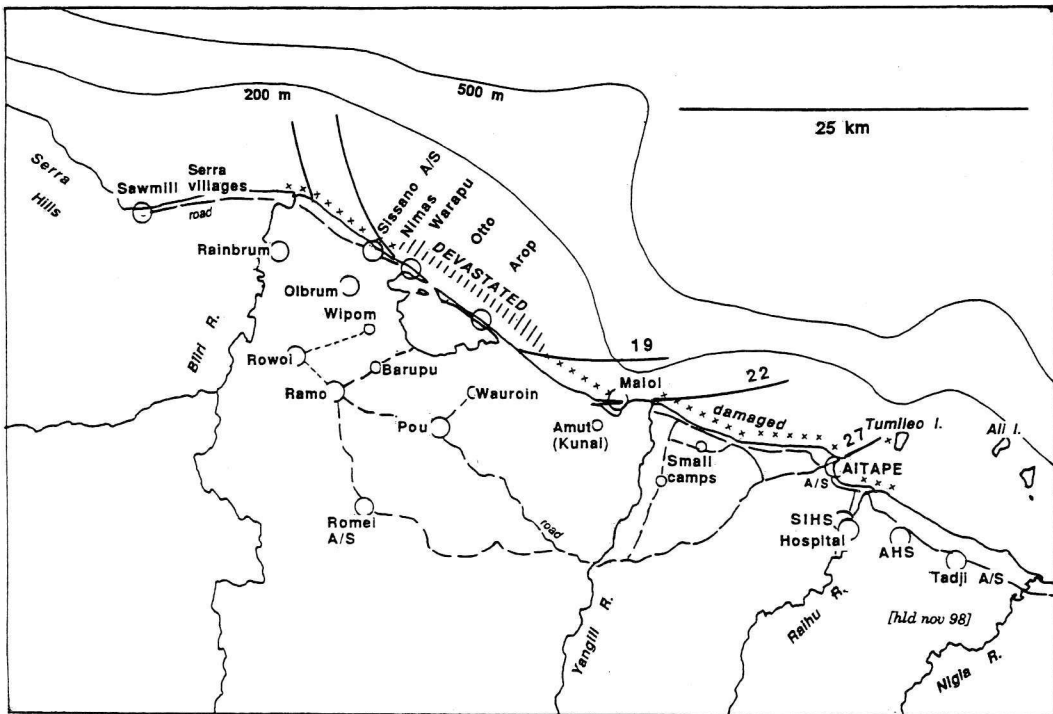


図 5 Davies (1998) による津波到達時間の空間分布

サノ潟沖で、かなり勾配の緩い場所において、地震が引き金となって表面地滑りが起こり、流下するにつれて乱泥流的な流れになるであろうという例である。

3. 海底地滑りによる津波について

(1) 現在の提案されている数値モデル 従来より、土石流のみの研究はなされ数値モデルも提案されている。しかし、海水中の地滑りの挙動は複雑であり、未だに数値モデルは確立されていない。特に、土石流と海水との相互作用と土石流先端部の不安定問題が課題となっている。そこで今回、本モデルでは、密度の違う流体に対して質量と運動量の交換（相互作用）を考慮し、かつ、先端での形状抵抗を取り入れることにより、不安定問題を解決した。ただし、土砂の特性や移動形態が不明であるので、タービタイト（乱泥流）などで見られる混合効果を入れることは現在出来ない。

海底地滑りは、地震によって河口付近のゆるい

土砂堆積層が崩壊し流下していく。その様子を単純1次元の二層流モデルの例（図7）を用いて説明する。この二層流数値モデル（今村・李（1998）、松本ら（1998））では、まず崩壊する堆積層を図のようにあらかじめ設定し、その層を下層とする。この層より上部の海水を上層、下層より下の地盤を固定床として計算している。地震が発生した瞬間に下層は堆積物の重力流（土石流）と仮定するので、時間が進むにつれて海底地滑りは流下していき、その影響を受けて水表面も変化する。土石流の進行方向では移動に伴い下層の厚さが大きくなるために上層を持ち上げ、また先端での運動量交換のために、水表面は上昇する。一方、逆方向（沿岸部側）では、堆積層がなくなった分水表面が低下する。

以上により、沿岸部で観測すると始め引きの波が到達することになる。そのあと、この水面低下の部分に補うように、周りから流れが生じ、押しに転じることになるが、これは平面2次元の場合に顕著である。なぜなら、すべての周囲から水位の低下を補うようにして正の波が伝播するのであ

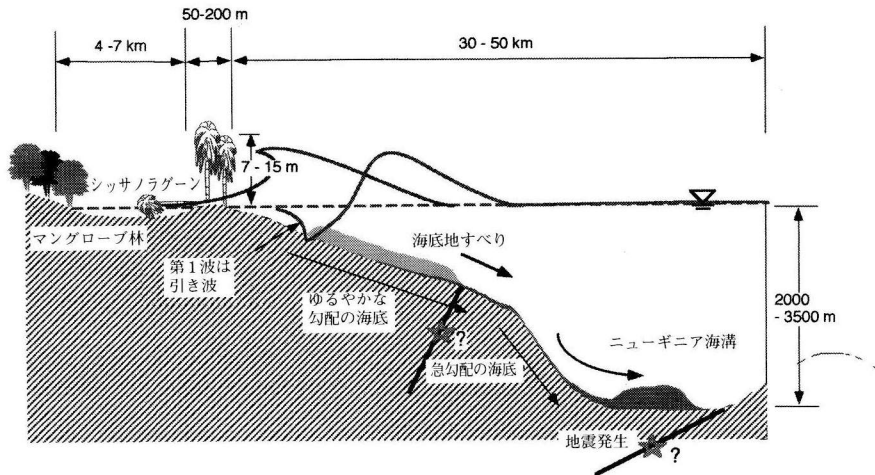


図 6 沖合いの緩勾配海底で地滑りが生じた場合の津波発生の様子

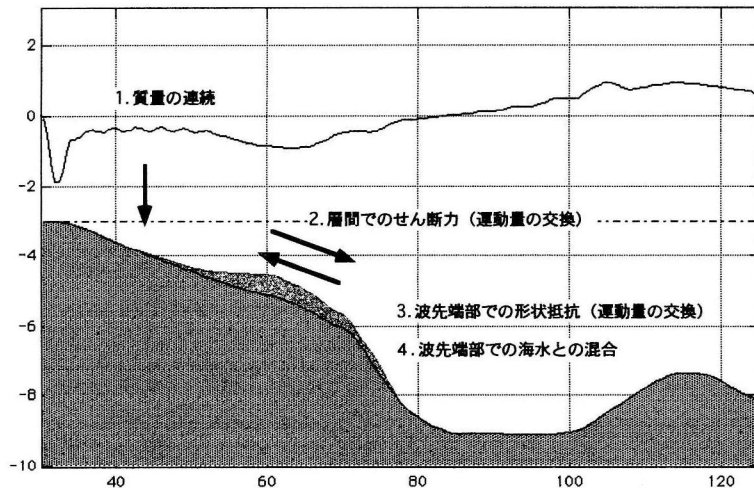


図 7 海水と地滑りの2層流に適用できる数値モデルの概念

る。このようにして、始め引きが伝播し続けて押し波が来るので重複的な挙動を示して、沿岸へ津波は押し寄せる。これは地元の住民による証言と一致する。

(2) 計算対象 計算領域と海底地形図を図8に示す。これは、「かいいい」による海底調査が行われる前のもので、詳細な地形情報は含まれていない。空間格子間隔は200 mで(横750×縦625 mesh)に東西方向に380 km, 南北方向に310 kmの範囲を示している。なお、ラグーンでは地盤高さが低いことが分かっているので、10万分の1の

地形図と現地調査の結果を下に、手作業で値を入力している。

過去の津波に関連した海底地滑りや泥火山に関する資料は少ない中で、de Lang & Healy (1996)は、ニュージーランド北島 Gisborne 沖での津波を報告している。これは、メタンガスなどが地震を契機に噴出し大規模な地滑りを生じたもので、その規模を10-15 kmを推定している。その時の津波高さは局所的に10 mに及んでいる。これを参考に、今回もう少し規模の大きい20 km×20 kmを想定した。過去の地滑りのデータ

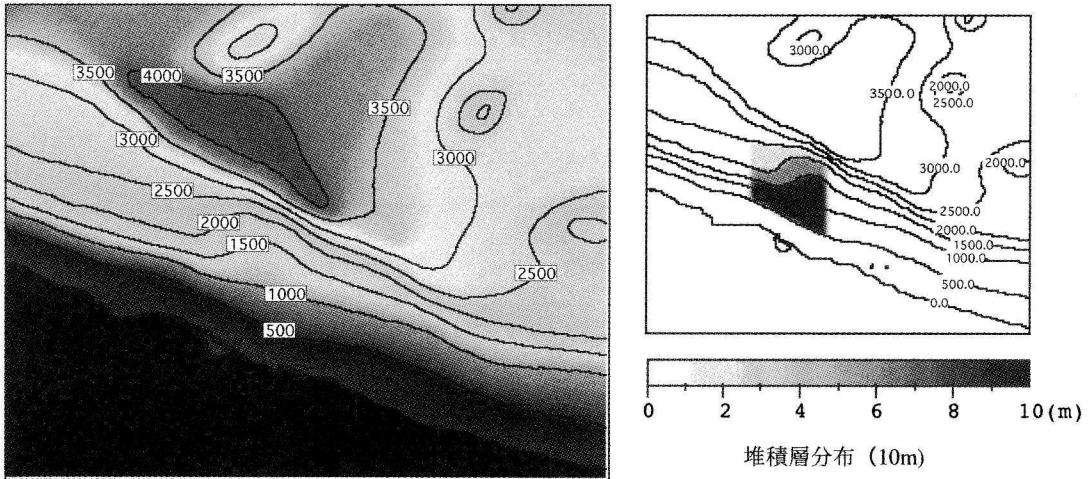


図8 海底調査前の地形図(左)と想定した地滑りの位置(右)

(Watt, 1998)によると、地滑りの厚さは、その水平長さスケールの1%にも及ぶことが指摘される。この場合に、厚さは200mにも及ぶ。今回は厚さ10mと20mの均一な地滑りが発生したものと仮定している。堆積層の平面分布を図8に併せて示す。

(3) 数値モデルによる地滑り津波の特徴 今回の数値シミュレーションで判明した津波の挙動に関してまとめる。特徴は2つほどあり、(1)周期が長い、一方(2)水平スケールが短い(同心円状に伝播)ことである。地滑り津波の周期が長いことは意外に思われると考えるが、今回の断層が幅20-30km程度で小さいこと、また、仮定した地滑りの面積が比較的大きくその動きがゆっくりであるという理由が考えられる。沿岸部付近で地滑りが起こると、その付近への局所的な波高増幅が見られ、さらに、津波エネルギーが沖合に放出される成分が小さくなるという特徴が見られる。これは、遠地(太平洋の沖側)で観測された津波はそれ程大きくないことと一致する。また、図9にあるような場合には、断層による津波成分のピーク(第2であるが)と地滑りによる第一波のピークがほぼ一致している。これは、津波の最初のピークの到達が遅く、シッサノ潟付近で波高が大きくなった理由になるかもしれない。このように、仮定した地滑りと断層(今回はM=7で低角

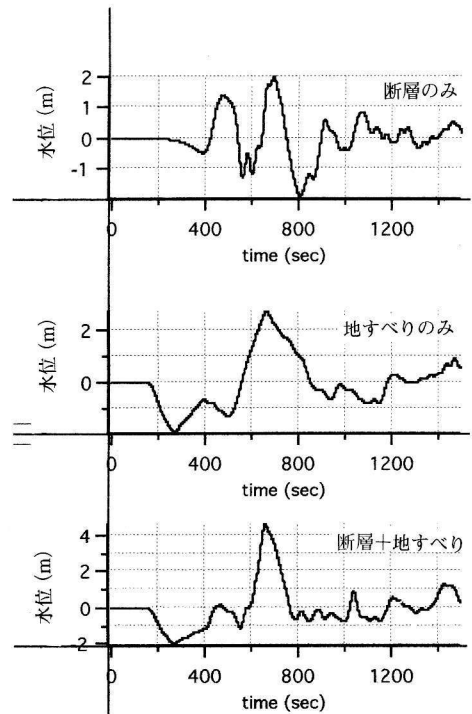


図9 断層のみ、地滑りのみ、両者の複合の3ケースで、潟江線付近での水位時間波形

逆断層)を複合化させて発生した津波は、沿岸部での津波エネルギーがより大きく集中する傾向を説明することが出来る。特に、シッサノ潟の湾口付近での高い波高増加率は、断層のみの津波では見られない特徴である。

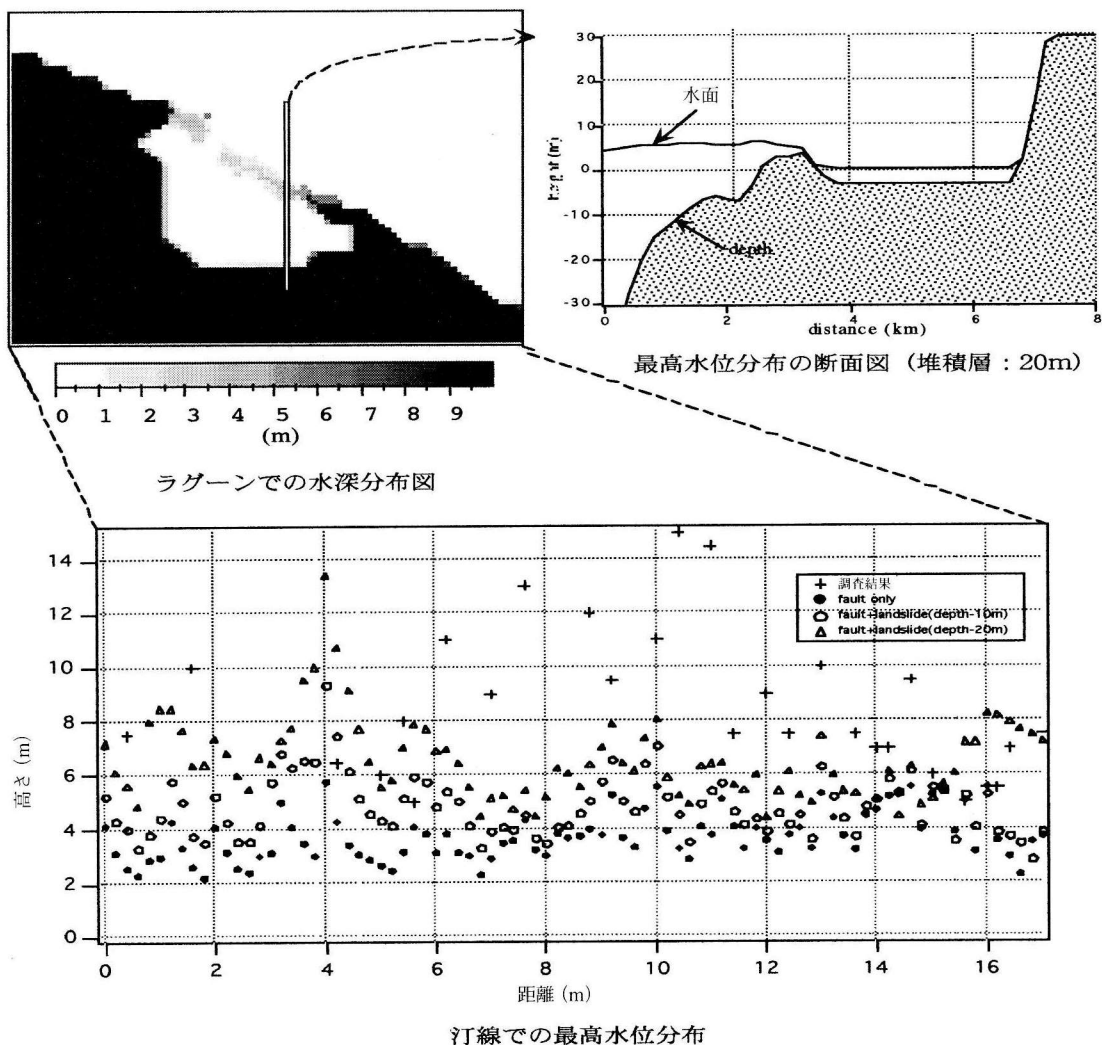


図 10 数値計算により推定された潟周辺での波高分布（砂嘴での越流を考慮している）

図 10 にラグーン周辺での汀線の最高水位分布を示す。ここで、fault only は断層運動のみが生じた場合、fault+landslide は、断層運動と海底地滑りが同時に起こった場合を表す。fault only に比べて fault+landslide の方が実測値に近い値を示し、層厚も 10 m よりも 20 m の方がより近い値を示している。しかし、湾口の東側では、計算値は実測値よりもかなり過小評価になっている。また一方、層厚が 2 倍（堆積層の体積 2 倍）になると、それによって生じる津波の波高も約 2 倍になるが、周期（約 6 分）は変化しないことが分かる。以上の数値シミュレーションと現地でのデータや証言などをさらに詳細に比較検討するこ

とにより実像に近づけたい。

(4) 我が国で地滑りによる津波はあるか？

過去の津波事例を見ると今回の津波だけでなく、海底地滑りや火山爆発などによって発生した津波の例はある。ただし、その頻度は低く合わせても全体の 10% に満たない。代表的な例としては、1605 年慶長地震津波、1741 年渡島大島火山性津波、1791 年八重山地震津波、などがある。1605 年慶長地震津波に関して、相田（1997）は、鹿児島湾での異常潮位の解釈として、南海トラフ海底部の乱泥流を仮定して数値計算を実施して、量的には問題があるものの鹿児島湾内での増幅作用を説明している。また、松本・木村（1993）は、海底

地形調査により、八重山沖で海底地滑りの形跡を確認している。ただし、海底地滑りの範囲の推定は難しく、海底地滑りによりどの程度の津波が発生したかについてはまだ不明である。一方、先ほど説明した松本ら（1998）は、渡島大島火山活動の際に、山体崩壊に伴う津波が発生したものと、崩壊量のすべてが地滑りとして水面に突入し、その後に海底に達したものと仮定して、二層流モデルによる数値解析を実施している。このように、いくつかの事例で、海底または海域での地滑りが確認又は推定されているが、その実態の把握が困難であり、数値解析や予測手法の確立が難しいのが現実である。

4. 最近の調査の結果

(1) 「かいいい」・「なつしま」による深海調査
シッサノ瀉沖での地形調査範囲は、東経141度10分付近から143度20分付近まで、南緯2度以南の水深200m以深の区間である。「かいいい」により海底地形、堆積物音響探査、4点でのピストンコア採取などの調査が、「なつしま」によりシッサノ瀉の沖約20-40kmの範囲を無人探査機「ドルフィン-3K」を利用した海底の状況を撮影、サンプルの採取が行われた。

「かいいい」の調査で判明した地形の特徴としては（海洋科学技術センター、1999）、シッサノ瀉沖の西側と東側に当たる付近に、それぞれ基盤が円形にしかも陸側に向かって凸になるようにえぐれた地形が見られ、それらの円弧の直径は15~20km程度であり、それぞれ沖に向かって土砂が流出して堆積したような様子が見られると報告している。また一方、シッサノ瀉沖には、幅30kmにも達するような扇状地堆積物の浅瀬が20~30kmに沖に延びていることが判明した。このほか、小さいスケールの地形を見ても、島棚斜面上に海底谷が無数にある様子で、島棚が浸蝕を受けていると同時に、大小様々な規模の海底地すべりが頻繁に起こっていることをうかがわせている。

「なつしま」による調査からは、海底の地割れ・地滑り跡が判明した。地割れは延々と続くのでは

なく、100~200mぐらい続くと消え、その消えた辺りからまた別の地割れが始まり、また100~200mぐらいで消えるという雁行配列をしている。これは周辺一帯に働く引っ張りせん断応力が作用した結果のように思われ、海底地滑り面の上部に発生するものとも考えられる。一方、地滑り跡は急斜面で見られ、表面に泥などの堆積がなく、ごく最近の斜面崩壊痕として判断できる。10km×10km程度の範囲で6箇所調査が行われたが、地割れ・地滑り跡がはっきり確認できる場所と確認できない場所に分かれていたようである。断層運動による強震度の違いが反映された結果であるかもしれない。

(2) 余震データ解析から 第1回の現地調査の際に、地震計を3点（Wewak, Lumi, および Vanimo）に設置し、第2回の調査時の回収まで、約1か月の観測が行われた。その結果、1998年8月7日から8月18日午前4時までに発生した余震の震央図が作成された（都司、1999）。それによると、余震のほとんどがシッサノ瀉湖の前面、海溝軸までのおよそ50km×50kmの海域の範囲内で起きており、余震域は陸にはかかっていない。また、海溝軸を越えて陸から遠い方にも全く起きていないことが判った。しかし残念ながら、断層域を示唆するような分布はなく、かなり広範囲にばらついていた。

5. おわりに

未だ議論が多く、さらなる調査の必要がある状況であるが、著者の判断による要点をまとめる。

- 地震の発生場所は、海溝軸上または沖合いではなく、より沿岸に近い場所である可能性が高い。
- 証言で推定された到達時間分布により、津波波源はシッサノ瀉沖のかなり近い場所であると推定できる。しかし、到達時間の数値は、理論的な推定値よりかなり大きく、図9のような複合作用か、または本震とは違うイベントにより発生したのかを、検討する必要がある。
- シッサノ瀉沖の周辺では河口部沖では海底谷な

どが存在し、複雑な海底地形を形成している。また、土砂堆積量もかなり大きい。これらは、津波発生および伝播に少なからず影響しているはずである。

- ・シッサノ潟沖での扇状堆積物の浅瀬とその東側の海底谷は、潟湖の沖に津波エネルギーを集中させる効果を持つ。
- ・小規模な海底地滑りは発見されている。大規模なものについては、現段階でその有無を確定出来ていない。浅海域を含めた調査やタービタイト的な地滑りの可能性についての調査が必要であると思われる。

参考文献

- 相田 勇, 1997, 1605 年慶長津波の鹿児島湾における異常潮位の一考察, 歴史地震第 13 号, 73-78.
- 今村文彦・李 昊俊, 1998, 津波発生・伝播の数値モデルの現状と課題, 沿岸海洋研究論文, 第 36 巻, 91-101.
- 海洋科学技術センター, 1999, 深海調査研究船「かいいい」によるニューギニア島北岸沖精密地球物理調査の結果及び深海探査「ドルフィン-3K」による調査の実施について, 1月29日記者発表メモ.
- 松本智裕・橋 和正・今村文彦・首藤伸夫, 1998, 土石流による津波発生・伝播モデルの開発, 海岸工学論文集, 第 45 巻, 346-350.
- 松本 剛・木村政昭, 1993, 771 年八重山地震津波発生域における精密地形調査と津波発生メカニズムに関する一考察, 地震第 2 輯, 第 45 巻, 417-426.
- 都司嘉宣, 1999, private communication.
- Davies, H., 1998, The Sissano Tsunami 1998, Extracts from Earth Talk, Univ. Papua New Guinea, (ISBN 99808-85-264-X), 34.
- de Lang & T. Healy, 1996, Numerical modeling of tsunamis associated with marl diapirism off Poverty Bay, New Zealand, Waikato University report, 5.
- Satake, K. and F. Imamura, 1995, Tsunamis 1992-94, Their Generation, Dynamics, and Hazards, Birkhäuser, September (ISBN 3-7643-5102-0), 520.
- Watt, P., 1998, private communication.

津波予報の新しいシステム

相田 勇

津波予報の原理

ほとんどの津波は、地震の断層運動に基づく海底の隆起や沈降によって発生する。幸いなことに、地震の波の伝わる速さは毎秒数 km 以上であるのに対して、津波の伝わる速さはその数十分の 1 である。つまり地震が発生するとほとんど瞬時に陸上で感じるが、それから津波が海岸に伝わってくるまでに、時間差があることになる。津波の予報は、この時間差を利用して、地震発生後津波が海岸に到達する前に人々に警報を発しようとするものである。とはいっても、地震が発生した断層が海岸から遠い場合はこの時間が 20~30 分もあるが、海岸に近い場合は 3~5 分もたらずに津波がやってくる。つまり、地震後津波予報発表までの時間を、如何に短縮できるかが重要なポイントである。

そのため、昭和 27 年に津波予報が気象庁から発表されるようになって以来、予報システムの改善は、ほとんど津波予報発表までの時間を短縮することに力が注がれたとあって良いであろう。このようにして、最近の平成 6 年 12 月に発生した「三陸はるか沖地震 M7.5」の際には、地震後約 3 分程度で津波予報が発表された。

一方、これまでの津波予報のシステムでは、各気象台・測候所の地震計に記録された振幅と、震央からの距離とから得られた経験的な関係から、海岸での津波の高さが数十 cm 以下が予想される場合には「津波注意報」、それより高い場合は「津波警報」とし、高さが 2m 以下と予想される場合には「津波」、3m 以上が予想される場合には「大津波」と発表された。しかし、海岸での津波の高さは、津波発生源である震源断層の大きさ、向き、

ずれの量などで変化し、また伝播経路の海底地形や、海岸の地形など局地的な影響を受ける。したがって、経験的統計的な手法では、津波の高さについて信頼性を持った予測が難しいと考えられてきた。

量的予報はどうするか

約 20 年位前から、震源断層のずれによって生じる海底の鉛直変動を初期条件に与えて、海水の運動の式をコンピュータで数値的に解く、いわゆる津波シミュレーションが行われるようになった。その後、手法の改善とコンピュータの進歩とあいまって、最近では通常地震による津波は、断層のパラメーター（断層長さ、幅、深さ、位置、走向、傾斜角、ずれの量、ずれの角）が与えられれば、実用的に信頼できる程度の精度で海岸の津波の高さを求めることができるようになった。したがって、地震が発生した直後にその地震の断層パラメーターがわかるならば、コンピュータの計算時間後には、どこそこに何 m の津波がくるといえることになる。

このような考えにたって、すでに 10 年程前に東北大学のグループ（泉谷・平澤，1990；首藤・今村，1990）が、地震直後にやや簡便な方法で暫定的な断層パラメーターを求め、それをを用いて直ちに津波シミュレーションを行い、津波予報を行う方法を提案した。断層パラメーターの推定および津波シミュレーションを出来るだけ迅速に行えるように検討したが、当時としては地震発生後、簡略化した断層パラメーターを求め、それに基づく津波計算終了までに約 7 分を要するという結論であった。現在では地震記録の収集や解析が、インターネットなどのコンピュータ・ネットワークを用い

て迅速に行えるし、津波計算時間もさらに短縮可能かもしれない。

このように、津波の量的な予報を行うためには津波シミュレーションの手法が欠かせないことになる。

気象庁による新しい量的予報

気象庁では、同様に津波シミュレーションの手法を用いるが、出来るだけ時間を短縮するため、発想を全く変えたシステムを具体化した（気象庁、1998；気象庁地震火山部、1999；館畑、1998）。そこでは、日本の近海全域に震央、地震マグニチュード M 、深さ、の異なる仮想の断層多数を密に配置し、予めそれらを発生源とする津波が沿岸各地に及ぼす津波の高さを計算して、その結果から検索可能なデータベースが構築された。実際に地震が発生した場合には、その地震の震央、 M 、深さ等を求め、津波の高さのデータベースから検索することによって、ほとんど時間を要することなく、沿岸各地の津波の高さが求められ、直ちに予報のシステムに載せることができる。ただし、震央、 M などが予め計算してある仮想の震源の震央、 M と異なる場合には、必要に応じて複数個の組み合わせ、若しくは補間が出来るようにプログラムされている。

この場合、断層パラメーターとしては、震央から決められる断層の位置、地震の M から求められる経験的な断層長さ、幅、ずれの量、それに深さであり、実際に起こった地震のパラメーターとは異なる可能性があり、誤差の原因となると思われる。また、数値計算格子の大きさや、海岸線の長さ 20 km 程度を代表する計算点の適否、など数値計算上の問題もある。しかし、前述したように、津波は、これらの作業を行っている間にも、着々と海岸を目指して進行しているので、予報を一刻でも早くという実用面からの要請によりこのような手法がとられ、経験的な補正係数などを設定して、誤差の問題をクリアーすることにつとめている。この方法で過去の津波の予報値を計算してみると、実際の高さの 0.5~2 倍の範囲に入るとされ

ている。

予報の種類（津波警報・津波注意報）は表に示すように従来と変わらないが、これに最も右の欄に記した津波の高さの数値が加わるようになった。具体的には地震が発生すると、3分程度以内に、従来のような大津波・津波などの警報が発表される。その後各予報区ごとの津波予想高さと到達予想時刻が情報として発表される。また、津波注意報については、今までは津波のおそれがあれば全て発表するのが原則であったが、今回ほとんど被害が考えられない津波の高さを 20 cm とし、予報値がそれ未満の場合には注意報も発表しないことになった。

津波の高さを数値的に予報できるようになると、従来のような全国を 18 区に区分する程度の粗い区分では意味がなくなり、都府県単位程度の細かい区分で津波の高さの違いをきめ細かく示すことができるようになる。図は新しく決められた津波予報区を示してあり、同じ都府県でも、例えば湾内、湾外のように津波の高さが異なることが明らかな部分は別区分としてあり、全国が 66 区に細分された。

おわりに

この新しい津波予報の制度は、平成 11 年 4 月に発足し、これにより海岸の住民は従来より一層信頼性の高い、きめ細かな予報を受けることができるようになった。

しかしながら、迅速に予報が発表されるといっても、3~5分程度の時間が掛かることは避けられないから、もし震源断層が海岸に近い場合には、予報発表以前に津波が来襲するおそれもあり、海岸の住民は地震の激しい揺れを感じたら、津波が来ることを予想して、一旦は避難の心構えを持つことが必要であり、津波予報はその後の行動指針と考えたほうがよい。

さらに、予報の津波の高さの数値であるが、きめ細かいといっても、その地区の代表的値であり、その値そのものに誤差があることは前述したが、さらに湾など海岸の地形によってはその数値

よりさらに局地的に高くなるおそれもあることに注意すべきで、自分自身が住んでいる場所の津波の特性に関する知識を持っていることが望ましい。

また、明治29年(1896年)の三陸地震は、それに気づかない人があったほど地震の揺れが小さかったが、約22,000人の死者を生じるほどの大津波になった。このような特別な地震によって発生する津波は、地震マグニチュードと震源断層のパラメーターとの関係が通常の地震とは異なるため、今回の津波予報のシステムでは高さが過小に評価されるおそれがある。研究的にはこのような地震の識別も不可能ではないが、それを予報に組み入れ、数値情報を発表することは現状では難しい。このような地震でも、地震観測データから津波について何らかの情報が出されるはずであり、全く不意打ちに津波に襲われることはないと思われるが、油断ができない地震である。

以上この予報の受け止め方についての注意点を述べたが、今回実現した「新しい津波予報」は、

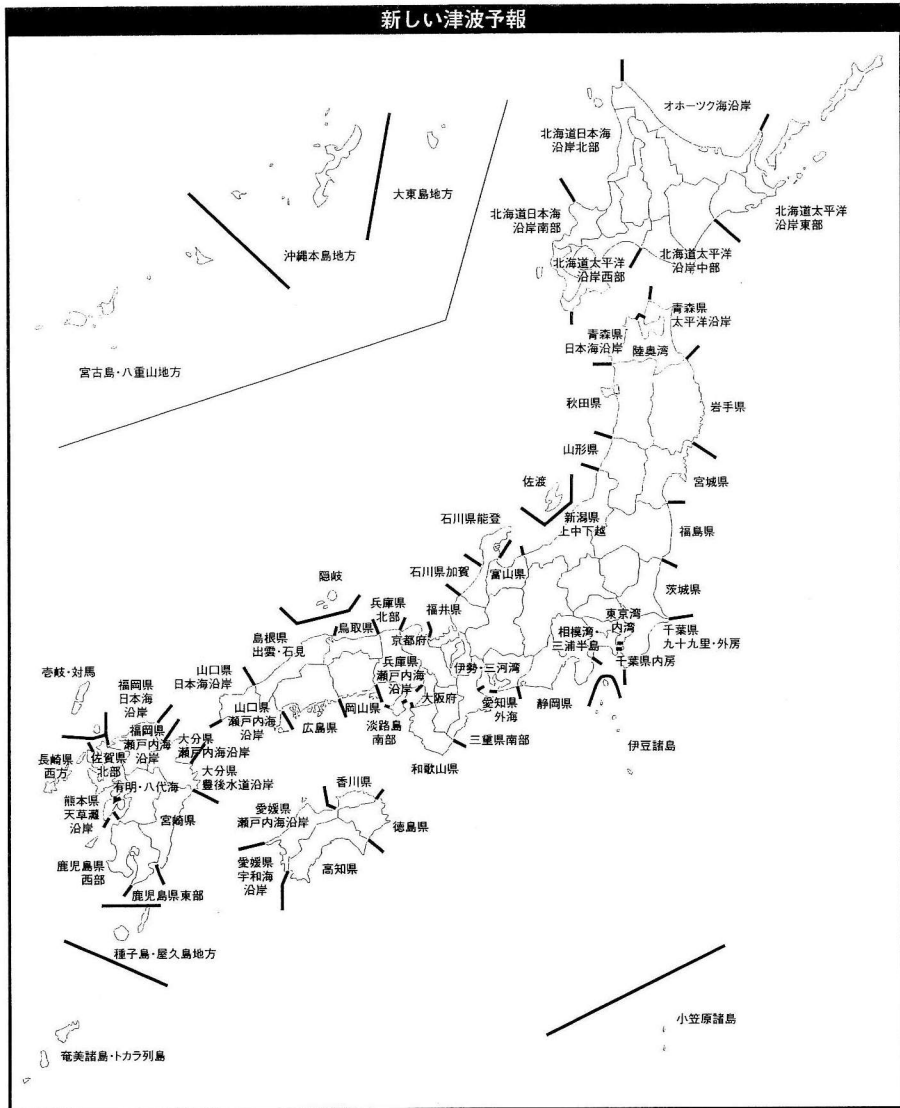
質的に画期的な改善であり、海岸住民にとっても、防災関係者にとっても、従来より一層適切な対応がとれるようになり、その効果が期待できる。

参考文献

- 泉谷恭男・平澤朋郎, 1990, 津波の数値予報のための断層パラメーター即時推定法, 文部省科学研究費重点領域研究成果「強震動および津波の予測と破壊能評価に関する研究」研究代表者平澤朋郎, 93-98.
- 気象庁, 1998, 新しい津波予報, 一般紹介用リーフレット, 4pp.
- 気象庁地震火山部, 1999, 新しい津波予報について, サイスマ (Seismo), 地震予知総合研究振興会地震調査研究センター, 3巻2号, 6-7.
- 首藤伸夫・今村文彦, 1990, 津波数値予報の手法, 文部省科学研究費重点領域研究成果「強震動および津波の予測と破壊能評価に関する研究」研究代表者平澤朋郎, 108-114.
- 館畑秀衛, 1998, 津波数値計算技術の津波予報への応用, 月刊海洋, 号外15, 23-30.

津波予報の種類・解説・発表される津波の高さ

予報の種類	解 説	発表される津波の高さ	
津波警報	大津波	高いところで3 m 程度以上の津波が予想されますので、厳重に警戒して下さい。	「3m」, 「4m」, 「6m」, 「8m」, 「10m 以上」
	津 波	高いところで2 m 程度の津波が予想されますので、警戒して下さい。	「1m」, 「2m」
津波注意報	津波注意	高いところで0.5 m 程度の津波が予想されますので、注意して下さい。	「0.5m」



気象庁：リーフレットより

世界最大の震動台をつくる

片山恒雄

1998年（平成10年）、科学技術庁・防災科学技術研究所（茨城県つくば市）は、世界最大の三次元震動破壊実験施設の整備に着手した。この巨大な震動台（図1）は、阪神・淡路大震災から10年目に当たる2005年（平成17年）の初頭に、神戸市の北に隣接する兵庫県三木市に完成する。これだけの震動台をつくることは、わが国の技術レベルにとっても大きなチャレンジである。いったい何がどこまで進んでいるのか。なるべくわかりやすく書いてみたい。

1. いったい神戸の教訓は

1995年兵庫県南部地震から4年が過ぎた。あれ以来何度も書いてきたことだが、あの朝、私は、日米都市防災のワークショップに出席するため、大阪市のホテルで寝ていた。私がそれまで経験したこともないほど強い揺れだった。地震発生から程なく震源が神戸市のすぐ近くにあることがわかったにもかかわらず、私には、最終的に6千人以上の方が亡くなる震災になろうとは、想像もできなかった。テレビ画面が次々と映し出す構造物の被害を見ながら、その全体が悪い夢であることを祈っていた。地震が起こってから数カ月間というもの、私は、それまで信じていたわが国の地震工学、耐震設計に対して、まったくの不信感を抱き、まともな地震の洗礼を受けたこともなかった構造物に対して持ってしまった過剰な自信に嫌気がさしていた。4年経った今、大分冷静に考えられるようになったが、あの地震の時までの自分の発言を思い出すと、まだ自己嫌悪に陥ってしまうことが少なくない。

ここ3、40年の間に、日本の構造物の耐震性が大いに上がったことは事実である。しかし、同じ

期間に、日本の都市は、その中に古くて弱い構造物を抱えたまま、急激に膨張していた。これらの都市化した地域は、本当に強烈な地震の揺れを経験したことがなかった。構造物が壊れなかったのは、都市に強い地震が来なかったからに過ぎない。それなのに、私は、日本の都市は地震に対して十分強くなったと考えてしまっていた。

あのときまで、私にとっての都市地震防災は、南関東地域の都市、少し広げても東海地震が影響を及ぼす地域の都市を対象としたものだった。都市の直下に起こる地震、直下型地震という言葉を使うことはあっても、それは頭の中にしか存在しないものだったのである。

結局私にとって最大の教訓は、何万の構造物を破壊し、何千の人命を奪う震災が、まだ日本のどこに起こっても不思議ではないと、わかったことである。

2. 壊れないということの意味

構造物が壊れる、壊れないというときには、2つの意味がある。

壊れないというときの1つ目の意味は、「ひびも入らない」ということであり、一般にはわかりやすいかもしれない。たとえば、コンクリートや鉄筋の質を向上させ、柱や梁を太くすれば、相当強い地震の揺れに対しても、ひびも入らない構造物ができるだろう。しかし、神戸クラスの地震動に対して、構造物をこのように設計しようとする、大変な無駄を覚悟しなければならない。その上、どんなに強くつくったつもりでいても、予想を上回る地震がやって来ない保証はどこにもない。強くつくったつもりで構造物が、予想を超える強い地震で壊れるときの惨めさこそ、私たちが

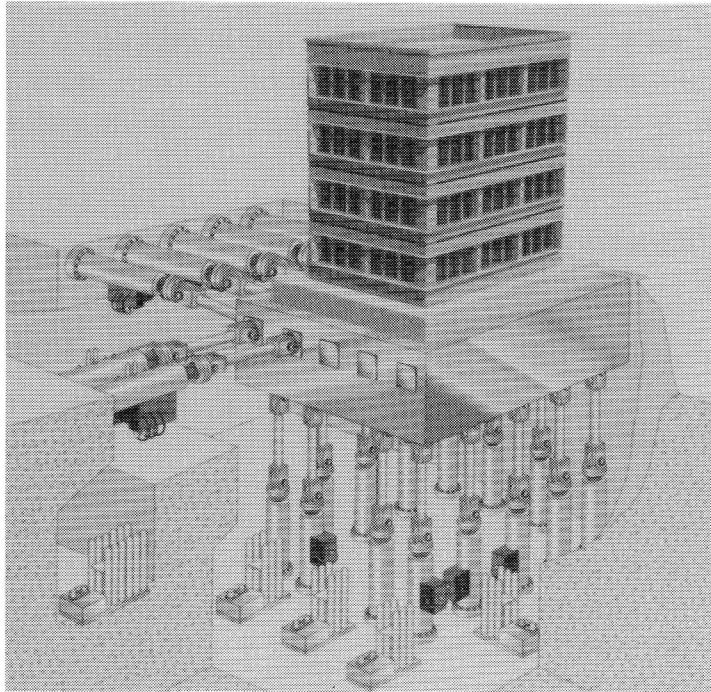


図1 鉄筋コンクリート4階ビルの振動実験のイメージ

神戸で経験したものである。

2つ目は、構造物のあちこちにひび割れが入り、地震の後には相当大きな変形は残るが崩壊はしない、という意味での「壊れない」である。構造物に粘りを持たせる設計法であり、強い地震動を無傷で乗り切ることを初めからあきらめるかわりに、構造物が完全に倒れてしまうような被害を避けようとするのである。ある程度の被害は避けられないとしても人命だけは護ろうという設計である。

このような設計を可能にするためには、強い地震動を受けた構造物が、どのように壊れるのか、どこまで壊れるのか、なぜ壊れるのかが、はっきりとわかっていなければならない。兵庫県南部地震のときにあんなにたくさんの構造物が被害を受けたとはいえ、壊れる過程をきちんと見た人はいない。ましてや壊れ方を科学的に記録した例は、これまでになかったといって良い。ある程度の破壊を許す設計を目指すからには、3方向に揺れる本物に近い地震動のもとで、実物大とみなされる構造物モデルを実際に破壊に至るまで振動させ

て、その壊れる過程をはっきりさせたい。これが、実大三次元震動破壊実験施設を建設する最大の目的である。

3. 実現に至った経緯

準備研究を含めて10年間、現時点での総予算約400億円というプロジェクトである。「つくって下さい」「はい、どうぞ」といかないのは当然である。私自身、防災科学技術研究所（以下、防災科研という。）に赴任してまだ2年半しか経っていないので、それ以前の経緯については知らないことの方が多い。今回の施設開発の直接の引き金となったのが、阪神・淡路大震災であったことは間違いないが、それ以前、1965年に遡る防災科研の多くの研究者の振動実験にかかわる、長い長い努力と実績がある。（詳しくは、大谷圭一、小川信行、箕輪親宏ほか、「実大三次元震動破壊実験施設の開発（I）—建設計画と要素技術開発の概要—、防災科学技術研究所研究報告、第58号、1998年3月、を参照されたい。）

阪神・淡路大震災以降に話を限ることにしよう。地震が発生した1995年(平成7年)の第二次補正予算により、三次元地震動を受ける実大構造物の破壊実験を可能とする震動実験施設の建設を目指し、加振機構の要素技術の開発に着手した。この4年にわたるフィージビリティ・スタディーは、本物の三次元震動台の建設を前提にして、大変位、大速度(もちろん大加速度)の加振機を実際に製作し、6m×6mの模擬振動台を使って、その性能を確認することを目的としたものである。この準備研究だけでも45億円を要しており、私のように大学での研究生活が長かった人間にとっては、大変な予算である。(この辺りについては、また後で触れることにしたい。)目標とする性能が達成できることが確認されれば、準備研究で製作した水平4本、鉛直4本の加振機は、本物の震動台の加振機の一部として使うことが初めから考えられていた。

これだけの規模のプロジェクトを実現するためには、専門家による評価を中心とした、綿密なステップを踏んできているが、ここでは、その大筋しか説明できない。

阪神・淡路大震災の苦い経験をもとに、新しい地震防災研究を進める枠組みを検討するため、科学技術庁は、1995年(平成7年)11月に、「地震防災研究基盤の検討に関する懇談会(座長:岡田恒男・芝浦工業大学教授)」をスタートさせた。この懇談会は、「都市部を中心とする地震災害の軽減を目指す総合的な研究」を実施するために新しい研究拠点を設け、そこに大型の三次元震動実験施設を整備することを提言の1つとした報告書を1996年(平成8年)5月にとりまとめた。

懇談会の検討が終わりに近づいた時点で、さらに広範かつ高位な意見集約を行うため、科学技術庁長官は、同長官の諮問機関である航空・電子等技術審議会に対し、「地震防災研究基盤の効果的な整備のあり方について」の諮問を行った。この審議会は、航空・電子「等」技術に関する諮問に答える場所であり、その中の地球科学技術部会に「地震防災研究基盤分科会(主査:岡田恒男・芝浦工業大学教授)」を設けて審査を始めた。1996

年(平成8年)3月のことである。審議会の答申は、1997年(平成9年)9月に科学技術庁長官に提出され、その中で、地震防災研究基盤の中核的施設として「大型三次元震動実験施設」が位置付けられた。

これらの検討と並行して、要素技術の開発が着実に進められ、大蔵省との熾烈な折衝を経て、本物をつくるための1年目の予算措置が、1998年度(平成10年度)に認められることとなった。

4. どんな震動台ができるのか

震動台の大きさは、20m×15m、面積にして300m²である。この上に、最大で1,200トンのモデルを置いて実験ができる。1,200トンと聞いてもピンと来ないかもしれないが、4階建ての鉄筋コンクリートのビルが丸ごと乗せられるのである。

震動台の基本性能を表1に、加振限界性能を図2に示す。詳しく知りたい人のためである。

水平方向の最大加振性能は、加速度0.9G以上、速度200cm/s、変位±1mである。ただし、加振機の一般的な性質から、震動台をサイン波形で揺らすときに、これらの最大値を同時に発揮するわけではない。ゆっくり揺らすときには、大きな変位を再現できる代わりに加速度は小さくなり、逆に、速く揺らすときには、大きな加速度は再現できるが変位は小さくなる。サイン波形で揺らし続けるというのは、加振機にとっては、もっとも過酷な条件であるが、実際の地震波は、速い揺れからゆっくりな揺れまでを適当な割合で含んでいるにすぎない。したがって、今までの実際の地震のときに記録された強い地震の揺れを再現できるのみならず、もっと強い地震波形をつくりだすことができる。

これだけの能力を持つ加振機の製作となると、過去に振動台製作の経験を持つメーカーにとっても未知の領域がある。大きな最大変位をつくりだすため、加振機の本体をなすピストンの部分は、長さ8.7m、根元のところでは直径2mに達する。震動台は上下左右に動くので、それに対応するた

表 1 建設が進んでいる震動台の基本的な性能

項目	仕様		
最大搭載重量	1,200 tonf		
搭載面積	20 m × 15 m		
駆動方式	アキュムレータ蓄圧電気油圧制御		
加振方向	水平 X	水平 Y	鉛直 Z
最大加速度 (最大重量搭載時)	0.9G 以上	0.9G 以上	1.5G 以上
最大速度	130 cm/s	200 cm/s	70 cm/s
最大変位	±50 cm	±100 cm	±50 cm
許容モーメント	X 軸周り	Y 軸周り	Z 軸周り
	15,000 tonf・m 以上 (Z 軸 1G 加振時)	15,000 tonf・m 以上 (Z 軸 1G 加振時)	4,000 tonf・m 以上 (水平 1 軸最大加速度時)

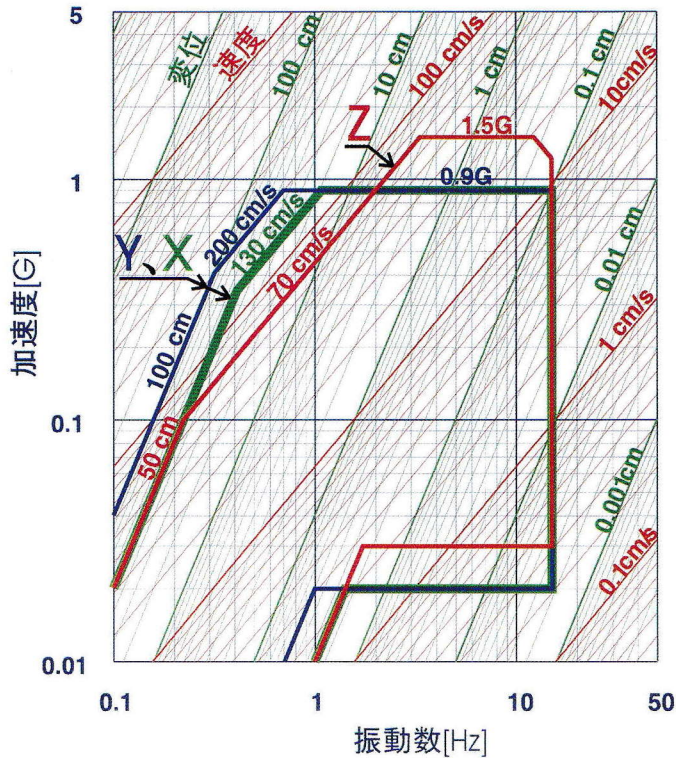


図 2 どれくらいの振動を与えられるか

めには特別なリンク構造が必要になる。このリンク（三次元継手）の長さは7m 以上もあるので、加振機は全体として16m 近くになる。メーカーのエンジニアたちも、「かつての装置を思うと、よくこれほどのものが」「すごい迫力です」と、自分

たちがつくった装置の大きさに戸惑いを隠せないほどだ（図3）。

フィージビリティ・スタディーの模擬振動台は、上下方向の4本の加振機が6m×6mの台を支え、水平の2方向には2本ずつ加振機を持つだ

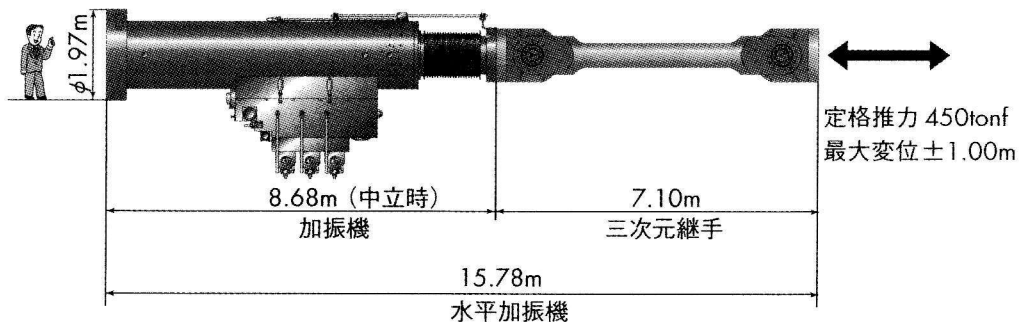


図 3 長さ 16m にもなる水平方向の加振装置

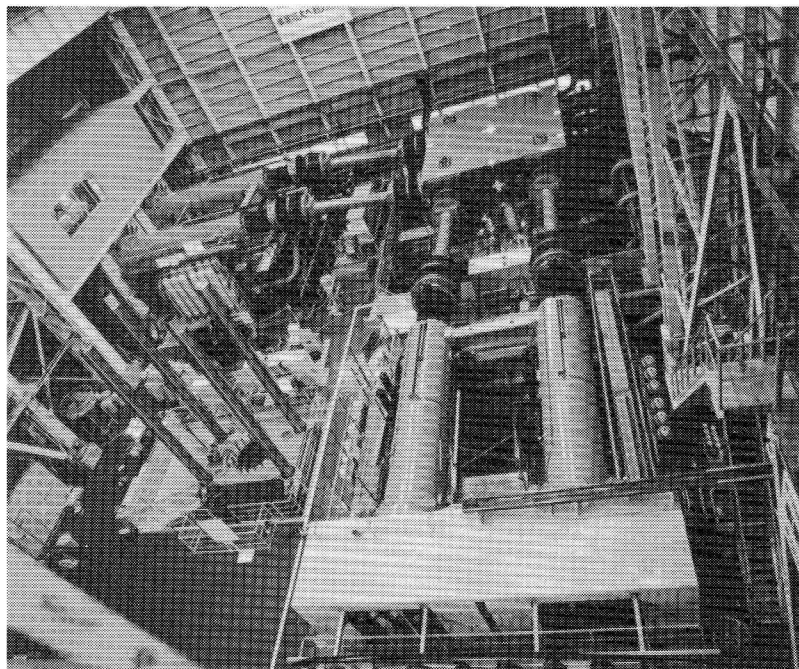


図 4 6m×6m の模擬振動台を使った性能確認実験

けで、本物に比べるとまだ大人と子供の違いがあるが、兵庫県南部地震の記録を模擬して揺れるようすは、振動台には慣れっこになっているはずの地震工学の研究者や実務家を驚かすには十分である(図4)。

さいわい、フィージビリティ・スタディーは基本的にその目的を達成して1998年(平成10年)に終わった。全部で8本の加振機は解体され、本物の震動台に組み込まれるときまで保管されている。もちろん、子供なみの模擬振動台を使った実験だけから、大人の震動台の振る舞いの全部が

分かるわけではない。模擬振動台を使った実験からは、たくさんのデータが得られている。これらのデータを有効に利用した詳細な解析や、その結果に基づく数値シミュレーションによって本物の大型震動台の性質を予測することが、これからの大きな課題であり、フィージビリティ・スタディーの目的の1つでもある。

震動台上で建造物の破壊を実現することが、実大三次元震動破壊実験施設に期待される役割である。フィージビリティ・スタディーの結果から、大型加振機が予想通りの性能を発揮すること

が確認されたが、実験を行った場所の制約から、震動台上のモデルを壊すまで揺らすことはできなかった（もともと、フィージビリティ・スタディーの目的外だった）。この範囲ではターゲットとした三次元の振動を再現することができたし、各種の制御システムもうまく働いてくれた。しかし、本物では、加振機の数が増え、全体の構造が格段に大きくなることに加え、実験中に壊れることによってモデルの性質が急に変化することを考えておかねばならない。巨大なモデルの動的な性質が変化すれば、その影響は震動台にはねかえることになり、震動台を狙い通りの波形で動かすことが難しくなる。このときの制御は、現在の最高の技術をもってしてもすぐには解答が得られない。「壊す」「壊れる」ということをどう定義するか、壊れてからも震動台がどれくらい狙い通りに動くことを期待するかなど、計画が具体化すればしたなりに、さらに考えなければならない問題は多い。実験の対象やプロセスを1つ1つ検討することで、何が問題かをもっと明らかにする努力が必要となっている。

本物が設置される場所は、神戸市の北隣の三木市に兵庫県が計画している三木震災記念公園（仮称）内であり、ここには、「地震防災フロンティア研究センター（理化学研究所）」「アジア防災センター（国土庁）」なども設置される予定である。出来あがれば、国際的な地震防災の研究拠点になることが期待されている。しかし、谷と小高い丘からなる現場は、まだ雑木林に覆われている。まず兵庫県が一次造成をした後でないと、震動台のための現地工事はスタートできない。これは、2000年（平成12年）初頭の予定である。

5. 防災研究の問題点

1995年（平成7年）に4年間のフィージビリティ・スタディーが始まり、1998年（平成10年）からスタートした本物の整備計画には7年を要する大プロジェクトである。総費用は、現時点で約400億円を想定している。私のように大学での研究生生活が長かった者にとっては、目の玉が飛

び出るほど大きな予算である。

防災科学技術研究所の活動が目的とすることの1つは、「防災科学技術に関する研究や試験のために必要な施設や設備のうちで、関係行政機関に重複して設置することが多額の経費を要するため適当でないものをつくり共用に供すること」である。実大三次元震動破壊実験施設は、この目的に実にぴったりと沿っている。

国立試験研究機関は、国や社会が要請する課題を研究することを義務づけられており、大学などに比べて、一般に大きな研究費を受ける代わりに、限られた期間に一定の成果を生み出すことが求められる。

10年間で400億円、500億円というお金は確かに大きい。しかし、この点はまったく遠慮する必要はないと、私は信じている。もともと防災予算が少なすぎるのである。平成8年度の決算ベースでみると、日本原子力研究所が1,220億円、動力炉・核燃料開発事業団（現：核燃料サイクル開発機構）が2,530億円、宇宙開発事業団が1,770億円であるのに対し、防災科研は107億円である。宇宙・原子力・脳などの巨大サイエンスに投入されている予算に比べて、災害軽減のための研究予算は一桁以上少ない。これらの巨大サイエンスが大切であることは認めるが、日本が自然災害大国であることを考えれば、防災科学技術研究所の80人、100億円の規模はあまりにも小さい。

平成10年度からは、所内に「三次元震動破壊研究室」を組織し、このプロジェクトに、全力を挙げて取り組んでいる。もともと不十分な人的資源から、かなり無理をして研究者を割いており、他の研究分野にそのしわ寄せが行っていることは否めない。しかし、阪神・淡路大震災で最終的に6,000人を超える犠牲者を出してしまったという重い事実を振り返り、さらに、防災研究の予算が他のビッグサイエンスの予算に比べて少ないというバランスの悪さを考えても、いま日本にこのような大型研究施設をつくることの意義は大きいと信じている。

今後とも、多くの関係者の方々のご理解と応援をお願いしたい。

Kyoshin Net

木下繁夫

1. 始めに

1995年に発生した神戸の地震を契機に、我が国の地震観測は、より大規模に、かつ、精密なものになりつつある。その一つである、全国強震ネットワーク（以下、Kyoshin Networkを略して「K-NET」と言う）システムは、その建設が神戸地震の直後に予算化され、半年間で構築された強震計の全国ネットワーク・システムである（木下，1997；Kinoshita，1998）。その目的は、気象庁マグニチュード7以上の地震において、漏れなく震源域の強震記録を取得し、可能な限り短時間でこれらを公開し、科学的な研究と社会的な施策に貢献するというものである。時の勢いに乗って、このシステムは1,000か所の観測点を要素とし、観測された強震記録のインターネット公開へと、その数、その即時性において、従来の強震観測の概念を一変させるものとなった。この小文では、K-NETの現状と今後について述べることにする。

このK-NETは、3つのポリシーを基に構築されている。即ち、(1)系統的な強震観測システムを、(2)均質な観測網を用いて構築し、(3)得られた記録を制限無く公開するというものである。全て、目新しいことのない、当たり前の話である。(3)は、官庁業務に対する昨今の要請である情報公開に応える意味も含まれていよう。過去における強震記録の入手に係る面倒さからの解放である。(1)と(2)の必要理由は以下に述べるが、半年間の急ぎ働きは、これらのポリシーが有利に働く。曰く、日々進歩する計測技術に追従する悩みを抱く時間を持つ暇がない。

K-NETの構築は、システムの持つ秩序の崩壊

を極力抑制出来るように、即ち、システム自体におけるエントロピーの増大を極力抑えることを目指したものである。システムにおけるエントロピーの増大は、システム自体の持つ系統性と均質性の乱れから生じる。システムの均質性とは、システム自体の透明度が高く、かつ、その構成要素の性能と機能が低い修復能力を持つことを言う。従って、システムの設計に最先端の技術は、概ね邪魔になる。最先端技術の80点程度の枯れた設計を主体に、80点程度の施工技術を勘案して、理想の60点程度の出来が程良いシステムとなる。この思想には、システムの10年にわたる安定稼働が背景にある。従って、K-NETはかなり我慢したシステムであり、その構築は、構築後の運用に重点を置いてなされたものである。

2. K-NET

(1) **K-NETの構成** K-NETについて、まず、その概略を説明しよう。K-NETとは、全国に1,000か所、およそ25km間隔で配置された強震観測点、これらの観測点に設置された強震計を制御する強震観測センター、及び、観測センターが発信する強震情報と同じ情報をほぼ同時に発信する2か所のミラー・サイトから構成されるネットワーク・システムである。図1は、これら構成要素の位置を示すものである。観測点間隔は、概ね、25kmとなるような配置を採用している。これは、マグニチュード7以上の地震が国内に発生した時、少なくとも1観測点以上が震源域内に存在することとするためである。K-NET強震観測点は、自由地盤上に設置することを原則としているが、その位置は、可能な限り当該市町村庁舎付近としている。従って、その利用は工学的課題を主

強震ネットワーク

(観測点分布)

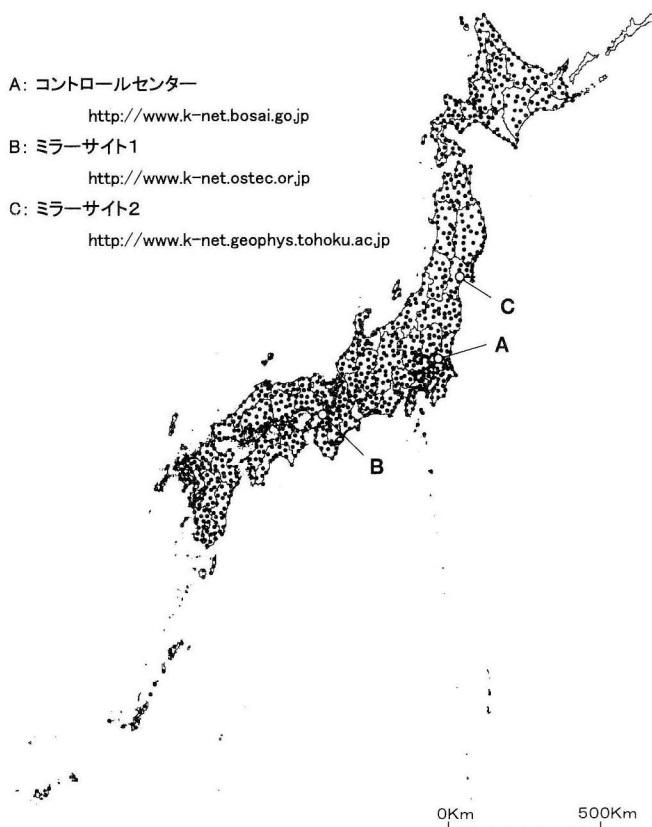


図 1 K-NET 観測点, 強震観測センター, 及び, ミラー・サイト位置図

となすものである。

K-NET で用いている強震観測施設は、図 2 に示す構造を有するものである。この施設は、強震計を格納する強化プラスチック (FRP) 製の小屋、強震計設置用コンクリート基礎 (外気温が -20° 以下となる地点では、この基礎は、図 2 に示すように地下埋設されている)、避雷装置を含む電力・通信設備、及び、フェンスからなっている。多雪地における FRP 製小屋は、一般地用と同一外形を有するものの、4m の積雪荷重に耐えられる設計となっている。従来の地震観測用施設と比較してかなり簡便なものとなっているが、避雷対策には注意と投資が施されている。実際、K-NET 運用開始から 3 年間での雷害は皆無である。

K-NET で用いている強震計は、K-NET 用とし

て新しい仕様で製作された加速度型強震計である。強震計名称を K-NET95 型と称している (木下ほか, 1997)。この強震計では、換振器として、ダイアフラム型のバネを利用した負帰還式加速度計を初めて採用したが (木下, 1998)、量産的な換振器とは言え、初期故障の期間が 3 年経過し、ようやく終わろうとしている有様である。ただ、分解能等に関しては、従来の板バネ式のものと比較して遜色はない。今後に改善と発展が期待されるものである。また、強震計の記録部には 24 ビット型の A/D 変換器を採用した。この時期、24 ビット型 A/D 変換器を使用する地震計用収録器で、地震波信号の因果性を保持し得たのは、この機種が、おそらく、最初であろう (これは、現在も少ない)。また、この時期用いた A/D 変換器は、医用

強震観測施設構造図

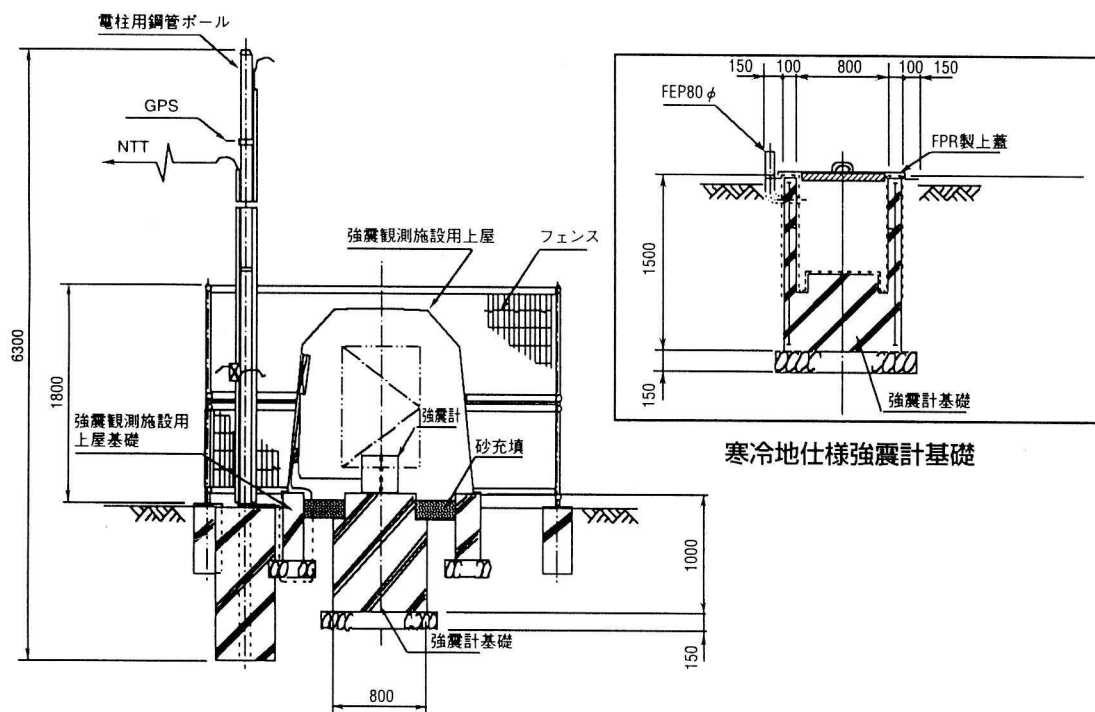


図 2 K-NET 観測施設説明図

計測用に開発されたものであるが、すぐに製造中止となった。地震計測が工業計測の中でマイナーな位置しか占めていないことを如実に示すものである。使用した A/D 変換器の実効ビット数は 18 ビットまでで、2,000 ガルを最大として、およそ 1 ミリ・ガルの範囲まで計測可能である。これは、キネメトリクス社製アルタス K2 型強震計と比較して 1 ビット分ダイナミック・レンジで劣る。ソフト面はもとより、ハード面においても、我が国の地震計測技術は米国に依然として追いついていない。記録の標本化時間は 0.01 秒、周波数特性は、3 ポールのバターワース低域通過フィルタ特性としている。但し、遮断周波数 30 Hz、標本化周波数 800 Hz としてのデジタル・バターワース特性である。K-NET 95 におけるタイミングは、GPS システムによるもので、常時標本化時間内の精度を保持している。また、強震計本体は 24 VA の蓄電池でバックアップされており、約 20 時間の無停電動作を可能としている。K-NET 95

型強震計本体の消費電力を 11 VA 程度に抑えてのバックアップ時間であるが、消費電力を減らす努力をまだ必要とする値である。強震計のように、常時稼働状態におく必要な計測器では、消費電力の大小がその寿命に直接効いてくるためである。K-NET 95 の記録媒体はフラッシュ・メモリであり、8 MB の記憶容量を持ち、およそ 2 時間半の地震記録が記憶される。

強震観測センターは、つくば市の防災科学技術研究所に設置され、上記強震計群とはダイヤルアップ方式で通信接続する。強震観測センターは、強震計と強震観測施設の管理、ミラー・サイトの管理、強震計からの記録収集、データベースの作成、及び、強震記録の公開を主要業務としている。データベースは、ワールド・スタンダードなオラクルを用いて構築されており、将来、海外の他機関とのデータ交換に係る互換性を持つようにつとめている。なお、強震観測センターのデータベース・サーバは、120 GB の容量を持ってお

り、5年以上の強震記録を直接アクセス可能としている。また、強震観測センターの運用は、全て外注でまかなわれており、1名のシステム・エンジニアと2名の補助員が常時これにあたっている。もちろん、これ以外に、定期的な計算機システムの点検を含むが、K-NETは、運用面に重点を置いて構築したシステムであり、人的負担の少ないものとなっている。

ミラー・サイトは、大阪科学技術センター（ミラー・サイト#1）、及び、東北大学理学部（ミラー・サイト#2）に設置されている。ミラー・サイトの設置は、K-NET本体が建設された翌年に行われたものであるが、インターネット上での記録公開に人数的な制限が発生したことに対処するためである。1996年の伊豆半島東方沖群発地震の際には、強震観測センターのWWW用ワークステーションだけでは利用者のインターネット接続に対処することが不能となった。地震ごとに得られた記録は、強震観測センターからミラー・サイトのWWW用ワークステーションへ転送され、公開されている。特に、強震観測センターの機能が、何らかの原因で不能となった時、ミラー・サイト#2では、強震記録の回収とインターネット公開を、時間を要するが、可能としている。

(2) **K-NETの記録公開** さて、K-NETシステムは、強震記録収集と強震記録公開の役割を主業務として担っている。K-NETは分散型の観測方法を採用しているため、強震記録が現地で自動的に収録され、観測センターからの指示で観測センターに回収される。通常の設定では、2ガル以上の振動があった時、強震計は記録収録動作を開始する。分散型観測システムの採用利点は、システム全体としての安全性が高いことと、人的経費の節減にある。

K-NETの記録公開の主体は、インターネット上での情報転送である。図3に示すホーム・ページから入り、強震記録やK-NET観測点での土質情報等を入手することが出来る。強震記録は、広範囲の利用者に対応するため、UNIX、DOS、及び、ASCII形式で書かれた3種類のデータを選択可能としている。記録波形を図示するためのプロ

グラム等も利用可能であるが、まだ、満足ゆくほどに整備されていない。K-NETの強震情報を取り出すために必要な強震観測センター、及び、2か所のミラー・サイトのインターネット・アドレスは以下の通りである。

<http://www.k-net.bosai.go.jp>

（強震観測センター）

<http://www.k-net.ostec.or.jp>

（ミラー・サイト #1）

<http://www.k-net.geophys.tohoku.ac.jp>

（ミラー・サイト #2）

では、強震記録公開まで、K-NETはどのような仕組みで働くのかを、図4を用いて説明しよう。気象庁は、計測震度Ⅲ以上の地点が発生した時、その地震の震央、深さ、及び、気象庁マグニチュードを速報震源情報として衛星公開している。K-NETの強震記録公開作業は、この速報震源情報を緊急衛星同報装置が受信することで開始する。受信された速報震源データは、最大加速度の距離減衰式（K-NETでは、福島・田中の式（Fukushima and Tanaka, 1990）へ入力され、2ガル以上の震動が期待される地域が決定される。もちろん、期待地域決定には安全率が加味されている。

K-NETの通信装置（25台の工業用PCで構成されている）は、決定された地域の強震計へダイヤル・アップ方式で一斉に接続を開始し、当該地震で収録された強震記録を回収する。回収された記録は、PCサーバに一時格納されるとともに、気象庁速報震源情報をヘッダにもつデータ・ファイルへと変換され、データベース・サーバへ転送される。ここまでは、全て自動的に行われる。K-NETでは、データベース・サーバに格納されたデータに対して、その妥当性を吟味する仕事において、初めて人間が介入する。個々の意志を持つ人間の不必要な介入は、システムにおけるエントロピーを増大させる。さて、人間の目を通して選択されたデータは、簡単な処理作業を行った後で、インターネット上での記録公開用として、観測センター、及び、2か所のミラー・サイトに設置されているWWW用ワークステーションに転送

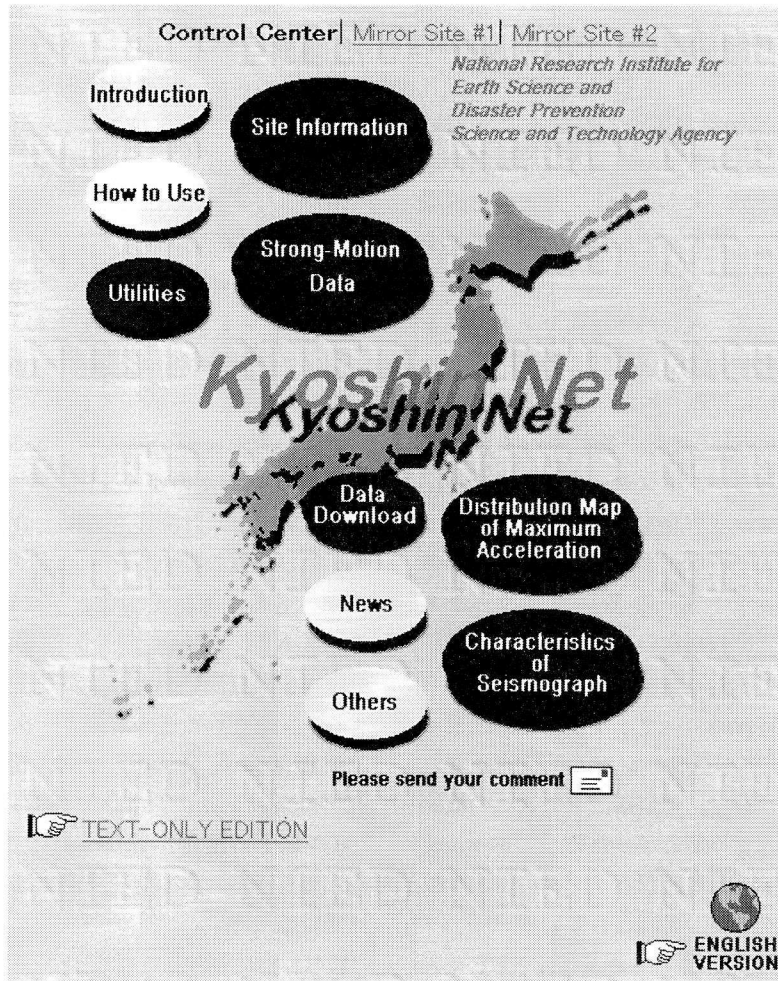


図3 K-NETのホーム・ページ

される。この時点において、利用者は、K-NET 強震情報の利用が可能となる。簡単な処理作業とは、図5に示す最大加速度分布図の作成のようなものである。最大加速度分布図の作成は、原則、50か所以上の強震計が動作した場合に行われる。

インターネットを用いない記録公開は、FAXとCDの配布により行われている。10ガル以上の加速度を記録したK-NET観測点の当該自治体等に対し、強震観測センターは、当該地震で得られたK-NETの強震情報をFAX転送している。また、K-NETで得られた強震記録を格納したCDの作成は半年ごとに行われ、現在、1996年から1998年までに得られた強震記録が5枚のCDに格納され、大学や研究機関の図書館等へ送られて

いる。

3. K-NETの活用状況

K-NETの目的の一つが、社会に開かれた地震情報の公開であるとすれば、これは、既にかなりの成果が上げていると自負出来る。1999年3月2日現在で、K-NETがインターネット公開している強震記録成分数は、1,590地震の69,732本である。図6にK-NETへインターネット・アクセスした延べ人数の日ごとの統計図を示す。年末年始を除き、常時100人、小地震時に400人、多い時で1,000人のアクセス数である。また、K-NET開始からほぼ1年で、インターネット上で利用者

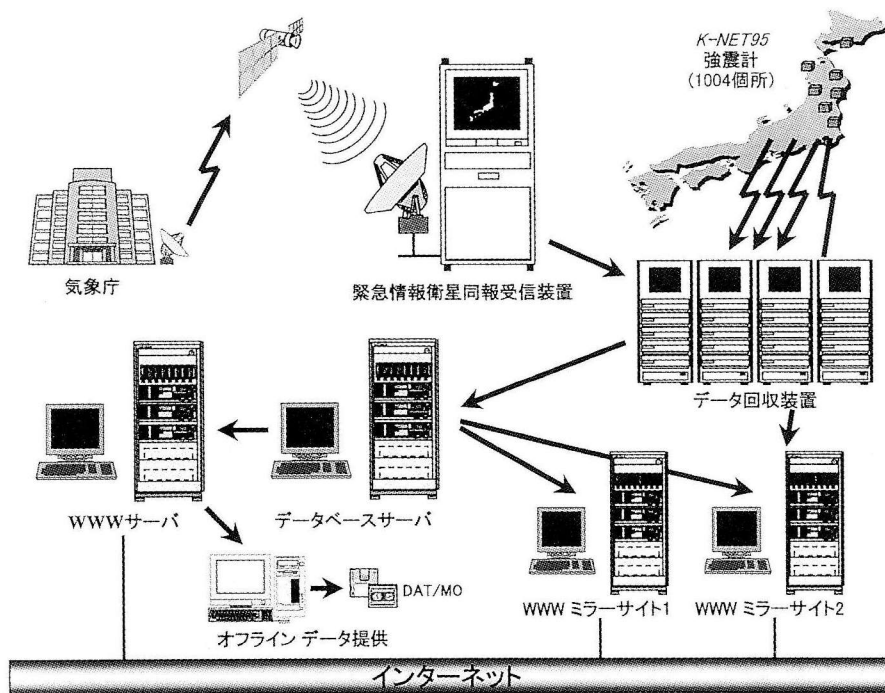


図 4 K-NET における記録公開までの説明図

転送した地震記録は、成分単位で、百万ファイルに達している。あまり知られていないことであるが、地震時 10 ガル以上の記録が得られた観測点の所属する当該市町村と都道府県に対しては、FAX による地震情報の転送サービスを行っており、今のところ好評である。

K-NET95 型強震計は、二つの出力端子を有している。一つの端子は防災科学技術研究所が占有しているが、他の端子、第 2 ポートは地方自治体等用として解放している。現在、約 500 観測点の強震計出力は、自治省の震度情報ネットワークへ貢献している。また、申請のあった研究機関や市町村に対し、可能な限り強震計の第 2 ポートを解放している。K-NET の弱点は、その機能を地震に対して脆弱な電気と電話通信に依存していることである。強震計第 2 出力ポートの現地解放は、この弱点を補う意味でも必要である。地震被害が著しく、K-NET の機能が動作出来ない時でも、現地強震計は何らかの形で情報を発信せねばシステムとして失格であろう。本格的なものは次世代に譲るとしても、現地利用は容易でなければならぬ。

K-NET の学問的利用価値は、我が国の強震観測におけるバックボーン的存在にあるのだろう。最近の傾向では、研究機関等が独自に設置した観測網で得られた記録の解析に K-NET の記録を追加して考察することが増えている。これが、おそらく、K-NET の真っ当な使い方であろう。K-NET から得られた記録のみの利用は、その観測点間隔 25 km 程度に耐えられるものでなければならぬ。東北地方を横断する表面波の特性調査とか、関東地域の相対増幅度特性の調査とか、あるいは、中部地域における伝播経路の減衰特性の調査とかであろう。また、K-NET の全ての観測点では、深さ 10 m~20 m までの範囲で速度検層、密度検層、及び、N 値の測定等を行って、インターネット公開している。これを利用して、最大加速度の距離減衰に表層地質を考慮する調査等は、K-NET の観測点が全国展開していることを旨く利用している。K-NET を既存システムとして扱う利用は、これを別種のシステムに組み込むことにより様々なことで補完がなされる。例えば、京都大学の久家さん達が行っているように、微小地震のネットワークに K-NET の強

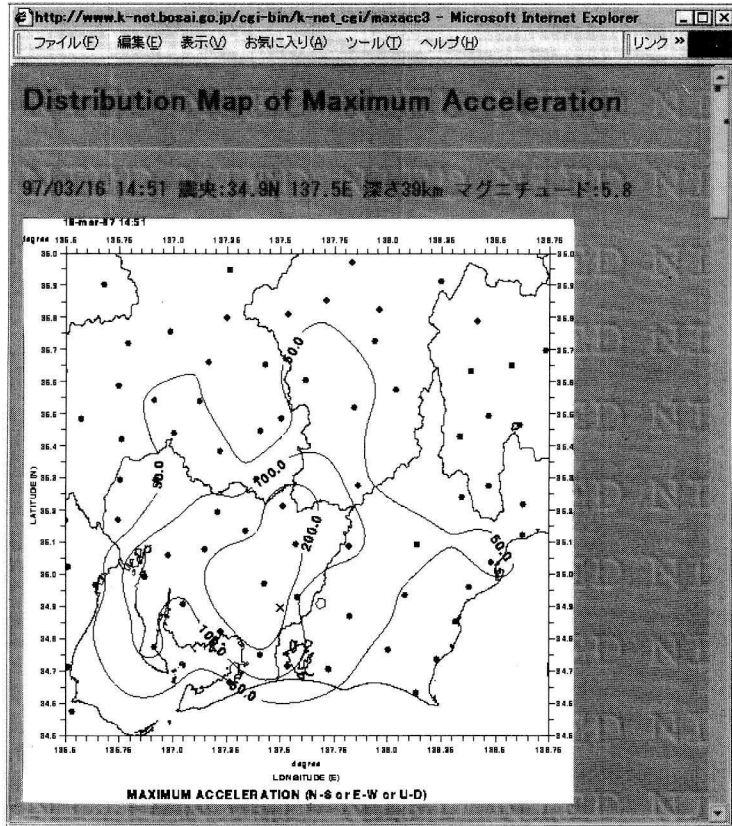


図 5 K-NET で公開される最大加速度分布図の例

震観測システムを組み込めば、震源要素の決定のみならず、波形論的な考察が加味される。このような K-NET の使い方は、K-NET 構築時には考えられなかったことである。おそらく、今後も、K-NET に対する未知の利用法が生まれるのであろう。

K-NET の利用項目の一つとして、その運用当初より、社会教育・学校教育の分野での利用を促進するということがあった。しかしながら、現状では、地震関連の学科を卒業された高等学校の教師で、興味のある方々が、K-NET を教材として使用されている程度である。これでは、K-NET の情報公開の主旨が満たされない。確かに、使う道具も、料理教本も用意せずに、材料のみを与えて料理しろというのも無理な話であろう。平成 11 年度、K-NET は、社会教育・学校教育向けに、インターネットでの公開内容を大幅に変更する予定

である。これは、平成 12 年始めから開始する。ここには、K-NET を利用するのに必要なテキストと自習用ソフトウェア等を組み込む予定である。

実業の世界での K-NET の利用は、徐々に増加している。公共の学校や病院等の建設において、K-NET からの強震記録が調査・設計に用いられている。これは、当初から予想されていたものであるが、K-NET の記録が蓄積されるにつれて、その利用はますます増加するであろう。インターネットでの記録転送に、建築・土木関係の人達のアクセスが、運用当初から多いことが、このような利用を示唆している。

4. K-NET の今後

まず、K-NET 3 年間の運用状況から見てみよう。強震観測センターでは、毎週、全観測点から

K-NET WWWアクセス状況(1996年6月3日~1999年2月28日 つくば)

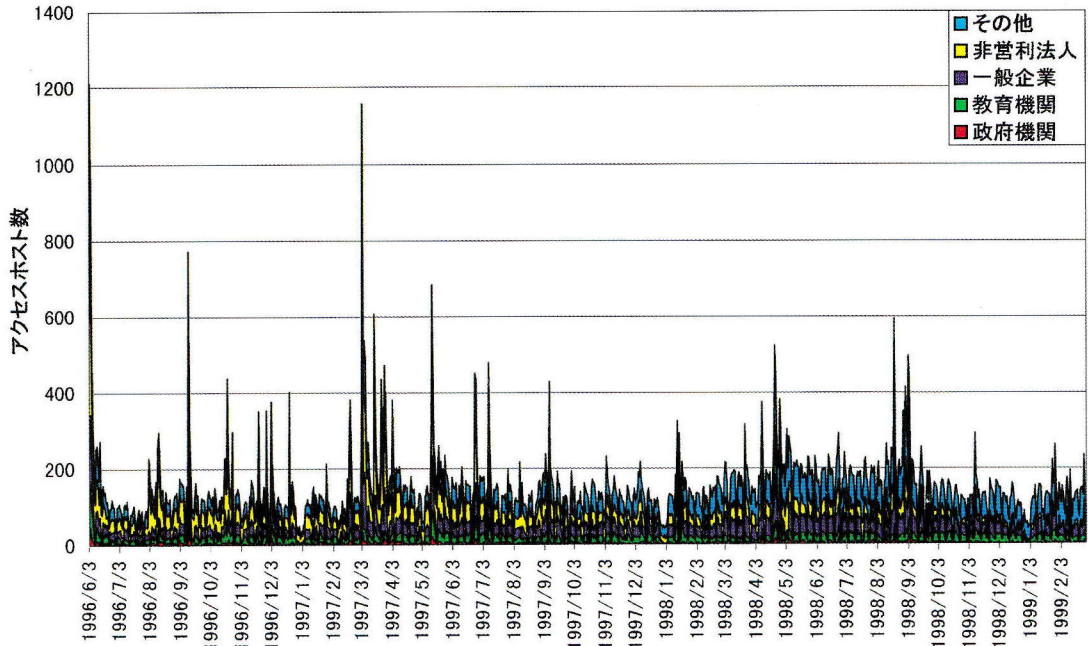


図 6 K-NET におけるインターネット・アクセス数の日統計

現地強震計のモニター・ファイルを回収し、強震計の状態を検査している。また、月に1回、強震計の強制動作を遠隔操作で行い、記録された微動(計器雑音)の状態を検査している。このような定期検査で発見された強震計の不具合は、速ければ1か月以内に、遅くとも、数か月以内に修復されている。図7は、このような定期検査において、月末に集計された強震観測センターからの通信接続不能観測点数である。運用当初数か月の初期不良発生期間を除き、観測開始からほぼ1年弱で定常状態に入っている。平成10年5月頃からの接続不良点数増加は、強震計の第2ポートを自治省の震度情報ネットワークに組み込み始めたことによる影響であり、いずれ収拾するものである。図は、K-NETの記録回収システムの故障率が、常時1~2%であることを示している。これには、NTT回線の不良によるものも含まれている。現地強震計の故障率は、その半分程度であるから、K-NET全体としての故障率は月当たり、数%ということである。多分、この程度の故障率は、今

後、数年持続するであろう。問題は、経年故障の増加が始まる時期の特定が今のところ出来ないことである。これは、設置強震計が従来仕様と異なるためでもある。何れにしても、図7のような結果は、今後この種のシステムを構築するにあたり、一つの目安として役立つ。

K-NETというか、強震観測というか、その目的は、強震動の事前予測、即時的な利用、そして、被害の推定と、予測、ろ波、及び、平滑化の状態において様々であろう。しかしながら、強震観測の本筋は、その事前予測にある。ここにたどり着くには、K-NETの10年にわたる記録の蓄積が最低限要請されよう。K-NETのようなシステムに何処まで存在意義を持たせ得るかは、10年にわたる観測を実施できるか否かにある。強震観測のろ波に係る作業は、今風に言うと、オンライン地震学に係る作業は、時流に乗っている。しかしながら、何かが不足している。この種の強震計利用に係る発祥地米国での意義は、地震発生直後における論文生産の情熱に火をつけることと、我が国と

接続不良

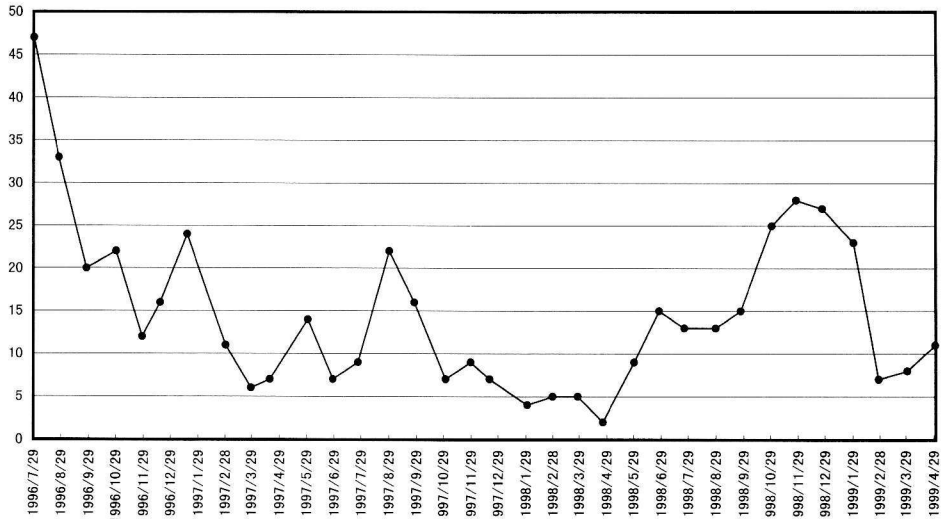


図 7 K-NET における通信不能地点数の月統計

比較して人口密度の低い広大な土地への配慮である。そして、最も大切なことは、オンライン的な強震記録処理の結果判断が末端利用者に委ねられていること、末端利用者の資格査定があることであろう。いかにも米国的ではあるが、この見習うべき事項が我が国に上陸した時点で消失している。そして、K-NET の存在意義もここにある。即ち、端末利用者の育成と彼らの学習のための素材提供である。

K-NET の利用者は、今のところ、研究機関や大学等、概ね専門家と称される人達である。3. で述べたように、K-NET の一般社会への普及が今後の課題であることは言うまでもない。これは、地震による被害の有様を定量的に一般社会で受け入れてもらうためにも必要なのである。K-NET を利用したところで、災害は生じる。しかしながら、K-NET は、おそらく、災害の中味をより多くの人が知ることにも貢献出来よう。これは、災害に対する民力の向上に寄与できる。K-NET は、地震防災とは何かということの答えを一つ産み出す可能性を、将来に持っている。

5. 終わりに

1989年、南カリフォルニア大学 (USC) に遊学した時、現在震研におられる宮武さんと USC のトリファナック教授の授業を聞いたことがある。教授は、かなり丁寧にハスケル流の断層運動を学生に教えた後、このような理論は、実社会における強震動予測の分野で、観測から得られる経験式を越えられないだろうと締めくくった。一人の人間の話のみでは、かなりのバイアスを覚悟せねばならないが、過去に研究実績を誇る(問題を誇る)トリファナック教授の考え、強震計が実社会の要請に応えるためには、その数を世界中で増やし続けねばならないという考え、は未だに意識している。見かけ上の評判があまり良くない先生の話ではあるが、私費をつぎ込んでロスアンゼルスでの強震観測網を維持している人の話である。確かに、現行の論文至上主義という立場からみれば、K-NET のような観測システムの構築に評価はなく、不本意なところもあるが、1,000 か所の強震観測点が新設されたと思えば、割り切れるものもある。

謝 辞

K-NET の構築では、(財)地震予知総合研究振興会の宮本誠氏、(株)日立製作所の酒井隆雄氏、三菱重工業(株)の大原敏昭氏、元大成建設(株)の田口正孝、鈴木明人の両氏、(株)アカシの上原正義氏、三菱スペースソフトウェア(株)の和田安司氏、及び、USGS のポール・スプーデッチ氏の各位には大変お世話になりました。記して感謝の意を表する次第です。

参考文献

- 1) 木下繁夫・上原正義・斗沢敏夫・和田安司・小久江洋輔, 1997, K-NET 95 型強震計の記録特性, 地震 2, 49, 467-481.
- 2) 木下繁夫, 1997, K-NET—a year after—, 地震工学振興会ニュース, 155, 39-45.
- 3) 木下繁夫, 1998, サーボ型地震計, 地震 2, 50, 471-483.
- 4) Kinoshita, S., 1998, Kyoshin Net (K-NET), SRL, 69, 309-332.
- 5) Fukushima, T. and T. Tanaka, 1990, A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, Bull. Seism. Soc. Am., 80, 757-783.

地震被害想定の現状と将来

坪川博彰

はじめに

地震防災対策を効果的に進めるためには、発生する災害を具体的に想定し、これに対応する施策を進めることが肝要である。国や地方自治体では防災計画の策定を目的にして、各種の「地震被害想定」が行われている。4年半前の兵庫県南部地震は、それまで進められてきた各種防災施策を大きく見直すきっかけとなった。本稿では現在進められている地方自治体の被害想定を紹介します。災害種類ごとの手法を概観し、最後に今後の課題について考えてみた。

1. 自治体の地震被害想定の実状

表1は、我々が調査した全国の各自治体（都道府県および政令指定都市）の地震被害想定実施状況および被害想定項目である。自治体の地震被害想定は1978年の東京都によるものが嚆矢となり、現在ほとんどの都道府県で実施されている。ここには含まれていないが、都道府県の枠を超えた被害想定としては、国土庁や自治省消防庁のものなどがある。また、県より小さな単位の市町村では、より細密な情報を活かして、高度な内容の被害想定を行っているところもある。多くの自治体では兵庫県南部地震の影響を強く反映しており、震災以前から被害想定を行ってきた自治体であっても、兵庫県南部地震による検証を行ったり、その結果から被害関数などの見直しを行っているところも少なくない。最近の特徴としては、想定地震の中に直下型地震を加えるようになったことが挙げられる。後述するように、被害想定にはさまざまな結果の表現方法があり、最近これらが改善

されつつある。なおここに整理したのは平成11年2月末現在で確認されたもので、その後新しい結果が公開されている可能性があるので注意されたい。

被害想定結果の評価単位については、ここ数年のGIS技術の急速な進歩（ソフトの普及、データの流通性の向上）によって、各自治体ともいわゆる標準メッシュ（1km×1km）の利用が主流になってきている。表2はこれをまとめたものだが、県単位では500mメッシュ、政令指定都市では250mメッシュを使用するのが多くなってきたようである。ただしアウトプットとしてメッシュを使うのは、住民にとって必ずしもわかりやすい情報の表現方法とは言えず、これを行政単位（市町村、町丁目）に纏めているところもある。東京都都市計画局が作成した「あなたのまちの地域危険度」は、町丁目で情報を公開しており、被害想定ではないが、危険の度合いを住民に理解させる効果は高い。今後はこのような形でのアウトプットが重要になるだろう。

2. 被害想定の実体構成

被害想定の流れとしては、図1のようなものが一般的である。まず想定地震を設定する。これは歴史地震によるものもあれば、活断層調査に基づくものもある。最近の傾向としては、陸域活断層の調査結果を考慮した想定を加えているものが多い。過去に発生した地震による被害想定は、実際に地震が起きたという事実があるので、一つの方法であるが、活断層はその地震発生の蓋然性について言及しているものはあまり多くない。

地震が決まった次は地震動を想定する。多くの場合点震源や断層モデルに地震の規模を与え（点

表 1 都道府県および政令指定都市の地震被害想定実施状況（平成 11 年 2 月末現在）

自治体	報告書 刊行年	地震被害想定項目										備考	
		地震動	液状化	津波	斜面・ 地盤災害	建物被害	地震火災	ライフライン	人的被害	生活支障	シナリオ		
北海道	1987	○		○									危険度評価
青森県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
岩手県	実施中												
宮城県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
秋田県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
山形県	1998												
福島県	1998	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
茨城県	未公開												
栃木県	1995			—		○	○	○	○	○	○		
群馬県	1998	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○		
埼玉県	1998	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○		
千葉県	1996	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
東京都	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
神奈川県	1993	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
新潟県	1998	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
富山県	1998	○	○			○	○	○	○	○	○		
石川県	1998	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
福井県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
山梨県	1996	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○		
長野県	1987	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○		
岐阜県	1998	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○		
静岡県	1993	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
愛知県	1995	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
三重県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
滋賀県	1996		○	—		○	○	○	○	○	○		
京都府	1998	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
大阪府	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
兵庫県	未公開												
奈良県	1997	○	○	—		○	○	○	○	○	○		
和歌山県	地震被害予測システムを開発。												
鳥取県	1997	○	○	○		○	○	○	○	○	○		
島根県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
岡山県	1996	○	○		○	○	○	○	○	○	○		
広島県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
山口県	1997	○	○			○	○	○	○	○	○		
徳島県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
香川県	1997	○	○			○	○	○	○	○	○		
愛媛県	地震被害想定調査は実施していない。												
高知県	1993	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
福岡県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
佐賀県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
長崎県	1998	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
熊本県	簡易な被害想定調査を実施。												
大分県	地震被害想定調査は実施していない。												
宮崎県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
鹿児島県	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
沖縄県	1997	○	○	○			○	○	○	○	○		
札幌市	1997	○	○		○	○	○	○	○	○	○		
仙台市	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
千葉市	1996	○	○			○	○	○	○	○	○		
横浜市	稠密強震計ネットワークによる防災情報システムを構築。												
川崎市	1997	○	○		○	○	○	○	○	○	○		
名古屋市	1997	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
京都市	1997	○	○			○	○	○	○	○	○		
大阪市	1996	○	○			○	○	○	○	○	○		
神戸市	地震被害想定調査は実施していない。阪神・淡路大震災の現実がある。												
広島市	1997	○	○		○	○	○	○	○	○	○		
北九州市	被害想定調査は実施していない。												
福岡市	地震被害想定調査は実施していない。活断層調査のみ実施。												

ここに整理したのは阪神・淡路大震災以降に発行されたもので、防災対策が進んでいるところでは、以前より多くの被害想定を実施している。

表 2 都道府県および政令指定都市の被害予測単位一覧（平成 11 年 2 月末現在）

自治体	地震被害想定項目										
	地震動	液状化	津波(沿岸部)	斜面・地盤災害	建物被害	地震火災(出火)	地震火災(延焼)	ライフライン	人的被害(死傷者)	生活支障(避難者)	備考
北海道	市町村			市町村	市町村	市町村	市町村	市町村	市町村	市町村	危険度評価
青森県	250m	250m	40m	個別	500m	250m	250m	500m	市町村	市町村	
岩手県											実施中
宮城県	500m	500m	引用	個別	500m	市町村	市町村	500m	市町村	市町村	
秋田県	500m	500m	50m	個別	500m	市町村	市町村	500m	市町村	市町村	
山形県											実施中
福島県	500m	500m	100m	500m	500m	市町村	市町村	市町村	市町村	市町村	
茨城県											未公開
栃木県	町丁				町丁	町丁	町丁	震度	町丁	市町村	
群馬県	500m	500m		500m	500m	市町村	市町村	500m	市町村	市町村	
埼玉県	500m	500m		個別	500m	市町村	500m	500m	市町村	市町村	
千葉県	500m	500m	—	—	—	—	—	—	—	—	
東京都	500m	500m	引用	市町村	500m	町丁	250m	500m	市町村	市町村	
神奈川県	250m	250m	156m	個別	250m	250m	250m	250m	市町村	市町村	
新潟県	500m	500m	10m	個別	500m	市町村	500m	500m	市町村	市町村	
富山県	1km	1km			1km	1km	市町村	1km	市町村	市町村	
石川県	500m	500m	150m	個別	500m	市町村	市町村	500m	市町村	市町村	
福井県	500m	500m	500m	個別	500m	市町村	市町村	500m	市町村	市町村	
山梨県	500m	500m	—	個別	500m	市町村	市町村	500m	市町村	市町村	
長野県	1km	1km	—	個別	1km	消防	消防	1km	広域	広域	
岐阜県	500m	500m		500m	500m	市町村	市町村	市町村	市町村	市町村	
静岡県	500m	500m	185m	1km	町丁	市町村	町丁	500m	市町村	—	
愛知県	500m	500m	—	個別	500m	—	—	500m	市町村	市町村	
三重県	町丁	マップ	集落	町丁	町丁	町丁	町丁	市町村	町丁	市町村	
滋賀県		マップ	—	—	町丁	町丁	—	—	町丁	—	
京都府	1km	1km	引用		1km	1km			町丁	1km	
大阪府	500m	500m	50m	個別	町丁	町丁	100m	全城	町丁	町丁	
兵庫県											未公開
奈良県	250m	250m	—		250m	250m		定性	250m	町丁	
和歌山県											
鳥取県	2km	エリア	地域		2km	2km	2km	定性	2km	2km	
島根県	500m	500m	町丁	500m	500m	500m	500m	500m	市町村	市町村	
岡山県	—	—			—	—	—	—	—	—	
広島県	500m	500m	定性	500m	500m	市町村	500m	500m	市町村	市町村	
山口県	500m	500m			市町村	市町村			市町村	市町村	
徳島県	エリア	エリア	地域	市町村	市町村	市町村	市町村	市町村	市町村	市町村	
香川県	500m	500m			500m	500m	500m	500m	市町村	市町村	
愛媛県											実施せず
高知県	1km	1km	2分	市町村	1km	町丁	町丁		市町村		
福岡県	500m	500m	マップ	500m	500m	500m	500m	500m	市町村	市町村	
佐賀県	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
長崎県	500m	500m	地域	500m	500m	500m	市町村	500m	市町村	市町村	
熊本県											簡易調査 実施せず
大分県											
宮崎県	500m	500m	10m	個別	500m	市町村	区域	500m	市町村	市町村	
鹿児島県	500m	500m	—	500m	500m	500m	市町村	500m	市町村	市町村	
沖縄県	500m	500m	—		500m	500m	市町村	500m	市町村	市町村	
札幌市	500m	500m		500m	500m	全城	全城	500m	全城	全城	
仙台市	250m	250m	引用	個別	250m	区域	区域	250m	区	町丁	
千葉市	—	—			—	—	—	—	—	—	
横浜市											実施せず
川崎市	250m	250m		個別	町丁	250m	250m	250m	区	区	
名古屋市	500m	500m	63m	定性	500m	500m	500m	全城	500m	500m	
京都市	250m	250m	—		町丁	町丁	定性		町丁	定性	
大阪市	250m	250m			全城	全城		全城	全城		
神戸市											実施せず
広島市	500m	500m		500m	500m	500m	500m	500m	500m	区	
北九州市											実施せず
福岡市											実施せず

グレーの部分は予測を行っていないか、または公表されていないところ、-の部分は予測単位が不明のところ。

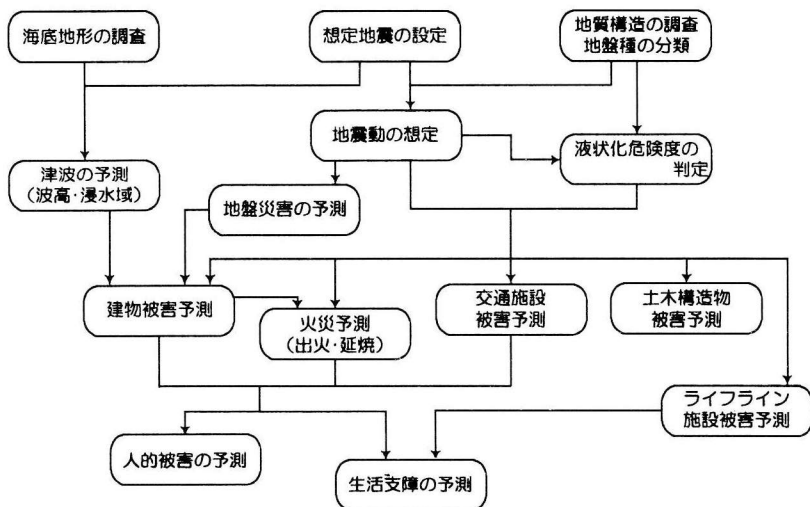


図 1 一般的な地震被害想定調査の流れ

表 3 地震被害想定結果のアウトプット

想定項目	アウトプット
地震動	震度，最大加速度，最大速度（SI 値）
液化化	液化化安全率，液化化指数
建物被害	全壊（大破）棟数，半壊（中破）棟数，一部破損（小破）棟数
地震火災	出火件数，消火件数，類焼棟数
津波	最大波高，浸水域，浸水家屋数
ライフライン	埋設物被害量，支持物被害量，架空線被害量
交通施設	橋梁・盛土被害量，通行可能性
人的被害	死者数，負傷者数，要救出者数
生活支障	避難者数，罹災者（世帯）数

震源の場合にはマグニチュード，断層モデルの場合は地震モーメントなど，対象地域で期待される地震動を推定する。基盤での地震動を推定し，表層地盤による増幅を反映させた形にするケースが多い。地盤災害の予測では地形崩壊，斜面崩壊などを考慮し，液化化が考えられる地点ではその発生確率や，発生した場合の建物の被災確率を計算する。建物の被害は建物構造と被害程度に応じた被害量を被害関数により推定し，住宅や固定資産などのデータベースを用いて被災する建物の存在確率で評価するのが一般的である。さらに市街地では，地震による2次災害の発生も考える必要がある。2次災害として筆頭に挙げられるのは地震火災である。この他交通施設や土木構造物，ライフラインなどの被害が予測される。最後に被害

想定で最も注目される人の被害（死者・負傷者）であるが，これは多くの場合物的被害の結果から2次的に求められることが多い。最近では地震災害が長期化することも考慮に加え，生活支障の推定も行っているところもある。被害想定の結果は，その要素ごとにおおむね表3のような形でアウトプットされている。

3. 被害想定対象地震・断層

現在，科学技術庁の地震予知推進本部が3ヶ年計画で陸上活断層の活動度，確実度についてトレンチ調査や地盤探査を進めているので，それらの結果によっては見直すところもあると考えられる。現時点では過去の被害地震に基づいて想定地

震を決めているケース、日本の活断層などに取り上げられた活断層を想定しているケース、これらを組み合わせたケース、さらには想定地震を設定せず、対象地域の震度のみを決めているケースもある。

4. 被害想定手法の概要

地震被害想定の手法は日進月歩である。特に阪神・淡路大震災は被害想定手法の中でこれまであまり資料のなかった分野についても、膨大な情報を残している。多くの研究者がその解析に取り組んでおり、新しく被害想定を実施した自治体ではそれらを導入しているところもある。ここではこれまで実施された代表的な手法を整理する。

(1) 地震動の予測 地震動の予測は被害想定の中で実は最も重要な部分である。ここが異なれば結果は大きく変化する。しかしながら多くの被害想定では地震動の予測にはあまり高い精度を求めている。これは被害想定の対象となる地震に関する情報が充分ではないからである。今後は規模や断層の広がりなどのパラメータを複数想定して結果を比較検討することが肝要ではないかと考える。

一般的に地震動予測は断層や震源から基盤内を伝播する地震波の想定部分と、表層地盤におけるこの増幅にかかる部分とに分けられる。前者は断層のモデルによってその破壊過程を考慮したものもあるが、多くの場合想定地震の情報が不確実なため、何らかのモデルを使用して地震波を合成する手法が取られている。代表的なものとしては、翠川・小林(1979・1980)の手法が挙げられる。これは断層を小さなセグメントに分割し、各波源から放出されるエネルギーを応答波形の包絡線で評価するという手法である。断層モデルが設定されている場合、計算が簡便で地震動の性質をよく近似できるので、使用している自治体も多い。断層の破壊過程を波動に反映させる方法としては、この他に入倉による経験的グリーン関数の重ね合せ手法や、亀田らによる震央近傍域でも使用できる非定常特性を持つ地震動モデルなどもある。断

層モデルを用いるこれらの方法は、実地震とモデルが一致すれば良い説明が出来るが、破壊過程には破壊方向や破壊速度などある程度の不確実性が含まれるのは現時点ではやむをえないと考えられる。

これに対して、地震そのものに断層を想定するほど情報が与えられていない場合には、距離減衰(アッテネーション)式による経験的な加速度・速度の推定式による評価を行っているところも多い。アッテネーション式にはさまざまな形が提案されているが、後の物的被害や人的被害とのリンクで、評価される指標が加速度であったり速度であったりする。まだ応答スペクトルを計算する手法を取り入れているところもある(札幌市・京都市など)。地震動が空間的に均一に放出されていないという根本的な問題はあるものの、計算が簡便でいろいろな地震を比較検討することが可能な手法として効果をあげている。

地表面での地震動の予測は、地下構造に関する情報の有無によって対応が異なってくる。地震応答の基本的な手法としては重複反射理論がある。これは地下構造を水平成層のモデルに置き換え、下部面から入ってくる地震波を、主にS波速度、密度、剛性率、層厚などを媒介変数として計算する手法である。土はせん断ひずみが増大すると弾性定数が低下するため、線形な挙動を示さなくなる。例えば柔らかい地盤においてはひずみが大きく蓄積すると、固い地盤より応答が小さくなってしまふことがある。このため用いられるのが等価線形法である。多くの自治体では公共土木工事などに伴い収集されたボーリングデータを用い、水平成層地盤のモデルを作成し、地震応答計算を行っている。

(2) 建物被害の予測 建物被害は地震力(入力)と建物の挙動(応答)との関係をどのように設定するかにより決まる。最も原始的な方法としては地震力を震度などで表現し、建築物を建築時期や構造種別、高さや階数などに分類し、それぞれに被害関数を設定して、被害量を積み上げてゆく方法がある。兵庫県南部地震以後は、1981年の新耐震設計法適用以前の住宅と、それ以降の住

宅とて被害関数に違いを設けるケースが多くなってきた。東京都防災会議では建物用途（専住・非専住）と屋根材（瓦屋根・非瓦屋根）と建築時期（5区分）の組み合わせにより木造建物をグルーピングしており、これを発展させた手法を採用している自治体も多い。この手法では1質点系の tri-linear なモデルを利用して、固有周期さえ設定すれば弾性変形と弾塑性変形、塑性変形への遷移を比較的容易にシミュレートできる。この他、積雪荷重が大きな影響を持つところ（例えば福井県など）では、積雪量により建物の降伏強度を変えるなどの工夫を行っているところもある。

非木造建物の被害想定ではRC造とS造とに区分して想定するのが一般的である。RC造では耐震判定にも用いられる I_s （構造耐震指標）を用いるところが多い。ベースシア係数と保有耐力をそれぞれ推定して比較するので、木造同様建築時期による強度の違いが反映されている。S造についても I_s を用いているところもあるが、木造建物と同様の質点系応答モデルなどを用いているところもあり、決定的な手法はない。

(3) 液状化被害の予測 液状化被害の予測は、液状化が発生するかどうかを判定する部分と、それにより構造物が被害を受けるかどうかを判定する部分とに分けられる。液状化が発生する可能性については、微細な地質情報が必要である。ボーリングデータなどをもとに液状化指数(P_L 値)を用いて判定を行うのが一般的である。発生した液状化に対して、構造物などが被害を受けるかどうかは、別途関数を定義しているところが多い。

注意しなければならないのは、液状化による被害と震動による被害との重複部分を調整することである。予測結果の大きいほうを採用しているものが多い。

(4) 地震火災被害の予測 地震火災の被害予測は、出火と延焼というプロセスを分けて考えているのが一般的である。地震火災は事例が少なく、かつ時代による変化が激しいため、過去に発生した事例が、必ずしも将来の参考にならない。そういう意味では常に新しい危険因子を分析してゆかなければならないという課題を背負ってい

る。

出火件数の予測手法としては、建物の被害数（被害率）と出火数（出火率）との間に経験式を持ち込む方法が多かった。これに対して東京消防庁などでは、火元建物の用途別に加速度ランクごとの出火率を、イベントツリー解析により求めたものを採用している。いずれの手法においても、地震が発生した時期（季節・時刻）により出火数が異なって求められるような工夫がなされている。表4は平成9年の東京消防庁提案による用途別・加速度ランク別出火率である。

住宅以外の危険物施設、産業用設備、薬品などからの出火はイベントツリー解析などにより、加速度ごとに設定しているケースが多い。ただし前例が非常に少ないことと、出火率そのものが相当低い値なので、実際の現象にどこまで説明力があるかは未知数である。

延焼火災の予測は、都市構造、出火点分布、出火時刻、気象条件（温度、湿度、風速など）、消防力の対応などにより大きく結果が異なってくるため、予測が非常に難しい。一番わからないのは消防力とその対応である。神戸では消防水利が震災のため思うように利用できず、延焼を食い止めるのが難しかった。焼け止りになった場所の多くは公園、鉄軌道、幅員の広い道路などの空地か、耐火造建物であった。これに市民組織による自主的な消火活動の評価、消防自動車の転戦、隣接自治体などからの応援などを考慮するのはかなり複雑である。そこで被害想定の中には最悪のケースを想定するとして、これら延焼阻止効果を除外しているところもある。

延焼予測は通常「延焼速度式」と呼ばれるものを用いて、面的な広がりを定量化する試みが行われている。建設省建築研究所総合技術開発プロジェクトで提案された式や、糸井川（1991）による式などが代表的なものである。これらは市街地の延焼しやすさ（あるいはしにくさ）を表すパラメータ（例えば不燃領域率など）を用い、これと風速などを絡めた実験式を構成している。こうして予測された延焼領域のメッシュ数をカウントすることで消失棟数を予測する。

表 4 東京消防庁の建物用途別出火率 冬の夕方 (1997)

用 途	加速度 (gal) 別出火率 (単位%)						
	150	250	350	500	700	1,000	
映画館	0.004	0.010	0.033	0.060	0.077	0.119	
キャバレー	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.005	
料理店	0.009	0.020	0.063	0.110	0.135	0.167	
飲食店	油鍋使用	0.005	0.011	0.030	0.049	0.060	0.074
	油鍋不使用	0.002	0.006	0.021	0.037	0.046	0.058
百貨店	0.006	0.013	0.055	0.107	0.143	0.245	
物品販売店舗	0.002	0.005	0.016	0.023	0.031	0.042	
旅館	木造	0.010	0.041	0.137	0.226	0.230	0.295
	非木造	0.006	0.013	0.048	0.084	0.098	0.135
共同住宅	木造	0.002	0.005	0.023	0.042	0.056	0.077
	非木造	0.001	0.004	0.014	0.027	0.036	0.048
病院	0.003	0.009	0.035	0.064	0.075	0.121	
診療所	0.001	0.005	0.020	0.035	0.040	0.058	
寄宿舎	0.002	0.005	0.016	0.029	0.036	0.054	
保育所	0.002	0.009	0.038	0.069	0.086	0.111	
幼稚園	0.000	0.001	0.005	0.009	0.012	0.019	
小学校	0.003	0.012	0.048	0.083	0.098	0.130	
大学	0.002	0.005	0.021	0.037	0.047	0.073	
公衆浴場	0.001	0.003	0.009	0.017	0.023	0.030	
工場	木造	0.003	0.014	0.048	0.080	0.106	0.128
	非木造	0.002	0.008	0.030	0.050	0.066	0.079
事務所	0.001	0.002	0.009	0.018	0.027	0.035	
住宅	0.001	0.004	0.014	0.027	0.036	0.048	

(5) 津波被害の予測 津波は海岸をもつ自治体においては深刻な問題である。特に太平洋側では過去に大きな波高を伴う津波により、多くの人命が失われている。瀬戸内海沿岸や日本海側の自治体では、これまであまり高い津波を経験していないので、細かいシミュレーションを行わないところもあった。しかし日本海中部地震や北海道南西沖地震などで、津波の脅威は通常の沿岸防災では無視できないレベルであることが証明された。一般的には流体力学の基本である連続の式と運動方程式とを連立させ、差分法などで水位を解析してゆく手法が取られている。過去に発生した津波の事例により式を検証した結果を用いて、新しい地震モデルによるシミュレーションが行われているところもある。

ところで、実際構造物に津波がどのように作用して破壊させるかは、市街地における波の挙動を細かく計算することになり、コンピュータでも多

大な労力を要するので難しい。そこで波高から浸水深を推定して、簡単な被害量を求めている自治体が多い。近年沿岸部への都市の広がりが大きくなっていることから、津波危険がしばらく忘れられている現状が気にかかる。

(6) ライフライン被害の予測 ライフラインは水道(上水道・下水道)、ガス、電力、通信などに分けられる。これらのネットワークは行政単位とは異なるユニットで事業化されていることが多いため、被害想定の際的地域的不整合が生じ結果の表示が難しくなることがある。そこで自治体によっては定量的な評価を行わず、定性的な内容に留めているところもある。

水道については埋設管路の被害箇所数を地震動と経験式により結びつけて推定する方法が一般的である。地震動の指標としては地表最大加速度が最も多く用いられ、地表最大速度やSI値が用いられるものもある。埋設管の管種や管径によって

被害関数を変えたものが提案されている。都市ガスについても埋設管の被害予測は水道と同様の手法が採用されている。LPG（プロパンガス）はボンベの漏洩率を地震動から推定する手法が取られているが、実被害データに基づくもの以外に実験によって得られた結果を用いているところもある。

電力は送電路である電柱や架空送電線の被害率を地震力（主に加速度）と結びつけて求めている場合がほとんどである。

(7) 通信施設被害の予測 通信機能の確保は、災害時極めて重要なことが阪神大震災により証明された。1995年1月17日と今日とを比べて大きく社会情勢が変わったのがこの機能であろう。震災当時、携帯電話は始めで、まだそれほど普及していなかった。筆者も震災当日の夕刻に現地に向かう前に初めて携帯電話を購入した。現在ではPHSも普及し、多くの電話が使用されたため電話番号も11桁に改定された。あまりに急速に普及したために、却って有事の機能ダウンの影響の大きさが懸念される。もうひとつ大きく変わったのがインターネットである。これもオフィス、家庭ともに急速に普及した。端末機能の増大が結局は地下ケーブルや架空ケーブルへの依存度を大きくしている。多くの被害予測ではケーブル延長あたりの被害率を設定して通信不通箇所を算出している。

(8) 人的被害の予測 地震による人的被害ほど予測の難しいものはない。建築物などいわゆる「固定」されたものと異なり、人間は常に流動的なため、地震力と結びつけるのが難しいのである。さらに人が被災する形態は多様で、線形な関係式が作り難い。死者については、建物被害量あるいは被害率をパラメータとして経験式を作成しているケースが多いが、先に述べたような変動事由を反映するため、地震発生時刻や季節、火災の有無などを補正項として加えている場合もある。

地震による人的被害を予測する上で今後重要になると思われるのが、家具や調度品などの屋内収容物や設備の被害である。最近の高層住宅では建物がさほど被害が出なくても、内部が大きく被災

している事例が見られる。このような場合、倒れたり落ちてくる家具や設備は危険な凶器となる。そこで家財の種類別の被害関数を作成する試みも行われている⁴⁾。

(9) 生活支障被害の予測 地震災害では一時点で終了してしまうものではない。時には生活の場を完全に変えなければならない場合が生じる。その影響度合いは計り知れない。自治体は最終的には罹災者（被災者）あるいは避難者の数を把握しなければならない。阪神大震災で行政担当者が最も大変だったのは、仮設住宅などの手当てと、その後の恒久住宅の確保であったろう。多くの自治体では、被害を受けた建物棟数とこれら被災者との実験式により予測を行っている。首都圏では通勤時間が2時間前後の勤労者も少なくなく、自宅と職場の間の連絡が途絶えることが懸念されている。東京都ではこの集団を「帰宅困難者」と呼び、その対策を検討している。

ライフラインの途絶が、被災者にとって大きなストレスを生んだことはしばしば指摘されている⁵⁾。現代の便利な生活が一転して不便なものとなったことで、大きなストレスが発生している。これらの機能損傷と被災者の生活支障を有機的に結び付けて、震災後のケアまで想定しておくことが必要なのではないだろうか。

(10) 地震被害シナリオの作成 地震被害想定シナリオは、最近被害想定の中に導入されるようになった手法である。その効果や目的は、①被害想定結果の数量的表現をより具体的に描くことにより、防災対策上の効果を高める、②被害想定を具体化することで、事前対策、事中共策、事後対策の目的や結果を確認し、行動しやすくする、などが挙げられる。なお、米国ではリスクマネジメント作業の一環として、被害想定を行うことがごく普通に行われている。その際被害想定すること自体「シナリオ」なのであって、わが国で昨今使われるようなストーリー展開などを指すわけではない。しかしGISなどの要素技術が急速に高度化している現在、単に数量的な結果だけを想定する従来のやり方では、地震災害の多様な側面をうまく描けないかもしれない。そこでシナリオ

のより高度な発展が望まれる。さらにわかり易く、さらに多彩な表現で防災教育に活かされることが期待される。

5. 地震被害想定の今後の課題

最後に、これら被害想定 of 将来においてどのような課題が残されているかを整理してみたいと思う。筆者は自治体の担当者ではないので、ここに述べるのはあくまで部外者の希望にしか過ぎない。

1) 被害想定手法の統一と想定内容の基準化

今回各自治体で行われている地震被害想定を調査したことで、まず気がつくのは手法や基礎データに統一性がないということである。いろいろな手法で行うことにより進歩が生まれるという考え方もあるので、方法を決め付けるといっても問題があろうが、相互比較を行うためにも、ある程度のガイドラインは必要だと思う。また、全壊、半壊、一部損、大破、中破、小破、死者、負傷者などの被害程度を表現する「用語」についても定義の統一が図られるべきであろう。構造物の場合、具体的にどの程度まで変形が進んだものを判定するのかを明確にしなければならないであろうし、実際阪神・淡路大震災のときでも建築学的に壊れたものを評価した指標と、応急危険度で判定した指標、さらに固定資産や保険の立場から（財物としての観点から）評価した指標ではずいぶん違うことが分かっている⁶⁾。このような観点からも、時代は被害想定 of 基準化の時期に入ったといってもよいのではなかろうか。

2) 地域の連担性の問題

さらに重要なことは、地震は特定の県にのみ影響が及ぶのではなく、複数の県にまたがって被害を生じる場合が多いということだ。特に防災対策上深刻な被害をもたらす地震は、ほとんどが規模の大きな地震であり、その空間的広がりも大きい。阪神・淡路大震災の際に、兵庫県に隣接する大都市である大阪市では若干の被害はあったものの、地震当日でもほとんど平時と変わらない日常が送られていたことを考えると、防災協力体制を

構築するためにも、隣接する自治体による「共同被害想定」の必要性が高まっているのではないだろうか。これは予算や各自治体の権限の問題もあるだろうが、是非既存の枠組みを超えて実現してもらいたい。平成10年6月に提出された中央防災会議大都市震災対策専門委員会提言「大都市地域の震災対策のあり方について」²⁾でも行政界を超えて広がる都市域の防災対策の重要性を指摘している。

3) 一地震評価からポテンシャル評価へ

被害想定 of 多くは、ある特定の地震によるある特定の条件における結果である。このため、実際の被害は想定結果と異なって発現することがある。幸いというべきか、現在までのところ被害想定を行った地震と全く同じものが発生したためしはない。実際想定地震とよく似たものが発生したとしたら、手法や結果の評価に有益な検証が出来ることになるだろう。しかし実際の結果が想定値と異なっていたからといって、被害想定 of そのものを否定することはない。

ここで大切なのは、想定したものと全く違う地震が起きる可能性を考えておくことである。陸域の活断層調査も完璧に行われているわけではなく、未知の断層による地震の発生や、想定規模以上の断層の活動も考えられるのである。したがって今後はいろいろな地震による被害想定を行い、地域の地震に対する強さ（あるいは弱さ）をポテンシャルとして評価してやる必要があるだろう。防災対策を施す上でも、この地震災害ポテンシャルが一つの指標となるはずである。東京都や横浜市などでは既にポテンシャルとしての「地震危険度」評価が行われているが、まだ全国の自治体に普及するには時間がかかるだろう。

4) 情報公開について

残念ながら日本では多くの行政情報が未公開である。被害想定も、その結果がマスコミなどにセンセーショナルに取り上げられたり、地方議会で攻撃されたりすることを配慮するため、これまで公表には慎重であった。しかし、阪神・淡路大震災はそのような議論を吹き飛ばすだけのインパクトを与えている。危険だということ、あるいは安

全だということは、公的機関が住民に正直に知らせるべきものである。この種の情報のインテグリティ (integrity : 正直性) を高めることが、今後の防災において最も重要なこととなるだろう。

参考文献

- 1) 力武常次, 1995, 地震の正しい知識, オーム社, 193 pp.
- 2) 中央防災会議大都市震災対策専門委員会提言, 1998, 大都市地域の震災対策のあり方について.
- 3) 損害保険料率算定会, 1998, 地震被害想定資料集, 地震保険調査報告 28.
- 4) 損害保険料率算定会, 1998, 地震時の家財被害予測に対する研究, 地震保険調査研究 46, 177 pp.
- 5) 損害保険料率算定会, 1998, 地震による世帯の経済被害に関する研究, 地震保険調査研究 44, 232 pp.
- 6) 村尾 修・山崎文雄, 1999, 兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討, 日本建築学会計画系論文集, 第 515 号, 187-194.

日本人の災害観

廣井 脩

はじめに

私が災害の社会心理学的な調査研究をはじめ、もう20年以上になる。地震、噴火、台風など大きな自然災害が発生すると被災地に赴き、災害時の人間行動や災害情報の伝達実態などを調べるのが、主な仕事である。旧著の『災害と日本人』（時事通信社）の冒頭にも書いたが、そうした調査の過程で、興味深い事実に気づいた。

つまり、「災害時にはいたるところでパニックが起こるのではないか」という一般人の懸念とはまったく反対に、実際の災害過程ではパニックはほとんど起こらず、むしろ生命の危険に直面しながら避難しないと、はじめは災害を軽視しておりぎりぎりの段階になってやっと避難するというケースが、とくに水害などでは非常に多いということである。また、東京や静岡で地震に関するアンケート調査を行うことも少なくないが、地震が発生する可能性はきわめて高いと予想しそのとき自分は死ぬかもしれないと思っているのに、ほとんど何の防災対策もしていない人がかなりの割合にのぼっている。あるいは、広域避難場所は知っているが大地震のときそこまで行き着けないだろうと思っているのに、何の対策も考えていない人が少なくないのである。

これはいったいどういうことであろうか。ある人たちは、災害があっても自分だけは大丈夫だとか、まあ何とかなるだろうと楽観的に考えているのかもしれない（こういう思考を社会心理学では「正常化の偏見 (normalcy bias)」と呼ぶ）。しかし、それ以外に、「災害は天災だからあきらめるしかない」とか「災害で死ぬのは運命だから仕方がない」とかいう意識を持つ人々も多数存在するの

ではないか。そして、こうした意識は、いままで幾多の災害を経験してきたわれわれ日本人の精神風土や文化風土と深く結びついているのではなからうか。このように考えたことが、「日本人の災害観」に首を突っ込むきっかけになった。その後、関東大震災をはじめ、濃尾地震、明治の三陸地震津波など多くの震災体験記を調べたり、ときには災害観を調べるために独自のアンケート調査を実施したりしてきたが、まだまだ、完全に調べきったとはとてもいえない。以下に紹介するのは、かつて同じテーマで別のところで書いた原稿を加筆修正したものであるが、いままでの調査の中で積み重ねてきた、現時点でのエッセンスとでもいべきものである（注1）。

災害観とは何か

あらためていうまでもなく、わが国は世界でも有数の災害多発国であり、昔から地震、津波、火山噴火、台風などさまざまな災害によって多くの人命が失われてきた。そして、こうした災害に遭遇したとき、被災者はもとより、直接間接にこれを見聞きした人々も、さまざまな感慨にとらわれたに違いない。

たとえば、1995年1月17日に起こったあの阪神・淡路大震災。テレビから同時進行で流れてくる衝撃的な映像を視て、多くの人が、生きながら紅連の炎に包まれていく人を救助することもできない日本国家とはそもそも何だろうかと疑問をもったはずである。日本の最も進んだ都市の一つといわれるあの神戸がわずか十数秒の揺れによって壊滅してしまったシーンを目撃して、われわれが享受してきた繁栄はあるいは砂上の楼閣だったのではないかと、疑問を感じた人もいただろう。

テレビ画面に映し出される被災者のじっと苦難に耐え忍んでいる姿にうたれ、あらためて日本人とは何かを深く考えさせられた人も少なくなかったはずである。要するに、私たちは、この震災がもつ「社会的意味」を問いただしていたのである。

被災者をはじめとして震災を直接体験した人たちは、もっと辛く複雑な感情にとらわれたにちがない。全く予期しない大地震に襲われ、最愛の家族や貴重な財産を失った人たちは、なぜ自分がこのような悲劇に見舞われねばならないのか、と悲嘆の涙にくれただろうし、あの大地震がなぜあの日あの時あの場所で発生し、自分の家族を奪い去ってしまったのか、なぜ友人・知人が瓦礫の下で、あるいは猛火の中で無惨な死を遂げねばならなかったのか、という痛切な思いもよぎったことであろう。このとき、かれらは震災の「個人的意味」を求めていたのである。

地震そのものは自然現象であり、単なる物理的エネルギーにすぎない。しかし、地震が災害になるとき、しかも大災害になればなるほど、私たちは災害が自分や社会にとってもつ意味を考えざるを得ない。おそらく、私たちの先人も、直接間接に大災害に遭遇するたびに、そのような感情を経験したであろう。そして、災害とそこにおける人間の生死は、あるいは自然の暴威にもあそばされる人間の無力さとして、あるいは人がもって生まれた運命の定めとして、あるいは人々の栄耀栄華のはかなさとして、さまざまな形で意味づけられ、大災害のたびにくり返されるこのような経験を通じて、われわれ日本人のなかには、災害についてのある共通の観念が形成されてきた。多くの人々に受け入れられて内面化し、知らず知らずのうちに伝承されてきたものが、私のいう「日本人の災害観」なのである。

天災論と天譴論

自然災害との長いかかわりのなかで日本人が継承してきた災害観のうち、もっとも典型的なのは、おそらく自然災害を人間の力ではどう対処することもできない不可抗力と考える思想である。

う。私はこれを「天災論」と呼んでいる。

自然災害をどうにもならない不可抗力とみなすこの「天災論」は、すでに明治時代にもあったようだ。

『天災』という有名な落語は明治年間にできたそうだが、この落語には、例によって、熊さんという主人公が登場する。この人は無類のかんしゃくもちで、今日も、自分が食べようと思っていた魚を猫にとられたのは、女房とおふくろがボヤックとしていたからだと暴力をふるい、二人を離縁するといきましている。大家さんは困って、紅羅坊名丸という心学の先生に説教してもらうことにする。ところが、名丸先生がいくら説得しても、熊さんはなかなか納得しない。そこで最後に、名丸先生は、立木一本もない野原のなかでいきなり夕立に出会ったらどうするかと熊さんにたずね、人のせいだと思うから腹がたつ、なにごと天災とあきらめれば腹はたたない、人間あきらめが肝心だ、と説教する。これでやっと、熊さんになるほどなあと合点する、という話である。ここにはすでに、天災はあきらめるしかないという考え方が現われている。

この天災論は、古くから「天譴論」といわれてきた思想とよく似ている。この天譴論は、天が人間を罰するために災害を起こすという思想、つまり災害とは天が人間に下した罰なのだ、という観念である。天譴論は儒教主義に基づく思想であり、すでに奈良時代から存在していたといわれるが、もともとは、災害(地震)を「王道に背いた為政者に対する天の警告」とみなす思想であった。そもそも天子たる者は、上天の意思にもとづいて、公平無私で仁徳に満ちた政治を行なわねばならない。そして、これに背いた場合には、ただちに上天の譴責を甘受しなければならない。地震とは、この上天の譴責にはかならず、つまり地震は、天子の不徳から発生するというわけである(注2)。

こうした歴史をもつ天譴論が、関東大震災の頃にはかなり変質した形で出現した。

震災直後、この天譴論をしきりに唱えたのは、実業家の渡沢栄一やキリスト者の内村鑑三などで

あったが、ここでは天譴論は、「腐敗墮落した人間社会一般に対する天の戒め」という意味で用いられている。つまり、関東大震災は市民の墮落が原因で生じたのであり、市民への天罰にはかならないというのである。たとえば渋沢栄一は、震災直前の7月に作家の有島武郎が『婦人公論』の女性記者と心中した「有島事件」に触れながら、「今回の震災は未曾有の天災たと同時に天譴である。維新以来東京は政治経済其他全国の中心となって我国は発達して来たが、近来政治界は犬猫の争闘場と化し、経済界亦商道地に委し、風教の頹廢は有島事件の如きを讚美するに至ったから此大災決して偶然でない」(注3)と述べている。また天譴論は、評論やエッセイばかりでなく、秋田雨雀の詩、北原白秋の短歌などの文芸や、漫画にさえ登場してくる。そのうちもっとも有名なのは、『邪宗門』の著者北原白秋の「大震抄」であり、そこには「天意下る」と題する次の七首がある。

「世を挙り心傲ると歳久し天地の譴怒いたゞ
きにけり
地は震へ轟き亨る生けらくやたちまち空し
うちひしがれぬ
大御怒避くるすべなしひれ伏して揺りのま
にまにまかせてぞ居る
言挙げて世を警むる国つ聖いま顕れよ天意
下りぬ
大王は天の譴怒と躬自ら照らす御光も謙し
みたまへり
国民のこのまがつびは日の本し下忘れたる
心ゆ来たれり
大正一二年九月ついたち国ことごと震亨れ
りと後世警め」(注4)

このうち第一首と第六首のなかに、国民の傲慢が天譴を招いたのだ、という思想がとりわけはっきり明示されているが、「天意下る」という表題が示すように、この全篇を通してのテーマは天譴そのものだった、ということができよう。

運命論

さて、日本人のもつ第二の災害観は、「運命論」

だと私は考えている。

ここでいう運命論とは、自然のもたらす災害と、そこにおける人間の生死を避けられない運命と考える思想であり、また災害の中に人間社会の「無常」を観る思想でもある。

阪神・淡路大震災もそうだったように、関東大震災の直後にも、新聞や雑誌の特集号、震災日誌、震災体験記、焼け跡踏査記などの大量の書物が刊行された。そのなかには、さまざまな悲話・哀話や、奇跡のような生還談が数多く含まれているが、それらを読むと、一方では、生へのかぎりない執着を示しながらついに悲惨な死を遂げた人々がいる。他方では、死の淵をのぞきながらからも生き残った人々がいる。これらの人々にとって、生と死はまったく紙一重であった。避難の途中で風向きが変わったかどうか、震災のときどこで寝ていたかというわずかな条件の差や、右に行くか左に逃げるかというほんのささいな決断の差が、かれらの生死を分けてしまった。

では、ある人々はなぜ無惨な死を味わい、ある人々はなぜふたたび生命の喜びを謳歌することができたのだろうか。これは、単なる偶然であろうか。いや、むしろそれこそ必然であり、そうなることが、かれらの持って生まれた運命だったのであるだろうか。多くの人々が、そう考えることでこの不条理を納得しようとした。こうして運命論は、人々の生死の差を説明する原理として、また震災の過酷な現実を感受する原理として、広く唱えられることになった。

おそらく、災害観としての運命論をもっともはっきり表現しているのは、新派劇の脚本家だった川村花菱の『大正むさしあぶみ』であろう。この本は、画家の山村耕花が描いた30枚の震災スケッチに、花菱が簡単な文を添えて、『報知新聞』に連載したものである。そのなかには、生と死のいちじるしい対照を描写し、人間の運命の惨酷さに思いをはせている部分がいくつかあり、耕花のスケッチとあいまって、読者に独得の感銘を与えずにはおかない。たとえば、人足たちが海に漂う遺体の首に縄を結び付けているのを目撃して、花菱は「生きて居る時に、それぞれの個性を持って、

一步右するのも半歩左するのも、決して他人の自由にならなかった人間が、かうして人足共の力で引かれるままに、自由自在に音なしく浮いているかと思ふと、一種の愛さえ感じて来る」と書いているが、ここには運命論の思想が色濃く現れている(注5)。

田山花袋の『東京震災記』も同じである。関東大震災後の文学者たちの震災体験記や震災見聞記は、実におびただしい数にのぼった。当時の新聞・雑誌はさまざまな震災特集号を組んだが、その主な書き手は、文学者たちであった。芥川龍之介や菊池寛はこれらの雑誌に引っ張りだこだったし、ほかにも正宗白鳥、久米正雄、加能作次郎などの名がちらほらしている。なぜこんなに文学者たちが引きずり出されたのかは、すぐに想像がつく。感受性にあふれ、筆もたつ文学者たちが、人々の震災体験を代弁し、時代の雰囲気記録する役割を与えられるのは、いわば当然のことであった。田山花袋の『東京震災記』もそうしたもののひとつで、まだ煙がくすぶっている時期から焼け跡を訪れ、実に丹念に現場を歩きまわって、自分の見聞を記している。当時の花袋はもはや晩年に近かったため、他の作家たちのように2万人を超える焼死者を出した被服廠跡地など、残酷な場所にズカズカ足を踏み入れることはない。

しかし、私が興味をもつのは、廃虚をみるたびにかれが筆にする一種の無常感である。たとえば魚河岸の荒廃を眼前にして、かれは「しかし、これも為方がない。皆なさうして亡びていくんだ。何んなものでも、何んなに栄えたものでもまた何んなに強いものでも何んなに大きなものでも皆なさうして亡びていくんだ、これが人間と自然の運命だ、自分だっていつかはさうなつて了ふんだ。この大きな自然だってさうだ』こんなことを思ひながら、私は橋の袂に立尽した」と述懐している(注6)が、これは、一方では滅びゆくものへの深い哀惜の念であり、他方では、それこそ鴨長明以来の、災害に対する日本文学の主要な見方ともいえるし、また日本人一般の災害観を強く反映しているともいえるのではないだろうか。

現代人の災害観

このように、天譴論や運命論は、物理的な異常現象にすぎない自然災害に、さまざまな「意味」を与えるものであった。もちろん、こうした思想は、関東大震災の後にはじめて出現したものではない。それらはともに、昔から繰り返し大災害に襲われてきたわれわれの先人が、その体験を通じて歴史的に形成してきた災害観であり、それが大災害を契機として一気に噴出したと考えるべきであろう。しかも、こうした災害観は決して過去の遺物ではなく、日本人の文化的継承概念として、現代社会に生きるわれわれの心理の底にも普遍的に存在しているのである。

前述のように、私はここ20年以上、地震、噴火、台風などの自然災害発生時の人間行動や情報伝達の調査を続けているが、災害によって家族や家屋を失った人たちが、「災害は天災だからどうすることもできない」と、あきらめきった表情で話すのを何回も聞いてきた。また昭和58(1983)年の日本海中部地震のとき、地震直後に発生した大津波によって秋田県内の海岸で遠足中の小学生13人が亡くなった出来事があり、その後、地震の後に津波を予測できなかった学校側に責任があるとして、児童の父兄が訴訟を起こすという事態になった。ちょうどその頃、私が秋田市に行ったとき、「あれは天災だから誰のせいでもない、父兄は訴訟を起こすべきではなかった」という一般市民の声を直に聞いている。さらに、阪神・淡路大震災の被災者の方々とある放送局で電話対談したとき、「あんな大規模な地震が来るのではどんな防災対策をとっても無駄だ」という絶望的な感想も直接うかがっている。これは、いままで述べてきた天災論や運命論そのままではないか。

筆者の個人的体験ばかりではない。いくつかのアンケート調査の結果も、こうした災害観がまだ多くの人に根強く残っていることを示唆している。たとえば、筆者らが以前岩手県大船渡市や長崎県長崎市で行ったアンケート調査をみると、「災害に遭って生きるか死ぬかはその人のもつ運

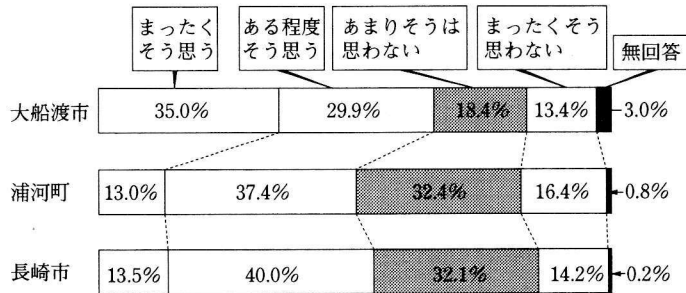
命だ」という「運命論」に共感する人々がどちらも全体の半数を超えていた。また、自然災害を人間の力では如何ともできない「天災」と考える人々や、災害を人間が自然を破壊したことに対する「自然からの仕返し」とみる人々も決して少なくなかった。この両者はどちらも天譴論の現代的バリエーションというべきものだが、とくに、天災論は、現代日本人の災害観を代表するといってもいいほど一般的な観念なのである（図1）。

われわれ日本人は、しばしば「天災」と「人災」を区別してきた。しかしこれは、英語でいうNATURAL DISASTER と MAN-MADE DISASTER という区別（災害をもたらした原因は自然現象か人為現象かという区別）とは多少ニュアンスを異にしている。小学館の『言海』によれば、天災は「暴風・地震・落雷・洪水などによってもたらされる、人為的に避けにくい災害」とあり、人災は「人間の不注意や怠慢が原因で起こる災害」とあるが、この定義が一般感情を割合うまく

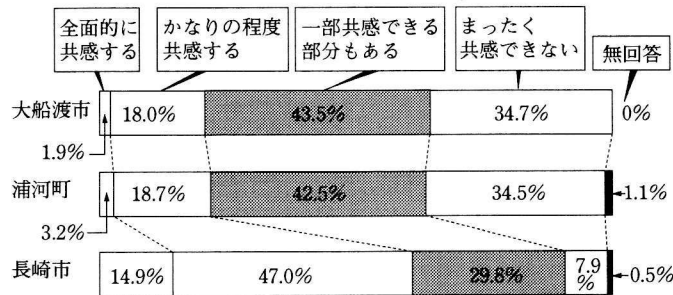
反映しているのではないかと思う。つまり、この定義の含意するところは、天災とは、どうにもならない自然の暴力であって、被害を避けることができないのに対し、人災は、災害の元兇がはっきりしており、その責任を明らかにできるしまた明らかにしなければならない、ということである。当然ながら、自然災害の場合にも、被害を拡大し増幅するのは人為的要因である。阪神・淡路大震災の直後にも指摘されたように、建築物や土木構造物の耐震性がもっとしっかりしていたら、あるいは行政の危機管理体制がもっとしっかりしていたら、被害はあれほど大きくならなかったであろう。そういう意味では、純粋な「天災」というものはあり得ない。

しかし自然災害の場合、たとえ人為的ミスや怠慢のために被害が拡大されても、あまりそのことを糾弾しないという傾向がある。先に紹介した日本海中部地震のときの訴訟に対する一般市民の反応は、そのことを雄弁に語っている。最近の水害

●運命論への共感度



●天譴論（自然の仕返し論）への共感度



【いずれも東京大学新聞研究所調査より】

<注>大船渡市の場合は昭和35年の「チリ地震津波」に対するもの（調査対象者800人）
浦河町の場合は昭和57年の「浦河沖地震」に対するもの（調査対象者1100人）
長崎市の場合は昭和57年の「長崎水害」に対するもの（調査対象者700人）

図1 災害観のアンケート調査結果

訴訟などをみると、自然災害の場合にも、これを一種の人災とみて、国家賠償責任を追及する動きがでてきたものの、一般住民のレベルでは、まだこれが普遍的とはいえない。けれども、過去の航空機事故や原子力発電所事故の例をみると、その原因究明や責任追及にはきわめて厳しいものがある。もちろん、こうした追及は厳しいのが当然であり、またどこまでも厳しくしなければならないが、社会心理の問題として関心を惹くのは、天災にともなう人為的ミスや怠慢には比較的寛容である一方、人災にはきびしいという一般意識の落差が大きいことである。その背後に、人間の力をはるかに越える自然災害は不可抗力であり、被害があってもやむを得ないという災害観が存在していると考えるのは、無謀だろうか。

自然観・宗教観

では、天災論と運命論といった固有の災害観は、なぜかくも長い間日本人の心情に訴えてきたのだろうか。その理由の一つとして、わたしは、これらの災害観が、長い歴史を通じて定着した多くの日本人が共有している、独特の「自然観」や「宗教観」と深くかかわっているからだ、と考えている。

日本人の災害観の基底には、自然の偉大さに対する人間の無力感と、運命にもてあそばされる人間存在へのあきらめが、色濃く反映されていることははっきりしている。そして、こうした自然観や宗教観は、災害ばかりでなく森羅万象への物の見方全体を支配する、一種の「世界観」ともいえるほど、日本人の心性とわかちがたく結びついている。このような観念こそ、災害観を支える大きな心理的基盤なのである。

まず、日本人の自然観から触れていこう。寺田寅彦もいうように、日本の自然は、四季を通じて変化に富み、いたるところに景勝の地をそなえている。それはきわめて繊細であり、まさに「花咲き鳥歌ふ楽土」といえよう。しかし反面、わが国には地震、津波、台風などの災害が多く、ときに自然は、人々の生命を容赦なく奪い取る圧倒的な

破壊力を示してきた。その意味では、日本の自然は「表面は極端な楽土であって而も内実は極めて恵まれざる国土」(注7)なのである。

こうした自然の特性は、日本人の心のなかに独得の自然観を形成せずにはおかない。日本人の自然観の特徴は、何よりもまず、自然と人間の間をきわめて密接なものともみなすことにあり、しかも、「偉大な自然」と「卑小な人間」という対比が、つねにそこに存在している。つまり、自然を絶対化し、ひるがえって人間の無力さを自覚する態度が流れているわけで、ある意味では、日本人の自然に対する態度は、幼児の両親に対する態度と似ているといえよう。それは、自然を対象化しこれを征服しようとする西欧近代合理主義の態度ではなく、むしろ自然と一体になりこれに服従しようとする態度である。これこそ、日本人の自然観の中核であり、こうした自然観が、日本人の災害観と深く関わっている。とくに、災害をいかんともしがたい自然の力とみなす天災論のなかには、自然の破壊力への恐れや、自然の偉大さに対する人間の無力感が、色濃く反映されていると考えられる。

次に、日本人の災害観と深くかかわる宗教観として、いわゆる「仏教的無常観」をあげておきたい。この無常観は、涅槃直前の釈迦が、「一切の諸行は皆ことごとく無常なり」と説いた「諸行無常」の根本理念から導き出されるものであり、生々流転この世に常なるものはなし、という観念にほかならない。前述の自然観が天譴論や天災論と結びつくのに対し、この無常観は、災害に遭って生きるも死ぬも運命だ、とする運命論的災害観と強く結びついている。

昔から多くの災害に襲われてきたわが国には、災害体験記や見聞記の類いが決して少なくないが、そのなかでもとりわけ有名なのは、鴨長明の『方丈記』や、浅井了意の『むさしあぶみ』、亀岡石見入道宗山と杉田玄白の『後見草』などであろう。これらの著作には、災害のありさまが生々しく記されているとともに、無常観が強く表現されている。

たとえば、『むさしあぶみ』。これは、明暦の大

火の見聞記であるが、京橋近辺において、炎に追われ狂気のように逃げまどう人々の様子を、浅井了意は、「劫火の中にとりまかれたる諸人一連に南に行き北に帰り東西を足掻きめぐり声をそろへておめき叫ぶ、既に真近く迫りてもえ来たりける時、余りに堪へ兼ね、我人を互に楯になして火をよけんとする中に、まくれかゝる煙にむせびてふしまろぶものもあり。或は五体に火もえ付きて倒れ惑ふせきあひおし合いける中に、煙にむせび火にやかれて打ち倒るれば、その後なるものども将棋倒しの如く一同に倒れころぶ其上へ炎おちかかり、煙渦巻きおめき叫ぶ声、これやこの地獄の罪人共の焦熱大焦熱の焔に焦され、獄卒の呵責をうけ叫喚大叫喚の声を上げて悲しみ叫ぶらんもかくやと覚えてあはれなり」と記述している。

浅井了意は、被災者のこのような状況を次々と記していく。そして、状況をリアルに描写したその同じ筆で、一切は無に帰すのだ、という詠嘆に満ちた無常観を吐露していく。「ゆく河のながれはたえずして、しかももとの水にあらず」で始まる『方丈記』の無常観はあまりにも有名であるが、明暦の大火の三日後に降った大雪と食糧の欠乏によって生じた、多数の凍死者や餓死者を目の前にして、『むさしあぶみ』の著者もまた、「一業所感の因果人とも死すべき時のさだまりけん。火を逃れては水に溺れ、飢えては死し、凍えては死す。いづれ命は助からず無慘といふも愚なり」と書き記すのである（注8）。

大衆文化と災害イメージ

このように、災害観の背後には、日本人独特の自然観や仏教的無常観があり、その存在が天災論や運命論を支えているわけである。しかし、加えてもう一つ、娯楽映画や大衆文学に代表されるポピュラー・カルチャーが現代人の災害観を補強し、かつ再生産していることも強調しておかねばならない。

アメリカの災害社会学者 E.L. クアランテリはかつて「災害イメージ」という概念を提唱した。どんなに災害が多発する国でも、実際に災害を体

験する人はそれほど多くはない。そこで、圧倒的多数の人々が、災害時にどのような事態が起こるか、そのとき人間はどのように行動するかについて、娯楽映画や大衆文学などが描写する固定的でステレオタイプ（紋切り型）のイメージを受け取り、これをそのまま信じることになる。この種のイメージが「災害イメージ」であり、それが災害時に現実に発生する事態と相違することも少なくない。

現実の事態と異なった災害イメージのうち、もっとも典型的なのは冒頭でもちょっと触れた「パニック・イメージ」である。これは、災害が発生するといたところでパニックが発生するというイメージである。しかし、クアランテリがさまざまな事例を調べたところ、災害時にパニックが生じるのはきわめて稀であり、たとえ発生したとしても、ごく局部的な現象にすぎなかったという。ここで、問題になるのは、人々がもつこのような災害イメージが、災害に遭遇したときの彼らの行動に影響を与えるということである。たとえば、災害が起こるといところでパニックが発生すると考えている人は、パニックに巻き込まれることを恐れて他人を考慮しない反社会的行動を率先してとる可能性がある。さらに、行政の防災担当者がパニック・イメージをもっていれば、住民の避難が必要な危険状態になっても、パニックの発生を恐れて避難命令の発令をギリギリまで控え、それによって被害を増幅させるかもしれない。だからこそ、娯楽映画や大衆文学が実態と大きく異なる災害イメージを振りまくのは好ましいことではない。簡単にいえば、これがクアランテリの結論である（注9）。

いまここで考えている災害観にも、こうした議論があてはまるのではないだろうか。たとえば、ここに二本のビデオ映画がある。一つはアメリカ映画で、マーク・ロブソン監督の『大地震』（1971年制作）。もう一つは邦画で、大森健次郎監督の『地震列島』（1972年制作）。ほぼ同時期に作られたこれらの映画は、ともに巨大地震が都市を襲ったときの状況をあつかったもので、割れた窓ガラスや剥がれた外壁とともに、高層ビルから絶叫を

あげて人々が落下するシーンや、高速道路を運転中の車が、地震のためにハンドルをとられ外壁を破って転落、同時に高速道路も崩壊してしまうシーンなどが、生々しく描かれている。

巨大地震がもたらすこうしたカタルシフィックのシーンは、二つの映画でそんなに違いはない。けれども、地震に遭遇した人々の行動には大きな相違があり、アメリカ映画では、地震にもめげず被災者が共同して救助や救援にあたる姿が描写されている一方、邦画では、巨大地震におびえなすすべもなく右往左往する人々のようすが克明に描かれている。自然の暴力に雄々しく立ち向かう人間と、どうしようもなく自然に翻弄される人間という、対照的な図式がそこにある。いいかえれば、この邦画は、営々として築いてきた人間の文明も、ひとたび自然が怒ればたちまちにして崩れさる、という観点からつくられているわけである。この観点はもちろん、大衆の災害観をそのまま反映したもののみられるが、同時に、映画を見る人々に、災害はどうにもならない天災だという災害観をふたたび植えつける作用を果たしているともいえる。

おわりに

以上、私が考えている「日本人の災害観」について駆け足で紹介してきた。

冒頭でも触れたように、私が災害観について調査する動機になったのは、あくまでも歴史研究や文化史研究からでなく、社会心理学的な災害調査

や防災調査の過程で、多くの人々に内在する日本的心情の存在が無視できなくなったからである。そこで、大きな問題は、ここで紹介してきたような災害観の存在を防災の観点から見つめることである。いいかえれば、災害観の存在が防災対策の推進にどのような障害となっており、その障害を克服するためにはどのような対応策が必要か、ということである。

この問題についても管見がないことはないもので、機会があったらあらためて稿を起してみたいと思っている。

(注1) 詳しくは、廣井 脩「自然災害は天災か 日本人の災害観」『日本人の科学』平成8年 岩波書店 89-119 ページを参照

(注2) 西岡虎之助「王朝時代の地震とそれに対する思想」『社会史研究 日本震災史』大正12年12月号 49-55 ページ

(注3) 渋沢栄一『萬朝報』大正12年9月13日号

(注4) 北原白秋「大震抄—天意下る」『大正大震火災誌』『災時の社会相と遭難誌』大正12年 改造社 12 ページ

(注5) 川村花菱『大正むさしあぶみ』大正13年 報知新聞出版社 37 ページ

(注6) 田山花袋『東京震災記』大正13年 博文館 116-117 ページ

(注7) 佐藤功一「民族性と住宅観」『思想』大正12年11月号 岩波書店 84 ページ

(注8) 浅井了意『むさしあぶみ』『明曆安政及大正の難』大正13年 東京市 22-24 ページ

(注9) E.L. Quarantelli and R.R. Dynes: Images of Disaster Behavior; Myths and Consequences, DRC, the Ohio State University, Preliminary Paper 5

ナマズで町おこし

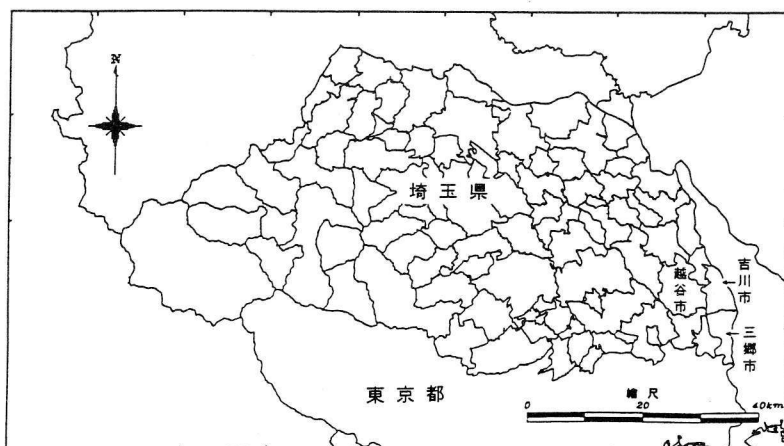
—吉川市の場合—

ナマズ・モニュメント

埼玉県吉川市は、県南東部に位置する人口54,292人（平成9年1月現在）の町である。

JR 武蔵野線の吉川駅前には、口絵写真のような巨大な金ピカのナマズ・モニュメントがあり、

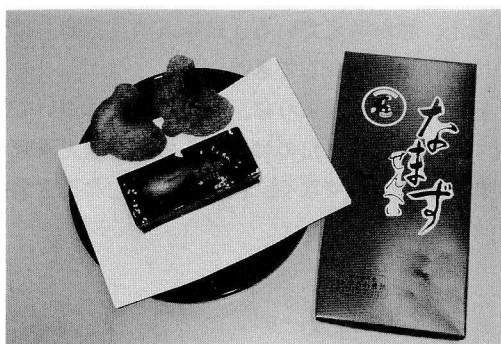
大いに人目に立つ。町を歩くと、あちこちにナマズ料理の看板がある。市役所商工課によれば、ナマズせんべい、ナマズ羊羹、ナマズ縫いぐるみ、…など、ナマズ・オンパレードの商品を名物として売出すとのことである。



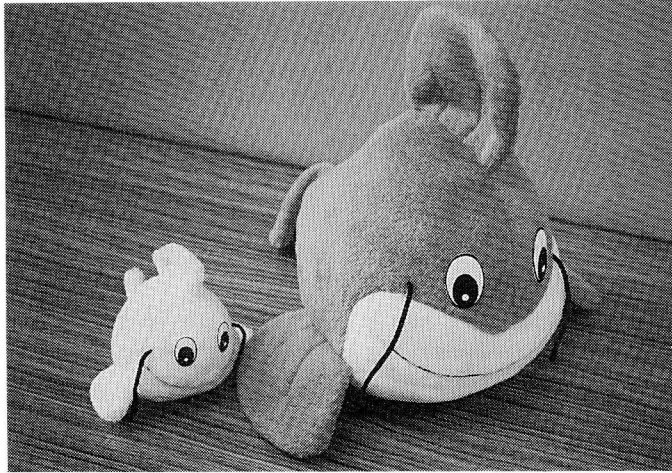
吉川市位置図（隣りは千葉県流山市）



ナマズ料理看板（テンプラはさっぱりとしていて、結構いける）



ナマズせんべい・羊羹（なかなか美味）



ナマズ縫いぐるみ（可愛いので女性に評判）

吉川市と地震

ナマズとくれば、地震を想像するが、市当局は特に地震を考えているわけではないらしい。大正12年（1923）の関東大震災で、当時の吉川町では、死傷0、住家全壊45、半壊68、（県全体で死217、傷517、全壊4,713、半壊3,349）となっているが、最近の県の被害想定では、もし関東地震が再来すれば、吉川市で死8、重傷22、軽傷294、木造全壊

139、半壊276、などとなっている。人口増加によって被害も大きくなると予想される。中川流域であるため、川筋の軟弱地盤が原因で、地盤液状化による被害も結構増えることが見込まれる。ナマズの売出しとともに、地震対策にも力を入れて欲しいところである。

<地震ジャーナル編集部 R&M>

■地震予知連絡会情報■金沢敏彦■

地震予知連絡会は第131回が平成11年2月15日、第132回が4月16日、第133回が5月17日に開催された。第131回地震予知連絡会では、1998年11月から1999年1月の全国の地震活動、地殻変動の概況および東海、伊豆、北海道、関東・中部、九州地方の地殻活動等についての観測・研究成果59件が報告され、議論がなされた。次に地震予知における電磁気現象がトピックスとしてとりあげられ、これまでの研究についてのレビューのあと現在の観測状況が報告され、討議が行われた。第132回地震予知連絡会は委員交代に伴い臨時に開催されたものであり、第16期委員の紹介、会長の選出、副会長等の指名が行われた。そのあと今後重点的に討議するトピックスの議題について議論され、最近の関西地方の地震活動、日本海東縁の地震活動、全国GPS連続観測成果、海底活構造調査成果、全国活断層調査成果、地震活動に関連する電磁気現象、地震前兆現象の評価などが候補にあった。第133回地震予知連絡会では、1999年2月から1999年4月の全国の地震活動、地殻変動の概況および東海、伊豆、中部の地殻活動等について、60件の観測・研究成果の報告があり、議論がなされた。トピックスとして関西地方の最近の地殻活動についてのこれまでの観測・調査結果の報告がされ、現在の状況に関する検討・討議が行われた。

本稿では、トピックスと各地の地震活動・地殻変動に関する事項を中心に報告する。

電磁気現象について

前駆現象も含め広い意味の地震に関連する電磁気現象について、委員の一人からレビューが行われた。全磁力変化とその考えられる原因である熱消磁、応力変化、流体流動、比抵抗変化とその考えられる原因であるひずみの変化、流体流動、地電位変化とその考えられる原因である応力変化、流体流動、電磁放射とその考えられる原因について、ギリシャのVAN法による事例等も含めこれまでの観測事例について包括的に報告された。そのあと、多点同時観測による例が少ないため前駆現象としてのメカニズムの解明に至らないこと、ノイズとの識別が不十分であること、ノイズ源の特定も必要であること、実験値、理論値と比べて観測値が異常に大きいことなど

問題点について議論された。また、これら問題点を克服していくことによって地震の前駆現象としての電磁気現象に期待が寄せられていく可能性があることが指摘された。また防災科学技術研究所と通信総合研究所による電磁気現象に関する観測研究の概要の紹介があった。

関西地方の地震活動について

近畿地方では、1998年は比較的地震活動の状況が静穏であったが、1999年に入ってから規模は大きくないもののM4クラスの地震を含みいくつかの地震活動が見られている(図1)。三重県中部で1999年1月の末からクラスター的に地震が発生し始めた。メカニズムは東西圧縮と考えられる。中央構造線の南側の蓮ダム付近であり、1967年8月にM4.0の地震があるだけの比較的珍しいところにあたる。最近では活動が低下している。長野県中部の地震とも関連して近くに位置する糸魚川-静岡線、中央構造線との関連の議論があった。

滋賀県北部で、1999年3月にM4.9の地震があった。この地震の震央付近では1979年にM4.9の地震が発生している。地震活動は本震-余震型で推移し、M3.3の地震を最大として減衰している。兵庫県南部地震の余震域を北東に延長したところに位置しており、この領域は微小な地震活動が見られる地域である。

丹波山地周辺の地域では、1992年-1993年にかけてM3.5以上の地震活動の静穏化が見られ、その後1994年に活動度が回復し直前1ヶ月の静穏化があって、南西に隣接する場所で兵庫県南部地震(1995年1月、M7.2)が発生している。1998年頃からの丹波山地周辺の地域の活動の推移には兵庫県南部地震前のいくつかの類似する現象が見られることなどの報告があった(図2)(第133回:京都大学防災研究所)。

兵庫県南部地震が起こったため、その延長上にあたる北東部一帯で応力が高まった可能性があり、それを示唆するような地震活動の活発化や静穏化が見られるので、この地域の地殻活動の推移には今後も注目していくこととした。

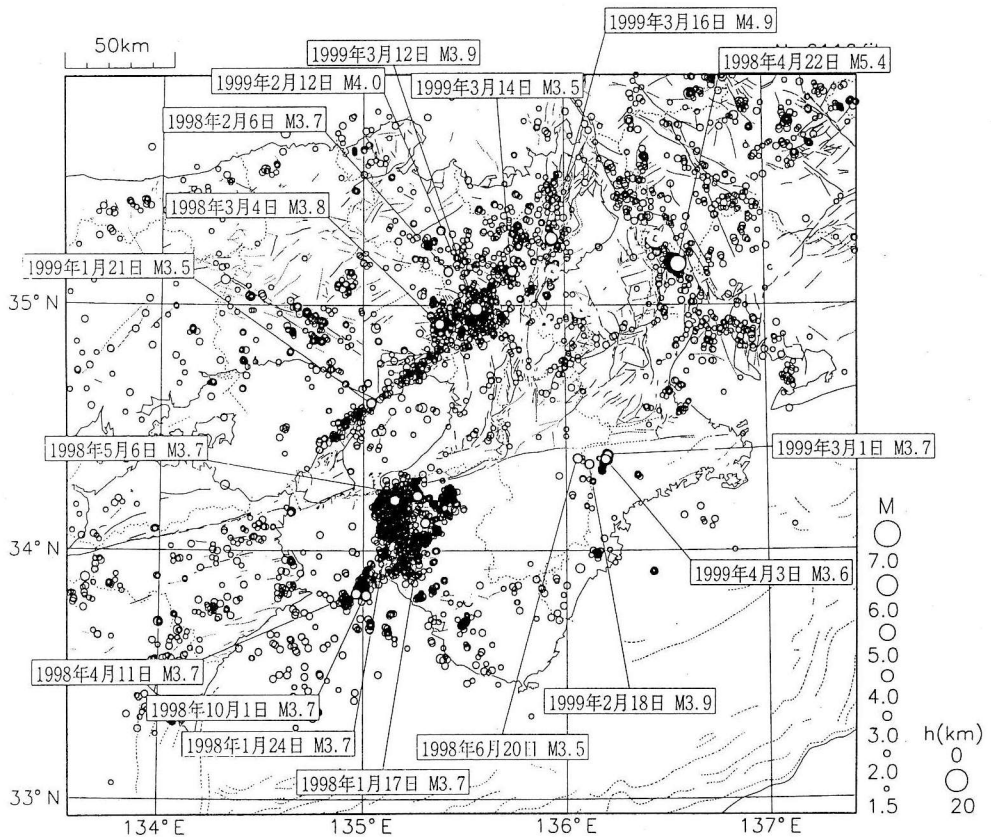


図1 関西地方の最近の地震活動の概況(1998年1月1日-1999年4月30日)(第133回:気象庁)

中部・近畿・北陸地方

長野県中部(長野県大町付近)で1999年1月にM4.7の地震があり、5月にはM3.7の地震を最大とする活動があった。糸魚川-静岡構造線のすぐ東側で発生したもので、1998年7月にも近くでM4.7の地震が発生している。今回の活動のすぐ近くで1981年に行われた人工地震探査による速度構造断面に余震分布を投影してみると、松本盆地東縁断層からのびる低速度層よりも深いところに位置している(第131回:東京大学地震研究所)。

関東・伊豆・東海地方

茨城県沖で1999年1月2日にM5.0の地震があった。茨城県沖は地震活動が活発な地域の一つであるが、今回の地震の震源付近でM5.0以上の地震を観測したのは1994年4月6日のM5.4の地震以来である。メカニズムは逆断層である。

関東東方沖でM6.2の地震があった。この海域では2

月にもM5.8, M5.7の地震があった。メカニズムは西北西-東南東に圧力軸を持つ逆断層型であり、太平洋プレートの沈み込みに伴う地震と考えられる。

千葉県北西部と東京湾との地震の巣にあたるところで1998年11月から12月にかけてM4からM5クラスの地震が幾つかおきた。震源の深さは60-80kmで、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界付近の地震である。

神津島近海で1999年2月14日に最大M3.8の地震、3月14日に最大M4.7の地震、また3月28日に神津島南西沖で最大M5.0の地震を含むまとまった活動があったが、その後活動は減衰している。新島・神津島近海では1992年頃から活動が活発となり、M4.5以上の地震が度々発生している。1995年10月の活動(最大M5.7)は長く3週間ほど続いたが、この活動を例外として1-2日間に集中して起こっているのが特徴である。また、潮位観測と地殻変動監視観測による結果、神津島が隆起し膨張していることが報告された(第133回:海上保安庁水路部)。

伊豆半島東方沖の活動域では静かな状態が続いている

同地域M>3.5時空間分布
90JAN01 - 99APR30

- 92～93年は低調。
- 94年に復調し、
- 95年兵庫県南部地震が発生。

- 98年は低調。
- 99年にに入りM4級が連発。

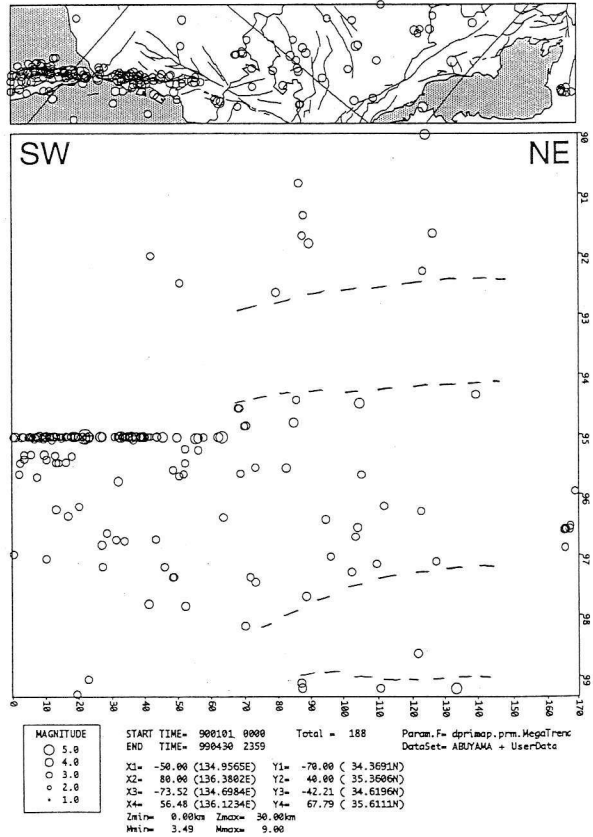


図2 丹波山地周辺地域のM>3.5以上の地震活動の時空間分布図(1990年1月1日-1999年4月30日)(第133回:京大防災研究所)

が、伊東港の少し沖合では、1997年の6月から続いている地震活動がまだ断続的にみられる。

三宅島で1999年4月に島内に震源をもつ深部低周波地震があったこと、伊豆大島の噴火の1年前に同様な地震が伊豆大島で観測されていることが報告された(第133回:防災科学技術研究所)。

東海地域では2-3月にM3クラスの地震が散発的に発生し、1999年3月30日に駿河湾中部(石花海堆付近)でM2.8の地震が発生した程度で静かな状態が続いていたが、静岡・山梨県境付近で1999年5月7日にM4.7の地震が発生し、最大M3.8を含む余震活動があった。陸側プレート内部の地震と考えられる。メカニズムは、北西-南東圧縮の横ずれ型で、この付近の地震ではよくみられるタイプである。周辺の体積歪計などには、この地震に伴う異常な地殻変動は観測されなかった。気象庁はこの地震に関して東海地域の地震・地殻活動に関する情報(種類:解説情報)を発したが、それは積極的な情報開示の観点からであることが報告された。また、GPS連続観測による静岡県西部の基線にもこの地震にともなう変化はみられなかった。

1999年4月-5月の水準測量結果によると、森町の水準点5268を基準としてみた掛川の水準点140-1及び浜岡の水準点2595は、前回1月と比較してそれぞれ観測値21.6mmと25.1mmの隆起である(図3)。これまでも1月から4月は隆起傾向を示しており、今回の結果も隆起の値はやや大きいもののこれまでの傾向と変わりはない。また隆起量のほとんどは森町-掛川間であり、掛川140-1を基準としてみると浜岡2595は観測値3.5mmの隆起である。年周変化を補正した値では5.6mmの沈降をしめしている(図4)。1989年以降の年周変化を補正した値から一次近似により沈降速度を算出すると、掛川を基準としてみた浜岡2595は-4.7mm/年の沈降速度であることが参考として示された。最近の御前崎の沈降傾向に変化はないと考えられるが、沈降傾向の鈍化については引き続き注意深く見守っていく必要がある。

九州・沖縄地方

1997年に始まった鹿児島県薩摩地方の地震活動は、最近では低化したままで推移している。熊本県阿蘇地方で

水準点 (140-1, 2595) の経年変化

基準：森町 5268 (119.72m)

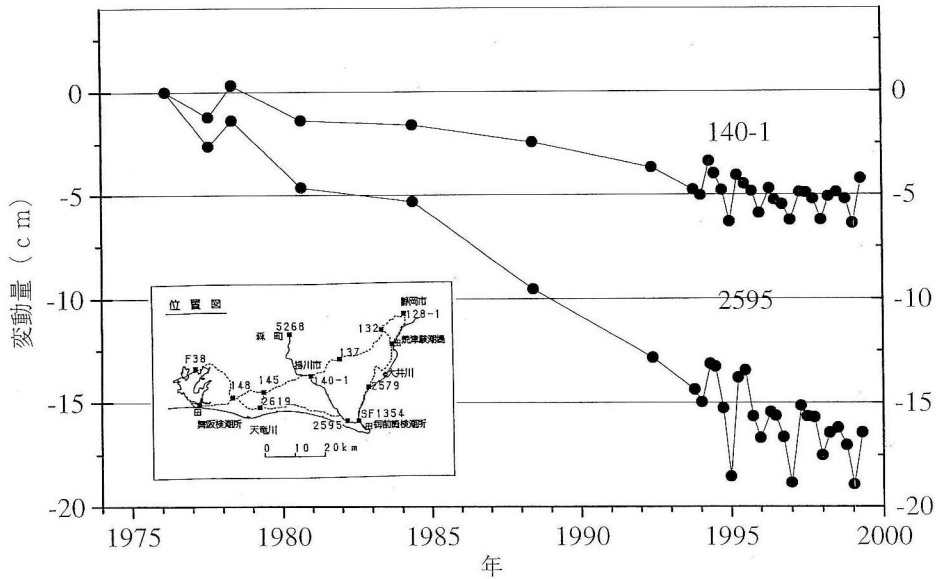


図 3 水準点森町 5268 を基準とした掛川 140-1 と浜岡 2595 の経年変化 (第 133 回：国土地理院)

水準点 2595 (浜岡町) の経年変化

基準：140-1 基準年：1962

●：網平均計算値による。

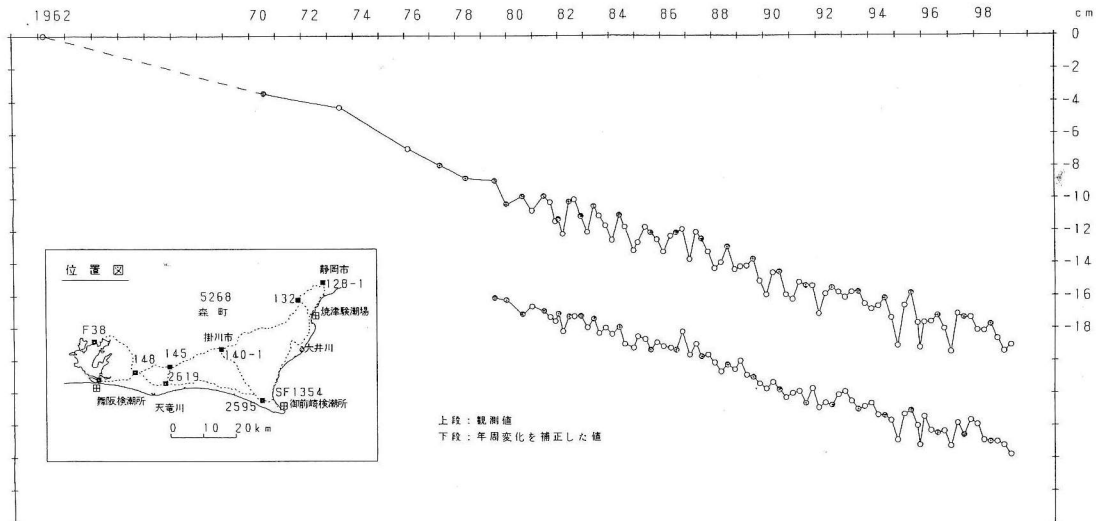


図 4 水準点掛川 140-1 を基準とした浜岡 2595 の経年変化 (第 133 回：国土地理院)

上段は観測値，下段は年周変化を補正した値を示す。黒丸は網平均計算をした結果，1962 年を基準とした水準点の変化を示す。

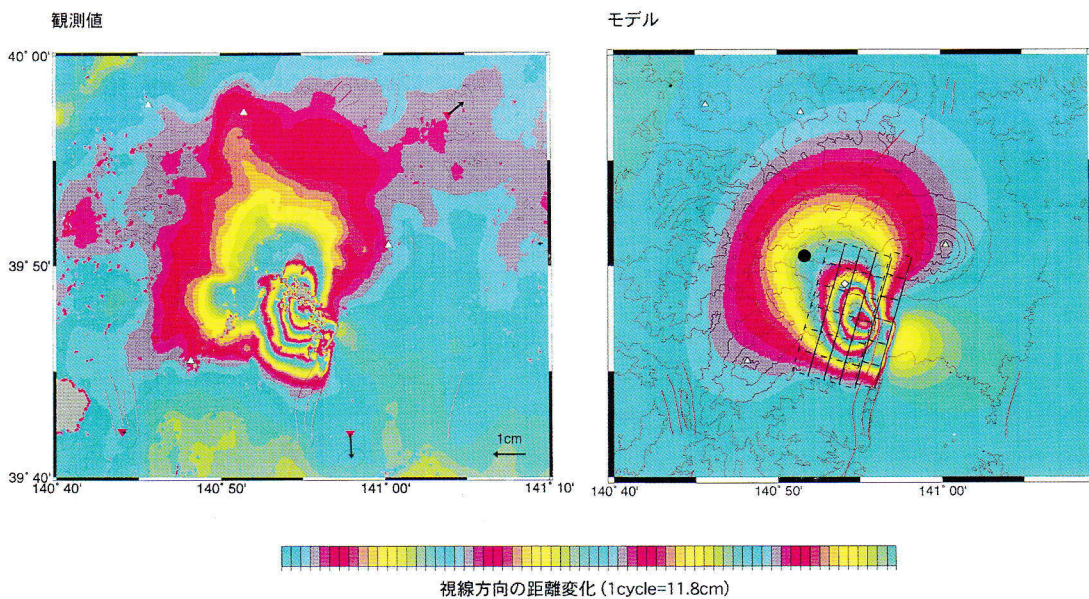


図 5 JERS-1 SAR 干渉処理による岩手山周辺の地殻変動 (1997 年 11 月 25 日-1998 年 9 月 9 日) (第 133 回: 国土地理院)。観測による干渉図 (左) およびモデルによるシミュレーション画像 (右)

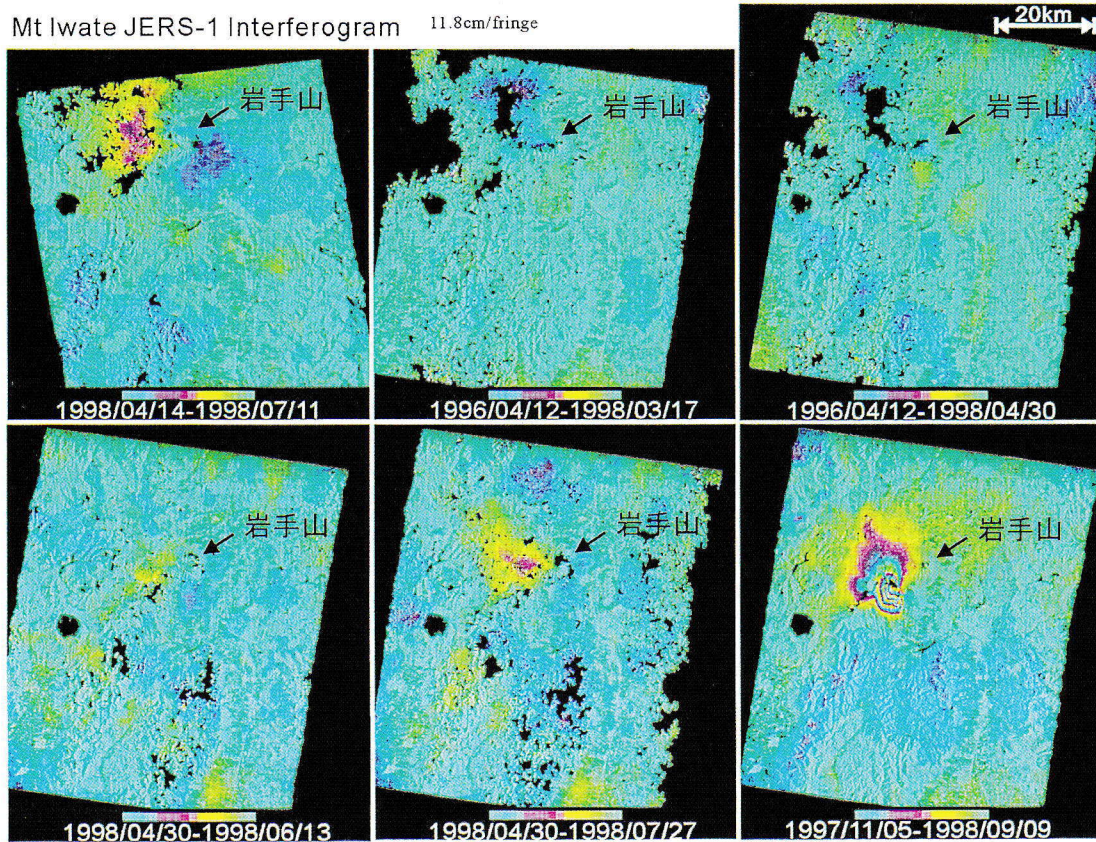


図 6 JERS-1 干渉 SAR による岩手山周辺の地殻変動の時系列 (第 133 回: 国土地理院)

1999年3月にM4.5の地震があった。現在この活動は低調となっている。余震は阿蘇北西外輪に沿って分布していることが報告された。

日向灘で1998年12月にM5.5の地震が発生し、すぐに東側近傍でクラスター的な活動が見られた。この地域では1994年にも近くでM6.0の地震が発生している。CMT解としては逆断層的な解が得られている。

種子島の東沖合で1999年1月にM6.2の地震があった。CMT解は正断層的に求まったが、1996年に近くで発生したM6.2の地震は逆断層的な解であった。今回の地震は余震の分布から1996年の地震に比べて西側に位置しやや深かったと考えられる。

奄美大島(硫黄島)近海で1998年12月にM5.1の地震を含むクラスター的な活動が発生し、すぐに収束している。この海域では1997年の9月から10月にかけてのM4.9を含むクラスター的な活動など過去にも何回も同様な活動があるが、短期間で収束する特徴がある。1999年3月になって奄美大島近海の沖繩トラフ側でM6.0の地震、4月に海溝側でM5.2の地震があった。それぞれストライク・スリップ型と正断層型のCMT解が得られている。

東北・北海道地方

宮城・福島県境沖合で1998年11月にM5.5の地震、宮城県沖で1999年1月にM5.5の地震があった。2月には福島県沖でM5.1の地震があった。1998年8月にも同じ場所でM5.2の地震が発生しており、ともに北西-南東に圧力軸をもつ逆断層型である。

岩手県沿岸北部で1999年3月にM4.6のやや深い地震があった。太平洋プレートよりはやや浅いところで起きた南北圧縮型の地震であり、1996年にも付近のやや浅いところで同様なメカニズムの地震があった。秋田県沿岸南部(秋田・山形県境沖)で1999年2月にM5.1の地震があった。地震活動は本震直後のM4.6の余震を最大として3月には減衰しているが、ここ1年の日本海東縁の地震活動の中では目立つ活動であった。

東北地方内陸では、1998年から火山フロントに沿ってややクラスター的な地震活動が、岩手山内陸北部、岩手県内陸南部(栗駒山)、宮城県北部(鳴子)、山形県村山地方、宮城県南部、山形県村山地方(蔵王)、福島県会津地方(金山)、福島県中通地方、福島県会津地方(檜枝岐付近)であった。岩手県内陸南部(栗駒山)では1999年4月にM4.3の地震があり70個ほどの地震が観測された。メカニズムはこの地域に多く見られる東西方向に圧

力軸を持つ逆断層型である。

択捉島南沖で1999年1月にM5.6の地震があった。二重深発地震面の下面の地震と考えられる。北海道南東岩沿いの領域では地震の数が減少している傾向にあったが、択捉島沖の地震等の活動によって回数積算等ではやや回復した傾向がみられる。

根室半島南東沖で1999年2月にM5.9の地震があった。この地震は1994年北海道東方沖地震の余震域内の南西側で発生しているが、北海道東方沖の余震活動は全体として順調に減衰してきている。浦河沖で1999年3月と4月にM4クラスの地震があった。1983年日本海中部地震の余震域で1999年4月にM4.0があった。この地域では1998年の後半から地震が少なくなっていたが、最近では1998年の前半程度に戻っている。

人工衛星の合成開口レーダーによって捉えた 岩手山の地殻変動について

1998年9月3日に岩手山付近で発生した地震(M6.1)に関連して、合成開口レーダー・データの干渉処理による解析結果から、岩手山周辺の地殻変動が、1998年3月頃から始まった火山活動起源の広域的変動と9月3日の地震に伴う局地的変動が重なりあって生じていることがすでに報告されている。今回、震源断層、その東側に平行に走り地表でのラプチャーを伴う副次的な断層、岩手山西方約10kmで地下約7kmに茂木モデルとを仮定して、それらの位置、すべり量、および膨張量等のパラメータがインバージョンにより決定された。その結果、1998年6月頃から岩手山西側の地下に膨張源があって、9月3日の震源断層を滑りやすくする応力の変化を引き起こしていたと推定される(図5、図6)。

そ の 他

GPSデータによる地殻変動簡易表示のためのフリーウェア、釜石鉾山における3次元歪・応力連続観測、基盤的調査観測計画による高感度地震観測施設の整備状況の紹介があったほか、VLBI首都圏地殻変動観測における大気勾配推定モデルの効果(続報)が報告された。

兵庫県南部地震に伴う地震断層ストリップマップ-野島・小倉及び瀬川地震断層一(地質調査所)、地震予知連絡会報CD-ROM(国土地理院)の第57巻から第60巻、パンフレット「地震とその予知」(国土地理院)が配布された。

「地震の前、なぜ動物は騒ぐのか」

—書評へのコメント—

池谷元伺

書評へのコメントは異例ですが…

神戸地震の宏観（前兆）現象は常識？

多少辛口とはいえ好意的な書評を、著者がコメントするのは、「和をもって尊し」とする日本の美德に反し、文壇では許されないことらしい。しかし、地震学者や地球物理学者と異なった分野から地震前兆の解明を試みる筆者にとって、誤解を解き理解を求める必要があるように思える。意見の違いについて論争が生じれば、この分野の発展のためにも役立つと考え筆を取らせていただく。

日本の学問で今求められているのは、異分野交流であり、論争を避けないことである。特に神戸地震の後で前兆現象を研究し始めた筆者には、地震予知研究者に対話を求めるよい機会であり、対話の中から思いがけないヒントを得ることもある。コメントに対してもご意見が頂ければ幸いである。

大志万直人氏の地震ジャーナル No. 25 (1998) 書評によると、魅惑的な内容であるが、読んですっきりしない原因は、「著者がワクワクして書きすぎ、冷静に事実と憶測を分離していない」と看破されている。この点については認めざるを得ない点もある。ただ、周知の事実、常識と知っていることが、異分野の人には通じないのが学際的なテーマのようで、難しいものだと思う。

私がこの本を書いたのは、理系離れが進む現状に、中高校生に、「研究はこんなに面白い」と進展しつつある研究現場の雰囲気を知ってもらいたいと思ったからである。放置されている前兆現象が、簡単な物理学で解明できることと、このような学際的な問題は、現場には山ほどあることを伝えられたのである。

前兆現象の記録は、武者の「地震なまず」や力武の「動物は地震を予知するか」、トリブッチの「動物は地震を予知する」、さらに、弘海原の「前兆証言 1519」で十分述べられている。前兆について個々の事例を整理分類すると、内容的に盛りだくさんで、とても一冊の本には収まらない。したがって、私は前兆現象を再現する実験を紹介して、科学的な説明をするにとどめた。しかし、上記の前兆現象の本を読んでいない人も多いようで、著者の認識が甘かったといえる。関西を離れると、宏観現象に関心が薄くなり、その存在を疑う人が多くなるのは驚きである。

私は宏観現象の多くが「電磁気地震学のモデル」で定量的に説明できると考える。ここ数年は、これまで判ったことを論文にするための作業や査読者とのやりとりといった最終的な詰めに苦勞することになるだろう。このことを科学論文にし、定着させる必要があるからだ。定性的な「モデル」や「機構」が闊歩しているが、その1つで終わらせたくない。未科学を科学にするためには、定量的なモデル、理論計算、模擬実験が必要である。定量的な科学になれば、未来の地震学者は地震予報であれ防災早期警報であれ、被害軽減のために電磁気地震学に取り組んでくれるだろう。

初版本の間違い箇所

書評では、文献の年号の間違いが8件とのことで、その程度で済んだのかとほっとしている。ライフワークの ESR 年代測定を英文著書に著したら、「初版本は、2 頁に1つの誤りなら良い本だ。

この本は、500 頁中に数カ所しか間違いがない。」と誉められた。専門外の地震を始めて 3 年目、致命的な間違いを書いていないか心配していたのである。文献数を減らす必要が起こり、同じ著者の文献を落とす作業を行ったが、その際に本文の引用部の見落としが起こった。幾度もチェックしたのだが…。

「重要で評価も高い論文(あるいは著書)を引用していない」と憤慨された地震学者も多いだろう。大阪大学は地球科学では歴史も浅く、地学関連雑誌が旧教養部に少しある程度で、地震関連の文献はない。「孫引きを避け、全ての文献の原典をたどる」という著書執筆の鉄則を貫けなかった。引用見落としは筆者の勉強不足のためである。重要文献があれば、ご指摘頂きたい。

改めて数式を付録にした理由

地震学者をはじめとする地球物理学の専門家に判ってもらうことを考えたため、無理を言って「数式欄」を付録に加えた。「一般書は、数式が1つ増すと売れ行きは半減」が常識の出版界で、NHK ブックスの編集部もよく筆者のわがままを認めて頂いたと感謝している。この本は、科学者、研究者に向けても書かれており、数式を省くことは今後の前兆研究の発展に致命的であると考えたからである。「数式欄」があるため、学部、大学院の講義ノートとしても利用できる。

ワープロ原稿の数式が文字化けし、数学を知らない人がタイプし直し、さらに筆者が書き加えたから、校正で注意しても初版本は数式の誤植が多かった。修正した第二版が出版され、教科書にも使える内容になった。専門家は、第二版を読んで頂きたい。

安政見聞誌の磁石から落ちたクギ

「安政地震の前に磁石から落ちたクギの話は、磁気異常ではなく電気異常(電気誘導)である」と述べ、「安政見聞録を正す」と著書で述べた。これは、「安政見聞誌」の間違いであるのご指摘を

受けた。安政見聞録のコピーを国会図書館から取り寄せたが、そんな話は確かに存在しない。孫引きばかりで、原典にさかのぼる労を厭うところなる。

それにしても、日本の地震学に貢献した Milne の 1890 年の地震と電磁気の英文総説には、クギの話が“Ansei Kennbunroku”にあると引用されている。ある時、著名な地震学者が「安政見聞録にある磁石から落ちたクギは磁気異常」と講演されているのを聞いて安堵した。いつの間にか、孫引きで間違いが入ってくる。

磁気異常があると考えて、磁場三成分を毎分とか毎秒測定しても、地震予知の研究にはならないだろう。ミリ秒からマイクロ秒のパルス電場の変化で誘導される磁場(電磁波の磁場成分)を計るのだから、サンプリング周波数は高くし、デジタル記憶オシロ(DSO)で測定すべきなのだ。トリッガレベルを設定し、それ以上の変化のみを記録すれば、大した記憶容量は要らない。

磁気異常はパルス電磁波(波束)の磁場成分を測っているから、ナノテスラ(nT)と小さい。磁石での表面磁場は 100 mT より大きいだろうから、クギが磁石から落ちるはずがない。静電誘導しか考えられない。クギはパルス(ミリ秒近い幅)電場で落ちたに違いない。

電場実験をすると、クギは揺れて落ちる。この実験は、講義での楽しい教卓実験の1つである。この実験や「地震の前に弓なりに曲がるロウソクの炎」、「地震の前に、葉を閉じるオジギソウ」、さらに「地震雲」の伝承の再現実験こそ、筆者が地球物理学者の評価を求めたい内容である。特に、地震雲については、挑発的に(?)に気象学者に呼びかけたのだが、なんの応答もない。

地震ナマズか地震ウナギか

一地震ミミズがよい

ナマズ絵で、「ナマズが閻魔大王に叱られている」と書いたのも、「鹿島大明神」だそうである。この辺も筆者の早とちりである。「ナマズがウナギより電気パルスに敏感」としたことにも、おかしいとの書評である。たしかに、力武(1998)の

「予知と前兆」にもある生物学での通説に反している。

ここで問題なのは、暴れ出す電場強度であり、小魚の生体電位を感知できる微弱な最小電場強度ではない。動物の異常行動の挙動から、地震電磁波の電場強度を推定したいのである。

生物実験では、ナマズは $10\mu\text{V}/\text{m}$ を感じているのかも知れない。確かに、よく見ると、電気パルスでナマズはヒゲを少し動かす。しかし、中国や日本のナマズが痙攣するのは、 $5\text{V}/\text{m}$ 程度からであり、ウナギは個体差があるとはいえ、それよりずっと小さい電場で痙攣して暴れる。通説に関係なく、これは実験事実である。ウナギがコイやフナと同じとは、同居させて行った電場効果の実験からも考えられない。4匹のナマズと、7匹のウナギで経験した実験事実である。

電気受容器を持ち夜間や泥水での捕食に電気信号を利用するナマズが、なぜウナギより辛抱強いのか？ 筆者には判らない。本誌26号に、浅野氏の「電気を感じずる魚—ナマズ」との解説があった。養殖ナマズは、電場に慣れているのかも知れない。

「動物が地震電磁波の電場 (SEMS) を感じて異常行動を起こす」との筆者の説に対して、「携帯電話やラジオ、テレビの電波があるのに、動物はパニックになっていないではないか」との反論に出会う。動物には、刺激に慣れるからで、交流連続波の電磁波とパルス電磁波は同じではない。著書でも述べたが、伊豆熱川のバナナワニ園のクロコダイルは、鉄道が電化された時は騒いだが、今は慣れて騒がない。

ウナギとナマズについて不審に思われる方は、電気パルスの実験をしていただきたい。中学生や高校生の理科クラブに判定をお願いしたい。私は他人の実験や文献よりも、自分の実験結果を主張したい。パルス幅 1ms 、 $1\text{--}2$ 秒間に1パルスの電気パルスで暴れるのは、ウナギの方がナマズよりも低い電場強度であると…。うちのナマ君は、電場に慣れきっていて、ウナ君はすれていないのだろうか？ 電磁波電場の $E=3\text{V}/\text{m}$ は、磁場では $B=E/c=1\text{nT}$ と地磁気の3万分の1と小さく、

地震前の地球磁場の変化観測値と一致する。この値で、ナマズは騒ぐはずである。

ナマズやウナギを飼っている人は少ない。地震災害の軽減のために一般の人に知ってもらうことは、地震の前のミミズの挙動だろう。大地を注意して眺め、もしミミズが異常に出てきた形跡あれば、地震が起こる可能性を考えて注意しよう。動物は病気になることもあり、必ずしも地電流 (地震電磁信号: SEMS) が原因とは言えないが、注意するに越したことはない。

日本列島模型の電磁波伝播実験： 地理条件による地電流の選択制

私の本の最大の特徴は、地震前兆の伝承を簡単な物理実験で再現し、「超能力のような怪しげな現象と同一視されていた宏観現象の多くが、電磁現象に過ぎない」と明らかにしたことであると思っている。多少の間違ひがあるかも知れないが、伝承を伝えた武者、力武の著書から一步進めて、「電磁波を原因とする説」に立った本にした。怪しげな説は100を越えるだろうが、この本では、定量的な理論で力武の導いた経験式や地電流VAN法の経験式スケールリングを導いているつもりである。評者は、この点について筆者のモデルを評価していない。この点こそが、判ってもらいたかった。

日本列島の地下の電磁波伝播実験では、アルミ箔と花崗岩を用いて日本列島の縮小版モデルを作り、長さを縮小した分だけ電磁波の波長を短くして実験した。

評者だけでなく、多くの地球物理学者から「海水の抵抗率は $10^{-2}\Omega\text{m}$ であり、アルミは $10^{-8}\Omega\text{m}$ ゆえに物質としてスケール則を満たさない」と批判されている。「地殻を構成している岩石の抵抗率を、 $10,000\Omega\text{m}$ 以上と考えているが、少なくとも日本ではそれほど大きくない場合が多い」とのコメントである。

電磁波の減衰は抵抗率に関連するが、「導波回路の遮断周波数」は、物質の抵抗率とは無関係である。ここでは導波回路としての特性を見る実験

である。この実験からだけでも、地電流のVAN法が遮断周波数以下のULF電磁波であり、伝播の選択制(Selectivity)が海が存在など伝導性に依存する衰散波(エバネッセント波)であることが判る。

この実験では周波数を100万倍にして、日本列島の模型を100万分の1にしている。したがって、海に関して言えば、抵抗率が100万分の1になると、減衰率の式から計算して、表皮厚さもほぼ100万分の1になり、スケーリング則を満たしている。同じ抵抗率の物質でないと批判されているが、それでは、減衰も考えたスケーリング則を満足させることはできない。

この実験をスケーリング則の点から批判するとすれば、花崗岩を基盤岩として実験した点にある。しかし、この点を指摘した人はいない。はじめての研究では、最初から完璧バージョンができるとは限らない。欠陥だらけである。批判を1つ1つクリアしたバージョンアップの実験を行い、進歩していく。1つの実験から何かが判れば、1ステップとしては、それでよいのである。

電離層や地下の導電層をアルミ箔で用いることに対する批判も大きい。これも、我々の関心は地表付近の陸地の電磁界であり、電離層や下部地殻との境界の電磁界ではない。アルミより導電性が悪いから電離層や下部地殻に電磁波が侵入し、実効的には少し導体間の距離が大きくなったのと同じことである。地表付近では、二次の摂動程度になり、導電層をアルミ箔で用いることに何の問題もない。モデル実験で現実の全てを明らかにできない。

科学的な内容については、地殻の抵抗率が $10^4 \Omega\text{m}$ 以上か $10^3 \Omega\text{m}$ 程度かとの違いに限定される。「断層の電磁気モデル」についても、抵抗率の高い地殻を仮定することが、抵抗率の構造探査からむずかしいとしている。

地下深部の基盤岩の抵抗率は、まだ計られていないはずである。それ程に水を含まなければ、実験室のデータからは高い抵抗率であってもよいと考えて理論計算をした。 $10^3 \Omega\text{m}$ 程度でも、低周波での水の誘電率が大きいなら、「断層の電磁気モ

デル」に何の問題もない。

筆者の研究室では、圧力を解放したときに発生する電荷を測定した。接触電極では、岩石試料の歪み変化による摩擦や容量変化で正確な実験は不可能であると判ったので、非接触電極を用いた。歪み電荷の減衰時間が4秒程度にもなり、これまで考えていた誘電率と抵抗率の積よりも格段に大きい。低周波数での誘電率は、著しく大きいはずである。イオンによる圧電分極の補償が行われているようである。その意味で、水の寄与は無視できないが、圧電分極を補償するためのイオンの動きであり、ゼータポテンシャルである必要はない。

新しい物理現象が発見されない限り、筆者の提唱する「圧電効果の補償電荷解放」で、ほぼ定量的に前兆電磁現象は説明できると考える。

電磁気地震学へ

「地震と関連した電磁気」の総説(Milne, 1890)を読んだとき、100年以上前にも似た議論がなされていたことを知り、胸がときめいた。地震学における電磁気研究の歴史を知らずに、生半可に割り込んでいたことになる。地電流や動物異常行動の研究への、感情的とも見える反発に驚く。大地の電位差測定がノイズでうまく行かなかったので抵抗測定に切り替えて観測していた地震学者にとって、電位差測定をVAN法と名前を付けたら、「電磁気地震予知」を標榜し出したからだろうか。しかし、考えて頂きたい。科学、特に電磁気技術は大きく進歩した。古い技術の観点から見ないで、見直す時ではないだろうか。ここ数年でさえも、計算機の記憶容量が著しく増大し、不可能に思えたことが可能になってきた。

地震の前なげ動物は騒ぐのかも、進歩している大脳生理学によって、地震前兆の電磁信号(SEMS)のためだったと判るだろう。これまでの未科学を科学にする「電磁気地震学」が、そろそろ誕生してもよい頃である。地震学者は「被災者」のことを考え、利害のからんだ村意識から出て、異分野を取り込んで欲しい。論理で異分野からの

参加者に地震学の成果を教育して頂きたい。

原子炉のような被害の大きくなる事故では、あらゆる事態を想定して対策を考える。「まだ萌芽的研究であり、国が基礎研究として取り上げるまでではない」との判断は間違っている。地震の被害の大きさ故に、あらゆる可能性を研究することが必要である。萌芽的研究こそ基礎研究にしなければならない。

地震学者が新しいパラダイムの構築や異なったパラダイムとの融合を試みず、これまでの力学の世界の地震学にのみ拘泥すれば、効率の悪い「収獲逡減の法則」に落ち込み、「科学の終焉」が現実になる。確かに地震の直前予知も不可能だろう。なによりも、「不可能」という言葉を口にしてネガティブの思考に陥ったとき、個人、組織は、分野を問わずに終焉を迎える。

地震学者は寛容さで、電磁気でも分子生物学でも異分野を取り込んで、防災であれ予報であれ、

被害を軽減する新しい防災科学を発展させて頂きたい。好意的な書評にコメントする形で、日頃の考えを述べる機会を頂いた「地震ジャーナル」編集部に心から感謝したい。

参考文献

- 浅野昌充, 1998, 地震ジャーナル No. 26, 52
池谷元伺, 1998, 地震の前, なぜ動物は騒ぐのか, 日本放送協会出版
大志万直人, 1998, 地震ジャーナル No. 25, 107
ノリブッチ著, 渡辺 正訳, 1985, 動物は地震を予知する, 朝日新聞社
武者金吉, 1995, 地震なまず, 明石書店(復刻版)
力武常次, 1978, 動物は地震を予知するか, 講談社
力武常次, 1998, 予知と前兆, 近未来社
弘原海 清, 1995, 前兆証言 1519!, 東京堂出版
Milne J., 1890, *Trans. Seis. Soc. Japan* 15, 135-162

■ 書 評 ■

● 新地球観形成の軌跡

上田誠也 著

地球・海と大陸のダイナミズム

—それでも地球は動く—

評者 秋本俊一

本書は「NHK 人間大学」で1994年1月～3月に放送された同名のタイトルのテキストをもとに加筆、訂正されたものである。1950年代の半ば大陸移動説の復活にはじまり、海洋底拡大説・プレートテクトニクスの提唱へとつながった地球科学の革命的進展の経過が、それぞれの段階での著者の個人的関わりをまじえながらきわめて平明に解説されている。著者は本書の中で自らの研究者としての履歴についてくわしく語っているが、1950年代の後半に岩石磁気学・古地磁気学の研究者として出発した著者は、学部の卒業研究で、たまたまある種の岩石が外部磁場と逆方向に帯磁するという反転熱残留磁化現象を発見する幸運に遭遇し、この仕事が契機となって20世紀後半の地球科学の大革命に参加することとなった。その後の著者がわが国における地球熱学の実質的創始者、弧状列島のテクトニクス研究の開拓者として多くのすぐれた業績をあげてきたことは今更紹介するまでもないであろう。

評者は若年の頃著者と反転熱残留磁化の研究で地球科学研究の醍醐味を分かちあった者であるが、その頃著者が年をとってオリジナルな仕事ができなくなったら科学史家になりたいと語っていたのを記憶している。著者がすでにオリジナルな仕事ができなくなった年齢に達したとは到底考えられないが、本書の内容は正に20世紀後半の地球科学の革命史である。啓蒙書の執筆者としての著者の盛名はNHK ブックス「地球の科学」、岩波新書「新しい地球観」で周知のとおりであるが、本書には「新しい地球観」以後の固体地球科学の進展が、プレートテクトニクスの限界や、最新の地震波トモグラフィーの成果まで述べられており、「もっと新しい地球観」の胎動がわが国の研究者の主導によりはじまろうとしていることまで紹介されている。本書には随所に著名な地球物理学者、地質学者が地球科学の革命期にそれぞれの立場でど

んな見解をもっていたかがそれぞれの言動をとおして紹介されているのも興味深い。期せずして貴重な証言となっているものも散見される。著者に最適の人を得て地球観の革命が総括されたことは誠に嬉しい。

全12章で構成される本書の中で第11章“地震は予知できる”は本書の主題からみるとやや異質であるが、現在理研地震国際フロンティア研究リーダーとして地震予知研究に積極的に関わっている著者の地震予知研究に対する見解がこの章にくわしく述べられている。1995年の兵庫県南部地震の発生は本書のもととなったNHK人間大学のテキスト出版のほぼ1年後であるので、テキストの加筆はこの章にもっとも著しい。テキストでは章の標題が“地震は予知できるか”であったのが、本書では“地震は予知できる”と断定的に改められているところに著者の地震予知に対する並々ならぬ意欲がうかがわれる。著者は昨年夏に公表された政府の第8次地震予知計画に批判的であり、前兆現象の発見に努めてきた従来の計画の見直しが、“角を矯めて牛を殺す”ことにならないかと憂いているようである。共感する識者も多いのではなからうか。

一般向けの著書ではあるが、専門家にも一読を薦めたい。

<NHK ライブラリー、日本放送出版協会、1998年、253頁、本体価格870円>

● フラクタル・カオス・地震

Christian Goltz 著

Fractal and Chaotic Properties of Earthquakes

評者 平田隆幸

この10年で、フラクタル・カオスという言葉は、地球物理の分野でずいぶん認知されるようになってきた。Goltz 著の“Fractal and Chaotic Properties of Earthquakes”は、最近10年あまりの地震学に関連するフラクタル・カオスの仕事をうまく整理した本である。その意味で、良い時期にでた本であるといえる。この本は、全9章から成り、1章が2頁の序論、2章から8章までが

地震とフラクタルの第1部、最後の9章が地震とカオスの第2部を構成している。地震とフラクタルの第1部がこの本の主要部分であり、2章でフラクタルの基礎概念、3章でフラクタルの地滑り現象への応用、3頁で構成される4章で地震がもつさまざまなフラクタルの性質、5章で $1/f$ スペクトラムに関連するハースト現象と地震、6章でマルチフラクタル、7章で前兆現象を見出す道具としてのフラクタル、8章で余震に現れるフラクタルを取り扱っている。第2部の地震とカオスの9章では、埋めこみ次元などカオスがもつフラクタルと密接に関連した側面を取り扱っている。

そもそも、フラクタルやカオスは、複雑な非線形現象を取り扱うための実用的な概念であり、応用的な側面を持っている。地震は、典型的な非線形現象である。しかし、近代地震学の成功は、地震波の伝播を弾性論の範囲で議論し、きれいに整備された美しい体系が構築されたことによるところが大きい。それゆえ、地震が本来もつ破壊などという強い非線形性が現れる側面は避けられがちになり、地震活動の時空間パターンの解析などはきたなく整備されていない3K的な泥臭い仕事と思われていたのかもしれない。フラクタル・カオスは、そのような3K的にみえる現象にも、奇麗な法則が潜んでいることを再認識させてくれた。このことは、本書を読むと良く分かるだろう。もっとも、近代的地震学が整備される以前にも、石本-飯田の公式、大森公式などフラクタルに関連する経験則を日本の偉大な先駆者達が見出していたのだが。

この本は、教科書的な本とはけっして言えない。Lecture Notes in Earth Sciences 77 というシリーズ名が示す通りの講義録と考えた方が正しい。部分部分には、荒いところが散見される。例えば、参考文献などはもう少し正しく整理した方が良いだろうし、良くこなされていないところがある。読者が、自分自身で本の内容をoriginal文献にもどり咀嚼しながら読まない、非常に表面的な理解で終わってしまう可能性がある。しかし、逆に、粗削りなところがこの本の魅力とも言える。きわどい結果に関する内容も含んでおり、エキサイティングな本である。その意味で若々しい本であると言える。また、著者が京都大学防災研究所に来ていたこともあり、日本の地震データがふんだんに現れ、日本人の読者にはより身近な問題としてとらえることができるだろう。

10年前、多くの人は、フラクタル・カオスという概念が地震に応用できるか懐疑的であった。その後、フラクタル・カオスという概念が認知され、フラクタル・カオスという視座から見ると、地震はうまく整理できると言うことが分かってきた。現在、フラクタル・カオスが地震を理解する上で必要ないものであると思っている人は

少数であろう。本書は、地震学にフラクタル・カオスを応用するうえでのマニュアルとしての利用価値を持っている。

さて、次のステップはなんであろうか？ 情報は集まった。フラクタル・カオスを越えた次への大きな展開を、また新たに、模索する時期がきているのではないかと、この本を読んでいると感じさせられた。

<Springer-Verlag, 1997年, 178頁, 標準価格 11,560円>

● 予知研究のベテランは語る

茂木清夫 著

地震予知を考える

評者 津村建四朗

本書の「はじめに」で述べられているように、阪神・淡路大震災を契機に従来の地震予知計画に対する批判が強まり、経験重視の「地震予知研究」は先送りして、より基礎的なあるいはより防災に有効な「地震調査研究」を行うべきであるという主張が主流となった。その決定的な権威付けとなったのは1997年6月に公表された測地学審議会による「地震予知計画レビュー」とそのマスコミ報道である。この流れに異論をもつ著者はその審議会の委員でもあるので、いわば異議を唱えつつも自らも加わって下した判決に対する少数意見書として本書を書き上げられたものと思われる。

著者は、岩石破壊実験と地震活動解析の両面から地震予知の可能性を探る研究を長年続けられ、多くの重要な成果を発表されるとともに、地震予知連絡会の関東部会長・強化地域部会長そして会長として、また判定会の委員や会長として、予知計画の成果を総合的に検討し、可能な範囲で社会的にも役立てるための取りまとめ役を務めてこられた。これらの自らの広範な研究成果や豊富な経験に基づいて、「地震予知の可能性はある」という著者の主張が、一般読者にも分かるように大変具体的に書かれている点が本書の特徴である。

本書では、兵庫県南部地震、伊豆大島近海地震を含む伊豆半島付近の異常地殻活動、日本海中部地震などを例に、長期、中期、短期的な予知の可能性を示す現象を著者独自の取りまとめ方で紹介している。これらの現象のいくつかは大地震発生前に地震予知でも注目されたものであったが、どのような地震に結びつくのかは判断できなかった。ここに述べられているように、予知の実用化には、さらに高密度・高精度の観測によって、前兆現象の実態を明らかにする研究を続ける必要がある。

著者が重視して多くの頁を割いているのは、東海地震

予知の確度と「注意報」の問題である。ここでは、大規模地震対策特別措置法成立前後の国会議事録などを引用して、学者側の慎重論を行政側が無視して法律化したと強く印象付けている。しかし、議事録の全文を読んでも、著者を含め学者側も、東海地震だけは短期的予知の可能性が大きいという意見も同時に述べており、行政側としては予知を前提とした積極的な対応を取らざるを得なかった事情が覗える。行政に携わったことのある評者には、著者の引用はやや一方的であるように感じられる。「注意報」は、仮に一日当たりの損失が警戒宣言の数十分の一になるとしても、長期間続けばその社会的影響は結構大きくなる可能性がある。「注意報」の問題には真剣に取り組むべきであるが、その技術的根拠や社会的影響などを十分考えながら具体化を図るべきであろう。

地震予知先送りの流れに一石を投じ、多くの示唆に富む本書が、専門家にも社会一般にもひろく読まれて、地震予知にいかに取り組むべきかの議論が再度深まることを期待したい。

<岩波書店、岩波新書、1998年12月、254頁、本体価格660円>

● 地震予知デマ情報の社会反応

John E. Farley 著 Earthquake Fears, Predictions, and Preparations In Mid-America

評者 三上俊治

アメリカで過去に大地震が起こった場所といえば、ほとんどの日本人はサンフランシスコやロサンゼルスなどがあるカリフォルニア州を頭に思い浮かべることだろう。大多数のアメリカ人にとってもそうだった。しかし、歴史をひもといてみると、実は歴史上知られているアメリカ最大の地震は、1811年と1812年にミシシッピ渓谷地帯（アメリカ中部）のニューマドリッドで起きた推定マグニチュード8の巨大地震だったのである。

そのニューマドリッドで、1989年10月17日、地元の自称「気候学者」ブラウニング氏が、翌1990年の12月2日か3日、マグニチュード6.5～7.5の大地震が起きると予言し、これが地元住民に大きな不安と反響を引き起こしたのだった。

著者のJohn E. Farley氏（南イリノイ大学社会学部教授）は、さっそく研究チームを組織し、予知された日の2ヶ月前と、「予知」が外れた後の計4回にわたって

住民意識調査を実施し、この「偽地震予知情報」が住民の地震への心理的反応と対応行動に及ぼした短期的、中長期的な影響について詳しく研究した。本書はこの一連の調査研究の成果をまとめたものである。

調査は、予知された日時々の2ヶ月前、予言が外れたあとの3ヶ月後、1年後、2年後の計4回にわたって実施された。事前調査の結果、予言を聞いて実際に地震が起こりそうだったと思った人が、予想震源域近くでは26%にも達しており、かなりの人がブラウニング予言を信じていたことがわかった。一見荒唐無稽な地震予言が地域住民によって広く受容された背景的要因として、著者は、当時の状況的あいまいさ、一部ニュースメディアによる無批判的な報道、州立大学地震研究センター所長など一部の専門家がブラウニングの予言を真剣に受け止める必要があると公的に発言したこと、学会がこの「予言」に対して積極的な打ち消しの努力をせず、これを無視する態度をとり沈黙を守ったこと、などを指摘している。

さらにFarley教授らのグループは1992年から1993年にかけて、NSF（アメリカ科学研究財団）からの助成を受けて、地震予言の長期的影響を探るための調査を行った。その結果、すべての調査を通じて、地震発生リスク認知が高い水準を維持していること、地震に対する備えのレベルは、1990年10月から91年2月にかけて著しく上昇しており、1992年～93年にかけてもそれほど低下していないことなどが分かった。

以上の調査結果から、著者は、地震予知は失敗したものの、いわゆる「オオカミ少年効果」（予知が外れた結果、これを信用しなくなり、危機意識が薄れるという逆効果）はみられず、この「予知情報」によって地域住民の地震リスク認知、関心、準備度が高まり、かつ長期間にわたって高い水準を維持している、と結論づけている。

本書は、なぜブラウニング予言のような科学的根拠のない予知情報が人々に信じられたのか、また、信頼できる地震予知情報をどのような形で一般の人々に伝達すれば適切な現実認識と対応行動を導くことができるかを検討する上で、きわめて貴重な実証的データを提供するものとして高く評価することができる。

なお、本書の内容についての詳しい紹介を、評者のホームページ（<http://www.soc.toyo.ac.jp/faculty/mikami/bookshelf/farley98.html>）で公開しているので、関心のある方はごらんいただければ幸いである。

<Southern Illinois University Press、1998年、A5判、240頁、丸善価格4,882円>

● 個人的地震対策への指針

神沼克伊 著

地震学者の個人的な地震対策

評者 川端信正

一般人を対象に刊行される“地震の本”には、内容の難しいものが少なくない。科学的な事象をわかり易く記述するのは大変である。筆者も地震関連のニュース原稿を書くとき苦労することが多い。わかり易い表現で正確な記述をと心掛けるのだが、つい難しい説明になってしまう。また、ある地域に将来予想される地震に言及するとなると、これまた難しい。ズバリ言えない、あるいは言いにくいケースも多々ある。そこで“優等生の作文”的な記述が飛びだしてしまう。

そんななかで、本書は違う。著者は正直にものを言う。わかりやすい記述で、“一般の人々にやさしい地震の本”である。

著者の神沼克伊氏は、東京大学地震研究所を経て、現在は国立極地研究所で極域の地震や火山、地殻変動などを研究し、総合研究大学院大学の教授も務める。

本書の中で、著者は「地震の恐ろしさを否定するものではない。否定するどころか、やはり、地震は恐ろしい」という。しかし、「その恐ろしい大地震に遭遇する割合は、現在首都圏に住む人でも、一生のうちに一度あるかないかの極めて珍しい出来事でもあることも強調したい」と。

本書は、まず著者自身がとっている地震対策を紹介。「自然任せの地震対策」であり、「個人的には高齢の父親のために非常食を用意してある以外、特別の地震対策はしていない」「道路を歩いている時、交通事故に遭わないための注意と同じ程度の注意で大地震の発生に備えれば十分である。」と思いきった“本音”の発言である。究極の地震対策として「まず無傷で生き延びることを目的にする。」と極言する。

また、「兵庫県南部地震に際して地震学者に向けられた多くの批判は、問題の本質からはずれていたようだ。地震学者の誰もが兵庫県南部地震を、直前あるいは短期的な予知ができなかったことは事実であるが、予知する体制そのものがなかったのである。予知されなかったことに対する批判の善し悪しはともかく、批判は批判として地震学者も受け入れられる。しかし、その批判のウラには予知がされなかったために、大きな災害を受けたという、非難の感情が含まれていたと思う。地震予知の可否と震災の発生とは次元の異なる事柄である。」と釘を

さす。さらに誤解のないようにと、ことわった上で、「地震予知が可能になれば、その成果を取り入れた形の地震対策が立案されるべきである。しかし、現在は東海地震以外はそのような体制になっていないのだから、地震予知とは無関係に震災対策は立案すべきである。」と結ぶ。本書に「地震情報の読み方」という章がある。

近年、公的機関から出される防災情報が大きく変わりつつある。全国の震度情報が一気に増えた。津波予報区が全国66区に細分化。東海地震関連は判定会招集より前に情報が出されることになった。判明した異常現象はどしどし公表するという方針だが、意味不明の生情報は困る。官民を問わず巷に流れる地震情報について著者は、「情報源を確認せよ」という。特にマスメディアが扱う「研究者の個人的な地震予知情報」について、「報道の方法そのものに、かなりの責任があるが、研究者の個人的な研究成果、それも独断と偏見、独りよがりとなりがちで、地震予知情報として流されていることは事実である。その結果、混乱も起こっている」と指摘する。

群発地震活動などで今後の予測が公表される際、「文言並べど意味不明」の統一見解が出されることがある。これからは、こうしたやり方では世間は納得しない。わたしは、わからなければ「わからない」とハッキリ言う、「正直な情報」であってほしいと思う。

著者は、「世の中に溢れる地震情報は、地震発生の危機を語り、その恐怖をおおっていると思われるものがほとんどである。常々、そんな世の中の風潮を不快に感じていたので」本書の執筆を決意したという。そうした視点に立って、思いきり書いた本書は「小気味のいい」筆致であり、読後感さわやかである。

<三五館、1999年2月、A5判、235頁、本体価格1400円>

● あり過ぎる海底活断層

東海沖活断層研究会編 東海沖の海底活断層

評者 中田 高

本書は、近い将来巨大地震が発生する可能性が高い地域の一つと考えられている東海沖の海底活断層について、主として1993年から1997年までの5カ年で実施された日仏KAIKO-Tokai計画で実施された東海沖を中心とする南海トラフ東部海域の調査で得られた高解像度の海底地形、海底音響画像、海底地殻断面、地磁気異常データ、重力異常データ、および測地学データに加え、潜水調査による海底変動地形や湧水活動の目視観察や採

取試料に基づいて海底活断層の総合的な解析を初めて試みた意欲的研究の成果である。

我が国では1995年兵庫県南部地震以来、活断層は地震の発生源として一般に認識されるようになり、陸上の活断層の分布やその特性をまとめた「日本の活断層」(活断層研究会, 1980; 1991)が注目を浴び、広く活用されるようになった。日本列島周辺では1944年東南海地震や1946年南海道地震のような巨大地震が、プレート境界に沿って起こる。このような地震は、プレート内地震とくらべて再来期間が短くマグニチュードが大きいため、震源が遠く離れているにもかかわらず地震動によって大きな被害をもたらすことが多い。また、海底の変動に伴って発生する津波によって沿岸に多大な被害を発生させるため、巨大発生源となる海底活断層は地震災害予防の観点からも注目されるべき対象である。しかし、その多くは3,000 mより深い海底に位置しているため、断層の分布を認定するために必要な地形などの基本的な情報さえ十分備わっておらず、陸上の活断層研究に大きな遅れをとっていた。

近年の深海底探査技術の進歩は、空中写真のような三次元地形ステレオイメージや詳細な音響地殻断面などの高精度・高分解能のデータの蓄積を可能にし、従来困難であると考えられてきた詳細な地形や地質構造がようやく探査できるようになってきた。

このような事情を背景に、本書ではまず、海底活断層の調査法を解説し、日仏計画によって得られたデータをもとに処理の具体的な過程やその成果を示し、活断層判定の基準を示す。評者が特に感銘を受けたのは、IZANAGIのサイドルッキングソナーで得られたステレオ画像のすばらしさである。陸上の空中写真と遜色のない鮮明な画像の実体視が可能となっており、今後の海底活断層研究の飛躍的進展を期待させる。海底断層の認定と評価については、地形的な基準、音響地殻断面での評価、潜水調査による直視観察などやピストンコア試料の対比の手法を挙げ、具体的に解説する。また、活断層の確実度と活動度についてもその分類の基準を簡潔に示す。

東海沖のテクトニクスについては、深海底活断層の解析に基づいて断層活動の背景となるサイスマテクトニクスを検討し、想定「東海地震」の震源域として、従来の駿河湾西部を予測する「石橋説」に加え、東海沖の東海断層系と遠州断層系に挟まれた地域を「東海地震」の震源域として新たに予測している。後半の海底活断層の詳細図を見ると、駿河湾西部には宝永地震・安政地震の際に活動したと推定される前縁断層系以外の断層の存在は認定されておらず、この本書の予測にはある程度の妥

当性が認められる。

本書の主要部分をしめる東海沖の海底活断層の章では、活断層の20万分の1分布図を銭州断層系、前縁断層系、東海断層系、小台場断層系、遠州断層系に分け、断層系ごとに分布図、活断層の特徴をまとめた表と音響地殻断面記録を挙げて解説をしている。活断層の分布図に用いられた凡例は「日本の活断層」の凡例に準拠するが、断層の変位様式を音響地殻断面に基づいているため地質学的表現が採用されている。

本書では、活断層は主として海底地形と音響断面の判読によって認定されていると考えられるが、断層の中には音響断面を見る限りどうして活断層と認定されたのか疑問の残るものも少なくない。構造解釈を先行させて独断的に引かれたものもあると推察されるが、本書では、解析図の上に同じ音響断面図をそのまま載せているので、読者の独自の解釈を可能にする楽しみが残されている。こうした正直さは、執筆者の真面目さを伺わせるもので好感もてる。そういう意味から、本書の海底活断層のさらなる発展のためのたたき台の役目もはたすと考える。

また、沿岸域の断層と陸域の活断層の関連を解説し、章末には歴史地震との関係にも言及している。口絵には、海底地形図、海底活断層図、三次元海底地形図などの縮刷版や深海底のバクテリアマットやシロウリガイコロニーなどがカラーで掲載され、本文の理解を助ける。

本書には20万分の1東海沖海底地形図、海底音響画像図、海底断層図、40万分の1地磁気・重力・熱構造図および三次元海底地形図・海底音響画像図の5葉の付図が添付され、全体の理解を助ける。特に、20万分の1東海沖海底音響画像図は海底の様子を手取るように理解することができるすばらしい図といえる。このように近年の調査研究の最前線の成果をもとに纏められた本書は、単に東海沖の海底活断層の解説書にとどまらず、深海底活断層の調査のマニュアルとして一読をおすすめできる。

遠くない将来、巨大地震を必ず発生させる東海沖地域の活断層のさらなる理解のために、海底ステレオ画像の取得を可能にするサイドルッキングソナーによる広域的な調査と、浅海底活断層調査に使用されている高分解能音波探査装置とピストンコアリングを併用した活断層活動履歴調査が早急に実施されることを期待したい。本書が、このような海底活断層研究の大きなランドマークとなることに疑いはない。

<東京大学出版会, 1999年, 151頁, 28,000円(税別)>

執筆者紹介

<掲載順>

氏名 平野拓也
[ひらの たくや]
現職 海洋科学技術
センター理事長
略歴 大阪外国語大
学中国語科卒、科学
技術事務次官



学地震研究所助教授を定年退官後現職
研究分野 津波・地震テクトニクス
著書 『沿岸災害の予知と防災』
(分担執筆・白亜書房), 『日本列島
の地震—地震工学と地震地体構造』
(分担執筆・鹿島出版会)

氏名 宇津徳治
[うつ とくじ]
現職 東京大学名誉
教授



氏名 片山恒雄
[かたやま つねお]
現職 科学技術庁防
災科学技術研究所所
長



Ph. D. (ニューサウ
スウェールズ大学)

略歴 東京大学理学
部地球物理学科卒
業、気象庁技官、北海道大学助教授、
名古屋大学教授、東京大学地震研究
所教授、同所長を経て停年退官

研究分野 地震学
著書 『地震学』(共立出版), 『地
震の事典』(朝倉書店)

略歴 東京大学工学部土木工学科卒
業、同大学院修士課程修了、ニュー
サウスウェールズ大学Teaching
Fellow, 中央大学理工学部土木工学
科専任講師, 同助教授, 東京大学生
産技術研究所助教授, 中央大学理工
学部土木工学科兼任講師, 東京大学
生産技術研究所教授, 同附属国際災
害軽減工学研究センター(INCEDE)
センター長を経て現職

研究分野 都市防災, 地震工学, 災
害軽減における国際協力

著書 『構造物の振動解析』(技報堂
出版), 『唐山大地震—今世紀最大の
震災』(監修)(朝日出版社), 『大地
が揺れ、海が怒る』(オーム社), 『防
災』(部分執筆)(東大出版会), 『東
京のインフラストラクチャー』(部分
執筆)(技報堂出版), 『東海地震の予
知と防災』(部分執筆)(静岡新聞社),
『市民のための災害情報』(早稲田大
学出版部)

氏名 今村文彦
[いまむら ふみこ]
現職 東北大学大学
院工学研究科附属災
害制御研究センター
助教授



略歴 東北大学工学部土木工学科卒
業、同大学院博士課程修了、東北大
学工学部助手、アジア工科大学院助
教授を経て現職

研究分野 津波工学, 防災科学(避
難シミュレーション)

著書 *Tsunamis: 1992-1994* (Birk-
häuser)

氏名 相田 勇
[あいだ いさむ]



現職 財団法人地震
予知総合研究振興会
主任研究員
理学博士

略歴 電機学校高工科卒業, 東京大

氏名 木下繁夫
[きのした しげお]



現職 防災科学技術
研究所地震・火山防
災研究室長
理学博士

略歴 電気通信大学卒業
研究分野 強震観測

氏名 坪川博彰
[つぼかわ ひろあき]



現職 損害保険料率
算定会地震保険部業
務グループリーダー
略歴 筑波大学第一
学群自然科学類卒業, 損害保険料率算
定会研究部, リスク管理部, 料率業
務部を経て現職

氏名 廣井 脩
[ひろい おさむ]



現職 東京大学社会
情報研究所所長
略歴 東京大学大学
院社会学研究科博士
課程修了, 東京大学新聞研究所助手,
同助教授, 東京大学社会情報研究所
教授を経て現職

研究分野 社会心理学・災害社会学
専攻, 地震・噴火・台風など, 自然
災害時の人間行動の研究を行っている。

著書 『災害情報論』(恒星社厚生
閣), 『災害と人間行動』(共著: 東
京大学新聞研究所編), 『災害と情報』
(共著: 東京大学新聞研究所編),
『災害と日本人』(時事通信社), 『災
害報道の社会心理』(中央経済社),
『うわさと誤報の社会心理』(NHK
ブックス) など

氏名 金沢敏彦
[かなざわ としひこ]



現職 東京大学地震
研究所附属地震地殻
変動観測センター教
授(センター長併任)
理学博士

略歴 東京大学理学部地球物理学科

卒業、東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻博士課程単位取得退学、東京大学理学部助手、同助教授を経て現職

研究分野 海底地震学

著書 『地震』（東京化学同人、翻訳）

氏名 池谷元同

[いけや もとじ]

現職 大阪大学大学院理学研究科教授
工学博士

略歴 大阪大学工学部電子工学科卒業、原子核工学専攻博士課程中途退学、名古屋大学助手、山口大学工業短期大学部教授、大阪大学教授（物理学科）を経て現職

研究分野 格子欠陥の物理、磁気共鳴、量子地球物理（格子欠陥物性、ESR年代測定と放射線量計測）、地震前兆に伴う電磁気現象と動物の異常行動

著書 『地震の前、なぜ動物は騒ぐのか—電磁気地震学の誕生』（日本放送出版協会）、『New Applications of Electron Spin Resonance』（World Scientific Singapore）、『ESR顕微鏡』（シュプリンガーフェアラーク東京）など

氏名 秋本俊一

[あきもと しゅんいち]

現職 東京大学名誉教授、日本学士院会員
理学博士

略歴 東京大学理学部地球物理学科卒業、同大理学部助教授、同大物性研究所助教授、教授、岡山大学地球内部研究センター教授、センター長を経て現職

研究分野 固体地球物理学・高圧物理学

著書 『岩波講座 地球科学』（編著）（岩波書店）

氏名 平田隆幸

[ひらた たかゆき]

現職 福井大学助教授
理学博士

略歴 京都大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士課程修了、筑波大学物理工学系助手、講師を経て現職

研究分野 固体地球物理学、非線形物理学



氏名 津村建四朗

[つむら けんしろう]

現職 財団法人日本気象協会相談役
理学博士

略歴 京都大学理学部地球物理学科卒業、建設省国土地理院、東京大学地震研究所助手、助教授、気象研究所地震火山研究部室長、気象庁地震予知情報課長、気象庁地震火山業務課長、福岡管区気象台長、気象庁地震火山部長、山形大学理学部教授を経て現職



氏名 三上俊治

[みかみ しゅんじ]

現職 東洋大学社会学部教授

略歴 東京大学経済学部卒業、同大学院社会学研究科博士課程満期退学、東京大学新聞研究所助手を経て現職

研究分野 災害情報論

著書 『災害と情報』（東京大学出版会）、『自然災害の行動科学』（福村出版）、『情報環境とニューメディア』（学文社）等



氏名 川端信正

[かわばた のぶまさ]

現職 静岡放送報道制作局勤務、静岡総合研究機構防災情報研究所外部研究員

略歴 中央大学卒業、静岡放送アナウンサーをスタートに同報道制作局部長、ニュースキャスターを経て地震・火山担当専任記者

研究分野 災害情報論



氏名 中田 高

[なかた たかし]

現職 広島大学文学部教授
理学博士

略歴 広島大学教育学部卒業、広島大学大学院文学研究科修士課程修了、東北大学大学院理学研究科博士課程修了、東北大学理学部助手、広島大学文学部助教授を経て現職

研究分野 自然地理学（活断層などの変動地形学の研究）



ADEP情報

東濃地震科学研究所だより

東濃地震科学研究所は、岐阜県瑞浪市の公園内に設置された振興会の地震研究所である。瑞浪に設置した理由は、そこに超深地層研究所設置の計画があって、その実現の暁には、地下1,000 mの岩盤内に地殻変動観測網が展開できるからである。科学技術庁をはじめ、地元の強い要望や暖かいご支援があって、平成9年4月1日に開所した。

同じ公園内には戦時中に掘削した大規模な格子状の地下坑道（第三紀層内）があり、その一部が名古屋大学の地殻変動観測所である。サイクル機構の東濃地科学センターも車で僅か20分の近距離、共同研究には

絶好の場所である。1,000 m級調査孔の利用に備えて、観測装置の開発や試験観測を行う一方、地震観測・地殻変動観測・地下構造調査等で、内陸地震発生場の研究を実施しようというものである。そのために350 m ボアホール観測井と計測機器開発用の150 m ボアホールを設けた。90 m 下からは花こう岩、170 m 以深ではP波速度が5.5 km/sとなる強固な岩盤である。中央自動車道のインターに近いが、微小地震観測点としても上クラスに入る観測環境にある。

坑道内にも観測室がある。広帯域地震計と地震計検定装置で手狭になってしまったが、実験台も備えて、計測機器の開発研究を行う。しかしこの坑道は新第三紀層の軟岩である。その故に隣接して350 m 観測井を設け、名大地殻変動観測と共同して「岩質の異なる岩盤内で地殻変動の比較」という研究課題にも取り組んでいる。一つの例を挙げよう。その典型は水位変動である。深部花こう岩内とそれを覆う第三紀層内の水位変動の相関はほとんどゼロである。その反面、350 m 孔とそこから350 m 離れた500 m 孔の花こう岩内

の水位変動は瓜二つである。両者とも、しばしば大きな地震余効変動を示す。地殻歪も連動した。水位の地震応答では東濃地科学センターにも同様な現象が現れた。地下水流動・地下構造・地殻歪との関連で新発見ができるかも知れない。

研究のごく一部しか紹介できなかったが、平成10年度には重力調査やパイプロサイスで屏風山断層を横断する構造探査（測線長20 km）を実施し、ノイズの少ないデータが得られた。地上から見れば典型的な断層崖地形も地下は複雑らしい。観測してみなければ判らないことであった。今年度の解析で何がでてくるか、結果が楽しみである。

一方、当研究所では「地震防災科学」を立ち上げた。ハード面では、第三紀層の地震波増幅作用の観測と研究である。50点の超高密度地震観測を目標に今は10点が動いている。ソフト面では、医学研究者も参加する学際的な人的被害研究委員会が活動している。

これら平成10年度成果の一部は、東濃地震科学研究所報告第1号および第2号に印刷中である。[H.A.]

編集後記

虫が知らせたのだろうか。当振興会創立以来の職員で、本誌の編集、誌面の割付、などの実務をこなして、ジャーナルの体裁をつくりあげた山田隆三さんが、一昨年12月発行の24号から、ジャーナルの仕事から手を引かれた。もともと、東大出版会におられたので、書籍や雑誌の編集や、レイアウトなどにこだわりを持っていて、振興会の報告書の印刷なども、むしろ楽しんでる風があった山田さんだったので、ジャーナルから手を引くというのでびっくりしたのであった。この頃から、からだの変調があったのだろうか。

か。昨年、体調を崩され、振興会を休まれることもあったが、本年2月ころより病勢あらたまり、ついに3月17日逝去された。

山田さんの仕事に現れているように、彼はかなり頑固に主張を押し通すところがあった。しかしそのことで報告書やジャーナルの発行期限が厳重に守られたし、各方面の信用が得られたのである。また、腹がきれいというか、人徳というのか、仕事を越えた暖かい雰囲気をもった人でもあった。

振興会は創立以来の気風を持った人を失ったのである。 [A]

地震ジャーナル 第27号

平成11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 萩原尊禮

編集人 力武常次

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

●製作/ (財)学会誌刊行センター