

地震 ジャーナル

38

2004年12月

エッセイ 科学の語り部を育てよう ●大竹政和

力武先生の思い出 ●萩原幸男——1

地震予知から地震調査研究へ ●岡田義光——4

東海・東南海・南海地震の予知 ●安藤雅孝——19

阪神・淡路大震災における木造建物の層破壊被害 ●堀江 啓——30

新潟県中越地震の災害（緊急報告） ●伯野元彦——42

地震予知連絡会情報 ●岡田義光——45

●書評——58

●新刊紹介——60

●執筆者紹介——61

●ADEP情報——64

囲み記事 「稲むらの火」— 忘れないだけでは津波災害は防げない— /
SMAC型強震計 / 地震による死傷者の数え方

地震予知総合研究振興会

ASSOCIATION FOR THE DEVELOPMENT OF EARTHQUAKE PREDICTION

科学の語り部を育てよう

大竹政和

『太陽の誕生と死』、『不思議の国のトムキンス』、『1, 2, 3……無限大』……懐かしいガモフ全集のタイトルである。若い頃に、胸を躍らせて読みふけた方も大勢おられることだろう。私にとっても、多感な中学・高校生時代に自然科学への憧れを育ててくれた忘れ得ぬ名著である。G. ガモフはビッグバン宇宙の提唱者としてあまりにも有名だが、科学の啓発活動においても偉大な語り部であった。今の子供たちには、C. セーガンやS. ホーキングの諸著作が好評を博しているという。

科学啓発書の読者は、もちろん若い世代だけではない。自分自身を振り返ってみても、自然観の形成に大きな影響を与えてくれた名著がいくつもある。古くはA.I. オパーリンの『生命の起源』、近年ではM. ワールドロップの『複雑系』やS. シンの一連の著作などである。環境問題では、T. コルボーンたちの『奪われし未来』やR. カーソンの『沈黙の春』も漏らすことができない。もっとも、現在ではその所論のすべてが是認されているわけではないが、

このように思いつくままに書き並べてみると、改めて驚かされることがある。上に記した書物はすべて、外国の科学者やライターによる著作の翻訳書である。わが国でも、科学解説書ならば書店の棚に溢れている。その中には、非常に優れたものも少なくない。だが残念ながら、解説書は読者に夢や興奮を与えてくれない。そこには、手に汗を握る物語も心ときめく感動の世界もない。科学技術立国を標榜するわが国でありながら、良質の啓発書がまだまだ乏しいのは何とも寂しい話である。どうしてなのだろうか。

ある研究者仲間にこの疑問をぶついたら、即座にこんな答えが返ってきた。「当たり前でしょ、そんな余技は誰も褒めてくれるわけでなし。でも、立派な賞でもあればねえ。」なるほど。高名な作家の名前を冠した「ノンフィクション賞」にも、自然科学関係の実績はない。

わが国には、決して優れた書き手がないわけではない。大先輩を引き合いに出して恐縮だが、上田誠也先生の『新しい地球観』から受けたカルチャーショックは今も忘れることができない。鎌田浩毅さんの『火山はすごい』のように、新しい語り部を意識的に追求した労作もある。書き手がないのではなく、それを育てる環境が未成熟なのである。

アメリカ地球物理学連合では、パールマン賞を設けて優れた啓発著作活動を奨励している。わが国にもこのような賞があれば、志ある研究者やジャーナリストの大きな励みになるに違いない。

それを実現する能力もノウハウも私にはない。だが、賞の名前ならばとっくに決まっている。寺田寅彦賞……である。

力武先生の思い出

萩原幸男

8月22日午前11時05分、力武常次先生が他界された。享年83歳であった。翌23日に近親者による密葬、3人の弟子（行武、本蔵両氏と筆者）も夫人同伴で駆けつけた。本葬は9月6日、京王線明大前駅にほど近いカトリック松原教会で行われた。ご家族がカトリックであるため、ご臨終に先立って奥様の手で「緊急の洗礼」をお受けになった。「十戒」で知られる旧約の預言者の名をとって洗礼名はモーセ、20年ほど前から先生自らお決めになっていた洗礼名である。

私が先生に最初にお会いしたのは40年前の2月頃と思う。当時私は日本鉱業中央試験所（現ジャパン・エナジー中央研究所）に物理探査技師として勤務していた。たまたま二酸化マンガンの帯磁率比較測定のため、地球物理学教室を訪れた折、帰りがけに安芸敬一助手（当時）を表敬訪問した。

その時「いま地震研究所では地震予知を目標に研究を始めようとしている。ついては力武先生が物理探査のできる人を探しているので会ってみたら」と同助手に勧められた。安芸さんから即座に電話があったらしく、廊下で力武先生にお会いすると、こちらから何も言い出さないうちに「では4月から来てください。移動観測班の班長として働いてもらいます」と申し渡された。こうして6年間勤めた会社を辞め、地震研究所助手に早変わりしたのである。

移動観測班といってもまだ影も形もない。そのうち6月に新潟地震を迎え、直ちに新潟県村上市にほど近い神林村でプロトン磁力計による連続観測を始めた。8月には栗島に渡って重力測定を行った。また読売新聞社所有の潜水艇「よみうり号」に乗って村上/栗島間の海底重力測定を実施した。こうして殆ど地震研究所の建物に寄りつか



写真1 1998年7月6日、朝日ジョブ・ウィークリー掲載の写真。力武先生はこの写真を好まれ、以後雑誌等の掲載には、いつもこの写真を選ばれた。

ないまま助手第1年目は過ぎた。

助手第2年目、新潟地震の熱がまだ冷めやらない矢先、今度は松代群発地震が始まった。直ちに出張を命じられ、私は地磁気、水準、重力それに放射能探査まで実施した。仕事の合間、久しぶりに震研に戻って先生にお会いすると「宿舎で酒ばかり飲んでいないで、報告書を書き始めなさい」と申される。しかも英文で書けという。やっとの思いで英文を仕上げ提出すると「これが英文か」と怒鳴られる。翌日原型が殆ど残らないくらい、真っ赤に直された原稿が戻ってくる。今でも電話帳ほどの厚さの真っ赤な原稿が宝物のように私の手元に残っている。

出張先で酒も飲まず、本や論文をよく読む助手がいた。力武先生は彼に「読むのは結構だが、読むばかりでなく、書く積もりで読みなさい」と言われるのを傍で聞いたことがある。「学会で発表した以上、論文に仕上げなさい」、「実験や観測を重ねても、最終的に論文にしなければ研究をしたことにはならない」等々、先生の教えは今も耳の底に残っている。そのとき教わった論文の構成、

読み方と書き方が基となって、日大文理学部大学院で担当している講義「論文の読み方と書き方」が出来上がっていると思うと、今更ながら先生のご指導に頭が下がる。

やがて群発地震も静穏化に向かい、本来の研究所生活が始まった。すると先生は日に2度、助手や大学院生の居室を見回りに来られる。見回りの時間帯が大体決まっているので、廊下側の窓を少し開けて監視役を立てる。「来たぞ」の声とともにバタバタと本やノートを開く。タイガー計算機を回し出す者もある。先生は部屋に入られると、じっと黙って一人ひとりの仕事ぶりを覗いて行かれる。その間中、鉛筆を持つ手が思うように動かないほどの緊張感を覚えたものである。

時たま教授室に呼び出され、研究テーマを言い渡されることがある。大きなテーマではなく、この方程式を解け、あるいはその結果を図化せよといった、かなり具体的な問題を課すのである。「いつまでに答えを提出せよ」とは言わないが、大体期限は一週間であった。それを超えると、先生は「何のことだっけ」ととぼける。そのため逆に課題の説明をする羽目に陥る。間違った説明をしようものなら怒鳴られる。この難関を突破すると「では早速論文にまとめなさい」と、参考文献の別刷りを渡される。論文書きの段階でも、原則として一週間ごとに中間報告が必要である。ときには部分的に英文原稿の提出を求められる。

先生は学生時代に学寮のフーテン（風紀点検委員の略称）であったそうで、その名残が見られた。教授室に入るとき、院生の素足にサンダル履きは許されなかったし、助手となると廊下でも注意された。他の大学から着任したての助教授が「サンダルはベッド・ルームで履くもの」と言われて恐縮していたのを見たことがある。また各階に湯沸室を設け、出前の皿やドンブリを片づけるよう指導された。「廊下に置くとリキさんに怒鳴られるぞ」と、どの研究室でも気を付けたものであった。

こう書くと「うるさい先生」との印象を受けるが、力武先生の厳しさは常に筋が通っていた。この当時、古いタイプの滅茶苦茶な先生が多く、あらかじめ秘書を通して予約しておかないと教室

に入れない。予約なしにドアを開けると、灰皿を投げつける教授がいた。また某教授は部屋の中心部に赤絨毯を敷き、これに上がれる人は特に許された「殿上人」に限られていた。殿上人以外は絨毯の外側に立って、恭しく用件を言上しなければならなかった。

何しろ教授・助教授のみが「所員」であり、「所員にあらずんば人にあらず」の時代であったから、多少の不条理でも所員に従うしか道はなかったのである。このような時代でも力武先生は所員・非所員の区別なく、筋を通して対応すれば必ず応えてくれた。先生のお名前をもじって「ブリキのジョージ」と恐れられてはいたが、実際は温情溢れる先生であった。

また力武先生は曲がったことが大嫌いであった。当時、旅費は一旦教授秘書に渡り、そこで一定率減額されて各自に渡されるのが常であった。なかには出張後に実費だけが支払われる習慣の研究室もあった。これに対して力武研究室は規定通りの満額支給であった。これは極めて稀なケースで、他の研究室の助手達に羨ましがられた。新しい鉛筆一本もらうにも、ちびた鉛筆と交換しなければならない等と聞くと、力武研に所属する幸せを痛感したものであった。

このような研究所の古い体質を背景に、非常勤職員の待遇問題に端を発して紛争が勃発した。力武先生は40代の若さで所長になり、所外の紛争支援者を排除する目的で機動隊導入に踏み切った。しかしこの荒療治は反って紛争を泥沼化に導いてしまった。当時、工学部に近藤次郎先生を中心とするシミュレーション研究グループがあり、震研紛争の将来も研究課題とした。多くの選択肢を検討した結果、殆どの場合に泥沼化すると結論が出された。誰が所長を務めても解決は得られず、職員組合から4項目の確認書を突きつけられ、所長はころころと交代した。力武先生も僅か10か月半の任期で所長を辞した。

教授会を所内で開ける状態ではなく、本郷3丁目のビルの一室を借りた。かつて麻雀クラブがあった場所なので、「ジャン研」と呼ばれた。ジャン研の壁には「三人相撲」と題する落首が貼られ



写真 2 2001年6月21日、地震予知総合研究振興会創立20周年記念式典で挨拶される力武先生。1986年から15年間、財団理事として地震ジャーナルの編集長を務められた（本誌31号に関係記事）。

たことがある。「東宮村、西力が武、中に森本大相撲。残った残った確認書。加藤物言い、行司交代」。紛争は森本所長の時、宮村研究室で発生したいわゆる「宮村事件」に端を発し、力武所長の機動隊導入で拡大化した。教授会の対応の悪さに加藤総長代行からはたびたびクレームがつき、所長（行司）は交代を繰り返した。そういった当時の状況をよく表した落首と言える。

力武先生は逆境に強いと言うか、転んでも唯では起きない性格の持ち主であった。63歳のとき食道ガンの大手術を受けたが、その後著作の数が急上昇したことで判る。紛争も同じで、教授会の逃亡生活の合間に、先生は地震予知の体系化に着想を得、「地震予知論試論（震研彙報、47、1969）」を発表した。予知はデータに基づいて発生確率の形で発表されるべきであるとの考えをこの論文で具現化したのである。今日、文部科学省に置かれている地震調査研究本部では発生確率を求め、そ

れを公表している。この方針はまさに力武試論から始まっている。

この論文を機に、先生は「地磁気の力武」から「地震予知の力武」へと変身した。つまり紛争という逆境が先生を更に大きな存在へと飛躍させたのである。泥沼化の責任をとる形で東大を辞し、東工大に移って6年、退官後は日大文理学部に籍を移して10年、その間に先生は地震予知論の完成に向かって邁進した。日大在籍中に先に述べた大手術を受けられたが、病気もまた先生の学問的進展を阻止できなかった。

逆境を機に挫折する人、それを機に飛躍する人、一体どこがどう違うのであろうか。それは「運・不運の問題」という人がいる。しかし私の見る限り、常に期待感をもって物事に当たっていた先生の生き方にあると思える。失敗したと言って頭を抱えたり、自己嫌悪に陥った姿を一度も見たことがない。小学校以来の通信簿を見せて頂いたことがある。全科目「甲」の判定で、「乙」はどこにもない。人生において挫折を経験したことがないのである。通常の人ならば挫折するところを、先生はそれを克服する更に大きな自信を持ち合わせていた。今回のご葬儀では、喪主の挨拶状とともに、キリストのイコンが同封された。その裏面には「わたしは道であり、真理であり、生命である」とヨハネ福音書の一節が記されていた。先生のイメージに合致する福音として、力武夫人がご選びになった一節である。それは先生の自信に満ちた生き様とどこか一脈通じるような気がする。

先生はご長男を事故で亡くされた。その悲しみは大きく、しばらくは中央線の電車に乗らず、迂回して通勤しておられた程である。ご家族の墓は府中カトリック墓地にあり、先生は「家族が別々の墓に入るの嫌だから、自分もいずれは洗礼を受ける」と言っておられた。その言葉通り、臨終に先立って「緊急の洗礼」をお受けになった。カトリックでは人生の最後に洗礼を受ける人を「天国泥棒」と呼んで、幸福な人の典型として羨ましがられる。先生は人も羨む至福のうちに最後を迎えられたのである。「主よ永遠の安息を彼に与え、絶えざる光を照らし給え」。

地震予知から地震調査研究へ

岡田義光

1. はじめに

1995（平成7）年1月に発生した阪神・淡路大震災は、地震工学、地震学の双方に大きなインパクトを与えた。地震工学の分野では「我が国の建築物や土木構造物は地震に対して十分強く作られているから、どんな地震がきても大丈夫」との、いわゆる“安全神話”がくつがえされ、構造物の設計思想自体を「絶対こわれない設計」から「安全にこわれる設計」、すなわち、たとえこわれても中の人間を守るような設計へと変革することが迫られるようになった。ところが、地震の際に建物や構造物がどのようにこわれるのかという問題については未解明な部分が多く、これを実験的に追求する手段として「実大三次元震動破壊実験施設」を建造するという巨大プロジェクトが開始された。この施設は現在兵庫県三木市に建設中であり、間もなく稼働を始めることになっている。

一方、地震学の分野では、ともすると狭い意味の地震予知に関係する部分のみが脚光を浴びがちであり、国の施策としても、東海地域など特定の地域に偏して観測体制の強化等がなされてきた。兵庫県南部地震はその虚をつくような形で発生し、未曾有の大災害をもたらしてしまった。阪神地区の周辺は十分な観測体制が整備されておらず、東海地域のように予知の可能性が言われていたわけではなかったにせよ、めばしい前兆現象は検知されず、なんら有効な事前情報を出すことができなかったことに対し、少なからぬ世間からの批判があった。地震予知の困難性はさらに浮き彫りにされる結果となり、地震、とくに内陸地震に関する我々の知識はまだ不十分であって、基礎的な調査研究の充実がなお一層要望されること

となった。また、特定の地域に偏した観測・監視体制の危うさも、反省点として明らかになった。出直しをはかるべく、国は新しい法律を作って地震調査研究推進本部を発足させ、「地震による被害の軽減」を基本的目標として各種の施策を進めるようになる。本稿では、新しい方向としてこの10年間進められてきた「地震調査研究」のあゆみについて概観する。

2. 地震調査研究推進本部の発足

日本は世界有数の地震国といわれていながら、百年来の地震学は有効な行政施策に結びついていない、耐震基準の改善はされていても甚大な被害は現実に発生している、いざというときの避難・救援など危機管理システムは行政面でも市民生活面でも確立しているとは言えない（原田，1995）。このような現状を打破すべく、国会では後藤田正晴氏を会長とする「日本を地震から守る国会議員の会」が超党派の有志により結成され、平成7年6月上旬には議員立法による「地震防災対策特別措置法」が成立する運びとなった。この法律の眼目は次の2つである。

- (1) 地震発生直後の被害を最小限度にする。このため、各都道府県は「地震防災緊急事業5カ年計画」を策定する。
- (2) 今まで研究者の世界でバラバラに進められてきた地震の調査研究や観測を、これからはできるだけ集約して分析評価し、必要な行政に反映させる。このため、政府に「地震調査研究推進本部」を設ける。

地震防災対策特別措置法は1995（平成7）年7月18日に施行され、同日、地震調査研究推進本部が当時の総理府に設置された（現在は文部科学省に

設置)。同本部は科学技術庁長官（現在は文部科学大臣）を本部長として、政策委員会（調査観測計画、予算、成果の社会への還元方策などを審議）と地震調査委員会（地震活動の現状評価、地震発生の長期評価、強震動評価などを実施）から構成され、それぞれに必要な部会が設けられている。

この地震調査研究推進本部の発足により、1976（昭和51）年10月に閣議決定で内閣に設置された「地震予知推進本部」は自然消滅したかっこうになる。これに伴い、現状では甚だ困難である「地震予知」という用語を安易に用いることは、国民から強い期待があるだけに、誤解を招きやすく好ましくないとの風潮が目立つようになった。筆者は当時防災科学技術研究所の地震予知研究センター長という肩書きであったが、これは間もなく地震調査研究センター長に改められた。同センターにあった直下型地震予知研究室・海溝型地震予知研究室内の名称もそれぞれ直下型地震調査研究室・海溝型地震調査研究室に変わり、火山噴火予知研究室まで火山噴火調査研究室に改められた。また、地震予知研究棟という建物の名称も地震調査研究棟につけえられた。手のひらを返したようにというか、一部には魔女狩り的な空気もあり、当ジャーナルを発行している地震予知総合研究振興会にも改名への圧力があったと聞く。

ただ、あとで述べるとおり、地震調査研究推進本部は地震予知をやめてしまったわけではない。非常に困難な地震予知が簡単に実現できるかのように誤解されないよう、また、地震予知だけが短絡的な目標ではないことを示すため、あえて表看板からは予知を外したということである。基本に立ち返って、より基礎的な地震の調査研究にいそしみ、地震予知をも含む広範な研究活動によって社会に貢献することを最終的な目標に据え直したものと見える。

3. 「基盤的調査観測計画」の推進

地震調査研究推進本部の最初の仕事は、我が国の地震に関する調査観測体制の現状を見直し、全国的視野に立った新たな調査観測計画を策定する

ことであった。政策委員会の下に設けられた調査観測計画部会で討議を重ねられた結果、微小地震観測、GPS連続観測、活断層調査を3本柱とする「当面推進すべき地震に関する調査観測について—基盤的調査観測の推進—」（平成8年1月10日）が定められた。現実には、この討議と並行して平成7年度補正による微小地震観測施設整備28点、GPS地殻変動観測施設整備25点、活断層調査27件の予算化が進められ、まさに“走りながら考える”状態でのスタートであった。

調査観測計画部会では、その後さらに1年半に及ぶ討議を続け、広帯域地震観測や強震観測を基盤的調査観測項目に加えた最終的な報告書「地震に関する基盤的調査観測計画」（平成9年8月29日）をとりまとめている。

3.1 当面推進すべき調査観測（H8/1/10）

これまでの地震に関する調査研究は我々の地震に関する知見を高めてきたものの、調査観測結果の蓄積やそれに基づく地震発生の評価に必要な理論の構築は必ずしも充分であったとはいえないとの認識から、1996（平成8）年1月10日にとりまとめられた「当面推進すべき地震に関する調査観測について」では、長期的な地震発生可能性の評価に重点をおき、体系的な調査観測を強化してデータ蓄積を促進するとの基本方針が定められた。

発生する地震活動を客観的に把握するためには、全国的に偏りなくかつ継続的に調査観測を行い、基本的なデータを蓄積して、その成果を広く共用することが必要であるとの観点に立って、基礎となるこのような調査観測は“地震に関する基盤的調査観測”と位置づけられ、これを強力に推進することとなった。具体的には、当面推進すべき基盤的調査観測の項目として、次の3つが選ばれた。

- (1) 陸域における微小地震観測：内陸地震の発生する深さの限界を明らかにし、その地域における地震の最大規模を推定することを目的として、水平距離15～20 km間隔で全国的に微小地震観測施設を整備する。（観測点間隔は

我が国の内陸地震の深さの下限を考慮して定められた)

- (2) 地殻変動観測 (GPS 連続観測): 地殻歪の時間的・空間的変化を即時的・定期的かつ広範囲に把握することを目的として、水平距離 20~25 km 程度の間隔で全国的に GPS 連続観測施設を設置する。(観測点間隔は地殻歪の蓄積率と観測誤差を考慮して定められた)
- (3) 活断層調査: 内陸地震に関する長期的な評価を行うため、活断層の位置・活動履歴・長さ及び 1 回の活動による変位量を詳細に調査する。当面、想定される地震の規模が大きく活動度の高い断層や、都市部近郊に存在する活断層を対象とする。

「地震予知計画」の時代には、地震の発生が懸念される特定の地域に観測を集中する戦略がとられていたが、基盤的調査観測では ①全国均一、②長期間にわたる安定した観測、③データ共用の 3つが特徴的なキーワードとなっており、ここに「予知計画」時代との性格的な違いを見ることができる。

3.2 基盤的調査観測計画 (H9/8/29)

調査観測計画部会では、その後さらに検討が続けられ、1997 (平成 9) 年 8 月 29 日にとりまとめられた最終報告書では、以下の 4 項目を基盤的調査観測と位置づけ、推進することとなった。

- (1) 地震観測
 - 1) 陸域における高感度地震計による地震観測 (微小地震観測)
 - 2) 陸域における広帯域地震計による地震観測
- (2) 地震動 (強震) 観測
- (3) 地殻変動観測 (GPS 連続観測)
- (4) 陸域及び沿岸域における活断層調査

新しく基盤的調査観測として追加された広帯域地震観測については、水平距離約 100 km 間隔で全国的に広帯域地震計を整備するとしており、また強震観測については、15~20 km の間隔で整備される高感度地震計と併せて地下の基盤に強震計を設置することを求めている。これらの項目はあ

とから追加されたため、高感度地震計に併設される強震計については平成 8 年度補正予算による整備点から、また広帯域地震計については平成 9 年度当初予算による整備点から、それぞれ予算化がなされた。

これらの基盤的調査観測を実際に担う機関として、(1)地震観測と(2)地震動観測は防災科学技術研究所 (以下、防災科研) が、また(3)GPS 連続観測は国土地理院がこれにあっている。なお、(4)活断層調査については、旧地質調査所 (現:産業技術総合研究所活断層研究センター) 及び交付金を受けた地方自治体が全国の 98 主要活断層の調査を進めている。

なお、この「基盤的調査観測計画」の報告書では、基盤的調査観測とは位置づけけないものの、「基盤的調査観測の実施状況を踏まえつつ、調査観測の実施に努める」項目として

- (5) ケーブル式海底地震計による地震観測
 - (6) 海域における地形・活断層調査
- の 2 つを挙げ、さらに「手法の有効性、実施の在り方等について検討する」項目として

- (7) 地殻構造調査
 - 1) 島弧地殻構造調査
 - 2) 堆積平野の地下構造調査
 - 3) プレート境界付近の地殻構造調査
- を取り上げている。このうち、2) 堆積平野の地下構造調査については、地震動予測を行う際の重要データになるという観点から、大きな平野や盆地を抱える地方自治体に対する地震関係基礎調査交付金として 1998 (平成 10) 年度より予算化され、調査が実施に移されるようになった。

3.3 高感度地震観測 (Hi-net)

兵庫県南部地震当時、我が国では大学がそれぞれの地域の計約 300 地点で定常的な微小地震観測を行い、また防災科研は関東・東海地域の約 100 地点で微小地震観測を実施していた。一方、気象庁は、必ずしも高感度でない観測点を含め、全国を覆う約 200 地点で大中小地震を対象とする地震観測を行っていた。これらの観測点は東海地域や伊豆地方などで密度が高く、分布にはかなり

の地域的偏りがあった(図1(a)).

基盤的調査観測計画に基づく高感度地震観測施設は、これらの既存点を避けて観測の空白地域に重点配備され、防災科研では2003(平成15)年度末までに約700地点の観測施設を新設した(図1(b)). この観測網はHi-net(High-sensitivity Seismograph network)と呼ばれ、観測点密度の向上はとくに西日本において著しい(図2).

人間に感じない微小な地震まで高感度に捉えるため、Hi-net観測点の地震計は標準100~200mの深さのボーリング孔底に設置されている(岡田, 2001). しかし、都市部など堆積層が厚く雑微動の大きいところでは、より深い観測井が必要となり、平成15年度末現在、1,000mを越える深さの観測施設は24地点を数えている. このうち、最も深い3,510mの岩槻を始めとして18地点は関東平野周辺に存在し、ほかは此花・田尻(大阪)、羽島(岐阜)、安城(愛知)、浜松、仙台の6地点である.

高感度地震観測のデータは1秒間に100個の割合でNTTのパケット通信網(フレームリレー)

に常時送り出されている. 図3に示すように、観測点は市松模様に分けられ、一方のデータは東京、他方のデータは京都のサブセンターと呼ばれる施設に送られている. このような方式により、万一サブセンターの片方がダウンしても、半分の密度で観測は継続することができる. いったんサブセンターに集められたデータは、気象庁に送られて地震活動の監視や速報の公表に用いられる一方、東大地震研より衛星を介して全国の地震研究者にリアルタイムでデータが配信されている. また防災科研ではデータをアーカイブし、インターネットを通じて全世界に生波形および解析結果等を提供するサービスを行っている.

Hi-netは地震研究者に貴重なデータを提供し続けており、西日本における深部低周波微動現象の発見(小原, 2002)など、世界的な成果も生み出されている.

3.4 広帯域地震観測(F-net)

広帯域地震計は周期数百秒という非常にゆっくりした地面の揺れまで記録できる高性能の地震計

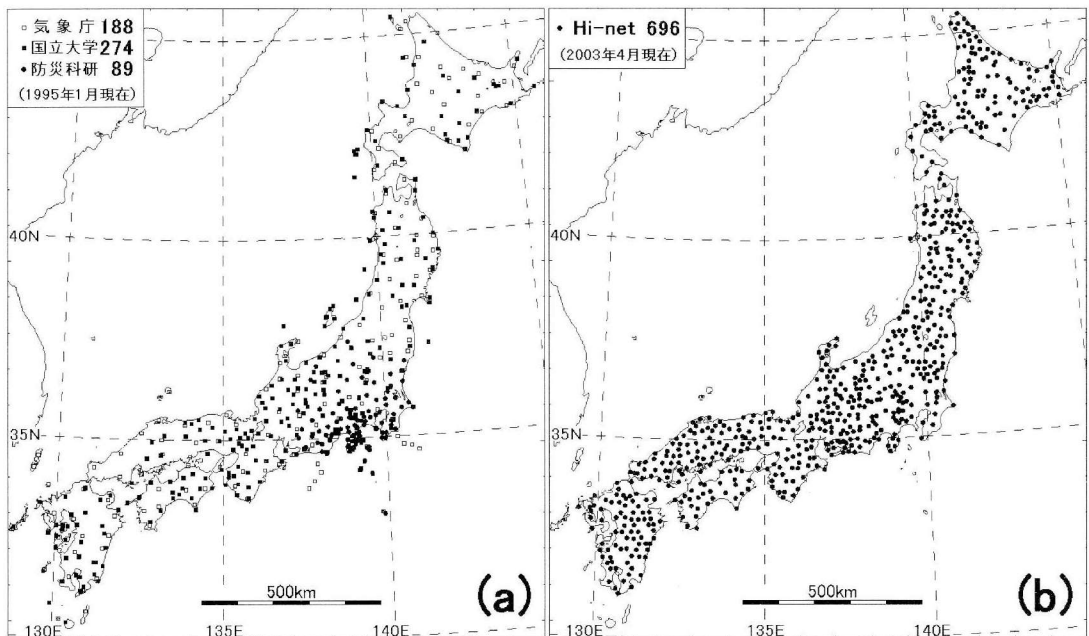


図1 (a) 兵庫県南部地震当時、及び(b)平成14年度末までに追加された高感度地震観測施設の分布. (b)には関東・東海観測網からHi-net化した観測点も含まれている.

である(図4)。兵庫県南部地震当時、我が国では大学が22地点、気象庁1地点、防災科研が5地点で定常的な広帯域地震観測を行っていた。研究的色彩が濃かったため、その大部分はダイヤルアップによるデータ回収方式であり、リアルタイムでデータ伝送がなされていたのは3点のみであった(図5(a))。

その後、防災科研では「地震素過程と地球内部構造の解明に関する総合的研究」(FREESIA: Fundamental Research on Earthquakes and

Earth's Interior Anomaly)の下で20地点まで観測点を増強し、うち11地点をリアルタイム化したが、1997(平成9)年度からは基盤的調査観測計画にスイッチして整備が続けられ、2003(平成15)年度末までに73地点の観測施設を新設した(図5(b))。この観測網はF-net(Full-range Seismograph network)と呼ばれている。広帯域地震計は温度変化等に対して敏感なため、F-net観測点の地震計は標準30~40mの奥行きをもった横坑内に設置されている。なお、データの伝送に

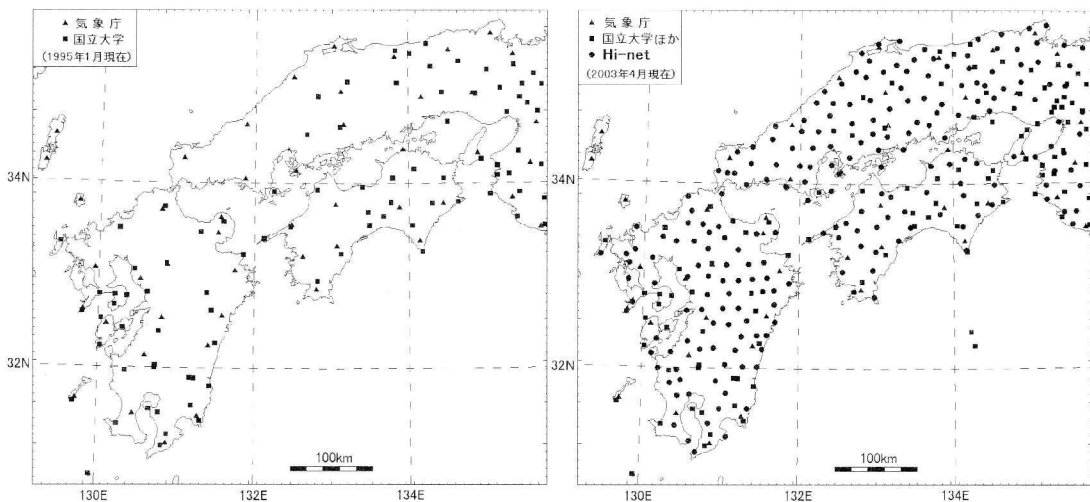


図2 西日本における高感度地震観測施設の分布。兵庫県南部地震の前(左)と最近の状況(右)を比較している。

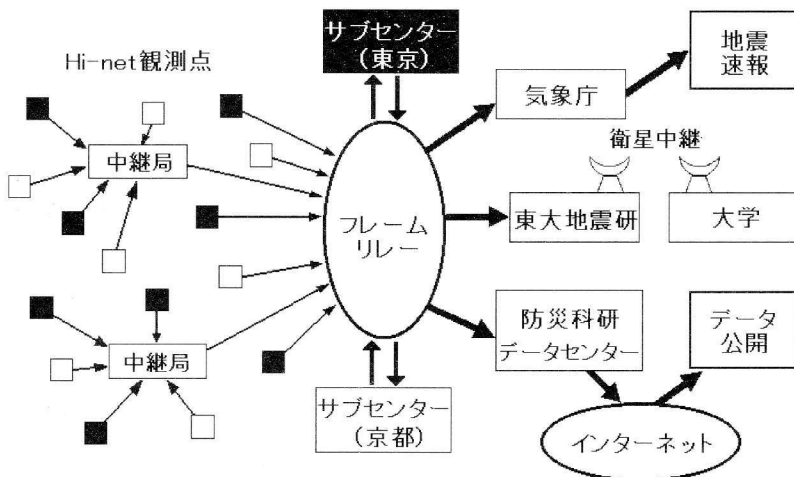


図3 高感度地震観測データの流通方式

については、図3に示した高感度地震観測と同一の方式が採用されている。

F-netから得られる地震のモーメントテンソル解は、2000年鳥取県西部地震や2004年十勝沖地震、また有珠山や三宅島周辺の火山活動などを解析する強力な道具となった。

3.5 強震観測 (K-NET, KiK-net)

兵庫県南部地震当時、我が国で稼働していた全国的なデジタル式強震観測網としては、気象庁の258地点が稼働していたのみであり、その平均的な観測点間隔は約60kmであった(図6(a))。これでは、きめの細かい強震動分布を把握することができず、また震源近傍の貴重な強震動記録を取

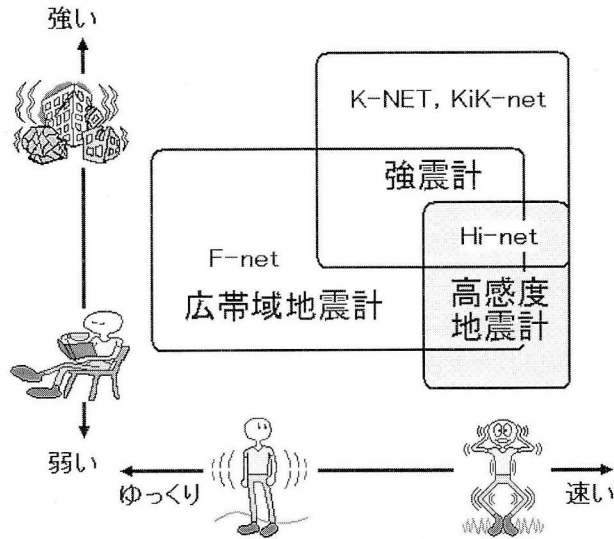


図4 地震観測に用いられる3種の地震計の守備範囲

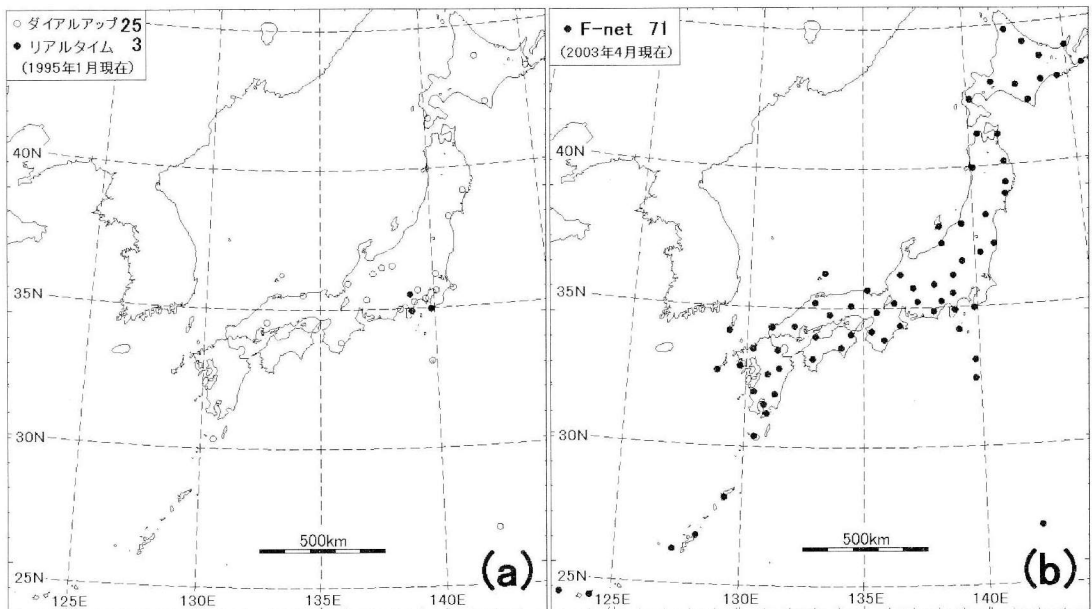


図5 (a) 兵庫県南部地震当時、及び (b) 平成14年度末までに追加された広帯域地震観測施設の分布。(b)にはFREESIA観測網からF-net化した観測点も含まれている。

り逃がしてしまう可能性が高い。

地震の直後、防災科研では独自の事業として全国の1,000カ所に強震計を配備する計画を立て、実行に移した。この観測網はK-NET (Kyoshin network) と名付けられたが、これは均質かつ高密度な全国観測網であることに加え、得られたデータをただちに公開するオープンな思想を採用したことが画期的であった (Kinoshita, 1998)。

ただ、K-NETのデータ回収は、公衆回線を用いてつばからデータを呼び出すダイヤルアップ方式であったため、大きな地震の際には震源地周辺で生じる電話の輻輳により、肝心の場所の記録回収が大幅に遅れるという難点があった。この問題を解決するため、データを現地側から自動的に送り出すダイヤルアウト方式を用いた新型K-NETへの改良が計画され、まず西日本の420地点における更新が2002(平成14)年度補正予算によって実現した。なお、平成15年度末現在、K-NETの観測点数は1,034に増えている。

一方、基盤的調査観測計画に基づく強震観測は、高感度地震計と一緒に強震計を地下に併設す

ることを求めている。Hi-net 観測施設では、これと同時に地表にも強震計を設置し、この地上と地下をペアとする強震観測網をKiK-net (KIBAN Kyoshin network) と呼んでいる。これにより、地表近くの地盤構造によって強震波形がどのように変質するかの実証的なデータが得られることになる。なお、K-NET 観測点は人の住む堆積層地盤に設置されていることが多いのに対し、KiK-net 観測点はもともと高感度地震観測を目的とするHi-netに併設されるため、一般に人里を離れた堅岩地盤に位置することが多い。

このほか、F-net 観測施設においても大地震時における広帯域地震記録の振り切れをカバーするために、速度型の強震計が横坑内に併設されている。図6(b)は、これらの新しい全国強震観測網の分布を示したものである。K-NETやKiK-netのデータは、地盤関係の地震工学者に重用されているほか、最近発生した大きな地震の震源過程を解析する上でも重要な材料を提供し続けている。

なお、以上とは別に、我が国の震度観測体制も兵庫県南部地震を境として劇的な変化を遂げた。

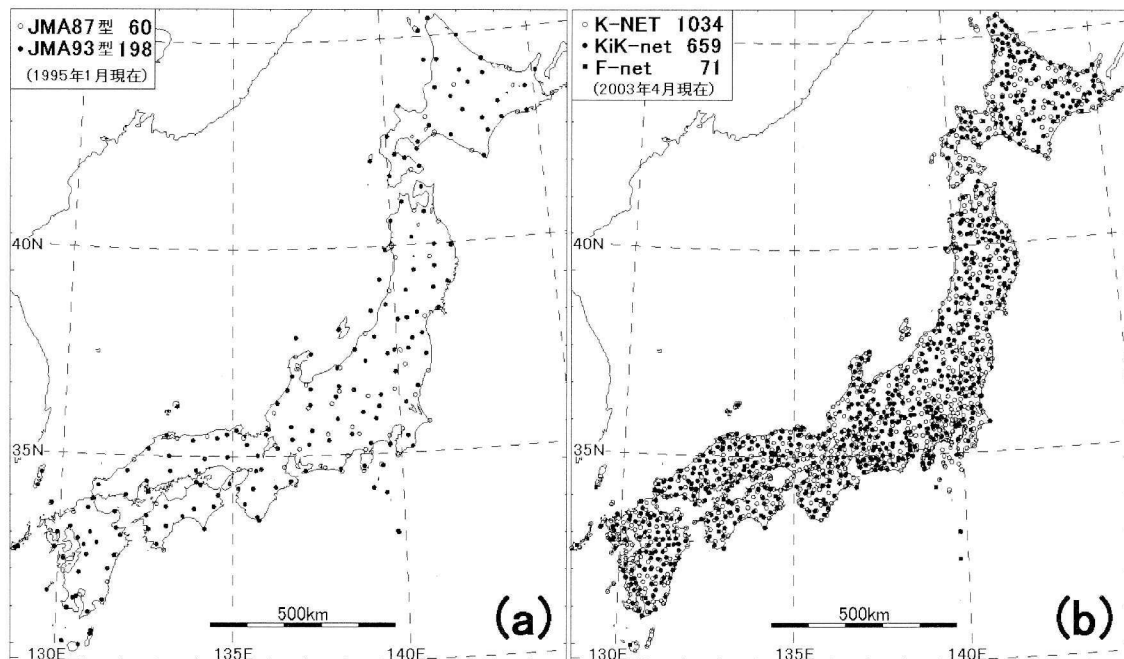


図6 (a) 兵庫県南部地震当時、及び (b) 平成14年度末までに追加された強震観測施設の分布。

かつての震度観測は全国約 150 カ所の気象官署でのみ実施されていたが、現在では気象庁所管の計測震度計 600 カ所のほか、地方自治体所管の計測震度計 2,800 カ所のデータも気象庁に集約され、震度速報などに用いられるようになっている。

3.6 GPS 観測 (GEONET)

兵庫県南部地震当時、国土地理院は南関東・東海地域に 110 点の電子基準点を配備した COSMOS-G2 (Continuous Strain Monitoring System with GPS by GSI) と、それ以外の全国を対象として 100 点の電子基準点を配備した GRAPES (GPS Regional Array for Precise Surveying/Physical Earth Science) の 2 つの観測網を稼働させ始めたばかりであり、地殻変動の時空間分布をきわめて迅速かつ詳細に把握できるその能力に注目が集まっていた。

地震前の 1994 年には全国に 640 点の電子基準点を整備する計画が立てられており、地震後の

1996 年には COSMOS-G2 と GRAPES を統合した 610 点の GEONET (GPS Earth Observation Network System) が誕生した。しかし、基盤的調査観測計画では GPS 観測施設を 20~25 km の間隔で全国配備することが求められたため、1999 年には電子基準点の設置目標数が 1,200 点に改められた。さらに 2003 年にはこれを上回る 1,300 点近い観測点のデータが同時に処理される状況となっている。

従来、GPS データの回収は電話回線を使って原則 1 日 1 回行われていたが、現在はごく一部を除いて全ての観測点が常時接続されるようになり、毎秒 1 回の生データがリアルタイムで伝送されている。図 7 は、2001 年 10 月から 2002 年 10 月までの 1 年間における GEONET 観測点の水平変動を示しており、日本列島の動きを刻一刻と捉えることは、今や夢ではなくなった。これにより、地震や火山活動に伴う地殻変動を直ちに検出して断層モデルを即時的に推定することが可能となっ

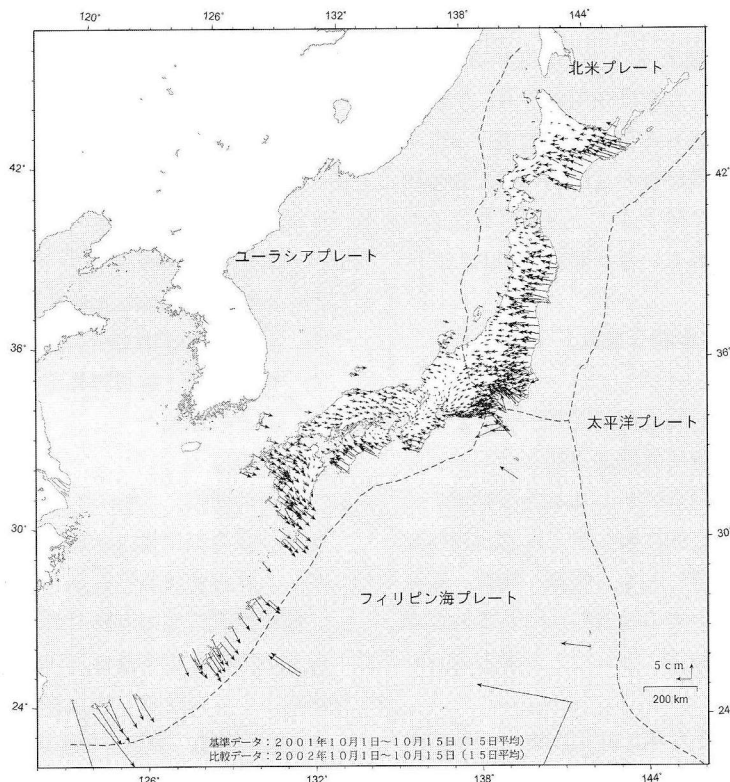


図 7 2001 年 10 月から 2002 年 10 月までの 1 年間における GEONET 観測点の水平変位 (国土地理院, 2004)

たほか、大きな地震の後の余効変動やスロースリップ現象といった興味ある現象も、全国各地で次々と見つかってきている。

3.7 活断層調査

我が国には、2,000 近い活断層があると言われていたが、従来その素性を調べる仕事は、大学や旧地質調査所の研究者によって、細々とつまみ食いの進められてきた感があった。しかし、兵庫県南部地震が活断層を原因として発生したことを契機として、全国の主要な活断層を網羅して組織的に調査する事業が、基盤的調査観測の重要テーマとして取り上げられることになった。

全国に分布する主要な活断層は 98 の主要な活断層帯としてまとめられ (図 8)、1995 (平成 7) 年度からトレンチ調査等が精力的に進められてきた。その成果に基づいて、各活断層帯では地震発生の危険度評価がなされ、その結果は順次公開されてきている。2004 (平成 16) 年 11 月現在、全体の約 7 割にあたる 69 の活断層帯について結果が公表されており、残る活断層帯についても、平成 16 年度中には評価を終えることとしている。

これまでに発表された評価結果のうち、今後 30 年以内に地震を発生させる確率の最大値が 3% を超えているものは「我が国の活断層の中では地震発生確率が高い部類に属する」と評価され、これが全体の約 3 割を占めている (栗田, 2004)。

4. 「総合的かつ基本的な施策」(H11/4/23)

地震に関する基盤的調査観測計画が着々と進められる一方、地震調査研究推進本部では同本部の活動の指針となる「総合的かつ基本的な施策」の検討が進められ、最終的に報告書「地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策」(平成 11 年 4 月 23 日) としてとりまとめられた。

本来なら、このような根本原則がまず打ち出され、これに基づいて調査観測計画等が作成されるのが筋なのだが、現実には“走りながら考える”

方式となっており、基盤的観測網が半分くらい出来上がった頃に成案を見るかたちとなった。

「総合的かつ基本的な施策」においては、まず地震調査研究を推進する基本的目標は、地震防災対策の強化、とくに地震による被害の軽減であることが謳われている。また、地震調査研究の推進はあくまで地震防災対策全般の一部であって、両者は互いに連携を図りながら推進されねばならないとの基本的認識に立ち、① 強震動・地盤震動を対象とした調査研究の包含、② 地震予知に関する努力の着実な継続、③ 地震発生の長期的な予測の精度向上、④ 地震現象の基礎的知識の普及や新たな知見の周知、などを求めている。

具体的な地震調査研究の推進方策としては、次の 4 項目が掲げられている。

1. 地震調査研究の推進とその基盤整備
 - (1) 地震に関する基盤的調査観測の推進
 - (2) 地震に関する調査観測研究データの蓄積・流通の推進
 - (3) 基礎的、基盤的研究の振興
 - (4) 関係行政機関、調査観測研究機関、大学等の役割分担及び連携
 - (5) 地震防災対策側からの要請の地震調査研究推進への反映
2. 広範なレベルにおける連携・協力の推進
 - (1) 地震防災工学研究の推進と地震調査研究との連携促進等
 - (2) 国民の理解のための広報の実施
 - (3) 国の役割と地方公共団体の役割への期待
 - (4) 推進本部と地震調査研究に関連する審議会等との連携
 - (5) 国際協力
3. 予算の確保、人材の育成等
 - (1) 予算の確保及び効率的使用等
 - (2) 人材の育成及び確保
4. 地震調査研究の評価のあり方

以上の推進方策を受け、当面推進すべき地震調査研究としては次の 4 項目が定められた。

1. 活断層調査、地震の発生可能性の長期評価、強震動予測等を統合した地震動予測地区の作成
 - (1) 陸域及び沿岸域の地震の特性の解明と情報の



図 8 地震調査研究推進本部により基盤的調査観測の対象とされた 98 の活断層帯

体系化

- (2) 海溝型地震の特性の解明と情報の体系化
- (3) 地震発生可能性の長期確率評価
- (4) 強震動予測手法の高度化
- (5) 地下構造調査の推進
2. リアルタイムによる地震情報の伝達の推進
3. 大規模地震対策特別措置法に基づく地震防災対策強化地域及びその周辺における観測等の充実
4. 地震予知のための観測研究の推進

ここに挙げられたとおり、地震調査研究の当面の目標の第1は地震動予測地図の作成であり、平成16年度末には全国を概観した地震動予測地図が出来上がることになっている(藤原, 2002)。第2のリアルタイム地震情報については、気象庁による「ナウキャスト地震情報」(横田ほか, 2002)と防災科研による「リアルタイム地震情報」の研究を統合した「緊急地震速報」を高度化すべく、「高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト」が防災科研、気象庁、およびNPO法人「リアルタイム地震情報利用協議会」等の共同作業として進められている。

また、第3の項目は東海地震に関する観測の充実、第4の項目は地震予知研究の推進であり、測地学審議会(現在は科学技術・学術審議会測地学分科会)が1998(平成10)年8月に建議した「地震予知のための新たな観測研究計画」に沿った取り組みを求めている。

このように、地震調査研究推進本部は地震予知に関する研究をやめてしまったわけではない。地震予知計画の発端となった、いわゆるブループリント(地震予知計画研究グループ, 1962)では、全国的な微小地震および地殻変動連続観測体制の整備と活断層の調査をその出発点として求めていたが、むしろその条件は基盤的調査観測の推進によって、やっと今実現されたということもできよう。

5. 「基盤的調査観測計画」の見直し、及び「重点的な調査観測」(H13/8/28)

「基盤的調査観測計画」が相当程度に達成され

てきたことから、地震調査研究推進本部では、計画の見直しを行うこととなった。また、平成16年度には全国を概観した地震動予測地図が完成し、地域ごとに地震危険度が比較可能となることから、危険度が高いと判断される地域においては、基盤的調査観測に加え、重点的な調査観測体制を整備する方針が打ち出された。この2点について、2001(平成13)年8月28日には「地震に関する基盤的調査観測計画の見直しと重点的な調査観測体制の整備について」がとりまとめられた。

まず基盤的調査観測の見直しについては、「基盤的調査観測として推進する」項目として、従来通り(1)地震観測、(2)地震動(強震)観測、(3)GPS連続観測、(4)陸域及び沿岸域における活断層調査の4つを再確認したのち、これに次ぐ「基盤的調査観測の実施状況を踏まえつつ、調査観測の実施に努める」項目として、次の5つを取り上げている。これには、最初に計画が作られた頃より観測手法や技術に大きな進歩のあったことが勘案されている。

- (5) ケーブル式海底地震計による地震観測
- (6) 海域における地形・活断層調査
- (7) 地殻構造調査
 - 1) 島弧地殻構造調査
 - 2) 堆積平野の地下構造調査
 - 3) プレート境界付近の地殻構造調査
- (8) 海底地殻変動観測
- (9) 合成開口レーダーによる面的地殻変動観測

ここで、(7)の地殻構造調査は元来「手法の有効性、実施の在り方等について検討する」項目に分類されていたが、今回は格上げされた形となった。

一方、地震動予測地図により地震危険度が高いと判断される地域に対して行う「重点的な調査観測」は、①長期的な地震発生時期と規模の予測精度の向上、②強震動の予測精度の向上、③地殻活動の現状把握の高度化等地震発生前・後の状況把握の3つを目的としている。具体的にどのような手法が有効であるかは、現在ワーキンググループで検討が続けられている段階である。

重点的な調査観測の対象となる地域の選定は地

震動予測地図が出来上がった後に行われる予定であるが、内陸型地震の中で今後30年以内の発生確率が14%と最も高く見積もられている糸魚川-静岡構造線断層帯の牛伏寺断層を含む区間、および海溝型地震の中で今後30年以内の発生確率が99%と最も高く見積もられている宮城県沖の2地域については、パイロット的な重点的調査観測の対象に選ばれ、全国的な整備に先行してモデル事業が始められている。

なお、地震調査委員会から発表された「南海トラフの地震の長期評価について」（平成13年9月27日）を受けて、2002（平成14）年7月26日には「東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法」が議員立法として成立し、同日公布された。これに対して、調査観測計画部会では「東南海・南海地震を対象とした調査観測の強化に関する計画（第一次報告）」（平成15年6月26日）をとりまとめ、両地震に対する観測も重点的に実施することとなった。

これに引き続き、「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法」も2004（平成16）年3月26日に成立、4月2日に公布されたため、今後は房総半島の東方沖から択捉島沖にかけての太平洋側の広い範囲についても観測の強化が検討される予定である。

6. データの流通・公開（H14/8/26）

基盤的調査観測計画では、地震現象を把握する上で基礎となる調査観測を全国的に偏りなく、業務的に長期間にわたり安定して実施することを求める一方、もうひとつの重要な柱として、得られたデータや解析結果を防災関係機関、一般国民、研究者などの利用者に広く公開し、効率的な流通を図るよう求めている。

調査観測計画部会では、この問題に関するワーキンググループを設けて、調査観測項目ごとにデータの収集、処理、提供のあり方や推進方策について討議を重ね、高感度地震観測についての中間報告を平成10年5月に発表した。また、広帯域地震観測、強震観測、GPS連続観測、活断層調査、

地下構造調査、過去の地震観測データに関する流通・公開方策を加えた最終的な報告書を「地震に関する基盤的調査観測等の結果の流通・公開について」（平成14年8月26日）として取りまとめている。これによりワーキンググループは解散したが、データの流通・公開の問題はきわめて重要であるため、「調査観測データ流通・公開推進専門委員会」が新たに組織され、フォローアップが続けられている。

最もデータ量の多い高感度地震観測については、兵庫県南部地震当時、我が国では約550地点において観測が行われていた（図1(a)）。しかし、各大学や防災科研、気象庁の観測網は一部で隣接間データ交換がなされていたものの、基本的には、それぞれの観測網が別々に独自のデータ処理を行っていた。また、データの公開性については、必ずしも十分な状態であるとは言えなかった。

兵庫県南部地震の後、このように非効率的な状態を改めるため、各大学や防災科研の地震観測データはすべてオンラインで気象庁に集められるようになり、1997（平成9）年10月からはこれらのデータを統一的に処理して震源決定等を行う、いわゆる「一元化処理」が開始された。その後新設されたHi-net観測点のデータもこれに加わり、現在では全国で発生するM1.0以上の地震が年間10万個近く検知されるようになっている。なお、2002（平成14）年6月には図3に示した全国的なデータ流通の枠組みが完成し、旧来の地震観測点も含め、気象庁、大学、防災科研の有する地震観測データがすべてリアルタイムで交換され、お互いに使い合える状態となった。2004（平成16）年3月現在、データ流通の対象となっている各機関の地震観測点数は、協力機関を含めて表1のようになっており、その総数は1,300を超えている。

7. 地震予知連絡会・判定会・地震調査委員会

我が国では、1965年から開始された地震予知計画の中で1969年に「地震予知連絡会」が組織され、また東海地震説を契機として制定された「大規模地震対策特別措置法」に基づいて1979年に

「地震防災対策強化地域判定会」が発足した。さらに、阪神・淡路大震災を受けて制定された「地震防災対策特別措置法」によって地震調査研究推進本部が誕生し、この中の「地震調査委員会」が地震活動の現状評価等を行うようになった(図9)。

地震予知連、判定会、地震調査委員会は、それぞれの目的をもって資料検討などの活動を今も続けているが、これらの関係はよくわからないとい

う声が多い。歴史的には予知連、判定会、地震調査委員会の順番で出来てきたため、知名度の順はこれと同じであろうが、行政側から見た“権威”としては、この順がまったく逆になっている。地震調査委員会は行政に直結しており、判定会は東海地震に特化した役割を持っているのに対し、予知連は単なる私的諮問機関のひとつにすぎないという位置付けである。

表1 データ流通の対象となっている各機関の高度度地震観測点数(平成16年3月現在)

北海道大学	48	気象庁	198
弘前大学	4	防災科研	754
東北大学	36	産総研	12
東京大学	129	国土地理院	2
名古屋大学	22		
京都大学	48	青森県	5
高知大学	8	東京都	23
九州大学	16	神奈川県	14
鹿児島大学	10	静岡県	1
大学計	321	総計	1,330

7.1 地震予知連絡会

地震予知連絡会は、当時の文部省測地学審議会から関係各大臣に建議された「地震予知の推進に関する計画の実施について」(第2次地震予知計画:昭和43年7月18日)の中で、「各分担機関の情報交換を常時行うとともに、それら情報の総合的判断を行うため、地震予知に関する連絡会を設ける」との指摘を受けて、1969(昭和44)年4月、国土地理院長の私的諮問機関として発足した。

このような組織を作るきっかけとなったのは、第1次地震予知計画が開始された1965(昭和40)

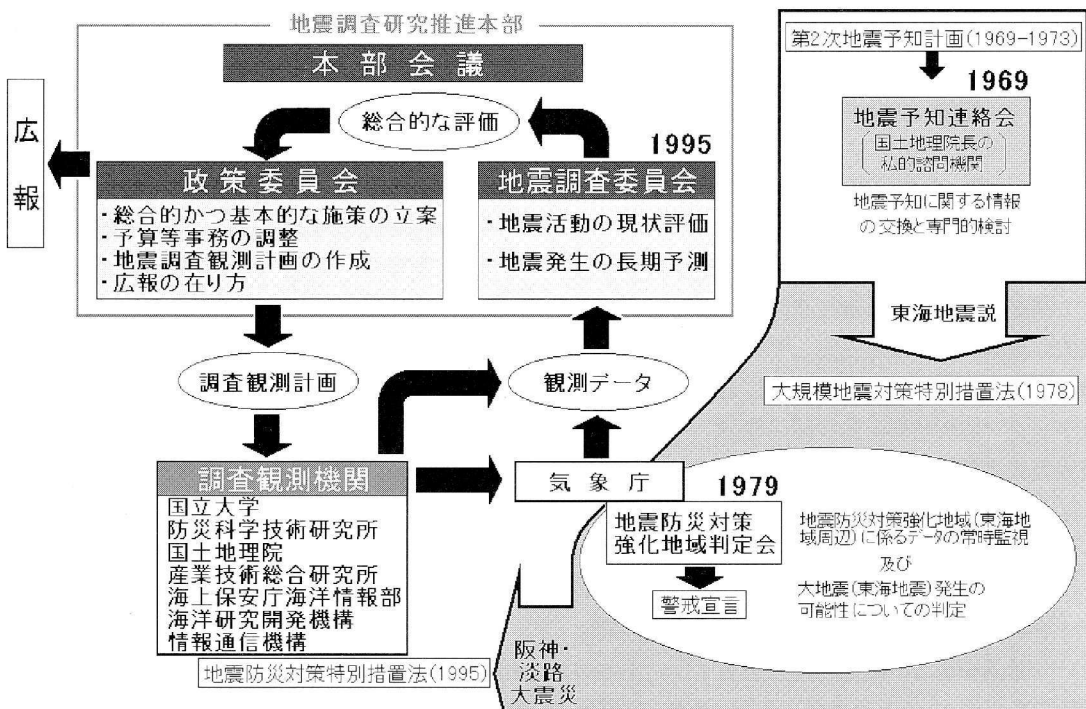


図9 我が国の地震調査観測体制

年の8月に勃発した松代群発地震である。地震の長期化により、社会不安や混乱を避けることが課題となり、1966（昭和41）年4月25日には「北信地域地殻活動情報連絡会」が生まれ、資料の検討と統一見解の発表がなされるようになった。この時の経験が地震予知連絡会のような組織の必要性を認識させ、第2次地震予知計画の開始とともに発足したものである。

地震予知連絡会（現会長：大竹政和氏）は大学や関係機関からの委員30人からなり、これに事務局である国土地理院の院長および職員が加わって、年に4回の定例会合が開かれている。その任務は、当初、①地震予知に関する情報交換と②その情報に基づく地震予知に関する総合的判断とされ、30年間にわたって活動が続けられてきた。しかし、1995（平成7）年に地震調査研究推進本部が発足し、地震調査委員会が地震に関する資料の分析とこれに基づく総合的評価を開始したことから、地震予知連絡会が任務のひとつとしていた②の総合的判断は行わないこととなった。現在は、これに代わって、②地震予知に関する学術的な検討がその任務となっている。運営の形態も、全国の地震活動や地殻変動などについての資料検討と意見交換に加え、最近では毎回トピックスを決めて招待講演者に話題提供を求め、議論を深める努力がなされている。

このように、地震予知に関する学術的情報及び意見交換の場として地震予知連絡会は今も活動を続けているが、その性格は一口で言えば「勉強会」に近い。しかし、地震調査委員会が行う地震に関する総合的評価や、地震防災対策強化地域判定会が行う地震前兆現象の評価に対して、判断に必要な拠り所を提供するという点で予知連は大きな役割を果たしている。また、地震調査委員会や判定会の評価は行政の一環として行われるため短時間で結論を出す必要があるのに対し、地震予知連絡会は学術的に深い議論を十分に行うことができるという点に、その特徴がある。

7.2 地震防災対策強化地域判定会

「東海地震」説の高まりを背景として、測地学審

議会の建議「第3次地震予知計画の再度一部見直しについて」（昭和51年12月17日）では、「東海地域における連続観測データの集中と常時監視に対応し、判定を行う組織を早急に整備すべきである」との指摘がなされた。これを受けた当面の臨時的措置として、1977（昭和52）年4月18日、地震予知連絡会に「東海地域判定会」が置かれ、24時間監視のできる気象庁がその事務局を務めることとなった。

次いで、1978（昭和53）年6月15日には「大規模地震対策特別措置法」が成立、12月14日には施行され、翌54年8月7日に東海地域が地震防災対策強化地域に指定された。これを受けて、同日、地震予知連絡会の「東海地域判定会」は廃止され、気象庁に「地震防災対策強化地域判定会」が発足した。

地震防災対策強化地域判定会（現会長：溝上恵氏）は6名の学識経験者からなり、これに事務局である気象庁の長官と職員、および説明員として防災科研、国土地理院、産総研活断層研究センターから各1名が加わり、毎月1回、定例の委員打ち合わせ会が開かれている。その任務は、強化地域に係る大規模な地震の発生のおそれについての判定を行うとともに、これに必要な調査検討を行うこととされ、東海地域周辺の地震や地殻変動などの状況を平時から把握する努力が続けられている。このように判定会は、現在「大規模地震対策特別措置法」の唯一の対象となっている「東海地震」に限定・特化した仕事を継続中である。

7.3 地震調査委員会

阪神・淡路大震災を受けて1995（平成7）年6月に成立した「地震防災対策特別措置法」に基づき、同年7月18日、「政策委員会」と「地震調査委員会」の2本柱からなる「地震調査研究推進本部」が発足した。同本部は、これまで地震に関する調査研究の成果が国民や防災を担当する機関に十分に伝達され活用される体制になっていなかったという反省を踏まえ、行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、これを一元的に推進する政府の特別機関という位置

づけになっている。

このため、毎月定期的で開催される「地震調査委員会」では、関係各機関から収集した調査結果等を整理・分析して地震活動を総合的に評価すると同時に、その結果を広く公表し、国や都道府県等の防災対策に役立てることが重要な役目とされている。なお、被害地震が発生した場合や顕著な地殻活動があった場合には臨時会議を開催し、地震活動の現状や余震の発生確率等についての評価を行っている。さらに、全国の主要な活断層や海溝型地震の発生可能性の評価や、それによってもたらされる強震動の評価も地震調査委員会の大切な役目である。

地震調査委員会（現委員長：津村建四朗氏）は大学や関係機関からの委員14人から構成され、これに事務局である文部科学省地震・防災研究課の課長と職員が加わっているが、委員の中には地震予知連絡会や地震防災対策強化地域判定会の委員を兼ねている者も多く、地震関係者の多忙を招く一因となっていることは否めない。

参考文献

- 粟田泰夫（2004）活断層の長期評価を読み解く，地震ジャーナル，37，6-12.
- 藤原広行（2002）地震動予測地図，地震ジャーナル，34，1-8.
- 原田昇左右（1995）日本を地震から守る—新しい地震防災対策—，山海堂，244pp.
- 地震予知計画研究グループ（1962）地震予知—現状とその推進計画，32pp.
- Kinoshita, S. (1998) Kyoshin-net (K-NET), Seism. Res. Lett., 69, 309-332.
- 国土地理院 GEONET グループ（2004）GPS 連続観測システム“GEONET”とその展望，測地学会誌，50，53-65.
- 小原一成（2002）西南日本で発見された深部低周波微動，地震ジャーナル，33，18-26.
- 岡田義光（2001）K-NET, Hi-net, KiK-net, FREESIA, 地震ジャーナル，32，25-28.
- 横田 崇・上垣内修・加藤孝志（2002）『ナウキャスト地震情報』の実用化に向けて，地震ジャーナル，34，41-49.

東海・東南海・南海地震の予知

安藤雅孝

1. はじめに

「東海地震は予知が可能であり、現段階では東海地震以外の地震は予知できない」としばしば言われている。このような前提で東海地震防災対策は、予知に力点を置くという弊害が生ずると共に、他の地震は予知できないとの問題ある結論に到達する。小論では、日本の地震防災と予知研究にとって、東海地震予知計画の軌道修正が必要であることを述べたい。

2. 大震法と現在の予知体制

「東海地震」が大きな社会問題として取り上げられ始めたのは、1976年地震学会秋期大会で、石橋克彦氏が駿河湾付近は地震空白域であると指摘してからである。さらに、1978年1月15日の伊豆大島近海地震は、地震災害の恐ろしさを見せつけたものであった。この地震の直後、政府は東海地震の予知を前提とした大規模地震対策特別措置法（大震法）をまとめ国会へ提出した。国会会議録から、当時の動きを探ることができる。大震法は、1978年2月17日政府案が発表され、衆議院災害対策特別委員会に提出され、6月15日に定常国会で可決されるまで、十数回にわたり審議が行われている。

この間、参考人として、萩原尊禮氏、浅田敏氏、宇津徳治氏、鈴木次郎氏、松田時彦氏などの研究者、また、末広重二気象庁参事官（当時）などが政府側説明員として数回にわたり質疑応答に出席し、地震予知に関して意見を述べている。また、この法律が施行される同年12月直前の10月には、宇津徳治氏、茂木清夫氏が参考人として地震

予知について災害特別委員会で述べている。これらの意見を通して、当時の地震予知に関する研究者側の考えをまとめると以下のとおりである。

- 1) 地震現象は複雑でまだ解明できていないことが多い。
- 2) しかし、マグニチュード8程度の巨大地震は前兆現象が現れる可能性が高い。
- 3) 観測体制を充実すればこれらを捉えることができるだろう。
- 4) 東海地震は地震空白域である。
- 5) 集約して監視すれば異常は捉えられる可能性が高い。
- 6) 中国の海城地震の予知の成功は、日本での可能性を示唆する。

研究者の反対を押し切って、「政治家が暴走して大震法をつくりあげた」と言われることがあるが、これらの議事録を読んでみると、そうとばかりとは言えない。少なくとも、学者は大震法に反対とは言っていないし、マグニチュード8の地震に対しては、何らかの前兆的シグナルが現れ、それが予知に結びつくと楽観的意見が随所に見られる。

1978年4月13日衆議院災害対策特別委員会では、下記のような参考人との質疑応答がある。

津川議員：（前略）この法律で、前提として警戒宣言が発動されるそういう学的根拠があるならば国民は安心できるが、もし学的根拠がないのを、行政が先になって、警戒の方の防災が先だといって、国民にもう防災の予知ができるのだという感じを与えると、その方が被害が大きいんじゃないか。そこで、国民にいまの学的、予知的現状をお知らせ願うという形で質問を繰り返しているわけですが、ここで、普通の研究でなく高度の研究を積み重ねなければならない、

こういう意味合いというのは、中身を少しお話しただいて、私たちまた、行政として、政府にこれを要求する立場の材料にもさせていたいただきたいと思っているわけでありませぬ。

鈴木次郎参考人：(前略) 恐らく常識的に考えれば、多くの場合、その(東海地震)程度のものであったら、現在の東海のもの、あるいはこれから計画しております東海の観測というようなものを続けていくなれば、そういうもの(前兆現象)はひっかかる確率が相当大きいだろうと思っているわけです。そういたしますと、そういうものがもしもひっかった場合に、だれが見てもこれはおかしいということが起きた場合に、対策なり何なりが何も準備されておられませんと、これは大変なことになります。ある方のお説に、全然対策がなしに予知をするということは予知をしないより悪い、ということ言われた方がございますが、まさにそういうことになると思います。そういたしますと、やはり予知が可能であろう、あるいは可能になった場合のことを考えて、いろいろ対策というものを考えておく必要は十分あるのではないかとこのように考えるわけでございます。

鈴木次郎氏の意見は、現在の東海地震予知体制で引き継がれており当時の地震研究者の平均的な考えを示すものと思われる。したがって研究者側は法律の中身にはタッチしていないものの、研究者と行政、立法がある意味での合意の基で成立させた時代の産物だったのではないだろうか。

したがって、もし大震法が科学的な見地から問題ありとするならば、その声を研究者側から挙げるべきであつたらう。しかし残念ながら、その最も基本となりうる地震予知研究についての建議には、大震法への批判はまったく書かれていない。

3. 東海地震のみが予知可能

「平成16年1月5日から東海地震情報が新しくなりました。東海地震は唯一予知可能な地震といわれ、警戒宣言よりもある程度事前に異常について説明できると考えられることから、より早くお

知らせできるような情報体系が変わりました。」これは、東海地方のある市の消防防災局の東海地震に関するホームページのメッセージである。そこには、①東海地震は予知可能である、②東海地震だけが予知可能である、③最近はさらに詳しい予知情報が公表できることになった、との考えが示されている。もちろん、自治体や企業は、国の方針に従っているに過ぎない。この市は特別ではなく、ほとんどの自治体や企業がほぼ同じような表現を用いている。

地震調査研究推進本部報告「地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策」(1999年4月2日)にも、「時期、場所、規模という地震予知の3要素のうち、地震の起こる時期を、警報を出せるほどの確かさで予知することは異常な地殻の変動等の現象が現れた場合に予知できるとされている「東海地震」を除き、現在の科学技術の水準では一般的に困難である。」と記されている。ここにも東海地震を特別な地震とする考えがある。

東海地震が特別な地震だと言われるのはなぜだろうか。大震法が制定された1978年には、東海地震以外の地震の予知ができない、との認識はなかった。東海地震説が提唱された後に出された第4次地震予知建議から第7次建議までは、東海地震のみが予知可能であるとはどこにも書かれていない。かなり踏み込んだ東海地震の予知に関しての考えが、第7次地震予知計画のレビューに示されている(*脚注)。しかし、奇妙なことに、このレビューを受けてまとめられたはずの第8次地震予知計画に相当する「地震予知のための新たな観測研究計画の推進について」の建議においては、この考えはまったく反映されていない。そこには、「東海地域は、プレート間カップリング域が陸地の下にまで及び、震源域とその周辺の状態変化を陸域の観測網でも捉えることができる特殊な条件下にある。」これを生かして、大学と関係機関は協力して、地震発生域周辺の応力と強度の空間的・時間的变化、特に地震発生に向けてのプレート間固着域の変化と地震発生直前の前駆的变化の

捕捉を目指す」と書かれている。ここでは、「東海地震は陸域の下にまで及び」観測がしやすいから前駆現象を捉えられる、と述べている。つまり、観測ができるから地震予知が可能であるとの考えが示されているに過ぎない。

4. 地震予知可能の3条件

気象庁の東海地震に関するホームページには、東海地震予知の明確な根拠を与えている。「東海地震については、①前兆現象を伴う可能性が高いこと、②前兆現象を捉えるための観測・監視体制が震源域直上に整備されていること、③捉えられた異常な現象が前兆現象であるか否かを判断するための、「前兆すべりモデル」に基づく基準があることから、予知の可能性が高いと考えられています。逆にいうと、その他一般の地震は①～③の条件を満たさないので、予知は困難と考えられています。」

そこで、東海地震についての、気象庁の地震予知に関する3条件について筆者の意見を述べたい。ここでは、東海地震と同じように、南海トラフに起こる東南海・南海地震と比較しながら議論を進める。

条件①「東海地震では前兆現象が現れる可能性が高い」は、1944年東南海地震発生直前に起きた掛川での水準測量を指しているものならば、なぜ東南海地震断層の端から50km、震源から200kmも離れた地点で、前兆現象が現れたと判断したのだろうか。これは、条件②「震源直上で観測ができること」に矛盾するのではないか。それとも、①と②を同時に挙げていることは、掛川での水準測量とは別に、東海地震震源域は前兆現象が現れやすいと考えられる理由があるからだろうか。

もしあるならば、その説明が欲しいところである。

震源域直上で前兆現象が捉えられるとの考えは、例えば Matsu'ura et al. (1992) のように、震源核が断層面上で形成されるとの考えに基づいているのかもしれない。これは一つの制約条件となるかもしれない。しかし、菊池・山中による大地震の解析結果では、スロースリップ域と初期破壊域は必ずしも接していない。それならば、前駆のすべりを捉えるのは震源域の直上であるとは限らないだろう。しかも、中央防災会議が定めた想定震源域の半分は海域にあり、陸域下に震源域が比較的入り込んでいるか否かの相対的な問題に過ぎない。「東海地震だけは特別な地震」の理由はここにも見つからない。

また、仮に東海地震以外の震源域では観測が十分でないとするならば、他の震源域の観測・監視体制を整備すれば良いことになるだろう。現在の東海地震の直前予知は体積歪計にほぼ100%依存している。したがって、東南海・南海地震の予知ができない理由は、信頼できる体積歪計が海底に設置できないことに言い換えられるだろう。もし、それならば、海底での歪計の設置が可能になるような技術開発を行うことに向かうべきであろう。

条件③に関してはどうか。「予知の基準」は確かに東南海・南海地震に対しては、未だできていないことは確かである。しかし、観測情報、注意情報、予知情報の基準は、地震発生に至る過程に基づく基準と言い切れるのだろうか。じつは各観測点のノイズレベルに基づく基準ではないだろうか。それに、我々は、それほどまでに自然を理解したのだろうか。2003年の十勝沖地震に対して、東海地震の予知モデルを当てはめたら、前兆現象が現れてしかるべきであろう。しかし、実際

(*脚注) 将来発生するとされる東海地震の直前にも、東南海地震直前に水準測量で捕らえられたと考えられる程度の地殻変動が起こり、またその時間的経過が東南海地震直前に起こったと考えられているのと同じであった場合は、地殻変動の大きさから考えて、現在の観測網でそれを捕らえることは可能である。また、迅速に判定会が招集されて前兆と判断されるならば、地震発生前に警戒宣言が発令されることになるだろう。その意味で、「東海地震」の予知は可能である。しかし、前兆現象の複雑多岐性を考えると、同じ現象が「東海地震」で繰り返されるという保証は必ずしもない。地震に至る過程が上記と時間的経過が著しく異なる場合、或いは地殻変動の振幅が小さい場合、「東海地震」の予知は困難である。予知が可能となる割合はどの程度なのかとの疑問を生ずるが、残念ながら昭和19年(1944)東南海地震の事例のみからでは、予知が可能である場合の確率を推定することはできない。

には検出できるほどの前駆的すべりは現れなかった。極めて小さな破壊核が海底下に形成されたため陸域では観測できなかつたと説明されるかもしれない。しかし、それならば、陸域の観測ならば前駆すべりを捉える可能性が高いとの説明は根拠を失う。まだまだ未知の部分が多いのに、前兆現象の判断の基準が確立したと、なぜ言えるのだろうか。東海地震も、東南海地震も南海地震も分からない点では似たようなレベルにあるのではないか。現在の東海地震予知のモデルは、一つのモデルに過ぎないのではないか。

もちろん、予知のモデルは別にして、東海地域では長期間の観測により、個々の観測点のノイズレベルや観測機器の癖が明らかになった。これらの観測から、経験的な基準が作成しやすくなったことは間違いない。いきなり体積歪計を海底に設置しても、すぐに意味のあるデータや判断基準が作られるとは思えない。それならば、東南海・南海地震に対しても始めるべきである。今からでも遅くはない。

以上のように、気象庁ホームページに挙げてある予知可能の3条件に照らすと、東南海・南海地震の震源域において予知のための条件が満たされていないのは、体積歪計が海底に設置されていないこと、監視体制がないためであると述べるべきではないか。

5. 東南海地震前兆現象の問題点

東南海地震予知の重要な根拠は、茂木(1984)による水準測量の詳細な解析結果であろう。この結果、東南海地震前日と当日朝の測量で、続けて2カ所で測量差が4mmに達したとのことであった。鷺谷(1998)は東南海地震前後に行われた水準測量データ全体の観測手簿に基づきデータを再検討した。すべての観測手簿の読みとり値に対して水準測量の往復の差を求めた。鷺谷(1998)によると、東南海地震前後の往復差が4mmに達するのは4回あった。このうち1回は11月25日であるため、再測定した結果、-4.2mmと正常な値が得られた。もう1回が12月10日で、これも再

測定の結果、2.44mmと求められた。鷺谷も指摘しているように、残りの2回が地震発生の当日続けて起きたことは、前兆的傾斜変動の可能性も示唆するが、その他の時期に2回発生していることは、測量誤差とする可能性も否定できない。つまり判断できないとのことであった。

一方、掛川から御前崎にかけて水準測量が行われ、地震直前と地震後の改測結果から図1のような変動が得られている。これらはいつ起きたかは明らかでないが、少なくとも地震直前か直後に起きたものと考えられる。地殻変動は中央部が隆起するもので、潜在逆断層により説明可能である。

Ando(1975)はプレート境界面上のゆっくりとした動きと説明している。この種のすべりが地震の先駆的な現象として、Kato and Hirasawa(1998)などによりモデル化され、東海地震の地震予知モデルとされている。鷺谷(2004)によれば、観測値を説明するには、境界面上のすべり面の深さは10km程度にしないと、観測値は説明できないとしている。つまり、東南海地震直前のゆっくりとしたすべりをプレート境界上のすべりとするのは難しいと指摘している。巨大地震近傍の内陸断層が付随的に活動したのかもしれない。ここでの水準測量のデータが、プレート面上のすべりか否かを定める分解能があるかは今後の検討の課題として興味深い。

いずれにしても、掛川の水準測量から検出された地殻変動を基に、それを説明できるモデルを特化し、次にそのモデルに基づき予測をし、それから防災対策を組み立てるという手順を踏んでいると、一つが転げると次々と倒れかねない。しかし、2003年に出された中央防災会議がまとめた東海地震大綱でも、「予知されないこともありうる」という表現にとどまり、予知に大きく依存した防災対策を脱していない。これも「東海地震のみが地震予知の可能性がある」という大震法の流れから生じているためであろう。

6. 東南海・南海地震予知の可能性

東南海・南海地震の震源域は陸域に深く入り込

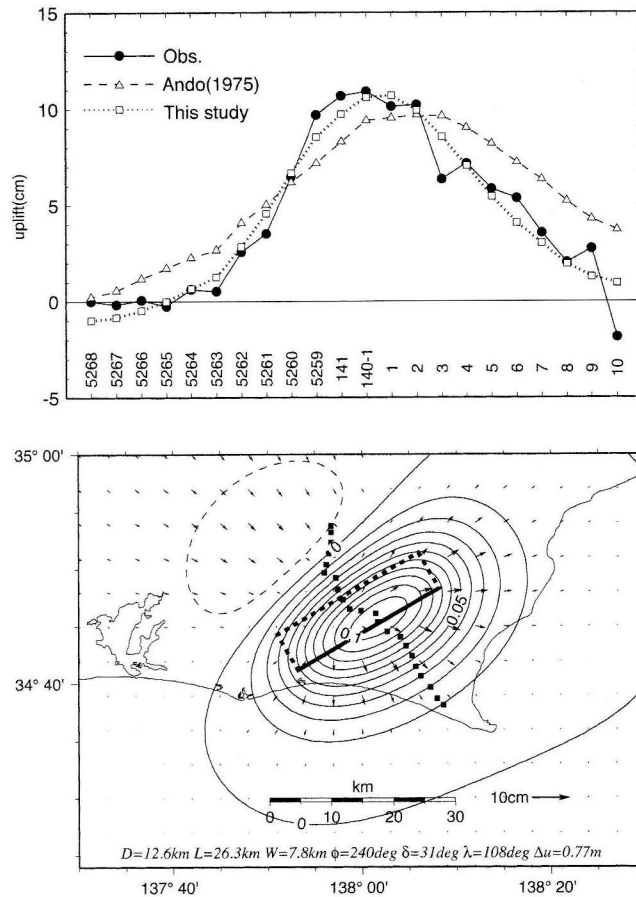


図 1 掛川から御前崎にかけて行われた 1944 年地震前後の水準測量により得られた中核変動。
●: 測量結果, ○: 鷺谷 (2004) のモデル, △: Ando (1975) のモデル m による変動。

んでおり、陸上の観測からも監視が可能かもしれない。たとえば、南海トラフの地震に関しては低周波地震の発見もその例であろう。さらに低周波地震とスロースリップが連動していることも見つけられている。このように、東南海地震や南海地震の震源域は、地震間の動きを敏感に反映する固着域の先端や遷移帯は、陸域に深く入り込んでいることがわかる。もちろん、これらのセグメントのほとんどは海域にある。したがって、東海地震の震源に比べ、陸域での観測には不利な点が多いのは否めない。しかし、最近、海域での観測技術も急速に進んでおり、海底地殻変動の観測精度は飛躍的な向上をとげている。海底での観測を今後さらに高めることが必要である。このように、東南海・南海地震地域も、現在、想定東海地震域で

行われているような観測体制は十分に敷けるはずである。

観測を他の地域や海域に広げると、予算が膨らみ対応ができないのならば、そのように国民に説明すべきだろう。例えば、現在持ちうる資源を有効に生かすためには、発生確率の高いと考えられる東海地震に観測を集中すべきで、東南海・南海地震の震源域にまでは手は広げられない、と説明すべきである。「唯一予知可能」などの神秘的な理由で、東海地震を別格にすることは許されないのではないか。

7. 地震予知と防災

掛川での測量データが、東海地震の実用に結び

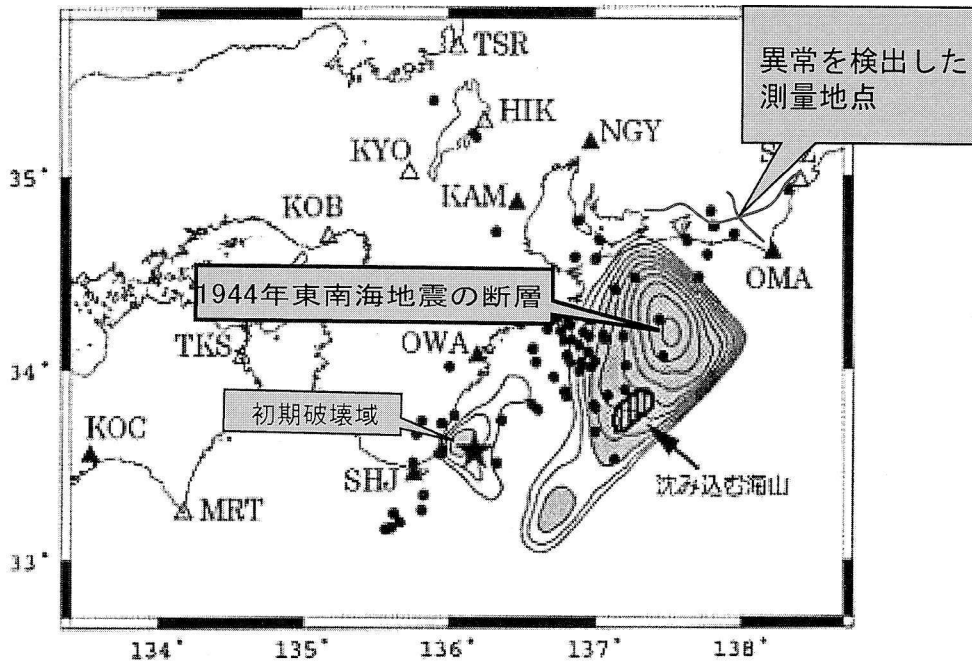


図 2 1944年東南海地震の震源と地震前に行われていた水準測量の路線、および地震直前の測量を行っていた位置。

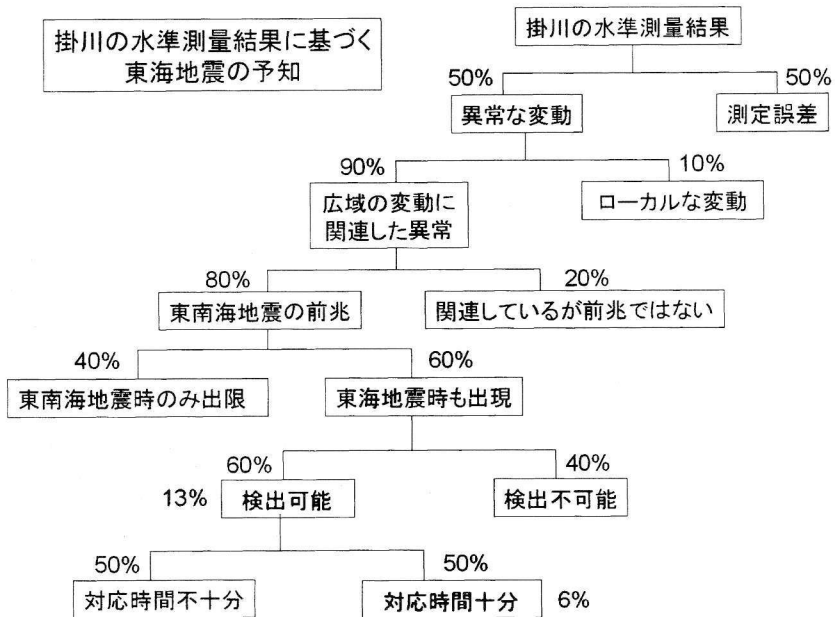


図 3 掛川の異常な測量結果に基づく東海地震の予知の実用性に関する一考察。

つくとしたら、それはどの程度の割合かを推定してみたい(図3)。まず、この測量結果が測定誤差か否かは判断できないとのことであるから(鷺谷, 2004), 地殻変動であったとする確率は50%とする。さらに、この変動が東南海地震となんらかの関連を持つ確率は90%と高く判断する。何か他の原因で動いた可能性は低いと考える。先に述べたように、鷺谷(2004)は、変動のパターンが短波長のため、プレート上面のすべりとは説明できないと指摘しているが、何らかの関連はあり得ると判断し、大きな確率を与える。かつ、この現象は東南海地震では常に先駆現象になっている確率を80%と高く設定する。このような先駆現象は東南海地震の際に出現したが、東海地震の際にも出現するかは第7次地震予知計画のレビューでも指摘しているように不明であるので、東海地震に現れる確率は60%とここでは下げる。そして、異常地殻変動を観測してから地震発生までの時間が十分にあるか否かを、半分ずつの確率とする。もちろん、このような推定に問題ありとの指摘はいくらでもあると思う。掛川の異常な測量の結果を、実用的な地震予知に結びつける、とその割合は低いのか高いのかの極めて荒い推定とだけ思っただけであれば良いと思う。可能性としては、6%との確率となる。

いずれにしても、最終的な確率はかなり低くなることは間違いない。ここでは予知は可能であるようにと、かなり甘い見積りをしているものの、6%にしか過ぎない。されど6%は防災上は大いに注目しなければいけないと思われる。つまり、予知に向けた観測や監視体制を継続して行う価値は十分ある。大震法の問題は多く議論されてきたが、プラスの面を捉えれば、地震防災を進める牽引車になったことは間違いない。

しかし、不意打ちを受ける確率は断然高い。地震防災はここに重点を置いた対策が一番重要ではなくである。各自自治体とも東海地震予知に関して、観測情報、注意情報、予知情報などに対する対応は、機敏に行っている。しかし、不意打ちに備えている自治体の割合は低い。東海地方では地震対策強化地域に指定されてからは、「注意情報が出

て鉄道が止まり、帰宅困難者が出たときの費用は誰が負担するかなど」後からやるべきことになりかなり熱心に取り組んでいた。これは、国の方針が予知なしの防災にしっかりと向いていないために起きた現象であったと思われる。

8. 研究は大胆に、防災へは慎重に

日本は世界で最も地震が多く発生し、かつ人口密度の高い先進国の中では、日本が唯一の地震多発国である。地震予知の研究は、この先も息の長い基礎的な研究が必要である。地震予知研究は、あくまでも基礎的な段階であることをはっきり伝え、今後とも息長く研究計画を進めるべきである。東海地震が予知可能で、他の地震は予知できないとすることは、最初から可能性を絶っていると言わざるを得ない。現在は、前兆現象としての電磁気の異常に関する研究はほとんどされていない。信頼されるデータが得られ難いためである。しかし、現段階において誰しも納得するような手法やデータは得られていない。難しい地震予知の問題を解決できないだろうか。分からないことに挑戦するときは、分野も広く、新しい考えを取り入れる必要がある。

しかしながら、このようにして得られた地震予知の知見は、防災に直ちに適用するには慎重にすべきである。たとえば、9月1日の防災の日に毎年繰り上げられる東海地震予知のパフォーマンスは、行き過ぎだけでなく、誤った予知の実情を知らせることになっている。むしろ、突然襲ってくる地震にどのように対応するのが大切なはずである。予知された場合の対応は、その応用問題としてできるはずである。

参考文献

- Ando, M., 1975, Possibility of a major earthquake in the Tokai district, Japan and its pre-estimated seismotectonic effects, *Tectonophysics*, 25, 69-85.
藤田雅之, 石川直之, 佐藤まりこ, 片山真人, 富山真一, 矢吹哲一郎, 浅田 昭, 2004, 海溝陸における海底地

- 殻変動観測—宮城県沖海底基準点の観測結果, 日本地震学会講演予稿集, 秋期大会, C23.
- Kato, N. and T. Hirasawa, 1998, A model for possible crustal deformation prior to a coming large interplate earthquake in the Tokai district, central Japan, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 89, 1401-1417.
- 川辺岩夫, 1991, 地震に伴う地下水, *地球化学現象, 地震* 2, 44, 341-364.
- Matsu'ura, M., Kataoka, H., and Shibasaki, B., 1992, Slip-dependent friction law and nucleation processes in earthquake rupture, *Tectonophysics* 211, 135-148.
- 茂木清夫, 1982, 日本の地震予知, 257-269, サイエンス社.
- Obara, K., 2002, Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, *Science*, 296, 1679-1681.
- 小原一成・廣瀬 仁, 2004, 豊後水道付近のスロースリップイベントと深部周波微動, *地震予知連絡会会報*, 71, 671-679.
- Sagiya, T., 1998, Crustal movements as earthquake precursors—Leveling anomaly before the 1944 Tonankai earthquake revised—, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, 44, 23-36.
- 鷺谷 威, 2004, 1944年東南海地震の前兆的地殻変動再考, *月刊飛球*, 305, 746-753.

「稲むらの火」

— 忘れないだけでは津波災害は防げない —

1854年安政南海地震津波の際、紀州広村（現・和歌山県広川町）で起こった出来事と1896年三陸地震津波をヒントに、ラフカディオ・ハーン（小泉八雲）は、献身的な活動で村人を津波から救った感動的な物語、「A Living God」を創作した。これは後に、地元の小学校教員中非常蔵によって教材化され、「稲むらの火」という題で国語読本に採択され、1932年から約10年間小学校で教えられた。これによって、津波災害の恐ろしさと機敏な避難行動の大切さをこれを学んだ児童の脳裏に刻みこんだ。この経緯は、物語や教材の原文とともに、本誌（12号、1991年）でも以前解説した。この中で、実話の舞台である広村では、1946年昭和南海地震津波の際には、実話の主人公浜口梧陵が私財を投じて築いた広村堤防に護られて街並みは小被害にとどまったにもかかわらず、死者22名という大きな人的被害を出したことを、筆者の体験も交えて紹介した。

その後、この惨事の翌年に、今村明恒が、「昭和の南海道大地震津波につき広村の人々に寄す」という文書を村に送り、それが広町発行の小冊子「和歌山県広町津波略史と防災施設」（1952）に収録されていることを知った。これは今村の南海地震の予知と防災への取り組みと、それらがほとんど効果を挙げ得なかった経緯を自身で総括された重要な文書であるが、あまり知られていないので、以下に広村に関する部分を中心に紹介する。

「……かくて余が後援者の下に払った十数万円の研究費も、18年間の努力も、無為に終わったようであるが、併し全くの水の泡であったとは思っていない。余は府県別町村別将た港灣別

に、宝永安政両度の震火波の三災を調べ上げ、将来の変異を災禍たらしめないよう、当局に進言し勧誘していたのである。成果が期待ほどに挙がらなかったのは、余の微力に由ることというまでもないが、従来吾が国民の災害予防に対する関心の薄かったことも指摘せざるを得ない。

南紀の広村についてもそうである。浜口梧陵心尽くしの防波堤も、二ヶ所の切り通しの為にその実効の薄らぐのを惜しみ、せめて鉄扉の働きだけでも有効にしたいと考え、村役場に突如闖入して其の付け替え方を薦めたこともある。又防波堤の出現は、広川と江上川とを津波進入の主要な地帯となさしめ、従って津波の主力は逸早くこの地帯に沿うて進入するから、建造物を他に移すか、避難道路は之を避けて計画すべきである等の注意を、小学校の職員室においても陳述したことがある。特に耐久中学校の位置の危険なるは屢々県当局の注意を促し、余と同県出身たる（福元）学務部長に殊にこれを力説したこともあった。余は考えた。若し余が物した「稲むらの火の教え方に就て」という一編が、災害予防に関心をもつ人達に読まれたら波災は大いに軽減されるであろう。況や、この小編は浜口家の好意に依って、村には多数寄贈されたではないかと。然し事實は果たしてどうであつたらう。鉄扉はすらすら自動的に閉じたか。耐久中学校は如何。江上川には水難者は無かつたか。これらは今更余が問うまでもなく、村の人達が熟知している事実である。」（注：引用文は現代かなづかいに改めた。）

同村育ちの私の記憶では、戦時中にもかかわらず毎年の津波祭りは行われ、村人は津波のことを忘れていたわけではなかった。しかし、戦

中、戦後の混乱期でもあり、今村の助言は活かされていなかった。ほとんどが、「稲むらの火」のように、津波の前にはいったん潮が大きく引く、それを見定めて逃げればよいと思いついていた。地震直後、広村堤防の上には漁師たちが集まり、「潮に異常がないから津波は来ない」と話し合っていたという。実際には、津波は数十分後に顕著な引き潮を伴わずに押し寄せた。津波を目撃したり、押し寄せる不気味な音をきいてからの地元住民の避難は迅速で、津波に追われながらも死者は3名にとどまった。一方、今村が危険性を指摘していた江上川沿い（堤防外）では、紡績会社の社宅付近で18名、中学校構内で1名の犠牲者が出た。ここでは、立地条件の悪さに加え、津波についての知識のない他県出身者が多く、避難が遅れたからと言われている。なお、鉄扉は錆びついていて、近所の住民が掛け矢をふるってかろうじて閉じ、浸水は防がれた。

今村の文は、「凡そ天災は忘れたころに来ると言われている。併し忘れないだけで天災は防げるものでもなく、避けられるものでもない。要は、これを防備することである。」という言葉

で結ばれている。

近年、東南海地震・南海地震が今世紀前半にも発生する可能性が高いという認識が高まり、防災対策の強化が急がれている。一方、昨年来、震度5弱以上を観測した地震が何度か発生し、津波警報・注意報が発表されたこともあったが、海岸の住民や自治体の対応は必ずしも迅速・適切なものでなかった、「津波見物」に海岸に住民が集まるケースさえあったと伝えられている。これらに関連して、「稲むらの火」が防災意識の高揚に絶好の教材としてしばしば取り上げられている。筆者もそれは大変有意義であると考え、「稲むらの火のホームページ (<http://www.inamuranohi.jp>)」作りに協力したりしている。しかし、今村が指摘するように、ただ抽象的に「津波を忘れない」だけでは十分ではなく、津波と防災についての正しい知識を持ち、自助、共助、公助、それぞれの立場で、自らの問題として具体的な備えをしなければ、災害は防げないことを、昭和南海地震津波の広村の事例が象徴的に教えているように思われる。

(津村建四朗)

SMAC 型強震計

日本における強震動観測は SMAC 型強震計が開発され、第 1 号機が東京大学地震研究所に設置された 1953 (昭和 28) 年に始まる。以来、半世紀が経過したので、加速度強震計開発の歴史を振り返ってみたい。

SMAC 型強震計の開発

1948 年の福井地震は建築物や土木構造物に甚大な被害を与え、3,900 名近い死者を出すなど、1923 年関東地震以来の大震災となったが、被害地域での地震動データは得られなかった。

これを契機として強震計開発の必要性が認識され、高橋龍太郎教授を代表者、那須信治、萩原尊禮、河角広、金井清、武藤清 (建築学科) の諸先生と明石和彦氏 (明石製作所) を分担研究者として、「標準強震計の試作」の課題で 1951 年度文部省科研費を申請し (450 万円、査定 90 万円)、また武藤教授の尽力による建築関係予算 300 万円などにより「標準強震計試作試験研究委員会」が発足した。委員は竹山謙三郎、中川恭次研究員 (建築研究所) を加え 9 名であった。

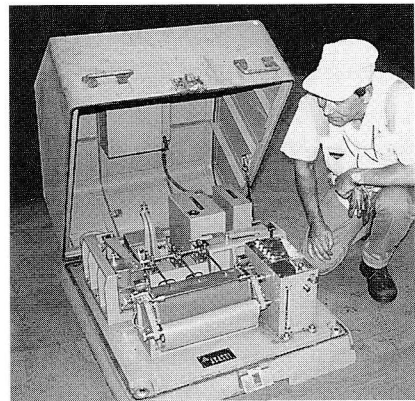
研究委員会では強震計の設計、試作および試験結果の検討が月 1 回以上のペースで精力的に行われた (1951 年 5 月-52 年 4 月、計 14 回)。

第 1 次試作器は小型の石本・萩原加速度計にゼンマイ式駆動器、機械式起動装置などを古い地震計部品を組み合わせて試行錯誤的に手作りされたもので、その図面を基に明石製作所が改良を加えて第 2 次試作器が作られ (1952 年 4 月)、建築研究所の大振動実験建物に設置して公開試験が行われた (1953 年 3 月)。写真は試験後に製品化された SMAC 型強震計を示す。

SMAC とは委員会の英語名 Strong Motion Accelerometer Committee の略で、仕様は、固有周期 0.1 秒、記録感度 25 gal/mm、最大記録加速度 1,000 gal である。記録には蠟引紙とサファイア針の引っ掻き記録方式が、駆動にはゼンマイ式駆動器、電気式スターター、タイムマークなどの電源には乾電池、さらに機械式スターター、強固な筐体、など作動の確実性と記録の確保、保守の容易さ、などに特別の工夫が施されている。

1964 年の新潟地震では、半地下室に設置されていた強震計が、地盤液状化の過程を示す完全な記録を残したので高い評価を得た。

この SMAC (-A) 型強震計は重量が 300 kg で、約 1 坪の設置面積を必要とした。そこで、建物内の設置を容易にするため、体積、重量を約 1/3 に小型軽量化した SMAC-B 型が作られ (1959 年)、以後の標準機種となった。



加速度強震計開発の経緯

福井地震の後にできた「北陸震災調査特別委員会」の工学系の最終会議で、構造物の被害状況から推定した地震動の強さや性質についての議論が収斂せず、最後に土木の沼田政矩教授が「これでは、地震の方に大地震の記録をとってもらわねば、どうにもならない」と締め括った。出席されていた金井先生がこの話を高橋先生に報告され、お二人で加速度強震計の構想を話し合われたのが開発研究のきっかけであったという。

一方、地震研究所の初代所長末広恭二教授の米国講演“Engineering Seismology” (1931-32) で、同年に発明された石本式加速度地震計の有用性を説き、加速度強震計の開発と地震多発地域への設置を奨励した。その結果、約半年後に USC & GS 標準強震計が開発され、南カリフォルニアの 4 か所に設置されて 1933 年ロングビーチ地震の被害地域で強震動の記録に成功した。

惜しくも、日本の加速度強震計の開発は約 20 年遅れたことになる。(田中貞二)

阪神・淡路大震災における木造建物の層破壊被害

堀江 啓

1. 「いのちを守る」ために

1995年阪神・淡路大震災では被害抑止力の向上を目指したハードな対策だけではなく、ソフト面を含めて被害軽減力の増進を図るための総合的な防災対策の必要性を痛感させられた。その教訓を活かし、災害発生前から発生後の復旧・復興までを視野に入れた防災戦略の確立と対策の実施を果たすべく今日まで様々な努力が続けられている。その防災戦略の第1目標として「いのちを守る」ことが挙げられる。地震時の人的被害の軽減を考えると、阪神・淡路大震災では、関連死者数913名を除いた5,520名の死者のうち、8割以上が家屋の倒壊に起因したと報告されている事実に着目すべきである。実際に著者らの研究グループ¹⁾が兵庫県西宮市を対象として建物被害と死者発生との関係を分析した結果によると、図1に示すように84.6%が建物内の生存空間が失われる「層破壊」という破壊パターンにより発生していたことが明らかにされている。したがって、人的被害の軽減を図るためには、まず、写真1のような家屋の「層破壊」を発生させない、次に万一発生した場合に備えて、逸早い救命・救助活動を行うなど

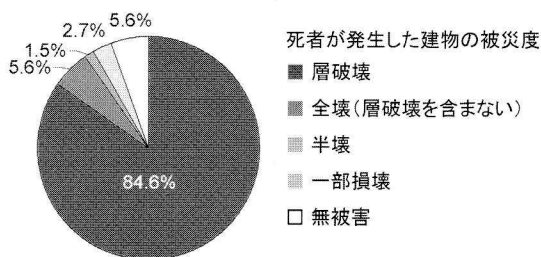


図1 死者の8割以上は層破壊した家屋に居住していた(西宮市の事例)

の対策を事前に準備することが必要となる。このような二段構えの対策を講じるためには、「層破壊」の発生機構を解明し、層破壊発生危険性が高い建物や地域を事前に精度良く予測・評価することは重要な課題である。

建物被害の発生を予測・評価するための比較的簡便な道具として建物被害関数がある。建物被害関数の構築に関する研究^(例えば2)-5)はこれまでにいくつか行われているが、「層破壊」に着目した研究は少ない。その理由として被害データの不足を挙げることができる。被害関数の多くは建物被害調査の結果から得られた被害データを基礎として統計的に求められる。しかし、これまでに実施された様々な被害調査における被災程度分類には「全壊」や「大破」といった記述はあっても「層破壊」は含まれていない。そのため、過去の地震災害では被害統計として集計されず、層破壊被害の発生実態は十分に明らかにされていない。

本報では、「いのちを守る」ための地震防災対策の推進に貢献することを目的として開発された木



写真1 1階が層破壊した家屋

造建物の「層破壊」を評価可能な損傷度別被害関数の概要を紹介する^{(6)~(8)}。これは阪神・淡路大震災における各種データを空間情報データベース上に一元化することにより明らかにされた層破壊被害分布を新たなレイヤーとしてデータベース上に重ね合わせて分析を行い構築されたものである。さらに、この被害関数について、詳細な建物情報データと3種類の解析手法により求められた地震動推定結果を用いて適用性を考察し、阪神・淡路

大震災における神戸市街地の層破壊発生棟数とその空間分布の推定を行った結果を報告する。

2. 被災事実の究明

2-1 阪神・淡路大震災 GIS データベース

被害関数の構築に必要な層破壊建物の発生実態を解明するために、兵庫県西宮市を対象として著者らのグループ⁽⁹⁾が開発した阪神・淡路大震災



図 2 阪神・淡路大震災 GIS データベース「西宮 Built Environment データベース」の構成

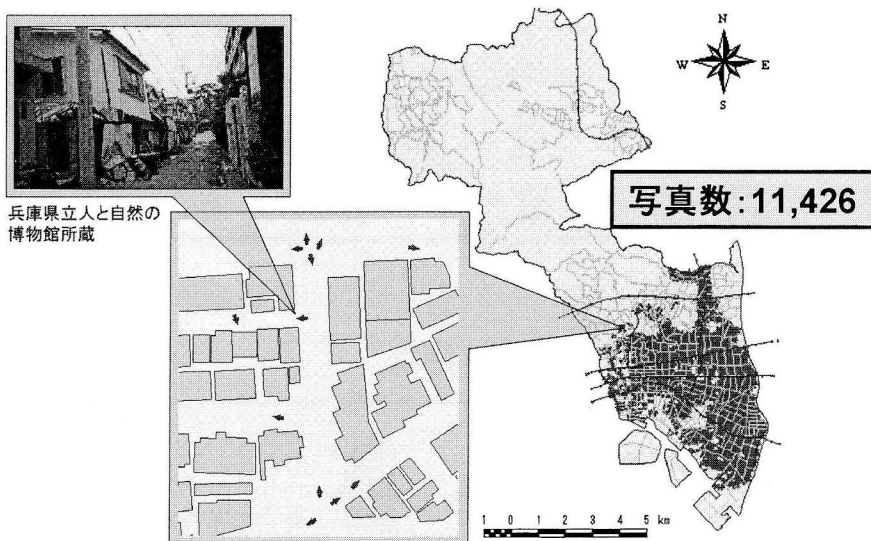


図 3 被害写真データ

GIS データベース「西宮 Built Environment データベース（以下、西宮 BEDB）」を活用した。図2に西宮 BEDB の構成概要を示す。西宮 BEDB には、被災者の生活再建を果たす上で最重要課題となる「すまい」を基本単位とし、建物1棟ごとに1) バルナラビリティ（都市情報、建物情報など）、2) ハザード（地震動など）、3) 被害（死者、建物被害など）、4) 事後対策（避難所、仮設住宅、公費解体など）のデータが相互参照可能な形式でリンクしている。

これらのデータのうち、建物情報データは、西宮市から提供されたものであり、用途、構造、階数、建築年、建築面積、延床面積などの詳細な情報が備わっている。また、本データベースのユニークな点は被害画像データとして、日本都市計画学会関西支部と日本建築学会近畿支部による調査¹⁰⁾（以下、二学会合同調査）の時に撮影された11,426枚の被害写真がデジタル化され、撮影位置とその方向が矢印として表現されたポイントデータとして記録されていることである。図3に被害

写真データの GIS 画面上の表示例を示す。

2-2 層破壊建物の同定

西宮 BEDB の被害写真データを用いて層破壊建物の同定を行った。層破壊建物は被害写真に撮影された26,075棟の建物について、(1)岡田、高井¹¹⁾により提案された被害パターンチャートに基づく被害分類、(2)航空写真を用いた被害判読、および(3)現地聞き取り調査による被害確認の3段階の手法により層破壊発生の有無を判別して同定した。なお、判別にあたり層破壊建物は図4に示す岡田、高井による被害パターンチャートのダメージグレード D5 以上と定義した。判別の結果、1,114棟を層破壊と判定した。図5に層破壊パターンの詳細を示す。2階建て建物の1階が層破壊するパターン（Gd5+、Gd5-）が最も多く、次に多い全ての層が破壊するパターン（Cd6+、Cd6-）と合わせると全体の89.1%を占めていた。

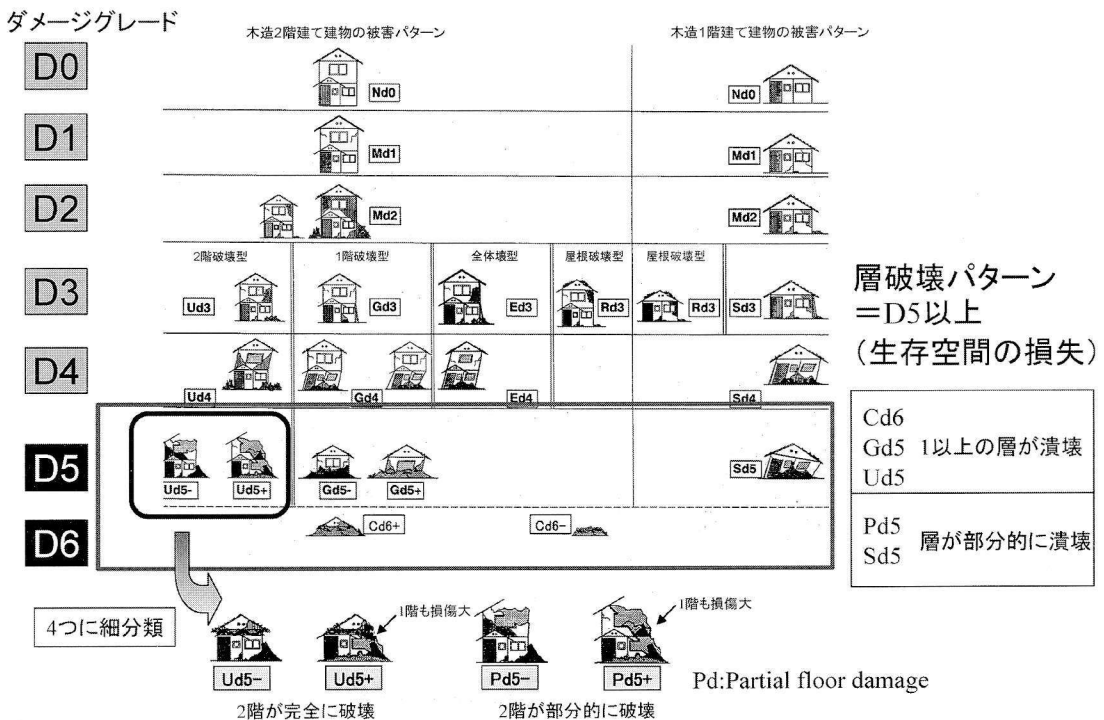


図4 木造用被害パターンチャート（岡田、高井¹¹⁾によるチャートに一部加筆）

3. 地震動強さ指標の設定

3-1 層破壊と地震動強さ

被害関数を構築する際の地震動強さの指標として、最大地表加速度 (PGA), 最大地表速度 (PGV), スペクトル強度 (SI) などが用いられている。そこで、層破壊被害がそれらの指標とどのような関係にあるかについて分析を行った⁷⁾。検討にあたり、図6に示す流れに従ってデータセットを作成した。ここで地震動分布の解析は Kohiyama et al.¹²⁾ が西宮 BEDB を用いて佐藤ら¹³⁾ の手法により西宮市南部地域を対象として地震動分

布シミュレーション解析^{注1)}を行った結果を用いた。最終的にはこの西宮市南部地域に設定した分析対象エリア内について、建物属性情報と写真データが付属する木造建物 11,908 棟をサンプルデータとして抽出した。

図7に a) PGA, b) PGV, c) SI の分布と層破壊が発生した建物の分布を示す。また、図8a)~c) に各地震動強さ指標-層破壊率関係を示す。各階級を代表するそれぞれの指標値は、階級に含まれる建物の平均値で表し、層破壊率は各階級に属する層破壊建物数を建物総数で除して算定している。図7の分布図および図8の相関係数を比較すると PGV および SI と層破壊率は良好な関係が

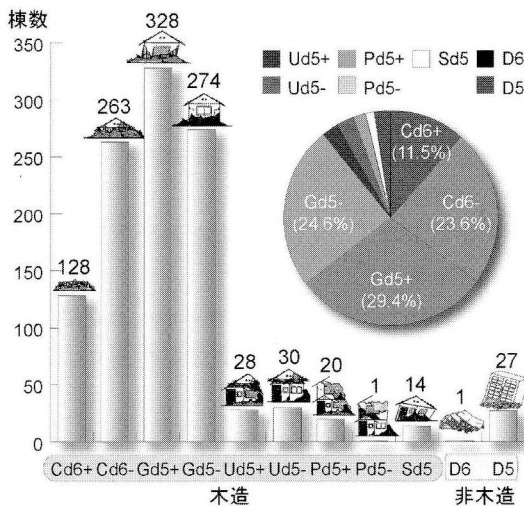


図5 層破壊建物の被害パターン

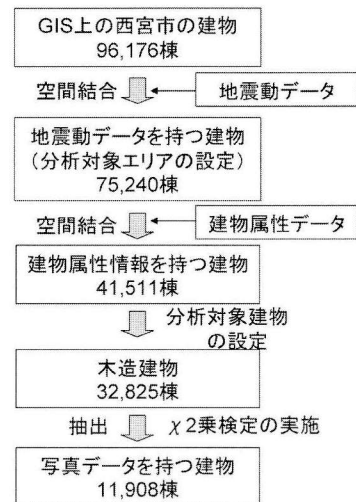


図6 データセット構築の流れ

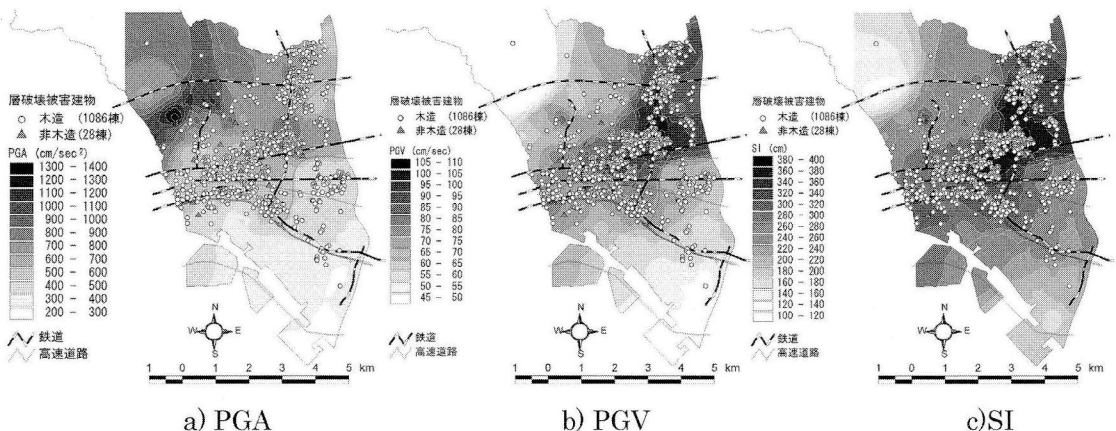


図7 地震動強さと層破壊建物の分布

得られ、これらの指標により層破壊の評価が可能と思われる。

4. 建築年代区分の設定

3-2 表層地盤震動特性の影響

表層地盤の地震動の周期特性が層破壊発生に与えた影響をみるために、SIの周期帯を短周期から長周期に分けて算定したSIとの対応について検討を行った。周期帯は3種類とし、 SI_S は0.1~0.3秒、 SI_M は0.3~1.0秒、 SI_L は1.0~2.5秒を積分範囲とした。図9に周期帯別のスペクトル強度と層破壊率の関係を示す。相関係数で比較すると、1.0~2.5秒の周期帯との対応が最も良い。

以上の検討結果より、層破壊被害との相関が高い周期帯を考慮したSIを用いることにより被害予測精度の向上が期待できる。しかし、SIを求めるためには、煩雑な地震動解析を必要とし、また、最適な周期帯を設定する際にどの周期帯が最も被害に影響を与え、その周期帯は建物の属性や被害程度にかかわらず一定であるかどうかについて今後の検討を必要とする。一方、PGVはSIに比較して簡便な手法で推定することが可能である。したがって、より汎用的な被害関数を構築するために、本報では地震動強さ指標としてPGVを採用することとした。

簡便に利用することが可能な被害関数を構築するためには、建物の耐震性を適切に考慮する必要がある。木造建物の場合には、壁量や耐震診断結果など、直接的に耐震性を評価した指標を用いることが理想であるが、建物内部の詳細調査が必要であり、とくに層破壊を対象とした場合、実際に層破壊した建物のこのような指標データを十分に得ることは困難である。そこで、著者ら⁶⁾は自治体が保有している建物情報に着目して層破壊被害との関係について分析を行い、以下の結論を得ている。

- 1) 建物種類：共同住宅（文化住宅を含む）、農家住宅の層破壊率が一戸建住宅、長屋建住宅、商工業施設などに比較して高い。
- 2) 建築年：古いほど層破壊率が高くなる傾向がある。
- 3) 建築面積：大きくなると層破壊率が高くなる傾向がある。
- 4) 建物形状：2階のボリュームが大きい総2階に近い形状の建物の層破壊率が高くなる傾向がある。

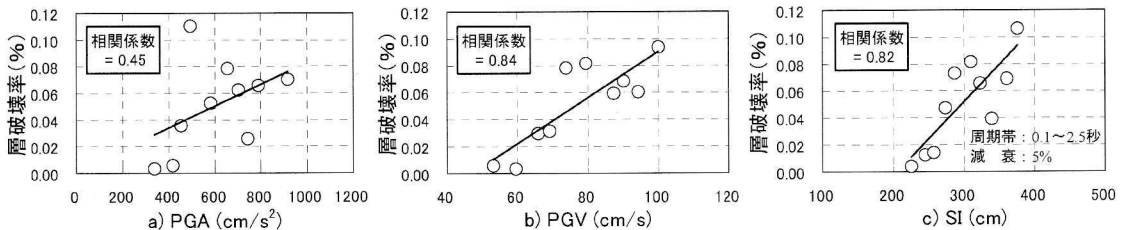


図8 地震動強さ指標と層破壊率の関係

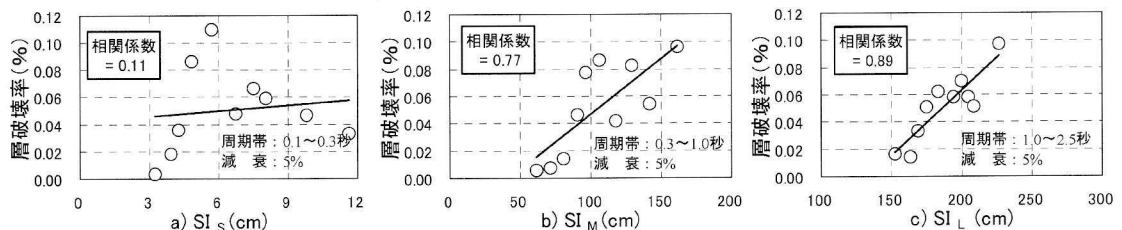


図9 表層地盤震動の周期特性と層破壊率の関係

表 1 建築年代区分の設定

建築年代区分	設定に考慮した事項
-1945	戦前・戦中期
1946-1955	戦後復興期. 1950年に建築基準法が公布されているが、この時期の建物棟数が少ないため区分することができない.
1956-1960	高度成長期前期. 社会的には1959年の皇太子様ご成婚により、テレビが爆発的に普及し、それまでのマスメディアの役割を大きく変容させた. テレビの普及によって全国的に画一化された情報提供が促進され、住宅に対する意識にも大きな影響を与えたと推測される、また、1959年 ^{注)} の建築基準法改正も考慮した.
1961-1964	高度成長期中期. 社会的には国家プロジェクトとしての1964年の東京オリンピック開催は、我が国の都市基盤整備を大きく促進させ、建設ラッシュを生んだ.
1965-1971	高度成長期後期. 社会的にはオイルショックによって低成長期へと移行するまでの間、関西圏での1970年の大阪万国博覧会の開催をはじめ、経済成長の影響が全国に拡大していったと考える. また、区分には1971年の建築基準法施行例改正も考慮した.
1972-1981	低成長期前期. 1981年の建築基準法施行例改正を考慮した. また、社会的には、1980年から、当時の建設省と通産省が推進した国家的事業として、高品質の住宅を低廉な価格で供給することを目的とした「ハウス55プロジェクト」がスタートしたことも考慮した.
1982-1994	低成長期後期.

注) 1959年の改正は12月23日から施行されており、1960年はその移行期となるため、1960年を区分境界に設定した.

5) 階数: 2階建ての方が1階建てより層破壊率が高くなる傾向がある.

6) 屋根種類: 瓦を使用している方が瓦以外を使用している場合よりも層破壊率が高い.

また、著者ら⁸⁾はこれらの影響因子がそれぞれの程度層破壊の発生に寄与していたのかを調べるために数量化Ⅱ類による検討を行っている. その結果、建築年が層破壊の発生に最も影響を与えていたことが明らかになった. そこで、建築年は建物の老朽化による性能低下や、時代の変遷に伴う新構法や新材料の開発・普及、建築基準や法規などの法制度の改正、あるいは住まい方に対するニーズの変化など、耐震性能に直接あるいは間接的に影響を与えるものであり耐震性を表す総合的な指標として用いることとした. ここで、建築年代区分の設定に関して、鈴木¹⁴⁾は住宅の変容の要因を、1) 外からの影響(社会的状況の変化、技術の発達、外来文化との接触)、2) 内からの要求(家族形態の変化、住要求・住意識の変化)、3) 計画の力(法的規制などの人為的な変革)の3種に分類し、第二次大戦後の住宅の変容過程を次の3期

に時代区分している.

- 1) 戦後復興期 (1945~1955年)
- 2) 高度成長期 (1955~1973年)
- 3) 低成長期 (1973年~)

したがって建築年代区分を考える場合、基本的には上記の区分に従い、建築法規の改正は、耐震性に関する住宅の変容を左右する一つの要因として捉え、表1に示す7区分を設定した.

5. 木造建物の損傷度別被害関数の構築

被害関数は、ある地震動強さ(x)に対して被害率 R 以上が発生する確率 $P_R(x)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 $\Phi(x)$ を用いて、対数正規分布で表せると仮定し、式(1)を用いて構築した.

$$P_R(x) = \Phi\{(\ln(x) - \lambda) / \xi\} \quad (1)$$

ここで、 λ , ξ は $\ln(x)$ の平均値および標準偏差であり、確率紙を用いた最小二乗法により求めた.

図10に建築年を考慮して構築したダメージグレードD5以上の層破壊被害関数を示す. 図をみ

ると、建築年が古くなるに従い、層破壊の発生率が高くなる傾向が見られるが、戦後復興期（1946-1955年）と高度成長期前期（1956-1960年）の関係が逆転している。これは、戦後復興期の建物は、

屋根材に瓦を使用する割合が下がり、2階建ての建設が減って相対的に平屋建ての建物が増えるなど特殊な建設事情にあった影響によるものである。

さらに、層破壊以外の損傷度を反映した被害関数として、ダメージグレード D1~D4 を評価可能な被害関数や建築年以外の建物属性を考慮した被害関数の開発を行っている¹⁵⁾。表2にそれらの関数の回帰係数一覧を示す。

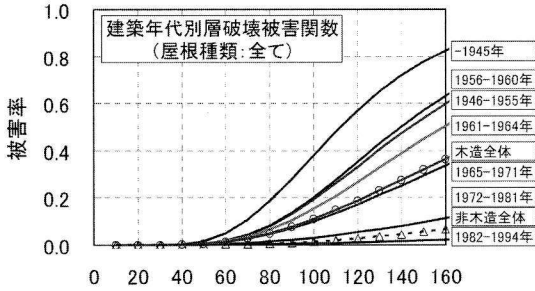


図 10 建築年代別層破壊被害関数

6. 神戸市街地の層破壊被害分布の推定

6-1 被害関数の適用性の検証

著者ら⁸⁾は構築した被害関数を西宮市に適用し

表 2 損傷度別被害関数の回帰係数一覧

用途	階数	屋根種	建築年代	PGV (cm/s)														
				D5 以上			D4 以上			D3 以上			D2 以上			D1 以上		
				λ	ζ	R^2	λ	ζ	R^2	λ	ζ	R^2	λ	ζ	R^2	λ	ζ	R^2
全体	全体	全体	全体	5.26	0.54	0.815	4.77	0.42	0.805	4.65	0.44	0.764	4.58	0.47	0.772	4.25	0.38	0.857
			-1945	4.72	0.38	0.879	4.36	0.30	0.906	4.23	0.31	0.903	4.10	0.35	0.901	3.88	0.31	0.901
			1946-1955	4.97	0.42	0.668	4.59	0.35	0.708	4.47	0.31	0.759	4.38	0.29	0.877	4.10	0.35	0.936
			1956-1960	4.94	0.40	0.747	4.52	0.38	0.814	4.40	0.36	0.809	4.35	0.34	0.807	4.09	0.30	0.901
			1961-1964	5.07	0.45	0.681	4.63	0.37	0.723	4.42	0.32	0.786	4.36	0.33	0.755	4.11	0.29	0.844
			1965-1971	5.31	0.55	0.607	4.72	0.35	0.693	4.58	0.37	0.641	4.51	0.38	0.663	4.18	0.31	0.852
			1972-1981	5.97	0.74	0.618	4.98	0.41	0.712	4.85	0.41	0.794	4.71	0.35	0.834	4.35	0.28	0.861
			1982-1994	7.36	1.14	0.634	6.23	0.90	0.875	5.96	0.88	0.608	5.23	0.54	0.804	4.63	0.37	0.811
		瓦	全体	5.21	0.53	0.829	4.72	0.41	0.820	4.59	0.42	0.772	4.52	0.45	0.771	4.19	0.35	0.863
			-1945	4.69	0.39	0.880	4.35	0.30	0.902	4.23	0.31	0.903	4.09	0.35	0.892	3.86	0.32	0.833
			1946-1955	4.83	0.37	0.785	4.58	0.35	0.682	4.39	0.31	0.788	4.24	0.29	0.811	4.08	0.23	0.878
			1956-1960	4.93	0.41	0.743	4.52	0.37	0.785	4.40	0.33	0.795	4.34	0.35	0.771	4.06	0.31	0.865
			1961-1964	5.03	0.45	0.678	4.64	0.37	0.787	4.44	0.31	0.779	4.37	0.32	0.771	4.09	0.27	0.845
			1965-1971	5.24	0.54	0.620	4.69	0.34	0.722	4.54	0.33	0.662	4.47	0.35	0.678	4.13	0.24	0.902
			1972-1981	5.62	0.54	0.673	5.03	0.45	0.663	4.85	0.42	0.772	4.70	0.36	0.813	4.33	0.28	0.844
1982-1994	6.52	0.81	0.797	5.73	0.67	0.882	5.52	0.65	0.590	5.30	0.63	0.703	4.50	0.32	0.916			
2階建	全体	全体	全体	5.23	0.52	0.784	4.77	0.43	0.794	4.65	0.45	0.739	4.57	0.47	0.740	4.25	0.37	0.837
	瓦	全体	全体	5.18	0.51	0.802	4.73	0.43	0.801	4.60	0.44	0.750	4.52	0.46	0.746	4.20	0.34	0.855
一戸建住宅	全体	全体	全体	5.30	0.53	0.790	4.80	0.43	0.787	4.68	0.44	0.742	4.61	0.47	0.752	4.27	0.36	0.856
共同住宅	全体	全体	全体	4.91	0.51	0.745	4.50	0.31	0.764	4.36	0.32	0.769	4.29	0.33	0.801	4.07	0.32	0.859

て良好な被災分布推定結果が得られることを確認し、西宮市における木造建物の層破壊被害数を2,748棟と推定している。この被害関数を用いて神戸市街地における木造建物の層破壊被害の推定を試みた。推定にあたり、西宮市を対象として構築した被害関数が神戸市において適用可能かどうか検討を行った。ここで、冒頭で述べたように層破壊に着目した調査資料は少ないが、村上ら¹⁶⁾は図11に示す神戸市東灘区西部地区を対象として倒壊建物の被害調査を実施しており、このエリアを検討対象地域とした。

村上らによる倒壊建物の定義は「1階部分の層崩壊、2階部分の層崩壊、全階層崩壊(瓦礫状態)」としている。この村上らによる「倒壊」と本報で定義する「層破壊」との対応を検討対象地域で撮影された被害写真を元に確認した。被害写真は東灘区全域で撮影された5,530枚について西宮BEDBの構築と同様の方法によりGISデータベース化したものを用いた。これらの写真と村上らによる調査結果の集計図から判読した木造倒壊建物1,187棟をGIS上で重ね合わせたところ、損傷度を確認することができた240棟の内、183棟(76.3%)はダメージグレードD5レベル以上であったが、他は大きな傾斜を生じているものの完全には潰れていなかったため、D4レベルと判定した。これより、本報では村上らによる倒壊数に0.763を乗じた906棟を検討地域の総層破壊数とみなした。

被害関数を用いて被害推定を行うためには、建物情報と地震動(PGV)が必要となる。建物情報は神戸市の保有データ^{注2)}を用いた。地震動は次の3種類の推定手法により求められた結果を使用した。

- a) 林ら³⁾による推定：地盤モデルに基づくFEM解析による地震動シミュレーションを行って、最大速度と建物被害との関係を導き、建物被害から逆算して被災地の広大な最大地動速度分布の推定を行ったもの。
- b) 阪神・淡路大震災記念協会¹⁷⁾による推定：断層の破壊過程を想定して基盤地震動を求め、それを工学的基盤面および地表面まで1次元増幅により地表面の地震動を求めたもの。
- c) 沖村ら¹⁸⁾による推定：松島、川瀬¹⁹⁾が震源モデルおよび三次元盆地構造モデルを組み合わせて計算した大阪層群上面における地震動を、浅層地盤の増幅特性を考慮するため構築した地盤モデルに入力して、1次元等価線形解析により地表面の地震動を求めたもの。

図11にc)沖村らにより計算されたPGVの分布図を併せて示す。

以上のデータを用いて、前掲の図10の建築年のみを考慮した層破壊被害関数により、対象地域の層破壊数を推定した。図12a)~c)に各地震動

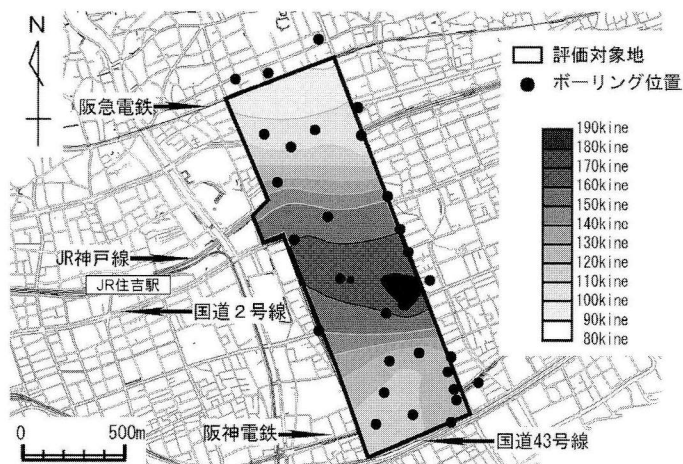
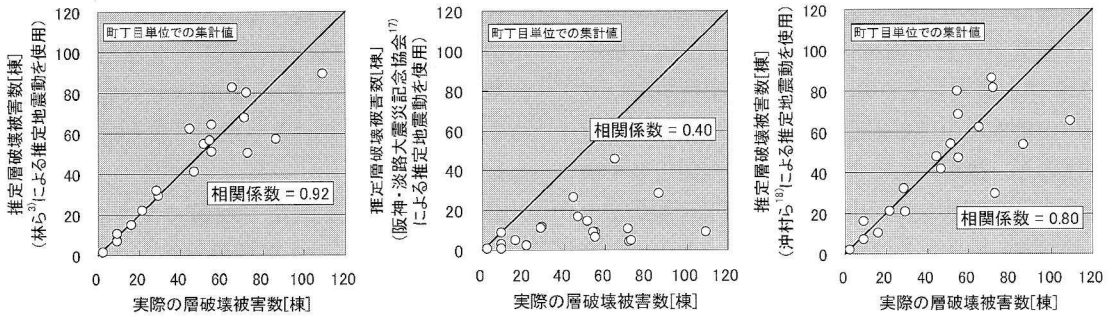


図11 東灘区における検討対象地域と沖村ら¹⁸⁾による地震動分布解析結果



a) 林らによる推定地震動 b) 阪神・淡路大震災記念協会による推定地震動 c) 沖村らによる推定地震動

図 12 東灘区検討対象地域における木造建物の層破壊推定結果と実際の被害との対応

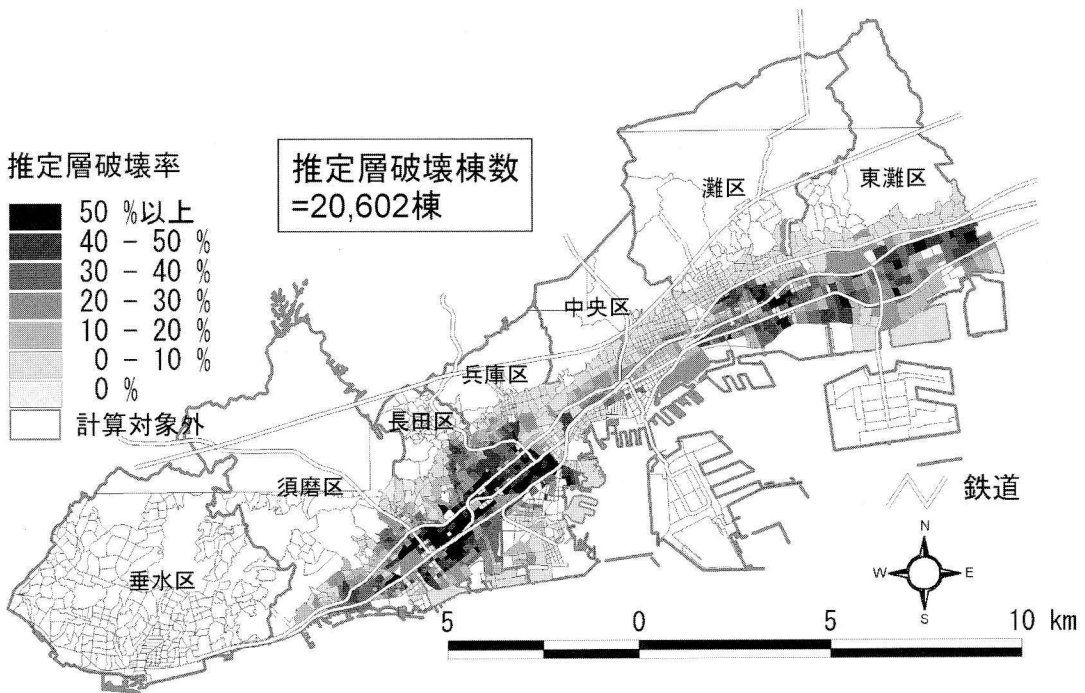


図 13 木造建物の推定層破壊建物分布 (林らによる地震動推定結果を用いた場合)

推定手法により計算された町丁目単位の推定層破壊数と実際の被害数との比較を示す。

図 12a) の林らによる地震動を用いた場合、層破壊被害数は 885 棟と計算され、精度良い結果が得られた。町丁目単位での対応についても、被害数が多くなるとばらつく傾向がみられるが、相関係数は 0.92 であり、比較的良く推定できているものとする。ここで、林らによる地震動推定は建物被害に基づくものであり、将来の地震被害予測

を行う場合には、地震動シミュレーション結果に基づく被害推定を行う必要がある。シミュレーションにより推定された阪神・淡路大震災記念協会による結果を用いた図 12b) を見ると、推定層破壊被害数は 234 棟と少なく、相関も低い評価となった。この要因として、地震動を推定する際に地盤構造を水平成層と仮定しているため、深部地盤の不整形構造は考慮されておらず、それが対象地域における地震動の推定結果に影響を与えてい

た可能性が挙げられる。一方、図 12c) に示すように沖村らによる推定地震動を用いた場合の被害推定数は 846 棟となり、震源過程と地盤構造の複合作用および地盤増幅特性を考慮した理論的地震動シミュレーション結果を用いて良好な推定結果を得ることができたことを確認した。

6-2 層破壊被害分布の推定

被害関数を用いて、兵庫県南部地震による神戸市街地の木造建物の層破壊被害を推定した。地震動は東灘区における検討で最も精度良い推定結果を与えた林らによる最大地動速度を用いて算定を行った。図 13 に推定結果を示す。推定層破壊被害数は 20,602 棟となった。河田²⁰⁾は、阪神・淡路大震災における全倒壊数は全壊家屋の 30% に相当するとして、約 3 万棟と推定している。この河田による推定方法を神戸市に適用すると、神戸市²¹⁾の全壊家屋数 67,421 棟の 3 割に相当する 20,226 棟が倒壊したと求められ、これは木造以外の建物を含めた概算値ではあるが、今回の推定結果と良く一致していると考えられる。図 13 の空間分布をみると、東灘区、灘区、兵庫区、長田区、須磨区で特に多くの層破壊が帯状に発生していたと推定された。

7. む す び

阪神・淡路大震災からまもなく 10 年を迎えようとしているが、これまで「層破壊」がどこにどのくらい発生していたのか明らかにすることができなかった。これは、「層破壊」が多くの死者を発生させるという事実を阪神・淡路大震災までは十分に認識していなかったのではないかと考える。本報では、被災事実の一端を解明するために、多くの方々の努力により整理されたデータを GIS データベース上に統合して、兵庫県西宮市における層破壊建物の発生実態を明らかにした。さらに、その成果を基に木造建物の「層破壊」を評価可能な損傷度別被害関数を開発し、神戸市街地における層破壊被災分布の再現を試みた。その結果、今回の検討範囲では被害関数の適用性に関し

て良好な結果が得られたことを確認した。

今後の課題としては、被害関数を用いた手法の推定精度が挙げられる。被害関数はある建物群の平均的な被害量を推定するのに簡便な手法であるが、推定結果の中にばらつきの存在を許容して評価するため、全体の被害量は比較的精度良く評価できても、被害分布には誤差が含まれる。全体の被害量についても本報の東灘区における検討事例のように地震動シミュレーションの手法の違いや計算条件の設定などによってもたらされる地震動の不確定性の影響によって結果が左右される。また、この被害関数は阪神・淡路大震災における西宮市の被害状況を元に統計的手法を用いて構築したものであるため、例えば長周期で継続時間が長いような地震動の場合への適用や、多雪地域の建物などへの適用については、さらに地震特性や建物の耐震性の地域性を考慮していく必要がある。そのために、現在はこれまでの統計的な検討に加え、力学モデルに基づいた層破壊発生メカニズムの究明に取り組んでいる。一方、被害推定精度の高度化を目指すだけでは人的被害の軽減を図ることはできない。今後は建物被害と人的被害の関係について分析を行い、被害予測結果をどのように具体的な対策に結びつけていくのかについて検討を進める予定である。

謝辞

本報の執筆にあたり、図 12a)、図 13 の作成に使用した地震動データは京都大学防災研究所林康裕助教授よりご提供いただきました。また、図 12 b) に用いた地震動推定結果に関して応用地質株式会社の長谷川信介氏より貴重な資料を賜りました。ここに感謝の意を表します。

補注

注 1) シミュレーション解析は断層の破壊点から観測点までの地震動の伝播経路の影響と地盤の増幅特性を考慮するため、断層モデルは Sekiguchi et al.²²⁾の断層破壊過程モデルを使用し、深層地盤モデルおよび 109 地点のボーリングデータに基づく表層地盤モデルを構築して、1次元重複反

射理論により地表面の地震動のフーリエスペクトルを求めたものである。

注2) このデータは、2003年12月に神戸市から提供されたデータであり、罹災証明書発行のための調査結果に基づくものである。神戸市北区、西区を除いた7区について、全153,171件(木造119,452件)のデータが備わっており、建物1棟単位で建築年、用途、合計床面積、被災度に関する情報が付属している。

参考文献

- 1) Lu, H. et al. (2003) : Building Damage and Casualties after Earthquake —Relationship between Building Damage Pattern and Casualty Determined Using Housing Damage Photos in the 1995 Hanshin-Awaji Earthquake Disaster—, Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, Volume 29, Issue 3, pp. 387-403.
- 2) 岡田成幸, 鏡味洋史 (1991) : 震度による地震被害系統評価のためのバルナラビリティ関数群の構成, 地震, 第2輯第44巻, pp. 93-108.
- 3) 林 康裕他 (1997) : 1995年兵庫県南部地震の建物被害に基づく最大地動速度分布に関する考察, 日本建築学会構造系論文集, No. 502, pp. 61-59.
- 4) 長谷川浩一他 (1998) : 地域メッシュ統計を利用した広域での木造建築物群の震害予測—その2 建築年代別木造建築物の被害関数の作成と震害予測例—, 日本建築学会構造系論文集, No. 505, pp. 53-59.
- 5) 村尾 修, 山崎文雄 (2000) : 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の被害関数, 日本建築学会構造系論文集, No. 527, pp. 189-196.
- 6) 堀江 啓他 (2003) : 地震による建築構造物の層破壊発生要因に関する研究, 神戸大学大学院自然科学研究科紀要, 第21号-B, pp. 101-110.
- 7) 堀江 啓他 (2003) : 地震による木造建物の破壊状態を反映する被害関数の構築, 地域安全学会論文集, No. 5, pp. 123-132.
- 8) 堀江 啓他 (2003) : 木造建物を対象とした層破壊被害関数の適用性に関する考察, 土木学会地震工学論文集, CD-ROM.
- 9) 堀江 啓他 (2001) : 災害における Built Environment データベースの構築と防災への活用, 情報処理学会・人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, pp. 275-282.
- 10) 震災復興都市づくり特別委員会 (1995) : 阪神・淡路大震災被害実態緊急調査 被災度別建物分布状況図集.
- 11) 岡田成幸, 高井伸雄 (1999) : 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, No. 524, pp. 65-72.
- 12) Kohiyama, M. et al. (2003) : Expansion of Nishinomiya Built Environment Database, Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, Volume 29, Issue 3, pp. 501-522.
- 13) 佐藤忠信他 (1997) : 兵庫県南部地震で発生した強震域での加速度応答スペクトルの推定, 土木学会論文集, No. 563/ I -39, pp. 149-159.
- 14) 鈴木成文 (1999) : 住まいを読む—現代日本住居論, 建築資料研究社, p. 183.
- 15) 堀江 啓 (2004) : 木造建物の損傷度を反映する地震被災危険度評価に関する研究, 神戸大学大学院修士論文, p. 65.
- 16) 村上雅英他 (1995) : 東灘西部を中心とした被害調査とその考察, 1995年兵庫県南部地震—木造建物の被害—, 日本建築学会近畿支部, pp. 49-68.
- 17) 財団法人阪神・淡路大震災記念協会 (2001) : 地盤情報を活用した被災分布の究明, 兵庫県南部地震の震源波を考慮に入れた地盤動的応答解析, 沖村委員研究会調査研究報告書, p. 41.
- 18) 沖村 孝他 (2002) : 神戸市域における木造構造物地震危険度評価に関する研究, 第37回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 2147-2148.
- 19) 松島信一, 川瀬 博 (2000) : 1995年兵庫県南部地震の複数アスペリティモデルの提案とそれによる強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第534号, pp. 33-40.
- 20) 河田恵昭 (1997) : 大規模地震災害による人的被害の予測, 自然災害科学, Vol. 16-1, pp. 3-13.
- 21) 神戸市震災復興本部総括局復興推進部企画課 (2000) : 神戸復興誌, p. 123.
- 22) Sekiguchi, H. et al. (1996) : Minute locating of faulting beneath Kobe and the waveform inversion of the source process during the 1995 Hyogo-ken Nanbu, Japan, earthquake using strong ground motion, J. Physics of the Earth, Vol. 44, pp. 473-487.

地震による死傷者の数え方

ちょうど1年の間において、1994年と1995年の1月17日に発生したノースリッジ地震と兵庫県南部地震とは死者の数に2桁の違いがあった。兵庫県南部地震は、わが国の地震防災の未熟さを改めて思い知らせてくれた地震だった。防災の主要な目標は、人的被害をいかに少なくとどめるかにあるといっても過言ではない。国や自治体が行う地震被害想定でも死傷者数が注目される。災害による死者、負傷者については、国によって1968年6月に定められた災害の被害認定統一基準がある。ここでは人的被害の種類を死者、行方不明者、重傷者、軽傷者に分けて、それぞれが表に示すように定義されている。この中において、死者は生ける者と厳密に区別されるように思われがちであるが、死者になるまで、すなわち死亡に至るまでには大きく分ければ即死と救助を待つ間や生存して救出されても後に死亡する遷延死あるいは遅延死といわれるものがある。兵庫県南部地震では監察医検案による死亡の約96%は地震発生後15分以内の即死と考えられている。

これとは別に、兵庫県南部地震による死者では、避難生活の過程などで亡くなる人が多く発生し社会的な問題となった。これは震災関連死とよばれ、地震による被害に直接的に関わって生じた死亡に対して、震災後の避難所や応急仮設住宅などでの生活や復旧作業によるストレス

等に起因する疾病死亡のことで、災害との因果関係に基づき市町村が認定するものである。兵庫県南部地震ではこの震災関連死が900人を大きく超え、これを含めた数字を地震による死亡とすると、主として物的被害との関わりで生じた直接死の危険度を考える場合に誤解を生じる恐れがある。

ところで、地震による死者には年齢依存性と性差が見られる。すなわち、一般的に高齢者の死亡率が高く、乳幼児もやや高い。また、男性に比べて女性の死亡率が高い傾向も見られる。このような傾向は、流体からの避難を必要とする津波や大規模な地震火災および、地震以外にも高潮による被災地ではより顕著になる。

高齢者の死亡危険度が高いのは自然災害だけでなく、交通事故や住宅内事故などの日常災害でも共通している。交通事故などに適用され、警察用語として用いられる死傷は、事故発生後24時間以内に死亡したものを「死亡」、30日以上の上の治療が必要を「重傷」、30日未満の治療必要を「軽傷」としている。また、消防用語における負傷の定義は救急搬送記録などに適用され、「重症」は傷病程度が3週間以上の入院加療を必要、「中等症」は傷病程度が入院加療重症又は軽症以外、「軽症」は傷病程度が入院加療を必要としない程度とされている。

(宮野道雄)

国による災害の被害認定統一基準

被害種類	認定基準
死者	当該災害が原因で死亡し、死体を確認したもの、または死体を確認することができないが死亡したことが確実なものとする。
行方不明者	当該災害が原因で所在不明となり、かつ死亡の疑いのあるものとする。
重傷者 軽傷者	災害のため負傷し、医師の治療を受けまたは受ける必要のあるものうち、「重傷者」とは1月以上の治療を要する見込みの者とし、「軽傷者」とは、1月未満で治療できる見込みの者とする。

新潟県中越地震の災害（緊急報告）

初めての計測震度 7

2004年10月23日17時56分、新潟県中越地方を深さ約10kmを震源とするM6.8の直下地震が襲った。この地方は長岡市、小千谷市を中心とする典型的な山間に開けた集落が点在する地域で、浅い直下地震ということもあり、1,500ガルというような高周波の高い加速度を記録し、越後川口町役場の震度計では計測震度始まって以来の震度7を記録した。

それにしても建造物の被害は軽い

昔の震度階級では、家屋の倒壊30%以上という被害状況から決めていたので、そうして決められた阪神の震度7地域の被害状況と比べると全く軽い。



写真1 越後川口町役場

写真1はその計測震度7を記録した越後川口町役場であるが、ガラスは何枚か割れたようだが主構造材には何の被害も無かった。写真2はその震度計設置状況を示す。後ろの壁は役場である。写真3はその役場から100mくらい離れた倒壊建物である。ただこのような倒壊があたり一面あるかということ、和南津など老朽木造住宅の多い一部地域を除いてそのようなことは無い。それに比べて倒壊は免れたけれど修復不能の全壊家屋は数多く見受けられた。

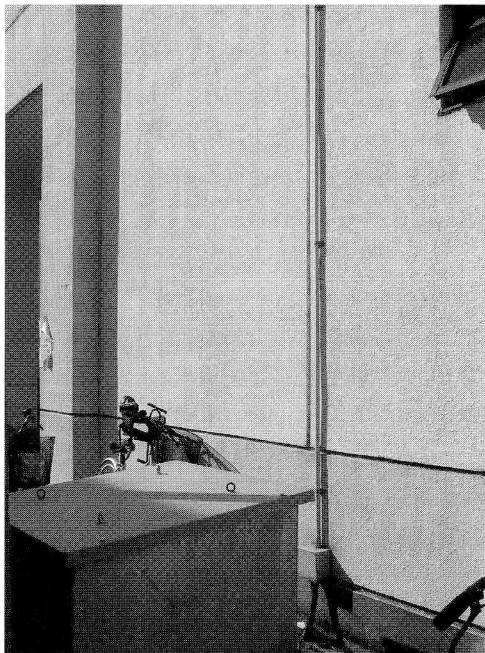


写真2 震度7を計測した震度計

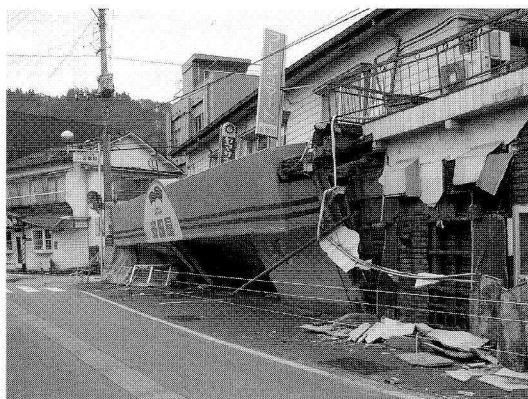


写真3 川口町の倒壊建物

今回の主な被害は土砂災害であった

今回の被害地は山間部であるので、人が住むためには平らな地面が必要である。道にしても車が通るためには、ある平らな幅員が必要である。そのためには傾斜地を削って（その傾斜は前より急

になるので、より崩れやすくなる), その削った土を道の反対側に盛って道路の幅を確保する。盛り土はどうしても地山より強度が低いので地震時に崩れやすく、切り取った斜面も傾斜が急になった



写真 4 長岡市造成地の崩れ



写真 5 崩落土砂による線路の埋没



写真 6 道路盛り土の破壊と復旧

分崩れやすくなる。こうして各所で写真 4, 5, 6 に示すような盛り土の崩壊, 斜面の崩壊が起こり, 崩壊に巻き込まれての直接の犠牲だけでなく, 道路の不通, 山古志地区のような集落の孤立, 崩落土砂が河川を埋めての自然ダムによる湛水と洪水の危険などが生じた。地震の犠牲者の内訳を見るとこのことがよくわかる。10月30日現在, 総数36人のうち, 家屋倒壊によるもの9人, 崖崩れなど土砂災害によるもの7人, ショック, 過労, エコノミーシート症候群などによるもの20人となっており, 家屋の倒壊が比較的少なく, 土砂災害が比較的多かったこと, 地震後の疲労その他による死者が過半数を占めていることがよくわかる。



写真 7 地震土圧で壊れた川口駅地下道

大部分の土構造は耐震設計されていない

日本では土ダムなどそれが壊れると大変な人命損失をもたらすと思われる土構造以外は耐震設計はなされていない。したがって強い地震でそれらが壊れるのは仕方ないことなのだが, それは土は地震に弱すぎるため耐震設計できないからである。どうしても壊れては困る場合には, 他の建設

材料に変えるのである。新幹線が盛り土はほとんど使わず鉄筋コンクリート高架橋を使っているのはそのためである。

ライフライン被害

電気・ガス・水道などのライフラインも多くはその機能を停止した。電気 27 万 8 千戸、水道 11 万戸、ガス 5 万 6 千戸などこの地域のほとんどでその機能はストップした。JR の小千谷水力発電所などが送水管の漏水等で 44 万 kW の機能が停止し、首都圏 4 割の電車の電力供給ができなくなった。電話も輻輳のためかかりにくくなり、一部では回線の切断のため不通となった。また携帯電話も停電のため中継器が作動しなくなり不通となった。また下水道も多くのマンホールが液状化により浮上し機能を停止した。この地域の新幹線を含む鉄道交通、有料道路を含む道路交通のほとんど全てが停止した。道路の被害に伴って、地域の道路に埋め込まれている消雪装置も破壊され、来る冬に再開の目途は立っていない。

キャンピングカー

倒壊家屋は少なかったが、全壊家屋は多く、しかも強い余震が多かったので、避難者は一時 10 万人を超えた。これらの避難者は何日も車内で宿泊する人も多くエコノミーシート症候群で亡くなる人も続いた。欧米では通常的車内で宿泊する人は少なく、地震後もキャンピングカーで過ごす人が多く、これだと手足がゆっくり伸ばせてそのような病気にもなりにくいのであろう。

初めての新幹線脱線

上越新幹線下り「とき 325 号」がトンネルを出て間もなく先頭から 4 両目と 5 両目をのぞく 8 両が脱線し、約 1.6 km 走って長岡駅手前 6 km で停止した。最後部の車体は約 30 度傾いていた。乗客に怪我は無かった。脱線が起これたと見られる付



写真 8 新幹線橋脚大揺れのため、地盤と隙間

近の高架橋の橋脚の根元には不完全液状化が起こったらしく、写真 8 に示すように橋脚と周辺地盤の間には約 8 cm の隙間が開いていた。少なくともこの隙間一杯に橋脚は震動したと思われる。地下基礎の深さ 3 m、高架の高さ 6 m を考えると、高架頂部は片振幅約 24 cm もの大揺れを記録したことになり、脱線もやむをえなかったと思われる。

空振りはあるも見逃しは無い

今回は落橋が無く、カーブも無く、転覆は避けられたが、今後は走行安全性をより注意しなければなるまい。そもそも東海地震の予知が可能ということで、大地震の襲来時には列車は駅に停車しているという条件であるので、走行時の安全性の検討は公式にはなされていなかったのである。今後は脱線を防ぐためのガードレール、トンネル入り口壁衝突回避用ガイドの設置、より短距離で停止できる非常用ブレーキの採用、その時乗客をショックから守るシートベルトの着用などが議論されることになろう。

(伯野元彦)

■ 地震予知連絡会情報 ■ 岡田義光 ■

この半年間には、地震予知連絡会にとって大きな事件が3つあった。2004年9月5日に紀伊半島南東沖で発生したM7.4の地震、9月28日に米国カリフォルニアで発生したパークフィールド地震（M6.0）、そして10月23日に新潟県中部を襲った「新潟県中越地震」（M6.8）である。

このため、定例の第158回地震予知連絡会が2004/8/23に開かれたのち、紀伊半島南東沖地震に対する臨時の第159回地震予知連絡会が2004/9/17に、新潟県中越地震に対する臨時の第160回地震予知連絡会が2004/11/4にそれぞれ開催され、2004/11/15の定例会は第161回地震予知連絡会ということになった。また、毎回テーマを変えて議論を行っているトピックスとしては、第158回に「応力・メカニズムの現状評価」（世話人：平田直委員・佐野修）が取り上げられたのち、第161回には「2004年パークフィールド地震」（世話人：岡田義光委員）が臨

時のテーマとして取り上げられた。

1. 北海道地方

2003年9月26日に発生した十勝沖地震（M8.0）の余震活動は順調に減衰しているが、2004年8月17日には本震の西南西約50kmの位置でM5.1の地震があり、その後約1時間半の間にM4.6、M4.9、M4.7の地震が相次いで発生した（気象庁）。2003年十勝沖地震の余効すべりは現在も継続しているが、その積算モーメントはM7.8を超え、地震時に解放された地震モーメントの約半分の量に達している。余効変動の速度は鈍ってきているものの、東西・南北両成分とも、まだ地震前とは逆向きの動きが続いている（図1：地理院）。なお、2004年7月以降、余効変動のパターンが変化し、根室半島の深部ですべりが生じている可能性があるとの報告がなされた

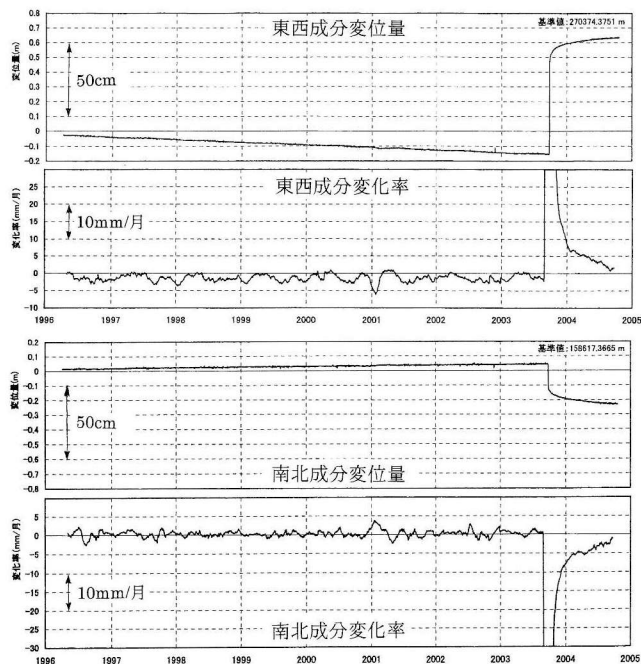


図1 1996年4月から2004年10月までのえりもにおける東西・南北の変位とその変化率（青森県岩崎を固定）。変化率は2ヶ月間のデータを1日ずつずらして計算し、その期間の midpoint に結果をプロットしている。2003年9月十勝沖地震（M8.0）の余効すべりによって、地震前とは逆向きの動きが続いている。[第161回：地理院資料に加筆]

(地理院).

2003年十勝沖地震に5年間ほど先立つ1998年半ば頃から、震源域では全体として明らかな静穏化のあったことが報告された。さらに細かく見ると、この静穏化域の中では1998年半ばから逆に活動が活発化した領域が点在し、その分布は地震時に大きくすべったアスペリティ領域にはほぼ一致している。十勝沖地震の破壊開始点(震源)はそれらのひとつであるえりも岬南東沖の活発化域に位置し、同じ領域では2001年10月にプレート境界付近を震源とするM 4.9の特異な地震が発生している(図2:防災科研)。これらは、現在の東海地域における地震活動静穏化域の状況とよく似ている。全体としての静穏化の中に局所的な地震活動活発化域(おそらくアスペリティ)が存在し、そのうちのひとつである川根付近の領域では1996年10月にプレート境界付近を震源とするM 4.6の地震が発生している。今後、十勝沖地震の例と対比しながら事態を見ていく必要がある。

なお、北海道大学から、2000年頃より根室半島付近の内陸では地震活動の静穏化、沖合では逆に活発化が進行しているようだとの資料が提出された。

2. 東北地方

2004年5月29日、福島県沖の深さ38kmでM 5.9の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は西北西-東南東方向に主圧力軸を有する低角逆断層型であり、太平洋プレートの上面境界で発生した地震であると思われる。今回地震が発生した場所は、南北方向には1938年福島県東方沖地震と1978年宮城県沖地震の中間点に位置し、東西方向には2003年10月の地震(M 6.8)が発生した海域と陸地との中間点にあたっている(図3:気象庁)。

2004年8月10日、岩手県宮古市付近の東方すぐ沖合で、深さ48km、M 5.8の地震が発生し、最大震度5弱を記録した。発震機構は東西方向に主圧力軸を有する低角逆断層型であり、余震は西に約30°で傾く面に整列していることから、太平洋プレートの上面境界で発生した地震であると思われる(図4:東北大)。今回地震のあった付近は定常的に地震活動の活発な場所であるが、規模の大きい地震は周辺に比べて少ない(気象庁)。

2004年9月1日、福島県沖の深さ31kmでM 5.6の地震が発生し、最大震度3を記録した。発震機構は西北西-東南東方向に主圧力軸を有する低角逆断層型であり、太平洋プレートの上面境界で発生した地震であると思われる。今回地震が発生した場所は、1938年にM 7.5、1983年にM 6.7を最大とする群発地震活動が発生している(気象庁)。

3. 関東・甲信越地方

2004年5月30日、房総半島南東沖のプレート三重会合点付近で深さ23km、M 6.7の地震が発生し、三宅島、大島、八丈島等で高さ10cm未満の津波が観測された。この地震の発震機構解は、東西方向に主圧力軸を有する逆断層型であった。この付近では5月頃から地震回数が増え始め、5月16日にはM 5.0の地震が発生していた。過去には1984年9月19日にほぼ同規模(M 6.6)の地震が発生しており、また1953年11月26日には房総沖地震(M 7.4)が発生して、館山市で高さ48cmの津波が記録された。これら3回の地震を比べると、今回の地震は最大震度1であったのに対し、1984年の地震は最大震度4、1953年の地震は最大震度5となっている。また、過去2回の地震の発震機構解は正断層型であり、地震波形を見ても今回の地震とは卓越周期がかなり異なっている。なお、7月17日には、房総半島により近い海域の深さ69kmでM 5.5の地震が発生した。この地震の発震機構解は東西方向に主圧力軸を持つ横ずれ断層型であった(図5:気象庁)。

2004年10月6日、茨城県南部の深さ66kmでM 5.7の地震が発生し、最大震度5弱を記録した。発震機構は東西方向に主圧力軸を有する逆断層型であり、太平洋プレート上面の地震と考えられる。震源付近では、4年に1回程度の割合でM 5.5~M 6.1程度の地震が発生している(気象庁)。

2004年10月23日17時56分、新潟県中部でM 6.8の浅発地震が発生し、大きな揺れと被害を伴った。11月15日現在の死者は40名に及んでおり、気象庁はこの地震を「平成16年新潟県中越地震」と命名した。本震は震度7の揺れとなり、余震の中にも震度6強から5強を記録するものが多数含まれた。規模の大きな余震が連続して発生し、本震の10分後にM 6.3、15分後にM 6.0、40分後に最大余震であるM 6.5が発生したのち、4日後の10月27日にもM 6.1の余震を伴った(図6:気象庁)。発震機構は本震・余震とも北西-南東圧縮の逆断層型が卓越しており、余震域は北東-南西方向に約30kmの広がりを見せた。精密再決定された震源分布断面図によれば、本震は西下がりに傾く断層面で発生し、M 6.5の最大余震は東側のやや深い場所で本震の断層面に平行する別の西下がりの断層面で発生した。さらに10/27のM 6.1の余震は10km程度東に離れた場所を震源とし、上記2つの面とは共役な東下がりの断層面で発生するという複雑な過程をたどったものと推定される(図6c:気象庁)。余震の発生回数について過去に内陸で発生した大地震と比較すると、1943年鳥取地震や1945年三河地震

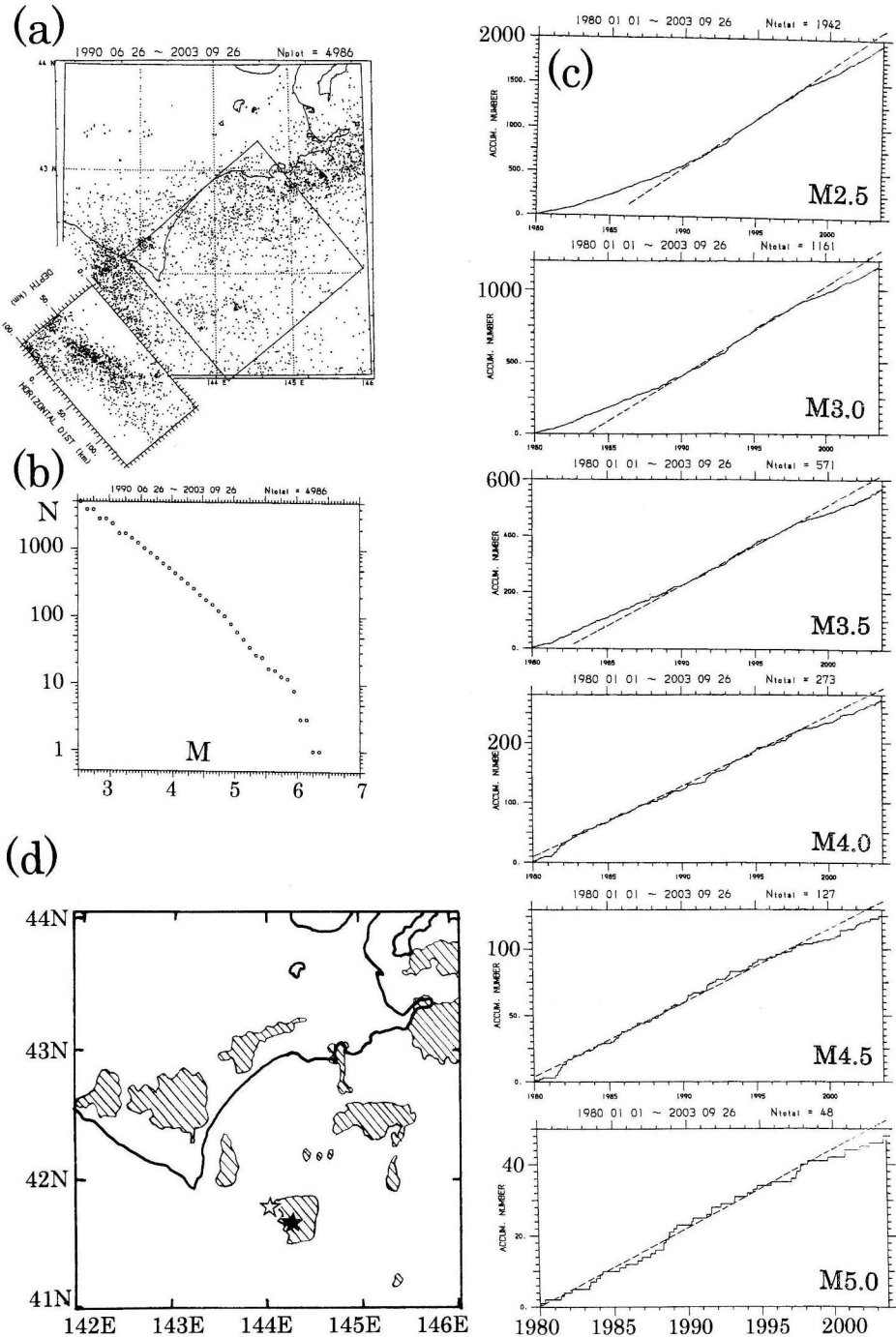


図 2 2003 年十勝沖地震の震源域における 1980 年から地震発生直前までの地震活動度変化。(a) 対象領域 (深さ 100 km 以浅), (b) 1990 年以降のマグニチュード積算図, (c) マグニチュードしきい値を 0.5 ずつ変化させた積算回数図。どのレベルで見ても 1998 年半ばからの静穏化が見られる。(d) 1998 年半ばを境として地震活動が局所的に活発化した領域 (斜線部)。白星は十勝沖地震の震央, 黒星は 2001 年 10 月にプレート境界付近で発生した M 4.9 の地震を示す。[第 158 回: 防災科研資料から合成]

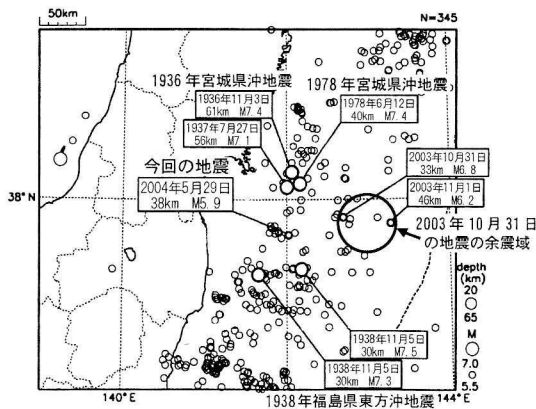
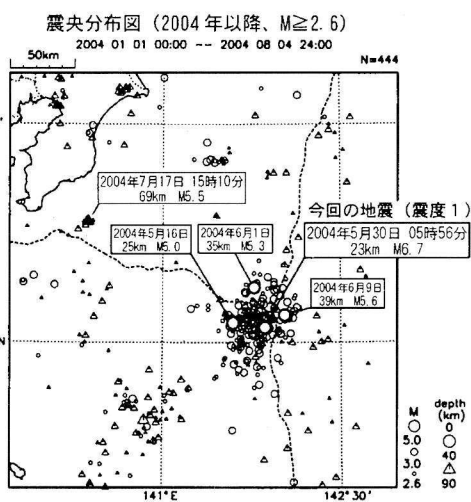


図3 2004年5月29日福島県沖の地震 (M5.9) と、これまでに周辺で発生した主な地震 (1923年8月以降, M \geq 5.5, 20km \leq 深さ \leq 65km)。[第158回: 気象庁資料に加筆]



発震機構分布図 (1923年8月以降)

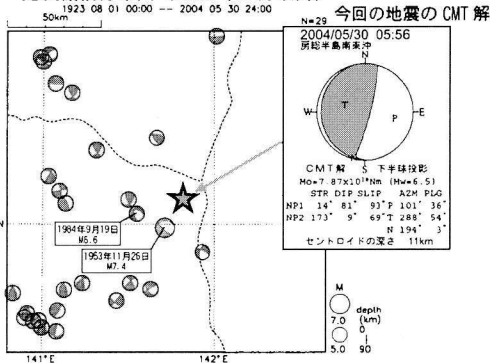


図5 2004年5月30日 (M6.7) および7月17日 (M5.5) の房総半島南東沖地震。下段はこれまでに三重合会点付近で発生した地震の発震機構解分布を示す。[第158回: 気象庁資料に加筆]

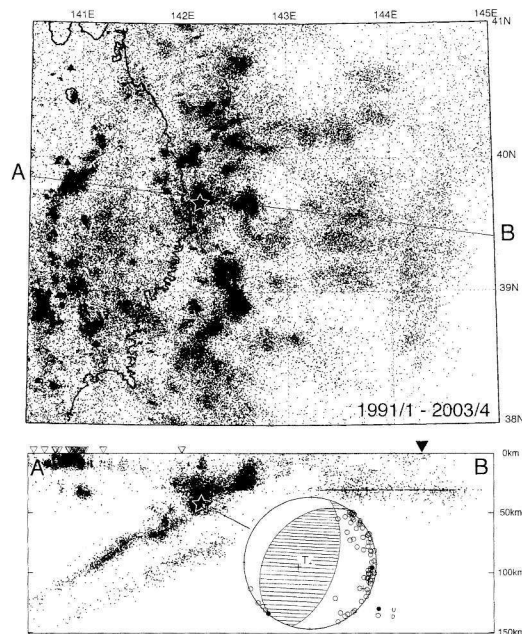


図4 2004年8月10日岩手県沖の地震の震源 (M5.8, 星印) と発震機構解。上段は震央分布, 下段はABに沿う断面図であり, 背景は1991年1月から2003年4月までの地震活動を示す。[第158回: 東北大資料から合成]

と同程度の活発さであり, 1995年兵庫県南部地震に較べると2倍程度の発生率となっている (図7: 気象庁)。

本震に伴って, 震源に近い小千谷市では西南西方向に8.1cmの水平変動と26.5cmの隆起がGPSにより観測され, また守門村では西北西に21cmの水平変動と6.3cmの沈降が観測された。これらの地殻変動は, 53°で北西に傾く長さ21km, 幅10km, 上端の深さ2.8kmの逆

断層でモデル化された (図8: 地理院)。一方, 東に離れた10/27のM6.1の余震に際しては, 小千谷での地殻変動は殆どなく, 守門で北東方向に約1cmの水平変動と3cm近い隆起が捉えられた。この余震に対しては, 34°で南東に傾く長さ10km, 幅4km, 上端の深さ10kmの逆断層によるモデルが提案された (地理院)。なお, 本震による地殻変動は干渉SARによっても捕捉され, 数10cmを超える地殻変動のあったことが推定されている (防災科研, 地理院)。

強震波形記録を用いた震源過程のインバージョン結果では, 破壊開始点付近に大きなすべり領域のことが推定されたが, 余震分布との相補性はとくに見られない (東大震研, 気象庁, 防災科研)。震源域周辺では1990年にM5.4, 1998年にM5.2と, やや規模の大きな地震が発生したことが知られている。今回の地震に先立って目立った先行現象の報告はないが, 震源域では1年くらい

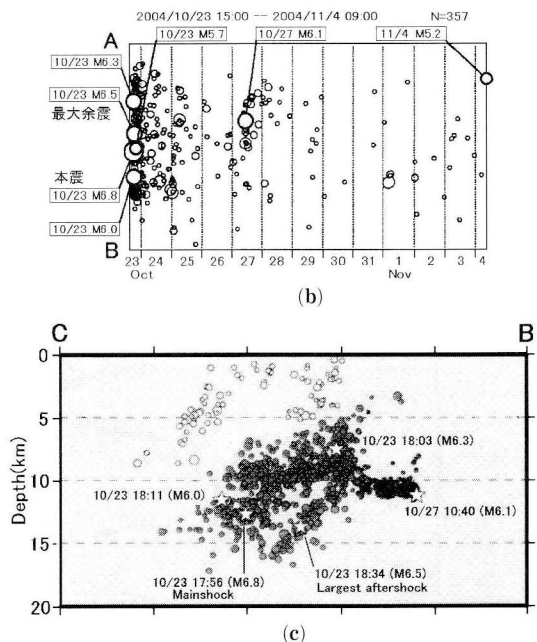
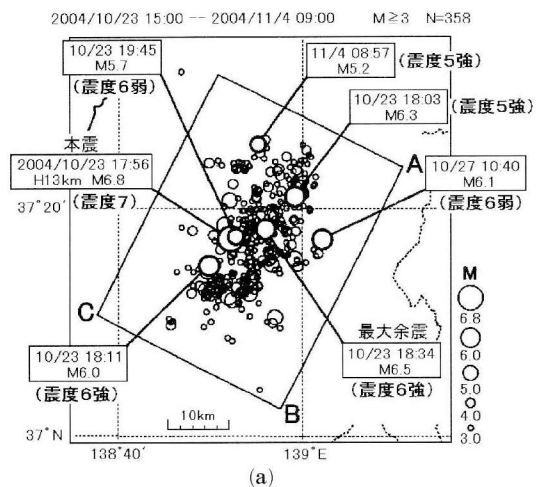


図6 2004年新潟県中越地震 (M6.8) とその余震活動。(a) 10月23日15時~11月4日09時の震央分布, (b) A-B方向に投影した空間分布図, (c) B-C方向に投影した再決定震源の断面図 [第160回: 気象庁資料から合成]

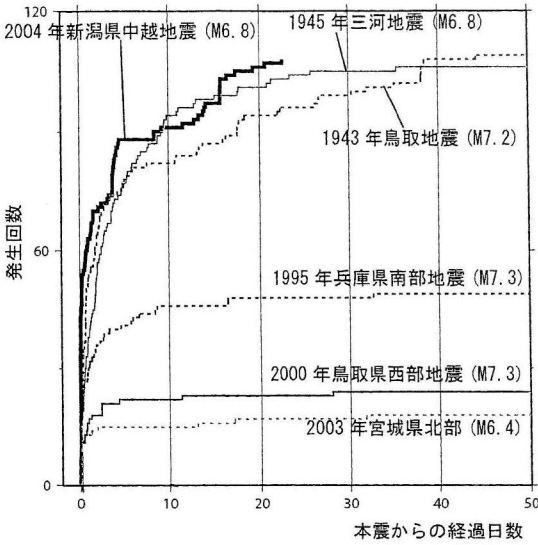


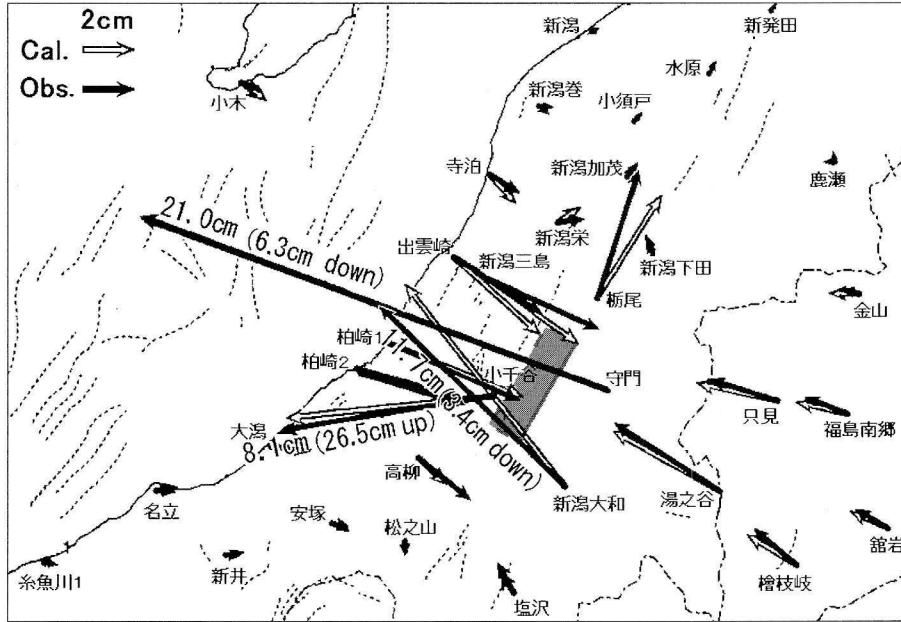
図7 過去の内陸大地震と2004年新潟県中越地震の余震活動の比較 (M4以上) [第161回: 気象庁資料]

前から微小地震活動の静穏化とb値の低下が認められるとの報告があった(防災科研)。
 今回の震源地周辺では、北東-南西方向の走向を持つ活褶曲や活断層が発達しており、新潟堆積盆地の東縁を限る新発田-小出構造線に沿った六日町盆地西縁断層帯や小平尾断層、これらに併走する悠久山断層などが分布している。地表面で断層によるずれは確認されていない

が、小平尾断層の周辺や六日町盆地西縁断層帯北東延長部では逆断層状の変形や道路の短縮変形などの変状が断続的に見られるとの報告があった(産総研)。

現地では緊急の臨時余震観測が実施されたが、その速報結果によれば、余震はいくつかの共役な断層系で誘起されたものと見られ、複雑な震源分布が報告されている(図9: 東大震研)。震源域の地殻構造との対比によれば、10月23日18時34分に発生した最大余震(M6.5)とその余震群は、六日町盆地西縁断層帯の地下延長部で発生したものと推定される。また、本震の断層面を境界として地震波速度は東側で速く、西側で遅くなっているなどの特徴も見出された(東大震研)。なお、京大防災研と九大の合同観測班による余震観測結果では、上記3枚の面のほか、本震の断層面を北側に延長した西下がり面に沿う余震群と、本震の南側で東側に傾く面を持つ余震群も見出されている。これら余震域の両端で発生した大きめの余震は浅い部分から破壊が始まっているのに対し、余震域中央部で発生した大きめの余震は深部から破壊が始まっており、これについては、弱い下部地殻の関与により断層への応力蓄積を生じたものと推定している。

新潟県中部では、これまでもごく浅い地震が繰り返し発生し、局地的に大きな被害を与えてきた。周辺で過去に発生した大地震としては、北東隣りに死者1,443名を出した1828年三条地震(M6.9)、南西には死者数千名を出した1847年善光寺地震(M7.4)があり、これらは1964年新潟地震(M7.5)、1983年日本海中部地震(M



Lat=37.40 Lon=138.96 L=20.6km W=10.2km D=2.8km
Strike=210deg Dip=53deg Rake=92deg Slip=1.82m Open=0.0m

図8 2004年新潟県中越地震 (M 6.8) に伴った地殻変動と断層モデル (矩形の実線部分が地表に近い辺を表わす)。
[第160回: 地理院資料に加筆]

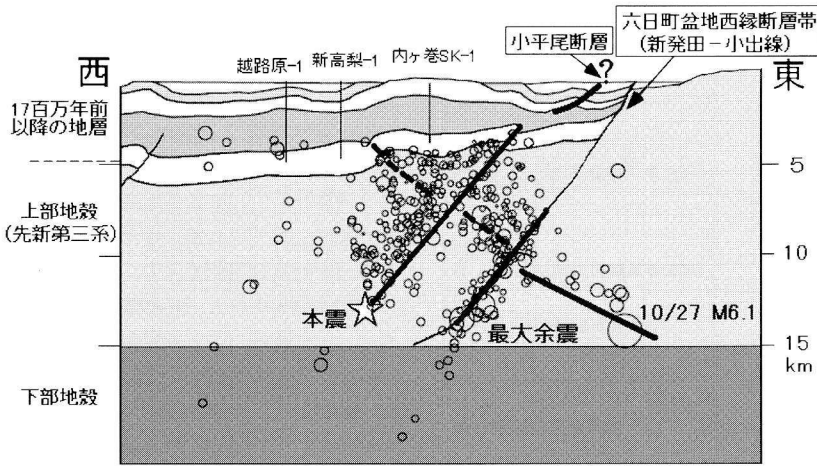


図9 震源域の地殻構造推定断面図上にプロットした余震の緊急臨時観測結果. 星印は本震を示し, 太い実線は余震を含めた推定震源断層を示す [第160回: 東大震研資料に加筆]

7.7), 1993年北海道南西沖地震 (M 7.8) と並ぶ日本海東縁に連続している. この帯状の地域についてはユーラシアプレート内の歪集中帯であるとする考え方のほか, ユーラシアプレートと北米プレートとの新たな衝突境界が生まれつつあるとの見方もある. 大竹会長からは, この帯状領域に残された地震空白域について指摘がなされ

た (図10). 新潟県内の未破壊区間 D-1 と D-2 はいずれも約 40 km の長さを有し, 最大で M 7 程度の規模の地震が発生し得ると考えられる.

なお, 地震予知連絡会は 1978 年 8 月 21 日に地域指定の見直しを行っているが, その後 25 年間に日本周辺で発生した $M \geq 6.7$, 深さ < 100 km の地震は図 11 のよう

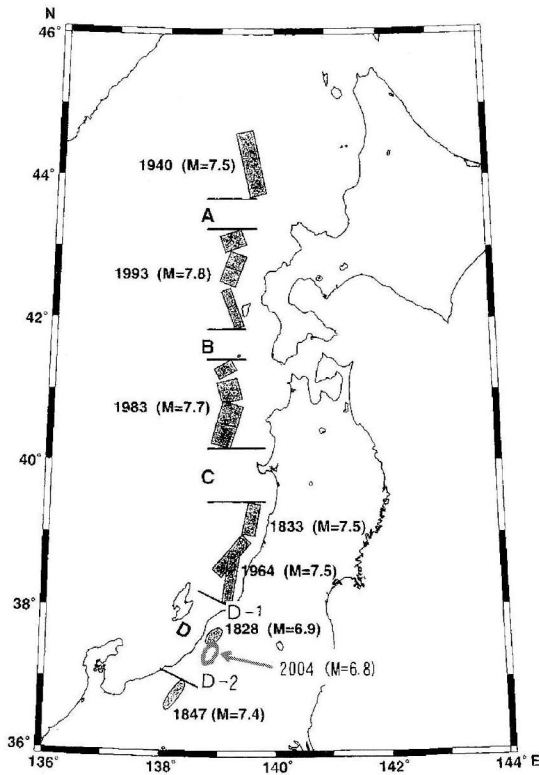


図 10 日本海東縁のプレート境界帯に沿う大地震の震源域と空白域
[第 160 回: 大竹会長資料]

になっている(防災科研)。今回の地震は、これまで注目されていたものの、まだ地震が発生していなかった特定観測地域のひとつである「新潟県南西部・長野県北部」領域で発生したものである。

4. 東海・中部地方

東海地域の水準測量結果によると、上下変動の基本的な傾向は今までと変わっていない。また、東海地域のスロースリップも依然として継続しており、2002年にいったん鈍ったと見られた変動速度も、2003年以降は2001年のレベルに近くなっている。森～御前崎間の水準測量結果では、御前崎の沈下がここ数年加速しているようにも見えるが、これは基準となる森町がスロースリップにより4cmほど隆起したことによる見かけ上のものであるとの説明がなされた(地理院)。

2004年9月5日23時57分、紀伊半島南東沖(または東海道沖)の南海トラフ近傍でM7.4の地震が発生し、串本で90cmほどの高さの津波が観測された。震源は1944年東南海地震(M7.9)の南東側に隣接しており、本震の約5時間前にはM6.9の前震が西南西に約40km離れた地点で発生した。余震は海溝に沿う部分とこれにほぼ直交する部分とに別れて分布し、本震のすぐ東側で

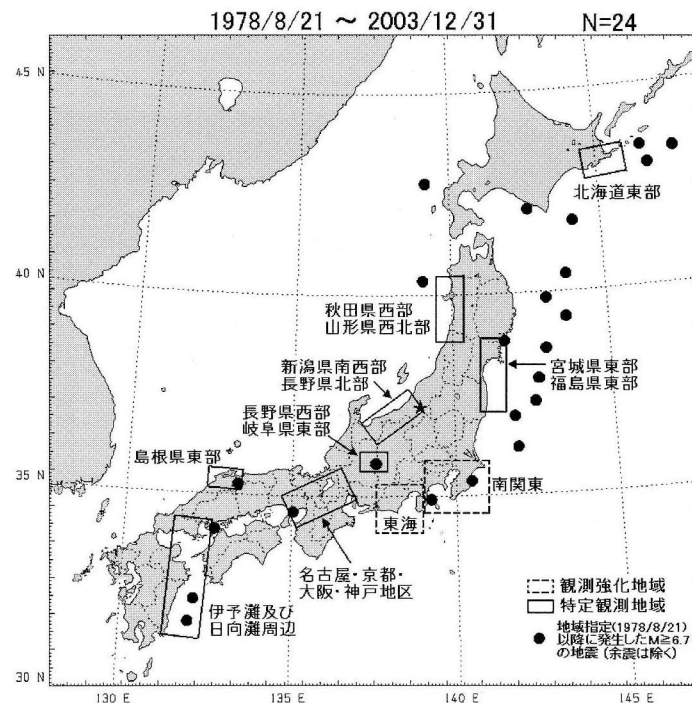


図 11 地震予知連絡会による地域指定の見直し(1978年8月21日)以降、日本周辺で発生したM \geq 6.7の地震の分布。
星印が2004年新潟県中越地震を示す。[第160回: 防災科研資料]

は M 6.4 と M 6.5 の余震を伴った (図 12: 気象庁). 海溝に直交する余震の列は海底地形に見られる断層状構造に対応しており, また震源域は錢洲海嶺の西端付近に位置している (海洋情報部).

前震, 本震および 2 つの M 6 級余震の発震機構解はいずれも南北圧縮による高角の逆断層型であり, フィリピン海プレート内部で発生した地震であることを示している. ただし, 余震の中でも, 陸地に近い余震域北西部で発生している一群は, 横ずれ断層型の発震機構解をもつものが卓越している. 今回の地震は沖合であるため, 余

震の深さ分布は正確に求められず, 断層面が北傾斜か南傾斜かを判断することは困難である. 震源から放出され海底で反射された sP 波を用いて余震の断面分布を推定する試みもなされたが, 海底の地殻構造をどのように仮定するかによって結果は異なるものとなった (東北大, 防災科研).

震源域近傍で実施された海底地震計による臨時余震観測の第一報では, ヘリコプターで投入された 5 台の海底地震計による暫定解析結果が報告された. それによると, 全体としては南下がりの断層面を支持するように見えるものの, 最大余震の一群は北下がりの分布となっているなど, 場所によって複雑な様相が伺われ, 現段階では確定的なことは言えない. 余震域全体を取り囲む 25 台の海底地震計による観測結果を待ちたいとのことであった (東大震研).

この地震の発生に伴って, 紀伊半島東岸から東海地方南岸にかけての GPS 観測点では南方向に最大 5 cm 程度の水平変位が観測された (図 13: 地理院). GPS 観測結果を説明するため, 地理院からは海溝に沿って西南西-東北東の走向を有し北に傾斜する断層面をもった逆断層モデルが提出された. 一方, 東大震研からは遠地の長周期地震波形を用いた震源過程の解析結果が報告され, 海溝に直交する余震分布に対応する北西-南東走向に南に傾斜する断層面をもったモデルが提案された. なお, 震源域から北西に 50 km 離れた海底には, 海洋情報部によって GPS 測位と音響測深を組合せた海底測地基準点

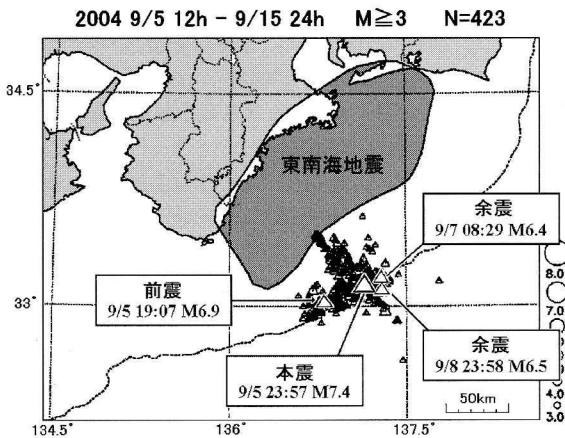


図 12 2004 年 9 月 5 日の紀伊半島南東沖地震 (M 7.4) とその余震活動 [第 159 回: 気象庁資料]

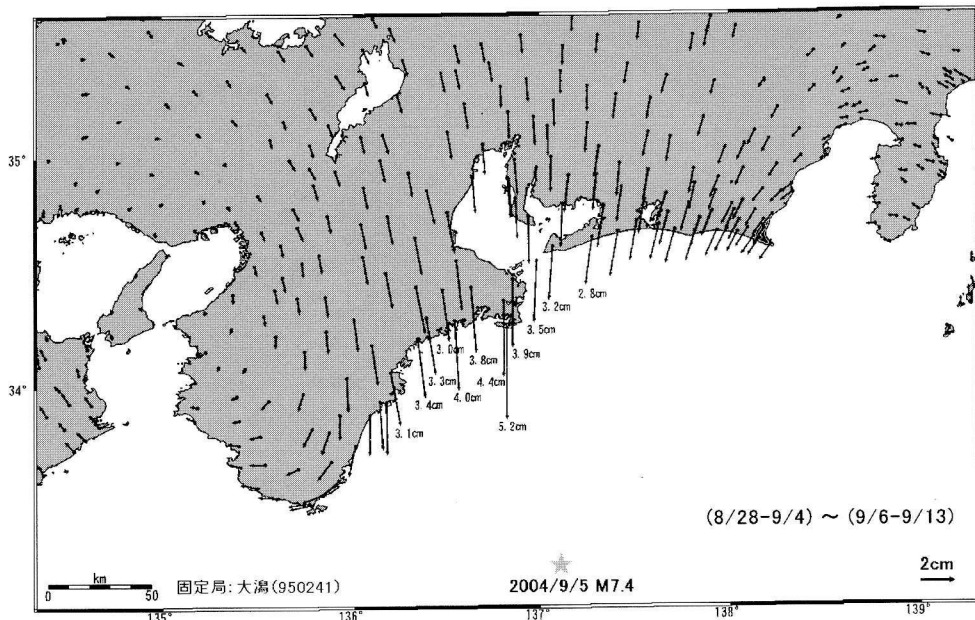


図 13 2004 年 9 月 5 日の紀伊半島南東沖地震 (M 7.4) に伴った GPS 観測点の水平変位 [第 159 回: 地理院資料]

が設けられており、2003年9月の投入時との比較で、西方向および北方向にそれぞれ10cmほどの変位が確認された。観測の精度は数cmとのことであるが、確認のため再度の測定が実施されることになっている。大地震前後の地殻変動が海底で捉えられたことは世界初であり、画期的ではあるが、上記の断層モデルとは必ずしも整合していない。

南海トラフ近傍のごく浅いところでは、周期10~100秒が卓越する超低周波地震が日向灘や室戸岬沖の海域で見つけられている。本年5月上旬には潮岬の南方沖で同様の超低周波地震が発生したが、今回の紀伊半島南東沖地震の直後には震源域で非常に活発な超低周波地震活動が誘起されるとともに、紀伊水道でも超低周波地震の一群が励起される現象が見られた(防災科研)。

5. 近畿地方以西

丹波山地では微小地震活動が2003年1月頃から低下しており、4月16日と5月19日にM3.6の地震が発生

した後も依然として丹波山地の地震活動度は低い状態が続いている。また、地震活動度の低下と時期を同じくして、天ヶ瀬、阿武山などにおける地殻変動連続観測結果にも異常な変化が現れている(図14:京大防災研)。伸縮計などに見られる異常変化については降水量との関係を指摘する意見もあったが、今回と同様の現象はこれまでに数回あり、その中には1995年兵庫県南部地震や2000年鳥取県西部地震に連動した例があることから、今後議論を深める必要があるとの認識で一致した。

2004年6月8日、和歌山県北西部の深さ約10kmで8時5分にM4.2、9時5分にM4.1と、1時間の間隔において2つの中規模地震が連発した。いずれも最大震度3を記録し、発震機構解はともに東西圧縮の横ずれ断層型であった。この地域は普段から地震活動の活発な場所であるが、今回の地震はその活動域の北西端に位置し、その周辺ではこのように大きな地震の発生は珍しい。和歌山県北西部で群発している地震は地表地質が三波川帯である地域にほぼ集中しており、また深さ10kmでのVp/Vs分布に対比すると、Vp/Vsの高い領域の周囲で

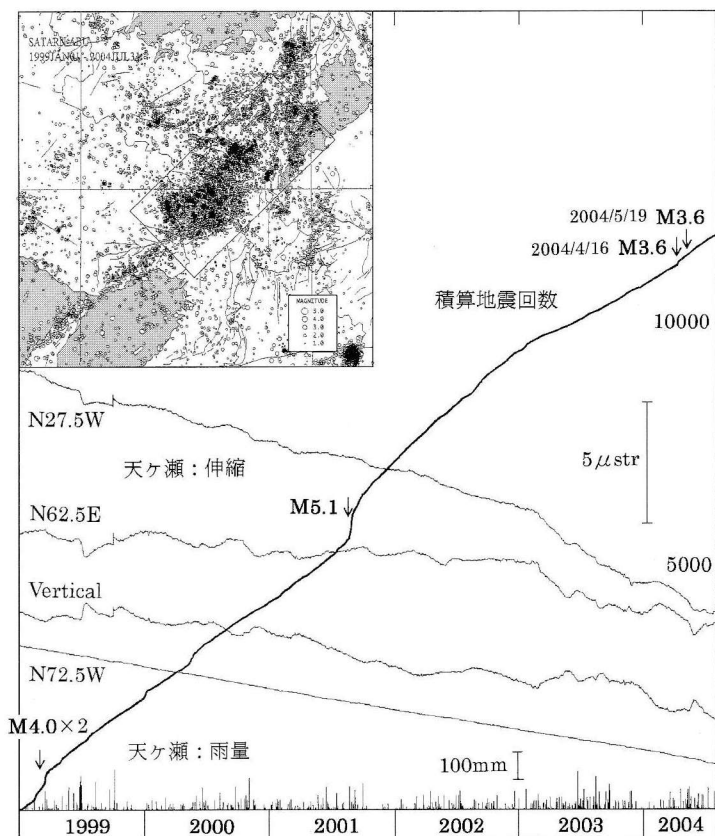


図14 丹波山地(矩形領域内)における微小地震の積算回数と、天ヶ瀬観測所における伸縮計記録。2003年1月頃から、地震活動の静穏化と地殻変動の傾向変化が見られる。[第158回:京大防災研資料より合成]

地震が発生しているように見られるとの報告があった(防災科研)。

2004年6月23日、大阪湾内の深さ12kmでM3.2の小地震があった。普段はほとんど地震活動がない珍しい場所であり、震央は大阪湾断層のすぐ東に位置している。発震機構解は東西圧縮の横ずれ断層型であり、節面のひとつは大阪湾断層の走向とほぼ一致している(防災科研)。

2004年7月22日、沖縄本島の東方約100kmの海域で深さ32km、M6.1の地震が発生し、最大震度3が記録された。発震機構は北西-南東方向に主張力軸を持つ型であり、ほぼ鉛直な南北走向の節面を断層面とすれば、右横ずれとともに海溝側が上方にずれる動きがあったことになる(気象庁)。

また、2004年10月15日、与那国島近海の深さ83kmでM6.6の地震が発生し、最大震度5弱が記録された。この地震はフィリピン海プレート内部で発生したものと思われ、発震機構解の主張力軸はプレートの沈み込む方向を向いている。この地震の付近では1947年にM7.4の地震が発生している(気象庁)。

6. その他

第158回予知速では、東北大学より「DDトモグラフィによる震源断層とアスペリティのイメージング」と

題する報告がなされ、関心を集めた。プレート境界地震については、アスペリティモデルが実際の地震発生場で成り立っていることが確かめられつつあるが、内陸の活断層で起こる地震については、これまでその関係はよくわからなかった。

最近開発されたDouble-difference tomography法を用いると、震源域の三次元不均質構造をこれまでにない高分解能で求めることができるため、この手法を1995年兵庫県南部地震(M7.3)などに適用し、震源断層とアスペリティのイメージングを試みた(図15: 東北大)。それによると、①断層面に沿って低速度領域が存在すること、②断層面内の相対的な高速度領域がアスペリティに対応しているように見えることが結論され、構造の特徴から地震の発生前にアスペリティの位置を特定できる可能性が示された。ただ、この手法は地震後に大量に発生する余震を利用しているため、地震活動の少ない平常時におけるイメージングをどのようにして行うのかという問題は残されている。

第161回予知速では、防災科研より地震活動の前兆的静穏化に関する全国的調査結果が報告された。それによれば、2000年以降に日本付近で発生したM6.8以上の地震7例のすべてについて微小地震レベルの静穏化が認められ、その中でも3例はかなり確かであるとのことであった。静穏化の認定方法やデクラスタリングのパラメータ、対象領域のとり方などに任意性は残っているも

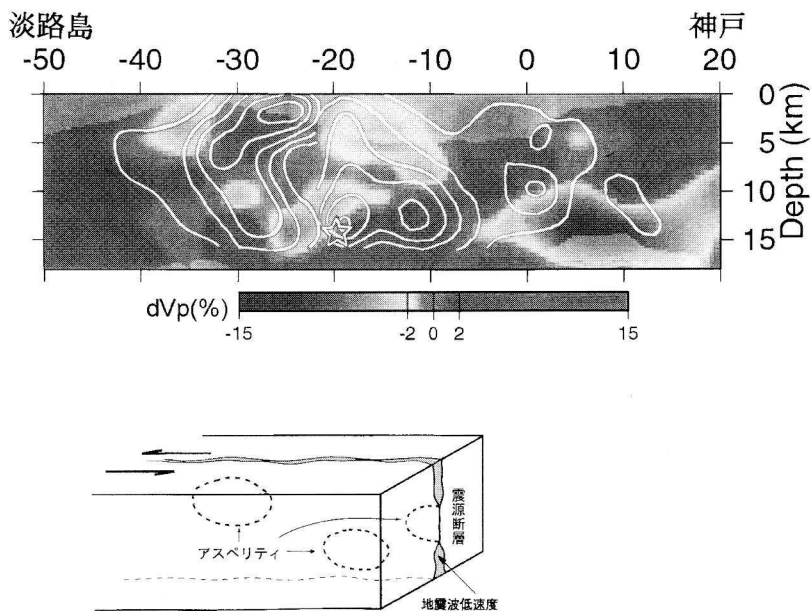


図15 1995年兵庫県南部地震の断層面に沿ったP波速度分布。黒っぽい部分が高速度域、白っぽい部分が低速度域となっている。星印は破壊開始点、コンターはYoshida et al. (1996)による地震時のすべり量分布(間隔0.4m)を示し、アスペリティは高速度領域にはほぼ対応している。下段は断層面におけるアスペリティの模式図を示す。[第158回: 東北大資料に加筆]

の、気象庁の一元化震源データが蓄積され、このような仕事が組織的に行えるようになったことの意味は大きい。

7. トピックス

7-1. 応力・メカニズムの現状評価

第158回連絡会では、トピックスとして「応力・メカニズムの現状評価」(世話人: 平田直委員, 佐野修)が上げられ、地殻応力測定の現状と今後の展望に関する議論が行われた。GPSにより日本列島の歪み状況については多くの情報が得られるようになったが、地震発生に直接結びつく応力はどのように推定すべきか? 現在行われている地殻応力測定は地震予知研究の期待する精度を満足しているか? が主要テーマであった。

「応力測定に何を期待するか?—GPSによる歪で見えるもの、見えないもの—」(地理院: 村上亮)では、GPSにより日本列島の歪み蓄積状況はわかってきたものの、逆に謎が深まった部分もあり、絶対応力測定の必要性が強調された。具体的には、歪蓄積の少ない山陰地方でなぜ2000年鳥取県西部地震のような大地震が発生したのか? 衝突しているとされる伊豆半島の北部や富士山周辺で歪蓄積の進行が見られないのは何故か? 新潟・神戸歪み集中帯では水平に圧縮されているのに沈降が続いているのは何故か? といった問題があり、これらを解決するには絶対応力測定が是非とも必要であるとの問題提起がなされた。

「地震のメカニズム解から推定される応力」(防災科研: 福山英一)では、地震のモーメントテンソルインバージョンから求められる応力の信頼度についてレビューがなされ、地震のメカニズム解から得られるものは主応力軸方向と応力比であること、解析対象領域では応力が均質であると仮定するので、小地震のメカニズム解がある程度広がりのある領域に適用するには注意が必要であることが述べられた。また、大地震の断層面上でのすべり方向の時間変化を精度よく求めれば応力の絶対値が推定できる可能性のあることが紹介された。

「地殻応力測定法の現状評価と新たな提案」(東大震研: 佐野修)では、現在行われている個々の応力測定法のレビューと問題点の整理がなされた。とくに水圧破碎法については原理的な問題が存在し、これまでに測定された応力方位と最小主圧力はよいとしても、最大主圧力の値には大きな疑念があること、したがって地震発生と最も関係の深い差応力値の信頼性は低いことの指摘がなされた。また、これを解決する手段として、ボアホールジャッキ式乾式破碎法の開発が進められており、水圧破碎法の検定が可能になること、応力変化測定については10kPa

の分解能を数年間で実現する計画であることが紹介された。

「地震予知研究のための応力開放法による深部応力測定—計器開発による地下深部(1km以上)における応力観測と地殻活動総合観測—」(地震予知振興会: 石井紘)では、東濃地震科学研究所で開発が進められているインテリジェント歪計の開発状況と、それをういた深部での応力開放法による地殻応力測定の実例が紹介された。メモリーを内蔵したインテリジェント回収型歪計を埋設したのち、オーバーコアリングを行い、引き上げつつキャリブレーションを行うことによって、精度の高い応力測定が可能になる。また、応力測定のものに、歪の連続観測を実施することにより、応力変化を追跡することが可能になる利点が強調された。

「応力測定のこれまでの成果と今後の展望」(産総研: 伊藤久男)では、これまでの応力測定による成果の紹介とともに、水圧破碎法のかかえる問題点が指摘され、修正水圧破碎法、乾式破碎法、コアを用いた応力測定など、解決に向けたいくつかの方法が提案された。

地殻応力測定について、その重要性は論を待たないものの、歪みや地震のモーメントテンソル解から推定される応力との対応関係がこれまであまりはつきりしなかったこと、そもそも観測手法そのものの信頼性が確立しておらず20年来の論争があったことなどの問題点があった。しかし最近では、このような困難を乗り越え、やっと解決へのめどが立ってきた段階になったようである。

7-2. 2004年パークフィールド地震

第161回連絡会では、トピックスとして2004年9月28日に米国カリフォルニア州で発生した「2004年パークフィールド地震」(世話人: 岡田義光委員)が急遽取り上げられた。パークフィールドは米国における地震予知のテストフィールドとして有名であり、M 6.0の地震が1988年頃に発生するとの予測がなされたまま、大幅に遅れて今回の発生に至ったものである。

「UJNR報告」(地理院: 海津優)では、今回のトピックスが10月12日~18日に米国で開催されたUJNR第5回地震調査専門部会合同部会とパークフィールドへの巡検の報告を兼ねていることが説明された。UJNR (U.S./Japan Conference on Development and Utilization of Natural Resources: 天然資源の開発利用に関する日米会議)は1964年1月に開催された日米貿易経済合同委員会の合意によって設置され、各種の専門部会から構成されている。第9回UJNR本会議(1978年10月)で地震予知技術専門部会(Panel on Earthquake Prediction Technology)の設置が決定され、定期会合がほぼ2年ごとに日米で交互に開催されてきたが、第10回部会が

開催される時期に、両国より、狭い意味の地震予知から、より広範な地震の調査研究を指向するべきであるとの機運が強まり、地震調査専門部会 (Panel on Earthquake Research) と改称して、今日に至っている。

「パークフィールドの地震について」(防災科研:岡田義光)では、そもそもパークフィールド地震がなぜ注目されるようになったのか、これまでどのような取り組みがなされてきたのかについて、レビューがなされた。パークフィールドは、サンフランシスコとロサンゼルスの間あたりに位置する、サンアンドレアス断層沿いの小さな村である。パークフィールドの北側は断層がずるずる滑るクリープ領域、南側は1857年にFort Tejon地震(M 8.3)を起こした固着域になっていると考えられている。ここでは、過去に1857年、1881年、1901年、1922年、1934年、1966年とほぼ22年の間隔でM 6.0の地震が規則的に繰り返されてきたことから、次回は1988年1月頃に発生すると予測されていた(図16)。しかも、1934年と1966年の地震はどちらも17分前にM 5の前震を伴い、本震は北西から南東へと破壊が伝播するなどの特徴がそっくりであったため、次回も同様の地震が起こる

との想定に基づいて、各種の観測体制や警戒態勢がしかれていた。しかし予想された地震は起こらず、周辺で発生した1983年コーリング地震(M 6.5)の影響などが議論されてきた。地震予知の実験場としての意義は薄れつつあるなか、やがて起こるのであろう地震を徹底的に調べる目的で、各種の観測が集中的に行われるようになった。1966年の震源の近くでは、EarthScope計画の一環としてサンアンドレアス断層を掘削するSAFOD (San Andreas Fault Observatory at Depth) が開始された(図17)。2002年夏には深さ2.2kmのパイロット孔が完成し、今年(2004年)は6月11日から本孔の掘削が進められていた。深さ1.4kmまで垂直に掘削したのち方向を55度曲げて断層に向かい、深さ2.5kmにまで達する第1期掘削がほぼ完了した時点で、今回の地震が発生した。SAFODのパイロット孔および断層周辺に配置された多数の観測計器からのおびただしいデータとともに、今後の詳細な解析結果が期待される。

「今回の地震の意味と今後に残された問題点」(東北大学:長谷川昭)では、今回のパークフィールド地震の特徴を紹介するとともに、今後の地震予知研究に対して提

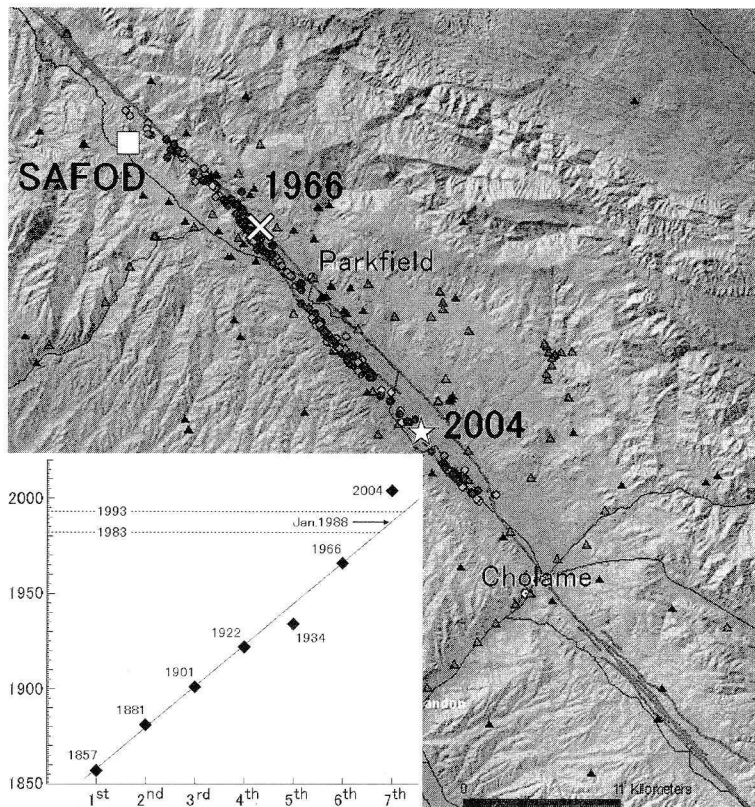


図16 パークフィールド地震の繰り返し。星印は2004年、×印は1966年の震源であり、三角印は地震観測点、四角印はSAFODの位置を示す。[第161回:防災科研資料とUSGS資料より合成]

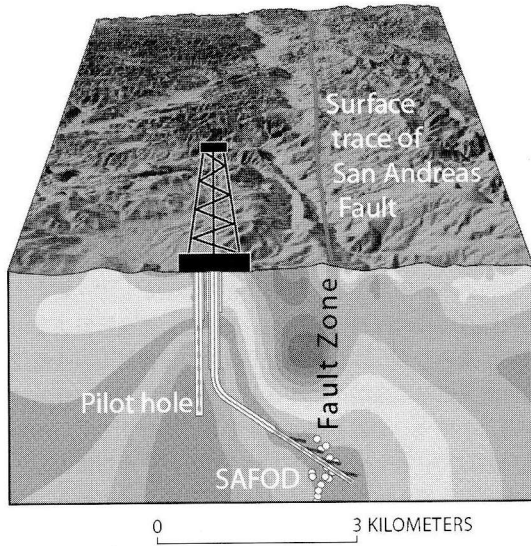


図 17 SAFOD (San Andreas Fault Observatory at Depth) 計画。第 1 期では深さ 1.4 km まで垂直に掘削したのち 55 度曲げて深さ 2.5 km まで到達、第 2 期は微小繰り返し地震の震源をターゲットに断層を貫通し深さ 3.2 km まで到達、第 3 期は 4 本の分岐孔で各々 250 m のコアリングを行うことを計画している。[第 161 回: USGS 資料]

起された問題点が論じられた。2004 年パークフィールド地震は、従来の予測を部分的に満たしたものの、すべてが予測通りに起こったわけではない。今回は前震を伴うことなく、また、1966 年の地震に見られた事前の異常地殻変動も現れなかった。また、断層破壊も南東側から北西側に伝播する形態で発生し、余震域の南東への拡がりも 1966 年の場合より有意に短かった。震源域の近くに設置された歪計には、1 日前くらいからの不明な動きは

記録されているものの、地震発生直前の数秒間は何の加速的なシグナルも見られず、プレスリップの捕捉可能性に疑問が投げかけられた。また、今回の地震ですべての領域の歪みが解放されたわけではなく、それはいつどのようにして解放されるのかが注目される。さらに、今回の地震の発生が遅れた原因もまだ明確にはされておらず、地震発生直前過程の問題や、流体が地震発生に及ぼす影響などと合わせて、今後に残された課題は多い。

■ 書 評 ■

● 誰のための地震対策か

井野盛夫 著

こうすれば東海地震はこわくない

評者 石田瑞穂

想定「東海地震」は、多くの人々が「何時起きても不思議ではない」、「日本で唯一、地震予知できるかもしれない」などというフレーズと共に、思い浮かべる地震である。2002年6月中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」により震源域や被害推定などが見直された結果、静岡県を含む東海地域の8都県236市町村が、大規模地震対策特別措置法（大震法）の下に地震防災対策強化地域として、指定された。

本書は、こうした地震を真っ正面に据えて、東海地震対策を論じている。内容は3章に分かれている。まず、“東海地震で知っておきたいこと”と題して、静岡県の地震対策の現状、地震危険地域はどのようにして決められているか、地震の情報はどのようにして出されるか、それぞれの情報に対して地方および個人はどう対処すべきかなど。次に、“対策のあれこれ”と題して、県の行政として決めておくべきこと、その下に市町村単位で実施すべきこと、さらに最終的には個人が防災という認識を持ち自主防災対策を講じることが地域の防災にいかにか重要かということなど。最後に“被災地は語る”と題して、最近大きな被害を生じたトルコの地震（1999年）、台湾の地震（2000年）、芸予地震（2001年）、米国ノースリッジ地震（1994年）などの例をあげ、防災対策が誰のためのものか、自治体や公共施設に関連した企業は地震防災対策として何を心がけるべきかなど、具体例とともにそれぞれ論じられている。

本書の内容は、静岡新聞の「時評」と静岡県教職員互助組合月刊誌に連載した原稿を基にまとめられたということである。そのため、最初に国や県の地震対策における行政面での基本的なことが書かれている。タイトルから想像される評論的な内容でないことは、読み始めてすぐに解る。これは、静岡県の地震防災対策課長、防災局長、静岡県防災情報研究所長を経て、現在富士常葉大学環境防災学部長を務める著者の経歴からも容易に納得さ

れることではある。地震防災を専門とする国内唯一のセンターである静岡県地震防災センターは、県民がより早く大災害への備えを学び体験できる施設として、著者が防災局長時代に行政と県災害対策本部の支援機能を加え設立に至らした施設である。従って災害対策の基盤は自主防災組織の組織化にあるという著者の主張は極めて説得力を持つ。地震予知ができてできなくても、地震は発生し大被害を生じ得るということ、その対策として一人一人の備えが如何に重要かを再認識させられる。

本書は、地方行政に携わる関係者は勿論のこと、一般の人々にも是非読んで頂き本書の主張する「自らの命は自らが守る」という基本とは何かを考えて頂きたい内容である。

＜静岡新聞社、131ページ、2004年、B6判、定価735円＞

● 「ここが危ない」を一冊に

岡田義光 著

日本の地震地図

評者 塚原弘昭

市民向けの本ではあるが、手抜きをせず正確に、最新の情報を盛り込んで、しかも分かりやすい。いかにも岡田義光氏の執筆した本だ。全国の地震情報を地震予測、地震対策まで含めて地域ごとに解説している。

この本には大きな特徴が3つある。第1は、そのまま専門家あるいは防災に携わる実務家を使うことのできる精確な図や表を使って、解説が進められていることである。最近の市民向けの解説書は、見るだけで分かるように、細かいところを省いたイラストがたくさん使われている。それらは概念を知るには手取り早いのが、さらにその絵からその先を読もうとすると、役に立たないことが多い。特に防災に関わる実務家はそんなことを何度か経験しているのではないだろうか。

第2は、データとその解釈が最新だという点である。1995年の兵庫県南部地震以来、活断層の発掘調査地点、地震観測点、GPS観測点等が急激に増加し、それに伴ってデータの蓄積速度も桁違いに速くなった。データとそれに対する研究者の解釈を、つぎつぎフォローするのは

並大抵ではない。この本では、最新の膨大なデータから、必要な部分を取り出し、それを精度を落とさず分かりやすくレイアウトし解説を加えている。

第3は、各地域ごとに「地震予測」と「地震対策」の項がもうけられ、データと研究成果に即して具体的な提言がなされていることである。

最初の章では、地震現象に関する基礎知識が簡潔に述べられている。活断層についての解説、あるいは、地震調査研究推進本部が公表している地震の発生確率をどう見たらよいかなどについての解説がある。また、内陸型地震（直下型）の怖さを、海溝型地震との100年間の総死者数の比較で示している。数字で示すあたりは、前述のこの本の特徴をよく示している。

次の章からは、北海道から九州・沖縄まで全国を7つの地域に分け、地域ごとの解説である。

まず、その地域全体の状況説明があり、それに続いて、「地震活動」、「活断層」、「地震被害」の3項目に分けての解説がある。そのあとに、主な大地震それぞれについて、「地震のタイプ」、「地震の概要」、「被害」の項目に分けて記述される。

それに続く2つの項目、その地域の「地震予測」と「地震対策」が前述のようにこの本の特徴であり、ここは他書に追従を許さない内容だ。例えば、東北・新潟地域の章の「地震予測」の項では、日本海溝の海溝型地震、日本海東縁部の地震、活断層型の地震などに分け、それぞれの予想マグニチュード、平均発生間隔、10年以内や30年以内の発生確率などが示され解説が付いている。

一般市民にとっては、イラストによる概説書の一步先をいく知識を得るよい教科書であり、防災に関わる仕事をしている人にとっては、手元に置いたら資料として大いに役に立つ本ではなからうか。学生、研究者にとっても正確なデータがまとめられているので、知識を確認するのに大変便利である。

<東京書籍、2004年6月、A5判、191頁、1,800円（税別）、ISBN 4-487-79876-0>

● 地球の形 Q & A

日本測地学会 監修、大久保修平 編著
朝日選書「地球が丸いってほんとうですか」

評者 本蔵義守

本書は、日本測地学会創立50周年記念行事の一環として、測地学が対象とするものを、最近の研究成果を交

えて一般にわかりやすく解説することを目的として企画されたものである。編者の大久保修平教授を含む日本測地学会を代表する4名の研究者が執筆している。

本書の構成は一般の解説書とは異なり、わかりやすさを主眼としている。つまり、測地学の代表的分野を陽に意識させるような筋立てではなく、一般の人々がごく普通に日常でいただく疑問を想定し、それを測地学の立場でわかりやすく解説するというQ & Aの体裁になっている。Qは簡潔で、最も長いものでもわずか25字である。しかし、さすがにこれでは短すぎると判断したようで、数行の補足説明がQの後に添えられている。このようなQに対して、数ページのAが続く。

Q & Aは50項目にうまくまとめられている。編者は恐らく、仮にいくつかの章にまとめてもよいように、順序立てを考えているのであろうが、読者はそのことを意識しないで読み通せる。したがって、どの項目を拾い読みしても理解できるようになっている。もっとも、始めから終わりまで素直に読み通す方が、全体の理解には適しているのではあるが。

とりわけ面白いのは、解説の中で、Qにまつわるエピソードが自然にはめ込まれており、本書を親しみやすくさせていることである。こうしたエピソードは一般の教科書や解説書などでも見られるが、さすが測地学の専門家だけあって、あまり知られていないようなエピソードもかなりあり、評者のような地球物理学を専門とする者にとっても大変有益なものとなっている。

もう一つの工夫として、天、地、人及びこれらを組み合わせた分類を設け、Q & Aがこれらのどれと関連しているかをロゴマークで示している。評者はじつのところ、この対応を意識することなく読み通してしまった。一般の読者に筆者たちの意図するところが通じるかどうか、気になるところである。いっそのこと、思い切ったこうした意図が反映されるような構成（例えば、分類に応じた読者への語りかけ）となれば大変面白いと思うのだが、それは評者の言い過ぎであろう。

本書の内容に触れないで、中身は「読んでのお楽しみ」としてもよいのだが、それでは書評にならないので、以下にごく簡単に紹介しておこう。まず、地球の形をテーマに、計測技術や計測の結果などが取り上げられている。ついでジオイドを介して重力が自然に導入されている。その後、3角測量や水準測量からGPSへとつながり、さらに衛星計測技術に移っていく。衛星計測の強力を地震に伴う地殻変動などを通して読者に納得させ、そのほかのいくつかのQ & Aを経て、測地学への女性の参加を呼びかけて終わりとなる。随所にわかりやすい図がはめ込まれており、楽しく読み通せる。

本書は一般の読者を対象としているものと思われる

が、高校生あるいは大学1年次あたりの学生にとっても大変有益であろう。教科書としては使いにくい、副教材としては大変便利なものとなろう。プロ意識に裏打ちされた野外での高度な観測が測地学では重要であり、ともすれば男性中心の世界になりがちであるが、GPSに

代表される宇宙技術などの広がりとともに、女性の進出が目立つという。本書を契機に、この傾向がさらに強まることを願いたいものである。

<朝日新聞社、2004年、B6判、277頁、1,200円>

●新刊紹介

地盤工学会 編

1964年新潟地震液化災害ビデオ・写真

地盤工学会, 2004年4月, CD-ROM, 3,300円+税

産経新聞社

巨大地震が来る!

産経新聞ニュースサービス, 2004年6月, 四六判, 243頁, 1,400円+税

佐藤喜久二 著

主動の地震応急対策

内外出版, 2004年6月, A5判, 236頁, 1,715円+税

神沼克伊 著

地震と火山の100の不思議

東京書籍, 2004年7月, A5判, 231頁, 1,600円+税

応用地質株式会社・源米正人 著

宮城県沖地震の再来に備えよ

河北新報出版センター, 2004年7月, A5判, 250頁, 1,400円+税

清水哲也 著

あなたは生き残れますか? 東海地震対策最終マニュアル 5851

静岡新聞社, 2004年7月, B6判, 167頁, 1,429円+税

安芸敬一・P.G. リチャーズ 著

地震学 定量的アプローチ

古今書院, 2004年8月, 菊判, 960頁, 16,000円+税

弘原海清 著

動物は警告する!

隅田川文庫, 2004年8月, A5判, 176頁, 900円+税

円城寺守 編・著

地球環境システム (早稲田教育叢書)

学文社, 2004年8月, A5判, 238頁, 2,000円+税

保坂貴司 著

耐震診断 既存木造住宅の安全性を見極めるコツ

日経BP社, 2004年9月, B6判, 215頁, 1,700円+税

日本放送協会 著

大地震が起きた時、あなたは大丈夫か

近代映画社, 2004年9月, B6判, 215頁, 1,600円+税

Be-pal 編集部 著

アウトドア流防災ブック

小学館, 2004年9月, B6変形, 96頁, 800円+税

今村遼平 著

地震タテ横ななめ

電気書院, 2004年9月, A5判, 286頁, 1,900円+税

志田雅洋 著

一人暮らしの地震対策ハンドブック

新風舎, 2004年10月, B6判, 95頁, 1,000円+税

佐山 守 著

安政江戸地震災害誌 (上巻)

海路書院, 2004年10月, A5判, 607頁, 28,000円+税

佐山 守 著

安政江戸地震災害誌 (下巻)

海路書院, 2004年10月, A5判, 609頁, 28,000円+税

執筆紹介

<掲載順>

氏名 大竹政和

[おおたけ まさかず]



現職 東北大学名誉教授、(独)原子力安全基盤機構技術顧問理学博士

略歴 東京大学理学部地球物理学科卒業、同大学院理学系研究科修士課程修了(地球物理学専攻)、東京大学地震研究所助手、建設省建築研究所主任研究員、科学技術庁国立防災科学技術センター研究室長、東北大学理学研究科教授を経て現職

研究分野 地震学

著書 『地震と対策—大地震の疑問に答える—』(共著、白亜書房)、『地球は生きている』(小峰書店)、『日本海東縁の活断層と地震テクトニクス』(共著、東京大学出版会)

氏名 萩原幸男

[はぎわら ゆきお]



現職 日本大学客員教授
理学博士

略歴 東京大学大学院数物系研究科修士課程修了、(株)日本鉱業中央研究所勤務、東京大学地震研究所教授、科学技術庁防災科学技術研究所長、日本大学文学部教授を経て現職

研究分野 測地重力

著書 『地球重力論』(共立出版)、『測地学入門』(東京大学出版会)

氏名 堀江 啓

[ほりえ けい]



現職 独立行政法人防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター研究員

略歴 神戸大学工学部建築学科卒業

業、同大学院自然科学研究科建設学専攻修了、同博士課程地域空間創生科学専攻(在学中)、(株)熊谷組技術研究所研究員を経て現職

研究分野 都市防災、建築耐震工学

氏名 岡田義光

[おかだ よしみつ]



現職 独立行政法人防災科学技術研究所企画部長
理学博士

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

研究分野 地震学、地殻変動論

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

氏名 安藤雅孝

[あんど うまさたか]



現職 名古屋大学大学院環境学研究科地震火山・防災研究センター教授
理学博士

略歴 東京大学理学部地質学科卒業、同大学院理学系研究科地球物理学博士課程修了、京都大学防災研究所助手、助教授、教授を経て現職

研究分野 地震学、海底地殻変動

著書 「巨大地震の予知と防災」(共著、創元社)、「新版地学教育講座—地震と火山」(共著、東海大学出版

会)、「東海地震がわかる本」(共著、東京新聞出版局)

氏名 宮野道雄

[みやの みちお]



現職 大阪市立大学大学院生活科学研究科教授
工学博士

略歴 東京都立大学大学院工学研究科博士課程単位取得退学、東京工科大学専任講師、大阪市立大学生活科学部専任講師、助教授を経て現職

研究分野 地震防災、住居安全工学

著書 『安心の住まい学』(共著、トーン出版)、『講座 高齢社会の技術7. まちづくり』(共著、日本評論社)、『阪神大震災に見る木造住宅と地震』(共著、鹿島出版会)、『阪神大震災はや5年まだ5年』(共著、学芸出版社)、『地震防災の事典』(共著、朝倉書店)、『安全・安心の都市づくり』(共著、東京都立大学出版会)、『防災事典』(共著、築地書館)等

氏名 伯野元彦

[はくの もとひこ]



現職 攻玉社工科短期大学学長
工学博士

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

研究分野 地震工学

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

氏名 田中貞二

[たなか ていじ]

略歴 電機学校高工
科卒業，理学博士，
東京大学地震研究所
助教授を停年退官
後，清水建設大崎研究室・同技術研
究所勤務ののち退職

研究分野 強震動



氏名 津村建四郎

[つむら けんしろう]

現職 財団法人日本
気象協会参与
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，気象庁地震予知情報課長，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

研究分野 地震学(地震活動の研究)



氏名 石田瑞穂

[いしだ みずほ]

現職 独立行政法人
防災科学技術研究所
研究主監
理学博士

略歴 東京大学大学院理学系研究科
地球物理学専攻博士課程修了，科学
技術庁国立防災科学技術センター
(現防災科学技術研究所) 研究官，地
圏地球科学技術研究部長，総括地球
科学技術研究官を経て現職

研究分野 地震学，リアルタイム地
震学

著書 『日本列島の地震』(共著，鹿
島出版会) 他



氏名 塚原弘昭

[つかはら ひろあき]

現職 信州大学理学
部教授
理学博士

略歴 東北大学理学
部岩石鉱物鉱床学科卒業，名古屋大
学大学院理学研究科博士課程単位取
得退学，防災科学技術研究所研究室
長を経て現職



研究分野 地震学，地球化学

著書「大地が語る信州の四億年」(共
著，郷土出版社)，「地球環境変動の
科学」(分担執筆，古今書院)，「地震
と防災(糸魚川—静岡構造線)」(編
著，信濃毎日新聞社)，「善光寺地震
から学ぶ」(分担執筆，信濃毎日新聞
社)

氏名 本蔵義守

[ほんくら よしもり]

現職 東京工業大学
理事・副学長，東京
工業大学大学院理工
学研究科教授
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
博士課程修了，東京大学地震研究所
助手，東京工業大学理学部助教授，
同教授，東京工業大学理学部長を経
て現職

研究分野 地球物理学

著書 *Solid Earth Geomagnetism*
(共著，Terrapub)，『地球内部ダイ
ナミクス』(共著，岩波講座) 他



ADEP情報

(財)地震予知総合研究振興会の人事異動

採用

技術職員 中村 佳代子 16. 4. 1

退職

研究員 (出向解除) 杉山 光正 16. 4.30
 主任研究員 宇田 進一 16. 6.30
 主任研究員 梶間 和彦 16. 6.30
 主任研究員 橋口 孝 16. 6.30
 総括主任研究員 (出向解除) 佐々木 俊二 16. 9.30
 技術職員 関根 晴美 16.12.20

ご逝去

副首席主任研究員 佐藤 良輔 16. 5.12
 参 与 一色 長敏 16. 8.13
 顧 問 力武 常次 16. 8.22

以上

編集後記

力武常次先生が8月に他界された。本誌を創刊され、30号まで編集長を務められた。編集15年を顧みて巻頭言「エッセイ」が本誌31号に掲載されている。故萩原尊禮会長が振興会の「顔」という意味を込めて、力武先生に刊行を一任されて以来のテーマ選択、原稿依頼の苦労話が語られている。

本誌刊行の頃には、規模の大きい地震の予知は10~20年後には一応の完成を見るだろうという、ある種の楽観的な雰囲気があったように思える。しかし阪神淡路大震災を機にこの雰囲気は消し飛んだ。究極的に地震を予知するためには、もっと観測網を充実して、完全に地震像を把握しなければならぬ。基盤観測網の整備はこうして開始された。他方地震防災という用語も「地震災害軽減」に置き換えられた。地震工学会も新設され、地震学と地震工学は地震関連研究の両輪を担うこととなった。

地震学そのものも狭い意味の地震学から脱却した。GPS技術の発達とともに、リアルタイム地殻変動観測は基盤観測網の一翼を形成するに至った。さらにこれ迄地震工学の分野と見なされてきた強震動観測も加

わり、地震学と地震工学の境界域を埋めることで両学問分野の一体化が促進された。このように阪神淡路大震災後の10年、地震関連科学の様相は一変し、旧来の狭い地震学から「地震システム科学」へと大変換をなし遂げたのである。

以上のような学問領域の変革を前にして、本誌も内容を変えざるを得なくなった。これ迄理学系を中心とした内容に加えて、工学系の内容が増え始め、今日では雑誌の50%を工学関連記事が占めるようになった。本誌は嫌が上にも地震関連の総合誌時代に突入した。今後は8~10ページ論文を2編、4ページ小論文・短報を3~4編、1~2ページ囲み記事を4~6編といった構成で、なるべく広い領域をカバーしたいと考えている。

力武先生が亡くなった直後から震度V以上の地震が続発し始めた。9月5日に東海道沖にM7.4が発生、紀伊半島で震度V⁻、すわ東海・東南海地震の前兆と週刊誌の話題となった。10月6日には茨城県南部・埼玉県南部で震度V⁻が発生、10月23日の新潟県中越地震では遂に震度VIIが発生し、山岳部特有の山崩れ、堰き止めダムといった複合災害の様相を呈した。本誌の囲み記事に

緊急報告、地震予知連絡会情報には詳細な地震情報が紹介されている。

さらに追い打ちを掛けるように、11月29日には釧路で震度V⁻と、実に力武先生の没後3ヶ月の間に4回の地震が日本列島を揺さぶった。もしかすると力武先生は地震なまざるを押さえつける「要石」の役を担っておられたのかも知れない。

(Y. H.)

地震ジャーナル 第38号

平成16年12月20日 発行

発行所 ☎101-0064
 東京都千代田区猿樂町1-5-18
 ☎ 03-3295-1966
 財団法人
 地震予知総合研究振興会

発行人 高木章雄

編集人 萩原幸男

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

●製作/ (財)学会誌刊行センター