

資料編 I

阪神・淡路大震災から10年
何がどこまで変わったか

阪神・淡路大震災から 10 年 何がどこまで変わったか

はじめに

これまでの10年とこれから

中川 和之（月刊地震レポート「サイスマ」2005年1月号より）

はじめに

1995年1月17日午前5時46分に発生したマグニチュード7.3の兵庫県南部地震。専門家には、いずれは起こって当然の地震であったわけですが、地元では充分意識されないまま、いきなり大きく揺さぶられ、被災したのです。そこで得られた多くの反省と共に、地震防災対策は進められてきました。多くの専門家が従来の立場から一歩踏み出し、現実に立ち向かっていきました。説明責任が指摘される昨今では、当然のこのように感じるかも知れませんが、まだ専門家は当事者から一歩離れたところにおいても許された時代でした。その中で、阪神・淡路大震災の被災を実感した関係者が、ある種の「トラウマ」とまでも言える決意を心に置き、試行錯誤を重ねてきました。その一つとして、95年7月に地震防災対策特別措置法が制定され、政府として責任を持った体制で地震の調査研究の実施や、成果の伝達・活用を行うために地震調査研究推進本部が発足しました。

誌上パネルディスカッション

今回の連載企画は、1年間を通じての3部構成の誌上パネルディスカッションのような内容としました。何がどこまで変わったのか振り返り、そこからどのような展望が開かれたのかを確認し、その上で今後の課題を考える材料にできればと思います。

まず、第1部として、基盤的調査観測の成果と展望について、自治体まで当事者として巻き込んだ活断層調査に始まり、強震動観測や高感度地震観測、広帯域地震観測、GPS観測などについて、報告をしていただきます。これらを受けて、その意義や成果、今後の課題を対談形式などで総合的に評価し、新たな展望を探っていく予定です。

第2部は、長期評価についてで、確率評価を導入した活断層評価や、2003年十勝沖地震のような海溝型地震の長期評価という揺れの発生源の評価方法から、実際に被害につながる揺れを予測する強震動評価の手法や、それらを総合的に表現するための地震動予測地図について、数回に分けてレポートします。やはりこの部の最後で、今後、解決が期待される課題などについてまとめます。

第3部としては、具体的な社会の対応例を取り上げます。活断層評価や、海溝型地震の長期評価が、自治体などの対応にどう活かされているのか、また、強震動予測地図を作成し、活用している自治体の事例を紹介します。さらに、新しい情報としての緊急地震速報についても取り上げます。

最後に、地震災害の軽減のために、今後、どのような調査研究が求められるのか、そこで地震調査研究推進本部が果たす役割は何かについて、全体のまとめの対談をお願いする予定です。

読者からのご意見も

中川 和之（なかがわ・かずゆき）氏

時事通信社 Web 編集部次長。1981年日本大学芸術学部卒。84年長野県西部地震を取材、87年気象庁担当（98年まで4回、通算4年）。99年（社）日本地震学会広報委員会委員、2003年同学会普及行事委員会委員長、2000年厚生省大規模災害救助研究会専門分科会委員。02年から現職。

兵庫県南部地震以前になかったものを数え上げるときにはないのですが、個人的な経験でも、地震直後に社内で緊急出版物を編集するにあたり、北海道から九州・沖縄までの地震活動をまとめようとしたところ、94年に地震予知連絡会がまとめている専門的な資料しか見当たらず、とても苦勞しました。97年に、推本でまとめた「日本の地震活動」が発刊されたときには、豊富なビジュアル資料などが自治体での利用を考えて作成されていたのに感心させられました。また、名古屋大学での春の日本地震学会会期中に発生した97年3月の鹿児島県北西部の地震では、名古屋地方気象台で臨時の調査委員会が開催された動きの良さも新鮮でした。

現在も続くさまざまな試行錯誤もありますが、兵庫県南部地震が発生した時点で地震学の専門家の常識だったレベルには、この10年で到達できてきたのではないかと思います。

一方で、2004年の新潟県中越地震は、余震情報が重要な位置を占めることを教えてくれました。また、地盤の状況などローカルな条件が地震被害を左右することも改めて強く認識されました。地域の情報を地震防災にどう取り込んでいくか、そのための担い手＝地域の地震防災の主治医的な存在の必要性も考えねばなりません。

通常のパネルディスカッションでは、会場との意見交換が行われます。この企画に関して、サイスマ読者の皆さんから編集部へのお便りは、可能な限り対談の場で取り上げていただければと思います。

第1部 地震に関する（基盤的）調査観測の主な成果と新たな展望

活断層調査

主要な98断層帯について 世界に例のない規模で推進

吉岡 敏和（月刊地震レポート「サイスマ」2005年2月号より）

地方自治体と「産総研」などが分担

阪神・淡路大震災をもたらした1995年兵庫県南部地震のあと、地震調査研究推進本部が選定した基盤的調査観測対象の98の断層帯について、都道府県などの地方自治体と産業技術総合研究所（当初は工業技術院地質調査所）などが分担して詳細な調査を行ってきました。地方自治体では、文部科学省（当初は科学技術庁）の交付金により、これまでに全国36の都道府県と9つの政令指定都市が活断層の詳細な調査を実施しています。

調査内容は、活断層の過去の活動時期を調べるトレンチ調査や群列ボーリング調査はもちろんのこと、長い期間における活断層の活動性を把握するため、活断層の地下での形状を調べる反射法弾性波探査や層序ボーリング調査なども含まれています。また、活断層が海底や湖底に分布する場合には、音波探査なども活用されています。

これらの調査が開始される以前、活断層に関する調査は、地質調査所や大学グループなどによる調査が実施されていたのみで、このような大規模な調査が、各地で同時並行で実施されたのは、おそらく世界的にも初めてのことだと思われます。

調査を実施した結果、それぞれの断層帯において、多くの成果が得られました。以下に、それらの調査の成果について、いくつかの例を挙げて紹介します。なお、ここに挙げた自治体以外でも、大きな成果が上がっていることは言うまでもありません。

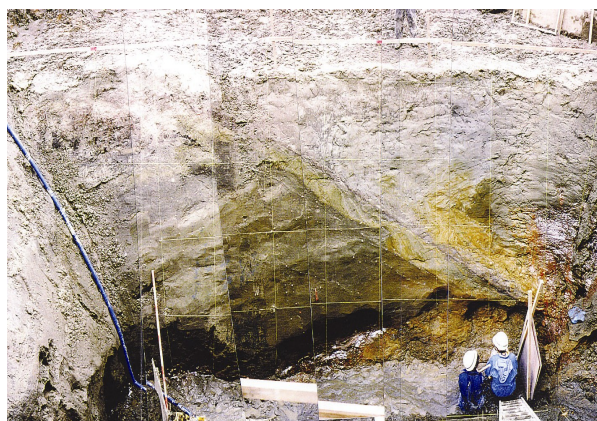
吉岡 敏和（よしおか・としかず）氏

独立行政法人産業技術総合研究所活断層研究センター活断層調査研究チーム長。1984年神戸大学理学部地球科学科卒。1986年東京都立大学大学院理学研究科修士課程修了。1995年博士（理学）取得。工業技術院地質調査所を経て、2004年より現職。地震調査委員会長期評価部会中日本活断層分科会委員。著書は「阪神・淡路大震災」（分担執筆、東海大学出版会）、「地震と活断層」（分担執筆、丸善）など。

活断層の発見や活動時期の 解明など多くの成果

広大な面積を有する北海道には、石狩低地東縁断層帯や十勝平野東縁断層帯など、規模の大きな活断層がいくつか存在していますが、これまでに、詳細な調査はほとんど行われていませんでした。北海道では、道立地質研究所が中心となって、平成7年度からの10年間に7断層帯の調査が行われています。その結果、増毛山地東縁断層帯、当別断層、石狩低地東縁断層帯、函館平野西縁断層帯など、多くの断層帯で最新活動時期が判明するなどの成果が得られました。

九州北東部に位置する別府^{はねやま}一万山断層帯は、比較的小規模な正断層が数多く集中して断層帯を構成しているという特徴をもっています。大分県では、平成10年度から6年にわたり、この別府一万山断層帯の調査を実施し、多くの成果が得られています。特に大分市の市街地直下に府内断層という断層が存在することが判明し、その活動性や活動時期などのデータが得られるなど、防災上非常に重要な情報を得ることができました。



森本・富樫断層帯の梅田地区トレンチに現れた断層（石川県の平成10年度地震関係基礎調査交付金「森本・富樫断層帯に関する調査」成果報告書より）



京都市が平成9年度に実施した三方・花折断層帯（京都盆地－奈良盆地断層帯）の西野山トレンチに現れた地層の傾斜（著者撮影）

西日本を東西に縦断する大断層である中央構造線断層帯については、徳島県、愛媛県などによって調査がなされています。また、紀伊半島および紀伊水道、伊予灘の海域については産業技術総合研究所が調査を実施しました。特にトレンチ調査については、徳島県で4カ所、愛媛県で9カ所において実施され、これらの結果に基づいて、断層帯の過去の活動時期が明らかになりました。

自治体が追加調査を行う例も

また、地震調査研究推進本部の長期評価が公表された後に、自治体自らの判断で追加調査を行い、成果を上げた例もあります。

神縄・国府津－松田断層帯では、平成9年に地震調査研究推進本部から長期評価が公表され、最新の活動時期は約3千年前、おおよその活動間隔も3千年程度と評価されました。神奈川県では平成13－15年度に神縄・国府津－松田断層帯の追加調査を実施し、トレンチ調査の結果、最新活動時期が650～900年前、活動間隔は1,000～1,100年と限定することができました。

鈴鹿東縁断層帯では、三重県の平成7年度の調査結果などに基づいて、地震調査研究推進本部が平成12年に長期評価を公表しましたが、最新の活動時期については、約2万年前以降としか限定されませんでした。これを受けて三重県は平成13、14年度に追加調査を行い、トレンチ調査から最新活動時期をおよそ3千年前に限定できる

第1部 地震に関する（基盤的）調査観測の主な成果と新たな展望

データが得られました。

なお、これらの追加調査にも文部科学省の交付金が使われています。

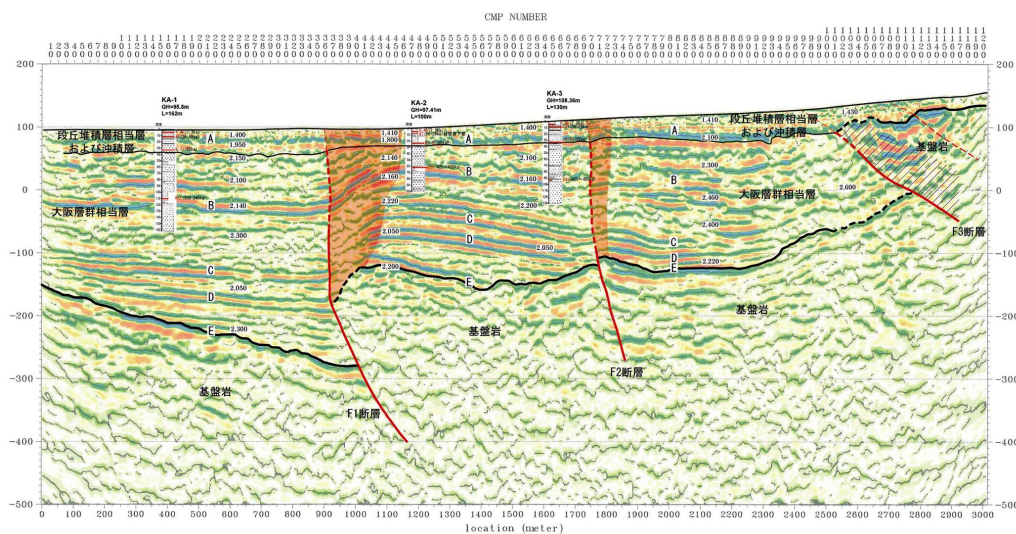


図 三峠・京都西山断層帯の亀岡断層の反射法弾性波探査断面

(京都府の平成15年度地震関係基礎調査交付金「三峠・京都西山断層帯に関する調査」成果報告書より)

成果を地域防災へ役立てるため十分な議論を

このように、地方自治体による活断層調査では大きな成果を得ることができましたが、調査の結果得られた情報を、今後自治体としてどのように引き継ぎ、利用していくかについては、まだ十分に議論されていない感があります。今後、これらの成果を直接地域の防災に役立てるため、継続的な議論・検討が必要かと思われます。

強震動観測 その1

全国規模の観測網で記録を即時公開

木下 繁夫（月刊地震レポート「サイスマ」2005年2月号より）

各機関が目的に応じ展開

強い地震動の計測を強震観測といいます。大きな地震動の時刻歴を記録するだけでなく、その最大値や計測震度を測ることも広義の強震観測とすることができます。この小文では、阪神・淡路大震災から10年を経て、強震観測がどのように変貌したかを紹介します。

この10年で強震観測が大きく変化したことの第一は、全国規模の観測網が充実したことです。これは、強震観測事業推進連絡会議（我国の強震観測を推進するために設立された組織で、実際に強震観測を実施している官民様々な機関から構成されている）が、その更に10年前に策定した全国強震計配置計画等が実を結んだものです。

木下 繁夫（きのした・しげお）氏

横浜市立大学理学部教授。1974年電気通信大学修士課程修了。理学博士。東京都公務員、株式会社三栄測器、独立行政法人防災科学技術研究所を経て現職。

また、測定された強震記録をインターネット上で即時的に公開する方向が定まり、その利用が促進されたのも、この10年です。平成16年10月23日に発生した新潟県中越地震でも、震源域で得られた強震記録が直ちにインターネット上で公開され、その余震記録も余すことなく発信されていることは、この10年の特筆すべき発展といえます。当初、その転送容量からして、インターネット上での記録の配信を危惧していたことが嘘のようです。現在、様々な機関が、その目的に応じて強震観測網を充実させ、運用しておりますが、代表的なものとして、防災科学技術研究所が阪神・淡路大震災の後に構築した観測網（K-NET と KiK-net）では、図に示すような観測点配置を有しています。マグニチュード7クラス以上で、内陸に発生した地震ならば、その震源域の強震記録を得ることが出来ます。このような強震観測が可能となった背景には、地震計の大量生産技術や電子化が進み、かつ、通信技術が向上し、強震計の維持管理が容易になったことがあげられます。

活用方法の啓蒙と利用者の拡大が今後の課題

強震記録の公開システムの確立は、利用者の範囲を拡大し、地震学や地震工学の発展に寄与するものと考えられていました。確かに、地震断層の詳細な破壊の過程の研究や、地震波が伝播経路においてどのような変調を受けるかの研究、さらに、軟らかい堆積層で地震波が増幅される様子を定量的に把握する研究などに大きな貢献をしていると言えます。残念なことは、利用者の拡大がいまひとつ伸び悩んでいることです。これは、強震記録をどのように扱えば良いかの啓蒙が不足していることと、強震記録を子供たちに（特に高等学校で）理解させるための地震の教育には時間がかかることが原因と考えられます。これらのことは次の10年に取り組むべき課題の一つといえます。また、強震記録の蓄積が進むと、これまでには考えられなかったような大きな地震動が発生していることも判ってきました。少し大きな地震では、重力加速度を上回る強震動が発生していることも何ら不思議なことでは無くなりました。様々な耐震基準等が、如何に少ない情報量に基づいて構築されていたかの反省材料を日々提供していることは、皮肉な結果とも言えますが、素直であれば、あるべき方向に進んでいると言えます。

記録が大量に出回ると、その管理が不可欠になります。ただ、管理が行き過ぎると、不特定多数の利用者が自由に使えるというこの10年で得たものに拘束がかかり、ひいては、強震観測自体の自由度に影響する恐れが出て来ます。整然とした強震観測と記録公開システムの確立は、希にしかあり得ない状態を目指すことです。自然界の原則として、整然としたものは混沌へ向かうことがあります。これは、強震観測網が充実し（経済が発展し）、利用成果が上がり（文化が花開き）、記録流通システムが管理化されると（政治が円熟すると）、次に何が生じるか示唆します。結果は、ローマ帝国の歴史を考えるだけで充分でしょう。もとより、強震観測は、公開を前提としない目的指向の強い観測の存在を容認すべきところから発展したものです。このような危惧を再認識するような状態まで、強震観測が変貌したという意味では、この10年は過去になかった10年といえます。

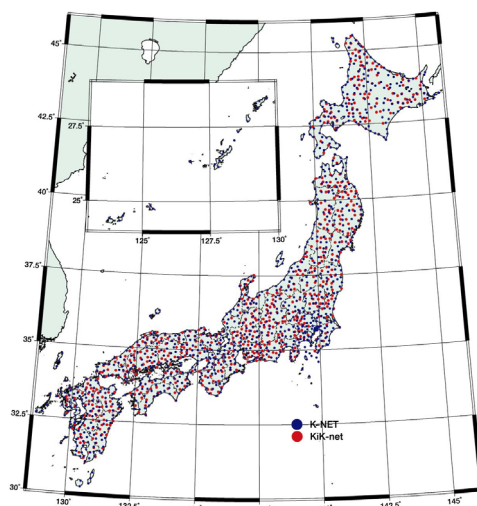


図 K-NET と KiK-net の強震観測点配置図

強震動観測 その2

震度観測の計測化で地震情報の速報体制が確立

— 気象庁の取り組み —

柿下 毅（月刊地震レポート「サイスモ」2005年2月号より）

震度観測の計測化（震度計の導入）

気象庁では明治17（1884）年以来、100年以上体感による震度観測を実施してきましたが、昭和60（1985）年3月に「震度観測検討委員会」を発足させ、震度の器械観測について検討を開始しました。同委員会では精力的に調査・検討を進め、昭和63（1988）年2月に震度を客観的に観測するための指針を提示し、震度の算出式を提案しました。

気象庁はこれに基づき震度を観測するための計器として震度計を開発し、平成3（1991）年から順次それを導入し、世界に先駆けて震度の器械観測を開始しました。

震度計の導入は、震度観測を客観化し、無人の地点でも観測を可能にすると同時に震度データ収集の迅速化を実現しました。これはその後、震度情報が防災情報として社会的要請に応じていく上で大きな原動力になりました。

震度階級の見直し

震度計の整備は進みましたが、気象庁の震度階級自体の改正が遅れたため、各階級の定義である説明文は依然有効であり、体感観測は残されていました。

平成6年（1994）年10月の気象審議会第19号答申では、現行の震度階級が制定後40年以上経過しており、震度階級の説明文が都市を中心とした近年のライフラインの発達、建築物の耐震化、高層化に対応しておらず、かつ震度5以上の説明文は実際に出現する被害状況の幅が大きすぎるため、適切な防災対応を行うためには不十分であることを指摘し改善の必要性を提言しました。

また、平成7（1995）年1月に発生した兵庫県南部地震では、震度7の地域の存在が最初に確認されたのは地震発生から3日後のことでした。これは当時の震度階級では震度計の計測化対象が震度6までであり、震度7は被害調査によることとしていたため、これを契機に震度7の即時的な把握・発表が必要とされました。

これらの問題に対処し、震度階級の見直しを検討するため、平成7（1995）年3月、気象庁に学識経験者からなる「震度問題検討会」が発足し、同年11月にその最終報告が提言されました。その骨子は、以下の4項目になります。

- ①各震度階級は地震動の強さの計測値（計測震度）によって決め、従来の震度階級の定義であった説明文は廃止し、震度7も計測化する。
- ②震度5及び震度6をそれぞれ2階級に分割する。
- ③震度階級説明文に代わり、その震度が観測された際にどのような現象の発生が予想されるかを記述した「気象庁震度階級関連解説表」を作成する。

柿下 毅（かきした・たけし）氏

気象庁地震火山部地震津波監視課調査官。弘前大学理学部卒。気象庁の地震火山業務に従事。特に平成元年～8年にかけ地震・津波に関する緊急情報発表のシステム構築に係わる。

④これに伴い従来の震度算出方法についても一部修正する。

気象庁ではこの報告に基づき、平成8（1996）年4月から震度観測は震度計によるものとし、従来の体感による観測は廃止しました。また同年10月からは新しい震度階級（震度5及び震度6の分割）による震度の発表を開始し、現在の発表体系に移行しました。

新しい震度観測網の構築

気象庁では、従来から約160箇所の気象官署で震度観測を実施してきましたが、平成5（1993）年7月の北海道南西沖の地震を契機に、約160箇所の津波地震早期検知網の地震観測点を整備し、そこでの震度観測も開始しました。しかし、兵庫県南部地震を契機にこれまでの震度観測網をさらに増強し、全国の生活圏を中心におよそ20km間隔の約600地点の整備を行いました。観測点の震度データは専用回線（一部は公衆回線）で全国6箇所の津波予報実施官署（札幌、仙台、東京、大阪、福岡、沖縄）にそれぞれ収集され、さらに東京に集約されました。また、主要観測点には衛星回線によるデータ収集のバックアップ機能も整備しました。

さらに、平成9（1997）年11月からは全国の都道府県が整備した震度情報ネットワークのデータを現地の気象台とオンライン接続して、気象庁の地震情報に活用し震度を一元的に発表する方法を採用し、準備の整った都道府県から順次発表を開始しました。平成15（2003）年3月には全都道府県のオンライン接続が完了しました。さらに独立行政法人防災科学技術研究所の強震ネットワーク（K-NET）の震度についても、平成16（2004）年5月から更新された観測点について発表しています。図1は現在気象庁の地震情報で発表している震度観測点を示したもので、関係機関の協力を得て、全国で約3800地点の高密度な震度の速報体制が構築されました。

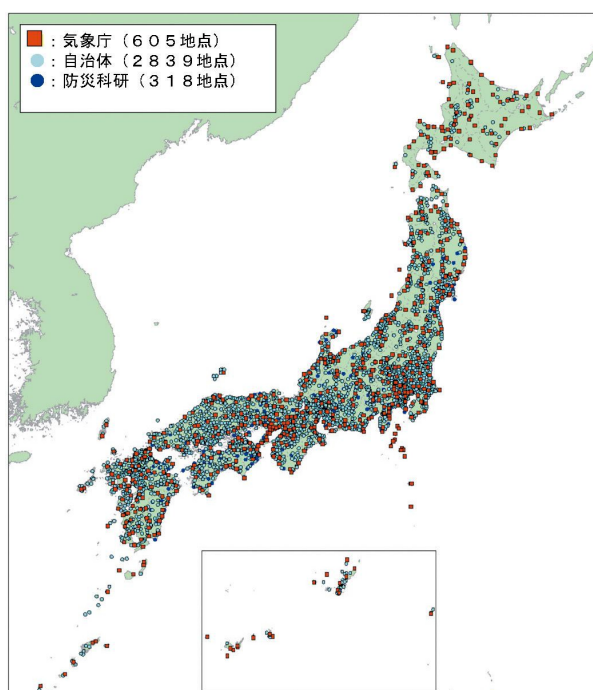


図1 地震情報に活用している震度観測点
(平成16年12月6日現在)

地震情報の改善

一方、兵庫県南部地震以来、地震情報は発災後の救援活動等の初動立ち上げのための極めて重要な防災情報で

第1部 地震に関する（基盤的）調査観測の主な成果と新たな展望

あることが再認識され、これを契機に発表の迅速化と内容の高度化を図りました。6箇所の津波予報実施官署で収集された震度データは自動処理で品質管理を行い、誤った不正データを除外します。図2が現在の震度情報の発表スケジュールとその利用を示したものです。震度計の導入で、地震発生から1分半後には震源付近を中心に大きな震度の主要データがほぼ揃うことから、地震発生後2分で、大きな震度を観測した場所を全国約180に区分した地域名称で発表します。

さらに3分～4分で震源に関する情報、約5分で「震源・震度に関する情報」を発表し、この中で地域名称の他に大きな震度を観測した市町村名、並びに震度5弱以上が考えられるがデータが未入電になっている市町村名を報じ注意を喚起します。この情報が震度の防災情報として一番重要な情報となります。その後、各地点の震度を発表します。

地震、津波の情報は伝達の迅速化が必要なため、オンラインユーザ向けの計算機読み取り用のコードを付加したほぼ現在の電文形式を、平成7（1995）年4月から開始し、テレビ等の速報に利用されています。平成8（1996）年10月には自治体の震度計の活用に備え発表方法を一部修正し、ほぼ現在の形態が整いました。また重要な情報は衛星回線でも配信しています。

今後の震度情報への取り組み

気象庁では兵庫県南部地震以降、旧国土庁防災局（現内閣府）と協力して、観測データのない地域の震度を算出する推計技術を開発し「推計震度分布図」を作成しました（図3参照）。計算には表層地盤の増幅度を使用しています。平成16（2004）年3月から震度5弱以上を観測した地震について、約1時間後の緊急の報道発表で解説して提供しています。この「推計震度分布図」は観測点の震度データが揃ってから作成しますが、今後はできるだけ早い段階での発表を視野に入れ、防災情報としてより活用可能に改善することを目指しています。

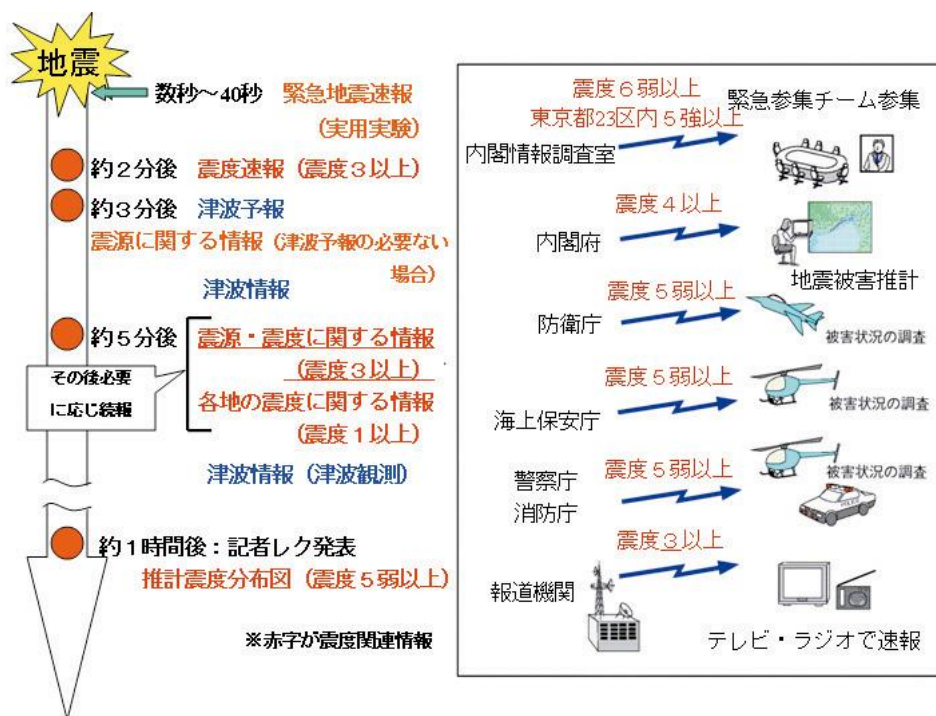
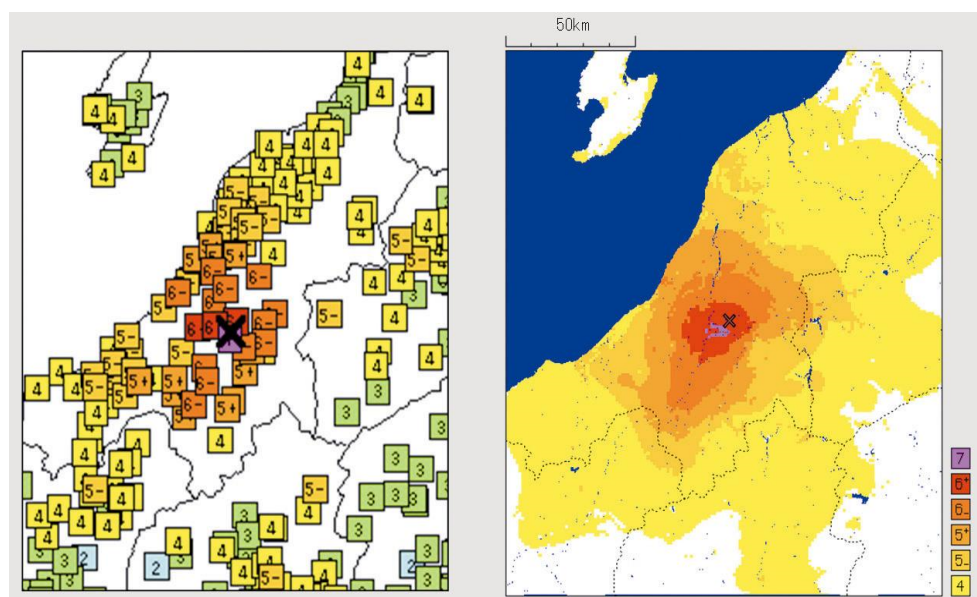


図2 地震情報の発表スケジュールと関係機関の利用



地点の震度分布図

推計震度分布図（提供の際は防災上必要な震度4以上の分布で表示します）

図3 推計震度分布図の例

新潟県中越地震（2004年10月23日17時56分 M6.8 深さ=13km）

高感度地震観測

高感度地震観測網「Hi-net」が築く新たな地球観

小原 一成（月刊地震レポート「サイスモ」2005年3月号より）

Hi-net 建設の経緯

高感度地震観測の主な目的は、敏感な地震計を用いて小さい地震まで検知し、震源や発震機構解決定によって、地震活動パターンや地下構造、地殻応力に関する情報を得ることです。

1995年の阪神・淡路大震災当時、気象庁や防災科学技術研究所、大学等は日本全国の約550地点で高感度地震観測を行っていました。しかし、それは特定地域の地震予知等を目的としたもので、観測点間隔が地域によって異なっており、処理は機関ごとに別々に行うなどデータベースとしては不統一で、情報公開も十分ではありませんでした。

阪神・淡路大震災は地震予知の困難性を示す結果となり、まず地震そのものを理解することが重要である、との観点から、精度の良い情報の蓄積に基づいて研究を推進させるための方策がとられました。すなわち、全国に偏りのない観測網を整備し、均一な検知能力で地震活動を客観的に把握するとともに、データや処理結果を研究者に限らず広く公開する、というものです。

通常の内陸地震は地殻上部の15～20kmより浅い部分で発生しており、その深さの下限が地震の最大規模を反映

小原 一成（おぼら・かずしげ）氏

独立行政法人防災科学技術研究所防災研究情報センター高感度地震観測管理室長。

1985年東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻修士課程修了。博士（理学）。

高感度地震観測網Hi-netの観測管理を努めながら、西南日本の深部低周波微動を発見した。

すると考えられるため、このような地震を的確に捉える目的で、水平間隔が15~20kmとなる観測網の整備が計画されました。そこで新たに建設されたのが、防災科学技術研究所 Hi-net です。その結果、既存の観測点と合わせると、世界に類を見ない程の高密度で高感度の地震観測網が日本列島を覆うことになったのです。

Hi-net の概要とデータ流通

Hi-net は、現在約 700 ヶ所の地震観測施設から構成されています。高感度地震計は非常に敏感なので、車や工場などの振動も捉えます。これらのノイズを避け、地下からのシグナルをより確実に記録するため、Hi-net では100m以上の井戸を掘り、その井戸の底に地震計を設置しています。設置場所が都市部に近いなど予めノイズが大きいと判断される場合には、2,000~3,000m程度、掘削することもあります。

さらに、Hi-net を含め大学、気象庁等のすべての高感度地震データは、リアルタイムで相互に流通し、それぞれの目的ですべてのデータが利用できる環境が構築されました。防災科学技術研究所は、データの流通・保存・公開センターとして、すべての地震波形データをアーカイブし、インターネットを介して一般にも公開しています。また、気象庁はデータ処理センターとして、すべてのデータを一元的に取り扱って震源決定や発震機構解決を行い、全国の地震の活動状況の把握に努めてきました。

成果例 1 「検知能力の向上」

Hi-net の整備により、様々な成果が得られています。そのひとつは地震検知能力が格段に向上したことです。これは当初の目標どおりではありませんが、例えば阪神・淡路大震災前の 1994 年に気象庁が日本全国で検知した地震数は1年間で約 30,000 個であったのに対し、Hi-net の整備が進んだ 2001 年には約 120,000 個と、4 倍の数の地震を捉えるようになりました。これは、より小さな地震まで検知されるようになったことを意味しており、例えば和歌山市周辺では確実に検知される地震のマグニチュードの下限が 1 以下になりました（図 1 左上）。それと共に震源決定精度も向上しました。

2004 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震では、何枚もの断層面が余震分布から明らかにされましたが、これも高密度に展開された地震観測網の成果であると言えます（サイスマ 2004 年 12 月号）。

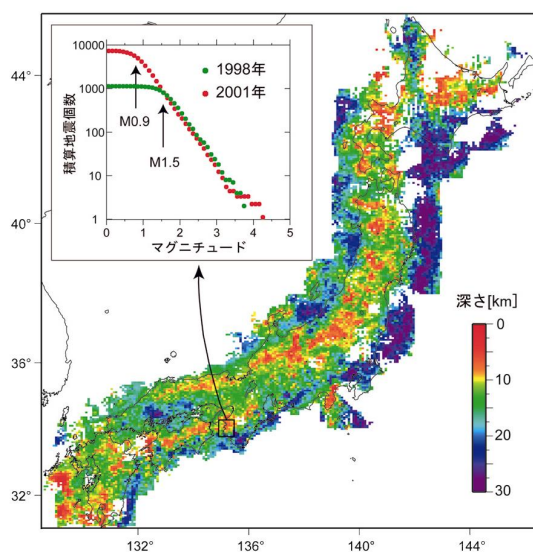


図 1 気象庁一元化震源に基づく浅い地震（30km 以浅）の深さの下限分布

色の違いが深さの下限を表し、空白の部分は、地震活動が低い領域を示す。左上は、和歌山市周辺の地震活動のマグニチュード別積算地震個数。分布の折れ曲がる部分が検知能力を表す。

また、浅い地震の深さの下限に関する情報も得られるようになってきました。一般に、この下限分布は熱構造とも関連し、温度の高い地域では地震の下限が浅くなります。例えば、東北地方では火山が存在する脊梁山地で比較的浅いのにに対して、沿岸部では深くなっています。一方、西南日本では、地震の下限が浅くなる領域が2ヶ所平行に存在しています。これらの結果を基に、内陸地震の最大規模を評価する調査研究が進められています。

成果例2 「深部低周波微動の発見」

予期していなかった成果のひとつとしては、西南日本における深部低周波微動の発見が挙げられるでしょう。活動的な火山では、微弱な揺れが長く継続する火山性微動と呼ばれる現象が発生することがありますが、似たような振動現象が、火山の存在しない西南日本の広い範囲で発生していることがわかったのです。微動の振幅は非常に微弱で、人為的なノイズにも似ていますが、隣接した複数のHi-net観測点で同時に観測されたことから、自然現象として判別できたわけです。

さらに、Hi-netに併設されている傾斜計を詳しく解析したところ、微動とともにスロースリップ（通常地震波を励起しない、ゆっくり滑り）がプレート境界で発生していたことも最近わかってきました。このスロースリップは短期的なもので、通常は数日で活動が終了し、東海地方で発生している、より長期的なものとは異なります。このような微動とスロースリップの同時発生現象は、西南日本と同様の沈み込み帯である北米大陸カスケード地方においても検出されていることから、これらは海洋プレートの沈み込みプロセスを反映したものであり、そのメカニズムを解明することによって、巨大地震との関係も明らかになるのでは、と期待されています。

地球深部望遠鏡としてのHi-net

このように、微小地震や微動などの非常に微弱な現象も捉えられるようになった一方、高密度に展開された地震計によって、地震波動伝播を面的に観察することも可能になってきました。例えば、日本列島の下に沈み込む太平洋プレート内で発生した地震による揺れが、東日本でのみ大きくなる「異常震域」と呼ばれる現象についても、詳細な震動分布が得られるようになりました（サイスマ 2004年6月号）。

地球の裏側で発生した地震の波は、地球内部のコア・マントル境界や様々な場所で反射、屈折を繰り返しながら日本列島に到達します。高感度地震観測網は地球内部を探るためのレーダーとして、あるいは深部望遠鏡として、そうした波動伝播の様子を精密に捉えることが出来ます。このように、高感度地震観測網のデータは日本列島直下から地球中心までの構造を解明する上でも、大いに活用されています。

謝辞 図1は防災科学技術研究所の松本拓己氏に作成していただきました。データとしては、気象庁一元化震源が使用されています。

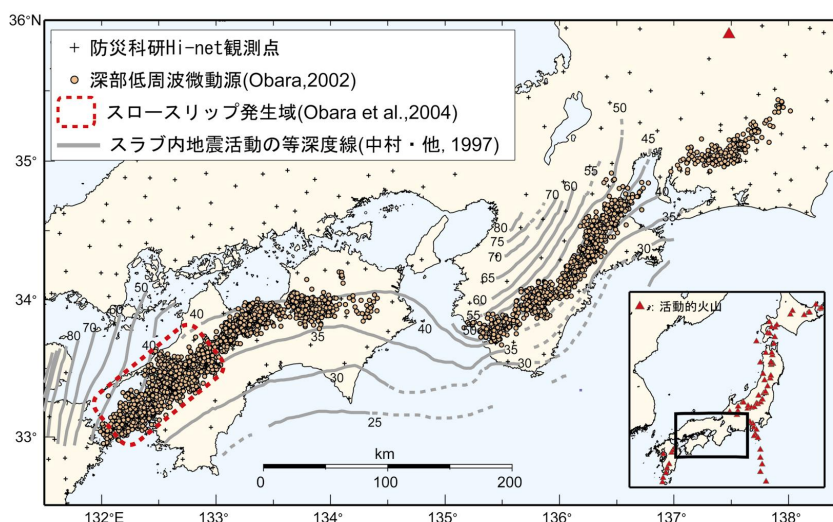


図2 西南日本に発生する深部低周波微動分布と短期的スロースリップ発生域

情報公開の効果と今後

高感度地震データや処理結果がインターネットで公開されるようになり、ホームページへのアクセスも日を追うごとに増加しています。これまでは、有感地震の震度情報がテレビ等で流されるだけだったのが、今では無感の微小地震に至るまで情報が公開され、全国の地震波形記録も連続的に見る事が出来るようになりました。これは、地震現象に対する理解を広げるという面で、大変効果的であると言えます。この観測網を継続的に維持し、高精度の処理結果データベースを構築し続けることは、現在及び今後の地震調査研究を支えていくためにも是非必要です。

広帯域地震観測

ブロードバンドで見る地震現象

堀 貞喜(月刊地震レポート「サイスモ」2005年4月号より)

広帯域地震計の特長

ほとんどの地震は、地中における岩石の破壊現象であり、破壊の様子や、地震波の伝わる岩石の性質などによって、様々な種類の地震動が発生します。逆に、地震によって引き起こされた多様な地震動を正確に測定することができれば、震源域での破壊プロセスや、地下の岩石の性質について多くの情報を得ることが可能となります。従って、できる限り正確に地震動を記録することは、地震を観測する上で、大きな意味を持っています。

地震動の特徴を表す代表的なパラメータには、振幅(揺れの大きさ)と周期(揺れの早さ)があります。実際の地震動の振幅と周期の範囲は極めて広く、振幅としては体に感じない微弱なものから建造物に被害を引き起こす激烈なものまでありますし、周期の範囲も1秒間に数十回も揺れる高周波の震動から一揺れに50分以上もかかる極めてゆっくりした震動まで、様々なものがあります。

地震動を記録するためのセンサーである地震計には、地震動の特徴に対応して、いくつかの種類があります。広帯域地震計は、収録できる地震動の周期の範囲が広くなるように設計されたセンサーです。茨城県のつくば観測点には、Hi-net(本誌2005年3月号参照)の高感度地震計と広帯域地震計が設置されており、2種類の地震計で同一の地震動を記録することができます。図1は、2004年12月23日にニュージーランド南西沖付近で発生した巨大地震(M8.1)の地震動です。P波、S波、表面波といった主要な地震動は、どちらの地震計でも記録されていますが、波形の「外観」は随分異なっています。これは、高感度地震計の「守備範囲」が短周期に偏っていて、ゆっくりした地震動を十分に捉え切れていないためです。

地震の発生時刻や震源位置を特定するために必要な情報は、主としてP波やS波の到着時刻のデータであるため、高感度地震計による観測だけでも、特に支障はありません。しかしながら、地震波形記録そのものを解析して地震現象を詳細に調べる場合、より正確に地震動を捉えることのできる広帯域地震観測が不可欠になってきます。

F-net 整備の経緯

1980年代後半に、米国のカリフォルニア工科大学を中心とするグループが、南カリフォルニア地域で、高密度の広帯域地震観測を開始しました。TerraSCOPEと呼ばれたこの観測網から得られるデータは、震源での破壊プロ

堀 貞喜(ほり・さだき)氏

独立行政法人防災科学技術研究所防災研究情報センター総合地震観測管理主幹。1984年名古屋大学大学院理学研究科中退。理学博士。

セスを詳細に調べる研究分野において、極めて重要な役割を果たし、広帯域地震観測の有用性がクローズアップされることとなりました。

我が国では、防災科学技術研究所（防災科研）が、日本列島全域をカバーする広帯域地震観測網を構築するプロジェクト（フリージア計画）を、平成6年度からスタートさせました。同計画では、平成8年度末までに、11カ所の広帯域地震観測施設が整備されました。その後、地震調査研究推進本部が打ち出した「地震に関する基盤的調査観測計画（平成9年8月）」では、高感度地震観測や強震観測と並んで、広帯域地震観測についても、具体的な指針が提示されました。そこでは、広帯域地震観測によって、地震の破壊プロセスを精度良く把握するために、水平距離で約100km間隔の三角網を目安として整備されることが適当であるとされました。

防災科研は、この「基盤観測計画」に基づいて、それまでに整備した全国強震観測網（K-NET）に引き続き、高感度地震観測網（Hi-net）、基盤強震観測網（KiK-net）、そして広帯域地震観測網（F-net；Full range seismograph network）を同時に整備することとなりました。F-netの観測点数は、平成16年度末現在で、73カ所に達しています。大学等が運用する既存の施設と合わせると、全国で100カ所近い観測点からなる広帯域地震観測網が構築されたこととなります。

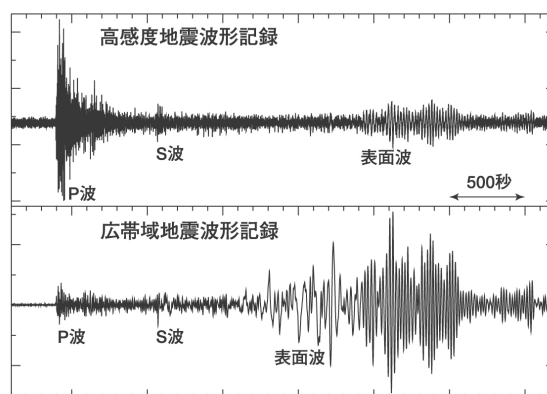


図1 高感度地震波形記録と広帯域地震波形記録の違い

2004年12月23日にニュージーランド南西沖周辺で起きた、マグニチュード8.1の巨大地震の記録。高感度地震波形と広帯域地震波形をそれぞれ上下に示してあります。横軸は時間で、一目盛りの長さは100秒間です。縦軸は地震動の大きさと、それぞれ最大値がフルスケールになるように調整してあります。

F-netの概要とデータ流通

広帯域地震計は、非常にデリケートな計測機器であるため、観測施設はやや大がかりなものとなります。まず、高感度地震計と同様、車や工場などの振動も捉えてしまうため、こうしたノイズ源から可能な限り遠ざける必要があります。また、周囲の温度変化に極めて敏感であるため、気温の変動もノイズとして記録されてしまいます。これらの影響を最小限にするために、広帯域地震計は、山の斜面等に掘られたトンネル（横坑）の最奥部に設置されます。通常の広帯域地震計は、大振幅の地震動に対しては振り切れてしまうため、F-netの観測点には、強震計も併設されています。

F-netのデータは、Hi-netとほぼ同じ方式で収集されています。従って、データの流通についてもHi-netと同様、大学、気象庁等のすべての高感度地震データとともに、リアルタイムで相互に流通し、それぞれの目的ですべてのデータが利用できる環境が構築されています。そして、防災科研は、データ流通・保存・公開センターとして、これらの地震波形データをアーカイブし、インターネットを介して一般にも公開しています。

成果例「MT解カタログの構築」

F-netの整備により、様々な成果が挙げられてきました。その代表的なものは、「モーメントテンソル解（MT解）」

第1部 地震に関する（基盤的）調査観測の主な成果と新たな展望

カタログの構築です。地震現象は、ある程度離れた場所から見ると、互いに直交する圧縮力と伸張力のペアが震源に作用した結果と見なすことができます。この震源に加わった力の大きさと向きを表すパラメータが「モーメントテンソル」と呼ばれるもので、地震による破壊現象を最も単純化して表現した指標です。ある地震について、その現象を最も良く表現するモーメントテンソルの値（MT 解）は、一般に、地震動の波形記録を解析することによって求められます。精度の高いMT 解を得るためには、精度の高い地震動のデータが必要であり、そのためにも広帯域地震観測が極めて重要な役割を果たしています。

防災科研は、日本列島周辺域で発生する地震のMT 解を定常的に求めており、地震調査委員会の定例会における現状評価の基礎資料として提供し続けています。図2は、2004年1～12月の間に日本列島周辺域で発生した地震のMT 解を地図上にプロットしたものです。MT 解は、この図に示した「ビーチボール・プロット」で表されます。各プロットの大きさと模様は、それぞれ、地震の規模と震源に加わった力の向きを表しています。この図から、例えば、日本列島の下に沈み込むプレートの内部や、プレート境界域でどのような力が加わっているのか、ということなどが分かります。

F-net の観測によってコンパイルされたMT 解の総数は、1997年～2004年の8年間で約10,000個に達しています。こうして構築されたMT 解のカタログは、インターネットを介して広く公開されていますが、我が国の地震調査研究において、気象庁の構築する「一元化震源カタログ」と並び、極めて重要な基礎的資料と位置づけられています。

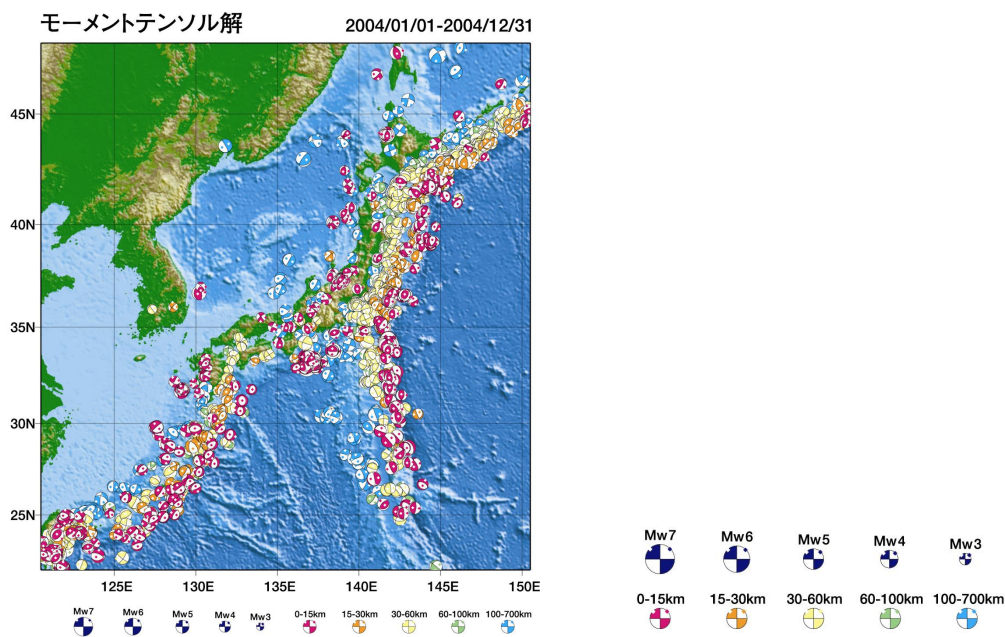


図2 モーメントテンソル解

2004年1月～12月に日本列島周辺域で発生した地震のモーメントテンソル解のマップ。

シンボルの色は震源の深さに応じて塗り分けられています。

広帯域地震観測の今後

真に地震災害を軽減するためには、耐震設計の高度化等の工学的なアプローチに加え、地震現象の本質に迫る理学的アプローチが不可欠です。実際の地震現象は、極めて複雑であり、多種多様な地震動を調べるために、地震という自然現象を「ブロードバンド」で見て行く必要があります。高感度地震観測や強震動観測に加えて、広帯域地震観測を継続して行くことは、今後の地震調査研究の発展のために、必要不可欠なものであるということ

は間違いないでしょう。

謝辞 図2は防災科学技術研究所の松本拓己氏に作成して頂きました。

地震観測一般

大地震アスペリティのマッピング

山中 佳子（月刊地震レポート「サイスモ」2005年6月号より）

アスペリティとは

地震は地下の岩盤のずれによって生じます。そのずれの量は決して一律ではなく、大きくずれるところもあれば全くずれないところもあります。断層面上で通常は強く固着していて、あるとき急激にずれて地震波を出す領域を「アスペリティ」と呼んでいます。

日本はたびたび大地震に襲われ大きな被害を受けてきました。これら大地震のタイプは大きく分けてプレートの沈み込みによって起こるプレート間地震とプレートの中で起こるプレート内地震があり、プレート間地震は数十年～百年間隔で繰り返し起きています。

日本では、古文書をひもとくと、過去に起こった地震の時期や、大まかな規模についてはかなりさかのぼって知ることができますが、この記載から震源の位置や震源域を正確に推定することはとても難しいことです。幸い日本では、1900年代になると近代的な地震観測が行われるようになりました。繰り返し間隔の比較的短いプレート間地震であれば、この近代的観測がなされた100年間に2度以上地震を経験していることが予想されます。そこで我々はこの約100年間の地震記象を使って、再来大地震の破壊過程を調べ、地震時に大きなエネルギーを放出した場所（アスペリティ）の同定を行ってきました。

東北地方のアスペリティマップ

我々がアスペリティを調べるために用いるデータは、気象庁や大学などにその地震記録が残されている低倍率地震計（強震計）の波形です。もちろん、1970年代以前はほとんどが煤書きのアナログ記録であり、今日の高性能デジタル地震計記録に比べて質の悪いものです。しかし、画像処理技術の進歩によってある程度記録を復元することができるようになりました。我々は、まずこれらアナログ記録をスキャナーでパソコンに取り込みデジタルデータに変換をして解析を行いました。

まず始めに取り組んだのは、東北地方の太平洋側で起きる巨大なプレート境界地震です。東北地方については比較的早くから強震計が設置されていたため、1900年代に起きた10個の巨大地震（M7以上）の解析を行うことができました。図1はこれらの解析で求められた、東北地方のアスペリティマップです。コンターは地震時のすべり分布で、ここでは最大すべりの半値以上の領域を、アスペリティと定義して色を塗っています。これを見ると、たとえば図1中Bと書かれた1968年十勝沖地震の2つのアスペリティの南側は、それ以前の1931年、その後の1994年の三陸はるか沖地震と、この70年あまりの間に3度も巨大地震を起こしていたことがわかります。また図1中Cと書かれたアスペリティも、規模は小さいですが繰り返し破壊してきたことがわかりました。一方、宮城沖ではこれまで1978年の前の地震は、1936年であろうと言われていましたが、地震波解析から、これらの2つの地震のアスペリティは別物であることがわかりました。これらの結果から東北地方では

山中 佳子（やまなか・よしこ）氏

東京大学地震研究所地球流動破壊部門助手。東京女子大学文理学部卒。東京大学大学院理学研究科地球物理学専攻卒。博士（理学）。古地震解析からリアルタイム地震解析まで大地震解析を行っている。故菊地正幸氏が行ってきたEIC地震学ノートを引き継いで、重要な地震については速報解をHPで公開している。

第1部 地震に関する(基盤的)調査観測の主な成果と新たな展望

- (1) アスペリティの場所はあらかじめ決まっている
 - (2) アスペリティの面積もあらかじめ決まっている
 - (3) 隣り合うアスペリティが単独で起こる場合と連動する場合がある
 - (4) 余震はアスペリティの周りで起こる
- という特徴が見えてきました。

北海道十勝沖で起きた再来地震

2003年十勝沖でM8.0の地震が起きました。図2でハッチをつけたところが世界中から集められた、広帯域地震計の記録を用いた解析から推定された、2003年十勝沖地震のアスペリティです。図中の小さな黒丸は、気象庁による余震です。アスペリティのまわりで余震が多数起っていることがわかります。十勝沖では1952年にもM8.2の地震が起きました。当時、北海道には強震計を設置した観測点が少なく、また、近い観測点では記録が振り切れてしまっているため、波形解析からは初期の段階の破壊過程しか決めることができませんが、1952年の地震でも、今回と同じアスペリティで大きなすべりがあったことは確かであることがわかりました。1952年のすべり分布を図2に併せて示します。

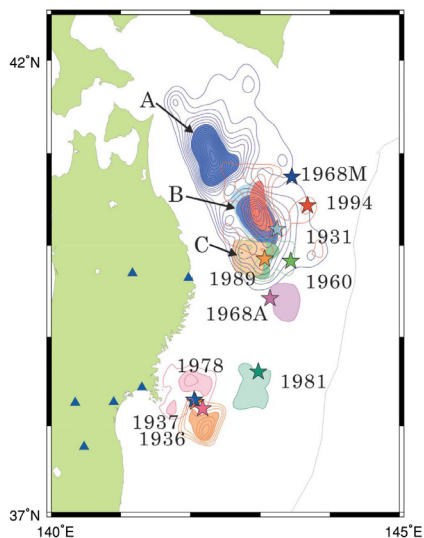


図1 東北地方太平洋側の大地震のアスペリティ分布

コンター(0.5m間隔)はすべり量を示している。アスペリティ(最大すべり量の半値以上)の領域に色を付けた。

アスペリティ同定の重要性

このように、地震波解析からモーメント解放量大きい場所(逆に言えば、日頃歪みを蓄積している場所)は、地震サイクル毎には変わらず、場所とその規模は、ほぼ同じであることが見えてきました。言い換えれば、過去の地震で求められたアスペリティの位置と面積は、近未来の大地震の起こる場所と大きさを示していることになります。この仮説が正しく、アスペリティの位置が同定できれば、将来起こるかもしれない巨大地震の震度予測も可能になります。そうなればこのアスペリティマップはこれからの地震の発生と強震動の予測精度の向上にも役立つものと期待されます。

阪神・淡路大震災の後、日本中に数多くの広帯域地震計や強震計が設置されました。そして、それらのデータは、準リアルタイムでインターネットを通じて入手できるようになってきました。地震波の解析結果の精度向上には均一な観測点配置も重要ですし、波の経路上の影響の少ない震源近くの観測データを有効に使うことが重要です。これらの密な観測網のデータを使えば、より早く、より正確にアスペリティの場所を求めることができる

でしょう。我々は、これらを地震直後の情報として、災害軽減に役立てるだけでなく、将来への予測にも役立てて行きたいと考えています。

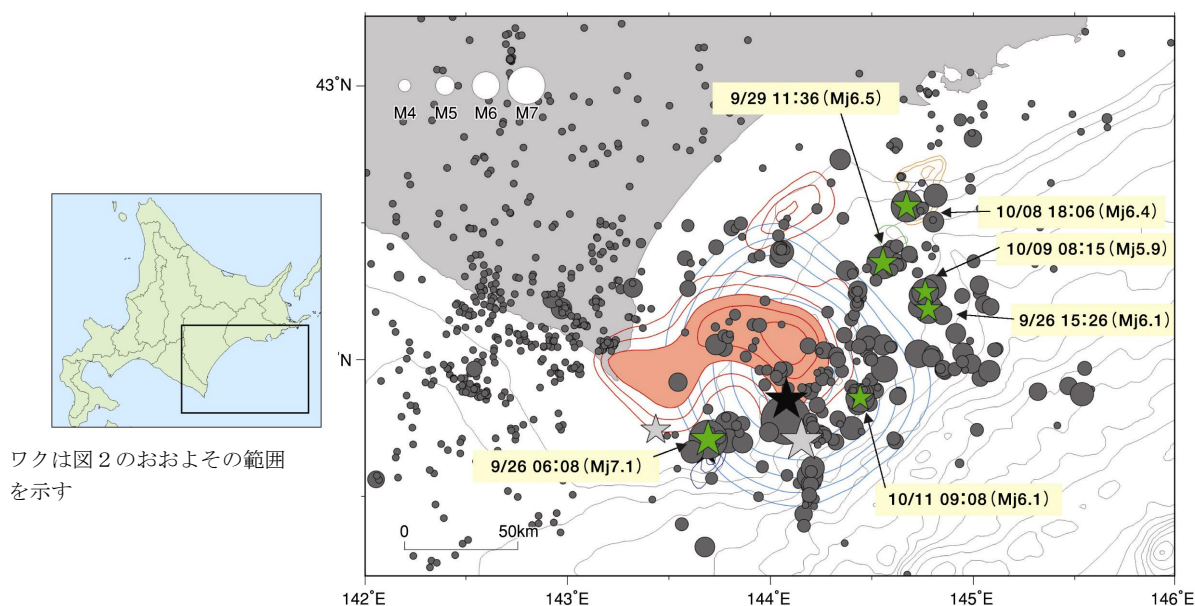


図2 2003年十勝沖 [Mj8.0]、1952年十勝沖 [Mj8.2] のアスペリティ分布

★は2003年の本震、★（グリーン）は規模の大きかった余震、★（グレー）は1952年の本震と最大余震の震央を示している。赤いコンターは2003年のアスペリティ分布（コンター間隔は1m）で、最大すべり量の半値巾を色で塗りつぶした。青のコンターは1952年のアスペリティ分布で1m以上すべった領域を0.3m間隔で引いた。●は気象庁による2003年10月11日までに起きた余震活動分布。

GPS 観測

GPS連続観測で見る日本列島の変形

鷺谷 威（月刊地震レポート「サイスマ」2005年6月号より）

地震と地殻変動

大地震は強い揺れと同時に顕著な地殻の変形（地殻変動）を引き起こします。南海トラフでM8級巨大地震が起こるたびに高知県の室戸岬では1m以上の隆起が繰り返されてきました。兵庫県南部地震の際に淡路島で見つかった野島断層のずれによる変形も記憶に新しいところです。

大地震は地球内部に蓄積された変形エネルギーを解放するために断層が破壊する現象です。地震発生の準備状況を知るためには地球内部の変形の様子を知ることが必要なので、地殻変動の観測が地震調査研究の重要項目の一つに挙げられ、過去10年間にGPS観測網の拡充が図られてきました。

鷺谷 威（さぎや・たけし）氏

国立大学法人名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター一助教授。1990年東京大学大学院理学系研究科中退。国土地理院勤務を経て現職。博士（理学）。

GPS とは

GPS は全地球測位システム（Global Positioning System）のことで、米国が運用している航法測位システムです。現在ではカーナビや山歩き用に広く普及していますが、衛星が測位情報を発信するために用いている搬送波（波長 20cm 程度）の位相を精密に測定・解析すると mm レベルでの位置測定が可能となります。GPS の地球科学分野における利用の研究は 1980 年代から行われていましたが、国際協力で GPS 衛星の精密軌道が計算されるようになり、受信機等ハードウェアの価格も下がったことから、1990 年代に入って利用が大きく広がりました。

GPS 連続観測網（GEONET）

GPS の高い測定精度を最大限に活かすためには、観測装置を恒常的に大地に固定し、連続的なデータ取得を行う必要があります。日本国内では 1980 年代の末頃から防災科学技術研究所や大学が、さらに 1992 年からは国土地理院が GPS 連続観測点の運用を始めました。国土地理院は兵庫県南部地震が発生した 1995 年当時、全国で 210 点程の GPS 観測点を運用していましたが、そのうち約半分の観測点が関東・東海地域に集中しており、兵庫県南部地震の震源から 30km 以内には連続観測点の一つもありませんでした。基盤的調査観測の一項目として GPS 観測が採用されて観測網の整備が急ピッチで行われ、1996 年 4 月には観測点数が全国で約 610 点と一挙に増加しました。観測点の新設はその後も続いて 2005 年 4 月現在で全国に 1224 の観測点があり、日本列島を平均 25km 程度の間隔で覆っています（図 1）。GEONET（GPS Earth Observation Network）と呼ばれるこの GPS 観測網は、世界でも最大の観測点数と最高の観測点密度を誇っており、米国を始めとする諸外国における同様な観測網のモデルにもなっています。GEONET の観測点では、原則として 1 秒間隔の連続的なデータ取得が行われ、得られたデータはリアルタイムで茨城県つくば市の国土地理院へと転送されています（一部例外あり）。最終的には 30 秒間隔のデータが保存され、観測データや解析の結果得られた日々の座標値などの情報が Web（<http://www.gsi.go.jp>）上で公開され、地震や地殻変動の研究はもとより、測量の基準点としても利用されています。

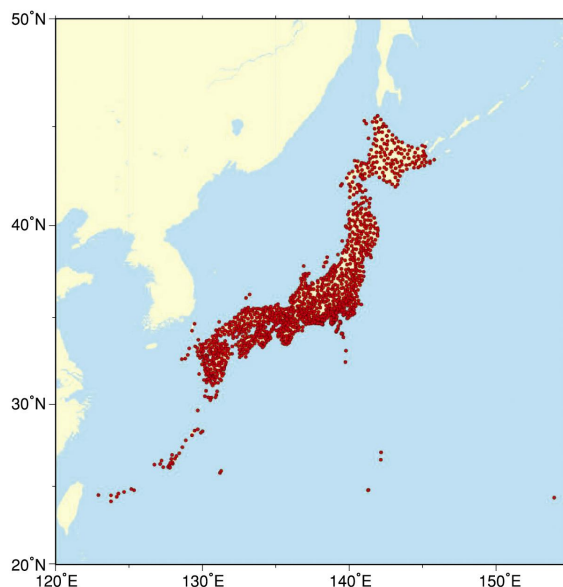


図 1 国土地理院の GPS 連続観測網（GEONET）の観測点配置

得られた成果

GEONET により得られた成果は多岐にわたりますが、まず、日本列島の広域的な地殻変動の全容が正確かつ迅速

に推定されたことを挙げなければなりません。日本列島の各地域の平均的な動きを知るために、明治時代から 100 年近い時間を費やして三角測量が繰り返されて来ましたが、GPS は三角測量の百年分に優るとも劣らぬ結果を僅か数年でもたらしました。しかもそうした地殻変動の経年的な変化を連続的にモニターすることも可能です。こうした観測結果から日本列島周辺のプレート運動の様子が明らかとなり、各地域におけるひずみの蓄積速度が定量的に明らかにされています（図 2）。こうした結果からは内陸部におけるひずみ集中帯が発見され、内陸地震発生との関連を解明するための研究が始まっています。

一方、GPS 連続観測により、大地震の発生から数時間程度で地震に伴う地殻変動の状況を把握し、震源断層の位置の推定を行うことが可能になりました。従来は数ヶ月から数年を要した情報が地震発生から 1 日以内に得られるようになったことで、大地震発生時の緊急対応にも役立てられています。

GPS 連続観測の成果としては、非地震性すべり（スロースリップ）という新たな現象の発見を忘れるわけにはいきません。通常、断層は高速で破壊して地震波を出しますが、断層が極めてゆっくり動くと地震波が出ず、地震計で検出できなくなります。その場合でも地殻は変形するので、GPS の精密な観測ではイベントが検出されます。こうした事例は房総半島沖、豊後水道、浜名湖周辺などで発見され、浜名湖周辺のイベントは現在も継続中です。非地震性すべりの発見は、特にプレート境界における応力蓄積・解放に関する我々の理解を深め、地震で解放されるエネルギーがプレート運動から予想される量と比べて小さ過ぎるといった問題にも合理的な解釈を与えることができました。現在はこうした非地震性すべりが起きる場所の特徴や大地震との関係について研究が進められています。

非地震性すべりの意義は、単なる新たな現象の発見ではありません。従来、地震観測と測地観測の間にはそれぞれの手法でカバーできない周期帯（時定数 1 日程度）があり、非地震性すべりは、まさにその周期帯で起きていたのです。GPS の普及によって、これまで観測できなかった周期帯のギャップが埋まり、我々の地球に対する監視の目はより完全なものに近づいたと言えるのです。

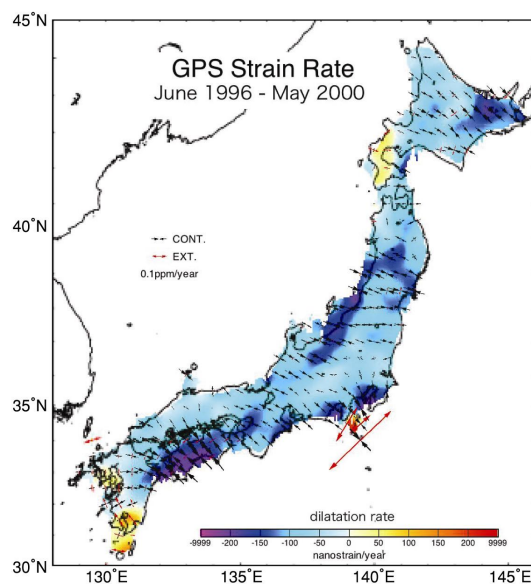


図 2 GPS から明らかにされた日本列島のひずみ速度分布

1996-2000 年のデータに基づく。ひずみ速度の主軸の大きさと向きを矢印で、面積ひずみ速度を色で表した。

今後の展望と問題点

GEONET のデータは 1 秒間隔で取得され、リアルタイム転送されていますが、こうしたデータを処理すると、地震波による揺れも計測できます（GPS 地震計）。このような計測手法は様々な可能性を秘めています。精度や即

時性など解決すべき問題が残っています。

一方、GPS の日座標値の精度は水平方向では1mm 程度に達していますが、上下成分は一桁程度悪いのが現状です。また、測定の分解能をこれ以上改良することは難しく、ボアホール歪み計などのより精密な測定法と併用した観測が望まれます。

GPS の登場まで地殻変動観測の主役だった三角点や水準点は今も現役で、精度こそ劣りますが明治時代以来100年以上にわたる地殻変動の情報を伝えてくれています。GPS 観測の今後を考える時には、その観測の連続性をいかに保っていくかが重要な問題となります。GEONET 観測点では2003年前後にアンテナの交換が行われましたが、その時期を境にして座標値に最大数cmのステップが生じました。これは地殻変動ではなく、観測機器の交換による人為的なものですが、こうしたステップを生じさせないようにするためにはどうすれば良いかなど解決すべき点がたくさんあります。また、大地震が数十年から数万年もの長期間にわたって準備されていることを考えれば、できる限り長期にわたって連続的な情報を取得することの重要性は言うまでもありません。

このように、GPS 連続観測は我々に多くの重要な知見をもたらし、今後も地震調査研究に必要な不可欠ですが、観測の継続性に関しては多くの課題を抱えているとも言えます。

第1部 まとめ

座談会—10年の基盤的調査観測の取組を振り返って 世界的最高水準の地震・GPS観測網を実現

（月刊地震レポート「サイスマ」2005年7月号より）

本誌では、阪神・淡路大震災から10年目にあたる、本年1月より「何がどこまで変わったか—阪神・淡路大震災から10年—」という連載を開始した。

本連載では、「第1部 地震に関する（基盤的）調査観測の主な成果と新たな展望」、「第2部 長期評価の実績と今後の課題」、「第3部 評価への社会の対応」という3部構成で、阪神・淡路大震災以降、地震調査研究推進本部を中心に取り組んできた我が国の地震調査研究の成果・課題を浮き彫りにさせることを目的としている。

今号は、第1部のまとめとして、この10年の基盤的調査観測の取組を振り返るため、地震調査研究推進本部の委員会などで、基盤的調査観測の推進に中心的役割を果たしている3名の専門家にお集まりいただき、それぞれの調査観測の成果と課題について語ってもらった。

●出席者

佐藤 比呂志（さとう・ひろし）氏

国立大学法人東京大学地震研究所地震予知研究推進センター 教授。本年3月まで地震調査委員会西日本活断層分科会主査。

長谷川 昭（はせがわ・あきら）氏

国立大学法人東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター長・教授。政策委員会調査観測計画部会部会長。

平田 直（ひらた・なおし）氏

国立大学法人東京大学地震研究所・副所長、地震予知研究推進センター 教授。調査観測計画部会活断層を対象とした重点的調査観測手法等検討専門委員会主査。

●司会

浜田 和郎（はまだ・かずお）

財団法人地震予知総合研究振興会地震調査研究センター解析部長。

活断層調査

施策化により大きな進展

司会：阪神・淡路大震災の後、地震調査研究推進本部が新たに設置され、いろいろな政策が打ち出されました。その一番初めが、地震に関する基盤的調査観測計画でした。スタートしてから10年経ち、さまざまな成果が得られているようですが、まず始めに活断層調査で得られた成果から伺いたいと思います。

佐藤：活断層の活動履歴の調査は、この活断層調査が始まるまで、基本的には研究ベースで大学や、かつての地質調査所（現・産業技術総合研究所）によって細々と行われていたというのが実態です。当時は大学グループ全体でも、人と予算の関係で年間2箇所でのトレンチ調査はなかなか実施できず、98断層帯を調査するには100年以上はかかるという状態でした。基盤的調査観測として活断層調査が開始され、10年という短期間に活動履歴のデータが豊富に収集され、全国レベルでほぼ均一の評価が可能になったという点は、高く評価されるべき成果だと思います。ただ、問題がないわけではなく、活動履歴のデータが不十分なままで評価せざるを得なかった断層や、特に北日本のように厚い堆積層の影響でどうしても詳細な活動履歴を明らかにできなかった断層もあります。問題点と今後の展望については、後ほど述べさせていただきますが、総じて10年という短期間で今後アップデートしていくための土台となる内陸活断層の長期評価を行ったというのは大きな成果だと思います。

長谷川：長期的な地震発生の可能性の評価をし、地震動の予測、特に平成16年度末を目途に全国の地震動の予測マップを作るという観点から見たら、活断層の調査というのは必須のものでした。ただし、それまでと同じように研究ベースで活断層の調査を続けていたら、全国の地震動予測マップを作るのに必要な量の情報は得られなかっただろうと思います。地震調査研究推進本部が設置され、そこが全国の98断層帯について、政府の施策として系統的に調査を行なってきて、研究レベルではとてもできないような早いペースで一通り終わらせたのですから、当初の目的を一応達成したと言えます。確かに、調査結果にはまだ必要な情報が不足しているケースもありますから、今後、足りないところは補っていく努力をすべきとは思いますが。



地震観測の基盤整備

低周波微動などを発見

司会：地震観測に関わる基盤整備がかなり進んで、設置されている地震計は驚くほどの数にのぼっていますね。

長谷川：平成9年に策定した基盤的調査観測計画としては、高感度地震観測は全国に偏りなく20km間隔でおおよそ

第1部 地震に関する（基盤的）調査観測の主な成果と新たな展望

1,000点、広帯域地震計は100km間隔でおよそ100点、GPSは20km間隔でおよそ1,000点、という数字が挙げられていました。GPS観測点の数はすでに計画を優に超えていますし、広帯域と高感度についても、数だけで言うと計画をほぼ達成していると思います。震度計というか強震計は自治体や気象庁が設置しているものを合わせると6,300にもなります。全ての観測点で強震波形が蓄えられるわけではありませんが、それだけの数があるわけですから、兵庫県南部地震の前に比べたら、非常に多くの重要な情報が即時的に得られる体制になりましたし、全体としては当初の目標をほぼ達成しているのではないかと思います。

平田：最初に数を挙げたというのが先見の明があったと思います。基本的に総体として目標が達成できたのは、数値目標を挙げて、国が行政と研究者を巻き込んだ形で推進したからではないでしょうか。地震計には高感度と広帯域と強震と3つのカテゴリーがありますが、高感度の地震計をたくさん設置することによって、マグニチュード2.5とか2ぐらいまでの微小地震を、日本中のどの場所でも一定の精度を持って正確な位置を決めることができるようになりました。それは非常な進歩です。一方、海域には、25個しかないというのは、今後さらに震源決定精度を上げるうえでは問題になります。

そういう問題はあるにしても、3つのカテゴリーの地震計による観測網を作り、高感度・広帯域の全てのデータを連続して取っているわけです。それは一見無駄なことのように思われがちですが、大きな地震以外に、我々の知っているロジックでトリガーできない重要なイベントも残らず発見するためにはどうしても必要なのです。例えば防災科学技術研究所の小原さんたちは低周波微動というものを発見されましたが（本誌2005年3月号参照）、もしもイベントトリガーで地震のところしかデータを取っていなかったら、その発見はあり得なかったわけです。その意味では、連続でデータを取るとするのは正しい選択だったと思います。ただ、その低周波微動がどういう役割を果たしているかということについては、いま研究しているところなので、明解には言えませんが、たぶん巨大な地震を起こす南海地震とか東南海地震の近傍のプレート境界の状態と何らかの密接な関係があるということはだんだんわかってくるのではないかと思います。

司会：気象庁の機械による震度観測は世界で最初に始めたものですが、いかがでしょうか。

長谷川：機械による計測にしたため、地震発生後短時間のうちに、詳細な震度分布が把握できるようになりました。それは大きな成果だと思います。

平田：今までの震度と計測震度の違いを承知しておく必要はありますが、やはり機械で客観的な基準で測ることはまず第一歩として必要です。私は非常に画期的な仕組みができたと思っています。

GPSの連続観測

ゆっくりすべりなどを発見

司会：地殻変動のGPSの連続観測については、どのようにお考えでしょうか。

平田：素晴らしいと思います。

長谷川：地震現象を理解する上で地殻変動のデータは不可欠であり、特に長期的な地震発生の可能性を評価したり、地殻活動の現状把握を高度化したりするためには、全国に偏りなく高密度に配置されたGPS連続観測が必要です。現在、国土地理院等の努力の結果、1,400点を越える観測点が設置されていて、世界に他に例を見ない、非常に高密度なGPS観測網が出来上がっています。

その成果の1例を挙げると、GPSデータからプレート境界で非地震性のゆっくりすべりが生じていることが明らかになりました。日本列島全域で、地表の変形を時間・空間的に非常に高分解能で把握できるようになりましたが、それは地下でいま何が進行しているかを知り、今後何が起こるかを予測する上で重要な基礎的な情報になります。そういう意味で、高密度地震観測網と高密度のGPS連続観測網の2つが両輪となって、地殻活動の現状を把握する上では決定的に重要な役割を果たしてきたし、これからも果たしていくと思います。

司会：GPSはアメリカのスペーステクノロジーによって開発されたものなので、アメリカで普及すると思ったのですが、実際は日本の方が先に進んでいるのですから、驚くべきことだと思います。

佐藤：GPS連続観測網も含めて、日本の地震観測は国際的に見ても、ほとんど地球科学の実験場として宣伝できる

レベルになっています。アメリカも危機感を持ったのか、アース・スコープ計画の中で類似したプログラムを立ち上げていますが、まだ連続観測とはかなり違うイメージです。観測点密度から日本と匹敵するのはたぶん台湾ぐらいではないでしょうか。もっと長期間にわたって観測データが蓄積されれば、さらに非常に新しい知見が得られるのではないかと期待できます。



佐藤 比呂志氏

平田：プレート間の非地震性のすべりを GPS で検知するというのは、最初から目論んでいたのでしょうか？

長谷川：はっきりとした形では、なかったと思いますね。プレート境界で生じた地震後のゆっくりすべり、つまり余効すべりは、歪み計のデータから 1989 年の三陸沖地震、あるいは 1991 年の三陸沖の地震で少し見え始めていたのですが、それほど明瞭なものではありませんでした。ですから、GPS で目論み通りにプレート境界の非地震性すべりが捕捉できるようになったというのは、たぶん当たっていないと思います。

平田：つまり予想外の成果ですね。GPS 観測の基本は、地殻内地震の地震時のすべりを検知することだったわけです。いまや地震が起きると、国土地理院は地震時の変動を説明する断層モデルを、地震発生後、すぐに発表します。昔だったら、地殻変動のモデルが出るのに 3ヶ月ぐらいかかったものですが、今では地震直後の記者会見で発表できるようになっています。これが、当初の目標に対する直接的な成果です。しかし、同時に、地震時の地殻変動モデルの他に、プレート間地震の余効的すべりや、非地震性すべりのモデルが出てくるようになりました。これが、予想を越える成果と言えるでしょう。

長谷川：基盤観測網を作ろうと計画した時には、深部低周波微動やプレート境界の非地震性すべりがこれ程いろいろな所で起こっているとは予測していませんでした。ただ、基盤観測網は地震現象の理解を深める上で基本となるデータを長期間安定的に蓄積して、それを広く流通させ共用するという目的をもって計画されたものであり、地震現象の理解のペースを早めてくれたという意味では、当初の目論み通りだったと言えます。

平田：基盤観測で重要なことは、地震にしても地殻変動にしても、一定の間隔で全国に観測網を作った他に、必要に応じて臨時観測を展開した時に、きちんとデータをリアルタイムで結合できる仕組みを最初から考えてあったということです。地震の場合などは特に 20km 間隔に Hi-net というか基盤観測があって、その他に大きなイベント、地震があったときに臨時的なテレメーター観測や現地収録型の観測をして、それらを結合して統合処理することが研究者側から見て非常にやりやすくなっています。

GPS にしても今やリアルタイムで精度のいい観測ができるようになり、しかもある意味でデータを世界中に公表しています。それは、非常に先見性のあるやり方です。昔は研究者が大変な思いをして、やっとな虎の子のデータを集めて研究をしなければいけなかったのが、データの公開などということはなかなか考えられなかったことでした。それが今では、基盤がきちんとしているので、データの流通が良くなり、研究がスピーディに進められるようになってきました。もちろん、そうした研究も最終的には地震防災にきちんと還元していかなければいけません。しかし、少なくとも GPS 連続観測と高感度地震観測については、今のところはそれが上手くいっていると評価してもいいのではないのでしょうか。

データの蓄積・流通

地震研究の発展につながる画期的なしくみ

司会：データの蓄積とか流通についても、10年前と比べると様変わりの進歩を遂げているのではないのでしょうか。

長谷川：地震現象についての理解を深めるためには、その基本となる調査観測のデータは流通・公開しなければいけません。そういう意味で最初から流通・公開を前提として作らなかったそれまでの観測網の経験をふまえて、基盤観測網は最初からデータの流通・公開を前提に構築されました。それが、現在みられる流通・公開の状況であり、それまでに比べて画期的なものになっています。また、きちんと流通・公開されているため、地震現象についての理解を深める上で基本となる重要なデータになっています。



平田 直氏

平田：研究者から見ると、画期的な仕組みができて、非常に興味深いデータが取れるようになったのは事実です。

また、基盤観測のデータによって、国土地理院の地殻変動の観測や気象庁の地震活動の監視が非常によくできるようになったと思います。そして、三次元の不均質構造や速度構造が分かるようになると、気象庁が地震学の最先端で使っているような手法を使うことによって、震源の決定精度をより良くする可能性も十分にでてきたと思います。

長谷川：今や気象庁の一元化震源のデータを使って、地震発生層の厚さを日本全域について算出することができるようになっており、それは内陸で発生する地震の規模の予測に重要な情報の一つです。また、平田さんが言われた、三次元の地震波速度構造も、高感度・高密度の基盤観測網データを使うと、非常に詳しくトモグラフィでイメージングすることができるようになりました。地震が発生する場の詳しい構造がわかるのですから、それは長期的な地震発生の可能性の評価という点で重要な情報を提供してくれるし、今後もさらに高度化した情報が提供されるだろうと思います。気象庁では三次元地震波速度不均質構造を考慮した震源決定を定常業務の中に取り込むことをすでに検討されているようで、そうなると一元化データでさらに高精度の震源情報が得られるようになると思います。

今後の展望

海域での観測の充実を

司会：それぞれの先生方に、今後の展望についてお話し願えればと思います。

平田：GPSの今のデータを1秒でサンプリングするデータを使うと、極めて広帯域な地震計にもなるということがいくつか証明されています。ですから、実は潜在的には約1,000個のGPS観測点が全て広帯域の地震計になるわけです。しかも、加速度計より場合によっては広い帯域で観測できるので、コサイスマックな（地震時の）変動からポストサイスマックな（地震後の）変動まで、あるいは前兆すべりを見るという時には非常に重要になるので、近い将来、標準的にできればいいなと思います。

司会：活断層調査の今後についてはいかがでしょうか。

佐藤：これまで一番力を注いできたのは、活動の履歴を調べて、確率として将来の長期予測をしていくことでした。このため、断層の地下構造の調査も実施されているのですが、「どのような震源断層が予想されるのか」という点に対しては、まだまだ調査・検討が不足しています。今後より現実的な強震動予測を行っていく必要がありますので、より現実的な内陸活断層の震源断層モデルが必要になります。ですから、活動履歴に関する資料の収集と平行して、三次元的に震源断層モデルを構築するための、地下構造調査や変位量分布などの地表活断層調査が必要になります。また、これまでの活断層調査は、当然のことですが規模の大きい地震の発生が予想される断層から調査を行っています。こうした地震よりは、一回り小さな規模の地震の方が頻繁に発生します。規模が小さいとはいっても中越地震のような大きな被害が発生しますので、このような地震に対しても何らかの対応をとる必要を感じています。やはりどちらの場合でも、鍵を握るのは地下の構造がどれほど理解できているかということに、深く関わっていると思います。

長谷川：基盤的調査観測を今後、海域にどう広げていくかというのが次の問題だろうと思います。ケーブル式の海底地震計は、当初は5海域に設置する計画もありましたが、今のところはそのうちの2海域にしか設置されていないし、その後もほとんど進展が見られないという状況です。一方、研究面では、陸域の観測網によってプレート境界で起きている現象の理解が急速に進展し、今や最近起こったプレート境界地震については、高精度の観測データが得られるので、その破壊の仕方が全てアスペリティ・モデルで統一的に説明できそうだという状況になってきています。その意味では、海域での観測の重要性というのは、かつてより遥かに高くなったと思います。ですから、今後は陸域での基盤的調査観測を継続すると共に、それをさらに海域にも広げることによって、プレート境界地震の理解が画期的に進展するのではないかと私は思います。さらに言えば、津波予測の精度向上のためにも、ケーブル式海底地震計・津波計のデータが必須です。



長谷川 昭氏

平田：海域での観測の強化には私も大賛成です。陸域の観測については、地震の発生確率の高い所では20km間隔を5km間隔にするというのも非常に重要な観点ですが、東南海、南海を陸から見た時には、やはり地表に観測点があるだけでは不十分なので、ボアホールの観測点をもう少し作る必要はあると思います。Hi-netで低周波微動が発見され、それと傾斜計のデータとの関係がだんだんわかってきて、微動が起きる時には地面が傾き、プレートの結合状態が変わっているということを示唆するデータが出ています。そういったものをもうちょっと深い位置のボアホールの観測点で高精度にモニターするという事は、結局は東南海、南海の地震についての知見を非常に増やすことになるので、これから強化する必要があると思います。

東南海と南海の地震はほぼ同時に起きるといわれていますが、今の観測データや知識だけでは明確なことは言えません。ですから、どうしたらいいかをよく考えておく必要があるのではないかと思います。

佐藤：次の予測には仮に使えなくても、必ずその次には役に立つでしょうから、今すぐにも観測体制は整備すべきだと思います。そうでないと、後世から見たら「何であの時にそういうデータを取っておいてくれなかったのか」ということになり、ワンサイクル分損してしまうことになります。

司会：そういう観測が実施されてくれば、地震予知にも貢献すると思います。そういう立場から見ると、ネットワークは将来どうあるべきでしょうか。

長谷川：地震予知の研究を進めるためには、基盤観測網がなければ成り立たないのではないかと思います。ですから、まずは長期間安定してデータを蓄積し続け、それを広く流通させることが重要です。基盤観測網のデー

第1部 地震に関する(基盤的)調査観測の主な成果と新たな展望

ただけでわかったわけではないですが、プレート境界でアスペリティ・モデルが成り立つということがわかりました。おおざっぱに言えば、アスペリティで地震時に何mずべるかということが、そのアスペリティの強度に相当します。そうすると、アスペリティの周囲で非地震性すべりが積算で何mになっているかという情報は、そのアスペリティのすべり、すなわち地震の発生時期を予測するのに重要な情報になります。地震でアスペリティがすべった後、その周囲で積算でどのくらいすべりが生じてきたのかということは、今の基盤観測網みたいな高精度の観測網で連続的にデータを取っていくとわかりますから、それは次の地震の発生予測に大きな貢献をするはずで、そういう意味で、基盤観測網のデータは決定的に重要だろうと思います。

平田：Hi-netについて言いますと、今は非常にうまくいっていますが、若干不安なこともあります。Hi-netは防災科学技術研究所という独立行政法人の研究機関が設置して維持していますが、そのデータの処理をするのは気象庁の分担になっています。そのデータは10年、20年どころか100年も取り続ける必要があるものなので、今の体制でずっと維持できるかどうか若干不安なところがあります。GPSは全部国土地理院がやっていて、それはそれでうまくいっています。防災科学技術研究所が一括してやるのであれば、それなりの仕組みを作っておかないと、同じペースで100年も維持し続けるのは難しいと思います。そういうことも、次のいろいろな計画を立てる時には、考える必要があると思います。

司会：とても示唆に富んだお話を伺うことができました。どうもありがとうございました。

第2部 長期評価の実績と今後の課題

一巡した活断層評価

島崎 邦彦(月刊地震レポート「サイスマ」2005年8月号より)

誰もが知ってる活断層？

「誰もが知ってる活断層、でも誰も正しくは知らない」—これは1995年阪神・淡路大震災の後に出版された、活断層の本のキャッチコピー案です。採用されませんでした。一面の真実を言い当てていると自負しています。地震災害、特に活断層の活動によって生じる地震災害は、低頻度巨大災害で、対策が難しく、ややもすると無視、あるいは軽視されがちでした。いや、過去形を使うのは正しくないでしょう。いまだに無視、軽視されがちなのです。一例をあげましょう。福岡市を通る警固断層です。福岡県、福岡市ともに活断層調査には熱心な自治体で、調査を行い、この断層の活動によってマグニチュード7(以下M7と略記)程度の地震が起こると結論しました。ところが被害想定ではM6.5とし、福岡市の最大震度は6弱と想定したのです。3月20日の福岡県西方沖の地震(M7)では、沖合いで起こったにもかかわらず、福岡市、前原市、佐賀県みやき町で震度6弱、死者1人、重傷66人、軽傷949人の被害となりました。次は警固断層で地震が起こるのではないかと不安が広がっていますが、震度6弱の対策では、どう考えても不十分ですし、その不十分な対策ですら進んでいなかったようです。きつい言い方ですが、行政の安易な判断のツケを住民が払わされる結果になったように私には思えます。

これまでの評価を振り返って

阪神・淡路大震災後に98の主要活断層帯(警固断層は含まれていません)が指定されて調査が行われ、それぞれの今後の活動について、地震調査委員会によって評価が行われました。今年4月13日の地震調査委員会で活断

島崎 邦彦(しまざき・くにひこ)氏

東京大学地震研究所地球流動破壊部門教授。1970年東京大学理学系大学院地球物理学専攻修士課程修了。1989年より現職。理学博士。地震調査研究推進本部地震調査委員会委員、同長期評価部会部会長、地震予知連絡会副会長、交通政策審議会委員、中央防災会議専門委員。著書は「あした起きてもおかしくない大地震」(集英社)、「地震と断層」(東京大学出版会)、「古地震を探る」(古今書院)など多数。

層評価が一巡したことになります。長期評価部会長として、この評価に携わってきましたが、振り返るといろいろなことがありました。最初の糸魚川—静岡構造線活断層系では、「現在を含めた今後数百年以内に、M8程度の規模の地震が発生する可能性が高い」（1996年9月公表）と評価しましたが、数百年ではお茶飲み話にもならないと報道されました。行政的に考えられるのはせいぜい30年とのことで、今後30年以内の発生確率が数値で示されるようになったのです。ところがこの数字が小さいので安心情報となると批判され、定性的表現として、「今後30年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中では高いグループに属する」などが加えられるようになりました（図1）。いずれにせよ最初に述べたように、低頻度巨大災害にどう対処するかという基本問題が、繰り返し問われているのだと思います。

主要活断層の調査が開始された時点では、一部の専門家以外は活断層を十分に理解していませんでした。トレンチ掘削を始めたものの活断層に当たらず、やむを得ず掘削を広げた結果、プールほどもある大規模な掘削となったにもかかわらず、その規模を讃える報道がされたこともありました。地方交付金による自治体の活断層調査委員会には、地質調査所（後に産業技術総合研究所）の専門家が1名加わることになっています。しかし調査委員会の長は、活断層の専門家である場合が少なく、必ずしも活断層を十分に理解しているとは言えません。一方、自治体の調査委員会の活動は夏近くになって、業者選定の第一回会合から始まり、多くの地域では積雪前にトレンチ調査を終えなければならず、十分な時間を費やすことが困難です。掘削の状況を見て、地点の変更や追加調査を行うなど、委員長自らが適時に判断して調査を効率的に進めるといふ、望むべき状況には、なかなか至らなかったようです。

活断層の評価も、かなり困難な道を歩きました。委員の多くは、これまで他人とは異なる新説を唱えることで評価されてきた人々です。それが突然、他人と協調して一つの結論を出さなければならなくなったのです。議論を繰り返した結果、まず調査結果を重視すること、それが不十分な場合には、これまでに得られた経験式を用いることで評価が進められました。全員が納得する評価法が無いために、判例主義に基づいて、少しずつルールが作られていきました。最終的に完成したルールについては、現在報告書を作成中で8月公表の予定です。また、評価手法をさらに改良するための検討委員会もつくられました。これまでの評価では、活断層帯を代表する地震、すなわち活断層帯全体が活動する地震を評価してきました。しかし評価するうちに、活断層帯の一部のみの活動による地震が、複数の活断層帯で明らかになり、評価手法を改良する必要が出てきたのです。また、主要活断層帯の追加調査、補完調査も計画されています。

一巡後の課題もありますが、このように多数の活断層帯が評価されている地域は日本のみと言ってよいでしょう。阪神・淡路大震災後のこの十年は、活断層による地震災害軽減のための、大きな一歩であったことは間違いないと思います。また、地方交付金による活断層調査は、地方自治体の防災関係者が活断層を学ぶ良い機会となったことと思います。特に、年一回開かれた活断層調査成果報告会では、自治体の職員自らがその調査成果を発表することとなっていたので、皆さん必死に勉強されたことでしょう。

今後に残る課題

最後に、重要な問題点について触れておきます。まず、主要活断層帯以外の活断層のほとんどは、何もわかっていません。また、活断層が認められない地域でも、大地震が発生します。過去200年間の統計では、50人以上の死者を伴う陸域の地震のうち主要活断層帯で発生した地震は、半分だけです。残りの半分は、主要以外の活断層帯、もしくは活断層が認められない地域で起こっています。千人以上の死者を伴う地震の場合には、その7割が主要活断層帯で起こっています。大規模なものほど、主要活断層帯で起る傾向があります。逆に言えば、小規模で、それだけ頻繁に起こる被害地震は、主要活断層以外で起こる可能性が大きいということです。昨年、（活断層調査を行わなかった）新潟県で起きた中越地震などがその例です。今後も、そのような地震が多数起こることでしょう。主要以外の活断層帯も調査すべきかどうかは、税金を支払っている皆さんのお考え次第です。主要活断層帯よりも簡略な、より少額の費用でできる調査を私は提案していますが、残念ながら多くの方の賛同が得られていません。

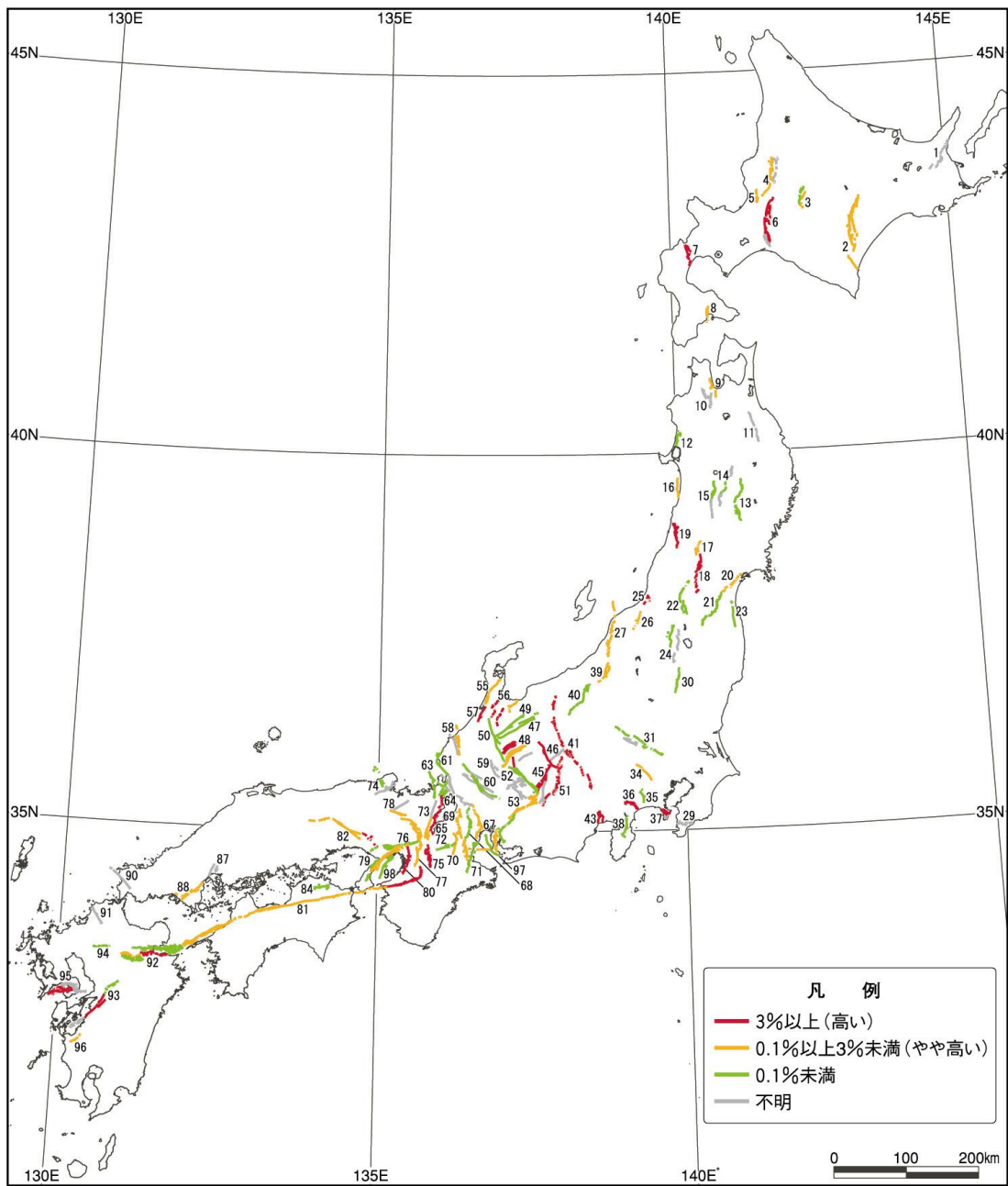


図1 主要活断層帯における今後30年以内の地震発生確率

不明とされているのは、調査が不十分であったり、調査結果がこれまでの研究成果と矛盾するなど、評価ができなかった活断層です。このような場合には報道されず、忘れられがちですが、場合によっては危ないかもしれないことに注意してください。図では明らかではありませんが、最後の活動時期が不明の場合には、現在の発生確率ではなく、長期間の平均値が示されています。現在の発生確率は、示されている平均値より大きい可能性もあります。確率の取りうる範囲は、それぞれの活断層の評価の説明文中の表の注に示されています。(図中の番号に対応する断層帯名は5月号特別付録参照)

[地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会（準備中）「基盤的調査観測対象断層の評価手法に関する報告書－評価手法の取りまとめと課題について」より]

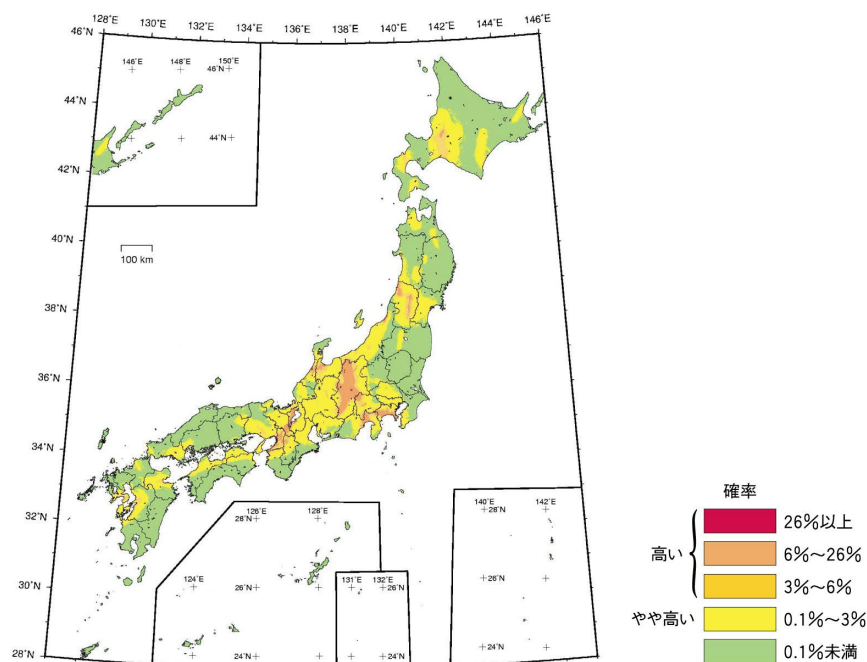


図2 主要活断層帯の地震によって、今後30年以内に震度6弱以上の揺れに襲われる可能性（最大ケース、主要98断層帯のみ、基準日2005年1月1日）

確率の値に幅がある場合については、安全側にたつて、その最大値を取るべきだと考えた場合の図です。地震によって強い揺れに襲われる可能性は日本全国どこでもあるので、家具の固定など、すぐできることはどこでも必ず行わなければなりません。

[地震調査研究推進本部地震調査委員会（2005）「全国を概観した地震動予測地図」より]

日本周辺の高溝型地震の長期評価

2003年十勝沖地震は予測の範囲か？

笠原 稔（月刊地震レポート「サイスマ」2005年9月号より）

笠原 稔（かさはら・みのる）氏

北海道大学大学院理学研究科付属地震火山研究観測センター長・教授。

北海道防災会議地震防災対策専門委員会委員、地震調査研究推進本部地震調査委員会委員、中央防災会議高溝型地震調査専門委員会委員など。1970年東北大学大学院理学研究科地球物理学科修士課程修了。北海道大学理学部えりも地殻変動観測所助手、同大学地震予知観測地域センター長などを経て2004年4月から現職。

はじめに

阪神・淡路大震災は、内陸地震の長期評価にとって活断層調査の重要性をあらためて認識させました。それにより、先月号で島崎先生が紹介しているように、全国98の主要活断層の調査が終了し、それぞれ長期的な確率評価がなされています。

ところで、日本列島の地球科学的な位置付けは、プレートの沈み込みに伴う島弧-海溝系のプレート収束境界というものです。これまでの歴史からも明らかなように、プレート境界で発生する海溝型大地震が100年オーダーの繰り返りで発生しています。これらの地震の発生頻度は内陸地震よりはるかに高く、地震調査研究推進本部は「全国を概観した地震動予測地図」作成を当面推進すべき地震調査研究の主要な課題の二本柱として、陸域の浅い地震の評価のための活断層調査とともに、「海溝型地震の発生の長期的な確率評価を行う」としました。

地震調査委員会では、この決定を踏まえつつ、これまでに、プレートの沈み込みに伴う大地震（海溝型地震）として、最初に、約37年間隔で発生しているとされた宮城県沖地震（図1-1）と、1000年以上の記録の残っている南海トラフの地震（図1-2）の長期評価を、その手法の検討を含めて先駆的に行いました。それ以後、順次、三陸沖から房総沖の地震活動（図1-3）、千島海溝沿いの地震活動（図1-4）、日本海東縁部の地震活動（図1-5）、日向灘および南西諸島海溝周辺の地震活動（図1-6）、相模トラフ沿いの地震活動（図1-7）について、日本列島周辺の海溝型大地震の発生が見られた全ての領域について一通りの長期評価を行い、それぞれの長期的な確率評価を公表しました（平成17年4月）。「海溝型地震の発生の長期的な確率評価」は、明らかに、内陸地震の場合よりは確度の高いものであり、行政的な意味でも対策を検討しやすいものとなっています。

評価手法と千島海溝への適用例

海溝型地震は、歴史記録からも繰り返し発生が知られており、その長期評価は比較的容易であろうと考えられました。評価の基本は、最近の知見である固有のアスペリティが繰り返すことにより、ほぼ同じ領域で、同程度の規模の地震が、プレートの収束速度から推定される平均的な繰り返し間隔で発生するというものです。それぞれの領域について、過去の地震活動等を考慮して、海溝型地震（プレートの沈み込みに伴う地震）の活動間隔について平均値とその揺らぎを検討し、次の地震の発生可能性について、場所と規模（マグニチュード）及び発生確率を評価します。発生確率は、1つ前の地震発生からの経過時間とその地域の活動間隔と揺らぎの大きさによって、計算されます。歴史的記録が多く残されている南海トラフの場合、想定震源域は1944年東南海道地震および1946年南海道地震の震源域でそこでの歴史的に確実な繰り返し発生が4~5回知られていることから、活動間隔の平均値と揺らぎに関して統計的にも意味のある値が得られました。同様の手法を、千島海溝に適用する場合、記載された歴史的な地震記録は19世紀からであり、想定される震源域での繰り返し発生はそれぞれ2回しかありません。そのために個々の領域ごとの固有の繰り返し間隔を推定できるものではありませんでした。評価対象の場所による利用可能なデータの差から来る、評価精度の差が出ることは致し方ないけれども、可能な限りの検討を加えて、「全国を概観した地震動予測地図」の実現は大きな意味があると考えました。千島海溝の場合には、1994年の北海道東方沖地震は、プレート内地震であったことの新知見を入れて、過去の地震活動を検討した結果、1958年の択捉島沖地震も同様の地震であったと判断され、海溝型地震の想定震源域は、図2に示すような、4つの領域としました。これらの領域での繰り返し間隔については、どの領域も2回の繰り返ししか知られていません。最小は択捉島沖の45年、最大は十勝沖の109年でした。この地域のプレート収束速度、8cm/年、から考えて、十勝沖に109年の固有の繰り返し間隔を想定するのは物理的に無理があるので、ここでは、4つの領域の平均値を採用することとまっています。その結果、平均間隔は77年±24年となり、この値から、それぞれの領域の前の地震からの経過時間を元に、平成15年（2003年）3月24日、千島海溝の長期評価が出され、十勝沖の領域が最も高く、30年確率で60%程度、と評価されました。



図1 海溝型地震の評価領域と主な評価結果(確率は2005年1月1日現在)
 文部科学省パンフレット「地震の将来予測への取組・地震調査研究の成果を防災に活かすために」の図に一部加筆

2003年十勝沖地震は評価の半年後に発生

2003年9月26日、ほぼ想定震源域内で、想定規模の2003年十勝沖地震が発生しました。その時期については、統計的には揺らぎの範囲内に入るにしても、やはり早かったというべきでしょう。それは、(あるだけの)過去のデータからだけでは、限界があるということです。領域に関しても、1952年十勝沖地震とまったく同じということではありませんでした。しかしながら、想定された領域と規模に関しては、最近の知見から想定されているアスペリティの再活動であったこと、初めてM8規模の地震後の詳細な余効変動の進展が観測され、それは周辺域での相似地震の発生に関連するすべりの進展であることなどが明らかになってきています。現在の長期評価の確度、特に時期に関してはかなりの「幅」を持ってみなければいけません。海溝型地震がどの領域でも確実に繰り返すことは間違いなく、想定地震の予測は十分に防災対策に生かしてもらいたいものです。同時に、今後ともどの領域についても新知見を加えながら、過去データの再検討を含めて、長期評価の確度の向上を進めていく必要があります。今回の十勝沖地震の発生を見た上で、地震調査委員会は、長期評価の見直しをし、図2に示すように、次の根室半島沖地震の想定震源域を西に拡大しています。また、領域全体での平均繰り返し間隔は72年と若干短くなるだけです。総合的には、十勝沖地震の領域での次の大地震の発生確率はリセットされますが、他の領域の確率は若干高くなっています。

今後の課題

海溝型地震の長期評価にはいくつかの問題は残されていますが、海溝型地震は確実に繰り返されます。そして、現在私たちの持っている過去データにも限界があり、全ての可能性を見ていないかもしれません。これは、千島海溝での評価で議論された、十勝沖・根室沖の連動発生による巨大津波を伴う地震の発生の可能性です。6000年の地層の中に、400-600年間隔での大津波の痕跡が残されています。千島海溝に関して言えば、歴史記録は高々300年しかないのです。つまり、海溝で展開されるプレートの沈み込みによる全ての現象を見ているわけではないのです。過去の記録の中には、三陸においても桁外れの大津波に襲われた歴史もあり、これらに関しても、やはりもっと長い地震歴史を解明していく努力が、長期評価の一部として必要であると感じています。

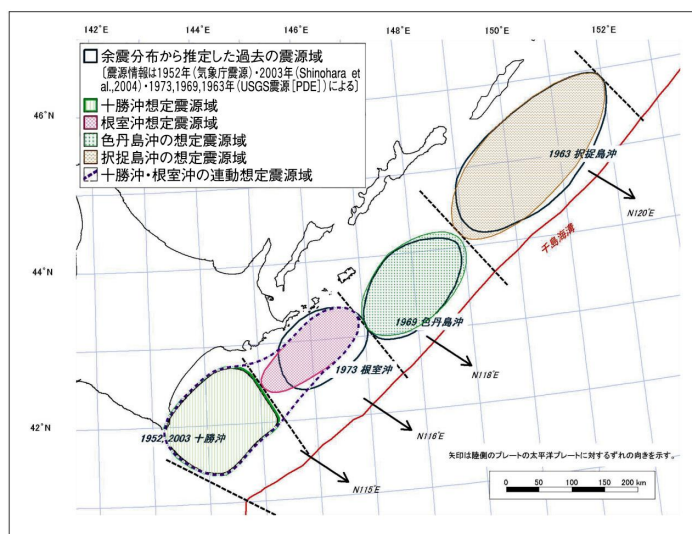


図2 千島海溝沿いの過去の震源域と想定震源域

レシピによる強震動評価

入倉 孝次郎

(月刊地震レポート「サイスマ」2005年10月号より)

強震動とはなにか

強震動とは、地震時の地面の強い揺れのことをいいます。通常の地震計では震源近くに生じる強い揺れは飽和してしまいます。そこで、耐震設計など工学的な要請で強震計（日本では1952年）が開発されました。この強震計は建造物が被害を受ける可能性のある震度5程度の揺れの観測をねらいとしていました。強震動というのは、歴史的には強震計により観測される揺れのこと、その意味で建造物被害を引き起こす可能性のある破壊力をもつ揺れを指しています。

地震を防ぐことはできませんが、揺れによる被害は防ぐことが可能です。地震災害を少なくできるかどうかは将来大きな地震が発生したらどこにどのくらい大きな揺れが生じるかを正確に予測できるかどうかにかかっています。

強震動評価の手法

強震動評価は、活断層や歴史地震の調査による地震発生の可能性、GPS、高感度・広帯域地震計、強震計など観測記録による震源断層のモデル化、地殻・地盤構造調査による地下構造のモデル化と波動伝播特性、などなど総合的調査研究に基づいてなされるものです。従って、強震動の予測をより正確に行うには、地震に関連する最新の知見の総動員が必要とされます。

震源断層を特定した地震動予測地図を作成するために、地震調査委員会強震動評価部会は予測に必要なパラメータの設定の手順をレシピとしてまとめています。これは、同じ情報が与えられれば誰がやっても同じ結果となることで予測の信頼性を確保するためのものです。レシピは、①想定する地震の震源のモデル化、②震源と対象地域を包含する地下構造・地盤構造のモデル化、および③地震動のシミュレーション手法、から構成されます。

強震動評価の模式図を図1に示します。震源については、断層面積や地震モーメントなどの巨視的断層パラメータと震源断層内にすべりが大きく強い揺れを生成するアスペリティやそこでの応力降下量などの微視的断層パラメータでモデル化されます。震源から生成される地震動と伝播経路にある深い地盤構造や浅い地盤構造による波動伝播特性の合積で、地表の揺れが評価されます。

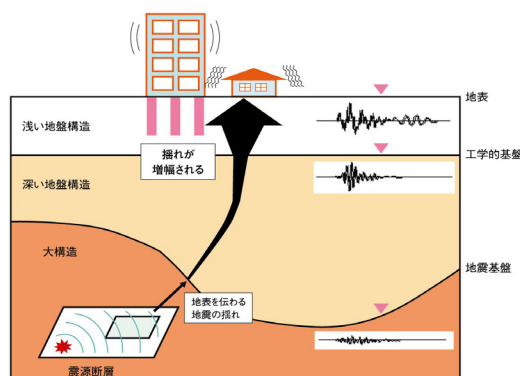


図1 強震動評価の模式図

入倉 孝次郎 (いりくら・こうじろう) 氏

京都大学 理事・副学長。京都大学大学院理学研究科地球物理学専攻修士課程修了。京都大学防災研究所教授・所長などを経て現職。地震調査推進本部地震調査委員会委員、同委員会強震動評価部会長、内閣府中央防災会議専門調査会専門委員、など多数。専門は地震学、とくに強震動地震学、経験的グリーン関数法を用いて大地震時の地震動の合成に関する研究、強震動予測のためのレシピの研究。

強震動評価の1例

上記の強震動予測レシピを用いた強震動評価の例として、今年の7月に地震調査委員会が公表した中央構造線断層帯（金剛山東縁—和泉山脈南縁）の予測結果を図2に示します。この例では、活断層調査結果に基づいて2つのアスペリティが設定されています。破壊開始点については特定するだけの情報がいないため2つのケースを想定して、破壊開始点の違いによる強震動予測結果の違いが比較検討されています（図は1つのケースのみ）。

まとめと今後の展望

過去の強震動評価は過去の地震記録の統計的な解析で得られた最大加速度や最大速度の距離減衰式による経験的手法で行われてきました。断層モデルに基づく理論的評価についても、一般に一律な断層すべりを仮定してなされていたため、短周期地震動が過小評価となり防災対策に活用できませんでした。今回「震源断層を特定した地震動予測地図」作成のために開発された「地震動予測レシピ」では、断層すべりの不均質性を考慮した特性化震源モデルを導入することにより広帯域の強震動評価を可能にしました。

特性化震源モデルで重要なアスペリティ面積やそこでの応力降下量をあたえる微視的パラメータの関係式は主として内陸地震の強震動記録を用いた震源インバージョン結果から導かれたもので、海溝型地震については個別の地震ごとの検討しかなされておられません。また、特性化震源モデルは長周期成分と短周期成分が同じ領域（アスペリティ）から生成されることを前提としておりますが、海溝型地震についてこのような前提条件が有効かどうかは検証が必要です。

アスペリティ位置、破壊開始点、破壊の伝播模様は地震動の空間分布に大きな影響をもたらしますが、これらのパラメータをどのように推定するかに関する知見や情報は不足しております。信頼性ある強震動評価にはこれらの問題の調査研究が不可欠です。将来の方向の1つとして、震源パラメータのばらつきを拘束条件として多くのシナリオを想定した震源のモデル化を行い、強震動評価結果を平均とばらつきを考慮して整理することにより、確率論的方法と融合した地震動予測方法の開発が必要と考えます。

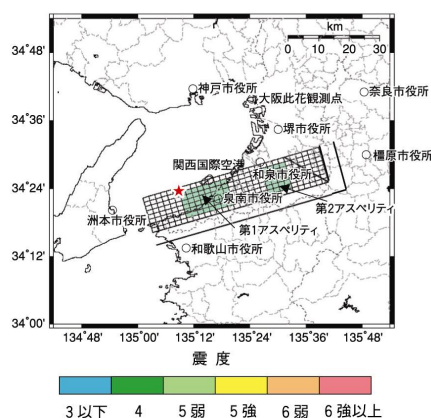


図2 強震動予測レシピによる強震動評価例

—中央構造線断層帯（金剛山東縁—和泉山脈南縁）の地震を想定した強震動評価—

確率論的地震動予測地図

その問題点と今後の課題

藤原 広行（月刊地震レポート「サイスマ」2005年11月号より）

はじめに

地震調査研究推進本部地震調査委員会において作成が進められていた「全国を概観した地震動予測地図」が完成し、平成17年3月23日に公表されました。「全国を概観した地震動予測地図」は、地震発生 of 長期的な確率評価と強震動の評価を組み合わせた「確率論的地震動予測地図」と、特定の地震に対して、ある想定されたシナリオに対する詳細な強震動評価に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」の2種類の性質の異なる地図から構成されています。以下では、特に確率論的地震動予測地図について解説します。

確率論的地震動予測地図とは

地震の発生及びそれに伴う地震動の評価（地震ハザード評価）は、現状では数多くの不確定要素を含んでいません。現在の地震学・地震工学のレベルでは、将来発生する可能性のある地震について、地震発生の日時、場所、規模、発生する地震動等について、決定論的に1つの答えを準備することは大変難しい状況です。こうした不確定性を定量的に評価するための技術的枠組みとして有力と考えられているのが、確率論的手法です。地震発生の不確定性及び強震動評価の不確定性を確率論的手法を用いて評価したものが「確率論的地震動予測地図」です。

「確率論的地震動予測地図」を作成するためには、地震ハザード評価が必要となります。地震ハザード評価とは、ある地点において将来発生する「地震動の強さ」、「対象とする期間」、「対象とする確率」の3つの関係を評価するもので、現在行っている地震ハザード評価の大まかな手順は、以下に示す通りです。

- ①地震調査委員会による地震の分類に従い、対象地点周辺の地震活動をモデル化します。
- ②モデル化したそれぞれの地震について、地震の発生確率を評価します。
- ③地震の規模と位置が与えられた場合の強震動評価のための確率モデルを設定します。
- ④モデル化された各地震について、対象期間内にその地震により生じる地震動の強さが、ある値を超える確率を評価します。
- ⑤上の操作をモデル化した地震の数だけ繰り返し、それらの結果を足し合わせることで、全ての地震を考慮した場合に、対象期間内に生じる地震動の強さが、ある値を少なくとも1度を超える確率を計算します。

このようにして、地点毎に地震ハザード評価を実施し、地震動の強さ・期間・確率のうち2つを固定して残る1つの値を求めた上で、それらの値の分布を示したものが「確率論的地震動予測地図」です。

「確率論的地震動予測地図」では、日本全国を約1kmメッシュに分割し、工学的基盤（S波速度400m/s）での最大速度を求め、別途モデル化した表層地盤増幅率を用いて地表での最大速度及びそれより変換した計測震度の計算を行っています。図1は、「確率論的地震動予測地図」の1例です。「確率論的地震動予測地図」は、今後発生し得るすべての地震を考慮したもので、地域ごとの地震ハザードの相対評価を行うための基本的な情報として利用可能です。ただし、地表での震度の予測値は、約1kmメッシュでの簡便な手法を用いたもので、ある地域内での詳細な情報が必要な場合には、別途検討を加えることが必要です。

藤原 広行（ふじわら・ひろゆき）氏

独立行政法人防災科学技術研究所特定プロジェクトセンタープロジェクトディレクター、(併) 防災研究情報センター強震観測管理室長。京都大学理学部卒業、同大学院理学研究科中退（理学博士）。

1989年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）研究員、オーストラリア国立大学地球科学研究所客員研究員等を経て、2001年4月より現職。

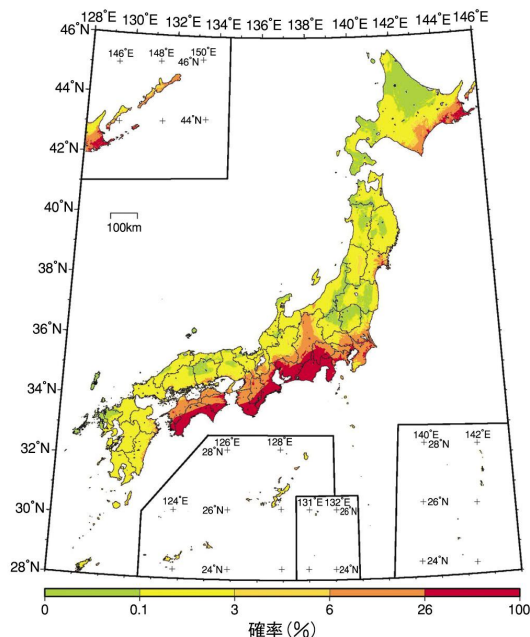


図1 今後30年以内に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率の分布図

主要98断層帯の長期評価の取扱い

地震調査委員会による主要98断層帯で発生する地震の長期評価では、評価に用いた情報量の不足のため、平均活動間隔と最新活動時期が幅を持って評価され、結果として地震発生確率が幅をもって示されているものが多数あります。このため、長期評価に基づいた「確率論的地震動予測地図」の作成にあたっては、幅をもって示された地震発生確率の数値の扱いが問題となります。

地震調査研究推進本部事務局の調査によれば、最近の約200年間では、主要98断層帯に関連する被害地震は10あり、約20年に一度の間隔で発生していると試算されています。こうした過去の地震活動と比較した場合、「確率論的地震動予測地図」作成で用いられている地震活動モデルが、主要98断層帯全体としてみたときに、妥当なものとなっているかどうかについての検討を行いました。

主要98断層帯に対する長期評価の結果に基づき、今後200年間にそれぞれの活断層帯で地震が発生する確率を評価します。この際、平均活動間隔と最新活動時期に幅があるものについては、

(1) 地震発生確率の最大値を採用する場合（■最大ケース）

地震発生確率の最大値は、地震調査委員会の公表資料における地震発生確率のランク分けに使用されています。

(2) 平均活動間隔と最新活動時期の中央値の組み合わせを採用する場合（■平均ケース）

「全国を概観した地震動予測地図」の「確率論的地震動予測地図」作成で採用された計算手法です。

(3) 平均活動間隔と最新活動時期の幅を平均化する場合（■積分平均ケース）

平均活動間隔と最新活動時期の幅の分布形状（前者は一様分布、後者は一様分布に活動間隔の信頼度関数に相似の重み関数を乗じたもの）を仮定した上で、積分操作により確率値を平均化したもの。

(4) 地震発生確率の最大値と最小値の算術平均値を採用する場合（■確率平均ケース）

以上、4ケースを検討します。なお、時間軸の原点は、2005年1月とします。

使用する平均活動間隔と最新活動時期の数値は、「確率論的地震動予測地図」の作成に用いられたものです。なお、長期評価で地震発生確率が評価されていないもの（平均活動間隔が不明のものなど）については、平均変位速度を仮定して確率を評価しています。対象活断層の数は、合計で153です。

以上の条件で計算した、今後 200 年間の地震発生数の確率分布を推定した結果は図 2 のようになります。200 年間に発生する地震数の期待値は、最大ケース 15.0 回、平均ケース 6.6 回、積分平均ケース 6.4 回、確率平均ケース 9.4 回となります。

平均ケースを採用した場合と最大ケースを採用した場合の主要 98 断層帯の地震のみを考慮した「確率論的地震動予測地図」の例を図 3 及び図 4 に示します。

前述の事務局試算では、過去約 200 年間に主要 98 断層帯に関連して発生した地震数は 10 であり、これと比較した場合、「確率平均ケース」の結果が最も近く、「最大ケース」は大きめ、「平均ケース」と「積分平均ケース」はともに小さめの結果となっています。

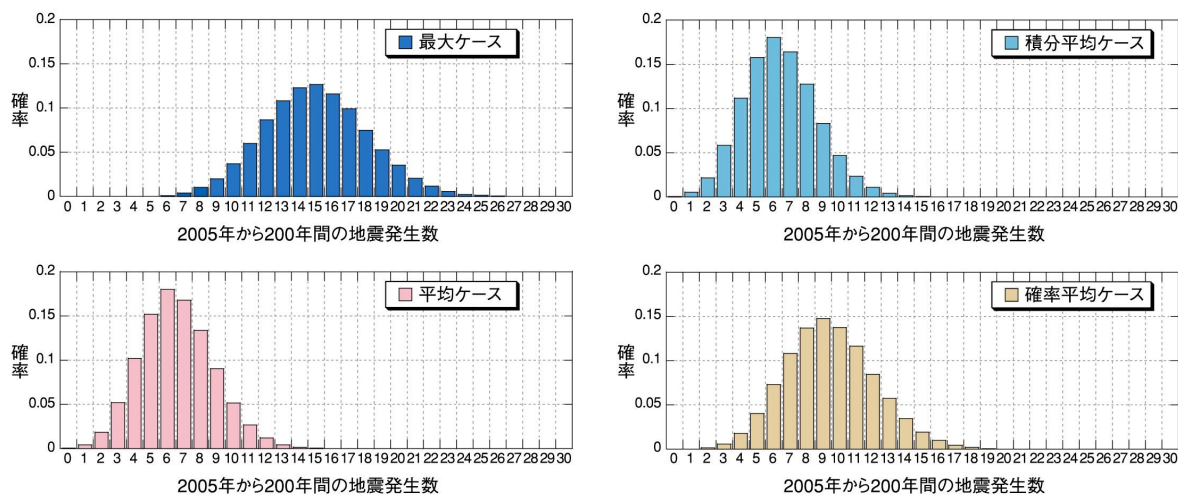


図 2 今後 200 年間の地震発生数の確率分布

地震発生数の期待値は、最大ケース 15.0 回、平均ケース 6.6 回、積分平均ケース 6.4 回、確率平均ケース 9.4 回となります。

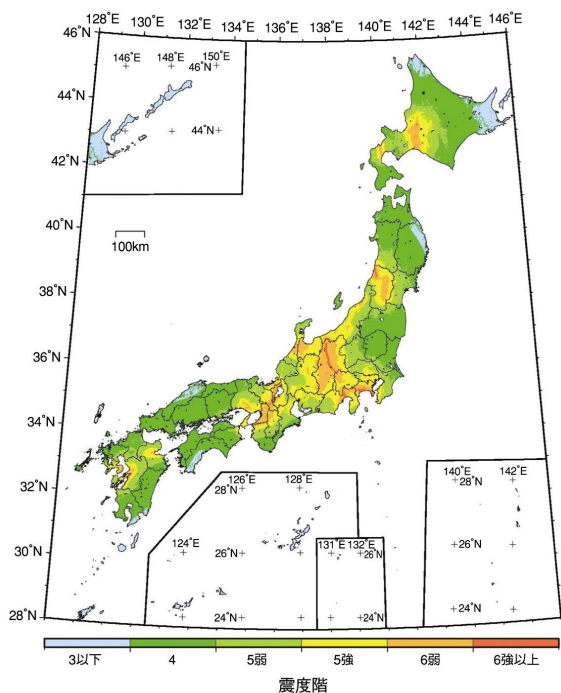


図 3 平均ケースを採用し確率を計算した場合、今後 30 年以内に 3% の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域図 (主要 98 断層帯の固有地震のみの場合)

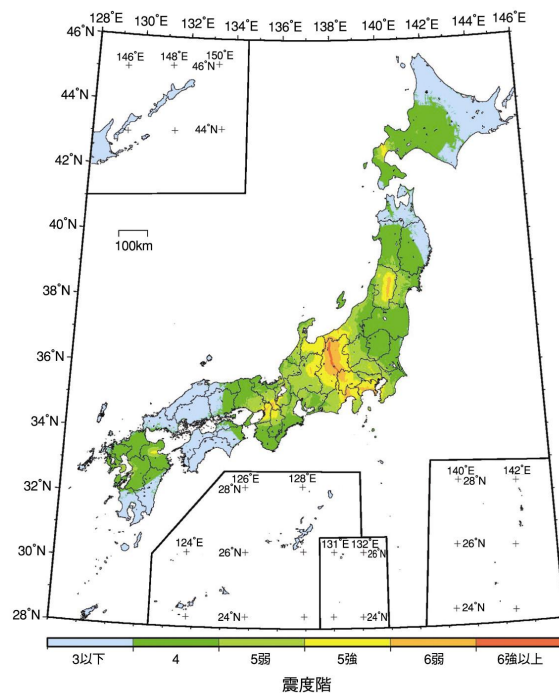


図 4 最大ケースを採用し確率を計算した場合、今後 30 年以内に 3% の確率で一定の震度以上の揺れに見舞われる領域図 (主要 98 断層帯の固有地震のみの場合)

第2部 長期評価の実績と今後の課題

地震発生数の期待値は、主として地震発生確率の絶対値が大きい活断層で決まることから、ケースによる地震発生数の期待値の差は、ケースによって確率の値に大きな違いのある、比較的少数の活断層によりもたらされていると考えられます。つまり、地震発生確率の幅が大きい少数の活断層の評価精度を向上することが、全体としての精度向上につながると考えられます。

主要98断層帯の評価結果に対して、最新活動時期及び平均活動間隔のそれぞれの中央値をとって発生確率を計算した場合、過去200年間の地震発生数と比較したとき、地震数が若干過小評価されている可能性があることがわかります。現在この原因が特定できているわけではありませんが、今後の予測地図改良の方向性として、それぞれの断層帯における固有規模の地震の設定方法の改良や、現在は予測地図作成において考慮されていない固有規模よりもひとまわり小さい地震を適切に扱うことが必要だと考えられます。また、幅を持って評価された平均活動間隔及び最新活動時期についても、単に中央値を用いるのではなく、個々の断層帯で得られている知見を少しでも活用し、適切な確率値が用いられるよう検討を加えることが望まれます。

「確率論的地震動予測地図」の作成においては、個々の活断層で発生する地震の評価を独立に行って、それらを積み上げる形でハザード評価が行われてきました。今後の予測地図作成手法の改良においては、全体としてのハザードを評価する視点を加えることも重要と考えられます。

近年発生した被害をともなう地震には、2004年新潟県中越地震をはじめとして、2000年鳥取県西部地震、2001年芸予地震、2003年宮城県北部地震、2003年十勝沖地震、2005年福岡県西方沖地震などがあります。このうち、「確率論的地震動予測地図」の作成において、予め震源断層が特定されていたとはっきり言えるのは2003年十勝沖地震だけであり、鳥取県西部地震、宮城県北部地震、新潟県中越地震、福岡県西方沖地震は、震源断層が予め特定しにくい地震として統計的な処理によりかろうじて地震ハザードが評価された地震群に属するものでした。地震群としての統計的な取扱いでは、個々の地震の姿が見えないため、これらの地震が「確率論的地震動予測地図」では考慮されていないとの誤解が生じやすくなります。「確率論的地震動予測地図」に対する理解と信頼性の向上のためには、発生頻度が比較的高く、被害地震となる可能性のある、固有規模よりもひとまわり小さい内陸の浅い地震についても、できる限り多くの地震について震源断層を特定して目に見える形で表すことにより、その認知度を高めておくことが望まれます。

地震ハザードの共通情報基盤を目指して

「全国を概観した地震動予測地図」の作成のためには、活断層・地震活動に関する情報や地下構造に関する情報等の大量の情報を用いられていると同時に、それら情報に基づいた地震ハザード評価のために、各種の評価手法や判断が取り入れられています。しかし、現状では、こうした大量の情報に基づいたとしても、地震ハザード評価には多くの不確実性が残存していることも事実です。このため、地震ハザード評価に必要な不確実性を評価するプロセスにおいては、さまざまなレベルにおいて客観的な科学的手法に加えて、各種の判断がなされています。こうした不確実性評価のプロセスを経て作成された地震動予測地図は、利用目的・利用者によっては、その最終的な評価結果としての地震動予測地図のみの情報開示では不十分な場合があり、その評価プロセスで用いた手法や判断及び用いた情報を併せて開示することが望ましいと考えられます。また、地震動予測地図のユーザは、一般市民、行政担当者、技術者、研究者など多岐にわたると考えられ、それぞれの立場で必要とする情報項目も異なることが予想されます。このように、地震ハザード評価に関する情報開示に対しては、多様なニーズに応えられるような開示情報項目の多様性が要求されるとともに、最終的な評価結果だけでなく、不確実性の評価プロセスで用いた手法や判断、用いた情報など階層的な構造を持つ情報群について広く公開されることが望ましいと考えられます。

このような観点から「全国を概観した地震動予測地図」は、単に最終成果物である「予測地図」そのものだけが強調されるのではなく、日本全国に対する地震ハザード評価に関わる各種情報をとりまとめ、多様なニーズに対応可能なように情報を整理・処理するプロセスを含めた地震ハザード評価に関する情報群としてとらえることが重要です。これは、「地震ハザードの共通情報基盤」として「全国を概観した地震動予測地図」を位置づけることと解釈できると考えられます。「全国を概観した地震動予測地図」を「地震ハザードの共通情報基盤」として位

置づけ、それらを十分に機能させ、発展させるためには、情報作成者側と利用者側を結びつけるためのインターフェースの整備が不可欠となります。また、地震調査研究の進展による発信情報の高度化や利用技術の進歩による多様な発信情報に対するニーズに即応できるように、「地震ハザード評価の共通情報基盤」としての地震動予測地図が定期的に更新・改良されていく仕組みを確立することも必要です。

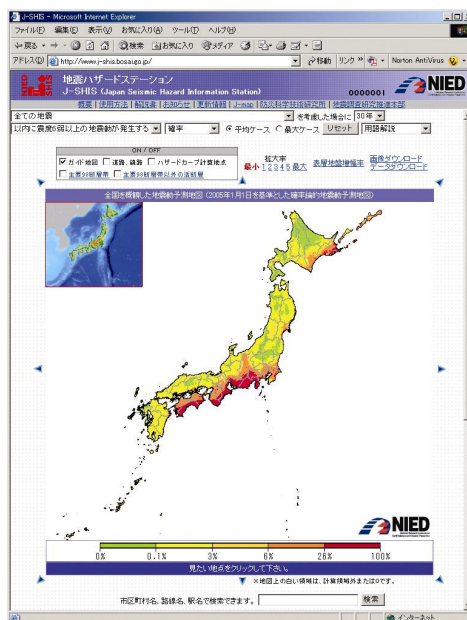


図5 地震ハザードステーション
J-SHIS の表示画面の例

防災科学技術研究所では、地震動予測地図の利用に関する検討の一環として、「地震動予測地図工学利用検討委員会」を設置し検討を行ってきました。この委員会がまとめた報告書「地震動予測地図の工学利用 ―地震ハザードの共通情報基盤を目指して―」（防災科学技術研究所研究資料第 258 号、2004）では、前にも述べたように、「全国を概観した地震動予測地図」を最終成果物としての地図そのものだけでなく、その作成の前提条件となった地震活動・震源モデル及び地下構造モデル等の評価プロセスに関わるデータも併せた情報群としてとらえることにより、「地震ハザードの共通情報基盤」として位置づけるべきとの提言がなされています。この提言を実現するために、防災科学技術研究所では「全国を概観した地震動予測地図」のインターネットを利用した公開システムの開発に取り組み、同報告書により提案された名称を採用し、「地震ハザードステーション J-SHIS」（図5）として、平成 17 年 5 月 9 日より運用を開始しました（<http://www.j-shis.bosai.go.jp>）。

現状では、まだ J-SHIS は上記の機能のほんの一部を実現したに過ぎません。今後、J-SHIS が上記の要望を満たすものとしてさらに発展するよう努力していきたいと考えています。

座談会—まとめ

積極的に情報を公開し、 誰でも使える情報基盤づくりを

（月刊地震レポート「サイズモ」2005年12月号より）

第2部「長期評価の実績と今後の課題」では、活断層・海溝型地震の評価、強震動評価と確率論的地震動予測地図についての現状と課題を取り上げた。この総括として、3人の方々にお集まりいただき、それぞれの立場で

今後の展望を語っていただいた。

活断層評価について

一巡はしたが課題も残る

司会：地震調査研究推進本部が進めてきた調査研究の成果として、世界にも例がない地震動予測地図が作成されました。これは非常に素晴らしい成果だと思います。まず始めに活断層評価の取り組みについて、島崎先生からお話しいただけますか。

島崎：活断層の評価は一段落したと言われますが、私はむしろ今やっと始まったばかりだと思っています。調査も評価も、手探り状態で始まって、やっとそれが一巡した。しかし、まだ課題は残っているという状況です。一巡してもう活断層評価は終わったと思われる方がいらっしゃるかもしれませんが、未調査の活断層は多いし、調査済みのもも内容として不明な点が多くあります。ここであらためて、日本には活断層がたくさんあり、我々は大変な場所に住んでいるという認識を忘れないで欲しいと思います。

入倉：従来の長期評価部会の活断層評価は、それが長期評価という意味での地震予知にどうつながるか、ということだけ考えて行なわれていましたが、強震動評価部会が出来てからは、長期評価の意味付けとして、地震動を予測するための情報提供という役割もお願いしてきました。私はそれはプラスの効果があったと思います。先ほどのお話しでは、どのように活断層を評価をするか、そのコンセンサスづくりが大変だったということでしたが、使う側の要求として、確率論的な地震動評価に関しては、直接的に地震発生予測として使えるが、震源断層を特定した地震動評価では、断層の長さや繰り返し間隔など従来の活断層評価だけでは足りないので、断層の形状を評価することをお願いしました。結果的にはそのことが一つの評価の方向性を示すことになったのではないかと思います。しかし、地震動予測のためという意味では、すべり分布や幾何形状などの情報からアスペリティや破壊開始点の可能性など、決めて欲しいことはまだまだたくさんあります。ここで、何ができて何ができない、という整理が必要なのではないでしょうか。地震動予測というのは耐震設計や都市防災などへの利用を考えて行なわれるもので、使う場合にどうしたらいいか、ユーザーサイドの要求に応じたパラメーターの設定を考えていく必要があります。あまりに曖昧なパラメーターが多すぎると、ほとんど強震動予測の意味がなくなってしまいます。ですから、活断層評価が地震予知や強震動予測、それぞれにどう使えるかという観点から、活断層の調査方法の確立をお願いしたいと思います。

●出席者

入倉 孝次郎（いりくら・こうじろう）氏

愛知工業大学客員教授、前国立大学法人京都大学・副学長

島崎 邦彦（しまざき・くにひこ）氏

国立大学法人東京大学地震研究所・教授

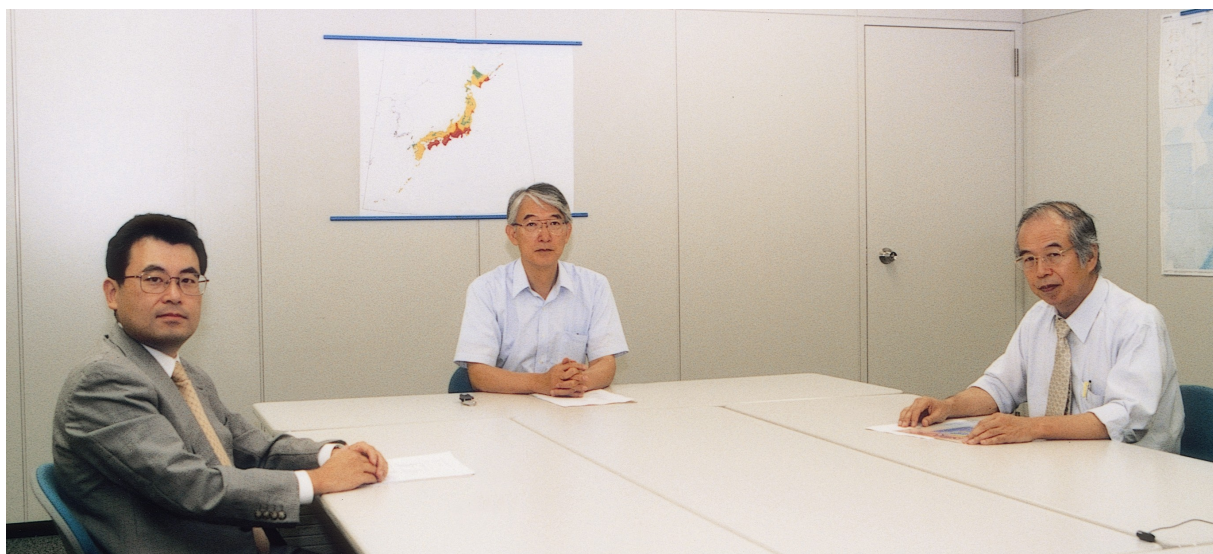
藤原 広行（ふじわら・ひろゆき）氏

独立行政法人防災科学技術研究所・特定プロジェクトセンタープロジェクトディレクター

●司会

浜田 和郎（はまだ・かずお）

財団法人地震予知総合研究振興会地震調査研究センター解析部長



(左から藤原広行氏、島崎邦彦氏、入倉孝次郎氏)

海溝型地震の評価について

新しい研究を取り入れて評価の向上を

司会：海溝型地震の評価についてはどうでしょうか。陸の活断層と違って、海の方が情報が分かりにくいという困難な条件があると思いますが。

島崎：陸の活断層の地震に比べると災害として歴史に残っている場合が多いので、かなり理解は進んでいるし、予測についてもある程度評価がされるようになってきており、陸よりも進んでいます。ただ、400年や500年に1回程度の頻度のものになると、歴史的なデータが必ずしも使えないという課題はあります。また、活断層と海溝型の地震に共通する問題ですが、1つの地震が起きると、その周りで地震が起きやすくなります。この地震の間の相互作用をどう定量的に取り入れるかということがありますが、その方法はまだ確立されていません。しかし、定性的には間違いなくそのようなことがあるのはわかっています。この間の宮城県沖の地震もそうですが、一応考え得る繰り返しに対するバリエーションがあるので、そのバリエーションを評価する時には、相互作用が非常に重要になります。評価の中でこういう課題がある、あるいは面白い研究があるということを示すことで、その重要性が認識され、そのことが評価を進める上でもよい効果をもたらしていくように思います。

強震動予測について

期待に応えられる評価に

司会：強震動予測の国内でのこれまでの取り組みについて、入倉先生からお話をお願いします。

入倉：強震動予測については従来から、建物を建てる上での必要性から、工学的な取り組みが行われてきました。それは地震の揺れは複雑で予測不可能だから、距離減衰式など簡単な手法で地震動レベルを推定しようというものです。そういうある程度確立された世界に、地震学的知識に基づいた理学的な地震動の予測を受け入れてもらえるかというのが一つの問題点でした。ところが、阪神・淡路大震災の経験から、活断層の場所が分かってくると距離減衰式から求まる、断層の周りを楕円状に被害が広がるという想定では、阪神・淡路大震災の「震災の

第2部 長期評価の実績と今後の課題

帯」のような現実にかかる被害を再現しないことがわかりました。その経験から、工学分野の人たちも我々が提案する強震動の予測手法を受け入れてくれたのだと思います。その中で一番重要なキーポイントは、従来の工学的な手法ではわからない、構造物の破壊に一番効く周期一秒くらいの波の情報を欲しいという工学的な要求でした。つまり、それに答える方法論が、地震学の知識に基づいた強震動の予測手法だったということです。しかし、反面、神戸のような地震動だけ考えればよいという風潮も出てきました。南海・東南海地震など海溝型の地震の時の地震動はまったく違う性質になると考えられます。我々が提案している手法は、南海地震や東海地震などの海溝型地震では長周期の震動が卓越して増えるということに、非常に説得的な材料を提供できたと思いますが、それがどこまで工学の方に受け入れられるかは今後に残る課題です。



島崎 邦彦氏

地震動予測地図

試行を繰り返し本当に役立つものに

司会：強震動予測などというものが本当にできるの、というような疑問もあった当初の状況から考えると、地震動予測地図という形によくまとめることができたと感じます。藤原さんは、どのようにお考えですか。

藤原：細かな部分では十分にコンセンサスが得られていない部分も残っていますが、いろいろな分野で得られた知識をまとめ上げて、5年間で地震動予測地図が作成できたことはすごく重要だと思います。地震動予測地図というのは、確率論的な地震動予測地図とシナリオ型の強震動評価という二つのものから成り立っていますが、物理的なモデルに基づいた強震動評価が成果を上げたのはシナリオ型の強震動評価です。一方、確率論的な地震動予測地図を作成するにあたっては、不確定性の評価において、まだ十分な物理的モデルに基づいた議論がなされていない部分も残っています。これは将来の大きな課題です。こういう地図が、本当に信頼されるもの、役に立つものになるには長い時間がかかると思います。そのためには、これは完璧ではないから役に立たないという議論をするのではなく、何回も試行を繰り返して確実に本当に役に立つものに収束させていく、そういう長期的な視点で活動を方向づける議論が必要かと思います。

今後の展望・成果

より実用的な使用法を模索

島崎：活断層は調査も評価も手探り状態で始まって、後に全員のコンセンサスを獲得してルールブックをつくるというような、普通とは逆の進め方をしてきたので、これからはルールブックに基づいて評価を進める第2ステップに入るわけです。しかし、そこにはいくつかの課題があります。1つは、バリエーションを広げずに、一番ありそうな最も現実的なモデルに絞った評価をしてきたので、実際のバリエーションを正しく評価していないという欠点を見直す必要があることです。

もう1つの重要な課題は、評価をどう社会に受け入れてもらうかということです。活断層の評価ができたからと言っても、低頻度の巨大災害が起きる現実是不変なわけですから、社会的に受け入れられにくい状況は今も続いています。現在、低頻度巨大災害の扱い方として、災害の程度を小さめに設定して処理しやすくするとか、あるいは低頻度をゼロ頻度と無視するなど、無理矢理に低頻度巨大災害が存在しないかのように振る舞おうとしています。それだけ活断層というのは取っ付きにくいものなのですが、社会的にはその理解がまだ不十分だと思います。

司会：地震動予測地図を一般の人が利用するためには、地震が起きたら、自分の周りでどういう災害が発生するかという情報がないといけないと思います。

島崎：中央防災会議や地方自治体などで被害を想定していますが、低頻度の巨大災害については残念ながら対応がまちまちになっています。

入倉：中央防災会議などで行われているのは、頻度を考えない方法です。一方、建築の世界では、建物には必ず30年とか50年という使用年限があるので、頻度としては30年以内に起こりうるものだけにしたいと考えられています。経済効率を考えたら、それは仕方がないことなのでしょうが、その中でもやはり防災の論理はきちんとしておく必要があると思います。また、低頻度であっても、一旦災害が起これば、非常に大きな経済的損失が出るということを、我々は訴える必要があります。そのためにも、低頻度であっても地震が起きた場合のシミュレーションはしておく必要があると私は思います。



藤原 広行氏

藤原：5月から地震動予測地図のデータをウェブ（地震ハザードステーション、<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>）で公開していますが、1日平均1000件以上のアクセスがあります。そして情報を見てくださいっている人達から、これまでは地震に関する情報に触れる機会がなかったが、今はクリックするだけで自分の家の近くの情報も見られるのですごくありがたいとのコメントをいただいています。地震は身近な現象であり、その頻度や確率、揺れの大きさなどは、一般の人にも興味のある話です。これからも情報公開を積極的に進めていき、地震に関する情報が一般の人たちの間に浸透していけば、地震調査委員会が行っている長期評価や強震動評価というものが本当に生きてくると思います。

入倉：確率論が受け入れられるのは非常にいいことですが、問題は今の確率論評価の中では、必ずしもそれに対応するような情報提供になっていないという点です。活断層の地震と海溝型の地震とでは頻度も地震動のばらつきも違うのですが、日本の場合の地震動の大きさは頻度を考えると海溝型地震で決まってしまう。活断層の地震による危険性がないような錯覚をもってしまいます。今後は、海溝型と活断層による危険度をどのようなバランスで考えるべきかという点について研究しなくてはいけないと思います。

藤原：やはり地震ハザードの観点と、活断層に対する対策を積極的に進めるという状況とはなかなか結びつかない気がします。一度起きてしまうと巨大災害になることを示そうとすると、活断層の地震に対するリスクの評価までしないといけません。シナリオで震度を示して、周りがどのくらいの揺れになるかわかり、大きな被害が起こるといった想像がつく人には、確率が低くてもなんとかなります。しかし、「こんな被害が出る」、「この地域の人にとっては致命的な影響がある」という情報がないと、活断層に対する対策、行動を取るまでにはなかなかありません。そのためにも、そこで使える情報を正確にして、誰でも使えるように情報基盤をつくってい

第2部 長期評価の実績と今後の課題

くことが大切だと思います。

入倉：リスク評価と地震動予測、活断層の評価などを結びつけないと、やはり受け入れられません。数字で見ただけだと、活断層のような低頻度災害というのはどうしても受け入れられないというか、実用的でなくなってしまう可能性があります。

司会：地震ハザードステーションは、一般のユーザーからは好意的な反応が多いというお話でしたが、例えば、地方自治体から新しい注文が来るとか、予測地図の見方を誤解してしまっているということはありませんでしょうか。

藤原：誤解されて困るということはほとんどなくて、実際にどう使えばいいのかとか、地震のある地域のもっと細かな地図をつくってくれないかという話があります。地震に関する情報が不確定で、頼りにならないという話は多々ありますが、国がとりあえず多くの専門家を集めて議論をしてまとめた結果なのだから、一般の人達はそれを信じて、どんどん利用していきましょうという意見のほうが多いような感じがします。

島崎：私は、専門家にも結構役立っていると思っています。あれだけのことを全部知っている人はいないでしょうし、知らない部分についてはこれを使おうということに絶対になるので、そういう意味では非常にいいと思います。誰でも使えるようにと、大量のデータを公開している地震ハザードステーションは、専門家にとっても共通のデータベースになるので、大変重要な基盤だと思います。

入倉：専門家の立場から言えば、これが始まりなのであって、もうこれでこのようなプロジェクトは終わりだということになってしまうのは問題だと思います。

島崎：活断層調査も始まりなので、終わりではありません。50人以上の方が亡くなるような陸の地震については、その半分が起る活断層について、一応の調査が終わったにすぎません。また、その調査も不十分なので、追加や補完の調査が始まったところです。

藤原：こういう活動を100年続けていけば、そこから出てくるものは、本当に日本の財産になります。ですから、それを改善する仕組みをつくり、つなげていくのが我々のすべきことだと思います。

入倉：地震動予測地図が信頼され、有効に活用されるためには、それを支える基盤観測がきちんと行われていなければならず、それには大変な努力が必要です。そのことを一般の人たちにも理解していただけるように、我々も働きかける必要があると思います。

司会：最近、評価された活断層とは違うところでたくさん地震が起きていますが、これはどう理解すればいいのでしょうか。

島崎：活断層評価というのは、目立った悪玉だけをまず潰そうということで始まったものなので、本当はその裾野はものすごく広くて、目立たない悪玉がたくさんいるのです。最近起きているのは、その裾野の部分での地震であり、頻繁に起こるのでどうしてもそちらに目が行ってしまうわけです。しかし、長期的に見れば、大規模な災害を起こす地震も結構数が多いのです。ですから、誤解されている方には説明しないといけません。活断層調査の重要性は、そのうち自然が教えてくれるだろうと思っています。ただ、活断層調査は何度も繰り返しますが、始まったばかりで、不十分なところも多いことはお断りしておかなければなりません。



入倉 孝次郎氏

司会：他にご意見があれば、伺いたいと思いますが、防災科学技術研究所としては今後、どのような計画があり

ますか。

藤原：予測地図に関わる部分としては、地震ハザードステーションを強化することと、地震観測網の運用を引き続き行うことです。私としては、第一期目であるこれまでの5年間でつくったものを改善して、もっと良いものにしていきたいと考えています。

入倉：地震動評価と言っても、これまでは震度評価だけであり、南海、東南海地震を考えると、それだけでは不十分です。ですから私は、地震動予測地図は東南海、南海のような来るべき大地震に対する対応としては震度情報のみでは十分ではない、揺れの違いを考えた防災対策が必要ということを読者に伝えておきたいと思えます。

司会：大変貴重なご意見をたくさんお出しいただき、参考になりました。どうもありがとうございました。