

- ・ 死者4万人のイラン・バム地震から、大阪上町断層を想う
- ・ 高感度地震観測の革命 - 防災科研 Hi-net -

- ・ 観測網もボーダーレス：一元化データ処理
- ・ 地震教育、地学分野教育の充実に向けて



イラン南東部（バム）の地震。左：バム地震で破壊されたアルゲバム城塞遺跡。右：バム断層崖とそこに露出する第四紀の堆積物。（広島大学奥村晃史撮影）（詳しくはp.2-3の記事「死者4万人のイラン・バム地震から、大阪上町断層を想う」をご覧ください）

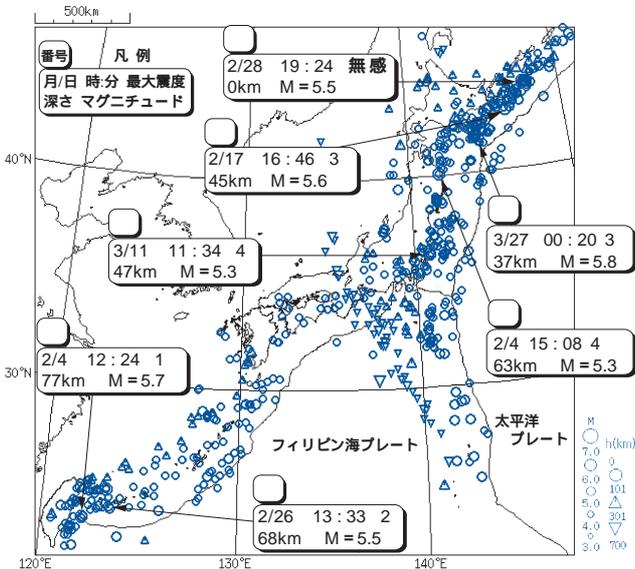
2004年2月～2004年3月のおもな地震活動

2004年2月～2004年3月に震度4以上が観測された地震は2回でした。図の範囲の中でマグニチュード（M）3.0以上の地震は、662回発生し、このうちM5.0以上の地震は14回でした。

台湾付近

沖縄県の4地点で震度1を観測しました。

2004年2月1日～2004年3月31日 M 3.0 地震数=662



岩手県沖

岩手県の3地点で震度4を観測したほか、北海道・東北地方・関東地方にかけて震度1～3を観測しました。

根室半島沖

北海道の2地点で震度3を観測したほか、北海道から東北地方にかけて震度1～2を観測しました。

与那国島近海

沖縄県の5地点で震度2を観測したほか、沖縄県の4地点で震度1を観測しました。

択捉島付近

震度1以上を観測した地点はありませんでした。

茨城県沖

茨城県大洋村で震度4を観測したほか、東北地方から関東地方にかけて震度1～3を観測しました。

釧路沖（「平成15年（2003年）十勝沖地震」の余震）

北海道の3地点で震度3を観測したほか、北海道から東北地方にかけて震度1～2を観測しました。

世界の地震

M7.0以上あるいは死者50人以上の被害を伴った地震は以下のとおりです。（発生日は日本時間、Mは米国地質調査所によるものです）

・ 2月24日11時27分

モロッコ北部（M6.4）死者600名以上、負傷者900名以上、建物被害2500棟以上

（気象庁、文責：上野 寛）

図の見方は「なみふる」No.31 p.7をご覧ください。

死者4万人のイラン・バム地震から、大阪上町断層を想う

2003年12月26日午前5時26分（現地時間）、イラン南東部のオアシス都市バムは強い地震動に襲われました。これにより、日干しレンガの建物等、耐震性のない住宅が破壊され、12万人の住人のうち40,000人^(注)以上が崩壊、倒壊した家屋の下敷きとなって亡くなりました。これを単純に割り算しても、致死率が30%になるので、1995年兵庫県南部地震時の神戸市致死率約0.3%と比べると、その致死率の大きさに驚かされます。地震の規模はモーメントマグニチュード6.5で、中規模と言えます。このように、2003年バム地震は地震規模の割に極めて人的被害の大きかった地震といえます。われわれはこのような甚大な被害をもたらした地震の実態を究明するため、文部科学省から科学研究費補助金を受けて、2004年1月から3月にかけて、イランの研究者と一緒に断層調査・余震観測・被害調査・災害救助の調査を実施しました。本稿では、バム地震調査の速報として断層調査と余震観測について紹介します。^(注)脱稿後、確実ではないが、死者は2万人程度との情報もある。

地震国イラン

イランはアルプス・ヒマラヤ地震活動帯に属し、北方のユーラシアプレート、南方のアラビアプレートと南東のインドプレートで挟まれています。そのため、イラン南西部のザグロス山脈、イラン北部を東西に横切るエルブールス山脈、イラン中央部の主要構造帯が存在しています。そこでは、ペルシア帝国以来の長い歴史記録に、何万人もの犠牲者を出す大地震が数多く発生したことが記されています。また、1970年代には活断層の調査が進められ、国土の大部分に活断層が分布し地震の危険が存在することも知られています。特にエルブールス山脈の南に位置する首都テヘランには活断層が存在し、過去に被害地震が起こっていることから、大地震の再来が心配されています。また今回の地震はイラン中央構造帯の南で起こったものです。

バム市とバム断層

バムには、日干しレンガで作った世界最大の建築物であるアルゲバムの城塞遺跡があります。この城塞は

およそ2000年前に建設が始まり、2003年まで地震により破壊されることはなかったといわれます。現存する歴史記録でも過去3000年間バムに大きな被害を与えた地震はありませんでしたが、今回の地震で壊滅的な被害を受けました（表紙写真左）。活断層としてのバム断層がバムから南方へ100km余り連続し、バム市街のすぐ東には明瞭な断層崖が存在することは早くから知られていました。また、バム断層の北には、ゴウク断層、ネイバンド断層など500kmも断層が続き、そこでは1981年、1998年にマグニチュード7クラスの地震が発生して死傷者もでていました。しかし、バムでは2003年の災害が起こるまで地震対策は進んでいなかったようです。バムの周囲に広がる緩傾斜の扇状地面を切って、比高20m前後のバム断層崖は10km余り南北に続いています（表紙写真右）。平坦な地形の中でこの断層崖はとても目立ちます。断層崖を浸食する谷に沿って崖の斜面と同じ傾斜で東に傾き下がる第四紀の地層が露出し、この崖が断層活動にともなってきたことを示しています。この断層は東傾斜撓曲崖を形成して、西側は堆積物でおおわれているため、台地を形成しています。このような活断層による撓曲崖と台地の形成は大阪上町断層帯を思い起こすものです。

2003年地震による地表変位

2003年地震では、バム市街南東の断層崖付近に、崖と平行な多数の開口割れ目が生じました。この割れ目群は地震動によってできた方向性のない地割れとは違い、断層の食い違いが地表まで届かなかったものの、浅い地下まで達して地表を変形させた結果と考えられます。また、バム北方では、約4kmの長さにわたり、第四紀に繰り返し活動した断層に沿って、右横ずれ1~2cm、S型の雁行を示す連続的な割れ目が形成されました。この割れ目も地下での断層の動きを反映しているものと思われます。しかし、今回の地震による地表変位は非常に小さく、このような地震が繰り返し発生しても、バム断層の断層変位地形を形成することは不可能です。従って、この地震では、バム断層の地下の断層面の一部か、またはそれと平行する副次断層

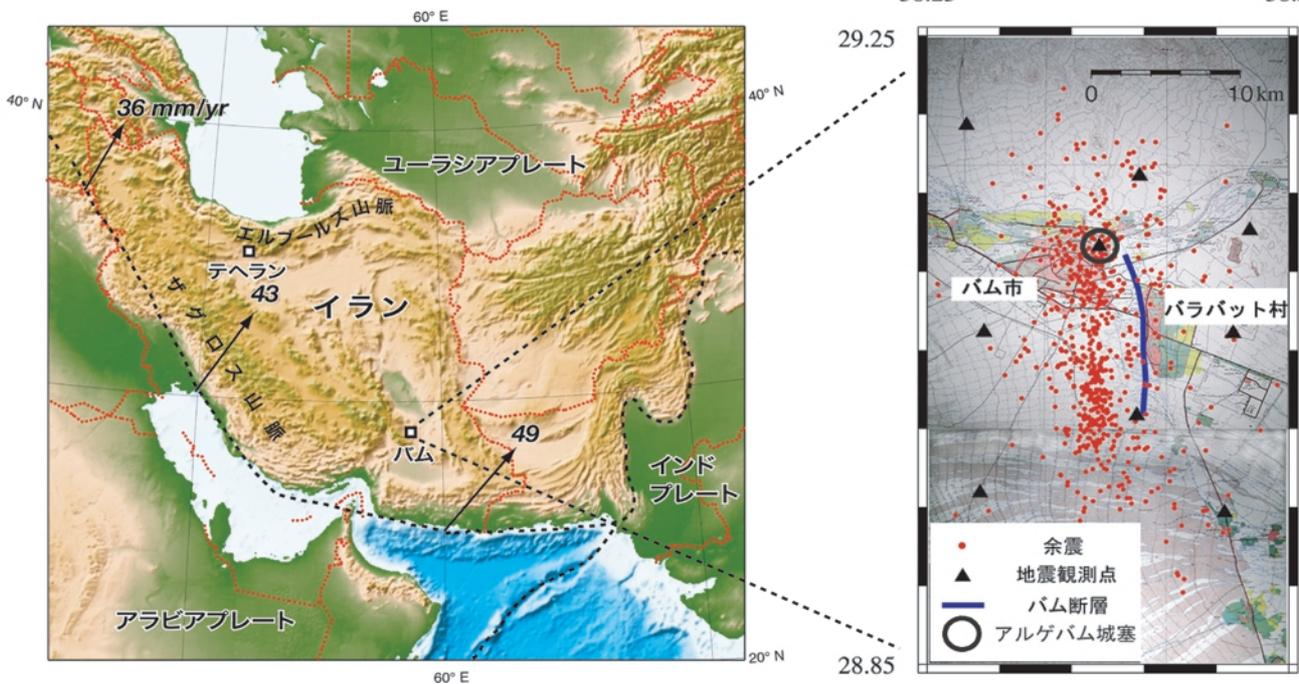


図 バム地震の余震分布 (日本・イラン共同地震観測班による (http://www.gaea.kyushu-u.ac.jp/research/iran2004/iran2004_1.html))。左図中の矢印はプレートの収束方向とその速度。

が食い違ったと考えることができます。したがって、バム断層の全体で食い違いが起こる、地形として残るような明瞭な変位をつくる固有地震 (characteristic earthquake) が将来発生する可能性があります。その時期や規模について確かなことはわかりませんが、バム断層が100 km以上の長さをもつことからみて、マグニチュード7.5前後の地震となるかもしれません。バムの復興や今後の地震防災にとって、長期的な地震危険度の評価は重要な課題となります。

2003年地震の余震分布

今回の地震の震源断層が地下のどこで起こったかを調べるために、日本から10台の地震計をもって行き、現地で余震を観測しました。その結果、現在解析を進めていますが、現時点では図の右側に示したような余震分布が得られています。これによると余震分布の中心は、地表に現れているバム断層より3-4 km西側に離れていて、被害が最も大きかったバム市東側半分の人口密集地の下を南北に存在し、その南方に伸びていることがわかりました。これから推定する本震の震源断層は、南北に約20 km、深さ約15 kmの大きさを持っていて、その面は垂直か、やや東に傾いています。図のように震源断層の北端がアルゲバム城塞 (丸印の位置) のほぼ真下を走ったと推定されます。また余震

分布の中央部の浅い領域に分布の空白域があることから、そこが主要破壊部であると考えられます。そこで、バム市の人口密集地の直下で、かつ浅い部分から大振幅の地震波が出たことが、被害を大きくした原因になったと推定されます。

大阪上町断層を想う

イランのバム断層が撓曲崖による台地を持つということから、日本の主要都市大阪のど真ん中を走る上町断層帯の被害地震のことを想いました。前者は右横ずれ断層 (が主要) であり、後者は逆断層であるという違いはありますが、この数千年間、地表地震断層を形成する固有地震は両者とも発生していないのです。地震調査委員会は最近、上町断層帯の長期評価を発表し、断層帯全体が一つの区間として活動した場合、マグニチュード7.5程度の地震が発生すると推定しています (<http://www.jishin.go.jp/>)。このように地表地震断層を形成する固有地震に注目することは最も重要ですが、今回のバム地震のように、マグニチュードが6クラスの地震でも都市直下であれば大きな被害をもたらす可能性があり、また発生頻度が高くなることが予想されるので、防災の面から充分注意する必要があると思います。

(九州大学・鈴木貞臣、広島大学・奥村晃史)

兵庫県南部地震の教訓

1995年1月の兵庫県南部地震は、改めて地震発生予測の困難さを痛感させる出来事でした。地震現象は非常に複雑であり、その発生メカニズムを解明するうえで重要な基礎データが必ずしも十分ではなかったことが明らかにされたのです。そこで、地震に関する調査研究を推進するための法律が制定され、様々な調査観測事業が国家レベルで推進されました。そのひとつが、防災科学技術研究所（防災科研）によって整備された高感度地震観測網Hi-netです。以前は、気象庁、大学、防災科研などがそれぞれの目的で観測網を整備・運用していましたが、観測点の配置間隔はまちまちでした。そこで、全国的に地震の検知能力を揃えるため、これらの既存点と併せて約20 km間隔で均質・高密度な観測点配置となるように、防災科研が関東東海地域に展開してきた微小地震観測網を見本として、Hi-netの整備が進められてきました。現在ではHi-netで700点、他機関を合わせると1,200点もの観測点で日本列島が覆われています（図1）。

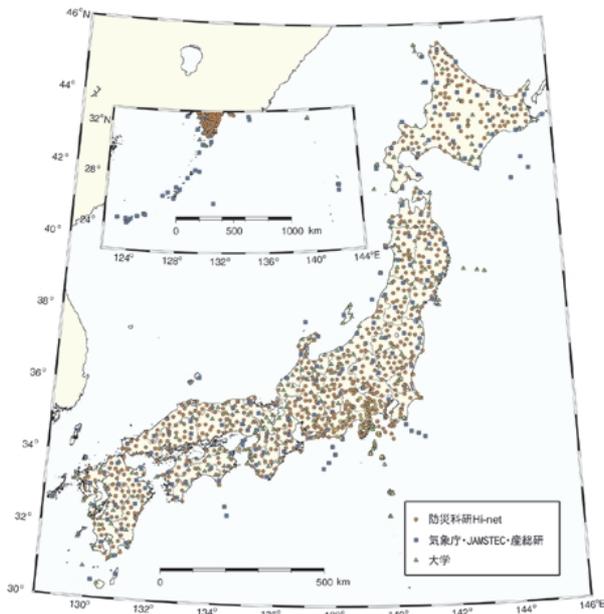


図1 防災科研、大学、気象庁等の高感度地震観測点。

井戸の底から

高感度地震観測の大きな目的のひとつは、微小地震に対する検知能力を高め、日本列島における地震の活動状況を正確に把握し、地震調査研究のための基本的なデータベースを作成するというものです。そのためには、地震のシグナルを正確に捉える必要がありますが、車両や工場等から発生するノイズは微小地震観測にとって大敵です。そこで、これら地表付近で生じるノイズから逃れるために、Hi-netのすべての観測点では井戸を掘削し、その底にセンサーを設置しています（図2）。観測井の深さは標準で100 mですが、地質条件やノイズ環境によっては2,000 m以上掘削する場合があります。

データ流通と公開

防災科研Hi-netや大学、気象庁等の高感度地震データは、リアルタイムですべてのデータが相互流通し、それぞれの目的に応じてすべてのデータを利用できる環境が整備されています。防災科研では、データ流通

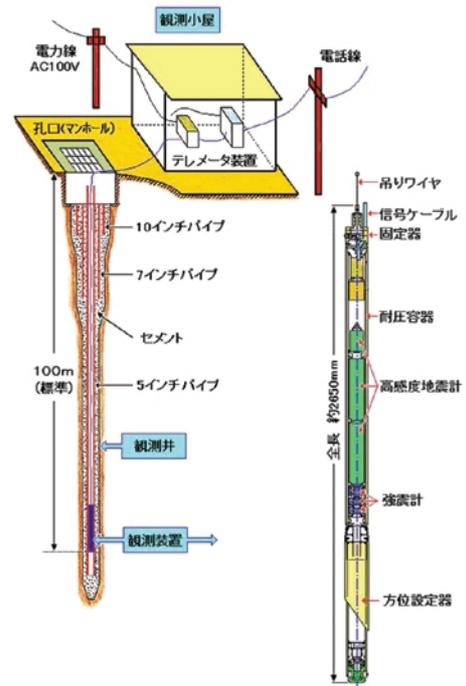


図2 Hi-net 観測井及び観測装置。

のシステムを整備運用するだけでなく、流通されるデータのすべてをアーカイブするとともに、インターネットを通じてデータ公開を行っており、国内外の研究者だけでなく一般の方々にも利用できる環境を整えています。また、気象庁に収集されるすべてのデータは一元的に震源決定処理され（本号6-7ページ）、様々な研究の基盤的データベースとして大いに活用されていますが、その中でも防災科研Hi-netの貢献度は質・量的に群を抜いています。

深部低周波微動の発見

Hi-netの研究成果のひとつとして西南日本で発見された深部低周波微動が挙げられます。詳しくは、なみふる第30号「深部低周波微動 地球科学の新たな謎」にて紹介されていますが、この発見は世界的に大きな反響を呼び、その後北米大陸西海岸のカスケード地方で同様の現象が検出され、さらに話題となりました。

地球内部を探る望遠鏡

Hi-netでは、同一仕様のセンサーを高密度に展開しているので、面的に波動伝播の特徴を捉えることが

容易で、地球内部構造に関する研究に大いに利用されています（なみふる第36号「地球深部望遠鏡としての日本列島」参照）。図3は2003年11月に紀伊半島沖で発生した深発地震による振幅分布のスナップショットですが、震源から同じ距離にある関東地方と中国地方とでは振幅が大きく異なっています。これは、異常震域と呼ばれる現象で、マントルウェッジを通過する地震波が大きく減衰するのに対して沈み込む太平洋プレート内ではあまり減衰しないため、東日本の太平洋沿岸では大きく揺れるのです。従来から良く知られている現象ではありますが、Hi-netで面的に捉えることによって、よりわかりやすく現象を把握することができるようになりました。

このように、Hi-netデータを様々な利用することで、地球内部構造や地震現象に対する理解の促進に大きく貢献できるものと期待されます。Hi-netの詳細とそのデータ及び地震情報については、防災科研のWebページ（<http://www.hinet.bosai.go.jp/>）からご覧いただけます。

（防災科学技術研究所 小原一成）

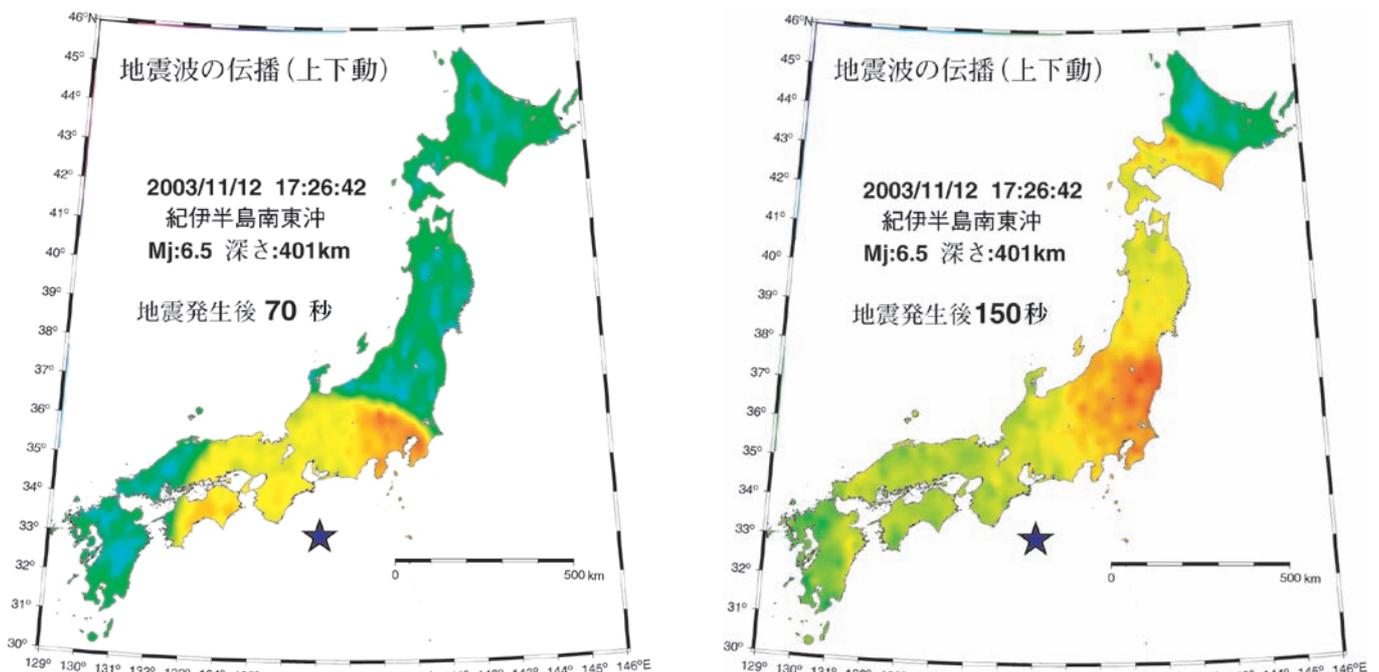


図3 紀伊半島沖深発地震の波動伝播。赤いほど振幅が大きい。地震発生から70秒後（左図）でP波初動は関東、中国四国地方に達し、150秒後（右図）でP波は北海道、S波は東北地方南部や九州に達しています。いずれも西日本に比べると東日本で振幅が大きく、異常震域を示しています。（以下のURLからアニメーションをご覧いただけます：<http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/tokai031112/>）

何が変わったか？
検証この10年

観測網もボーダーレス：一元化データ処理

はじめに

兵庫県南部地震の後、日本の地震研究者や防災関係者の間で、“イチゲンカ”という言葉が使われるようになりました。“イチゲンカ”は“一元化”なのですが、おそらく一般の方にはなじみの薄い言葉だと思います。今回は、兵庫県南部地震以降の10年で日本の地震観測データの処理体制が大きく変わったこととして“一元化”のお話をしたいと思います。

一元化以前の地震観測体制

明治時代に始まった日本の近代的な地震観測は、地震学や観測技術の進歩にあわせて発展しました。そして、兵庫県南部地震が発生した1995年当時でも、世界的に見ても高密度で高い検知力（小さい地震まで観測できる能力）を持っていました。

当時、日本である程度の規模の地震の観測網を運営して、そのデータを解析、処理していた機関は、大きく分けて気象庁、大学、防災科学技術研究所がありました。

気象庁は、1994年に整備された津波地震早期検知網という全国約180箇所に展開した地震計で全国の地震観測と震源決定を行っていました。それ以前は、基本的に全国の気象台・測候所に配置された地震計によって、主に大・中・小地震（M2クラス以上）を対象とした観測を行っていましたが、津波地震早期検知網整備以降は従来よりも小さい地震まで観測できるようになっていました。しかしながら、次に述べる大学や防災科研に比べると、より小さな地震を観測する能力は不足していました。

北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学などの各大学は、主に微小地震の観測を目的にそれぞれの対象領域で微小地震観測網を運営し、観測とデータ処理を行っていました。それぞれの観測結果は、各大学の地震の研究で利用されるほか、東京大学地震研究所の地震予知研究センターで統合処理されて一つの震源データとして地震の研究に利用されていました。

防災科研は、関東・中部地方に地震観測網を構築し、微小地震の観測とデータ処理を行っていました。そして、大学と同様にその結果をもとに地震の研究が行われていました。

それぞれの機関はそれぞれの目的（気象庁であれば主に防災、大学・防災科研は地震の研究など）で地震観測を行い、それぞれ観測結果を解析、公表していました。もちろん、当時でも必要に応じて互いに地震データの提供・利用を一部行っていましたが、基本的にはそれぞれが独立していました。

データ処理の一元化の経緯

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、約6千名を超える犠牲者を出し、戦後最大の被害をもたらしました。この大災害の教訓を踏まえ、平成7年7月、全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するために地震防災対策特別措置法が制定されました。また、この法律によって、地震に関する調査研究を政府として一元的に推進するために地震調査研究推進本部が設置されました。

このような流れの中で、地震に関する調査研究を進

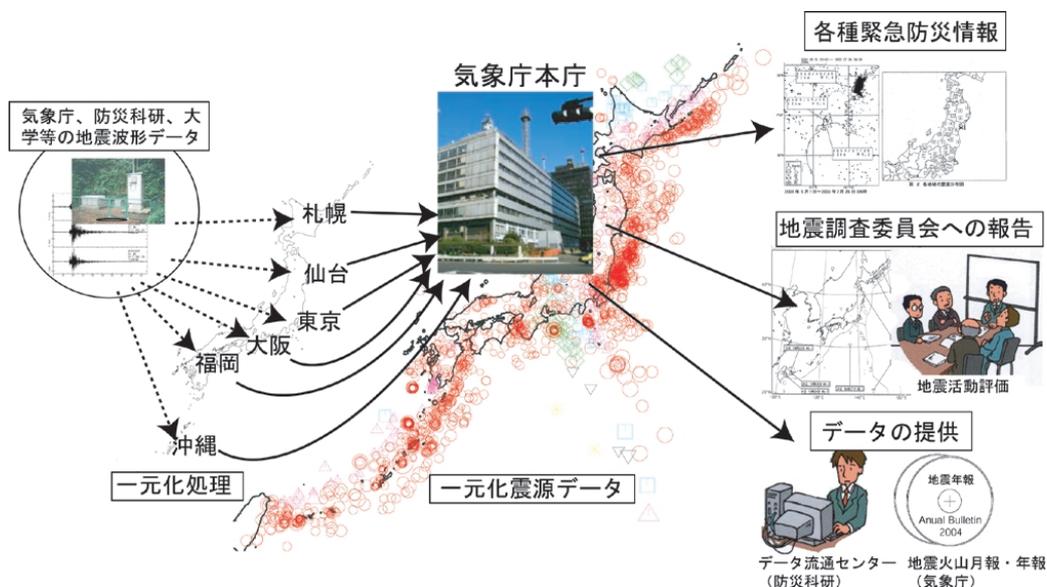


図1 一元化データ処理の流れ。

めるために、各機関で行われている地震観測のデータをひとつにまとめて処理して、その結果を地震研究者、防災関係者、一般国民が広く利用できるようにするしくみが作られました。

このしくみの中で、気象庁は大学や防災科研などから地震観測データを収集し、文部科学省と協力して解析処理するデータ処理センターとしての業務を1997年10月から行っています。各機関の地震観測データをひとまとめに、つまり、一元的に収集・処理することから、我々は一元化処理とか、一元化とか呼んでいます。これが“イチゲンカ”の正体です。

一元化データ処理の流れ

気象庁本庁、各管区气象台、沖縄气象台（以下、簡単のために管区气象台とします）では、それぞれの管区担当領域内で発生する地震の処理を行っています。管区气象台には、担当領域内の気象庁の地震観測網のデータの他、防災科研や大学、その他の機関の地震波形データがリアルタイムで伝送されています。そして、毎日、管内で発生した地震について微小地震から大地震まで、地震波形の処理を行い、震源決定を行っています。震源決定の結果は、何段階かの品質管理を経たあと、気象庁本庁で全国の震源データとしてひとつにまとめられます。通常は、前日に発生した地震は、翌日の夕方には品質管理を終えて、暫定値として利用可能になります。（図1）

これらの処理結果は、気象庁が発表する各種防災情報（地震発生状況の解説や余震発生確率の発表など）に活用されているほか、地震調査委員会への調査資料という形で、日本全国の地震活動評価の基礎資料となっています。また、一元化データのデータ流通センターでもある防災科研のホームページからダウンロード（ただし暫定値）して、利用することもできます。

最終的な一元化データ処理の成果物（震源、検測値の確定値）は気象庁で作成され、地震火山月報カタログ編（紙の出版物）や地震年報（CD-ROM）として気象業務支援センターから配布されています。

一元化によってもたらされたもの

図2は、1990年から昨年までの間に気象庁で決定した震源数を年毎のグラフにしたものです。ここでは、気象庁の震源決定数を示しただけなので、単純に10年前との数の比較はできませんが、各機関の観測網のデータが統合処理されることによって、それぞれが独自に観測していた時代よりも確実に検知力は向上しています。特に、防災科研が整備した高感度地震観測網（Hi-net、本号に紹介記事があります）が一元化処理に使われるようになった2000年以降は、さらに検知力が大きく向上していることが、震源決定数の推移から分かります。

データ処理の一元化の一番の効果は、微小地震から大地震までの広い範囲の地震に対して、日本全国で同じ基準で処理し、同じ処理方法で決定された均質な震源データが、広く誰でも利用できるようになったことです。

（気象庁地震火山部 中村浩二）

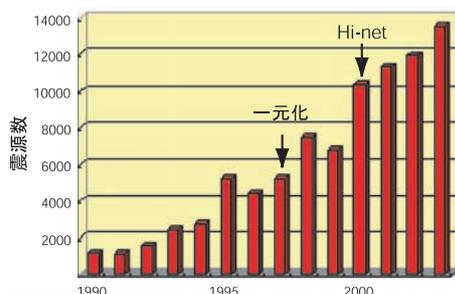


図2 気象庁の震源決定数の推移。

「なんで深さがこんなに違う？」

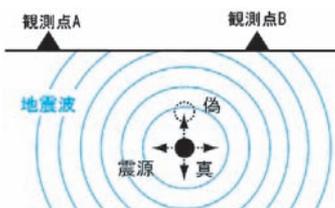
十勝沖地震の際に発表された震源の速報で、気象庁は42 km、防災科研は25 kmと異なる深さを伝えていたことに気付かれた人もいます。その差17 km。大人の足でも歩くと4、5時間かかる距離です。なぜこのような違いが生じたのでしょうか？

震源決定では、多くの観測点で測定された地震波（P波やS波）の到着時刻から震源位置（緯度・経度・深さ）と地震発生時刻を推定します。一般的に、深さの値は、緯度・経度と比べて精度が良くなく、震源の周りに観測点がない場合には、大きな誤差を含むこともあります。

震源決定の仕組みについて考えてみましょう（図）。震源の水平位置（緯度・経度）は、“地震波がどちらの観測点により早く到着するか（時間差）”を調べることで推定できます。しかし、図のような場合、震源の深さと地震発生時刻を同時に正確に求めることは困難です。“地震波が観測点に到着した時刻”を説明できる震源の深さと地震発生時刻の組み合わせがいくつもあるからです（図の「偽」

の深さに（実際よりも浅く）推定された震源でも、地震発生時刻を遅く見積もれば、“地震波が観測点に到着した時刻”を説明できてしまいます）。

十勝沖地震の場合、防災科研によって推定された地震発生時刻は、気象庁の推定時刻よりも3-4秒後で、その分だけ震源は浅くなっています（どちらか一方が正しいというわけではありません）。一般的に、海の下で起きた地震の場合、震源の周りに観測点が少ないため深さの精度はあまり良くありません。過信は禁物です。



地震教育、地学分野教育の充実に向けて

はじめに

“日本で暮らすのに、地震についてある程度知っておく必要がある”という意見に反対する人は少ないでしょう。では、地震に関して、いつ、どこで勉強したら良いのでしょうか。また、地震の研究者は、地震を教えるために何をすべきなのでしょう。

日本地震学会では、1996年から学校教育委員会が中心となって地震教育のための取り組みをいろいろと行ってきました。毎年開催している教員ミーティングもその活動のひとつです(写真)。しかし、最近問題となっている子ども達の理数系離れとあわせて、地震教育へのより一層の取り組みが必要なのです。



写真

2003年度教員ミーティングの様子。機械式のWiechert(ウィーヘルト)地震計のしくみを理解する。(見学地:京都大学防災研究所阿武山観測所)

学校での地震教育

新しい学習指導要領での教育が小学校・中学校では2002年度から、高等学校では2003年度から始まっています。実は、約40年ぶりに小学校の理科で地震について教えることになりました。でも、全ての小学生が勉強するのではなく、火山か地震か、どちらかを勉強することとなっています。中学校では、自然災害として地震災害を必ず教えることにはなっていません。中学校卒業までに地震災害を勉強しない場合もありえるわけです(なみふる34号「小中学校の新しい地震・火山・防災教育」参照¹⁾)。高等学校では「地学」の中で地震を学びますが、「地学」を勉強できる高等学校は少なく、その影響は平成14年度高等学校教育課程実施状況調査という名前の調査結果にも表れています。この調査で「地学IB」を選択した高校生はわず

かに5.5%だけでした²⁾。

つまり、高等学校卒業までに地震、地震災害について学ぶ人が少ししかいない、となる可能性もあるわけです。

地球惑星科学関連学会合同大会での取り組み

このような現状は地震教育だけのことではありません。そこで、地学系の各学会が協力して教育問題に取り組むこととなり、日本地震学会も含めて地学系の20の学会が参加している地球惑星科学関連学会合同大会(合同大会)で「地学教育」に関する発表の場が2000年から設けられました。2003年には「地学教育の昨日・今日・明日」と題する特別公開セッションも一般に公開という形で開かれ、「地学教育」委員会も設けられました³⁾。

千葉県の幕張メッセで開かれる2004年の合同大会では、初日の5月9日に「新しい地学教育の試み」と題する特別公開セッションを今年も一般に公開して開きます。今年の開催目的は、“高等学校科目「地学」を中心として研究者と教育者とが共に「地学」の本質をどのように教えるかを考える”です。地震教育に関して“モデルを意識した地学教材、とくに地震分野”と題する講演が行われます。参加は無料ですので、ぜひ5月9日は会場まで足を運んで頂ければと思います⁴⁾。

おわりに

学校教育委員会では、引き続き学校教育等を通して日本で暮らす人々に、地震理解力(地震に対する必要な知識を知り、地震から身を守ることができ、地震を自然の一部として理解できる力)を身に付けてもらうための研究を進め、知識の普及をはかりたいと考えています。

(学校教育委員会 根本泰雄)

注:以下のURLで詳細を見ることができます。

*1) <http://wwwsoc.nii.ac.jp/ssj/naifuru/vol34/v34p2.html>

*2) http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h14/H14_h/summary_index.htm

*3) http://www.epsu.jp/jmoo/renrakukai/education_2003summary.html

*4) <http://www.epsu.jp/jmoo2004/2004tigaku.html>

広報紙「なみふる」購読申込のご案内

日本地震学会の広報紙「なみふる」は、隔月発行(年間6号)しております。「なみふる」の購読をご希望の方は、氏名、住所、電話番号を明記の上、年間購読料(日本地震学会会員:800円、非会員1200円、いずれも送料込)を郵便振替で振替口座00120-0-11918「日本地震学会」にお振り込みください(通信欄に「広報紙希望」とご記入ください)。なお、「なみふる」は日本地震学会ホームページ(<http://wwwsoc.nii.ac.jp/ssj/>)でもご覧になれば、pdfファイル版を無料でダウンロードして印刷することもできます。

日本地震学会広報紙「なみふる」 第43号 2004年5月1日発行 定価150円(郵送料別)

発行者 (社)日本地震学会/東京都文京区本郷6-26-12 東京RSビル8F(〒113-0033)

電話 03-5803-9570 FAX 03-5803-9577(執務日:月~金)

編集者 広報委員会/

古村孝志(委員長)、吉本和生(編集長)、五十嵐俊博、加藤護、桑原央治、小泉尚嗣、末次大輔、武村雅之、田所敬一、中村浩二、西田究、山口勝

E-mail zisin-pr@ml.asahi-net.or.jp

印刷 創文印刷工業(株)

本紙に掲載された記事等の著作権は日本地震学会に帰属します。