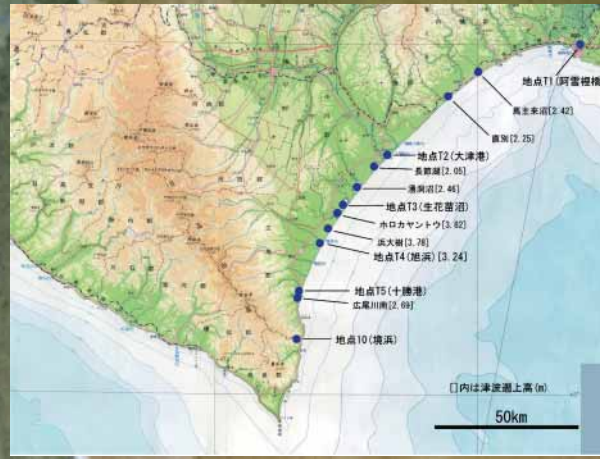


# 地

## 産総研の調査研究にみる最新地震情報

# 震



### 地質学を基礎に 地震に迫る 産総研の地震研究

日本の地震研究は、大学を始め、調査研究機関が分担連携して国のナショナルプロジェクトとして進められており、産総研には、地質学に基礎をおく活断層や古地震研究での貢献が、強く期待されています。地下水観測に基づく地震予知研究は、東海地域の地震予知のために重要な貢献をしています。地下深部の断層の状態や物性を明らかにするための物質科学・地震学的研究なども産総研の得意分野で、基礎的研究として着実な研究の積み重ねが行われています。日本の多くの大都市は平野に位置しており、比較的地震に弱い地質の上に発達しています。その平野の地下の地質構造を明らかにすることは、地震動の予測のために不可欠な情報となっています。また、活断層や地下地質構造の情報をもとに、シミュレーションにより得られる大地震の際の地震動の予測は、防災に直接的に役立つ研究として重要です。この特集では活断層研究センターなどが中心となって実施している地震研究を紹介しています。この機会に現在の地震研究への認識を深めていただきたいと思います。

平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震

## 緊急調査

産総研地質調査総合センター

活断層研究センター 下川浩一、吾妻 崇、宮下由香里、栗田泰夫、鎌滝孝信  
地球科学情報研究部門 木村克己、宮地良典  
海洋資源環境研究部門 七山 太

産総研地質調査総合センターでは、2003年9月26日午前4時50分頃に発生した十勝沖地震 (M8.0) に伴う地盤災害と津波の特徴を明らかにするため、9月27日から29日までと、10月1日から4日までの2回にわたり、現地調査を実施しました。

地盤災害については、平成5年釧路沖地震 (1993年1月15日、M7.8) の被害と比較するために、10年前に被害を受けた地域を中心に調査を行いました。また、今回被害が大きかった十勝及び日高地方の現地調査を実施しました。津波の痕跡については、広尾町十勝港と豊頃町大津港を含む十勝海岸と、えりも町、様似町、及び浦河町を含む日高海岸において、津波痕跡調査を実施し、遡上高の測定等を行いました。

## ● 9月26日

午前4時50分頃に「十勝沖地震」(M8.0) 発生

## ● 9月27日

海洋資源環境研究部門の七山が、津波痕跡調査のために、つくばから帯広入りし、札幌から来ていた明治コンサルタント (株) の石井正之氏、重野聖之氏、および北海道開拓記念館の添田雄二氏の協力を得て、豊頃町大津港～長節湖の現地調査を行い、簡易測量による津波遡上高の測定と津波痕跡の観察を行った。



豊頃町大津港の津波の痕跡

津波は港背後の湿地まで達し、この際に漁船が流された。引き波によって舌状の砂体と、その先に流れていく波の痕跡＝カレントリップルが形成された。矢印は引き波の流れの方向を示している。

活断層研究センターの下川と吾妻は、地盤災害調査のために出張先の北海道黒松内町から釧路へ移動。地球科学情報研究部門の木村と宮地はつくばから釧路へ向かい、午後、釧路西港第3埠頭の液状化被害を調査。



釧路西港第3埠頭のベルトコンベア脚部の抜け上がり

今回の地震による抜け上がりの比高は4～5cmで、その上部15cmの抜け上がりは、10年前の釧路沖地震のものと考えられる。

## ● 9月28日

七山ら4人は、豊頃町湧洞沼付近から広尾町十勝港にかけて津波痕跡調査を行い、津波遡上高の測定と津波痕跡の観察を行った。活断層研究センターの鎌滝がつくばから現地入りした。

下川と吾妻に木村と宮地が合流し、午前中に釧路市内の



広尾町旭浜での津波遡上高の測定

津波の残した流木や浮遊物の分布から、遡上高3mが確認された。

中島町、桂木及び美原団地を調査。10年前の釧路沖地震と比べて地盤災害が少ない印象を持った。

午後、阿雪裡 (アセツリ) 橋付近で、津波痕跡を発見。



阿雪裡橋からみた上流の様子

巨大な木材が集積しており、これは600m下流の旧釧路川との合流点から貯木場の木材が津波によって遡上してきたらしいことが聞き込みによりわかった。

その後、市街地東方の緑ヶ岡団地を調査。ここも10年前の釧路沖地震により大きな被害を受けたが、今回は、盛土の斜面等、地盤災害はかなり限られていることが判明。ここから、2名ずつ、釧路市北方の標茶町方面と西方の音別町方面に分かれて調査を実施。標茶町へ行く途中で10年前の釧路沖地震で被害を受けた場所を通過したが、今回はほとんど被害は認められない。一方、音別町方面では、局所的に大きな被害を受けていることがわかった。

## ● 9月29日

七山・鎌滝の2名で、浦幌町十勝太～釧路市大楽毛の津波痕跡調査を行い、津波遡上高の測定と津波痕跡の観察を行った。



釧路西港第4埠頭の大規模な液状化

平成5年釧路沖地震後に建設された埠頭で、既存の他の埠頭に比べて、噴砂や陥没の規模が大きいことがわかった。釧路市によると、この新埠頭は液状化対策が施されていないとのこと。中央のスケールは1m。

下川・吾妻チームは、釧路西港第4埠頭で大規模な液状化とそれに伴う地盤災害を観察。釧路沖地震以後に造成された新しい埠頭ではあるが、第3埠頭と比べて被害が大きい。その後、十勝方面へ移動し、途中、浦幌町や豊頃町付近で道路の亀裂や路肩の地すべりを目撃。帯広市にある十勝支庁、及び豊頃町の災害対策本部を訪れ、地震被害関係資料を収集した後、十勝川下流右岸の堤防の被害を調査し、つくばセンターに帰った。

木村・宮地チームは、音別町でマンホールの抜け上がりや防火水槽の被害を調査した後、町役場で地震被害関係資料を収集し、つくばセンターに帰った。



**音別町風連の防火水槽の抜け上がり**  
地下3.9mに埋設されていた直径2.5m、長さ9mの防火水槽が抜け上がった。

### ● 9月30日

七山・鎌滝チームは、午前中、十勝川河口の南西側海岸の長節湖、湧洞沼、生花苗沼などで補足調査を行った後、七山のみ、つくばへ帰った。鎌滝は、同日夜、活断層研究センターの粟田と宮下と帯広で合流した。

### ● 10月1日

鎌滝、粟田および宮下の3名で調査を行った。午前中は、帯広から十勝川右岸を通して、大津港へ移動。途中、旧河道



**豊頃町大津の下水管マンホールの抜け上がり**  
下水管理め戻しに使用した砂の液状化により、マンホールが抜け上がったと思われる。背後には、法面が崩壊したため青いシートで覆われた堤防が見える。

に近いところや浜堤間低地に液状化が見られたが、規模は小さく、電柱の傾きや電線のたるみでわかる程度であった。

大津港付近で津波堆積物の調査を行ったが、海が荒れており、大波が津波の遡上高程度に押し寄せているので、検出できなかった。午後、十勝川左岸沿いの調査を行った。下水管の陥没や抜け上がり等が見られたが、すぐ脇の住宅には被害が無く、液状化は非常に局所的であった。

### ● 10月2日

大津港から、大樹町、十勝港へ向かって、海岸沿いで主として津波堆積物を中心に調査を行った。その結果、晩成温泉付近の生花苗沼で押し波による津波堆積物を発見した。



**大樹町生花苗沼の南部での津波の押し波と引き波による堆積物**  
沿岸洲の切れ目（写真右奥）から寄せた津波の押し波によると推定される波長70-80cmのカレントリップル（中央）と、引き波によると推定される堆積物（左側）。矢印は押し波の流れの向きを示している。

### ● 10月3日

鎌滝は、朝、帯広からつくばへ帰った。粟田と宮下は、午前中、忠類村、大樹町、広尾町の役場を訪問し、周辺の被害調査を行った。忠類村と大樹町には、埋設下水管の沈みなど若干の被害があるが、そこより南側には、ほとんど被害は認められなかった。午後、襟裳岬を越えて、浦河へ入った。途中、ほとんど被害はなく、浦河付近の沖積低地でやや被害が認められる程度であった。

### ● 10月4日

粟田と宮下は、浦河町から海岸沿いに北西へ向かい、新冠町の泥火山を観察。つくばセンターに帰った。



**新冠町高江の再活動した泥火山**  
泥火山の頂部に放射状の割れ目が生じて、ブロック状の土塊が盛り上がった。

## 重要な緊急調査

活断層の活動性や活動したときの地表での地震動の大きさや特性を予測する研究では、その予測結果について、十分な検証を行うことが必要です。その努力なくしては、信頼を得られないばかりか、その成果は社会に活用されないこととなります。しかし、一つの地域の大規模な地震活動について、その繰り返し周期は長く、予測精度の向上のための試行錯誤を繰り返すことは、一人の研究者の研究サイクル（約30年）の中では全く不可能です。海溝型の地震でも、同じ地域で同様な地震が発生するのは約100年程度です。内陸の直下地震を発生させる活断層の活動間隔はさらに長く1000年以上と考えられています。

この研究上の障害を乗り越えるためには、世界的にみれば頻繁に発生する個別の地震について、的確な情報を集め、それから一般則を導くための研究を進めることが必要となってきます。そのためには、地震が発生した直後に出現し、すぐに消えてしまう地質学的な諸現象を、正確に記載しておくことが重要となります。

## 津波研究の最新情報や、地震研究における産総研の役割について、 活断層研究センターの佐竹チーム長にお話を伺いました。

### ■今回の十勝沖地震の特徴は。

今回の十勝沖地震は、数10年～100年程度の間隔で繰り返す、典型的なプレート間地震だと考えられています。今回の地震の前には、1952年にほぼ同じ場所で、同じ規模の地震(十勝沖地震)が発生しています。また、十勝沖のすぐ東隣の根室沖でもほぼ同程度の間隔、規模でプレート間地震が発生しています。

### ■AIST Today10月号トピックスで、「プレート間地震が連動して起こる巨大津波」について紹介しています。

ときには、プレート間地震が連動して、より大きな津波を発生させることがあります。我々は、北海道の太平洋岸における津波堆積物の分布と津波のシミュレーションから、平均して500年に一度程度の割合で、プレート間地震の連動による異常に大きな津波が発生することを明らかにしました。今回の地震は、このような異常な地震ではなく、通常のプレート間地震だったようです。

### ■津波は、M8の地震としては小さかったように思えるのですが。

ちょうど10年前に発生した1993年北海道南西沖地震(M7.8)の際には、その震源の真上に位置する奥尻島では津波の高さは10mを上回り、場所によっては30mもの高さまで這い上がりました。この地震と津波によって、奥尻島の人口約4000人のうち約200名が犠牲となり、家屋の約3分の1が被災するという大きな被害を受けました。

今回の地震(平成15年十勝沖地震)は、北海道南西沖地震に比べて規模はやや大きかったのですが、震源が沖合でやや深かったため、津波の到達までに多少(10分程度ですが)の時間がありました。また沿岸での高さは最大4m程度でした。ただ、この程度の津波でも大きな被害が発生します。今回は早朝

に発生したこと、津波警報が発せられ漁船などは沖合いに避難したこと、防波堤などの構造物があったことなどが要因で、1993年の津波ほどの被害が出なかったようです。

### ■いろいろな状況が複雑に影響しあいますね。自然災害の怖いところでもあります。

そうですね。1952年十勝沖地震の際には、地震動と津波によって死者・行方不明者約30人を含む被害が発生しました。この地震は3月に発生したのですが、このときちょうど流水が太平洋側まで広がっており、津波によって流水が陸上に運ばれ、家屋などに被害を与えたと記録されています。

### ■日本以外で発生する地震によっても津波が来ることがあるそうですが。

1960年に南米チリで発生した地震の際には、津波がまる一日かけて太平洋を伝わり、日本の沿岸にも大きな被害をもたらしました。場所によっては、今回の津波よりも大きかったようです。今回の十勝沖地震は幸い、太平洋全域に被害を及ぼすほどの津波は発生しませんでした。チリ地震などの巨大地震の場合、津波は太平洋を越えて被害をもたらすこともあります。ですから地震の発生直後に、環太平洋の諸国で迅速な情報交換がなされます。国際的な観測網の整備によって、少なくとも太平洋を越えて伝わるような津波の情報伝達に関しては、ほぼ万全の備えができています。

### ■地震の調査で産総研だから出来たこと、あるいは出来ることをご紹介下さい。

地震の観測や調査研究は気象庁・防災科技研・大学など、多くの機関で行われています。産総研では、地質学的な視野から地震や津波の調査を行っています。すなわ



ち、地層に残された過去の地震の痕跡を調べるといふ歴史科学的アプローチ、ならびに震源の岩石を実際に手に取って調べるという物質科学的なアプローチの二つが大きな特徴です。

今回の十勝沖地震の後にも、現地で地盤災害や津波の痕跡を調査しました(緊急調査レポート参照)。地震の発生直後に確認された津波の痕跡も、2週間後にはほとんど消失しており、今回の津波は地層に記録されることはなさそうです。

### ■産総研の調査結果は、どう役に立っているのでしょうか。

活断層や古地震の調査結果は、国の地震調査推進本部で行う地震の長期予測の基礎的なデータとして使われています。また、これらのデータに基づく数値シミュレーションを行って、強震動予測地図や津波の浸水履歴図を作っていますが、これらは自治体やライフライン関係などの防災対策のためのデータとして使われることを念頭に置いています。

#### プレート間地震

北海道南東沖の千島海溝では、太平洋プレートが、北海道をのせる北米プレートの下へ、年間10cm程度のスピードで沈み込んでいます。このため、沈み込むプレートと陸側のプレートとの間に歪が蓄積し、それが数10年～100年たつて一気に解放されることによって発生するのがプレート間地震と呼ばれるものです。

# 地震予知

## 地下水による地震予知

### 地震と地下水変化

「地震前に地下水位に異常が起きた」という報告は古くから伝えられています。1978年に東海地震予知を目的として、静岡県内で地下水位、水温、水質、ラドン濃度等の地下水の連続観測を始めました。それ以来、25年にわたり精密な地下水観測データを蓄積してきました。

現在想定されている地震発生モデルによると、本震発生前にもわずかな歪（ひずみ）変化が起こると推定されています。日本では、水を通さない地層（不透水層）に挟まれた複数の地下水（帯水層）が広く存在しています。このうち深い位置の帯水層では、地下水は周囲の地層に囲まれ、圧力がかかった状態にあります（被圧帯水層）。周囲の地層の歪が変化すると、帯水層内の圧力が変化し、この圧力変化により、観測井内の地下水位が変動し、歪を推定することができるのです。水温、水質等に関しても同様に変化すると推定されます。

### なぜ地下水（地下水位）観測なのか

地球は、潮の満ち引きと同じく伸縮しています。この伸縮の時に歪を直接観測することは難しいのですが、地下水位観測は比較的容易に行うことができます。また、地下水の観測記録は古くから残されており、過去の大地震の際の地下水変化の記録も多く残っていま



● 図1 観測井位置図

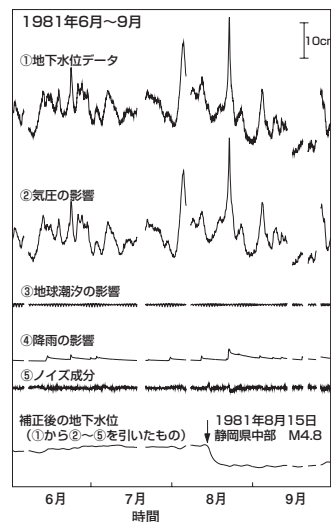
1995年兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)をきっかけとして近畿地域にも観測井を増設し、現在(2003年10月)では東海、近畿地域を中心に約40カ所の観測井において地下水の観測を継続しています。

最新の地下水データは <http://gxwell.aist.go.jp> で公開され、毎日更新されています。

す。それらの記録がある井戸で、新たに高精度の観測を行い、その井戸の特性を、最新の知識を用いて解析することにより、過去の地震の際の歪変化を推定することができます。それにより、過去の地震の再評価が可能となり、将来の地震の際の地下水位変化、歪変化を予想することができます。ただし、地下水が利用されていると大きな雑音要因となり、解析が困難になるので、観測井を新設する場合は200~600mの深さの被圧帯水層を観測の対象としています。

### 予想される大地震前兆変化

解析によって推定された地下水位の歪感度を用い、現在想定されている東海地震発生モデルにしたがって各観測井における大地震直前の歪変化に相当する地下水変



● 図2. 地下水位データの解析  
榛原観測井における静岡県中部の地震による地下水位変化の抽出。

化を予想しました。これによると、大地震発生前の1~45時間前に前兆が検出できることが期待できます。

【地球科学情報研究部門 高橋 誠】

### 産総研の東海地震予知

東海地震は、「大規模地震対策特別措置法」によって各機関により観測網が整備されており、日本国内では唯一予知が可能であると考えられています。我々の地下水観測網もこの地震予知体制の一部として組み込まれており、地下水観測データはオンラインで気象庁に転送され、24時間監視が行われています。また、「地震防災対策強化地域判定会委員打合せ会」(東海地震判定会)にもデータの提供を行っています。ちなみに、産総研では「東海地震では地震直前に数10cmも地下水位が変化する可能性がある」と予測をしています。

# 活断層 を探る

## 内陸大地震の発生を予測する

### 阪神・淡路大震災から始まった活断層の本格的調査

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震(M7.2)は、約6,400名の犠牲者を出した都市直下型の大地震(阪神・淡路大震災)でした。この地震は、野島断層が再活動したということで、活断層という言葉が広く知られるきっかけとなった地震でもあります。

また、日本での地震に関する調査研究の推進体制は、この地震の後、地震防災対策特別措置法の制定に関連して、それまでと大きく変わりました。科学技術庁(現 文部科学省)に地震調査研究推進本部が設置され、国全体としてより目標を明確した調査研究内容と計画を基に進められています。とりわけ、活断層情報に関しては、それまで国全体として十分な情報が整備されていなかったことから、全国の



●トレンチ調査(栃木県の関谷断層)  
断層を横切るような溝を掘削し、壁面を観察・分析することによって、断層の活動時期等を明らかにしています。

主要な活断層98(下図)を当面の調査対象として設定して調査研究が進められることになりました。活断層研究に関しては産総研がその主要な役割を担っています。

### 活断層の調査と地震の長期予測

活断層とは、「非常に近い過去まで活動を繰り返してきた断層で、今後も活動する可能性が高い断層」と定義されています。「非常に近い過去」とは、地質学で200万年前から現在までの第四紀を指しています。過去に地震を発生させた活断層の調査から、活断層の長さや1回のずれの量(変位量)と地震の大きさには、正の相関関係があることがわかっています。したがって、将来の地震を予測し、防災に役立てるために、

●活断層の位置(地震の発生場

所の特定)

- 活断層の長さや1回の変位量(地震の規模の推定)
- 活断層の最新活動時期とその前の活動時期、または平均変位速度と1回の変位量(将来の活動時期の予測)

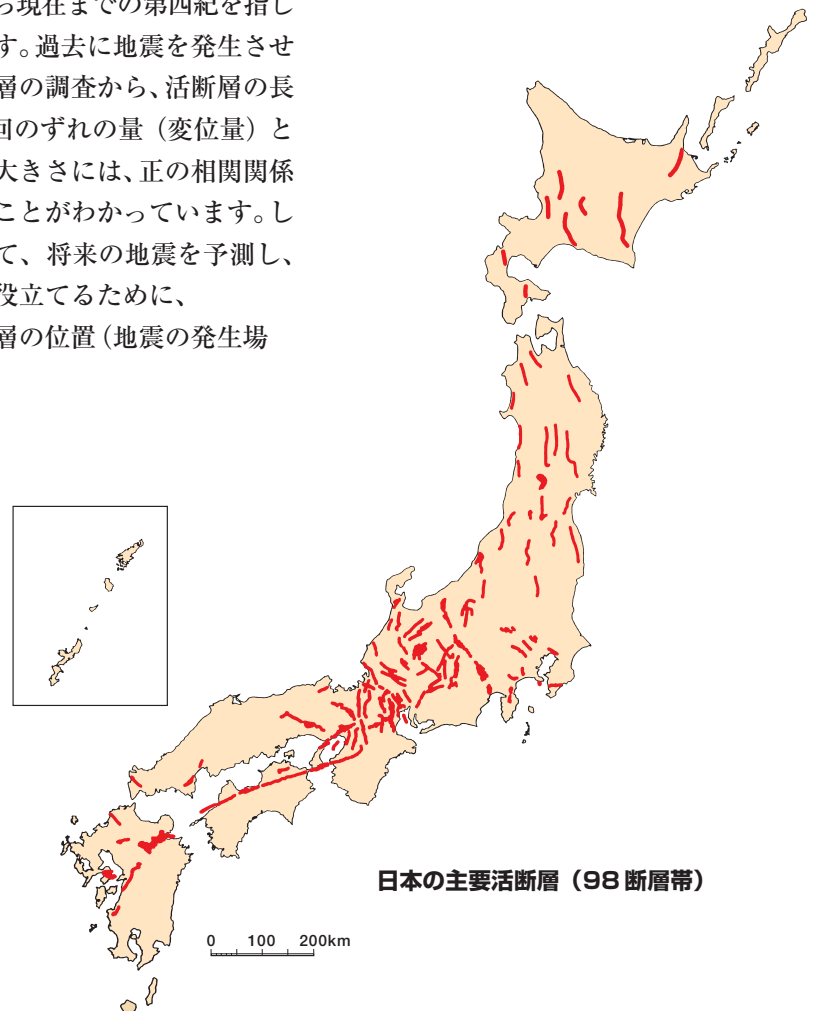
を明らかにする必要があります。

活断層の諸元を求めるために産総研は、空中写真判読や、地形・地質調査、トレンチ掘削調査(上図)、ボーリング調査、反射法地震探査などを実施しています。

【活断層研究センター 下川浩一】

### 活断層調査の課題

全国主要活断層等の調査は、順調に推移していますが、平野部に伏在する衝上断層の活動時期を特定するのは困難な場合が多くあります。また、長大な活断層では、一度に活動する区間を特定するのが難しい場合があります。今後、地震断層の詳細な計測や地殻変動観測等から得られるデータを活断層調査に活かすとともに、考古遺跡や湖沼などの連続した堆積物中の古地震データ等を、積極的に活用する必要があります。



日本の主要活断層(98断層帯)

# 震源 に迫る

## 活断層の深部を 探る

### 内陸地震の発生予測は難しい

地震は大きく分けると、2003年9月26日の十勝沖地震のように海溝沿いのプレート境界で発生する地震と、1995年兵庫県南部地震や2000年鳥取県西部地震のように海溝から離れた内陸部で発生する内陸地震などに分けられます。一般に海溝沿いの地震の発生間隔は、数10年から100年程度と比較的短く、その発生の長期予測精度は数10年です。一方内陸地震に関しては発生間隔が千年以上と言われており、その発生予測精度は数百年程度でしかありません。

内陸地震についてのこのような現状を改善し、社会に役立つような精度で発生予測が出来ないかとの期待は大きいと言えます。内陸活断層の深部はどのような状態になっているかを調べることで“内陸地震の発生予測精度が向上できるのではないか”、との観点から産総研では活断層の地下深部の構造を探っています。

### 断層破碎帯の実態が明らかに

兵庫県南部地震の発生直後に、

地震を発生させた張本人である野島断層で、ボーリング掘削による調査を実施し、世界で初めて断層破碎帯の実態を明らかにしました。この破碎帯は、幅50m程度の範囲が大きく破碎され、その破碎帯中をつたわる地震波の速度は、周囲よりも3~5割程度小さいこと等を見いだしました。このような断層破碎帯は地震発生直後の断層だけではなく、地震発生後100年以上経過した活断層でも見つかっています。これまでは断層破碎帯の存在が検証されたのは地下せいぜい1km程度までです。実際には“地下どれくらいの深さまで、どのように存在しているのか”を明らかにすることが次の課題となります。

### 断層破碎帯を伝える地震波：断層トラップ波

図1は、岩盤中に断層破碎帯が存在した場合の地震波の伝わり方を、計算機でシミュレーションしたもので、地震の震源から地震波が放出している様子です。断層破碎帯中には、地震波のエネルギーが大きく集中しトラップされていることが分かります。活断層の深部探査では、活断層を横切る形で地表に数10台の地震計を配置し、断層トラップ波を観測します。地下の破碎帯の実際の構造を求めるためには、様々な破碎帯の構造モデルを作成し、断層トラップ波の計算機シミュレーションを繰り返

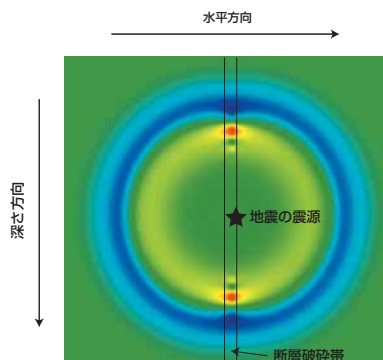
し、実際に観測された波形と同じ波形になる破碎帯のモデルを探していきます。

このような原理、技術にもとづいて、野島断層、鳥取県西部地震の震源域、富山-岐阜県境の跡津川断層や茂住-祐延断層で断層深部構造の探査を行っています。図2は鳥取県西部地震の調査例で、ほぼ線状に配列する余震分布の北側半分でのみ断層トラップ波が観測され、南半分ではトラップ波は見られませんでした。鳥取県西部地震はこの北半分と南半分のちょうど境界を破壊の開始点として始まった地震であることが明らかになりました。

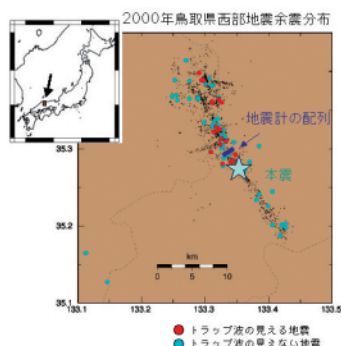
### 地震発生予測精度向上に向けて

活断層には活断層固有の断層破碎帯が存在し、大地震は断層上に存在する断層破碎帯全体で、すべりを発生させるものといえます。これは、従来、断層が厚さの実体のない単なる面としてとらえられていたことに対して、見方の転換を示したものと言えます。活断層が大地震の前にどのような変形が起こりうるのか、さらに、地震が起こった場合にそれはどのような地震になるのかを予測するために、産総研では、断層が地下深部でどのような振る舞いをしているのかを、断層周辺の岩石の変形履歴や実験室での変形実験を通して探る研究も展開しています。

【地球科学情報研究部門 桑原保人】



● 図1 断層破碎帯を伝える地震波の様子  
断層破碎帯中の震源位置で地震が発生し、それからある時間経過した後の、地震波の振幅を色分けしています。赤色が最大振幅で、断層破碎帯中に地震波のエネルギーが集中していることが分かります。



● 図2 鳥取県西部地震での断層トラップ波調査例  
地震はトラップ波の見える地震と見えない地震の分布のちょうど境界で発生したことが明らかになりました。

# 活断層物質を科学する

## 脆性変形と塑性変形

岩石に弾性限界を超えて力を加え続けていくと破壊に至ります。このような変形を脆性変形といいます。しかし地下深部で高温になると岩石はやわらかくなっていき、弾性限界を超えても破壊せずに流動し続ける塑性変形を起こすようになります。脆性的に変形した岩をカタクレサイト、塑性的に変形した岩をマイロナイトと呼びます。

## 1億年前の地震発生域 畑川破碎帯を見る

畑川破碎帯は、阿武隈山地の東部に広く分布する花崗岩体中を走る横ずれの断層です。断層面はほぼ垂直にたっており、左横ずれは60kmに上ると見積もられています。周辺の岩石の年代から、花崗岩はおよそ1億年前に5~10km程度の深さに貫入し、それから1千万年程度の、地質学的には比較的短い時間の間に主要な断層活動は終了したことがわかりました。

畑川破碎帯の中央部にはカタクレサイト帯が連続的に分布しており、もしそれが同時に活動したとすれば、1995年兵庫県南部地震と同程度であるマグニチュード7クラスの地震の破壊域に相当します。カタクレサイト帯の周りには左横ずれの変形を示すマイロナイトが最大幅1kmで分布しています。岩石中の鉱物の種類や化学組成から形成された温度を見積もると、カタクレサイトについては220~300℃前後、マイロナイトについてはおよそ250~400℃となり、内陸の地震発生領域の温度範囲をカバーしています。

マイロナイトが最も厚く分布す

## 過去から学ぶ

内陸に発生する大地震の多くは深さ10~15km、温度300℃前後の断層深部で発生します。地下深部で断層がどのような状態にあり、どのようなことが起こっているのかをさぐることは、地震の発生を理解するうえで大変重要になります。しかし、深い井戸を掘ってその岩石を取ってくるのはたいへん難しいので、私たちはかつての地震発生域がその後の地殻変動で地表に露出している場所を調べ、活断層の深部を推定しようとしています。

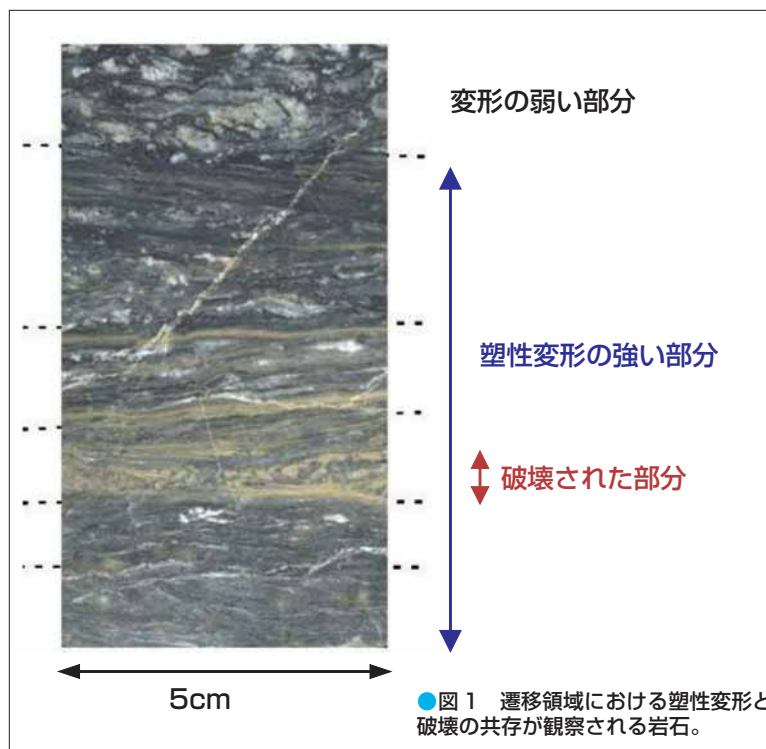
る昼曾根地域では、250~300℃前後で変形したと考えられる、マイロナイトがかなり広く分布します。変形の程度は不均質で、10mほどの間隔で塑性変形の強弱を繰り返します。塑性変形の強い部分には1mに1~2本程度の変形集中帯が見られ、大きいものは延長数10m以上、厚さも数10cm以上あるのに対し、小さなものは数m程度の長さしかなく厚さも数mm未満しかありません。変形集中帯の中心部は図1の写真のように破壊を伴うことが多く、破壊と塑性変形の重複が見られることから、まさに脆性-塑性の移り変わる領域で変形していることを示唆しています。

## 物質科学的見地から内陸活断層を見る

以上述べたように畑川破碎帯は、花崗岩地殻の脆性から塑性に移り変わる深度の地震発生域が露出したものと考えられます。ここでは数mmから数10kmまでの様々な大きさでの破壊や、塑性変形との共存が観察されています。そのような変形集中帯や割れ目は、様々なマグニチュードの地震の痕跡なのかもしれません。

野外調査に加えて室内実験などをあわせて内陸地震の本質に迫って生きたいと考えています。

【地球科学情報研究部門 藤本光一郎  
(現 東京学芸大学)



● 図1 遷移領域における塑性変形と破壊の共存が観察される岩石。



# 地震動の予測

## 地震の揺れを予測する

### 高精度の地震動予測へ向けて

“ある地域の周辺のどこでどんな地震が起こり、その時その地域がどのくらいの揺れ（地震動）を被るか”を予測することを地震動予測（または、強震動予測）と言います。予測された揺れの強さやその発生頻度は、建築物の耐震設計、都市の防災計画といった防災対策の基礎的な情報となるのです。予測に基づいて防災対策をしても、実際の揺れが予測したものより大きければ、大きな被害が出る恐れがあるので予測は過大評価気味が良いのですが、あまり大きすぎると、設計・施工の際のコストが膨大になり、経済的には無駄が多くなります。そこで、高精度の地震動予測が求められます。

地震動予測は、震源像（地下の岩盤のずれ破壊のプロセス）の予測と地殻内部の地震波伝播のシミュレーションとに大きく分けられます。震源像の諸性質（ずれ破壊の破壊面の形状、ずれの量や方向、その進展方向や速度など）と地下構造のモデル化の誤差で、地面の揺れの見積もりは数倍から10倍程度変わります。

活断層研究センターでは、阪神地域をモデル地域として、地震動予測の性能を左右する要素を精度よく推定する方法を研究しています。当研究センターの地震動予測の特徴は、既存のデータをもとに作られた最新の3次元地盤モデル、活断層調査結果に基づく断層

モデル、破壊シミュレーションによる地震破壊シナリオを取り入れる点にあり、地形・地質・地球物理の最新情報を融合した世界的にもユニークなものです（図1）。

### 詳細な3次元地下構造モデル

地下の地盤の構造は、人工地震波を用いた反射法地震探査、ボーリング、重力値の変化の測定などの方法で調査されます。これらのデータから3次元で地層構造をモデル化し、地震波の伝播の仕方を左右する定数である地震波伝播速度や密度を推定します。モデル地域では、六甲・生駒・和泉・淡路島の山地を縁辺とするお盆のような形をした基盤の器の中、阪神の平野部と大阪湾からなる部分に、最大2.5kmを超える厚さの堆積物がたまっているのが特徴です。

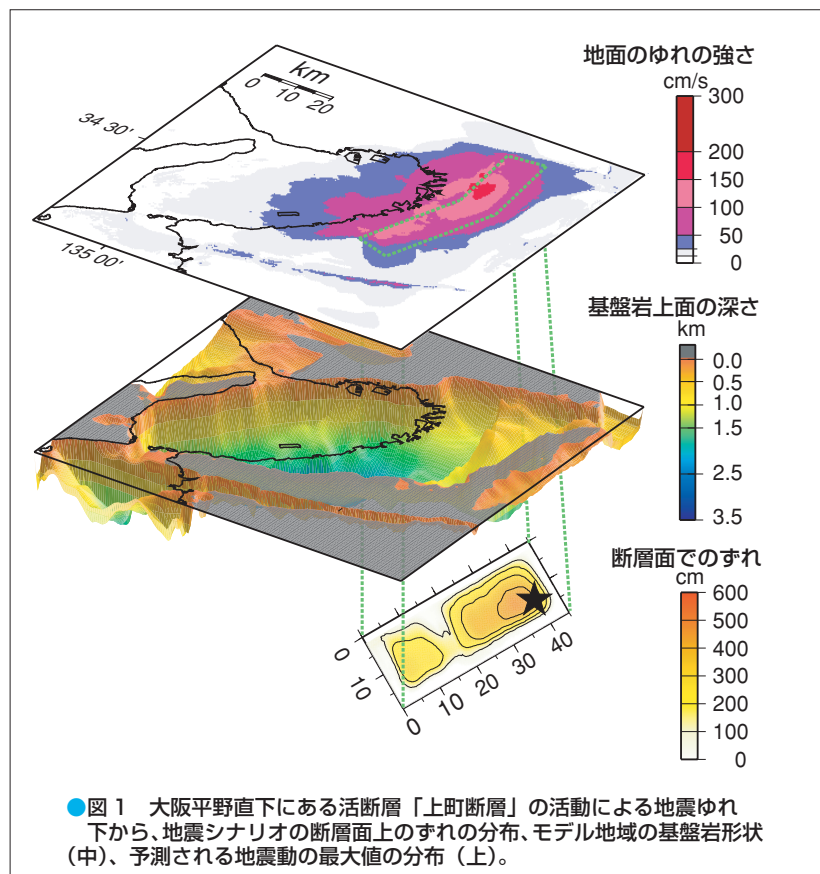
### 地震のずれ破壊シナリオの作成

内陸活断層の活動周期は、数千

年～数万年です。ほとんどの活断層の活動について、科学的観測どころか歴史記録も残されていません。そこで、対象とする断層系で発生する最大規模の地震の破壊シナリオを構築するため、まず、過去の地震活動によって生じた地層のずれを調べました。過去の地震のずれの分布から断層面上のずれの分布を推定し、弾性力学をもとにそのようなずれの分布を生じさせた力の分布を計算します。地震前の力の分布と断層面の幾何学的形状、ずれ破壊を規定する物理法則と地震波の伝播を規定する波動方程式を与えれば、ずれ破壊が進展する様子や、地震波が発生し伝播する様子を計算機上でシミュレーションすることができます（図2）。

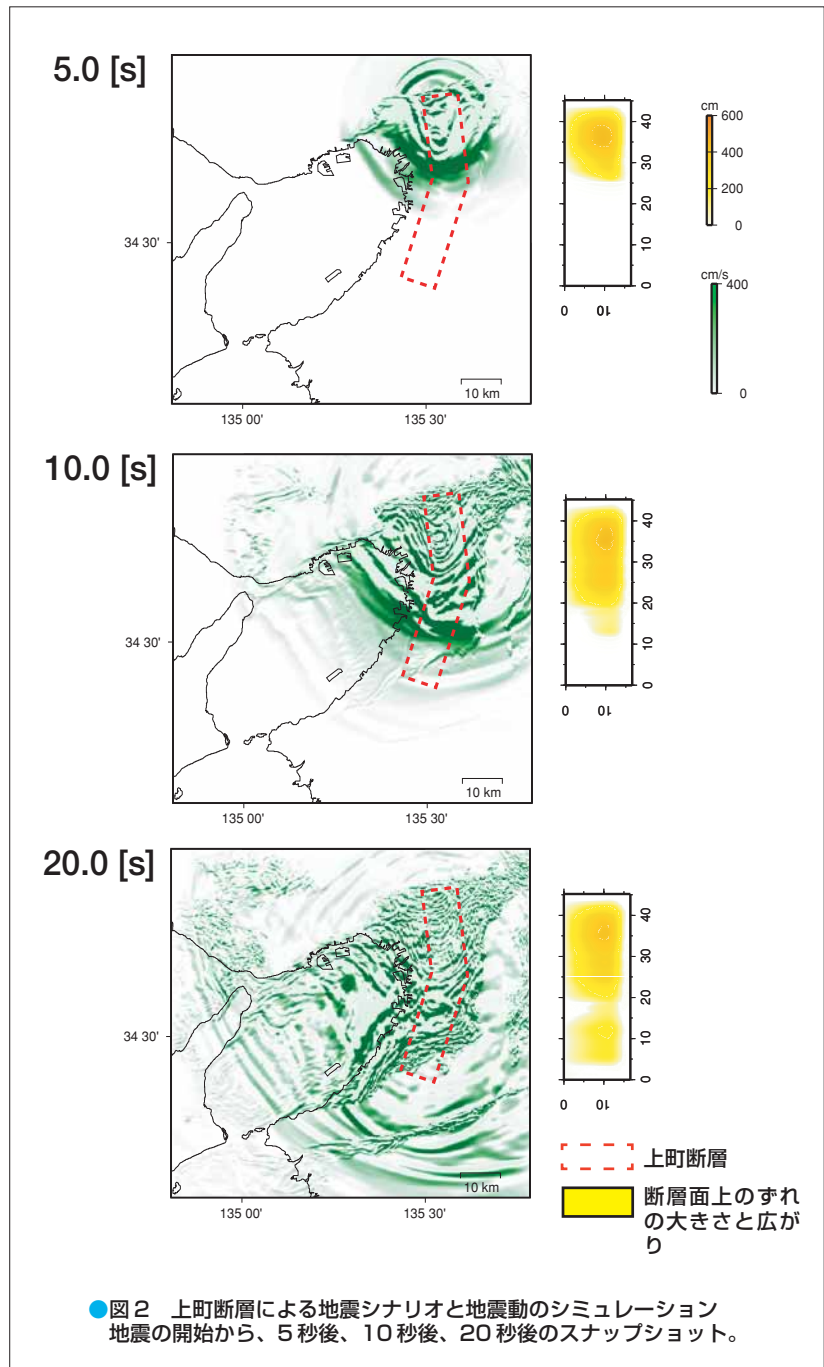
### 大阪平野・上町断層系の地震動予測の例

上町断層系は、大阪平野の中心



を南北に走る全長約45kmの逆断層で、断層系全体でずれが起これば、マグニチュード7前後の規模になると考えられています。長い年月の間に繰り返された地震による地層のずれが蓄積し、基盤には数百mの段差ができています。この地層のずれのデータを用いて上記の方法で地震破壊シナリオを推定し、それを大阪の盆地状の地下構造の中に導入して、地面の揺れをシミュレーションしました。図1には、各地点での揺れの最大振幅を示しています。柔らかく厚い堆積層により、大阪平野全体が大きな揺れを被ります。揺れの最も大きくなるのは、断層の直上域で、1995年兵庫県南部地震時に最も揺れの大きかった神戸市街地域に勝るとも劣らない揺れになるものと予想されます。また、地震動の強さ分布を詳細に見ると、ずれ破壊の大きさや進展方向と地下の基盤岩形状が複雑に影響していることがわかります。

これまで行った計算では、やわらかい堆積層のうちでも工学基盤と呼ばれる大きな建造物の支持層までを考慮しており、最も表層部の軟弱な部分は省いています。これは、軟弱な地層の振る舞いは同じ計算手法で扱えないこと、表層部は不均質が非常に強く、詳細な情報を要することが問題でした。地震動への影響が無視できないこの表層部を考慮した計算をするため、前述の3次元地盤構造モデル



とは別に表層部のみのモデルの作成、および、別の計算手法との組み合わせを行う計画です。

今年度中に地震動予測地図の暫

定版を完成させ、外部有識者・防災担当者からなる検討会を開催し、意見を求める予定です。

【活断層研究センター 関口春子】

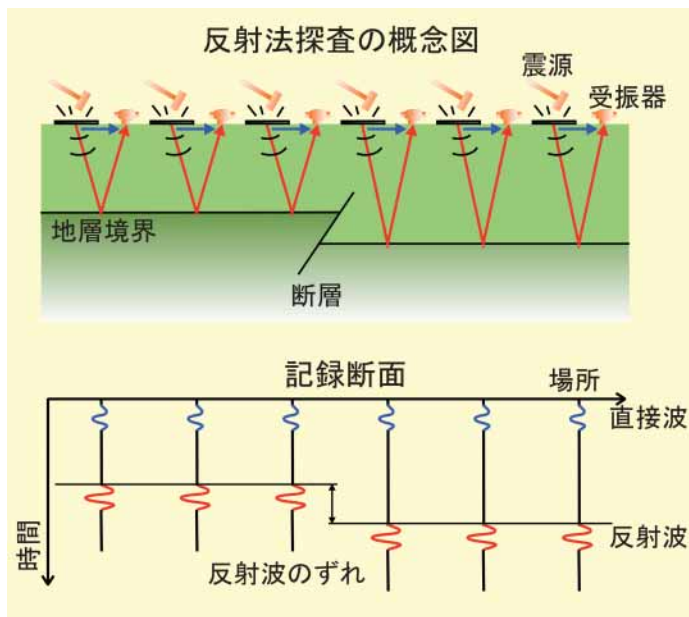
### 地形・地質・地球物理の最新情報を融合

阪神地域をモデル地域として、この地域が将来被るであろう地震の震源像と揺れを、精度よく推定する方法を研究しています。この研究は、既存のデータをもとに作られた最新の3次元地盤モデル、活断層調査結果に基づく断層モデル、破壊シミュレーションによる地震破壊シナリオを取り入れる点に特徴があり、地形・地質・地球物理の最新情報を融合した世界的にもユニークなものです。来年度には、地震動予測地図としてまとめる予定です。

# 地下構造と地震波速度の推定

## 平野部での強震動予測

現在、国の施策として地震災害軽減のための強震動予測が進められています。人口が密集し、産業立地の場である平野部での強震動予測は特に重要です。そこで活躍するのが、地下構造・断層形態・地震波速度等を高精度で推定できる反射法地震探査（以下、反射法と記す）なのです。反射法を漫画的に示したものが図です。震源と受振器を移動させながら観測すると、例えば断層のところで反射波の出現位置にずれを生じます。このように地下構造をイメージするのが反射法の基本です。原理的にはレーダーや超音波検診などと似ています。地震波には縦波(P波)と横波(S波)がありますが、地下数kmまでを対象とする平野部探査では、大出力P波震源がよ



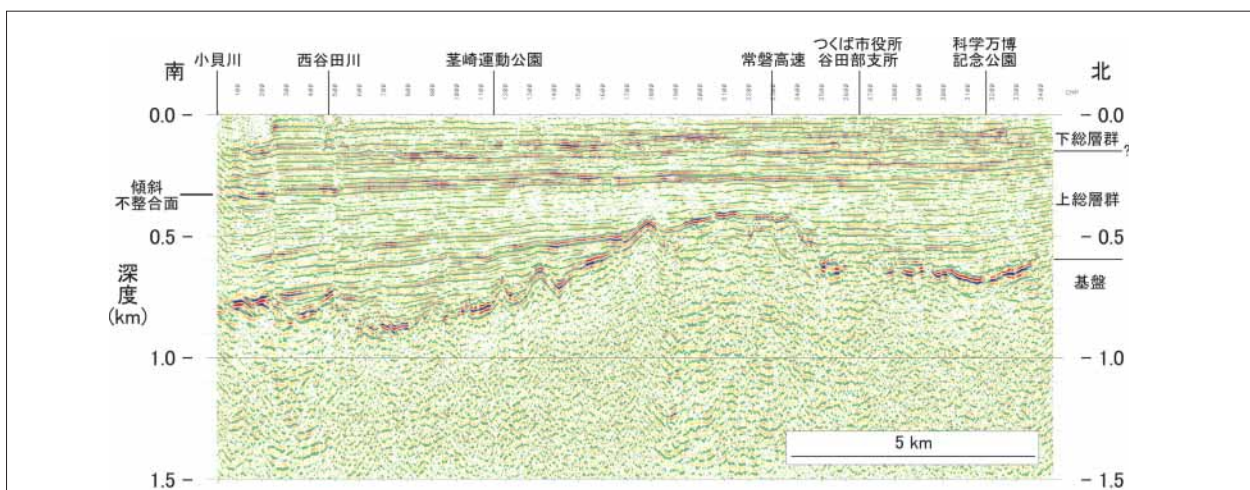
●図 反射法地震探査の概念図

く用いられます。その代表例が17トンの大型バイブレータ（写真）で、実際の野外観測は非常に大がかりになります。

## S波速度構造の推定

地震動の振幅はS波速度に敏感なため、特に地下のS波速度構造を正確に知ることが強震動予測に

にとって重要です。今のところ大出力S波震源の作製は困難であり、S波の地中での減衰も大きいため、直接的なS波深部探査は実現できていません。しかしPS変換波（P波で地下に伝播し、地層境界で反射した際にS波となって戻ってくる波）を捉えれば、深部までのS波速度情報を得られるのではないかと



つくば市周辺における地下構造探査例（縦方向を5倍に拡大）

## 地下構造のイメージング

つくば市～取手市近傍での探査例を図に示します。この地域の古い時代の岩石(基盤)は、大局的に南方に徐々に深まります。しかし常磐高速道路付近の地下に比高300-500mほどの基盤岩の「山」が存在するなど、その上面は予想以上に起伏に富んでいます。また上位の堆積層は深度300m付近を境にして傾斜が異なっており、こういった境界は傾斜不整合とよばれ、下位の地層が堆積後、変形・侵食を受け、その後に上位の地層が堆積したことを、つまり上下の地層の堆積に時間間隙があったことを示しています。反射法により得られた構造から、このような堆積史・変動史などを知ることができます。



●写真 反射法地震探査の様子  
右側の起振車で地面に振動を与えて、左側の地震計の列で地中から反射した波を受振し、それらを解析することにより、地下の反射断面が得られる。

と予想されます。つまり震源として図2のような大出力P波震源を使用でき、また地下で変換したS波は地中を片道しか通らないので減

衰が半分ですむからです。現在のところ、実際、予想通りに深度約2kmまでS波速度構造の推定が可能となっています。

一石二鳥のPS変換波反射法

PS変換波反射法は、1回の探査でP波・S波両方の速度構造が分かるという一石二鳥の探査法です。まだ問題点はありますが、今後とも改良を重ね、強震動予測等のために貢献していきたいと考えています。

【地球科学情報研究部門 横倉隆伸】

産総研の地震調査研究と情報の公開

地震調査研究

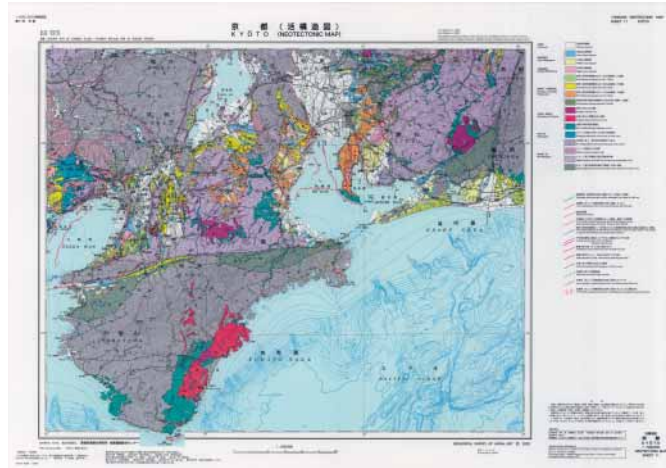
産総研の地震調査研究

私たちの住んでいる日本列島は、世界的にみても地震・火山活動が活発な地質学的環境にある国です。日本では地震に関しては一般の人々の関心が高く、毎年のように発生する地震災害に際して、マスメディアによる報道が盛んに行われており、地震に関する研究の進展への期待は、非常に強いと実感しています。

産総研では地震に関する基礎研究から、活断層の調査等のように、社会から直接的に要請され事業的に進める研究まで、幅広い分野の研究を実施しています。

国の地震調査研究は、気象庁、国土地理院を始め、大学等の研究機関が連携し、互いに分担して、無駄のない長期的視野に立った研究の推進体制のもとですすめられています。

平成15年度は具体的には下記の12研究課題をそれぞれの研究ユニットで実施しています。この特集ではこの中から6研究について紹介しております。



●活構造図「京都」

平成15年度研究課題一覧

活断層研究センター

- ・全国主要活断層等の研究
- ・活断層系のセグメンテーション研究
- ・活断層データベース・活構造図等の研究
- ・海溝型地震の履歴と被害予測の研究
- ・地震被害予測の高度化研究

海洋資源環境研究部門

- ・海域活断層の評価手法の研究

地球科学情報研究部門

- ・地震防災対策強化地域及び活断層近傍等における地下水等観測研究
- ・平野部の深部地下構造に関する研究
- ・活断層の深部地下構造の研究
- ・地震発生域における強度回復過程に関する実験的研究
- ・平野地下地質・構造データベース整備の研究

電力エネルギー研究部門

- ・多点計測技術及び発生源同定技術の研究

## 情報の公開

### 研究情報の 収集・広報・普及活動

活断層や地下水観測は国内の研究機関では、唯一産総研が担当しています。そのため、国内外の情報を広く集め、それを使える情報として、一定の評価を行い、整理してデータベース化することも重要な任務として位置づけられます。

活断層調査など各地で行われる調

査に際しては、地域の住民の方々に活断層の実態や研究の目的などをご説明して、防災意識の向上のための機会として、知識の普及に努めています。また、先に述べた緊急調査でわかったことなども速やかに広報することにも努めています（写真）。



●活断層トレンチ掘削調査結果の地元住民への現地説明  
活断層の存在とその調査の意義・結果を地元教育委員会などと協力して、地域住民の皆様に分かりやすく説明しています。

## 地質調査総合センターが提供するデータベース

### ■ 20万分の1 日本数値地質図データベース

<http://www.aist.go.jp/RIODB/db084/main.html>

### ■ 海洋地質データベース

北西太平洋域を主とした海域の海底地質に関する情報を紹介。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/db085/>

### ■ 北西太平洋（日本周辺海域）海底鉱物資源データベース

深海底鉱物資源の概念、北西太平洋での調査成果概要を紹介。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/db058/>

### ■ 北西太平洋海底堆積物データベース

海底堆積物情報データベースを中心として、海底写真やコア柱状図、粒度分析値、細骨材資源評価などの情報を紹介。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/db059/>

### ■ 日本列島基盤岩類物性データベース

日本列島の基盤岩類（花崗岩類および変性岩類）の岩石物性データ採集位置情報と共に紹介。

[http://www.aist.go.jp/RIODB/pb-rock21/index\\_J.html](http://www.aist.go.jp/RIODB/pb-rock21/index_J.html)

### ■ 岩石標準試料データベース

岩石の化学組成や同位体組成、年代値の信頼性の高いデータを紹介。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/geostand/gsj1j.html>

### ■ 岩石物性値データベース

岩石の密度、磁性、P波速度、有効空隙率、熱伝導率などの紹介。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/prock/welcome.html>

### ■ 地盤データベース

日本列島を構成する岩石の密度とその分析を紹介。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/jibandb/index.html>

### ■ 地熱ボーリング・コア・データベース

葛根田地熱地域のWD-1a抗井の2842-2844mから採取されたスポットコアを紹介。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/drillcore/>

### ■ 「地層・岩体・火山」事典

日本列島の成り立ちを理解するためのDB。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/strata/welcomej.html>

### ■ 地質標本登録データベース

地質標本館に登録された標本の登録情報を紹介。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/dgems/>

### ■ 物理探査調査研究活動データベース

日本の各機関で進められた物理探査調査研究について、「いつ、どこで、誰が、何のために、どういう規模で、どのような調査を実施したか」をできる限り網羅的にリストアップし紹介。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/exacts/index.html>

### ■ 日本地質図データベース

産総研で発行している百万分の一の数値地質図のCD-ROM版の一部をイメージとして紹介。日本列島の最新の地質概要が解ります。

[http://www.aist.go.jp/RIODB/geolmap/geomap\\_j.html](http://www.aist.go.jp/RIODB/geolmap/geomap_j.html)

### ■ 日本地質文献データベース

地質調査情報部で収集した、日本及び日本周辺海域に関する地球科学及び地下資源に関する文献のDB。日本人著者によるこの分野の文献も含まれます。

[http://www.aist.go.jp/RIODB/cgi-db011/DB011\\_top.cgi](http://www.aist.go.jp/RIODB/cgi-db011/DB011_top.cgi)

### ■ 世界地質図データベース

地質調査情報部で収集した、主に外国地質図の所蔵を検索するDB。

<http://www.aist.go.jp/RIODB/g-mapi/index.html>

### ●地質調査総合センター (<http://www.gsj.jp/HomePageJP.html>)

地質調査総合センター(Geological Survey of Japan)とは、産総研の研究ユニットのうち、主として旧地質調査所の研究業務を継承する5研究実施部門、2地質調査連携研究体、3研究関連部署から構成される「地質の調査」に関連するユニットの総称です。それぞれのユニットは独自のミッションを持ち、自ら掲げる目標を達成するための活動を行う一方、地質調査総合センターのもとで、「地質の調査」分野の連携による質の高い研究開発、内外の関連組織との連携強化や研究成果の効果的な発信、地質災害発生時における緊急調査の実施等を目的とした企画と調整を行っています。