

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するためには、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

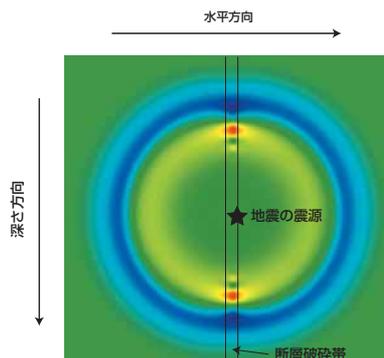
し、実際に観測された波形と同じ波形になる破碎帯のモデルを探していきます。

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。

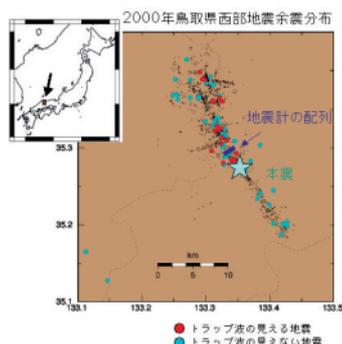
地震発生予測精度向上に向けて

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こと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。

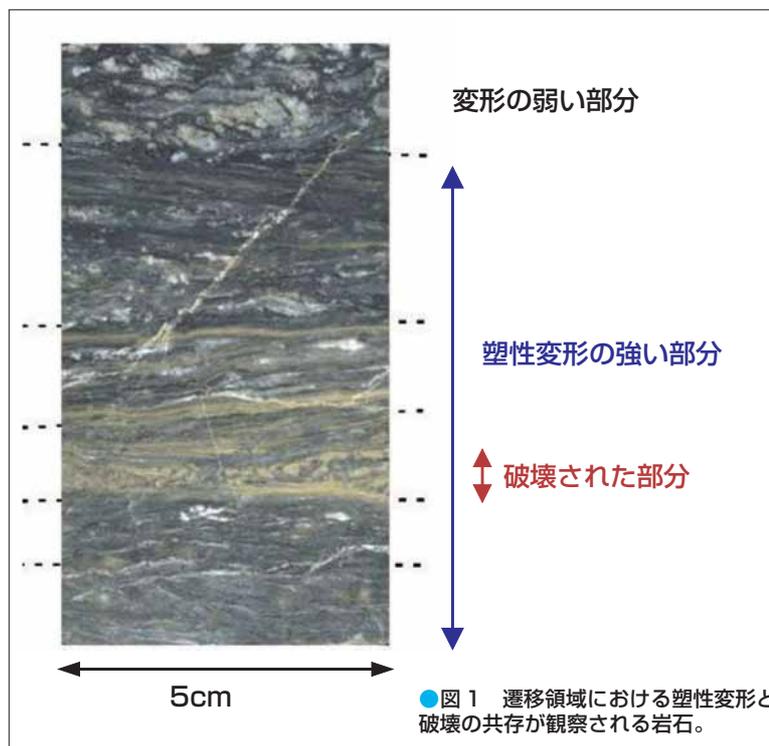
る昼曾根地域では、250~300℃前後で変形したと考えられる、マイロナイトがかなり広く分布します。変形の程度は不均質で、10mほどの間隔で塑性変形の強弱を繰り返します。塑性変形の強い部分には1mに1~2本程度の変形集中帯が見られ、大きいものは延長数10m以上、厚さも数10cm以上あるのに対し、小さなものは数m程度の長さしかなく厚さも数mm未満しかありません。変形集中帯の中心部は図1の写真のように破壊を伴うことが多く、破壊と塑性変形の重複が見られることから、まさに脆性-塑性の移り変わる領域で変形していることを示唆しています。

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。