

余震と活断層

東北地方太平洋沖地震から3年



工学博士 **西尾 宣明**
元・東京ガス(株) 基礎技術研究所

地震のマグニチュードって？

与太郎 大家さん、この3月11日で東日本大震災から丸3年経ちましたね。でも、まだ時々結構大きな余震がありますね。余震っていつまで続くんでしょう。

大家 地震学者は3年ぐらいは続くと言っていますね。もっとも、3年で全部終わるというわけではないとも言っています。

私もそう思います。マグニチュード9という巨大地震ですからね。

与太郎 大きい地震だから余震も大きくて、沢山起きるんですね。

大家 そういうことですね。しかし、もうマグニチュード7クラス以上の余震は起きにくいと思いますね。

もっと小さいのはまだまだ起きるでしょうが、大した被害はないと思います。

与太郎 でも、マグニチュード6とか5って言ったら結構大きな地震なんじゃないんですか？

大家 マグニチュードというのは地震のエネルギーそのものではなく、その対数を取ったものです。

マグニチュード7と6ではあんまり変わらないと思ったら大間違いです。

与太郎 ふうーん。そうなんだ。

大家 お金をゼロの数で表すなどと言うのは対数の

一つの例になるでしょう。1円はゼロですね。10円は1、100円は2という風にね。

与太郎 そうするとお金のマグニチュード9は、えーと、10億円で、マグニチュード7は1千万円か。ずいぶん違うんだ。

大家 地震の場合は、マグニチュードが1だけ違うとエネルギーの大きさは32倍も違います。2違うと $32 \times 32 = 1,024$ 倍で、お金の時よりも違いが大きいです。

与太郎 そうなんだ。

大家 モーメントマグニチュード (Mw) の考えを提案した金森博士に従えば、エネルギーは地震が起きた場所の地盤と言うか岩盤と言うか、その部分の強さ (μ (ミュー) で表す) と、地震断層がずれた平均の距離 (Dで表す) と、震源断層の面積 (Sで表す)、その三つのものを掛け合わせて求められます。

3.11地震の震源は南北500km、東西200kmぐらいとされていますから、面積Sは $100,000 \text{ km}^2$ (10万平方キロ) ということになります。

これを基準に取って、もし岩石の固さ μ と断層のずれDが同じとすれば、マグニチュード8では10万の32分の1で断層面積Sは約3,100平方キロ、これを正方形で表すと一辺の長さが56キロメートルということになります。

与太郎 へえー。マグニチュード9に比べるとずいぶ

ん小さくなるんですね。

マグニチュード8っていうと大体関東大震災の時とおんなじぐらいじゃなかったっけ。

大 家 そうですね。

関東大震災のときの地震断層の面積は、3.11地震の13分の1程度の8,000平方キロぐらいだと思います。正方形にすると一辺約90キロメートル。

実際には南北が相模湾から東京の南部にかけての約70キロ、東西が小田原辺りから房総半島にかけての約120キロと言ったところです。

与太郎 ええっ？ どうして32分の1じゃないんですか？

大 家 それは3.11地震の時の断層のずれがこれまで経験した地震よりもうんと大きいからです。

つまり、ずれの大きさDが平均して10から20メートルと言われています。

それに対して、関東地震を含むこれまでの日本の地震では5メートル前後、大きくても10メートル程度のことが多いんですね。そこで、関東地震のときの断層のずれを3.11地震の40%、つまり2.5分の1とすれば、断層面積の方を13分の1にすれば $2.5 \times 13 = 32.5$ で、約32分の1ということになるわけです。

与太郎 そうか。面積が大きくてもずれが小さければマグニチュードは同じになるんだ。

大 家 そこで、関東地震級のマグニチュード8で断層面積8,000平方キロの地震を基準に断層面積の目安を計算すると、マグニチュード7で250平方キロになります。

阪神淡路大震災の地震の断層面積が深さ10キロ長さ30キロとすれば面積は300平方キロで、目安の値に近いでしょう？

与太郎 本当だ。そうやって断層面積の見当がつくんだ。250平方キロを32で割ればマグニチュード6では7.8平方キロか。あんまり大きくないですね。

大 家 3キロ×3キロ程度ですからごく狭い範囲にしか影響は及ばないですね。

震源がうんと浅ければ、その真上では震度6や7というようなことも全くないとは言えませんがね。

与太郎 そうなんだ。震度の大きさは震源の深さも考えないといけないんだ。

ついでにマグニチュード5では、7.8を32で割って0.24平方キロか。これってどのぐらいの大きさですかね。

大 家 その平方根を取って、0.49キロ。約500メートル角といったところですね。

ついでにマグニチュード4は約130メートル角になります。

与太郎 へえー！ ずいぶん小さいんだ。

マグニチュード7の地震を鯰1匹とするとさしずめ6はどじょう1匹、5はメダカ、4はミジンコっていう感じですね。そうすると8は鯉、9は魚の王様のマグロってことですね。

大 家 なかなか面白い例えですね。

与太郎 マグニチュード5よりも小さい余震は食べ物にもならないって言うことですよ。

大 家 なるほど。これは座布団2枚は上げなくちゃ。

地震の原理——圧縮ひずみの蓄積と解放

与太郎 ところで、余震ってどんな風にして起きるんですか？

大 家 そうですね。一口で言うのは難しいけれども——その前に地震の権威者がどんなことを言っているかを紹介しますね。

これは東京大学の地震予知研究センター長のH教授があるところで講演した話の引用です。

この先生は首都直下地震の確率を発表して世間に衝撃を与えた方です。

「余震がどうして起きるのは、地震学的に必ずしも詳細は理解されていません。しかし、基本的には、本震で50メートルも大きくずれて地殻の中にひずみがたまることによって、『応力の再配分』と言いますが、大きくずれることによって周辺に生じたしわよせを解消するための地震がたくさん起きるのが、余震の理由です」

この中で問題なのは「本震でプレートが大きくずれたために地殻の中にひずみが溜る」と言っていることです。

与太郎 ちょっと待って下さい。大家さんはさっき「地震断層が動いた距離」を10メートルから20メートルって言ったでしょう？ H先生が50メートルって言ったのと違うけど？

大 家 確かに、牡鹿半島の東の日本海溝の辺りでは北米プレートの先端が50メートルぐらい移動しまし

た。しかし、地震断層の一番西の端ではプレート同士は相対的に移動していません。すると、単純に50とゼロを平均すれば25メートルということになります。

しかし、もっと南の方や北の方ではそれほど大きくはずれていないようです。そして、10万平方キロ全体の平均としては10メートルから20メートルとされているようです。

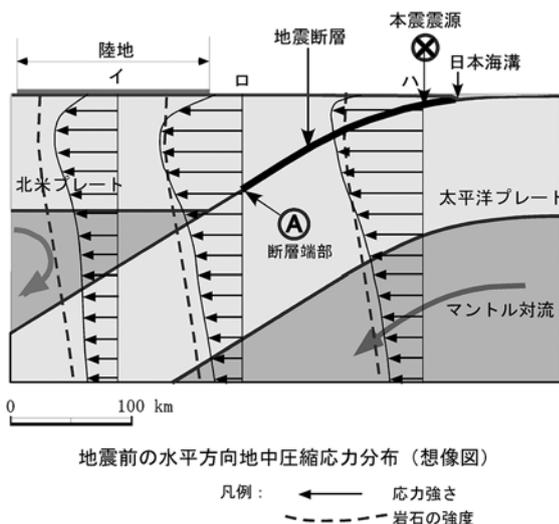
与太郎 ああ、そういうことか。

大家 話を戻して、正しくは「地殻——と言うよりプレートの方が正しいと思いますが——そのプレートの中に溜っていたひずみが岩盤の破壊によって解放されるのが地震である」ということです。H先生の言い方では「岩盤が破壊することによってひずみが溜る」と言っているようなものですから、それはとんでもないことです。

応力の再配分——ひずみと言っても同じことですが——その再配分が起きていることは確かですがね。

与太郎 大家さんが前から言っていた圧縮ひずみのことですね(本誌76号, 2011年7月「地震のイロハ: プレート跳ね返り説の誤り」などを参照)。

大家 そうです。太平洋プレートと北米プレートが押し合うことによって、双方のプレートやマントルの中には図のような圧縮応力が生じていると考えられます。



与太郎 難しそうな図だなあ。左向きの矢印(←)が圧縮応力ですね。

それが深くなるほど小さくなるのはどうしてですか?

大家 深くなるほど温度が高くなるので、岩石の硬

さが減少するからです。マントルの一番上の辺り、プレートのすぐ下と言っても良いですがね、その辺りで温度は500℃から800℃と推測されています。鉄をそれだけに熱すると、強度がうんと落ちる温度です。

一方で、深いほど岩石やマントルに加わる圧力が大きいので、硬さや強度が増加するという効果があります。そのため、それほど急激には減少しませんがね。

これは材料力学の常識をもとにして私が考えたことで、ここまで考えている地震学者がいるかどうかは分かりません。

大学紛争時代にアメリカに頭脳流出された金森博士なら分かって下さると思います。

与太郎 そうですか。

で、応力が岩盤の強さよりも大きいところからプレートが壊れて地震になるんですね。

大家 そうです。応力に比べて岩盤が弱いところから壊れると言っても同じですがね。

与太郎 その弱いところが太平洋プレートと北米プレートの境界ってことですか?

大家 そうです。前にも話したことがあります。圧縮応力の場合でも引張り応力の場合でも、物が壊れるのはせん断応力によるんです。

せん断応力は引張りや圧縮の方向から45°の方向で最大になります。その最大せん断応力に近い方向にせん断強さの弱いところがあると、物はそこからせん断破壊します。つまり、すべり破壊です。地殻やプレートに断層ができるのと同じ形ですね。

与太郎 と言うことは、この図のハと書いたところでは応力の方がプレートの強さよりも大きいから、このところではそういう破壊が起きるって言うことですね?

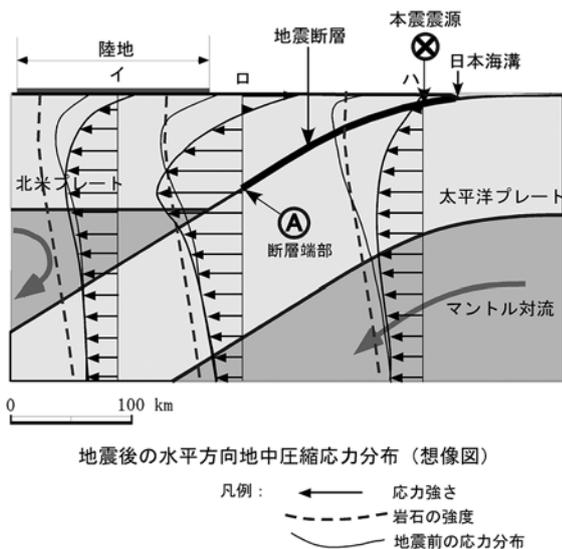
大家 そうです。この図では日本海溝から震源断層の西の端の「A」と書いた辺りの深さまで、応力がプレートの強さを上回っているように描きました。つまり、Aから右上の日本海溝までの範囲で断層、つまりプレートの境界面が滑ってマグニチュード9の地震になったということです。

与太郎 そういことですか。

で、余震はどうなんですか?

余震のからくり

大家 まあ、そう急かないで。順番に説明しますから。次の図はマグニチュード9の地震が起きたことによってプレートの中の応力の分布がどんな風になるかを示したものです。



プレートの中の応力はどこを見ても大幅に小さくなっています。だから、700年とか1,000年かけて、地震の前のような応力分布になるまで、マグニチュード9の地震は起きないと言っても良いでしょう。

問題の余震ですが、A点の所ではプレートは滑っていないために応力は解放されません。それどころか、滑ろうとするプレートを食い止めているため、むしろこの付近では応力が大きくなってプレートの強さを上回ることも起きるでしょう。

このような所で余震は頻繁に起きることになります。**与太郎** それってかなり深い所で起きる地震ですね。

でも、テレビなんか見ていると深さ10キロぐらいの浅い余震も結構起きてるようですね。

そんな所で正断層の地震が起きると、何か恐ろしいことが起きたように「正断層！正断層！」って騒いでいるようだけど。

大家 両方の図の口と書いた場所では地震の前から浅い所の圧縮応力がかなり低くなっていますね。そこで地震が起きて圧縮応力が全体的に低下すると、地表面に近い所では引張り応力になる所も現れます。

与太郎 矢印が右向きになってる所ですね。地表面で圧縮応力が小さくなるのはどうしてなんですか？

大家 ちょっと専門的になりますが、地表面に近い岩盤には水平方向の力がかかっても上下方向の力がかかっていません。それを「平面応力状態」と言いますが、その状態では物は比較的変形しやすいんです。

それに比べて、地中の深い所では自分の重さのために垂直方向にもものすごい圧力がかかっています。こういうのを「三軸応力状態」と言いますが、物は変形しにくくなります。

それで、表面近くでは長い地球の歴史の間に褶曲したり造山活動があったり、もちろん、地震で断層ができたりと変形を繰り返して、応力はかなり解放されています。それが圧縮応力を小さく描いた理由です。

与太郎 ふーん。難しくてよく分かんないけど、変形すると応力が解放されるって言うのは納得ですね。

大家 何となく分かってくれば良いですよ。

ところで、岩石はコンクリートと同じように、圧縮応力には強いけれども引張り応力にはうんと弱いですから、引張り応力の場所では正断層のすべり破壊が起きることも多くなると思います。

そのことを裏付けるものとして、ウィキペディア (Wikipedia) に載っていた気象庁のデータから、M7.0以上または最大震度5弱以上の余震を調べて見ました (2013年3月現在のデータ)。

その中から断層の型が分かっている余震だけを取り出して、震源の深さで分類してみました。これを見ると、逆断層の地震が23件、正断層の地震が21件です。

実は、例のアウトターライズの正断層と大騒ぎされた2012年12月7日の地震は震源深さが56キロと修正されています。すると、あの地震はアウトターライズ地震でも正断層でもありません。しかし、この表では私は深さ10キロの正断層に数えて置きましたがね。

断層別 深さ km	逆断層					正断層				
	内陸	スラブ	海溝	海洋	小計	内陸	スラブ	海溝	海洋	小計
0~9					0	※1 13				13
10~19	1		1		2	※2 2	※3 1		※4 2	5
20~29	1				1	1				1
30~39			3		3	1	※3 1			2
40~49			8		8					
50~59		3	4		7					
60~		2			2					
合計	2	5	16		23	17	2		2	21

※1：13件のうち9件は福島県浜通で起きた同一断層系のものと考えられる。

※2：2件のうち1件は上に同じ。

※3：位置は特定されていないが、仮に「スラブ内」に分類した。

※4：この中の1件が2012年12月7日の「アウトターライズ」とされた余震

東北地方太平洋沖地震の余震の断層別および深さ別分類

与太郎 この表でスラブとか海溝っていうのはどんな意味ですか？

大 家 海溝というのは本震の地震断層の中で起きたと言うことですね。本震のときに応力が十分解放されずに残った所と見れば良いでしょうね。

スラブは北米プレートの日本海溝と陸地の間の部分と考えれば良いと思います。

与太郎 テレビなんかでは学者さんが「東北地方全体が東に引っ張られた」って言うけど、余震がみんな正断層って言うわけじゃないんですね。

大 家 そのことは一つの問題ですね。ほら、この表に書いておきましたが、正断層の余震のうちの10件は福島県浜通の内陸部で起きたものです。震源の深さも10キロメートル前後と、とても浅いところで起きた地震です。

これはどうやら双葉断層という一つの断層で小出しにエネルギーが解放されたもので、纏めて1件と数えても良いようなものだと思います。

与太郎 そうなんですか。そうすると、実際にはやっぱり逆断層の地震の方がずっと多いって言うわけですね。

大 家 そういうことです。「プレートが東の方に引っ張られたから正断層の余震が起きた」と、実に幼稚なことを言っていた先生は反省してもらいたいですね。

東に引っ張られたように見えますが、本当は圧縮応力で西の方に縮められていたプレートが、地震で応力が解放されたため、元に戻っただけのことです。



大地震に引っ張られて正断層の余震が活発に？

その証拠の一つとして、震源の深さで余震を分けてみました。そうすると、とても面白い傾向があるのが

与太郎さんにも分かるでしょう？

与太郎 えーと。あっ。逆断層の余震は大部分が30キロ以上の深いところで起きて、逆に正断層のはそれより浅いところの多いですね。

さっきの図で大家さんが説明してくれた通りなんだ。

活断層は活動するか？

大 家 今日は活断層の話もしようと思いましたが、もう遅いからまたの機会にしますね。

ただ、一つだけ言っておきますが、活断層が自分から勝手に活動することは絶対にないということです。

活断層というのは、例えて言えば冬に肌が乾燥してくるとできやすい踵のアカギレみたいな物です。暖かくなって直ったと思っても、また冬が来ると同じ場所にアカギレができるようなものです。

活断層も壊れ癖がついた地殻の中のアカギレみたいなもので、プレートの中にひずみが溜ってくるとそこでまた壊れやすいというだけのことです。

与太郎 あっ、そうか。大家さんはさっき「1,000年かけて、地震の前のような応力分布になるまで、マグニチュード9の地震は起きない」と言ってしたね。

その地震はいつでもさっきの図の地震断層と同じ所で起きるんだ。

大 家 そう。プレート境界ですね。

与太郎 そのプレート境界は活断層の大親分って言うわけだ。

大 家 そうそう。まさに大親分ですね。

日本にはその他にも南海や東南海などフィリピンプレートと北米プレートやユーラシアプレートの境界部に親分級の活断層があります。

その他、内陸部には2,000以上の子分の活断層がありますが、「東北地方太平洋沖地震に刺激されて活断層が活発化する」などと活断層を擬人化したような言い方をするのは科学者にあるまじきことです。

「プレートのぶつかり合いで、日本の地殻やプレートにはどのような応力分布が生じるのか」とか「東北地方の地震の結果、日本のまわりのプレートの応力分布がどのように変化したか」という、もっと基礎的なことを研究し、議論するのでもなければ、正しい地震対策には繋がらないと思います。