知って得する　身近な・Science

地震のイロハ：プレート跳ね返り説の誤り

工学博士　**西尾　宣明**
元・東京ガス㈱ 基礎技術研究所

3月11日の東日本大震災で亡くなられた多くの方々に慎んで哀悼の意を表しますとともに，被災された皆様の生活が一日も早く再興されることを祈って止みません。

私の兄弟の家族は幸い直接の被害を免れましたが，故郷の浪江町は福島第一原発の事故のために人が住めない土地になり，避難の生活を余儀なくされています。「兎追いし彼の山‥‥」と唄うことが虚しい土地にならぬことをただ祈るばかりです。

こんな事態の中でも，ガリレオ爺さんにはテレビに出て来る学者や専門家の発言には気に障ることが多く，相変わらず与太郎さん相手にうっぷんを晴らしています。

プレート跳ね返り説

大　家　与太郎さん。今度の地震では地震学者達がテレビに出てきて間違ったことをいろいろと話すので，私はイライラのし通しですよ。

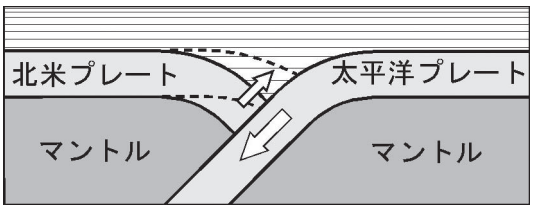
与太郎　大家さんはテレビを見ながらぶつぶつ言ってることがよくあるから，よっぽど気に入らないことがあるのかなあって思ってましたよ。

一番気になるのはどんなことですか？

大　家　色々ありますが，まずは地震のイロハですね。地震はどうして起きるかということです。

与太郎さんもテレビで観たことがあると思いますが，例のI.Aさんも含めて，いろんな人がこんな絵を使って説明しているでしょう？

そもそもこの絵が大きな間違いなんですよ。



プレート跳ね返り説

与太郎　本当ですか？今度の地震でもよく出てきますけど‥‥。

大　家　地震学者本人達がこれで正しいと思っているから始末に負えません。余震や内陸地震の説明にもこの絵を使うから，ますますおかしくなるんですね。

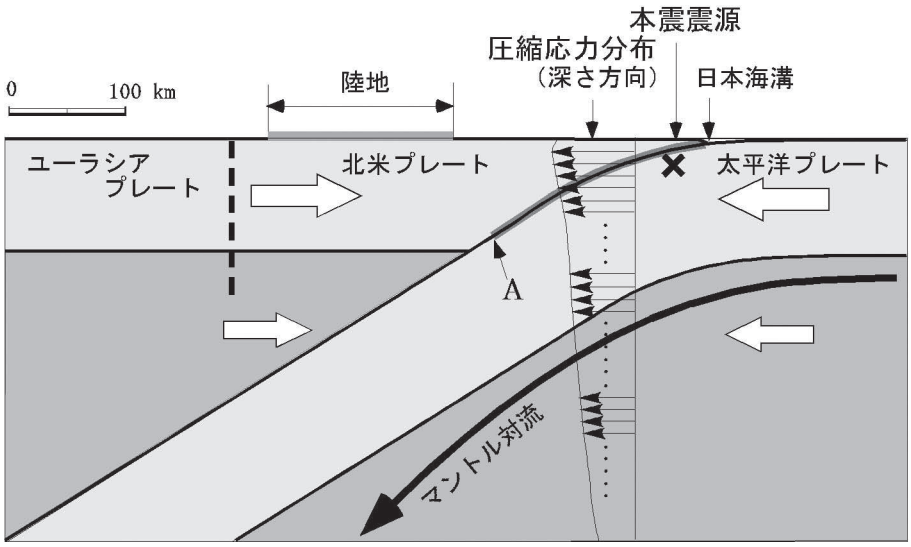
与太郎　でも，凄く分かりやすいような気がするけど‥‥。

大　家　分かりやすいから正しいというわけには行きません。素人が分かるようなことだったら何も専門家が一生懸命研究することはありません。

私がこれから説明することも結構難しくなります

が，「正しさ」のほうが何よりも大事ですからね。

さて，私ならばこんな絵から始めますね。これは東北地方をほぼ東西の線――宮城県の石巻市と山形県の鶴岡市を結ぶような線で切った時のプレートの断面図です。縦横の比率は1：1です。



東北地方のプレート

プレートの厚さはプレートテクトニクスの定説に従って，一応100キロメートルとします。プレートの下はマントルです。太平洋プレートが北米プレートの下に潜り込む形は，ここで起きているプレート境界地震の分布を参考にして描きましたが，多少の誤差はあると思います。しかし，それは話の大筋には影響しないと思います。

与太郎さん。これを見てどう思いますか？

与太郎　これに似た絵を前に見せてもらったような気がするなあ。いつだっけ。

大　家　それはだいぶ前に津波の話をしたときのことじゃないですか？（にしお金蔵著，文芸社刊「ガリレオ爺さんと与太郎さんの○×△□（おもしろ）科学談義」の『つ・な・み』の項を参照）

与太郎　そうそう。思い出しました。

これだと太平洋や日本海溝なんかそんなに深くないんですね。さっきの絵とは大分違うなあ。北米プレートが太平洋プレートに引きずられて，それから跳ね返るんでしょう？実際はどのぐらい跳ね返るんですか？

大　家　跳ね返るという言い方は正しくないけれども，二つのプレートがずれる距離は普通は数メートル。今度の地震では10から20メートルぐらいずれたと言われてますね。東北大学の調査では，牡鹿半島のずっと東の海底が30メートル以上東に動いたと報告されています。

与太郎　しかし，その程度じゃこの絵には描けませんね。牛の絵を描いて，それにたかった蚤も描けって言うようなもんですね。それに比べれば，さっきの絵だと50キロぐらい跳ね返ることになりますね。

大　家　うまいことを言いますね。本当にその通りなんですよ。

この図を見れば，北米プレートが跳ね返り説の絵のように曲がることなんかできようがないことが分かるでしょう？しかも，プレートはマントルとも一体になっていますからね。

そもそもプレートというのは地球の表面の地殻と呼ばれる部分とマントルの一番上の部分が合体した岩石圏なんです。そのプレートが跳ね返るということはその下のマントルも一緒に跳ね返るということです。跳ね返る距離がたとえ10メートルでも日本が沈没しかねない超巨大地震が起きることになります。

与太郎　でも，マントルは対流してるっていうから液体なんじゃないですか？液体ならプレートが跳ね返ってもあんまり邪魔をしないんじゃないですか？

大　家　そう思う人は多いかもしれませんね。しかし，マントルは立派な固体です。

厚さ100キロメートルぐらいのプレートが，高温の，対流するマントルに乗って動くとされていますが，流れるマントルも立派な固体です。それはマントルがS波と呼ばれるせん断変形の波――くだけて言えば横波ですね――それを伝えることから分かります。もし液体ならば，P波と呼ばれる縦波しか伝えられません。空気は音波という縦波は伝えますが横波は駄目です。魚群探知機が出すのは縦波です。蛇がくねくねと横に曲がるような横波は水のような液体を通りません。

与太郎　じゃあ，どうしてマントルは対流するんですか？

マントルは氷河に似ている

大　家　与太郎さんは氷河を知ってますね。あれは文字通り氷が流れる川なんです。氷って固体ですよね。

与太郎　そうですね。じゃあ，固体の氷がどうして流れるんですか？

大　家　たとえば，ごく普通の軟鋼と呼ばれる鋼材は1平方センチの断面に2,500キログラム程度の引張り応力を加えると破断しますが，温度を上げると，それよりずっと小さい応力でも長い間加え続ければじわじわと変形が進行して，やがて破断するということが起きます。これをクリープ現象と言いますが，氷などでは鋼材よりもずっと低い応力でクリープが起きます。氷河の場合は自分の重さによってクリープ変形して，じわじわと低い方に向かって流れて行きます。

与太郎　ふうーん。そうなんだ。

大　家　高速度写真の反対に，たとえば1日とか10日に1回シャッターを切って，ひと月とか半年が1秒になるような速さで映写すると，氷河は普通の水の流れと同じように見えるんですよ。

そんな風に，時間の尺度を変えると固体も液体のように見えるんです。

与太郎　それで，マントルの場合はどうなんですか？

大　家　マントルは岩石からできていますが，深くなるととても高温になりますから，やはり一種のクリープ現象が起きます。そして，地球の内部の熱分布の不均衡によると思いますが，大規模な対流があちこちに起きています。

対流と言っても氷河の流れなどとは比べ物にならないほどゆっくりしたものですがね。

与太郎　どのぐらい遅いんですか？

大　家　そうですね。太平洋プレートの場合だと1年に5センチから10センチという速さでマントル対流と一体になって日本列島に押し寄せているんです。

与太郎　それじゃあ，日本に向かって10メートル押し寄せるのにも100年以上はかかるんだ。1,000年でも100メートルか。

1,000年に1回シャッターを切って，1万年が1秒ぐらいになるように速く回せば，何とか流れているように見えますかね。

大　家　シャッターを切るのは1万年に1回ぐらいにして，10万年を1秒ぐらいにしないとあまり動いているようには見えないでしょうね。それでも1秒に10キロぐらいなものだから，太平洋を1万キロ横断して日本に流れ着くのには1,000秒，ざっと10分から20分もかかるように見えるでしょうね。

与太郎　そうなんだ。

たしかに，そういうことを聞いてからこの絵（プレート間の応力分布）を見ると，プレートが最初の絵のように曲げられて，跳ね返るっていうのはありえないっていうのが納得できますね。

断層はせん断応力でずれる

与太郎　プレート跳ね返り説がいい加減だとすると，地震の原因って一体どういうものなんですか？

大　家　それは別に難しい話ではありません。プレート同士が押し合う力によるんです。間違えてはいけないのは，マントルがプレート同士を押し合わせていると言うことです。ということはその下のマントル同士も押し合っていると言うことです。

もしかしたら，マントル対流が沈み込む動きのために多少は北米プレートがやや下向きに引きずられるような力も受けるかも知れませんが，さっきの図からも分かるように沈み込む角度は非常に浅いものです。だから，その力による水平方向の成分のほうが下向きの成分よりもうんと強いです。だから，二つのプレートが互いに水平方向に押し合うことだけを考えれば十分だと思います。

与太郎　そう言われても，なんだかずいぶん難しそうな話ですね。

大　家　実際には誰もプレートやマントルの中の正確な応力分布を知らないと思いますが，水平方向に押し合う力を考えるだけでも地震のいろいろなことが分かりますよ。

まず，その水平方向の力による圧縮応力が，深さ方向にこの図（プレート間の応力分布）のように分布しているものと考えます。応力は地表面に比較的近いところで最大です。深くなるとマントルが沈んで行く動きのほうが大きくなるので，水平方向の応力は徐々に小さくなって行くと考えられます。

与太郎　それはどうして分かるんですか？

大　家　これまでに起きた地震の震源の分布を見れば，深さ50キロ以下ぐらいまでのところで一番多く

て，深くなるにつれて少なくなっています。とくに，マグニチュードの大きな地震は比較的浅いところに多いですからね。

与太郎　そうか。応力の大きさと関係があるからっていうことですね？

大　家　この一番大きくなっているところの応力が岩盤の圧縮強さを超えると，岩盤の中の一番弱いところを見つけて破壊が始まります。

ほら，前にお話ししたことがあるでしょう？実際には圧縮応力によって生じるせん断応力で破壊するということを（にしお金蔵の前記著書中の『マグニチュードと震度と芋煮』，『斬る，切る，剪る』を参照）。

与太郎　覚えてますよ。刺身を切るとき包丁を引きながら切るのはせん断応力で切ってるんだって言うこと。

大　家　よく覚えてくれましたね。そのせん断応力が最大になるのは圧縮応力の方向から45°傾いた面です。ちょうど45°でなくともその角度の近辺に岩盤の弱いところがあれば，そこからせん断破壊します。

プレートの境界面などは海底の堆積物なども巻き込まれているので，一番弱いでしょうね。活断層と言われるものも前にすべった経験があって，元の岩盤よりもすべりやすくなっていると思います。

与太郎　それで，今度の地震（東日本大震災）ではプレートの境界面がすべったんだ。

応力（ひずみ）が解放されると‥

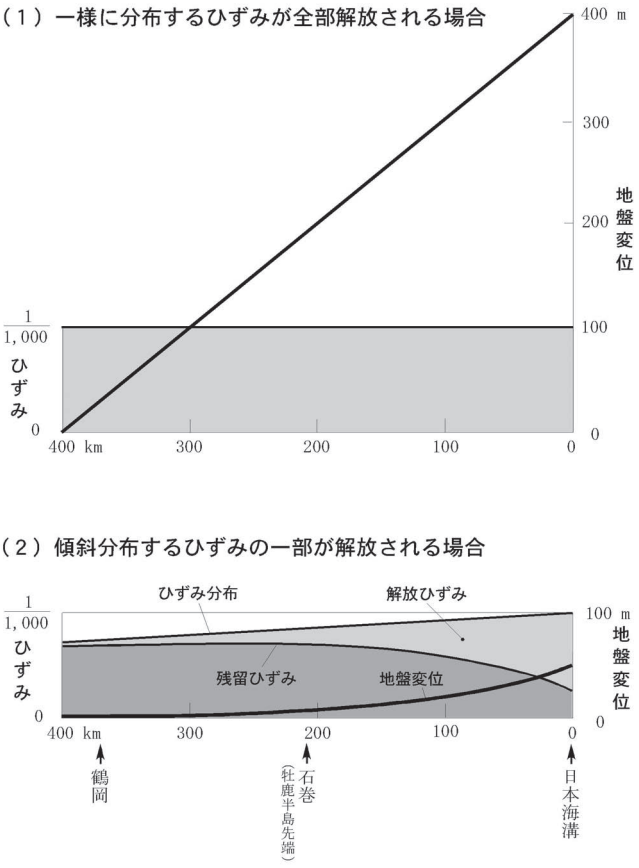
大　家　ところで，岩盤が応力ゼロから圧縮強さを超えるまで圧縮されるとき，その圧縮ひずみは大雑把に言って約千分の一です。岩盤だけではなく鉄などの金属を含む大抵の固体が壊れたり塑性変形する時のひずみは大体その辺です。

与太郎さん。この図（プレート間の応力分布）の点線のところ（おおよそ日本海プレートと北米プレートの境目と考えられる）まで水平方向に，同じ大きさ，同じ形で応力が分布しているものと仮定して，プレートの圧縮ひずみが千分の一としたら，日本列島の下のこの部分の圧縮量がどのぐらいの大きさになるか分かりますか？

与太郎　ええっ？急にそんなこと聞かれたって‥‥。

大　家　そうですね。この震源と書いたところから，点線のところまで，約400キロぐらいですかね。それの千分の一は約400メートルということになりますね。つまり，400メートルほどプレートは圧縮されていることになります。

この圧縮ひずみが地震によって100%解放されたら，北米プレートの東の端，震源と書いたあたりのプレートは400メートルも東の方に移動することになります。（下図の（1））



ひずみの解放と地盤変位

与太郎　へえー！そんなに動くんですか？

大　家　実際には400キロメートルにわたって千分の一のひずみを受けることはないでしょう。フィリピンプレートとかほかのプレートの動きとの兼ね合いなどもあって，太平洋プレートの影響がもろに日本海まで及ぶことはないと思います。

ひずみの分布が図の（2）のようになっていて，ひずみも100％は解放されないだろうと考えると地盤の変位は大分少なくなります。この図では日本海溝のところで50メートルぐらいになるように描いていますが，実際とずいぶん近いんじゃないかと思いますよ。

与太郎　それでも凄いんだ。でも，実際はそんなに動

かなかったんでしょう？

大　家　今回の地震での断層のずれは大きいところで10から20メートルと言われています。これは前の図の地震断層（太い薄墨の線で示した）の真ん中近くでの値と思います。そう考えるとこの図はかなり実際に近いと思いますよ。

これから分かることは，一つの地震でひずみが全部解放されるということはないということですね。断層の一番東の端ではほとんど解放されるんでしょうが，西に向かうとひずみの大部分はそのまま残るし，断層でひずみが解放されたために圧縮応力の分布が変わって，日本列島の内陸部とかプレートの深いところでは応力が大きくなったりするかも知れませんね。

与太郎　あっ，分かった。結構大きなひずみが残ってるから，また100年もするとひずみが溜って，結構大きな地震が起きるんですね。

大　家　そういうことですね。

それから，実際に断層がずれたのはこの図に薄墨の線で描いたように（前出，東北地方のプレート），日本海溝から約200キロメートルの「A」と描いたところまでです。A点から先はずれていないので，ここから先の西の方ではひずみの解放がぐっと抑えられている筈です。

与太郎　あっ，そうか。プレートが全部ずれてるわけじゃないんだ。それじゃあ，プレートが跳ね返るなんていうのは嘘じゃないですか。

大　家　ようやく分かってくれましたね。そういうことです。

ただ，A点から東側がずれたためにA点の周囲の岩盤には応力の皺寄せがあったり，内陸に寄った側の応力の分布の具合もずいぶん変わって来ると思います。それがその後の余震の起き方などに大きく影響していると思いますよ。

与太郎　そうなんだ。プレート跳ね返り説は嘘だったんだ。

月刊推進技術
定期購読のご案内

定期購読料金 **12,000円**（@1,000円/月×12ヶ月　税・送料込）

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO2排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,000円（毎月1冊×12ヶ月　税・送料込）をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

定期購読のお申し込みは
右のQRコード
または本誌ホームページから

http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

お問い合わせ先
月刊推進技術 編集室
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/
〒135-0046　東京都江東区牡丹2-2-3-105　株式会社 LSプランニング内
電話 03-5621-7850　FAX 03-5621-7851　E-mail akasaka@lsweb.co.jp