



ハイチの「大地震」？



工学博士 **西尾 宣明**
元・東京ガス(株) 基礎技術研究所

これはハイチの大震災からまだ1ヶ月も経たない頃に大家さんと与太郎さんが交わした会話です。内容はハイチの地震をきっかけにした一般的な地震のお話で、ハイチの震災などに論評を加えるのが目的ではないことをお断りします。

前置き

与太郎 大家さん。こないだの(1月12日)ハイチの大地震は凄いですね。街が全部滅茶苦茶じゃないですか。被災したのが300万人ですってねえ。亡くなった人も20万人で言うじゃないですか(2月3日のニュース)。家の下敷きになってる人だってまだいるらしいですね。

大家 本当に凄いですね。300万というのは全国民の約3分の1だそうですね。以前から治安も悪くて、政治もうまく行っていなかったようですが、この地震で、国民だけでなく国の各機関も同じように被害を受けたわけでしょう。国としての機能も壊滅に近いんじゃないですか？

与太郎 世界中から救援の人たちが来てますけど、あれじゃあ大変ですね。10日以上経ってから一人救出されたとか言って喜んでますが、瓦礫の下にはまだ沢山の人がいるんですからね。

大家 そうですね。病院も崩れて薬も満足にないし、援助の食料がトラックごと強奪されたり、問題だらけの中ですから救援の人たちも大変ですね。

与太郎 日本からも医師団が応援に行ってきましたね。自衛隊の救援部隊がようやく派遣されるようですが。

直下型？

与太郎 ところで、大家さん。この大地震はハイチの首都——ポル…何とかって言ったっけ。

大家 ポルトープランス。

与太郎 そうそう。そのポルトープランスの直下型地震なんでしょう？それで被害も大きかったんでしょう？

大家 そういうことだけれども——与太郎さん、その「直下型」という言葉は止めてほしいですね。理屈っぽくて申し訳ないけれども…。

与太郎 ええ？どうしてですか？

大家 「直下型」というときには「直下地震」と、そうではない、例えば遠方の地震とか震源がうんと深い地震があるということを前提にしているわけです。しかも、そういう地震でも直下地震と同じような揺れとか被害の特徴を示す時には、それを直下型地震と言うことができるわけです。逆に直下地震なのにまるで遠方で起きた大地震と同じような——たとえば周期の長い横揺れが観測されて高層ビルなどに被害が集中するというようなことがあれば、それを「遠方型地震」と呼ぶことができるわけです。「型」という言葉にはそういった意味が含まれているわけです。

実際はどうかと言えば、直下地震ではマグニチュードが小さいのに大きな被害を受けることがあります。ただし、その範囲は震源断層の長さの程度で、比較的幅も狭い部分に集中します。しかし、遠方の地震で同じような被害の特徴を示すことはまずないといいでしょ。その逆もあり得ないと思います。つまり、「型」で分類するなど意味がないわけです。

与太郎 ふうーん。そうか。ずいぶん理屈っぽいような気もするけど…。

大 家 科学とか技術というものは「理屈が通る」ということが一番大事なことです。その学問に携わっている学者が意味もなく「直下型」などという言葉を作ってしまうのは大きな問題だと思いますよ。

与太郎 そうということなのか。そこまで考えてるんですね。ガリレオ爺さんは。

ところで、今年の1月17日は神戸の地震からちょうど15年なんですね。あれも直下型——いけねえ、直下地震だったんですよ。

大 家 そうですね。だから、大型というほどの地震ではなかったけれども断層面の真上を中心に大変な被害を受けたわけです。

大地震？

与太郎 あれは結構大きな地震だったんじゃないんですか？

大 家 あの地震は確かM（マグニチュード）7.3だったですね。決して小さな地震ではないけれども、1923年の関東地震のM7.9や近い将来に起きる可能性があると言われている東海地震の想定M8に比べればかなり小さいと思いますよ。

与太郎 マグニチュードって地震のエネルギーのことでしたっけ。

大 家 地震断層によって解放される地殻のひずみエネルギーの対数を取ったものと考えていいですね。ですから、7.3と7.9で0.6しか変わらないように見えるけれども、実際のエネルギーの量にすると大きく違うわけです。

与太郎 実際はどれくらい違うんですか？

大 家 その前に、対数とかマグニチュードというものの性質を説明しますね。

お金の例えで言えば桁数がそれに相当します。たとえば、1億円は8桁（0の数が8）ですからM8です。同様にして百万円はM6です。このようにMが1大きくなる毎に金額は10倍になります。これがお金のマグニチュードです。

与太郎 そうか。マグニチュードが2違えば中身は100倍違うっていうわけだ。地震のマグニチュードもおんなじですか？

大 家 ただの桁数を示すものとは違いますが、中身は似ています。

たとえばMの値が0.1違うときのエネルギーの違いは約1.4倍です。Mが0.2ちがうとエネルギーの違いは $[1.4 \times 1.4 = \text{約}2]$ 、0.4違うとその約2倍の約4倍、0.6違えばそのまた2倍で約8倍、0.8違えば更にその2倍の約16倍、そして1違えば再びその約2倍で約30倍というわけです。

与太郎 ああ、そうなのか。そうすると、神戸の地震と関東地震で0.6違うということはエネルギーにして8倍違うってということですね。

大 家 そうということです。そこで、ハイチの地震ですが、あれはM7とされています。これを兵庫県南部地震と比べるとどのようになりますか？（電卓を渡す）

与太郎 0.3の違いですね。0.1で1.4倍だから0.3だと $1.4 \times 1.4 \times 1.4$ で大体2.74分の1か。へえー。ハイチ大地震って神戸ののに比べるとそんなに大きくないんだ。関東地震だと0.9の差だから1.4を9回掛けて20.66か。ずいぶん違うもんですね。

大 家 そうなんですよ。新聞でもテレビでも全部「ハイチ大地震」と言って騒いでいるでしょう？しかし、地震の規模から言ったらけって「大地震」とは言えないですよ。兵庫県南部地震の場合でも大地震とは誰も言わなかったんですよ。ただし、被害が集中した地域を指して「阪神淡路大震災」と呼んで、地震の大きさと災害の大きさを区別して呼んでいましたね。これが正しい理性的な行き方なんですけど…。関東地震だって「関東大震災」とは言うけれども「関東大地震」とは言いませんからね。

与太郎 そうなのか。ハイチの場合には災害があんまり大きかったので、地震の大きさとごっちゃにしちゃってるんですね。地震は「ハイチ地震」で、災害のほうで「ハイチ大震災」と呼べばいいんだ。

震度を決めるのは

与太郎 ところで大家さん。「震度」っていうのがありますね。あれはマグニチュードとは関係ないんですか？ハイチ地震だとマグニチュードは小さいのに被害は大きいから、震度も大きかったんですか？

大 家 あちらには震度計などは設置されていなかったと思いますから、よく分かりませんね。災害の大きさからは兵庫県南部地震と同じく震度7級と判断されるかも知れませんが、建造物の耐震性がとても低かったようですから震度5強とか震度6弱の震度でも十分崩壊した可能性があると思いますよ。

それから、マグニチュードと震度の関係ですが、これが直接の比例関係にないから面倒なんです。大まかに言えば、震源断層が地表面に近ければマグニチュードに関係なく震度は大きくなります。兵庫県南部地震とか新潟県中越地震などはその例と言えるでしょうね。地震そのものの情報が何も伝わって来ないのですが、ハイチ地震も直下地震で、もし震度計があったとすれば大きな震度を記録したのではないのでしょうか。

与太郎 そうか。震源の近さなんですね。そう言えば、ハイチのすぐ隣のドミニカでしたっけ。あそこは何にも被害がなかったんでしょうね。

大家 そうでしょうね。ハイチ地震のマグニチュードが7と、あまり大きくないですから、地震断層の面積も小さかったと思います。それでドミニカまでは強い地震動が伝わらなかったのだと思いますね。

マグニチュードは断層の面積で決まる？

与太郎 その断層の面積っていうのはマグニチュードと関係があるんですか？

大家 そうなんです。マグニチュードは断層面積によって決まると言ってもいいほどですね。

前にも言ったように、地殻のひずみエネルギーが地殻の破壊によって解放されるのが地震というものです。その破壊というのはある面に沿って地殻がすべる形をとります。つまり、地震断層です。

解放される地殻のひずみエネルギーの値はおおよそ次の式で表されます。

$$\begin{aligned} & \text{〔地殻の剛性率〕} \times \text{〔断層がずれた距離〕} \\ & \times \text{〔地震断層の面積〕} \end{aligned}$$

この式の最初の二つを掛け合わせたものは大まかに言って地殻の破壊強度に対応する単位面積あたりのひずみエネルギーです。これは地殻のなかでは場所によらず大体同じような値と思っていいでしょう。そうすると、地震のエネルギーはおおよそ断層の面積に比例すると考えてよいことになります。

与太郎 つまり、マグニチュードは断層の面積に比例するってことですか？

大家 直接比例ではなくて、断層面積の対数に比例ということになりますね。

与太郎 あ、そうかそうか。対数でしたね。

大家 この考えから、いろんな地震の地震断層の面積を推定することもできますよ。大雑把にですけど

ね。たとえば、兵庫県南部地震のマグニチュードは7.3ですね。そして、関東地震は7.9です。この差0.6はエネルギーにして8倍の違いということでしたね。

ところで、関東地震の地震断層の面積は約 $130 \text{ km} \times 70 \text{ km} = 9,100 \text{ km}^2$ ということが分かっています。これを8で割って、兵庫県南部地震の断層面積は約 $1,100 \text{ km}^2$ と推定されます。

しかし、実際のところこれでは大き過ぎて、私の推定ではおおよそ $30 \text{ km} \times 20 \text{ km} = 600 \text{ km}^2$ ぐらいのものと考えています。

与太郎 それでも合わないですね。2倍ぐらい違うんじゃないですか？

大家 そうですね。しかし、マグニチュードの求め方にはいろんな方法があって、今まで話したのはみんな気象庁マグニチュードというものです。それに対してさっき書いたひずみエネルギーの式はモーメントマグニチュード—— M_w と書きますが——その計算に使われるものです。このマグニチュードは物理的な意味がはっきりしているの、地震学の分野では良く用いられるものです。

このマグニチュードを使うと関東地震は $M_w 7.9$ 、兵庫県南部地震は $M_w 6.9$ です。この差1を使うと兵庫県南部地震のエネルギーは関東地震の約30分の1で断層面積は約 270 km^2 ということになります。もし、ハイチの地震のマグニチュードが $M_w 7$ だとしたら、兵庫県南部地震のほうがハイチよりむしろ小さいことになります。



マグニチュード M は断層面積 (鱈の数) による (鱈の大きさは皆同じ)
 上の図は M が小さい直下地震、
 下はやや深い大規模断層 = M が大 = のイメージ

与太郎 そうなんだ。大家さんが考えた面積の半分ですわね。

大家 さっき、地殻の破壊強度はどこも同じと言いましたが、実際には地表に近いほど弱くなりますから、対応する実際の断層面積はこれよりも大きいと思います。600km²と270km²の間を取って、ざっと400km²ぐらいと推定するのが適当かも知れませんね。縦横の大きさにして幅25km×深さ15kmといったところでしょうか。

与太郎 ちょっと難しかったけど、マグニチュードっていうものが何となく分かってきましたね。断層面積が大きいとマグニチュードが大きくなるんだ。

それで、マグニチュードと震度はどんな関係があるんですか？直下地震だとマグニチュードが小さくても震度は大きくなるっていうのは分かったけど…。



- 2010 ハイチ地震, M7.0 (Mw7.0?)
- ▤ 1995 兵庫県南部地震, M7.3 (Mw6.9)
- ▭ 1923 関東地震, M7.9 (Mw7.9)

地震断層の大きさの比較

関東地震の地震断層面積を基準として、面積が対数Mの真数に比例すると仮定したときの他の地震の断層面積（実線は気象庁Mを基準にしたとき。破線はMwを基準にしたとき）

震度はどうですか？

大家 そうですね。もう一ぺんさっきの式を見てもらって、〔地殻の剛性率〕×〔断層がずれた距離〕は地震断層の単位面積あたりの地震エネルギーでしたね。これはさっき言った理由で、個々の地震毎に大きく変わるものではありません。ということは、断層から同じ距離だけ離れた観測点ではマグニチュードの大きさによらずほぼ同じ地震の強さ、つまり震度を感じることを意味します。

与太郎 でも、断層面積が大きいほど地震も強いんじゃないかと思うんだけど。

大家 ところが、地震断層の破壊というのは断層全体に渡って一気に起きるのではなくて、断層のある一点で生じた破壊が一定の速度で断層全体に広がって行くんです。最初に破壊が生じたところを震央と言います。

つまり、マグニチュードが小さい地震では地震の継続時間が短くて、大きい地震ではそれが長いという差であって、感じる地震の強さはあまり変わらないということなんですわね。

もちろん、断層面積が大きいほど広い範囲で強い地震を感じることは言うまでもありません。つまり、被害も広範囲に渡ります。

与太郎 そういうことか。関東地震では断層面積がうんと広がったから横浜から東京までも激しい地震になったんだ。

大家 そういうことですね。

ついでに同じような例として、2004年のスマトラ地震があります。これは気象庁マグニチュードでM8.8ですから、関東地震に対するエネルギーの比率は約21です。つまり、震源断層の面積が約20倍だったということですね。これは震源域がスマトラ島からタイの西海岸部に及ぶ広い範囲にわたっていたことに対応しています。津波の被害は凄まじかったけれども、地震動による被害はそれほど目立たなかったでしょう？

与太郎 そう言えばそうですね。

いやあー。今までもやもやしてたのが大分すっきりしてきましたよ。

教訓：ガリレオ爺さんの独白

ハイチや兵庫県南部を襲ったような直下地震は、影響する範囲は関東地震のような大マグニチュードの地震よりは狭いけれども、極めて強い地震動を及ぼします。強震の地域が人口密集地であれば凄まじい被害を及ぼす可能性があります。

被害軽減の方策は構造物の耐震性を高めることに尽きます。阪神淡路の場合も古い設計基準で造られた、耐震性の低い家屋等の構造物に被害が集中しました。ハイチでは日本ではあり得ないような低耐震性の建物ばかりでしたから、あの被害は当然と言えば当然です。しかし、何世代にもわたる長い間地震被害を経験していなかったことを考えれば責めることはできません。復興に際して耐震性を高める方策を取り入れて行くことに期待するしかないと思います。