

今後の大震災を考える

纈 纈 一 起

はじめに

ご紹介いただきました纈纈と申します。

私の姓の「纈纈」は、右側の「頁（おおい）」を除きますと、「絞」と「結」という字でできています。「纈纈」とは、ろうけつ染めのような絞り染めの一種です。今はもう技術としては廃れてしまっているようですが、これが纈纈という名前の由来だそうです。

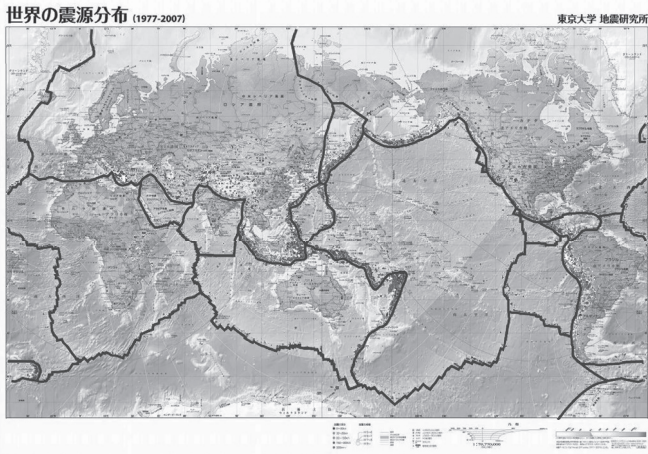
私自身は東京の蒲田の生まれです。父親が岐阜

の電気学校を出て、蒲田の町工場に就職した後に生まれました。東京大学には、一八歳からかれこれ四〇年以上籍を置いています。

今日は、なるべく皆さんのお役に立てるよう
に、「今後の大震災を考える」というテーマでお話します。結論を先に申し上げますと、科学から地震の予測を行うことは非常に難しいということについて詳しく御説明したいと考えています。そして、それではどうしたらよいのかについてお話しし、その上で、その踏まえ方を間違えるとうなるかということについて最後に御紹介したい

図表 1

地震はプレート境界で起きている



と思っています。

一、日本はなぜ地震国なのか？

(地震はプレート境界で起きている)

まず、「日本はなぜ地震国なのか」についてお話しします。

図表1は、世界地図の上に地震の起きた場所を一つずつプロットしたものです。驚かれる方が多いのですが、地震は図の太線上でしか起きていません。一九六〇年代に確立した理論によれば、地球の表面はジグソーパズルのようなプレートと呼ばれる岩盤で覆われており、一個一個のプレートがそれぞれ勝手な方向に動いているため、隣同士のプレートがぶつかり合って、地震が起きると考えられています。

図表2



(四つのプレートに囲まれている日本)

図表2にありますように、日本付近には、フィリピン海プレート、太平洋プレート、ユーラシアプレートと、オホーツクプレートがあります。なお、オホーツクプレートについては、まだいくつかの説があります。

これらの四つのプレートが互いに関係し合っており、プレートとプレートの間には多くの境目があります。先ほど申し上げましたように、地震はプレートの境目で起きますので、プレートの境目が多い日本は、必然的に地震が多くなるという仕組みになっています。

最も影響が大きいのは太平洋プレートで、東から日本列島に向かって年間8cmほど動いています。年間8cmというのは、人間の爪が伸びるぐらいの速さです。フィリピン海プレートは、北西向きに年間5cmほど動いています。

このため、世界の地震の約一〇％は日本付近で起きています。地球の表面に占める日本の領域の割合は約一％ですから、単純計算で、日本では、世界平均の約一〇倍の地震が起きていることになります。数え方にもよりますが、日本では、一日に約三〇〇個、つまり五分に一回ぐらいの頻度で地震が起きています。なお、地震の数は、地震が小さくなるほど指数関数的に増えていきますので、ほとんどは、人間が感じないような小さい地震です。

（日本周辺の震源分布）

日本付近で起きた地震の震源を地図上にプロットしますと、千島海溝（千島列島南岸）北海道南東部）から日本海溝（北海道南東部）房総半島（東部）付近、及び南海トラフ沿い（四国・九州）沖縄）で多くの地震が起きていることを見とるこ

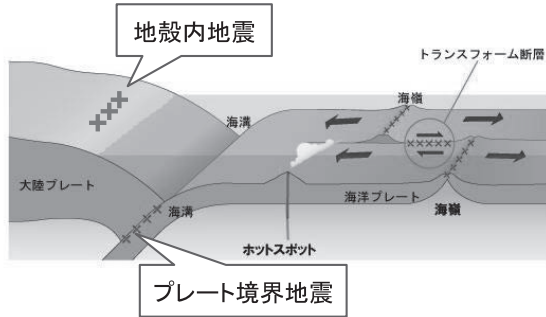
とができます。その中で、特に東北日本に着目しますと、東の沖合では比較的浅いところで地震が起きている一方、日本列島に近づくにつれて、徐々に深いところで地震が起きていることがわかります。

（ひずみゆく日本）

国土交通省の外局として国土地理院があります。国土地理院は、全国の一〇〇〇個以上の地点に高精度のGPSを設置し、GEONETを構築して、常時、地殻の動きを観測しています。GPSによって、それぞれの地点の移動経過がわかります。一九九六年四月から一九九九年二月までの間の地殻変動を四〇万倍に誇張して表したのを見ますと、日本列島は、太平洋プレートとフィリピン海プレートによって、ユーラシア大陸の方にギュッと押しつけられており、ひずみが蓄積され

図表3

日本付近の地震を大別すると



- このほか、海洋プレートの内部で起こるスラブ内地震やアウターライズ地震というタイプがあるが、深かったり遠方であることが多いので、地震動はそれほど大きくない。
- プレート境界・スラブ内・アウターライズ地震を総称して「海溝型地震」と呼ぶ。

ていることがわかります。

（日本付近の地震のタイプ）

以上をまとめて、日本付近ではどのようなメカニズムで地震が起きるのでしょうか。図表3をご覧ください。

冒頭でも申し上げましたように、地震はプレートの境目で起きます。地震が起きているプレート境界が、西に向かってどんどん深くなっているということは、海のプレートが陸のプレートの下の深いところに沈み込んでいることを示しています。プレートの境目でプレートの沈み込みの直接的な影響によって起きる地震を、プレート境界地震と呼んでいます。

なお、地震が起きるのはプレートの境目だけではなくありません。海のプレートが陸のプレートの下に無理に入り込もうとするため、陸のプレート全

体がギュッと押されています。その影響によって陸のプレートでも地震が起きるのです。

地球の内部は、深くなればなるほど高温になり、圧力も高くなります。このため、ある程度深くなりますと地震は起きません。海のプレートが沈み込んでプレート境界地震が起きるのは、沈み込んでいるプレートが冷たいからです。他方、プレートの内部で起きる地震は、比較的浅いところでは起きません。地球の中で最も浅い部分を地殻と呼びますので、このようなタイプの地震を地殻内地震と呼んでいます。

世界のどこで起きる地震も、基本的にはこの二種類のいずれかに分類されます。

（地震の正体）

それでは、地震の正体とは何なのでしょうか。

一九九五年に起きた阪神・淡路大震災や、一八

九一年に起きた濃尾地震（地殻内地震では最大規模と言われています）では、地表に大地の切れ目である断層が現われました。このため、地震と断層の間に関係があるであろうということは、容易に想像していただけると思います。このことは一九六〇年代に理論的に証明されました。地震は、地球内部の断層によって引き起こされるといふ理論が確立したわけです。地殻内地震を引き起こす断層を活断層と呼んでいます。

濃尾地震を引き起こした根尾谷（ねおだに）断層を見ましても、地震から一三〇年近くが経った現在では、一面が草に覆われてわからなくなっています。もし旅先などで風光明媚な崖のようなところがありましたら、それは、もしかしたらかつて大きな地震を引き起こした断層かもしれない。

大阪から下関までの山の中を中国自動車道が

走っています。山の中と言いましても、ある程度平地がなければ高速道路を通すことはできません。山の中の平地のほとんどは、活断層が地震を起こして作ったものです。したがって、中国自動車道は、基本的には地震の巣の中を通り抜けていると言うことができます。大まかに申しますと、日本列島全体が地震で作られたようなものであるとも言えます。地震国であることが日本の国の成り立ちである、このことを受け入れざるを得ないというのが、私ども地震学者の立場です。繰り返しになりますが、地震の大本は断層です。プレート境界地震の場合は、プレートとプレートの境界が断層になっているということですから。

（震災を起こすのは地震動）

今、地震は地中の断層運動であると申し上げま

した。

地震という言葉には二つの意味があります。一つは、大本の断層運動を指す場合です。もう一つは、大本の地震によって引き起こされた地面の揺れを指す場合です。紛らわしいため、地震学者は、地面の揺れの方を地震動と呼んでいます。

実際に震災を引き起こすのが地震か地震動かと言え、それは地震動です。「ゆつくり地震」というタイプの地震ですと、実際には大きい地震でも、地面はそれほど揺れないことがあります。そのような地震は震災にはつながらないわけです。他方、阪神・淡路大震災の被害は全て、直下型地震による一瞬の揺れによって引き起こされました。

（東日本大震災では津波による被害が甚大）

阪神・淡路大震災の地震は陸で起こりましたが

ら、全ての被害は揺れによるものでした。

他方、東日本大震災の場合は、津波による被害が甚大でした。確かに揺れは大きかったのですが、多くの被害は、揺れによるものではなく、津波によるものでした。

（基礎知識一―地震と地震動）

ここで、改めて地震と地震動について説明します。

繰り返になりますが、地震という言葉には二つの意味があり、字面どおり、地面が震える（揺れる）現象を表す場合と、そうした現象の原因となる地中の急激な変動を指す場合があります。私ども研究者は、ほとんどの場合、後者の意味で地震という言葉を使っています。特に前者を表現したい時は、地震動という言葉を使います。

地中の急激な変動とは、先ほど御説明したとお

り、地中の断層と呼ばれる面に沿って急激に岩盤がずれる現象です。急激にずれる原動力は、プレート運動により長年蓄積された岩盤のひずみと考えられており、そのひずみが岩盤の強度の限界に達すると急激に解放されて地震になるということです。

日本付近のプレート運動は沈み込みで特徴づけられ、海のプレートが陸のプレートの下に年間数cmの速度で沈み込むという運動をしています。

（基礎知識二―地震の起こり方）

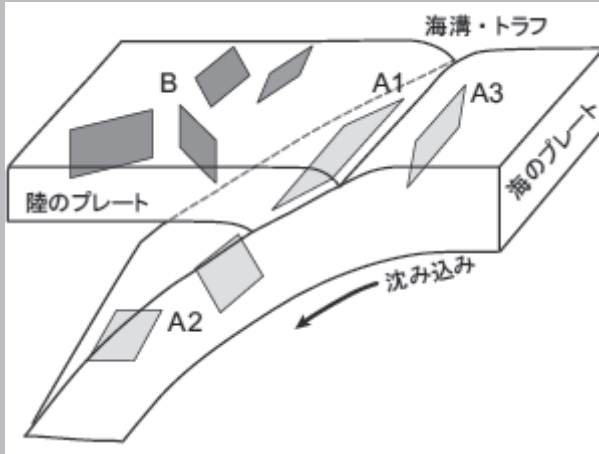
地震の起り方について、図表4を基に説明します。

海のプレートの沈み込みは、第一に、プレート境界という巨大な断層に直接的な影響を与え、プレート境界地震（図中A1）を発生させます。

また、プレート境界近くの海のプレート内部に

図表 4

地震の起こり方



も直接的な影響を与え、スラブ内地震（同A2）やアウターライズ地震（同A3）を発生させます。これらの地震は、一般にプレート境界地震ほど巨大なものにはなりません。このため、海の地震では、主としてプレート境界地震を考慮すればよいことになります。

海のプレートの沈み込みは、次いで、やや離れた陸のプレートの内部にも間接的な影響を与え、地殻内地震（同B）を発生させます。

（基礎知識三ーマグニチュードと震度）

研究者が使っている意味での地震の規模は、マグニチュードで表されます。地震動の強さの指標は、皆さんもよくご存じのように震度です。地震の揺れ、つまり地震動は、震源から周囲に伝わって広がり、それにつれて弱くなりますので、同じ地震でも、震源からの距離によって震度は異なり

ます。一つの地震にマグニチュードは一つしかありませんが、震度は、場所毎にいろいろな値があることになります。

二、科学的な予測には限界がある

（災害と防災）

震災は地震が起こすのではなく、地震動あるいは津波によって引き起こされます。震災を予測するためには、科学のいろいろな方法を使って、震度や津波の高さを予測することが必要になります。しかし、科学的な方法には限界があります。予測が最もうまくいかなかった最近の例として、東日本大震災を挙げることができます。

災害には、大きく分けて、異常な自然現象による災害と、火災や爆発事故などの人為的な原因による災害があります。多くの場合、災害と言いま

すと自然災害の方を指しています。自然災害は人間がコントロールできませんので、天災とも呼ばれます。

起こってしまった自然災害を防止したり減らしたりすることはできませんので、防災は、今後起こる将来の自然災害が対象となります。将来の自然災害に対して対策を立てて防災を実現するためには、その自然災害を引き起こす、異常な自然現象を予測しなければなりません。この予測を通して、科学が防災に関係してくることになります。

（地震の科学の三重苦）

しかし、地震はなにしろ「異常な」自然現象です。それを研究する科学にはいろいろな制約や限界があり、その研究成果も大きな不定性を伴うことが多くなります。「不定性」とは哲学用語で、ばらつき、あるいは不確実性を意味していま

す。

例えば、地震の科学には三重苦とも言えるような大きな制約があります。

第一に、研究対象となる地震は、災害につながるような大地震なら、数十キロから数百キロ規模で非常に大きいため、生物学のような実験ができません。

第二に、そうなりますと、過去に起こった地震のデータを分析して研究するわけですが、大地震は海で起こるものなら数百年に一回程度、陸で起こるものなら数千年に一回程度しか発生しませんので、なかなかデータの蓄積が進まないという現実があります。

第三に、地震の大本は地中の岩盤が破壊する現象ですが、破壊現象は、基本的には確率的な現象と考えられており、科学的、決定論的に研究することには限界があります。例えば、割り箸に力を

加えていった時、いつ割り箸が折れるかは確実に予測できません。したがって、ある程度のばらつきがある中で予測が行われることになりました。

（地震の科学の制約）

このように地震の科学（地震学）は、他の分野、例えば生物学などだけでなく、比較的共通点の多い気象学と比べても、予測に関してなかなか厳しい面があります。

天気予報は、かなり信頼できる予測として皆さんも利用されていると思います。天気現象は、毎日、毎時、毎分あるいは毎秒生じていますので、膨大なデータを急速に蓄積できます。台風は、ややまれな現象ですが、それでも年間数十個のデータを採ることが可能です。それに比べすと、地震の場合、同じ場所で発生するのは、数百年から

数千年に一度しかありません。このため、データの制約が非常に厳しいのです。また、これは気象学とも共通しておりますが、実験ができないという点でも、データの制約が非常に大きいと言えます。

しかし、いったん大地震が起これば、社会に変大きな影響を与えますので、防災のための予測を社会から強く求められています。このため、曖昧さを伴うものであっても、何らかの予測を提供せざるを得ず、それが政府機関や自治体から公表されているわけです。予測がうまくいかない場合も決して少なくありません。

最も典型的な例として、東日本大震災及びその中の福島第一原発事故を題材にして考えてみたいと思います。

（科学的予測の経緯）

科学的な予測の場として、政府に地震調査研究推進本部があり、その下に、文部科学省所管で主に科学者で構成される地震調査委員会が設置されています。その下に、さらに複数の部会があります。その一つとして長期評価部会があります。長期評価部会では、今後、起こりうる地震の発生場所、規模（マグニチュード）、将来的な発生確率について評価を行っています。長期的な視点に立った評価を行いますので、部会の名前に「長期評価」という言葉が付けられています。

東日本大震災の地震が起きた東北地方太平洋沖に關しては、関東地方の茨城県沖なども含め、「三陸沖から房総沖にかけての領域」と呼ばれ、図表5のとおり、これらを八つの領域に分けて、各領域の長期評価が行われていました。

図表5

三陸沖から房総沖にかけての領域



(三陸沖から房総沖にかけての領域の長期評価の結果)

その結果は、図表6のとおりです。

これによりまず、例えば三陸沖北部ですと、地震規模はマグニチュード八・〇前後、地震発生確率は、一〇年以内ではほぼ〇%～〇・五%、五〇年以内では三〇%～五〇%、平均発生間隔は九七年、最新発生時期は四一・六年前となっています。

八つの領域のうち、宮城県沖と三陸沖南部海溝寄りの領域については、二つの領域をまたいだ評価が行われています。他方、その他の領域については、それぞれの領域毎の評価しか行われていません。このことは、地震の研究者は、この地域では基本的にそれぞれの領域毎にしか地震は起きないと考えていたことを示しています。

図表6

三陸沖から房総沖にかけての領域の長期評価の結果

領域または地震名		長期評価で予想した 地震規模 (マグニチュード)	地震発生確率 ^(注1)			地震後 経過率 ^(注2)	平均発生間隔 ^(注3) (上段)	
			10年以内	30年以内	50年以内		最新発生時期 (下段：ポアソン過程を適用 したものを除く)	
三 陸 沖 か ら 房 総 沖 に か け て の 地 震	三 陸 沖 か ら 房 総 沖 の 海 溝 寄 り	津波地震	Mt8.2前後 (Mtは津波の高さから 求める地震の 規模)	7%程度 (2%程度)*	20%程度 (6%程度)*	30%程度 (9%程度)*	—	133.3年程度 *(530年程度)* * () は特定海域での値
		正断層型	8.2前後	1%～2% (0.3%～ 0.6%)*	4%～7% (1%～2%)*	6%～10% (2%～3%)*	—	400年～750年 (1600年～3000年)* * () は特定海域での値
	三陸沖北部		8.0前後	ほぼ0% ～0.5%	0.3%～10%	30%～50%	0.43	約97.0年 41.6年前
		固有地震以外の プレート間 地震	7.1～7.6	60%程度	90%程度	—	—	11.3年程度
	宮城県沖	7.5前後	連動 8.0前後	70%程度	99%	—	0.85	37.1年 31.6年前
		7.7前後		40%程度	80%～90%	90%～98%	1.08	105年程度 112.4年前
	三陸沖南部海溝寄り		7.4前後 (複数の地震 が連続する)	2%程度 以下	7%程度 以下	10%程度 以下	—	400年以上
		福島県沖		0.01%～ 0.8%	90%程度 以上	—	0.08	約21.2年 1.7年前
	茨城県沖		6.7～7.2					

(地震の予測と現実)

長期評価では、基本的には各領域が独立に地震を起こすと考えられていました。

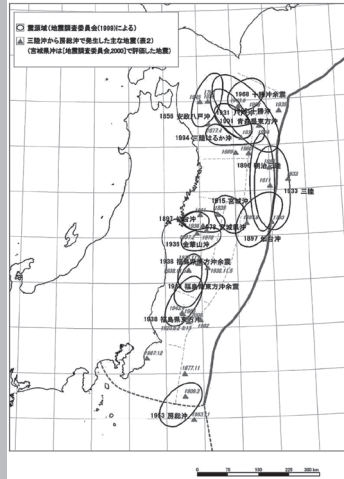
しかし、実際に起こった東日本大震災の地震は、三陸沖中部、宮城県沖、三陸沖南部、福島県沖、茨城県沖、及び三陸沖から房総沖の海溝寄りの六つの領域を震源とするものでした。これらの六つの領域が同時に断層運動を起こすというタイプの地震でした。予測が間違っていたわけですから、当時の阿部勝征地震調査委員長は、「四つの想定領域が連動するとは想定できなかった。地震研究の限界だ」と述べました。ここで四つというのは勘違いで、正しくは六つの領域が連動して地震が起きました。

(なぜこのような予測が行われたのか)

なぜこのような予測が行われたのでしょうか。

図表7

過去に起きた地震データ



先ほども申し上げましたように、地震学では実験ができず、理論的な研究も難しいため、地震の予測も、研究と同じように過去に起こった地震のデータを集めて分析することによって行われます。三陸沖から房総沖にかけての領域の長期評価に関し、収集された過去の地震のデータを見ますと、図表7のとおり、全ての地震はある領域の中でしか起こっていないことがわかります。このようなデータに基づいて、先ほどの長期評価が行われたわけです。

それに加えて、当時、地震研究のトップにいた研究者が、この領域では、分割した小領域ごとに地震が起こり、領域全体で超巨大地震が起きることはないという理論を提唱していました。

データでもそうになっているし、有力な研究者によって提唱されている理論でもそのように言われているということで、多くの研究者がこのような

前提を受け入れていました。その結果、予測ミスが起きることになったわけです。

（福島第一原発事故の原因）

東日本大震災の中の福島第一原発事故について、突っ込んで考えてみたいと思います。

福島第一原発では三系統の非常用電源が用意されていきました。自前の電源として、非常用発電機と蓄電池の二つがあり、三つ目として、他の地域で発電され送電線で送られてくる外部電源がありました。

結果的に、これらの電源は震災で全てだめになりました。しかし、仮にいずれかの電源が生き残ったとしても、例えば、送電線の鉄塔が倒れず無事で外部電源が生き残っていたとしても、そこから電気の供給を受けることはできませんでした。それは、配電盤が津波で海水につかってしま

い、機能を失ってしまったためです。

配電盤は、いろいろな電源から来た電気を必要などころに供給します。配電盤が機能を失いますと、仮に生き残った電源があったとしても、そこから供給される電気を原子炉の冷却装置に送ることができなくなります。その意味で、津波によって配電盤がやられてしまったことが、福島第一原発事故の根本的な原因であると言えます。

福島第一原発事故の要因として、地震動による被害もあったのではないかと言う人もいますが、電源供給の鍵となる配電盤は津波でやられたわけです。から、福島第一原発は基本的には津波でやられたと私自身は考えています。

（津波安全性評価の経緯）

国会事故調査委員会において、津波安全性評価の経緯が詳細に調査され、わかりやすくまとめら

れています。

福島第一原発に関し、地震が発生した場合の津波の安全性について評価が行われてきました。地震調査研究推進本部は、平成一四年七月に三陸沖から房総沖にかけての領域の長期評価の結果を公表しました。それを受けて、東京電力は、平成二〇年六月に福島第一原発において生じうる津波の高さを一五・七mと予測していました。

福島第一原発が建っている敷地の高さは一〇mですから、一五・七mの津波が来たら原発サイトがやられるのは明らかです。予測結果を踏まえて、なぜ東京電力が必要な対策を講じなかったのか、当時の東京電力首脳の問題を問う裁判の争点になっています。

(検討する上で前提となる科学法則)

ここで、科学の観点からこの津波安全性評価に

ついて検討します。

地震の科学にはスケーリング則という法則があります。中学で習う数学を使って言いますと、マグニチュードMの地震による津波の高さは一〇のM乗に比例するという法則です。例えば、マグニチュード三ですと、津波の高さは一〇の三乗に当たる一〇〇〇に比例します。したがって、マグニチュードが〇・一大きくなりますと、津波の高さは一〇の〇・一乗に当たる一・二六倍になります。もっと簡単に申しますと、マグニチュードが大きければ津波の高さも高いということです。

(津波安全性評価で想定された地震)

津波安全性評価で想定された地震は、三陸沖から房総沖の海溝寄りの領域で起こりうると思われる地震が、福島県沖で起こった場合です。長期評価で示されたマグニチュードは八・二です。

実際に起きた東日本大震災の地震はマグニチュード九・〇でした。したがって、地震のマグニチュードは、津波予測において想定された地震の方が、実際の地震より〇・八小さくなっています。想定された地震における津波の高さは、実際の地震における津波の高さの一・二六分の一の八乗、つまり六分の一ぐらいになるはずです。

しかし、予測されていた津波の高さは一五・七mで、実際に福島第一原発に來た津波の高さは一五・五mでした。想定地震のマグニチュードが〇・八も小さいのに、予測されていた津波の高さは、実際に起きたマグニチュード九・〇の地震における津波の高さを上回っています。科学的には非常に不自然であると言わざるをえません。

（この疑問への答え）

私が調べたところでは、予測されていた一五・

七mという津波の高さは、福島第一原発の敷地の南側の地点の局所的な値でした。原発の敷地前面では八から九mと、想定地震のマグニチュード八・二に相当するもので、実際に起こった津波より大きいことはなく、敷地の高さ十mを下回るものであったことがわかっています。

（津波の予測と現実）

以上で申し上げてきたことをまとめますと、東日本大震災の地震によって福島第一原発サイトに生じた津波は、平成二〇年六月の予測を含め、それ以前に行われたいずれの津波安全性評価においても、科学的に予測できなかった想定外の津波であつたと言ふことができます。

東日本大震災以前のこの地域の地震に関連する科学的予測、及び福島第一原発に関連する津波安全性評価を振り返り、それらを地震の科学の側面

から検証してみますと、今般の東日本大震災の地震とそれに伴う津波は、科学的に見てやはり想定外であったと言わざるを得ないという結論に達しました。

三、全国地震動予測地図の実力

（全国地震動予測地図）

ここで話題を変えて、政府の地震調査研究推進本部が年一回出している「全国地震動予測地図」についてお話しします。

「全国地震動予測地図」には、一月一日時点の地震動の予測が掲載されており、毎年四月か五月頃に発表されます。この地図が出されますと、全国紙は一面に関連する記事を載せますし、NHKも七時のニュースのトップで報道しますので、目にされた方も多いのではないかと思います。

私は、この地図に掲載された予測の実力について、私の研究室にいる大学院生に評価してもらいました。それは、この予測地図が世界的な批判の対象になっているためです。

（Geller による批判）

ロバート・ゲラー（東京大学理学部教授（当時））は、二〇一一年、「ネイチャー」に、震度六弱以上の地震動に見舞われる確率が低い地域で、最近の被害地震が起きているという内容のコメントを寄稿されました。

予測地図では、日本全国について、今後三〇年以内に震度六弱以上の地震動に見舞われる確率が表されています。一般的には、地震が起こった場所の直上が最も大きく揺れますので、予測地図は、その付近で大きな地震が起くる確率を表していることになりました。したがって、予測が当

たつたと言えるためには、震度六弱以上の地震動が起きる確率が高いとされている地域で、実際に大きい地震が起きなければなりません。

ゲラー教授は、一九八〇年から二〇一一年までの間に起きた被害地震を地図にプロットしました。そして、これと予測地図を比較して、ほとんどの被害地震は、震度六弱以上の地震動が起きる確率が低い地域で起きていると指摘しました。

これに対して、ゲラー教授が使った予測地図は二〇一〇年に出了たもので、本来であれば、二〇一〇年以降に起きた地震と比較しなければならぬはずだという反論がなされました。

このような反論も踏まえ、地震調査委員会では、二〇〇五年に出された予測地図と、二〇〇五年以降に起きた被害地震を比較してみました。その結果、駿河湾で起きた地震と宮城県沖で起きた地震を除き、大きい地震はやはり、震度六弱以上

の地震動が起きる確率が低いとされた地域、またはその地域に近い沖合で起きていることがわかりました。ゲラー教授の指摘は、批判として当たっている面があると言えます。

その後、アメリカ地震学会のレター誌の上で、ゲラー教授の側に立った批判と、アメリカ地質調査所（USGS）、スタンフォード大学及び日本人研究者が協力して行つた反批判のやりとりが何回かなされています。

（五〇〇年間に對する検証）

ただ今申し上げたのは、定性的な検証にとどまっています。定量的に比較した研究は、今のところ、二〇〇九年に出された京都大学防災研究所の宮澤准教授とモリ教授の論文しかありません。

彼らは、古文書の記述から震度の情報を取り出し、過去五〇〇年間の各地域の最大震度の分布地

図を作成しました。彼らは、この分布地図を、二〇〇八年起点の五〇年超過確率一〇%の予測地図と比較しました。五〇年で一〇%ですから、五〇〇年に対する最大震度の予測に相当するわけです。

これらの二つの地図を比較しますと、おおよそ合っていることを見てとることができます。北海道で合っていないところがありますが、これは、北海道では非常に古文書が少ないことが影響していると思います。また、南海トラフ沿いの地域にも、古文書による観測最大震度に比べ、予測地図の震度が高くなっているところがありますが、これは、紀伊山地や四国山地について古文書の記述が少ないことが影響していると思います。これらの地域を除きますと、二つの地図はほぼ一致していると見ることができます。

（予測震度と観測最大震度の比較）

予測震度と観測最大震度を比べてみます。

グラフの横軸に観測最大震度、縦軸に予測震度をとって、場所ごとの地震動をプロットしますと、両者が合っていれば、プロットされた点は傾き四五度の直線の上に乗ります。五〇〇年という期間で見ますと、震度四から五より小さい側でやや過大予測となっており、それより大きい側ではやや過小予測となっておりますが、概ね合っており、いい線をいっていると言えます。

しかし、地震動予測地図は、基本的には三〇年以内の将来を予測するものです。政策遂行目的で予測を使うのであれば、三〇年程度の期間の予測でなければとても使い物にはならないと考えられます。三〇年でも長過ぎると思われるかもしれませんが、これ以上短くすることは困難ですので、ここでは三〇年で比較してみます。

一八九〇年までさかのぼって地震動予測地図を作成します。過去の時点でどれぐらいの地震が起きたかという情報があれば、それを基に過去の時点の予測地図を作ることができるのです。観測最大震度についても、中央気象台などが観測して得た震度のデータがあります。

予測地図と観測地図を三〇年ごとに比較してみますと、一九二〇年と一九五〇年を除き、合わないところが多いのが実情です。観測最大震度と予測震度の間に何とか正の相関は確認できますが、回帰曲線の傾きが小さく、震度四から五より小さい側では予測が過大評価になっている一方、震度が大きい側では予測が過小評価になっています。

なぜこのようになるのかと申しますと、地震は、数百年ないし数千年の間隔を置いて起きるからです。数百年ぐらいのスパンで見ますと、Miyazawa and Mori の論文で指摘されたように、

予測震度と観測最大震度が合うわけですが、それより短い期間ですと、たまたま合う場合があっても、むしろ、合わない方が多いのが実情です。この点は、常識的に考えてもある程度予想がつくと思いますが、地震予測の実力はせいぜいその程度であると言わざるをえません。

五〇〇年間を対象とした Miyazawa and Mori の結果に比べて、過大評価・過小評価の傾向が著しく大きく、確率論的地震動予測地図は、三〇年程度の短い期間では高い予測精度を持たないことを意味しています。

四、ではどうしたらいいのか？

（全国地震動予測地図の付録）

では、どうしたらいいのでしょうか。これは、なかなか難しい問題ですが、残された時間で手短

かにお話ししたいと思います。

政府は、「全国地震動予測地図」に付録を付けています。付録の一ページ目の「地震動予測地図を見てみよう」というページには、「全国どこでも強い揺れに見舞われる可能性」があると書かれています。このページには、世界の地震の分布の地図が掲載されており、この地図からも、日本が地震国であることが明らかです。「全国どこでも強い揺れに見舞われる可能性」への言及は、日本では、どの地域でも、地震による危険度が非常に高いことをきちんと認識してほしいという作り手の気持ちが表示されているように思います。

（ゆれやすさマップ）

付録の四ページ目には、内閣府が出している、いわゆる「ゆれやすさマップ」が掲載されています。重要なのはこの地図です。ここには、以下の

ような説明文が付されています。

「これまでに発生したM7程度の地震でも地表に断層が現われないことがありました。そのため、活断層があるとは思われていなかった場所でもM7程度の地震が起こる可能性は否定できません。では、あなたの家の真下で、もしM7程度の地震が起こったら、どのくらい揺れるのでしょうか？ それは、全国各地でM7程度の地震が直下で起こった場合の震度の分布を示したゆれやすさマップを見ると分かります。同じ規模の地震でも、軟らかい地層に覆われた平野や盆地での揺れが大きくなり、震度六強以上に達することが分かります。」

日本は、かなりの部分が山地ですが、そのようなところは基本的には地盤はよいと言えます。山を造るために、岩盤が地表近くまで迫っておりますので、直下でマグニチュード七の地震が起きて

も、震度は六弱程度で済むことになります。しかし、多くの人々が住んでいる平野部や盆地部では、震度六強又は震度七を念頭に置く必要があります。

この地図はかなり曖昧なところもありますが、安全サイドで考えますと、このようなりスクにもきちんと対処していくしかありません。ただし、このような予測は、今日申し上げたとおり、外れることもあります。このため、予想されるリスクにどのように対処するかは、一人一人が自らの問題として考え決断しなければなりません。震度七に耐えるような家を建てようしますと、かなりのお金がかかります。このため、震度七の地震が起きて壊れることがあっても、中にいる人が死なないような家にして費用を下げることも考えられるでしょう。建築基準法は、そのような考え方に基づいて作られています。

（福島県企業立地ガイド）

最後に、「全国地震動予測地図」が間違っって使われた例をお話しします。

福島県が作成した「福島県企業立地ガイド2010年版」というパンフレットがあります。東日本大震災の前の年に作られたものです。ここには、「強固な地盤で大きな地震が少ない、安全・安心なビジネスステージ」と書かれています。熊本県でも、これと同様のパンフレットが作られていました。ある意味で、「全国地震動予測地図」は、このように使われることを期待して作られていたとも言えます。

統計的に見て、大まかにはこのパンフレットが言っていることは正しいのですが、当然、外れることもあります。このことが、今日最も申し上げたかったことです。なお、今は、「全国地震動予測地図」の付録において、このような使い方をし

ないよう呼びかけられています。

五、その他

最後に一つ追加させていただきます。今年二月一〇日付けの日本経済新聞朝刊において、政府の地震調査委員会が、二月九日、東海沖から九州沖に延びる南海トラフ沿いで、三〇年以内にマグニチュード八から九クラスの巨大地震が発生する確率が昨年よりわずかに上がり、今年一月一日時点で七〇%から八〇%になったとの評価を発表したという記事が掲載されました。朝日新聞などでも、同様の記事が掲載されています。

ここですべてくる確率は、かなりの不確定性を含んでいます。最近の研究では、この数値はかなり過大とされており、こうした見方は政府にも伝えられています。間違っているのではないかという

研究も出ています。にもかかわらず、既に発表した数値を引き下げることができないとして、不確かな方法による予測が継続されているわけです。このように、行政から出てくる数値には、行政的な配慮がプラスアルファで入ってくる場合があります。このようなことも、頭の片隅に入れておいていただけたらと思います。

時間になりましたので、これで私の話は終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。（拍手）

増井理事長 瀬瀬先生、地震予測の研究に関連して、学問的にどのような議論が行われているかということについて、大変興味深く、わかりやすいご説明をいただきありがとうございました。

それでは、若干お時間が過ぎますので、どうかご質問はございますでしょうか。——ないよ

うでしたら、私から二つばかり質問させていただきます。

一つは、ご説明の中で天気予報の話が出てまいりました。天気予報においては、気温、気圧、風向など、さまざまな観測データがありますが、地震に関しては、今の観測網で十分と言えるのでしょうか、あるいは、研究を進める上で、観測体制の充実を図ることが期待されているのでしょうか、この点について先生のお考えをお伺いしたいと思います。

もう一つ、直接ご説明いただけるかどうかかわらないのですが、最近、草津白根山で噴火がございました。地震と火山噴火の間で、何か共通の問題があるのでしょうか。

額 額 ご質問いただきまして、ありがとうございます。

まず、観測網のことですが、全国にGPS観測

点が配置されています。これとほぼ同じ密度で、地震計による観測網が整備されています。地震計には、強い揺れに耐えられるような地震計、小さい地震を捉えられる地震計などがあり、それぞれが、GPS観測網と同じレベルで全国に配置されています。

問題があるのは、高密度に地震計を置けるのは陸上だけということです。海底地震計もありますが、これがGPS観測網のレベルに達するのは遠い将来のことになります。おそらく国家の年間予算ぐらいの膨大な資金を投入しないと実現しないだろうと思われます。

もう一つ、地中に地震計を置くことはさらに困難です。地震そのものは地中の現象ですから、真に地震の実体に科学的に迫るには、地中を観測しなければなりません。少しずつ地中の観測も行われていますが、海の観測よりも数段難しく、そう

いう意味での厳しさはあります。

気象は大気の中の現象であり、観測はかなり自由にできます。この点において、気象学にはメリットがあると言えます。正直ベースで申しますと、地震研究を進める上で不足しているところはかなりありますが、仮に今より多くの資金を投入していただいても、予測の精度はそれほど向上しないのではないかと印象を持っています。

二つ目に御質問いただいた火山との関係ですが、火山活動もプレートの動きの影響によって生じます。プレート同士が離れていく境界（海嶺）で、隙間を埋めるように下からマグマが上昇し、外に噴出しますとそれが火山になります。もう一つ、海のプレートが陸のプレートの下に沈み込んでいる場所で、周辺の岩石が溶けてマグマができ、これが上昇して地表に出ますと、その出口が火山になります。

二〇一四年九月に御嶽山の噴火が起きるまでは、火山の噴火予測は地震の予測より易しいと考えられていました。当時は、ほぼ全ての噴火の直前に、小さい地震活動が起こると言われており、実際にもそうでした。したがって、小さな地震活動をきちんと観測していれば、噴火は予測できると考えられていたわけです。

しかし、御嶽山では突然噴火が起きました。幾つかの計器には噴火の兆候が出ていたのですが、警報を出すほどのレベルではなかったのです。むやみに警報を出しますと、損害賠償請求の訴えを起こされる危険性が高くなります。このため、ある程度の閾値が必要です。御嶽山の場合、警報レベルに達しておらず、警報は出されなかったのですが、結果的に噴火してしまいました。

また、草津白根山は、今年一月、全く新しい火口で噴火しました。観測さえしていなかった場所

で噴火が起こったわけです。

このようなことから、火山噴火も地震と同じぐらい予測が難しいと考えられるようになってくるのが現状ではないかと思っています。

増井理事長 その他に御質問はございますか。

——よろしゅうございますか。それでは、ほぼ時間が参りましたので、この辺りで本日の「資本市場を考える会」を終わらせていただきたいと思います。ます。

額 額先生、大変有益なお話をありがとうございました。
ました。(拍手) (以上)

(こうけつ かずき・東京大学地震研究所教授)

(本稿は、平成三〇年二月十六日に開催した講演会での講演の要旨を整理したものであり、文責は当研究所にある。)

額 額 一 起 氏

略 歴

1980年東京大学大学院理学系研究科修士課程を修了後、同大地震研究所・地震予知観測情報センター助手、オーストラリア国立大学客員研究員、東大地震研・地震火山災害部門助教授を経て災害科学系研究部門教授。理学博士。地震調査研究推進本部・地震調査委員会委員、強震動評価部会部会長、同・強震動予測手法検討分科会主査などを歴任。研究分野は強震動地震学、地震波理論、震源過程論などを含む応用地震学。著書に「超巨大地震に迫る」（大木聖子と共著、NHK 出版、2011）、「理科年表・地学部地震」（国立天文台編、丸善、2001-2017）、「地震・津波と火山の事典」（共編著、丸善、2008）など。