

## 予知研究の現場から

平田直氏（東大地震研）

（PPT：セッション：3 最近のミスマッチの実例分析 実例2：地震予知

地震予知現場情報発信のされ方について予知研究の現場から）

私は神沼先生のずっと下の後輩で若輩者でございます。先ほど評判の悪かった東京大学地震研究所の教授で、政府の地震調査推進本部の委員もさせていただいております(笑い)。確率の計算にも若干かかわっていますが、ああいうものは、ますます必要だと思っております。先輩とは若干立場が違います。私は一応、第一線の地震予知研究をやっている者として、最近の地震予知の研究とはどのようなものかということをお話したいと思います。

（PPT：地震予知研究の現状 地震予知は）

今日午前中からいろいろお話を聞かせていただいている、地震学は大変発展途上の状態であると思う時と、地震学も結構よくやっていて、他の分野と比べてもとなかなか良いと思う時と両方あります。天文学から見るとなかなか辛いですが、考古学と比較すれば...

地震というのは日本では身近な自然現象です。アメリカやカナダの真ん中にいる人には、そもそも地震とは何かということから話さなくてはいけませんけれど、日本ではその必要がありません。地震・雷・火事・親父とあって、恐ろしいものの一つとして、一般の関心が高く、メディアにも度々取り上げられます。われわれが特別に広報しなくても、地震とは何かということは、真偽はどうかわかりませんが、一般の方にもわりとよくわかってもらえているということです。これは我々の出発点ですから、最大限に利用しない手はない。しかし同時に、地震とは大変複雑な現象であるということが、最近やっとわかったんです。地震は大変身近なものであるけれど、一般の方が思っている以上に複雑な現象です。ここが、誤解の原因です。さっき地震の方程式はないと神沼先生はおっしゃったんだけど、それはちょっとあんまりだなとおもって...。最近はあるんです。しかし、確かに、つい最近までは無いという状態に近くて、なかなか科学として成熟していないという批判があります。そのために、アウトプットが不確かであることは、否定できません。

地震は大変複雑な現象ですが、いったん発生すると非常に重大な社会的影響があるので、専門家のコンセンサスというのが必要です。例えば、医学のことを考えます。医学は大変シリアスですね。SARSのように、未知のウイルスに対応するとき、医学者は、専門家としての見識を示し、一般の人々に専門家コミュニティのコンセンサスを示す必要があり、そうしているのです。これは、大変立派ことで、地震学の専門家も見習うべきです。

（PPT：科学としての「地震予知」）

我々が科学として地震予知をやるためには、占い師と違って、観測データを用いて地震の発生を予知する必要があります。これは当たり前なことなので、メディアの方にも理解していただける。しかしこれが曲者でありまして、実は、データから直接地震予知はできないのです。このことは、科学者だったら当たり前なことだと思うのですが、どういうこ

とかというと、まずデータからわかることは、現在の「状態」で、その次に、将来の状態の予測になります。地震が起きるには非常に複雑な仕組みがあって、観測データを用いてまずやらなくてはならないことは、現在の地下の状態の推定です。地球の内部がどうなっているか、地面がどういうふうを押されているか、そういう現在の状態をまず推定して、それをもとに、将来の状態を予想し、最後に、将来のある状態の中で、地震が発生するかを推定しなければならない。天気予報は、正にこれを行っているわけです。気圧の配置を現在のデータから推定して、スーパーコンピュータで流体力学の方程式を解いて明日の低気圧・高気圧の位置を計算し、その気圧配置で雨が降るかどうかを予測する。

先ほど出てきた暗黙知というのではダメなんですね。少なくとも科学として地震予知をするためには、現在の天気予報（数値予報）のやり方を見習って、地殻の中の状態がどう変化するかという方程式を解いて、将来を数値的に予測する。そういう方法を取らなければいけないというのが、1995年の阪神淡路大震災の後に様々な議論をして学んだ、私なりの結論であります。

#### （PPT：新しい「科学としてのプレート境界地震の予知」）

もう少し具体的にお話します。今、日本列島の地表の変化というのは、GPS(天文学とかロケット等の技術の成果)のおかげで非常に精度よくわかるようになりました。地表の絶対的な位置が誤差1cm以下の精度でわかる。しかも、日本には、そういう観測点が1000点以上もあって、時々刻々とわかる。さらに、地震の観測網というのがあって、人に感じないような小さな地震を毎日何十個と位置を決めている。大きな地震を予想するのにどうして微小地震が必要かということ、微小地震は、地殻の中でどのような力が働いているかを調べる非常に重要な指標になるからです。

しかし、これらのことだけを用いても、いわゆる地震予知の三要素「いつ、どこで、どのくらいの大きさで地震が起きるか」を予知するのは、科学的にはできない。ではどうしたらいいか。これらの観測データから、地下深い岩石の状態を推定しなければなりません。つまり、GPSによる地表の変形データや、地震の分布から、地中で（プレート境界で）どこが滑っているかとか、どこが固着しているかとかを知ることです。現在では、太平洋プレートやフィリピン海プレートが日本列島の下にどう沈み込んでいるか、どこが固着しているかということがわかりつつある。専門用語でいうと「アスペリティ<sup>(1)</sup>」の分布が、重要なのです。（註1：プレート境界で、地震の起きていない期間には固着し、地震時には地震波を放出する領域をアスペリティーという）

そもそも地表の変位が、日本列島全体にわたって誤差1cm以下の精度でわかるということ自体が驚異的なことで、（そのことに地震学は何の貢献もしていないけれど）そうするとプレートの状態がわかる。そこからが地震学というか地球物理学ですね。プレートの結合状態の変化を、運動方程式と摩擦構成則という方程式をスーパーコンピュータを用いて解くことで推定し、あと10年後、20年後、100年後にどうなるかということを経験で求めて、その状態で地震が起きる確率を計算する。これが、我々がやろうと思っている地震予知で

す。しかし、先ほど神沼先生がおっしゃったように、これはまだできていません。ということ、現時点ではある 1 つの例外を除いて、地震予知は実用的な技術ではない。非常にやさしい地震の場合には方程式を解くまでもなくわかる。一般に、東南海地震だとか南海地震だとか、宮城県地震などは非常にむずかしい。地震予知の三要素「いつ、どこで、どのくらいの大きさで起きるか」を予知するのはまだ難しい。

#### (PPT：地震発生長期予測・強震動予測)

さきほど評判の悪かった「確率」はどのように計算しているかを説明します。地震の起きる特定の断層の過去の活動履歴を調べて、地震発生の時系列を再現する統計モデルをつくる。自然現象では、基本的には規則正しく繰り返す現象も、実際にはばらつきがありますから、ばらつきの程度も統計的モデルに組み込まれます。次に、その統計モデルに基づいて、ある断層で、今から 30 年間に地震が発生する確率を計算し、注目する地点がどれくらいの大きさの揺れに見舞われるかの確率を計算していく。日本中の地点について計算して、マップを作ります。この計算は、国の仕事として膨大な予算を使って実施されていて、平成 16 年度末には、日本全国の強震動の予測ができるようなマップができる予定です。それが本当に役に立つかどうか、というのは議論がわかれるところでしょうけれども、地震防災のさまざまな計画の基本になるはずで、確率は不正確だとか、確率を公表されても使い道がないという批判があるかもしれませんが、それに基づいてさまざまな行政的な諸策が行われます。これは 30 年とか 50 年とかのタイムスケールなので、地震予知ではないといわれるかもしれませんが、地震の発生を予測するという点では、地震学的には同じです。現在の手法では、純粋な統計的問題として扱っていますが、ここに物理学を導入すれば、予測の精度が格段に良くなるだろうと思っています。しかし、物理学は難しいのでとりあえず統計学を使うというハイブリットなやり方もあるかもしれません。

#### (PPT：日本の活断層)

地震発生の統計モデルを作る方法をご説明します。日本には 98 の主要活断層というのがあります。これを調べて過去の活動履歴がわかると、それに基づいて平均再来間隔を計算します。次に、断層の最終活動時期（最も最近の地震の発生時）を推定し、平均再来間隔と最終活動時期から、現時点が、平均的な再来間隔に比較して十分に経過しているのか、次の地震まで、まだまだ時間があるのかを評価します。このとき、地震発生の統計的なモデルを用い、活動履歴データから、モデルのパラメータを推定します。しかし、活動履歴といっても、データが 50 とか 100 とかあれば、再来間隔は正確に推定できますけれど、過去に地震が発生した証拠は、実際には 3 つくらいしか遡れないものが多くて、ひどいのは 1 つしかない。ではどうするかというと、地震はランダムに発生していると考えて、地震の発生はポワソン過程であると仮定して統計モデルを作ります。

#### (PPT：固有地震)

あとは 1 つだけ例をご覧に入れます。これはいわゆる固有地震 (Characteristic earthquake) と言います。これは、は優等生の地震で理解しやすい。地震学者が見つけた一番理解しや

すい地震です。ここでは、固有地震の存在は、プレート境界地震が予測できる可能性を示しているという観点から取り上げます。ただ、これは小さな地震なのであまり実用的でないという批判もあります。

#### (PPT：釜石沖群発地震)

日本では、たくさんの地震が起きているのですが、東北の釜石沖でも、地震がたくさん起きています。点がたくさんあるのが、日本海溝から東北地方にかけての海域で、ここから太平洋プレートが東北地方の下に沈み込んでいって地震が起きます。見るとわかるように、たくさん起きるところと少ししか起きないところがあります。たくさんの地震が群れをなしているところに注目したい。

#### (PPT：釜石沖の繰り返し地震)

この地震の群れでは、興味深いことに、平均間隔 5.4 年 $\pm$ 0.5 年で、マグニチュード 4.8 $\pm$ 0.1 の地震が、過去 1960 年ころから 9 回繰り返している。しかも、大きな地震が来る前に、小さな地震、つまり、前震が起きて、マグニチュード 4.8 の地震が起き、余震はほとんど起きないという非常に特殊な地震です。

#### (PPT：釜石沖の繰り返し地震と予知の成功)

これを東北大学のチームが見つけて、非常に簡単な統計が使えたので、次は何年だろうと予想し、学会で発表して、確かに 2001 年の暮れに地震が起きた。これに非常によく似た例が、他にもあります。神沼先生の紹介された本にも出ているアメリカのパークフィールドで、やはり同じような地震が 5 回くらい起きて、6 回目を予測したら当たらなかったという例があった。地震は、自然現象ですから、これだけ繰り返したからといって、次も同じ様に起きるという保証は全くないんですけれども、我々がどうして釜石沖の固有地震に注目しているかということ、地震が規則的に起こるメカニズムがある程度わかったと思っているからです。

#### (PPT：震源と滑り分布)

2001 年に起きた地震と 1 つ前の地震は、空間的にも同じ場所で波形も非常によく似ていて、起きた場所も滑り方も非常によく似ているということがわかっています。

#### (PPT：図説)

これには、次のような背景があります。プレートが日本列島の下に沈み込んでいるときには、ある部分は、非常になめらかに沈み込む。一方、アスペリティと言う、ひっかかっているところもある。そのひっかかりが剥がれて壊れると地震になる。釜石沖の固有地震はどのような状況で発生したかということ、プレート境界に、抵抗なく滑っている広い領域があって、その中に孤立した小さなアスペリティがある。プレートの運動というのは非常に定常的で、着実にゆっくりと滑っているわけですが、そこに小さいアスペリティがあると、ある時間が来るとひずみが溜まっていき、ついには耐え切れなくて壊れる。このような、状況では、地震発生は大変規則的になります。これは理論的な計算によっても示すことができます。もちろん、このひっかかり(アスペリティ)は、10 回も 100 回も繰り返して地

震が発生しているうちに磨耗して行って、最後にはなくなってしまいかもしれません。けれど、そういうことが理解できていれば、その次もまた似たような現象が起きる、あるいは、もうこれ以上は起きないということを予想できると考えています。

**(PPT：新しい科学としての「地震予知」)**

つまり、科学として地震予知をするためには、観測データはもちろん必要ですが、そこから地球の内部の状態を推定することが必要です。今から40年前、地震予知計画が始まったときにまずやったのは、日本中に地殻変動の観測網を作り、地震の観測網を作り、活断層の調査をするということです。当時は、データが全くなかったところで、観測網の建設を始めた。これが、40年を経て、最近ついに出来たのです。

**(PPT：国土地理院 GPS 画像)**

それで、今はどうなっているかという、これ(GPS画像)は国土地理院からいただいた動画です。日本列島が時々刻々どう変化しているかがわかる。これは、大変すばらしいものです。ただし、これは地表の変形ですので、地震の起こる深さの状態は、見ているだけではわからない。地震が起きるのは深さ15キロのところですから、15キロのところの変形のおおよその分布がこのように描けるようになれば、つまり天気図に相当するものができるようになればと、地震学はそれを目指しているんです。

**(PPT：GPS データのインバージョン解析から求められたプレート境界でのすべり遅れ/すべり過ぎ分布)**

研究の最先端では、プレートの境界部分のどの部分が固着していてどの部分が滑っているかということが、GPSのデータからわかるようになってきました。つまり、観測データから、地下の岩石の状態を推定することができるようになりました。

**(PPT：1968年十勝沖地震の震源域における応力蓄積)**

そうするとプレートの境界において、30年後にプレートのどこに応力が加わるかということもわかる(予測できる)はずですが、この辺は、今はまだ少々眉唾で、ある研究者のモデルによるとある場所に力が加わるが、別のモデルによると、別の所に加わるという状況です。しかし、多分、今の統計学的モデルよりは、はるかに精度の良いモデルができると思います。物理学的モデルに基づく予測というのは、非常に急速に進歩している分野ですので、ここ数年の間に成果が出ると思います。ただし、応力が蓄積したところで本当に地震が起きるかどうかというのは、また別の問題です。地震が発生する場所での岩石の強度の推定という難問が控えていて、現時点では、なかなか難しいといわざるを得ません。

**(PPT：科学としての「地震予知」)**

一般の方は、とにかく観測データから予知してくれればいいというんですが、科学としての地震予知をするためには、データから、まず地震の起きる場所の状態がどうなっているかということ推定して、それから今の状態から将来の状態を予測して、ある状態で地震が発生することを推定する、という経路をたどるべきだと思います。メディアの方が記事を書くときには、この辺は邪魔くさいと思われがちですが、そこを頭に入れておいてもら

うと、誰かが来月の何日に地震が起きるなんてことを言っても、その予測が不可能であることが明らかだとわかるわけです。そういう常識のあるメディアが増えれば、もう少し誤解が減るのではないかと思います。

#### 司会・渡部氏

ありがとうございました。質問、コメントありますか？

#### 福島氏

行徳高校の福島と申します。平田先生のお話には全く異論はないんですけど、最後のスライドに関してお願いということになるんですけど、今は小学生でも気象衛星の写真を見れば大体台風の接近とかわかる。それは毎日天気予報とか気象に関するデータに触れているということがあると思うんです。平田先生のお話にあった右の部分（地震予知についての PPT を指し）というのは、専門家の方でないとも GPS とか微小地震の発生でどこに異常があるのかというのは読みにくい。インターネット上でそういう情報が出ているじゃないかといわれても、用途を知ってる方でないとなかなか異常をつかむことはできないのではないかなと思うんです。ですからこれから学者の方とかにやっていただきたいと思うのは、ここまではわかっているがここからはわかりたいという情報とか、定常状態についての解説の機会を、メディアに対して設けていただきたいなと思います。

#### 司会・渡部氏

（うなづく平田先生を見て）そうするそうです。ほかに、小杉さん。

#### JAXA・小杉氏

JAXA 宇宙研の小杉と申します。分野は違うんですが、お二人の話を非常におもしろく聞かせていただきました。そのスキームについて、一番肝心なことを平田先生がお話しなかったので、ひょっとするとその辺にジャーナリストやマスコミとその分野の研究者の間にズレがあるがあるんじゃないかなと思います。果たして、予知をするのに十分な観測データが現状で取れているというお話をされたのでしょうか？それとも原理的に、現在の我々が持っている手段では取れない観測データがあって、その観測データをきちんと入手することなしにはいわゆる予知はできないというお話をされたのでしょうか？平田先生のお話は、研究者として地震のメカニズムを解明したい、解明ができれば予知の精度はあがりますという話では、私も自然科学の研究者の仲間として非常に胸に落ちるものがあります。しかし地震の予知といった途端に、結局経済社会学が絡んできて、意味のあるタイムスケールで予測できなければ、その予知はなんの意味もないというのは、一般社会の反応だと思います。平田先生のお話は、一般社会にとって意味のあるような予測は現状ではできないんだと片方でいいつつ、予知という言葉を使ったり使わなかったり、同じ自然科学の隣の分

野にいるような研究者として、一般社会に誤ったメッセージを送っていることに結果的としてならないか、ちょっと心配でございます。

#### **平田氏**

現在のプレート境界の状態を推定するために一番役に立っているのは GPS のデータです。そのデータは、地震の起きる場所の、現在の状態から未来の状態を予測することについても、かなり実用的に役立っています。しかし、ある状態から地震が発生するということでは、時間がなくて話せませんでしたけれど、いくつかのシナリオが考えられています。気象庁は、今年の 1 月から新しく東海地震についての情報の出し方を変えましたけれども、そのときにも、想定されたある地震の発生のシナリオがありました。その中では地殻変動のデータに基づいて地震の発生を予知するということになっています。我々が理解しているシナリオ通りに地震が起きて、前兆すべりが検知されれば、実用的に地震予知ができるというのが気象庁の立場です。しかし、たとえシナリオ通りのことが起きたとしても、それが検知できる観測網があるのは東海地域だけです。ですから同じことが東南海、南海道、宮城沖で起きて、そのプロセスが我々の理解しているものと同じだとしても、実用的な意味ではここでは地震予知ができません。

#### **司会・渡部氏**

小杉さん、納得されましたか？されてないみたいですね。ではあとで議論していただこうと思います。ちょっと時間がないので、すみませんが打ち切らせていただきたいと思います。どうもありがとうございました。

それでは次に NHK 名古屋の山口さんから、地震予知を報道の現場からお話していただきたいと思います。