

第 15 回東海・東南海・南海地震津波研究会 講演要旨

日時 : 平成 13 年 5 月 9 日
会場 : 大阪国際交流センター
講演 : 「津波・深海調査から調べる海底下の断層運動」
独立法人産業技術総合研究所活断層研究センター
地震被害予測研究チームリーダー 佐竹 健治 氏

講演の要旨

(1) 陸上・海域の地震を調べる方法

- ・地震を調べる場合、全国各地に設置されている地震計のデータから震源や地震のメカニズム、モーメントなどが分かる。
- ・津波に関しても、検潮記録や波高計のデータを解析し、シミュレーション結果との比較により、震源を推測できる。
- ・測定機器がなかった時代の地震や津波は、歴史文書・古文書などから被害分布を調べ、震源あるいはマグネチュード、波高を推定できる。
- ・日本の場合、歴史文書では発生年月日が正確に記録されており、地震や津波の繰り返し間隔を精度良く求めることができるので、将来の地震予測などに役立つ。
- ・古い地震については、地質考古学によって遺跡内の液状化痕跡など、地震の証拠を調査する。
- ・活断層のトレンチ調査からは、地層の年代のずれなど過去に起きた地震の年代・規模を推定できる。
- ・海岸の津波堆積物やタービダイト（土石流堆積物）、海底の岩泥流、揺れによる土砂崩れやその堆積物を調べることで、揺れや津波の年代を推測できる。

(2) 津波波形のインバージョン

- ・津波は、海底地震の断層運動によって海底に変動が生じ、それによる水面変動が津波のソースとなり、伝播して発生する。
- ・発生した津波は水深の浅い陸上付近で大きくなり、陸上に遡上し、被害をもたらす。
- ・現在では地震学的知識に基づいて、断層モデルから数値計算で津波の伝播、遡上、浸水範囲などを実際にシミュレーションすることができる（forward modeling）

- ・逆に、検潮記録や現地調査による津波の波高分布、史料から求めた波高分布、堆積物などをデータとし、津波のシミュレーションを組み合わせることによって震源地を推定することもできる(inverse modeling)。
- ・inverse modeling とは、例えば断層面上のすべり分布を求めるために用いられる。

(3) 沈み込み帯における、大地震のすべり量分布

プレート間地震

- ・プレート間地震とは、沈み込むプレートが隣り合うプレートを引きずり込み、ある程度歪みがたまって跳ね返るというメカニズムで起こる地震を指し、歪みがたまるまでに時間がかかるため、一定間隔で地震の起こることが特徴である。
- ・例えば、北海道東沿岸で 1952～1969 年間に 3 つ地震が起き、プレート間地震のメカニズムから根室沖での地震発生が予測され、実際に 1973 年に発生している。
- ・しかし、その後しばらく地震は起きないと思われていたが、1994 年に北海道東方沖地震、三陸はるか沖地震の 2 つの地震が発生した。
- ・1994 年の北海道東方沖地震は 1969 年に東方沖地震、三陸はるか沖地震は 1968 年に十勝沖地震が起きている場所とほぼ同じで、一度すべった部分がもう一度すべっていることになり、プレート間地震としてはあまりに周期が短かったため詳しく調査がなされた。
- ・そこで、津波波形のインバージョンを用いて断層のすべり量分布を調べると、1968 年の十勝沖地震では震央西側ですべりが非常に大きいのに対し、震央の南にすべりが非常に小さい部分があり、三陸はるか沖地震のすべりはそこがすべったということが分かった。つまり、1968 年の十勝沖地震の波源域はすべりにばらつきがあり、すべり残した部分で 1994 年に 2 つの地震が発生したと解釈されている。

プレート内地震

1) 地殻内地震

- ・地殻内地震はプレート内部で発生する。
- ・日本海東縁部で発生する地震がこれに相当するが、日本海全体も基本的には地殻内地震と考えられている。

2) スラブ内地震

- ・スラブ内地震は、海溝軸を過ぎてもなお沈み込むプレート(スラブ)の内部で発生する。
- ・スラブ内地震は浅いと津波を発生する場合があります、約 80km ほど深くな

ると津波は発生しないが、地震として被害をもたらす場合がある（芸予地震、吉野地震など）

- ・ 前述した 1994 年の北海道東方沖地震は、1969 年の北海道東方沖地震の震源域・波源域がほぼ同じだったため、すべり残しによるプレート間地震と思われていたが、その後の地震メカニズムの解析や震源の深度比較により、スラブ内地震だと推測されている。
- ・ 実際のデータでは、1969 年のプレート間地震と 1994 年のスラブ内地震の津波や揺れを比較しても、ほとんど区別がつかない。
- ・ しかし、長期予測が可能なプレート間地震に比べて、スラブ内地震は詳細が不明であり、スラブが存在する限りどこでも発生する。
- ・ 豊富にデータが存在する現在の地震であれば、プレート間・スラブ内地震の区別はつくが、古い地震の場合、古文書などの震度分布や津波高さだけでは両者の判断がつかない。

3) アウターライズ型地震

- ・ 状況予測や繰り返しなどあまりよくわかっていないが、被害に関して決して無視できるものではない。

津波地震

- ・ 津波地震とは、地震に比べて非常に大きな津波を発生させる地震を指す。
- ・ 津波地震の定量化は、地震マグニチュード（表面波マグニチュード）と、予め定義されている津波マグニチュードの比較が必要である。
- ・ 地震マグニチュードと津波マグニチュードが一致するように経験式は作られているが、中には津波マグニチュードが大きい場合もあり、これは地震波から期待されるより非常に大きな津波を発生させることを意味する。
- ・ 1946 年アリューシャン地震、1896 年明治の三陸沖地震、1996 ペルー地震などが津波地震といわれている。
- ・ 明治の三陸沖地震の震度は、現在の階級で 2 ~ 3、関東付近で 1 程度、その後は無感と非常に小さいが、津波は一番大きいところで 38m を記録しており、津波地震は、震度が小さく津波が大きいという異常な地震であるといえる。
- ・ 明治の三陸沖地震の津波に関しても、北海道根室や千葉県銚子など各所に検潮記録が残っており、断層パラメーターを明らかにすることができる。
- ・ しかし、検潮記録に観測された津波波形を説明するためには断層は 50km

以下でなければならず、津波地震は全て、海溝軸のトラフ付近に断層を置いて解析することで始めて説明できる。

- ・津波地震の一般的な特徴は、普段はあまりすべなraiと思われる、非常に柔らかい部分に波源域があり、地震が発生して大きな断層運動が起きると、非常に大きな津波が発生する。

(4) 歴史文書から過去の地震を調べる (1700年 カスケード地震)

- ・津波波形や機械記録が残っているような、比較的最近の地震・津波の解析はある程度進んでいるが、古い地震は機械記録が残っていないので、歴史文書や地質学的方法でのみ推測できる。
- ・太平洋プレートと北米プレートの北、ファンデフカ・プレートのカスケディア沈み込み帯(アメリカ・カスケード)が存在し、地球物理的・地質学的な環境は、ある意味で南海トラフに非常によく似ている。
- ・南海トラフと異なる点は、過去の地震、いわゆるプレート間地震の記録が残っていないということである。南海では古文書によって、過去1600年間で8回ほど地震があり、少なくとも最近のものは100年間隔であることが分かっている。しかし、アメリカ政府の歴史は浅く、1850年より前の記録は残っていない。
- ・アメリカでは、主に地質学者が古地震の研究をしており、地質学的見地から地震発生の際の痕跡を調査している。
- ・ファンデフカ・プレートで最近発生した地震の痕跡から、300年程前にいくつかの地震が発生していることが分かっている。
- ・地震発生の際の痕跡として、タービダイトが挙げられる。タービダイトとは、プレート間地震発生時の海底斜面崖崩れ・地すべりによって、海底にたまった砂などの土石流堆積物を指す。
- ・ピストンコアを調べると、海底では泥が堆積するが、ファンデフカ・プレートでは泥の間で土石流堆積物が挟まれるように堆積している。
- ・オレゴン州クレーターレイク国立公園には大きな火山があり、約7700年前から噴火しているため、火山灰が含まれる地層からおよその時間軸を割り出すことができる。
- ・ファンデフカ・プレートには13の土石流層があったので、7000年間の間に13回ほどの地震、又は少なくとも土石流を起こすきっかけがあったと考えられている。
- ・プレート間地震ではプレートが沈み込むときに、海岸付近の陸地が急激に沈降する。沈降した陸地には、海水流入による植物の立ち枯れ、津波が運ぶ砂や泥の堆積、実際の揺れによる液状化現象などが期待され、地

層にこの痕跡がある場合、沈み込みや地震が起きたと推測することができる。

- ・地震の痕跡が見られた地層中の炭素同位体を調べると、約 300 年前であった。その頃にカスケード周辺で、マグニチュード 8 ~ 9 クラスの地震が起きた場合、日本に津波が到達することが予想される。
- ・300 年前の日本は江戸時代元禄であり、和歌山県田辺の文書などから、元禄 12 (西暦 1700) 年 12 月 8 日夜分け頃に津波があったことが分かっている。またその頃、「地震の後に津波が来る」ということは常識としてある程度浸透していたが、宮古 (岩手県) と清水 (静岡県) では「地震もないのに津波が来た」と記され、太平洋側の広範囲で同時に津波が観測されていることから、日本付近の地震による津波ではないことは明らかである。
- ・1960 年チリ地震でも、日本の太平洋側で津波が観測されたので、太平洋を越えて来た津波が被害をもたらすことはめずらしいことではなく、元禄の津波は南米・ロシア・北米の地震によるものと考えることができる。
- ・南米で発生した地震と仮定しても、1700 年にマグネチュード 9 クラスの地震は記録されていない。当時のロシアは移住前であり、最も古い記録でも 1737 年であるが、地質調査でも地震発生 of データは出てこない。南米とロシアの可能性が低いことから、この津波は北米・カスケードの地震によるものと考えられる。
- ・元禄 12 年 12 月 8 日は、カスケードの現地時間で 1700 年 1 月 26 日の午後 9 時頃である。インディアンには昔、「冬の夜に地震があった」という伝説があり、1 月午後 9 時頃の地震発生に当てはまる。
- ・以上の事から、カスケディアで大きな地震があったと推測され、これによりアメリカでは周期的な地震に対する防災の気運が加速したと聞いている。

(5) 津波堆積物から過去の地震を調べる (1993 年 北海道南西沖地震)

- ・1993 年北海道南西沖地震は津波の被害が非常に大きく、大成町では家も流されている。
- ・1996 ~ 97 年に津波堆積物を調査するため、2 m のトレンチを掘った。大成町の平浜では津波堆積物より、第 1 波の押し波・引き波、第 2 波の押し波・引き波の計 4 層が確認された。
- ・押し波・引き波は、地層を削った方向、内容物の種類によって区別することができる。また、現在の堆積物の特徴は、過去にも応用できる。
- ・高潮と津波の堆積物の粒度分布はあまり違わないが、淘汰度に関しては

津波よりも高潮の方が高い。

- ・北海道の太平洋側、釧路東方にある霧多布で、海岸からの距離を変えてコアを採取し、調査した。泥炭層に津波による砂の層が見られ、内陸に行くに従って砂の層は薄くなり、海岸から遠い部分で次第に見られなくなる。ここでは、アメリカと同様の急激に沈降したような地殻変動の跡がみられた。
- ・約 2300 年の間隔で噴火した、年代の明確な二種類の火山灰層に挟まれている地層では、津波による砂の層が 8 枚観察できた。このことより、約 400 年ほどの間隔で津波による砂が堆積したと推測できる。
- ・現在、このようにして地震・津波周期、長期予測の推定や、地層の分布状況から被害予測図を作る計画が進行中である。

(6) 深海調査から震源域・古地震を調べる (1993 年 北海道南西沖地震)

- ・津波を起こした海底の調査には潜水艇を用いることもある。
- ・1993 年の南西沖地震の震源地を 1999 年に調査したところ、当時のままではなかったが、揺れによって土砂が飛ばされ崩れたものや割れ目などが観察できた。
- ・津波波源域には、断層がほとんどなく、地震による隆起でドームができたり、地割れや噴砂が起きたり、又、断層があると思われる所では指標生物の死骸があるという特徴が見られる。
- ・南西沖地震の震源地からかなり離れた場所で、地割れや噴砂等が見られ、比較的新しい断層を観測した。海中のため、採取されたコアは表層 20cm 程であったが、地表から順に崩壊堆積物、非常に均質な泥、タービダイト、火山灰が層を成していた。
- ・火山灰の年代は約 1000 年前と分かっており、その上に土石流堆積物があることから、1000 年前にも同様のイベントがあったと推測できる。

(7) まとめ

- ・地震は、最近のものでは波形を、古いものについては歴史文書などを中心に調査することで、規模や震源の状況を推測できる。
- ・海岸の地層やタービダイトを調査することで、地震の繰り返しなどを推測することができる。
- ・以上の調査より得られたデータを用いて、地震の長期予測を行い、評価する。
- ・南海地震の評価も進行中であり、過去の地震や歴史記録・地質学的データに基づいて、長期予測が行われる予定である。

討議の要旨

Q . 北海道・大成町の津波堆積物調査で、第1波で運んだ砂の上に、第2波がさらに砂を堆積させるということだったが、第2波が第1波の砂をかき乱すことはないのか。第1波と第2波の堆積物は、説明にあったように、きれいな層を作るのか。

A . 説明は模式的に行っている。実際には、押し波で窪地を埋め、引き波で平らにする。第2波によって第1波の上部が削られることもあり、場所によっては第2波しか観察できないこともある。

Q . 1968年の十勝沖地震のすべり残しによって、1994年三陸はるか沖地震を引き起こしたということだったが、これは十勝沖地震が不均一性の高いイベントであることが原因と思われる。マグネチュード8クラスの海溝性イベントで不均一性が強いものはどのくらいあるものなのか。

A . どのくらいあるかという判断は難しいが、大きい地震に関してすべりが不均一であることは、ある意味で常識となっている。南海でも不均一の単位に入り、実際にはもう少し細かい区分ができると思われる。

Q . 過去に地震が起きた場所でも、不均一性の強いすべり残しがある部分では、大きな地震が発生する危険性が絶えずあるということなのか。

A . 少し遅れた余震である可能性も考えられるので、実際に地震が起きなければ判断ができないが、周期的に考える事である程度の推測は可能である。

Q . インバージョンをかけるときに、潮位記録が多いと基本的なユニットをたくさん取る事はできるが、ユニットの多少に関わらず、寸法はほとんど変わらないのか。また、ユニットの個数はどのような基準で設定しているのか。

A . 計算機があまり発達していなかった時代には、どうしても寸法が大きく個数も少なかった。最近では、簡単に解析することができるようになったので、個数については、検潮所数と検潮記録の分解能が基準となる。検潮所毎に津波到達時間が異なるので、時間のずれを記録することが重要である。

Q . 南海トラフでは、684年の白鳳地震から1707年の宝永地震まで8回ほど地震が起きており、その震源域は土佐湾沖から紀伊半島沖までの

450km にわたって分布している。現在、紀伊水道の南部を中心に海洋調査船で調査を行っているそうであるが、調査範囲を広げる計画はあるのか。また、現在までの調査内容で何か新しい知見があれば教えてもらいたい。

A . 私は直接調査に加わっていないが、南海では深海掘削船を使って深海の構造を調べ、浅い部分では潜行調査を行っている。実際に、震源地や波源地の観察は去年より始まっており、他にも東南海、西南海では震源地や海底を観察し、活断層の分布調査なども行われている。しかし、海洋調査の場合、夏は台風、冬は天候不順などで海況が悪くなり、調査のペースが上がらないと聞いている。

Q . 1605 年の慶長地震は津波地震ではないかと言われているが、これまでに 8 回起きている南海地震のなかで、津波地震を疑われるものはあるのか。

A . 歴史地震、歴史資料に基づいた南海地震の繰り返しについて詳しい研究をされている、神戸大学の千葉氏によると、慶長地震は津波地震の可能性が高いといわれている。過去に起こった南海地震の特徴として、土佐・高知平野の沈降、津波の到来、非常に広い範囲での揺れ、白浜・道後温泉が止まることなど挙げられるが、慶長地震では多少の揺れはみられるが津波以外の記録がないことから津波地震ではないかと疑われている。