

F1-1 次の南海地震・津波に備えて

南海地震・津波のメカニズムと巨大災害の発生

高知大学理学部防災科学講座 岡村 眞

はじめに

平成13年9月27日政府の地震調査研究推進本部（本部長；内閣総理大臣）は、「南海トラフの地震の長期評価について」と題する検討結果を公表した。内容はこれまでに公表されてきたデータにもとずいており、特に新たな事実は含まれていないものの、長期の地震発生予測に関して、1）天気予報なみの確率予想が取り入れられたこと、2）津波の高さ予想に重要な役割をになう海溝斜面の分岐断層の役割を明記したこと、3）東南海・南海地震の連動性を公式に認めた上で、その規模を推定したこと、4）地震規模に関して、はじめて時間予知モデルを摘要し、地震発生の早期化を認めたことなどにより、社会的な注意を喚起した。作成した15名の研究者は、必ずしもすべての内容に賛同しているわけではないが、集大成された知識の最大公約数的見解は、政府の出した初の公式見解ということで、行政的にも対応を迫られる結果となっている。今年夏までには、この長期評価にもとづく災害様式と、災害規模の見解が出される見込みであり、各地方自治体はさらなる対応を迫られる事態となろう。

このフォーラムでは、今回の政府見解の内容に沿って、四国の置かれた現状について考えてみたい。

四国を脅かす二つの巨大地震

四国は、二つの巨大地震により形成された島である。その原動力は四国を海側から南東方向から押しているフィリピン海プレートの斜め沈み込みにより与えられる。その速度は年間約60mmであり、その結果、四国は南東―北西方向に圧縮され続けている。その総変位量は南北方向で百年5m、東西方向で千年8m程度であると見積もられる。その歪みを一挙に解消する運動が、それぞれ海底部では南海トラフ海溝斜面域で起きる南海地震と、内陸部の中央構造線活断系の直下型地震である。両者の原因は、次の地震まではしっかりと固着する性質を持つ断層にあり、二つの地震ともこれまでのところ前兆現象などは捉えられていない。

四国島内で少なくとも地球史上の最近50万年は、同様な力を受け続けており、この結果、四国中央部のように、南北60kmの狭い地域に標高2000mクラスの山地を形成させてきた。さらに、吉野川沿いの断層谷や平野、石鎚断層崖などの四国を特徴づける地形を生成させ続けている。

最近の地形学的研究の成果は、中央構造線系活断層がどこを走るか、家屋一軒一軒の精度で明らかにしてきた（都市圏活断層図、2000ほか）。また、四国内では少なくとも東西二つの地域に別れて活動してきたらしいこともわかりつつあり、次に発生する直下型地震は、地震規模M7.8程度になるだろうと予測されている（土木学会四国支部、1998）。さらに、この中央構造線系活断層から発生する地震の発生時期については、2000年間隔で動いてきたことを明らかにしつつあるものの、その発生予測誤差は数百年から約百年と「実用」に供するにはほど遠いと言えよう。

現在、日本の98の活断層について最新の成果にもとずき、確率予測を含む長期地震予測が順次公表されつつあり、この日本最大の活断層の地震発生についても近々公表される予定であるが、地震確率は相当に低く見積もられるであろう。ただし、30年確率が12%とされたイズミット地震（Stein et al., 1997）が、発表後3年後（2000年8月）に発生し、17000名の死者を出したことは「確率」の苦みをかみしめる結果になったことは、記憶にあらたしい。

南海地震・津波発生の歴史性に学ぶ

南海地震は書かれた歴史資料によるものだけで、過去1500年間に少なくとも9回発生したことが記録さ

れている。特に社会的に安定期であった、江戸時代以降の4回については記録の信頼度が高く、92年から147年の間隔で発生してきたことが知られている。南海地震は、トルコ北アナトリア断層でおきる地震とならんで、ただ二つの長期予測可能な地震として、世界の研究者から注目されてきた経緯がある。

南海地震の原動力は年々蓄積されてきており、地震の発生がなければ刻々とその危険度が高まることは容易に理解出来る。前回の南海地震は昭和21年12月21日午前4時19分に発生した。マグニチュードは8.0で、平均的な歴代の南海地震に比べても、その規模は数分の1にすぎない。西南日本の海岸における地震隆起の研究にもとずき、南海地震は過去の地震規模が大きければ地震間隔は長く、小さければすぐ次の地震がきってしまうという長期地震予測モデルが提唱され(Shimazaki and Nakata, 1980)、次回の南海地震は平均的な地震間隔114年より短くなるとされた。今回の報告は、その程度を岩石の破壊現象のモデルからの「ゆらぎ」ととらえて確率予測を行っている。エスカレーターのアート（前回の地震）から上の階まで（次回の地震）に乗り合わせた酔っぱらいモデル（島崎談話）である。現在は、確実に次の地震に近づいているものの、ふらふらと前進/後退を繰り返すことになぞらえるものである。大地を「酔わせる」要因についてはよくわかっていないものの、内陸で発生する直下型地震による応力低下や隣り合うプレート運動の揺らぎ（ゆっくり地震の発生を含む）などが考えられている。その結果、地震発生確率は10年以内では10%未満、20年以内で20%程度、30年以内40%でとされ、50年以内では80%、その頃にはすでに発生してしまっているとされた。一方、地震規模はこのモデルでは説明できないため、平均的地震規模のM8.4を採用した。ただし、となり同士の地震発生領域である東南海地震と南海地震が同時発生した場合は、M8.5の宝永南海地震（1707年）クラスになると予測する。最近1万年間の津波堆積物研究からは、宝永クラスの巨大地震は約3000年に一度の割合で発生するとされる（岡村ほか、2000）

地震発生領域は、永らく過去の被害状況（宇佐美ほか、1986など）と津波波高の記録（村上ほか、1998など）にもとずき推定されてきたが、あらたに最近の遺跡の液化化痕跡や津波堆積物の研究などが加わった。次の南海地震の規模については不確定要素が多いものの、安政地震クラスの南海地震であれば、その発生領域は足摺岬沖から紀伊半島新宮沖まで長さ350km、幅60kmから150kmの領域とされ、地下数十キロメートルの断層がスリップすることになる。その方向はプレート沈み込み方向と逆の南東方向をとり、断層面の上盤側の四国を載せた岩盤が、約30度の角度でのし上がる。その破壊の進行は少なくとも100秒以上つづき、この間地震動を発生させ続ける。昭和の南海地震の地震継続時間は約50秒であるから、非常に長い時間ゆれ続けることになる。地震の発生領域（断層面）は高知市直下や、徳島県南部にもおよぶ。多くの場合、単純な地震発生モデルでは、断層面はプレートの沈み込む面と同一のデコルマ（水平断層）面とされてきた。しかしこれでは下部海溝斜面に存在する、多数の活断層の存在を説明できず、高い波高の津波を発生させることも難しい。さらに地震発生領域の音響断面に見られる高角度逆断層の生成も説明できない。デコルマ面の活動とともに、これらの高角度逆断層も地震・津波発生に寄与していると考えらることで、すべての観察事実の説明が容易になる。

次に発生が予想される南海地震について、その発生から余震まで重層的に派生する現象について述べる。

1) 強震動の発生・・・徳島市の場合、地震発生後約25秒後から100秒間以上つづく

大きなゆれを発生させるS波は、断層面に直交する方向に発生するため、断層面が東西に延びる南海地震では、南北のゆれが大きい楕円運動として地表へ到達する。破壊開始点（震央）から約100km離れた地点では、S波の到達は約25秒後となる。震央のこの破壊開始を電気信号としてキャッチできれば、大きなゆれに見舞われる25秒前に地震の発生を知ることができる。この間に送電停止・ガス供給停止、広場への避難、運転中の車の徐行などを行えば、災害の軽減に寄与する。すでに、リアルタイム地殻変動観測システムが、南海トラフ陸側斜面水深3800m地点を先端として設置されている。これは、海洋科学技術センターにより運用されており、海底に設置された地震計、波高計（津波計）や深海カメラなどの信号が、室戸市三津の陸上施設へ光ファイバーケーブルを経由して送られている。設置点はまさに南海地震の想定震央に近く、今後のシステムの改良・運用次第では南海地震の直前告知シス

テムとしてきわめて有効に活用されるべき観測システムである。

おおきなゆれの発生と同時に、四国南岸では地盤変動に見舞われる。室戸岬では南あがり1.5m隆起、高知市から須崎市にかけては1.5mの沈下、室戸半島東海岸の東洋町では約1mの沈下などである、平常時において、すでに満潮時には海面下にある高知市では、東部を中心に約20平方キロメートルの地域が海面下となる沈下がおきる。昭和南海地震時、地震後数分で「津波」が来たと言い伝えられているが、これは地盤の沈降により生じた海水の逆流を捉えたものであることが最近わかってきた。

S波の大きなゆれは、昭和南海地震では約50秒間継続した。次の南海地震では100秒以上つづくことになる。兵庫県南部地震の継続時間は、13秒間であった。建築物の場合、被害の拡大はゆれの速度や加速度成分に依存するとされるが、土木構造物とくに土盛りの堤防や道路、人口地盤などの流動はこの継続時間にも左右される。長い地震動継続時間も持つ、海溝型地震の場合、宮城県沖地震や釧路沖地震に先駆的に見られるように、都市部新興住宅地の谷埋め部分の流動が進行し、堤防と道路の土盛り部分は大きな損傷を被ることになる。つづく津波の来襲では、この堤防の破壊は災害の拡大を意味し、交通網の遮断とともにさらに大きな災害発生を誘起する。

今回の南海地震では、吉野川の河口域に位置する徳島市では、同様な地盤発達過程をもつ高知市や松山市などとともに、気象庁震度階で6弱以上のゆれに見舞われるとされた。文字通り、地盤のよいところ（岩盤）で6弱であって、沖積層に覆われた都市部では6強か7になることも予想される。実際、より規模の小さな昭和南海地震では、四万十川河口域に位置する中村市では建物の7割が倒壊した。今年夏の災害評価では、徳島市の震害はどのように評価されるであろうか？

歴代の南海地震は、偶然にも冬季に集中して発生してきた。このために過小に評価される災害に、山津波（土石流）の発生がある。これは長時間のゆれにより斜面が崩壊し、崩壊土砂が川をせき止めた後、決壊する災害である。特に山地が海に迫り、その海岸部に集落が発達する四国では、その危険性はもつと指摘されてもよいと思う。夏場の多雨期には斜面の地下水位が上昇し、粒子・ブロック間の摩擦力が低下してしまう。このような状況で強震動（地震動）が継続するケースも、今後、防災避難システムに組み込む必要があろう。

2) 津波の来襲・・・徳島市の場合、地震発生後約25分後から8時間つづく

南上がりの逆断層活動が海底部でおきること、津波が発生する。津波の発生条件は経験的に、地震発生が海底部であり、M6.8以上で、震源の深さが40kmより浅い場合とされる。これは、断層運動による海底の食い違いが海底部に露出する条件と同義であり、陸上においてもこのことはあてはまることからこの発生条件は支持される。

津波の高さは、安政南海地震では太平洋沿岸部において6m—8mとされ、海沿いの都市・集落に甚大な被害をもたらす。安政南海地震では死者2000人から3000人とされており、歴代の南海地震の死者の死因の最多数を占める。ちなみに1707年の宝永南海・東南海地震では、西南日本太平洋岸において2万人の死者を数えた。地震のゆれによる家屋の倒壊が原因で発生する死者の数は、最大でも地域人口の5%を超えることは少ない。しかし、津波による死者は、時に地域住民の80%を超える場合も多い。津波の波高は、理論上、断層運動の垂直変位（地震規模に比例）を超えることはありえないものの、沿岸地形や浅い海底の状態により、その数倍に達する。特に間口の大きな湾や入り江では、沿岸部の5倍程度まで波の駆け上がりが見られる場合がある。津波は台風や低気圧により発生する波と異なり、波長が長いことが特徴である。これは、断層運動が広範囲の海底地殻変動、特に南海地震の場合、南上がりの逆断層運動のため沿岸部では海水の不足、引き波として出現することが多い。引き波や押し波は数十分間隔で繰り返し、安政南海地震津波では、高知県大方町において第4波が最大であったとの記録が残っている。

歴代の南海地震・津波における災害の発生には「特異点」ともいうべき地域があり、徳島県海南町浅川、高知県土佐市宇佐や高知県須崎市などが知られている。そこは東方や南方に開いた狭長な湾奥

に位置するという共通点が見いだせる。防災を含め、本フォーラムを企画された津波・海岸防災が専門の村上先生の解説を待ちたい。

3) 東南海地震と南海地震の関連について

歴代の南海地震は東南海地震と同時もしくは2年以内に発生してきた。昭和の南海地震は東南海地震の2年後、安政では32時間後、宝永と慶長では同時である。このことは、西南日本全体が圧縮応力下に置かれた状態から、一部が地震発生で解放され、他の地域がより不安定化するプロセス（ストレス・トリガリング）により説明可能である。

短期間に二つの領域が動くことは、災害の広域化だけではなく、災害救助体制の分散化・弱体化ももたらす。これは先行する東南海地震・津波発生地域に災害対応が集中し、四国南部の南海地震被災地域に十分な救援体制が取られない事態の発生を想像させる。さらに東南海地震の発生後、南海地震・津波を待ち受けることになる、この地域に住む住民の精神的ストレスは、極限まで高まるにちがいない。東海地震の発生が言われて20年余が経過した現在、南海・東南海地震だけではなく東海地震までもが連動する可能性が取りざたされている。

西南日本の静穏期は兵庫県南部地震により破られたのではないかと長期予測が出されて（尾池、1996）以来、西南日本の地震発生は頻度を増したようにも感じられる。これらの「小地震」をどのように日常鵜防災に役立てていくか、巨大災害に備える具体的行動が求められている。

4) 余震の発生・・・本震発生後約一年間、地震規模最大M7.4程度、小津波をとまなう

次の南海地震の規模はM8.4程度と見積もられる。この本震後つづく余震規模は、本震より小さくなるものの、M7.4クラスを筆頭に約一年間続くことを覚悟しなければならない。M7.4の地震は兵庫県南部地震の規模を上回り、1m程度の津波をとまなうことも考えられる。巨大災害から立ち上がろうとする人々に、多くの困難と不安を与えるであろう。このような不安定な状況のなかでは、多くの流言・飛語が発生しやすい。安定した災害救助、復旧過程におけるこのような状況でこそ、科学的知識に裏付けられた専門家や地域のリーダーの役割は大きくなると考えられる。

引用文献リストはここでは省略するが、地震調査研究推進本部地震調査委員会の「南海トラフの地震の長期評価について」にすべて含まれている。参照願いたい。