

東北地方太平洋沖地震について

東大地震研究所 佐竹 健治

今回の地震について、理学的な立場から意見を述べたいと思います。

1. 今回のような巨大地震・津波の予測可能性

3月11日の地震はM9.0という、これまで日本で記録されたことのない規模でした。東北・北海道の太平洋岸ではM7~8クラスの地震が数十年毎に発生しており、これがこの地域の地震サイクルであると考えられ、それに従って、地震の発生や地震動・津波の大きさが想定されてきました。福島を含む原子力発電所の設計に際しても、過去400年程度の津波の履歴に基づく既往最大の津波が想定津波として用いられてきました。過去数百年には知られていなかった規模の地震が発生した、という意味で、今回の地震の規模は「想定外」でした。

一方で、最近、地質学的な調査に基づき、数百年~千年に一度の頻度で、大規模な地震が発生すること（上記の地震サイクルにたいして、スーパーサイクルと呼ばれる）があることが、世界各地で報告されつつあります。2004年のインド洋津波を起こしたスマトラ島地震や、北海道東部で発生した500年間隔地震などです。宮城県については、西暦869年に発生した貞観地震・津波による被害・浸水域が今回と似たものであったことが分かっていますが、貞観津波が岩手県や福島県でどの程度の規模だったのかは知られておりません。

このような低頻度の地震の履歴を調べ、将来の発生予測につなげるには、対象となる地域だけを見ても限度があります。世界的な視野で、似たような環境の地域を調べ、比較研究することが必要です。ある地域では1000年に一度の低頻度巨大地震でも、世界の10地域を調べれば平均して100年に一度程度は発生すると考えられるからです。

2. 低頻度災害への備え

1000年に一度の低頻度災害にどのように備えるかについて、対象に応じた対策が必要だと思われれます。原子力発電所のような設備に対しては、ハード的な対策が必要である一方、一般の住宅・堤防などの寿命が数十年の建築・構造物をこのような低頻度災害に対して設計するのは難しいと思われれます。ハードを作る際には、上記の通常地震サイクルに備えとと共に、それでカバーしきれない低頻度の災害（原子力という残余のリスク）が存在するという知識の教育、それに対しては警報や避難などのソフト的に対応するという認識の共有が必要かと考えます。

低頻度大規模自然災害

佐竹健治

低頻度大規模自然災害とは？

日本における風水害による犠牲者は、最近の半世紀で大幅に減少したものの、ほぼ毎年数十名程度発生している¹⁾。一方、地震・津波・火山噴火は、通常は少ないが、1995（平成7）年の阪神・淡路大震災のように、一度の災害の犠牲者が6000名を超えることがある。このように、発生頻度は低いが、ひとたび発生すると甚大な被害を生じるものを、低頻度巨大災害と呼ぶことにする。

大地震・津波・火山噴火による災害は、台風や洪水などの風水害に比べると、その発生頻度が低い。「異常気象」とは25～30年に一度程度発生するものと定義されているが、日本における巨大地震や大規模噴火の発生間隔は、これよりもずっと長い。地球上のどこかで巨大地震や大規模噴火が発生する頻度は、特定の活断層や火山での発生頻度よりもずっと高いが、それでも風水害よりは低い。

巨大災害を定量的に定義するのは難しい。災害をもたらす自然現象の規模は、地震のマグニチュード（M）や火山爆発指数（VEI）などで定量化できるが、これらによる被害は、脆弱性によって大きく変わる。どんなに大きな自然現象でも人が住んでいない所で発生すれば被害をもたらさないし、堤防や耐震補強などのハード対策やハザードマップや予警報などのソフト対策によって被害を減少させることができる。

本稿では、巨大地震・津波・噴火・隕石落下

などの例を挙げ、これらの低頻度大規模自然災害について、その認知・評価・周知の重要性について述べる。

巨大地震と津波

2004年12月にスマトラ島沖で発生した地震と津波は、犠牲者約23万人という、史上最悪の津波被害をもたらした。この地震はマグニチュード（M）9.1と世界最大級の規模で、その震源域はインドネシアのスマトラ島沖からインド領のニコバル・アンダマン諸島へと達し、全長は1000 km以上であった²⁾。日本で言えば、東日本あるいは西日本全域が震源域になったようなものであった。この地震によって生じた津波は、インドネシア、タイ、マレーシア、スリランカ、インドなどのほか、アフリカの東海岸まで被害をもたらした。

M9クラスの地震は20世紀には世界中で4回しか発生しておらず、それらは全て環太平洋で発生した。1960年にチリで発生した地震はM9.5と、2004年の地震より大きく、その津波は太平洋を約23時間かけて横断、北海道・東北地方で最大高さ6 mとなり、死者・行方不明者約140名という被害をだした³⁾。この津波をきっかけに、太平洋の国際的な津波警報システムが構築された。

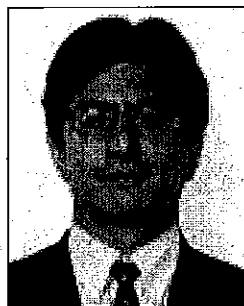
インド洋でこのような巨大地震や津波が発生した例は歴史的に知られていなかった。19～20世紀に発生した過去の地震データに基づき、

2004年スマトラ島沖地震の震源域で起こりうる最大規模の地震はM8クラスであると考えられていた。

古地震学的調査

スマトラ島の南岸では、隆起したサンゴ礁の調査から、過去の海面変動が復元され、巨大地震が繰り返し発生したことが2004年までに明らかにされていた³⁾。このように地質学的な痕跡に基づいて過去に発生した地震を調べる分野を古地震学と呼ぶ。地震によって隆起した海岸段丘や、地層中に残された過去の津波で運ばれた砂（津波堆積物）などを調べることにより、先史時代に発生した津波の規模や年代を明らかにすることができる。2004年以後精力的に行われている古地震学的調査の結果、スマトラ島の北部、タイ、アンダマン諸島、ミャンマー西海岸でも、2004年と同規模の地震が過去に発生した証拠が発見されている。

北米の西海岸は、地学的環境からは巨大地震が想定されるにも関わらず、大地震の発生は歴史上（過去約150年間）知られていなかったが、1990年頃から行われてきた古地震学的な調査の結果、約300年前に大地震が発生したことがわかった⁴⁾。北米の西海岸で巨大地震が起きると、太平洋に津波が発生し、日本にも到達するはずである。古文書の調査から、元禄十二年に日本各地で波源不明の津波が記録されていることがわかり、これが北米の巨大地震による津波



PROFILE

佐竹健治
(さたけ けんじ 1958年生)
日本学術会議連携会員、産業技術総合研究所活断層研究センター
一上席研究員
専門：地震学

であったこと、地震は1700年1月に発生したことで、その規模は2004年スマトラ島沖地震と同程度であったことがわかった。

日本でも、これまで知られていなかったタイプの巨大地震が過去に起きたことが、古地震学的調査によって明らかになってきた²⁾。北海道東部の湿原や湖沼における津波堆積物などの調査から、およそ500年に一度、十勝沖地震と根室沖地震が連動して巨大な津波が発生してきたこと、最近では17世紀にそのような巨大な津波が発生したことがわかった。このような最近の調査結果は、中央防災会議などによる被害想定にも取り入れられている。

津波は巨大地震以外にも、火山噴火・山体崩壊・海底地すべりなどによっても発生する。日本では江戸時代に、北海道南西沖の渡島大島火山の山体崩壊による津波、南西諸島の八重山津波、九州の雲仙火山の眉山崩壊による有明海の津波など、通常の地震以外が原因と考えられる津波が発生した。

活断層の地震

阪神・淡路大震災は兵庫県南部地震（M7.3）によって発生した。M7クラスの地震は、M9ク

ラスに比べてそのエネルギーは約1000分の1であるが、大都市の直下などで発生すると大きな被害をもたらす。兵庫県南部地震は、淡路島と神戸の活断層で発生した。活断層とは、最近の地質時代に繰り返し活動し、今後も活動して地震を発生する可能性のある断層のことであり、神戸市街背後の六甲山は活断層が繰り返し動くことによってかたち作られたのである。じっさい、1970年代に神戸における直下型地震の可能性が指摘されていたが、行政や住民への啓発に生かされなかった。

活断層における大地震の発生間隔は数千年程度と長いため、過去の地震について調べるには古文書や地質学的な調査が行われる。兵庫県南部地震以降、全国の活断層において、掘削（トレンチやボーリング）による地質学的な調査・研究が進展し、過去の地震の履歴がわかりつつある。このような調査データに基づき、政府の地震調査推進本部によって、次の大地震の発生確率を推定する長期評価がなされている。

■ 火山噴火

1991年のピナツポ火山（フィリピン）の噴火は20世紀で最大級のものであった⁵⁾。ピナツポ火山は歴史時代には噴火の記録がなかったが、1991年3月に突如活動を開始した。その後の地質調査によって、約500年前に大火砕流噴火を起こしていたことが明らかになり、さらに地球物理学的な観測によって噴火の経緯の把握や予測が可能となった。6月15日の最大噴火の前には、警戒レベルを上げ、火山周辺からは数千人

の住民が避難した。この噴火で約300人の犠牲者が出たが、警報と避難がなければ犠牲者の数は桁はずれに大きかったであろう。この最大噴火時には台風も接近し、噴火後は降雨によって泥流が発生、という複合災害になった。また、この噴煙は成層圏にまで達し、オゾン層の破壊や北半球の平均気温が1~2度下がるという影響を及ぼした。火山噴火は主に噴出量に基づく火山爆発指数（VEI）で定量化されるが、1991年ピナツポ噴火のVEIは6であった。

ピナツポ噴火より1ランク上（噴出量がおおよそ1桁大きい）巨大噴火の例として、鬼界カルデラの例がある⁶⁾。約7000年前に九州と屋久島の間（薩摩硫黄島や竹島）周辺で発生した噴火は、火砕流が九州南部に達し、九州・四国・紀伊半島では20 cmを超える火山灰が積もった。また、この噴火に伴い大地震と大津波が生じたという証拠が発見されている。この巨大噴火を境に、西日本の縄文式土器の形式が変化したという指摘があり、その影響は日本のほぼ半分に及んだとされている。このような巨大噴火は、平均すると数千年に1回の割合で発生しているが、鬼界カルデラの噴火以来発生していない。

さらに規模の大きな噴火（VEIが8以上）は、発生頻度が数万年に一度程度とさらに低いが、ひとたび発生すると地球規模の気候に影響を及ぼすことが、極域の氷床コアの分析などから明らかになっている。

■ 隕石衝突

さらに低頻度だが地球規模に影響を与えるも

のとして、隕石の衝突がある。約6500万年前の白亜紀と第三紀の境界では、恐竜を含む大量の生物が絶滅したが、これは直径10 km程度の巨大な隕石が地球に衝突したことが原因とされている。隕石の衝突によって、短期的な気温の上昇、大津波の発生、大気中の塵による長期的な気温の低下などが発生し、地球環境が大きく変化、生物にも影響を与えた。このように巨大な隕石の衝突は非常に低頻度の現象（数億年に一度程度）であるが、より小さな1km³程度の隕石の衝突は数十万年に一度程度の頻度で発生し、全地球の気温に影響を与えると考えられている⁷⁾。

隕石の衝突は、全地球でも巨大地震や巨大噴火に比べてその発生頻度が桁小さい。そのため、サイエンスフィクションや映画の世界と考えられがちだが、現実の対策としては、地球近傍の小惑星の追跡が行われており、衝突の相当時間前に予測できると期待されている。

大規模自然災害の確率的予測

大規模な被害をもたらす自然現象の発生頻度は低く、平均的な発生間隔は数十年～数千年以上と、人間生活の尺度と比べて長い。また、現象の規模が大きいものほど発生頻度が低い。地震の場合、Mが1大きくなるとその発生頻度は10分の1になることが知られている。従って、最近の記録のみでなく、古文書や地質学的な調査手法によって過去の地震・津波や火山噴火の発生履歴を解明することが必要である。また、特定の地域に注目するだけでなく、地学的環境

が似た他の国や地域での例を調べることによって、低頻度災害についての具体例を増やすことが有益である。

過去の災害の発生履歴から、将来の発生確率を計算することができる。この際、個人の人生設計や通常の家屋などの寿命を考慮して、30年程度の時間幅を設定することが多い。平均発生間隔が数千年の場合、30年間の確率は最大でも数%程度にしかならず、その扱い方が問題となっている。都市や国土計画では、100年程度の時間幅を想定するのが適当であろうし、原子力発電所などの重要施設や核廃棄物の地層処分などについては、さらに長い期間における確率を考慮する必要がある。最近日本で発生した地震が原子力発電所における設計地震動を超過したことは、地質現象に比べてたいへん短い期間のデータに頼ることの危険性を示すことになった。

低頻度大規模自然災害の

認知・評価・周知

低頻度大規模自然災害について、津波堆積物、活断層調査、火山噴出物、氷床コアの成分分析などの地質学的な調査によって、長期間にわたる自然災害の発生履歴が明らかになってきた。歴史学者と自然科学者との共同による古文書の研究も行われている。現在の状況を知るには、地球物理学的な観測が欠かせない。

過去の災害に関する科学的な調査に基づき、規模とその影響、発生間隔と将来の発生確率などを推定することができる。将来の発生確率は

低くても、ひとたび発生した場合の影響を推定しておくことは、安全・安心な社会の構築のためには必要である。

将来の被害を減らすためにもっとも重要なことは、このような科学的な知見の周知であろう。科学者の間では、スマトラ島や神戸における大地震の可能性は認識されていたが、一般には、過去数十年程度の経験に基づき、インド洋では津波が発生しない、神戸には地震が来ない、などの間違った知識が広まっていた。自分自身や近い過去の経験がないことへの対策を立てるのは難しいといわれるが、科学的な知識によって経験を増やすことができる。そのような知識を提供するのが科学者の役割であろう。

参考文献

- 1) 平成18年度版防災白書 (2007) <http://www.bousai.go.jp/hakusho/h19/index.htm>
- 2) 産業技術総合研究所 (2006) きちんとわかる巨大地震、白日社。
- 3) Sieh, K. (2006) Sumatran megathrust earthquakes: from science to saving lives, Phil. Trans. R. Soc. A. 364, 1947-1963.
- 4) Atwater, B.A. et al. (2005) The Orphan tsunami of 1700. USGS and Univ. Washington Press. <http://pubs.usgs.gov/pp/pp1707/>.
- 5) Newhall, C. and R.S. Punongbayan (ed.) (1996) Fire and Mud, PHIVOLCS and Univ. Washington Press.
- 6) 町田洋・白尾元理 (1998) 写真でみる火山の自然史、東京大学出版会。
- 7) McGuire, W. J. (2006) Global risk from extreme geophysical events: threat identification and assessment. Phil. Trans. R. Soc. Ser. A, 264, 1889-1909.