

# 津波と津波災害

## —東日本大震災津波災害の教訓を中心に(上)



志岐常正

東日本大震災からの復興、今後の防災をはかるには、自然についての認識が欠かせない。多数の論説がだされているにも関わらずそれは不十分であり、盲点が存在すると考えられる。そこであえて問題点を検証する。3.11津波一つの例をみても、その性状は遡上や戻り流れにつれて多様に変化した。とくに段波、碎波、射流、集中戻り流れなどの有無と状況が、場所ごとの被害の形と大きさを規制することに注目を要する。

### はじめに

東日本大震災の発生以来、地震や津波とそれらによる被害について、数多の問題が論議されてきた。そのあまりの多さと複雑さとは、本誌の読者だけでなく、被災現地の復興問題に取り組んでいる多くの科学者を戸惑わせている。

日本科学者会議は、『地震と津波—メカニズムと備え』を編集、発行した<sup>1)</sup>。多くの人びとの疑問や要求に応える時宜を得た仕事である。またやさしく書く努力がなされている。諸学会や科学雑誌社などの努力も目覚ましい<sup>2)</sup>。津波被害に関しては、被災各地を総まくりにした分厚い調査報告書<sup>3)</sup>もすでに出版されている。

一方、より一般的に、津波とその被害についての解説は、かなり古くから教科書や辞典に記されており、近年には詳しい単行本も出されている<sup>4)</sup>。

そこで、今さら、津波と津波被害について概説程度のことを書く意味はないかも知れない。しかし、これらの著述や報告は、易しく書く努力がなされたものでも、やはりかなり

の理学的知識を前提としていたり、内容が多岐にわたって分厚かったり、問題の要点を掴み難い面があると思われる。これらのことが本稿執筆を必要とする理由である。

しかし、津波関係に限ってさえも、記すべきことは多くかつ複雑であり、限られた誌面で多くの問題を紹介、検討することはできない。

ところで、論議的にされたにもかかわらず、現在も決着を見ていない問題が存在する。また盲点となり重要であるにもかかわらずほとんど論議されていない問題もある。本稿では、被災のメカニズムの検証や今後の津波対策に資するという視点から、これらの問題のいくつかに絞って紹介し、筆者の見解を述べることにする。

その理解のために必要と思われる解説を前に付け、後の章では、日本で今後起こるかもしれない大災害とその対策の問題の2～3についても、簡単に触れたい。

いずれの問題も内容的には、筆者だけの独自の見解が少なくないが、その根拠をここで個別に述べるのは紙数の関係で無理である。中でも原発事故に関する問題は、日本だけで

キーワード：津波 (tsunami), 津波災害 (tsunami disaster),

2011 東北地方太平洋沖地震 (2011 Tohoku-oki Earthquake), 想定外問題 (“out of expectation” problem), 射流 (supercritical flow)

なく世界の社会構造の根本に関わるが、残念ながら今回は論述をほとんど省略する。別の機会を得たいと考える。

## 1 東日本大震災の「想定外」問題

### (1) 「想定外」とは

いわゆる“想定外”問題には、地震、津波、原発事故の三つがある。そのうち原発事故に関して当事者が発した“想定外”という無責任な言葉が一般に強い印象を与え、今、一種の流行語として便利に使われている。

ちなみに、工学技術者が“想定”というとき、その言葉には、専門用語としてのニュアンスがこめられている。たとえば河川“管理”者が河川の洪水対策として堤防建設を計画するときには、降雨や洪水流量などのパターンを想定する。そうしないと計算ができないからである。

その想定をはずれる場合の流況制御は、計算しないだけでなく、地域のあり方に関する権限外の問題もからむので、管理者としては必ずしも責任を持ってない。原発事故に関して、工学技術者たちが使った想定外という言葉には、同様なセンスが含まれていたに違いない。

しかし、一般の人びとには“人知を超える”という意味にとらせたかったのではないかと<sup>5)</sup>と、疑問に思われる。

どちらにせよ、福島第一原発事故に関しては、地震も津波も当然想定されていなければならなかった。会社幹部にとって本当に想定外であったとすれば、それはそれで、法的にも責任重大ではないだろうか。

### (2) 地震—地殻変動予測の失敗因

東北日本太平洋沖で大きな（マグニチュード7程度の）地震が起こる確率が非常に高いことは、前々から地震専門家により警告されていた。しかし、その規模が超巨大でありう

ることや、それによる超巨大津波の発生しうることを地震研究者が想定していなかったことが、津波被害拡大に繋がったことは否定できない。

これに関しては、専門研究者たちは深刻な反省をしている。たとえば、プレート境界の“アスペリティ”（固着域）<sup>6)</sup>に関して、海溝近くにそれがあることを気づかなかったとか、チリ沖と異なり太平洋プレートの沈み込み角度が大きいから超巨大な地震は起こらないと信じていたのが間違いであったとか、いろいろな指摘や議論がなされている<sup>7)</sup>。

しかし、筆者には、もう少し違った基本的な問題があるように見える。それは、実体概念としての“アスペリティ”の地質学的実態が未だ未解明であるのに、地震発生の本質論に進み過ぎていたのではないかという疑念である。“アスペリティ”は概念としては妥当であろう。しかし、地質構造断面図上に具体的に示してほしい。

東北地方沖の大陸斜面下の海底地質構造は、1970年代末には、特定断面についてはあるが、かなり詳しく明らかにされていた（図1）。しかし、それらが地震発生 of 物理的機構の解明・検証によく生かされているかは疑問である。

実は、地震の震源となる場には、ボーリングはもちろん、海底地震計やエアガンによる探査が及ばない深さを含むために、地震面のつなぎ方と海底地質との関係は推測の域を出ていない。このことが、海溝型地震の専門家の中で問題とされたことを聞かない。

なお、西南日本沖の南海トラフ沿いでは、近年、各種の調査・研究が著しく発展している。

一方、現在陸上で見られる数千万年前の地質については、プレート沈み込み境界の、深い、まさに起震の場所での摩擦発熱による熔融で生じた特殊な岩石（シュードタキライト）

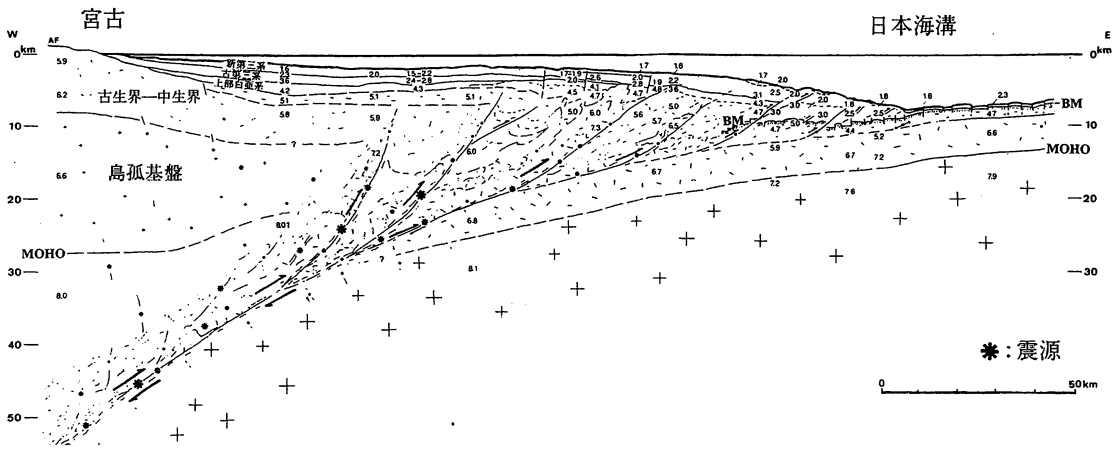


図1 東北日本宮古沖の総合地質断面  
この図中にアスペリティを示すことが望まれる。

その他が見いだされている<sup>8)</sup>。

さらに、現在のこのような地下深部地震発生帯の岩石（その上部だが）を採取すべく、深海掘削船「ちきゅう」を用いた「統合型国際海洋掘削プロジェクト」が紀州沖で進行しつつある。この成果が、今後、南海トラフはもちろん、東北沖の地震発生場“アスペリティ”の実態把握にも生かされることが期待される。

### (3) 超巨大津波の想定

東北太平洋岸には、およそ1000年まえに貞観地震と呼ばれる超巨大な津波が押し寄せたこと、さらに、その前を見ると、数100年からおよそ1000年に1度、超巨大な津波が襲来していることは、堆積地質学的調査研究によって、つとに明らかにされていた。

また、このことは、政府の委員会（総合資源エネルギー調査会原子力安全委員会）でも報告されていたが、そこでもまた、地方行政や電力会社によっても真剣に取りあげられなかった。

この経過は今では広く知られているので、ここでは繰り返して記述しない。

当然ながら、超巨大津波があったということは、それを起こした超巨大地震があったと

いうことでもある。地球科学の内部の少し専門が違っただけの地震の専門家が、地質学サイドからのこの証言の意味に、何故関心を寄せなかったかはあまり問題にされていないが、真剣に検討されるべきテーマではないだろうか。

### (4) 津波襲来の周期性と今後の想定

今後の防災にも関係して、津波襲来を想定する際に問題になる津波の周期性について、少し切り口を変えて検討する。

2011年の巨大津波体験のショックから、また防災のためには最悪のケースを想定すべきであるとの考えから（それ自体は正しいが）、今すぐにも2011年3月11日の超巨大津波（以下、3.11津波と略す）と同規模の津波に対する備えを完成させなければならないと考える人は少なくないと思われる。

また、理科的知識を持ち、地震の発生には確率論的性格があることを知る人の多くにも、発生予想が何%などと報じられることを数学的な分布確率としてだけ受け取って、確率が非常に小さくともゼロではないのだから、明日にでも3.11津波のような超巨大津波が同じ場所（波源）で起こることがあり得ると理解するむぎが少なくない。これは発生場所に

関する限り、誤解である。つまり、地震を発生する地殻変動が物理的事象であることを忘れてはいる。

ストレスが蓄積して、限界に達して地殻(地盤)が破断して起こるのが地震である。一度破断した場所は、ずれ動きやすくなっている。少しストレスがかかってもずれうるので、逆により大きな揺れ(地震動)<sup>9)</sup>を起こすようなストレスが短期間に蓄積するようにはならない。ここにストレスが蓄積し、津波を造るような地震が発生するまでには一定の期間を必要とする。要するに同一場所(アスペリティ)が地震の震源となるのには周期性がある。

したがって、地震だけでなく、それによって起こる津波(以下、地震性津波という)の発生にも周期性がある。例えば陸前高田に3.11津波を襲来させたような津波が、同じ場所を波源として次に起こるまでには、一定の年月が必要である。被災地の復興や地域計画を考えるうえで、地震性津波の周期性を検証・想定することは、決して非科学的ではない。

なお、世界各地の例を見ると、同一海溝沿いでも500 km以内の場所を震源とする超巨大地震が近い将来に起こる可能性は小さくない<sup>10)</sup>。こう言うと、一見、上の記述と矛盾するように見えるかも知れないがそうではない。具体的には別に他で記す。

ともかく、津波は、ある特定の場所に、異なった場所を占める津波源から襲来する。したがって、地震発生や津波発生の周期性と、それらによる被災の確率周期とは違う。ある特定の場所に来る津波は、規則的な周期性をもつとは言えない。なお、海底地震があっても、そのメカニズムによっては、津波が発生するとは限らない。また、津波が発生して海岸に到着しても、被害を生ずる規模になることは多くはない。

## 2 津波と津波災害

### —津波とはどんなものか

津波は、A 突発的な地殻変動(多くは地震動をとまなう)による海底の動き、B 海中で(または海中へ)の斜面崩壊や土石流の流入、C 同じく火山の爆発や溶岩流の流入、D 隕石の落下、E 核爆発などにより起こる海水の運動である。以下、Aにより起こる津波を地震性津波と呼ぶ。

日本で昔は、気象学的要因などによる高潮が区別されずに津波と呼ばれた場合があると思われるが、今ではこれは津波の定義から除外される。なお、tsunamiは今、国際学術語である。

地震性津波に限ってみても津波は多様であり、津波と津波災害についての説明は難しい。専門家に、津波を“見渡す限りの海面が盛り上がりつつ岸に向かってくる高潮のようなものと捉えたほうが良い”と説明されたり、“波というより速い流れに近い”と解説されたりすると、一般の人は、戸惑うだろう。

これらの解説は実はどちらも間違っていない。しかし、これらはそれぞれある場合の津波の性質をそれぞれ簡明に述べているのであって、全体的な解説ではない。実際のところ、ある一つの津波について見てさえも、その姿は時系列的に変化し、また、場所により多様である。

本稿の後半のこの点についての理解を良くするために、やや詳しく解説する。

#### (1) 一つの地震性津波の時空変化

ここで、津波を記載する際の諸量の定義に触れておく。津波の波としての振幅、津波高(水面標高)、陸上津波高(個別地点での地表からの高さ=浸水高)、遡上高、打ち上げ高、痕跡最高水位、などはそれぞれ違う(図2)。従来の諸報告、諸論文では、これらが必ずしもきちんと区別して使われてはいない。

津波は長波であると、多くの教科書に記してある。これは浅海でなく沖の海洋（海溝斜面～大陸斜面）で起こる津波（上記A）の話であり、その他の津波は必ずしも長波ではない。

長波は次の式で表される（特性上は、極浅水波と言っても同じである）。

$$C = \sqrt{gH}$$

ここに、C：波速 (m/sec) g：重力加速度 (m/sec<sup>2</sup>) H：水深 (m)。

この式で見ると、長波である深い海での津波の波速は水深だけで決まる。チリ沖で発した津波は、太平洋の深海をジェット機なみの早さで渡り、24時間で日本海岸に達する。

和歌山県沖で起こった津波は、わずか数分で陸地を襲う。水の粒子の動く速度はきわめて遅い。また、海水面付近から海底近くまでほとんど同じ速度で、長い周期で、水平的に往復運動をする（図2 & 3）。これらは風による普通の波とはまったく違う、長波として

の津波の特質である（高潮や潮汐波ではもっと著しい）。

陸に近づくと、水深が浅くなるにつれて津波の速度は落ち、流速は速くなる。波の形状も変わり、多くの場合、先頭近くにとくに高いピークが現れ、その後に、数個のピークを持つ波が続くようになる（図3）。先頭ピークの前面傾斜が急になり、段状になる（段波あるいはサージと呼ばれる）。さらに碎けて“碎波”（とくに“碎け寄せ波”）となることも多い。段波は、物に衝突するさいの破壊力が大きい。

津波が防波堤や堤防<sup>13)</sup>などの障害物を乗り越える際にはエネルギーを若干失うものの水面が上がる<sup>14)</sup>。

陸上に遡上すると津波の波としての性質は目立たなくなり、基本的に流れと見なしてよいものになる（以下、“遡上流”と呼ぶ）。堤防（防潮堤を含む）を乗り越えた津波は、落下のエネルギーを得て、流速が波速より大

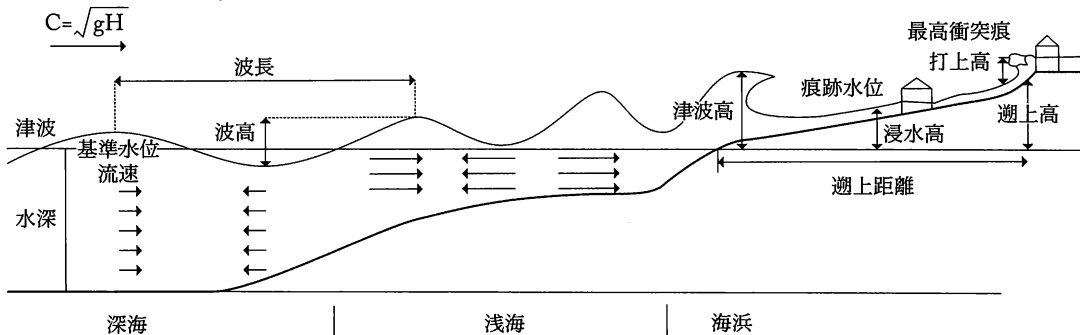


図2 津波の記載に関する諸定義  
Sugawara, D., et al., 2008<sup>11)</sup>の模式図を元に一部改変。

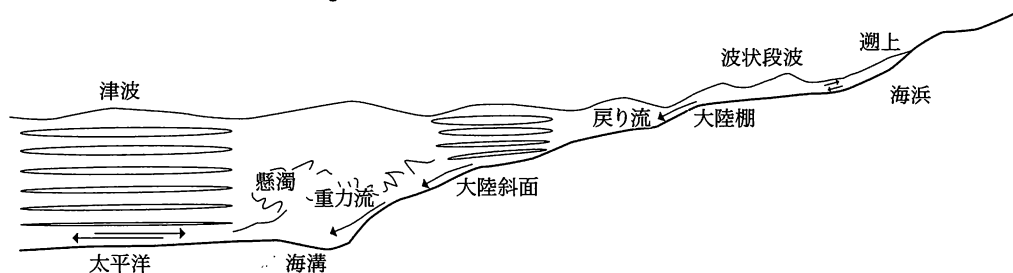


図3 深海から海岸、遡上限界までの津波の性状、水の特微的動きや作用の違いを示す模式図  
Shiki, T., et al.,<sup>12)</sup>に基づき一部簡単化。

きい（洗掘・破壊力が大きい）射流と呼ばれる流れとなるのが普通である。その後の遡上流は常流と呼ばれる流速のほうが小さい流れとなる。ただし、変わるさいにわずかながら水位が上がる。

遡上の終わりの時点、引き波に転ずる頃には、傾斜が小さい平野での水の動きは非常に遅く、浸水しても破壊力が比較的小さい。ところが、引き波は流れとしての性質が強い（以下“引き流れ”または“戻り流れ”と呼ぶ）。この流れは水底（地表面）の傾斜によりエネルギーを得るため、流下につれて速度をます。

とくに低い場所に集中すれば、大きな運搬力、破壊力を示し、時に、すでに寄せ波の段波、碎波の衝突や射流による洗掘で痛めつけられている防潮堤をブロック化して海側に運搬しさえもする。

海に戻った引き流れの、陸上や湾内など海底から砂泥や瓦礫を取り込んで密度を増した部分は海底を流下し、場合によっては海溝底にまで達する。一方、低密度の部分は海中に、水塊としては厚く広く、雲状に拡散する<sup>15)</sup>。

以上は、地震性津波一般に共通する記述であるが、さらに、3.11津波に特徴的であったことの2、3に触れるとしよう。

津波が引き波から始まるか、寄せ波から始まるかは場所により違う。これには、地殻変動（地震の発生）で地盤が上がったところと沈下したところとの沖合および海岸や陸上での分布の違いが関係していると思われる。この関係には場所による一定の傾向があるらしいが、上下変動地域の分布位置や広さが津波ごとに同じではないので、次の津波でどの程度どうなるかは細かくは言えない。

いずれにせよ、津波は、海岸には普通は数波押し寄せる。3.11津波の第1波の寄せ波では、その先端より遅れて、とくに高い山が陸に襲来したところが多い。津波は波である

から、これは当然かも知れないが、都司（2011）が指摘しているように、2011東北日本太平洋沖地震に際しては、東北沖震源域の特定の一部でとくに、こぶ状に基盤が隆起し、そこから特別に高い津波の山が発生したことが関係しているかも知れない<sup>16)</sup>。

一方津波は、第1波のピークがもっとも高いというわけでは必ずしもない。第1波と第2波の間は、普通10分から数10分程度であるが、3.11津波の場合、陸前高田では、第1波より高い、見かけ上の第2波と目される波が、第1波より4時間も遅く来た。

津波（流）は、陸上に遡上しても、元の波の性格をすべて失うわけではなく、水面の上下動が波動をなして移動する。水（粒子）の運動の早さ（流速）、浸水の先端が遡上する早さ、水面の上下動の山が遡上する早さ、細かく言えば水面の逆勾配が遡上する早さは、それぞれ別である。

このことが知られていないと、3.11津波被災の例のように、市街地に流入した津波の流れが道路を流れるのをビルの上からみているうちに、水位の高い山がやってきて生命を失うという悲劇が起こる。

3.11津波では、残念ながら、懸命の海底捜索にも関わらず人の遺骸が見いだされていない例が少なくない。上述<sup>15)</sup>の土砂を含む密度の高い流れに取り込まれて運搬され、埋積されている可能性が考えられる。

### 3 津波災害の多様性

#### 一場所の特徴による津波災害の違い

上記に見るように、津波の性状は伝搬中の海底地形や海岸、陸上の地形によって強く規制される。同一波源から発した津波でも、海岸や陸域に達するときには、場所によって性質を異にする。\*波であるから重ね合わせや反射、回折もする。そのために、津波被災の状

況も場所により大きく違う。

次に、3.11津波災害の若干の例を挙げて、その状況を記述する。

発達した波状段波の襲来によって大きな被害を受けた典型的例として、陸前高田市の場合がある<sup>17)</sup>。この中心市街を奥に持つ広田湾は平面形が長矩形に近く、開口方向が津波の入射方向に近い。そのため津波は、エネルギー損失を大きくこうむることなく湾奥に達した<sup>18)</sup>。

また、大陸斜面と広田湾内での海底の傾斜が大きく、かつ水深減少が継続的であることが、段波の発生、発達をうながしたものと思われる。この段波の衝突、乗り越えによって、またここから、より低い裏側（陸側）の後背湿地や湖沼に流れ下って生じた射流によって、砂丘や堤防、松林が広く削られ、掘削され、消失した<sup>19)</sup>。

川を遡った津波は、その途中の一部で川の堤防を越え、流域の沖積地の農地や宅地に侵入した。同様の状況は、宮古市の田老地区その他各地でも認められた。

津波の第1波の波状段波と、それに続く第2、第3波などは、陸前高田では“寄せては返す波”と感じられたらしい。

一方、この地元が“第2波”と捉えている波は、一度大きく水が引いてから、およそ4時間後に押し寄せた。この波の浸水深は“第1波”より大きかったが、段波でなく高潮に似ていた。この間の引き波の間も陸域での浸水は続いて停滞していた。おそらく地盤沈下が影響していると思われる。

陸前高田と対象的なのは、すぐ隣の気仙沼市の場合である。気仙沼湾では段波や砕波は湾口やそれより外海で発生したらしく、湾内では波の寄せ引きにつれて、水がゆっくりと往復した。湾底が湾口から浅く平坦だからであろう。

この流れによって舟とともに往復し、たまたま岸辺に近づいたときに陸に飛び移ることができた人の例が報道された。このような流れは、大きなエネルギーはもっていても破壊力は相対的に小さい。気仙沼海岸での漁業施設（とくに埠頭と魚市場）が、被災はしたものの復旧が早くはじめられたのは、そのための復旧の一番の課題は沈下した地盤の嵩上げであった<sup>19)</sup>。

仙台平野では、砕波は海岸に達してから起こったらしい。報道写真に見る沖合での水の蒼さと水面の平坦さは印象的である。堤防を越えた津波は、強い射流をなした。このことは、水底での、堆積地質学的にアンチデューン（反砂堆）と呼ばれる堆積構造の形成を示す特徴的な波（しかも波長数10 mと大きい）が毎日新聞社の航空写真に写っていることで明白となった。この一帯の住宅は、この流れでコンクリート床を残して壊滅した。

水面が上下するだけで段波や射流、引き流れの集中などがない場合には、水塊全体のエネルギーは巨大でも、必ずしも構造物の大きな破壊をもたらさない。

その典型例は、宮古市の河口近くの市街地に見られる。ここでは厚さわずか10 cmあまりの防潮壁が、津波に乗り越えられたにも関わらず無傷であった<sup>20)</sup>。津波の遡上流の向きが防潮壁に平行であったことが大きく関係したに違いないが、ここでも当日の写真に見る水の色の蒼さが注目される。おそらく、段波は発生しなかったであろう。

津波の回折による遡上高の増大に関しては、例えば気仙沼湾湾口部の岬の上への津波の集中と、それによる丘陵地（段丘）杉の下地区の被災の例がよく報告されている<sup>20)</sup>。

（以下次号に掲載）

## 注および引用文献

本稿を記すにあたり参考にした著作、文献、報道記事は、当然ながら数多いが、引用文献に挙げることは、誌面の都合上、最小限に止めざるを得ない。ただし、比較的知られていないと思われるものは、なるべく記すことにする。

- 1) 日本科学者会議編『地震と津波—メカニズムと備え』(本の泉社, 2012).
- 2) 多くの学会が、また日本学術会議が調査団を派遣し、そしてシンポジウムを開催して討論、検証してきた。出版物としては、たとえば、日本地理学会「緊急特集 東日本大震災」『地理』(2011年6月号)。日本地質学会「特集東北地方太平洋沖地震：統合的理解に向けて」『地質学雑誌』118, 5, 7, 9号(2012)。東京大学地震研究所「2011年3月東北地方太平洋沖地震特集」。  
<http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/2011/04/inquiry/>  
国土問題研究会『国土問題』73(2012)。
- 3) 原口強・岩松あきら『東日本大震災津波詳細地図。上巻、青森・岩手・宮城』(古今書院, 2011)。
- 4) たとえば、荒巻まこと『海岸』(厚書房, 1970)。都司嘉宣「津波」和達清夫監修『海洋大事典』(東京堂出版, 1987) pp.361-365, 首藤伸夫ほか(編)『津波の事典(縮刷版)』(朝倉書店, 2011)。  
Sugawara, D., Minoura, K., and Imamura, M., Tsunamis and tsunami sedimentology in Shiki, T., Tsuji, Y., Yamazaki, T., and Minoura, K., *Tsunamiites Features and implications* (Elsevier, 2008) など参照。
- 5) 鈴木康弘「東日本大震災における『想定外』問題について」『地震と津波—メカニズムと備え』pp.107-112。
- 6) アスペリティとは本来は断層面上の突起を意味した。突起があれば摩擦強度が大きく、強度が大きいと地震性すべりが大きいとの類推から、(i) 強度が大きな領域、(ii) 地震性すべりが大きい領域という意味で用いられるようになった。アスペリティ周辺の非地震性すべりにより、アスペリティに加わる応力が増加し、ついには地震発生に至るのが地震発生の基本的プロセスだと考えられた(飯尾能久・松沢暢 東北地方太平洋沖地震の発生過程：なぜM9が発生したのか？前掲『地質学雑誌』118, 5, pp.248-277, 2012 参照)。
- 7) たとえば前掲『地震と津波—メカニズムと備え』にも、数章に「想定外」問題を含めつつ、東日本大震災を起こした超巨大地震と超巨津波に関する諸問題の全貌が解説、論述されている。
- 8) シュードタキライトについては、橋本善孝「高知の附加体とメランジュについて—活動的な地球を手にとる—」鈴木堯士・吉倉伸一編『最新・高知の地質—大地が動く物語』(南の風社, pp.50-71参照)。
- 9) いつの頃からか、地震学、地球物理学関係では、“地震”が断層の活動とそれにより起こる振動などの物理現象を含む意味で使われている。古来の、振動を意味する“地震”は、“地震動”と呼ばれる。どうかとは思いますが、小論でも、以下それに従う。なお、“断層の活動”(“活断層”)という表現も全世界的に使われているが、運動(転位)するのは地殻(地盤)であり、断層はその境の亀裂である。ただし、地震動(振動)を発するところでもある。文字を説きただけでは誤解しがちな用語が、一般の人びとの活断層の意味や津波の発生機構の理解を妨げている(それだけでなく、何時の間にか、専門家の思考をも混乱させている)。同様の例は、他にもいくらかもある。
- 10) 500 km以内というスケールで見ると、数年という近い将来にM9クラスの超巨大地震が起こる可能性は小さくない(石渡 明, 世界のM9地震と地質学の課題, 『日本地質学会News』15, pp.15-17, 2012参照)。
- 11) Sugawara, K., Minoura, K., and Imamura, F., Tsunamis and tsunami sedimentology, in Shiki, T., et al., (Ed.) 2008. 前掲4), Fig. 3.1.
- 12) Shiki, T. et al.: Characteristic features of tsunamiites, in Shiki, T., et al., (Ed.), 2008. 前掲4), Fig. 18.1.
- 13) 防波堤：波のエネルギーを減殺するために海中に設ける一種の堤防。全体が常時海面下にあるもの(沈水堤)や天端など上部が時に海面上に出るものなどがある。防潮堤：高潮や津波に備えて海岸に設ける堤防。砂丘があれば、普通、その裏側(陸側)や上に設ける。厚さがごく薄いものは防潮壁という。堤防：海岸では防潮堤と同じ、またはその低いものなどを言うが、防波堤を含めた言葉として、もっと一般的な用語として使う場合もある。
- 14) 福島第一原発に襲来した津波の高さは、写真で見ると、ちょうど原発が位置する付近に限って両側の海岸より高かったらしい。ここでは原発の前面の海底に防波堤などの構造物が設置されていた。これを津波が超える際に、高さが増幅した可能性がある。このことは、箕浦(口述)によっても指摘されている。
- 15) Shiki, T. and M. B. Cita, Tsunami-related sedimentary properties of Mediterranean homogenities as an example of deep-sea tsunamiite. pp.203-216, Elsevier, 2008. 前掲4)。
- 16) 都司嘉宣「連動型超巨大地震による津波」『地震と津波—メカニズムと備え』pp.113-135。
- 17) 梅原孝「東日本大震災 陸前高田市の被害状況について」『国土問題』73, pp.22-29, 2012。
- 18) 池田碩「東北地方太平洋沖地震による被災地域の地形と自然環境—陸前高田周辺を中心に」『国土問題』73, pp.13-21, 2011。
- 19) 川辺孝幸・池田碩・橋 徹・鈴木寿志・三上禎次・開沼淳一・志岐常正「2011東日本大震災津波災害調査報告」『月刊地球』35, pp.1-15. 2012。
- 20) 池田 碩・開沼淳一・三上禎次・志岐常正・鈴木寿志・橋 徹「2011年東北日本津波災害調査写真報告」『地球科学』65, pp.205-208, 2012。

(しき・つねまさ：京都大学名誉教授、堆積学、災害地質学、海洋地質学)