

東日本大震災における津波災害

～この国難の教訓をどのように活かすのか～

関西大学社会安全学部長・教授（京都大学名誉教授）

阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター長 河田恵昭

1. 未曾有の津波の発生メカニズム

東日本大震災後、2 日目に地震マグニチュードが当初の 7.9 ではなく 9.0 であることが気象庁から発表された。この前後では、死者・行方不明者が約 2 万 3 千人に達する大災害になると予想されていなかった。そのこともあってか、地震学者は「想定外」という本音を漏らしてしまった。しかし、私はこれまで「最悪のシナリオ」を考えることの重要性を繰り返し、指摘してきた。神戸新聞夕刊で定期的に寄稿してきた 3 月 14 日の「随想」では、「津波の脅威」と題して『…明治三陸津波に匹敵する死者数の発生が現実味を帯び始めた。』と書いた。結果的には、明治三陸津波災害の犠牲者数である約 2 万 2 千人を超えて、約 2 万 3 千人となっている。

拙書「津波災害」（2010 年 12 月 17 日発刊）では、「まえがき」のところで、三陸津波に際し住民避難が現状のような低避難率であれば、犠牲者は 1 万人を超えると指摘したが、残念ながらそうってしまった。なぜこのような悲劇が起こってしまったのであろうか。その原因の一つに、津波が未曾有の巨大なものであったことが挙げられる。どれくらい巨大であったかは、事前に築造していた海岸護岸などの天端高と今回の津波来襲高さを比較した  1 から容易にわかる。沿岸各地では、後者が前者の軒並み 1.5～2 倍を超えている。

まず、気がつくのが震源域の大きさである。日本海溝の西側では、東から押し寄せてきている太平洋プレートが毎年 10cm 前後、東北地方が載っている北米プレートの下に潜り込んでいることがわかっていた。この海域では、70 から 80 年間隔で津波を伴う地震が起こってきた。そのようであれば、滑り量は 7 から 8m と考えられた。今回は最大 50m、平均でも 20m 近くスリップしたことがわかっている。

この運動によって東西 200km、南北 500km に達する広大なプレート境界面が破壊したのである。津波が極めて大きくなった原因は、前者の 200km という長さであって、通常は 100km 以内であるから 2 倍近く上盤の北米プレートが動いたことになる。このように長大に動いたことは事実であり、その理由はわからない。  2 は、水深がそれぞれ 1500m と 1000m の海底に設置した水圧式波高計の記録である。図中に示してあるように、最初の海底地震で東西約 70km にわたって約 1.8m 海面が上昇したことがわかる。これが秒速 120m(時速 430km)で西方の浅海域に伝播する直後にもう一つの地震が水深の浅い海域で起こり(分岐断層が動いた)、それが高さ約 3.2m というわけである。つまり、水深が 1000m で高さが約 5m の超巨大津波がすでに生まれていたことになる。

このようなメカニズムが学術的に承認されたわけではないが、これも含めて、同じプレート境界地震である東海・東南海・南海地震のメカニズムを考える場合、従来の 3 連動に加えて、可能性としてつぎの 3 点を考慮せざるを得ない。

(1) 4 連動：いま 1707 年宝永地震のように東海・東南海・南海地震の 3 連動が問題となっているが、さらに南の深い南海トラフ沿いに 1605 年慶長南海地震のような津波地震が起こる場合であり、マグニチュードは 3 連動の 8.7 よりさらに大きくなる。

(2) 拡大 3 連動：想定されている南海地震の震源域の西端は四国の足摺岬付近である。しかし、この西方の日向灘でもフィリピン海プレートが年間 10cm 以上も潜り込んでいる。ここでは、単独で日向灘地震が起こってきたと考えられてきた。次回は、ここが南海地震で同時に破壊される、すなわち震源域の西方拡大によって地震マグニチュードが大きくなるというものである。このように考えないと、大分県佐伯市の龍神池から見つかった津波堆積物が、過去 3500 年間に 8 回記録されていることを説明できない。

(3) 時間差 4 連動：(1) ではほぼ同時に地震が起こると考えたが、従来の 3 連動地震と津波地震が時間差で起こることも可能性としてはあり得る。その場合、深い海域の地震が先行するが、浅い海域の地震がある時間差で起こると、時間的に大変複雑に高さが変化する津波が形成される。紀淡海峡、鳴門海峡や豊予海峡をどの程度の津波流量が通過可能かによって、瀬戸内海沿岸の津波の高さが決まる。これは、時間的に津波特性が顕著に変わる可能性があることを示しており、したがって、津波警報の発令は、これまでになく時間的に内容が変わる。このことを事前に住民に周知徹底しておかないと、避難のタイミングが誤ったりして、大変な犠牲者が出る危険性がある。

2. 被害の特徴

前述したように、2つの時間差発生した地震による津波であるから、津波の高さが高いだけでなく、その海面が上昇した水塊の容量も非常に大きいと推定される。すなわち、これらによって今回の津波の波長が非常に長くなり、市街地はん濫後も浸水深の深い状態が継続したことが類推できる。**図 3** は、それを証明したものである。この図は陸前高田市の浸水域などを示し、最大、海岸から 8km も陸地に侵入したことや、その途中の浸水深が 15m 前後もあったことがわかる。このことは、津波来襲によって広田湾全体が 15m 前後海面が上昇し、このままで津波が陸をめぐらせた来襲したと解釈できる。**写真 1** と **2** は、昨年 10 月に筆者が撮影した高田松原とその背後の高さ約 6m のコンクリート製の津波防潮堤である。これらは今回の津波によって**写真 3** のように、完全に流失し、跡地は地盤沈下して水没していた。

今回、津波が来襲した市街地では、鉄筋コンクリート造の堅固な建物を除いて（4,5 階建ての鉄筋コンクリート造であっても、液状化によって杭基礎が抜けて、津波の波圧でサイコロのように転倒した事例が幾つかある）、一切が流失した。したがって、**写真 4** の大船渡市のように、湾長が長く、津波が複雑に湾水振動を繰り返したために、沿岸に沿って浸水し

たところとそうでないところの差が明瞭であることも津波災害の被災地の特徴である。図 4 は、ハザードマップで想定していた浸水域と実際との差を示したものである。宮古市のように両者の差がほとんどなかった場合と、仙台市のように大きな差があった場合があり、後者の事例が圧倒的に多い。その結果、たとえば、釜石市のように犠牲者がハザードマップの避難地域に接した非避難地域で帯状に発生したことを考えると、今後のハザードマップの制作に当たって、「何を基準としているか」についての前提条件が住民にわかりやすくなければ、同じことが再び繰り返されることが懸念される。このように、今回の大震災では、非浸水域の住民の避難行動が遅れたことが明らかであり、浸水域と非浸水域の線引きの問題は、極めて重要な事項であることを関係者は認識しなければならない。

さて、表 1 は、津波被害が大きかった岩手、宮城、福島県の人的被害をまとめたものであり、比較のために、明治と昭和の三陸津波の例を示してある。これから、今回の人的被害は、死亡率に関していえば、昭和三陸津波とよく似た値を示していることがわかる。まず、指摘しなければならないことは、1995 年阪神・淡路大震災や 1999 年トルコ・マルマラ地震や台湾・集集地震、2008 年中国・四川大震災などの死亡率 0.1%に対して、10 倍以上となっていることである。そして、負傷者が約 5 千 3 百人であり、阪神・淡路大震災の 1/8 以下であることから、津波災害は「逃げれば助かり、逃げなければ犠牲になる」ことを再認識させ災害であるともいえる。なお、この死亡率は市町村単位で表現すれば、県の平均値の数倍から数分の一に分布しており、これらの差がなぜ発生したかを明らかにすることが、避難の有効性をさらに明らかにできるものと考えられる。

物的被害については、福島第一原子力発電所の事故を除けば、圧倒的に津波によって発生したことがわかっている。ただし、沿岸部で約 560 平方 km にわたって地盤沈下しており、将来的には隆起してもとの高さに戻るとはいえ、被災地の復興の大きな障害となっている。とくに、岩手と宮城両県における死者の発生は、ほとんどすべて津波で発生したと言っても過言ではなく、複合災害であるが、人的被害は津波が起こしたのである。

暫定復旧が急がれるのは、被災した海岸防災施設である。たとえば、海岸護岸や防潮堤は約 190km によって破壊されていることである。これらは、津波対策を含めて、ほとんどが高波や高潮対策兼用であって、すでに台風シーズンに入っていることを考えれば、早期の復旧が極めて喫緊の課題となっていることが理解できる。

3. これからの津波防災

基本は、「最悪のシナリオ」のもとで減災を実行することであると言える。最悪のシナリオとは、津波などの異常な外力を大きく設定するだけではない。被害を受ける場合に極端に被害が強大化することを防ぐという意味である。これには、つぎのように、対象とするケースが 2 つある。

- ① 災害に対して社会の防災力が小さい地域は、外力が大きくなった場合でも、そこで発生する被害は、外力の大きさに支配されて大きくなる。地方都市や中山間、沿岸集落の被

害がこれに属する。

- ② 東京や名古屋、大阪のように、複雑な都市構造が広域に展開する地域に異常外力が働く場合であって、被害は外力の大きさとともに、不連続に拡大する特徴をもっている。津波のはん濫による地下空間水没はその一例である。

前者の①の場合には、ハード防災とソフト防災の組み合わせが従来考えられてきた。しかし、これはあくまでも事前に計画津波を設定できる場合であって、それを超えることを想定した組み合わせとなっていない。その点が、今回の大震災で被害が大きくなった最大の原因であろう。そこで、最悪のシナリオと減災の組み合わせから、対策の新しい考え方の概略を、つぎのように述べることができる。

対象とする津波の設定：頻度が高く、過去に何度も来襲した津波の高さと、来襲する可能性のある最高の津波高さとする。最初から 50 年から 150 年程度に一回来襲する津波だけを設定してはいけない。これは東日本大震災の後、土木学会が採用したレベル 1 の考え方である。まず津波防災構造物ありきの考え方であって、阪神・淡路大震災以降、構造物の耐震設計法の考え方を流用したものであり、中程度の被害というようなあいまいな問題点があることに気がつかなければならない。

まず、人の命を守ることをもっと最初に主張しなければいけない。そうすると、「にげる」ことが再優先されるべきで、そのためにはまちづくりや避難路の整備が最優先の課題となる。そして、既存の津波防潮堤などの構造物は、たとえ津波が越流しても簡単に壊れないような粘り強さを持つ性能設計が必要とされる。津波は大きなものは通常、5、6 波来襲するので、早期に破壊されると防災効果はなくなってしまふからである。

たとえば、今回津波による越流が生じた陸前高田市の写真 2 の海岸防潮堤は、跡形もなく流失しており、本来の機能をまったく失ったと言わざるを得ない。越流した場合、堤防の脚部に形成される渦が地面を洗掘して大穴が開くことがわかっており、堤防脚部の海側と陸側に洗掘防止工が必要となっている。防潮林も樹高を超える津波では効果がないことがわかっており、そうであれば防潮林も強固な石張りで保護した盛土上に植林する必要がある。このように、既存の防災施設は粘り強さを発揮しなければならない。

このような第一線の防御ラインだけで守ることは、非常に難しいことも事実である。そうすると、市街地内に道路や鉄道の盛土を利用した二線堤や三線堤を築いたり、重要な施設はあらかじめ地上げをするなり、大きな被害が予想される海岸低地の住宅は高地移転などの方法によって、被害回避を実現しなければならない。そして、冒頭に示したように、住民はまず「にげる」ことを前提として、犠牲とにならない努力を避難訓練を通じて継続することである。復興まちづくりで考慮しなければならないことはこれであって、できるだけ大量の人が避難できる体制（避難路を考慮したまちづくり、避難ビルの建設、学校施設の対災化など）を早期に実現することである。そのためには、「生きる」権利を行使するために、防災に関する学校教育も必要であろう。

4. 津波警報発令手順の改善

気象庁は津波警報に関する現状と課題をまとめ、とくに後者について、つぎのように改善としている。

- (1) 正確なマグニチュードの速やかな推定による津波警報の発表
- (2) 沖合津波観測データを使った速やかな津波警報の更新

ここに、(1)は地震データに基づくマグニチュードの計算において、①早期に計算される従来の気象庁マグニチュードでは、8を超える大地震の場合、地震計の記録が振り切れるなど、低目に評価される恐れがあった。②正確なモーメントマグニチュードの計算では、地震記録の振り切れ問題があり、今回は海外の観測記録を使わざるを得なかったために、M9と評価するために丸2日も要した。このため、振りきれない広帯域地震計の整備も実施する。

一方、(2)は、波源域あるいはその近傍に津波計を設置して、直接、予警報に反映しようとするものである。つまり、津波の予警報に際して、あまりにも地震計の記録を偏重してきたために、システムの改善が可能だったにもかかわらず、地震記録にこだわりすぎたから、今回のような問題が起きてしまったのである。深海域に水圧式波高計やブイ式波高計、GPS波高計を設置するための技術開発は、すでに終わっていたにもかかわらず、これを積極的に予警報業務に導入してこなかった気象庁は怠慢であつたというそしりを免れない。

このような点を猛省し、住民の避難行動に寄与できるような予警報の発令システムの導入が喫緊の課題となっている。これらの津波計の設置と管理については、国土交通省の協力が必須であり、実際の津波予警報の発令業務を優先し、間違っても学術研究・観測だけを先行させないという覚悟が関係者には必要であろう。

このような観測システムの整備にはかなりの財源が必要であるが、犠牲者を減らすためのもっとも基本となる情報であり、ここで切り替えないと、東海・東南海・南海地震の津波では再び未曾有の被害を出しかねないということを肝に銘じて、充実を図らなければならないだろう。