

### \*\*\* 津波に関するメモ

このたびの東日本大震災の被害は、途中集計ながら、死者行方不明者2万3千人、全壊半壊流出家屋数20万戸に達する未曾有の被害となっており、その多くは大津波によるものとされている。

「津波 TSUNAMI」は、海底地震や火山爆発など海底活動によって生じる海面活動であり、世界共通語となっている。

「津波」の語は、通常の波とは異なり、沖合を航行する船舶の被害は少ないにもかかわらず、港(津)では大きな被害をもたらすことに由来する。すなわち、水深の大きい沖合(例えば水深4,300mの太平洋)では波高が識別できないくらい扁平な波形(20分程度の周期の場合波長は250km)の高速の長波(伝播速度は時速740km)であるが、沿岸では水深が浅くなり、また、湾のような地形で水路幅が狭くなると、急に波高が増し、内陸にはその高まりはあたかも海面自体が上昇するような、水の壁の状態で押し寄せることとなる。このため、津波は通常の風浪の比ではない巨大な水量とエネルギーをもつ水流となって陸地や河川を遡上し、海へ引く間に大きな破壊力を発揮することとなる。

東日本大震災では、マグニチュード9.0の大地震により発生した津波の観測値(検潮所)は最大9.3mを記録しており、水の破壊力のすさまじさを示すこととなった。

未曾有の災害に直面した被災者をはじめ多くの国民は、このような極限状態にあっても、整然と行動し、忍耐強く日々を送っており、その姿は海外では驚異の目で見られていることが伝わってきている。東北人の粘り強い性格とともに、日本人の高い精神性は未だ健在である。

また、「水の循環を守った文明」と題した前稿では、「物質エネルギー文明から21世紀型文明への転換に、日本人の高い精神性が果たすべき役割は決して小さくない。」と述べた。物質エネルギー文明の象徴ともいべき原発に起因する災害をどのように終息・解決していくかに世界が注目しており(ここでも冷却用水、すなわち水が課題となっている)、このことに対する日本人の貢献、リーダーシップ、そして、心のありようが大きな役割を果たすこととなるに違いない。

3月11日から100日を過ぎ、これからが本当の正念場である。

放射性物質・余震・地盤沈下・土砂害など困難な環境が続くなか、被災者や復旧・復興に携わっている担当者らが直面する現実・真の状況を見届け続けて行くことこそ、これからの長い復興までの道程(みちのり)には何よりも重要なことである。そのなかで自分には何ができるのかを問い、一人一人が果たすべき役割を果たしていくことこそ、日本人の高い精神性に支えられた文明の証明となるであろう。

20110624 MS生

(津波に関するメモ)

「津浪・津波・海嘯」地震・海底変動・暴風などによって高波が起り、急激に海岸を襲うもの。その強弱は海岸の地形によっても影響され、湾内などでは大きな災害をひき起こす(広辞苑)。

津波は主として海底地震や火山爆発など海底変動によって生ずる海面変動である。

波動理論の分類では長波に属する周期数分から数十分程度の波であり、外洋では波形がきわめて扁平で識別できないが、海岸近くでは波速が減少して波長が短くなり、従って急に波高が高くなり、さらに海底地形による屈折、反射及び港湾の共振などのために沿岸での被害が増大する。例えば、平均水深約 4,300m の太平洋を津波は、秒速 205m(時速 740km)で伝播し、また、周期を 20 分とすると波長は 250km となるから、波長が長く波形勾配がきわめて小さいために地震津波が洋上で観察された例はない。

文字通り“津(みなと)で被害を及ぼす波”である。

日本は、地震が頻発する環太平洋地震帯に位置しており、過去に発生したマグニチュード M=6 以上の地震のうち、約 1/3 が海底地震であり、さらにその 1/3 が津波をともなっている。全世界で記録に残された津波の約 1/5 が日本近海で発生しているといわれる。

記録に残るものでは 1896(明治 29)年 6 月 15 日、1933(昭和 8)年 3 月 3 日の三陸津波がこれまでで最も激甚であったとされ、前者では死者行方不明者 22,000 人、流出家屋 10,370 戸に及んだ。それらを超える規模となった 2011(平成 23)年 3 月 11 日の東日本大震災にともなう津波などにより死者行方不明者は 23,000 人、流出倒壊家屋は 50 万戸を超えると推定されている。

津波エネルギーは、地震エネルギーの 1/10~1/100 を占め、

$$E_t = \pi \rho g C R \Sigma a^2 T$$

ここに、C:伝播速度( $=\sqrt{gH}$ )、H:波高、R:円周の半径、a:振幅、T:周期で示される。

津波予知は、その原因である地震が発生してからの問題に限定せざるを得ない。

過去の記録から、地震の規模(マグニチュード M)と地震により破壊された地域の規模(L)または津波波源からのひろがり(S)の関係、地震の規模と津波の波高(H)の関係、津波の波高をパラメーターとする震源の深さ(D)と地震の規模の関係、波源からの距離と波峰高や波の周期との関係などが調べられており、M と D から津波の規模は大体予想できる。

これらの様な経験値から、地震が発生して、震源の位置と地震の規模が計測されると、津波の先端の伝播速度 $\sqrt{gH}$ を考慮して、どのあたりに、どの程度の大きさの津波が来そうだということに、大雑把な見当がつけられる。

一次元波動伝播と仮定すると、波の位相速度  $V$  及び群速度  $V_G$  は次の通りである。

$$V = C \{1 - 1/6 \times (kh)^2\}$$

$$V_G = C \{1 - 1/2 \times (kh)^2\}$$

ここに、 $k$ : 波源で発生した波のエネルギースペクトルの波数、 $h$ : 海の水深、 $C$ : 波の先端の速度である。

すなわち、波源から出た波が分散するとき、速度  $C$  で進む先駆波と後続波との時間間隔  $\tau$  は、第 1 波と後続波の到着時刻の差であるから、

$$\tau = d/V_G - d/C \doteq d(kh)^2/2C = dh^2/C^3 \times (2\pi^2/T^2)$$

ここに、 $d$ : 波源からの距離である。

従って、後続波の周期  $T = \tau$  とすると、

$$T^3 = 2\pi^2 dh^2/C^3$$

やや遅れた波では、

$$T^2 = 2\pi^2 dh^2/(C^3 \tau)$$

となり、波の周期は先端付近で  $d$  の  $1/3$  乗、ずっと後の波では  $d$  の  $1/2$  乗に比例することとなる(重力分散による波の周期は十数分程度)。

近い地域で発生した津波の場合、地震が発生してから津波が海岸に到着するまでの時間は数十分くらいしかない。

外洋で発生した津波が大陸棚に入ると、陸棚波(海岸線を法線とする陸棚振動と海岸線に沿って伝播する陸棚波)が発生する。

このとき、陸棚の奥行きが津波の波長に比べ長い場合で、水深変化が急激な場合には、津波の波形は顕著に変形して高周波成分が現われ、段波の遷移状態と同様な状態が現れる(河川を溯上するとともに、変形が進む)。

すなわち、津波は水深が浅くなると変形して、波峰がくずれはじめ、さらには段波状になり、汀線を過ぎると溯上する。波浪に比べて津波の掃流力は大きく、被害を甚大なものにする。

津波対策の一般的な方法は以下の通りである。

対策-1 積極的に津波が陸地に侵入するのを防ぐ方法

- ① 海岸沿いや海岸からある程度離れた陸地に堤防を構築(侵入防止)
- ② 海岸線から離れた沖に津波防波堤を築造(流入量減少=エネルギーの減殺)
- ③ 浸水が予想される地区を嵩上げ

対策-2 津波が来襲した場合その被害を最少限に食い止める方法

- ④ 都市計画、住宅計画などを総合した対策  
避難道路整備、建物規制・公園緑地化、住宅の高地移転、堅牢な構造の重層住宅、防潮林造成、橋梁等の流出防止・・・コンパクトシティの構築

## ⑤避難

通信網の整備、避難路の確保、訓練、予備教育

近海が震源地の場合、地震発生から津浪到着まで時間的ゆとりがあまりないことから、対策や避難行動の役割分担(自助、共助、公助)を明確化しておくことが肝要である。

なお、この津波に関するメモは、「水災害の科学」(矢野勝正著)ほかから引用して作成したものである。

20110315 MS生

その後、東日本大震災に関する関係各方面の調査、研究が進められ、復旧・復興さらには震災被害が想定される地域の対策に向けて多くの新たな視点・着目点が明らかにされてきた。東京大学大学院家田仁教授は雑誌「河川」2013年3月号に、次のように寄稿している。

- ・ 東日本大震災を経験して国土がいかに脆いものであるかを痛感した。
- ・ 「減災」(被害を限りなく小さくする、復旧が容易な程度の被害にする)の発想を導入すること。
- ・ 「防災」で対応する事態であるか、「減災」でさえ対応できない事態であるかを判断する必要性が生じる。
- ・ どの事態までを守るのかの判断やどの事態に対して何を助けるのかの判断には価値観が関わる。

また、その価値観はだれが決めるのかに気付いた。何でも国が決めて守ってくれるのではなく、国民・自分たちが思い悩んで物事を決めて、ある部分は我慢しなくてはいけないと理解すること。～覚悟と納得と努力

- ・ 復興のポイントは「人心」(活力、求心力)。視野を変えて(時間的に広い視点に立ち、空間的に広い視野をもって)復興計画をモディファイ(加減、修正)していくことが(30年後、100km圏のオーダーで)整合のとれた国土づくりには必要である。
- ・ 様々な安全問題に関して最良の学習の場は河川。減災の思想の重要性を河川を題材に、国民が忘れないように常に頭に入れていく。
- ・ 「事前復興」、すなわち、まだ被害を受けていないけれども、大変な被害を受けられる可能性が高い地域の整備を。

また、以下は、土木学会北海道支部平成23年度年次技術研究発表会(2012年2月3日)における特別企画シンポジウム「北海道の安心・安全と社会基盤整備」の基調講演において示された家田教授の論点である。

○全般にわたって・・・

- ・ 防災と減災、2段階の防災思想
- ・ ハードとソフトによる総合防御
- ・ 津波防災地域づくりのための法整備
- ・ 多重防御を取り入れた津波防災施設(二線堤など)

- ・ Level-1 の規模では無被害に、 Level-2 の規模では「命を守る」+減災
- ・ 津波被害は浸水深さ、流速、浮遊物に起因
- ・ 防災施設の「ねばり強さ」の向上
- ・ 津波シミュレーションをインフラ計画、土地利用計画に活用
- ・ 地域は均一ではない。何を守るか、人口減少動向を踏まえ、地域構造を広域的に再編成

○交通分野では・・・

- ・ 「国土の信頼性」を確保する道路ネットワーク
- ・ 防災、減災を加えた B/C 分析の拡張
- ・ 信頼性評価の「暫定手法」 4 分類+困難度、改善度評価
- ・ クルマによる避難の是非
- ・ 道路のアベイラビリティ(有効性、効力)の評価と向上  
「難所リンク」と「重要リンク」の確保  
～整備途上にある広域リンクとの政策調整、優先度  
～リダンダンシー、国土管理を考慮した分散社会における道路密度の確保
- ・ 一般国道、高規格道路の政策一体化 実質性能の確保(2.5 車線化)

○その他考慮すべき事項

- ・ 常時の競争、非常時の協調
- ・ 夜の防災、昼の防災 企業の取組み
- ・ メガスケールによるプランニング 北海道は6分割(環境圏?)が適当
- ・ 津波はローカリティが高い現象

20130407 追記



福島第1原発(2011年3月11日 国土交通省東北地方整備局)