

第2章 明治三陸地震津波

第1節 津波とは

1 津波発生メカニズム

過去の事例の統計から、津波の約9割は海域の震源の浅い大地震（震源深さ数10km以下、マグニチュード6.5以上）により発生すると言われている。津波の発生要因は、海底地震の他に海底火山の噴火、地滑り等の地学的現象が挙げられるが、それらの要因と分けて、海底地震により発生する津波を「地震津波」と呼ぶ。

日本沿岸に襲来する津波のうち、日本の近海で発生し、発生から1時間以内に日本沿岸に到達するものを近地津波と呼び、それ以外の遠方で発生するものを遠地津波として区別している。日本近海はユーラシアプレート、北米プレート、太平洋プレート、フィリピン海プレートという4つのプレートが重なり合っており、近地津波を引き起こす巨大地震の多くは、この4つのプレートの境界付近で発生する（図2-1）。海洋プレートが大陸プレートの一部を引き込みながら1年に数cmの速さで沈み込んでいき、その際にプレート間で蓄積されるひずみが限界を越え、そのひずみの解放に伴い発生する岩盤の破壊が地震の原因である。この破壊を断層運動、又は断層破壊という。

地震津波の発生機構は、断層運動により発生した海底の地盤変動の鉛直成分（隆起・沈下）がその上方の海水に影響を及ぼし、いわば生き写しとなって海面に現れ、それが重力を復元力とする水の波として伝わるものである。海底地盤変動の広がり数十kmから数百kmにおよぶ。したがって、発生直後の津波の広がりも同様のスケールを持つことになる。海洋の水深は深いところでも10,000m（10km）程度であるから、津波の広がりスケールは水深スケールよりはるかに長く、浅海波と呼ばれる波に分類される。この点において、津波は他の水の波とはその性質が異なるのである。

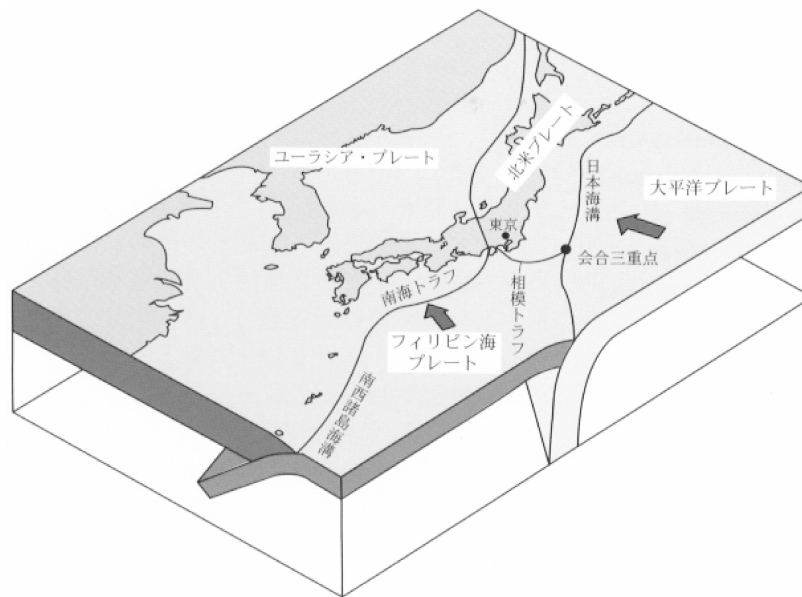


図 2-1 日本近海のプレート境界 (国立歴史民俗博物館『ドキュメント災害史』12 頁からの抜粋)

我が国における代表的な津波災害を引き起こした地震は、1896 (明治 29) 年三陸地震 (M6.9)、1933 (昭和 8) 年三陸地震 (M8.1)、1944 (昭和 19) 年東南海地震 (M7.9)、1946 (昭和 21) 年南海地震 (M8.0)、1960 (昭和 35) 年チリ地震 (M8.5)、1983 (昭和 58) 年日本海中部地震 (M7.7)、1993 (平成 5) 年北海道南西沖地震 (M7.8) が挙げられる。

2 津波の伝播速度

津波は一般にその空間的な広がり (波長) が水深に比べて大きいため、流体力学的には長波または浅海波と呼ばれる。長波の伝播速度は、水深が既知 (単位: m) である場合、 $(9.8 \times \text{水深})^{1/2}$ (単位: m/s) で与えられる。太平洋上を津波が伝播する際には、太平洋の平均水深は約 4,000 m であるから、津波の伝播速度は 198 m/s (700km/h) にもなる。津波がジェット機程の速さで伝わると言われるのはこのためである。しかしながら、水深が浅くなるにしたがい、その伝播速度は遅くなる。例えば、水深 100m 程の海域では 31m/s (113km/h) と、高速道路を走行する自動車程の速度にまで落ちる。陸地に 5 m の津波が氾濫したとすると、その速度は 7 m/s (25km/h) 程になるが、それでも人間の走る速さよりは速く、津波を目撃してから走って避難することはやはり難しい。

3 津波の周期

日本近海で発生する津波の周期は5分から1時間程度である。断層運動に伴う海底地盤変動により発生した海面の水位変化の生ずる領域を津波の波源、又は波源域と呼ぶが、津波の波長や周期はこの波源の大きさに関係する。図2-2に日本の近海で発生した津波の波源域を示す。大きな規模で発生する津波波源は長周期の成分を含んでいる。例えば、1960（昭和35）年に南米チリ沖で発生したチリ地震津波は、太平洋を横断し、我が国で全壊家屋1,500棟、死者・行方不明者142名を出した。このとき各地で観測された津波の周期は約1時間であった。チリ沖で発生した津波波源の規模が800kmにもおよび、津波自体の波長が長かったことと、津波のエネルギーは周期の長い成分の方が減衰しにくく、太平洋を横断して伝播する過程で短周期の成分が落ちてしまったことが原因である。

一方、近地津波の場合は、来襲する場所により周期は異なることに注意しなければならない。通常、津波の波源域は楕円形状で近似できる。津波は波源から同心円状に放射され、長軸方向に伝播する成分は長い周期をもち、短軸方向に伝播する成分は短い周期をもつ。すなわち、沿岸各地で観測される津波の周期は、波源の規模と、波源と観測される場所との地理的關係により異なる。

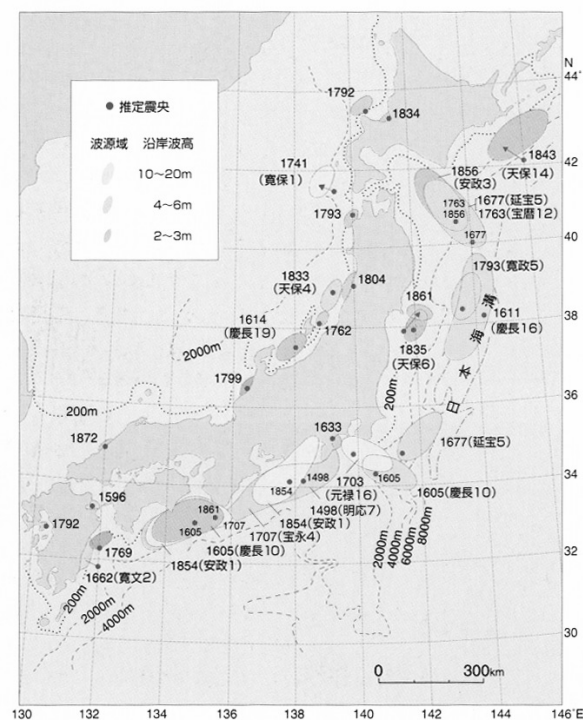


図2-2 日本近海で発生した津波の波源域 (国立歴史民俗博物館『ドキュメント災害史』104頁からの抜粋、オリジナルは羽鳥徳太郎『歴史津波とその研究』356頁)

4 津波と通常の波浪の違い

海の波としての津波の性質と通常の波浪の性質は、波長、周期という尺度で大きく異なることは述べた。それでは、実際の現象としてどのような相違点があるのか。通常の波浪（風波）は、海上の風に起因して発生した波であり、水の移動は海面付近が最も大きく、楕円の軌道を描きながら、深くなるに従い移動量は小さくなる。一方、津波（長波）が進行する場合、水は海面から海底までほぼ一様に往復運動をする。すなわち、波浪は海水の表面部分の水の運動であるのに対し、津波は海底から海面までの水全体の運動であることが分かる。

水の運動の規模の違いに加え、周期の違いに起因する相違点が波浪と津波のエネルギーの大きさの違いを明確に分ける。波浪の周期は長いものでも数 10 秒程度であり、たとえ高波浪による高波が岸壁を越えて陸地に侵入してもその水の総量はさほど多くはない。しかし津波は、押し波の先端が陸上に至ってから、周期が長いために次々と後方から打ち寄せ、陸地の浸水域を拡大し、河川を数 km も遡上する。例えば、2003（平成 15）年 9 月 26 日に北海道十勝沖で発生した地震津波が十勝川を遡上したが、河口から 11km 上流にある水位計にも水位の変化が記録された（写真 2-1）。



写真 2-1 十勝川を遡上する 2003（平成 15）年 9 月 26 日十勝沖地震津波（提供：陸上自衛隊第五師団）

5 津波の浅水変形

地震津波は地震の断層運動により発生するが、その高さはどれくらいになるのであろうか。地震により発生する断層のすべり量は平均的には数m程度であり、津波は、周辺の海面に比べて数m海面が上昇又は下降することにより発生する。すなわち、津波発生時の海面変動もたかだか数mの高さである。なぜこれが海岸では時に10m以上の波となって沿岸部を襲うのであろうか。外洋の比較的水深の深い領域で発生した津波は、陸域に近づき水深が浅くなるにしたがい、その高さは増幅する。これを浅水変形と呼ぶ。津波は水深が深いほど速く進むので、波の後方（沖側）にある部分のほうが前方（陸側）よりも速く進む。したがって、波が陸に近づくほど波長は短くなり、後方の波の部分は前方に追いつき乗り上げるようにして波高が増幅する。だから、津波発生の瞬間に沖にいた人は、数mの海面変動に気づくことは難しい。浅水変形により増幅した津波が港（津）に来襲してはじめて気づくのである。沖にいたときには無事であった船乗りが津（港）に帰ってみると、海辺の里が跡形もなく津波により流されていた。「津波」という言葉は、そうしたことから生まれたのである。

6 津波の屈折

津波の伝播速度は水深により異なることは前に述べた。沖に向かって水深が深くなる通常の海底地形に対して、沖側から斜めに入射した津波は、伝播速度の差により浅い方向に巻き込むように曲がって進行する。これを津波の屈折と呼ぶ。屈折現象により、遠浅の海底が沖側に舌状に突き出している岬の先端にエネルギーが集中し、波高が増幅する。また、大陸棚斜面上では、津波が屈折・反射の繰り返しで乱反射しながら岸に沿って伝播し、エネルギーが外洋に放射されずに、大陸棚斜面上で捕捉されるという現象も発生する。その場合、海面振動が長期化し、第一波来襲後長時間してから最大波高を伴う波が出現する可能性があるので注意が必要である。図2-3は、2003（平成15）年北海道十勝沖地震津波の釧路での観測波形（津波の成分のみを抽出したもの）と数値シミュレーションにより得られた津波の伝播状況を示したものであり、地震発生から6時間後に最大波が来襲している。これはエッジ波と呼ばれる波動で、えりも岬から東方の大陸棚斜面を乱反射しながら伝わったものだとされている。図からも大陸棚上で津波が乱反射し、複雑な波動を形成していることが分かる。現在の津波予測技術では、第一波来襲から長時間経過後の津波の増幅を予測することは非常に難しい。

津波の屈折やエネルギーの捕捉現象は、大陸棚斜面や、海嶺・海山列などの斜面をもつ大規模海底地形において、入射する津波の波長と入射角や海底地形の寸法との関係で発生する。特に、津波の波長が地形の広がりと同程度のスケールをもつ場合には、捕捉現象が顕著に起こるので、予想外の津波が来襲する可能性があることに注意しなければならない。

2003（平成 15）年 9 月 26 日十勝沖地震津波

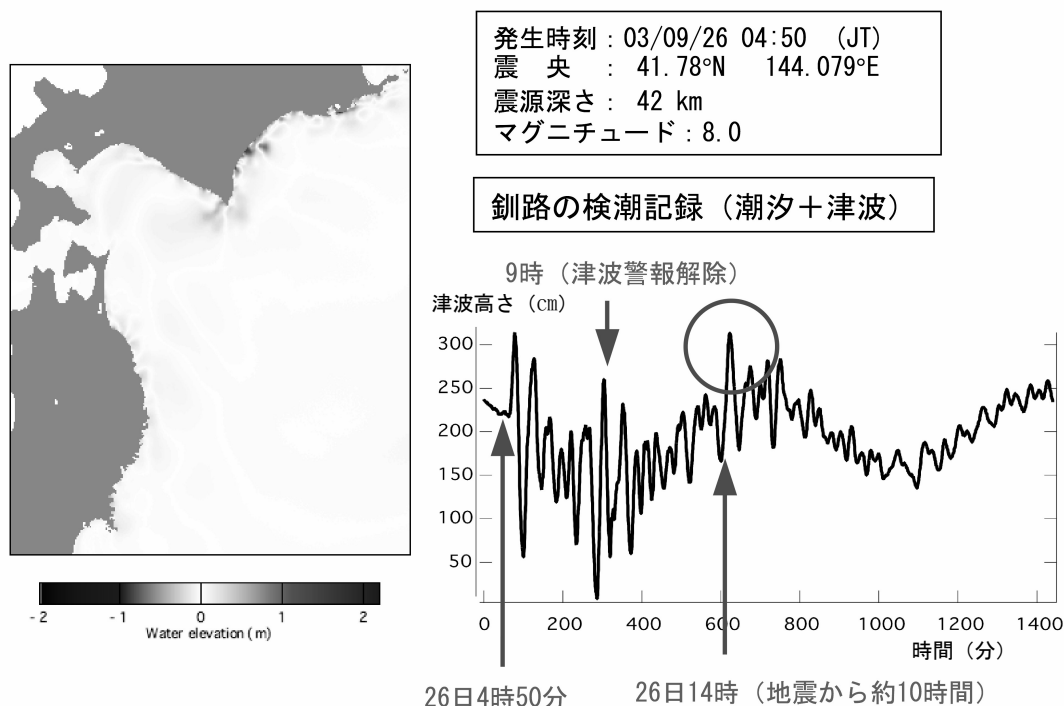


図 2-3 十勝沖地震津波の伝播状況と観測波形（作成：越村俊一）

7 港湾内の津波の共振

湾は、長さや幅などの地形的特性から、それぞれの固有振動周期がある。この固有振動周期に一致した津波が繰り返し来襲した場合には共振が発生し、特に湾奥で波高が増幅する。湾奥に進むに従い幅が狭くなる V 字型の湾は、共振の影響に加え、エネルギーが湾奥に集中しやすい。

図 2-4 は、1933（昭和 8）年、昭和三陸地震津波と 1960（昭和 35）年、チリ地震津波を事例として、三陸沿岸における各湾の固有振動周期と湾口に来襲した津波に対する湾奥の津波高さの比を求めた結果である。1933（昭和 8）年の三陸大津波の周期は、およそ 10 分から 15 分程度であったのに対し、1960（昭和 35）年のチリ津波の周期は約 60 分であった。昭和三陸地震津波の場合、10 分から 20 分の固有振動周期をもつ湾で湾奥での津波増幅度が高く、チリ地震津波の場合には、30 分以上の長い固有振動周期をもつ湾で増幅度が高くなる。単純に考えると、奥行きが長い湾ほど固有振動周期も長く、遠地津波の様な長周期成分が卓越する津波への脆弱性が高くなると言える。また、湾毎に固有振動周期は異なるため、同一の津波であっても湾内の津波増幅度は異なることに注意する必要がある。

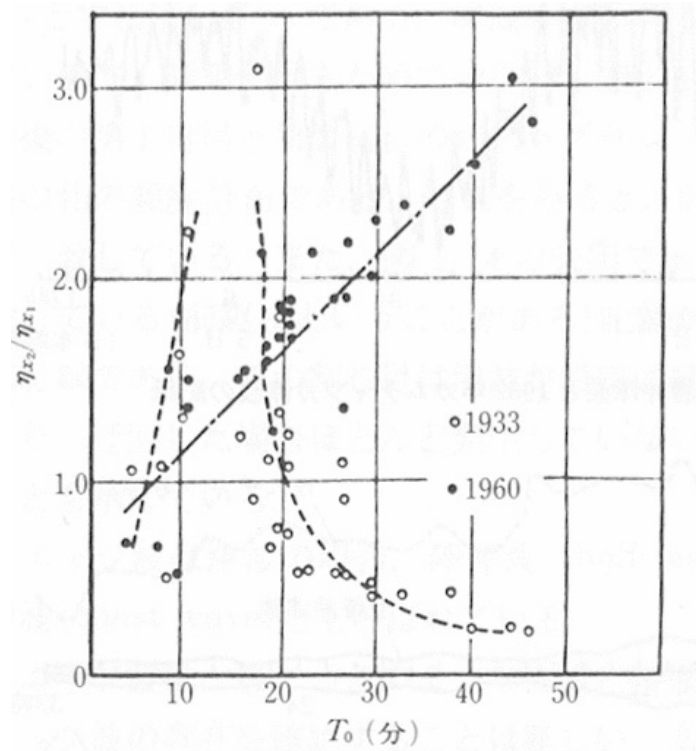


図 2-4 三陸沿岸の湾の固有振動周期と湾奥の津波増幅度の関係、図の横軸は津波の周期、縦軸は湾内の津波増幅度（『日本被害津波総覧』20 頁からの抜粋）

8 津波の高さの定義

津波の高さについては、いくつか定義がある。図 2-5 に津波の高さの定義を示す。港湾内で津波を計測する場合、通常は検潮儀を用いる。これは通常の潮汐を計測する施設であり、津波が来襲した場合には潮汐成分と津波成分の和として記録される。津波の高さは、計測した水位を潮位観測の基準面（DL）や、平均海面（MSL）、東京湾平均海面（TP）からの高さとして測る場合と、潮汐成分を取り除いた正味の津波高さとして測る場合がある。前者の高さを単純に潮位と呼び、後者を津波高さと呼ぶことが多い。潮汐成分を取り除いた正味の津波高さについては、平常時の潮位の予測値（推算潮位）を用いて、観測記録から推算潮位を差し引いた偏差として計測する。気象庁の津波予警報で発表される津波高さは、この正味の高さを意味する。

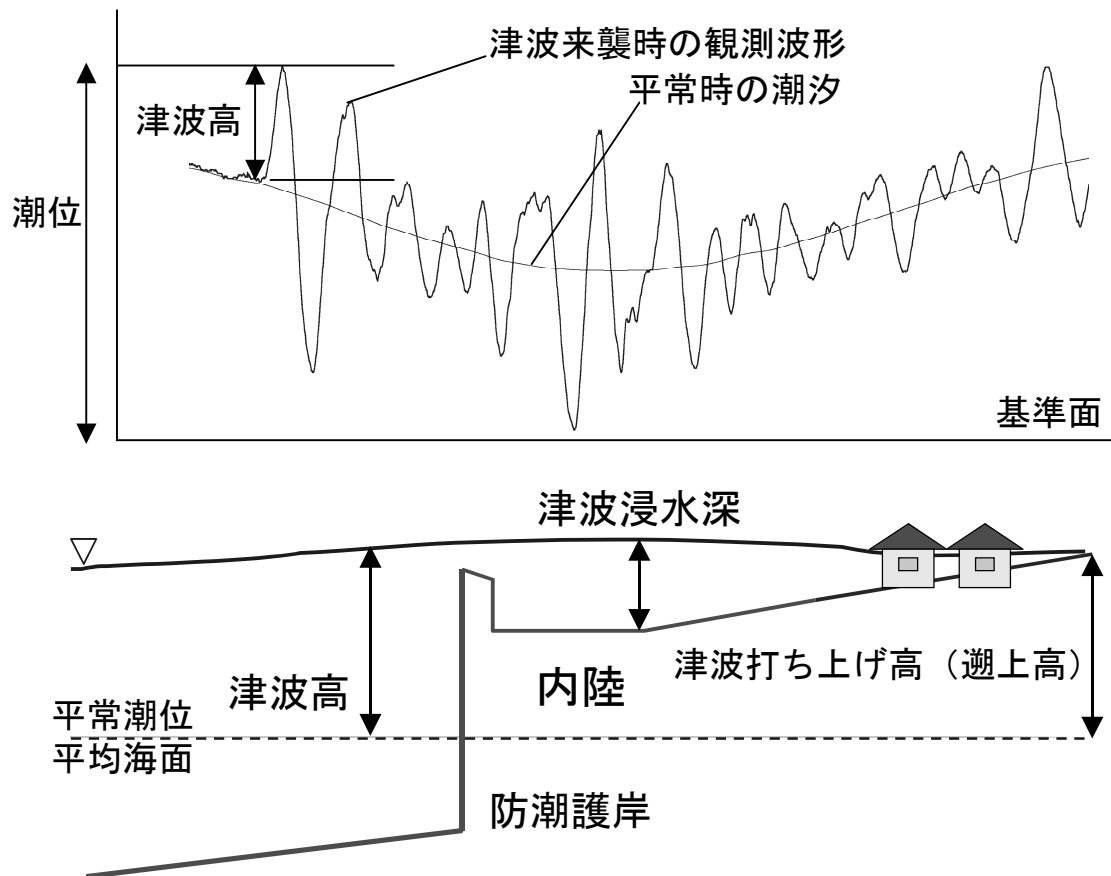


図 2-5 津波高さの定義 (作成：越村俊一)

一方、津波が陸上に氾濫した場合には、津波が陸地にはい上がった最奥地点の標高を津波打ち上げ高と呼ぶ。津波の浸水域とは、この地点を結んだものである。また、陸上に浸水した津波の高さは場所ごとに異なるため、場所毎の浸水した津波の深さ（その地盤から浸水面までの深さ）を浸水深と呼ぶ。この浸水深の分布を地図上に表示したものが浸水予測図（ハザードマップ）として公開され、住民への津波災害への注意を促している。

第2節 明治三陸地震津波の発生

1 津波地震の発生要因

津波地震とは、地震の規模に比して不相応に大きな津波を励起する特異な地震である。金森（現カリフォルニア工科大学教授）は、1972（昭和 47）年にこのような特異な地震を津波地震（Tsunami earthquake）と名付け、通常の地震と区別した。津波地震を発生させる要因は、以下の6つに分類されている（『月刊地球』Vol. 25、338 頁）。明治三陸地震の発生に関係が深いと言われているのは、下の(a)と(f)の要因である。

(a) 緩やかな時間的特性をもった断層運動

断層破壊がゆっくりと進行したため、マグニチュードや震度に寄与する短時間の変動が小さい一方で、津波の初期水位の形成に関与する長時間の変動が大きなもの。

(b) 海底近くの二次的断層の存在

海洋プレートの上部に形成された堆積物内（付加体と呼ぶ）で、プレート間を断層面とする断層運動の枝分かれにより二次的な断層が派生し水位上昇に寄与するもの。

(c) 海底近くの低角断層の影響

震源が海底面近くにあり、断層の傾きが非常に小さい低角断層で地震が発生した場合に、地震波の振幅に比べ津波の振幅が高くなる。

(d) 大規模海底地滑り

地震の発生に誘発された大規模海底地滑りにより、海面に付加的な水位変動を形成する。

(e) マグマの貫入

マグマが海底下の堆積層に貫入したことにより海底が隆起し、津波の初期水位変動を形成する。

(f) プレート境界堆積物の破壊

断層運動に寄与する海洋プレートと大陸プレートの境界に挟在する未固結の堆積物の存在により、断層破壊が低速で進行し、津波地震特有のゆっくりとした変動を引き起こす。(a)との関連性が高い。

2 地震の規模について

地震が起きるということは、地殻内に断層の破壊（くいちがい）が発生することである。地震には断層運動の震源時間というものがある。断層破壊が発生することにより、様々な周波数の地震波が放出される。震源時間とは、断層破壊が始まってから終了するまでの経過時間であり、地震の発生によって放出される地震波の最も長い周期の地震波を決める要素になる。通常のプレート

境界型巨大地震の震源時間は1、2分であると言われている。

地震の規模を決定する尺度はマグニチュードを用いるのが一般的だが、マグニチュードは各地の地震計によって得られた地震波の最大振幅の対数を取り、それに震源からの距離の補正を行い、適切な定数を加えて決定する。現在、地震の規模を決定するマグニチュードには、実体波マグニチュード、表面波マグニチュード、気象庁マグニチュード、モーメントマグニチュードがある。それぞれマグニチュードの値を決定する際に参考とする地震波の周波数成分が異なるために、同じ地震でも得られるマグニチュードの値には差が出てくる。実体波マグニチュードは、特性が周期1秒の実体波（P波とS波）に着目して求めたもの、表面波マグニチュードは周期20秒程度の地表面を伝わる表面波に着目したもの、気象庁マグニチュードは、周期5秒前後の地震波に着目したものである。以上のマグニチュードの決定法では、限られた周波数帯の地震波に着目して決定するために、特に長周期の地震波を放出する巨大地震の規模の決定には限界があった。地震の規模を見積もるには、その地震が波動エネルギーの主要部分を放出した周波数帯の地震波を調べる必要があるからである。例えば、1960（昭和35）年にチリ沖で巨大地震が発生した時、表面波マグニチュードは8.3とされた。しかし、チリ地震の余震域（断層面）の長さは約800kmである。このときの震源時間は約200秒であり、エネルギーの主要部分は周期約400秒前後の周波数帯で放出された。周期20秒程度の地震波に着目した表面波マグニチュードではこの地震の規模を正確に見積もることができなかったのである。

上記の問題点を解決すべく、金森は地震モーメントから直接マグニチュードを決定するモーメントマグニチュードを提案した。モーメントマグニチュードは、断層の滑り量、断層の面積、断層付近の岩盤の性質などから計算される地震モーメントからマグニチュードを決定する方法である。断層運動の規模から直接計算するので、決定に時間がかかるものの、地震波の周波数帯の違いによるマグニチュードの頭打ちが発生しないのが利点である。

3 津波の規模と津波地震

津波は地震によって発生するものであるから、地震の規模との関連性が高いであろう。発生した津波の全体的な規模を知る指標に津波マグニチュードがある。阿部（現東京大学地震研究所教授）は、沿岸部の潮位計測器から得られた津波の最大振幅と震央から津波観測点までの距離で決定する津波マグニチュードを考案した。図2-12に日本近海の津波を発生させた地震の表面波マグニチュードと津波マグニチュードの関係を示す。多くの地震においてマグニチュード（地震の規模）と津波マグニチュード（津波の規模）は一对一の関係にあるが、中には表面波マグニチュードに対し津波マグニチュードが大きな場合がある（図中白丸）。津波地震とは、地震の規模（マグニチュード）との関連を越えた規模の津波を発生させる地震であることから、阿部は表面波マグニチュードと津波マグニチュードの差が0.5以上のものを津波地震として区別した。表2-1は、日本近海で発生した顕著な津波地震を列挙したものである。

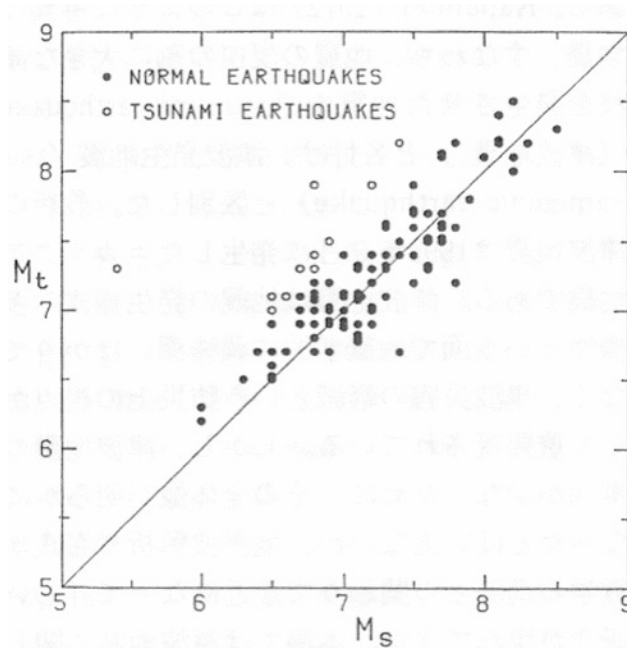


図 2-6 表面波マグニチュードと津波マグニチュードの関係、横軸は表面波マグニチュード、縦軸は津波マグニチュード (阿部勝征、津波地震に関する研究の現状『津波工学研究報告』第 12 号 46 頁からの抜粋)

表 2-1 日本近海で発生した顕著な津波地震 (阿部勝征、津波地震とは何か『月刊地球』Vol. 25, No. 5、340 頁からの抜粋)

年.月.日	緯度	経度	地域	M_t	M_s
1596.9.4	33.3	131.6	別府湾	8.0	(7.0)
1605.2.3	33.5	138.5	慶長東海南海	8.2	(7.9)
1611.12.2	39.0	144.0	三陸沖	8.4	(8.1)
1677.11.4	35.0	141.5	房総沖	8.0	(8.0)
1741.8.29	41.6	139.4	渡島半島沖	8.4	-
1771.4.24	24.0	124.3	八重山諸島	8.5	(7.4)
1792.5.21	32.8	130.3	島原湾	7.5	(6.4)
1896.6.15	39.5	144.0	岩手県沖	8.6	7.2
1975.6.10	42.8	148.2	色丹島沖	7.9	6.8
1984.6.13	31.4	139.8	鳥島近海	7.3	5.4
1996.9.5	31.4	140.0	鳥島近海	7.5	5.7

4 津波地震の発生メカニズム

津波は地震に伴う海底地盤の変動により発生する。しかしながら、海底地盤の変動があまりゆっくりしていたのでは津波は発生しない。ゆっくりした変動では海底地盤の変異が海面に伝わらないからである。ただし、ここでいう「ゆっくり」の程度は、だいたい数分程度のことである。プレート境界型地震の一般的な断層破壊継続時間は 1、2 分であるから、ここでいう「ゆっくり」には当たらない。すなわち、数 10 秒から 100 秒程度の破壊継続時間では、地盤変動の大きさがそ

のまま海面の水位変動となって津波の初期水位を構成すると考えてさしつかえない。

金森は、明治三陸地震の観測地震波を解析し、この地震が100秒程度の破壊継続時間を有していたことをつきとめた。つまり、断層破壊が瞬間的でなく、かなりゆるやかに進行したということである。

地面が非常にゆっくりした周期で動いても人間はそれを感じることはない。人間が振動を感じたり、食器棚が倒れたりする振動の周期は約0.1秒から2秒くらいである。図2-7は明治三陸地震津波をおこした地震の震度分布である。震度分布から決められた明治三陸津波地震のマグニチュードは7.2であった。しかしながら、来襲した津波から得られた津波マグニチュードは8.6と非常に大きなものであった。

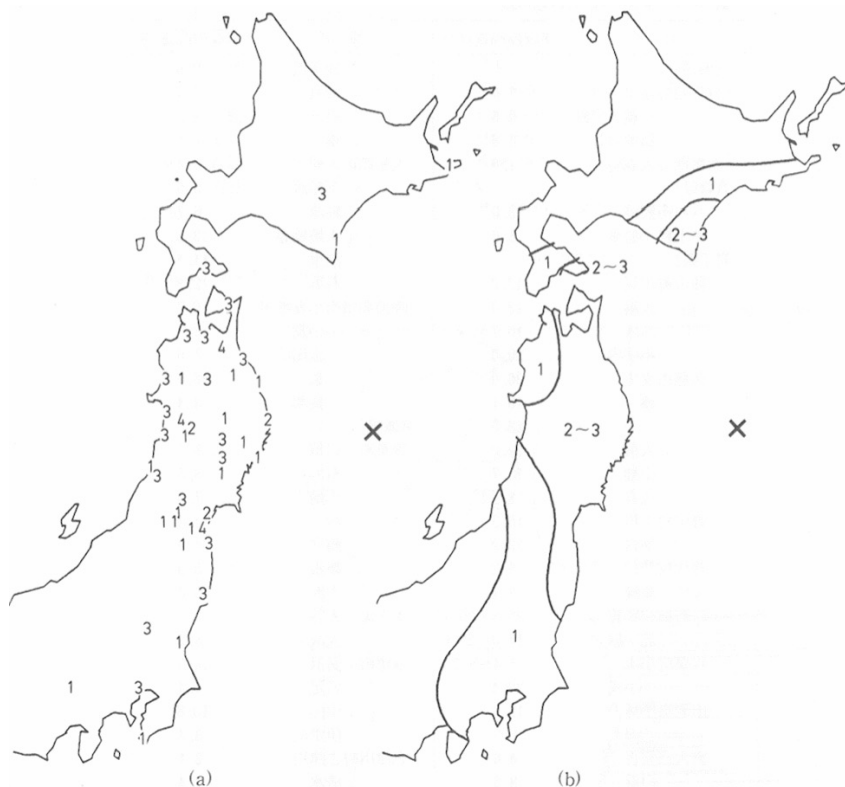


図2-7 明治三陸地震の震度分布図 (『日本被害津波総覧』第2版101頁からの抜粋、右：中央気象台(1896年)、左：大森(1901年)のもの)

ここでは、上述の津波地震の発生メカニズムのうち、明治三陸地震津波の発生メカニズムとして有力な要因である(a)と(f)について論ずる。なお、これらの要因の分類は現象理解の便宜上のものであり、互いが独立しているわけではなく、実際はそれぞれの要因が重なり合って発生したものであると考えるべきであろう。

これまでの研究から、津波地震は海溝軸近傍のプレート境界で発生していることが分かってきた。図2-8は、明治三陸地震の断層位置を示したものである。しかし、海溝近傍のプレート境界は非地震域と呼ばれ、微小地震はほとんど発生していない。例えば、三陸沖では、日本海溝軸の

陸側 30km までのプレート境界は非地震域で、海底地震観測でも微小地震はほとんど観測されていない。その理由は、海溝付近のプレート境界には、水を多く含んだ粘土鉱物が多く存在し、安定滑りを起こしやすいからであると考えられている。この事実は、一見津波地震の発生する領域と矛盾している。

谷岡らの研究はこの矛盾点を解決している。彼らは、図 2-9 に示す三陸沖プレート境界のモデルを導入し、海溝軸付近のプレート境界で低角逆断層型の巨大地震が発生した場合、海溝軸の陸よりの地殻が水平変動を起こし、この部分の変動が斜面上の堆積物（付加体）を上を押し上げ、津波を励起すると仮定した。彼らの仮説に基づき、コンピュータシミュレーションにより再現された津波は、観測波形をよく説明できることがわかった。

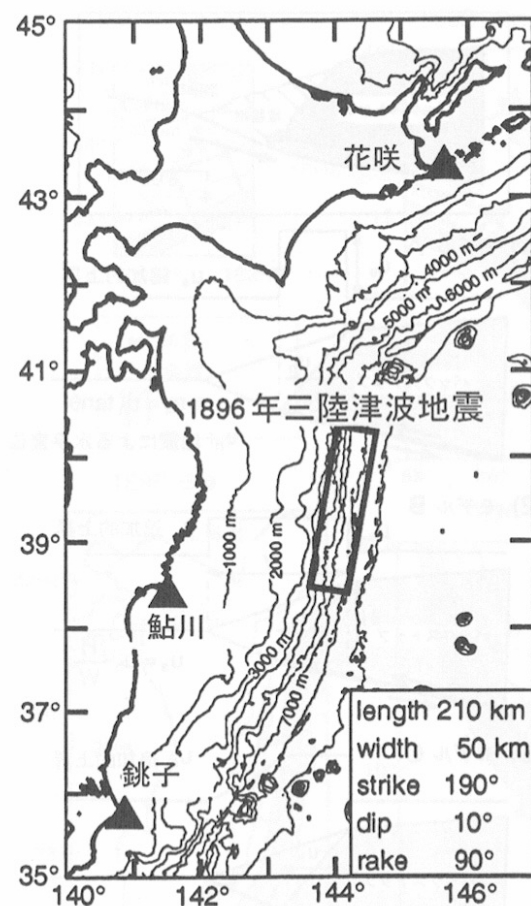


図 2-8 明治三陸地震の断層位置 (谷岡・佐竹、津波地震の発生メカニズム『月刊地球』Vol. 25, No. 5、350 頁からの抜粋)

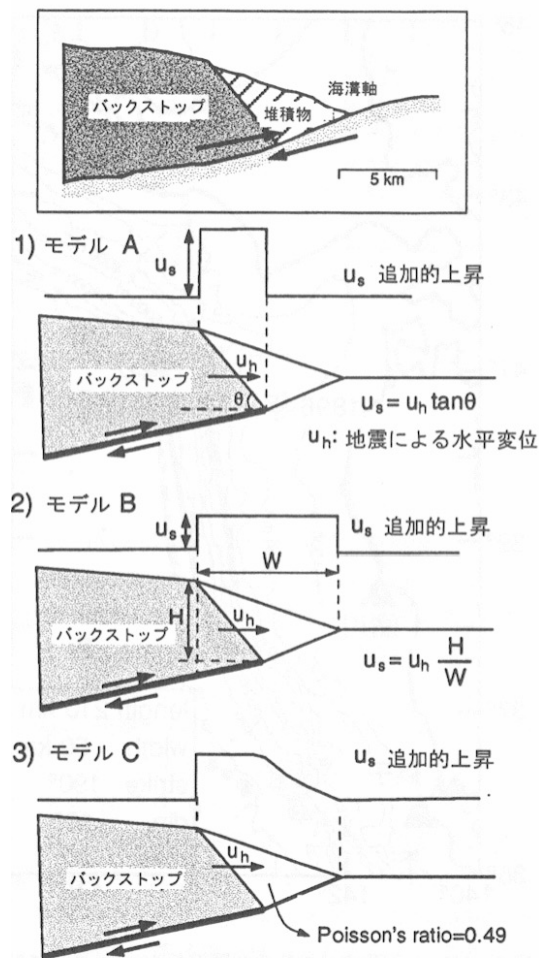


図 2-9 三陸沖日本海溝近傍の模式図 (谷岡・佐竹、津波地震の発生メカニズム『月刊地球』Vol. 25, No. 5、349 頁からの抜粋)

以上を総合すると、明治三陸地震津波を引き起こした津波地震の発生メカニズムは、日本海溝の海溝軸付近のプレート境界が低速で破壊し、海溝軸近傍の未固結堆積物（付加体）が水平変位を起こすことにより巨大な津波を励起したことによる。

津波地震の発生メカニズムは、依然未解明な部分も多い。津波地震による津波災害の特徴は、津波来襲の警鐘となる地震動が小さいために、被害が拡大するという傾向にある。今後の研究の進展が望まれる。

第3節 津波の来襲状況

1 津波来襲当日の気象

『宮城県海嘯誌』(17頁)では、宮城県石巻地方の気象状況が次のように書かれている。

「津波の数日前から天気は概して陰鬱で風はなく、温度は平年並みで14日に降雨があったが、別に際立った異常は認められなかった」

津波当日、つまり1896(明治29)年6月15日は、朝は静穏で霧がかかり、少々の降雨があったらしいが、午前9時頃には次第に晴れてきた。弱い南風があり、気温はかなり上がってきた。午後0時40分、南西方向に遠雷。午後2時頃には気温華氏80度(摂氏27度)と今年最高の気温となった。午後4時頃より再び曇りとなり、しばしば雨が降った。静穏ではあったが、晴れたり曇ったりと変化し、秋のような天候で、夜は何となく重苦しい気配であった。

『南閉伊郡海嘯記事』(1頁)にある報告によると、岩手県釜石市周辺の気象状況は、「6月15日は朝から曇天で、午後4時頃から雨が降ったが、海は波静かであった。午後8時過ぎから大雨となった」とある。この雨は津波来襲中にも激しかったようである。惨況一斑と題する記事の釜石町の部に、「流材等を追い払い、やっと水面上に首を出すことができ、ホッと一息ついて、漂流している木材にたどり着けた。水面を透かし見たが、大雨濛々として一寸先も分からない暗さのなか、5、60人とも思われる助けを呼ぶ声がした」とあるからである(『南閉伊郡海嘯記事』118頁)。

2 観測された地震

宮古測候所での地震の記録及襲来津波の状況が『風俗画報』に記述されている。表2-2はそれをまとめたものである。

表2-2 宮古測候所での津波来襲状況(出典:『風俗画報』臨時増刊第百十九号、海嘯被害録中巻)

発震時間	震動	時間	方向
午後7時32分30秒	微 潰屋あり	5分	東北東 西南西
午後7時53分30秒	同 海嘯あり		
午後8時02分35秒	同 続震あり		
午後8時23分15秒	同 同		
午後8時33分10秒	同 同		
午後8時59分	同 同		
午後9時31分30秒	同 同		
午後9時34分05秒	同 同		
午後9時45分40秒	同 同		
午後9時50分10秒	同 同		
午後10時32分10秒	同 同		
午後11時22分	同 同		
午後11時33分15秒	同 同		

宮古測候所報(6月19日「官報」)

3 津波の来襲状況

宮古測候所長の談話を要約すると、津波の来襲状況は以下のようであった（『風俗画報』臨時増刊第百十九号、海嘯被害録中巻、2頁）。

地震は、微弱であったが合計 13 回程あった。その後、7 時 50 分頃に、潮が異常な速さで引き始め、同時に、遠くで雷が鳴るような音を聞いた。8 時 7 分に約 4.5m の津波が来襲し、人畜家屋が流失してしまった。津波はその後 6 回にわたり繰り返し、海面の振動は翌日の正午頃まで続いた。

『宮城県海嘯誌』によると、宮城県本吉、桃生、牡鹿の三郡での状況は、本吉郡沿岸の津波は、大体午後 8 時 10 分前後に最も大きかった。桃生、牡鹿の両郡ではこれより少々遅れたようである。鮎川には、陸地測量部の設置した潮位計があり（図 2-10）、この記録によると津波の到達は午後 8 時 30 分であり、最も激しかったのは第 1 波から第 3 波」である。この記録紙を見ると、鮎川では僅かな引きから始まっている。

当時、全国沿岸には 10 か所の驗潮所があった。参謀本部陸地測量部において、明治 23 年以来英国製の潮位計を設置してあったが、今回の津波を宮城県牡鹿郡鮎川、北海道根室国花咲、神奈川県三崎の三か所で記録した。『巖手公報』（1896(明治 29)年 7 月 5 日）は、この三か所での記録を手書きしたものを掲載し、次のように紹介している。

宮城県牡鹿郡鮎川：午後 8 時 25 分に約 20cm の引き、同 30 分に 1.4m の押し波となり、約 5 分で谷となる。これ以降、4、5 分毎に昇降を繰り返した。9 時 30 分、同じく 50 分の 2 回はほとんど同じ高さであった。11 時には約 2 m 上昇し、この時の山谷の鉛直差は 2.7m であった。

北海道根室国花咲：午後 8 時 50 分に、約 40cm の押しから始まり、5 分後に約 1 m 下降した。

この驗潮器は 1 時間程記録した後、故障してしまう。

神奈川県三崎：午後 8 時 10 分より高さ約 20cm の波が、約 5 分の周期で繰り返して記録された。

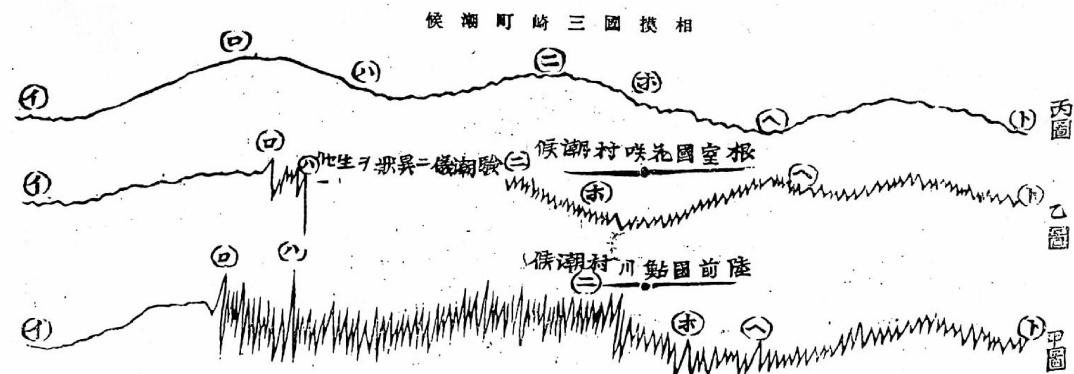


図 2-10 明治三陸大津波の潮位記録 (『巖手公報』1896(明治29)年7月5日)

三陸沿岸部各地の津波来襲状況は、同時の雑誌『風俗画報』や、新聞『巖手公報』の記事から伺い知ることができる。特に、津波来襲時の夜は多くの村人が漁のために沖に出ていたこともあり、沖合での津波来襲状況もいくつか報告されている。陸地での津波の振る舞いと沖合の状況に大きな差があり、津波は陸地や湾の中ではすさまじい破壊力をもつが、沖合を伝播する様子は平穏なものであることがわかる。以下にそのいくつかを要約して紹介する。

津波来襲時の轟音を示唆する状況

6月15日夕刻に数回の地震があった。午後8時頃東閉伊郡の沖合で巨大な砲を撃った様な轟音があり、その音が止んで数分と立たない間に津波がにわかに押し寄せてきた。天にも届く様な大波が押し寄せてきて、市街も村落も全て水に浸かってしまった。沿岸一帯 70 数里が一瞬にして砂に埋まり、死体や廃屋が累々と重なる惨憺たる状況となった(『風俗画報』臨時増刊第百十九号、海嘯被害録中巻12頁)。津波来襲時の音響は、大槌町にて「同町以北12キロメートル(3里)の山村金沢村まで響き渡り、柱時計の錘を止めてしまうほどの衝撃であった」(『南閉伊郡海嘯紀事』169頁)との報告もあるほど、大きなものであったようである。

沖合の津波の様子

当夜は、漁夫40名程が赤魚・目抜魚の漁に、5、6隻の船で出ていた。沖合にて網を張っていたところ、北から南に向かって黒線が突き抜けたと思いきや、網がグラグラと揺れ、せっかく捕らえた魚が逃げてしまった。何事かと顔を見合わせて不審に思ったが別段危険は無かったので翌朝岸に戻ったところ、津波来襲後のあまりの惨状に驚き、呆然となった(『巖手公報』1896(明治29)年6月23日)。

沖合の津波の様子

(現下閉伊郡普代村字太田名部)^{へい ふだい}では、全戸数 41 のうち 40 戸流失、死者 202 名（うち男 100、女 102）、行方不明者 183 名、負傷者 31 名の被害であった。当夜は 40 名余りの漁夫が、遙か沖合でマグロの流し網漁をしていた。彼らは、翌朝陸に戻ってみると、家もなく、家族もなく、食料もなく、一夜にして変貌を遂げた光景を目の当たりにした（『巖手公報』1896(明治 29)年 6 月 27 日）。

このように、まさか出漁中に津波が襲うとは思わず、翌日海岸近くには家屋や木材が漂流し、これは地震か津波かと必死で陸地に漕ぎ着けたが、祖先伝来の家屋、懐かしの家族の影も形も失い、ただその変わり果てた有り様に呆然とするほかなかったという逸話が数多く残されている。ゆえに、津波来襲の翌朝に海から戻った者は、陸上で津波にさらわれて漂流した人たちの救助を呼ぶ声も、船幽霊だと勘違いしたのもうなずける。

津波の来襲と船幽霊

^{おもえ}重茂村（現岩手県宮古市）の漁師 4 人は、14km 程（三里半内外）の沖合にてマグロ漁に従事していた。8 時頃陸の方角に雷の落ちたような轟音を聞き、潮流の異変を感じて、船は三度の大波にもまれながらも以後は何の異常も見受けられなかった。（この 4 人は運良く津波を免れることができた）。彼らはちょうど出漁時に天候が何となく穏やかでは無かったので、こんな日は船幽霊が出るかもしれないと話していた。翌朝海岸近くに漕ぎ着けたところ、救助を叫ぶ声が聞こえたが、「そら船幽霊が出た」と、少しでも応えようものなら海に引きずり込まれるという伝説を信じ、片言も発せずに必死で船を漕いだ（『風俗画報』臨時増刊第百十九号、海嘯被害録中巻、26 頁）。

津波にさらわれた者のほとんどは命を絶たれたが、運良く助けられた者もいる。『風俗画報』には、上の挿話の続きで以下のような興味深い挿話があったが、漂流中に、停泊していた船や帰港中の漁船に救助されるケースがほとんどであったろう。

漂流者と船幽霊

^{おもえ}重茂村の助役山崎松次郎は、当夜津波にさらわれ三里余りの沖合まで流されたが、水泳の心得の助けもあり翌朝までなんとか海面を漂っていた。そこに前述の船を見つけ、声の限り助けを求めたものの、船上の漁師は船幽霊だといいながら応ずる気配がない。そこで山崎は、「我こそは助役山崎なり」と叫び、やっとのことで助け上げられた（『風俗画報』臨時増刊第百十九号、海嘯被害録中巻、26 頁）。

岩手県の津波による死者は 2 万余りに達した。犠牲者の男女の割合を見ると、男性 100 に対し、

女性 125 という割合であった。当時は、女性は家事に従事し、男性は漁のために沖に出るというのが一般的な生活であった。津波の発生当日も、男達は海の異変を感じつつも無事に戻ってきたが、女は不意の津波に襲われ、逃げ遅れたため、男女の死者数の割合に差がでたものと考えられる。また、一度は逃げおおせたものの、子供や家族のことが心配になり、家に戻った者が津波にさらわれ、結局命を落としてしまった者もいた。

4 測定された津波高

(1) 測定者について

津波直後に津波高を測定したものとしては、伊木常誠、山奈宗真い き やまな そうしんが良く知られている。その他に宮城県土木課、及び岩手県の個人がいる。33 年後の昭和三陸地震津波（昭和 8 年）の後に現地調査を行った松尾春雄は、伝えられていた地元の記憶にしたがって明治三陸地震津波の痕跡を測定した。その他、近年になってからも、地元の言い伝えを探りながら津波を測定しようとする動きもある。その他、昭和の津波の際、岩手県や内務省大臣官房によって引用されている数字があるが、その出所は明らかでない。

これら測定値の精度に関する執筆者の私見をまず示しておこう。

伊木常誠の測定値は、痕跡の精度をも記したもので科学的な調査として信頼できるものであるが、残念ながら地名毎の痕跡高としてのみ与えられており、地形との関係がほとんど判らない。一応各地点での最高打ち上げ高とみなすしかない。

山奈宗真の測定値は地点ごとのスケッチとともに与えられている。一見信頼に足るものの様に見えるが、かなり注意して受け取る必要がある。後述するが、災害直後に馬か徒歩で、あれだけの日数で岩手県全沿岸を踏破して測定したとは、とても信じられない。そのうえ、各スケッチに添えられた「打上浪」などの定義が与えられていないため、正確には把握できない。場所によっては、激しい波しぶきが打ち上げた結果を測定したと思われるものがある。彼の測定結果を数値計算精度の検証等に使用するときには、測定結果が過大になる可能性が大きい。

宮城県土木課測定とする数値は、集落ごとに最高打ち上げ高と思われるものを測っているようであるが、これも伊木常誠の測定値と同様、地点を確定する事はできない（『宮城県海嘯誌』8-14 頁）。

松尾春雄の測定値は 5 万分の 1 の図面に地点が明記され、その高さが記されている。ただ、直後ではなく、33 年後の記憶によるものである。

(2) 伊木常誠の測定

当時理科大学地質学生であった伊木常誠は震災予防調査会に嘱託され、三陸沿岸に出張して現地踏査を行った。6 月 20 日に東京を出発し、7 月 21 日帰京。その結果は「三陸地方津浪実況取調報告」として 9 月に提出され、『震災予防調査会報告』第 11 号に掲載された。その目次は以下で

ある。

(ア) 既往の津浪

(イ) 今回の津浪

① 前兆

1. 海水の干退

2. 井水の異常

3. 地震

4. 地球磁力の変動

5. 其他

② 音響

③ 津浪襲来の時刻及び状況

④ 津浪の波及

⑤ 津浪の高さ及び海底深淺との関係

⑥ 津浪襲来の方向、起点、速度及び波長

⑦ 津浪襲来の勢力及び転向

⑧ 地震との関係

(ウ) 三陸沿岸の地貌

(エ) 今回津浪の源因を論ず

伊木は、交通不便な三陸沿岸を約1か月の間に駆け巡り、津波の現象に関する総合的な報告をまとめあげた。

この当時の記録として特筆すべきことは、その計測精度について言及していることである。すなわち、「津浪の高さは平常水準より計りし者にして其標目となすは、第一、海岸に生ずる草木は其潮水被覆の害を蒙りし部悉く枯死して赤色に変ぜる事、第二、被水の難を蒙るも幸いにして存立する家屋の土壁を見るときは明かに海水上昇の痕跡を認むる事、第三、樹木若くは岩壁等に懸垂せる海草及び材木の類、第四、樹木の折裂及び樹皮の剥脱等にして就中最も確実なるは第一第二の場合にして他は此等の事情に乏しき際に応用せる者なり、殊に第一の場合の如きは無難の緑葉青々たるの部と相反映して其境界判然し且つ整然として凸凹なく宛も土地隆起の処に於ける汀線を観るに彷彿たり。以上の事実に基づき余が巻尺を以て計れる結果左の如し」とし、更に目測値には△、聞き取り値には×印をつけている。

これは、測定時の精度について、明らかにするためで、(1) 海水の氾濫により植生が変化すること、(2) 家屋の壁面の痕跡に着目すること、(3) 樹木等に付着した海草や漂流物に着目すること、(4) 樹木についた傷等を参考にすること、とし、精度の高い測定の根拠として、(1)、(2)を推奨している。

ただ、いくつかの図版を除き地名と津波高の表になっているだけであるから、測定地点の特定

に難がある。また、高さは測定時の海面からのものと想定されるが、来襲時の潮位の高さが正確には分からないため正味の津波高さではないことにも留意すべきであろう。

近年は、明治三陸津波の最大打ち上げ高は、綾里村白浜（現大船渡市）の 38m とする事が多いが、伊木常誠の測定の最大値は吉浜湾奥の吉浜における 80 呎（フィート）で、白浜は 72 呎（フィート）となっている。報告文には、吉浜の写真 2 葉、綾里湊 2 葉、細浦 1 葉が付されている。

なお、現在 1960 年以降の痕跡信頼度の基準は次表のようにになっている。

表 2-3 津波痕跡高の信頼度の分類（作成：首藤伸夫）

	判断基準
信頼度 A	信頼度大なるもの。痕跡明瞭にして、測量誤差最も小なるもの。
信頼度 B	信頼度中なるもの。痕跡不明にして、聞き込みにより、周囲の状況から信頼ある水位を知るもの。測量誤差小。
信頼度 C	信頼度小なるもの。その他砂浜などで異常に波がはいあがったと思われるもの、あるいは、測点が海辺より離れ、測量誤差が大なるもの。
信頼度 D	信頼度極小なるもの。高潮、台風の影響で痕跡が重複し、不明瞭なもの。

(3) 山奈宗真の測定

明治三陸地震津波直後、現地で調査した人として、山奈宗真が有名である。調査後報告書を 3 部作成したと伝えられていたが、長らくその所在が不明であった。国立図書館に一部が存在することがわかり、翻刻されたのが 1988(昭和 63)年で、『東北大学工学部津波防災実験所研究報告』第 5 号に 320 頁にわたり掲載されている。なお、岩手県遠野市遠野図書館には 600 点にも及ぶ山奈宗真の資料が保存されている。

山奈宗真の来歴は、遠野市教育文化振興財団 1981(昭和 61)年発行『遠野の生んだ先覚者 山奈宗真』で知ることが出来る。明治三陸地震津波調査関連で記しておかねばならないことは、山奈宗真には測量の心得があったことである。1875(明治 8)年 28 歳のとき、西閉伊郡内 8 か村の測量を請け負い、25 組の測量隊を組織して測量の指導にあたった。その後も、測量を行ったとある。

明治の津波後、山奈宗真が県に建議し、県が採択して沿岸での調査を行った。

『巖手公報』(1896(明治 29)年 7 月 29 日)によると、津波被害調査を岩手県から囑託された山奈宗真は、7 月 28 日に盛岡町（現盛岡市）を出発し、炎天下 44 日間に亘り、徒歩、馬、船で、気仙郡気仙村（現陸前高田市）から九戸郡種市村（現種市市）まで、全長 300km に及ぶ沿岸全集落を調査した。当時 49 歳であった。

その報告書は、津波の打ち上げのみならず、復興を目指してか、極めて多岐にわたり、以下の 4 部からなる。

第一は、「岩手県沿岸大海嘯取調書」で、(甲 陸前国気仙郡拾二ヶ町村 字七拾二部落)、(乙 陸中国南閉伊郡三ヶ町村 字二十壱部落)、(丙 陸中国東西閉伊郡拾四ヶ町村 字六拾三部落)、(丁 陸中国南北九戸郡 八ヶ町村 字三拾四部落)と四つに分かれ、それぞれ町村単位で、つまり 37 町村に対し、1. 漁村の新位置、2. 住家、3. 漁民風俗、4. 漁村制、漁民需用品、5. 海湾、6. 海事考、7. 漁村挽回、8. 漁民将来の企望、9. 陸地産業被害調査、10. 商業調査の項目を設

けて、詳細に記述している。各項目とも、少なくとも2小項目、多いものは7小項目からなっている。

第二は、「大海嘯各村別見取絵図」で、36 町村について、浸水域や津波襲来方向の絵図が描かれている。8 町村に関しては詳細な記述や人命被害、船舶被害、漁具被害の表が付けられている。

第三が、津波記録としては最も貴重であると思われるもので、「岩手県沿岸大海嘯部落見取絵図」である。これも甲 (59 絵図)、乙 (22 絵図)、丙 (58 絵図)、丁 (29 絵図) の四部 168 絵図からなる。各図には、流亡戸数、潰戸数、流亡納屋、潰納屋、死亡人口、負傷人口、海面より高低 (註：集落位置の地盤高であろう)、満干潮の差、打上浪、浪走り、その他が描かれており、これが津波痕跡調査に当たるものである。

第四は、上の第三の結果を取りまとめたものといえるもので、「三陸大海嘯岩手県沿岸見聞誌一班」(甲、乙、丙、丁) である。

このような膨大な資料を、49 歳の山奈宗真が、夏の時期、交通の不便な沿岸地帯を歩き、どの程度の精度で測り得たかには疑問が残る。絵図だけでも 168 枚。一日に4枚は描かなくては消化できない。これはほとんど不可能である。従って、山奈宗真の記録は、今後の精査の後、取捨選択する事が必要であろう。

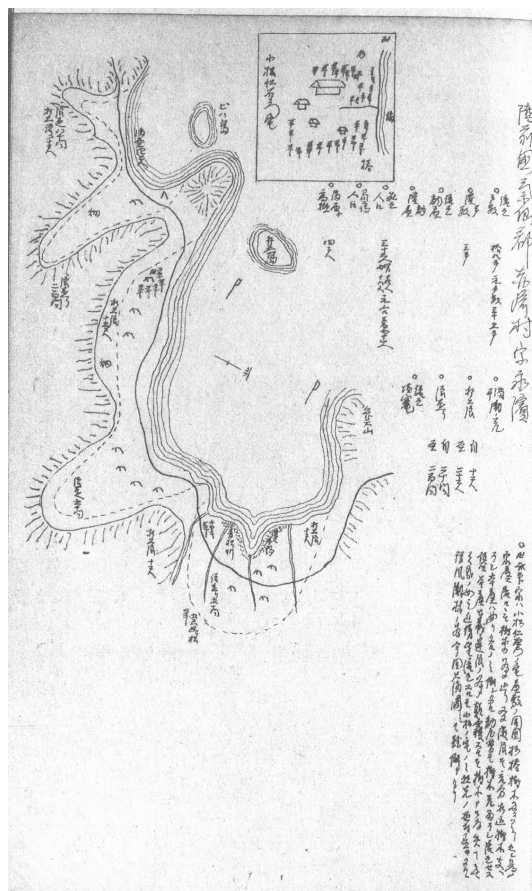


図 2-11 岩手県沿岸大海嘯部落見取絵図 (陸前国気仙郡赤崎村、現岩手県大船渡市赤崎町) (大船渡市博物館『津波をみた男』82 頁から抜粋)

ちなみに、綾里白浜で百三拾尺から百八十尺の打上浪、吉浜で打上浪六十五尺としている。

(4) 松尾春雄の測定

1933(昭和8)年3月3日、昭和8年三陸大津波発生当時、内務省土木試験所内務技師であった松尾春雄は、3月3日から10日まで、及び5月19日より6月4日までの二回、岩手、宮城両県庁土木課の助力を得ながら現地調査を実施した。同行したのは試験所員八木技手であった。

報告書は以下の4部構成からなる。

I 緒言

II 被害の概要

1. 地震
2. 津浪の被害
3. 各地に於ける津浪の高さ及浸水面積
4. 工作物に対する被害

III 津浪の性質及び勢力に対する考察

1. 津浪の形
2. 海岸に於ける津浪の高さ及び勢力

IV 被害軽減の方法及び被害防備施設

1. 被害軽減の方法
2. 防備施設

45枚の調査図(縮尺5万分の1)が作成されたが、37年前の明治津波の痕跡をも、「その土地の人の言に依り之を実測した。ただし、往年のものは地形の変化記憶の不正確等の為に必ずしも正確を期し難い」としながら、痕跡地点、痕跡高(略平均水面上の高さ)、及び場所によっては、明治津波の浸水域をも地図に記入している。

これによると、綾里白浜で38.2m、吉浜で26.3mである。この時から、明治三陸大津波の最高打ち上げ地点として綾里白浜が確定したものようである。

(5) その他

明治津波直後に、これ以外の人が検分したとする高さの報告もないではない。例えば、『巖手県海嘯誌』には、県尋常中学校教師3名が調査した海嘯の高低として「^{りょういし}両石の港口崖腹にある波濤の痕は廿八尺の高さなり吉浜の南山脚にある波濤の痕は六十六尺の高さなり広田村泊の断岸にある波濤の痕は四十八尺の高さなり」などの記述がある。

また、昭和津波の後で、岩手県や内務省が調べた明治の痕跡高が整理されて残されているが、出所が明確でなく、時として山奈宗真の数値をメートルに換算しただけ、しかも換算時に誤りが生じたもの、等があるので、注意が必要である。

ごく最近になって、昔の言い伝えを基に測量し、地図として作成したものが幾つか存在する。

こうしたものを集め、過去のものと比較し、精査しなくてはなるまい。

過去の報告値をそのまま鵜呑みにすることは危険である。

(6) 明治三陸大津波打ち上げ高分布

山奈の測定値を含まないものと含むものとを下图に示しておく。含まないものは『日本被害津波総覧』（第2版）、含むものは羽鳥徳太郎（『津波工学研究報告』第12号）による。左図では綾里白浜の38mが最高、右図では茂師の45mが最高である。

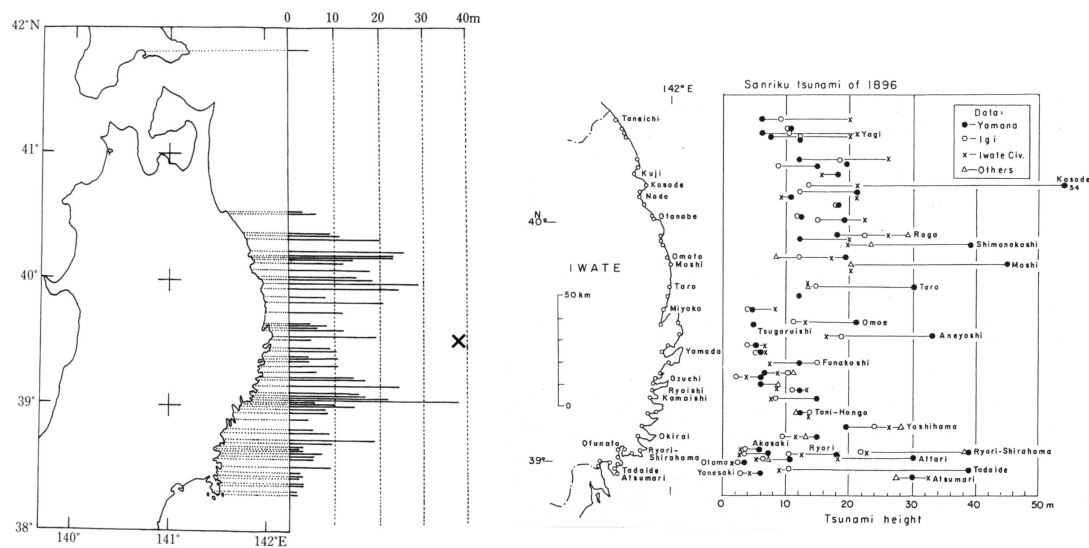


図2-12 明治三陸地震津波の打ち上げ高（左：『日本被害津波総覧』（第2版）103頁、右：羽鳥徳太郎（『津波工学研究報告』第12号60頁から抜粋））

コラム 津波が来る前は潮が引くと言われるのはなぜか？

「津波が来る前は潮が引く」、津波を経験した人々の多くがこのように語る。これは真実なのか。津波を発生させる巨大地震は、いわゆるプレート境界型地震であることが多い。日本海溝におけるプレートのテクトニクスの特徴として、この領域で発生するプレート境界型地震の発生メカニズムは低角の逆断層となることはよく知られている。この断層メカニズムは、断層を挟んで西側の海底地盤が沈降する特徴を有しており、これが三陸地方への津波の来襲に強い引き波が伴う原因となっている。しかし、プレートの境界型地震だけではなく、プレートの内部が破壊されて発生する地震（スラブ内地震）もマグニチュード 8 を越える巨大なものとなることが最近分かってきた。このことは、プレート境界付近で発生する地震であっても押し波で津波が来襲する可能性があることを示唆している。「潮が強く引いた場合には津波が来襲する」ことは正しいが、これが「津波が来襲する前には必ず潮が引く」という表現に形をかえて伝えられており、この間違った知識のために、潮が引くことを確かめるために海に見に行ったり、迅速な避難を妨げたりするようである。

津波が来襲する時には必ずしも潮が引くわけではない。もう一度、このことを知っておいて欲しい。