

津波災害の概要

平成26年7月7日
応用アール・エム・エス株式会社
山田敏博

自己紹介

OYO RMS

応用アール・エム・エス 株式会社

設立: 1998年5月20日設立※

主な業務:

- 自然災害リスクの分析・調査(地震・台風ほか)
 - 企業のリスクファイナンス(保険ほか)
 - 企業のリスクマネジメント(地震対策、BCP/BCm)
 - 投資・融資に係るリスクマネジメント(不動産、PFほか)
- その他の自然災害リスク調査・研究

OYO 応用地質株式会社

- 地盤・防災・環境分野の総合コンサルタント会社
- 国や自治体の地震被害想定調査、自然災害リスク調査を実施

R M S TM

Risk management Solutions, Inc.

- 巨大自然災害リスクの分析ソフト RiskLink®を開発・ライセンス
- 世界の自然災害損害保険契約の80%以上で利用されている
- スタンフォード大学で1989年に設立
- 本社: 米国カリフォルニア州

目 次

- 津波とはどのような現象か？
- 過去の被害津波
- 2011年東北地方太平洋沖地震の被害
- 津波の調査・研究
- 津波対策の考え方

津波とはどのような現象か？



津波とは

- 「津」は「船が停泊するところ、港」を意味する。津(港)を襲う大波を津波という。
- 地震など※により引き起こされた海底地形の変動が、その上の海水を変動させ、それが波(長波)となって四方に伝わり、海岸で大波となる現象が津波である。

※ 火山噴火、地震に伴う沿岸の山(崖)崩れ、海底地すべりによって津波が発生することもある。

渡辺(1998): 日本被害津波総覧[第2版] 他による

島原大変肥後迷惑

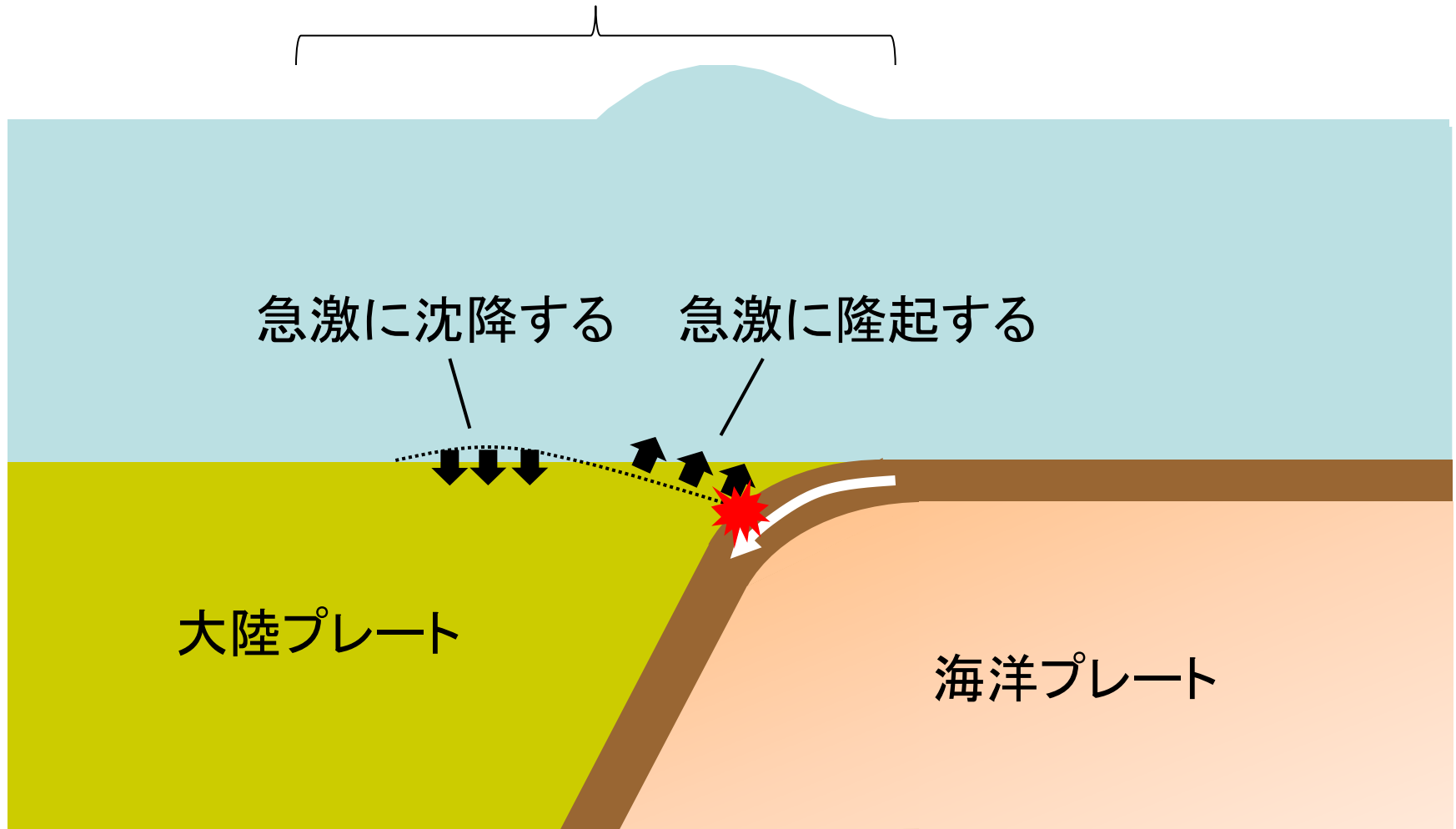
1792年(寛政4年)に肥前国島原で発生した雲仙岳の火山性地震およびその後の眉山の山体崩壊(島原大変)と、それに起因する津波が島原や対岸の肥後国を襲った(肥後迷惑)ことによる災害である。



津波の発生メカニズム

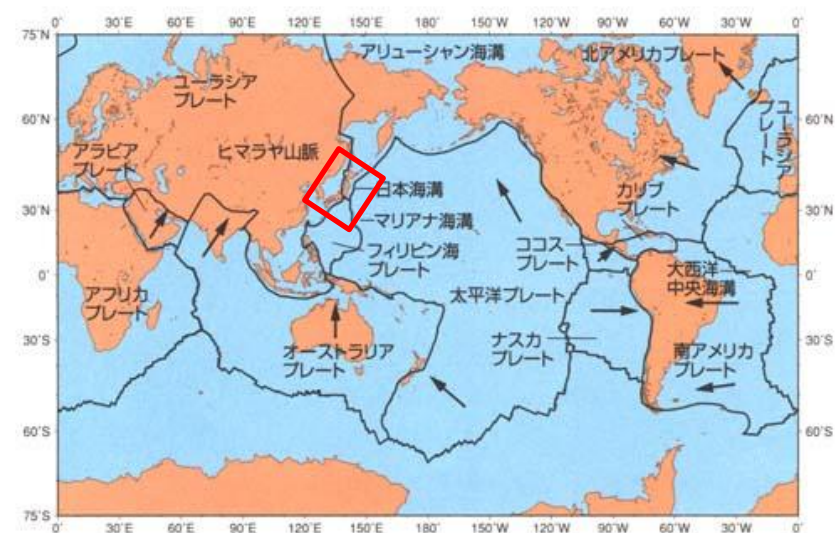
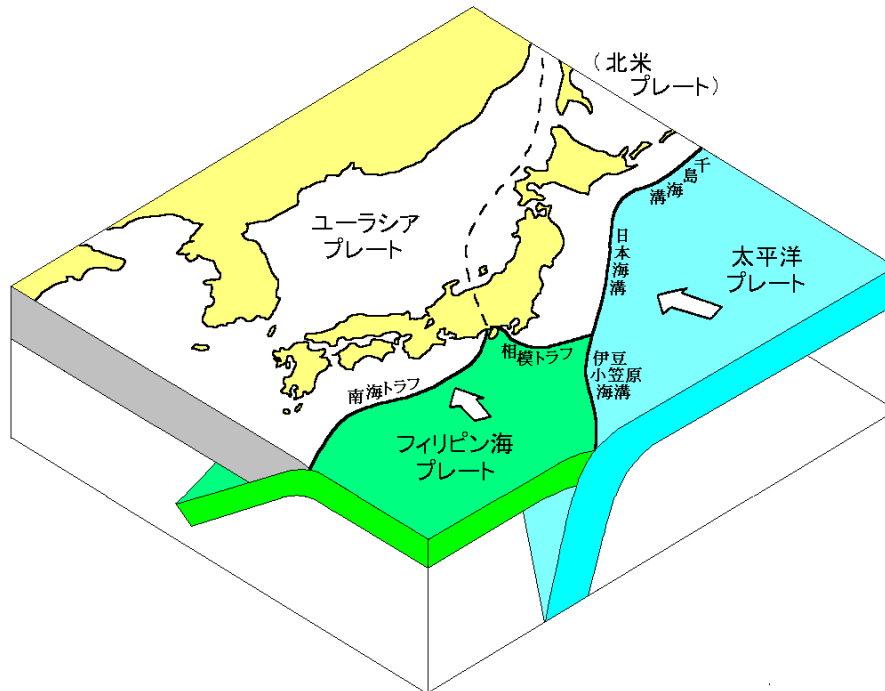
地震時

津波波源域



日本周辺のプレート構造(参考)

- 太平洋プレートは、西北西に年間約8cmの速度で進み、北海道沖合いの千島海溝、三陸・房総沖合いの日本海溝、伊豆諸島東方の伊豆・小笠原海溝の位置から日本列島下に沈み込んでいる。
- フィリピン海プレートは、北西方向に年間約4cmの速度で進み、房総半島南方から相模湾にかけての相模トラフ、駿河湾から遠州灘にかけての駿河トラフ、東海・紀伊半島・四国沖合いの南海トラフ、南西諸島に沿う南西諸島海溝の位置から、日本列島の下に沈み込んでいる。



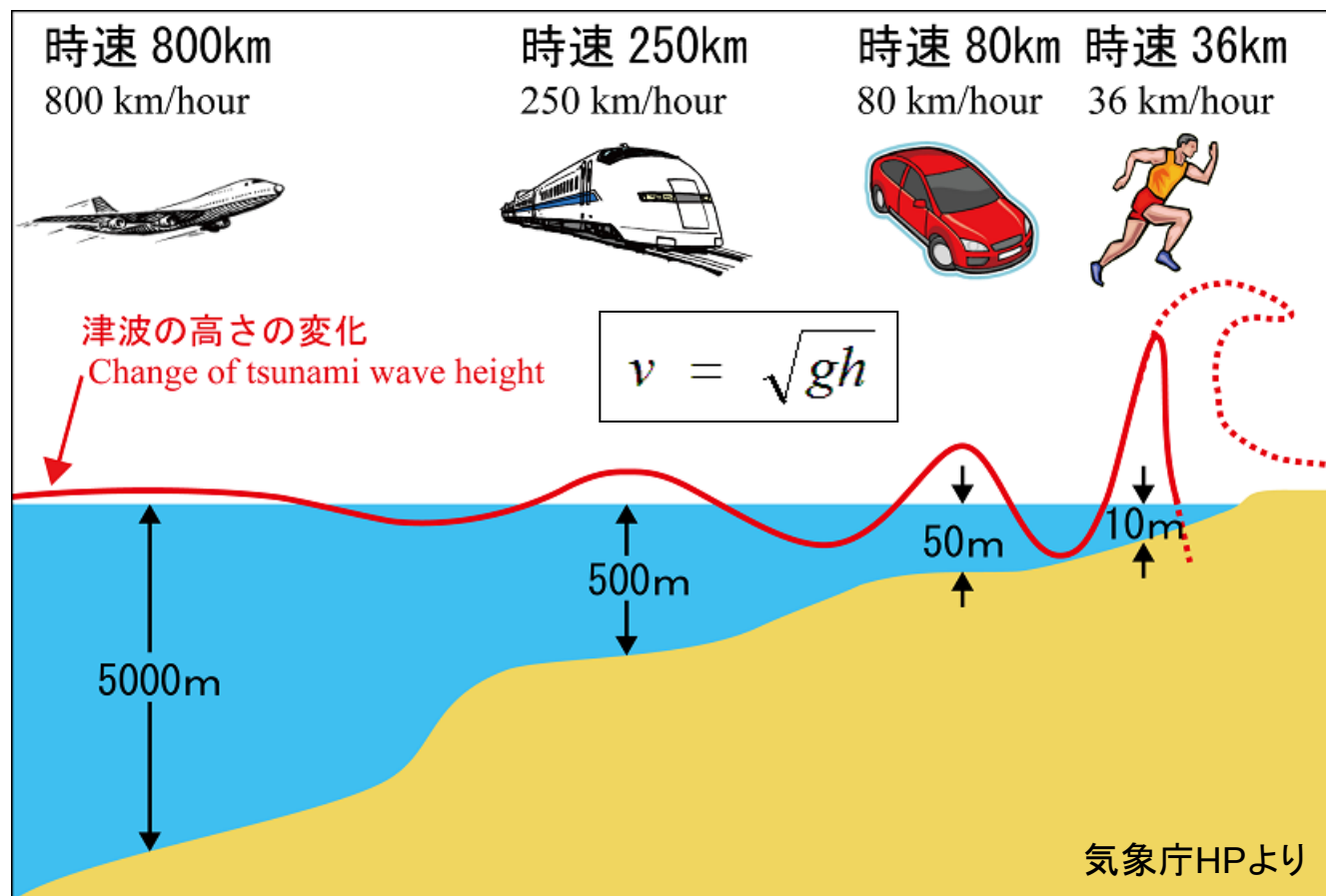
世界のプレート境界

防災科学研究所HPより

http://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/PNG/fig4.9.png

津波の伝播

- 津波は海が深いほど速く伝わり、逆に水深が浅くなるほど速度が遅くなる。
- このため、津波が陸地に近づくにつれ後から来る波が前の津波に追いつき波高が高くなる。



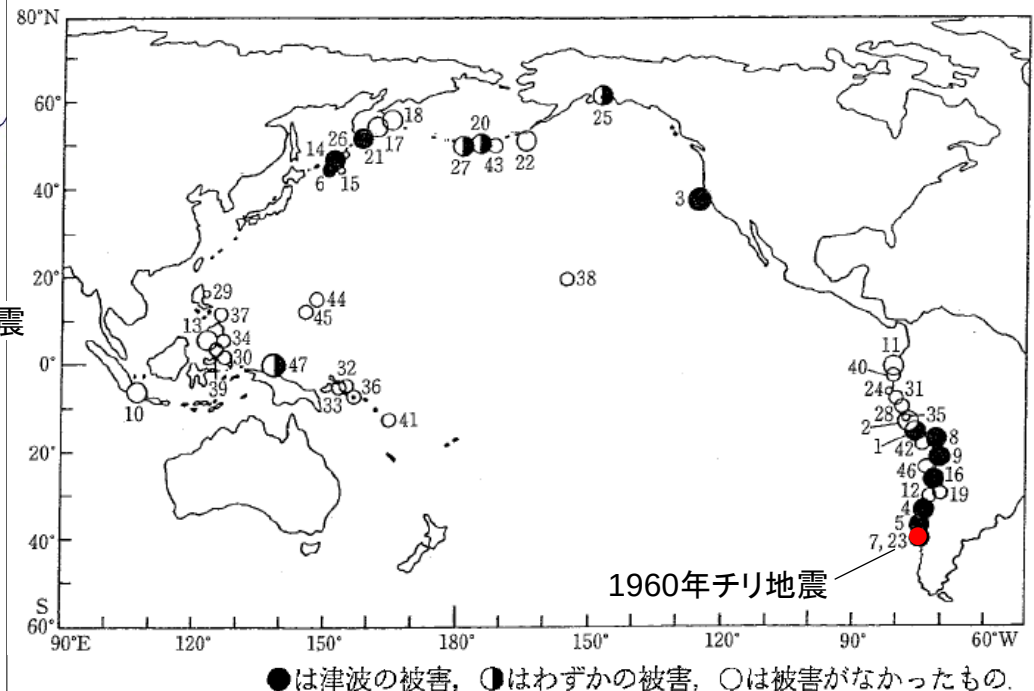
過去の被害津波



日本に影響を与えた主な津波

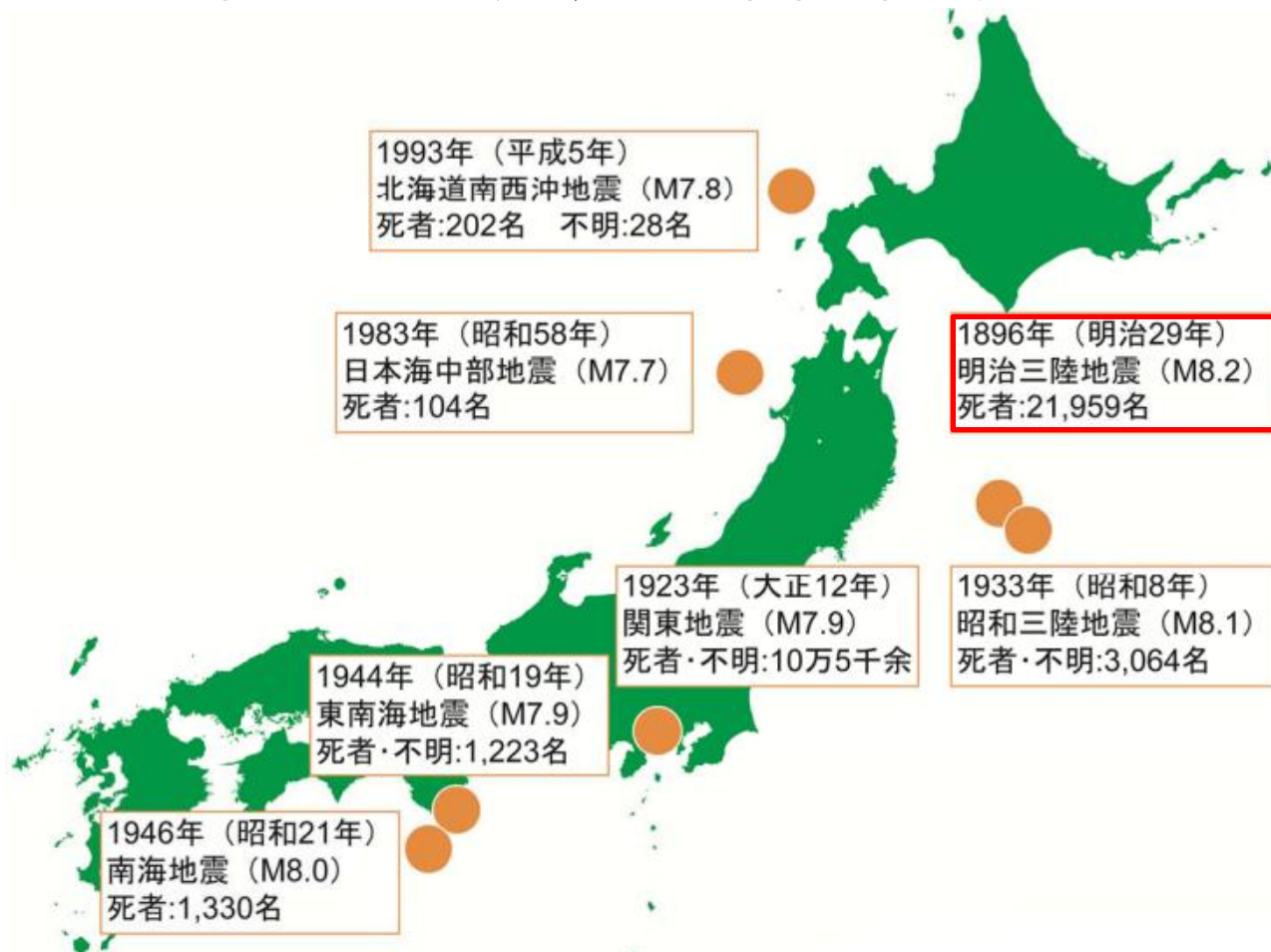
ビデオ

- 渡辺偉夫(1998): 日本被害津波総覧[第2版], 東京大学出版会
 - 日本周辺で発生した195、海外で発生した47の被害津波について、日時、震源、マグニチュード、津波規模階級、被害状況などを記載
 - 日本周辺では684年白鳳地震、869年貞観地震以降、海外では1586年のペルーの地震以降の津波の記録が記載されている。



明治以降の津波被害

- 明治以降、100人以上の死者・行方不明者※を出した津波被害
※死者・行方不明者については、地震による被害も含む。



災害時の避難に関する専門調査会 津波防災に関するワーキンググループ(第1回会合) 資料2 主な津波被害

主な被害津波

海域	津波名	Mt	m	津波高さ・被害概要 他
日本海溝・千島海溝沿い	1611年 慶長三陸地震津波	8.4	4	岩手県田老で21m。仙台平野一帯海水による浸水。
	1677年 延宝房総沖地震津波	8.0	3.5	津波地震。津波高は最大8m程度。
	1896年 明治三陸地震津波	8.6	3.5	津波地震。三陸町綾里白浜で38.2m。 死者21,753人。
	1933年 昭和三陸地震津波	8.3	3	岩手県綾里湾で28.7m。 死者・不明者3,064人。
	1952年 十勝沖地震津波	8.2	2.5	北海道で3m前後、厚岸で6.5m。三陸沿岸で1～2m。
	1968年 十勝沖地震津波	8.2	2.5	八戸の北・宮古湾・大槌湾・釜石で4m以上。
	2003年 十勝沖地震津波	8.1	2.5	
	2011年 東北地方太平洋沖地震津波		4	死者・不明者21,613人 (2014年3月1日現在)。
南海トラフ沿い	1707年 宝永地震津波	8.4	3.5	静岡県八木沢・三重県尾鷲他で10m程度。
	1854年 安政東海地震津波	8.3	3	南伊豆で16.5m、三重県国崎で21.1m。
	1854年 安政南海地震津波	8.3	3.5	和歌山県三尾で8.7m、高知県宇佐で8m。
	1944年 昭和東南海地震津波	8.1	2.5	尾鷲市賀田で9.0m。津波の死者・不明者639名。
	1946年 昭和南海地震津波	8.1	3	三重・徳島・高知沿岸で4～6m。
相模トラフ沿い	1703年 元禄地震津波	8.4	3	千葉県相之浜・和田、伊豆大島で10m、鎌倉で8m。
	1923年 大正関東大地震津波	8.0	2	熱海12m、房総半島先端付近9m、伊豆大島12m。
日本海側	1964年 新潟地震津波	7.9	2	波源域の本州対岸で平均海面上3～4m。
	1983年 日本海中部地震津波	8.1	3	秋田県蜂浜村で14m。死者104人中100人が津波による。
	1993年 北海道南西沖地震津波	8.1	3	北海道奥尻島で31.7m。
琉球海溝沿い	1771年 八重山地震津波	8.5	4	石垣島で30m。八重山列島で9,000人以上が溺死。
海外	1868年 アリカ地震津波(チリ)	9.0	4	函館で2m他。
	1877年 イキケ地震津波(チリ)	9.0	4	函館2.4m、釜石3m、東京湾0.7m。房総半島で死者。
	1946年 アリューシャン津波	9.3	3	鮎川56cm。太平洋津波警報組織の契機。
	1952年 カムチャッカ津波	9.0	4	岩手県金浜、小白浜、宮城県鮫ノ浦などで3.0m。
	1960年 チリ地震津波	9.4	4.5	全国の死者・不明者139人、住家の流失・全壊2,830棟。
	2010年 チリ地震津波		3.5	

渡辺(1998): 日本被害津波総覧[第2版]他による

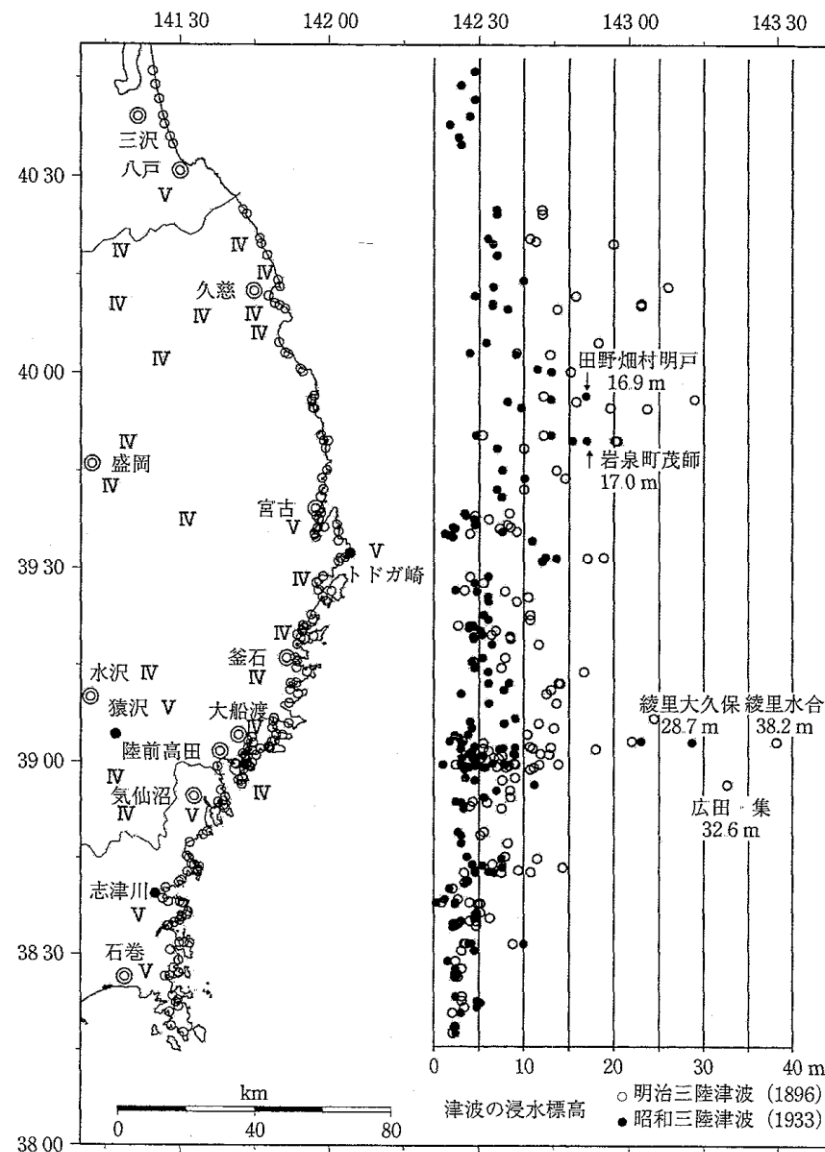
1896年明治三陸津波と1933年昭和三陸津波

【1896年明治三陸津波】

- ・津波襲来の予兆となる揺れが小さかったため(震度2~3程度)被害が拡大した。
- ・いわゆる、津波地震(低周波地震、スロー地震)であった。
- ・この津波が契機となって日本での学術的な津波の研究が始まった。
 - － 海底火山説(小藤、伊木)、地すべり(断層など地殻変動)説(今村)、液体振動説(大森、長岡)

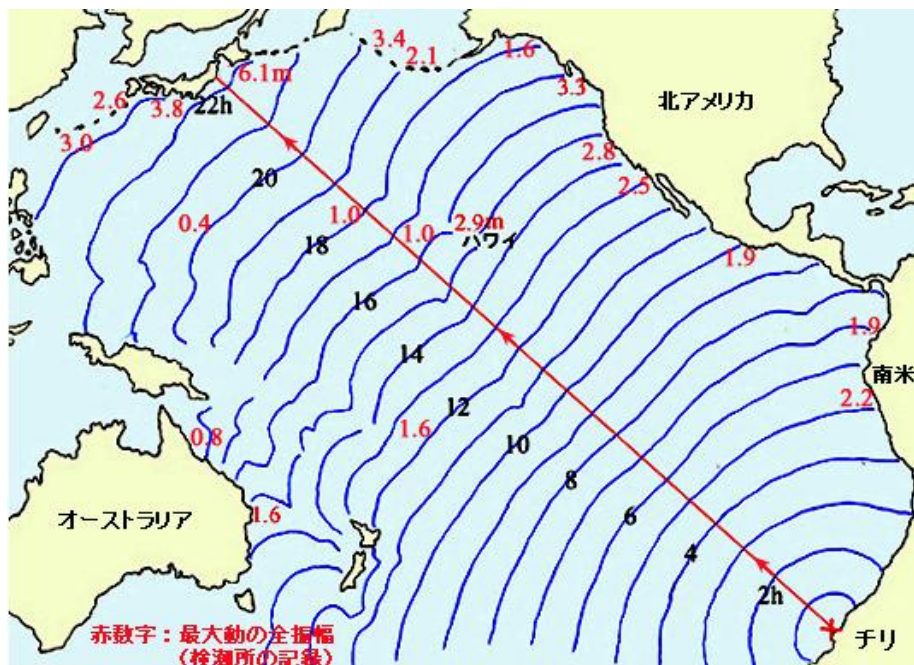
【1933年昭和三陸津波】

- ・明治三陸津波に比べて死者・行方不明者が少なかったのは、①津波がやや小さく、②地震の揺れが強く体験者も生存していたため避難が早かったことによる。
- ・津波後、大船渡市綾里、山田町田ノ浜など多くの集落が高所移転を行った。
- ・最大被災地の宮古市田老(362戸中358戸流出)では避難路を整備し、10mの「防浪堤」を建設した。



1960年チリ地震津波

- 1960年5月23日午前4時すぎ(日本時間)、チリ南部沿岸で発生したマグニチュード9.5の巨大地震による津波は、22時間半後に日本沿岸に到達した。
- 津波の高さは三陸海岸で8mを越え、全国で死者139、住家の流失・全壊2,830棟、半壊2,183棟、浸水37,195棟など大きな被害が生じた。



気象庁(1961):チリ地震津波調査報告, 気象庁技術報告第8号による
http://dil.bosai.go.jp/workshop/02kouza_jirei/s16chile/f1chiledenpa.htm

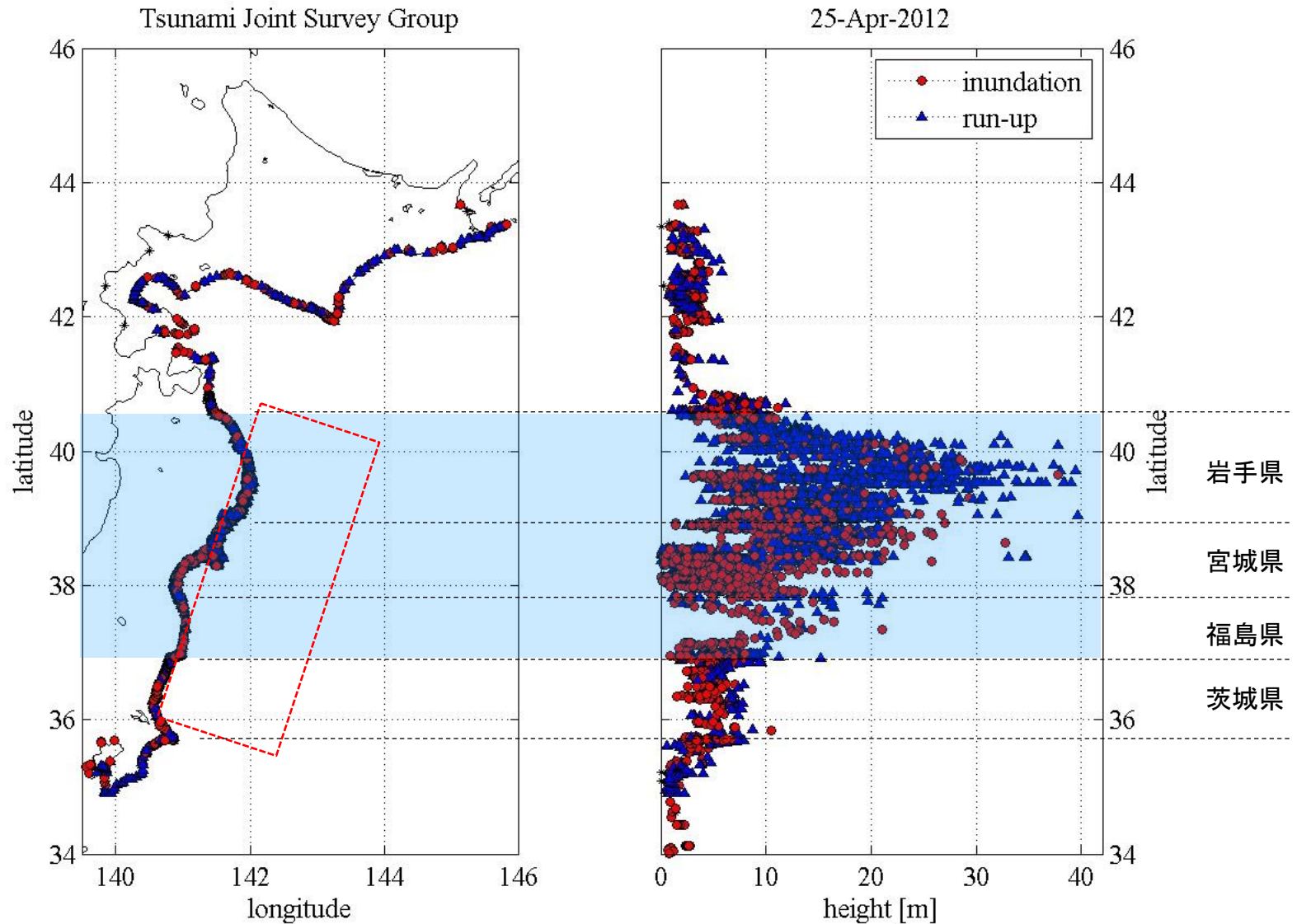


防災科学技術研究所, 自然災害情報室による

2011年東北地方太平洋沖地震の被害



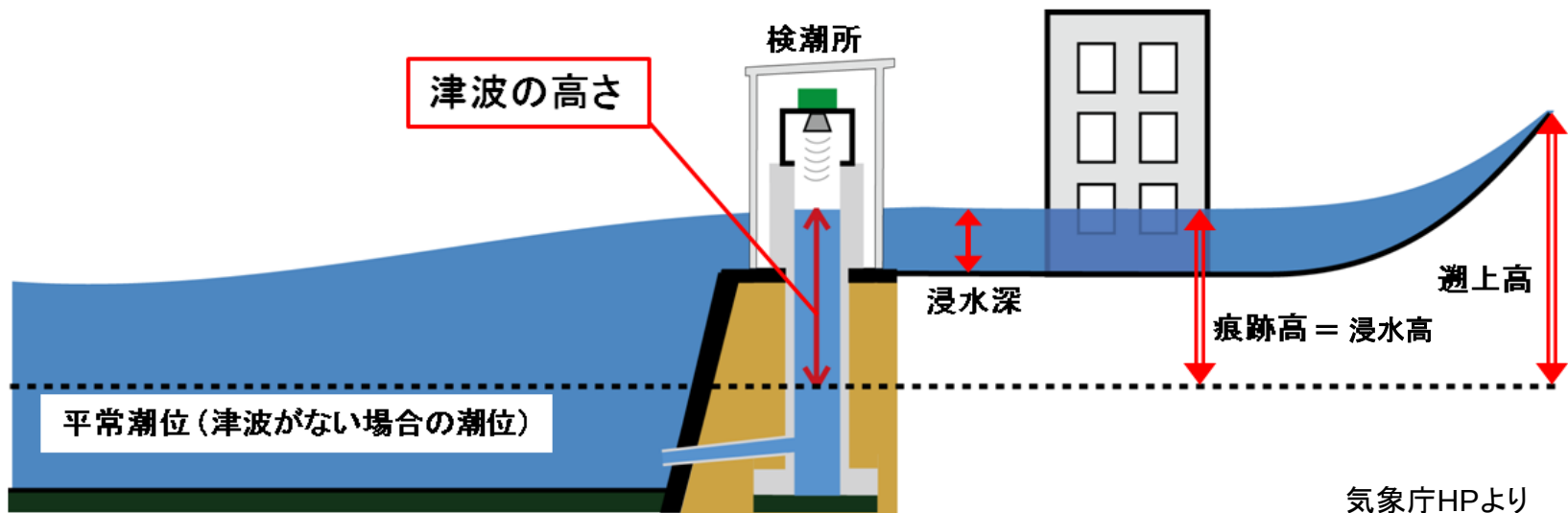
東北地方太平洋沖地震の津波痕跡調査結果



東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ2012年4月25日速報値に加筆

津波の高さと浸水深、痕跡高、遡上高の関係(参考)

- 「津波の高さ」とは、津波がない場合の潮位と津波によって上昇した海面高さの差分。
- 海岸から内陸へ津波がかけ上がる高さを「遡上高(そじょうこう)」と呼ぶ。

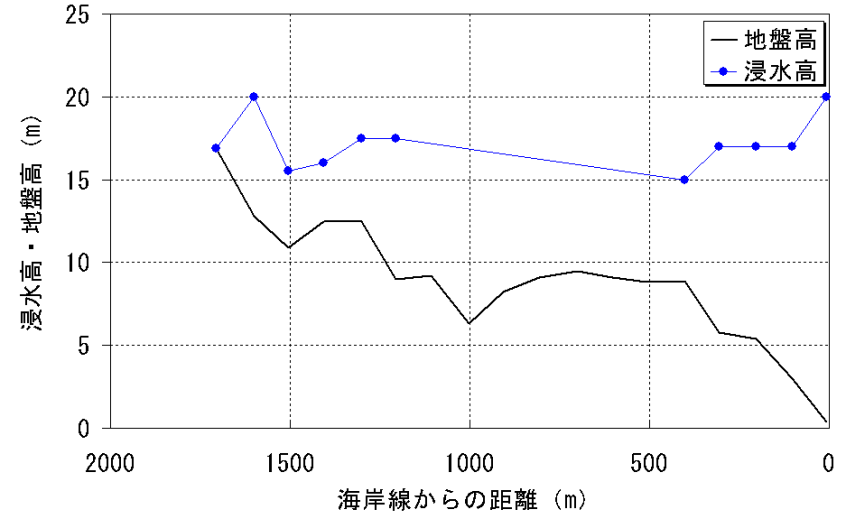


<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/faq/faq26.html>

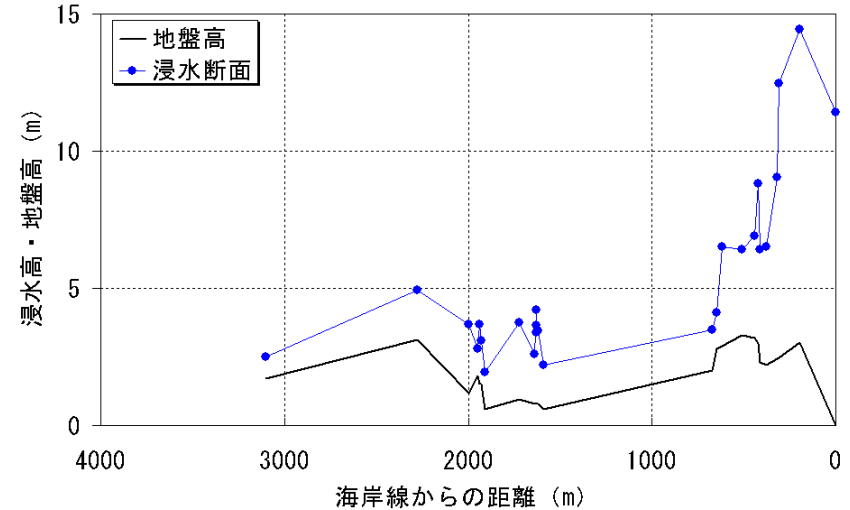
2011年東北地方太平洋沖地震の津波の浸水状況



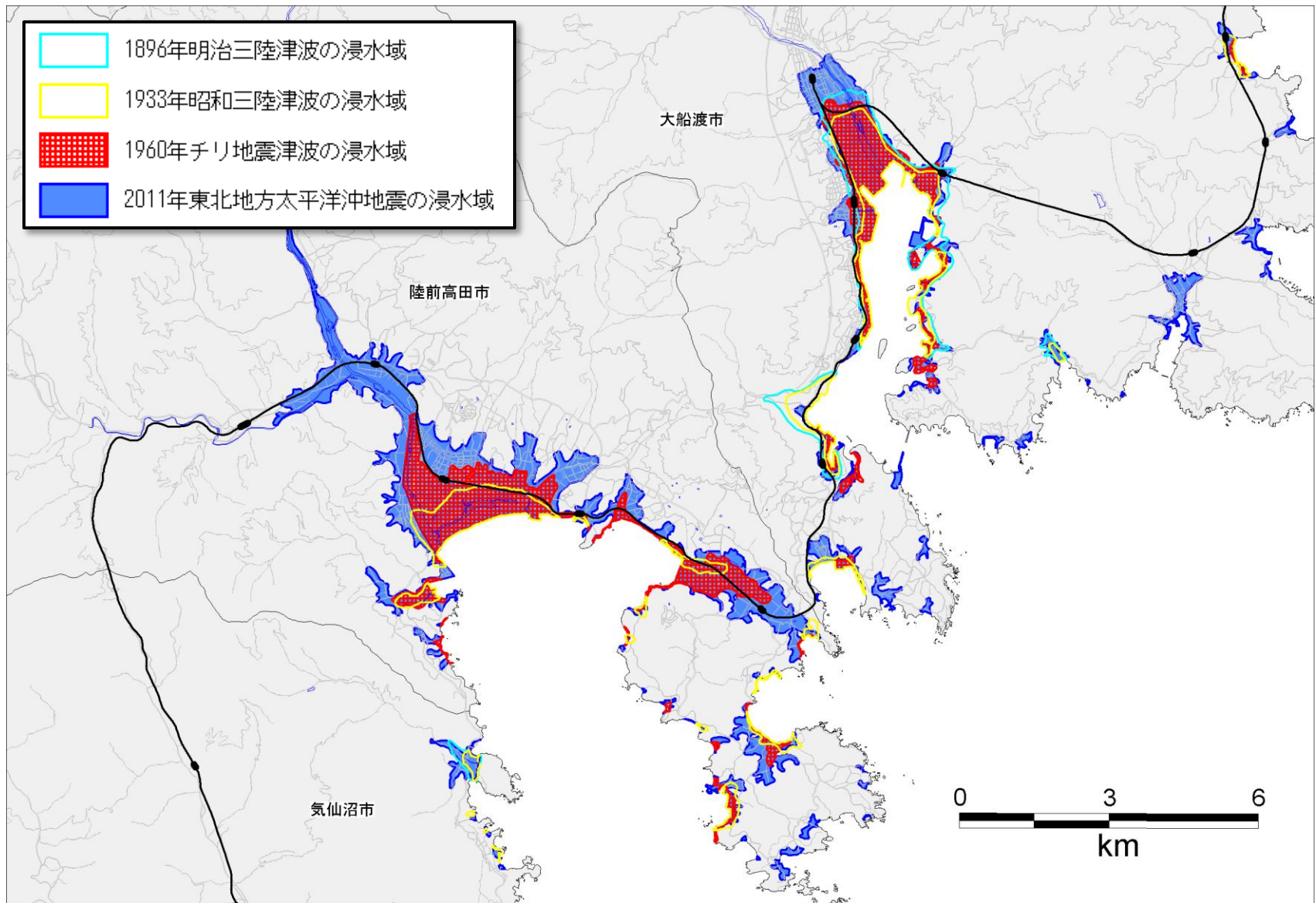
リアス式海岸の浸水状況(南三陸)



平野部の浸水状況



陸前高田市・大船渡市における浸水域



2011年東北地方太平洋沖地震の被害

都道府県	人的被害			住家被害					非住家被害		火災
	死者	不明者	負傷者	全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	公共建物	その他	
北海道	1		3		4	7	329	545	17	452	4
青森県	3	1	111	308	701	1,005				1,402	11
岩手県	5,112	1,142	211	19,107	6,599	18,601		6	500	3,868	33
宮城県	10,472	1,283	4,145	82,911	155,086	222,829		7,796	9,948	18,945	137
秋田県			11			5					1
山形県	3		45		14	1,248			8	124	2
福島県	3,263	226	182	21,235	73,388	167,239	1,061	338	1,117	28,731	38
茨城県	65	1	712	2,628	24,327	185,877	1,799	779	1,698	18,255	31
栃木県	4		133	261	2,118	73,326			508	8,541	
群馬県	1		40		7	17,679					2
埼玉県	1		104	24	199	16,617					12
千葉県	22	2	256	801	10,121	54,937	157	731	12	827	18
東京都	7		117	16	205	6,234			363	739	35
神奈川県	4		137		41	459				13	6
新潟県			3			17			4	5	
山梨県			2			4			1	1	
長野県			1								
静岡県			3			13		5			
三重県			1				2				
大阪府			1						3		
徳島県							2	9			
高知県			1				2	8			
合計	18,958	2,655	6,219	127,291	272,810	766,097	3,352	10,217	14,179	81,903	330

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(第 149 報), 消防庁災害対策本部

津波の調査・研究



歴史津波と調査・研究の変遷

- 1896年明治三陸地震津波
 - 学術研究の始まり
- 1933年昭和三陸地震津波
 - 本格的な学術調査(地震研究所等)や復旧計画立案のための実務的調査
 - 三陸沿岸津波警報組織(1941)⇒**気象庁津波予報**(1952)⇒数値予報(1999)
- 1960年チリ地震津波
 - 理工学として格段の進歩が始まる契機
 - 1970年代、学問進歩の条件が整い始める。津波初期波形の決定法、電子計算機の進歩
- 1983年日本海中部地震
 - **数値計算**が本格化
- 1993年北海道南西沖地震津波
 - 防潮堤が無力、津波予報が間に合わないなどの問題が表面化
 - ハード対策、長期的“まちづくり”、**ソフト対策**の3つの組合せの重要性が認識
- 2011年東北地方太平洋沖地震
 - ？

気象庁の津波警報・注意報、津波情報、津波予報

- ・地震発生から約3分を目標に「大津波警報、津波警報または津波注意報」を発表
- ・その後、津波の到達予想時刻や予想される津波の高さなどを「津波情報」で発表
- ・津波による災害が起こるおそれがない場合に「津波予報」を発表

津波警報・注意報の種類

種類	発表基準	発表される津波の高さ		想定される被害と取るべき行動
		数値での発表 (津波の高さ予想の区分)	巨大地震の 場合の発表	
大津波警報	予想される津波の高さが高いところで3mを超える場合。	10m超 (10m<予想高さ)	巨大	木造家屋が全壊・流失し、人は津波による流れに巻き込まれる。 沿岸部や川沿いにいる人は、ただちに高台や避難ビルなど安全な場所へ避難する。
		10m (5m<予想高さ≤10m)		
		5m (3m<予想高さ≤5m)		
津波警報	予想される津波の高さが高いところで1mを超え、3m以下の場合。	3m (1m<予想高さ≤3m)	高い	標高の低いところでは津波が襲い、浸水被害が発生する。人は津波による流れに巻き込まれる。 沿岸部や川沿いにいる人は、ただちに高台や避難ビルなど安全な場所へ避難する。
津波注意報	予想される津波の高さが高いところで0.2m以上、1m以下の場合であって、津波による災害のおそれがある場合。	1m (0.2m≤予想高さ≤1m)	(表記しない)	海の中では人は速い流れに巻き込まれ、また養殖いかだが流失し小型船舶が転覆する。 海の中にいる人はただちに海から上がって海岸から離れる。

気象庁HPより

気象庁が発表する津波の高さの見方

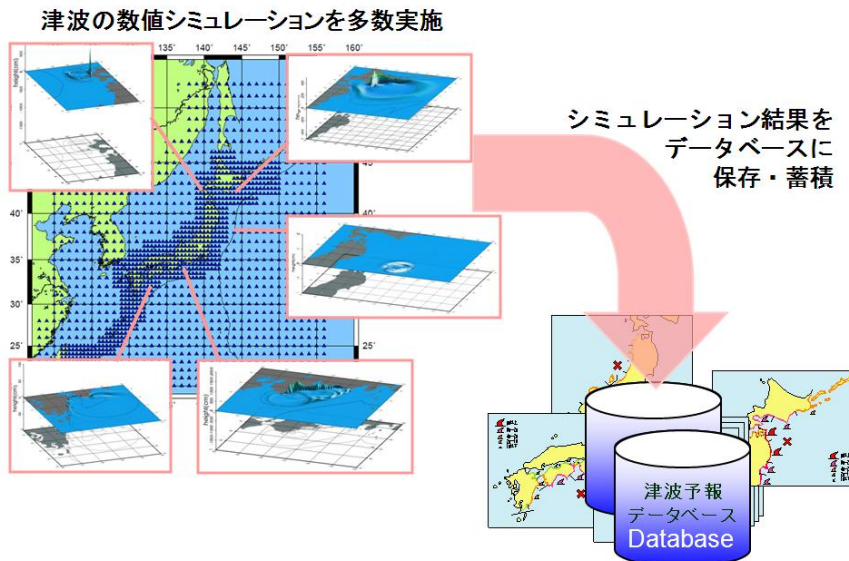
- 気象庁が発表する「予想される津波の高さ」は、津波予報区における海岸線での平均的な値。現在の予想精度は、1/2～2倍程度。
- 「遡上高」は「予想される津波の高さ」と同程度から高い場合には4倍程度になる。
- 浸水の恐れがある場所については自治体の「津波ハザードマップ(津波浸水予測図)」を参照。
- 津波注意報が発表された際には海岸や河口から離れる。
- 津波警報が発表された際には自治体が指定した避難場所や高台に、可能な限り早く避難する。
- 津波警報・津波注意報が発表されていなくても、沿岸付近で強い揺れを感じた時や弱い揺れでも長い時間ゆっくりとした揺れを感じた時はすぐに避難する。

津波を予測するしくみ

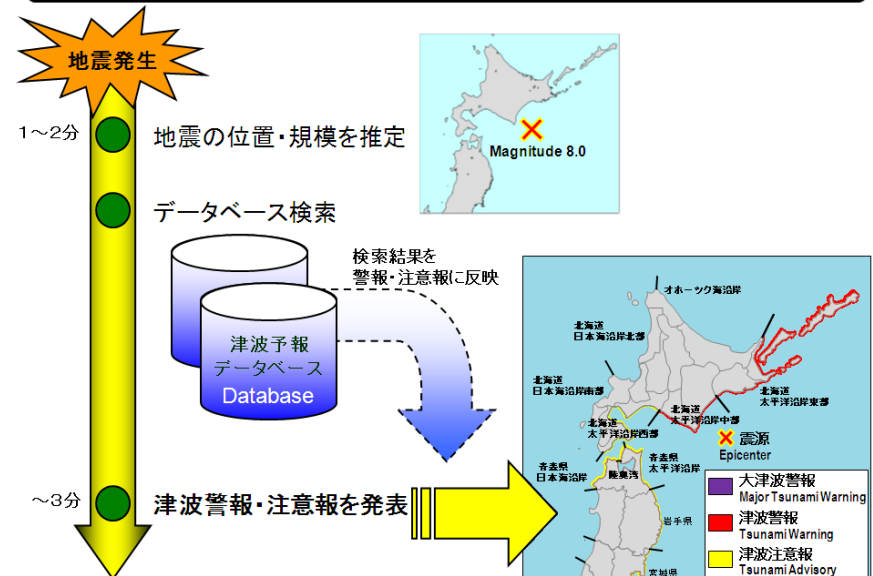
・ 津波予報データベース

- 大きな地震が沿岸近くで発生すると地震発生直後に津波が来襲するため、最新のコンピューターを用いても、地震が発生してから計算したのでは津波が到達するまでに津波警報を発表できない。
- そこで、予め津波を発生させる可能性のある断層を設定して津波の数値シミュレーションを行い、その結果を津波予報データベースとして蓄積しておく。

津波予報データベースの構築

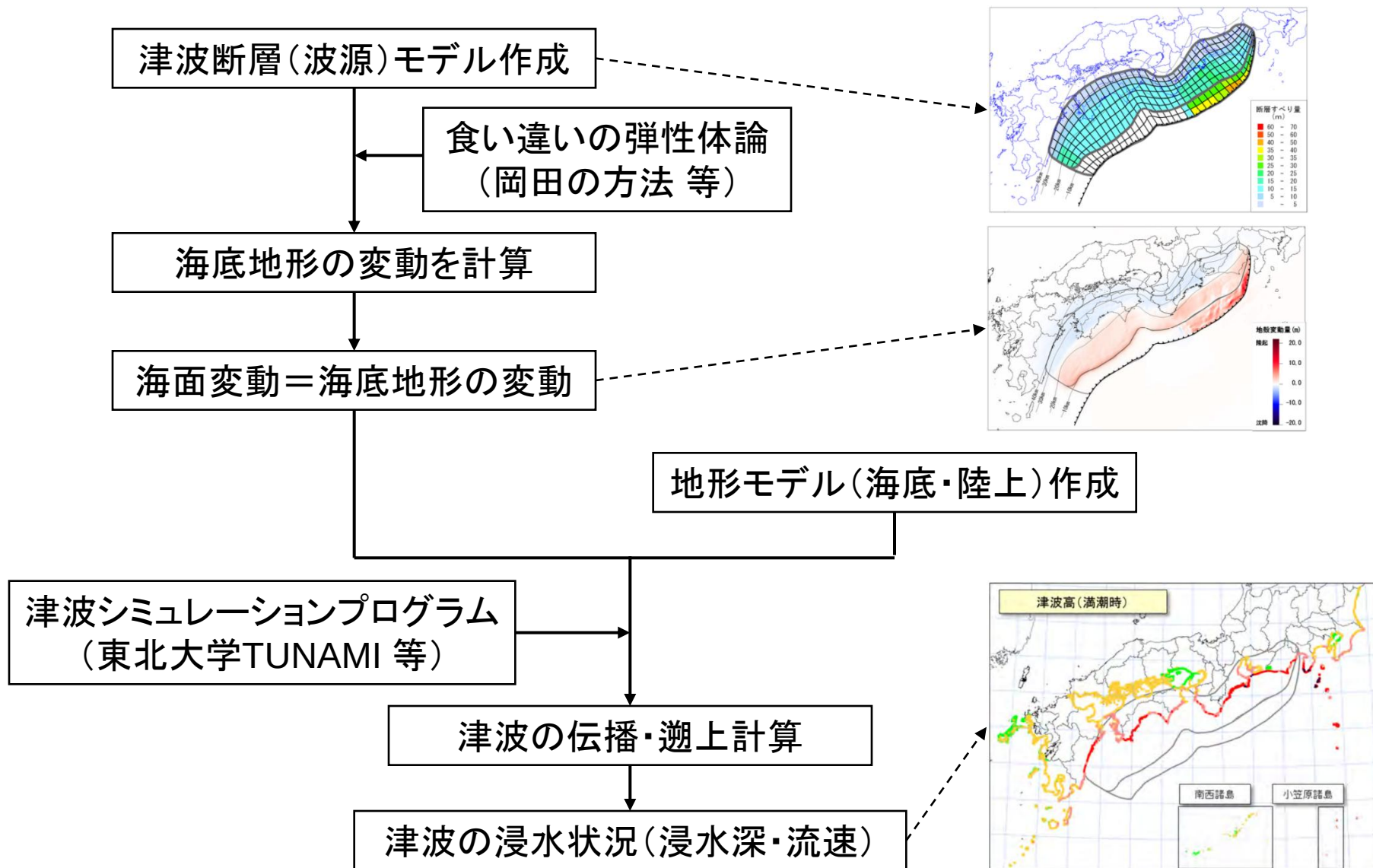


津波予報データベースを用いた津波警報・注意報の発表手順



気象庁HPより

津波の数値シミュレーション

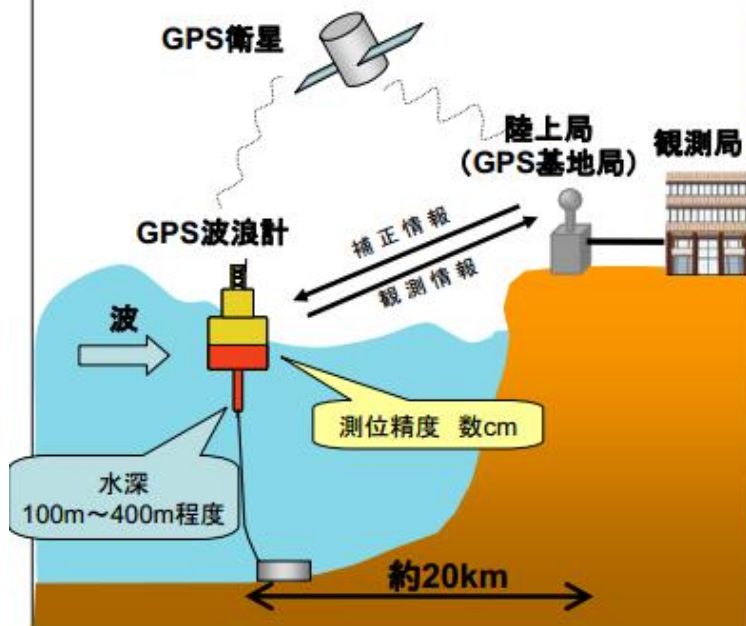


GPS波浪計による津波の観測

GPS波浪計を活用した沖合波浪観測について

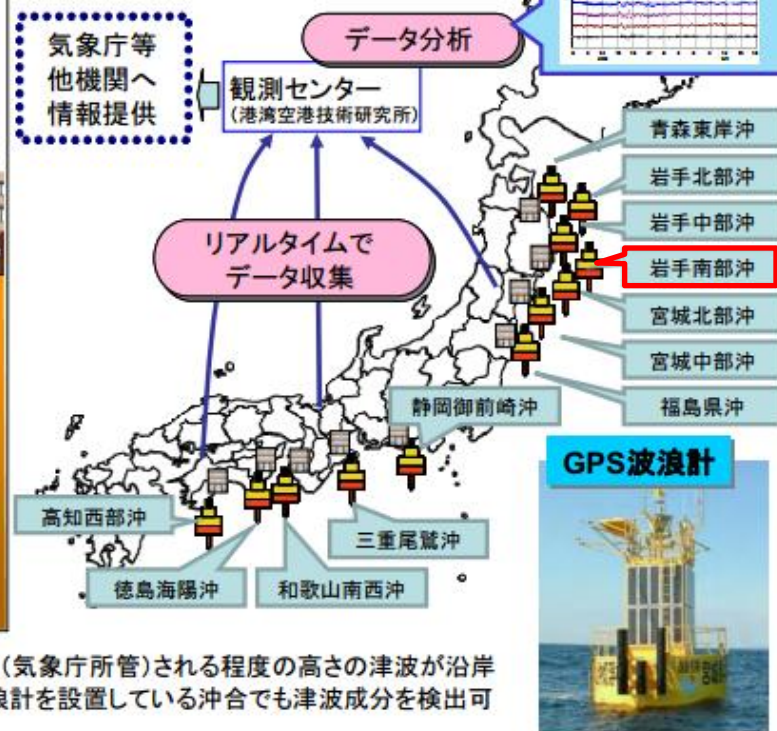
港湾整備に必要な沖合の波浪を精度良く観測するGPS波浪計を整備し、沖合波浪観測を実施しています。地震発生時には津波の観測も可能*であることから、気象庁等関係機関と連携することにより、港湾を含む沿岸域での津波への迅速な対応にも活用できます。

GPS波浪計システムの概要



* 沖合では沿岸に比べて津波の高さは小さくなる。津波警報が発表(気象庁所管)される程度の高さの津波が沿岸に来襲する場合(沿岸で津波の高さが1m以上)では、GPS波浪計を設置している沖合でも津波成分を検出可能であると考えられる。

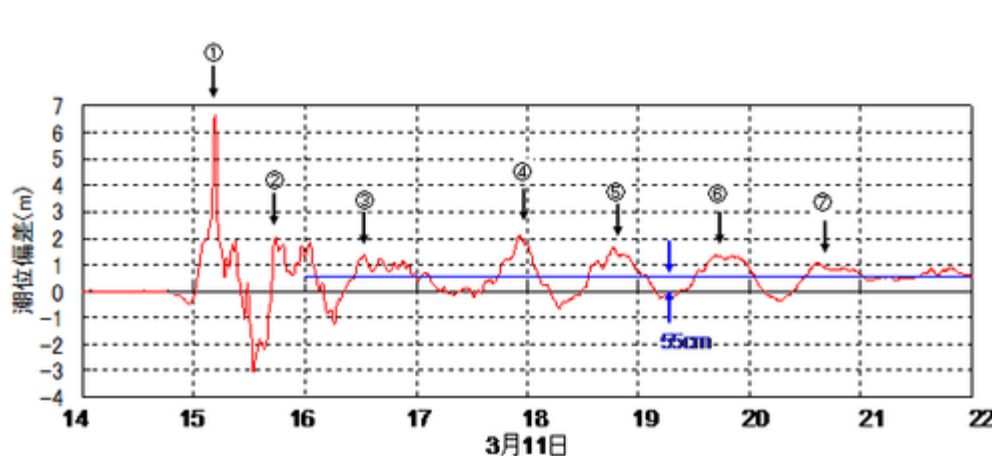
沖合波浪観測システム



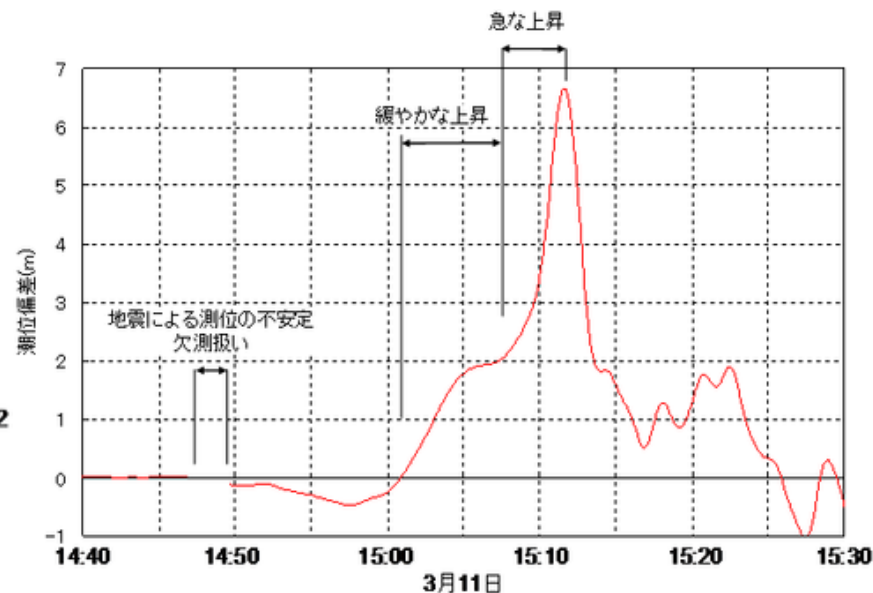
港湾空港技術研究所HPより

岩手南部沖GPS波浪計(釜石沖)による津波の観測結果

- 津波高さは、15時12分に記録した6.7mが最大。この高さの津波は、沿岸(水深15m)では13m程度に増加する。
- 津波の峰の高さは、第1波が突出して高く、第2～7波で徐々に低くなった。第4～7波は第1～3波とは異なる形状で50分程度の周期の波が繰り返された。
- 第1波の波形を詳しく見ると、地震発生から15分後の15時01分から約6分間で2m程度上昇した後に、続く約4分間でさらに4m以上も急激に上昇した。この波形情報は、今回の津波の発生メカニズムを究明する重要な手がかりになる。



岩手南部沖GPS波浪計で捉えた津波の初期の波形
(沖合20km、水深204mでの値)



港湾空港技術研究所HPより

津波強度と津波被害

津波強度		0	1	2	3	4	5
津波高(m)		1	2	4	8	16	32
津波形態	緩斜面	岸で盛り上がる	沖でも水の壁 第二破碎波	先端に砕波を 伴うものが増える	第一波でも 巻き破碎波 を起こす		
	急斜面	速い潮汐	速い				
音響				全面砕波による連続音 (海鳴り、暴風雨)			
					波での巻き破碎波による大音響 (雷鳴、延宝では認識されない)		
					崖に衝突する大音響 (遠雷、発破、かなり遠くまで聞こえる)		
木造家屋		部分的破壊	全面破壊				
石造家屋		持ちこたえる		(資料なし)		全面破壊	
鉄コン・ビル		持ちこたえる			(資料なし)		全面破壊
漁船			被害発生	被害率50%		被害率100%	
防潮林被害 防潮林効果		被害軽微 津波軽減、漂流物阻止			部分的被害 漂流物阻止		全面的被害 無効果
養殖筏		被害発生					
沿岸集落			被害発生	被害率50%		被害率100%	
打上げ高(m)		2		4	8	16	32

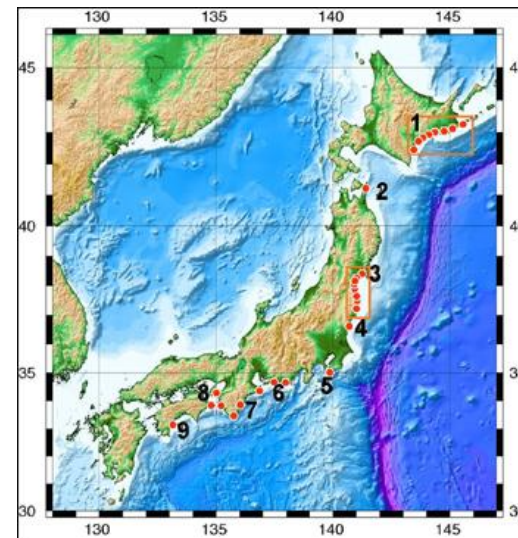
首藤(1992;1993)より

津波堆積物を用いた過去の巨大津波の研究

- 西南日本の太平洋側は、巨大地震の発生間隔が比較的短く、歴史記録が豊富なため、過去の津波について比較的よくわかっている。
- 一方、東北地方や北海道は、巨大地震の発生間隔が長く、歴史記録が少ないため、記録だけで過去の巨大津波の発生間隔や規模を推定することは難しい。そのような場所では津波堆積物が手がかりになる。
- ただし、西南日本の太平洋側でも684年白鳳地震以降の記録しかないため、歴史上知られていないような巨大津波が発生する可能性があるのかどうかを津波堆積物の調査によって検証する必要がある。
- 産業技術総合研究所は、過去の巨大津波を解明するため「津波堆積物」の調査・研究を過去10年以上にわたって続けている。



巨大津波が残した津波堆積物(明るい灰色の部分)
と泥炭層(濃い茶色の部分)



今までの津波堆積物調査地点

産業技術総合
研究所HPより

津波対策の考え方



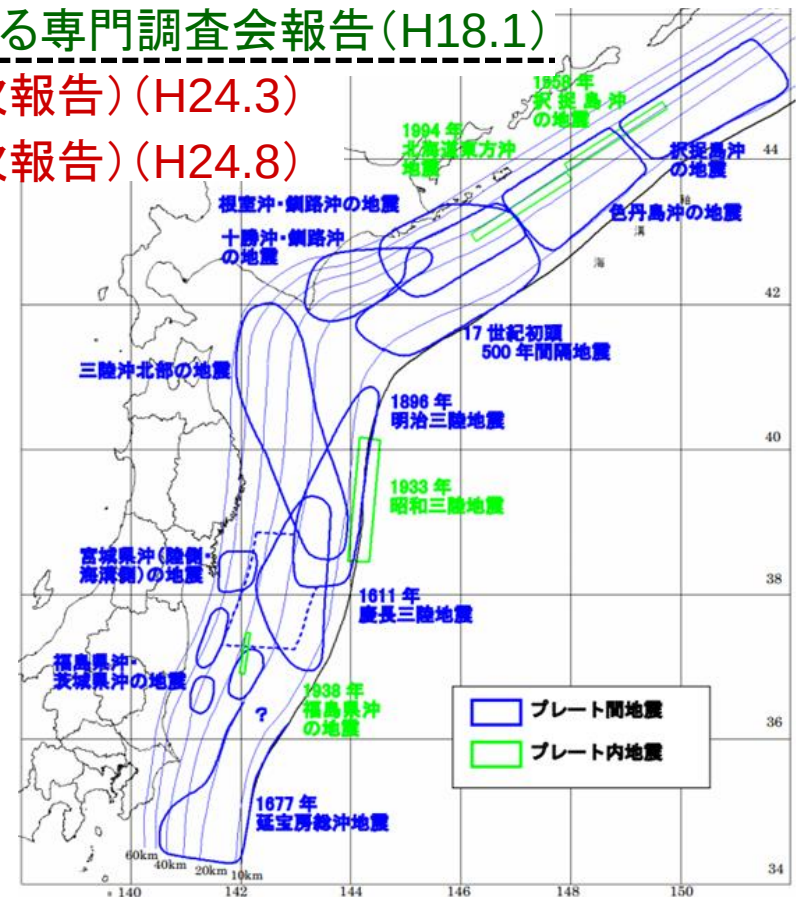
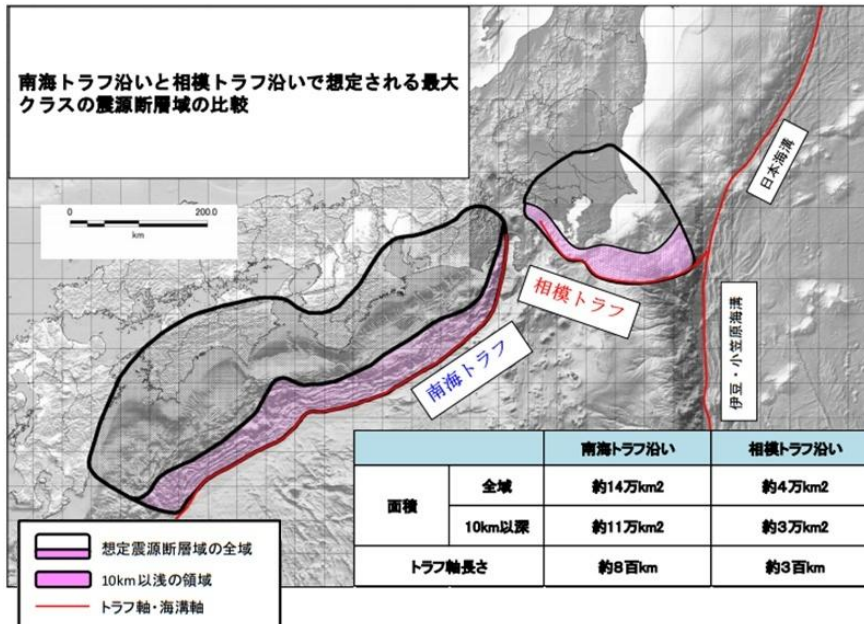
最大クラスの津波対応の考え方

- 津波避難対策検討ワーキンググループ報告
 - 素早い避難は最も有効で重要な津波対策
 - 人的被害を軽減には、住民一人ひとりの避難行動が基本
 - ハード・ソフト対策は避難を後押しする対策として位置付ける
- 国と公共団体は示された対策を速やかに具体化、推進する必要がある
 - 「強い揺れや弱くても長い揺れがあったら避難」を徹底
 - 多様な情報伝達手段を整備
 - 海岸堤防等は粘り強く
 - 安全な避難空間の確保（避難場所、避難路、津波避難ビルなど）
 - 津波に強い地域構造構築（配置見直し、高台移転、土地利用計画）
 - 技術開発を促進（避難に関する新たな施設・装備等）
 - 調査研究を推進（地震・津波検知の観測網整備、地震発生予測）

南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等（第二次報告）及び被害想定（第一次報告）について（内閣府防災、平成 24年8月）より

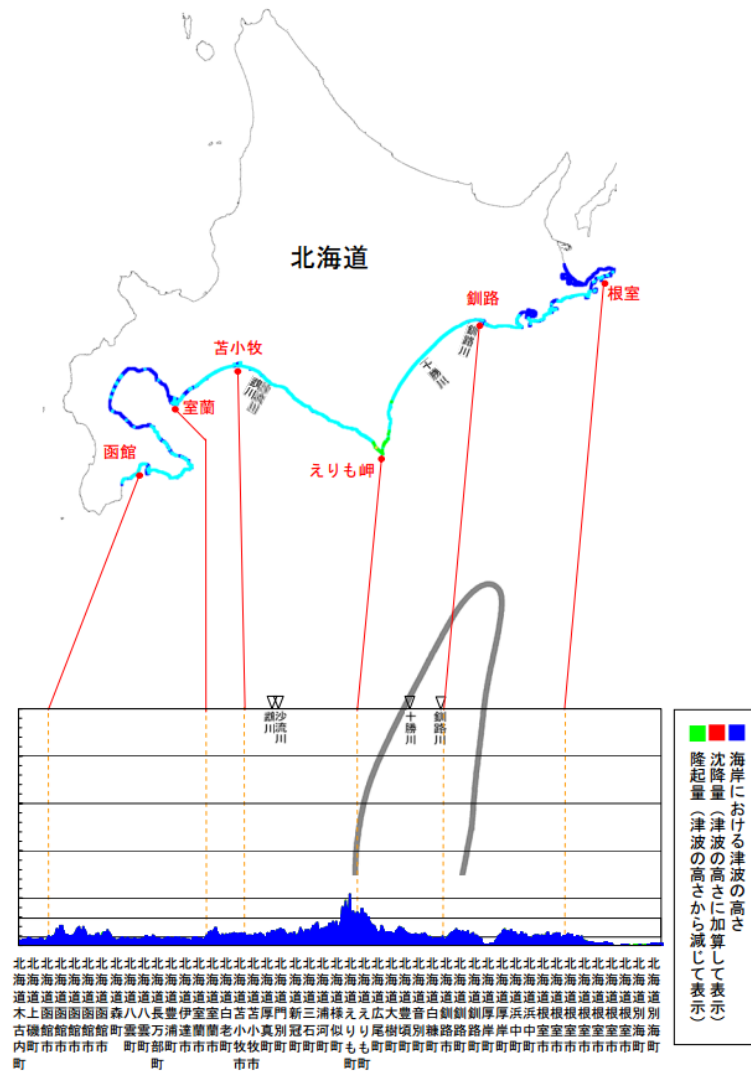
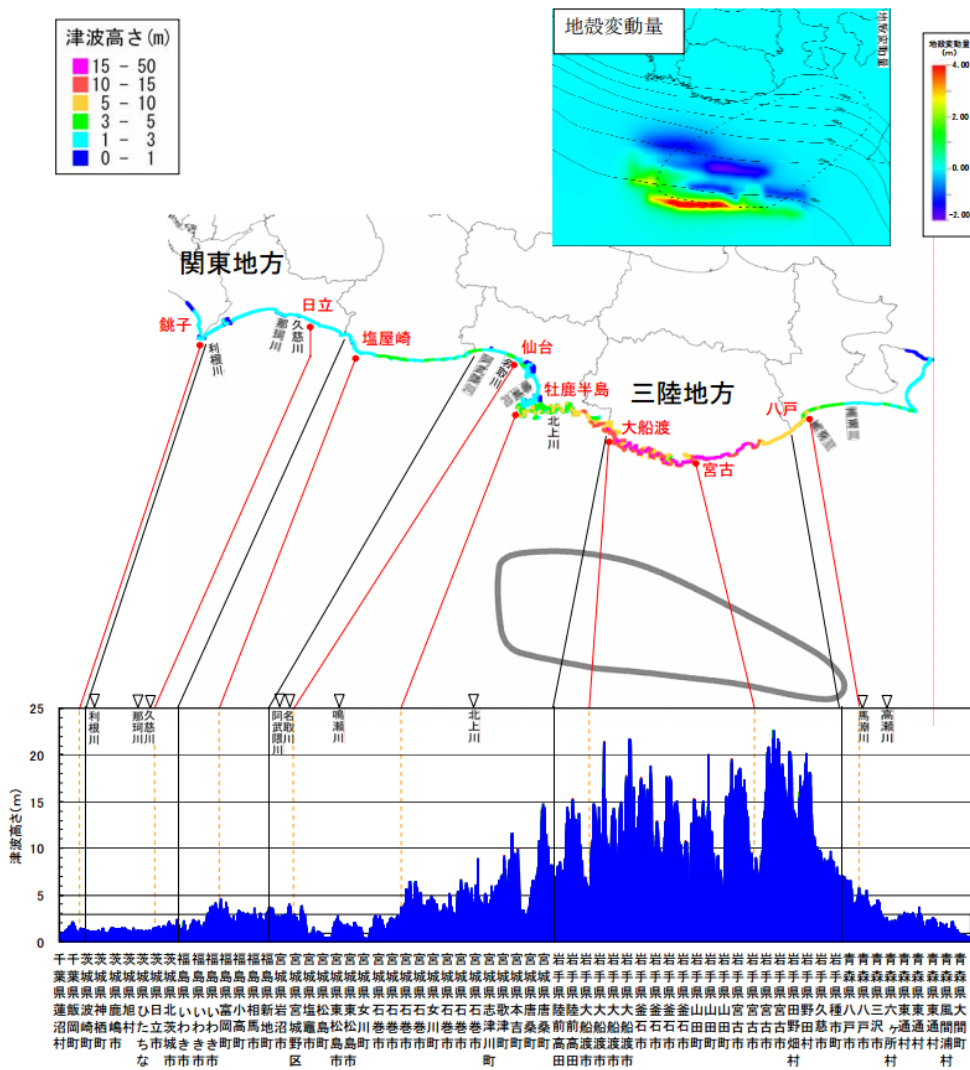
被害想定調査(中央防災会議／内閣府防災)

- ・ 東海地震に関する専門調査会報告(H13.12)
- ・ 東南海、南海地震等に関する専門調査会報告(H16.12)
 - － 中部圏・近畿圏の内陸地震に関する報告(H20.12)
- ↑ ・ 首都直下地震対策専門調査会報告(H17.7)
- ・ 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告(H18.1)
- ↓ ・ 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第一次報告)(H24.3)
- ・ 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)(H24.8)
- ・ 首都直下地震モデル検討会(H25.12)



日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告

図 3-3-7-2 海岸の津波高さ(平均潮位): 1896 年明治三陸地震



http://www.bousai.go.jp/jishin/nihonkaiko_chishima/higaisoutei/higai_syousai/pdf/siryou2_3_9.pdf より

津波ハザードマップ

- 津波ハザードマップは、予測される津波による浸水想定区域と避難場所、避難路・経路等の安全に避難するための情報をマップとして示したものです。
- 地域住民は、災害発生時には、このマップをもとに避難するため、非常に重要な取組となります。
- 津波ハザードマップは、津波浸水シミュレーションにより津波の高さ、津波浸水想定、浸水深、津波の到達時間、津波の速度を把握し、そのうち、浸水想定区域と浸水深等を深さ別に色分け等により表示します。

【津波の浸水深による分類の目安】

- 0.3m以上 : 避難行動がとれなく（動くことができなく）なる
- 1.0m以上 : 津波に巻き込まれた場合、ほとんどの人が亡くなる
- 2.0m以上 : 木造家屋の半数が全壊する（注：3m以上でほとんどが全壊する）
- 5.0m以上 : 2階建ての建物（或いは2階部分まで）が水没する
- 10.0m以上 : 3階建ての建物（或いは3階部分まで）が完全に水没する

出典：南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）津波断層モデル編—津波断層モデルと津波高・浸水域等について—平成24年8月29日（P28より抜粋）

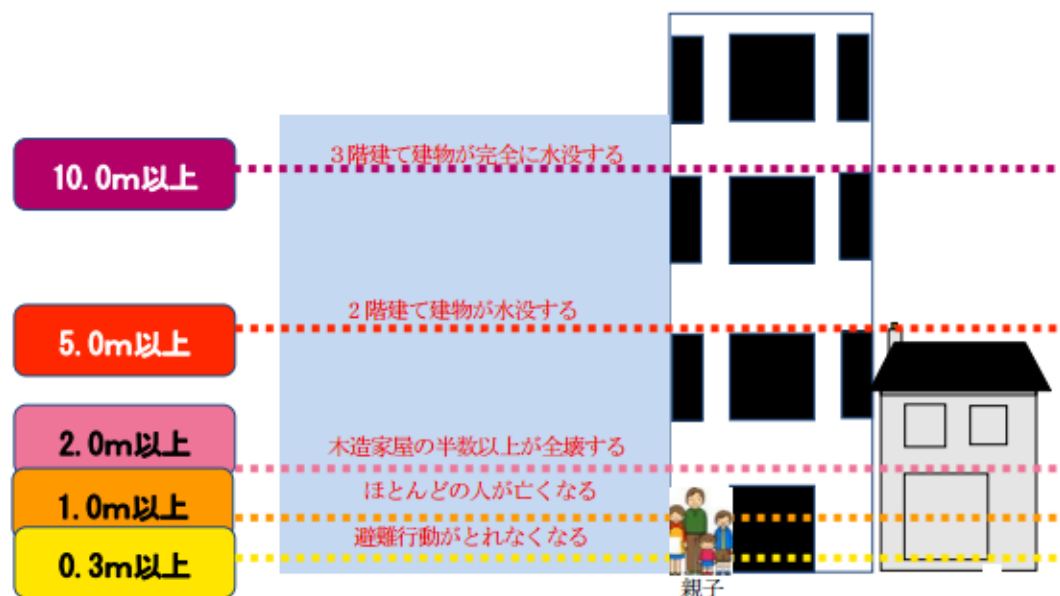


図 津波の浸水深による分類

- 渡辺偉夫(1998): 日本被害津波総覧[第2版], 東京大学出版会
- 首藤伸夫(2011): 津波の事典, 朝倉書店
- 防災科学技術研究所HP, 自然災害を学ぶ:
http://www.bosai.go.jp/activity_general/
- 気象庁HP, 地震・津波:
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menuknowledge.html>
- 総務省消防庁HP, 災害情報: <http://www.fdma.go.jp/bn/2014/>
- 内閣府防災HP, 地震・津波対策:
<http://www.bousai.go.jp/jishin/index.html>
- 港湾空港技術研究所HP: <http://www.pari.go.jp/>
- 産業技術総合研究所, 活断層・地震研究センターHP:
<https://unit.aist.go.jp/actfault-eq/index.html>