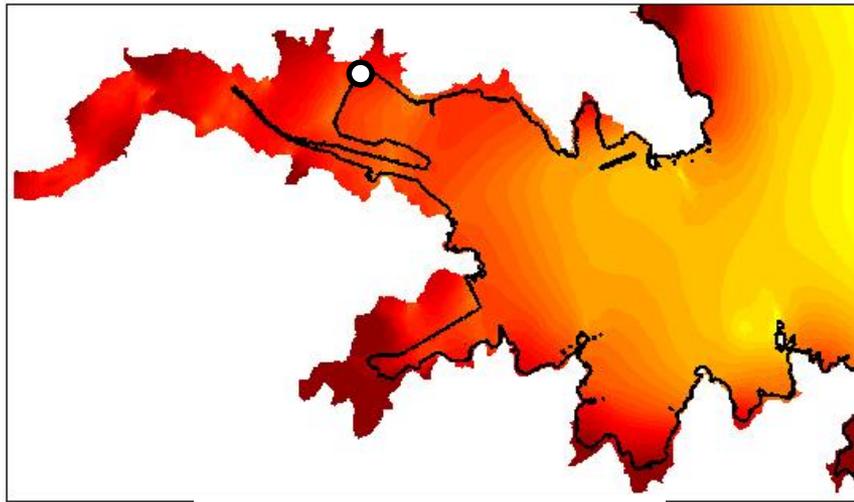
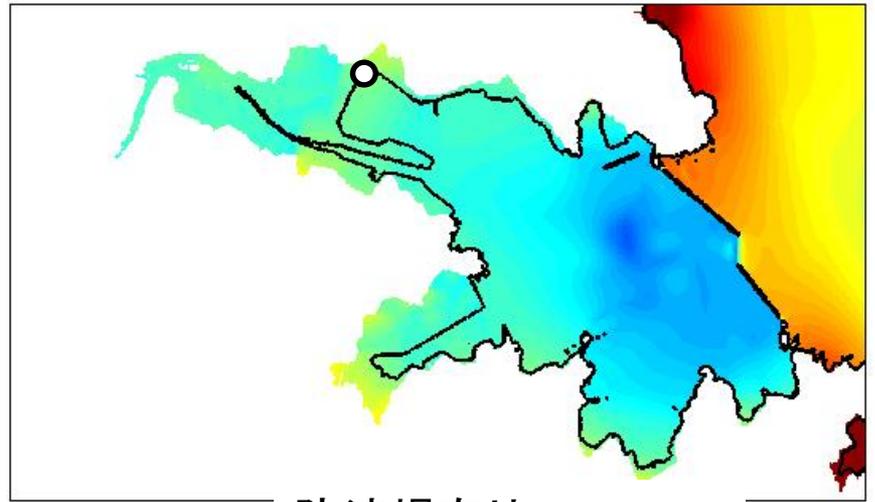


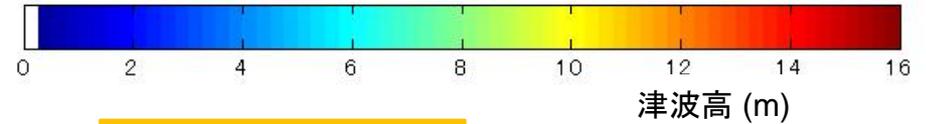
湾口防波堤の津波低減効果



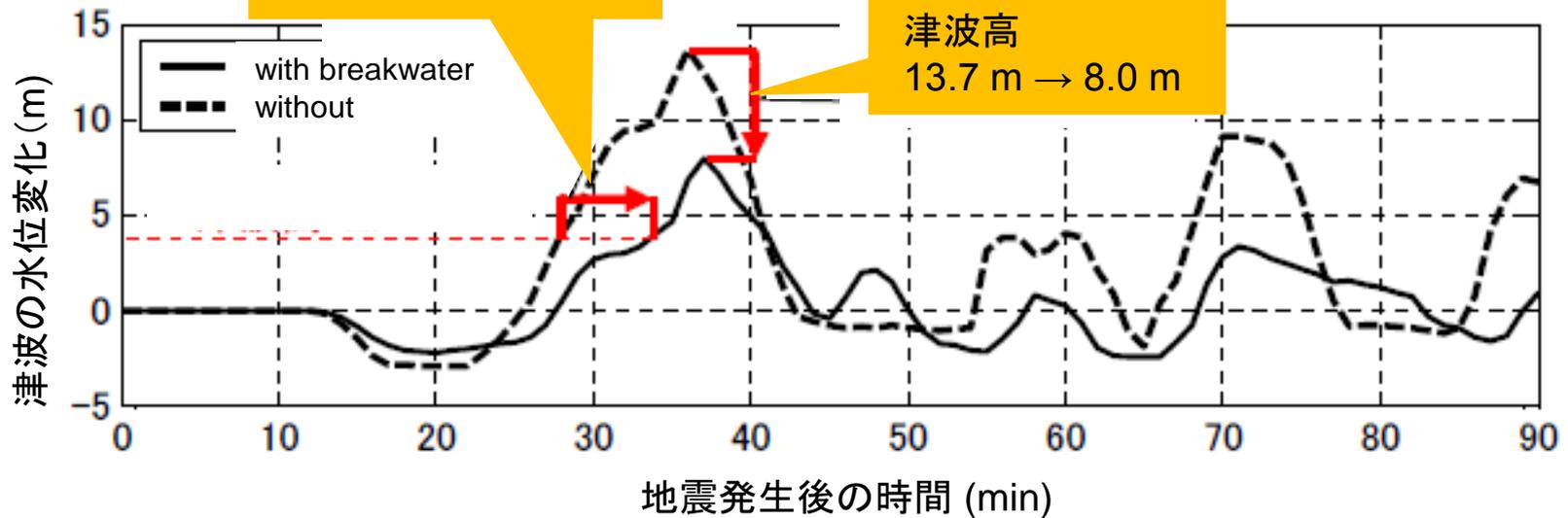
防波堤無し



防波堤有り

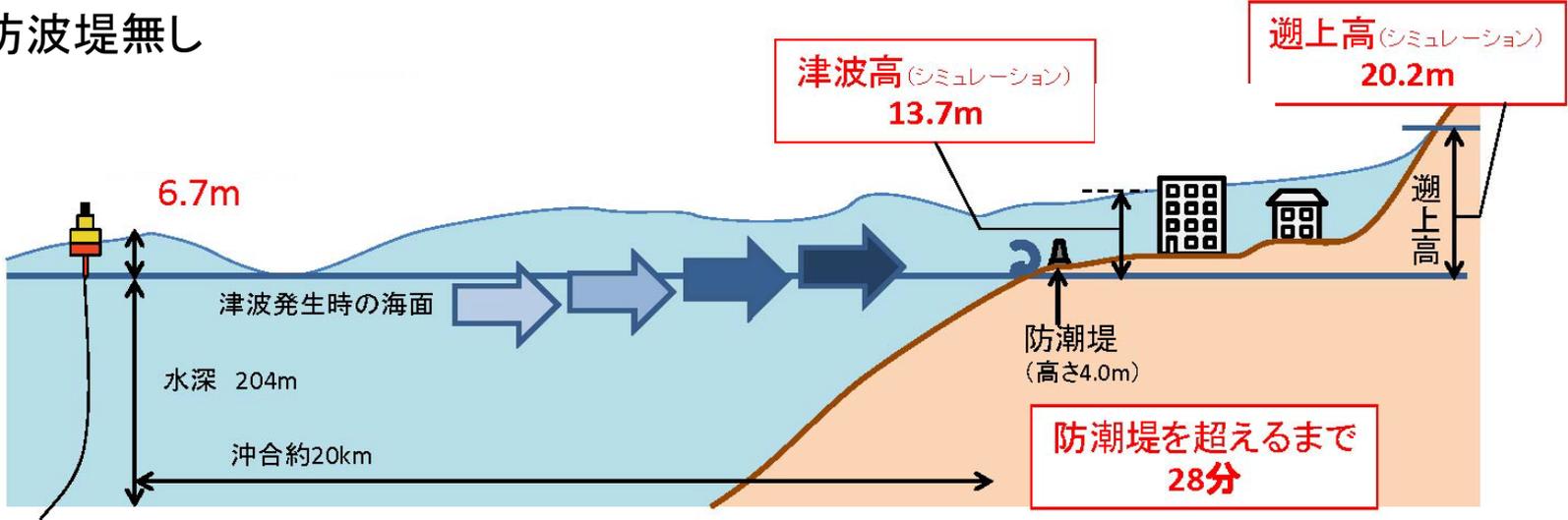


津波高 (m)

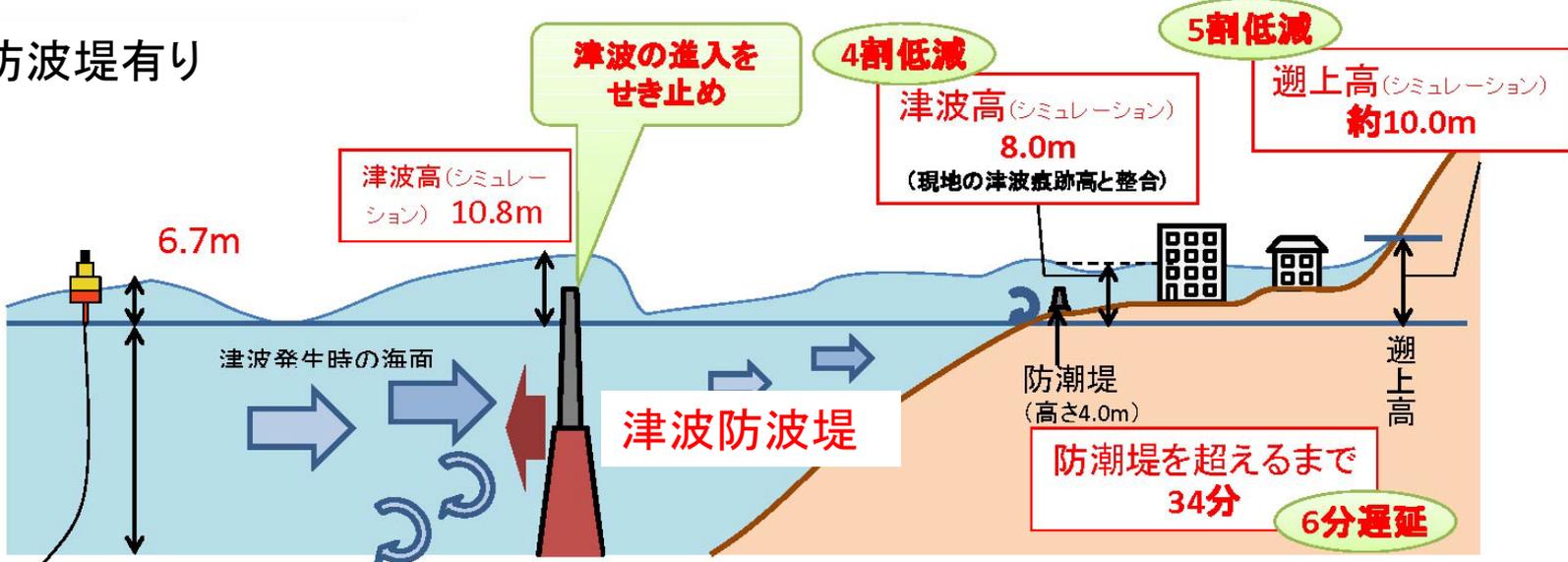


湾口防波堤の津波低減効果

防波堤無し



防波堤有り



防波堤ありの場合の計算値は実測値にほぼ一致

岩手県 釜石両石



唐丹 とうに



岩手県 綾里(白浜)



大船渡湾口防波堤



1960千り地震 1967完成 浸水高4mを2m

大船渡湾口防波堤に作用する津波



3時11分 開口部の流れによる白波



3時16分 越流が激しくなる



3時13分 防波堤からの均一な越流

浸水高 12mを10mに



3時19分 白灯台及び赤灯台
が消えた、港内の水位上昇

岩手県 大船渡駅



陸前高田



・陸前高田



陸前高田松原



陸前高田 気仙川(竹駒:河口より4km)



・陸前高田（被災したアパート）



宮城県 気仙沼



気仙沼 石油タンクの被害



宮城県 気仙沼



南三陸 歌津



南三陸 歌津



宮城県 南三陸町(志津川)



宮城県 南三陸町(志津川)



宮城県 南三陸町(志津川)

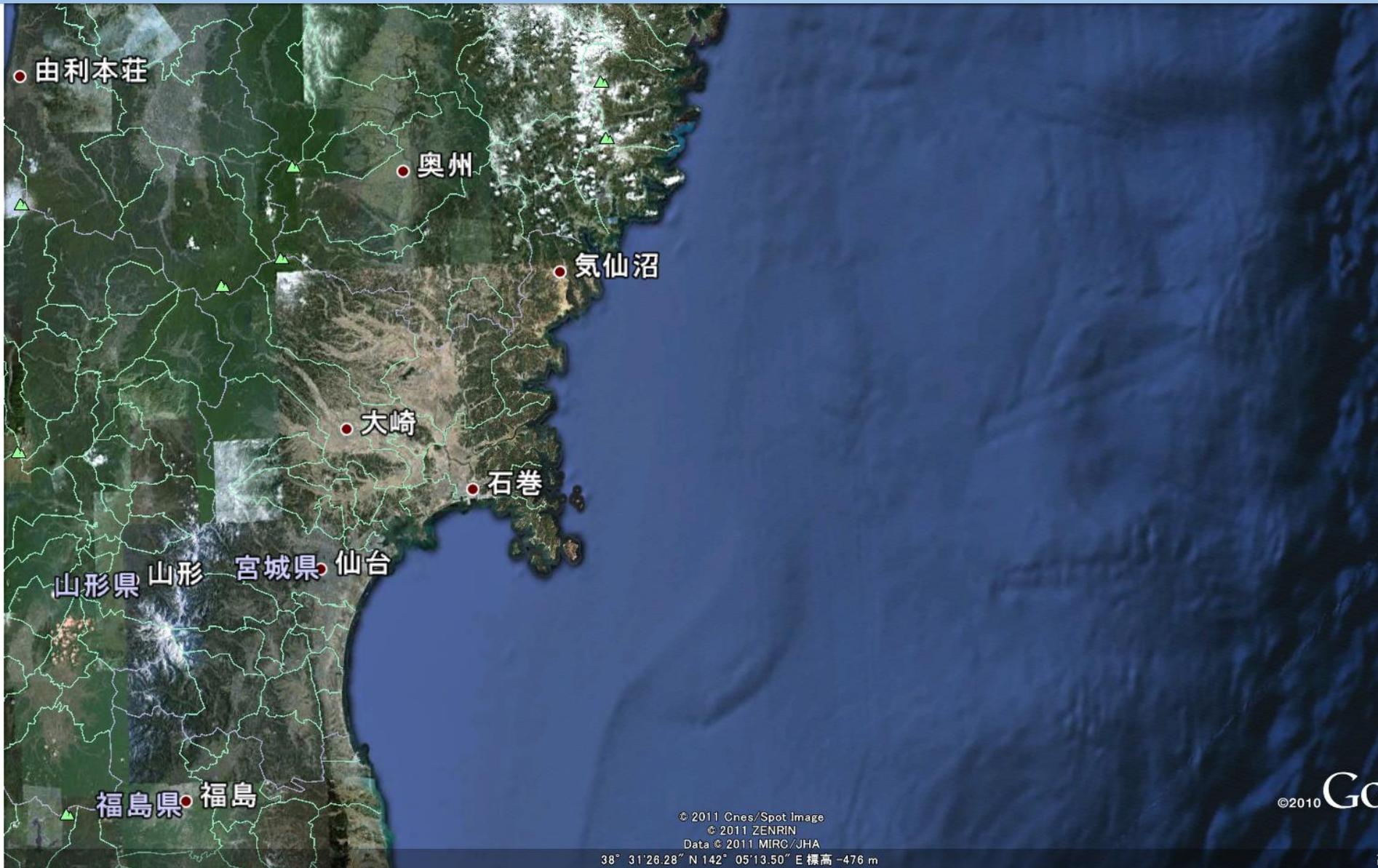


宮城県 南三陸 志津川

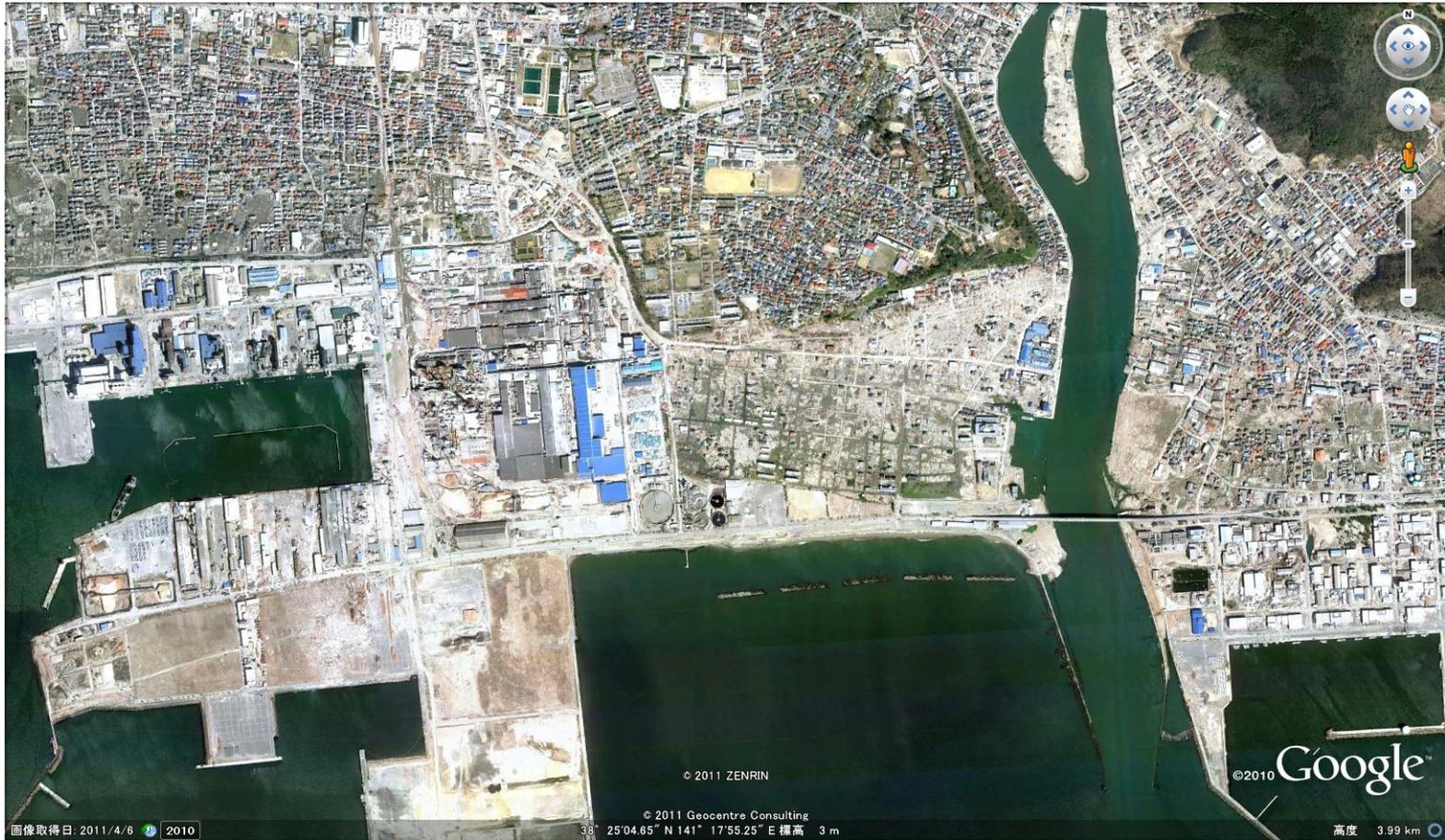


人的被害の多い自治体	死者数	行方不明者数	人口に対する割合
①石巻市(宮城県)	2818	2770	3.49%
②陸前高田市(岩手県)	1335	841	9.36%
③気仙沼市(宮城県)	815	1216	2.77%
④名取市(宮城県)	883	1000	2.56%
⑤東松島市(宮城県)	988	740	4.03%

・石巻



・石巻



·石卷



石巻市



仙台新港



コンテナの散乱

名取市(仙台平野)



16.81

Data © 2011 MIRC/JHA
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image © 2011 TerraMetrics

Google

38° 10'53.70" N 140° 57'07.90" E

2011年4月6日 高度 4.31 キロメートル

仙台平野



NHK Special “The Great Eastern Japan Earthquake”
by NHK (Japan Broadcasting Corporation) on May 7, 2011.

仙台空港 5mの浸水高



相馬港沖防波堤の被害 GOOGLE EARTH



$h=13\text{m}$

$H_{\text{max}}=10\text{m}$

相馬 岸壁(地震と津波複合災害)



2章 津波の基礎知識

津波は長～い波
大きな破壊力

海底地盤の隆起・沈降で発生

台風などの嵐の波



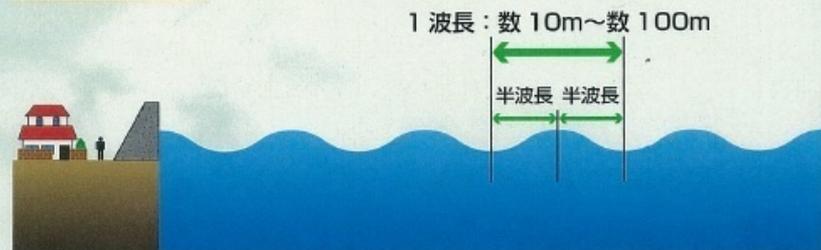
同じ高さでも津波は大きな破壊力と大きな浸水被害



普通の波と津波はどう違うの？

普段、海で見る波と津波はどのように違うのを見てください。
津波も普通の波と同じように沖から岸に向かって進んでいきますが、
波や津波の下で動いている海水の運動が大きく異なります。

普通の波



普通の波では、波の山は10秒前後で繰り返しやってきて、その間隔は100m程度です。

下の図は、外洋での水の運動のイメージを示しています



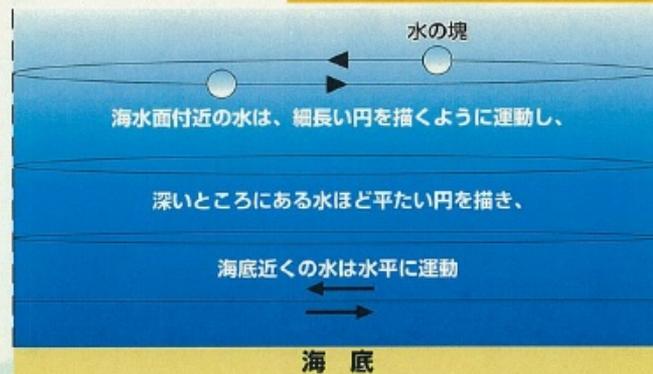
上の図のように、水は、海水面に近いほど大きな円を描くように運動しています。
この運動は、半波長の深さまでで起こり、それより深いところの水は運動しません。

津波



津波も1つの波だけでなく、幾つもの波が繰り返しやってきます。1つ目の津波から次の津波がやってくるまでには数分から数十分程度あります。その間隔は数kmから数100kmになります。

下の図は、外洋での水の運動のイメージを示しています

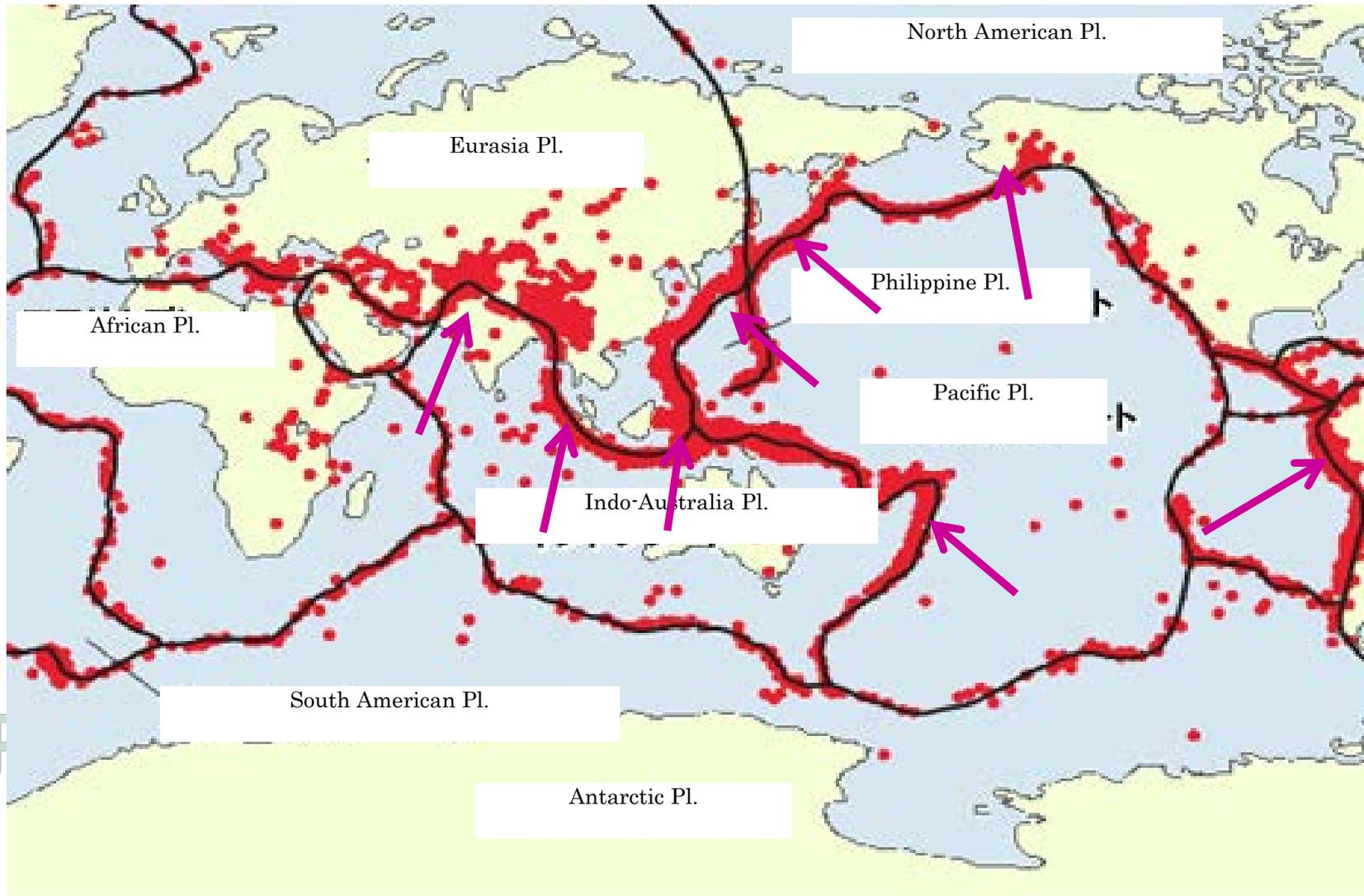


津波の場合、上の図のように、海水面付近の水は細長い円を描くように、海底付近の水は水平に運動します。また、海水面付近の水も海底付近の水も同じ距離の間で運動しています。

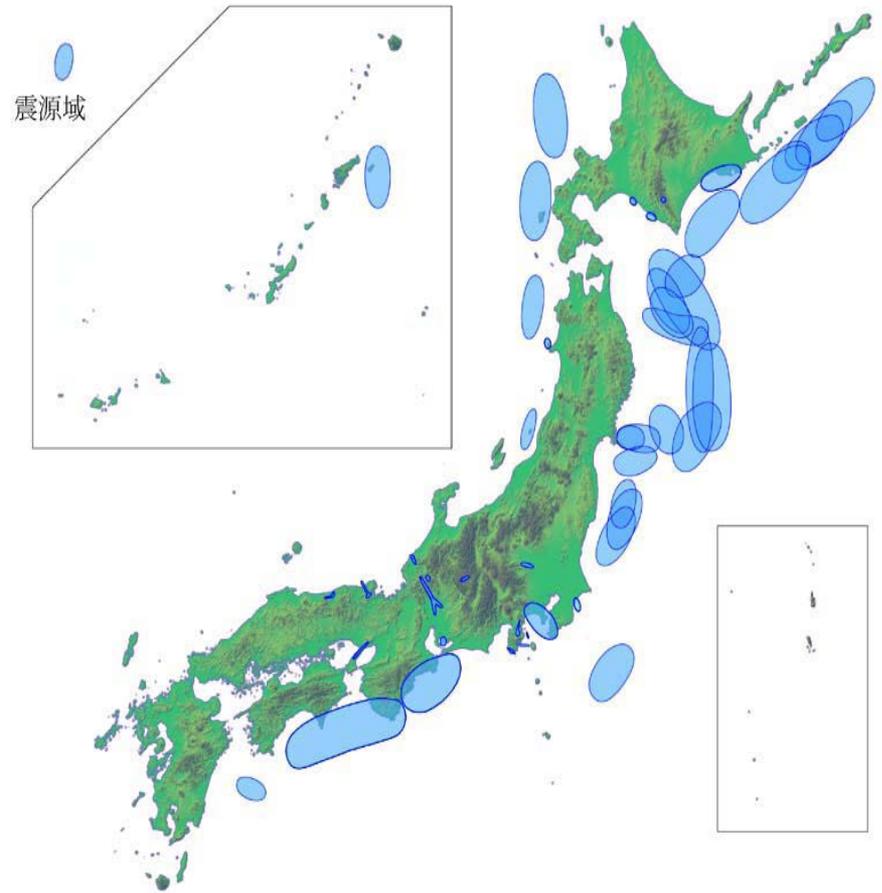
津波によって、その下の海水は長い距離を運動しますが、例えばチリから日本にやってきたチリ地震津波は、チリの海水を日本にまで運んだわけではないのです。

地震の震源

プレートの衝突と海溝型地震



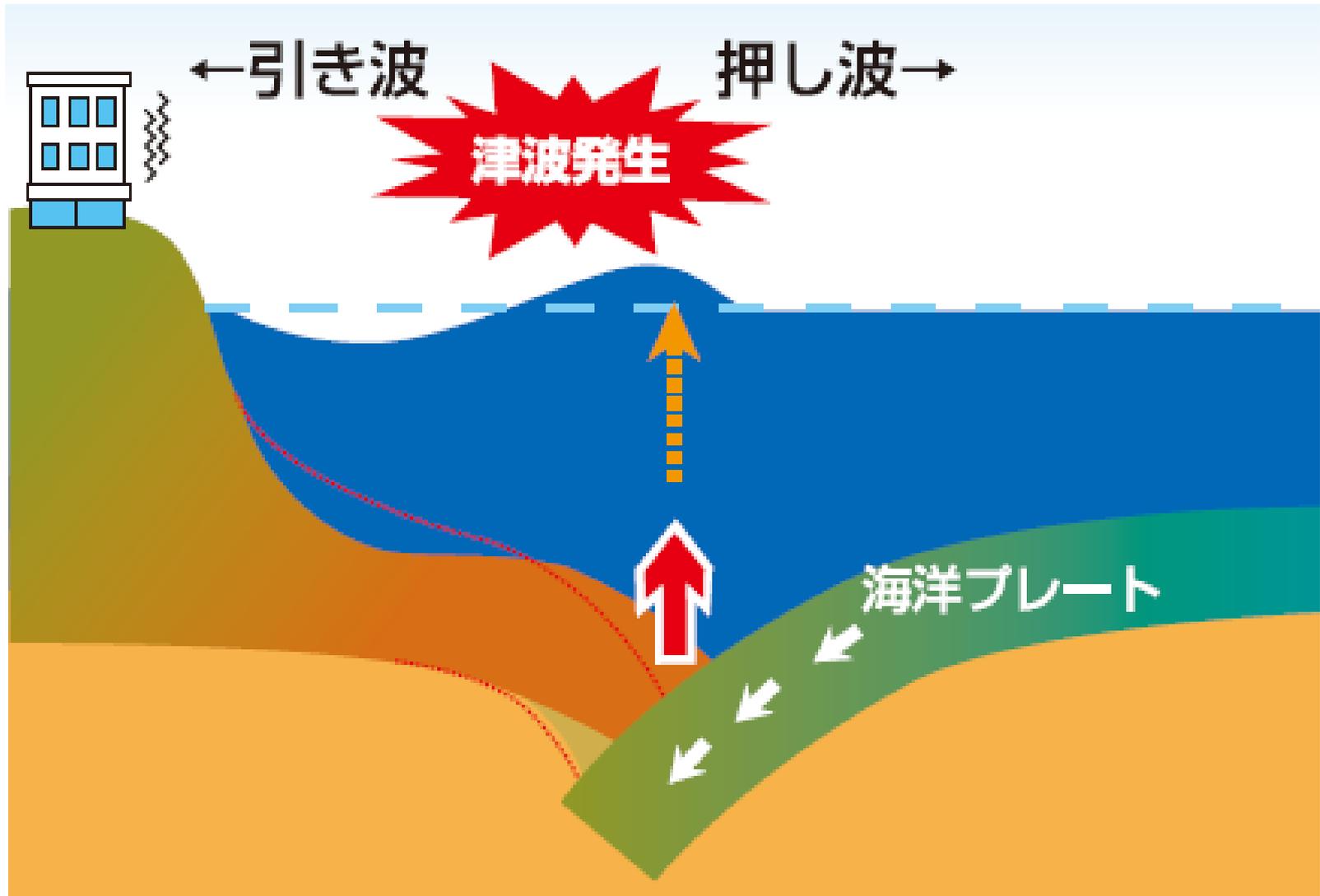
これまでの津波の発生箇所



津波の発生の仕組み(1/2)

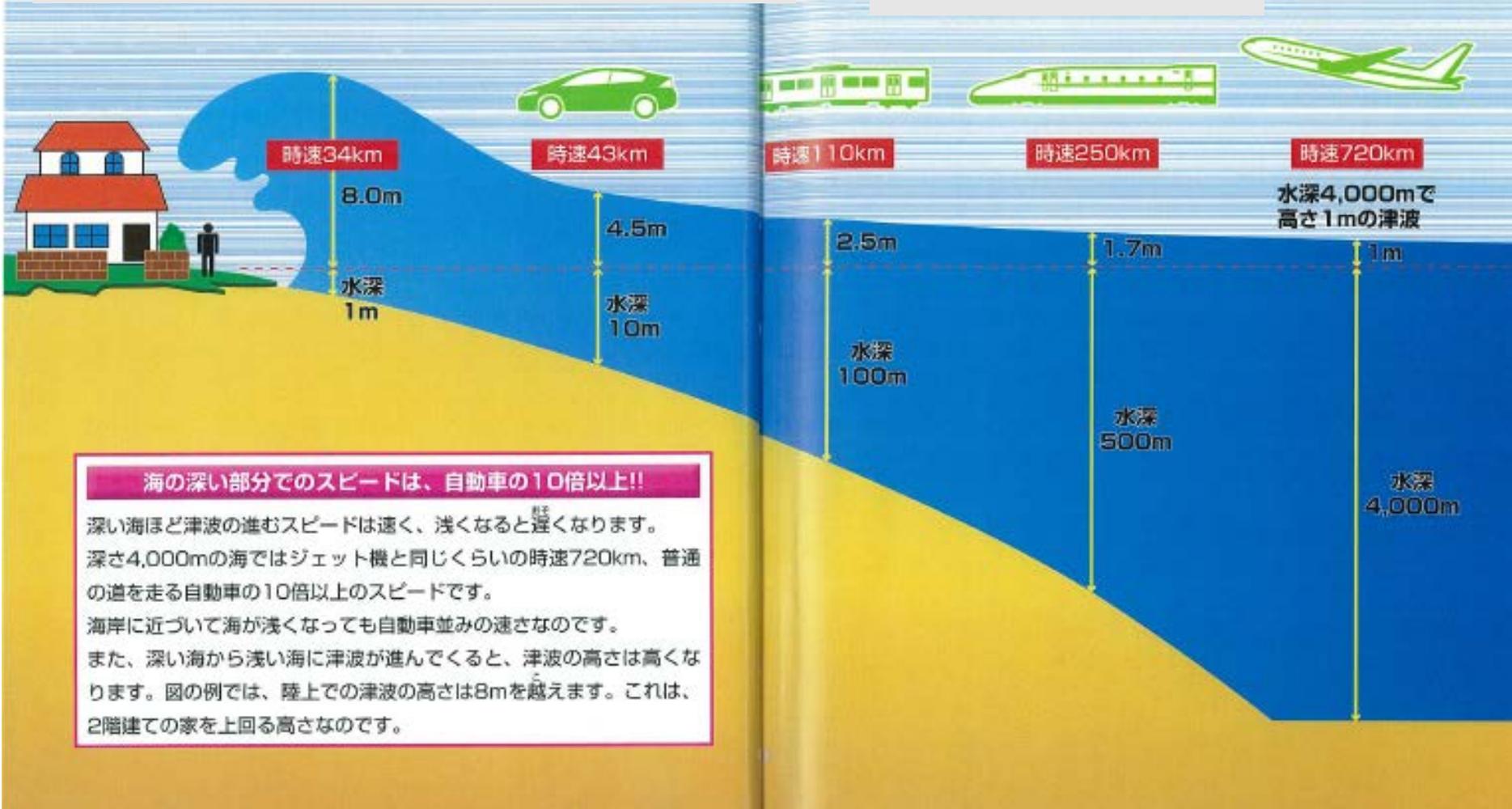


津波の発生の仕組み(2/2)



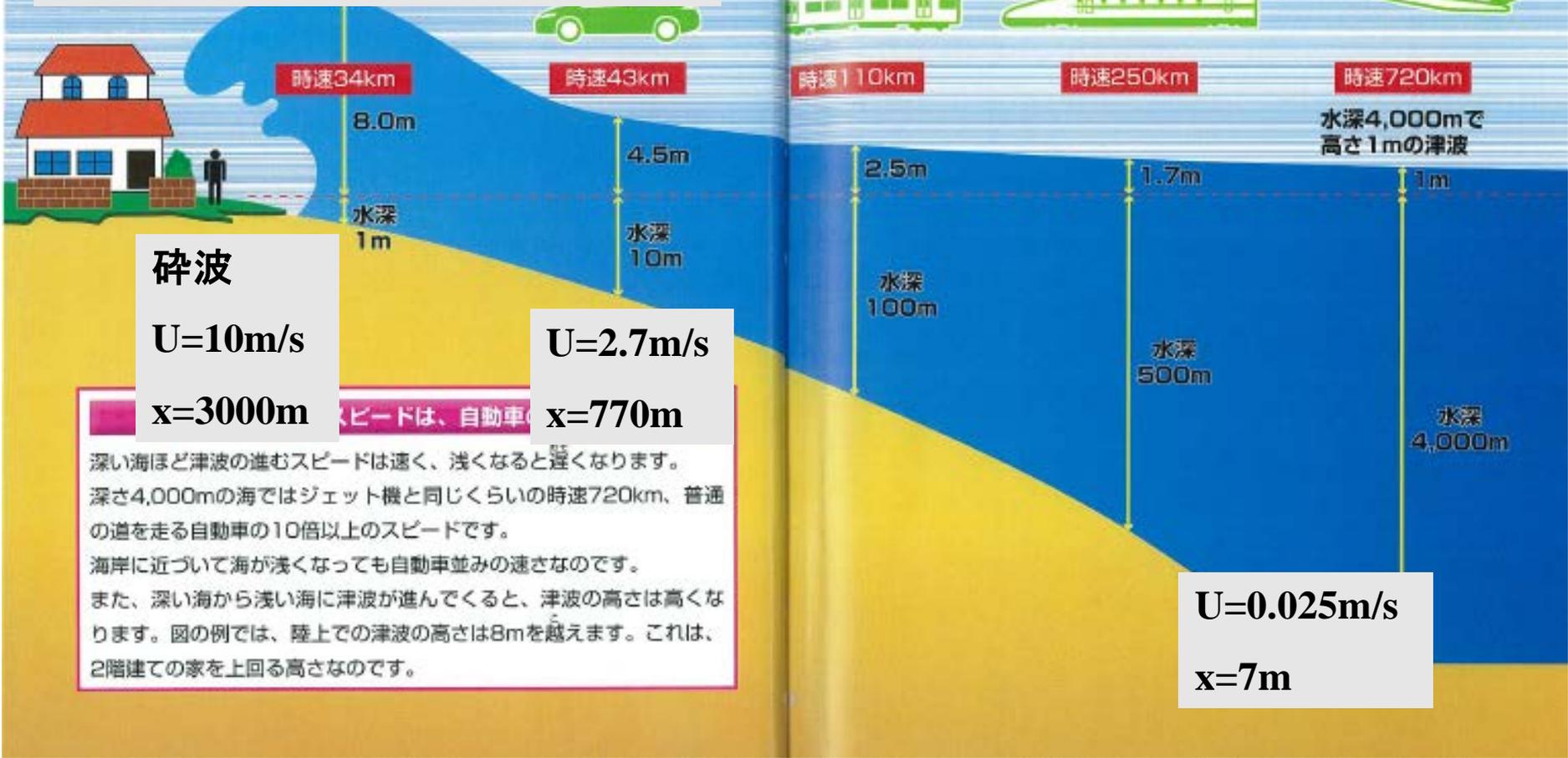
津波の速さ $C=(gh)^*0.5$

津波の高さ



津波による水の動き

$$U = (H/2h) * C$$



砕波

$$U = 10 \text{ m/s}$$

$$x = 3000 \text{ m}$$

$$U = 2.7 \text{ m/s}$$

$$x = 770 \text{ m}$$

深い海ほど津波の進むスピードは速く、浅くなると遅くなります。
 深さ4,000mの海ではジェット機と同じくらいの時速720km、普通の道を走る自動車の10倍以上のスピードです。
 海岸に近づいて海が浅くなっても自動車並みの速さなのです。
 また、深い海から浅い海に津波が進んでくると、津波の高さは高くなります。図の例では、陸上での津波の高さは8mを越えます。これは、2階建ての家を上回る高さなのです。

$$U = 0.025 \text{ m/s}$$

$$x = 7 \text{ m}$$

波の長さ(波長)とスピード

津波 例えば30分の周期

$$T=1800\text{s (30min.)}$$

非常に深いところ 例えば水深 $h=4000\text{m}$

$$C=20\text{m/s}=720\text{km/h, } L=360\text{km}$$

比較的浅いところ 例えば水深 $h=10\text{m}$

$$C=10\text{m/s}=36\text{km/h, } L=18\text{km}$$

グリーンンの法則

□波のパワーの保存

$$Hh^{1/4} B^{1/2} = Const$$

水深が浅くなると → 波高は増大
5000m → 10m 4.7倍

湾が次第に狭まると → 波高が増大
100m → 10m 3.2倍



波のパワーの保存

海岸線 1 m 当たりの波パワー

$$W_i = 0.125 \rho g H^2 C_g$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

H = Wave Height m

C_g = Wave Group Velocity m/s

$$C_g = C = (gh)^{0.5}$$

h = Water Depth m

ジュール J = Nm = kgm/s²m

ワット W = J/s

波のパワーの保存

海岸線B m当たりの波パワー

$$W_i B = \text{const}$$

$$H^2 C B = \text{const}$$

パワフルな津波のパワー

深いところで風波と比較 水深4000m

波の高さ $H=1\text{m}$

津波 Ex. $T=1800\text{s}$ (30min.) $H=1\text{m}$

$W=250\text{kW/m}$ (25倍)

風波 Ex. $T=10\text{s}$ $H=1\text{m}$

$W=9.5\text{kW/m}$

海岸に来ると波高は急に大きくなる

Ex. $T=1800s$ (30min.)

$h=4000m$ $L=360km$ $H=1m$

$h=10m$ $L=18km$ $H=4.5m$

狭まった湾では波高は急に大きくなる

$B=1000m$ $H=1m$

$B=10m$ $H=10m$

水の動き

$$\text{水平速度 } U = (H/2h) * C$$

$$\text{水の運動振幅 } X = \text{水平速度} * (T/2\pi)$$

Ex. T=1800s (30min.)

@h= 4000m H=1m

$$U=0.09 \text{ km/h (0.025m/s)} \quad X=7.2\text{m}$$

@h= 10m H=4.5m

$$U=9.68\text{km/h (2.68m/s)} \quad X=768\text{m}$$

@h=1m H=8m(碎波)

$$U=34\text{km/h (9.4m/s)} \quad X=2700\text{m}$$