

**2011.3.11 に南部沖定点観測ブイが捉えた急上昇津浪波高の正体**  
**Une bouée fixée au sol sousmarin en distance de 20km du côte a détecté**  
**un pic d'onde de tunamis de 7m vers 15h12, ce qui est bien singulier**

鹿野忠良 Tadayoshi KANO (Institut Vercors) / 柿沼太郎 Taro KAKINUMA (鹿児島大学 Kagoshima U.)

RIMS (Université de Kyoto), 11 juin 2026

**1. 発端の問題。**岩手南部の波高「異常」急上昇は、地理・地学的関係を海底構造で確認した結果、問題箇所の海底の傾き急変に対応している事、判明。その結果、発生時の津浪とは異なる波形波が発生。それを南部沖固定ブイが捉えた。後段詳説。それでも、冲向津浪（世上、引波という）は出ていない。

波高定点観測で、津浪伝播波形が見える。必要に応じた海底状況の事前確認により、津浪異常波形の出現予測が可能である。異常高波高阻止は不可能でも、最少限度、警報発令はできる。

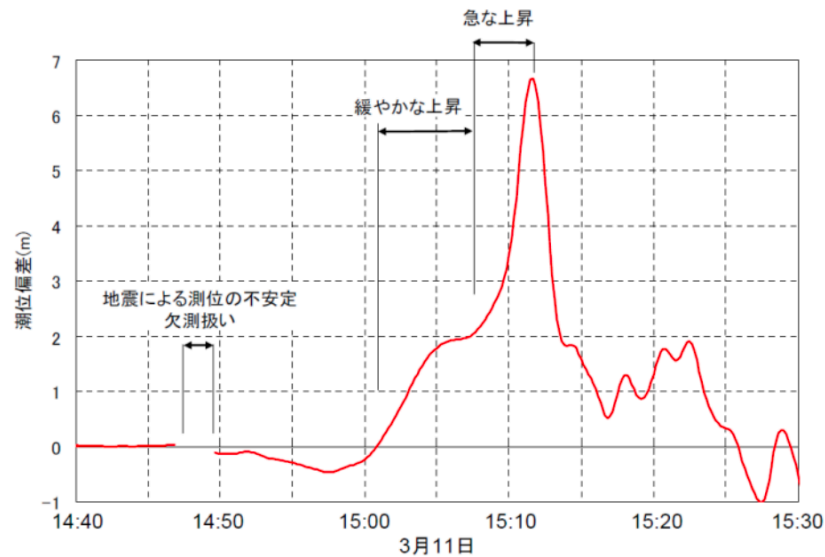
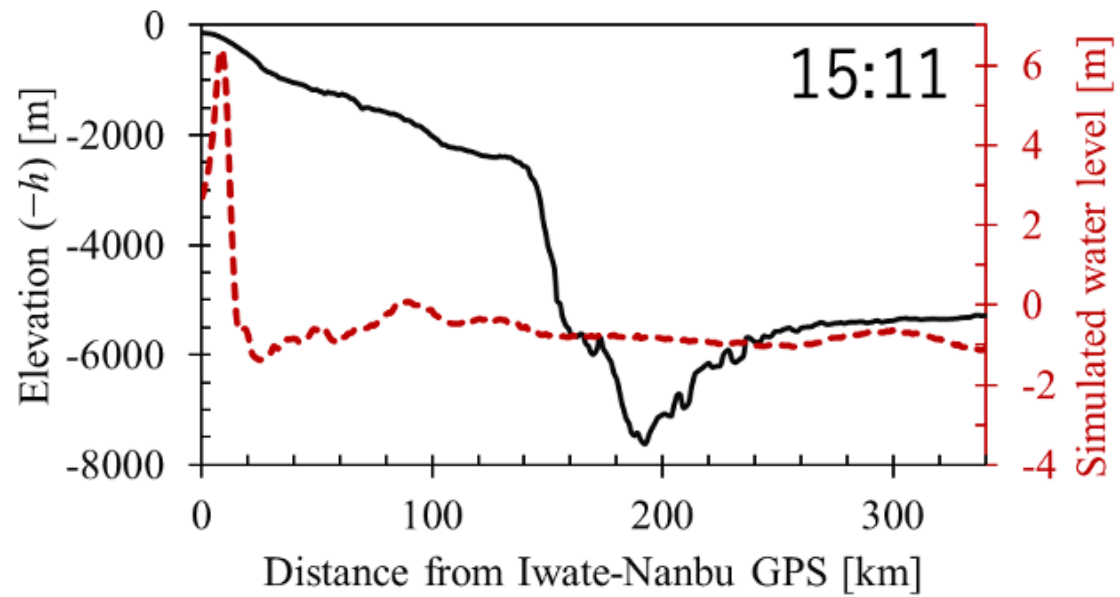


図 4 岩手南部沖 GPS 波浪計が捉えた 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の第一波（河合ら，2011）

上図は in [1].

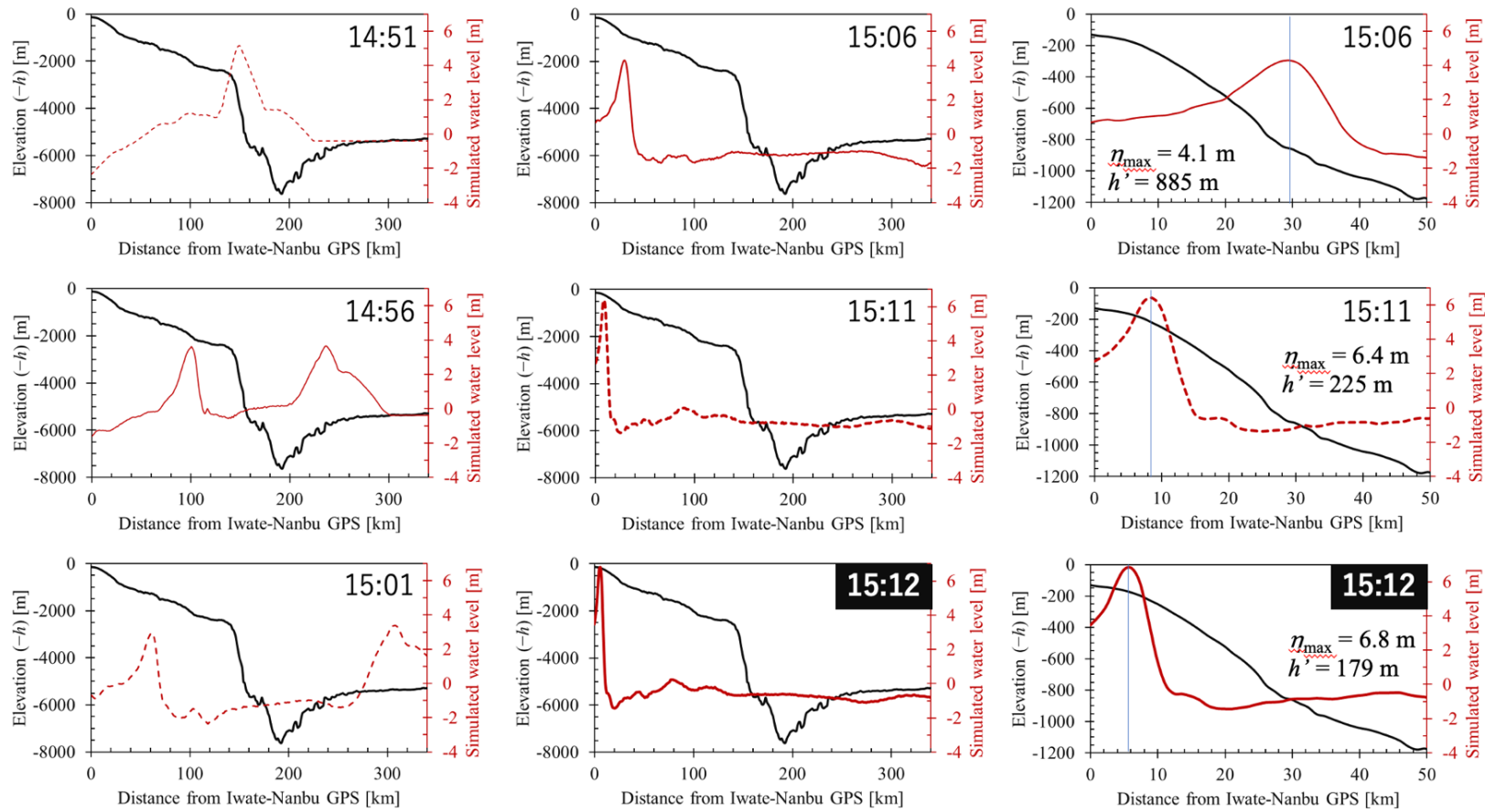
事はどこで起こったか？

問題が確認されたのは、南部沖定点ブイ沖10km辺；



(山下 [4], 2017 : 波源域～岩手南部GPSの測線データの抽出結果)

しかし、それは結果で、原因ではない；原因は、その更に20km沖にある筈（15h06 図）：



(山下 [4], 2017 : 波源域～岩手南部GPSの測線データの抽出結果)

2. 宮城沖との違い。同じ河合論文に出ている宮城沖との比較（下図）を見ると、岩手沖より”なだらかな”海底をもつ宮城沖では、猛烈な「ヒキナミ」（冲向津浪）が生じている事、判明：

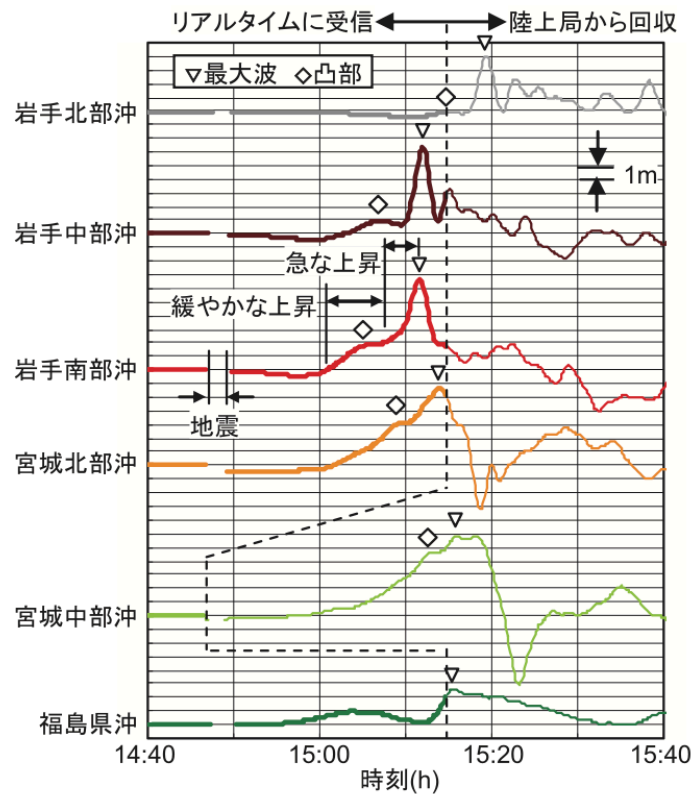
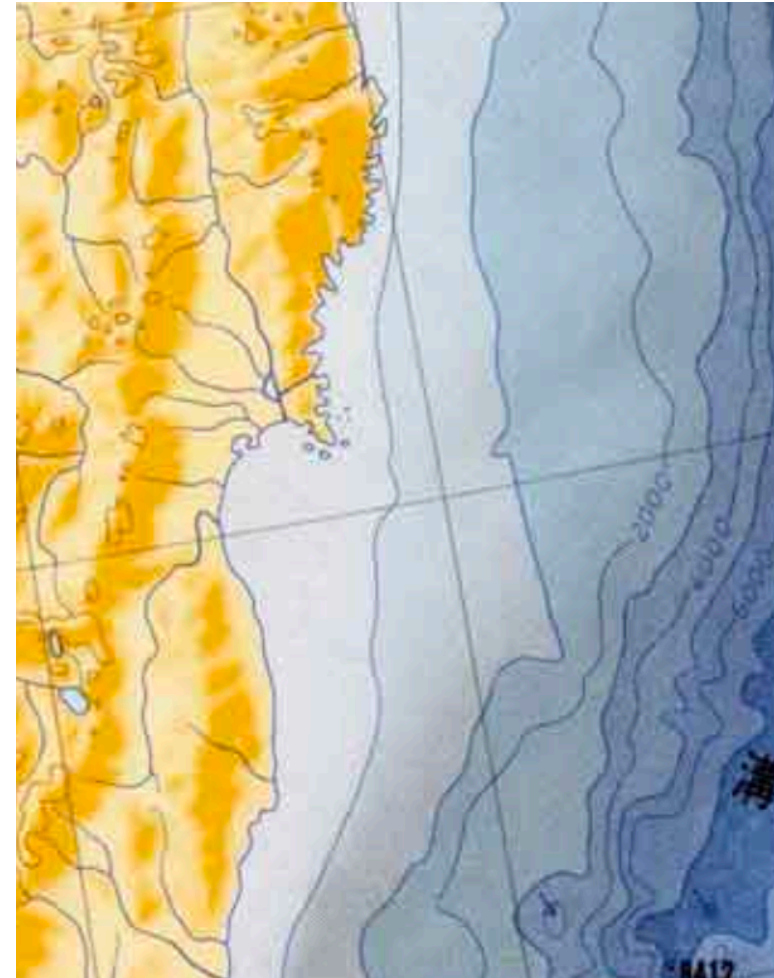
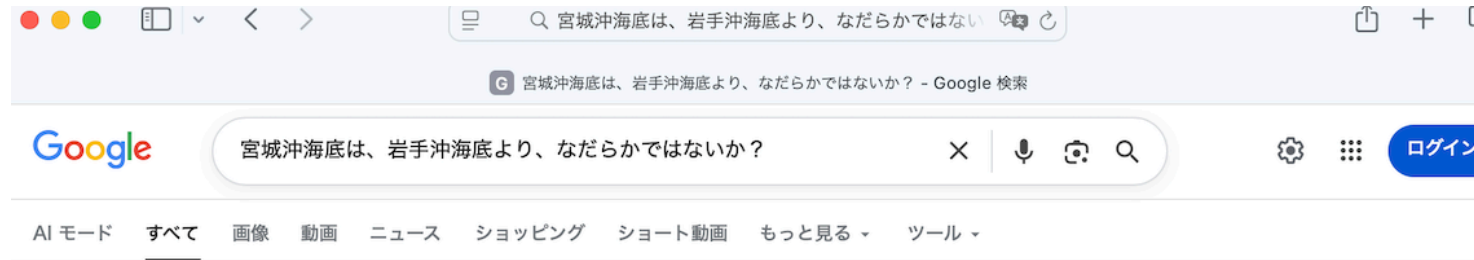


図-5 東北沿岸のGPS波浪計で捉えた津波の初期の部分



国土地理院

そこで、AIをそそのかして確認したところ、AIは斯う言う：



#### ◆ AI による概要

はい、ご指摘の通り、宮城沖の海底は岩手沖（特に三陸北部）に比べて、相対的に起伏が小さくなだらかな地形をしています。

検索結果に基づく主な比較は以下の通りです。

- **宮城沖（宮城県沖）**
  - 大陸棚から上部大陸斜面（水深2000m付近まで）は、起伏の小さいなだらかな地形が広がっています。
  - 比較的広くなだらかな斜面が続いているため、海水の揺さぶられ方に岩手側とは異なる特性があります。
- **岩手沖（三陸沖）**
  - リアス式海岸に代表されるように、沿岸部から海底にかけても急峻な地形が多く、船越半島東南側のように激しい波の侵食を受けて切り立った海食崖が見られる場所もあります。
  - 起伏が激しく、海底の様子が大きく変化する場所が多いため、津波の増幅メカニズムも宮城沖と異なります。📍

したがって、岩手沖が「急峻・複雑」であるのに対し、宮城沖は「相対的に平坦・なだらか」であると言えます。

**平成 23 年東北地方太平洋沖地震における津波の地形学**  
対象地域である東北地方沖の太平洋底は起伏、の非常に小さいな...



国立国会図書館デジタルコレクシ...

**東日本大震災 - 日経サイエンス**  
東日本の太、太平洋側の海底は岩手沖から千葉沖まで、南北500km...

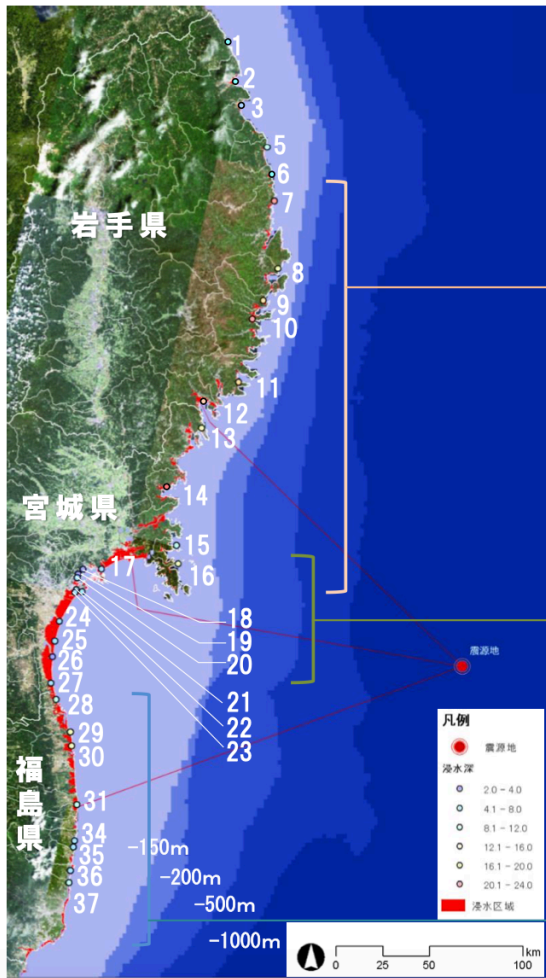


日経サイエンス

**伝える 岩手県山田町東日本大震災の記録**  
船越湾は広く外洋に面し、船越半島の東南、側では激しい波に侵...



岩手県山田町ホームページ

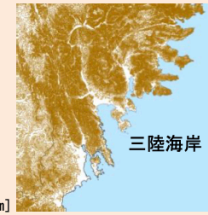
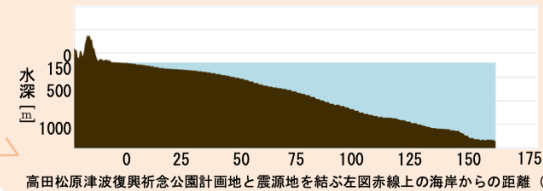


図Ⅱ-1-1 沿岸部の各自治体における最大浸水深の観測点

## ■東北三県の太平洋沿岸部の地形の特徴

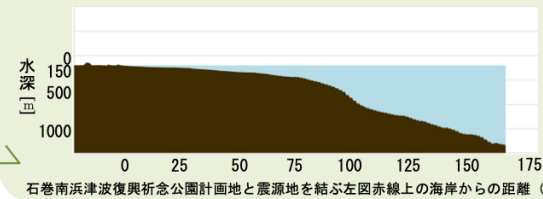
### ＜三陸海岸、三陸沖海底地形＞

- ◆宮古より南では海岸線は屈曲に富み、数多くの湾入と岬が連なるリアス式海岸が発達している。



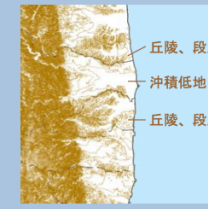
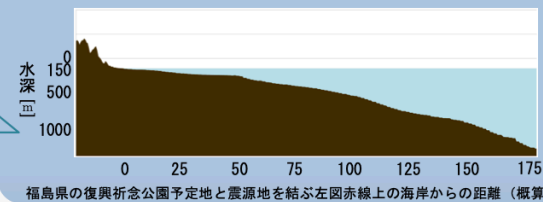
### ＜仙台平野、仙台沖海底地形＞

- ◆松島湾を挟み、北部と南部に沖積低地が広がる。
- ◆仙台沖には、大陸棚地形が発達している。



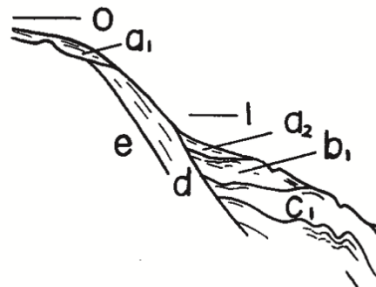
### ＜福島沿岸部、福島沖海底地形＞

- ◆丘陵、段丘とそれらに挟まれる沖積低地の組合せが連続する。
- ◆福島沖の大陸棚地形は、仙台沖に比べ海岸から大陸棚外縁までの距離が短い。



[資料] 上記地形の説明：小池一之他編(平成18年)『日本の地形3 東北』東京大学出版会

出典：福島県における復興祈念公園基本構想参考資料（東北地方整備局）

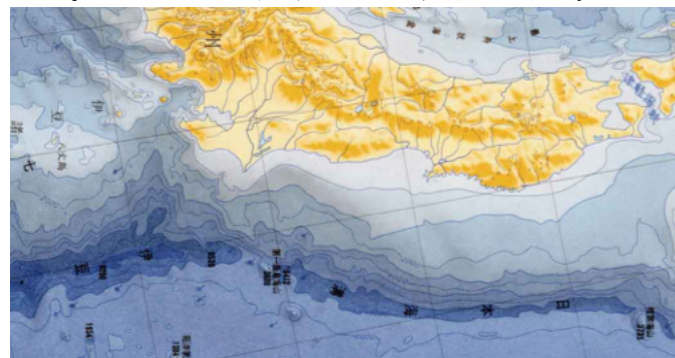


南部沖海底断層図（上半分）、国土地理院、1970.

そこで、これらを拳拳服膺して 鹿野の先の結果 [3] を援用考察すれば、宮城沖には、南部沖にはなかった、斯ういう津浪が来る筈だし、実際来た、事が確認された：即、宮城沖の海底構造が波打際と数学的・流体力学的に相似しており、[3] の命題 4.1-4.2 で示した、津浪の波打際暴発と類似の、世間という押し波・引き波衝突の津浪となった。（註：今、上は“結果解釈”であり、この”数学的・流体力学的相似”条件は、目下、確立していない。然しながら、後に見る15h06の津浪は、水深885mは既に巡航速度範囲でなくなり、波打際構造である事を示している：南部沖。福島沖は、深海域が岸に迫って、波打際構造効果は弱いまま、津浪「上陸」になった様である。それでも原発には壊滅的打撃だった。）



(左：ネットから、著作者不詳；右：国土地理院)



**\*\* [3] の命題 4.1 – 4.2 の代わりに, [3] のレジュメ \*\***

Approaching a sloping beach, shallow water surface waves of Airy get suddenly  $+\infty$  or  $-\infty$  propagation speed at the point of surface  $x = x_0$ , say, where the tangent  $\Gamma_x$  of the surface  $y = \Gamma$  “coincide” with that  $b_x$  of the water-bottom  $y = b(x)$ , losing the cruising sound speed of propagation so high on a deep open sea.

That is, the tunamis gain instantaneously a  $+\infty$  propagation speed just before the crest as

$$(\Gamma_x - b_x)(x) \rightarrow +0, x \rightarrow x_0 - 0,$$

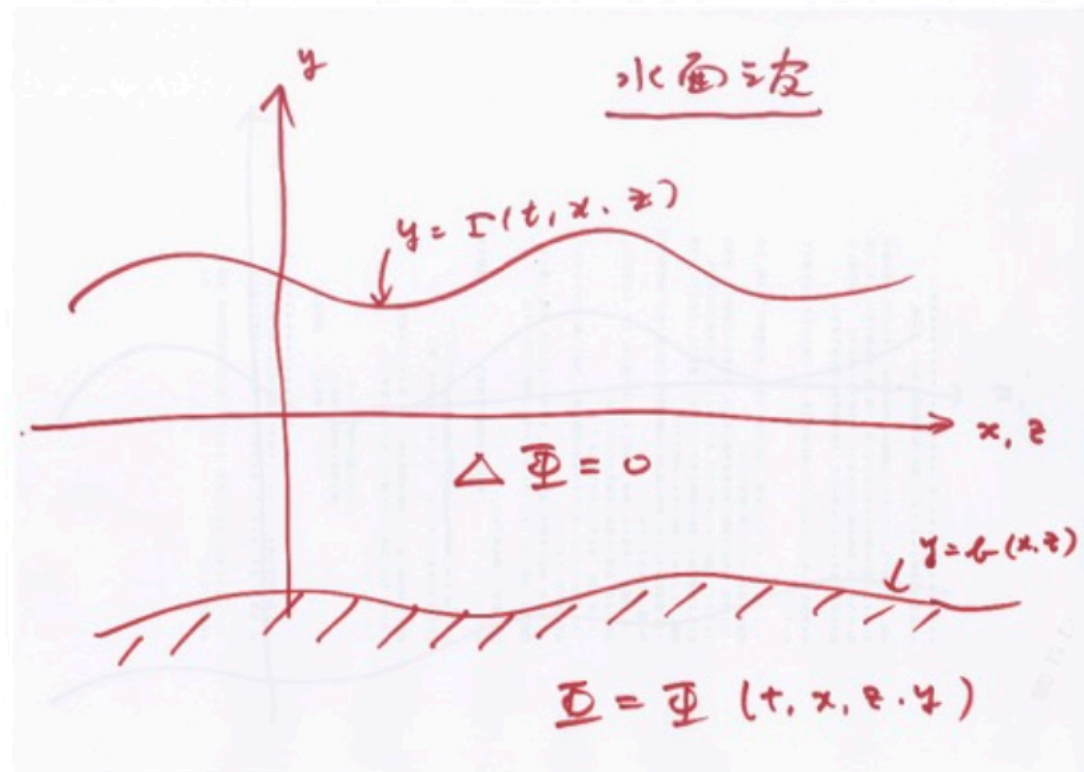
and a  $-\infty$  propagation speed just after the trough as

$$(\Gamma_x - b_x)(x) \rightarrow -0, x \rightarrow x_0 + 0.$$

We would have thus a big crush between the crest rushing forward and the trough rushing backward. This is a mathematical structure of tunamis “on” a sloping beach, in particular.

[3] T.Kano: Tunamis on a deep open sea and on a gentle sloping beach – a mathematical theory –, RIMS Kokyuroku 2330 (2025).

3.前作からの準備—1：津浪は水面波である：



### 3.前作からの準備—2: 浅水波

Shallow water waves such as:

$$\delta = \frac{h}{\lambda} = \frac{\text{"water depth"}}{\text{"wave length"}} \ll 1,$$
$$\varepsilon = \frac{a}{h} = \frac{\text{"amplitude"}}{\text{"water depth"}}, \text{ could be } \sim 1.$$

Among those shallow water waves, *long waves* are of the structure:

$$\left( \frac{\text{mean water depth}}{\text{wave length}} \right)^2 \text{ and } \left( \frac{\text{mean water amplitude}}{\text{mean water depth}} \right)$$

are of the same order as infinitesimals when the wave length tends to infinity and the amplitude tends to zero.

### 3.前作からの準備—3：水面波の無次元オイラー方程式：

#### (Dimensionless) Euler equations for water waves:

Defining the dimensionless variables by

$$(t, x, y) = \left( \frac{\lambda}{c} t', hy', \lambda x' \right), \quad (\Gamma, \Phi) = (h\Gamma', c\lambda\Phi'),$$

we have equations for water waves (by dropping prime sign):

$$\delta^2 \Phi_{xx} + \Phi_{yy} = 0, (x, y) \in \Omega_t = \{(x, y) : x \in \mathbb{R}, b(x) < y < \Gamma(t, x), t > 0\}$$

$$- \delta^2 b_x \Phi_x + \Phi_y = 0, x \in \mathbb{R}^1, y = b(x)$$

$$\delta^2 \left( \Phi_t + \frac{1}{2} \Phi_x^2 + y \right) + \frac{1}{2} \Phi_y^2 = 0, x \in \mathbb{R}^1, y = \Gamma(t, x)$$

$$\delta^2 (\Gamma_t + \Gamma_x \Phi_x) - \Phi_y = 0, x \in \mathbb{R}^1, y = \Gamma(t, x)$$

for the velocity potential  $\Phi$ , wave profile function  $\Gamma$  with initial data  $\Phi(0, x, y) = \Phi_0(x, y), \quad \Gamma(0, x) = \Gamma_0(x) > 0.$

Existence theorem: Levi-Civita, Struik, Lavrentiev, Nalimov, Ovsjannikov, Shinbrot, Kano-Nishida, Walter Craig, Yoshihara, Wu, Lannes

3.前作からの準備— 4 : エアリーの浅水波方程式から津浪方程式へ :

### Shallow water wave equations of Airy:

the first nonlinear approximation of finite amplitude  
by the error of the order  $O(\delta^2)$ .

For  $\{u = \Phi_x, \Gamma\}$  (*gravity* = 1):

$$(2.5) \quad u_t + uu_x + \Gamma_x = 0,$$

$$(2.6) \quad \Gamma_t + ((\Gamma - b(x))u)_x = 0.$$

### 3. Tunamis equations.

We give first **TUNAMIS EQUATION**.

Rewrite (2.5) and (2.6) as follows:

$$(3.1) \quad u_t + uu_x + (\Gamma - b(x))_x = -b_x,$$

$$(3.2) \quad (\Gamma - b(x))_t + ((\Gamma - b(x))u)_x = 0.$$

Let us now define  $\gamma$  by  $\gamma^2 = \Gamma - b(x) > 0$ ,  
 $\gamma = \sqrt{\Gamma - b(x)} > 0$ , we have then

$$(3.3) \quad P_t + (\gamma + u)P_x = -b_x,$$

$$(3.4) \quad Q_t - (\gamma - u)Q_x = -b_x$$

for  $P = u + 2\gamma$  and  $Q = u - 2\gamma$ .

From these, we have finally the *TUNAMIS EQUATIONS*:

**Definition 3.1 Tunamis equations.** The following system of partial differential equations are **tunamis equations**:

$$(3.5) \quad P_t + \left( \gamma + u + \frac{b_x}{P_x} \right) P_x = 0$$

$$(3.6) \quad Q_t - \left( \gamma - u - \frac{b_x}{Q_x} \right) Q_x = 0.$$

#### 4. 津浪の速度

With  $b_x$  not identically vanishing,  $P$  propagate in the direction  $x > 0$  with the speed

$$(4.1) \quad \gamma + u + \frac{b_x}{P_x}$$

that is, they satisfy the equation

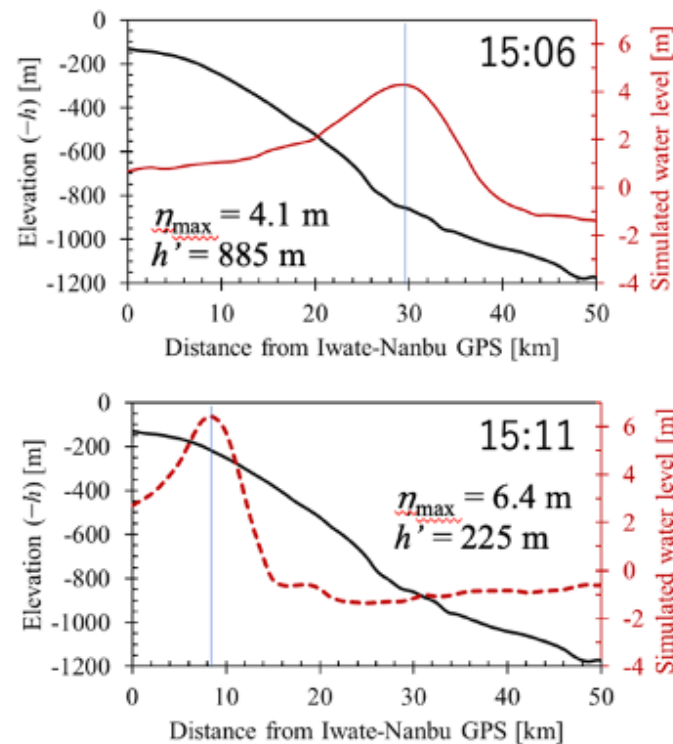
$$(4.2) \quad P_t + \left(\gamma + u + \frac{b_x}{P_x}\right)P_x = 0.$$

The propagation speed of  $P$  is affected by the third term in (4.1) being possibly  $+\infty$  or  $-\infty$  at the points where  $P_x$  vanishes: self-acceleration.

5. 結論は斯うである：津浪  $P=P(t,x)$  の方程式は

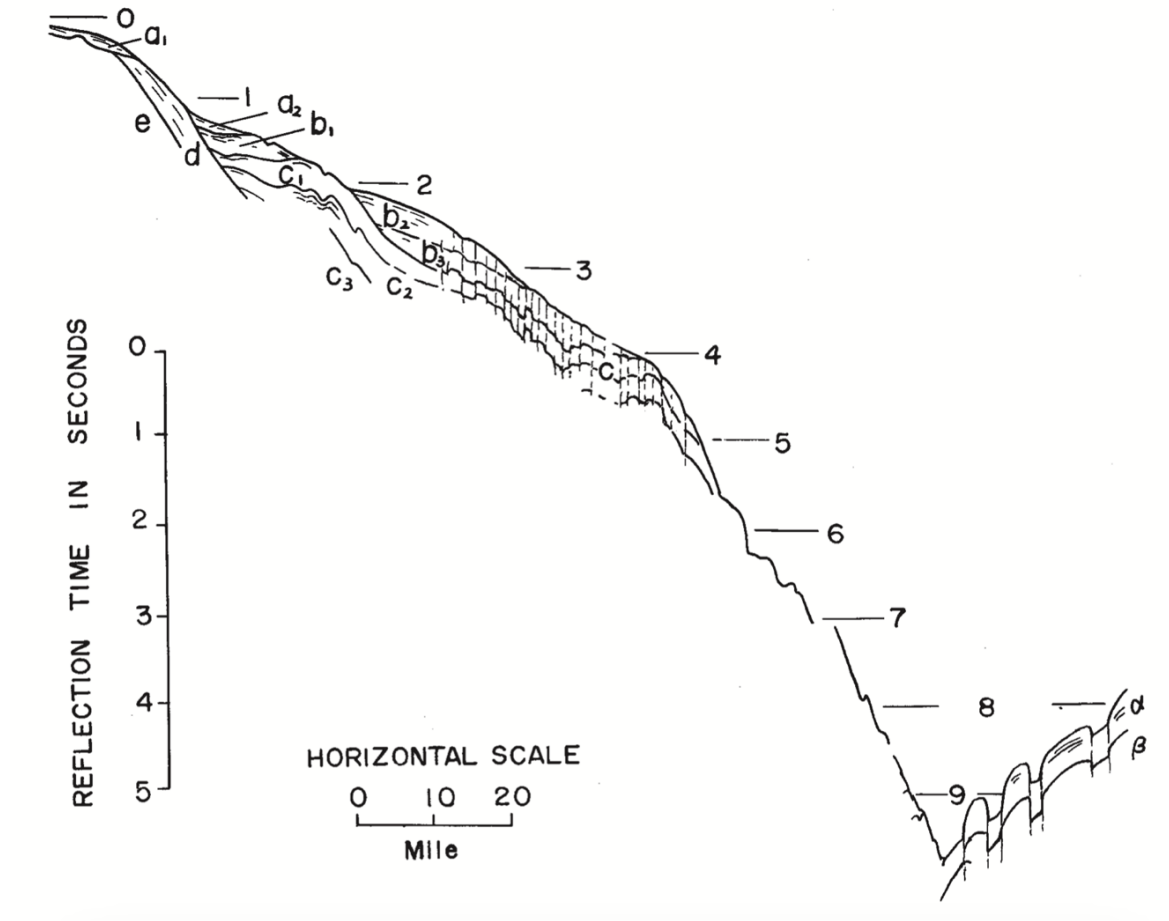
$$P_t + \left( \gamma + u + \frac{b_x}{P_x} \right) P_x = 0$$

(イ) 問題が確認されたのは、南部沖定点ブイ沖10km辺；それは結果で、原因ではない；原因は、更に20km沖にある：15h06 図。この二段坂を登った津浪は5分で2 m高くなり、6分後には7 m迄上昇。かくて、此処の水底の影響により、発生時津浪波形でない、新しい津浪波形が生れた：

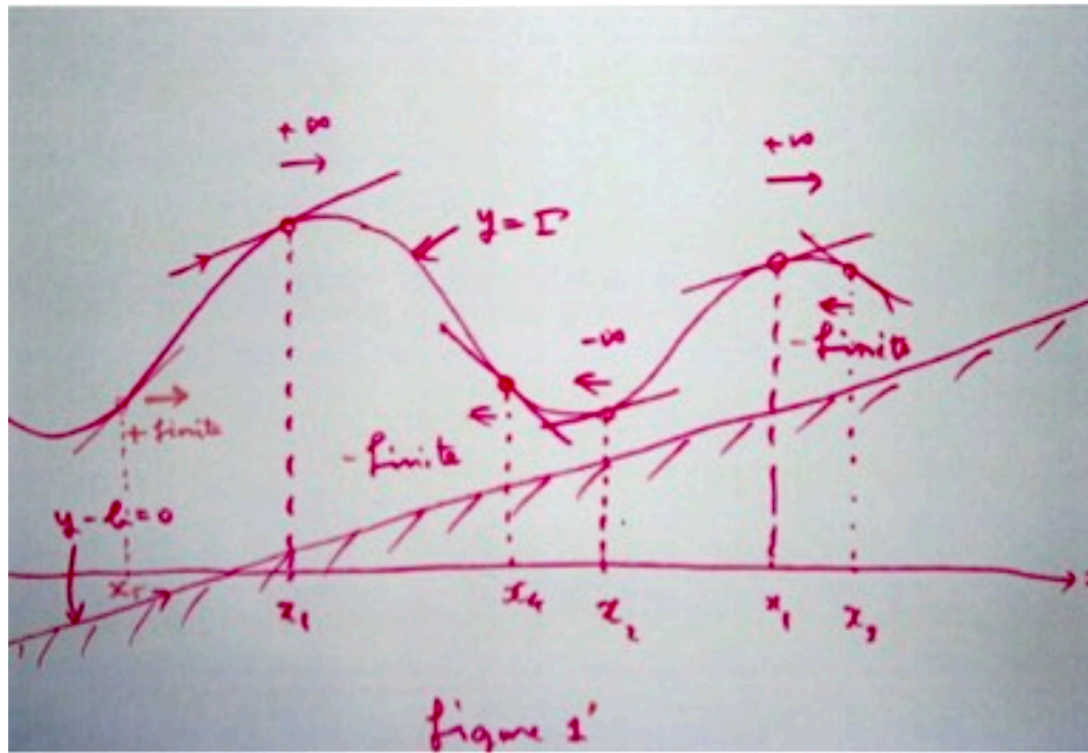


(山下 [4], 2017：波源域～岩手南部GPSの測線データの抽出結果)

南部冲海底断層图、国土地理院、1970。



As an image for “sloping beach”:



(ロ) 海底を見ると、南部沖ブイ沖25~30kmに二つの「立上り」がある：15h06波形図に明示。即ち「そこ」で、水底傾き  $b_x$  が急に大きくなる：海底が急に傾斜を上げる点を、 $x = X_0$  とする。そこで波高急上昇が確実に生起し得る状況を上げる：

(1) trough から、その後  $u_x > 0$  が保たれる間の津浪部分が  $X_0$  を過ぎる場合：  
trough の上述の近辺では、 $u_x > 0$ ,  $\Gamma_x - b_x > 0$  ( $\Gamma - b$ : 増加函数)；  
従って trough が  $X_0$  を過ぎる時、従って  $b_x$  が急増大する時

$$P_x = u_x + \frac{\Gamma_x - b_x}{\sqrt{\Gamma - b}}$$

は、正值で急減少する。従って津浪伝播速度

$$\gamma + u + \frac{b_x}{P_x}$$

は急増大する。その結果、波速が急に大きくなり、前には当然海水があるのだから、波高が高くなるしかない。勿論  $P_x$  は符号を変えない。符号を変えると、一度ゼロになるが、その時は、津浪は暴発するのだから。

(2) crest 手前から crest までの、 $u_x < 0$  が続く間の津浪が  $X_0$  を過ぎる場合：  
crest の上述の近辺では、 $u_x < 0$ ,  $\Gamma_x - b_x < 0$  ( $\Gamma - b$ : 減少函数)；  
従って crest が  $X_0$  を過ぎるとき、従って  $b_x$  が急増大する時

$$P_x = u_x + \frac{\Gamma_x - b_x}{\sqrt{\Gamma - b}}$$

は負値で急増大する、すなわち、 $1/P_x$  は負値で急減少する。従って  
津浪伝播速度は

$$\gamma + u + \frac{b_x}{P_x}$$

は急増大する。

注意：此処で、津浪伝播速表示の分子に正数  $b_x$  が掛っている事に注意する。今の我々の問題では、 $b_x = 1$  前後であるから、述べた結論を得る。しかし、日本海溝西の震源地あたりでは、 $b_x \gg 1$  である。その後も暫くは相当大きい。其処では、従って、津浪伝播速度が（クレストあたりで）急増大するとは、全く、限らない。

(ハ) 15h06 波形図に見える「海底立上がり」が何故本質的か？これ以前にも、海底の「立上がり」はある。然し、逆問題で津浪伝播状況を確認しても、発生時津浪の「やや弱体化した」波が確認されるにとどまる。すなわち、津浪は巡航速度＝音速伝播している。南部沖固定ブイが問題の急上昇波形を観測したのは、少なくとも 15h06 前後の事で、此の時の水深は 885m と推定されている。即ち、この水深で初めて、津浪が巡航速度でなく、水底の影響を受けた波形と波速で伝播し始めた。いわば、もはや 14h46 に発生した津浪ではなくなったのである。この状況は、従来、全く確認されていなかった事実である。

(ニ) 数値実験：・・・・・・・・・・・・・・・・。

謝辞：特に [4], 2017：波源域～岩手南部 GPS の測線データの抽出結果、の利用は、決定的であった。  
山下啓氏に深く感謝いたします。

文献：

[1]山下 啓：「報告書」、鹿児島大学工学部、2012。

[2] 河合弘泰・佐藤 真・川口浩二・関 克己：GPS 波浪計で捉えた平成 23 年東北地方太平洋沖地震津波、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol. 67, No. 2, 2011, I\_1291-I\_1295.

[3] 鹿野忠良：Tunamis on a deep open sea and on a gentle sloping beach - a mathematical theory-, RIMS Kokyuroku, 2330 (2025).

[4] 山下 啓, 嶋原良典, 菅原大助, 有川太郎, 高橋智幸, 今村文彦(2017)：土砂移動が及ぼす津波ハザード及び建物被害への影響—東日本大震災の宮城県気仙沼市における津波氾濫・土砂移動・船舶漂流の統合計算—, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第 73 巻, 第 2 号, pp. I\_355-I\_360.

### Résumé:

[R1] 2011.3.11, les tremblements de terre de Sannriku ont produit des tsunamis: commençant le 14h46. L'hauteur pic de tsunamis calculé et estimé comme 7 m. La source de tsunamis était 200km est du côté japonais tandis que l'épicentre se trouvait de 150km du côté. Or, une bouée fixée au sol sousmarin en distance de 20km du côté a détecté un pic d'onde de tsunamis de 7m vers 15h11 (page 1-2). C'est plutôt singulier de voir un tel phénomène plus de 35 minutes après la naissance de tsunamis en distance de 180 km de la source de tsunamis. On en était très curieux à ce temp-là et après aussi sans savoir ni cherchait mathématiquement la cause.

Maintenant, on sait comment cela s'est passé et on explique dans cette Note tout cela mathématiquement d'après les équations de tsunamis développées dans [3] cité en haut.

[R2] Le pic singulier se trouve à 8km de bouée en question à 15h12: 7m , p.3. Ce "résultat" est réalisé par la montée brusque de bas-fond partant de 30 km de notre bouée, voir la carte de 15h06, p.3 et p.14. Ainsi, le pic d'onde de tsunamis a monté de 4m (15h06) au 6m à 15h11 et au 7m finalement à 15h12.

[R3] Notons maintenant  $x = X_0$  le point de départ de montée brusque du bas-fond sur lequel, justement, le pic se trouvait à 15h06, p.14. On compte  $x$  dans cette Note de droite à gauche, de la haute mer au sol.

[R4] Soient, maintenant:

TR<sub>+</sub> = la partie d'onde de tsunamis partante de *trough* où  $u_x$  restant  $> 0$  ;

CR<sub>-</sub> = la partie d'onde de tsunamis finissante au *crest* où  $u_x$  restant  $< 0$ .

**Proposition.** Lorsque TR<sub>+</sub> ou CR<sub>-</sub> traverse vers le sol la pente de bas-fond montant de  $x = X_0$  , les tsunamis ont une montée brusque de vitesse de propagation, causant éventuellement une montée brusque de pic.

### Preuve

(1) Lorsque  $TR_+$  traverse  $X_0$  montant sur cette pente avec brusque agrandissement de  $b_x$ , alors  $P_x$  :

$$P_x = u_x + \frac{\Gamma_x - b_x}{\sqrt{\Gamma - b}}$$

décroit brusquement tout en restant positive puisque on voit  $u_x > 0, \Gamma_x - b_x > 0$  ( $\Gamma - b$  : une fonction croissante). Et ainsi, la vitesse de propagation de tunamis

$$\gamma + u + \frac{b_x}{P_x}$$

augmente brusquement entraînant l'augmentation de pic de l'onde de tunamis.

(2) Lorsque  $CR_-$  traverse  $X_0$  montant sur cette pente avec brusque agrandissement de  $b_x > 0$ , alors  $P_x$  :

$$P_x = u_x + \frac{\Gamma_x - b_x}{\sqrt{\Gamma - b}}$$

croît brusquement comme négative puisque on voit  $u_x < 0, \Gamma_x - b_x < 0$  ( $\Gamma - b$  : une fonction décroissante). C'est-à-dire que  $1/P_x$  décroît brusquement comme négative. Et ainsi, la vitesse de propagation de tunamis

$$\gamma + u + \frac{b_x}{P_x}$$

augmente brusquement entraînant l'augmentation de pic de l'onde de tunamis.

**N.B.** Attention. Certes,  $1/P_x$  décroît brusquement comme négative, mais  $b_x/P_x$  pourrait augmenter comme négative avec  $b_x > 0$  si elle est grande. Pour le cas actuel du problème, elle est certes plus grande que 1, mais non pas trop grande.

**[R5] Ce que signifie la Proposition en haut.**

**[R5-i]** On a dit en haut:

**Or, une bouée fixée au sol sousmarin en distance de 20km du côté a détecté un pic d'onde de tunamis de 7m vers 15h11 (page 1-2). C'est plutôt singulier de voir un tel phénomène plus de 35 minutes après la naissance de tunamis en distance de 180 km de la source de tunamis.**

Mais, au fait, c'est **singulier**. C'est-à-dire, le pic de tunamis dont on a discuté le sens n'est plus le tunamis d'origine. Il ne se propage plus de la vitesse de croisière  $\gamma + u$  mais de vitesse

$$\gamma + u + \frac{b_x}{P_x} .$$

Cette vitesse de tunamis est égale à la vitesse de croisière  $\gamma + u$  en haute mer profonde, mais à la mer peu profonde la partie  $b_x/P_x$  joue un rôle important. C'est-à-dire, l'existence de bas-fond affecte réellement la vitesse de croisière. Ainsi on constate que la mer de profondeur 885m, où notre tunamis se trouvaient vers 15h06, est déjà "la mer peu profonde".

**[R5-ii]** Cela signifie que les tunamis en question ne sont plus les même tunamis d'origine, mais ceux influencés et déformés par l'existence de bas-fond, justement avec les formes de l'onde montré par le plan de la page 1.

**[R6] La mer (Pacifique) vis-à-vis la terre ferme du Japon (côte Pacifique):**

**--- ZPE = "zone d'effet de plage" et ZVC = "zone de la propagation de la vitesse de croisière" ---**

Comparant les conditions terres sous-marines de Sanriku-Hukushima (pp.4~7) et consultant des études de Kawai et al. (p.1~4), nos études résumées en **Proposition** en haut suggère fortement que **la ligne de démarcation de ZPE et ZVC se trouve autour de la ligne de profondeur 900m de la mer.**

**Nota: Les tunamis se propagent de vitesse de croisière en ZVC tandis qu'en ZPE, le bas-fond intervient à la vitesse de propagation: Propositions 4.1- 4.2 de [3], voir aussi la Note (註) de la page 7.**