若狭湾沿岸における天正地震による津波について（コメント回答）

平成24年6月22日

原子力安全・保安院

本資料は、事業者から提出のあった資料をまとめたものであり、当院の評価や見解を示すものではない。

丙第51号証

天正地震による津波に関する評価　検討経緯及び今回報告内容

1. 事業者等による調査結果

（1）津波堆積物調査

事業者は調査の結果、久々子湖の海側には、海水の流入した可能性は否定できないものの、中山湿地等へ達するような大規模な津波は無かったとしている。また、鳴門教育大学の山田研究員から、水月湖における湖沼年縞堆積物調査の結果、天正津波は水月湖に至るような大規模なものでは無かったことを説明した。

（2）文献調査

事業者は、若狭湾沿岸の県市町村史誌（全36文献）を対象に「天正地震による津波」に関する記述の有無を調査し、その結果、天正地震による津波を示す文献は見当たらなかったとしている。

（3）神社への聞き取り調査

若狭湾沿岸において、比較的標高が低くて海岸に近い、創建年代の古い神社（13箇所）に対して、聞き取り及び現地調査を実施し、その結果、天正地震によるものも含め、津波による災害記録は無かったとしている。

2. 意見聴取会委員からの主な指摘

（1）平成23年12月27日の地震・津波に関する意見聴取会

ボーリング調査は、津波堆積物が残る地形である等の以下の条件が揃っている場所であることを示し、その後ボーリング調査結果として津波堆積物の有無を説明すべき。**⇒①津波堆積物調査地点の適切性**

- 津波堆積物の供給源である砂が前面の海岸或いは海域に存在すること
- 津波シミュレーションによって、津波が浸水し易い場所であること
- 天正年間の堆積物（数十cm程度）が削剥されていない安定した堆積環境であること。

（2）平成24年1月10日、同志社大学での現地調査

- 柱状図の精度をあげることが必要。文献で言われているような大規模な津波は無かったかもしれないが、CTスキャンや粒度分析などの、種々の分析を行い、無いことの説明を積み上げるべき。**⇒②ボーリング試料の分析結果について**
- 年代測定の精度をあげるとともに、天正年間の堆積物が削剥されていないことを堆積環境からも説明をしなければならない。
  ⇒ ②ボーリング試料の分析結果について
- 現在の調査地点が津波堆積物調査の適地であることを説明するとともに、必要に応じ、追加調査を検討すること。
  ⇒①津波堆積物調査地点の適切性

3. 今回報告内容

①津波堆積物調査地点の適切性、②ボーリング試料の分析結果について、③文献調査結果を説明（保安院）するとともに、説明性をより高めるために事業者等が実施した④追加調査の結果（天正年間に関するもの）を説明（事業者）。

1. 津波堆積物調査地点の適切性について

天正地震による津波に関する評価　指摘事項及び事業者の回答・対応

【1. 津波堆積物調査地点の適切性について】

指摘事項	事業者の回答・対応
①久々子湖北部の海に開いている箇所は、大変狭く、山もあり、あまり強い波が入ってこないのではないか。他ルートの流入についても検討すべき。事業者は津波シミュレーション解析をしていると思うので、その結果と併せて検討してみてはいかがか。 （第8回山本委員、松山委員） ②調査地点が、津波が来襲する地点なのか、シミュレーションで確認できると思うが、もし、検討しているなら、波源はどう考えているのか。想定津波について、若狭周辺の断層、日本海側東縁部や日本海中部地震以外にお考えはあるのか。 （第9回松山委員）	・既往地震による津波の再現性検討、及び敷地前面海域において同時活動を考慮する断層に関する数値シミュレーションの結果、久々子湖付近には色々な方向から高さ１～２m程度の津波が到達することを確認した（現地形）。 ・寛文地震前の地形をモデル化するとともに、いくつかの波源モデルを使用して、久々子湖内に砂の流入またはシルトの移動（浸食面）を発生させる流れ（移動限界流速）が生じることを確認した。 ・以上により、久々子湖北東側の山体によって津波の流入が阻害されることはないと考えられる。
③津波が来襲しても、必ず堆積物が残るわけではない。津波堆積物の痕跡調査について述べるのであれば、まず、津波堆積物が残る地形である等の条件が揃っていることを示し、その後、ボーリング調査しても津波堆積物がなかったと説明すべき。 （第8回岡村委員）	・久々子湖北端の早瀬川河口及び久々子付近には浜堤が分布すること、海上保安庁水路部発行の海底地質構造図及び底質分布図では、久々子湖沖合いの海底には砂が広く分布していることから、規模の大きな津波が来襲すれば津波堆積物の指標となり得る砂層が認められると考えられる。 ・今回の津波堆積物調査の結果、砂層は認められなかったことから、仮に天正地震による津波があったとしても小規模な津波であったものと考えられる。

1．津波堆積物調査地点の適切性に関する事業者による検討結果（概要）

湖が堆積物の保存されやすい環境であることは間違いないが、津波堆積物調査地点の適切性を示すために、事業者は以下の検討を実施した。

（1）津波シミュレーションによる津波堆積物調査地点の適切性に関する検討

○久々子湖付近には色々な方向から高さ1～2m程度の津波が到達することを確認した。

○寛文地震前の地形をモデル化するとともに、いくつかの波源モデルを使用して、久々子湖内に砂の流入またはシルトの移動（浸食面）を発生させる流れ（移動限界流速）が生じることを確認した。

⇒久々子湖北側の山体地形が津波の流入を阻害しないことを確認した。

（指摘事項①、②）

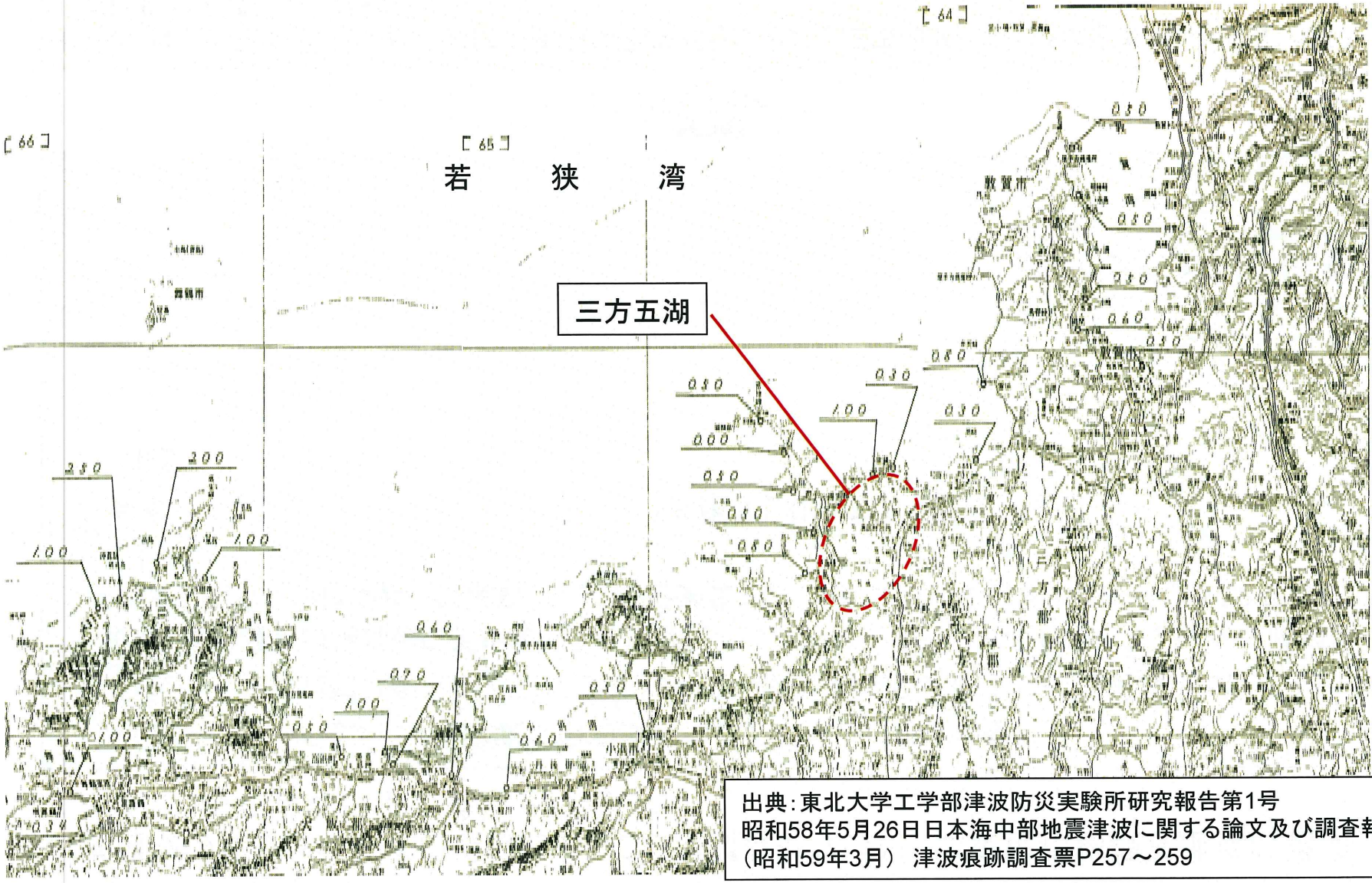
（2）久々子湖付近における砂の分布状況に関する検討

○久々子湖付近の陸域及び海域には砂が広く分布していることから、規模の大きな津波が来襲すれば津波堆積物の指標となり得る砂層が認められると判断した。

（指摘事項③）

事業者は、天正地震による津波に関する評価を行うために、三方五湖付近が津波堆積物調査地点として適切であることを再確認した。

1983年日本海中部地震に関する津波痕跡調査結果

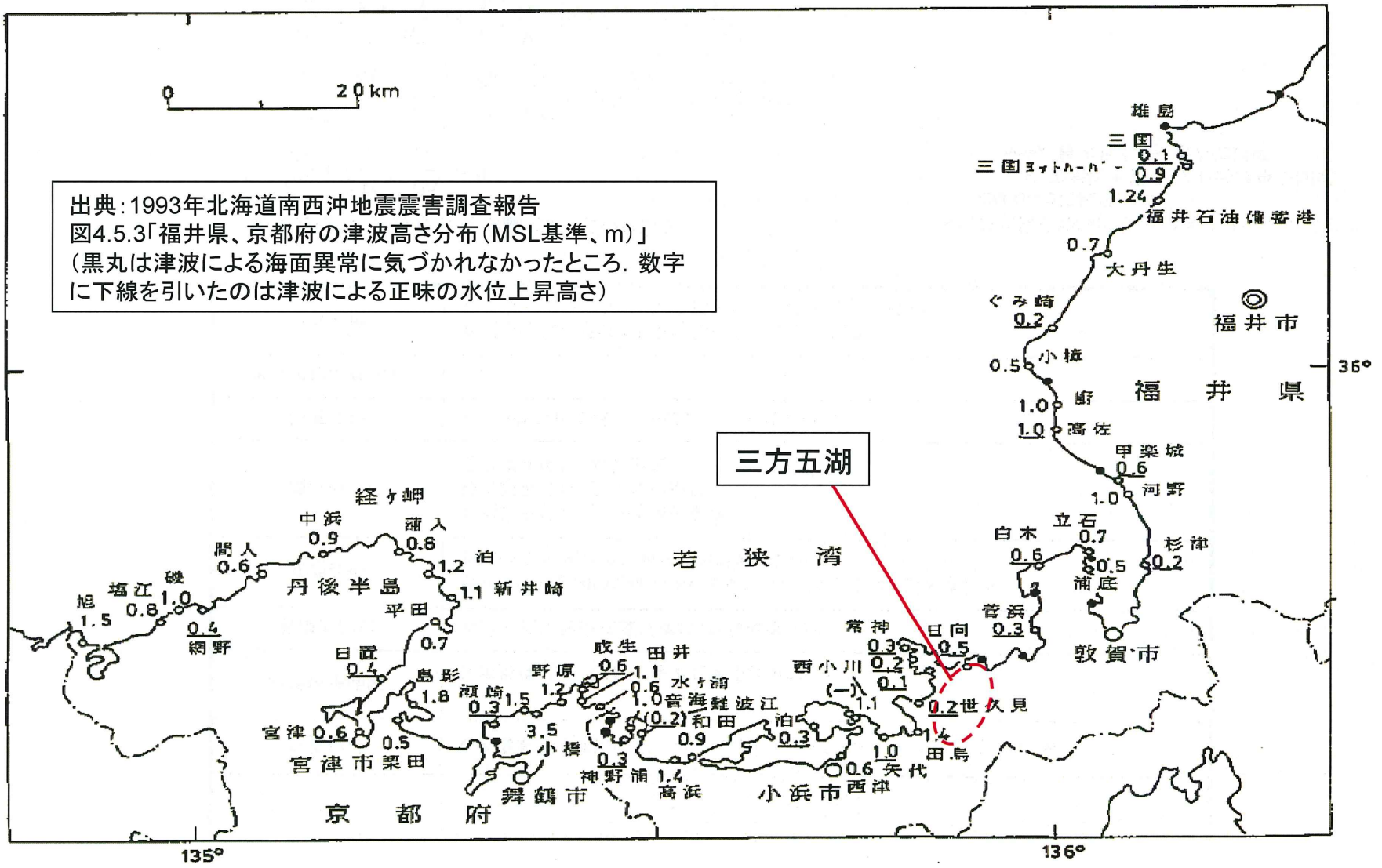


出典：東北大学工学部津波防災実験所研究報告第1号
昭和58年5月26日日本海中部地震津波に関する論文及び調査報告
（昭和59年3月）　津波痕跡調査票P257～259

日本海中部地震では、若狭湾沿岸全域に来襲（津波高さは1～2m程度）

1993年北海道南西沖地震に関する津波痕跡調査結果

出典：1993年北海道南西沖地震震害調査報告
図4.5.3「福井県、京都府の津波高さ分布（MSL基準、m）」
（黒丸は津波による海面異常に気づかれなかったところ．数字に下線を引いたのは津波による正味の水位上昇高さ）



北海道南西沖地震でも、若狭湾沿岸全域に来襲（津波高さは1～2m程度）

設計津波水位の解析条件

項目	計算条件
計算領域	対馬海峡から間宮海峡に至る東西方向約1,500km，南北方向約2,000km
時間格子間隔	0.3秒 安定条件（CFL条件※1）を満足するように設定
基礎方程式	非線形長波理論式及び連続式（後藤他(1982)）
初期条件	断層モデルを用いてMansiha et al.(1971)の方法により計算される 海底面の鉛直変位分布を初期条件とする。
境界条件	沖側境界条件：自由透過の条件 陸域境界条件：完全反射条件 越流境界条件：本間公式
海底摩擦	マニングの粗度係数 n=0.03（土木学会(2002)）
水平渦動粘性係数	0m^2/s
計算時間	海域活断層に想定される地震に伴う津波：3時間 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波：6～7.5時間

基礎方程式：非線形長波理論式および連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=0$$

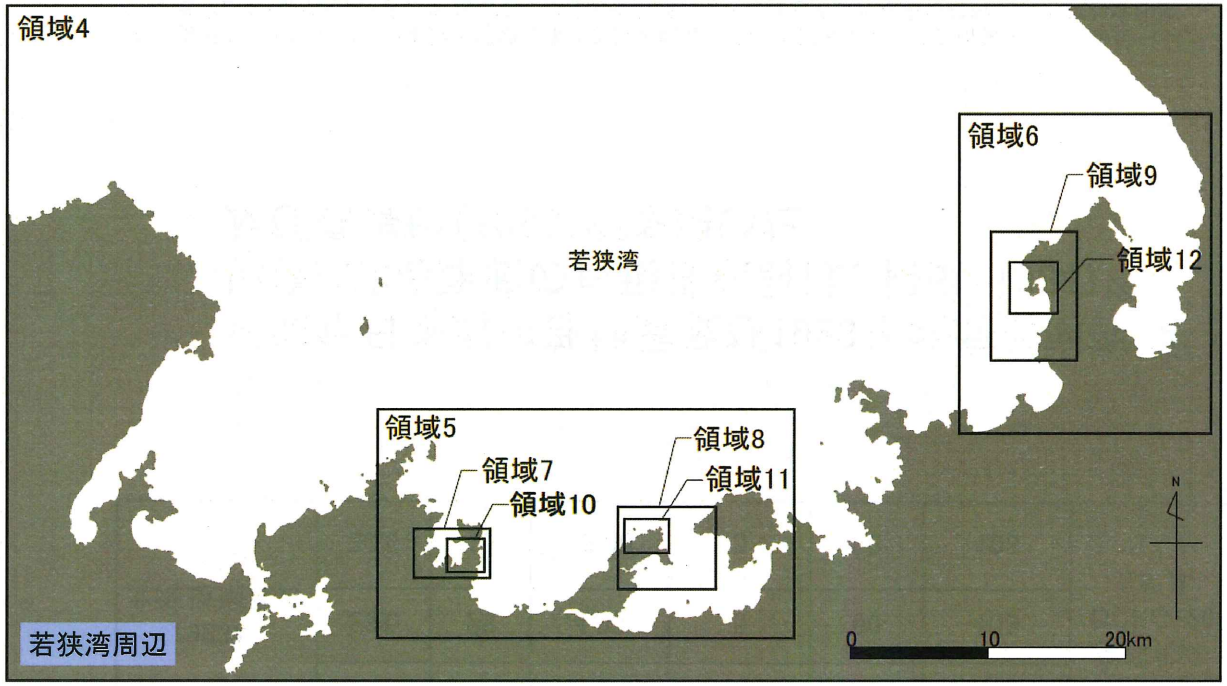
$$\frac{\partial M}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M^2}{D}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{MN}{D}\right)+gD\frac{\partial \eta}{\partial x}+f_c\frac{MQ}{D^2}=0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{MN}{D}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N^2}{D}\right)+gD\frac{\partial \eta}{\partial y}+f_c\frac{NQ}{D^2}=0$$

ここに、t：時間，x,y ：平面座標，η ：水面の鉛直変位量，D：全水深(D=h+η)，h ：静水深，
M=uD，N=vD，u,v：x,y方向の流速，$Q=\sqrt{M^2+N^2}$ ，g：重力加速度$f_c=gn^2D^{-1/3}$ ，
n ：マニングの粗度係数

※1：時間格子間隔は$\Delta t \leq \Delta X/(2\cdot g\cdot hmax)$以下となるように設定。
ΔX：空間格子間隔、Δt：時間格子間隔
hmax：最大水深、g：重力加速度

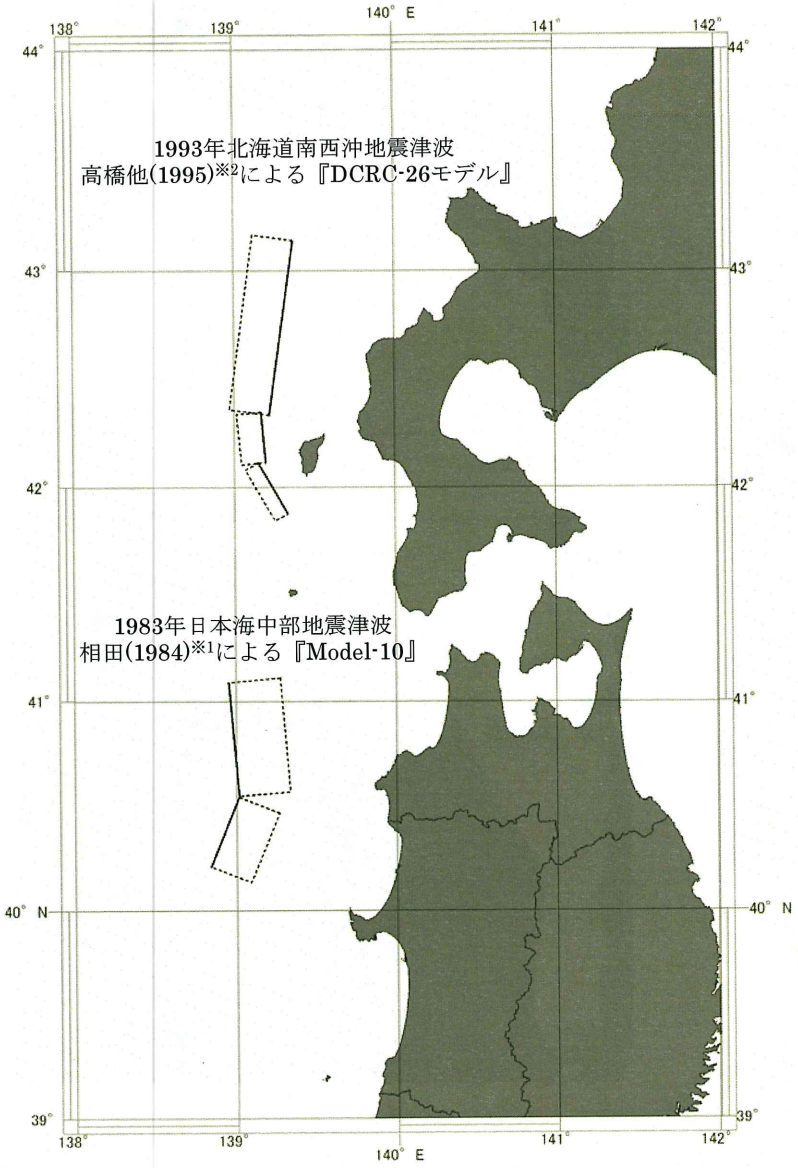
津波シミュレーション　計算領域及び空間格子間隔の設定



領域番号	空間格子間隔(m)	水深(m)	CFL条件を満たすΔt(sec)
1	1,350	3,800	4.95
2,3	450	3,700	1.67
4	150	240	2.19
5,6	50	90	1.19
7,8,9	25	80	0.63
10,11,12	12.5	60	0.36

各メッシュ毎の安定条件（CFL条件）を満たすΔtに基づき時間格子間隔を設定

津波シミュレーション　解析モデル（1983年日本海中部地震及び1993年北海道南西沖地震）

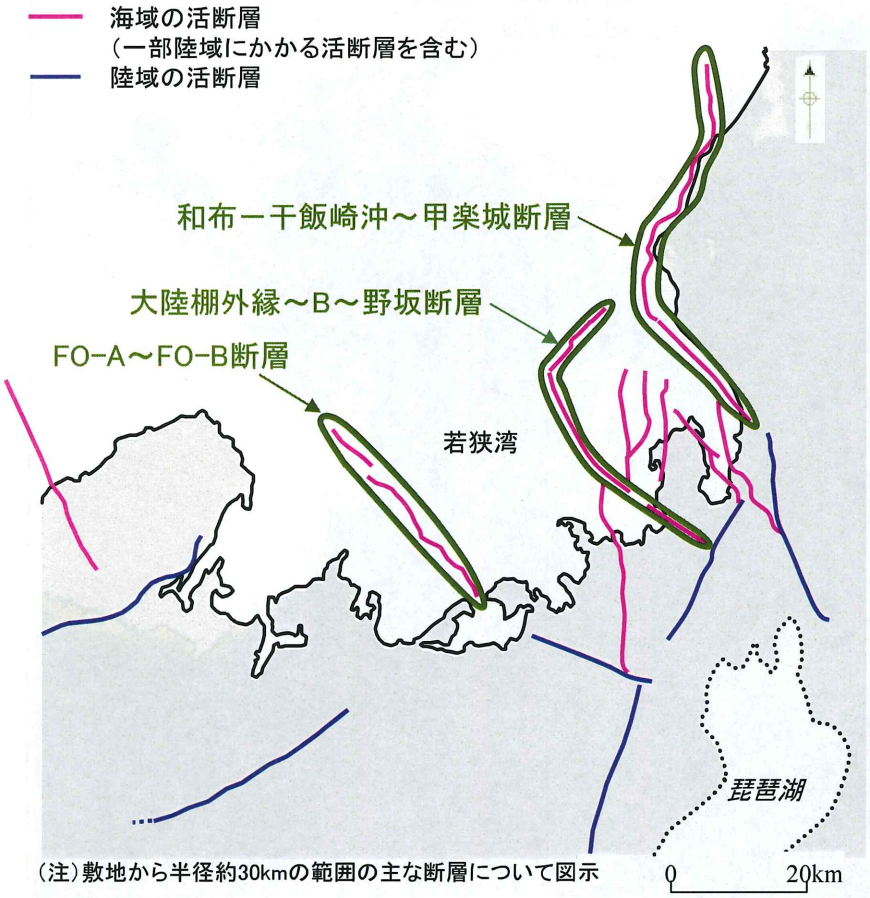


対象津波	長さ (km)	幅 (km)	すべり量 (m)	上縁深さ (km)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)	備考
1983年 日本海中部	40.0	30	7.60	2	40	90	相田の Model-10
	60.0	30	3.05	3	25	80	
1993年 北海道南西沖	90.0	25	5.71	10	35	80	高橋他の DCRC-26 モデル
	26.0	25	4.00	5	60	105	
	30.5	15	12.00	5	60	105	

1983年日本海中部地震及び1993年北海道南西沖地震による津波の再現性検討は、相田（1984）※1及び高橋他（1995）※2を用いた。

※1：相田勇(1984)：1983年日本海中部地震津波の波源数値モデル,東京大学地震研究所彙報,Vol59,pp.93-104.
※2：高橋武之・高橋智幸・首藤伸夫(1995)：津波数値計算による北海道南西沖地震の検討,地球惑星科学関連学会1994年合同大会予稿集,F31-06.

津波シミュレーション　解析モデル（敷地前面海域において同時活動を考慮する断層）



（注）敷地から半径約30kmの範囲の主な断層について図示

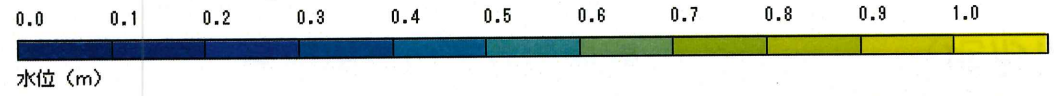
敷地周辺の主な活断層

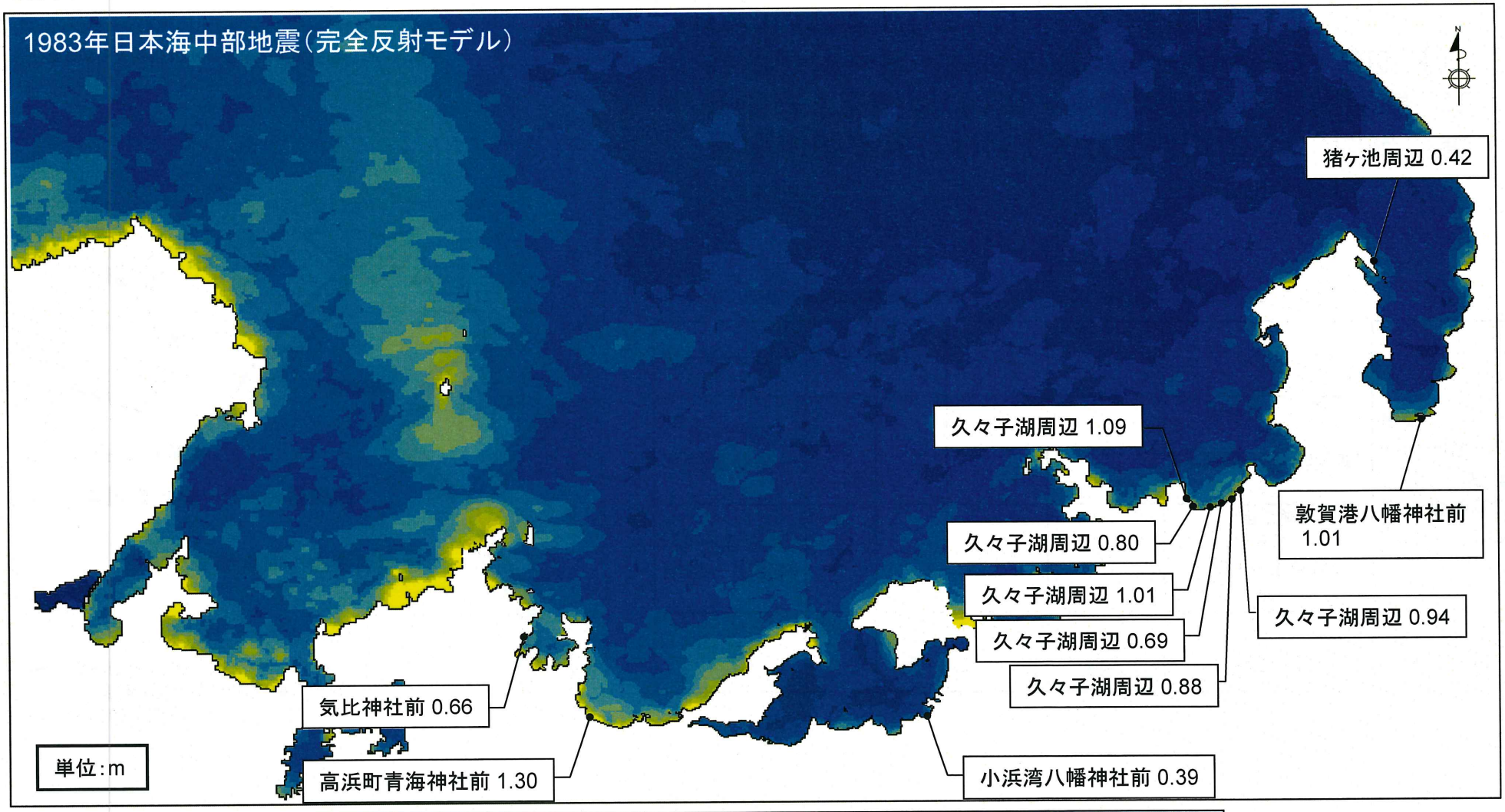
断層名	長さ (km)	幅 (km)	すべり量 (m)	上縁深さ (km)	傾斜角 (°)	すべり角 (°)
和布ー干飯崎沖～甲楽城	60	15	3.88	0	45（和布ー干飯崎） 90（甲楽城）	広域応力場※1の圧縮軸の方向90°と断層面の関係から算出
大陸棚外縁～B～野坂	49	15	3.76	0	60（大陸棚外縁ーB北部） 90（B南部ー野坂）	
FO-A～FO-B	35	15	2.91	0	90	

※1：広域応力場の圧縮軸の方向については、北から時計回りの角度で示す。

敷地前面海域における主な活断層のうち、同時活動を考慮する断層（和布ー干飯崎沖～甲楽城断層、大陸棚外縁～B～野坂断層、FOーA～FOーB断層）について津波シミュレーションを実施。
（地形は現在のもので解析）

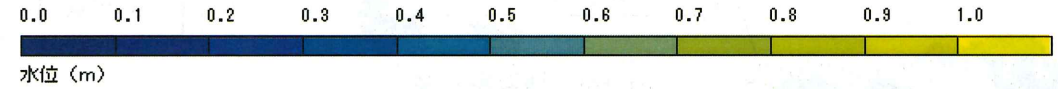
津波シミュレーション結果（1）

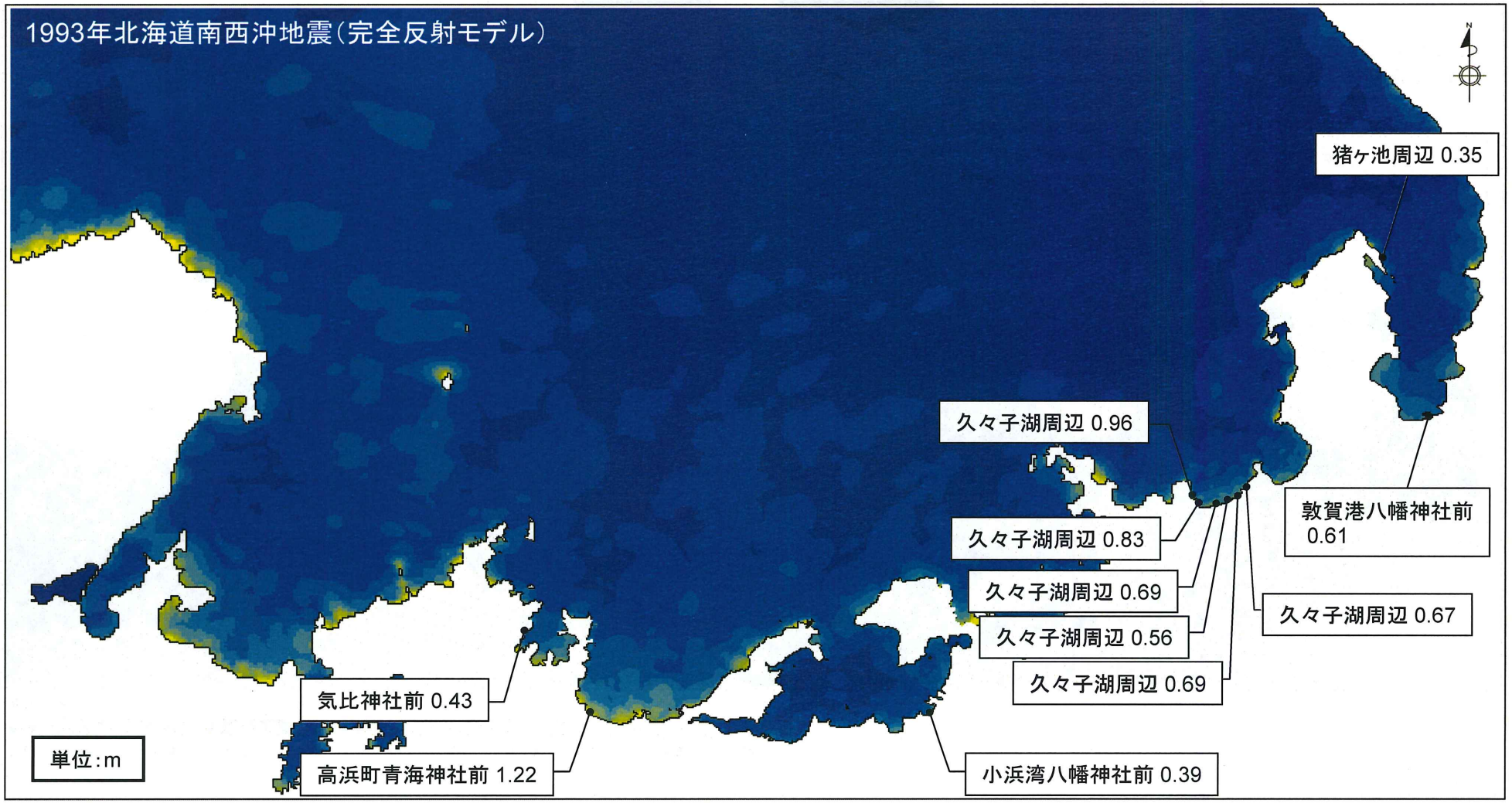




久々子付近における津波高さは1m程度となり、痕跡高とも整合する。

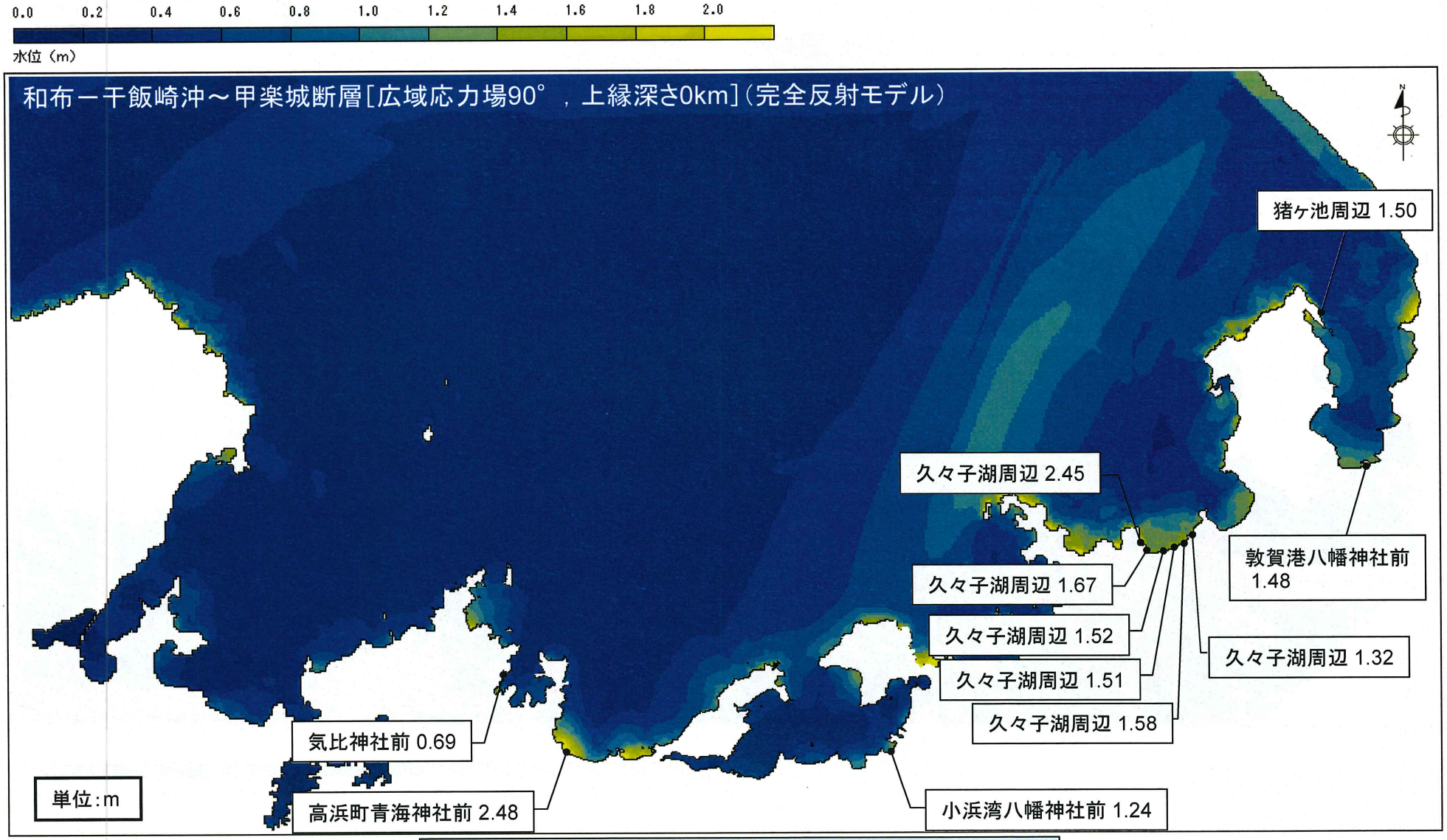
津波シミュレーション結果（2）





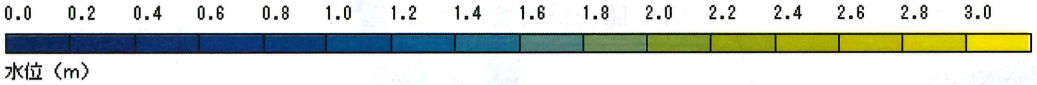
久々子付近における津波高さは1m程度となり、痕跡高とも整合する。

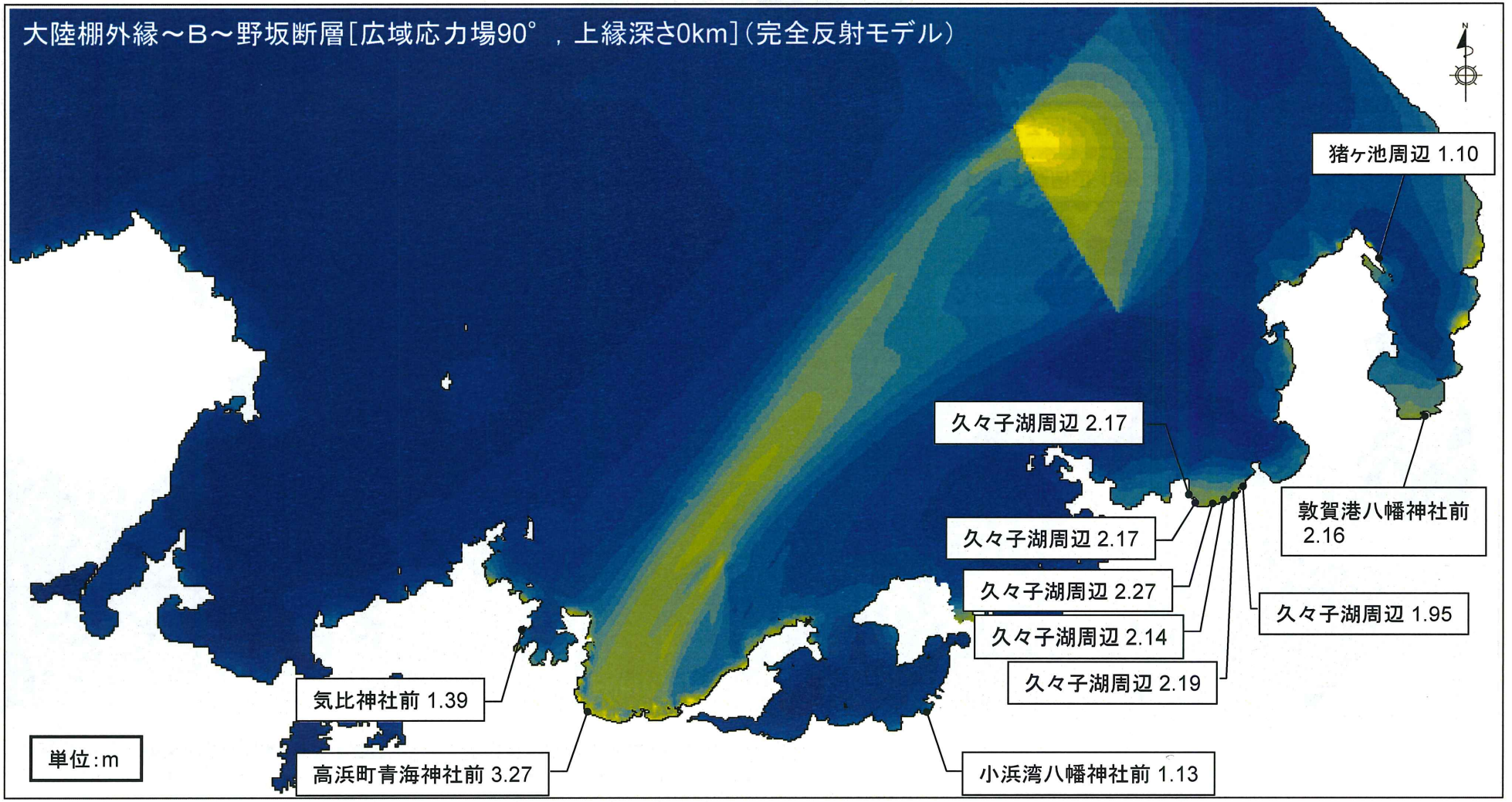
津波シミュレーション結果（3）



久々子付近における津波高さは2m程度となる。

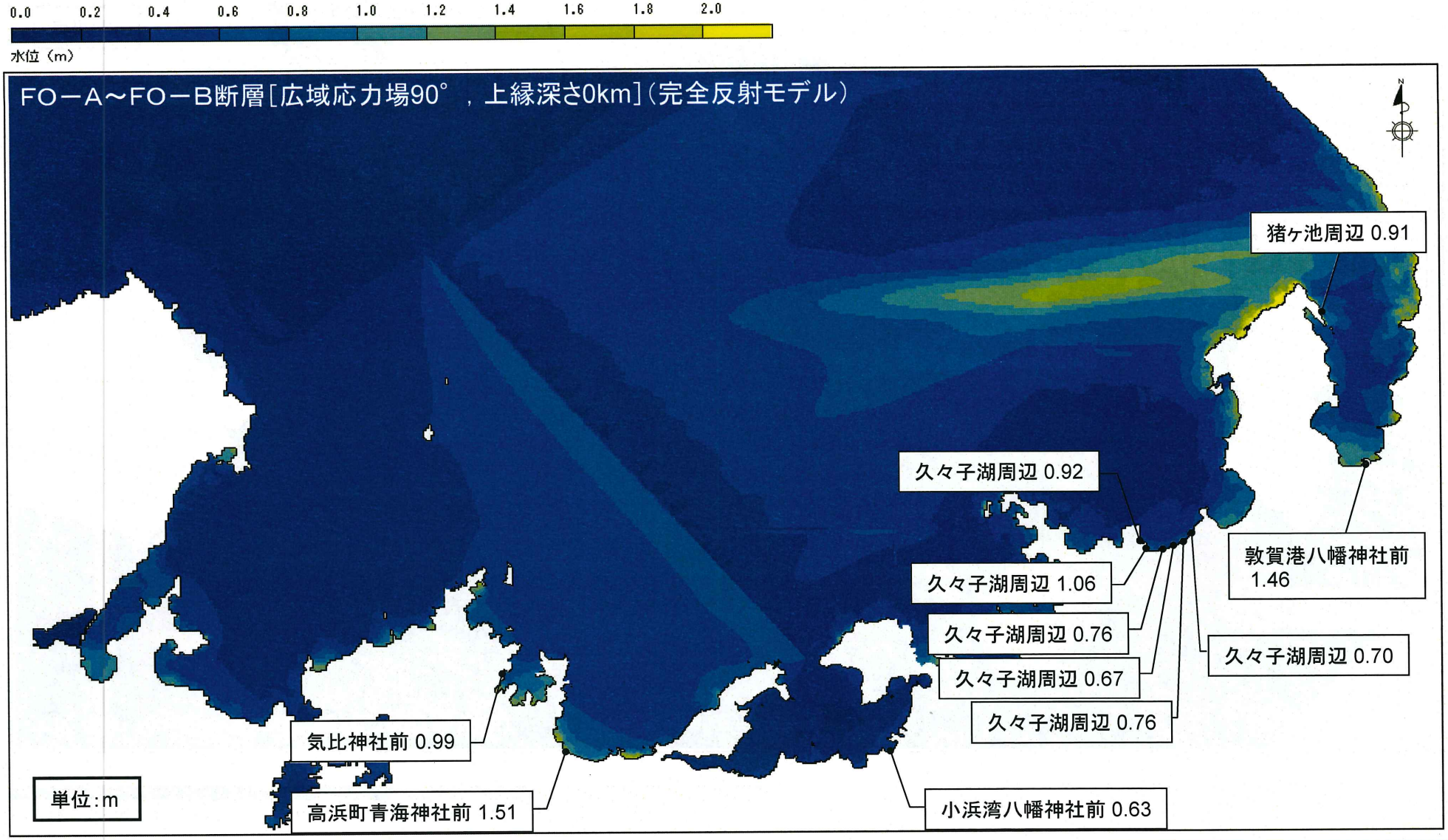
津波シミュレーション結果（4）





久々子付近における津波高さは2m程度となる。

津波シミュレーション結果（5）

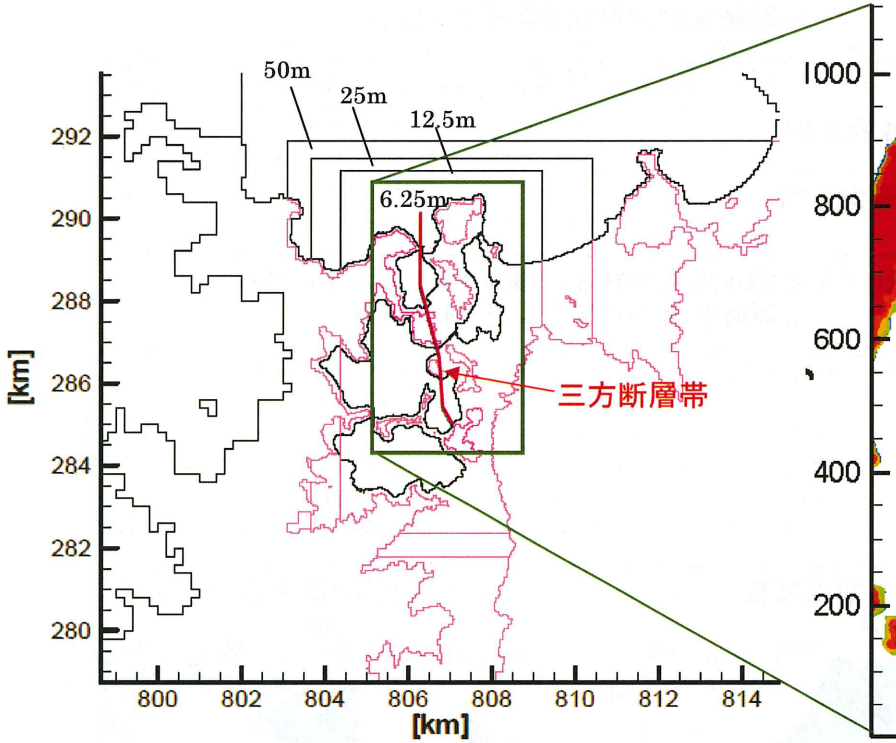


久々子付近における津波高さは1m程度となる。

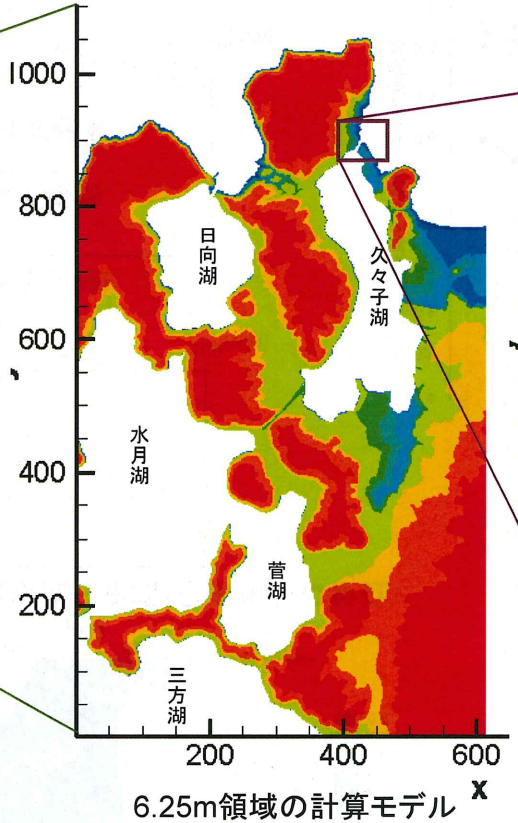
既往津波の痕跡及び津波シミュレーションの結果、久々子湖付近には色々な方向から高さ1～2m程度の津波が到達することを確認

津波シミュレーション検討～寛文地震前の地形モデル～

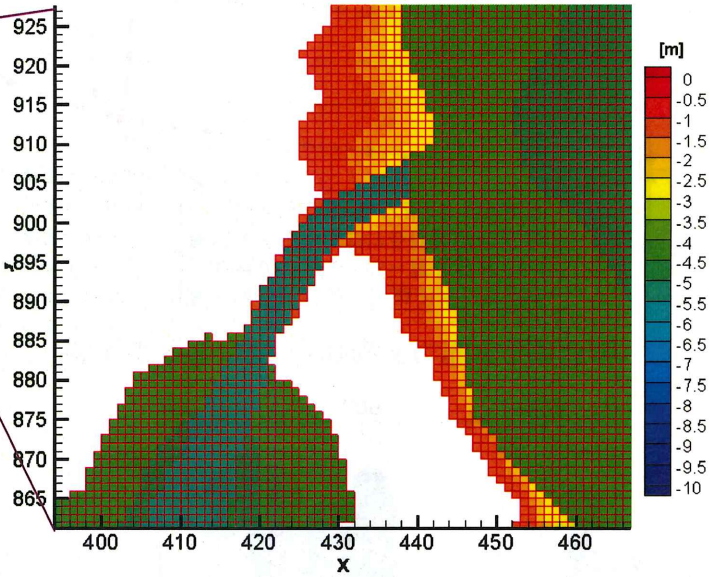
寛文地震前の津波計算モデル（遡上モデル）



空間格子間隔の設定（遡上モデル）



6.25m領域の計算モデル
（陸域標高分布）

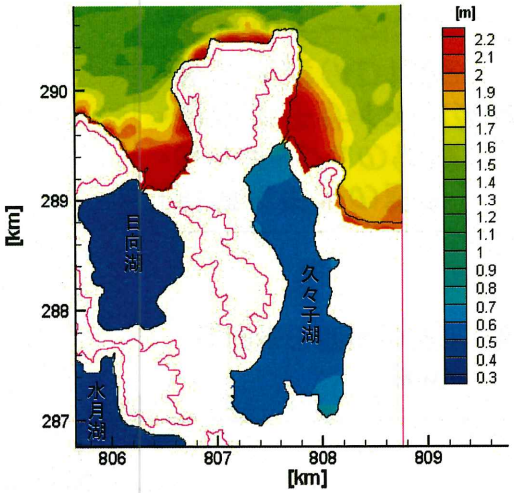


早瀬川河口付近の計算モデル

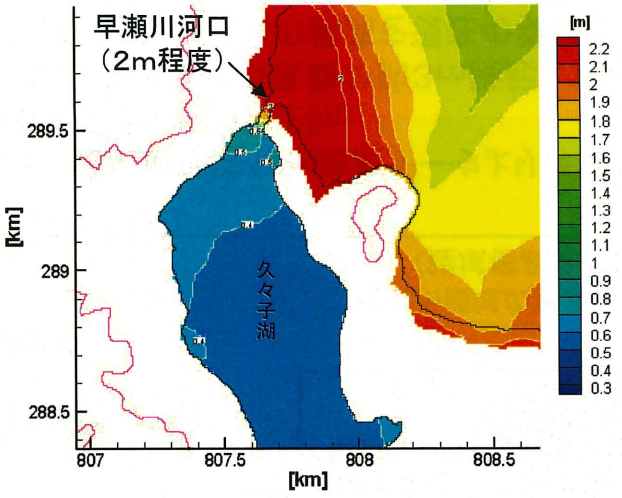
【計算モデルの設定】
- 50mメッシュの領域について、国土地理院10m標高データより計算モデルを作成。
- 最小格子サイズは久々子湖～菅湖付近の6.25m。
- 寛文地震（AD1662年）により三方断層帯の東側が約3m隆起していることから、6.25m～50m領域の陸域及び海域のデータについて、三方断層帯の東側の標高を現在の標高から3m差し引き、寛文地震前の計算モデルを設定。
- 久々子湖と水月湖の間の浦見川は、寛文地震後に開削されたため、閉塞した地形としてモデル化。
（現在の浦見川付近の標高を参考に8mとして設定）

津波シミュレーション結果（6）～寛文地震前の地形モデル～

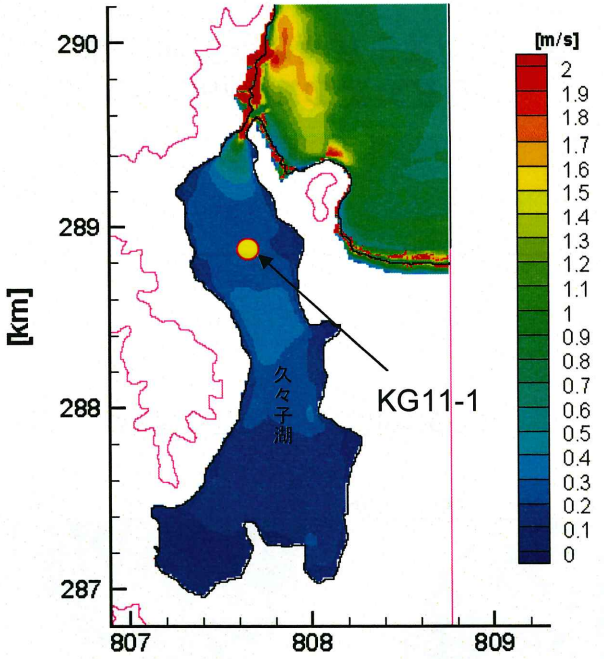
和布－干飯崎沖～甲楽城断層［広域応力場90°，上縁深さ0km］（遡上モデル）



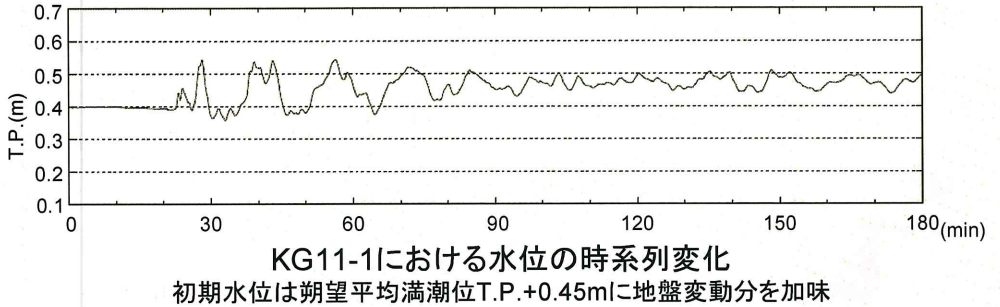
最大水位分布図（広域）



最大水位分布図（早瀬川河口付近）

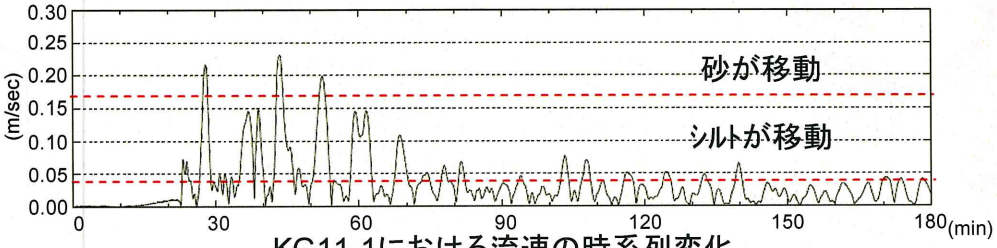


最大流速分布図（移動限界に関する岩垣式）

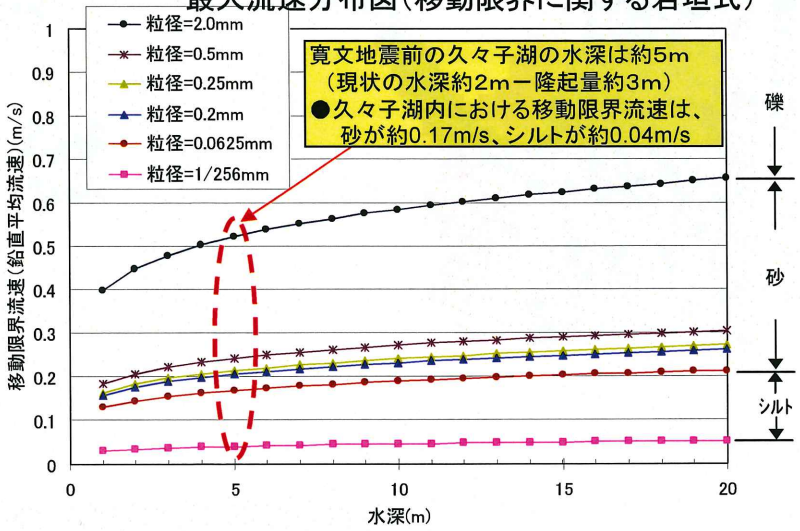


KG11-1における水位の時系列変化

初期水位は朔望平均満潮位T.P.+0.45mに地盤変動分を加味



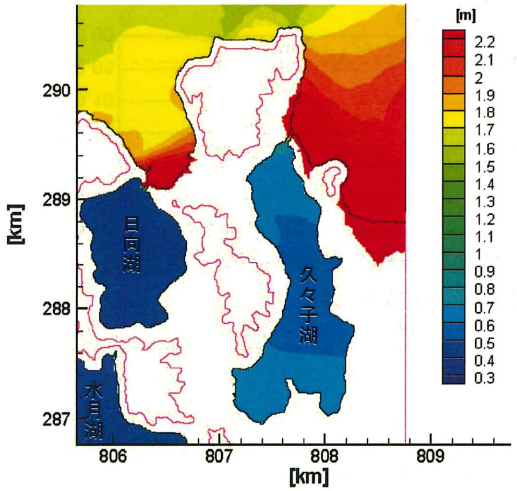
KG11-1における流速の時系列変化



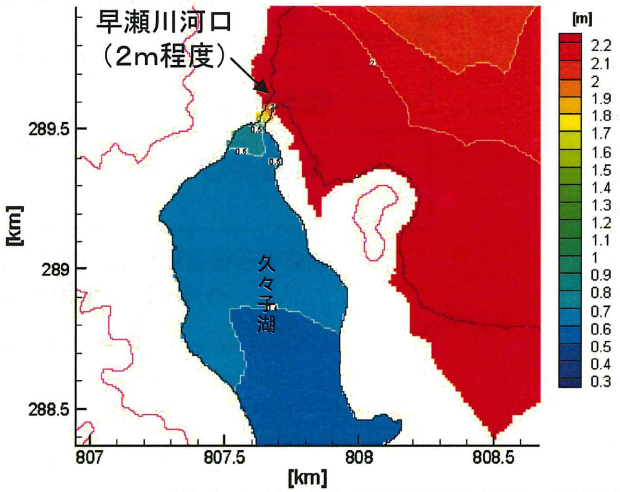
●久々子湖沖合いでは1m/s程度の流速が発生しており、砂移動が発生する。
●KG11-1における最大流速は約0.23m/sであり、早瀬川河口より砂は流れ込む。
●久々子湖内のシルトは移動し、シルト層中に浸食面が発生する。

津波シミュレーション結果（7）～寛文地震前の地形モデル～

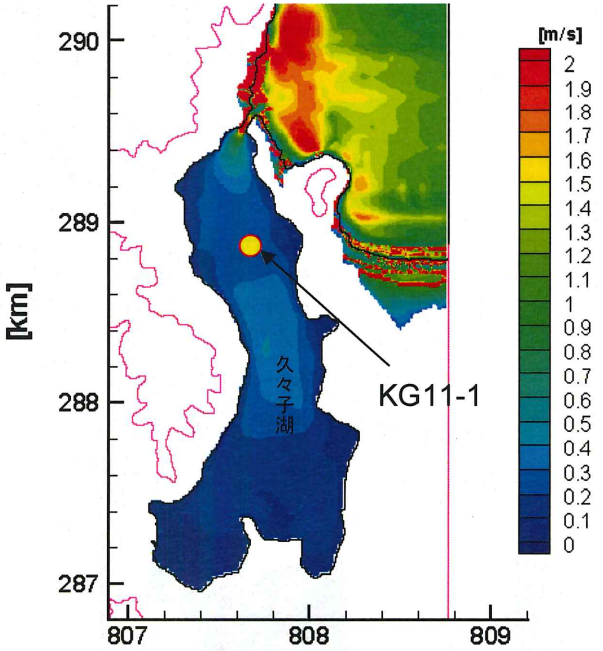
大陸棚外縁～B～野坂断層[広域応力場90°，上縁深さ0km]（遡上モデル）



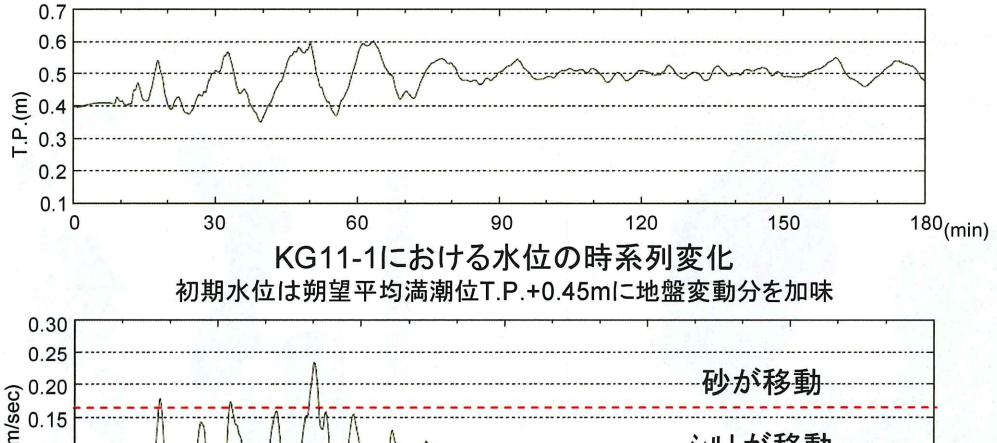
最大水位分布図（広域）



最大水位分布図（早瀬川河口付近）

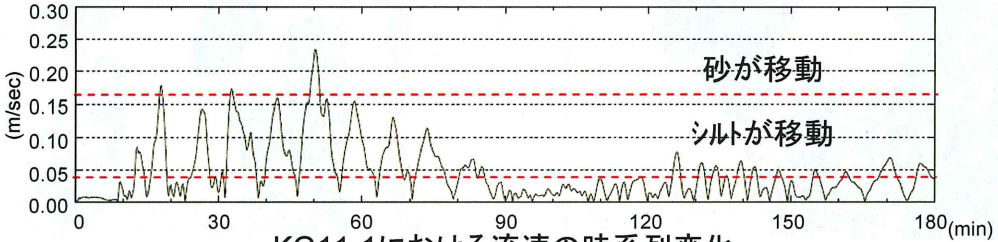


最大流速分布図（移動限界に関する岩垣式）

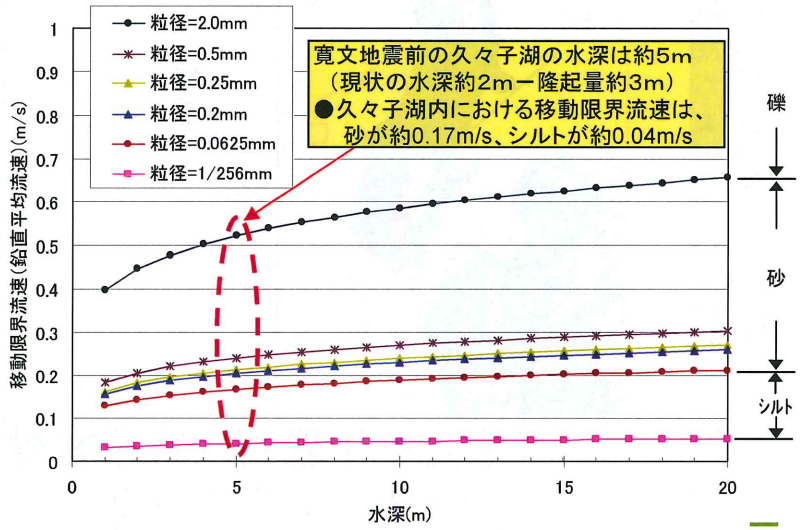


KG11-1における水位の時系列変化

初期水位は朔望平均満潮位T.P.+0.45mに地盤変動分を加味



KG11-1における流速の時系列変化



●久々子湖沖合いでは1m/s程度の流速が発生しており、砂移動が発生する。
●KG11-1における最大流速は約0.23m/sであり、早瀬川河口より砂は流れ込む。
●久々子湖内のシルトは移動し、シルト層中に浸食面が発生する。