

若狭湾沿岸における 津波堆積物の調査結果について

平成 25年6月12日

関西電力株式会社

日本原子力発電株式会社

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

津波堆積物調査の概要

1

1.調査目的

- ・ 若狭湾における津波の痕跡に関するデータ拡充を目的として、関西電力(株)、日本原子力発電(株)、(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)の3社共同で、津波堆積物調査を実施

2.調査位置

- ・ 三方五湖およびその周辺 早瀬、久々子・松原、坂尻地区(久々子湖東方陸域) 猪ヶ池

3.調査・評価方法

- ・ ボーリングにより、約1万年前以降(完新世)の地層をカバーするよう試料採取
- ・ 肉眼観察、X線CTスキャン、微化石層分析等を実施
- ・ 海から運ばれた痕跡(砂層、有孔虫など)を調査し、津波堆積物の有無を評価

水上ボーリング調査
(イメージ)



X線CTスキャン装置



4.調査期間

- ・ 平成23年10月～平成24年12月

【全体工程】

年	H23				H24												
月	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
現地着手		▼(三方五湖およびその周辺)				▼(久々子湖東方陸域、猪ヶ池)											
ボーリング		■				■											
試料分析		■															
総合評価			■							■							
報告			▲							▲					▲		
			天正地震を対象にした報告 (三方五湖及びその周辺)							天正地震を対象にした報告 (久々子湖東方陸域、猪ヶ池)					最終報告 (約1万年前以降)		

- 平成23年 3月25日 福井県原子力安全専門委員会において、日本海側津波の痕跡調査情報の蓄積の必要性が指摘された
- 9月 9日 3事業者による若狭湾沿岸における津波堆積物調査の実施計画を公表（三方五湖およびその周辺）
- 10月24日 ボーリング調査開始
- 11月11日 保安院（当時）から、津波堆積物の掘削調査を行い、原子力発電所への影響評価の実施について指示（11月18日計画書提出）
- 12月21日 天正地震による津波に関する津波堆積物調査の結果を報告 ➡ 5
- 平成24年 2月16日 保安院（地震・津波に関する意見聴取会※）での審議結果を踏まえ、3事業者による若狭湾沿岸における津波堆積物に関する範囲を拡大した追加調査の実施計画を公表

※ 地震・津波に関する意見聴取会

審議：平成23年12月27日、平成24年1月25日

ボーリングコアの現地調査：平成24年1月10日

- 2月17日 追加ボーリング調査開始
- 6月21日 天正地震を対象とした津波堆積物の追加調査結果を報告 ➡ 6
- 12月18日 約1万年前以降の津波堆積物調査の結果を報告 ➡ 7 ~ 15

堆積物を調査し、過去に発生した津波による堆積物の痕跡(津波堆積物)の有無を確認。

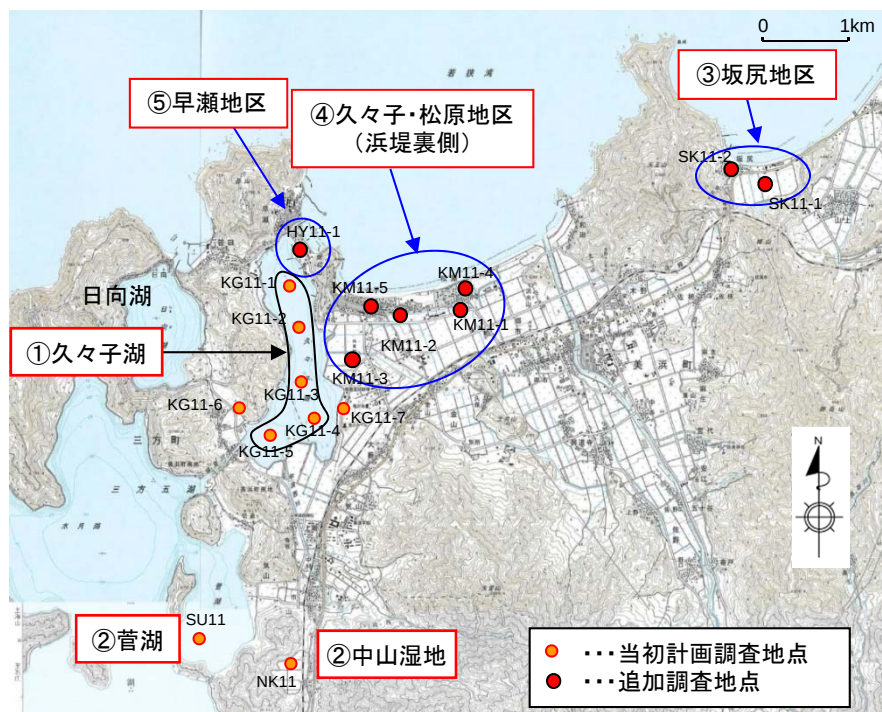
【調査位置】

- 若狭湾で最も堆積物の保存環境が良好と考えられる三方五湖およびその周辺※
(久々子湖5箇所、中山湿地1箇所、菅湖1箇所)
- 久々子湖東方陸域8箇所
(早瀬、久々子・松原、坂尻の各地区)
- 猪ヶ池6箇所(敦賀市明神町)

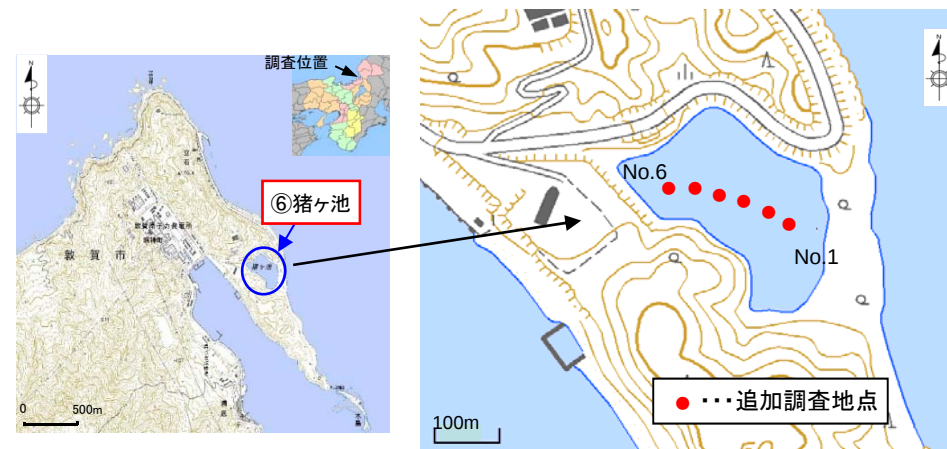
※ 既往津波の実績によれば、若狭湾に來襲する津波は湾内全域に痕跡を残していることから、若狭湾のほぼ中央付近の三方五湖は代表地点になり得る。

若狭湾沿岸では、海岸に近い平野で環境の穏やかな湖沼や湿地(堆積物にとって良好な保存状態が保たれる)である三方五湖が、調査地点として最適。

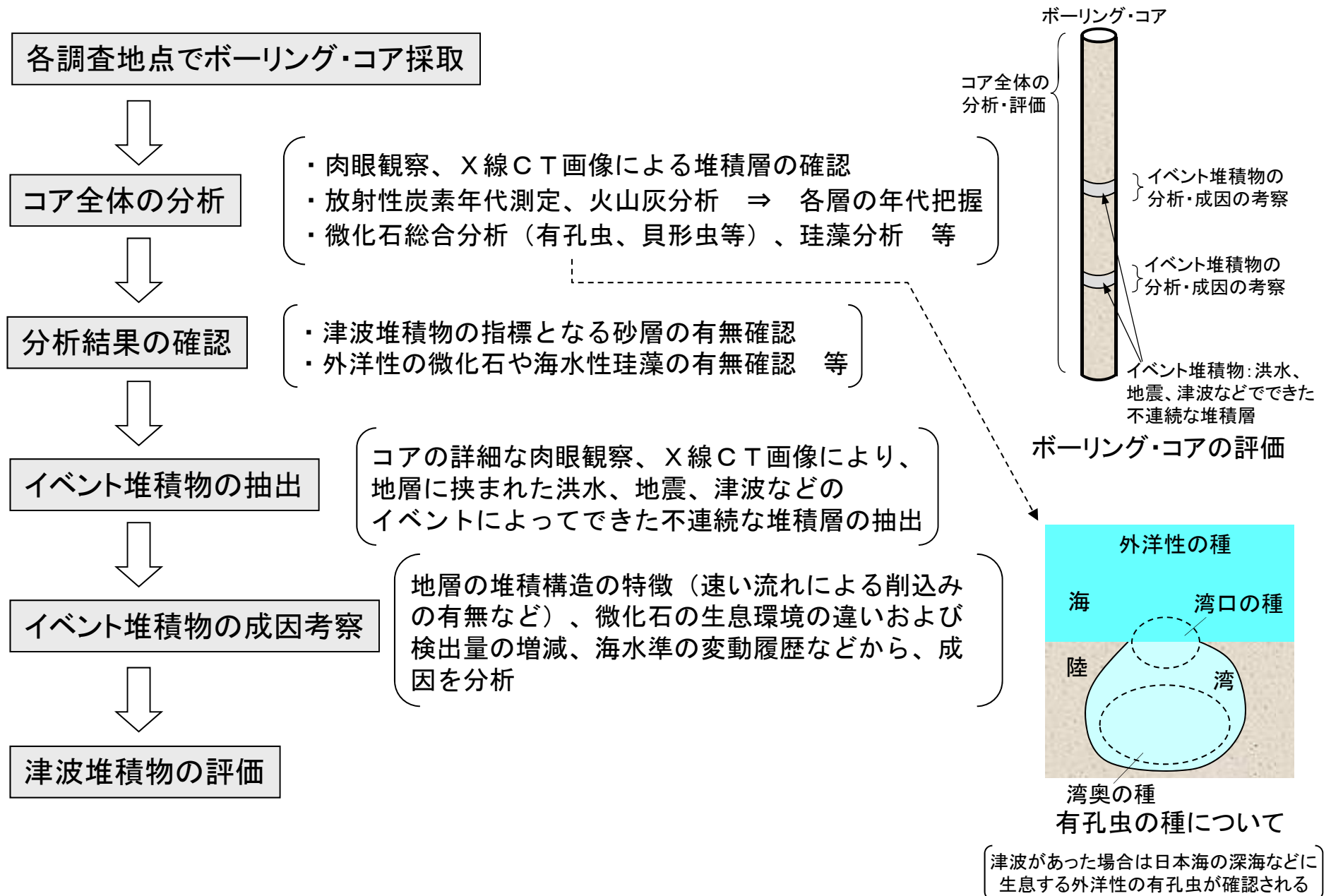
三方五湖及びその周辺・久々子湖東方陸域



猪ヶ池



(日向湖については、国が調査実施)



1.調査概要

文献において、天正地震(1586年)の際に大規模な津波を示す記載があったことから、津波の痕跡の調査を実施

2.調査結果

- フロイス日本史、兼見卿記他の4文献(内容が重複しており実質2文献)以外に、若狭湾沿岸の県市町村史誌に**天正地震による津波の記載は無し**
- 2神社(小浜市、敦賀市)において**天正地震以前に発行された文書や太刀が現存**しており、また宮司が常駐する神社から、過去、**津波が来たという記録はない**との回答あり
- 津波堆積物調査(ボーリングコアの評価)
 - すべての箇所で津波堆積物の指標となり得る**砂層は認められず**
 - 久々子湖の一部のボーリングコアから微量の有孔虫等が認められたが、**その他の地点では認められず**

3.事業者の評価

「天正地震による津波があったとしても、久々子湖における海側から遠い地点には至らない規模であった」と評価



津波堆積物調査地点(●)

○保安院(当時)の見解 (平成24年1月25日地震・津波に関する意見聴取会資料より)
「古文書に記載されているような天正地震による大規模な津波を示唆するものは無いと考えられるが、天正年間を含めてデータを拡充するために、津波堆積物について、更なる追加調査を行う」

天正年間も含めた津波の痕跡に関するデータ
拡充を図ることを目的として範囲を拡大して
津波堆積物の追加調査を実施

○調査結果

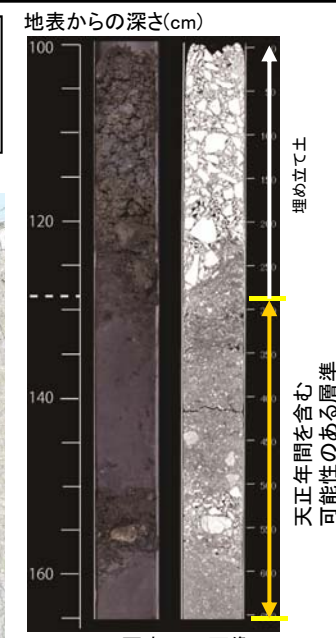
津波堆積物の識別が可能なコアにおいては、
天正年間の地層に津波堆積物の指標となり
得る**砂層、有孔虫等は認められず。**

※ 猪ヶ池の一部のコアにおいて、天正年間より古い地層で砂層が
確認されたが、砂州表層の崩壊によるものと評価。

○事業者の評価

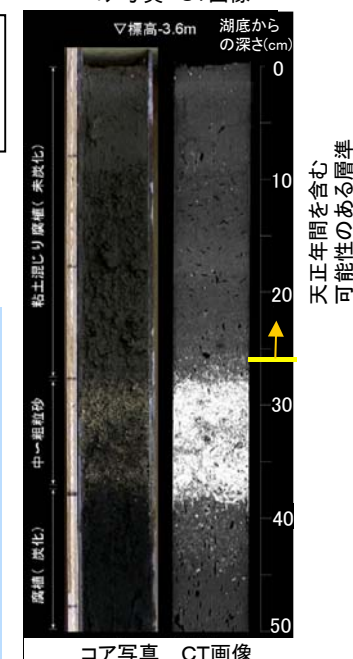
「古文書に記載されているような**天正地震による**
大規模な津波を示唆するものは無いと考えられる。」
とした**従来の評価と整合的**である。

コア写真(左)・
CT画像(右)の例
(坂尻地区SK11-2の一部)



コア写真 CT画像

コア写真(左)・
CT画像(右)の例
(猪ヶ池NO.1の一部)

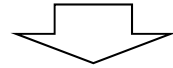


コア写真 CT画像

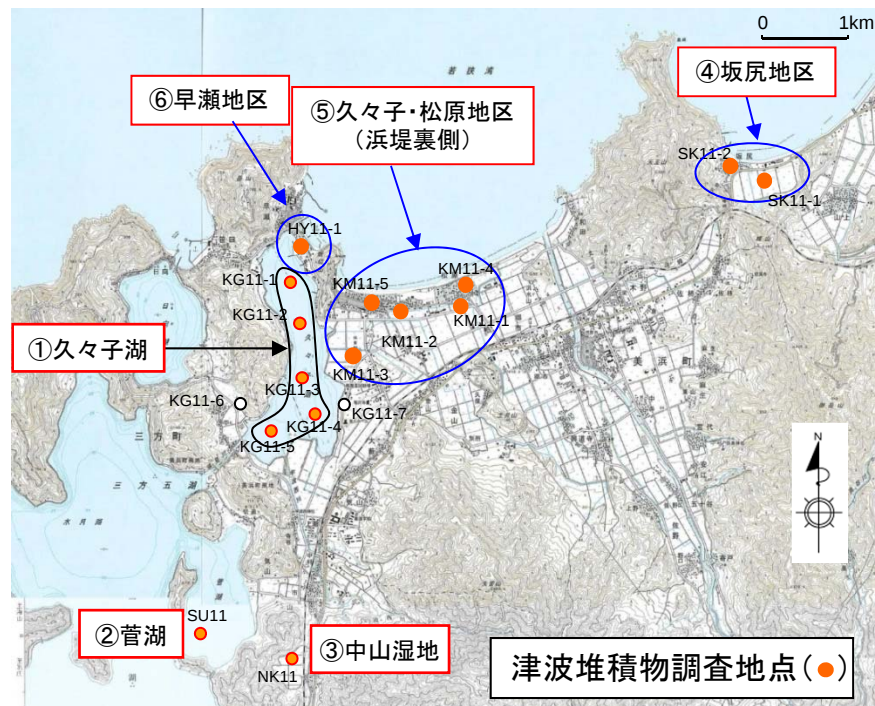
約1万年前以降の地層について、津波堆積物の分析を実施

○調査結果概要（三方五湖およびその周辺、久々子湖東方陸域）

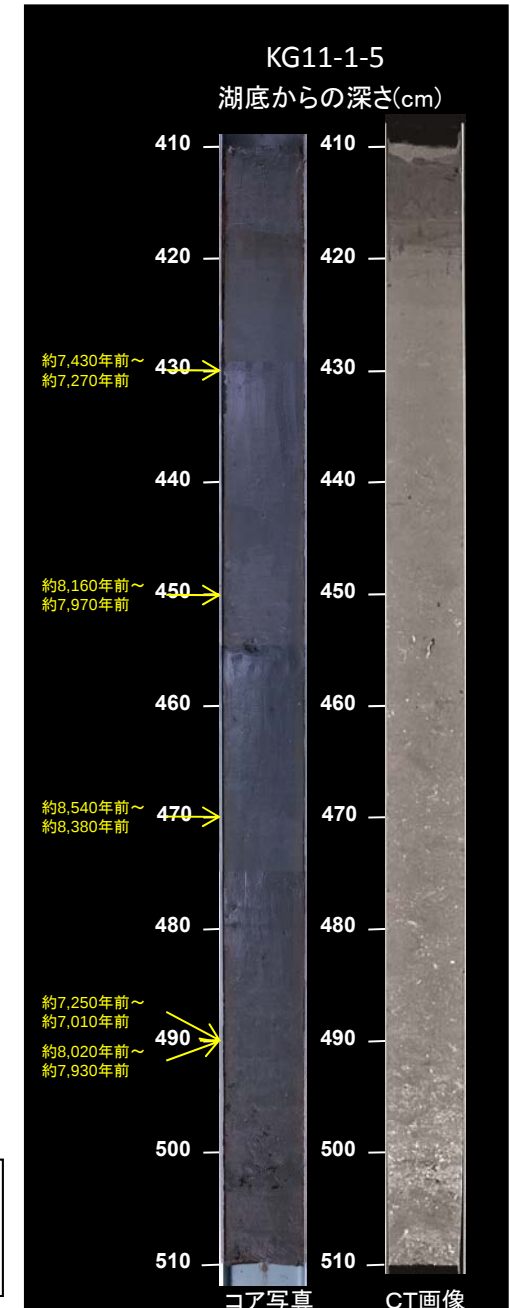
- ・ 約1万年前以降の地層に津波堆積物の指標となり得る砂層は認められなかった。
- ・ 一部で有孔虫が認められたが、内湾性の種であり、津波で運ばれるような外洋性のものは認められなかった。



- ・ 津波により形成されたと考えられる堆積物は認められなかった。



コア写真(左)・
CT画像(右)の例
(久々子湖KG11-1の一部)



①久々子湖での津波堆積物の調査結果

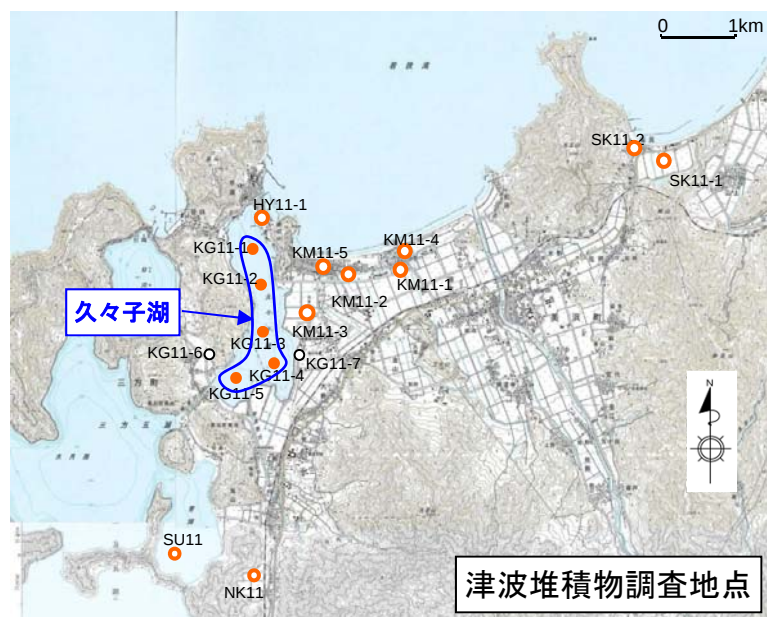
8

【コア全体の分析結果(層相観察・微化石総合分析等)】

地点	津波堆積物の指標 となり得る砂層	海生微化石					地層の年代 (14C年代・火山灰分析結果)
		有孔虫	貝殻	貝形虫	ウニ	海水性珪藻	
KG11-1	なし	湾奥の種 あり	あり	微量	微量	あり	約1.1万年前以降
KG11-2	なし	湾口～湾奥の種 あり	あり	微量	微量	あり	約1.1万年前以降
KG11-3	なし	汽水～湾奥の種 あり	なし	微量	なし	あり	約1.2万年前以降
KG11-4	なし	なし	なし	なし	なし	あり	約0.9万年前以降
KG11-5	なし	内湾の種 あり	あり	なし	なし	あり	約0.9万年前以降



- 久々子湖の地層は、内湾～汽水湖底堆積物からなり、津波堆積物の指標となり得る砂層は認められない
- 外洋性の有孔虫や、海水性珪藻の急激な増加はないことから、津波を示唆する急激な環境変化は認められない



【イベント堆積物の特徴と成因の検討】

イベント 堆積物 (13層)	地層	海生微化石		推定される成因
		有孔虫・ 貝形虫・ウニ	海水性珪藻	
1～13	シルト層	なし	微量 (淡水性珪藻が優勢)	・河川の洪水または 湖底地すべり



- いずれのイベント堆積物も、有孔虫・貝形虫・ウニが認められず、河川の洪水または湖底地すべりによる堆積物と考えられる

評価(久々子湖)

津波堆積物を示唆する痕跡は認められない

②菅湖・中山湿地での津波堆積物の調査結果

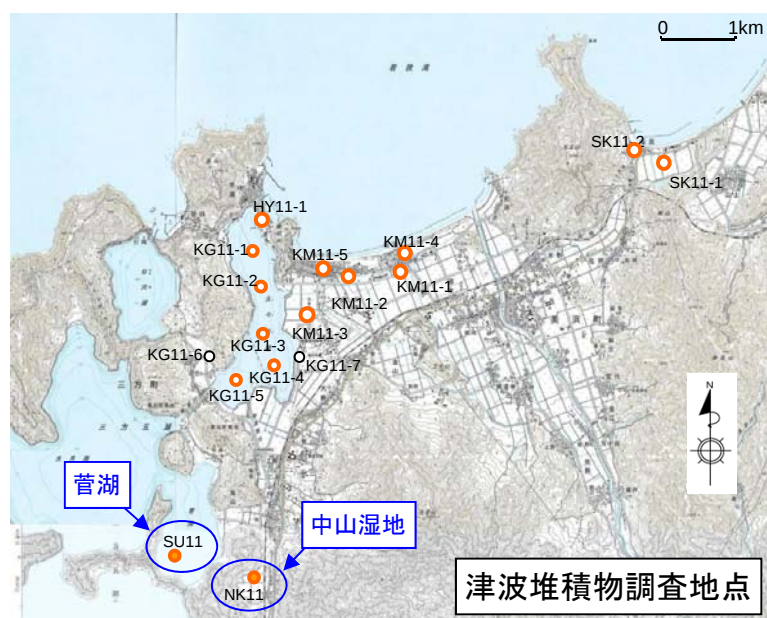
9

【コア全体の分析結果(層相観察・微化石総合分析等)】

地点	津波堆積物の指標 となり得る砂層	海生微化石					地層の年代
		有孔虫	貝殻	貝形虫	ウニ	海水性珪藻	
菅湖:SU11	なし	なし	なし	なし	なし	なし	約1万年前以降
中山湿地:NK11	なし	なし	なし	なし	なし	なし	約2.6万年前以降

【イベント堆積物の特徴と成因の検討(菅湖)】

イベント堆積物 (17層)	地層	海生微化石		推定される成因
		有孔虫・貝形虫・ウニ	海水性珪藻	
1～17	シルト層	なし	なし	・河川の洪水または 湖底地すべり



- 菅湖には、津波堆積物の指標となり得る砂層、有孔虫・貝形虫・ウニ・海水性珪藻が認められず、イベント堆積物もすべて河川の洪水または湖底地すべりによる堆積物と考えられる
- 中山湿地には、津波堆積物の指標となり得る砂層、有孔虫・貝形虫・ウニ・海水性珪藻、イベント堆積物は認められない

評価(菅湖、中山湿地) —————
菅湖、中山湿地いずれの地点においても、津波堆積物を示唆する痕跡は認められないと評価

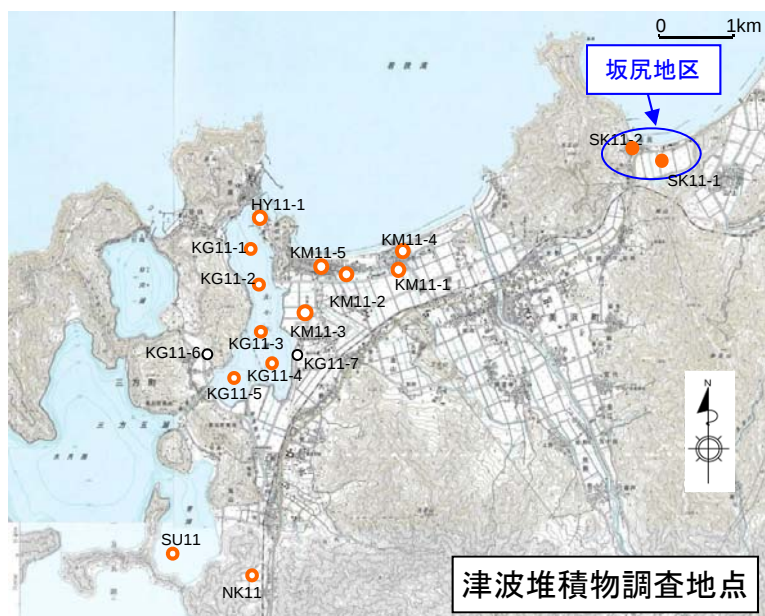
③坂尻地区での津波堆積物の調査結果

10

【コア全体の分析結果(層相観察・微化石総合分析等)】

地点	津波堆積物の指標 となり得る砂層	海生微化石					地層の年代 (14C年代・火山灰分析結果)
		有孔虫	貝殻	貝形虫	ウニ	海水性珪藻	
SK11-1	なし	なし	なし	なし	なし	あり	約0.8万年前以降
SK11-2	なし	なし	なし	なし	なし	あり	約0.8万年前以降

- 坂尻地区の地層には、津波堆積物の指標となり得る砂層は認められない
- 海水性珪藻の急激な増加はないことから、津波を示唆する急激な環境変化は認められない



【イベント堆積物の特徴と成因の検討】

坂尻地区では、イベント堆積物が認められない

評価(坂尻地区)
分析可能な範囲内において、津波堆積物を示唆する
痕跡は認められない

④久々子・松原地区での津波堆積物の調査結果

11

【コア全体の分析結果(層相観察・微化石総合分析等)】

地点	津波堆積物の指標 となり得る砂層	海生微化石					地層の年代 (14C年代・火山灰分析結果)
		有孔虫	貝殻	貝形虫	ウニ	海水性珪藻	
KM11-1	なし	なし	なし	なし	なし	なし	約1万年前以降
KM11-2	なし	なし	なし	なし	なし	微量	約1万年前以降
KM11-3	なし	湾奥部の種が微量	微量	なし	なし	微量	約0.9万年前以降

- 久々子・松原地区の完新世の地層は、浜堤、河川、内湾～汽水湖の堆積物からなる
- 外洋性の有孔虫や、海水性珪藻の急激な増加はないことから、津波を示唆する急激な環境変化は認められない

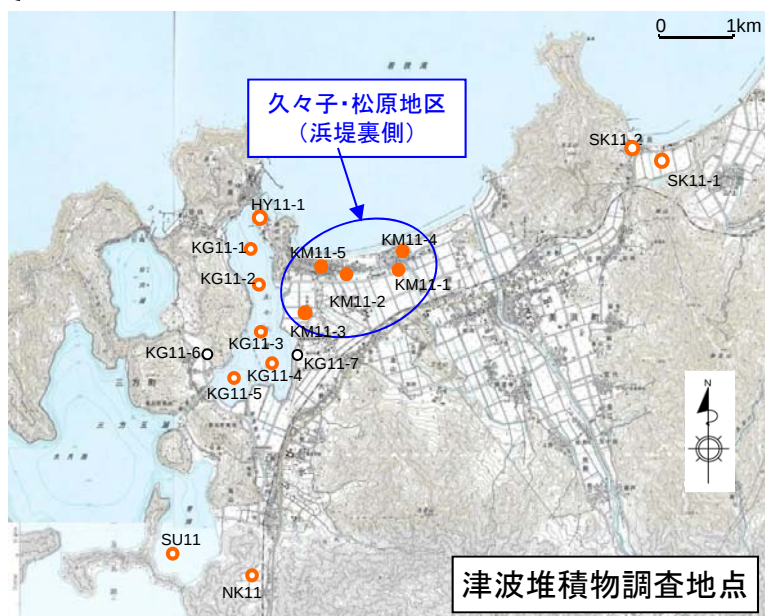
〔KM11-4、KM11-5については、観察した全層準にわたり、砂・礫からなり、津波堆積物の指標となり得る砂層の識別性を有さず、また年代測定試料が得られずに完新世の層準が特定できないことから、微化石分析、イベント堆積物の判定は行わず〕

【イベント堆積物の特徴と成因の検討(KM11-3)】

イベント 堆積物 (4層)	地層	海生微化石		推定される成因
		有孔虫・ 貝形虫・ウニ	海水性珪藻	
1～4	シルト層	なし	微量 (淡水性珪藻が優勢)	・河川の洪水または 湖底地すべり

- イベント堆積物には、有孔虫・貝形虫・ウニが認められず、河川の洪水または湖底地すべりと考えられる

評価(久々子・松原地区)
分析可能な範囲内において、津波堆積物を示唆する
痕跡は認められない



⑤早瀬地区での津波堆積物の調査結果

12

【コア全体の分析結果(層相観察・微化石総合分析等)】

地点	津波堆積物の指標 となり得る砂層	海生微化石					地層の年代 (14C年代・火山灰分析結果)
		有孔虫	貝殻	貝形虫	ウニ	海水性珪藻	
HY11-1	あり (イベント堆積物1)	内湾～浅海带※の種 あり	あり	あり	あり	あり	約1.4万年前以降

※日本海では40m以浅

- 早瀬地区の完新世の地層は内湾～汽水湖と湾口の堆積物からなる。
- 内湾～内部浅海带を示唆する有孔虫が検出されるが、湾口付近であること、久々子湖における内湾期(約5000～8000年前)のものであり、津波堆積物を示唆する急激な環境変化は認められない。

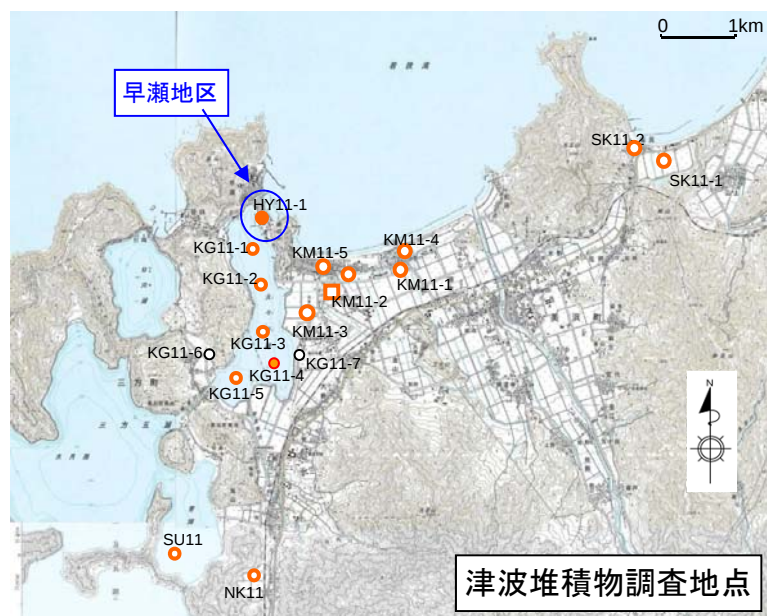
【イベント堆積物の特徴と成因の検討】

イベント 堆積物 (2層)	地層	海生微化石		推定される成因
		有孔虫・ 貝形虫・ウニ	海水性珪藻	
1	細礫層	なし	なし	・土石流による運搬
2	シルト層	なし	微量 (淡水性珪藻が優勢)	・河川の洪水または 湖底地すべり

- イベント堆積物には、いずれも有孔虫・貝形虫・ウニが認められず、河川の洪水等によるものと考えられる。

評価(早瀬地区)

津波堆積物を示唆する痕跡は認められない



⑥猪ヶ池での津波堆積物の調査結果(1)

13

【コア全体の分析結果(層相観察・微化石総合分析等)】

地点	津波堆積物の指標 となり得る砂層	海生微化石					地層の年代 (14C年代測定結果)
		有孔虫	貝殻	貝形虫	ウニ	海水性珪藻	
No.1～6	あり	なし～内湾※の種 あり	あり	あり	あり	あり	約1.3万年前以降※

※No.3地点の結果を代表として標記

- 猪ヶ池の完新世の地層は、池(淡水)～内湾(海水)の環境に変化している
- 堆積物中に砂層が認められた

【イベント堆積物の特徴と成因の検討】

通常時の 堆積物	イベント 堆積物 (11層)	地層	海生微化石		推定される成因
			有孔虫・ 貝形虫・ウニ	海水性珪藻	
池(淡水) の堆積物 (腐植)	1	シルト層	なし	なし	・湖底地すべり
	2	砂層	なし	なし	・砂洲・海底の砂と比較し、特徴(帯磁率の大きさ、海生微化石の有無)が砂州に類似していることを確認 ・池全体にわたって採泥調査を実施し、砂層は池の中心に広がらないことを確認 → 砂州の表面の砂層が小規模に崩壊したものと推定
	3、4	シルト層	なし	なし	・湖底地すべり
内湾(海水) の堆積物 (シルト)	5	不明瞭	なし	なし	・通常時と異なる地層(砂層)を確認
	6	砂層(火山ガラス多量)	なし	微量	・イベント7～11は、猪ヶ池とつながっていた海から運ばれてきた可能性あり
	7～11	砂層(一部砂礫層)	あり	あり	→ 高波浪または津波が成因の可能性あり

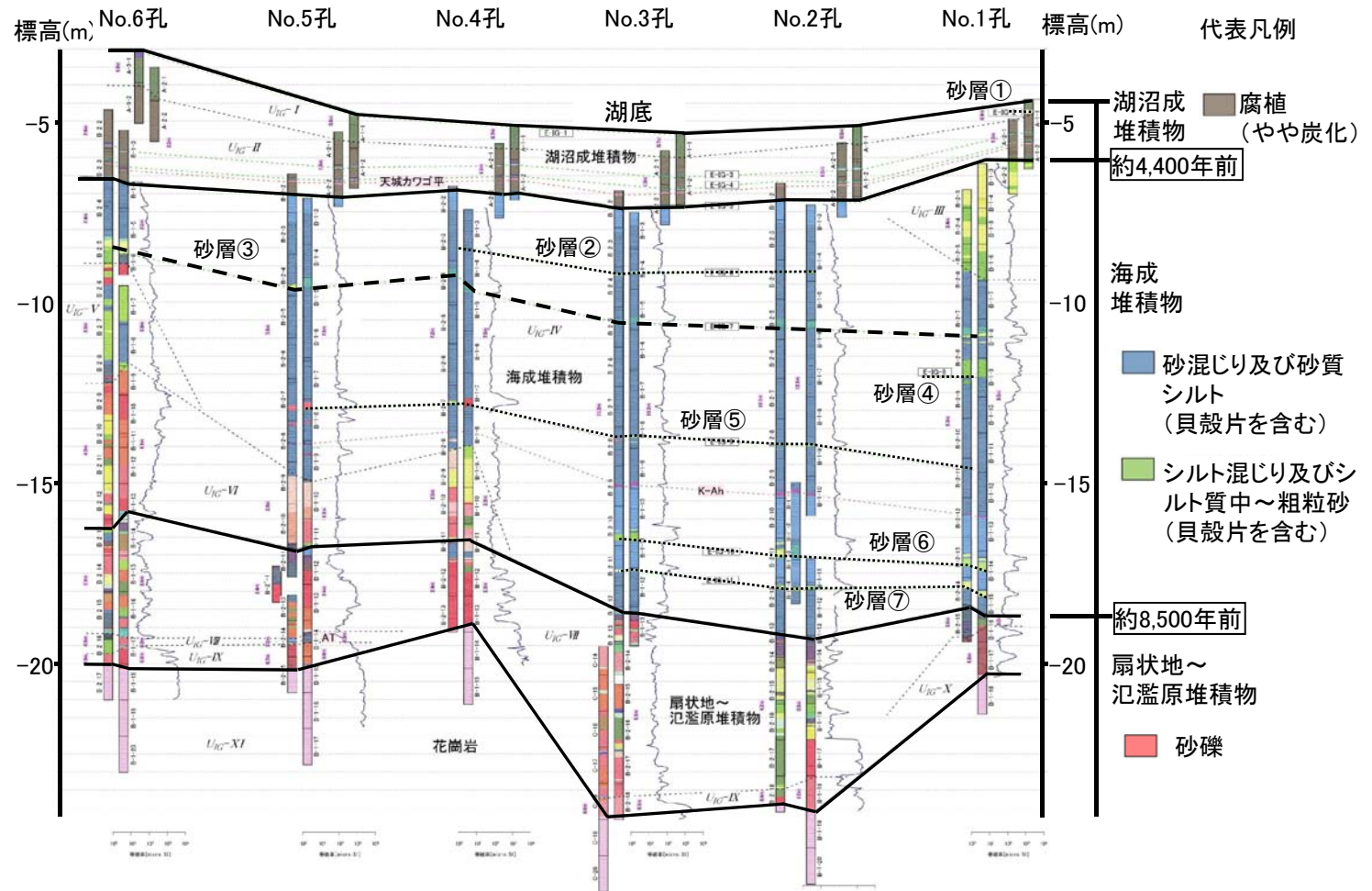
- イベント7～11の成因が津波と仮定した場合、池内に最も広く分布するイベント7を形成した津波が、最も大きなものであったと考えられるが、その津波は、三方五湖周辺や久々子湖東方陸域に津波堆積物を形成しない程度であったと考えられ、また現在の津波想定を上回るようなものではなかったことを確認している

⑥猪ヶ池での津波堆積物の調査結果(2)

14

評価(猪ヶ池)

- 約8,500年前～約4,400年前は内湾(海水)、約4,400年前以降は池(淡水)の環境であった
- 約4,400年前以前の海成堆積物中に、津波により形成された可能性のある堆積物(砂層)が確認された
- しかし、三方五湖周辺や久々子湖東方陸域に**津波の痕跡が残されていないこと等から、現在の津波想定を上回るようなものではなかった**ことを確認している



砂層①は砂州表層の崩壊によるもの
砂層②は火山灰の再堆積

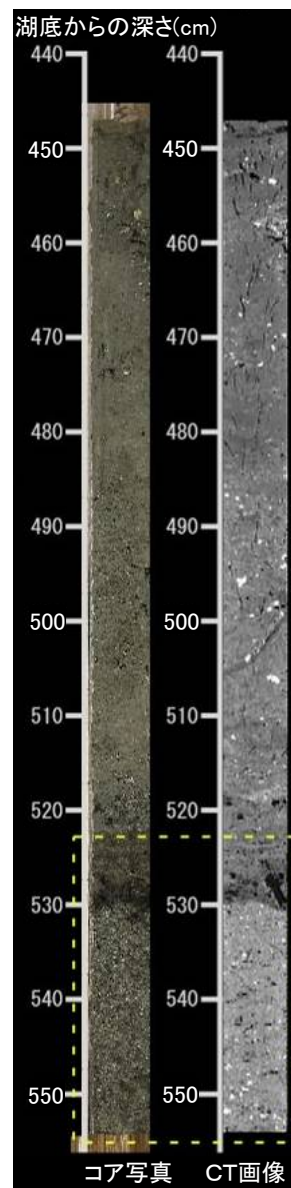
⑥猪ヶ池での津波堆積物の調査結果(3)

15

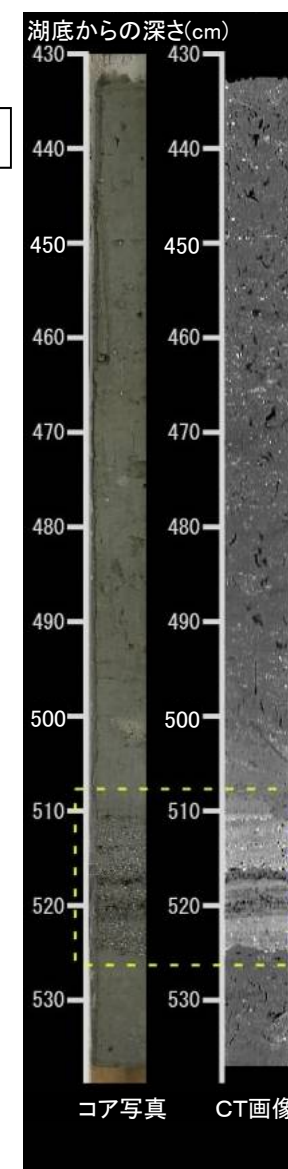
○調査結果(コア写真・CT画像)

コア写真(左)・
CT画像(右)の例

猪ヶ池No.6の一部



猪ヶ池No.3の一部



砂層③
(約5,300
~5,600年前)

1.天正地震を対象とした津波に関する評価

三方五湖及びその周辺、久々子湖東方陸域、猪ヶ池の調査結果から、古文書に記載されているような天正地震による大規模な津波を示唆するものは無いと考えられる。

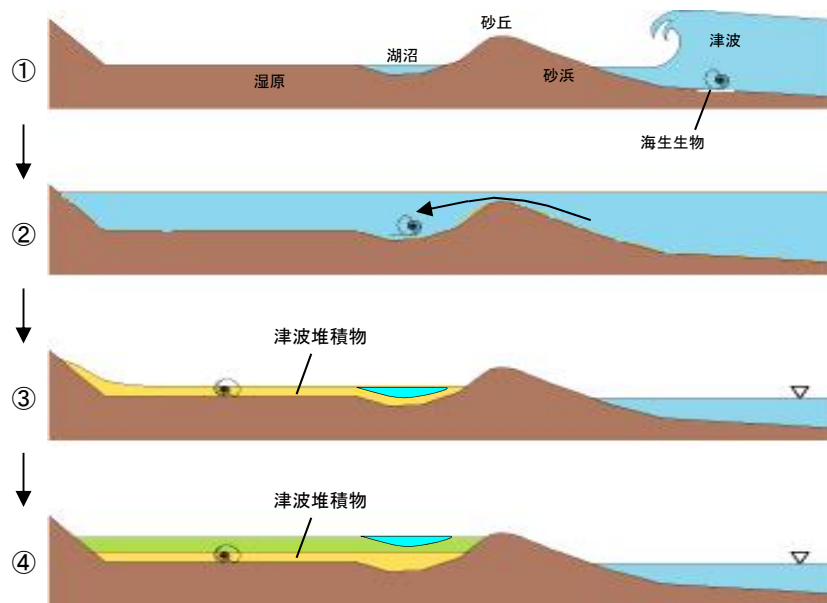
2.約1万年前以降(完新世)に関する評価

猪ヶ池では津波堆積物の可能性のある堆積物が認められたものの、三方五湖周辺および久々子湖東方陸域では津波を示唆する痕跡は認められず、発電所各サイトに影響を与える規模ではなかったと評価する。

津波堆積物調査の概要

<参考>

1. 津波堆積物の形成と保存



①図

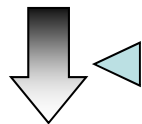
湿原や湖沼では、水の流が穏やかで、植物遺骸(泥炭)や泥がゆっくり堆積。

②・③図

津波来襲時には、砂丘を乗り越えて陸域に海水が浸入し、海生生物とともに、砂浜や砂丘の砂を湿原・湖沼まで運搬。

④図

津波が去った後、湿原は再び元の姿に戻り、泥炭や泥が堆積。その結果、砂の層(津波堆積物)が泥炭や泥層中に挟まった形で残る。



津波堆積物の調査は、**標高が低い平野で、かつ環境の穏やかな**(良好な保存状態が保たれる)**湖沼や低湿地**などで行う必要あり

○海生生物を含む砂層をボーリング調査し、津波堆積物を分析することによって、津波の発生時期や浸水範囲を把握可能

2. 津波堆積物調査の事例※

○過去に宮城県沖で起きた津波について、広範囲でかつ高密度に津波堆積物を検出
⇒発生時期、再来間隔、浸水範囲を高精度に把握

【十和田a火山灰とその下位に分布する貞観地震の津波堆積物の写真】



泥炭質シルト

To-aテフラ
AD915降灰

砂層
(869年貞観地震
津波堆積物)

泥炭質シルト

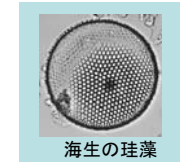
海浜堆積物

②放射性炭素年代測定法により、年代を同定

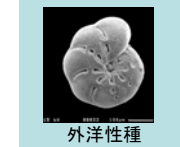
②火山灰の碎屑物の分析により、「いつ」「どこで」噴出したかを特定
⇒「帯磁率測定」で微量な火山灰も検出

①保存状態の良い珪藻等の生物分析により、「海生」or「陸生」を特定
(津波の有無が判明)

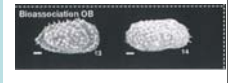
【珪藻分析】



【底生有孔虫分析】



【貝形虫分析】



潮間帯の海藻周辺・砂底に生息する群集

湾口部の砂泥底に生息する群集

②放射性炭素年代測定法により、年代を同定

①泥炭質シルトに挟まれた砂層の試料分析により、津波堆積物と同定

②火山灰(年代既知)や泥炭質シルトの年代測定から、津波堆積物が貞観地震による津波によるものと同定

⇒津波の浸水域や規模等の推定に重要な情報を提供