

能登半島地震と 原発の活断層評価

2024年3月28日

原子力規制を監視する市民の会

阪上 武

能登半島地震と原発の活断層評価

- 隆起量の大きい海成段丘面が連続する場合、前面に横たわる海底活断層の地震活動により形成された可能性を考慮すべき
- 海底活断層については、地形から認定する技術があるにも関わらず、音波探査を過度に重視することによる過小評価が、原発や核燃料施設の審査でもまかり通ってきた



能登の海岸調査の写真（ストーリーマップ） 石山達也（東大地震研）ほかより
<https://storymaps.arcgis.com/stories/40e7a9d10dd446279e465845b93339d2>

能登半島形成と地震どう関係？

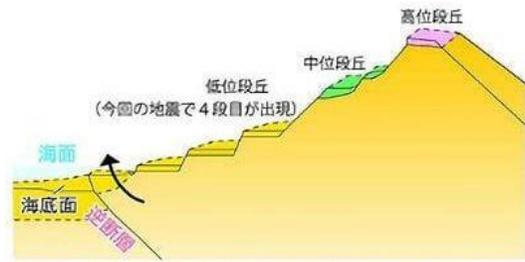


図1 能登半島沿岸に見られる海岸段丘のイメージ (立石さんの概念図をもとに作成)

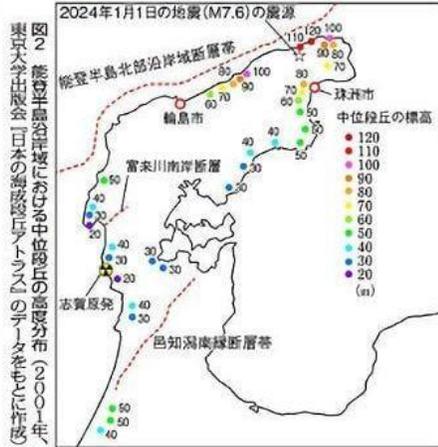


図2 能登半島沿岸域における中位段丘の高度分布の2024年、東工大大学院生立石さんの調査結果をまとめた図 (立石さん提供)

海岸段丘 海によって運ばれた土砂などが堆積した平坦な浅い海底が、地震によって隆起したり海水面が低下したりすると、地上に平坦な面が現れます。その後、海に面する所は波などによって浸食され、急斜面が形成。さらにその後、新たな陸地の隆起や海水面の低下などが長い年月を経て繰り返されることで、平坦な面と急斜面の地形が続く、階段状の地形となります。



最大震度7の揺れを観測した能登半島地震(M7.6)。半島北部沿岸では、広い範囲で地震が隆起しました。この地方では、地震によって海岸が隆起した、階段状の「海岸段丘」が繰り返し形成されてきており専門家は「規模が大きい地震が何回も起きた場所だったことがわかる」と指摘します。海岸段丘からみえてきた、能登半島の形成と地震活動との関係とは。(原千祐)

地震を引き起こしたのは、半島の南西側から北東の佐賀島方向に延びる150km程度の断層で、複数の活断層が運動した可能性が高いとみられています。新潟大学の「逆断層型」は、断層を押し合ったことで一方が乗り上げる形でずれる「逆断層型」。断面は南東方向へ傾斜しており、陸側の地盤が海側の地盤に乗り上げるように隆起が確認されました。



立石さん

海岸の隆起を繰り返す 標高120メートルに10万年前の堆積物



約4メートルの隆起が確認された輪島市門前町産儀(かいそ)漁港の防潮堤の様子(産業技術総合研究所地質総合センター提供)

原発立地 地形変動の評価重要

立石さんが注目するのは、半島北東部の中位段丘が分布する標高です(図2)。その高さは、全国同時期の堆積物の分布高度(標高約20〜30m)と比較しても異常に高く、北東部では、標高120mに分布する所もありません。「地震活動が非常に活発だったことを意味します。千〜数千年に1回の地震では、低位段丘として新たな段丘が形成されました。つに分けられます(図1)。今回の地震では、約4メートルの隆起が確認された輪島市門前町産儀(かいそ)漁港の防潮堤の様子(産業技術総合研究所地質総合センター提供)

立石さんは、富来川南岸断層と海城の断層が運動して地震が発生した際、巴知洞南岸断層が動いた際に、原発敷地内の断層が動くかどうかの検証はされておらず、今後の地震評価の重要なポイントになると強調しています。福井県の日本原子力発電所立地調査の対岸に位置する越前海岸付近も、中位段丘が標高120mに分布しているのがみられます。こうした地域について立石さんは「12万〜13万年前の堆積物が120mの高さにあるということは、能登半島と同規模の大地震が起きていることを示します」と説明。各地の沿岸にある原発周辺地域の地形が形成されてきた過程と、断層活動との関連の解析も必須課題だと訴えます。

志賀原発は 今回の地震では、北陸電力志賀原発から北約9kmに位置する富来川南岸断層も動き、断層に沿って数十センチほどのずれやたわみが、日本地質学会の調査で確認されました。立石さんは、志賀原発の敷地内や周辺の断層について調査し、原発から北側の富来川南岸断層に向かって中位段丘の分布高度が高くなり、最も高い所は40m超にあることを明らかにしました。立石さんは「今回動いた規模は小さいですが、中位段丘の分布高度から、今後、もっと動く可能性が考えられます」と説明します。富来川南岸断層は、海城へ続いている可能性がある」と指摘されています。懸念されるのは、志賀原発周辺の大きな断層が動いた際の敷地内にある断層への影響です。

2月11日付「赤旗」より

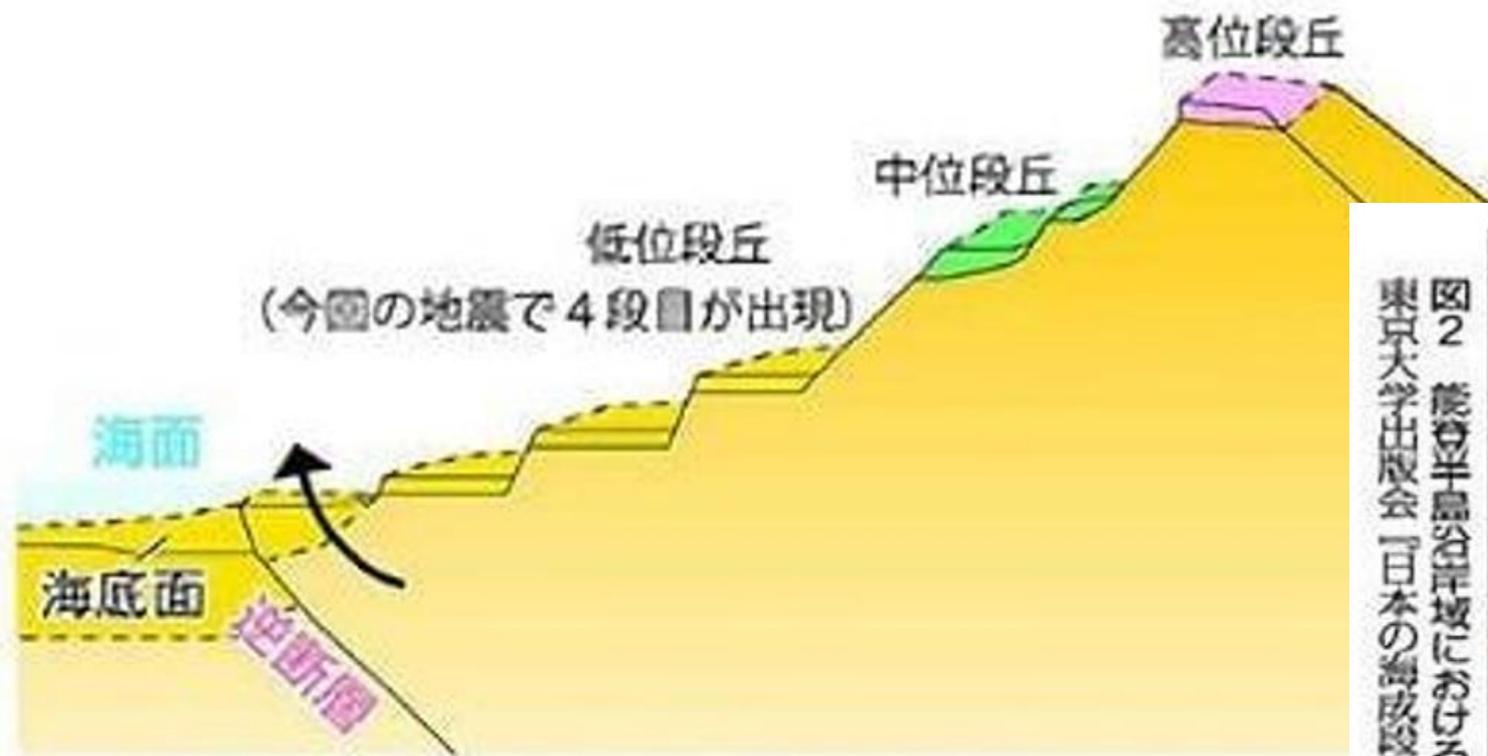
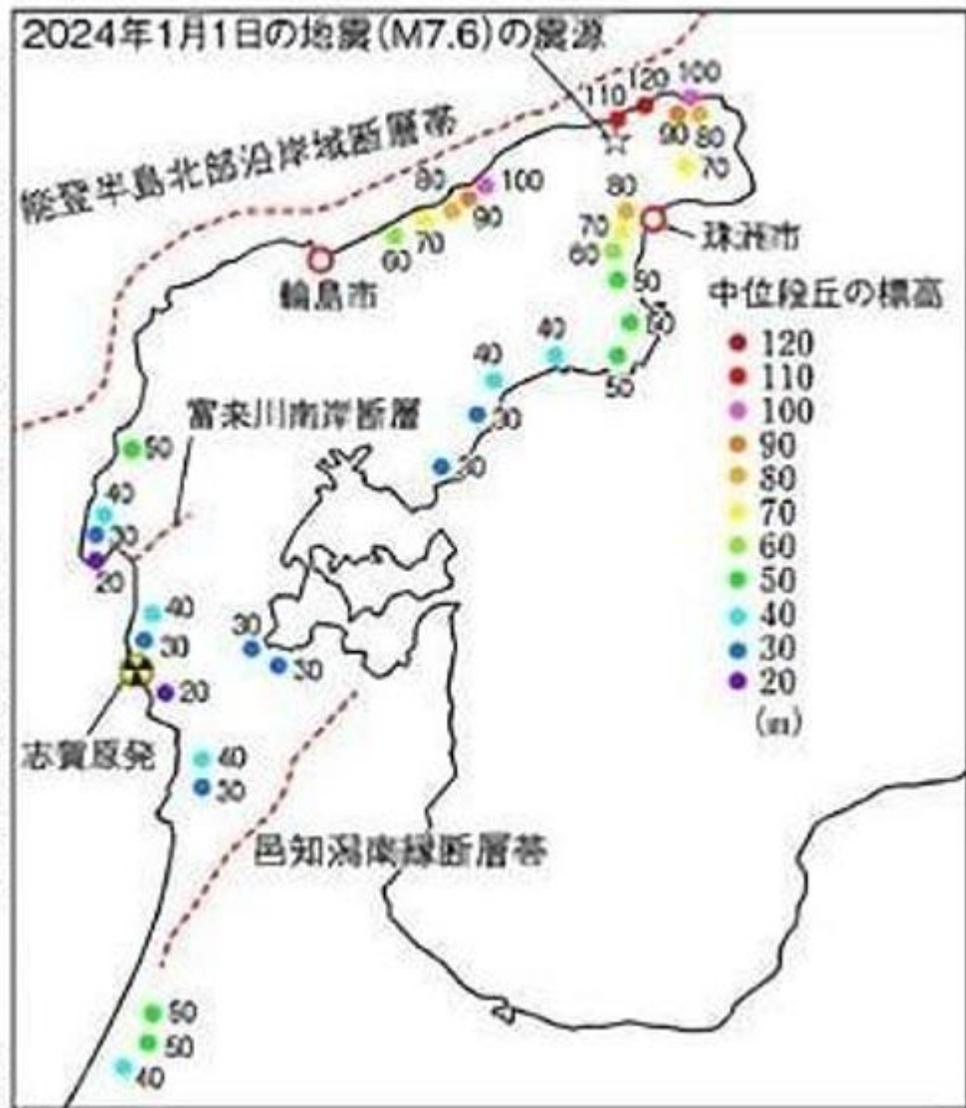


図1 能登半島沿岸に見られる海岸段丘のイメージ (立石さんの概念図をもとに作成)

2月11日付「赤旗」より

図2 能登半島沿岸域における中位段丘の高度分布(2001年、東京大学出版会『日本の海成段丘アトラス』のデータをもとに作成)



能登半島地震 ~海沿い景観一変~

繰り返された大規模隆起

最大4メートル 新たな海岸段丘が出現

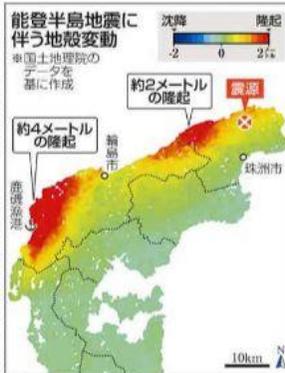
石川県能登地方で起きたマグニチュード(M)7.6の能登半島地震では、半島北部沿岸の広い範囲で、地盤が隆起しました。実は、この地方で地盤が隆起するのは今回が初めてではありません。昔から繰り返して地震が起き、そのたびに海岸が隆起し、防波堤の「海岸段丘」を一つ一つ築いてきたことが調査明らかになっています。研究者はこれまで半島を形作ってきたタイプの地盤が起き、新たな海岸段丘が形成されたことを報告しています。(柳原聖典)

北高南低

日本列島は、もともとユーラシア大陸の一部でした。約2千万~1500万年前、この大陸の東端が裂けて日本列島が分離し、今の位置まで移動しました。その裂け目が日本海です。でも、そのときまだ能登半島は存在していませんでした。

「なぜそんなに大きな地震が発生したのかを理解するには、地形、地質、地殻変動などを総合的に見ていく必要があります」と、東北大学の連田英教授(地質学)は話します。

連田教授は、輪島市から穴水町にかけての海岸にはほぼ垂直な方向で断面図を引くことに「北側が高く、南側は低くなっている」と強調。半島は北から南に傾く地殻変動(傾動)をしながら、いくつもの地面のブロックに分かれて隆起してきたと解説します。



能登半島地震に伴う地殻変動

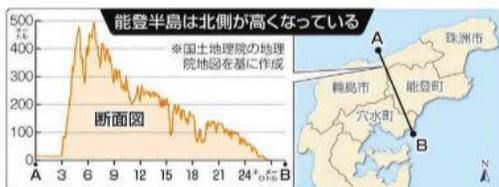
隆起 沈降

能登半島北の沿岸の海底は東西に複数の活断層があります。これらの断層は、岩盤が押し合うことで一方が乗り上げる形です。この逆断層型です。陸側の地盤が海側の地盤に乗り上げるようにずれ動くため、能登半島がせり上がるように隆起してきたと考えられています。

過去最大

能登半島地震では最大震度7を記録。震源は珠洲市の地下10キロの地点で、岩盤の深さは約1500メートルに及ぼしました。内閣府としては過去最大級の大きな地震です。震源断層のずれの大きさから計算する「モーメントマグニチュード(M_w)」は7.6で、これまでに国内最大級の内陸地震といわれる死者約3000人を出した1989年1年の「濃尾地震(M_w7.4)を回っています。

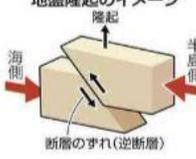
穴倉さんらのチームは地震発生



能登半島は北側が高くなっている

断面図

能登半島地震で起こった地盤隆起のイメージ



① 4メートル隆起が確認された鹿嶋漁港の防波堤
 ② 3.6メートル隆起した「波食槽」(奥の平らな部分)。前面は崖状になっている
 ③ 隆起して上がった「波食槽」
 (いずれも石川県輪島市で(能登研地質調査総合センター提供))



半島形成の一環 ■ 陸乗り上がる逆断層 ■ 「海底」は調査途上

マグニチュード 地震の規模を示す値で「M」の記号を使う。値が0.2大きい地震は約2倍、1.0大きいと約32倍、2.0大きいと約千倍のエネルギーを持つ。計算手法の違いによって複数の種類がある。気象庁が地震発生後すぐに発表するのは「気象庁マグニチュード(M_J)」。地震計が捉えた地震波の最大振幅などから計算し、素早く地震の規模を推定できる特長が

主な地震の隆起・沈降量

地震・発生日	マグニチュード	隆起・沈降量(最大)
大正西濃地震(関東大震災)	7.9	約2.0mの隆起
巨瀬川前部地震(阪神大震災)	7.3	約0.3mの沈降
東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)	9.0	約1.2mの沈降
能登半島地震	7.6	約4mの隆起

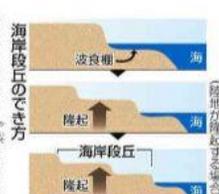
これまでは3段の海岸段丘の隆起量は1~3メートル。一方、2007年の能登半島地震(M_w6.6)では、穴倉さんらは地盤前か、能登半島北西部を調査しました。沿いには大規模な海岸段丘が少なくとも3段あり、今回の隆起で段丘4段目が形成されたとの見方を示します。

「約50メートルの隆起を確認しましたが、地殻変動が起きた範囲は広域ではありません」と穴倉さんは、3段の海岸段丘をつけた地震は、今回の能登半島地震と同じようにM7を超えるような規模なものだと推測。一番上にある最も古く段丘は6千年前にできたとされ、「千一千年前の間隔で、今回のような規模の地震が起きて地盤が隆起し、海岸段丘ができる」と分かった。隆起の高さから推定すると、今回の隆起は約4メートルの隆起が起き、可能性があると話します。

長期評価

政府の地震調査委員会は、1~4の主要活断層や8地域の海溝型地震などについて、地震の発生確率を測する「長期評価」を発表しています。活断層については当初の内陸のものに限っていましたが、17年からは海底活断層も加えて調査しています。

海底活断層で評価を終えたのは九州・中国地方北方中のみで、能登半島中は調査の途上で、海



海岸段丘の形成

波食槽

隆起

隆起

小さな疑問 お寄せください

不思議だが人には聞けず調べようもない疑問に答えるコーナー「人には聞けない2.0」を毎月1回程度掲載しています。電話番号を明記し早100 8505(住所不要)東京新聞・中日新聞科学班まで。ファクスは03(3595)6919。Eメールはkagaku@tokyo-np.co.jp

2月10日付

北陸中日新聞より

https://www.tokyo-np.co.jp/article/307296

震度では速報値がM J 7.9、確定値はMw9.0。

す。

去の状

理えに

比して

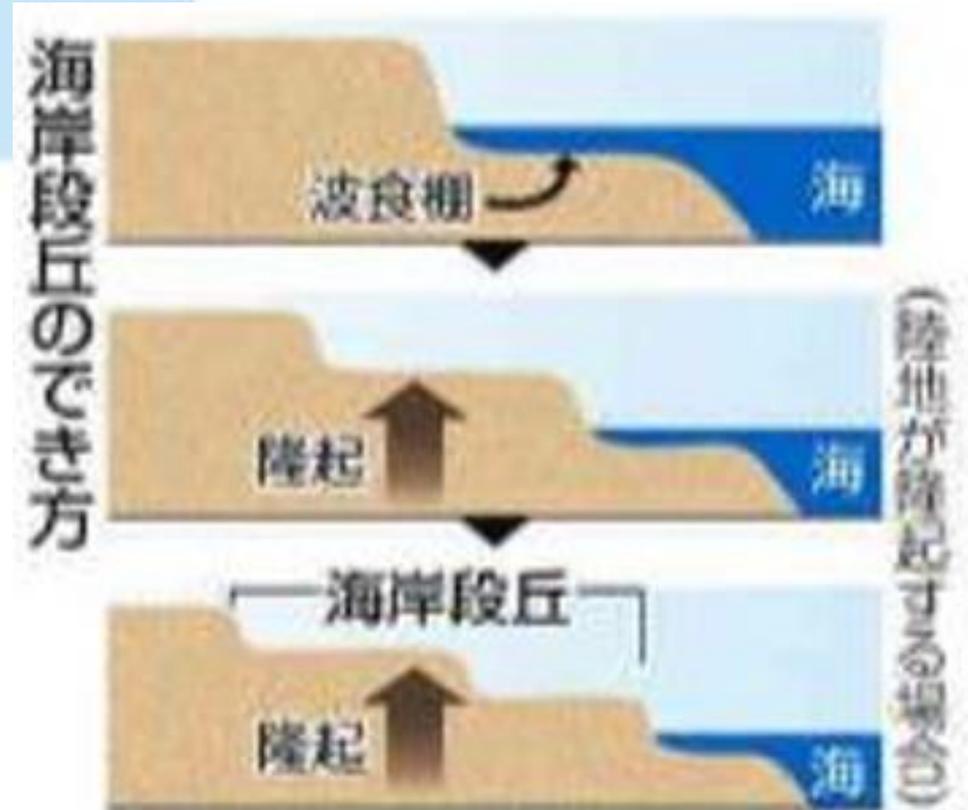
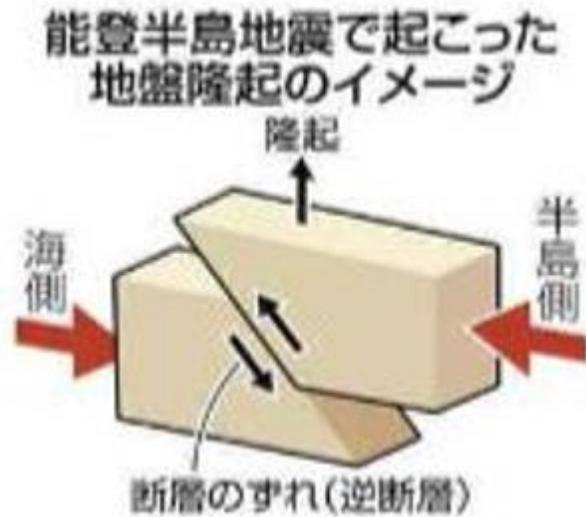
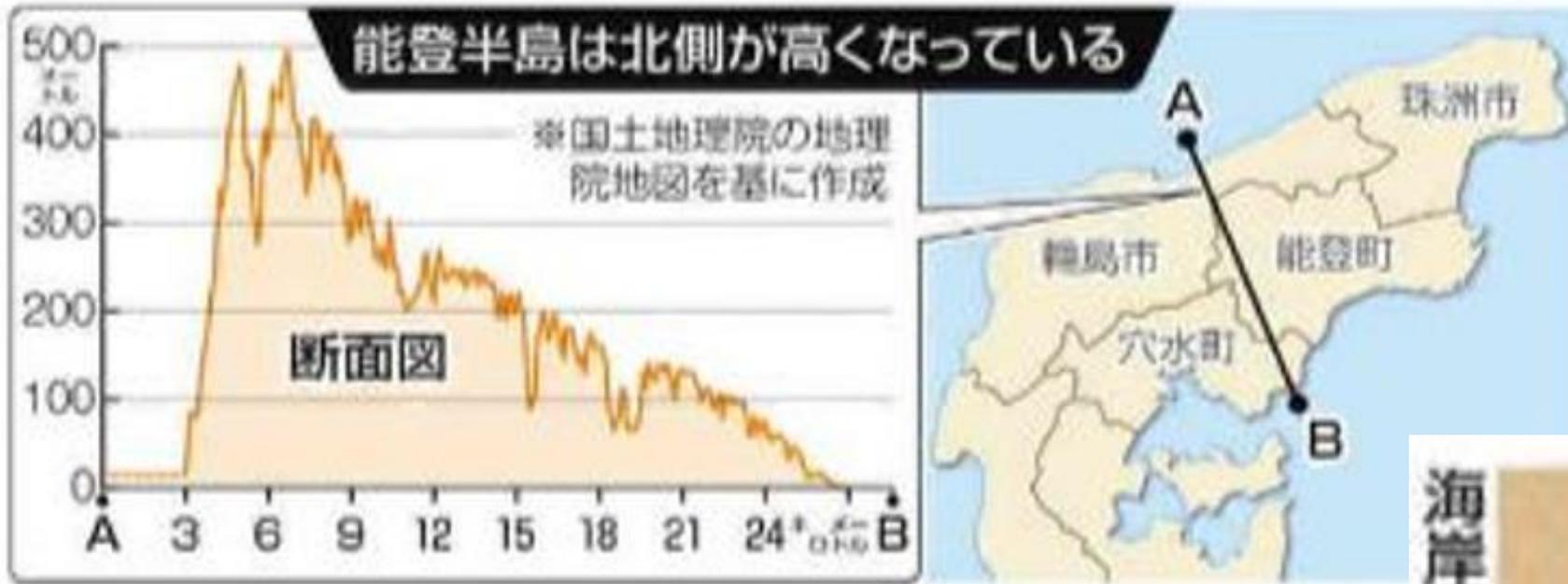
周期が

比べて

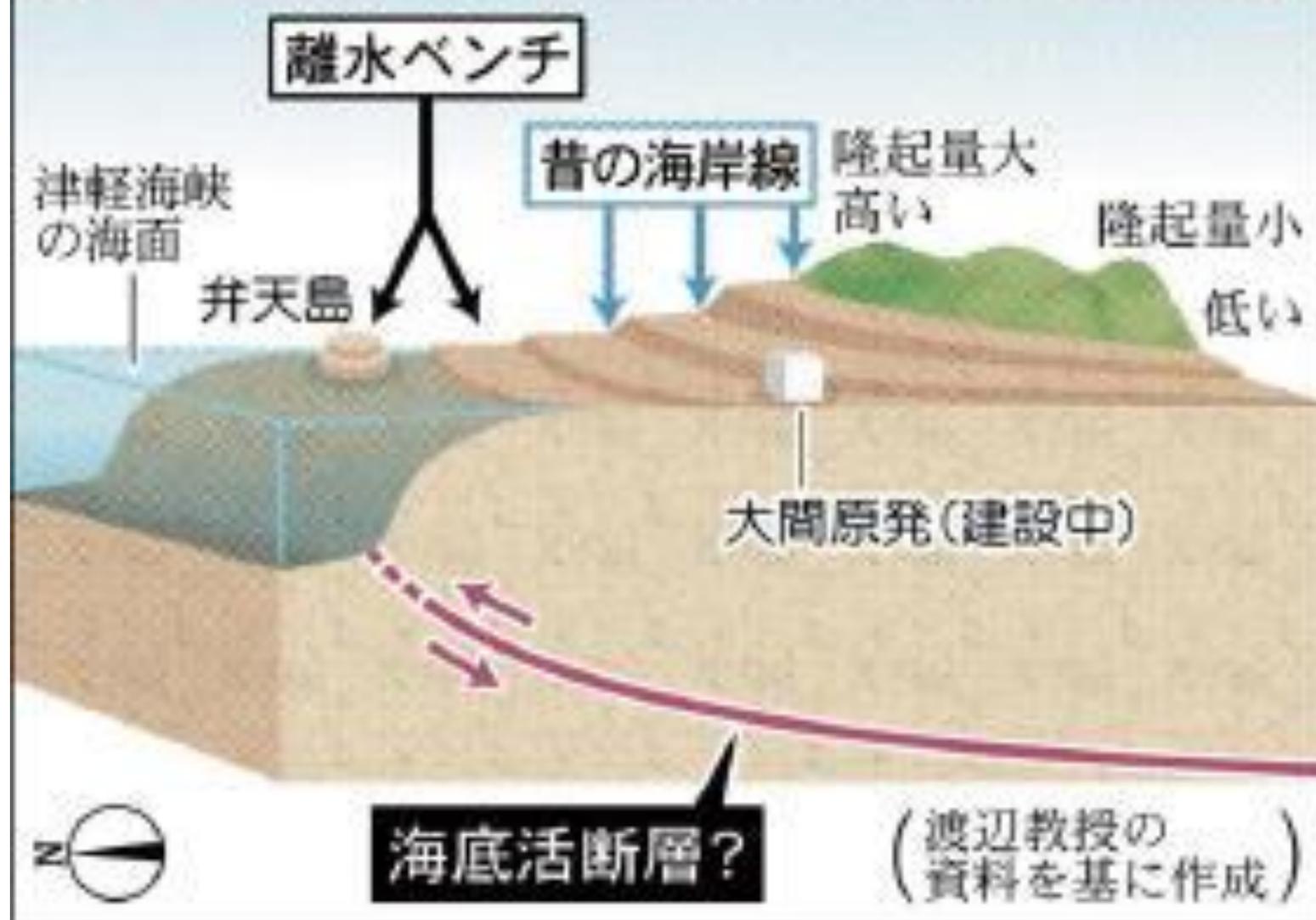
は、海

出できる

は、海



大間原発近くの地形変化のイメージ



問題提起

鈴木康弘（名古屋大学教授、本学会長）

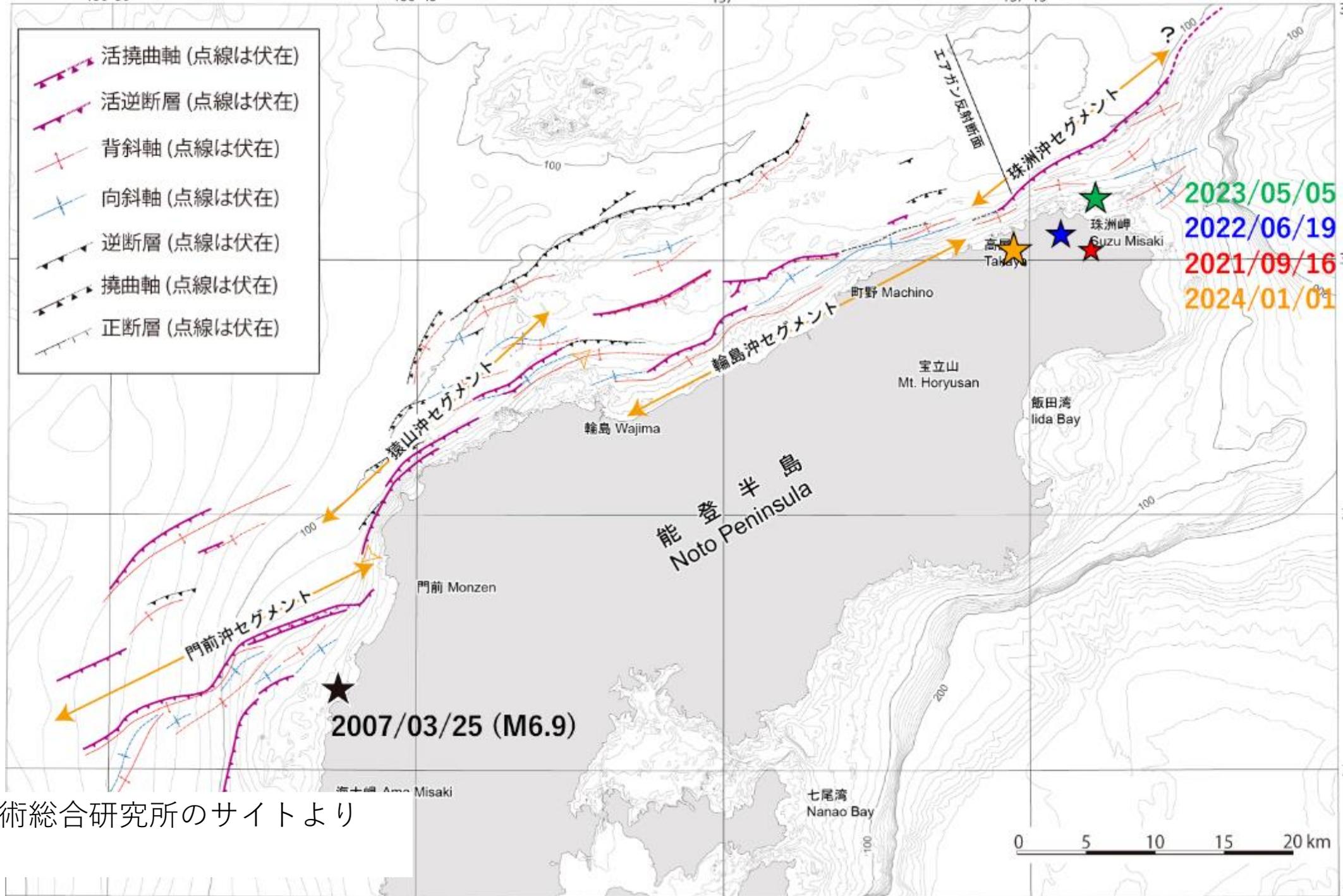
M7 級想定できたー沿岸活断層、認定急げ

日本の過去百年間の内陸地震としては最大である、マグニチュード(M)7・6の能登半島地震が1日、起きた。これは決して予測困難な珍しい大地震ではない。能登半島北岸の直線的な海岸線が、沿岸の海底にある活断層の活動によってできたものであることを知る研究者は多かった。地震は当然想定されるべきだったが、それができず不意打ちの形になってしまった。

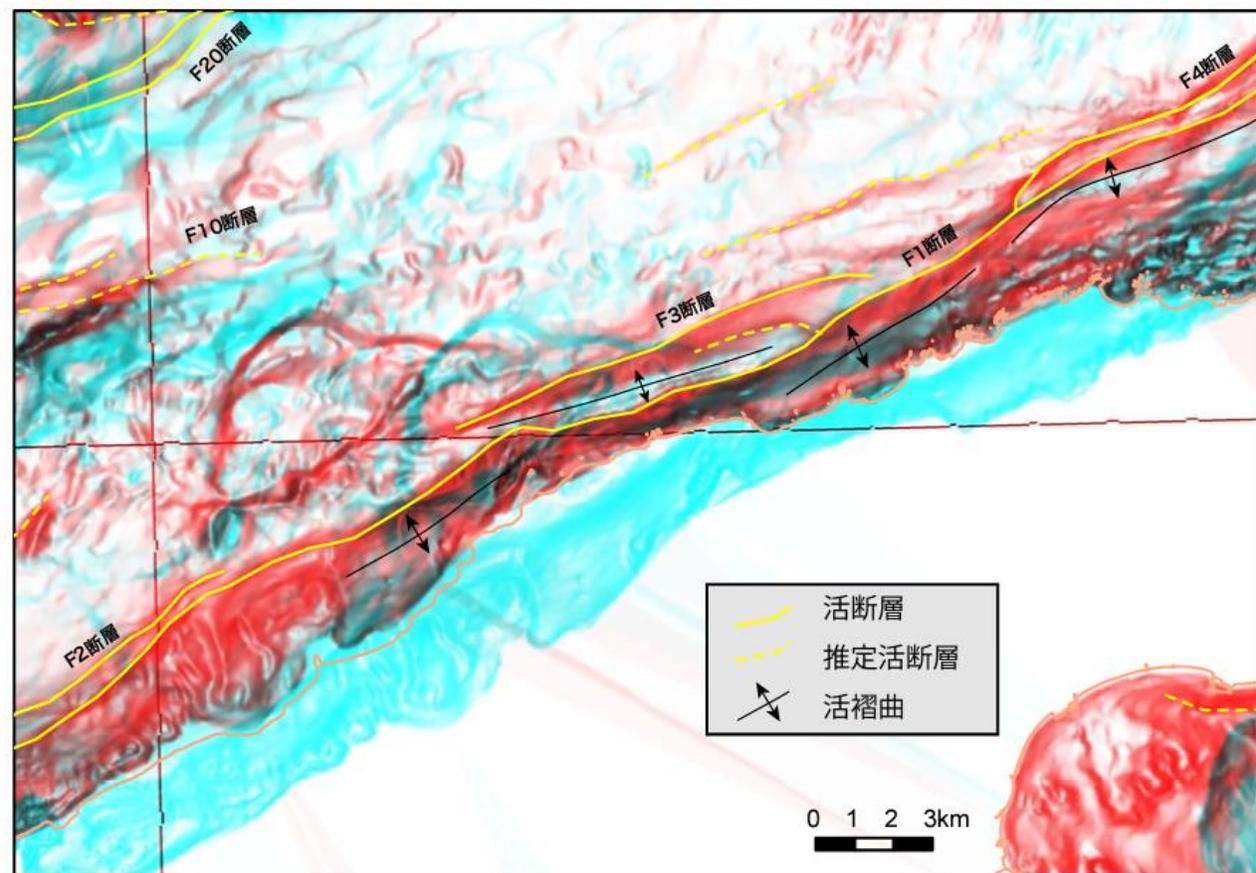
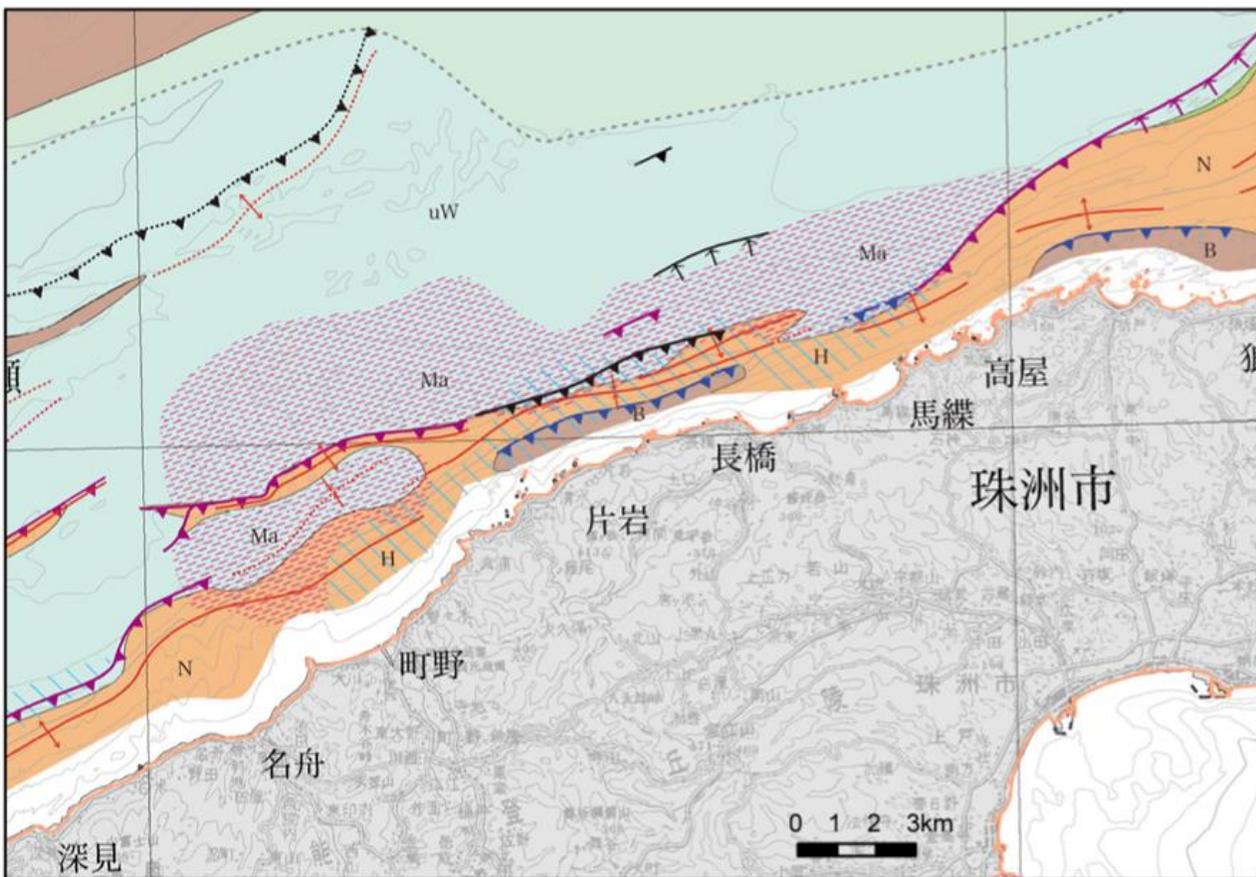
こうした沿岸海域の活断層の認定は急務である。まずは沿岸海底の詳しい測量をして、陸上の活断層と同様な活断層図を整備すべきである。

鈴木康弘氏の問題提起

- 海岸近くの海底活断層を音波探査で認定するのは困難
- 地形から認定する技術は進み、能登半島北部の長大な海底活断層の存在は指摘されていた。しかし、音波探査が過度に重視され、活断層図に反映されていない
- 海底活断層は短く認定されがちで、能登半島北部の海底活断層も20キロほどの断層に分割されてきた
- 中越沖地震も海底活断層によるものだったが、柏崎刈羽原発の審査では、音波探査が過度に重視され、大幅な過小評価となっていた



産業技術総合研究所のサイトより



能登半島沖の海底の変動地形 後藤秀昭（広島大）より
http://disaster.ajg.or.jp/files/202401_Noto011.pdf

志賀原発周辺海域の活断層評価

- 能登半島地震直後の調査で鈴木康弘氏、渡辺満久氏が富来川南岸断層に沿う地震断層を発見
- 渡辺ほか（2015）…海底段丘面、離水ベンチの分布から、富来川南岸断層が志賀原発の前面海域の兜岩沖断層に連続している可能性を指摘

富来川南岸断層に沿う地震断層の発見

(2024.1.19)

現地調査（1月13日～14日）により、志賀町北部の富来周辺において、富来川南岸断層に沿う地表地震断層を発見した。地表変形は緩やかに南東側が撓み上がり、顕著な崖は伴っていない。上下変位量は概ね50cm程度。10～数10cm程度の左横ずれを伴う。断層周辺では著しい家屋被害が生じている。

下記のA地点、B地点をはじめ、少なくとも5地点で同様な変形が確認され、その範囲から断層長は3km以上と推定される。断層の位置はSARの干渉縞の不連続と矛盾はない。富来川河口の南岸の領家漁港付近が隆起しているため、海域へ続く可能性がある。

この断層は、海成段丘面高度の不連続を理由に、太田ほか（1976）などにより存在が指摘された。渡辺ほか（2015）は、改めてその存在を確認するとともに、さらに南部の志賀町福浦および赤住の沖約3～4kmにある兜岩沖断層に連続する可能性を指摘している。

なお、今回の調査で確認された左横ずれは、南北圧縮により生じたと解釈でき、GNSSの西方への水平移動量が富来で大きく（86.9cm）、志賀で小さい（8.6cm）ことと矛盾しない。

調査者：日本地理学会断層調査グループ 鈴木康弘（名古屋大学）・渡辺満久（東洋大学）

富来川南岸断層に沿う地表地震断層（A地点）



南東側（写真奥）が緩やかに約50cm相対的に隆起。10cm程度の左ずれを伴う。

能登半島南西岸変動地形と地震性隆起

渡辺満久*・中村優太**・鈴木康弘***

(*東洋大学文学部, **東日本朝日広告社, ***名古屋大学減災連携研究センター)

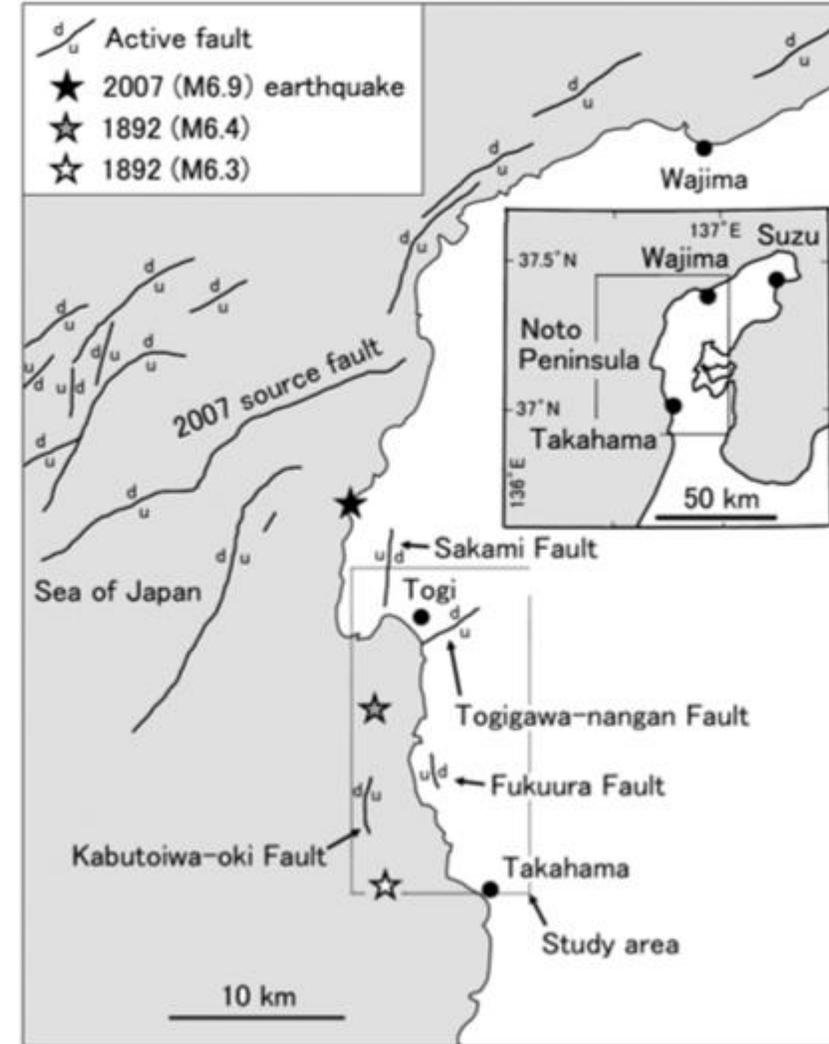


図1 能登半島の地形と活断層の概要

活断層研究会 (1991), 片川ほか (2005), 原子力安全・保安院 (2009), 井上ほか (2007) を基に活断層を示した。

Fig. 1 Topography and active faults of the Noto Peninsula and its surroundings

The active faults are compiled from the Research Group for Active Faults of Japan (1991), Katagawa et al. (2005), Nuclear and Industrial Safety Agency (2009), and Inoue et al. (2007).

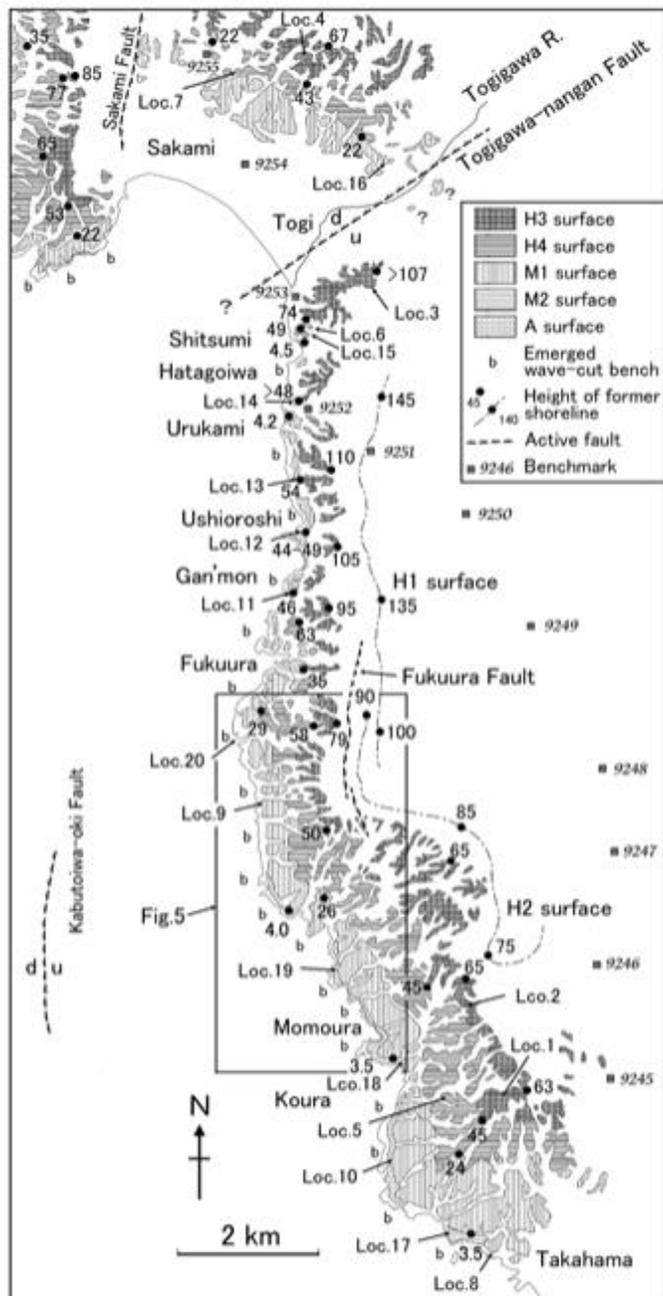


図2 調査地域の海成段丘面分類図

海成段丘面は、高位のものからH1～A面に区分される。このうち、M1面構成層はSK火山灰(110～115ka)に覆われることから、M1面がMIS 5eに形成された海成段丘面である。本図の範囲は図1に示した。

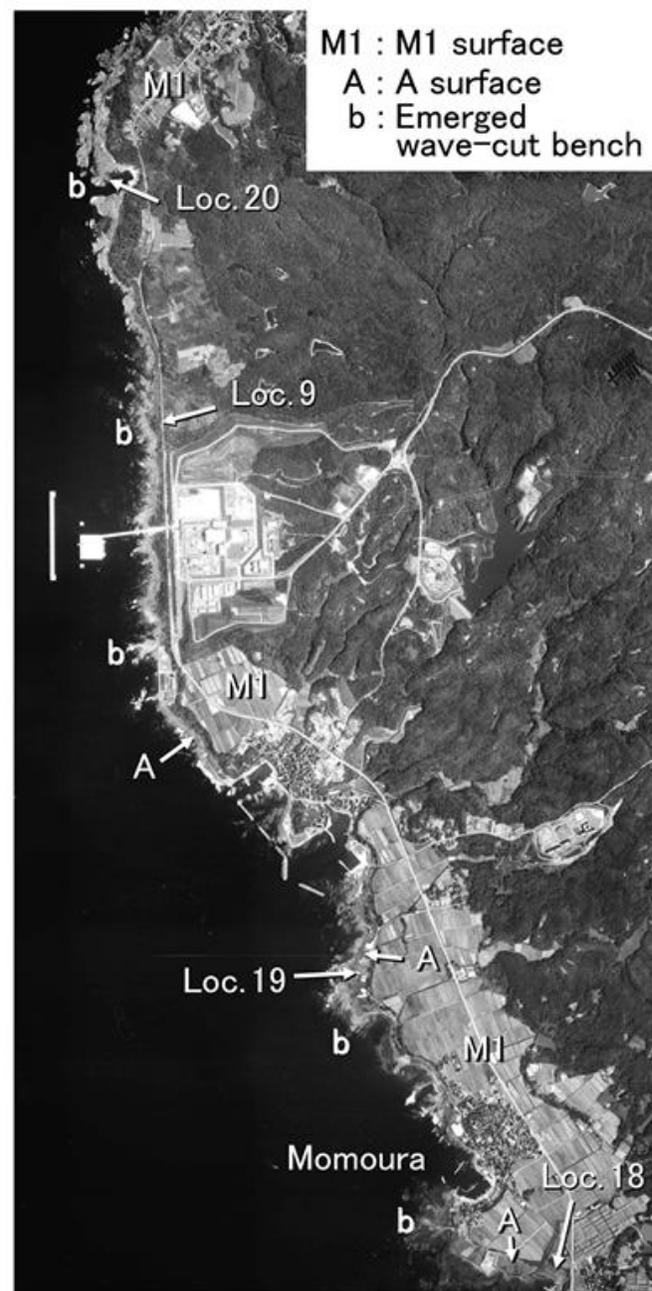
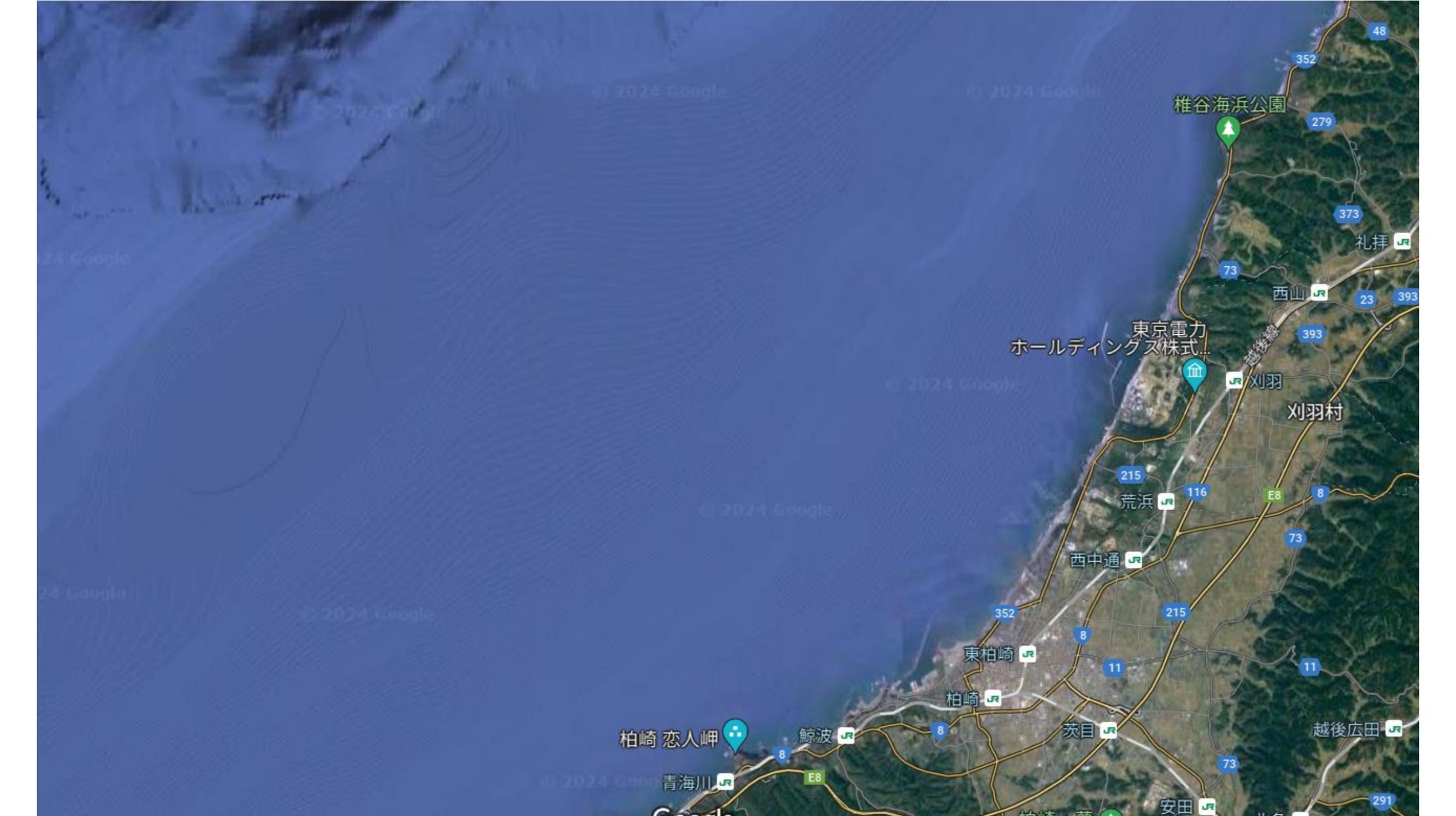


図5 M1面・A面・離水ベンチの分布

国土地理院撮影の空中写真CB961X-C14-2を使用した。

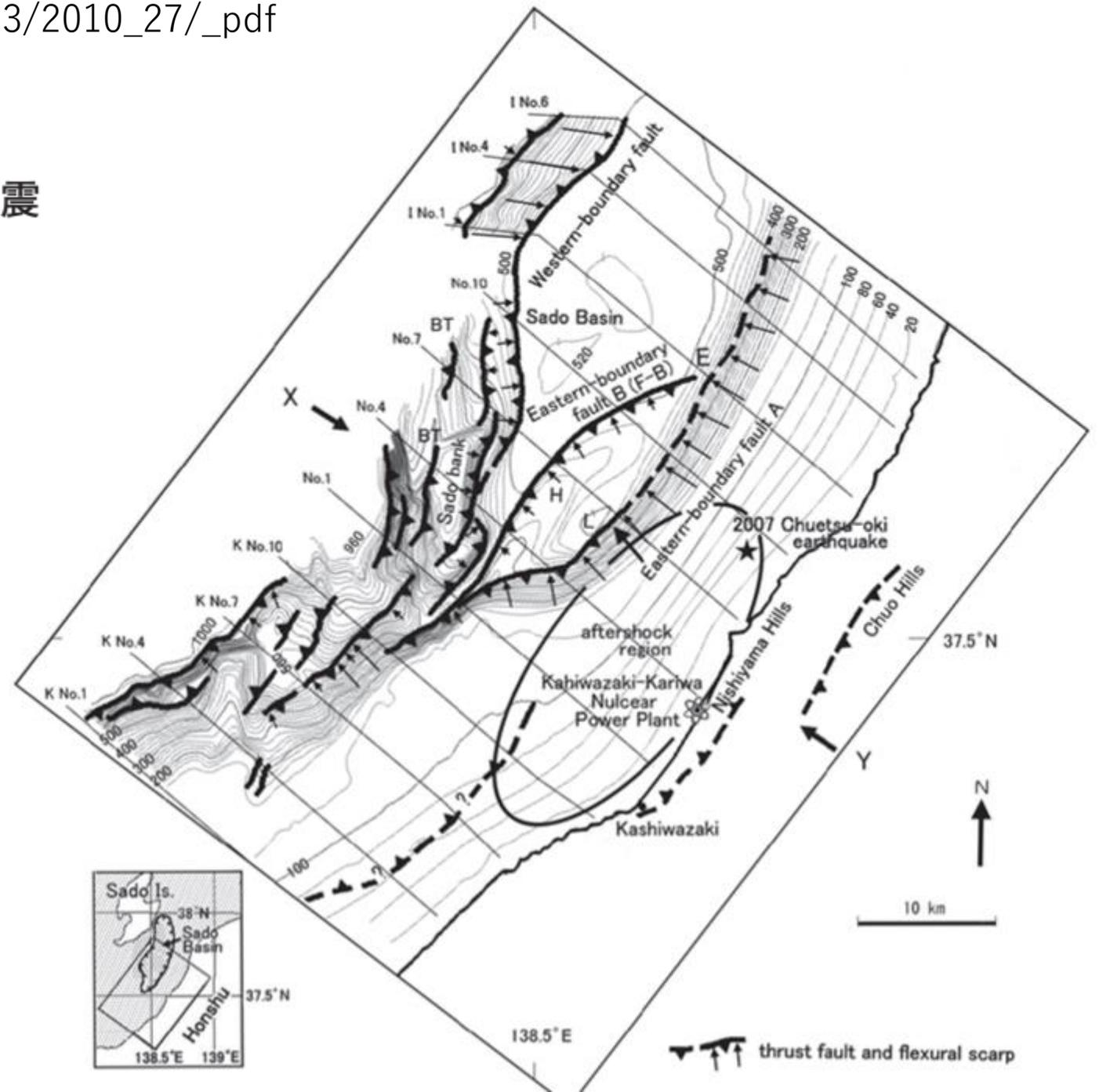
柏崎刈羽原発周辺海域の活断層評価

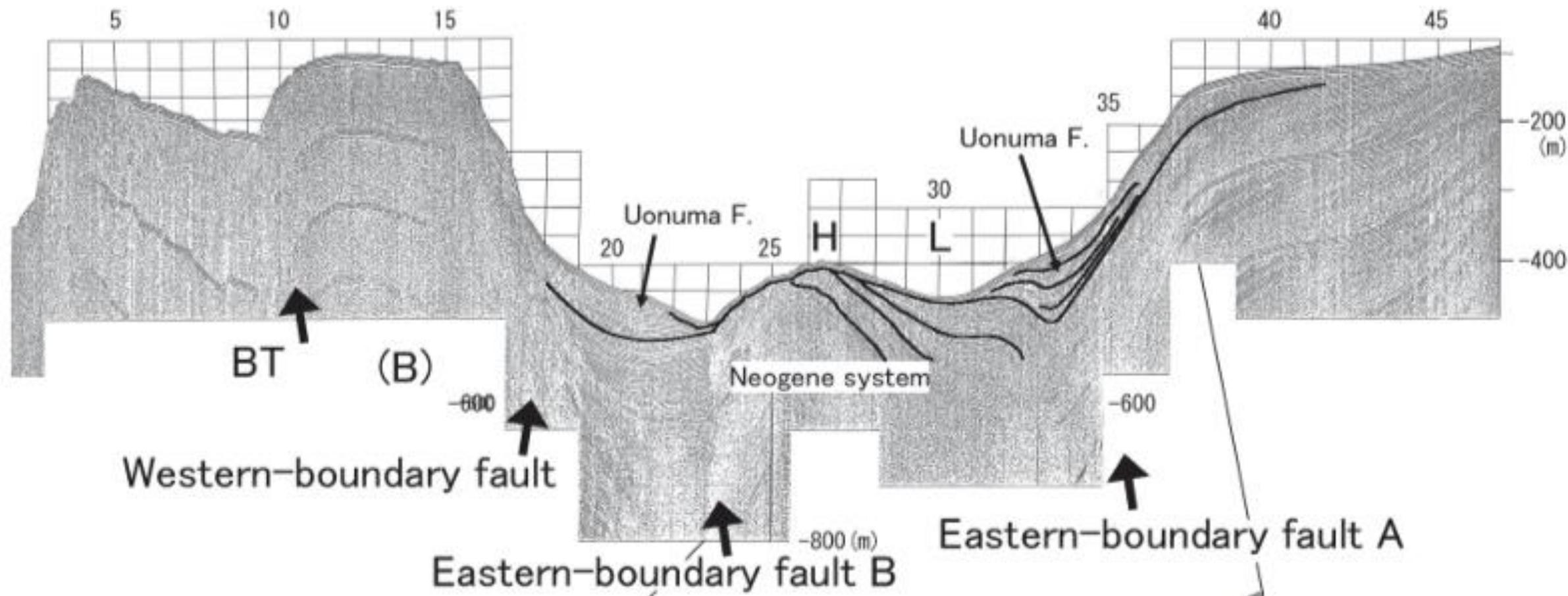
- 2007年の中越沖地震で被災した柏崎刈羽原発も海成段丘面に立地。中越沖地震は原発の目前に横たわる海底活断層によって起こされた。
- 中越沖地震の前、東電・国は産総研による音波探査を根拠に、原発の目前の海域において海底活断層はないとしていた。産総研の岡村氏は中越沖地震後の調査結果からも、地震を起こした活断層を確認することはできなかった。
- 渡辺氏らは、音波探査と海底地形の連続性から中越沖地震を引き起こした活断層を特定（佐渡海盆東縁断層）。全長は50km以上とされ、全体が動いた場合の地震はM7.5以上になると指摘。
- 東電・国は音波探査で確認した褶曲や中越沖地震の余震分布などから推定した36kmだけを認定。北側については、産総研の岡村氏に従い、堆積地形で活断層はないと主張。連続した地形に全く異なる解釈。基準地震動はM7.0に。

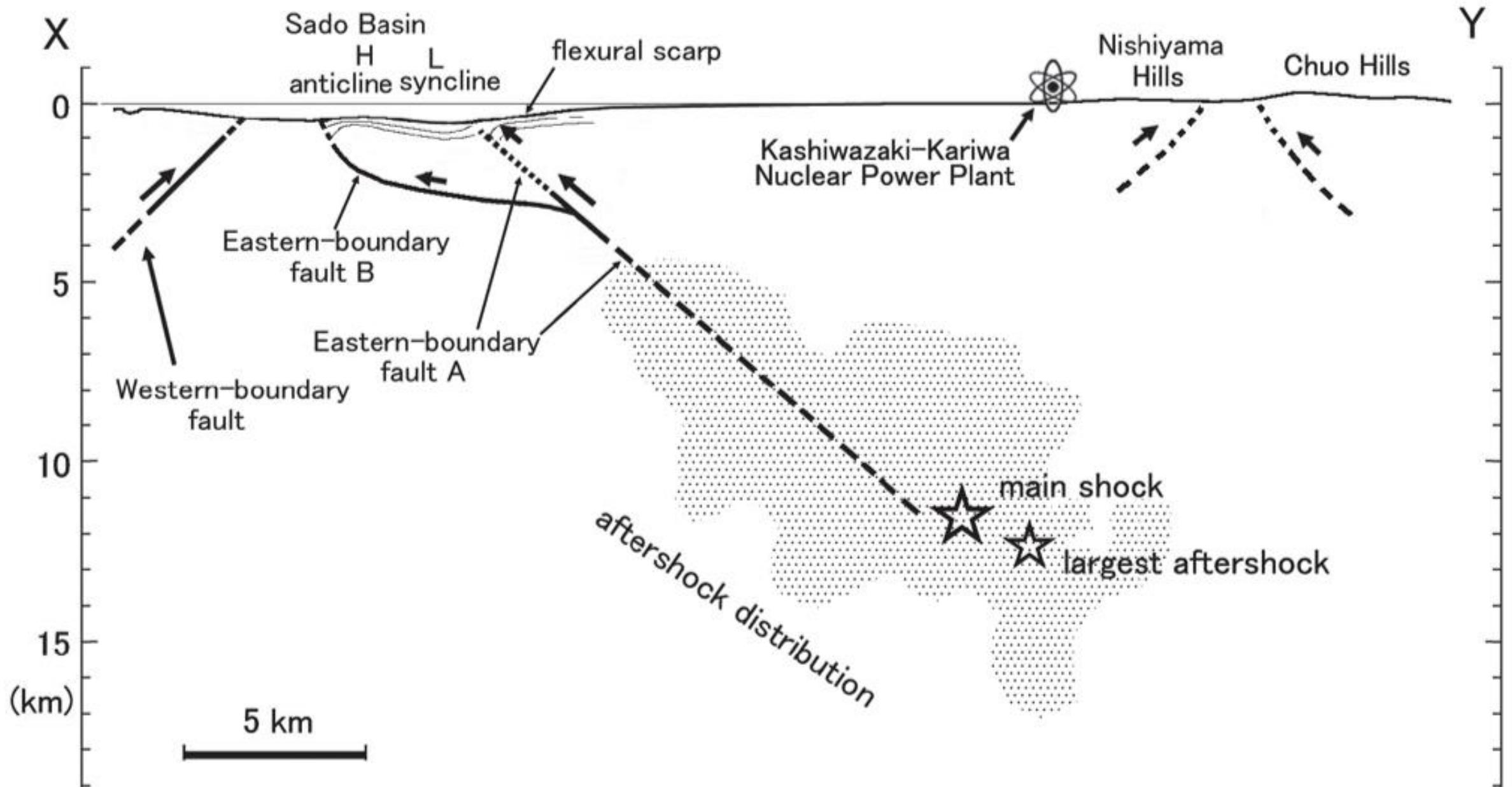


佐渡海盆東縁断層と2007年中越沖地震

渡辺満久*¹ 中田 高*² 鈴木康弘*³







第5図 2007年中越沖地震の震源域を横断する地形・地質模式断面

日本海東縁の地質構造と震源断層との関係

Relationships between geological structure and earthquake
the Japan Sea

岡村行信*

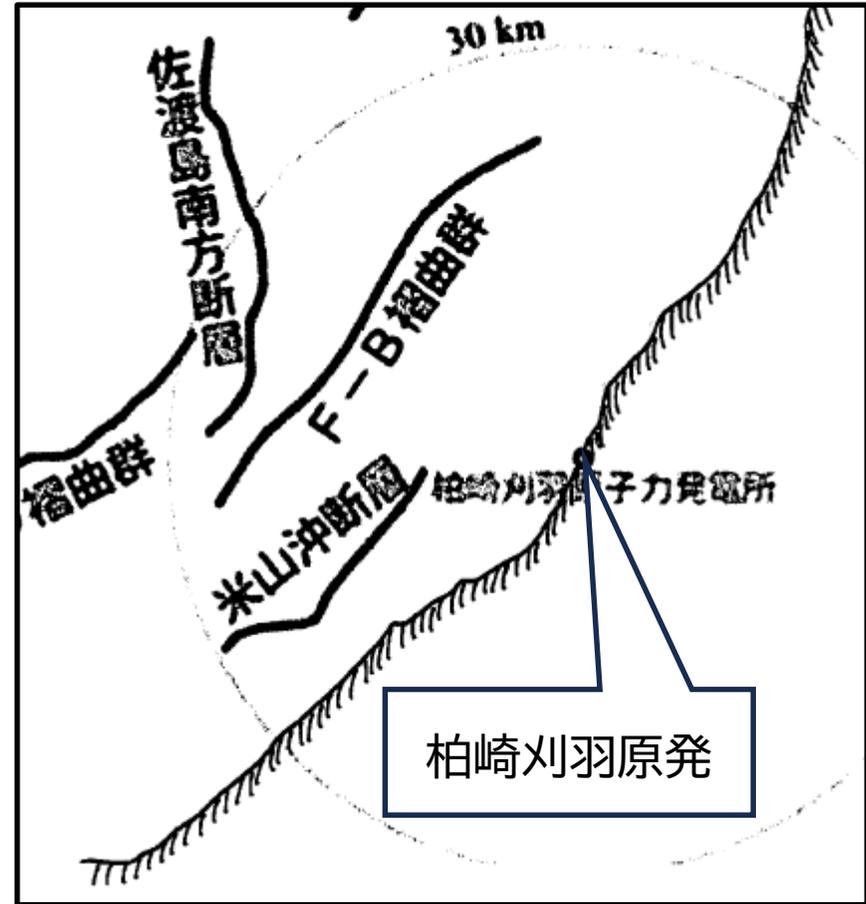
*Yukinobu Okamura**

2009年9月3日受付.

2009年10月7日受理.

* 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター

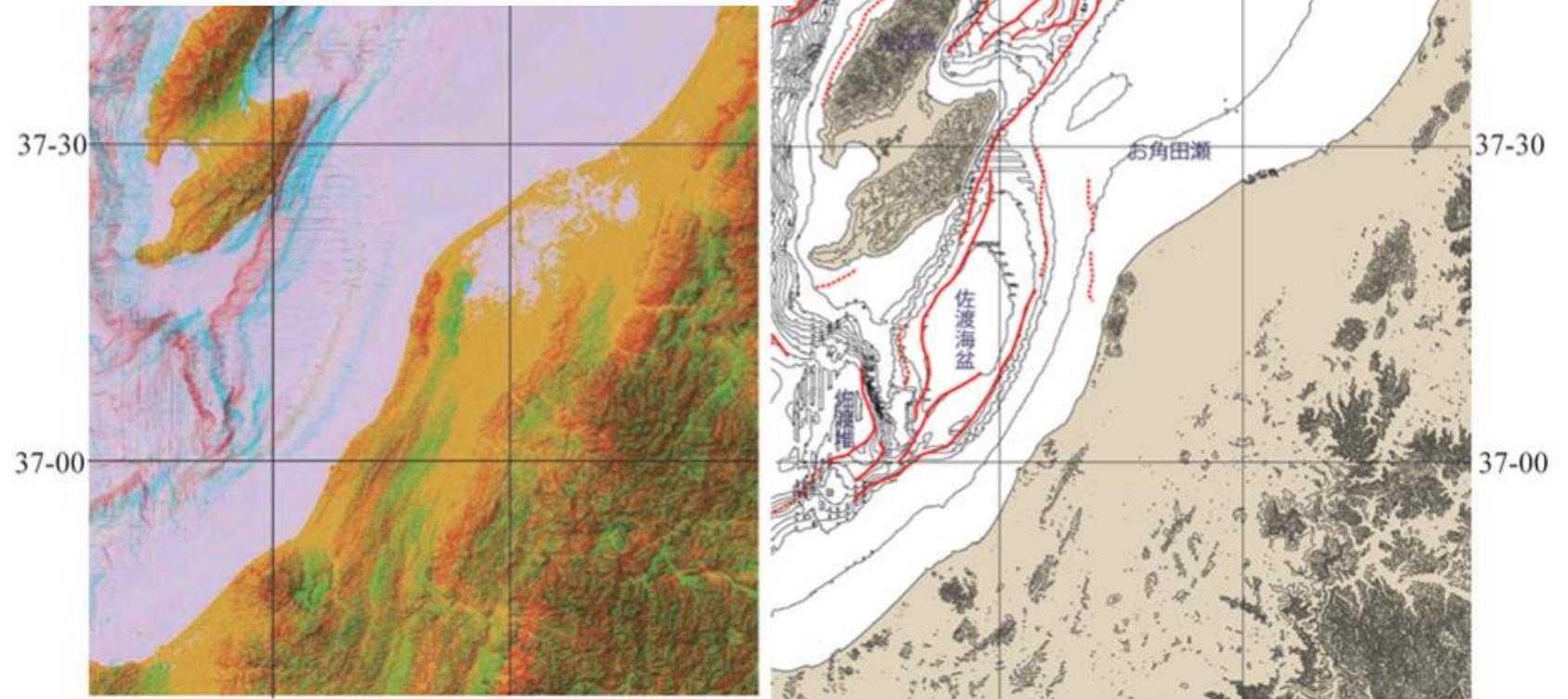
つきりしていなかった。地震後に取得された高分解能マルチチャンネル反射断面でも震源域内には明瞭な活断層は認められていないが、震源域の北西側には最終氷期以降も成長している背斜構造が確認され、その背斜構造が震源断層に連続する南東傾斜の逆断層上に形成されたと推定されている（地震調査研究推進本部, 2008^{脚注1}; 岡村・村上, 2008）。



↑東電が審査において考慮した活断層
 ←渡辺満久ほか「佐渡海盆東縁断層と2007年中越沖地震」掲載の図を加工

3 秒グリッド DEM から作成した日本海東縁部の 3D 海底地形†

泉 紀明*¹, 西澤あずさ*², 堀内大嗣*³, 木戸ゆかり*⁴,
中田 高*⁵, 後藤秀昭*⁵, 渡辺満久*⁶, 鈴木康弘*⁷



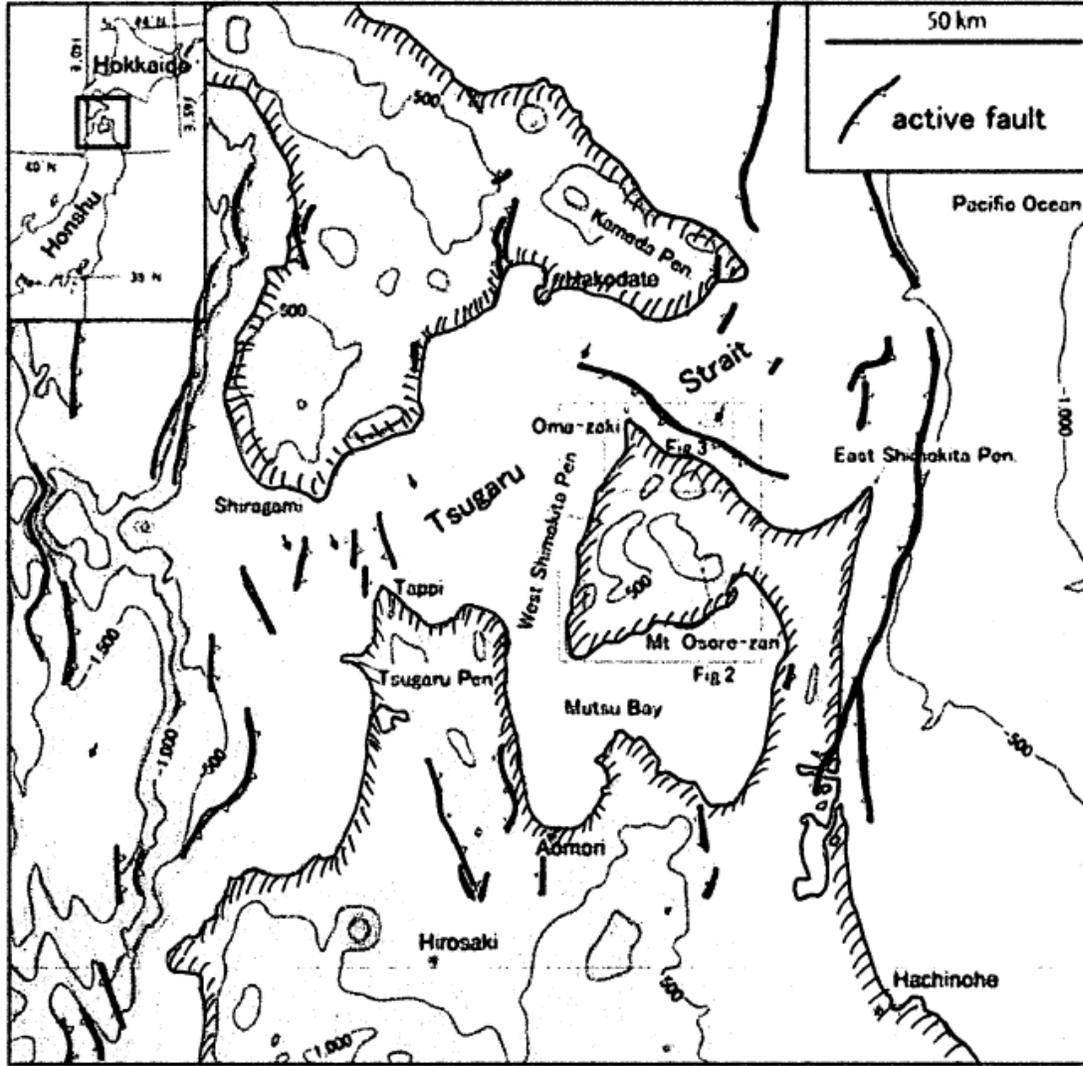
<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/kenkyu/report/rhr51/rhr51-TR10.pdf>

Fig. 8. Anaglyph image and the map showing active faults (solid red line : active fault, dashed red line : presumed active fault) superimposed on bathymetry (contours in 100 m) of the seafloor around Sado Island.

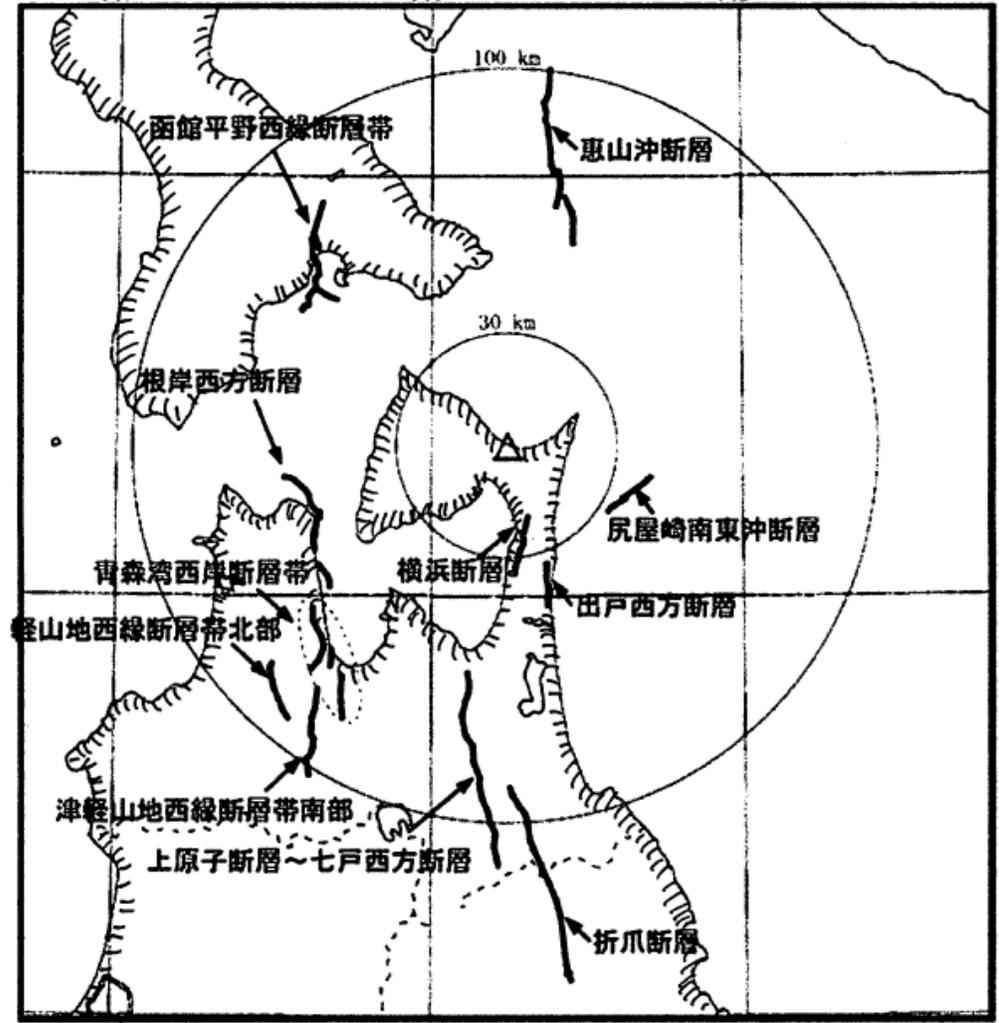
図 8. 佐渡島周辺の海底地形のアナグリフ図と活断層分布図 (コンター間隔 100 m) (赤実線 : 活断層, 赤破線 : 推定活断層).

下北半島北部海域の活断層評価

- 下北半島には、六ヶ所再処理工場、東通原発、むつ使用済核燃料中間貯蔵施設、大間原発と原子力施設が林立。周囲を海成段丘面が取り囲み、海底地形から半島の北側や東側の海底に長大な活断層が認定されること、にもかかわらず、原子力事業者らが音波探査を根拠にこれを否定する構図は能登半島とよく似ている。
- 大間原発は隆起量の大きい半島北端の海成段丘面に建設中。渡辺氏らは、地形から半島北側に海底活断層が確認され、長さ40kmの活断層を想定すれば下北半島の隆起が説明できるとしている。



渡辺満久ほか「下北半島北西端周辺の地震性隆起海岸地形と海岸活断層」第1図より



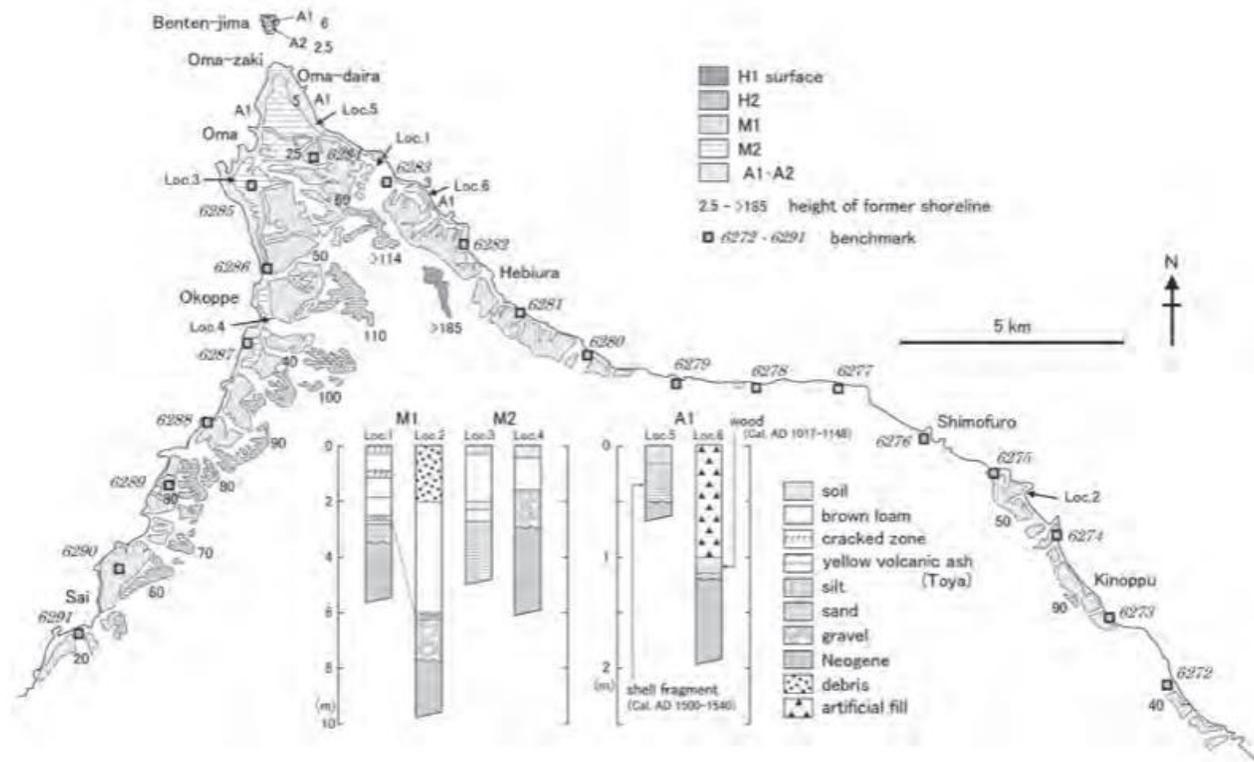
原子力事業者（リサイクル燃料貯蔵）が審査で考慮した活断層（審査資料より）

下北半島北西端周辺の地震性隆起海岸地形と海底活断層

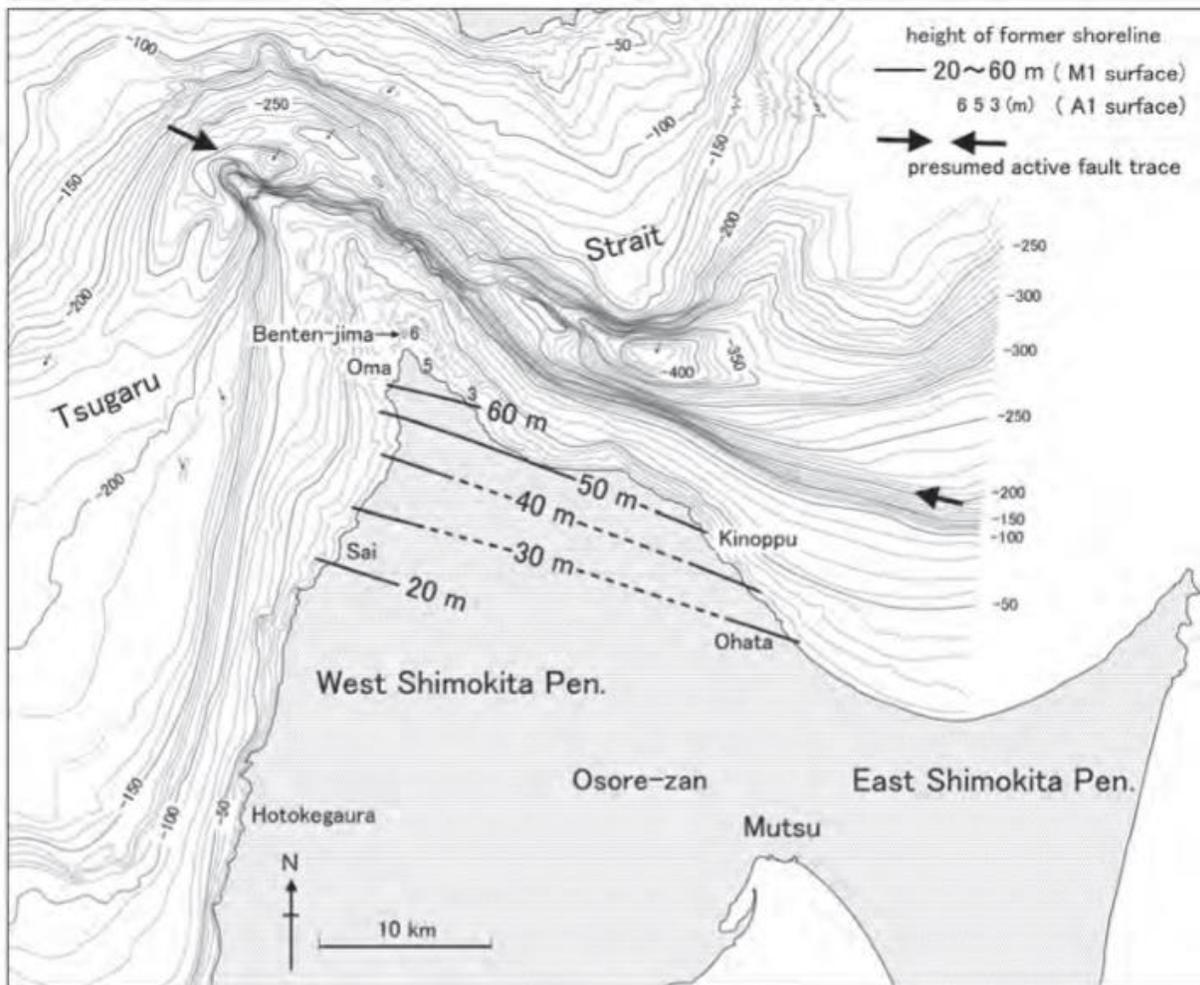
渡辺満久*1・中田 高*2・鈴木康弘*3・小岩直人*4



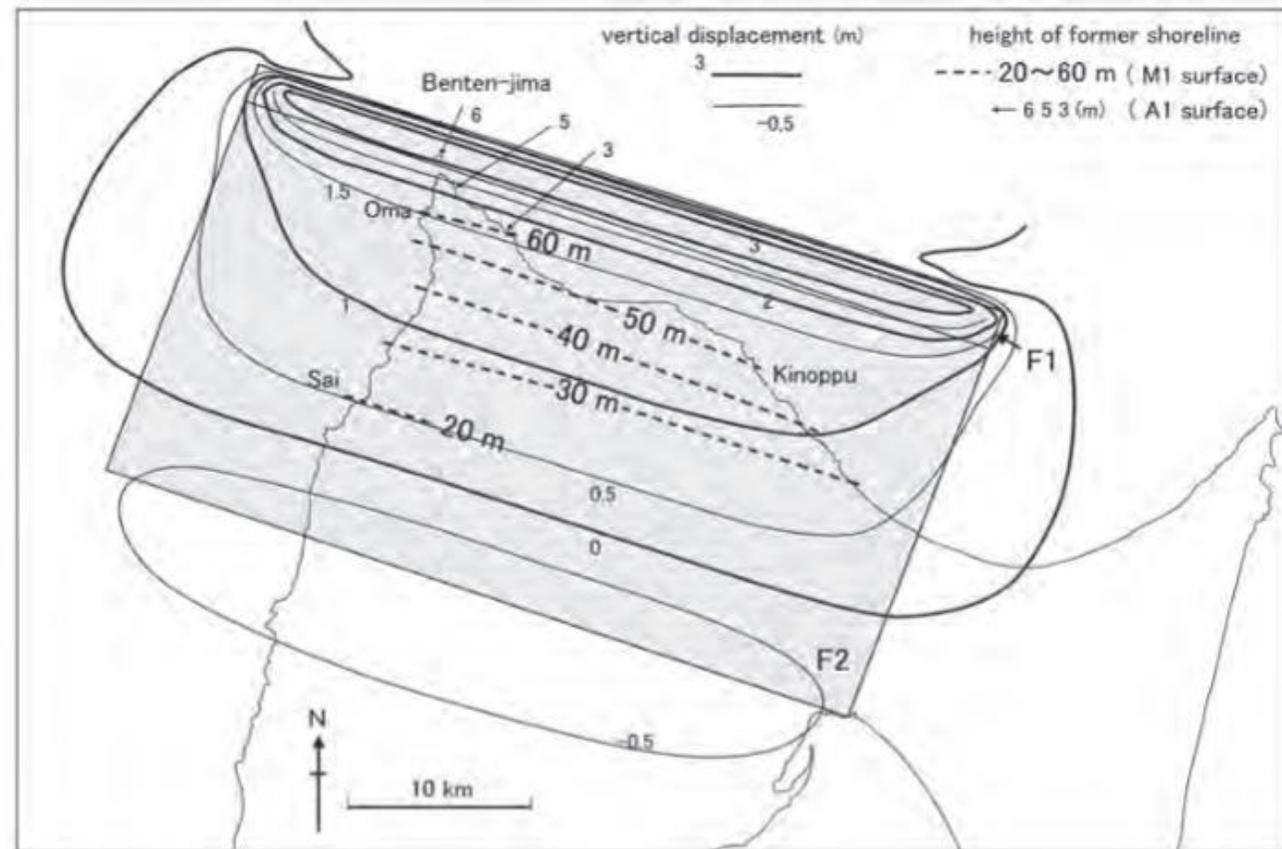
第4図 東南方から見た弁天島のA1面とA2面（離水ベンチ群）。



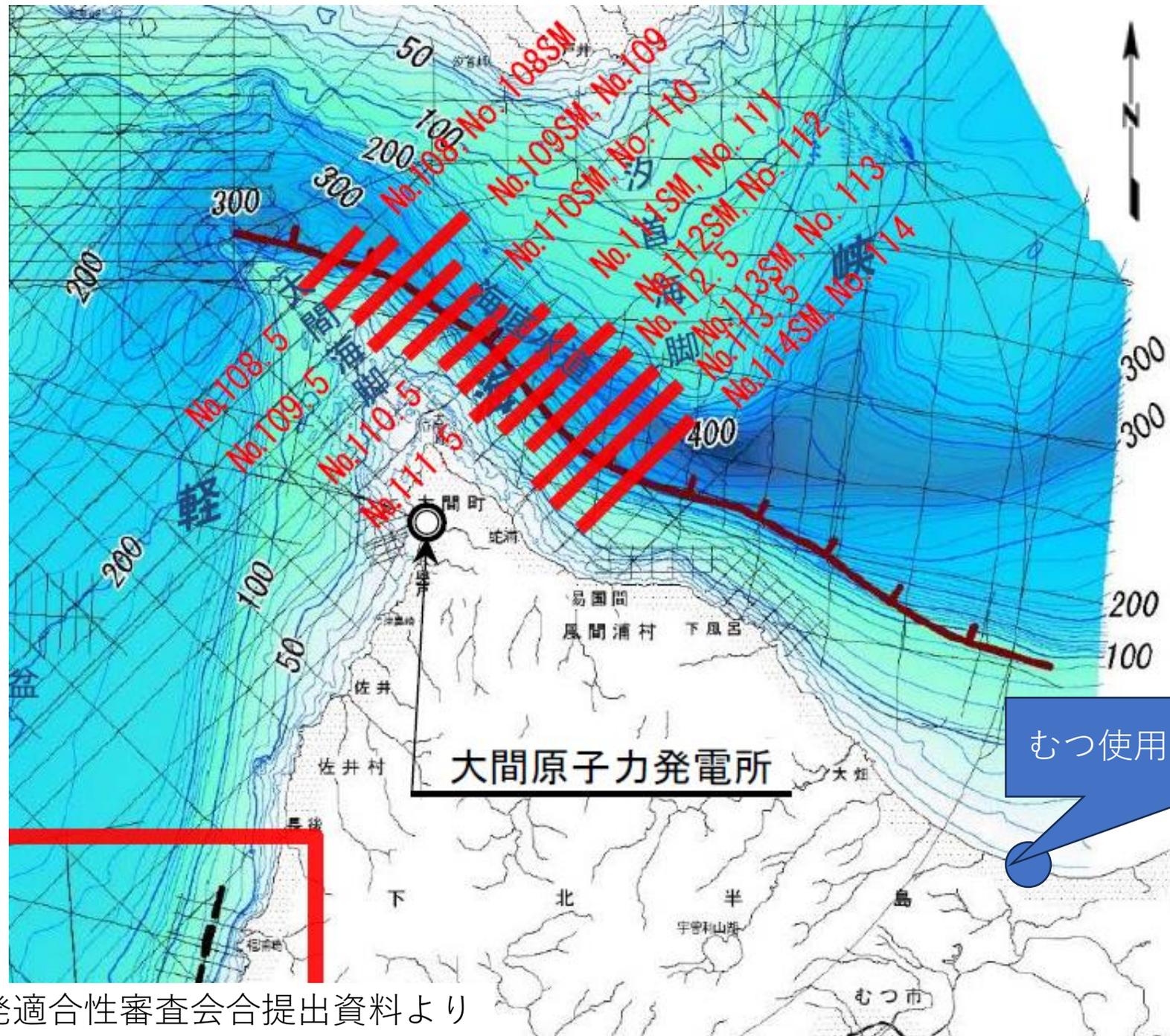
第3図 調査地域の海成段丘面分類図と露頭柱状図。



第6図 M1面の旧汀線高度分布と海底活断層. 基図は電源開発株式会社(2004)を簡略化.



第7図 南傾斜の逆断層運動から計算される地表面の鉛直変動量分布. 断層面のパラータは表3に示す. 計算値の2倍がA1面の, 40倍がM1面の旧汀線高度に対応する.

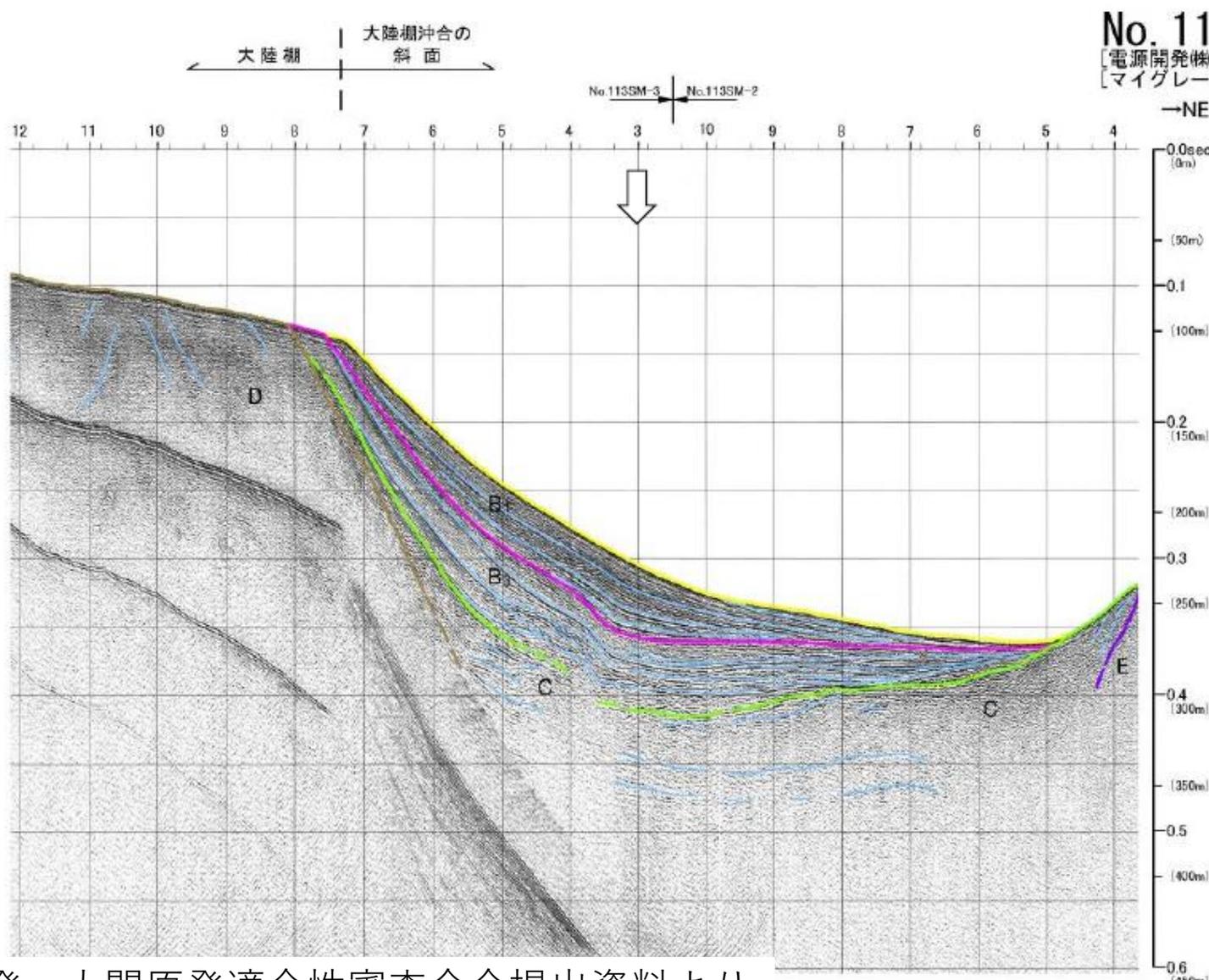


むつ使用済核燃料貯蔵施設

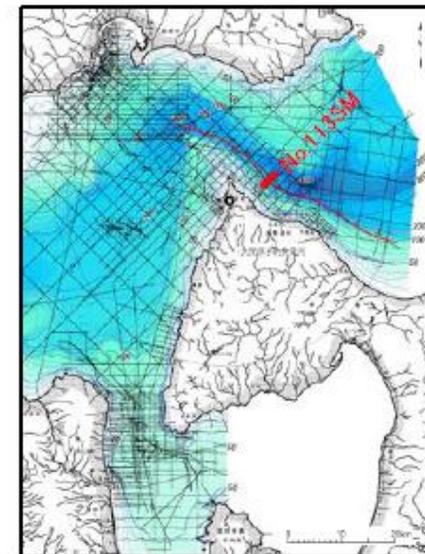
電源開発 大間原発適合性審査会合提出資料より



被覆層: 渡辺ほか(2012)²⁾: No.113SM測線(2/2) (解釈断面図)



No. 113SM
[電源開発機ブーマー]
[マイグレーション]

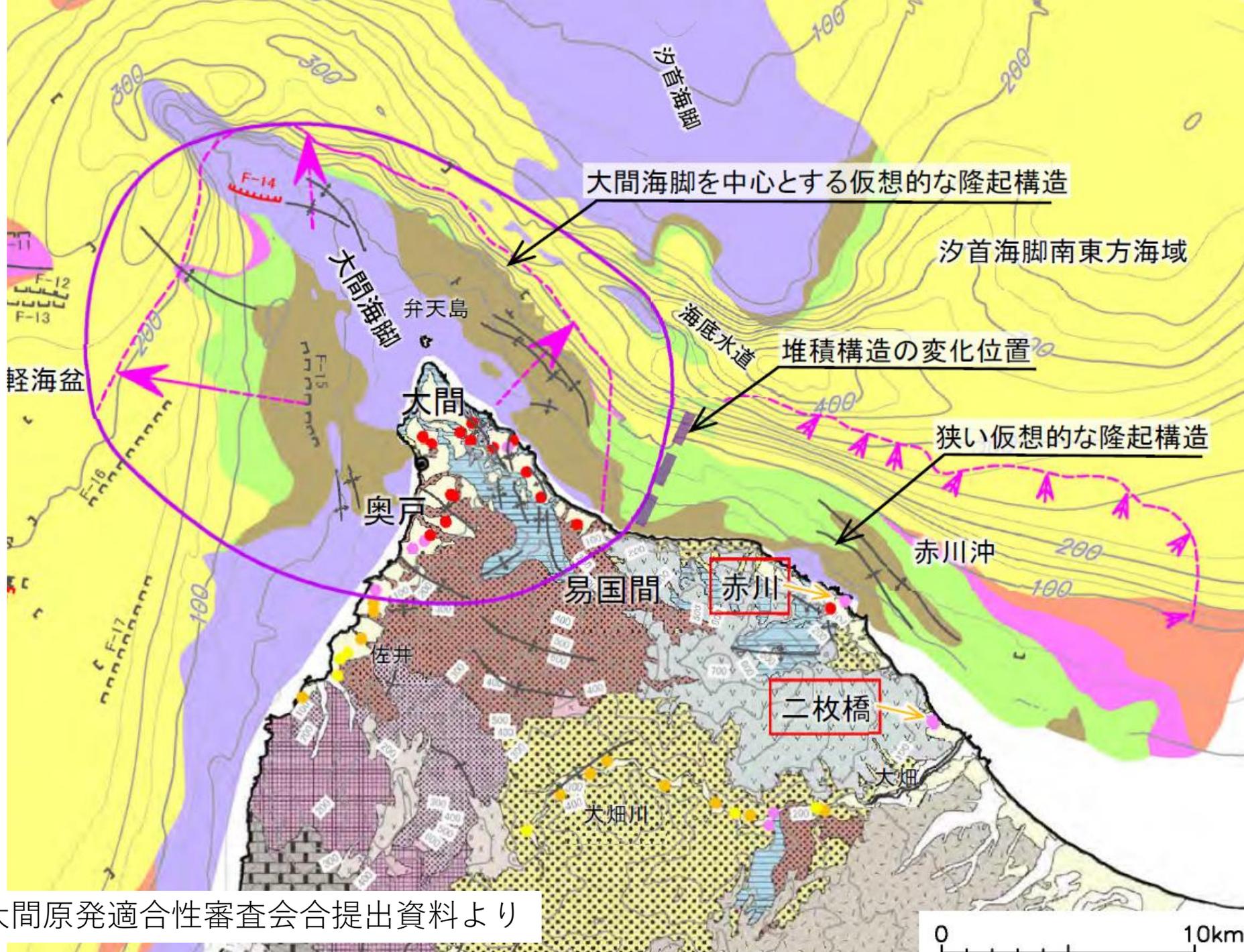


深度は、水中および堆積層中での音波伝播速度を1500m/secと仮定して計算した。

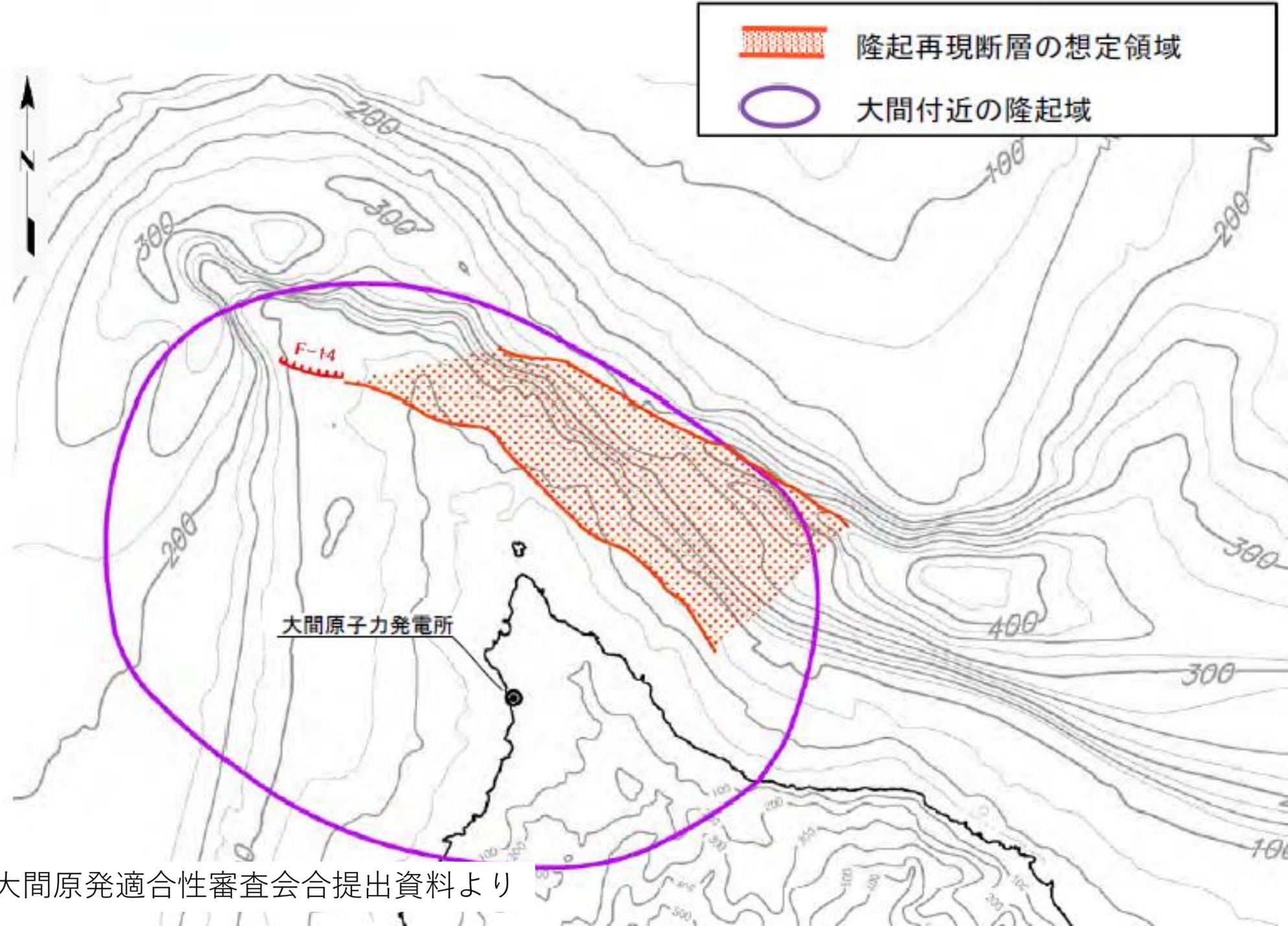
地質時代	数値正海域
第四紀	完新世 A層
	後期 B ₁ 層
	中期 B ₂ 層
	前期 B ₃ 層
新第三紀	C層
	鮮新世 D層
先新第三紀	中新世 E層

凡例
渡辺ほか(2012)²⁾により
図示された断層位置

渡辺ほか(2012)²⁾によって図示された断層付近には、少なくともB₃層及びB₁層に断層運動を示唆する変位・変形が認められない。



電源開発 大間原発適合性審査会合提出資料より



電源開発 大間原発適合性審査会合提出資料より

下北半島北部海域の活断層評価

- 電源開発は音波探査を根拠に渡辺氏らが指摘する活断層を否定。半島の隆起を説明できないことから、規制庁の指示により「仮想的断層」を想定。隆起量の大きい地域を北部の狭い領域に限定し、測量記録の一部を無視したため、長さ20kmしかない
- むつ使用済核燃料中間貯蔵施設は審査は終わっているが、基準地震動の策定において、下北半島北部の海底活断層は全く考慮されていない
- 柏崎刈羽原発の稼働を継続するために、柏崎刈羽原発の使用済核燃料をむつの貯蔵施設に運ばなければならない関係にある