

## 地震・津波の発生の可能性から見た愛媛県伊方原子力発電所の問題点

都司 嘉宣

公益財団法人・深田地質研究所

113-0021 東京都文京区本駒込 2-13-12

## 1. 2011年東北地方太平洋沖地震以後の地震津波防災の考え方

## 1.1 2011年東北地方太平洋沖地震の残した教訓

2011年3月11日の午後2時46分、東北地方から関東地方の太平洋海域に起きた東北地方太平洋沖地震（以下、報道などで慣用された「東日本震災」と呼ぶことにする）は、地震規模（マグニチュード）M9.0という空前の規模を持った超巨大地震であった。これを昭和21年(1946)の南海道地震(M8.0)、および幕末の安政元年(1854)11月5日に起きた安政東海地震(M8.4)と比べると、東日本震災はおおの32倍、および8倍の規模であったことになる。このM9.0という超巨大規模の地震は、地球全体として1世紀100年間に4~5回しか起きていない。地球上で起きた一つ前のM9クラスの地震は、2004年12月26日のインドネシア国スマトラ島西方沖地震(M9.1)であった。

この空前の規模を持っていた東日本震災では、津波の最高の高さ（海水の浸水点の標高）は本州最東端の銚子（とどがさき）のすぐ手前に位置する岩手県宮古市姉吉での40.5mであった。またこの地震・津波による死者・行方不明者の数は約1万9千人余に達した。岩手県陸前高田市、宮城県南三陸町、女川町のように繁栄した沿岸都市の市街地全体がほぼ跡形もなく壊滅するという惨状を呈した。津波による市街地の被害と死者の発生は、北海道から東北地方、関東地方の東海岸全域に及んだ。もっとも南の津波の重大被災地は千葉県旭市飯岡であって、ここで津波高さは7.6mに達し、死者行方不明者15人を出した。

古記録によって、2011年東日本震災に匹敵する津波は、平安時代の初め、貞観11年(869年)5月26日に起きた「貞観三陸沖地震津波」であったことが、いくつかの証拠から明らかとなっている。このことは朝廷の正史である『三代実録』に、(1)死者約1000人が生じたこと、(2)津波が海岸から百里(約60km)に達したと記されていること、(3)地震・津波の被災範囲が「陸奥国(青森県・福島県間)および自余の国々」と記されているため、常陸国(茨城県)、および下総国(千葉県北部)に達していると理解されること、の3点によって肯定される。すなわち、(1)については、平安時代初期の日本列島の人口は約600万人とされ、現在の1億2千万人の約20分の1であるが、貞観津波で生じた約1000人の死者数を20倍すると2万人となり、2011年東日本震災の被害者数にほぼ一致するのである。(2)については、2011年東日本震災では北上川にそって河口から約55km上流に到達したことに類似性を肯定することが出来る。(3)については、2011年東日本震災では、千葉県旭市飯岡、すなわち下総国の領域まで地震津波の著しい被害を生じていることに相応する。

さらに、この兩地震の類似性を証明する地質学的証拠として、仙台平野や福島県沿岸部平野の水田の地層中に見つかった津波堆積層の存在を挙げることが出来る。すなわち、これらの場所では西暦 915 年の十和田火山の噴火による火山灰層のすぐ下に津波によって海から運ばれてきた砂層が普遍的に観察され、これが、貞観三陸津波によって海から運ばれてきた砂の堆積層であることが明らかとなった。この津波による堆積砂層の調査によって貞観地震の津波は海岸線から約 4km に達していたことが判明した（菅原ら,2011、図 1）。この調査の結果、貞観地震の津波の浸水範囲が、ほぼ 2011 年東日本震災の津波に一致することが明らかとなった。

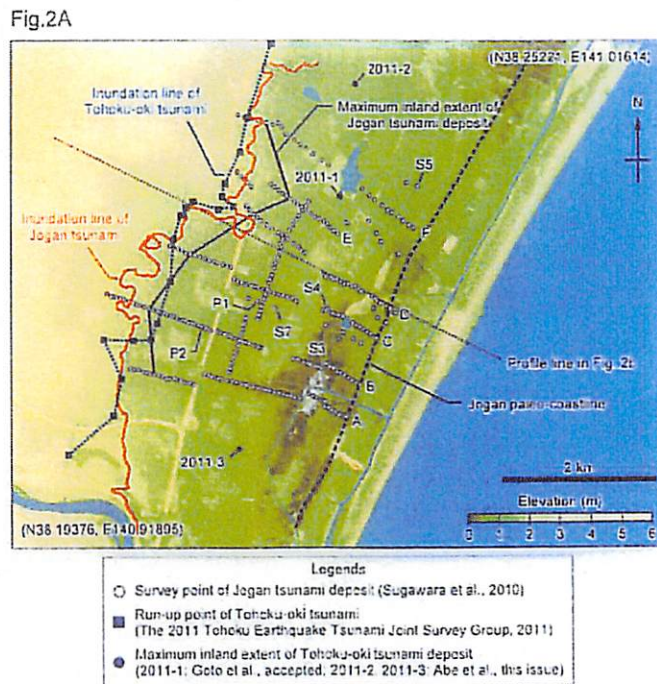


図 1. 仙台平野の水田下地層中の津波砂層から推定した貞観地震(869 年)の津波の浸水限界線 (赤) と 2011 年東日本震災の津波の浸水限界線 (青折れ線) 菅原ら (2011)による

以上の根拠により、2011 年東日本震災は貞観三陸沖地震(869)以来その 1142 年後に起きた、ほぼ同じ超巨大地震であることを認めることができる。この事実が判明して地震学では「千年震災」あるいは「千年地震」(millennium earthquake)という語が新生・定着した。

## 1.2 今後の津波防災対策には千年震災を考慮しなくてはならない

2011 年東日本震災が発生するまで、津波常襲地域である三陸海岸ですら、津波防潮堤の高さやハザードマップの作成には、千年震災の考えはなく、最近 100~200 年間に発生した最大の津波のデータのみを参考とされた。すなわち、三陸海岸では、明治 29 年 (1896) 6 月 15 日に発生した明治三陸地震津波と、昭和 8 年 (1933) 3 月 3 日の昭和三陸地震津波の

高さ（海水の浸水標高）を参考として津波防潮堤の高さが決められていたのである。

たとえば、宮古市田老町は明治三陸地震のさい高さ 15m の津波に襲われ、そのとき住んでいた住民の約 90% の人の生命が失われるという壊滅的な状態を招いた。また昭和 8 年の三陸地震では、高さ 10m の津波に襲われたが、住民の 40% に相当する 901 人が溺死した。このため町は、住民を津波の被害から守るため、昭和三陸津波の翌昭和 9 年から、旧市街地全体を囲い込む形の高さ 10m の防潮堤の建設を計画し、工事を開始した。この工事は、25 年の年月をかけて昭和 34 年に完成した。さらに町の背後の丘陵には各所に津波避難場所を作り、これによって「昭和三陸津波程度の津波なら防潮堤が完全に食い止めてくれる。明治三陸津波程度の天津波であっても、町の背後の避難場所に逃げることによって、完全に命を守ることが出来るようになった」と考えられるようになった。しかしながら、2011 年東日本震災では田老町の港付近で高さ 22m に達し、防潮堤のすぐ外部では高さ 18m、防潮堤で守られた市街地の内部でも 12m の標高まで海水が上昇した。このため、田老町の市街地ではほぼ 80% の家屋が全壊流失し、約 200 人の死者を出すという重大な津波被害を出すこととなった。

岩手県大槌町では、明治・昭和の津波到達標高を参考として決めたハザードマップが作成され町民に配布された。しかし 2011 年東日本震災では、痛ましいことに「津波警報が出たときにはここまで逃げよ」と地図上に示された浸水線を信じて、その線のすぐ上に避難した住民が、それより遙かに高いところまで押し寄せた津波のために、この線のすぐ近くで多くの人が犠牲となった。

仙台平野の海岸部である荒浜（仙台市若林区）や、閑上（ゆりあげ、名取市）などは、三陸海岸からははずれており、明治、昭和の両三陸地震の津波にも襲われなかった。また海岸線は、津波が高く成りやすい V 字湾の連続するリアス式の海岸ではなく、緩やかに曲がった弓なりの海岸線であって、津波が高くなりにくいとされていたことから、将来も余り大きな津波に襲われることはないであろうと考えられた。このため、海岸線の標高 4～5 m の砂丘の上に築かれた本体の高さ 2 m ほど、天端（頂上面）標高 6 m の防潮堤で津波対策は十分と考えられていた。しかし 2011 年東日本震災では、約 10 m の津波に襲われて、海水は堤防をやすやすと乗り越え、荒浜集落で浸水を免れたのはわずかに 4 階建て鉄筋コンクリート造の小学校校舎の 4 階の床面以上の部分だけであった。住民は襲ってくる津波になすすべもなくここで約 300 人も生命が失われたのである。

以上の例で明らかなように、今後は津波の防災対策の計画を進める上では、「千年震災」は発生確率が小さい事を理由に無視してはならないことは明らかである。しかしながら、千年震災では津波の高さが 20 m であると予測された場合に、高さ 20 m の防潮堤を建設して市街地を守ることは非常に困難である。そこで津波防災には、次の 2 つのレベルに分けて考えるべきである、ということが主張されるようになってきた。

レベル 1 100 年に 1 度の巨大地震（M8 級）。高さ 6～8 m 以下と想定される津波に対する防災対策。

レベル2 1000年に一度の超巨大地震（M9級）。高さ15～30mと想定される津波に対する防災対策。

このうち、レベル1の津波に対しては、6～9m程度の防潮堤を沿岸市街地を囲う形に配置することにより、住民の命はもちろん、家屋財産や学校や道路鉄道・水道電気通信施設などの公共財産までも守ることを目標とするべきである。

レベル2の千年震災の津波に対しては、家屋や公共財産の損失には眼をつぶらざるをえない。なにしろ1000年に一度のことなのだから、その後10年あるいは20年の復興努力で財産損失は回復出来ると期待をかけることにする。ただひたすら人命の保全と、原子力発電所の被災による事故発生だけを考えるべきである。

以上のような2011年以後の地震津波防災の考え方を、愛媛県伊方原発の安全性の議論にも応用するならば、伊方原発に対しても1000年一度の発生確率の地震津波を考慮してもなお安全か、を議論しなくてはならないであろう。

### 1.3 東海地方、南海地方の千年震災津波

東海地震、南海地震による太平洋に面した地域の歴史津波事例や、将来の巨大地震、千年震災を詳しく述べるのは、本稿の趣旨を離れていくので、深くは立ち入らないが、西日本のプレート構造の理解のため、また東海地方にも静岡県御前崎市浜岡に原子力発電所があることも考慮して、東海地震、および南海地震の歴史事例などについて概略の事柄を簡単に述べておこう。

静岡県から三重県にかけての東海地方には、駿河湾の奥部を起点として南西方向に走る駿河トラフ・南海トラフの海溝軸が走っている。この海溝軸は、南方海域から1年間に約5cmの速度で北北西方向に進行してくるフィリピン海のプレートが、日本列島を載せるユーラシアプレートの下に沈み込み始める場所に当たっている。この海溝軸の北側の海域の海底下には両プレートの境界面が走っており、沈み込もうとするフィリピン海のプレートと上に載っているユーラシアプレートの間に日々応力（ストレス）の蓄積が起きている。この蓄積された応力は、おおざっぱに100年に一度発生する東海地震の発生によってプレート境界面のすべりを起こして解消される（図2）。昭和19年12月7日の東南海地震（1944年、M7.9）、安政元年11月4日の安政東海地震（1854年、M8.4）、宝永4年10月4日の宝永地震（南海地震と連動、1707年、M8.7）の各東海地震はその例であり、おのおの陸上には地震の揺れによる被害と、海岸線を襲う大きな津波被害をもたらしてきた。この海域で起きた東海地震のうち「千年震災」と考えられるのは、今から約500年前の明応7年8月25日に起きた明応東海地震（1498、M8.8程度）である。この地震の津波は伊豆半島の伊豆市小土肥で18m、同市小下田でも18m、沼津市西浦江梨で10.9mの標高に達したことが知られている（都司ら、2013）。また焼津市で7m、天竜川河口の磐田市掛塚で10mであった。津波による溺死者は日本列島全体で2万6千人であった（『静岡県志太郡誌』に引用された林叟院の記録による）。浜岡原子力発電所は東海地震の震源域の直上にあるため、震度7の衝撃的な地震動を受けることは免れない。そのうえ、浜岡原子力発電所の前面の海域には

著しい浅海部の突き出しがある。このような海底地形のところでは津波のエネルギーが集中しやすい。この効果を考慮すると、明応地震と同様の千年震災の津波が東海沖に発生すると、浜岡原発の海岸では津波は 20m 前後の高さに達するものと推定される。

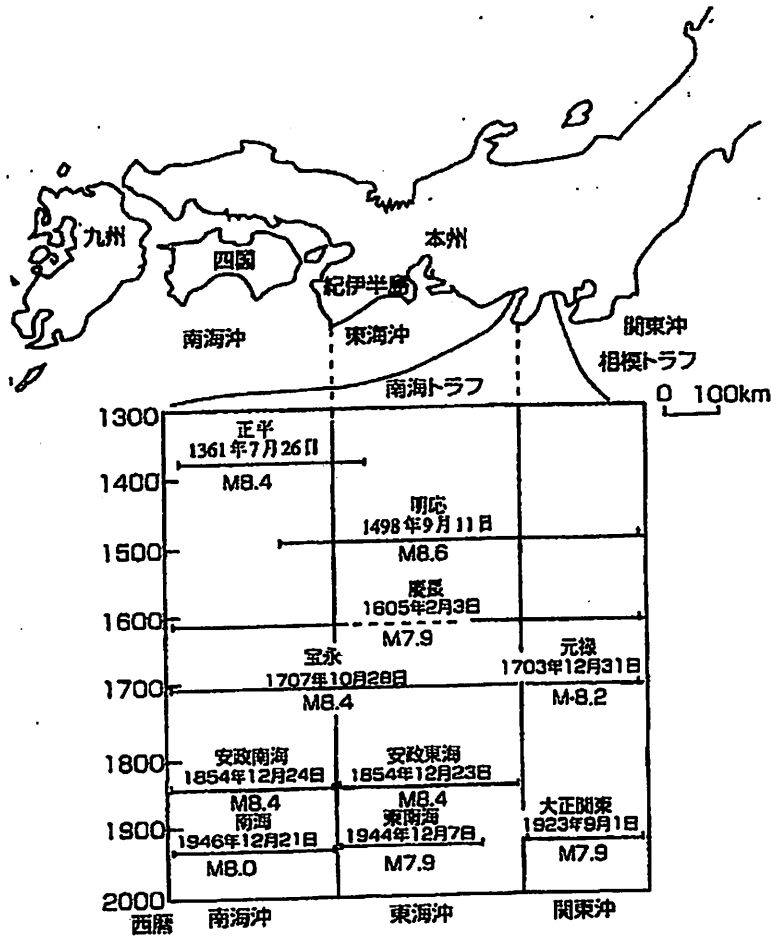


図2 東海沖、および南海沖地震発生図表

紀伊半島和歌山県、四国沖の海域ではやはり大まかに 100 年に一度の頻度で南海地震系列のプレート境界型の巨大地震が起きている。昭和 21 年 12 月 21 日の昭和南海地震 (1946 年、M8.0)、幕末の安政元年 11 月 5 日 (安政東海地震の翌日) に起きた安政南海地震 (1854 年、M8.4)、宝永 4 年 10 月 4 日に起きた宝永地震 (1707、M8.7) が起きている。南海地震は東海地震に引き続いて起きる傾向があり、昭和 21 年南海地震は昭和 19 年東南海地震の 2 年後に、安政南海地震は安政東海地震の翌日に起きた。宝永地震 (1707) は東海地震と南海地震が同時に起きた、「連動型地震」として起きた。この宝永地震が、南海地震として千年震災であったと推定される。その推定の根拠として、高知県海岸での津波の高さは、安政南海地震のその約 2 倍の高さがあったことが挙げられる (図 3)。

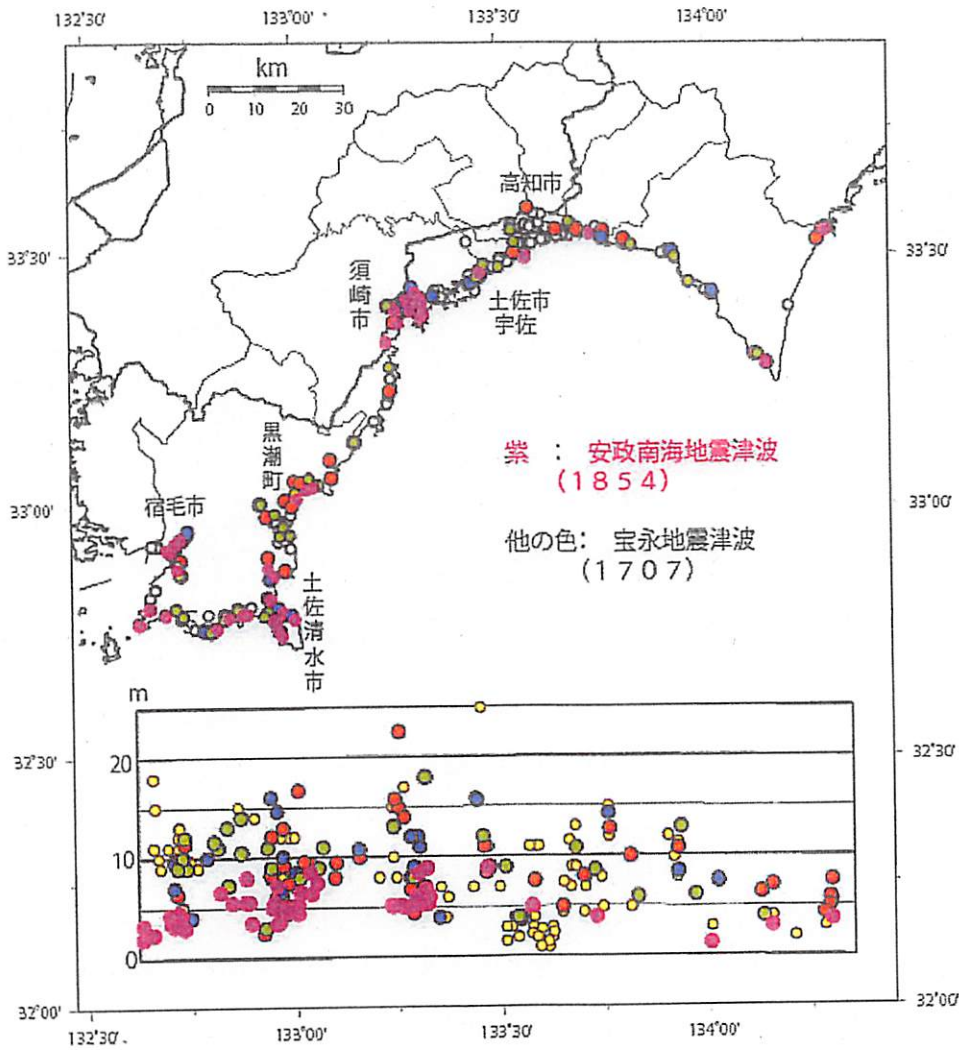


図3 高知県の海岸線における宝永地震(1707)、および安政南海地震(1854)の津波の浸水標高(紫)

## 2. 中央構造線に起きた過去の地震・津波

### 2.1 日本列島の成り立ちと、中央構造線

愛媛県伊方町の北方の瀬戸内海の海域には東西に「中央構造線」とよばれる我が国で最大級の活断層帯が走っている。この中央構造線は、日本列島の中央に当たる長野県諏訪湖付近にはじまり、天竜川の東側を川と平行して南下し、JR 佐久間駅付近で天竜川を西向きに横断して愛知県を流れる豊川に沿うように西に延び、豊橋市から伊勢湾を横断する。



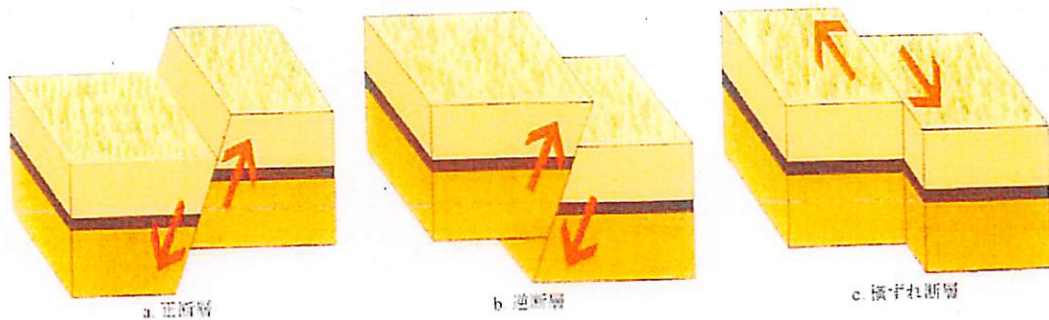
図4 日本列島の2大構造線(断層系)である中央構造線と糸魚川静岡線

さらに紀伊半島に達して伊勢市付近の海岸に上陸し、榑田川をさかのぼって紀伊半島を横断し、紀ノ川にそって和歌山市に達する。その後徳島県吉野川に沿って西進し愛媛県新居浜市、西条市、松山市の南を通って佐田岬半島の付け根付近で瀬戸内海に入り、別府湾を縦貫して最後は九州八代市に達する構造線である。「構造線」というのは幾本もの断層から成る1本の断層系を意味するが、この線は日本列島の西半分を南北に切り裂く割れ目の線となっている。

中央構造線はなぜ出来たのだろうか?日本列島は、10 万年以上前には直線的な列島であった。これを竹のような管(くだ)構造に置き換えて考えると(図4左図)、日本列島は元は直線的な1本の管であったが、数万年前に横からの力が働いて、東北部分(I)と近畿・中国四国部分(II)、および九州部分(III)の3つの小管に折れ曲げられた。そうすると、II部分とIIIの部分では図4左図のような力が働き、竹の中心軸の所には、「ずれ(剪断応力)」によって軸方向に亀裂が生ずる。中央構造線というのは、この竹の管の真ん中に引き裂くように入った直線状の割れ目なのである。従って中央構造線では、両側が引き裂くような力が働いた、正断層型の大きな断層であると言える。

注意:地震を起こす断層には力のかかり具合によって3種類に分類される。一つ目は引っ張り合う力が働く断層で、地震が起きると断層の一方側の地層がすくと落ちるタイプで「正断層」と呼ばれる。二番目は断層の両側から押し合う形で、地震が起きると片側の地層が他方に乗り上げる。このようなタイプの断層を「逆断層」とよぶ。地震を起こす活断層としてもっとも多いタイプである。第3のタイプは、押

し合いも引き合いもせず、ただ横方向にずれ合うタイプの断層で「横ずれ断層」と呼ばれる。「正断層」タイプに分類される（参考図参照）。ただし、現実には「引っ張り合いつつ横ずれも生じている」という「横ずれ」でありかつ「正断層」である断層も数多く存在する。「中央構造線」はこのタイプの断層である。近畿地方以东では「横ずれ断層」により近く、四国以西では「正断層」により近いということが出来る。



参考図：断層の3つのタイプ

現在の中央構造線の活動は、長野県諏訪湖に近い東の方の場所ほど弱まっていて、長野県から三重県までは、歴史時代にも考古時代にも地震も起きて居らず、また現在微小地震も起きていない。ということは、ここまでの区間では応力の蓄積はほとんど起きて居らず、もはや「活」断層ではなく、「死んだ」断層と言って良いであろう。中央構造線が「活着している」のは和歌山県以西の部分、すなわち四国、九州の部分である。特に九州ではこの中央構造線にそって南北に大地が引き裂かれて、裂け目の間から鶴見岳、由布岳、阿蘇山、雲仙岳などの活発な火山が引き裂かれた大地の間から噴き出しているのである。

## 2.2 愛媛県東部の中央構造線

徳島市付近から徳島県吉野川の流路にそって阿波池田に達する中央構造線の断層帯は、さらに西側に進んで愛媛県の四国中央市(伊予三島)、新居浜市、西条市の瀬戸内海に面した各都市の市街地の南の山裾を走る池田断層、石鎚断層、岡村断層、そして川上断層として現われる(図5)。石鎚断層の所では、平行して畑野断層という副断層が平行して現れる(図5)。JR予讃線を走る列車の南側の車窓から山裾を注意して観察すると、平野の南端の山地に掛かるところが、包丁かナイフでケーキを切ったような鋭角的な斜面の急変の線が直線的に連なっているのが観察されるであろう。



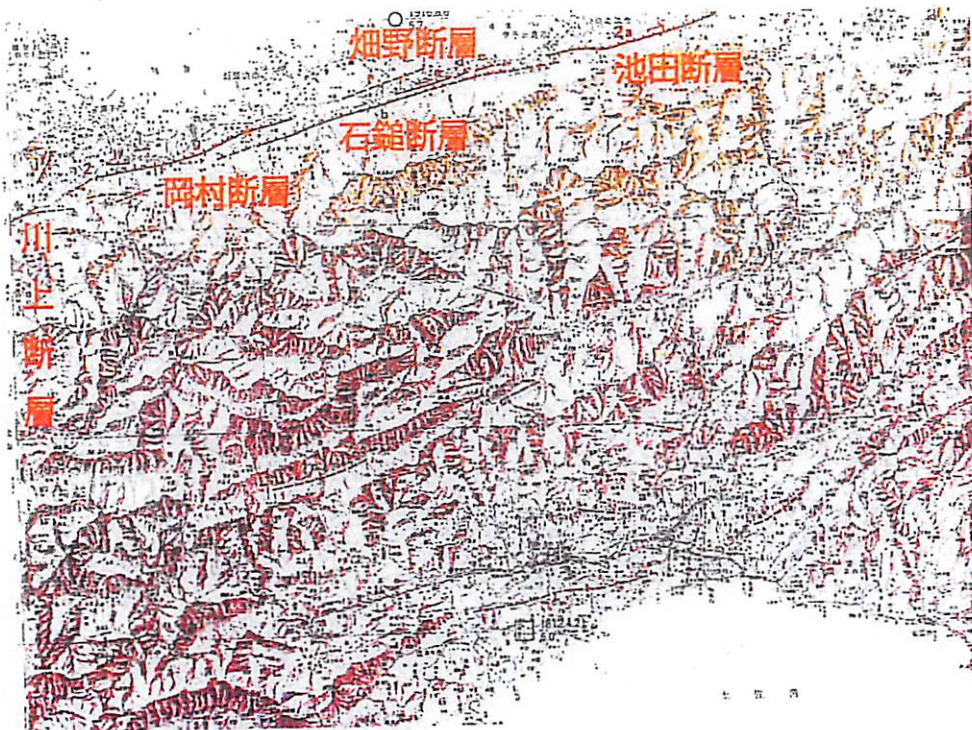


図5 愛媛県東部で中央構造線を構成する断層群 (『新編 日本の活断層』、1991)

中央構造線を構成する一つの断層と次の断層とは線として連続しているわけではなく、前の断層が徐々に消えていくところで、これと平行して次の断層が少しずれた位置に徐々に現れ始める。四国では中央構造線を構成する活断層はどれも地形的に「うす寝ぼけて」切り口がまるみを帯びていると言うわけではない。地震によって新たな断層面が形成されてそれほど時間がたっていないと見られるような、ずれ断面の「鋭利さ」が観察される。四国での中央構造線を構成する各活断層は千年単位で見れば1度や2度は地震が起きていて、常にとぎすまされた新たな断層面が現れているという「鋭利さ」があるのである。また『新編 日本の活断層』(活断層研究会、1991)でも、これらの断層はいずれも、1000年間のずれの進行が平均1mを越える「A級活断層」と判定されている。いずれも人間の日常生活において「今日明日地震が起きるかもしれない」とびくびく心配する必要はないが、原子力発電所のような千年一度の地震を問題とする施設の設置にはまっさきに考慮すべき活断層群であるということが出来る。

### 2.3 愛媛県西部の中央構造線

つぎに、愛媛県西部の中央構造線を見ておこう(図6)。

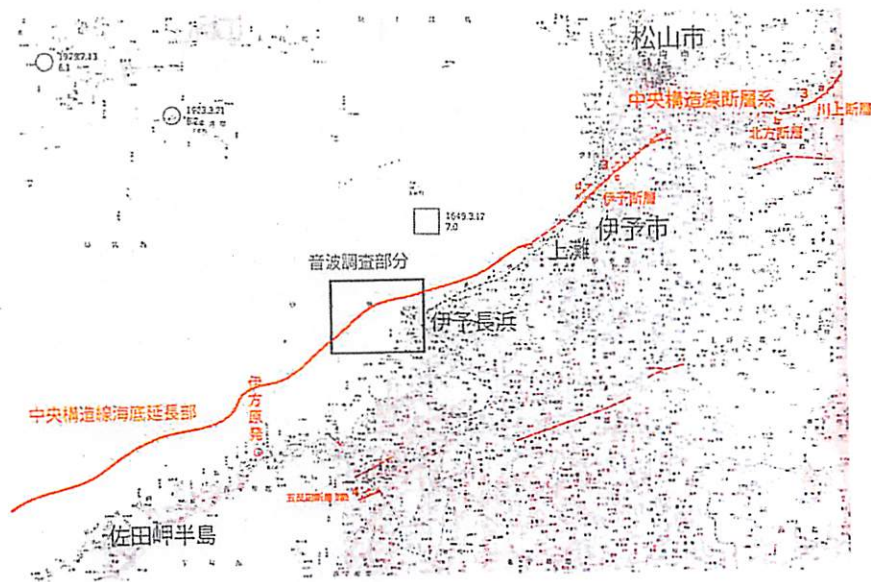


図6 愛媛部分の中央構造線の断層系

徳島県の吉野川にそって東から延びてきた中央構造線は、愛媛県の新居浜市、西条市の山裾を走って、ほぼ高速道路・松山道の線に沿って松山市の南辺をかすめる。西条市から松山市に抜ける桜三里付近では、この部分では北方断層を形成している。松山市から伊予市に入ると伊予断層と呼ばれる断層にバトンタッチして、伊予市双海町上灘付近で断層線は瀬戸内海の海域に入る。海域に入っても断層線は、伊方町から佐田岬半島の海岸線のすぐ沖合を東西に走って九州・大分県の別府湾内に入っていくのである。

『新編 日本の活断層』(1991)には、堤ら(1990)によって愛媛県伊予市上灘沖の10本の縦断測線に沿って音波探査測定された海底地質構造の断面図が紹介されている。

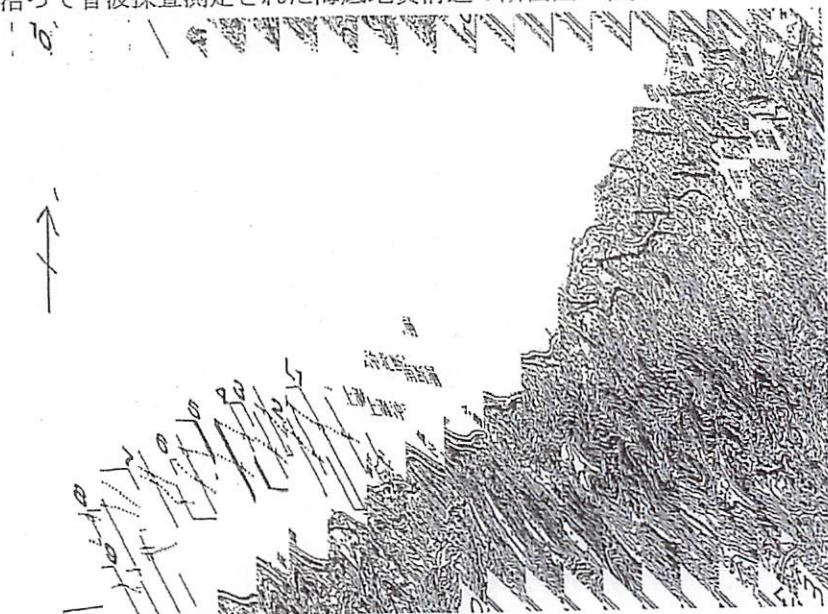


図7 伊予市双海町上灘沖で行われた10本の音波探査測線(堤ら、1990)

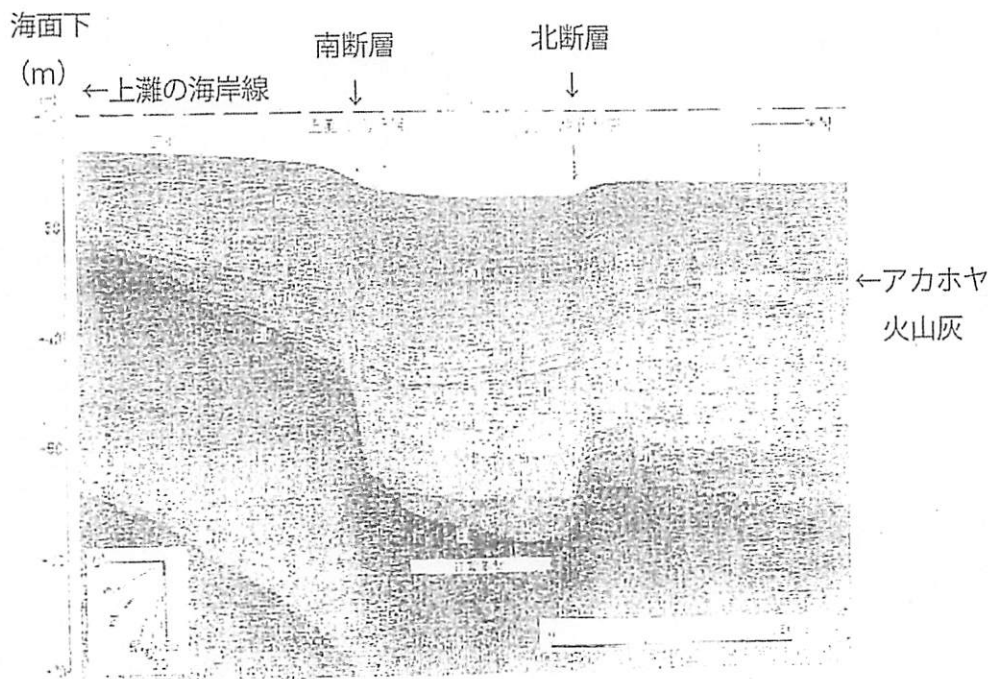


図8 愛媛県伊予市上灘沖の断面5 (図6参照) の音響測定断面 (堤ら、1990)

図7の10本の測線のうちの5番測線(図の太線)の測定結果を図8に示す。ここには明瞭に、海底面が長年にわたる幾度もの中央構造線の地震活動によって生じた海底地層中の痕跡を見ることが出来る。すなわち海底面は「南断層」と記した地点(上灘付近の海岸線から約1.7km沖合)から「北断層」と記した地点(同じく約2.2km)までの約500mの間で、海底面は段差約1mほどのくぼみを生じていることが読み取れる。じつはこの部分が「中央構造線」そのものである。この部分の地下構造を見てみると、長年にわたる海底堆積物層の縞模様が、地下深くまで同じように沈下しており、しかも深い縞模様ほど沈下の程度が大きいことがわかる。このような地層構造は、ここで幾度もの中央構造線の引っ張り力による地震(正断層地震)が起きており、この南北2本の断層線の間地層が沈下を繰り返してきたことを示している。

両断層外部の海底面から地下約10m付近の所に、ひときわ濃い黒色の縞が一筋現れている。これは、今から約7300年前に鹿児島県薩摩半島南部の海域にある海底火山である鬼界(きかい)カルデラの大噴火によって噴出した火山灰の層(アカホヤ)である。すなわち、この濃い縞模様の線は今から約7300年前に海底面に堆積した層である。この濃い縞は南北両断層間の沈下部分にも現れている。この鬼界火山灰層はこの沈下部分で、南北両側の沈下しなかった位置より更に約8m下側にある。ここで仮に、今現在鬼界カルデラの噴火がもう一度起きたとしたら、この現在の海底面の上に新たに堆積層が形成されるはずである。この場合「新」鬼界カルデラ堆積層の両断層間での窪み量は約1mとなるはずである。お

そらく今から 7300 年前に、鬼界火山の噴火直後には、このような状態であったと推定される。それが現在は、鬼界火山灰層は沈下部分で約 8 m の沈下量を示しているのであるから、7300 年前から現在までに、約 7m の沈下量を加えたことになる。すなわち、中央構造線のこの部分では、最近 7300 年の間に「幾度かの地震」が起きていて、合計約 7 m の段差を加えていったことになる。後に述べるように、ここでは中央構造線は 5 回程度、このずれを起こした地震が発生したと推定されている。すなわち、中央構造線はこの場所で、1 回当たり平均  $(7\text{m} \div 5) = 1.4\text{m}$  程度のずれを伴う地震が起きてきたことを示している。この断層の両側のずれの量が 1.4m とすると、松田(1975)の次の公式によって 1 回ごとの地震のマグニチュードをおよそ推定することが出来る。

$$\text{Log } D = 0.6 M - 4.0 \quad (1)$$

ここで、D は断層両側のずれの最大量 (m) であり、対数は 10 を底 (てい) とする常用対数である。D=1.4m を代入すると、その地震のマグニチュードは M=6.9 となる。ただし、この公式に代入するずれの量 D は、その地震でずれを起こした断層の全体を調べて、その最大値を示す場所で測定した値を用いるべきである。ところが、ここで推定された D=1.4m という値は、最大値とは限らないので、ここに推定した M=6.9 というのは、地震規模の下限の値ということになるだろう。

なお、以上のように、愛媛県上灘沖の断面 5 では、「南断層」と「北断層」がペアを為して存在していて、その間に「溝」のような沈下部を挟む構造がみられた、このような構造は断面 5 だけではなく、音響調査の行われた 10 本の側線のすべてについて観察されており、おのおの側線での両断層の位置は図 6 に「上灘沖北断層」、「上灘沖南断層」として注記してある。このような構造は、豊予水道の中央部までたどることができて、これがこの部分での中央構造線の姿なのである。

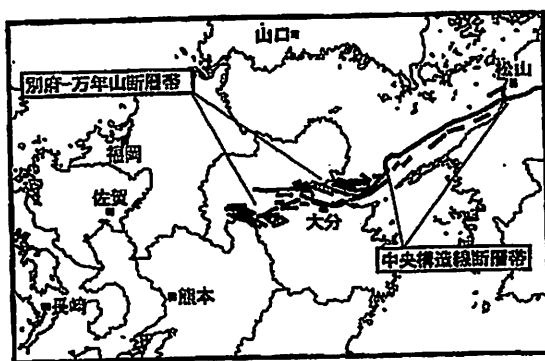


図 9 豊予海峡の中央構造線を構成する断層系

#### 2.4 九州の中央構造線

愛媛県西部では、佐田岬半島に平行にその約 10km ほど北方沖合をほぼ 1 本の沈下帯を形成する形で西に延びていた中央構造線は、別府湾の入り口で多数の小断層に分裂し、大分県北部では「別府・万年山 (はねやま)」断層系となる。中央構造線は愛媛県の瀬戸内

海側海域を通過したあと別府湾を縦貫して別府温泉付近から、九州に上陸する。九州に入ると中央構造線は、ラッパ状に西に行くにつれて幾筋かの活断層群に分裂する（図 10）。

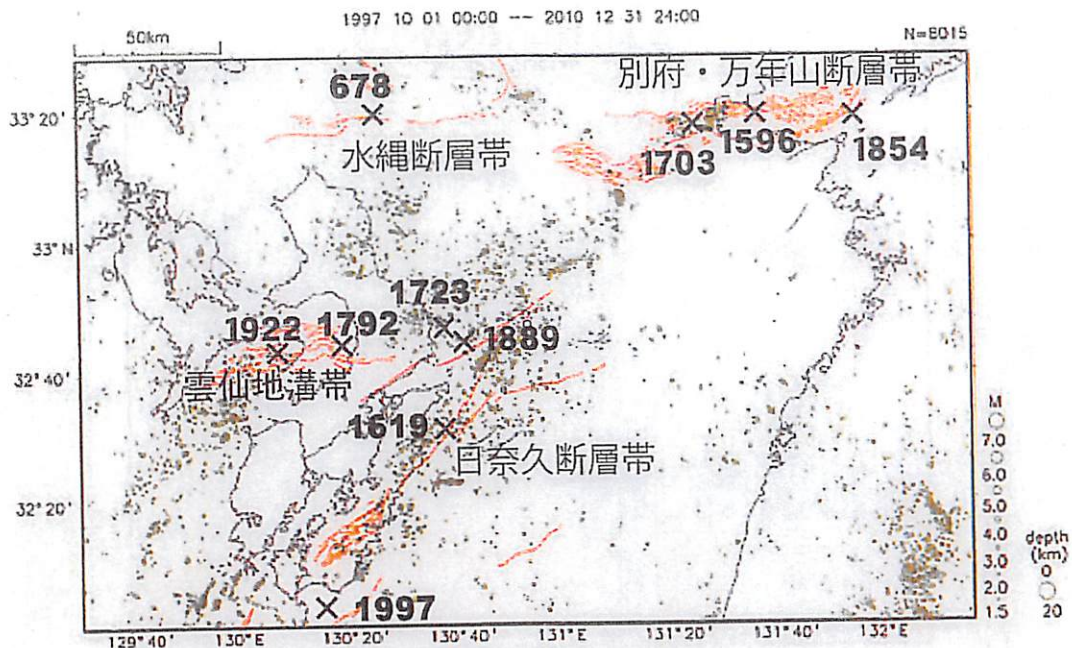


図 10 九州の中央構造線 赤単線は個々の断層 緑点は 1997 年～2010 年に発生した微小地震

図 10 は九州中部に分布する活断層を示している。愛媛県佐田岬半島の北側の瀬戸内海を走ってきた中央構造線は、別府湾を頂点として、西に向かうにつれてラッパ状に広がって分布する。別府湾内から大分県中部の由布岳・鶴見岳を含む日田地方にかけて「別府・万年山（はねやま）断層帯」と呼ばれる多数の活断層の「帯」に分裂する。この断層帯の活動と見られる地震として、慶長元年(1596)豊予地震、1703 年元禄豊後地震、および安政元年(1854)豊予地震が起きている。元禄豊後地震(1703)は、同日（元禄 16 年 11 月 23 日）に関東地方で起きた「元禄関東地震」に誘発された大分県山間部の地震で、愛媛県からは遠い地震である。安政元年 11 月 7 日の豊予地震は、安政南海地震(1854)の広義の余震として起きた地震で、中央構造線の地震ではないと考えられる。伊方原子力発電所の安全性に関して問題となる中央構造線の活動による地震は、このうちの慶長元年豊予地震(1596)のみである。豊予地域の中央構造線で起きた最新の地震と見られる。この地震については節を改めてやや詳しく述べることにする。

別府・万年山断層帯のさらに西方には、JR 久大本線のすぐ南側をこれにほぼ平行に走る水縄（みのう）断層が続く。この断層上では古代の天武天皇 6 年（西暦 676 年）に大規模な地震があったことが『日本書紀』に記録されている。別府・万年山断層帯からは、西南方向にもう 1 本の断層系が伸びていて熊本県八代市、鹿児島県薩摩川内市付近に達しており、

日奈久（ひなぐ）断層系と呼ばれている。この断層系でも過去に元和 5 年（1619）の八代地震、および、明治 22 年（1889）に熊本市付近で中規模の被害地震(M6.3)が生じており、1997 年に薩摩川内市付近を震源として起きた鹿児島県西北部地震(M6.4)もこの断層系に起きた地震の一つと考えることが出来る。以上、九州を東西に横断する中央構造線を構成する別府・万年山断層系、水縄断層系、および日奈久断層系はいずれも現在も絶えず日々応力の蓄積が進行している「活きた」断層であることは、微小地震観測の結果からも裏付けられる。すなわち図 10 の小さな点は 1997 年 10 月 1 日から 2010 年の年末までの 12 年あまりの間に発生した微小地震の発生位置を表しているが、これら 3 個の断層系の地下で盛んに微小地震が発生していて、応力の蓄積が現在も絶えず進行している事を示していることがわかるのである。

## 2.6 別府湾の海底下の地質構造

中央構造線による、「沈下の帯」は愛媛県伊予市上灘の沖合海域でその存在が検証されたことは既に述べたが、この構造は、幅、および沈下の量が拡大した形で別府湾内にまで続いている。上灘沖で観測された「北側断層」、すなわち、中央構造線による沈下の帯の北限の線は、この線より南側の海底地層がすくと沈下している所であるが、その西の延長部である別府湾の入り口での音響断面調査が島崎ら（1986）によって行われた。以下にはその結果を述べよう。

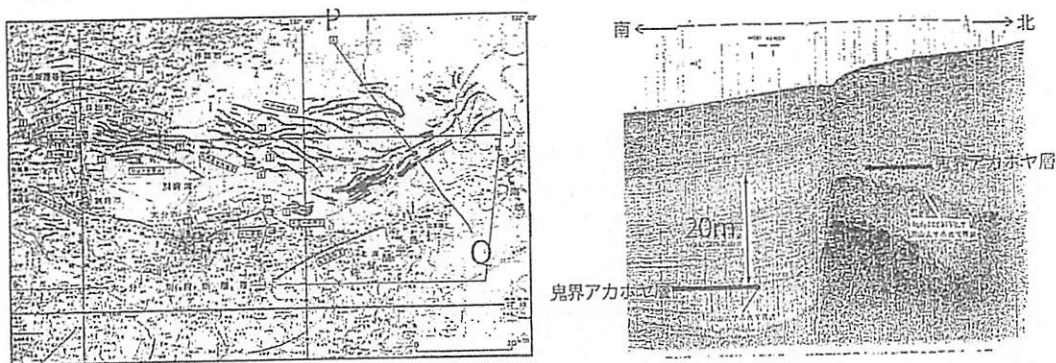


図 11 別府湾口の左図 PQ 断面が音響調査断面。右図は北側断層に見られる層構造（島崎ら、1986）による

図 11 は、島崎ら（1986）によって行われた別府湾の横断面の音響海底構造調査の結果の一部である。左図の PQ 線の測定結果のうち、中央構造線の北側断層付近の成果を右図に示す。この図からわかることは、7300 年前に海底面上に堆積した鬼界アカホヤ層が、この断面では 20m もの段差となっていることである。7300 年前に海底に堆積した直後には、現在のその場所の海底面の小さな段差(約 1 m) しか段差が無かったと推定されるが、その後現在までの間に起きた幾度か、中央構造線のこの部分での地震のため次第に段差が拡大累積し、ついに現在ここに見られる 20m もの段差を生じるに至ったものと推定される。それでは 7500 年前から現在までに何回の地震が起きたのだろうか？そうして 1 回の地震ごとにここ

でどれほどの段差が新たに加わったのであろうか？この質問には、別府湾奥の陸上を走る活断層の断面調査から明らかにすることが出来る。その具体的な過程についての説明は省略するが、結果を図 12 に示しておこう。

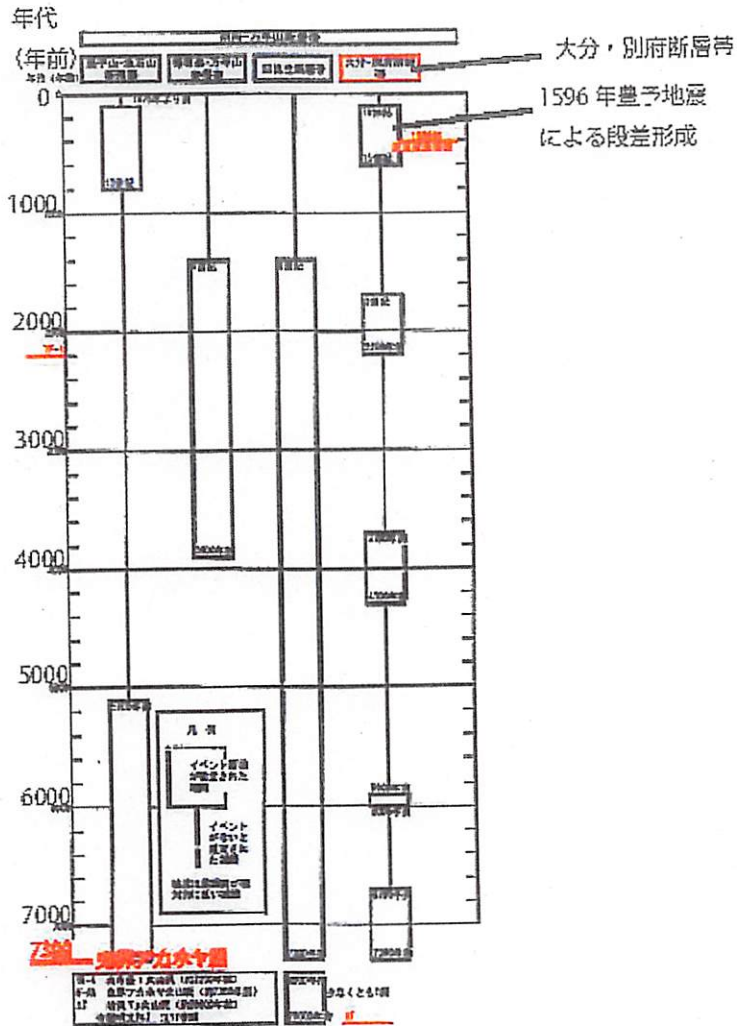


図 12 大分県での中央構造線を構成する各断層のずれの進行の具合から推定された、現在から 7300 年前までの地震の発生年代

図 12 によると、その一番右側に示された「大分・別府断層」のずれは、今から 7300 年前(鬼界アカホヤ層の年代) までに 5 回の地震があったことが示された。そのうち最新の地震は、純地質学的証拠からは、「15 世紀から 19 世紀までの間に起きた地震」としか確定しないが、歴史記録の情報を加味すると、それは慶長元年(1596)年閏 7 月 9 日に起きた「慶長元年豊予地震」によるものであることがほぼ断定される。

さて、図 11 の議論に戻ると、別府湾口の断面では、7300 年前から現在までに、何度かの地震による段差の蓄積の結果、図 11 に現れた 20m の段差のうち、1m 分は、火山灰が海底面に降り積もった当所に既に海底面 1m の段差があったと推定され (図 11 右図海底面

参照)、これを差し引いた 19m の段差が地震によって形成された段差と推定される。いっぽう、図 12 の別府湾岸の大別府断層のずれの調査から、この 7300 年間に 5 回の地震があったことが明らかになった。してみると、 $19\text{m} \div 5 \text{回} = 3.8\text{m}$  となって、1 回当たり約 4m の段差が加算されていったことになる。ただし、「震源域には別府湾口は含んでいたが、別府湾奥の陸上には達していなかった」という地震を数え落としている、という可能性がないとは言えないが、この可能性はごく少ないと考えられ、これは無視しよう。

結局この節の結論は、中央構造線は豊予海峡・別府湾の海域で、最近 7300 年間に 5 回の地震を起こしていることがほぼ明らかとなった。そのとき、断層は垂直方向に 3.8m の段差を生じた。その 5 回の地震のうち最新のものは、慶長元年(1596)の豊予地震である、ということである。このずれの量  $D = 3.8\text{m}$  を、松田 (1975) による「ずれの量とマグニチュード  $M$  の関係式 (1)」に代入すると、この地震の規模はおおむねマグニチュード  $M7.6$  に達していたことになる。1995 年の兵庫県南部地震の約 3 倍の規模の地震であったことになる。これは、慶長元年(1596)豊予地震の古文書記載の事実と整合するであろうか？また、この地震によって伊方原発付近はどれほどの震度、および津波の浸水高さがあったと推定されるであろうか？これについては節を改めて述べることにしよう。

### 3. 慶長元年閏 7 月 9 日 (1596 年 9 月 1 日) の豊予地震について

戦国時代(織豊時代)の最末期にあたる文禄 5 年 (= 慶長元年) 閏 7 月 9 日、別府湾を震源とする大地震が起き、伊予国(愛媛県)から豊後国(大分県)にかけて建造物の倒壊を伴う被害を生じた(中西、2002、都司ら、2011)。また、この地震による津波が別府湾沿岸を始め、上ノ関(大分市佐賀関町本町および真砂)を襲い、被害を生じたことが記録されている(羽鳥、1985、都司ら、2012)。この地震の津波によって別府湾に瓜生島と呼ばれる大きな島があったが、この地震による津波で海面下に没してしまったという伝承が語られることがあるが、この説は地震発生から約 270 年後の幕末に始めて生じた虚説であることが筆者らによって実証された(都司ら、2011)。この伝承の発生原因は、「沖ノ浜、別名瓜生島」と呼ばれた河口デルタの上の市街地にあった国内外の貿易船の停泊していた繁栄した港湾地区が、津波を受けて壊滅したという実相に由来すると見られる。

この地震の被害域は豊後国(大分県)だけではなく、伊予国(愛媛県)にも及んでいることから、この地震は「慶長元年豊予地震」と呼ぶのが適切である。

#### 3.1 慶長元年豊予地震の伊予国での地震被害

西条市広江の古記録である『廣江之由来』には、次の記載がある。

慶長丙申七月大地震、人屋転倒、此邑無棟宇全者。於是挙村老穉遷邑於今地、  
(文意：広江では慶長元年七月に大地震があつて、人家が転倒して村中に無事な家は一軒もなかつた。そこで、長老たちは議論して村全体を今の地に移転することにした)。

この記載によると、西条市広江地区にあつた広江村は慶長元年地震のために全戸倒壊の被害を出していることになる。したがって、ここで震度 7 であつたことになる。この地点



は中央構造線を構成する断層の一つである川上断層からわずか5km隔たっているに過ぎない。

注：現在の気象庁震度階の定義によると、現代的な意味で耐震性が考慮されていなかった昭和40年代以前に建てられた日本式の木造家屋の倒壊百分率が30%以上の時を震度7、10%を越え30%未満の時は震度6強、2%を越え10%未満の場合を震度6弱と定義されている。ただし江戸時代以前は、昭和40年までの近代の木造家屋より明らかに地震に対して脆弱であると考えられ、60%以上を震度7、20%以上を震度6強、5%以上を震度6弱とおおよそ規定することが多い。

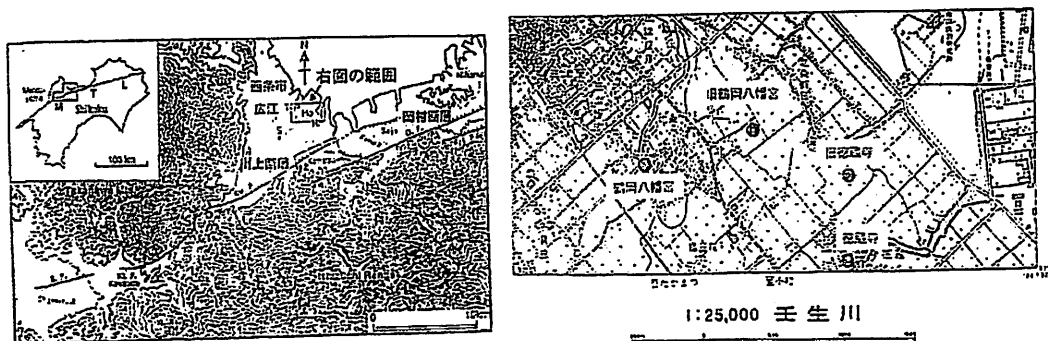


図13 慶長元年豊予地震(1596)による被害の生じた西条市広江付近の詳細図(中西、2002による)

この西条市広江にはこの地震による被災を伝えるもう一つの古文書がある。すなわち、『小松邑志』に次の文が載っている。

北条村 北条郷 古は池田郷に属すと云。

鶴ヶ岡八幡宮

文禄四年壬辰閏七月九日戌刻(午後8時)ノ地震ニ宝殿神器記録ニ至ル迄大半転倒シテ地中ニ陥没ス

この記事によると、広江村に隣接する北条村の鶴ヶ岡八幡宮では、この地震のために、宝殿(本殿)、神器、古文書に至るまで大半転倒して地中に埋もれたという。やはり震度6強～震度7の強い揺れであったことを示している。

こんどは松山市南部の保免地区の記録を見ておこう。松山市保免の『古蹟俗談』に次の記載がある。

伊予郡 日招八幡宮 保免村

薬師寺 西林寺村附

慶長元年閏七月天下大地震の時本堂仁王門迄崩るるよし

この文によると、伊予郡保免(ほうめん)村、すなわち現在の松山市保免で、日招八幡宮の本殿と、西林寺村の薬師寺が本堂から仁王門まで崩壊したという。これによれば、この地点で震度6強ということになる。「天下大地震」の文字に注意したい。このときの地震が、西条市と松山市という狭い領域に限るのではなく広範囲に被災地域が広がっていたことが、この文の原筆者の常識、あるいは前提知識となっていたことを示している。

京都大学の中西一郎教授（2009）は、三重県津市の藤堂藩の藩祖である藤堂高虎の文書『藤堂高虎遺帳』のなかに、伊予国宇和島城が破壊したとの記載を発見された。城の建物の倒壊ではなく「破壊」であるので、半潰、あるいは大破と判断され、宇和島での震度は6弱と推定する。

以上、慶長元年豊予地震の伊予国の震度は、西条市広江で震度7、松山市保免で震度6強、宇和島で震度6弱であったと結論される。

なお、讃岐国一宮の記録に「閏七月十二日の地震」によって「是に依って本社・摂社・末社・塔・仏閣に至るまで悉く零落す」の記載がある。しかし、伊予国・豊後国の地震の日付けは「閏七月九日」であって、三日の差があり、別の地震であると判断される。じつはこの讃岐一宮の地震の日付けは、近畿地方を震源とする「慶長伏見桃山地震」の日付に一致し、讃岐国の被害は近畿地方の地震による被害であると判断される。なお、閏七月九日と十二日に両方地震があったことは薩摩の僧侶・玄予の「玄予日記」によって証明される。

### 3.2 豊後国各地の震度

大分県の山間部にある湯布院（ゆふいん）の被災については、ポルトガル人宣教師ルイス・フロイスの次の記録がある。

イウノイン（湯布院）と呼ぶ地には、山麓に残った村が一つあり、幾人かのキリスト教徒がいました。（中略）いまこんなに恐ろしい地震のため、その地にある山の一部分が崩れ落ちて、その村を埋め、ほんの数名しか助かりませんでした（原文はポルトガル語）。

この記録により、大規模な山崩れによって村全体が埋もれた湯布院は少なくとも震度6強であったことがわかる。なお、フロイスは1563年に日本に来ていて、慶長豊予地震の発生時にはすでに在日33年を経過しており、日本人との会話・意思疎通には何の問題もなかったと考えられる。

大分市の中心街から西約5kmの八幡地区にある柞原（ゆすはら）八幡宮は豊後国一宮という社格の高い神社である。この神社の記録に次のように記されている。

慶長元年丙申閏七月九日、戌刻大地震、当社拜殿回廊諸末社悉転倒畢  
文意は「慶長元年閏七月九日の夜20時に大地震があり、この神社の拜殿、回廊、境内のいくつもの祠（ほこら）が皆倒れてしまった」と言うのである。本殿の倒壊が記されていないことから控えめに震度6弱と推定するが、実際には震度6強であった可能性がある。このほか、大分市内の寺院、および佐賀関の早吸日女神社の破損の記録があることから、これらの地点で震度5強であることがわかる。この地震の発生時刻が「閏七月九日戌刻（20時）」と記録されていて、愛媛県西条市北条の鶴岡八幡宮の記録と全く一致することに注目したい。すなわち、西条市と大分市という相互に約160km隔たった2地点を襲ったのは同一の地震であることを示しているのである。

遠方では、京都、鹿児島、備後三原で有感であったことを示す記録がある。以上の記録により、慶長元年豊予地震の震度分布は図13のようになる。

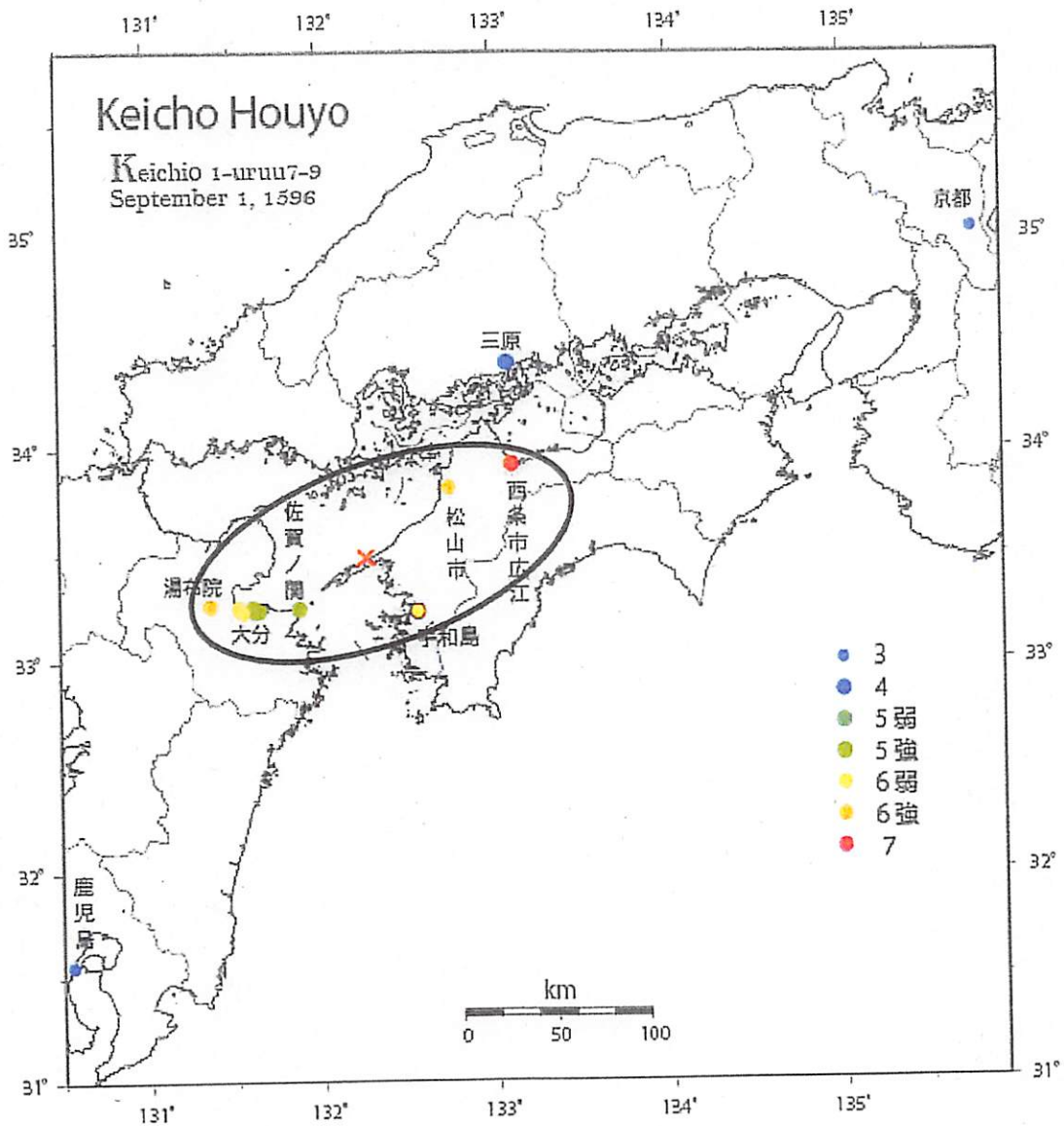


図 14 慶長元年(1596)豊予地震の震度分布

この地震の震度5以上の範囲は、中央構造線に長軸をのせる楕円形であって、長軸の直径は約180km、短軸の直径は約70kmである。この震度5以上の範囲の面積  $S$  (km<sup>2</sup>) と地震マグニチュード  $M$  に関する村松 (1969) の公式は次のようである。

$$\text{Log } S = M - 3.2 \quad (2)$$

この(2)式から見積もった地震マグニチュードは  $M=7.7$  となる。松田式(1)で求めた  $M=7.6$  に近く、古文書から推定した震度分布と、別府湾の海底地質調査によって得られたマグニチュードがほぼ同じ値となったことに注目したい。ただし、震度5以上を示す地域楕円の短軸方向の上方が宇和島の1点しかないことから、震度5面積  $S$  の精度は低いと考えられるので、この地震のマグニチュードは  $M=7.6$  とすべきであろう。

また震度分布の長軸がほぼ中央構造線に重なることから、慶長元年豊予地震が中央構造線を構成する複数の活断層の連動した地震であったことはほぼ疑う余地がないであろう。

### 3.3 慶長元年豊予地震の津波について

この地震には、津波を伴っており、別府湾周辺の4点で浸水標高（高さ）を推定することが出来た。

大分市佐賀関の早吸日女（はやすいひめ）神社では、本殿まで流失したと記録されている。筆者らは同神社を訪問し、宮司に伺ったところ、本殿の位置は往古から現在まで変化していないという。本殿の敷地の標高を測量して標高 8.6m の数値を得た。建物が流失するためにはここでの地上冠水は 2 m かそれ以上あることが必要である（羽鳥、1984）ので、ここでの津波の浸水高さは 10.6m（かそれ以上）であることが判明した。

別府湾北岸の杵築市の奈多人幡神社は社殿がこの地震の津波によって流失したと伝えられている。奈多人幡神社の敷地の標高は 6.4m であったが、やはり「流失」してる事から地上冠水 2 m として、ここでの津波の浸水高さは 8.6m と推定された。

大分市内では、『豊府紀聞』に「長浜明神之社殿流来到春日山」の記載があり、長浜神社は現在の大分市中央郵便局付近にあった（大分市教育委員会の御教示）ので、その標高を測定して、ここでは 5.5m の津波高であったことが判明した。

鹿児島藩の僧・玄与は鹿児島から京都への海路の旅行中に地震の日を迎えているが、佐賀関で「上ノ関が津波で流失した」との話を船主たちから聞いた。この上ノ関の所在について、筆者は当時船舶交易の中継地として栄えた山口県上ノ関と推定していたが、ごく最近発見された文書で佐賀ノ関のすぐ北側に「上ノ関」と呼ばれた地名があることを示す文書が提示された。

以上によってこの地震の津波の浸水高さの分布図として、図 15 を得る。この図では、上ノ関の位置はこの改訂結果を纂集している。地震の震度分布から推定された地震マグニチュード M7.6 とこの津波高さ分布は矛盾しない。

参考：1964 年の新潟地震の規模は M7.5 であった。その津波の最高水位は山形県大島崎での 5.0m であった。1983 年の日本海中部地震は M7.7 であって、津波の最高水位は秋田県能代市峯浜での 14m であった。慶長元年豊予地震が M7.6 であれば、津波が 5~10m であるのは不自然ではない。また、別府湾口の海底地盤変動が 4 m（沈下）であれば、図 15 の津波高さ分布は合理的と考えられる。この水深の震源であれば、海岸に達するころには、約 1.5~2 倍程度に増幅するからである。

### 3.4 慶長元年豊予地震(1596)のさい、伊方原発の地点ではどれほどの震度、津波の高さがあったと推定されるか？

慶長元年豊予地震(1596)は、発生年代が現在から 418 年前と古いため、現在に依存した古文獻が多くないので知られる事柄は以上ですべてである。伊方原発の場所での震度、津波の高さを直接推定できる古文書史料はそう簡単には見つからない。しかし、震度分布図

の図 14 と津波高分布図の図 15 によって、およそ伊方原発点での震度、津波高さを推定しうるであろう。

伊方が震源、ことにこの地震の原因となった中央構造線にきわめて接近した位置にあることから、震度は少なくとも 6 強。或いは 7 に達した可能性がある。津波は、6~10m 程度と考えて大きくは間違っていないであろう。

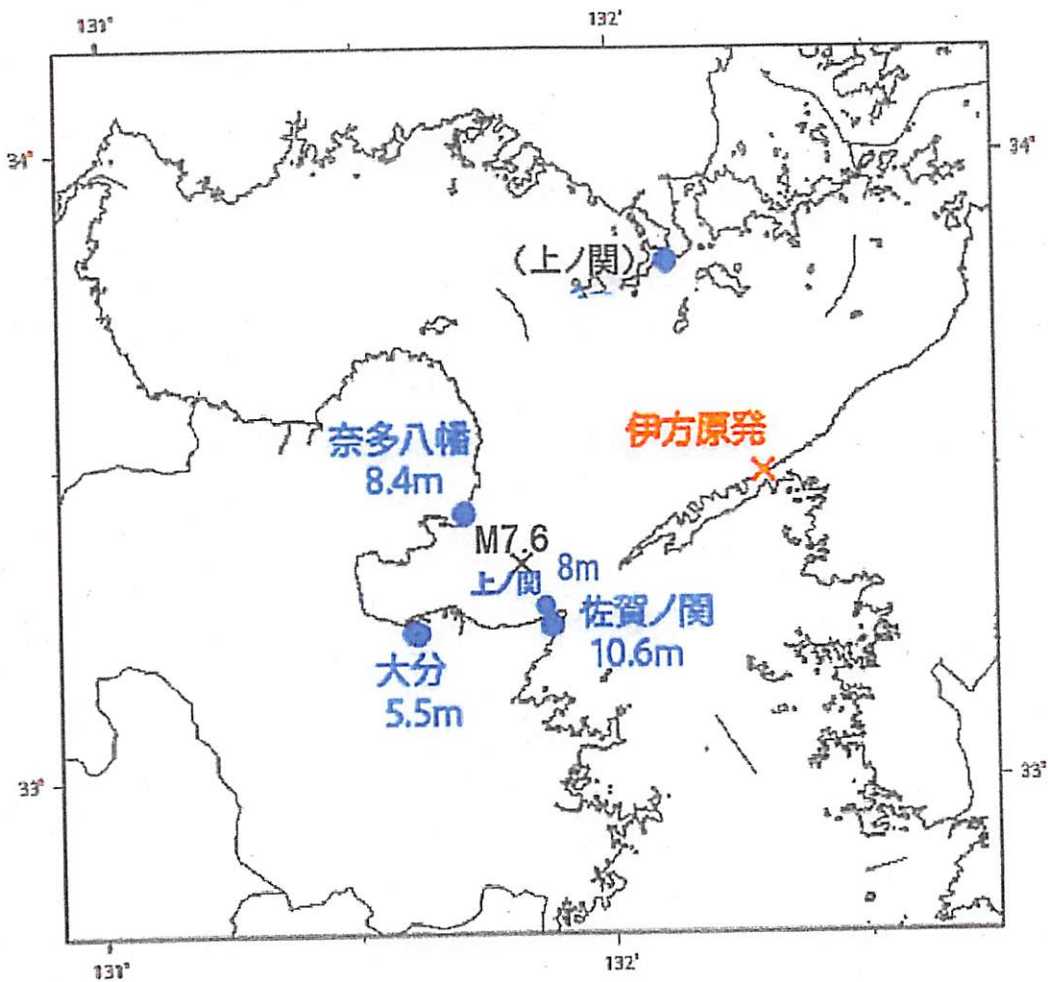


図 15 慶長元年(1596)閏 7 月 9 日豊予地震による津波の高さ

注記：「上ノ関」と呼ばれる町が、この津波で流失したことが、鹿児島から海路京都に向かった玄与の『玄与日記』（群書類従にあり）に、彼が佐賀ノ関に停泊中に聞いた話として記録されている。この記録に基づいて、当所筆者は、瀬戸内海の交易船の滞在地として栄えた周防国（山口県）の上ノ関と理解した（図 15 のカッコつきの上ノ関）。しかし、2013 年 9 月 14 日に秋田大学で開催された「歴史地震研究会」において、松崎伸一・平井義人両氏の「寛永海部大分大野三郡図に記された上関村」と題する演題で、佐賀ノ関の北部瀬戸内海側の市街地が「上ノ関」と呼ばれていたことを示す地元史料の存在が報告され、『玄与日記』の

「上ノ関」はこちらを指す可能性が高いことを論じられた。いま筆者は、この議論の妥当性を認め、この地域の市街地の敷地の標高と「集落の津波壊滅」の事実からここで3～4mの津波による海水冠水があったと推定してここでの津波を浸水高さを8mと推定し改訂して図15に表記した。

#### 4. 討論

##### 4.1 中央構造線以外の震源による地震・津波が伊方に影響を及ぼす可能性

ここまでの議論では、伊方原発に最大の影響を及ぼす地震の震源として、中央構造線を震源として起きる地震を論じてきた。では、それ以外の震源で起きる地震・津波による影響はどのようなのであろうか？

愛媛県を含む四国地方で、地震・津波に関してもっとも注目すべきなのは、南海沖のプレート境界を震源とする「南海沖の巨大地震」である。この地震は、南方から北上してくるフィリピン海のプレートと、西日本全体を載せるユーラシアプレートの境界面のすべりによって起きるもので、大まかに100年に一度の割合で紀伊水道から高知県南方沖の海域を震源として起きているものである。宝永地震(1707、M8.7)、安政南海地震(1854、M8.4)、および、昭和21年南海道地震(1946、M8.0)などがこれに該当する。第1章で述べたように、宝永地震(1707)は南海地震のなかの「千年震災」といいいいものである。では南海地震系列の地震が起きたとき、伊方原発付近はどのような震度となるのであろうか？

図16は安政南海地震(安政元年11月5日、1854年12月24日、M8.4)による愛媛県各地での震度分布図である。伊方原発に近い長浜、八幡浜などでの震度は4～5弱であって、伊方原発地震はこの付近では地盤の比較的堅いところに立地しているので、せいぜい震度5弱と見られる。千年震災の一つである宝永地震(1707)にしても、震度5強が上限であって、震度6に達しない。伊方原発は南海地震に対してはさほど心配する必要はない、といえる。なお、安政南海地震で最大震度を示したのは宇和島市吉田町本町での震度6強である。

津波は佐田岬半島以南では、御荘、宇和島で市街地での流失家屋があったが、佐田岬以北の瀬戸内では、せいぜい2m前後の津波しか記録されておらず、伊方原発の地点では南海地震系列の地震に対しては、津波に対してもそれほど大きな危険は生じない、といえる。

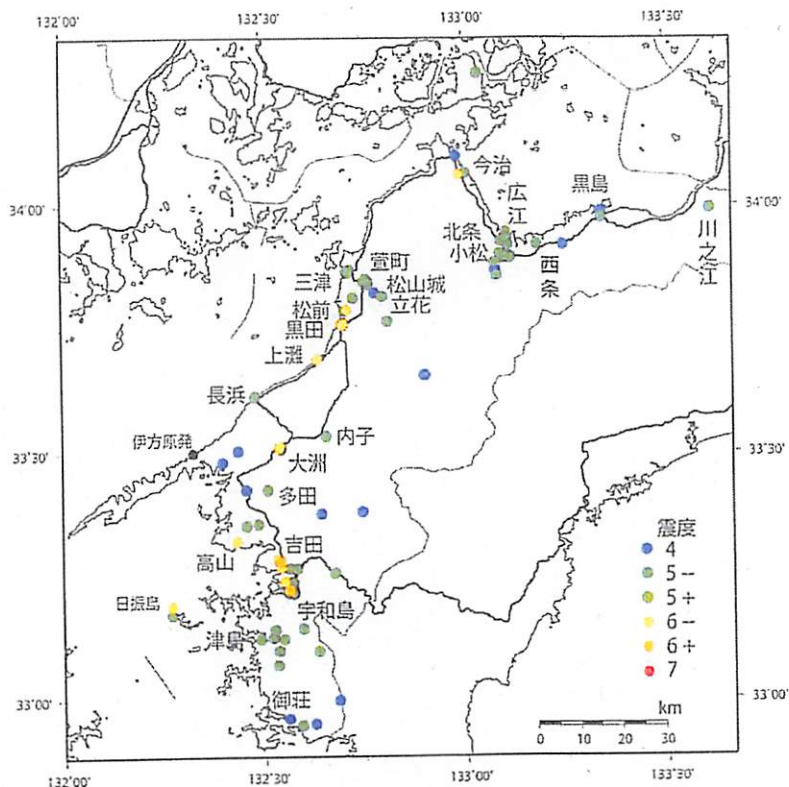


図 16 安政南海地震(1854)の愛媛県での震度分布

#### 4.2 将来の中央構造線地震は何時起きるのか？

中央構造線は愛媛県西部では海岸線の約 5km 沖合を海岸線にほぼ並行に東西に走っており、本稿で立証したように、そこでは慶長元年豊予地震程度の M7.6 級の地震が 1000 年に一度の割合で発生していると推定される。この間隔は等時間間隔とは限らない。現在からみて一つ前が、1596 年の慶長元年豊予地震であるのはほぼ間違いのない事実である。しかし、そうだからといって、「1000 年周期の地震。まだ 420 年しかたっていない。だからあと 580 年は起きない」と判断してはならないのである。例えば南海地震を例に取ろう。南海地震が千年震災の規模になると、高知県室戸岬は約 2m 隆起して海岸段丘が形成される。その段丘の上に化石となった珊瑚や貝の死亡年代を炭素 14 で調べると、いつ南海地震の千年震災が起きたのかが判定できる。広島大学の前杵(1999)の検証の結果、南海地震の千年震災は、最近 2000 年に 3 回起きており、古文書と比較して、1707 年(宝永 4 年、宝永地震)、1361 年(正平 16 年)、および 887 年(仁和 3 年)の 3 回であったことがほぼ立証され得た。2000 年に 3 回であるから、平均間隔は約 670 年ということになる。ところが、1361 年の正平南海地震から 1707 年の宝永地震まではわずかに 346 年しか経過していない。「平均 1000 年に一度」あるいは「7300 年に 5 度(平均 1460 年に一度)」といっても、その時間間隔はズいぶんまちまちなのである。

したがって、次の中央構造線地震はいつか？については、率直に言って不明としか云い

ようがないのである。(地震学の BT 確率分布モデルの議論があるが、今の問題にはそれほど役には立たない。)

#### 4.3 将来研究の課題：伊方町付近での 1000 年に一度の震度 6 強～7 の考古学的実証

もし過去に、およそ 1000 年間隔で 1596 年の慶長元年豊予地震のような地震が起きていたとしたら、考古学的には検証が可能ならずである。というのは、震度 5 強以上の揺れが起きると、川の旧流路や、沼沢地や湿地、旧時には海域であった沿岸平野などでは液状化が各所に生ずるはずだからである。埼玉県北部の深谷市や熊谷市では、弥生時代の住居跡遺跡に、元慶 2 年 (878) の武蔵相模地震 (『三代実録』) による液状化痕跡が見つかっている。また四国でも、徳島県板東遺跡、高知県四万十市のあぞうの遺跡で、西暦 1498 年に起きた明応南海地震の液状化痕跡が発見されている。愛媛県の考古学遺跡の発掘調査の成果が蓄積されれば、そのなかに液状化痕跡が発見され、本稿の議論の別個の有力な裏付け証拠が得られる可能性がある。この分野の研究の進展を期待したい。

#### 4.4 地震研究者として言いたい日本の原発・ワーストスリー

筆者は、地震研究者である。したがって、「そもそも原子力発電所はいかなる場所であっても建設するべきではない」、「資源に乏しい日本の産業経済を支えるには原発は必要だ」、「気候温暖化の原因は化石燃料の使用にともなって排出される炭酸ガスが原因だ。これを避けるのに原発は有効だ」などという政治的立場や、個人の見解を含んだ議論に対応することは避けた。ただし、地震学を研究する者としてこれだけは言っておきたいことがある。それは、現在 17 ヶ所ほどのある日本の原子炉のうち、「ここだけは地震学者としてやめてくれ」と言いたい場所が 3 ヶ所ある、ということである。その第 1 位・ワーストワンは静岡県の浜岡原発である。何しろ約 100 年に一度起きるとされる東海地震の震源断層面の直上にあつて、震度 6 強から 7 の強い揺れ、それも衝撃的な短周期震動の直撃が免れない。その上、浜岡原発の海岸の前面には、浅海部が舌状に突出した場所にあつて、津波のエネルギーが集中しやすい場所にある。2011 年東日本震災のさい、千葉県九十九里海岸にある旭市飯岡で津波が標高 8m に達し 15 人も死者・行方不明者を出したのは、飯岡の前面の海底に浅海部が舌状に突き出していたからである。浜岡原発の前面の浅海部の規模は飯岡のそれをはるかにうまわるのである。



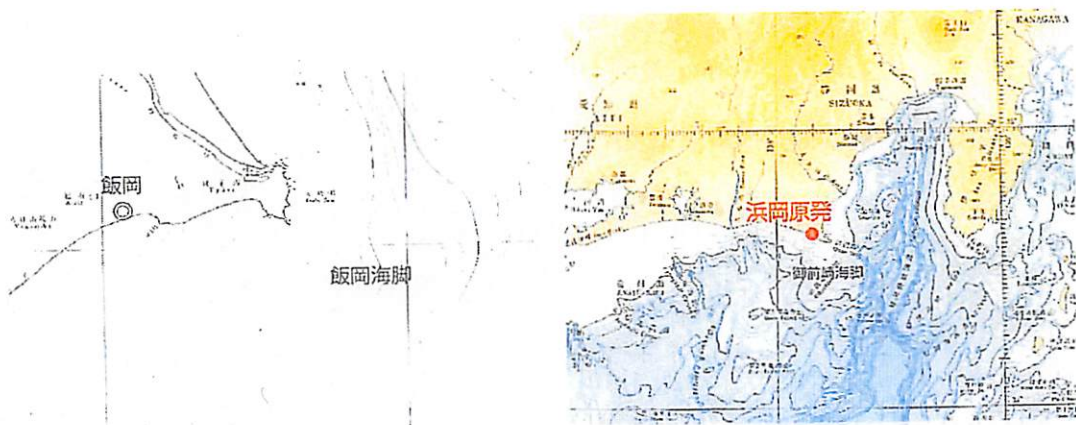


図 17 千葉県飯岡の前面の海底には「飯岡海脚」がある。これが飯岡での津波被害を大きくした。

静岡県浜岡原発の全面の海にはこれを上回る「海底山脈」が突出している

静岡県浜岡原発がワーストワンならば、愛媛県の伊方原発はワースト2位であろう。すぐ5km 前面の海域を中央構造線が走る伊方原発は、1000年に一度震度6強から7のゆれと、6~10mの津波の来襲は免れない。しかも震源にごく近い位置にあるため短周期震動成分を多く含むハンマーで殴られたような衝撃性の強い揺れの直撃はまぬがれない。約20センチメートルの厚さ鋼製の原子炉は大丈夫だといってもダメである。それに付随する、冷却水の循環装置とそのため電源装置に支障が出たら一巻の終わりであることは福島原発の事故で明らかである。

ワースト第3位は福井県的美浜原発である。寛文2年(1662)の北近畿地震を引き起こした花折断層系の三方断層がすぐ側を走っている。

#### 4.5 隕石の落下確率と原発について

2013年2月15日、ロシアのチェリャビンスク州で隕石が落下し、約400人の負傷者を生じ、大気を伝わる衝撃波によって落下点の数十キロ遠方の建物の窓ガラスが割れるという出来事があった。隕石の落下点に原子力発電所があったら大惨事になりそうである。この可能性がどの程度現実的であるかについて一応議論しておこう。

今から約6550万年前に、中米ユカタン半島北岸に落ちた直径約10kmの隕石の落下は、当時繁栄の極に達していた地球上の恐竜を4時間以内に全滅させただけでなく、アンモナイトのような巻き貝や、放散虫のようなプランクトンまで絶滅させた。ゾウを絶滅させることは容易であっても、全地球のハマグリを絶滅させ、さらにアリやゾウリムシまで地球全体から消滅させるのは容易なことではない。このような巨大隕石が落下する可能性まで問題にすれば、原発建設の可否の議論などすっ飛んでしまうであろう。幸いにも、このような巨大隕石の落下は一億年に一度程度(厳密にはカンブリア紀の始めから現在までの6億年に5回)とされ、この程度ならば問題とすることは出来ないであろう。

全地球を滅亡させるほどの巨大隕石は発生確率がきわめて小さいことから問題としなくて良いとして、たとえば半径数十キロメートルの範囲内が危険にさらされる隕石の落下は

どうであろうか？ 実は、今から約 2300 年前、アメリカ・ニューヨーク付近に隕石が落下し、巨大津波が発生して現在のニューヨーク市域が浸水するような大津波があったことが知られている。また、西暦 570 年ころインド洋中部に隕石の落下があり、それによる津波の痕跡がアフリカのマダガスカル島や、オーストラリアの西海岸で発見されている。

1908 年にロシア・クラスノヤルスク地方に落ちたツングースカ隕石の落下によって、半径約 30-50km にわたって森林が炎上し、約 2,150 平方キロメートルの範囲の樹木がなぎ倒された。

いまこのような例を参照して、100 年に一度の割合で地球上のどこかに 2000 平方キロメートル程度の「危険地域」を引き起こす隕石の落下があるとすると、地球の全表面積は 5.1 億平方キロメートルであるから、2000 平方キロメートルの 25.5 万倍である。従って、地球上のある一点が隕石落下の危険域に入る確率は 2500 万年に一度となる。

いっぽう、いま世界全体に 436 基の原発があるとされる。建設中、計画中をいれると 602 基であるという。1 カ所に 3~4 基あるとすれば、世界には全部で約 200 カ所の原子力発電所が有ることになる。するとそのどこか 1 カ所が隕石落下の危険にさらされる確率は 10 万年に 1 度、となる。あながい問題とするに足る確率ということが出来る。

#### 参考文献

- 羽鳥徳太郎、1984、津波による家屋破壊率、東京大学地震研究所彙報、52、407-439
- 羽鳥徳太郎、1985、別府湾沿岸における慶長元年(1596)豊後地震の津波調査、東京大学地震研究所彙報、60、492-538
- 活断層研究会、1991、『新編 日本の活断層』、東京大学出版会、pp437
- 松田時彦、1975、活断層から発生する地震の規模と周期について、地震、2、28、269-283
- 中西一郎、2002、文禄五年閏七月九日(1596年9月1日)の地震による伊予での被害を示す史料、地震、2、55、311-316
- 中西一郎、2009、文禄五年(1596)閏七月豊後・伊予地震による伊予国板島城(現宇和島城)の被害：藤堂高虎の遺帖、北海道大学地球物理学研究報告、72、383-386
- 島崎邦彦・中田 高・千田 昇・宮武 隆・岡村 眞・白神 宏・前杢英明・松木宏影・辻井学・清川昌一・平田和彦、1986、海底活断層ボーリング調査による地震発生時長期予測の研究—別府湾海底断層を事例として—、活断層研究、2、83-87。
- 菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・箕浦幸治、2011、地質学的データを用いた西暦 869 年貞観地震津波の復元について、自然災害科学、J.JSNDS、29-4、501-516
- 都司嘉宣・松岡裕也、2011、文禄五年閏七月十二日(1596年9月4日)豊後国地震津波と瓜生島伝説について、津波工学研究報告、28、153-172。
- 都司嘉宣・松岡裕也・行谷佑一・今井健太郎・岩瀬浩之・原 信彦・今村文彦、2012、大分県における 1596 年豊後地震の津波痕跡に関する現地調査報告、津波工学研究報告、

29, 181-188.

都司嘉宣・矢沼 隆・細川和弘・岡部隆宏・堀池泰三・小網汪世,2013、明応東海地震(1498)による静岡県沿岸の津波被害、および浸水標高について、津波工学研究報告、30、123-142

堤 浩之・中田 高・小川光明・岡村 真・島崎邦彦,1990、伊予灘北東部海底における中央構造線。活断層研究, 8, 49-57.

都司 嘉宣

経歴

昭和 22 年 9 月 21 日 奈良県宇陀市大字陀区中新 1941 番地出生  
昭和 29 年 4 月 兵庫県西宮市立上甲子園小学校入学  
昭和 35 年 3 月 同上 卒業  
昭和 35 年 4 月 東京都港区、麻布中学校入学  
昭和 38 年 3 月 同上 卒業  
昭和 38 年 4 月 東京都港区、麻布高校入学  
昭和 41 年 3 月 同上 卒業  
昭和 41 年 4 月 東京大学教養学部理科 1 類入学  
昭和 45 年 3 月 東京大学工学部土木工学科卒業  
昭和 45 年 4 月 東京大学理学部大学院、地球物理学専門課程進学  
昭和 47 年 3 月 東大理学部大学院修士課程地球物理学専攻課程修了  
昭和 48 年 10 月 科学技術庁国立防災科学技術センター研究員着任  
昭和 59 年 5 月 理学博士取得（東京大学）  
昭和 60 年 10 月 東京大学地震研究所助教授就任  
平成 17 年 3 月末 東京大学地震研究所地震火山災害部門 准教授就任  
平成 24 年 3 月 31 日 同上定年退職  
平成 24 年 4 月 1 日

高知県四万十市 地震津波防災アドバイザー

独立建築研究所（つくば市） 客員研究員

平成 24 年 8 月 15 日

（公益法人） 深田地質研究所（東京都文京区本駒込） 客員研究員

高知県四万十市 地震津波防災アドバイザー

建築研究所（つくば市） 客員研究員

現在に至る

専門分野

津波・歴史地震

論文・著書

都司 嘉宣（執筆した全論文数は 2013 年 8 月末現在約 250 編）以下には主要論文のみを載せる。  
都司嘉宣、大正関東震災(1923)における津波被害、建築防災、2013 年 8 月号、17-20.

都司嘉宣、家屋倒壊、および死者分布からみた大正関東震災(1923)の特徴、建築防災、  
2013 年 8 月号、21-25

都司嘉宣・今井健太郎・今村文彦、『谷陵記』の記載に基づく宝永地震津波(1707)の高知県における津波浸水標高、津波工学研究報告、東北大学災害科学国際研究所、30、143-158

都司嘉宣・大年邦雄・中野 晋・西村裕一・藤間功司・今村文彦・柿沼太郎・中村有吾・今井健太郎・後藤和久・行谷佑一・鈴木進吾・城下英行・松崎義孝、2010年チリ中部地震による日本での津波被害に関する広域現地調査、土木学会論文集、B2,66, 1, 1346-1350, 2010.

都司嘉宣、大阪を襲った歴代の南海地震津波、歴史科学、187, 1-13, 2007.

Y. Tsuji, Similarity of the distributions of the strong seismic intensity zones of the 1854 Ansei and the 1707 Hiei Earthquakes on the Osaka plain and the ancient Kawachi Lagoon, Phoenix (J. International Human Observation Soc.), 1, 5-10, 2007.

Y. Tsuji, Y. Tanioka, H. Matsutomi, Y. Nishimura, T. Kamataki, Y. Murakami, T. Sakakiyama, A. Moore, G. Gelfenbaum, S. Nugroho, B. Waluyo, I. Sukanta, R. Triyono and Y. Namegaya, Damage and Height Distribution of Sumatra Earthquake-Tsunami of December 26, 2004, in Banda Aceh, City and its Environs, Journal of Disaster Research, 1, 1, 103-115, 2006.

都司嘉宣・上田和枝・行谷佑一・伊藤純一、元禄十六年十一月二十三日(1703年12月31日)南関東地震による東京都の詳細震度分布、歴史地震、21, 1-18, 2006.

都司嘉宣、小笠原諸島の津波史、歴史地震、21, 65-80, 2006.

Tsuji, Y., Y. Namegaya, H. Matsumoto, S. Iwasaki, W. Kambua, M. Srivichai, V. Meesuk, The 2004 Indian tsunami in Thailand: Surveyed runup heights and tide gauge records., Earth Planets Space, 58, 223-232, 2006.

Arai K., and Y. Tsuji, Lack of excitation by tsunamis of normal modes of sea surface oscillation in bays., Pure Appl. Geophys., 151, 161-181, 1998.

Kato, K. and Y. Tsuji, Tsunami of the Sumba Earthquake of the August 19, 1977., J. Natural Disaster Sci., 17, 2, 87-100, 1996.

Tsuji Y., H. Matsutomi, F. Imamura, M. Takeo, Y. Kawata, M. Matsuyama, T. Takahashi, Sunarjo, and P. Harjadi, Damage to coastal villages due to the 1992 Flores Island Earthquake Tsunami,

Pure Appl. Geophys., 144, 3/4, 482-524, 1995.

Tsuji Y., F.Imamura, H.Matsutomi, C.E.Synolakis, P.T.Nanang, Jumadi, S.HArada, S.S.Han, K.Arai, and B. Cook, Field survey of the East Java Earthquake and Tsunami of June, 3, 1994., Pure Appl. Geophys., 114, 3/4, 839-854, 1995.

Tsuji, Y., T. Yanuma, I. Murata, C. Fujiwara, Tsunami ascending in rivers as an undular bore, Natural Hazards, 4, 257-266. 1991.

Tsuji, Y. Victims of the 1707 and the 1854 Tokai-Nnankai Earthquakes-Tsunamis listed on Necrologies of Temples, Proc. Intern. Tsunami Symp. Vancouver, Pacific Marine Enviro. Lab., NOAA, 73-102, 1987.

著書：

『知ってそなえよう地震と津波（絵本）』、知の森絵本、2007

『図解・なぜ起こる？いつ起こる？地震のメカのズム』、永岡書店、2009

『千年震災』、ダイヤモンド社、pp275, 2011.

『震災復興の論点（5名の共著）』、新日本出版社、pp186, 2011

『歴史地震の話～語り継がれた南海地震～』、高知新聞社、pp307、2012.

『図解・なぜ起こる？いつ起こる？地震のメカのズム』、永岡書店、2009

『千年に一度の大地震・大津波に備える～古文書・伝承に読む先人の教え～』、しずおかの文化新書  
10、2012

以上

平成25年10月2日 都司 嘉宣 記

都司 嘉宣