

福島原発における津波対策研究会・中間報告書（命題1）

2015/7/3

失敗学会・吉岡律夫、淵上正朗、飯野謙次

1) はじめに

失敗学では、実際に起きてしまった事故の経緯・シナリオを追跡するだけでは不十分で、防ぐ道(成功の道)があったのか等を広く検討することが残された者の使命だと教えている[1、図1]。

失敗学会では、福島原発事故に関連して、2014年2月以降に4回のフォーラムを開催し、それらを踏まえて、2015年4月に「福島原発における津波対策研究会」を開催した。その目的は下記の2点の解明である。

- ①福島原発において、巨大地震に伴う巨大津波を予測できたか？
- ②もし巨大津波が事前に予測されていたら、事前にどのような対策をすれば事故を回避できたか？

この内、①については、既に政府事故調査報告書や国会事故調査報告書に記載があるが、更に広く検証した。

②については、原発専門家による研究があつてしかるべきだが、公開資料では見当たらない。失敗学会は原発の専門家集団ではないので、本研究会の開催に当り、原子力学会のメーリングリストで呼びかけた所、十数名の原子力専門家と数名のジャーナリストなどの参加を得ることができた。本報告書は失敗学会有志が著者となっているが、上記の方々との協力でもできたものであり、ここに感謝申し上げる次第である。

なお、②の対策については、実際に現場でなされた事故対応については検討対象外としている。即ち、上記のように「事前に巨大津波が予測されていたら」という仮説の下に「防衛策があつたかどうか」を検証することが目的である。

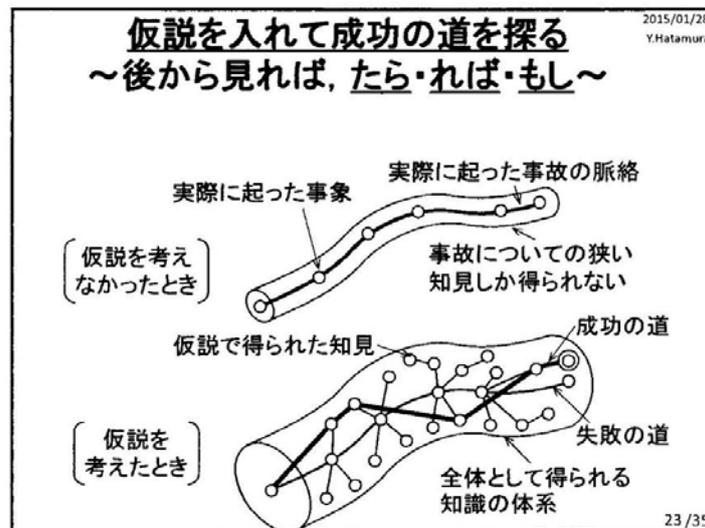


図1 仮説を入れて成功の道を探る[1]

2) 福島原発において、巨大地震に伴う巨大津波を予測できたか？

①文科省・地震調査研究推進本部の予測

巨大津波の予見に関しては、文部科学省・地震調査研究推進本部が、2002年に「福島沖の更に沖合を含む日本海溝沿いのどこかで、M8.2の大地震が起きる確率は今後30年以内に20%」との見解を出していた(図2)[2]。

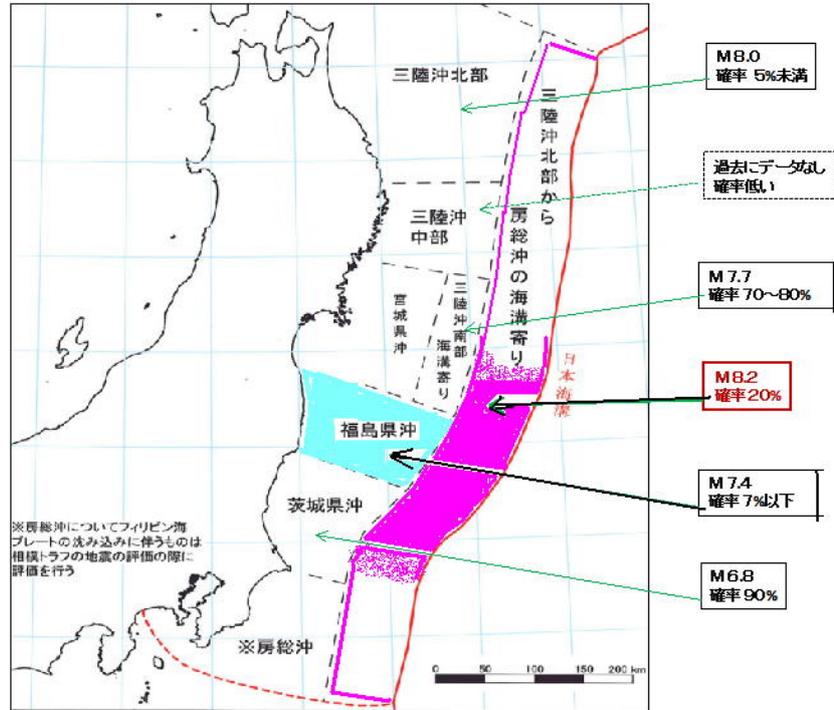


図2 地震調査研究推進本部の地震予測域[2]

この見解を基に、東電は2008年3月「福島原発で15.7mの津波が予測される」という結果を得ていた[3,4]。下記に東電が2011年に提出した資料[5]を示すが、基になった2008年の資料自体は不明である(注2参照)。

地震調査研究推進本部の見解(2002)

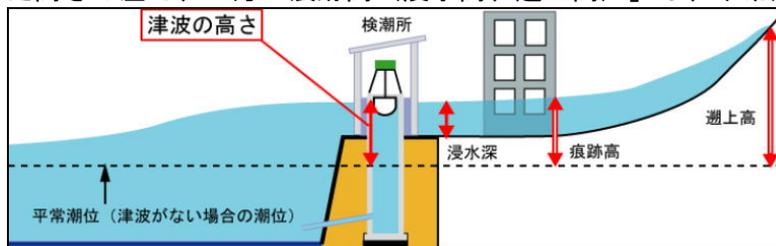
・三陸沖北部から房総沖の海溝寄りのプレート間大地震(津波地震)
「1896年の「明治三陸地震」についてのモデルを参考にし、同様の地震は三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの領域内のどこでも発生する可能性があると考えた。」

「1896年明治三陸沖」で評価

| 発電所 | 1F | | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----------------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 北側 (O.P.13m) | 南側 (O.P.10m) |
| 津波水位※2(O.P.m) | 8.7 | 9.3 | 8.4 | 8.4 | 10.2 | 10.2 | 13.7 | 15.7 |

上記の「津波水位」とは、注記に「海水ポンプ位置での水位」とある。
用語の定義は注1を参照)。但し、15.7mについては注2を参照。

注1) 「津波高(津波の高さ)」は、津波がない場合の潮位(平常潮位)から、津波により海面が上昇した高さの差で、一方「痕跡高(浸水深、遡上高)」は、平常潮位から津波痕跡までの高さである。



(国土技術研究センター資料より)

注2) 上表のように、東電最終報告書[6]によれば「取水口前面での津波水位は最大 O.P.+8.4m から 10.2m、1～4号機側の主要建物敷地南側の浸水高は最大で 15.7m の津波の高さであった」としている（上表の説明（海水ポンプ位置）と少し異なっている）。

また、2008 年の別資料[7、非公開]によれば「1～4号機では（海側の取水口前面での津波水位は最大で 9.3m なので）東側から敷地高さ（10m）を越える遡上はない」としており、更に敷地南側からの建屋への遡上については「敷地南側の浸水高は最大で 15.7m であり、（遡上による廻り込みはあるが）浸水深さ（敷地高を引いた値）は、3.11 の津波（約 5m）の数分の一であった」としているとのことである。

筆者注：

但し、これらは計算の公称値（ノミナル値）と推測されるが、もし、そうであれば、更なる余裕を取る必要があったと思われる。また、仮に東側で敷地高さを越えないとしても、海水ポンプが停止するため、原子炉からの最終的な排熱が不可能になり、いずれ炉心溶融事故に至る事は自明である（後述）。

建屋東側と南側で大幅に違う理由は不明だが、図3のように、東側は防波堤があるので、その効果を取り入れたのかも知れない。

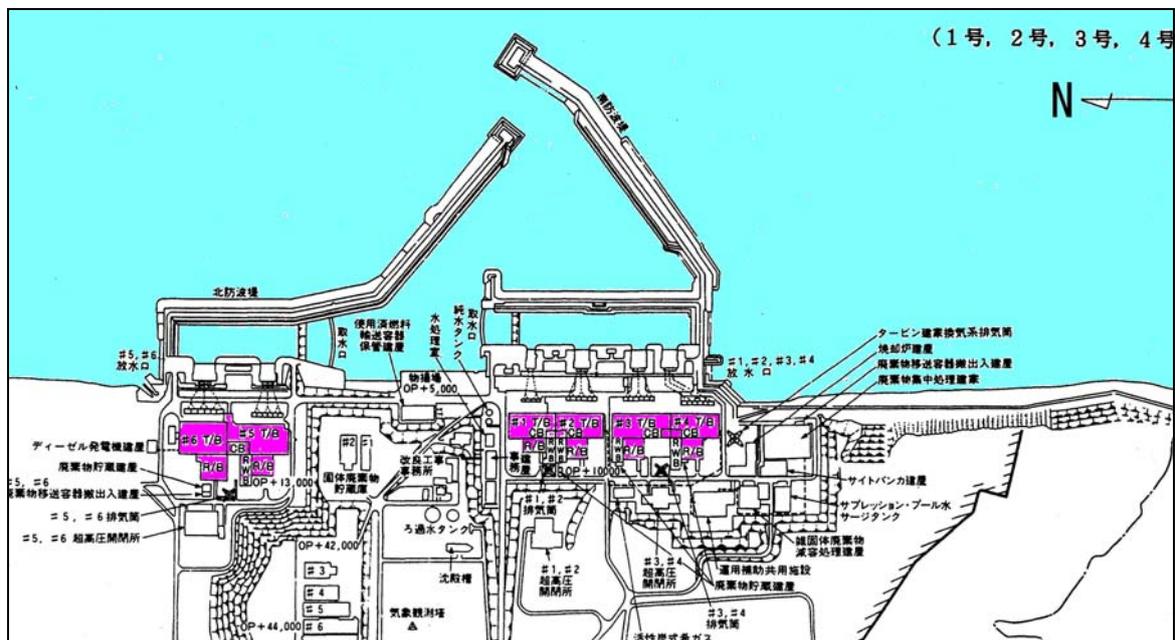


図3 福島第一原発・配置図（設置許可申請書より）

また、上記予測は「福島県沖・海溝寄り」が単独で滑る、としたモデルであったが、実際に3.11で起きた地震は「三陸沖南部海溝寄り」「三陸沖北部から房総沖の海溝寄り」更に「三陸沖中部」「宮城県沖」「福島県沖」「茨城県沖」を震源とする広い範囲が滑ったとされている（図4）[8,9]。特に文献[9]では最大 50m の滑り量であったとされ、その為、大きな津波が発生したと考えられている。

所で、地震の規模については、予測の M8.2 地震を遥かに超える広い範囲で起きた為、M9 の巨大地震となったが、本検討では「M9 の巨大地震が予測できたか？」ではなくて「巨大津波が予測できたか？」を最初の命題にしているので、本件の差異はここでの問題とはしていない。

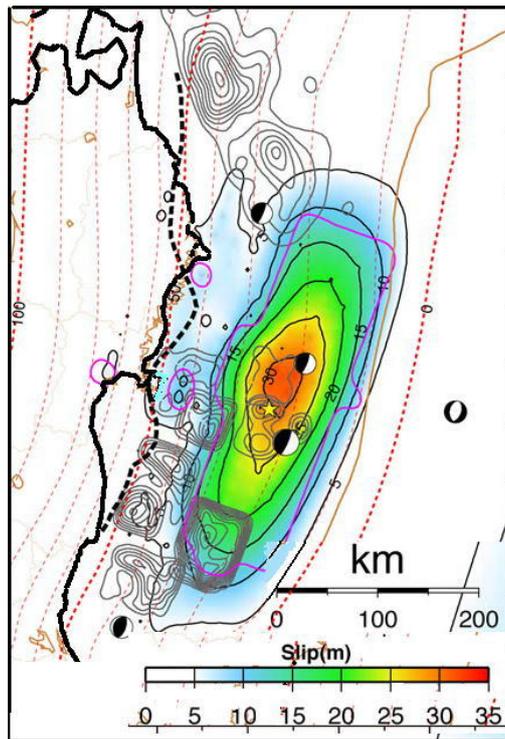


図4 2011年東北地方太平洋沖地震の滑り量[8]

②七省庁による「地域防災計画における津波対策強化の手引き」

1997年に、国土庁等の七省庁による「太平洋沿岸部地震津波防災計画手法調査報告書」が出され[10]、1998年に津波対策として「地域防災計画における津波対策強化の手引き」がまとめられた[11]。それまでの原発は「既往最大の歴史津波と、活断層から想定される最も影響の大きい津波」を想定していたが、上記手引きでは「（既知でなくても）現在の知見により想定し得る最大規模の地震津波を選定する」となった。

1997年に「通産省より、各電力会社に対し、数値解析に誤差があることを考慮して、解析値の2倍の津波高さとなった場合の影響を評価するよう求められた」ことが電事連の場で報告された[12,13]。これを受けて、2000年に、東電は「この方式で福島第一原発を評価すると、津波高さは5mとなり、解析の不確かさ上限の2倍では10mの津波と予測され、6mで海水ポンプが停止する」との報告書を提出した（下記注参照）。なお、本件は、電気事業連合会「津波に関するプラント概略影響評価」なる資料に記載されているとのことだが、当該資料は非公開となっている。

本項目については、既に国会事故調査報告書・参考資料[12]で指摘されていたが、文献[13]にも詳細が記載されている。

筆者注：

東電資料[14]によれば「2004年のスマトラ沖津波によるインド原発での海水ポンプ浸水等を踏まえ、2006年に溢水勉強会が開催され、同年に保安院から『・・・非常用海水ポンプは機能喪失し炉心損傷となるため・・・具体的な対策を対応して欲しい』との要望を電事連が受けた」とある。つまり、海水ポンプが停止すれば、原子炉からの最終的な排熱が不可能になり、いずれ炉心溶融事故に至ることは関係者には自明であった。

また、多くの非常用 D/G（ディーゼル発電機）は海水で冷却されており、海水冷却が出来ない場合は D/G も稼動不可能になり、さらに地震時には外部電源も使用不可能になる可能性が高く、SBO（Station BlackOut：全交流電源喪失事故）になる。実際、福島原発事故では、変電所と原発受電設備が地震で機能を喪失し、外部電源も喪失した。

③国土庁・日本気象協会の「福島第一原発の津波浸水予測図」

1999年3月に、国土庁と日本気象協会がまとめていた福島第一原発の津波浸水予測図を図5に示す[15]。1号機から4号機まで浸水しており、海側（タービン建屋側）で4-5m、山側（原子炉建屋側）で0-1mの浸水予測となっている。津波は、10m高さの敷地の上に遡上し、原子炉建屋の裏側まで浸水域が広がると予想されていたことが分かる。

この計算手法については2頁の概要論文[16]があるだけで詳細は不明だが「津波高さは最大10mと仮定するが、地震断層モデルから想定される最大津波高さが10mより低い場合はそちらを採用する」と記載があり、10mの予測図がないことから、福島第一原発においては、地震断層モデルから想定される最大津波高さとして8mを採用した、と判断した。

なお、津波高さ8mに対し、敷地高さが10mなので、津波の遡上効果を取り入れていると考えられる。

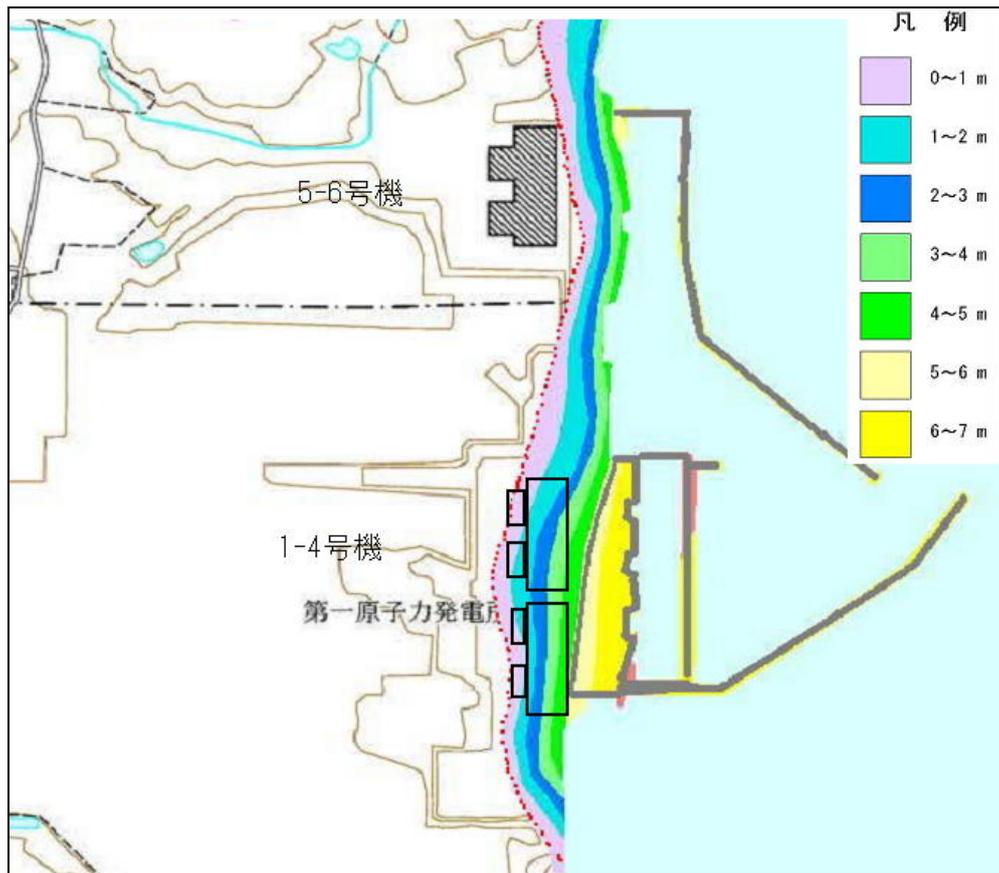


図5 福島第一原発の津波浸水予測図[15]

④貞観津波に関する研究から、福島での津波を予測できたか？

西暦 869 年の貞観津波は宮城県に大きな被害をもたらしていたことが近年知られるようになり、その研究から福島原発での津波予測が可能であったのではないかと、言われている。しかし、貞観津波を引き起こした地震は M8.4 以上と推定されており、今般の地震 (M9.0) に比べて小さいエネルギーであったこと、及び主に宮城県沖を中心としていたことが異なるので、貞観津波の研究をどのように活かすことができたのかについて、以下に検討した。

また、貞観津波による福島県での堆積物調査は数点あるものの、元々、福島原発が設置された場所は約 35m の台地であり、直接的な証拠とすることは出来ない。従って、堆積物調査を基に津波解析を行なった予測となる。

なお、1~4 号機の敷地高さを 10m とした理由については「台地を掘削する費用と、原子炉建屋基礎工事費とを勘案し、最小費用となるように設定した」と報告されている[17]。なお、5~6 号機の敷地高さについても、同様の思想で 13m とした模様である。

(写真出典：東電企画映画「黎明、福島原子力発電所建設記録、調査篇」1967 年、より)



元々、東北の三陸海岸は何度も繰り返して大きな津波被害を出したのに対し、宮城県の仙台平野では津波被害が少ないと考えられていた。しかし、古文書の研究などを基にして、1990 年頃に仙台平野の津波堆積物が発見され、その実態が少しずつ、知られるようになってきた[18]。

一方、福島県における貞観津波の堆積物調査も数件、見られる。1つ目は 2001 年の相馬市（松川浦：福島原発の北約 50km）における貞観津波の堆積物発見である[19]。

2つ目は、2008 年の文部科学省報告書で示されたもので、福島原発の北約 5km の浪江町（請戸）で貞観を含む津波堆積物が発見された[20]。同報告書の p.122 では、浪江町で標高 4m 程度の場所に津波痕跡があった、と読み取れる。更に、P129 には「これまでの調査結果から、貞観津波の到達域が北は三陸海岸から南は常磐地域までの広い範囲で確認されている（渡邊）」とある。

ここで引用されている渡邊の論文[21]を見ると、下記の図 5 のように、貞観津波の伝承がある箇所を示したもので、堆積物の調査ではないが、南福島から茨城県にまで津波伝承があることが示されている。

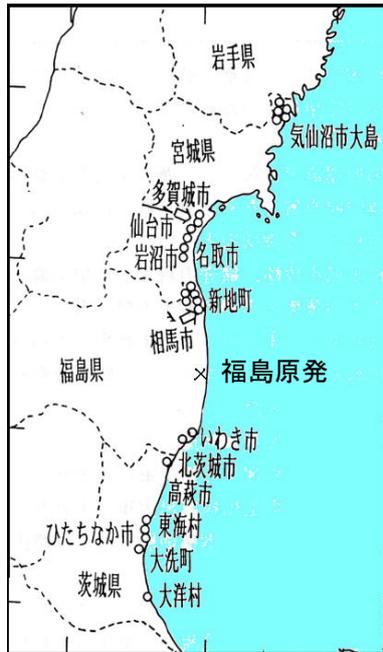


図5 貞観津波の伝承がある箇所[21]

3つ目は、東電が2009年12月から始めた津波堆積物調査で、「1F北側の南相馬市までは見つかったが、1F南側の富岡、広野、いわき市では見つからなかった」としている[22]。しかし、著者らには、この調査は上記2件目と矛盾するように思われるので、現在、東電に元の調査報告書を開示するよう要請している所である。

いずれにしても、直接的な証拠とすることは出来ないので、堆積物調査を基に津波解析を行なった予測となる。

震災前の波源モデルは、津波堆積物の調査結果を基にした2008年の佐竹論文[23]が最新のものであった。東電が貞観津波の波源「モデル10」で計算した結果(下表[5])を見ると、6号機の9.2mが最高で、いずれの場所も10m(敷地高)に及んでいないが、この計算は、パラメータスタディ(波源のばらつきを考慮する、土木学会が定めた手法)を含んでいないため、電力業界の標準的な手法であった「土木学会手法で計算すると2~3割、津波水位が高くなる」と欄外注釈で記載されており、敷地高を超えることになる。

但し、下表自体は2011年3月に提出されたもので、元の資料が不明なので、いつ下記の結果を得ていたかは不明であるが、東電最終報告書[6]によれば「2008年12月に佐竹氏より論文を提供され、津波の影響を試算し・・・2009年4月に論文が公開された」とあるので、その時期と推定される。

| | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|-----------------|--|
| 佐竹他(2008), 行谷他(2010) | | | | | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> 石巻平野, 仙台平野, 福島県沿岸の津波堆積物を再現する断層モデルを複数検討 相対的に再現性が高い断層モデルを提示(現状では、「モデル10」) | | | | | | | | | |
| 「モデル10」で評価 | | | | | | | | | |
| 発電所 | 1F | | | | | | | | |
| 号機 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 北側 (O.P.13m) | 南側 (O.P.10m) | |
| 津波水位※3(O.P.m) | 8.7 | 8.7 | 8.7 | 8.7 | 9.1 | 9.2 | 浸水せず | 浸水せず | |

それ以前に「6mで海水ポンプが停止する」と分かっている以上、海水ポンプが停止すれば、最終的な排熱が不可能になり、炉心溶融事故に至る事は自明である。

図6に、貞観津波を引き起こした地震の震源域(M8.4)と、3.11の地震のものとを比べたものを示すが、貞観津波は今般の地震(M9.0)に比べて小さいエネルギーであったこと、及び、主に宮城県沖を中心としていたことが異なる、ということが分かる[24]。

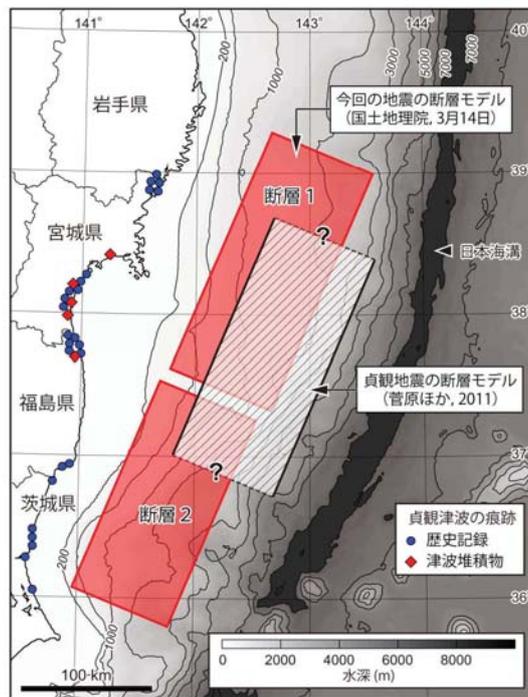


図6 貞観地震津波と今回との比較[24]

3) 命題1の結論

「福島原発において、巨大地震に伴う巨大津波を予測できたか？」という命題に関して、時系列順に記載すると、

- ①1997～1998年の七省庁による「地域防災計画における津波対策強化の手引き」に基づき、2000年に、東電は「解析の不確かさ上限の2倍では10mの津波水位（海水ポンプ位置での浸水高さ）と予測され、6mで海水ポンプが停止する」との報告書を提出した。
- ②1999年に、国土庁等が福島第一原発の津波浸水予測図を示し、タービン建屋側で4.5mの浸水予測となっていた。
- ③2002年の文科省・地震調査研究推進本部が「福島沖の更に沖合を含む日本海溝沿いのどこかで、M8.2の大地震が起きる確率は今後30年以内に20%」との見解に基づき、2008年に東電は「福島原発で15.7mの津波（浸水高さ）が予測される」という結果を得ていた。
- ④貞観津波に関する古文書の研究などを基にして、1990年頃に仙台平野の津波堆積物が発見され、2008年の文部科学省報告書で、福島原発の北約5kmの浪江町で貞観津波堆積物が発見され、また、北は三陸海岸から南は茨城県にまで貞観津波の伝承があることが述べられている。2009年初めに東電が貞観津波の波源で計算した結果によると、標準手法で計算すれば敷地高を超える津波が予測されていた。

以上から、3回の異なる予測で、敷地高さを越えて建屋が浸水する津波が示されていた。また、貞観津波に関する研究もそれを裏付けていた。そもそも、敷地高さ云々以前に、6mの津波で海水ポンプが停止すると炉心溶融事故に至ることは関係者に認識されていた。以上から「福島原発事故以前に炉心溶融事故に繋がる巨大津波を予測できたか」という命題に結論が得られたと考える。

今まで起きたことがない事故は考えなくても良い、という思想は、近代化・高度化された産業システムにおいては許されない。特に被害が甚大となる原子力では、今まで起きていなくても、合理的に予測される事故に防衛しなければならない。

欧米の安全工学においては、安全文化が最重要目標とされているが「安全文化とは用心深さである」というのが共通認識である[25][26]。「組織と個人が用心深い」のであれば、今まで起きていない地震・津波についても考慮すべきという推本などの3件に対応すべきであったし、起きたことが分かっている貞観津波にもとづいた津波予測にも対応すべきであった。

1986年のチェルノブイリ事故後、原子力関係者は安全文化を唱えてきたが、福島原発事故が起きた以上、不十分であったことは明らかである。本論文で指摘した4件の予測に対し、どのように対応すべきであったか、ということが次の課題である。

参考文献：

- [1] 畑村洋太郎「福島に学び、今後に生かすべきこと」2015/1/28 原子力委員会資料
- [2] 文部科学省・地震調査研究推進本部「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について」2002年7月31日
なお、上記資料には「予測値 M8.2 の地震は津波地震とされており、エネルギー的には 1/6 小さい (M で 0.5 程度小さい) 地震と考えられる」との注記がある。
- [3] 政府事故調査報告書 (「東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会、最終報告」) 2012年7月23日
- [4] 国会事故調査報告書 (「国会 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会、報告書」) 2012年7月5日
- [5] 東京電力「福島第一・第二原子力発電所の津波評価について」2011年3月7日
- [6] 東京電力「福島原子力事故調査報告書」2012年6月20日
- [7] 東京電力「新潟県中越沖地震を踏まえた福島第一・第二原子力発電所の津波評価委託第2回打合せ資料2 福島第一発電所 日本海溝寄りの想定津波の検討 Rev.1」2008年4月18日 (本資料は非公開)
- [8] 海野徳仁「研究報告：2011年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) の概要」2011年
- [9] 文部科学省・地震調査研究推進本部「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価 (第二版) について」2011年11月25日
- [10] 国土庁などの七省庁「太平洋沿岸部地震津波防災計画手法調査報告書」1997年
- [11] 国土庁などの七省庁「地域防災計画における津波対策強化の手引き」1998年
- [12] 国会事故調査報告書・参考資料 (P41-48)
- [13] 添田孝史「原発と大津波 警告を葬った人々」岩波新書、2014年
- [14] 東京電力「溢水勉強会とそれを踏まえた対応状況等について」及び「東京電力からのお知らせ」(いずれも 2012年5月16日)
- [15] 国土庁発行・日本気象協会制作「津波浸水予測図」1999年3月。
下記 URL に示す福島県フォルダは、さらに4つのサブフォルダに分かれており、上図に示す福島第一の 8m 予測は、サブフォルダ fs002 の中にあるファイル「7.pdf」である。なお、福島 1-4 号機の位置は原図に示されていないので、筆者が他の図から重ね合わせた。URL : <http://1drv.ms/1FpPJ1F>
- [16] 岡山和生ほか (国土庁)「津波浸水予測図の作成とその活用(被害予測と緊急対応その1)」、地域安全学会梗概集(9), p.50-51, 1999年
- [17] 小林健三郎「福島原子力発電所の計画に関する一考察」土木施工。1971年7月号。
- [18] 澤井祐紀、岡村行信ほか「仙台平野の堆積物に記録された歴史時代の巨大津波。1611年慶長津波と869年貞観津波の浸水域」地質ニュース 624号、p.36-41、2006年
- [19] 菅原大助ほか「西暦869年貞観津波による堆積作用とその数値復元」津波工学研究報告。vol.18, p.1-10、2001年
- [20] 文部科学省・地震調査研究推進本部「宮城県沖地震における重点的調査観測 (平成19年度分)」の p.108、2008年 http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/miyagi_juten/index.htm
- [21] 渡邊偉夫「伝承から地震・津波の実態をどこまで解明できるか、貞観十一年 (869年) の地震・津波を例として」歴史地震、vol.17、p.130-146、2001年
- [22] 及川兼司ほか「福島県沿岸周辺における津波堆積物調査」日本地球惑星科学連合2011年大会予稿
- [23] 佐竹健治ほか「石巻・仙台平野における869年貞観津波の数値シミュレーション」活断層・古地震研究報告。No.8、P.71-89、2008年
- [24] 菅原大助ほか「貞観地震津波と今回との比較」2011年
- [25] ナンシー・G・レブソン(原著)「セーフウェア 安全・安心なシステムとソフトウェアを目指して」翔泳社、2009年
- [26] ジェームズ・リーズン(原著)「組織事故とレジリエンス 人間は事故を起こすのか、危機を救うのか」日科技連出版社、2010年