

報告

我が国の原子力発電所の津波対策

—東京電力福島第一原子力発電所事故前の津波対応から得られた課題—



令和元年（2019年）5月21日

日 本 学 術 会 議

総合工学委員会

原子力安全に関する分科会

この報告は、第23期総合工学委員会原子力事故対応分科会福島第一原発事故調査に関する小委員会での審議内容を、第24期総合工学委員会原子力安全に関する分科会福島第一原発事故調査に関する小委員会に引き継ぎ、第24期総合工学委員会原子力安全に関する分科会において取りまとめて公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会原子力安全に関する分科会（第24期）

委員長	矢川 元基	（連携会員）	公益財団法人原子力安全研究協会会長、東京大学・東洋大学名誉教授
副委員長	柘植 綾夫	（連携会員）	公益社団法人日本工学会顧問・元会長
幹事	越塚 誠一	（連携会員）	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
幹事	野口 和彦	（連携会員）	横浜国立大学リスク共生社会創造センター長、大学院環境情報研究院教授
	大倉 典子	（第三部会員）	芝浦工業大学学長補佐・工学部教授
	上坂 充	（連携会員）	東京大学大学院工学系研究科教授
	佐倉 統	（連携会員）	東京大学大学院情報学環教授
	柴田 徳思	（連携会員）	株式会社千代田テクノロ大洗研究所長、東京大学名誉教授
	関村 直人	（連携会員）	東京大学副学長、東京大学大学院工学系研究科教授
	竹田 敏一	（連携会員）	福井大学附属国際原子力工学研究所・特任教授
	松岡 猛	（連携会員）	宇都宮大学地域創生推進機構非常勤講師
	向殿 政男	（連携会員）	明治大学顧問・名誉教授
	森口 祐一	（連携会員）	東京大学大学院工学系研究科教授
	山地 憲治	（連携会員）	公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE) 理事・研究所長
	成合 英樹	（特任連携会員）	筑波大学名誉教授

日本学術会議総合工学委員会原子力事故対応分科会（23期）

委員長	矢川 元基	（連携会員）	公益財団法人原子力安全研究協会会長、東京大学・東洋大学名誉教授
副委員長	山地 憲治	（連携会員）	公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE) 理事・研究所長
幹事	松岡 猛	（連携会員）	宇都宮大学基盤教育センター非常勤講師
幹事	柴田 徳思	（連携会員）	公益社団法人日本アイソトープ協会専務理事、東京大学名誉教授

岩田 修一	(連携会員)	事業構想大学院大学教授
関村 直人	(連携会員)	東京大学副学長、東京大学大学院工学系研究科教授
竹田 敏一	(連携会員)	福井大学附属国際原子力工学研究所特任教授
柘植 綾夫	(連携会員)	公益社団法人科学技術国際交流センター会長、公益社団法人日本工学会元会長
二ノ方 壽	(連携会員)	東京工業大学名誉教授
山本 一良	(連携会員)	名古屋学芸大学教養教育機構長、名古屋大学参与・名誉教授
成合 英樹	(特任連携会員)	筑波大学名誉教授

(※23 期分科会委員については、肩書は当時のものを記載。)

福島第一原発事故調査に関する小委員会 (24 期)

委員長 幹事	松岡 猛	(連携会員)	宇都宮大学地域創生推進機構非常勤講師
	澤田 隆		内閣府原子力政策担当室政策企画調査官
	越塚 誠一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
	関村 直人	(連携会員)	東京大学副学長、東京大学大学院工学系研究科教授
	柘植 綾夫	(連携会員)	公益社団法人日本工学会顧問・元会長
	矢川 元基	(連携会員)	公益財団法人原子力安全研究協会会長、東京大学・東洋大学名誉教授
	白鳥 正樹		横浜国立大学名誉教授
	中村 晋		日本大学工学部土木学科教授
	成合 英樹		筑波大学名誉教授
	宮野 廣		法政大学大学院デザイン工学研究科客員教授
	山本 章夫		名古屋大学大学院工学研究科総合エネルギー工学専攻教授
	吉田 至孝		福井大学附属国際原子力工学研究所客員教授

福島第一原発事故調査に関する小委員会 (23 期)

委員長 幹事	松岡 猛	(連携会員)	宇都宮大学基盤教育センター非常勤講師
	澤田 隆		公益社団法人日本工学会事務局長
	越塚 誠一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
	関村 直人	(連携会員)	東京大学副学長、東京大学大学院工学系研究科教授
	柘植 綾夫	(連携会員)	公益社団法人科学技術国際交流センター会長、公益社団法人日本工学会元会長
	矢川 元基	(連携会員)	公益財団法人原子力安全研究協会会長、東京大学・東

	洋大学名誉教授
亀田 弘行	京都大学名誉教授
白鳥 正樹	横浜国立大学名誉教授
成合 英樹	筑波大学名誉教授
宮野 廣	法政大学大学院デザイン工学研究科客員教授
山本 章夫	名古屋大学大学院工学研究科総合エネルギー工学専攻 教授
吉田 至孝	福井大学付属国際原子力工学研究所客員教授

(※23期小委員会委員については、肩書は当時のものを記載。)

本件の作成にあたり、以下の方に御協力いただいた。

杉野 英治	原子力規制庁上席技術研究調査官
-------	-----------------

本件の作成に当たり、以下の職員が事務を担当した。

事務	犬塚 隆志	参事官（審議第二担当）
	高橋 和也	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	柳原 情子	参事官（審議第二担当）付専門職

要 旨

1 作成の背景

2011年3月11日の東日本大震災により東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発という）では炉心溶融・水素爆発・放射性物質大量放出という大事故が発生した。福島第一原発事故については、政府事故調査委員会、国会事故調査委員会、民間事故調査委員会、東京電力事故調査委員会（以下、4事故調という）から様々な視点より報告書が公表されている。その他に、学会、組織が調査報告書を発出している。また、福島第一原発事故に関して原因を解明し専門家の視点から安全性の向上を提案する論文も様々な学会誌等に掲載されている。その後も東京電力が判明した事実を公表しており、また、2014年（平成26年）10月には、原子力規制委員会が福島第一原発事故の分析の中間報告を公表した。

しかし、これらの事故調査の結果および検討については未だ不明な点も多くあり、各種事故調査報告書間でも判断が異なる事項も少なくない。

2 現状および問題点

東北地方太平洋沖地震による津波は、設計に用いられてきた想定津波高さを大きく超え、福島第一原発は、過酷事故を引き起こした。

福島第一原発事故から得られた教訓の一つは、津波への対応のような、外的に誘引され不確定性が大きい事故要因への対応が不十分であったことである。このような事態を、従前の津波対策では防ぐことはできなかったのか、何が不足していたのか、未だ明確な結論が出されていない。

3 報告の内容

日本学術会議総合工学委員会原子力安全に関する分科会（前期まで原子力事故対応分科会）は、福島第一原発事故調査に関する小委員会を設置して、事故要因への対応に反映すべき論点を整理した。

本報告では、主として4事故調報告書を参考に、新たに公表された事実を踏まえ、学術的な立場から福島第一原発事故以前における津波高さの検討経緯を時系列で整理し検討を進めた。すなわち、我が国では津波評価をどのように実施してきたのか、津波の調査研究はどこまで進んでいたのか、東京電力の津波評価と対策は、どのように行われていたのか、また、過去のトラブル事例等から浸水リスクをどのように認識していたのか、それに対して原子力安全に関係する組織やグループの状況はどのようなものであったのか等の観点から、事故以前の津波対応の経緯を分析・検討した。

この検討結果を踏まえて、原子力安全に関係する4つの組織やグループ、すなわち、事業者、規制機関、原子力安全にかかわる学術団体ならびに関係組織、地震・津波などの自然現象の評価研究機関が、自然現象に誘起される事故要因への対応に反映すべき点を以下のようにまとめた。

- ・ 事業者は、研究段階にあり一般的に認知されていない知見や情報であったとしても、何らかの適切な対応をなすべきである。今回の事故に関しては、原子力施設が深刻な影響を受ける可能性があることについて、深層防護の考え方とそれに従った判断基準を明確に持っていなかったことから対応が遅れた。事業者は、特に原子炉施設が深刻な影響を受ける可能性があることについては、学術団体から出された知見や提言を真摯に受け止め、合理的な対策によって深層防護の考え方を基に対策の厚みを増しておくことが重要である。
- ・ 規制機関は、学術団体から出された知見や提言に積極的に耳を傾け、あるいは規制に採用すべき新知見を自らが見出す努力をしていなかった。規制機関は、新知見の発掘と評価を継続して行い、前兆事象の評価や最新知見に基づき、環境に与える影響の大きい事象を見出し、時期を失することなく適切に事業者を指導・監督することが重要である。
- ・ 原子力安全にかかわる学術団体ならびに関係組織は、自然現象の脅威や事故に対する想像力が欠如していた。事故の深刻さを鑑みると、原子力安全にかかわる学術団体ならびに関係組織は、新知見が原子力安全に対して重要な知見であるか否かを検討し、その活用方法や対応案を積極的に提言することが重要である。
- ・ 地震・津波などの自然現象の評価研究機関は、2011年3月11日以前に、福島県沖日本海溝沿い津波が将来発生すると予測し、津波堆積物調査によって貞観津波の詳細を明らかにしていた。自然現象の評価研究機関は、事象の影響評価に必要な情報を含めて提示し、我が国の防災対策に資するように努力することが重要である。

これらの教訓は、事故以前の津波対応の経緯を原子力安全に関係する組織やグループごとに分析・検討したことによって得たものであるが、さらに以下のように総括される。

(1) 新知見への取り組みの強化

原子力安全に関する新知見を評価して適切に対応する仕組みが不十分であったことから、原子力安全にかかわる学術団体や関係組織は、原子力安全に関する新知見、特に自然現象に関する新知見を評価して、原子力施設が対応策を取るべきかを考察し提言する仕組みを持つことが必要である。

(2) 深層防護による安全性向上への取り組み

事業者（責任を持つメーカーを含む）ならびに規制機関は、新知見により原子力施設や環境へ深刻な影響を与える事象があると判断される場合は、深層防護の考え方を基に対策の厚みを増しておくべきである。

(3) 行動規範に基づく説明責任と対話

原子力安全にかかわる学術団体や関係組織、事業者（責任を持つメーカーを含む）ならびに規制機関は、社会からの信頼と負託を前提として、自らが行った評価ならびに判断を社会へ説明する責任を果たすために社会と積極的に対話を行っていく必要がある。

目 次

1	はじめに.....	1
2	原子力発電所の津波への対応.....	3
	(1) 東日本太平洋沿岸の原子力発電所の津波高さの検討	3
	(2) 福島第一原発における事故発生以前の津波高さの検討	4
3	我が国と東電の津波対策への取り組みに対する考察.....	11
	(1) 我が国の防災機関等の津波評価の考え方.....	11
	(2) 我が国の地震・津波調査研究機関の活動.....	12
	(3) 東電の津波評価の経緯に対する考察.....	13
	(4) 東電の津波対策の経緯に対する考察.....	14
	(5) 原子力発電所の洪水（溢水）リスクに対する認識.....	14
4	我が国の津波への対応の総括.....	15
	(1) 原子力発電所の設置時の考え方	15
	(2) 津波評価法	15
	(3) 最新の知見に対応して	16
	(4) 東電の事前の評価	16
	(5) 地方自治体の評価とその対策.....	16
	(6) 基準津波と残余のリスク	16
	(7) 深層防護としての対応	17
	(8) 得られた教訓と課題.....	17
5	まとめ	19
	(1) 新知見への取り組みの強化.....	20
	(2) 深層防護による安全性向上への取り組み.....	20
	(3) 行動規範に基づく説明責任と対話.....	20
	<用語の説明>	21
	<略語集>	23
	<参考文献>	24
	<参考資料1> 審議経過.....	26
	<参考資料2> 福島第一原発事故発生以前の津波高さに関する検討経緯	31
	<参考資料3> 東北地方太平洋岸の津波評価の経緯	42

1 はじめに

東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発という）の事故から得られた教訓の一つは、津波への対応のような不確実性の大きな課題にしっかりと取り組まなければならないということである。しかし、各原子力発電所の基本計画、設計においては、津波への考慮がなかったわけではなく、津波対策は原子力安全規制上の重要な立地条件の一つであった。すなわち、事業者は、津波が容易に敷地に到達しないように、敷地内に水の侵入を許さない“ドライサイト”^{*1}を原則として、十分な余裕をもって敷地高さを定めてきた。

すなわち、事業者は、新たな原子力発電所を建設するにあたり、想定津波高さを評価し、建設予定地の敷地高さを決定した。また、事業者は、原子力発電所の運転開始後も技術の進歩によって新たな知見が得られてくることから、新知見を反映して想定津波高さを見直し、原子力発電所の敷地高さが十分であるか確認してきた。

しかし、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波は、想定津波高さを大きく超え、東日本の太平洋岸一帯に甚大な被害をもたらす事態となった（以下、東日本大震災という）。この地域にあった5か所（東通、女川、福島第一、福島第二、東海）の原子力発電所にもこの津波が襲い、想定津波高さに対して十分な敷地高さとなっていたはずの原子力発電所の一つである福島第一原発は、特に重大な被害を受け、過酷事故（シビアアクシデント）にまで至った。

規制機関および事業者は、東日本大震災以前より、万一、敷地高さを超える津波に襲われた場合、福島第一原発で起きた事態に至る可能性を予想していた。しかし、事業者は、津波による過酷事故の発生を如何にして防ぐかという以前に、このような津波が発生する可能性があるか否かを主な論点としていた。例えば、2002年に土木学会は「原子力発電所の津波評価技術」（以下、「津波評価技術」という）[1]を定め、想定津波高さを評価する標準的な手順を整備したが、「津波評価技術」の中へ津波波源に関する最新知見を迅速に取り込む仕組みを持っていなかった。また、2006年に原子力安全委員会（以下、原安委という）（当時）は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下、「耐震設計審査指針」という）[2]を改訂し、地震随件事象として津波を考慮した対策を求めると共に、「残余のリスク」の概念を解説に書き込み、想定事象を超える可能性を検討してリスクの低減に努めるべきであるとした。この指針の改定を受け、原子力安全・保安院（以下、保安院という）（当時）は、事業者にバックチェックを求め、津波に対する安全性の考慮も含めていた。しかし、このバックチェック作業は十分に進展しなかった。

福島第一原発の事故については、既に政府事故調査委員会[3]、国会事故調査委員会[4]、民間事故調査委員会[5]、東京電力事故調査委員会[6]（以下、4事故調という）から様々な視点より報告書が公表されている。そのほかに、各種学会、組織が調査報告書を発出している。また、福島第一原発事故に関して原因を解明し専門家の視点から安全性の向上を提案する論文も様々な学会誌等に掲載されている。その後も東京電力（以下、東

電という)等が順次判明した事実を公表しており、また、2014年(平成26年)10月には原子力規制委員会が福島第一原発事故の分析の中間報告[7]を公表した。しかし、これらの事故調査の結果および検討については未だ不明の点も多くあり、各事故調査報告書間でも判断が異なる事項も少なくない。

一方、日本学術会議総合工学委員会原子力安全に関する分科会(前期まで原子力事故対応分科会)(以下、本分科会という)は、福島第一原発事故について検討を進め、報告[8][9]を公表した。これらにおいては、福島第一原発事故の根本的原因や教訓に加え、特に原子力安全に関する研究者を含む科学者コミュニティがなすべきことについて次の点などを指摘した。

- ・特定の権威や組織の利害から独立して自ら専門的な立場で判断すべきであること
- ・隣接地域のコミュニティ再構築や新たな地域ビジョンの共有と共創のために科学者ができることは何なのかを考えること
- ・原子力安全に関係する学術の内容や方法の抜本的な見直しをすべきであること
- ・特に、今回の福島第一原発事故は、地震・津波と原子力の専門家の意見の齟齬が原因の1つであったことを踏まえ、科学者は異なる知を統合して諸課題に対処すること、すなわち「知の統合」の実践におけるリーダーシップを発揮すること

さらに、本分科会は福島第一原発事故調査に関する小委員会を設置し、4事故調の報告書、新たに公表された事実および関係者からのヒアリング等を通じて、津波襲来後の事故対応の適否、シビアアクシデント対策の妥当性等、事故の背景的要因も含めて検討を進め、記録[10][11][12]として残した。

これらの検討に加えて、本報告では、学術的な立場から福島第一原発事故以前における津波高さの検討経緯を時系列で整理し検討を進めた。すなわち、我が国では津波評価をどのように実施してきたのか、津波の調査研究はどこまで進んでいたのか、東電の津波評価と対策はどのように行われていたのか、また、過去のトラブル事例等から浸水リスクをどのように認識していたのか、それらに対して原子力安全に関係する組織やグループの状況はどのようなものであったのか等の観点から、事故以前の津波対応の経緯を分析・検討した。この検討結果を踏まえて、原子力安全に関係する4つの組織やグループ、すなわち、事業者、規制機関、原子力安全にかかわる学術団体ならびに関係組織、地震・津波などの自然現象の評価研究機関が、自然現象に誘起される事故要因への対応に反映すべき論点を取りまとめた。

なお、本報告のうち「3. 我が国と東電の津波対策への取り組みに対する考察」の一部は、2017年8月1日に実施した公開シンポジウム「原子力発電所の自然災害への対応—福島事故の津波対策を例として」において発表した内容[13]、ならびにこれを解説した原子力学会誌2018年1月号[14]の内容を含んでいる。また、エネルギーの将来における原子力の位置づけについては、本報告とは別に、2018年10月開催の日本学術会議公開シンポジウム「原子力総合シンポジウム2018」で議論されている。

2 原子力発電所の津波への対応

福島第一原発の津波対応では問題がどこにあったかを考察するため、これまでの経緯を調査し分析した。

(1) 東日本太平洋沿岸の原子力発電所の津波高さの検討

原子力発電所の建設が始まった当初、事業者は原子力発電所を新設する場合、過去の津波の実績を基に最大の津波を予想し、余裕を持った敷地高さを設置場所の条件とした。原子力安全規制は、原子力発電所がいわゆる“ドライサイト”¹と言われる立地条件に基づき、津波に対して十分に余裕のある敷地に設置することを要求してきた。

原子力発電所の運用を始めた後も、事業者は、得られた新知見を基に想定津波高さを評価し敷地高さの余裕を評価してきた。

表1は、東日本の太平洋沿岸に設置されている原子力発電所の中で、特に東日本大震災で被災した原子力発電所における設置時およびそれ以降の津波評価とその対策の経緯をまとめている。規制機関が要求するこれまでの原子力発電所における津波対策の基本は、想定津波高さに対して敷地高さを十分な高さとすることであった。また、我が国の津波対策では、想定津波高さの基準は、基本的に過去の津波調査の結果に基づいて定めていた。2002年の土木学会の「津波評価技術」により、想定津波高さの評価手法は標準的な手順として確立し、事業者は以後引き続き新たな提案が出る度に評価の見直しとその結果に対応した個別の策を取ってきた。2006年に原安委（当時）は、「耐震設計審査指針」を改訂し、地震随伴事象として津波の評価を求め、保安院（当時）はこれを受けてバックチェックルールを策定し、残余のリスクについても定量的な評価を求めた。しかし、保安院（当時）のバックチェックは耐震評価を優先し、津波評価は後回しになり大きく遅れる状況であった。このような状況下で保安院（当時）は、福島第一原発事故以降に行った過酷事故対策を含む総合的な対策を検討することはなかった。

¹ “ドライサイト”の概念について

昭和39年の原子炉立地審査指針では、公衆の安全を確保するためには、原則として以下の立地条件が必要であるとしていた。「大きな事故の誘因となるような事象が過去においてなかったことはもちろんではあるが、将来においてもあるとは考えられないこと、また、災害を拡大するような事象も少ないこと」となっているが、これでは判断条件が不明確であり、立地審査は困難であったと推察される。実際は、当時の審査では、その当時の最新の知見、技術で将来生じ得る最大の津波を想定し、重要な施設の健全性が確保されることを確認して、適切な立地であると判断したと考えられる。津波に関しては耐震設計の一環として明確に定められたのが、2006年の「耐震設計審査指針」である。指針では津波を地震の随伴事象の一つとして定め、上記の概念を明確にした。「まれではあるが発生する可能性がある」と想定することが適切な津波によっても、安全機能が重大な影響を受ける恐れがないこと」とした。以上から、敷地内への水の侵入を許さない「ドライサイト」の概念により運営されてきたと考えられる。

表 1 太平洋沿岸に設置の東日本地区の原子力発電所での津波対策の経緯

サイト	主要建屋敷地高さ	設置許可申請	設置許可以降の想定の高さ				実績
			2002年 土木学会手法	2007年 茨城県想定津波	2007年 福島県想定津波	2009年 海底地形・潮位条 件の最新化	
福島第一	(1~4号) O.P.+10m ^{※1} (5,6号) O.P.+13m	O.P.+3.122m 1966年(1号)	O.P.+5.7m 福島沖を波源とする津波が最大海水ポンプの高上げ等の対策実施	O.P.+4.7m 対策不要	約O.P.+5m 対策不要	O.P.+6.1m 海水ポンプの高上げ等の対策実施	2011年 東北地方太平洋 沖地震による津波 高観測値 ^{※4} 最大浸水高: O.P.+17m 最大遡上高: O.P.+18m
			O.P.+5.2m 建屋の水密化等の 対策実施	O.P.+4.7m 対策不要	約O.P.+5m 対策不要	O.P.+5.0m 対策不要	
福島第二	O.P.+12m	O.P.+3.122m 1972年(1号) O.P.+3.705m 1978年(3/4号)	O.P.+13.6m 三陸沖を波源とする津波が最大	-	-	-	津波高: O.P.+13m
			対策不要	-	-	-	
東海第二	H.P.+8.9m ^{※3} 海水ポンプ高 +4.2m	H.P.+2.35m 1971年	H.P.+5.76m 対策不要	H.P.+6.61m 海水ポンプ周囲の壁の高上等の対策実施(H.P.+7m)	-	-	津波高: H.P.+5.5m 最大浸水高: H.P.+6.2m
			対策不要	対策不要	-	-	

※1: 福島第一、第二のO.P.±0.0mは、小名浜港工用基準面、東京湾平均海面下方0.727m

※2: 女川のO.P.±0.0mは、女川原子力発電所工用基準面、東京湾平均海面下方0.74m

※3: H.P.±0.0mは、日立港工用基準面、東京湾平均海面下方0.89m

※4: 福島第一、福島第二および東海第二の観測値は、敷地内での最大観測値

(出典)

日本原子力学会「福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた
提言—学会事故調 最終報告書」より引用し、分科会で実績値を訂正

(2) 福島第一原発における事故発生以前の津波高さの検討

津波災害への対応を分析する際、事業者が福島第一原発事故以前に津波の来襲に伴うリスクをどのように捉えていたのかを知ることは重要である。福島第一原発では、東北地方太平洋沖地震による巨大津波発生の可能性について、どの程度の知見を得ていたのかに関して、表2に東電の津波高さの評価と対応状況の変遷を示す。また、4事故調の報告書に記載された事実関係ならびに関連する文献から得た事実関係を抽出し、〈参考資料2〉に時系列で整理した。以下に概要を示す。

① 1990年以前

東電は、1965年に設置許可を取得した際、過去の記録に基づく最大津波（チリ地震津波での観測値）を対象として想定津波高さを小名浜港工事基準面（Onahama Peil：以下、O.P.という）+3.122m²とし、福島第一原発1号機をチリ地震津波の観測値より十分に高い、敷地高さO.P.+10mに建設した。1970年に原安委（当時）は、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」（以下、「安全設計審査指針」という）を策定し、過去の記録を参照して予測される自然条件のうち最も過酷と思われる自然力に耐えることを求めた。これは、当初、地震動も津波も同様に、過去の実績に基づき最大の経験値を評価基準としてきたためである。1981年に原安委（当時）は、「耐震設計審査指針」を策定したが、津波に関する要求事項は示さなかった。一方、一般に用いる津波評価では、1983年に建設省（当時）と水産庁は、津波常襲地域総合防災対策指針（案）をとりまとめ、過去記録に基づく最大津波を対象として対策を求めた。

② 1991年～2000年

1991年福島第一原発1号機において補機冷却水系海水配管からの漏えいにより非常用ディーゼル発電機（Diesel Generator：以下、DGという）と機関の一部が浸水する事象が発生した³。1993年に資源エネルギー庁は、北海道南西沖地震を受けて電気事業連合会に津波安全性評価を指示し、東電は翌年最大津波O.P.+3.5mとし、安全性が確保されていることを示す報告書を提出した。1995年総理府（当時）は、阪神・淡路大震災を契機として、我が国の地震調査研究を一元的に推進するため、地震対策特別措置法に基づき地震調査研究推進本部（以下、地震本部という）を設置した。1997年に農林水産省（以下、農水省という）は「地域防災計画における津波対策の手引き」をまとめ、信頼できる資料が数多く得られる既往最大津波と、現在の知見に基づいて想定される最大地震により起こされる津波の大きい方を対象とするよう求めた。東電

² 1965年に設置許可を取得した時点では、付近で観測された津波高さをそのまま用いていたため、小数点以下3桁の数値となっている。ここで、O.P.は、以降、津波高さの議論での平常時の基準の水面を示し、福島の原子力発電所では小名浜港工事用基準面とし、これは東京湾平均海面（Tokyo Peil：以下、T.P.という）より下方0.727mを示している。

³ 福島第一原発1号機の海水系配管からの漏えいに伴う原子炉手動停止について

福島第一原発1号機は定格出力運転中のところ、1991年10月30日17時55分頃パトロール中の運転員が湧水（補機冷却海水水管からの漏えい）を発見し、同日18時30分に原子炉を手動停止した。点検の結果、1-2号機共通DG電機（2号機空冷DGが設置される前は1号機DGの1つが2号機と共用されていた）および機関の一部に浸水が確認された。

表2 東京電力福島第一原子力発電所の津波高さの評価と対応状況の変遷

年	評価の動機	評価対象	評価結果	設備への影響	対応要否	対応策
1966	設置許可時	1960年チリ地震津波	O.P.+3.122m	—	—	—
1994	資源エネルギー庁の指示に対する回答	北海道南西沖地震を受けた津波安全性評価	O.P.+3.5m	なし	不要	—
1998	太平洋沿岸部地震津波防災計画手法調査報告書	4省庁津波断層モデル	O.P.+4.8~4.8m	非常用海水ポンプ据付レベルを超えるが、モータ下端に達しないため影響なし	不要	—
2000	通産省の指示に対する回答	解析値の2倍の津波高さの影響評価	(O.P.+10m)	O.P.+6mで非常用海水ポンプが停止	通産省へ結果報告	実施せず
2002	土木学会「原子力発電所の津波評価技術」	概ね信頼性があると判断される痕跡高が残されている津波	O.P.+5.7m	非常用海水ポンプ電動機被水	必要 原子力安全保安院へ結果報告	海水ポンプ嵩上げ等
2006	溢水勉強会	敷地高さ+1mを仮定した津波水位	(O.P.+14m：5号)	電源設備が浸水して機能喪失	原子力安全保安院へ結果報告	実施せず
2007	福島県津波浸水予測図	福島県の防災上の津波計算結果	O.P.+5m程度	なし	不要	—
	茨城県津波浸水予測図	茨城県の防災上の津波計算結果	O.P.+4.7m	なし	不要	—
2008	貞観津波の知見に基づく東電の試算	貞観津波	O.P.+8.9~+9.2m	非常用海水ポンプ機能喪失	原子力安全保安院へ結果報告	実施せず
	地震本部の見解に基づく東電の試算	明治三陸沖地震を福島県沖海溝沿いに移動	O.P.+15.7m 4号機原子炉建屋周辺で2.6mの高さで浸水	電源設備が浸水して機能喪失	原子力安全保安院へ結果報告	土木学会へ具体的波源モデル策定を依頼
2009	原子力安全保安院の指示に基づく耐震バックチェック	土木学会「原子力発電所の津波評価技術」に基づく最新知見を踏まえた再評価	O.P.+6.1m	O.P.+6mで非常用海水ポンプが停止	必要	海水ポンプモータシール処理対策等

(出典)本分科会で作成

は翌年これを受けた評価結果として最高水位は O.P. +4.7~4.8m で安全上問題がないとした。1999年に国土庁（当時）と日本気象協会は津波浸水予測図⁴を作成し、津波対策強化の手引きを制定して自治体における津波浸水想定⁴の作成に供した。同年フランス・ルブレイエ原子力発電所で大雨による河川氾濫で溢水事象が発生し⁵、1、2号機の地下が浸水し、非常用炉心冷却装置（Emergency Core Cooling System : ECCS）や電気系統が機能喪失した。2000年東電は通商産業省（以下、通産省という）（当時）の指示を受けて評価した結果、津波高さを2倍とした場合海水ポンプが停止すると報告した。同年、地震本部は宮城県沖地震の長期評価で、地震が連動した場合、マグニチュード8.0程度との評価結果を公表した。

③ 2001年～2006年

2001年地震本部は、南海トラフの地震の長期評価で、南海地震と東南海地震が連動した場合、マグニチュード8.5前後との評価結果を公表した。2002年地震本部は、三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価で、三陸沖北部から房総沖の海溝寄りの「津波地震」（明治三陸津波タイプ）⁶でマグニチュード8.2前後と評価し、三陸沖北部から房総沖海溝寄り⁶で、どこでも発生する可能性を指摘したが、過去に同様の地震・津波が発生した記録の無い地点の評価をするための波源情報のモデル化についての知見がなかった。原子力発電所の津波評価においては、1990年代から津波伝播解析の研究が進められ、2002年に土木学会原子力土木委員会津波評価部会は「津波評価技術」を作成し、解析による津波評価技術を標準化した。「津波評価技術」は既往津波にとどまらず、発生が予想される津波については想定津波として耐津波設計に取り入れるものとされていた。しかしながら、「津波評価技術」の参考資料として載っている太平洋側の津波波源の具体的な図の中には、福島県沖日本海溝沿いの津波波源はなかった。これを受け東電は、想定津波高さを O.P. +5.7m に変更し、ポンプ嵩上げや浸水防止対策等を実施した。2003年に中央防災会議は東北・北海道地方における大規模海溝

⁴ 国土庁（当時）と日本気象協会が作成した津波浸水予測図について

国土庁（当時）と日本気象協会は、各自自治体が津波浸水予測図を作成できるよう「地域防災計画における津波対策強化の手引き」と「津波災害予測マニュアル」の策定を進め、2000年3月に正式に発表している。1999年国土庁（当時）と日本気象協会は「津波災害予測マニュアル」策定時に津波浸水予測図を作成した。この予測図を福島第一原発事故後に拡大して敷地内配置を重ねると福島第一原発1～4号機が浸水レベルにあったことが指摘されている。一方、各自自治体では、2000年以降、「津波災害予測マニュアル」に従い津波浸水予測図の整備を進め、2007年に福島県と茨城県が作成した津波浸水予測図ではそれぞれ、O.P.+5m程度（福島県）、O.P.+4.7m（茨城県）で福島第一原発1～4号機は浸水レベルではないと予測している。1999年に国土庁（当時）と日本気象協会が作成した津波浸水予測図は、自治体向けにどのようなものを作成するかをわかりやすく解説するためのガイダンスとして単に計算事例を示したものと考えられ、各自自治体においては、津波災害予測マニュアルに従い、防災対策を所管する地域において最大となる津波高さを評価している。

⁵ フランス・ルブレイエ発電所周辺の豪雨による河川氾濫事象について

1999年12月27日から28日にかけてルブレイエ発電所（加圧水型軽水炉900MWe、Pressurized Water Reactor : 以下、PWRという）の近くで暴風雨が発生、付近を流れるジロンド川河口水位が上昇し、原子炉が停止した。その際、1、2号機の地下に浸水して、電源系統と工学的安全設備の一部が機能喪失した。浸水は、扉や開口部を通じて拡大、電気室、海水ポンプ室、周辺建屋、燃料建屋の地下レベルで発生し、低圧注水系と格納容器スプレイ系の両系列、電気系統などが機能を喪失。原子炉を蒸気発生器で冷却し、12月29日に侵入水を排出した。

⁶ 「津波地震」（明治三陸津波タイプ）について

東北地方太平洋岸に高さの高い津波をもたらす地震を「津波地震」として識別したのが金森博雄（東大地震研）であった。その代表的なものとして「明治三陸地震」がある。＜参考資料3＞を参照のこと。

型地震対策の検討を開始し、2006年に「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震専門調査会報告」を取りまとめたが、以前から大規模なプレート境界型津波として注目されつつあった貞観津波は反映されず、地震本部が2002年に三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価で示した「明治三陸沖地震と同様の地震が、三陸沖北部海溝寄りから房総沖海溝寄りにかけてどこでも発生すると考えた」見解については取り入れられなかった。その間海外では、2004年スマトラ沖地震の大津波により、インド・マドラス原子力発電所で海水ポンプ室が浸水して原子炉が停止した⁷。2006年、保安院（当時）と原子力安全基盤機構（Japan Nuclear Energy Safety Organization：以下、JNESという）（当時）は、溢水勉強会を設置し、代表プラントを選定して敷地高さ+1mの水位となった場合の影響を検討した際に、東電より、浸水により電源設備が機能喪失するとの報告を受け、保安院（当時）とJNES（当時）は第53回安全情報検討会で敷地レベル+1mを仮定した場合は浸水の可能性を否定できないことを確認した。同年、原安委（当時）は28年ぶりに改定した「耐震設計審査指針」において地震随件事象として津波によって安全機能が重大な影響を受ける恐れがないことを要求した。原安委（当時）は、この津波を施設の供用期間中に極めてまれであるが発生する可能性があるとして想定することが適切な津波と定義したが、地震動のような具体的な記述はなかった。これを受け保安院（当時）はバックチェックルールを策定し、新基準に対する適応の再評価を求めたが、「耐震設計審査指針」の解説[2]に記載の残余のリスクの扱いは明確ではなかった。

④ 2007年以降

2007年に電気事業連合会は、保安院（当時）へ福島第一原発に対して海水ポンプ水密化や建屋への対応策を取る方針を伝えた。同年、JNES（当時）は保安院（当時）の委託を受け、「安全情報に関する分析・評価報告書＝前兆事象の適用＝」⁸ [15]で、フランス・ルブレイエ原子力発電所で発生した外部溢水事象の事例を前兆事象として適用した結果、沸騰水型軽水炉（Boiling Water Reactor：以下、BWRという）に適用し

⁷ インド・マドラス原子力発電所の海水ポンプ室浸水事象について

2004年12月26日スマトラ沖地震（マグニチュード9.1）が発生し、インド南部カルパッカムのマドラス原子力発電所（加圧水型重水炉2基）が津波被害を受け、運転中の2号機（1号機は停止中）は海水ポンプが停止したため、タービンを手動停止し、その結果原子炉が自動停止した。原子炉建屋など安全設備が収納された建物に影響は無く、原子炉は安全に停止された。国際原子力機関（International Atomic Energy Agency：以下、IAEAという）は国際原子力事故事象評価尺度（International Nuclear Event Scale：以下、INESという）を0（尺度以下）と評価した。

⁸ JNES（当時）「安全情報に関する分析・評価報告書＝前兆事象の適用＝」について

2007年にJNES（当時）は、「安全情報に関する分析・評価報告書＝前兆事象の適用＝」の中で、国内PWRおよびBWRプラントの前兆事象として、ルブレイエ原子力発電所の事例を含む16件の事象を解析した。JNES（当時）の前兆事象評価は、評価対象プラントの通常運転時の確率論的リスク評価（Probabilistic Risk Assessment：PRA）結果を用いて、ある事故故障事例が発生した場合の条件付炉心損傷確率を算出する方法で、事故故障事例で発生した内容を吟味し、機能喪失範囲を設定して解析する。その結果、16件の前兆事象評価中、ルブレイエ原子力発電所の溢水事象（地下が浸水し、外部電源は8～24時間で回復すると仮定）のみ条件付炉心損傷確率が高いと評価された。得られた条件付炉心損傷確率は、沸騰水型軽水炉では、BWR3で 1.5×10^{-3} 、BWR4で 3.5×10^{-2} 、BWR5で 2.4×10^{-2} 、改良型沸騰水型軽水炉（Advanced Boiling Water Reactor：ABWR）で 5.0×10^{-3} 、PWRでは、ドライ型3ループPWRで 7.8×10^{-5} となり、他の15件の事象は 1.0×10^{-8} 未満であった。結論として、安全上重要であると判断されたものは、ルブレイエ原子力発電所の河川氾濫事象1件のみで、その対策として水密扉等の浸水防止対策が有効であると報告された。

た評価では、炉心損傷のリスクが非常に高いことを公表した。同年、福島県および茨城県は、国土庁（当時）と日本気象協会が策定した津波対策強化の手引き（マニュアル）に基づき津波浸水予測図⁹を作成した。その中には東海第二発電所および福島第一原発周辺の津波高さの予測情報も含んでおり、東電は福島県（O.P.+5m程度）および茨城県（O.P.+4.7m）の津波高さで安全性が確保されているとした。同年、土木学会は、津波評価手法の高度化研究成果として、津波水位の確率論的評価手法について論文[16]を公表し、今後も研究を継続するとした。同年、日本原子力技術協会（Japan Nuclear Technology Institute：以下、JANTI という）（当時）は、2005年8月のハリケーンカトリナが米国南東部を襲った際に対応したウォーターフォード原発の訪問調査結果を踏まえ、原子力施設における風水害対策の考え方[17]を公表し、最新の知見に基づき想定される風水害に対して原子力発電所の備えに不足が無いこと、および、津波を含む想定を超える事態への対応を考慮することを技術コラムに掲載した。2008年に東電は、2002年の地震本部の見解に基づき、明治三陸沖地震の波源モデルを用いて、福島沖で津波地震が発生した場合の津波高さを試算し、福島第一原発の原子炉施設の前面岸壁ではほぼ敷地の高さであったが、敷地南部では敷地の高さを超える遡上波高 O.P.+15.7m¹⁰を算出した。東電社内において、対策を実施する場合は防波堤

⁹ 自治体が作成した津波浸水予測図に基づく各発電所の対応について

茨城県と福島県が作成した津波浸水予測図と東海第二原子力発電所と福島第一原発の想定津波高さについての関係を考察する。自治体は「津波災害予測マニュアル」、原子力発電所は土木学会が策定した「津波評価技術」を用いて津波高さを計算している。それぞれの基本的な評価手順は同一と考えられ、対象とする範囲（自治体は当該県の海岸線、原発は当該敷地）において我が国の津波評価の考え方に基づき最大となる津波高さを予測している。自治体は、自治体が所管する沿岸地域の中で最大値を求め、原子力発電所は立地点での最大値を評価することから、自治体の予測は原発立地点が必ずしも最大とはならないため、既往波源を対象としたパラメータの感度解析を行った場合、狭い範囲を対象として最大津波高さを予測した方がより大きな値を算出すると考えられる。

2007年に福島県と茨城県が作成した津波浸水予測では、福島第一原発の津波高さはO.P.+5m程度（福島県）、O.P.+4.7m（茨城県）、東海第二原子力発電所の津波高さはT.P.+5.72m（茨城県）であった。一方、当時のそれぞれの原子力発電所の想定津波高さは、福島第一原発でO.P.+5.7m、東海第二原子力発電所でT.P.+4.86mとしていた。福島第一原発の想定津波高さは福島県や茨城県の津波高さの予測より大きな値であったが、東海第二原子力発電所の想定津波高さは茨城県の津波高さの予測を下回った。このため、東海第二原子力発電所は、茨城県の知見を踏まえて想定津波高さの計算をやり直し、T.P.+6.1mに変更して対策工事を実施したものと考えられる。これは、不確実性を考慮した対応が取られたといえる。T.P.は、東京湾での平均海面、すなわち基準水面を指す。これは、日本の地図の原点の標高0mである。

¹⁰ 東電が試算した敷地南部での津波高 OP+15.7m について

国会事故調報告書では、「東電が2008年5月ごろに計算した結果によると、この長期評価の予測する津波地震は、福島第一原発の敷地にO.P.+15.7mの津波をもたらし、4号機原子炉建屋周辺は2.6mの高さで浸水すると予想された。（中略）東電は、2008年2月ごろに有識者に意見を求めたところ、「福島県沖海溝沿いで大地震が発生することは否定できないので、波源として考慮すべきである」との意見が出されたことを受け、遅くとも2008年5月下旬から6月上旬ごろまでに、地震本部の長期評価に基づき、福島第一原発2号機付近でO.P.+9.3m、福島第一原発5号機付近でO.P.+10.2m、敷地南部でO.P.+15.7mといった想定波高の数値を得た。」と記載されている。

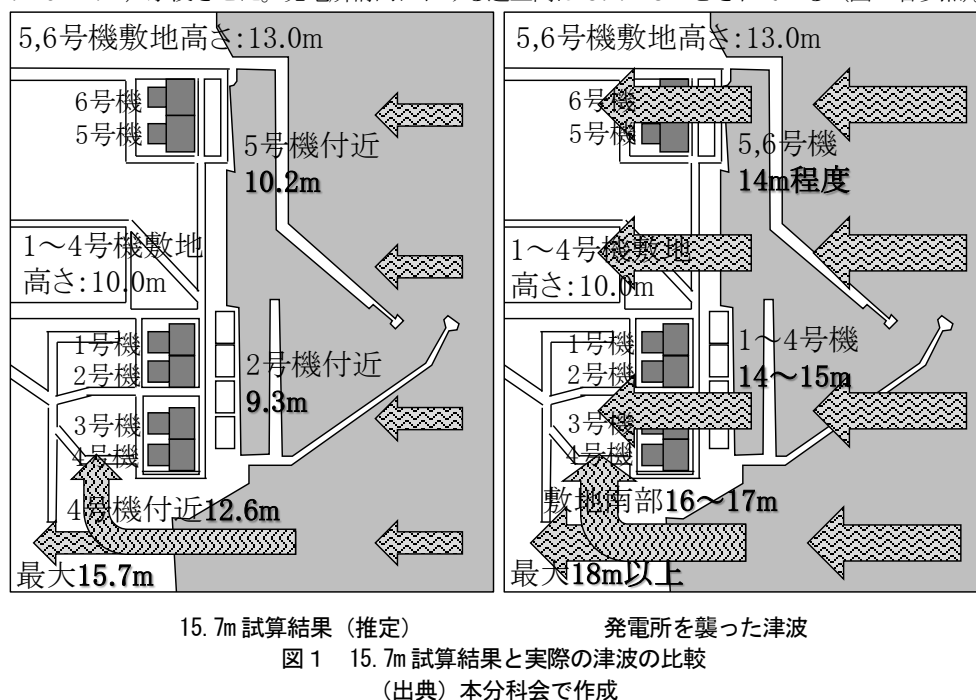
政府事故調報告書では、「推本（報告書の中で地震本部の略称として使用されている）の長期評価の中で、福島県沖でも津波地震の発生を否定できないという見解が出されたことを受けて、2008年5月から6月にかけて、明治三陸地震クラスの地震が福島県沖で発生したという想定で津波の波高を計算したところ、福島第一原発の敷地内で9.3～15.7mという極めて高い数値を得た。」と記載されている。

東電事故調報告書では、「福島県沖の海溝沿いの津波評価をするために必要な波源モデルが定まっておらず、地震本部で示される地震規模（マグニチュード8.2）とも合致しないが、福島サイトに最も厳しくなる明治三陸沖地震（マグニチュード8.3）の波源モデルを福島県沖の海溝沿いに持ってきた場合の津波水位を試算した。試し計算の結果からは、福島第一原発取水口前面で、津波水位は最大O.P.+8.4m～10.2m、1～4号機側の主要建屋敷地南側の浸水高は最大で15.7mの津波の高さが得られた。」と記載されている。

以上より、試算結果は、防潮堤のある1～6号機正面では津波高さは敷地高さを超えず、防潮堤の無い4号機南側を遡上して、最大浸水高がO.P.+15.7mとなり、4号機原子炉建屋周辺ではO.P.+12.6mであったことが伺える（図1左参照）。一方、東北地方太平洋沖地震で福島第一原発を襲った津波は、東電が発表した「福島第一原子力発電所および福島第二原

対策が数百億円、工期4年と報告されている。同年、東電は産業技術総合研究所の佐竹氏から提供を受けた論文に示された貞観地震津波タイプの波源モデルを使用し、福島第一および第二原子力発電所取水口前面で O.P.+8.9~9.2m 程度の津波高さを算出した¹¹。2009年4月地震本部は、「新たな地震調査研究の推進について—地震に関する、測量、調査および研究推進の総合的かつ基本的な施策—」をまとめ、6月から「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」の改訂作業を開始した。この間、三陸沖北部海溝寄りから房総沖海溝寄りで、どこでも発生する可能性があるとした以前の指摘についての津波評価手法の確立に向けた動きはなかった[18][19]。2009年に東電は、耐震バックチェックの地震随伴事象として土木学会「津波評価技術」に基づき再評価を実施して想定津波高さを O.P.+6.1m に更新し、5号機および6号機の非常用海水ポンプの一部に対策を実施した。同年、東電は土木学会に対して、地震本部の見解に基づく具体的な波源モデルの策定について審議を依頼した。土木学会は、これを受け2012年(平成24年)10月を目途に結論を出す予定とした。2009年、保安院(当時)は、耐震バックチェックの合同ワーキング会合において、中間報告書に貞観地震津波に触れていないことを質問され、中間報告書は地震評価を対象としており、津波評価は最終報告書で扱うとし、合同ワーキング会合は福島第一原発5号機を代表プラントとする東電の耐震バックチェックの中間報告を妥当とした。同年、保安院(当時)は東電から貞観津波相当津波の試算結果として O.P.+9.2m の報告を受けたが、担

子力発電所における2011年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係る報告(その2)【概要版】2011年7月8日」によれば、福島第一原発1~4号機を正面から襲い4~5m水没(O.P.+15m前後)させ、敷地南部では6m以上(O.P.+16~17m)水没させた。発電所構内における遡上高はO.P.+18mとされている(図1右参照)。



¹¹ 東電が実施した貞観津波論文の試算について

東電は、地震本部の見解に基づく試算と貞観津波論文の試算を同じ年(2008年)に実施している。貞観津波論文の試算では、佐竹らの投稿予定の論文に示された波源モデルを使用して試算した結果、福島第一および第二原子力発電所取水口前面で、O.P.+8.9~9.2m程度の津波高さを算出、敷地高さまで至らなかったが、海水ポンプの浸水対策が必要であった。

当官は切迫性を感じず担当官限りの対応とした。2010年に保安院（当時）は、東電より貞観津波堆積物は福島第一原発北方10kmで発見されたが、南方では発見されなかったと報告を受けた。同年、東電は福島地点津波対策ワーキングを設置し、地震本部の見解を踏まえた試算結果に対する防波堤や機器の嵩上げや建屋の水密化など対策の検討を開始した。2011年に、東電は、福島県北部で4m程度まで堆積物を確認したが、南部では確認できなかったと発表する一方、保安院（当時）へは津波対策工事の検討状況を報告した。

3 我が国と東電の津波対策への取り組みに対する考察

本分科会・小委員会は、福島第一原発事故以前の東電の対応から教訓を抽出することを目的として、東電は東北地方太平洋沖地震による巨大津波発生の可能性についてどの程度知見を得ていたのか、対応策は適切であったのかについて検討した。考察にあたっては、図2の検討の進め方に従い、以下の5つの視点から整理した。

- 1) 我が国の防災機関等の津波評価の考え方
- 2) 我が国の地震・津波調査機関の研究状況
- 3) 東電の津波評価の経緯に対する考察
- 4) 東電の津波対策の経緯に対する考察
- 5) 原子力発電所の洪水（溢水）リスクに対する認識

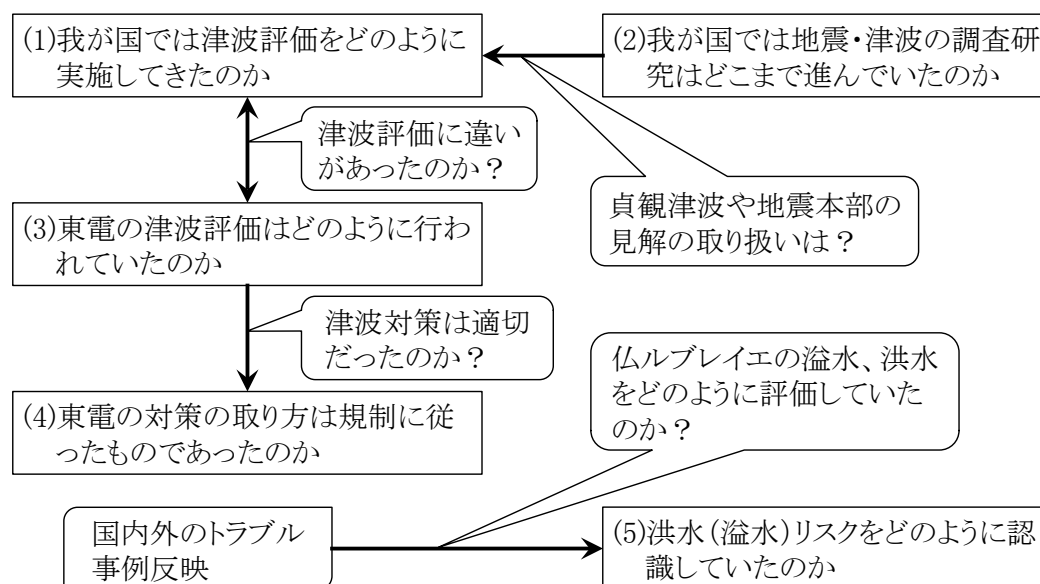


図2 我が国と東電の津波対策に対する検討の進め方

（出典）本分科会で作成

(1) 我が国の防災機関等の津波評価の考え方

我が国の原子力発電所は、将来想定される津波に対して十分に高い敷地高さに設置すべきであることが事業者に求められている。事業者は、想定される津波の評価に用

いるデータや手法について、常に最新の知見を基に津波高さを評価してきた。1970年原安委（当時）は、「安全設計審査指針」を策定し、過去の記録を参照し最も過酷と思われる自然力に耐えることを要求した。1983年に建設省（当時）と水産庁は津波常襲地域総合防災対策指針をとりまとめ、過去の記録に基づく最大津波を対象として対策を求めた。1997年に農水省は、地域防災計画における津波対策の手引きの中で信頼できる資料の数多く得られる既往最大津波と現在の知見に基づいて想定される最大地震により起こされる津波の大きい方を対象とすることを求めた。1999年に国土庁（当時）と気象協会は津波対策強化の手引きを作成し、翌年、津波災害予測マニュアルに基づき、自治体に津波浸水予測図作成を促した。2002年に土木学会は「津波評価技術」を取りまとめた。2006年に中央防災会議は、「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門委員会報告」をとりまとめたが、地震本部の見解および貞観津波は反映されなかった。その後、2007年に福島県と茨城県は、津波浸水予測図を作成した。

以上の経緯を踏まえ、本分科会・小委員会は、以下の通り考察する。

1999年に国土庁（当時）と気象協会がマニュアルを作成し、その後2002年に土木学会が「津波評価技術」を作成していた。両者ともに、2(2)で述べたとおり、東電が「津波評価技術」を用いて2002年に計算した津波高さと国土庁（当時）と日本気象協会のマニュアルに基づき2007年に自治体が作成した津波浸水予測図の津波高さに大きな差異はなく、両者の手法に本質的な違いはなかったものと考えられる。当時は、既往の津波波源の妥当性を確認するだけで、過去に発生した経験がなく既往の痕跡高記録の知見が十分に存在しない地点においては、耐津波設計に取り入れる手法は明確にされていなかった。

ただし、上記に関しては、2002年に土木学会が作成した「津波評価技術」では、既往津波を用いて計算手法の妥当性確認を行った後、その妥当性確認された計算手法を用いて想定津波を計算し、対象とする原子力発電所に対して最も波高が高くなる計算結果を用いて耐津波設計をするとされていた。すなわち、「津波評価技術」では、想定津波については既往津波だけでなく、プレート境界付近、日本海東縁部および海域活断層に想定される地震に伴う津波も考慮するとされていた。なお、福島県沖日本海溝沿い津波は、最新知見として耐津波設計に取り入れられるべき想定津波であった。

(2) 我が国の地震・津波調査研究機関の活動

1995年に総理府（当時）は地震本部を設置した。2002年に地震本部は、三陸沖北部海溝寄りから房総沖海溝寄りで、どこでも明治三陸沖津波と同様の津波が発生する可能性を指摘したが、過去に同様の地震・津波が発生した記録の無い地点の評価をするための波源情報のモデル化について知見が提供されなかった。2009年に地震本部は新総合施策を発表し、三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価見直しを開始したが、指摘した可能性について津波評価手法の確立に向けた動きはなかった。2007年に土木学会は、津波水位の確率論的評価手法について論文を発表した。2009年に土木

学会は、東電から地震本部の見解に基づく具体的な波源モデルの策定を依頼され、2012年10月を目途に結論を出す予定であった。

以上の経緯を踏まえ、本分科会・小委員会は、以下の通り考察する。

我が国の地震・津波に関する調査研究は、阪神淡路大震災を契機に地震本部に一元化されていた。地震本部は、海溝型地震に関して長期評価し、地震の大きさと発生確率を予測する中で、三陸沖から房総沖の海溝寄りのプレートで発生する大地震、海溝型プレート境界地震（津波地震）では、実際に発生した2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震のマグニチュード9.0に対してマグニチュード8.2前後と評価していた。これまでの津波評価では、連動が考慮されたことはなかったが、連動が考慮されていれば、津波の発生予測は現実に近い可能性があった。また、地震本部は、「三陸沖北部海溝寄りから房総沖海溝寄り、どこでも発生する可能性がある」としていたことに対し、波源断層を特性化した予測手法[21]の開発に早期に着手すべきであった。土木学会は、2009年に東電から波源モデルのレビューを依頼された際に、開発中の確率論的津波評価手法の標準化[22]とは別に依頼への対応を急ぐべきであった。

(3) 東電の津波評価の経緯に対する考察

東電は、1965年O.P.+3.122mを用いて設置許可を取得した。その後、津波評価技術の進展と我が国の津波評価の考え方に従い、想定津波高さを見直している。具体的には、1994年の北海道南西沖地震を踏まえた見直し、1998年の太平洋沿岸部地震津波防災計画手法調査に基づく見直し、2002年の土木学会「津波評価技術」に基づく見直し、2009年の耐震バックチェック随件事象として再評価に伴う見直しを実施すると共に、その間、福島県と茨城県の防災上の津波計算結果を入手し、現状の想定津波高さを上回らないことを確認していた。一方、東電は仮定に基づく検討も実施しており、1997年に通産省（当時）より解析値の2倍の津波高さとなった場合の評価を求められ、2倍を仮定すると海水ポンプが停止すると2000年に報告した。2006年にJNES（当時）が主催した溢水勉強会で、東電は、福島第一原発5号機敷地高さ+1mの水位を仮定した場合、電源設備が水没すると報告した。さらに、東電は2008年に地震本部の見解を踏まえた試算、ならびに貞観津波を試算していた。東電は2009年には貞観津波堆積物調査の必要性を認識し、福島県沿岸部の堆積物調査を実施していた。

以上の経緯を踏まえ、本分科会・小委員会は、以下の通り考察する。

これまでの経緯に示されるように、東電は、土木学会の津波評価の手順に従い津波高さを計算し、規制機関からの要求に従いプラントへの影響を評価して報告していた。さらに、東電は、地震本部の見解や貞観津波の投稿予定の論文を踏まえ、独自に津波高さを試算し、津波堆積物調査を実施して成果を国際学会に報告していた。しかしながら、東電は、「明治三陸沖津波と同様の津波は、三陸沖北部海溝寄りから房総沖海溝寄り、どこでも発生する可能性がある」との見解を基に、明治三陸沖津波を福

島県沖に置き換えて津波伝播を解析し、敷地高さを超える^{*10}結果を得たにもかかわらず、土木学会への検討依頼やそれに基づく対策の検討にとどまっており、(5)において後述する溢水リスクを認識していた点と合わせ、安全に対する深層防護の考え方に沿った対策を怠っていた。

(4) 東電の津波対策の経緯に対する考察

東電は、1965年福島第一原発1号機を敷地高さ0.P.+10mに建設した。その後、想定津波高さの評価結果に基づき、対策要否を判断して必要な対策を実施していた。具体的には、1994年と1998年の見直しの際は、何れも対策不要と判断した。2002年の見直しでは、ポンプ嵩上げや浸水防止対策等を実施し、2009年の見直しでは、5号機および6号機の非常用海水ポンプの一部に対策を実施した。2007年福島県と茨城県の防災上の津波計算結果では、対策が不要であると判断した。2010年には福島地点津波対策ワーキングを設置し、地震本部の見解および貞観津波の試算結果を踏まえ、対策の検討を開始していた。

以上の経緯を踏まえ、本分科会・小委員会は、以下の通り考察する。

これまでの経緯に示されるように、東電は、土木学会の津波評価の手順に従い評価し必要な対策を実施すると共に、自治体が評価した防災上の津波計算結果を把握し対策が不要であると判断していた。加えて、東電は、地震本部の見解に基づく解析を実施し、波源情報の重要性から、得られた結果についての妥当性の検討を土木学会に依頼すると共に、浸水防止対策を検討していたが、実際に対策するまで至らなかった。東電は、深層防護の考え方に従い速やかに実施可能な対応をすべきであった。

(5) 原子力発電所の洪水（溢水）リスクに対する認識

福島第一原発事故以前に経験した洪水（溢水）事象には次のようなものがある。まず、1991年に福島第一原発1号機で、配管漏洩により1、2号共通DGおよび機関の一部が浸水した。1999年にフランス・ルブレイエ原子力発電所で大雨による河川氾濫で溢水事象が発生した。2004年にインド・マドラス原子力発電所でスマトラ沖地震の大津波により海水ポンプ室が浸水した。このような事例を踏まえ、2006年に保安院（当時）とJNES（当時）は、溢水勉強会および安全情報検討会で、敷地高さ+1mの水位を仮定した場合、浸水の可能性を否定できないことを確認していた。2007年にJNES（当時）は、ルブレイエ原子力発電所の事例をBWRプラントに適用した結果、リスクが非常に高いことを公表した。

以上の経緯を踏まえ、本分科会・小委員会は、以下の通り考察する。

東電は、福島第一原発1号機で溢水事象を経験し、JNES（当時）溢水勉強会において津波が敷地高さを超えた場合は電源が喪失して極めて深刻な事態となる可能性があることを把握していた。保安院（当時）は、津波が敷地高さを超えた場合は深刻な事

態となることを把握すると共に、JNES（当時）よりルブレイエ原子力発電所の溢水事象をBWRプラントに適用した結果、同様の溢水事象の発生を仮定するとリスクが非常に高くなると報告を受けていた。これらを踏まえれば、保安院（当時）と東電は、溢水事象の発生を仮定すると、事故に至るリスクの大きさを認識していたと認められる。しかしながら、我が国では、当時は敷地高さを超える津波がなければ、対策は不要（ドライサイト）という考えが中心であり、対策が取られることはなかった。これらの事実関係から、保安院（当時）と東電は、津波に限らず何等かの原因で洪水（溢水）が発生した場合のリスクの大きさを認識していながら、津波が敷地高さを超えた場合の建屋への浸水防止対策や建屋内に浸水した場合の対応を取ることはなかった。

4 我が国の津波への対応の総括

第3章で示した我が国と東電の津波対策の取り組みの要約と、その考察を踏まえての教訓と課題を以下に示す。

(1) 原子力発電所の設置時の考え方

東電の福島第一原発の着工は1966年である。この地域の地盤の高さが15m以上あったが、発電所の設置高さが10mと決められたのは当時の津波想定値が約3mであったこと、またポンプの吸い込み水頭の限界が10mであることなどを考慮すると、建設時の判断としては妥当なものであったと推察される。1979年、東北電力では女川原子力発電所の建設に着工した。ここでは、東北電力の経営判断で設置高さを15mにする選択がなされた。我が国では、原子力発電所の建設が始まった当初、敷地高さを決めるにあたっては、敷地内に水の侵入を許さない“ドライサイト”を原則として、過去の津波の実績調査を基に最大の津波を想定し、余裕を持たせて敷地高さを決めてきた。

(2) 津波評価法

福島第一原発の着工当時の我が国の津波評価は、解析による予測評価への信頼性はまだ確立されておらず、信頼できる歴史資料や津波遡上調査や得られる過去の津波に基づく予測方法が定着していた。2002年に土木学会が「津波評価技術」を制定し、津波評価法が整備された。

津波に関してはその脅威に警鐘を鳴らしたものもあった。中央防災会議では、貞観地震で極めて大きな津波が発生したことや、地震本部の見解に基づき明治三陸沖地震津波を東北地方の一部だけではなく日本海溝沿いに南の福島、茨城までにも適用すべきとの議論があった。それは、事故後、我が国で改めて注目されることとなった。東北地方太平洋沖地震は、貞観モデル地震と明治三陸モデル地震を重ねた規模の地震として発生したことは、後の多くの研究者による解析評価で示されている。

なお、事故発生以前の段階では、2006年の金森らの論文[20]に指摘される警告を捉えることもなかった。また、可能性の指摘はできるものの地震波源の知見が不十分ということで、中央防災会議を始めとする防災関係機関において、地震本部の見解は採用されなかった。2011年に発生した東北地方太平洋沖地震による津波により、我が

国におけるこの分野の研究は大いに加速された。また、多くの津波伝播解析が実施され、津波波源の設定・解析は著しく進歩した。（＜参考資料3＞参照）

(3) 最新の知見に対応して

東電は、地震本部の見解を踏まえ津波を試算し大きな津波高さの可能性があることの結果を得たが、この試算の妥当性の検討を土木学会に依頼した。

安全に対して極めて厳しい結果を伴う知見には、規制基準の変更とともに、その対応には少なからぬ時間と資金の投入が必要となる。リスク評価により対応策の採否の判断を行う方法もあるが、新知見への明確な考え方による適切な対応が取られるようにする必要がある。

(4) 東電の事前の評価

事故以前の福島第一原発での津波評価においては、東電独自の試算は、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震による津波と同じ系統の地震による津波であった。東電は、評価法の妥当性について土木学会の見解を得て、対策を準備し、2011年3月津波発生の直前に規制機関に報告したが、対策は間に合わなかった。

(5) 地方自治体の評価とその対策

茨城県は、国の津波浸水予測図作成の指示に従い、「津波評価技術」と同様の手法である津波災害予測マニュアルを用いて日本原子力発電㈱の津波予測を上回る結果を得たため、事業者に東海第二発電所への対応を求めた。この要求に応じて、事業者は安全上重要な施設の防水壁工事に着手し事故を未然に防ぐことができた。事業者の対応は、規制基準で要求された評価手法に基づくものであり、この迅速な経営判断は適切なものであったと評価される。一方、同じ時期に福島県も国の指示に従い福島第一原発を含む沿岸地域の津波高さを評価したが、東電は福島第一原発の想定津波高さより低い値であったことを確認している。

(6) 基準津波と残余のリスク

予測の難しいハザードに対して、事業者は自らその設計基準を超える事態への対応を明確にしておかなければならない。我が国では、「耐震設計審査指針」の改訂により、基準を超える地震への対応は「残余のリスク」として評価する仕組みができており、確率論的に地震動を評価する研究は進んでいた。しかし、津波については、「極めてまれ」の定義が無く、海底部での地震の発生と共に起きる津波に関しては規模と発生の確率に関して確率論的な研究は未成熟であった。その結果、保安院（当時）の耐震バックチェックでは耐震評価を優先し、津波評価は後回しとされた。

日本地震工学会は、2015年3月に地震・津波安全の総合技術体系を目指し、「原子力安全のための耐津波工学」[23]を刊行した。本書では、リスク論に基づく地震・津波防御の体系を示している。

本分科会・小委員会は、津波の予測についても、地震と同様にリスク評価を導入し、発生モデル化を含めて積極的に予測すると共に、その精度の向上に向けた研究を進めることが望ましいと考える。津波のような不確かさの大きな事象には、積極的にリスク情報を活用することが必要であり、地震・津波などの自然現象の評価研究機関は、発生モデル化を含めて積極的に予測すると共にその精度向上に向けた研究を進めることが望まれる。

(7) 深層防護としての対応

事故発生当時は、原子力に関係する組織全体として、深層防護への意識の不足¹²が著しく[24]、安全に対する慢心と想像力の欠如によって、発生頻度が極めて小さな事象の事故への進展に関しての研究や投資の意欲が減退していた。

津波は、地震以上に発生確率は小さいが、万一発生した場合には大きな被害をもたらす可能性のあるハザードである。我が国のこれまでの津波対策はドライサイトを原則とし、堰の積み上げ、機器の嵩上げ、水密化を考えればよかったが、それだけでは不確かさの大きな津波現象に対して十分な対応は取れない。中央防災会議においても、専門調査会報告[25]において、従来の津波想定手法の限界を指摘し、自然現象は大きな不確か性を伴い想定には一定の限界があることを踏まえ、被害抑止策重視から被害軽減策重視へ防災対策全体の再構築を求めている。事業者は、「深層防護」の考え方を適用して、想定を超える事態の発生にも十分に対応できるようにしておくことが必要である。

(8) 得られた教訓と課題

¹² 深層防護への意識の不足や低下について

我が国の深層防護への関心度を原子力安全白書の記述で振り返ってみると、表3に示すように全体が3期に分けられ、第1期（1961～1994年）は深層防護の第3層までの記述があったが、第2期（1995～2002年）では深層防護の説明が毎年変化しており、第3期（2005以降）に至っては、深層防護の記述自体が消滅していた。

表3 原子力安全白書での深層防護の記述の変遷

期 (年)	深層防護に関連する記載の概要
第1期 (1961～1994年)	深層防護の第3層までの記述。
第2期 (1995～2004年)	深層防護の説明が毎年変化。
1995年：	過酷事故の可能性は現実的に考えられないほど低い。
1997年：	事業者の自主的対応で過酷事故対策を実施と記述。
1998年：	事故発生があるものとして対策を講ずべきと記述。
2000年：	初めて深層防護の第4層と第5層を記述。
2002年：	深層防護第4層、第5層と過酷事故対策の必要性を記述。
2003～2004年：	再び深層防護の第3層までの説明に戻る。
第3期 (2005年以降)	深層防護の記述自体が消滅。

事故から得た教訓は、以下にまとめられる。

我が国の地震・津波評価研究機関は世界の最先端に位置づけられている。関連する研究機関や原子力発電に係わる学会等の専門組織は、地震や津波を含め広く我が国の自然事象に関して、その可能性を指摘するだけでなく、地震・津波評価等、災害要因の評価に必要な情報と我が国の防災対策をどのレベルまで行えばいいのかをリスクを含めて提示し、関係者に対し適切な判断を促すよう努力すべきである。

事業者は、研究段階にあり一般的に認知された知見ではない情報に基づく評価であっても、そこから得られた知見に対して、特に原子炉が深刻な影響を受ける可能性がある場合は、合理的な対策によって深層防護の考えを基に対策の厚みを増しておくべきである。規制機関は、新知見の発掘と評価を継続して行い、前兆事象の評価や最新知見に基づき、環境に与える影響の大きい事象を見出し、時期を失することなく適切に事業者を指導・監督することが重要である。原子力発電に係わる学術団体は、新知見が原子力安全に対して重要な知見であるか否かを検討し、その活用方法や対策案を積極的に提言することが重要である。

事業者は、新知見により原子力発電所の設置高さが不十分となる場合もあり、ドライサイトの考え方に固執せず、深層防護の考え方に従ってリスク評価を適切に行い、必要なアクシデントマネジメント（Accident Management：AM）策を準備することが求められる。津波の評価においては、地震の評価と比べてデータの蓄積や、解析手法の開発は遅れているといえる。

事業者は、我が国の自然の厳しさを考慮すれば、他の様々な災害要因である自然現象に対しても同様に、対応しなければならない。自然現象への対応においては、評価手法の選定も課題である。また、想定（設計基準）を超える事態が発生した場合に備えて、深層防護の考えを適用して、それぞれの災害に対応したリスク評価を中心とした評価の方法を確立し、適切な対策を取れるようにしなければならない。

5 まとめ

福島第一原発事故からの教訓の一つは、津波など不確定性が大きな自然現象に誘起される事故要因への対応が不十分であったことである。

本分科会は、福島第一原発事故について検討を進め、報告[8][9]を公表した。さらに福島第一原発事故調査に関する小委員会を設置し、4事故調の報告書、新たに公表された事実および関係者からのヒアリング等を通じて、津波襲来後の事故対応の適否、シビアアクシデント対策の妥当性等、事故の背景的要因も含めて検討を進め、記録[10][11][12]としてまとめてきた。

これらの検討に引き続き、本報告では、学術的な立場から福島第一原発事故以前における津波高さの検討経緯を時系列で整理し検討を進めた。すなわち、我が国では津波評価をどのように実施してきたのか、津波の調査研究はどこまで進んでいたのか、東電の津波評価と対策はどのように行われていたのか、また、過去のトラブル事例等から浸水リスクをどのように認識していたのか、それらに対して原子力安全に関係する組織やグループの状況はどのようなものであったのか等の観点から、事故以前の津波対応の経緯を分析・検討した。この検討結果を踏まえて、原子力安全に関係する4つの組織やグループ、すなわち、事業者、規制機関、原子力安全にかかわる学術団体ならびに関係組織、地震・津波などの自然現象の評価研究機関が、自然現象に誘起される事故要因への対応に反映すべき点を以下のようにまとめた。

- 事業者は、研究段階にあり一般的に認知されていない知見や情報であったとしても、何らかの適切な対応をなすべきである。今回の事故に関しては、原子力施設が深刻な影響を受ける可能性があることについて、津波が敷地高さを超える可能性が示唆されていたが、深層防護の考え方とそれに従った判断基準を明確に持っていなかったことから対応が遅れた。事業者は、原子炉施設が深刻な影響を受ける可能性があることと判断される場合は、学術団体から出された知見や提言を真摯に受け止め、合理的な対策によって深層防護の考え方を基に対策の厚みを増しておくことが重要である。
- 規制機関は、地震本部の指摘に対する原子力安全規制への採否判断などを含め、学術団体から出された知見や提言に積極的に耳を傾け、あるいは規制に採用すべき新知見を自らが見出す努力をしていなかった。規制機関は、新知見の発掘と評価を継続して行い、前兆事象の評価や最新知見に基づき、環境に与える影響の大きい事象を見出し、時期を失することなく適切に事業者を指導・監督することが重要である。
- 原子力安全にかかわる学術団体ならびに関係組織は、2006年に金森ら[20]が指摘した警告を捉えることができなかつたことに見られるように、自然現象の脅威や事故に対する想像力が欠如していた。事故の深刻さを鑑みると、原子力安全にかかわる学術団体ならびに関係組織は、新知見が原子力安全に対して重要な知見であるか否かを検討し、その活用方法や対応案を積極的に提言することが重要である。

- ・ 地震・津波など自然現象の評価研究機関は、2011年3月11日以前に、福島県沖日本海溝沿い津波が将来発生すると予測し、津波堆積物調査によって過去に発生したとされる貞観津波の詳細を明らかにしていた。自然現象の評価研究機関は、可能性を指摘するだけでなく、福島第一原発事故後に策定された土木学会の確率論的津波評価手法[22]や地震本部の波源断層を特性化した予測手法[21]に見られるように、事象の影響評価に必要な情報を含めて提示し、我が国の防災対策に資するように努力することが重要である。

これらの教訓は、事故以前の津波対応の経緯を原子力安全に関係する組織やグループごとに分析・検討したことによって得たものであるが、さらに以下のように総括される。

(1) 新知見への取り組みの強化

我が国では、これまで、原子力安全に関する新知見を評価して適切に対応する仕組みが不十分であった。特に、過去に類似の地震・津波が発生した記録がない地点に対しては、可能性が指摘されていたにもかかわらず、対応策の採否に係る判断基準が策定されていなかった。加えて、安全目標やリスク評価による安全確保手法についても不十分であった。これらを踏まえ、原子力安全にかかわる学術団体ならびに関係組織は、原子力安全に関する新知見、特に自然現象を評価して、原子力施設が対応策を取るべきかを考察し提言する仕組みを持つことが必要である。

(2) 深層防護による安全性向上への取り組み

事業者（責任を持つメーカーを含む）ならびに規制機関は、新知見により、原子力施設や環境へ深刻な影響を与える事象があると判断される場合は、深層防護の考え方を基に対策の厚みを増しておくべきである。

(3) 行動規範に基づく説明責任と対話

原子力安全にかかわる学術団体や関係組織、事業者（責任を持つメーカーを含む）、ならびに規制機関は、社会からの信頼と負託を前提として、自らが行った評価ならびに判断を社会へ説明する責任を果たすために社会と積極的に対話を行っていく必要がある。

<用語の説明>

過酷事故（シビアアクシデント：Severe Accident）

設計時に考慮した範囲を超える異常な事態が発生し、想定していた手段では適切に炉心を冷却・制御できない状態になり、炉心が大きく損傷する事故をいう。

アクシデントマネジメント（Accident Management：AM）

原子炉で事故が発生した場合に、過酷事故への拡大を防止すると共に、過酷事故に至った時の影響緩和対策を講ずること。原子炉施設は、過酷事故の発生リスクを極めて低く抑えるように、設計、建設、運転の各段階において、（a）異常の発生防止、（b）異常の拡大防止と事故への発展防止、（c）放射性物質の異常な放出の防止等の深層防護の思想に基づいた安全対策が施されている。しかしながら、こうした安全対策をもってしてもリスクをゼロにすることはできないため、アクシデントマネジメントを通じて、過酷事故の発生リスクをより一層小さくし、また、万一発生した場合にもその影響を緩和する対策が講じられている。

マグニチュード（Magnitude）

地震が発するエネルギーの大きさを対数で表した指標をいう。マグニチュードの求め方によって、気象庁マグニチュード(Mj)、モーメントマグニチュード(Mw)、津波マグニチュード(Mt)等で使い分けられている。一般的には、マグニチュードの値が1大きくなると、エネルギーは約32倍、2大きくなるとエネルギーは約1000倍になるという関係がある。

津波地震（Tsunami Earthquake）

断層が通常よりゆっくりとずれて、人に感じられる揺れが小さくても、発生する津波の規模が大きくなるような地震で、明治三陸沖地震が有名である。

沸騰水型軽水炉（Boiling Water Reactor：BWR）（「沸騰水型原子炉」ともいう）

米国ジェネラルエレクトリック社が開発した軽水減速、沸騰軽水冷却型の原子炉。熱中性子炉（主に熱中性子による核分裂反応を利用する）の一種である。低濃縮ウランを燃料とするが、ウラン-プルトニウム混合酸化物燃料も利用できる。炉心で発生した熱を除去する冷却水が原子炉容器内で沸騰した状態で炉外へ取り出され、その蒸気で直接タービンを回して発電する。この構造は火力発電と同様であり、2次冷却系を持つPWRに比べてシステムは比較的単純であるが、原子炉冷却水は放射化されていてタービン系機器の保守管理に被ばくが伴うので放射線遮へいが必要とされる。

加圧水型軽水炉（Pressurized Water Reactor：PWR）（「加圧水型原子炉」ともいう）

米国ウエスチングハウス社が開発した軽水減速、加圧軽水冷却型の原子炉。熱中性子炉（主に熱中性子による核分裂反応を利用する）の一種である。低濃縮ウランを燃料とする

が、ウラン-プルトニウム混合酸化物燃料も利用できる。炉心で発生した熱を除去する冷却水が蒸気発生器で熱交換され、その蒸気でタービンを回して発電する。2次冷却系を持つため、BWR に比べてシステムは比較的複雑となるが、タービン系機器の保守管理は火力発電と同様である。

深層防護 (Defence in depth)

深層防護とは、安全に対する脅威から人を守ることを目的として、ある目標をもったいくつもの層（以下、防護レベルという）の防護策を用意して、ある防護レベルの防護策が失敗したら次の防護レベルの防護策で対処するという概念である。それぞれ防護レベルの防護策はお互いに影響することなく独立している。この防護レベルは、我が国、IAEA、西欧原子力規制者会議 (Western European Nuclear Regulators Association : WENRA) で分類に少し違いがある。防護レベルは、基本的に考え方の違うもので準備される。設計とマネジメント、防災といった3つの異なる防護レベルも一つの例と言われる。

新知見

新たな発見や考察により得られた、一般的に定着または認知されるまでには至っていない学術的な知見や仮説をいう。

想定津波高さ

原子力発電所の津波防護を設計する際に用いられる設計用の津波高さをいう。土木学会「津波評価技術」に基づき作成された評価地点に最も影響を与える想定津波から得られた設計想定水位も同じ意味である。

波源モデル

地震動により発生する津波の発生源を津波シミュレーションに用いるためモデル化したものをいう。

前兆事象の評価 (Accident Sequence Precursor)

原子力発電所の事故・故障事例に基づき、当該事故・故障事例が評価対象プラントで発生した場合の影響の大きさを把握するため、評価対象プラントの通常運転時の確率論的リスク評価結果を用いて、当該事故・故障が発生したと仮定した場合の条件付炉心損傷確率を評価する手法をいう。評価対象プラントに適用する際は、発生した事故・故障の内容を吟味し、評価対象プラントの機能喪失範囲を設定して解析する。

バックチェック

規制行政の指導の下で、事業者が原子力発電所の安全性を再評価する作業をいう。

<略語集>

ABWR : Advanced Boiling Water Reactor、改良型沸騰水型軽水炉

BWR : Boiling Water Reactor、沸騰水型軽水炉

DG : Diesel Generator、ディーゼル発電機

ECCS : Emergency Core Cooling System、非常用炉心冷却装置

IAEA : International Atomic Energy Agency、国際原子力機関

INES : International Nuclear Event Scale、国際原子力事象評価尺度

JANTI : Japan Nuclear Technology Institute、日本原子力技術協会（当時）

JNES : Japan Nuclear Energy Safety Organization、原子力安全基盤機構（当時）

O.P. : Onahama Peil、小名浜港工事基準面（小名浜港における水準ゼロの面）

PRA : Probabilistic Risk Assessment、確率論的リスク評価

PWR : Pressurized Water Reactor、加圧水型軽水炉

T.P. : Tokyo Peil、東京湾平均海面（日本の標高 0 m とされる）

<参考文献>

- [1] 土木学会原子力土木委員会津波評価部会「原子力発電所の津波評価技術」2002年2月
- [2] 原子力安全委員会「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」2006年9月19日
- [3] 政府事故調報告（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、中間報告：2011年12月26日、最終報告：2012年7月23日）
- [4] 国会事故調報告書（東京電力福島原子力発電所事故調査委員会、2012年7月5日）
- [5] 民間事故調報告（福島原発事故独立検証委員会、2012年3月11日）
- [6] 東電事故調報告（福島事故調査報告書、東京電力、2012年6月20日）
- [7] 原子力規制委員会「東京電力福島第一原子力発電所事故の分析 中間報告書」2014年10月8日
- [8] 日本学術会議総合工学委員会原子力事故対応分科会 報告「東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓」2014年6月13日
- [9] Sub-Committee on Fukushima Nuclear Accident, Comprehensive Synthetic Engineering Committee, Science Council of Japan, “Reflections and Lessons from the Fukushima Nuclear Accident,” April 27, 2016
- [10] 日本学術会議総合工学委員会原子力事故対応分科会 記録「東京電力福島第一原子力発電所1号機において発生した事故事象の検討」2014年9月30日
- [11] 日本学術会議総合工学委員会原子力事故対応分科会 記録「東京電力福島第一原子力発電所において発生した事故事象の検討（続報）」2016年6月3日
- [12] Working Group on Fukushima Nuclear Accident, Sub-Committee on Fukushima Nuclear Accident, Comprehensive Synthetic Engineering Committee, Science Council of Japan, “Reflections and Lessons from the Fukushima Nuclear Accident (Second Report),” September 19, 2016
- [13] 福島第一原発事故調査に関する小委員会「福島第一原子力発電所事故以前の津波高さに関する検討経緯—想定津波高さと東電の対応の推移—」日本学術会議公開シンポジウム「原子力発電所の自然災害への対応」2017年8月1日,
<http://www.scj.go.jp/ja/event/pdf2/1708101-1.pdf>
<http://www.scj.go.jp/ja/event/pdf2/1708101-2.pdf>
- [14] 吉田至孝、宮野廣「福島第一原発事故は従前の津波対策で予防できたか—事故以前の想定津波高さ評価と東電の対応の考察—」日本原子力学会誌 2018年1月号解説記事
- [15] JNES（当時）「安全情報の分析評価に関する報告書＝前兆事象評価の適用＝」2007年4月
- [16] 土木学会原子力土木委員会津波評価部会：津波評価手法の高精度化研究—津波水位の確率論的評価手法ならびに分散性と砕波を考慮した数値モデルの検討、土木学会

論文集 B、Vol. 63、No. 2、pp. 168-177、2007.

- [17] JANTI(当時)「原子力施設における台風等風水害対策の考え方について」2007年7月
- [18] 地震本部事務局「地震調査研究推進本部10年の資料集」2006年3月
- [19] 地震本部事務局「地震調査研究推進本部20年の資料集」2015年3月
- [20] Hiroo Kanamori, Masatoshi Miyazawa, and Jim Mori: Investigation of the earthquake sequence off Miyagi prefecture with historical seismograms, *Earth Planets Space*, 58, 1533-1541, 2006.
- [21] 地震本部地震調査委員会「波源断層を特性化した津波の予測手法(津波レシピ)」2017年1月
- [22] 土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会「原子力発電所の津波評価技術 2016」2016年9月
- [23] 日本地震工学会原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会「原子力安全のための耐津波工学～地震・津波安全の総合技術体系を目指して」2015年3月
- [24] 日本原子力学会事故調査委員会「福島第一原子力発電所事故その全貌と明日に向けた提言: 学会事故調 最終報告書」2014年3月
- [25] 中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告」2011年9月28日

<参考資料 1> 審議経過

[分科会]

第 23 期

2014 年

- 12 月 4 日 総合工学委員会原子力事故対応分科会（第 1 回）
委員長選任、副委員長、幹事指名が行われた。
福島第一原発事故調査に関する小委員会の設置が承認された。

2015 年

- 9 月 14 日 総合工学委員会原子力事故対応分科会（第 2 回）
福島第一原発事故調査に関する小委員会の活動経過を報告

2016 年

- 3 月 16 日 総合工学委員会原子力事故対応分科会（第 3 回）
福島第一原発事故調査に関する小委員会の審議状況を報告
- 6 月 3 日 総合工学委員会原子力事故対応分科会（第 4 回）
福島第一原発事故調査に関する小委員会の審議状況を報告。津波リスクについての検討を開始していることを報告。
- 10 月 28 日 総合工学委員会原子力事故対応分科会（第 5 回）
福島第一原発事故調査に関する小委員会の報告（記録）のまとめ方について審議。

2017 年

- 3 月 13 日 総合工学委員会原子力事故対応分科会（第 6 回）
福島第一原発事故調査に関する小委員会でまとめた記録 1 および記録 2 の英訳が承認され、海外へ発信していると報告。現在津波に関する知見と、規制の妥当性を検討中と報告。
- 6 月 8 日 総合工学委員会原子力事故対応分科会（第 7 回）
津波に関するシンポジウム（「原子力発電所の自然災害への対応—福島事故の津波対策を例として—」、資料 6-1, 2 参照）を 8 月 1 日に開催予定と報告。
- 9 月 5 日 総合工学委員会原子力事故対応分科会（第 8 回）
福島第一原発事故調査に関する小委員会は次期においても活動を継続し、津波リスク・規制の在り方について審議を進める予定と報告。

第 24 期

2017 年

- 12 月 21 日 原子力安全に関する分科会（第 1 回）
委員長選任、副委員長、幹事指名がおこなわれた。
福島第一原発事故調査に関する小委員会の設置が承認された。

2018 年

- 3月23日～3月26日メール審議 原子力安全に関する分科会（第2回）
 提言（案）「我が国の研究用原子炉の在り方について」の承認
- 4月24日 原子力安全に関する分科会（第3回）
 福島第一原発事故調査に関する小委員会から審議経過を報告した。
- 7月9日～7月17日メール審議 原子力安全に関する分科会（第4回）
 公開シンポジウム「原子力総合シンポジウム」の承認
- 9月4日 原子力安全に関する分科会（第5回）
 福島第一原発事故調査に関する小委員会から津波に関する報告書がまとまり、提出予定であるとの報告があった。この報告書の査読委員を決定した。
- 10月22日 原子力安全に関する分科会（第6回）
 福島第一原発事故調査に関する小委員会でまとめている報告は分科会での査読結果を踏まえて現在修正中であるとの報告があった。
 原子力総合シンポジウムの進行について打ち合わせが行われた。
- 12月19日～12月25日メール審議 原子力安全に関する分科会（第7回）
 報告（案）「我が国の原子力発電所の津波対策—東京電力福島第一原子力発電所事故前の津波対応から得られた課題—」の承認

[小委員会]

第23期

2014年

- 12月26日 日本学術会議幹事会（第206回）
 福島第一原発事故調査に関する小委員会設置の承認

2015年

- 3月31日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第1回）
 委員長・幹事決定、今後の進め方について審議
 第2報内容についての検討、高圧注水系動作、ベント操作、放射性物質放出について
 原子力総合シンポジウム開催について打ち合わせ
- 5月8日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第2回）
 第2報技術的内容についての検討
 報告書、記録の英訳を進めることとした。
 原子力総合シンポジウム開催について打ち合わせ
- 6月17日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第3回）
 第2報3項目内容について審議
 報告書、記録の英訳のスケジュール確認
 原子力総合シンポジウム内容について打ち合わせ
- 7月1日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第4回）

- 第2報内容について審議
報告書、記録の英訳のスケジュール確認
原子力総合シンポジウム、司会者、講演者最終確認
- 8月31日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第5回）
第2報内容について最終確認
報告書、記録の英訳について検討
津波リスク評価について今後の検討方法について審議
- 9月14日 記録第2報が原子力事故対応分科会にて承認される
- 10月21日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第6回）
原子力安全の耐津波工学の概要紹介と津波リスクへの取り組みの審議
英文化の進め方について審議
- 11月26日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第7回）
英文化ルールの確認
津波リスクの検討の進め方の審議
原子力総合シンポジウム2016企画案の審議

2016年

- 2月9日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第8回）
杉野氏より津波論文の内容を紹介
英文第2報の記載内容についての審議
規制の在り方のうち新規基準に基づく安全審査体系について審議
- 3月16日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第9回）
分科会活動全般についての報告
原子力総合シンポジウム2016、司会者、講演者最終確認
- 3月31日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第10回）
原子力総合シンポジウム2016総評の確認
リスク情報の活用および外的事象対策に関する審議
- 5月10日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第11回）
原子力総合シンポジウム2016アンケート結果の報告
英文第2報の作成分担に関する審議
津波リスク関連の報告書作成方針に関する審議
- 6月3日 日本学術会議第三部にて記録第2報が承認される
- 6月16日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第12回）
原子力情報連絡小委員会の設置報告
津波を例にした新知見への取り組みに関する審議
福島事故以前の津波高さに関する検討経緯の審議
英文第2報記載内容の確認
- 7月19日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第13回）
英文第2報原案の最終確認

- 津波を例にした新知見への取り組みに関する審議
- 9月14日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第14回）
福島事故以前の津波高さに関する検討経緯の審議
IRRS 報告書に基づく規制の在り方の審議
- 10月28日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第15回）
第3報の構成について審議
規制の在り方に関する論点の審議
- 12月2日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第16回）
第3報の構成案に関する各委員コメントの審議
福島事故以前の津波高さに関する検討経緯の審議
規制の在り方の検討に係わる委員の追加提案の審議

2017年

- 1月16日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第17回）
現状と今後の進め方に関する審議
第3報の構成および津波高さに関する検討経緯の審議
規制の在り方の検討方針の審議および委員追加の承認
- 2月14日 日本学術会議第三部にて英文第2報が承認される
- 3月9日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第18回）
小委員会の現状と今後の進め方に関する審議
第3報原案作成方針の審議
- 4月18日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第19回）
第3報原案作成方針の審議
津波シンポジウム企画案の審議
- 6月8日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第20回）
津波シンポジウム企画案の報告
原子力総合シンポジウム2017、司会者、講演者最終確認
- 6月12日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第21回）
第3報記載内容の審議
津波シンポジウム企画案の最終確認
英文第2報および和文第2報の外部発表の報告
規制の在り方の検討分担および今後の進め方の報告
- 7月26日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第22回）
第3報記載内容の審議
津波シンポジウムプレゼン案の確認
- 8月1日 公開シンポジウム「原子力発電所の自然災害への対応ー福島事故の津波対策を例としてー開催
- 9月5日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第23回）
津波シンポジウムの事後検討

第3報記載内容の審議
規制の在り方についての審議
次期に向けての活動の審議

第24期

2018年

- 2月22日 日本学術会議幹事会（第260回）
福島第一原発事故調査に関する小委員会設置の承認
- 4月10日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第1回）
委員長・幹事決定、今後の進め方について審議
第3報記載内容の審議
- 6月7日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第2回）
第3報記載内容の審議
- 7月18日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第3回）
第3報記載内容の審議
原子力安全規制の在り方についての審議
- 9月4日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第4回）
第3報記載内容の審議
原子力安全規制の在り方についての審議
- 11月14日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第5回）
第3報記載内容の審議
原子力安全規制の在り方についての審議

2019年

- 1月8日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第6回）
第3報の分科会査読結果の対応についての審議
原子力安全規制の在り方についての審議
- 2月8日 福島第一原発事故調査に関する小委員会（第7回）
新知見への取り組みに関する審議
原子力安全規制の在り方についての審議
- 3月28日 日本学術会議第276回幹事会
報告「我が国の原子力発電所の津波対策－東京電力福島第一原子力発電所事故前の津波対応から得られた課題－」について承認

＜参考資料 2＞ 福島第一原発事故発生以前の津波高さに関する検討経緯

本資料は、福島第一原発の津波高さの想定および対応経緯について、4 事故調報告書を中心として記載された事実関係を調査してまとめた。調査にあつては、関係者の回顧に関する記述および報告書の見解をできるだけ排除し、客観的事実関係のみを抽出するよう努力した。以下に確認した事実関係について時系列を追って示す。

1961 年（昭和 37 年）

- ・災害対策基本法に基づき中央防災会議*¹が設置された。

1965 年（昭和 41 年）

- ・東電は昭和 35 年に発生したチリ地震津波で観測された津波高さを用い、福島第一原発の想定津波高さを O. P. +3. 122m と設定し、昭和 41 年 7 月に申請し、12 月 1 日に原子炉施設の設置許可を取得した。[1][2][3][4][5]

1970 年（昭和 45 年）

- ・原安委（当時）は、4 月に「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」を策定し、考慮すべき自然条件として津波を挙げて過去の記録を参照して予測される自然条件のうち最も過酷と思われる自然力に耐えることを求めた。[1][3][4]

1981 年（昭和 56 年）

- ・原安委（当時）は、7 月に「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を策定したが、この中には津波に対する言及はなかった。[3][4]

1983 年（昭和 58 年）

- ・建設省（当時）と水産庁は、一般災害への対応として、津波常襲地域総合防災対策指針（案）をとりまとめ、過去 200 年程度で確実な資料が得られる最大の津波を対象とするよう求めた。[3]

1986 年（昭和 61 年）

- ・東北大箕浦教授仙台平野で津波堆積物を発見。[6]

1990 年（平成 2 年）

- ・阿部らは、仙台平野で初めての堆積物調査を実施。貞観津波の痕跡高は仙台平野の河川から離れた一般の平野部で 2.5～3m で、浸水域は海岸線から 3km ぐらいの範囲であったと推定している。[3]

1991 年（平成 3 年）

- ・原安委（当時）は、原子力施設事故・故障分析評価検討会に全交流電源喪失事象（SBO）検討ワーキンググループを設置した。[2]
- ・東電は、10 月 30 日福島第一原発 1 号機の補機冷却水系海水配管から海水が漏えいし、1、2 号共通 DG（その後 1 号専用に変更）および機関の一部に浸水する事象を経験した。[7]

1992 年（平成 4 年）

- ・原安委（当時）は、5月に、アクシデントマネジメントの整備を要求。通産省（当時）は電力に対し内的事象のPRAによりアクシデントマネジメントの検討を指示したが、内的事象のみを対象とし外的事象は含まれていなかった。

[1][3]

1993年（平成5年）

- ・原安委（当時）全交流電源喪失事象検討ワーキンググループは、6月11日に「原子力発電所における全交流電源喪失事象について」をまとめ、長時間の電源喪失は炉心損傷等の重大な結果が生じるが、我が国の外部電源と非常用電源の信頼性は高く指針への反映を提言しなかった。[2]
- ・7月12日北海道南西沖地震が発生し、津波により奥尻島を中心に大きな被害を出した。[8]
- ・原安委（当時）は、10月28日にSBO検討ワーキンググループの報告を受け、内容を了承した。[2]
- ・原子力安全研究協会は、10月に内的事象レベル2PRAの評価手法を発行した。[1]
- ・資源エネルギー庁は、10月北海道南西沖地震を受けて電気事業連合会（電事連）に津波安全性評価を指示した。[1][2][4]

1994年（平成6年）

- ・これを受け東電は、3月に北海道南西沖地震津波を踏まえた福島第一および第二原子力発電所の津波に対する安全性評価結果報告書を国へ提出。最大津波0.P.+3.5mは昭和35年のチリ地震津波とし安全性は確保されていると報告した。[1][2][4]
- ・東電は、1994年より内的事象PRAに基づくアクシデントマネジメントの整備を開始し、2002年（平成14年）に完了した。[1][3]

1995年（平成7年）

- ・地震対策特別措置法に基づき総理府（後に文部科学省に所属）に地震本部*²が設置された。[9]
- ・原安委（当時）は、1月17日に発生した兵庫県南部地震を踏まえ原子力施設耐震安全検討会を設置し、現行指針が妥当であることを確認した。[3]

1997年（平成9年）

- ・電事連は、通産省（当時）より解析値の2倍の津波高さとなった場合の評価が求められたことを電力各社に対し報告した。[2]
- ・農水省は、3月に一般災害に対して「太平洋沿岸部地震津波防災計画手法調査報告書」および「地域防災計画における津波対策の手引き」をまとめ、この中で信頼できる資料の数多く得られる既往最大津波と現在の知見に基づいて想定される最大地震により起こされる津波の大きい方を対象とするよう求めた。[3]

1998年（平成10年）

- ・東電は、6月にまとめた「福島第一および第二原子力発電所の津波に対する安全性について（太平洋沿岸部地震津波防災計画手法調査）」によると、「太平洋沿岸

部地震津波防災計画手法調査報告書」による4省庁津波断層モデルに基づく津波の最高水位は福島第一原発で O. P. +4.7~4.8m となり、福島第一原発は非常用海水ポンプの据え付けレベルを超えるがモータ下端レベルに達しないため安全への影響はないとした。[10]

1999年（平成11年）

- 国土庁（当時）と日本気象協会は、3月に福島第一原発付近を含む浸水予想図を作成した。[11] この津波浸水予測図は、防災基本計画に基づき地域防災計画における津波対策強化の手引きの別冊である「津波災害予測マニュアル」の策定に活用され、マニュアルは自治体における津波浸水想定作成に活用された。[12] 日本地震学会は当時の広報紙にて国土庁（当時）が津波浸水予測データベースの整備を進めており、津波浸水予測図の例を紹介していた[13]。2011年3月11日の震災以降にわかったことであるが、この予想図と敷地内配置を重ね合わせると1~4号機は浸水するレベルを示していた。[14][15] しかしその後、福島県防災会議地震・津波対策部会が実施した手引きおよびマニュアルに基づく防災上の津波計算結果（O. P. +4.7m）では浸水レベルに達していなかった。[16]
- 土木学会は、原子力土木委員会の下に津波評価部会*³を設置し、原子力施設の津波に対する安全性評価技術の体系化および標準化の検討を開始した。[3]

2000年（平成12年）

- 電事連は、2月に通産省（当時）からの要請を受け、想定1.2倍、1.6倍、2倍となった場合の全国原発への影響を調べた。[2]
- 東電は、2月に電事連を通じた通産省（当時）からの要請を受け、解析値の2倍の津波となった場合、福島第一原発ではO. P. +10mとなり、6mで海水ポンプが停止すると報告した。[2]
- 地震本部*²は、11月27日海溝型地震についての長期評価を進め「宮城県沖地震の長期評価」を公表した。[17]

2001年（平成13年）

- 津波評価部会*³は、1月に津波高さの補正係数*⁴（想定津波と既往津波の大きい方の値を採用する際における想定津波の補正係数）を1.0に決定し、津波地震は除外した。[2][18]
- 原安委（当時）は、7月10日に原子力安全基準専門委員会の下に耐震指針検討分科会を設置して「耐震設計審査指針」の改訂作業を開始した。しかし、津波、海岸工学の専門家は含まれなかった。[3]
- 原安委（当時）耐震指針検討分科会は、10月13日第3回会合で地震による二次的影響の中で津波の評価方法を取り上げ、その後地震・地震動ワーキンググループに議論が引き継がれた。[3]
- 菅原大助他は、福島県相馬市（福島第一原発北50km）において貞観津波の堆積物を発見したと発表した。[3][19]
- 地震本部*²は、9月「南海トラフの地震（南海地震・東南海地震）」を公表した。

[20]

2002年（平成14年）

- ・津波評価部会*³は、2月に「津波評価技術」を取りまとめ、概ね信頼性があると判断される痕跡高記録が残されている津波を評価対象と定めた。[1][2][3][4][5]
- ・これを受け東電は、3月に「津波評価技術」に基づき、想定津波高さをO.P.+5.7mに変更し、ポンプ嵩上げや浸水防止対策等を実施した。[1][2][3][4][5]
- ・保安院（当時）は、4月にアクシデントマネジメント整備上の基本要件を策定し、同年10月には整備されたアクシデントマネジメントは妥当との報告書を出した。[3]
- ・地震本部*²は、7月に「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」をまとめ、プレート間大地震（津波地震）は三陸沖北部海溝寄り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して発表した。[1][2][3][21][22]

2003年（平成15年）

- ・原安委（当時）地震・地震動ワーキンググループは、2月13日および3月7日の会合で津波を含む地震随伴事象の議論を実施し、土木学会の「津波評価技術」が紹介された。[3]
- ・地震本部*²は、3月24日に「千島海溝沿いの地震活動の長期評価」を公表し、津波堆積物の分析により過去に400～500年程度の間隔で、1952年十勝沖地震をはるかに超える規模の津波が発生したことが知られているとした。[3][23]
- ・保安院（当時）は、10月に定期安全レビューを法制化、12月に内的事象停止時PRAの実施を定期安全レビューに追加した。[3]しかし、津波PRAについてはJNES（当時）でも研究段階にあり、知見不足とした。[3]
- ・中央防災会議*¹は、10月に日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会を設置し、宮城県沖地震および同年9月に発生した十勝沖地震による東北・北海道地方における大規模海溝型地震対策の検討を開始した。[3]

2004年（平成16年）

- ・原安委（当時）耐震指針検討分科会は、5月26日の会合で地震・地震動ワーキンググループの検討状況の報告を受けた。[3]
- ・12月26日スマトラ沖地震（M9.1）により大津波が発生し、インド南部カルパッカムのマドラス原子力発電所の海水ポンプ室が浸水して原子炉が停止した[24]。IAEAはINESを尺度以下（レベル0）と評価した。

2005年（平成17年）

- ・安中正らは、確率論的評価手法のロジックツリーを用いた津波ハザード解析手法を発表した。[1][2][25]
- ・原安委（当時）耐震指針検討分科会は、12月28日の第34回会合において津波の安全性評価を含む改訂「耐震設計審査指針」の文案を審議した。[3]

2006年（平成18年）

- ・中央防災会議*¹は、1月に日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会がまとめた「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告」を公表した。この中では地震本部の見解（2002年7月）および貞観津波は反映されなかった。[1][2][3][22][26]
- ・保安院（当時）とJNES（当時）は、1月に溢水勉強会を設置した。[2]
- ・東電は、5月11日に実施された保安院（当時）とJNES（当時）が主催した溢水勉強会において津波仮定水位 OP+14m では電源設備が浸水して機能喪失すると報告した。[2][27]
- ・東電は、7月に ICONE-14 国際会議で確率論的津波ハザードの開発状況について発表。現時点でも開発を継続とした。[1][28]
- ・保安院（当時）とJNES（当時）は、8月2日に開催した第53回安全情報検討会で敷地レベル+1m を仮定した場合は浸水の可能性を否定できないこと、および、福島第一原発5号機と泊1、2号機の現地調査でこの結論の妥当性を確認したと報告した。[2]
- ・東電は、9月に原安委（当時）委員長に確率論的評価手法のロジックツリーを用いた津波ハザード解析に基づく津波リスクを説明した。[2]
- ・原安委（当時）は、9月19日に「耐震設計審査指針」を改訂し、地震随件事象として施設の共用期間中に極めてまれであるが発生する可能性があることと想定することが適切な津波によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないことを要求した。[1][2][3][4][5]
- ・これを受け保安院（当時）は、バックチェックルールを策定し⁵、電力会社に対応を求めると共に残余のリスクについて定量的な評価を求めた。[1][3][4]
- ・保安院（当時）は、10月6日に耐震安全性評価実施計画書の一括ヒアリング時に、事業者に対して想定以上の津波に対する具体的対応を要望した。その中で、津波高さと敷地高さが数十 cm とあまり変わらないサイトがあり想定を超えることもあり得るべきとの発言があったとされる。[2]
- ・金森らは、三陸沖だけでなく福島、茨城沖の範囲で津波地震が発生してもおかしくはないと警告した。[29]

2007年（平成19年）

- ・日本原子力学会は、3月に「地震を起因としたPRA実施基準」を策定した。[3]
- ・電事連は、4月4日に実施された保安院（当時）との津波バックチェックの打合せにおいて東電は福島第一原発に対して海水ポンプ水密化や建屋への対応策を取る方針を伝えた。[2]
- ・JNES（当時）は、4月に「安全情報に関する分析・評価報告書＝前兆事象の適用＝」をまとめて公表した。この中で1999年12月にルブレイエ原子力発電所で発生した外部溢水事象の解析を実施し、BWR プラントでリスクが高いことが指摘されていた。[4][30]

- ・福島県および茨城県は、中央防災会議*¹ が検討対象とした津波に基づき、津波浸水想定区域図を作成した。[3]
- ・東電は、6月に想定津波高さ O.P. +5.7m が福島県等の防災上の津波計算結果 (O.P. +5m 程度) を上回らないことを確認した。[1][3][5]
- ・日本原子力発電は、茨城県の防災上の津波計算結果 (T.P. +5.72m) に基づき、想定津波高さを T.P. +6.1m に変更し、海水ポンプ堰のかさ上げ工事を決定。津波来襲時には南側ポンプ室の工事が完了していた。[3][4][31]
- ・津波評価部会*³ は、6月に原子力発電施設の津波評価のさらなる高度化を目的とした検討成果を発表し、今後も研究を継続するとした。[1][32]
- ・JANTI (当時) は、7月に台風、大雨、暴風、津波、高潮、大雪を対象として最新情報を収集し、設計を超えるような場合においても、施設の安全確保のための活動を効果的、効率的にするための対策を検討し、見直し体制を決定して実施時期を取り決めるよう技術コラムへ提示した。[33]

2008年 (平成20年)

- ・東電は、3月に想定津波高さ O.P. +5.7m が茨城県の防災上の津波波源 (O.P. +4.7m) を上回らないことを確認した。[1][3]
- ・東電は、3月に耐震バックチェックの中間報告を保安院 (当時) に提出した。[2][3]
- ・文部科学省、東北大学、東京大学、産業総合技術研究所は、5月に福島県常磐海岸北部 (浪江町) で津波堆積物の調査を実施し、貞観を含む津波堆積物の発見と過去に5回の大津波発生を確認したとする報告書をまとめた。[2][34]
- ・東電は、5月下旬から6月上旬ごろ地震本部*² の見解を踏まえ、明治三陸沖地震の波源モデルを福島県沖海溝沿いに持ってきた場合の津波高さを試算し、福島第一原発の浸水高 O.P. +15.7m (津波水位は最大 O.P.+8.2m~10.2m[1]、2号機付近 O.P. +9.3m、5号機付近 O.P. +10.2m[2]、敷地内で9.3~15.7m[3]) を算出した。[1][2][3]
- ・東電は、6月10日に社内で結果を報告し、さらなる検討が指示された[1][3]。2002年の地震本部*² の見解だけでは津波計算をするための情報 (波源モデル等) が不足しており、明治三陸沖地震の波源モデルを仮想的に福島沖に適用した場合の計算 (O.P. +15.7m が得られたもの) を実施したと述べている。[1]
- ・東電は、7月31日の社内打合せで対策を実施する場合は防波堤対策が数百億円、工期4年との報告がされている。[1][3]
- ・東電は、10月に産業総合技術研究所佐竹氏から貞観津波に関する準備中の論文の提供を受けた。[1]
- ・JNES (当時) 杉野らは、10月に原子力発電所の津波リスク評価のための確率論的手法の開発を発表し、将来、事故シーケンス解析手法を開発すると共に、津波 PRA 手法を実機に適用していきたいとした。[35]
- ・東電は、12月佐竹らの論文に示された波源モデルを使用して計算を実施し、福島

第一および第二原子力発電所取水口前面で、O. P. +8.9～9.2m程度の津波高さを算出した。[1]

2009年（平成21年）

- ・東電は、2月に耐震バックチェックの地震随件事象として土木学会「津波評価技術」により再評価した結果、想定津波高さをO. P. +6.1mに変更し、5号機および6号機の非常用海水ポンプの一部に対策を実施した。[1][2][5]
- ・地震本部*2は、4月に「新たな地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査および研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」を定めた。[36]
- ・佐竹らは、4月に貞観津波に関する論文を発表し、シミュレーションの結果から北の岩手県或いは南の福島県や茨城県での堆積物調査が必要とした。[1][3][37]
- ・地震本部*2は、6月から「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」の改訂作業を開始した。[2]
- ・東電は、6月には土木学会に対して地震本部*2の見解に基づく具体的な波源モデルの策定について審議を依頼した[1]。これを受け土木学会は、2012年10月を目途に結論を出す予定とされた。[2][3]
- ・産業技術総合研究所の岡村行信委員は、6月24日の総合資源エネルギー調査会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ会合において、「耐震バックチェックの中間報告書において貞観地震津波に全く触れていないことはどうしてなのか」と質問し[1][2]、保安院（当時）から中間報告書は地震評価の審議の場であり、津波評価は最終報告書での報告事項であると回答した。[1]
- ・保安院（当時）は、7月21日に福島第一原発5号機を代表プラントとする東電の耐震バックチェックの中間報告を妥当とし、貞観津波に関しては調査研究段階とした。[1][38]
- ・保安院（当時）は、8月28日に東電から耐震バックチェックの地震随件事象として土木学会「津波評価技術」により再評価した結果の説明を受けた。[3]
- ・保安院（当時）は、9月7日に東京電力から貞観津波の試算結果としてO. P. +8.9～+9.2mの報告を受けた[1][2][3]。しかし、切迫性を感じず担当官限りの対応とした。[3]
- ・東電は、11月に福島県に堆積物調査について説明し、12月から2010年（平成22年）3月にかけて福島県沿岸部の津波堆積物調査を実施した。その結果、福島第一原発より10km北方に位置する南相馬市小高区浦尻地区等において発見されたが、南方では発見されなかった。[3]

2010年（平成22年）

- ・日本原子力学会は、4月に「原子力発電所の設計と評価における地震安全の論理」を発行したが、津波については今後の課題となっていた。[4][39]
- ・保安院（当時）は、5月に東電より貞観津波堆積物は福島第一原発北方10kmで発

見されたが、南方では発見されなかったと報告を受けた。[3]

- ・東電は、8月27日に第1回福島地点津波対策ワーキングを開催し、防波堤や水密化などの対策を検討していた。[2][3]
- ・地震本部*2は、10月に「活断層の長期評価法（暫定版）」を公表した。[3]
- ・東電は、12月6日に第2回福島地点津波対策ワーキングを開催し、対策工事の緊急度に応じて、土木学会に依頼している検討結果が得られる2012年（平成24年）10月までに着手する計画とした。[2]
- ・産業総合技術研究所穴倉他は、津波堆積物調査において福島県相馬で津波堆積物を確認すると共に貞観津波の再来期間がおよそ450年から800年であると発表した。[3]

2011年（平成23年）

- ・東電は、1月に福島県太平洋沿岸の津波堆積物調査の実施結果を論文投稿し、福島県北部で4m程度まで堆積物を確認したが、南部は確認できなかったと発表した。[1][3][40]
- ・東電は、1月に第3回、2月に第4回の福島地点津波対策ワーキングを開催し、津波対策は、いずれも技術的な問題があるため、その実現が困難と目されていた。[3]
- ・地震本部*2長期評価部会は、1月11日時点で宮城県沖地震に対して30年以内に起る確率99%でM7.5前後（三陸沖南部海溝寄り領域と連動の場合M8.0前後）、南海地震と東南海地震が連動した場合、M8.5前後と想定していた。[5]
- ・文部科学省は、3月3日に電気事業者と情報交換会を開催し、東電より「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[21]」の改訂にあたり、文章表現の工夫を要請され、誤解を与える可能性のある表現については分かりやすくする観点から修正するよう検討したい旨回答した。[1]
- ・東電は、3月7日に保安院（当時）の求めに応じ、地震本部*2の見解に対応したモデルで浸水（O.P. +15.7m）する結果が得られており津波対策工事の検討状況を報告した。[1][3][4]
- ・地震本部*2は、3月9日に三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価の一部改訂を発表した。[41]

*1：中央防災会議

内閣総理大臣をはじめとする全閣僚、指定公共機関の代表者および学識経験者により構成され、防災基本計画の作成や、防災に関する重要事項の審議等するための会議体。

*2：地震調査研究推進本部（地震本部）

1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災では、地震に関する調査研究の成果が国民や防災を担当する機関に十分に伝達され活用される体制になっていなかったという課題意識の下に、行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、これを政府として一元的に推進するため、地震防災対策特別措置法に基づき総理府に設置（現・文部科学省に設置）された政府の特別の機関で、基本的な目標は、地震防災対策の強化、特に地震による被害の軽減に資する地震調査研究の推進とされている。

*3：土木学会原子力土木委員会津波評価部会

原子力土木委員会は、原子力利用についての土木技術に関する問題を調査研究し、学術、技術の進展に寄与することを目的として設立され、原子力施設に係わる土木技術に関する課題について調査・研究する。津波評価小委員会は、原子力発電所の津波に対する安全性評価技術を高度化・提案することを目的として設立され、1999～2000年度に活動し2001年度に報告書「津波評価技術」を取りまとめた。2007年度に、さらなる成果を土木学会論文集に投稿。その後、2009年度に再開し、2015年度まで活動したとされる。

*4：土木学会原子力土木委員会津波評価部会が津波高さの補正係数を1.0とした経緯

補正係数を1.0とすることが了承された2001年1月26日の第7回議事録を見ると、補正係数は、想定津波と既往津波を比較する際に用いる係数であり、補正係数を掛ける想定津波高さは比較対象となる痕跡高と比べて平均で2倍となっているとの記録が残されている。

政府事故調中間報告書によると、「詳細パラメータスタディによる最大想定津波水位は、既往大津波の痕跡高に対し平均で約2倍になること、および最大想定津波水位が既往津波の痕跡高を超過する百分率は98%程度であり、十分大きな津波水位を評価することが可能と考えられることから、（それ以上の安全率は見込まず、）想定津波水位の補正係数を1.0としたいとする提案があった。これに対し、想定を上回る津波の可能性を考慮する必要はないのかという質問があり、幹事団より想定を上回る津波の来襲時の対処法も考えておく必要があるが、補正係数を1.0としても工学的に起こり得る最大値として妥当かどうかを議論してほしいとの返答がなされている。その後、首藤主査より、提案された方法で痕跡高をほぼ100%上回っており、現段階ではとりあえず1.0としておき、将来的に見直す余地を残しておきたいとのコメントがなされ、結果的には補正係数を1.0とすることでまとまった。」とされている。

*5：原子力安全・保安院原子力発電所に関する耐震バックチェックWG

原安委（当時）は、耐震安全性をより高めるため、地震学、地震工学等の最新の知見を踏まえ、2006年9月に「耐震設計審査指針」の全面的な改訂を実施。しかし、津波に関しては、津波、海岸工学の専門家は含まれず、地震随伴事象として、「施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性がある」と想定することが適切な津波によっても施設の安全機能が重大な影響を受ける恐れがないことを十分考慮したうえで設計されなければならない」とし、「極めてまれ」の意味するところについて、地震動に関しては設計上考慮する活断層として、後期更新世以降の活動が否定できないものとすると言われていたが、津波に関しては記載されていなかった。これを受け、保安院（当時）は、耐震安全性の一層の向上を図る観点から、新耐震指針に基づき、耐震安全性の再確認（耐震バックチェック）するよう、原子力事業者等に対して指示した。政府事故調中間報告書によれば、「津波の想定および数値シミュレーションについては、前記のとおり最新の知見を考慮することとはしているものの、『痕跡高の記録が残されている既往の津波について数値シミュレーションを行ったうえで』、『想定津波の断層モデルに係る不確定性を合理的な範囲で考慮したパラメータスタディーを行い』、『これに潮位を考慮したものを設計津波水位とする』等と、土木学会の「津波評価技術」の内容と酷似したものとなっている。」とされている。耐震バックチェックWGは、新潟県中越沖地震の知見反映を踏まえ、原子力事業者等から提出された中間報告書を順次確認し、原安委（当時）へ報告していた。しかし、中間報告書では地震に関して確認されたのみで、津波は最終報告で扱われることとなっていた。

<参考資料2の参考文献>

- [1] 東電：事故調査報告書、2012年6月20日
- [2] 国会事故調査委員会：事故調査報告書、2012年6月28日
- [3] 政府事故調査委員会：中間報告書、2011年12月16日
- [4] 民間事故調査委員会：調査・検証報告書、2012年3月11日
- [5] 日本原子力学会事故調査委員会：学会事故調最終報告書、2014年3月11日
- [6] Minoura, K. and Nakaya, S: Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: some examples from northeast Japan. Journal of Geology, 99(2), 265-287, 1991.

- [7] ニューシア：福島第一発電所1号機補機冷却水系海水配管からの海水漏えいに伴う原子炉手動停止について、1991年10月30日、<http://www.nucia.jp/nucia/kn/KnTroubleView.do?troubleId=1714>
- [8] 土木学会耐震工学委員会：1993年北海道南西沖地震震害調査報告、1997年、<http://www.jsce.or.jp/library/eq10/book/bklist/44808/eqbk01.htm>
- [9] 内閣府南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ：第1回資料1「地震対策に関する主な制度」、2016年9月9日
- [10] 東電：福島第一、第二原子力発電所津波に対する安全性について（太平洋沿岸部地震津波防災計画手法調査）1998年6月
- [11] 国土庁発行・日本気象協会制作：津波浸水予想図、1999年3月
- [12] 日本気象協会：津波災害予測マニュアル、1997年3月
- [13] 日本地震学会広報紙No.12、1999年3月
- [14] 吉岡律夫他：福島原発における津波対策研究会・中間報告書2015年7月3日
<http://www.shippai.org/images/html/news848/article1.pdf>
- [15] 津波浸水予想図に関する東京新聞報道、2015年6月25日
- [16] 福島県：福島県地震・津波被害想定調査の概要、<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025b/jishin-tsunami.html>
- [17] 地震本部：「宮城県沖地震の長期評価」2000年11月27日、<http://www.jishin.go.jp/main/chousa/00nov4/miyagi.htm>
- [18] 土木学会原子力土木委員会津波評価部会第7回議事録、http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/system/files/tnm_12_7.pdf
- [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, 18, p. 1-10, (2001).
- [20] 地震本部：今までに公表した活断層および海溝型地震の長期評価結果一覧、2002年1月、http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran_past/ichiran20020-1.pdf
- [21] 地震本部：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
- [22] 政府事故調査委員会：最終報告書、平成24年7月23日
- [23] 地震本部：千島海溝沿いの地震活動の長期評価、2003年3月24日（2003年11月12日変更）
- [24] Atomic Energy Regulatory Board Mumbai：Annual Report 2004-2005、Government of INDIA、2005.
- [25] ANNAKA Tadashi 他：Logic-tree Approach for Probabilistic Tsunami Hazard Analysis and its Applications to the Japanese Coasts, 22th IUGG International Tsunami Symposium, 2005.
- [26] 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会：「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定について（案）」第12回資料1、2005年9月21日
- [27] 東電：溢水勉強会とそれを踏まえた対応状況について 2012年5月16日

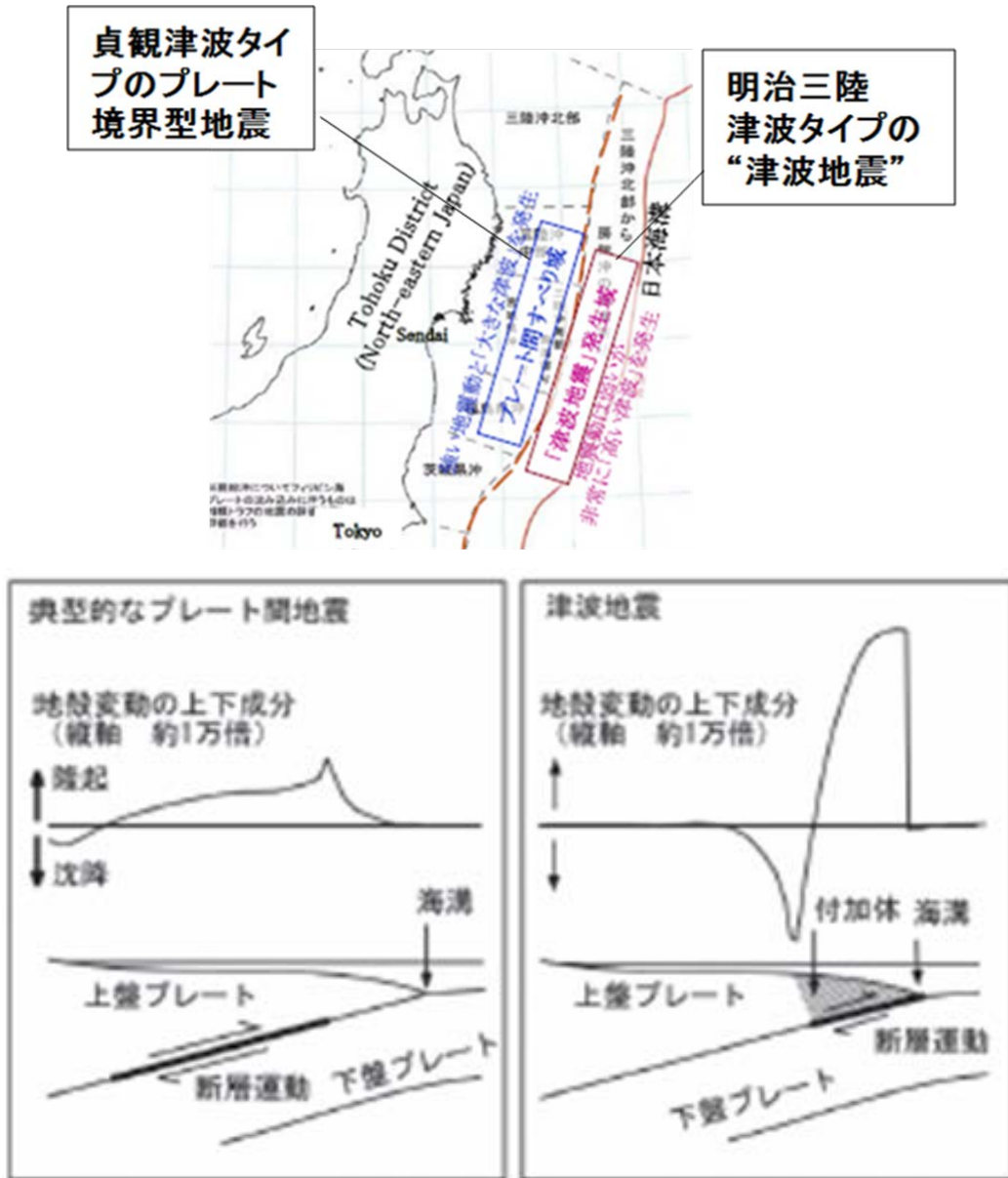
- [28] Toshiaki SAKAI 他 : Development of a Probabilistic Tsunami Hazard Analysis in Japan ICONE-14, July 17-20, 2006.
- [29] Hiroo Kanamori, Masatoshi Miyazawa, and Jim Mori : Investigation of the earthquake sequence off Miyagi prefecture with historical seismograms, Earth Planets Space, 58, 1533-1541, (2006).
- [30] JNES (当時) : 安全情報の分析評価に関する報告書＝前兆事象評価の適用＝、2007年4月
- [31] 原子力安全推進協会 : 女川発電所および東海第二発電所東北地方太平洋沖地震および津波に対する対応状況について (報告)、2013年8月
- [32] 土木学会原子力土木委員会津波評価部会 : 津波評価手法の高精度化研究－津波水位の確率論的評価手法ならびに分散性と砕波を考慮した数値モデルの検討、土木学会論文集B, Vol.63, No. 2, pp.168-177, 2007.
- [33] JANTI (当時) : 原子炉施設における台風等風水害対策の考え方について 2007年7月
- [34] 文部科学省 : 宮城県沖地震における重点的調査観測 (平成19年度分) 2008年5月
- [35] H. Sugino 他 : Development of Probabilistic Methodology for Evaluating Tsunami Risk on Nuclear Power Plants, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China, 2008.
- [36] 地震本部 : 新たな地震調査研究の推進について－地震に関する観測、測量、調査および研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－」2009年4月21日
- [37] 佐竹健治他 : 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、pp71-89、2008.
- [38] 経済産業省 : 耐震バックチェックに対する評価、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会第31回会合資料2、2010年2月9日
- [39] 日本原子力学会原子力発電所地震安全特別専門委員会 : 原子力発電所の設計と評価における地震安全の論理、2010年7月
- [40] 及川兼司他 : 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、SSS032-P25、2011.
- [41] 地震本部 : 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価の一部改訂について、2011年3月9日

＜参考資料3＞ 東北地方太平洋岸の津波評価の経緯

1. 「津波地震」の設定

東北地方太平洋岸に高さの高い津波をもたらす地震を「津波地震」として識別したのが金森[1]であった。海洋部での地震には、海溝型地震（プレート境界型地震/プレート間地震）と”津波地震”がある。その代表的なものは、海溝型地震には貞観地震があり、津波地震には明治三陸地震がある。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震による津波は、これが重なって発生したものと評価されている（亀田[2]）。

参図3-1には、二つの地震津波の発生場所とその様式を示す。



典型的なプレート間地震(左)と津波地震(右)による海底地殻変動。Satake and Tanioka (1999)に基づく。

参図3-1 2タイプの地震津波の発生場所と様式

2. 津波地震の発生の可能性の指摘

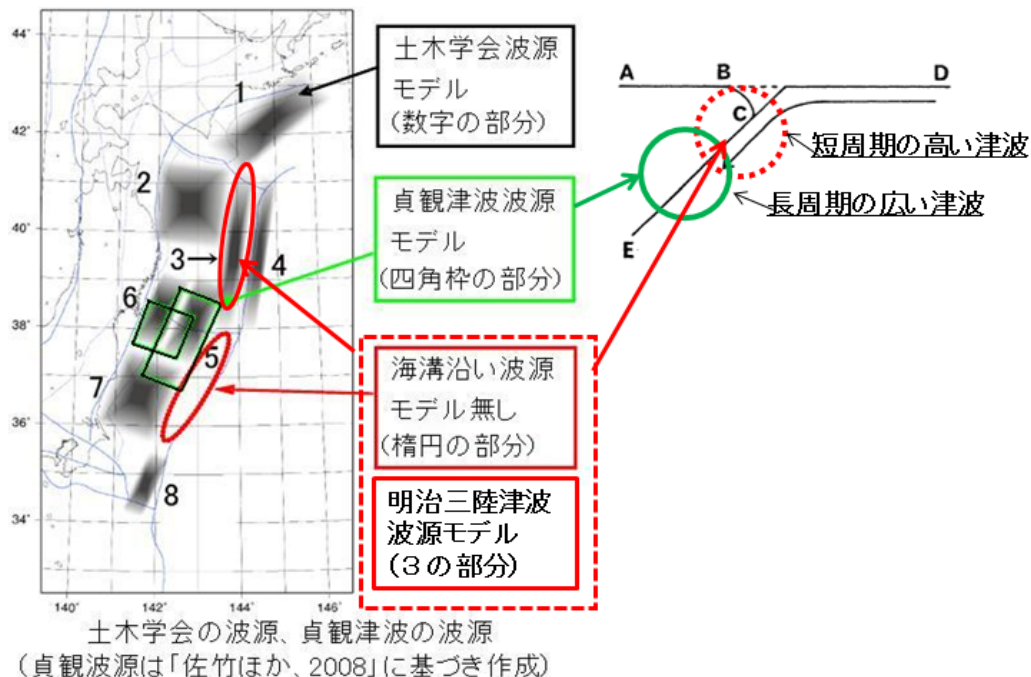
1977年に提案されたものであり、2006年に改めて金森は論文[3]を発表し警告した。一この地域でのひずみの開放、地震動、地殻の移動がなく、長年のひずみの大部分が残っていることを近年のGPSのデータより分析した。その上で開放は、この海溝地域の三陸沖だけではなく南部の福島、茨城沖の範囲で発生してもおかしくはないーと結論付けて、特にこれまで津波地震の発生のない区域、宮城、福島沖での津波地震の発生に注意を喚起したものであった。

地震本部は2002年に三陸沖から房総沖にかけての地震活動について長期評価を示した。それによると、「明治三陸地震と同様の地震が、三陸沖北部海溝寄りから房総沖海溝寄りにかけてどこでも発生すると考える」とするもので、当然、これにより明治三陸タイプの津波が発生するとどうなるかを考えなければならないことであった。ここでも発生の可能性は提示されておらず、対応は難しい判断とならざるを得ない。

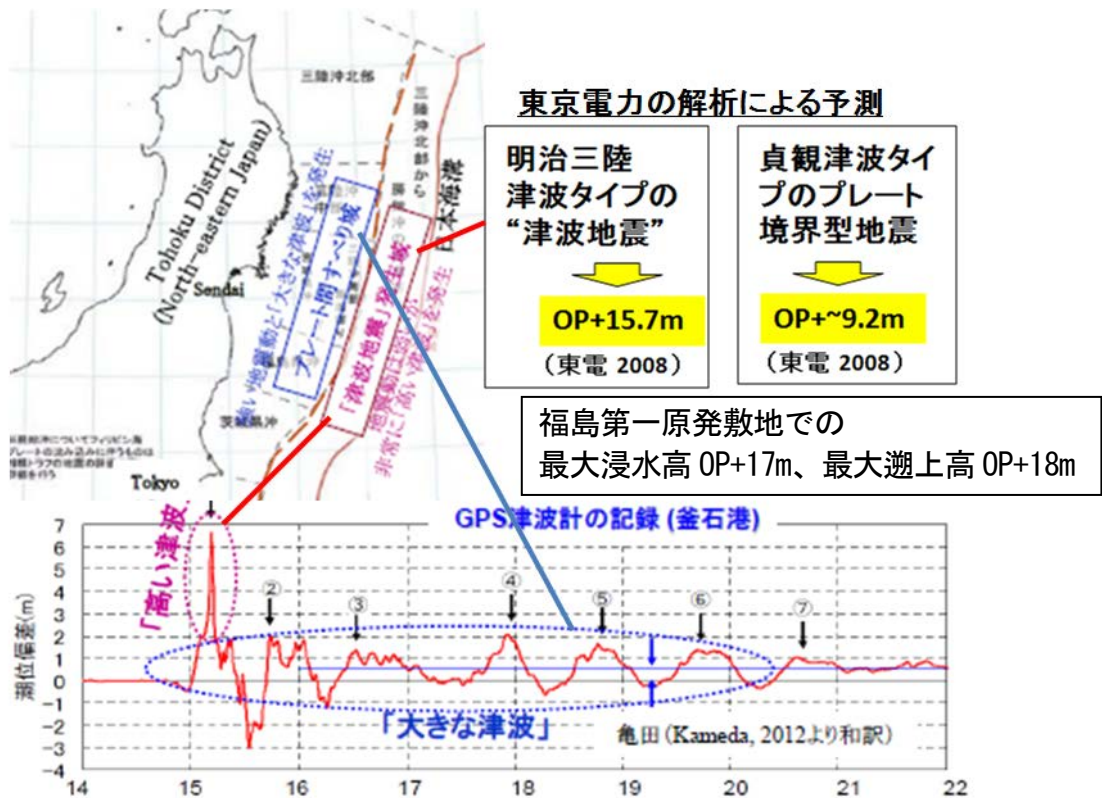
一方、2004年のスマトラ島沖地震津波の発生以降、金森によりひずみエネルギーの蓄積が大きく、近々の同様の地震津波、いわゆる“津波地震”の発生が近いことが提起され、対応のニーズが高まっていた。

3. 東北地方太平洋沖地震の分析

3.11以後に、杉野[4]、佐竹[5]、亀田ほか、多くの地震学者、津波学者がこの津波、地震を分析している。それらの分析ではいずれも同じ結果を得ており、今回の津波は貞観津波タイプと明治三陸津波タイプの重ね合わせでもたらされたものと分析した。原子力発電所に来襲し、大きな被害をもたらした津波は、いわゆる津波地震による明治三陸タイプの津波であった。参図3-2、3-3に、津波の様子をイラストで示す。



参図 3-2 東北地方太平洋沖の地震の発生の推定分布



参図 3-2 に東北地方太平洋沖の津波の予測と実績比較

<参考資料 3 の参考文献>

- [1] Kanamori, H: Mechanism of tsunami earthquakes, Phys. Earth Planet. Inter., 6 (5), 346-359, (1972).
- [2] Hiroyuki KAMEDA : ENGINEERING AGENDA ON NUCLEAR SAFETY FROM THE 2011 TOHOKU-PACIFIC EARTHQUAKE , One Year after the 2011 Great East Japan Earthquake - International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake-3-4 March 2012, Tokyo / Keynote presentation (HA4-1/ Paper No. 145).
- [3] Hiroo Kanamori, Masatoshi Miyazawa, and Jim Mori : Investigation of the earthquake sequence off Miyagi prefecture with historical seismograms, *Earth Planets Space*, 58, 1533-1541, 2006.
- [4] 杉野英治、呉長江、是永真理子、根本信、岩淵洋子、蛭沢勝三 : 原子力サイトにおける 2011 東北地震津波の検証、日本地震工学会論文集、第13巻、第2号 (特集号), 2013.
- [5] K. Satake, Y. Fujii, T. Harada, and Y. Namegaya : Time and skip distribution of coseismic slip of the 2011 Tohoku earthquake as inferred from tsunami waveform data, Bull, Seism. Soc. Am., 103, 1473-1492, (2013).