

次期ケーブル式海底地震・津波観測システムの
あり方について
報告書

平成30年7月10日

地震調査研究推進本部政策委員会 調査観測計画部会

海域観測に関する検討ワーキンググループ

1. はじめに
2. 次期ケーブル式海底地震・津波観測システム整備の基本的考え方
 - (1) 目的
 - (2) 観測すべき現象
 - (3) 観測点の配置
 - (4) データの信頼性、精度、オープン化
 - (5) 新たな技術開発の必要性及び拡張性
 - (6) データ解析技術の高度化
 - (7) コスト
 - (8) その他
3. 次期ケーブル式海底地震・津波観測システム案について
4. 今後の進め方について
5. おわりに

1. はじめに

地震調査研究推進本部（以下、「地震本部」という。）では、平成9年8月に「地震に関する基盤的調査観測計画」（以下、「基盤計画」という。）を策定し、地震現象を把握・評価する上で基礎となる調査観測を基盤的調査観測として位置付けた。

その後、平成21年4月に策定し平成24年9月に改訂された「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、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」（以下、「新総合基本施策」という。）を踏まえ、基盤計画をはじめ、これまで策定されてきた調査観測計画を体系的にまとめ、平成26年8月に「地震に関する総合的な調査観測計画 ～東日本大震災を踏まえて～」（以下、「総合調査観測計画」という。）を策定した。

新総合基本施策では、海底地震・津波観測網や海域における地殻変動観測の構築が不十分な状況にある旨が指摘されており、海域のリアルタイム地震・津波観測網の整備と、海域における地殻変動観測網の整備を、横断的に取り組むべき重要事項と位置付けた。これを受けて、総合調査観測計画では、海域の調査観測を強化するため、ケーブル式海底地震・津波計による地震・津波観測を、陸域における地震観測等に加えて、新たに「基盤的調査観測」として整理した。また、海底地殻変動観測は「準基盤的調査観測」に引き続き位置付けられている。

調査観測計画部会では、前述の状況を踏まえつつ、海域における定常的な観測網の整備をより戦略的に進める必要があること等を背景に、今後優先して整備すべき観測網や整備対象となる海域等について、平成28年2月から検討を開始し、平成28年11月、「地震調査研究における今後の海域観測の方針について」（以下、「今後の海域観測の方針」という。）をとりまとめた。

今後の海域観測の方針の中では、新総合基本施策で基本目標として掲げられている「海域における津波観測網の整備及び調査観測の充実」、「高精度な津波即時予測技術の開発」、「津波波源モデルの高精度化等による津波予測技術の高度化」、「震源破壊過程の即時推定技術及び各地域の特性に応じた強震動予測の高精度化・高解像度化、並びにそれらの適用による緊急地震速報の高度化」の達成のためには、ケーブル式海底地震計・津波計により海域において直接地震や津波を観測することが重要であることから、当面の課題や整備すべき海域について以下のとおり述べている。

- 南海トラフの西側（高知県沖）においては、過去に起こった南海トラフの地震の震源域に含まれ、同海域を震源として地震が発生するケースが想定されていることから、地震や津波の早期検知のためにケーブル式海底地

震・津波計を整備することが必要である。

- 今後の大規模なケーブル式観測システムの整備にあたっては、長期間の運用も含め相当のコストを要することから、研究者や技術者による検討体制を構築し、これまでのケーブル式システムの実績も踏まえつつ、長期間の安定性・信頼性を確保するとともに拡張性や発展性にも配慮したシステムの検討が必要である。

このことから、本ワーキンググループでは、南海トラフの西側の海域における次期ケーブル式海底地震・津波観測システム（以下、「次期システム」という。）の整備についての検討を当面の審議事項として、委員、有識者、地方公共団体からのヒアリングを行いながら、次期システムの基本的考え方や具体例をまとめ、平成29年8月に中間とりまとめとして公表した。

その後、関係機関による更なる検討を経て、今般、本次期システム案の報告書を取りまとめるに至った。

2. 次期ケーブル式海底地震・津波観測システム整備の基本的考え方

今後の海域観測の方針や、委員及び有識者からの発表並びに各回の議論を踏まえて、本ワーキンググループでは、以下の（１）～（８）のとおり、「次期ケーブル式海底地震・津波観測システム整備の基本的考え方」（以下、「基本的考え方」という。）を取りまとめた。次期システムの設計、整備及びその後の運用は、基本的考え方に基づき行う必要がある。

（１）目的

- ・南海トラフの西側（高知県沖から日向灘）は、過去に発生したマグニチュード8程度以上の地震の震源域に含まれ、将来も、同海域を震源として巨大地震が発生することが懸念される。
- ・緊急地震速報や津波警報を高度化して巨大地震発生時の被害軽減に資するために、より震源域の近くにおいて津波及び地震動を直接観測し、津波即時予測及び地震動即時予測の高度化をはかる必要がある。
- ・その上で、海域の地震活動・地殻変動のリアルタイムモニタリングにより、海底下の震源域でどのような現象が進行しているのかを可能な限り詳細かつ逐次に把握し、引き続いてどのような現象が起こり得るかを様々な観点から検討する必要がある。とりわけ、プレート間の固着及びすべり状況の時空間変化を逐次把握していくことが重要である。
- ・また、こうした取り組みを海溝型地震の発生メカニズムの理解の進展や発生予測の高度化にもつなげる必要がある。

- ・これらを実現するため、南海トラフの西側に基盤的調査観測を担うケーブル式海底地震・津波観測システムを整備し、その成果や情報の利活用を推進し社会に還元することで、巨大地震の被害軽減に結び付けることが目的である。

(2) 観測すべき現象

- ・(1)の目的を達成するためには、次期システムにおいて、表1に整理するような測器(センサー)を用いて、各種現象を観測する必要がある。
- ・表1における地殻変動をとらえる測器(センサー)のうち、GNSS/音響測距^{そつきよ}結合観測の海底局、傾斜計、ひずみ計等を海底ケーブル観測網に接続する形で整備することは、現段階では拡張的な位置づけと考えられる。

(3) 観測点の配置

- ・総合調査観測計画では、「約20km間隔の三角網を構築することを目安」とされており、基本的にはこの方針に基づいて空間的に均一な配置を検討する。ただし、技術的・費用的にそれが困難な場合には、観測点間隔を大きくする。なお、検討にあたっては、既設のケーブル式海底地震・津波観測システムの配置も踏まえることとする。
- ・一方で、個々の観測点については、設置する海域の地形的特徴、漁業活動への影響等を考慮し、その配置位置については個別に判断するものとする。

(4) データの信頼性、精度、オープン化

- ・地震動即時予測、津波即時予測の高度化が重要な目的の1つであることから、これらの技術開発を行う研究機関や、その成果の実装先として想定される気象庁や地方公共団体等、ユーザーの立場から見て、必要となる信頼性、観測の精度が担保されることが必要である。
- ・システムやセンサーの選択に際しては、これまでの海底観測の実績等を勘案するとともに、フィージビリティスタディーや試験観測等によりその特性を事前に十分把握しておくことが必要である。
- ・長期観測を可能にするため、複数のセンサーで観測を行うといった冗長性の確保、データ伝送方式や観測の安定性の確保、センサーの故障時や高度化のための置換性の確保等を組み合わせて対応することが必要である。
- ・このシステムから得られるデータをオープン化することで地震・津波研究を進展させ、学術に貢献するとともに、防災・減災に資することが重要である。

(5) 新たな技術開発の必要性及び拡張性

- ・GNSS/音響測距結合方式による海底地殻変動のリアルタイム観測などの新たな技術開発が今後見込まれるため、次期システムの整備・運用と並行して開発、実証していくことが必要である。
- ・次期システムは、今後開発される新たな観測機器を接続可能となるような拡張性を持たせ、その機器から得られるデータの伝送や給電を行う必要がある。
- ・水圧計による高精度な地殻変動観測データの取得のため、ドリフト等による誤差を取り除くとともに、強い振動の中でも観測精度を維持できる技術開発を進める必要がある。

(6) データ解析技術の高度化

- ・地震動即時予測及び津波即時予測技術の高度化を図るとともに、海域での地震活動、スロースリップイベントやそれに伴う地震学的現象を詳細に把握するため、観測されたデータの解析技術の高度化に取り組む必要がある。

(7) コスト

- ・システム実現や長期の安定的な観測を実現するため、他の項目の観点に留意しつつ、整備費を含めたライフサイクルコスト全体での評価が必要である。
- ・南海トラフについては、今後 30 年以内にマグニチュード 8 以上の巨大地震が発生する確率が高く、時間的猶予がないことから、観測結果を可能な限り早期に防災活動や研究に活用するため、段階的な整備・運用も可能とすることが望ましい。

(8) その他

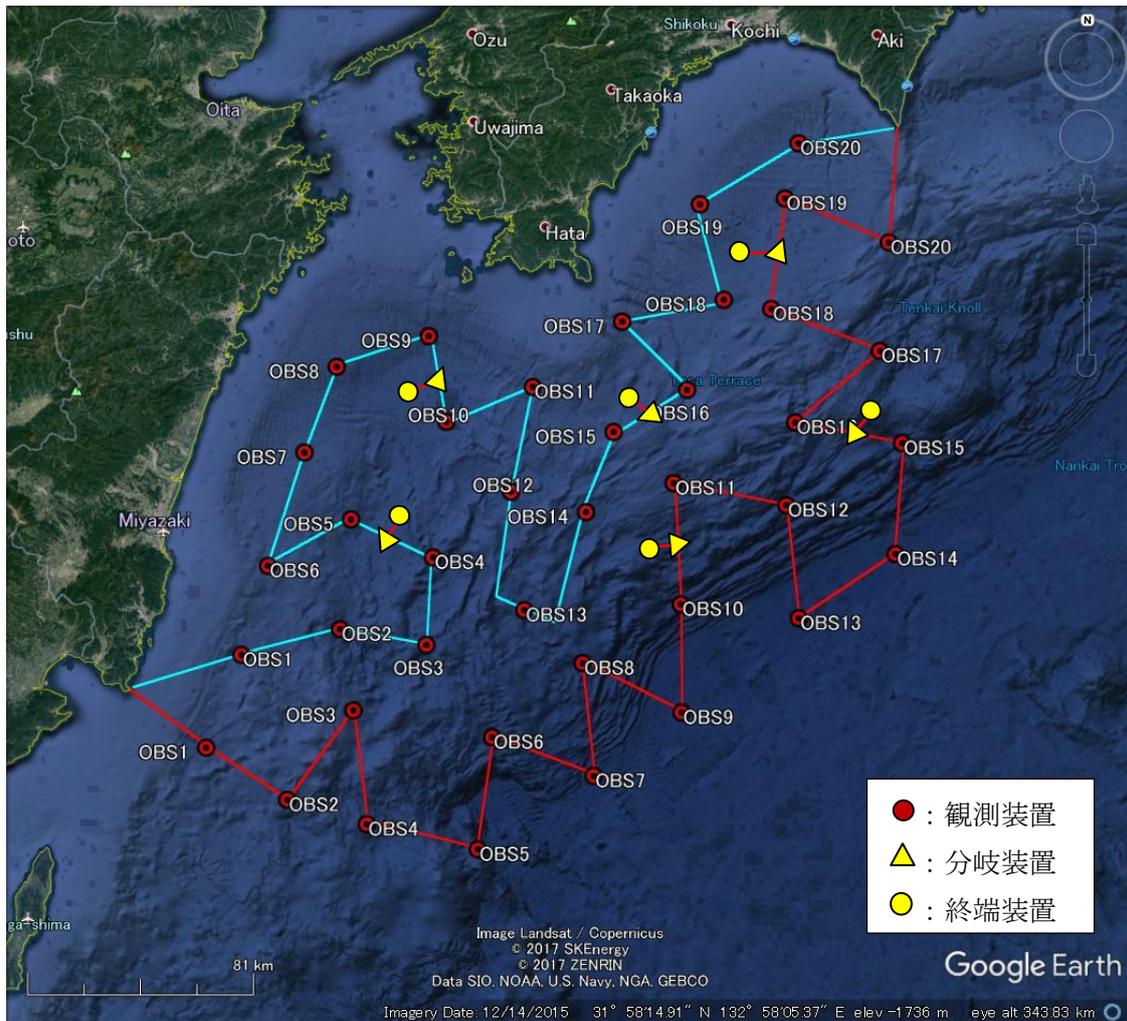
- ・今まで整備・運用されてきた地震・津波観測監視システム (DONET)、日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) 等で培ったノウハウを活用するとともに、課題とされている事項への対処を最大限考慮したシステムの設計・整備・運用を行う必要がある。
- ・既存の海底地震・津波観測システムのデータが、直接地方公共団体等の防災業務に活用される例が存在することを踏まえ、次期システムにおいても、そのデータの利活用に関しては地方公共団体等のニーズへの対応も考慮することが必要である。

表 1

観測すべき現象	測器（センサー）	成果	防災への活用
・強震動	地震計等 強震計	・強震動予測の高度化 ・強震動即時予測の高度化	・強震動による被害予測への活用・高度化
・地震活動 ・スロースリップイベントに伴う地震学的現象（低周波地震活動、微動等）	高感度地震計 広帯域地震計	・震源決定の高度化 ・地震の早期検知 ・地震動即時予測の高度化 ・地震時の震源域の広がり の把握 ・海溝型地震発生機構把握の高度化 ・プレート間の固着・すべり状況のモニタリング ・上記に基づく地震発生予測の高度化	・地震活動の現状評価の高度化 ・緊急地震速報への活用・高度化 ・地震情報への利活用 ・巨大地震の発生・推移シナリオの提示
・津波	水圧計	・津波の早期検知 ・津波即時予測の高度化 ・津波予測・地震発生予測の高度化	・津波情報への活用 ・津波警報・注意報への活用・高度化 ・津波による被害予測への活用・高度化
・地震時の地殻変動 ・スロースリップイベント	地殻変動観測機器 水圧計 傾斜計 ひずみ計 等	・プレート間の固着・すべり状況のモニタリング ・地震時の震源域の広がりとその後の余効すべりの時空間発展の把握 ・上記に基づく地震発生予測の高度化	・地震活動の現状評価への活用 ・巨大地震の発生・推移シナリオの提示
・長期的、定期的な地殻変動	GNSS/音響測距結合観測の海底局	・プレート間の固着分布の推定の高度化 ・上記に基づく地震発生予測の高度化	・巨大地震の発生シナリオの提示 ・津波予測とそれに基づく被害予測の高度化

3. 次期ケーブル式海底地震・津波観測システム案について

次期システムの整備に関する基本的考え方を満たす具体的なシステムについて、中間とりまとめの時点では3件の具体例が提示された。これらのシステムは、広域での早急な整備が必要とされ、かつ、広帯域地震観測や新たな観測機器を接続するための拡張性が必要となることから、広域での迅速な展開に適したインライン型と、広帯域地震計やひずみ計・傾斜計などを接続するための拡張性を持つノード型のそれぞれの要素を持ち合わせたシステムとして委員から提案されたものである。その後、国立研究開発法人防災科学技術研究所を中心として、関係機関による検討が行われ、1つの次期システム案がとりまとめられた。この次期システム案は、広域での早急な整備に適しており、また、拡張性も持ち合わせていることから、この案を基本として整備等に向けた具体的な検討を進めていくことが適当である。



※ システムの概要

- ・ 2 セグメント (900km×2)
- ・ 2 局陸揚げ
- ・ 40 観測点
- ・ 空間的均質性確保
- ・ 観測装置/アンプ分離
- ・ HDD (水平ドリリング) 工法 : 2 箇所 (室戸、九州側)
- ・ 拡張用分岐装置 (BU) : 6 箇所

※※ この次期システム案については、敷設海域や陸上局舎を設置する地域の地方公共団体等の関係者との調整を経たものではないなどの理由により、実際の整備を行う場合には、観測点の位置などのシステムの概要に変更があり得る。

4. 今後の進め方について

本ワーキンググループは、既存の海底地震・津波観測システムの実績やデータ活用の現状、関連分野の最新動向、地方公共団体からの期待等を踏まえつつ、次期システムについて基本的考え方や、それを満たす次期システム案をとりまとめるに至った。

今後は、この次期システムをいち早く実現すべく、必要な予算を確保するとともに、既存の海底地震・津波観測システムの整備・運用に関わっている関係機関が緊密に連携した体制を構築し、利活用が想定される機関とも調整等を行いながらオールジャパンで推進していくことが望まれる。なお、次期システムが整備された後の運用については、「独立行政法人等の改革の基本的な方針」(平成 25 年 12 月 24 日閣議決定)において国立研究開発法人防災科学技術研究所が「海底地震・津波観測網の一元的な管理運営を行う」等とされていることを踏まえる必要がある。

また、次期システムの整備に当たっては、システム全体を視野に入れつつも、できる限り早期の事業着手とデータ取得が可能となるよう段階的に整備を進めることが重要である。

加えて、今まで整備されてきた海底地震・津波観測システムは、DONET であれば分岐装置、S-net であれば大規模展開、東京大学地震研究所であれば通信方式として ICT 方式の導入など、将来の海底地震・津波観測システムを見据え、それぞれ特徴的な取組を実施してきた。また、観測データの精度を維持あるいは向上させつつ、維持管理も含めたライフサイクルコストの低減を目指すことも課題である。そのため、次期システムの整備・運用においては、将来システムを視野に入れて、今後の技術を実証するプラットフォームとして活用す

ることも検討すべきである。

5. おわりに

南海トラフ巨大地震は、地震本部の長期評価で発生確率が高いと評価されるとともに、内閣府の算出した被害想定では、最悪のケースで約 32 万人の死者が出ることが予想されており、同地震による被害軽減に資するため、次期システムの早急な整備の必要性は論を待たない。

次期システムには、地震動即時予測や津波即時予測の高度化、海域での地震・地殻変動のモニタリング強化、海溝型地震の発生メカニズムの理解や発生予測の高度化等への貢献が期待される。南海トラフで発生する地震は、東海・東南海・南海地震が連動して発生する可能性や、震源域の広がり方に多様性があることがこれまでの研究から明らかになっている。一部の地震のみが発生した場合に、地震、津波及び地殻変動を海域で直接かつリアルタイムで観測することにより、その地震の破壊域の推定、余震分布の把握、津波波源域及び余効滑りの発生域の推定から、発生した地震像を把握し、残る地震の発生域の評価につなげることも重要である。加えて、これらの観測から地震発生予測を高度化し、防災・減災対策の向上に貢献することが望ましい。

なお、海域における整備にあたっては、周辺の地方公共団体や漁業関係者をはじめとする関係者に十分な理解を得ることが重要であるとともに、環境等に配慮した整備・運用を行うことが肝心である。

次期システムの実現に向けて関係機関が一丸となってまい進することで、地域の防災・減災に貢献するとともに、地震・津波研究の高度化をもたらす次期システムができる限り早期に整備されることが期待される。

(参考資料)

- (参考1) 地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会海域観測に関する検討ワーキンググループ構成員（平成29年7月時点）
- (参考2) 海域観測に関する検討ワーキンググループでの審議事項について
- (参考3) 地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会海域観測に関する検討ワーキンググループ審議経過

(参考1)

地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会
海域観測に関する検討ワーキンググループ構成員

(主 査)

長谷川 昭 国立大学法人東北大学名誉教授

(委 員)

青 井 真 国立研究開発法人防災科学技術研究所
地震津波火山ネットワークセンター長

尾 崎 友 亮 気象庁地震火山部管理課地震情報企画官

加 藤 幸 弘 海上保安庁海洋情報部技術・国際課長

金 田 義 行 国立大学法人香川大学特任教授

小 平 秀 一 国立研究開発法人海洋研究開発機構
地震津波海域観測研究開発センター長

篠 原 雅 尚 国立大学法人東京大学地震研究所教授

田 所 敬 一 国立大学法人名古屋大学大学院環境学研究科准教授

堀 高 峰 国立研究開発法人海洋研究開発機構
地震津波海域観測研究開発センター
地震津波予測研究グループリーダー

前 田 拓 人 国立大学法人東京大学地震研究所助教

(平成29年7月時点)

(参考2)

海域観測に関する検討ワーキンググループでの審議事項について

平成 28 年 11 月 25 日
文部科学省 研究開発局
地震・防災研究課
(地震調査研究推進本部事務局)

地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会(以下、「本部会」という。)では、平成 28 年 2 月から今後の海域観測について議論を行い、「地震調査研究における今後の海域観測の方針について」(以下、「本方針」という)として、現状の調査観測の課題や今後の海域観測のあり方等について整理した上で、優先的に調査観測を行うべき海域、調査観測項目等について取りまとめを行った。

本方針に明記された海域観測に関する検討事項として、今後の大規模な次期ケーブル式海底地震・津波観測システムの整備にあたって、研究者や技術者による検討体制を構築し、整備・運用コストの低減を図りつつ、長期間の安定性・信頼性を確保するとともに拡張性や発展性にも配慮したシステムの検討が挙げられている。また、南海トラフの西側(高知県沖)においてはケーブル式海底地震・津波計を整備する必要があることについて明記されている。このことから、海域観測に関する検討ワーキンググループ(以下、「本 WG」という。)では、当面の審議事項として、南海トラフの西側(高知県沖)の海域への整備を念頭に、次期ケーブル式海底地震・津波観測システムについて検討を行うこととする。

【参考】本方針における関係項目について(報告書から一部を抜粋)

3. 今後の海域観測網のあり方

(2) 津波即時予測技術の開発及び、地震動即時予測及び地震動予測の高度化に資する観測網

1) ケーブル式海底地震・津波計の展開方針

③整備するシステムの検討

ケーブル式海底地震・津波計は、現在、S-net のようなインライン型や DONET のようなノード型がある。前者は広域での迅速な展開に適しており、後者は機器の交換や新たなセンサーを接続した技術開発が可能である。

今後の大規模なケーブル式システムの整備にあたっては、長期間の運用も含め相当のコストを要することから、研究者や技術者による検討体制を構築し、これまでのケーブル式システムの実績も踏まえつつ、長期間の安定性・信頼性

を確保するとともに拡張性や発展性にも配慮したシステムの検討が必要である。コストの面からは、整備・運用にわたるコストの低減化を図りながら、必要に応じて機器の交換や拡張にも対応できる持続可能なシステム設計が求められる。また、整備にあたっては、整備海域の特徴や観測の対象とする現象に適確に対応したシステムとすることが重要である。

5. 海域ごとに整備すべき観測網

(1) 巨大地震が発生する懸念があり、観測網の整備が進んでいる海域

①南海トラフ（一部抜粋）

南海トラフの西側（高知県沖）においては、過去に起こった南海トラフの地震の震源域に含まれ、同海域を震源として地震が発生するケースが想定されていることから、地震や津波の早期検知のためにケーブル式海底地震・津波計を整備することが必要である。この場合、大規模なケーブル式システムとなることが想定されることから、前述の通り、様々な視点から具体的な検討を進める必要がある。

(参考3)

地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会
海域観測に関する検討ワーキンググループ審議経過

	開催日	主な検討事項
第1回	平成28年 11月25日	<ul style="list-style-type: none">小平委員、篠原委員から、これまでのケーブル式海底地震・津波観測システムや次期システム案について発表堀委員から、ケーブル式海底地震・津波観測システムのデータ活用の実績及び次期システムへの期待について発表総合討論
第2回	平成28年 12月5日	<ul style="list-style-type: none">青井委員から、これまでのケーブル式海底地震・津波観測システムや次期システム案について発表前田委員から、ケーブル式海底地震・津波観測システムのデータ活用の実績及び次期システムへの期待について発表NEC から、これまでのケーブル式海底地震・津波観測システムや次期システムについて発表総合討論
第3回	平成29年 1月23日	<ul style="list-style-type: none">堀委員から、海域の地殻活動リアルタイムモニタリングについて発表次期システム整備の目的及び観測すべき現象について議論
第4回	平成29年 2月22日	<ul style="list-style-type: none">海上保安庁石川火山調査官（加藤委員代理）から、次期システムの関連分野となる海底地殻変動観測について発表次期システムの基本的考え方（案）について議論
第5回	平成29年 3月30日	<ul style="list-style-type: none">高知県から、高知県の取組と次期システムへの期待について発表防災科学技術研究所から、津波即時予測について発表防災科学技術研究所から、新たなセンサー開発について発表次期システムの基本的考え方についてとりまとめ
第6回	平成29年 6月26日	<ul style="list-style-type: none">次期システムの基本的考え方に基づき青井委員から次期システムの具体例を提案本報告書の骨子案について議論
第7回	平成29年 7月12日	<ul style="list-style-type: none">これまでの議論を踏まえ、本報告書（案）について議論
第8回	平成29年 7月27日	<ul style="list-style-type: none">本報告書（案）の取りまとめ

	平成 29 年 10 月 16 日	第 80 回調査観測計画部会にて「次期ケーブル式海底地震・津波観測システムのあり方について－中間とりまとめ－」報告
	平成 29 年 11 月～平成 30 年 1 月	関係機関による 3 回にわたる次期ケーブル式海地震・津波観測システム検討会の開催
第 9 回	平成 30 年 3 月 12 日	<ul style="list-style-type: none"> ・次期ケーブル式海底地震・津波観測システムの検討結果報告 ・「次期ケーブル式海底地震・津波観測システムのあり方について」修正方針議論
第 10 回	平成 30 年 6 月 11 日	<ul style="list-style-type: none"> ・次期ケーブル式海底地震・津波観測システムの検討 ・高知県の取組みと次期システムへの期待についての発表 ・気象庁の地殻変動観測についての発表
第 11 回	平成 30 年 7 月 10 日	<ul style="list-style-type: none"> ・「次期ケーブル式海底地震・津波観測システムのあり方について」報告書の審議・決定 ・南海トラフ地震に関する観測・解析、及び南海トラフ沿いの地殻変動観測についての議論