

地震調査研究における今後の海域観測の方針について（報告書案）

平成 28 年●月●日
地震調査研究推進本部政策委員会
調査観測計画部会

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。「基盤計画」やそれ以降に策定された計画に沿って、我が国の地震観測網は整備が進められた。

その後、平成 21 年 4 月に策定し 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、「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、海域の地震・津波観測網の整備が遅れていることを指摘しており、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して位置付けた。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「全国的に偏りなく実施すべき観測や一定の基準で全国的に実施すべき調査」（以下「基盤的調査観測」という。）として整理した。また、海底地殻変動観測は、「調査観測を行うことの有効性については示されているが、技術的課題等から全国的に偏りなく実施することが困難である調査観測」（以下「準基盤的調査観測」という。）に引き続き位置付けられている。

特に、海域における定常的な観測網は、その整備と運用に多額の経費を要することから、後年度の観測網の維持管理の負担も踏まえた上で、戦略的に整備を進める必要がある。そこで調査観測計画部会では、今後優先して整備すべき観測網を、実現可能性も考慮した上で取りまとめた。

2. 海域観測網についての当面の課題

(1) 海溝型地震を対象とした地震発生予測の高精度化に資する観測網

「新総合基本施策」では、当面 10 年間に取り組むべき地震調査研究として、海溝型地震を対象とした地震発生予測の高精度化に関する調査観測の強化を行うこととしている。

例えば地震本部は、活断層で発生する地震や海溝型地震について、地震の発生可能

性の長期評価（以下「長期評価」という。）を実施している。長期評価においては、同じ震源域で同規模の地震が繰り返し発生するというモデル（固有地震モデル）を踏まえ、地震の発生場所と規模を決定付ける震源断層の同定を行うとともに、過去の地震の発生間隔、最新の地震の発生時期から、一定期間内に地震が発生する確率を推定している。過去複数回発生した固有地震の震源域と発生時期が明らかであれば、長期評価は可能であることから、海溝型地震については、史料の調査や津波堆積物調査といった古地震・古津波調査に重きを置いてきた。

しかし、古地震・古津波調査を行う上で必要な史料や津波堆積物の品質及び残存数については、地域により偏りがある。特に、島嶼部では、これらの資料が極端に不足している場合が多い。また、極めてまれな頻度で発生する超巨大地震については、海溝軸近傍での「超大すべり域」の有無等、古地震・古津波調査からでは過去に発生した地震の全貌を十分に把握できないおそれがある。そこで、地域や対象とする地震によっては、古地震・古津波調査の結果のみに依存しない方法について検討する必要がある。

具体的には、海底地殻変動観測により、プレート間の固着状況の分布を高精度かつ高分解能で把握することが出来れば、古地震・古津波調査が困難な地域でも長期評価が可能になったり、古地震・古津波調査の結果と統合して解釈することで、その海域で発生が予想される地震の位置と規模（震源断層モデル）を事前により精度良く推定したりすることができる可能性がある。さらに、プレート間の固着状況の時間変化を検出すると同時に、その時間変化から地震発生予測を行う手法が開発されれば、おおよその発生時期を推測できる可能性もある。

他方、海溝型地震の連動発生が想定されている海域において、その一部の地震のみが発生した場合、発生した地震の地震像を即座に把握し、残る地震の発生可能性を評価する必要がある。その際、津波波源推定、余震分布の把握に加えて、発生した地震による余効すべり（地震後に起きる地殻変動）の発生域を短時間で推定することが望ましいため、十分な海底地殻変動観測網の整備が必要である。

（２）津波即時予測技術の開発及び地震動即時予測の高度化に資する観測網

地震発生直後に出される津波即時予測のためには、海域の地震の震源域近傍で津波を直接観測可能な観測網の整備が望ましい。また、震源域の近傍で地震波を検知することで、海域で発生する地震の地震動即時予測（緊急地震速報等）の迅速化も期待する。

3. 今後の海域観測網のあり方

（１）海溝型地震を対象とした地震発生予測の高精度化に資する観測網

海溝型地震の長期評価を高度化するために、プレート間の固着状況の分布を把握す

るには、想定される震源域周辺において地殻変動を観測する（海底地殻変動観測）ことが必要である。海底地殻変動観測については、GNSS/音響測距結合手法による観測（以下「GNSS/音響観測」という。）、海底基線長測距、水圧計による観測等に分けられる。ここでは、海底の水平変動の検出に最も有効な手法であり、我が国で特に精力的に取り組まれている GNSS/音響観測を中心に述べる。

1) 観測点の設置方針

GNSS/音響観測に用いる観測点（海底基準局）の設置に当たっては、以下の方針を踏まえる。

① 広域化

これまで観測を行ってこなかった海域においては、概ねマグニチュード8相当の広がりを持つ震源域に最低1つの海底基準局を設置し、同海域のプレート固着状況を把握することが必要である。それにより、同海域でマグニチュード8程度以上の地震が発生しうるかを推定する。具体的には、海溝軸に平行に約100kmの間隔で海底基準局を設置する。なお、観測点間隔が100km程度であれば、ブロックモデルにより、陸のプレートをいくつかのブロックに分割した場合であっても、ほぼ全てのブロックに観測点が存在することになる。

具体的には、南西諸島海溝、相模トラフ、千島海溝等が想定されるが、広域化を進める海域の優先順位について検討したい。

② 高密度化

これまで定常的に観測を行ってきた海域においては、まだ観測点が設置されていない海溝軸近傍（海溝軸よりも陸寄り）に海底基準局を設置し、「超大すべり域」を伴う津波地震の発生の可能性を推定する。また、海溝軸のさらに沖合に海底基準局を設置し、海洋プレートの運動速度に対する相対速度を正確に推定する。

具体的には、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、他の海域と比べても特に高く、時間的な猶予がないことから、南海トラフの海溝軸近傍に優先的に海底基準局を設置することが望ましい。

2) 観測の高度化の方針

GNSS/音響観測の精度と時間分解能を高めるために、以下の点を考慮することが望ましい。

① 観測の長期化

時間スケールの長い地震現象の全体像を把握するためには、同一地点での観測を長期間継続的に行う必要がある。長期的にわたって観測を行うには、海底

基準局を構成するトランスポンダー（海底に設置する音響信号のミラー応答装置）の長寿命化が望まれる。

②時間分解能の向上

ゆっくりすべりのような現象にともなう固着状況の時間変化を検出するため、また、海溝型地震発生直後の連動発生評価のためには、有人観測船による観測の効率化を図ることでより高頻度に観測を行うとともに、ブイや自律型海上プラットフォームを用いるなど、有人観測船によらない手法により、リアルタイム観測または準リアルタイム観測を目指す。

③目的に応じた観測手法の選択

GNSS/音響観測以外の観測手法を採用したり、GNSS/音響観測と併用したりすることで、より高精度または効率良く観測することができる場合があるため、観測手法については、目的に照らして最適な方法を選択することが必要である。例えば、以下の観測が想定される。

- ・海溝軸をまたいで海底基線長測距を行う
- ・GNSS/音響観測と水圧計による観測を併用する
- ・水圧計による連続観測を行う

(2) 津波即時予測技術の開発及び地震動即時予測の高度化に資する観測網

津波即時予測技術の開発及び地震動即時予測の高度化のために、ケーブル式海底地震・津波計を整備する必要がある。

整備における検討事項として、以下のことが想定される。

- ・地震の想定震源域の大きさに応じた観測点配置及び密度を示すこと
- ・海域の優先順位の基本的な考え方を示すこと
- ・観測網の動作安定性や冗長性を確保すること

4. 海域ごとに整備すべき観測網

防災に確実に貢献するためには、地震の発生を事前に予測したうえで、地震が発生した際には即時的に地震・津波を捉え、予測することが望まれる。そのためには、海域ごとの観測網の現状、想定される地震の規模、長期発生確率、社会的影響等を総合的に勘案した上で観測網を整備する必要がある。

(1) 南海トラフ

南海トラフは、我が国周辺でもっとも早く観測網の整備が進んだ海域であり、既存の観測網を最大限活用することが重要である。海底地殻変動観測については、海上保

安庁及び大学が連携して、今後も観測を実施する。また、ケーブル式海底地震・津波計については、防災科学技術研究所の地震・津波観測監視システム（DONET）や気象庁の東海沖及び東南海沖常時海底観測システムを、今後も確実に運用することが重要である。

検討事項として、以下のことが想定される。

- ・「超大すべり域」の発生可能性の調査のため、海溝軸を挟んだ沖合にも海底基準局を設置し、海底地殻変動観測を行う必要性について
- ・地震発生時の現状評価のため海底地殻変動観測を準リアルタイム化する必要性について
- ・南海トラフの西側（高知県沖）におけるケーブル式海底地震・津波計の整備について検討する必要性について
- ・集中的な観測や技術開発の必要性について

（2）南西諸島海溝

南西諸島海溝においては、海底基準局が乏しく、ケーブル式海底地震・津波計も存在しない。

同海域では、過去の地震の履歴がほとんど未解明であり、与那国島近海を除いて、規模の大きな地震の震源域や発生間隔すら不明である。また、古地震・古津波調査に必要な史料や津波堆積物等も不足している。

検討事項として、以下のことが想定される。

- ・プレート間の固着状況を推定するために海底地殻変動観測を行う必要性について

（3）相模トラフ

相模トラフにおいては、既にケーブル式海底地震・津波計が充実していることから、防災科学技術研究所の日本海溝海底地震津波観測網（S-net）や同所の相模湾ケーブル式海底地震観測システム、気象庁の房総沖常時海底観測システムを、今後も確実に運用することが重要である。

他方、海底地殻変動観測はあまり行われていない。

検討事項として、以下のことが想定される。

- ・陸域からプレート間の固着状況を推定できない東側の地域で海底地殻変動観測を行う必要について

（4）日本海溝

日本海溝においては、既に観測網が充実していることから、既存の観測網を最大限活用することが重要である。海底地殻変動観測については、海上保安庁及び大学が連

携して、今後も観測を実施する。また、ケーブル式海底地震・津波計については、日本海溝海底地震津波観測網（S-net）を、今後も確実に運用することが重要である。

検討事項として、以下のことが想定される。

- ・海底地殻変動観測網の更なる拡充の必要性について

（5）千島海溝

千島海溝においては、既にケーブル式海底地震・津波計が充実していることから、日本海溝海底地震津波観測網（S-net）や海洋研究開発機構の釧路・十勝沖海底地震総合観測システムを、今後も確実に運用することが重要である。

他方、海底地殻変動観測は全く行われていない。

検討事項として、以下のことが想定される。

- ・「超大すべり域」の発生可能性の調査のため海底地殻変動観測を行う必要性について

（6）日本海東縁部

日本海東縁部においては、海底基準局は存在せず、ケーブル式海底地震・津波計も乏しい。しかし、プレート沈み込み帯が存在しないことから、顕著な地殻変動は生じていないと考えられ、海底地殻変動を観測しても目立った成果は得られないことが想定される。

検討事項として、以下のことが想定される。

- ・当該海域に適した調査観測を検討する必要性について

（7）伊豆・小笠原海溝

伊豆・小笠原海溝においては、海底基準局、ケーブル式海底地震・津波計ともに存在しない。

同海域は広大な面積を誇る一方で、我が国の本土から遠く、周辺人口も少ないため、海域の断層調査を除いて、精度の高い系統だった調査観測がほとんど実施されていない。

検討事項として、以下のことが想定される。

- ・周辺海域で発生する地震活動について評価を行うために優先して行うべき調査観測を検討する必要性について

（8）その他の海域（沖縄トラフ等）

5. 観測網整備に当たって必要な技術開発

観測網の整備に当たっては、技術開発を実施し、整備及び運用にかかる経費を低減するとともに、より目的に適う観測を目指す必要がある。

(1) 海底地殻変動観測

GNSS/音響観測の実施に当たっては、長期的に観測の実現、観測の効率化、準リアルタイムでの観測の実現、観測データの様式や解析手法の統一が求められる。

①長期的かつ安定的な観測の実現

GNSS/音響観測の海底基準局を交換すると、それまでの基準局を用いた観測と、新しい基準局を用いた観測で、測位データを接続することは困難となる。そのため、長期間にわたる変動を解析することができない。一定の期間、近接する場所に設置した新旧の海底基準局を並行して観測することで、この課題に対応する方法等もあるが、観測効率の低下は避けられない。そこで、長期的に観測するには、海底基準局を構成するトランスポンダーの長寿命化が望まれる。

トランスポンダーの長寿命化のためには、バッテリーの増強に加えて、音響信号を効率良く送受信できる機構の開発が求められる。そのために、海中を伝播する際に信号に生じる誤差を除去する技術等（海面反射波等の後続波を除去する技術を含む。）の開発が必要となる。

②観測の更なる効率化

GNSS/音響観測では、船舶を用いた観測が一般的である。そこで、観測を効率化することで、同じ期間でもより多くの観測が可能になり、多点観測への対応や備船費の削減が期待できる。

例えば、これまで海底基準局を構成する複数のトランスポンダーに対して1つずつ音響信号を送受信していたが、これを複数同時に送受信可能にする技術が開発されており、こうした効率化を今後も進めていくことが考えられる。また、GNSS 受信機とトランスデューサー（船舶やブイ等に装着し、音響信号を送受信する装置）を搭載したブイを併用し、同時に複数のトランスデューサーから信号を送受信することも考えられる。さらに、船舶のGNSS 測位精度、船舶の揺れの測定精度等を向上することで、観測の際の測線数や音響信号の送受信回数が少なくても、十分な精度を得られるようにすることが望まれる。加えて、必要に応じて、CTD（電気伝導度、水温、水深を測定する機器）に代わって、投下型の機器等を用いて、海中音速構造の推定に必要な作業時間の短縮を図ることも検討する必要がある。

③準リアルタイム観測

準リアルタイムで観測するには、船舶による有人観測とは異なる手法が必要である。そのためには、GNSS 受信機とトランスデューサーを搭載したブイや自律型海上プラットフォームを用いる必要がある。特に自律型海上プラットフォームを用いる

場合は、長期間無人で運用する技術を確認する必要がある。また、水深ごとの電気伝導度や水温を自動で測定する必要があるため、自動昇降型の CTD の開発が併せて必要である。さらに、ブイや自律型海上プラットフォーム上でデータの基本的な処理を行ったうえで、GNSS 衛星の位置情報や解析結果等を、衛星通信等を用いて常時送受信する仕組みも考える必要がある。

準リアルタイム観測を行う場合、CTD 等への継続的な電力の供給とデータの収集が課題となるおそれがある。そこで、例えば DONET の拡張分岐装置に自動昇降型 CTD を接続することが考えられる。また、水圧計による観測データを組み合わせ、鉛直成分の変動量を拘束したうえで解析を行う方法が確立されれば、CTD 観測回数を減らしても、海底地殻変動を精度良く観測できる可能性がある。このように、DONET 等のケーブル観測網を活用した海底地殻変動観測も検討されるべきである。

各観測点の準リアルタイム化への過渡期には、必要な観測点に対してのみ、速やかに観測可能な仕組みを構築することが考えられる。例えば、特定の観測点周辺で規模が大きな地震が発生した際に、その観測点で直ちに観測を行えば、地震活動の評価に生かすことができる。そのために、自律型海上プラットフォームを特定の観測点に移動させ、観測を行う技術の開発が望まれる。

さらに、自律型海上プラットフォームは、海底火山周辺等、人が近づきにくい海域での観測にも応用できる可能性がある。

④観測データの様式及び解析手法の統一

GNSS/音響観測については、未だ技術の発展途上で解析手法が確立していないことから、これまで、複数の大学及び海上保安庁が、技術を競いながら別々に観測・解析手法を発展させてきた。その結果、同じ観測点について複数の機関が観測した場合にも、観測方法やデータの解析手法が異なるため、単純に比較することができない。

そこで、将来的には、観測データの様式や解析手法の統一に取り組み、別の機関が測定したデータを容易に比較・結合できるようにすることが望まれる。

加えて、可能な範囲で観測データの公開を目指す。

(2) ケーブル式海底地震・津波計

ケーブル式海底地震・津波計の設置と運用に当たっては、海底という過酷な環境でも安定的に観測できる技術を確認するとともに、拡張性を持ち機器の更新が容易であること、整備・運用経費が安価であることが求められる。

- ①海底特有の環境を考慮した観測技術
- ②拡張性と機器の更新可能性
- ③整備・運用経費の低減

6. その他検討すべき事項

(1) 陸域観測網との関係

海域の観測網については、海域のみで考えるのではなく、陸域の観測網との関係を踏まえ、最適な観測網のあり方を考える必要がある。

地殻変動観測については、陸域のGNSS観測網から、海域のプレート境界の固着状況についてどこまで推定できるかを、例えばチェッカーボードテスト等で明らかにした上で、推定が困難な海域から観測網を展開すべきである。また、ゆっくりすべり現象の検出を目的とするのであれば、陸域のひずみ計や傾斜計等では検出が困難な海域に優先して展開する必要がある。さらに、プレート間の固着状況やゆっくりすべり現象を解析する場合は、陸域の観測データと海域の観測データを統合することを念頭に、観測頻度やデータ形式等を検討すべきである。

(2) 観測データの効果的な活用方策を踏まえた整備

海域で観測されたデータは、長期評価をはじめとする地震調査委員会における検討に最大限活用される必要がある。そのために、データを有効に活用するための方策をあらかじめ考えたうえで、海域における観測網の整備を戦略的に進める必要がある。

海底地殻変動観測については、海溝軸に平行に100km間隔で海底基準局を設置して観測を実施したとしても、その観測結果のみを用いて長期評価を行うことには限界がある。そこで、例えば同じ海域で地殻構造調査を実施し、海底地殻変動観測データと併せてシミュレーションを行うことで、長期評価の精度を向上することなどが考えられる。反対に、既存の地殻構造調査結果を踏まえてシミュレーションを行うことで、海底基準局の最適な配置を求める方法も考えられる。

7. おわりに